

理化学研究所
革新知能統合研究(AIP)センター
目的指向基盤技術研究
グループの取り組み

グループディレクター 上田 修功

目的指向基盤技術研究グループの目標

■ AI技術による**科学の発展**を目指す

我が国が強いサイエンス分野（医学、材料など）を牽引する強力なパートナーと連携し、**AI技術を融合した新たな科学的手法の創出**等により科学研究を加速させる

■ AI技術による**社会的課題の解決**を目指す

我が国が抱える社会的課題(防災・減災、認知症など)解決に取り組むパートナーと連携し、応用分野に特化した基盤技術開発等により課題解決を図る

目的Gの体制

5チーム

日本が強い分野を
さらに強化

- 再生医療, がん治療
- モノづくり支援
- 機能材料開発



4チーム

社会的課題
解決への貢献

- 自然災害の防災・減災
- インフラ管理・保守の効率化
- 高齢者ヘルスケア



3チーム

遺伝・バイオ

- 病理情報
- 信頼性評価
- バイオマーカー発見支援



5チーム

メディア・知識処理

- 自然言語処理
- 対話処理
- 音響・音楽処理
- 画像処理



代表的な研究成果

高速蛍光イメージングセルソーターの実現

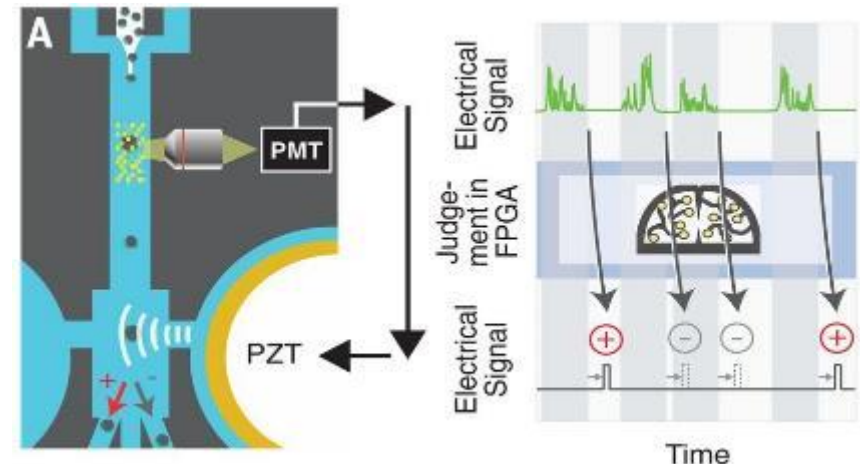
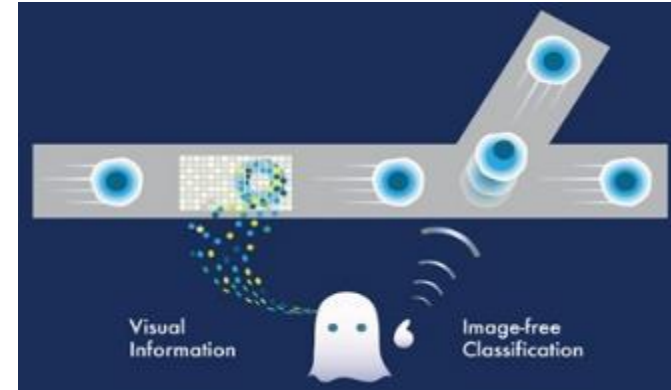
細胞形態データを圧縮計測する単一画素イメージング手法（フローサイトメトリー）
に対し、**機械学習技術と流体ハードウェア技術を融合して超高速化に成功**

(Science, 2018)

特殊な光構造照明上での対象の「動き」を利用して、対象像を捉えるべく、蛍光など暗い対象も高速（秒速数万枚）で撮影できる**単一画素圧縮撮像手法**を開発

人を介さない画像解析に画像は必要ない点に着目し、**画像を作らずに、単一画素圧縮計測信号を直接機械学習モデルに判別させる**ため、シンプルで正確、かつ、リアルタイムでのイメージングデータ処理が可能

シンクサイト社より研究用プロトタイプ
の提供開始予定。より正確・安価な血液、
体液診断等に貢献可能。



マイクロ流体デバイスは、3つの機能部位から構成されている。
細胞の流れは、最初に3次元の流体力学的な流れの集中によって集約
され（左側上部）、次にランダムな、構造化された光照射を受け
（右側）、最後にソーティング領域（左側下部）に到達する。

人工知能でタンパク質を自動設計

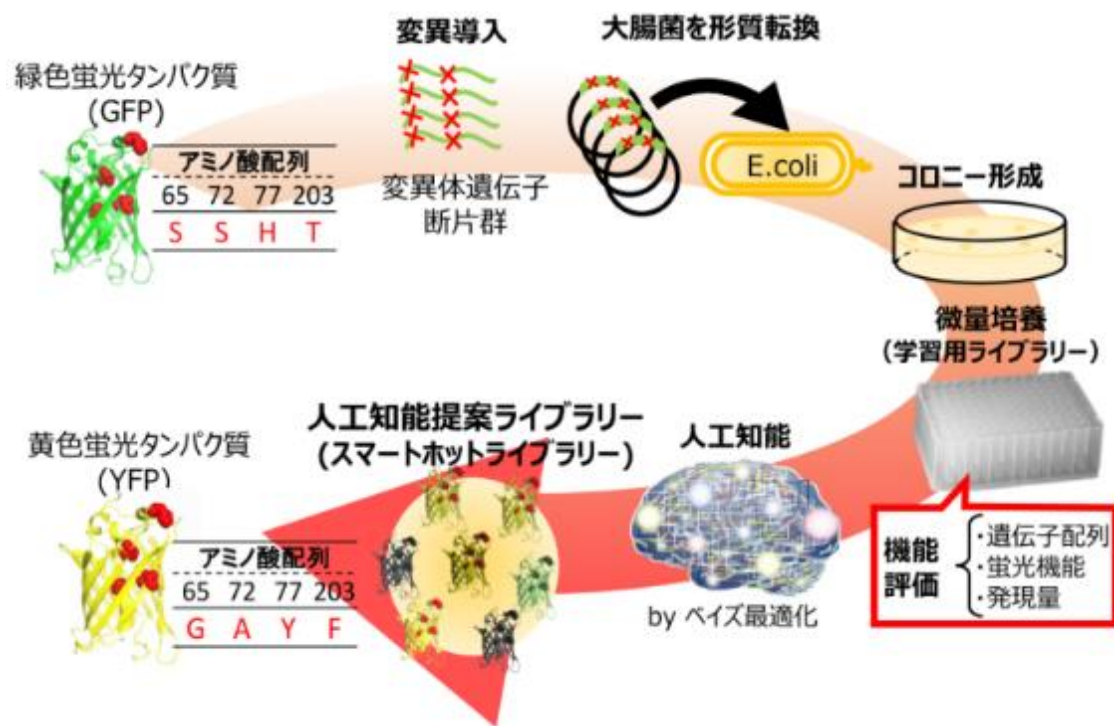
人工知能技術を援用することで、タンパク質の機能改変を従来よりも大幅に効率化する手法の開発に成功

東北大学、産業技術総合研究所との共同研究

(ACS Synthetic Biology, 2018)

緑色蛍光タンパク質 (GFP) を黄色蛍光タンパク質 (YFP) へ改変する問題に本手法を適用し、**既知YFPよりも蛍光性能の高い新規YFPを多数発見することに成功**

バイオ産業の研究開発等における、抗体や酵素などの機能性タンパク質を改変しその機能を向上したい等のニーズに大きく貢献可能



人工知能によるタンパク質の機能改良と
蛍光タンパク質への応用

AIを用いた超音波検査における影の自動検出

— ラベルなしデータ学習で胎児心臓スクリーニング技術に進展 —

MIDL 2019 (the 2nd International Conference on Medical Imaging with Deep Learning) にて発表 (2019/7/10付)

富士通株式会社・昭和大学・国立がん研究センターとの共同研究成果 (2019/7/26付)

少量のデータや不完全なデータからでも的確に判定できる「ロバストな機械学習技術」を用いて、胎児の超音波動画から心臓の異常をリアルタイムに自動検知する技術を開発した。また、画像に映り込む影の影響を評価する技術を開発した。本技術を用いることにより、心臓の各部位の位置や、どの部位が異常判定に影響したか等、先天性心疾患を診断する際に有用な情報を医師に提供することが可能となる。

研究成果の意義 (インパクト)

胎児の心臓は小さく複雑なため、超音波検査での観察には高度な技術が必要とされる。一方、人工知能 (AI) 技術を応用するには教師データとなる疾患データが少ないこと、画像に映り込む影を検出することが課題となっていた。

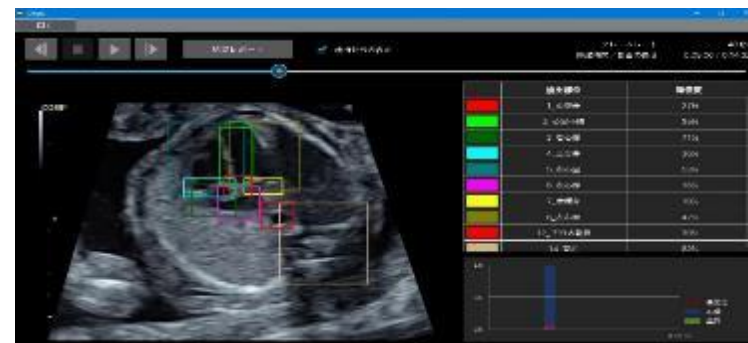
本成果により、早急に治療が必要な重症かつ複雑な先天性心疾患の見落としや異常検知を防ぎ、早期診断や綿密な治療計画の立案、検査の迅速化につながると期待される。

今後の展開

今後、医療機関での実証試験を進め、スクリーニング精度の向上・実証と検査対象の拡大を図る。

社会貢献への期待

生まれつき心臓に異常をもつ先天性心疾患は、全出生児の1%に発症し、重症の先天性心疾患による新生児の死亡は約20%にもものぼる。本技術の社会実装により、胎児期に超音波検査などで早期発見することが可能となり、出生直後の手術による治療効果の著しい向上につながると期待される。また、幅広い領域で横断的に活用されると期待される。



図：開発した胎児心臓超音波スクリーニング異常検知システム

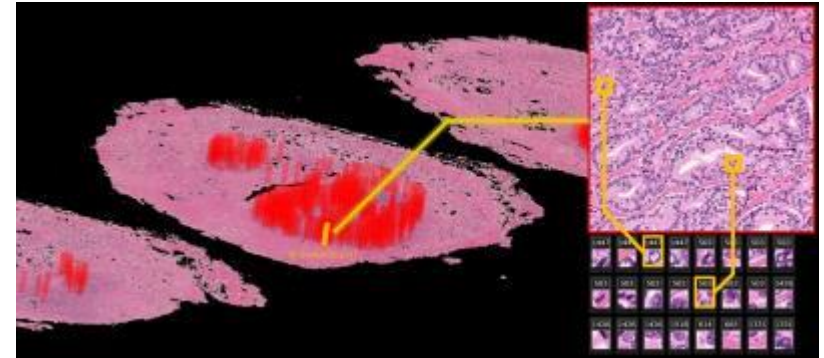
がんの未知なる特徴をAIが発見

■ がんの画像から、再発に関わる新たな知識を自力で獲得

(Yamamoto et al., Nature Communications 2019)

概要・世界的位置づけ

医療画像から自力で新たな知識を発見する医療AI技術を開発。医師の診断情報のない大量の顕微鏡画像を解析させることで、専門家も気づかなかった新しいがんの特徴を発見し、高精度な再発予測を実現。



図：人に教えられることなく、がんの特徴をAIが自動で発見（3D病理画像）

成果の意義・社会貢献への期待

AIが自力で画像から新たな知識を発見する手法は、手術後の高精度ながんの再発予測法として、個々に合った治療選択に生かされるとともに、画像から新たな知識を獲得するための自動解析手法として役立つ。医療において安心して使用できるAIの実現に貢献すると期待されるとともに、医療以外にも幅広く応用が可能であり、汎用性が高い技術として期待されており、企業との実用化を推進。

本研究成果が高く評価され、山本陽一郎チームリーダーが「ナイスステップな研究者2020」に選出。

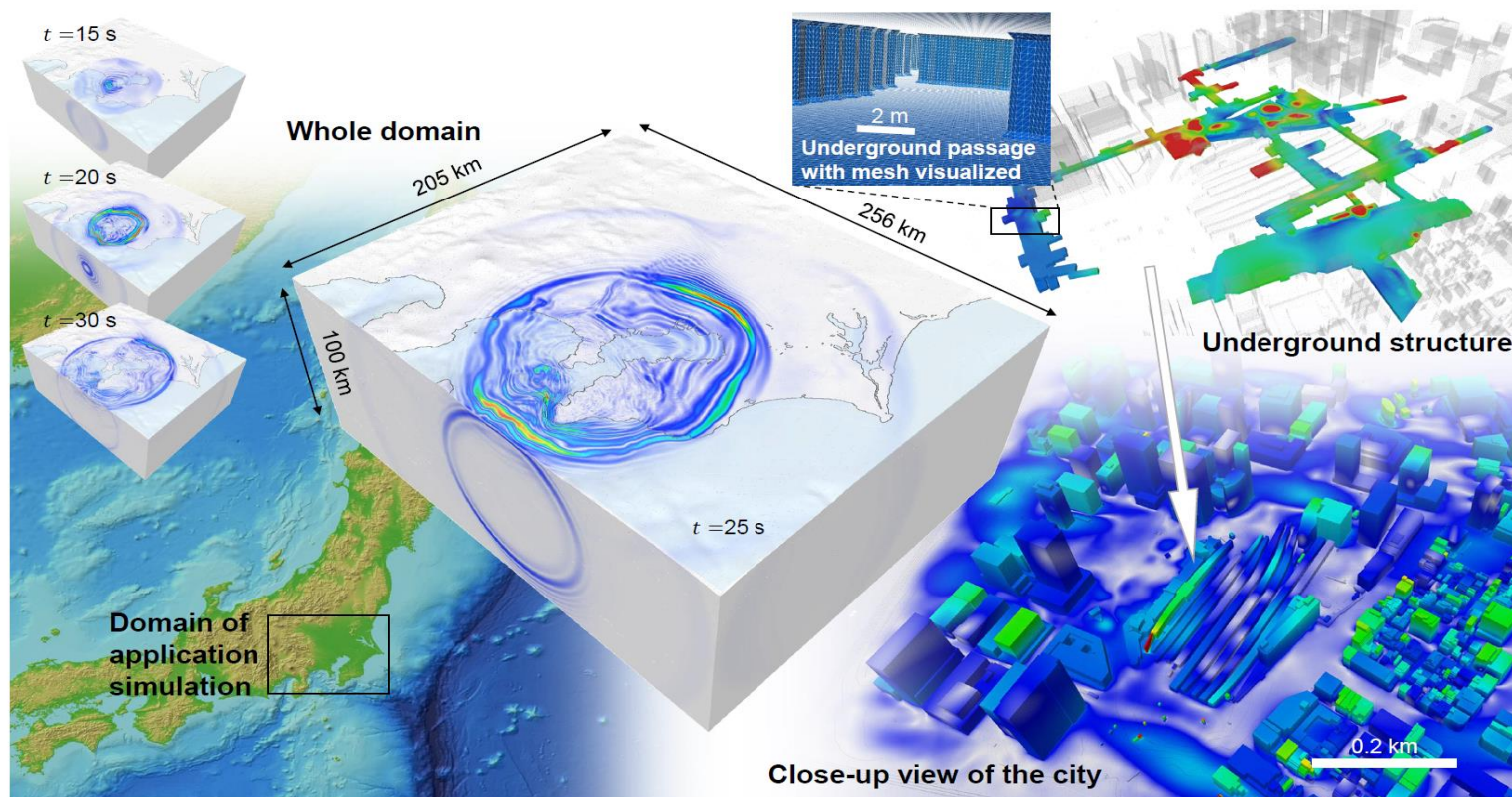
Nature Communicationsの物理部門において

2019年に最も多く読まれた「Top 50 Physics Articles」の第5位に選出

超並列計算物理シミュレーションとデータ学習のハイブリッド手法

超並列計算物理シミュレーションとデータ学習を組み合わせたハイブリッド手法を開発し、富岳全系（7,312,896並列）までスケールアップし、**世界初の断層都市高解像度解析を実現。**

地震シミュレーションの根幹となる非構造低次有限要素法による大規模非線形動的解析は地震の被害推定・メカニズム解明に貢献

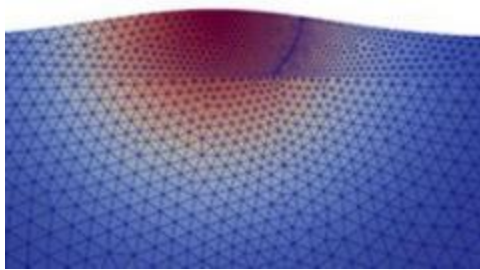
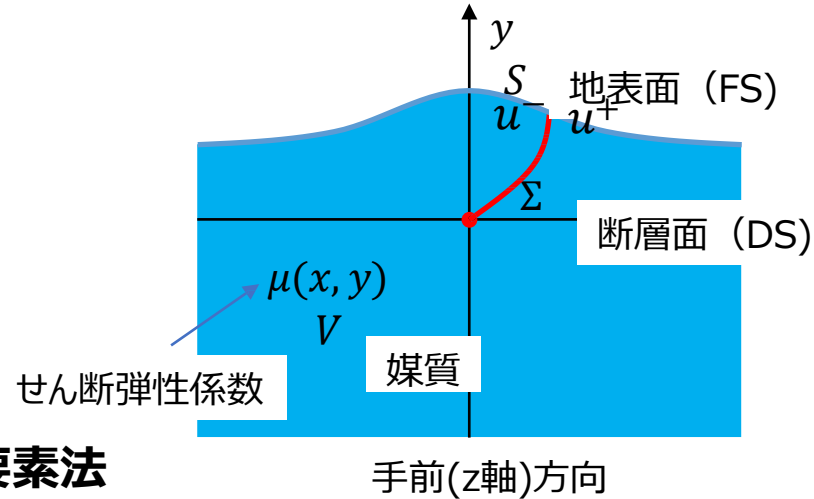


地殻変動をシミュレートする機械学習技術

■ 地殻ダイナミクス(非線形微分方程式)を制約条件とする深層学習技術を考案

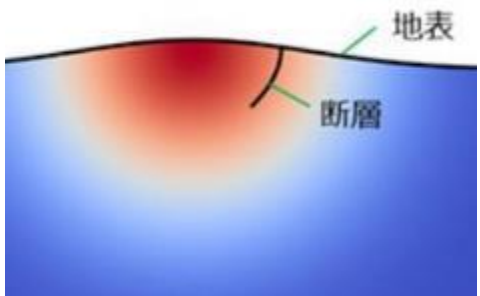
Okazaki et al., Nature Communications 2022

例) 布田川断層 (熊本地震, 2016)

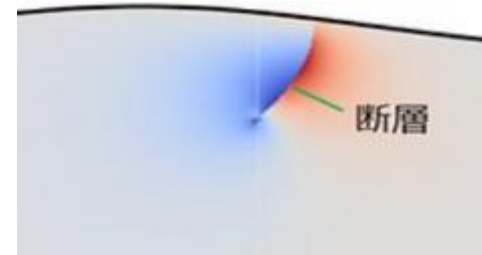


有限要素法
(従来法)

メッシュ毎の
線形近似



提案法
メッシュフリーな
厳密解析



従来手法(上)と本手法(下)における解析領域の表現方法. 図は地下構造の断面図配色は地下を構成する岩石の硬さを表わす

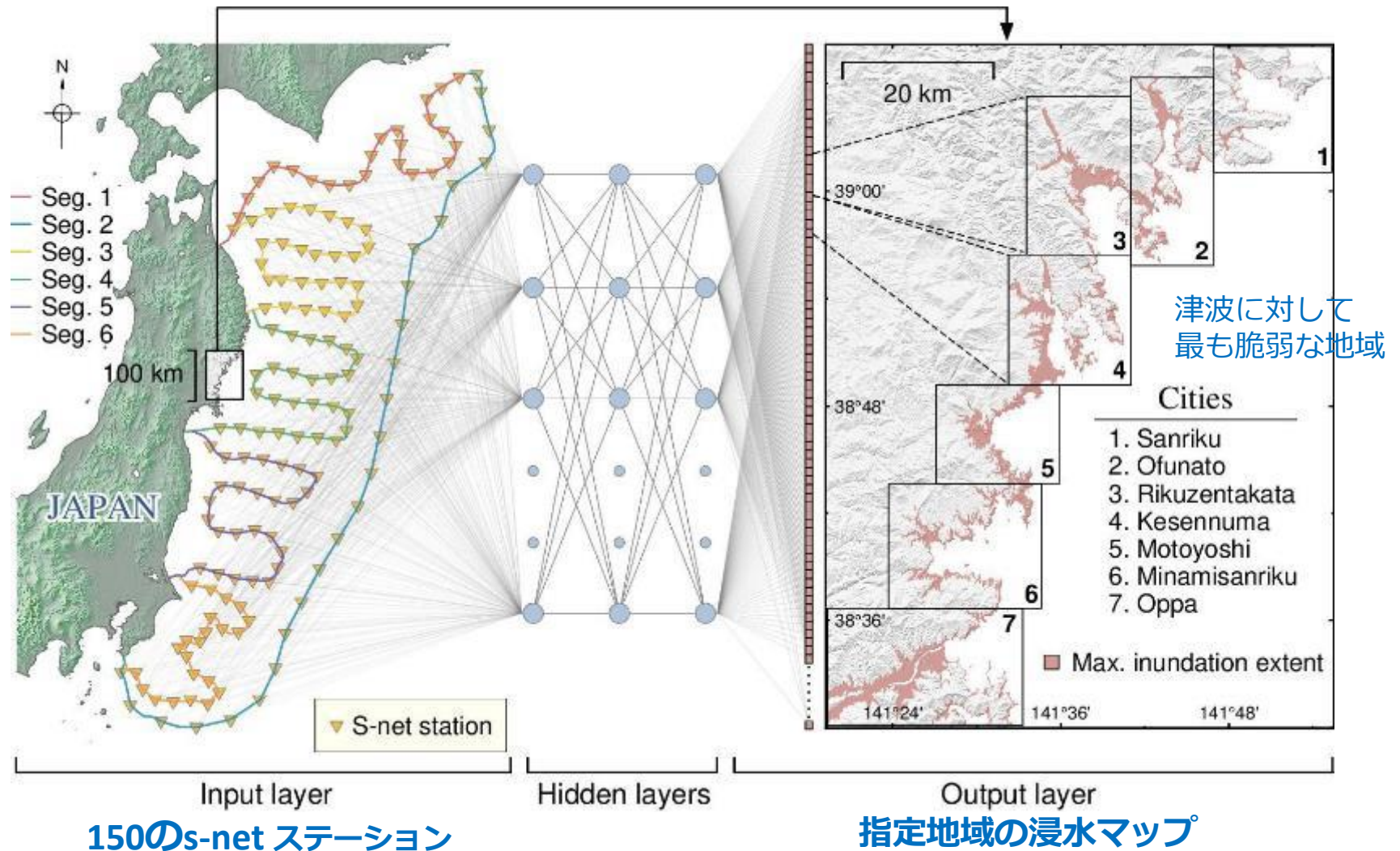
本手法による地殻変動の解析結果.

地下構造の断面図. 配色は地震による地殻の変形の計算結果を表す. **断層や地形の連続的に曲がった形状や, 断層や地下構造の急激な変化によるひずみが解析できている.**

リアルタイム津波浸水被害予測

海域の観測無しに、S-net を入力として、指定地域の浸水マップを出力する
機械学習技術を提案

Mulia et al., Nature Communications 2022

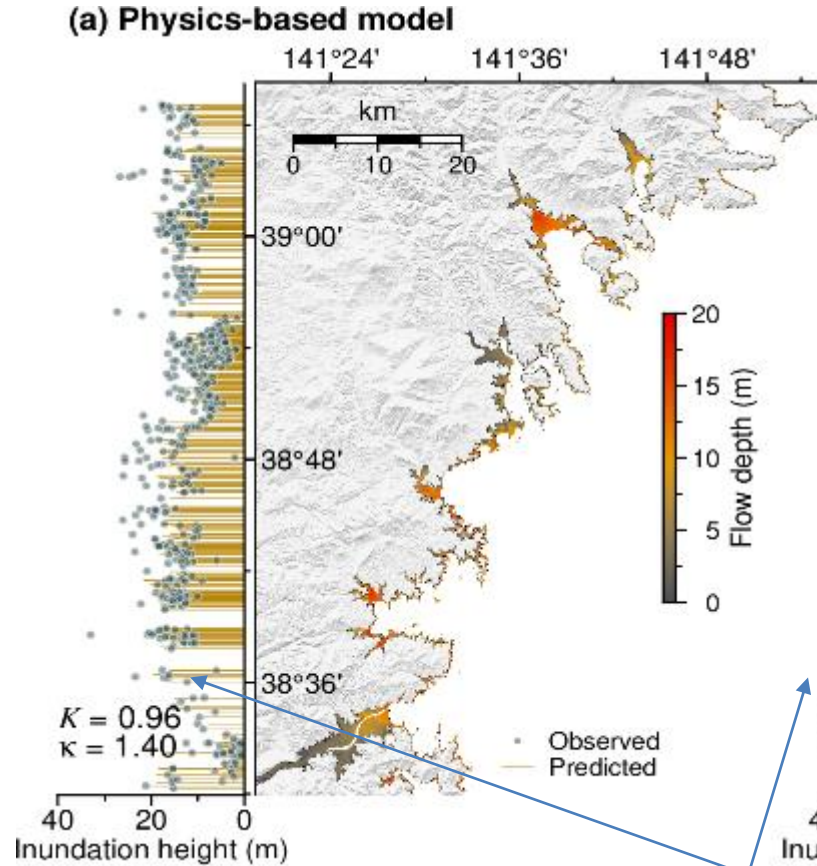


S-net: 日本海溝に沿って地震と津波のための海底観測ネットワーク (S-net) 。

1 kHz の高周波データをリアルタイムで送信できる海底圧力センサーと地震計で構成

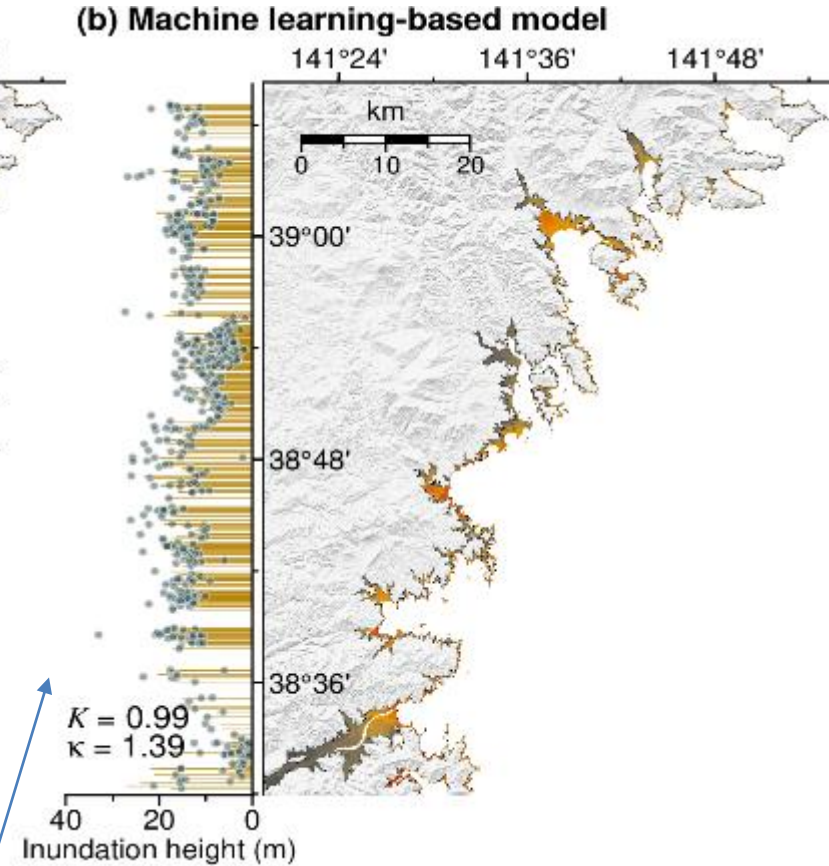
リアルタイム津波浸水被害予測（実証実験）

Physics simulation



Computing time = ~30 min

Proposed method



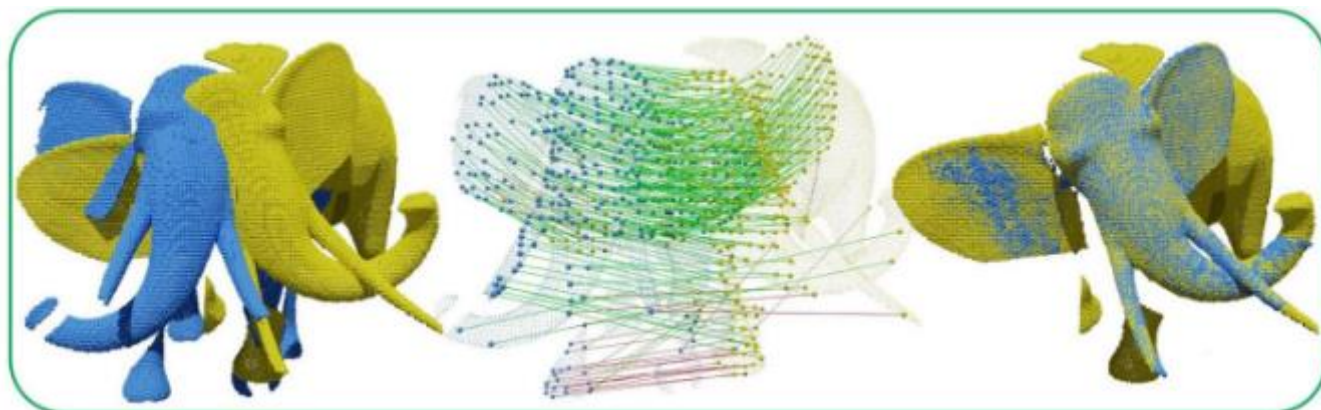
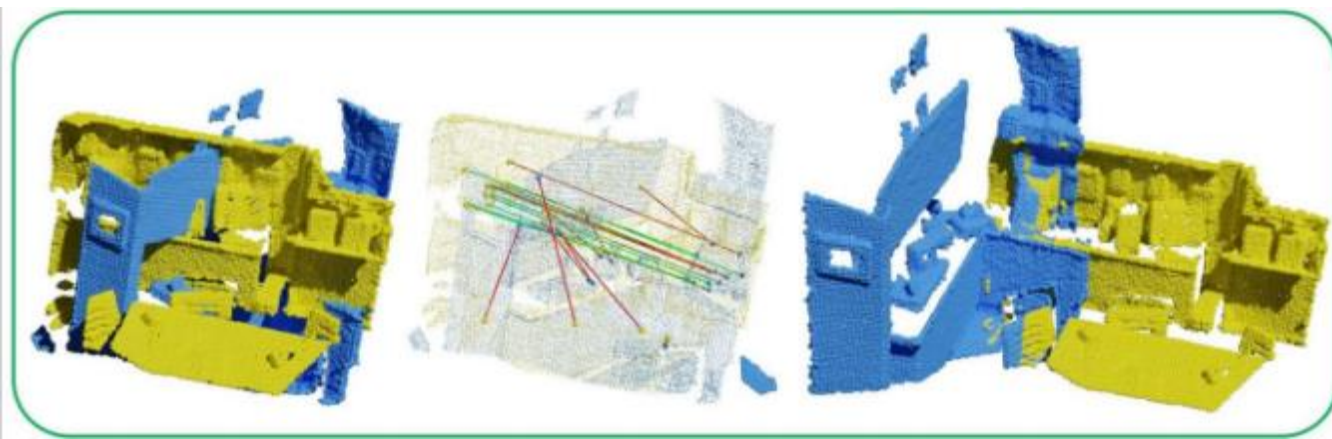
Computing time = 0.05 sec

リアルタイムで同じ予測精度を達成！

非剛体物体間の部分点群マッチング

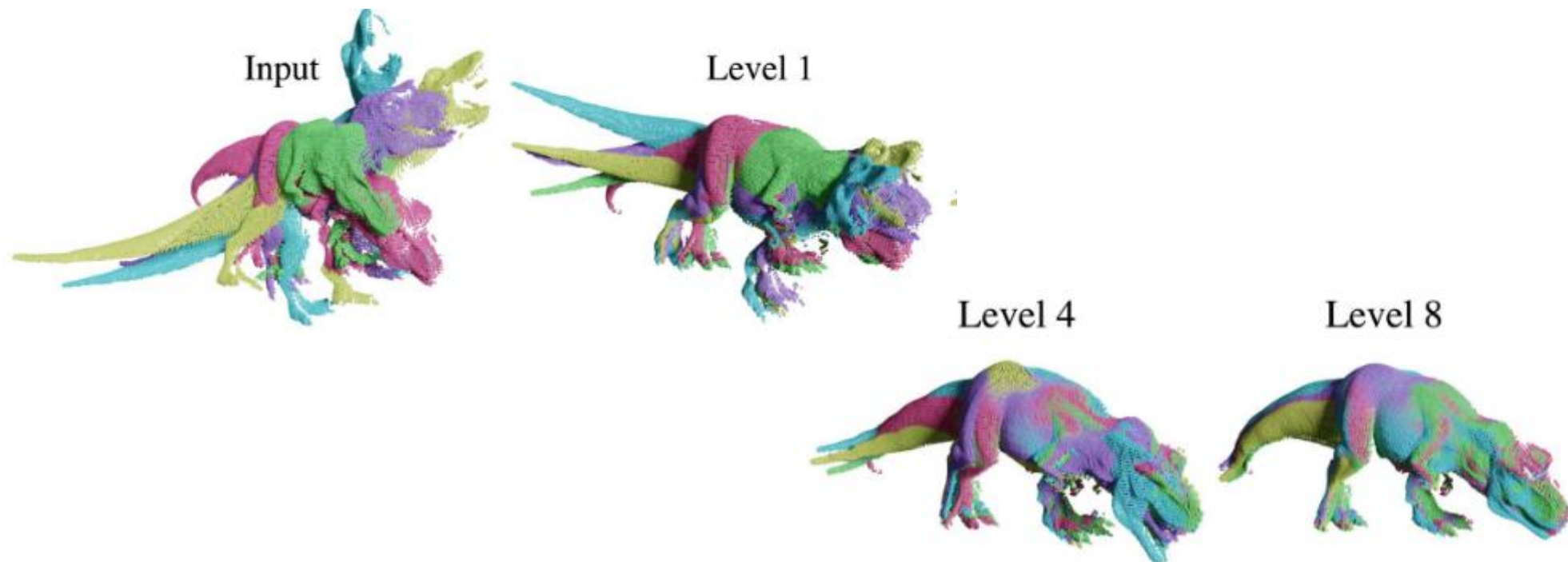
- (非)剛体物体間の部分点群照合のためのニューラルネットモデルを考案
- 非剛体間の部分点群マッチングにおいて、世界最先端の手法と比較してもダブルスコアに近い圧倒的な性能を誇る
- 常に動作し、変形する心臓の正確な4次元モデル化に利用可能

Li et al., CVPR2022. (**oral, acceptance rate = 342/8161 = 4%**)



非剛体物体の点群レジストレーション

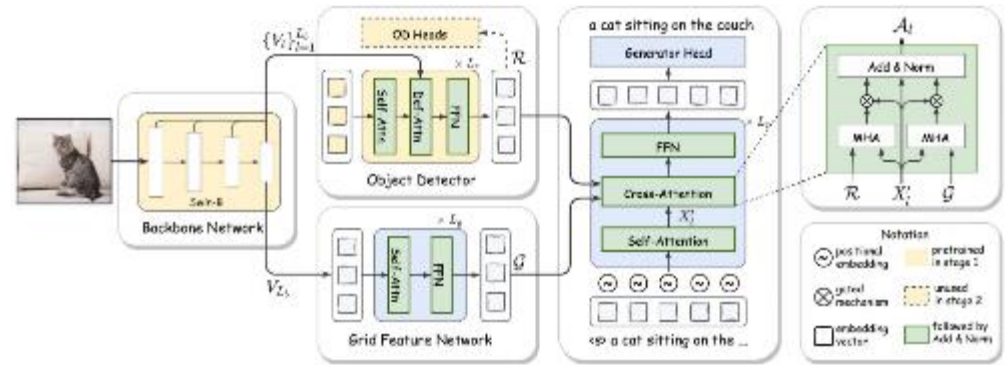
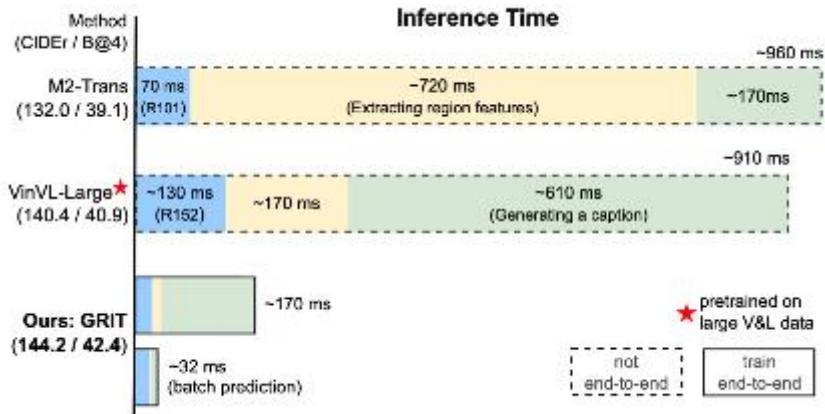
- 未知の非剛体運動の複雑性が高いため、レジストレーションは困難な問題。
- 階層的な運動分解によってこの問題を解決。この手法は、ニューラル・デフォーム・ピラミッド（NDP）と呼ばれ、ピラミッド構造を用いて非剛体運動を表現。
- 非剛体物体のレジストレーション手法として最高性能でありながら、50倍程度高速に学習可能。
- 常に動いて、変化する心臓の正確な4次元モデリングに使用可能。



高速・高性能な画像記述AI

Nguyen et al., ECCV2022

- **問題**：画像記述(image captioning)
 - シーンの1枚の画像から, AIがシーンを言葉で描写
- **貢献**：従来手法比で**5倍高速**, **20分の1の学習データ**で同等以上の精度
 - 深層ネットワークGRIT (Grid and Region-based Image-captioning Transformer) を提案
 - 画像特徴抽出方法の工夫とTransformer-onlyなモノリシック構造



高速学習 + 推論

深層ネットワーク構造デザインの最適化



GRIT: a kitchen with a sink and an open refrigerator



GRIT: a person pulling a suitcase next to a fire hydrant



GRIT: two zebras standing behind a fence in a zoo



GRIT: a group of men playing volleyball on the beach

入力画像と記述例

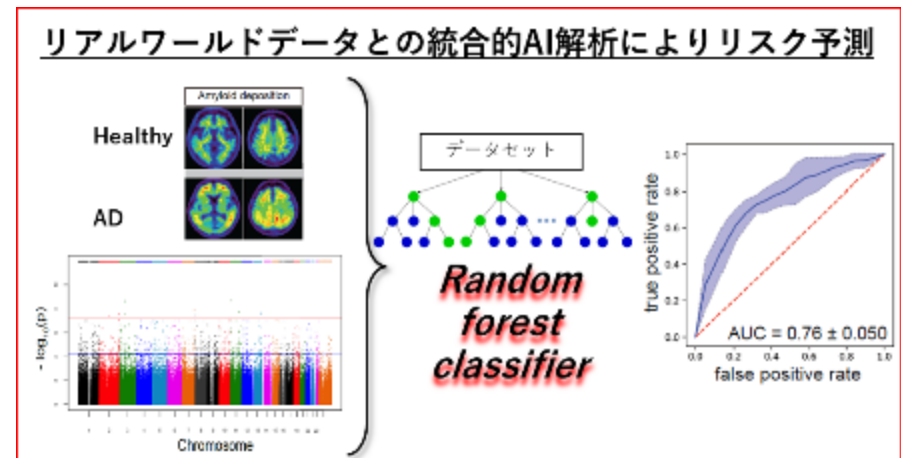
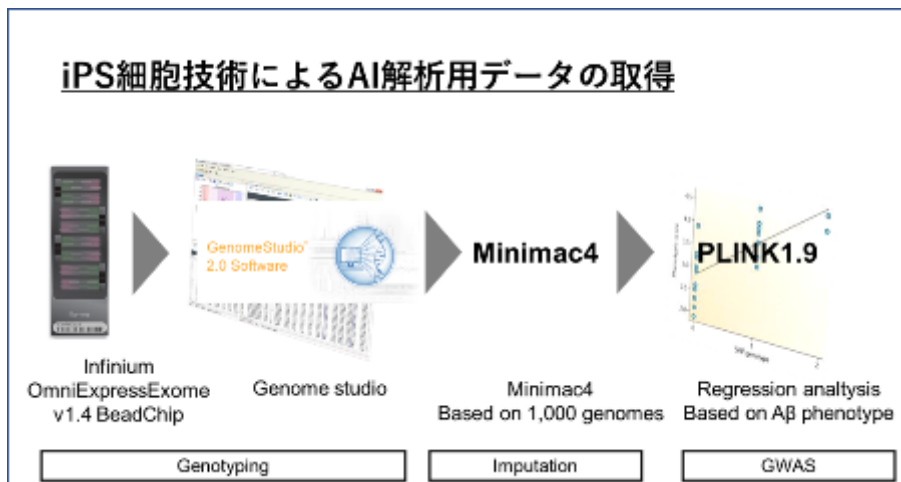
神経細胞におけるアミロイドβのリスク予測のための 「Cellular dissection of polygenicity (CDiP) テクノロジー」

Kondo et al., Nature Aging, 2022

Kondo et al., Journal of Human Genetics, 2022

- 劣孤発性アルツハイマー病 (AD) の患者102人から樹立したiPSコホートを
用いて、複雑な孤発性ADの病態を細胞種および病態ごとの表現型 (病的形質)
に分解し、その背景の遺伝子データからADの臨床リアルワールドデータを
再構成するCDiPテクノロジーを開発

重要性：現実味を帯びている抗アミロイドβ交代治療の適切な対象者をCDiPにより選択可能



目的Gのまとめ

■ 外部発表・ジャーナルでの論文発表等（～2023.3累計）：

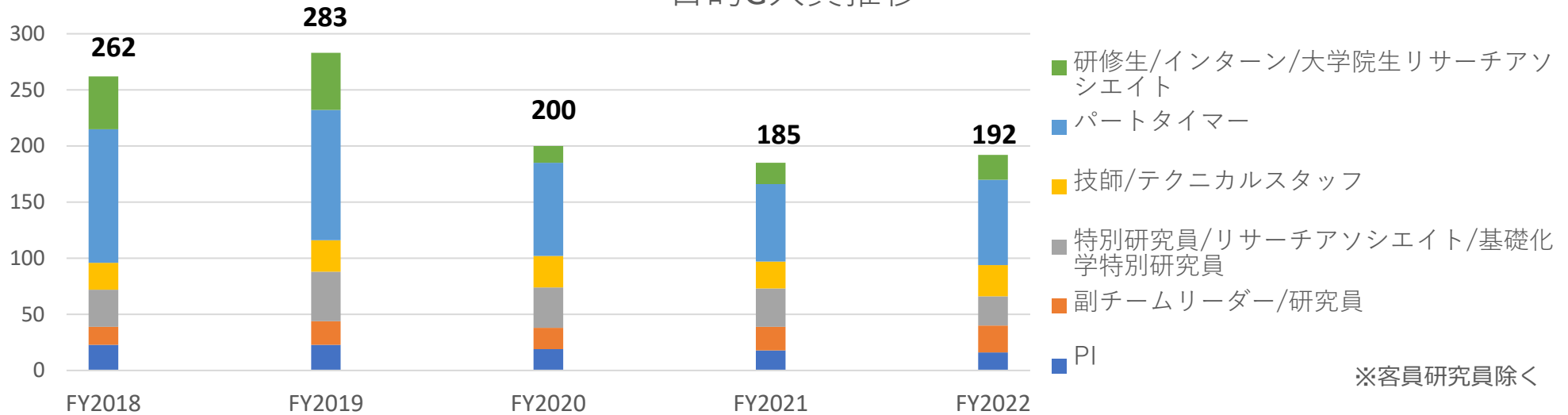
- 口頭発表（国内/海外）：832件
- 国内/海外ジャーナルでの論文発表：1,311報
- 特許（2022年3月時点）：
（出願(延べ)）国外40件、国内32件（登録）国外 4件、国内 5件

■ 主要な受賞（～2023.3）：

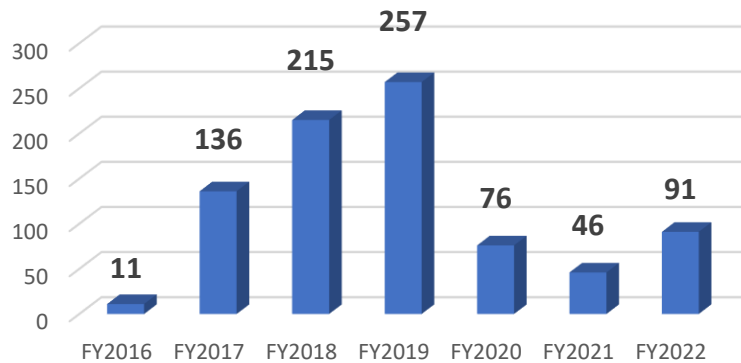
- 日本医療研究開発大賞, AMED理事長賞(高山)
- EDM2019, Best Full Paper (Jill-Jenn et al.)
- ISPRS Best Paper Award (Bahareh et al.)
- 言語処理学会 論文賞 (小田 他)
- IEEE ICRA2019, Robot Mechanisms and Design部門, Best Paper Award (Salaan et al.)
- 第15回 日本学術振興会賞 (鹿島)
- 平成30年度 文部科学大臣表彰 (上田)
- ナイスステップな研究者2020 (山本 他)
- 2020年度人工知能学会研究会優秀賞 (中村 他)
- 第16回 AAMT長尾賞 (清野 自然言語理解T 他)
- 第5回羽倉賞 (音楽情報知能T)
- 言語処理学会第28回年次大会 最優秀賞2件、優秀賞2件の他多数
- 令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 (乾、原田)
- Best Paper Award (Ichimura, Ueda et al., HPC ASIA2022)
- Clarivate Highly Cited Researchers 2022 (横矢)
- 言語処理学会第29回年次大会 最優秀賞3件、優秀賞2件の他多数

目的Gの統計情報

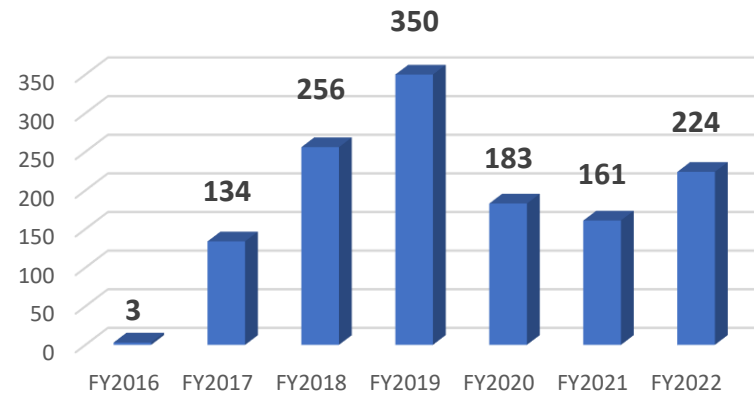
目的G人員推移



口頭発表 (国内/海外)



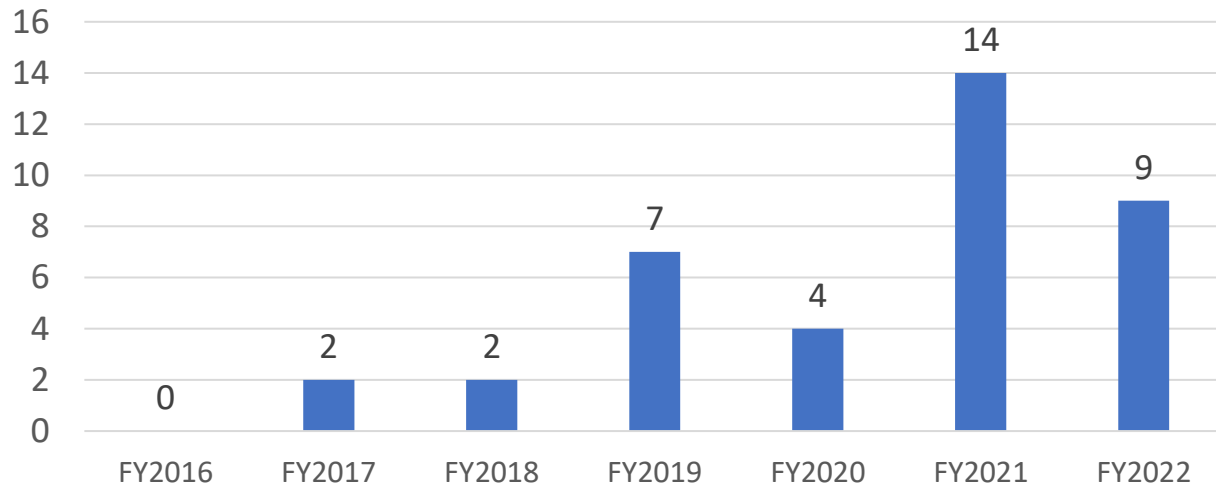
ジャーナル (国内/海外)



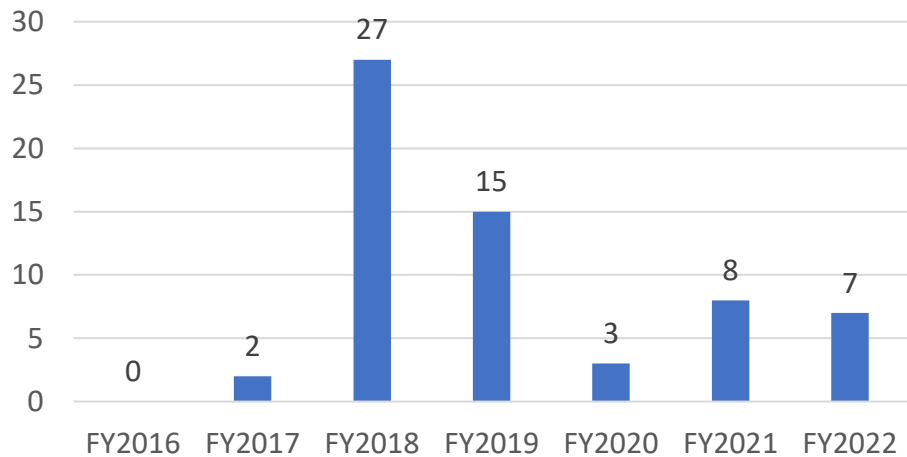
注: 2019年度以降、研究の進捗具合や研究動向などを踏まえ研究テーマを見直し戦略的に組織改編を行い24チームから17チームへ削減している (3割減)

目的Gの統計情報

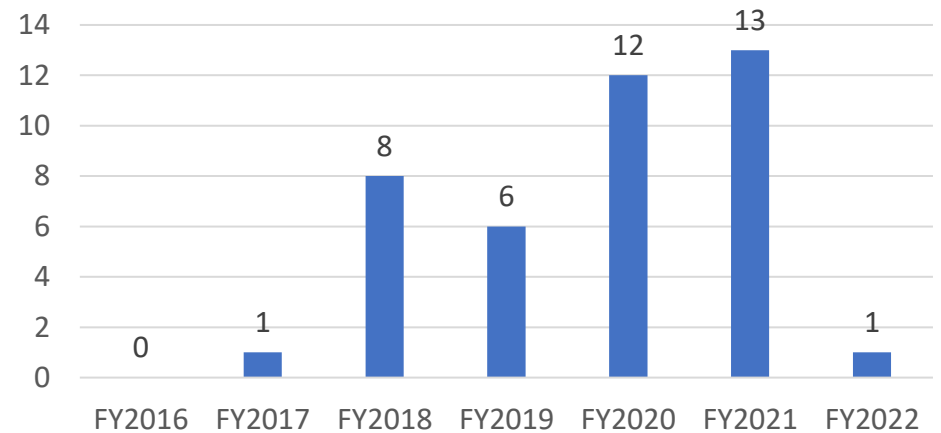
受賞数



報道/取材対応



プレスリリース



今後の重点化テーマ

■ AI for Science (シミュレーションベース機械学習)

- ・ 物理モデルとAIの相補的融合

■ 高齢者対策

- ・ がん, 認知症

■ 説明可能, 信頼できるAI

- ・ マルチモーダルAI, 自然言語処理, 仮説検定, 教育

目的Gの今後の展望

■ サイエンス研究、社会課題解決への貢献

- 医療系についてはさらに重要成果を創出すべく、汎用Gとの連携を強化する
- バイオ・マテリアルサイエンスについては、実問題での新発見を目指すべく、関係機関との連携を強化し、有用な要素技術開発を推進する
- 防災研究については、最近社会問題となっている豪雨、台風の激化予測など気象予報研究にも注力する

■ 効率的な研究推進

- チーム間の連携、理研内他センターとの連携を強化し、より効率的な研究推進を図り、社会的課題の解決を目指す。