HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	On a mathematical modeling and a computer-aided analysis for self-propelled systems [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	安ヶ平, 裕介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第15103号
Issue Date	2022-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/86750
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yusuke_Yasugahira_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理　学）　氏　名　　安ヶ平　裕介

学 位 論 文 題 名

On a mathematical modeling and a computer-aided analysis for self-propelled systems

（自己駆動系に対する数理モデリングと計算機援用解析について）

本論文では２つの題材を扱うが，まずそれらに共通するテーマである「自己駆動系」，そしてその背景にある事象としての「集団運動」に関して述べる．自然界において，集団運動は普遍的に観察される現象の一つである．ここでいう集団運動とは，個別の規則に則って運動する個体の集団として立ち現れる運動であって，しかもその全体としての様相を個別の運動の単純な重ね合わせとしては記述できないものを指す．このような集団運動の例としては，鳥類や魚類の群れが示す集団としての振る舞いや，バクテリアのコロニー形成過程において確認することができる．T. Vicsek ら(1995)による集団運動を模倣する自己駆動粒子系の数学的モデルに端を発し，これらの集団運動の基礎原理を理解するための試みとして，生物的な要素による変動を受けない非生物系の自己駆動粒子系による実験が多数行われ，報告されている．また，これに加えて，多数の理論的な解析が行われている．

まず１つめの題材として，自己駆動粒子系の一つである円環水路上の樟脳円盤の系を扱った．この系は単純ながらも多彩な運動パターンを示す系であり，多数配置した場合に渋滞現象という集団運動に類似する挙動を示すことで注目され研究されたこともある．円盤同士が相互作用するケースで，最も単純な場合である２個配置した場合について以前より研究が進められており，数理モデルの構築，そしてその数値的，理論的な解析が行われてきた．それらの研究では，その系が示す運動パターンやその間の分岐構造が部分的に調べられたが，未知の部分もあり，周期解の間の分岐構造の解析やカオス的挙動に対する説明は未だなされていなかった．本論文のパート 1 では，円環水路上の２つの樟脳円盤のモデルが示す運動パターンを数学的に定式化し，数値的に大域的分岐構造を計算する適切な手順を確立した上で実際に解析を行った．これにより今まで未知だった部分の分岐構造が明らかになり，様々な結果が得られた．特筆すべき結果として，第一に，これまで発見されていなかった運動パターンを大きく分けて 4 種類発見し，どのような分岐過程を経てそれらのパターンが現れるのかも明らかにした．それらのパターンの中には実際に安定に観察されるものも含まれている．そして第二に，カオス的挙動の発生に関して分岐の観点から説明を与えた．実際にカオス的挙動が発生していることを最大リアプノフ指数の意味で数値的に示し，今回得た分岐構造を絡めた考察から，この系で現れるカオス的挙動は２つの典型的なカオスに至るルートである Period-doubling cascade と Torus breakdown である可能性を示した．カオスに関する解析結果はこの系に関しては全く新しいものであり，重要な結果であると考えられる．

２つめの題材として，6-メチルクマリン(6-MC)と塩基からなる自己駆動系を扱う．本論文ではまず，この系が特異な走化性を示すことを報告する．走化性とは，生命体が特定の化学物質の濃度勾配に沿って移動する性質である．濃度の高い方向に移動する場合，正の走化性と呼び，低い方向に移動する場合，負の走化性と呼ぶ．非生物系において走化性とみなせる挙動を示すものは多数存在するが，それらはほとんどの場合一方向のみの走化性である．今回扱う 6-MC と塩基の系は，円形シャーレに浅く水を張り，水面に 6-MC 円盤を，水底に塩基の発生源(Na_3PO_4 タブレット)を配置するというものであるが，最初に 6-MC 円盤は塩基の発生源へ引き寄せられ（正の走化性），濃度の一番高い場所，すなわちタブレットの真上でしばらく停止した後，塩基から素早く離れる（負の走化性）という，一方向的でない特異な走化性を示す．これを本論文では“Catch and Release 走化性”と呼んでいる．今回複数の条件における実験から，Catch and Release 走化性の発生メ

カニズムを考察，提案した．そして，この系を表現する数理モデルを構築し，実験で観察される Catch and Release 走化性を含む特徴的な運動パターンを再現した．これは提案したメカニズムの正しさを支持する結果であり，この特異な走化性に関する説明を与える重要な結果である．