

非線形波動現象の数理に関する最近の進展

RIMS 研究集会

プログラム&アブストラクト (◎は招待講演, ○は共著の場合の発表者)

10月14日(水)

13:10 ~ 13:35

○土井 祐介 (阪大・工), 吉村 和之 (NTT コミュニケーション科学基礎研)

対称格子系における離散ブリーザーのダイナミクス

離散ブリーザー (Discrete breather, DB) は非線形格子系において出現するエネルギー局在構造である。この DB が滑らかに移動するためには格子の対称性が大きな役割を果たすことが指摘されている。本研究では FPU- β 格子の自然な拡張として対称格子を構成し、その対称格子系における DB のダイナミクスについて議論する。

13:35 ~ 14:00

吉村 和之 (NTT コミュニケーション科学基礎研)

Fermi-Pasta-Ulam 格子における Discrete Breather 解の存在と安定性

Discrete Breather (DB) は、空間的離散性と非線形性を備えた力学系における空間的に局在した周期解である。数学的観点からは、DB 解の存在証明と安定性解析が基本的問題である。本講演では、Fermi-Pasta-Ulam 格子モデルに関して、Sievers-Takeno mode、および、Page mode と呼ばれる 2 種類の DB の基本モード解の存在とスペクトル安定性に関する結果を示す。

14:00 ~ 14:25

垂水 竜一 (阪大・工)

非線形弾性体の共鳴振動とカラー対称性

変分原理に基づいて二次元非線形弾性体の共鳴振動現象を定式化し、リッツ法を用いてその数値解析を行った。その結果、非線形弾性体の共鳴振動対称性は従来の点群・既約表現ではなく、カラー対称性を備えた磁性点群によって説明できることが示唆された。

◎ 14:30 ~ 15:30

日野 孝則 (横浜国大・工)

船舶の作る波の CFD 解析

船舶の作る波の流体力学的研究の歴史は古く、線形ポテンシャル理論をベースとする造波抵抗理論として体系化されてきた。しかし、造波抵抗の推定精度向上のためには、非線形自由表面条件を考慮し、かつ、粘性との干渉を扱うことが必要であり、今日では、CFD(計算流体力学)解析が主要なアプローチとなっている。ここでは、船舶の作る波の CFD 解析の計算例を示して、その流体力学的な特性および数値解析における課題などを紹介する。

15:35 ~ 16:00

○柿沼 太郎, 中平 達也 (鹿児島大・工), 勘場 隆嗣 (大鉄工業), 村上 佳広 (関西大学)

超大型浮体構造物が有する津波高さの低減効果

薄板状浮体と流体の相互干渉問題を対象とした数値モデルを適用し、超大型浮体構造物が有する津波高さの低減効果に関して検討した。津波が超大型浮体構造物に入射すると、分裂して浮体波が生成され、これに伴い津波高さが低減される。孤立波が入射する場合、浮体構造物の全長、浮体構造物の曲げ剛性率及び入射する津波の津波高さが大きいほど、津波高さの最終的な低減率が大きくなる。

16:00 ~ 16:25

ランジェム ミカエル LANGTHJEM Mikael (山形大・工)

The stability of an unbalanced rotating cylindrical vessel with a small amount of fluid

The present work is concerned with the dynamics of a rotating cylindrical container with a small amount of fluid which, during rotation, is spun out to form a thin fluid layer on the outermost inner surface of the container (a so-called fluid balancer). Recently we succeeded in showing how this fluid layer is able to counteract unbalanced mass in an elastically mounted rotor. In our analysis the fluid layer is described in terms of shallow water wave theory. The mathematical problem is that of a forced Korteweg-de Vries equation. It is assumed that the fluid-rotor system is in a state of stable asynchronous whirl, that is, the balancing surface wave (which is a so-called cnoidal wave) is slowly moving backwards in a coordinate system attached to the rotor. This means that the balancing effect will disappear at some point, a fact which has been verified in experiments. In order to find better balancing strategies it is of interest to investigate the stability of the coupled fluid-structure system, without making the assumption of asynchronous whirl. This is the subject of the present work.

16:25 ~ 16:50

杉本 信正 (関西大学・システム理工)

温度勾配のある狭いチャンネル内の非線形音波の伝播とそれに伴う質量およびエネルギーの定常輸送

温度勾配のある2次元チャンネル内の気体中を伝播する非線形音波の挙動を支配する非線形拡散波動方程式をまず導出する。これに基づいて音響流や熱音響流として知られる、質量およびエネルギーの緩やかな定常輸送に対する一般的な表現を与える。これらの量は、圧力の空間もしくは時間勾配の積の時間平均量で与えられることを示し、それらは拡散・波動方程式によって、最終的には平均圧の空間勾配とその空間導関数から導かれることを示す。

10月15日(木)

9:10 ~ 9:35

○**山崎 徳幸, 船越 満明 (京大・情報学)**

容器の水平鉛直方向への共鳴的加振による水面波

流体の入った容器を水平方向に加振すると、共鳴により加振振動数に近い固有振動数をもった水面波が励起される。一方、流体の入った容器を鉛直方向に加振すると、共鳴により加振振動数の半分に近い固有振動数をもった水面波が励起される。本講演では、底面が正方形であるような直方体容器に対して、水平方向と鉛直方向へ同時に共鳴的な加振を行った場合に励起される水面波モードの複素振幅に関するモデル方程式を導出し、この方程式の定常解のパラメータ依存性について考察する。

9:35 ~ 10:00

○**早藤 啓, 船越 満明 (京大・情報学)**

浅い水路中を動く圧力攪乱により生じる3次元水面波

両側に壁をもつ浅い水路中を、船のモデルである圧力攪乱が浅水長波の速度に近い速度で動くとき、圧力攪乱の前方に2次元的(平面波的)な波が周期的に放出されることが知られている。本研究では、3次元ブシネスク型の方程式を数値的に解くことによって、圧力攪乱の後方に作られる波を中心に水面波の振る舞いを調べる。

10:00 ~ 10:25

○**藤本 航, 早稲田 卓爾 (東大・新領域創成)**

高次スペクトル法の非線形オーダーと Class I・II 不安定の関係

高次スペクトル法は深海波の研究によく用いられる。しかし、深海波の4波・5波相互作用が高次スペクト

ル法のどの非線形オーダーで表現できるかは、未解明の部分がある。今回、それぞれ3次・4次の Zakharov 方程式で説明される Class I・II 不安定が、高次スペクトル法の2次、3次非線形計算で生じることがわかったので、報告する。これは高次スペクトル法と、波一波相互作用を記述する Zakharov 方程式における、非線形オーダーの不一致を意味する。

10:35 ~ 11:00

新井 宗之 (名城大学・理工)

浅水流運動方程式を考慮した傾斜水路上の転波列の波動について

傾斜水路上に生成される転波列に関する検討である。速度ポテンシャルを用いた基礎方程式から通減摂動法により波動方程式を得ている。この中で水面条件として浅水流運動方程式からの速度ポテンシャルの方程式を用いている。この抵抗項において摩擦損失係数を定常等流での定数とし速度と水深の微小項の2乗を無視した近似を用いている。 ϵ の5/2乗までの展開から KdV-Burgers 型の方程式を得た。この方程式の定数係数と方程式の関係や解と方程式の関係を示す。

11:00 ~ 11:25

京藤 敏達 (筑波大・システム情報)

急拡ノズルにおける非粘性渦崩壊流れの解析

渦核を有する旋回噴流が、急拡ノズル壁面沿って噴射する場合の流れの解析を行なった。まず、軸対称流で旋回軸上に淀み点が存在し、噴流表面が自由境界となる場合の解を数値的に求めた。次いで、この軸対称流の線形安定性を調べ、実験で観察される渦核の歳差運動について考察する。

11:25 ~ 11:50

金野 秀敏 (筑波大学・システム情報)

位相特異点の生成・死滅過程と非平衡相転移 —ホインの微分方程式の応用—

我々は心室細動の状態を模擬する心筋モデルの位相特異点のダイナミクスを生成・死滅過程を用いて記述する試みを行って来た。1D CGLE, 2D Aliev-Panfilov model, 2D Beeler-Reuter model, などの偏微分方程式モデルから得られる位相特異点のダイナミクスに注目した数理解析を発展させてきたが、広い視野からこれらの相互作用ダイナミクスを眺めると、一般化 Reggeon Field Theory に縮約することができる。これらのモデルの中でみられる非平衡の相転移の動的様相を解析するための数学的な道具としての「ホインの微分方程式」の方法を紹介すると共に、1次元、2次元、3次元系の特殊な場合の位相特異点のダイナミクスについて紹介する。

11:50 ~ 12:15

辻 英一 (九大・応力研)

格子ボルツマン法を用いた非線形分散波動の数値解析

格子ボルツマン法は、並列計算に向くなど優れた特徴を有する数値計算法であり、NS 方程式や浅水方程式などの数値計算で使われている。一方、流体波動のモデルとしての非線形分散波動方程式（例えば KdV 方程式）などへの適用報告は少ない。本研究は Yan の定式化に基づいた数値計算を行い、その特徴や改良について述べる。

© 13:45 ~ 14:45

大和田 拓 (京大・工)

衝撃波捕獲の本質

衝撃波スキームの鍵となる構造が気体論的スキームから見出された。数値フラックスはフラックスベクトルの平均とみなせるが、気体論的スキームにおけるその形は従来の衝撃波捕獲スキームに見られる標準的な形と若干異なる。気体論的スキームは単純化され、さらに接触不連続面を鈍らずに捕らえる性能も付加された。得られたスキームは衝撃波・境界層・接触不連続面捕獲であり、さらに極超音速領域における衝撃波異常現象に対しても高い堅牢性を有しており、既存の衝撃波捕獲スキームと同等以上の性能を有する。

14:50 ~ 15:15

永原 新, 丸野 健一 (早稲田大・基幹理工)

Davey-Stewartson 方程式のソリトン相互作用

近年、浅水波を記述する Kadomtsev-Petviashvili(KP) 方程式の線ソリトン相互作用の詳細な解析がなされ、二次元のソリトンダイナミックスの数理的からくりが明らかとなってきた。二次元有限水深重力波を記述する Davey-Stewartson (DS) 方程式においても同様の解析ができると期待されるが、これまで DS 方程式においてそのような解析は十分にはなされていない。また、DS 方程式の数値的研究もランプ解やドロミオン解などの局在波についてのみいくつかある状況である。DS 方程式はより多くのパラメーターを含み、状況によって偏微分方程式の型が変わるため多様な解が存在する。したがって DS 方程式の様々な解のダイナミックスを解明することは非常に重要である。本講演では主に DS 方程式 (双曲-楕円型) の線ソリトン相互作用について理論 (厳密解を用いた計算) と数値計算 (split-step Fourier 法) を用いた詳しい解析を報告する。

15:15 ~ 15:40

丸野 健一 (早稲田大・基幹理工)

3次元問題における自己適合移動格子スキームの構築法

ある種のソリトン方程式の解の構造を保存する離散化を行うことで得られた大変形問題のための数値計算法「自己適合移動格子スキーム」は、様々な2次元 (平面) 問題 (1次元の非線形波動、平面内の曲線の運動) について有効であることが確かめられているが、3次元 (空間) 問題についてどのように自己適合移動格子スキームを構築するかは未だ不明である。本講演では自己適合移動格子スキームの3次元問題への拡張の試みについて報告する。特に、渦糸の運動 (3次元空間曲線) を例にして、3次元問題での自己適合移動格子スキームの構築法について解説し、自己適合移動格子スキームを用いた数値計算例を紹介する。

15:45 ~ 16:10

片岡 武 (神戸大・工)

傾斜円柱の振動により誘起される内部波

密度成層流体中において、過去によく調べられてきた水平円柱ではなく、傾斜した円柱を振動させることにより誘起される内部波の特徴を解析および実験的に調べた。水平円柱の場合とは大きく異なる傾向が見られたので報告する。

16:10 ~ 16:35

大貫 陽平 (東大・理)

波動乱流理論を用いた海洋内部波の研究

密度成層と地球自転の効果を復元力とする慣性重力波は、物理空間、波数空間双方におけるエネルギーの運び手として、海洋内部の力学において重要な役割を果たしている。そうした中で本発表では、水平波長100kmに及ぶような大スケールの内部波が小スケールの内部波へと変換し散逸していくプロセスについて、波動乱流理論を用いて数値的に解析する方法を紹介し、その結果について議論する。

16:35 ~ 17:00

○猪又 諒祐, 沖野 真也, 花崎 秀史 (京大・工)

二層流体中の物体による内部重力波の励起と伝播

密度の異なる二層からなる流体中に置かれた物体や地形により励起される内部重力波の時間発展を、二層界面の時間変化に合わせて格子形状を変化させる境界適合格子を用いて数値的に解くことにより解析する。得られた結果を弱非線形理論 (forced-KdV 方程式やその拡張版) と比較する。

10月16日 (金)

9:20 ~ 9:45

○山田 芳己, 長野 正道 (立命館大・生命科学)

prey-predator stochastic individual model によるパターン形成と今後の展望

活性因子 (activator) と抑制因子 (inhibitor) の相互作用によりパターン形成を実現する Turing の提唱した反応拡散理論がある。この密度ベースの Turing の発想を個体レベルで再現した長野らによって構築された stochastic individual-based モデル (S-IBM) がある。本講演では S-IBM を prey-predator 系に応用したパターン形成の詳細とその後の展開を紹介する。

9:45 ~ 10:10

○木本 早紀, 毛利 蔵人, 長野 正道 (立命館大・生命科学)

細胞性粘菌の cAMP 受容体のノイズ処理に関する研究

細胞性粘菌 Dictyostelium discoideum は通常単細胞状態で増殖するが、飢餓時には環状アデノシン一リン酸 (cAMP) をパルス状に分泌, cAMP に対する走化性により集合して多細胞状態になる。我々はこの走化性に対するノイズ処理について研究している。本講演では細胞外に cAMP 水溶液を人為的に添加してノイズを生じさせ、細胞がどの程度までノイズを適切に処理できるかを調べたのでその成果を報告する。

10:10 ~ 10:35

○田平 裕之, 清水 裕騎, 長野 正道 (立命館大・生命科学)

細胞集合における拡散の寄与

生物は生体内のリズムにより円滑に生命活動が維持されている。そして、その中で細胞と細胞がコミュニケーションを取り合い、多細胞を形成している。しかしながら、外部からの影響 (ノイズ) をどのように適切に処理しているかは未だ解明されていない。今回は、我々が取り組んでいる、細胞間コミュニケーションについての現時点での知見を示す。

10:45 ~ 11:10

○石川 諒馬, 高橋 秀典, 松尾 洋介, 村松 且典, 中原 明生 (日大・理工)

コロイド分散系シミュレータ KAPSEL を用いたペーストの剪断の記憶の数値実験

粉粒子と水を混ぜた高濃度ペーストを自然乾燥させると剪断の方向に平行な亀裂パターンが生じることが発見された (剪断の記憶)。コロイド分散系シミュレータ KAPSEL を用いて数値実験を行い、剪断下で粒子の速度と密度の空間分布を調べたところ、ペーストの流れのスパン方向に正弦波的な速度の空間分布が作られることがわかった。同時に、粒子配置に疎密構造ができることも示され、剪断の記憶を説明する有効なモデルであると期待される。

11:10 ~ 11:35

水田 洋 (北大・工)

磁性流体界面解析における界面磁場解析再考

磁性流体界面に生じる波動などを解析するために欠かせない界面磁場解析について考察する。本研究では、Poisson 方程式の基本解を含む積分演算子を用いて界面磁場を求めるが、この界面磁場が磁場法則を満たす

ことを直接的に示す方法を考える。これにより、磁気応力と磁気エネルギーの関係が保証され、数値解析を行うときに、結果の物理的な信頼性を高めることができる。

11:35 ~ 12:00

増田 茂 (流体数理古典理論研究所)

Fluid Motion and Heat Motion in Classical Fluid Dynamics

We discuss historical development of classical fluid dynamics and heat theory from the viewpoint of mathematical history, in particular, of Poisson, who discusses the essential theories between fluid motion and heat motion.

© 13:30 ~ 14:30

林 仲夫 (阪大・理)

Modified KdV 方程式と解の漸近的振る舞い

We consider the large time asymptotics of solutions to the Cauchy problem for the modified Korteweg-de Vries equation and present our recent result which says if the initial function with non zero mass condition is small and decay rapidly at infinity, then the unique global solution exists and it is stable in the neighborhood of the self similar solution defined by the ordinary differential equations (the second Painleve equation). This result also yields the sharp time decay estimates of solutions.

14:35 ~ 15:00

井口 達雄 (慶應大・理工)

Solvability of the initial value problem to a model system for water waves

The water wave problem is mathematically formulated as a free boundary problem for an irrotational flow of an inviscid and incompressible fluid under the gravitational field. It is well-known that the water wave problem has a variational structure. In fact, J. C. Luke (1967) gave a Lagrangian in terms of the velocity potential and the surface variation. M. Isobe (1994) and T. Kakinuma (2000) derived model equations for water waves and the model equations are the Euler-Lagrange equations to an approximated Lagrangian, which is obtained by approximating the velocity potential in Luke's Lagrangian. In this talk, we consider one of the model equations and report the structure of the model and the solvability of the initial value problem.

15:00 ~ 15:25

○**大野 裕司, 吉田 善章 (東大・新領域創成)**

渦をもつ非線形イオン音波の非可積分性について

Korteweg-de Vries 方程式や Kadomtsev-Petviashvili 方程式といった、非線形イオン音波方程式に通減摂動法を適用することで得られるソリトン 方程式たちには渦がない。我々は、通減摂動法がさらに全ての渦度をゼロにすることを明らかにした。そして、摂動展開を変更することで、有限の渦度をもつような方程式を導出した。本講演では非可積分性を中心に導出した方程式の性質に関する解析結果を発表する。

15:30 ~ 15:55

松野 好雅 (山口大・工)

2次元拡張 Green-Naghdi 方程式のハミルトン構造

強非線形、弱分散性表面重力波のモデル方程式である Green-Naghdi(GN) 方程式は、近年理論、及び数値的両面から精力的に研究されている。本講演では2次元 GN 方程式を任意の分散効果を含む形に拡張し、その数学的性質を線形分散式を中心に議論する。次に拡張 GN 方程式が GN 方程式と同じハミルトン構造を持つことを示す。さらに拡張 GN 方程式のハミルトン形式が Zakharov のハミルトン形式から導かれることを証明する。

15:55 ~ 16:20

角島 浩 (富山大・工)

質量交換型 2 粒子模型のソリトン相互作用への応用

前回までに定式化した質量を交換する 2 粒子系の模型の連立非分散方程式のソリトン相互作用への応用を試みる。

16:20 ~ 16:45

吉永 隆夫 (阪大・基礎工)

静電場中での平面液体ジェットに及ぼす周囲流体の影響

2 枚の平行平板間を流れる粘性平面液体ジェットの安定性を静電場と周囲流体の影響を考慮した解析を行った。この結果を用いて、空力不安定が抑えられ薄膜シートが安定して形成される静電場の条件を明らかにする。