

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2013～2017

課題番号：25103001

研究課題名(和文)総括班

研究課題名(英文) Synergy of Fluctuation and Structure : Quest for Universal Laws in Non-Equilibrium Systems

研究代表者

佐野 雅己 (SANO, Masaki)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：40150263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,800,000円

研究成果の概要(和文)：新学術領域「ゆらぎと構造の協奏：非平衡系における普遍法則の確立」の総括班では、研究会などの各種企画を通じて、研究グループ間連携の推進に努めた。また、若手育成のために、勉強会やチュートリアルを開催すると共に、領域内若手研究者派遣プログラムを行なった。領域ホームページでの研究成果掲載、ニュースレター発行、及び、2回の国際シンポジウム(SFS2015、SFS2017)、一般向けの公開シンポジウムなどを通して、研究成果の国内外への発信を行なった。

研究成果の概要(英文)：The innovative research area "Synergy of Fluctuation and Structure: Quest for Universal Laws in Non-Equilibrium Systems" strived to expand two major areas of non-equilibrium science; studies of non-equilibrium fluctuations and self-organizing structures. The steering committee supported the collaboration between research groups in our area. We also organized two international symposiums (SFS2015 and SFS2017) and many research meetings.

研究分野：物理学

キーワード：非平衡 ゆらぎ 統計力学 アクティブマター レオロジー 人工細胞 量子多体系 ソフトマター

1. 研究開始当初の背景

物質の平衡状態の研究は熱統計力学という確立した方法論に立脚しているのに対して、非平衡状態を扱う科学は、まだ発展段階にある。非平衡系を記述する一般的な法則を見だし、それをもとに、自然現象を理解・制御することは現代科学の大きな未解決課題である。

2. 研究の目的

本新学術領域の目的は、これまで独立に進められてきた「非平衡ゆらぎ」と「時空間構造」という非平衡科学の二つの大きな流れを、それぞれメソスケールの領域にまで押し進めて発展させ、両者を統合する新しい研究の潮流を生み出すことである。実際、近年興った「非平衡ゆらぎ」の普遍法則の発見や、メソスケール系での実験技術の進展により「ゆらぎ」と「構造」を統一的に扱うための環境は整っており、統合による非平衡科学の飛躍的発展の機は熟している。本領域では、量子凝縮系、固体物理、ソフトマター、非平衡統計力学などの分野の実験家と理論家の密接な連携により、個々の対象を越えた普遍的で応用性に富む知見を切り拓くことを目指す。

非平衡科学には、早い段階から、物性物理を指向する動きと生命を指向する動きがあった。ゆらぎと輸送現象の理解は物性物理の基本的問題である。一方で、生命現象の本質を理解するには、物質の集まりが生命となるプロセスを、物質と情報が関わりあう非平衡系の問題として正面から捉える必要がある。その背景の下、70年代後半以降の非平衡科学の研究は、大きく「非平衡ゆらぎ」と「時空間構造」を追求する二つの潮流に分かれて発展してきた。「ゆらぎ」の研究は理論主導で、ミクロなゆらぎの性質に基づきマクロな性質を記述することを目指してきた。しかし、そこでは系のもつ豊かな大規模構造や非平衡ダイナミクスなどの動的秩序は、二次的に扱われていた。一方、「構造」の研究では、マクロな系を直接の対象とし、非平衡ダイナミクスを普遍的に記述することに成功したが、ゆらぎの非自明な効果は取り入れられていなかった。以下に見るように、メソスケール領域の系を対象とすることで、二つの流れは自然に交差し、ミクロとマクロをつなぐ非平衡法則の探求が可能となる。

総括班では領域内の研究グループ間の連携がスムーズに行われるように、研究をとりまとめ、調整を行うとともに、領域の研究成果を国内外に発信する。

3. 研究の方法

計画研究は「基礎班」、「時空班」、「機能班」の3班を設け、各班に3、4件、計11件の計画研究を配置した。平成26、27年度は25件の公募研究、平成28、29年度は23件の公募研究が加わった。公募班では上記の3班に加

えて融合班を設けた。総括班では、これらの研究グループ間の連携が円滑に行われるように、研究会や勉強会の企画、領域内若手研究者派遣プログラムなどを通じて、支援活動を行った。また、領域の研究成果を国内外に発信した。

4. 研究成果

領域の全研究グループが参加する領域研究会を4回開催し、各グループの研究成果や進捗状況の報告を行い、相互の情報共有に努めた。また、スムーズに研究がスタートするように計画班のキックオフミーティングと前期公募班のキックオフミーティングを開催した。これ以外にも領域を横断する研究テーマを中心に、個別のテーマについての研究会を開催した。以下に主催したテーマ別の研究会をあげる。

- i. A02-A03 合同会議 Workshop on Non-Equilibrium Complex Fluids
2014年3月6日 首都大学東京
- ii. Workshop on Non-Equilibrium Surfactant Solution
2014年3月7日～8日 首都大学東京
- iii. 若手研究会「ゆらぎの定理:現在と未来」
2014年3月14日 東京大学
- iv. 第1回冷却原子研究会
2014年11月3日 学習院大学
- v. 領域横断研究会「細胞力学と細胞運動の協奏」
2014年12月19日～20日 九州大学
- vi. International Workshop on Challenge to Synthesizing Life
2015年8月25日～26日 箱根
- vii. Current and Future Perspectives in Active Matter
2016年10月28日～29日 東京大学
- viii. International Symposium on Hydrodynamic Flows in/of Cells
2016年11月24日～25日 首都大学東京
- ix. 第2回冷却原子研究会
2017年3月16日 大阪市立大学
- x. 研究会「アクティブマターの概念で繋ぐ生命機能の階層性」
2017年9月11日～12日 函館
- xi. 若手研究会「統計物理学とその周辺」
2018年3月1日～2日 東京大学

領域の研究成果を国内外に発信するために、国際シンポジウムを2回開催した。

International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015 (SFS2015) 2015年8月20日～23日 京都

参加者数: 202人(国内177人、国外25人)

参加国数: 11か国(国名:アメリカ、ドイツ、フランス、イタリア、オランダ、フィンランド、イギリス、ポーランド、フィリピン、台湾、日本)

International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2017 (SFS2017)

2017年11月20日～23日 仙台

参加者数: 217人(国内195人、国外22人)

参加国数: 10か国(国名:台湾、ドイツ、アメリカ、中国、韓国、フランス、インド、オランダ、スウェーデン、日本)

どちらも国内外から多数の参加者があり活発な議論が行われた。

この他、物性科学に関連した新学術領域の合同研究会(物性科学領域横断研究会)、新学術領域「分子ロボティクス」との合同研究会と共催し、物理学会、生物物理学会で共催シンポジウムを企画した。これらの企画を通して、国内外の研究者に研究成果を発信すると共に、最新の研究動向について情報交換を行った。

若手育成のため、ゆらぎの定理に関するチュートリアルと、非平衡統計力学の基礎理論とソフトマターに関する若手勉強会を各1回主催した。また、非平衡ゆらぎとアクティブマターに関する国際冬の学校を京大基研と共催した。

領域内の共同研究の推進と若手育成のために領域内若手研究者派遣プログラムを設けた。学生、ポスドクが領域内の他の研究グループに共同研究をするため旅費と滞在費を総括班でサポートした。13件8名の申請が採択され、派遣された。

領域において特に秀でた研究業績をあげた研究者に領域賞(SFS Research Award)を授与した。第1回領域賞は沙川貴大氏(東大)、車兪澈氏(東工大)、岩楯好昭氏(山口大)が受賞し、2016年6月18日に第3回領域研究会にて授賞式と受賞講演を行った。第2回領域賞は白石直人氏(慶應大)、小谷野由紀氏(千葉大)、西坂崇之氏(学習院大)が受賞し、2018年3月1日に若手研究会「統計物理学とその周辺」にて授賞式と受賞講演を行った。

領域ホームページに個々の研究グループの研究内容の紹介と各年の研究成果報告を掲載すると共に、個々の論文は発表時に逐次、日本語と英語の概要説明を付けて掲載した。これに加えて、ニュースレターを10号発行し、研究紹介と共に研究会などの報告を発信した。

アウトリーチ活動として講演会や出張授業などを積極的に行った。領域全体を紹介する公開シンポジウムを始め、領域メンバーによる個々の活動を含め、計171件の活動を行った。

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733件)

国際誌 査読有628件、国際誌 査読無7件、国内誌98件

N. Nakagawa and S.-i Sasa, Liquid-gas transitions in steady heat conduction, Phys. Rev. Lett. 119, 260602/1-6 (2017). 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.260602

Yohsuke T. Fukai and Kazumasa A. Takeuchi, Kardar-Parisi-Zhang Interfaces with Inward Growth, Phys. Rev. Lett. 119, 030602/1-5 (2017). 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.030602

M. Ferrier, T. Arakawa, T. Hata, R. Fujiwara, R. Delagrangé, R. Deblock, Y. Teratani, R. Sakano, A. Oguri, and K. Kobayashi, Quantum fluctuations along symmetry crossover in a Kondo-correlated quantum dot, Phys. Rev. Lett. 118, 196803/1-5 (2017). 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevLett.118.196803

S. Tamaki, M. Sasada, and K. Saito, Heat Transport via Low-Dimensional Systems with Broken Time-Reversal Symmetry, Phys. Rev. Lett. 119, 110602. (2017). 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.110602

Kyogo Kawaguchi, Ryoichiro Kageyama and Masaki Sano, Topological defects control collective dynamics in neural progenitor cell cultures, Nature, 545, 327-331, (2017). 査読有

DOI:10.1038/nature22321

K. Kamino, Y. Kondo, A. Nakajima, M. Honda-Kitahara, K. Kaneko, and S. Sawai, Fold-change detection and scale-invariance of cell-cell signaling in social amoeba, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 114(21), E4149-E4157 (2017). 査読有

DOI:10.1073/pnas.1702181114

Tomoyuki Mano, Jean-Baptiste Delfau, Junichiro Iwasawa, and Masaki Sano,

Optimal run-and-tumble based transportation of a Janus particle with active steering, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 114, E2580-E2589 (2017). 査読有
DOI:10.1073/pnas.1616013114

Eiki Iyoda, Kazuya Kaneko, and Takahiro Sagawa, Fluctuation Theorem for Many-Body Pure Quantum States, Phys. Rev. Lett. 119, 100601/1-6 (2017). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.100601

M. Hashisaka, N. Hiyama, T. Akiho, K. Muraki, and T. Fujisawa, Waveform measurement of charge- and spin-density wavepackets in a chiral Tomonaga-Luttinger liquid, Nature Phys. 13, 559 (2017). 査読有
DOI:10.1038/nphys4062

Y. Jin and H. Yoshino, Exploring the complex free energy landscape of the simplest glass by rheology, Nature Comm. 8, 14935 (2017). 査読有
DOI: 10.1038/ncomms14935

Y. Sasaki, V.S.R. Jampani, C. Tanaka, N. Sakurai, S. Sakane, Khoa V. Le, F. Araoka, and H. Orihara, Large-scale self-organization of reconfigurable topological defect networks in nematic liquid crystals, Nature Comm. 7, 13238 (2016). 査読有
DOI: 10.1038/ncomms1323

I. Zaid and D. Mizuno, Analytical Limit Distributions from Random Power-Law Interactions, Phys. Rev. Lett. 117, 030602 (2016). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.030602

N. Shiraishi, K. Saito and H. Tasaki, Universal trade-off relation between power and efficiency for heat engines, Phys. Rev. Lett. 117, 190601/1-5 (2016). 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.190601

R. Miyazaki, T. Kawasaki, and K. Miyazaki, Cluster Glass Transition of Ultrasoft-Potential Fluids at High Density, Phys. Rev. Lett. 117, 165701/1-5 (2016). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.165701

Masaki Sano and Keiichi Tamai, A Universal Transition to Turbulence in Channel Flow, Nature Phys. 12, 249-253 (2016). 査読有 DOI:10.1038/nphys3659

S.-i Sasa and Y. Yokokura, Thermodynamic entropy as a Noether invariant, Phys. Rev. Lett. 116, 140601/1-6 (2016). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.140601

T. Mori, T. Kuwahara, and K. Saito, Rigorous bound on energy absorption and generic relaxation in periodically driven quantum systems, Phys. Rev. Lett. 116, 120401/1-5 (2016). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.120401

M. Ferrier, T. Arakawa, T. Hata, R. Fujiwara, R. Delagrangé, R. Weil, R. Deblock, R. Sakano, A. Oguri, and K. Kobayashi, Universality of non-equilibrium fluctuations in strongly correlated quantum liquids, Nature Phys. 12, 230-235 (2015). 査読有
DOI: 10.1038/nphys3556

Y. Kuruma and T. Ueda, The PURE system for the cell-free synthesis of membrane proteins, Nature Protocols, 10, 1328-1344 (2015). 査読有
DOI: 10.1038/nprot.2015.082

K. Kurihara, Y. Okura, M. Matsuo, T. Toyota, K. Suzuki, and T. Sugawara, A recursive vesicle-based model protocell with a primitive model cell cycle, Nature Comm. 6, 8352 (2015). 査読有
DOI:10.1038/ncomms9352

- ⑳ S. Matsuo, S. Takeshita, T. Tanaka, S. Nakaharai, K. Tsukagoshi, T. Moriyama, T. Ono, and K. Kobayashi, Edge mixing dynamics in graphene p-n junctions in the quantum Hall regime, *Nature Comm.* 6, 8066/1-6 (2015). 査読有
DOI:10.1038/ncomms9066
- ㉑ D. Yamamoto, C. Nakajima, A. Shioi, M. P. Krafft, and K. Yoshikawa, The evolution of spatial ordering of oil drops fast spreading on a water surface, *Nature Comm.* 6, 7189/1-6 (2015). 査読有
DOI: 10.1038/ncomms8189
- ㉒ K. H. Nagai, Y. Sumino, R. Montagne I. S. Aranson, and H. Chaté, Collective motion of self-propelled particles with memory, *Phys. Rev. Lett.* 114, 168001/1-6 (2015). 査読有 [表紙及び Editors' suggestion に選出]
DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.168001
- ㉓ M. Hashisaka, T. Ota, K. Muraki, and T. Fujisawa, Shot-noise evidence of fractional quasiparticle creation in a local fractional quantum Hall state, *Phys. Rev. Lett.* 114, 056802/1-5 (2015). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.056802
- ㉔ A. A. Zinchenko and K. Yoshikawa, Compaction of Double-Stranded DNA by Negatively Charged Proteins and Colloids, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 20, 60-65 (2015). 査読有
DOI: 10.1016/j.cocis.2014.12.005
- ㉕ Juan M. R. Parrondo, Jordan M. Horowitz and Takahiro Sagawa, Thermodynamics of information, *Nature Phys.* 11, 131-139 (2015). 査読有
DOI: 10.1038/NPHYS3230
- ㉖ T. Arakawa, J. Shiogai, M. Ciorga, M. Utz, D. Schuh, M. Kohda, J. Nitta, D. Bougeard, D. Weiss, T. Ono, and K. Kobayashi, Shot noise induced by nonequilibrium spin accumulation, *Phys. Rev. Lett.* 114, 016601/1-5 (2015). 査読有 [Editors' suggestion に選出]
DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.016601
- ㉗ T. Umeki, M. Ohata, H. Nakanishi, and M. Ichikawa, Dynamics of microdroplets over the surface of hot water, *Sci. Rep.* 5, 8046/1-6 (2015). 査読有
DOI: 10.1038/srep08046
- ㉘ A. J. Dunleavy, K. Wiesner, R. Yamamoto, and C. P. Royall, Mutual information reveals multiple structural relaxation mechanisms in a model glassformer, *Nature Comm.* 6, 6089/1-8 (2015). 査読有
DOI: 10.1038/ncomms7089
- ㉙ S. Ito and T. Sagawa, Maxwell's demon in biochemical signal transduction with feedback loop, *Nature Comm.* 6, 7498 (2015). 査読有
DOI: 10.1038/ncomms8498
- ㉚ M. Yanagisawa, S. Nigorikawa, T. Sakaue, K. Fujiwara, and M. Tokita, Multiple patterns of polymer gels in microspheres due to the interplay among phase separation, wetting, and gelation, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111, 15894-15899 (2014). 査読有 [日経産業新聞、科学新聞に解説記事掲載]
DOI:10.1073/pnas.1416592111
- ㉛ A. Nakajima, S. Ishihara, D. Imoto, and S. Sawai, Rectified directional sensing in long-range cell migration, *Nature Comm.* 5, 5367/1-14 (2014). 査読有
DOI: 10.1038/ncomms6367
- ㉜ S.-i. Sasa, Derivation of hydrodynamics from the Hamiltonian description of particle systems, *Phys. Rev. Lett.* 112, 100602/1-5 (2014). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.100602

③④ Y. Kinoshita, D. Nakane, M. Sugawa, T. Masaike, K. Mizutani, M. Miyata, and T. Nishizaka, Unitary step of gliding machinery in *Mycoplasma mobile*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 111, 8601-8606 (2014). 査読有 [産経新聞に解説記事掲載]
DOI:10.1073/pnas.1310355111

③⑤ Y. Eto, H. Saito, and T. Hirano, Observation of dipole-induced spin texture in an ⁸⁷Rb spin-2 Bose-Einstein condensate, Phys. Rev. Lett. 112, 185301/1-5 (2014). 査読有 [Editors' suggestion に選出]
DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.185301

[学会発表]

国際会議発表 (計 988 件)
Masaki Sano, "Experimental Demonstration of Information-to-Energy Conversion in Small Fluctuating Systems", APS March Meeting 2015 (Mar. 2-6, 2015), San Antonio, USA. (招待講演)

[図書] (計 37 件)

Special Topics: Recent Progress in Active Matter, edited by H. Kitahata, H. Noguchi, and M. Sano, Journal of the Physical Society of Japan 86, No. 10 101001/1-6 - 101014/1-14 (2017).

沙川貴大, 上田正仁、サイエンス社,
「量子測定と量子制御」2016. 224

佐久間由香、今井正幸、化学同人、
「生体膜の分子機構リビッドワールドが先導する生命科学」梅田真郷(編)「リビッドワールドの物理 - 脂質ベシクルの形態とダイナミクス」, 2014, 117-152.

[産業財産権]

出願状況 (計 17 件)

名称: 細胞の複素弾性率の計測方法および計測システム

発明者: 岡嶋孝治、高橋亮輔

権利者: 同上

種類: 特許

出願番号: 2014-136721

出願年月日: 2014.7.2

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://sfs-dynamics.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐野 雅己 (SANO, Masaki)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 40150263

(2) 研究分担者

野口 博司 (NOGUCHI, Hiroshi)
東京大学・物性研究所・准教授
研究者番号: 00514564

(3) 連携研究者

佐々 真一 (SASA, Shin-ichi)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 30235238

折原 宏 (ORIHARA, Hiroshi)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 30177307

今井 正幸 (IMAI, Masayuki)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 60251485

好村 滋行 (KOMURA, Shigeyuki)
首都大学東京・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 90234715

木村 康之 (KIMURA, Yasuyuki)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 00225070

平野 琢也 (HIRANO, Takuya)
学習院大学・理学部・教授
研究者番号: 00251330

市川 正敏 (CHIKAWA, Masatoshi)
京都大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号: 40403919

宮崎 州正 (MIYAZAKI, Kunimasa)
名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 40449913

吉川 研一 (YOSHIKAWA, Kenichi)
同志社大学・生命医科学部・教授
研究者番号: 80110823

櫻井 建成 (SAKURAI, Tatsunari)
山口芸術短期大学・芸術表現学科・准教授
研究者番号: 60353322

小林 研介 (KOBAYASHI, Kensuke)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 10302803