

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 2 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22244003

研究課題名(和文)モジュライ空間と算術多様体の幾何の構築と展開

研究課題名(英文)Constructions and developments of geometry on moduli spaces and arithmetic varieties

研究代表者

森脇 淳(Moriwaki, Atsushi)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70191062

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,100,000円

研究成果の概要(和文)：6つのグループにおけるモジュライ空間と算術多様体に関する幾何の構築と展開は世界的な業績を上げたと言える。例えば、分担者の望月拓郎は2014年のソウルにおける世界数学会議において名誉ある全体会議の招待講演者に選ばれ、最近の成果の発表を行った。また、本研究費で進めたパリ・バルセロナ・京都を中心とする都市間国際シンポジウムは毎年順調に開催され、国際共同研究に繋がっている。例えば、研究代表者の森脇とグルノーブル大学フーリエ研究所のChen氏の共同研究の成果は本としてまとめられつつある。

研究成果の概要(英文)：Our six teams made international and surprising progresses of constructions and developments on geometries on moduli spaces and arithmetic varieties. For example, Prof. Mochizuki, who is a member of this research project, was elected as a plenary speaker of Soul International congress of Mathematicians 2014. Moreover, we supported the intercity seminars between Paris, Barcelona and Kyoto by this project. We could produce a lot of significant international researches such as joint works of Moriwaki and H. Chen at Fourier Institute, Grenoble University.

研究分野：代数幾何学

キーワード：代数幾何学 モジュライ空間 数論幾何学 解析的捩率 複素幾何 算術的力学系

### 1. 研究開始当初の背景

モジュライ空間と算術多様体の研究は、一見無関係のようであるが、その根幹において強く結びついており、広い分野と関連しながら、数学の一つのメインストリームとして発展している分野である。研究開始当初、この分野の研究では日本は世界的をリードしており、数多くの優秀な研究者が京都大学にいる状態であったので、京都大学を中心にこの分野に関わる最前線の研究者を束ね、総合的な研究を推し進めていくことを考えた。

### 2. 研究の目的

ファルティングスのモデル予想の解決の鍵となったのはアーベル多様体のモジュライ空間の算術的な意味でのコンパクト化であった。この例からもわかるように、モジュライ空間と算術多様体の研究は無関係ではない。最近のこの分野の研究は大きく発展しており、多岐にわたっている。本申請でいう「モジュライ空間」は狭義には古典的なものであるが、広義にはある性質をもった数学的对象物の集まりと考える。例えば、導来圏もある種の「モジュライ空間」と理解できる。本研究では、京都大学を中心にこの意味での「モジュライ空間と算術多様体の幾何」に関わる最前線の研究者を束ね、個々の幾何の新しい知見の発見と基礎的理論の構築に努め、その連携を深め、予想外の展開に寄与できる研究を総合的に推し進めていくことを目的とした。

### 3. 研究の方法

多くの研究分野と研究者を抱えるため、下記の表の6つの研究群を設けた。

研究群	研究内容
I	ベクトル束のモジュライ空間の研究
II	アラケロフ幾何の研究
III	モジュライ空間から定まる不変量の研究
IV	導来圏と双有理幾何の研究
V	解析的撓率の研究
VI	モジュライ空間と複素幾何の研究

また、それぞれの研究群の構成員は以下の通りである。\* がついているのが研究群の代表者である。

研究群	構成員
I	* 向井 茂, 阿部 健, 稲場道明
II	* 森脇 淳, 吉川謙一, 川口 周
III	* 中島 啓, 吉岡康太, 望月拓郎
IV	* 並河良典, 向井 茂, 藤野 修
V	* 吉川謙一, 森脇 淳, 川口 周
VI	* 望月拓郎, 吉川謙一, 阿部 健

モジュライ空間と算術多様体の研究はそのとらえ方により、多くの研究対象や研究方法がある。6つ研究群では、それぞれのテーマと研究方法に則って最前線の研究を続け、知見を広め深める努力をした。その一方で、それらを連携し、予想外の展開を促し

ていくために、テーマを定めた国際シンポジウム・研究集会・セミナー等を随時開催した。それにより、多くの新展開がもたらされたと言える。また、若手の育成のために、研究員を2名雇用した。

### 4. 研究成果

研究成果を年度・研究群ごとに詳述する。

#### 2010 年度

研究群 I: Enriques 曲面のホモロジー的に鏡映な対合の研究の続きとして、ルート不変量に  $E_7$  型格子をもつ Enriques 曲面の定義方程式を調べた。その結果、モジュラー不変量を用いて標準的楕円 fibration の定義方程式を書き下せることがわかった。また、Enriques 曲面の Mathieu 型の極大 semi-symplectic 有限群作用についても調べた。

研究群 II: 如何なる双有理変換を施しても、Zariski 分解のできない算術的因子の例を発見した。また、Dirichlet の単数定理を高次元算術多様体において定式化し、基本予想の形にした。さらに、特別な場合にこの予想が正しいことを示した。それ以外に、算術的 R-因子から生じる線形系に基底条件を設けた場合の体積についての考察をした。その結果、Zariski 分解について新しい知見を得た。

研究群 III: 量子アファイン展開環のテンソル積の構造について、代数的なアプローチと幾何学的なアプローチ両方を研究した。代数的な方では、今までに分かっている結果を講義録として整理した。幾何学的な方向では、旗多様体を用いて作られる合成積代数の上の余積構造の一般論について研究した。また、クラスター代数と次数付き旗多様体の上の偏屈層の関係を特異台の立場から研究した。

研究群 IV: 複素単純リー環の Slodowy slice が多くの場合、普遍ポアソン変形を与えることを証明した。さらに普遍ポアソン変形を与えないケースをすべて分類した。Darboux 型の定理を  $C^*$  作用をもったシンプレクティック特異点に対して一般化した。

研究群 V: 対称領域で助変数付けられた三次元 Calabi-Yau 多様体の解析的撓率がモジュライ空間上の保型形式のノルムで与えられる事を示した。また、Borchers - 関数の代数的表示を得た。

研究群 VI: 良い有理型平坦バンドルと、そのストークス構造に関する理論を整備した。不分岐型の良い有理型平坦バンドルとストークス構造付局所系の間リーマン・ヒルベルト・パーコフ対応を確立した。また、不確定値の変動による良い有理型平坦バンドルの変形の理論を整備した。さらに、調和バンドルや偏極付純ツイスター  $D$ -加群の理論が確立されたので、それを受けて混合ツイスター  $D$ -加群についての研究を進めた。齋藤盛彦やベイリンソンによる

アイデアを基にして、関手性や実構造についての整備を行った。

#### 2011 年度

研究群 I: Enriques 曲面に Mathieu 型の semi-symplectic 作用をもつ有限群を分類した。また、ルート不変量を用いて、自己同型群が almost abelian な Enriques 曲面を分類した。種数 16 の K3 曲面のモジュライの単有理性の論文を公開した。

研究群 II: 算術的トーリック多様体における巨大な算術的因子が Zariski 分解をもつための必要十分条件を決定した。さらに、算術的トーリック多様体においては Dirichlet の単数定理の類似が成り立つことを示した。さらに、算術曲面上での算術的因子に関する一般化された Hodge の指数定理の等号条件は、その算術的因子が nef であるということを示した。その応用として、Zariski 分解の数値的性質を証明することに成功した。

研究群 III: 手鋸籠多様体のホモロジー群に shifted Yangian 代数の表現が構成されるという Braverman らの研究を用いて、shifted Yangian 代数の既約表現の次元を、手鋸籠多様体のトラス固定点の交叉ホモロジー群を用いて表す公式を証明した。さらに、そのトラス固定点を以前に研究していた次数付き籠多様体と同一視することによって、交叉ホモロジー群を計算し、Kazhdan-Lusztig 多項式と結びつけた。

研究群 IV: Darboux の定理は、シンプレクティック多様体上のシンプレクティック形式が局所的に一意的であること主張する。この主張を  $C^*$ -作用をもったシンプレクティック特異点に対して定式化し証明した。さらに、斉次多項式の完全交差であらわされるアファインシンプレクティック多様体は、複素半単純リー環のべき零軌道閉包であることを証明した。

研究群 V: Borchers 関数の代数的表示を求め、その応用として Borchers 関数に対する Thomae 型公式、Freitag テータ関数との関係、CM 点における値の幾何学的解釈を得た。

研究群 VI: 2次元トラス  $T$  と 2次元ユークリッド空間  $\mathbb{R}^2$  の直積  $T \times \mathbb{R}^2$  上の  $L^2$ -インスタントンの漸近挙動について研究し、トラス  $T$  上のワイルド調和バンドルと  $T \times \mathbb{R}^2$  上の  $L^2$ -インスタントンの間の Nahm 変換が得られました。さらに、常微分方程式の不確定特異点のストークス構造と類似の現象が、 $L^2$ -インスタントンの研究でも現れることを洞察した。

#### 2012 年度

研究群 I: 有限 Mathieu 型作用の分類に関する大橋久範氏との共同研究には幾つかの極大群が現れる。

これらの作用する Enriques 曲面の定義式を具体的に書くことを試みた。

研究群 II: 算術的因子に対して得られている基本定理（算術的体積関数の連続性、算術的一般ホッジ指数定理、算術的藤田の近似定理、算術的ザリスキ分解等）をアデリック因子に拡張した。

研究群 III: 籠多様体の同変ホモロジー群上には、Yangian の表現の構造が入ることが示されているが、その余積の幾何学的な構成はなされていなかった。これを与えた Maulik-Okounkov の結果を偏屈層の枠組みの中で定式化した。

研究群 IV: アファインなシンプレクティック多様体は、代数幾何や幾何学的表現論で重要な働きをする。中でも、複素半単純リー環のべき零多様体は特に重要である。アファイン空間の中で斉次多項式の完全交差としてあらわされる特異アファインシンプレクティック多様体は、べき零多様体になることを証明した。

研究群 V: Enriques 曲面の 5次元射影空間の  $(2,2,2)$  型完全交叉表示を用いて、Borchers 関数の代数的表示を得た。即ち、Borchers 関数の値を Enriques 曲面の周期積分と定義方程式系の終結式として表示した。また、対数的 Enriques 曲面の解析的撥率を求め、それが Del Pezzo 曲面の Kaehler モジュライ上の保型形式で与えられることを示した。

研究群 VI: 調和バンドルの理論を応用することで、M. Guest と C. S. Lin によって研究されていた 2次元戸田格子の実数値解の分類を行なった。さらに、戸田格子の解に伴う半無限ホッジ構造の変動のストークス構造をパラボリックウェイトと結びつける明示的な公式を得た。これとは別に、昨年度に引き続いて二重周期インスタントンの研究を行ない、楕円曲線線上のワイルド調和バンドルと二重周期インスタントンの間のナム変換による対応を確立した。

#### 2013 年度

研究群 I: Enriques 曲面の自己同型群に関して大橋久範氏と共同で二つの成果を得た。一つは、Enriques 曲面に semi-symplectic に作用できる有限群の分類で、これまで課して来た Mathieu 型という条件を外して実行した。もう一つは、自己同型群の中に有限生成非可換自由群を指数有限の部分群としてもつ Enriques 曲面の発見である。

研究群 II: 今年度は、ディリクレの単数定理の高次元算術多様体における類似について考察した。成り立つための十分条件は多く知られており、アラケロフ幾何の中心的テーマの一つである。今年度の研究で、グルノーブル大学の Huayi Chen 氏との共同

研究で、成り立つための必要条件を研究し、算術的力学系において、否定的な例があることを発見した。

研究群 III: 4次元ユークリッド空間上のインスタントンのモジュライ空間の交叉コホモロジー群の構造について研究し、W 代数の表現の構造を持つことを示した。

研究群 IV: 良い  $C^*$ -作用を持つアフィンシンプレクティック多様体  $X$  に関して  $X$  の非特異部分の代数的基本群は有限であることを証明した。さらに、 $X$  がクレパント特異点解消  $Y$  をもつとき、コホモロジー空間  $H^2(Y, \mathbb{C})$  は、 $Y$  の普遍ポアソン変形の底空間とみなせる一方、 $\text{Pic}(Y) \otimes \mathbb{C}$  とみなせる。この事実を用いて、 $Y$  が森夢空間であることを、新たな視点から証明した。

研究群 V: 川口周・向井茂と共同で、Borcherds の関数に対する代数的表示を得た。また、馬昭平(東工大)と共同で、対合付き K3 曲面の解析的撓率不変量を一つの例外を除き全て決定した。さらに、カラビ・ヤウ軌道体に対する不変量を解析的撓率を用いて定義し、Borcea-Voisin 軌道体の場合に一つの例外を除きその不変量を決定した。

研究群 VI: 周期性を持つモノポールのナム変換に関する S. Cherkis と A. Kapustin による結果を精密化を試みた。周期性を持つモノポールのディラック型特異性や無限遠での挙動、さらに、そのようなデータが、ナム変換によって得られる調和バンドルの特異性とどのように関連づけられるかを調べた。

## 2014 年度

研究群 I: 正 8 面体的な種数 2 曲線の Jacobian Kummer 曲面を K3 被覆とするある Enriques 曲面の自己同型群を研究し、8 個の対合の自由積を指数 192 の正規部分群として含むことを示した。また、5次元射影空間内の Reye 合同でないある 10 次 Enriques 曲面に対して、その定義方程式系を具体的に求めた。

研究群 II: 複素固有代数多様体上に半豊富な可逆層  $L$  とその連続な計量  $h$  が与えられているとする。Zhang は  $L$  が豊富で  $h$  が滑らかな半正定値な計量の場合、その計量は半豊富計量であると予想した。今年度は、その予想を超えたさらなる一般化である結果を得た。すなわち、 $L$  が半豊富で  $h$  が連続な半正定値な計量の場合、 $h$  は半豊富計量であることを示すことに成功した。さらに、非アルキメデスの体上でも類似の結果を得た。

研究群 III: 2013 年度に得た 4次元ユークリッド空間上のインスタントンのモジュライ空間の交叉コホモロジー群の構造に関する研究成果を論文としてまとめた。また、3次元  $N = 4$  ゲージ理論のクロー

ン枝の数学的な定義について研究し、そのアフィン多様体としての定義を与えた。

研究群 IV: Conical symplectic variety に関連したポアソン変形、双有理幾何について研究した。もっともあたらしい結果は、「次元と極大ウエイトを固定すると、conical symplectic variety の同型類は高々有限個である」という有限性定理である。

研究群 V: 吉川が 2004 年に導入した対合付き K3 曲面の解析的撓率不変量を、モジュライ空間上の関数として決定した。対合付き K3 曲面は 75 種類の変形型より成り、夫々が直交型モジュラー多様体をモジュライ空間に持つ。解析的撓率不変量は明示的なボルチャーズ積とジゲル保型形式の積のピーターソン・ノルムで与えられ、結果的に全て楕円モジュラー的である事が示された。

研究群 VI: Kontsevich 複体に関する Esnault-Sabbah-Saito-Yu の結果に、混合ツイスター D 加群の観点から見通しの良い別証明を与えた。超幾何微分方程式系上の混合ツイスター構造と、そのミラー対称性への応用を研究し、トーリック完全交叉に付随する量子 D 加群上の一般化ホッジ構造についての予想を証明し、トーリック局所ミラー対称性における局所量子 D 加群の同型を得た。

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 53 件)

A. Moriwaki; Estimation of arithmetic linear series, Kyoto J. Math. 50, 685-725, 2010, 査読有。

A. Moriwaki; Free Basis Consisting of Strictly Small Sections, International Mathematics Research Notices, 2011, 1245-1267, 2011, 査読有。

S. Mukai; Curves and symmetric spaces II, Ann. of Math. 172(2010), 1539-1558, 査読有。

S. Mukai; Numerically trivial involutions of Kummer type of Enriques surfaces, Kyoto Math. J., 50(2010), 889-902, 査読有。

H. Nakajima and K. Yoshioka; Perverse coherent sheaves on blow-up. II, wall-crossing and Betti numbers formula, J. Algebraic Geom. 20 (2011), no. 1, 47100, 査読有。

Y. Namikawa; Poisson deformations of affine symplectic varieties, Duke Math. J. vol. 156 (2011) 51-85, 査読有。

Y. Namikawa; Poisson deformations of affine symplectic varieties II, Kyoto J. Math. vol. 50 (2010) 727-752, 査読有。

T. Mochizuki; Note on the Stokes structure of Fourier transform Acta Math. Vietnam, 35, 107-158, (2010), 査読有。

A. Moriwaki; Big arithmetic divisors on the projective spaces over  $\mathbb{Z}$ ; Kyoto J. of Math., 51, 503-534, 2011, 査読有。

H. Nakajima;  $t$ -analogs of  $q$ -characters of quantum affine algebras of type  $E_6, E_7, E_8$ , in "Representation Theory of Algebraic Groups and Quantum Groups", Progress in Mathematics, Vol. 284, 2011, 257-272, 査読有。

H. Nakajima and K. Yoshioka; Perverse coherent sheaves on blow-up. I, a quiver description, in Adv. Stu. in Pure Math. 61 (2011), 349-386, 査読有。

H. Nakajima and K. Yoshioka; Perverse coherent sheaves on blow-up. II, wall-crossing and Betti numbers formula, J. Algebraic Geom. 20 (2011), no. 1, 47-100, 査読有。

K. Nagao and H. Nakajima; Counting invariant of perverse coherent sheaves and its wall-crossing, IMRN, 2011, no. 17, 3885-3938, 査読有。

H. Nakajima; Quiver varieties and cluster algebras, Kyoto J. Math. 51, No. 1 (2011), 71-126, 査読有。

- H. Nakajima and K. Yoshioka; Perverse coherent sheaves on blow-up. III. Blow-up formula from wall-crossing, Kyoto J. Math. **51**, No. 2 (2011), 263–335, 査読有.
- L. Göttsche, H. Nakajima and K. Yoshioka; Donaldson = Seiberg-Witten from Mochizuki's formula and instanton counting, Publ. of RIMS, **47** (2011), No.1, 307–359, 査読有.
- Y. Namikawa; Poisson deformations of affine symplectic varieties, Duke Math. J. **156** (2011) 51–85, 査読有.
- Y. Namikawa; Birational algebraic geometry and nilpotent orbits, Sugaku Exposition **24** (2011) 239–262, 査読有.
- Y. Namikawa; Slodowy slices and universal Poisson deformations (joint work with M. Lehn and Ch. Sorger), Compositio Math. **148** (2012) 121–144, 査読有.
- T. Mochizuki; The Stokes structure of a good meromorphic flat bundle. J. Inst. Math. Jussieu **10** (2011), no. 3, 675–712, 査読有.
- T. Mochizuki; The third cohomology groups of dihedral quandles. J. Knot Theory Ramifications **20** (2011), no. 7, 1041–1057, 査読有.
- T. Mochizuki; Asymptotic behavior of variation of pure polarized TERP structure. Publ. Res. Inst. Math. Sci. **47** (2011), no. 2, 419–534, 査読有.
- T. Mochizuki; Wild harmonic bundles and wild pure twistor  $D$ -modules, Astérisque **340**, (2011), 査読有.
- A. Moriawaki; Arithmetic linear series with base conditions, Math. Z., **272** (2012), 1383–1401. (DOI) 10.1007/s00209-012-0991-2, 査読有.
- A. Moriawaki; Zariski decompositions on arithmetic surfaces, Publ. RIMS Kyoto Univ., **48** (2012), 799–898. (DOI) 10.2977/PRIMS/89, 査読有.
- A. Moriawaki; Toward Dirichlet's unit theorem on arithmetic varieties, Kyoto J. of Math., **53** (2013), 197–259. (DOI) 10.1215/21562261-1966116, 査読有.
- S. Mukai; Kummer's quartics and numerically reflective involutions of Enriques surfaces, J. Math. Soc. Japan, **64**(2012), 231–246, 査読有.
- S. Mukai; Igusa quartic and Steiner surfaces, Contemp. Math. **564**(2012), 205–210, <http://dx.doi.org/10.1090/conm/564/11171>, 査読有.
- S. Mukai and Hisanori Ohashi; Enriques surfaces of Hutchinson-Gopel type and Mathieu automorphisms, to appear in "Arithmetic and Geometry of K3 surfaces and Calabi-Yau Threefolds", eds. M. Schuett, R. Laza and N. Yui, Fields Inst. for Research in Math. Sciences, 査読有.
- H. Nakajima; Handsaw quiver varieties and finite W-algebras, Moscow Mathematical Journal, **12** (2012), No.3, 633–666.
- H. Nakajima; Quiver varieties and tensor products, II, in Symmetries, Integrable Systems and Representations, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 2013, 403–428.
- M. Lehn, Y. Namikawa, Ch. Sorger, Slodowy slices and universal Poisson deformations, Compositio Math. **148**, 1221–144 (2012)
- K.-I. Yoshikawa;  $K3$  surfaces with involution, equivariant analytic torsion, and automorphic forms on the moduli space II: a structure theorem for  $r(M) > 10$ , J. reine angew. math. **677** (2013), 15–70, 査読有.
- K.-I. Yoshikawa;  $K3$  surfaces with involution, equivariant analytic torsion, and automorphic forms on the moduli space III: the case  $r(M) \geq 18$ , Math. Zeit. **272** (2012), 175–190, 査読有.
- K.-I. Yoshikawa; Appendix to "The unirationality of the moduli spaces of 2-elementary  $K3$  surfaces" by S. Ma, Proc. London Math. Soc. **105** (2012), 782–785, 査読有.
- K.-I. Yoshikawa;  $K3$  surfaces with involution, equivariant analytic torsion, and automorphic forms on the moduli space III: the case  $r(M) \geq 18$ , Math. Zeit. **272** (2012), 175–190. DOI 10.1007/s00209-011-0928-1, 査読有.
- K.-I. Yoshikawa; Appendix to "The unirationality of the moduli spaces of 2-elementary  $K3$  surfaces" by S. Ma, Proc. London Math. Soc. **105** (2012), 782–785. doi:10.1112/plms/pds008, 査読有.
- K.-I. Yoshikawa; A trinity of the Borchers  $\Phi$ -function, Symmetries, Integrable Systems and Representations, ed. by K. Iohara, S. Morier-Genoud, B. Rémy, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics **40** (2013), 575–597, 査読有.
- A. Moriawaki; Toward Dirichlet's unit theorem on arithmetic varieties, Kyoto J. of Math., **53**, 2013, 197–259, doi : 10.1215/21562261-1966116, 査読有.
- S. Mukai; Counterexample of Kodaira's vanishing and Yau's inequality in positive characteristics, Kyoto J. Math., **53**, 2013, 525–532, DOI 10.1215/21562261-2081279, 査読有.
- S. Mukai and Hisanori Ohashi; Enriques surfaces of Hutchinson-Gopel type and Mathieu automorphisms, "Arithmetic and Geometry of K3 surfaces and Calabi-Yau threefolds", Fields Institute Communications, **67**, 2013, 429–454, doi : 10.1007/978-1-4614-6403-7\_15, 査読有.
- H. Nakajima; Cluster algebras and singular supports of perverse sheaves, Advances in Representation Theory of Algebras, EMS Series of Congress Reports, 2014, 211–230, doi : 10.4171/125-1/7, 査読有.
- Y. Namikawa; On the structure of homogeneous symplectic varieties of complete intersection, Invent. Math., **193**, 2013, 159–185, doi : 10.1007/s00222-012-0424-1, 査読有.
- Y. Namikawa; Equivalence of symplectic varieties, Kyoto Journal of Math., **53**, 2013, 483–514, doi : 10.1215/21562261-2081270, 査読有.
- Y. Namikawa; Birational geometry for nilpotent orbits, Advanced Lectures in Mathematics, **26**, 2013, 1–38, 査読有.
- K.-I. Yoshikawa;  $K3$  surfaces with involution, equivariant analytic torsion, and automorphic forms on the moduli space II: a structure theorem for  $r(M) > 10$ , J. reine angew. Math. **677** (2013), 15–70. DOI 10.1515/crelle.2012.009, 査読有.
- K.-I. Yoshikawa; A trinity of the Borchers  $\Phi$ -function, Symmetries, Integrable Systems and Representations, ed. by K. Iohara, S. Morier-Genoud, B. Rémy, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics **40** (2013), 575–597. DOI 10.1007/978-1-4471-4863-0\_25, 査読有.
- A. Moriawaki; Numerical characterization of nef arithmetic divisors on arithmetic surfaces, Annales de la faculté des sciences de Toulouse, XXIII, 2014, 717–753, 査読有.
- A. Moriawaki; Semiample invertible sheaves with semipositive continuous hermitian metrics, Algebra and Number Theory, **9**, 2015, 503–509, 査読有.
- H. Nakajima; Refined Chern-Simons theory and Hilbert schemes of points on the plane, in 'Perspectives in Representation Theory', Contemporary Math., Volume **610**, AMS, 2014, 305–331, 査読有.
- Y. Namikawa; Poisson deformations and birational geometry, J. Math. Sci. Univ. Tokyo **22**. (2015), 339–359, 査読有.
- T. Mochizuki; Harmonic bundles and Toda lattices with opposite sign II, Communications in Mathematical Physics, **328**, 2014, 1159–1198, doi : 10.1007/s00220-014-1994-0, 査読有.
- T. Mochizuki; Asymptotic behaviour and the Nahm transform of doubly periodic instantons with square integrable curvature, Geometry & Topology, **18**, 2014, 2823–2949. DOI: 10.2140/gt.2014.18.2823, 査読有.

#### [学会発表] (計 29 件)

- A. Moriawaki; Birational Arakelov Geometry, Workshop on Algebraic Geometry, Complex Dynamics and their Interaction, January 4–7, 2011, Singapore (International conference).
- S. Mukai; Enriques surfaces of type E7, "Perspectives on Algebraic Varieties", Trento, Italy, September 8.
- H. Nakajima; Quiver varieties and crystal bases of quantum affine algebras NSF-CBMS Conferences, North Carolina State University, May 25–29, 2010 (International conference, keynote).
- Y. Namikawa; Poisson deformations of symplectic varieties and associated Galois covers, "Conference on derived categories, symplectic geometry, birational geometry and deformation theory" Poincaré Institute, Paris, France 2010, May 20
- K. Yoshikawa; Singularities and analytic torsion, Geometric quantization in the non-compact setting, 2011, Feb 15, Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach
- T. Mochizuki; Kobayashi-Hitchin correspondence for D-modules, PRIMA Conference on Geometric Analysis 2010, July 29, UBC, Canada, (招待講演).
- A. Moriawaki; Impossibility of Zariski decompositions on arithmetic varieties, Barcelona (Tossa de Mar), Heights in

Diophantine and Arakelov Geometry, Dynamical Systems and Computer Algebra (Heights 2011), April/30/2011(26-30).

S. Mukai; K3 surfaces of genus 17, "Moduli Spaces", Isaac Newton Inst. for Math. Sci., Cambridge, UK, April 12, 2011

H. Nakajima; Quiver varieties and tensor products, Derived categories, The Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences in Cambridge, April 11, 2011 (International conference)

Y. Namikawa; On the structure of homogeneous symplectic varieties of complete intersection, "Advances in hyperkaehler and holomorphic symplectic geometry" Banff, Canada, March 12, 2012

K. Yoshikawa; "Resultants and Borchers  $\Phi$ -function", Automorphic forms and moduli spaces, Centre International de Rencontres Mathématiques, Luminy, France, Oct 11, 2011

T. Mochizuki; Twistor  $D$ -module and harmonic bundle, Symposium on Projective Algebraic Varieties and Moduli 釜山, Feb 15, 2012

A. Moriawaki; Birational Arakelov Geometry, London Mathematical Society EPSRC Durham Symposium, Interactions of Birational Geometry with other fields, Durham, 2nd July – 7th July 2012, on July/3/2012.

S. Mukai; Enriques surfaces and Abelian surfaces, "Algebraic and complex geometry", Univ. Hannover, Germany, September 10, 2012 (International conference)

H. Nakajima; Monoidal categorification, revisited, International Conference on Representations of Algebras (ICRA 2012) Aug. 14, 2012, 招待講演

Y. Namikawa; Symplectic varieties of complete intersection and contact geometry, Workshop: Representation theory and symplectic algebraic geometry, CIRS, Luminy, France 9, July, 2012

K.-I. Yoshikawa; Analytic torsion of log-Enriques surfaces, Algebraic geometry, modular forms and applications to physics, 2012 November 27 International Centre for Mathematical Sciences, Edinburgh, UK

T. Mochizuki; Harmonic bundle and twistor  $D$ -module, Singularities of differential equations in algebraic geometry, May 14, 2012, CIRM(France)

A. Moriawaki; Towards Dirichlet's unit theorem on arithmetic varieties adelic case, Classification of Algebraic Varieties and Related Topics, September/10/2013, Cetraro

S. Mukai; Enriques surfaces as neighbors of rational surfaces and vice versa, Complex algebraic varieties, May 28, 2013, Oberwolfach

H. Nakajima; Cluster algebras and singular supports of perverse sheaves, Interactions between Noncommutative Algebra, Representation Theory, and Algebraic Geometry, April 4, 2013, MSRI, Berkeley, USA

Y. Namikawa; Poisson deformations and Mori dream spaces, Classifications of algebraic varieties and related topics, 12, September, 2013, Cetraro, Italy

K.-I. Yoshikawa; Equivariant analytic torsion for K3 surfaces with involution, Control, index, traces and determinants, May 27, 2013, Université Paris-Sud

T. Mochizuki; Wild harmonic bundles and some applications, The Asian Mathematical Conference 2013, July 2, 2013, Convention Halls in BEXCO, Busan, Korea

A. Moriawaki; Semiample invertible sheaves with semi-positive continuous hermitian metrics, Distribution of Rational and Holomorphic Curves in Algebraic Varieties, 19/March/2015, Banff

H. Nakajima; "3-dimensional gauge theory and representation theory", 京都賞ワークショップ, 2014/11/12, 京都国際会館

Y. Namikawa; "A characterization of nilpotent varieties of complex semisimple Lie algebras", Workshop "Complex geometry and Lie groups", June 19, 2014, Univ. of Torino, Italy

Ken-Ichi Yoshikawa; BCOV invariant for Calabi-Yau threefolds, New developments in algebraic geometry September 2, 2014, National Taiwan University

T. Mochizuki; Wild harmonic bundles and twistor  $D$ -modules, International Congress of Mathematicians, August 20, 2014, COEX ソウル 韓国

〔図書〕(計 2 件)

A. Moriawaki; Arakelov geometry, American Mathematical Society, 2014, 285 pages

T. Mochizuki; Holonomic  $D$ -modules with Betti structure, フランス数学会, 2014, viii+205 pp.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森脇 淳 (MORIWAKI, Atsushi)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号:70191062

### (2) 研究分担者

向井 茂 (MUKAI, Shigeru)

京都大学・数理解析研究所・教授

研究者番号:80115641

中島 啓 (NAKAJIMA, hiraku)

京都大学・数理解析研究所・教授

研究者番号:00201666

並河 良典 (NAMIKAWA, yoshinori)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号:80228080

吉川 謙一 (YOSHIKAWA, kenichi)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号:20242810

望月 拓郎 (MOCHIZUKI, takuro)

京都大学・数理解析研究所・教授

研究者番号:10315971

### (3) 連携研究者

吉岡 康太 (YOSIOKA, kota)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号:40274047

川口 周 (KAWAGUCHI, Shu)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号:20324600

藤野 修 (FUJINO, Osamu)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号:60324711

阿部 健 (ABE, Takeshi)

熊本大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号:90362409

稲場 道明 (INABA, Michiaki)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号:80359934