

# ANNUAL REPORT

2022 Osaka University  
Institute for Datability Science



# Annual Report 2022

Institute for Datability Science

## 巻頭言

データバリティフロンティア機構 機構長

尾上 孝雄

令和という新しい時代を迎え、我々が暮らす社会にも大きな変化が訪れています。デジタル革命の進展により社会構造自体が従来の資本集約型から知識集約型に大転換し、「知」の創出や情報・データの獲得および活用が今後ますます重要になってきます。先頃、文部科学省で先頃取り纏められた科学技術イノベーション政策に関する報告書においても、今後のデジタル革命の進展に対応した新たな研究システムの構築が必要とされており、データ駆動型・AI 駆動型科学を駆使して、情報科学技術自体の振興とさまざまな分野でのその利活用を両輪で進めていく必要があるとされています。

大阪大学では、このような課題に早くから着目し、2016年2月に打ち出した「OU ビジョン 2021」における「オープンリサーチ」の基盤として、データの可用性と持続可能性を担保しつつ責任を持って活用する「データ駆動型研究」を全学的に推進することとし、同年4月に世界に先駆けてデータバリティフロンティア機構を設置して、精力的に活動を続けてきております。

データバリティフロンティア機構では、データバリティ基盤3部門とデータバリティ研究8部門を擁し、情報系研究者とさまざまな分野の研究者が協働できる、アンダーワンルーフ型の研究遂行環境を整えております。多岐にわたる分野で20を超えるデータ駆動型学際共創研究プロジェクトが進行中です。また、新たな知を社会実装する際の倫理的・法制度的・社会的課題、いわゆる ELSI への対応が重要となりますが、ビッグデータ社会技術部門がその役割を担っていることも、他にはない本機構の大きな特徴となっております。

一方で、これらの基盤的で卓越した学際共創研究の推進とともに、価値創造やイノベーション創出の担い手の育成も社会的要請が強くなってきています。人材育成においては、2017年度から、NEDO の事業で AI データフロンティアコースを実施いたしました。本コースは、実社会で活躍する研究者・技術者を対象に、大学院レベルの講義を通じて AI 知識を体系的に伝授するとともに、製造現場や顧客行動等のさまざまなデータを用いた実践的な演習を通じて、データの構築方法や解析手法などの機械学習技術の基本をコンパクトな形で提供する教育プログラムであり、毎回多くの社会人技術者・研究者が受講しています。

2018年度文部科学省「Society 5.0 実現化研究拠点支援事業」に採択された「ライフデザイン・イノベーション研究拠点」事業は、本機構が直轄する重点研究プロジェクトとして位置づけており、機構内にライフデザイン・イノベーション拠点本部を設置して推進しております。拠点本部では、大阪大学の研究者らが中心となり、理化学研究所および NEC が中核機関として参加し、未来を創る10個の研究プロジェクトを実施しています。情報システム基盤と社会技術プロジェクトが連携し、パーソナルデータを取り扱うための PLR 基盤とその運用ガイドライン、規約の作成を短期間で進め、プロトタイプシステムを構築し実証実験を行なう段階にきています。

今後、知識集約を加速させる知・情報・人材・資金のハブ機能として、大学自らがその機能を拡張し変革の原動力となることが強く求められますが、大阪大学データバリティフロンティア機構はその中核的組織として、より一層活動を充実していきたいと考えております。今後とも各方面の皆様の暖かいご支援をお願い申し上げます。



# 目次

第1部	機構組織構成	1
第2部	機構の活動概要	9
2.1	運営	9
2.2	研究倫理委員会	9
2.3	予算	10
2.4	学際共創研究活動概要	11
第3部	学際共創プロジェクト	13
第4部	機構の主要研究プロジェクト	97
4.1	スマートキャンパス（未来社会創造型サービスプラットフォームの整備）	97
4.2	Society5.0 実用化研究拠点支援事業「ライフデザインイノベーション研究拠点」	101
4.3	データリテリ研究用基盤システムと実証実験フィールドの整備	105
第5部	ライフデザイン・イノベーション研究拠点	111
5.1	Society 5.0 実現化研究拠点支援事業について	111
5.2	事業概要	111
5.3	2022 年度活動概要	112
5.4	まとめ	113
第6部	教育	115
6.1	先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム	115
6.2	ダイキン AI 講座	117
6.3	人文学研究科デジタルヒューマニティーズ	118
第7部	その他の活動	119
7.1	Second SCAI-IDS Workshop for Future Collaboration on AI	119
第8部	専任教員の研究活動	121
第9部	外部資金獲得状況	163
第10部	研究業績	167



# 第 1 部

## 機構組織構成

データバリティフロンティア機構 (Institute for Datability Science; IDS) の組織構成は、下図のとおりである。本機構は、データバリティ推進のための中心技術となる、データバリティ基盤部門 (3 部門) と、データバリティ基盤部門メンバーとの共創によりデータ駆動型研究を推進するための、データバリティ研究部門 (8 部門)、および研究者マッチングや広報・情報発信を行う企画室、Society 5.0 の実現を目指す先端中核拠点である、ライフデザイン・イノベーション拠点本部とで構成される。

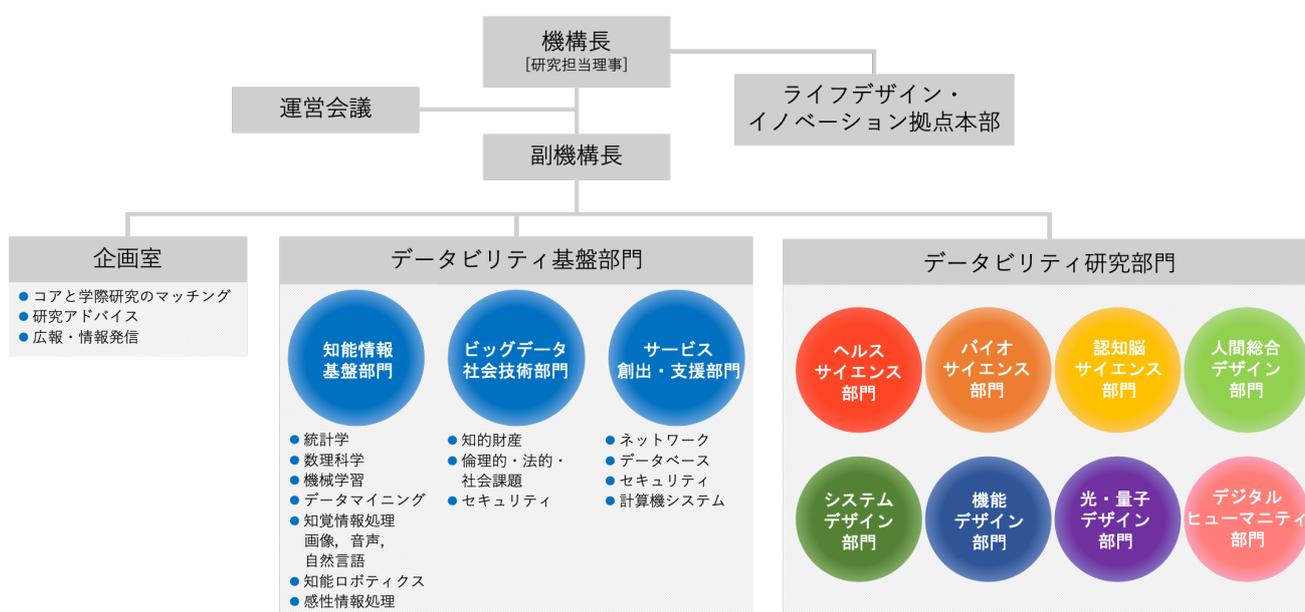


図 1.1: 組織図 (令和 5 年 3 月 31 日現在)

## データビリティ基盤部門

データビリティ基盤部門は以下の3部門からなる。

1. 知能情報基盤部門
2. サービス創出・支援部門
3. ビッグデータ社会技術部門

知能情報基盤部門は、統計学、数理科学、知能情報学、知的情報処理、ヒューマンインタラクション等の統計数理、人工知能関係の研究者が所属し、データ駆動研究スタイルへの変革の中核を担う。サービス創出・支援部門は、実際にビッグデータを扱うシステム構築のための、ネットワーク、データベース、セキュリティ、計算機システム等の教員が集結している。ビッグデータ社会技術部門は、ビッグデータ利活用における倫理的・法的・社会的課題(ELSI)を扱う教員からなり、個人情報やプライバシーに関する様々な問題に対して、多様なステークホルダーとの協働により取り組んでいる。

## データビリティ研究部門

データビリティ研究部門では、学内教員からのヒアリングにより選抜した以下の8部門において、データ駆動型研究を推進している。

1. ヘルスサイエンス部門: 臨床医学イノベーション, 創薬イノベーション
2. バイオサイエンス部門: 生命システム, 高次生体イメージング
3. 認知サイエンス部門: 脳イメージング, 認知ロボティクス
4. 人間総合デザイン部門: 健康・スポーツ社会, 超スマート社会, ヒューマンインターフェイス
5. システムデザイン部門: 環境イノベーション, インテグレート機械システム, インテリジェント通信
6. 機能デザイン部門: 物質機能, 材料機能, 電子機能
7. 光・量子デザイン部門: スマートセンシング, 光量子クロススケール科学
8. デジタルヒューマニティーズ部門: 芸術解析, マルチリンガル, 金融・ファイナンス

一般に同じデータでも専門分野固有のノウハウを考慮した研究計画の設計が必要である。そのためには、適切な研究者ペアリングによる研究プロジェクト化が必要である。

## 企画室

企画室の主たる業務は、データビリティサイエンスに関する多様な研究コーディネートにある。特に、大学研究者や民間企業などによる「データ駆動型学際研究プロジェクト」の共創支援に重点を置いている。共創されるプロジェクトのタイプは、1) IDS 所属研究者と学内外の研究者のコラボレーションによる「学際共創研究プロジェクト」、2) IDS 所属研究者と民間企業による「産学共創プロジェクト」の2種類に大別される。また、産業科学研究所産学連携室との連携を行いながら、企業ニーズと研究シーズのマッチング方法のさらなる改良を試みることにより、社会的な潜在ニーズの掘り起しを行っている。

平成29年度末からは、上記の研究コーディネートに加えて、「一般社団法人 データビリティコンソーシアム」の設立業務が加わった。この法人は、大阪大学 IDS と社会の共創によって培われたデータ利活用に関する知と方法を社会(=学外)において利用することを促進するためのプラットフォームとなる。また、そのプラットフォームにおいて取り扱われる事業は、個別企業向けの教育プログラムとデータ・ハンドリング事業から成り立つことが想定されている。

## ライフデザイン・イノベーション研究拠点

ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) では、人々の医療・健康情報であるパーソナル・ヘルス・レコード (Personal Health Record (PHR)) 情報に、日常生活、職場／学校での活動、食事、スポーツ活動などの様々な日常活動データを加えた、パーソナル・ライフ・レコード (Personal Life Records (PLR)) 情報を新たに提案し、「保健・予防医療」、「健康・スポーツ」、「未来の学校支援」、「共生知能システム」の4つの未来創生研究と情報基盤研究、社会導入のための社会技術研究まで、一貫した研究活動を行う。

## 教員組織 (令和5年3月31日現在)

## 【幹部】

機構長		理事・副学長	尾上 孝雄
副機構長	サイバーメディアセンター	センター長・教授	下條 真司
知能情報基盤部門長		教授	長原 一
ビッグデータ社会技術部門長		教授	岸本 充生
サービス創出・支援部門長		教授	春本 要
ライフデザイン・イノベーション拠点本部長	産業科学研究所	教授	八木 康史

## 【専任教員】

データビリティ基盤部門	知能情報基盤部門	教授	長原 一
		特任教授	馬場口 登
		准教授	中島 悠太
		准教授	早志 英朗
		特任助教 (常勤)	Noa Garcia Docampo
		特任助教 (常勤)	李 良知
		特任研究員 (常勤)	Kumawat Sudhakar
		特任研究員 (常勤)	Kumar Saurabh
	ビッグデータ社会技術部門	教授	岸本 充生
		特任講師 (常勤)	山本 奈津子
		特任助教 (常勤)	大橋 範子
	サービス創出・支援部門	教授	春本 要
データビリティ研究部門企画室		特任准教授 (常勤)	宮澤 清太
ライフデザイン・イノベーション研究拠点		特任教授	小寺 秀俊
		特任教授 (常勤)	魚森 謙也
		特任教授 (常勤)	中村 亨
		特任研究員 (常勤)	吉川 則之
		特任研究員 (常勤)	横山 美和
		特任研究員 (常勤)	岡村 和男
		特任学術政策研究員 (常勤)	植田 真由美

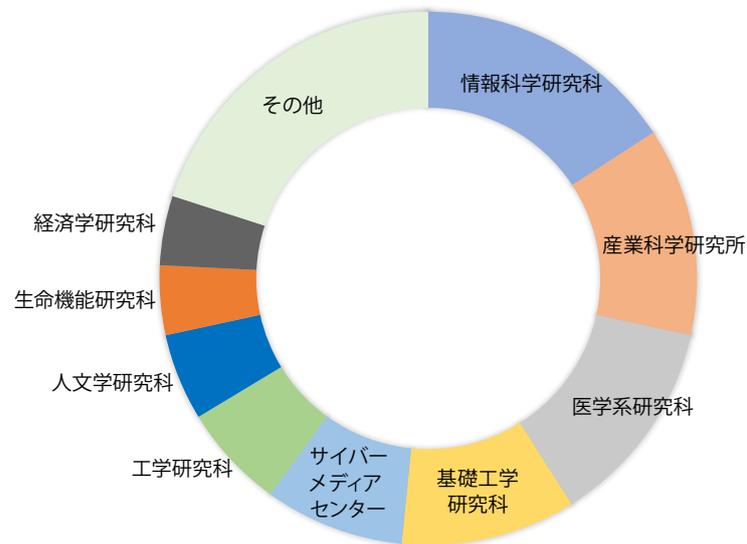
## 【兼任教員】

データリティ 基盤部門	知能情報基盤部門	経済学研究科	教授	松村 真宏
		経済学研究科	教授	大屋 幸輔
		経済学研究科	教授	谷崎 久志
		経済学研究科	教授	福重 元嗣
		基礎工学研究科	教授	乾口 雅弘
		基礎工学研究科	教授	佐藤 宏介
		基礎工学研究科	教授	狩野 裕
		基礎工学研究科	教授	内田 雅之
		基礎工学研究科	教授	飯國 洋二
		基礎工学研究科	准教授	岩井 大輔
		基礎工学研究科	准教授	田中 冬彦
		基礎工学研究科	助教	関 宏理
		情報科学研究科	教授	鬼塚 真
		情報科学研究科	教授	松下 康之
		情報科学研究科	教授	松田 秀雄
		情報科学研究科	教授	森田 浩
		情報科学研究科	教授	藤崎 泰正
		情報科学研究科	准教授	大倉 史生
		情報科学研究科	准教授	瀬尾 茂人
		情報科学研究科	准教授	前川 卓也
		情報科学研究科	寄附講座教授	梅谷 俊治
		情報科学研究科	特任准教授	新岡 宏彦
			(常勤)	
		産業科学研究所	教授	黒田 俊一
		産業科学研究所	教授	駒谷 和範
		産業科学研究所	教授	沼尾 正行
		産業科学研究所	教授	鷲尾 隆
		産業科学研究所	教授	八木 康史
		産業科学研究所	教授	櫻井 保志
		産業科学研究所	准教授	武田 龍
		産業科学研究所	准教授	福井 健一
		産業科学研究所	准教授	松原 靖子
		産業科学研究所	助教	Holland Matthew
		サイバーメディアセンター	教授	竹村 治雄
		サイバーメディアセンター	准教授	浦西 友樹
		サイバーメディアセンター	准教授	間下 以大
		サイバーメディアセンター	講師	白井 詩沙香
		高等共創研究院	教授	槇原 靖
		高等共創研究院	准教授	荒瀬 由紀

データビリティ 基盤部門	ビッグデータ社会技術部門	高等司法研究科	教授	茶園 成樹
		工学研究科	教授	宮地 充子
		CO デザインセンター	教授	八木 絵香
		CO デザインセンター	教授	平川 秀幸
	サービス創出・支援部門	情報科学研究科	教授	原 隆浩
		情報科学研究科	教授	山口 弘純
		情報科学研究科	准教授	内山 彰
		サイバーメディアセンター	准教授	義久 智樹
		サイバーメディアセンター	准教授	伊達 進
		サイバーメディアセンター	講師	小島 一秀
	経営企画オフィス	准教授	廣森 聡仁	
データビリティ 研究部門	ヘルスサイエンス部門	医学系研究科	教授	熊ノ郷 淳
		医学系研究科	教授	西田 幸二
		歯学部附属病院	講師	谷川 千尋
		歯学部附属病院	助教	若林 一道
		生命機能研究科	教授	高島 成二
		微生物病研究所	教授	飯田 哲也
	バイオサイエンス部門	薬学研究科	教授	橋本 均
		生命機能研究科	教授	上田 昌宏
		生命機能研究科	教授	石井 優
		産業科学研究所	教授	永井 健治
		蛋白質研究所	教授	高木 淳一
	認知脳サイエンス部門	基礎工学研究科	教授	石黒 浩
		基礎工学研究科	准教授	吉川 雄一郎
		先導的学際研究機構	特任教授	浅田 稔
	人間総合デザイン部門	人間科学研究科	教授	吉川 徹
		人間科学研究科	准教授	平井 啓
		医学系研究科	教授	中田 研
		工学研究科	講師	武田 裕之
システムデザイン部門	工学研究科	教授	下田 吉之	
機能デザイン部門	理学研究科	教授	奥村 光隆	
	工学研究科	教授	中野 貴由	
	接合科学研究所	教授	桐原 聡秀	
光・量子デザイン部門	工学研究科	教授	兒玉 了祐	
	生命機能研究科	教授	井上 康志	
	核物理研究センター	教授	中野 貴志	
デジタル ヒューマニティーズ部門	人文学研究科	教授	藤岡 穰	
	人文学研究科	教授	藤川 隆男	

データビリティ 研究部門	デジタル	人文学研究科	教授	田畑 智司
	ヒューマニティーズ部門	人文学研究科	准教授	三宅 真紀
		工学研究科	教授	藤本 慎司
企画室		産業科学研究所	特任准教授 (常勤)	加藤 久明
ライフデザイン・イノベーション拠点本部		医学系研究科	教授	坂田 泰史
		医学系研究科	教授	池田 学
		医学系研究科	教授	中田 研
		医学系研究科	教授	遠藤 誠之
		医学系研究科	教授	武田 理宏
		医学系研究科	教授	木村 正
		医学系研究科	講師	金本 隆司
		医学系研究科	助教	横山 光樹
		医学系研究科	助教	近田 彰治
		医学系研究科	助教	小笠原 一生
		人文学研究科	教授	中本 香
		工学研究科	教授	宮地 充子
		基礎工学研究科	教授	石黒 浩
		基礎工学研究科	准教授	吉川 雄一郎
		情報科学研究科	教授	山口 弘純
		情報科学研究科	准教授	内山 彰
		情報科学研究科	准教授	矢内 直人
		産業科学研究所	教授	八木 康史
		産業科学研究所	准教授	福井 健一
		キャンパスライフ	教授	足立 浩祥
		健康支援・相談センター		
		サイバーメディアセンター	教授	岩居 弘樹
		サイバーメディアセンター	教授	竹村 治雄
		サイバーメディアセンター	講師	小島 一秀
		サイバーメディアセンター	講師	白井 詩沙香
		高等共創研究院	教授	槇原 靖
		共創機構	教授	正城 敏博
	先導的学際研究機構	特任教授	浅田 稔	
	全学教育推進機構	教授	藤田 和樹	

## 兼任教員の所属



## 【職員】

特任事務職員	データセキュリティ基盤部門	西田 光沙 沖津 志津代		
	ライフデザイン・イノベーション拠点本部	中西 智子		
技術補佐員 S	データセキュリティ基盤部門	安部 政俊 新井 悠介 Wang Bowen 大原 慧 兼子 晃寛 筒井 奎剛 山田 響生		
		技術補佐員	データセキュリティ基盤部門	亀位 智恵 諏訪 麻由 廣川 容子
		事務補佐員	ライフデザイン・イノベーション拠点本部	小澤 頼子

## 第 2 部

---

### 機構の活動概要

#### 2.1 運営

機構にデータビリティフロンティア機構運営会議を置き、機構運営に関し必要な事項を審議する。運営会議は機構長(研究担当理事)、副機構長(本学専任教授のうちから機構長が指名する者)および機構長が必要と認めた本学の専任教員等により構成し(表 2.1 参照)、議長は機構長をもって充てる。運営会議は通常毎月 1 回 予め決められた日時に開催され、以下の事項を審議する。

- 管理運営の基本方針
- 教員人事
- 機構が実施する教育研究プログラム
- その他教育研究および管理運営

#### 2.2 研究倫理委員会

人間を対象とする研究の実施の適否その他事項について、倫理的な観点から審議を行うために、該当研究ごとに倫理委員会を設置する。倫理委員会は次の各号に掲げる委員をもって組織する。なお、委員会には、倫理学・法律学の専門家等人文・社会科学の有識者及び研究対象者の観点も含めて一般の立場から意見を述べることのできる者を含み、男女両性を含むものとする。

1. 機構長が指名した教授 若干名
2. データビリティコアの各部門から選ばれた教員 若干名
3. 学外の有識者 若干名
4. その他委員会が必要と認めた者

本機構の倫理委員会は事案に応じて随時開催している。

表 2.1: 運営会議構成

機構長		理事・副学長	尾上 孝雄
副機構長	サイバーメディアセンター	センター長・教授	下條 真司
知能情報基盤部門長	データブリティフロンティア機構	教授	長原 一
ビッグデータ社会技術部門長	データブリティフロンティア機構	教授	岸本 充生
サービス創出・支援部門長	データブリティフロンティア機構	教授	春本 要
企画室	データブリティフロンティア機構	特任准教授	宮澤 清太
総長補佐	人間科学研究科	教授	三浦 麻子
ライフデザイン・イノベーション拠点本部長	産業科学研究所	教授	八木 康史

## 2.3 予算

本機構の主な経費は、運営費交付金、科学研究費補助金等の外部資金である。令和元年度からの予算の推移は以下のとおりである。

表 2.2: 予算の推移

予算	令和元年度		令和2年度		令和3年度		令和4年度	
	金額 (千円)	件数	金額 (千円)	件数	金額 (千円)	件数	金額 (千円)	件数
運営費交付金	174,203	(1)	167,756	(1)	168,606	(1)	106,402	(1)
科学研究費助成事業	71,370	(21)	72,423	(17)	51,090	(11)	27,417	(21)
その他補助金	95,190	(5)	97,310	(8)	98,250	(10)	25,200	(6)
受託研究	148,538	(15)	50,770	(6)	63,860	(7)	103,641	(12)
受託事業	6,120	(2)	11,620	(3)	6,820	(2)	6,467	(2)
共同研究	17,330	(4)	2,200	(2)	2,300	(2)	13,237	(5)
奨学寄附金	4,500	(6)	11,600	(5)	380	(4)	920	(5)
Society5.0 事業	700,788	(5)	700,788	(1)	700,788	(1)	700,788	(1)
学内グラント	0	(0)	4,800	(2)	450	(1)	0	(0)
合計	1,218,039	(59)	1,119,267	(45)	1,092,544	(43)	984,072	(53)

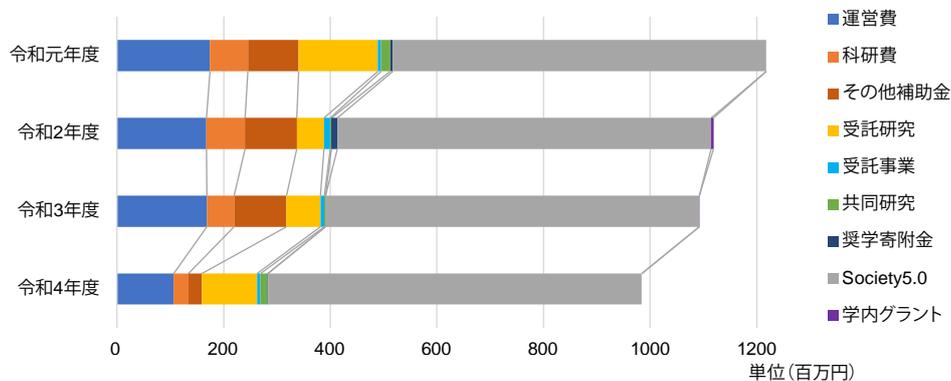


図 2.1: 予算の推移

## 2.4 学際共創研究活動概要

新たな科学の方法を探究し、これまでの科学技術・学術分野の枠にとらわれない未踏の地平を切り拓くべく、データドリフトロンティア機構では、データ駆動型の学際共創研究を推進している。その基盤として、企画室が中心となり、学内の他部局研究者と本機構の専任・兼任研究者との研究マッチングを進め、連携の強化を図るとともに、学際共創研究の発掘・支援を行ってきた。

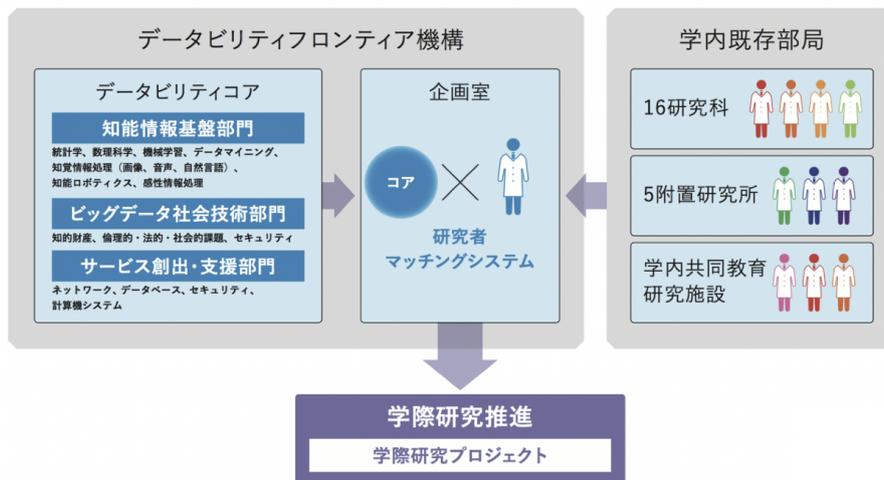


図 2.2: 研究者マッチングシステム

独創的な共創研究活動を支援するため、平成 29 年度からは「IDS 学際共創プロジェクト」として本機構独自の研究活動費の配分も実施している。下記に平成 28 年度から令和 4 年までの 7 年間の学際共創プロジェクトの推移を示す。

令和 4 年度は、学内の共創研究シーズの掘り起こしと発展をより一層加速するべく、全学を対象に研究課題の公募を行った。幅広い分野の多くの研究者より意欲的かつ挑戦的なテーマの共創研究提案が寄せられ、厳正なる審査を経て、これまでで最多となる 36 件の研究課題が採択・実施された。

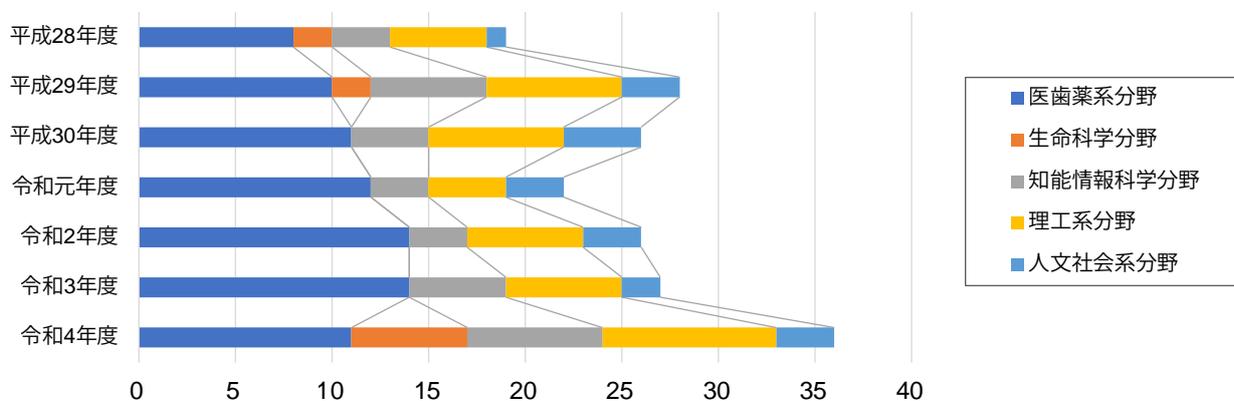


図 2.3: 学際共創プロジェクトの推移



## 第 3 部

### 学際共創プロジェクト

令和 4 年度に本機構が手がけた学際共創研究は以下のとおりである。

部門	題目	メンバー
ヘルスサイエンス部門・ 医療イノベーション	画像認識技術および 3D マッチングを用いた インプラント体判別システムの開発	若林, 王, 西山, 田宮, 中野, 石垣 (歯), 中村 (大手前短大), 李, 中島, 長原 (IDS)
	深層学習手法を用いたタンパク質の構造解析	Godó, 青木, 八木 (産研), 中川 (蛋白研)
	自然言語処理法を適用した矯正歯科治療診断 自動プロセスの高度化	谷川, 清水, 山城 (歯), 梶原, Chu, 長原 (IDS)
	コルポスコピー画像における子宮頸部病変の 識別	Manalo, 青木 (産研), 上田 (医)
	スピンを用いた新たなリアルタイム生体 モーションセンシング手法の開発	千葉, 櫻井 (産研), 野村 (基礎工)
	機械学習を活用する円錐角膜早期診断・進行 予測手法の開発	辻川, 前田 (医), 櫻井 (産研)
	リアルタイム AI を活用した神経疾患の診断・ 発作の事前予測手法の開発	貴島, 柳澤 (医), 櫻井, 木村 (産 研)

部門	題目	メンバー
ヘルスサイエンス部門・ 医療イノベーション	眼底画像から高血圧発症・血圧値の経時的変化を推定するモデル	川崎, 西田 (医), 長原, 中島 (IDS)
	人工知能による病理画像解析に基づいた多倍体肝癌判定システムの構築	松本, 松浦 (微研), 新潟, 長原 (IDS), 安部 (情報)
	インプラント治療の術式決定を支援する人工知能の開発	山口 (歯), 松下 (IDS)
	フックス角膜内皮ジストロフィーの検査画像を用いた AI による自動診断技術等の開発	西田, 大家, 川崎 (医), 長原, 中島 (IDS)
バイオサイエンス部門・ 生命システム領域	全組織細胞イメージング/分子病態解析	橋本 (薬), 長原, 中島 (IDS)
	多剤耐性菌のバイオメトリクス研究	西野, 青木, 西野, 八木 (産研), 古澤 (東大)
	生体イメージングと情報学的解析による動的細胞社会の統合的解明	石井 (生命機能), 瀬尾 (情報)
	データ駆動型有機合成反応開発： 最少学習データによる最適溶媒選択と 反応機構解析による理解	鹿又, 佐古 (薬), 鷲尾, 滝澤 (産研)
	機械学習と数理モデルによる細胞動態の 解析手法の開発	小蔵, 瀬尾 (情報), 菊田, 内田 (医)
	AI を用いたタンパク質間相互作用の 迅速スクリーニング	甲斐, 河口 (生命機能), 伊達 (CMC)
人間総合デザイン部門	スマートシティプロジェクト	八木, 榎原, 丹羽 (産研), 長原, 春本, 岸本, 馬場口, 中島, 武村 (IDS), 平川, 八木 (CSCD), 下條, 廣森 (CMC), 東野, 義久 (情報)

部門	題目	メンバー
人間総合デザイン部門	顔と歯の形態特徴抽出による遺伝疾患スクリーニング AI システムの開発	谷川, 山城 (歯), Lee, 吉川, 下條 (CMC)
	プライバシーに配慮した屋内人間行動および属性の推定技術	山口, 水本, 田中 (情報)
	メッシュ分割テレマティクス交通事故データのクラスタリングによる区域類似性の解析	乾口, 林, 関 (基礎工), 須山 (兵庫県警)
	視覚に基づく身体運動のパフォーマンスに関わる要因の解明	七五三木聡 (CELAS), 勝村, 金子 (生命機能), 長原, 中島 (IDS)
	スポーツクライミングにおける不可視情報の非接触計測と支援情報提示	浦西 (CMC), 池田 (基礎工), 山本 (京大医)
	画像と言語情報を組み合わせることで, 専門医以上の能力を有するマルチモーダル矯正歯科診断システムの構築	谷川, 清水, 山城 (歯), 梶原, 長原 (IDS)
システムデザイン部門・環境イノベーション	新しいエネルギー性能評価指標の検証のための詳細行動データ取得技術	山口 (情報), 下田 (工)
	都市空間設計のためのマルチスケール・モビリティデータの収集・解析技術	天野, 山口 (情報), 青木, 小島 (工)
機能デザイン部門	非翻訳 RNA を標的とした低分子創薬候補物質の判別手法開発	山田, 中谷 (産研), 松下 (IDS)
	画像認識に基づく有機共結晶の自動スクリーニング	久木, 橋本 (基礎工), 間下 (CMC)
	X 線回折スペクトルの機械学習に基づく半導体デバイスの 3 次元断層解析	林, 酒井 (基礎工), 今井 (JASRI), 福井 (産研)
	AI、連続照射マイクロ波と金属ナノ粒子との共創が拓く生物活性化合物の合成	有澤 (薬), 鬼塚 (情報)

部門	題目	メンバー
機能デザイン部門	大型レーザー実験の成功率向上を目指したサイラトロンの突発的異常、故障の予知に関する研究	Law, 長友(レーザー), 松下(IDS)
光・量子デザイン部門	素核物理実験および関連分野への深層学習の適用	中野(RCNP), 岩崎(RCNP/大阪公大), 長原, 中島(IDS), 武村(IDS/九工大)
	機械学習を活用する超高速ラマン分光システムの開発	藤田, 畔堂, 河野(工学研究科), 櫻井(IDS)
デジタルヒューマニティーズ部門	人工知能による仏顔の様式解析とその系譜に関する研究	藤岡(人文), 大石(東大), 長原, 中島, Renoust, Qian(IDS)
	オーストラリアにおけるパブリック・ミーティング新聞記事の自然言語処理解析による世論形成過程研究の高度化	藤川(人文), 長原, 中島(IDS), Chu(京大/IDS), 梶原(愛媛大/IDS)
	アートの視覚的パターンの発見と時空間へのマッピング	北村(CiDER), 中島, Garcia(IDS)

以下に各プロジェクトの本年度の活動状況を記載する。(公開可能なもののみ記載)

## 画像認識技術および 3D マッチングを用いたインプラント体判別システムの開発

若林一道, 王 展越, 西山貴浩, 田宮紳吾, 中野 環, 石垣尚一 (歯学研究科)  
中村隆志 (大手前短期大学), 李 辰昊, 中島悠太, 長原 一 (IDS)

### 1 研究の背景

インプラント治療は欠損補綴治療として有効な治療法であり, 一般歯科診療においても広く用いられている (図 1). 長期的に良好な予後を得るためには, 定期的なメンテナンスや調整, 時として歯科医師の再介入が必要となる.



図 1: インプラント治療後のレントゲン画像

新たなインプラント体が日々開発され患者に用いられており, 加えて, インプラント体はメーカーの違いのみならず, 同一メーカーにおいても, その種類, 構造は多岐にわたっている (図 2). さらには, かかりつけ医院が閉院しているなど, 患者からインプラントの情報を引き出すことが極めて困難となっている.



図 2: 同一メーカーでもインプラント体の形態が異なる. (Camlog 社, Straumanns 社ホームページより引用)

そのため, 歯科におけるデジタル化が進歩・発展する中, 将来の歯科医療環境において, より簡便かつスピーディーにインプラント体を判別するシステムの開発は喫緊の課題であると考え.

### 2 研究の目的

本研究では, インプラント体の画像情報および三次元情報と, 歯科用 X 線画像上のインプラント体をコンピュータ上で, AI による画像認識およびマッチングさせることにより, インプラント体のメーカーや種類を判別するためのシステムを構築することを目的としている. 今回, 本システムが認識を間違えたケースに関して, 考察を行ったので報告する.

### 3 研究の方法

Straumann 社製の 3 種類のインプラントシステム BL (ボーンレベル + パラレルウォール), BLT (ボーンレベル + 先端にテーパタイプ), TL (ティッシュレベル) において, 直径, 長さの異なる 83 個の STL データをレンダリングシステム Mitsuba 2 に入力した. そして, 3 種類のインプラントシステムについて, 各 22,896 枚, 計 68,688 枚の人工的デンタル X 線画像を生成したのち (図 3), 3 種類の深層学習モデル Lenet, Midsized, Google Inception v3 に学習させた.

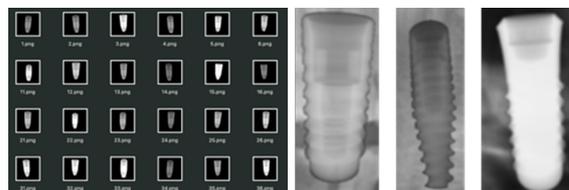


図 3: 三次元データを用い作成した, 擬似的な X 線画像

評価用には, 本学附属病院から 3 種類のインプラントシステムが含まれるデンタル X 線画像 295 枚を用い, 学習モデル間の差について評価した. さらに, 歯科医師との識別精度を差についても評価を行った. インプラント埋入経験がある歯科医師 3 名に, デンタル X 線写真をタブレットで示し, 3 種類のどのインプラントシステムかを回答させた. (大阪大学歯学部附属病院 倫理審査委員会番号 11000078 承認番号 R3-E14)

### 4 研究成果

本研究で開発したインプラント体自動識別システム, および, 歯科医が誤って識別した画像を示す. 撮影時の X 線フィルムの変形によりインプラント体が歪んでいる画像や, 上部構造が装着された状態の画像は, 本システム, 歯科医師ともに, 識別するのが困難であった (図 4 a: 認識システムが誤認識した X 線画像 b: 歯科医師が誤認識した X 線画像). また, X 線照射量や強度の問題により, 画像が不鮮明となった画像も誤認識された.

そのため, 本システムの識別精度を向上させるためには, 1) デンタル X 線フォルダを使用し, X 線フィルムの変形を防ぐ, 2) 可及的にインプラント体と平行に撮影し, インプラント体の特徴を明瞭に撮影する, 3) X 線の照射量や強度について検討などを行う必要があるものと考えられた.

### 5 今後の展望

AI を用いたインプラント体の識別システムにおいて, 識別システムの能力の向上のみに頼るのではなく, システムが識別しやすい画像を取得するように, 歯科医師側が努力をする必要も重要であると考えられた. 現在, 今回の識別に用いたインプラ

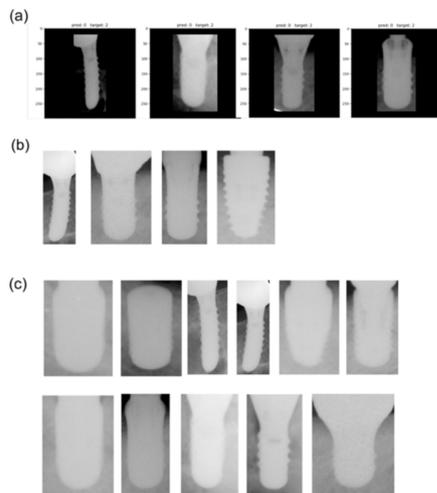


図4: 本システムおよび歯科医師が誤って識別したインプラント画像

ントメーカーの他に、数社から STL データの提供を受けることができているため、多様なメーカーが含まれた場合の識別精度の変化について検証をしていきたいと考えている。加えて、インプラント体の STL データを使用していることの特徴を活かし、画像認識のみならず、パターンマッチングの技術も行うことで、より実用的なシステムへとなるように、研究を進めていきたいと考えている。

#### 発表論文等

##### 〔学会発表〕

- [1] Wang Z, 若林一道, 中野 環, 中島悠太, Li Chenhao, 長原 一, 田宮紳吾, 石垣尚一. STL データから生成した人工 X 線画像を深層学習に応用したインプラント体自動識別システムの開発, 第 52 回公益社団法人日本口腔インプラント学会学術大会, 2022 年 9 月 23-25 日, 名古屋
- [2] Wang Z, Wakabayashi K, Nakano T, Nishiyama T, Tanaka M, Ji F, Namikawa M, Tamiya S, Kudo H, Nakashima Y, Li C, Nagahara H, Ishigaki S. An automatic implant identification system using deep learning with artificial X-ray images generated from STL data. International Dental Materials Congress 2022, 2022/11/4-5, Taipei (Taiwan)
- [3] Wang Z, 若林一道, 中野 環, 中島悠太, Li Chenhao, 長原 一, 田宮紳吾, 西山貴浩, 石垣尚一. STL データから生成した人工 X 線画像と深層学習を応用したインプラント体自動識別システムの開発. 大阪大学歯学会第 134 回例会. 2023 年 3 月 5 日, 大阪

##### 〔外部資金〕

- [1] R2-4 年度, 科学研究費助成金 基盤 C, “パターン認識技術を応用したインプラント体判別システムの開発”, (代表) 若林一道 (分担) 中野 環, 中村 隆志, (協力者) 長原 一

## 深層学習手法を用いたタンパク質の構造解析

Akos GODO (SANKEN)

Kota AOKI (SANKEN)

Yasushi YAGI (SANKEN)

Atsushi NAKAGAWA (Institute for Protein Research)

### 1 研究の背景

Proteins are large organic molecules and the building blocks of living organisms. If their structure is known, further research can be conducted on them such as structure-based drug design. Because proteins cannot be observed with visible light microscopy, a 3D image is created using an imaging method called X-ray Diffraction. This results in a 3D snapshot of the protein's electron structure, an Electron Density (ED) map (図 1).

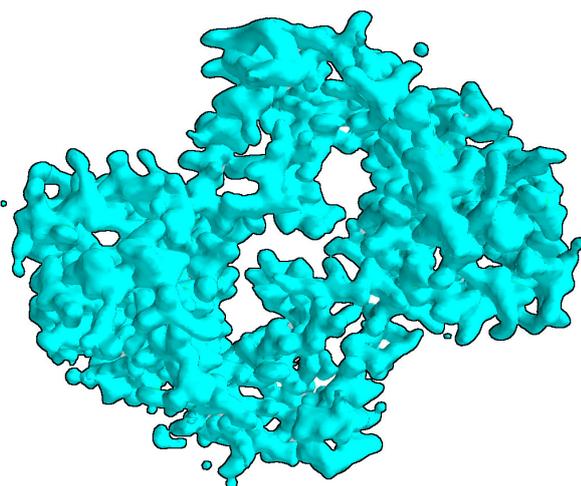
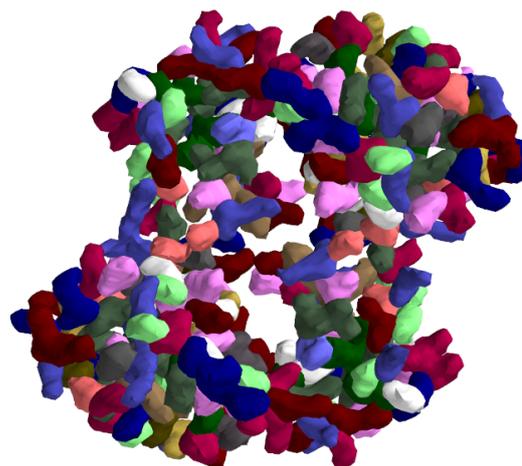


図 1 A protein's ED map

Proteins are made up of the so-called 20 standard amino acid (AA) residues. If all AAs are located and their type is classified in the ED maps, the protein structure is considered determined.

### 2 研究の目的

The main objective of this research is to develop novel, AI-based methods to quickly and accurately determine protein structure. At this stage, the proposed neural network (NN) architecture is tasked with not only classifying the voxels of the input ED maps according to the 20 standard AA residue classes, but also with locating all AA residues automatically. By combining the AA type voxel labels and the AA locations, per-residue classification can be achieved (図 2).



Predicted Class:									
ALA	ARG	ASN	ASP	CYS	GLN	GLU	GLY	HIS	ILE
VAL	THR	LYS	MET	PHE	PRO	SER	LEU	TRP	TYR

図 2 The AA class predictions for the ED map shown in 図 1

### 3 研究の方法

#### 3.1 Data Set

The data set samples are volumetric ED maps  $X$ , where each  $(x,y,z)$  voxel's intensity  $X[x,y,z]$  corresponds to the average electron observation probability in the voxel's volume.

##### 3.1.1 Synthetic Data Set

For training and validation, we use synthetic data. These samples are generated to be as life-like as possible to reduce the domain gap between real and synthetic data. Three data sets of low, medium and high resolution ED maps of the same approx. 7000 proteins from the Protein Data Bank [a] are generated to allow for direct performance comparison between sample resolutions.

##### 3.1.2 Experimental Data Set

To measure the proposed method's performance on real-life data, an experimental data set is also created. Similarly to the synthetic data sets, these are also split between low, medium and high resolutions with approx. 200 samples in

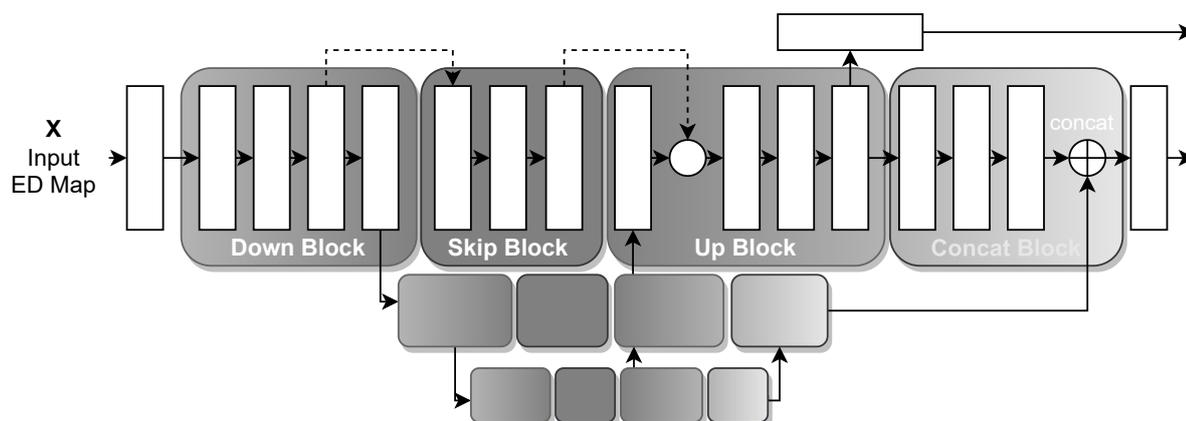


図3 Structure of the proposed MT-StackNet architecture

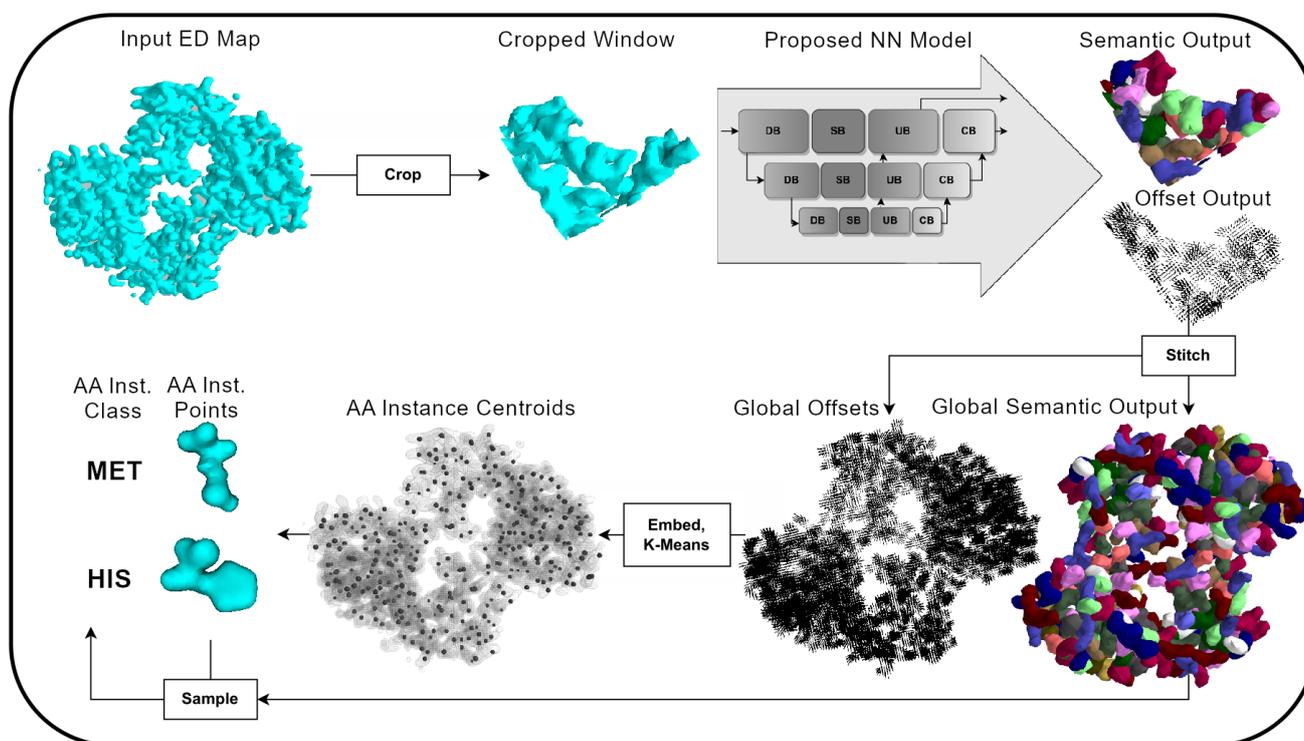


図4 Pipeline of simultaneous semantic and instance segmentation

each resolution range. The networks are fine-tuned with these, and the final, real-life performance is also measured with these samples.

### 3.2 Proposed NN Architecture

The proposed NN architecture, MT-StackNet (図3) takes an image segmentation approach to the problem of locating and classifying residues in ED maps. It takes the ED map  $X$  as its input and outputs a class probability map  $S(X)$

and an instance offset vector field  $I(X)$  simultaneously (図4).

#### 3.2.3 Semantic Segmentation

Assigning AA labels is done by the semantic output  $S(X)$ . Each voxel in  $S(X)$  is assigned a class probability vector  $S(X)[x,y,z]$ .

### 3.2.4 Instance Segmentation

Locating residues is done through the instance offset output  $I(X)$ . Each voxel of  $I(X)$  contains an offset vector pointing at its predicted instance centroid. Voxels whose offsets point in a certain radius of one another (extracted via a clustering post-processing step) are parts of the same instance. Finally, instance classification is done by sampling  $S(X)$  in all  $(x,y,z)$  voxels of an instance. The predicted class is the one corresponding to the argmax of the mean of the sampled class probability vectors.

## 4 研究成果

We compare MT-StackNet's results to Seqqy [b], a current state-of-the-art method for protein structure determination. The results show that MT-StackNet outperforms Seqqy at all resolution ranges. Furthermore, Seqqy remains functional at low resolutions, where Seqqy fails (图 5).

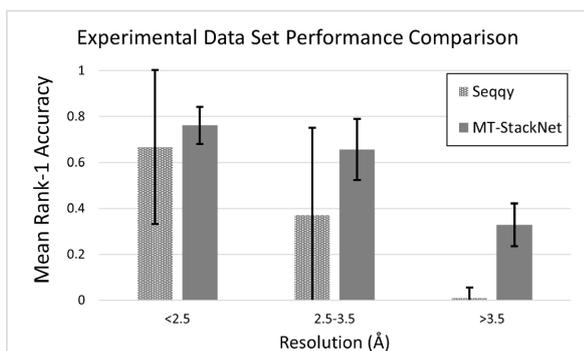


图 5 Accuracy comparison of MT-StackNet and Seqqy at high ( $\leq 2.5\text{\AA}$ ), mid ( $2.5\text{-}3.5\text{\AA}$ ) and low ( $\geq 3.5\text{\AA}$ ) resolution. The error bars represent the standard deviation of the accuracy

Computational time is also much lower compared to Seqqy (表 1). Although a GPU is necessary to unlock the full potential of MT-StackNet, even with an older generation GPU such as a Nvidia GeForce 1080Ti computational times are a fraction of the CPU-only computation (which still outperform Seqqy).

Our results have been published in IEEE Access in October 2022. Future work includes extending the method to work with samples obtained with imaging methods other than X-ray Diffraction and increasing the precision to locate individual atoms for a fully end-to-end protein structure prediction AI algorithm.

表 1 Runtime comparison of Seqqy and MT-StackNet (MTSN) on an average sized protein 6E0T [c] and a large protein 2Y1V [d]

6E0T	CPU	GPU
Seqqy	7 min	N/A
MTSN	64 s	10 s
2Y1V	CPU	GPU
Seqqy	70min	N/A
MTSN	265 s	25 s

### 引用文献

- [a] wwPDB consortium. (2019) Protein Data Bank: the single global archive for 3D macromolecular structure data. *Nucleic Acids Res* 47: D520-D528
- [b] Chojnowski, G., Pereira, J. & Lamzin, V. S. (2019). Sequence assignment for low-resolution modelling of protein crystal structures. *Acta Cryst.* D75, 753 – 763.
- [c] El Mortaji, L., Contreras-Martel, C., Moschioni, M., Ferlenghi, I., Manzano, C., Vernet, T., Dessen, A., Di Guilmi, A.M. (2012), The Full-Length *Streptococcus Pneumoniae* Major Pilin Rrgb Crystallizes in a Fibre-Like Structure, which Presents the D1 Isopeptide Bond and Provides Details on the Mechanism of Pilus Polymerization. *Biochem J* 441: 833
- [d] Yeh, T.L., Lee, C.Y., Amzel, L.M., Espenshade, P.J., Bianchet, M.A. The hypoxic regulator of sterol synthesis *nro1* is a nuclear import adaptor. (2011) *Structure* 19: 503-514

### 発表論文等

#### 【雑誌論文】

- [1] Á. Godó, K. Aoki, A. Nakagawa and Y. Yagi, "Single Shot Residue Localization and Classification in Crystallographic Electron Density Maps," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 108354-108365, 2022

## 自然言語処理法を適用した矯正歯科治療診断自動プロセスの高度化

谷川 千尋 (歯学研究科)

清水 優仁 (歯学研究科)

山城 隆 (歯学研究科)

梶原 智之 (IDS)

Chenhui Chu (IDS)

長原 一 (IDS)

### 1 研究の背景

矯正歯科臨床における診断および治療計画の立案とは、所見に基づき最適な治療結果をより低いリスクで得るために、歯科医師がとるべき行動の全体を予測することである。歯科医師が、適切な診断とそれに基づく最適な治療計画を立案するためには、長年の経験と豊富な知識が必要であり、経験が浅い歯科医師にとっては、問題の見落とし、論理の誤りという問題が存在した。専門医の長年の経験を反映した自動診断システムの構築が可能となれば、歯科医師にとっては大きな作業負担の軽減につながり、根拠に基づく医療を患者に提供する上で大きな意義を有する。

治療とは「問題の逆をおこなうことである」という論理構造を有しており、現代の矯正歯科診断および治療計画立案のプロセスは主に以下の3つのステップからなる：(ステップ1) 患者情報の収集と問題のリスト化；(ステップ2) 個々の問題別に解決法を考える；(ステップ3) 現実的な問題の解決法と手順を決定する。以上のように、診断と治療計画の立案にかかわる論理構造に一定の規則性を認めることから、医学診断と治療計画立案を自動化する試みは古くから存在してきた。しかしながら、矯正歯科分野において診断および治療計画を立案するシステムはいまだ実用化には至っていない。

専門家の診断の流れは以下のように言い換えることができる。上記の(ステップ1)は、患者情報を特徴量としてとらえた場合、特徴量に重み付けを行うことで病状を表現し、病状ごとの類似性を発見することに相当する。また、(ステップ2)は、学習された病状ごとに対処法をさらに学習することに対応すると考えられる。専門家の診断におけるステップ2の個々の問題別に解決法を考える過程、およびステップ3の現実的な問題の解決法と手順を決定する過程は、個々の問題別の解決法を表す複数の言語記述から現実的な解決法と手順を表す言語記述への翻訳と捉えることができる。この翻訳の過程を自然言語処理の問題として捉え、自動診断のステップに組み込むことで、少ない入力データを用いた学習で矯正歯科治療における自動診断と治療計画の立案を加納とするAIシステムの開発が期待できる。

### 2 研究の目的

本研究の目的は、当院に所蔵された各種画像および模型所見とそれに対応する治療計画書を用いて、自然言語処理による自動診断システムを開発することである。

### 3 研究の方法

当院に蓄積された約1千件の治療計画書より、所見・診断・治療計画・患者向け説明文の4つ組を抽出し、機械学習に基づく自然言語処理モデルを訓練するための学習データとする。そして、図1に示すように、以下の3つのサブタスクのパイプラインとして、矯正歯科治療診断を自動化するシステムを構築する。

#### 3.1 所見→診断

治療計画書に含まれる患者の病態を整理し、約300種類の病態ラベルからなるマルチラベルのテキスト分類問題として、所見からの診断の自動生成タスクを定式化する。自然言語処理におけるベクトル空間モデルを用いて所見文章からの特徴量抽出を行い、SVMなどの機械学習モデルを用いてマルチラベル分類問題を解く。また、所見に対応する画像を併用したマルチモーダルな特徴量抽出を行い、精度の改善を目指す。

#### 3.2 診断→治療計画

治療計画書に含まれる治療項目を整理し、約300種類の病態ラベルの系列から約300種類の治療項目の系列を生成する系列変換問題として、診断からの治療計画の自動生成タスクを定式化する。診断の各病態ラベルは優先度順、治療計画の各治療項目は時間順、にそれぞれ並んでいるため、本タスクは自然言語処理における機械翻訳などと同じ系列変換タスクと考えることができる。そこで、深層学習に基づく機械翻訳と同様に、Recurrent Neural Network (RNN) や Self-Attention Network (SAN) を用いて本タスクを解く。

#### 3.3 治療計画→患者向け説明文

難解な文から平易な同義文への変換を行う自然言語処理におけるテキスト平易化の技術を用いて、治療計画書を患者向けの説明文書に変換する。まず、治療計画書と患者向け説明文書の対応する文書対から、自然言語処理における文アライメントの技術を用いて、テキスト平易化モデルを訓練するための学習データを構築する。そして、診断からの治療計画の自動生成タスクと同様に、RNN や SAN に基づく深層学習モデルを訓練し、患者向けの平易な説明文を自動生成する。

### 4 研究の成果

2020年度は、データセットの整備を行い、所見文書からの自動診断に取り組んだ。Bag of Words (BoW) による特徴抽出と Support Vector Machine (SVM) による分類を組み合わせる古典的なテキスト分類の手法によって、事前訓練済み文字符号化器に基づく深層学習ベースの分類器を上回る性能を達成し

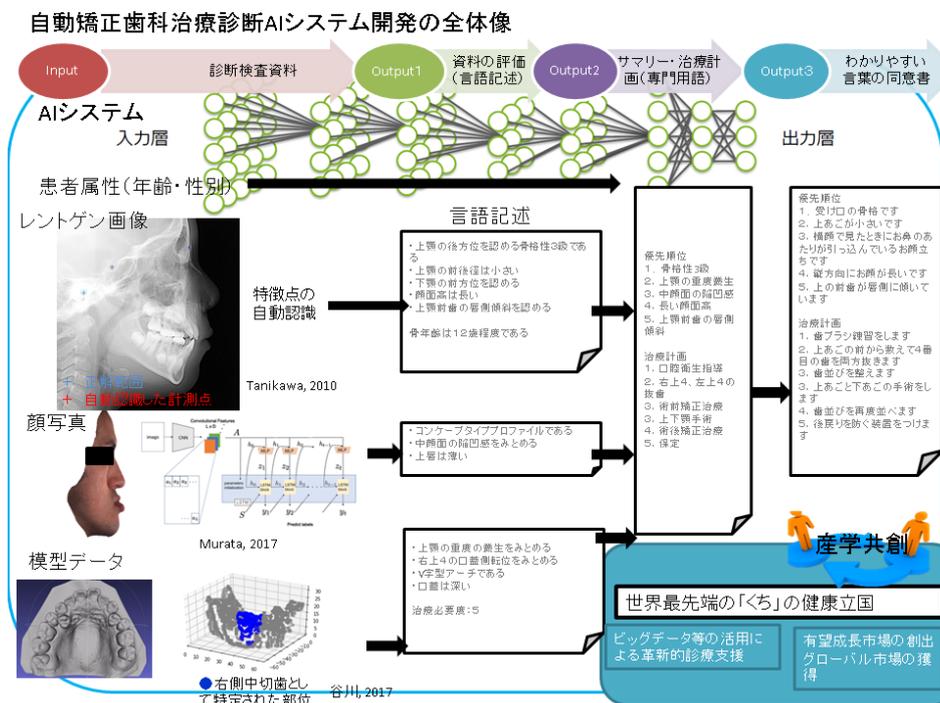


図 1: 研究の概要

た。これらの研究成果は、情報処理学会全国大会 [1] にて発表し、大会奨励賞および学生奨励賞を受賞した。

2021年度は、前年度に構築した自動診断システムの臨床応用の可能性について詳細な評価を行った。40症例について4の専門医および我々の自動診断システムが診断を行い、2人の専門医が評価した。症例を「II期外科的矯正治療症例群」「II期矯正治療単独症例群」「I期矯正治療単独症例群」「I期唇顎口蓋裂症例群」「その他の症例群」の5群に分けて分析したところ、I期矯正治療単独症例群およびその他の症例群においては1位、II期外科的矯正治療症例群およびI期唇顎口蓋裂症例群においては3位の成績を達成した。これらの研究成果は、矯正歯科分野の論文誌である European Journal of Orthodontics [2] に採録された。

2022年度は、所見文書からの自動診断についての性能改善に取り組んだ。本タスクは、専門用語の頻繁な使用に加えて、非常に長い文章や不統一なスタイルが問題となり、深層学習の適用が難しい。そこで本研究では、統一されたスタイルで記述された所見文書の短い要約を用いて、深層学習に基づく自動診断の性能を改善した。専門家による人手の要約によって、所見文書の単語数は平均で10分の1程度の長さに圧縮され、事前訓練済みモデルの最大入力長制限に影響を受けることがなくなった。その結果、RNN・CNN・SANなど実験した全ての深層学習モデルの自動診断の性能を改善することに成功し、特にCNNに基づく自動診断モデルは我々の従来モデルを上回り最高性能を達成した。これらの研究成果は、情報処理学会全国大会 [3] にて発表した。

#### 発表文献

- [1] 西原大貴, 梶原智之, 谷川千尋, 清水優仁, 長原一. “矯正歯科治療における所見文書からの自動診断に向けて”, 情報処理学会第83回全国大会, pp.591-592, March 2021.
- [2] Yuujin Shimizu, Chihiro Tanikawa, Tomoyuki Kajiwara, Hajime Nagahara, Takashi Yamashiro. “The Validation of Orthodontic Artificial Intelligence Systems That Perform Orthodontic Diagnoses and Treatment Planning”, European Journal of Orthodontics, Vol.44, No.4, pp.436-444, August 2022.
- [3] 大塚琢生, 梶原智之, 谷川千尋, 清水優仁, 長原一, 二宮崇. “所見文書の要約を用いた深層学習による矯正歯科治療の自動診断”, 情報処理学会第85回全国大会, pp.761-762, March 2023.

## Cervical Lesion Classification via Positive-Unlabeled Learning

Margaret Dy Manalo, 青木工太 (産業科学研究所)

上田 豊 (大学院医学系研究科)

### 1 研究の背景

Visual inspection is an economical and expeditious alternative for cervical screening, recommended by the World Health Organization [a]. The procedure is subjective and dependent on expertise, thus multiple machine learning works have attempted to automate it by training models on cervigrams. However, most datasets in the field are limited to single-label annotations, with previous works focused on binary and multi-class approaches. This ignores the medical nature of the problem where lesions of different types can concurrently manifest.

### 2 研究の目的

The important task of cervical lesion classification is often approached with supervised learning. The goal of this work is to highlight the untapped potential of unlabeled cervical lesions as additional training data by shifting towards a positive-unlabeled assumption.

### 3 研究の方法

#### 3.1 Multi-label Cervigram Dataset

We introduce a multi-label cervigram dataset, approved by the institutional review board of Osaka University Hospital, which consists of 7,099 cervigrams of size  $480 \times 640$ . Acetic acid was used to enhance the visibility of lesions as shown in Fig. 1, after which multi-label annotations were added after biopsy. Severe lesions were prioritized, leading to some cervigrams with partial labels.

#### 3.2 Expectation-Maximization for Propensity Estimation

We consider the dataset as positive-unlabeled (PU), where unlabeled samples can either be positive or negative, and its labeled samples were selected under a bias, or *Selected At Random* (SAR) by PU definition [b]. In [c], the authors proposed to simultaneously train a classification and a labeling mechanism, or *propensity*, model through

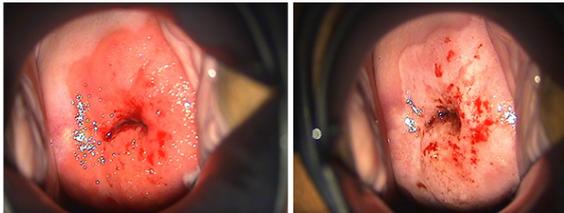


図1: A cervix before (left) and after (right) the application of acetic acid.

expectation-maximization (EM). The latent variable to be estimated is the expected probability of the positive class  $\hat{y}$  of instance  $x$  with label  $s$  estimated by

$$\begin{aligned} \hat{y} &= P(y = 1 | s, x, \hat{f}, \hat{e}) \\ &= s + (1 - s) \frac{\hat{f}(x)(1 - \hat{e}(x))}{1 - \hat{f}(x)\hat{e}(x)}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

#### 3.3 SAR-PU with Deep Learning

Our proposed approach extends [c] to multi-label image classification by estimating  $\hat{y}$  on  $M$  classes for each instance  $x$ . We trained the classification and propensity models using the estimated  $\hat{y}$  across  $M$  classes by minimizing the negative logistic loss for each instance as

$$L_f = -\frac{1}{M} \sum_{i \in M} [\hat{y}_i \ln f(x) + (1 - \hat{y}_i) \ln(1 - f(x))] \quad (3.2)$$

$$L_e = -\frac{1}{M} \sum_{i \in M} \hat{y}_i [s_i \ln e(x) + (1 - s_i) \ln(1 - e(x))] \quad (3.3)$$

#### 3.4 SAR-PU Ranked Propensity

The assumption for Eq. 3.3 points to a strict hierarchical propensity based on the true class. Such an assumption cannot be directly applied to our cervigram dataset due to the presence of completely negative or normal samples which appear diseased yet proven otherwise during biopsy. Therefore, we modify Eq. 3.3 as

$$\begin{aligned} L_{e \text{ rank}} &= -\frac{1}{M} \sum_{i \in M} \sum_{j \in M: j \neq i} \max(0, -z(e_i(x) - e_j(x))), \\ z &= s_i - s_j. \end{aligned} \quad (3.4)$$

#### 3.5 Implementation

The data was divided in ratios of 8:1:1 for training, validation, and test respectively. The classes of CIN1, CIN2,3, and cancer were used for multi-label classification. The network backbone of choice was a ResNet-50. As seen in Fig. 2, the network architecture consists of a feature extractor and separate downstream tasks for the classifier and propensity scores. Training was done in a two-step process where: (1) the classifier and propensity were trained on the same extracted features, backpropagating along the downstream layers, and (2) the feature extractor was trained using the output from the updated downstream layers, backpropagating its loss only along its own layers.

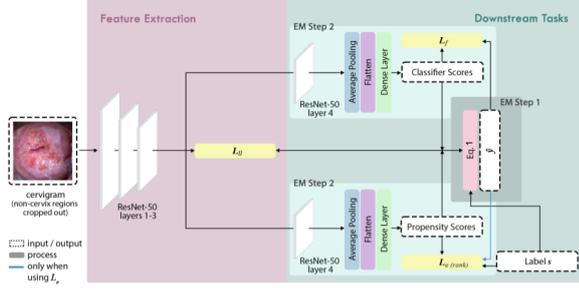


图 2: Architecture and process flow for learning classifier  $\hat{f}$  and propensity  $\hat{e}$ .

#### 4 研究成果

We compared our method with a straightforward supervised multi-label classification that assumes a fully labeled dataset. The same network backbone, ResNet-50, was used for all methods.

ROC curves for each class are shown in Fig. 3.a for class separability. For the CIN classes, both SAR-PU methods show significant improvement over the naïve approach. The difference between SAR-PU methods could be caused by the less strict SAR-PU Rank, allowing for better low-grade lesion classification at the expense of an unrestricted middle-high grade lesion ranking.

Upon examination of their gradient-weighted class activation maps (Grad-CAM), SAR-PU models have larger focus coverage which is ideal as more lesions are considered. However, this could lead to a model that is eager for posi-

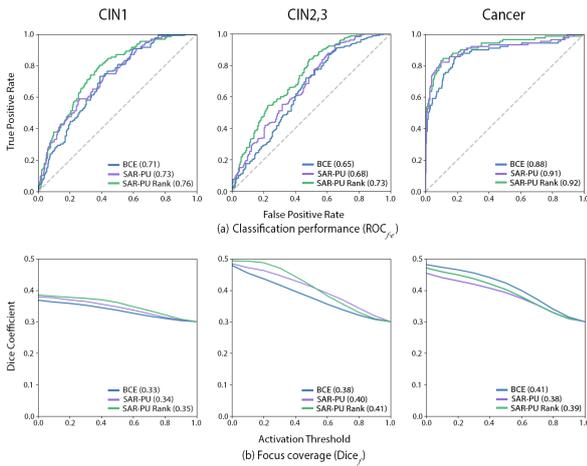


图 3: (a) ROC curves to evaluate class separability for CIN1, CIN2,3 and cancer respectively across all methods; (b) Dice coefficients, along different activation thresholds, to evaluate degree of significant focus by the models for CIN1, CIN2,3 and cancer respectively.

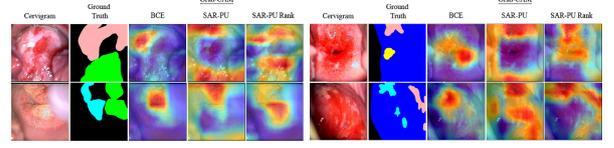


图 4: Activations maps generated from a fraction of the test set with pixel annotations.

tive samples. This is particularly challenging for lesions of irregular and small surface areas. Some of the generated Grad-CAMs are shown in Fig. 4. We took it further and quantified the degree of significant focus on the activation maps.

Using a limited set of 310 pixel-annotated cervigrams, we calculated the Dice similarity coefficient along different thresholds. As seen in Fig. 3.b, the results remain consistent with previous observations. Focus for CIN1 and CIN2,3 appeared more inclusive with the SAR-PU methods, however less effective for cancer classes which we attributed to the added uncertainty.

Overall, SAR-PU and SAR-PU Rank showed better lesion-inclusion and coverage despite higher uncertainties brought by more potential lesions for the model to consider. It is a strength of this study that a classification algorithm was modified to cater to the nature of the data, maximizing an already limited resource.

#### 引用文献

- [a] "WHO guideline for screening and treatment of cervical pre-cancer lesions for cervical cancer prevention", 2nd ed. World Health Organization, 2021.
- [b] Bekker, J., Davis, J., "Learning from positive and unlabeled data: a survey", Machine Learning, 2020.
- [c] Bekker, J., Davis, J., "Beyond the selected completely at random assumption for learning from positive and unlabeled data", Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, 2019.

#### 発表論文等

##### 〔雑誌論文〕

- [1] Manalo, M.D., Aoki, K., Wu, S., Shindo, M., Ueda, Y., Yagi, Y., "Cervical lesion classification via positive-unlabeled learning", Medical Imaging Technology, (in press).

##### 〔学会発表〕

- [1] Manalo, M.D., Aoki, K., Wu, S., Shindo, M., Ueda, Y., Yagi, Y., "Cervical lesion classification via positive-unlabeled learning", Proc. 41st Meeting of the Japanese Society of Medical Imaging Technology (JAMIT), 2022.

ヘルスサイエンス部門・医療イノベーション

## スピンをを用いた新たなリアルタイム生体モーションセンシング手法の開発

千葉 大地（産業科学研究所）

櫻井 保志（産業科学研究所）

野村 光（基礎工学研究科）

### 1 研究の背景

スピンは外部磁界に敏感なベクトルであり、情報不揮発性を有する。そのため、スピントロニクスは磁気記録あるいは磁界センシングに主眼を置き、高度に成長を遂げてきた。ところが、いわゆるフィジカル空間においては、磁界よりも力学量の方がはるかに重要な物理量である。しかし、スピントロニクスという分野は力学量のセンシングとはこれまで無縁であった。

### 2 研究の目的

本研究では従来のスピントロニクスの主眼を 180° 転換し、スピントロニクス素子の高感度さとこれまで培われた技術を活かしつつも、力学量、特に生体モーションセンシングの高度化に焦点を当てる。これにより、人間生活の安全・安心や IoT 社会の発展などのより身近な社会課題解決に資する展開を切り拓く。これまでのスピントロニクス研究開発の流れをゲームチェンジする独創性とインパクトを有し、社会実装範囲を爆発的に広げるチャレンジングな取り組みであるだけでなく、学際的分野としての新未来を拓く学術的波及効果も期待できる。

例えば手の甲にセンサシートを貼って指の動作を妨げずに推定する、心臓周辺の皮膚に貼って心筋の動作を推定するなどの様々な活用場面を想定している。研究開始までに、単一の応力方向スピン素子を手の甲に貼り、どの指を曲げたかを同定することにすでに成功している [a]。VR グローブやスマートアパレルと異なり、センシング対象器官を直接センサで覆う必要のない（触覚や動作の自由度を犠牲にしない）革新的なスピン生体モーションセンシングを実現したいと考えている。

従来のスピントロニクスが目指す情報記録と処理の高度化の旗印を変革し、医療や VR だけでなく、インフラモニタリング、ロボ、物流など新たな市場の開拓も視野に入れ、独創的な新ルートを切り拓きたいと考えている。

我々が開発した、力を加えた「方向」を敏感にセンシング可能なスピン素子 [b] を、生体親和性の高いフレキシブルシート上に集積形成し、得られた多次元時系列データを収集してリアルタイム AI 解析を行うことを最終目標とする。これにより、例えば指先の感覚や動きを妨げることなく手の甲にセンサシートを貼り付けるだけで指の動きを推定し予測するなど、筋肉や皮膚等でつながる遠方の動作を高度に推定する技術を開発する。

### 3 研究の方法

3 × 5 個のスピン素子が金属配線で接続された単純マトリクスタイプの集積スピンシートのプロトタイプを試作し、それを手の甲に貼り付け、その出力を機械学習により解析することで、グー・チョキ・パーの動作の推定を行った。

昨年度報告したとおり、集積スピンシートを手の甲に貼り付け、グー・チョキ・パーの動作を行い、その出力を機械学習したところ、95% 以上の動作推定確率が得られた。動作推定のメカニズムを知るため、本年度は手の甲にできるひずみと、センサ出力を対応させる実験を行った。具体的には、以下の手順で行った (図 1 参照)。

1. まずひずみの可視化を行う領域を決め、その領域を含む手の甲にランダムに点を描く。
2. 次に、領域をいくつかの正方形に分割し、テンプレートマッチングをかけて正方形の中心座標をトラッキングする。
3. 各正方形のひずみの大きさを色で視覚化し、正方形のひずみ方からひずみ方向を可視化する。
4. センサパッドの出力結果と対応を確認する。

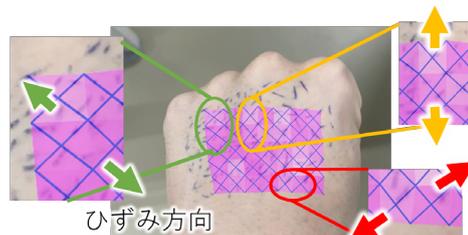


図 1: 手の甲のひずみの可視化の様子。手の甲に点を打ち、正方形に分割した領域にテンプレートマッチングをかけてトラッキングするとともに、正方形のひずみ方から、ひずみの大きさを色分けし、ひずみの方向を理解しやすくした。

### 4 研究成果

図 2 に結果の一例を示す。グーの動作を繰り返し行った際、チョキの動作を繰り返し行った場合、双方において、センサパッド左上部分の単一素子に着目すると、出力が上昇していることが分かる。詳しく見ると、グーの動作時の出力はチョキのものに比べ 2/3 程度の大きさとなっており、これは、手の甲に生じる引っ張りひずみの方向の違いに主に起因している。センサパッドの各素子の初期磁化方向は、写真の上方向を向いているが、引っ張りひずみが増えることにより、各素子の磁化の方向が傾く。グーの場合の傾きより、チョキの場合の傾きは大きく、これが大きな抵抗変化の直接的な原因となる。手の甲には図 1 に示すように、グー・チョキ・パーそれぞれの動作時に複雑なひずみが生じており、その複雑かつ特徴的なひずみの方向を我々のセンサが読み取り、機械学習で推定することで、それぞれの動作を精度よく推定できていることが明らかとなった。

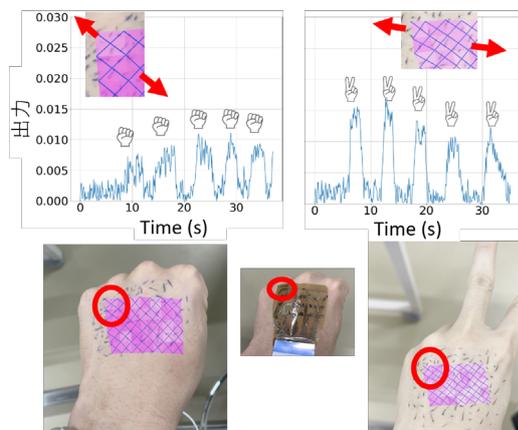


図 2: グーとチョキの動作時のセンサ出力. それぞれ, 5 回の動作の間はパーの動作を行っている.

本研究で用いた巨大磁気抵抗素子は, 抵抗変化率が数 % 程度であるが, 最近我々が発表した世界最高感度のゲージ率を有するフレキシブルフィルム上のトンネル磁気接合素子 [c] では, 抵抗変化率を 20 倍程度に向上できる. これを集積化することで, 推定精度をさらに向上できるものと考えている.

## 引用文献

- [a] Matsumoto, S. Ota, A. Ando, and D. Chiba, "A flexible exchange-biased spin valve for sensing strain direction", *Appl. Phys. Lett.* 114, 132401, 2019.
- [b] S. Ota, A. Ando, and D. Chiba, "A flexible giant magnetoresistive device for sensing strain direction", *Nature Electron.* 1, 124-129, 2018.
- [c] K. Saito, A. Imai, S. Ota, T. Koyama, A. Ando, and D. Chiba, "CoFeB/MgO-based magnetic tunnel junctions for film-type strain gauge", *Appl. Phys. Lett.* 120, 072407 (2022).

## 発表論文等

### 〔学会発表〕

- [1] 千葉大地, 「磁気センシングの新しい可能性」, EISESiV・iSyMs コンソーシアム合同シンポジウム, 東京工業大学大岡山キャンパス, 2022 年 10 月 19 日 (招待)
- [2] 千葉大地, 「磁石の新しい応用の可能性を拓く」, ATAC 30 周年記念講演会, 大阪科学技術センター, 2022 年 11 月 18 日
- [3] 千葉大地, 「フレキシブル磁気抵抗素子による生体力学情報センシング」, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学四谷キャンパス, 2023 年 3 月 18 日

### 〔その他〕

- [1] 千葉大地, 「スピントロニクスによる力学量センシングの開拓」, 第 12 回 RIEC Award, 東北大学電気通信研究所, 2023 年 2 月 16 日
- [2] 千葉大地, 「スピンを用いた力学センシング技術の開発」, 第

55 回市村学術賞 貢献賞, 市村清新技術財団, 2023 年 3 月 9 日

### 〔外部資金〕

- [1] 2020-2025 年度, (独) 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST, "集積スピンスーパーフィジカルシステムの構築", (代表) 千葉大地 (主たる共同研究者) 野村光
- [2] 2020-2022 年度, (独) 科学技術振興機構 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 産学共同 (育成型), "ゲージ率 1000 を超える超高感度フィルム型ひずみゲージの開発" (代表) 千葉大地
- [3] 2020-2022 年度, 科学研究費助成事業 基盤研究 A, "ビッグデータからの材料特性の高速モデル学習と最適化", (代表) 櫻井保志 (分担) 千葉大地
- [4] 2021-2022 年度, 科学研究費助成事業 挑戦的研究 (萌芽), "ストレッチャブルスピンドバイス実現を目指した超瞬間熱処理プロセス構築への挑戦", (代表) 千葉大地

ヘルスサイエンス部門・医療イノベーション

## 機械学習を活用する円錐角膜早期診断・進行予測手法の開発

辻川 元一（医学系研究科）

櫻井 保志（産業研究所 AI センター）

前田 直之（医学系研究科）

### 1 研究の背景

医療に於いての AI 技術の利用が試みられる黎明期にあると考えられる。すでに、放射線読影技術に対する AI の利用は実用化レベルにあり、医師の診断といった分野にもこの技術の応用が試みられている。

これらの技術には主にディープラーニングを主に達成されているが、以下のような課題が存在する。

1. 疾患・課題ごとに多くのデータセットを用意し、教育・検討・実証する必要があること
2. 秒単位で変化するような即時性・リアルタイムの対応が必要な課題に困難があること
3. 医療に於いては原因の検索が治療法の開発に不可欠であるが、問題となる事象がどの入力によるものかが解明しにくいこと

があげられる。今回は新たな領域にこれらの AI 技術の導入を図るために、円錐角膜を対象として、上記の欠点を保管するような解析モデルの基盤を開発する。

### 2 研究の目的

本研究に於いては二つの技術開発を目的として検討を行っていく。

1. 現在も行われている画像情報のディープラーニングを用いた診断法を複数の疾患に応用する基盤を作り、実臨床に還元すること
2. より迅速でリアルタイムな解決が必要とされる課題に対して、有限個のパラメーター（オリゴパラメーター）を解析するリアルタイム解析を複数の疾患に応用する基盤を作り、実臨床に還元すること

これらを行うために、円錐角膜について解析モデルを確立するが2については円錐角膜については目的にフィットしないため、他の疾患についての検討を行い、後述するように網膜色素変性についての AI 利用の方向で拡大した。

### 3 研究の方法

円錐角膜に於いては近年の OCT 技術の進歩により、角膜の形状を前面、後面ともに計測、記述することが、および、画像として可視化することがある程度可能となった。これをもとに、円錐角膜、前駆病変、正常の分類をもとに機械学習をおこなうことにより、このような円錐角膜病変の病期分類が可能となった [a, b] (図 1)。この病期進行についての状態遷移を AI によって行わせるために本年度は患者レジストリーの構築をおこなった。これに対して

1. 従来の画像をもとにしたディープラーニングによる手法に

病状の進行度を加味した機械学習をおこなうことで、進行度を予測させる。

2. 角膜の形状を極座標に変換し、パラメーター化する。また、同様に形状を Zernike 多項式のベクトル解析により同様にパラメーター化する [c] (図 2)。これらのパラメーターの時間的経過を入力として、微分方程式によるモデル化を行い、そのモデルの遷移をもって円錐角膜の進行のステージを予測する。

の2つの手法で解析を行った。

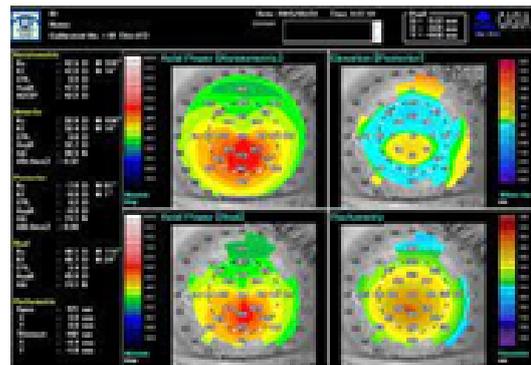


図 1: 現在行われている解析、角膜形状をいくつかのパラメーター解析に落とし込んでいる。

## 4 研究成果

### 4.1 円錐角膜

円錐角膜についてはレトロスペクティブも含め、に現在までに 200 名ほどのデータの収集が完了した。これらは診察時の角膜形状の位置情報であるため、これに対して時間軸、および年齢、性別、臨床情報をリンクさせた患者レジストリーを作製した。患者のゲノム情報（本申請の範囲外であるが）については倫理委員会申請および検体採取の問題より実現はできていない。この角膜形状の位置情報を経時的に Zernike 多項式のベクトル解析により同様にパラメーター化、解析を行った。円錐角膜には前駆病変と言われる遷移状態が存在するが、目的である正常から前駆病変、前駆病変から円錐角膜への進行予測は確立できていない。これについては新たな手法である極座標によるパラメーター転換および、全データを用いたディープラーニングによって検討を行っていきたい。

### 4.2 網膜色素変性

櫻井教授が有するオリゴパラメーターによる逐次的な解析の眼科疾患への応用について、失明を引き起こす網膜色素変性に

対する人工網膜に対しての拡大を行った。人工網膜はその性能の限界のため、効率的にその能力を振り分ける必要がある。例えば、読書の時には視野よりも視力を、歩行の時には視力よりも視野を優先する必要がある。このため、患者の状態を逐次的に把握する必要があるため、これに対して視線情報、患者の四肢の位置情報（加速度情報）によるオリゴパラメーターによる遷移解析を導入した。これにより、本年度（22年度）開始のAMED 革新的先端研究開発支援事業：「マルチセンシングネットワークの統合的理解と制御機構の解明による革新的医療技術開発（AMED-CREST）」研究開発領域：研究開発課題名：革新的 BMI 技術の開発と視覚認知ネットワークの理解と制御に基づく次世代網膜刺激型人工網膜装置の研究開発—「見える人工網膜から使える人工網膜へ」に対して分担研究者として採択された。

#### 引用文献

- [a] Elsayy A, Abdel-Mottaleb M. A Novel Network With Parallel Resolution Encoders for the Diagnosis of Corneal Diseases. IEEE Trans Biomed Eng. 2021 Dec;68(12):3671-3680. doi: 10.1109/TBME.2021.3082152. Epub 2021 Nov 19.
- [b] Maeda N. Clinical applications of wavefront aberrometry - a review. Clin Exp Ophthalmol. 2009 Jan;37(1):118-29. doi: 10.1111/j.1442-9071.2009.02005.x.PMID: 19338609

#### 発表論文等

##### 〔外部資金〕

- [1] 2022-2027 年度、AMED 革新的先端研究開発支援事業 AMED-CREST, “革新的 BMI 技術の開発と視覚認知ネットワークの理解と制御に基づく次世代網膜刺激型人工網膜装置の研究開発—「見える人工網膜から使える人工網膜へ」”, (代表) 森本壮 (分担) 辻川元一 他

## リアルタイム AI を活用した神経疾患の診断・発作の事前予測手法の開発

貴島 晴彦 (医学系研究科)

柳澤 琢史 (医学系研究科)

櫻井 保志 (産業科学研究所)

木村 輔 (産業科学研究所)

### 1 研究の背景

脳波や脳磁図はてんかんなど神経疾患の診断に不可欠な検査であるが、多数の時系列データを判読するため、専門医の高度な知識と時間を要し、診断がばらつくという課題があった。そこで AI を用いた自動診断が注目されている。実際、様々な脳波特徴を用いた機械学習や、深層学習を用いた方法が検討され、個々の疾患や発作については予測可能であることが明らかとなっている。しかし、複数の神経疾患を併発している場合、未だそれぞれの疾患、発作を識別することは困難である。また、発作を素早く正確に検知することができれば、発作症状を軽減することが可能なため、従来の診断方法よりもより素早く正確に発作を検知する方法が求められている。

我々は阪大病院 脳神経外科として、これまでに様々な神経疾患における脳波やウェアラブルデバイスなどの多角的なデータの取得を行ってきた。また、共同研究先の産業科学 AI センターは、深層学習の 10 万倍高速な独自のリアルタイム AI 技術<sup>1)</sup>を確立し、異常検知や予測において多くの実績を有している(図 1)。本研究ではリアルタイム AI 技術を神経疾患患者の多角的データに応用する。

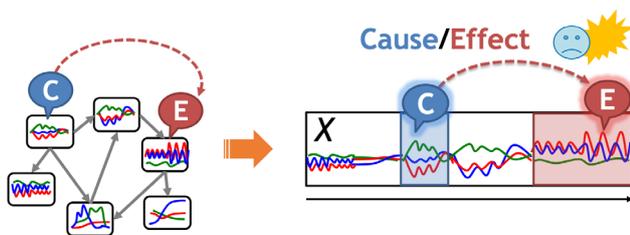


図 1: 産業科学 AI センターが得意とするリアルタイム AI 技術。

### 2 研究の目的

本研究では、てんかんやパーキンソン病などの多種の神経疾患患者の頭皮脳波、頭蓋内脳波、ウェアラブルデバイスによる自律神経症状の変化、気分などの情動変化など多角的データを同時に計測し、産業科学 AI センターのリアルタイム AI 技術を活用することで、各神経疾患特有の突発的な異常の検知や予測を行う神経疾患の診断・発作の事前予測手法を開発する。

頭蓋内脳波データセットを対象に、時系列テンソル解析手法を用いた脳波パターンの要約情報の自動抽出を行い、てんかん発作の予兆となるような共通するパターンの遷移を抽出する。また、この実験結果に基づいてリアルタイム AI 技術による神経疾患の診断・発作の事前予測を目指す。

### 3 研究の方法

#### 3.1 神経疾患に関する学習データの収集・ラベリング作業

大阪大学脳神経外科で、これまでに取得した神経疾患に関するデータ(患者情報、脳波及び情動等の多角的データ)を用いてラベリング作業を行い、学習データベースに必要なデータ整備を進めた。新たに取得された脳波データには、高齢化社会に生きる人々が直面する加齢や認知症、さらにはパーキンソン病のような重大な神経疾患に関するデータが含まれている。これらの脳波を解析することで、より多くの患者に適応可能な神経疾患に関するリアルタイム AI 技術の開発を進めることが可能となる。

#### 3.2 最適な機械学習アルゴリズムの適用可能性検討、学習データベースの構築

櫻井・木村らはラベリングされた多角的データを対象に、リアルタイム AI 技術を用いて解析した。特に、「時系列テンソルからの特徴抽出技術」を多角的データに適用して検討を行った。上記の作業と検討を融合させ、神経疾患・発作の診断・予測に使用可能なビッグデータを整備した。また、時系列テンソルを対象とし、要素間の関係や特徴を表現・要約する手法を新たに開発した。

#### 3.3 データ解析手法およびデータ解釈のフィードバック

3.2 節で設計をしたリアルタイム AI 技術およびデータ解釈を研究グループ間で共有することで、実臨床に則したデータ解析手法およびデータ解釈に適用する。また、3.2 節で新たに開発した技術において得られた知見を、本研究のリアルタイム AI 技術に反映することで、より素早く正確に神経疾患の診断・発作を検知する手法の開発を前進させる。

#### 3.4 神経疾患の診断・発作の事前予測に重要な特徴量の評価試行

3.3 節において改良を行った開発アルゴリズムを用いて、神経疾患・発作の診断・予測に重要な特徴量の抽出を行う。

### 4 研究成果

#### 4.1 構築データセットの検証と最適な機械学習アルゴリズムの適用可能性

ここでは、3.1 節において取得・構築したデータセットの 1 つである頭蓋内脳波データセットを対象として、3.2 節で述べた最適な機械学習アルゴリズムの適用可能性を検討するために、時系列テンソル解析手法を用いた脳波パターンの要約情報の自動抽出に取り組んだ。このデータセットは、複数の種類の難治てんかん患者 21 名(女性 12 名、男性 9 名)から取得されており、てんかんの発作開始時点や術後の病状などについてラベリングされている。

図2は、ある患者の各てんかん発作前後の頭蓋内脳波データ(a～d)における、時系列テンソル解析手法による脳波パターンの抽出結果であり、同色の矩形範囲が類似パターンのグループを表している。赤色の縦の太線で示すてんかん発作の開始時刻の前後において、時系列データのパターンの切り替わりを示唆する結果が得られた。特に、発作開始前に濃い橙色のパターンから緑色のパターンへ遷移する様子が確認できる。この結果は、時系列テンソル解析手法が複数の異なる脳波パターンを自動的に捉え、発作の予兆を示す共通するパターンの遷移を抽出したことを示唆している。

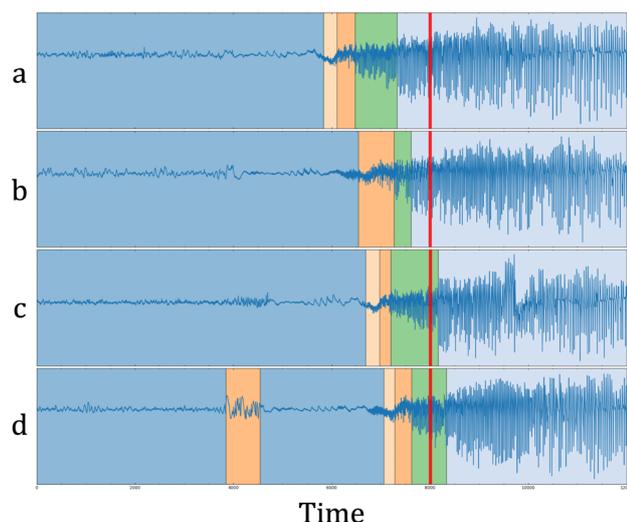


図2: ある患者の各てんかん発作前後の頭蓋内脳波データ(a～d)における脳波パターンの自動抽出結果。

現在、4.1節の実験結果から得られた知見を元に、時系列特徴および周波数特徴を融合させた時系列テンソル解析手法について実験を進めている。また今後、新たに開発した時系列テンソルの各次元間の特徴を捉える手法の知見についても提案手法に反映させることで、3.3節および3.4節の作業を前進させ、脳波の解析により適したリアルタイムAI技術の開発を進める。

#### 発表論文等

##### (雑誌論文)

- [1] Masahiro Hata, Yusuke Watanabe, Takumi Tanaka, Kimihisa Awata, Yuki Miyazaki, Ryohei Fukuma, Daiki Taomoto, Yuto Satake, Takashi Suehiro, Hideki Kanemoto, Kenji Yoshiyama, Masao Iwase, Shunichiro Ikeda, Keiichiro Nishida, Yoshiteru Takekita, Masafumi Yoshimura, Ryouhei Ishii, Hiroaki Kazui, Tatsuya Harada, Haruhiko Kishima, Manabu Ikeda, Takufumi Yanagisawa, “Precise discrimination for multiple etiologies of dementia cases based on deep-learning with electroencephalography”, *Neuropsychobiology*, 19, pp.1-110., 2023
- [2] Yasunori Aoki, Masahiro Hata, Masao Iwase, Ryouhei

Ishii, Roberto D. Pascual-Marqui, Takufumi Yanagisawa, Haruhiko Kishima, Manabu Ikeda, “Cortical electrical activity changes in healthy aging using EEG-eLORETA analysis”, *Neuroimage: Reports* 2, pp.100143, 2022

- [3] Fujita Y, Yanagisawa T, Fukuma R, Ura N, Oshino S, Kishima H. “Abnormal phase-amplitude coupling characterizes the interictal state in epilepsy”, *Journal of Neural Engineering*, 2022
- [4] Masataka Tanaka, Takufumi Yanagisawa, Ryohei Fukuma, Naoki Tani, Satoru Oshino, Masahito Mihara, Noriaki Hattori, Yuta Kajiyama, Ryota Hashimoto, Manabu Ikeda, Hideki Mochizuki, Haruhiko Kishima, “Magnetoencephalography detects phase-amplitude coupling in Parkinson’s disease”, *Scientific Reports*, 12:1835, 2022
- [5] Yamamoto S, Yanagisawa T, Fukuma R, Oshino S, Tani N, Khoo HM, Edakawa K, Kobayashi M, Tanaka M, Fujita Y, Kishima H. “Data-driven electrophysiological feature based on deep learning to detect epileptic seizures”, *Journal of Neural Engineering*, 18(5), 2021

##### (学会発表)

- [1] Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, “Modeling Dynamic Interactions over Tensor Streams”, the ACM Web Conference (WWW), April 30 – May 4, 2023.
- [2] Kota Nakamura, Yasuko Matsubara, Koki Kawabata, Yuhei Umeda, Yuichiro Wada, Yasushi Sakurai, “Fast and Multi-aspect Mining of Complex Time-stamped Event Streams”, the ACM Web Conference (WWW), April 30 – May 4, 2023.
- [3] Taichi Murayama, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, “Mining Reaction and Diffusion Dynamics in Social Activities”, ACM CIKM, October 17, 2022.
- [4] Tasuku Kimura, Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, “Fast Mining and Forecasting of Co-evolving Epidemiological Data Streams”, ACM SIGKDD, Washington, DC, USA, August 14-18, 2022.

##### (著書)

- [1] 柳澤 琢史, “精神神経疾患の脳波による診断技術の開発”, *精神科臨床 Legato*, Vol.7, No.3, pp158-161, 2021
- [2] 柳澤 琢史, “AI が変えるてんかん診療”, *小児内科* vol.53, No. 10, p1630-1634, 2021
- [3] 柳澤 琢史, 畑 真弘, 福岡 良平, 石井 良平, 吉山 顕次, 原田 達也, 池田 学, 貴島 晴彦, “安静時脳波・脳磁図に深層学習を用いた認知症診断”, *日本脳神経外科認知症学会誌*, 1 巻 1 号 p1-6, 2021

##### (その他)

- [1] てんかん財団研究褒賞, てんかん診断, “発作検知を可能にする人工知能の開発, 柳澤琢史, 貴島晴彦”, 2022年3月4日

ヘルスサイエンス部門・医療イノベーション

## 眼底画像から高血圧発症・血圧値の経時的变化を推定するモデル

川崎 良 (医学系研究科)

西田 幸二 (医学系研究科)

長原 一 (IDS)

中島悠太 (IDS)

### 1 研究の背景

我が国の高血圧患者は未治療者が多く適切に血圧がコントロールされているのは約3割に留まるという報告がある。その背景の一つには、多くの場合、初期の高血圧では血圧値が高いということ以外に症状がないため、治療への意欲が高まらないこと、また、血圧を下げる治療を受けたとしても自覚的に症状の改善などを実感することができないため、治療継続の意欲が得られないという面がある。

『高血圧の結果と考えられてきた網膜血管径変化が、非高血圧者でも認められる』という予想外の結果に着想を得て、『眼底画像から高血圧の有無や血圧値、また、血圧値の変化を推定する』独創的かつ挑戦的な内容であり、挑戦的研究としてその可能性を検証したい。眼底を起点にした高血圧の早期診断、予防、また、血圧変化に伴う生体変化の視覚化は他に類がない。

眼底は感覚神経組織としての網膜と視神経、また、網膜と脈絡膜の二つの血管系を非侵襲的に生体下で観察できる唯一の組織である。高血圧の臓器障害を詳細な画像検査や血液・尿検査におけるバイオマーカーなどで繰り返し測定・評価するのは異なり、眼底画像という簡便かつ非侵襲的に得ることができる簡易検査で繰り返し得ることは、リスクの視覚化、さらには、リスク減少に向けての行動変容や治療効果の視覚化として応用できる可能性もある。その先には、健診受診の動機づけに生かすこと、ハイリスク者絞り込みに応用することなどこれまでにないアプローチでのイメージングバイオマーカーとしての活用が期待できる。特に、治療に伴う生体影響の指標として臨床試験などでの代替評価指標としての可能性もあろう。画像取得の方法として、通常眼底カメラだけでなく、小型眼底カメラと組み合わせ家庭での簡易健診、遠隔健診が可能となれば、国内だけでなく、医療機器の普及が進んでいない低中所得国での高血圧予防・診療への寄与も期待できる。

### 2 研究の目的

今回の研究では、高血圧の臓器障害として眼底に網膜細動脈の狭細所見が用いられてきたが、本研究では従来の考え方に対する『逆転の発想』である「眼底画像から高血圧の有無や血圧値、それらの変化を推定する」ことに深層学習モデルを用いた画像解析手法で挑戦する。眼底画像をもとにして、現在の血圧値、高血圧の有病、高血圧の発症、血圧値の変化といった高血圧に関連するアウトカムを推定する深層学習モデルを作成し、検証・評価する。

### 3 研究の方法

#### 3.1 データセット

本研究では、眼底画像と血圧関連アウトカムを保有する大規模疫学研究を用いて、眼底画像から高血圧の有無や血圧値、それらの変化を推定する深層学習モデル群を作成することとした。52,297件のエントリーを含むUK Biobankのサブセットデータを使用した。

#### 3.2 モデル作成

パイロット研究で得た深層学習モデルを発展させ、精度向上、般化能検証、根拠視覚化などを含め研究を行う。血圧値や高血圧関連アウトカムを出力とし、年齢、性別、喫煙歴、ヘモグロビンA1c、脂質関連指標、BMI、眼情報(眼軸、屈折、眼疾患の有無等)も併せて深層学習モデルに組み込む手法を用いた。

マルチタスク学習ネットワークで、網膜画像を入力とし、収縮期血圧、拡張期血圧を含む10個の個別リスクファクターをアウトカムとして推定、実測値との比較を誤差範囲に収まる割合で評価した。

### 4 研究成果

網膜画像から深層学習アルゴリズムで血圧値を含む10の循環器リスクを予測した。収縮期血圧については誤差範囲 $\pm 5\text{mmHg}$ で24.4%、 $\pm 10\text{mmHg}$ で47.1%、 $\pm 15\text{mmHg}$ で65.2%の正答率、拡張期血圧については誤差範囲 $\pm 3\text{mmHg}$ で25.5%、 $\pm 5\text{mmHg}$ で41.4%、 $\pm 10\text{mmHg}$ で71.7%の正答率を得た。まだモデル精度の向上の余地があり、精度向上のためには血圧値以外のリスク重複者の扱い、眼底画像の事前の処理、また、より多くの学習画像を用いるなどが考えられる。それらの点が解決され、より高い精度のモデルが作成されること、繰り返し測定や年次情報の影響を反映するモデルが作成されれば網膜画像ベースのモデル簡便で繰り返し測定できる優位性を活かし、高血圧の関連アウトカムの診断・分類だけでなく、予想・スクリーニングにも応用の可能性が示された。実際に、従来の循環器リスク因子と網膜画像の複数の組み合わせを用いて、主要な心血管イベントの5年累積発生率を予測する深層学習モデルを合わせて作成したが、ROC-AUC 0.738 [95%CI 0.710-0.766]となり、これは実測値に基づくモデルとほぼ同等の精度を達成した。

### 5 結論

網膜画像を用いたCVDリスク推定は、血液検査に基づく推定と同レベルのCVDリスク推定が可能である。また、本研究で示したように、従来のCVDリスクプロファイリングにおい

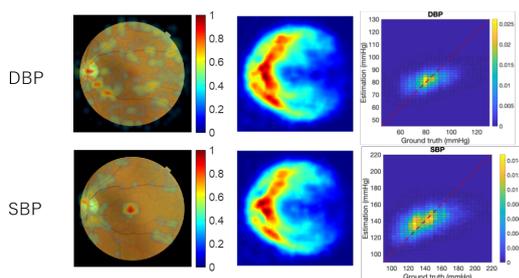


図 1: 眼底画像からの血圧値推定

て、網膜画像が CVD リスクを示唆する「理由」を提供することができる。これは、健康管理のための精密検査や生活習慣の改善の動機付けとなり得る。使いやすい網膜画像撮影装置と相まって、この可能性はさらに広がることが期待できる。

#### 発表論文等

##### 〔雑誌論文〕

- [1] Li L, Verma M, Wang B, Nakashima Y, Nagahara H, Kawasaki R. Automated grading system of retinal arterio-venous crossing patterns: A deep learning approach replicating ophthalmologist's diagnostic process of arteriolosclerosis. *PLOS Digit Health*. 2023 11;2(1):e0000174.
- [2] Arnould L, Meriaudeau F, Guenancia C, Germanese C, Delcourt C, Kawasaki R, Cheung CY, Creuzot-Garcher C, Grzybowski A. Using Artificial Intelligence to Analyse the Retinal Vascular Network: The Future of Cardiovascular Risk Assessment Based on Oculomics? A Narrative Review. *Ophthalmol Ther*. 2023;12(2):657-674.
- [3] Shen J, Hu Y, Zhang X, Gong Y, Kawasaki R, Liu J. Structure-Oriented Transformer for retinal diseases grading from OCT images. *Comput Biol Med*. 2023;152:106445.

##### 〔学会発表〕

- [1] Kawasaki R, Qian Y, Li L, Nishida K, Nakashima Y, Nagahara H. Cardiovascular Disease Risk Prediction using Retinal Images via Explainable-AI based models with Traditional CVD risk factor estimation. ARVO 2022, USA

##### 〔外部資金〕

- [1] R4-7 科学研究費助成金 基盤 B, 「眼底画像のみから循環器疾患リスクプロファイリングを行う「新・眼底健診」の提案」, 2 2 H 0 3 3 5 3, (代表) 川崎良, (分担) 布施昇男, 原田成, 佐々木真理子, 大久保孝義, 平良摩紀子, 中島悠太
- [2] R4-5 科学研究費助成金挑戦的研究 (萌芽), 「眼底画像から高血圧発症予測・血圧値推定・治療予後予測を実現する『逆転の発想』」, 2 2 K 1 9 6 7 1, (代表) 川崎良

## 人工知能による病理画像解析に基づいた多倍体肝癌判定システムの構築

松本 知訓（微生物病研究所遺伝子生物学分野）

新岡 宏彦（IDS）

松浦 敬憲（微生物病研究所遺伝子生物学分野）

安部 政俊（情報科学研究科）

長原 一（IDS）

### 1 研究の背景

臓器横断的な癌ゲノム解析により、癌細胞の多倍体化が様々な癌種で起こっていることがわかっており [a]、さらに多倍体化は癌の悪性度に関わっていることも指摘されている。我々は、先行研究においてヒト肝細胞癌の多倍体化について検討し、染色体 FISH (Fluorescence in situ hybridization) 法を用いて 1 細胞レベルでの染色体倍数性を判定する手法を確立した (図 1)。そしてこの方法により判別した多倍体肝癌は、二倍体肝癌と比較して特徴的な組織像を呈すること、また悪性度が高く予後不良であることを明らかとした。この結果をふまえると、肝癌の多倍体化の判定は癌の予後を予測する新たなマーカーとなることが期待される。しかし、染色体 FISH 法により解析できる領域は肝癌検体のごく一部に限られ、またその手技も煩雑である。肝癌は不均一性に富む癌腫であることや実臨床への応用を鑑みると、広範囲で簡便に癌細胞の倍数性を判定する技術が確立できれば、予後予測を通じて症例に応じた治療方針決定に寄与する、良いツールとなることが期待される。

### 2 研究の目的

肝細胞癌の HE 染色標本を用いて、人工知能 (AI) を使った病理画像認識により多倍体肝細胞癌を簡便に判定できる方法を確立することを目的とした。

### 3 研究の方法

#### 3.1 肝細胞癌倍数性判定モデルの構築

##### 3.1.1 HE 染色画像の取得

神戸大学医学部附属病院で、2017 年から 2021 年までに外科的に切除された肝細胞癌症例の HE 染色標本を対象に、リサーチスライドスキャナー (SLIDE VIEW VS200TM, EVIDENT) を用いてデジタル画像を取得した。

##### 3.1.2 倍数性判定モデルの構築

多色染色体 FISH 法で倍数性を評価した肝細胞癌 44 例を training data とし、複数の深層学習アルゴリズム (Efficient Net B0 [b], Hierarchical Image Pyramid Transformer 改変モデル (以下、HIPT) [c]) を用いて倍数性判定モデルを構築した。

#### 3.2 モデルの妥当性検証と有用性検討

##### 3.2.1 妥当性の検証

構築した倍数性判定モデルの妥当性を検証するため、別コホートの肝細胞癌 38 例 (test data) を用いて、染色体 FISH

による倍数性判定と AI モデルによる判定を比較し、検証を行った。

##### 3.2.2 有用性の検討

Training data とは別コホートの肝細胞癌 169 例の HE 画像を用いて、AI モデルの予後予測への有用性を評価した。

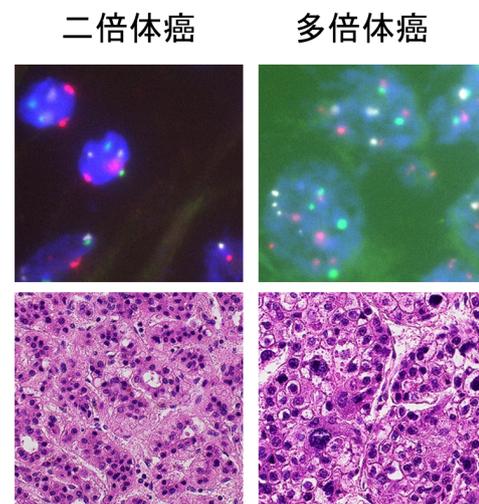


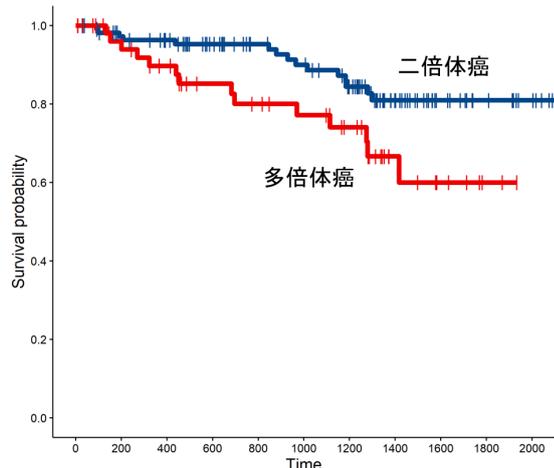
図 1: 肝細胞癌の染色体 FISH 画像/HE 像

### 4 研究成果

Training data 44 例 (多倍体癌 17 例、二倍体癌 27 例) について、各症例平均 15 枚の 2048 × 2048 ピクセルの TIFF 形式の HE 染色画像を用いて深層学習を行うことにより肝癌倍数性を判定するモデルを作製した。そして 5 回の交差検証時の検証データとして、各症例平均 1131 枚の HE 画像 (2048 × 2048 ピクセルの TIFF 画像) の腫瘍多倍体化確率をモデルにより判定した。各腫瘍における多倍体化確率の平均値をその腫瘍の多倍体化確率とし、各腫瘍の多倍体化確率を、Efficient Net b0, 白黒画像を用いた Efficient Net b0, HIPT の 3 種の深層学習モデルで評価したところ、それぞれのモデルの腫瘍多倍体化判定における Receiver Operating Characteristic (ROC) 曲線の area under the curve (AUC) は 0.9978/ 0.9978/ 0.9978、確度はいずれも 0.9773 であった。

さらに別コホートの test data 38 例でこれらの倍数性判定モデルの精度を検証をした。事前の FISH 法では、本コホートでの多倍体癌は 11 例 (28.9%) であった。Training data の ROC

曲線から導出した cut-off 値を用いてこの test data の倍数性判定を検証したところ、Efficient Net b0 モデルでは 0.658 の確度、HIPT モデルでは 0.737 の確度であった。さらに、test data169 例を用いて AI による倍数性判定が予後不良を見分けられるかについて検討した。背景因子の解析では、年齢中央値が 73(43~93) 歳、男性が多く (77.1%)、BMI 中央値は 23.7(16.1~38.9) であった。背景肝の線維化進展例は 42.6%(犬山分類 F3/4 症例が 72 例) に認めた。前述の cut-off 値に従ってそれぞれのモデルで 169 例の腫瘍倍数性を判定し、多倍体癌と二倍体癌の予後解析 (Logrank 検定) を行った。いずれのモデルにおいても多倍体癌の群で overall survival(OS), disease free survival(DFS) が悪い傾向が見られた。また HIPT において cut-off 値を 0.363 とした場合 (多倍体群が 33.1%)、OS で  $p=0.02$ 、DFS で  $p=0.05$  というずれも有意差をもって多倍体群で予後不良であった (図 2)。背景因子の検討では、血清 AFP 値が有意差をもって多倍体癌で高く ( $p < 0.01$ , Wilcoxon 検定)、腫瘍の病理構造としては macro-trabecular massive type が多倍体癌で多く見られた ( $p=0.042$ ,  $\chi^2$  乗検定)。これらは染色体 FISH 法による先行研究の結果と矛盾しなかった。



生存曲線 (Overall Survival)

## 5 今後の展望

肝細胞癌切除標本の HE 染色画像を用いて腫瘍の倍数性を評価する AI 診断システムを構築し、それが良好な精度を示すことを確認できた。そして AI による肝細胞癌の倍数性判定は予後予測にも有用である可能性が示唆された。本研究では手術加療を行った腫瘍検体を対象に検討を行ったが、今後は本 AI システムを化学療法前の腫瘍生検検体などにも適用し、治療反応性の予測にも本モデルが活用できるか検討を加えていきたい。

## 引用文献

- [a] R. J. Quinton et al., Whole-genome doubling confers unique genetic vulnerabilities on tumour cells. *Nature* 590, 492-497 (2021).
- [b] Mingxing Tan et al., EfficientNet: Rethinking

Model Scaling for Convolutional Neural Networks. International Conference on Machine Learning arXiv:1905.11946 (2019)

- [c] Richard J. Chen et al., Scaling Vision Transformers to Gigapixel Images via Hierarchical Self-Supervised Learning. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) arXiv:2206.02647 (2022).

## 発表論文等

### 【外部資金】

- [1] 2023-2029 年度, 創発的研究支援事業, “多倍体細胞の系統分類と特性解明で拓く倍数性治療の創出”, (代表) 松本知訓

ヘルスサイエンス部門・医療イノベーション

## インプラント治療の術式決定を支援する人工知能の開発

山口 哲（歯学研究科）

松下 康之（IDS）

### 1 研究の背景

インプラント治療における初期固定の獲得は、長期的に良好な予後を獲得するうえで重要である。初期固定を獲得するには、術部の骨質に応じた術式で埋入窩を形成する必要があるが、エックス線写真の読影と術中の術者の手指感覚に基づいて骨質の判断がなされるが、とくに手術経験の少ない歯科医師にとっては、最適な埋入窩形成の術式を決定することはそう容易ではない。人工知能（Artificial Intelligence：AI）は、未知の入力から出力を予測することのできる極めて有用なツールである。なかでも深層学習は、規則性の抽出に必要となる特徴量をコンピュータで自動的に抽出可能であるため、人では特徴を抽出することが困難なデータにも対応可能である。したがって、深層学習を用いれば、術前の X 線 CT 画像から人が認識することが困難な特徴に基づいて骨質を客観的に判断し、埋入窩形成の術式を的確に導きだせるものと予測される。

### 2 研究の目的

本研究では、インプラント埋入前の X 線 CT 画像と術後に記録された埋入窩形成の術式から AI で規則性を抽出し、確実な初期固定獲得のための埋入窩形成術式の決定を支援する AI モデルの開発を試みた。

### 3 研究の方法

#### 3.1 被験データ

大阪大学歯学部附属病院口腔補綴科にてインプラント治療を受けた患者から患者から 60 症例を抽出し、匿名化された X 線 CT 画像を得た（大阪大学大学院歯学研究科・歯学部及び歯学部附属病院倫理審査委員会、承認番号：R2-E11）。

インプラント埋入後の X 線 CT 画像から埋入部位の骨領域を目視で確認し、当該領域を術前の X 線 CT 画像から画像解析ソフトウェア（Image J）を用いて 20 × 20 pixel の画像として 20 枚抽出した。実際に行われた埋入窩形成の術式に基づき、各症例を、A：タッピングドリルを使用して形成した症例、B：インプラント体の径に最も近い径まで形成した症例、C：インプラント体の径よりも小さい径まで形成した症例の 3 群に分類した。

初期固定の獲得には皮質骨の存在が大きくかわるとされている [a] ため、骨縁の皮質骨を含む領域（インプラント体のプラットフォームに相当する領域）を抽出した。

#### 3.2 AI モデルの実装

抽出した画像（1200 枚）を、訓練用画像（320 枚 × 3 分類 = 960 枚）とテスト用画像（80 枚 × 3 分類 = 240 枚）に分類し、LeNet をベースとした AI モデルを作成し、正確率、適合率、ならびに再現率を求め、作成した AI モデルの性能を比較した。

また、AI モデルの予測に対する局所的な説明を与えるために考案された Gradient-weighted Class Activation Mapping（Grad-CAM）[b] を用いて、テスト用画像上にアテンションマップを重畳表示し、予測に影響を与えた部位を視覚的に評価した。

### 4 研究成果

本研究で得られた成果は、国際学会で口頭発表し、生産技術振興協会より、令和 4 年下期 海外論文発表奨励賞が授与された。また、これらの成果をまとめて博士論文として提出し、一部を英語論文として出版した。以下に本研究で得られた成果の概略を示す。

LeNet をベースとした深層学習モデルを実装し、最小化アルゴリズムを Adam、学習回数を 100 回とした場合に、高い性能が認められた（表 1）。

表 1: 開発した AI モデルの性能

真の術式	推定した術式			適合率 (%)
	A	B	C	
A	78	2	0	97.5
B	4	76	0	95.0
C	8	4	68	85.0
再現率 (%)	86.6	92.7	100	正確率 = 93.7%

LeNet が白黒の手書き文字を識別するために開発された深層学習モデルであることから、同様に白黒の濃淡で表現された X 線 CT 画像においても高い性能を発揮したのと考えられた。また、Adam は様々なパラメータを含む誤差の最小化に適していることから、画像に大きな特徴のない場合でも高い性能を示したと考えられた。これらのことから、X 線 CT 画像を用いて高性能な AI モデルを作成できることが明らかとなった。さらに、初期固定の獲得に関わる皮質骨を含む領域から、20 × 20 pixel で抽出した画像を用いて学習することで、AI モデルが高い性能を示した。

Grad-CAM で生成したアテンションマップ（図 1）では、AI モデルが人の目視では識別することの難しい骨梁構造に注目していることが分かった。

すなわち、AI モデルでは、抽出された特定の領域（骨梁構造）の特徴からその分布比率に基づいて骨質を正確に判断し、よりの確に埋入窩形成の術式を選択できるのと考えられた。

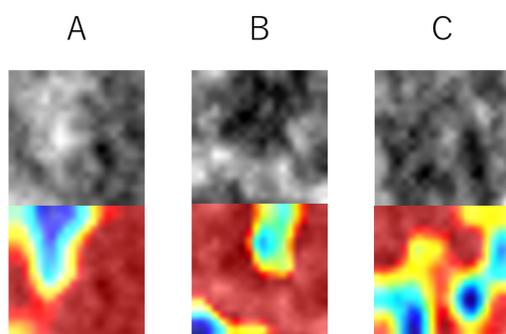


図 1: 成功例のテスト用画像 (上) とアテンションマップ (下) の例. 左から術式 A, 術式 B, 術式 C

また, 本研究で用いた低解像度の入力画像を高解像度化して出力することができる超解像度化技術 [c] を用いて, 低解像度の X 線 CT 画像では抽出が困難な微細な骨梁構造など, 入力画像から多くの特徴を抽出できる可能性があることを予備実験で確認した (図 2).

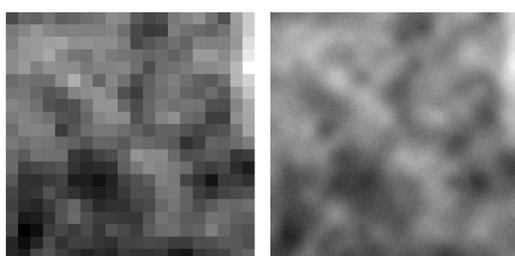


図 2: 元画像 (20 × 20 pixel) (左) と超解像度処理後の画像 (512 × 512 pixel) (右) の例

超解像度化技術の応用により高い性能の AI モデルの作成が可能であると考えられ, 本研究で得られた成果をもとに, 開発した AI モデルのさらなる改良に向けて取組みを進めたいと考えている。

本研究において, 深層学習を用いて適切な条件で AI モデルを作成し, 皮質骨を含む領域から抽出した画像を用いれば, 高い性能で埋入窩形成の術式を選択できることが明らかとなった。

以上のことから, 本研究で開発した AI モデルは, インプラント治療の術式決定を支援するツールとして有用であることが示された。

## 引用文献

- [a] Chrcanovic BR, Albrektsson T, Wennerberg A. Bone quality and quantity and dental implant failure: a systematic review and meta-analysis. *Int J Prosthodont* 30(3): 219-237, 2012.
- [b] Selvaraju RR, Cogswell M, Das A, Vedantam R, Parikh D, Batra D. Grad-CAM: visual explanations from deep networks via gradient-based localization. *Int J Comput Vis* 128(2): 336-59, 2020.

- [c] Dong C, Loy CC, He K, Tang X. Image super-resolution using deep convolutional networks. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell* 38(2): 295-307, 2016.

## 発表論文等

### 〔雑誌論文〕

- [1] Sakai T, Li H, Shimada T, Kita S, Iida M, Lee C, Nakano T, Yamaguchi S, Imazato S, Development of artificial intelligence model for supporting implant drilling protocol decision making. *Journal of Prosthodontic Research* (in press).

### 〔学会発表〕

- [1] Sakai T, Li H, Lee C, Yamaguchi S, Imazato S, Development of explainable AI model for decision making of implant drilling protocols. *International Dental Materials Congress 2022, November 5, 2022 (Online)*.

### 〔博士論文〕

- [1] 堺 貴彦, インプラント治療の術式決定を支援する人工知能モデルの開発. 博士論文, 大阪大学, 2023 年.

### 〔その他〕

- [1] 堺 貴彦, 指導教官: 山口 哲, 令和 4 年下期 海外論文発表奨励賞, 生産技術振興協会, 2022 年 11 月 30 日.

ヘルスサイエンス部門・医療イノベーション

## フックス角膜内皮ジストロフィーの検査画像を用いた AI による自動診断技術等の開発

西田 幸二 (医学系研究科眼科学)

大家 義則 (医学系研究科眼科学)

川崎 良 (医学系研究科公衆衛生学)

長原 一 (データビリティフロンティア機構)

中島 悠太 (データビリティフロンティア機構)

### 1 研究の背景

フックス角膜内皮ジストロフィー (Fuchs endothelial corneal dystrophy: FECD) は加齢とともに両眼の角膜内皮細胞数が減少し、角膜に浮腫性混濁を生じることで視力が低下する疾患である。現在のところ初期患者に対する有効な治療法は存在せず、末期患者に対する角膜移植が唯一の治療法である。FECD は細隙灯顕微鏡検査による診断や重症度判定が一般的であるが、世界的に汎用されている modified Krachmer 分類では、検者による細隙灯顕微鏡を用いた主観的判定であることから inter-observer agreement が低いことが知られている。また非専門医による判定ではブドウ膜炎など他の疾患と誤って診断されることも多い。

### 2 研究の目的

収集した前眼部写真や角膜内皮スペキュラ、前眼部 OCT 等の画像データを用いて、診断や予後予測を補助するような人工知能 (AI) プログラムを開発することができれば、経験の少ない眼科医であっても FECD の診断、さらには進行度の把握が可能となり、適切な時期に専門医へ紹介するなど、患者予後予測に役立つ可能性がある。そこで、検査画像を用いた AI による自動診断技術、進行予測技術開発の検討を行う。

### 3 研究の方法

#### 3.1 研究デザイン

デザイン：多施設共同研究、前向き/後ろ向き観察研究

#### 3.2 対象

- 当院あるいは共同研究機関を受診した患者のうち、フックス角膜内皮ジストロフィーの罹患の患者およびその家族
- 白内障等で当院あるいは共同研究機関を受診した患者および健康人 (コントロール群)

#### 3.3 調査項目、評価項目

FECD 患者における角膜内皮スペキュラ画像 (図 1) について、画像処理と convolutional neural network 等を活用した機械学習を組み合わせて識別器を作成する。コントロール群として白内障手術等で各研究機関を受診した患者のデータ (図 2) を使用する。完成した識別器の性能に関する主要評価項目は正診率とし、副次評価項目として感度、特異度、AUC, precision, recall, F-value 等を設定する。これらの解析結果を用いて、角

膜内皮スペキュラを用いた FECD を判別するプログラムを検討する。

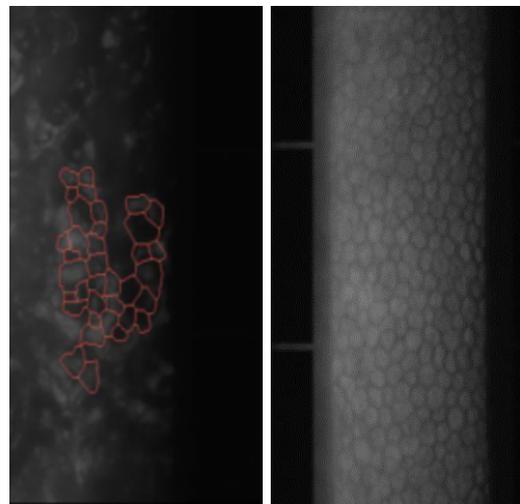


図 1: FECD 群 (左), コントロール群 (右) での角膜内皮スペキュラ

### 4 研究成果

角膜内皮スペキュラ画像を用いた自動診断開発目的に、大阪大学の 4738 例の FECD 患者 (図 1 左) とコントロール群 294 例 (図 1 右) の角膜内皮スペキュラ画像を集積した。実際の角膜内皮スペキュラ画像のオリジナルは、図 2 (上) に示すように撮影のための機材から得られる各種統計量等が提示される。まずはこの画像に対してパイロットスタディを実施した。

本パイロットスタディでは、オリジナルの画像を ResNest 26d [a] と呼ばれるモデルに入力するものとし、識別器として広く用いられる全結合 (Fully Connected; FC) 層を利用したもの、及び SCOUTER と呼ばれる説明可能性を有するもの [b] を試行した。評価指標として、まずは正診率を利用したところ、FC 識別器、SCOUTER を識別器としたの性能はそれぞれ 98.4%、及び 98.6% となった。FC 層を利用するものについて、説明可能な AI (eXplainable AI; XAI) 手法の一種である IGOS [c] によって、識別結果に関連すると考えられる領域を可視化した結果を図 2 (下) に示す。この例では、識別に利用すべき角膜内皮スペキュラ画像部分ではなく、撮影機材により追加された各種統計やインターフェイスの部分に基づいて識別

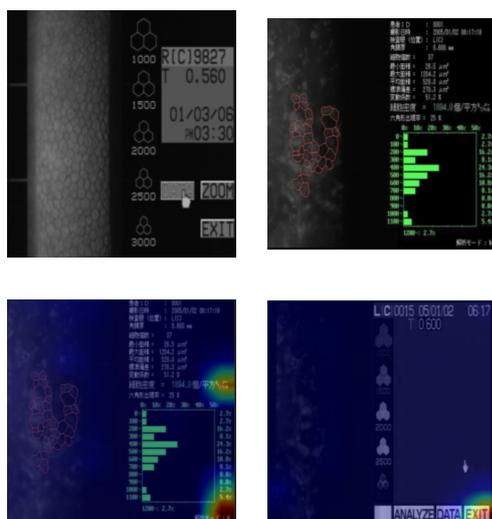


図2: 入力とした画像（上）とIGOSによる可視化（下）

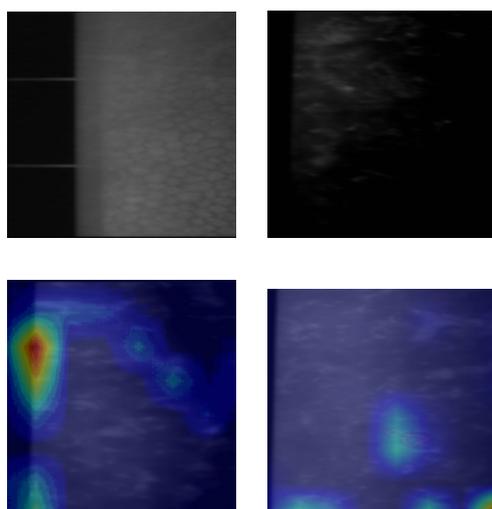


図3: 切り抜き、及びリサイズ後の画像（上）とIGOSによる可視化（下）

を行っていることがわかる。これは、統計やインターフェイスを提示する部分は何らかの交絡因子となっている可能性を示唆する。

そこで、画像中の機材によって追加される部分を除去し、統計やインターフェイスを提示する部分を除去した画像を入力とした場合も検討した。これには、それぞれの機材の画像について切り出す領域を設定し、各画像から対応する領域を切り出す。その後、モデルへの入力のために  $260 \times 260$  画素にリサイズした（図3）。この場合、正診率はFC識別器とSCOUTERでそれぞれ97.8%、及び98.0%であった。IGOSによって識別に関連すると考えられる領域を可視化すると、図3（下）となり、角膜内皮スベキュラ画像の内部、細胞の境界（画像の端、及び黒色の領域との境界）に強い反応が見られる。実際の診断には細胞の形や色などが考慮されることから、正診率は高いものの

現状でも交絡因子が存在する可能性がある。今後はこの問題を解消するべく研究を進めたい。

#### 引用文献

- [a] Zhang et al., “ResNeSt: Split-attention networks,” ArXiv Preprint: 2004.08955, 2020  
<https://arxiv.org/abs/2004.08955>
- [b] Li et al., “SCOUTER: Slot attention-based classifier for explainable image recognition,” In ICCV, 2021.
- [c] Qi et al., “Visualizing deep networks by optimizing with integrated gradients,” In AAAI, 2019.

#### 発表論文等

##### 〔学会発表〕

- [1] Oie Y, Sugita S, Yokokura S, Nakazawa T, Tomida D, Satake Y, Shimazaki J, Hara Y, Shiraishi A, Quantock AJ et al: Clinical Trial of Autologous Cultivated Limbal Epithelial Cell Sheet Transplantation for Patients with Limbal Stem Cell Deficiency. *Ophthalmology* 2023.
- [2] Shiraki A, Sakimoto S, Oie Y, Soma T, Miki A, Usui S, Sato S, Matsushita K, Sakaguchi H, Nishida K: Inferior Removal of Dislocated Polymethyl Methacrylate Intraocular Lens and Scleral Refixation in Glaucomatous Eyes. *Ophthalmol Ther* 2022, 11(2):881-886.
- [3] Shigeyasu C, Yamada M, Fukuda M, Koh S, Suzuki T, Toshida H, Oie Y, Nejima R, Eguchi H, Kawasaki R et al: Severe Ocular Complications Associated With Wearing of Contact Lens in Japan. *Eye & contact lens* 2022, 48(2):63-68.
- [4] Koh S, Soma T, Oie Y, Nishida K: First Diquafosol Treatment for Dry Eye: 10-Year Follow-Up. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2022.
- [5] Koh S, Inoue R, Maeda N, Oie Y, Jhanji V, Miki A, Nishida K: Corneal tomographic changes during corneal rigid gas-permeable contact lens wear in keratoconic eyes. *The British journal of ophthalmology* 2022, 106(2):197-202.
- [6] Hamano Y, Maruyama K, Oie Y, Maeda N, Koh S, Hashida N, Nishida K: Novel corneal morphological alterations in Vogt-Koyanagi-Harada disease. *Japanese journal of ophthalmology* 2022.

##### 〔外部資金〕

- [1] R4-6, 難治性疾患実用化研究事業「フックス角膜内皮ジストロフィーの診療エビデンス創出のための研究」(JP22ek0109590), (代表) 大家義則.
- [2] R2-4, 厚生労働科学研究費補助金・難治性疾患政策研究事業「前眼部難病の標準的診断基準およびガイドライン作成のための調査研究」(20FC1032), (代表) 西田幸二.
- [3] R3-5, 科学研究費 基盤 C「フックス角膜内皮ジストロフィーの発症メカニズム及びリスクの解析」(21K09718), (代表) 大家義則

バイオサイエンス部門・生命システム領域

## 全組織細胞イメージング／分子病態解析

橋本均（薬学研究科）

長原一（IDS）

中島悠太（IDS）

### 1 研究の背景

脳内では、多数の神経細胞で構成される神経ネットワークの情報伝達を介して、様々な脳領域が相互に連絡し、情報の処理・統合が行われている。脳の情報処理機構や脳神経疾患における機能変調の神経メカニズムを理解するためには、個々の神経細胞の活性化に伴うネットワーク間の情報伝達の変化を体系的に捉えることが重要である。そこで我々は、高速かつ高精細に全脳をイメージングする顕微鏡装置 FAST を開発し [a, b], 神経細胞の活性化に依存して蛍光蛋白質を発現するレポーターマウス脳を観察する手法で、刺激に応じて変化する全脳活動マッピングを実施している [a, c, d]。また、3次元空間に再構築した全脳画像から、蛍光蛋白質で標識された細胞体の粒子形状認識を行い、その中心座標や軸径、配向性などを数値化する大規模画像解析ソフトをラトックシステムエンジニアリング社と共同研究により開発している [a]。これにより、脳全体からすべての活性化した細胞の情報を数値データとして取得し、複数の個体間の活動比較が容易にできるようになった。

### 2 研究の目的

脳の情報処理機構やその機能変調の神経メカニズムを理解するためには、実験動物であるマウスの特定の行動に対応する全脳細胞の活性化情報を取得し、体系的な解析を実施する必要がある。本研究では、これまでに確立した全脳活動マッピングと画像解析を用いて、脳疾患モデルマウスの行動異常とその時の神経細胞の活性化の情報から、行動異常発現の神経メカニズムを明らかにすることを目指す。これにより、仮説駆動型研究ではなく、データ駆動型研究による脳研究を推進する。

### 3 研究の方法と成果

#### 3.1 社会性行動と全脳活動マッピングの相関解析

神経細胞の活性化を検出するレポーターマウスを用いた全脳活動地図は、組織固定時の検出閾値以上の蛍光強度をもつ細胞のスナップショットデータである。レポーターマウスの蛍光強度のピークは刺激から数時間後であるため、全脳活動地図には特定の行動時や刺激時以外にも様々な刺激に対する神経活動を含む可能性が考えられる。そこで、新規マウスと接触させる社会的相互作用試験を行ったのち、蛍光強度がピークとなる時点での全脳活動情報を行動試験中の行動パターンについての相関性を検証した。まず、マウスの体の部位をトラッキングする DeepLabCut [e] を用いて 20 分間の行動試験の全フレームの nose, body center, tale base の位置を決定した。社会性行動が低下する発達障害マウス群と正常マウス群の全

20 個体の高次元データ（2 個体間の向き、移動速度、nose-to-tale base の距離、nose-to-nose 距離等）を Uniform manifold approximation and projection (UMAP) により次元圧縮し、watershed segmentation により行動パターンを分類した。その結果、匂い嗅ぎ行動を含む社会性行動を示す区画、個体間の距離が離れ興味を示していない非社会性行動の区画、およびその他の区画に分類できた。各行動パターンの量（フレーム数）とマウスの脳領域ごとの活性化細胞数の相関解析の結果、社会性行動量と正に相関する脳領域は、そのほとんどが非社会性行動量と負に相関する領域であった。逆に、社会性行動量と負に相関する脳領域では、そのほとんどが非社会性行動量と正に相関する領域であった。この結果は、全脳活動地図に、行動試験中の社会性・非社会性行動の情報が優先的に含まれていることを示している。

#### 3.2 全脳の自動区画化と活性化神経細胞の分布解析

FosEGFP マウス (B6.Cg-Tg(FOS-tTA, FOS-EGFP\*)1M may/J mice; JAX. #018306) [f] は、汎用される最初期遺伝子レポーターマウスの一つである。そこで今年度は、FosEGFP マウスに薬物を投与し、行動試験後に全脳画像を取得した。得られた画像を、オープンソースソフトウェア bi-channel image registration and deep-learning segmentation (BIRDS) [g] を用いて、マウス標準脳（米国 Allen 研究所が公開する brain atlas）に画像位置合わせを行った。さらに、画像解析ソフト Imaris を用いて脳領域ごとの EGFP 陽性細胞を自動計数した。Allen brain atlas では 300 区画以上の脳領域が定義されているため、従来法より、詳細な脳部位の活動変化を捉えることが可能になった。

#### 引用文献

- [a] Seiriki K, Kasai A, Hashimoto T, Schulze W, Niu M, Yamaguchi S, Nakazawa T, Inoue KI, Uezono S, Takada M, Naka Y, Igarashi H, Tanuma M, Waschek JA, Ago Y, Tanaka KF, Hayata-Takano A, Nagayasu K, Shintani N, Hashimoto R, Kunii Y, Hino M, Matsumoto J, Yabe H, Nagai T, Fujita K, Matsuda T, Takuma K, Baba A, Hashimoto H. High-speed and scalable whole-brain imaging in rodents and primates. *Neuron* 96(6):1085-1100.e6, 2017
- [b] Seiriki K, Kasai A, Nakazawa T, Niu M, Tanuma M, Igarashi H, Yamaura K, Hayata-Takano A, Ago Y, Hashimoto H. Whole-brain Block-Face Serial Microscopy Tomography at Subcellular Resolution Using

- FAST. *Nat Protoc* 14(5), 1509-1529, 2019
- [c] Niu M, Kasai A, Seiriki K, Hayashida M, Tanuma M, Yokoyama R, Hirato Y, Hashimoto H. Altered functional connectivity of the orbital cortex and striatum associated with catalepsy induced by dopamine D1 and D2 antagonists. *Biol Pharm Bull* 44(3):442-447, 2021
- [d] Niu M, Kasai A, Tanuma M, Seiriki K, Igarashi H, Kuwaki T, Nagayasu K, Miyaji K, Ueno H, Tanabe W, Seo K, Yokoyama R, Ohkubo J, Ago Y, Hayashida M, Inoue KI, Takada M, Yamaguchi S, Nakazawa T, Kaneko S, Okuno H, Yamanaka A, Hashimoto H. Claustrum mediates bidirectional and reversible control of stress-induced anxiety responses. *Sci Adv*, 8(11):eabi6375, 2022
- [e] Mathis A, Mamidanna P, Cury KM, Abe T, Murthy Vn, Mathis MW, Bethge M. DeepLabCut:markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nat Neurosci* 21:1281-1289, 2018
- [f] Reijmers LG, Perkins BL, Matsuo N, Mayford M. Localization of a stable neural correlate of associative memory. *Science* 317(5842):1230-1233, 2007
- [g] Wang X, Zeng W, Yang X, Zhang Y, Fang C, Zeng S, Han Y, Fei P. Bi-channel image registration and deep-learning segmentation (BIRDS) for efficient, versatile 3D mapping of mouse brain. *eLife* 10:e74328, 2021

## 発表論文等

### 〔学会発表〕

- [1] 植野寛貴, 笠井淳司, 彌永祐輔, 原雄大, 大久保仁, 中井悠花, 勢力薫, 山口瞬, 吾郷由希夫, 田熊一敏, 橋本均. 自閉スペクトラム症モデルマウスを用いた社会性行動障害に関わる機能的神経ネットワークの同定 第72回日本薬学会関西支部総会・大会

### 〔外部資金〕

- [1] 2020-2022, 科学研究費助成金 基盤研究 (A), 「脳疾患の解明と創薬へ向けた疾患モデル脳のマルチスケールデータ解析」, 20H00492, (代表) 橋本均
- [2] 2018-2022 科学研究費助成金 新学術領域研究 (研究領域提案型), 「組織全細胞イメージング法を用いた精神疾患発症起点となるシングュラリティ細胞の探索」, 18H05416, (代表) 橋本均
- [3] 2021-2023, 日本医療研究開発機構 (AMED) 革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト, 「霊長類脳の高スケラブルイメージングシステムの開発」, (代表) 橋本均
- [4] 2022, 武田科学振興財団 ビジヨナリーリサーチ継続助成 (ホップ) 「中枢創薬を加速する全脳細胞研究」 (代表) 橋本均

バイオサイエンス部門・生命システム領域

## 多剤耐性菌のバイオメトリクス研究

西野 邦彦（産業科学研究所）  
 青木 工太（産業科学研究所）  
 西野 美都子（産業科学研究所）  
 八木 康史（産業科学研究所）  
 古澤 力（東京大学大学院，理化学研究所）

### 1 研究の背景

複数の抗生物質への耐性をもつ多剤耐性菌の出現が世界的に大きな問題となっている。新型コロナウイルス感染症治療に伴い抗生物質使用が増大したことで細菌の多剤耐性化が促進され、「憂慮すべき数」に上っていることが WHO で指摘されている。医療現場において、簡便かつ迅速に多剤耐性菌が検出できる方法や、耐性菌の出現を逸早く予測し感染拡大防止を講じる対策法の開発が急務な課題となっている。これまで長い間、多剤耐性化に関して、1つの遺伝子や因子の変異や変化に基づいて説明がなされてきた [a, b]。しかしながら、細菌の多剤耐性化へのプロセスは、ゲノムや複数の耐性化に関わる因子、細胞状態の変化が複雑に絡み合っており、これからは、1遺伝子や因子に基づかない複雑系生命として理解することが必要である。このような背景の中、我々は実験室にて作成された薬剤耐性大腸菌が遺伝子のみならず形態学的にも非耐性菌から変化していることに着目した。

### 2 研究の目的

本研究では、病原細菌の薬剤耐性化プロセスにおいて、形態学的にも変化していることに着目し、エボリューション解析 [3] で得られた様々な種の薬剤耐性菌株の網羅的形態情報「マイクロモルフォミクス情報」を取得する。深層学習によるこれら耐性菌株の画像判別と特徴抽出を行うためのアルゴリズムを構築する。さらに、薬剤耐性獲得の過程で生じる遺伝子的、形態学的変化について、進化実験で得られた様々な薬剤耐性菌株と、臨床・環境から分離された耐性菌株を用いて、バイオインフォマティクス解析とマイクロモルフォミクス解析を行い、機械学習によるこれら情報の融合とモデル化を行い、多剤耐性菌自動推定法の技術開発を目指す（図1）。

### 3 研究の方法

#### 3.1 薬剤耐性菌株の単離と培養

エボリューション解析 [c] で獲得された 10 種類、計 40 株の異なる薬剤耐性株（表 1）と非耐性菌（親株）について、それぞれの薬剤に対して耐性能を保持した株を単離し実験に用いた。各種薬剤耐性株 4 株と非耐性株（親株）1 株を 1 セットとして実験に用いた。それぞれの細菌株を OD<sub>600</sub> 値が 0.1 になるまで培養した後、細菌を遠心分離し洗浄後再懸濁し実験に用いた。

##### 3.1.1 光学顕微鏡観察

細菌懸濁液からプレパラートを作成し、対物レンズ 100 倍の

位相差顕微鏡を用いて細胞を観察し、画像を撮影した。各細菌株につき 20 枚撮影し解析に用いた。すべての薬剤耐性株と親株について、独立した 3 回の培養と撮影を行った。

##### 3.1.2 電子顕微鏡観察

濃い細菌懸濁液を用いて加圧急速凍結固定を行った。オスミウム-アセトン混合液で凍結置換後、樹脂包埋しサンプルを作成した。厚さ 80 nm の切片を切り出し、グリッドに回収後酢酸ウラン、鉛染色液にて切片を染色し、透過型電子顕微鏡 (TEM) で細胞の断面観察を行った。

##### 3.1.3 電子線トモグラフィー撮影

電子顕微鏡用サンプルから厚さ 200~300 nm の切片を切り出しグリッドに回収した。グリッドを染色した後、10 nm の金コロイドをグリッド両面に施し、グリッドを高傾斜ホルダに乗せ、加速電圧 200kV の TEM を用いて傾斜角 ± 60°、1° 刻みに試料を傾斜させ、120 枚の連続傾斜像を取得した。1ピクセルあたりの解像度を 1 nm または 0.5 nm で撮影した。各細菌株につきおよそ 20 セットの傾斜像を取得した。

### 3.2 画像解析

光学顕微鏡画像について、FIJI-ImageJ を用いて大津の 2 値化により細胞領域を抽出後、watershed 法を用いて分裂細胞や近接細胞を分割した。1細胞あたりの面積や長径、短径など 10 項目について計測し定量化した。

電子線トモグラフィー構築は IMOD ソフトウェア [d] を用いて行った。0.5 nm の解像度の画像セットについては構築前に 2D フィルタリング処理を施した。構築後のトモグラム解析の一部について Amira ソフトウェアを用い細胞内部構造の抽出を行った。

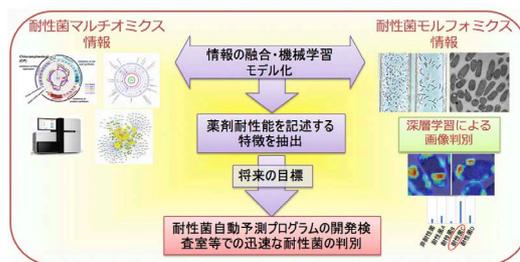


図 1: 研究の目的

表 1: 実験に用いられた薬剤耐性菌

抗菌薬名	略称	クラス	標的
Cefixime	CFIX	Cephalosporin, b-lactum	Cell Wall
Cefoperazone	CPZ	Cephalosporin, b-lactum	Cell Wall
Enoxacin	ENX	Quinolone	DNA gyrase
Ciprofloxacin	CPFX	Quinolone	DNA gyrase
Amikacin	AMK	Aminoglycoside	Protein synthesis, 30S
Neomycin	NM	Aminoglycoside	Protein synthesis, 30S
Chloramphenicol	CP		Protein synthesis, 50S
Doxycycline	DOXY	Tetracycline	Protein synthesis, 30S
Azithromycin	AZM	Axalide, macroride	Protein synthesis, 50S
Trimethoprim	TP		Folic acid synthesis

#### 4 研究成果

薬剤耐性菌が光学顕微鏡レベルで非耐性株と比較して有意に異なっていれば、将来的に迅速な画像判別につながる手法が構築できる可能性がある。我々は、果たして表 1 に示す様々な薬剤耐性株について形態変化を起こしているのかどうかについて疑問を持ち調べることにした。図 2 は中でも特に高い耐性能を獲得した異なる作用機序の薬剤耐性菌株の光学顕微鏡画像例を示した。観察の結果、ENX 耐性菌はやや円形に変化している傾向が認められた。一方で AMK 耐性菌は長軸がやや大きくなっており、CP 耐性菌は長軸が小さくなっているように見えた。各株数千個の細胞から計測データを取得し非耐性株と耐性株との違いについて検討した。アスペクト比を求めて親株と比較した結果、実際に ENX 耐性菌が最も顕著に小さくなっていた (図 2)。CP 耐性菌も小さくなっていたが、AMK は逆に大きくなっていることが分かった [e]。10 種類すべての薬剤耐性菌株について様々な指標について計測し、比較定量的解析を行った結果、主に円形度を示す項目で有意な差が認められた。続いて細菌の内部構造について TEM を用いて詳細に観察した。その結果、非耐性菌と比較して ENX 耐性菌および CP 耐性菌の膜領域において電子密度に違いがあることが示唆された (図 3)。電子線トモグラフィーを用いて細胞の 3 次元構築を行い、外膜、内膜上の粒子を抽出し比較した結果、いずれの薬剤耐性菌においても抽出された粒子のサイズ分布が親株と比較して増加または減少していることが分かった。

以上の結果、複数の異なる薬剤耐性菌は非耐性菌から概形、内部構造ともに変化していることが示唆された。今後は深層学習による画像判別に発展させていきたい。

#### 引用文献

- [a] Nishino, K., T. Latifi, and E.A. Groisman, Virulence and drug resistance roles of multidrug efflux systems of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Mol Microbiol*, 2006. 59(1): p. 126-41.
- [b] Nakashima, R., et al., Structures of the multidrug exporter AcrB reveal a proximal multisite drug-binding pocket. *Nature*, 2011. 480(7378): p. 565-9.

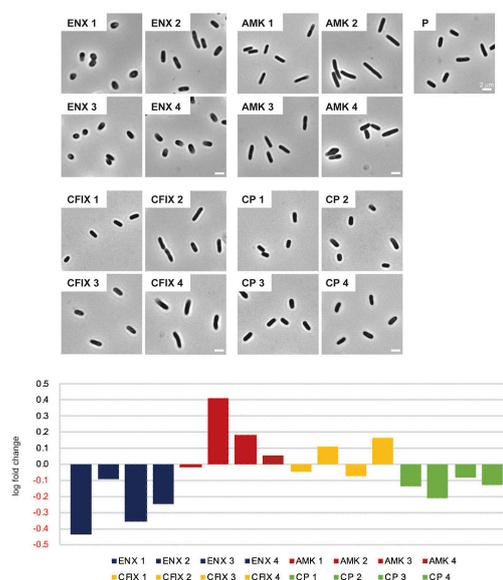


図 2: 薬剤耐性菌の概形変化

上段は位相差顕微鏡像、下段は非耐性株 (P) を基準に各薬剤耐性株のアスペクト比の変化を示す。

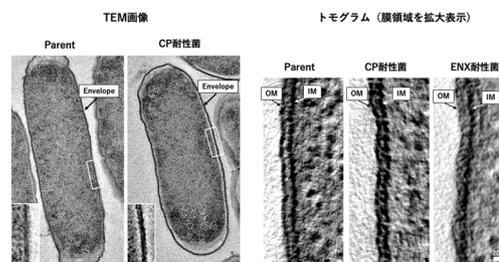


図 3: 薬剤耐性菌の内部構造

TEM および電子線トモグラフィー画像例。膜領域の電子密度が薬剤耐性菌と非耐性菌と比較して差異があることが認められる。IM, Inner Membrane; OM, Outer Membrane.

- [c] Suzuki, S., T. Horinouchi, and C. Furusawa, Prediction of antibiotic resistance by gene expression profiles. *Nat Commun*, 2014. 5: p. 5792.
- [d] Mastronarde, D.N. and S.R. Held, Automated tilt series alignment and tomographic reconstruction in IMOD. *J Struct Biol*, 2017. 197(2): p. 102-113.
- [e] Hayashi-Nishino, M., et al., Identification of Bacterial Drug-Resistant Cells by the Convolutional Neural Network in Transmission Electron Microscope Images. *Front Microbiol*, 2022. 13: p. 839718.

#### 発表論文等

##### (雑誌論文)

- [1] Yoneda, T., Sakata, H., Yamasaki, S., Hayashi-Nishino, M., and Nishino, K. (2022) Analysis of multidrug efflux transporters in resistance to fatty acid salts reveals a TolC-independent function of EmrAB in *Salmonella enterica*. *PLoS One*. Apr 14;17(4):e0266806.
- [2] Yamasaki, S., Yoneda, T., Ikawa, S., Hayashi-Nishino, M., and Nishino, K. (2023) Investigating multidrug efflux pumps associated with fatty acid salt resistance in *Escherichia coli*. *Front. Microbiol.* 14: 954304.
- [3] Satoh, A., Hayashi-Nishino, M., and Nishino, K. (2023) An Electron Tomographic Analysis of Giantin-Deficient Golgi Proposes a New Function of the Golgin Protein Family. *Methods Mol. Biol.* 2557:235-246.

##### (著書)

- [1] 西野一林 美都子, 青木 工太, 西野 邦彦 (2022) 深層学習によって薬剤耐性菌の形態特徴を可視化する. [目で見えるバイオ] バイオサイエンスとインダストリー (B&I) Vol. 80. NO. 5, 374-375
- [2] 西野一林 美都子, 青木 工太, 西野 邦彦 (2022) 深層学習を用いた画像解析による薬剤耐性菌の判別 [トピックス] バイオサイエンスとインダストリー (B&I) Vol. 80. NO. 5, 402-403

##### (外部資金)

- [1] 2021-2025 科学研究費助成金 基盤 B, 「AI による多剤耐性菌モルフォミクスとバイオインフォマティクスの融合研究」 21H03542 (代表) 西野美都子

## 生体イメージングと情報学的解析による動的細胞社会の統合的解明

石井 優 (生命機能研究科)

瀬尾 茂人 (情報科学研究科)

### 1 研究の背景

動物とはその名の通り「動く物」であり、動きの制御は動物の生命活動の本質である。生体内でも細胞が体内で動くことで、生命の統合性が維持されている。

研究代表者はこれまで、二光子励起顕微鏡を駆使して、動物個体を生かしたまま、生体内の様々な臓器における生きた細胞の挙動を可視化することに成功してきた。例えば、皮膚では、炎症時に多くのマクロファージが集積し動く様子が観察されたが、この炎症が細菌などの「感染」による場合と、蕁麻疹などの「アレルギー」が原因の場合では、全体としての動くパターンが異なることが分かった。しかしながら、この違いは個々の細胞の「速度」や「直進性」などの一般的なパラメータを比較しても、有意差は捉えられていない。

生体イメージングの画像データは、各カラーチャンネル数（通常は4色）で、xy平面が標準で1,024 × 1,024 ピクセル数であり、一般的にはz方向に10~20枚スキャンしたものを、経時的に100スライスほどのデータセットであるため、最大で4 × 1,024 × 1,024 × 20 × 100 ≃ 8.4 × 10<sup>10</sup>にもなるビッグデータである。しかしながら、これまでは実験者が注目した「速度」や「直進性」などの簡便な指標を定量するのみで、その他の多くのデータを活用できてこなかった。すなわち、動く細胞集団全体をシステムとして捉え、その視野全体から得られる全情報を網羅的に解析し、新たな特徴量を抽出する数理解析法を確立する必要がある。

### 2 研究の目的

本研究では、研究代表者が独自に確立してきた生体イメージング技術で得られる、生体内での細胞動態に関する膨大な時空間情報のビッグデータを、従来のような実験者のバイアスを通じた定量解析ではなく、網羅的情報をノンバイアスで情報学的に客観的解析を行うことで、「実験者が想像できないような」新たなパラメータを抽出し、動く細胞たちが織りなす複雑な社会活動の統合的理解を目指す。

### 3 研究成果

#### 3.1 人工知能による蛍光画像の定量的な解析手法の開発

ヒト生体組織を対象として、細胞が生きている未固定の新鮮な組織から、未染色のまま3次元的に腫瘍細胞を可視化できる生体イメージング観察系を構築した。具体的には、ヒト乳腺組織に対し励起光の波長を780 nmに設定して、自家蛍光のスペクトルを測定した結果、390 nm付近、480 nm付近、630 nm付近の3つの蛍光シグナルが得られることが分かった。それぞれの蛍光シグナルを青色、緑色、赤色の画像として描出し、3枚の画像を重ね合わせることで、正常乳腺組織やその周囲の脂肪組織、さらに非浸潤性乳管癌や浸潤癌といった乳がん病変を、二光子励起現象に基づく自家蛍光のみで可視化することに

成功した。

次に、上述で得られた蛍光画像を自動分類する深層学習のアルゴリズムを構築した。総計約150,000枚を含む独立したテストデータを用いた解析では、1辺が64 μm単位の観察単位で、イメージング画像内の乳がん細胞の有無を高確率で検出できた。さらにAUC = 0.989という非常に良好な分類成績で、イメージング画像におけるがん細胞の有無を高精度に分類することに成功した。

本観察系により、ヒト生体組織のリアルタイム観察によって得られる腫瘍細胞の動きの観点から、がんの悪性化メカニズムを理解し、腫瘍の進行を早期に検出して、根治の鍵となり得るがん進展の責任因子を抽出することが可能となった（発表論文[1]）。

#### 3.2 空間トランスクリプトーム解析における細胞種の存在比率の推定手法

近年注目されている遺伝子発現の解析技術に空間トランスクリプトーム解析がある。空間トランスクリプトーム解析は、それぞれの細胞の位置や隣接関係といった空間情報を保持しつつ、遺伝子発現情報を取得する技術である。これによって組織学的特徴と細胞機能の関連や、細胞間コミュニケーションなど、より詳細な解析を行うことが可能となった。空間トランスクリプトーム解析技術の1つで近年注目されているものがVisium法である。Visium法では組織をスポットと呼ばれる複数の細胞集団が含まれるような領域ごとに分割して遺伝子発現量を測定するという技術である。組織を染色し、染色画像と各スポットの遺伝子発現情報を重ね合わせることで、組織の外観的な特徴と実際の遺伝子発現を比較解析することができる。

現在のVisium法の技術的課題の1つはその空間解像度である。Visium法では約50 μmのスポット内の細胞集団の遺伝子発現量をまとめて測定するため、複数種類・複数個の細胞が存在している場合には、得られる観測データはそれらの細胞集団の平均的な値となってしまう。より詳細な解析を行うためには、各スポットにおける細胞種の存在比率を知る必要がある。このようないくつかの種類の細胞の遺伝子発現量の合算または平均化された情報から、そこに含まれる細胞の種類と存在比率

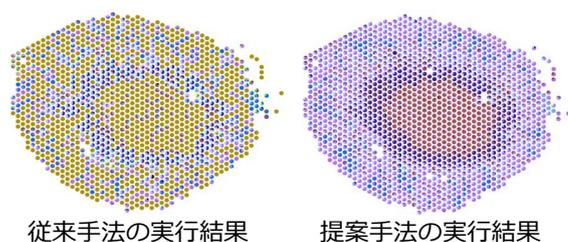


図1: マウスの腎臓のデータに対する deconvolution の結果

を推定する問題は“cell type deconvolution”と呼ばれる問題設定・解析手法である。

本研究では、空間トランスクリプトーム解析において、画像特徴量と数理最適化を用いてスポット内に存在する複数の細胞の細胞種の存在比率を推定する手法を開発した。空間トランスクリプトームでは、画像情報と発現量はペアで測定される情報であり、各スポットの位置に該当する部分の画像の特徴量を利用することで、推定精度を向上させることができた（学会発表 [13]）。図 1 はマウスの腎臓の Visium データ (<https://www.10xgenomics.com>) であり、従来手法 [a] よりも正確に組織の構造を反映した細胞種の比率を推定できている。

#### 4 今後の課題

本研究では、深層学習などのデータサイエンス的技法を用いて新たな生物学的特徴量を抽出し、データの統計解析の側面から、時系列・連続変化解析に確率微分・非線形・多体問題・情報圧縮と言った複雑な要素を盛り込んだ解析を行った。今後、細胞動態の個体・臓器・組織・細胞の種類、疾患や環境の変化によって共通もしくは異なる、“もつれ”を解いた独立な特徴を獲得することを目指す。こういったデータサイエンス的解析による動的細胞社会を記述する新たな動的パラメータの抽出により、個々の細胞を動かす原動力、いわば動く細胞の「意思」を理解するだけでなく、個別の細胞の動く場を統合的に指揮・制御する「創造主の操り糸」を解き明かす。

#### 引用文献

[a] Elosua-Bayes, Marc, et al. "SPOTlight: seeded NMF regression to deconvolute spatial transcriptomics spots with single-cell transcriptomes", *Nucleic Acids Research*, 2021.

#### 発表論文等

##### 〔雑誌論文〕

- [1] Matsui T, Iwasa A, Mimura M, Taniguchi S, Sudo T, Uchida Y, Kikuta J, Morizono H, Horii R, Motoyama Y, Morii E, Ohno S, Kiyota Y, Ishii M. "Label-free multiphoton excitation imaging as a promising diagnostic tool for breast cancer", *Cancer Sci*, 2022.
- [2] Koike T, Fujii K, Kometani K, Butler NS, Funakoshi K, Yari S, Kikuta J, Ishii M, Kurosaki T, Ise W. "Progressive differentiation toward the long-lived plasma cell compartment in the bone marrow", *J Exp Med*, 2023.
- [3] Taniguchi S, Matsui T, Kimura K, Funaki S, Miyamoto Y, Uchida Y, Sudo T, Kikuta J, Hara T, Motoooka D, Liu C, Okuzaki D, Morii E, Emoto N, Shintani Y, Ishii M. "In vivo induction of activin A-producing alveolar macrophages supports the progression of lung cell carcinoma", *Nat Commun*, 2023.
- [4] Yari S, Kikuta J, Shigyo H, Miyamoto Y, Okuzaki D, Furusawa Y, Minoshima M, Kikuchi K, Ishii M. "JAK inhibition ameliorates bone destruction by simultaneously targeting mature osteoclasts and their precursors", *Inflamm Regen*, 2023.

- [5] Agemura T, Hasegawa T, Yari S, Kikuta J, Ishii M. "Arthritis-associated osteoclastogenic macrophage, AtoM, as a key player in pathological bone erosion", *Inflamm Regen*, 2022.
- [6] Scheele C.L.G.J., Herrmann D., Yamashita E., Lo Celso C., Jenne C.N., Oktay M.H., Entenberg D., Friedl P., Weigert R., Meijboom F.L.B., Ishii M., Timpson P., van Rhee J. "Multiphoton intravital microscopy of rodents", *Nat Rev Methods Primers*, 2022.

#### 〔学会発表〕

- [1] Masaru Ishii, "Intravital Imaging of live bone cells in vivo", The 49th International Musculoskeletal Biology Workshop, 2022.
- [2] Masaru Ishii, "Arthritic osteoclastogenic macrophages", Annual Meeting of the American College of Rheumatology 2022, 2022.
- [3] Masaru Ishii, "Function of ILC2 in bone marrow, VIB-conference on Type 2 Immunity in Homeostasis and Disease (2nd edition)", 2022.
- [4] Masaru Ishii, "Intravital imaging dissecting pathogenic macrophages in vivo", Cambridge Immunology Seminar, 2022.
- [5] Masaru Ishii, "Pathogenic macrophages in lung and liver", Bonn ImmunoSensation symposium, 2023.
- [6] 石井 優, "生体骨イメージングによる骨破壊の実体解明—基礎リウマチ学の新展開", 第 66 回日本リウマチ学会総会・学術集会, 2022.
- [7] 石井 優, "SLPI: PTH 誘導性骨形成における新規メディエーターの発見", 第 65 回日本腎臓学会学術総会, 2022.
- [8] 石井 優, "生体イメージングによる免疫炎症動態の解明—新たな病原性細胞の発見", 第 7 回日本骨免疫学会, 2022.
- [9] 石井 優, "生体イメージングによる免疫炎症動態の解明と新たな病的細胞の発見", 第 59 回日本消化器免疫学会総会, 2022.
- [10] 石井 優, "臨床免疫領域における画像化・組織診断技術—オーバービュー", 第 50 回日本臨床免疫学会総会, 2022.
- [11] 石井 優, "生きた骨の内部を見て理解する「動的骨代謝」研究", 第 37 回日本整形外科学会基礎学術集会, 2022.
- [12] 石井 優, "免疫炎症・骨破壊の動態解明", 第 51 回日本免疫学会学術集会, 2022.
- [13] 石井武, 瀬尾茂人, 梅谷俊治, 松田秀雄, "空間トランスクリプトーム解析のための数理最適化を用いた細胞比率の推定手法", 第 11 回生命医薬情報学連合大会, 2022.

# データ駆動型有機合成反応開発：最少学習データによる最適溶媒選択と反応機構解析による理解

鹿又 喬平 (薬学研究科)

佐古 真 (薬学研究科)

鷲尾 隆 (産研)

滝澤 忍 (産研)

## 1 研究の背景

有機合成化学分野において、新規反応の開発や機能性物質の創製には、高度な専門知識や技術だけでなく、物的・人的資源が不可欠である。特に先端研究においては、分子設計・合成が高度化・複雑化し、従来の化学者の試行錯誤による研究開発では、膨大な時間やコストを要する。さらに SDGs (持続可能な開発目標) が重要視され、省人化・省エネ化・時短を実現する次世代型プロセスの確立が早急に求められている。このような背景下、「情報科学を活用した有機合成化学」の発展が期待されており、反応条件の最適化や分子設計への利用が報告されている [a,b]。生成物の収率や選択性を左右する重要な因子である「溶媒」の検討についても、各種溶媒パラメータを用いて結果を回帰分析する試みがいくつか報告されているものの、反応への直接的影響が不明な説明変数も多く、実施例も限られている [c,d]。

## 2 研究の目的

以上のような背景のもと、我々は、機械学習を活用する実験データの回帰分析やデータ予測に基づき、溶媒効果を定量的に説明できれば、反応条件の最適化を迅速に行えるだけでなく、化学反応の本質を理解する学理の深化にも繋がると考えた。本研究では、我々が独自に見出した、有機分子触媒を用いるプロピオール酸エステルへの  $\beta$ -ケトエステルの付加反応について、溶媒が反応の選択性に及ぼす影響を機会学習によって検証した。

## 3 研究の方法および結果と考察

### 3.1 学習データの収集と記述子の選定

Lewis 塩基触媒であるトリフェニルホスフィン (PPh<sub>3</sub>) を用いる、プロピオール酸エステル **1a** と  $\beta$ -ケトエステル **2a** との付加反応において、極性転換型の  $\alpha$ -付加体 **3aa** 及び、 $\beta$ -付加体 **4aa** の混合物を得た (式 1)。次に、溶媒が本反応の選択性に及ぼす影響を調査するため、汎用溶媒 24 種類の中から 8 つを選び実験を行った (図 1)。溶媒は、24 種類を Ward 法によりクラスタリングした後、各クラスタから 1 種類ずつを選定した。その際の溶媒に対する説明変数は、Web で公開されているデータベース [e] から取得可能な次の 7 種類の実測物性値を用いた：誘電率、E<sub>T</sub> 値、Lewis 酸性 (AN)、Lewis 塩基性 (DN)、ハンセン溶解度パラメータ (分散力、分極、水素結合能)。なお欠損値は  $k$ -最近傍法 ( $k = 1$ ) により推定した。

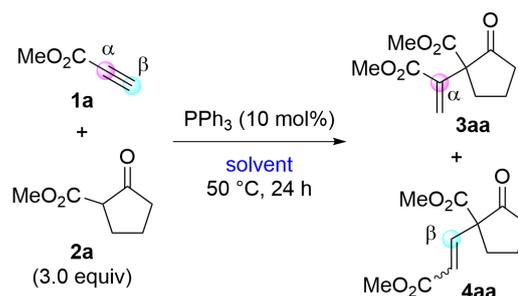
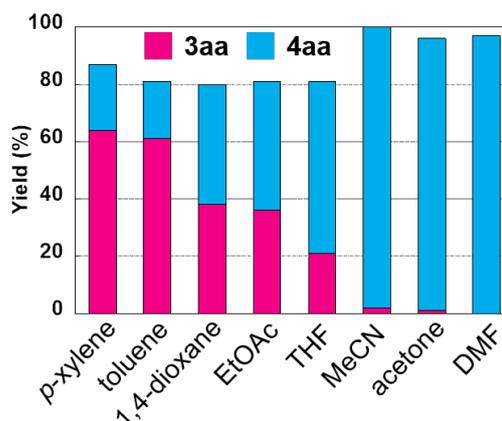
式 1  $\beta$ -ケトエステルの付加反応

図 1 学習データ (反応収率)

### 3.2 収率の回帰モデルの構築

各種回帰手法を用いて  $\alpha$ -付加体 **3aa** と  $\beta$ -付加体 **4aa** それぞれの収率予測モデルを構築した。説明変数は 3.1 項の Ward 法と同じものを用いた。Leave-one-out 交差検定 (LOOCV) により算出した  $r^2$  値はいずれの手法でも 0.8~0.9 程度の比較的高い値を示し、特に部分的最小二乗 (PLS) 回帰 (成分数 1) の場合に良好な結果が得られた (図 2)。

### 3.3 未実施溶媒の収率予測

本反応は、トルエンと  $p$ -キシレンを用いると収率良く **3aa** が得られる (それぞれ 61% と 64%)。この 2 つの結果をテストデータとし、残り 5 種類の溶媒を学習データとして構築した回帰モデルから収率を予測したところ、PLS 回帰 (成分数 2) が

比較的良好な予測精度を示した。機械学習を適用することで、低収率（20～40%）の学習データから、高い収率（> 40%）を与える溶媒を予想できる結果となった。

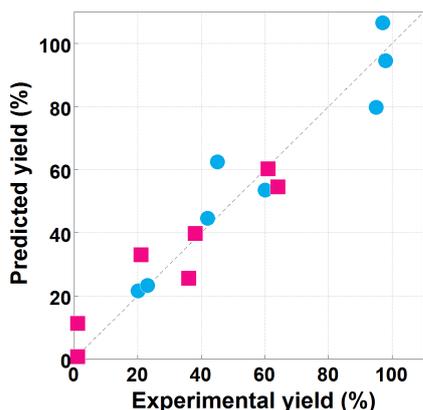


図2  $\alpha$ -付加体（■）と $\beta$ -付加体（●）のPLS回帰分析（ $n = 1$ ）

### 3.4 混合溶媒系の提案

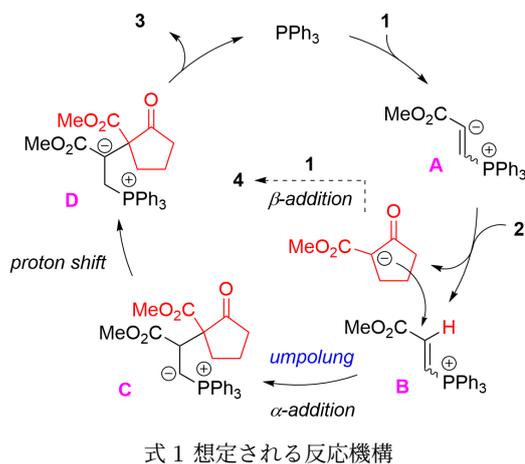
この時点での未実施溶媒のうち、シクロヘキサン（予測値：72%）と四塩化炭素（予測値：68%）が**3aa**に対して高い予測収率を示したものの、実際に実験を行ったところ、いずれも低収率となった。これは、シクロヘキサン中（実験値：12%）では試薬が溶解せず、四塩化炭素中（実験値：2%）では触媒が溶媒と反応する別のプロセスが進行したためと考えられる。

そこで、予測収率の高いシクロヘキサンと実測収率の良かったp-キシレンの混合溶媒（1:1）を検討したところ、目的化合物**3aa**の収率が向上し（69%）、最も良い結果が得られた。適切なモデル構築ができれば、従来の実験からは予測困難な混合溶媒系での収率予測も可能であることが示唆された。

### 3.5 反応機構と酸の添加効果

本反応で**3aa**が生成する際の推定反応機構を式2に示す。まず、Lewis塩基触媒 $\text{PPh}_3$ がプロピオール酸エステル**1a**の $\beta$ 位に付加することで、ベタイン型中間体**A**が生成する。続いて、**A**が $\beta$ -ケトエステル**2a**の活性プロトンを引き抜き、中間体**B**への求核剤となるカルボアニオンが生成する。次にホスホニウム部位の求電子性により活性化された中間体**B**の $\alpha$ 位でカルボアニオンが反応し、中間体**C**が生成する。続くプロトン移動により中間体**D**を経由し、最後に $\text{PPh}_3$ が脱離すると同時に生成物**3aa**が得られる。DFT計算による反応機構考察の結果、本触媒サイクルの律速段階は、分子内あるいは分子間での段階的なプロトン移動であると示唆された。そこでプロトン移動を促進する目的で添加剤の検討を行った結果、酢酸を用いた場合に生成物**3aa**のみが定量的に得られることを見出した。最終的

には、10 mol%の酢酸を添加し、 $\beta$ -ケトエステルの当量数を1.2当量に減じても、目的付加体**3aa**が収率94%にて得られることを見出した。現在、酸添加剤の学習データも収集し、機械学習を用いた添加剤効果に関する収率予測も検証している。



式1 想定される反応機構

### 引用文献

- [a] F. Strieth-Kalthoff, M. H. S. Segler, F. Glorius et al., Chem. Soc. Rev. 2020, 49, 6154.
- [b] M. Kondo, T. Washio, H. Sasai, S. Takizawa et al., Commun. Chem. 2022, 5, 148.
- [c] Y. Amar, A. Lapkin et al., Chem. Sci. 2019, 10, 6697.
- [d] M. Fujinami, J. Yamaguchi, H. Nakai et al., Bull. Chem. Soc. Jpn. 2020, 93, 841.
- [e] <https://www.stenutz.eu/chem/>

### 発表論文等

#### 〔学会発表〕

- [1] 佐古 真, 赤澤龍之介, 鹿又喬平, 赤井周司, 有澤光弘, 滝澤忍「機械学習を活用する溶媒効果の定量的説明：極性転換型有機分子触媒反応における検証」第21回次世代を担う有機化学シンポジウム2023年5月（発表予定）、名古屋

#### 〔外部資金〕

- [1] 2022-2023年度、科学研究費助成金 学術変革領域研究(A) 公募「溶媒効果の定量的説明および予測プログラムの開発」（代表）佐古 真
- [2] 2022年度、有機合成化学協会 三菱ガス化学 研究企画賞 「機械学習を活用する有機反応開発の加速化：溶媒効果の定量的説明、条件最適化および反応機構解析への応用」（代表）佐古 真

## 機械学習と数理モデルによる細胞動態の解析手法の開発

小蔵 正輝 (情報科学研究科)

瀬尾 茂人 (情報科学研究科)

菊田 順一 (医学系研究科)

内田 穰 (医学系研究科)

### 1 研究の背景

生体内では多種多様な細胞が動き回り、それぞれが適切な場所と時間において生体にとって必要な役割を果たしている。例えばリンパ球やマクロファージは体内をくまなく動き、特定の環境における会合と情報交換を通じて免疫応答の維持に寄与している。このような細胞の動態を観察し解析することが、生体イメージング技術の発展により現実的となりつつある。しかしながら従来の動態解析では、移動の速度や方向のような個々の細胞に係る指標が主に用いられており、これは細胞動態の説明には必ずしも十分ではなかった。

従来の細胞動態解析における前提として、個々の細胞の動きの同一性と独立性がある。つまり個々の細胞の運動は同一のモデルで記述され、そのパラメータの範囲内で独立に運動するという仮定である。しかしながら、この仮定の下で行われる個々の細胞の移動速度や方向の定量は動態説明にとって不十分であるのが現状である。

上述の議論より、複数の細胞が互いの相互作用を通じて群れをなしているとの仮説が浮かび上がる。この仮説に下で、細胞群の動きを説明可能な数理モデルを構築できることができれば、そのモデルのパラメータを通じて細胞群の性質を説明できると期待される。例えば群れの科学において代表的な群れ数理モデルである Boid モデルにおいて、各個体は 1. 周囲の個体に近づく (凝集), 2. 衝突を避ける (反発), 3. 周囲の個体と向きをそろえる (整列) の 3 つの原則に従いながら運動する。したがって、凝集, 反発, 整列の程度を表すパラメータを細胞群の移動時系列データに対してフィッティングさせることで、時系列データを説明する Boid モデルが得られると考えられる。しかしながら群れ科学において Boid モデルのフィッティング手法は確立されていない。

### 2 研究の目的

細胞動態を数理モデルのパラメータとして記述して分類・理解する方法論の開発と評価を見据え、細胞群の位置時系列データの抽出手法の開発と、時系列データを説明する数理モデルの獲得手法の文献調査を行う。

### 3 研究成果

#### 3.1 細胞群の位置時系列データの抽出

瀬尾が有する細胞認識・追跡の技術を、菊田・内田が有する細胞動態の観察データに対して適用することで、細胞の位置情報に関する時系列データを得た。これは畳み込みニューラルネットワークに基づく方法であり、細胞追跡における学習データの

不足を補うためのデータ拡張などの工夫を加えたものである。本手法を、好中球が皮膚や培地上で遊走する様子を観察した動画像に適用し、様々な刺激下 (急性炎症やアレルギーを模した状態) での細胞の移動軌跡を抽出した (論文 [1])。また、深層強化学習を用いた細胞追跡アルゴリズムを開発した (学会発表 [1])。細胞動画像を模したシミュレータを強化学習における環境として利用することで、細胞追跡タスクを実現するエージェントの訓練を行うものである。シミュレータは細胞の特徴と細胞追跡の正解を含む動画像を無数に生成できるため、本手法は様々な種類の細胞動画像に対して適用可能である。

#### 3.2 時系列データを説明する数理モデルの獲得手法

代表的なランダムウォークの一つであるレヴィウォーク [a] を用いた細胞動態モデルの文献調査を行った。Tabei ら [b] は MIN6 細胞で蛍光融合タンパク質を発現するインスリン顆粒の粒子追跡データを定量的に解析し、細胞内輸送に寄与する運動の特性をモデル化するための手法を提案している。Wu ら [c] は異方性を有する持続ランダムウォークを用いた 3 次元細胞運動解析のためのプロトコルを提案している。Jones ら [d] は、ランダムウォークモデルのパラメータを実験データから推定するために、パラメトリックな粒子配置メカニズムとベイズ推定を組み合わせた手法を提案している。Harris ら [e] は T 細胞の移動パターンが一般化されたレヴィウォークにより良く説明されることを見出し、その Brown 運動に対する生物学的な優位性を確認している。Ariel ら [f] は集団として移動する細菌の動きがレヴィウォークにより良く説明されることを示し、その生存戦略を進化の観点から説明している。

次にエージェントベースのモデリング手法に関する文献調査を行った。Van Liedekerke ら [g] は細胞や組織の力学や生理現象をシミュレートするエージェントベースモデルについて、格子モデル [h], 非格子モデル [i, j], 混合モデルなど様々なモデルの特性と限界を概説している。Wang ら [k] は、癌の成長の理解へ向けたのエージェントベースモデル研究の動向を紹介している。Glen ら [l] は、生物構造の形成という文脈におけるエージェントベースモデリングの利点と課題を紹介している。Bayani ら [m] は免疫細胞と炎症性物質の相互作用を表現する数理モデルの構築を通じて炎症が慢性化する仕組みを説明している。

これらの文献調査により、生物学分野においても独立性仮説が主流であり、したがって細胞の集合に対する相互作用性を前提としたモデリング手法は確立されていないことが確認された。

#### 4 今後の課題

本課題の後半で行った文献調査をもとに Boid モデルによる細胞動態のモデル化を推し進める予定である。この数理モデル化を通じて、それぞれの時系列データは凝集、反発、整列の3つのパラメータからなるベクトルに縮約され、クラスタリング等のデータ処理技術を用いた時系列データの分類が可能となることが想定される。この分類の有効性・妥当性の検証も重要な課題である。

#### 引用文献

- [a] Zaburdaev, V., Denisov, S., and Klafter, J., "Lévy walks", *Reviews of Modern Physics*, 87(2):483, 2015.
- [b] Tabei, S. A., Burov, S., Kim, H. Y., Kuznetsov, A., Huynh, T., Jureller, J., Philipson, L. H., Dinner, A. R., and Scherer, N. F., "Intracellular transport of insulin granules is a subordinated random walk", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(13):4911 – 4916, 2013.
- [c] Wu, P.-H., Giri, A., and Wirtz, D., "Statistical analysis of cell migration in 3d using the anisotropic persistent random walk model", *Nature Protocols*, 10(3):517 – 527, 2015.
- [d] Jones, P. J., Sim, A., Taylor, H. B., Bugeon, L., Dallman, M. J., Pereira, B., Stumpf, M. P., and Liepe, J., "Inference of random walk models to describe leukocyte migration", *Physical Biology*, 12(6):066001, 2015.
- [e] Harris, T. H., Banigan, E. J., Christian, D. A., Konradt, C., Tait Wojno, E. D., Norose, K., Wilson, E. H., John, B., Weninger, W., Luster, A. D., et al., "Generalized Lévy walks and the role of chemokines in migration of effector CD8+ T cells", *Nature*, 486(7404):545 – 548, 2012.
- [f] Ariel, G., Rabani, A., Benisty, S., Partridge, J. D., Harshey, R. M., and Be'er, A., "Swarming bacteria migrate by Lévy walk", *Nature Communications*, 6(1):1 – 6, 2015.
- [g] Van Liedekerke, P., Palm, M., Jagiella, N., and Drasdo, D., "Simulating tissue mechanics with agent-based models: concepts, perspectives and some novel results", *Computational Particle Mechanics*, 2(4):401 – 444, 2015.
- [h] Guisoni, N., Mazzitello, K. I., and Diambra, L., "Modeling active cell movement with the potts model", *Frontiers in Physics*, 6:61, 2018.
- [i] Milde, F., Tauriello, G., Haberkern, H., and Koumoutsakos, P., "Sem++: A particle model of cellular growth, signaling and migration", *Computational Particle Mechanics*, 1(2):211 – 227, 2014.
- [j] Alt, S., Ganguly, P., and Salbreux, G., "Vertex models: from cell mechanics to tissue morphogenesis", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1720):20150520, 2017.
- [k] Wang, Z., Butner, J. D., Kerketta, R., Cristini, V., and Deisboeck, T. S., "Simulating cancer growth with multiscale agent-based modeling", *In Seminars in Cancer Biology*, 30:70 – 78, 2015.
- [l] Glen, C. M., Kemp, M. L., and Voit, E. O., "Agent-based modeling of morphogenetic systems: Advantages and challenges", *PLoS Computational Biology*, 15(3):e1006577, 2019.
- [m] Bayani, A., Dunster, J. L., Crofts, J. J., and Nelson, M. R., "Spatial considerations in the resolution of inflammation: Elucidating leukocyte interactions via an experimentally-calibrated agent-based model", *PLoS Computational Biology*, 16(11):e1008413, 2020.

#### 発表論文等

##### 〔雑誌論文〕

- [1] Watanabe, A., Fujimoto, K., Shigeta, H., Seno, S., Uchida, Y., Ishii, M., Matsuda, H., "A cell tracking method for dynamic analysis of immune cells based on deep learning", *International Journal of Machine Learning*, 2023.

##### 〔学会発表〕

- [1] 長村徹, 瀬尾茂人, 藤本健二, 繁田浩功, 松田秀雄, "動画像シミュレータを介した強化学習による細胞追跡手法", 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会 (MPS), 2022.

## AI を用いたタンパク質間相互作用の迅速スクリーニング

甲斐 歳恵 (生命機能研究科)

河口 真一 (生命機能研究科)

伊達 進 (サイバーメディアセンター)

### 1 研究の背景

タンパク質は、それを構成するアミノ酸配列によって、特定の立体構造を形成している。その働きは、多くの場合、相互作用を通じて発揮され、生命現象の根幹となる化学反応を担っている。近年のタンパク質解析・検出技術の向上に伴い、タンパク質間の相互作用が大規模に解析され、結合候補が多く報告されている。しかし、相互作用の実験的検証には大変な労力が必要であり、研究を進める上でのボトルネックとなっている。一方で、最近の AI を用いたタンパク質の立体構造予測、及び複合体予測の精度が向上し、実験科学者も、その予想結果を用いようとする気運が高まっている。

### 2 研究の目的

動物の生殖細胞において、ヌアージュというタンパク質集積体が存在し、長い前駆体 RNA から piRNA という短い RNA が産生されている。piRNA は、有害なトランスポソンの発現を抑えることによって、ゲノムの安定性に寄与している。これまでに知られているヌアージュ構成タンパク質のうち、幾つかについては、詳細な解析が行われ、分子機能も提唱されている。しかし、それらがどのように組織化されて、機能を発揮しているのか、不明な点も多い。免疫沈降法などを用いて、既知のヌアージュタンパク質と相互作用するタンパク質が報告されているが、生化学的検証がボトルネックになっている。本研究では、AI プログラムを用いて結合予測スクリーニングを行い、ボトルネックを解消するアプローチを確立する。新たに見出された相互作用タンパク質を細胞内、生体組織内で解析し、piRNA 産生における分子機能を明らかにする。

### 3 研究の方法

#### 3.1 ターゲットリスト

ヌアージュ構造体に局在することが知られている 20 種類のタンパク質を選定した。RNA のスプライシングによって異なるアイソフォームがある場合には、一番長いペプチド鎖を選択した。

#### 3.2 計算手法

DeepMind 社が開発した AlphaFold2[a] は、タンパク質単体の立体構造予測を行う目的で作成されたが、複数のタンパク質を同時に構造予測することによって、複合体構造の予測にも用いられている [b]。

AlphaFold2 によるタンパク質複合体の立体構造予測は、2 段階に分離される。ステップ1では、タンパク質のデータベースから、類似性のあるアミノ酸配列を抽出し、多重アライメントを作成することによって、構造形成に関わる部分を推察する。

次に、ステップ2では、事前学習済みの立体構造形成パターンと多重アライメントの結果に基づいて、立体構造を予測する。ステップ1では CPU が用いられるが、ステップ2では GPU が使われる。

#### 3.3 計算の効率化

計算は、名古屋大学のスパコン (不老) とサイバーメディアセンターの SQUID を用いて行った。SQUID では、CPU と GPU の運用に分けられており、GPU の方で計算コストが高い。そのため、ステップ1の計算を CPU ノードで行い、ステップ2では、GPU ノードを使うように、AlphaFold2 のプログラムを分離して運用した。また、多重アライメント形成のデータとして用いられるタンパク質のアミノ酸配列データは膨大であり、読み込みに時間がかかることから、データベースを SSD に入れることによって高速化した。さらに、同じタンパク質の構造計算を、複合体ペアの相手を変えて、何度も計算できるように、多重アライメント情報を保存して再利用した。

### 4 研究成果

#### 4.1 予測時間と効率

20 種類のタンパク質について、総当たりで 400 通りの 2 量体の構造予測を行った (図1)。ステップ1のアライメント作成は、タンパク質1つあたり、2~5時間であった。アミノ酸配列の長さ、類似配列が多くなると計算時間が長くなっていった。アライメント情報を再利用することによって、予測効率を上げることができている。また、タンパク質ペアの構造予測にかかる時間は1ペアあたり、1~10時間、平均で3時間程度であった。予測された立体構造から、エネルギー最小化計算が行われるが、最初の構造に不適格な部分があると、構造最適化がうまくいかず、途中でプログラムが止まる場合もあった。タンパク質1ペアに対して、初期パラメータが異なる5つの構造が予測されるが、最も信頼性スコアが高いものを、予測結果として採用した。

#### 4.2 予測構造の再現性

同じタンパク質ペアの複合体予測を2回行った。AlphaFold2 では、予測構造に対する信頼性スコアを0~1で算出している。複合体予測が正しければ、特定のタンパク質構造に決まることになるため、2回の計算はほぼ同じ値になることが期待される。しかし、信頼性スコアが0.5以下の場合、2回の計算で大きく異なる値を示す場合も見られた (図2)。スコアが0.6以上であれば、2回の計算はほぼ一致しており、再現性が良いことが示された。

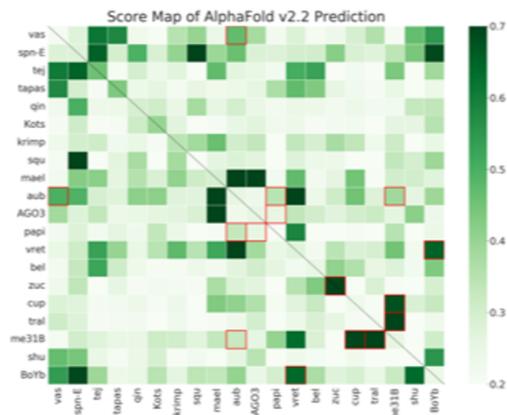


図1: 20種類のタンパク質について、総当たりで2量体の構造予測を行い、信頼性スコアをヒートマップで示した。

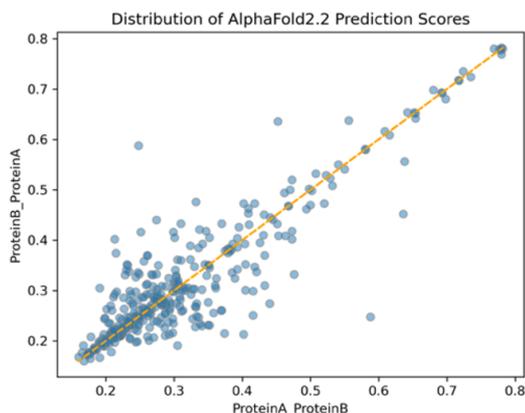


図2: 信頼性スコアの再現性

#### 4.3 予測構造の検証

予測された立体構造を表示させ、実際にタンパク質間の結合が妥当かどうか、検証した(図3)。spnEとtejタンパク質ペアについて、初期パラメータが異なる5つの予測構造を重ね合わせて表示させた場合、spnE部分は全体によく重なっているのに対して、tejのN末ドメインは、異なる場所に予測されており、複合体形成には関与していないと考えられた。また、tejポリペプチドの中央部分にあるヘリックス構造がspnEタンパク質との結合に重要であることが示唆された。その他、スコアが0.6以上のペアについて検証した結果、タンパク質間の接触部分が多いなど、確からしい構造であった。

#### 4.4 複合体形成の実験的検証

複合体を形成すると予測されたタンパク質ペアについて、それぞれのタンパク質を培養細胞で発現させた。タンパク質の目印として、片方にはMycタグ、他方にはFLAGタグを付けた。FLAGタグを認識する抗体を用いて、免疫沈降し、ウェスタンブロッティング法により、Mycタグ付きタンパク質が結合しているかどうかを検証した(図4)。

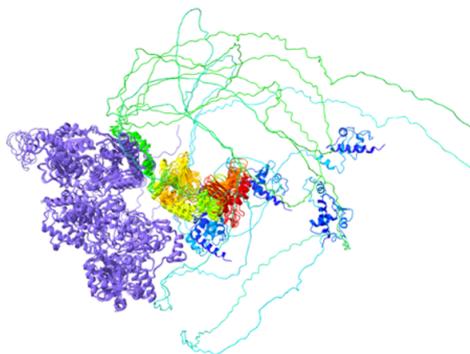


図3: 予測されたspnE-tejペアの構造

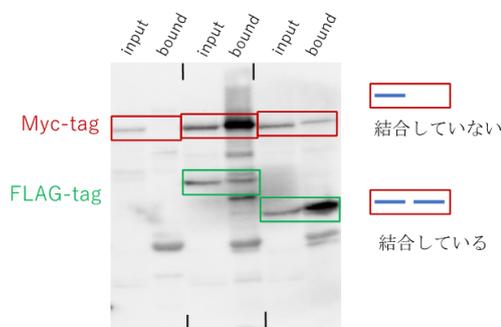


図4: 複合体形成の実験的検証

信頼性スコアが0.6以上のペアに対して、実験的検証を行った結果、これまでに幾つかの新たな結合ペアも得られている。しかし、スコアが高いペアであっても、結合が見えない場合もあった。予測複合体が間違っていたか、あるいは、物理的に正しい構造であっても、細胞内では結合が弱く、不安定な場合もあると考えられた。本結果から、正答率に問題があるものの、AlphaFold2を用いて、タンパク質の結合ペアを探索するスクリーニング手法が有効であることが示された。

## 5 社会貢献

AlphaFold2プログラムは、無料のWebサービスも公開されているが、小さいタンパク質しか実行できないなどの制約がある。本プロジェクトでは、大きな複合体も扱えることから、スパコンを利用した構造計算のリクエストを受け付けた。半年の期間中に、約40件、100ペアの複合体予測を行い、結果を提供することができた。このような活動を通じて、計算機科学と実験科学とが密接に連携し、生命現象の理解が進むと期待する。

### 引用文献

- [a] Senior AW, Evans R, Jumper J, Kirkpatrick J, Sifre L, Green T, Qin C, Žídek A, Nelson AWR, Bridgland A, Penedones H, Petersen S, Simonyan K, Crossan S, Kohli

---

P, Jones DT, Silver D, Kavukcuoglu K & Hassabis D  
"Improved protein structure prediction using potentials  
from deep learning" Nature 577:706-710, 2020

- [b] Evans R, O'Neill M, Pritzel A, Antropova N, Senior  
A, Green T, Žídek A, Bates R, Blackwell S, Yim J,  
Ronneberger O, Bodenstein S, Zielinski M, Bridgland  
A, Potapenko A, Cowie A, Tunyasuvunakool K, Jain  
R, Clancy E, Kohli P, Jumper J, Hassabis D "Protein  
complex prediction with AlphaFold-Multimer" bioRxiv,  
DOI: 10.1101/2021.10.04.463034

#### 発表論文等

##### 〔学会発表〕

- [1] 河口真一, "AlphaFold2 プログラムを用いて, 生殖細胞特  
異的なヌアージュ構造体のタンパク質間相互 作用を予測す  
る", 第3回有性生殖研究会 (神戸), 2023年3月10日.

人間総合デザイン部門

## スマートシティプロジェクト

八木 康史, 榎原 靖, 丹羽 真隆 (産研), 長原 一, 春本 要, 岸本 充生, 中島 悠太,  
武村 紀子 (IDS), 馬場口 登 (工学研究科), 平川 秀幸, 八木 絵香 (CO デザインセンター),  
下條 真司, 廣森 聡仁 (CMC), 東野 輝夫, 義久 智樹 (情報科学研究科)

### 1 研究の背景

超スマート社会が到来する中, IoT やビッグデータ等の活用により, 人々が健康で豊かに生きるための様々な分野の新しい製品・サービスを創出が求められている。

### 2 研究の目的

大阪大学構内での実証実験を通じて, 屋内外における人物行動解析のためのデータ, ならびに防犯カメラ等の IoT 技術を社会実装する際の社会同意プロセスに関する以下のデータを収集する。

1. エキストラ対象データベース:  
実験用カメラデータ・各種センサーデータ, 各被験者の識別用 ID (匿名化 (氏名, 住所等)), 人物属性情報 (国籍, 性別, 年齢, 身体測定データ, 基本映像データ (顔, 全身, 基本動作 (直線歩行等)), バイオメトリクスデータ (掌静脈, 虹彩, 音声) 等
2. 一般対象 (エキストラを含むケースも有り) データ:  
実験用カメラデータ, エキストラ被験者を含む場合は, エキストラ被験者の位置・加速度情報も提供 (タイムスタンプによる同期)
3. 社会実装のためのデータ:  
実験用カメラ導入のための説明プロセス, 説明プロセスを通じた実験用カメラ利活用における障害要因と容認レベルの分析結果

### 3 研究の方法

Smart city project では, 国立大学法人大阪大学吹田キャンパス内 (図 1) で本実験を実施する。

2017 年より, 吹田キャンパスの北側に位置する産業科学研究所 (図 1) に実験用カメラを設置し, 実験を実施してきたが, 2018 年は, 実験実施場所を拡張すべく, 産業科学研究所に加え, 生命科学図書館 (図 1 の赤丸) 及びセンテラスエリアにある生協食堂周辺 (図 1 の青丸) にカメラを設置し, 実験の準備を進めた。

センテラスエリアにある生協食堂周辺は, 吹田キャンパスの中で非常に人の往来が多い場所であり, 時間によっても人の流れが大きく異なる場所である。そのため, 人流解析等を実施する上で興味深いデータが取得できる場所である。一方で, 生命科学図書館は, 産業科学研究所やセンテラスエリアとは異なる人物行動映像を取得することが可能であると考えられる。また図書館は, 人の知る権利と大きく関係する場所であり, 利用者の自由が強く要請される場所であるため, 映像を用いた実験実施を実施する上では, 他の実験場所とは異なる意見等の聴取が期待できる。

これまで産業科学研究所では, 実験専用のカメラを設置して実験を実施してきた。しかしながら, 生命科学図書館及びセンテラスエリアでは, 実験専用のカメラではなく, 防犯兼実験用カメラとしてカメラを運用することとし, 実験及び手続きを進めた。

### 4 研究成果

#### 4.1 エキストラ実験

構築した実験設備を用いて, エキストラ対象データベース構築用の実験をすすめた。エキストラ実験では, 実験シナリオの作成し, 現場監督選定を含めた実験実施体制の構築し, 被験者を募集して実験を行う。

エキストラ対象データについては, 2022 年 10 月, 2022 年 11 月, 2023 年 3 月に実験を実施した。2021 年度は, 産業科学研究所に設置したカメラを利用して被験者の歩行データを収集していたが, 2022 年度は, 10 月と 11 月は生命科学図書館で, 3 月はセンテラスエリアに設置された防犯カメラ兼用のカメラを利用して保険者の歩行データを収集した。

生命科学図書館ではこれまで収集できなかった, 階段の昇降や狭い書架の間を歩行する映像データの収集を行った。またセンテラスエリアでは, 産業科学研究所とは異なるカメラアングルで新たな歩行映像データを収集しただけではなく, 道幅いっぱいを使って集団が歩行したり交錯したりする様子の映像データを収集した。

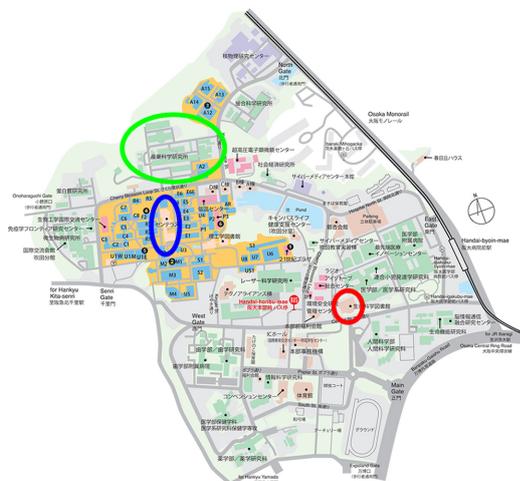


図 1: 大阪大学吹田キャンパス

また 2022 年度からはバイオメトリクスデータの収集も開始し、被験者の掌の静脈と虹彩、音声を集めた。

#### 実験に利用するセンサ

エキストラ実験においては、産業科学研究所や生命科学図書館、センテラスエリアに設置したカメラ以外に次のセンサを利用する。これらの多くのセンサは前年度までのエキストラ実験に使用したものと同一のものであるが、2022 年には全身画像撮影のカメラを新調し、またバイオメトリクスデータを収集するために、それぞれを撮影や録音するためのセンサや装置を追加した。

1. デジタルスチルカメラ (SONY DSC-RX0M2) : 全身画像撮影
2. USB カメラ (View PLUS HMU3 C 2230 86) : 基本歩行撮影 (魚眼カメラ)
3. コンデンサーマイクロホン (オーディオテクニカ AT2020USB) : 声の収録
4. 赤外線撮影カメラ (HOZAN L-834) : 虹彩撮影 (2022 年 10 月のみ)
5. 赤外線撮影カメラ (Baumer VCXU.2-51M) : 虹彩撮影
6. 赤外線スキャナ (アイメジャー IR-6000) : 掌静脈撮影
7. ウェアラブルセンサ (ASUS ZenPhone, ポラール H10) : ZenPhone には以下の (a)-(d) のセンサが内蔵されているため、これらのセンサからの情報を、専用ソフトを用いて記録し保存する。心拍センサ (H10) の情報は ZenPhone を通じて記録、保存する。
  - (a) 位置情報 (GPS)
  - (b) 加速度センサ
  - (c) ジャイロスコープ
  - (d) 電子コンパス
  - (e) 心拍センサ

#### 4. 2 一般対象実験

構築した実験設備を用いて、一般人物を対象としたデータを撮影する。この実験ではエキストラ被験者ではなく、自然な人々の往来を撮影し、解析に利用できるデータを取得する。エキストラ被験者とは異なり、すべての被験者に対する同意取得は不可能であるため、カメラ設置の事実を周知した上で、カメラの稼働状況を知ることによって実験を実施する。2021 年 3 月 1 日現在、人物撮影に利用できるカメラは産業科学研究所、生命科学図書館、センテラスに設置済であるが、設置場所においてそれぞれ異なる運用状況にある。

#### 4. 3 産業科学研究所における実験一般対象実験

産業科学研究所では 2017 年 3 月から 2019 年 3 月まで一般対象実験を実施し、現在は実験を休止している。今後実験実施を再開する際には、半期に一度の実験説明会の実施、実験用 Web ページでの実験実施の周知、実験計画の事前公開、実験実施時に立て看板の設置を行う予定である。

#### 4. 4 生命科学図書館における実験

生命科学図書館に設置した実験兼防犯カメラは、2018 年 4 月より稼働しており、防犯目的での運用を開始している。生命科

学図書館での実験は、2022 年 3 月で予定通り一旦終了しているが、前述の通りエキストラ実験ではカメラを利用している。

#### 4. 5 センテラスエリアにおける実験

大阪大学吹田キャンパス内のセンテラスエリアでは、常設の看板とデジタルサイネージ、事前説明会により実験の周知を行い、2020 年 12 月より実験を開始した。実験時間は、最初は 3 時間からスタートし徐々に時間を延し、2021 年度では最長 11 時間の実験を行っている。こちらも生命科学図書館同様に 2022 年 3 月で実験を終了予定であったが、2028 年 3 月まで延長し 2022 年度も実験を続けている。

2021 年度までは、実験は設置された 16 台全てのカメラを使い月 4 回のペースで行っていた。2022 年度からは使用するカメラの数や時間は変わらず、回数のみ月 1 回に変更して実験を行った。2023 年度以降も月 1 回のペースで実験を行う予定である。

また実験説明会をオンラインで実施した。センテラスエリアでの説明会は、エリア内で働いている方も対象としているため、時間を変えて 2 回実施している。

#### 4. 6 大阪大学吹田キャンパスにおける実験用カメラの社会実装プロセス

センテラスエリアでの実験に関する定期説明会をオンラインで以下の通り施した。

##### センテラスエリアでの実験に関する定期説明会

研究題目：

映像解析技術を用いた行動解析に関する実証的研究

内容：

研究目的や実験内容、カメラの設置場所や実験方法、皆さまへの通知方法、映像データの取り扱い方法、等

日時：

2022 年 6 月 2 日 1 回目 14:00-14:30 2 回目 18:00-18:30

人間総合デザイン部門

## 顔と歯の形態特徴抽出による遺伝疾患スクリーニング AI システムの開発

谷川 千尋 (歯学研究科)

山城 隆 (歯学研究科)

Lee Chonho (サイバーメディアセンター)

吉川 隆 (サイバーメディアセンター)

下條 真司 (サイバーメディアセンター)

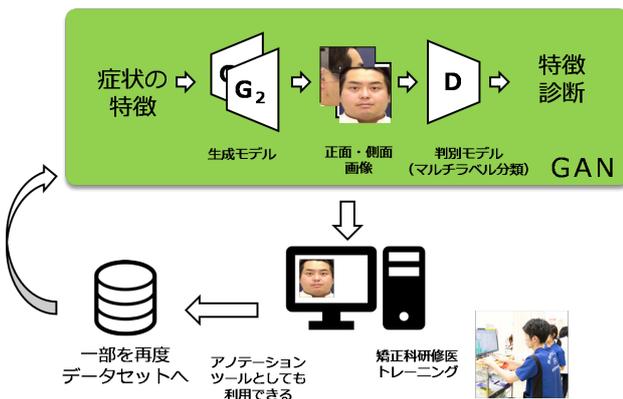


図 1: 研究の概要

## 1 研究の背景

レントゲン検査や詳細な検査を実施する前に、臨床において顔や歯の形を観察し、考える遺伝的問題を推測することは歯科治療計画を立案する上で、非常に重要である。そのような推測を行うためには専門医の長年の経験が必要であることが知られている。専門医の長年の経験を実装したような AI システムの構築が可能となれば、根拠に基づく医療を患者に提供する上で大きな意義を有する。

## 1.1 顔面評価を行う歯科矯正用人工知能システムの検証

## 2 研究の目的

(1) 顔写真から患者の顔面画像所見を自動で生成し、遺伝疾患が疑われた場合にその情報を出力する AI システムを構築すること、さらに、(2) 歯の形態から遺伝の問題を推測するような AI システムを開発することにある

## 3 顔画像写真解析 AI システム

正面および側面の顔画像から、所見に関する言語情報を抽出する AI を構築した。

## 3.1 顔画像写真解析システムの構築の研究

## (1) 目的

顔面の評価を作成する AI システムを評価すること、さらに、AI システムの性能が歯科矯正医と同等であるかどうかを検証することにある。

## (2) 方法

まず最初に、AI システムの構築は 2000 年 2 月から 2017 年 9 月の間に当院矯正科を初診で受診した連続する 1000 症例の患者の正面及び右側面の顔画像を用いた。これら 1000 症例の顔面写真のうち、900 症例はトレーニング用として用い、ラン

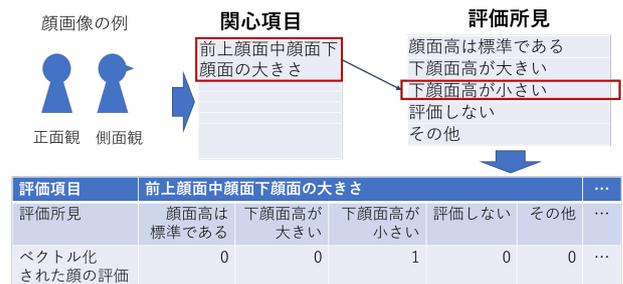


図 2: a

ダムに選択された 100 症例を検証と評価用として用いた。そのうち 60.3 % が女性で、平均年齢は 18 歳 9 ヶ月、最低年齢は 5 歳 3 ヶ月、最高年齢は 68 歳 10 ヶ月であった。診断は、不正咬合が 39.5 %、顎矯正手術を必要とする顎変形症が 25.2 %、唇顎口蓋裂が 20.5 % であった。顔の評価を 161 種類のマルチラベルに整理し、13 年の矯正臨床経験を有する女性歯科医 (専門医 A) に 900 症例分の顔画像の評価をさせ、各顔画像の組について 161 種類の評価項目の有無を抽出し、顔の評価をベクトル化し、AI システムを構築した。その後、システムの構築に用いなかった 100 症例を用いてシステムの評価を行った。

次に、AI システムの性能が歯科矯正医と同等であるかどうかについて調べた。この歯科矯正医とは、教員や研修医を含まない同僚である 4 人の矯正歯科医師により行われた。まず第一ステップとして、同僚 4 人と AI システムに顔面写真を評価させ、頭蓋顔面の特徴をリストアップさせた。次に、AI でなく同僚に、AI が作成したものを含んだこれらの評価リストを、許容できない～理想的にわたる 4 段階で比較評価させた。スコアは、システムとピアグループの間で比較した (ウィルコクソン符号順位検定,  $p < 0.05$ )

## 3.2 提案した疾患顔画像生成モデル

## (3) 結果

矯正科医 A,B,C,D および AI が抽出した、顔の形態の特徴のラベル数を表 1 に示す。テスト用 100 枚の顔画像を用いてシステムの正答率は 0.95、精度は 0.36、感度は 0.39、F 値は 0.55 であった。Wilcoxon 分析の行ったところ、AI システムは矯正医 A より有意に高いスコアを示した。モニター B と D との差は統計学的に有意な差はみられなかった。従って、AI は矯正専門医と同等の能力を有することが明らかとなった

## 4 三次元歯形態 AI システムの開発

### 4.1 概要

歯の形態から遺伝の問題を推測するような AI システムを開発することを目的として、まずは、歯列模型から上顎中切歯及び上顎臼歯を自動抽出するシステムを構築した。次に、模型と全身疾患のデータベースを用いて、歯の形態と先天欠損など遺伝性の疾患の関連性を明らかにするための、歯の形態と疾患のデータベースを構築した。また、二群の形状が有意に異なることを Procrustes 分析を用いて明らかにした。

### 4.2 歯の形態の比較

健常者と遺伝性疾患を持つ患者の歯冠形態を比較するために、健常者の歯冠形態の性差を検討した。当院を受診したの患者の歯列模型から個々の歯を切り出し、相同モデル化を行うことで、統計処理を可能にし、健常者における形態差を検討した。患者の CBCT 画像を確認し、閾値を設定することで歯冠および歯根の三次元形状データを抽出した。抽出された歯冠および歯根の三次元形状データ上で解剖学的特徴点を同定し、同定された特徴点から歯軸が y 軸となるような座標軸を決定した。次に、スキャンされた歯列模型上で、歯冠をトリミングした。CBCT より抽出した歯冠および歯根の三次元形状データと歯列模型よりトリミングした歯冠の三次元形状データとを最小二乗法を用いて重ね合わせることで、歯冠の三次元形状データに座標軸を写した。座標軸を持つ歯冠の三次元形状データに対して相同モデル化を行い、平均化することで歯冠の平均形状モデルを作成した。相同モデル化手法とは、解剖学的特徴点をもとに対象の画像にテンプレートメッシュを貼り付けることで、全ての個体を同じ点数で表現し、それぞれの点に同じ解剖学的意味を持たせることで点や距離で表現されない詳細な三次元形態を統計的に検討することが可能な手法である (図 3)。本研究では、各歯を相同モデル化するために、上顎中切歯および上顎臼歯のそれぞれに対し 1,889 点と 1,842 点のデータ点からなる歯冠のテンプレートモデルを採用した (テンプレートモデルの STL ファイルは Supplement Data として公開されている)。テンプレートモデルに対して、前述の方法でランドマークの同定を行った。

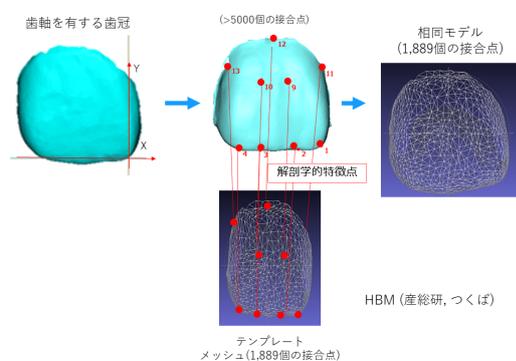


図 3: 相同モデル化の概要

次に、HBM ソフトウェアプログラムで、上顎右側中切歯と第一大臼歯のテンプレートモデルとそれに対応するランドマーク

群を用いて、各三次元画像上のランドマークに基づき、テンプレートモデルを各患者の三次元画像へ重ねるワイヤメッシュフィッティングが行われた。このプログラムは、ランドマーク位置をアンカーとしてテンプレートモデルを各患者のモデルにフィットさせるもので、非剛体レジストレーションに基づき、画像間で点どうしの距離が最小になるようにするものである。

各歯の相同モデルに対し、セントロイドサイズを算出し、セントロイドサイズに性差を認めるか否かを student の t 検定にて検討した。上顎中切歯および上顎臼歯ともにセントロイドサイズに有意な差を認め、男性は女性よりも大きい歯冠を示した。次に、セントロイドサイズを同一にすることでサイズの規格化を行うスケール作業を行った場合とスケールを行わなかった場合とで Procrustes 分析を行った。次に、男女の平均像について、各点における x, y, z 座標値の性差を距離として求めた。その差異が有意であるか否かを student の t 検定にて検討し、主成分分析を行った。サイズの規格化を行った場合主成分分析の結果を図 4 と 5 に示す。

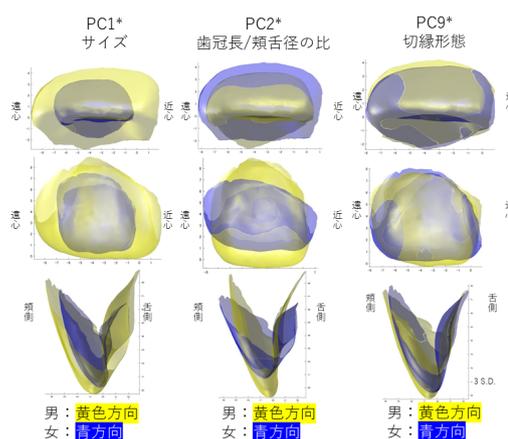


図 4: 上顎中切歯の性差

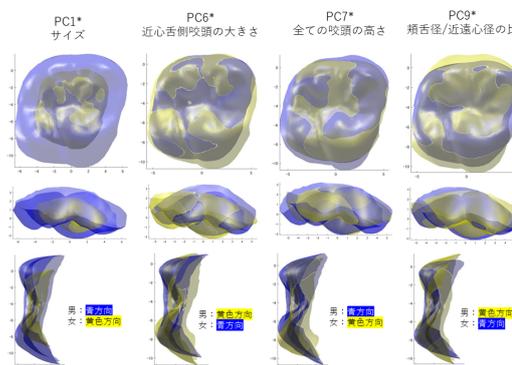


図 5: 上顎第一大臼歯の性差

さらに、健常者と先天性部分無歯症の患者の歯冠形態を比較するために、同様の方法で主成分分析を行った後、求めた主成分得点に対して、男性健常者と女性健常者間の差があるか否か、健常者と先天性部分無歯症の患者間の差があるか否か、性差要因と欠損要因との間に相互作用があるか否かを検討するために多変量分散分析を行った。多変量分散分析の結果、上顎中切歯、

上顎第一大臼歯ともに性差要因および先天欠損要因による差があり、性差要因と先天欠損要因との相互作用は上顎中切歯においては相互作用があり、上顎第一大臼歯において有意な相互作用はなかった。つまり、上顎中切歯においては同じ先天欠損要因があっても、男性か女性かによって異なる形態の変化をもたらすということで、上顎第一大臼歯においては先天欠損要因は性別に関わらず、一貫して同一の形態の変化をもたらすことが明らかとなった。サイズの規格化を行った場合主成分分析の結果を図6、図7および図8に示す。

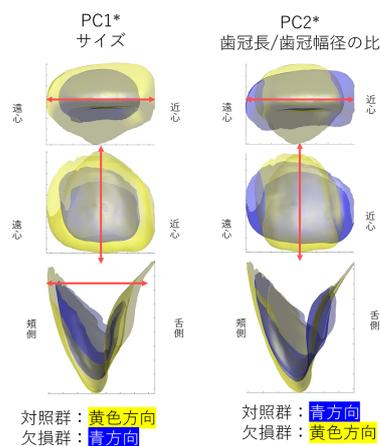


図6: 男性の上顎中切歯における健常者と先天性部分無歯症の患者の差

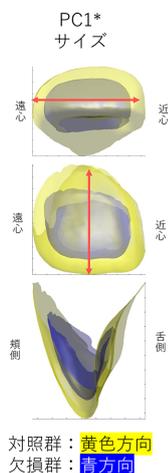


図7: 女性の上顎中切歯における健常者と先天性部分無歯症の患者の差

発表論文等  
(雑誌論文)

[1] Yamamoto, S., Tanikawa, C.\*, and Yamashiro, T. “Morphologic variations in the craniofacial structures in Japanese adults and their relationship with sex differences.”, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2023 Jan.

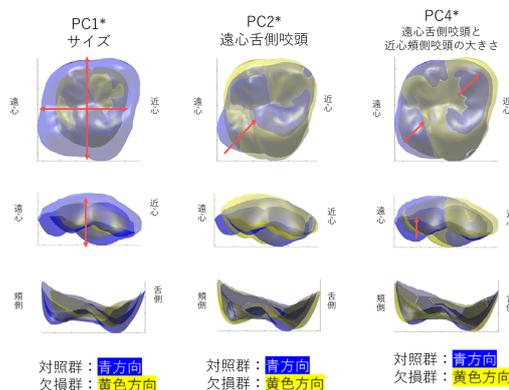


図8: 上顎第一大臼歯における健常者と先天性部分無歯症の患者の差

[2] Tanikawa, C.\*, Kurata, K., Tanizaki, N., Takeuchi, M., Zere, E., and Takada, K. “Influence of the nutritional status on facial morphology in young Japanese women.”, Scientific reports 12(1) 18557-18557.

[3] Okamoto, K., Tanikawa, C.\*, and Takada, K. “Hemodynamic Changes in the Masseter and Superior Orbicularis Oris Muscles before and after Exercise Load: A Comparison between Young Adult Women and Middle-Aged to Old Adult Women.”, International Journal of Dentistry 2022 5340301-5340301.

[4] Oka, A., Tanikawa, C.\*, Ohara, H., and Yamashiro, T. “Relationship Between Stigma Experience and Self-Perception Related to Facial Appearance in Young Japanese Patients with Cleft lip and/or Palate.”, The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association, 10556656221114581-10556656221114581 , 2022.

[5] Lim, J., Tanikawa, C.\*, Kogo, M., and Yamashiro, T. “Prognostic Factors for Orthognathic Surgery in Children With Cleft Lip and/or Palate: Dentition and Palatal Morphology.”, The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association 10556656221109425-10556656221109425, 2022.

〔受賞〕

[1] 谷川千尋, “研究科長賞(研究分野一位) 大阪大学歯学研究科 ”

## プライバシーに配慮した屋内人間行動および属性の推定技術

山口 弘純 (情報科学研究科)

水本 旭洋 (情報科学研究科)

田中 福治 (情報科学研究科)

### 1 研究の背景

近年、エアコンやテレビ、照明などのIoT家電や、人感センサやモーションセンサ、イメージセンサ(カメラ)などのセンサが設置され、居住者の生活行動を収集・理解し、様々なサービスを提供するスマートホームに関する研究や開発が広く行われている。スマートホームでは、前述のように様々なIoT機器やセンサを利用したり、居住者にウェアラブルデバイスを装着することで、生活行動の認識のために多様なデータが収集されているが、例えば、居住者の生活行動を認識するために、多彩かつ多くのセンサが必要なため、機器の導入・維持コストが高い、カメラなど収集するデータ種別によってはプライバシー侵害のリスクが高い、ウェアラブルデバイスの装着・管理の手間が大きいなど様々な問題がある。

他方では、スマート分電盤と呼ばれる家庭内の消費電力データを集計可能な分電盤を備えたスマートホームも普及しつつあり、政府も「グリーン政策大綱」において2030年までに全世帯へスマート分電盤によるHEMS(Home Energy Management System)を設置することを目標としている。スマート分電盤は、部屋やフロア等の区画や専用コンセント毎の消費電力の計測、記録が可能であるため、人感センサなどの設置を必要とせず、カメラやマイクを用いた行動認識などにおいて問題となるプライバシー侵害も回避できるといった利点があり、我々のグループでは、スマート分電盤の消費電力データに基づく行動認識手法について研究を進めてきた。

### 2 研究の目的

本研究では、スマート分電盤の分岐回路から得られる分岐別の消費電力データと建築図面から得られる部屋や構造情報などを組み合わせ、多くのセンサやウェアラブルデバイスを必要とすることなく、プライバシーに配慮しながら居住者の行動や属性を高精度に推定する技術の創出し、居住者の家事運動量の定量化や部屋面積と在宅者数に対する電力使用量の妥当性検証、部屋の使い方と空調エネルギーの関係統計解析など、新しいサービスの実現を目指す。本研究では、これまでに創出した手法を基に実環境において長期的な実験を行い行動推定モデルの精度向上、および、行動・属性に基づく新たなサービスに資する技術の創出を目指す。

### 3 研究の方法

本研究では、スマート分電盤から得られる分岐別消費電力情報から建物内の人の行動を推定する方式を開発する。分岐別消費電力情報に関しては協力者であるハウスメーカーから提供を受けたデータを活用する。本年度では協力者であるハウスメーカーと連携して、実家庭にセンサを導入する真値取得実験を行い、得られた真値に基づいて開発したスマート分電盤を用いた人間

行動推定手法を評価した。

### 3.1 スマート分電盤による生活行動推定手法と実家庭における評価

HEMS(Home Energy Management System)の普及に伴い、HEMSが集計した消費電力データを利用した新しいサービスへの期待が高まっており、その一つとして居住者の行動認識がある。我々の研究グループでは、HEMS住宅分電盤から得られる分岐回路別の30分毎の累計消費電力情報のみから家庭内行動推定を行う手法を提案してきた。同手法では、図1のように、まず分岐名称を解析することで各分岐が電力を集計している部屋と家電の特定を行い、どの行動に最も関連しているかを判別する。家電毎に集計している分岐に関しては家電の稼働推定を行うことで、行動の認識を行い、部屋毎に集計している分岐に関しては、30分粒度でも認識可能な特徴量を設計して、機械学習を用いることで行動の認識を行う。また、転移学習を適用することによって家庭間の差異に適応させる。

これまでは我々の知見に基づいて付与した行動ラベルを使用し、手法認識精度の評価を行っていたが、我々の知見も完全ではなく、実環境では想定外の事象が起こりうるために、この評価では実家庭における同手法の有用性を判断することはできない。

そこで本研究では、協力企業との連携のもと5家庭に1ヶ月間センサを導入する真値取得実験を行い、得られた真値をもとに提案手法を評価する。

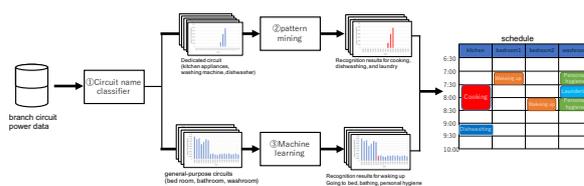


図1: 生活行動推定手法

真値取得に際して、カメラやマイクなどを導入することはプライバシーを侵害する恐れがあり、また、センサを用いない方法では行動の度に時間をメモする必要があるため、実験協力者の負担となってしまふ。そこで我々は文献 [b] で提案されているSALONシステムを利用し、プライバシー侵害やメンテナンスの必要なく真値を取得した。SALONシステムは、プライバシーを侵害するカメラやマイクを必要とせず、少数の安価かつ環境発電で稼働するセンサとシンプルなボタンで構成される日常生活動作(ADL)センシングシステムであり、センサデータと共にラベルデータを収集可能である。本実験ではセンサでのデータの取りこぼしを防ぐためにSALONシステムに加えてFitbit



図2: 使用したセンサ

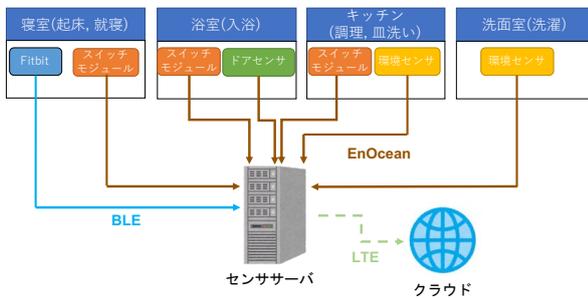


図3: 導入したシステムの概要

を利用してデータを収集した。本実験で実験協力者の自宅に設置したシステムの概要を図3に、使用したセンサを図2に示す。本実験で導入した SALON システムはセンササーバ、スイッチモジュール、ドアセンサ、環境センサの4つから構成されており、スイッチモジュール、ドアセンサ、環境センサのデータは EnOcean を介してサーバが受信している。以降に各センサの詳細な説明を行う。

**スイッチモジュール** 入浴と起床、就寝、調理のラベルをつけるために、Rohm 製の PTM215J スwitchモジュールを用いた。スイッチモジュールは、ボタンが押されたときに加えられる力を利用して電力を生成する。そして生成した電力を利用して電磁誘導モジュールにより EnOcean を介してサーバにデータを送信する。各センサボタンは四角形で、4つのスイッチがある。本実験ではこの内二つに、アクティビティの開始状態と終了状態を示すステッカーを貼り、居住者が適切なスイッチを押すことにより、アクティビティの開始時と終了時にラベル付けを行えるようにした。

**ドアセンサ** ドア開閉データを取得するために、Rohm 製の STM250J 磁気センサを用いた。センサ本体と磁石の2つの部分で構成されており、センサ本体には太陽光パネルが取り付けられているため環境発電で駆動することが可能である。ドアに取り付けられたセンサ本体がドアフレームに取り付けられた磁石を検出すると、センサはドアの開閉情報を取得し、取得した開閉情報をサーバに送信する。本実験ではスイッチモジュールと併用することで、スイッチを押し忘れた場合の欠損値を補完

できるように浴室のドアに設置した。

**環境センサ** 洗濯機と食洗機の振動を計測するために、EnOcean 社製の STM550J マルチセンサを用いた。STM550J は、温度、湿度、照度、振動、マグネットコンタクトセンサを内蔵しており、太陽光パネルを搭載していることから環境発電で駆動することが可能である。オリジナルの SALON システムでは STM550J の利用はできないため、本実験では STM550J を利用できるように SALON システムを拡張した。本実験では環境センサを洗濯機と食洗機の側面にテープで固定し、これらの x,y,z 軸の加速度の変化を計測することで洗濯と皿洗いの行動の真値を取得する。

表1は家電の稼働推定による調理、洗濯、皿洗いの三つの行動の認識精度を表しており、調理は0.85、洗濯は0.83、皿洗いは0.97のF値で認識できていることを確認した。表2は転移学習を行わない場合の各アルゴリズムの認識精度を表しており、最も良いアルゴリズムを選択すれば、起床は0.65、就寝は0.64、入浴は0.74のF値で認識できていることを確認した。また表3に示すように、転移学習の適用により精度の向上がみられることを確認した。

表1: Recognition Accuracy of Each Activity

activity type	Precision	Recall	F-measure
cooking	0.77	0.95	0.85
laundry	0.80	0.87	0.83
dishwashing	0.94	1	0.97

## 4 研究成果

本年度では、国内研究会での発表1件で発表を1件行った。また日本語論文誌を1件投稿し、採択された。現在、英文論文誌2件の投稿・執筆を進めている。

### 引用文献

- [a] Matsui, Tomokazu and Onishi, Kosei and Misaki, Shinya and Fujimoto, Manato and Suwa, Hirohiko and Yasumoto, Keiichi, “Salon: Simplified sensing system for activity of daily living in ordinary home”, Sensors, 2020.

### 発表論文等

#### 〔雑誌論文〕

- [1] 田中福治, 水本旭洋, 山口弘純, “低粒度な分岐回路電力データを用いた家庭内行動認識手法”, 情報処理学会論文誌 64(4), 2023.

#### 〔学会発表〕

- [1] 田中福治, 水本旭洋, 山口弘純, “HEMS 電力データを用いた家庭内行動認識手法の実家庭における評価”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, 2022.

表 2: Recognition Accuracy of Each Algorithm for Each Activity

Algorithm	Activity Type	Precision	Recall	F-measure
Random Forest	getting up	0.69	0.51	0.59
	going to bed	0.72	0.42	0.53
	bathing	0.79	0.68	0.73
Balanced RandomForest	getting up	0.61	0.69	<b>0.65</b>
	going to bed	0.61	0.66	<b>0.64</b>
	bathing	0.46	0.85	0.59
XGBoost	getting up	0.60	0.67	0.64
	going to bed	0.67	0.53	0.59
	bathing	0.77	0.71	<b>0.74</b>

表 3: Recognition accuracy for each activity with Transfer Learning

	Algorithm	Activity Type	Precision	Recall	F-measure
Without transfer learning	Random Forest	getting up	0.61	0.30	0.40
		going to bed	0.55	0.26	0.35
		bathing	0.77	0.70	0.73
	Balanced Random Forest	getting up	0.56	0.67	0.61
		going to bed	0.55	0.62	0.58
		bathing	0.44	0.85	0.58
	XGBoost	getting up	0.56	0.67	0.61
		going to bed	0.57	0.54	0.56
		bathing	0.77	0.73	0.75
With transfer learning	Random Forest	getting up	0.73	0.67	0.70
		going to bed	0.77	0.71	0.74
		bathing	0.87	0.77	0.82
	Balanced Random Forest	getting up	0.70	0.79	<b>0.74</b>
		going to bed	0.78	0.84	<b>0.81</b>
		bathing	0.76	0.89	0.82
	XGBoost	getting up	0.70	0.76	0.73
		going to bed	0.74	0.79	0.76
		bathing	0.82	0.85	<b>0.83</b>

人間総合デザイン部門

## メッシュ分割テレマティクス交通事故データのクラスタリングによる 区域類似性の解析

乾口 雅弘 (基礎工学研究科)

林 直樹 (基礎工学研究科)

関 宏理 (基礎工学研究科)

須山 崇仁 (兵庫県豊岡警察署)

### 1 研究の背景

交通事故軽減のため、エアバックや衝突被害軽減制御装置など、自動車の安全性能が向上しているものの、依然、交通事故は我々の身近に潜む大きな問題である。交通事故に関するデータは記録され、交通事故統計情報として纏められる。近年、これらのデータに基づく解析が盛んである [a-c]。また、通信機能や GPS 機能を備えた車載機が搭載され、車両の運行データが記録されるようになり、詳細なデータに基づく交通事故解析が期待されている。

### 2 研究の目的

本研究では、都市ごとに地域をメッシュにより分割し、区域特徴と交通事故特徴の関連性を想定し、提供された交通事故メッシュデータとテレマティクスデータを解析する。得られるクラスターが類似した交通事故特徴を持つように、属性の組合せを探索し、与えられたデータをクラスタリングすることで、区域で重大事故が発生しやすい要因を発見し、事故対策に利用することを目指す。

### 3 研究の方法

#### 3.1 与えられたデータの特徴

2022年度は、手始めとして、ある都市の交通事故メッシュデータを用いる。このデータは、メッシュ分割された各区域の人口、交差点数、教育施設数などの区域の環境データと、その区域で起こった交通事故を発生場所の状況や重大さなどにより分類した件数データである。交通事故が生じていない区域や人口が少ない区域など、データの値がゼロとなっているものもある。区域内の交通事故を纏めたデータであるため、交通事故それぞれの要因と事故の関係は分からず、また、たとえば、人口が同程度でも交通事故が起こっている区域もあれば起こっていない区域もあり、データをそのまま用いて、要因と交通事故の関係を解析することや、類似した区域を纏めるクラスタリングを行うことは妥当とは言い切れない。

そこで、交通事故の要因となりうる項目の件数と交通事故件数とを入出力データと見做し、公共事業などの複数の事業体の活動の効率性分析に用いられる包絡分析法 (Data Envelopment Analysis: DEA) [d] を適用し、交通事故要因となり得る項目の件数が少ないにも関わらず交通事故件数が多い区域、すなわち、危険と考えられる区域を特定していくとともに、各区域の危険度を数値化することにした。

#### 3.2 包絡分析法 (DEA)

$n$  事業体 (Decision Making Unit: DMU) を考える。  $k$  番目の DMU の  $p$  個の入力項目の値のベクトルを  $\mathbf{x}_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{pk})^T$ ,  $q$  個の出力項目の値のベクトルを  $\mathbf{y}_k = (y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{qk})^T$  とする ( $k = 1, 2, \dots, n$ )。このとき、  $k$  番目の DMU の効率値  $\theta_k$  は、  $i$  番目の入力のリ重みを  $w_i \geq 0$ ,  $j$  番目の各出力のリ重みを  $v_j \geq 0$  とすると、次式で与えられる。

$$\theta_k = \frac{\text{総合出力}}{\text{総合入力}} = \frac{\sum_{j=1}^q v_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^p w_i x_{ik}} \quad (3.5)$$

このとき、総合入力や総合出力を定める重み  $w_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$  と  $v_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, q$  をどのように定めるかが問題となる。

DEA では、効率値の最大値が 1 を超えない範囲で、これらの重みを各 DMU にとって最も有利になるように定めることで、DMU の効率性を評価する。すなわち、  $k$  番目の DMU の効率値は、次の線形分数計画問題の最適値として求められる。

$$\begin{aligned} \text{maximize } \theta_k &= \frac{\sum_{j=1}^q v_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^p w_i x_{ik}} \\ \text{subject to } \frac{\sum_{j=1}^q v_j y_{jl}}{\sum_{i=1}^p w_i x_{il}} &\leq 1, \quad l = 1, 2, \dots, n \\ w_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, p, \\ v_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, q \end{aligned} \quad (3.6)$$

この線形分数計画問題は、線形計画問題に帰着され [d]、たとえば、シンプレックス法により容易に解くことができる。

問題 (3.6) の最適値  $\theta_k^* = 1$  であるとき、  $k$  番目の DMU は D-効率的と呼ばれる。D-効率性は完全な効率性より緩い概念であるが、完全な効率性の確認法も知られている [d]。  $\theta_k^* < 1$  であれば、  $k$  番目の DMU の活動は効率的とは言えないが、  $\theta_k^*$  の大きさが効率性の度合を示している。  $\theta_k^*$  を D-効率値と呼ぶ。

#### 3.3 DEA の交通事故メッシュデータへの適用に当たって

いくつかの入出力データについて考察したが、ここでは、交通事故の第 1 当事者が原付以上の車両の場合であって、その運転者が相手方車両、人等を認め、危険を認知した時点の走行速



図 1: 包絡分析の結果 1

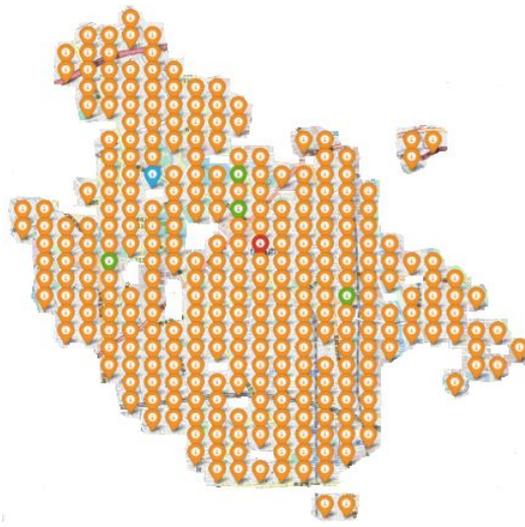


図 2: 包絡分析の結果 2

度である危険認知速度 [e] を入力データとし、交通事故件数を出力データとした場合の結果を主に述べる。危険認知速度は、0~10km/h, 10km/h~20km/h,...,60km/h~70km/h の七つに分けられ、各階級の件数データが与えられている。この件数をそのまま入力データに用いたのでは、件数の少ない階級の重みを正の値とし他をゼロとすることにより、D-効率と判定されうる。たとえば、60km/h~70km/h の件数が多いにも関わらず、0~10km/h の件数が小さければ、60km/h~70km/h の重みをゼロとし、0~10km/h の重みを正にすることにより、D-効率値  $\theta_*$  が大きくなり、その区域が危険と不当に判断されうる。そこで、危険認知速度を 0~70km/h, 10km/h~70km/h,..., 10km/h~70km/h に関する件数データに変換することにより不適切な評価を避ける。また、区域によっては、入力データにゼロが含まれる場合がある。DEA では、入力データは正の値を取ると仮定しているため、ゼロが入力データに含まれる場合はうまく解析できない。それらの区域を除外することにする。

#### 4 研究成果

前節の方法を適用した結果を図 1 に示す。図 1 は、ある都市をメッシュで区域に分け、交通事故データを用いて算出した区域の D-効率値を地図上に表したものである。空白部分は、入力データにゼロが含まれる区域、もしくは都市に含まれない区域である。赤色は完全に効率的な、すなわち危険と考えられる区域で 4 区域ある。紫色は D-効率値で概ね危険と考えられる区域であり、4 区域存在する。青色は D-効率値が 0.5 以上 1 未満で比較的危険な区域である。緑色は D-効率値が 0.3 以上 0.5 未満でやや危険な区域である。橙色は D-効率値が 0.3 未満で比較的安全な区域といえる。D-効率値の大きい区域を調査し、危険となる要因が特定できれば改善につながる。

他の解析結果として、入力データとして交差点数、出力データとして交差点の交通事故件数と交差点付近の交通事故件数を用いた場合を図 2 に示す。図 2 の見方は図 1 と同様である。この解析では、データから相対的に危険な交差点を含む区域の特

定を試みている。図 2 に示すように、危険な交差点を含む区域は少なく、交差点の安全性が概ね同等であることが分かる。

#### 5 今後の課題

ある都市の交通事故メッシュデータの特徴から DEA の適用について考察した。交通事故データから危険と考えられる区域は特定できたが、今後、その妥当性を検討する必要がある。現在のところデータ数が少なく有効に利用できていないテレマティクスデータの導入による拡張も考えられる。一方、交通事故メッシュデータに基づく更なる解析として、他都市のデータへの適用と比較、D-効率値の大きい区域に対する重みによる効率値(危険度)を特徴量とした区域のクラスタリングなど、与えられたデータに基づく新しい解析法の考案が考えられる。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、大阪大学 丸山大輔氏、および兵庫県警察 栗原宏光氏、上浦智也氏に多大なご協力をいただきました。謝意を表します。

#### 引用文献

- [a] 安藤、國吉、清水、岡本、伊藤、岩田、内種、向、蔭、"愛知県の交通事故発生区域のクラスタ分析", 人工知能学会第二種研究会資料, SIG-SAI-42-01, 2021.
- [b] 野口、乾口、林、関、須山、長谷川、"交通事故データの解析による重大事故の要因探索", 第 37 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.675-680, 2021.
- [c] 大西、藤生、"交通事故統計データを利用した子供の歩行中事故要因に関する基礎的分析", AI・データサイエンス論文集, 2 巻, J2 号, pp.848-855, 2021
- [d] 刀根、経営効率性の測定と改善—包絡分析法 DEA による、日科技連, 1993
- [e] <https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kotsu/jikoboshi/torikumi/sokudokanri/index.files/shiryo.pdf>

人間総合デザイン部門

## 視覚に基づく身体運動のパフォーマンスに関わる要因の解明

七五三木 聡（全学教育推進機構）

勝村亮太（生命機能研究科）

金子舜（生命機能研究科）

長原 一（IDS）

中島悠太（IDS）

### 1 研究の背景

野球の打撃や卓球などの球技スポーツでは、ボールの動きを視覚情報として取得し、脳で処理することで到達地点を予測し、バットやラケットを予測到達地点へ向かわせる身体運動が行われる。このような視覚情報に基づく身体運動は視覚運動と呼ばれる。

視覚運動の発現に関わる全てのプロセスが、パフォーマンスの質を決定する要因となるため、視覚情報の取得過程や入力された視覚情報の脳における処理過程も重要な要因の一つとなる。

しかし、各種のスポーツ場面において発揮されるパフォーマンスに視覚情報取得過程がどの程度寄与しているのか、寄与しているとすれば、どのような情報なのかについての研究は進んでいない [a]。

### 2 研究の目的

本研究では、野球の打撃場面を実験モデルとして、打撃行動の基盤となる「ストライクとボールの知覚的判定」の判定精度（選球眼）に影響を及ぼす視覚関連情報を明らかにすることを目的とした。

### 3 研究の方法

#### 3.1 実験参加者

実験に参加したのは大学野球部所属の男性 21 名 (20.3 ± 1.1 歳) で、両眼視力は正常または矯正視力であった。

この研究は、大阪大学人間倫理委員会 (H30-3) によって承認されており、ヘルシンキ宣言（最新の改訂）の基準に準拠して実施された。この研究の目的と実験プロトコルに関するインフォームド コンセントが、この研究に参加する前に、すべての参加者から書面で取得された。

#### 3.2 VR 野球ボール選択タスク

VR ヘッドマウント ディスプレイ (図 1a) を使用して、VR 野球ボール選球タスク (選球タスク) を実行した。実験中、実験参加者は HMD を装着し、VR 空間に再現された実物大の野球場のバッターボックスに立って、実際の打撃姿勢で実験を行った (図 1a, b)。仮想ピッチャーがマウンドに配置され (図 1b)、実際の大学野球の投手の投球動作をモーション キャプチャで追跡したデータに基づいて仮想ピッチャーの投球動作が、アニメーション化された。

選球タスクのボールは、仮想ピッチャーのリリースポイントから投げられた。

ボールは直径 73mm で、投げたボールの動きは Unity の物理演算処理で空気抵抗を設定した。ボールの速度は約 120.1km/h で、投球コースと高さは試行ごとにランダムに変更された。

ストライクゾーンは、タスクが実行される前に設定された。右打者の場合、ストライクゾーンの下限はインパクト時の右足の膝の高さ、上限は右側の腰と肩の中間点に設定された (図 1c)。左打者の場合も同様に左膝を基準にストライクゾーンが設定された。

選球タスク中に、実験参加者は投球がストライクになる (設定されたストライクゾーンに到達する) と判断したときに、付属のリモコンのボタンを押すことを指示された (図 1d)。投球がボールになると判断したときは、ボタンを押さないように指示された。

投球がストライクゾーンに当たるか、ボタンを押さずに本塁を通過し終わると、投球は消えた。

次の試行は、前の試行が終了してから 5 秒後に開始された。各セットは 40 回の試行で構成され、各セットの間に 3 分間の休憩を挟んで合計 6 セットのタスクが実行された。この実験を開始する前に、タスクに慣れるための練習として、タスクの試行を 30 回実行した。

#### 3.3 測定と分析

選球課題の全試行において、HMD とリモコンを用いて、ボールの 3 次元位置座標、反応時間 (ボタンを押した時間)、頭部位置座標と回転量、眼球位置座標の時系列データ、および視線方向ベクトルを測定した。

課題中のボール追跡行動特性とボール選球精度の関係を明らかにするために、頭部と眼球のボール追跡挙動に関する各パラメータのデータを、正解試行と不正解試行に分けて分析し、比較した。

投手より投げられたボールの 3 次元座標の時系列データおよび選球中に取得された打者の視覚関連 (視線、眼球運動、頭部運動) データなどから選球の判定内容や判定成績 (成否など) を予測・判定する機械学習モデルを構築することで、視覚に関わる身体運動の選球精度に対する寄与を検討した。

### 4 研究成果

VR 内の仮想ピッチャーがボールを投じた時刻を 0 として、投球後から 10 フレーム (111ms)、20 フレーム (222ms)、30 フレーム (333ms)、40 フレーム (444ms) までのボールの 3 次元座標時系列データをもとに、機械学習モデルを訓練し、ニュー

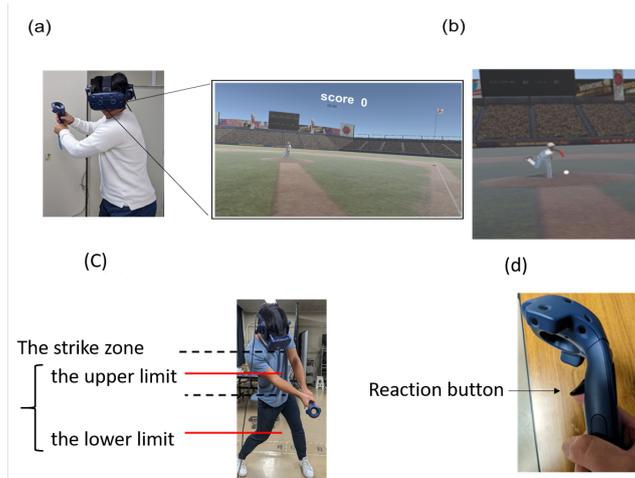


図 1: 選球課題の実験システム

ラルネットワークを利用した識別のための機械学習モデルを生成した。

まず、ボールの 3 次元座標データから、ストライクあるいはボールになるのかを予測するように識別機械学習モデルを訓練すると、10 フレームでは 77.34%，20 フレームでは 94.35%，30 フレームでは 94.52% の識別精度となった。

次に、ボールの 3 次元座標データのみから、打者がクリックするかしないか、すなわち、ストライクと判断するか、ボールと判断するかを推定するようにモデルを訓練すると、10 フレームで 78.85%，20 フレームで 80.13%，30 フレームで 80.13%，40 フレームで 80.98% の識別精度となった。そこで、打者の頭部運動や視線のベクトル情報を加えて推定するようにモデルを訓練したところ、10 フレームで 72.01%，20 フレームで 82.91%，30 フレームで 81.62%，40 フレームで 82.69% の識別精度となり、改善効果は数パーセントであった。

最後に、ボールの 3 次元座標データのみから、打者が正しい判断（ストライクをストライクと判断、ボールをボールと判断）するか、しないかを推定するようにモデルを訓練すると、10 フレームで 71.21%，20 フレームで 73.29%，30 フレームで 75.21%，40 フレームで 71.15% の識別精度となった。そのため、ボールの 3 次元座標データのみから打者の選球の成否をモデルが学習することは困難であることがわかった。そこで、打者の頭部運動や視線のベクトル情報を加えて推定するようにモデルを訓練したところ、10 フレームで 71.80%，20 フレームで 76.07%，30 フレームで 77.56%，40 フレームで 76.71% の識別精度となり、顕著な改善効果は得られなかった。

ここまでの解析では、選球課題で実施した全ての試行を解析対象としたため、ストライク/ボールの判別が容易なストライクゾーン中央付近へのボール試行が含まれるなどの理由により、誤答率が低く、成否バランスの悪いデータでの分析となった。これにより誤答を識別する学習モデルが十分に訓練されなかった可能性が高く、頭部運動や眼球運動の選球に対する貢献が過小評価された可能性がある。

そこで、誤答率が比較的高く成否バランスが保たれていたア

ウトコースのボール試行のみを解析対象として、2 元配置の分散分析による統計解析を実施した。選球課題遂行中の視線のボールに対する空間誤差を正答試行と誤答試行に分けて比較したところ、ボタン押しのタイミングから 200 ミリ秒前までの区間において、誤答時の方が視線の空間誤差が有意に大きくなることが分かった。これより、ボールを正確に追跡することが選球の判定の精度に寄与することが示唆された。

野球の打者は、ボールの選球が成功する時と失敗する時がある。これまで、その理由は明らかでなかったが、ピッチャーによる投球後から特定の時間帯における視線によるボールの追跡行動の空間精度が、選球に寄与していることが本研究により明らかになった。

## 引用文献

- [a] Bahill A.T., LaRitx T., "Why can't batters keep their eyes on the ball?!", American Scientist 72, pp. 249-253, 1984.

## 発表論文等

### 〔学会発表〕

- [1] 勝村亮太, 木村晃大, 中本浩揮, 七五三木聡. 野球の打者の選球眼に寄与する頭部及び眼球運動の役割と特性の解明. 第 9 回日本野球科学研究会, 2022
- [2] 勝村亮太, 中本浩揮, 青山千紗, 小見山高明, 七五三木聡. 野球の打者の選球眼に寄与する, 頭部及び眼球運動の役割と特性の解明. 第 23 回 計測自動制御学会/システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)

### 〔外部資金〕

- [1] H31-R5, 科学研究費助成金 挑戦的萌芽研究, 「AI によるテラーメイド型スポーツスキル計測・改善システムの開発」, 19K22807 (課題番号), (代表) 七五三木聡
- [2] R1-R4, 科学研究費助成金 基盤 B, 「神経科学的知見に基づくアスリートの視覚運動能力促進用「脳トレーニング法」の開発」, 20H04077 (課題番号), (代表) 七五三木聡

人間総合デザイン部門

## スポーツクライミングにおける不可視情報の非接触計測と支援情報提示

浦西 友樹（サイバーメディアセンター）

池田 聖（基礎工学研究科）

山本 豪志朗（京都大学医学部附属病院）

### 1 研究の背景

スポーツクライミングは人工壁に取り付けられたホールドを競技者が登攀する競技であり、ゴールまで完登した数を競うボルダリング、到達した最高高度を競うリード、ゴールに到達する時間を競うスピードの三種目が存在する。スポーツクライミングは東京オリンピック・パラリンピック 2020 において競技として採用され、日本人競技者が女子競技において銀・銅メダルを獲得するなど、近年の競技人口増加が著しい。さらに 2024 年に開催予定のパリオリンピック・パラリンピックにおいても引き続き競技となることが決定しており、今後も成長が見込まれる競技である。

スポーツクライミングの上達のためには、登攀時における腕への力の込め方が重要な要素である。特に初心者は必要以上に力を込めて登攀する傾向があり、力を使い切って完登できない、また 1 回の登攀に筋力を使いすぎることによって練習可能な時間が短くなるなど、上達を妨げる要因となりうる。力の込め方は不可視な情報であり、例えば熟練者を観測しても自らの動作と目視で比較して学習することは困難である。

### 2 研究の目的

我々のグループでは、身体を用いる技術の向上のため、身体動作に内在する情報のうち特に不可視情報である人体部位の筋活動を収集およびモデル化し、ユーザの技術向上を支援すること、さらには身体動作に内在する「上手さ」などの暗黙知を発見し、モデル化することを目指している。筋活動情報はスポーツにおいて重要な役割を占めることが経験的に知られており、筋活動情報や器具に加わる力などの不可視情報は、身体動作に内在する暗黙知に寄与していることが予想される。先に述べた通り、スポーツクライミングにおいても腕への力の込め方が重要であり、力の込め方を適切に教示できれば、ユーザの技術向上に大きく寄与することが期待される。一方で、身体動作の技能習得支援という観点からは、センサの装着は最低限に止めることが望ましい。そこで本研究では、ユーザへのセンサの装着は最低限とした上で、ユーザの筋活動を計測して支援情報を教示するシステムを構築し、さらに、構築したシステムを用いて登攀技能が向上するか確認することを目的とする。

### 3 研究の方法

本研究では、登攀者の両前腕に筋電センサを装着して筋活動を計測し、登攀において前腕に必要以上に力が込められたタイミングで登攀者にフィードバックを行うことで、適切な前腕への力の込め方を教示するシステムを提案する。本研究で提案するシステムの概要を図 1 に示す。

本研究では以下に示す三種類の教示手法を実装する。

#### 1. 振動による教示（振動のみ）

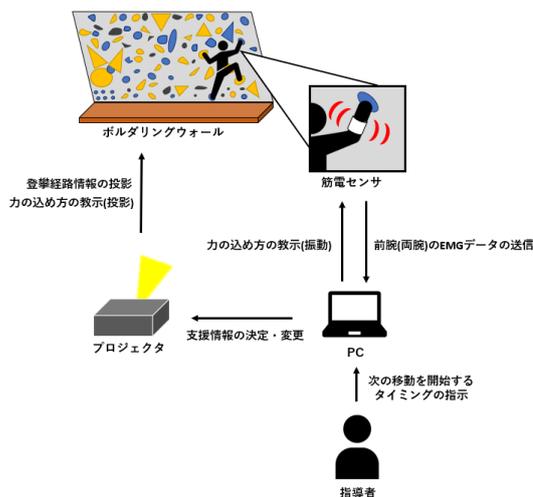


図 1: 提案システム概要

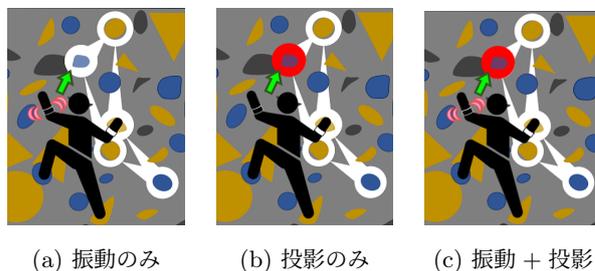


図 2: 提案する教示手法の概要

#### 2. 投影による教示（投影のみ）

#### 3. 振動と投影の併用による教示（振動 + 投影）

また、これらの手法に共通して、プロジェクションマッピングによって登攀ルートをハイライトし、移動するタイミングと次のホールドの位置をアニメーションで提示する。

この教示手法を実装するために、本研究では Thalmic Lab 社製の筋電センサ Myo を用いた。Myo はユーザの筋電 (Electromyogram; EMG) を計測し、無線で EMG データを PC にリアルタイム送信可能であり、かつ振動モジュールを搭載しており、任意のタイミングで振動させることが可能である。

### 4 研究成果

本研究期間においては、被験者実験により教示手法の有用性を評価するため、スポーツクライミングの経験が浅い 19 歳から 25 歳の男女 30 名を対象とした実験を行った。

学内実験室に設置されたクライミングウォールに四種類の課題を設定した。なおこれらの課題は、難度は同等となるように専門家により設定されたものである。先に述べた振動のみ、投影のみ、振動 + 投影の三種類の教示に加え、対照実験として力の込め方について教示しない手法(教示なし)の四種類を教示手法とし、各被験者は1つの課題について1つの教示手法を用いて登攀した。4つの課題をそれぞれ別の教示手法で登攀し、各登攀の直後に用いた手法に対する評価をアンケートによって取得することで、提案手法を評価した。なお、ルートと手法の対応は、被験者ごとにラテン方格を用いて割り当てた。アンケートの質問を表1に示す。回答は自由記述のQ8を除き、1(そう思わない)から5(そう思う)の5段階評価である。なお、本稿では紙面の都合上、アンケート回答結果から抜粋して掲載する。

アンケートの結果を図3および図4に示す。図3ではQ1からQ3の結果を、図4ではQ4からQ7の結果をそれぞれ示している。Q1からQ3に対しWilcoxonの順位和検定を行った結果、全ての項目において手法間で有意差は認められなかった。Q4からQ7に対しWilcoxonの順位和検定を行った結果、Q4については、振動のみと投影のみの間に有意差が認められ( $p < .05$ )、さらに投影のみと振動+投影の間にも有意差が認められた( $p < .05$ )。Q5については、投影のみと振動+投影の間に有意差が認められた( $p < .05$ )。Q7については、投影のみと振動+投影の間に有意差が認められた( $p < .01$ )。これらの結果より、投影のみの教示は振動を用いる教示と比べて理解しやすさに劣ることが示され、原因としては、投影による教示では次に保持するホールドを目視する必要があり、かつどちらの手の力を緩めるべきか理解が困難であったことが挙げられる。一方、振動+投影はQ5の結果の通り、登る妨げになる可能性が示されており、過剰な情報提示となったとも考えられる。

Q1からQ3で手法の間に有意差が認められなかった理由としては、スポーツクライミング初心者である被験者は、今回の実験期間中に「力を込めない登攀」に慣れることが難しかったことが考えられる。一方でQ2に示す通り、次に使用するホールドは全ての教示手法でよく視認されている(全回答の平均値4.02)ことがわかり、これは全ての登攀において提示していた、プロジェクションマッピングによる登攀ルートのハイライトが良好な結果を示したことを意味する。

また、メンタルワークロードへの影響を調査するために、被験者には各手法においてNASA-TLXに回答させたが、手法間での有意差は認められず、提案手法を用いることによるメンタ

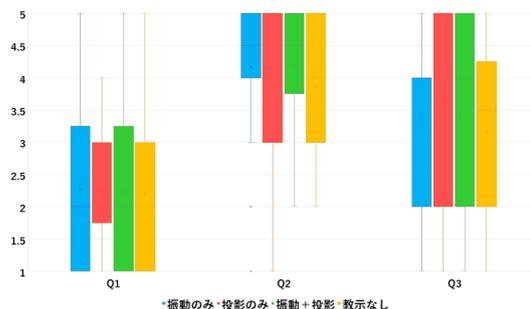


図3: 手法アンケート Q1 から Q3 の結果

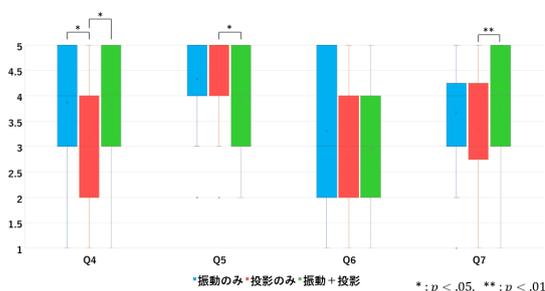


図4: 手法アンケート Q4 から Q7 の結果

ルワークロードへの影響は限定的であることが示唆された。

今後は、アンケートの回答などの結果より得られた以下の課題について検討していく。

- 疲労時における振動の認識のしやすさの向上
- 投影による支援情報の視認性の改善
- 投影による教示の情報量の検討

#### 発表論文等

##### 〔雑誌論文〕

- [1] 大西和歩, 浦西友樹, 劉暢, Photchara Ratsamee, 東田学, 山本豪志朗, 竹村治雄, “ホールド難度と配置を考慮したボールドリング課題の自動難度推定”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 27, No. 4, pp. 331–340, 2022.

表1: 各登攀直後の手法アンケートの質問項目

項番	質問項目
Q1	登っている最中に力まかせに登ったと感じる箇所はなかった
Q2	登っている最中に次に使用するホールドを見失うことはなかった
Q3	どうしたら登れるのか分かりやすかった
Q4	フィードバックは理解しやすかった
Q5	フィードバックは登る妨げにはならなかった
Q6	フィードバックによって手に込める力の量を意識できた
Q7	このシステムを将来的に使ってみたいと感じた
Q8	その他意見や感想などありましたらご記入ください

人間総合デザイン部門

## 画像と言語情報を組み合わせることで、専門医以上の能力を有するマルチモーダル矯正歯科診断システムの構築

谷川 千尋 (歯学研究科)

清水 優仁 (歯学研究科)

山城 隆 (歯学研究科)

梶原 智之 (IDS)

長原 一 (IDS)

### 1 研究の背景

現在、本邦では厚生労働省の方針のもと、少子高齢化に伴う人材不足を補うために、医療分野における AI 構築が盛んにおこなわれている。その主なものは、画像診断支援や手術領域における新しい技術であり、乳がん診断などではすでに、専門医を超えた能力の AI が発表されている。我々も、深層学習以前の機械学習の方法なども駆使しながら医療用 AI を複数開発してきた。しかしながら、実臨床で AI をさらに普及・活用するためには、以下の三つの点でブレイクスルーが必要であることが徐々に明らかとなりつつある。一つは、自然言語処理を活用した AI の必要性である。所見データは人間が読んで理解できる文章形式（自然言語）で電子カルテ上に記載されていることが多く、また、論文などの過去のデータベースはほとんどが自然言語として整理されている。このため過去の膨大な情報を使うためには、自然言語処理を介した情報を組み込んだ AI 構築が必須となる。二つ目は、希少疾患を扱うことで、専門医の能力を増強するような AI の必要性である。一人の歯科医師が経験できる症例数には限界がありまた人間の判断にはばらつきがある。このため、希少疾患などを扱う過去のデータベースなど複数の専門医の知識を統合することで、専門医を支援する AI が必要である。三つ目は、言葉にならないニュアンスを画像として入力することで診断が可能になる AI の必要性である。例えば、遺伝疾患を探すような検索では、画像の症状を言語化してから検索することが多いが、臨床において医療者は言語化されない症状を見ていることが多く、画像等から直接、診断・治療計画することが必要な場合がある。言語ではなく画像から検索し、過去の知識とつなげることが出来れば、より高度な診断が可能となることが予想される。このためには、画像や三次元情報等の資料を自然言語処理に組み合わせる AI が必要である。我々は、医療分野の中でもより専門性が高く、症例の資料が少ない矯正歯科分野における診断に着目して、上記問題を解決するようなシステムを構築し、医療分野 AI 開発でのブレイクスルーを目指す。そこで本研究の目的は以下にある。1. 過去のデータベース知識の統合を実現し、さらに言葉にならない微妙なニュアンスを診断に組み込むことを目的として、自然言語処理と画像処理を組み合わせ、矯正歯科診断および治療計画立案を行う高度なマルチモーダル診療支援 AI システムの開発を行う。2. 前記のシステムについて、歯科医師が临床上応用可能なシステムであるか否かを検討し、パラメタを考察し矯正歯科治療のエビデンスを得る。

### 2 研究の方法

口腔・顔・パノラマレントゲン・セファロ画像からの特徴抽出（2023-24 年）資料：1,000 症例の正面および右側面の顔画像（正面、側面）、口腔内画像（正面、左側、右側、上顎、下顎）、パノラマレントゲン画像、セファロレントゲン画像（正面、側面）を用いる。すでに、データを取得しデータクリーニング済みであるので、すぐに実験を開始することが可能である。自然言語処理：画像を得た患者について、電子データとして収集が可能であった治療計画書 967 症例分を用いる。すでに、自然言語情報は取得し、データクリーニング済みである。特徴抽出：自然言語処理で得られた語彙のうち、各画像に関連する表現を事前に分類し、画像から自然言語で得られたラベルを選択するように、画像から特徴抽出を行う（各画像の特徴ベクトル  $V_{each}$ ）。各画像の特徴ベクトル  $V_{each}$  を組み合わせることで、症例全体の特徴ベクトル ( $V_{all}$ ) とする。人間は、顔と口腔内を同時に見ながら、問題を絞ることから、この過程を真似するため、画像間の関連性を考慮するような新しいアルゴリズムを考案する。セファロ画像の特徴点の自動認識と自動計測の精度向上（2023 年）セファロ画像は画像そのものとして特徴抽出を行うと同時に、特徴点を抽出した後、計測値として用いる。資料：実験 1 で用いたセファロ画像を用いる。データベースはすでに構築済みである。学習データの作成：歯科医師 1 人が正解の特徴点を認識、デジタイズを行い、座標値を得る。教員一人がデジタイズした結果を確認し、問題ない場合、正解の座標値として用いる。本データは、すでに、谷川らにより発表済みである。学習：前回発表後に新たに提案されたモデル (EfficientDet 等) を試すこと、学習データに前処理を施すことで精度の向上を図る。距離・角度計測を自動で行うシステムを作成する。

#### 2.1 EfficientDet

前回発表後に新たに提案されたモデルとして M2Det 及び EfficientDet を調べた。データを train:val:test を概ね 5:3:2 の比率で分割し、OCTOPUS の GPU ノードでまずはモデルをあまり変更せずに訓練を行った。両者のうち EfficientDet の方が僅かながら精度が良かったので、EfficientDet について、画像の拡大縮小、回転、ボックスのサイズなど、Augmentation を変化させてより良い精度の達成を目指した。なお、現状の検出モデルでは特徴点を一つ一つずつ独立に検出しているので、特徴点どうしの位置関係をもモデルに組み込むことができれば精度の向上が期待される。

## 2. 2 LandmarkDetection-VisualGCN

Because the relative position of cephalometric landmarks are fixed to a certain extent, we are trying to develop a novel model by making use of this structural information based on GCN. And currently we got some results and try to improve the model.

## 3 研究の成果

### 3. 1 EfficientDet

一部の特徴点は他の特徴点より大幅に精度が低下するという現象が観測され、Augmentationによる精度の向上は限られたものであった。現状では、一番精度が悪い特徴点について、平均誤差をおよそ 11.5 mm にまでに抑えることしかできていない。これはモデルの限界またはデータセットの限界、検出しようとしている特徴点による限界の 3 種類の限界が考えられる。

### 3. 2 LandmarkDetection-VisualGCN

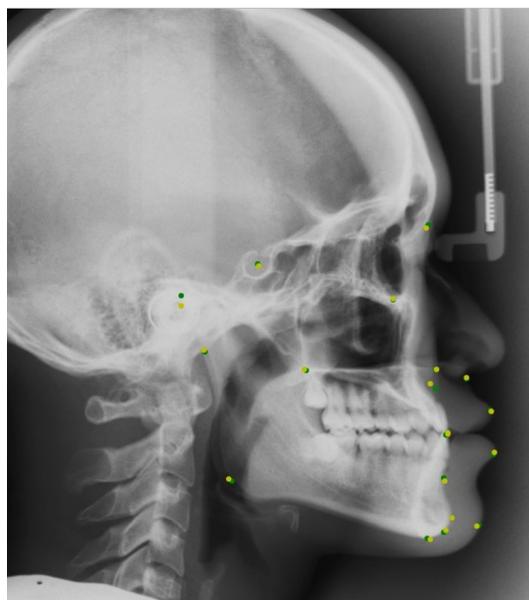


図 1: Detected landmarks visualization

Figure 1 shows the detection result of our VisualGCN detection model. The yellow and green points are the ground truth and corresponding 19 predictions. The test performance is presented in table 1.

表 1: Test results

Error range		Successful Detection Rate		Mean Radius Error	Standard Deviation
		1mm	2mm		
Dataset	Public (19 landmarks)	55.54%	86.39%	1.19mm	1.27mm
	Ours (43 landmarks)	44.74%	73.41%	1.68mm	2.09mm

## 発表論文等

### (雑誌論文)

- [1] Yamamoto, S., Tanikawa, C.\*, and Yamashiro, T. "Morphologic variations in the craniofacial structures in Japanese adults and their relationship with sex differences .", American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2023 Jan.
- [2] Tanikawa, C.\*, Kurata, K., Tanizaki, N., Takeuchi, M., Zere, E., and Takada, K. "Influence of the nutritional status on facial morphology in young Japanese women.", Scientific reports 12(1) 18557-18557.
- [3] Okamoto, K., Tanikawa, C.\*, and Takada, K. "Hemodynamic Changes in the Masseter and Superior Orbicularis Oris Muscles before and after Exercise Load: A Comparison between Young Adult Women and Middle-Aged to Old Adult Women.", International Journal of Dentistry 2022 5340301-5340301.
- [4] Oka, A., Tanikawa, C.\*, Ohara, H., and Yamashiro, T. "Relationship Between Stigma Experience and Self-Perception Related to Facial Appearance in Young Japanese Patients with Cleft lip and/or Palate.", The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association, 10556656221114581-10556656221114581 , 2022.
- [5] Lim, J., Tanikawa, C.\*, Kogo, M., and Yamashiro, T. " Prognostic Factors for Orthognathic Surgery in Children With Cleft Lip and/or Palate: Dentition and Palatal Morphology. .", The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association 10556656221109425-10556656221109425, 2022.

### (受賞)

- [1] 谷川千尋, "研究科長賞 (研究分野一位) 大阪大学歯学研究科"

システムデザイン部門・環境イノベーション

## 新しいエネルギー性能評価指標の検証のための詳細行動データ取得技術

山口 弘純（情報科学研究科）

下田 吉之（工学研究科）

### 1 研究の背景

近年、大型ビルを中心にビルエネルギー管理システム（BEMS）の導入が増加し、建物全体でのエネルギー消費削減を目指したシステム運用が行われている。BEMSは、ビル建設時に設置される温湿度計、CO<sub>2</sub>計、場合によっては風量計といった空気センサー情報を活用して換気や温湿度調整を行う。また、最新のBEMSでは、消費電力の約7割を占める照明・空調機器を利用者の在不在に応じて適切に制御し、不要な電力消費を削減するタスクアンビエント照明空調システムの導入が検討されている。しかしながら、従来のBEMSでは建築物の利用状況を正確に把握できず、例えば人気が高く多数の来客がある場所や長時間運用される建物ではエネルギー消費が大きくなり、省エネルギー性能が低いと評価される問題があった。

### 2 研究の目的

本研究の目的は、これまでの課題を踏まえ、建物の在室状況などをセンシング技術により高度に計測できる手法を開発することである。また、建物内の滞在状況を考慮した新たな評価指標を提案し、省エネルギー性能をより正確に評価できるようにすることを目指す。これら目的のため、実環境での実験やセンシングプラットフォーム構築を通して、人流や建築内環境・行動の詳細計測を行い、提案する評価指標を実際の建築物に適用するために必要なデータを収集・解析することを目指している。

### 3 研究の方法

我々はこれまでに、3次元深度センサから得られる点群データを用いた人物センシング手法を開発・カルマンフィルタを用いた複数人物の高精度トラッキングを導入し、簡易な実証実験によりその性能を評価してきた。本年度は建物全域での人物の追跡を目的として、視野が重複しない3次元測域センサ（LiDAR）をまたいだ人物の再識別手法（Person Re-ID）の設計を行い、実環境におけるその性能評価を行う。また近年注目を集めている、大規模言語モデルをベースとすることで、様々な状況認識タスクにおいて高い精度を示している視覚言語融合モデルによる状況認識タスクの基礎性能評価を行う。

### 4 研究成果

#### 4.1 3次元点群での人物再識別

複数個所に設置されLiDARで検出された人物が、同一人物であるかどうかを判定する。LiDAR<sub>u</sub>および<sub>v</sub>で計測された3次元点群と軌跡データをそれぞれ $tr_u$ ,  $tr_v$ と表す。この2つの人物データの類似性を $(tr_u, tr_v)$ とする。次の3つの特徴量を利用し、この類似性を計算する。(i)  $tr_u$ と $tr_v$ から得られる2つの人物セグメント（点群）の類似性、(ii)  $tr_u$ の終点から $tr_v$ の始点への統計的空間特徴（遷移の頻度）、そして(iii)  $tr_u$ の終点から $tr_v$ の始点への統計的時間特徴（移動時間）。対応する確率（尤度）はそれぞれ $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ と表す。類似性は、

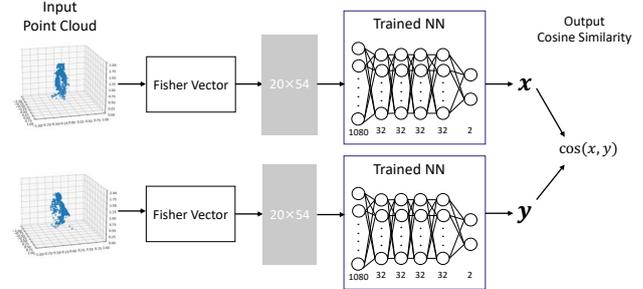


図1: 深層距離学習による人物点群の再識別手法

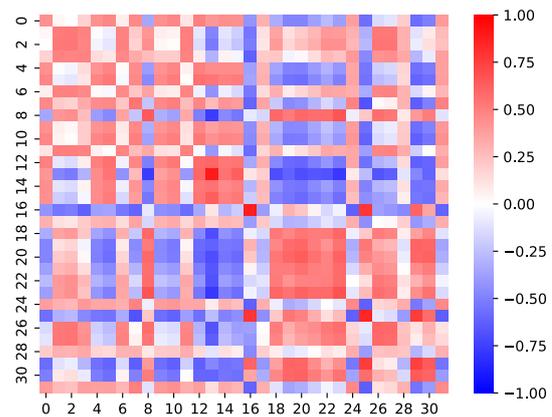


図2: 32人の人物点群に対する点群特徴のみを用いた類似度評価

$A(tr_1, tr_2)$ と表記され、上記の確率の積である。

$$A(tr_u, tr_v) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (3.7)$$

人物セグメント（点群）の類似性計算においては、Fisher Vector ベースの特徴抽出と深層距離学習を用いて類似度関数を得る（図1）。これは、点群データが通常、順序なしの非構造データであり、また点群の数もセグメントによって異なるため、直接的な学習ベースの方法で類似性を計算することが容易でないからである。

提案手法の評価のために、大阪大学箕面キャンパスの2Fに設置された2台のLiDARにより、32人の人物点群を取得した。点群特徴のみを用いた深層距離学習による類似性を図2に示し、同一人物判定の精度をROC曲線で示したものを図3に示す。AUC（Area Under the Curve）指標の値は0.71であった。この32人の点群を学習データとして深層距離学習を適用し、得られた距離関数を用いて、キャンパス1Fで離れた位置に設置された2台のLiDARで計測された人物点群同士の再識

表 1: 人物再識別の総合性能評価

Method	Features to use	F-measure
Ours	点群形状類似性 ( $P_1$ ) + 遷移頻度 ( $P_2$ ) + 移動時間 ( $P_3$ )	0.844
RGB	画像特徴類似性 + T 遷移頻度 ( $P_3$ )	0.851

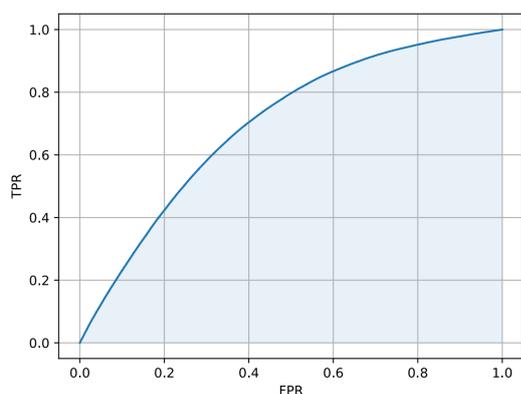


図 3: 同一人物判定における ROC 曲線

別精度を、既存の RGB カメラベースの手法と比較・評価した。評価結果を表 1 に示す。

色情報を含む画像特徴量を用いる手法では、F 値が 0.85 程度の精度であったのに対して、提案手法は画像特徴を一切利用せずに、F 値 0.84 と、ほぼ同等の精度を達成した。

本研究成果の一部に基づく論文がモバイル・パーベシブコンピューティング分野における著名国際会議 IEEE PerCom2023 (採択率 17%) [1] に採録されている。

#### 4. 2 視覚言語融合モデルを用いた詳細状況・行動・コンテキスト理解

前述したように、RGB カメラによる映像を利用した状況認識技術は多くの場面で用いられているが、プライバシーの問題があるため、公共空間での計測には適さない。一方、LiDAR はプライバシーが保護された状況での観測が可能である。近年の三次元点群認識技術は機械学習に基づくが、多くの学習データが必要であり、また点群特性や密度が異なるため、汎用性のあるモデルの構築は難しい。さらに、三次元点群はアノテーションのコストも高いとされている。これに対して、いわゆる Zero-shot や Few-shot 学習を可能にする大規模な深層学習モデルが注目されている。例えば GPT-2 や BERT などの言語生成モデルは未知のタスクに対しても高い性能を示す。また、視覚言語融合モデルである CLIP は様々な視覚認識タスクを高い精度で実行できる。本研究では、ゼロショット学習された事前学習モデルを用いた三次元点群からの状況認識を目的とし、視覚言語融合モデルと LiDAR 点群の併用による詳細状況・行動・コンテキスト理解のシステム設計を行った。提案システムでは、複数の LiDAR を用いて物体を撮影し、三次元点群データを取得する。ノイズ除去後、物体形状を把握し基準を設定する。14 種類のパラメータを設定し、遺伝的アルゴリズムを用い

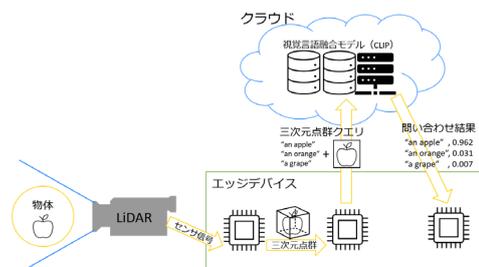


図 4: 視覚言語融合モデルを用いた詳細状況・行動・コンテキスト理解のためのシステムアーキテクチャ

て最適な二次元画像への変換パラメータを求める。

システムは図 4 に示す。LiDAR で取得された三次元点群による場の理解を目的とする。エッジデバイスは三次元点群データを三次元点群クエリに変換し、クラウドサーバ上の視覚言語融合モデルに問い合わせる。視覚言語融合モデルは、テキストプロンプトごとに適応度を得ることができる。適応度は、テキストプロンプトが点群データの説明として適切であるかを示す値である。エッジデバイスでは、視覚言語融合モデルからの適応度のリストをもとに、点群に対するクラス分類などの認識タスクを行うことができる。

提案手法では、遺伝的アルゴリズムを用いたクエリパラメータの最適化手法による物体認識タスクの精度評価を行った。その結果、クラス分類の適応度平均値は 0.88 であり、認識可能であることが確認された。

#### 引用文献

- [a] a Alec Radford, Jong Wook Kim, Chris Hallacy, Aditya Ramesh, Gabriel Goh, Sandhini Agarwal, Girish Sastry, Amanda Askell, Pamela Mishkin, Jack Clark, Gretchen Krueger, Ilya Sutskever, “Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision”, In Proceedings of the International conference on machine learning (ICML 2021), pp. 8748-8763, 2021

#### 発表論文等

##### [学会発表]

- [1] Masakazu Ohno, Riki Ukyo, Tatsuya Amano, Hamada Rizk, Hirozumi Yamaguchi, “Privacy-preserving Pedestrian Tracking using Distributed 3D LiDARs”, In Proceedings of the 21st International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2023), pp.43-52, 2023.

## 都市空間設計のためのマルチスケール・モビリティデータの収集・解析技術

天野 辰哉 (情報科学研究科)

青木 嵩 (工学研究科)

小島 見和 (工学研究科)

山口 弘純 (情報科学研究科)

### 1 研究の背景

災害の激化，少子高齢化，地域格差の拡大，コロナ禍以降のニューノーマル対応，Well-being 志向の高まりなどを背景に，「人間中心のまちづくり」への要求が高まっている．国土交通省は 2022 年に「まちづくりのデジタル・トランスフォーメーション実現ビジョン」(国土交通省，2022) を公開し，変化する社会情勢や住民のニーズに柔軟に適応可能な都市の実現に向けて，従来のマクロな設計や政策に加え，データ駆動型アプローチの必要性を提唱している．そのため，IoT やデジタルツインを用いたリアルタイムな状況データ収集技術の連携が不可欠とされている．

### 2 研究の目的

施設配置やモビリティ網の再編を効果的に進めるためには，人流・施設の利用状況の把握が不可欠である．広域変化の把握にはパーソントリップや GPS トレースデータが有効だが，地域スポットにおける詳細な分析への活用は容易ではない．本研究では，LiDAR (Light Detection and Ranging) センサから得られるスポット的人流データとの連携による広域人流の再現・推定技術の開発を目指し，地域空間の設計に資するデータ収集・分析システムの開発を目的としている．

### 3 研究の方法

本年度は，スポットのセンシングデータ収集のため，LiDAR を用いたローカルスポットでの人々の移動・行動，コミュニケーションや繋がり の計測システムの開発を進めた．具体的には大阪大学 Society5.0 プロジェクトで新箕面キャンパスに設置された 3 次元 LiDAR システムを活用し，学生や訪問者の移動や接触情報を把握する技術およびプライバシーに配慮しそれらを安全な形で集約するための基礎アルゴリズムおよび基盤開発を行った．

公共空間における高粒度の人流・行動追跡では RGB カメラを用いたシステムが広く利用されているが，歩行者のプライバシー漏洩リスクが指摘されている．そこで我々は，LiDAR を用いた歩行者のトラッキングシステム「ひとなび」を開発している．これにより，プライバシー上の懸念を抑えつつ，歩行者移動軌跡のリアルタイム出力が可能になる．ただし，公共空間全体の人流再現のためには複数の LiDAR 設置が不可欠であり，コストや建物構造上の制約により，空間全体を網羅可能な台数を設置することは現実的でなく，計測不可能な領域が生じることは避けられない．そこで本研究では，計測不可能な領域によって断片化した人物軌跡の再接続を目的とし，「ひとなび」により得られる人物点群および人物軌跡に対して，それらが同一人物によるものかを判別するアルゴリズムを提案する．

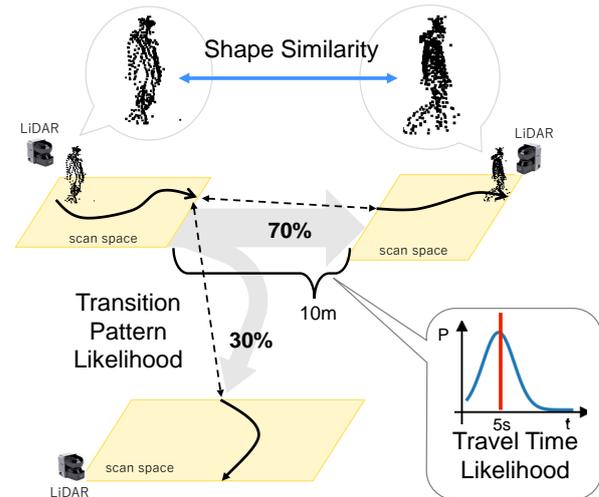


図 1: スポットの人物軌跡観測からの全体軌跡再構築法

### 4 研究成果

広域人流の再現を目指し，視野の重複がない分散配置された LiDAR を用いた追跡手法を設計・提案した (図 1)．提案手法では，各 LiDAR から得られる 3 次元の人物点群の形状特徴に基づく類似度 (Shape Similarity) と，推定される軌跡の遷移頻度 (Transition Pattern) および遷移時間 (Travel Time) といった遷移にかかわるパターンを組み合わせ，軌跡の再接続を行う．人物点群の類似性計算のために，Fisher Vector に基づく点群特徴量抽出と距離学習を併用し，2 つの人物点群の非類似度を表現する距離関数を獲得する．さらに，建物構造や信頼性の高い軌跡の観測から推定できる観測領域の接続関係とその遷移時間の履歴に基づいて，離れた 2 つの軌跡が同一人物の移動により生成された確率を求める．この確率を人物点群からの類似度と合わせることで，最終的に軌跡が同一人物によるものであるかを判定する．

距離学習では，2 つの入力  $x, x'$  に対して，それらのマハラノビス距離  $D_L$  を  $D_L(x, x') = \sqrt{(x - x')^T M (x - x')}$  として同一のクラス同士が近くなり異なるクラス同士が離れるように行列  $M$  を決定する．この決定するためのアルゴリズムとして LMNN (Large Margin Nearest Neighbor) (Weinberger et al., 2009) を用いる．LMNN ではヒンジ損失に基づく凸最適化によってクラス分類を行う．学習した行列  $M$  を用いて 2 つの点群間のマハラノビス距離を求める．求めたマハラノビス距離が短いほど高い同一人物確率を与える．

提案手法の有効性を検証するために，大阪大学箕面キャンパ

表 1: 3次元 LiDAR 仕様・設定

	Livox Avia	Hokuyo YVT35LX
最大点数 (/frame)	240,000 点	2,664 点
フレームレート	10 FPS	5 FPS
最大計測可能距離	460 m	35 m
走査視野角 (水平)	70.4 度	210 度
走査視野角 (垂直)	77.2 度	40 度
距離精度	± 2.0 cm	± 0.1 cm
角度精度	± 0.05 度	± 2.0 度

5F に設置された LiDAR センサ 7 台を用いて収集した軌跡および点群のデータセットにより評価を行った。LiDAR の配置図と計測範囲を図 2 に示す。3次元 LiDAR として北陽電機株式会社の YVT-35LX および Livox 社の Livox Avia を使用した。各 LiDAR の性能を表 1 に示す。各 LiDAR の計測領域における人物の検出および軌跡の推定には、我々が提案した、カルマンフィルタに基づく不完全点群に対して堅牢な人物トラッキング手法 (Riki et al., 2020) を用いた。収集したデータは 5 階廊下全体の軌跡である。評価のため、図 2 の赤枠で示した領域のデータを非計測領域とし、その他スポットデータから、再現した人流と非計測領域の真値軌跡を比較することで、軌跡再構築の性能を調査した。2022 年 1 月 20 日 11 時から同年 1 月 24 日 13 時までデータ収集を実施し、延べ 15,101 人の軌跡データを取得。非計測領域によって分断された軌跡は、断片化後で 19,356 となった。

非計測領域によって断片化された軌跡の任意のペアに対して、同一人物による軌跡であるかどうかを提案手法により推定した。なお、本検証においては、点群密度の低い LiDAR を用いたため、Shape Similarity として、検出された人物のバウンディングボックスの高さ成分を特徴量として利用した。

その結果、同一判定における F 値 0.8 を達成できることを確認した。

なお本研究成果に一部基づく論文がモバイル・パーベインブコンピューティング分野における著名国際会議 IEEE PerCom2023 (採択率 17%) [1] に採録されている。

## 引用文献

- [a] 国土交通省, “まちづくりのデジタル・トランスフォーメーション実現ビジョン (ver1.00)”, Online; accessed 5-Feb-2023, 2022. . Available: <https://www.mlit.go.jp/toshi/>
- [b] Kilian Q Weinberger and Lawrence K Saul, “Distance metric learning for large margin nearest neighbor classification”, Journal of machine learning research, vol.10, no.2, 2009.
- [c] Riki Ukyo, Tatsuya Amano, Akihito Hiromori and Hirozumi Yamaguchi, “Pedestrian Tracking in Public Pas-

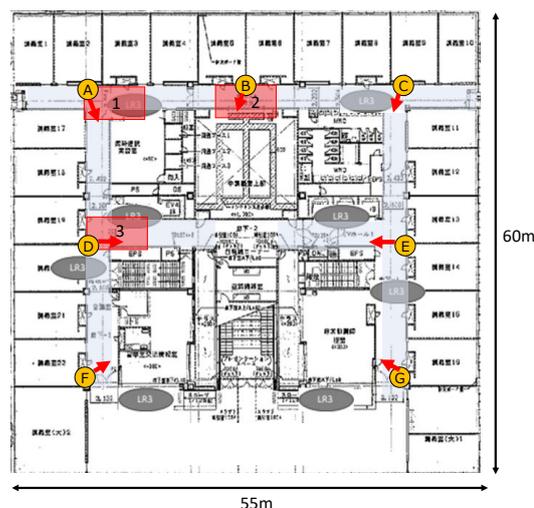


図 2: 箕面キャンパス 5F の LiDAR 配置図。赤枠で示した領域が評価に使用した非計測範囲

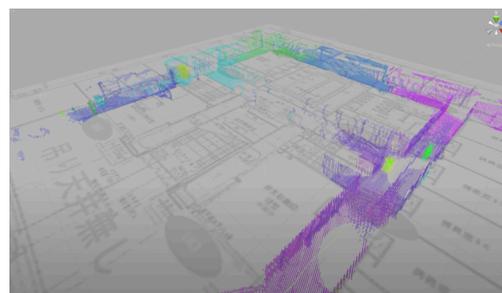


図 3: LiDAR によって得られる箕面キャンパス 5F 廊下の点群データ

sageway by Single 3D Depth Sensor”, In Proceedings of the 2022 IEEE International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems Co-located with IEEE PerCom 2022, pp. 581-586

## 発表論文等

### 〔学会発表〕

- [1] Masakazu Ohno, Riki Ukyo, Tatsuya Amano, Hamada Rizk, Hirozumi Yamaguchi, “Privacy-preserving Pedestrian Tracking using Distributed 3D LiDARs”, In Proceedings of the 21st International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2023), pp.43-52, 2023.

機能デザイン部門

## 非翻訳 RNA を標的とした低分子創薬候補物質の判別手法開発

山田 剛史 (産業科学研究所)

中谷 和彦 (産業科学研究所)

松下 康之 (IDS)

## 1 研究の背景

近年、創薬領域では、DNA や RNA 中の特異構造を標的とする低分子への関心が高まっている。例えば、中谷らは、CAG リピート DNA に強く結合する低分子 NA を報告し、ハンチントン病 (HD) 患者細胞・HD モデルマウスを用いた生物学的実験により、NA の HD 治療医薬品開発のためのリード化合物としての可能性を報告している。しかし、分子設計による核酸結合分子の開発は、標的である核酸側が低分子の結合によってダイナミックに変化することからとても困難である。

翻って、低分子スクリーニングは RNA 結合分子を見つけ出すための有望なアプローチである。しかしながら、ランダムな分子ライブラリーを用いたスクリーニングでは、強い結合を示すヒット化合物が出現する確率は極めて低く、膨大な時間と費用が必要である。これまで我々は、上記の RNA 結合性低分子開発のボトルネックを解消するため、低分子?RNA 複合体の形成経路解析 (H29,30)、低分子?RNA 複合体形成ペアの創出・複合体構造解析 (H29)、スクリーニングデータ分類アルゴリズム構築 (H30-R2) を進め、後述する「外部資金」の項に示した競争的資金や企業との共同研究に繋げてきた。

## 2 研究の目的

フォーカスト分子ライブラリーは、潜在的ヒット化合物の比率が高い分子ライブラリーを指す。スクリーニングの大幅なコスト削減を目指し、「RNA 結合性低分子に特化したフォーカスト分子ライブラリーを構築する手法を、機械学習 (ML) のファインチューニングによって確立すること」を本研究の目的とした。RNA 標的フォーカストライブラリー構築のためのプログラムは、国内外の製薬企業にとって将来的には必須のツールであり、知財価値は極めて高い。

## 3 研究の方法

本研究では、中谷研で独自に収集した「CAG リピートを標的とする低分子化合物のスクリーニングデータ」の 2 値分類を行い、低分子のデータ化には分子記述子生成ソフトウェアを用いて、フォーカスト分子ライブラリーを構築するためのプログラム開発を目指した。(図 1) SPR アッセイはスループット性が低いものの、ML タスク上で標的に強く結合する低分子の ground truth ラベルを生成するための高品質なデータを提供することができる。図 1B に、SPR センサチップ上に固定化された CAG リピートと低分子化合物の相互作用によって示される典型的な SPR シグナルを 3 種類示した。スクリーニングデータの解析に基づきヒット・ノンヒットにラベル化した後、ランダムフォレスト (RF) モデルをトレーニングし (図 1C)、

二値分類の精度をプログラムのファインチューニングによって向上させることで、フォーカスト分子ライブラリーの構築を目指した。(図 1D)

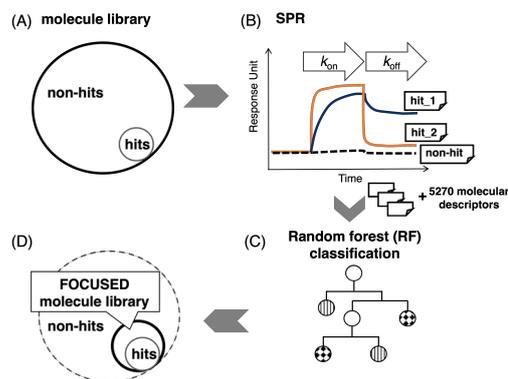


図 1: (A) 分子ライブラリー (B) SPR によるヒット化合物の抽出 (C) RF による機械学習 (D) フォーカスト分子ライブラリーの構築

## 4 研究成果

## 4.1 SPR スクリーニングと分子記述子による化合物のデータ化

最初に、中谷研と共同研究している製薬企業によって提供された 2000 化合物に対して SPR による相互作用解析を行った。CAG リピートを SPR センサチップに固定化し、次に各分子をフロー上に流し、固定化された CAG リピートと接触させ、各化合物の SPR プロファイルを得た。各 SPR プロファイルの信号強度を比較して、強い信号強度を示した 104 のヒットと、それ以外の 1896 (ノンヒット) に分類した。この時、データセット内のヒットとノンヒットの割合は約 1:19 であった。

## 4.2 全データを用いた結果

まず初めに、2000 のサンプルすべてを用いて RF モデルの学習を検討した。トレーニング: テストの比率は 8:2 とし、トレーニングデータセットは 76 のヒットと 1524 のノンヒットを含んでいた。得られた学習モデルを用いて、テストデータの分類を試みた結果を図 2B に示す。正しくヒットと予測されたヒット (真陽性:TP) はヒット全体の 28 中の 3、リコール値としては 0.11(3/3+25) で著しく低い値を示した。

## 4.3 ノンヒットデータのダウンサンプリング

前節の著しく低いリコール値の理由として、トレーニングデータセット内のヒットの割合がわずか 4.8% (76/1600) で

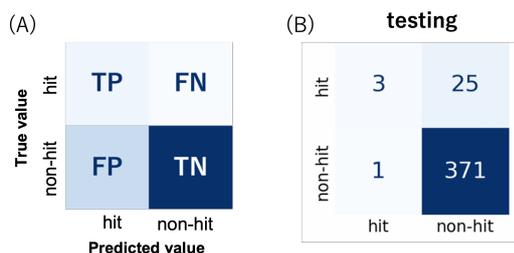


図 2: (A) 混同行列 (B) 全データを用いたモデルを用いた時の、テストデータの二値分類の結果

あったため、データセットにおいて支配的なノンヒットの特徴が過剰学習されたと考えた。また、ヒット化合物の化学構造を見ると、様々な構造的特徴が混在しており、これもヒットの予測を困難にする一因と考えられた。

予測精度の精度向上を目指し、ダウンサンプリングを適用して、トレーニングデータセット内の多数を占めるノンヒットをランダムに削除し、データバランスを調整した。ダウンサンプリング値を 1200 から 1485 まで段階的に変更し、各々の条件下 100 回独立に計算を行い、平均リコール値からモデルの性能を評価した。(図 3A) 我々の目的である「高品質なフォーカスト分子ライブラリーの構築」のためは、再現率を最大化しながら、偽陰性 (FN) 値を最小限に抑える必要があると考え、F1 値をモデルの評価に加え、精度と再現率のトレードオフを分析した。結果、76 のヒットと 74 のノンヒットを含むトレーニングデータで学習させたところ、0.75 の平均リコール値と 0.16 の F1 値を示した。さらに図 3C に ROC による交差検証の結果を示した。平均 AUC 値は 0.81 と良好な値を示し、標準偏差 (灰色部分) も十分低い値を示した。

## 5 研究の方法結果のまとめ、考察と今後の予定

ML ベースのアプローチにより、CAG リピートをターゲットとする低分子のフォーカスト分子ライブラリを作成することが可能なプログラムを作成することに成功した。SPR アッセイは高品質な ground truth ラベルをデータセットに付加するのに有用であることが示された。

最大のパフォーマンスを示したモデルでは、潜在的ヒット化合物の 85.7% をヒット化合物として正しく分類し、その条件下、ノンヒットの 73.4% を潜在的ノンヒットとして分類することができた。これにより、ノンヒット化合物の 70% 以上をウェット実験を行うことなく除去することが可能になり、理論的には、焦点を絞った分子ライブラリー内のヒットの確率を、標準的な分子ライブラリーの 5% から 19.5% に高めることを可能にする。現在、我々は本実験の成果をもとに、畳み込みグラフニューラルネットワーク (CGNN) を用いたスクリーニングデータ解析を開始し、上々の成果が出つつある。今後、CGNN の結果、さらには RF と CGNN を組み合わせた新手法などを報告できると考えている。

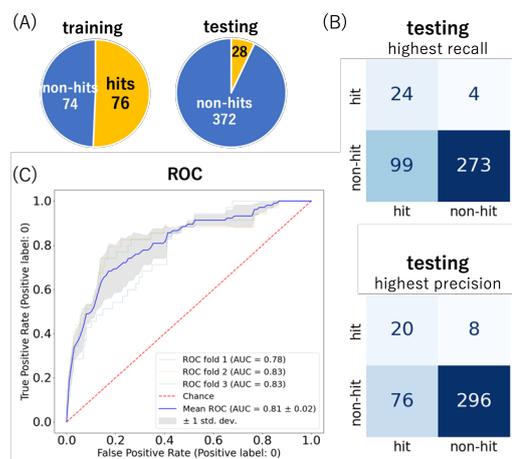


図 3: (A) ダウンサンプリング後のデータ数 (B) ダウンサンプリング後のテストデータの二値分類の結果 (C) ROC による評価

## 引用文献

- [a] Shibata, T.; Nagano, K.; Ueyama, M.; Ninomiya, K.; Hirose, T.; Nagai, Y.; Ishikawa, K.; Kawai, G.; Nakatani, K. *Nat. Commun.* 2021, 12, 236.

## 発表論文等

### 〔学会発表〕

- [1] Qingwen Chen et al, "Machine learning-based classification in small molecules targeting CAG-repeat DNA", 日本核酸化学会若手フォーラム, 2021.
- [2] Qingwen Chen et al, "Computer-aided classification of small molecules targeting CAG-repeat DNA", ISNAC, 2021.
- [3] Qingwen Chen et al, "Using machine learning to classify and extract features of small-molecule libraries targeting DNA and RNA", PacifiChem, 2021.

### 〔外部資金〕

- [1] 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 A, (代表) 中谷和彦, (分担) 山田剛史
- [2] 2019-2021 年度, 科学研究費助成金 挑戦的萌芽研究, (代表) 中谷和彦
- [3] 2019-2021 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 A, (代表) 中谷和彦
- [4] 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 C, (代表) 山田剛史
- [5] 2019-2021 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 C, (代表) 山田剛史
- [6] 2021-2023 次世代挑戦的研究者育成プロジェクト QINGWEN CHEN
- [7] 2021 年度, 学内共同研究 2 件 (分担) 中谷和彦
- [8] 2021 年度, 企業との共同研究 3 件

機能デザイン部門

## 画像認識に基づく有機共結晶の自動スクリーニング

久木 一郎 (基礎工学研究科)

間下 以大 (サイバーメディアセンター)

橋本 泰利 (基礎工学研究科)

### 1 研究の背景

複数種の有機分子を含む結晶(共結晶)は、一成分結晶では困難な複合機能の発現、新機能の創発、機能の微調整が可能であることから、医薬品や有機半導体素子(電荷輸送層や発光層)への応用の観点から盛んに研究されている。しかし現在のところ共結晶の組成は、一粒の結晶を用いたX線構造解析や、結晶を溶媒に溶解した状態での高速液体カラムクロマトグラフィー(HPLC)分析などで決定されている。一粒の結晶を用いた単結晶X線回折実験による成分比の同定では、数千万円の汎用の回折装置を用いたとしても組成決定には数時間を要し、しかも一粒ずつしか解析できない。一方、後者のHPLCによる含有成分の分離と定量化では数分から数十分ほどで分析できるものの、結晶を有機溶媒に溶解させる必要があり、分析に用いた結晶はその後に利用できないというジレンマがある。したがって、非破壊かつハイスループットな同定法が求められている。これまでに例えば、金属ナノ粒子の透過型電子顕微鏡像の画像解析を機械学習アルゴリズムによっておこない、粒子を分類した例が報告されている[a]。

### 2 研究の目的

本研究の最終的な目的は、共結晶の成分比によってわずかに変わると考えられる結晶外形を、共結晶の組成と紐づけ、画像認識によって共結晶の外形から組成を自動かつハイスループットで推測・決定するシステムを構築することである(図1)。このような画像認識は、化学および物質科学の分野において大きなインパクトを与える。

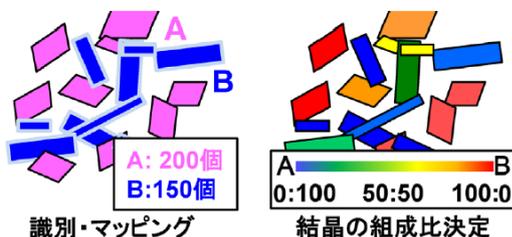


図1: 有機結晶の識別および共結晶の組成比の決定

本年度は具体的に、ピレンとヒドロピレンのテトラカルボン酸誘導体(それぞれCP-PyとCP-Hp)が形成する水素結合ネットワーク結晶系において、共結晶を作成し、CP-PyとCP-Hpの成分比を単結晶の外形から画像認識により非破壊かつ短時間に判別することを目指した。

### 3 研究の方法

本研究では上記の課題を検討する糸口として、(1)それぞれの親化合物(ピレンPyとヒドロピレンHp)の結晶化条件の最適化、結晶の作成と写真の取得、結晶の構造解析を行った。さらに、(2)CP-PyとCP-Hpの共結晶化条件の最適化、共結晶の作成と写真の取得および構造解析を行った。これらを基に、(3)結晶外形の画像認識による単一成分結晶の混合比の算出について検討した。

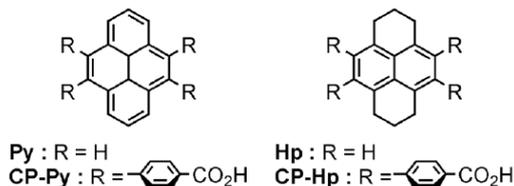


図2: 用いた化合物の構造式

### 4 研究成果

PyおよびHpのそれぞれの溶液および混合溶液から溶媒蒸発法により結晶を作成した。PyとHpはそれぞれ、主に菱形ブロック状および直方柱状の単結晶を与えることがわかった。また混合溶媒からも、共結晶ではなく単一組成結晶の混合物を与えることがわかった(図3)。これらの結晶の大きさおよびアスペクト比は個々の結晶によって大きく異なる。このため両者の判別には、結晶の顕微鏡像において、上面に露出した結晶面を構成する周囲の4辺がなす角度を基準にすることが適当であると考えた。しかし、複数の結晶が凝集して形状が判別できない場合や、結晶の配向によっては、基準面が露出していない場合がある一定以上の頻度でみられる。これらの場合、結晶外形からの判断が難しいことが示唆された。

また、CP-PyとCP-Hpの混合溶液を溶媒蒸発法によって結晶化させたところ、CP-PyとCP-Hpが同一の単結晶中に混在した共結晶を与えることがわかった(図4a)。単結晶中に含まれるそれぞれの組成の比(y)は、初めに調整した溶液の組成比(x)とほぼ相関することがわかった(図4b)。しかし、その比は完全に同一ではなく、また同じ組成の溶液から異なる組成比の共結晶が生成することもわかった。また、検討段階ではあるが、共単結晶の外形は、初期溶液のCP-PyとCP-Hpの組成比と良い相関があることが示唆された(図4c)。今後は、これらの結晶中の組成比(y)を単結晶X線構造解析により決定し、結晶外形との相関をあきらかにする。その後、結晶外形から組成比を簡便に見積もるための機械学習を駆使した画像認識について検討を行う予定である。

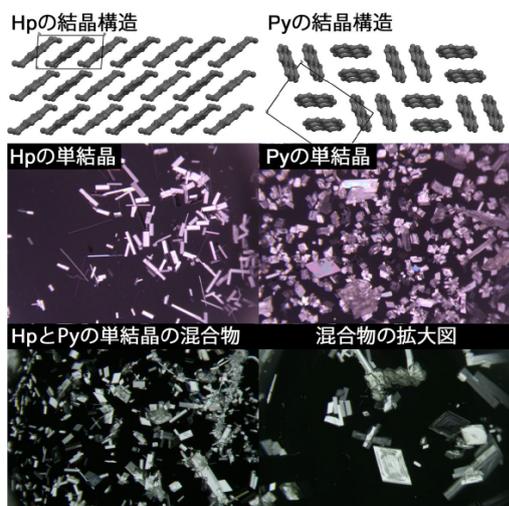


図3: Hp と Py のそれぞれの、および混合物の結晶写真

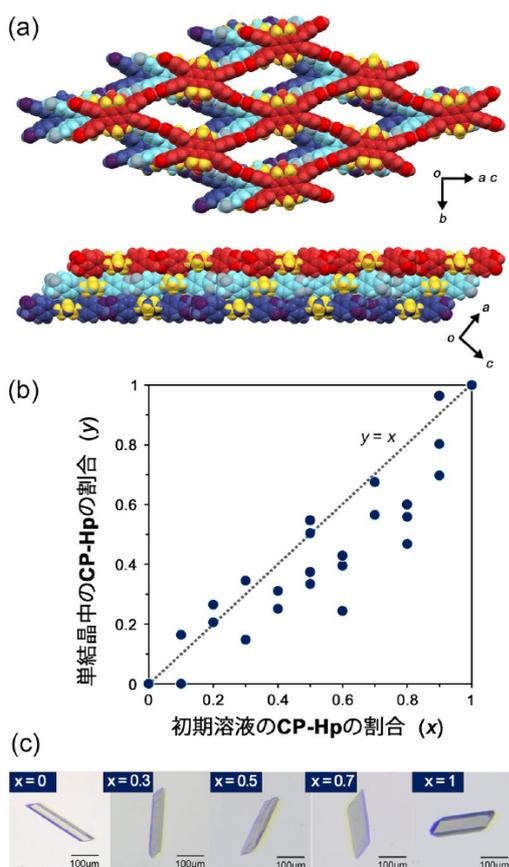


図4: CP-Py と CP-Hp の共結晶化. (a) 単結晶構造 (黄色部分は両成分が混在した平均構造を示す), (b) 初期溶液と結晶中での両成分の組成比, (c) 初期溶液の成分比に依存した単結晶の外形 (外形から組成比が見積もれると期待される).

なお今回の検討から、以下のような問題点が浮かび上がった。すなわち、写真から個々の一粒の単結晶の形状を画像認識する過程において、複数の結晶の重なりや、結晶の配向 (写真に写っている結晶面) から、同じ化合物の結晶と判断できない可能性があること、さらには写真の倍率、像のフォーカス具合、色などが均一であるかどうか、非常に重要な要因であることが分かった。今後、取得する写真の撮影条件を最適化した後、改めて検討を行う。

#### 引用文献

- [a] X. Wang, J. Li, H. D. Ha, J. C. Dahl, J. C. Ondry, I. Moreno-Hernandez, T. Head-Gordon, A. P. Alivisatos, "AutoDetect-mNP: An Unsupervised Machine Learning Algorithm for Automated Analysis of Transmission Electron Microscope Images of Metal Nanoparticles", *JACS Au*, 1, 316-327, 2021.

#### 発表論文等

##### 〔雑誌論文〕

- [1] T. Hashimoto, R. Oketani, M. Nobuoka, S. Seki, I. Hisaki, "Single Crystalline, Non-stoichiometric Cocrystals of Hydrogen-Bonded Organic Frameworks", *Angew. Chem. Int. Ed.* 62, e202215836, 2023.

機能デザイン部門

## X線回折スペクトルの機械学習に基づく半導体デバイスの3次元断層解析

林 侑介（基礎工学研究科）

酒井 朗（基礎工学研究科）

今井 康彦（JASRI）

福井 健一（産研）

### 1 研究の背景

トランジスタや発光素子などの単結晶半導体デバイス内部に含まれる歪・欠陥を高精度に測定する手法として、X線回折法(XRD)は欠かせない評価手法となっている。しかし、通常のX線ビームサイズは1 mm 径程度で、ミクロンスケールのデバイス活性層の厚さを分解して測定することが難しかった。XRDのポテンシャルを引き出すアプローチとして、研究代表者【林】はこれまでに共同研究者【酒井】ならびに研究協力者【今井】と協力して放射光施設 SPring-8 において3次元ナノビーム X線回折法(3D-nanoXRD)に取り組み、膜厚方向に情報を分解した3次元断層解析の開発を進めてきた [a]。

### 2 研究の目的

研究代表者【林】は放射光施設 SPring-8 におけるナノビーム X線回折測定を通じて、1辺 500 nm の3次元空間分解能で帯域 40 万の X線回折スペクトルを取得し、デバイス内部の歪・欠陥を断層解析する技術の開発に取り組んできた(図1)。本研究では機械学習を利用することで長時間のデータ解析コストを削減し、これまでは抽出が難しかった潜在的な情報に基づく断層解析に挑戦する。

### 3 研究の方法

XRD 測定では結晶の規則性・歪・欠陥情報を反映したスペクトルを取得できる。3D-nanoXRD ではこのスペクトルを1辺 500 nm のボクセルに格納し、データ解析によって可視化することで3次元断層解析を行う。研究代表者【林】は、ナノサイズに集光した入射 X線ビームとプラチナ線による回折 X線の遮蔽を組み合わせることで3D-nanoXRD 測定に取り組んできた。その結果、ワイドギャップ半導体で知られる窒化アルミニウム (AlN) 結晶内に誘起される歪分布の3次元断層解析に成功している。しかし、1ボクセルに格納されるスペクトル帯域は 40 万と膨大であったためそのまま読み解くことは難しく、これまではスペクトルを圧縮したうえでピークフィッティングするアプローチを採っていた。

そこで今回、研究代表者【林】は、3D-nanoXRD の大規模測定データに対し、「機械学習アルゴリズムの適用による高速・高精度な解析プロトコルの確立」に取り組んだ。これにより、従来ボトルネックとなっていた長時間データ解析の大幅な削減を期待できると同時に、深層学習を用いて大規模スペクトル群から潜在的な特徴量を抽出することで、3D-nanoXRD の社会実装に向けた研究開発の大幅な加速を期待できる。

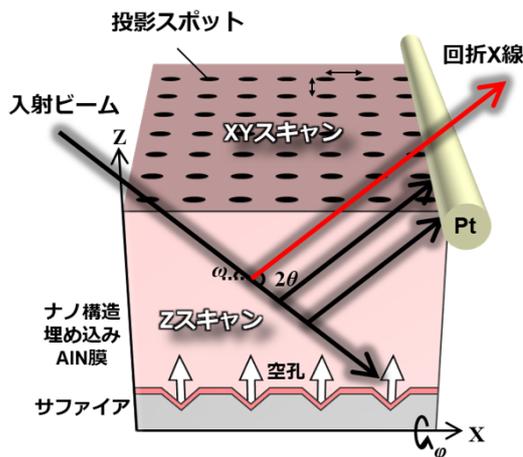


図1: 3D-nanoXRD の模式図

### 4 研究成果

研究代表者【林】は、高効率な深紫外発光ダイオードに向けて AlN 結晶の 3D-nanoXRD 測定に取り組んできた。発光ダイオードの光取り出し効率を向上させるため、AlN 内部に周期的なナノ構造が埋め込まれた構造となっている。ナノ構造によって形成された空孔は複雑な歪・欠陥分布を誘起することが知られており、その定量的な測定がデバイス特性向上に向けて重要な課題となっている。

本研究ではまず、nanoXRD 測定の結果を実像に基づいて解釈するため、透過電子顕微鏡観察 (TEM) による微細構造解析を実施した。その結果、ナノ構造が誘起する複雑な空孔や欠陥の分布は、結晶成長方法やナノパターン加工の形状に大きく依存することが明らかになった [2]。さらに、TEM によって特定された空孔等の微細構造の深さ位置は、3D-nanoXRD 測定結果における歪緩和・蓄積の挙動と空間的に一致していたため、両者が高い相関関係にあることが初めて示された。

続いて、「適切な機械学習モデルの利用による解析プロトコルの確立」に向けて、教師なし機械学習による次元削減アルゴリズム Uniform Manifold Approximation and Projection (UMAP) の活用に取り組んだ。初期検討として、ハイドライド気相成長法で作成した窒化ガリウム (GaN) 試料に対し、2-200 および 2-202 回折について、1 μm 間隔で全 1271 点の nanoXRD 回折パターンを 2次元面内で測定し、UMAP によるデータ処理を行った。c 軸および a 軸格子定数のプロットについて UMAP で次元削減を行ったところ、大きく分けて 2つのグループに分類される結果となった。さらに、これら 2つの

グループは、nanoXRD 測定箇所を多光子励起フォトルミネッセンス顕微鏡で観察した際に、明・暗コントラストとなる領域とそれぞれよく一致することが明らかとなった。以上の結果から、GaN 試料中の格子欠陥に起因する格子定数変化の挙動が、UMAP 解析によって抽出されていることが示唆された。今後は他のプロットも含めて更に詳細な解析を進めるとともに、別試料における 3D-nanoXRD 測定結果への適合性検証を加速させる。

#### 引用文献

- [a] K. Shida, et al., "Microstructural analysis in the depth direction of a heteroepitaxial AlN thick film grown on a trench-patterned template by nanobeam X-ray diffraction," *J. Appl. Phys.*, Vol. 123, pp. 161563-1-7 (2023).
- [b] Y. Nakanishi, et al., "Micro- and Nanostructure Analysis of Vapor-Phase-Grown AlN on Face-to-Face Annealed Sputtered AlN/Nanopatterned Sapphire Substrate Templates," *J. Electron. Mater.*, Vol. 52, pp. 10348-1-10 (2023).

#### 発表論文等

##### (雑誌論文)

- [1] Y. Nakanishi\*, Y. Hayashi\*, T. Hamachi, T. Tohei, Y. Nakajima, S. Xiao, K. Shojiki, H. Miyake, and A. Sakai\*, "Micro- and Nanostructure Analysis of Vapor-Phase-Grown AlN on Face-to-Face Annealed Sputtered AlN/Nanopatterned Sapphire Substrate Templates," *J. Electron. Mater.*, Vol. 52, pp. 10348-1-10 (2023).
- [2] T. Hamachi\*, T. Tohei, Y. Hayashi, M. Imanishi, S. Usami, Y. Mori, and A. Sakai\*, "Comprehensive analysis of current leakage at individual screw and mixed threading dislocations in freestanding GaN substrates," *Sci. Rep.*, Vol. 13, pp. 2436-1-14 (2023).
- [3] Z. Zhang\*, Y. Hayashi, T. Tohei, A. Sakai, V. Protasenko, J. Singhal, H. Miyake, H. G. Xing, D. Jena, and Y. Cho\*, "Molecular Beam Homoepitaxy of N-polar AlN: Enabling Role of Al-Assisted Surface Cleaning," *Sci. Adv.*, Vol. 8, pp. eab06408-1-7 (2022).

##### (学会発表)

- [1] Z. WU, Y. Nakanishi, Y. Hayashi, T. Tohei, Y. Imai, K. Sumitani, S. Kimura, A. Sakai, "A nanoXRD Based Analysis on HVPE GaN Structure Combined with Machine Learning," 2023 年第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-D511-3, Mar. 2023.
- [2] Y. Hayashi, T. Tohei, Z. Zhang, H. G. Xing, D. Jena, Y. Cho, H. Miyake, and A. Sakai, "TEM Analysis of MBE-Grown AlN on N-polar Sputtered and Annealed AlN templates," *International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2022)*, Oct. 2022.
- [3] Y. Hayashi, T. Tohei, K. Uesugi, K. Shojiki, H. Miyake, and A. Sakai, "Crack Formation Mechanism of Sput-

tered and Annealed AlN On c- and a-Plane Sapphire," *International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2022)*, Oct. 2022.

##### (その他)

- [1] [依頼講演] 林侑介, 藤平哲也, Yongjin Cho, Huili Grace Xing, Debdeep Jena, 三宅秀人, 酒井朗 "高品質 AlN テンプレートの歪制御と電子デバイス応用", 電気学会「高機能化合物半導体エレクトロニクス技術と将来システムへの応用調査専門委員会(第2期)」, Dec. 2022.
- [2] [プレスリリース] 大阪大学 ResOU, 三重大学, コーネル大学「6G用の高速パワーデバイスへ! N極性で GaN on AlN を世界で初めて実現!」, 2022 年 9 月 10 日

##### (外部資金)

- [1] 2023-2025, 科学研究費助成金 基盤研究 B, 「ナノビーム X 線回折による半導体デバイスの 4 次元断層解析」, 23H01447, (代表) 林侑介, (分担) 今井康彦
- [2] 2022-2025, 科学研究費助成金 国際共同研究強化 B, 「結晶のヘテロ極性制御を利用した GaN CMOS モノリシック集積回路化技術の開発」, 22KK0055, (代表) 林侑介, (分担) 上杉謙次郎, 宮本恭幸, 佐々木拓生
- [3] 2023, 池谷科学技術振興財団 単年度助成, 「窒化インジウムガリウムの歪・極性エンジニアリングによる 3 原色マイクロ LED 用基板の開発」(代表) 林侑介, (分担) 村上尚

機能デザイン部門

## AI, 連続照射マイクロ波と金属ナノ粒子との共創が拓く生物活性化合物の合成

有澤 光弘 (薬学研究科)

鬼塚 真 (情報科学研究科)

## 1 研究の背景

代表研究者らがつい最近開発した連続照射マイクロ波と金属ナノ粒子触媒を用いる生物活性化合物合成法(図1)は、従来方に比べゴミを出さない革新的技術であり、カーボンニュートラルが叫ばれている今、今後益々発展すると考えられる[a]。しかし、収率良く目的の生成物を合成するためには、従来法の反応条件(基質, 反応剤, 添加剤, 溶媒, 温度, 反応時間, 攪拌法, 攪拌効率など)に加え、マイクロ波特有の反応条件(マイクロ波の種類, 周波数), 照射出力, 照射方法, 照射時間, 共存金属固体[種類, 形状, 重さ]などを含めたより多くの反応条件について検討する必要がある。現状は、合成化学者が絨毯爆発的にこれら多くの反応条件について検討し、実際の実験結果を考察(時にはカンを利用)し、生成物の収率に大きな影響を与える反応条件を見極め、さらに実験を重ねてきた。しかし、当然の事ながら、結果的に多くの実験が必要となり、試薬代や人件費が高むだけでなく、多くの時間を要する。これらは本革新的技術の改良すべき点として挙げられる。

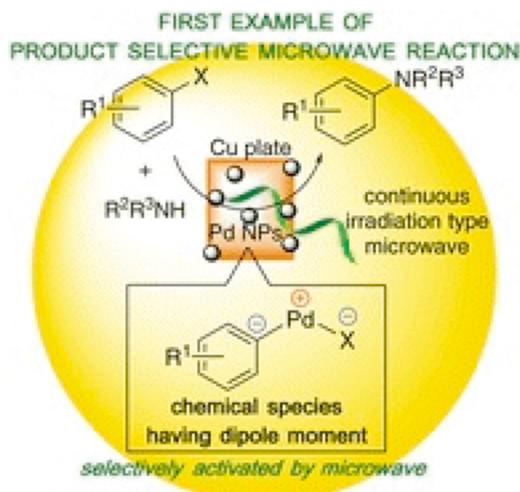


図1: マイクロ波と金属ナノ粒子を用いる反応

## 2 研究の目的

本研究はAI, 連続照射マイクロ波と金属ナノ粒子触媒の共創により、生物活性化合物の環境調和型合成法を効率よく開発することを目的とする。

すなわち、本研究は、代表研究者らが開発した連続照射マイクロ波とAIとの共創により、マイクロ波反応に影響を与える反応活性種・反応条件について理論的に検証するものである。これまで良い装置が無かったこともあり、本研究の学術的探求は難しかった。しかし、今回マイクロ波を適切に利用できる装

置ができた(代表研究者オリジナル)ことと、AIとの共働により、有機合成におけるAIやマイクロ波の高度利用(従来法では達成できない方法論)が可能になる。

## 3 研究の方法

マイクロ波と金属ナノ粒子(均一系触媒を含む)を用いる反応についてAIで用いる教師データを収集し(複数パラメーターで構成)、回帰問題として定式化することで、未知の反応条件の効果を予測する。更に化合物の特性を表現する手段として、グラフの表現学習の導入を検討する(複数パラメーターで構成)。

## 3.1 化学実験

著者らは2019年に、連続照射型マイクロ波とパラジウムナノ粒子触媒を用いた塩化アールのリガンドフリー鈴木-宮浦カップリング反応を報告している[b]。本反応では、マイクロ波の吸収効率を高める目的でアルミ箔を加えることで、反応性の低い塩化アールでもカップリング反応が進行する(図2)。これをモデル反応とし、条件検討のエントリーにおける塩基・溶媒・温度・反応時間・マイクロ波出力・アルミ箔の有無について検討し、得られる生成物の収率を出す。

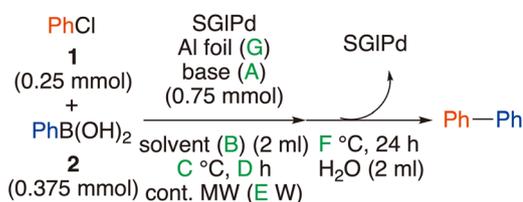


図2: 連続照射マイクロ波とパラジウムナノ粒子触媒(SGIPd)を用いる塩化アールのリガンドフリー鈴木-宮浦カップリング反応

## 3.2 計算による解析

図2に示した反応の塩基・溶媒・温度・反応時間・マイクロ波出力・アルミ箔の有無をプロットし、計算科学の面からマイクロ波及びアルミ箔の効果を数値化して考察した。なお、塩基や溶媒、アルミ箔は使ったものを1、使わなかったものを0とし、温度や反応時間、マイクロ波出力はその数値自体をプロットした。

## 4 研究成果

図3の結果を数学的に解析したところ、以下のような収率Hを求める13変数の数式が導かれた。マイクロ波の係数が正の0.782227778, アルミ箔(マイクロ波吸収量を増大)の係数も正の37.77681046となっていることから、マイクロ波の出力とアルミ箔の添加が収率向上に寄与していることを確認できた。た

表 1: 図 2 の反応における条件検討

entry	塩基 A						溶媒 B		C	D	E	F	G	H
	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<i>t</i> -BuOK	Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaOH	toluene	<i>p</i> -xylene	°C	h	W	°C	Al	
1	1	0	0	0	0	0	1	0	110	1.5	70	110	0	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0	117	1.5	70	130	0	2
3	1	0	0	0	0	0	0	1	128	1.5	70	130	0	96
4	0	0	0	0	0	0	0	1	128	1.5	70	130	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	1	128	1.5	70	130	0	92
6	0	0	1	0	0	0	0	1	128	1.5	70	130	0	21
7	0	0	0	1	0	0	0	1	128	1.5	70	130	0	73
8	0	0	0	0	1	0	0	1	128	1.5	70	130	0	92
9	0	0	0	0	0	1	0	1	128	1.5	70	130	0	68
10	0	1	0	0	0	0	1	0	90	1.5	70	100	0	20
11	1	0	0	0	0	0	0	1	128	1.5	0	130	0	2
12	1	0	0	0	0	0	0	1	128	1.5	50	130	0	2
13	1	0	0	0	0	0	0	1	128	1.5	30	130	1	42
14	1	0	0	0	0	0	0	1	128	1.5	50	130	1	99
15	1	0	0	0	0	0	0	1	128	1	60	130	1	99
16	1	0	0	0	0	0	0	1	110	1.5	70	130	1	73
17	1	0	0	0	0	0	0	1	130	1.5	70	130	1	56
18	1	0	0	0	0	0	0	1	130	0.5	70	130	1	67
19	1	0	0	0	0	0	0	1	130	0.5	70	130	0	10
20	1	0	0	0	0	0	0	1	130	0.5	60	130	1	59
21	1	0	0	0	0	0	0	1	130	0.5	60	130	0	9
22	1	0	0	0	0	0	0	1	128	0.5	60	130	1	43
23	1	0	0	0	0	0	0	1	120	1.5	70	130	1	62

だし、今回の計算はエントリー数が少ないことから若干精度に乏しく、また今回の結果からは、本検討において使用していないが本反応に好ましいであろう溶媒や塩基などが推測できるわけではないなど、今後さらなる計算方法の改良が必要である。

$$H = 50*A[1] + 92*A[2] + 21*A[3] + 73*A[4] + 92*A[5] + 68*A[6] + 11*B[1] + 37*B[3] + 1.0*C + 29*D + 0.78*E + 0.26*F + 38.*G - 298.5460698$$

#### 引用文献

- [a] Toshiki Akiyama, Takahisa Taniguchi, Nozomi Saito, Ryohei Doi, Tetsuo Honma, Yusuke Tamenori, Yuuta Ohki, Naoyuki Takahashi, Hiromichi Fujioka, Yoshihiro Sato, Mitsuhiro Arisawa, "Ligand-Free Suzuki-Miyaura Coupling Using Ruthenium(0) Nanoparticles and a Continuously Irradiating Microwave System", *Green Chem.*, Vol. 19, pp. 3357-3369, 2017.
- [b] Makito Yamada, Yasunori Shio, Toshiki Akiyama, Tetsuo Honma, Yuuta Ohki, Naoyuki Takahashi, Kenichi Murai, Mitsuhiro Arisawa, "Ligand-free Suzuki-Miyaura coupling reaction of aryl chloride using a continuous irradiation type microwave and palladium nanoparticle catalyst: Effect of a co-existing solid",

*Green Chem.*, Vol. 21, pp. 4541-4549, 2019.

#### 発表論文等

##### 〔外部資金〕

- [1] R5-8, 科学研究費助成金 基盤 B, 「中員環及び多環式シラサイクル類が拓く低分子化合物の高度化研究」, 23H02628, (代表) 有澤光弘, (分担) ○佐古真

##### 〔その他〕

- [1] 日本学術振興会 産学協力研究委員会 R024 第4回ワークショップ, 「連続照射マイクロ波と金属ナノ粒子触媒を用いる反応開発と医薬化学研究への応用」, 有澤光弘

機能デザイン部門

## 大型レーザー実験の成功率向上を目指したサイラトロン突発的異常、故障の予知に関する研究

Law King Fai Farley (レーザー科学研究所)

長友 英夫 (レーザー科学研究所)

松下 康之 (情報科学研究科)

### 1 研究の背景

レーザー科学研究所が運用している大型レーザー LFEX では、レーザーショットの後の装置の回復に時間を要するため、実施可能なショット数は一日あたり3ショットが上限である。一回のショット失敗でも、利用者にとって大きな機会損失になり、ショットの成功率向上が大型レーザー実験において特に重要である。

レーザー出力の増大を行うため、LFEX では超高压パルススイッチとしてサイラトロンを利用しており、サイラトロンの動作不良がショット失敗の原因である場合が多い。サイラトロンに動作不良が発生する確率が事前から予測できれば、適切なメンテナンスを行うことが可能になり、結果としてショットの成功率が向上される。

他の施設の運転では、サイラトロンの放電波形を技術者が直接確認することで、サイラトロンの動作の異常検知を行ってきた [a]。本研究では、画像解析を深層学習で行うことで、データを見て直感的に判断する熟練技術者の「経験」とデータの中にある僅かな変化を見つけ出す「目」の両方の役割を AI 技術に持たせることを目指す。大エネルギーを得るための部品の一つであるサイラトロンの余寿命予測を研究対象として、レーザー装置の改善、大型レーザー実験の成功率向上に寄与させるように AI 技術の利活用を進める。

### 2 研究の目的

本研究では、サイラトロンから収集されてきた過去十年以上の電流波形データを収集し、深層学習による解析を行うことにより、サイラトロンの余寿命予測手法を構築することを目的としている。電流の時系列データそのものによる解析と、スペクトル解析を行った後のパワースペクトル画像で画像解析を行う解析を相互比較することで、新たな解析手法の探求を目指す (図1)。今回は、データ収集およびデータセットの整備について報告する。

### 3 研究の方法

サイラトロンは超高压パルスを出力するスイッチであり、経年劣化によって出力された電流波形がわずかに変化すると、場合によってはレーザー装置のショット失敗につながる。本研究では、サイラトロンのライフサイクルを通して出力電流波形の特徴を解析し、放電回数を重ねたことによる劣化の特徴を深層学習による画像解析で抽出する。

動作不良の特徴自体は出力パルス全体と比較するとかなり微

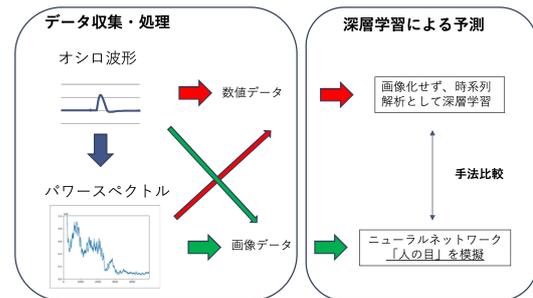


図1: 本研究の流れ

小であり (図2)、計測された電流波形データだけでは変化を捉えるのが困難だと思われる。この問題を解決するため、本研究では電流波形データの代わりに、周波数スペクトルのグラフに深層学習による画像解析を行うという、画像解析とスペクトル解析を組み合わせたアプローチを提案する。本アプローチの有効性を検証するため、電流波形の画像・パワースペクトルの画像の両方からそれぞれ深層学習による余寿命予測を行い、スペクトル解析の有効性を確かめる。

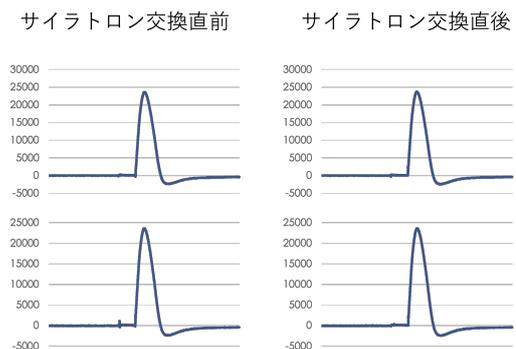


図2: 電流波形のデータ例

### 4 研究成果

今年度は本研究の要である深層学習による画像解析を行うため、当該計算が実施可能な解析用コンピュータをレーザー科学研究所に導入し、大型レーザー装置の設備診断に AI 技術を活用する環境整備を行った。サイラトロンの余寿命予測については、広範囲のデータ収集を行った。サイラトロンの余寿命をより高い精度で予測するため、LFEX レーザーが全4ビームを立

---

ち上げた以来の 10 年間ほどのデータをすべて収集した。これによって、すでに寿命を終えて交換処置を行ったサイラトロンでは、ライフサイクル全体をカバーするデータの確保に成功した。

#### 引用文献

- [a] K. Masuda, T. Inagaki, C. Kondo, T. Sakurai, Y. Otake, T. Kimura, S. Nakazawa, “Countermeasure of Thyatron Related Troubles At SACLA”, Proceedings of the 11th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, 2014.

光・量子デザイン部門

## 素核物理実験および関連分野への深層学習の適用

中野貴志 (RCNP)

岩崎昌子 (RCNP/大阪公立大学)

長原 一 (IDS)

中島悠太 (IDS)

武村紀子 (IDS/九州工業大学)

### 1 研究の背景

本研究では、情報科学研究者と素粒子・原子核物理学研究者との協奏により、深層学習、環境駆動型機械学習（強化学習）等、情報分野における最先端機械学習技術を素粒子・原子核物理学実験、および関連分野の研究へ適用させ、発展させることを目指している。大型加速器を用いた素粒子・原子核物理学実験では、実験で生成されるビッグデータの収集・処理と解析技術が、重要な研究基盤である。また、実験遂行費用が高額であるため、高精度で実験装置を制御し、実験の効率化を図ることが必須である。

これまでも、本研究プロジェクトでは、最先端機械学習の導入により、加速器実験における識別処理や回帰処理の性能向上や、実験装置制御技術性能向上を示してきた。今後さらに、飛躍的な発展が期待される。

### 2 研究の目的

本研究の目的は、素粒子・原子核物理学実験、およびその関連分野へ最新機械学習を適用し、基盤データ処理技術の性能向上、効率化を図ることである。加速器を用いた素粒子・原子核物理学実験では、

- 1) 加速器によりビーム加速・衝突実験を行い、実験で生成された大量の粒子を測定器で測定する、
- 2) 測定された膨大量の実験データを蓄積する、
- 3) 蓄積された測定データを、粒子のエネルギー情報、位置情報へ変換するための較正処理、再構成処理を行う、
- 4) 蓄積・較正・再構成された実験データのなかから、データ解析により極微細な信号事象を抽出、

を行い、物理パラメータを測定、決定する。我々は、上記の1), 3), 4)における機械学習の適応研究、加速器制御技術、およびデータ処理技術（測定データ較正、再構成、データ解析）の開発を行ってきた。2021度からは、さらに、スパースセンシングを導入したデータ処理方法を新規に考案し、基礎開発を進めている。以上の開発を進め、加速器実験で必要な様々なデータ処理プロセスの性能向上を目指す。

### 3 研究の方法

本年度は下記のプロジェクトについて、研究開発を実施した。

#### 3.1 機械学習を用いた加速器制御の開発

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) で稼働中の、電子・陽電子入射器、Linac 加速器の入射効率向上を目標として、機械

学習を用いた運転調整システムの開発（加速管の RF 位相調や、ビーム位置補正のためのステアリング電磁石の調整）を行う。

Linac 加速器の運転調整には以下の問題がある。

- 調整に関連するパラメータの数が多く（ $\sim O(1000)$ ）、相関が複雑である。パラメータ調整の最適化の速さや精度が、加速器運転員の技能によって異なる。
- 加速器構成機器の温度変化や振動、潮汐力による影響等、環境変化に応じて、常時運転調整を行う必要がある。

上記の問題点を解決するためには、環境駆動型の機械学習（強化学習）を用いた加速器制御システムの構築が有効であると期待される。強化学習を実装するための準備研究として、機械学習を用いた加速器の運転シミュレータの開発を行った。強化学習を行うためには、事前学習 (pre-training) が必須であり、加速器の運転シミュレータは、事前学習に使用することを目的としている。

#### 3.2 スパースセンシングを導入したデータ処理技術の開発

大型加速器を用いた素粒子・原子核実験では、測定感度を高めるために実験で収集する事象数を増やすことと、データの再構成、物理解析の精度及び効率を良くすることの2点が重要である。事象数を増やすためにデータ取得頻度を高める必要がある。それに伴ってデータサイズが年々増加し、膨大なデータの処理の高精度化及び高効率化が課題となった。そこで、機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術を導入することにより加速器から高頻度で供給される衝突実験データを測定器のデータ収集システム能力の限界まで収集する方法を開発する。スパースサンプリングは、信号のスパース性（時間・空間の近傍連続性）に注目することで時間や空間についてダウンサンプリングを行う技術である。スパースサンプリングにより、データ解析のために重要で本質的な情報を十分に保ったままデータサイズをリアルタイムに圧縮することにより、膨大なデータの処理の高精度化及び高効率化を目指す。

### 4 研究成果

以下、研究成果を示す。国内学会、国際学会で発表し、さらに修士論文としてまとめた。本研究は、2022年度学際大規模情報基盤共同利用 (JHPCN) 公募型共同研究にも採択された。

#### 4.1 機械学習を用いた加速器制御の開発

強化学習におけるパラメータ決定 (pre-training) を行うために、我々は、敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Networks. 以下、GAN) を用いた加速器運転シミュレータの

開発を行った。GAN は与えられたデータを模倣する機械学習である。我々の先行研究では、加速器実データをもとに、GAN で疑似データ生成を行った場合、疑似データが、実データの一部区間しか再現できない、モード崩壊 (Mode collapse) と呼ばれる問題が起こった。モード崩壊を抑制するために、我々は 1) 変分オートエンコーダー (Auto-Encoding Variational Bayes, VAE) でのエンコーダを用いて加速器データを次元削減し、2) GAN を用いて、次元削減された加速器データ (潜在変数) の疑似データを生成し、3) デコーダを用いて疑似データから加速器データを復元する、という手法を開発した。

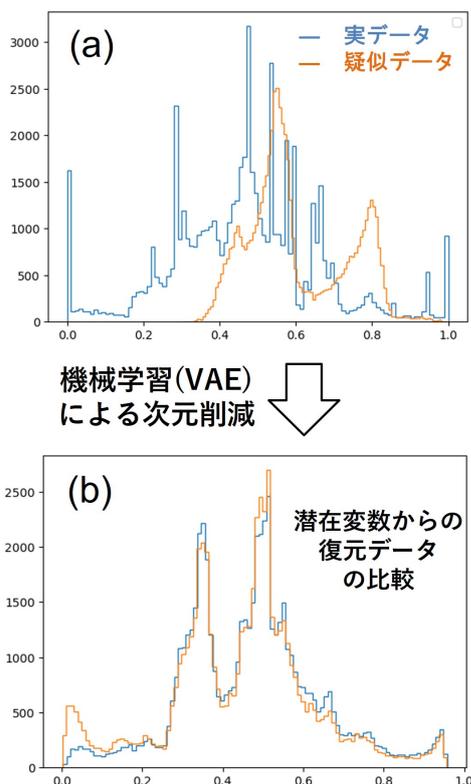


図 1: 実データ (青), および GAN が生成した疑似データ (橙) による, ステアリング磁石パラメータを示す。VAE による次元削減を行うことで, モード崩壊が抑制されている。

図 1 は, 実データ (青), および GAN が生成した疑似データ (橙) による, ステアリング磁石パラメータを示したものである。図 1(a) では, モード崩壊により, 疑似データが実データを再現できていないが, VAE による次元削減を行うことで, モード崩壊を抑制することができた (図 1 (b)). ただし, デコーダを用いた加速器データの復元性能が低いため, 今後は, 加速器データの復元性能向上を目指す。

#### 4.2 スパースセンシングを導入したデータ処理技術の開発

本研究では, 加速器実験のデータ処理にスパースセンシングを導入し, データの本質的な情報を保持したまま, データ量を削減することを目指す。具体的なアプリケーションとして, ILC SiD 電磁カロリメータにおけるエネルギー較正において, スパースセンシングを導入し, その定量的な評価を行った。

#### Electron Energy Resolution vs Reduction rate (E=5.0GeV)

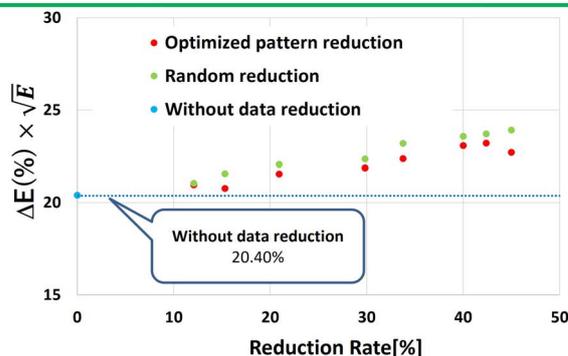


図 2: 入射電子 (5GeV) に対する, エネルギー較正精度。データ削減なし (青線), ランダム削減 (緑点), および, 機械学習で最適化されたパターンに従う削減 (赤点) を示す。

図 2 は入射電子 (5GeV) に対する, エネルギー較正精度を示す。データを削減することで, データ削減なし (青線) の結果よりも, エネルギー較正精度が悪くなるが, ランダム削減 (緑点) に比べて, 機械学習で最適化されたパターンに従う削減 (赤点) は, 精度の劣化を抑制させることができた。

今後さらに, 最適化手法の改良, および, 他のアプリケーションへの適用を検討する。

#### 発表論文等

##### 【学会発表】

- [1] 岩崎 昌子 “素粒子物理学実験への機械学習の適用研究”, JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 14 回 シンポジウム, Jul. 2022.
- [2] 加藤睦代, 岩崎昌子, 長原 一, 吉田道隆, 末原大幹, 山田 悟, 中島悠太, 武村紀子, 中野貴志, “機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術の基礎開発 (II)”, 日本物理学会 2022 年秋季大会, Spt. 2022.
- [3] 岩崎 昌子, “加速器制御への機械学習の適用”, 第 19 回日本加速器学会年会, Oct. 2022.
- [4] 岩崎 昌子, “機械学習”, Flavor Physics Workshop 2022 (FPWS2022), Nov. 2022
- [5] 加藤睦代, 岩崎昌子, 長原 一, 吉田道隆, 末原大幹, 山田 悟, 中島悠太, 武村紀子, 中野貴志, “機械学習を用いたスパースサンプリングによる データ処理技術の基礎開発”, Flavor Physics Workshop 2022 (FPWS2022) , Nov. 2022.
- [6] Masako Iwasaki, “Overview of AI application in Accelerator”, KEK IINAS 5th International School on Beam Dynamics and Accelerator Technology (ISBA22), Nov. 2022.
- [7] C. Kato, M. Iwasaki, H. Nagahara, M. Yoshida, T. Suehara, S. Yamada, Y. Nakashima, N. Takemura, T. Nakano, “R&D of the Data Processing with Sparse Sampling using Machine Learning for High Energy Experiments”, ML at HEP workshop, Feb. 2023.

- [8] 岩崎昌子, “機械学習を適用した KEK 電子陽電子入射器ビーム調整のための開発”, 加速器・ビーム物理の機械学習ワークショップ, Mar. 2023.
- [9] 度会龍, 岩崎昌子, 中島悠太, 武村紀子, 長原一, 中野貴志, 佐藤政則, 佐武いつか, “GAN を用いた加速器シミュレータの開発”, 日本物理学会 2023 年春季大会, Mar. 2023.

**〔修士論文〕**

1. 加藤 睦代, “高エネルギー実験のための機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術開発”, 修士論文, 大阪市立大学, 大阪, 2023.

**〔外部資金・共同研究〕**

1. 2022-2023 年度, 大阪公立大学 女性研究者 研究実践力強化支援プログラム (RESPECT), “スパースセンシングを用いた素粒子実験データプロセス機構の開発”, (代表) 岩崎 昌子 (共同研究者) 長原 一, 末原 大幹, 山田 悟.
2. 2022 年度, 文部科学省 文部科学省補助事業「ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ (牽引型)」, “機械学習を用いた物理学実験用機器制御技術の開発”, (代表) 岩崎 昌子 (共同研究者) 深澤 優子, 住浜 水季, 谷口 七重.
3. 2022 年度 学際大規模情報基盤共同利用 (JHPCN) 公募型共同研究, “素粒子物理学実験への機械学習の適用研究”, (代表) 岩崎 昌子
4. 2022-2026 年度, 日本学術振興会 科学研究費助成事業学術変革領域研究 (A), “機械学習による素粒子物理学の革新的な発展”, (代表) 野尻 美保子, (研究分担者) 岩崎 昌子, 武村 紀子, 田中 純一, 長原 一

## 機械学習を活用する超高速ラマン分光システムの開発

藤田 克昌 (工学研究科)

畔堂 一樹 (工学研究科)

河野 省悟 (工学研究科)

櫻井 保志 (IDS)

### 1 研究の背景

ラマン散乱光は非常に微弱であり、1点からの信号取得に非常に長い時間がかかる(数秒~数分/測定1点×観測点)。また、一方でさまざまな条件の試料から得られるスペクトルデータは膨大な情報量となり、データの良し悪しを判断するのに時間がかかる。計測・分析に時間を要することがラマン分光の課題の一つであった。

これまで開発を進めてきたラマンデータの機械学習によるデノイズ、または分類アルゴリズムデータの概要を知ることができる。このアルゴリズムを装置に組み込めば、計測の途中で計測装置の調整や、試料条件の検討などを迅速に行うことができるため、研究業務の効率化につながり、『超高速ラマン分光システム』が実現可能になる。試料のリアルタイム分析ができれば、ラマン分光によるスクリーニング・ソーティングなどへの展開が期待できる。

### 2 研究の目的

これまで、我々は細胞やバクテリアの、ラマンイメージングデータの、デノイズ・分類 AI モデルを開発、検証してきた。令和4年度は開発したアルゴリズムをベースにした分類器のアルゴリズムを計測装置制御ソフトウェアに組み込み、迅速に解析できるシステムの構築・検証を行った。計測と並行して分析データに「あたり」をつけることでデータ計測・分析の効率化を目指す。具体的には生きたバクテリアの顕微ラマンイメージングのための制御ソフトウェアに、リアルタイムに種類の判別を行うための AI モデルの実装をおこなった。

### 3 研究の方法：学習データの準備・AIモデルの構築

培養したバクテリアを石英基盤で挟み込んで、自作のライン照明型ラマン散乱光顕微鏡 [a] でイメージングをおこなった。ラマンデータは空間 (X, Y) とラマンスペクトル (波数) の3次元データである。ラマン強度の空間マッピングを再構成し、バクテリアと、バクテリアの存在しない領域 (背景) を識別したのちに各ピクセルからラマンスペクトルを抽出し、学習用データとした。バクテリアは6種用意し、各データセットは70,000スペクトル程度であった。各データの95%を学習用データとし、残り5%をクロスバリデーションにて判定をおこなった結果、平均で正答率85%であった。(図1)

学習に用いたスペクトルには波数情報を与えず、128ピクセルごとに(範囲は $\sim 230\text{cm}^{-1}$ )区切ってシフトさせながら学習を行った。実際に測定する際に、光検出機・分光器・グレーティング、観察対象波数領域、波数分解能など、その日の実験パラ

メータが異なることに対応するためである。

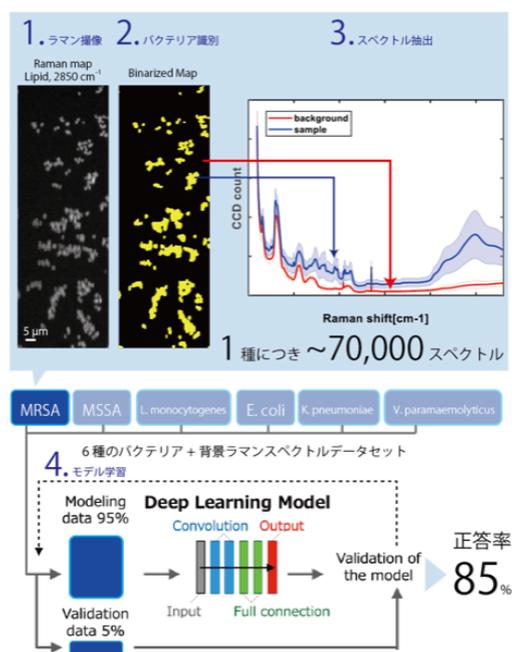


図1: 学習データの準備と AI モデル学習の概要

### 4 計測制御システムへの組み込みと検証結果

前述した学習モデルはオープンフォーマット形式である、ONNX で保存し、既存のラマン顕微イメージング制御装置に組み込める仕様とした。従来の制御装置はラマン顕微イメージング装置は信号取得のための光検出器 (CCD) ・励起光及びラマン散乱光のスキャン・デスキャンのためのガルバノミラー及びステージの走査を行うものであったが、ここに前述の AI モデルを組み込み、即時に判定できるシステムの開発をおこなった。

推論 AI モデルは測定中には CCD で取得したデータを即時に読み込み、各スペクトルの帰属分類を行う。例えば、検出器が  $400 \times 1340$  ピクセルの CCD の場合、 $1340 \text{ 次元} \times 400 \text{ スペクトル}$  が一度の露光で撮像・取得され、 $400 \text{ スペクトル}$  がそれぞれ推論され、特定のバクテリア由来の信号または背景光信号として分類される。ライン照明の場合は照明位置を変えながら撮像を繰り返していく。

20TFLOPS の GPU を用いて、 $400 \text{ スペクトル/秒}$  の速度で分類が可能であることを確認した。

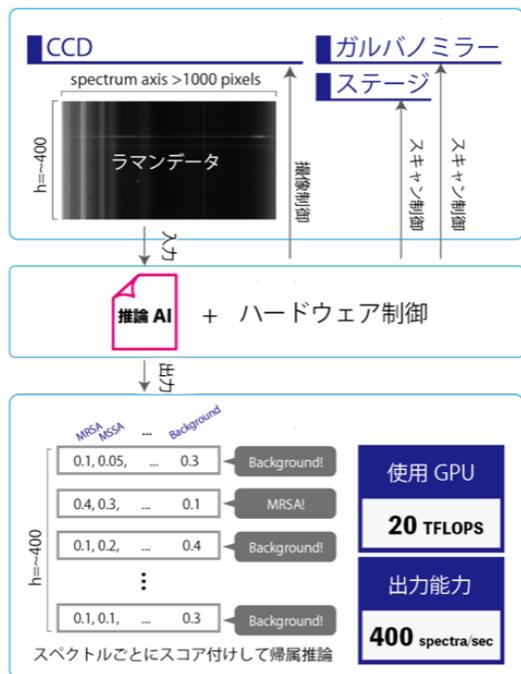


図 2: 制御システムと組み込んだ推論 AI モデルの概要

## 5 今後の展望

アルゴリズムの装置制御システムへの組み込みをおこなった。今回学習に用いたデータは石英基盤に挟んだバクテリアを計測したものである。バクテリアは石英基盤上に存在するので、計測データは石英基盤由来の背景信号を含んでいる。推論の精度を高めるためには背景光信号を抑制することが必要である。現状では対物レンズのわずかな焦点位置の違いによってもこの石英由来の背景光信号の量が異なってくるため、学習データとして背景光信号のレベルを揃えるのが困難である。より背景光信号の少ない材料のフッ化カルシウムなどを基盤として用いることで、純度の高い試料由来の信号の取得が可能になる。

また、バクテリアと基盤の距離を保った状態で計測することで、背景光信号を抑制することも可能である。流路を流れる試料に対してラマン分光分析を行い、その結果を AI モデルによって分類することも検討している。セルソーターと組み合わせることで、スクリーニング・ソーティングなどへの応用が期待できる。

今後は AI モデルを洗練して分類の精度を上げつつ、本システムで計測時のリアルタイムモニタリングを進めていく。

## 引用文献

- [a] Almar F. Palonpon, Jun Ando, Hiroyuki Yamakoshi, Kosuke Dodo, Mikiko Sodeoka, Satoshi Kawata, Katsumasa Fujita, "Raman and SERS microscopy for molecular imaging of live cells," Nat. Protoc., Vol. 8, pp. 677-692 (2013).

## 人工知能による仏顔の様式解析とその系譜に関する研究

藤岡 穰 (人文学研究科)

大石 岳史 (東京大学生産技術研究所)

長原 一 (データビリティフロンティア機構)

中島 悠太 (データビリティフロンティア機構)

Benjamin Renoust (データビリティフロンティア機構)

Yiming Qian (データビリティフロンティア機構)

### 1 研究の背景

美術作品には時代や地域、作者や流派による特徴的、類型的な表現方式があり、それを様式と称してきた。そして、様式研究は図像研究とともに美術史学の根幹をなしてきた。しかしながら、「作品を見る」という視覚経験に基づく従来の様式研究には、個人的経験に基づくがゆえの主観性、作品の特徴を抽出、類別して言語化することの恣意性、さらには先行研究からあたえられた先入観によって、常に曖昧さ、不確かさがつきまどってきた。

様式は主題や図像とともに美術作品の最も基本的な要素である。ところが、近年の日本・東洋美術史研究においては、作品の意味や機能、享受される場などへの関心が高まる一方で、様式研究むしろ低調と言わざるを得ない状況が続いている。様式研究には作品の視覚経験の蓄積が不可欠であるが、美術作品が観光資源化されることによって、研究目的による視覚経験の機会が得難くなってきていること、研究成果が急がれ、視覚経験を蓄積する余裕がなくなっていること、視覚経験に基づく様式研究にはどうしても主観的な一面や不確かさがつきまどうことも様式研究が敬遠される要因となっている。

ところが近年、情報科学の分野において、とりわけ仏像の顔に特化して解析を行う研究も試みられている。解析するデータが不十分なために、必ずしも有効な成果とは言えない一面もあるが、クラスター分析や主成分分析といった機械学習によって美術作品を解析することによって、様式研究の曖昧さ、不確かさといった弱点を補う可能性をしめしている点において注目すべき試みである。

### 2 研究の目的

本研究は、以上のような美術史学の研究状況を踏まえ、とくに仏顔（仏像の顔）を対象として、その様式解析を機械学習、さらにはディープラーニングによって、すなわち AI を活用して行い、これまでにない客観的な様式研究の可能性を探るものである。また、仏顔の様式を判断し、系譜を明らかにするシステムの構築をめざしている。

仏像は紀元 1 世紀頃、中央アジアから北インドを支配したクシャン朝において初めて作られたとみられており、以降、仏教の伝播にともないアジア全域で仏像が作られた。本研究では、そうした仏像のなかでも特に次の二つの系譜に焦点をあてる。すなわち、インド・グプタ朝から東南アジア（プレ・アンコール期ほか）、中国（隋・唐）、朝鮮半島（三国・統一新羅）、日本（飛鳥・奈良）へと連なるシルクロードの系譜、飛鳥時代から江

戸時代にいたる日本仏像史の系譜である。

4~6 世紀に隆盛したグプタ朝美術は広くアジア各地に伝播し、東アジアの 5~8 世紀の美術の展開にも大きな影響をあたえた。この系譜に属する仏顔の分析からは、各地域の仏顔の相互関係、たとえばグプタ文化圏と唐文化圏との様式の対比、唐から周縁地域への様式波及の様相などが浮き彫りにされることが期待される。

一方、日本には飛鳥時代から江戸時代まで連続と作例があり、時代とともに様々な変容をとげた。そのなかで特に平安前期における密教図像の受容、平安後期における定朝様式の確立とその継承、平安末期から鎌倉時代にかけての古典学習、室町時代や江戸時代における定朝様式、鎌倉様式の継承などがどのように分析結果に表れるかを注視したい。

### 3 研究の方法

#### 3.1 仏顔への注目

本研究はとりわけ仏像の顔に焦点を当てる点に特色があるが、その理由は三つある。第一に、仏像における顔の重要性である。顔は礼拝者をもっとも注視する部分であり、これまでの様式研究においてもしばしば考察の対象とされてきた。第二に、顔の構造の複雑さである。目、鼻、口といった器官があり、解剖学的にも多くの骨格や筋肉から成り立っているために特徴が抽出しやすい。顔認識システムによる人物同定の技術の進展が著しい所以でもある。第三に、AI による統計的分析に必要な大量のデータが確保できるからである。絵画とは異なり、彫塑像はアジア各地に数多く伝存している。また、顔は地域や時代を超えて構成要素が共通し、仏、菩薩などの尊格の違いを超えて、さらにはヒンドゥー教や日本の神像などとも宗教の違いを超えて比較することが可能である。よって、対象はアジア全域、各時代に広げることができる。

**仏顔画像データのアーカイブ:** 本研究では仏顔の様式解析にあたり 3D データを用いる。2 次元画像にはカメラの特性による歪みが生じる、被写体に対するカメラの位置とアングルが一定でない、陰影によって形状が正確に把握できないといった欠点があり、画像データの比較に限界があるからである。そこで、新規に 3D データを取得し、あるいは既存の 3D データを活用する一方で、近年発達が著しい 2 次元画像を 3 次元化する技術を導入あるいは開発し、既存の 2 次元画像から 3D データを生成する。2 次元画像はすでに大量にあり、その活用によって本研究に必要なデータ量が確保できる。

### 3.2 仏顔の様式解析

仏顔の様式を AI によって解析し、かつ仏顔の様式を判断し、系譜を明らかにするシステムの構築をめざす。

「教師なし学習」による統計的分析とその解釈: 仏顔の 3D データをもとにワイヤーフレームモデルや距離画像等を作成する。また、顔面の輪郭、骨格や肉付きによる凹凸、眉・目・眼窩・鼻・口等の各部位の形や位置、さらにはそれらの相互の関係性などを特徴量として数値化する。次に解析されたデータを用い、クラスター分析や主成分分析等の機械学習のためのアルゴリズムを作成し、統計的分析を行う。さらに、機械学習の結果、すなわちクラスター分析によるグループ分けや各データの類似度（距離）、主成分分析がしめす特徴量の統計的な差異やその距離について、各データの属性、すなわち地域や時代、作者等のほか、材質、尊格の種別等との関係性を検討する。その結果からは異なる属性間の共通性や、逆に同じ属性内における差異などが明らかになる可能性がある。そして、その意外性が様式研究に新たな展望を開くことが期待される。

「深層学習」による様式判定システムの構築: 様式を判断し、あるいはその系譜を明らかにするシステムの構築は、近年もつとも注目されている「深層学習（ディープラーニング）」によって行う。美術史家や鑑定家は制作地や制作年代、作者等の属性が明らかな基準の作品の視覚経験を積み重ねることによって一定の様式観を築き、その様式観に基づいて未知の作品の様式判断を行い、様式の系譜を想定している。こうした人の様式観の形成過程にならない、属性をラベル付けした仏顔の 3D データをもとに「深層学習」によって自動的に特徴量を抽出し、様式を判定するシステムを構築する。なお、第2段階では第1段階の成果を踏まえ、より有効性の高い手法で解析されたデータを用いるとともに、属性をラベル付けしたデータにラベル付けしていないデータを併用する「半教師あり学習」によって効率を高める。

こうして創生された様式判定システムは、主観性等によってぶれることのない様式判断が可能であり、それに基づいた仏顔の新たな様式の系譜を形成することが期待される。

## 4 研究成果

### 4.1 スマートフォンによる3次元画像の取得

京都大学総合博物館所蔵の中国石仏、韓国国立中央博物館の統一新羅の石仏について、スマートフォンにより LiDAR (Light Detection And Ranging) という手法で3次元画像データを取得し、ダウンロードした画像の閲覧にはフリーの3次元画像閲覧ソフト MeshLab を利用した。仏顔だけであれば、小さな仏像であれば数分、大きな像であっても10分程度あれば十分なデータが取得できることを確認した。

### 4.2 真値の確率密度関数での表現による仏像の建立年推定

仏顔解析において、建立年の推定はその目的の一つである一方で、解析における重要な手掛かりの一つでもある。関連する文献が現存する場合には建立年のピンポイントでの特定ができるが、そうでなければ専門家による推定となり、年代や世紀などのように幅を持たせたものとなる。深層学習による建立年推定の実現には、仏像の画像と建立年の真値が必要となるが、ピ

表1: 提案手法と各種手法との比較

Models	Feature vector	MAE (year)
Nearest neighbour search	pretrained	130.9 ± 9.8
Gaussian process regression	pretrained	199.9 ± 5.4
GCNBoost regression	pretrained	217 ± 15.5
SSDKL	pretrained	245.3 ± 4.0
Nearest neighbour search	Ours (Gaussian)	58.1 ± 5.1
Gaussian process regression	Ours (Gaussian)	54.3 ± 3.6
GCNBoost regression	Ours (Gaussian)	322.5 ± 17.2
SSDKL	Ours (Gaussian)	59.4 ± 3.4
Nearest neighbour search	Ours (uniform)	43.4 ± 4.4
Gaussian process regression	Ours (uniform)	54.8 ± 3.4
GCNBoost regression	Ours (uniform)	345.1 ± 19.9
SSDKL	Ours (uniform)	57.1 ± 3.2
Ours (Gaussian)	N/A	37.5 ± 3.64
Ours (uniform)	N/A	<b>34.3 ± 3.47</b>

ンポイントの建立年と年代や世紀のような幅のある真値が混在することから、本研究ではこれらを統一的に扱う方法を開発した。

具体的には、年代や世紀による建立年の範囲内に偏りは無いものと考えられることから、範囲内で均一に真の建立年である確率が分布する一様分布を利用する。前年度の研究では正規分布を用いた手法を提案した。これは、範囲内の中央に強いピークを持つ分布となる。今年度は、この中央の値への偏りを避けるために一様分布を用いた。

表1に提案手法と既存手法との比較をまとめる。Nearest neighbour search は、建立年を推定したい画像から抽出した特徴量と最も近い特徴量を持つ画像をデータセット内から探し出し、その画像の真値を推定結果とする手法、Gaussian process regression は回帰手法の一種であるガウス回帰を利用して画像から抽出された特徴量から建立年を推定する手法、GCNBoost regression と SSDKL はそれぞれ引用文献 [a] 及び [b] の手法である。また、画像から抽出する特徴量についても、事前学習のみのもの (pretrained)、昨年度の研究で開発したラベルとして正規分布を利用する手法で学習した特徴量を利用するもの (Gaussian)、また提案手法の特徴量を利用するもの (uniform) を比較している。結果、提案手法は建立年を34年程度の誤差で推定しており、昨年度の正規分布を利用したものにと比較しても精度の向上が確認できた。既存手法を利用した場合に比べても最低で10年近い精度の向上が見られる。

提案手法の有効性を検証するために、ランダムに抽出したサンプルに対する提案手法による推定結果100例 (真値があるもの50例、真値が無いもの50例) に対して、3名の専門家に推定結果に同意するか、しないかを5段階 (“Strongly disagree” から “Strongly agree”) で評価して頂いた。真値が存在するものについて、同意・非同意と推定誤差の関係を図1に示す。専門家が推定結果に同意する場合には、明らかに推定誤差が小さ

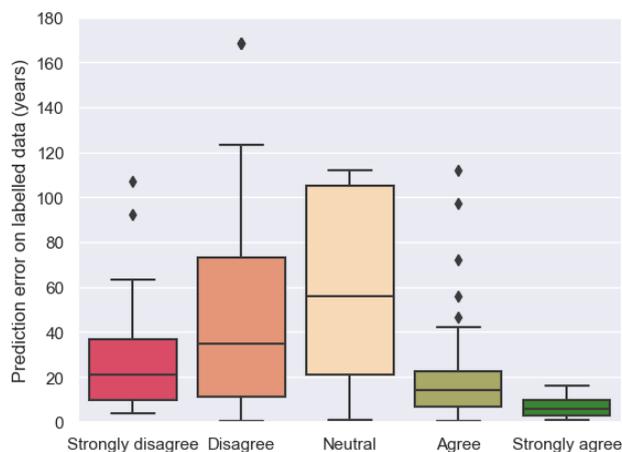


図 1: 提案手法の建立年推定結果に対する専門家の同意, 非同意の分布

いという傾向が見られる。一方で、直感とは反するが、非同意の場合にも推定誤差は小さくなる傾向がある。これは、文献などから得られた建立年の真値と専門家が考える建立年に違いがあるために生じる可能性も考えられる。例えば文献が古い場合は、その後の研究で建立年が更新されているなどが考えられる。

#### 引用文献

- [a] El Vaigh et al., “GCNBoost: Artwork Classification by Label Propagation through a Knowledge Graph,” Proc. ICMR, 2021.
- [b] Jean et al., “Semi-supervised Deep Kernel Learning: Regression with Unlabeled Data by Minimizing Predictive Variance,” NeurIPS, 2018.

#### 発表論文等

##### 〔雑誌論文〕

- [1] 藤岡穰, “龍角寺薬師如来坐像の蛍光 X 線分析の結果について,” 早稲田大学會津八一記念博物館研究紀要, Vol. 24, pp. 81–85, 2023.
- [2] 藤岡穰, “根津美術館所蔵「金銅鍍五尊仏坐像」再考 附根津美術館所蔵金銅仏の蛍光 X 線分析の結果と所見,” 此君, Vol. 14, 2023.
- [3] Cheikh Brahim El Vaigh, Noa Garcia, Benjamin Renoust, Chenhui Chu, Yuta Nakashima, Yiming Qian, Hajime Nagahara, “GNNBoost: Boosting Artwork Classification with Graph Embeddings,” (to submit).
- [4] Yiming Qian, Cheikh Brahim El Vaigh, Yuta Nakashima, Benjamin Renoust, Hajime Nagahara, Yutaka Fujioka, “Built Year Prediction of Buddha Face with Heterogeneous Label Modeled as Probabilistic Distribution,” (to submit).

##### 〔外部資金〕

- [1] 2018-2021 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 A, “人工知能

による仏顔の様式解析とその系譜に関する研究”, (代表) 藤岡穰, (分担) 長原一, 中島悠太, 大石岳史 他.

デジタルヒューマニティ部門

## オーストラリアにおけるパブリック・ミーティング新聞記事の自然言語処理解析による世論形成過程研究の高度化

藤川 隆男 (人文学研究科)

長原 一 (IDS)

CHU CHENHUI (京都大学/IDS)

梶原 智之 (愛媛大学/IDS)

中島 悠太 (IDS)

### 1 研究の背景

一般的に言って、イギリス文化圏ではパブリック・ミーティング、アメリカ文化圏ではタウン・ミーティングと呼ばれる市民に公開された集会有る。日本では公開集会という訳語が与えられることが多い。世界的には「討議的民主主義」への注目や、サイバースペースにおける社会的関係の増大から、公開集会という多種多様な人びとが集まる公共空間（圏）が再び脚光を浴びつつある。歴史研究においても、組織や団体が構成する社会ではなく、無数の個人がアモルファスな形で構成する社会的結合の歴史を問い直すことが重要だと思われる。

ラジオやテレビが登場するまで、オーストラリアの世論形成（選挙以外で示される国民の意思とされるもの）の場としては、新聞とパブリック・ミーティングと呼ばれる公開集会在2本の大きな柱であった。新聞については、歴史研究のみならず、メディア研究や社会学的研究でも研究されてきたが、パブリック・ミーティングについては、個々のパブリック・ミーティングが特定の問題に関する世論の表明として取り上げられるとはあっても、それを一つの制度として取り上げる研究は、私の先駆的な業績以外にはなかった。イギリス史に関しては、著名な歴史社会学者のチャールズ・ティリーらによって、公開集会在社会運動を誕生させたのであり、市民的公共圏誕生の鍵であるとされ、19世紀西欧の世論形成の支柱となったとされたが、[a]研究の範囲がロンドンとその周辺に限られており、しかも期間が18世紀末から19世紀初期と短く、歴史的なシステムの分析としてはどうも十分とは言えなかった。

30年以上前に、ティリーの研究と同じ時期に、私はSydney Morning Heraldという新聞を1871年から1901年までの期間を対象に広告欄と記事を合わせて、隔年ごとに涉猟し、2500枚くらいの例をカード化して、Takao Fujikama, 'Public meetings in New South Wales 1871-1901'[b]として発表した。今回の提案は、この研究を核にして、デジタル・テクノロジーを用いることで、時代を150年間に拡大すると同時に、地域もニューサウスウェールズだけから、オーストラリア全土に拡大することで、オーストラリアの世論形成の歴史に新しい領域を切り開くことにある。

その意義は、けっしてオーストラリア、歴史研究にとどまるものではない。例えば、ハーバーマスを敷衍しながら日本でも多くの公共圏の理論が主張されているが、ハーバーマスのみならず、そのエピゴーネンたちも、実際に公共圏でどのように世論形成が行われ、それが現実にとどのように変化してきたかを、

体系的な資料分析に基づいて示して来なかった。すなわち、叙史的な史料に基づく恣意的な研究に留まっていた。歴史的新闻から抽出した大量のデータを利用することで、こうした研究の動向を刷新することを、この研究は目指した。

### 2 研究の目的

本研究は、イギリスの政治・社会文化を受け継いだオーストラリアを舞台に、包括的な歴史的新闻データベース Trove（主要な日刊紙と地方新聞を網羅）を用いて、19世紀から20世紀の約150年間にわたる全パブリック・ミーティングのデータを抽出し、以下の四つの課題を明らかにすることを目的とする。

第1に、日本では公開集会に関しては、実用的な側面に傾斜した社会学的・政治学的研究や、「討議型デモクラシー」に関心を持つ哲学的・理論的研究は多数存在するが、その歴史的な発展については、ほとんど歴史的事実を踏まえたものではない。本研究は、歴史学のみならずこうした広範な研究領域に対して、パブリック・ミーティングに関する明瞭な実態、歴史的な事実を提示する。

第2に、SNS等はデジタル化されているので、解析が容易であり、ソシオグラム解析などを用いた人的ネットワークの把握が行われている。しかしながら、過去についての多くのデータはデジタル化すらされておらず、解析が困難であった。本研究では、膨大な過去の新聞データを対象に最新の情報学的手法を適用することで、パブリック・ミーティングを通じて構築された社会的ネットワークを解明する。サイバースペースの一種の先駆形態でもある、パブリック・ミーティングを通じたアモルファスな社会関係を、歴史的に初めて明らかにする。

第3に、19世紀後半から20世紀前半の世論形成では、新聞と、公開集会という直接民主主義の形式を踏襲した世論形成装置が2大支柱であった。それは、既存の新聞やラジオやテレビと、SNSに代表される特定の組織に属さない人々が形成するソーシャルメディアが併存する状況に似ている。現在の世論形成の研究は、新聞からラジオ・テレビ、ケーブルテレビ、ソーシャルメディアという直線的な発展を前提としている。この研究によってパブリック・ミーティングによる世論形成の構造を解明することで、世論形成とマスメディア研究における直線的な歴史観を膨大な史料に基づいて修正する。

第4の目的は、画像データとして保存されている新聞のデータをOCRで適切に読み取り、必要なデータを抽出し、それを

機械読み取り可能な構造化されたデータとして利用する方法を確立するという目的であり、オーストラリア史以外でも、また歴史的新聞以外でも応用可能な研究方法の開発が目的に含まれている。

### 3 研究の方法

#### 3.1 新聞広告からのデータの抽出

##### 広告抽出

新聞の広告ページから、パブリック・ミーティングに関する広告を自動的に抽出する。自動抽出は広告文章の始まりと終わりのパターンマッチングにより行う。

##### OCR 誤り訂正

OCR による文字認識の誤りを自動的に訂正する。高精度な誤り訂正を実現するために、最先端の Dong らの手法 [2] をベースに研究開発を進める。

##### 情報抽出

日付/曜日/人名/地名/項目名などのキーワードを自動的に抽出し、時系列・地域別の変化を明らかにし、比較し、相関関係を検証する。キーワードは Stanford CoreNLP を用いて解析した上で自動抽出を行う。

#### 3.2 開催目的の抽出

パブリック・ミーティングの目的となる文やフレーズ（キーワードでも可）を自動的に抽出する。この段階で、様々な項目間の構造的連関と時間的変化を明らかにし、世論形成構造と公共圏形成の歴史の大枠を明らかにする。項目間の構造的関連や時間的変化は時系列データマイニング技術により実現する。

#### 3.3 新聞広告とそれに関連する新聞記事の照合・分析

##### 照合・分析

自然言語処理の最終段階に入り、新聞広告と新聞記事を照合し、参加者数、参加者の氏名、性別、人種などを明らかにし、すべてのデータを収集する。こちらは SNS データ解析と類似しているため、最先端の SNS マイニング技術により実現する。

##### 検証

イギリスのデータベース The British Newspaper Archive での応用の検証。

#### 3.4 世論形成と公共圏の全体像

民主的公共圏にかかわるオーストラリアの社会的ネットワークの全貌を明らかにする。

### 4 研究成果

研究成果の全体は、今年度中に刊行を予定している書籍で明らかにするが、その概略を述べると以下ようになる。

#### 4.1 コーパスの構築

オーストラリアの歴史的な新聞に掲載されたパブリック・ミーティングから、日時、場所、目的、会議を依頼した人、会議を招集した人、招集された人という 6 つの重要項目の情報を抽出するために、我々は、パブリック・ミーティングの広告からの情報抽出を、機械読解の課題として定式化した。すなわち、あるパブリック・ミーティング広告が与えられたら、機械読解モデルは 6 つの項目に関する質問に答えるのである。

一連の流れは以下のとおりである。画像処理、OCR、OCR エラー訂正、フィルタリングのパイプラインに基づいて構築する。まず、広告ページの画像から罫線を特定し、画像を一つ一つの広告に分割する。次に、トリミングされた広告に OCR を適用する。さらに、OCR 済みのテキストに対して、最適な OCR エラー修正モデルを使用し、読み取りの精度を高める。最後に、フィルタリングにより、特定のトピックワードを含む記事を抽出した。

パブリック・ミーティングの広告を抽出した後、6 項目のアンケートを行う。つまり人間が一部の正解データを作る。機械読解タスクとして定式化しているため、6 つの項目は q1～q6 まで質問と命名される。

q1 パブリック・ミーティングはいつ開催されましたか？

q2 パブリック・ミーティングが行われた場所はどこですか？

q3 パブリック・ミーティングの目的は何ですか？

q4 パブリック・ミーティングの招集を要請したのは誰ですか？

q5 誰がパブリック・ミーティングを招集したのですか？

q6 パブリック・ミーティングに招集されたのは誰ですか？

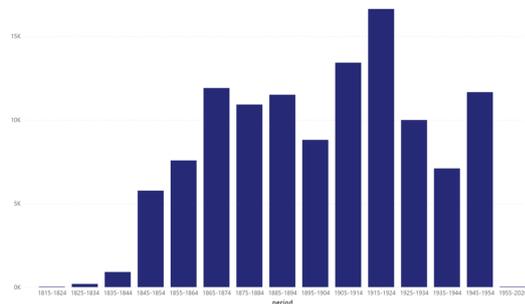
PDF から抽出された広告の数は約 30 万件。同じ日時、同じ場所のパブリック・ミーティングの広告を 1 つの広告とみなし、日時と場所の両方が記載されていない広告を削除すると、305,821 件の広告が 166,526 件に減少した。次に機械処理できるように、広告の日時を数値に変換する。例えば、on Thursday evening, November 19, 1953, at 8 p.m. は、1953-11-19 & 8 p.m. に変換される。変換できなかったものを除くと、166,526 件の広告が 144,864 件に減少する。

地名間の類似度計算には、Python difflib のモジュール SequenceMatcher を使用した。類似度が 70% 以上の複数の地名で、日付が同じ広告を 1 件のパブリック・ミーティングだと見なした。これによって、144,864 件のパブリック・ミーティングの広告から、116,361 件が抽出された。

#### 4.2 分析

詳しい分析結果は重要なグラフや表だけでも 30 を越え、ここでは到底示すことができないが、最初の一例だけを示しておく。パブリック・ミーティングを告知する広告数の推移である。この数値は何を示すのだろうか。公告による開催告知は、パブリック・ミーティングの最も重要な活動の一つである。小さな共同体を除けば、集会在パブリック・ミーティングとして認知される、つまり地域住民の世論の表明だと認知されるためには、新聞による広報が必要条件だったと言っても過言ではない。告知数の推移は、少なくともパブリック・ミーティングによる世論形成の活発さを示す主要な基準になるだろう。また、ある程度の規模のパブリック・ミーティングはすべて新聞で告知されるので、開催数の増減も示唆していると言えよう。ただし、記事数の大幅な変化もこれに影響を与えるので、考慮に入れないといけない。

グラフ-1 は、新聞で告知されたパブリック・ミーティング数の 10 年を単位とする推移を示している。1845 年以降、急激に増加し、ピークは第 1 次世界大戦を含む 10 年間となっている。最初の急増期を除けば、大きな変化が起こったというより



グラフ-1: 新聞で開催が告知されたパブリック・ミーティング数の推移

も、その後の約1世紀間、開催数は比較的安定して推移している。大きな変動のある記事数の推移（集録新聞数も変化）も考慮に入れると、実際に開催された集会数は、19世紀には時代を遡るほどもっと多かったと思われる。全記事に対する出現頻度も併せて考えると、パブリック・ミーティングの世論に対する影響力は、19世紀の半ば過ぎくらいにピークを迎えたと思われるが、第2次世界大戦までは、その影響力を保持したと考えてよいだろう。以上のような検討を、6つの項目のすべてについて詳細に行い、新聞広告を用いた研究は、有意義な結果を得られた。

問題は新聞記事を用いた研究である。新聞記事の抽出は成功したとは言い難い。Troveは記事に対してあらかじめ定義された境界線を提供しているため、記事のデータはTroveのOCR済みの新聞テキストから検索・抽出した。7000件の記事入手し、1000件の記事に以下の7つの項目を手作業でアノテーションを施した。1) 参加者数, 2) 女性の出席, 3) 登壇者名, スピーカー, 4) 議長, 市長, 市会議員の名前, 5) 投票結果, 6) チケットの発行, 7) 混乱, これらによってパブリック・ミーティングの広告に追加情報を提供できるはずであった。そのために、ALBERT+Series法を用いて、記事から情報を抽出するためのベースラインモデルを学習させた。このモデルを使って、6000件の記事をさらに分析した。しかし、7000件のうち役に立つ情報は多いとは言い難く、あくまで広告データの付加的な情報に留まった。

## 引用文献

- [a] Charles Tilly, "The Rise of the Public Meeting in Great Britain, 1758-1834", *Social Science History* 34:3, 2010.  
 [b] Fujikawa, Takao, "Public Meetings in New South Wales: 1871-1901", *Journal of the Royal Australian Historical Society*, Vol.76, pp. 45-61, 1990.

## 発表論文等

### (雑誌論文)

- [1] Virgo, Giovanni Felix, Chu, Chenhui, Tanaka, Koji, Ashihara, Kazuki, Nakashima, Yuta, Takemura, Noriko, Nagahara, Hajime, Fujikawa, Takao, "Information Extraction from Public Meeting Articles", *SN*

*Computer Science*, Vol. 3, 2022.

- [2] Tanaka, Koji, Chu, Chenhui, Kajiwara, Tomoyuki, Nakashima, Yuta, Takemura, Noriko, Nagahara, Hajime, Fujikawa, Takao, "Corpus Construction for Historical Newspapers: A Case Study on Public Meeting Corpus Construction using OCR Error Correction", *SN Computer Science*, Vol. 3, 2022.

### (外部資金)

- [1] H31-34, 科学研究費助成金 基盤 B, 「オーストラリアの世論形成の歴史的解明：自然言語処理による公開集会データの解析」, 19H01330 (課題番号), (代表) 藤川 隆男, (分担) チョ シンキ, 長原 一, 梶原 智之, 中村 武司

## アートの視覚的パターンの発見と時空間へのマッピング

北村 周平 (感染症総合教育研究拠点)

中島 悠太 (データビリティフロンティア機構)

Noa Garcia (データビリティフロンティア機構)

### 1 研究の背景

芸術的創造は、絶え間なく新しいものを創り出す運動である。それぞれが独立した運動という場合もあるが、時代や地域に共通な特徴も多く見て取れる。これまで美術史家が明らかにしてきたように、そのような特徴は、様々な芸術運動に起因していることもあれば、それぞれの画家が意識・無意識に他の画家の影響を受けたことによるものだろう。一方、芸術家たちは、決して芸術世界内に閉じた存在ではないのも事実である。彼・彼女らも社会の構成員であり、社会や周りの環境の影響を少なからず受けているはずである。

しかしながら、これまでの学術研究では、どちらかという芸術世界の“内側”の要素(例、芸術運動)によって、芸術作品がどう変化してきたのかという点に焦点が当てられてきた。一方、経済や社会など、芸術世界の“外側”との関係については、定性的な研究はあるものの、定量的な研究はほとんどない状態である。

### 2 研究の目的

本研究の目的は、主に2つある。まず、絵画データを用い、それらが描かれた場所・時代に共通する特徴量を見つけ、それらを時空間上にマッピングする。多くの場合、芸術作品は、それらが作られた時代の社会や環境を表現するものである。このように分布を時空間上に可視化することで、これまでの分析では見えてこなかった傾向(絵画的な傾向に限らず、絵画を通して見える社会や環境の傾向)を明らかにする。次に、そのようにマッピングされた絵画の特徴量と、経済社会状況の実際のデータとの関係を定量的に分析する。経済社会の状況に応じて、絵画の特徴量に違いが現れるかどうかを検証する。

### 3 研究の方法

今年度は、本研究の基盤となる絵画の特徴量抽出について検討した。絵画が描かれた時代・場所に共通する特徴量を抽出する手段として深層学習の利用を考える。これにより、絵画の情報をなるべく保持しつつ比較的次元な特徴量を獲得できる。絵画は描かれるもの(シーン、物体、人物、概念)と表現方法(例えば、印象派、リアリズム)の二面性を持つ。ここでは、前者をコンテンツ、後者をスタイルと呼ぶ。絵画の分析においては、この二面性が一つの壁となりうる。コンテンツの分析は一般に意味内容理解を必要とする一方、スタイルの分析には繰り返しパターンや色使いなどを考えるだけでよい。深層学習による特徴量抽出にとって後者は比較的容易に獲得できることから、結果として得られた特徴量がスタイルの影響を強く受ける可能性がある。一方で、“外側”からの影響を考えるにあたってはコンテンツの重要性が予期される。そこで本研究では、教師なし学習を利用して絵画のコンテンツとスタイルを分離し、それぞれ



図 1: Stable Diffusion による画像生成の例

を表す特徴量を抽出することを考える。

通常、このような要素の分離には、それぞれの要素に関するアノテーションが必要となる。深層学習モデルの学習には多くのデータが必要となるが、スタイルとコンテンツのアノテーションを含む大規模な絵画のデータセットが存在せず、モデルの学習ができなかった。

近年、Stable Diffusion [a] をはじめとした画像生成 AI が注目されている。これはテキストを入力するとその内容に対応する画像を生成するもので、インターネット上に存在する大量の画像を利用して学習されている。この中には、大量の絵画も含まれると考えられ、図 1 に示すようにコンテンツを表すテキスト(各列は同一のコンテンツ)とスタイルを表すテキスト(各行は同一のスタイル)を組み合わせることで、様々なスタイル・コンテンツの絵画を生成できる。

そこで、既存の絵画に対してアノテーションを付与するのではなく、スタイルとコンテンツを指定して生成した絵画を利用してモデルを学習する手法を開発した(図 2)。このモデルは、画像とテキストの双方を同じ空間で表現する CLIP [b] と呼ばれる手法に基づく。CLIP は画像とテキストの大規模データセットを利用し、対応する画像とテキストが特徴空間中で近づくように学習する。CLIP を絵画に適用すると、スタイルとコンテンツの両方の情報を内包する特徴量が得られる。本研究では、前述のように生成された画像を利用して、同一のスタイル

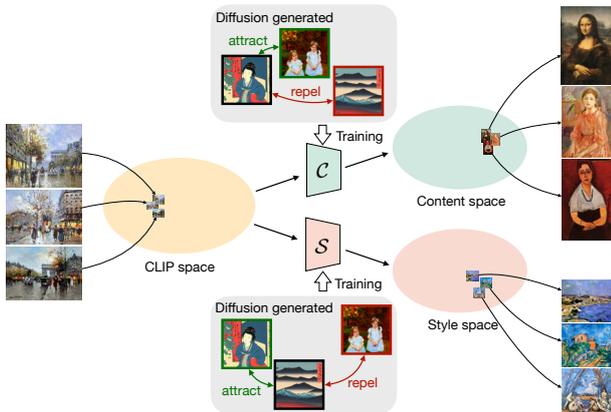


図2: スタイルとコンテンツのそれぞれの特徴量を抽出するモデルの概要

表1: Distance Correlation (DC) によるスタイル特徴量, 及びコンテンツ特徴量の定量評価

Model	Training params.	Training data	Emb. size content	Emb. size style	DC ↓
Labels	-	-	27	27	0.269
ResNet50 [d]	47M	WikiArt	2,048	2,048	0.635
CLIP [b]	302M	WikiArt	512	512	0.460
DINO [e]	-	-	616,225	768	0.518
Ours	15M	Diffusion	2,048	2,048	<b>0.367</b>

の絵画が近づくように, また同一のコンテンツの絵画が近づくように, それぞれ CLIP 特徴量からの変換 (図2中それぞれ  $C$  と  $S$ ) を学習する。

#### 4 研究成果

図2に, 本モデルにより得られた特徴量を利用して, “Query” の画像にスタイルとコンテンツのそれぞれの特徴空間で最も近い5つの画像を検索した結果を示す。一番上の “Query” の絵画は人物のポートレートを描いており, コンテンツの特徴量を利用した検索結果はいずれも人物のポートレートとなっている。一方で, スタイルは人物に限らず写実的, かつ暗い色彩のものが得られた。また2番目の絵画はボートの海岸の風景であり, コンテンツでの検索結果の多くは同じものを描いている。

定性的な評価として, Distance Correlation と呼ばれる2つのデータの間の相関の大きさの指標を利用した。この値が小さいとき, 2つのデータの間の相関は小さいと言える。絵画を考えると, コンテンツとスタイルの間の相関が0になることは考えにくい。例えば, ルネサンス期の絵画はキリスト教に関連するものが多く, この頃のスタイルとコンテンツには高い相関が予想される。そこで, コンテンツに関連するラベルとスタイルに関連するラベルを持つ Wikiart データセット [c] を利用して, ラベルの間の相関を DC により計測した。また, 比較手法として, 画像を表す特徴量である ResNet50 [d], CLIP [b], DINO [e] を用いた。結果を表1にまとめる。ラベル間の相関は0.296で, これが DC の下限となる。本研究で提案するモデ

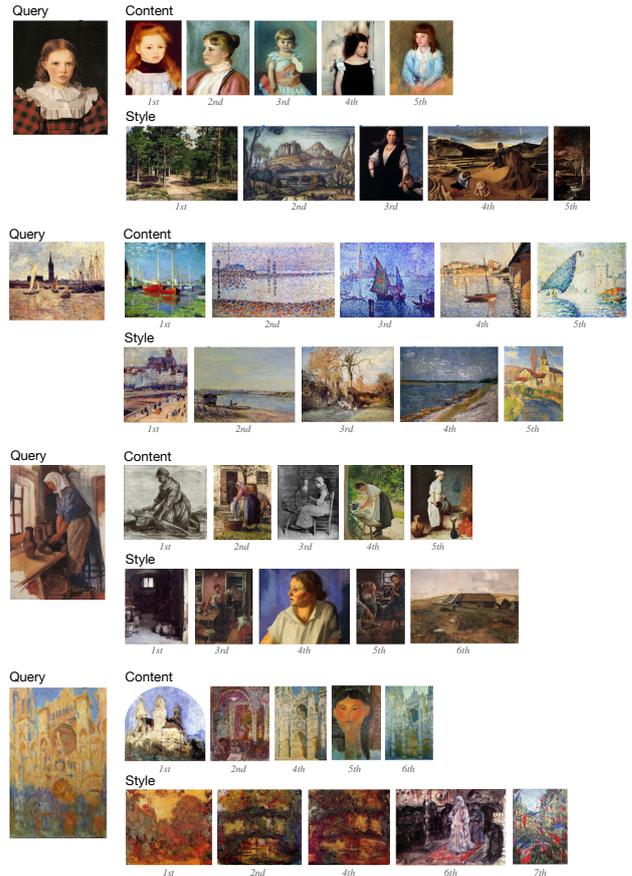


図3: “Query” の絵画に最も近いスタイル, またはコンテンツを持つ絵画の検索結果

ル (Ours) は, ラベルには及ばないものの, 他の比較手法に比べて優れた評価が得られた。

#### 引用文献

- [a] Rombach et al., “High-resolution image synthesis with latent diffusion models,” In CVPR, 2022.
- [b] Radford et al., “Learning transferable visual models from natural language supervision,” In ICML, 2021.
- [c] Ren et al., “Improved ArtGAN for conditional synthesis of natural image and artwork,” IEEE TIP, 2019.
- [d] He et al., “Deep residual learning for image recognition. In CVPR, 2016.
- [e] Caron et al., “Emerging properties in self-supervised vision transformers,” In ICCV, 2021.

#### 発表論文等 〔学会発表〕

- [1] Yankun Wu, Yuta Nakashima, Noa Garcia, “Not only generative art: Stable Diffusion for content-style disentanglement in art analysis,” In ICMR, 2023 (to appear).

## 第4部

# 機構の主要研究プロジェクト

### 4.1 スマートキャンパス（未来社会創造型サービスプラットフォームの整備）

人物行動映像解析技術の研究や開発を進めるためには、実験データの収集および実証実験場所が必要となる。特に、実環境で利用できる技術の研究や開発を行うためには、実験室などの管理されたエリアでの実施や、募集に応じた被験者の指示に基づく行動のみを対象とするのは好ましくない。実環境におけるリアルな人々の行動を対象とすべきである。人物行動映像解析のためのデータ収集および実証実験を実施するためには、少なくとも2つの条件を満たす必要があると考えている。

- (A) 人物行動映像解析のためのカメラや記録用サーバなどの設備面を整えること
- (B) カメラなどによる撮影や、その撮影映像が解析対象として用いられることに、被撮影者の理解が得られること

(A) はいわゆる物理的な環境整備であり、(B) は心理的および倫理的な環境整備である。本プロジェクトにおいては、これらの条件を満たす場所を用意するとともに、データの収集、実証実験の実施を進めている。具体的には、次の通り大阪大学吹田キャンパス内の複数場所において実施している。

#### 4.1.1 産業科学研究所

産業科学研究所では、2016年より整備を開始し、2017年より映像データの撮影・収集を始めている。産業科学研究所には、人物行動映像解析の専用カメラ（以下、実験用カメラと呼ぶ）を40台設置するとともに、撮影や実験に必要なサーバなどを準備した。設置されている実験用カメラは図1のようなものである。産業科学研究所においては、2017年までに(A)の物理的な整備が完了している。

(B)の整備については、産業科学研究所の教職員や学生などを対象とする説明会の開催や、Webやメールなどにおける実験情報の周知を行った。その上で、少ない台数のカメラを短い時間のみ稼働する実験からはじめ、時間をかけて稼働台数や稼働時間を少しずつ増やしながらデータの収集および実証実験を実施してきた。

産業科学研究所での実験は2019年3月で一旦終了し、現在は休止中である。実験を再開する際には、改めて説明会を開催し、実験を実施する旨を周知したうえで行う。

#### 4.1.2 生命科学図書館

大阪大学吹田キャンパス内にある生命科学図書館では、人物行動映像解析研究目的のみでカメラを利用するのではなく、防犯目的でも運用している。図2に示すような実験兼防犯目的のカメラ（以下、実験兼防犯カメラと呼ぶ）48台の

設置やネットワークの工事といった、(A)の物理的な整備は2018年度に完了している。その後防犯目的での運用を開始するとともに、(B)の整備を実施すべく、実験の説明会を実施した上で、実験の周知を兼ねて予備実験を実施した。その後、再び実験説明会を開催し、2018年12月より、トイレの出入口が画角内にあるカメラを除いた実験兼防犯カメラを用いたデータ収集開始している。なお、実験兼防犯カメラは、産業科学研究所の実験用カメラとは異なり、常時防犯カメラとして利用されているため、実験目的で使用していない時間でもカバーをかけていない。

生命科学図書館の実験は、2022年3月で一旦終了とし、現在は休止中である、また、2022年10月と11月に図書館に設置したカメラを利用して被験者実験を実施している。

#### 4.1.3 センテラス

大阪大学吹田キャンパス内のセンテラスエリアにおいても、人物行動映像解析研究目的のみでカメラを利用するのではなく、防犯目的でも運用する。センテラスエリアには、図3に示すような実験兼防犯カメラを16台設置するとともに、ネットワーク工事などを行い2018年度に(A)の物理的な整備を完了している。

センテラスエリアは、産研や生命科学図書館と異なり、撮影エリアに出入りする場所が限定されておらず、(B)の施策のために撮影エリアに人が入る可能性がある全ての場所に看板を設置することは現実的ではない。そこで、撮影エリアに入る前の人の通りが多いと思われる通路に常設の看板を、撮影エリア内にデジタルサイネージの設置することにした。看板には実験を実施している旨やその内容、撮影エリア、問い合わせ先などを、デジタルサイネージにはカメラが実際に撮影しているリアルタイム映像や実験日には実験実施中である旨などを表示する。

2020年に、図4のような示すデジタルサイネージおよび常設の看板の設置が完了している。2020年11月に実験説明会を行い、12月より実験を開始した。実験時間は、最初は3時間からスタートし徐々に時間を延し、最長11時間の実験を行っている。

センテラスにおいても2022年3月で実験を終了する予定であったが、期間を延長し2028年3月まで実施することとなった。2022年度は表1に示す通り、月に1回のペースで実験を実施した。今後も実験は月1回のペースで計測を続けていく予定である。

	ボックス型カメラ Panasonic WV-SP509J		ドーム型カメラ Panasonic WV-SW598J
	ハウジング有	ハウジング無	
不使用時 (非撮影)			
使用時 (撮影中)			

図1: 産業科学研究所に設置されている実験用カメラの例（使用時と不使用時が現場で分かるようにしている）

<p>ドーム型カメラ Panasonic WV-S2130</p>	<p>ドーム型 PTZ（パンチルトズーム）カメラ Panasonic WV-S6130</p>	<p>ボックス型カメラ Panasonic WV-S1131</p>
		

図 2: 生命科学図書館に設置された実験兼防犯カメラの例

<p>ドーム型カメラ Panasonic WV-S2130</p>	<p>屋内ドーム型 PTZ（パンチルトズーム）カメラ Panasonic WV-S6130</p>	<p>屋外ドーム型 PTZ（パンチルトズーム）カメラ WV-S6530NJ</p>
		

図 3: センテラスに設置されている実験用カメラの例

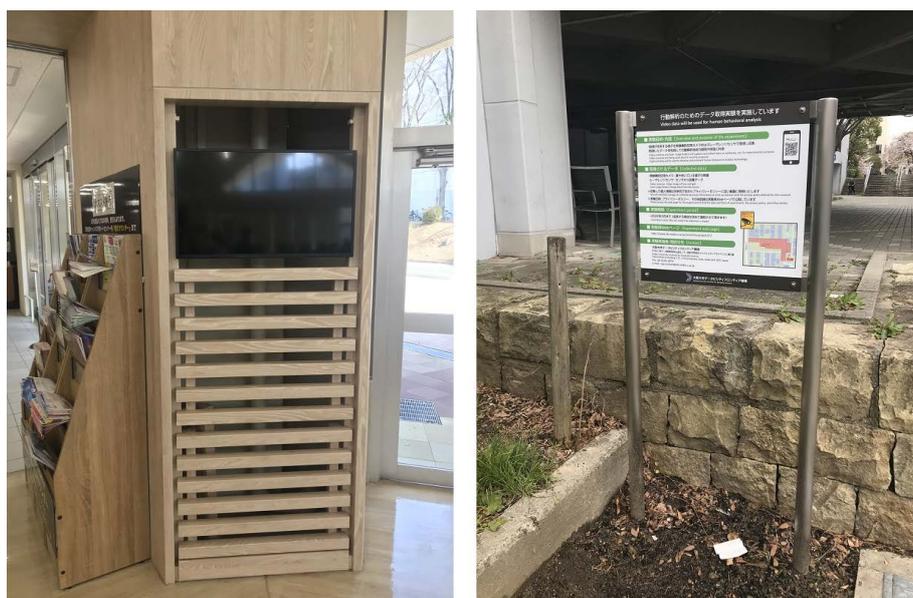


図 4: センテラスに設置されているデジタルサイネージ（左）と看板（右）の例

表 1: センテラスでの実験実施・計画日時

	実験実施日時
4月	5日
	9:00-20:00
5月	20日
	9:00-20:00
6月	20日
	9:00-20:00
7月	26日
	9:00-20:00
8月	31日
	9:00-20:00
9月	22日
	9:00-20:00
10月	28日
	9:00-20:00
11月	28日
	9:00-20:00
12月	20日
	9:00-20:00
1月	25日
	9:00-20:00
2月	16日
	9:00-20:00
3月	24日
	9:00-20:00

## 4.2 Society5.0 実用化研究拠点支援事業「ライフデザインイノベーション研究拠点」

### 4.2.1 SNS からのパーソナライズド感情分析

#### 4.2.1.1 研究の背景

インターネットやスマートフォンの普及によって、多くの人が気軽に情報を受信および発信できる情報社会（Society 4.0）が実現された。我々は、これらの情報を有効活用できる超スマート社会（Society 5.0）の実現に向けて、自然言語処理や画像処理の技術を用いた SNS 解析に取り組んでいる。Twitter などのソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）では、ユーザがテキストや画像を用いて現実世界の状況を発信している。我々は、これらの投稿を蓄積し詳細に分析することによって、仮想世界と現実世界を高度に融合させた新たな価値の創出を目指す。

代表的な SNS 解析の先行研究には、感情分析がある。Twitter の各投稿について、投稿者の感情極性を 3 値（ポジティブ・ニュートラル・ネガティブ）で分類する極性判定が研究されてきた。近年では、英語を中心に、詳細な感情の識別や感情強度の推定も試みられている。ただし、既存の感情分析データセットでは、感情ラベルを付与する注釈者とテキストの投稿者が異なるため、感情分析の先行研究は客観的な感情強度の推定に焦点を当ててきた。

#### 4.2.1.2 研究の目的

本研究の目的は、SNS 上の各個人の多様な感情を自動的に推定するシステムを構築することである。そこで、投稿者自身によってラベル付けされた日本語 SNS テキストの感情分析データセットを構築し、各感情の主観的な強度を推定する深層学習モデルを訓練する。最終的には、投稿の時系列を考慮し、時間的な感情の変遷を推定する。

#### 4.2.1.3 研究の方法

まず、図 5 に示すような投稿と感情強度ラベルの組からなるデータセットを構築する。クラウドソーシングサービスのランサーズを通じて広く日本語の SNS 利用者から自身の過去の投稿を収集し、主観的な感情強度のラベルを付与してもらう。本研究では、基本感情と感情極性の 2 種類の枠組みでアノテーションを実施する。前者については、プルチックの基本 8 感情（喜び・悲しみ・信頼・嫌悪・怒り・恐れ・驚き・期待）を対象に、各投稿についてそれぞれの感情の強度を 4 段階（無・弱・中・強）で付与してもらう。後者については、感情のポジティブ・ネガティブの度合いを 5 段階（強いポジティブ・ポジティブ・ニュートラル・ネガティブ・強いネガティブ）で付与してもらう。投稿者ではない作業員もクラウドソーシングを通じて雇用し、各投稿について同様に客観的な感情強度のラベルを付与してもらう。

次に、感情分析モデルを構築する。深層学習に基づくテキスト分類モデル（BERT）をベースとして、ユーザ情報や時系列を考慮するための改良を行う。

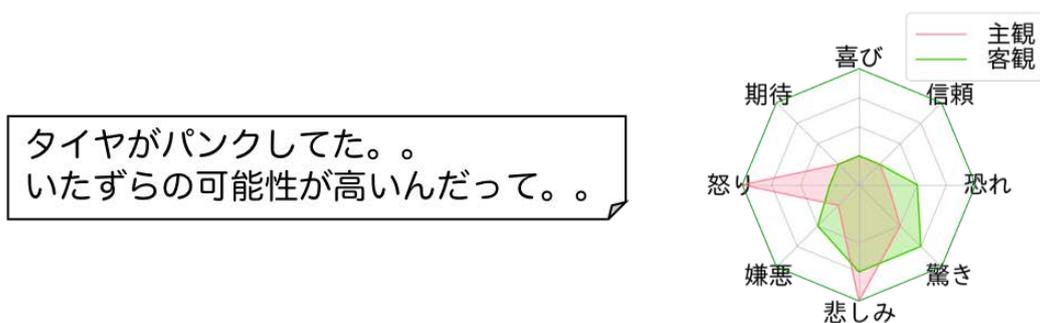


図 5: 収集したデータの例

#### 4.2.1.4 研究の成果

2020年度は、図5に示したSNS投稿と感情強度ラベルの組を収集し、日本語の感情分析データセットを構築した。これは、50人のSNSユーザから収集した合計17,000件の日本語の投稿であり、基本8感情の強度を主観と客観の両方の立場から付与したものである。これらの研究成果は、言語処理学会年次大会 [1] および自然言語処理の分野における主要な国際会議のひとつであるNAACL [2] にて発表し、言語処理学会の会誌 [3] に解説記事を寄稿した。本データセットは、WRIME\*<sup>1</sup>という名前でGitHubにて公開している。

2021年度は、WRIMEの感情分析データセットを拡張した。アノテータ人数とテキスト件数の両方を拡張し、60人から合計35,000件の投稿を収集した。また、基本8感情の強度に加えて、新たに5段階の感情極性に関するアノテーションを実施した。これらの研究成果は、言語処理学会年次大会 [4] および言語資源に関する国際会議であるLREC [5] にて発表し、前者では若手奨励賞を受賞した。

2022年度は、ユーザ情報を考慮して感情分析モデルの改良に取り組んだ。書き手に対する性格診断のためのアンケート結果をもとに、書き手の性格情報をモデル化した。具体的には、60項目のアンケート結果からBigFive性格5因子モデルを再現するニューラルネットワークを訓練し、その中間表現を性格ベクトルとして取り出した。テキストから得られる埋め込みベクトルと性格ベクトルを組み合わせることで、書き手の主観的な感情強度の推定性能を改善した。これらの研究成果は、人工知能学会全国大会 [6] および自然言語処理の分野の国際会議であるAAACL-SRW [7] にて発表した。

#### 発表文献

- [1] 梶原智之, Chenhui Chu, 武村紀子, 中島悠太, 長原一. “主観感情と客観感情の強度推定のための日本語データセット”, 言語処理学会第27回年次大会, pp.523-527, March 2021.
- [2] Tomoyuki Kajiwara, Chenhui Chu, Noriko Takemura, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara. “WRIME: A New Dataset for Emotional Intensity Estimation with Subjective and Objective Annotations”, In Proceedings of the 2021 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL), pp.2095-2104, June 2021.
- [3] 梶原智之. “WRIME: 主観と客観の感情強度を付与した日本語データセット”, 自然言語処理, Vol.28, No.3, pp.907-912, September 2021.
- [4] 宮内裕人, 鈴木陽也, 秋山和輝, 梶原智之, 二宮崇, 武村紀子, 中島悠太, 長原一. “主観と客観の感情極性分類のための日本語データセット”, 言語処理学会第28回年次大会, pp.1495-1499, March 2022. 【若手奨励賞】
- [5] Haruya Suzuki, Yuto Miyauchi, Kazuki Akiyama, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya, Noriko Takemura, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara. “A Japanese Dataset for Subjective and Objective Sentiment Polarity Classification in Micro Blog Domain”, In Proceedings of the 13th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC), pp.7022-7028, June 2022.
- [6] 鈴木陽也, 秋山和輝, 梶原智之, 二宮崇, 武村紀子, 中島悠太, 長原一. “書き手の性格情報を用いた感情強度推定”, 人工知能学会第36回全国大会, pp.1-4, June 2022.
- [7] Haruya Suzuki, Sora Tarumoto, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara. “Emotional Intensity Estimation based on Writer’s Personality”, In Proceedings of the AAACL-IJCNLP 2022 Student Research Workshop (AAACL-IJCNLP SRW), pp.1-7, November 2022.

---

\*1 <https://github.com/ids-cv/wrime>

## 4.2.2 未来の学習支援プロジェクト

### 4.2.2.1 研究の背景

2020年以降、新型コロナウイルス感染症の拡大によりオンライン教育の導入が急速に進展した。オンライン教育の導入により講義の受講の機会を保証することができた反面、(1) 教員が学生と直接顔を合わす機会の減少、(2) 個々の学生の学習状況の把握の困難、(3) 学生の理解不足や不登校などが放置される可能性の増加等の課題が懸念され、これらの課題により学生の履修不良や留年・退学などに繋がるなどの指摘もあり、早期の対応が求められている。大阪大学ではコロナ禍状況でのオンラン教育下における上記課題に関する学生の状況を把握するため、2020年度に大阪大学全学アンケートを実施した。全タイプのオンライン授業受講経験のある学部1年生(1259名)を対象に分析した結果、47.4%の学生が倦怠感、不安、落ち込みを感じ、学業に対する意義や価値といった学習意欲の低下を抱えていることがわかった [1]。ポストコロナ期においては、オンライン環境・対面環境双方の利点を活かした新しい教育の実現が求められている(教育再生実行会議, 2021)が、その際、学習効率のみを求めるのではなく、学生の心の状態把握を意識した学習支援が重要であることが本結果からも明らかとなった。

### 4.2.2.2 研究の目的

本プロジェクトでは、ICTを活用した新たな学習支援においては、学習効率のみを求めるのではなく、学生の心の状態把握を意識した学習支援が重要であるとの考えに基づき、学習中の学生の内界状態をリアルタイムに推定するための手法を開発することを目指す。具体的には、オンライン授業(講義動画による個人学習)・対面授業(協調学習)それぞれの授業形態を対象に、学習者の状態推定モデルを構築する。モチベーション低下が課題となったオンライン授業では、学習中の学生の覚醒度や集中度を含むエンゲージメント(学習への関与度合い)を学習意欲維持の指標と仮定し、eラーニング中のエンゲージメント推定手法の確立を目指す。対面授業では、個々の学習者およびグループの活性度を学習意欲と捉え、活性度推定手法の確立を目指す。

### 4.2.2.3 研究の方法

オンライン授業に関する取り組みでは、まず、eラーニング受講中の学習者の顔表情や座圧等のデータ収集を行う。次に、収集したデータに対して、3段階の覚醒度(1: Asleep, 2: Drowsy, 3: Awake)に関するアノテーションを行い、覚醒度推定モデルを構築する。また、構築した推定モデルを活用したフィードバックシステムの構築・評価にも取り組む。対面授業に関する取り組みでは、まず、協調学習の学習者の動画像データの収集を行い、収集したデータに対して3段階の活性度(0: Passive, 1: Semi-active, 2: Active)のアノテーションを実施する。そして、活性度推定モデルを構築する。さらに、推定モデルを用いて授業中の教員・TAのファシリテーションや授業後の学生評価を支援する協調学習支援システムの開発・評価にも取り組む。

### 4.2.2.4 研究の成果

オンライン授業に関する取り組みでは、2018~2020年度にかけて本学の全学共通の情報教育科目の授業と連携した実験を行い、eラーニング中の53名の学習者の顔画像、心拍、座圧データを収集し、覚醒度推定モデルを構築した。3段階本人主観評価では、平均F1マクロスコアで0.82を達成した [2]。さらに、2021年度には、エンゲージメント推定モデル構築に向け、本学の学部学生・大学院生82名を対象に講義動画視聴中の顔表情、視線、座圧データの収集を行う実験を行った。また、推定モデルを活用したフィードバックシステムの構築に向けた準備として、図6に示す講義動画視聴システムを開発し、情報教育科目の授業(約3,000人規模の授業)で試用し、安定して運用できることを確認した [3]。

対面授業に関する取り組みでは、2019~2020年度にかけて、本学の学部学生・大学院生25名を対象に、協調学習時の映像データを収集し、映像データから抽出した各学習者の姿勢情報(骨格モデルの各座標の時系列データ)を

もとにグラフ畳み込みネットワークを利用した活性度推定モデルを構築した [4]。提案手法では、第三者の主観評価 (Active/Passive) で平均 F1 マクロスコアは 0.72 を達成した。また、2022 年には、推定モデルの構築と並行して、Mixed Reality (複合現実) を用いた学習者の活性度可視化システムの試作と本学の学部学生・大学院生 54 名 (学習者: 46 名, TA: 8 名) を対象にした Wizard of Oz 法による予備検証を行った (図 2)。

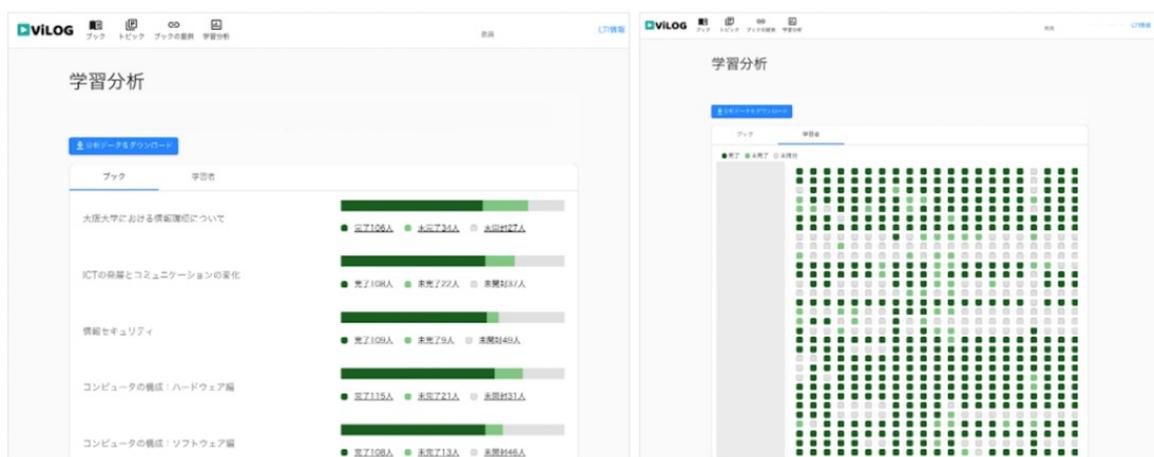


図 6: 講義動画視聴システムの可視化ダッシュボード



図 7: 協調学習実験の様子

## 発表文献

- [1] D. Ishimaru, H. Adachi, H. Nagahara, S. Shirai, H. Takemura, N. Takemura, A. Mehrasa, T. Higashino, Y. Yagi and M. Ikeda, "Characteristics of Adaptation in Undergraduate University Students Suddenly Exposed to Fully Online Education During the COVID-19 Pandemic", *Frontiers in Psychiatry*, Vol. 12, pp. 1517, 2021.
- [2] R. Kawamura, S. Shirai, N. Takemura, M. Alizadeh, M. Cukurova, H. Takemura and H. Nagahara, "Detecting Drowsy Learners at the Wheel of e-Learning Platforms With Multimodal Learning Analytics", *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 115165-115174, 2021.
- [3] S. Shirai, M. Hori, M. Furukawa, M. Alizadeh, N. Takemura, H. Takemura and H. Nagahara, "Design of open-source video viewing behavior analysis system", In *Companion Proceedings of the 12th International Conference on Learning Analytics & Knowledge (LAK22)*, Society for Learning Analytics Research, 82, March 23-25, 2022.
- [4] 福井 嵐士, 武村 紀子, Mehrasa Alizadeh, 白井 詩沙香, 長原 一, "グラフ畳み込みネットワークを用いたグループ学習時の活性度推定", *画像の認識・理解シンポジウム*, 2021.

## 4.3 データビリティ研究用基盤システムと実証実験フィールドの整備

### 4.3.1 はじめに

データビリティフロンティア機構では、多様な研究分野において生成されるビッグデータの利活用を推進し、データ駆動型の新たな学術研究の推進、さらには社会的、公共的、経済的価値の創造を促進するための学際共創研究や産学共創研究を推進しており、その研究基盤として、大量かつ多様性をもつデータの収集・蓄積や、AI技術等による高度なデータ分析を可能にするプラットフォームの整備を進めている。また、大学キャンパスを対象とした実証フィールドとして、産業科学研究所、工学研究科センテラス周辺エリア、生命科学図書館、豊中グラウンドに映像設備を中心とした環境整備を推進している。以下、それぞれの整備内容を紹介する。

### 4.3.2 データビリティ研究用基盤設備の整備

データ駆動型の研究推進には、大量かつ多様なデータを蓄積し分析するための設備が必要である。これまでに、大量データを解析可能にするためのデータ処理用サーバ 24 台からなるプライベートクラウド環境、AI を用いたデータ分析研究のための GPGPU 搭載サーバ、大量データの蓄積および高速なアクセスを可能にする共有ストレージシステム、デジタルアーカイブ装置、ならびにそれらを接続するネットワーク装置を整備してきた。

データ処理用サーバには VMware 社の仮想化ソフトウェアが導入されており、データ分析処理のみならず、Web インタフェースによるデータ管理システムなど、様々な用途の仮想サーバを自由にデプロイすることができる。また、共有ストレージシステムとは FibreChannel により接続されており、大量データへの高速なデータアクセスが可能である。GPGPU 搭載サーバは、NVIDIA Tesla P100 または V100 が 4 基あるいは 8 基搭載されており、共有ストレージシステムには NFS を用いてアクセス可能である。共有ストレージシステムは、論理容量として約 1.3PB の容量を有している。現在は、データビリティ研究において分析すべきビッグデータの格納や、実証実験フィールドから収集される映像データや各種センシングデータの格納に活用している。これらのサーバやストレージシステムは 10Gbps の高速ネットワークで相互接続されている (図 8)。

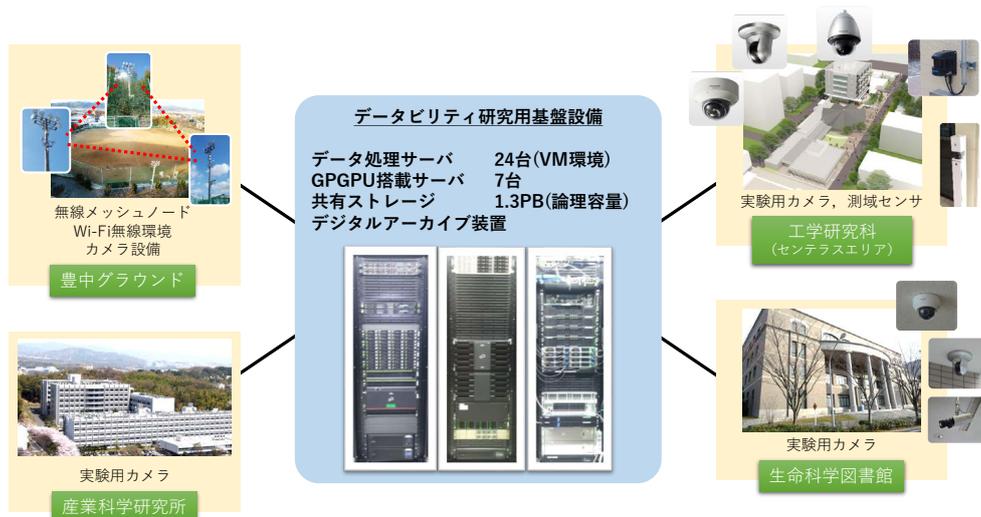


図 8: データビリティ研究用基盤設備と実証フィールド

2017 年度末から稼働している本システムは導入から 5 年が経過し、導入されている仮想化ソフトウェアでは最新の OS による仮想サーバの動作がサポートされていないことから、2022 年 3 月に仮想化ソフトウェアのバージョンを 6.5

から 7.0U2 にアップデートする作業を実施した。これにより、セキュリティアップデートなどのサポートが有効な最新の OS を仮想サーバとして動作させることが可能になった。

### 4.3.3 大学キャンパスにおける実証フィールド整備

データバリティフロンティア機構では、ビッグデータ利活用のための基盤技術の研究開発を推進するとともに、それらの基盤技術を実環境で実証し、それを社会実装する際に起こりうる課題を解決することも一つの大きな研究課題と考えている。そのための実証フィールドとして、産業科学研究所、工学研究科センテラス周辺エリア、生命科学図書館、豊中グラウンドに映像設備を中心とした環境整備を推進している。また、2021年4月に開学した箕面新キャンパスにおいても実証フィールド整備を進めており、2020年度にはその準備として実証実験用のネットワーク機器及びサーバ機器の整備を進めた。

#### 工学研究科センテラス周辺エリアの実証フィールド

工学研究科センテラス周辺エリア（食堂・購買エリア）には、屋内（通路を含む）に11台、屋外に5台の計16台の実験用カメラと、計15台の測域センサ（レーザーレンジセンサ）を設置している。また、測域センサ近くには小型計算機（Raspberry Pi 3）がそれぞれ接続されており、フィールドに近い場所で何らかの処理を行う、いわゆるエッジコンピューティングの実証実験も可能にしている。これらの機器は、データバリティ研究用基盤設備に10Gbpsの高速専用ネットワーク回線で接続されており、高解像度映像データの収集が可能になっている。実験用カメラによる映像取得をはじめとするデータ取得は、撮影される者に対して、映像取得を行うことの意味やデータ管理の方法、撮影エリアなどを十分に告知・周知する必要がある。そのため、実証実験実施の告知・周知を行うための看板をセンテラスエリア周辺5か所に設置しており、また、デジタルサイネージをセンテラスエリアの食堂内2か所、食堂外通路に1か所設置している（図9）。

2020年12月からは、学際共創プロジェクト「スマートシティプロジェクト」において16台の実験用カメラの映像取得実験を開始し、2021年度までは毎週1回の頻度で、2022年度からは毎月1回の頻度で映像取得を行っている。映像取得実験にあたっては、実験内容や映像データの取り扱いについて実験説明会を開催して周知するとともに、デジタルサイネージによって実験内容やデータ取得の日程、取得される映像の内容などを表示させている（図10）。

また、9台の二次元測域センサから得られる距離データを分析し人流データとして可視化するシステムの構築を進めている（図11）。このシステムは、測域センサ近くに設置した小型計算機で距離データの取得や背景除去などの処理を行い、それらの距離データをデータバリティ研究用基盤設備上に構築した仮想サーバ群で処理・蓄積する構成としている。

また、16台のカメラ映像からGPUサーバを用いて人物検出処理および人物追跡処理を行い、そのデータを元に人流データとして出力するシステムの構築を行っている。さらに、測域センサによって抽出された人流データとカメラ映像によって抽出された人流データを相補的に活用した高精度な人流データ出力手法についても研究を推進している。これも本実証フィールドとデータバリティ研究用基盤設備の活用事例の一つである。

#### 豊中グラウンドの実証フィールド整備

豊中グラウンドにおける実証実験フィールド整備は、スポーツ医科学におけるセンシングデータの利活用技術、特に競技力向上や障害予防についての研究開発及び実証実験を推進することを主な目的としている。加えて、大阪大学における体育授業の高度化や、部活動での利活用も視野に入れた整備を行っている。

これまでに、グラウンドにおけるスポーツ活動を高精細映像で取得できるようにするため、4K解像度で映像を取得可能なPTZカメラをグラウンド周辺の照明塔などに12台整備するとともに、映像データの記録のための映像レコーダーおよび外部ストレージ、映像データを高度に解析するためのGPGPU搭載サーバが整備されている。また、グラ



図 9: センテラス食堂内外に設置したデジタルサイネージ



図 10: デジタルサイネージ表示画面（2021年4月撮影）



図 11: センテラス周辺に設置した測域センサのデータ可視化

ラウンジ内で利用可能な Wi-Fi 環境も整備されており、グラウンド内でタブレット端末を用いてカメラを操作したり映像を録画・再生したりすることも可能である。この実証フィールドを用いて、2020年12月には78名の被験者を集めたランニング映像収集が実施された。

これらの映像データを中心としたデータ取得・解析環境を、多様な用途（研究用途での活用、体育授業での活用、部活動での活用等）で容易に活用できるようにするには、利用するカメラの予約、映像録画の予約などを利用者自身が行える環境が必要である。そのような環境の実現を目指し、映像利活用プラットフォーム「TOYONAKA CAMERA STATION」の構築を行った（図12）。このプラットフォームは、ユーザグループや個々のユーザに対するカメラ利用

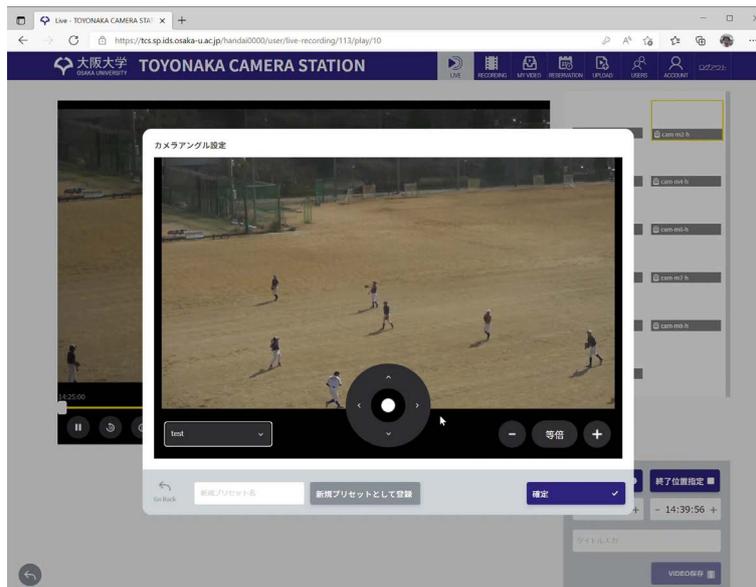


図 12: 豊中グラウンドにおけるデータ活用プラットフォームの利用者画面

権限の設定や、ユーザごとのカメラプリセット設定、カメラ利用予約や映像録画予約、録画された映像の閲覧・管理等の機能を提供しており、豊中グラウンドの実証フィールドとしての利活用を推進していく予定である。

### 箕面新キャンパスの実証フィールド整備

箕面新キャンパス（外国学研究講義棟）では、学生の教育・生活支援をはじめとする IoT を活用した実験が計画されている。2020 年度には各種実験におけるデータ収集及びデータ蓄積管理の基盤となるサーバやネットワーク機器などの設備の整備を行った。2021 年度には、箕面新キャンパスで実施される授業での利用を想定した顔認証による出席管理システムの構築を推進した（図 13）。

本システムは、日本電気（株）のクラウド顔認証サービス「Bio-IDiom Services」を利用し、学生個人のスマートフォンで各自が出席登録を行うシステムである。学生は、スマートフォンに「iLDi 出席管理」アプリと「入退記録 (Bio-IDiom Services)」アプリの 2 つのアプリをインストールする。授業出席時に「iLDi 出席管理」アプリを起動すると、アプリは教室に設置された BLE ビーコンを受信し、学生がどの教室にいるかを識別することにより、教室にいる学生だけが出席登録を行うことができるようになっている。

学生は、アプリ上で学籍番号を入力（初回のみ）し、「認証」ボタンをタップすると、「入退記録 (Bio-IDiom Services)」アプリが起動する。顔画像を撮影すると、クラウド上の顔認証サービスによって顔認証が行われる。顔認証に成功すると、出席情報が「iLDi 出席管理」アプリから中継サーバを介して大阪大学 CLE（授業支援システム）に送信される。授業担当の教員は、タブレット端末などから大阪大学 CLE にアクセスすることにより、出席情報をほぼリアルタイムに確認することができる。

「iLDi 出席管理」アプリ上では、顔画像の二次利用に同意するかどうかを設定することができる。顔画像の二次利用に同意した場合、出席登録のために撮影した顔画像は二次利用顔画像サーバに送信され、PLR データとして蓄積される。蓄積された学生の顔画像データの第三者への提供は、ダイナミックコンセンツの考えに基づき、学生の再同意を得て行われる。

本システムは、2022 年の秋～冬学期に実際の授業を対象として試験運用を行い、動作検証および学生へのアンケートを通じた有用性の確認を実施した。2023 年度以降も運用を継続していく予定である。

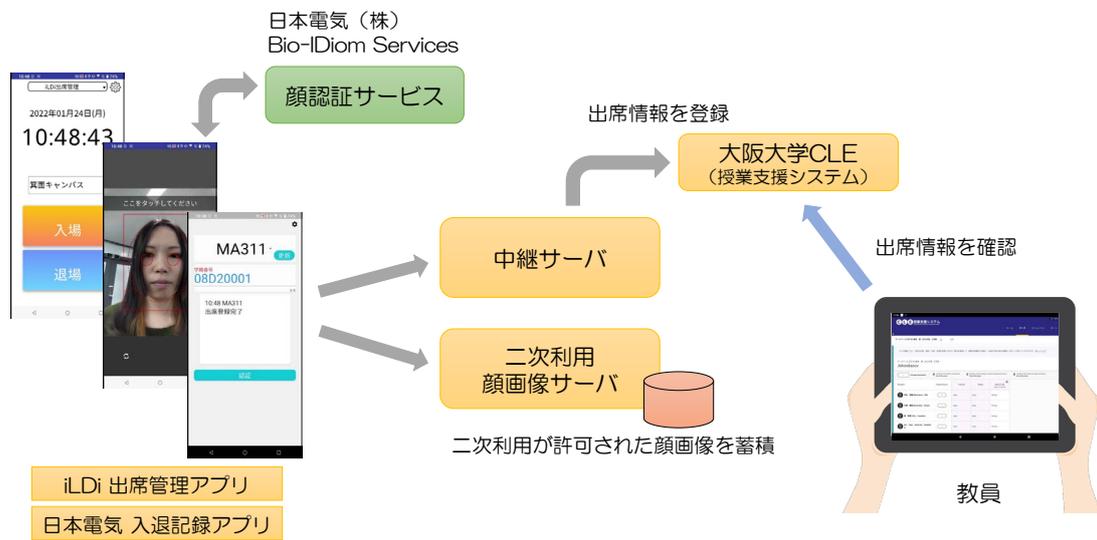


図 13: 顔認証による出席管理システムの構成



## 第5部

---

# ライフデザイン・イノベーション研究拠点

### 5.1 Society 5.0 実現化研究拠点支援事業について

政府が目指す超スマート社会 (Society 5.0) では、IoT (Internet of Things)、ロボット、人工知能 (AI)、ビッグデータ等の新技術を様々な産業や社会生活に取り入れイノベーションから新たな価値を生み出すことで、誰もが快適で活力に満ち溢れた質の高い生活をおくることのできる、人間中心社会の構築を目指している。本研究拠点事業では、若者、子育て世代、中高年が豊かで安心して生活できる社会の構築を念頭に、「産・学・官・民による「健康×IoT」創造」をモットーとし、一般社会での社会実装の前段階において、社会受容性の課題を同時に議論する形で大阪大学キャンパスや大学周辺地域をプレ Society 5.0 の実証フィールドとして活用し、「ライフデザイン・イノベーション」に資するイノベーションの創出を目的とする。

### 5.2 事業概要

本研究拠点事業では、人々の医療・健康情報であるパーソナル・ヘルス・レコード (Personal Health Record : PHR) に、日常生活、職場や学校での活動、食事、スポーツ活動など、日常生活の様々な活動データを加えたパーソナル・ライフ・レコード (PLR:Personal Life Records) を新しく提案し、収集した日常活動データから疾病予知や予防、早期発見を目指した研究を実施する。

事業実施にあたり、QOL の維持・向上を目指した「ライフスタイル」研究、心と体の健康増進を目指した「ウェルネス」研究、楽しみと学びを実現する「エデュテインメント」研究を並行して推進することで、人と日常の健康・生活の関わりから、身体健康、心の健康、社会的健康、環境健康を基軸にして高い QOL をデザインし、様々な技術革新と社会経済環境の変化を大学から発信することに取り組む。また、Society 5.0 社会に向けてデータ駆動型社会に革新を起こす試みとして、学術研究で得られる多様な高付加価値パーソナルデータを、民間における研究開発に利用可能なデータ流通の仕組みを確立することを目指す。



図1: 事業の目的

### 5.3 2022 年度活動概要

本事業では、人生の QOL の向上をデザインする（ライフスタイル研究）未来社会を目指した「ライフデザイン・イノベーション研究拠点」事業を、大阪大学、理化学研究所、日本電気（株）の3者を中心に様々な活動に取り組んだ。

本年度は、人々の医療・健康情報であるパーソナル・ヘルス・レコードに日常生活の様々な活動データを加えた「パーソナル・ライフ・レコード (PLR)」のマネタイズの仕組みとしてのデータ取引市場 (MYPLR) を実際にクラウド上に構築し、その試験運用を行い、データ流通とデータ取引に関する実証実験を継続して行なった。

具体的には、PJ1 保険・予防医療、PJ2 健康・スポーツ、PJ3 未来の学校支援、PJ4 共生知能システムの4つのプロジェクトにおいて、目標達成に向けた研究活動を継続した。各々の目標に合わせたデータ収集とデータセットの構築を行い、社会ニーズの視点からも、収集データの内容、データ数などについて検討し、積極的にデータの価値創出を行なった。具体的には、各プロジェクトと密接に関連する企業との意見交換、一般社団法人データビリティコンソーシアムの賛助法人会員企業に、研究紹介・ヒアリング等を実施し、情報収集を行った。また、PJ2、PJ3、PJ4 において、MYPLR 口座開設を開始した。PJ1 については、医療データを扱う必要があることから、今年度は本人同意を得るしくみ案の構築までとなったが、来年度以降、MYPLR 口座への登録が進められるよう研究開発を継続していく予定である。

PJ6 行動センシング基盤、PJ7 実証フィールド整備については、大阪大学の豊中・吹田キャンパスに加えて、箕面新キャンパスに実証実験フィールドを構築し、さらに、一般人を対象として設置した大阪梅田グランフロント大阪ナレッジキャピタル The Lab にて、その運用を開始した。これらの環境を利用し、パーソナルデータの収集だけでなく、データ二次利用のための MYPLR 口座開設を促進し、2023 年度末時点で通算 1326 人の MYPLR 口座開設を行うことができた。

PJ9 データビリティ人材育成では、パーソナルデータの利活用のための AI・データサイエンス技術を使いこなせる人材育成を目的に、一般社団法人データビリティコンソーシアムと連携し、社会人向け教育講座「実データで学ぶ人工知能講座」を実施し、18名（当該講座通算115名）の受講者が講座を受講し修了認定を受けた。

PJ10 グランドチャレンジ研究では、14 件のテーマを採択し推進した。これにより、5年間で合計 63 件のテーマ推進を行い、PJ 目標（50 件以上）を達成した。一部のプロジェクトでは、それぞれの研究テーマを推進するとともに、PJ1-PJ4、P6 と連携し、研究推進、被験者パネル（高齢者パネル・箕面キャンパスパネル）による共同データ収集を実

施し、効率よくデータ収集・MYPLR 口座開設を行った。

PJ5 情報システム基盤, PJ8 社会技術研究については, 本人同意によるデータ取引を可能にする, データ流通プラットフォーム PLR 基盤ならびに取引市場 MYPLR の構築を NEC と共同で開発しており, 本年度も運用強化を行った。研究拠点本部を中心に, PJ5, PJ8 さらに一般社団法人データビリティコンソーシアムが連携し, データ収集への同意から MYPLR 口座開設, データ蓄積同意など一連の運用実証実験結果を元に, PLR 基盤の運用フローの見直しやシステム改修などの最適化を図った。MYPLR の実運用により第一ステージでは有償のデータ取引1件を達成した。

研究拠点本部では, 各プロジェクトのデータの二次利用が促進されるように, 一般社団法人データビリティコンソーシアムと連携し「データジャケット部会」「Well-being 部会」「スポーツワーケーション部会」の3つの部会を通じた企業へのプロモーション強化を行なった。その内, データジャケット部会では, データビジネス発想支援のワークショップ等を行なうことにより, データ二次利用ビジネスの社会実装について企業担当者と活発な議論を行なった。

本事業は, 発足当初から独立行政法人 工業所有権情報・研修館 (INPIT) の協力を得て, 知的財産コーディネータ2名の派遣を受けており, 令和4年10月からは1名派遣体制となったが, AI 分野, ライフデザインなどの本事業関連分野の進展は極めて早いこともあり, このような知的財産取扱いの専門技能を持つ人材や, データビジネスに詳しい弁護士の協力を得て, 最先端の技術動向や特許調査を進め, 医療情報も含めた同意取得のしくみ案の構築など, 第二ステージに向かって本事業がより有効に進められるよう活動した。

また, 活動については, 国立大学法人の使命の一つである知見の社会還元を目的として令和5年3月9日に公開シンポジウム「データ科学が創る”人と人をつなぐ”未来社会」を開催し, 本事業に参画する大学, 研究所, 大阪府等の自治体や民間企業から合計183名の参加があった。医療 DX の動きの紹介や, パネルディスカッションではデータ二次利用ビジネスや医療連携データとの連携に関する課題についての議論がなされ, 拠点がめざす新事業について, 深掘りを行う場となり, パーソナルデータの利活用については, 社会的にも注目されていることを確信できた。

また, データ利活用を推進することを目的とした一般社団法人データビリティコンソーシアムでは, データを活用するための人材育成活動や, データの新しい価値創造に関する取り組みとして, スポーツワーケーション部会・スポーツワーケーション部会・データジャケット部会において, データやソリューションに興味を持つ企業と研究プロジェクトがデータ利活用の観点から議論を行った。これに関連して, Well-Being に関する実証実験やスポーツワーケーションに関する実証実験を実施することにより, データ利活用に展開可能な新たな研究テーマ検討を進めた。

## 5.4 まとめ

2022年度は, 本研究拠点の第一ステージ最終年度であり, これまで構築してきた PLR 基盤の実社会での実証実験を継続して行い, 一通りの動作を実証できたが, 具体的な課題も見えてきている。これまで得られた新しい知見を元に, PLR 基盤改善を行い更に完成度を高めるとともに, 第二ステージにおける大きな目的の1つとなる医療データとの連携テーマについてもその道筋を立て, 文部科学省からの更なる5年間の支援事業継続につなげる所存である。

### 参考情報

- [1] ライフデザイン・イノベーション研究拠点 ホームページ  
<https://www.ids.osaka-u.ac.jp/ildi/index.html>
- [2] 一般社団法人 データビリティコンソーシアムのホームページ  
<https://cds.or.jp/>



## 第6部

---

### 教育

#### 6.1 先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム

##### 6.1.1 概要

本プログラムは、理学、医学、情報科学の分野の学生を対象に、量子ビーム応用技術を社会実装できる人材を育成する5年一貫の博士課程教育プログラムです。国内外のトップ研究機関・企業との連携によるカリキュラムを通じて、量子ビーム応用技術を創出し豊かな健康長寿社会や安全な超スマート社会の実現を担う人材を育てることを目的としています。

##### 6.1.2 カリキュラム概要

大阪大学内の関連部局による連携、量子ビームに関わる国内外のトップレベル機関・企業との連携によるカリキュラムを通じて、多彩な経験を積むことができます。所属専攻以外での研究活動（国内研修）や海外連携機関等での研究活動（海外研修）など、異分野融合や国際連携による共同研究を通じて、高度な専門性と多分野を俯瞰する力、国際的に活躍できるリーダーシップを効率よく身に付け、人的ネットワークなどを築く機会を得られます。

##### 6.1.3 機械学習実践演習

データピリティフロンティア機構では機械学習実践演習の講義8コマを担当しました。2023年1月4、5日にそれぞれ4コマずつ講義を行いました。受講登録者数は14名でした。

内容について、画像を対象としたディープラーニングを実践的に学ぶことを目的としました。座学では計算内容や応用例、論文などを紹介した後、実際にソースコードを読み実行し、演習問題を解くことで理解するという流れとしました。初学者のためにPythonの基礎から導入を行い、第一次人工知能ブームから現在の第三次人工知能ブームの流れに沿って、パーセプトロン、マルチレイヤーパーセプトロン(MLP)、畳み込み層、活性化関数、損失関数、softmax関数、optimizer、過学習などの基本的な概念を理解できるようにしました。また、過学習を防ぐことや、正答率を上昇させるための方法としてdropoutやbatch normalizationなどの手法を演習に取り入れました。その後、実践的な内容として、有名な画像分類アルゴリズムを用いて、転移学習による癌細胞画像と正常細胞画像の分類を行い、特徴マップの出力、スレットスコアによる評価を行いました。さらに発展的な課題として、skip connectionを応用した画像のdenoisingや、スペクトログラムによって二次元画像化された音声データのCNNによる分類、GANによるMNIST画像データ生成を行いました。応用例の紹介では、上記の画像分類、denoising、画像データ生成以外にも、物体検出

や、ピクセルセグメンテーション、姿勢推定などの分野について動画も交えつつ解説しました。8コマの講義の具体的な内容を以下に記します。

「1 限目」 Python の基礎

キーワード：計算環境構築方法、CPU と GPU、Google colab

演習：Python の基礎文法

「2 限目」 深層学習の基礎 1

キーワード：Perceptron, MLP, MNIST データ, softmax 関数, 損失関数, 勾配降下法, 誤差逆伝播法

演習：勾配降下法

「3 限目」 深層学習の基礎 2

キーワード：訓練データ, 検証データ, テストデータ, 過学習, Optimizer, Dropout, Batch Normalization

演習：1. MLP で MNIST データを分類する, 2. Dropout や Batch Normalization を使う

「4 限目」 畳み込みニューラルネットワーク (CNN)

キーワード：畳み込み層, プーリング, 特徴マップ

演習：CNN で MNIST データを分類する

「5 限目」 クロスバリデーションとデータ拡張

キーワード：クロスバリデーション, データ拡張, CIFAR-10

演習：1. クロスバリデーションを使う, 2. データ拡張を使う

「6 限目」 VGG16 などの有名モデルと転移学習を用いた画像分類

キーワード：ImageNet, VGG16, InceptionV3, 転移学習, スレットスコア, F 値, Grad-CAM

演習：1. VGG16 と転移学習を用いて病理画像を分類する, 2. Grad-CAM を使ってモデルの注目箇所を可視化

「7 限目」 画像のノイズリダクションと音声分類

キーワード：skip connection, Noise2Noise, PSNR, SSIM, 超解像, スペクトログラム, SE ブロック, Global Average Pooling

演習：1. ごま塩ノイズ付加によるデータセット作成とノイズリダクション, 2. 音声データを CNN で分類する

「8 限目」 GAN を用いた画像生成

キーワード：Generator, Discriminator, DCGAN, Pix2Pix, CycleGAN

演習：DCGAN を用いた MNIST 画像データ生成



図 1: 講義の様子

## 6.2 ダイキン AI 講座

### 6.2.1 概要

ダイキン工業において情報科学分野を活用したさらなる事業拡大を狙うため、情報科学系人材を教育するダイキン情報技術大学を2018年度に設立した。大阪大学をはじめとする先端研究機関の教員が基礎から応用まで幅広い教育を行い、社内人材を育成する。適切なAIの技術開発手法を開発できる人材、AI開発を外部へ委託・発注できる人材を育成するため、大阪大学教員による講義、演習（AI技術開発講座）を実施した。受講生は、ダイキン工業の事業企画部門およびR&D部門の社員でAI活用を推進するキーマンである。

### 6.2.2 講座内容

AI基礎講座（数学、数理計画）、AI啓発講座（科学技術と社会、デジタル変革とAI）、AIオムニバス講座（データマイニング、自然言語処理、コンピュータビジョン、オントロジーなど）の講義を新入社員向け50名、既存社員向け（2022年7月-2022年11月）に行った。各講義の担当表は次頁のとおりである。

#### 新入社員向け

講義分類	講義内容	担当者
AI基礎講座	数学	田中
	数理計画	森田
AI応用講座	知識祖情報学	沼尾, 福井
	画像処理	村松, 楨原
AIオムニバス講座	時系列データからの予測	村山
	音響・振動解析	飯國
	自然言語処理	梶原
	音声対話システム	駒谷
	コンピュータビジョン	松下, 大倉

#### 既存社員向け

講義分類	講義内容	担当者
啓蒙講座	科学技術と社会	岸本
	情報システム基盤	下條
	デジタル変革とAI	栄藤
オムニバス講座	数理計画(最適化)	森田, 山口
	画像処理	村松, 楨原
	音響・振動	飯國, 小林
	自然言語処理	栄藤, 梶原
	時系列予測	福井, 櫻井

### 6.3 人文学研究科デジタルヒューマニティーズ

大阪大学大学院人文学研究科では、最先端の IT 技術と人文学研究を高度に組み合わせて新時代の学問領域を切り拓く「デジタルヒューマニティーズ」を教育・研究上の特色としており、人文学研究科の学生は関連する科目を受講することができる。IDS では、当該研究科がデジタルヒューマニティーズに関連して提供する科目の一つである「デジタルヒューマニティーズ特殊講義」にて、AI 技術の人文科学分野への応用事例や、最新の AI 技術についての講義を担当した。

## 第7部

### その他の活動

#### 7.1 Second SCAI-IDS Workshop for Future Collaboration on AI

2023年3月20日、ソルボンヌ大学（フランス）の Sorbonne Center for Artificial Intelligence (SCAI) とデータリテリフロンティア機構によるワークショップをフランス・パリのソルボンヌ大学にて開催した（図1）。このワークショップは2020年5月に締結されたソルボンヌ大学と大阪大学の大学間交流協定によるもので、特にAI分野での将来的な共同研究や人材交流に向けた取り組みとなる。

2回目の開催となる今回は主にAIの医療関係への応用をテーマとし、SCAIのDeputy DirectorであるProf. Xavier FresquetとIDSの長原教授からそれぞれの組織の概要の説明があった。その後、SCAIとIDSからそれぞれ3名、第一線で活躍する研究者に講演いただいた（図2）。また、新たな取り組みとして、両組織に関連する博士後期課程学生のショートトークも実施した。3名ずつ計6名の学生が自身の研究に関する研究発表を行い、近い分野の専門家からコメントや助言を得た。それぞれの研究を深化させる機会となっており、今後も継続的に実施したいと考える。また、博士



図1: ワークショップ後の全体写真.

**Program****Day 1**

## Opening

10:00 Opening I - Welcome to SCAI (Prof. Gérard Biau, Director of SCAI)

10:05 Opening II - Thanks from IDS (Yuta Nakashima)

10:10 Introduction to SCAI (Dr. Xavier Fresquet, Deputy Director of SCAI)

10:25 Introduction to IDS (Prof. Hajime Nagahara)

## AI and Medicine 1

10:40 Transformers for medical image analysis (Nicolas Thome, SU)

11:00 Explainability matters in medical applications (Yuta Nakashima, IDS)

11:20 AI and diagnosis support in colon capsule endoscopy (Andrea Pinna, SU)

## Lunch

## AI and Medicine 2

13:30 Probability-based machine learning and medical applications (Prof. Hideaki Hayashi, IDS)

13:50 Interactive machine learning: Design and applications (Dr. Baptiste Caramiaux SU)

14:10 3D cell reconstruction from multi-focus microscopy image (Prof. Hajime Nagahara, IDS)

## PhD Student Session

14:40 Inference time evidences of adversarial attacks for forensic on Transformers  
(Hugo Lemarchant, IDS)14:50 Estimating the registration error of MRI brain data based on regression U-Net (Student at  
SCAI)15:00 Gait Spoofing: Generation of Fake Gait Silhouette Sequence from a Single Photo with  
Masterization (Yuki Hirose, Grad. School of Eng.)

15:10 Multimodal representation learning for precision medicine (Louis Simon, SCAI)

15:20 Deep sensing for compressive video acquisition (Michitaka Yoshida, IDS)

15:30 Image Analysis with hybrid AI for digestive endoscopy (Garance Martin, SCAI)

## Free Discussion

15:40 Free disucssion

## Closing

**Day 2**

## Lab tour

11:00-12:00 Lab tour to ISIR lab.

図 2: ワークショップのプログラム。

後期課程学生の発表を含む本ワークショップは、具体的な人材交流に向けた第一歩となる。本ワークショップでは今後も協力体制をさらに強化していくことを確認し、ワークショップ終了後に、大阪大学の国際卓越研究大学申請に向けた協力関係に関する覚書を交わした。

今後、様々な学際研究分野をテーマとして継続的にワークショップを開催することで合意しており、人材交流や共同研究の具体化が期待される。

## 第 8 部

---

### 専任教員の研究活動

#### 知能情報基盤部門 教授（常勤） 長原 一

##### 【兼任】

- 情報科学研究科
- 先導的学術機構 超次元ライフイメージング部門
- 先導的学術機構 共生知能研究センター
- ヒューマンメタバース疾患研究拠点 (WPI PRIME)

##### 【研究活動】

##### ● 暗号カメラと暗号画像認識によるセンサレベルビジュアルプライバシー保護

Society5.0 社会実現が叫ばれる中、ビッグデータ活用はサイバースペースにとどまらず、実世界でのユーザの行動履歴をカメラなどで取得し、活用することが期待されている。現在、携帯電話やスマートスピーカなどの様々な IoT 機器はカメラを搭載し、深層学習による画像認識の精度が向上したことから、このような実世界情報のセンシングや活用が現実味を帯びてきている。一方で、カメラで人を観測することでのプライバシー問題も社会問題化している。本研究ではセンサ (撮像素子) 上の光学像そのものをスクランブルする暗号カメラを提案する。センサでのサンプリング前にシーンを第三者に理解できない形へ光学的にスクランブル化し、符号化読み出しを行うことで、画像がデジタル化される前のセンサレベルでのビジュアルプライバシー保護を実現する。また、暗号カメラで撮影された暗号画像から復元を介さず、直接認識する新たな画像認識フレームワーク「暗号画像認識」を提案し、そのモデルや学習手法についての研究をおこなう。

##### ● 3D 画像認識 AI による革新的癌診断支援システム

3次元画像認識による子宮頸がんの診断悪性新生物 (癌) は、本邦における死因の第 1 位であり、今後もこの状況は変わらないと考えられる。癌対策の最も有効な手段は、早期発見・早期治療であり、細胞診断は早期発見の有効かつ重要な検査法の 1 つである。本研究では、Deep Neural Network (DNN) と、3次元画像処理技術を組み合わせることで、子宮頸部細胞診自動診断システムを開発することを目的とする。これにより、今後検体数の増加が見込まれる細胞診断に対しても、診断精度の向上、ひいては治療の高度化への貢献を目指す。本提案は、AI を用いた 3次元認識技術、多重焦点画像列からの形状復元技術、子宮頸部診断技術を連携させることで、現在細胞検査士が用いている「悪性細胞所見」よりも高精度の診断を確立し、さらに世界最先端の革新的子宮頸癌細胞診断の自動化を実現する。

### ● 行動センシングによる学習中の状態推定

ICTを活用した新たな学習支援においては、学習効率のみを求めるのではなく、学生の心の状態把握を意識した学習支援が重要であるとの考える。本研究では顔画像や視線、座圧などをセンシングし学習中の学生の内界状態をリアルタイムに推定するための手法を開発することを目指す。具体的には、メディア教育では学習中の学生の覚醒度（集中度）を学習意欲維持の指標と仮定し、eラーニング形式での学習支援機能の開発を目指す。また、学生学者の覚醒度に基づいて自動フィードバックを行う、アダプティブラーニングシステムを開発する。また、対面授業に対して協調学習を課題として、個々の学習者およびグループの活性度の推定・可視化するセンシングシステムを開発する。これを用いて授業中の教員・TAのファシリテーションや授業後の学生評価を支援する協調学習支援システムを開発する。

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- 補綴装置の見え方に光がどのように影響を与えているのかをコンピュータシミュレーションを含めて定量的に解析
- 胸部(肺癌)CT画像データの機械学習による画像診断の高度化
- 自然言語処理法を適用した矯正歯科治療診断自動プロセスの高度化
- 全組織細胞イメージング/分子病態解析
- 素核物理実験および関連分野への深層学習の適用
- オーストラリアにおけるパブリック・ミーティング新聞記事の自然言語処理解析による世論形成過程研究の高度化
- ヒューマンメタバース疾患研究拠点
- 機械学習を用いた細胞診画像診断支援に関する研究

### 【外部研究費獲得状況】

- 2020-2023年度、科学研究費助成金 挑戦的研究(開拓)、“暗号カメラと暗号画像認識によるセンサレベルビジュアルプライバシー保護”，(代表)長原一，(分担)日浦真作 他
- 2019-2022年度、科学研究費助成金 基盤研究B，“オーストラリアの世論形成の歴史的解明：自然言語処理による公開集会データの分析”，(代表)藤岡隆男，(分担)長原一 他
- 2018-2023年度、文部科学省 Society5.0 実現化拠点事業，“ライフイノベーション研究拠点”，(代表)西尾章治郎，(分担)長原一 他
- 2020-2022年度、厚生労働科学研究費，“『AIの眼』による医療安全確保に関する研究”，(代表)大鹿哲郎，(分担)長原一 他
- 2017-2022年度、JST CREST 「イノベーション創発に資する人工知能基盤技術の創出と統合化」，“3D画像認識AIによる革新的癌診断支援システムの構築”，(代表)諸岡健一，(分担)長原一 他
- 2021-2024年度、JST-NSF 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)，“パンデミックによる社会的孤立のアクティブセンシングと個別化介入”，(代表)東野輝夫，Insup Lee，(分担)長原一 他
- 2022-2025年度、基盤研究B，“高速な光学制御に基づく光線空間の圧縮撮像”，(代表)高橋桂太，(分担)長原一
- 2022-2026年度 学術領域変革研究A，“機械学習による素粒子物理学の革新的な発展”，(代表)野尻 美保子，(分担)長原一他
- 2022-2027年度、JST CREST 「情報担体を活用した集積デバイス・システム」，“世界をサブナノ秒光信号で見る電荷領域計算イメージセンサ”，(代表)香川景一郎，(分担)長原一他
- 新学術領域シンギュラリティ生物学，総括班，研究協力者

## 【教育活動】

- 情報科学研究科 「コンピュータショナルフォトグラフィ」
- 情報科学研究科 「CS セミナー」
- 全学教育機構 「学問の扉」
- データビリティコンソーシアム 「実データで学ぶ人工知能講座」

## 【社会貢献】

- 情報処理学会研究担当理事
- 情報処理学会代表会員
- 電子情報通信学会 PRMU 研究会専門委員
- 画像センシング技術研究会組織委員
- 査読委員：CVPR2023, ECCV2022, IEEE Trans. PAMI, IEEE Trans. TCI, IJCV, MIRU2023 他

## 【研究業績リスト】

### 雑誌論文

- [1] Felix Giovanni Virgo, Chenhui Chu, Takaya Ogawa, Koji Tanaka, Kazuki Ashihara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, Takao Fujikawa, "Information Extraction from Public Meeting Articles", SN Computer Science, Vol. 3, Issue 285, April, 2022.
- [2] Ryo Kawasaki; Yiming Qian; Liangzhi Li; Kohji Nishida; Yuta Nakashima; Hajime Nagahara, "Cardiovascular Disease Risk Prediction using Retinal Images via Explainable-AI based models with Traditional CVD risk factor estimation", Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 63, No. 7, pp. 3375 – A0162, June, 2022.
- [3] 山本 祐輔, 田中さや, 原地 絢斗, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野(松本) 由子, 下條 真司, "脳波と心電図を用いた周波数解析による定量化と不快情動判別評価", 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 654-662, Aug., 2022.
- [4] Bowen Wang, Liangzhi Li, Manisha Verma, Yuta Nakashima, Ryo Kawasaki, Hajime Nagahara, "Match Them Up: Visually Explainable Few-shot Image Classification", Applied Intelligence, pp. 1573-7497, Aug., 2022.
- [5] Sudhakar Kumawat, Tadashi Okawara, Michitaka Yoshida, Hajime Nagahara, Yasushi Yagi, "Action Recognition From a Single Coded Imaging", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1-14, Aug., 2022.
- [6] Hirohiko Niioka, Teruyoshi Kume, Takashi Kubo, Tsunenari Soeda, Makoto Watanabe, Ryotaro Yamada, Yasushi Sakata, Yoshihiro Miyamoto, Bowen Wang, Hajime Nagahara, Jun Miyake, Takashi Akasaka, Yoshihiko Saito, Shiro Uemura, "Automated diagnosis of optical coherence tomography imaging on plaque vulnerability and its relation to clinical outcomes in coronary artery disease", Scientific report, Vol. 12, No. 14067, Aug., 2022.
- [7] Koji Tanaka, Chenhui Chu, Tomoyuki Kajiwara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, Takao Fujikawa, "Corpus Construction for Historical Newspapers: A Case Study on Public Meeting Corpus Construction using OCR Error Correction", SN Computer Science, Vol. 3, No. 6, pp. 489-489, Sep., 2022.
- [8] 原地 絢斗, 山本 祐輔, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野(松本) 由子, 下條 真司, "脈波を用いた Multi-layer Perceptron および Recurrent Neural Network による精神状態群判別精度の比較", 電気学会論文誌 C, Vol. 142,

No. 10, pp. 1115-1122, Oct., 2022.

- [9] 山本祐輔, 原地絢斗, 村松歩, 長原一, 武村紀子, 水野 (松本) 由子, 下條真司, ”脳波による脳機能ネットワークの結合性を用いた RNN による不安状態判別評価”, 電気学会論文誌 C, Vol. 143, No. 4, 2022.
- [10] Kiichi Goto, Taikan Suehara, Tamaki Yoshioka, Masakazu Kurata, Hajime Nagahara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Masako Iwasaki, ”Development of a vertex finding algorithm using Recurrent Neural Network”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Nov.. 2022.
- [11] Mitsuyoshi Hirokawa, Hirohiko Niioka, Ayana Suzuki, Masatoshi Abe, Yusuke Arai, Hajime Nagahara, Akira Miyauchi, Takashi Akamizu, ”Application of deep learning as an ancillary diagnostic tool for thyroid fine-needle”, Cancer Cytopathology, Dec., 2022.
- [12] Chenhao Li, Yuta Taniguchi, Min Lu, Shin'ichi Konomi, Hajime Nagahara, ”Cross-language font style transfer”, Applied Intelligence, Feb., 2023.

#### 学会発表

- [1] Ryoya Mizuno, Keita Takahashi, Michitaka Yoshida, Chihiro Tsutake, Toshiaki Fujii, Hajime Nagahara, ”Acquiring a Dynamic Light Field through a Single-Shot Coded Image”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June, 2022.
- [2] Haruya Suzuki, Yuto Miyauchi, Kazuki Akiyama, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya, Noriko Takemura, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara, ”A Japanese Dataset for Subjective and Objective Sentiment Polarity Classification in Micro Blog Domain”, Language Resources and Evaluation Conference, pp. 7022-7028, June, 2022.
- [3] Saurabh Kumar, Hajime Nagahara, Keiichiro Kagawa, ”Learning-Assisted Matrix-Pencil Method for Indirect Time-of-Flight Image Demixing”, Computational Optical Sensing and Imaging, No. JW5B-2, Vancouver, Canada, July, 2022.
- [4] Manisha Verma, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, ”Multi-label Disengagement and Behavior Prediction in Online Learning”, International Conference on Artificial Intelligence in Education, Durham, UK, July, 2022.
- [5] Towako Tanimura, Chihiro Tanikawa, Shoko Miyauchi, Ken'ichi Morooka, Hajime Nagahara, Takashi Yamashiro, ”Artificial intelligence system that estimates the GOSLON Yardstick index in patients with unilateral cleft lip and palate”, International congress of CLEFT Lip, Palate & Related Craniofacial Anomalies, July, 2022.
- [6] Yasuhito Hashiba, Keita Mochizuki, Emiko Sano, Shigeru Takushima, Hiroyuki Kawano, Hajime Nagahara, ”Coded Exposure Imaging System for Crack Inspection”, International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, Sapporo Japan, Aug., 2022.
- [7] Su Wai Tun, Takashi Komuro, Hajime Nagahara, ”Blockwise Feature-Based Registration of Deformable Medical Images”, Intelligent Computing Theories and Application, Vol. LNCS13393, Xi'an, China, Aug., 2022.
- [8] Sudhakar Kumawat, Hajime Nagahara, ”Privacy-Preserving Action Recognition via Motion Difference Quantization”, European Conference on Computer Vision, Tel Aviv, Oct., 2022.
- [9] Pham Ngoc Anh, Thoriq Ibrahim, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Hajime Nagahara, Keiichiro Kagawa, ”Pseudo-direct ToF imaging using a multi-tap macro-pixel CMOS image sensor with oversampled reconstruction”, International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, Shizuoka, Japan, Dec., 2022.

- [10] LUO WENBIN, Takafumi Iwaguchi, Hajime Nagahara, Ryusuke Sagawa and Hiroshi Kawasaki, "Random Sequence Modulation of Multiple-Gate of Indirect ToF for Handling Multi-ToF-Camera Interference", International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, Shizuoka, Japan, Dec., 2022.
- [11] Hajime Nagahara, "Deep sensing - Jointly optimize imaging and processing -", International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, Shizuoka, Japan, Dec. 2022.
- [12] ファム ゴック アン, トーリック イブラヒム, 堀尾 将也, 安富 啓太, 川人 祥二, 長原 一, 香川 景一郎, " コンピューショナル CMOS イメージセンサを用いた Time of Flight イメージングにおけるマルチパス干渉の分離", 画像センシングシンポジウム, June, 2022.
- [13] トーリック イブラヒム, ファム ゴック アン, 安富 啓太, 川人 祥二, 長原 一, 香川 景一郎, "電荷領域時間圧縮 コンピューショナル CMOS イメージセンサの 600MHz 動作の検証", 映像情報メディア学会 情報センシング研究会, June, 2022.
- [14] 加藤睦代, 岩崎昌子, 長原 一, 末原大幹, 山田 悟, 中島悠太, 武村紀子, 中野貴志, "機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術の基礎開発 (II)", 日本物理学会, 2022 年秋季大会, Sep., 2022.
- [15] Wang Zhanyue, Lee Chenhao, 中島悠太, 長原一, 若林一道, "STL データから生成した人工エックス線画像と深層学習を応用したインプラント体自動識別システムの開発", 公益社団法人日本口腔インプラント学会学術大会, Sep., 2022.
- [16] 原地絢斗, 村松歩, 長原一, 武村紀子, 水野 (松本) 由子, 下條真司, "不安状態の違いによる情動刺激後における脳波による脳内ネットワークの媒介中心性", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 411, Nov., 2022.
- [17] 村松歩, 山本祐輔, 原地絢斗, 長原一, 武村紀子, 水野 (松本) 由子, 下條真司, "カオス理論に基づく情動刺激時における脳波のリアプノフ指数", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 418, Nov., 2022.
- [18] 砥山 峻太郎, 山本 祐輔, 村松 歩, 原地 絢斗, 水野 (松本) 由子, 武村 紀子, 長原 一, 下條 真司, "Neural Network によるてんかん性異常波と健常脳波の判別", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 391, Nov., 2022.
- [19] 橋本賢治, 山本祐輔, 原地絢斗, 村松歩, 水野 (松本) 由子, 長原一, 武村紀子, 下條真司, "周波数解析 とコンターマップを用いた 軽度 認知症患者の脳波特徴抽出", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 385, Nov., 2022.
- [20] 田邊晃史, 山本 祐輔, 原地 絢斗, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野 (松本) 由子, 下條 真司, "心電図を用いた情動 視聴覚 刺激が及ぼす 不安状態の違いによる心拍変動解析", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 418, Nov., 2022.
- [21] 原地絢斗, 山本祐輔, 村松歩, 長原一, 武村紀子, 水野 (松本) 由子, 下條真司, "脳波と脈波を使用した情動判別のための Multimodal Recurrent Neural Network の開発", 日本臨床神経生理学会学術大会, Vol. 50, No. 5, p. 417, Nov., 2022.
- [22] 加藤睦代, 岩崎昌子, 長原 一, 吉田道隆, 末原大幹, 山田悟, 中島悠太, 武村紀子, 中野貴志, "機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術の基礎開発 (II)", Nov., 2022.
- [23] トーリック イブラヒム, ファム ゴック アン, 安富 啓太, 川人 祥二, 長原 一, 香川 景一郎, "コンピューショナル CMOS イメージセンサを用いた疑似直接法 ToF イメージング", レーザー学会学術講演会第 43 回年次大会, Jan., 2023.
- [24] 度会龍, 岩崎昌子, 中島悠太, 武村紀子, 長原一, 中野貴志, 佐藤政則, 佐武いつか, "GAN を用いた加速器シミュレータの開発", 日本物理学会 2023 年春季大会, March, 2023.
- [25] 尾上友紀, 末原大幹, 吉岡瑞樹, 川越清以, 中島悠太, 長原一, 武村紀子, "ILC のためのグラフニューラルネットワークを用いたフレーバー識別アルゴリズムの開発", 日本物理学会 2023 年春季大会, March, 2023.
- [26] 津村周作, 末原大幹, 川越清以, 吉岡瑞樹, 長原 一, 中島悠太, 武村紀子, "ILC のためのグラフニューラルネットワークを用いたカロリメータークラスターリング手法の開発", 日本物理学会 2023 年春季大会, March, 2023.

**産業財産権**

- [1] 川崎 洋、岩口 堯史、羅 文彬、佐川 立昌、長原 一、”測距装置及び測距方法”，九州大学，産業総合研究所，大阪大学，特願 2022-114866 (2022 年 7 月 19 日)

## ビッグデータ社会技術部門 教授 岸本 充生

### 【兼任】

- 社会技術共創研究センター
- 感染症総合研究教育拠点
- スチューデント・ライフサイクルサポートセンター
- 社会ソリューションイニシアティブ
- 先導的学際研究機構 共知能システム研究センター
- 放射線放射線科学基盤機構

### 【研究活動】

- **情報技術のリスクガバナンスに関する研究**  
生体認証技術の利用に伴う様々なリスクについて、データ取得の同意や通知から利用や廃棄に至るまでの潜在的なリスクの特定、プライバシー影響評価の方法、監視機関や法規制を含むガバナンスのあり方などについて、海外動向調査も含めて調査・研究する。
- **責任あるデータハンドリングの手続きに関する研究**  
ライフデザイン・イノベーション研究拠点事業をはじめとする研究プロジェクトや企業との共同研究を題材に、データの取得から保持、二次利用、廃棄にいたるまでのライフサイクルにおける、倫理的・法的・社会的課題(ELSI)を抽出したうえで、多様なケースに適用可能な指針を作成する。

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- ライフデザイン・イノベーション研究拠点事業
- スマートシティプロジェクト

### 【外部研究費獲得状況】

- 2023-2027, Society 5.0 実現化研究拠点支援事業「ライフデザイン・イノベーション研究拠点」。(拠点長)西尾章治郎, (拠点本部長)八木 康史, (分担)岸本充生, 他

### 【教育活動】

- 東京大学「医療イノベーション政策」(5月10日)
- 神奈川県立保健福祉大学「Introduction to Health Innovation」(5月18日)
- 大阪大学「ナノテクノロジー社会受容特論」(6月11日)
- 大阪大学「社会の中の科学技術概論」(6月22日)
- データビリティ人材育成講座「実データで学ぶ人工知能講座」(10月1日)
- 東京大学「公共政策の経済評価」(12月6日)

**【社会貢献】**

- 日本リスク研究学会理事
- ISO TC262 国内委員会 リスクマネジメント規格原案作成委員会委員
- 原子力規制庁「放射線審議会」委員
- 総務省「政策評価審議会」「政策評価制度部会」専門委員
- 総務省「規制評価ワーキンググループ」委員
- 公正取引委員会「競争評価検討会議」委員
- 国立国会図書館客員調査員

**【研究業績リスト】****雑誌論文**

- [1] 長門 裕介, 朱 喜哲, 岸本 充生, データビジネスにおける「ELSI」はどこから来て、どこへ行くのか. 研究 技術 計画 37(3) pp.296-309, 2022.
- [2] 鹿野 祐介, 肥後 榮, 小林 茉莉子, 井上 真梨, 永山 翔太, 長門 裕介, 森下 翔, 鈴木 径一郎, 多湖 真琴, 標葉 隆馬, 岸本 充生, ELSI および RRI をめぐる実践的研究 CtoC マーケットプレイス事業者と ELSI 研究者の連携による知識生産. 研究 技術 計画 37(3), pp.279-295, 2022.

**学会発表**

- [1] 岸本充生, 守りの ELSI から攻めの ELSI へ : 社会技術としての倫理的・法的・社会的課題対応, 第 126 回日本眼科学会総会 教育セミナー 03 眼科臨床研究を進めるために欠かせない個人情報・倫理・法律・社会問題 (ELSI) の新常識 2022 年 4 月 15 日.

**著書**

- [1] 岸本充生「7 化学物質のリスクコミュニケーション」「8 新規技術とリスクコミュニケーション: ナノテクノロジーを例に」「13 デジタル化に伴う ELSI とリスクコミュニケーション」, 奈良由美子編著. リスクコミュニケーションの探究. 放送大学教育振興会 2023 年 3 月.
- [2] 岸本充生「第 2 章 科学と政策の間や技術と社会の間のギャップの可視化と橋渡し」, 国立国会図書館 調査及び立法考査局編集. 脱科学技術のリスクコミュニケーション—新たな課題と展開— (令和 4 年度 科学技術に関する調査プロジェクト) , 国立国会図書館 2023 年 3 月.
- [3] 岸本充生, 「第 1 章 宇宙空間利用の倫理的・法的・社会的課題 (ELSI) 」, 国立国会図書館 調査及び立法考査局編集. 宇宙空間の利用をめぐる動向と課題 (令和 4 年度 科学技術に関する調査プロジェクト) , 国立国会図書館 2023 年 3 月.
- [4] 岸本充生「脱炭素技術の社会実装のための論点 —問題提起への補論—」「エマージングテクノロジーの社会実装としてみた「脱炭素技術の社会実装」」「パネルディスカッション」, 国立国会図書館 調査及び立法考査局編集. 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた脱炭素技術の課題と展望 (令和 4 年度 科学技術に関する調査プロジェクト) . 国立国会図書館 2023 年 3 月.
- [5] 岸本充生, 長門裕介, 量子技術の ELSI (倫理的・法的・社会的課題) に関する文献紹介: 2021~2022 年を中心に, ELSI NOTE 24 1-21 2022 年 12 月.
- [6] 岸本充生, 生体認証技術の ELSI に関するグローバル動向: 2020 年 4 月~2022 年 11 月, ELSI NOTE 25 1-74 2023 年 1 月.

- 
- [7] カテライ アメリカ, 井出 和希, 岸本 充生, 生成 AI (Generative AI) の倫理的・法的・社会的課題 (ELSI) 論点の概観: 2023 年 3 月版, ELSI NOTE 26 1-38 2023 年 4 月.

## サービス創出・支援部門 教授 春本 要

### 【兼任】

- 情報科学研究科

### 【研究活動】

- **ライフデザイン・イノベーション研究拠点における情報システム基盤の開発と運用**  
ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) における PLR 基盤へのデータアップロードシステムの開発および運用を推進した。特にパーソナルデータを扱うシステムを安全に運用管理するため、情報セキュリティマネジメントシステム認証を取得し、ISMS が要求する PDCA サイクルに基づくシステム運用を推進した。
- **スマートシティプロジェクトにおけるデータ利活用プラットフォームの構築に関する研究**  
スマートシティプロジェクトにおけるセンテラスエリア周辺の実証実験フィールドを対象として、データ収集、蓄積、分析、可視化を効果的に行うためのデータ利活用プラットフォームの開発を推進している。2022 年度は特に、測域センサで得られるデータから分散型ストリーム処理を用いて人物検出・人物追跡を行い人流データとして可視化するシステムの構築、実験用カメラの映像から人物検出・人物追跡を行い人流データとして可視化するシステムの構築、および、それらを相補的に用いた人物追跡手法の研究を推進した。

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- 人間総合デザイン部門「スマートシティプロジェクト」

### 【学内運営】

- 全国ダイバーシティネットワーク事業における貢献  
大阪大学が代表機関として推進している文部科学省平成 30 年度科学技術人材育成費補助事業「ダイバーシティ研究環境イニシアティブ（全国ネットワーク中核機関（群））」の活動において「全国ダイバーシティネットワークプラットフォーム運営委員会」及び「アンケート分析ワーキンググループ」に参加し、女性研究者を取り巻く研究環境整備や研究力向上に取り組む諸機関をつなぐ「全国ダイバーシティネットワーク」の取り組みに貢献した。特に、2019 年度に実施した研究者向けアンケート調査の結果に基づいて日本学術会議男女共同参画分科会アンケート検討小分科会が発出を予定している提言案の作成に貢献した。
- オープンサイエンス推進室における貢献  
研究推進本部の元に設置されたオープンサイエンス推進室に室員として参画し、大阪大学における研究データの有効利活用に関する取り組みに貢献した。特に 2022 年度は「大阪大学研究データポリシー」の策定に貢献した。

### 【外部研究費獲得状況】

- 2018-2022 年度、文部科学省 Society5.0 実現化研究拠点支援事業、「ライフデザイン・イノベーション研究拠点」、 「実証フィールド整備プロジェクト」プロジェクトリーダー、「情報システム基盤プロジェクト」分担者。

### 【教育活動】

- 全学教育推進機構・学問への扉「ビッグデータと社会」（4 回）
- 工学部電子情報工学科 2 年次担当「データベース工学」（14 回）
- 工学部電子情報工学科 2 年次担当「情報システムネットワーク及び演習」（3 回）

**【社会貢献】**

- 日本データベース学会 論文誌編集委員
- 電子情報通信学会 ソサイエティ誌編集委員会 査読委員
- 日本学術会議 連携会員（科学者委員会男女共同参画分科会アンケート検討小分科会）

## 知能情報基盤部門 特任教授（非常勤） 馬場口 登

### 【研究活動】

#### ● 多様なモダリティによる高度なフェイクメディア生成と無毒化

本研究プロジェクトは、AIにより生成されたフェイクメディア（Fake Media：FM）がもたらす潜在的な脅威に適切に対処すると同時に、多様なコミュニケーションと意思決定を支援するソーシャル情報基盤技術を確立することを目的とする。具体的には、AIにより生成されたフェイク映像、フェイク音声、フェイク文書などの多様なモダリティによるFMを用いた高度な攻撃を検出・防御する一方で、信頼性の高い多様なメディアを積極的に取り込むことで人間の意思決定や合意形成を促し、サイバー空間における人間の免疫力を高めるソーシャル情報基盤技術を確立する。図1に本研究プロジェクトの概略図を示す。本テーマは、文部科学省が選定した戦略目標「信頼されるAI」のもとに発足したJST/CREST「信頼されるAIシステムを支える基盤技術」の一環として推進され、国立情報学研究所、東京工業大学などとの共同研究である。

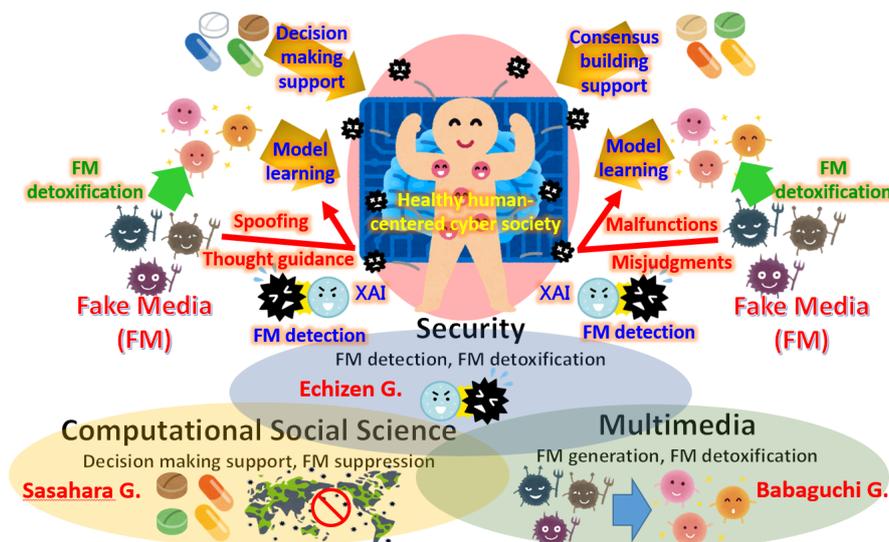


図1: 研究プロジェクトの概要

現在、AIにより生成されるFMとして3つの型を取り上げ検討を進めている。具体的には、本物に限りなく近いが本物ではないメディアクローン（MC）型FM、世論操作などを目的として素材となるメディアを意図的に編集して生成したプロバガンダ（PG）型FM、人間には識別困難だが、AI技術を誤動作・誤判定させることを目的に生成した敵対的サンプル（AE）型FMを取り上げ、これらのFMを生成、検出する技術を確立する。特に、PG型FMの表現メディアである画像と動画（音響を含む）を対象に、人間に対して印象操作を促す表現や編集の技法を明らかにするとともに、知能メディア技術と機械学習を援用してFMの生成と認識に取り組んでいる。

### 【外部研究費獲得状況】

- 2020-2025年度、JST CREST「信頼されるAIシステムを支える基盤技術」、「インフォデミックを克服するソーシャル情報基盤技術」、(研究代表者) 越前功（国立情報学研究所）（主たる共同研究者）馬場口登、笹原和俊（東京工業大学）

**【研究業績リスト】****雑誌論文**

- [1] Yuki Hirose, Kazuaki Nakamura, Naoko Nitta, and Noboru Babaguchi, "Anonymization of Human Gait in Video Based on Silhouette Deformation and Texture Transfer", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol.17, pp.3375-3390, Sept. 2022.
- [2] Yuki Hirose, Kazuaki Nakamura, Naoko Nitta, and Noboru Babaguchi, "An Experimental Consideration on Gait Spoofing", in *Proceedings of 18th International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, pp.559-566, Lisbon, Portugal, Feb. 2023.
- [3] Mahdi Khosravy, Kazuaki Nakamura, Naoko Nitta, Nilanjan Dey, Rubén González Crespo, Enrique Herrera-Viedma, and Noboru Babaguchi, "Social IoT Approach to Cyber Defense of a Deep-Learning-Based Recognition System in Front of Media Clones Generated by Model Inversion Attack", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol.53, issue5, May 2023, pp.2694-2704 (in press).

**解説**

- [1] 越前功, 馬場口登, 笹原和俊, "フェイクメディア克服の最前線", Book chapter, *映像情報メディア学会誌* (2022年07月号) 特集: インフォデミック時代の AI とサイバーセキュリティ, Chapter 1, 2022年7月
- [2] 越前功, 馬場口登, 笹原和俊, インフォデミック時代におけるフェイクメディア克服の最前線, *人工知能*, 38巻2号 pp.189-196, 2023年3月.

**著書**

- [1] Mahdi Khosravy, Isao Echizen, and Noboru Babaguchi (eds), "Frontiers in Fake Media Generation and Detection", Springer, 2022.
- [2] Kazuaki Nakamura, Yuto Mori, Naoko Nitta, and Noboru Babaguchi, "Recognizer Cloning Attack on Image Recognition Services and Its Defending Method", Book chapter, *Frontiers in Fake Media Generation and Detection*, Chapter 10, Springer, 2022.

**その他**

- [1] 電気通信普及財団賞 (テレコム学際研究賞) 特例表彰, 2023年3月.

## 知能情報基盤部門 准教授 中島 悠太

### 【兼任】

- 情報科学研究科
- 先導的学際研究機構 共生知能システム研究センター

### 【研究活動】

#### ● 視覚情報と自然言語処理の応用

創発的研究支援では、映像記述の適した言語の人工知能による創発を目指して研究を進めている。今年度は言語創発の基礎として、画像からのボキャブラリーの獲得を目指した。1つ目のアプローチでは、教師あり画像分類タスクにおいて、この分類タスクに必要なコンセプトをデータセットから自動的に獲得し、そのコンセプトを用いて新しい画像を表現する。2つ目のアプローチでは、画像からの教師なし学習において、画像の小領域の特徴量をクラスタリングすることにより、同様にコンセプトの獲得を目指す。これらのアプローチは、いずれも言語の創発におけるベースとして考えることができる。

#### ● ビジョンと言語タスクにおけるバイアスの解析と低減

近年、ニューラルネットワークに様々なバイアスが含まれることが知られてきている。これらのバイアスは基本的にはデータセットが持つバイアスを継承したものであるが、ニューラルネットワークの学習の際にバイアスが増幅される減少も報告されている。本研究では、バイアスの影響を受けやすいと考えられるビジョンと言語に関連するタスクにおいて、特に社会的バイアスを中心に、バイアスの定量化や低減手法を提案している。

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- 人工知能による仏顔の様式解析とその系譜に関する研究
- 素核物理実験および関連分野への深層学習の適用
- 多国間法令の比較と統計分析のための多言語機械翻訳プロジェクト
- 文学研究科 藤川教授プロジェクト
- AI ホスピタル
- アートの視覚的パターンの発見と時空間へのマッピング
- フックス角膜内皮ジストロフィーの検査画像を用いた AI による自動診断技術等の開発
- 野球の打者の選球眼に寄与する頭部及び眼球運動の役割

### 【外部研究費獲得状況】

- 2022-2028 年度, JST 創発的研究支援事業, “インフォデミックを克服するソーシャル情報基盤技術,” (研究代表者) 中島悠太
- 2022-2025 年度, 科研費基盤 (B), “眼底画像のみから循環器疾患リスクプロファイリングを行う「新・眼底健診」の提案,” (研究代表者) 川崎良
- 2020-2022 年度, 厚生労働省臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業, “『AI の眼』による医療安全確保に関する研究,” (研究代表者) 大鹿哲郎

### 【教育活動】

- 学生指導

- 学部学生指導 (基礎工学部 1 名)
- 博士前期課程学生指導 (情報科学研究科 3 名)
- 博士後期課程学生指導 (情報科学研究科 6 名)
- 一般社団法人データリテリコンソーシアム 実データで学ぶ人工知能講座「コンピュータビジョン」
- 大阪大学人文学研究科「デジタルヒューマニティーズ特別講義」

## 【社会貢献】

- 情報処理学会 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会 運営委員
- 第 25 回画像の認識・理解シンポジウム エリアチェア
- 各種査読委員 (CVPR, ECCV, AAAI, IEEE TPAMI など)

## 【研究業績リスト】

### 雑誌論文

- [1] Bowen Wang, Liangzhi Li, Manisha Verma, Yuta Nakashima, Ryo Kawasaki, and Hajime Nagahara, “Match them up: Visually explainable few-shot image classification,” *Applied Intelligence*, Aug. 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10489-022-04072-4>.
- [2] Felix Giovanni Virgo, Chenhui Chu, Takaya Ogawa, Koji Tanaka, Kazuki Ashihara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, and Takao Fujikawa, “Information extraction from public meeting articles,” *SN Computer Science*, vol. 3, no. 285, May 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01176-z>.
- [3] Zhenzhong Kuang, Longbin Teng, Xingchi He, Jiajun Ding, Yuta Nakashima, and Noboru Babaguchi, “Anonymous identity sampling and reusable synthesis for sensitive face camouflage,” *Journal of Electronic Imaging*, vol. 31, no. 2, 023011-1 – 023011-18, Mar. 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1117/1.JEI.31.2.023011>.
- [4] Sudhakar Kumawat, Manisha Verma, Yuta Nakashima, and Shanmuganathan Raman, “Depthwise spatio-temporal STFT convolutional neural networks for human action recognition,” *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12 pages, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3076522>
- [5] Koji Tanaka, Chenhui Chu, Tomoyuki Kajiwara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, and Takao Fujikawa, “Corpus construction for historical newspapers: A case study on public meeting corpus construction using OCR error correction,” *SN Computer Science*, vol. 3, no. 6, 489, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01393-6>.

### 学会発表

- [1] Hugo Lemarchant, Liangzi Li, Yiming Qian, Yuta Nakashima, and Hajime Nagahara, “Inference time evidences of adversarial attacks for forensic on transformers,” in *Proc. AAAI-23 Workshop on Artificial Intelligence for Cyber Security (AICS)*, Feb. 2023.
- [2] Zongshang Pang, Yuta Nakashima, Mayu Otani, and Hajime Nagahara, “Contrastive losses are natural criteria for unsupervised video summarization,” in *Proc. IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, Jan. 2023, 2010 – 2019.
- [3] Haruya Suzuki, Sora Tarumoto, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya, Yuta Nakashima, and Hajime Nagahara, “Emotional intensity estimation based on writer’s personality,” in *Proc. 2nd Conference of the*

- Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics and the 12th International Joint Conference on Natural Language Processing (AAACL-IJCNLP): Student Research Workshop, Nov. 2022, 1 – 7.
- [4] Hitoshi Teshima, Naoki Wake, Diego Thomas, Yuta Nakashima, Hiroshi Kawasaki, and Katsushi Ikeuchi, “Deep gesture generation for social robots using type-specific libraries,” in Proc. 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Oct. 2022, 8286 – 8291.
- [5] Manisha Verma, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, and Hajime Nagahara, “Multi-label disengagement and behavior prediction in online learning,” in Proc. International Conference on Artificial Intelligence in Education, Jul. 2022, 633 – 639.
- [6] Anh-Khoa Vo and Yuta Nakashima, “Tone classification for political advertising video using multimodal cues,” in Proc. 3rd ACM Workshop on Intelligent Cross-Data Analysis and Retrieval, Jun. 2022, 17 – 21.
- [7] Minh-Son Dao, Michael Alexander Riegler, Duc-Tien Dang-Nguyen, Cathal Gurrin, Yuta Nakashima, and Mianxiong Dong, “ICDAR’22: Intelligent cross-data analysis and retrieval,” in Proc. International Conference on Multimedia Retrieval, Jun. 2022, 690 – 691.
- [8] Haruya Suzuki, Yuto Miyauchi, Kazuki Akiyama, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya, Noriko Takemura, Yuta Nakashima, and Hajime Nagahara, “A Japanese dataset for subjective and objective sentiment polarity classification in micro blog domain,” in Proc. Thirteenth Language Resources and Evaluation Conference (LREC), Jun. 2022, 7022 – 7028.
- [9] Yusuke Hirota, Yuta Nakashima, and Noa Garcia, “Gender and racial bias in visual question answering datasets,” in Proc. ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAcT), Jun. 2022.
- [10] Yusuke Hirota, Yuta Nakashima, and Noa Garcia, “Quantifying societal bias amplification in image captioning,” in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 10 pages, Jun. 2022.
- [11] Mayu Otani, Riku Togashi, Yuta Nakashima, Esa Rahtu, Janne Heikkilä, and Shin’ichi Satoh, “Optimal correction cost for object detection evaluation,” in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 9 pages, Jun. 2022.
- [12] Riku Togashi, Mayu Otani, Yuta Nakashima, Janne Heikkilä, Esa Rahtu, and Tetsuya Sakai, “AxIoU: An axiomatically justified measure for video moment retrieval,” in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 10 pages, Jun. 2022.

## 解説

- [1] 中島悠太 “ディープニューラルネットワークのための説明可能な識別器,” 画像ラボ, Mar. 2023.
- [2] 中島悠太, “深層学習入門,” レーザー研究, vol. 50, no. 12, pp. 691–696, Dec. 2022.
- [3] 中島悠太, 李良知, 王博文, “AI の信頼性を高める Explainable AI,” 映像情報メディア学会誌, vol. 76, no. 4, pp. 446–450, July 2022.

## その他

- [1] 電気通信普及財団賞（テレコム学際研究賞）特例表彰, 2023年3月.
- [2] Yuta Nakashima, “Explainability matters in medical applications,” SCAI-IDS Workshop 2023, Mar. 2023.
- [3] Yuta Nakashima, “Toward better communication between humans and AI: What do neural networks see?,” Workshop IIT-Osaka University – Towards symbiotic society with multi-species: humans, robots, and avatars, Feb. 2023.

- 
- [4] Yuta Nakashima, “Foundation of AI,” The 5th International School on Beam Dynamics and Accelerator Technology, Nov. 2022.
  - [5] Yuta Nakashima, “What do models see? Bias in neural networks,” The 24th Academic Exchange Seminar Between Shanghai Jiao Tong University and Osaka University, Nov. 2022.
  - [6] 中島悠太, “深層学習の最近の話題と医療分野への応用,” 日本眼光学会総会 シンポジウム 2: AI の夢, Sep. 2022.
  - [7] 中島悠太, “分野を超えた人工知能研究と最新の話題について,” 大阪国際サイエンスクラブ 第 13 回若手学識者との異分野交流会, Sep. 2022.
  - [8] Yuta Nakashima, “Recent Machine Learning Techniques and Exploration of New Physics,” Physics in LHC and Beyond, May 2022.

## 知能情報基盤部門 准教授（常勤） 早志 英朗

### 【兼任】

- 情報科学研究科
- 先導的学際研究機構 共生知能システム研究センター

### 【研究活動】

#### ● 深層ニューラルネットワークの不確実性推定と希少データ解析

科研費基盤（B）では、深層ニューラルネットワークの不確実性推定と大量のサンプル取得が困難なデータ（希少データ）の解析に関する研究を行っている。深層ニューラルネットワークの学習は一般に大量の学習データが必要とするため、学習データ数が極端に不足する場合にはどのような方法をもってしても正確な予測結果を出力できない場合がある。このような場合、予測にどのような不確実性があるかをユーザーにフィードバックすることにより、意思決定を保留したり、不確実性の高いサンプルに新たにアノテーションを追加したりする対応が可能となる。2022年度の成果として、内視鏡画像を用いた潰瘍性大腸炎の重症度予測タスクにおいて、ランク予測をするベイジアンニューラルネットワークと active learning を組み合わせた手法を提案し、一部の画像に相対的な重症度のラベルのみ付与されているデータセットに対して効率的なアノテーションを実現した。この成果は、国際会議 MIUA において発表した。また、ニューラルネットワークが出力する信頼度を較正し、疑似ラベル学習や active learning へ応用する手法も提案した。

#### ● 生体信号解析に関する研究

生体信号は人の体から計測できる電気信号であり、人の内部状態を強く反映するため、医療、インタフェース、感情推定などへ幅広く応用される。2022年度は、我々がこれまで取り組んできた脳波を用いた家電制御インタフェースについて論文としてまとめた。提案法では、被験者から運動イメージ時の脳波信号を計測し、ウェーブレットパケット展開を用いて特徴抽出を行った後、リカレントニューラルネットワークを用いて識別することにより被験者の運動イメージを推定する。推定結果をコマンドに割り当てることにより、テレビや照明といった家電機器の制御を行う。本研究成果は、筋電信号や脳波信号を用いた近年のインタフェースについてサーベイとともに IEEJ Trans. EEE において原著論文として発表した。

#### ● 行動センシングによる学習中の状態推定

Society 5.0 に関する研究の一環として、ICT を活用した新たな学習支援を目指し、行動センシングによる学習中の学生の状態を推定する手法を開発している。本研究では、学習中の学生の映像から授業に対する集中度や反応、対面学習における他の学生との協調性を推定し、適切な難易度調整や議論への介入を行うことで効果的な学習を目指す。具体的には、顔の動画画像から曖昧な感情推定を行うためのデータ拡張技術の開発、複数人物が存在する動画画像における視線推定手法の開発、micro expression と呼ばれるごく微小な表情の変化を検出・認識するアルゴリズムの開発を行った。

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- 未来の学校支援プロジェクト

### 【外部研究費獲得状況】

- 2021-2023年度、科学研究費助成金 基盤研究（B），“知識埋め込み型ベイズ深層学習の提案と希少データ解析への応用”，（代表）早志英朗（分担）古居彬

**【教育活動】**

- 学生指導
  - 学部 4 年生指導（工学部 1 名，他大学 1 名）
  - 博士後期課程学生指導（他大学 1 名）
- 大学院情報科学研究科「画像認識」
- 全学教育推進機構「コンピュータアルゴリズム入門」
- 基礎工学部「基礎工学 PBL（情報工学 B）」
- 基礎工学部「ゼミナール B」

**【社会貢献】**

- 情報処理学会 CVIM 研究会運営委員
- 各種査読（IEEE Trans. NNLS, Pattern Recognition, Scientific Reports, AAAI 等）

**【研究業績リスト】****雑誌論文**

- [1] Hideaki Hayashi and Toshio Tsuji, “Human–Machine Interfaces Based on Bioelectric Signals: A Narrative Review with a Novel System Proposal,” IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, June 2022.

**学会発表**

- [1] Takeaki Kadota, Hideaki Hayashi, Ryoma Bise, Kiyohito Tanaka, and Seiichi Uchida, “Deep Bayesian Active Learning to Rank for Endoscopic Image Data,” In Proceedings of the 26th UK Conference on Medical Image Understanding and Analysis (MIUA), 2022.
- [2] Hideaki Hayashi, “Combining Generative and Discriminative Models Based on the Gaussian-coupled Softmax Layer,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), 2022.
- [3] 鳥羽真仁, 内田誠一, 早志英朗, “Energy-Based Model に基づく識別器の信頼度較正,” 電気・情報関係学会九州支部連合大会講演論文集, 2022.

**その他**

- [1] 早志 英朗, 第 25 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2022) 論文評価貢献賞, 2022.

## 知能情報基盤部門 特任准教授（常勤） 新岡 宏彦

### 【兼任】

- 大阪大学 エマージングサイエンスデザイン R3 センター

### 【研究活動】

- **機械学習を用いた細胞診画像診断支援に関する研究**  
細胞診画像から正常細胞と癌細胞の診断予測を行い、さらに癌の種類を分類する研究.
- **難治性心筋症疾患特異的 iPS 細胞を用いた集学的創薬スクリーニングシステムの開発と実践**  
培養 iPS 細胞から得られる顕微鏡画像やラマンスペクトルなどの情報を取得し、人工知能を用いて細胞の状態や薬剤応答を解析する研究.
- **光干渉断層イメージングの AI 解析に基づく急性心筋梗塞発症予測法の開発**  
心臓血管の光干渉断層像を人工知能を用いて解析し、血管の状態や患者の予後を予測する研究.
- **術中迅速診断を目指した深紫外線顕微鏡と人工知能病理診断技術開発**  
非染色で生体組織を観察できる深紫外線励起の顕微鏡開発を行い、得られた画像を人工知能で診断することで術中迅速診断の実現を目指す研究.
- **第2近赤外窓領域を用いた生体深部超解像イメージング技術の開発と再生医療への応用**  
波長 900 ~ 1600 nm の第2近赤外窓領域と呼ばれる生体に対して透過性の良い光を用いて顕微鏡を構築し、細胞組織内部の超解像イメージングを可能にする技術の開発研究.

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- 機械学習を用いた細胞診画像診断支援に関する研究

### 【外部研究費獲得状況】

- 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (S), “ゲノム編集による雄性不妊モデルマウスの開発と受精現象の包括的理解”, (代表) 伊川 正人
- 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (B), “第 2, 3 の生体窓と高次非線形光学効果を駆使した深部超解像蛍光イメージング”, (代表) 山中 真仁
- 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (C), “光干渉断層イメージングの AI 解析に基づく冠動脈疾患の包括的ケアシステムの構築”, (代表) 上村 史朗
- 2022-2025 年度, 科学研究費助成金 挑戦的研究 (開拓), “生体深部組織の単一細胞レベル解析を実現する高次非線形光音響顕微鏡技術の確立”, (代表) 山中 真仁
- 2021-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (A), “非線形ラマン散乱顕微内視鏡の開発と無染色その場診断への応用”, (代表) 橋本 守
- 2020-2022 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (B), “第 2 近赤外窓領域を用いた生体深部超解像イメージング技術の開発と再生医療への応用”, (代表) 新岡 宏彦

**【教育活動】**

- 大阪大学医学部共同研「機器分析セミナー」  
タイトル：ディープラーニングによるバイオメディカル画像解析  
日時：令和4年4月19日 13:00 - 13:50  
対象：医学研究科修士過程1年生から博士課程4年生  
場所：オンライン
- 大阪大学ナノプログラム コース3 ナノライフサイエンス学にて「深層学習の基礎とバイオメディカル応用」の講義2コマを担当  
日時：令和4年4月20日 18:00 - 21:00  
対象：社会人  
場所：大阪大学豊中キャンパス (文理融合型研究棟3階305室 セミナー室)
- スーパーサイエンスハイスクールの生徒を対象とした実習  
実習題目：人工知能(機械学習)のプログラミング体験  
日時：令和4年7月22日 13:00 - 16:00  
対象：スーパーサイエンスハイスクールの生徒  
場所：大阪大学吹田キャンパス テクノアライアンスB棟B205室
- 大阪大学ナノプログラム ナノライフサイエンス学の实習6コマを担当  
実習題目：機械学習演習  
日時：令和4年9月27日 10:30 - 12:00, 13:00-16:10, 9月28日 10:30 - 12:00, 13:00-16:10  
対象：社会人  
場所：大阪大学吹田キャンパス最先端医療イノベーションセンター棟3階演習室1,2
- 一般社団法人データビリティコンソーシアムにて「実践深層学習」の講義10コマを担当  
日時：令和4年11月12日 10:30 - 12:00, 12:50-17:40, 11月19日 10:30 - 12:00, 12:50-17:40, 12月3日 10:30 - 12:00, 12:50-14:20  
対象：社会人  
場所：グランフロント大阪北館9F, VisLab Osaka
- 大阪大学 先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラムにて「機械学習実践演習」の講義8コマを担当  
日時：令和5年1月4, 5日 10:30 - 12:00, 13:30 - 18:20  
対象：大学院生  
場所：大阪大学吹田キャンパス, テクノアライアンスB棟B205室

**【社会貢献】**

- 第5回全国医療AIコンテスト  
日時：令和5年3月18-21日  
主催：神戸大学医学部システム医学研究会

共催：大阪大学 AI & Machine learning Society/ AI Medical Society (AIMS), 阪医 Python 会, 大阪市立大学  
医療×IT 研究会 (OCUMIT), 一般社団法人 臨床医工情報学 コンソーシアム関西

協賛：BIPROGY 株式会社

特別協力：Knowledge capital

対象：中学生, 高校生, 大学生, 大学院生, 研修医, 医師

場所：オンライン

ポスター：[https://researchmap.jp/Hirohiko\\_Niioka/social\\_contribution/41366093/attachment\\_file.pdf](https://researchmap.jp/Hirohiko_Niioka/social_contribution/41366093/attachment_file.pdf)

HP：<https://medical-ai-contest.org/5th/>

- 厚生労働省 保健医療分野 AI 開発加速コンソーシアム 構成員
- 日本光学会年次学術講演会 プログラム委員
- 日本顕微鏡学会 顕微鏡計測インフォマティクス研究会 幹事
- 一般社団法人臨床医工情報学コンソーシアム関西 研究員
- NVIDIA DLI (Deep Learning Institute) Certified Instructor
- 大阪大学 AI&Machine learning Society/AI Medical Society (AIMS)(大学内サークル) 顧問  
URL：[https://twitter.com/ou\\_aims](https://twitter.com/ou_aims)

## 【研究業績リスト】

### 雑誌論文

- [1] Masaya Nagai, Yuhei Higashitani, Masaaki Ashida, Koichi Kusakabe, Hirohiko Niioka, Azusa N. Hattori, Hidekazu Tanaka, Goro Isoyama, and Norimasa Ozaki, “Terahertz-induced martensitic transformation in partially stabilized zirconia” , Communications Physics, 6, 88, 1-9 (2023).  
<https://doi.org/10.1038/s42005-023-01207-y>
- [2] Mitsuyoshi Hirokawa, Hirohiko Niioka, Ayana Suzuki, Masatoshi Abe, Hajime Nagahara, Akira Miyauchi, and Takashi Akamizu, “Application of deep learning as an ancillary diagnostic tool for thyroid fine-needle” , Cancer Cytopathology, 131, 4, 217-225 (2022).  
<https://doi.org/10.1002/cncy.22669>
- [3] Hirohiko Niioka, Teruyoshi Kume, Takashi Kubo, Tsunenari Soeda, Makoto Watanabe, Ryotaro Yamada, Yasushi Sakata, Yoshihiro Miyamoto, Bowen Wang, Hajime Nagahara, Jun Miyake, Takashi Akasaka, Yoshihiko Saito, and Shiro Uemura, “Automated diagnosis of optical coherence tomography imaging on plaque vulnerability and its relation to clinical outcomes in coronary artery disease” ,

Scientific Reports, 12, Article number: 14067, 11 pages (2022).

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-18473-5>

- [4] 廣川満良, 新岡宏彦, 鈴木彩菜, 安部政俊, 式見彰浩, 長原一, 宮内昭,  
“AI を用いた甲状腺細胞診支援システム (AI differential diagnosis for cytology of the thyroid:ADDICT) の開発  
と利用 ” ,  
The Journal of the Japanese Society of Clinical Cytology 61, 3, 200-207 (2022).

## 学会発表

- [1] 新岡 宏彦  
“近年の深層学習技術と医療画像データへの応用”  
第 33 回日本心血管画像動態学会 (2023/1/13 - 14, 岡山コンベンションセンター) [Invited]
- [2] 新岡 宏彦  
“深層学習の基礎と医療応用例のご紹介と独学する方法について”  
第 33 回日本心血管画像動態学会 (2023/1/13 - 14, 岡山コンベンションセンター) [Invited]
- [3] 新岡 宏彦  
“ディープラーニング を活用した医用画像解析の事例やトピックス”  
第 2 回大阪トップランナー育成事業 定期交流会 (2022/12/2, 大阪産業創造館 6F, 会議室 E) [Invited]
- [4] 中尾 龍太, 新岡 宏彦, 田中 秀央, 高松 哲郎  
“深紫外励起蛍光顕微鏡を用いた thin-slice-free histology”  
第 63 回日本組織細胞化学会総会・学術集会 (2022 年 10 月 22, 23 日, 東京都)
- [5] Naoki Yamato, Hirohiko Niioka, Jun Miyake, Mamoru Hashimoto,  
“Fast peripheral nerve imaging of coherent Raman scattering rigid endoscopy by noise reduction utilizing  
deep learning”  
General Congress of the International Commission for Optics (ICO) (Dresden, Germany, 5-9 September,  
2022)
- [6] 安部 政俊, 廣川 満良, 鈴木 彩菜, 長原 一, 宮内 昭, 赤水 尚史, 新岡 宏彦  
“自己教師あり学習を用いた甲状腺細胞診画像の特徴表現獲得と画像分類応用  
Acquisition of Feature Representation from Thyroid Cytology Images Using Self-Supervised Learning and  
Application to Image Classification” ,  
第 31 回バイオイメージング学会 (2022 年 9 月 3-5 日, 大阪大学 銀杏会館)
- [7] 浅野 友良, 須賀 英隆, 筒井 奎剛, 湯川 博, 新岡 宏彦, 有馬 寛  
“Deep Learning によるヒト ES 細胞培養過程の予測”  
第 40 回内分泌代謝学サマーセミナー (2022 年 7 月 7-9 日, ホテル天坊 (群馬県渋川市 伊香保温泉))

- [8] 大和尚記, 新岡 宏彦, 橋本 守  
“非線形ラマン散乱硬性内視鏡と深層学習による神経イメージング装置の開発”  
OSJ 生体ひかりイメージング産学連携専門委員会キックオフシンポジウム (2022/7/2, 静岡大学浜松キャンパス,  
佐鳴会館会議室 Zoom Webinar とのハイブリッド開催) [Invited]
- [9] 鈴木 彩菜, 廣川 満良, 新岡 宏彦, 安部 政俊, 新井 悠介, 長原 一, 宮内 昭  
“AI が創る次世代甲状腺細胞診”  
第 63 回日本臨床細胞学会総会春期大会 (2022/6/10-12, グランドプリンスホテル新高輪 国際館パミール)
- [10] 新岡 宏彦  
“深層学習 AI を用いた医療画像解析とイメージング装置開発”  
第 63 回日本臨床細胞学会総会春期大会 (2022/6/10-12, グランドプリンスホテル新高輪 国際館パミール) [Invited]

## 著書

- [1] 新岡宏彦  
“STED 顕微鏡による細胞組織深部超解像イメージングについて”  
BIO Clinica, 37, 11, 39-43 (2022).

## ビッグデータ社会技術部門 特任講師（常勤） 山本 奈津子

### 【兼任】

- 医学系研究科 医の倫理と公共政策学
- 社会技術共創研究センター (ELSI センター)

### 【研究活動】

#### ● 個人に関するデータの利活用と保護に関する研究

個人に関するデータは、デジタル化により多様に利活用されており、国内外の研究や経済活動等の展開にますます重要になっている。個人に関するデータのデジタル化とその利活用による社会システムのイノベーション、とりわけデジタルヘルス分野における倫理的・法的・社会的課題の調査と、課題解決のための理論的および実証的研究を行なっている。

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- 大阪大学 文部科学省「Society5.0 実現化研究拠点支援事業」ライフデザイン・イノベーション研究拠点
- 慶應義塾大学 研究成果展開事業 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム OPERA PeOPLe 共創・活用コンソーシアム WG5

### 【外部研究費獲得状況】

- RISTEX 戦略的創造研究推進事業 (社会技術研究開発) 科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム「公正なゲノム情報利活用実現への ELSI ラグを解消する法整備モデルの構築」(代表：京都府立医大・瀬戸山晃一, R4-R7) (研究分担者：山本奈津子)
- RISTEX 「人と情報のエコシステム」研究開発領域 研究開発プロジェクト「ヘルスケアにおける AI の利益をすべての人々にもたらすための市民と専門家の関与による持続可能なプラットフォームの設計」(代表：山本ベアリーアン, R1-R5 (延長)) (研究分担者：山本奈津子)

### 【教育活動】

- 関西医科大学 看護学部 2 年必修 「倫理学」

### 【社会貢献】

- 厚生労働省 生命科学・医学系研究等における個人情報取扱い等に関する合同会議/医学研究における個人情報の取扱いの在り方に関する専門委員会 厚生科学審議会専門委員
- 奈良先端科学技術大学院大学 人を対象とする研究に関する倫理審査委員会委員
- 長浜バイオ大学 研究倫理審査委員会委員
- 日本ユーザビリティ医療情報化推進協議会 ゲノムが作る新たな医療推進委員会委員

- 全国大学等遺伝子研究支援施設連絡協議会 Gene Drive ワーキンググループ委員
- 株式会社サイフューズ 研究倫理審査委員会委員

### 【研究業績リスト】

#### 雑誌論文

- [1] 山本奈津子「個人情報保護に配慮したゲノム個別化医療の在り方」実験医学 2023年4月増刊号「ポスト GWAS 時代の遺伝統計学 (仮題)」掲載予定

#### その他

- [1] 中外製薬アカデミア向けウェブサイト「Medical Affairs 個別化医療の実現に向けて～患者さん一人ひとりの治療法を目指して～」記事執筆  
<https://chugai-pharm.jp/ma/>  
個別化医療の研究に関連する法律・指針（新規）  
<https://chugai-pharm.jp/ma/phc/08/>  
臨床研究法と新統合指針（新規）  
<https://chugai-pharm.jp/ma/phc/08/01/>  
倫理審査委員会への申請（新規）  
<https://chugai-pharm.jp/ma/phc/08/02/>  
個人情報保護法（新規）  
<https://chugai-pharm.jp/ma/phc/08/03/>  
法律・指針は最小限の内容（新規）

## ビッグデータ社会技術部門 特任助教（常勤） 大橋 範子

### 【兼任】

- 医学系研究科
- 社会技術共創研究センター

### 【研究活動】

#### • 倫理支援業務に関連した研究

大阪大学ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) が資金支援するグランドチャレンジ公募研究及び大阪大学内研究プロジェクトでは、PLR 基盤における二次利用が想定されており、それに関連した様々な倫理的・法的・社会的課題 (ELSI) の研究に従事している。

具体的には、iLDi が構築する二次利用のためのシステム (MY PLR) ではダイナミックコンセントという、従来一般的だった説明・同意とは異なる方法が採用されているので、それに伴い新たに起こり得る ELSI (同意能力と代諾に関する問題、機微情報の取得と取扱い、セキュリティ、説明・同意文書の記載内容など) や技術的課題についての研究である。国内外の関連法規・指針の調査等も実施した。また、グランドチャレンジ公募研究及び大阪大学内研究プロジェクトがこうした将来の二次利用含む形で倫理審査を申請する際の倫理面での支援業務等を行った。

#### • 偶発的所見・二次的所見をめぐる諸問題に関する研究

ゲノム・遺伝子解析の普及にともない現出した、偶発的所見および二次的所見の取り扱いをめぐる問題への対応は、研究・臨床・ビジネスの各領域でそれぞれの喫緊の課題となっている。これらについて、科研費基盤研究 C 「発見的所見 (IF)・二次的所見 (SF) の返却における非医学的対処可能性の検討」において、特に非医学的対処可能性の観点から研究を実施した。

#### • ポリジェニックスコアに関する研究

JST/RISTEX 「科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践」「公正なゲノム情報利活用実現への ELSI ラグを解消する法整備モデルの構築 (研究代表者：瀬戸山晃一 (京都府立医科大学)、令和 5 年度～7 年度) の研究分担実施者として、今後、保険や雇用の分野において予見される遺伝子差別について、特にポリジェニックスコアの観点から研究を実施した。

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- 文部科学省「Society5.0 実現化研究拠点支援事業」ライフデザイン・イノベーション研究拠点

### 【外部研究費獲得状況】

- 2021-2023 年度、科学研究費助成金 基盤研究 (C)、 “偶発的所見 (IF)・二次的所見 (SF) の返却における非医学的対処可能性の検討”， (代表) 大橋範子

### 【教育活動】

- 京都女子大学 法学部 「生命倫理法」
- 大阪済生会中津看護専門学校 「倫理学」

**【社会貢献】**

- 日本医学哲学・倫理学会 組織運営委員会委員

**【研究業績リスト】****学会発表**

- [1] 大橋範子「非医学的対処可能性に基づく偶発的所見返却の検討」. 第34回日本生命倫理学会年次大会. 2022年11月19・20日（兵庫, ハイブリッド開催）

---

**知能情報基盤部門 特任研究員（常勤） Noa Garcia****【研究活動】**

- Social Bias in Vision and Language Models

This research sheds light on the social bias that the vision and language models inherent and amplified from the dataset used for training. We proposed methods to measure a model's social bias as well as to mitigate it in image captioning models. We also quantitatively and qualitatively investigated the social bias in large-scale vision and language dataset.

- Visual Question Answering

This research studies techniques to understand the content of images and videos and perform human-like reasoning when answering questions about them. The projects involved in this research are primarily focused on understanding on how external knowledge can be leverage to improve language and vision representations.

- Automatic Art Analysis

This research is focused on applying computer vision techniques to extract high-level information from art. With this research, we study how to detect key attributes from paintings, such as the author, its year of creation, etc., as well as how to discover new attributes from studying each artwork style.

**【学際・産学共創プロジェクト】**

- アートの視覚的パターンの発見と時空間へのマッピング

**【外部研究費獲得状況】**

- 2020-2022 年度, 科研費基盤 (C), “Understanding Concrete and Abstract Representations in Art,” (研究代表者) Noa Garcia

**【教育活動】**

- 学生指導
  - 博士前期課程学生指導 (情報科学研究科 1 名)
  - 博士後期課程学生指導 (情報科学研究科 3 名)

**【社会貢献】**

- Area Chair: BMVC
- Co-organizer: A Tutorial at DH 2022.
- Conference Reviewer: ACM MM, WACV, AAAI, CVPR
- Journal Reviewer: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Computer Vision and Image Understanding

**【研究業績リスト】****学会発表**

- [1] Yusuke Hirota, Yuta Nakashima, and Noa Garcia, “Gender and racial bias in visual question answering datasets,” in Proc. ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT), Jun. 2022.
- [2] Yusuke Hirota, Yuta Nakashima, and Noa Garcia, “Quantifying societal bias amplification in image captioning,” in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 10 pages, Jun. 2022.

**その他**

- [1] Won the ICPR 2022 ODOR challenge for olfactory object recognition in paintings.
- [2] Noa Garcia, keynote speaker at the Computer Vision for Fashion, Art, and Design workshop at CVPR 2022.

---

## 知能情報基盤部門 特任研究員（専任） Sudhakar Kumawat

### 【研究活動】

- Privacy preserving encoder for human action recognition

Given a human performing some action, the project involves developing a camera system such that it does not allow the captured video to contain any privacy-related features such as the identity and gender of the human subject, but allows capturing of spatial and temporal features that are useful for recognizing the human action. The task is challenging since it requires capturing fine-grained spatial and temporal features. For example, the spatial features might be more important for certain action classes, like horse riding, while learning both spatial and temporal features is important for other action classes, like gesture recognition. To solve this challenge, we developed a method where the video frames are first passed through a defocus kernel (this can be done at the camera lens). Next, consecutive frames from the video are subtracted from each other (this can be done at the sensor). Next, the subtracted frames are passed through a quantization model to degrade the video further (this can also be done at the sensor). Finally, the output from the quantization model is then passed to an action recognition model and a privacy model. The entire pipeline, i.e., the defocus kernel, quantization model, action recognition model, and privacy model, are trained in an adversarial manner where the privacy model serves as an adversary. Our current simulation experiments show that the proposed method removes private information like gender and allows fine-grained spatiotemporal features for action recognition.

- Privacy-preserving DVS sensor-based camera for human action recognition

Similar to the previous project, this project aims to develop a privacy-preserving camera system for human action recognition. However, unlike the previous project, we aim to explore the DVS sensors (event cameras) along with coded apertures for this task. DVS sensors have various advantages over traditional cameras, making them suitable for action recognition and privacy preservation. Our aim in this project is to learn and design coded aperture for event cameras using a learning-based framework.

- Domain Generalization frameworks for road scene segmentation in unseen environments

The objective of this research is to develop environment-adaptive methods for the task of road scene segmentation. I am currently developing training frameworks for semantic segmentation models so that they can be generalized to unseen lighting and weather conditions that are not seen during the training phase. This project's success will help develop cost-effective road scene segmentation models that are robust, reliable, and precise in unknown environments.

### 【学際・産学共創プロジェクト】

- Privacy Preserving Encoders for Action Recognition

### 【外部研究費獲得状況】

- FY: 2022-2024, Grant name: , “Domain Adaptation Frameworks for Road Scene Segmentation in Unseen Environments”, Role: Principal Investigator

### 【教育活動】

- Guided an intern student in developing a domain generalization framework for road scene segmentation.
- Currently guiding an intern student in reconstructing a 3D volume of cells from microscopic images.

**【社会貢献】**

- Conference reviewer: CVPR 2023, ECCV 2022.

**【研究業績リスト】****雑誌論文**

- [1] Sudhakar Kumawat, Tadashi Okawara, Michitaka Yoshida, Hajime Nagahara, and Yasushi Yagi. “Action Recognition From a Single Coded Image.” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI), 2022.

**学会発表**

- [1] Sudhakar Kumawat and Hajime Nagahara. “Privacy-Preserving Action Recognition via Motion Difference Quantization.” European Conference on Computer Vision (ECCV). 2022.

---

**知能情報基盤部門 特任研究員（常勤） Saurabh Kumar****【研究活動】**

- Computational Time of Flight Imaging  
Time of flight cameras allows us to record depth but fail to give good estimated in presence of global illumination prevalent in real world scenarios. In this project, we aim to develop methods that enable us to separate the direct and global illumination components to better capture more complex 3D scenes.
- Lensless Imaging  
Compound lenses required in current cameras lead to a bulky imaging system overall, defeating the goal of a portable imaging device. Our aim in this project is to build imaging systems with minimal optical components making them more compact and lightweight than traditional camera.
- Panasonic Lumix Camera Features  
Technical advising and collaboration with Imaging Business Unit of Panasonic for development of new camera features with depth camera and optical design.

**【社会貢献】**

- Reviewer: European Conference on Computer Vision 2023
- Reviewer: IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology Journal 2022
- Reviewer: IEEE SENSORS Journal 2022
- Reviewer: Elsevier Signal Processing Journal 2022

## 企画室 特任准教授（常勤） 宮澤 清太

### 【兼任】

- 生命機能研究科

### 【活動内容】

#### ● 学際共創プロジェクトの推進

企画室では、これまでの科学技術・学術分野の枠にとらわれない新たな研究の展開を目指し、データ/AI 駆動型の学際共創研究を推進するという目的のため、学内の他部局研究者と本機構の専任・兼任研究者との研究マッチングを進めてきた。異分野の研究者間の対話・連携の強化を図るとともに、独創的なイノベーションや社会的インパクトにつながる研究シーズを掘り起こすべく、本年度は、全学を対象とした学際共創研究提案の公募を初めて実施した。多方面での情報発信により広く周知するとともに、オンライン・対面を含めた積極的な研究マッチング/ファシリテーションを進めた結果、バイオ、理工系、人文社会系など多岐にわたる分野から、新規プロジェクト 17 件を含む計 36 件の優れた課題を採択することができた。当初計画の数値目標（新規プロジェクト 5 件）を大きく上回るのみならず、具体的な共創研究の内容としても、際立ったインパクトをもたらす成果が数多く得られている（第3章「学際共創プロジェクト」参照）。



採択課題の中からは、さらなる研究の発展により、大型の競争的研究費（創発的研究支援事業・学術変革領域研究（A）・基盤研究（S）等）の新規獲得につながる事例も生まれており、学際共創の推進という意味でも、また、社会的なインパクト創出という観点からも、本機構を軸とするデータ/AI 駆動型研究の展開へ向け、有効に機能していると考えられる。

### 【研究活動】

#### ● 生物の意匠・パターンの多様性と進化に関する研究

生物は多彩なデザイン・意匠を生み出してきた。動物体表に見られる模様など、鮮やかなパターンは、個体の生存や繁殖戦略にも深く関わる重要な形質である。意匠・パターンには多彩なバリエーションが見られるが、こうしたパターンの多様性がどのように生み出され、進化してきたのか、また進化し得るのか、その創発メカニズムの解明を目指した研究を進めている。

### 【外部研究費獲得状況】

- 2022-2028 年度、JST 創発的研究支援事業，“意匠の創発をもたらす進化機構の解明”，（代表）宮澤清太

大阪大学 Institute for Datability Science (IDS)  
データビリティフロンティア機構

# 共創、募集

データの海から、学際研究の新たな地平へ

2022年度 IDS学際共創プロジェクト  
研究提案公募

研究経費: 1件あたり最大 **200万円**  
※ IDS運営会議にて審査後、配分額を決定します。

応募締切: 2022年 **8月31日** (水)

公募の詳細・研究計画提案書様式のダウンロードは下記URLから  
<https://www.ids.osaka-u.ac.jp/ja/koubo/>

大阪大学データビリティフロンティア機構  
Osaka University Institute for Datability Science

- 2020-2023 年度, 科学研究費助成金 挑戦的研究 (萌芽), “「模様を見ない」模様解析—モデルベース定量化から知る多様性認知バイアス”, (代表) 宮澤清太
- 2019-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (B), “大規模パターン解析と比較ゲノムで探る動物体表模様の局所的・大域的多様性と進化”, (代表) 宮澤清太

## 【研究業績リスト】

### 学会発表

- [1] Seita Miyazawa, “Can “pattern blending” cause speciation through hybridization?”, Gordon Research Conference Speciation, Mar. 2023.
- [2] 宮澤清太, “魚の虫食い模様が生まれるしくみを考える”, 新潟大学 形の科学研究センター シンポジウム, 2022 年 12 月
- [3] 宮澤清太, “フグ科魚類の体表模様と種間交雑”, 第 38 回個体群生態学会大会, 横浜国立大学 / オンライン, 2022 年 10 月

### 解説

- [1] 宮澤清太, “魚の体表模様の多様性を探る”, 科学, 92, 974-981, 2022.

## ライフデザイン・イノベーション研究拠点 特任教授（非常勤） 小寺 秀俊

### 【活動内容】

- Society 5.0(文部科学省) プロジェクトの運営

#### Society 5.0 実現化研究拠点支援事業について

政府が目指す超スマート社会（Society 5.0）では、IoT（Internet of Things）、ロボット、人工知能（AI）、ビッグデータ等の新技術を様々な産業や社会生活に取り入れイノベーションから新たな価値を生み出すことで、誰もが快適で活力に満ち溢れた質の高い生活をおくることのできる、人間中心社会の構築を目指している。本研究拠点事業では、若者、子育て世代、中高年が豊かで安心して生活できる社会の構築を念頭に、「産・学・官・民」による「健康×IoT」創造をモットーとし、一般社会での社会実装の前段階において、社会受容性の課題を同時に議論する形で大阪大学キャンパスや大学周辺地域をプレ Society 5.0 の実証フィールドとして活用し、「ライフデザイン・イノベーション」に資するイノベーションの創出を目的とする。

#### 事業概要

本研究拠点事業では、人々の医療・健康情報であるパーソナル・ヘルス・レコード（Personal Health Record：PHR）に、日常生活、職場や学校での活動、食事、スポーツ活動など、日常生活の様々な活動データを加えたパーソナル・ライフ・レコード（PLR:Personal Life Records）を新しく提案し、収集した日常活動データから疾病予知や予防、早期発見を目指した研究を実施する。

事業実施にあたり、QOLの維持・向上を目指した「ライフスタイル」研究、心と体の健康増進を目指した「ウェルネス」研究、楽しみと学びを実現する「エデュテインメント」研究を並行して推進することで、人と日常の健康・生活の関わりから、身体健康、心の健康、社会的健康、環境健康を基軸にして高いQOLをデザインし、様々な技術革新と社会経済環境の変化を大学から発信することに取り組む。また、Society 5.0 社会に向けてデータ駆動型社会に革新を起こす試みとして、学術研究で得られる多様な高付加価値パーソナルデータを、民間における研究開発に利用可能なデータ流通の仕組みを確立することを目指す。

2022年度においては、5年間にわたる研究成果の社会実装の準備を行うとともに、ステージゲート審査を受け、第二ステージへ進むことが決まった。また、第二ステージにおける研究体制の整備およびテーマ選定を行った。

### 【外部研究費獲得状況】

- 2018-2022年度、Society 5.0(文部科学省) “ライフデザインイノベーション拠点形成事業”

## ライフデザイン・イノベーション研究拠点 特任教授（常勤） 魚森 謙也

### 【兼任】

- データビリティフロンティア機構 ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) 運営・企画室
- 先導的学際研究機構附属 暮らしの空間デザイン ICT イノベーションセンター

### 【活動内容】

Society 5.0 実現化研究拠点支援事業「ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) に関する主たる業務は、プロジェクト運営、管理、支援である。当拠点事業は、当初設定された第一ステージの最終年度となり、今までの研究成果・実証実験成果をまとめると同時に、ステージゲート審査を通過して後半5年間の研究計画の構築を行い、第二ステージをスムーズにスタートさせる業務を行った。

### 【活動成果】

- 研究拠点における各種会議の運営（拠点総会、運営会議、有識者会議、データ利活用諮問会議）
- 第二ステージ計画書とりまとめ、予算計画とりまとめ業務
- グランドチャレンジ研究プロジェクトの運営業務

本プロジェクトでは、ライフデザイン・イノベーション研究拠点が掲げるパーソナル・ライフ・レコード (PLR) を活用した新たな PLR 活用ソリューション、PLR プラットフォーム、実証フィールド整備に関する提案を広く公募するグランドチャレンジ研究プロジェクトを運営している。PLR 情報を活用した新たな研究を研究費提供して支援し、付加価値の高い PLR データベースや新たなソリューションの創出を行うことにより、Society 5.0 実現に貢献する。

2022 年度は、引き続き価値のあるデータ収集を継続して収集可能であり、第二ステージにおいても継続できそうな 14 件のテーマを採択し推進した。これにより、5 年間で合計 63 件のテーマ推進を行い、PJ 目標（50 件以上）を達成した。また、それぞれの研究テーマを推進するとともに、PJ1～PJ4、P6 と連携し、被験者パネル（高齢者パネル・箕面キャンパスパネル）による共同データ収集を継続実施し、効率よくデータ収集・MYPLR 口座開設を行うことができた。

### 【社会貢献】

- 電子情報通信学会 イメージ・メディア・クオリティ研究会 委員長
- Guest Editor-in-Chief of Editorial Committee of IEICE Transactions on Fundamentals, Special Section on Image Media Quality
- 日本視覚学会 世話人

## ライフデザイン・イノベーション研究拠点 特任教授（常勤） 中村 亨

### 【専任】

- データビリティフロンティア機構 ライフデザイン・イノベーション研究拠点

### 【活動内容】

#### ● iLDi に関する活動

本年度は、Society 5.0 実現化研究拠点支援事業「ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi)」の第一ステージの終了年度および第二ステージ継続審査の節目の年であった。各プロジェクトの支援、管理、成果取りまとめ、および第二ステージの構想支援等、本拠点事業の運営・継続に関する様々な活動に従事した。

#### ● 研究に関する活動

日常生活下における生体情報 IoT 計測に基づく感情推定技術および、それを支える IoT クラウド基盤システムの開発に従事した。また、ウェアラブルスマートウェアによる Parkinson 病の疾患弁別・病態評価手法の開発、発達障害動物モデル（マーモセット）の行動特性解析、児童の「こころの学校健診」システムの開発などについても研究開発を行った。

### 【外部研究費獲得状況】

- 2020-2022 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 A, “勤労者の心身不調のリスク制御を図る個人適合型 IoT システムの構築と臨床応用”, (代表) 山本義春 (分担) 中村亨 他
- 2021-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 C, “高齢者のウェルビーイングに関わる心理・行動・社会的要因の同定”, (代表) 中村亨
- 2021-2025 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 B, “感情変化と食行動の関連性をリアルタイムにとらえる: EMA を用いた包括的解明”, (代表) 大森美香 (分担) 中村亨 他
- 2022-2024 年度, 内閣府 ムーンショット型研究開発制度 目標 9, “AIoT による普遍的感情状態空間の構築とこころの好不調検知技術の開発”, (PM) 中村亨
- 2022-2024 年度, 内閣府 ムーンショット型研究開発制度 目標 9, “AIoT による普遍的感情状態空間の構築とこころの好不調検知技術の開発”, (課題推進者) 中村亨 他
- 2021-2023 年度, 国立研究開発法人科学技術振興機構 未来社会創造事業, “次世代健康経営の実現に向けた AIoT による Ecological Well-Being の可視化”, (代表) 中村亨 (分担) 山本義春
- 共同研究 (ハイネスコーポレーション株式会社)
- 共同研究 (アステラス製薬株式会社)

### 【社会貢献】

- ヘルスケア IoT コンソーシアム POC 部会 座長
- 一般社団法人システムイノベーションセンター システムヘルス分科会 副主査
- 計測自動制御学会 ライフエンジニアリング部門 副部門長
- 日本生体医工学会専門別研究会「バイオメディカル・ビッグデータ研究会」幹事
- 日本生体医工学会専門別研究会「生体信号計測・解釈研究会」幹事

**【研究業績リスト】****雑誌論文**

- [1] M. Hirose#, T. Nakamura#, A. Watanabe, Y. Esaki, S. Koike, Y. Yamamoto, N. Iwata, T. Kitajima, “Altered distribution of resting periods of daily locomotor activity in patients with delayed sleep phase disorder”, *Frontiers in Psychiatry*, 2022. (#:equal contribution)
- [2] H. Takeuchi, K. Suwa1, A. Kishi, T. Nakamura, K. Yoshiuchi, Y. Yamamoto, “The Effects of Personalized Sleep Feedback on Habitual Sleep Behavior and Momentary Symptoms in Daily Life: Mobile Health Intervention Trial using Healthcare IoT System”, *JMIR Mhealth Uhealth*, 2022.
- [3] 中村亨, “日常生活 IoT モニタリングによる心身の健康リスクの早期検知と制御”, *精神科臨床 Legato*, 第 8 巻, 第 1 号 2022 年.

**学会発表**

- [1] 中村亨, “ヘルスケア IoT による健康リスクの予測と制御”, 日本認知・行動療法学会第 48 回大会, 2022.
- [2] 李俐, 中村亨, “身体加速度ビッグデータに基づく睡眠の季節変動の検討”, 第 61 回日本生体医工学会大会, 2022.
- [3] M. Song, A. Triantafyllopoulos, Z. Yang, H. Takeuchi, T. Nakamura, A. Kishi, T. Ishizawa, K. Yoshiuchi, X. Jing, Z. Zhao, V. Karas, K. Qian, B. Hu, B. W. Schuller, Y. Yamamoto, “Daily Mental Health Monitoring From Speech: A Real-World Japanese Dataset and Multitask Learning Analysis”, In *Proceedings of ICASSP20203*.

## ライフデザイン・イノベーション研究拠点 特任研究員（常勤） 吉川 則之

### 【専任】

- データビリティフロンティア機構 ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) 戦略室

### 【活動内容】

Society 5.0 実現化研究拠点支援事業「ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) に関する主たる業務は、プロジェクト運営、管理、支援である。2022年度は当拠点事業の当初計画5年間のうちの最終年度にあたりと同時に、2023年度以降の事業継続の可否を審査されるステージゲート評価の年度である。本年度は本事業で構築してきたプラットフォーム (MYPLR) の運用実績として実験参加者の口座開設を推進し、また取得したデータのプラットフォームへのアップロードの実績を積んだ。これらの成果を取りまとめ、ステージゲート審査に臨み、これを通過した。

### 【活動成果】

#### システム運用検証

- 口座開設対応

iLDi の活動では昨年、パーソナルデータを安全二次利用することを可能にする MYPLR を構築した。研究プロジェクトによる実験に参加し、パーソナルデータを取得する被験者には MYPLR の取り組みにも参するのための口座開設も合わせて行って頂く取り組みを行っている。2021年度は、特に多くの被験者を集めて行うスマートシティ実験 (約200人/日) においては、被験者のスマホ操作の煩雑さに加え、事務局側の口座開設申請に対する承認作業の煩雑さのため、すべての口座開設申請の処理をこなす事が出来ない状況に至った。2022年度は PLR 基盤のユーザインターフェースを支援する外部システムとして PLR + を開発し、被験者の自身のスマホ操作及び、事務局側の承認操作を改善した。その結果、本年度、3回実施したスマートシティ実験において全ての口座開設申請処理を完了する事が出来た。口座開設実績としては別途継続して実施した高齢者パネルにおける口座も併せて、累計1321口座となった。一方で、アクセスの集中や、スマホ機種依存等によってシステムのレスポンスが非常に遅くなるという課題が、従来そのまま残存している状況であることが確認された。この件については来年度のシステム改修によって改善を見込んでいる。

- データアップロード対応

研究プロジェクトが取得したデータを、セキュアな方法で PLR 基盤にアップロードする手順を構築し、その手順に従って4つのプロジェクトのデータをアップロードした。即ち、データ選定部会によるアップロード審査対応や、アップロードに必要なサーバーへの接続情報の伝達など、一連の工程を設定した手順どおり実施した。一方、アップロードデータが CSV 形式に限定されたため、画像や音声、またはファイル形式データである場合のアップロードデータの在り方が課題となったが、データファイルのハッシュ値のみをアップロードする方法で回避した。また、このハッシュ値による方が将来の医療データの取り扱いに利用できる可能性を見出した。

#### セキュリティ構築

- 2020年度に取得した情報セキュリティに関する認証 (ISMS27001) について、昨年度に引き続き本年度も継続認証審査を受審し、これに適合する事が出来た。

## ライフデザイン・イノベーション研究拠点 特任研究員（常勤） 岡村 和男

### 【専任】

- データビリティフロンティア機構 ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) 戦略室

### 【活動内容】

Society 5.0 実現化研究拠点支援事業「ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) に関する主たる業務は、各拠点プロジェクトの社会実装の支援およびデータ取引市場の実現に向けた活動である。2022 年度は、外部企業・自治体等との関係構築、データ取引基盤システムの運用と改善および第二ステージ計画の構想立案を担当した。

### 【活動成果】

外部企業との関係構築として、Society5.0 プロジェクトのプロモーション活動を推進しキリン HD、住友生命などデータビリティコンソシアム会員への新規加入を支援した。拠点プロジェクトの外部連携の推進活動としては、生誕1000 日見守り研究に関し、大阪北摂地区の自治体（豊中市、吹田市、大阪府西淀川区）および岡山県奈義町との連携調整に取り組み、豊中市とおよび岡山県奈義町と共同研究の覚書についての基本合意を得ることができた。また、育児困難感アンケートデータを安全に保管管理するためのデータベースシステムの構築支援も実施し、自治体向けの共同研究に使用する目処を立てた。

データ取引基盤システム PLR の運用責任者として、開発ベンダーである NEC との技術交渉およびシステムの運用計画の策定とシステムの品質向上活動を主導した。また新たなフロントエンドシステムの仕様設計と外部業者による開発を実施することにより、大阪大学およびデータビリティコンソシアムでの運用効率の大幅な向上を実現した。この結果、MYPLR 情報口座の開設数は 1322 件、カタログ定義 12 件、アップロード 5 件を達成した。

また第一ステージの PLR 基盤の成果総まとめを作成するとともに、第二ステージの MYPLR の展開計画案を策定し構想計画申請書として文科省へ提出、ステージゲート審査の通過に貢献した。

**ライフデザイン・イノベーション研究拠点 特任学術政策研究員(常勤) 植田真由美****【専任】**

- データビリティフロンティア機構 ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) 企画支援室

**【活動内容】**

Society 5.0 実現化研究拠点支援事業「ライフデザイン・イノベーション研究拠点 (iLDi) に関する主たる業務は、プロジェクト運営のための支援、管理である。今年度、当拠点事業は、第一ステージの最終年度にあたり、これまでの成果と次期ステージの計画をとりまとめる一年であった。

**【活動成果】**

ライフデザイン・イノベーション拠点に8月より着任し、拠点における会議開催、計画書・報告書作成、会計管理に関する業務に取り組んだ。

会議運営においては、日程調整、書類作成などの支援を行った。3月に行われた公開シンポジウムに関しては、関係者等と連絡をとり、開催全般に関する調整をし、会議は現地およびWEBによる183名の参加者が集まった。これまでの拠点事業を広く紹介することができたことにより、これからの事業推進にもつながる機会となった。

研究拠点のこれまでの業績をまとめる冊子作成に向けて、全体構成の仕様の確認、原稿のとりまとめ、校正確認などを遂行し、第一ステージ実績成果報告書を発行することが出来た。

会計管理においては、予算が適切に執行されることを確認し、調整を行うことにより、事業予算を計画通りに完了させた。

## 第9部

### 外部資金獲得状況

- [1] 2020-2023 年度, 科学研究費助成金 挑戦的研究 (開拓), “暗号カメラと暗号画像認識によるセンサレベルビジュアルプライバシー保護”, (代表) 長原一, (分担) 日浦真作 他
- [2] 2018-2023 年度, 文部科学省 Society5.0 実現化拠点事業, “ライフイノベーション研究拠点”, (拠点長) 西尾章治郎, (拠点本部長) 八木 康史, (分担) 長原一, 岸本充生, 春本要 他
- [3] 2020-2022 年度, 厚生労働科学研究費, “『AI の眼』による医療安全確保に関する研究”, (代表) 大鹿哲郎, (分担) 長原一 他
- [4] 2017-2022 年度, JST CREST 「イノベーション創発に資する人工知能基盤技術の創出と統合化」, “3D 画像認識 AI による革新的癌診断支援システムの構築”, (代表) 諸岡健一, (分担) 長原一 他
- [5] 2021-2024 年度, JST-NSF 戦略的国際共同研究プログラム (SICORP), “パンデミックによる社会的孤立のアクティブセンシングと個別化介入”, (代表) 東野輝夫, Insup Lee, (分担) 長原一 他
- [6] 2022-2025 年度, 基盤研究 B, “高速な光学制御に基づく光線空間の圧縮撮像”, (代表) 高橋桂太, (分担) 長原一
- [7] 2022-2027 年度, JST CREST 「情報担体を活用した集積デバイス・システム」, “世界をサブナノ秒光信号で見る電荷領域計算イメージセンサ”, (代表) 香川景一郎, (分担) 長原一他
- [8] 2020-2025 年度, JST CREST 「信頼される AI システムを支える基盤技術」, “インフォデミックを克服するソーシャル情報基盤技術”, (研究代表者) 越前功 (国立情報学研究所) (主たる共同研究者) 馬場口登, 笹原和俊 (東京工業大学)
- [9] 2022-2028 年度, JST 創発的研究支援事業, “インフォデミックを克服するソーシャル情報基盤技術,” (研究代表者) 中島悠太
- [10] 2021-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (B), “知識埋め込み型ベイズ深層学習の提案と希少データ解析への応用”, (代表) 早志英朗 (分担) 古居彬
- [11] 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (S), “ゲノム編集による雄性不妊モデルマウスの開発と受精現象の包括的理解”, (代表) 伊川 正人
- [12] 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (B), “第 2, 3 の生体窓と高次非線形光学効果を駆使した深部超解像蛍光イメージング”, (代表) 山中 真仁
- [13] 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (C), “光干渉断層イメージングの AI 解析に基づく冠動脈疾患の包括的ケアシステムの構築”, (代表) 上村 史朗
- [14] 2022-2025 年度, 科学研究費助成金 挑戦的研究 (開拓), “生体深部組織の単一細胞レベル解析を実現する高次非線形光音響顕微鏡技術の確立”, (代表) 山中 真仁

- [15] 2021-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (A), “非線形ラマン散乱顕微内視鏡の開発と無染色その場診断への応用”, (代表) 橋本 守
- [16] 2020-2022 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (B), “第 2 近赤外窓領域を用いた生体深部超解像イメージング技術の開発と再生医療への応用”, (代表) 新岡 宏彦
- [17] RISTEX 戦略的創造研究推進事業 (社会技術研究開発) 科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム「公正なゲノム情報利活用実現への ELSI ラグを解消する法整備モデルの構築」(代表: 京都府立医大・瀬戸山晃一, R4-R7) (研究分担者: 山本奈津子)
- [18] RISTEX 「人と情報のエコシステム」研究開発領域 研究開発プロジェクト「ヘルスケアにおける AI の利益をすべての人々にもたらすための市民と専門家の関与による持続可能なプラットフォームの設計」(代表: 山本ベバリーアン, R1-R5 (延長)) (研究分担者: 山本奈津子)
- [19] 2021-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (C), “偶発的所見 (IF)・二次的所見 (SF) の返却における非医学的対処可能性の検討”, (代表) 大橋範子
- [20] 2020-2022 年度, 科研費基盤 (C), “Understanding Concrete and Abstract Representations in Art,” (研究代表者) Noa Garcia
- [21] FY2021-2022, 科学研究費助成金 若手研究, Explainable Artificial Intelligence for Medical Applications, (代表) Liangzhi Li.
- [22] FY2022-2024, 科学研究費助成金 若手研究, “Domain Adaptation Frameworks for Road Scene Segmentation in Unseen Environments”, (代表) Kumawat Sudhakar
- [23] 2022-2028 年度, JST 創発的研究支援事業, “意匠の創発をもたらす進化機構の解明”, (代表) 宮澤清太
- [24] 2020-2023 年度, 科学研究費助成金 挑戦的研究 (萌芽), “「模様を見ない」模様解析—モデルベース定量化から知る多様性認知バイアス”, (代表) 宮澤清太
- [25] 2019-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 (B), “大規模パターン解析と比較ゲノムで探る動物体表模様の局所的・大域的な多様性と進化”, (代表) 宮澤清太
- [26] 2020-2022 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 A, “勤労者の心身不調のリスク制御を図る個人適合型 IoT システムの構築と臨床応用”, (代表) 山本義春 (分担) 中村亨 他
- [27] 2021-2023 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 C, “高齢者のウェルビーイングに関わる心理・行動・社会的要因の同定”, (代表) 中村亨
- [28] 2021-2025 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 B, “感情変化と食行動の関連性をリアルタイムにとらえる: EMA を用いた包括的解明”, (代表) 大森美香 (分担) 中村亨 他
- [29] 2022-2024 年度, 内閣府 ムーンショット型研究開発制度 目標 9, “AIoT による普遍的な感情状態空間の構築とところの好不調検知技術の開発”, (PM) 中村亨
- [30] 2022-2024 年度, 内閣府 ムーンショット型研究開発制度 目標 9, “AIoT による普遍的な感情状態空間の構築とところの好不調検知技術の開発”, (課題推進者) 中村亨 他
- [31] 2021-2023 年度, 国立研究開発法人科学技術振興機構 未来社会創造事業, “次世代健康経営の実現に向けた AIoT による Ecological Well-Being の可視化”, (代表) 中村亨 (分担) 山本義春
- [32] R2-4 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 C, “パターン認識技術を応用したインプラント体判別システムの開発”, (代表) 若林一道 (分担) 中野 環, 中村 隆志, (協力者) 長原 一
- [33] 2020-2025 年度, (独) 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST, “集積スピンサイバーフィジカルシステムの構築”, (代表) 千葉大地 (主たる共同研究者) 野村光
- [34] 2020-2022 年度, (独) 科学技術振興機構 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 産学共同 (育成型), “ゲージ率 1000 を超える超高感度フィルム型ひずみゲージの開発” (代表) 千葉大地
- [35] 2020-2022 年度, 科学研究費助成事業 基盤研究 A, “ビッグデータからの材料特性の高速モデル学習と最適化”, (代

表) 櫻井保志 (分担) 千葉大地

- [36] 2021-2022 年度, 科学研究費助成事業 挑戦的研究 (萌芽), "ストレッチャブルスピンドバイス実現を目指した超瞬間熱処理プロセス構築への挑戦", (代表) 千葉大地
- [37] 2022-2027 年度, AMED 革新的先端研究開発支援事業 AMED-CREST, "革新的 BMI 技術の開発と視覚認知ネットワークの理解と制御に基づく次世代網膜刺激型人工網膜装置の研究開発—「見える人工網膜から使える人工網膜へ」", (代表) 森本壮 (分担) 辻川元一 他
- [38] R4-7 科学研究費助成金 基盤 B, 「眼底画像のみから循環器疾患リスクプロファイリングを行う「新・眼底健診」の提案」, 22H03353, (代表) 川崎良, (分担) 布施昇男, 原田成, 佐々木真理子, 大久保孝義, 平良摩紀子, 中島悠太
- [39] R4-5 科学研究費助成金挑戦的研究 (萌芽), 「眼底画像から高血圧発症予測・血圧値推定・治療予後予測を実現する『逆転の発想』」, 22K19671, (代表) 川崎良
- [40] R4-6, 難治性疾患実用化研究事業「フックス角膜内皮ジストロフィーの診療エビデンス創出のための研究」(JP22ek0109590), (代表) 大家義則.
- [41] R2-4, 厚生労働科学研究費補助金・難治性疾患政策研究事業「前眼部難病の標準的診断基準およびガイドライン作成のための調査研究」(20FC1032), (代表) 西田幸二.
- [42] R3-5, 科学研究費 基盤 C「フックス角膜内皮ジストロフィーの発症メカニズム及びリスクの解析」(21K09718), (代表) 大家義則
- [43] 2020-2022, 科学研究費助成金 基盤研究 (A), 「脳疾患の解明と創薬に向けた疾患モデル脳のマルチスケールデータ解析」, 20H00492, (代表) 橋本均
- [44] 2018-2022, 科学研究費助成金 新学術領域研究 (研究領域提案型), 「組織全細胞イメージング法を用いた精神疾患発症起点となるシングュラリティ細胞の探索」, 18H05416, (代表) 橋本均
- [45] 2021-2023, 日本医療研究開発機構 (AMED) 革新的技術による脳機能ネットワークの全容解明プロジェクト, 「霊長類脳の高スケーラブルイメージングシステムの開発」, (代表) 橋本均
- [46] 2022, 武田科学振興財団 ビジヨナリーリサーチ継続助成 (ホップ)「中枢創薬を加速する全脳細胞研究」(代表) 橋本均
- [47] 2021-2025, 科学研究費助成金 基盤 B, 「AI による多剤耐性菌モルフォミクスとバイオインフォマティクスの融合研究」21H03542 (代表) 西野美都子
- [48] 2022-2023 年度, 科学研究費助成金 学術変革領域研究 (A) 公募「溶媒効果の定量的説明および予測プログラムの開発」(代表) 佐古 真
- [49] 2022 年度, 有機合成化学協会 三菱ガス化学 研究企画賞 「機械学習を活用する有機反応開発の加速化: 溶媒効果の定量的説明, 条件最適化および反応機構解析への応用」(代表) 佐古 真
- [50] H31-R5, 科学研究費助成金 挑戦的萌芽研究, 「AI によるテーラーメイド型スポーツスキル計測・改善システムの開発」, 19K22807 (課題番号), (代表) 七五三木聡
- [51] R1-R4, 科学研究費助成金 基盤 B, 「神経科学的知見に基づくアスリートの視覚運動能力促進用「脳トレーニング法」の開発」, 20H04077 (課題番号), (代表) 七五三木聡
- [52] 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 A, (代表) 中谷和彦, (分担) 山田剛史
- [53] 2022-2024 年度, 科学研究費助成金 基盤研究 C, (代表) 山田剛史
- [54] 2021-2023 年度, 次世代挑戦的研究者育成プロジェクト QINGWEN CHEN
- [55] 2023-2025, 科学研究費助成金 基盤研究 B, 「ナノビーム X 線回折による半導体デバイスの 4 次元断層解析」, 23H01447, (代表) 林侑介, (分担) 今井康彦
- [56] 2022-2025, 科学研究費助成金 国際共同研究強化 B, 「結晶のヘテロ極性制御を利用した GaN CMOS モノリシック集積回路化技術の開発」, 22KK0055, (代表) 林侑介, (分担) 上杉謙次郎, 宮本恭幸, 佐々木拓生

- [57] 2023, 池谷科学技術振興財団 単年度助成, 「窒化インジウムガリウムの歪・極性エンジニアリングによる3原色マイクロLED用基板の開発」(代表) 林侑介, (分担) 村上尚
- [58] 2022-2023 年度, 大阪公立大学 女性研究者 研究実践力強化支援プログラム (RESPECT), “スパースセンシングを用いた素粒子実験データプロセス機構の開発”, (代表) 岩崎 昌子 (共同研究者) 長原 一, 末原 大幹, 山田 悟.
- [59] 2022 年度, 文部科学省 文部科学省補助事業「ダイバーシティ研究環境実現イニシアティブ(牽引型)」, “機械学習を用いた物理学実験用機器制御技術の開発”, (代表) 岩崎 昌子 (共同研究者) 深澤 優子, 住浜 水季, 谷口 七重.
- [60] 2022 年度 学際大規模情報基盤共同利用 (JHPCN) 公募型共同研究, “素粒子物理学実験への機械学習の適用研究”, (代表) 岩崎 昌子
- [61] 2022-2026 年度, 日本学術振興会 科学研究費助成事業 学術変革領域研究 (A), “機械学習による素粒子物理学の革新的な発展”, (代表) 野尻 美保子, (研究分担者) 岩崎 昌子, 武村 紀子, 田中 純一, 長原 一
- [62] R1-4, 科学研究費助成金 基盤 B, 「オーストラリアの世論形成の歴史的解明: 自然言語処理による公開集会データの解析」, 19H01330 (課題番号), (代表) 藤川 隆男, (分担) チョ シンキ, 長原 一, 梶原 智之, 中村 武司

## 第 10 部

---

### 研究業績

#### (1) 雑誌論文

- [1] Felix Giovanni Virgo, Chenhui Chu, Takaya Ogawa, Koji Tanaka, Kazuki Ashihara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, Takao Fujikawa, "Information Extraction from Public Meeting Articles", SN Computer Science, Vol. 3, Issue 285, April, 2022.
- [2] Ryo Kawasaki; Yiming Qian; Liangzhi Li; Kohji Nishida; Yuta Nakashima; Hajime Nagahara, "Cardiovascular Disease Risk Prediction using Retinal Images via Explainable-AI based models with Traditional CVD risk factor estimation", Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 63, No. 7, pp. 3375 – A0162, June, 2022.
- [3] 山本 祐輔, 田中さや, 原地 絢斗, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野(松本) 由子, 下條 真司, "脳波と心電図を用いた周波数解析による定量化と不快情動判別評価", 日本知能情報フuzzy学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 654-662, Aug., 2022.
- [4] Bowen Wang, Liangzhi Li, Manisha Verma, Yuta Nakashima, Ryo Kawasaki, Hajime Nagahara, "Match Them Up: Visually Explainable Few-shot Image Classification", Applied Intelligence, pp. 1573-7497, Aug., 2022.
- [5] Sudhakar Kumawat, Tadashi Okawara, Michitaka Yoshida, Hajime Nagahara, Yasushi Yagi, "Action Recognition From a Single Coded Imaging", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1-14, Aug., 2022.
- [6] Hirohiko Niioka, Teruyoshi Kume, Takashi Kubo, Tsunenari Soeda, Makoto Watanabe, Ryotaro Yamada, Yasushi Sakata, Yoshihiro Miyamoto, Bowen Wang, Hajime Nagahara, Jun Miyake, Takashi Akasaka, Yoshihiko Saito, Shiro Uemura, "Automated diagnosis of optical coherence tomography imaging on plaque vulnerability and its relation to clinical outcomes in coronary artery disease", Scientific report, Vol. 12, No. 14067, Aug., 2022.
- [7] Koji Tanaka, Chenhui Chu, Tomoyuki Kajiwara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, Takao Fujikawa, "Corpus Construction for Historical Newspapers: A Case Study on Public Meeting Corpus Construction using OCR Error Correction", SN Computer Science, Vol. 3, No. 6, pp. 489-489, Sep., 2022.
- [8] 原地 絢斗, 山本 祐輔, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野(松本) 由子, 下條 真司, "脈波を用いた Multi-layer Perceptron および Recurrent Neural Network による精神状態群判別精度の比較", 電気学会論文誌 C, Vol. 142, No. 10, pp. 1115-1122, Oct., 2022.

- [9] 山本祐輔, 原地絢斗, 村松歩, 長原一, 武村紀子, 水野 (松本) 由子, 下條真司, ”脳波による脳機能ネットワークの適合性を用いた RNN による不安状態判別評価”, 電気学会論文誌 C, Vol. 143, No. 4, 2022.
- [10] Kiichi Goto, Taikan Suehara, Tamaki Yoshioka, Masakazu Kurata, Hajime Nagahara, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Masako Iwasaki, ”Development of a vertex finding algorithm using Recurrent Neural Network”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Nov.. 2022.
- [11] Mitsuyoshi Hirokawa, Hirohiko Niioka, Ayana Suzuki, Masatoshi Abe, Yusuke Arai, Hajime Nagahara, Akira Miyauchi, Takashi Akamizu, ”Application of deep learning as an ancillary diagnostic tool for thyroid fine-needle”, Cancer Cytopathology, Dec., 2022.
- [12] Chenhao Li, Yuta Taniguchi, Min Lu, Shin’ ichi Konomi, Hajime Nagahara, ”Cross-language font style transfer”, Applied Intelligence, Feb., 2023.
- [13] 長門 裕介, 朱 喜哲, 岸本 充生, データビジネスにおける「ELSI」はどこから来て, どこへ行くのか. 研究 技術 計画 37(3) pp.296-309, 2022.
- [14] 鹿野 祐介, 肥後 榮, 小林 茉莉子, 井上 眞梨, 永山 翔太, 長門 裕介, 森下 翔, 鈴木 径一郎, 多湖 真琴, 標葉 隆馬, 岸本 充生, ELSI および RRI をめぐる実践的研究 CtoC マーケットプレイス事業者と ELSI 研究者の連携による知識生産. 研究 技術 計画 37(3), pp.279-295, 2022.
- [15] Yuki Hirose, Kazuaki Nakamura, Naoko Nitta, and Noboru Babaguchi, ”Anonymization of Human Gait in Video Based on Silhouette Deformation and Texture Transfer”, IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol.17, pp.3375-3390, Sept. 2022.
- [16] Yuki Hirose, Kazuaki Nakamura, Naoko Nitta, and Noboru Babaguchi, ”An Experimental Consideration on Gait Spoofing”, in Proceedings of 18th International Conference on Computer Vision Theory and Applications, pp.559-566, Lisbon, Portugal, Feb. 2023.
- [17] Mahdi Khosravy, Kazuaki Nakamura, Naoko Nitta, Nilanjan Dey, Rubén González Crespo, Enrique Herrera-Viedma, and Noboru Babaguchi, ”Social IoT Approach to Cyber Defense of a Deep-Learning-Based Recognition System in Front of Media Clones Generated by Model Inversion Attack”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol.53, issue5, May 2023, pp.2694-2704 (in press).
- [18] 越前功, 馬場口登, 笹原和俊, ”フェイクメディア克服の最前線”, Book chapter, 映像情報メディア学会誌 (2022 年 07 月号) 特集: インフォデミック時代の AI とサイバーセキュリティ, Chapter 1, 2022 年 7 月
- [19] 越前功, 馬場口登, 笹原和俊, インフォデミック時代におけるフェイクメディア克服の最前線, 人工知能, 38 巻 2 号 pp.189-196, 2023 年 3 月.
- [20] Zhenzhong Kuang, Longbin Teng, Xingchi He, Jiajun Ding, Yuta Nakashima, and Noboru Babaguchi, ”Anonymous identity sampling and reusable synthesis for sensitive face camouflage,” Journal of Electronic Imaging, vol. 31, no. 2, 023011-1 – 023011-18, Mar. 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1117/1.JEI.31.2.023011>.
- [21] Sudhakar Kumawat, Manisha Verma, Yuta Nakashima, and Shanmuganathan Raman, ”Depthwise spatio-temporal STFT convolutional neural networks for human action recognition,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12 pages, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3076522>
- [22] 中島悠太 “ディープニューラルネットワークのための説明可能な識別器,” 画像ラボ, Mar. 2023.
- [23] 中島悠太, “深層学習入門,” レーザー研究, vol. 50, no. 12, pp. 691–696, Dec. 2022.
- [24] 中島悠太, 李良知, 王博文, “AI の信頼性を高める Explainable AI,” 映像情報メディア学会誌, vol. 76, no. 4, pp. 446-450, July 2022.

- [25] Hideaki Hayashi and Toshio Tsuji, “Human–Machine Interfaces Based on Bioelectric Signals: A Narrative Review with a Novel System Proposal,” *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, June 2022.
- [26] Masaya Nagai, Yuhei Higashitani, Masaaki Ashida, Koichi Kusakabe, Hirohiko Niioka, Azusa N. Hattori, Hidekazu Tanaka, Goro Isoyama, and Norimasa Ozaki, “Terahertz-induced martensitic transformation in partially stabilized zirconia” , *Communications Physics*, 6, 88, 1-9 (2023). <https://doi.org/10.1038/s42005-023-01207-y>
- [27] Mitsuyoshi Hirokawa, Hirohiko Niioka, Ayana Suzuki, Masatoshi Abe, Hajime Nagahara, Akira Miyauchi, and Takashi Akamizu, “Application of deep learning as an ancillary diagnostic tool for thyroid fine-needle” , *Cancer Cytopathology*, 131, 4, 217-225 (2022). <https://doi.org/10.1002/cncy.22669>
- [28] Hirohiko Niioka, Teruyoshi Kume, Takashi Kubo, Tsunenari Soeda, Makoto Watanabe, Ryotaro Yamada, Yasushi Sakata, Yoshihiro Miyamoto, Bowen Wang, Hajime Nagahara, Jun Miyake, Takashi Akasaka, Yoshihiko Saito, and Shiro Uemura, “Automated diagnosis of optical coherence tomography imaging on plaque vulnerability and its relation to clinical outcomes in coronary artery disease” , *Scientific Reports*, 12, Article number: 14067, 11 pages (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18473-5>
- [29] 廣川満良, 新岡宏彦, 鈴木彩菜, 安部政俊, 式見彰浩, 長原一, 宮内昭, “AI を用いた甲状腺細胞診支援システム (AI differential diagnosis for cytology of the thyroid:ADDICT) の開発と利用” , *The Journal of the Japanese Society of Clinical Cytology* 61, 3, 200-207 (2022).
- [30] 山本奈津子「個人情報保護に配慮したゲノム個別化医療の在り方」*実験医学* 2023 年 4 月増刊号「ポスト GWAS 時代の遺伝統計学 (仮題)」掲載予定
- [31] 宮澤清太, “魚の体表模様の多様性を探る”, *科学*, 92, 974-981, 2022.
- [32] M. Hirose, T. Nakamura, A. Watanabe, Y. Esaki, S. Koike, Y. Yamamoto, N. Iwata, T. Kitajima, “Altered distribution of resting periods of daily locomotor activity in patients with delayed sleep phase disorder”, *Frontiers in Psychiatry*, 2022.
- [33] H. Takeuchi, K. Suwa, A. Kishi, T. Nakamura, K. Yoshiuchi, Y. Yamamoto, “The Effects of Personalized Sleep Feedback on Habitual Sleep Behavior and Momentary Symptoms in Daily Life: Mobile Health Intervention Trial using Healthcare IoT System”, *JMIR Mhealth Uhealth*, 2022.
- [34] 中村亨, “日常生活 IoT モニタリングによる心身の健康リスクの早期検知と制御”, *精神科臨床 Legato*, 第 8 巻, 第 1 号 2022 年.
- [35] Á. Godó, K. Aoki, A. Nakagawa and Y. Yagi, ”Single Shot Residue Localization and Classification in Crystallographic Electron Density Maps,” in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 108354-108365, 2022
- [36] Manalo, M.D., Aoki, K., Wu, S., Shindo, M., Ueda, Y., Yagi, Y., ”Cervical lesion classification via positive-unlabeled learning”, *Medical Imaging Technology*, (in press).
- [37] Masahiro Hata, Yusuke Watanabe, Takumi Tanaka, Kimihisa Awata, Yuki Miyazaki, Ryohei Fukuma, Daiki Taomoto, Yuto Satake, Takashi Suehiro, Hideki Kanemoto, Kenji Yoshiyama, Masao Iwase, Shunichiro Ikeda, Keiichiro Nishida, Yoshiteru Takekita, Masafumi Yoshimura, Ryouhei Ishii, Hiroaki Kazui, Tatsuya Harada, Haruhiko Kishima, Manabu ikeda, Takufumi Yanagisawa, “Precise discrimination for multiple etiologies of dementia cases based on deep-learning with electroencephalography”, *Neuropsychobiology*, 19, pp.1-110., 2023
- [38] Yasunori Aoki, Masahiro Hata, Masao Iwase, Ryouhei Ishii, Roberto D. Pascual-Marqui, Takufumi Yanagisawa, Haruhiko Kishima, Manabu Ikeda, “Cortical electrical activity changes in healthy aging using EEG-eLORETA analysis”, *Neuroimage: Reports* 2, pp.100143, 2022
- [39] Fujita Y, Yanagisawa T, Fukuma R, Ura N, Oshino S, Kishima H. “Abnormal phase-amplitude coupling

- characterizes the interictal state in epilepsy”, *Journal of Neural Engineering*, 2022
- [40] Masataka Tanaka, Takufumi Yanagisawa, Ryohei Fukuma, Naoki Tani, Satoru Oshino, Masahito Mihara, Noriaki Hattori, Yuta Kajiyama, Ryota Hashimoto, Manabu Ikeda, Hideki Mochizuki, Haruhiko Kishima, “Magnetoencephalography detects phase-amplitude coupling in Parkinson’s disease”, *Scientific Reports*, 12:1835, 2022
- [41] Yamamoto S, Yanagisawa T, Fukuma R, Oshino S, Tani N, Khoo HM, Edakawa K, Kobayashi M, Tanaka M, Fujita Y, Kishima H. “Data-driven electrophysiological feature based on deep learning to detect epileptic seizures”, *Journal of Neural Engineering*, 18(5), 2021
- [42] 柳澤 琢史, “精神神経疾患の脳波による診断技術の開発”, *精神科臨床 Legato*, Vol.7, No.3, pp158-161, 2021
- [43] 柳澤 琢史, “AIが変えるてんかん診療”, *小児内科* vol.53, No. 10, p1630-1634, 2021
- [44] 柳澤 琢史, 畑 真弘, 福岡 良平, 石井 良平, 吉山 顕次, 原田 達也, 池田 学, 貴島 晴彦, “安静時脳波・脳磁図に深層学習を用いた認知症診断”, *日本脳神経外科認知症学会誌*, 1巻1号 p1-6, 2021
- [45] Li L, Verma M, Wang B, Nakashima Y, Nagahara H, Kawasaki R. Automated grading system of retinal arterio-venous crossing patterns: A deep learning approach replicating ophthalmologist’s diagnostic process of arteriolosclerosis. *PLOS Digit Health*. 2023 11;2(1):e0000174.
- [46] Arnould L, Meriaudeau F, Guenancia C, Germanese C, Delcourt C, Kawasaki R, Cheung CY, Creuzot-Garcher C, Grzybowski A. Using Artificial Intelligence to Analyse the Retinal Vascular Network: The Future of Cardiovascular Risk Assessment Based on Oculomics? A Narrative Review. *Ophthalmol Ther*. 2023;12(2):657-674.
- [47] Shen J, Hu Y, Zhang X, Gong Y, Kawasaki R, Liu J. Structure-Oriented Transformer for retinal diseases grading from OCT images. *Comput Biol Med*. 2023;152:106445.
- [48] Sakai T, Li H, Shimada T, Kita S, Iida M, Lee C, Nakano T, Yamaguchi S, Imazato S, Development of artificial intelligence model for supporting implant drilling protocol decision making. *Journal of Prosthodontic Research* (in press).
- [49] Yoneda, T., Sakata, H., Yamasaki, S., Hayashi-Nishino, M., and Nishino, K. (2022) Analysis of multidrug efflux transporters in resistance to fatty acid salts reveals a TolC-independent function of EmrAB in *Salmonella enterica*. *PLoS One*. Apr 14;17(4):e0266806.
- [50] Yamasaki, S., Yoneda, T., Ikawa, S., Hayashi-Nishino, M., and Nishino, K. (2023) Investigating multidrug efflux pumps associated with fatty acid salt resistance in *Escherichia coli*. *Front. Microbiol*. 14: 954304.
- [51] Satoh, A., Hayashi-Nishino, M., and Nishino, K. (2023) An Electron Tomographic Analysis of Giantin-Deficient Golgi Proposes a New Function of the Golgin Protein Family. *Methods Mol. Biol*. 2557:235-246.
- [52] 西野一林 美都子, 青木 工太, 西野 邦彦 (2022) 深層学習によって薬剤耐性菌の形態特徴を可視化する. [目で見えるバイオ] *バイオサイエンスとインダストリー (B&I)* Vol. 80. NO. 5, 374-375
- [53] 西野一林 美都子, 青木 工太, 西野 邦彦 (2022) 深層学習を用いた画像解析による薬剤耐性菌の判別 [トピックス] *バイオサイエンスとインダストリー (B&I)* Vol. 80. NO. 5, 402-403
- [54] Matsui T, Iwasa A, Mimura M, Taniguchi S, Sudo T, Uchida Y, Kikuta J, Morizono H, Horii R, Motoyama Y, Morii E, Ohno S, Kiyota Y, Ishii M. “Label-free multiphoton excitation imaging as a promising diagnostic tool for breast cancer”, *Cancer Sci*, 2022.
- [55] Koike T, Fujii K, Kometani K, Butler NS, Funakoshi K, Yari S, Kikuta J, Ishii M, Kurosaki T, Ise W. “Progressive differentiation toward the long-lived plasma cell compartment in the bone marrow”, *J Exp Med*, 2023.
- [56] Taniguchi S, Matsui T, Kimura K, Funaki S, Miyamoto Y, Uchida Y, Sudo T, Kikuta J, Hara T, Motooka D, Liu C, Okuzaki D, Morii E, Emoto N, Shintani Y, Ishii M. “In vivo induction of activin A-producing alveolar

- macrophages supports the progression of lung cell carcinoma”, *Nat Commun*, 2023.
- [57] Yari S, Kikuta J, Shigyo H, Miyamoto Y, Okuzaki D, Furusawa Y, Minoshima M, Kikuchi K, Ishii M. “JAK inhibition ameliorates bone destruction by simultaneously targeting mature osteoclasts and their precursors”, *Inflamm Regen*, 2023.
- [58] Agemura T, Hasegawa T, Yari S, Kikuta J, Ishii M. “Arthritis-associated osteoclastogenic macrophage, AtoM, as a key player in pathological bone erosion”, *Inflamm Regen*, 2022.
- [59] Scheele C.L.G.J., Herrmann D., Yamashita E., Lo Celso C., Jenne C.N., Oktay M.H., Entenberg D., Friedl P., Weigert R., Meijboom F.L.B., Ishii M., Timpson P., van Rheenen J. “Multiphoton intravital microscopy of rodents”, *Nat Rev Methods Primers*, 2022.
- [60] Watanabe, A., Fujimoto, K., Shigeta, H., Seno, S., Uchida, Y., Ishii, M., Matsuda, H., ”A cell tracking method for dynamic analysis of immune cells based on deep learning”, *International Journal of Machine Learning*, 2023.
- [61] Yamamoto, S., Tanikawa, C., and Yamashiro, T. “Morphologic variations in the craniofacial structures in Japanese adults and their relationship with sex differences .”, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2023 Jan.
- [62] Tanikawa, C., Kurata, K., Tanizaki, N., Takeuchi, M., Zere, E., and Takada, K. “Influence of the nutritional status on facial morphology in young Japanese women. ”, *Scientific reports* 12(1) 18557-18557.
- [63] Okamoto, K., Tanikawa, C., and Takada, K. “Hemodynamic Changes in the Masseter and Superior Orbicularis Oris Muscles before and after Exercise Load: A Comparison between Young Adult Women and Middle-Aged to Old Adult Women.”, *International Journal of Dentistry* 2022 5340301-5340301.
- [64] Oka, A., Tanikawa, C., Ohara, H., and Yamashiro, T. “Relationship Between Stigma Experience and Self-Perception Related to Facial Appearance in Young Japanese Patients with Cleft lip and/or Palate.”, *The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association*, 10556656221114581-10556656221114581 , 2022.
- [65] Lim, J., Tanikawa, C., Kogo, M., and Yamashiro, T. “ Prognostic Factors for Orthognathic Surgery in Children With Cleft Lip and/or Palate: Dentition and Palatal Morphology. .”, *The Cleft palate-craniofacial journal : official publication of the American Cleft Palate-Craniofacial Association* 10556656221109425-10556656221109425, 2022.
- [66] 田中福治, 水本旭洋, 山口弘純, “低粒度な分岐回路電力データを用いた家庭内行動認識手法”, *情報処理学会論文誌* 64(4), 2023.
- [67] 大西和歩, 浦西友樹, 劉暢, Photchara Ratsamee, 東田学, 山本豪志朗, 竹村治雄, “ホールド難度と配置を考慮したボルダリング課題の自動難度推定”, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 27, No. 4, pp. 331–340, 2022.
- [68] T. Hashimoto, R. Oketani, M. Nobuoka, S. Seki, I. Hisaki, ”Single Crystalline, Non-stoichiometric Cocrystals of Hydrogen-Bonded Organic Frameworks”, *Angew. Chem. Int. Ed.* 62, e202215836, 2023.
- [69] Y. Nakanishi, Y. Hayashi, T. Hamachi, T. Tohei, Y. Nakajima, S. Xiao, K. Shojiki, H. Miyake, and A. Sakai, ”Micro- and Nanostructure Analysis of Vapor-Phase-Grown AlN on Face-to-Face Annealed Sputtered AlN/Nanopatterned Sapphire Substrate Templates,” *J. Electron. Mater.*, Vol. 52, pp. 10348-1-10 (2023).
- [70] T. Hamachi, T. Tohei, Y. Hayashi, M. Imanishi, S. Usami, Y. Mori, and A. Sakai, ”Comprehensive analysis of current leakage at individual screw and mixed threading dislocations in freestanding GaN substrates,” *Sci. Rep.*, Vol. 13, pp. 2436-1-14 (2023).
- [71] Z. Zhang, Y. Hayashi, T. Tohei, A. Sakai, V. Protasenko, J. Singhal, H. Miyake, H. G. Xing, D. Jena, and Y. Cho, ”Molecular Beam Homoepitaxy of N-polar AlN: Enabling Role of Al-Assisted Surface Cleaning,” *Sci.*

Adv., Vol. 8, pp. eabo6408-1-7 (2022).

- [72] 藤岡穰, “龍角寺薬師如来坐像の蛍光 X 線分析の結果について,” 早稲田大学會津八一記念博物館研究紀要, Vol. 24, pp. 81–85, 2023.
- [73] 藤岡穰, “根津美術館所蔵「金銅鎚鍔五尊仏坐像」再考 附 根津美術館所蔵金銅仏の蛍光 X 線分析の結果と所見,” 此君, Vol. 14, 2023.

## (2) 学会発表

- [1] Ryoya Mizuno, Keita Takahashi, Michitaka Yoshida, Chihiro Tsutake, Toshiaki Fujii, Hajime Nagahara, “Acquiring a Dynamic Light Field through a Single-Shot Coded Image”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June, 2022.
- [2] Haruya Suzuki, Yuto Miyauchi, Kazuki Akiyama, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya, Noriko Takemura, Yuta Nakashima, Hajime Nagahara, “A Japanese Dataset for Subjective and Objective Sentiment Polarity Classification in Micro Blog Domain”, Language Resources and Evaluation Conference, pp. 7022-7028, June, 2022.
- [3] Saurabh Kumar, Hajime Nagahara, Keiichiro Kagawa, “Learning-Assisted Matrix-Pencil Method for Indirect Time-of-Flight Image Demixing”, Computational Optical Sensing and Imaging, No. JW5B–2, Vancouver, Canada, July, 2022.
- [4] Manisha Verma, Yuta Nakashima, Noriko Takemura, Hajime Nagahara, “Multi-label Disengagement and Behavior Prediction in Online Learning”, International Conference on Artificial Intelligence in Education, Durham, UK, July, 2022.
- [5] Towako Tanimura, Chihiro Tanikawa, Shoko Miyauchi, Ken’ichi Morooka, Hajime Nagahara, Takashi Yamashiro, “Artificial intelligence system that estimates the GOSLON Yardstick index in patients with unilateral cleft lip and palate”, International congress of CLEFT Lip, Palate & Related Craniofacial Anomalies, July, 2022.
- [6] Yasuhito Hashiba, Keita Mochizuki, Emiko Sano, Shigeru Takushima, Hiroyuki Kawano, Hajime Nagahara, “Coded Exposure Imaging System for Crack Inspection”, International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication, Sapporo Japan, Aug., 2022.
- [7] Su Wai Tun, Takashi Komuro, Hajime Nagahara, “Blockwise Feature-Based Registration of Deformable Medical Images”, Intelligent Computing Theories and Application, Vol. LNCS13393, Xi’an, China, Aug., 2022.
- [8] Sudhakar Kumawat, Hajime Nagahara, “Privacy-Preserving Action Recognition via Motion Difference Quantization”, European Conference on Computer Vision, Tel Aviv, Oct., 2022.
- [9] Pham Ngoc Anh, Thoriq Ibrahim, Keita Yasutomi, Shoji Kawahito, Hajime Nagahara, Keiichiro Kagawa, “Pseudo-direct ToF imaging using a multi-tap macro-pixel CMOS image sensor with oversampled reconstruction”, International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, Shizuoka, Japan, Dec., 2022.
- [10] LUO WENBIN, Takafumi Iwaguchi, Hajime Nagahara, Ryusuke Sagawa and Hiroshi Kawasaki, “Random Sequence Modulation of Multiple-Gate of Indirect ToF for Handling Multi-ToF-Camera Interference”, International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, Shizuoka, Japan, Dec., 2022.

- [11] Hajime Nagahara, "Deep sensing - Jointly optimize imaging and processing -", International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, Shizuoka, Japan, Dec. 2022.
- [12] ファム ゴック アン, トーリック イブラヒム, 堀尾 将也, 安富 啓太, 川人 祥二, 長原 一, 香川 景一郎, " コンピューショナル CMOS イメージセンサを用いた Time of Flight イメージングにおけるマルチパス干渉の分離", 画像センシングシンポジウム, June, 2022.
- [13] トーリック イブラヒム, ファム ゴック アン, 安富 啓太, 川人 祥二, 長原 一, 香川 景一郎, "電荷領域時間圧縮 コンピューショナル CMOS イメージ センサ の 600MHz 動作の検証", 映像情報メディア学会 情報センシング研究会, June, 2022.
- [14] 原地 絢斗, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野 (松本) 由子, 下條 真司, "不安状態の違いによる情動刺激後における脳波による脳内ネットワークの媒介中心性", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 411, Nov., 2022.
- [15] 村松 歩, 山本 祐輔, 原地 絢斗, 長原 一, 武村 紀子, 水野 (松本) 由子, 下條 真司, "カオス理論に基づく情動刺激時における脳波のリアプノフ指数", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 418, Nov., 2022.
- [16] 砥山 峻太郎, 山本 祐輔, 村松 歩, 原地 絢斗, 水野 (松本) 由子, 武村 紀子, 長原 一, 下條 真司, "Neural Network によるてんかん性異常波と健常脳波の判別", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 391, Nov., 2022.
- [17] 橋本 賢治, 山本 祐輔, 原地 絢斗, 村松 歩, 水野 (松本) 由子, 長原 一, 武村 紀子, 下條 真司, "周波数解析 とコンターマップを用いた 軽度 認知症患者の脳波特徴抽出", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 385, Nov., 2022.
- [18] 田邊 晃史, 山本 祐輔, 原地 絢斗, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野 (松本) 由子, 下條 真司, "心電図を用いた情動 視聴覚 刺激が及ぼす 不安状態の違いによる心拍変動解析", 日本臨床神経生理学会, Vol. 50, No. 5, p. 418, Nov., 2022.
- [19] 原地 絢斗, 山本 祐輔, 村松 歩, 長原 一, 武村 紀子, 水野 (松本) 由子, 下條 真司, "脳波と脈波を使用した情動判別のための Multimodal Recurrent Neural Network の開発", 日本臨床神経生理学会学術大会, VOL. 50, No. 5, p. 417, Nov., 2022.
- [20] トーリック イブラヒム, ファム ゴック アン, 安富 啓太, 川人 祥二, 長原 一, 香川 景一郎, "コンピューショナル CMOS イメージセンサを用いた疑似直接法 ToF イメージング", レーザー学会学術講演会第 43 回年次大会, Jan., 2023.
- [21] 度会 龍, 岩崎 昌子, 中島 悠太, 武村 紀子, 長原 一, 中野 貴志, 佐藤 政則, 佐武 いつか, "GAN を用いた加速器シミュレータの開発", 日本物理学会 2023 年春季大会, March, 2023.
- [22] 尾上 友紀, 末原 大幹, 吉岡 瑞樹, 川越 清以, 中島 悠太, 長原 一, 武村 紀子, "ILC のためのグラフニューラルネットワークを用いたフレーバー識別アルゴリズムの開発", 日本物理学会 2023 年春季大会, March, 2023.
- [23] 津村 周作, 末原 大幹, 川越 清以, 吉岡 瑞樹, 長原 一, 中島 悠太, 武村 紀子, "ILC のためのグラフニューラルネットワークを用いたカロリメータークラスタリング手法の開発", 日本物理学会 2023 年春季大会, March, 2023.
- [24] 岸本 充生, 守りの ELSI から攻めの ELSI へ : 社会技術としての倫理的・法的・社会的課題対応, 第 126 回日本眼科学会総会 教育セミナー 03 眼科臨床研究を進めるために欠かせない個人情報・倫理・法律・社会問題 (ELSI) の新常識 2022 年 4 月 15 日.
- [25] Hugo Lemarchant, Liangzi Li, Yiming Qian, Yuta Nakashima, and Hajime Nagahara, "Inference time evidences of adversarial attacks for forensic on transformers," in Proc. AAAI-23 Workshop on Artificial Intelligence for Cyber Security (AICS), Feb. 2023.
- [26] Zongshang Pang, Yuta Nakashima, Mayu Otani, and Hajime Nagahara, "Contrastive losses are natural criteria for unsupervised video summarization," in Proc. IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), Jan. 2023, 2010 – 2019.
- [27] Haruya Suzuki, Sora Tarumoto, Tomoyuki Kajiwara, Takashi Ninomiya, Yuta Nakashima, and Hajime Na-

- gahara, “Emotional intensity estimation based on writer’s personality,” in Proc. 2nd Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics and the 12th International Joint Conference on Natural Language Processing (AAACL-IJCNLP): Student Research Workshop, Nov. 2022, 1 – 7.
- [28] Hitoshi Teshima, Naoki Wake, Diego Thomas, Yuta Nakashima, Hiroshi Kawasaki, and Katsushi Ikeuchi, “Deep gesture generation for social robots using type-specific libraries,” in Proc. 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Oct. 2022, 8286 – 8291.
- [29] Anh-Khoa Vo and Yuta Nakashima, “Tone classification for political advertising video using multimodal cues,” in Proc. 3rd ACM Workshop on Intelligent Cross-Data Analysis and Retrieval, Jun. 2022, 17 – 21.
- [30] Minh-Son Dao, Michael Alexander Riegler, Duc-Tien Dang-Nguyen, Cathal Gurrin, Yuta Nakashima, and Mianxiong Dong, “ICDAR’22: Intelligent cross-data analysis and retrieval,” in Proc. International Conference on Multimedia Retrieval, Jun. 2022, 690 – 691.
- [31] Yusuke Hirota, Yuta Nakashima, and Noa Garcia, “Gender and racial bias in visual question answering datasets,” in Proc. ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT), Jun. 2022.
- [32] Yusuke Hirota, Yuta Nakashima, and Noa Garcia, “Quantifying societal bias amplification in image captioning,” in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 10 pages, Jun. 2022.
- [33] Mayu Otani, Riku Togashi, Yuta Nakashima, Esa Rahtu, Janne Heikkilä, and Shin’ichi Satoh, “Optimal correction cost for object detection evaluation,” in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 9 pages, Jun. 2022.
- [34] Riku Togashi, Mayu Otani, Yuta Nakashima, Janne Heikkilä, Esa Rahtu, and Tetsuya Sakai, “AxIoU: An axiomatically justified measure for video moment retrieval,” in Proc. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 10 pages, Jun. 2022.
- [35] Takeaki Kadota, Hideaki Hayashi, Ryoma Bise, Kiyohito Tanaka, and Seiichi Uchida, “Deep Bayesian Active Learning to Rank for Endoscopic Image Data,” In Proceedings of the 26th UK Conference on Medical Image Understanding and Analysis (MIUA), 2022.
- [36] Hideaki Hayashi, “Combining Generative and Discriminative Models Based on the Gaussian-coupled Softmax Layer,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), 2022.
- [37] 鳥羽真仁, 内田誠一, 早志英朗, “Energy-Based Model に基づく識別器の信頼度較正,” 電気・情報関係学会九州支部連合大会講演論文集, 2022.
- [38] 新岡 宏彦, “近年の深層学習技術と医療画像データへの応用”, 第 33 回日本心血管画像動態学会 (2023/1/13 - 14, 岡山コンベンションセンター) [Invited]
- [39] 新岡 宏彦, “深層学習の基礎と医療応用例のご紹介と独学する方法について”, 第 33 回日本心血管画像動態学会 (2023/1/13 - 14, 岡山コンベンションセンター) [Invited]
- [40] 新岡 宏彦, “ディープラーニングを活用した医用画像解析の事例やトピックス”, 第 2 回大阪トップランナー育成事業 定期交流会 (2022/12/2, 大阪産業創造館 6F, 会議室 E) [Invited]
- [41] 中尾 龍太, 新岡 宏彦, 田中 秀央, 高松 哲郎, “深紫外励起蛍光顕微鏡を用いた thin-slice-free histology”, 第 63 回日本組織細胞化学会総会・学術集会 (2022 年 10 月 22, 23 日, 東京都)
- [42] Naoki Yamato, Hirohiko Niioka, Jun Miyake, Mamoru Hashimoto, “Fast peripheral nerve imaging of coherent Raman scattering rigid endoscopy by noise reduction utilizing deep learning”, General Congress of the International Commission for Optics (ICO) (Dresden, Germany, 5-9 September, 2022)
- [43] 安部 政俊, 廣川 満良, 鈴木 彩菜, 長原 一, 宮内 昭, 赤水 尚史, 新岡 宏彦, “自己教師あり学習を用いた甲状

- 腺細胞診画像の特徴表現獲得と画像分類応用, Acquisition of Feature Representation from Thyroid Cytology Images Using Self-Supervised Learning and Application to Image Classification”, 第31回バイオイメージング学会 (2022年9月3-5日, 大阪大学 銀杏会館)
- [44] 浅野 友良, 須賀 英隆, 筒井 奎剛, 湯川 博, 新岡 宏彦, 有馬 寛, “Deep Learning によるヒト ES 細胞培養過程の予測”, 第40回内分泌代謝学サマーセミナー (2022年7月7-9日, ホテル天坊 (群馬県渋川市 伊香保温泉))
- [45] 大和 尚記, 新岡 宏彦, 橋本 守, “非線形ラマン散乱硬性内視鏡と深層学習による神経イメージング装置の開発”, OSJ 生体ひかりイメージング産学連携専門委員会キックオフシンポジウム (2022/7/2, 静岡大学浜松キャンパス, 佐鳴会館会議室 Zoom Webinar とのハイブリッド開催) [Invited]
- [46] 鈴木 彩菜, 廣川 満良, 新岡 宏彦, 安部 政俊, 新井 悠介, 長原 一, 宮内 昭, “AI が創る次世代甲状腺細胞診”, 第63回日本臨床細胞学会総会春期大会 (2022/6/10-12, グランドプリンスホテル新高輪 国際館パミール)
- [47] 新岡 宏彦, “深層学習 AI を用いた医療画像解析とイメージング装置開発”, 第63回日本臨床細胞学会総会春期大会 (2022/6/10-12, グランドプリンスホテル新高輪 国際館パミール) [Invited]
- [48] Seita Miyazawa, “Can “pattern blending” cause speciation through hybridization?”, Gordon Research Conference Speciation, Mar. 2023.
- [49] 宮澤清太, “魚の虫食い模様が生まれるしくみを考える”, 新潟大学 形の科学研究センター シンポジウム, 2022年12月
- [50] 宮澤清太, “フグ科魚類の体表模様と種間交雑”, 第38回個体群生態学会大会, 横浜国立大学/オンライン, 2022年10月
- [51] 中村 亨, “ヘルスケア IoT による健康リスクの予測と制御”, 日本認知・行動療法学会第48回大会, 2022.
- [52] 李俐, 中村 亨, “身体加速度ビッグデータに基づく睡眠の季節変動の検討”, 第61回日本生体医工学会大会, 2022.
- [53] M. Song, A. Triantafyllopoulos, Z. Yang, H. Takeuchi, T. Nakamura, A. Kishi, T. Ishizawa, K. Yoshiuchi, X. Jing, Z. Zhao, V. Karas, K. Qian, B. Hu, B. W. Schuller, Y. Yamamoto, “Daily Mental Health Monitoring From Speech: A Real-World Japanese Dataset and Multitask Learning Analysis”, In Proceedings of ICASSP20203.
- [54] Wang Z, 若林一道, 中野 環, 中島悠太, Li Chenhao, 長原 一, 田宮紳吾, 石垣尚一. STL データから生成した人工 X 線画像を深層学習に応用したインプラント体自動識別システムの開発, 第52回公益社団法人日本口腔インプラント学会学術大会, 2022年9月23-25日, 名古屋
- [55] Wang Z, Wakabayashi K, Nakano T, Nishiyama T, Tanaka M, Ji F, Namikawa M, Tamiya S, Kudo H, Nakashima Y, Li C, Nagahara H, Ishigaki S. An automatic implant identification system using deep learning with artificial X-ray images generated from STL data. International Dental Materials Congress 2022, 2022/11/4-5, Taipei (Taiwan)
- [56] Wang Z, 若林一道, 中野 環, 中島悠太, Li Chenhao, 長原 一, 田宮紳吾, 西山貴浩, 石垣尚一. STL データから生成した人工 X 線画像と深層学習を応用したインプラント体自動識別システムの開発. 大阪大学歯学会第134回例会. 2023年3月5日, 大阪
- [57] 西原大貴, 梶原智之, 谷川千尋, 清水優仁, 長原一. “矯正歯科治療における所見文書からの自動診断に向けて”, 情報処理学会第83回全国大会, pp.591-592, March 2021.
- [58] Yuujin Shimizu, Chihiro Tanikawa, Tomoyuki Kajiwara, Hajime Nagahara, Takashi Yamashiro. “The Validation of Orthodontic Artificial Intelligence Systems That Perform Orthodontic Diagnoses and Treatment Planning”, European Journal of Orthodontics, Vol.44, No.4, pp.436-444, August 2022.
- [59] 大塚琢生, 梶原智之, 谷川千尋, 清水優仁, 長原一, 二宮崇. “所見文書の要約を用いた深層学習による矯正歯科治療の自動診断”, 情報処理学会第85回全国大会, pp.761-762, March 2023.
- [60] Manalo, M.D., Aoki, K., Wu, S., Shindo, M., Ueda, Y., Yagi, Y., “Cervical lesion classification via positive-

- unlabeled learning”, Proc. 41st Meeting of the Japanese Society of Medical Imaging Technology (JAMIT), 2022.
- [61] 千葉大地, 「磁気センシングの新しい可能性」, EISESiV・iSyMs コンソーシアム合同シンポジウム, 東京工業大学大岡山キャンパス, 2022年10月19日(招待)
- [62] 千葉大地, 「磁石の新しい応用の可能性を拓く」, ATAC 30周年記念講演会, 大阪科学技術センター, 2022年11月18日
- [63] 千葉大地, 「フレキシブル磁気抵抗素子による生体力学情報センシング」, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学四谷キャンパス, 2023年3月18日
- [64] Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, “Modeling Dynamic Interactions over Tensor Streams”, the ACM Web Conference (WWW), April 30 – May 4, 2023.
- [65] Kota Nakamura, Yasuko Matsubara, Koki Kawabata, Yuhei Umeda, Yuichiro Wada, Yasushi Sakurai, “Fast and Multi-aspect Mining of Complex Time-stamped Event Streams”, the ACM Web Conference (WWW), April 30 – May 4, 2023.
- [66] Taichi Murayama, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, “Mining Reaction and Diffusion Dynamics in Social Activities”, ACM CIKM, October 17, 2022.
- [67] Tasuku Kimura, Koki Kawabata, Yasuko Matsubara, Yasushi Sakurai, “Fast Mining and Forecasting of Co-evolving Epidemiological Data Streams”, ACM SIGKDD, Washington, DC, USA, August 14-18, 2022.
- [68] Kawasaki R, Qian Y, Li L, Nishida K, Nakashima Y, Nagahara H. Cardiovascular Disease Risk Prediction using Retinal Images via Explainable-AI based models with Traditional CVD risk factor estimation. ARVO 2022, USA
- [69] Sakai T, Li H, Lee C, Yamaguchi S, Imazato S, Development of explainable AI model for decision making of implant drilling protocols. International Dental Materials Congress 2022, November 5, 2022 (Online).
- [70] Oie Y, Sugita S, Yokokura S, Nakazawa T, Tomida D, Satake Y, Shimazaki J, Hara Y, Shiraiishi A, Quantock AJ et al: Clinical Trial of Autologous Cultivated Limbal Epithelial Cell Sheet Transplantation for Patients with Limbal Stem Cell Deficiency. Ophthalmology 2023.
- [71] Shiraki A, Sakimoto S, Oie Y, Soma T, Miki A, Usui S, Sato S, Matsushita K, Sakaguchi H, Nishida K: Inferior Removal of Dislocated Polymethyl Methacrylate Intraocular Lens and Scleral Refixation in Glaucomatous Eyes. Ophthalmol Ther 2022, 11(2):881-886.
- [72] Shigeyasu C, Yamada M, Fukuda M, Koh S, Suzuki T, Toshida H, Oie Y, Nejima R, Eguchi H, Kawasaki R et al: Severe Ocular Complications Associated With Wearing of Contact Lens in Japan. Eye & contact lens 2022, 48(2):63-68.
- [73] Koh S, Soma T, Oie Y, Nishida K: First Diquafosol Treatment for Dry Eye: 10-Year Follow-Up. Asia Pac J Ophthalmol (Phila) 2022.
- [74] Koh S, Inoue R, Maeda N, Oie Y, Jhanji V, Miki A, Nishida K: Corneal tomographic changes during corneal rigid gas-permeable contact lens wear in keratoconic eyes. The British journal of ophthalmology 2022, 106(2):197-202.
- [75] Hamano Y, Maruyama K, Oie Y, Maeda N, Koh S, Hashida N, Nishida K: Novel corneal morphological alterations in Vogt-Koyanagi-Harada disease. Japanese journal of ophthalmology 2022.
- [76] 植野寛貴, 笠井淳司, 彌永祐輔, 原雄大, 大久保仁, 中井悠花, 勢力薫, 山口瞬, 吾郷由希夫, 田熊一敬, 橋本均. 自閉スペクトラム症モデルマウスを用いた社会性行動障害に関わる機能的神経ネットワークの同定 第72回日本薬学会関西支部総会・大会
- [77] Masaru Ishii, “Intravital Imaging of live bone cells in vivo”, The 49th International Musculoskeletal Biology

Workshop, 2022.

- [78] Masaru Ishii, “Arthritic osteoclastogenic macrophages”, Annual Meeting of the American College of Rheumatology 2022, 2022.
- [79] Masaru Ishii, “Function of ILC2 in bone marrow, VIB-conference on Type 2 Immunity in Homeostasis and Disease (2nd edition)”, 2022.
- [80] Masaru Ishii, “Intravital imaging dissecting pathogenic macrophages in vivo”, Cambridge Immunology Seminar, 2022.
- [81] Masaru Ishii, “Pathogenic macrophages in lung and liver”, Bonn ImmunoSensation symposium, 2023.
- [82] 石井 優, “生体骨イメージングによる骨破壊の実体解明—基礎リウマチ学の新展開”, 第 66 回日本リウマチ学会総会・学術集会, 2022.
- [83] 石井 優, “SLPI: PTH 誘導性骨形成における新規メディエーターの発見”, 第 65 回日本腎臓学会学術総会, 2022.
- [84] 石井 優, “生体イメージングによる免疫炎症動態の解明—新たな病原性細胞の発見”, 第 7 回日本骨免疫学会, 2022.
- [85] 石井 優, “生体イメージングによる免疫炎症動態の解明と新たな病的細胞の発見”, 第 59 回日本消化器免疫学会総会, 2022.
- [86] 石井 優, “臨床免疫領域における画像化・組織診断技術～オーバービュー”, 第 50 回日本臨床免疫学会総会, 2022.
- [87] 石井 優, “生きた骨の内部を見て理解する「動的骨代謝」研究”, 第 37 回日本整形外科学会基礎学術集会, 2022.
- [88] 石井 優, “免疫炎症・骨破壊の動態解明”, 第 51 回日本免疫学会学術集会, 2022.
- [89] 石井武, 瀬尾茂人, 梅谷俊治, 松田秀雄, “空間トランスクリプトーム解析のための数理最適化を用いた細胞比率の推定手法”, 第 11 回生命医薬情報学連合大会, 2022.
- [90] 佐古 真, 赤澤龍之介, 鹿又喬平, 赤井周司, 有澤光弘, 滝澤忍, 「機械学習を活用する溶媒効果の定量的説明: 極性転換型有機分子触媒反応における検証」, 第 21 回次世代を担う有機化学シンポジウム 2023 年 5 月 (発表予定), 名古屋
- [91] 長村徹, 瀬尾茂人, 藤本健二, 繁田浩功, 松田秀雄, “動画像シミュレータを介した強化学習による細胞追跡手法”, 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会 (MPS), 2022.
- [92] 河口真一, “AlphaFold2 プログラムを用いて, 生殖細胞特異的なヌアージュ構造体のタンパク質間相互作用を予測する”, 第 3 回有性生殖研究会 (神戸), 2023 年 3 月 10 日.
- [93] 田中福治, 水本旭洋, 山口弘純, “HEMS 電力データを用いた家庭内行動認識手法の実家庭における評価”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム, 2022.
- [94] 勝村亮太, 木村晃大, 中本浩揮, 七五三木聡. 野球の打者の選球眼に寄与する頭部及び眼球運動の役割と特性の解明. 第 9 回日本野球科学研究会, 2022
- [95] 勝村亮太, 中本浩揮, 青山千紗, 小見山高明, 七五三木聡. 野球の打者の選球眼に寄与する, 頭部及び眼球運動の役割と特性の解明. 第 23 回 計測自動制御学会/システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
- [96] Masakazu Ohno, Riki Ukyo, Tatsuya Amano, Hamada Rizk, Hirozumi Yamaguchi, “Privacy-preserving Pedestrian Tracking using Distributed 3D LiDARs”, In Proceedings of the 21st International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2023), pp.43-52
- [97] Qingwen Chen et al, “Machine learning-based classification in small molecules targeting CAG-repeat DNA”, 日本核酸化学会若手フォーラム, 2021.
- [98] Qingwen Chen et al, “Computer-aided classification of small molecules targeting CAG-repeat DNA”, ISNAC, 2021.
- [99] Qingwen Chen et al, “Using machine learning to classify and extract features of small-molecule libraries targeting DNA and RNA”, PacifiChem, 2021.
- [100] Z. WU, Y. Nakanish, Y. Hayashi, T. Tohei, Y. Imai, K. Sumitani, S. Kimura, A. Sakai, ”A nanoXRD Based

- Analysis on HVPE GaN Structure Combined with Machine Learning,” 2023 年第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-D511-3, Mar. 2023.
- [101] Y. Hayashi, T. Tohei, Z. Zhang, H. G. Xing, D. Jena, Y. Cho, H. Miyake, and A. Sakai, ”TEM Analysis of MBE-Grown AlN on N-polar Sputtered and Annealed AlN templates,” International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2022), Oct. 2022.
- [102] Y. Hayashi, T. Tohei, K. Uesugi, K. Shojiki, H. Miyake, and A. Sakai, ”Crack Formation Mechanism of Sputtered and Annealed AlN On c- and a-Plane Sapphire,” International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2022), Oct. 2022.
- [103] 岩崎 昌子, “素粒子物理学実験への機械学習の適用研究”, JHPCN: 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 14 回 シンポジウム, Jul. 2022.
- [104] 加藤睦代, 岩崎昌子, 長原 一, 吉田道隆, 末原大幹, 山田 悟, 中島悠太, 武村紀子, 中野貴志, “機械学習を用いたスパースサンプリングによるデータ処理技術の基礎開発 (II)”, 日本物理学会 2022 年秋季大会, Spt. 2022.
- [105] 岩崎 昌子, “加速器制御への機械学習の適用”, 第 19 回日本加速器学会年会, Oct. 2022.
- [106] 岩崎 昌子, “機械学習”, Flavor Physics Workshop 2022 (FPWS2022), Nov. 2022
- [107] 加藤睦代, 岩崎昌子, 長原 一, 吉田道隆, 末原大幹, 山田 悟, 中島悠太, 武村紀子, 中野貴志, “機械学習を用いたスパースサンプリングによる データ処理技術の基礎開発”, Flavor Physics Workshop 2022 (FPWS2022) , Nov. 2022.
- [108] Masako Iwasaki, “Overview of AI application in Accelerator”, KEK IINAS 5th International School on Beam Dynamics and Accelerator Technology (ISBA22), Nov. 2022.
- [109] C. Kato, M. Iwasaki, H. Nagahara, M. Yoshida, T. Suehara, S. Yamada, Y. Nakashima, N. Takemura, T. Nakano, “R&D of the Data Processing with Sparse Sampling using Machine Learning for High Energy Experiments”, ML at HEP workshop, Feb. 2023.
- [110] 岩崎昌子, “機械学習を適用した KEK 電子陽電子入射器ビーム調整のための開発”, 加速器・ビーム物理の機械学習ワークショップ, Mar. 2023.
- [111] 度会龍, 岩崎昌子, 中島悠太, 武村紀子, 長原一, 中野貴志, 佐藤政則, 佐武いつか, “GAN を用いた加速器シミュレータの開発”, 日本物理学会 2023 年春季大会, Mar. 2023.

### (3) 著書

- [1] 岸本充生 「7 化学物質のリスクコミュニケーション」「8 新規技術とリスクコミュニケーション：ナノテクノロジーを例に」「13 デジタル化に伴う ELSI とリスクコミュニケーション」, 奈良由美子編著. リスクコミュニケーションの探究. 放送大学教育振興会 2023 年 3 月.
- [2] 岸本充生 「第 2 章 科学と政策の間や技術と社会の間のギャップの可視化と橋渡し」, 国立国会図書館 調査及び立法考査局編集. 脱科学技術のリスクコミュニケーション—新たな課題と展開— (令和 4 年度 科学技術に関する調査プロジェクト) , 国立国会図書館 2023 年 3 月.
- [3] 岸本充生, 「第 1 章 宇宙空間利用の倫理的・法的・社会的課題 (ELSI) 」, 国立国会図書館 調査及び立法考査局編集. 宇宙空間の利用をめぐる動向と課題 (令和 4 年度 科学技術に関する調査プロジェクト) , 国立国会図書館 2023 年 3 月.
- [4] 岸本充生 「脱炭素技術の社会実装のための論点 —問題提起への補論—」「エマージングテクノロジーの社会実装と

してみた「脱炭素技術の社会実装」「パネルディスカッション」, 国立国会図書館 調査及び立法考査局編集. 2050年カーボンニュートラルの実現に向けた脱炭素技術の課題と展望 (令和4年度 科学技術に関する調査プロジェクト). 国立国会図書館 2023年3月.

- [5] 岸本充生, 長門裕介, 量子技術の ELSI (倫理的・法的・社会的課題) に関する文献紹介: 2021~2022年を中心に, ELSI NOTE 24 1-21 2022年12月.
- [6] 岸本充生, 生体認証技術の ELSI に関するグローバル動向: 2020年4月~2022年11月, ELSI NOTE 25 1-74 2023年1月.
- [7] カテライ アメリア, 井出 和希, 岸本 充生, 生成 AI (Generative AI) の倫理的・法的・社会的課題 (ELSI) 論点の概観: 2023年3月版, ELSI NOTE 26 1-38 2023年4月.
- [8] Mahdi Khosravy, Isao Echizen, and Noboru Babaguchi (eds), "Frontiers in Fake Media Generation and Detection", Springer, 2022.
- [9] Kazuaki Nakamura, Yuto Mori, Naoko Nitta, and Noboru Babaguchi, "Recognizer Cloning Attack on Image Recognition Services and Its Defending Method", Book chapter, Frontiers in Fake Media Generation and Detection, Chapter 10, Springer, 2022.
- [10] 新岡宏彦, "STED 顕微鏡による細胞組織深部超解像イメージングについて", BIO Clinica, 37, 11, 39-43 (2022).
- [11] 大橋範子「非医学的対処可能性に基づく偶発的所見返却の検討」. 第34回日本生命倫理学会年次大会. 2022年11月19・20日 (兵庫, ハイブリッド開催)

#### (4) 産業財産権

- [1] 川崎 洋, 岩口 堯史, 羅 文彬, 佐川 立昌, 長原 一, "測距装置及び測距方法", 九州大学, 産業総合研究所, 大阪大学, 特願 2022-114866 (2022年7月19日)

#### (5) その他

- [1] 電気通信普及財団賞 (テレコム学際研究賞) 特例表彰, 2023年3月.
- [2] Yuta Nakashima, "Explainability matters in medical applications," SCAI-IDS Workshop 2023, Mar. 2023.
- [3] Yuta Nakashima, "Toward better communication between humans and AI: What do neural networks see?," Workshop IIT-Osaka University - Towards symbiotic society with multi-species: humans, robots, and avatars, Feb. 2023.
- [4] Yuta Nakashima, "Foundation of AI," The 5th International School on Beam Dynamics and Accelerator Technology, Nov. 2022.
- [5] Yuta Nakashima, "What do models see? Bias in neural networks," The 24th Academic Exchange Seminar Between Shanghai Jiao Tong University and Osaka University, Nov. 2022.
- [6] 中島悠太, "深層学習の最近の話題と医療分野への応用," 日本眼光学会総会 シンポジウム 2: AI の夢, Sep. 2022.
- [7] 中島悠太, "分野を超えた人工知能研究と最新の話題について," 大阪国際サイエンスクラブ 第13回若手学識者との異分野交流会, Sep. 2022.

- [8] Yuta Nakashima, “Recent Machine Learning Techniques and Exploration of New Physics,” Physics in LHC and Beyond, May 2022.
- [9] 早志 英朗, 第25回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2022) 論文評価貢献賞, 2022.
- [10] 山本 奈津子, 中外製薬アカデミア向けウェブサイト「Medical Affairs 個別化医療の実現に向けて～患者さん一人ひとりの治療法を目指して～」記事執筆
- [11] Noa Garcia, Won the ICPR 2022 ODOR challenge for olfactory object recognition in paintings.
- [12] Noa Garcia, keynote speaker at the Computer Vision for Fashion, Art, and Design workshop at CVPR 2022.
- [13] 千葉大地, 「スピントロニクスによる力学量センシングの開拓」, 第12回 RIEC Award, 東北大学電気通信研究所, 2023年2月16日
- [14] 千葉大地, 「スピンを用いた力学センシング技術の開発」, 第55回市村学術賞 貢献賞, 市村清新技術財団, 2023年3月9日
- [15] てんかん財団研究褒賞, てんかん診断, “発作検知を可能にする人工知能の開発, 柳澤琢史, 貴島晴彦”, 2022年3月4日
- [16] 堺 貴彦, 指導教官: 山口 哲, 令和4年下期 海外論文発表奨励賞, 生産技術振興協会, 2022年11月30日.
- [17] 谷川千尋, “研究科長賞 (研究分野一位) 大阪大学歯学研究科 ”
- [18] [依頼講演] 林侑介, 藤平哲也, Yongjin Cho, Huili Grace Xing, Debdeep Jena, 三宅秀人, 酒井朗 ”高品質 AlN テンプレートの歪制御と電子デバイス応用”, 電気学会「高機能化合物半導体エレクトロニクス技術と将来システムへの応用調査専門委員会 (第2期)」, Dec. 2022.
- [19] [プレスリリース] 大阪大学 ResOU, 三重大学, コーネル大学 「6G用の高速パワーデバイスへ! N極性で GaN on AlN を世界で初めて実現!」, 2022年9月10日
- [20] 日本学術振興会 産学協力研究委員会 R024 第4回ワークショップ, 「連続照射マイクロ波と金属ナノ粒子触媒を用いる反応開発と医薬化学研究への応用」, 有澤光弘



 **大阪大学データビリティフロンティア機構**  
Osaka University Institute for Dataability Science

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2番8号テクノアライアンスC棟5階  
TEL: 06-6105-6074 FAX: 06-6105-6075 Email: [contact@ids.osaka-u.ac.jp](mailto:contact@ids.osaka-u.ac.jp)  
URL: <https://www.ids.osaka-u.ac.jp/>

2023年7月発行