

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540390

研究課題名（和文） 渦の3次元非線形不安定性理論のためのラグランジュ的流体力学の構築

研究課題名（英文） Development of Lagrangian hydrodynamics for three-dimensional nonlinear instability of vortices

研究代表者

福本 康秀（FUKUMOTO YASUhide）

九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・教授

研究者番号：30192727

研究成果の概要（和文）：

非粘性非圧縮流体中の円柱渦は中立安定であるが、対称性を破る摂動を受けると不安定化する。オイラー的扱いでは、波が非線形的に誘起する平均流の計算が困難である。ラグランジュ変数を用いて平均流をあいまさなく計算する方法を開発し、振幅方程式の係数を振幅について3次まですべて決定した。従属変数の規格化によって正準ハミルトン方程式に帰着できた。また、WKB法を用いて渦流の短波長安定性を調べ、ノーマルモード解析の補完を行った。

研究成果の概要（英文）：

A circular-cylindrical vortex embedded in an inviscid incompressible fluid is neutrally stable, but can be destabilized by symmetry-breaking perturbations. The Eulerian treatment has difficulty in calculating the mean flow nonlinearly induced by waves. We have developed a method of exploiting the Lagrangian variables for calculating unambiguously the mean flow, whereby all the coefficients of the amplitude equations were determined to third order in amplitude. These equations were converted into canonical Hamiltonian equations by normalizing dependent variables. Besides, we investigated the short-wavelength stability by use of the WKB method, to complement the normal-mode analyses..

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・数理物理・物性基礎

キーワード：流体物理

1. 研究開始当初の背景

一般に、回転流は3次元的に不安定化し、不安定波動が成長しながら小さなスケールの波動を次々と励起し、やがて破局的な崩壊

に至る。代表者らは、ハミルトン力学系のスペクトルという視点から渦管の3次元不安定性の問題に取り組み、楕円渦と渦輪において、対称性の破れによるスペクトルの変形を

完全に決定することに成功した。後者では、「渦輪の曲率不安定」という新しい不安定モードを発見した。しかるに、これらの結果は渦度分布が一様でかつ線形安定性の場合に留まる。

弱非線形領域では複数のモードが絡み合う。従来の Euler 的記述では、振幅方程式の係数は Euler 方程式の振幅展開のより高次項での可解条件として与えられ、その計算は収拾がつかなくなる。しかも、振幅について 2 次で誘導される平均流すら一部の情報しか得られない。最近、代表者らは流体粒子の変位を基本変数とする Lagrange 的アプローチによって、渦管の 3 次元波動である Kelvin 波が非線形的に誘起する平均流を完全に決定することに初めて成功した。

定常渦流は、Lagrange 的アプローチによって自然にエネルギー関数の停留状態として特徴づけられ [Arnold: Ann. Inst. Fourier Grenoble 16 (1966) 319], この性質を最大限活用することによって、攪乱のエネルギーや非線形相互作用の計算可能性がもたらされる。

2. 研究の目的

渦構造の 3 次元非線形波動と、攪乱の非線形相互作用の平均流への跳ね返りを計算できる自己無撞着な数学的枠組みの構築を行う。応用面にも展開を図る。風力発電の風車の後流の乱れが背後の風車に金属疲労をもたらす。後流は多重らせん渦によってモデル化できる。らせん渦の安定性と歩を進める。

本研究では、Euler 方程式を Lagrange 変数で書き改め、微小スケールや速いスケールの自由度を平均操作によって消去して、ゆっくり発展する平均場を導出するためのアルゴリズムを構築する。

(1) 渦管の 3 次元不安定性の弱非線形理論

円柱渦に対称性を破る摂動が加わると 3 次元的に不安定化する。摂動として

- ① コリオリ力
- ② ひずみ流
- ③ 渦管の曲率・振率

を取り上げる。①「歳差運動する円筒内の回転流」と②「楕円断面容器内の回転流」の弱非線形発展および 2 次不安定性を記述する振幅方程式を導出する新しいスキームを構築する。

③では「らせん渦管」の安定性解析を行う。一般に翼のエッジから翼後方に伸びる翼端渦は、たとえば航空機においては、誘導抵抗や後方乱気流の問題に大きく寄与する。この翼端渦の動的性質を解明する。

①,②においては、安定性理論を定式化から刷新し、非線形領域に踏み出す。定常解まわりの Lagrange 変位に関し、第 1 変分が線形

安定性を決める。振幅 2 次の平均流も第 1 変分だけから計算できるのが利点である。

(2) WKB 法とその Lagrange 的記述

波束型攪乱の時間発展によって基本流の安定性を判定する (WKB 法)。

- ① コリオリ力&ひずみ流
- ② コリオリ力
- ③ 渦管の曲率・振率
- ④ Lagrange 的記述

①と②においては、コリオリ力の効果をもたらす 2 種類の摂動の効果「Mahalov 型」、「Kerswell 型」を取り上げ、WKB 法によって不安定メカニズムを探る。本研究では、回転角速度が大きい極限についても考える。

③においては、軸流をもつらせん渦管の安定性の WKB 解析を、小さなパラメータ [渦核半径]/[曲率半径]比の展開の形で行い、らせん渦の不安定性に対する「系全体の回転」、「振率」、「軸流」の効果と同時に考える。

④の狙いは、WKB 法による安定性解析の定式化から刷新である。系の回転と成層の効果を取り入れる場合、定常解まわりの Lagrange 変位を基本変数にとるのがより自然である。攪乱流速場の Lagrange 変位場への変換が鍵を握る。従来の WKB 法は、流体ともに動く特性曲線しか許容しない点で、アイコンールに対する仮定が強すぎる。

(3) 低レイノルズ数の渦輪の進行速度に対する非線形効果

代表者らは、低レイノルズ数での軸対称渦輪の運動速度を長時間にわたって記述する公式を一般化超幾何関数によって与えた。ただし、Stokes 方程式の解である渦度分布の断面形状は、初期に太さ 0 の集中渦から出発すると、初期段階では円形のままである。

しかし、実験で観察される渦輪の渦核の形状は、長軸を進行方向に向けた楕円形にひずんでいる。このひずみの効果を取り入れる。

3. 研究の方法

(1) 渦管の 3 次元不安定性の弱非線形理論

①「歳差運動する無限長円筒容器内の回転流」線形安定性の計算から始める。楕円流の場合と異なり、線形レベルで、方位波数が連続する 3 波が共鳴する可能性がある。従来の 2 波共鳴に対する線形安定性計算をそ 3 波共鳴に拡張する。

②「楕円断面容器内の回転流」の安定性を線形から弱非線形安定性解析まで一貫して行う Euler 記述-Lagrange 記述混合型アルゴリズムを開発する。

Kelvin 波を Lagrange 変数で表現し、それをもとに、Kelvin 波のエネルギーや Kelvin 波の自己相互作用による平均流を直接計算する。この平均流を利用して、弱

非線形振幅方程式の係数を振幅について3次まですべて決定する。

波が複数励起されると、自己相互作用によって飽和する前に、複数のモード間で**3波共鳴**を起こしてさらなる増殖を続ける可能性がある。3波共鳴に対する弱非線形振幅方程式を導く。

- ③ 単独「らせん渦管」の漸近解の3次元線形安定性を**モード解析**によって調べる。振率は異なる軸波数をもつ Kelvin 波の共鳴を可能にする。これが渦輪にはない特徴である。

(2) WKB 法とその Lagrange 的記述

- ① 「歳差運動する楕円断面無限長円筒内の回転流」 Mahalov 流において断面の流線を楕円形に変形した定常流を基本流にとる。ここに重畳した波束型攪乱の時間発展に対する初期値問題を解く。

WKB 法は局所安定性しか調べられないが、機動性が十分にあり、逆の極限一歳差回転角速度が主流の回転角速度に比べて十分大きい場合一を調べることができる。

- ② 「歳差運動する回転流」 回転流の軸が流体運動面に垂直ではなく斜めに傾いている場合、Kerswell 流が知られている。①と同様な線形安定性解析を行う。
- ③ 「軸流をもつらせん渦管の短波長解析」 WKB 法による局所安定性解析を行い、振率とコリオリ力効果、軸流の効果を解明する。
- ④ 「WKB 法の Lagrange 的記述」 WKB 法の方程式系を Lagrange 変位に対する方程式に書き改める。系の回転（コリオリ力）や成層の効果も取り込む。

(3) 低レイノルズ数の渦輪の進行速度に対する非線形効果

Stokes 渦輪があらゆる断面形状が円形の解を楕円形に歪ませるモデルを導入する。このモデルを Helmholtz-Lamb の公式に代入して運動速度を導出する。

4. 研究成果

(1) 渦管の3次元不安定性の弱非線形理論

- ① 「歳差運動する無限長円筒内の回転流」 回転流や立つ3次元波を Kelvin 波といい、軸対称性や並進対称性を破る摂動を加えると2個の Kelvin 波が共鳴不安定を起こす。方位波数 m の差が1の任意の Kelvin 波対 $(m, m+1)$ を取り上げた。Bessel 関数を用いて、固有値・固有関数を $O(\epsilon)$ まで書き下しことができた。これをもとにコリオリ力摂動がパラメータ共鳴を導く可能性を調べた。基本流より速く回転する(cograde) m 波と基本流より遅く回転する(retrograde) $m+1$ 波が縮退すると必ず不安定化するが、cograde モード同士の固有値の衝突では不安定化できない。な

ぜならば、cograde モードのエネルギーは正で retrograde モードのエネルギーは負であるからである【雑誌論文③】。

さらに、方位波数 m が連続する3個の Kelvin 波 $(m, m+1, m+2)$ が共鳴を起こす可能性を指摘した。コリオリ力の強さを表すパラメータとして ϵ を導入する。3つのモードの分散曲線を描いてみると、実際に3つのモードが接近する点が見つかった。 $O(\epsilon^2)$ の精度内で3つの分散曲線が接近する点を3つのモードが縮退するとみなし、2個のモードの共鳴の場合の線形安定性解析を、3モード共鳴に拡張した。【学会発表2】。

② 「楕円断面容器内の回転流」

断面が楕円にひずんだ回転流の場合、方位波数 m の差が2の Kelvin 波対 $(m, m+2)$ の間でパラメータ共鳴不安定が起こりえる。不安定性出現の鍵を握るのは攪乱のエネルギーである。Lagrange 変位を基本変数にとって攪乱を渦なしに限定することによって、波のエネルギーの一般的な表示を4通り得た【雑誌論文③】。さらに、分散関係の周波数による微分と波のエネルギーとの間に成り立つ関係を証明した。その副産物として、波の非線形相互作用によって誘起される振幅について2次の平均流を計算した【雑誌論文③, ⑥】。擬運動量が平均流とストークスドリフトの和と等しく、円筒容器中では後者が消えるので、擬運動量と平均流が等しいことを証明した【学会発表1, 3】。

まず、左・右巻きらせん波 $(m, m+1) = (-1, 1)$ の定常共鳴(周波数=0)に対して、平均流の具体系を利用することによって、 $O(\alpha^3)$ までの弱非線形振幅方程式の係数をすべてあいまいさなく決定することに成功した【雑誌論文⑦】。ハミルトニアン・ピッチフォーク分岐を起こしたとき、非線形効果は線形不安定性の成長を飽和させる。

次に、軸対称波 $(m=0)$ と楕円変形波 $(m=2)$ の共鳴を取り上げた。この場合、0ではない周波数で固有値が縮退し、ハミルトンのホップ分岐が起こる。この成長をあらゆる弱非線形振幅方程式は4自由度のハミルトンの正準方程式系をなす。第一積分が3個しかないので、解はカオス的振る舞いをするが、振幅は有限に抑えられる【学会発表12】。

さらに、左・右らせん波共鳴からハミルトンのピッチフォーク分岐を起こした波が、3, 4角形波との三波相互作用によって2次不安定を起こすことを発見した【学会発表6, 7】。

③ 「軸流をもつらせん渦管の安定性」

ノーマルモード安定性解析によりらせん渦の曲率不安定性に対する振りの効果を調べた。不安定成長率の内積による表式を求め、成長率の主要項が $O(\epsilon)$ であること、 $O(\epsilon^2)$ の補正として振りの効果があらわれること

を明らかにした．実際に振りによる成長率の補正を数値的に求めた【学会発表 16】．

(2) WKB 法とその Lagrange 的記述

① 「歳差運動する楕円断面無限長円筒容器内の回転流」

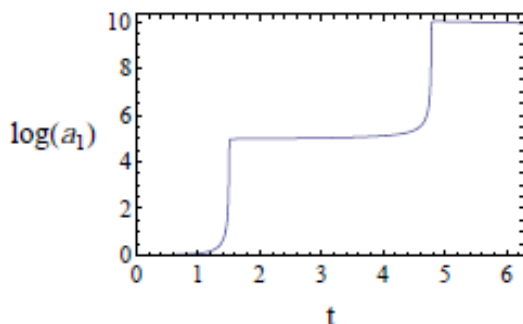
Mahalov 流の基本流は(1)①とまったく同じである．楕円ひずみがないとき，歳差回転角速度が小さい場合，増幅率は(1)①の場合と一致する．また，歳差回転角速度無限大の極限で増幅率は剛体回転流の角速度に漸近することを見出した．

歳差とひずみの協力効果を数値および Mathieu の方法による漸近解析によって求めた．楕円型不安定はコリオリ力によって弱められる．歳差不安定に対する楕円ひずみの効果は長軸の向きによる【雑誌論文③】．

② 「歳差運動する回転流」

Kerswell 流タイプに着目した．歳差回転角速度が小さいばあ尾は，増幅率は Mahalov 流の場合と同じ振る舞いをする．

歳差周波数 ε を大きくすると z 成分 $k_3=0$ を周期的にとるようになる．波数ベクトルと z 軸のなす角が平均的に小さいとき，歳差周波数が大きい極限で， $k_3=0$ となる瞬間に攪乱振幅が異常増幅するという特異な振る舞いを発見した【雑誌論文④】．



③ 「軸流をもつらせん渦管の短波長解析」

WKB 法によって，渦核内に軸流を含むらせん渦管の短波長安定性を計算した．基本流を小さなパラメータ $\varepsilon = [\text{渦核半径}]/[\text{曲率半径}]$ によって漸近展開を行う．基本流の主要項として Rankine 渦をとる．

$O(\varepsilon)$ は曲率不安定性と歳差不安定性の重ね合わせである． $O(\varepsilon^2)$ では，軸流と振率が結合した項が新たにあらわれる．基本場に乗って回転する流体粒子の周期が長くなるほど，増幅率が大きくなる【雑誌論文①】．

④ 「WKB 法の Lagrange 的記述」

波動・平均流相互作用 (WMFI) 理論では，Lagrange 変位(流体粒子の変位)を波束型を仮定すると，Gjaja-Holm の攪乱方程式が導かれる．これを回転系における楕円型回転

流の線形安定性の問題に適用した．従属変数変換によって，Gjaja-Holm の方程式が，回転形における球面振り子の方程式に帰着することを示した【学会講演 25】．

(3) 低レイノルズ数の渦輪の進行速度に対する非線形効果

軸対称渦輪の低レイノルズ数での運動においては，渦度分布は Stokes 方程式から定まるが，渦核の形がほぼ円形のガウス型渦度分布で，実験や数値計算と合わない．パラメータを 2 個導入して Stokes 方程式の解を修正することによって，進行方向に長軸を向ける楕円形の渦度分布を表現した．これを Helmholtz-Lamb の公式に代入して，楕円断面の渦輪の運動速度の時間変化を計算した．

この解をレイノルズ数 1400 での数値シミュレーションの結果と対比させた．進行速度の理論値は数値シミュレーション結果とよく一致する【文献②】．

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 12 件)

- ① Y. Hattori, Y. Fukumoto, “Effects of axial flow on the stability of a helical vortex tube”, Physics of Fluids Vol. 24 (2012) 054102 (15 pages) 【査読有】
- ② F. Kaplanski, Y. Fukumoto, Y. Rudi, “Reynolds-number effect on vortex ring evolution in a viscous fluid”, Physics of Fluids Vol.24 (2012) 033101 (13 pages) 【査読有】
- ③ Y. Fukumoto, M. Hirota, Y. Mie, “Energy and mean flow of Kelvin waves, and their application to weakly nonlinear stability of an elliptical flow”, In Proc. of the International Conference ‘Mathematical Analysis on the Navier-Stokes Equations and Related Topics, Past and Future -- in memory of Professor Tetsuro Miyakawa’, Mathematical Sciences and Applications Vol. 43 (2011) pp. 53-70 【査読有】
- ④ Me Me Naing, Y. Fukumoto, “Local instability of a rotating flow driven by precession of arbitrary frequency”, Fluid Dynamics Research Vol. 43 (2011) 055502 (11 pages) 【査読有】
- ⑤ F. Kaplanski, Y. Fukumoto, Y. Rudi, “Reynolds-number effect on vortex ring evolution”, Proc. of the Sixth International Conference on Fluid Mechanics, AIP Conf. Proc. Vol. 1376 (American Institute of Physics, 2011) pp.

58-61 【査読有】

- ⑥ Y. Fukumoto, M. Hirota, Y. Mie, "Lagrangian approach to weakly nonlinear stability of elliptical flow", *Physica Scripta* Vol. T142 (2010) 014049 (7 pages) 【査読有】
- ⑦ Y. Mie, Y. Fukumoto, "Weakly nonlinear saturation of stationary resonance of a rotating flow in an elliptic cylinder", *Journal of Math-for-Industry* Vol. 2A (2010) pp. 27-37 【査読有】
- ⑧ F. Kaplanski, S. S. Sazhin, S. Begg, Y. Fukumoto, M. Heikal, "Dynamics of vortex rings and spray induced vortex ring-like structures", *European J. Mechanics B/ Fluids* Vol. 29 (2010) pp. 208-216 【査読有】
- ⑨ S. Lugomer, Y. Fukumoto, "Generation of ribbons, helicoids and complex Scherk surface in laser-matter interactions", *Phys. Rev. E* Vol. 81 (2010) 036311 (11 pages) 【査読有】
- ⑩ Y. Fukumoto, "Global time evolution of viscous vortex rings", *Theoretical and Computational Fluid Dynamics* Vol. 24 (2010) pp. 335-347 【査読有】
- ⑪ Me Me Naing, Y. Fukumoto, "Local instability of an elliptical flow subjected to a Coriolis force", *J. Phys. Soc. Japan* Vol. 78, (2009) 124401 (7 pages) 【査読有】
- ⑫ 福本康秀, "オイラー方程式の南部力学表現について", *ながれ* Vol. 28 (2009) pp. 499-500 【査読無】

[学会発表] (計 28 件)

平成 23 年度

1. 福本康秀, 「3次元ケルヴィン波の輸送特性」, 日本物理学会 第 67 回年次大会, 2012.3.27, 関西学院大学・西宮上ヶ原キャンパス, 西宮
2. 山下晃史, 福本康秀, 「コリオリ力を受ける円筒内の回転流体の3つのモードの相互作用による線形安定性解析」, 日本物理学会 第 67 回年次大会, 2012.3.27, 関西学院大学・西宮上ヶ原キャンパス
3. 福本康秀, 彌榮洋一, 「ケルヴィン波のエネルギー, 擬運動量, ストークスドリフト」, 第 61 回理論応用力学講演会, 2012.3.7, 東京大学生産技術研究所, 東京
4. 福本康秀, 「渦度のトポロジーと渦のダイナミクスへの応用」, 日本物理学会四国支部講演会, 2011.12.16, 愛媛大学, 松山
5. 福本康秀, 彌榮洋一, 「渦流の3次元不安定性に対するハミルトニアン分岐理論」, 共同利用研究集会「乱流現象及び非平衡系の多様性と普遍性」, 2011.11.12, 九州

大学応用力学研究所, 春日

6. Y. Fukumoto, Y. Hattori, "Effects of swirl on the stability of vortices", Eighth International Conf. on Flow Dynamics, 2011.11.10, ホテルメトロポリタン仙台, 仙台
7. Y. Fukumoto, Y. Mie, "Hamiltonian bifurcation of a rotating flow confined in a cylinder with elliptically deformed cross-section", International Conf. "Fluxes and Structures in Fluids: Physics of Geosphere, 2011.9.27, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Insti., Vladivostok, Russia
8. Y. Fukumoto, Y. Mie, "Hamiltonian bifurcation theory for a rotating flow confined in a cylinder of elliptic cross-section", International Conf. on Fluid and Gas Dynamics, 2011.9.24, Zhejiang Normal Univ., Jinhua, China
9. 福本康秀, 彌榮洋一, 「楕円断面筒状容器内の回転流の非定常共鳴モードの弱非線形安定性」, 日本流体力学会年会 2011, 2011.9.8, 首都大学東京・南大沢キャンパス, 八王子
10. 福本康秀, 「変分原理とコンピュータ・アナトミーへの応用」, Computer Entertainment Developers Conference (CEDEC2011), 2011.9.6, パシフィコ横浜, 横浜
11. Y. Fukumoto, "Kinematic variational principle for vortical structure of Euler flows and beyond", RIMS Camp-style Seminar *Modern approach and developments to Onsager's theory on statistical vortices*, 2011.8.31, アピカルイン京都, 京都
12. Y. Fukumoto, "Hamiltonian bifurcation theory for a rotating flow subject to elliptic straining field", Third International Conf. and Advanced School "Turbulent Mixing and Beyond", 2011.8.23, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy
13. 福本康秀, 彌榮洋一, 「楕円断面筒状容器内の回転流のハミルトニアン分岐理論」, 京都大学数理解析研究所研究集会「オイラー方程式の数理解析: カルマン渦列と非定常渦運動 100 年」, 2011.7.22, 京都大学数理解析研究所, 京都

平成 22 年度

14. 福本康秀, Me Me Naing, 「歳差回転する円筒内の回転流の局所安定性」, 日本物理学会 第 66 回年次大会, 2011.3.25, 新潟大学・五十嵐キャンパス, 新潟
15. Y. Fukumoto, "Energy and mean flow

- of waves on a rotating fluid flow, and their application to stability analysis", 非線形力学ワークショップ, 2010.12.9, 東京大学・本郷キャンパス, 東京
16. Y. Fukumoto, Y. Hattori, "Normal -mode stability analysis of a helical vortex tube", Seven International Conf. on Flow Dynamics, 2010.11.2, 仙台国際センター, 仙台
 17. 福本康秀, 廣田真, 彌榮洋一, 「楕円回転流の弱非線形安定性のためのオイラー・ラグランジュ混合法」, 共同利用研究集会「非線形波動研究の新たな展開－現象とモデル化－」, 2010.10.30, 九州大学・筑紫キャンパス, 春日
 18. 福本康秀, F. Kaplanski, 「低レイノルズ数領域でのスワールをもつ渦輪の運動」, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010.9.25, 大阪府立大学・中百舌鳥キャンパス, 堺
 19. 福本康秀, 「渦度のトポロジーと楕円流の弱非線形安定性への応用」, 第 142 回エンレイソウの会, 2010.9.10, 北海道大学トポロジー理工学教育研究センター, 札幌
 20. Y. Fukumoto, M. Hirota, "Energy, action and mean flow of waves on a vortex of a fluid flow, and their application to stability analysis", 31st annual meeting of the Canadian Applied and Industrial Mathematics Society (CAIMS*SCMAI 2010), 2010.7.20, Sheraton Hotel Newfoundland, St. John's, Canada
 21. Y. Fukumoto, M. Hirota, Y. Mie, "Hybrid method of Lagrangian and Eulerian hydrodynamics to weakly nonlinear stability of an elliptical flow", 2010 Chinese-German Conf. on Fluid and Gas Dynamics, 2010.5.19, Zhejiang Normal Univ., Jinhua, China

平成 21 年度

22. Y. Fukumoto, "Lagrangian approach to wave interactions on vortices and weakly nonlinear stability of an elliptical flow", Internatinal Conf. on Mathematical Fluid Dynamics, 2010.3.13, 早稲田大学・西早稲田キャンパス, 東京
23. Y. Fukumoto, "Energy and mean flow of Kelvin waves, and their application to weakly nonlinear stability of an elliptical flow", International Workshop: Mathematical Analysis on the Navier-Stokes Equations and Related Topics, Past and Future - In

memory of Professor Tetsuro

Miyakawa - 2009.12.7, 神戸大学・六甲台キャンパス, 神戸

24. 福本康秀, 廣田真, 彌榮洋一, 「ケルヴィン波のエネルギーと誘導される平均流, そしてその楕円流の弱非線形安定性理論への応用」, 未来研究ラボ「非線形ダイナミクス」研究会, 2009.12.2, 大阪大学基礎工学部, 豊中
25. 福本康秀, Me Me Naing, 「ラグランジュ的記述による流れの短波長安定性理論」, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009.9.26, 熊本大学・黒髪キャンパス, 熊本
26. Y. Fukumoto, M. Hirota, Y. Mie, "Lagrangian approach to weakly nonlinear stability of an elliptical flow", Second International Conf. and Advanced School "Turbulent Mixing and Beyond", 2009.7.28, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy
27. 福本康秀, 「渦波の非線形相互作用によって誘導される平均流」, 京都大学数理解析研究所研究集会「オイラー方程式の数値: 渦運動と音波 150 年」, 2009.7.23, 京都大学大学院人間環境学研究所, 京都
28. Y. Fukumoto, M. Hirota, Y. Mie, "Lagrangian approach to weakly nonlinear interactions of waves on a rotating flow", International Symp. on Modern Perspectives of Fluid Mechanics, 2009.6.27, 名古屋大学 Business Laboratory, 名古屋

[その他]

ホームページ等

福本康秀

http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/academic_staffs/view/27

服部裕司

<http://eagle.ifs.tohoku.ac.jp/hattori.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福本 康秀 (FUKUMOTO YASUhide)
九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・教授
研究者番号: 30192727

(2) 研究分担者

()

(3) 連携研究者

服部 裕司 (HATTORI YUJI)
東北大学・流体科学研究所・教授
研究者番号: 70261469