

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H03930

研究課題名(和文)ホモロジー的ミラー対称性とトロピカル幾何学

研究課題名(英文)Homological mirror symmetry and tropical geometry

研究代表者

植田 一石 (Ueda, Kazushi)

東京大学・大学院数理科学研究科・准教授

研究者番号：60432465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：可逆多項式で定義される特異点のMilnorファイバーに対するホモロジー的ミラー対称性の定式化と特別な場合の証明、代数多様体のGrothendieck環と連接層の導来圏の関係の研究や、非可換Hirzebruch曲面の分類、非可換del Pezzo曲面の定義と構成、Grassmann多様体に対するミラー対称性の研究、K3曲面のGromov-Hausdorff極限からの再構成、いくつかのIV型対称領域上の保型形式環の構造の決定などを行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ミラー対称性は超弦理論に由来する数学的現象で、ある空間の複素幾何と、そのミラーと呼ばれる別の空間のシンプレクティック幾何の間に不思議な関係があることを指す。ミラー対称性に属する現象には様々なものがあるが、ホモロジー的ミラー対称性はその中でも最も強いものの一つであり、A-infinity圏を空間と見てその幾何学を研究するという新しい視点を提供する。研究期間内に実施した研究によって、ホモロジー的ミラー対称性と、それに深く関連する非可換代数幾何学の理解が大きく進展し、これまでになかった定理の定式化と証明が可能になった。

研究成果の概要(英文)：Formulation of a conjecture on homological mirror symmetry for Milnor fibers of invertible polynomials and its proof in special cases, the relation between the Grothendieck ring of algebraic varieties and the derived categories of coherent sheaves, classification of noncommutative Hirzebruch surfaces, a definition and a construction of noncommutative del Pezzo surfaces, mirror symmetry for Grassmannians, reconstruction of K3 surfaces from their Gromov-Hausdorff limits, structures of rings of automorphic forms on some symmetric domains of type IV.

研究分野：幾何学

キーワード：ミラー対称性 非可換代数幾何学

1. 研究開始当初の背景

ミラー対称性は超弦理論に由来する数学的な現象で、ある空間の複素幾何と別の空間のシンプレクティック幾何の間に不思議な関係があることを指す。ミラー対称性に属する現象には様々なものがあるが、その中で最も弱いものの一つに位相的ミラー対称性がある。これを Calabi-Yau 多様体の場合に限って大雑把に述べると、「任意の n 次元 Calabi-Yau 多様体に対して、ある Calabi-Yau 多様体が存在して、前者の (i,j) 次の Hodge 数と後者の $(n-i,j)$ 次の Hodge 数が等しい」となる。この主張はそのままでは成立しないが、この主張を満たす Calabi-Yau 多様体の対 (これを位相的ミラー対と言う) が数多く知られているなど、この主張を適当に修正したものは正しい事を示唆する一定の根拠がある。この予想は、一般型曲面の地誌学の高次元における類似の一つと考えられる。この現象を理解しようとする努力の過程で、軌道体コホモロジーやモチーフ積分などの理論が建設された。

位相的ミラー対称性より遥かに強い現象として、古典的ミラー対称性がある。これは大雑把には「任意の Calabi-Yau 多様体に対して、ある Calabi-Yau 多様体が存在して、前者の有理曲線の個数は後者の周期で記述される」という事を主張し、代数幾何学者の一部に大きな衝撃を与えた。この現象の理解のために、安定写像や Gromov-Witten 不変量、Frobenius 多様体などの概念が導入され、代数的スタックや GKZ 超幾何関数の研究が促進された。

古典的ミラー対称性はトーリック多様体の完全交叉として得られる Calabi-Yau 多様体に対して Givental らによって証明されたが、その証明は同変コホモロジーの局所化定理を用いる技巧的なもので、そのような現象が存在する根源的な理由には答えてくれない。ミラー対称性のより概念的な理解を目指して 1994 年の国際数学会議で Kontsevich によって提案されたのがホモロジー的ミラー予想である。これは大雑把には「任意の Calabi-Yau 多様体に対してある Calabi-Yau 多様体が存在し、前者の深谷圏と後者の接続層の導来圏が安定圏として同値である」ことを主張する。研究を開始した 2016 年の段階では、この予想は Seidel による 3 次元射影空間内の 4 次 $K3$ 超曲面と、深谷圏の定義を仮定した上での野原雄一氏と筆者による 4 次元射影空間内の 5 次超曲面、それに Abouzaid-深谷-Oh-太田-小野によって予告されている結果を仮定した上での Sheridan による $n+1$ 次元射影空間内の $n+2$ 次超曲面の場合以外には、成立することが知られていなかった。

実数に形式的に無限大を付け加えて得られる集合に $x \oplus y := \min\{x, y\}$ および $x \odot y := x + y$ によって演算を定義して得られる代数 (min-plus 代数) をトロピカル半環と呼ぶ。通常の実数環をトロピカル半環で置き換える操作はトロピカル化と呼ばれ、これによって多項式は min と plus で書かれる区分線形関数に置き換わる。トロピカル化はある種の極限操作であり、量子化の逆の操作であると考えることが出来る。この観点から、トロピカル化は脱量子化と呼ばれることもある。トロピカル化によって得られた区分線形な対象を扱う幾何学がトロピカル幾何学である。トロピカル幾何学は比較的新しい分野であるが、その起源は付値や Newton 多面体の概念まで遡る。ミラー対称性とトロピカル幾何はどちらも代数多様体の退化と深く関わっていることから、トロピカル幾何学を用いてミラー対称性を研究することは自然である。さらに、ミラー対称性と特殊 Lagrange トーラスファイバー束の関係に関する Strominger-Yau-Zaslow 予想を踏まえると、Calabi-Yau 多様体の複素あるいはシンプレクティック幾何の研究を、特殊 Lagrange トーラスファイバー束の底空間のトロピカル幾何の研究に帰着する問題が重要である。

2. 研究の目的

研究の中長期的な目的は、量子化された空間の概念を確立することである。20 世紀の初頭に建設された一般相対論と量子力学は、それぞれマクロなスケールにおける重力の振る舞いと、ミクロなスケールにおける重力以外の力や物質の振る舞いを高い精度で記述することが知られているが、宇宙創生やブラックホールなどを含む宇宙の全てを理解するには、重力の量子論が必要不可欠であり、その建設は現在でも理論物理学の最大の問題の一つとして残っている。一般相対論は重力の幾何学的理論なので、重力の量子化の問題は即ち空間の量子化の問題である。超弦理論は、内部に矛盾を持たない重力の量子論を与える可能性があると考えられていることから、超弦理論の研究は空間の量子化の問題と直結している。

超弦理論における基本要素は点粒子ではなく 1 次元の弦である。弦に基づく空間概念は、未だ確立されていないものの、点に基づくそれとは大きく異なっていると考えられている。ミラー対称性はそれを示唆する代表的な現象の一つであり、未だ道半ばではあるものの、弦理論に由来する幾何学の問題として最も深く研究されているものの一つでもある。

ミラー対称性、特にその中でもホモロジー的ミラー対称性について、具体例を深く理解することによって、空間概念の量子化への手掛かりを探求することが、研究の短期的な目的である。

3. 研究の方法

研究の基本的な方法は、具体例を詳しく調べることによって、その場合のミラー対称性を証明するとともに、その背後にある原理を探求するというものである。コンパクトな Calabi-Yau 多様体の場合が特に重要であるが、Grassmann 多様体や Milnor ファイバーなど、コンパクトとも Calabi-Yau とも限らない多様体の研究も行う。トロピカル幾何は、それ自身で興味ある分野であるが、主にミラー対称性に関わる部分について重点的に研究を行う。また、空間概念の量子化へのアプローチの一つとして、非可換代数幾何学の研究も行う。

4. 研究成果

名古屋大学の伊藤敦氏、大阪大学の大川新之介氏および京都大学の三浦真人氏と共同で、例外型 Lie 群の Grassmann 多様体上の完全可約同変ベクトル束の完全交差として得られる 3 次元 Calabi-Yau 多様体を分類した。特に、 E_6 型 Grassmann 多様体の完全可約同変ベクトル束の完全交差として、これまでに知られていなかった Picard 数 1 の 3 次元 Calabi-Yau 多様体を発見した。また、2 つある G_2 型 Grassmann 多様体のそれぞれが、3 次元 Calabi-Yau 多様体を既約同変ベクトル束の完全交差として持ち、しかも代数多様体の Grothendieck 環におけるそれらの差はアファイン直線の類によって零化される事を示した。これは Pfaffian-Grassmannian Calabi-Yau 対に対する Borisov の結果の類似の究極の精密化になっている。これらの Calabi-Yau 多様体の一方は伊藤-井上-三浦、他方は Kapustka-Kapustka によって存在が知られていたが、この関係は我々の研究によって始めて明らかになった。この発見を踏まえて、我々はこれらの Calabi-Yau 多様体が導来同値であることを予想し、程なくして Kuznetsov によって証明された。それを受けて、我々と Kuznetsov-Shinder は独立に、導来同値な代数多様体の Grothendieck 環における類の差がアファイン直線の冪で零化されるかという問題を提出し、上記の 3 次元 Calabi-Yau 多様体の他に、次数 12 の $K3$ 曲面からなる肯定的な例と、Abel 多様体からなる反例を与えた。

韓国高等科学院の Bumsig Kim 氏、Imperial College London の Jeongseok Oh 氏および東京大学の吉田豊氏と共同で、トーリック留数ミラー対称性の Grassmann 多様体への拡張について研究を行った。トーリック留数ミラー対称性は、Morisson-Plesser らの先行研究を踏まえて Batyrev-Materov によって定式化され、Szenes-Vergne や Borisov、Karu らによって証明されたものであり、Gorenstein トーリック Fano 多様体のネフ分解から来る Calabi-Yau 完全交叉に対して、準写像不変量の母関数とミラーの周期の間に明示的な関係があることを主張する。超対称局所化の進展により、ゲージ群が Abel 群とは限らない場合の A-twisted gauged 線形シグマ模型の相関関数の Jeffrey-Kirwan 留数による表示が Benini-Zaffaroni や Closset-Cremonesi-Park によって 2015 年に得られたが、筆者らはこれを、トーリック留数ミラー対称性を非 Abel 群によるベクトル空間の幾何学的不変式論の商へ拡張する数学的な予想として定式化し、Grassmann 多様体に対して証明した。

明治大学の野原雄一氏と共同で、Grassmann 多様体の Lagrange 交叉 Floer 理論に関する研究を行った。我々のこれまでの研究で、多角形の三角形分割を一つ与える毎に、 n 次元空間内の平面的な Grassmann 多様体 $Gr(2, n)$ 上に完全可積分系が定まることが示されていたが、我々はさらに進んで、これらの Grassmann 多様体上の異なる完全可積分系の単調 Lagrange トーラスファイバーが Lagrange 手術で結びついており、対応するポテンシャル関数の壁越え公式が、Grassmann 多様体の Pluecker 座標の持つクラスター構造に関するクラスター変換と、適当な同一視のもとで一致することを示した。

東京大学の橋本健治氏と共同で、 $K3$ 曲面の Gromov-Hausdorff 極限の研究を行った。Strominger-Yau-Zaslow 予想によって、任意の Calabi-Yau 多様体は特殊 Lagrange トーラスファイブレーションを持ち、その双対ファイブレーションを取ることによってミラー多様体が見られると期待されている。 $K3$ 曲面に対しては超 Kaehler 捻りを行うことによって楕円ファイブレーションから特殊 Lagrange ファイブレーションが得られるが、その底空間に McLean 計量を入れて得られる特異点付きの Monge-Ampere 多様体は、全空間の Calabi-Yau 計量の巨大複素構造極限における Gromov-Hausdorff 極限になる事が Gross-Wilson らによって知られている。橋本氏と筆者は、極限として得られる Monge-Ampere 多様体の距離空間としての構造から元の楕円 $K3$ 曲面を復元する問題に取り組み、一般の楕円 $K3$ 曲面は極限として得られる空間に複素構造から来る向きを与えたものから一意的に復元できることを示した。特殊 Lagrange トーラスファイブレーションの底空間として得られる Monge-Ampere 多様体は特異点を許容するトロピカルアファイン構造を 2 つ持ち、一方は全空間の複素幾何、他方はシンプレクティック幾何から来るが、Monge-Ampere 多様体の向きを反転させることはこれらの 2 つのトロピカルアファイン構造の入れ替えを引き起こすが、これは Gromov-Hausdorff 極限におけるミラー対称性であると考えられる。

Imperial College London の Yanki Lekili 氏と共同で、A-infinity 構造のモジュライ空間とそのホモロジー的ミラー対称性への応用の研究を行った。A-infinity 代数は、積が整合的なホモトピーを除いて結合的であるような微分次数代数の一般化である。微分次数代数のコホモロジーは次数代数を与える。次数代数 B を固定した時、 B をコホモロジーに持つ微分次数代数を選ぶことと、 B に A-infinity 構造を入れることは、適当な意味で 1 対 1 に対応する。一般に、 B の A-infinity 構造全体を擬同型で割った空間は無限次元の自由度を持つが、 B の Hochschild コホモロジーが適当な条件を満たせば、この空間がスキームとして構成される事が Polishchuk によって知られている。これを B の A-infinity 構造のモジュライ空間と呼ぶ。我々は、孤立臨界点を持つ重み付き斉次多項式 w に対し、 w の次数付き行列因子化の圏が傾対象を持ち、さらにいくつかの条件を満たせば、傾対象の自己準同型代数 A の自明拡大代数 B の A-infinity 構造のモジュライ空間が f の半普遍開析の正部分であることを示した。特に、 w として Arnold の例外型 unimodal 特異点の定義多項式を取ると、ある種の K3 曲面のモジュライ空間が、具体的に表示される次数代数の A-infinity 構造のモジュライ空間として表示される。この事実を用いると、 $n+1$ 次元アファイン空間の $n+2$ 次超曲面に対するホモロジー的ミラー対称性を証明することができる。さらに、 $n+1$ 次元射影空間の $n+2$ 次超曲面として得られる Calabi-Yau 多様体の深谷圏は、同じ次数代数 B に適当な A-infinity 構造を入れたものを自己準同型 A-infinity 代数として持つ対象を持つので、我々の A-infinity 構造のモジュライ空間の記述から、この Calabi-Yau 多様体に対するホモロジー的ミラー対称性を、Seidel や Sheridan による高次元パンツへの帰着を使わずに証明する事が出来る。

また、上記の A-infinity 構造のモジュライに関する研究から、Lekili 氏と筆者は可逆多項式の Milnor ファイバーに対するホモロジー的ミラー予想を定式化した。これは高次元パンツの部分コンパクト化の文脈で理解することも出来るが、コンパクトな Calabi-Yau 多様体のみに関心がある場合でも、この部分コンパクト化を経由する事で、反シンプレクティック対合を使わずに深谷圏の変形を制御することが出来る。Stein 多様体に対する可逆多項式の Milnor ファイバーは対数的 Fano 多様体、対数的 Calabi-Yau 多様体、対数的一般型多様体の 3 つに分かれるが、対数 Fano 多様体を Milnor ファイバーに持つ特異点の中で最も基本的な単純特異点の場合に、Lekili 氏と筆者はこの予想を証明した。また、その過程で行列因子化の圏と Calabi-Yau 完備化の関係を示したが、これはそれ自身でも興味ある結果である。さらに、それらの応用として、1 以上の n に対する Dynkin 籠の道代数の導来 n 前射影代数の Hochschild コホモロジー群や、2 次元以上の単純特異点の Milnor ファイバーのシンプレクティックコホモロジー群の具体的な記述も与えた。

$n+1$ 次元アファイン空間の $n+2$ 次超曲面に対するホモロジー的ミラー対称性の一般化として、射影的 Calabi-Yau 多様体から豊富で滑らかな因子を取り除いて得られるアファイン多様体に対するホモロジー的ミラー対称性が考えられる。特に、abel 多様体や K3 曲面のように、Calabi-Yau 多様体が Lagrange トーラスファイブレーションを持ち、その上の豊富で滑らかな因子がファイブレーションの底空間のトロピカル超曲面に付随している場合には、より具体的に予想を定式化することが出来る。さらに、この状況で、アファイン Calabi-Yau 多様体の巻かれた深谷圏のコンパクト深谷圏による商が、因子の深谷圏と同値であるという予想を Lekili 氏と共同で提出した。この予想は、高次元の一般型多様体に対するホモロジー的ミラー対称性の研究をアファイン多様体のホモロジー的ミラー対称性の研究に帰着する重要なものである。

東京大学の吉田豊氏と共同で、位相的捻りを加えた 3 次元 $N=2$ の Chern-Simons matter 理論の研究を行った。特に、ゲージ群が $U(N)$ で、 M 個の基本表現に属するカイラル多重項が入っている場合に、円周と曲面の直積の上の超対称 Wilson ループの相関関数が、Grassmann 多様体 $G(N, M)$ を標的とする K 理論的準写像不変量と一致することを予想し、種数 0 の場合に証明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Miura Makoto, Ueda Kazushi	4. 巻 37
2. 論文標題 Spherical 2-Designs as Stationary Points of Many-Body Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Graphs and Combinatorics	6. 最初と最後の頁 485 ~ 492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00373-020-02259-5	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 Ueda Kazushi, Yoshida Yutaka	4. 巻 2020
2. 論文標題 3d \mathbb{N} Chern-Simons-matter theory, Bethe ansatz, and quantum K-theory of Grassmannians	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2020)157	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 Atsushi, Miura Makoto, Ueda Kazushi	4. 巻 63
2. 論文標題 Projective Reconstruction in Algebraic Vision	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Canadian Mathematical Bulletin	6. 最初と最後の頁 592 ~ 609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4153/S0008439519000687	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 Nohara Yuichi, Ueda Kazushi	4. 巻 18
2. 論文標題 Potential functions on Grassmannians of planes and cluster transformations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Symplectic Geometry	6. 最初と最後の頁 559 ~ 612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4310/JSG.2020.v18.n2.a6	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 Atsushi, Miura Makoto, Okawa Shinnosuke, Ueda Kazushi	4. 巻 26
2. 論文標題 Derived equivalence and Grothendieck ring of varieties: the case of K3 surfaces of degree 12 and abelian varieties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Selecta Mathematica	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) 10.1007/s00029-020-00561-x	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 Ueda Kazushi	4. 巻 159
2. 論文標題 \$\$G_2\$\$-Grassmannians and derived equivalences	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 manuscripta mathematica	6. 最初と最後の頁 549 ~ 559
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00229-018-1090-4	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 -

1. 著者名 Hashimoto Kenji, Ueda Kazushi	4. 巻 147
2. 論文標題 Reconstruction of general elliptic K3 surfaces from their Gromov-Hausdorff limits	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the American Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 1963 ~ 1969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/proc/14428	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 Atsushi, Miura Makoto, Okawa Shinnosuke, Ueda Kazushi	4. 巻 28
2. 論文標題 The class of the affine line is a zero divisor in the Grothendieck ring: Via $G_{\mathbb{A}^2}$ -Grassmannians	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Algebraic Geometry	6. 最初と最後の頁 245 ~ 250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/jag/731	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 Kazushi Ueda and Yutaka Yoshida	4. 巻 9
2. 論文標題 Equivariant A-twisted GLSM and Gromov-Witten invariants of CY 3-folds in Grassmannians	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2017)128	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 Hashimoto Kenji, Lee Hwayoung, Ueda Kazushi	4. 巻 153
2. 論文標題 On a certain generalization of triangle singularities	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 manuscripta mathematica	6. 最初と最後の頁 35 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00229-016-0876-5	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27件(うち招待講演 27件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Homological mirror symmetry for affine K3 surfaces
3. 学会等名 The 6th Workshop "Complex Geometry and Lie Groups" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Noncommutative del Pezzo surfaces
3. 学会等名 ZAG seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Noncommutative del Pezzo surfaces
3. 学会等名 Freemath seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Matrix factorizations and mirror symmetry
3. 学会等名 University of Melbourne Moduli Spaces seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 3d N=2 Chern-Simons matter theory and K-theoretic quasimap invariants of Grassmannians
3. 学会等名 Mirror Symmetry and Related Topics, 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Periods and mirrors of noncommutative deformations of simple singularities
3. 学会等名 Categorical and Analytic Invariants in Algebraic Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Mirror symmetry for Grassmannians and cluster transformations
3. 学会等名 Conference on Fukaya Category and Homological Mirror Symmetry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Mirror symmetry for Grassmannians and cluster transformations
3. 学会等名 International Workshop on Verlinde Algebras and Grassmannians (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Homological mirror symmetry for Milnor fibers of invertible polynomials
3. 学会等名 Who is Who in Mirror Symmetry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Homological mirror symmetry for Milnor fibers of invertible polynomials
3. 学会等名 Special Session on SYZ Mirror Symmetry and Enumerative Geometry, AMS Sectional Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Homological mirror symmetry for Milnor fibers of invertible polynomials
3. 学会等名 Mirror Symmetry and related stuff, Sanya (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Gamma conjecture for Brieskorn-Pham singularities
3. 学会等名 Hypergeometric functions and mirror symmetry, the University of Tokyo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Reconstruction of K3 surfaces from their Gromov-Hausdorff limits
3. 学会等名 2018 Seoul-Tokyo Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Homological mirror symmetry for Milnor fibers of invertible polynomials
3. 学会等名 Categorical and Analytic Invariants in Algebraic Geometry VI, Hokkaido Univeristy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 A-infinity algebras and singularities
3. 学会等名 The 6th Franco - Japanese - Vietnamese symposium on singularities, Nha Trang (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Moduli of K3 as moduli of A-infinity structures
3. 学会等名 Japanese-European symposium on symplectic varieties and moduli spaces, Tokyo University of Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Moduli of K3 surfaces as moduli of A-infinity structures
3. 学会等名 Simons Collaboration Workshop on Homological Mirror Symmetry and Hodge Theory (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Moduli of K3 surfaces as moduli of A-infinity structures
3. 学会等名 Categorical and Analytic Invariants in Algebraic Geometry V (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Gamma conjecture for Brieskorn-Pham singularities
3. 学会等名 The 5th Franco-Japanese-Vietnamese Symposium on Singularities (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Dimer models and homological mirror symmetry
3. 学会等名 Berkeley-Tokyo Summer School "Geometry, Representation Theory, and Mathematical Physics" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 An update on tropical coamoebas
3. 学会等名 Inaugural conference for the Laboratory of Mirror Symmetry and Automorphic forms (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazushi Ueda
2. 発表標題 Gamma conjecture for Brieskorn-Pham singularities
3. 学会等名 Hodge Theory, Stokes Phenomenon and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 植田 一石
2. 発表標題 Mirror symmetry and Grassmannians
3. 学会等名 Singularities, symmetries and submanifolds (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 植田 一石
2. 発表標題 Calabi-Yau 3-folds in Grassmannians of exceptional types
3. 学会等名 Workshop on mirror symmetry and related topics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 植田 一石
2. 発表標題 Compact moduli of K3 surfaces
3. 学会等名 BICMR & IBS-CGP Joint Symplectic Geometry Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 植田 一石
2. 発表標題 Residue mirror symmetry for Grassmannians
3. 学会等名 Modern Interactions between Algebra, Geometry and Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 植田 一石
2. 発表標題 Residue mirror symmetry for Grassmannians
3. 学会等名 Workshop on Symplectic Geometry and Mathematical Physics (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〕

http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~kazushi/index.html

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

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1件

国際研究集会 Hypergeometric functions and mirror symmetry, the University of Tokyo	開催年 2018年～2018年
---	--------------------

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			
韓国	韓国高等科学院			
英国	Imperial College London			
アメリカ合衆国	University of California, Riverside			