

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2016～2019

課題番号：16KT0021

研究課題名（和文）力学系とスケール極限を用いた異常拡散の探索と拡散制御理論の構築

研究課題名（英文）Exploration of anomalous diffusion phenomena by means of dynamical systems theory and scaling limits

研究代表者

高橋 博樹（Takahasi, Hiroki）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・准教授

研究者番号：00467440

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,000,000円

研究成果の概要（和文）：カオス拡散の研究において重要と考えられる力学系の大偏差原理について、研究開始当初は予想していなかった進展があり、その結果として一様双曲性を持たない種々の力学系の大偏差原理を証明することに成功した。拡散現象の確率モデルについては、異常拡散を特徴づける平均2乗変位のエルゴード特性の研究や拡散係数の時間変化、拡散指数の精密な解析などについて、一定の成果が挙げられた。確率的摂動を受けるハミルトン系においては、新しいタイプの異常拡散現象も発見することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

力学系の大偏差原理や異常拡散現象の確率モデルに関し、研究期間内に多くの興味深い成果が得られた点で、学術的意義は高い。しかし、これらの個々の成果を融合、昇華させ、研究開始当初の主目標であったカオス拡散による異常拡散現象の数学的な理解につなげるには、さらなる時間と努力が必要であると思われる。これは今後の課題としたい。力学系理論、非線型物理学、確率論とそれぞれ異なる背景を持つ3人の研究者（高橋、秋元、佐々田）の間の研究交流の促進につながった点では、社会的な意義も十分にあったと考える。

研究成果の概要（英文）：The Large Deviation Principle in dynamical systems is considered to have an important connection with deterministic diffusion. We have succeeded in establishing the Large Deviation Principle for various dynamical systems which lack the uniform hyperbolicity structure. For stochastic models of diffusive phenomena, we have obtained fairly good results regarding ergodic properties of mean-square displacements, time-dependence of diffusion coefficients and refined analyses of diffusion exponents. We have discovered a new type of anomalous diffusion phenomenon in stochastically perturbed Hamiltonian systems.

研究分野：力学系・エルゴード理論

キーワード：力学系 異常拡散 スケール極限

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

熱伝導や化学反応流、細胞膜内における生体高分子の反応、などの現象は、多数の粒子群とそれを取り囲む流体、熱が複雑に相互作用することで生ずる非平衡な拡散現象である。拡散現象の巨視的(マクロ)な挙動を支配する種々の物理法則を、微視的(ミクロ)な世界での時間発展の法則から導くことは、物性物理学および統計力学の主たるテーマである。拡散現象の確率モデルの時間と空間のスケールを適切に変換し、極限操作を行うことでマクロな世界での時間発展を記述する偏微分方程式を導くプロセスは、流体力学極限として体系化されている。この一方で、ミクロな世界での時間発展の法則として力学系(写像の反復合成)を採用するモデルはカオス拡散とよばれる。決定論的だが予測困難な複雑な挙動を意味するカオスの発見と、双曲性を基礎とする力学系理論の発展とともに1980年代から注目されたが、その数学理論はほぼ未開拓であり、応用も含めて大きな可能性が残されている。

### 2. 研究の目的

熱方程式で記述される拡散現象においては、平均2乗変位は時間について線型に増大する。この一方で、平均2乗変位が時間について非線型に増大する異常拡散とよばれる現象が、不均質媒質中での荷電粒子の輸送[H. Scher and E. W. Montroll, *Rhys. Rev. B.* 12, 2455-2477 (1975)]や細胞膜内での分子の拡散[I. Golding and E. C. Cox, *Phys. Rev. Lett.* 96, 098102 (2006)]など、主に物性・生命科学の分野で多く発見されており、異常拡散はむしろ普遍的な現象であると考えられている。本研究の目的は、異常拡散現象を記述する「異常拡散方程式」をカオス拡散のスケール極限により導出し、これを用いて異常拡散現象の数学的に厳密な理解を得ること、これに基づく拡散現象の制御、およびその物性・生命科学分野での問題への応用を行うことにあった。

### 3. 研究の方法

異常拡散現象を記述できるようなカオス拡散があるとすれば、それは一様双曲性とよばれるよい性質を持たないと考えることがある意味で自然である。そこで、区間力学系の基礎理論に基づき、一様双曲性を持たない区間上の力学系によるカオス拡散の性質と、そのパラメータ依存性の本質を抽出していると考えられる具体的なパラメータ族を定義し、これによるカオス拡散と、そのスケール極限を考察する。このカオス拡散のスケール極限により異常拡散方程式を導出し、ミクロの挙動を記述するエスケープ率とマクロの挙動を記述する異常拡散方程式の拡散係数、分散べき指数および拡散指数の関係性を解明し、さらに拡散指数のパラメータへの依存性の解析も行う。付随する種々の確率測度の列に関する中心極限定理や大偏差原理などの極限定理も考察の対象とする。以上のような方法で研究を行った。

### 4. 研究成果

拡散現象の確率モデルから決定論的な時間発展方程式が得られる仕組みは「時間スケールの違い」にある。マクロでの単位時間はミクロでは非常に長い時間であるため、ミクロでの情報がエルゴード性により平均化され、結果としてマクロの挙動は決定論的な偏微分方程式に支配される。カオス拡散のスケール極限についても「時間スケールの違い」を利用し、ミクロでの除法をカオスで平均化することでマクロの拡散方程式を導出することを考える。このことの実行可能性を測る一つの有力な指標がエスケープ率とよばれる量であり、より一般には大偏差原理である。カオス拡散の研究における大偏差原理の重要性を認識した上で、研究代表者の高橋は、研究期間全体を通じて種々の決定論的力学系における大偏差原理を精力的に考察した。この結果、可算マルコフシフトとよばれる非コンパクトな空間上の力学系や正則連分数力学系、単峰写像力学系などで、大偏差原理の成立を証明することに成功した。この一連の成果は研究の開始当初には予想していなかったものであり、力学系の大偏差原理に関する理解を深めることができた点は大きな収穫であった。また、カオス力学系研究の大家である James A. Yorke 氏 (University of Maryland) を訪問し、異常拡散現象について議論を重ねるとともに、不均一なカオス力学系の極小モデルのエルゴード性を示すことに成功し、得られた結果を論文としてまとめ、学術雑誌に投稿中である。

分担者の秋元と佐々田は、研究期間全体を通じて異常拡散現象の確率モデルの精密な研究を行った。秋元は、異常拡散を示すいくつかの確率モデルを用いて、平均2乗変位のエルゴード特性を示すとともに、不均一な環境下での拡散モデルについて、拡散係数の時間変化の解析を行った。佐々田は、確率的摂動を受けるハミルトン系の解析に取り組み、新しいタイプの異常拡散現象を示すクラスが存在することを発見した。また、このクラスに属する系のカレント相関関数の減衰のべき指数とスケーリング指数との関係が自明ではないことも発見した。さらに、一次元調和振動子鎖に確率的摂動を加えた系のエネルギーの異常拡散の指数の精密な解析を行った。

以上のように、「研究の方法」の欄で述べた具体的な1次元写像のパラメータ族についての満足のゆく成果は得られなかったものの、力学系の大偏差原理と異常拡散現象の確率モデルについて種々の成果が得られた点には意義がある。2019年3月には、非双曲力学系の専門家である Pierre Berger 氏 (Universite Paris 13) を含む7名の研究者をフランスから招聘し、「Real and Complex Dynamics of Henon's Maps」と題する国際研究集会を5日間に渡り慶應義塾大学で開

催した。講演数を絞り、非公式な議論に多くの時間を割く形式を採用したにもかかわらず 30 名以上の参加があり、盛況であった。エノン写像などに代表される非一様双曲的力学系と、異常拡散現象の関連についても議論が行われ、参加者の間で課題を共有することができた。この結果、いくつかのグループによる国際共同研究へと発展しつつある点も非常に有意義な成果の一つである。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 0件）

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>T. Kaneko, J. Bai, T. Akimoto, J. S. Francisco, K. Yasuoka, and X. C. Zeng   | 4. 巻<br>115                 |
| 2. 論文標題<br>Phase behaviors of deeply supercooled bilayer water unseen in bulk water  | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America  | 6. 最初と最後の頁<br>4389-4844     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1073/pnas.1802342115  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する                |
| 1. 著者名<br>T. Akimoto, E. Barkai, K. Saito  | 4. 巻<br>97                  |
| 2. 論文標題<br>Non-self averaging and ergodicity in quenched trap model with finite system size  | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review E  | 6. 最初と最後の頁<br>052143-052152 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevE.97.052143   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する                |
| 1. 著者名<br>T. Akimoto, A. Cherstvy, R. Metzler  | 4. 巻<br>98                  |
| 2. 論文標題<br>Enhancement, slow relaxation, ergodicity and rejuvenation of diffusion in biased continuous-time random walks                     | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review E  | 6. 最初と最後の頁<br>022105-022110 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevE.98.022105   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する                |
| 1. 著者名<br>R. Hou, A. Cherstvy, R. Metzler, T. Akimoto  | 4. 巻<br>20                  |
| 2. 論文標題<br>Biased continuous-time random walks for ordinary and equilibrium cases: facilitation of diffusion, ergodicity breaking and ageing | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>Physical Chemistry Chemical Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>20827-20848   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1039/c8cp01863d   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する                |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>O. Blondel, C. Erignoux, M. Sasada, M. Simon                           | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Hydrodynamic limit for a facilitated exclusion process                | 5. 発行年<br>2019年 |
| 3. 雑誌名<br>Annales de l'Institut Henri Poincare; (B) Probabilites et Statistiques | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する    |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>K. Sato, M. Sasada  | 4. 巻<br>361           |
| 2. 論文標題<br>Thermal Conductivity for Coupled Charged Harmonic Oscillators with Noise in a Magnetic Field | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>Communications in Mathematical Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>951-995 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s00220-018-3198-5   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-             |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>M. Sasada   | 4. 巻<br>28              |
| 2. 論文標題<br>On the Green-Kubo formula and the gradient condition on currents | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Annals of Applied Probability                                     | 6. 最初と最後の頁<br>2727-2739 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1214/17-AAP1369                              | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                      | 国際共著<br>-               |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>M. Shinoda, H. Takahasi  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Lyapunov optimization for non-generic one-dimensional expanding Markov maps | 5. 発行年<br>2019年 |
| 3. 雑誌名<br>Ergodic Theory and Dynamical Systems   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1017/etds.2019.6  | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-       |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Z. Arai, Y. Ishii, H. Takahasi                        | 4. 巻<br>17              |
| 2. 論文標題<br>Boundary of the horseshoe locus for the Henon family | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>SIAM Journal on Applied Dynamical Systems             | 6. 最初と最後の頁<br>2234-2248 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1137/18M1174684                  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                          | 国際共著<br>-               |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>H. Takahasi   | 4. 巻<br>372     |
| 2. 論文標題<br>Large deviation principles for countable Markov shifts | 5. 発行年<br>2019年 |
| 3. 雑誌名<br>Transactions of the American Mathematical Society       | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                                    | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                            | 国際共著<br>-       |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>H. Takahasi  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Entropy-approachability for transitive Markov shifts over infinite alphabet | 5. 発行年<br>2019年 |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of the American Mathematical Society                             | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-       |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>M. Sasada   | 4. 巻<br>5               |
| 2. 論文標題<br>On the Green-Kubo formula and the gradient condition on currents | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>Annals of Applied Probability                                     | 6. 最初と最後の頁<br>2727-2739 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                      | 国際共著<br>-               |

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>S. Tamaki, M. Sasada, K. Saito   | 4. 巻<br>119                 |
| 2. 論文標題<br>Heat transport via low-dimensional systems with broken time-reversal symmetry | 5. 発行年<br>2017年             |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>110602-110605 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.119.110602                               | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                   |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. 著者名<br>T. Akimoto, E. Yamamoto   | 4. 巻<br>96               |
| 2. 論文標題<br>Detection of transition times from single-particle-tracking trajectories | 5. 発行年<br>2017年          |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review E   | 6. 最初と最後の頁<br>052138-142 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevE.96.052138                              | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-                |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Hiroki Takahasi   | 4. 巻<br>164             |
| 2. 論文標題<br>Removal of phase transition in the Chebyshev quadratic and thermodynamics for Henon-like maps near the first bifurcation | 5. 発行年<br>2016年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Statistical Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>1354-1378 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s10955-016-1584-y   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-               |

|   |                    |
|---|--------------------|
| 1. 著者名<br>Yukio Klametani, Makiko Sasada  | 4. 巻<br>B59        |
| 2. 論文標題<br>A new approach to the characterization of closed forms in the nongradient method | 5. 発行年<br>2016年    |
| 3. 雑誌名<br>RIMS Kokyuroku Bessatsu   | 6. 最初と最後の頁<br>1-13 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-          |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Takuma Akimoto, Eiji Yamamoto   | 4. 巻<br>93          |
| 2. 論文標題<br>Distributional behaviors of time-averaged observables in Langevin equation with fluctuating diffusivity: Normal diffusion yet anomalous fluctuations | 5. 発行年<br>2016年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review E   | 6. 最初と最後の頁<br>62109 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevE.93.062109  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-           |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Tomoshige Miyauchi, Takuma Akimoto, Eiji Yamamoto                  | 4. 巻<br>94          |
| 2. 論文標題<br>Langevin equation with fluctuating diffusivity: a two-state model | 5. 発行年<br>2016年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review E  | 6. 最初と最後の頁<br>12109 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>doi.org/10.1103/PhysRevE.94.012109               | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難                                       | 国際共著<br>-           |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Takuma Akimoto, Eli Barkai, Keiji Saito  | 4. 巻<br>117          |
| 2. 論文標題<br>Universal Fluctuations of Single-Particle Diffusivity in Quenched Environment | 5. 発行年<br>2016年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>180602 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.117.180602                               | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>該当する         |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Takuma Akimoto, Eiji Yamamoto   | 4. 巻<br>164          |
| 2. 論文標題<br>Distributional behavior of diffusion coefficients obtained by single trajectories in annealed transit time model | 5. 発行年<br>2016年      |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Statistical Mechahics  | 6. 最初と最後の頁<br>123201 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1742-5468/2016/12/123201  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-            |

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 15件 / うち国際学会 6件）

|                             |
|-----------------------------|
| 1. 発表者名<br>秋元琢磨             |
| 2. 発表標題<br>拡散係数の揺らぎがもたらす異常性 |
| 3. 学会等名<br>ソフトバイオ研究会（招待講演）  |
| 4. 発表年<br>2018年             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>秋元琢磨                                   |
| 2. 発表標題<br>無限測度から読み解く非平衡非定常現象                     |
| 3. 学会等名<br>散逸構造、カオス、複雑系シンポジウム～イリヤ・プリゴジン先生の業績を偲んで～ |
| 4. 発表年<br>2018年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>秋元琢磨, 齊藤圭司                   |
| 2. 発表標題<br>バイアスのあるトラップモデルにおける初通過時間の統計法則 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会 2018年秋季大会             |
| 4. 発表年<br>2018年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>秋元琢磨, Eli Barkai, Guenter Radons |
| 2. 発表標題<br>速度更新過程における無限測度と分布極限定理            |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第74回年次大会                   |
| 4. 発表年<br>2019年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々田 槿子  |
| 2. 発表標題<br>On the Green-Kubo Formula and The Gradient Condition on Currents                              |
| 3. 学会等名<br>The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々田 槿子  |
| 2. 発表標題<br>Dynamics of the box-ball system with random initial conditions via Pitman's transformation, |
| 3. 学会等名<br>XIX International Congress on Mathematical Physics (招待講演)                                   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々田 槿子   |
| 2. 発表標題<br>Dynamics of the box-ball system with random initial conditions via Pitman's transformation |
| 3. 学会等名<br>NYU-Shanghai - Kyoto University Young Probabilists' Meeting                                |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋博樹                        |
| 2. 発表標題<br>区間力学系の大偏差原理とレート関数の零点の構造について |
| 3. 学会等名<br>確率論シンポジウム                   |
| 4. 発表年<br>2017年                        |

|                        |
|------------------------|
| 1. 発表者名<br>高橋博樹        |
| 2. 発表標題<br>連分数展開の大偏差原理 |
| 3. 学会等名<br>数論とエルゴード理論  |
| 4. 発表年<br>2017年        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々田槇子  |
| 2. 発表標題<br>マクロパラメータに対する時間発展方程式のミクロな系からの導出                     |
| 3. 学会等名<br>RIMS共同研究・保存則をもつ偏微分方程式に対する解の正則性、特異性および漸近挙動の研究（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々田槇子  |
| 2. 発表標題<br>Thermal conductivity for a chain of harmonic oscillators in a magnetic field |
| 3. 学会等名<br>Stochastic dynamics out of equilibrium（招待講演）（国際学会）                           |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々田槇子   |
| 2. 発表標題<br>On superdiffusion of energy in a system of harmonic oscillator  |
| 3. 学会等名<br>RIMS camp-style seminar Large scale properties of partial differential equations with random coefficients（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐々田 槿子  |
| 2. 発表標題<br>On superdiffusion of energy in a system of harmonic oscillator                |
| 3. 学会等名<br>ReaDiNet 2017: International Conference on Mathematical Biology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐々田 槿子   |
| 2. 発表標題<br>Energy transport in a chain of oscillators with magnetic field |
| 3. 学会等名<br>大規模相互作用系の確率解析 (招待講演)   |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>佐々田 槿子                   |
| 2. 発表標題<br>相互作用粒子系に対する勾配条件とグリーン久保公式 |
| 3. 学会等名<br>2017年度確率論シンポジウム          |
| 4. 発表年<br>2017年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋元 琢磨   |
| 2. 発表標題<br>Anomalous Diffusion in Heterogeneous Environments |
| 3. 学会等名<br>日本生物物理学会年会 (招待講演)                                 |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>秋元琢磨   |
| 2. 発表標題<br>バイアスのないランダムウォークから流れを生み出す - マルチプリカティブノイズの役割 -                       |
| 3. 学会等名<br>Perspectives in Random and Non-autonomous Dynamical Systems (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>秋元琢磨, Ralf Metzler      |
| 2. 発表標題<br>外場に誘発される速い拡散におけるエルゴード特性 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会                  |
| 4. 発表年<br>2017年                    |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>秋元琢磨                  |
| 2. 発表標題<br>不均一環境下における非平衡非定常状態の数理 |
| 3. 学会等名<br>NI-CCS合同研究会 (招待講演)    |
| 4. 発表年<br>2017年                  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋 博樹   |
| 2. 発表標題<br>Large deviation principle in one-dimensional dynamics |
| 3. 学会等名<br>Dynamics Seminar (招待講演) (国際学会)                        |
| 4. 発表年<br>2016年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高橋 博樹  |
| 2. 発表標題<br>Flatness-induced phase transition in Lyapunov spectrum for unimodal maps |
| 3. 学会等名<br>Dynamics Seminar (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2016年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高橋 博樹  |
| 2. 発表標題<br>Flatness-induced phase transition in Lyapunov spectrum for unimodal maps |
| 3. 学会等名<br>エルゴード理論研究集会  |
| 4. 発表年<br>2016年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>秋元 琢磨                          |
| 2. 発表標題<br>局所的な拡散係数の本質的な揺らぎの検出理論, 「理論と実験」 |
| 3. 学会等名<br>理論と実験研究会 (招待講演)                |
| 4. 発表年<br>2016年                           |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>秋元 琢磨   |
| 2. 発表標題<br>Fluctuation analysis of time-averaged mean square displacements           |
| 3. 学会等名<br>Workshop on Stochasticity and Fluctuations in Small Systems (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2016年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|           | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                  | 備考 |
|-----------|--|--|----|
| 研究<br>分担者 | 佐々田 槿子<br><br>(Sasada Maki ko)<br><br>(00609042) | 東京大学・大学院数理科学研究科・准教授<br><br><br>(12601) |    |
| 研究<br>分担者 | 秋元 琢磨<br><br>(Akimoto Takuma)<br><br>(30454044)  | 東京理科大学・理工学部物理学科・准教授<br><br><br>(32660) |    |