

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22540131

研究課題名(和文) 散逸系のパターンダイナミクスにおけるハミルトン構造とその周辺

研究課題名(英文) Pattern dynamics in dissipative systems and their related topics

研究代表者

桑村 雅隆 (Kuwamura, Masataka)

神戸大学・人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：30270333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：散逸系のパターン形成に関する研究として、捕食者の休眠を伴う被食者-捕食者系とよばれる3変数の常微分方程式の解の性質を調べた。また、ショウジョウバエの中腸幹細胞系の増殖と分化の制御機構を数理モデルを通して考察した。これらの結果は、SIAM Journal on Applied Mathematics, vol.71, pp.169-179 (2011), Journal of Biological Dynamics, vol.6, pp.267-276 (2012) 等の論文で公表された。

研究成果の概要(英文)：We investigated properties of solutions of prey-predator system with dormant predators. Moreover, we proposed a mathematical model for the differentiation and proliferation of Drosophila intestinal stem cells.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：数学・数学一般

キーワード：散逸系 パターン

1. 研究開始当初の背景

生物の形態や化学反応系は、エネルギーや物質の消費と流入のバランスによって動的に維持されているシステムと考えられることから、一般に「散逸系」とよばれている。散逸系のパターン形成研究の歴史と現状は、北海道大学の西浦廉政教授の著書「非線形問題1」(岩波書店)で詳述されているが、ハミルトン構造に注目してパターン形成の問題を扱うという視点は全く触れられていなかった。2006年度から2009年度までの4年間の基盤研究(C)において、勾配・歪勾配構造をもつ反応拡散方程式の定常解の安定性をハミルトン形式を利用して調べる研究を行った。

2. 研究の目的

散逸系においては、温度や光の強さ等の外部環境をコントロールするパラメータを調整することにより、源となるたった1つの単純なパターンから、複雑な形をもつ様々なパターンを数多く作り出すことができる。本研究の目的は、散逸系における様々な動的なパターンのダイナミクスをハミルトン力学の観点から解析することである。また、新しい研究のテーマを開拓するために、生物学や化学反応に現れる様々な現象を記述するためのモデル方程式を、(力学系理論の観点から)提案することも本研究の目的に含まれている。

3. 研究の方法

(1) 研究分担者(連携研究者)との研究打ち合わせ

本研究を遂行するためには、研究分担者(連携研究者)から研究上の様々なアドバイスを受ける必要があった。研究代表者の桑村は、明治大学の小川知之教授と反応拡散方程式の解のダイナミクスおよび数値計算法について継続的な研究打ち合わせを行い、貴重なアドバイスを得ることができた。

(2) ソフトウェアの購入・更新

本研究を遂行するにあたって、様々な数値計算・グラフィックス用のコンピュータソフトウェアを必要に応じて購入した(Mathematica 9など)。また、近年のコンピュータソフトウェアは急速に進化しており、購入済みコンピュータソフトウェアのバージョンアップも必要に応じて随時行うことにした。

(3) 研究用図書の購入

研究を遂行する上で必要となる情報を得るために、散逸系におけるパターン形成に関する専門書、解析力学と変分法および分岐理論に関する専門書を購入した。さらに、数値解析、コンピュータシミュレーションに関する専門書も購入した。

(4) 研究情報の収集

研究を進めるために必要な情報を得るために、様々な研究集会に参加し研究上の討論を行った。特に、微分方程式論、力学系の理論、数理生物学を専門とする優れた研究者から研究上の問題点を解決するためのヒントを数多く頂くことができた。また、AUTOとよばれる分岐解析ソフトウェアの使用に関して貴重なアドバイスを頂くことができた。

4. 研究成果

(1) 休眠現象の数理

生態学に現れるロトカ・ボルテラの捕食者-被食者モデルでは、被食者がロジスティック成長して捕食者がHolling II型の機能的反応を持つ場合、被食者の環境収容力が増加すると個体群ダイナミクスは不安定化することが知られている。そのため、たまたま周期解が小さな値をとったとき、わずかな環境変動によって解の値が0になり絶滅が起きやすくなることが示唆される。この理論的な予測に基づいて、Rosenzweigは湖沼生態系における富栄養化の危険性を警告し、環境条件が良くなると絶滅が起きる可能性があるということから、この現象を「富栄養化の逆説」と呼んだ。この逆説を解消するためにロトカ・ボルテラの捕食者-被食者モデルに対して、捕食者の休眠による効果を考慮して、新しい3変数の常微分方程式モデルを提案した。これは、動物性プランクトンと植物性プランクトンからなる捕食者-被食者系において、動物性プランクトンは植物性プランクトンが減少するときに休眠卵を産生するという事実を考慮したものである。数学的な解析によれば、ある条件の下では被食者の環境収容力が増加しても個体群ダイナミクスが不安定化しないことが示された。このことは、捕食者の休眠が個体群ダイナミクスの安定化に大きな役割を果たしていることを示唆している。この研究は京大大学生態学研究センターの仲澤剛史との共同研究であり、SIAM J. Appl. Math. Vol. 71(2011)および Population Ecology, vol.53(2011)において公開された。

(2) 幹細胞系の増殖と分化の数理

生物の形態形成における研究として、ショウジョウバエの小腸幹細胞の増殖と分化のメカニズムを力学系理論と数値シミュレーションの観点から理解することが挙げられる。1つの幹細胞は増殖し不等分裂することにより、1つの娘幹細胞と1つの前分化細胞になる。前分化細胞は内分泌細胞もしくは最終分化細胞のいずれかへ分化する。この細胞増殖分化のプロセスは Notch シグナルと Wnt シグナルによって制御されており、数学的には6変数の常微分方程式系で記述されると考えられる。この研究結果は J. Biol. Dyns. vol.4 (2010)と J. Biol. Dyns. vol.6 (2012) に掲載された。

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4件)

1 M. Kuwamura, K. Maeda and T. Adachi-Yamada,
Mathematical modelling and experiments for the proliferation and differentiation of Drosophila intestinal stem cells II,
Journal of Biological Dynamics, vol.6, pp.267-276 (2012)
査読有

2 T. Nakazawa, M. Kuwamura and N. Yamamura,
Implications of resting eggs of zooplankton for the paradox of enrichment,
Population Ecology, vol.53, pp.341-350 (2011)
査読有

3 M. Kuwamura and T. Nakazawa,
Dormancy of predators dependent on the rate of variation in prey density,
SIAM Journal on Applied Mathematics, vol.71, pp.169-179 (2011)
査読有

4 M. Kuwamura, K. Maeda and T. Adachi-Yamada,
Mathematical modelling and experiments for the proliferation and differentiation of Drosophila intestinal stem cells I,
Journal of Biological Dynamics, vol.4, pp.248-257 (2010)
査読有

[学会発表](計4件)

1 桑村雅隆
捕食者の休眠を伴う prey-predator 系に現れる Turing pattern について
2013年日本数学会秋期総合分科会
2013年9月27日
愛媛大学

2 桑村雅隆
ショウジョウバエの中腸幹細胞の増殖と分化について
日本応用数理学会2012年度年会
2012年8月30日
稚内全日空ホテル

3 M. Kuwamura
Dormancy of predators in prey-predator systems
The 7th East Asia SIAM Conference
2011年6月28日
早稲田大学北九州キャンパス

4 桑村雅隆、仲澤剛史
Dormancy of predators dependent on the rate of variation in the prey Density
第20回日本数理生物学会大会
2010年9月15日
北海道大学(北海道)

[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

<http://wwwmain.h.kobe-u.ac.jp/~kuwamura/kuwaj.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

桑村 雅隆 (KUWAMURA MASATAKA)
神戸大学・人間発達環境学研究科・教授
研究者番号：30270333

(2)連携研究者

小川 知之 (OGAWA TOSHIYUKI)
明治大学・総合数理学部・教授
研究者番号：80211811