

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K21828

研究課題名（和文）頂点代数と4次元超対称性場の量子論

研究課題名（英文）Vertex algebras and 4-dimensional supersymmetric quantum field theories

研究代表者

中島 啓（Nakajima, Hiraku）

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授

研究者番号：00201666

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）：超対称性ゲージ理論のクーロン枝の中島とBravermanとFinkelbergによる数学的な定義に基づく幾何学的佐武対応予想の発展として、クーロン枝の同変交叉コホモロジーのトーラス固定点における余茎の構造をMuthiahと共同研究した。特に、余茎に頂点代数のコセットモデルの表現の構造が入ることを示した。これは荒川-Creutzig-LinshawのW代数とコセットモデルの同型を通じて、Alday-Gaiotto-立川(AGT)予想の別証明と、高階数への拡張を与える。また、直交斜交ゲージ理論のクーロン枝についてFinkelbergとHananyとの共同研究で、古典群のべき零軌道との関連を研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

頂点代数と4次元超対称性場の量子論の関係について、数学的にいくつかの新しい結果を得ることができた。中島のクーロン枝の同変交叉コホモロジーのトーラス固定点上の余茎と頂点代数のコセットモデルの関係や、直交斜交ゲージ理論のクーロン枝の記述は、理論物理で期待されていたものであり、これに数学的に厳密な基礎づけを与え、なぜそのようなことが成立しているかに明快な説明を与えることができ、大きな意義があった。荒川のUrod代数の一般のリー環への拡張や、W代数の表現の研究は、理論物理においても理解が十分に進んでいない問題への貢献であり、理論物理と数学の両者において更なる展開が期待され、これも大きな意義がある。

研究成果の概要（英文）：A mathematically rigorous definition of Coulomb branches of supersymmetric gauge theories was given by Braverman, Finkelberg and Nakajima. In this research, I, together with Dinakar Muthiah, studied structures of costalks of equivariant intersection cohomology groups at torus fixed points, as a sequel to my study of geometric Satake correspondence through Coulomb branches of quiver gauge theories. In particular, we saw that costalks have structures of representations of coset vertex algebras. Through the isomorphism between W-algebras and coset vertex algebras due to Arakawa-Creutzig-Linshaw, it gives a new proof of Alday-Gaiotto-Tachikawa (AGT) conjecture and its higher rank generalization.

I, together with Finkelberg and Hanany, studied also Coulomb branches of orthosymplectic quiver gauge theories and their relation to nilpotent orbits of classical groups.

研究分野：表現論

キーワード：頂点代数 4次元超対称性場の量子論 ゲージ理論のクーロン枝 W代数 直交斜交ゲージ理論

## 1. 研究開始当初の背景

2次元共形場理論において現れた頂点作用素の性質を抽出して Borchers が 80 年代後半に導入した頂点代数は、その起源が 2次元の理論にあったことから、他の次元の場の理論と関係することは想像されていなかった。ところが、2010 年代後半からさまざまところで、数学、理論物理の双方で、4次元の理論と頂点代数が関係することが発見されており、新しい現象として注目され始めていた。

## 2. 研究の目的

この研究の目的は、二つあり、(1) 発見された 4次元理論と頂点代数の関係を、数学的にさらに深める (2) 特に、頂点代数の表現論を、この立場から研究する。研究代表者中島の研究テーマは、理論物理学に動機づけられた幾何学的表現論と分類できるが、これまでのものは物理的には、よく分かっているものに数学的に厳密に証明を与えるというものである。今回のテーマの頂点代数と 4次元理論の関係は、それに比べて物理的にもよく分かっておらず、挑戦的な研究である。

## 3. 研究の方法

幾何学的な背景を持つ中島と、頂点代数の専門家である荒川とで、研究組織を二人で構成し、内外の専門家と協力しつつ、共同研究によって解明を目指す。

主要な研究テーマである超対称性ゲージ理論のクーロン枝の数学的な定義は、中島と Braverman, Finkelberg の共同研究[1]により与えられていたが、物質場に対応する表現が余接型という条件を課していた。その後、Braverman, Dhillon, Finkelberg, Raskin, Travkin[2] によりアノマリーがキャンセルしている一般の表現に拡張された。下で紹介される直交斜交ゲージ理論は余接型でないゲージ理論の例であり、一般の定義を用いる。

## 4. 研究成果

(a) クーロン枝を用いた Kac-Moody Lie 環における幾何学的佐武対応予想は、アファイン A 型の場合に中島により解決されていたが、その定式化の下でトーラス作用に関する固定点における余茎の構造を中島と Muthiah との共同研究で調べた。(文献[3]がそのアナウンスメントである。詳細については論文準備中) 幾何学的佐武対応により、双曲茎がアファイン・リー環の表現空間であることが分かり、一方で一般論により余茎は双曲茎の部分空間であるので、部分空間を表現論的に特徴づけることが、その成果である。その証明のために、Braverman-Finkelberg によるダイナミカル・ワイル群の幾何学的な実現に関する予想を、アファイン A 型における証明する必要があった。これ自体も興味深い結果である。

この結果の応用として、アファイン A 型旗多様体の余接束が幾何学的表現論的に構成される。これは、Arkhipov-Bezrukavnikov-Ginzburg によるアファイン・グラスマンの同変交叉ホモロジーと旗多様体を結びつける結果の、アファイン・リー環における類似となっている。特に余茎が頂点代数のコセットモデルの表現になっていることを見出した。荒川-Creutzig-Linshaw の結果(発表論文の "W-algebras as coset vertex algebras")と合わせると、レベル 1 の場合には Alday-Gaiotto-立川(AGT)予想の別証明を与える。また、クーロン枝の特異点解消のコホモロジーを考えると、アファイン・リー環のレベル・ランク双対性を実現できることも示した。

(b) アファイン平面  $C^2$  のブローアップの上の枠付き接続層のモジュライ空間のコホモロジーは、中島-吉岡による Nekrasov 分配関数の性質の研究において重要な役割を果たした。アファイン平面  $C^2$  の上の枠付き接続層のモジュライ空間のコホモロジーに頂点代数の例である W 代数の表現の構造が入る、というのが AGT 予想の主張であるが、ブローアップの場合に作用する頂点代数は何か、というのは自然な問題であるが、Bershtein-Feigin-Litvino は、 $sl_2$  の場合に、これが Urod 代数という新しい頂点代数であると主張した。荒川は Creutzig, Feigin との共同研究(発表論文の "Urod algebras and Translation of W-algebras")において、アファイン W 代数に対する translation 関手を導入することにより、Urod 代数を一般の半単純リー環に拡張した。

(c) 荒川は、4次元の Argyres-Douglas 理論と W 代数に関する物理学者の研究を動機の一つとして、Anne Moreau と Jethro van Ekeren との共同で、霧零 Slodowy 横断片の特異性の W 代数の

崩壊レベルへの応用を行った。(発表論文の " On the nilpotent orbits arising from admissible affine vertex algebras ")

(d) 中島は、de Campos Affonso の導入した対称弓箭多様体について、古典型のアフィン・リー環に対応する籐ゲージ理論のクーロン枝と一致することの証明を目指して、その性質を検討した。(詳細については論文準備中) アフィン A 型のときは、中島と高山が以前に証明した結果であり、その一般化である。これは、古典型アフィン・リー環の場合に幾何学的佐武対応を証明することへ向けての、必要な最初のステップと考えられる。対称弓箭多様体が一般には期待されるもの以外に既約成分を持っているという新たな困難が生じたが、これを克服するために、対称弓箭多様体の部分特異点解消を考え、その連結成分を調べた。これが期待する性質を持つことが分かったので、証明ができることが期待できる。また、部分特異点解消は、ゲージ理論のフレーバー対称性がクーロン枝に導くものと同定できると期待される。この特異点解消は、籐多様体への対合の定義に基づいている。

(e) 直交斜交籐ゲージ理論のクーロン枝を実現する弓箭多様体の変種を Finkelberg, Hanany と中島の共同研究で研究した。(論文は近日中に arXiv に投稿予定) (d)の対称弓箭多様体と同様に、弓箭多様体に対合を定義してその固定点集合を考える。ただし(d)における対合とは異なるものを用いる。これは古典型のべき零軌道と密接な関係があるが、その被覆が現れたり、斜交群の双対群が再び斜交群になるメタプレクティック双対が現れるなど、多くの新しい現象を見出した。

(f) ジョルダン籐の直交斜交籐ゲージ理論についてクーロン枝の変形量子化を、同変ホモロジーの局所化の手法を用いて差分作用素で表わした。特にベクトル表現に対応する matter の数が 4 の場合に、物理学者の吉田の主張である、この差分作用素は、 $C^V C$ 型の double affine Hecke 代数のマクドナルド作用素であるということ、クーロン枝の変形量子化の数学的な取扱いの下で、検証したことになる。また、ここでの手法は matter の数は 4 以上でも適用可能であり、D 型特異点の対称積の量子化の有理 Cherednick 代数になると期待できる。

#### 引用文献

- [1] A. Braverman, M. Finkelberg, H. Nakajima, Towards a mathematical definition of Coulomb branches of 3-dimensional  $N = 4$  gauge theories, II, Adv. Theo. Math. Phys. 22 (2018), 1071-1147.
- [2] A. Braverman, G. Dhillon, M. Finkelberg, S. Raskin, R. Travkin, Coulomb branches of noncotangent type, arXiv:2201.09475.
- [3] H. Nakajima, Intersection cohomology groups of instanton moduli spaces and cotangent bundles of affine flag varieties, Proceedings of the 68th Geometry Symposium, August 2021, arXiv:2306.00373 [math.RT].

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 H. Nakajima	4. 巻 56
2. 論文標題 Towards geometric Satake correspondence for Kac-Moody algebras -- Cherkis bow varieties and affine Lie algebras of type A	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Annales scientifiques de l'Ecole normale superieure	6. 最初と最後の頁 1777-1824
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24033/asens.2567	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 Nakajima Hiraku, Weekes Alex	4. 巻 25
2. 論文標題 Coulomb branches of quiver gauge theories with symmetrizers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the European Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 203 ~ 230
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4171/JEMS/1176	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 Braverman Alexander, Finkelberg Michael, Nakajima Hiraku	4. 巻 2022
2. 論文標題 Kazhdan-Lusztig conjecture via zastava spaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal fur die reine und angewandte Mathematik (Crelles Journal)	6. 最初と最後の頁 45 ~ 78
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/crelle-2022-0013	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 Braverman Alexander, Finkelberg Michael, Nakajima Hiraku	4. 巻 25
2. 論文標題 Line bundles over Coulomb branches	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Theoretical and Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 957 ~ 993
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4310/ATMP.2021.v25.n4.a2	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 Nakajima Hiraku	4. 巻 61
2. 論文標題 Euler numbers of Hilbert schemes of points on simple surface singularities and quantum dimensions of standard modules of quantum affine algebras	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Kyoto Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 377 ~ 397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1215/21562261-2021-0006	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 Braverman Alexander、Finkelberg Michael、Nakajima Hiraku	4. 巻 0
2. 論文標題 Kazhdan-Lusztig conjecture via zastava spaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal für die reine und angewandte Mathematik (Crelles Journal)	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) 10.1515/crelle-2022-0013	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 Arakawa Tomoyuki、Kawasetsu Kazuya、Sebag Julien	4. 巻 588
2. 論文標題 A question of Joseph Ritt from the point of view of vertex algebras	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Algebra	6. 最初と最後の頁 118 ~ 128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jalgebra.2021.07.030	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 Arakawa Tomoyuki、Moreau Anne	4. 巻 57
2. 論文標題 Arc Spaces and Chiral Symplectic Cores	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Research Institute for Mathematical Sciences	6. 最初と最後の頁 795 ~ 829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4171/prims/57-3-3	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 Arakawa Tomoyuki, Jiang Cuipo, Moreau Anne	4. 巻 8
2. 論文標題 Simplicity of vacuum modules and associated varieties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal de l'ecole polytechnique Mathematiques	6. 最初と最後の頁 169 ~ 191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5802/jep.144	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 Dedushenko Mykola, Gukov Sergei, Nakajima Hiraku, Pei Du, Ye Ke	4. 巻 53
2. 論文標題 3d TQFTs from Argyres-Douglas theories	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 43LT01 ~ 43LT01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/abb481	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 ARAKAWA Tomoyuki, YAMADA Hiromichi, YAMAUCHI Hiroshi	4. 巻 73
2. 論文標題 Zk-code vertex operator algebras	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Mathematical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2969/jmsj/83278327	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 T. Arakawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Representation theory of W-algebras and Higgs branch conjecture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. Int. Cong. of Math. 2018 Rio de Janeiro	6. 最初と最後の頁 1261-1278
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 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 T. Arakawa, T. Creutzig and A. Linshaw	4. 巻 218
2. 論文標題 W-algebras as coset vertex algebras	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Invent. Math.	6. 最初と最後の頁 145-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00222-019-00884-3	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 T. Arakawa and A. Linshaw	4. 巻 330
2. 論文標題 Singular support of a vertex algebra and the arc space of its associated scheme	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress in Mathematics	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-23531-4_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 該当する

1. 著者名 Arakawa Tomoyuki, Frenkel Edward	4. 巻 155
2. 論文標題 Quantum Langlands duality of representations of W-algebras	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Compositio Mathematica	6. 最初と最後の頁 2235 ~ 2262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1112/S0010437X19007553	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 Braverman Alexander, Finkelberg Michael, Nakajima Hiraku	4. 巻 23
2. 論文標題 Coulomb branches of 3d N=4 quiver gauge theories and slices in the affine Grassmannian	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Theoretical and Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 75 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4310/ATMP.2019.v23.n1.a3	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 Braverman Alexander、Finkelberg Michael、Nakajima Hiraku	4. 巻 23
2. 論文標題 Ring objects in the equivariant derived Satake category arising from Coulomb branches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Theoretical and Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 253 ~ 344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4310/ATMP.2019.v23.n2.a1	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 Arakawa Tomoyuki、Creutzig Thomas、Feigin Boris	4. 巻 10
2. 論文標題 Urod algebras and Translation of W-algebras	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Forum of Mathematics, Sigma	6. 最初と最後の頁 1 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/fms.2022.15	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 Arakawa Tomoyuki、van Ekeren Jethro、Moreau Anne	4. 巻 125
2. 論文標題 On the nilpotent orbits arising from admissible affine vertex algebras	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the London Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 681 ~ 699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1112/plms.12467	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

〔学会発表〕 計88件 (うち招待講演 87件 / うち国際学会 53件)

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Orthosymplectic bow varieties
3. 学会等名 Eastern Hemisphere Colloquium on Geometry and Physics (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of Orthosymplectic quiver gauge theories
3. 学会等名 Berkeley Informal String-Math Seminar (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of orthosymplectic quiver gauge theories
3. 学会等名 Workshop on Geometric Representation Theory and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 A mathematical definition of Coulomb branches of 3d N=4 SUSY gauge theories
3. 学会等名 International Congress of Basic Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches and singular monopole moduli
3. 学会等名 Gauge Theory and Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches and DAHA
3. 学会等名 Elliptic Integrable Systems, Representation Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of 3d $N=4$ (4d $N=2$ ) gauge theories
3. 学会等名 Strings in Seoul 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Gauge Theories and Geometric Representation Theory
3. 学会等名 UNIST International Workshop on Symplectic Singularities and Field Theories with 8 Supercharges (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches and S-dual varieties
3. 学会等名 UNIST International Workshop on Symplectic Singularities and Field Theories with 8 Supercharges (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 S-dual varieties and Coulomb branches
3. 学会等名 Enumerative Geometry in East Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中島 啓
2. 発表標題 S-dual varieties and Coulomb branches
3. 学会等名 保型形式, 代数幾何, (保型)微分作用素、頂点作用素代数 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Involutions on quiver varieties and bow varieties
3. 学会等名 Mini-workshop on Quiver Varieties and Related Topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Orthosymplectic bow varieties
3. 学会等名 Geometric Representation Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Equivariant intersection cohomology of instanton moduli spaces
3. 学会等名 Field Theories and Vertex Algebras (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 A mathematical definition of Coulomb branches of 3d N=4 SUSY gauge theories
3. 学会等名 John Conway Spirited Seminar (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of 3d N=4 SUSY gauge theories and bow varieties
3. 学会等名 Workshop on interactions between representation theory, combinatorics, and geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of orthosymplectic quiver gauge theories
3. 学会等名 Workshop on interactions between representation theory, combinatorics, and geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Orthosymplectic bow varieties
3. 学会等名 Hyperkahler quotients, singularities, and quivers (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of orthosymplectic quiver gauge theories
3. 学会等名 Gauge Theory, Moduli Spaces and Representation Theory (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches and DAHA
3. 学会等名 The Geometry of Double Affine Hecke Algebras and Coulomb Branches (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches and DAHA
3. 学会等名 Quantum Field Theories and Representation Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Geometric Satake for affine Lie algebras
3. 学会等名 Berkeley String-Math Seminar (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Geometric Satake for affine Lie algebras
3. 学会等名 MIT infinite dimensional algebra seminar (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島 啓
2. 発表標題 幾何解析におけるUhlenbeckの研究について
3. 学会等名 May 12, Celebration of Women in Mathematics (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Geometric Satake correspondence for affine Lie groups
3. 学会等名 Quantum Fields, Geometry and Representation theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Representations of shifted Yangian
3. 学会等名 The international workshop on cluster algebras and related topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 A mathematical approach towards Coulomb branches of 3d SUSY gauge theories and related topics
3. 学会等名 Thematic Program on Arithmetic, Geometry, and Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島 啓
2. 発表標題 Intersection cohomology groups of instanton moduli spaces and cotangent bundles of affine flag varieties
3. 学会等名 第68回幾何学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of 3d supersymmetric gauge theories
3. 学会等名 Mathematics without borders, the centennial of the IMU (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Symmetric bow varieties and Coulomb branches of quiver gauge theories of classical affine types
3. 学会等名 Enveloping Algebras and Geometric Representation Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Symmetric bow varieties
3. 学会等名 Arithmetic algebraic geometry and mathematical physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Symmetric bow varieties
3. 学会等名 Connections between String Theory and Special Holonomy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Involutions on symplectic singularities
3. 学会等名 Vertex algebras and Poisson Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Instanton moduli spaces and W-algebras
3. 学会等名 the trimester program in vertex and chiral algebras (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島 啓
2. 発表標題 カツツ・ムーディー・リー環の幾何学的佐武対応へ向けて
3. 学会等名 日本数学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and VOA theory (mini-course)
3. 学会等名 School on Representation theory, Vertex and Chiral Algebras, IMPA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 Weight representations of affine Kac-Moody algebras and small quantum groups
3. 学会等名 Vertex Algebras and Poisson Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒川知幸
2. 発表標題 4D/2D 双対性と表現論
3. 学会等名 第 17 回代数・解析・幾何学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Colloquium, Yau Mathematical Sciences Center (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Online research seminar: Algebra, Geometry & Physics, Humboldt-Universität zu Berlin and Max Planck Institute for Mathematics (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 Weight representations of affine Kac-Moody algebras and small quantum groups
3. 学会等名 Seminaires : Groupes, Représentations et Géométrie (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and VOA theory
3. 学会等名 Quantum Field Theories and Quantum Topology Beyond Semisimplicity (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Penn Mathematics Colloquium, Department of Mathematics (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 Weight representations of affine Kac-Moody algebras and small quantum groups
3. 学会等名 Seminaire Algebre, Institut Camille Jordan, the University of Lyon (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 R-filtration and Vogan filtration
3. 学会等名 Pure Spinors, Superalgebras, and Holomorphic Twists (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Seminaire Darboux, Le Laboratoire de Physique Theorique et Hautes Energies (LPTHE) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Seminaire Arithmetique et Geometrie Algebrique (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 Urod algebras and Translation of W-algebras
3. 学会等名 MIT Infinite Dimensional Algebra Seminar (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Ginzburg - Riche in geometric Satake for affine Lie algebras
3. 学会等名 GRT at home seminar (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Euler numbers of Hilbert schemes of points on simple surface singularities
3. 学会等名 Qolloquium: Quivers, Representations, Resolutions (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Euler numbers of Hilbert schemes of points on simple surface singularities and quantum dimensions of standard modules of quantum affine algebras
3. 学会等名 Leicester Algebra and Geometry Open Online Seminar (LAGOON) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Bow varieties and representations of affine Lie algebras
3. 学会等名 M-seminar, Kansas State University (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Quiver gauge theories with symmetrizers
3. 学会等名 Online Geometry and Physics Seminar, Institute for Advanced Study in Mathematics at Zhejiang University (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Bow varieties, aka Coulomb branches of quiver gauge theories of affine type A, and representations of affine Lie algebras
3. 学会等名 Quantum Geometry in Gauge Theory and Strings (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Convolution algebras and a new proof of Kazhdan-Lusztig formula
3. 学会等名 東大数理談話会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Rozansky-Witten theories with noncompact targets
3. 学会等名 GeMAT seminar (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Randomness, Integrability and Representation Theory in Quantum Field Theory 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 Introduction to vertex algebras and their representations I, II, III
3. 学会等名 Discussion Meeting on Representation Theory 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Berkeley Informal String-Math Seminar (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoyuki Arakawa
2. 発表標題 Associated varieties and 4D/2D correspondence
3. 学会等名 String Math 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of quiver gauge theories with symmetrizers
3. 学会等名 Theorie symplectique des representations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島 啓
2. 発表標題 Coulomb branches of 3d SUSY gauge theories
3. 学会等名 東京大学火曜トポロジーセミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Representations of quantized Coulomb branches of 3d N=4 gauge theories
3. 学会等名 Symplectic Geometry Seminar (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Symmetric bow varieties
3. 学会等名 Geometric and analytic aspects of moduli spaces (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 K-theoretic Coulomb branches of gauge theories
3. 学会等名 Integrability, Geometry and Moduli (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Introduction to Coulomb branches of 3d N=4 SUSY gauge theories
3. 学会等名 Focus week on quiver varieties (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Bow varieties - I, II
3. 学会等名 Focus week on quiver varieties (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Quiver gauge theories with symmetrizers
3. 学会等名 Quantum structures in algebra and geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Coulomb branches of 3d N=4 gauge theories 1,2,3
3. 学会等名 School and Workshop on Gauge Theories and Differential Invariants (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島 啓
2. 発表標題 quantized Coulomb branch とその表現
3. 学会等名 表現論シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiraku Nakajima
2. 発表標題 Geometric Satake correspondences for Kac-Moody Lie algebras and Coulomb branches of 3d N=4 gauge theories
3. 学会等名 Master Lectures - Hiraku Nakajima (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4d/2d Duality and Representation Theory (連続講演)
3. 学会等名 International Conference "Vertex Algebras and Geometry of Moduli Spaces" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4d/2d Duality and Representation Theory
3. 学会等名 Colloquium "Sibe Mardesic" (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4d/2d duality and W-algebras
3. 学会等名 Geometric and automorphic aspects of W-algebras (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4d/2d duality and Moore-Tachikawa symplectic varieties
3. 学会等名 Seminaire Algebre Geometrie Algebrique Topologie Algebrique (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4d/2d duality and Moore-Tachikawa symplectic varieties
3. 学会等名 The Mathematical Foundations of Conformal Field Theory and Related Topics -A conference in honor of Yi-Zhi Huang (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 Quantum Langlands duality of representations of W-algebras
3. 学会等名 Representation Theory XVI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 W-algebras (集中講義) Program on Vertex Operator Algebras and Related Topics
3. 学会等名 Tianyuan Mathematical Center in Southwest China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and Moore-Tachikawa symplectic varieties
3. 学会等名 REPRESENTATION THEORY AND INTEGRABLE SYSTEMS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4d/2d Duality and Representation Theory
3. 学会等名 Colloquium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4d/2d Duality and Representation Theory
3. 学会等名 International Symposium on "Advances and Perspectives in Representation Theory" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4D/2D対応と表現論(集中講義)
3. 学会等名 大阪大学(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 表現論特別講義
3. 学会等名 名古屋大学多元数理集中講義(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and Moore-Tachikawa varieties
3. 学会等名 Geometric Representation Theory and Quantum Field Theories(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and representation theory
3. 学会等名 Conference on Lie and Jordan Algebras(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 4D/2D duality and Moore-Tachikawa varieties
3. 学会等名 Workshop “ Rikkyo MathPhys 2020 ” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 Coset construction of W-algebras and applications
3. 学会等名 Workshop < Geometry and representation theory > Institut Henri Poincare (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T.Arakawa
2. 発表標題 Introduction to vertex algebras (連続講演)
3. 学会等名 Thematic trimester program on Representation theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="http://member.ipmu.jp/hiraku.nakajima/">http://member.ipmu.jp/hiraku.nakajima/</a>
---

## 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	荒川 知幸  (Arakawa Tomoyuki)  (40377974)	京都大学・数理解析研究所・教授    (14301)	

## 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			
ロシア連邦	Higher School of Economics			
英国	グラスゴー大学	インペリアルカレッジ		
フランス	リール大学	レンヌ大学		
中国	上海交通大学			
英国	グラスゴー大学			
米国	カリフォルニア工科大学	University of Denver		
ロシア連邦	Higher School of Economics			
カナダ	University of Toronto	Perimeter Institute	University of Alberta	