様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

# 科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　２ 年　６ 月 ２０ 日現在

機関番号：１３２０１
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2015～2019
課題番号：１５Ｋ０４９９５

研究課題名（和文）３成分反応拡散系の様々な特異点近傍におけるパルスダイナミクスの理論的解明

研究課題名（英文）Pulse dynamics of a 3-component reaction-diffusion system in neighborhoods of several bifurcation points

研究代表者
池田　榮雄（IKEDA, HIDEO）
富山大学・理学部・客員教授
研究者番号：６０１１５１２８

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　3,600,000円

研究成果の概要（和文）：空間1次元，及び空間2次元の3変数反応拡散系に対して，定常空間局在解の存在と安定性を調べた。その結果，物理パラメーターに関して定常空間局在解は3つの不安定化：ドリフト分岐，ホップ分岐，サドル・ノード分岐を起こすことを明らかにした。それぞれの分岐点，あるいはその複合分岐点近傍で解のダイナミクスを記述するため，中心多様体縮約により中心多様体上の正確な縮約常微分方程式系を導出し，その重要な係数を具体的に決定した。またその応用として，空間非一様性との相互作用を記述する縮約常微分方程式系も導出した。これにより，複雑な偏微分方程式の解のダイナミクスを常微分方程式の世界で理解することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義
複雑な偏微分方程式で記述された解のダイナミクスを正確に縮約された中心多様体上の常微分方程式系の解の挙動で見ることが出来るので，数学を専門としない科学者や技術者に対しても非常に受け入れられ易く，学際的にも重要な意味を持ち，理学，工学，医学などの他分野への波及効果は大きいと期待している。
一番の独創的な結果は縮約された常微分方程式系が正確に与えられる点であり，特に空間非一様性の影響を明らかにする為には常微分方程式系の係数の正確な値が必要である。そのおかげで，様々なダイナミクスの分水嶺解（セパレータ）の存在も容易に見出すこが可能となった。

研究成果の概要（英文）：The existence and stability of localized stationary solutions in a 3-component reaction-diffusion system in R or RxR is clarified, from which we find that there exist the following three types of destabilization: (1) drift bifurcation, (2) Hopf bifurcation and (3) saddle-node bifurcation. In neighborhoods of single or double bifurcation points, reduced ODE systems are given by using center manifold reduction procedure. These coefficients of the ODE systems are determined correctly. As an application of it, the dynamics of the interaction between bifurcated solutions and heterogeneity in the media are also considered.

研究分野：応用数学

キーワード：3成分反応拡散系　特異摂動法　中心多様体理論　縮約系　パルスダイナミクス　スポットダイナミクス　ドリフト分岐　Bogdanov-Takens分岐

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

(1)　非線形非平衡科学の理論的支柱として研究されている反応拡散系は 1952 年に誕生し，それから 70 年近く経過した現在でも，その理論は自然科学の様々な分野とのつながりの中で我々の予想以上に発展している。その中でも時空間パターンの解析は反応拡散方程式系の理論の一つの重要なテーマであり，研究代表者はこれまで，解析的特異摂動法，力学系理論，分岐理論等を用いて，2 成分活性－抑制系と呼ばれる反応拡散方程式系における定常解や進行波解の存在，その安定性，及び解の分岐構造解明に力を注いで来た。その結果，ある程度の成果を得た。そして，それらの成果を踏まえて，発展方程式の解としてのダイナミクスに関する問題（安定な解が多重に存在する時，どの解が選択されるかというパターン選択の問題や安定な解を分けている分水嶺解（セパレータ）の存在やその形状に関する問題，非一様な拡散場における進行波解のダイナミクスに関する問題など）を研究した。これは様々なパターンを形成していく途中の過程（遷移過程）の解明と密接に関係しており，応用上大変重要な問題である。

(2)　ここでは，１段上のステージである多重特異点近傍における解のダイナミクスを調べることが中心課題となる(それは，これらの多重特異点が全体の組織中心(organizing center)の重要な役割を果たしているので)が，その解析手法としては，中心多様体理論を適用し無限次元空間でのダイナミクスを中心多様体とよばれる有限次元上のダイナミクスに縮約することである。しかし，一般理論では縮約系の重要な係数は非常に複雑な式で表現されており，具体例に適用しようとすると，これまではその係数は数値計算に頼らざるを得なかった。これを計算するには，多重特異点における解の周りでの線形化作用素の（実部が 0 である固有値に対する）全ての固有関数，共役線形化作用素の全ての固有関数を計算し([R1])，さらにそれらを含むある種の積分量を計算する必要がある。煩雑ではあるが，特異摂動法（特異極限法）を用いて具体的にかつ正確に固有関数を計算する手法を開発し，その結果を用いて，非一様媒体上の反応拡散系におけるフロント進行波と非一様性の強さとの相互作用のダイナミクス（非一様場におけるフロント進行波の通過,停止,反射のメカニズム）を力学系理論の視点から完全に解明することが出来た([R2])。

引用文献：

[R1] S.-I.Ei, H.Ikeda and T.Kawana, Dynamics of front solutions in a specific reaction-diffusion system in one dimension, Japan J. Indust. Appl. Math. 25 (2008), 117-147.

[R2] H.Ikeda and S.-I.Ei, Front dynamics in heterogeneous diffusive media, Physica D, 239 (2010), 1637-1649.

２．研究の目的

(1)　様々な実験例の報告があるので，パルス型の進行波に関しても上記と同じ考察を望んでいたが，2 成分系ではそれが無理であることがわかった。つまり，安定な定常パルス解から安定なパルス進行波は分岐しない（この場合，安定な定常パルス解から安定な時空振動解が先に分岐するので，その後不安定な定常解から不安定パルス解が分岐する）。実験例のモデルと照らし合わせることによって，もう１成分の働きが必要であることがわかった。具体的には，１活性－2 抑制因子（3 成分）モデルを考える必要がある。

(2)　本研究では，その代表的な反応拡散系として，FitzHugh-Nagumo 型の１活性－2 抑制因子モデルを研究対象とする。これまで築き上げた手法を利用して，数値的には確認されている，定常パルス解から安定な進行パルス解の分岐（ドリフト分岐），定常パルス解から安定な時空振動解の分岐（ホップ分岐），そして物理パラメーターの値によってこの 2 つの分岐が入れ替わることを空間 1 次元と 2 次元の場合に対して理論的に証明することが第１の目的である。そしてこれらの結果を用いて縮約理論を適用し，非一様拡散場におけるパルス進行波ダイナミクス(パルス進行波の通過，停止，振動，反射，分裂などのダイナミクス)を考察することが第 2 の目的である。

(3)　それに加えて，最近注目されている平面上において周期的に回転する進行スポット解の存在と安定性を考察することが第 3 の目的である([R3])。これは第１目的の副産物として得られる各モードに対する固有値とその固有関数の内，第１モードと第 2 モードの固有関数の混合モードから誘発されると考えられる。

引用文献：

[R3] T.Teramoto, K.Suzuki and Y.Nishiura, Rotational motion of traveling spot in dissipative systems, Phys. Rev. E, 80(2009), 046208.

３．研究の方法

(1)　まずは，3 成分 FitzHugh-Nagumo 方程式系の定常パルス解の存在と安定性解析を特異摂動法を用いて行う。安定性には第 2，第 3 成分の時定数の値が重要であり，時定数に関して再スケール変換を行う必要があると考えている。安定性解析の結果から，物理パラメーターの値によって次の 3 つの分岐が起こることが考えられる。(i) 定常パルス解から進行パルス解が分岐する（ドリフト分岐)，(ii) 定常パルス解から時空振動解が分岐する（ホップ分岐)，(iii) 定常パ

ルス解が突然消滅する（サドル・ノード分岐)。これらの分岐が起こるパラメーターの存在域を明らかにする。

(2)　上記３つの分岐点近傍での中心多様体縮約を行い，中心多様体上での縮約 ODE を陽的に精度よく求める。その為には分岐点での線形化作用素やその共役作用素の 0 固有値に対応する固有関数の構成が重要であり，論文[R2]の手法を用いる。それと同時に方程式に非一様性を導入し，その影響はどこに，どの様に現れるかを解明し，非一様な媒体における特異点近傍での解のダイナミクス(通過，停止，分裂，振動，反射など)の全体像を明らかにする。

(3)　複合分岐点(サドル・ノード＋ドリフト，サドル・ノード＋ホップ，ドリフト＋ホップ)近傍でのパルスダイナミクスの解析を行う。各特異点での固有関数などの構成は既に(2)で終わっているが，縮約系の構造は複合固有関数の１次結合になるので，係数の計算はかなり複雑になる。しかし，積分量の計算さえクリアーできれば正確な縮約系が得られる。難しいときは高精度の数値計算を利用することも考えている。縮約された常微分方程式系の解析と反応拡散系の数値計算結果を対比することで，その正当性をチェックしたい。

(4)　空間非一様媒体上でのサドル・ノード＋ドリフト，サドル・ノード＋ホップ，ドリフト＋ホップ分岐点近傍でのパルスダイナミクスの解析を行う。上記(3)の結果に対して非一様性の影響による解のダイナミクスの変化を考察する。特異点の退化次数が増えるとやはり難しさは急激に増加するが，過去の実績をもとに固有関数との相互作用を加味した縮約常微分方程式系を導出し，それを解析することにより，多重特異点近傍での非一様性の影響による解のダイナミクスの全体像を明らかにする。

(5)　空間２次元でのスポットダイナミクスの解析を行う。まず，空間２次元における一様媒体上での 3 成分反応拡散系に対して，基本となるスポット(球対称)定常解の存在とその安定性解析を行う。空間１次元の時と同様，安定性解析の結果から次の３つ場合を想定している。(i) 定常スポット解から進行スポット解が分岐する（ドリフト分岐)，(ii) 定常スポット解から時空振動スポット解が分岐する（ホップ分岐)，(iii) 定常スポット解が突然消滅する（サドル・ノード分岐)。これらの分岐が起こるパラメーターの存在域を明らかにする。

(6) (5)のドリフト分岐点近傍での中心多様体縮約を行い，中心多様体上での縮約 ODE を陽的に精度よく求める。その為には分岐点での線形化作用素やその共役作用素の 0 固有値に対応する固有関数の構成が重要であるが，これらの場合の線形化作用素や共役作用素の固有関数はもはや球対称ではないので，固有関数の構成にはかなりの時間を費やさなければならない。厳密な数学的結果が得られない時は，数値計算による支援を受けながら何とか解決したい。縮約系に落とすのは１次元の時と同じようにできるが，次のハードルは得られた縮約 ODE の係数が正確に計算出来るかどうかである。難しい時は，数値的な支援を得て解決したい。

(7)　平面上を周期的に回転する周期進行スポット解の存在と安定性の解析を行う。(5),(6)の解析結果の副産物として得られると考えている。第1モードと第2モードの固有関数で張る空間への縮約を考える。しかし，縮約ODEの係数を正確に計算することはかなり難しいと思われる。

４．研究成果

(1)　3 成分 FitzHugh-Nagumo 方程式に対し，解析的な特異摂動法(接合漸近展開法)を用いて定常パルス解の存在証明を行った。その結果を考慮すると，あるパラメーターに関してサドル・ノード分岐が起こることが分かった。さらに，第２成分,第３成分の時定数を大きくする(具体的には微小特異摂動パラメーターの-2 乗オーダーのとき)と，定常パルス解は２種類の不安定化を起こすことを安定性解析の結果から判明した。１つはドリフト分岐であり，もう１つはホップ分岐である。この結果は既に論文として出版されている。２成分系では，安定な定常パルス解から安定な進行パルス解は直接分岐しないが，この３成分系では，２つの時定数のパラメーターによって，安定な定常パルス解から安定な進行パルス解が分岐する場合(ドリフト分岐)，安定な定常パルス解から安定な時空振動パルス解が分岐する場合(ホップ分岐)が存在することが分かった。
(2)　(1)の結果を受けて，各分岐点での線形化作用素，その共役作用素の固有関数の構成を行ったが，計算量は大変なものである。さらに，各分岐点近傍で中心多様体理論を用いて縮約 ODE の導出にも成功した。しかし，その係数は上記の固有関数を用いて計算されるが，残念ながら具体的な値としてはまだ決定出来ていない。数値計算を併用して各分岐点近傍でのパルスダイナミクスを調べた結果，想像した通り，ドリフト分岐，ホップ分岐，サドル・ノード分岐で現れる特徴的なものであった。特に，サドル・ノード分岐点近傍では，パルスの分裂は起こらず，パルスの消滅が起こった。ある係数に非一様性を導入した場合の縮約系の導出にも成功したが，その係数は陽的には決定できていない。
(3)　(2)からも分かるように，パルス解の場合は計算がかなり煩雑になるので，考察対象を定常フロント解に変更した場合の計算を実施した。同じ 3 成分系に対称性がある場合の定常フロント解の存在と安定性を調べた。(1)と同様に，2 つの時定数をパラメーターとして，ドリフト分

岐のみが出現することが分かった。ちょっとがっかりしたが，このドリフト分岐に関して，さらに高次の分岐が起こることが判明した。2 成分系に比べて 3 成分系ではパラメーターの数が多いので，それを上手く調節することにより，余次元 2 の Bogdanov-Takens 型の分岐が起こることが示された。具体的には，線形化作用素は 3 重の 0 固有値を持ち，その退化は 3 次のジョルダンブロックになる。参考までに上記のドリフト分岐，ホップ分岐等は余次元 1 の分岐である。この時の分岐点近傍でのフロントダイナミクスに関しては，様々なアイデアを盛り込んで，最近論文として出版された。分岐解として，安定な周期振動フロント解が出現する。さらにそれに加えて，パラメーターに依存してドリフト分岐の向きが変化する(超臨界から亜臨界へと変化)バタフライ構造を内在していることを高次(5 次)の縮約 ODE を導くことによって明らかにした。この結果は論文として執筆中である。

(4)　欧米等では，「Harmful Algal Bloom (HAB)」と呼ばれる毒性を持ったプランクトンの異常発生が重大な環境問題として重要視されている。そのモデル方程式として毒性を持つ 2 種被食者-1 捕食者(1 種の被食者が毒性を持つ)反応拡散方程式が注目を浴びている。そのモデル方程式に対して特異極限の手法を適用し，その縮約系として非局所項を持つシャドー方程式系を導出することに成功した。それを解析することによってパッチ状の高濃度の毒性プランクトンの集合体(HAB)が出現することを数学的に証明した。この結果も既に論文として出版されているが，海外の研究集会等に出席した時，環境問題等の数理モデルを研究している研究者に声を掛けられる等，結果に対する反応は非常に良い。

(5)　(1)の結果に対して，複合分岐点近傍(サドル・ノード＋ドリフト，サドル・ノード＋ホップ，ドリフト＋ホップ)が出現するパラメータサーチは完了し，この方程式に対して上記 3 種類の複合分岐が存在することが分かった。しかし，3 重複合分岐(サドル・ノード＋ドリフト＋ホップ)が出現するパラメーターは存在しなかった。これらの 2 重複合分岐点近傍での中心多様体縮約を考察した。形式的な計算で縮約 ODE を導出することは出来たが，理論的な正当性に関しては未解決である。また，その ODE の係数も膨大な計算から記述することが出来たが，その値を求めるには数値計算ですら困難な様子である。従って，何か他の方法を考えなければならない状況である。まして，非一様性との相互作用は暫くペンディングである。

(6)　一般の 3 種競争拡散系において，安定な 2 種共存の進行波解(3 種目は 0)が存在することは既に知られている。3 種目の成長率をパラメーターとして，この安定な 2 種共存の進行波解から 3 種共存の非自明な進行波解が分岐することを，分岐理論を用いて理論的に示した。進行波解から進行波解が分岐する理論的解析の事例はこれまで殆ど無く，また 3 種共存の進行波解の存在を理論的に示されたのは初めてであると思われる。具体的には線形化作用素が 2 次のジョルダンブロックに退化するパラメーターを探し，そこで中心多様体理論を用いて縮約 ODE を導出することに成功した。その結果，様々なタイプのトランスクリティカルな分岐が出現し(特別な場合として，ドリフト分岐も含まれる)，競争系の係数を上手く選ぶことにより，全てのタイプが実際に現れることが分かった。この結果は論文として執筆中である。

(7)　空間 2 次元の 3 成分 FitzHugh-Nagumo 方程式に対して，解析的な特異摂動法(接合漸近展開法)を用いて球対称な定常スポット解の存在証明を行った。その結果を考慮するとあるパラメーターに関して，サドル・ノード分岐が起こることが分かった。さらに，第 2 成分,第 3 成分の時定数を大きくする(具体的には微小特異摂動パラメーターの-2 乗オーダーのとき)と，定常スポット解は 2 種類の不安定化を起こすことを安定性解析の結果から判明した。1 つはドリフト分岐であり，もう 1 つはホップ分岐である。この結果は既に論文として投稿中である。この論文は今後分岐した解のダイナミクスを考える上で，基本となると考えている。2 成分系では，安定な定常スポット解がもし存在しても，そこから安定な進行スポット解は直接分岐しないが，この 3 成分系では，2 つの時定数のパラメーターによって，安定な定常スポット解から安定な進行スポット解が分岐する場合(ドリフト分岐)，安定な定常スポット解から安定な時空振動スポット解が分岐する場合(ホップ分岐)が存在することが分かった。

(8)　(7)で得られたドリフト分岐点近傍において，空間 2 次元でのスポットダイナミクスを考察した。すなわち，2 つの時定数をパラメーターとし，中心多様体理論を用いて縮約 ODE の導出を行った。既に幾つかの結果があるが，いずれも縮約 ODE の係数は理論的には求まらず，数値計算に頼っている。しかし，ここでは既存の手法を改良することにより縮約 ODE の係数が数学的に計算できることを示した。この結果は論文として執筆中である。

(9)　(7)の結果を用いて，周期進行スポット解の存在，安定性を考察した。第 1 モードの不安定化を起こすパラメーター(ドリフト分岐)と第 2 モードの不安定化を起こすパラメーター($D_2$ 分岐)の共通集合を探しているが，なかなか見つからないのが現状である。もし見つかれば，第 1 モードと第 2 モードの固有関数で張る空間への縮約を考えれば良いので，上記の複合分岐点近傍での縮約理論が適用できることになる。しかし，縮約 ODE の係数を決めることは大変難しいと思われる。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計3件（うち査読付論文　3件／うち国際共著　2件／うちオープンアクセス　0件）

| | |
|---|---|
| 1．著者名<br>Hideo Ikeda, Yuki Akama | 4．巻<br>39 |
| 2．論文標題<br>Existence and stability of singularly perturbed standing pulse solutions of a three-component FitzHugh-Nagumo system | 5．発行年<br>2017年 |
| 3．雑誌名<br>Toyama Mathematical Journal | 6．最初と最後の頁<br>19-85 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>－ |

| | |
|---|---|
| 1．著者名<br>Hideo Ikeda, Masayasu Mimura and Tommaso Scotii | 4．巻<br>37 |
| 2．論文標題<br>Shadow system approach to a plankton model generating harmful algal bloom | 5．発行年<br>2017年 |
| 3．雑誌名<br>Discrete and Continuous Dynamical Systems | 6．最初と最後の頁<br>829-858 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3934/dcds.2017034 | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>該当する |

| | |
|---|---|
| 1．著者名<br>Chirilus-Bruckner M.、van Heijster P.、Ikeda H.、Rademacher J. D. M. | 4．巻<br>29 |
| 2．論文標題<br>Unfolding Symmetric Bogdanov-Takens Bifurcations for Front Dynamics in a Reaction-Diffusion System | 5．発行年<br>2019年 |
| 3．雑誌名<br>Journal of Nonlinear Science | 6．最初と最後の頁<br>2911～2953 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/s00332-019-09563-2 | 査読の有無<br>有 |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著<br>該当する |

〔学会発表〕　計23件（うち招待講演　19件／うち国際学会　8件）

| |
|---|
| 1．発表者名<br>Hideo Ikeda |
| 2．発表標題<br>Complex Dynamics of Bifurcating Front Solutions in a Three-Component Reaction-Diffusion System |
| 3．学会等名<br>The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications（招待講演）（国際学会） |
| 4．発表年<br>2018年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>Hideo Ikeda |
| ２．発表標題<br>Front and pulse dynamics in a 3-component FitzHugh-Nagumo system |
| ３．学会等名<br>Second joint Australia-Japan workshop on dynamical systems with applications in life sciences（招待講演）（国際学会） |
| ４．発表年<br>2018年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>Front dynamics in a 3-component reaction-diffusion system |
| ３．学会等名<br>富山解析セミナー2018 |
| ４．発表年<br>2018年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>3種競争拡散系における3種共存進行波解の分岐について |
| ３．学会等名<br>反応拡散系の理論と応用　～現状と未来～（招待講演） |
| ４．発表年<br>2018年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>反応拡散系における進行波解とそのダイナミクス |
| ３．学会等名<br>反応拡散系のパターンダイナミクス２（招待講演） |
| ４．発表年<br>2019年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>反応拡散系における３重０固有値近傍でのフロントダイナミクス |
| ３．学会等名<br>非線形現象の数理解析（招待講演） |
| ４．発表年<br>2019年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>Hideo Ikeda |
| ２．発表標題<br>Traveling pulse solutions on 3-component FitzHugh-Nagumo systems |
| ３．学会等名<br>One-day workshop on reaction-diffusion equations at Asahikawa（招待講演） |
| ４．発表年<br>2017年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>３種競争拡散系における３種共存進行波解の分岐について |
| ３．学会等名<br>富山解析セミナー2017 |
| ４．発表年<br>2017年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>Hideo Ikeda |
| ２．発表標題<br>Stability of standing planar spot solutions in three-component FitzHugh-Nagumo systems |
| ３．学会等名<br>11th AIMS International Conference on Dynamical Syatems, Differential Equations and Applicatiions（招待講演）（国際学会） |
| ４．発表年<br>2016年 |

１．発表者名
Hideo Ikeda

２．発表標題
Shadow system approach to a plankton model generating Harmuful Algal Bloom

３．学会等名
11th AIMS International Conference on Dynamical Syatems, Differential Equations and Applicatiions（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2016年

１．発表者名
Hideo Ikeda

２．発表標題
Complex Dynamics of Bifurcating Front Solutions in a Three-Component Reaction-Diffusion System

３．学会等名
Joint Australia-Japan workshop on dynamical systems with applications in  life sciences（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2016年

１．発表者名
池田 榮雄

２．発表標題
3種競争拡散系における自明進行波解からの3種共存進行波解のドリフト分岐

３．学会等名
Workshop on reaction diffusion equations and numerical analysis（招待講演）

４．発表年
2016年

１．発表者名
池田 榮雄

２．発表標題
３種競争拡散系における２種共存進行波解からの３種共存進行波解のドリフト分岐

３．学会等名
富山解析セミナー2016

４．発表年
2016年

１．発表者名
池田 榮雄

２．発表標題
Complex Dynamics of Bifurcating Front Solutions in a Three-Component Reaction-Diffusion System

３．学会等名
研究集会「拡散成分と非拡散成分が共存する反応拡散系がつくるパターン」（招待講演）

４．発表年
2017年

１．発表者名
池田榮雄

２．発表標題
３種Lotka-Volterraモデルの２つの極限問題に関する定常解と安定性について

３．学会等名
拡散に付随する数理科学セミナー（招待講演）

４．発表年
2015年

１．発表者名
池田榮雄

２．発表標題
Shadow system approach to a 3-component Lotka-Volterra system with diffusion

３．学会等名
第40回偏微分方程式論札幌シンポジウム（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2015年

１．発表者名
池田榮雄

２．発表標題
有害藻類開花モデルのshadow 近似解に関して

３．学会等名
富山解析セミナー2015

４．発表年
2015年

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>Stability analysis of standing planar spot solutions in a 3-component FitzHugh-Nagumo system |
| ３．学会等名<br>International Conference on Mathematical Modeling and Applications 2015`Self-Organization-Modeling and Analysis'（招待講演）（国際学会） |
| ４．発表年<br>2015年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>Existence and stability of a standing spot solution in 3-component FitzHugh-Nagumo systems |
| ３．学会等名<br>第14回自己組織化セミナー（招待講演） |
| ４．発表年<br>2015年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田榮雄 |
| ２．発表標題<br>２種類の３変数系の理論的考察 |
| ３．学会等名<br>多変数反応拡散系の数理とその周辺（招待講演） |
| ４．発表年<br>2015年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田　榮雄 |
| ２．発表標題<br>反応拡散系と特異摂動法 |
| ３．学会等名<br>Workshop on reaction-diffusion equations and numerical analysis - In memory of Professor Yuzo Hosono -（招待講演） |
| ４．発表年<br>2019年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田　榮雄 |
| ２．発表標題<br>Bifurcation of non-trivial traveling wave solutions in a 3-component competition-diffusion system |
| ３．学会等名<br>International workshop on Biomathematics and Biostatistics in Taiwan（招待講演）（国際学会） |
| ４．発表年<br>2019年 |

| |
|---|
| １．発表者名<br>池田　榮雄 |
| ２．発表標題<br>非一様性とフロント進行波解の相互作用ダイナミクス |
| ３．学会等名<br>北陸応用数理研究会2020（招待講演） |
| ４．発表年<br>2020年 |

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

６．研究組織

| | 氏名<br>（ローマ字氏名）<br>（研究者番号） | 所属研究機関・部局・職<br>（機関番号） | 備考 |
|---|---|---|---|
| 連携研究者 | 栄　伸一郎<br>(EI Shin-Ichiro)<br>(30201362) | 北海道大学・大学院理学研究院・教授<br>(10101) | |
| 連携研究者 | 小川　知之<br>(OGAWA Toshiyuki)<br>(80211811) | 明治大学・総合数理学部・教授<br>(32682) | |