

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03665

研究課題名(和文)非平衡統計力学模型に対する微視的・流体的アプローチ

研究課題名(英文)Microscopic and hydrodynamics approaches to nonequilibrium statistical mechanical models

研究代表者

笹本 智弘 (Sasamoto, Tomohiro)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：70332640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題においては、微視的な観点からも流体力学的な観点からも新奇性の高い研究成果を得ることができた。まず微視的な観点からは、Kardar-Parisi-Zhang(KPZ)普遍クラスに属するモデルの揺らぎを調べるのに有益な公式に対し、自由フェルミオンとの関連を見出した。これは今後KPZ揺らぎを示す系の研究で重要となる。また、流体的な観点からは、一般化流体力学(GHD)の枠組みを、非平衡揺らぎを大偏差のレベルで捉える形に一般化した。これは今後保存量が複数存在する系の揺らぎを調べる際重要となる。さらに揺らぐ流体力学を微視的なモデルにおいて初めて検証するという成果も得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

平衡系と比較して、非平衡多体系における揺らぎの研究はまだ未発達な部分が多い。KPZ揺らぎも、一般化流体力学で記述される系も、非線形揺らぐ流体力学も、非平衡多体系において普遍的に現れるものであることが近年ますます明らかとなってきた状況であり、本研究課題における解析計算を用いた理論的研究成果は、非平衡多体系における揺らぎに関する基礎的な理解を大きく進めるものである。また、非平衡多体系の実験も近年増えてきていることから、本研究の理論的研究成果は今後実験においても検証され、基礎的な役割を果たすことが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we were able to obtain highly novel results from both microscopic and hydrodynamic points of view. First, from a microscopic point of view, we found a relation between models belonging to the Kardar-Parisi-Zhang (KPZ) universal class and free fermions. This will be very useful and important in future studies of systems exhibiting KPZ fluctuations. From a hydrodynamics point of view, we have extended the framework of generalized hydrodynamics (GHD) to the one which can capture non-equilibrium fluctuations at the level of large deviations. This will be important in future investigations of fluctuations in systems with multiple conserved quantities. Furthermore, we have given the first analytic conformation of a prediction of non-linear fluctuating hydrodynamics for a microscopic model with stochastic dynamics.

研究分野：非平衡統計力学

キーワード：non-equilibrium fluctuations Kardar-Parisi-Zhang exclusion process hydrodynamics large deviation

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究開始当初は、非平衡多体系に対するいくつかの研究が同時進行的に進んでいる状況であった。研究代表者自身は、2010年に出版した H. Spohn との共同研究において、ある特殊な初期条件における KPZ 方程式の界面高さ分布に対する厳密解を得てから数年間、KPZ 普遍クラスに入っているモデルの揺らぎに関する研究を進展させることに力を注いでいた。その結果、平坦や定常の場合を含む種々の初期条件において、KPZ 方程式そのものやその離散版とみなせる粒子模型に対する種々の揺らぎや相関に関する情報を得ることができた。用いる手法も、ランダム行列理論、確率的双対性、ベータ仮説、多変数直交関数理論、レプリカ法といった多岐なものが用いられ、“可積分確率”(Integrable probability)と呼ばれる一分野が形成されるようになっていた。2019年当時も、多くの新しい結果が次々と得られてはいたが、徐々に成熟段階に入り、技術的に困難な問題や、複雑な問題が増えつつあった。

これらは保存量の個数が一つの一番基本的な一群の系に対する研究であるが、2010年代には多成分系の非平衡多体系に対する興味深い理論が提出された。まず2013年頃、H. van Beijeren と H. Spohn によって非線形揺らぐ流体力学という理論が提唱された。これは、ハミルトニアン系にしろ確率過程にしろ、保存量が有限子ある場合に、適切な場の線形変換を行なったあとには、KPZ 揺らぎやレヴィ型の揺らぎが現れることを予想するものであるが、その議論は多分に直感的なものであったり、信頼性の不明な近似に基づくものであり、数値計算による検証は既に数多く行われていたが、微視的な観点からの理論的な検証が望まれる状況であった。

また2016年頃には、B. Doyon らの研究グループが、系の対称性が高く保存量が複数(場合によっては無限個)あるような場合の流体力学理論を提唱した。これは、保存量が有限個ある場合の通常の流体力学とは全く別の取り扱いが必要となることを明らかにし、これまで取り扱いが難しかった系に対する予言能力の高い理論ということで大いに着目を浴びたが、やはり微視的な観点からの理論的な検証が不十分であったり、揺らぎに関しては考えられていないなど、不十分な点も多い状況であった。

そのような状況を踏まえ、研究代表者は、標準模型である KPZ 方程式や非対称排他過程等1成分模型の研究で培われた技術、知見を、非平衡統計力学におけるより幅広い問題の理解の進展に役立てようと考え、研究を進めて来ていた。その中で特に、微視的なモデルの解析と相補的な関係にある、非線形揺らぎあり流体力学による取り扱いとの関連に着目し、いくつかのプロジェクトを立ち上げ、成果を挙げつつある状況であった。

まず多成分系の研究に関しては、可解な仕組みを持つものがあることは以前から知られていたが、2018年に漸近解析まで行い、一部解析に不十分な点は残るものの揺らぎの性質を決定する研究を行っており、その研究を進展させるべき状況であった。2018年後半には別の専門家による多成分系に関する論文が発表される(ただし代数的な部分のみの解析で漸近解析は未遂)など、多成分系への関心が高まっていた。

また2017年の別の研究においては、対称排他過程における大偏差の性質を決定していた。2010年以降 KPZ 系と関連の深い非対称過程に対する解析が盛んとなっていたのであるが、より基本的なのは対称の場合であると言える。実際 KPZ 系の研究が発展する以前の研究は主として対称の場合に進んでいたが、多くの問題が残されている。2017年の研究は、一旦非対称の場合を経由することで対称の場合の未解決問題を解決出来る場合があることを示したと言え、今後種々の拡張・発展を考えることができる。またマクロ揺らぎ理論と呼ばれる流体的な概念を使う一般論との比較も可能となると期待される。

一方で量子系のダイナミクスに関しては、2000年頃から微視的な観点からの計算が行われて来ているが、2016年頃から流体的な考えも有効であることが示されており、多いに発展しつつあった。研究代表者も興味を持って文献を読み、理解を深めるためにいくつかの予備的計算・考察を行って来ており、その中で古典系における流体的手法との関連を示唆する結果を得て、より統一的な枠組みを構築することを構想するようになった。

2. 研究の目的

上記のような研究開始当初の状況を踏まえ、本研究課題の目的は、非平衡多体系の、特に非平衡相転移や揺らぎに関する普遍的な性質を、微視的な統計力学模型に対する厳密な解析と流体力学的手法を組み合わせることにより、より統一的な視点から理解することである。2010年以降数年間の間に、非平衡統計力学における標準模型の一つである Kardar-Parisi-Zhang(KPZ)方程式や関連する離散モデルを解析する手法は大いに進展したが、それを拡張・応用することにより多成分系における異常輸送や大偏差の普遍的な性質を微視的な視点から明らかにする。またそれらの解析を通して非線形揺らぎあり流体力学のような有効理論の基盤を確立し、非平衡系の普遍的な性質をより一般的な視点から議論する。さらに量子多体系におけるダイナミクスや揺らぎの性質も含めて理解する枠組みの構築を目指す。

非平衡系において境界条件や初期条件が重要な役割を果たすことは、以前からよく知られている。典型例としては温度の異なる 2 面に挟まれた領域内の流体が示すベナール対流といった散逸構造の発現が挙げられる。また低次元においては、熱伝導率の発散など異常な輸送現象が見られることが知られており、カーボンナノチューブにおける実験などでも確認されている。このような非平衡系における相転移や異常な輸送・揺らぎに対しては、既に現象論的な取り扱いが存在し、かなりの成功を収めているが、より汎用性のある理論を構築するために必要な、微視的・統計力学的な観点からの理論的な理解は十分とはいえない。その理由として、このような非平衡多体系を表す微視的モデルの解析が困難であることや、流体的取り扱いに揺らぎを取り入れようとした場合数学的な取り扱いが困難となることが挙げられる。

しかし、非平衡統計力学研究において標準模型の一つとして知られる KPZ 方程式と呼ばれる非線形確率微分方程式に対しては、近年理論的な理解の大きな進展が見られている。KPZ 方程式は、界面の成長を記述するモデルとして 1986 年に導入されたものであり、界面高さ揺らぎの指数がガウシアンとは違うものが現れるという点が着目され、当初から多くの研究が行われていたが、非線形性と無限自由度、揺らぎ効果を持つ方程式であり、指数以上の情報を得ることは困難であった。しかし 2010 年になって、応募者は Spohn との共同研究において、ある初期条件のもとで高さの 1 点分布関数を厳密に求めることに成功した。特に長時間の極限において、GUE 型の Tracy-Widom 分布と呼ばれるランダム行列理論で現れる普遍的な分布関数が現れることを示した。さらに竹内・佐野の液晶乱流を用いた実験においてその普遍分布が確認された。その後数年の間に、KPZ クラスに入っているモデル系の解析は大いに進み、現在も発展を続けている状況である。

本研究課題においては KPZ 系における近年の発展を取り入れつつ、複数の保存量が存在する系にたいする非平衡揺らぎを調べる、微視的および流体的な手法を見出すことを目的としている。

3. 研究の方法

まずは KPZ 系に対する研究の自然な拡張として、多成分確率過程モデル、特に AHR モデルの解析を進める。特に、本研究開始時点で課題として残されていた、複数成分間の相関効果に対する評価を精緻化し、非線形揺らぐ流体力学の予言を厳密に検証することを実現する。先行研究には含まれない新たな解析を行う必要があるが、基本的には技術的な問題であり、丁寧に計算を進めれば実現可能であると考えられる。その後、同様の解析を種々の初期条件の場合に一般化することを目指す。例えば 1 成分系の場合には、界面成長の文脈では平坦な初期界面に相当する、粒子が周期的に配置された初期条件の場合の解析が可能であり、GOE 型の Tracy-Widom 分布と呼ばれる普遍的な分布が現れることが知られているが、その多成分系への拡張を行う。また、定常的な状況における揺らぎや 2 点相関関数の解析を行う。非線形揺らぎあり流体力学においては、ハミルトン系の平衡時空 2 点相関関数が KPZ 普遍 2 点相関で与えられるというのが最初の予想であったが、微視的な観点からの確認はまだ無い。本解析が成功すればそのような最初の例となる。その後他のモデル系や境界条件に対する解析に進む。さらに、ハミルトン系に対する数値シミュレーションとも比較しながら、非線形揺らぎあり流体力学の適用範囲を明らかにし、ハミルトン系を含む多成分系における普遍性について理解を深める。

また、微視的な計算と流体的アプローチの関連に関する理解を深めるため、マクロ揺らぎ理論 (MFT) に現れる MFT 方程式に関する研究を進める。まずは、2017 年の研究において得られた対称排他過程の着目粒子の位置の大偏差関数を、MFT 方程式を解くことで再現することを目指す。方程式が結合した非線形方程式であるため、容易ではないかもしれないが、微視的な視点からは厳密に解けるモデルに関連するものであることから、背後には隠れた対称性が潜んでいる可能性があり、それを見つけることで解決できる可能性は十分にある。この点が解決されれば、同様な解析が可能となるより一般の場合の検討を行う。また境界条件を変更することで、境界条件による非平衡相転移等をより汎用性のある形で議論する。

量子系に関しては、まずは XXZ モデルと呼ばれるスピン鎖のダイナミクスを調べることから始める。このモデルに関しては、しばらく前から微視的な観点からの計算が行われて来ているが、2016 年頃から流体的な考えも有効であることが示されている。特に、XXZ モデルにおける異方性パラメータの絶対値が 1 より小さい場合、系は弾道的な振る舞いを示し、GHD による記述が有効であると信じられている。一方 $q=1$ の場合は数値計算からは弾道的ではないことが示唆されているが、強い有限時間効果があるため、理論的にはその振る舞いが明らかとはなっていない。対称排他過程の時間発展を記述するマルコフ行列と $q=1$ の場合の XXZ モデルのハミルトニアンは等価であることが知られている。両者は物理的な期待値の解釈が違うこともあり単純に一方の結果を他方に翻訳できるわけではないが、流体的な記述においては両者に関係があることを示唆する結果を予備的な計算から得ており、その理解を進める。

また以上のような具体的な計算を比較・検討することにより、各種ある非平衡多体系に対する流体的手法を統一的な枠組みに整えることを目指す。

4. 研究成果

まずは、2018年に一定の成果を得ていた、多成分多粒子確率過程モデルに対する揺らぎの解析を進めた。2018年には、研究代表者らがAHRモデルと呼ばれる2成分系の揺らぎに対する部分的な結果を得ることに成功していたが、最初の論文における解析にはまだ改善の余地が残されていた。特に時間が大きくなる極限において、揺らぎに関する主要項以外の項の大きさの寄与の評価を行う必要があった。それは、揺らぐ流体力学は長時間極限で主要項のみが重要となるという予言をするため、その理論の正当性を検証する際重要となってくるからである。この研究は2020年度まで続け、最終的にAHRモデルの揺らぎを長時間における揺らぎの性質を決定する本論文を完成させた。これは2013年頃に提案された現象論的理論である非線形揺らぐ流体力学に、ミクロなダイナミクスの立場から厳密な検証を与える最初の結果である。

同時に、より基本的な1成分系に対する解析も進め、いくつかの研究成果を得た。まずKPZ系に対する微視的解析に関しては2020年中にKPZ系と有限温度フェルミオンの間に直接的な関係をつけられることを見出すことに成功し、その理解を本質的に深めることができた。これは従来標準的に用いられてきたモーメントの多重積分表示と母関数を用いる手法と比較して格段に見通しがよい。また関係をつけるために用いたのはRSK対応と呼ばれるよく知られた組み合わせ論の手法を一般化したものであるが、離散古典可積分系との関係が見られるなど、これまでの研究には見られなかった新しい視点をもたらしており、今後の一般化、発展が期待されるものである。典型的な応用として、半無限系におけるKPZ系への応用などを議論した論文も2022年度に入ってすぐに完成した。

対称排他過程に対する大偏差を、MFT方程式を解くことで再現する研究も進めた。その結果、ある変換を用いると対称排他過程に対するMFT方程式を古典可積分系にマップすることができることがわかった。これは非平衡多体模型の揺らぎを調べる際の全く新しい方法であり、今後の発展が大いに期待される成果である。

また、保存量が数多く存在する場合の非平衡揺らぎを調べるための枠組みとして、流体力学がいわゆるGeneralized hydrodynamics(GHD)によって記述されるような系に対する大偏差理論を定式化した。従来は拡散的な振る舞いを示す系が中心になって調べられていたが、近年弾道的な振る舞いを示す系も着目を集めており、我々の理論はその揺らぎの研究において基礎的な役割を果たすと期待される。さらにこの研究の結果、非平衡系に特有の長距離相関が見られる新たなメカニズムを見出した。

他にも、開放境界を持つ量子系の時間発展の性質を調べる研究を行った。特にバルク部分がタイトバインディング模型の場合に、平均粒子密度を時間の関数として書き下す公式を見出し、その時間発展を議論した。その結果、平均粒子密度は境界効果により平均粒子密度は2段階緩和を示すといった現象を見出した。またその後他の物理量に関する考察も進め、いくつかの結果を得た。境界にのみ散逸のあるXXスピン鎖の場合に、その時間発展を記述する量子マスター方程式を厳密に解くことに成功した。その結果、系は特徴的な光錐状の磁化領域を示すこと、系の中心では遅い緩和が見られること、境界付近ではプラトーが見られることなどを解析的に説明することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakanishi Yuma, Sasamoto Tomohiro	4. 巻 105
2. 論文標題 PT phase transition in open quantum systems with Lindblad dynamics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 22219
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevA.105.022219	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Zeying Chen, Jan de Gier, Iori Hiki, Tomohiro Sasamoto, Masato Usui	4. 巻 395
2. 論文標題 Limiting current distribution for a two species asymmetric exclusion process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Commun. Math. Phys.	6. 最初と最後の頁 59-142
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00220-022-04408-8	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Kirone Mallick, Hiroki Moriya, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 118
2. 論文標題 Exact solution of the macroscopic fluctuation theory for the symmetric exclusion process,	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. Lett.	6. 最初と最後の頁 160601
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.129.040601	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Imamura Takashi, Mallick Kirone, Sasamoto Tomohiro	4. 巻 384
2. 論文標題 Distribution of a Tagged Particle Position in the One-Dimensional Symmetric Simple Exclusion Process with Two-Sided Bernoulli Initial Condition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 1409 ~ 1444
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00220-021-03954-x	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Takashi Imamura, Matteo Mucciconi, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 2021
2. 論文標題 Determinantal structures in the q-Whittaker measure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Adv. Pure Appl. Math.	6. 最初と最後の頁 261--291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2969/aspm/08710261	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Hiroki Moriya, Rikuo Nagao, Tomohiro Sasamoto,	4. 巻 2019
2. 論文標題 Exact large deviation function of spin current for the one dimensional XX spin chain with domain wall initial condition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Stat. Mech.	6. 最初と最後の頁 63105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-5468/ab1dd6	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Takashi Imamura, Matteo Mucciconi, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 177
2. 論文標題 Stationary Higher Spin Six Vertex Model and q-Whittaker measure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Prob. Th. Rel. Fields	6. 最初と最後の頁 923-1042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00440-020-00966-x	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Nonlinear fluctuating hydrodynamics for stochastic interacting particle systems
3. 学会等名 PDE and Probability Theory -beyond boundaries- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Imamura, Matteo Mucciconi, Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 A new approach to KPZ models by determinantal and Pfaffian measures
3. 学会等名 10th World Congress in Probability and Statistics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Mapping KPZ models to free fermion at finite temperature
3. 学会等名 International Congress on Mathematical Physics 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Skew RSK dynamics
3. 学会等名 P-positivity in Matroid Theory and related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 KPZ models and free fermion at finite temperature
3. 学会等名 Universality and Integrability in Random Matrix Theory and Interacting Particle Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Connecting KPZ models in one dimension to free fermion at finite temperature
3. 学会等名 Probabilistic Methods in Statistical Mechanics of Random Media and Random Fields 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹本 智弘
2. 発表標題 1次元非平衡系におけるカレント揺らぎの厳密な解析
3. 学会等名 第 25 回 久保記念シンポジウム「統計力学と物性科学の発展」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今村卓史, Matteo Mucciconi, 笹本 智弘
2. 発表標題 KPZモデルと有限温度自由フェルミオン
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今村卓史, Matteo Mucciconi, 笹本 智弘
2. 発表標題 q -Whittaker function and free fermion at finite temperature
3. 学会等名 日本数学会 2021年秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹本 智弘, Benjamin Doyon, 吉村賢人
2. 発表標題 一般化流体力学(GHD)で記述される系の大偏差
3. 学会等名 日本物理学会 2022年年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 笹本 智弘
2. 発表標題 Skew RSK, affine crystal and KPZ
3. 学会等名 日本数学会 2022年度年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Spin current statistics for the quantum 1D XX spin chain and the Bessel kernel
3. 学会等名 CMI-HIMR Integrable Probability Summer School (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Current moment formulas for 1D exclusion processes
3. 学会等名 New Connections in Integrable Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Analytic confirmation of a nonlinear fluctuating hydrodynamics prediction for a two species asymmetric exclusion process
3. 学会等名 Emergent Hydrodynamics In Low Dimensional Quantum Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Exact confirmation of the nonlinear fluctuating hydrodynamics for a two species asymmetric exclusion process
3. 学会等名 STATPHYS27 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of spin current for the 1D XX spin chain with domain wall boundary condition
3. 学会等名 Classical and Quantum Integrable Systems 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Spin current for the quantum 1D XX spin chain and the Bessel kernel
3. 学会等名 Interactions between commutative and non-commutative probability (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Spin current for the quantum 1D XX spin chain and the Bessel kernel
3. 学会等名 School and Workshop on Random Matrix Theory and Point Processes (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of spin current for the 1D XX spin chain with domain wall boundary condition
3. 学会等名 Workshop on Recent Progress in Mathematical and Statistical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 On the random matrix type multiple contour integrals for particle systems
3. 学会等名 Spectra of Random Operators and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 笹本 智弘
2. 発表標題 Fluctuations for a two species asymmetric exclusion process
3. 学会等名 18th Stochastic Analysis on Large Scale Interacting Systems (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹本 智弘
2. 発表標題 Large deviations for 1D exclusion process
3. 学会等名 Stochastic Analysis on Particle Systems (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関