

「視覚系におけるニューロインフォマティクスに関する研究」

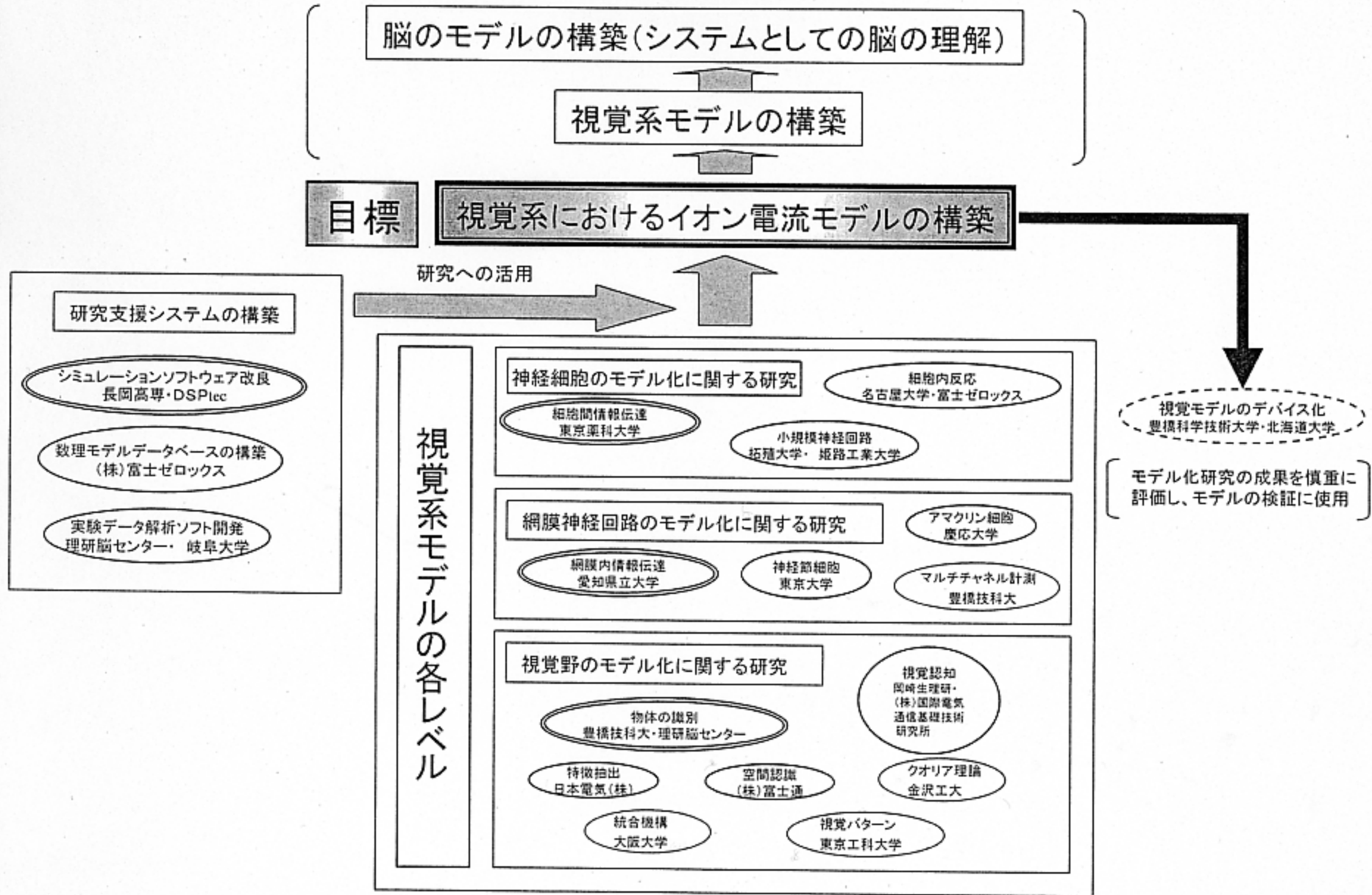
(H11年～H13年、第I期)

平成13年度予算額 1.7億円

研究管理統括者: 臼井支朗(豊橋科学技術大学教授) 他20機関

研究の概要・目標	諸外国等の現状	研究進展・成果がもたらす利点
<p>1 何を目標しているのか 視覚神経系におけるイオン電流モデルの構築及びそれを効率的に行うために必要な情報処理支援システムの構築</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>第I期: ●効率的なモデル構築に必要な情報処理支援システムの構築</p> <p>第II期: ●単一神経細胞レベル、網膜神経回路に係る統合モデルの構築、個々の視覚野モデルの構築</p> </div> <p>2 何を研究しているのか ①視覚神経系におけるイオン電流モデルの構築に関する研究 ・神経細胞のモデル化 ・網膜神経回路のモデル化 ・視覚野のモデル化 ②上記①の研究に必要な情報処理支援システムの構築に関する研究</p> <p>3 何が新しいのか 脳・神経科学と情報科学を結びつけることにより脳を理解しようとする点が新しい</p> <p>ニューロインフォマティクス: 脳・神経科学研究と情報科学研究を結合させること イオン電流モデル: イオン電流の測定データから、その電位依存性及び時間依存性を数理的に記述したもの</p>	<p>1 現状及び我が国の水準</p> <p>視覚系の神経生理学的研究については、諸外国としのぎを削っているところであるが、数理モデルに関する研究では諸外国に遅れをとっている。</p>	<p>1 世界の水準との関係</p> <p>世界に先駆け数理モデル研究のための基盤となる情報処理システムを構築することにより、脳神経系の数理モデル研究における欧米との差を縮めることが期待される。</p> <p>2 波及効果</p> <p>「脳を知る」 脳の構造や機能に対する理解の進展</p> <p>「脳を創る」 ロボット工学、情報処理工学等への応用</p> <p>「脳を守る」 薬物への副作用の解析等の脳の障害に対する理解の進展 につながることを期待される。</p>

視覚系におけるニューロインフォマティクスに関する研究体制図



実施体制及び所用経費

研究項目	研究実施機関等	所用経費 (千円)
1. 神経細胞の数理的再構成モデル構築に関する研究		
(1-1) 単一細胞内シグナリングの空間特性の解析とモデルに関する研究	名古屋大学・医学部	6,099
(1-2) 神経細胞の物理化学反応数理モデルに関する研究	文部科学省研究振興局 (株)富士ゼロックス・総合研究所(委託)	5,304
(1-3) 神経細胞のシナプス統合過程に関する研究	文部科学省研究振興局 東京薬科大学・生命科学部(委託)	8,489
(1-4) 培養神経細胞による神経回路の数理解析	文部科学省研究振興局 拓殖大学・工学部(委託)	5,038
(1-5) 微小脳神経回路の数理モデルに関する研究	文部科学省研究振興局 姫路工業大学・環境人間学部(委託)	5,655
2. 細胞生理に基づく仮想網膜の実現に関する研究		
(2-1) 網膜細胞のイオンチャネルとシナプス機構に関する研究	文部科学省研究振興局 慶應義塾大学・医学部(委託)	7,644
(2-2) 視覚系における並列情報処理とコーディングに関する研究	東京大学・大学院人文社会系研究科	6,572
(2-3) 網膜神経回路の数理モデルに関する研究	文部科学省研究振興局 愛知県立大学・情報科学部(委託)	7,005
3. システム・計算論的アプローチによる視覚機能に関する研究		
(3-1) 視覚野機能地図の自己組織化の数理モデルに関する研究	文部科学省研究振興局 日本電気(株)・基礎研究所(委託)	7,244
(3-2) 視覚認知における体制化の数理モデルに関する研究	文部科学省研究振興局 理化学研究所・脳科学総合研究センター (委託)	6,188
(3-3) 色彩知覚の数理モデルに関する研究	豊橋技術科学大学・情報工学系	6,858

(3-4) 視覚認知における脳のダイナミクスの研究	岡崎国立共同研究機構生理学研究所	6, 992
(3-5) 運動視による空間認識の神経網モデルに関する研究	文部科学省研究振興局 富士通株式会社(委託)	6, 890
(3-6) 3次元柔物体の形状イメージ認知の数理モデルの研究	文部科学省研究振興局 (株)国際電気通信基礎技術研究所(委託)	5, 499
(3-7) 神経活動の時空間パターンからクオリアを予測する研究	文部科学省研究振興局 金沢工業大学人間情報システム研究所(委託)	5, 966
(3-8) 視覚パターン認識機構の神経回路モデルの研究	文部科学省研究振興局 東京工科大学(委託)	3, 502
(3-9) 視覚皮質における両眼情報処理の機構に関する研究	大阪大学・大学院基礎工学研究科	10, 535
4. 視覚機能デバイスの実現に関する研究		
(4-1) 初期視覚情報処理を行うアナログ・ビジョンチップに関する研究	豊橋技術科学大学・電気電子工学系	5, 639
(4-2) 高次視覚情報処理を行うアナログ・デジタル混在チップに関する研究	北海道大学・工学部・電気工学科	5, 753
(4-3) スマート極微小多電極センサの構築と網膜細胞電位計測への応用に関する研究	豊橋技術科学大学・工学部	8, 806
5. ニューロインフォマティクス構築のための基礎研究		
(5-1) 脳神経活動データの数理解析法に関する研究	文部科学省研究振興局 理化学研究所・脳科学総合研究センター (委託)	6, 600
(5-2) 脳神経システム解析のための数理アルゴリズムに関する研究	岐阜大学・工学部	4, 959
(5-3) ニューロインフォマティクスのためのコンピュータ支援環境の構築に関する研究	長岡工業高等専門学校	1, 380

(5-4) 視覚神経系のニューロインフォマティクスデータベース構築に関する研究	文部科学省研究振興局 (株)富士ゼロックス総合研究所 (委託)	5,630
(5-5) モデリング・シミュレーション統合支援環境構築に関する研究	文部科学省研究振興局 ディーエスピーテクノロジー(株) (委託)	12,959
6. 研究管理	豊橋技術科学大学・情報工学系	9,955

研究目標の概要・成果の概要<課題全体>

【研究成果の概要】

第1期は、モデル研究を推進する上で必要な研究基盤の早急な整備、構築に務め、ニューロインフォマティクスのための研究支援環境ソフトウェアであるNI-SATELLITEを開発、公開すると共に、脳神経系に関する知見の蓄積・統合・共有を学際的、国際的に進める環境としてVisione platformの仕様を策定した。各研究項目ごとの成果は以下の通りである。

- (1) 脳神経系の機能単位である単一神経細胞について、その細胞内、細胞間の情報処理機構の数理モデル化に関する研究は、次の小項目について研究を進めた。
 - (1. 1) 単一細胞における形態変化の細胞内シグナリングの実験的解明は、信号の強さと方向をエンコードするシグナル系を同定することに成功した。
 - (1. 2) 細胞内物理化学反応モデル構築システムの開発、及びシナプスにおける長期増強・長期抑圧の調節・修飾メカニズムの解明と実験的検証可能な予言を行うことができた。
 - (1. 3) 神経細胞における受動的特性の解析をおこない、神経細胞モデルの構築に必要なパラメータの数値を算出し、その受動的モデルの骨子は完成した。また、能動的特性の解析については、樹状突起スパイクに関する重要な知見を得、さらに入力間相互作用についても予備的な成果を発表することができた。
 - (1. 4) 単純神経回路の形成に関しては、マイクロプリント法を用いることにより、ほぼ目標を達成できた。また、ネットワークモデルに関して、比較的多数の細胞からなるネットワークの性質を説明可能なモデルが完成した。
 - (1. 5) ミツバチ中樞神経細胞の細胞モデル構築とその応答特性の解析については、基本的なモデル記述が完成した。一方、行動モデルについても実験データから数理モデル構築の手法を確立することができた。
- (2) 網膜を具体的対象に神経生理実験データに基づいた網膜神経回路のモデル化に関する研究は、次の小項目について研究を進めた。
 - (2. 1) アマクリン細胞を中心に網膜細胞のイオンチャネルとシナプス特性のモデルパラメータを推定した。
 - (2. 2) 網膜神経節細胞における同期的・周期的スパイク発火の特性を解析した。
 - (2. 3) 視細胞、水平細胞、双極細胞、神経節細胞の数理モデル構築を行った。その結果、それぞれの細胞について、イオン電流機構と細胞内情報伝達機構を数理的に記述したモデルが完成した。
- (3) 視覚野を形成する主要経路に関するシステム・計算論的アプローチを用いた研究は、次の小項目について研究を進めた。
 - (3. 1) 視覚経験の効果を取り入れた受容野および機能地図の自己組織化モデルを構築した。同モデルを方位や方向選択性を有する単純型細胞の形成へと適用し、生理実験との比較を通して検証した。視覚経験の役割を考察すると共に、解析を通して新規な機能地図の予測を行った。
 - (3. 2) 視覚野ニューロンの反応選択性を再現するスパイク放電型ニューロンモデルを用いた視覚野ネットワークモデルを構築した。また、単純化したモデルを用いて刺激に依存したニューロン活動の同期現象についても再現することができ、同期現象解明への理論的基礎が完成した。
 - (3. 3) 色彩透明視を中心として色彩知覚の計算理論の構築、および心理物理実験による検証を行った。色表現に関する計算理論のなかでも高次レベルに関しては現在心理物理実験、及びモデル化を進めており、

その見通しがついた。

- (3. 4) 脳の高次領野と低次領野間で視覚認知行動に関わる情報のやり取りを多ニューロン記録により計測するシステムを開発した。また目的に通じた視覚認知課題の開発とサルの訓練を行い、低次領野であるV4野からニューロン活動記録を行った。今年度中に高次領野である前頭前野からもニューロン活動記録を開始する予定である。
- (3. 5) これまでの生理データを統一的に説明できる網膜からMT野を経てMST野までの全神経網(0.16億個の神経細胞とそれを結ぶ4.6億本の神経網)を世界で初めてモデル化した。また、この神経網をコンピュータ上に構築し、平面を正しく空間認識できることを確認した。
- (3. 6) 表情表出における顔面の3次元形状の変化という物理的特徴が人間に認知される感情のイメージにどのような影響を与えるかを心理物理実験によって明らかにした。これらの3次元柔物体の物理的特徴を画像情報から計算によって抽出する3次元情報復元アルゴリズムの見通しをつけることができた。
- (3. 7) 明滅刺激パターンが生じさせる色覚を精密に計測できる色知覚計測装置を試作した。また、視覚低次野の詳細なシミュレーションから、その対称性を見出す研究は、予想外に計算量が必要であることを明らかにした。
- (3. 8) 平成13年度からプロジェクトに参加し半年経過したところである。この間にすでに、視覚パターン認識機構のモデルを構築し、そのパターン認識能力を手書き文字パターンを用いて実証した。
- (3. 9) プロジェクトへの参加は平成13年度からである。平成12年度は班友として参加し、その間にこれまでの両眼視に関する研究成果の取りまとめと、その発展形としてのモデル構築の予備研究と実験装置の立ち上げを行った。
- (4) 網膜から視覚野に至る動きを中心とした視覚情報処理機構と半導体デバイス・回路機能を融合した、新しいデバイス・回路・ネットワークの実現に関する研究は次の小項目について研究を進めた。
 - (4. 1) 網膜機能について局所適応機能回路を有する外網膜機能についてシンプルな基本回路・ネットワークを考案し、試作チップによりその機能を確認した。また、シンプルな基本回路によって動き情報を抽出できる基本回路を見いだした。
 - (4. 2) 高次視覚処理を行う集積回路開発として、局所動き検出を行うアナログ集積回路を開発した
 - (4. 3) 信号処理集積回路チップ上への極微細多電極の設計・試作は、精力的な実験と考察により、多くの未解決問題を解決することができた。細胞サイズの電極間隔を実現し、集積回路の動作を確認した。
- (5) (1)~(3)のモデル研究を支援するアルゴリズム、ツールおよび環境に関する研究は次の小項目について研究を進めた。
 - (5. 1) 様々な独立成分解析のアルゴリズムを実装した計算支援環境を開発した。動的独立成分解析などの、非定常なデータやノイズの大きいデータに有効な先進的な統計手法を提案した。脳波などの多チャンネル信号への適用では、ノイズや筋電などの除去に有効な手法を提案した。
 - (5. 2) スパイク列で表現される情報構造を解析するための、計算機を用いた解析を可能とする数値アルゴリズムを開発した。
 - (5. 3) 豊橋技術科学大学において開発されてきた神経系などの未知システムの解析、モデリングシミュレーションを支援するソフトウェアであるSATELLITEを改良し、ニューロインフォマティクスSATELLITE(NI-SATELLITE)を開発しプロジェクトメンバーへ公開した。ニューロインフォマティクス研究のためのデスクトップ支援環境(NI-DTE)は、現在開発中であるが、第1期終了時にはプロジェクトメンバーに公開できる見通しである。

- (5. 4) 本プロジェクトが最も重視する機能である「視覚神経系研究領域の一覧表示」に必要となる視覚系研究領域のインデックス(Visione Index)をメンバーの議論をもとに決定した。視覚系に関する生理学的知見、数理モデル、関連情報を統合したデータベースを核とする Visione platform のプロトタイプを構築し、プロジェクト内でテスト運用を行いその評価を受けて改良を行った。
- (5. 5) UNIX版SATELLITEを基にWindows版SATELLITEを開発した。UNIX版とWindows版での操作環境を極力統一化し、尚且つ従来のSATELLITEの言語処理系としての仕様に関する問題点を改善した。