

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13453

研究課題名（和文）双曲型偏微分方程式に対する解の精度保証付き数値計算理論の研究

研究課題名（英文）Studies on verified numerical computations for nonlinear hyperbolic partial differential equations

研究代表者

高安 亮紀 (Akitoshi, Takayasu)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：60707743

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：自然現象のモデル化により得られる数学問題を数理モデルという。数理モデルはしばしば偏微分方程式として定式化され、これを数学的・数値的に解いて未知関数の挙動を知ることが自然科学分野の中心的な研究課題となる。本研究では、波動現象や量子力学の数理モデルで現れる双曲型偏微分方程式と呼ばれる偏微分方程式のクラスに対して、初期値境界値問題の解が数値計算で得られた近似解の近傍に存在する事を、数値計算によって証明する計算機援用証明手法を開発した。これは精度保証付き数値計算と呼ばれ、微分方程式の数学解析に対する現代的なアプローチとして注目されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は双曲型偏微分方程式を含むより広いクラスの偏微分方程式に対して、数値計算による証明手法を提供する。特に、解の挙動を無限次元力学系として捉え、各計算機援用証明手法により解の大域挙動を明らかにした研究成果は自然科学分野における数理モデルの開発や現象の解明に貢献している。物理の波動現象や量子力学をモデル化する際の偏微分方程式の解挙動を数学証明付きで理解することで、科学研究の進展や新たな技術・応用の開発に寄与し、社会の課題解決に役立つことが期待される。

研究成果の概要（英文）：Mathematical problems obtained by modeling natural phenomena are called mathematical models. Mathematical models are often formulated as partial differential equations (PDEs), and solving them mathematically and numerically to understand the behavior of unknown functions is a central research topic in the natural sciences. In this study, we have developed a computer-assisted proof method for a class of PDEs called hyperbolic PDEs, which appear in mathematical models of wave phenomena and quantum mechanics. Such a method proves that the solution of the initial boundary value problem exists in a neighborhood of the numerically computed approximate solution. This is called verified numerical computations, and is attracting attention as a modern approach to mathematical analysis of differential equations.

研究分野：数値解析

キーワード：計算機援用証明 複素数値非線形熱方程式 非線形シュレディンガー方程式 一次元変数係数移流方程式
Parameterization method 厳密な数値求積 解の時間大域存在

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

「精度保証付き数値計算」とは数学的に正しい結果を数値計算によって導く手法全般を指す。研究開始当初は、計算機を援用する数学解析手法が確立されつつあり、数値計算で得られた近似解の近傍に偏微分方程式の解が一意存在することを数値計算によって証明することができるようになってきた。一方で、偏微分方程式のクラスの一つである双曲型偏微分方程式を対象とする精度保証付き数値計算の研究はほとんど存在しなかった。

2. 研究の目的

本研究課題では双曲型偏微分方程式に対する数学解析における研究課題に計算機を援用する形で答えることを目的とし、具体的に

- (P1) 時間局所可解性：考える方程式の初期値問題が時間局所的にどの関数空間で解けるか。解けたならばその解は一意か。
- (P2) 漸近挙動：解が時間大域的に存在するか。また十分時間が経過した後の解のふるまいは具体的にどのようなものか。
- (P3) 解の爆発や衝撃波解の解明：解が適切な関数空間において時間大域的に存在しない場合、ある時刻で解は爆発や衝撃波などの特異性が発現する。この時、特異性はどのようなものか。

という3つの研究課題を設定し、「一次元変数係数移流方程式」、「非線形シュレディンガー方程式」、及び「複素数値非線形熱方程式」を対象に解の大域的なダイナミクスを明らかにする。これらは必ずしも双曲型偏微分方程式のクラスに入っていないが、提案手法の普遍性を示すことができるという意味で、より一般的なクラスの偏微分方程式を対象としている。

3. 研究の方法

双曲型偏微分方程式の解の精度保証付き数値計算を実現するために、解をフーリエあるいはチェビシェフ級数展開するスペクトル法をもとに数値検証する近似解を高精度に構成し、係数全体を点列空間上の元とみなすフレームワークを新たに提案する。そしてバナッハ空間となる点列空間上で生成される半群を用いた不動点定式化により、局所時間区間において近似解の近傍に解が一意存在することを示す計算機援用証明手法を提案する。さらに解の存在が示される時間区間を延長するためのタイムステップング法を考え、長時間に渡って解の挙動を厳密に把握する方法も考案する。

次に、大域解の検証は、時間局所存在検証に用いた半群の評価と Lyapunov-Peron の方法によって平衡解の安定多様体に沿った解の時間大域存在を計算機で検証可能な捕捉領域の定量的な構成によって示し、厳密な数値求積で解が捕捉領域に包含されることを示すことで、解が時間大域存在する事を計算機援用証明できる。

さらに微分方程式の有限時間特異性に対しては、大域的なダイナミクスを計算機援用証明により明らかにすることでその特異性を検出し、可能ならば、時空間変数の適切な変数変換によって特異性が解消された方程式系に変換することで、変換後の力学系的特性を調べることにより特異性を明らかにする。

本研究は一貫して、関数解析学と力学系理論、数理解析の半群理論及び精度保証付き数値計算理論の知識を効果的に融合することで実践可能である。

4. 研究成果

研究目的(P1)について、空間変数をフーリエ級数、時間変数をチェビシェフ級数で構成するスペクトル法による計算機援用証明手法を構築した。本手法における半群の評価は、点列空間上で定義された閉作用素が生成する半群の評価を用いる。点列空間上での半群の生成は非自明な問題であるため、半群生成の必要十分条件であるルーマー-フィリップスの定理(ヒレ-吉田の定理)の十分条件の成立を確かめる事で、点列空間上のある閉作用素が半群の生成作用素である事を示した。そして点列空間上に定義された簡易ニュートン写像を用いて、スペクトル法で構成した近似解の近傍に局所存在することを簡易ニュートン写像の縮小性を数値的に検証することで計算機援用証明した。また、提案手法を分散型に分類される非線形シュレディンガー方程式に適用することで、提案手法の普遍性を示すことができた。

研究目的(P2)：解の漸近挙動の解明については、計算機援用証明によって無限次元力学系を理解する道具である、Parameterization method および捕捉領域の構成による時間大域存在の数理解析手法と組み合わせることで、保存量をもたない非線形シュレディンガー方程式の解の大域挙動(ホモクリニック軌道、ヘテロクリニック軌道)を計算機援用証明によって明らかにした。特に、分散型に分類される非線形シュレディンガー方程式に対しては、前項で述べた Lyapunov-

Perron の方法による捕捉領域の構成が不可能であるため、定数に十分近い初期値から解の時間大域存在を証明する新たな捕捉領域の構成方法を提案し、自明な零平衡解への解の大域存在を計算機で検証可能にした。

さらに研究目的(P3)に対応して、非線形シュレディンガー方程式を含む複素数値非線形熱方程式の解の大域挙動を解明することで、有限時間あるいは無限時間爆発する解の存在を示せた。具体的には非自明な平衡解から延長する複素1次元の不安定多様体に沿って、複数のヘテロクリニック軌道を構成することで、解の大域的なダイナミクスを計算機援用証明により観測した。その結果、非自明な平衡解からの解の大域挙動は少なくとも一方向に発散することがわかり(図1)。

非線形シュレディンガー方程式以外の複素数値非線形熱方程式の場合は複素関数論の Vitali の定理を利用してこの非有界な解軌道の存在を証明することもできた。しかしながら、非有界な解が有限時間で発散するのか、無限時間で発散するのかは未解決である。また Vitali の定理が適用できない非線形シュレディンガー方程式の場合も、非有界な解の存在の数値的根拠は示せるものの、その存在証明が未解決である。

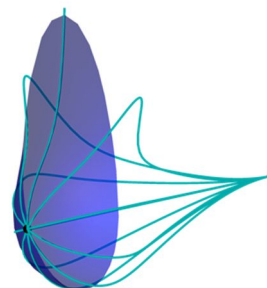


図1. 平衡解周りのダイナミクスの概念図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Jaquette Jonathan, Lessard Jean-Philippe, Takayasu Akitoshi	4. 巻 107
2. 論文標題 Singularities and heteroclinic connections in complex-valued evolutionary equations with a quadratic nonlinearity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation	6. 最初と最後の頁 106188 ~ 106188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cnsns.2021.106188	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 Takayasu Akitoshi, Lessard Jean-Philippe, Jaquette Jonathan, Okamoto Hisashi	4. 巻 151
2. 論文標題 Rigorous numerics for nonlinear heat equations in the complex plane of time	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Numerische Mathematik	6. 最初と最後の頁 693 ~ 750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00211-022-01291-2	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 Imakura Akira, Morikuni Keiichi, Takayasu Akitoshi	4. 巻 92
2. 論文標題 Complex moment-based methods for differential eigenvalue problems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Numerical Algorithms	6. 最初と最後の頁 693 ~ 721
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11075-022-01456-y	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 Lessard Jean-Philippe, Matsue Kaname, Takayasu Akitoshi	4. 巻 33
2. 論文標題 Saddle-Type Blow-Up Solutions with Computer-Assisted Proofs: Validation and Extraction of Global Nature	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 46 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00332-023-09900-6	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 Jaquette Jonathan, Lessard Jean-Philippe, Takayasu Akitoshi	4. 巻 398
2. 論文標題 Global dynamics in nonconservative nonlinear Schrödinger equations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Mathematics	6. 最初と最後の頁 108234 ~ 108234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aim.2022.108234	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 Matsue Kaname, Takayasu Akitoshi	4. 巻 145
2. 論文標題 Numerical validation of blow-up solutions with quasi-homogeneous compactifications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Numerische Mathematik	6. 最初と最後の頁 605 ~ 654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00211-020-01125-z	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 Takayasu Akitoshi, Yoon Suro, Endo Yasunori	4. 巻 36
2. 論文標題 Rigorous numerical computations for 1D advection equations with variable coefficients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 357 ~ 384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-019-00345-7	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 -

1. 著者名 Imakura Akira, Morikuni Keiichi, Takayasu Akitoshi	4. 巻 369
2. 論文標題 Verified partial eigenvalue computations using contour integrals for Hermitian generalized eigenproblems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 112543 ~ 112543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cam.2019.112543	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 Matsue Kaname, Takayasu Akitoshi	4. 巻 374
2. 論文標題 Rigorous numerics of blow-up solutions for ODEs with exponential nonlinearity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 112607 ~ 112607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cam.2019.112607	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55件 (うち招待講演 14件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Chebyshev interpolation for rigorous integrator of differential equations
3. 学会等名 International Workshop on Reliable Computing and Computer-Assisted Proofs (ReCAP 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤慎佑, 高安亮紀
2. 発表標題 Julia言語を用いたChebyshev補間とその応用
3. 学会等名 日本応用数理学会若手の会 第7回学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋和暉, 高安亮紀
2. 発表標題 Julia言語を用いた常微分方程式の周期解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会若手の会 第7回学生研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮内洋明, 高安亮紀, 柏木雅英, 浅井大晴
2. 発表標題 ベッセル関数のType-II PSAの計算について
3. 学会等名 日本応用数理学会 第18回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市川葵, 高安亮紀
2. 発表標題 フーリエスペクトル法を用いた遅延Duffing方程式の周期解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会 第18回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高安亮紀, Jonathan Jaquette, Jean-Philipp Lessard
2. 発表標題 Singularities and heteroclinic connections in complex-valued evolutionary equations with a quadratic nonlinearity
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 高安亮紀
2. 発表標題 Julia言語を用いた精度保証付き数値計算の実践
3. 学会等名 第5回 精度保証付き数値計算の実問題への応用研究集会 (NVR 2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 ある連立遅延微分方程式系の星形周期解—数値的根拠と精度保証—
3. 学会等名 RIMS 共同研究 (公開型) 時間遅れ系と数理科学: 理論と応用の新たな展開に向けて
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu, Jean-Philippe Lessard
2. 発表標題 A rigorous forward integration method for time-dependent PDEs
3. 学会等名 The 19th International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Verified Numerical Computations (SCAN 2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 Swift-Hohenberg方程式の厳密な数値求積法
3. 学会等名 日本応用数理学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安亮紀, 久保隆徹
2. 発表標題 A spectral method for viscous Burgers equation with a time delay
3. 学会等名 日本応用数理学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu, Jean-Philippe Lessard
2. 発表標題 Rigorous integrator for dissipative PDEs using the Chebyshev-Fourier spectral method
3. 学会等名 SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (DS21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akira Imakura, Keiichi Morikuni, Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Complex moment-based methods for differential eigenvalue problems
3. 学会等名 SIAM Conference on Applied Linear Algebra (LA21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 Global dynamics in nonconservative nonlinear Schroedinger equations
3. 学会等名 京都大学 NLPDE セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 非線形熱方程式の複素時間領域における解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 数値解析セミナー (東京大学大学院 数理科学研究科 / 情報理工学系研究科) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 J. Jaquette, J.-P. Lessard, 高安亮紀
2. 発表標題 Global dynamics in a quadratic nonlinear Schrödinger equation
3. 学会等名 日本数学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮内洋明, 高安亮紀
2. 発表標題 単位円盤領域上における半線形楕円型偏微分方程式の解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会若手の会 第6回学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 市川葵, 高安亮紀
2. 発表標題 フーリエスペクトル法を用いた遅延Duffing方程式の周期解の精度保証付き数値計算について
3. 学会等名 日本応用数理学会若手の会 第6回学生研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 遅延微分方程式に対する精度保証付き数値計算—現状と課題—
3. 学会等名 第2回 時間遅れと数理セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Global existence and heteloclinics/homoclinics to a quadratic nonlinear Schrödinger equation
3. 学会等名 Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高安亮紀, J. Jaquette, J.-P. Lessard
2. 発表標題 Computer-assisted proofs of heteloclinic orbits to a quadratic nonlinear Schrödinger equation
3. 学会等名 2020年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 Global dynamics in a quadratic nonlinear Schrödinger equation
3. 学会等名 第4回 精度保証付き数値計算の実問題への応用研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Computer-assisted proofs for finding the monodromy of hypergeometric differential equations
3. 学会等名 16th Seminar Series of CRM CAMP in Nonlinear Analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高安亮紀, J. Jaquette
2. 発表標題 Homoclinics and global existence of solutions to a quadratic nonlinear Schrödinger equation
3. 学会等名 日本数学会2020年度秋季総合分科会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野澤健三, 高安亮紀
2. 発表標題 ある非線形遅延微分方程式系の星形周期解のフーリエスペクトル法による近似解について
3. 学会等名 日本応用数理学会2020年度年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 船越康太, 高安亮紀
2. 発表標題 チェビシェフ級数を用いた逐次連立による非線形常微分方程式系の初期値問題の精度保証付き数値解法
3. 学会等名 日本応用数理学会2020年度年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 非線形シュレディンガー方程式の厳密な数値求積法
3. 学会等名 日本応用数理学会2020年度年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Rigorous integrator for nonlinear heat equations in the complex plane of time using semigroup theory
3. 学会等名 Workshop: Rigorous Computational Dynamics in Infinite Dimensions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Numerical validation of periodic orbit to delay differential equations via Newton-Kantorovich argument
3. 学会等名 The 1st Hungary-Japan Workshop on Delay Equations and Mathematical Epidemiology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Global existence of a solution for the nonlinear heat equation in the complex plane of time
3. 学会等名 RIMS共同研究 (公開型)「偏微分方程式の臨界現象と正則性理論及び漸近解析」(招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Rigorous numerics for nonlinear heat equations in the complex plane of time
3. 学会等名 Equadiff 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Numerical validation of blow-up solutions of ODEs
3. 学会等名 The 9th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Rigorous numerics for a singular solution of advection equations with variable coefficients
3. 学会等名 The 9th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM 2020) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上直也, 石毛利昌, 高安亮紀
2. 発表標題 Gaussの超幾何微分方程式のモノドロミー行列に対する精度保証付き数値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 船越康太, 高安亮紀
2. 発表標題 チェビシェフ級数を用いたタイムステップングによる常微分方程式系の精度保証付き数値解法
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Computer-assisted proofs for a nonlinear heat equation in the complex plane of time
3. 学会等名 CRM Applied Mathematics Seminars (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 遅延微分方程式の周期解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 第1回 時間遅れが誘導する現象と数理
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高安亮紀, J.-P. Lessard, J. Jaquette, 岡本久
2. 発表標題 Rigorous numerics for nonlinear heat equations in the complex plane of time
3. 学会等名 日本数学会2020年度年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 複素Ginzburg-Landau方程式に対する解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 日本数学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 船越康太, 高安亮紀
2. 発表標題 チェビシェフ級数を用いた非線形常微分方程式系の精度保証付き数値解法
3. 学会等名 日本応用数理学会 第15回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 時間発展方程式の線形化問題に対する解作用素の厳密評価
3. 学会等名 日本応用数理学会 第15回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今倉暁, 保國恵一, 高安亮紀
2. 発表標題 一般化エルミート固有値問題の部分固有値計算における周回積分に基づく精度保証法の改良
3. 学会等名 日本応用数理学会 第15回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu
2. 発表標題 Rigorous spectral methods for initial value problems of ordinary differential equations
3. 学会等名 Numerical Verification (NIVEA) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 非線形熱方程式の複素時間領域における解の挙動と精度保証付き数値計算
3. 学会等名 千葉大学解析セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 精度保証付き数値計算を利用する偏微分方程式の解の数値的検証法
3. 学会等名 第3回RCMSサロン「精度保証付き数値計算の有用性」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 非線形熱方程式の複素時間における解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 京都大学数理解析研究所RIMS研究集会「次世代の科学技術を支える数値解析学の基盤整備と応用展開」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松江要, 高安亮紀
2. 発表標題 微分方程式の爆発解の精度保証付き数値計算: 指数関数非線型項を持つ場合
3. 学会等名 日本数学会2018年度秋季総合分科会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 非線形熱方程式の複素時間における解の挙動：精度保証付き数値計算によるアプローチ
3. 学会等名 大分微分方程式研究集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu, Motohiro Sobajima
2. 発表標題 Generation of C_0 semigroup on sequence spaces for rigorous spectral methods in PDEs
3. 学会等名 the 18th International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetics and Verified Numerics (SCAN 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu, Akira Imakura, Keiichi Morikuni
2. 発表標題 Verified computing for partial eigenvalues using a contour integral-type eigensolver
3. 学会等名 the 18th International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetics and Verified Numerics (SCAN 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 非線形方程式の精度保証付き数値解法
3. 学会等名 「精度保証付き数値計算の基礎」チュートリアル（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高安亮紀
2. 発表標題 フーリエ係数の時間発展方程式に対する解の精度保証付き数値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松江要, 高安亮紀
2. 発表標題 微分方程式の爆発解の精度保証付き数値計算: ケーススタディ - 指数関数非線型項を持つ場合
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今倉暁, 保國恵一, 高安亮紀
2. 発表標題 一般化エルミート固有値問題の周回積分型精度保証付き部分固有値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今倉暁, 保國恵一, 高安亮紀
2. 発表標題 Verified partial eigenvalue computation for generalized Hermitian eigenproblems using contour integrals
3. 学会等名 第47回数値解析シンポジウム
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大石進一編著	4. 発行年 2018年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 328
3. 書名 精度保証付き数値計算の基礎	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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			
カナダ	McGill University			
米国	Boston University			
米国	Brandeis University			