

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H03627

研究課題名(和文) 双曲力学系における転送作用素のスペクトルの研究

研究課題名(英文) Spectrum of transfer operators for hyperbolic dynamical systems

研究代表者

辻井 正人 (Tsuji, Masato)

九州大学・数理学研究院・教授

研究者番号：20251598

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：諸科学に現れる決定論的な時間発展を記述する数学的な枠組みを力学系と呼ぶ。比較的単純な力学系の中にもカオスと呼ばれる複雑な時間発展が内包されており、カオスと呼ばれる。力学系理論はそのようなカオスの現象の解明を目指して研究されてきた。本研究では力学系が様々な観測量をどのように変化させるかを記述する転送作用素と呼ばれるもののスペクトルに着目して研究を行った。アノソフ流はカオスについての研究の最初から研究されてきた典型的な例であるが、その転送作用素のスペクトルについてはこれまで解明されていない点が多かった。本研究においては、新たな手法でこの問題に挑戦し、いくつかの画期的な成果を上げることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は純粋に学術的なものです。量子力学は分子や原子などの性質を解き明かすための基本的な物理法則です。一方、古典力学においては簡単な系が非常に複雑な時間発展をもたらすカオスという現象がよく知られています。では、カオス的な古典系の量子化はどのような特徴を持つか？というのがいわゆる「量子カオス」の問題です。その研究のためには実はまず古典形のカオスについてより深いレベルでの研究が必要になります。本研究は数学としてそのような研究を行ったものです。研究の成果は関係する数学や理論物理学に波及効果を持つことが期待されます。

研究成果の概要(英文)：Dynamical system is a mathematical framework that describes time evolutions that appear in many branches of sciences. It is known that a simple dynamical system can produce very complicated time evolution. Modern dynamical system theory has been developed to study such a phenomenon, called Chaos. In this study, we study chaotic dynamical system through the spectrum of transfer operators which describe evolution of observables. Anosov flows are one of main example of chaotic flows and has been studied extensively. Still the spectral properties transfer operators for Anosov flows was not well understood. During the period of this study we were able to invent a new approach to the problem and obtained a few decisive results about spectral properties of Anosov flows.

研究分野：力学系理論

キーワード：力学系 カオス 転送作用素 スペクトル アノソフ流 量子カオス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

本研究はカオス的な力学系に関する数学的な研究である。諸科学において様々な系の時間発展を常微分方程式などの数学的モデル(力学系)を用いて研究することは広く一般に行われている。しかし、非線形の力学系においてはいわゆる双曲性と呼ばれる性質を持つことで、比較的単純な系であるにもかかわらず、非常に複雑な時間発展を示すことが知られている。このような現象は一般にカオスと呼ばれている。

カオス的な力学系を研究するには一つ一つの軌道を追跡することは軌道が初期値に鋭敏に依存して、指数的に誤差が拡大することからあまり意味を持たない。そこで初期値の集団(分布)を考え、その時間発展を捉えようというのがエルゴード理論の立場である。分布の時間発展は転送作用素と呼ばれる関数の空間に作用する作用素の1パラメータ群で記述される。研究代表者は典型的なカオス的な力学系である一様双曲的力学系の場合に、転送作用素のスペクトル的な性質を解析的な手法を用いた方法で研究してきた。特に、その中で転送作用素が作用する関数の空間として適切な「非等方ソボレフ空間」を V. Baladi との共著の論文で発表し、それを用いて Anosov 微分同相などの一様双曲的な離散力学系の転送作用素のスペクトル的な性質研究を進めた。それらは現在でも関連する研究の中で一つの重要な発展となっている。

本研究の主要な対象は双曲的な流れであり、特に、負曲率多様体上の測地流などを含む接触アノソフ流である。双曲的な離散力学系については非常に研究が進んだにも関わらず流れ(連続力学系)については同様にならないのは、双曲的な流れの時間を止めた写像が双曲的ではなく「部分双曲的」と呼ばれるものになる点にある。この場合には流れに横断的な方向については上記の双曲的離散力学系に関する方法を用い、一方で流れに沿う方向は周波数によって分解してその高周波の極限を考えることが必要になる。この点は研究が困難になる点であるが、一方で、高周波極限を考える際に準古典解析の手法が重要になる点や物理における量子カオスの問題と関係する点で興味深い。

以上のような実績と経緯の下で本研究を申請し、研究を始めた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的はアノソフ流を含む双曲的な力学系、特に、双曲的な流れの転送作用素についてそのスペクトル的な性質の詳細を分析する、もしくは、そのための方法を開発し、数学や物理学におけるカオスの研究、さらには、量子カオスの研究に繋げることである。

本研究は当初の目標として双曲力学系に対して

- a) 転送作用素の離散固有値及び固有関数の性質を明らかにすること。
- b) 転送作用素の本質的スペクトル半径について分析すること
- c) 負曲率多様体上の測地流と半古典ゼータ関数の研究をすること

を掲げた。これらの目標は前項で述べた研究の経緯と背景に関して自然なものである。本研究の期間の前半においては、目標 a) と b) に関する研究が主となり、特に Faure 氏 (Fourie 研究所) との共同研究の原動力となった。本研究の期間の後半においては c) に関係する研究に興味に移り、それを集中的に進めた。さらに最後に2年間については、それまでの研究に基づく新たな目標として

- d) アノソフ流の指数混合性に関する研究を進めること

を加えた。これは目標 c) と密接に関係するが、系の摂動を考える点においてかなり新しい要素がある。

### 3. 研究の方法

本研究は数学の理論的な研究であり、一般的な理論研究の方法をとった。方法としては

- 1) 論文を読むこと、研究集会で国内外の研究者と課題について議論することや研究情報の交換、関連する数値計算を行うことなどによって課題についての深い知見を身につける。
- 2) 静かな連続した時間をとって課題について深く考える。また、2週間程度の時間をとって共同研究として連続して議論を進める。
- 3) 研究集会や学校(サマースクール)などを通じて研究成果を発表するとともに、関連する最新の研究成果について学ぶ。

また、研究分担者の石井豊氏、新居俊作氏、千葉逸人氏(いずれも九州大学)には常に議論の相手として研究情報を交換し、研究を進捗させるという点で大きく貢献してもらった。

### 4. 研究成果

本研究における研究成果をいくつかの項目に分類して述べる。

#### 1) アノソフ流における指数混合性の問題についての研究を大きく進展させた。

アノソフ流は一般にエルゴード的であるが、混合的であるとは限らない。Anosov や Sinai は 1970 年代にアノソフ流は安定葉層と不安定葉層が jointly integrable である時に混合的であるという事実を示した。しかし、その混合の速さについては重要な問題であると認識されていたものの、技術的な困難もあったしばらく研究が停滞した。その停滞を打ち破ったのが Dolgopyat の有名な論文で、アノソフ流の典型的な例である負曲率曲面上の測地流について指数混合性を示すことに成功した。さらに、Liverani はそれを一般次元に拡張することに成功した。しかし、より一般のアノソフ流については安定及び不安定葉層が微分可能でないということがあり、困難な問題として残されていた。研究代表者は 3 次元の場合で特に体積を保つ場合には生成的な条件のもとでアノソフ流が指数混合的であることを示すことに成功した。これは単に一つの成果というだけでなく、微分不可能な安定及び不安定葉層を扱う方法として「テンプレート」と呼ぶ、対象を導入しそれを用いてそれらの葉層の間のか積分性を分析したという点で新たな発展の基礎となるものである。この結果は「Exponential mixing for generic volume-preserving Anosov flows in dimension three (Journal of the Mathematical Society of Japan, vol 70, p757-821, 2018)として出版され、日本数学会から JMSJ 論文賞を授与された。2019 年にはこの研究を基礎として Zhiyuan Zhang 氏(現在 CNRS 研究員、当時は IAS ポスドク)を共同研究を始め、成果として滑らかな 3 次元アノソフ流について、それが混合的であれば必ず指数混合的になる(逆は明らか)ということを実証することに成功した。これはいわゆる Bowen-Ruelle 予想に肯定的な解決を 3 次元の場合に与えるものである。結果は現在プレプリントとして公開している。

#### 2) 半古典ゼータ関数とそこコホモロジー的解釈についての研究。

半古典ゼータ関数はアノソフ流の周期点の情報から定義される 1 変数の解析的な関数である。定義からは複素平面の実部が十分大きな範囲で定義されることしか分からないが、研究代表者を含むいくつかの研究により、それらが複素平面全体への有理型関数としての拡張を持つことが示された。さらに Faure 氏(Fourier 研究所)との共同研究により、その零点が虚軸の周囲に集中するというリーマンゼータ関数の場合の拡張となる結果を得ることに成功した。もともと、

半古典ゼータ関数はカオス的な古典力学系を古典極限とする量子系の性質の解明を目指す、量子カオスと呼ばれる物理学の分野の研究に現れたものであり、この事実はそこで予想されて(もしくは当然のこととして使われて)いたものであるが、この結果ではそれを数学的に厳密に証明した。結果は大部の論文「The semiclassical zeta function for geodesic flows on negatively curved manifolds」(with F. Faure) *Inventiones Mathematicae* **208**, No. 3 (2017), pp 851-998」として出版された。さらにこの結果を発展させるために、半古典ゼータ関数の零点や極について研究を進めた。半古典ゼータ関数は形式的には流れに不安定葉層に沿う微分形式上の流れの作用の生成作用素のフレドホルム行列式として定義され、その零点や極はその生成作用素の固有値に対応する。しかし、それらの多くは外微分作用素の作用によりお互いに打ち消し合い、結局コホモロジー空間上の作用の生成作用素の固有値だけが半古典ゼータ関数の零点や極として現れると考えられる。実際、このことは予想として Guillemin や Patterson によって述べられている。しかし、例えば不安定葉層自体が横断的な方向に滑らかではないなど、技術的な困難があり議論は進んでいなかった。この点について研究代表者はプリプリント「On cohomological theory of dynamical zeta functions」, arXiv:1805.11992 を発表し、流れをより大きな空間に埋め込んで考えることで滑らかさの問題を解消して Guillemin や Patterson による議論を正当化することに成功した。さらにそれまでの成果を合わせると、不安定葉層に沿うコホモロジー空間は一番下のレベルの空間だけが大きな空間として存在して、半古典ゼータ関数の虚軸に沿って集中した零点はその空間上の流れの自然な作用の生成作用素の固有値となること、また、それ以上のレベルのコホモロジー空間は本質的に消えているということを示すことができた。これらについては事項の Faure 氏との共同研究の1つの成果として発表の予定である。

### 3) 波束変換を用いた転送作用素についての基礎的理論の構築

Faure 氏 (Fourier 研究所) とは約 10 年に渡り共同研究を続けてきた。本研究の期間には上記の半古典ゼータ関数に関する結果以外に、転送作用素に対して波束変換を用いた研究手法について基礎的理論を構築することを目指して議論を進めてきた。もともと、双曲的な離散力学系については Liverani 氏が中心として研究された幾何学的な定義に基づく関数空間と研究代表者と Baladi 氏によって提示された非等方ソボレフ空間が用いられてきた。特に後者は双曲的な流れ(連続力学系)の研究において重要になる準古典解析との相性がよく、多くの研究者に用いられている。しかしながら、より精密な研究をする上では関数空間を力学系に合わせて調整することが必要になり、そのためにより一般的な解析の方法として波束変換を用いた理論の構築が望まれる。波束変換を用いれば関数空間を力学系の性質に合わせてほぼ最良の性質を持つように調整できる。Faure 氏との研究ではまず前量子アノソフ写像と呼ばれる接触アノソフ流(負曲率多様体上の測地流を含む)を概念的に抽象して離散化したの対象について研究を進め、その成果はアノソフ流についての研究を波束変換を用いて記述することを目指した。この成果については「Prequantum transfer operator for symplectic Anosov diffeomorphism」

(with F. Faure), *Asterisque* (2015), ix+222pages, として出版した。その後、一般のアノソフ流についてプレプリント「*Fractal Weyl law for the Ruelle spectrum of Anosov flows*」(with F. Faure), arXiv:1706.09307 として発表し、投稿中である。現在、同様の手法で接触アノソフ流についての詳細な分析をした論文をほぼ完成している。さらに今後そこでの議論を用いることで半古典ゼータ関数に関するコホモロジー理論を記述して論文として発表する予定である。

上記は主な成果であるが、それ以外にも慶應大学の高橋博樹氏と力学系における一般的な大偏差原理について研究を始めて、その成果をプレプリント「Existence of large deviation rate function for any S-unimodal map」(with H.Takahasi), arXiv:1908.07716 として発表した。また、若手の研究者の中野雄史氏(東海大学)と Wittsten 氏(Lund 大学)と量子(単一)エルゴード性についての研究を始めたが、現在のところは画期的な成果を上げるには至っていない。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 TSUJII MASATO	4. 巻 38
2. 論文標題 The error term in the prime orbit theorem for expanding semiflows	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ergodic Theory and Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 1954 ~ 2000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/etds.2016.113	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 TSUJII Masato	4. 巻 70
2. 論文標題 Exponential mixing for generic volume-preserving Anosov flows in dimension three	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Mathematical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 757 ~ 821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2969/jmsj/07027595	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 Arai Zin, Ishii Yutaka	4. 巻 361
2. 論文標題 On Parameter Loci of the Henon Family	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Communications in Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 343 ~ 414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00220-018-3174-0	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 Arai Zin, Ishii Yutaka, Takahasi Hiroki	4. 巻 17
2. 論文標題 Boundary of the Horseshoe Locus for the Henon Family	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Applied Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 2234 ~ 2248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/18M1174684	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 Nii Shunsaku	4. 巻 129
2. 論文標題 Genericity of interactions with potentials being Morse functions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Geometry and Physics	6. 最初と最後の頁 233 ~ 237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomphys.2018.03.013	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 Chiba Hayato, Medvedev Georgi S., Mizuhara Matthew S.	4. 巻 28
2. 論文標題 Bifurcations in the Kuramoto model on graphs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science	6. 最初と最後の頁 073109 ~ 073109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5039609	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 CHIBA Hayato	4. 巻 72
2. 論文標題 A SPECTRAL THEORY OF LINEAR OPERATORS ON RIGGED HILBERT SPACES UNDER ANALYTICITY CONDITIONS II: APPLICATIONS TO SCHRÖDINGER OPERATORS	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Kyushu Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 375 ~ 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2206/kyushujm.72.375	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 Faure, Frederic and Tsujii, Masato	4. 巻 208
2. 論文標題 The semiclassical zeta function for geodesic flows on negatively curved manifolds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Invent. Math.	6. 最初と最後の頁 851-998
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s00222-016-0701-5">https://doi.org/10.1007/s00222-016-0701-5</a>	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 Ishii, Yutaka	4. 巻 3
2. 論文標題 Dynamics of polynomial diffeomorphisms of $C^2$ : combinatorial and topological aspects	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Arnold Mathematical Journal	6. 最初と最後の頁 119-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s40598-017-0066-x">https://doi.org/10.1007/s40598-017-0066-x</a>	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 Chiba, Hayato	4. 巻 16
2. 論文標題 A center manifold reduction of the Kuramoto-Daido model with a phase-lag	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Applied Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 1235-1259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1137/16M1094129">https://doi.org/10.1137/16M1094129</a>	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 Chiba, Hayato	4. 巻 13
2. 論文標題 Multi-Poisson approach to the Painleve equations: from the isospectral deformation to the isomonodromic deformation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SIGMA. Symmetry, Integrability and Geometry. Methods and Applications	6. 最初と最後の頁 1-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3842/SIGMA.2017.025">https://doi.org/10.3842/SIGMA.2017.025</a>	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 F. Faure, M. Tsujii	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 The semiclassical zeta function for geodesic flows on negatively curved manifolds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Inventiones Mathematicae	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s00222-016-0701-5">https://doi.org/10.1007/s00222-016-0701-5</a>	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 M. Tsujii	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 The error term of the prime orbit theorem for expanding semi flows	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ergodic Theory and Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1017/etds.2016.113">https://doi.org/10.1017/etds.2016.113</a>	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 Y. Nakano, M. Tsujii, J. Wittsten	4. 巻 29
2. 論文標題 The partial captivity condition for $U(1)$ extensions of expanding maps on the circle	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nonlinearity	6. 最初と最後の頁 1917 - 1925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1088/0951-7715/29/7/1917">https://doi.org/10.1088/0951-7715/29/7/1917</a>	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 Masato Tsujii	4. 巻 30
2. 論文標題 On the Fourier transforms of self-similar measures	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Dynamical systems - an international journal	6. 最初と最後の頁 468-484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14689367.2015.1078291	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 Hayato Chiba	4. 巻 260
2. 論文標題 The first, second and fourth Painleve equations on weighted projective spaces.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Differential Equations	6. 最初と最後の頁 1263-1313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.jde.2015.09.020">https://doi.org/10.1016/j.jde.2015.09.020</a>	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 Hayato Chiba	4. 巻 259
2. 論文標題 Kovalevskaya exponents and the space of initial conditions of a quasi-homogeneous vector field.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 J. Differential Equations	6. 最初と最後の頁 7681-7716
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) J. Differential Equations	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 Hayato Chiba	4. 巻 35
2. 論文標題 A proof of the Kuramoto conjecture for a bifurcation structure of the infinite-dimensional Kuramoto model	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Ergodic Theory Dynam. Systems	6. 最初と最後の頁 762-834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1017/etds.2013.68">http://dx.doi.org/10.1017/etds.2013.68</a>	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 Yutaka Ishii	4. 巻 256
2. 論文標題 Hyperbolic polynomial diffeomorphisms of $\mathbb{C}^2$ . III: Iterated monodromy groups.	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Adv. Math.	6. 最初と最後の頁 242-304
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aim.2013.12.031	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 HIMEKI YUTARO, ISHII YUTAKA	4. 巻 40
2. 論文標題 is regular-closed	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ergodic Theory and Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 213 ~ 220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1017/etds.2018.27">https://doi.org/10.1017/etds.2018.27</a>	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 Chiba Hayato, Kyushu University, Japan	4. 巻 12
2. 論文標題 The Third, Fifth and Sixth Painleve Equations on Weighted Projective Spaces	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3842/SIGMA.2016.019">https://doi.org/10.3842/SIGMA.2016.019</a>	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21件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 "Transfer operators for Anosov diffeomorphisms"
3. 学会等名 Beyond uniform hyperbolicity 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 "Micro-local methods in hyperbolic dynamics" (Lectures in Summer School at CIRM)
3. 学会等名 "Thermodynamic Formalism: Applications to Probability, Geometry and Fractals" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 Cohomological theory of the semi-classical zeta functions
3. 学会等名 DEA, Krakow, Poland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 Large deviations principle for S-unimodal maps
3. 学会等名 French-Japanese workshop “ Real and Complex Dynamics of Henon ’ s maps ” ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 Gutzwiller-Voros zeta functions for geodesic flows on negatively curved manifolds
3. 学会等名 The third international conference on the dynamics of differential equations ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 On cohomological theory of dynamical zeta functions
3. 学会等名 TMU-ICTP School and Conference on Dynamical Systems and Ergodic Theory ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 On cohomological theory of dynamical zeta functions
3. 学会等名 Dynamical Systems and Related Topics ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻井 正人
2. 発表標題 Gutzwiller-Voros zeta functions for geodesic flows on negatively curved manifolds
3. 学会等名 The third international conference on the dynamics of differential equations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻井 正人
2. 発表標題 On cohomological theory of dynamical zeta functions
3. 学会等名 Spectral geometry, graphs and semiclassical analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻井 正人
2. 発表標題 Exponential decay of correlations for volume-preserving Anosov flows in dimension 3
3. 学会等名 Rufus Bowen conference, UBC in Vancouver, Canada (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 辻井 正人
2. 発表標題 Exponential decay of correlations for Anosov flows
3. 学会等名 Analytical aspects of hyperbolic flows (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Tsujii
2. 発表標題 The spectrum of semi-classical transfer operator for expanding-semi flows
3. 学会等名 Tokyo-Berkeley Mathematics Workshop Partial Differential Equations and Mathematical Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Tsujii
2. 発表標題 Exponential mixing for generic volume-preserving Anosov flows in dimension three
3. 学会等名 Analytical Methods in Classical and Quantum Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 M. Tsujii
2. 発表標題 Exponential mixing for generic volume-preserving Anosov flows in dimension three
3. 学会等名 Mixing flows and averaging method (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 The spectrum of semi-classical transfer operator for expanding semi-flows with holes
3. 学会等名 Fractal Geometry, Hyperbolic Dynamics and Thermodynamical Formalism (ICERM, Brown University, Providence, RI, USA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 辻井 正人
2. 発表標題 双曲力学系の準古典解析
3. 学会等名 第11回代数・解析・幾何セミナー（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 辻井 正人
2. 発表標題 体積を保つ3次元アノソフ流の指数混合性
3. 学会等名 2015年度冬の力学系研究集会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 On error term of the prime periodic orbit theorem for expanding semi flows
3. 学会等名 School and conference on Dynamical systems（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 The error term of The prime Orbit Theorem for expanding semi-flows
3. 学会等名 Third Palis-Balzan International Symposium on Dynamical systems（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Masato Tsujii
2. 発表標題 The error term of The Prime Orbit Theorem for expanding semiflows
3. 学会等名 Workshop on Measurable and Topological Dynamical Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 新居 俊作
2. 発表標題 変分原理、対称性、熱力学
3. 学会等名 HMMCセミナー
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 F. Faure and M. Tsujii	4. 発行年 2015年
2. 出版社 フランス数学会	5. 総ページ数 222
3. 書名 Prequantum transfer operator for symplectic Anosov diffeomorphism	

〔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
研究分担者	石井 豊  (Ishii Yutaka)  (20304727)	九州大学・数理学研究院・教授    (17102)	



## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	新居 俊作  (Nii Shunsaku)  (50282421)	九州大学・数理学研究院・准教授    (17102)	
研究 分 担 者	千葉 逸人  (Chiba Hayato)  (70571793)	九州大学・マス・フォア・インダストリ研究所・准教授    (17102)	