

「非線形波動現象の数理解とその応用」

期間 2023 年 10 月 11 日（水）～13 日（金）

場所 京都大学数理解析研究所 111 号室



アクセス

[講演要旨]

10 月 11 日（水）

14:00～14:10 開会・事務連絡

14:10～14:40 柿沼太郎（鹿児島大・工）

地形上で複数の気圧波によって生成される津波

速度ポテンシャルに関する非線形浅水モデルを用いた数値解析により、複数の気圧波に伴う津波の生成・増幅過程に対する、海底地形の影響を調べた。自由波として進行している津波が、後続の気圧波列に、階段地形上や斜面上で追い越されると、津波高さが増幅した。また、斜面上を気圧波が伝播する場合、生成される津波の峰の増幅が制限された。更に、気圧波列が伝播する場合、水面形が **beat** を示した。

14:40～15:10 田中光宏（岐阜大・名誉教授）

Fornberg-Whitham 方程式の砕波現象に関する数値的研究

水面波が示す **peaking**（限界波高波の波頂における波形勾配の不連続性）と **breaking**（非線形性による前傾化に伴う波形勾配の発散）という特徴的振舞いを共に示す簡易モデルとして Fornberg-Whitham 方程式が知られている。本研究では FW 方程式に含まれるパラメタ平面において、解の時間発展中に砕波が発生する領域とそうでない領域を画す臨界曲線の形状を調べるとともに、その形状を非線形性と分散性のバランスから定性的に理解することを目指す。

15:10～15:40 杉本信正（阪大・工）○・清水 大（福井工大・工）

熱音響境界層の外縁速度の計算法

管路内の音の減衰や、壁面に沿った温度勾配による不安定化を発生させる境界層外縁での半径方向速度の計算法について述べる。この速度は境界層外部の速度の、時間についての $-1/2$ 階微分で表される履歴積分で与えられるが、積分の評価には速度の過去の履歴が必要になるために、計算量が時間の経過とともに増大する。そこで、履歴が表面上見えない速度・温度境界層を解くことによって履歴積分を回避し、外縁速度を導出する数値計算法について述べる。

15:40～15:50 休憩

15:50～16:50 磯部雅彦（高知工大・名誉教授，東大・名誉教授）

〔招待講演〕非線形波浪の摂動解と基本現象把握のための線形解

ストークス波理論やクノイド波理論という非線形波浪の摂動解が実務で用いられる．これらの理論を非線形方程式のべき級数解という視点で，それらの精度や適用限界について統一的な解釈を紹介する．また，線形理論によって津波・高潮の浅水変形や反射などの諸現象の解明を試み，その限界と非線形理論の必要性を論ずる．

9:30～10:00 吉永隆夫(同志社大・高機能微粒子研究センター) ○・
藤原邦夫(阪大・工)

周囲気体が速度振動する平面液体ジェットの破断現象

平面液体ジェットが速度振動する周囲気体のもとでどのように振る舞うかを解析的に調べた。ジェットと周囲気体が平面壁で挟まれている場合について導出された長波方程式を数値的に解いている。周囲気体の振動のため通常のKH不安定に加えパラメトリック不安定が現れ、両不安定領域でのジェットの破断現象の違いについて述べる。

10:00～10:30 矢野 猛(阪大・工)

共鳴管内の音響流の数値解析

大振幅の音波の伝播過程に生じる非線形現象のひとつとして音響流が知られている。音響流は線形音波では生じ得ない時間平均的な質量輸送のことであるが、その流速の定義には、流体粒子をラグランジュ的に追跡しつつ時間平均するものと、質量流束密度ベクトルをオイラー的に時間平均するものの2つの流儀があり、どちらが適切であるかの結論は出ていない。本研究では、内部を気体で満たした変形しない直方体の箱を一定方向に正弦振動させて、内部気体の大振幅共鳴振動による音響流を数値解析する。流体力学の基礎方程式を数値的に解き、ラグランジュ平均とオイラー平均の2種類の音響流を求めて、その流動特性を対比する。

10:30～10:40 休憩

10:40～11:10 飯塚 剛(愛媛大・理)

電離波動におけるダイナミック安定化

ダイナミック安定化とは、力学系に高速振動を与えた時、安定状態が生じることである。運動を微小高速部と低速部に分離して解析すると、低速部に新たなポテンシャルが生じ、これが条件によってはもともと不安定であった状態を安定化させるのである。これまで、振動電場における荷電粒子の運動を考えていたが、ここでは荷電粒子が多数ある場合を考えて、電荷密度の波動として安定化の成否を考察したい。

11:10～11:40 水田 洋(元 北大・工)

磁性流体界面解析へ境界要素法を適用するための課題

磁性流体の界面現象を直接境界要素法を用いて解析する場合、磁場は静磁場、流体は非圧縮非回転を仮定すれば、これらの解析は共用できるが、その際の課題をいくつか議論する。

- (1) 領域の稜・角あるいは形状が尖った界面上での、物理量の多価性の考慮。
 - (2) 定ベクトル場条件から導いた総和則による、離散化係数が持つ特異性の回避。
 - (3) 境界条件・界面条件の組み合わせと離散化方程式系の可解性との関係。
-

11:40～13:00 昼食休憩

13:00～14:00 大貫陽平（九大・応力研）

〔招待講演〕成層流体における小スケール不安定の非線形シミュレーション

成層流体における定常渦や内部重力波に重ねられた短波長擾乱の時間発展を数値的に検証した．線形解析に留まっていた従来の研究を拡張し，時間変動する座標系にフーリエ・スペクトル法を組み合わせ実施した非線形シミュレーションの結果について，地球科学的な視点から解釈・議論をする．

14:00～14:10 休憩

14:10～14:40 松岡千博（大阪公大・工）

微小サテライト渦による巨大渦の増幅機構とその時間発展

巨大な渦があると異符号の渦度をもった小さなサテライト渦が近傍に生成され，それらが巨大渦の渦度をさらに増大させることが気象，大気物理，宇宙物理の分野で報告されている．本講演ではその渦度増幅のメカニズムに迫る．

14:40～15:10 佐藤公哉（東大院・新領域）○・早稻田卓爾（東大・新領域）

海氷下を伝播する波浪のスペクトルダウンシフトとそのメカニズム

北極海における地球温暖化による開放水面の面積増加と吹送距離の増加に伴い，より大きな波が発生する頻度が高まることから，海氷下を伝播する波浪の非線形現象への理解の重要性が増加している．発表者は水槽実験により，波浪成分間の非線形的エネルギー交換が海氷により加速されていることを示した．Waseda et al. (2022) によるオホーツク海における特異なスペクトルダウンシフトを示す観測結果を説明する理論への発展が期待される．

15:10～15:40 Han, J.（東大院・新領域）○・早稻田卓爾（東大・新領域）

A numerical method in computing the mass-loading pressure of the non-linear wave under ice

The influence of ice on the wave is modeled by mass-loading and bending forces induced by the vertical motion and deformation of the ice. The computation of mass-loading force in nonlinear waves is difficult. We develop a numerical scheme based on Adams-Bashforth-Moulton method to compute the mass-loading force in nonlinear waves. The numerical scheme is first validated by comparing the results with the theoretical solutions to the Airy wave and third order nonlinear waves in the intact ice sheet. Then, the nonlinear interactions of irregular waves in ice following P-M or JONSWAP spectra are investigated by conducting direct numerical simulations to Zakharov equations.

15:40～15:50 休憩

15:50～16:50 Chabchoub, A. (京大・白眉センター)

[招待講演] Modulation instability in standing water waves

The modulation instability (MI) is responsible for the formation of strong wave localizations on the water surface and in a variety of nonlinear dispersive wave systems. Recent laboratory studies confirmed the validity of breathers to describe several MI scenarios in hydrodynamics, optics, plasma, and Bose-Einstein condensates. We provide experimental evidence of nonlinear and distinct breather focusing in standing water waves, ie, in two counterpropagating wave trains. The wave measurements are in excellent agreement with the hydrodynamic coupled nonlinear Schrödinger equation and indicate that MI processes are unimpeded during the interplay of two wave systems.

18:00～21:00 懇親会

9:30～10:00 高津昌希（鳥取大院・持続性社会創生科学）○・
吉村和之（鳥取大・工）

FPUT 格子における異常熱伝導とソリトン減衰

Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou (FPUT) 格子においては、熱伝導率が粒子数の冪に比例して発散する異常熱伝導が生じることが知られている。しかしながら、冪指数の正確な値は分かっていない。講演では、大規模な非平衡熱伝導シミュレーションにより冪指数を計算した結果を示す。また、異常熱伝導は、ソリトンの伝播が原因と考えられている。その場合、熱振動状態にある格子中をソリトンが伝播するときの減衰過程と、冪指数の間に何らかの関係があると予想される。講演では、ソリトン減衰過程を数値的に調べた結果についても報告する。

10:00～10:30 吉村和之（鳥取大・工）○・土井祐介（阪大・工）・
北村智哉（鳥取大院・工）

非線形格子におけるポテンシャル対称性と熱抵抗消失

固体の熱伝導に関して、「Umklapp 過程と呼ばれるフォノン相互作用が無く Normal 過程のみ存在する場合には熱抵抗が消失する」という仮説が、Peierls によって提唱され広く受け入れられている。しかしながら、この仮説は粗い近似に基づくものであり、仮説を正当化する厳密な理論は未だ無い。また、固体結晶モデルの分子動力学シミュレーションによる数値的検証さえも、つい最近までなされていなかった。講演では、特殊な非線形格子を構成して、非平衡分子動力学シミュレーションにより Peierls 仮説を検証した結果を示す。さらに、あるポテンシャル対称性の下で熱抵抗が消失することを示す。これは、Peierls 仮説を部分的に正当化する理論的結果である。

10:30～10:40 休憩

10:40～11:10 小野弘貴（阪大院・工）○・土井祐介（阪大・工）・
中谷彰宏（阪大・工）

3 次の非線形性を有するウムクラップフリー格子の構築と弾道的熱輸送の解析

ウムクラップ過程は非線形格子におけるフォノン散乱の形態の一つであり、エネルギー輸送に対する抵抗を生み出す要因と考えられている。Yoshimura らは Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou β 格子の拡張としてウムクラップ過程が生じないウムクラップフリー格子 (UFL- β) を提案している。本講演ではさらに 3 次の非調和ポテンシャルが存在する場合でもウムクラップフリー格子 (UFL- $\alpha\beta$) を構築することを示す。また構築した格子系の非線形周期解の性質についても報告する。

11:10～11:40 佐藤政行（金沢大・理工）○・古澤拓己（金沢大・自然科学）

自己双対格子中を走行する非線形局在励起の実験

非線形格子中を走行する局在励起は一般に共鳴と呼ばれる格子のノーマルモードへのエネルギー散逸を伴う。非可積分格子でも、自己双対なら共鳴を抑えられることが電気回路でのシミュレーションで示された。電圧（格子点）と電流（格子間）の方程式がダンピングや励起項まで同一である。実際、コイルとコンデンサーの両非線形性を同一にでき、走行実験を行ったところ、共鳴信号が非常に少なくなることが確認された。

11:40～13:00 昼食休憩

13:00～13:30 片岡 武（神戸大・工）○・Akylas, T. R.（MIT・機械）

偏微分方程式に対する指数漸近解析

指数関数的に小さい物理現象を記述する際に用いられる指数漸近解析は、現在 Stokes Line を用いた手法が一般的であるが、常微分方程式にしか適用できないという困難が存在する。本講演では、偏微分方程式に適用可能な指数漸近解析を新たに考案したので紹介する。

13:30～14:00 墨 幹（東工大・理）・竹広真一（京大・数理研）○・
大淵 済（神戸大・理）・野村英子（国立天文台・科学研究部）・
藤井友香（国立天文台・科学研究部）

タイタン大気シミュレーションに見られる波動と赤道超回転生成

大気大循環モデルを用いて土星の衛星タイタンの成層圏超回転の生成維持機構を調べる数値実験を行った。大気運動は入射太陽光によるヘイズ層および惑星表面の加熱により駆動される。タイタン大気に適した放射パラメータを用いた場合に成層圏赤道を中心とする全球的な東風超回転状態が得られた。この状態は成層圏におけるシア不安定によって励起された波動が赤道方向に角運動量を輸送することにより生成維持されている。

14:00～14:30 辻 英一（九大・応力研）

東シナ海における順圧－傾圧エネルギー変換の解析

東シナ海の内部潮汐の力学の解明を目的として、東シナ海の大陸棚から沖縄舟状海盆を含む領域を対象とした数値モデルによる研究を行った。黒潮の平均流に違いがある 2016 年と 2017 年の 7 月を計算期間に選んだ。初期・境界条件を変えた計算ケースで、順圧－傾圧エネルギー転換率を調べ、その周波数解析から、大陸斜面でのエネルギー転換の変動と黒潮平均流との関連を強く示唆する結果を得た。

14:30～14:40 閉会・事務連絡
