

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03643

研究課題名（和文）量子可積分性に基づいたArgyres-Douglas理論の研究

研究課題名（英文）Study of Argyres-Douglas theory based on quantum integrability

研究代表者

伊藤 克司 (Ito, Katsushi)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：60221769

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：Argyres-Douglas理論と呼ばれる4次元 $N=2$ 超共形場理論は非局所的な理論であり、通常の場の理論的な手法が適用できない。本研究ではその低エネルギー有効理論を特徴づける量子Seiberg-Witten周期を、厳密WKB解析とODE/IM対応の手法を用いて研究を行い、多項式型ポテンシャルをもつシュレーディンガー型の微分方程式で表される量子Seiberg-Witten周期を、量子可積分モデルにおける熱力学的ベテ仮説(TBA)方程式で決定した。また高階の微分方程式へODE/IM対応を拡張することにより、対応する量子Seiberg-Witten周期とTBA方程式との関係を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

摂動論など従来の手法で解析が困難と見られてきた強結合領域における場の量子論を、2次元の量子可積分モデルや常微分方程式の解の接続問題と共通な数学的構造があることを見出すことにより研究する新しい手法を開発した。またこの手法は量子力学のスペクトル問題を量子可積分的手法により厳密に解く新しい手法を与えるなど、摂動論を越えた物理の理解に大きく貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：Four-dimensional $N=2$ superconformal field theories called the Argyres-Douglas theories are non-local theories, where we cannot apply standard method of field theories. In this study, we focus on the quantum Seiberg-Witten periods which characterize the low-energy effective theories and studied them using the exact WKB analysis and the ODE/IM correspondence. I determined the quantum Seiberg-Witten periods for the Schroedinger-type differential equations with a polynomial potential by the thermodynamic Bethe ansatz(TBA) equations. By generalizing the ODE/IM correspondence to the higher-order ODE, we also confirm the relation between the quantum Seiberg-Witten periods and the TBA equations.

研究分野：素粒子論

キーワード：超対称性 量子可積分モデル ODE/IM対応 Argyres-Douglas理論 Seiberg-Witten理論

1. 研究開始当初の背景

ゲージ理論の強結合領域におけるダイナミクスの理解は、クォークの閉じ込め問題や対称性の破れ等の物理に重要である。特に強結合領域におけるくりこみ群の固定点において実現されるスケール不変な場の理論は、その非局所性のためラグランジアンによる記述は有効でなくなり、そのダイナミクスの本質的解明には伝統的な摂動論的、数値的手法に加え、新しい理論的研究方法の開発が望まれる。さらに強結合領域の場の理論は、重力を含む素粒子の統一理論として有力である超弦理論の強結合極限である M 理論の理解のためにも重要である。この理論の基本構成物体である M5 ブレーン上の場の理論は強結合で非局所的であり、そのラグランジアンさえ書くことができない。そのため摂動論的なアプローチが通用せず、標準的な場の理論的な手法によらない新しい研究手法が必要となる。

$N = 2$ 超対称ゲージ理論の場合、その低エネルギー有効理論に関して、インスタントンによる非摂動効果が厳密に評価され分配関数が決定される等しい結果が得られている。しかし、弱結合からの非摂動展開では強結合領域における物理を定量的に調べるのは難しい。強結合領域では、磁荷をもつモノポールや電荷と磁荷をもつダイオンが同時に凝縮する非局所的な超共形場理論 (Argyres-Douglas 理論) が現れる。こうした理論は M5 ブレーンのリーマン面上へのコンパクト化で得られることが知られており、Argyres-Douglas 理論は場の理論と超弦理論の両方の見地から見て興味深い共形場理論である。

こうした相互作用する $N = 2$ 超共形場理論を解析する手法として期待されているのが Hitchin 方程式や $4d/2d$ 対応等の方法である。リーマン面上の M5 ブレーンは Hitchin 方程式系と呼ばれる 2 次元古典可積分方程式系で特徴づけられ、その解のモジュライ空間から、4 次元理論の BPS 状態のスペクトルの情報が得られる。そのスペクトルのモジュライ依存性は、壁越え公式と呼ばれる。この公式は Gaiotto-Moore-Neitzke により量子可積分模型の熱力学的ベータ仮説 (TBA) 方程式と関係付けられ、それによりモジュライ空間の幾何学的構造が決定された。さらに Gaiotto はこの TBA 方程式の massless 極限を考えると、その方程式が、オメガ背景場の Nekrasov-Shatashvili 極限の背景場上 $N = 2$ 超対称ゲージ理論で定義された Hitchin 系と関係した Oper と呼ばれる常微分方程式の Stokes 問題と関係していることを指摘した。

伊藤と Hongfei Shu は、オメガ背景場で定義される (A_1, A_{2n-1}) 型 Argyres-Douglas 理論の Nekrasov-Shatashvili 極限で得られる、低エネルギー有効理論を記述する際に現れる量子化された Seiberg-Witten 曲線の解の接続問題を解析することにより、量子化された周期の満たす関数関係式が 2 次元量子可積分系の関数関係式と同じであることを示し、その量子可積分系が $4d/2d$ 対応における共形場理論であることを初めて明らかにした。このことは、強結合超共形場理論を調べる新しい研究方法として、量子可積分模型の手法が有効であることを強く示唆している。

上記のタイプの Argyres-Douglas 理論は $N = 2$ 超対称ゲージ理論の Seiberg-Witten 曲線の縮退から得られるものであり、affine Lie 代数に基づく戸田場理論のスペクトル曲線と関係していることが知られている。一方で可積分模型の分野において、Dorey-Tateo は、ある種の常微分方程式 (ODE) の解の接続問題に現れる Stokes 係数の零点となるようなエネルギースペクトルと零質量極

限の量子可積分系 (IM) の Bethe 仮説方程式の解が対応していることを発見した。(ODE/IM 対応) また Lukyanov-Zamolodchikov は、古典的な Sinh-Gordon 方程式の解と有質量量子可積分系である量子 sine-Gordon 模型に現れる Baxter の T-Q 関係式との対応を指摘した (massive ODE/IM 対応)。

この古典可積分方程式と量子可積分系の非自明な関係は、理論物理の様々な分野に現れており、ある種の普遍的な原理“古典量子可積分対応”と認識されつつある。伊藤と Locke は例外型を含む一般的な affine Lie 代数 \hat{g} の Langlands 双対 $(\hat{g})^\vee$ に対応する変形 affine Toda 方程式から導出し、さらに affine Lie 代数 \hat{g} に基づいた Reshetikhin-Wiegmann による Bethe 方程式との対応を確立した。伊藤と Shu は affine Toda 理論に付随する A_{2n-1} 型の ODE が、対応する Argyres-Douglas 理論の量子 Seiberg-Witten 曲線であることを発見し、ODE/IM 対応を用いて対応する可積分模型が 4d/2d 対応から予言されるものと一致することを示した。この場合において、量子化周期は可積分模型における準粒子の有効エネルギーを表す Y 関数と同等であることが示された。このように ODE/IM 対応は、Argyres-Douglas 理論の可積分構造を研究する上での理論的指針であり、その対応のより精密な理解が 4 次元共形場理論の構造解明の鍵となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は強結合超共形場理論の量子周期と量子可積分模型の対応を明らかにすることにより、強結合超共形場理論における相関関数等の物理量を厳密に解析し、そのダイナミカルな構造を決定することである。そのため

- 強結合領域における量子化 Seiberg-Witten 曲線と量子周期の厳密な WKB 解析
- 古典量子可積分対応に基づく量子 Seiberg-Witten 曲線と量子可積分模型の関係の確立

の 2 つのアプローチに基づき、研究を行う。

まず、 $N = 2$ 超対称ゲージ理論の低エネルギー有効理論の厳密解を与える Seiberg-Witten 曲線について、そのオメガ背景場の Nekrasov-Shatashvili 極限における量子変形を考える。これは曲線を記述する変数 (p, x) の量子化 $[p, x] = i\hbar$ とみなすことができ、量子 Seiberg-Witten 曲線はある種の常微分方程式となる。この方程式の弱結合における解は調べられており、Nekrasov 分配関数等の厳密な結果と一致していることが分かっている。一方で Seiberg-Witten 理論で特有な強結合領域でモノポール等の BPS 粒子が零質量となる真空のモジュライ空間の特異点での解の構造はあまりよくわかっていない。本研究では、複数の零質量 BPS が共存することにより生じる Argyres-Douglas 理論の量子周期の WKB 解析を行い、その構造を決定する。特に \hbar 補正の構造を Borel 総和法を用いて詳しく調べることにより、真空のモジュライ空間の \hbar に関する非摂動効果を含む変形を明らかにする。

一般の Argyres-Douglas 理論に対応する Hitchin 系は、古典的な可積分性や、その特異点周りの解析的性質は知られている。ODE/IM 対応を調べるには微分方程式の大域的な性質の研究が重要となるが、その性質は affine Toda 場方程式以外の場合ほとんど調べられていない。また例外型の特異性をもつ、あるいはフレーバー対称性をもつ Argyres-Douglas 理論の場合、これに相当する ODE/IM 対応はまだ確立されていない。さらに $N = 2$ 超共形場理論の拡張である $N = 3, 4$ 超共形

場理論に対応する量子 Seiberg-Witten 曲線は 2 次元の $N = 1, 2$ 超共形場理論に対応することが予想される。さらに 4 次元共形場理論の変形空間の構造あるいは異なる Argyres-Douglas 理論間の可積分変形による遷移は、共形場理論の相関関数やその力学的構造を大きく変化させると期待される。このような 4 次元理論の構造は massive ODE/IM 対応により 2 次元の可積分模型の変形で解釈されるものと予想される。

3 . 研究の方法

以上の Argyres-Douglas 理論と 2 次元量子可積分模型の未解決な問題を解決するため、まず平成 30 年度には、まず affine Toda 場方程式に基づいた massive ODE/IM 対応を確立し、対応する量子可積分模型の性質を明らかにする。特にそれがどのような可積分な場の理論、共形場理論の可積分摂動と関係しているかを affine Toda 場方程式に付随する Hitchin 型方程式系の構造から明らかにする。一方で massless $A_1^{(1)}$ の場合は Bazhanov-Lukyanov-Zamolodchikov, massless $A_2^{(1)}$ の場合は Bazhanov-Hibberd-Khoroshkin により考察され、共形場理論の自由場表示で量子可積分系を研究することが可能になっている。本研究ではこれを拡張し、共形摂動論により、任意の affine Lie 代数に対する massive ODE/IM 対応の記述を確立する。さらに Argyres-Douglas 理論の WKB 解析による量子周期の計算を進める。この WKB 解析と共形摂動論との結果を比較し、特別なクラスの Argyres-Douglas 理論における量子可積分模型による解析を完了する。平成 31 年度以降は massive ODE/IM 対応に基いた、Hitchin 系と量子可積分模型の新しい対応を確立する。それにより一般の Argyres-Douglas 理論の変形や相関関数等のダイナミカルな物理量を研究する。またこの研究によって派生した新しい問題を追求する。これらの研究を進めるため、共同研究者や専門家との議論を定期的に行う。具体的には、国内の共同研究者に月 1 回程度東京に来てもらい、集中的に研究を進める。また可積分系の研究者をセミナーに招き議論を行い、国内、海外の研究会で関連研究に関する情報の収集および議論を行う。

4 . 研究成果

平成 30 年: Omega 背景場の Nekrasov-Shatashvili 極限における Argyres-Douglas 理論を考え、その低エネルギー有効理論の厳密解を記述する量子 Seiberg-Witten 曲線と量子可積分模型の関係について研究を行い、以下の結果を得た。A 型のリー代数に基づく Argyres-Douglas 理論の量子 Seiberg-Witten 曲線は多項式型のポテンシャルを持つシュレーディンガー方程式となり、その WKB 周期(量子周期)により Argyres-Douglas 理論の低エネルギー有効理論が決定される。研究代表者は Hongfei Shu(当時東工大大学院生)と Marcos Marino(ジュネーブ大学教授)との共同研究において、任意の多項式型ポテンシャルを持つ 1 次元量子力学における厳密 WKB 周期を決定する非線形積分方程式(熱力学的 Bethe 仮説方程式)を導出した。この方程式は従来の単項式型ポテンシャルの場合に定式化されていた ODE/IM 対応の一般化を与えている。また 1990 年代に Andre Voros によって予想されていたリサージェンス量子力学における Riemann-Hilbert 問題の解を与えている。またこの方程式は厳密量子化条件と合わせると、多項式型ポテンシャルの量子力学のスペクトル問題を解く強力な方法を与えることが分かった。

令和元年: また研究代表者は大久保隆史(当時東工大大学院生)との共同研究で、Argyres-Douglas 理論において最も基本的なタイプの理論である $N=2$ $SU(2)$ 超対称色力学の Seiberg-Witten 曲線の

退化で得られる Argyres-Douglas 理論の量子 Seiberg-Witten 周期についてその評価をプランク定数の 4 次まで行った。その対応を一般の AD 理論に拡張するために、量子 SW 曲線に関する研究を行い、以下の結果を得た。

(1) リー群 G に対し、 (A_1, G) 型の AD 理論の量子 SW 曲線はゲージ群 G を持つ $N=2$ 超対称ゲージ理論のスケール極限で得られる、ある種の AD 理論については、異なる UV 理論からのスケール極限により同じ理論が得られることが知られている。この AD 理論のユニバーサリティを (A_1, Ar) 型及び (A_1, Dr) 型の量子 SW 曲線で検証した。その結果、AD 理論の持つフレーバー対称性により量子 SW 曲線に量子補正が入ることが示された。

(2) $N=2SU(N)$ 超対称 QCD に付随する AD 理論は Eguchi-Hori-Ito-Yang により分類されたが、本年度の研究で量子 SW のレベルでの AD 理論へのスケール極限を具体的に構成し、量子 SW 周期の補正項を 4 次のオーダーまで評価した。量子補正は古典周期にモジュライパラメータの微分作用素を作用させて得られることを示し、今後の量子 SW 曲線の厳密 WKB 解析への基礎を与えた。

令和 2 年: 一般の Lie 群 G に対し (A_1, G) 型の AD 理論の量子 SW 曲線をアフィン戸田方程式に付随する線型方程式と考え、ODE/IM 対応を用いてその線形方程式がどのような量子可積分系と対応するかを詳しく研究した。線型方程式の漸近解間の解の接続係数の満たす関数関係式により量子可積分模型における Baxter の T-Q 関係式及び Q 関数の満たす非線形積分方程式を導き、数値的手法も用いて ODE と量子可積分系の対応を検証した。特に non simply-laced 型や例外型のアフィン Lie 代数に対して ODE/IM 対応を具体的に示したのは初めての結果である。これにより (A_1, G) 型 AD 理論に対応する 2 次元量子可積分系を ODE/IM 対応により決定することができた。

令和 3 年度以降: これまで理解がされていなかった高階常微分方程式の WKB 解析と量子可積分系の関係を通じて、対応する Argyres-Douglas 理論の量子周期の物理特にその壁越え(Wall-crossing)現象を定式化することに成功し、さらに Argyres-Douglas 理論の間の非自明な対応を見出した。まず多項式型のポテンシャル項を持つ 3 階常微分方程式の WKB 周期と量子可積分模型の対応を調べた。これは (A_2, A_N) 型 Argyres-Douglas 理論の Nekrasov- Shatashvili 極限における量子 Seiberg-Witten 曲線と見做される。その真空をパラメトライズするモジュライ空間はモノポール等の BPS 粒子の種類によりいくつかの chamber に分割され、BPS 粒子の質量はその量子周期の絶対値で表される。本研究では minimal chamber における量子周期が量子可積分模型における (A_2, A_N) 型の Y 関数であることを導き、さらにその Y 関数の満たす積分方程式(TBA 方程式)を導いた。さらにその TBA 方程式を wall-crossing により他の chamber に拡張することにより、新しい TBA 方程式を構成した。特に (A_2, A_2) 型の場合 maximal chamber において (D_4, A_1) 型の AD 理論が現れること、 (A_2, A_3) の場合 (E_6, A_1) 理論が現れる事を発見し、AD 理論間の非自明な対応を見出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12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 9件）

1. 著者名 Ito Katsushi, Kondo Takayasu, Kuroda Kohei, Shu Hongfei	4. 巻 2021
2. 論文標題 WKB periods for higher order ODE and TBA equations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	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) 10.1007/JHEP10(2021)167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ito Katsushi, Kondo Takayasu, Shu Hongfei	4. 巻 979
2. 論文標題 Wall-crossing of TBA equations and WKB periods for the third order ODE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 115788 ~ 115788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2022.115788	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ito Katsushi, Kondo Takayasu, Kuroda Kohei, Shu Hongfei	4. 巻 54
2. 論文標題 ODE/IM correspondence for affine Lie algebras: a numerical approach	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 044001 ~ 044001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/abd21e	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 Ito Katsushi, Koizumi Saki, Okubo Takafumi	4. 巻 792
2. 論文標題 Quantum Seiberg-Witten curve and universality in Argyres-Douglas theories	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 29 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.03.024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ito Katsushi, Koizumi Saki, Okubo Takafumi	4. 巻 954
2. 論文標題 Quantum Seiberg-Witten periods for $N=2$ $SU(N)$ SQCD around the superconformal point	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 115004 ~ 115004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2020.115004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ito Katsushi, Marino Marcos, Shu Hongfei	4. 巻 2019
2. 論文標題 TBA equations and resurgent Quantum Mechanics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2019)228	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ito Katsushi, Shu Hongfei	4. 巻 51
2. 論文標題 Massive ODE/IM correspondence and nonlinear integral equations for $A_r(1)$ -type modified affine Toda field equations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 385401 ~ 385401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/aad63f	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 Ito Katsushi, Satoh Yuji, Suzuki Junji	4. 巻 2018
2. 論文標題 MHV amplitudes at strong coupling and linearized TBA equations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2018)002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ito Katsushi, Okubo Takafumi	4. 巻 934
2. 論文標題 Quantum periods for $N=2$ SU(2) SQCD around the superconformal point	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 356 ~ 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2018.07.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ito Katsushi, Zhu Mingshuo	4. 巻 985
2. 論文標題 ODE/IM correspondence and supersymmetric affine Toda field equations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Physics B	6. 最初と最後の頁 116004 ~ 116004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nuclphysb.2022.116004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ito Katsushi, Kondo Takayasu, Shu Hongfei	4. 巻 1
2. 論文標題 Wall-crossing of TBA equations and WKB periods for the higher order ODE	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the East Asia Joint Symposium on Fields and Strings 2021	6. 最初と最後の頁 43-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/9789811261633_0005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 伊藤 克司	4. 巻 78
2. 論文標題 ODE/IM対応 常微分方程式と量子可積分模型の不思議な関係	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 180 ~ 189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11316/butsuri.78.4_180	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12件(うち招待講演 10件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 WKB periods for higher order ODE and TBA equations
3. 学会等名 ARA focus week "Exact quantisation/exact WKB and resurgence" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and WKB periods for higher order ODE
3. 学会等名 conference on Special Geometry, Mirror Symmetry and Integrable Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 ODE/IM correspondence and WKB periods
3. 学会等名 Geometry, Representation Theory and Quantum Fields (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and resurgent quantum mechanics
3. 学会等名 2nd IIT Guwahati and TokyoTech Joint Workshop on Condensed Matter and High Energy Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 quantum SW curves and ODE/IM correspondence
3. 学会等名 X workshop on geometric correspondences of gauge theories (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and resurgent quantum mechanics
3. 学会等名 Workshop and School Topological Field Theories, String theory and Matrix Models, Lebedev Institute of Physics, Moscow (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 Generalized ODE/IM correspondence
3. 学会等名 Workshop New Trends in Integrable Systems 2019, Osaka City University, Osaka (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and resurgent quantum mechanics
3. 学会等名 seminar at Nihon University (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and resurgent quantum mechanics
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and resurgent quantum mechanics
3. 学会等名 one-day workshop for QFT and string theory, Osaka City University, Osaka (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and WKB periods for higher order ODE
3. 学会等名 Physical resurgence: On quantum, gauge, and stringy", Applicable resurgent asymptotics: towards a universal theory, AR2W01 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Katsushi Ito
2. 発表標題 TBA equations and WKB periods for higher order ODE
3. 学会等名 Gravity and Gravitational Wave Physics Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022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
研究協力者	近藤 宇泰 (Kondo Takayasu)		
研究協力者	黒田 航平 (Kuroda Kohei)		
研究協力者	束 紅非 (Shu Hongfei)		
研究協力者	小泉 咲 (Koizumi Saki)		
研究協力者	大久保 隆史 (Okubo Takafumi)		
研究協力者	マリーニョ マルコス (Marino Marcos)		
研究協力者	佐藤 勇二 (Satoh Yuji)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	鈴木 淳史 (Suzuki Junji)		
研究協力者	朱 茗鏢 (Zhu Mingshuo)		

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			
スイス	University of Geneva			
中国	BIMSA	Yau Mathematical Science Center		
スウェーデン	NORDITA			