資料７
科学技術・学術審議会　情報委員会
情報科学技術分野における戦略的重要
研究開発領域に関する検討会（第1回）
令和６年4月24日

文部科学省

戦略的に特に重要と思われる研究分野・研究課題に関する情報提供

令和6年 4月24日

文部科学省 研究振興局 参事官（情報担当）

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（辻井潤一）

辻井先生

テーマ

〇戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題の概要についてご記載ください。
大規模基盤モデルをWhite Box化する設計論と数理理論の整備

注目する狙いや背景

〇 本研究動向に注目する狙い、その背景等についてご記載ください。
LLMを代表とする大規模基盤モデルはBlackBox性が強く、工学技術としての設計手法が未発達。すでに作られた基盤モデルを要素として組み上げてより複雑な問題を解決するシステム構築のための手法、性能と限界をより明示的に把握しAIを道具として制御する理論的な基盤が必要となっている。

位置付け

〇 国内外の研究活動における本研究の立ち位置についてご記載ください。
すべての分野の問題を解くことができる一般知能を目指すAGIの研究だけでは、特定分野に特化することで発達してきた従来のAI技術を包含することはできない。AI for Scienceの分野での専門分野個別の理論やシミュレーションの結合はその端的な例であるが、ほかのAI分野でも個別AIとAGIとの協調が必要。現在のLLMにおけるMixcture of Expertsの動きはその先駆的なもの。深層学習のModule化の試み。

参考

Jonas Pfeiffer(*Google DeepMind),* **Sebastian Ruder(***Google DeepMind)* **, Ivan Vulić (***University of Cambridge),***Edoardo M. Ponti**(*University of Edinburgh): Modular Deep Learning, in* in Transactions on Machine Learning Research (11/2023)

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（辻井潤一）

辻井先生

テーマ

〇戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題の概要についてご記載ください。
AIとRoboticsの融合、感覚情報と制御理論とを統合した行動するAIの研究

注目する狙いや背景

〇 本研究動向に注目する狙い、その背景等についてご記載ください。
言語を中核としたAIの限界は明らか。実世界のなかで行動するAIの必要性

位置付け

〇 国内外の研究活動における本研究の立ち位置についてご記載ください。
人のように行動するロボットは、一番わかりやすい例であるが、感覚情報による状況の把握と特定状況の中での適切な行動の選択は、広い意味での制御の理論とも結びつき、非常に幅のひろい工学の基礎となる。行動決定のために新たなデータの取得を行う、Pro-ActiveなAIは、不完全情報のなかでの行動決定の理論にもつながる。

参考

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（相澤彰子）

相澤先生

テーマ

〇戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題の概要についてご記載ください。

AIによるデータ活用を支援するAI技術データはAIの中核に位置づけられるが、現在のAIが活用できているのは現実世界のごく一部のデータ。いかにデータを発掘し、加工し、活用するかに焦点をあてた研究が必要

注目する狙いや背景

〇 本研究動向に注目する狙い、その背景等についてご記載ください。

データ活用に向けて、たとえば以下のような技術が求められる。

①実世界のデータを扱う技術（データ発掘に加えて自律的な学習、アンラーニングなども含む）

②データプレパレーションは多大なコストを要する。これをAIで効率化する技術（ex. 文書画像理解、アノテーションや評価も含む）

③多様性のあるデータを扱うAI手法（AIエージェントなども）

位置付け

〇 国内外の研究活動における本研究の立ち位置についてご記載ください。

国際会議でもデータセット、ベンチマーク、リソースのトラックは増えている。ただし、構築したデータを研究コミュニティで共有するだけではなく、手法の深化に焦点をあてる必要がある。これからの分野？

参考

〇 参考となる情報・データ等があればご教示頂けますと幸いです。

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（内元清貴）

内元先生

テーマ

○「AI基盤モデルの循環進化技術」

様々な組織やデバイスが個々に収集し保有している多様・不均衡・中小規模のデータを使って基盤モデルを学習し個別適応化するとともに、それらモデルの差分を基盤モデルに集約し全体最適化することを繰り返すことで、**基盤モデルを様々な利用を通じ安全かつ効率的に循環進化させる高度な分散機械学習技術**を確立する。

- 多様・不均衡なデータから高精度でロバストな機械学習を可能にする**マルチモーダルAI技術**、少量のデータで基盤モデルを効果的に適応化させるzero-shot/few-shot**学習・転移学習技術**、多数かつ多様なエッジ機器とクラウドの間で高効率な分散機械学習を可能とする**エッジAI技術**、エッジが個別に収集・保有するデータをクラウドに集約することなく共通のモデルを分散学習する**連合学習技術**などから構成
- 様々なエッジとクラウドの間を循環しながら学習を繰り返すことに伴う**基盤モデルの品質の保証や向上に資する技術が重要。**例えば、基盤モデルがいつ、どこで、だれに、どのようなデータを使ってどのように学習されたのか（モデルの系統）を追跡する**プロベナンス／リネージ技術**や、既存環境・タスクの知識を保持しつつ新規環境・タスクに逐次適応する**継続学習技術**、基盤モデルの開発者・利用者を含めた循環進化全体のシステムとして、**アプリケーション・目的・システム階層などの違いを吸収し持続可能性を高める技術**など
- **循環進化におけるセキュリティやプライバシー保護技術**。アカウント管理、認証・認可とセキュリティポリシー管理、誤操作や悪意によるデータやモデルの漏洩や整合性の毀損の防止、不正アクセスからの保護など
- アーキテクチャの標準化や参照システムの公開等を通じた循環進化に対する**国際的なコンセンサス形成**

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（内元清貴）

内元先生

注目する狙いや背景

〇我が国の社会課題の克服や産業競争力の向上を目的として、AIの適用領域を拡大すべく、我が国の産業が有する分野毎のデータの連携や、日本が強みを有する分野とAIの融合が求められている。「AI戦略2022」では、データ利活用に必要な要素技術として、「プライバシーや機密情報を保護しながら学習可能な連合学習など、一連の技術の一層の研究開発・社会実装の推進」が挙げられており、その具体的な取組として、エッジ環境などで個別に収集・蓄積されるデータを共有することなく、異分野のIoTデータを組み合わせた予測分析を可能にする、分散連合型のマルチモーダルAI技術を開発し、グローバルなリーダーシップを確立することが進められている。本テーマではこうした取り組みを推進し、日本が強みを有するIoT分野とAIの融合を促進し、我が国の産業が有する高品位データを横断的に利活用したAIの適用分野の拡充を図る。

〇今日、AIのコモディティ化が進み、ChatGPTやDALL-Eなどの基盤モデルが世界的に注目されているが、汎用的な基盤モデルを作成・維持するには膨大なデータと計算資源が必要であり、現在のところOpen AIやGoogleなど海外メガテックの独壇場となっている。一方、基盤モデル利用者は、自社業務に即して軽量化された基盤モデルで十分な上、学習データの管理・運用を自社の裁量で実施できれば、個人情報保護や著作権などの課題も解消でき利点が大きい。そこで、本テーマでは、基盤モデルの開発をメガテック主導から利用者主導のパラダイムにシフトし、業界団体、地域・都市などの共通課題に特化した基盤モデルを、各社／各者に分散したデータ・計算資源を安全・効率的に活用しながら共創できるようにすることを目指す。

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（内元清貴）

内元先生

位置付け

〇本テーマと関連する連合学習では、これまで主に、クラウド事業者等が利用者端末等に保持された個人情報を用いてサービスを適応化したり、医療や金融など高度な個人情報保護が求められる分野で画像診断や攻撃検知の共通モデルを各機関でデータを保護したまま学習する目的で使われてきた。一方、本テーマは、これらをさらにオープンな環境に展開し、かつてソフトウェアが大企業による労働集約的な開発からオープンソースコミュニティによる集合知的な開発にシフトし、品質の高さ、応用の広さ、持続性の高さの面で成功したように、コモディティ化しつつあるAIの基盤モデルにも同様のパラダイムシフトを起こすものである。本テーマはこうした取り組みを世界に先駆けて推進する。
特に、日本が強みを有するIoT分野において、稠密な環境観測データや交通データ、位置情報など、様々な組織や個人が分散して収集・保有する高品位データを活用した基盤モデルの開発で世界をリードし、IoT分野とAIの融合の促進と応用分野の充実を図る。

参考

〇　内閣府「AI戦略 2022」の取組 令和5年4月
https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/senryaku/11kai/siryo2.pdf

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（内元清貴）

内元先生

テーマ

〇「脳に学んでTransformerを信頼できる「人並み」のAIに進化させる」

ChatGPT4などの最も成功しているAIにも多くの課題がある。例えば以下の3点：

1） 構造が数百層にも巨大化して大量のエネルギーを消費する。
2） 教師付学習が採用されているため、大量の学習用データを要する。
3） 能力が高すぎて、社会から恐れられている。

これらの問題は、脳に学んだ研究と技術開発で氷解する可能性がある。

注目する狙いや背景

〇 Chat GPTに代表されるTransformerベースの生成AIは、すでに言語の運用能力を始めとしてヒトの能力を凌駕する性能を発揮している。しかし、その「進化」に恐れを抱く人は数多い。実は、AIの性能は「人並み」で十分なのである。人並であれば、家庭に入って介護も家事も行える。運転もこなせるし、育児や教育にも会社の仕事にも参加できる。今こそ、仲間として受け入れられる「人並のAI」を作るべき時である。

〇ヒトは高々10階層程度の脳で、運動や知覚はもちろん、言語や社会性を含む高次な認知機能を発揮している。しかも、生後の学習は周囲の環境と家族との自然な相互作用だけで、自発的かつ自律的に行われ、大量のデータを準備する必要はない。1年たつと言葉を発し、3年後には他人の心を慮る社会性を獲得し始め、小学校入学時にはすでに仲間を作って社会性を発揮する。脳の構造と発達過程に学んで、Transformerベースの12層程度のAIに身体を与えて、自然な環境で自律学習させれば、3つの大きな問題が解決できるはずである。

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（内元清貴）

内元先生

位置付け

〇脳活動とAI（人工神経回路）の活動を比較する研究は、過去10年にわたり視覚系を中心として盛んに行われている(Yaminsら2014, Nat Neurosci等)。しかし、通常の教師付学習させた畳み込み神経回路との比較がほとんどで、Transformerとの比較は端緒についたばかりである。

〇新学術領域「時間生成学」ではTransformerが発表された翌2018年から世界にさきがけてヒトの時間認知機能をTransformerと比較検討する研究に取り組まれた（下記事後評価参照）。その後、ヒトとTransformerの注意を比較する研究が行われている。Transformerの注意が自律学習を採用することで飛躍的にヒトに近づくこと、ヒトの注意と近づくのは12層のTransformerの10層目であること、などの「人並のAI」に関する新しい知見が次々と発見されつつある。

令和５年度科学研究費助成事業「新学術領域研究（研究領域提案型）」に係る事後評価結果

領域番号	8002	領域略称名	時間生成学
研究領域名	時間生成学―時を生み出すこころの仕組み		
領域代表者名 （所属等）	北澤　茂 （大阪大学・大学院生命機能研究科・教授）		

（評価結果）

A（研究領域の設定目的に照らして、期待どおりの成果があった）

（評価結果の所見）

本研究領域は、時間と脳機能を結び付けて解析するという非常に斬新なアイデアが功を奏しており、研究領域全体で活発な活動が行われている。時間の概念について生成 AI と脳の発達の過程の違いについても新奇な知見が得られており、優れた研究である。人工神経回路により「こころの時間」の機能が Transformer の上に構築され、様々な「時間地図」の機能と成因、日常の内観と神経活動の関係を明らかにし、新たなこころの時間の操作法を開発するとともに、ヒトとヒト以外の動物、成人と子供の共通点と相違点を明らかにするなど、各研究項目で著しい成果を上げている。特に、言語学・哲学・情報学・工学を総合した深層学習モデルの構築を目指し、人工神経回路を構築したことは大きな成果であろう。また、研究者間の緊密な連携体制が取られ、非常に興味深い多くの研究成果が得られており、特に若手研究者の活躍が顕著である。

一方、時間生成の体系的な理解までは未達であり、抽象的なレベルの説明に留まっている研究成果もあるため、日常的に感じている「時間感覚」の理解につながるような、更なる発展が期待される。

参考

〇新学術領域　時間生成学「事後評価結果」(右図)

北澤茂　医師・医学生のための人工知能入門
24章　中外医学社2020年

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（工藤郁子）

工藤先生

テーマ

AIによる「知的負債（intellectual debt）」の特定・対応に関する研究

注目する狙いや背景

「知的負債」は、ソフトウェア開発における「技術的負債」を拡張した概念。
例えば、透明性・解釈性・アラインメント等が低いままのAIが急速に普及すること、ネットワーク化したAIによるシステミック・リスクなどが想定されている。広義には、生成AIによる偏見・差別の助長、プライバシー侵害、情報の信頼性や民主主義的価値への悪影響などを含む。
（その定義上）普及度や時間経過により「負債の返済」＝対応コストが増大するため、早期の研究が期待される。

位置付け

現在主流の手法とは別の角度からアプローチする必要がある。
長期的視野に基づく学際的検討も求められるため、他事業では支援されにくい研究内容と考える。

参考

- Zittrain, Jonathan. “Intellectual Debt: With Great Power Comes Great Ignorance.” *The Cambridge Handbook of Responsible Artificial Intelligence: Interdisciplinary Perspectives*, 176–84. Cambridge University Press, 2022.
- Bender, Emily M., et al. "On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big?." *Proceedings of the 2021 ACM conference on fairness, accountability, and transparency*. 2021.
- Bianchi, Federico, et al. "Easily accessible text-to-image generation amplifies demographic stereotypes at large scale." *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*. 2023.

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（工藤郁子）

工藤先生

テーマ

AIの環境性能に関する研究

注目する狙いや背景

大規模言語モデルと生成AIの普及により、環境負荷（消費電力量、冷却水量、CO2排出量など）の増大が懸念されている。
EU「AI規則」の目的規定でも環境保護が盛り込まれ、国際的な規制強化も予期される。

位置付け

環境性能に関する日本国内の研究開発（最適化技術や半導体デザインなどを通じた効率化）は増加しつつある。
国際的潮流に「後れ」をとると致命的である。なお、性能評価手法の提案、研究成果のアウトリーチ、（国際）標準規格策定への貢献なども期待される。

参考

- EU AI Act は、本資料作成時点において官報未掲載だが、2024年4月19日付の欧州議会資料によると、その1条は “The purpose of this Regulation is to improve the functioning of the internal market and promote the uptake of human-centric and trustworthy artificial intelligence (AI), while ensuring a high level of protection of health, safety, fundamental rights enshrined in the Charter of Fundamental Rights, including democracy, the rule of law and environmental protection, against the harmful effects of AI systems in the Union, and supporting innovation.” となっている（強調は引用者による）
  https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0138-FNL-COR01_EN.pdf
- Rillig, Matthias C., et al. "Risks and benefits of large language models for the environment." *Environmental Science & Technology* 57.9 (2023): 3464-3466.
- Vinuesa, Ricardo, et al. "The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals." *Nature communications* 11.1 (2020): 1-10.

多数のAI・ユーザ間の相互作用と時間発展（杉山将）

杉山先生

背景

言語や視覚情報などを取り込んだ大規模基盤モデルの活用が加速している．また，基盤モデルを特定のタスクに特化させる取り組みや，AIシステムのユーザごとの個別化も進んでいる．

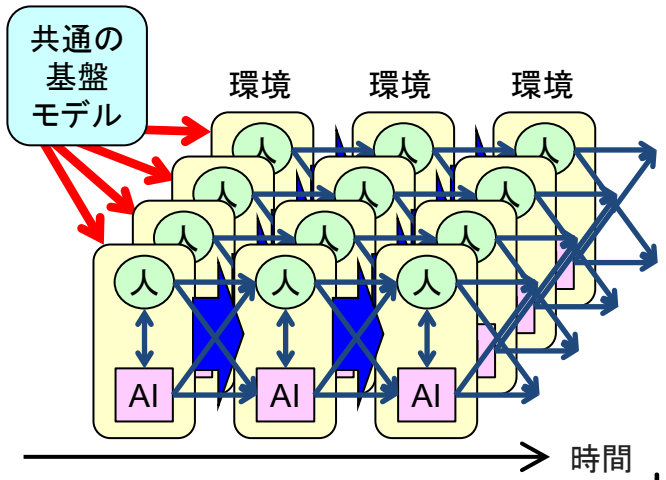
現在は，一部の巨大企業が閉鎖された形で基盤モデルを用いたサービスを提供しているが，その閉鎖性のため，提供された情報の検証やしくみの改良をすることが難しい．また，訓練に用いたデータの妥当性や，ユーザが提供したクエリの秘匿性など，安全性や信頼性も十分に担保されているとは言い難い．類似のオープンソースのサービスも展開されてはいるが，その性能は必ずしも十分でなく，第三者による様々な改良によって業界全体が混沌としてしまっているのが現状である．

不確実性があり動的に変化する複雑な実世界において，無数の異なるAIシステムが共存する状況では，ユーザとAIとの相互作用，AI同士の相互作用，ユーザ同士の相互作用，そして，AIシステム全体の時間発展を考慮することによって，社会全体でAIシステムを公平かつ安全に最適化することができるようになる．

必要となる基盤技術

変化する環境下でのオンライン学習・継続学習，低信頼性データからのロバスト学習，逐次的意思決定，因果推論，文脈内学習，巨大モデル学習，大規模確率的推論，モデル圧縮，分散最適化，連合学習．プライバシ保護，学習棄却，敵対的学習，説明性，データ駆動型仮説検証，意思決定・資源配分の公平性，ビッグデータ学習，圧縮データ処理，構造データ学習，マルチモーダル学習，多様なAIと人間の相互作用など

これらの技術課題に対して，理論的な性能保証をもった実用的なアルゴリズムを開発し，科学研究や社会課題の解決に応用する．



戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（原祐子）

原　祐子先生

テーマ

〇戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題の概要についてご記載ください。
サイバーセキュリティに関する理論およびその実現方法（計算機システムや通信方式）
次世代の計算機や通信方式を待つ（期待する）のではなく，未知の攻撃に対しても安全な方式を実システムに実現できるかたちで定式化し，今の技術でも実現できる方法を検討する取り組みが必要

注目する狙いや背景

〇 本研究動向に注目する狙い、その背景等についてご記載ください。
暗号・セキュリティは特に欧州で非常に活発に研究が進められており，サイバーセキュリティの修士課程を新設する大学・国が多い．日本のサイバーセキュリティはそれに対して後れを取っている．また，特にサイバーセキュリティは理論と実用の乖離が埋まっていないのも大きな問題である．

位置付け

〇 国内外の研究活動における本研究の立ち位置についてご記載ください。
暗号理論は，日本も世界的に優位な位置にある反面，実用（サイバーセキュリティ）を意識した検討は進んでいない．日本の強みを上手く展開して，弱みを補完する方向に舵を切るべき．国内のハードウェアセキュリティも若干層が薄い印象であり，強化すべきである．

参考

〇 参考となる情報・データ等があればご教示頂けますと幸いです。

戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題名（森川博之）

森川先生

テーマ

〇戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題の概要についてご記載ください。

XG for AI：　5G/6G/7G,,,により、通信遅延がますます小さくなる。これに合わせて、端末／エッジ／クラウドでの機能分担の再考が必要となる。機能を適材適所で分散させることで、コスト削減や省電力につなげることができるとともに、新しい付加価値創造にもつなげられる可能性がある。

※　基地局周辺の「エッジ」に配置されるGPUの利用を推進することが、ハイパースケーラーへの対応策にもなり得る。

※　必ずしもAIに限る必要はない。クラウドロボティクスなど、ロボット制御機能をネットワークの向こうのエッジ／クラウドに配置することでロボット制御が格段に簡潔になる。ゲーム端末やAR/VR端末なども、端末側は画面機能と通信機能のみでよくなることで、端末のコスト低減、省電力化、軽量化のみならず、アプリ開発負担の大幅な低減や新たなユーザー体験の提供にもつながる。

注目する狙いや背景

〇 本研究動向に注目する狙い、その背景等についてご記載ください。

通信業界では、5G-Advanced, 6Gに向け、AI一色である。バルセロナのMobile World Congress（MWC）においても「AI for 5G」ばかりであった。「XG for AI」は「AI for 5G（通信ネットワークを高度化するためのAI）」を包含するものであり、6Gに向けて通信業界がかなりの額の投資を行う見込みになっている。MWCにおいてソフトバンク、ARM、NVIDIAをコアとした「AI-RAN Alliance」の発表もあり、基地局エッジでのGPUの最大限の活用に向けての動きも始まっている。通信事業者の狙いは対ハイパースケーラーであるが、資本が十分にある通信事業者の動きにより、本分野での研究開発が一気に加速される見込みである。

位置付け

〇 国内外の研究活動における本研究の立ち位置についてご記載ください。

通信事業者が局舎などにGPUを配置する機運が高まりつつある中、対ハイパースケーラーへの対抗策にもなり得る。勝ち筋を見極めることが大切である。またXG for AIの利用分野は、通信の低遅延が必要となる製造、自動車、土木・建設などといった産業であり、一兆円企業がそれぞれの分野に存在する日本の強みとなり得る（ハイパースケーラーは相対的に弱い）。

原田科学官

テーマ

〇戦略的に重要と思われる研究分野・研究課題の概要について

- 分散学習，物理世界に根差した AI 研究としての AI とロボットの融合は今後大切な分野と考える。
- 今後，データありきではなく，データを前向きかつ能動的に取得する必然性のある分野に注力すべきであると考える．特に，実世界に根差した知能システムの構築が重要になる。

注目する狙いや背景

〇 本研究動向に注目する狙い、その背景等について

上記の研究領域を強力に進めるためには，AI とロボティクスの融合領域，また，少数データや小さなモデルを統合することで強いモデルを構築する分散学習が必要となる．さらに，精緻，広域，超高速な物理シミュレーションの実現，ドメインや状況に合わせて即座に対応可能な sim2real 技術の実現などが重要テーマとして考えられる。

位置付け

〇 国内外の研究活動における本研究の立ち位置について

参考