

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14581

研究課題名（和文）非線形偏微分方程式の適切性と解の分類理論の解明

研究課題名（英文）Well-posedness and global dynamics of solutions to nonlinear partial differential equations

研究代表者

池田 正弘（Ikeda, Masahiro）

国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・研究員

研究者番号：00749690

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、様々な条件下での非線形発展方程式の解の特性に関する評価を行った。特に、絶対値冪乗や指数関数型の非線形項を持つ波動方程式やシュレディンガー方程式について、異なる臨界状況下での解の挙動を詳細に研究した。その結果、初期値の大きさによる解の爆発や解の存在性、ライフスパンの最適評価を明らかにした。また、質量やポテンシャルの異なる状況における解の振る舞いや安定性についても研究を行い、その成果は国際論文で発表した。これらの研究は、非線形偏微分方程式の理解と応用において重要な貢献を果たし、物理学や数学の分野で新たな洞察と理論の発展を促している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、非線形偏微分方程式の理論や応用において重要な貢献をしています。これらの研究により、異なる物理現象や数学モデルに関連する問題に対して、初期値問題の解の挙動や存在性、安定性などを評価する新たな手法や結果が提案された。これは科学的な理解を深めるだけでなく、実世界の問題に対する解決策の開発や技術の進歩にも貢献する。さらに、これらの研究成果は国際誌に掲載されるなど、学術コミュニティに広く認められており、他の研究者や関連分野の専門家によるさらなる応用や発展の可能性を示唆しています。

研究成果の概要（英文）：In this study, we evaluated the characteristics of solutions to nonlinear evolution equations under various conditions. Specifically, we extensively investigated the behavior of solutions to wave equations and Schrödinger equations with nonlinear terms of absolute value power and exponential type in different critical situations. As a result, we revealed the explosion of solutions and their existence depending on the size of initial values, and we provided optimal evaluations of their lifespan. Additionally, we conducted research on the behavior and stability of solutions in situations with different mass and potential, and the outcomes were published in international journals. These studies have made significant contributions to the understanding and application of nonlinear partial differential equations, stimulating new insights and theoretical developments in the fields of physics and mathematics.

研究分野：微分方程式

キーワード：非線形 偏微分方程式 関数空間 ソボレフ空間 解の爆発 解の長時間挙動 臨界指数 ソリトン

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

非線形偏微分方程式は、自然科学だけでなく、工学、医学、経済学、情報学などのさまざまな分野で重要な役割を果たしている。非線形偏微分方程式は複雑な現象やシステムをモデル化し、その性質や振る舞いを解析するために用いられる。例えば、非線形シュレディンガー方程式は、光ファイバー中を伝播する電磁波の形状の変化やBose-Einstein凝縮の物質波の近似モデルとして重要である。この方程式を理解することで、光信号の伝播特性や物質波の振る舞いを予測することが可能になる。しかしながら、非線形偏微分方程式の解析は非常に困難であり、最も基本的な解の存在性さえ未解決の問題が多く存在する。方程式の構造やデータの条件がわずかに変化するだけで、解の性質が劇的に変化するため、解の存在や性質を明らかにすることは困難である。非線形偏微分方程式の一般的な特徴は、一般的に解の表示式が存在しないことである。そのため、解の存在性さえ非自明である。現象の時間発展を記述する方程式では、解の振る舞いを理解することが重要であるが、拡散性や分散性と非線形性の相互作用により、解はさまざまな振る舞いを示すため、その解析は容易ではない。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下である。

(1) 非線形偏微分発展方程式の初期値問題の適切性に関する重要な未解決問題に取り組むこと。

(2) 非線形偏微分発展方程式の解の挙動の特徴付けに関する研究を行うこと。

特に、本研究では、方程式固有の尺度変換則に関して不変な関数空間(臨界空間)とエネルギー、電荷等の方程式固有の物理量が定義される関数空間(エネルギー空間)の枠組みで適切性と解の性質を研究する。前者は「藤田・加藤の原理」として、後者は物理的に、重要性が認識されている。ただ、基礎方程式でさえ、これらの空間で、適切性等を示すことは容易でない。上記研究目的を達成するため、まず以下の本質的に創造性を必要とする課題に取り組むこととした:

・ 線形ポテンシャルを持つ非線形シュレディンガー方程式(NLS)の適切性・解の分類理論の構築

・ 変数係数の摩擦項を持つ非線形波動方程式の適切性と解の長時間挙動理論の構築

・ 微分型非線形シュレディンガー方程式系の臨界ソボレフ空間内の適切性・散乱理論の構築

・ 非線形分散型波動方程式の爆発解の発散速度と爆発時刻付近における漸近形の導出

研究当初、上記の創造性を必要とする課題に挑戦しようとした。またこれらの方程式に関連した他の物理的に意義のある方程式と比較検討を行い、最終的に、非線形偏微分方程式の大域挙動の統一理論の構築を目指した。

3. 研究の方法

上記の問題すべてに共通する困難さは「分散性または消散性(波や熱を広げようとする性質)」と「非線形性(波や熱を一点に集中させようとする性質)」の兼ね合いがほぼ均等である臨界状況を扱う点である。

- について:2006年に革新的なKenig-Merle法が見出され、NLS や非線形波動方程式(NLW)に対して、基底状態解未満の初期値に対して、初期値の特定の汎関数の値で、解の挙動が分類された。しかし、この方法は、非常に複雑で、改善の余地がある。また、物理的に自然な線形ポテ

ンシャルを持つ場合、変数係数の場合、ユークリッド空間以外の領域においては未開拓であった。

について：非線形項に微分を含む方程式の適切性等を示す際、「微分の損失」という困難さが現れるため、その証明は容易ではない。09年にHadac-Herr-Kochにより U^p-V^p 空間論[2]が整備され、非線形項に微分を含むいくつかの方程式に対して、臨界ソボレフ空間における局所適切性と小さな初期値に対する解の散乱が示された。しかし、 U^p-V^p 空間論は複雑なので、より簡潔な議論が必要である。また、臨界空間での大きな初期値の解の散乱や長距離型の散乱は未開拓である。

について：非線形熱方程式の爆発解の発散速度の評価は先行研究で得られている。しかし、分散型波動方程式には、熱方程式の研究で用いられる比較原理が成立しない。これを用いない解析手法を確立する。

4. 研究成果

上記の問題の解決を目指しながら、様々な軌道修正を行うことにより以下の研究成果を得た。絶対値冪乗の非線形項を持つ波動方程式とその連立系に対して、Strauss臨界と劣臨界の状況下で、小さな初期値の解の爆発とライフスパンの最適な上からの評価を先行研究より簡明な方法で示した。この結果は、国際誌Journal of Differential Equationsに採録された。絶対値冪乗の非線形項と時間依存した効果的な摩擦項を持つ波動方程式に対して、藤田臨界の場合に、小さな初期値の解のライフスパンの最適な評価を導出した。これは、国際誌Journal of Hyperbolic Differential Equationsに採録された。空間3次元の線形ポテンシャルを持つ非線形シュレディンガー方程式に対して、ポテンシャルのない基底状態未満の初期値に対する解の散乱と爆発の結果を得た。解が散乱するための初期値の十分条件と解が非有界になるための十分条件を与えた。散乱の条件は、先行研究では扱えていなかった初期値を含んでいる。解の爆発の結果は初めてのものである。これはJournal of Evolution Equationsに採録された。空間1次元の質量臨界の非線形項を持つKlein-Gordon方程式に対して、基底状態未満のエネルギー有限な初期値に対して、解の散乱を示した。また、反発的に働く質量臨界項も本質的に含んだ指数関数型の非線形項を持つKlein-Gordon方程式に対して、任意のエネルギー有限な初期値に対する解の散乱を示した。これは、国際誌Journal of Hyperbolic Equationsに採録された。線形ポテンシャルを持つ非線形シュレディンガー方程式に対して、ポテンシャルを持つ定常方程式の解の存在を示した、またそれより小さな初期値の時間依存問題に対する時間大域解の存在を示した。線形ポテンシャルを持つ非線形シュレディンガー方程式で、基底状態未満の作用を持つ初期値のNehari汎関数が正の時に、大域適切性を示した(PAMSに採録された)。3次のハートリー型非線形項とスケール不変な時間依存した摩擦項を持つ波動方程式の初期値問題を研究した。空間遠方で超臨界な多項式減衰する小さな初期値の解が有限時間で爆発することを示した(Nonlinear Analに採録された)。コンパクトサポートを持つ小さな初期値に対して、ポテンシャルの臨界指数を決定した(JDEに採録された)。伝播速度の差異を考慮した弱連立一般化Tricomi方程式(JEE)と時間依存した摩擦項と質量項を持つ波動方程式(Evol Equ Cntrolに採録された)で、コンパクトサポートを持つ小さな初期値の解の最大存在時刻を評価した。ノイズ付き非線形力学系に対して、再生核ヒルベルト空間上のPerron-Frobenius作用素とカーネル平均埋め込みを用いて、Shift-Invert Arnoldi法と有限個のデータからその作用素の推定法を提案した(JMLRに採録された)。微分同相写像から定まる合成作用素がモレー空間上で有界になるための必要十分条件を示した(J Inequal Applに採録された)。ハイパーグラフ上の(劣モジュラー)ラブラシアンから定まるPersonalized PageRankを用いた2つの理論保証付きコミュニティ検

出法を提案した(KDD). カップリングに基づく可逆ニューラルネットワークが微分同相写像の万能近似器であることを示した(NeurIPSに採録された). オーバーパラメトライズされたニューラルネットにおけるパラメータ分布が, リッジレット変換のあるスペクトルに収束することを示した(AISTATSに採録された). Hardy-H¹ non拡散方程式の初期値問題を重み付きルベグ空間内で研究した. 尺度臨界及び劣臨界空間で, 適切性を, 優臨界空間で, 局所解の非存在の結果を得た. 臨界空間で, 前方自己相似解の存在を示した. 空間3次元以上のエネルギー臨界 Hardy-Sobolev拡散方程式の初期値問題で, 初期値のエネルギーが基底状態以下の時, 解が, 時間無限大で0になるか, 非有界になるかの必十条件を与えた. 空間2次元の点相互作用ポテンシャルを持つ非線形シュレディンガー方程式をエネルギー空間で研究した. この方程式の基底状態の存在と性質を示した. 初期値問題の局所適切性とエネルギー保存則を示した. 定在波に関して, 小さな周波数の安定性, 大きな周波数かつ質量(劣)臨界の安定性と質量優臨界の不安定性を得た. 反発的逆冪ポテンシャルを持ち, 質量優臨界かつエネルギー劣臨界の非線形シュレディンガー方程式の初期値問題で, 基底状態の質量-エネルギー未満の初期値に対する解の長時間挙動を研究した. 解が時間大域的かつ時間に関して一様有界である初期値及び解が時間に関して非有界であるための初期値の必十条件を与えた. 空間1次元で反発的線形ポテンシャルを持つ非線形シュレディンガー方程式に対しても類似の研究を行った. 分数冪ラプラシアンを持つ消散型波動方程式の初期値問題の適切性と解の時間減衰評価を研究した. 線形解のベゾフ空間と重み付きルベグ空間における減衰評価を導出した. 非線形問題の適切性及び藤田優臨界の場合の解の減衰評価を導出した. 空間1次元で, 3階以下の微分を含みかつ3次以上の非線形項を持つ4階シュレディンガー方程式の初期値問題を研究した. 様々な既存研究を含んだ適切性の結果を得た. 証明の鍵は, デュアメル項の分解を用いた線形評価とそれを応用した双線形評価を確立にある. 我々は, Chungの熱を用いた通常のグラフに対するコミュニティ検出法をハイパーグラフに拡張した. またハイパーグラフラプラシアンが極大単調作用素になることを示した. 我々は, BBM-Burgers方程式の初期値問題の解の時間挙動を研究した. そこで, 解の第一次漸近形(非線形拡散波)の最良な収束レートと第二次漸近形の導出に成功した. 我々は, Hardy-H¹ non型の非線形項を持つviscous Hamilton-Jacobi方程式の尺度臨界重み付きルベグ空間と重み付きソボレフ空間において時間局所適切性を示した. 我々は, 再生核ヒルベルト空間を一般化した再生核Banach空間上のKoopman作用素及びPerron-Frobenius作用素に対してデータ解析へ応用するためのいくつかの基本性質を証明した. k-rectified linear unit(k-ReLU)を活性化関数に持つ浅いニューラルネットの領域の形状に依存しないタイプの普遍近似性定理を示した. ハイパーグラフ・ラプラシアンを持つ方程式に対してPoincaré-Wirtinger型不等式を示した. その応用として, 拡散方程式の解の時間減衰評価及び時間周期解の存在を示した. 種々の境界条件を持つ外部領域上の非線形消散型波動方程式系の解の最大存在時刻の評価を導出した. 反発的な逆2乗ポテンシャルを持つ非線形Klein-Gordon方程式の球対称定在波の安定性と不安定性を研究した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計30件（うち査読付論文 30件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ikeda Masahiro	4. 巻 503
2. 論文標題 Global dynamics below the ground state for the focusing semilinear Schrodinger equation with a linear potential	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Analysis and Applications	6. 最初と最後の頁 125291 ~ 125291
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmaa.2021.125291	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 Hirayama Hiroyuki, Ikeda Masahiro, Tanaka Tomoyuki	4. 巻 28
2. 論文標題 Well-posedness for the fourth-order Schrödinger equation with third order derivative nonlinearities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Differential Equations and Applications NoDEA	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/s00030-021-00707-6	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 Fujiwara Kazumasa, Ikeda Masahiro, Wakasugi Yuta	4. 巻 28
2. 論文標題 On the Cauchy problem for a class of semilinear second order evolution equations with fractional Laplacian and damping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinear Differential Equations and Applications NoDEA	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/s00030-021-00723-6	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 Hatano Naoya, Ikeda Masahiro, Ishikawa Isao, Sawano Yoshihiro	4. 巻 2021
2. 論文標題 A Global Universality of Two-Layer Neural Networks with ReLU Activations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Function Spaces	6. 最初と最後の頁 1~3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2021/6637220	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 Chikami Noboru, Ikeda Masahiro, Taniguchi Koichi	4. 巻 34
2. 論文標題 Well-posedness and global dynamics for the critical Hardy-Sobolev parabolic equation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinearity	6. 最初と最後の頁 8094 ~ 8142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6544/ac2c90	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 Ikeda Masahiro, Ishikawa Isao, Sawano Yoshihiro	4. 巻 511
2. 論文標題 Boundedness of composition operators on reproducing kernel Hilbert spaces with analytic positive definite functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Analysis and Applications	6. 最初と最後の頁 126048 ~ 126048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmaa.2022.126048	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 Hashimoto Yuka, Ishikawa Isao, Ikeda Masahiro, Komura Fuyuta, Katsura Takeshi, Kawahara Yoshinobu	4. 巻 22
2. 論文標題 Reproducing kernel Hilbert C^* -modules and kernel mean embeddings	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Machine Learning Research	6. 最初と最後の頁 1--56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hatano Naoya, Ikeda Masahiro, Ishikawa Isao, Sawano Yoshihiro	4. 巻 未定
2. 論文標題 Heaviside function as an activation function	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of applied analysis	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Fukaya Noriyoshi, Georgiev Vladimir, Ikeda Masahiro	4. 巻 321
2. 論文標題 On stability and instability of standing waves for 2d-nonlinear Schrödinger equations with point interaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 258 ~ 295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2022.03.008	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 該当する

1. 著者名 Chikami Noboru, Ikeda Masahiro, Taniguchi Koichi	4. 巻 未定
2. 論文標題 Optimal well-posedness and forward self-similar solution for the Hardy-H'enen parabolic equation in a critical weighted Lebesgue space	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nonlinear Analysis	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hatano Naoya, Ikeda Masahiro, Ishikawa Isao, Sawano Yoshihiro	4. 巻 未定
2. 論文標題 Universality of neural networks with a sigmoidal activation or discriminatory function on Banach lattices over the real line	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Science	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masaru Hamano and Masahiro Ikeda	4. 巻 148
2. 論文標題 Global well-posedness below the ground state for the nonlinear Schrödinger equation with a linear potential	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the American Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 5193--5207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/proc/15161	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 Masahiro Ikeda, Tomoyuki Tanaka and Kyohei Wakasa	4. 巻 200
2. 論文標題 Small data blow-up for the wave equation with a time-dependent scale invariant damping and a cubic convolution for slowly decaying initial data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nonlinear Analysis	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.na.2020.112057	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 Yuka Hashimoto, Isao Ishikawa, Masahiro Ikeda, Yoichi Matsuo and Yoshinobu Kawahara	4. 巻 172
2. 論文標題 Krylov subspace method for nonlinear dynamical systems with random noises	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Machine Learning Research	6. 最初と最後の頁 1--29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masahiro Ikeda, Tomoyuki Tanaka and Kyohei Wakasa	4. 巻 270
2. 論文標題 Critical exponent for the wave equation with a time-dependent scale invariant damping and a cubic convolution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 916--946
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2020.08.047	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 Masahiro Ikeda, Ziheng Tu and Kyohei Wakasa	4. 巻 未定
2. 論文標題 Small data blow-up of semi-linear wave equation with scattering dissipation and time-dependent mass	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Evolution Equations and Control Theory	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/eect.2021011	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 Naoya Hatano, Masahiro Ikeda, Isao Ishikawa and Yoshihiro Sawano	4. 巻 未定
2. 論文標題 Boundedness of composition operators on Morrey spaces and weak Morrey spaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Inequalities and Applications	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13660-021-02599-7	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 Masahiro Ikeda, Jiayun Lin and Ziheng Tu	4. 巻 未定
2. 論文標題 Small data blow-up for the weakly coupled system of the generalized Tricomi equation with multiple propagation speed	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Evolution Equations	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Sho Sonoda, Isao Ishikawa and Masahiro Ikeda	4. 巻 130
2. 論文標題 Ridge Regression with Over-parametrized Two-Layer Networks Converge to Ridgelet Spectrum	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of The 24th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics	6. 最初と最後の頁 2674--2682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Takeshi Teshima, Isao Ishikawa, Koichi Tojo, Kenta Oono, Masahiro Ikeda and Masashi Sugiyama	4. 巻 33
2. 論文標題 Coupling-based invertible neural networks are universal diffeomorphism approximator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Neural Information Processing Systems	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Yuuki Takai, Atsushi Miyachi, Masahiro Ikeda and Yuichi Yoshida	4. 巻 26
2. 論文標題 Hypergraph Clustering Based on PageRank	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 26nd ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data mining (KDD)	6. 最初と最後の頁 1970--1978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Takeshi Teshima, Koichi Tojo, Masahiro Ikeda, Isao Ishikawa and Kenta Oono	4. 巻 未定
2. 論文標題 Universal approximation property of neural ordinary differential equations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NeurIPS 2020 Workshop: Differential Geometry meets Deep Learning	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 池田 正弘	4. 巻 31-2
2. 論文標題 ハイパーグラフ上の熱とそのネットワーク解析への応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本応用数理学論文誌	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masaru Hamano, Masahiro Ikeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Characterization of the ground state to the inter critical NLS with a linear potential by the viral functional	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Harmonic Analysis and Partial Differential Equations	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) なし	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 Masahiro Ikeda, Takahisa Inui, Mamoru Okamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Scattering for the one-dimensional Klein-Gordon equation with exponential nonlinearity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hyperbolic Differential Equations	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) なし	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 Masahiro Ikeda, Mohamed Jleli, Bessem Samet	4. 巻 269
2. 論文標題 On the existence and nonexistence of global solutions for certain semilinear exterior problems with nontrivial Robin boundary conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 583-594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2019.12.015	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 Masaru Hamano, Masahiro Ikeda	4. 巻 -
2. 論文標題 Global dynamics below the ground state for the focusing Schrödinger equation with a potential	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Evolution Equations	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/s00028-019-00547-z	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 Masahiro Ikeda, Yuta Wakasugi	4. 巻 148
2. 論文標題 Global well-posedness for the semilinear wave equation with time dependent damping in the overdamping case	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the American Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 157-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/proc/14297	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 Masahiro Ikeda, Motohiro Sobajima, Yuta Wakasugi	4. 巻 16
2. 論文標題 Sharp lifespan estimates of blowup solutions to semilinear wave equations with time-dependent effective damping	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Hyperbolic Differential Equations	6. 最初と最後の頁 495-517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219891619500176	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 Masahiro Ikeda, Motohiro Sobajima, Kyohei Wakasa	4. 巻 267
2. 論文標題 Blow-up phenomena of semilinear wave equations and their weakly coupled systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 5165-5201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2019.05.029	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42件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 池田 正弘, 内田 俊
2. 発表標題 Nonlinear evolution equation associated with Hypergraph Laplacian
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 浜野 大, 池田 正弘
2. 発表標題 長距離型ポテンシャルをもつ非線形シュレディンガー方程式の散乱解について
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 千頭 昇, 池田 正弘, 谷口晃一
2. 発表標題 Optimal well-posedness of Hardy-H'eron parabolic equation
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 池田 正弘
2. 発表標題 ハイパーグラフ上の熱とそのネットワーク解析への応用
3. 学会等名 微分方程式とデータサイエンス研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Heat on hypergraph and its application to network analysis
3. 学会等名 SIAM Conference on Analysis of Partial Differential Equations (PD22) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sho Sonoda, Isao Ishikawa and Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Gradient descent converges to ridgelet spectrum
3. 学会等名 The 24th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics(AISTATS) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 園田 翔, 石川 勲, 池田 正弘
2. 発表標題 群畳み込みニューラルネットに対するリッジレット変換
3. 学会等名 第24回情報論的学習理論, ワークショップ (IBIS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 手嶋毅志, 石川 勲, 東條広一, 大野健太, 池田正弘, 杉山将
2. 発表標題 可逆ニューラルネットのSobolev空間における普遍性について
3. 学会等名 第24回情報論的学習理論, ワークショップ (IBIS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本 悠香, 石川 勲, 池田 正弘, 紅村冬大, 勝良健史, 河原吉伸
2. 発表標題 RKHMの関数データへの応用
3. 学会等名 第24回情報論的学習理論, ワークショップ (IBIS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浜野 大, 池田 正弘
2. 発表標題 逆冪乗型ポテンシャルをもつ非線形シュレディンガー方程式の爆発解について
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 深谷 法良, Vladimir. Georgiev, 池田 正弘
2. 発表標題 点相互作用を持つ2次元非線形シュレディンガー方程式の定在波解の安定性と不安定
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 浜野 大, 池田 正弘
2. 発表標題 逆2乗ポテンシャルを持つ非線形クライン・ゴルドン方程式の定在波解の不安定性
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 波多野 修也, 池田 正弘, 石川 勲, 澤野 嘉宏
2. 発表標題 A global universality of two-layer neural networks with ReLU activations
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 池田 正弘
2. 発表標題 非線形シュレディンガー方程式の定常問題と時間大域挙動
3. 学会等名 愛媛解析セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡 亮, 高井 勇輝, 松本 直己, 池田 正弘, 金子 晋丈
2. 発表標題 ランダムウォークを用いたハイパーグラフにおけるローカルコミュニティと弱い紐帯の抽出
3. 学会等名 電子情報通信学会(IN)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高井 勇輝, 宮内 敦史, 池田 正弘, 吉田 悠一
2. 発表標題 Hypergraph Clustering via PageRank
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論, ワークショップ(IBIS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 園田 翔, 石川 勲, 池田 正弘
2. 発表標題 積分幾何学に基づくニューラルネットの新しい再生公式
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論, ワークショップ(IBIS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 手嶋 毅志, 石川 勲, 東條 広一, 大野 健太, 池田 正弘, 杉山 将
2. 発表標題 カップリングに基づく可逆神経回路網は微分同相写像の万能近似機である
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論ワークショップ(IBIS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本 悠香, 石川 勲, 池田 正弘, 紅村 冬大, 勝良 健史, 河原 吉伸
2. 発表標題 Reproducing kernel Hilbert C^* -moduleによる多変量データの解析
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論ワークショップ (IBIS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 園田 翔, 石川 勲, 池田 正弘
2. 発表標題 オーバーパラメトライズされた有限ニューラルネットの最適解
3. 学会等名 第23回情報論的学習理論, ワークショップ (IBIS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田 正弘, 石川 勲, 澤野 嘉宏
2. 発表標題 解析的な正定値関数に付随する再生核Hilbert空間上の合成作用素の有界性について
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 波多野 修也, 池田 正弘, 石川 勲, 澤野 嘉宏
2. 発表標題 モレー空間における合成作用素の有界性について
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 平山 浩之, 池田 正弘, 田中 智之
2. 発表標題 Well-posedness of the fourth-order Schrödinger equation with derivative nonlinearities
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 浜野 大, 池田 正弘
2. 発表標題 逆冪乗型ポテンシャルを持つ非線形シュレディンガー方程式の初期値の条件の同値性について
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 千頭 昇, 池田 正弘, 谷口 晃一
2. 発表標題 Hardy-Hölder型半線型熱方程式の解の挙動
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 池田 正弘
2. 発表標題 非線形力学系から生成される時系列データ間の作用素論的側面からの研究
3. 学会等名 第74回 京都大学応用数学セミナー (KUAMS)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Test function method for blow-up phenomena of semilinear wave equations and their weakly coupled system
3. 学会等名 2019 Workshop on Geometry and Nonlinear Partial Differential Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Blow-up phenomena of semilinear wave equations and their weakly coupled system
3. 学会等名 Fall Southeastern Sectional Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda, Isao Ishikawa, Chao Li, Xiao-Yang Liu, Qibin Zhao and Ning Zheng
2. 発表標題 Exact Recovery of latent convex tensor decomposition under Reshuffling
3. 学会等名 Workshop on low-rank models and application (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Finding Cheeger Cuts in Hypergraphs via Heat Equation
3. 学会等名 Joint Workshop of BBDC, BZML and RIKEN AIP (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Low-regularity well-posedness of fourth order Schrödinger equation with derivative nonlinearities
3. 学会等名 Seminars at Peking University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Blow-up phenomena of semilinear wave equations and their weakly coupled system
3. 学会等名 12th ISAAC Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Finding Cheeger Cuts in Hypergraphs via Heat equation
3. 学会等名 The 14th SIAM East Asian Section Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Finding Cheeger Cuts in Hypergraphs via Heat equation
3. 学会等名 Taiwan Machine Learning Workshop in June (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Ikeda
2. 発表標題 Well-posedness of the fourth-order Schrödinger equation with derivative nonlinearities
3. 学会等名 Colloquium at National Cheng Kung University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田 正弘, 田中 智之, 若狭 恭平
2. 発表標題 Global well-posedness for the wave equation with a time-dependent scale invariant damping and a cubic convolution
3. 学会等名 日本数学会・2020年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜野 大, 池田 正弘
2. 発表標題 ポテンシャル項を持つ非線形シュレディンガー方程式の定常問題について
3. 学会等名 日本数学会・2020年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田 正弘
2. 発表標題 再生核ヒルベルト空間上のPerron-Frobenius作用素を用いた非線形力学系間の比較について
3. 学会等名 京都大学NLPDEセミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川 勲, 田中 章詞, 池田 正弘, 河原 吉伸
2. 発表標題 ランダム力学系の距離について
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋本 悠香, 石川 勲, 池田 正弘, 松尾 洋一, 河原 吉伸
2. 発表標題 ノイズ付き非線形力学系のためのKrylov部分空間法
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口 晃一, 池田 正弘, 園田 翔, 大野 健太, 鈴木 大慈
2. 発表標題 ReLU深層ニューラルネットワークの一般化されたBesov空間での関数近似能力について
3. 学会等名 第22回情報論的学習理論
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田 正弘, 谷口 晃一
2. 発表標題 Dissipation and blow-up for semilinear heat equations in general energy spaces
3. 学会等名 日本数学会・2019年度秋季総合分科会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 異常検知装置、異常検知方法、及びプログラム	発明者 橋本悠香, 石川勲, 池田正弘, 河原吉伸, 松尾洋一	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、154065	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 関係性抽出装置及び関係性抽出方法	発明者 橋本悠香, 石川勲, 池 田正弘, 河原吉伸, 勝 良健史, 紅村冬大	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、035051	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

Masahiro Ikeda's page https://sites.google.com/site/masahiroikedamath/home
--

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
---------	---------