

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400403

研究課題名(和文) 長距離相互作用系における運動の自己組織化

研究課題名(英文) Self-organization of motion in systems of long-range interaction

研究代表者

坂口 英継 (Sakaguchi, Hidetsugu)

九州大学・総合理工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90192591

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：多数の要素が長距離相互作用しながら運動する中で、その動きが自己組織化され、ある種の秩序が現われる系を研究し、その秩序形成のメカニズムを解明することを目的にした。

具体的な成果としては、地震のバネブロックモデルに粘弾性素子を組み込み、余震の発生頻度の減衰に対する大森公式が再現できることを数値シミュレーションで示した。ここでは弾性相互作用が長距離相互作用に対応している。また、細胞性粘菌がサイクリックAMPの波を長距離伝搬させることにより情報を交換し一つのクラスターに集合する様子を再現する数理モデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：We studied several coupled active systems with long-range interaction. Dynamical order is self-organized in these systems. We investigated some mechanisms of self-organization of collective motion.

As an example of such system, we have proposed a new kind of block-spring model with viscoelasticity for earthquake. Numerical simulation of the model reproduced a statistical law called Omori's law that the frequency of aftershocks decays in a power law. As another example, we have proposed a competitive aggregation model of slime mold. The slime molds send out chemical waves of cAMP which can propagate far away without damping. Slime molds move in the direction of sources of waves. As a result of collective motion, a single large cluster of slime molds appears. Such an aggregation cluster is observed experimentally.

研究分野：非線形物理

キーワード：自己組織化 長距離相互作用 同期 フラクタル カオス 自己回帰モデル

1. 研究開始当初の背景

非平衡開放系の散逸構造の自発的形成はこれまで詳しく研究されてきた。特に、運動の自己組織化は興味を持って研究されてきた。たとえば、リミットサイクル振動子集団のような能動的素子の動的な秩序状態である集団同期状態が自発的に生じる引き込み相転移などが詳しく研究されてきた。また、分子モーターなどのミクロな生体系で熱ゆらぎに抗して一方向の運動が形成されるメカニズムも研究されてきた。近年では、鳥や魚の群れのような能動的な要素が多数集まった系に生じる自発的な集団的運動の研究が盛んにおこなわれるようになっており、アクティブマターと呼ばれる研究分野に発展してきている。一方、長距離相互作用をもつスピン系や荷電粒子系の統計力学は古くから研究されている課題である。そこでは短距離相互作用系とは異なる相転移現象などが研究されてきている。

2. 研究の目的

1.で述べた2つの分野の研究背景を元にして、この研究課題では多数の要素が長距離相互作用しながら運動する中で、その動きが自己組織化され、ある種の秩序が現われる系を研究し、その秩序形成のメカニズムを解明することを目的とする。たとえば、弾性的相互作用や波動伝搬で生じる相互作用など長距離まで影響が伝わる系に生じる運動の自己組織化を研究する。

3. 研究の方法

地震のバネブロックモデルや細胞性粘菌の集合モデルなどいくつかの具体的な数理モデルの数値シミュレーションを行い、その結果を理論的に解析する。それぞれの系での自己組織化のメカニズムの理解を深めるとともに、全体として長距離相互作用系の運動の自己組織化の共通する点を見出すことをめ

ざす。

4. 研究成果

さまざまな数理モデルの数値計算および理論解析をおこない、長距離相互作用系の運動の自己組織化に関するいくつかの新しい知見が得られた。以下に4つの項目に分けて研究成果を述べる。

(1) 地震のバネブロックモデル (Carlson-Langer モデル) は長距離まで影響が伝わる弾性相互作用が重要になる。このモデルのダイナミクスをもう一度詳しく解析し、間欠性を示す時空カオスが地震の統計法則に本質的であることを示した。2次元パーコレーションネットワーク上でこのモデルのシミュレーションを行うと、地震の観測でよく知られているグーテンベルグーリヒター則が再現できることを示した。さらに、非線形粘弾性素子をこのモデルに組み込むと、余震の大森公式も再現できることを数値計算で示した。

(2) 細胞性粘菌は飢餓状態になると多数の細胞が集まり1つの集合体を形成することが知られている。その際 cAMP と呼ばれる物質が波動として伝搬し、集合方向などを知らせるシグナルとしてはたらく。この cAMP の振動の位相をシグナルとする集合過程を記述する数理モデルを提案し、数値シミュレーションを行った。このモデルは細胞の密度と位相方程式の結合系として表される。数値計算の結果、最初多数の集合体が局所的に形成されるが、その集合中心から位相波が出され、ターゲットパターンができる。多数のターゲットパターンの競合により、集合体が融合し合い最終的に1つのクラスタになることが分かった。この現象は位相波が長距離まで減衰せず伝搬するという性質をもつために起こることが分かった。

(3) 肺の構造は気管から肺胞まで規則的に

多数回二又分岐を繰り返すフラクタル的な管構造をしている。分岐を繰り返すネットワークの中を酸素などの流体が流れ、肺胞の先端で酸素を血液中に送り込む。二又分岐ネットワーク中の流体の流れとその先端での反応を反応拡散移流方程式で表現し、多数個ある先端での反応の総和が最大になるネットワークの構造を調べた。その結果、管の半径や長さの比に最適値があることがわかった。

(4) 自己回帰モデル (Autoregressive モデル) は離散的な時系列に対する線形モデルで様々な分野で用いられている。我々は長時間記憶をもつ自己回帰モデルを解析し、その時系列がある時間範囲で自己アフィン性を示すことを示した。そのべき指数と記憶の減衰関数の指数との関係を調べた。その結果を内閣支持率のゆらぎの解析に応用した。

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 14 件)

H.Sakaguchi and B.A.Malomed
Matter-wave soliton interferometer based on a nonlinear splitter
New Journal of Physics
査読有, Vol.18, 2016, artno.25020

H.Sakaguchi and T.Okita
Cooperative dynamics in coupled systems of fast and slow phase oscillators
Physical Review E
査読有, Vol.93, 2016, artno.22212

H.Sakaguchi and H.Honjo
Anomalous Fluctuations in Autoregressive Models with Long-Term Memory
Journal of Physical Society of Japan
査読有, Vol.84, 2015, artno.104002

H.Sakaguchi and T.Oishi
Numerical Study of Crystal Size Distribution in Polynuclear Growth
Journal of Physical Society of Japan
査読有, Vol.84, 2015, artno.64004

H.Honjo, M.Sano, H.Miki, and H.Sakaguchi
Statistical properties of approval ratings for government
Physica A
査読有, Vol.428, 2015, 266-272

M.Shimokawa, Y.Suetani, R.Hiroshige, T.Hirano, and H.Sakaguchi
Pattern formation in a sandpile of ternary granular mixture
Physical Review E
査読有, Vol.91, 2015, artno.62205

H.Sakaguchi and K.Okamura
Aftershock and Omori's law in a modified Carlson-Langer model with nonlinear viscoelasticity
Physical Review E
査読有, Vol.91, 2015, artno.52914

H.Sakaguchi and S.Maeyama
Competitive aggregation dynamics using phase wave signals
Journal of Theoretical Biology
査読有, Vol.359, 2014, 155-160

H.Sakaguchi
Reaction-diffusion-advection equation in binary tree network and optimal size ratio
Physical Review E
査読有, Vol.90, 2014, artno.40801

H.Sakaguchi and H.Akamine
Domain Wall Dynamics in Ginzburg Landau Type Equation with Conservation Quantities
Journal of Physical Society of Japan
査読有, Vol.83, 2014, artno.64006

H.Sakaguchi and S.Maeyama
Simple Model of Splitting Instability in Swollen Membranes
Journal of Physical Society of Japan
査読有, Vol.83, 2014, artno.24603

H.Sakaguchi and S.Morita
Intermittency and Slip-Size Distribution in the Block-Spring Model of Earthquakes
Journal of Physical Society of Japan
査読有, Vol.82, 2013, artno.114006

T.Matsuo and H.Sakaguchi
Phase Model with Feedback Control for Power Grids
Journal of Physical society of Japan
査読有, Vol.82, 2013, artno.94007

H.Sakaguchi
Shock Waves in Falling Coupled Oscillators
Journal of Physical Society of Japan
査読有, Vol.82, 2013, artno. 73401

[学会発表](計 7 件)

坂口英継
物質波の透過干渉現象の 1 次元シミュレーション
研究会「非線形の捉え方」2015 年 10 月 11 日 福岡工業大学 FIT セミナーハウス (大分県由布市)
坂口英継、岡村和樹
非線形粘性項をもつ Carlson-Langer モ

デルにおける余震の統計則
日本物理学会 2015 年秋季大会 2015 年 9
月 18 日 関西大学千里山キャンパス(大
阪府吹田市)

坂口英継

木構造ネットワーク状の反応拡散移流方
程式と肺の構造

日本物理学会第 70 回年次大会 2015 年 3
月 22 日 早稲田大学早稲田キャンパス
(東京都新宿区)

坂口英継、Li Ben, B.A.Malomed

スピン軌道相互作用を持つ
Gross-Pitaevskii 方程式の渦ソリトン

日本物理学会 2014 年秋季大会 2014 年 9
月 7 日 中部大学春日井キャンパス
(愛知県春日井市)

坂口英継

非線形ダイナミクスの電力網および地震
モデルへの応用

首都大学数電気シンポジウム 2013 年 12
月 8 日 首都大学南大沢キャンパス(東
京都八王子市)

前山聡美、坂口英継

細胞性粘菌の集合ダイナミクスの位相モ
デル

細胞性粘菌学会 2013 年 10 月 13 日 京
都大学理学研究科セミナーハウス(京都
府京都市)

坂口英継

連成振動子の落下運動

日本物理学会 2013 年秋季大会 2013 年 9
月 26 日 徳島大学常三島キャンパス(徳
島県徳島市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂口 英継 (SAKAGUCHI HIDETSUGU)

九州大学・大学院総合理工学研究院・准教
授

研究者番号：90192591

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：