

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540408

研究課題名(和文)時空カオスの一般化 Langevin 記述についての実験研究

研究課題名(英文) Experimental Study on Generalized Langevin Description of Spatiotemporal Chaos

研究代表者

日高 芳樹 (Hidaka, Yoshiki)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70274511

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：局所的な秩序と大局的な無秩序の共存する弱い乱流(時空カオス)による輸送現象や揺動散逸関係を議論する目的で、液晶電気対流において実験的に観測される時空カオスを対象として研究をおこなった。揺らぎを特徴づける理論である一般化 Langevin 方程式によって時空カオスの揺らぎを記述するために、データ解析によって摩擦係数を一般化した記憶関数を得た。一方、時空カオス状態に外力を加え、その応答から時空カオスの誘起する摩擦についての情報を得た。これらの結果から、時空カオスの揺らぎが秩序と無秩序の共存を反映した階層的な輸送現象を示すことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Spatiotemporal chaos is characterized by the coexistence of local order and global disorder. Experimental researches on spatiotemporal chaos appearing in electroconvection of a nematic liquid crystal have been done in order to discuss transport phenomena and fluctuation-dissipation relation in fluctuations due to the spatiotemporal chaos. Memory functions which are generalized friction coefficients were obtained by data analysis techniques in order to describe the fluctuations by generalized Langevin equation which is a theory for properties of fluctuations. Moreover, information for chaos-induced friction was obtained by responses of spatiotemporal chaos to external forces. From these results, it was clarified that fluctuations of spatiotemporal chaos show hierarchical transport phenomena which reflect the coexistence of local order and global disorder.

研究分野：非線形物理学

キーワード：時空カオス 一般化 Langevin 方程式 液晶電気対流 ソフトモード乱流 欠陥乱流 相関関数 記憶関数 揺動散逸関係

1. 研究開始当初の背景

下から熱した流体系においてロール状対流が周期的にならんだ秩序構造は、非平衡開放系の散逸構造の代表例である。上下の温度差は系に注入するエネルギーに比例し、この系の制御パラメータである。その温度差を上げていくと、あるところで秩序構造が不安定化して揺らぎ始める。この状態では局所的にはロール構造が残っており、揺らぎの相関距離が秩序サイズより長く、相関距離が秩序サイズより十分に短い「発達乱流」と区別され、「時空カオス」とよばれる。時空カオスは、偏微分方程式や結合写像系のような非線形動力学モデルにおいても生じるため、実験研究も主に動力的な観点からおこなわれてきた。

発達乱流や時空カオスを揺らぎと見なすと、熱揺らぎと同様に輸送現象において中心的役割を果たす。このような輸送現象の物理的理解には、動力的な観点からではなく、統計力学的観点からの研究が必要になる。発達乱流は十分な乱れによって統計的な見方が可能であり、乱流の統計理論や乱流粘性といった概念が確立されているが、時空カオスの場合、スケールの違いによって秩序と無秩序が共存しているため、統計力学的観点からの研究はあまりおこなわれていない。また、多様性によって一般的議論が困難であり、それぞれの時空カオスに対して対症的にしか研究がおこなわれてこなかった。

一方、対流は、液晶にしきい値以上の電圧を印加することによっても生じる。この液晶電気対流では、液晶の分子配向場と流れ場との間の相互作用によって、多彩な非線形現象を示す。また、熱対流と比べて応答の時間スケールが短く、制御パラメータが電圧なので扱い易く、散逸構造(パターン)の可視化も容易なため、機動性の高い実験研究が可能である。とくに、この液晶電気対流を用いて、「欠陥乱流」「ソフトモード乱流」「時空間欠性」などの時空カオスの研究がおこなわれてきた。当初は非線形動力学モデルと同様に、可視化されたパターンを空間と時間の関数として観測する手法(流体力学に倣ってオイラー的観点とよぶ)によって、分岐現象や安定性など非線形動力学観点からの研究をおこなってきた。一方で、輸送現象への関心から、時空カオス中に混入した微粒子の運動を観測し(ラグランジュ的観点とよぶ)、ブラウン運動とのアナロジーから統計力学的性質を探る研究もおこなわれてきた。

時空カオスの構造と輸送現象の関連についてソフトモード乱流の例を述べる。図1(a)はソフトモード乱流のパターンであるが、局所的なロール(白線で表される)の向きを濃淡によって表すと(b)のようなパッチ構造が現れる。このパッチの平均サイズが上で述べた揺らぎの相関距離になる。つまりこれは、パッチ内の秩序構造と系全体の無秩序構造が

階層的に共存していることを示している。このソフトモード乱流中の微粒子の運動を、拡散係数の粗視化時間依存性を導入して解析した結果、粗視化時間によって拡散現象の統計性が変化することがわかった。つまり、パッチ間の拡散に相当する粗い時間では熱揺らぎによるブラウン運動と質的に同じ通常拡散を示すが、パッチ内の拡散に相当する細かい時間では統計性の異なる異常拡散が見られた。このことは、時空カオスの輸送現象が、単純なスケーリング則では表されず、構

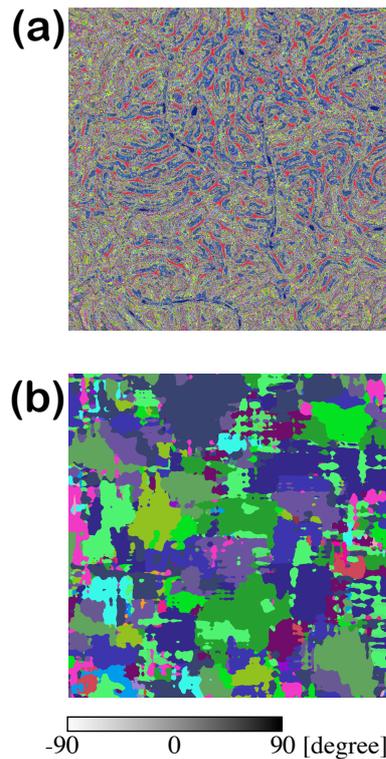


図1

造と揺らぎの質的な違いをともなう階層性を有することを示唆している。

このような時空カオスによる輸送現象をより一般的に理解するためには、統一的なスキームが必要である。ブラウン運動を摩擦項と熱揺動力を含む運動方程式(確率微分方程式)として記述する Langevin(ランジュバン)方程式は一般化され、輸送現象に対する統計力学における一般スキームとなっている。時空カオスの理論研究では、動力学方程式のみが与えられている場合でも、射影演算子法によって一般化ランジュバン方程式を導出することが可能である。熱平衡近傍で確立されたこのスキームを時空カオスの動力学モデルに応用する試みも、近年になって森、岡村[日本物理学会誌 63, 761 (2008)]らによっておこなわれ、粗視化時間によって統計性が質的に変化する二重構造が見られるなど、時空カオス特有の性質が明らかにされている。

2. 研究の目的

以上を背景として本研究では、時空カオス

の揺らぎによる輸送現象や揺動散逸関係を議論する目的で、液晶電気対流において実験的に観測される時空カオスの揺らぎを一般化ランジュバン方程式によって記述する手法を確立することを目指した。理論研究と異なり定式化された動力学方程式がないため、実験データの解析手法が求められる。

一方、液晶電気対流では、実験技術によって系にさまざまな外力を加えることが可能であり、散逸構造の外力応答の観測をおこなう。

最終的には、オイラー的観点の結果とラグランジュ的観点から得られた一般化ランジュバン方程式、外力応答の結果を総合し、秩序と無秩序が階層的に共存する時空カオスの揺らぎが、どのような輸送現象を示すかを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

研究目的で述べたように液晶電気対流ではさまざまな時空カオスが発生するが、液晶配向によって制御できる系の対称性によって大きく二つに分けられる。

連続回転対称性が強制的に破られているプレーナー配向系では、制御パラメータの増加に伴って、最初の分岐点で現れた秩序構造（ストライプ・パターン）が第二の分岐点で不安定化して「欠陥乱流(図 2)」とよばれる時空カオスが生じる。これは、ストライプ・パターンが液晶配向と対流の相互作用によって揺らぎ、それに伴って欠陥の対生成・運動・対消滅が生じる現象である。この場合の揺らぎの相関距離は欠陥間の平均距離で表され、対流ロールのサイズより充分に大きいため時空カオスである。

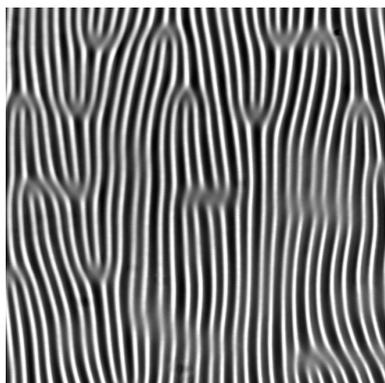


図2

一方、ホメオトロピック配向系では、連続回転対称性が自発的に破れることによって生じた南部・ゴールドストーン・モードが対流と相互作用することによって、上述のソフトモード乱流が生じる。ソフトモード乱流の分岐点は対流発生点と一致し、またその相関時間や相関距離が対流発生点で発散するので、制御パラメータを対流発生点に近づければ、特に弱い揺らぎを実現できる。また他の時空カオスに比べて特異性や異方性、間欠性が小

さい。そのような性質からソフトモード乱流は、時空カオスの基礎的性質を知るのに適しており、本研究で目指す手法の確立に取り組むのにも最適な時空カオスである。

図 1 と図 2 からわかるように、欠陥乱流とソフトモード乱流の様相は大きく異なるが、同じ液晶に対してほぼ同じ電圧を印加することによって生じるため、時空カオスの性質に系の対称性がどのように影響するかを調べるができる。

(1) オイラー的観点からの研究

① 空間フーリエ・モードの時間変化

ランジュバン方程式は流体中の微粒子の運動すなわちブラウン運動を記述する方程式であったが、流体そのものの揺らぎも記述することができる。ただしその場合は、空間フーリエ・モードに分解した各モードが変数となる。時空カオスをオイラー的観点で観測する場合も同じ手法で観測する。つまり、図 1 のように可視化された時空カオスのパターンを、画像データとして一定時間間隔でサンプリングし、各画像の空間的フーリエ変換を計算した。その結果、空間フーリエ・モードの時間変化が得られるが、ランジュバン方程式の摩擦項を記憶関数を含む積分項に置き換えた一般化ランジュバン方程式は、変数の時間相関関数の時間微分方程式の形に変形される。したがって本研究でも、空間フーリエ・モードの時間相関関数を求め、その結果から記憶関数を求めることを試みた。

② ソフトモード乱流のパターン秩序度

以前の研究で、局所的なロールの向きをスピンと見なすことにより、2 次元 XY モデルの磁化を参考にして「パターン秩序度」を定義した。パターン秩序度は、ソフトモード乱流のように対流ロールの向きが完全に等方的な場合には 0、ロールの向きが完全にそろったストライプ・パターンでは 1 となるように定義されている。

液晶は磁場の方向にそろおうとする性質があるので、南部・ゴールドストーン・モードの寄与を系に磁場を印加することによって制御することができる。そのため、磁場を印加することによってパターン秩序度が増加する。したがって、磁場に対するパターン秩序度の関係を時空カオスの外力応答とみなすことができる。

(2) ラグランジュ的観点からの研究

微粒子をソフトモード乱流に混入してその位置を観測し、ブラウン運動とのアナロジーからその拡散の性質を明らかにする。この「非熱的ブラウン運動」の観測によって、媒質である散逸構造の時空揺らぎが輸送現象にどのように反映されているかを調べる。

① 外力下の非熱的ブラウン運動

液晶電気対流対流は、熱対流とは違って重力が関与しないので、サンプルを立てることにより、対流に影響がない状態で微粒子にのみ重力がかかるようにすることができる。この重力は微粒子に対する一定外力となる。こ

の外力の応答からも、揺動散逸関係について知見が得られる。

② 中程度の乱流における拡散

以前の研究によって、これまでに時空カオスによる非熱的ブラウン運動の観測によって拡散現象の性質を明らかにしてきた。一方、発達乱流の拡散現象については過去に多くの研究がおこなわれてきた。時空カオスと発達乱流の間で拡散現象がどのように遷移するかを明らかにする。

4. 研究成果

(1) 空間フーリエ・モードの一般化ランジュバン記述

① ソフトモード乱流

研究の方法で述べたように、ソフトモード乱流の空間パターンをフーリエ・モードの時間変化から時間相関関数を得た。時間相関関数は、ブラウン運動であれば指数関数によって減衰するが、ソフトモード乱流の場合、長時間領域では指数減衰を示し、短時間領域では代数型減衰を示すことが明らかとなった。指数減衰は確率的な運動を表しており、代数型減衰は時間反転対称なため力学的な運動を表している。

ブラウン運動の場合は、媒質分子との衝突が見える程度のミクロな視点で見るとブラウン粒子は規則的（直線的）運動をおこなっているが、このような力学的な運動をおこなう時間領域は非常に短いため、通常は衝突が何度も起こった後の確率的運動の時間領域しか観測できない。ソフトモード乱流の場合は、この力学的運動領域が観測可能なほど長いと解釈できる。ソフトモード乱流の相関関数がこのような二重構造をもつのは、ソフトモード乱流が局所的な秩序と大局的な無秩序の共存を反映しているためと考えられる。

さらに、空間フーリエ・モードの一般化ランジュバン方程式から時間相関関数の決定論的時間発展方程式を理論的に求め、時間相関関数の実験データから記憶関数を得ることに成功した。

記憶関数は摩擦係数を一般化したもので、有限の値をもつ記憶関数が得られたことは、摩擦力に過去の記憶が含まれていることを示している。本研究では空間フーリエ・モードの記憶関数を得ているため、対流構造のサイズと記憶の関係が明らかになる。実験結果から、記憶がソフトモード乱流特有の長波長パッチ構造（対流ロールの向きがほぼそろっている領域）に由来していることを明らかにした。

② 欠陥乱流

欠陥乱流に対してもソフトモード乱流と同様に、空間フーリエ・モードの時間相関関数を得た。しかしソフトモード乱流と異なり、欠陥乱流を生じる対流と液晶配向の相互作用による振動不安定性を反映した振動成分が相関関数に含まれることがわかった。この振動不安定性は、プレーナー系では連続回転

対称性の破れが強制的に起こっていることを反映していると考えられる。

相関関数に振動成分が含まれているので、欠陥乱流の一般化ランジュバン方程式はソフトモード乱流に対するもの異なることがわかった。そこで、振動成分が含まれる場合の一般化ランジュバン方程式を新たに規定し、それに基づいて記憶関数を得た。

(2) ソフトモード乱流のパターン秩序度

ソフトモード乱流の秩序度の磁場応答はこれまで直流磁場でおこなってきたが、交流磁場に拡張して研究をおこなった。交流磁場に対するパターン秩序度の応答から複素パターン感受率を得た。

比較の対象として配向分極を考える。双極子モーメントをもつ分子からなる物質に交流電場を印加すると、双極子モーメントが電場方向に向くのに伴って分子が回転する。この回転によって系の分極が変化するが、その応答は複素誘電率によって表される。このとき分子間の摩擦によってエネルギー散逸が起こるが、この散逸は誘電率の虚部に現れる。このような配向分極の応答では、複素誘電率の交流電場の周波数依存性がデバイ型緩和スペクトルを示し、複素誘電率の虚部のピークから摩擦による緩和時間が得られる。

ソフトモード乱流では、交流周波数が低いときはパターン感受率の周波数依存性はデバイ型緩和スペクトルを示した。得られた緩和時間は液晶分子の摩擦から得られるものとは大きく異なっていた。これは、ソフトモード乱流を起こす対流と液晶配向の相互作用が、磁場に対する実効的摩擦力（カオス誘起摩擦）としてはたらくことを示している。

交流周波数が高くなると、磁場による秩序化と系本来の無秩序化の間を間欠的に遷移し、秩序度が大きく揺らぐことが明らかとなった。このときパターン感受率はデバイ型緩和から外れることもわかった。

(3) ラグランジュ的観点からの研究

① 外力下の非熱的ブラウン運動

ブラウン運動では、ブラウン粒子が媒質分子の熱揺らぎから受ける衝突が、あるときは駆動力として、あるときは摩擦力としてはたらく。このように拡散の駆動力と摩擦力は起源が同じなので、拡散係数と摩擦係数の間にはアインシュタインの関係が成り立つ。この粒子に外力を加えて動かすと、定常速度から摩擦係数が得られる。

一方、時空カオスによって拡散する粒子も、時空カオスの不規則な流れが、あるときは駆動力として、あるときは実効的な摩擦力としてはたらく。そこで粒子に重力による外力を加えることによって実効的摩擦係数を得ることを試みた。その結果、重力の大きさによって実効的摩擦係数の大きさが変化することがわかった。この揺動散逸関係の破れとも言うべき現象について、現象論的なランジュバン記述によって考察をおこなった。

この実効的摩擦係数の変化は、外力によっ

て動かされる微粒子は流れからのずれを伴うので、時空カオスの揺らぎのみならず、熱揺らぎ由来の粘性も寄与するために生じると考えられる。時空カオス状態にある系の中で物体を動かす場合などは、このような複合的な寄与のある輸送現象に対する知見が必要となる。

② 中程度の乱流における拡散

時空カオス(弱い乱流)と発達乱流の間の中程度の乱流による拡散現象を調べた結果、ある粗視化時間領域で、過冷却液体などで見られる「Sub-diffusion」が現れることがわかった。また、そのときの乱流パターン空間フリーエ・モードの時間相関関数から、Sub-diffusion を示す粗視化時間に相当する空間サイズに緩和時間の長いモードがあることがわかった。

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 9 件)

1. “Functional Roles of Noise in Nonlinear Nonequilibrium Systems” (査読無, 解説)
Yoshiki Hidaka
JPSJ News and Comments, Vol. 11, pp. 10-1-2 (2014)
DOI: 10.7566/JPSJNC.11.10
2. “Chaos and Spatiotemporal Chaos in Convective Systems” (査読有)
Yoshiki Hidaka and Noriko Oikawa
FORMA, Vol. 29, pp. 29-32 (2014)
DOI: 10.5047/forma.2014.005
3. “Colloidal caterpillars for cargo transportation” (査読有)
Yuji Sasaki, Yoshinori Takikawa, V. S. R. Jampani, Hikaru Hoshikawa, Takafumi Seto, Christian Bahr, Stephan Herminghaus, Yoshiki Hidaka and Hiroshi Orihara
Soft Matter, Vol. 10, pp. 8813-8820 (2013)
DOI: 10.1039/C4SM01354A
4. “Duality of diffusion dynamics in particle motion in soft-mode turbulence” (査読有)
Masaru Suzuki, Hiroshi Sueto, Yusaku Hosokawa, Naoyuki Muramoto, Takayuki Narumi, Yoshiki Hidaka, Shoichi Kai
Physical Review E, Vol. 88, pp. 042147-1-7 (2013)
DOI: 10.1103/PhysRevE.88.042147
5. “Compressed exponential relaxation as superposition of dual structure in pattern dynamics of nematic liquid crystals” (査読有)
Takayuki Narumi, Fahrudin Nugroho, Junichi Yoshitani, Yoshiki Hidaka, Masaru Suzuki, Shoichi Kai
AIP Conference Proceedings, Vol. 1518, pp.

403-410 (2013)

DOI: 10.1063/1.4794604

6. “Dynamical Behavior of Prewavy Pattern near Nematic–Isotropic Transition” (査読有)

Yusril Yusuf, Yoshiki Hidaka, Shoichi Kai
Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 82, pp. 044601-1-3 (2013)

DOI: 10.7566/JPSJ.82.044601

7. “Memory function of turbulent fluctuations in soft-mode turbulence” (査読有)

Takayuki Narumi, Junichi Yoshitani, Masaru Suzuki, Yoshiki Hidaka, Fahrudin Nugroho, Tomoyuki Nagaya, Shoichi Kai
Physical Review E, Vol. 87, pp. 012505-1-8 (2013)

DOI: 10.1103/PhysRevE.87.012505

8. “Dynamic Scaling in the Growth of a Non-Branching Plant, *Cardiocrinum cordatum*” (査読有)

Kohei Koyama, Yoshiki Hidaka, Masayuki Ushio

PLOS ONE, Vol. 7, pp. e45317-1-5 (2012)

DOI: 10.1371/journal.pone.0045317

9. 「液晶対流系におけるカオスと同期現象」 (査読無, 解説)

日高芳樹

Journal of Plasma and Fusion Research (プラズマ・核融合学会誌), 88 巻, pp. 363-367 (2012)

URL:

http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2012_07/jspf2012_07-363.pdf

[学会発表] (計 18 件)

1. 「液晶電気対流を用いた乱流の非熱的拡散の研究」
前田和也, 日高芳樹, 鳴海孝之, 岡部弘高, 原一広
第 120 回 日本物理学会九州支部例会, 2014 年 12 月 6 日, 崇城大学 (熊本県熊本市)
2. 「液晶対流を用いた乱流の輸送現象についての実験研究」
日高芳樹, 前田和也, 永岡賢一, 吉村信次, 寺坂健一郎, 岡部弘高, 原一広
第 78 回 形の科学シンポジウム, 2014 年 11 月 22 日, 佐賀大学 鍋島キャンパス (佐賀県佐賀市)
3. 「液晶散逸構造のマクロ揺動の磁場応答とモデル化」
日高芳樹, 飯野美里, 黒田敬穂, ヌグロホ・ファルディン, 岡部弘高, 原一広
第 63 回 高分子討論会, 2014 年 9 月 25 日, 長崎大学 文教キャンパス (長崎県長崎市)
4. 「2 スピンのフラストレーションによる時空カオスモデル」
黒田敬穂, 鈴木将, 日高芳樹, 岡部弘高, 原一広
日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9

月 9 日, 中部大学 春日井キャンパス (愛知県春日井市)

5. 「液晶散逸構造の周期外力応答」
飯野美里, Fahrudin Nugrohi, 日高芳樹,
岡部弘高, 原一広
日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9 月 9 日, 中部大学 春日井キャンパス (愛知県春日井市)

6. “Nonlinear Fluctuations in Electroconvection of Homeotropic Nematics under Oscillating Magnetic Fields”
Misato Iino, Fahrudin Nugroho, Yoshiki Hidaka, Hirotaka Okabe, Kazuhiro Hara
International Union of Materials Research Societies- The IUMRS International Conference in Asia 2014 (IUMRS-ICA 2014), 2014 年 8 月 25 日, 福岡大学 (福岡県福岡市)

7. 「液晶電気対流系で見られる非線形現象の外場応答」
飯野美里, Fahrudin Nugroho, 日高芳樹, 原一広
非線形反応と協同現象研究会若手研究会, 2014 年 6 月 21 日, 広島大学 (広島県東広島市)

8. 「2 スピンの相互作用による時空カオスの動力学モデル」
黒田敬徳, 鈴木将, 日高芳樹, 原一広
非線形反応と協同現象研究会若手研究会, 2014 年 6 月 21 日, 広島大学 (広島県東広島市)

9. 「2 つの 2 次元 XY 場によるソフトモード乱流の動力学モデル」
黒田敬徳, 日高芳樹, 鈴木将, 岡部弘高, 原一広
第 119 回 日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学 (福岡県久留米市)

10. 「時空カオスによる外力下の非熱的拡散」
恵島健, 日高芳樹, 鈴木将, 岡部弘高, 原一広
第 119 回 日本物理学会九州支部例会, 2013 年 11 月 30 日, 久留米工業大学 (福岡県久留米市)

11. 「回転系における乱流輸送の基礎実験」
永岡賢一, 吉村信次, 寺坂健一郎, 日高芳樹, 横井喜充, 政田洋平, 三浦英昭, 常田佐久, 久保雅仁, 石川遼子
日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 27 日, 徳島大学 常三島キャンパス (徳島県徳島市)

12. 「液晶電気対流における欠陥乱流の時空揺動 II」
三上洋輔, 鳴海孝之, 鈴木将, 長屋智之, 日高芳樹, 原一広
日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 26 日, 徳島大学 常三島キャンパス (徳島県徳島市)

13. 「回転場における乱流輸送の実験研究」

永岡賢一, 吉村信次, 寺坂健一郎, 日高芳樹, 横井喜充, 政田洋平, 三浦英昭, 常田佐久, 久保雅仁, 石川遼子
日本物理学会 2013 年秋季大会, 2013 年 9 月 26 日, 徳島大学 常三島キャンパス (徳島県徳島市)

14. 「液晶電気対流における欠陥乱流の時空揺動」
三上洋輔, 日高芳樹, 吉谷淳一, 鈴木将, 鳴海孝之, 長屋智之, 甲斐昌一
日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 19 日, 横浜国立大学 常盤台キャンパス (神奈川県横浜市)

15. 「液晶散逸構造の秩序度と磁場応答」
飯野美里, Fahrudin Nugroho, 日高芳樹, 原一広
2013 年 日本液晶学会討論会, 2013 年 9 月 10 日, 大阪大学 豊中キャンパス (大阪府豊中市)

16. “Order-Disorder Transition and Line Structures in Soft-Mode Turbulence”
Yoshiki Hidaka, Rinto Anugraha, Shoichi Kai
24th International Liquid Crystal Conference, 2012 年 8 月 22 日, マイイツ (ドイツ)

17. “Transient Process in Soft-Mode Turbulence Controlling the Nambu-Goldstone Modes”
Fahrudin Nugroho, Yoshiki Hidaka, Tatsuhiko Ueki, Shoichi Kai
24th International Liquid Crystal Conference, 2012 年 8 月 21 日, マイイツ (ドイツ)

18. “Correlation Functions in Homeotropic Nematics: Non-Exponential Relaxation of Soft-Mode Turbulence”
Takayuki Narumi, Junichi Yoshitani, Masaru Suzuki, Yoshiki Hidaka, Fahrudin Nugroho, Shoichi Kai
24th International Liquid Crystal Conference, 2012 年 8 月 21 日, マイイツ (ドイツ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

日高芳樹 (HIDAKA, Yoshiki)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 70274511

(2) 連携研究者

長屋智之 (NAGAYA, Tomoyuki)
大分大学・工学部・教授
研究者番号: 00228058