

ニューロインフォマティクス技術開発チーム

Laboratory for Neuroinformatics

チームリーダー 臼井 支郎

USUI, Shiro

脳神経科学の急速な発展は研究内容の専門化・細分化を進め、脳神経全体での機能をシステムとして捉えることが困難になりつつある。「ニューロインフォマティクス (NI)」は、このような脳研究の問題を解決するため、様々な研究情報を統合・共有するための枠組みを与える研究分野である。特に、数理モデルは、脳研究に関する個々の知見を統合し、システムとして理解するための共通言語として NI における中心的な役割を担う。また、脳研究に関連する情報の収集・解析を行う研究支援環境の提供も NI の重要な課題の1つである。

本チームでは、こうした背景のもと、脳研究を支援するデータベースの構築・運用、データ解析ツール等を開発・提供する。さらに、開発するシステムを評価する具体的な研究対象の例として、視覚系における単一神経細胞レベルから計算論的アプローチによる脳高次機能レベルの数理モデルを生理実験・心理物理実験を通して構築し、各レベルにおける知見の集約を行う。

1. 研究支援環境の構築・整備

(1) NI 基盤データベース XooNiPs の開発 (奥村, 山地, 永田, 堺, 池野 *, 臼井)

NI 技術の1つとして、脳・神経系に関する研究データを収集・蓄積・共有することは、脳機能の解明をより一層促進するために必要不可欠である。その中で、従来のように論文などの紙を媒体とした書誌による情報だけでなく、実験データ、数理モデル、シミュレーションプログラム、結果のデータやグラフ、URL など電子情報を含めた様々な研究資源をインターネットによって共有することが特に重要となる。これに対して、我々はこれまで視覚系を対象としたデータベース Visiome Platform の開発を進め、公開・運用してきた。本テーマでは、他の脳科学研究分野においても Visiome Platform のようなデータベースを構築・展開して NI の推進をはかるため、システム導入の容易さやメンテナンス性の向上を考慮した Platform 基盤システム XooNiPs を開発した。本システムは、コンテンツマネージメントシステム XOOPS をベースとしており、プラグイン形式による様々な機能の追加、インタフェースデザインの容易な変更を可能にした。さらに、XooNiPs は、システムを運用・管理する際に問題となるコンテンツの品質管理やユーザ管理の方法についても柔軟に対応できる設計になっている。

(2) 研究資源管理アプリケーション (堺, 奥村, 青山 *, 池野 *, 臼井)

XooNiPs は、研究資源の共有化推進を目的とする、ブラウザでの操作を基本としたウェブ・データベースである。しかしながら、ウェブ・ブラウザは、その名が示す通り閲覧に主眼を置いたインターフェースであり、登録や更新といった操作には不向きである。本プロジェクトでは、閲覧者ではなく、登録者の利便性に主眼を置いた研究資源管理アプリケーションの開発を目的とする。本年度は、その第一段階として文献管理ツールを開発した。このツールにより、使い慣れたネイティブ・アプリケーションのユーザーインターフェースを介して、タイトルやコメントなどのメタ情報を付加した PDF ファイル群のデータベースを容易

に構築・管理できる。今後は、実験データ管理機能の開発、XooNiPs との連携などに取り組む予定である。

(3) システム解析支援環境 (Satellite, Samurai Graph) の開発 (奥村, 山地, 堺, 永田, 臼井)

本テーマでは、脳・神経系に代表される未知システムの解析を目的とする支援環境ソフトの開発を進めている。未知システムを解析するためには、実験データの計測、信号解析、モデリング、数値シミュレーション、可視化、評価・検討の一連のプロセスを繰り返すことが重要である。この際、これらの高次の思考活動の他にデータの整理・変換、プログラミング、作図などの付随的な作業に多大な時間が必要となる。こうした付随的な作業は、結果的に創造的な思考活動を妨げるものであり、作図などの機能が同一環境下で、統一かつ容易に実行できることが望まれる。本年度は、可視化の処理プロセスにおいてユーザの利便性を考慮した汎用二次元グラフ描画ソフトウェア Samurai Graph と、これら一連のプロセスを統合する統合環境システム解析支援環境 SATELLITE の開発・改良を進め、Web 上でフリーソフトウェアとして公開した (<http://satellite.sourceforge.jp/>, <http://samurai-graph.sourceforge.jp/>)。Samurai Graph に関しては、現在、累計ダウンロード数が1万件に至っている。

(4) NI データベースの自動インデックシング技術の開発 (永田, Palmes, 上田 *, 臼井)

NI データベースに蓄積される膨大な情報を体系的に分類・整理するために必要となるキーワードインデックスを自動的に抽出する技術を開発している。本年度は、過去12年分の科学技術雑誌の論文情報をもとに、研究分野毎に重要なキーワードが持つ統計的性質を調べた。また、こうしたキーワードの統計的性質を手がかりとして収集した論文情報から重要なキーワードを自動抽出するアルゴリズムの開発を進めている。

(5) 研究チーム間の研究トピック・マッピング技術の開発 (永田, Palmes, 上田 *, 臼井)

研究チーム間での研究情報を共有する試みの1つとして、各チームが興味を持つ研究トピックのパターン類似性を二

次元平面上にマッピングし、可視化するツールを開発した。BSI のチームに対して興味を持っている研究トピックのアンケート調査を実施し、開発したツールによる可視化を行った。その結果、チーム間での研究トピックの関連性を多角的な視点で容易に評価することが可能となった。

(6) NI 動向調査 (山地, 池野 *, 宮川 *, 大澤 *, 臼井)

国際協力の中で我々が戦略的に NI を展開していくためには、最新の NI の動向を把握することが重要である。本テーマでは、国内外の動向調査、国内の NI 関連情報の整理、NI に対する関係研究者のニーズ調査等を実施した。具体的な方法としては、海外については、Web サイト調査と NI 関連学会資料の調査を行うとともに、関連学会や研究機関への実地調査を行った。また、各国の NI Node の構築状況や NI データベースの最新事情をまとめた。一方、国内については、同様に Web サイト調査を行うとともに、各機関への実地調査を行い、NI Japan Node 設立に関しての必要な情報をまとめた。さらに、NI 国際シンポジウムを開催し、国内外の NI 研究者との意見交換や情報収集を実施した。

(7) Visiome Platform の運用・改良 (堺, 奥村, 大澤 *, 池野 *, 中内 *, 神山 *, 竹部 *, 立花 *, 宮川 *, 臼井)

Visiome Platform は、視覚系を対象とした初の研究資源管理データベースである。本年度 5 月から試験公開し、本格運用を開始した。また、ヘルプデスクサービスに寄せられたユーザーリクエストに基づいて機能拡張を行い、利便性の向上を図った。こうした活動の結果、総ユーザ数は 100 名を越え、コンテンツ数はほぼ 3,000 件に達した。

2. 視覚系における計算論的神経科学

(1) 眼内平滑筋に関する生理工学的研究 (山地, 臼井)

虹彩平滑筋の神経支配を調べる研究では主にウサギが使われており、霊長類での結果は乏しい。そこで、ウサギに効果のある 7 種のペプチドの、サル虹彩平滑筋に対する作用を調べた。外因性に与えた substance P, CGRP, VIP, galanin は、電気刺激に対する虹彩括約筋の収縮には効果がなかった。一方、PACAP は電気刺激に対する収縮を増強し、NPY と somatostatin は、それぞれ収縮を抑制した。フィールド刺激に効果のあった 3 種類のペプチドは、アセチルコリンによる収縮には影響しなかった。サル虹彩散大筋に対しては、今回用いた 7 種類のペプチドは効果がなかった。以上のことから、霊長類における虹彩の神経支配は、他のほ乳類に比べて比較的単純であることが示された。この他にも、毛様体筋の薬理特性を各種プロスタグランジン (PG) を用いて調べる研究を行った。PGE₁ と PGE₂ は、電気刺激に対する収縮を抑制したが、PGF_{2α} と latanoprost は効果がなかった。すなわち、PGF_{2α} と latanoprost による眼圧低下作用は、毛様体筋の弛緩により生じているのではないことが示された。

(2) 網膜神経回路の情報処理機構に関する研究 (Kamiji, 石原 *, 臼井)

網膜神経回路の情報処理には伝達物質やニューロモジュレータなどによって引き起こるコンダクタンス変化が大きく関わっている。こうした現象を実験的に検証し、さらにその情報処理過程を調べるため、本研究では数理モデルと実細胞を統合したシステムを構築し、全てのイオン電流を含む応答から各電流成分のコンダクタンス変化を検出する

手法を開発した。その動作確認を行うため、いくつかの制約の元で、ある特定のイオン電流を抑制する薬物を用いた実験を行った。これらの実験では、添加した薬物によって引き起こるコンダクタンス変化を検出することができた。

(3) 視覚系の色情報処理機構に関する研究 (永田, 中内 *, 臼井)

本研究では、視覚系の色情報処理機構に着目している。本年度は、異なる視野位置での色弁別能力を測定する心理物理実験を行い、その処理機構の数理モデルを構築した。実験と数理モデルシミュレーションの結果、異なる視野位置で応答する色選択性細胞の感度の違いが色弁別能力に大きく関与していることが示唆された。また、心理物理実験を通して得られたヒトの色覚特性を工学的に応用するため、色覚正常者と色覚異常者のいずれが見ても等しく情報を受け取ることができる (色覚バリアフリーな) カラーコンテンツの配色決定問題にも取り組んでいる。本年度は、知覚される色の目立ちやすさを指標として色覚バリアフリーな配色を自動決定する数理モデルを提案し、数値シミュレーションを通して良好な配色結果が得られることを確認した。

(4) ばけ知覚の文脈依存性に関する研究 (堺, 臼井)

対象物の見えは、対象物そのものの物理的な特性によってのみ決まるのではなく、時間的・空間的文脈の修飾を受ける。そこで本研究では、ばけ知覚を対象にその文脈依存性を調べた。時間的文脈を調べた実験の結果、特定のフィルタでぼかした画像に順応することで、同じ性質を持つばけの知覚量が減少することが分かった。その効果は、非直線位相特性を有するフィルタに対しても有効であり、古典的な局所コントラスト順応では説明できない現象である。一方、空間的文脈を調べた実験の結果、中心視で知覚されるばけがその周辺に呈示されるばけ画像によって軽減することが分かった。これらの文脈効果はいずれも、眼屈折異常による網膜像のばけを補償するのに有効に働いていると考えられる。

(5) 学習アルゴリズムに関する研究 (Palmer, 臼井)

ニューラルネットワークの代表的な学習アルゴリズムであるバックプロパゲーション法では、教師データに対するオーバーフィット、またはアンダーフィットの問題を考慮しなければならない。本研究では、こうした問題を解決するため、ニューラルネットワークの最適なパラメータ値、重み、構造などを “invasive evolution and adaptation” 法を用いて自動的に求める確率論的モデルを開発した。“Invasive” なアプローチは、ニューラルネットワークの構造と重みを勾配情報によらず同時に決定可能である。その結果、問題定義の制約が少なく、実問題に多い複雑で不規則な問題にも適用できる。提案モデルのベンチマーク結果では、様々な雑音下でもニューラルネットワークの大きさや初期条件によらず最適な解が得られた。この成果は、クラスタリング、分類、認知、視覚といった研究への適用が考えられる。

* 非常勤研究員

Neuroinformatics (NI) is a new interdisciplinary field that aims to establish links between brain-related sciences using advances in information technology to achieve a bet-

ter understanding of the brain as a whole. We develop mathematical models, scientific databases, data-analysis tools and other resources needed for the promotion and widespread adoption of NI in Japan. Computational neuroscience studies have provided a suitable experimental platform for initial studies in this area. Moreover, the visual system is being used to develop a wide range of visual-system models from single cell to higher brain macro level functions.

1. Development of research-support environments

(1) Development of a Base Platform

The NI technologies for the collection and sharing of neuro-related data are important for the brain understanding. These information include electrical resources, papers, experimental data, mathematical models, simulations, URLs, etc. Hence, it is necessary to develop a database system to integrate these disparate resources into a single base named XooNiPs, which serves as the Base Platform for other research fields. It is based on the XOOPS content management system. It features better scalability, extensibility, customizability, and has tight integration of modules which makes customization easy.

(2) Development of application software for digital research resource management

This project aims to develop front-end software for the digital research resources (DRR) management that interfaces with the native application user interface. As a first step, we developed the literature management tool for this year. This tool enables us easily to construct a database of PDF reprints with its meta information.

(3) Development of support tools for systems analysis

It is generally agreed that the biological system is one of the most complex and sophisticated mechanisms on Earth. However, since there are only a few systematic theories that exist for such systems, trial and error studies are necessary. Therefore, an environment to support and realize the ideas of scientists is significant. To attain this goal, we developed Samurai-Graph (a highly functional and user-friendly graph plotter) and SATEL-LITE (total environment for the system analysis and model simulation) which are now freely available: Samurai-Graph: <http://samurai-graph.sourceforge.jp/> SATEL-LITE: <http://satellite.sourceforge.jp/> Now, the total number of downloads has reached 10,000 for Samurai-Graph.

(4) Development of an automatic indexing technology for databases

This project aims to develop automatic indexing technology in order to achieve systematic classification for a wide range of data on a database. In this current year, we have analyzed the statistical characteristics of several indices and have been developing the algorithm for automatic index extraction.

(5) Development of a visualization tool to aid in discovering patterns and relationships of research topics in BSI teams

This project has developed a visualization tool to suggest potentials for making new acquaintances and sharing of resources in BSI. Using this tool, it is easy to visualize the degree of similarity of resources across different teams.

(6) Trend survey and analysis of NI development

The clear understanding of global NI trends is necessary to guide us in shaping the future of the Japanese NI project. To help us in the implementation of NI activities, we conducted a global survey of NI. Web page and public NI database investigations as well as interviews of

overseas NI researchers have been performed. We have also held an international symposium to solicit valuable information from experts around the world.

(7) Visiome Platform: operation and improvement

Visiome Platform (VP) has been developed as the first DRR database on vision. We, as a member of VP committee, started a pilot operation of VP from May and made efforts to increase the number of users and its contents. In addition, we improved the usability of VP based on user requests received by our helpdesk. Currently, there are more than one-hundred users and it has about 3000 items in its database.

2. Computational neuroscience studies on the visual system

(1) Properties of inner ocular smooth muscles

The inner ocular study has revealed the innervational and mechanical properties of iris and ciliary muscles through pharmacological and physiological experiments. The functional roles of several biologically active peptides on the iris mechanism have been determined. The effect of prostaglandins on the electrically evoked contractile response of the longitudinal ciliary muscle was also investigated. These experimental results have been used to develop a mathematical model of inner ocular muscles.

(2) Retinal-circuit mechanisms

The information processing in the retinal circuitry can be expressed as conductance changes induced by neurotransmitters, neuromodulators, etc. To elucidate such mechanisms, we have developed a hybrid system which integrates real neurons with mathematical models. Its performance was checked from responses recorded under drug application. Conductance changes induced by the applied drug could be readily detected.

(3) Color-vision mechanisms

The study has revealed the color discrimination characteristics in different visual fields using psychophysical experiments and mathematical model simulations. The results suggested that color discrimination performance is determined by the sensitivity distribution of color-selective cells which vary according to the location of stimulus in the visual field. This project has also constructed a color correction model for barrier-free color vision from the viewpoint of engineering application.

(4) Blur perception mechanism

We conducted psychophysical experiments to investigate temporal and spatial contextual effects on blur perception. We then found, by adaptation to blurred natural images that the inverse filter is acquired even if the blur filter has non-linear phase characteristics. Furthermore, we revealed that blur perception in foveal vision was reduced by the blur information in peripheral vision. These contextual effects serve a useful role to compensate the retinal image blur due to the refractive error of the eye.

(5) Learning algorithms and optimizations

Practitioners of Backpropagation are always confronted with its tendency to overfit or underfit the training data. Hence, we developed a stochastic learning model that allows automatic determination of optimal neural network parameters, weights, and architecture through invasive evolution and adaptation. Benchmark results indicate that the algorithm is robust from different perturbations and has optimal solutions independent of network size and initial states. Its possible applications include clustering, classification, recognition, and vision.

Staff

Laboratory Head

Dr. Shiro USUI

Research Scientists

Dr. Kazunori NAGATA

Dr. Hiroyuki SAKAI

Dr. Kazutsuna YAMAJI

Technical Staff I

Mr. Nilton L. KAMIJI

Mr. Yoshihiro OKUMURA

Mr. Paulito P. PALMES

Assistants

Ms. Hideko KONO

Ms. Hitomi OKANO

Visiting Scientists

Dr. Toshihiro AOYAMA (Dept. Electr. Inf. Eng., Suzuka Natl. Coll. Technol.)

Dr. Hidetoshi IKENO (Sch. Hum. Sci. Environ., Univ. Hyogo)

Dr. Akito ISHIHARA (Sch. Life Syst. Sci. Technol., Chukyo Univ.)

Dr. Yoshimi KAMIYAMA (Fac. Inform. Sci. Technol., Aichi Pref. Univ.)

Dr. Hiroyoshi MIYAKAWA (Sch. Life Sci., Tokyo Univ. Pharm. Life Sci.)

Dr. Shigeki NAKAUCHI (Fac. Eng., Toyohashi Univ. Technol.)

Dr. Izumi OHZAWA (Grad. Sch. Front. Biosci., Osaka Univ.)

Dr. Masao TACHIBANA (Grad. Sch. Hum. Sociol., Univ. Tokyo)

Dr. Keisuke TAKEBE (Dept. Electron. Control Eng., Nagaoka Natl. Coll. Technol.)

Dr. Naonori UEDA (Intell. Commun. Lab., NTT Commun. Sci. Lab.)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

Yoshitomi T., Yamaji K., Ishikawa H., and Ohnishi Y.: "Vasodilatory mechanism of unoprostone isopropyl on isolated rabbit ciliary artery", *Curr. Eye Res.* **28**, 167–174 (2004). *

Geczy P. and Usui S.: "Novel superlinear first order algorithms", *IEICE Trans. Fundam. Electron., Commun. Comput. Sci.* **E87-A**, 1620–1631 (2004). *

Muto E., Sakai H., and Kaseda K.: "Long-range cooperative binding of kinesin to a microtubule in the presence of ATP", *J. Cell Biol.* **168**, 691–696 (2005). *

中内茂樹, 林宏二, 臼井支朗: "広ダイナミックレンジシーンの WYSIWYG 的再現: 多重解像度表現による輝度補正画像の統合", *電子情報通信学会論文誌 D-II* **87**, 1153–1161 (2004). *

北原正慈, 早坂太一, 臼井支朗: "階層型ニューラルネットワークの学習誤差の統計的振舞いについて", *電子情報通信学会論文誌 D-II* **87**, 1170–1178 (2004). *

(総説)

Usui S., Yamaguchi I., Ikeno H., Takebe K., Fujii Y., and Okumura Y.: "Visiome environment: enterprise solution for neuroinformatics in vision science", *Neurocomputing* **58/60**, 1097–1101 (2004).

臼井支朗: "ニューロインフォマティクス: IT 時代の脳・神経科学", *現代医学* **51**, 357–359 (2003).

臼井支朗: "ニューロインフォマティクス: 動向と展望", *生体の科学* **54**, 436–442 (2003).

臼井支朗, 池野英利: "視覚系のニューロインフォマティクスサイト: Visiome Platform", *日本神経回路学会誌* **11**, 193–199 (2004).

(その他)

Palmes P. P. and Usui S.: "The influence of gaussian, uniform, and cauchy perturbation functions in the neural network evolution", *Lect. Notes Comput. Sci.* **3316**, 199–204 (2004).

口 頭 発 表 Oral Presentations

(国際会議等)

Palmes P. P., Hayasaka T., and Usui S.: "Knowledge discovery using evolutionary neural networks", *Science of Modeling: 30th Anniversary of the Information Criterion (AIC 2003)*, (The Institute of Statistical Mathematics), Yokohama, Dec. (2003).

Usui S.: "Visiome platform: Neuroinformatics in vision science", *10th Ann. Human Brain Project Conf.*, Bethesda, USA, Apr. (2004).

Yamaji K., Yoshitomi T., and Usui S.: "Effects of peptides on monkey iris sphincter and dilator muscles", *Ann. Meet. of the Assoc. for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO2004)*, Fort Lauderdale, USA, Apr. (2004).

Usui S.: "Neuroinformatics in vision science: VISIOME platform", *43rd Ann. Conf. of Japanese Soc. for Medical and Biological Engineering*, Kanazawa, May (2004).

Usui S. and Amari S.: "Japanese neuroinformatics project in vision and RIKEN Brain Science Institute", *Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN 2004)/ IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2004)*, Budapest, Hungary, July (2004).

Usui S.: "Visiome platform: Enterprise solution for neuroinformatics in vision science", *Kick-off Meet. on National Network for Computational Neuroscience*, Belrin, Germany, Oct. (2004).

Palmes P. P. and Usui S.: "Robustness, evolvability, and optimality of evolutionary neural networks", *6th China-India-Japan-Korea Joint Workshop on Neurobiology and*

Neuroinformatics, Manesar, India, Nov. (2004).
(国内会議)

奥村嘉宏, 石原彰人, 臼井支朗: “ニューロインフォマティクスにおけるシステム解析支援環境に関する研究”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 東京, 3月 (2003).

臼井支朗: “生体・生理学からニューロインフォマティクスへ”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 東京, 3月 (2003).

豊田敏裕, 中内茂樹, 臼井支朗: “シーンに対する色信号の統計的性質が知覚的色彩透明視に与える影響”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 豊橋, 12月 (2003).

観音隆幸, 堺浩之, 中内茂樹, 臼井支朗: “屈折異常に対する視覚系の適応”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 豊橋, 12月 (2003).

臼井支朗: “視覚系のニューロインフォマティクス: 概要と展望”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 豊橋, 12月 (2003).

池野英利, 神山斉己, 山口功, 竹部啓輔, 藤井康夫, 奥村嘉宏, 臼井支朗: “視覚系のニューロインフォマティクス研究支援環境: Visiome Platform の概要”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 豊橋, 12月 (2003).

Kamiji N. L., 石原彰人, 藤井康夫, 臼井支朗: “オンライン推定法による網膜神経細胞膜特性の計測”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 東京, 3月 (2004).

針本哲宏, 石原彰人, 河野剛士, 石田誠, 臼井支朗: “マイクロプローブ電極アレイによる網膜光応答計測”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 東京, 3月 (2004).

桂智康, 早坂太一, 中内茂樹, 臼井支朗: “構造記述による視覚的短期記憶に着目した物体認識における視点依存性の解析”, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 東京, 3月 (2004).

山地一禎, 吉富健志, 臼井支朗: “サル虹彩括約筋, 散大筋に対するペプチドの作用”, 第108回日本眼科学会総会, 東京, 4月 (2004).

臼井支朗: “ニューロインフォマティクス: IT時代の脳科学”, 第48回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 5月 (2004).

堺浩之, 臼井支朗: “ぼけ知覚に対する時間的・空間的文脈の影響”, 日本視覚学会2004年夏季大会, 高知, 7月 (2004).

観音隆幸, 堺浩之, 中内茂樹, 臼井支朗: “ぼけ順応が視覚の空間周波数伝達特性に与える影響”, 日本視覚学会2005年冬季大会, 東京, 1月 (2005).