

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 令和6(2024)年度拠点構想進捗状況報告書

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	木村昌由美

作成上の注意事項：

※令和7(2025)年3月31日現在の内容で作成すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

拠点構想進捗状況の概要 (2ページ以内に収めること)

2017年に設立された IRCN は、神経科学、臨床医学、人工知能 (AI)、社会科学を融合し、ヒト知性 (Human Intelligence: HI) の発達原理を解明する新たな学際領域「ニューロインテリジェンス (Neurointelligence)」の確立を目指してきた。従来の AI は、特定の課題に対しては非常に有効である一方で、ニューロインテリジェンスが重視する総合性、適応性、学際性に欠けており、人工のディープニューラルネットワーク (DNN) は脳の階層構造を表面的に模倣しているに過ぎない。これに対し IRCN は、HI の本質として、神経ダイナミクスを特に重要視している。すなわち、内在的 (自発的) 活動、自己組織化、教師なし学習といった要素であり、これらは、身体性を備えた生命システムが、未知の情報に適応しながら発達していく上で不可欠である。また、ニューロインテリジェンスは、ヒトの脳 (約 20 ワット) に匹敵するデータ効率・エネルギー効率の高い計算を目指しており、膨大なデータとメガワット単位単位の電力量を要する近年の大規模言語モデル (LLM) とは根本的に異なる。生物の脳は、興奮性・抑制性 (E-I) 回路の最適バランス、新規のシナプス可塑性アルゴリズム、疎なスパイクに依存した情報伝達、そしてリカレントネットワーク構造によって、この課題を克服しているが、これらはいずれも現在の AI には十分に実装されていない。

ヒト知性 (HI) への理解の深化：精神疾患を対象としたトランスレーショナルリサーチでは、HI がどのように生じるのかを理解するための強力な枠組みを提供する。種を超えた分子メカニズム、神経回路、行動科学、計算論的研究を横断的に結びつけることで、精神疾患の新たなバイオマーカーや治療法の開発を促進すると同時に、知性そのものの神経的・遺伝的構造を明らかにする。IRCN における先駆的研究は、以下の分野で統合的な成果を上げてきた。

- **興奮性・抑制性 (E-I) バランス：**抑制性回路の成熟により、脳の可塑性が最も高まる「臨界期」が始まり、発達期における急速な技能獲得を支えていることが示された (Reh ら, PNAS2020)。この時期、極めて高速発火 (スパイク) する抑制性細胞は、精神疾患における脆弱性に関係することも分かった。しかしながら、現在の AI は抑制機構をほとんど考慮していない。臨界期 (Critical Period) 研究チームは、GABA 作動性麻酔薬に繰り返し曝露された乳児において、脳発達が加速することを実証した (Gabard-Durnam ら, in press)。さらに、リザーブコンピューティングに着目した研究 (ヘンシュ・合原主任研究者 (以降 PI)) により、最大の記憶容量と効率的学習に E-I バランスが不可欠であることを示した (金丸ら, 2023, 2025)。特にスパイクニューロンが HI の低エネルギー消費を支えることが示された (酒見ら, 張ら, 2024)。

- **ノイズに対する強さ：**脳は感覚入力がない状態でも常に自発活動し続けているが、知覚は高い安定性を保っている。一方、人工の DNN の性能は、ノイズによって容易に低下する。大木 PI のグループは、マーモセットの視覚経路の各段階におけるカルシウム信号を記録し、脳の内部ノイズと刺激誘発信号が、視覚野での階層が上がるにつれて徐々に直交関係 (すなわち独立関係) へと分離することを明らかにした (松井ら, Nat Commun 2024)。これは、ヒトの感覚知覚の安定性の要因を説明するとともに、ノイズ耐性の高い AI 設計への新たな戦略を示唆している。

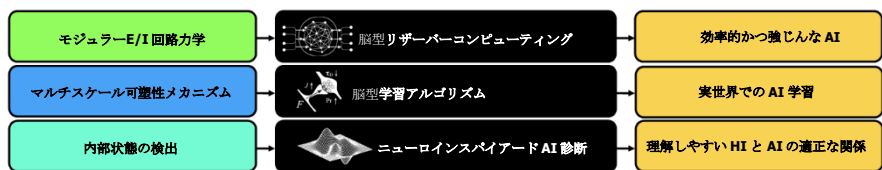
- **認知的柔軟性：**流動的で柔軟な思考 (マインドワンダリング) は、HI の本質的な特徴であるが、精神

疾患で損なわれ、AI では著しく欠けている。チャオ PI は、理解不能だった問題が突然明瞭になる「アハ！体験」についての洞察を与えた。渡部 PI は、種々 AI を超えて内在性脳活動を偏りなく検出するための万能な共通語として、エネルギーランドスケープ解析 (ELA) を考案した。これより、自閉症者における思考硬直性の検出だけでなく、その改善にも寄与することが示された (渡部ら、Nat Neurosci, in press)。同様の結果は、マウスモデル (Shank3+/-、社会的孤立) でも全脳 fUS イメージングを使用した臨界期研究チーム (ヘンシュ PI、後藤 PI) との共同研究により確認された。さらに、中嶋連携 PI と合原 PI との共同研究では、流暢性は高いが包括的言語理解力が乏しいことがある人工 LLM の特性を診断する手法として ELA を使用した (渡部ら、Adv Sci 2025)。

- **注意力/睡眠**：注意機能は、HI の高次認知機能 (問題解決、学習、社会的行動など) の基盤である。臨界期研究チームは、出生後の養育の質が生涯にわたる注意力低下を促すこと発見し、感受性が高い時期があることを同定した (牧野ら、Sci Transl Med 2024)。この時期のネグレクトは、マウスおよびヒトの双方で、長期にわたる睡眠障害を起し、それがパフォーマンスに悪影響をもたらした。マウスでは、特に前帯状皮質 (ACC) 内のドーパミン (D2/D4) 受容体の不均衡が関与し、成体期の薬理的介入により回復可能であった。さらに、河西春郎 PI は WPI 横断的連携により WPI-IIIS との共同研究で、睡眠欲求が低い状況でも、前頭前野の広範なシナプス増強を誘導すると、徐波睡眠の量が増加することを示した (沢田ら、Science 2024)。これらの成果は、ライフコースに沿った経験が、HI に関わる認知能力をどのように形成するか、そして「睡眠」が AI に果たし得る潜在的役割を初めて示した結果である。

- **性差**：HI に関連する疾患には性差が存在するが、AI は性中立的である。榎本 PI のグループによる、生後早期のストレスが注意機能に及ぼす影響 (上記) や、幼少期の社会的隔離が脳構造に与える影響 (Sazhina ら、NeuroImage 2025) は、性差に依存することが示された。逆境への曝露の多様性と、性差に起因する回復メカニズムの違いが、認知能力の個人差をもたらしている可能性がある。HI と AI が調和を保つためには、知性が遺伝のみならず、生物学・性・そして発達過程における経験との動的な相互作用からどのように生じるかをよりよく理解する必要がある。

脳型 AI に向けた進展：2024 年度には、これまで顕著な貢献をしてきた連携研究者メンバーの中から 5 名を連携/客員 PI として任命し、AI インキュベーターの機能を一体的に推進する体制を構築した。IRCN のチームサイエンスによって明らかになった脳機能原理 (左列) は、現在の AI の課題 (右列) におけるギャップを解決するために適用する。現在 10 件のプロジェクトが進行中である (第 2 章参照)。



リーダーシップ改革：木村昌由美事務部門長と後藤由季子副機構長を新たに任命し、EB レベルでのジェンダーバランスを達成した。国際的環境の改善への取り組みとして、DEI 研修を必修化 (東京大学初) した。前 PI (現連携研究者) 杉山 (矢崎) 陽子が 2025 年度の塚原仲晃記念賞を受賞した。岡部連携研究者 (日本学士院賞)、飯野機構長特別補佐 (瑞宝中綬章)、ヘンシュ機構長 (旭日中綬章) が、日本の科学の発展と国際化に生涯にわたり貢献したとして表彰された。

学生指導・次世代との関わり：特任の PI らが、変革を駆動する先端物理・数学プログラム (FoPM)、および大学院医学系研究科の教員に任命された。ニューロインスパイアドコンピューションコースをようやく再開した。また、IRCN 主催の海外では初の国際シンポジウムがイタリアで開催され、グローバルなネットワークをさらに広げるために、新たにイタリア (Scuola Normale、IMT Lucca) とオーストラリア (シドニー工科大学) との MOU が締結された。

持続可能計画：2023 年度末に、相原博昭 EVP、齊藤延人 EVP、ヘンシュ機構長は、UTIAS の傘下で恒久的に IRCN に東京大学の予算を配分する覚書を締結した。これにより、2024 年度よりテニユア審査が開始され、渡部 PI が IRCN 初の教授に就任するとともに、理研 CBS および帝京大学 ACRO との新たな国内脳神経科学アライアンスの下、「アスリート認知神経科学 (YIPS)」研究に対する概算要求予算が投入された。企業 (マイクロソフト、ダイキン) やベンチャーキャピタル (コランダム社) との新たなパートナーシップを模索し、2025 年度の WPI マッチングファンド申請に向けて準備を進めた。