

【学術変革領域研究（A）】

脳神経マルチセルラバイオ計算の理解とバイオ超越への挑戦

	研究代表者	東北大学・電気通信研究所・准教授
	研究課題情報	山本 英明 (やまもと ひであき) 研究者番号: 10552036 課題番号: 24A401 研究期間: 2024年度~2028年度 キーワード: 神経回路、数理モデル、生体工学、神経生物学、脳型ハードウェア

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

● 研究の全体像

私たちの脳は、神経細胞という不安定なバイオ素子に基づいて構成されながら、自己組織的に、そして高いエネルギー効率で高度な情報処理を実現する。この特性は単一の細胞では現れず、その単純な多数倍としても説明できない。多種多様な神経細胞が巧妙に配置・配線され、マルチセルラ(多細胞)ネットワークを構成することにより、脳の機能ははじめて創発される。

Society 5.0とも呼ばれる超スマート社会の実現に向けて、このような脳の情報処理様式に基づく機械学習・AIや脳型ハードウェアが開発され、その進化は社会に変革を与え続けている。一方で、現行の脳型システムにおける脳模倣が限局的であることも事実であり、学習効率などの点において生物の脳に迫るシステムはまだ存在しない。生物の脳神経系が、マルチセルラネットワークを物質基盤として情報処理を実現するメカニズムをより精緻に理解することは、例えば、量子計算分野における量子超越に比肩する「バイオ超越」(※バイオに倣って設計された計算機が、従来のコンピュータでは到達困難な学習効率・電力効率・頑健性で特定の問題が解けるようになること)の達成へと結びつき、AI・量子計算のさらに先の世代を担う、次々世代の情報通信技術(ICT)の創出に繋がることが期待される(図1)。

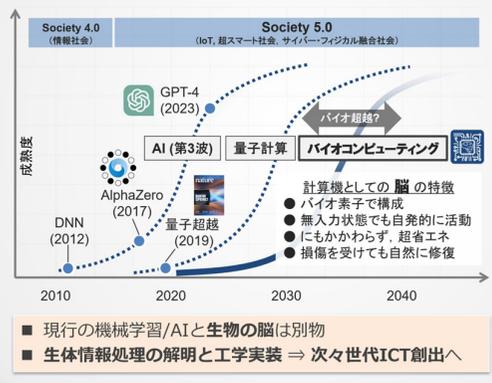


図1 バイオコンピューティングの位置づけと必要性

● 本領域のアプローチ

脳神経マルチセルラネットワーク上での情報処理を、モデル動物脳および培養細胞を用いた生物実験により解析した上で、数理モデルとして記述し、さらにシステム応用へと結びつけることを目指す新たな学問領域を立ち上げる。これを実現するための要素課題として、

- ① 生物実験のデータを記述する情報処理モデルと学習則の定式化(マルチセルラ数理モデル)
- ② ハードウェアへの機能実装と実機制御応用(マルチセルラハードウェア)
- ③ 培養細胞を用いたモデル・学習則の検証と生体機能の人工再構成(マルチセルラウェットウェア)

の3つのドメインを設定する(図2)。

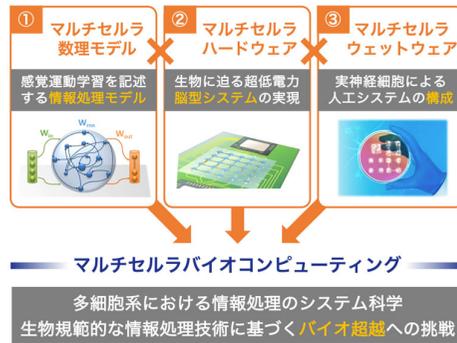


図2 本領域の目的

● 計画研究のチーム体制

上に述べた3つのドメインにおけるバイオ超越に挑戦するためのチームとして、本領域では専門分野が異なる4つの研究項目を設置する(図3)。



図3 計画班のメンバーおよび研究課題名とその間の連携

- 研究項目A01 (情報数理解)では、生物実験で得られる多細胞ダイナミクスに関する大規模データから情報表現として意味のある統計量を抽出し(松井班)、自発活動などの特徴の機能的意義を説明する数理モデルとして定式化する(香取班)。
- 研究項目A02 (生体工学)では、健常時の感覚運動制御(山本班)と損傷後の自己修復過程(平野班)を対象として、定式化されたマルチセルラ数理モデルが実細胞系で動作することを検証し、さらに培養神経回路を基盤とする計算機の実現に向けて各種センサやアクチュエータとのインターフェース技術を開発する(谷井班)。
- 研究項目A03 (システム神経科学)では、モデル動物脳の直接計測により、生体系での多細胞ダイナミクスに基づく情報表現(正水班)とシナプスレベルでの可塑性(神谷班)に関する生理データを取得する。
- 研究項目A04 (ハードウェア実装)では、マルチセルラ数理モデルを生物に近い電力効率で実装する集積回路を開発し(河野班)、さらにそれを実機適応制御コントローラとしてロボット制御に応用することで再帰的神経回路から創発する感覚運動変換特性を明らかにする(平田班)。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

5年間の研究では、具体的な情報処理として、脳神経系の根源的機能である「感覚運動制御」に焦点をあてて、バイオ素子(細胞)の集団的振る舞いとシステム(脳神経系)としての機能との関係、すなわちマルチセルラバイオコンピューティングを計算論的に記述した上で、その工学的な優位性を明らかにする(図4)。

バイオコンピューティングという新興分野を広い国際ネットワークの中で育て上げること(国際連携)、領域メンバーが共同利用できる「共通プラットフォーム拠点」を運用することで学際連携を高効率化すること(異分野融合)、そして本領域活動から派生する次のプロジェクトでPIを務められるクラスの次世代のリーダーを育てること(若手育成)も本領域の重要なミッションである。



図4 領域研究の中心となる様々な独自技術

