

脳創成デバイス研究チーム

Laboratory for Brain-operative Devices

チームリーダー 市川 道 教

ICHIKAWA, Michinori

当研究チームの一義的な目標は、自然な入力を認識し、学習によって新しい機能を獲得する能力がある「脳型コンピュータ」を創造することである。人間の脳にも匹敵する計算能力とメモリ容量の最新型のスーパーコンピュータ（テラマシン）があり、ニューラルネットの理論的な進歩があるにも関わらず、人間の脳のインテリジェンスを実現するシステムは未だできていない。生物の脳を理解することは、当然ながら非常に重要であるが、同時に、工学的な再構成手法もコンピュータの創造には必要である。なぜなら、部品も目的も脳とコンピュータでは全く異なっているからである。我々は、生物実験、モデル理論、最新エレクトロニクス技術など、総合的なアプローチで、生物の脳とコンピュータアーキテクチャを関係付ける努力をしている。

1. 脳機能計測装置の開発（市川、富永（貴）、富永（洋））

我々の持っているセンサー技術とエレクトロニクス技術を駆使して、世界で最も高速で最もダイナミックレンジの大きい脳活動実時間イメージング装置を、昨年度に完成させた。この装置の性能を生かす新しい顕微鏡システムを完成させた結果、単一細胞での電気活動の記録が可能となった。

2. 生理学的アプローチによる脳機能解明（市川、富永（貴）、富永（洋）、内藤^{*1}）

海馬に高頻度電気刺激を加えるとシナプス結合強度の長期増強（LTP）が誘導される。これは記憶・学習といった脳機能の神経生理モデルとして広く受け入れられている。我々は、ラット海馬スライス標本を用いて高頻度刺激に対する神経応答を、電気生理学的手法・光計測法を用いて解析してきた。その結果、海馬 CA1 錐体細胞樹状突起部では長期脱分極の発生がみられ、細胞体部位では活動電位の発生が抑制されることを見いだした。これは記憶・学習理論の中心的仮説であるヘップの学習則が厳密な意味では当てはまらないことを意味しており重要である。現在、（1）この高頻度刺激に対する長期脱分極性応答に伴って神経興奮伝播の抑制と増強が起こること、（2）これは GABA（A）受容体に依存した神経回路を介した複シナプス反応であること、（3）シナプス前線維の活動電位の伝播の阻害が同時に起こること、などを発見し学習の神経生理的基盤として解析を進めている。

3. 脳型コンピュータの創造を目指したロボットおよび合成的アプローチによる研究（市川、山田、倉科、加藤）

この研究の最大の目的は、応用主導型の研究を進めることで、脳型コンピュータの開発早期に実現しようとするものである。応用研究においては、たとえ実現できる内容は初歩的であったとしても、完成形が求められる。つまり、不

明な部分は仮説などで補うことが求められる。ロボット開発はこの点で適した題材であって、ロボットは自己完結している必要がある。目標とするシステムは極めて複雑で多機能なものであるが、本年度は生物模倣視覚システムによって機体の姿勢誤差検出を行う小型室内飛行体の研究を継続した。これには 4 つの CMOS イメージセンサーと 4 つのプロペラ、大規模な FPGA が搭載されて、姿勢制御と対地距離観測を完全自律で行うロボットであり、ホバリングに成功した。

4. 超並列ニューラルネットの理論および応用研究（市川、呂^{*2}）

この創発学習では、もともとの問題を直接計算せずに、複雑で大きな問題を小さな簡単な副問題に分割する。モデルは、次のように構築されている。（1）どんな複雑な組分け問題でも、有限な数の副問題に分割でき、この副問題は線形分離可能になるまで分割が可能である。（2）これらの副問題は、完全に独立に学習させることができる。（3）これらの副問題の解を、最小化、最大化、反転などの演算操作によって、必ずもとの問題へ統合できる。このような超並列ニューラルネットの理論的研究と実際のパターン分離問題への応用研究を行う。本テーマの主力研究員の呂宝糧が上海交通大学教授に就任したため、同大学との共同研究として継続している。本年度はリアルタイム画像処理装置を接続し、顔認識のトライアルを共同で進めた。完成には至っていないが、パソコン上で典型的パターンの分離実験ができるフレームワークがほぼ確立した。

5. ミュータントマウスの生理的アッセイ（富永（貴）、市川）

脳科学総合研究センターの他研究チームが作成したモデル動物およびミュータントマウスの生理的アッセイを脳スライスの神経活動実時間イメージングにより実行した。詳細内容については各共同研究チームより報告されるべきものである。

^{*1} 非常勤研究員，^{*2} 所外研究協力者

The aim of our laboratory is to create a brain-like computer, which has abilities to recognize natural information inputs and acquire its functions by learning. There is no system that realizes intelligence of human brains with enough power of calculation and volume of memories in physically. Biological understanding of brain mechanisms is most important but technological reconstruction trials are the practical stops for creating the brain-like computer,

because the component materials and their functions are much different from each other in these two systems. We made efforts to connect biological functions of the brain to the computer architecture by modeling studies and technologies on advanced electronics. Following is the progress in this year; (1) We developed an ultra fast low noise imaging system for real time neural activity imaging using our sensor and electronics technologies and succeed imaging fast intrinsic optical signals from rat brain slices and single cell imaging with newly developed optics, (2) We investigated rat hippocampal brain slice during high frequency or complex pulse train stimulus to know the learning mechanism of neural circuit and propose possible mechanism of long lasting depolarization during such process, (3) We developed a new flying object with four CMOS cameras and four propellers and succeed long-time hovering by autonomous control, (4) We are developing an actual recognition system face identification using a min-max modular neural network model by on-line hardware with video processing circuitry.

Research Subjects and Members of Laboratory for Brain-operative Devices

1. Development of real-time optical imaging system to measure brain function
2. Physiological approach to elucidate brain function
3. Robotic and synthetic approach toward realizing the brain-like computer
4. Modeling and application studies on massively parallel neural networks
5. Physiological assay of mutant mice (joint research)

Laboratory Head

Dr. Michinori ICHIKAWA

Research Specialists

Dr. Hitoshi YAMADA

Staff Scientists

Dr. Takashi TOMINAGA

Research Scientists

Dr. Takashi KURASHINA

Technical Staff I

Ms. Yoko TOMINAGA

Mr. Tadahide KATO

Assistants

Ms. Kyoko KOJIMA

RIKEN/BSI Collaborators

Dr. Akihiko TAKASHIMA (Lab. for Alzheimer's Diseases, BSI)

Dr. Atsushi MIYAWAKI (Lab. for Cell Function Dy-

namics, BSI)

Dr. Takeharu NAGAI (Lab. for Cell Function Dynamics, BSI)

Dr. Takashi KONDO (Senior Scientist, BSI)

Outside Collaborators

Dr. Bao-Liang LU (Shanghai Jiao Tong Univ., China)

Mr. Fumio KUBO (Stanley Electr. Co. Ltd.)

Mr. Tadashi KAWATA (Stanley Electr. Co. Ltd.)

Visiting Scientists

Dr. Yutaka NAITOH (Pac. Biomed. Res. Cen., Univ. Hawaii, Manoa, USA)

誌 上 発 表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文

Tani T., Tominaga T., Richard A. D., and Naitoh Y.: "Development of periodic tension in the contractile vacuole complex membrane of *paramecium* governs its membrane dynamics", *Cell Biol. Int.* **26**, 853-860 (2002). *

Tominaga T., Tominaga Y., and Ichikawa M.: "Optical imaging of long-lasting depolarization on burst stimulation in area CA1 of rat hippocampal slices", *J. Neurophysiol.* **88**, 1523-1532 (2002). *

Lu B., Ma Q., Ichikawa M., and Isahara H.: "Efficient part-of-speech tagging with a min-max modular neural network model", *Appl. Intell.* **19**, 65-81 (2003). *

口 頭 発 表 Oral Presentations

(国際会議等)

Tominaga T., Allen R. D., and Naitoh Y.: "Intra-organellar' recording of the contractile vacuole complex revealed that the electrogenic site is disconnected from the contractile vacuole during the osmoregulatory exocytotic cycle in *Paramecium*", 6th Asian Conf. on Ciliate Biology, Tsukuba, July (2002).

Tominaga T., Tominaga Y., and Ichikawa M.: "Optical imaging of long-lasting depolarization upon burst stimulation in area CA1 of rat hippocampal slices using a voltage sensitive dye", Optical Monitoring of Activity in the Brain and Heart: A Celebration of Merocyanine-540, Woods Hole, USA, July-Aug. (2002).

Tominaga T., Tominaga Y., and Ichikawa M.: "Propagation of membrane potential change along longitudinal axis of CA1 pyramidal cells in rat hippocampal slices examined with optical imaging system", 32nd Ann. Meet. of Soc. for Neuroscience, Orlando, USA, Nov. (2002).

Yamada H., Takeuchi J., Matsumoto G., and Ichikawa M.: "A flying object using hardware implemented vision processing and motor control system with adaptive neural network", 9th Int. Conf. on Neural Information Processing (ICONIP'02), (School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University),

Singapore, Singapore, Nov. (2002).

Tominaga T., Tominaga Y., and Ichikawa M.: “Optical imaging method with voltage-sensitive DYE as a tool to explore learning rules acting in synaptic strength change upon burst stimulation in area CA1 of rat hippocampal slices”, 9th Int. Conf. on Neural Information Processing (ICONIP’02), (School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University), Singapore, Singapore, Nov. (2002).

(国内会議)

富永貴志, 富永洋子, 市川道教: “Optical imaging of long-lasting depolarization upon tetanic stimulation in area CA1 of rat hippocampal slices”, 第 25 回日本神経科学大会, 東京, 7 月 (2002).

富永貴志, 富永洋子, 市川道教: “ラット海馬 CA1 野におけるバースト刺激による脱分極性反応の減衰的伝導”, 第 26

回日本神経科学大会, 名古屋, 7 月 (2003).

市川道教, 富永貴志, 河田任史: “膜電位感受性色素を用いた神経活動観察用高速イメージングシステム”, 第 26 回日本神経科学大会, 名古屋, 7 月 (2003).

富永貴志, 富永洋子, 市川道教: “ラット海馬スライス CA1 におけるバースト刺激中の信号伝達”, 第 46 回日本神経化学学会年会・第 41 回日本生物物理学会年会合同年会, 新潟, 9 月 (2003).

富永貴志, 富永洋子, 市川道教: “膜電位感受性色素を用いた光計測法と多極電極による神経活動の多点同時計測: 海馬スライス標本への適用例”, 第 18 回生体・生理工学シンポジウム, (計測自動制御学会), 新潟, 10 月 (2003).

山田整, 富永貴志, 市川道教: “FPGA による高速画像処理を利用した小型飛行物体の姿勢制御”, 日本エレクトロニクスショー協会 EDSFair2004「FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション」, 横浜, 1 月 (2004).