

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2022

課題番号：16K17626

研究課題名（和文）非線形分散型波動方程式における共鳴相互作用の構造と解の挙動・特異性の研究

研究課題名（英文）Research on the structure of the resonant interaction and behavior/singularity of the solutions for nonlinear dispersive wave equations

研究代表者

岸本 展 (KISHIMOTO, Nobu)

京都大学・数理解析研究所・講師

研究者番号：90610072

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：非線形シュレディンガー方程式、KdV型方程式、回転流体の方程式など、様々な非線形分散型波動方程式を共鳴相互作用の影響に注目しつつ解析し、初期値問題の解の一意存在や非存在について多くの新たな結果を得ることができた。周期境界条件下での共鳴相互作用の精密な解析には組合せ論の手法を用い、非共鳴相互作用の制御にはフーリエ制限法やノーマルフォーム変換を状況に応じて最大限活用した。特に共鳴相互作用が支配的となる方程式に対して、滑らかな初期値に対する解の非存在といった通常の分散型方程式とは全く異なる状況が起こり得ることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では実際の物理現象のモデルとして用いられている偏微分方程式を扱っており、また周期境界条件は数値計算を行う際に自然な設定であるため、それらの問題に対して適切性（解の一意存在および初期データの摂動に対する安定性）を厳密に証明することで、モデルを用いた数値シミュレーションの正当性の根拠が得られる。逆に解の非存在の結果は既存のモデル方程式や周期境界の設定が必ずしも適切でないことを示唆するとも考えられる。このように、適切性や非適切性の解明は、より良いモデル方程式の導出にも役立つ可能性を秘めている。

研究成果の概要（英文）：In this research, we analyzed various nonlinear dispersive wave equations including nonlinear Schrodinger equations, KdV-type equations, and even equations of rotating fluids, noticing the effect of the resonant nonlinear interaction, and obtained new results on existence, uniqueness, non-existence and other properties of solutions to the initial value problems. For a closed analysis of the resonant interaction under the periodic boundary condition we employed some tools from combinatorics, while we made the best use of existing methods such as the Fourier restriction method and the normal form transformation in accordance with each situation to control the non-resonant interaction. In particular, for some equations in which the resonant interaction becomes dominant, we proved that non-existence of solution for smooth initial data may occur, which is a totally different situation from usual dispersive equations.

研究分野：偏微分方程式論

キーワード：非線形分散型方程式 初期値問題の適切性 周期境界条件 共鳴相互作用 解の一意性 解の非存在
組合せ論 フーリエ制限法

1. 研究開始当初の背景

非線形分散型波動方程式の一般的な特徴として、線形部分が持つ分散性による平滑化効果と非線形相互作用による集約効果のバランスにより様々な挙動を示す解が現れる。従って、解の性質を調べるには方程式を特徴づける非線形構造を深く理解することが重要となる。分散型方程式の非線形相互作用の中で、各周波数モードの線形発展(分散性)に伴う時間振動が相互作用により相殺されるような場合を共鳴相互作用と呼ぶ。非共鳴な相互作用は時間振動の平均化に基づく平滑化効果を示し、それを利用したフーリエ制限法やノーマルフォーム変換などの統一的な解析手法がよく研究されている。一方、そのような平滑化効果を持たない共鳴相互作用の取り扱いには問題によって異なり、個々の方程式に応じた共鳴構造の解析が必要となる。

研究代表者のこれまでの研究では、フーリエ制限法を用いて様々な方程式に対し初期値問題の適切性(解の存在と一意性および初期値の摂動に対する安定性)を解明したほか、ノーマルフォーム変換を用いて初期値問題の解の一意性を示すための統一的な枠組みを与え、いくつかの方程式に応用した。共鳴相互作用の制御については、未知関数の変換による扱いやすい方程式への変形、あるいは組合せ論の技法を援用して評価することを試みた。そこで、これらの手法をより発展させ、あるいは別の手法と組み合わせることにより、これまで扱うことが難しかった問題に対してもアプローチできると考えていた。

2. 研究の目的

種々の非線形分散型波動方程式に対し、非線形項の共鳴相互作用の詳細な解析に基づいて初期値問題の適切性や解の時間大域的な挙動(線形解への漸近や有限時間での特異性の生成など)を調べる。

共鳴相互作用は、非線形問題が対応する線形問題からの摂動として扱えるかどうかに影響すると考えられる。そこで、今まで摂動論的な解析が難しいとされていた非線形問題に対して、これまでの研究で培った組合せ論的な技法により共鳴構造を詳しく調べ、共鳴相互作用の影響をより精密に評価する。同時に、非共鳴相互作用については従来のフーリエ制限法やノーマルフォーム変換の理論を発展させ、初期値に関してできるだけ弱い条件の下で初期値問題の適切性および解の時間大域挙動を明らかにすることを目標とする。純粋な分散型方程式だけでなく、流体方程式で回転の効果により分散性が生じる場合など、共鳴構造がより複雑な問題も扱う。また、共鳴相互作用の寄与が大きい場合には初期値問題の非適切性を証明することも念頭に置く。

取り組むべき具体的な問題として、(i)修正ベンジャミン・オノ方程式の初期値問題のエネルギー空間における解の一意性、(ii)回転流体を記述する方程式に対する解の大域存在と漸近挙動、(iii)2次元トーラス上の3次非線形シュレディンガー方程式の臨界空間における適切性と weak turbulence の数学的正当化、の3つを想定しているが、研究の過程で関連性が認められた別の問題にも随時取り組んでいく。

3. 研究の方法

実際には、主として以下の6つのトピックについて研究を行った。

- (1) 組合せ論的なアプローチにより回転流体方程式の共鳴相互作用の精密な解析を行い、滑らかな時間大域解の構成に応用する。
- (2) 高階摂動項を持つ非線形シュレディンガー方程式に対し、摂動パラメータへの依存性を考慮しつつフーリエ制限法を適用することにより、パラメータに関して一様な適切性を証明し、その応用として非摂動極限を正当化する。
- (3) ノーマルフォーム変換を無限に繰り返す手法を用いて、修正ベンジャミン・オノ方程式のエネルギー空間における解の一意性の問題にアプローチする。
- (4) 共鳴相互作用が方程式に楕円性をもたらすような問題に対し、フーリエ制限法やノーマルフォーム変換を用いて非共鳴相互作用を制御することで、楕円性に起因する初期値問題の非適切性を示す。
- (5) 共鳴相互作用が方程式に放物性をもたらすような問題に対し、同様に非共鳴相互作用を制御することで、放物性に起因する初期値問題の一方向への適切性・解の正則化および逆方向へ

の非適切性を示す．

- (6) ハミルトン構造を持つ非線形分散型方程式に対し、フーリエ制限法や組合せ論の技法を用いて非共鳴・共鳴相互作用を精密に評価することで、より広いクラスでの適切性を証明し、不変測度の構成に応用する．

4．研究成果

- (1) 流体方程式の非線形相互作用の詳細な解析（米田剛氏との共同研究）

回転の効果を考慮した非圧縮性粘性流体の方程式であるナビエ・ストークス・コリオリ方程式について考察した．2階の粘性項を持つ通常のナビエ・ストークス・コリオリ方程式については、回転の速度が初期値の大きさや粘性係数に応じて十分速ければ滑らかな時間大域解が存在することが知られていた．これに対し、周期境界条件下での共鳴相互作用の評価を組合せ論の技法によって改良し、これを非共鳴相互作用も含む方程式全体の解析に応用した．これによって、粘性散逸の効果が分数階ラプラス作用素という形で弱まった場合にも、速い回転の下で滑らかな時間大域解の存在を示すことに成功した．本研究成果は従来の流体方程式の解析手法に加え、回転の影響を精密に評価するために分散型方程式の解析手法を取り入れた新しい研究として、流体方程式・分散型方程式の両分野において注目すべきものである．

3次元ユークリッド空間における非圧縮性オイラー方程式の非線形相互作用を解析し、異なる周波数モードが相互作用しないための条件を代数的・幾何的観点から考察した．その応用として、有限個の周波数モードしか持たない解の完全な特徴づけを与えることに成功した．具体的には、このような解は1次元流やベルトラミ流といったいくつかの自明なもので尽きていることを証明した．さらに、オイラー方程式と共通の非線形相互作用を持つナビエ・ストークス・コリオリ方程式へと一般化し、粘性および回転の影響下でも同様の特徴付けができることを示した．この結果は粘性、回転の一方のみを取り入れた方程式を特別な場合として含むだけでなく、粘性が分数階ラプラス作用素で与えられる場合にも対応しており、応用の観点から重要な一般化であると考えられる．本成果自体、乱流理論との関連が期待されるなど大変興味深いものであるが、研究を通して周波数間相互作用を幾何的に捉えることに習熟し、分散型方程式の解析へも応用し得る多くの新たな知見を得た．

- (2) 非線形シュレディンガー方程式の高階摂動と極限問題（一部は Mohamad Darwich 氏および Luc Molinet 氏との共同研究）

非線形分散型方程式の典型例である3次の非線形項を持った非線形シュレディンガー方程式は、ファイバー中のパルスの伝播や渦系の運動をモデル化した際の第1次近似として現れる．これに対し、より高次の項まで考慮することにより、高階の分散項や微分を含む非線形項を摂動として加えた方程式が導かれる．これらの高次摂動を含む方程式から元の方程式への極限問題、すなわち摂動を零とする極限で摂動方程式の解が元の方程式の解に収束することを示すのは、モデル化の際の近似を正当化する意味で物理的観点からも極めて重要な問題である．本研究では、周期境界条件を課さない通常のユークリッド空間上の問題と周期境界条件下の問題の双方に対し、初期値の滑らかさや収束の位相に関する自然な仮定の下で解の収束を証明することに成功した．摂動パラメータについて一様な適切性を示すことが証明のポイントであり、従来用いられるストリッカーズ評価式、局所平滑化評価式、フーリエ制限ノルムの3重線形評価式などが各周波数帯において摂動パラメータにどのように依存するかを丁寧に調べることでこれを達成した．

- (3) ノーマルフォーム変換を用いた無条件一意性の証明

線形分散型方程式では初期値の持つ正則性が時間変化で保たれるので、非線形方程式においても初期値と同じ関数空間にとどまり続けるような解を考えるのが自然である．一方で、フーリエ制限法やストリッカーズ評価式などを用いて適切性を証明した場合、そのような自然な解のクラスより真に狭い補助空間において解の構成が行われ、特に解の一意性も補助空間においてしか保証されないのが一般的である．これに対し、解の構成法によらない、自然な解のクラス全体での一意性を無条件一意性と呼ぶ．無条件一意性は異なる方法で構成した解の一致を保証する重要な性質である．これまでに、ノーマルフォーム変換を無限に繰り返すことで無条件一意性を示す研究がいくつかの方程式に対し行われており、これをもとに研究代表者は周期境界条件下での初期値問題に対して統一的な枠組みを構築するとともに、それを用いて非線形シュレディンガー方程式、修正ベンジャミン・オノ方程式、ザハロフ方程式に対し新たな結果を示すこと

に成功していた．本研究課題においてもこの研究を継続し，以下の成果を得た．

周期境界条件下での非線形シュレディンガー方程式について，分散項を分数階ラプラス作用素に一般化した場合にも，初期値の滑らかさに対する自然な仮定の下で無条件一意性の結果を得た．共鳴相互作用を規定する関係式が周波数の多項式として表せないため組合せ論の手法を適用できないが，このような場合でも上述の統一的な枠組みが有効であることが示された．

ノーマルフォーム変換を無限に繰り返す手法は周期境界条件を課さない通常の初期値問題の解の無条件一意性や，ある種の弱解の構成にも有効であることが，特定の数式に対して示されていた．そこで，上述の統一的な枠組みを見直し，これらの事実が一般的な設定においても成立することを確かめた．

当初から取り組むべき問題として挙げていた修正ベンジャミン・オノ方程式のエネルギー空間における解の無条件一意性は示すことができなかったが，その解明に向けて重要な進展があった．これまでの研究でエネルギー空間よりわずかに狭いクラスでの無条件一意性が得られていたが，同様の方法でエネルギー有限の解の一意性を示そうとすると次の2点が主な障壁となっていた：(i)制御困難な共鳴相互作用を持つ非線形項を消去する変換(ゲージ変換)を行った後の非線形項の意味付け，(ii)異なる周波数ごとに非線形相互作用の評価式を得た後，それらを足し上げる際の対数的発散．そこで，類似した非線形構造を持つ微分型非線形シュレディンガー方程式についてまず研究した．(i)を克服するための鍵となるのは，従来のストリッカーズ評価式を短い時間区間に区切って適用することで示される改良ストリッカーズ評価式で，これは解の持ち得る特異性がソボレフ埋蔵定理から示唆されるものより実際には弱くなることを示している．この評価式に加え，これまでの研究で培った精密な非線形相互作用の制御技術を駆使し，さらに無限ノーマルフォーム変換の技法を特定の相互作用のみに限定して適用するというアイデアにより，(ii)の問題も解決することができた．これにより，微分型非線形シュレディンガー方程式に対しては無条件一意性の証明の主要なステップが完了したといえる．改良ストリッカーズ評価式と無限ノーマルフォーム変換を組み合わせる方法は他の数式や一意性以外の問題にも幅広く応用できると期待している

(4) ラマン散乱項を持つ3階非線形シュレディンガー方程式の非適切性(堤誉志雄氏との共同研究)

3階の分散項およびラマン散乱項と呼ばれる微分を含んだ3次の非線形項を持つ非線形シュレディンガー方程式は，(2)でも述べたように光ファイバー内の信号伝播のモデルとして導出されている．ラマン散乱項の係数が実数である場合は(2)で扱っており，時間局所適切性及び非摂動極限の正当化に関する結果が得られている．この場合，共鳴相互作用の寄与は空間変数に関する平行移動変換を施すことで消去できるため，単純に非共鳴相互作用の制御のみを考えればよかった．そこで，ラマン散乱項の係数が虚部を持つ場合を考察した結果，周期境界条件の下では共鳴相互作用が支配的となり，方程式の性質が全く別のものになるという興味深い結果が得られた．実際，非線形項の共鳴部分がコーシー・リーマン型方程式の空間微分項となり，非共鳴部分を加えた方程式全体で見ても楕円型方程式に近い性質を持つことがわかった．これは分散型方程式に対して通常期待される性質とは全く異なるものであり，加えて周期条件を課さない問題では起こらない現象である．具体的な研究成果は以下の通りである．

まず，有限階の微分可能性しか持たない初期値のクラス(ソボレフ空間)において初期値問題の非適切性(解の非存在)を示した．共鳴部分が主要部となることを示すために，非共鳴相互作用の影響を精密に評価することが主なタスクであり，ノーマルフォーム変換を用いて非共鳴部分の平滑化効果を最大限引き出すことでこれを達成した．また，コーシー・リーマン方程式と同様，実解析的な初期値に対しては時間局所解が一意に存在することも示した．

次に，より性質の良いジュブレクラスでも上述の非適切性が起こることを示した．ジュブレクラスとは無限回微分可能だが実解析的ではないような関数を分類する尺度の一種であり，それを特徴づけるフーリエ係数の減衰度についての評価を工夫することで結果を得た．ジュブレクラスの枠組みで否定的な結果を示すことはソボレフ空間の場合と比べて格段に難しく，その手法は退化ザハロフ方程式やプラントル境界層方程式など，特定のジュブレクラスでの非適切性が予想されている複雑かつ重要な方程式への応用が期待される．

より複雑な共鳴構造を持った重要な問題へと応用するための第一歩として，上述の結

果をやや一般の方程式に拡張し、特定のジュブレクラスでの時間局所適切性および、それより広いジュブレクラスにおける非適切性(解の非存在)を示した。特に適切性に関しては、ノルム位相を持つようなジュブレクラスの部分空間では成立しないと予想されるが、自然な帰納極限位相を備えたジュブレクラス全体での成立を厳密に示すことに成功した。

(5) 運動論的微分型非線形シュレディンガー方程式の適切性(堤誉志雄氏との共同研究)

微分型非線形シュレディンガー方程式(DNLS)は完全可積分系として古くから研究されているが、これに非局所型相互作用を取り入れた方程式(KDNLS)は、プラズマの時間発展において波動・粒子間共鳴の影響を考慮したモデルとして、運動論的方程式をもとに導出される。DNLSの解析においてはゲージ変換が中心的な役割を果たすが、KDNLSに対しては非局所項の存在により同様の手法が使えないため、KDNLSの数学的研究はDNLSと比較するとほとんどなされていなかった。そこで、最も基本的な性質である初期値問題の時間局所可解性についてまず研究した。KDNLSの非局所型非線形項は方程式にある種の散逸効果をもたらすことがわかり、特に周期境界条件下では非局所項の共鳴部分が放物型方程式の空間微分項となる。この性質に着目し、共鳴相互作用がもたらす放物型平滑化効果と非共鳴相互作用に内在する分散型平滑化効果を同時に最大限活用することによって、周期境界条件下で十分小さい初期値に対する時間局所解の構成に成功した。本問題においても、共鳴相互作用の寄与が支配的であることを示すために非共鳴部分をいかにして制御するかがポイントであったが、より重要な問題では共鳴・非共鳴相互作用を単純に分離して考えることが難しいものも多く、そのような状況を扱うための技術を習得することができた。

なお、KDNLSの研究は2020年度より研究代表者の別研究課題(基盤研究(C)20K03678)にて継続しており、周期境界条件下では初期値問題の正の時間方向への大域適切性と解の正則化、さらに負の時間方向への解の非存在など、放物型方程式に近い性質が解明されている。

(6) 一般化KdV方程式の適切性と不変測度の構成(Andreia Chapouto氏との共同研究)

3階の分散項と2次の微分型非線形項を持つコルトヴェーグ・ド・フリース(KdV)方程式は典型的な非線形分散型方程式の一つであるが、非線形項の次数を一般化した方程式も盛んに研究されている。この一般化KdV方程式に対し、周期境界条件下で次の成果を得た。

4次以上の一般の場合の時間局所適切性は、指数 $1/2$ のソボレフ空間において示されており、またそれより広い(指数の小さい)ソボレフ空間においては共鳴相互作用の影響で摂動論的な扱いができなくなることがわかっていった。そこで、ソボレフ空間の変種であるフーリエ・ルベグ空間の枠組みで初期値問題を考察し、ソボレフ指数 $1/2$ に対応する「臨界」の場合よりも真に広いフーリエ・ルベグ空間において、摂動論的に時間局所適切性を証明することに成功した。鍵となる共鳴相互作用の制御は非線形次数が4次以上になると共鳴関係式が因数分解できないため途端に複雑になるが、精密かつ必要最小限の場合分けを見出し、一つずつ丁寧に解析することでこれを克服した。また、同様の問題でしばしば仮定される空間平均が零であるという条件を撤廃した。

無限次元ハミルトン系の構造を持つ非線形分散型方程式に対してギブス測度(不変測度)が形式的に定まるが、その厳密な意味付けと不変性の証明はブルガンによる1990年代の先駆的な業績以降、主要な研究テーマの一つとして関心を集めている。特に、ギブス測度の台を含む空間において初期値問題の時間大域適切性が示されていない場合は取り扱いが難しくなる。一般化KdV方程式では次数が3以上の場合がこれに相当し、3次の場合にはブルガンにより解決されたが、4次以上の場合には部分的な結果しか知られていなかった。本研究では4次以上の場合でも(ギブス測度の台を含む)「臨界」より広い空間上で局所適切性を証明できたことにより、3次の場合のブルガンの手法が適用できるようになり、ギブス測度の不変性の厳密な証明とギブス測度の台上での力学系(時間大域解)の構成に成功した。特に、有限時間爆発解に関連する臨界質量を持つ初期値に対してもほとんど確実な時間大域存在を示すことができた。これにより、一般化KdV方程式のギブス測度に関する研究はひとつの区切りを迎えたといえる。

最後に、本研究課題は当初4年の計画であったが、新型コロナウイルス感染症拡大の影響による期間延長の結果7年となったことを注意しておく。当初予定していたものの研究が進展しなかった問題もある一方で、上記(1)、(6)など予想外の成果や延長期間中に得られた(3)の成果もあり、様々な分野における今後の発展に資するための多くの知見が得られたと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Kishimoto, Nobu; Tsutsumi, Yoshio	4. 巻 2023
2. 論文標題 Low regularity a priori estimate for KDNLs via the short-time Fourier restriction method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advances in Continuous and Discrete Models	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) 10.1186/s13662-023-03756-6	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 -
1. 著者名 Kishimoto, Nobu; Yoneda, Tsuyoshi	4. 巻 24
2. 論文標題 Characterization of Three-Dimensional Euler Flows Supported on Finitely Many Fourier Modes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Fluid Mechanics	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/s00021-022-00703-5	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 Kishimoto, Nobu	4. 巻 514
2. 論文標題 Unconditional uniqueness for the periodic Benjamin-Ono equation by normal form approach	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Analysis and Applications	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) 10.1016/j.jmaa.2022.126309	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 Kishimoto, Nobu	4. 巻 B88
2. 論文標題 Gevrey well-posedness and ill-posedness of third-order nonlinear Schrodinger equations on the torus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RIMS Kokyuroku Bessatsu	6. 最初と最後の頁 105 ~ 118
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kishimoto, Nobu	4. 巻 2022
2. 論文標題 Remarks on periodic Zakharov systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Electronic Journal of 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chapouto, Andreia; Kishimoto, Nobu	4. 巻 375
2. 論文標題 Invariance of the Gibbs measures for periodic generalized Korteweg-de Vries equations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions of the American Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 8483 ~ 8528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/tran/8699	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 Kishimoto, Nobu; Tsutsumi, Yoshio	4. 巻 20
2. 論文標題 Well-posedness of the Cauchy problem for the kinetic DNLS on T	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Hyperbolic Differential Equations	6. 最初と最後の頁 27 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219891623500029	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 Kishimoto, Nobu	4. 巻 274
2. 論文標題 Unconditional local well-posedness for periodic NLS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 766 ~ 787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2020.10.025	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 Kishimoto, Nobu	4. 巻 2022
2. 論文標題 Unconditional uniqueness for the periodic modified Benjamin-Ono equation by normal form approach	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Mathematics Research Notices	6. 最初と最後の頁 12180 ~ 12219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/imrn/rnab079	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 Kishimoto, Nobu; Tsutsumi, Yoshio	4. 巻 -
2. 論文標題 Ill-posedness of the Third Order NLS with Raman Scattering Term in Gevrey Spaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mathematics of Wave Phenomena, Trends in Mathematics, Birkhauser, Cham	6. 最初と最後の頁 219 ~ 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-47174-3_13	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 Kishimoto, Nobu	4. 巻 18
2. 論文標題 A remark on norm inflation for nonlinear Schrodinger equations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications on Pure and Applied Analysis	6. 最初と最後の頁 1375 ~ 1402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/cpaa.2019067	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 Darwich, Mohamad; Kishimoto, Nobu; Molinet, Luc	4. 巻 188
2. 論文標題 Dispersive limits for some perturbations of the NLS equation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monatshefte fur Mathematik	6. 最初と最後の頁 629 ~ 651
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00605-018-1238-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 該当する

1. 著者名 Kishimoto, Nobu; Yoneda, Tsuyoshi	4. 巻 372
2. 論文標題 Global solvability of the rotating Navier-Stokes equations with fractional Laplacian in a periodic domain	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mathematische Annalen	6. 最初と最後の頁 743 ~ 779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00208-017-1605-4	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 Kishimoto, Nobu; Tsutsumi, Yoshio	4. 巻 25
2. 論文標題 Ill-posedness of the third order NLS equation with Raman scattering term	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mathematical Research Letters	6. 最初と最後の頁 1447 ~ 1484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4310/MRL.2018.v25.n5.a5	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 -

[学会発表] 計41件 (うち招待講演 35件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Low-regularity well-posedness for the kinetic derivative NLS on the torus
3. 学会等名 MATRIX-RIMS Tandem Workshop: Geometric Analysis in Harmonic Analysis and PDE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Poincare-Dulac normal form method for nonlinear dispersive PDEs
3. 学会等名 RIMS Workshop: Analysis of fluid dynamical PDEs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Well-posedness for the kinetic derivative nonlinear Schrodinger equation on the torus
3. 学会等名 5th Workshop on Nonlinear Dispersive Equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Well-posedness for the kinetic derivative nonlinear Schrodinger equation on the torus
3. 学会等名 The 13th International ISAAC Congress, Session 6: Function spaces and their applications to nonlinear evolution equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Well-posedness for the periodic kinetic derivative nonlinear Schrodinger equation
3. 学会等名 Kylin Lecture in analysis: Dispersive equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 Local and global well-posedness for the kinetic derivative nonlinear Schrodinger equation
3. 学会等名 The 18th Linear and Nonlinear Waves (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Resonant interactions and ill-posedness for periodic nonlinear dispersive equations
3. 学会等名 Quantized Vortices and Nonlinear Waves (大阪市立大学, オンライン開催) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 Well-posedness for the kinetic derivative nonlinear Schrodinger equation on the torus
3. 学会等名 第12回 名古屋微分方程式研究集会 (名古屋大学, オンライン開催) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Characterization of incompressible Euler flows supported on finitely many Fourier modes
3. 学会等名 2019 CAU-RIMS Joint Workshop on Nonlinear PDEs (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Gevrey ill-posedness of third-order nonlinear Schrodinger equations on the torus
3. 学会等名 RIMS Symposium "Harmonic Analysis and Nonlinear Partial Differential Equations" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Ill-posedness of an NLS-type equation with derivative nonlinearity on the torus
3. 学会等名 12th International ISAAC Congress, S.8 "Function Spaces and their Applications to Nonlinear Evolutional Equations" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Characterization of three-dimensional Euler flows supported on finitely many Fourier modes
3. 学会等名 Physical and Mathematical Approaches to Geophysical Fluid Problems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 Well-posedness and ill-posedness for the third order NLS equation with Raman scattering term
3. 学会等名 RIMS共同研究(公開型)「保存則をもつ偏微分方程式の解の正則性, 特異性および漸近挙動の研究」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 高階項を持つ非線形シュレディンガー方程式の解析
3. 学会等名 第57回実函数論・函数解析学合同シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 Ill-posedness of periodic third-order nonlinear Schrodinger equations
3. 学会等名 Workshop on nonlinear wave equations and related topics in Kobe (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Ill-posedness of the periodic nonlinear Schrodinger equation with third-order dispersion and Raman scattering term
3. 学会等名 Session "Recent Trends in Nonlinear Partial Differential Equations and Related Problems" in 2018 CMS Winter Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Remark on global regularity for the rotating Navier-Stokes equations in a periodic domain
3. 学会等名 Probabilistic Perspectives in Nonlinear PDEs (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Remark on global regularity for the rotating Navier-Stokes equations in a periodic domain
3. 学会等名 Mathematical Analysis in Fluid and Gas Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Ill-posedness for the periodic third order NLS equation with Raman scattering term
3. 学会等名 Nonlinear Dispersive Equations in Kumamoto, 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 高階項を持つ非線形シュレディンガー方程式の解析
3. 学会等名 RIMS-IMI合同談話会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Unconditional uniqueness for nonlinear dispersive equations
3. 学会等名 Workshop on Nonlinear Dispersive PDE; long time dynamics, boundary value problems, integrability (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Weak dispersion limit for nonlinear Schrodinger equations with higher order corrections
3. 学会等名 International Workshop on "Fundamental Problems in Mathematical and Theoretical Physics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 Weak dispersion limit for nonlinear Schrodinger equations with higher order corrections
3. 学会等名 第3回 量子渦と非線形波動 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Weak dispersion limit for nonlinear Schrodinger equations with higher order corrections
3. 学会等名 2016 Taiwan-Japan Workshop on Dispersion, Navier Stokes, Kinetic, and Inverse Problems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 Remark on global regularity for the rotating Navier-Stokes equations in a periodic domain
3. 学会等名 若手による流体力学の基礎方程式研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岸本 展
2. 発表標題 Unconditional uniqueness for nonlinear dispersive equations via normal form reductions of Poincare-Dulac type
3. 学会等名 Saga Workshop on Partial Differential Equations (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kishimoto, Nobu
2. 発表標題 Remark on global regularity for the rotating Navier-Stokes equations in a periodic domain
3. 学会等名 The 14th Japanese-German International Workshop on Mathematical Fluid Dynamics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>(1) 本研究課題において得られた成果を纏めた論文2編(学術雑誌へ投稿中)をウェブ上で公開している.</p> <p>1. Nobu Kishimoto, Uniform local well-posedness for the one-dimensional cubic Schrodinger equation perturbed by third-order dispersion and derivative nonlinearity, https://researchmap.jp/nobu-1234-kishimoto/published_papers/18303449</p> <p>2. Nobu Kishimoto, Unconditional uniqueness of solutions for nonlinear dispersive equations, https://arxiv.org/abs/1911.04349</p> <p>(2) 雑誌『数理学 2019年10月号 No.676』(サイエンス社, 2019年)内の記事『微分方程式における問題設定』(岸本展著)にて, 本研究課題において得られた成果の一部を紹介した.</p>
--

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		
ノルウェー	University of Bergen		
米国	University of California, Los Angeles		
英国	University of Edinburgh		
中国	Chinese Academy of Sciences	Peking University	
フランス	University of Tours		