

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 18 日現在

機関番号： 12601

研究種目： 新学術領域研究

研究期間： 2008～2012

課題番号： 20115009

研究課題名（和文） 移動運動と学習記憶の確率モデルによる数理解析

研究課題名（英文） Computational study of locomotion, learning, and memory using stochastic analysis methods

研究代表者 増田 直紀 (MASUDA NAOKI)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・准教授

研究者番号： 40415295

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 脳神経科学・神経科学一般

キーワード： 脳・神経, 数理工学, ゲノム, 行動学, 遺伝子

1. 研究計画の概要

(1) 記憶の時間スケジューリングの数理解析モデル

- 齊藤班の実験結果：刺激と刺激の間隔が長い方が、短いときよりもむしろ長期記憶形成が促進されること、の数理解析モデルを建設し、その解析によって実験結果の予測を行う。
- 1つの神経集団からもう1つの集団へと記憶が転移するときのシナプス可塑性を、小脳内の記憶転移と扁桃体内の記憶転移を数理解析モデル化することにより解明する。
- 上記2点を含むような数理解析モデルプロトタイプを開発し、他の応用に備える。

(2) 線虫の行動解析と数理解析モデリング

- 飯野班の実験データを解析し、線虫の移動行動の統計的性質を定量的に決定する。
- 線虫の移動行動を、ランダム・ウォークおよび、その一種の単純化であるマルコフ過程を用いて数理解析モデル化し、数理解析モデルの各項と移動行動の素過程を対応づける。
- 数理解析モデルの各項を除去・減弱した場合の移動行動を数値計算と理論解析により調べ、飯野の細胞破壊実験の結果と照合し、各遺伝子や細胞と各行動素過程を対応づける。
- 線虫のニューラル・ネットワークの移動行動関連部分のみを抽出し、数値計算することによって、各ニューロンやその群を、移動行動の素過程により直接的に対応づける。

(3) 選択的注意の数理解析モデル

選択的注意のモデルを数理解析モデルを建設し、実験結果に適用する。

2. 研究の進捗状況

当研究領域の計画研究班である飯野班と共同して、増田と大久保が線虫の移動行動のデータ解析を行った。特に、短い時刻の間に起こる線虫の移動について、その確率分布を解析した。さらに、ランダム・ウォークに基づく移動行動のモデルを構築し、数値計算を行い、実データと定性的に符合することを確認した。より具体的には、短時間のカーブの大きさの分布がべき分布に従うことを明らかにし、それが、ニューロンの除去、ピルエット前後のデータの除去、といった擾乱に対しても頑健に見られる現象であることを示した。数理解析モデリングについては、乗算的ランダム・ウォークが、ARモデルといった伝統的な時系列の数理解析モデルと比較した上でもデータをよく説明することを明らかにした。これらの成果は査読有の論文として発表された。

生物の移動行動解析全般に寄与するために、確率過程の数理解析手法について、その基盤を整えた。特に確率過程に特有なゆらぎやポンプカーレントを扱う方法を大久保が開発し、2本の査読有の論文として発表された。

線虫は302個のニューロンからなる。各ニューロンは固有の機能をもちつつ、かつ、神経系の中での位置に応じる役割も果たしていると考えられる。例えば、感覚ニューロンは、神経系の位置としても上流に位置し、介在性ニューロンや運動ニューロンに信号を伝達していると考えられる。こういった信号

処理を明らかにするために、線虫のニューラル・ネットワークの構造に基づく解析手法が有用であると考えられる。そこで、増田が、化学シナプスのように枝に方向性がついているネットワークにおける、ニューロンの重要性を計量化する手法を開発した。信号がネットワーク全体に伝わることを、集団遺伝学で使われる固定という概念として定式化できる。あるニューロンから信号の伝達が始まるときに固定が起こる確率を、そのニューロンの重要性であると定義した。その結果は査読有論文誌3本に発表された。

ニューラル・ネットワーク、あるいは、より一般的に、細胞のなすネットワークがどのようにノイズを軽減しているかを知るとは、日常的にノイズにさらされている生物が適切な信号を検知、処理し、行動に結びつける機構を知ることにつながる。増田は、この問題に対する一般的な数理モデリングを行い、ネットワーク構造の関数として、ノイズの軽減度合いを表す関係式を得た。本成果は、例えば、概日リズムを生成する視上交叉核のニューラル・ネットワーク、周期的な心拍を生み出す心筋細胞のネットワークなどに適用可能である。これらの例に対しては、時計としての正確度を、ネットワーク構造の関数として与えたことになる。また、シグナル伝達系への応用も考えられる。本研究成果は、分子行動学の範疇に限定されない意味での生物学への広範な寄与が期待される。この研究成果の一部は査読有論文誌に発表された。

化学走性において物質の濃度差を検出することは重要であるが、細胞単位のような小さなスケールでは、濃度に大きなゆらぎが存在することが指摘されている。このゆらぎの問題や近年の1分子計測技術の発展などにより、例えば一定時間内に生じた化学反応の回数の詳細な統計を計算する必要性が出てきた。この統計性に関する研究は計数統計とも呼ばれる。大久保は、周囲の環境が時間的に変化するようなシステムに対して、計数統計を数値的に計算する枠組みを構築した。その成果は査読有論文誌に発表された。

3. 現在までの達成度

発表論文の質と内容から判断して、概ね、計画通りの達成度である。

4. 今後の研究の推進方策

実験班との連携をさらに密にし、実験と数理モデルが共同して行う記憶、移動行動、注意等のプロジェクトを期間内に遂行する。

5. 代表的な研究成果

(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 11 件)

以下、代表的な 5 件についてのみ記す。

J. Ohkubo The stochastic pump current and the non-adiabatic geometrical phase. Journal of Statistical Mechanics, P02011 (2008). 査読有り

N. Masuda, Y. Kawamura, H. Kori. Impact of hierarchical modular structure on ranking of individual nodes in directed networks. New Journal of Physics, 11, 113002 (2009). 査読有り

J. Ohkubo, K. Yoshida, Y. Iino, N. Masuda. Long-tail behavior in locomotion of *Caenorhabditis elegans*. Journal of Theoretical Biology 267, 213-222 (2010). 査読有り

J. Ohkubo, T. Eggel. Direct numerical method for counting statistics in stochastic processes. Journal of Statistical Mechanics. P06013 (2010). 査読有り

N. Masuda, Y. Kawamura, H. Kori. Collective fluctuations in networks of noisy components. New Journal of Physics 12, 093007 (2010). 査読有り

[学会発表] (計 5 件)

以下、代表的な 1 件のみについて記す。

H. Kori, Y. Kawamura, N. Masuda. Theory of collective enhancement of temporal precision in oscillator networks. Biosignal 2010, Berlin, Germany, July 14-16 (2010).

[図書] (計 1 件)

増田直紀, 今野紀雄. 複雑ネットワーク - 基礎から応用まで. 近代科学社 (2010).

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

特になし。