

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：32644

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540103

研究課題名(和文)局所的コミュニケーションから生じる階層的進化ダイナミクスの歪みの解析

研究課題名(英文)Skewed information propagation mechanism of elemental members' communication in hierarchical evolutionary systems

研究代表者

染谷 博司(SOMEYA, HIROSHI)

東海大学・情報理工学部・准教授

研究者番号：00333518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：大規模集団が局所的小集団を部分集団として内包するとき，小集団内の構成要素間コミュニケーションにおける相互作用が大規模集団全体に次第に伝搬し，大規模集団全体に及ぼす影響を調査した．大規模集団全体における各部分解の構成割合に対してどのような影響を及ぼすかの定量化法，異なる適応度景観上で同時並行的に進行する進化的ダイナミクスの新たなモデルの着想，in vitro および in vivo マウスでの短期呼吸増強に着目した神経生理学の実験の実測データ，などの成果を得た．これらの調査研究活動に基づき，現在，進化的ダイナミクスの新たな定量的数理モデルと脳のネットワークモデルへの適用可能性の検討を進めている．

研究成果の概要(英文)：We investigated information propagation mechanism in large size population that consists of small size populations in which the elemental members communicates with each other. Techniques for observing the evolutionary dynamics in the large size population were presented. A novel concept of evolutionary dynamics that can be defined in several different fitness landscapes was proposed. Neurophysiological experimental data (calcium imaging data) of in vitro and in vivo mice's respiration were obtained. We now pursue these investigations to develop mathematical models that explain the evolutionary dynamics and the neuroglial network.

研究分野：知能情報学

キーワード：確率的ダイナミクス解析

1. 研究開始当初の背景

ランダム性のある複雑な構成要素間相互作用を内在する非線形システムである大規模な集団について、その情報伝搬の仕組みに対する数理システム論的な理解は十分ではない。本研究課題では、大規模集団が局所的小集団を部分集団として内包するとき、小集団内の構成要素間コミュニケーションにおける相互作用が大規模集団全体に次第に伝搬し、大規模集団全体に及ぼす影響を数理システム論的に解析する。

2. 研究の目的

局所的コミュニケーションが生み出す状態変化には "望ましさ" があり、これに応じた適応的行動が選択される時、大規模集団は階層的進化系を構成し、時系列的变化は進化的ダイナミクスとして観察される。このような進化系は、脳内システムや社会システムを始めとする大規模で複雑なシステムの多くに内在する。本研究では、特に、構成要素の分布の "歪み (skewness)" に着目し、相互作用の強度や方向性と歪みの定量的な関係性を明らかにする。また、脳のアストロサイトネットワークのモデルとして理論解析の成果を適用し、実測データとの整合性の観点から表現力を検証する。

3. 研究の方法

次の各調査項目に取り組む。

- 調査項目(1)：多変量分布の歪みを三次統計量として定量化し、その性質を調査。
調査項目(2)：小集団内における相互作用の大規模集団全体への伝搬効果を調査。
調査項目(3)：相互作用の強度や方向性の違いに起因する進化的ダイナミクスの変化を調査。
調査項目(4)：脳のアストロサイトネットワークをモデル化し実測データとの整合性を調査。

4. 研究成果

調査項目1と調査項目2に関しては、パラメータ値により三次統計量の大きさを連続的に変化させることができる状態遷移の確率密度分布関数を新たに導入し、さまざまなパラメータ値のもとで、小集団内における局所的コミュニケーションが大規模集団全体に対してどのような伝搬効果をもたらすかを調査した。また、小集団のある構成要素が有する特徴的な性質を恣意的に保存・伝搬させるとき、大規模集団全体の多様性に対してどのような効果をもたらすかを調査した。特に、大規模集団全体における各部分解の構成割合に対してどのような影響を及ぼすかを

定量的に扱う方法を調査した。調査項目3に関しては、異なる適応度景観上で同時並行的に進行する進化的ダイナミクスを調査し、進化的ダイナミクスの新たなモデルの着想を得た。調査項目4に関する調査としては、*in vitro* 環境でも自発的な呼吸リズム形成能を有する新生ラット摘出脳幹脊髄標本において、ニューロンとアストロサイトとによる呼吸リズム形成の過程を可視化する実験を行った。得られた知見に基づき、呼吸リズム形成に関するニューロンとアストロサイトとの相互作用モデルを構築し、実測データとの整合性を調査した。計測結果からは、アストロサイトが呼吸に同期した活動を呈することが示唆された。また、*in vivo* マウスでの短期呼吸増強に着目した神経生理学的実験を行い、実測データを取得した。これらの調査研究活動に基づき、現在、進化的ダイナミクスの新たな定量的数理モデルと脳のネットワークモデルへの適用可能性の検討を進めている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Koshiya N, Oku Y, Yokota S, Oyamada Y, Yasui Y, Okada Y.: Anatomical and functional pathways of rhythmogenic inspiratory premotor information flow originating in the pre-Botzinger complex in the rat medulla, *Neuroscience*, Vol. 268, pp. 194-211, 2014. 査読有り
- ② Pokorski M, Takeda K, Sato Y, Okada Y.: The hypoxic ventilatory response and TRPA1 antagonism in conscious mice, *Acta Physiologica / Acta Physiol (Oxf)*, 210(4):928-938, doi: 10.1111/apha.12202, April 2014. 査読有り
- ③ Hiroshi Someya: Striking a Mean- and Parent-centric Balance in Real-valued Crossover Operators, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 17, No. 6, pp. 737-754, doi: 10.1109/TEVC.2012.2200255, December 2013. 査読有り

[学会発表] (計15件)

- ① 清水 真, 染谷 博司: 複数の独立な評価関数に対する進化的同時最適化, 計測自動制御学会 システム・情報部門 第43回知能システムシンポジウム講演論文集, C1-4 (6 pages), 室蘭工業大学 (北

- 海道), 3月10日-11日, 2016.
- ② 岡田 泰昌: 様々な病態における呼吸困難感の知覚機序とその緩和対策. 日本内科学会東海支部主催 第64回生涯教育講演会. 名古屋. 2016年2月21日. 招待講演
 - ③ 松本 怜, 染谷 博司, 加島 智子, 折登 由希子: 部分解評価を用いた対話型進化計算における定量的有効性評価, 計測自動制御学会 システム・情報部門 第8回コンピューターショナル・インテリジェンス研究会講演論文集, pp. 50-53, 県立広島大学広島キャンパス (広島), 12月18日-19日, 2015.
 - ④ Y. Okada and Y. Oku and T. Sasaki and C. Vivar and S. Yokota and K. Takeda and I. Fukushima and I. Yazawa and H. Someya and Y. Tamura: A novel model of respiratory rhythm generation: a mechanism by interaction of intrinsically oscillating astrocytes and neurons, Proceedings of Neuroscience 2015, 808.01/W2, Society for Neuroscience (米国神経科学学会), Chicago, USA, Oct 17-21, 2015.
 - ⑤ Rei Matsumoto, Hiroshi Someya, Tomoko Kashima, Yukiko Orito: An Efficient Interactive Evolutionary Computation with Partial Solution Evaluation: A Case Study on Menu Planning Problem, Proceedings of the Workshop on New Directions of Evolutionary Computation and Intelligent Systems in 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2015), p. 26, Sendai, Japan, May 25th, 2015.
 - ⑥ Okada Y., Takeda K., Someya H., Oku Y., Miwakeichi F., Ishiguro M., Tamura Y., Pokorski M.: Astrocytes mediate short-term plasticity of breathing, Proceedings of the Experimental Biology 2015, B342 659.14, Boston Convention and Exhibition Center, Boston, USA, 28 March - 1 April, 2015.
 - ⑦ 田野 幹樹, 染谷 博司: 人工生命システムにおける転移因子を模倣した変異の手法, 進化計算学会 第8回進化計算学会研究会 講演論文集, pp. 15-19, 拓殖大学 八王子キャンパス (東京), 3月5日~6日, 2015.
 - ⑧ 清水 真, 染谷 博司: サンプルング音の再現における波形最適化のための類似度関数の提案, 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, pp. 613-618 (TC12-11), 島根大学, 鳥取県松江市, 9月3日~5日, 2014.
 - ⑨ 加島 智子, 折登 由希子, 染谷 博司: 多期間献立計画問題における献立の提供順序ばらつき指標の比較, 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, pp. 607-612 (TC12-10), 島根大学, 鳥取県松江市, 9月3日~5日, 2014.
 - ⑩ 松本 怜, 染谷 博司: 対話型進化計算を用いた献立作成システムにおける嗜好抽出, 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集, pp. 1765-1766 (PS1-6), 島根大学, 鳥取県松江市, 9月3日~5日, 2014.
 - ⑪ Yasumasa Okada, Isato Fukushi, Kotaro Takeda, Yoshitaka Oyamada, Yoshitaka Oku, Fumikazu Miwakeichi, Hiroshi Someya, Makio Ishiguro, Yoshiyasu Tamura, Mieczyslaw Pokorski: Post-hypoxic potentiation of breathing is induced by sustained activation of astrocytes, Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Japanese Respiratory Society (第54回日本呼吸器学会学術講演会 増刊号) (Vol. 3, No. 357 (2014.5.10)), JRS54-0063, 大阪国際会議場 (グランキューブ大阪)・リーガロイヤルホテル (大阪市), April 25-27, 2014.
 - ⑫ 清水 真, 染谷 博司: 実数値型遺伝アルゴリズムによるサンプリング音再現パラメータの景観分析, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 (SICE-SSI) 講演論文集, SS11-6 (3 pages), ピアザ淡海 (滋賀県大津市), 11月18日~20日, 2013.
 - ⑬ 染谷 博司: 実数値型遺伝アルゴリズムにおける重心重点交叉と親中心交叉の比較, 電気学会 電子・情報・システム部門 (企画: システム技術委員会) 第23回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2013) 講演論文集, pp. 371-375 (ST-13-102), 九州大学医学部, 福岡市, 9月25日~26日, 2013.
 - ⑭ 染谷 博司: 三次統計量に着目した実数値型交叉オペレータの考察, 進化計算学会 第5回進化計算学会研究会 講演論文集, pp. 126-132, 室蘭工業大学 (北海道), 9月12日~13日, 2013.
 - ⑮ Y. Okada, K. Takeda, Y. Oyamada, Y. Oku, F. Miwakeichi, H. Someya, M. Ishiguro, Y. Tamura, M. Pokorski: Post-hypoxic

potentiation of breathing is mediated by astrocytes, Proceedings of the XI European Meeting on Glial Cells in Health and Disease (Glia, Vol. 61, Issue Supplement S1-S216), T06-16B (S105), doi: 10.1002/glia.22530, Berlin, Deutschland (Germany), July 3-6, 2013.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

染谷 博司 (SOMEYA, Hiroshi)
東海大学・情報理工学部・准教授
研究者番号：00333518

(2) 研究分担者

岡田 泰昌 (OKADA, Yasumasa)
独立行政法人国立病院機構村山医療センター（臨床研究センター）・電気生理学研究室・室長
研究者番号：80160688