

世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）

エグゼクティブサマリー（中間評価用）

ホスト機関名	東京大学	ホスト機関長名	藤井 輝夫
拠点名	ニューロインテリジェンス国際研究機構（IRCN）		
拠点長名	ヘンシュ 貴雄	事務部門長名	峠 暢一

作成上の注意事項：

このサマリーは、自己点検評価報告書に記載された内容に基づいて、以下の項目についての概要を4ページ以内の記述で作成してください。

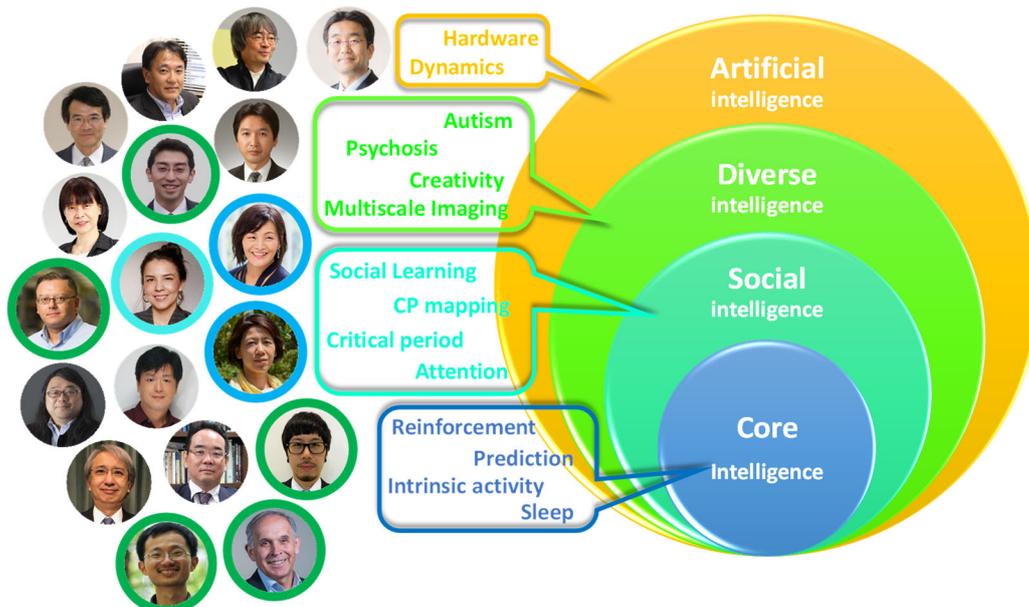
I. 概要

ヒトの知性はどのようにして生じるか？IRCN では、1) ヒト知性 (HI) の基盤である脳発達の基本原理を理解し、それに基づき 2) 認知障害の病因と治療法を明らかにするとともに、3) 次世代の人工知能 (AI) 開発に結びつけることを目指している。ジェンダー、国籍、研究領域（神経生物学、ヒトを対象とする神経科学／臨床神経科学、そして計算科学）についてバランスの取れた構成をもつ IRCN の研究では、発足から 3 年半という短い期間の間に、領域横断的融合研究の最初の種子が論文発表として結実しつつある。IRCN は高い知名度を有する持続可能な未来への展望を開きつつあり、WPI 予算後半期において社会に対して強いインパクトを与えることが期待される。

II. 各論

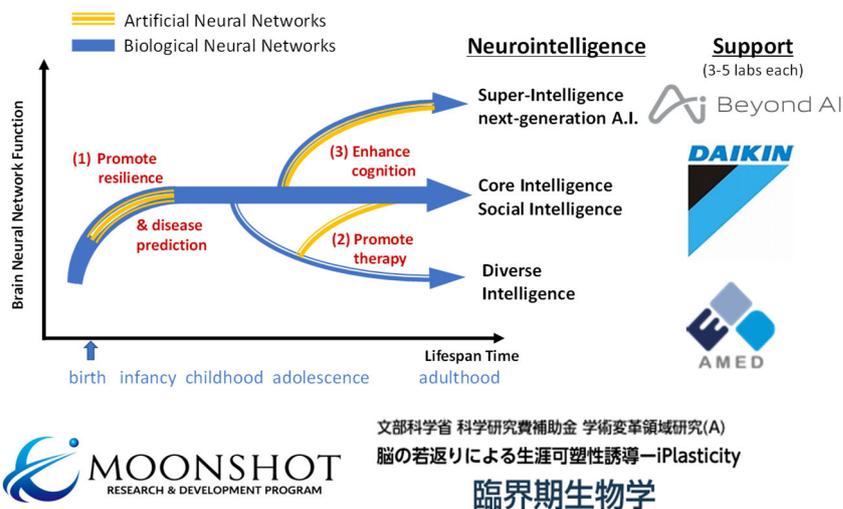
1. 拠点構想の概要

ヒト知性は、脳の発達に伴って生ずる複数の知能で構成されていると私たちは考えている。それぞれの個体の脳の「コア」は、学習（強化）、予測そして内因性活動／睡眠などを司っている。集団に置かれた個体の脳では、相互作用により「社会的」知能が産まれるが、その基盤として、注意と、共通体験および、社会的学習の臨界期が重要である。コア知能と社会的知能に関連する現象は種を越えて見られるが、ヒトに特徴的な高い柔軟性からは、創造性や精神異常（自閉症、精神疾患）までを含む多岐に渡る「多様な」知能が出現する。このような神経生物学的知見にヒントを得て開発される人工知能 (AI) は、究極的にはヒト知性の能力を拡大し、相乗的に私たちの未来を変えていくだろう。「ヒトの知性はどのようにして生じるか」という問いに答えるため、IRCN のチーム・サイエンスは以上 4 種の知能全てを対象として、それらがどのような相互関係にあるかを追究している。



ヒト知性が階層性のある知能から成るといふ IRCN のビジョンに応え、18 名の優れた主任研究者 (Principal Investigator, PI) が東京大学に結集した。多様な学問領域、ジェンダー、国籍から成る (図では色付きの円で示している) PI 陣に加え、約 30 名の国際色豊かな連携研究員 (Affiliated Faculty, AF) と多数のポストドクターおよび研究協力員

(Associate Research Fellow, ARF)が IRCN のミッションに参加している。これらの研究者による融合研究は、脳の発達の見点から次の3つの大きな目標を目指し IRCN のロードマップとマイルストーンに向け注力している：1) 幼若期の回復力と疾患予測研究の推進、2) 発達に伴う可塑性の方向性を修正したり、可塑性を再開させたりすることによる治療戦略研究の推進、3) 次世代 AI との協調によるヒト知性の機能の亢進。これらの目標に対して、IRCN の研究者はソフトバンク (BeyondAI) およびダイキンなどの企業スポンサーとの共同研究、あるいは下図に挙げる JST, MEXT や AMED からの研究費を研究代表者として 2020 年度に獲得、確保している。



2. 拠点の研究活動

2017 年 10 月の発足以来の IRCN の研究は目覚ましく進展している。脳の発達に関する新原理解明、それを用いた新たな計算論的精神医学への応用、そして更なるニューロインスパイアード AI (神経活動にヒントを得て開発される人工知能) の立ち上げに関する融合研究として以下の 10 例が挙げられる：

- I. 脳の発達に関する新原理
 - [1] 統合失調症の神経機構
 - [2] 自閉症スペクトラム障害のモデル作製
 - [3] 聴覚回路の構成原理
 - [4] 言語／鳴き声の初期発生
- II. 新たな計算論的精神医学
 - [5] 精神医学における機械学習
 - [6] 精神疾患の大規模解析
 - [7] 動的疾患予測アルゴリズム
- III. 新規人工知能
 - [8] 細胞可視化のための深層学習
 - [9] リザーブ計算に基づいた AI
 - [10] 新たな AI 構造

代表的な成果例として、神経生物学者の河西春郎 PI の研究室と計算科学者の石井信 AF の研究室の共同研究は、最近、高いインパクトを有する複数の論文発表につながっている。Iino et al. (Nature, 2020)は、報酬学習に関わる脳回路における汎化 (D1) と弁別 (D2) を分けるドーパミン回路の新たな原理を明らかにした独創的な研究成果である。この成果は、強化学習に基づいた人工知能の基本構造 (computational AI framework) を提供し、精神疾患の幻覚発生機序、及び D2 受容体拮抗薬の抗精神薬としての効果を説明する有力な仮説を打ち立てた。また、大木研一 PI は、生物学的原理を計算機による視覚認識に応用できることを明らかにした。細胞レベルの可視化法と視覚野の神経活動のモデル化により、大木研究室は神経細胞の受容野が一部重なり合うことにより、偶発的な神経活動が起きる状況でも画像認識を最適化できることを示した (Nat Commun, 2020)。これは深層ネットワーク AI の開発につながると考えられる。

疾患予測分野でも、IRCN は融合研究による有力な成果を得つつある。計算科学者である合原一幸 IRCN 副機構長は、疾患前状態を検出するための新たな数学理論を提唱している。この動的ネットワークバイオマーカー理論を利用することで、回復不能な状態になる前に神経疾患を検知できる可能性がある。この成果により、合原は JST のムーンショットプログラムのプロジェクトマネージャーに選出されている。IRCN の研究は、臨界期の原理も解明しつつあり、これは成人において脳の可塑性を再開する治療法 (iPlasticity) への発展が期待される。このような取り組みに対して、狩野方伸 IRCN 副機構長を領域代表とする文部科学省科研費 (学術変革領域研究(A)) が採択され、複数の IRCN PI が研究代表者とし

て参加している。臨床精神医学研究には大量データの解析とモデル化による革新的方法が取り入れられ、機械学習と深層ニューラルネットワークを用いて動物モデルから希少疾患患者へのトランスレーションを推進している。笠井清登 PI が代表者を務めボストン小児病院サテライト（代表：Hensch 機構長）が共同する AMED プロジェクトでは、幼児期と思春期に発症する精神発達障害を予想するバイオマーカーが明らかになった（PNAS, Mol Psych, Transl Psych, 2020）。

3. 研究成果の社会還元

機械学習は、脳、社会そして社会インフラなどの複雑で柔軟性のあるシステムにおける動的現象を、データに基づいて解析あるいは予測するための有力手法であり、IRCIN は関連する社会連携プログラム（SCP）を複数立上げている。合原副機構長は、東京大学 AI センターにおいて豊田中央研究所と共同で設立した Intelligent Mobility Society Design 社会連携プログラムの研究代表者として、時系列データから非線形因果関係を求める数学的方法（S. Leng et al., Nat Commun 2020）を開発し、サルの静止時 fMRI や大規模スポーツイベントにおける人の流れなどの実際のデータを解析した。合原研究室は量子アニーリングを交通信号機の大規模最適化に応用し、量子計算の可能性も探求している（D. Inoue et al., Sci Rep, 2021）。

合原副機構長は、Brain-Morphic AI（脳模倣人工知能）のための NEC との社会連携プログラムを東京大学生産技術研究所で立ち上げ、動的神経ネットワークの数値モデルを neuromorphic（神経模倣）計算に実装し（Y. Sakemi et al., Sci Rep, 2020）、特許を出願している。合原副機構長は、NTT および KKE（構造計画研究所）と共同して、それぞれ photonic spiking neural networks（光スパイクニューラルネットワーク）（T. Inagaki et al., Nat Commun, 2021）の開発と KKE との特許に基づき高次元データ予測（H. Ma et al., PNAS, 2018; S. Okuno et al., Sci Rep, 2020; P. Chen et al., Nat Commun, 2020; S. Okuno et al., Water Resources Research, 2021）を応用した洪水予想のための実用ソフト RiverCast などの開発を行なっている。

東京大学とソフトバンクの共同プロジェクト Beyond AI では、PI の大木、長井、辻と AF の中山、そして合原副機構長が、脳活動データ、ヒト幼児の学習過程からの知見、あるいは認知機能の個性を系統的に理解するための計算論的神経科学を利用して信頼性の高い AI 開発を目指している。同様に、IRCIN は Chao、大黒、宮本が参加するダイキンとの“Neurocreativity”（神経創造性）研究に関する社会連携講座を立ち上げ、作業や教育のために創造的で健康的な環境をデザインするための新たなバイオマーカー（心電図、細菌叢、睡眠）の同定を目指している。さらに、IRCIN は神経模倣および物理学に根ざしたエネルギー効率の高い情報処理技術に関する NTTRI との社会連携講座の上げを構想している。

最後に、活気に満ちた“Neurointelligence”研究を一般市民に知ってもらうため、日本科学未来館で体験型の展示を 2022 年春まで開催している。国際的・学際的な視点からの新しい社会のビジョンを示す展示に触発され、次世代の科学者が現れるなら、IRCIN による社会になしうる長期的な寄与と考えられる。

4. 異分野融合

IRCIN では研究促進のため「シナジー Synergy」、「コミュニティ Community」そして「サステナビリティ Sustainability」の 3 オフィス体制を創設し、3 名の副機構長がそれぞれの主任として活発で包括的な研究環境を整えるため定期的に議論を行なっている。特にシナジー・オフィスでは基盤経費の一部を割当て、分野を超えた共同研究を促進する「チーム・サイエンス（Team Science）」を立上げるため 12 のテーマを選定した。ボトムアップ提案を基盤とするこれらのテーマと共同研究体制は、PI 陣の力量の高さを物語っている。概念と方法論の両側面でも多岐に亘るチーム・サイエンスのテーマは、ヒト知性を形成する 4 つの知能（上記 I を参照）の研究分野を巧みにカバーしている。研究資源と人員充当の適正化のため、シナジー・オフィスは全てのチームに対して半年ごとの評価を実施し、融合研究が最適に実施されるよう努めている。

コミュニティ・オフィスは、大学院教育、アウトリーチ活動、そして国外からの研究者の支援などの包括的活動を IRCIN メンバーの協力を得て行なっている。サステナビリティ・オフィスは、国内外の研究費、寄付者、あるいは企業スポンサーなどからの研究資金獲得のために精力的に活動している。PI、AF あるいは国内外の招待演者によるサイエンス・サロンを毎週開催し、リトリートを毎年開催して継続的に交流を深めることにより、新たな融合研究のきっかけとする取組みを続けている。

5. 国際的な研究環境の実現

公募により鋭意選考を経て採用された IRCIN の PI のうち約 30%（Konnerth, Hensch, Tsuji, Chao, Cai）は海外出身者である。IRCIN は全ての PI に対して 1 名の外国人ポストドクの雇用経費を負担するとともに、分野をまたぐ 2 名のメンターを持つチーム・サイエンス・ポストドクも雇用している。事務系スタッフの約 80%は英語に堪能で、外国人研究

者が不便なく研究ができるよう支援している。通知や連絡はほとんど時間差なく英語と日本語で行われ、IRCN 所属メンバーが使用できる内部ポータルサイトでは研究および日常生活（住宅、家具、銀行等）に関する情報が共有されている。また、以下の共同研究施設（コアファシリティ）が整備され専門家によって運営されている：ヒト fMRI 装置、細胞レベルの形態観察（STED 顕微鏡、光シート顕微鏡、共焦点顕微鏡）あるいは機能計測（生体 2 光子顕微鏡、広視野 2 光子顕微鏡、超音波機能顕微鏡、マウス MRI 装置）、ES マウス/ウイルス・コア、データサイエンス解析とモデル化支援、科学論文執筆支援と編集支援。これらの利用により、国外からの研究者は東京大学に到着してすぐに実験を開始することができる。

IRCN の研究領域をさらに補完・拡張するため、ボストン小児病院サテライトをはじめとした約 20 ヶ所の連携施設からなる恵まれた国際ネットワークが機構長の努力で形成されている。連携施設からの研究者は定期的に IRCN を訪問し、シンポジウム、ワークショップ、教育、あるいは共同研究をおこなってきた。この親密な関係により、現在のパンデミック下にあっても IRCN は世界と繋がることができている。海外出張が再び容易になれば、研究者の頻繁な往来は再開される。とりわけ、インターン生の派遣および受け入れのための機構長国際化アワード（DGA）の予算が確保されている。IRCN はハーバード大学 Reischauer Institute、MIT、ヨーロッパ、カリフォルニア大学バークレイ校からの夏季インターン学生を定期的に受け入れてきており、国際“neuro-inspired computation”コースは人気が高い。

6. 組織の改革

IRCN が推進する大学改革には以下が挙げられる：本郷医学部キャンパスにおけるジェンダー、国籍、研究分野において多様で、高い能力を持った研究者の採用；2ヶ国語を話す事務スタッフによる支援と IRCN の活動における日常的な英語の使用；部局間での兼任の促進；多数の学部、研究室、研究所および国外の連携施設の研究者が参加する融合研究の促進；文部科学省の支援を受け、研究科間の垣根を越えて大学院生を指導する先端物理・数学プログラム（FoPM）への積極的な関与；海外からの研究生の積極的な受入れ。

7. 今後の展望

IRCN は、ヒトの知性の追究を、それを構成する4種の知能に関わるチーム・サイエンスを推進することで継続していく。「コア」知能（強化、予想）と「多様性」知能（精神疾患リスク、自閉症）における研究成果はすでに述べた通りだが、これらは今後さらに発達の観点と治療介入を組入れて発展することが期待できる。「社会的」知能グループは、異種間（マウス、キンカチョウ、ヒト）に共通する臨界期を決めるメカニズムがあることを示し、この可塑性（neuromodulation）における注意（attention）の重大な役割を確認している。このような神経生物学の成果は、何千年もかかってようやく得られてきたものだが、今やこれを計算モデルと発達ロボット工学に導入することができるようになった。今後有望な方法として、多層階イメージング法と臨界期マッピング法の発展も挙げられる。チーム・サイエンス間の重複を整理し研究対象を洗練することにより、チーム数は次第に減少し、WPI 予算終了後には4つの知能それぞれに対して1～2の課題に集約されると考えられる。

今後5年間の IRCN における発展は、「AI」の周辺領域でも期待される。脳の機能をより的確に模倣する neuromorphic ハードウェアとソフトウェア構築周辺にチーム・サイエンスが形成されるであろう。これは、豊田中央研究所とのリザーブ計算、あるいは NTTTRI や NTT との新たな neuromorphic ハードウェアの設計などにおける、企業界との社会連携研究を進展させる機会ともなるであろう。ムーンショット・プロジェクトによる疾患予測研究の成果では、ウェアラブルセンサーをはじめ様々な機器や予防治療への応用と製薬・医療機器企業との連携が期待される。これらの応用研究は、10年間の WPI 予算による補助期間終了後の IRCN の運営資金源として、その持続性の確保に寄与するであろう。

8. 拠点の自立に向けた以後5年間（6年目以降）にわたるホスト機関の具体的取組計画

IRCN に対しては、東京大学から以下の広範な支援が提供されている：アンダー・ワンルーフでの研究室構成をほぼ完全な形で実現するための医学部1号館の大半の使用；ヒト fMRI 装置借料の部分的負担；研究者および事務職員の給与の一部負担；一部研究費の負担；ソフトバンクおよびダイキンと東京大学が結んだ社会連携プロジェクトに IRCN の PI らが参加し、相当な額の外部資金を獲得；4名の若手 PI が東京大学卓越研究員に選出され、給与とスタートアップ資金を受領。東京大学は2020年に長期的な運営のための大学ファンドを立ち上げることを発表した。IRCN 独自の資金調達に加えて、東京大学は IRCN が独立部局へと転換するための道筋をつける努力を本格化するとともに、今後約10年間に人員を増加させ新たな研究棟の提供を構想している。

9. その他特筆すべき事項

該当なし