

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K05203

研究課題名(和文)非平衡可積分統計力学模型の研究

研究課題名(英文)Studies on integrable non-equilibrium 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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：可積分な構造を持つ非平衡統計力学模型に関する理解を深めるいくつかの成果を得た。まず1次元Kardar-Parisi-Zhang(KPZ)普遍性クラスに属するモデルに対して、従来あった問題点を解決する新たな解析法を開発した。特にKPZクラスに属する多くのモデルを特別な場合や極限的な場合として含む確率的6頂点模型と呼ばれるモデルに適用した。また、これまで1成分系に対してのみ行われてきた計算を、AHRモデルと呼ばれる多成分系に拡張することに成功した。さらに、量子スピン鎖におけるスピン流の揺らぎに関する研究も行い、ランダム行列理論と関係が深いことを見いだした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

まずKPZ系に対して開発した新手法は、従来の手法にあった発散の問題が回避されており多くのモデル系に対して統一的に適用することが可能であり、近年進展が著しい可積分確率と呼ばれる分野における重要な貢献である。また多成分系に対する手法の一般化と普遍揺らぎを決定したことは、可積分非平衡系の手法の適用範囲を大いに広げ今後の発展性が高いものであるとともに、揺らぐ流体力学と呼ばれる有効理論の予言をミクロな計算から検証する最初の例も与えるものであった。さらに、量子スピン系に対するカレント揺らぎの決定とランダム行列理論との関係の発見は、新奇性が高く今後様々な方向への拡張、応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：During the research period, we have achieved several novel results on the studies of non-equilibrium statistical mechanical models with integrable structures. First we invented a new approach to study various models in the Kardar-Parisi-Zhang (KPZ) universality class. In particular we applied the techniques to the stochastic six vertex model, which is considered to be a fundamental model in the KPZ class. Second, we have generalized an analysis which has been developed for the single component systems to a multi-species model known as the AHR model. This is also considered as the first confirmation of a prediction of a conjectural theory called the nonlinear fluctuating hydrodynamics, which has been recently successfully applied to various systems with nonlinear interaction. We have also studied the current fluctuations in a quantum spin chain and succeeded in finding an exact solution for its large deviation. The connection to random matrix theory was observed.

研究分野：非平衡統計力学

キーワード：非平衡 揺らぎ 厳密解

1. 研究開始当初の背景

KPZ 方程式は、1986 年 Kardar, Parisi, Zhang によって界面の成長を記述するために導入されたモデル方程式である。導入当初から非線形性とノイズ効果の両方を含む比較的シンプルな非平衡統計力学モデルとして注目され、多くの研究成果が蓄積されていた。さらに 2010 年、1 次元における KPZ 方程式に対して申請者らによって界面高さ分布に関する厳密解が見出され、同年に液晶乱流を用いた界面揺らぎの分布に関する詳細な実験が行われたことが一つの契機となり、研究開始当初の時点で、理論的にも実験的にも新たな視点から新たな手法を用いた研究が活発に行われている状況であった。

KPZ 方程式に対して厳密解が見出されたと言っても、研究開始の時点でなされていたのは、1 点における高さ分布が、いくつかの特殊な初期条件・境界条件において求められたことだけであった。初期条件や境界条件を変えた場合にどうなるか、多時刻・多点における相関がどのようになるかに関しては分かっていないことが多く、また同様な手法が他の非平衡統計力学模型に適用可能であるかについてはほとんど調べられていない状況であった。

もちろん研究開始前数年間の研究によって、KPZ 方程式の可解性に対する理解は着実に深まってきていた。例えば、KPZ 方程式の空間離散化にあたる q ボソンゼロレンジ過程と呼ばれる多粒子拡散模型に対してはカレント揺らぎが計算され、その背後にはマクドナルド測度と呼ばれる数学的構造が存在することが見出されていた。また、双対性という概念を用いる事により、非対称排他過程 (asymmetric simple exclusion process, ASEP) の解析を見通し良く出来ることが分かっていた。しかしながら、これらの構造や概念がどのように関連し、どの程度一般性を持つかは、明らかではないという状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、2010 年に Kardar-Parisi-Zhang (KPZ) 方程式に対する厳密解が見出されて以来活発に研究が行われ、種々の一般化が行われると共に、その可解性に対する理解が深まりつつある状況にあった研究の流れをさらに加速させ、KPZ 方程式や関連する可解非平衡統計力学模型の性質を明らかにすることであった。KPZ 方程式に対して厳密解が見出されたと言っても、1 点における高さ分布が、いくつかの特殊なモデル、初期条件・境界条件において計算されたに過ぎない。本研究においては、可解性の背後にある数学的構造の理解を深めることにより、汎用性の高い手法を構築し、より一般のモデルや状況に適用することを目指していた。

3. 研究の方法

上記のように、研究開始当時は KPZ 系に対する基本的な解析法が開発されつつある状況であったため、本研究においても基本的な方法は、当時知られていた手法を様々な方向に拡張、一般化することであった。ただし本研究においては、当時存在していた初期条件や成分数に関する重要な課題を解決し、より汎用性、一般性のある手法を開発することを目指していたため、当時の標準的な手法に頼らず、課題を解決するためにありとあらゆる可能性を検討する必要があった。

まず q -TASEP の定常状態を解析することを目指し、指数モーメントの発散の問題に取り組んだ。かなりの時間をかけて解析接続の議論を用いることにより発散を回避する可能性を追求し、そのようなアプローチも可能であることを見出したが、種々の試みを行う中である時点で q 変形されたラプラス変換を直接扱う新しい手法を発見したため、そちらに移行しその整理や一般化を詳細に検討した。

次に Arndt-Heinzel-Rittenberg (AHR) 模型と呼ばれる多成分模型の研究においては、まずは解析が比較的容易であると考えられる特別な場合を見出すことを目指した。可積分性を持つ多粒子確率過程の解析に精通し興味を共有できる研究者との議論が有効であると考え、そのような機会を積極的に作るよう心がけた。カリフォルニア大学サンタバーバラ校内にあるカブリ理論物理学研究所における研究プログラムに組織委員として参加している際、メルボルン大学 (オーストラリア) の de Gier 氏とこの問題について議論する機会があり、その中で粒子のホップと粒子交換を表すパラメータがある条件を満たす場合、時間発展の固有状態が単純な形となることを見出した。そこからは、1 成分系の場合の解析手法がどの程度 2 成分系にも拡張可能か一つ一つ検証してゆくことになった。多くの場合かなり非自明な拡張が必要となったが、結果的にはカレントの同時分布という重要な量が多重積分で書かれ、ランダム行列理論で用いる手法を拡張、適用することで漸近解析まで行うことが可能であることを見出すことができた。

前段落でも 1 名名前を挙げたが、本研究を進めるに当たっては、これまでの共同研究者たちを中心に議論・情報交換を緊密に保ち遂行することに注意した。 q -TASEP の解析や新たな手法の開発に関しては今村卓史氏、多成分系に関しては de Gier, Ferrari, Spohn, といった研究者たち

ちと議論をおこないながら研究を進め、極めて有効であった。

4. 研究成果

本研究を遂行することにより、可積分な構造を持つ非平衡統計力学模型の研究に関して、いくつかの新奇性の高い重要な成果を得ることができた。まず 1 次元 Kardar-Parisi- Zhang (KPZ) 普遍性クラスに属するモデルに対して、従来標準的に用いられてきた手法にあった発散の困難を解決する新しい解析法を開発することに成功した。本研究開始当時、KPZ 系の解析において、多くの場合に適用されていたのは、界面成長の文脈で高さに相当する確率変数の指数モーメントを確率的双対性という性質を用いて有限個数の問題に帰着し、可積分系の研究においてよく用いられる Bethe 仮説と呼ばれる手法を用いて積分表示を求め、その母関数を構成するというものであった。しかしこの手法は、1 次元非対称単純排他過程 (ASEP) や q -TASEP と呼ばれる KPZ 系お研究において標準的なモデルの定常的な状況に対して適用しようとする指数モーメントがある次数以上で発散してしまうという困難が存在していた。我々は、一旦指数モーメントを経由するのではなく、直接 q 変形されたラプラス変換を計算することにより指数モーメントの発散を回避する手法を見出したのである。

この新手法を適用する際には、Ramanujan の和公式と呼ばれる級数公式や、Frobenius 行列式と呼ばれる楕円関数を行列要素に持つ特殊な行列式の性質を有効に利用することが本質的に重要であった。当初、 q -TASEP と呼ばれるモデルの定常的な状況に対して適用したのであるが、その後 KPZ 普遍クラスに属する多くのモデルを特別な場合や極限的な場合として含む確率的 6 頂点模型と呼ばれるモデルに一般化した。特に、粒子の一の揺らぎが長時間の極限で Baik-Rains 分布と呼ばれる分布に収束することを証明した。この解析においては、 q -Whittaker 関数と呼ばれる多変数関数が重要な役割を果たし、その適当な母関数を考えると行列式構造が現れることが以前から知られていたが、そのメカニズムについてはまだ十分な理解がなされていない。新手法は従来の手法と比較して行列式が解析の早い段階で現れるため、この行列式構造を理解するのに有効であると期待される。実際 q -Whittaker 関数とランダム行列理論のより明確な関係を見出すための研究が進展中である。

本研究における別の重要な成果は、これまで 1 成分系に対してのみ行われてきた KPZ 系に対する計算、解析を、Arndt-Heinzel-Rittenberg (AHR) モデルと呼ばれる多成分系に拡張することに成功したことである。AHR モデルは 1 次元格子上を、右に移動する $-$ 粒子と左に移動する $+$ 粒子から成る 2 成分粒子系を表す多粒子確率過程モデルである。ダイナミクスには体積排除効果と 2 成分粒子間の位置交換が取り入れられており、その非線形効果から凝縮体の形成など興味深い現象を示し、その定常状態に関しては行列積の方法と呼ばれる手法で解析が可能であることが以前から知られていたが、時間発展に関係する性質に関しては、解析的な手法を用いて調べることは困難と考えられていた。しかし本研究においては、AHR モデルにおいて粒子のホッピングや位置交換を表すパラメータがある条件を満たす場合、step 型初期条件と呼ばれる特殊な初期条件の元では、原点における $+$ 、 $-$ 両粒子のカレントの同時分布が多重積分の形に明示的に表せることを見出した。これはこの場合に系の時間発展に関する固有状態が比較的単純な形に書くことができることを発見することにより可能となったものである。さらに、1 成分系の研究で現れる多重積分の解析に用いられるランダム理論の手法を、2 成分系の解析で現れた多重積分に拡張、適用できるように工夫することにより漸近解析も実行し、その結果、同時分布がノーマルモードと呼ばれる変数に変換して見れば KPZ 揺らぎとガウシアン積の形に因子化することを示すことに成功した。これは、多成分多粒子非平衡統計力学モデルにおいてその揺らぎまで厳密に解析することができた最初の例である。

この結果はまた非線形揺らぐ流体力学と呼ばれる理論の枠組みからも興味深いものである。この理論は、数年前に van Beijeren と Spohn によって提唱されたものであり、1 次元非線形多体系の長時間における振る舞いに対して予言を与える。系が持つ保存量の時間発展を見る際、保存量そのものではなくノーマルモードと呼ばれる変換した変数で見れば、もし長時間においてはモード間の相互作用が大きくなれば各モードは 1 成分系と同様の振る舞いを示し、多くの場合に KPZ 揺らぎが見られると期待される、というものである。アイデア自体はシンプルなものであるが、予言自体は Fermi-Pasta-Ulam (FPU) 鎖等の非線形 Hamiltonian 系も含め多くの系に適用可能で、かつ数値シミュレーションでの検証は比較的容易であるため、大いに注目を集めている。しかし解析的には、多粒子系に対して定義されるモード間の相互作用の大きさを評価することは困難であり、理論の正当性の検証は容易ではない。本研究において解析を行なった AHR モデルは、2 成分系であり非線形揺らぐ流体力学の理論を適用することが可能であり、適当な初期条件や観測量を取ればモード間の相互作用が有効的に無視され KPZ 揺らぎ等が見出されることが予言される。一方で AHR モデルは可積分構造を持つ多粒子確率過程モデルであり、厳密な解析が進められることを期待できる系でもある。実際本研究においては、Bethe 仮説等の可積分系の手法を用いて AHR モデルの解析に成功し、その結果当該モデルに対する非線形揺らぐ流体力学から予言される振る舞いを検証することができた。これは揺らぐ流体力学の正当性の理論的検証に向けた重要な一歩である。

また、本研究においては、量子系における非平衡揺らぎを調べることも視野に入れていたが、実際、XX モデルと呼ばれる量子スピン鎖におけるスピン流の揺らぎに関し、その大偏差関数を

厳密に求めることに成功した。これは、量子多体系における非平衡揺らぎに関する新奇な成果であり、今後の発展が期待されるものである。技術的な側面からは、XXモデルのカレント揺らぎの解析がランダム行列理論と関係が深いことを見い出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chen Zeying, de Gier Jan, Hiki Iori, Sasamoto Tomohiro	4. 巻 120
2. 論文標題 Exact Confirmation of 1D Nonlinear Fluctuating Hydrodynamics for a Two-Species Exclusion Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 240601
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.120.240601	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, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 198
2. 論文標題 On the q-TASEP with a random initial condition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Theor. Math. Phys.	6. 最初と最後の頁 69--88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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） なし	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, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 50
2. 論文標題 Free energy distribution of the stationary O'Connell-Yor directed random polymer model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. A	6. 最初と最後の頁 285203
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1751-8121/aa6e17	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, Kirone Mallick, Tomohiro Sasamoto,	4. 巻 118
2. 論文標題 Large deviations of a tracer in the symmetric exclusion process	5. 発行年 2017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.118.160601	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 Takahisa Fukadai, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 87
2. 論文標題 Transient Dynamics of Double Quantum Dots Coupled to Two Reservoirs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 54006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.054006	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 Alexei Borodin, Ivan Corwin, Leonid Petrov, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 151
2. 論文標題 Spectral theory for the q-Boson particle system	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Comp. Math.	6. 最初と最後の頁 1-67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Tomohiro Sasamoto, Herbert Spohn	4. 巻 20
2. 論文標題 Point-interacting Brownian motions in the KPZ universality class	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Elec. J. Prob	6. 最初と最後の頁 1-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1214/EJP.v20-3926	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, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 163
2. 論文標題 Determinantal structures in the O'Connell-Yor directed random polymer model	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Stat. Phys.	6. 最初と最後の頁 675-713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10955-016-1492-1	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 Gioia Carinci, Cristiana Giardina, Frank Redig, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 163
2. 論文標題 Asymmetric stochastic transport models with $U_q(\mathfrak{su}(1,1))$ symmetry	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Stat. Phys.	6. 最初と最後の頁 239-279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10955-016-1473-4	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 Tomohiro Sasamoto	4. 巻 2016
2. 論文標題 The 1D Kardar-Parisi-Zhang equation: Height distribution and universality	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Prog. Theor. Exp. Phys.	6. 最初と最後の頁 022A01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptw002	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 印刷中
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 印刷中
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 無
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, Tomohiro Sasamoto	4. 巻 174
2. 論文標題 Fluctuations for stationary $\$q\$$ -TASEP	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Prob. Th. Rel. Fields.	6. 最初と最後の頁 647--730
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00440-018-0868-3	査読の有無 無
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24件 (うち招待講演 21件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Fluctuations of stationary KPZ models and multiple integral
3. 学会等名 Random matrices and their applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 KPZ fluctuations for one-dimensional two species exclusion process
3. 学会等名 International Workshop on Classical and Quantum Integrable Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of a tagged particle in 1D symmetric exclusion process
3. 学会等名 19th International Congress in Mathematical Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Fluctuations of the stochastic higher spin six vertex model
3. 学会等名 Gaussian Free Fields and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Discrete KPZ models and Frobenius determinant
3. 学会等名 Symmetries and Integrability of Difference Equations (SIDE13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of spin current for the 1D XX spin chain
3. 学会等名 Spectra of Random Operators and Related Topics (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 KPZ fluctuations for a two species asymmetric exclusion process
3. 学会等名 Rikko MathPhys 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 笹本 智弘
2. 発表標題 1次元非平衡多体系におけるKPZ揺らぎ
3. 学会等名 乱流と遷移：構造、多重スケール、モデル（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹本 智弘, 藤平 悠太
2. 発表標題 1次元揺らぐ流体力学における熱モードのより直接的な解析
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会,
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Fluctuations and integrability of the 1D KPZ equation and discrete models
3. 学会等名 International Workshop on Classical and Quantum Integrable Systems（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of a tagged particle position in 1D symmetric exclusion process
3. 学会等名 3rd Workshop on Statistical Physics（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Exact large deviation of a tracer position in 1D symmetric exclusion process
3. 学会等名 16th International symposium "Stochastic Analysis on Large Scale Interacting Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of a tagged particle in 1D symmetric exclusion process
3. 学会等名 Non-Equilibrium Systems and Special Functions (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 笹本 智弘
2. 発表標題 多成分系における KPZ 揺らぎ
3. 学会等名 第23回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of a tagged particle for stationary 1D symmetric simple exclusion process
3. 学会等名 Non-equilibrium dynamics in classical and quantum systems: from quenches to slow relaxations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 An analysis of q-TASEP with a random initial condition
3. 学会等名 15th Stochastic Analysis on Large Scale Interacting Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Large deviation of a tagged particle in 1D symmetric exclusion process
3. 学会等名 Dynamics Days Asia Pacific 9 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Exact solutions of 1D KPZ equation and related models
3. 学会等名 Australian and New Zealand Association of Mathematical Physics 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 笹本 智弘
2. 発表標題 KPZ方程式と可積分確率相互作用系
3. 学会等名 日本数学会2017年度年会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 A determinantal structure for finite temperature directed polymer
3. 学会等名 113th Statistical Mechanics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 A determinantal structure for the O'Connell-Yor polymer mode
3. 学会等名 Random Polymers and Algebraic Combinatorics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 The 1D KPZ equation and its universality
3. 学会等名 Yukawa International Seminar 2015 -New Frontiers in Non-equilibrium Statistical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 The 1D KPZ equation: exact solutions and universality
3. 学会等名 Analytical Results in Statistical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tomohiro Sasamoto
2. 発表標題 Determinantal structures for 1D KPZ equation and related models
3. 学会等名 Nonequilibrium: Physics, Stochastics and Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016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
--	---------------------------	-----------------------	----