

**戦略的創造研究推進事業
－CRESTプログラム－**

研究領域「脳を創る」

研究領域事後評価用資料

平成17年3月10日

1. 戦略目標

「脳機能の解明」

脳は多くの画期的な発見が行われる可能性を秘めている研究対象であり、21世紀に残された数少ない巨大フロンティアのひとつである。また、脳科学の進歩は、人間たる所以の根元である脳を知ることにつながり、脳を知るとは即ち人間を理解することにつながる。また、脳科学研究の成果は、脳の老化の防止、アルツハイマー病等脳・神経系の困難な病気の克服、脳の原理を生かしたコンピュータやロボットの開発による新技術・新産業の創出につながる。このような意味で脳科学の推進を図り、脳機能の解明を行うことは、正に人类的課題となってきた。

したがって、戦略目標を、人間の理解の基礎として脳の働きを知るとともに、新技術・新産業の創出にも繋がることを念頭においた「脳機能の解明」とする。

なお、この脳機能の解明を行うためには、脳の働きの理解を目指す「脳を知る」、脳の老化、疾病のメカニズムの理解と制御を目指す「脳を守る」、脳型の情報処理システムの理解と構築を目指す「脳を創る」といった研究領域において、明確な研究目標を設定し、計画的に取り組むことが必要である。

2. 研究領域

「脳を創る」(平成9年度発足)

領域の概要:

脳機能の解明のうち、脳型情報処理システムの構築を目標とする研究を対象とするものです。

具体的には、「脳型デバイス・アーキテクチャ(学習、連想記憶など)」「情報生成処理(認知認識、運動計画、試行、言語、評価、記憶など)システム」の構築を目標とします。

3. 研究総括

氏名 甘利 俊一

(所属:理化学研究所脳科学総合研究センター 役職:センター長)

4. 採択課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	所属・役職 上段：終了時 下段：採択時	研究課題	研究費
平成 9年度	合原 一幸	東京大学生産技術研究所 教授 東京大学大学院工学系研究科 助教授	脳の動的時空間計算モデルの構築とその実装	506
	河原 英紀	和歌山大学システム工学部 教授 和歌山大学システム工学部 教授	聴覚の情景分析に基づく音声・音響処理システム	288
	小柳 光正	東北大学大学院工学研究科 教授 東北大学大学院工学研究科 教授	脳型情報処理システムのための視覚情報処理プロセッサの開発	607
	酒井 邦嘉	東京大学大学院総合文化研究科 助教授 東京大学大学院総合文化研究科 助教授	言語の脳機能に基づく言語獲得装置の構築	534
	武田 常広	東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 工業技術院生命工学工業技術研究所 室長	MEGによる人間の高次脳機能の解明	580
平成 10年度	永雄 総一	理研脳科学総合研究センター チームリーダー 自治医科大学医学部 助教授	運動の学習制御における小脳機能の解明	437
	中村 仁彦	東京大学大学院情報理工学研究科 教授 東京大学大学院工学系研究科 教授	自律行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発	587
	深井 朋樹	玉川大学工学部情報通信工学科 教授 東海大学工学部 助教授	時間的情報処理の神経基盤のモデル化	496
	誉田 雅彰	早稲田大学スポーツ科学部 教授 N T T基礎研究所 主幹研究員	発声力学に基づくタスクプログラミング機構の構築	540
平成 11年度	石川 正俊	東京大学大学院情報理工学研究科 教授 東京大学大学院工学系研究科 教授	感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現	608
	銅谷 賢治	国際電気通信基礎技術研究所 室長 国際電気通信基礎技術研究所 主任研究員	行動系のメタ学習と情動コミュニケーション機構の解明	617
	山口 陽子	理研脳科学総合研究センター チームリーダー 東京電機大学理工学部 教授	海馬の動的神経機構を基礎とする状況依存的知能の設計原理	445
			総研究費	6,244

5. 研究総括のねらい

脳科学は、21世紀の高度情報化社会において、人間を理解し人間の尊厳にふさわしい社会と文明を作り上げるための基礎的な科学技術である。「脳を創る」領域は、生命科学と情報科学技術を融合した新しい脳の学問領域を作ることにより、異なる方法論と手法とを融合した新しい研究の文化を築くことを目指した。これは、脳科学、情報科学の双方に大きな影響を与えるだけでなく、文化として、また人間に適合した新しい情報技術を創造する上でも、大きな影響を与えるであろう。

6. 選考方針

狭い意味での「脳を創る」研究に限るのではなくて、脳の理論、脳の機能の人工的实现、人工知能やロボット工学と脳の関係を追及するもの、脳の生理学から情報処理の仕組みの解明を目指すもの、脳の測定と信号処理にかかわる技術など、幅広い研究課題を選考した。

これは、「脳を創る」という新しい広い領域を学問分野として確立するために必要な広がりや厚みを確保したかったからである。具体的には、個人の優れた創意と発想を重視し、他にない際立った特徴のある創造性豊かなものを採用するように気を配った。

7. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザーには、これまでにそれぞれの学問分野で優れた実績を挙げた方々の中から、科学と技術に関して高い見識を有し、一つの考え方に捉われない柔軟な発想を持つ方々をお願いした。とくに、脳科学と情報科学技術にかかわる分野から、大学、研究所、および産業界の人材を結集した。

領域アドバイザー名	所属・役職	任期
	上段：退任時 下段：就任時	
川人 光男	国際電気通信基礎技術研究所脳情報研究所 所長 国際電気通信基礎技術研究所人間情報通信研究所 室長	平成9年5月～ 平成17年3月
杉江 昇	名古屋大学 名誉教授 名城大学理工学部情報科学科 教授	平成9年5月～ 平成17年3月
鈴木 良次	金沢工業大学人間情報システム研究所 室長 金沢工業大学人間情報システム研究所 室長	平成9年5月～ 平成17年3月
中野 馨	東京工科大学工学部機械制御工学科 教授 高度情報科学研究機構 特別招聘研究員	平成9年5月～ 平成17年3月
松本 元	理化学研究所脳科学総合研究センター グループディレクター 理化学研究所脳科学総合研究センター グループディレクター	平成9年5月～ 平成15年3月 (平成15年3月死去)
森 健一	東京理科大学大学院総合科学技術経営研究科 教授 東芝テック(株) 専務取締役	平成9年7月～ 平成17年3月

8. 研究領域の運営について

研究代表者は、いずれも独自の研究方針をもち、また研究実績のある方々である。それゆえ、それぞれの方針と個性を十分に尊重し、創造性を活かした自由な活躍ができるように気を配った。

各代表者には、自己の研究テーマをさらに大きな視点で眺め、これから発展する「脳を創る」領域の中に位置づけること、分担研究者との協力関係もさらに遠い将来を展望しながら行うように指導した。

領域は広い範囲に及ぶが、これらを統合するシンポジウムの毎年の開催、また領域合

同の若手を中心とする交流会、一般向け講演・展示会を開催し、いずれも好評を博している。

9. 研究を実施した結果と所見

「脳を創る領域」は、脳科学と情報科学技術を結ぶ新しい研究領域を確立し、21世紀の脳情報科学の方向を示すことを目指した。これに向けて、酒井、永雄らの神経科学における画期的な研究、合原、深井、山口、銅谷らの理論脳科学および計算論的神経科学での新しい研究方向の展開、河原、菅田らの音声分析および合成の工学的な研究、中村、石川の脳科学とロボット工学を結ぶ研究、小柳の脳を模したデバイスの研究、武田の脳機能測定の研究と、多彩でしかもいずれもきわめて優れた研究を展開できた。この結果、脳研究はもちろん、脳と情報にかかわる新技術創出に向けて、「脳を創る領域」研究の有効性が見事に確認されたといえる。

個々の研究に、簡単に触れておく。酒井は言語の脳研究において世界をリードする成果を挙げ、その著書は毎日出版文化賞を獲得した。永雄は、小脳の学習機構における長年の論争を解決する新しい成果を挙げた。合原は、脳の時空間ダイミックスにおけるカオスの役割を明らかにすると共に、脳のカオスチップを設計した。深井は理論脳科学と実験脳科学の交流を深め、これが将来の脳科学を豊かにする必然的な方向であることを示した。山口は海馬と大脳皮質を結ぶ記憶と作業記憶の動作原理にリズムと位相を中心とする新しい時空間仮説を導入し、理論脳科学の新しい展開をもたらした。銅谷は、脳における多種類の化学物質の情報処理における役割に関する新しい仮説を導入すると共に、ロボットの強化学習や人の精神疾患などでその仮説を検証して、大きな構想の研究を展開した。中村はロボット工学に脳の知見を導入して、制御、計画、学習、認知にいたる新しいロボット技術を開発して、数々の論文賞に輝いた。石川は、脳のシステムとしてのバランスに着目し、視覚、処理、運動制御にいたる一貫したシステムで人の動作を超える高速ロボットの開発に成功した。菅田は発声ロボットを製作し、これに学習機能を持たせた。河原は音声の基本構造を解明すると共に、これを用いる分析、変換の新技术を開発し、これは特許として実用に供されている。武田は脳機能の磁気測定であるMEGを使って、視覚、触覚、聴覚などの情報処理過程を解明すると共に、工学的な測定技術やヘリウム回収再利用技術などの周辺技術を開発し、実用に供した。

これらの研究は、研究総括にとって満足のいくものであるが、これからさらに大きく発展させるべき萌芽的なものも多く、これからの更なる成果が大いに期待できる。数々の受賞、特許出願、報道などを通じて、この領域の成果は社会にも受け入れられている。脳情報科学に新しい領域を確立したものといえよう。しかし、この方向の研究は人間を理解し、新しい文明技術を作る基盤となるものであって、3年や5年の一過的なものですむ話ではない。せっかく誕生した領域を永続的に支援し育てていく体制が確立することを切望するものである。

10. 総合所見

「脳を創る領域」は、脳科学と情報科学技術を結ぶ新しい構想であり、これまでの個別科学の枠を超えた21世紀型の領域である。これは日本が世界に先駆けて提唱し、主導した試みであるが、いまや世界がこれに追従し競争が過熱している。先頭を切った日本で、どの課題もすばらしい成果を挙げ、領域の存在意義を明らかにしたことは大変重要なことであった。

とくにCRESTの領域として研究を進められたことがこのような成果をもたらしたといえる。CRESTでは、異分野を学際的に結び、優れた構想と卓越した方法のもとで、領域全体として互いに刺激しあいながら、創造性を高め研究を盛り上げていくことができた。とくに、富川技術参事を中心とする領域の事務支援体制は、きわめて有効に働き、これが研究の進展を大きく助けたことは特筆に価する。

科学技術の大きな変革期にあたり、このような新しい領域の誕生を研究総括として指導することができたことは、私にとって大変幸せであったといえる。願わくば、これからしっかりと確立すべき重要な課題について、研究支援体制が一過的に細切れに行なわれるのではなくて、永続的な体制を整えて、日本がこの分野で世界をリードし続けるための体制を確立して欲しい。

領域評価用資料 添付資料（CRESTプログラム）

研究領域「脳を創る」

1. 応募件数・採択件数

	平成9年度	平成10年度	平成11年度	合計
応募件数	74	41	26	141
採択件数	5	4	3	12

2. 主要業績

2.1 「事後評価報告書補足資料」を添付

- ・ 平成 9 年度採択チーム
- ・ 平成 10 年度採択チーム
- ・ 平成 11 年度採択チーム

2.2 各研究代表者の代表的な論文リスト

合原 一幸

「脳の動的時空間計算モデルの構築とその実装」

①K. Aihara:

``Chaos Engineering and its Application to Parallel Distributed Processing with Chaotic Neural Networks,' ' Proceedings of the IEEE, Vol.90, No.5, 919-930 (2002).

生物ニューロンのカオス応答特性の電気生理実験結果, その数理モデリングによって得られたカオスニューロンモデルとカオスニューラルネットワークへの拡張およびその組み合わせ最適化ダイナミクスなど情報処理機能の数理解析, さらにはアナログ集積回路実装について, 総合的に論ずるとともに本プロジェクト成果の今後の方向性を展望した。

②N. Masuda and K. Aihara:

``Bridging Rate Coding and Temporal Spike Coding by Effect of Noise,' ' Physical Review Letters, Vol.88, No.24, 248101 (2002).

感覚ニューロン層と皮質ニューロン層から成る 2 層ニューラルネットワークモデルを解析して, ノイズ強度が単一ネットワークの中で発火率コーディングと時空間スパイクコーディングを橋渡しすることを示した。ノイズが小さいときはニューロンは同期発火して時空間スパイクコーディングを行う。特に, 適切な中程度のノイズ強度では, 各皮質ニューロンが非同期発火して効率のよい集団発火率コーダーとして働くことを明らかにした。本論文により, 発火率コーディングと時空間スパイクコーディングは, 対立的というよりは脳内で共存しうることが示唆された。

③Y. Horio, K. Aihara, and O. Yamamoto:

``Neuron-Synapse IC Chip-Set for Large-Scale Chaotic Neural Networks,' ' IEEE Trans. Neural Networks, Vol.14, No.5, pp. 1393-1404 (2003).

カオスニューラルネットワークが持つ実数の複雑性に由来する計算能力を十分に活用するため, アナログ回路として実数を扱いうるスイッチト・キャパシタ集積回路でニューロンを物理的に実装した。さらに, 大規模なネットワークを構築可能とするメモリーベース構成を提案し, これを用いたシナプスチップを開発した。これらのチップセットを用いれば, 最大で 1 万個のニューロンを 1 億個のシナプスで結合した大規模なカオスニューラル

ネットワークが構築でき、多様な応用に応じてネットワークの規模、構成、パラメータなどが自由に調整可能である。

河原 英紀

「聴覚の情景分析に基づく音声・音響処理システム」

① Hideki Kawahara and Hisami Matsui: Auditory Morphing based on an Elastic Perceptual Distance Metric in an Interference-free Time-frequency Representation, Proc. ICASSP'2003, vol.I, p.256-259, 2003.

STRAIGHTに基づく音声モーフィング手法を提案した国際会議資料。感情音声の研究への応用を、同年のEUROSPEECHで発表している。肉声に匹敵する自然性を有するモーフィング手法は、音声に含まれる感情や個人性などの非言語およびパラ言語情報の強力な研究手段として、様々な研究機関で利用されはじめている。また、一部、この方法を応用した合成音声による合唱は、国際会議併設のRENCON'04での聴き比べにより、最良の合成歌唱システムであると評価されている。

② David R. R. Smith, Roy D. Patterson, Richard Turner, Hideki Kawahara and Toshio Irino, The processing and perception of size information in speech sounds, Journal of the Acoustical Society of America, Vol.117, Issue 1, 2005. (印刷中)

聴覚には話者のサイズの情報を抽出する機能があることを明らかにした論文。STRAIGHTがこの機能の発見のきっかけとなり検証の手段として用いられた。この発見は、入野&Pattersonによる聴覚初期過程の計算理論を補強する。

③ Hideki Kawahara, Ikuyo Masuda-Katsuse, Restructuring speech representations using a pitch-adaptive time-frequency smoothing and an instantaneous-frequency-based F0 extraction: Possible role of a repetitive structure in sounds, Speech Communication, Vol.27, No.3-4, pp.187-207, 1999.

『信号の周期性がなぜ聴覚において特に重視されているのか?』という根本的な疑問を出発点とすることにより、画期的な音声分析変換合成アルゴリズムを発明した。また、そのようなアルゴリズムが人間の聴覚の研究のミッシングリンクを埋める重要なものであることを論じた。(同誌, 1998/99最優秀論文賞)

④ Toshio Irino, Roy D. Patterson, Stabilized Wavelet-Mellin Transform : An Auditory Strategy for Normalising Sound-Source Size, Proc. Eurospeech '99, Vol.4, pp. 1899-1902, 1999. [14] Toshio Irino, Roy D. Patterson, Segregating information about the size and shape of the vocal tract using a time-domain auditory model: The Stabilised Wavelet Mellin Transform, Speech Communication, (to be published 2001).

聴覚における信号の分析が時間-スケール領域での最適性を有するものであること、その分析から不変量を抽出する機構において信号の周期性が本質的な役割を果たしていることを明らかにした。『聴覚の計算論』につながる理論面での大きな一歩である。

小柳 光正

「脳型情報処理システムのための研究課題視覚情報処理プロセッサの開発」

① K. W. Lee, T. Nakamura, T. Ono, Y. Yamada, H. Hashimoto, K. T. Park, H. Kurino and M. Koyanagi, "Three-Dimensional Shared Memory Fabricated Using Wafer Stacking Technology", [The International Electron Devices Meeting, , (2000), 7.6]

我々が研究を進めている高度な並列性を有する脳型情報処理システムにおいて実共有メモリーは記憶、通信を司る重要な要素である。その実共有メモリーを 3 次元集積化技術を用いて試作、その基本動作確認に成功した。

② Hiroyuki Kurino, Yoshihiro Nakagawa, Kang Wook Lee, Tomonori Nakamura, Yuusuke Yamada, Ki Tae Park and Mitsumasa Koyanagi, " Smart Vision Chip Fabricated Using Three Dimensional Integration Technology " [Proceedings of Neural Information Processing Systems,, (2000)]

人の網膜は異なる機能を有する細胞が層状に積み重なった構造している。我々は層状に積層された細胞回路モデルを用いて電子回路を作製、積層して 3 次元人工網膜回路を試作した。本論文では主にそのプロセス技術について述べている。

③ Yasuhiro Kuwana, Akinori Hirose, Hiroyuki Kurino and Mitsumasa Koyanagi " Signal Propagation Characteristics in Polyimide Optical Wave-guide with Micro-Mirrors for Optical Multichip Module " [Japanese Journal of Applied Physics Vol.38, (1999), pp2660-2663]

我々が目指す超並列脳型情報処理システムでは相互のデータ通信に光インターコネクションを用いて超高速光バスを実現する。この超高速光バス実現のために光導波路内にマイクロミラーを作製し、一つの光入力から多数の出力を得ることに成功した。

酒井 邦嘉

「言語の脳機能に基づく言語獲得装置の構築」

① Embick, D., Marantz, A., Miyashita, Y., O'Neil, W. & Sakai, K. L.: A syntactic specialization for Broca's area. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 97, 6150-6154 (2000).

文法を使ってことばを理解するときに働く脳の部分を fMRI を用いて解析したところ、文法的な間違いを含む文は、スペリングの間違いを含む文よりも強い活動を、左脳のブローカ野に引き起こすことが明らかになった。この成果は、ブローカ野が文法処理の中核として働くことを初めて明確に示したものである。

② Hashimoto, R. & Sakai, K. L.: Specialization in the left prefrontal cortex for sentence comprehension. Neuron 35, 589-597 (2002).

機能的MRI（磁気共鳴映像法）の実験から、文法を使う言語理解で特異的に活動する大脳の部位（文法中枢）を発見した。本研究では、一般的な認知能力の課題と言語課題を直接

対比することで、言語理解に対する特異的な活動が局在することを発見した。この成果は、言語処理が人間の脳で特別な意味を持つことを初めてはっきりさせたもので、自然科学的な人間観を大きく変革させることにつながる。(プレス発表：科学技術振興事業団報 240号)

③ Sakai, K. L., Noguchi, Y., Takeuchi, T. & Watanabe, E.: Selective priming of syntactic processing by event-related transcranial magnetic stimulation of Broca's area. *Neuron* 35, 1177-1182 (2002).

経頭蓋磁気刺激法 (TMS) の実験から、文法処理を司る大脳の部位 (文法中枢) を特定した。この成果は、文法が人間の脳で処理されるという因果関係を初めてはっきりさせたもので、単語の意味と独立した文法知識の存在が科学的に実証されたことにより、語学教育のポイントが明らかになった。(プレス発表：科学技術振興事業団報 256号)

武田 常広

「MEG による人間の高次脳機能の解明」

① Endo, H., Kato, Y., Kizuka, T., Masuda, T., Takeda, T.: Bilateral cerebral activity for unilateral foot movement revealed by whole-head magnetoencephalography, *Somatosensory and Motor Research*, 21, 1, 33-43, 2004.

LED点灯を見て足の指を動かす課題において、刺激開始から約0.1s後にまず後頭葉の視覚野が活動し、更に約0.12s遅れて中心溝前壁の対側運動野が活動し、更に0.1s遅れて中心溝後壁の体性感覚野が活動することを同定するとともに、刺激に付随して自動的に運動開始の前に常に活動する部分の存在を推定した。

② Cao, J., Murata, N., Amari, S., Cichocki, A., Takeda, T.: A robust approach to independent component analysis of signals with high-level noise measurements, *IEEE Trans on neural networks*, 14, 3, 631-645, 2003.

ICA (independent component analysis) を、聴覚刺激に対するMEG (脳磁計) 反応の解析に用いることにより、ノイズの影響を受けにくい解析が可能になることを示した。

③ Takeda, T., Endo, H., Hashimoto, K.: Research on dynamic Accommodation using TD0III (Three dimensional optometer III) and MEG (Magnetoencephalography): *Accommodation and Vergence Mechanisms in the Visual System*, 51-66, 2000.

我々が開発した3次元オプトメータ (TD0III) とMEG (脳磁計) を同時に用いることにより、焦点調節制御中枢が、頭頂後頭溝の底部にあり、刺激開始から0.2sに制御活動のピークを迎え、0.1s遅れて焦点調節が開始され、1.0sで完了することを初めて解明した。

永雄 総一

「運動の学習制御における小脳機能の解明」

① Nagao S, Kitazawa H. Effects of reversible shutdown of the monkey flocculus on

the retention of adaptation of the horizontal vestibulo-ocular reflex. *Neuroscience* 118: 563-570, 2003.

サルの前庭動眼反射の短期適応実験パラダイムを用いた実験を行った。短期運動学習が成立した直後両側の小脳片葉を、局所麻酔剤により可逆的に出力遮断すると、速やかに学習によって増加した反射の利得は完全に学習前のレベルに戻った。これは短期の運動学習記憶が小脳皮質に形成保持されていることを示唆する。

② Shutoh F, Katoh A, Ohki M, Itohara S, Tonegawa S, Nagao S. Role of protein kinase C family in the cerebellum-dependent adaptive learning of horizontal optokinetic response eye movements in mice. *Eur J Neurosci* 18: 134-142, 2003.

細胞内セカンドメッセンジャーであるC-kinaseの神経細胞における機能的役割を明らかにした。小脳の主要な神経細胞であるプルキンエ細胞には γ と α のサブタイプが発現している。 γ サブタイプ欠損マウスでは、眼球運動の学習自体には異常がないが、学習に必要な条件が野生型に比べて変異していた。 γ サブタイプ欠損マウスにC-kinaseの阻害薬を局所投与すると学習が消失することから、学習の誘発に必要なサブタイプは α であることが示唆される。

③ Katoh A., Kitazawa H., Itohara S. and Nagao S.: Inhibition of nitric oxide synthesis and gene-knockout of neural nitric oxide synthetase impaired adaptation of mouse optokinetic eye movements. *Learning and Memory* (2000) 7: 220-226.

遺伝子操作マウスと、野生型マウスを用いた薬理実験の両方により、視機性眼球運動の適応に小脳のシナプスから放出される一酸化窒素が必須の働きをしていることを示し、小脳の長期抑圧が適応の神経過程であることを示した。

中村 仁彦

「自律行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」

① Y. Nakamura and K. Yamane, Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains and Its Application to Human Figures, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol.16, no.2, pp.124-134, 2000.

開リンクから閉リンクへとあるいはその逆のようにリンク構造が運動に伴って変化する場合でも、アルゴリズムを切り替えずに実行することができる動力学計算法を開発し、そのヒューマノイドロボットやCGの人間モデルへの応用を論じた。この論文は、2001年にIEEE Transactions of Robotics and AutomationのKing-Sun Fu記念年間最優秀論文賞を受賞した。またこれに関連する邦文論文も2000年に日本ロボット学会論文賞を受賞した。

② T. Inamura, Y. Nakamura, H. Ezaki and I. Toshima, Imitation and Primitive Symbol Acquisition of Humanoids by the Integrated Mimesis Loop, *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp4208-4213, 2001.

行動の認識と生成の双方向計算を一つの計算機構で行うミラーニューロンの存在が、知能を発現する計算機構の構成法の手がかりとして注目されている。本論文では隠れマルコフモデルを用いて行動の認識と生成の双方向計算を実現することを論じた。

③ A. Sekiguchi and Y. Nakamura, Behavior Control of Robot Using Orbits of Nonlinear Dynamics, Proc. of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1647-1652, 2001.

非線形力学系のカオス、引き込み、同期などの力学現象を情報処理に用いることで、ロボットの感覚系からモータ系へ写像を動的に構成し、多様な行動パターンの発現する行動制御系の設計法を論じた。情報処理の力学系としては複数のアーノルド方程式系を結合したものを採用している。

深井 朋樹

「時間的情報処理の神経基盤のモデル化」

① Okamoto H & Fukai T (2001)

A neural mechanism for cognitive timer. Physical Review Letters. 86: 3919-3922.

数秒程度の時間を記憶し再現する心理実験課題では再生された時間分布にスケール則が成立する。時間長を表現する相互結合神経回路モデルを提案し、持続発火の時間長がこのスケール則を満たすことを示した。これは人間の時間記憶の一部が、ワーキング・メモリ様の活動によって担われている可能性を示唆する。

② Kitano, K, Cateau, H, Kaneda, K, Nambu, A, Takada, M, & Fukai, T(2002)

Two-State Membrane Potential Transitions of Striatal Spiny Neurons as Evidenced by Numerical Simulations and Electrophysiological Recordings in Awake Monkeys. The Journal of Neuroscience 22: RC230: 1-6.

麻酔下の動物の線条体投射細胞は、大脳皮質入力によると思われる二状態遷移を示すが、それが皮質入力の選択と統合のプロセスにおいて重要な役割を果たすものと考えられている。しかし、このような状態遷移が覚醒状態、あるいは行動中の動物の線条体でも見られるかは不明であった。そこで我々は、覚醒状態のサルの脳からの細胞外記録の結果と、回路モデル研究の結果とを詳細に比較し、二状態遷移が覚醒状態の線条体にも存在することを示した。

③ Aoyagi T, Takekawa T & Fukai T (2003).

Gamma rhythmic bursts: coherence control in networks of cortical pyramidal neurons. Neural Computation 15: 1035-1061.

ガンマ振動 (30~70Hz) は、記憶、運動、注意などの高次機能において重要な役割を果たすものと考えられる。大脳皮質ガンマ振動のペースメーカーであると目される chattering

cell を、生理学的実験の結果に基づきモデル化した。これを用いて、ガンマ周波数の同期生成において、発火のバースト・モードの変化が著しい効果をもつ可能性を、理論的に示した。

菅田 雅彰

「発声力学に基づくタスクプランニング機構の構築」

① Kaburagi, T. and Honda, M. “Dynamic articulatory model based on multidimensional invariant-feature task representation.” The Journal of the Acoustical Society of America(2001)

多次元調音空間の部分空間として統計的に抽出された発話動作の運動タスクを基に、言語情報から発声動作を生成する計算モデルを提案した。

② Honda, M., Kaburagi, T. and Fujino, A. “Compensatory responses of articulators to unexpected perturbation of the palate shape.” The Journal of Phonetics (2002 in press)

発話中に発声器官に外乱を与えるパタベーション実験を行い、人間の発声動作の運動タスクの所在、及び発話運動制御における感覚フィードバックの機能を明らかにした。

③ Dang, J. and Honda, K. “Estimation of vocal tract shapes from speech sounds with a physiological articulatory model.” The Journal of Phonetics (2002 in press)

発声器官の筋構造を表現した生理的モデルを構築し、このモデルを基に音声の音響的特徴から発声動作を制御する筋活動情報を特定する逆推定法を提案した。

石川 正俊

「感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現」

①Akio Namiki, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa: High Speed Sensory-Motor Fusion Based on Dynamics Matching, Proceedings of the IEEE, Vol.90, No.7, pp.1178-1187, 2002

本論文では、動的に変化する環境のもとでの高性能システムの設計手法として「ダイナミクス整合」を提案した。これは、実時間センサフィードバックモジュールの動特性の整合を実現するものである。また、このコンセプトに基づき、多指ハンドと高速ビジョンを備えた感覚運動統合システムを開発し、その上で、従来システムでは困難であった動的に移動する物体に対する把握タスクを実現した。

② 並木明夫, 石井抱, 石川正俊: 高速センサフィードバックを用いた把握行動, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.7, pp.47-56, 2002

実環境でのロボットの高速制御に対して、1ms のサイクルタイムでの高速視覚フィードバック制御に有効性が提案されている。そこで、本論文では、高速視覚フィードバックを様々

なタスクに応用するために、視覚と力覚の高速センサフィードバックを用いた階層型並列処理モデルを提案した。また、アクティブビジョンを有する多指ハンドに実装することで、高速な把握・操りタスクを実現した。

- ③ 石川正俊, 小室孝: デジタルビジョンチップとその応用, 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J84-C, No.6, pp.451-461, 2001

従来の画像処理におけるビデオレートの限界を打ち破るため、走査を用いない完全並列の処理構造を導入したワンチップアーキテクチャが提案されている。本論文では、筆者らの研究室で開発されている汎用のプロセッシングエレメントアレーを導入したビジョンチップを中心にその構造並びに応用について体系的に述べる。

銅谷 賢治

「行動系のメタ学習と情動コミュニケーション機構の解明」

- ① Doya K. (2002). Metalearning and neuromodulation. *Neural Networks*, 15, 495-506.

神経修飾物質系が行動学習の進み方を調整するメタパラメタの制御を行っているという視点から、ドーパミンが報酬予測誤差信号を、セロトニンが報酬予測の時間スケールを、ノルアドレナリンが行動探索の幅広さを、アセチルコリンが記憶の更新速度を、それぞれ制御するという理論的枠組みを提示した。

- ② Tanaka, S., Doya, K., Okada, G., Ueda, K., Okamoto, Y., Yamawaki, S. (2004). Prediction of immediate and future rewards differentially recruits cortico-basal ganglia loops. *Nature Neuroscience*, 7, 887-893.

短期だけでなく長期の報酬予測が必要な課題を学習中の被験者の脳活動をfMRIにより計測した。短期に比べ長期の報酬予測時には、前頭葉、頭頂葉、大脳基底核と、セロトニン中枢である背側縫線核の活動上昇が見られた。さらに強化学習モデルに基づく解析により、大脳皮質-基底核ループの腹側から背側に向けて、短期から長期の報酬予測のマップ構造の存在を明らかにした。この結果は、セロトニン系による報酬予測の時間スケール制御仮説を支持するものである。

- ③ Doya K., Uchibe E. (in press). The cyber rodent project: Exploration of adaptive mechanisms for self-preservation and self-reproduction. *Adaptive Behavior*.

自己保存と自己複製という、生物と同じ基本的な要請のもとでの行動学習系の設計原理を探るため、電池パックからの自己充電と、赤外線通信によるプログラムコピー機構を持つロボット群、サイバーロデントを開発した。これを用いて行った探索、補食、交配などの行動学習、学習系のメタパラメタと報酬関数の進化実験の成果と、今後の研究課題について議論した。

山口 陽子

「海馬の動的神経機構を基礎とする状況依存的知能の設計原理」

① Yoko Yamaguchi, Yoshito Aota, BruceL. McNaughton, Peter Lipa: Bimodality of theta phase precession in hippocampal place cells in freely running rats, J. Neurophysiology, Vol.87, No.2, pp.2629-2642, 2002

プロジェクトの仮説のもととなる現象、ラット海馬場所細胞の位相歳差現象を、定量的に解析し、シータリズムに依存した海馬神経細胞の活動”位相歳差”の固有のパターンが半周期の位相で現れること、海馬回路内での入り口から中心部への伝搬が示唆されることを定量的にした。仮説の理論的研究に対する明確な実験的根拠を与えた。

② Yoko Yamaguchi: A Theory of hippocampal memory based on theta phase precession, Biological Cybernetics, vol.89, pp. 1-9. 2003

海馬と関連皮質での連想記憶回路においてラットで見つかったシータ位相歳差が実験と整合的に再現できることを示し、また、位相歳差による海馬での位相コードが1回限りの経験として入力される時系列情報をオンラインで海馬連想記憶回路に有効に埋め込むことができることを示した。その後、クレストチームで研究を進めることのできた位相コードの神経回路の研究の基礎となる論文である。

③ Yamaguchi Y, Aota Y, Sato N, Wagatsuma H, Wu Z: Synchronization of neural oscillations as a possible mechanism underlying episodic memory: A study of theta rhythm in the hippocampus", Journal of Integrative Neuroscience Vol. 3 No. 2, pp. 143-157 2004

③ 海馬で見られるシータ位相歳差現象により位相コードは、時系列情報の記録に役立つだけでなく環境情報を経験に応じて獲得される情報をまとめて空間認知地図を表す連想記憶を生成すること、が可能になることを示した。認知地図の記憶は、瞬時に形成されるもので、刻々変化

する環境情報をupdate して、行動の文脈としてのリアルタイムでの使用可能性を提供することが可能になることを結論した。

3. シンポジウム等

シンポジウム名	日時	場所	入場者数	特記事項
第1回「脳を創る」領域シンポジウム	H12/4/12	品川コクヨホール	380名	
第2回「脳を創る」領域シンポジウム	H13/6/5	品川コクヨホール	300名	特別講演：長瀬弁理士
第3回「脳を創る」領域シンポジウム	H14/5/22	日本科学未来館	340名	
第1回「脳を創る」終了	H14/12/2	東京ガーデン	250名	

シンポジウム		ンパレス		
第2回「脳を創る」終了 シンポジウム	H15/9/19	東京ガーデ ンパレス	180名	
「脳」3領域合同終了 シンポジウム	H16/10/7～ 8	日本科学 未来館	280名	基調講演： 伊藤正男先生 特別講演： 白井支朗先生
一般向け講演・展示会	H16/10/9	日本科学 未来館	講演会：85名 展示会：130名	脳4領域と日 本科学未来館 との共催

4. 受賞等

受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞日（時期）
合原 一幸	東京テクノロジーフォーラム 21 ゴールドメダル賞	東京テクノロジーフォーラム 21（代表：読売新聞）	平成 12 年 4 月 27 日
河原 英紀	EURASIP 最優秀論文賞	EURASIP	1998 年、 1999 年
小柳 光正	文部科学大臣賞(科学技術功労賞)	文部科学省	平成 13 年
酒井 邦嘉	毎日出版文化賞	毎日新聞	平成 14 年 11 月 28 日
中村 仁彦	IEEE King-Sun Fu 賞最優秀論文賞	IEEE	2001 年、 2002 年
石川 正俊	ICRA2004 Best Vision Paper Award Finalist	ICRA	2004 年 4 月

5. その他の重要事項（新聞・雑誌・テレビ等）

研究者名	内 容	新聞、雑誌、テレビ	掲載、放映年月日
酒井 邦嘉	プレス発表：「言語は特別一文法を担う大脳の部位を発見」（ニューロンに掲載）	読売、日経、日刊工業など	掲載：H14 年 8 月 1 日
酒井 邦嘉	プレス発表：磁気刺激による「文法中枢」の特定	日刊工業、日経産業など	掲載：H14 年 9 月 12 日
石川 正俊	プレス発表：「超高速ロボットハンドの開発」	毎日、朝日、産経、日経産業、日刊工業、日本工業	掲載：H14 年 10 月 9 日
高西 淳夫 (菅田チーム)	TV取材：「鉄腕アトムはつくれるか～すごいぞ！最先端ロボット大集合～」で発話ロボットを紹介	NHK	放映：H15 年 5 月 2 日
中村 仁彦	TV取材：CREST「ロボットの脳を創る」成果発表会公開デモ取材	テレビ東京	放映：H15 年 11 月 18 日
石川 正俊	プレス発表：高速バッテリーロボットの開発	新聞：毎日、朝日、読売、産経、日経、日刊工業、日本工業 TV：NHK、TBS、NTV	掲載：H15 年 12 月 18 日 放映：H15 年 12 月 17～18 日
銅谷 賢治	プレス発表：「理性と衝動性のメカニズムの解明へ一歩」	新聞：日刊工業、科学新聞など TV：NHK	掲載、放映：H16 年 7 月 5 日

6. その他の添付資料

研究領域独自の資料をリストアップし添付

資料 1. チーム別研究費総括表：当初予算額／決算額対比表及びその内訳

資料 2. 領域内研究者交流会：平成 15 年 7 月 4～5 日（於）伊東 研究者 16 名参加

資料 3. 終了シンポジウム会場での成果物デモ：平成 15 年度 誉田チーム、中村チーム
平成 16 年度 石川チーム、銅谷

チーム

資料 4. 一般向け講演・展示会：平成 16 年 10 月に「脳」4 領域と日本科学未来館との
共催で実施。

展示会には 15 チーム参加

資料 5. 国内公開・登録済み特許一覧：領域シンポジウム会場で配布

7. 中間評価結果、事後評価結果

添付資料参照

7.1 中間評価結果

- ・ [平成 9 年度採択チーム](#)
- ・ [平成 10 年度採択チーム](#)
- ・ [平成 11 年度採択チーム](#)

7.2 事後評価結果

- ・ [平成 9 年度採択チーム](#)
- ・ [平成 10 年度採択チーム](#)