

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03593

研究課題名(和文)楕円関数を用いた非局所境界値問題の大域的解構造と安定性の研究

研究課題名(英文) Research on the global structure of solutions and their stability for nonlocal boundary value problems by using elliptic functions

研究代表者

四ツ谷 晶二 (Yotsutani, Shoji)

龍谷大学・公私立大学の部局等・研究員

研究者番号：60128361

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)：非局所項が求めるべき解の定積分となっている典型的な境界値問題に対し、古典的な楕円関数論および現代的な非線形偏微分方程式論を融合・応用して、定常解全体の大域的構造の解明と安定性の解析を行う独自の方法を進化させ適用範囲を拡大した。

具体的には研究計画に従い、KST交差拡散方程式の極限方程式、細胞極性の発現の数理モデル、非局所項を含むAllen-Cahn方程式の定常解の大域的構造を解明し、安定性を解析した。さらにモデル提案から約20年間未解明であった、合金等の凝固現象を記述する1次元数理モデルの全定常解の大域的分岐ダイアグラムの特徴付けを得ることができ、安定性の解析にまで進んでいる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、微分方程式の解の存在のための条件を求めたり、局所的な解の分岐構造に対して、非線形偏微分方程式論をはじめとして数学的研究がなされて現在も発展を続けている。ところが、解の精密形状を知ることや解の大域的な分岐構造の解明はより困難な問題である。

しかし、生命現象や物理現象等にあらわれる数理モデルに対して、数学的な結果を利用できるようにするために、困難であるが是非克服すべき問題である。

我々は基本的な典型的な微分方程式で記述される数理モデルに対し、特異摂動問題の解の精密な陽的表示式、極限形状の精密な表示式、2次分岐等を含めた解の大域的な分岐構造を得るための独自の方法を開発・発展させた。

研究成果の概要(英文)：For typical boundary value problems where the nonlocal term is a definite integral of a solution, we combine and apply classical elliptic functions theory and modern nonlinear PDE theories to clarify the structure of all stationary solutions. We have developed unique methods for it and analyzing the stability.

Especially, according to our research plan, we clarified a limiting equation of the KST cross-diffusion equation, a mathematical model of the expression of cell polarity, and the global structure of the steady-state solution of the Allen-Cahn equation including nonlocal terms, and analyzed their stability.

Furthermore, we have obtained the characterization of the global bifurcation diagram of all stationary solutions of the one-dimensional mathematical model that describes the solidification phenomenon of alloys, which had remained unsolved for about 20 years since the model was proposed, and we have now advanced to stability analysis.

研究分野：数理解析学関連

キーワード：非線形境界値問題 完全楕円積分 楕円関数 交差拡散方程式 反応拡散方程式 極限方程式 非局所線形化固有値問題

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々は、微分方程式や偏微分方程式で記述される数理モデルであり、方程式自身に非局所項が含まれるものや境界条件に非局所項が含まれる、非局所境界値問題に対して個々の方程式の解を求める手段をみつけると同時に、さらに数理モデル中のパラメータを動かしたときの定常解全体の大域的構造を解明するための数学的解析手法の確立をめざしてきた。

非局所項が含まれることにより、従来の境界値問題に対する個々の解法や解構造の数学的解析手法だけでは不十分である。非局所境界値問題に対して

- ・どのようにして個々の定常解を求めればよいのか？
- ・どのようにしたら定常解全体の大域的構造の数学的解明ができるのか？
- ・求まった定常解の安定性は数値的にはどうなのか？数学的に証明できるのか？

という「問い」を繰り返し続けてきた。

特に非局所項が求めるべき解の定積分となっている、典型的な境界値問題に対して、上記の問いに答えるための独自の方法を全くのゼロから開発し発展させてきた。

定常解全体の候補となるような大きな枠組みを見抜き、候補となりうるすべての関数の楕円関数を用いた表示式を、数式処理ソフトで試行錯誤しながらみつけた上で、最新の非線形偏微分方程式の手法および古典的な楕円関数論を融合させて、定常解全体の大域的構造の解明を行うものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、この独自の方法の深化と安定性解析への適用範囲の拡大である。

上の問いに一般的に答えることは困難であるので、より広範囲の問題に対し個別に調べていく。具体的には、次の様にまず4つの問題に焦点をあてつつ関連する未解決問題も含めて、定常解の大域的構造の詳細と安定性を明らかにしていく。

- ・1979年にKawasaki-Shigesada-Teramotoが提案した、KST交差拡散方程式の極限方程式
- ・供給項をもつGierer-Meinhardt系のshadow system
- ・細胞極性の発現の数理モデル
- ・非局所項を含むAllen-Cahn方程式
- ・関連する非局所項が含まれる未解決問題

3. 研究の方法

以下の様な問題意識と方針のもとで研究をすすめていく。

- (1) SKT交差拡散方程式の極限方程式の定常解の大域的構造解明を、強競争系と弱競争系を俯瞰しておこない、安定性を解析する。これに伴い、これまで得ていた楕円関数を用いた解のパラメータ表示を改良し、定常解の一意性・多重性の証明を完結する。
- (2) 供給項をもつ空間1次元Gierer-Meinhardt系のshadow system定常解の大域的分岐構造を得ているが、これを起点として安定性の解析をめざす。
- (3) 細胞極性の数理モデルに、拡散係数無限大の極限方程式に対し、定常解の大域的な分岐構造と安定性について2次分岐点に焦点をおき解析する。さらに、拡散係数有限である、もともとの問題大域的な分岐構造と安定性を調べる手法を見つける。
- (4) 非線形項に解自身の定積分値を含んでいる、ノイマン境界条件下での空間1次元Allen-Cahn方程式の定常解の大域的構造、および、安定性の解析を行なう。特に、2次分岐点に焦点をおき解析する。さらに、安定性を調べる手法を見つけ解析する。
- (5) 関連する非局所項が含まれる未解決問題における、定常解の大域的な分岐構造と安定性の解析のための新たな手法を見つけていく。

4. 研究成果

上記で述べたことにできる限り対応させて、得られた研究成果を説明していく。

- (1) SKT交差拡散方程式の極限方程式の定常解の大域的構造の解明に関して説明する。2019年の香港理工大学における国際研究集会において、これまで得ていた楕円関数を用いた解のパラメータ表示を改良した上で、強競争系と弱競争系を俯瞰した定常解の大域的構造の詳細に関する数学的結果、および、安定性に関する数値計算結果を報告した。解の一意性と重複度については半解析的方法より、パラメータに応じてそれらの変化を数値的に状況把握した。一意性の成立状況での数学的証明は成功しているが計算があまりに膨大となってしまう。欧文誌に発表のために、証明の簡明化に改良に慎重に時間をかけて取り組んでいる。我々は、KST交差拡散方程式の2つある極限方程式のうち、最も重要な第1方程式に焦点をあてて研究してきた。最近第2方程式の研究が進んでおりそれらの解はパラメータを動かすとつながっていることが数学的にわかってきた。これは一般的な場合にも言えることではないかと推測される。これらを数学的に示すことは、今後の興味ある問題の一つと思われる。

- (2) 供給項をもつ Gierer-Meinhardt 系の shadow system については、計算を進めてきたが、想定していたより難しいことがわかってきた。このため一旦計算を保留し、以下で説明を行う他の課題に集中したため、発表にいたるまでの結果は得ることはできなかった。しかしながら、他の課題で発見した新たな手法が安定性の解明に有用であると思われる。
- (3) 細胞極性の数理モデルについて説明する。全ての解表示は既に求めていたが、ダイアグラムの表示式はより高度な問題で、十年間探していたものがようやく発見できた。これにより、ダイアグラムの全容の詳細が明らかになった。2022 年に、拡散係数をとした定常極限方程式のすべての解表示とともにすべての大域的分岐ダイアグラムの具体的な表示式についての論文として発表した。この結果および証明の考え方を応用することにより、本来のモデルである拡散係数が有限の場合の全定常解の大域的分岐構造を解明する道筋がみえてきた。
- (4) 非局所項を含む Allen-Cahn 方程式について説明する。定常解の大域的分岐曲線の具体的な表示式を求めることに成功した。これまで今一步のところまで来ていたが、ネックであった一点を、気づきにくい恒等式を用いて突破し、完全楕円積分を用いたパラメータ表示と同時に陰関数表示を得ることができた。これらの結果を 2020 年に、定常解の大域的分岐曲線が等高線に一致するような曲面の具体的なパラメータ表示についての論文として発表した。この論文の結果は先に述べた(3)の中の 2022 年論文の基礎となっている。加えて、(5)で詳しく説明する、Fix-Caginalp により提案された数理モデルの解の大域的分岐ダイアグラムを具体的に求める際の基礎にもなっている。さらに、2021 年には、大域的分岐曲線の主要部分に対応している、対称な解の 2 次分岐点を境としての不安定性・安定性の変遷についての論文を発表した。
- これまで得られた分岐曲線の表示式等を利用し、対称解から非対称解への 2 次分岐点での局所的な分岐方向を決定するための計算が可能となってきた。非対称解は数値計算結果から大域的に不安定と確信している。その数学的な証明のキーとなる、2 次分岐した分岐曲線の大局的な単調性についても、複雑な計算が必要となるが、良い感触を得ている。これらについてさらに計算を進め、精緻化して論文として発表していきたい。
- (5) 関連する非局所項が含まれる未解決問題について説明する。Fix より提案され Caginalp のグループを中心により活発に研究されてきた、合金等の凝固現象を記述する数理モデルの定常解問題の全定常解の大域的分岐ダイアグラムの特徴付けは、モデル提案から約 20 年間未解決であった。この問題は積分制約条件をもつ非局所境界値問題であるため、分岐ダイアグラムの特徴付けは既存の手法では手がかりさえなかった。本研究課題の研究進展の上に立ち、改めて問題を見直したところいくつかの新しいアイデアを付け加えることにより、空間 1 次元の場合に特徴付けに成功した。2023 年に、この結果を論文として発表した。
- この結果の上にたち定常解の安定性について研究を行っている。特に、初期エンタルピーが零の場合に、拡散係数を零に近づけるときまず定数定常解から対称定常解が分岐するが非局所効果のない場合とは異なり、その対称解からさらに非対称解が 2 次分岐し、分岐点を境に対称解が不安定から安定に変化すること、および、分岐した非対称解はすくなくとも局所的に不安定であることを発見し、これらについての数学的な証明を得た。2023 年 6 月および 11 月の国際会議にて、これらのことを報告した。本論文をほぼ書き上げ投稿直前の状況にある。
- 分岐した非対称解は数値計算結果から不安定と確信している。その数学的な証明のためにポイントとなる、2 次分岐した分岐曲線の大局的な単調性についても、複雑な計算ながら明るい見通しを持っている。大変興味のある問題であり探求を続けているところである。
- (6) 分担者森田は、現象や実験と数理モデルの関係性に焦点をおいて、広範に研究を行った。得られた結果を抜粋して説明する。保存則を持つ 3 変数の反応拡散系において、定常解のチューリング不安定性の条件やパルス解の挙動に関する局在定常解の存在を数学的に示した。また、卵細胞が非対称分裂を引き起こす前に 2 種の競合するタンパク質が細胞膜上に局在化して分布することが実験で知られている。これを表現するバルク・サーフィス拡散モデルが提案されている。この数理モデルの数学的な解析を行い、あるパラメータ領域では、確かに局在化するパターンが存在することを示した。
- さらに、半直線を組み合わせることができる木の形状をもつメトリックグラフ上におけるフロント波の伝播において、複数の枝に分かれる点が存在するがブロックされずに通過する条件等を数学的に与える研究を行った。非有界なメトリックグラフ上のフロント波の、伝播とブロッキングについて条件を考察した論文を発表した。Lotka-Volterra 競合拡散系で双安定なパラメータ条件の場合に定在波が存在する十分条件を与え、そのときにブロッキングは起こることを議論している。一方、スカラーの双安定な反応拡散方程式について、ジャンクションが 2 つある場合に、ブロッキングが起こる定在波の存在について調べ、数値的に定在波の分岐構造も明示した論文も発表している。

- (7) 分担者川上は、現象等と関連する数理モデルの数学的側面に焦点をおいて研究を行った。得られた結果を抜粋して説明する。半空間における動的境界条件を有する熱方程式の可解性について、基本解の構成を目指すという観点から改良を行った。これまでは有界な初期値に対してのみ可解性が得られていたが、境界上の初期条件は恒等的にゼロとするものの、適当な重み付き空間を導入することにより、領域内部についてはこれまでの初期条件を拡張し、より広いクラスに属する解の可解性を得る論文を発表した。
- また、半空間における指数型非線形境界条件を有する熱方程式の可解性と漸近挙動の研究、単位球の外部領域における動的境界条件を有する拡散方程式の拡散極限に関する考察のまとめ、分数冪拡散方程式の高次漸近展開理論の改良を行った論文も発表している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 T. Mori, S. Tasaki, T. Tsujikawa and S. Yotsutani	4. 巻 28
2. 論文標題 All global bifurcation diagrams of stationary solutions to a phase field model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Discrete Contin. Dyn. Syst. Series B	6. 最初と最後の頁 6306-6344
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3934/dcdsb.2022183	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 S. Jimbo and Y. Morita	4. 巻 384
2. 論文標題 Front propagation in the bistable reaction-diffusion equation on tree-like graphs	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 J. Differential Equations	6. 最初と最後の頁 93-119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jde.2023.11.016	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Y. Morita and Y. Tanaka	4. 巻 41
2. 論文標題 Existence of spiky stationary solutions to a mass-conserved reaction-diffusion model	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Japan J. Indust. Appl. Math.	6. 最初と最後の頁 681-722
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13160-023-00626-2	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Y. Morita	4. 巻 22
2. 論文標題 Front profile in time backward for the bistable reaction-diffusion equation on metric graphs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Dyn. Diff. Equat.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.21203/rs.3.rs-2580628/v1	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Y. Morita, K. Nakamura and T. Ogiwara	4. 巻 28
2. 論文標題 Front propagation and blocking for the competition-diffusion system in a domain of half-lines with a junction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Discrete and Continuous Dynamical Systems - B	6. 最初と最後の頁 6345-6361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcdsb.2022136	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 S. Iwasaki, S. Jimbo and Y. Morita	4. 巻 82
2. 論文標題 Standing waves of reaction-diffusion equations on an unbounded graph with vertices	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 1733-1763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/21m1454572	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Hasegawa, N. Ikoma, and T. Kawakami	4. 巻 227
2. 論文標題 On weak solutions to a fractional Hardy-Henon equation, Part II : Existence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nonlinear Analysis	6. 最初と最後の頁 48 pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.na.2022.113165	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 M. Fila, K. Ishige and T. Kawakami	4. 巻 74
2. 論文標題 Solvability of the heat equation on a half-space with a dynamical boundary condition and unbounded initial data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik	6. 最初と最後の頁 17 pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00033-023-02040-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Mori, T. Tsujikawa and S. Yotsutani	4. 巻 39
2. 論文標題 Representation formulas for stationary solutions of a cell polarization model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Jpn J Ind and Appl Math.	6. 最初と最後の頁 1025-1053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-022-00537-8	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 G. Furioli, T. Kawakami, and E. Terraneo	4. 巻 3
2. 論文標題 Heat equation with an exponential nonlinear boundary condition in the half space	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Partial Differ. Equ. Appl.	6. 最初と最後の頁 1-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s42985-022-00170-7	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 K. Ishige, T. Kawakami, and S. Okabe	4. 巻 223
2. 論文標題 Existence of solutions to nonlinear parabolic equations via majorant integral kernel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Anal	6. 最初と最後の頁 22pp
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.na.2022.113025	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Y. Miyamoto, T. Mori, T. Tsujikawa and S. Yotsutani	4. 巻 275
2. 論文標題 Stability for stationary solutions of a nonlocal Allen-Cahn equation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 581-597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2020.11.024	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 J. Elias, D. Hilhorst, M. Mimura, and Y. Morita	4. 巻 295
2. 論文標題 Singular limit for a reaction-diffusion-ODE system in a neolithic transition model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Differential Equations	6. 最初と最後の頁 39-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2021.05.044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Morita and S. Seirin-Lee	4. 巻 82 (66)
2. 論文標題 Long time behavior and stable patterns in high-dimensional polarity models of asymmetric cell division	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Math. Biol.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00285-021-01619-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jimbo and Y. Morita	4. 巻 41 (9)
2. 論文標題 Asymptotic behavior of entire solutions to reaction-diffusion equations in an infinite star graph	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Discrete and Continuous Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 4013-4039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2021026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Hasegawa, N. Ikoma and T. Kawakami	4. 巻 20
2. 論文標題 On weak solutions to a fractional Hardy-Henon equation: Part I: Nonexistence	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Commun. Pure Appl. Anal.	6. 最初と最後の頁 1559-1600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/cpaa.2021033	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 M. Fila, K. Ishige and T. Kawakami	4. 巻 28
2. 論文標題 The large diffusion limit for the heat equation with a dynamical boundary condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications in Contemporary Mathematics	6. 最初と最後の頁 6306-6344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219199720500030	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 T. Mori, K. Kuto, T. Tsujikawa and S. Yotsutani	4. 巻 40
2. 論文標題 Representation formulas of solutions and bifurcation sheets to a nonlocal Allen-Cahn equation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete and Continuous Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 4907-4925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2020205	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 B. Lou, J. Lu, and Y. Morita	4. 巻 31
2. 論文標題 Entire solutions of the Fisher-KPP equation on the half line	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Euro. J. Appl. Math.	6. 最初と最後の頁 407-422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0956792519000093	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 M. Fila, K. Ishige, T. Kawakami and J. Lankeit	4. 巻 40
2. 論文標題 The large diffusion limit for the heat equation in the exterior of the unit ball with a dynamical boundary condition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete and Continuous Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 6529-6546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2020289	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 K. Ishige, T. Kawakami and S. Okabe	4. 巻 37
2. 論文標題 Existence of solutions for a higher-order semilinear parabolic equation with singular initial data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ann. Inst. H. Poincare; Anal. Non Lineaire	6. 最初と最後の頁 1185-1209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anihpc.2020.04.002	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 T. Mori, K. Kuto, T. Tsujikawa and S. Yotsutani	4. 巻 40
2. 論文標題 Representation formulas of solutions and bifurcation sheets to a Allen-Cahn equation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete and Continuous Dynamical Systems - A	6. 最初と最後の頁 4907-4925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2020205	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 B. Lou, J. Lu, and Y. Morita	4. 巻 31
2. 論文標題 Entire solutions of the Fisher-KPP equation on the half line	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Euro. J. Appl. Math.	6. 最初と最後の頁 407-422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S0956792519000093	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 M. Jleli, T. Kawakami and B. Samet	4. 巻 486
2. 論文標題 Critical behavior for a semilinear parabolic equation with forcing term depending on time and space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Analysis and Applications	6. 最初と最後の頁 123931-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmaa.2020.123931	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 S. Jimbo and Y. Morita	4. 巻 267
2. 論文標題 Entire solutions to reaction-diffusion equations in multiple half-lines with a junction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Differential Equations	6. 最初と最後の頁 823-844
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2019.02.008	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

[学会発表] 計51件 (うち招待講演 36件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 S. Yotsutani
2. 発表標題 All global bifurcation curves of stationary solutions to a phase field model
3. 学会等名 Workshop on Recent Developments in Evolutionary Equations and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 竜樹, 久藤 衡介, 辻川 亨, 四ツ谷晶二
2. 発表標題 Exact solution of a full stationary problem for a cell polarization model
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Mori, Y. Miyamoto, S. Tasaki, T. Tsujikawa and S. Yotsutani
2. 発表標題 All global bifurcation diagrams of stationary solutions to a 1D phase field model
3. 学会等名 The 13th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 神保秀一, 森田善久
2. 発表標題 Front propagation and blocking for the bistable reaction-diffusion equation on tree-like metric graphs
3. 学会等名 日本数学会年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y. Morita
2. 発表標題 Stable solutions to reaction-diffusion systems with conservation law
3. 学会等名 Workshop on Reaction-Diffusion Equations and Related Stochastic Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Morita
2. 発表標題 Segregation pattern in a reaction-diffusion model of asymmetric cell division
3. 学会等名 ICMMA 2023, International Conference on "Reaction-diffusion systems: from the past to the future in memory of Prof. Masayasu Mimura (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森田善久
2. 発表標題 Time backward profile of entire solutions to the bistable reaction-diffusion equation on unbounded metric graphs
3. 学会等名 日本数学会秋季総合分科会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Morita
2. 発表標題 On the pattern formation in reaction-diffusion models with conservation law
3. 学会等名 Biwako Workshop on Mathematical Biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Morita
2. 発表標題 Front propagation for the bistable reaction-diffusion equation on unbounded metric graphs
3. 学会等名 The 13th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森田善久
2. 発表標題 メトリックグラフ上の反応拡散方程式の話題と展望
3. 学会等名 反応拡散系パターンダイナミクスの新展開～応用数学賞受賞記念研究～ (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kawakami
2. 発表標題 Solvability of the heat equation on a half-space with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 Euro-Japanese Conference on Nonlinear diffusions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kawakami
2. 発表標題 Solvability of the heat equation on a half-space with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 Evolution Equations and Related Topics - Energy Structures and Quantitative Analysis - (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森竜樹・田崎創平・辻川亨・四ツ谷晶二
2. 発表標題 フェーズフィールドモデルの定常問題の2次分岐について
3. 学会等名 「反応拡散方程式と非線形分散型方程式の解の挙動」 OCAMI 共同研究(一般 B) 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森竜樹・田崎創平・辻川亨・四ツ谷晶二
2. 発表標題 Secondary bifurcation and the direction of bifurcation of stationary solutions to a phase field model
3. 学会等名 日本数学会 2022年度秋季総合分科会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森竜樹, 田崎創平, 辻川亨, 四ツ谷晶二
2. 発表標題 Global structure of stationary solutions for the 1-dimension Fix-Caginalp equation
3. 学会等名 日本数学会 2022年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Morita
2. 発表標題 Front propagation and blocking in reaction-diffusion equations on metric graphs
3. 学会等名 Workshop Partial Differential Equations: Interactions of Analysis, Geometry and Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田 善久
2. 発表標題 メトリックグラフ上の反応拡散方程式-フロント波の伝播・ブロッキング-
3. 学会等名 第32回日本数理生物学会大会 (2022年度年会) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田 善久
2. 発表標題 保存則のある反応拡散系のパターンダイナミクス
3. 学会等名 非線形現象の数値シミュレーションと解析ミニ研究集会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Kawakami
2. 発表標題 Existence of solutions to nonlinear parabolic equations via majorant integral kernel
3. 学会等名 Seminar on Qualitative Theory of Differential Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森竜樹, 田崎創平, 辻川亨, 四ツ谷晶二
2. 発表標題 Global structure of stationary solutions for the 1-dimension Fix-Caginalp equation
3. 学会等名 日本数学会 2022年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森竜樹, 田崎創平, 辻川亨, 四ツ谷晶二
2. 発表標題 1次元Fix-Caginalp方程式のすべての定常解の大域的構造
3. 学会等名 2021年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森竜樹, 辻川亨, 四ツ谷晶二
2. 発表標題 Semi-analytical methods of obtaining bifurcation diagrams for a cell polarization model
3. 学会等名 日本数学会 2021年度秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森竜樹, 辻川亨, 四ツ谷晶二
2. 発表標題 Representation formulas for stationary solutions of a cell polarization model
3. 学会等名 日本数学会 2021年度秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Morita
2. 発表標題 Front propagation and blocking for reaction-diffusion equations on unbounded metric graphs
3. 学会等名 NCTS Webinar on Nonlinear Evolutionary Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩崎 悟, 神保 秀一, 森田 善久
2. 発表標題 2 頂点をもつ非有界なメトリックグラフ上の反応拡散方程式の単峰定常解
3. 学会等名 日本数学会2022年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村健一, 森田 善久, 荻原俊子
2. 発表標題 Front propagation and blocking of the competition-diffusion system in a domain of half-lines with a junction
3. 学会等名 日本数学会2021年度秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎 悟, 神保 秀一, 森田 善久
2. 発表標題 2 頂点を持つメトリックグラフ上の反応拡散方程式のフロント定在波
3. 学会等名 日本数学会2021年度秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森田 善久, 中村健一, 荻原俊子
2. 発表標題 星状グラフの分岐点における2 種競争拡散系のフロント解の通過・停止
3. 学会等名 日本応用数学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩崎 悟, 神保 秀一, 森田 善久
2. 発表標題 メトリックグラフ上の反応拡散方程式のフロント定在波の存在と安定性
3. 学会等名 日本応用数学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Existence of solutions to nonlinear parabolic equations via majorant integral kernel
3. 学会等名 HMAセミナー・冬の研究会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 非整数階時間微分を含む移流拡散方程式について
3. 学会等名 非線形現象の数値シミュレーションと解析2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 半空間における指数型非線形境界条件を有する熱方程式について
3. 学会等名 北陸応用数理研究会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 The large diffusion limit for the heat equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 PDEs, Analysis and Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 動的境界条件を有する半線形楕円型方程式及び線形熱方程式の解析
3. 学会等名 応用数理勉強会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 Existence of solutions to nonlinear parabolic equations via majorant integral kernel
3. 学会等名 鳥取PDE研究集会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上竜樹
2. 発表標題 時空間非斉次項を有する半線形拡散方程式の臨界指数
3. 学会等名 第15回応用数理研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森竜 樹・久藤衡介・辻川亨・四ツ谷晶二
2. 発表標題 On the secondary bifurcation curves of a nonlocal Allen-Cahn-Nagumo equation
3. 学会等名 日本数学会2020年度秋季総合分科会 函数方程式論分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田善久
2. 発表標題 反応拡散系とパターン形成 -制約によって見える新たな解構造
3. 学会等名 日本数学会2021年度年会 企画特別講演（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Morita
2. 発表標題 Segregation pattern in a mathematical model of cell polarity
3. 学会等名 The Eighth Pacific Rim Conference in Mathematics, 3rd-11th August, 2020, Berkeley（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shoji Yotsutani
2. 発表標題 Solution structure of a stationary limiting equation to a SKT cross-diffusion system: weak competition case
3. 学会等名 Workshop on recent progress on the reaction-diffusions equations arising in biology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四ツ谷晶二
2. 発表標題 アレン・カーン型ディリクレ境界値問題の 解の表示について
3. 学会等名 第2回松江数理生物学・現象数理学ワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四ツ谷晶二
2. 発表標題 Representation formulas of solutions and bifurcation sheets to a nonlocal Allen-Cahn equation
3. 学会等名 2019 秋の偏微分方程式セミナー - Workshop on evolution equations and related topics - (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 四ツ谷 晶二
2. 発表標題 非局所アレン・カーン・南雲方程式 の解の表示式と大域的分岐シートの表示式
3. 学会等名 第6回明治非線型数理セミナー(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 竜樹 ・久藤 衡介・辻川 亨 ・四ツ谷 晶二
2. 発表標題 非局所Allen-Cahn方程式の すべての定常解からなる曲面のパラメータ表示
3. 学会等名 応用数学合同研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 竜樹 ・久藤 衡介・辻川 亨 ・宮本安人・四ツ谷 晶二
2. 発表標題 Parametric representation of a sheet constructed by all solution to a nonlocal Allen - Cahn equation
3. 学会等名 日本数学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihisa Morita
2. 発表標題 Pattern formation in reaction-diffusion models with mass conservation law
3. 学会等名 Workshop on emerging areas in reaction-diffusion systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihisa Morita
2. 発表標題 Blocking of propagation in a bistable reaction-diffusion equation in a star a graph
3. 学会等名 International Conference on Elliptic and Parabolic Problems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihisa Morita
2. 発表標題 Patterns induced by diffusion in reaction-diffusion systems with mass conservation
3. 学会等名 9th International Congress on Industrial and Applied Mathematics - ICIAM 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 The large diffusion limit for the heat equation with a dynamical boundary condition
3. 学会等名 VI Italian-Japanese workshop on Geometric Properties for Parabolic and Elliptic PDE's (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical Fujita exponents for semilinear heat equations with quadratically decaying potential
3. 学会等名 Workshop on Nonlinear parabolic PDEs and related fields (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Kawakami
2. 発表標題 Critical exponent for the global existence of solutions to a semilinear heat equation with degenerate coefficients
3. 学会等名 4th Swiss-Japanese PDE Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	森田 善久 (Morita Yoshihisa) (10192783)	龍谷大学・公私立の部局等・研究員 (34316)	
研究 分担者	川上 竜樹 (Kawakami Tatsuki) (20546147)	龍谷大学・先端理工学部・教授 (34316)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------