

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630055

研究課題名(和文)ホモクリニック軌道を用いた亜臨界乱流遷移の理論的予測

研究課題名(英文)Theoretical prediction of subcritical transition to turbulence using homoclinic orbits

研究代表者

河原 源太(Kawahara, Genta)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：50214672

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)：円管流について、Avilaらが発見した流れ方向局在周期的edge stateを狙い撃ち法により再現した。また、平面ポアズイユ流については、ZammertとEckhardtが発見した流れ方向、スパン方向局在周期的edge stateを狙い撃ち法及びニュートン・クリロフ法により求めることに成功した。これらの空間局在edge stateの不安定多様体を計算することで乱流パフや乱流斑点の成長を通じた乱流遷移の過程を理論的に記述することに成功した。さらに、平面ポアズイユ流の乱流斜め縞に対応する周期的edge state及び矩形ダクト流の乱流パフ、乱流斑点に対応する平衡edge stateを発見した。

研究成果の概要(英文)：In pipe flow the streamwise-localized periodic edge state found by Avila et al. was reproduced by a shooting method. In plane Poiseuille flow the streamwise- and spanwise-localized periodic edge state found by Zammert and Eckhardt was recomputed by a shooting method as well as a Newton-Krylov method. We have succeeded in the theoretical description of a transition route to turbulence through the growth of a turbulent puff or a turbulent spot in terms of the unstable manifold of these spatially localized edge states. We have also discovered a periodic edge state representing a turbulent band in plane Poiseuille flow as well as a steady traveling-wave edge state corresponding to a turbulent puff or a turbulent spot in rectangular-duct flow.

研究分野：熱流体工学

キーワード：乱流 亜臨界乱流遷移

1. 研究開始当初の背景

乱流遷移現象の予測は、熱流体工学における最重要課題の1つである。流れの特性は乱流遷移を経ることにより著しく変化するため、遷移予測が機械工学や航空宇宙工学における熱流体関連機器の開発設計に不可欠となる。これまで、乱流遷移に関する研究が国内外を問わず数多くの研究者により精力的に進められており、乱流遷移を主要テーマとする国際会議や国際ワークショップが多数開催され、国内においても乱流遷移関連のオーガナイズド・セッションが頻繁に実施されている。従来の研究により、乱れが層流の線形不安定性から生じる超臨界乱流遷移に対しては、分岐理論による乱れの発生の理論的予測が可能となっている。しかし、層流が線形安定であるにも拘らず乱れが発生する亜臨界遷移では、有限振幅の非線形攪乱により遷移が起きるため、その予測は流体力学における難問とされてきた。

このような状況の中、研究代表者らは、亜臨界遷移を呈する平面クエット流に対して、非圧縮ナビエ・ストークス方程式の不安定周期解を発見した。また、この周期解の不安定多様体やその上のホモクリニック軌道を求めることに成功し、不安定多様体により乱流遷移を理論的に記述するとともに、ホモクリニック軌道に伴う馬蹄写像が遷移時の乱れを発生することを明らかにした。さらに、このホモクリニック軌道が発現し、乱れが発生するレイノルズ数を理論的に求めることに成功し、亜臨界乱流遷移レイノルズ数の理論的予測を実現した。しかし、以上の研究成果は寸法の小さい周期箱 (minimal flow unit) で得られたものであり、実際の遷移で見られる乱流パフや乱流斑点といった空間局在乱れの発生の予測は依然として困難な課題である。ごく最近、空間局在した渦構造を有する不安定周期解が円管流及び平面ポアズイユ流で発見されている。そこで、『これらの空間局在周期解の不安定多様体やホモクリニック軌道の発現によって乱れの発生を同定できれば、実際の流れの亜臨界乱流遷移レイノルズ数の理論的予測が可能になる』という全く新しい着想を得た。

2. 研究の目的

本研究の目的は、『不安定多様体やホモクリニック軌道を用いて、亜臨界乱流遷移における乱れの発生を同定し、乱流遷移レイノルズ数を理論的に予測する』ことである。具体的には、代表的な壁面剪断流である円管流及び平行平板間流 (平面クエット流、平面ポアズイユ流) 等に対して、

- (1) 空間局在した渦構造を有する不安定多様体を数値的に求める
- (2) 不安定多様体やホモクリニック軌道に沿って乱れ (カオス) の発生を同定する
- (3) ホモクリニック軌道の発現レイノルズ数により乱流遷移レイノルズ数を理論的に

予測する

の3点を研究の主眼とする。

3. 研究の方法

本研究では、円管流、平面クエット流、平面ポアズイユ流、矩形ダクト流の空間局在不安定解 (平衡解、周期解) を狙い撃ち法あるいはニュートン・クリロフ法により数値的に求める。特に、ただ1つの実不安定固有値をもつ edge state とよばれる不安定解を追求する。この種の不安定解は相空間において平衡解の場合には1次元、周期解の場合には2次元の不安定多様体をもち、その安定多様体は相空間における層流アトラクターと乱流アトラクター (あるいは乱流サドル) の吸引領域境界を構成する。したがって、edge state を同定することによって、乱流遷移に必要な臨界振幅に関する情報が得られる。さらに、臨界をわずかに超える振幅をもつ攪乱に対しては、時間経過とともに状態は edge state に過渡的に接近し、その後その不安定多様体に沿って乱流に至るため、edge state の不安定多様体を求めることにより、乱流遷移の過程が理論的に記述できることになる。また、不安定多様体上のホモクリニック軌道が得られれば、過渡的乱流発生の理論的予測も可能となる。

4. 研究成果

壁面剪断流に対してただ1つの実不安定固有値をもつ空間局在 edge state を求めた。円管流の空間局在 edge state については、Avila らが求めた周期的 edge state を狙い撃ち法により再現することに成功した。また、平面ポアズイユ流の空間局在 edge state については、Zammert と Eckhardt の行った数値計算を追試し、狙い撃ち法及びニュートン・クリロフ法により周期的 edge state を求めることに成功した。これらの空間局在 edge state の不安定固有ベクトルをアーノルド反復により計算し、不安定固有ベクトル上に初期データを与え、ナビエ・ストークス方程式の時間積分を直接数値シミュレーション実施することによって edge state の不安定多様体を計算し、それにより乱流遷移の過程を理論的に記述することに成功した。円管の空間局在 edge state は、管軸方向に局在した構造、すなわち乱流パフと同種の構造をもち、その不安定多様体は乱流パフの発達に伴う円管流の乱流遷移過程を忠実に再現することが明らかとなった。他方、平面ポアズイユ流の空間局在 edge state は、流れ方向とスパン方向の2方向に空間局在した構造、すなわち乱流斑点と同種の空間構造をもち、その不安定多様体は乱流斑点の成長に伴う平面ポアズイユ流の乱流遷移過程を忠実に再現することを突き止めた。

さらに、平面クエット流の空間局在 edge state については従来には発見されていないので、大規模な周期箱において独自の直接数

値シミュレーションを実施し、乱流遷移過程を詳しく調べたところ、平面クエット流の乱流遷移時に現れる乱流斜め縞構造を構成する基本要素としての2方向空間局在不変解の存在が示唆された。そこで、現在この空間局在不変解をニュートン・クリロフ法により数値的に求めると同時に、その線形安定性を調べ、この不変解がただ1つの実不安定固有値を持つ edge state か否かを調べているところである。一方、平面ポアズイユ流の空間局在周期解については、ナビエ・ストークス方程式に空間局所的に減衰力を付加することによって、低レイノルズ数域で観測される、壁面に平行な2方向に局在した乱流斜め縞構造を再現する周期解を求めることに成功した。減衰力付与の下ではあるが、この解は安定状態(上分枝解)を有し、それと層流状態とを分かつエッジ状態(下分枝解)が存在することが判明した。この解を減衰力ゼロ状態に接続できれば、空間2方向に局在した乱流斜め縞を表すホモクリニック軌道を計算することが可能となる。

矩形ダクト流については、ごく最近沖野氏によって発見された正方形ダクト流の流れ方向局在平衡 edge state の再現に同氏とともに取り組み、矩形ダクト流の流れ方向局在 edge state を求めることに成功した。ダクトのアスペクト比を1より大きくしながらこの解を追跡したところ、ダクト高さに比べスパン方向のダクト幅が大きくなるにつれ、流れ方向とスパン方向に局在した平衡 edge state が現れることを見出した。これらの正方形ダクト流の流れ方向局在 edge state 及び矩形ダクト流の流れ方向、スパン方向局在 edge state は、それぞれダクト流の乱流パフ及び乱流斑点に対応するため、これらの edge state の不安定多様体を計算することによって乱流遷移の理論的記述が達成できるとともに、それらのホモクリニック軌道を計算することにより、過渡的乱流の発生を理論的に予測することが可能となる。

また、円管流、平面クエット流、平面ポアズイユ流、矩形ダクト流の各層流状態に有限振幅攪乱を注入し、それらの非線形時間発展を直接数値シミュレーションにより調査し、乱流パフ(円管流、矩形ダクト流)あるいは乱流斑点や斜め縞(平面クエット流、平面ポアズイユ流、矩形ダクト流)の成長過程を明らかにした。さらに、矩形ダクト流の乱流遷移解明への実験的アプローチを実施した。アスペクト比が3, 5, 7の矩形ダクト流の層流状態に対して、壁面の小孔から壁面垂直方向に短時間噴流を注入することで有限振幅攪乱を与え、攪乱の成長過程及びそのアスペクト比依存性を粒子画像流速計によって観測した。その結果、アスペクト比3の矩形ダクトにおいては攪乱の非線形平衡状態として、有限値の範囲でのレイノルズ数において乱流パフ型の空間局在乱れが現れるのに対して、アスペクト比5, 7の場合には、アス

ペクト比に依存した唯一の値のレイノルズ数においてのみ攪乱の非線形平衡状態として、乱流斑点型の空間局在乱れが現れることが明らかとなった。

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 5 件)

- (1) Eiichi Sasaki, Genta Kawahara, Atsushi Sekimoto, Javier Jimenez, Unstable periodic orbits in plane Couette flow with the Smagorinsky model, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol. 708, 2016, 012003-1-8
DOI: 10.1088/1742-6596/708/1/012003
- (2) Keisuke Takeishi, Genta Kawahara, Hiroki Wakabayashia, Markus Uhlmann, Alfredo Pinelli, Localized turbulence structures in transitional rectangular-duct flow, *Journal of Fluid Mechanics*, 査読有, Vol. 782, 2015, 368-379
DOI: 10.1017/jfm.2015.546
- (3) Susumu Goto, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Turbulent mixing in a precessing sphere, *Physics of Fluids*, 査読有, Vol. 26, 2014, 115106-1-24
DOI: 10.1063/1.4901449
- (4) Tatsuya Yasuda, Susumu Goto, Genta Kawahara, Quasi-cyclic evolution of turbulence driven by a steady force in a periodic cube, *Fluid Dynamics Research*, 査読有, Vol. 46, 2014, 061413-1-12
DOI: 10.1088/0169-5983/46/6/061413
- (5) Masaki Shimizu, Paul Manneville, Johann Duguet, Genta Kawahara, Splitting of a turbulent puff in pipe flow, *Fluid Dynamics Research*, 査読有, Vol. 46, 2014, 061403-1-13
DOI: 10.1088/0169-5983/46/6/061403

[学会発表](計 57 件)

- (1) Genta Kawahara, Periodic solutions representing the origin of turbulent bands in channel flow, KITP Conference: Recurrence, Self-Organization, and the Dynamics of Turbulence (招待講演), 2017年1月9日~2017年1月13日, サンタバーバラ(アメリカ)
- (2) 福田拓生, 河原源太, 矩形ダクト流における局在乱構造の成長過程, 日本機械学会第94期流体力学部門講演会, 2016年11月12日~2016年11月13日, 山口大学(山口県・宇部市)
- (3) 森下誠, 清水雅樹, 河原源太, 高レイノルズ数乱流における正方形ダクト二次流

- れ,日本機械学会第94期流体工学部門講演会,2016年11月12日~2016年11月13日,山口大学(山口県・宇部市)
- (4) 清水雅樹,河原源太,機械学習を用いた平面クエット乱流における低次元力学系の構築,日本機械学会第94期流体工学部門講演会,2016年11月12日~2016年11月13日,山口大学(山口県・宇部市)
- (5) 金澤昂弘,清水雅樹,河原源太,チャンネル流における局在斜め乱構造の維持機構,日本機械学会第94期流体工学部門講演会,2016年11月12日~2016年11月13日,山口大学(山口県・宇部市)
- (6) 佐々木英一,河原源太,ヒメネスハビエル,LES平行平板間Couette流における不安定周期解の分岐構造,日本流体力学会年会2016,2016年9月26日~2016年9月28日,名古屋工業大学(愛知県・名古屋市)
- (7) 金澤昂弘,清水雅樹,河原源太,チャンネル流における局在乱れの平衡状態,日本流体力学会年会2016,2016年9月26日,2016年9月28日,名古屋工業大学(愛知県・名古屋市)
- (8) 金澤昂弘,清水雅樹,河原源太,チャンネル流における局在斜め乱流構造,日本物理学会2016年秋季大会,2016年9月13日~2016年9月16日,金沢大学(石川県・金沢市)
- (9) 清水雅樹,河原源太,円管流における過渡的乱流パフの発生過程,日本物理学会2016年秋季大会,2016年9月13日~2016年9月16日,金沢大学(石川県・金沢市)
- (10) 本木慎吾,河原源太,清水雅樹,変分原理を用いた強制対流熱伝達の最適化,日本機械学会2016年度年次大会,2016年9月12日~2016年9月14日,九州大学(福岡県・福岡市)
- (11) 渡邊大記,河原源太,清水雅樹,レイリー・ベナル・ポアズイコ乱流における熱・運動量輸送,日本機械学会2016年度年次大会,2016年9月12日~2016年9月14日,九州大学(福岡県・福岡市)
- (12) Shingo Motoki, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Optimization of forced convection heat transfer by using a variational method, 11th European Fluid Mechanics Conference, 2016年9月12日~2016年9月16日,セビリア(スペイン)
- (13) Shingo Motoki, Genta Kawahara, Masaki Shimizu, Optimization of heat transfer enhancement in wall-bounded shear flow, RIMS Camp-Style Seminar: Dynamics of wall-bounded shear flows, 2016年8月31日~2016年9月2日,関西セミナーハウス(京都府・京都市)
- (14) Takahiro Kanazawa, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Domain size dependence of the lifetime and the transition in plane channel flow, RIMS Camp-Style Seminar: Dynamics of wall-bounded shear flows, 2016年8月31日~2016年9月2日,関西セミナーハウス(京都府・京都市)
- (15) Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Naoto Onishi, Bifurcation to a transient turbulent puff in pipe flow, RIMS Camp-Style Seminar: Dynamics of wall-bounded shear flows, 2016年8月31日~2016年9月2日,関西セミナーハウス(京都府・京都市)
- (16) Eiichi Sasaki, Genta Kawahara, Javier Jimenez, Unstable periodic orbits in LES plane Couette flow, RIMS Camp-Style Seminar: Dynamics of wall-bounded shear flows, 2016年8月31日~2016年9月2日,関西セミナーハウス(京都府・京都市)
- (17) Takahiro Kanazawa, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Exponential increase of the lifetime with the number of coherent structures, 24th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, 2016年8月21日~2016年8月26日,モントリオール(カナダ)
- (18) Shingo Motoki, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Optimization of heat transfer in plane Couette flow, 5th International Conference of Continuous Optimization(招待講演),2016年8月6日~2016年8月11日,政策研究大学院大学(東京都・港区)
- (19) 河原源太,貫通壁を有するチャンネル乱流における熱運動量輸送の非相似性,日本伝熱学会関西支部第23期第2回講演討論会(招待講演),2016年8月1日,大阪市立大学(大阪府・大阪市)
- (20) 河原源太,長谷川久晃,ウルマン マルクス,加藤健司,多孔質チャンネル乱流の構造と非相似的熱・運動量輸送,RIMS研究集会 高レイノルズ数の流れを記述するモデルの数値,2016年7月13日~2016年7月15日,京都大学(京都府・京都市)
- (21) Shingo Motoki, Genta Kawahara, Masaki Shimizu, Optimal heat transfer enhancement in wall-bounded shear flow, International Workshop on Theoretical Aspects of Near-Wall Turbulence Studies(招待講演),2016年6月28日~2016年6月30日,関西セミナーハウス(京都府・京都市)
- (22) Eiichi Sasaki, Genta Kawahara, Javier Jimenez, Bifurcation of unstable periodic orbits in plane Couette flow with the Smagorinsky model, International Workshop on Theoretical Aspects of Near-Wall Turbulence

- Studies (招待講演), 2016年6月28日~2016年6月30日, 関西セミナーハウス(京都府・京都市)
- (23) Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Dimension reduction method by machine learning for turbulent plane Couette flow, International Workshop on Theoretical Aspects of Near-Wall Turbulence Studies (招待講演), 2016年6月28日~2016年6月30日, 関西セミナーハウス(京都府・京都市)
- (24) Daiki Watanabe, Genta Kawahara, Masaki Shimizu, An unprecedented turbulent state in plane Couette flow International Symposium on Near-Wall Flows: Transition and Turbulence, 2016年6月20日~2016年6月22日, 京都大学(京都府・京都市)
- (25) Shingo Motoki, Genta Kawahara, Masaki Shimizu, Upper bound for heat transfer in plane Couette flow, International Symposium on Near-Wall Flows: Transition and Turbulence, 2016年6月20日~2016年6月22日, 京都大学(京都府・京都市)
- (26) Takahiro Kanazawa, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Strong dependence of the lifetime with the domain size in plane channel flow, International Symposium on Near-Wall Flows: Transition and Turbulence, 2016年6月20日~2016年6月22日, 京都大学(京都府・京都市)
- (27) Kentaro Cho, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Onset of chaotic reversals in thermal convection, International Symposium on Near-Wall Flows: Transition and Turbulence, 2016年6月20日~2016年6月22日, 京都大学(京都府・京都市)
- (28) Genta Kawahara, An attempt at theoretical identification of the onset of transient turbulence in wall-bounded shear flows, IST Seminar (招待講演), 2016年5月30日~2016年5月30日, ウィーン(オーストリア)
- (29) 本木慎吾, 清水雅樹, 河原源太, 平行平板間クエット流れにおける最適熱輸送 第53回日本伝熱シンポジウム, 2016年5月24日~2016年5月26日, グランキューブ大阪(大阪府・大阪市)
- (30) 河原源太, 長谷川久晃, ウルマン マルクス, 加藤健司, 多孔質チャンネル乱流における非相似的な熱運動量輸送, 第53回日本伝熱シンポジウム, 2016年5月24日~2016年5月26日, グランキューブ大阪(大阪府・大阪市)
- (31) Genta Kawahara, Daiki Watanabe, Masaki Shimizu, Onset of thermal convection in wall-bounded turbulent shear flows, 第58回乱流遷移の解明と制御研究会, 2016年3月21日~2016年3月22日, 首都大学東京(東京)
- (32) 佐々木英一, 河原源太, Smagorinsky モデルにおける平面 Couette 流の分岐, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月19日~2016年3月22日, 東北学院大学(宮城)
- (33) 清水雅樹, 河原源太, 機械学習を用いた乱流計算の低次元化方法, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月19日~2016年3月22日, 東北学院大学(宮城)
- (34) Genta Kawahara, Optimal heat transfer enhancement in plane Couette flow, Extreme events and criticality in fluid mechanics: computations and analysis (招待講演), 2016年1月25日~2015年1月29日, University of Toronto(カナダ)
- (35) Eiichi Sasaki, Genta Kawahara, Bifurcation structure of plane Couette flow with the Smagorinsky model, Extreme events and criticality in fluid mechanics: computations and analysis (招待講演), 2016年1月25日~2015年1月29日, University of Toronto(カナダ)
- (36) 清水雅樹, 河原源太, 乱流における低次元力学系の構築, 第29回数値流体力学シンポジウム, 2015年12月15日~2015年12月17日, 九州大学(福岡)
- (37) 森下誠, 河原源太, 清水雅樹, 正方形ダクト流れの数値計算法と乱流二次流れ, 第29回数値流体力学シンポジウム, 2015年12月15日~2015年12月17日, 九州大学(福岡)
- (38) 甲藤雄大, 武石恵介, 福田拓生, 後藤 晋, 河原源太, 矩形ダクト流における過渡的乱れの寿命, 日本機械学会第93期流体工学部門講演会, 2015年11月7日~2015年11月8日, 東京理科大学(東京)
- (39) 金澤昂弘, 清水雅樹, 河原源太, チャネル流における局在乱れの寿命の構造依存性, 日本機械学会第93期流体工学部門講演会, 2015年11月7日~2015年11月8日, 東京理科大学(東京)
- (40) Shingo Motoki, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Optimal heat transfer in plane Couette flow, 8th International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer, 2015年9月15日~2015年9月18日, Officer's Hall, Sarajevo(ボスニア・ヘルツェゴビナ)
- (41) Genta Kawahara, Dynamical systems approach to subcritical transition to turbulence in plane Couette flow, J. Jimenez's 70th Birthday Conference on Turbulence and Supercomputing (招待講演), 2015年9月3日~2015年9月4日, Parador de Turismo de Salamanca

(スペイン)

- (42) Masaki Shimizu, Kentaro Cho, Genta Kawahara, Onset of reversal and chaos in thermally driven cavity flow, 15th European Turbulence Conference, 2015年8月25日~2015年8月28日, Delft University of Technology (オランダ)
- (43) Masaki Shimizu, Kentaro Cho, Genta Kawahara, Homoclinic explosion and chaotic reversals in thermally driven cavity flow, Workshop on New Trends in Patterns and Waves (招待講演), 2015年8月17日~2015年8月18日, 北海道大学(北海道)
- (44) Takahiro Kanazawa, Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Subcritical transition to turbulence in plane channel flow, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2015, 2015年7月26日~2015年7月31日, COEX (韓国)
- (45) Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Julius Rhoan Lestro, Lennaert van Veen, Structure of invariant set in Couette flow at low Reynolds number, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2015, 2015年7月26日~2015年7月31日, COEX (韓国)
- (46) Genta Kawahara, The onset of transient turbulence in wall-bounded shear flow, International Symposium on Engineering Science (招待講演), 2015年5月19日~2015年5月20日, シンガポール国立大学(シンガポール)
- (47) 河原源太, 亜臨界乱流遷移現象への力学系アプローチ, 第56回乱流遷移の解明と制御研究会, 2015年3月27日~2015年3月28日, 電気通信大学(東京都)
- (48) Genta Kawahara, The onset of thermal convection in plane Couette turbulence, France-Japan Workshop on Subcritical Transition to Turbulence, 2015年3月2日~2015年3月3日, ESPCI (フランス)
- (49) 河原源太, 乱流現象への力学系アプローチ, 研究集会「非線形現象の数理」-流体力学・地球流体力学・気象学・ウェブレット解析・力学系-(招待講演), 2014年12月26日~2014年12月27日, 休暇村紀州加太(和歌山県)
- (50) ファンフェーン レナート, 安田達哉, 後藤晋, 河原源太, 周期箱乱流の Large Eddy Simulation における不安定周期軌道 第28回数値流体力学シンポジウム, 2014年12月9日~2014年12月11日, タワーホール船堀(東京都)
- (51) Genta Kawahara, Localized turbulence structure in transitional rectangular-duct flow, France-Japan

Workshop on Subcritical Transition to Turbulence, 2014年11月11日~2014年11月12日, 大阪大学(大阪府)

- (52) 金澤昂弘, 清水雅樹, 河原源太, チャネル流における乱流遷移過程, 日本機械学会第92期流体力学部門講演会, 2014年10月25日~2014年10月26日, 富山大学(富山県)
- (53) 安田達哉, 河原源太, ファンフェーン レナート, 木田重雄, 高対称乱流における自己維持サイクル, 日本流体力学会年会2014, 2014年9月15日~2014年9月17日, 東北大学(宮城県)
- (54) 清水雅樹, 河原源太, ミニマム平面クエット流における乱流発生過程, 日本流体力学会年会2014, 2014年9月15日~2014年9月17日, 東北大学(宮城県)
- (55) Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Route to chaos in minimal plane Couette flow, 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics, 2014年7月20日~2014年7月25日, Palace of Congresses of Catalonia (スペイン)
- (56) Genta Kawahara, Julius R. Lestro, Lennaert van Veen, Masaki Shimizu, Homoclinic orbits and their relevance to the onset of transient turbulence in wall flow, 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics (招待講演), 2014年7月20日~2014年7月25日, Palace of Congresses of Catalonia (スペイン)
- (57) Masaki Shimizu, Genta Kawahara, Route to chaos in minimal plane Couette flow, Euromech Colloquium on Subcritical Transition to Turbulence (招待講演), 2014年5月6日~2014年5月9日, IESG Cargse (フランス)

〔図書〕(計2件)

- (1) 河原源太, サイエンス社 数理科学, 2015, 84頁(担当頁14-19)
- (2) 河原源太, 朝倉書店, 事例で学ぶ数学活用法, 2015, 291頁(担当頁55-64)

〔その他〕

ホームページ等
<https://sites.google.com/site/wwwkawaharalab/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
河原 源太 (KAWAHARA Genta)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号: 50214672
- (2) 研究分担者
清水 雅樹 (SHIMIZU Masaki)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号: 20550304