

平成23年 3月 31日現在

機関番号：15301
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2010
 課題番号：19500191
 研究課題名（和文）神経回路網のカオスを用いた生体機能型新処理・制御様式研究とその搭載ロボット試作
 研究課題名（英文）Biomorphic functional & control methods using chaos of neural network model and their implementation to robots or other hardware
 研究代表者
 奈良 重俊（NARA SHIGETOSHI）
 岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：60231495

研究成果の概要（和文）：神経回路網におけるカオスを制御系に組み込み、単純なアルゴリズムにより複雑な問題を解く能力を有する機能を実現するといった、生体機能型新処理・制御様式の計算機実験に成功した。その一例として、不良設定問題としての迷路求解を行う巡回ロボットを取り上げ、計算機によるその機能実験に成功した。またそれを実際に組み込んだ巡回ロボットを試作し、ハードウェア化の成功例を示した。身体制御系における計算機を用いた機能実験も行い、成功例を示した。これら成果について学会等で報告し、論文を投稿した。

研究成果の概要（英文）：Novel biomorphic functional & control methods using chaos of neural network model are applied to solving complex problems by simple algorithms and successful computer experiments are obtained. As an actual example, an autonomous roving robot to solve maze which is a typical ill-posed problem, is designed both in computer experiments and actual hardware implementations, and successful results are obtained as well. These results are reported in several conferences, workshops, symposiums, and papers to report these results are submitted to several scientific and/or technological journals.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学（分科）、感性情報学・ソフトコンピューティング（細目）

キーワード：カオス、ロボット制御応用、神経回路網、不良設定問題、適応制御

1. 研究開始当初の背景

コンピュータおよびハイテクを用いた実験手段の発展に伴って脳神経系の時空間同時多点計測を行いそのリアルタイムデータを得ることが可能になっている。それらは厳密な周期的運動でもなく、ランダムデータでもない膨大なデータ群であり、そこから脳機能の原理に関してどんな自然科学的知見が得られるかに関しては百家争鳴の状況にある。その中で現象論的に特に注目を集めているのは、**Brain Computer Interface(BCI)**と呼ばれる手法の世界的な隆盛である。現代の発達した情報技術 (IT) を駆使して、機能発現中の脳神経活動を計測し、その時空間信号を機械やデバイス制御に用いて被験者や実験動物が思考するのみで機械やデバイスを駆動制御できるようにするという技術である

“Actions from Thoughts”, M.A.L.

Nicolelis, *Nature*, Vol. 409, pp. 403-407 (2001)。そこでは脳神経活動における情報処理や制御の機構にはあまり立ち入らずにその信号のみを利用する立場が見える。そこではこうした脳機能や生体の卓越した機能性のメカニズムの解明が依然として極めて困難であることを再確認させられるとともに、とりあえず応用的な観点からアプローチする方針を立てるという世界的動向が見られる。翻って、こうした動向に対して少数ながら発見論的なモデルによるアプローチや複雑系の物理学からのアプローチを行い脳機能のからくりを迫る研究が起きている。申請者らはその立場に基づいて、神経回路網モデルにおけるカオスの機能的な側面とその分析や不良設定問題の求解シミュレーション、セルオートマトンのルールダイナミックスの生み出すカオスを含む複雑なダイナミックスによる音声・音楽信号や画像の完全再現可能な圧縮記述機能とその分析、などの研究を積み上げて来た (S. Nara, *Chaos*, Vol. 13, No. 3 pp. 1110-1121 (2003))。今回の申請ではそれらの発展と共に、新たなアイデアに基づき、特に「カオスを含む複雑なダイナミックスを用いた、単純なルールによる複雑な機能の実現への展開とその脳機能の機構へのアプローチおよび脳機能型デバイス

(Brainmorphic Device) の試作」を重要な目的とする。その理由と動機を次に述べる。すなわち従来型の制御は決定論的なアルゴリズムに基づいているため、高度な機能を実現しようとするとその制御は畢竟「複雑な機構による複雑な機能の実現」に邁進することになる。しかしながら生体の諸機能や生体内で進行する分子レベルから脳機能に至る諸

物理・化学・生理学的諸過程を観測するに、極めて多自由度の系において複雑な制御が統一的にかつ調和的に実現されて機能が発現している。申請者らはその機構に一石を投ずる研究としてこれまでに積み上げて来た研究に基づき、比較的単純な要素 (二状態神経細胞 (セル) モデル) の多数結合系 (神経回路網モデルやセルオートマトン系) においてこれも比較的単純な時間発展ルール (神経興奮の更新ルールやセルオートマトンの状態更新ルール) によってカオスを含む複雑なダイナミックスを生ぜしめ、それを不良設定問題求解や逆問題解決に応用してカオスの有用性・有効性を示してきた (Y. Suemitsu and S. Nara, *Neural Computation*, vol. 16 pp. 1943-1957 (2004), T. Miura, T. Tanaka, Y. Suemitsu and S. Nara, *Physics Letters A*, vol. 346, No. 4, pp. 296-304 (2005))。更にそうした機能性がモデルの詳細にはよらないことをも示し、カオスの機能的汎用性・普遍性を主張してきた (R. Takada, D. Munetaka, S. Kobayashi, Y. Suemitsu, and S. Nara, *Cognitive Neurodynamics* に掲載済み)。また上記研究を具体化する光電子デバイスを用いた能動素子結合系の作製も理論的に提案し (Y. Ohkawa, T. Yamamoto, T. Nagaya, and S. Nara, *Applied Physics Letters*, vol. 86, no. 11, pp. 111107--111110 (2005)) その動作解析も示した (T. Yamamoto, Y.

Ohkawa, T. Kitamoto, T. Nagaya and S. Nara, *Int. J. of Bif. and Chaos* に掲載済み)。

本研究の位置づけの言及をするに、このような「動的観点からの生体的高度機能に関する計算機実験およびその数理科学的分析研究とハードウェア実装によるロボットの試作」は、世界的に見て急増しつつある。ヨーロッパ・アメリカには活動的なグループが散見され、最近ワークショップなども頻繁に開かれて急速に注目を集めつつある。日本においても、少なからぬ研究者が活発に研究を行っているが本研究の提案のような具体的な機能 (計算機) 実験およびハードウェア実装の試作までを含めた研究に参入する人口は分野的重要性とは裏腹にまだ少ない。それは言い替えると、脳神経系に代表される大規模多自由度非線形系の示す多彩かつ複雑な動的かつ機能的諸現象のダイナミックス的観点からの研究が実験的にも理論的にも困難かつリスクが大きいとの認識傾向が強いことを表すともいえ、国内外ともにこの方面の研究推進と発展が焦眉の課題である。

2. 研究の目的

カオスを含む複雑なダイナミクスを用いた、単純なルールによる複雑な機能の実現への展開とその脳機能の機構へのアプローチおよび脳機能型デバイス (Brainmorphic Device) の試作を重要な目的とする。より具体的には、

(1)「多点間の同時情報伝達」に関しては、高等動物が並列的機能を実現する際に脳内において異なる領野どうしがあたかも多チャンネル同時に「通信」という情報のやり取りと「コミュニケーション」という内容の理解と処理を含めた交互の作業が渾然一体となつて行われているように見える。すなわち一団の神経発火が周囲に送り出され、神経活動のカオスの海に消えて行くように見えて、時空間的に遠くはなれた位置とコヒーレントに同期しながら通信と情報処理が為されている点が「一見不可思議に見える」という状況である。それが多チャンネル同時に行われており、そのメカニズムの解明と機能シミュレーションを用いてその機能を具体的に再現するのが本研究期間中に目指すところである。

(2)「身体制御」に関しては、高等動物の筋肉による運動制御は該当する脳の運動野の神経細胞数に鑑みるに何桁も異なる大冗長度を有した制御である。その意味と機構はいまだに明らかではないが、発見論的アイデアのもと、神経回路網に埋め込んだ少数個のアトラクターに典型的な身体運動を対応させた coding を採用し、更にそこにカオスを導入する。それにより複雑な身体運動を発生させそれを適応的に制御を行い、カオスの機能的関与を具体的に示すことを通じてその身体制御メカニズム解明に一石を投じ、機能シミュレーションによる工学的再現を目指すものである。

(3)「カオス搭載ロボットによる迷路求解の実現」に関しては、二輪自走ロボットに対して実際に迷路を設定し、機能シミュレーションに基づくカオス制御機構を組み込み、ハードウェア実装を行った遍歴ロボットを試作して迷路求解を行わせることを目指す。該当二輪自走ロボットの CPU は神経回路網を搭載できる性能規模ではないため、電磁波による信号の転送・受信を介してパソコン上にある神経回路網におけるカオスを用いて制御する試作機とする。更には高額な二足歩行ロボットを導入してその装着 CPU に直接神経回路網を擬似的に搭載して実験機を試作することも計画には含めてある。

(4)「光電子デバイスによる神経回路網の試作」に関しては、半導体技術を駆使して「量子閉じ込めシュタルク効果 (QCSE)」を用いた能動双安定素子を作製し、それを二段に組み合わせて神経発火状のパルス発振をする素子を二次元上に集積的に配置し神経回路

網の動作をさせるチップを試作しようとするものである。理論的な評価によるとこの素子の動作は生体的神経の3桁ほど速いパルス発振となっており、実際に神経回路網的動作を行うと、機能的に同等かつ人間や高等動物の1000倍ほど早い高度かつ高速処理ができると期待される (T. Yamamoto, Y. Ohkawa, T. Kitamoto, T. Nagaya and S. Nara, Int. J. of Bif. and Chaos に掲載決定済み)。申請者と実験的研究者との過去の共同研究歴では単一素子による多安定動作までは実現している (Y. Tokuda, Y. Abe, S. Nara and N. Tsukada, Applied Physics Letter, vol.63 (1993), pp. 2609-2611, S. Nara, Y. Tokuda, Y. Abe, M. Yasukawa and N. Tsukada, Journal of Applied Physics, vol.75, No.8, pp.3749-3755 (1994))。しかしながら、これを集積させた素子結合系を作製しようとした場合は高額な費用がかかると思われ、本研究期間においては集積化は将来の課題とし、少数個の結合素子作製費用計上とその評価による動作確認とデータ解析研究を目指すものである。

3. 研究の方法

- (1)神経回路網のカオスを用いた多点間の同時情報伝達に関する機能シミュレーションとその機構解明
- (2)身体制御に関わる神経系カオスの役割解明とその具体的機能シミュレーション
- (3)カオスを用いた制御を利用する、不良設定問題 (二次元迷路における運動方向制御問題) 求解の機能シミュレーションの発展とそのハードウェア実装による遍歴ロボット試作と迷路求解の実験的实施
- (4)光電子デバイスによる人工神経回路網の試作とその評価

4. 研究成果

- (1)カオスを用いた不良設定問題 (二次元迷路における運動方向制御問題) 求解の機能シミュレーションの発展、特に様々な迷路形態において、同一のアルゴリズムによりどの迷路も求解できることが示された。またターゲットが動く場合についても計算機実験を行い、成功例を得ている。
- (2)計算機機能実験に関し、それをハードウェア実装した遍歴ロボット試作と迷路求解の実験的实施。特に2輪自走ロボットについて、改良が進み、更にターゲットについても同じ方法で2輪自走ロボットとして、ターゲットが動く場合についても実装実験を行いシステム構築に成功している。
- (3)身体制御 (特に腕系) に関わる神経系カオスの機能シミュレーションの成功。特に腕を動かして障害物を回避しながらターゲットに至り、それを把握するといった動作に同

様なカオスを用いた機能実験に成功した。
(4) 擬似神経素子として動作する非線形光電子デバイスの試作と評価。特に下記連携研究者および研究協力者との討論・協力を得て、薄膜の作製には成功し、素子作製のためのデバイスプロセスについても研究が進んだ。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

- ① Hiroyuki Yoshida, Shuhei Kurata, Yongtao Li, Shigetoshi Nara
Cognitive Neurodynamics, 査読有,
2010, vol. 4, pp. 69-80
- ② Yongtao Li, Shuhei Kurata, Shogo, Morita, So Shimizu, Daigo Munetaka and Shigetoshi Nara
Application of Chaotic Dynamics in A Recurrent Neural Network to Control --- Hardware Implementation
Biological Cybernetics, 査読有, 2008 vol. 99, pp. 185-196

[学会発表] (計 5 5 件)

- ① Ryosuke Yoshinaka, Masato Kawashima, Yuta Takamura, Hitoshi Yamaguchi, Naoya Miyahara, Kei-ichiro Nabeta, Yongtao Li, and Shigetoshi Nara
A novel adaptive control via simple rule(s) using chaotic dynamics in a recurrent neural network model, and its hardware implementation
International Conference on Neural Computation, Valencia-Spain, October 24-26, 2010

[図書] (計 3 件)

- ① Yongtao Li and Shigetoshi Nara
Springer Verlag
Lecture Notes in Computer Science
2008, pp. 179-188

ほか 2 件は出版決定のうえ、印刷待ち。

5. については該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奈良 重俊 (SHIGETOSHI NARA)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号: 60231495

(2) 研究分担者: なし

(3) 連携研究者

長屋 智之

大分大学・工学部・教授

研究者番号: 00228058

福嶋丈浩

岡山県立大学・情報工学部

研究者番号: 00264941

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・

フロンティア研究センター

研究者番号: 00379546

溝口 幸司

大阪府立大学・理学系研究科・教授

研究者番号: 10202342

(4) 研究協力者

徳田 安紀

岡山県立大学・情報工学部・教授

阿部雄二

三菱電機・先端技術総合研究所・研究員