

令和 6 年 9 月 9 日現在

機関番号： 11301

研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間： 2020～2023

課題番号： 19KK0342

研究課題名（和文）LC特異点に対する複素解析理論の構築および拡張問題に基づく正曲率多様体の研究

研究課題名（英文）Construction of complex analytic theory for LC singularities and studies of positively curved varieties based on the extension problem

研究代表者

松村 慎一（Matsumura, Shin-ichi）

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号： 90647041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,600,000円

渡航期間： 10ヶ月

研究成果の概要（和文）： 調和積分論をLC地層に対して発展させ、LC特異点をもつ多様体に対する単射性定理（Kodairaの消滅定理の一般化）を複素幾何的な設定へ一般化し、Fujino予想を解決した。また、アバンドンス予想を第二チェーン類が消える極小な射影多様体に対して解決した。さらに、一般化された極小モデル理論のカテゴリーでの非消滅予想を研究し、3次元多様体のネフ反標準束に対して非消滅予想を解決した。適切な意味で正値的な反標準因子や接ベクトル束をもつ多様体の構造定理の確立を目指し、代数的ファイバー空間の幾何学と相対的な（多重）反標準束の正値性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

代数幾何学（特に双有理幾何学）では、Birker-Cascini-Hacon-McKernanの大結果以降、半正値性と特異点の重要性が増している。本研究は、特異点と半正値性に対する超越的な手法を発展させた点で意義があり、将来的にはさらなる進展が期待できる。例えば、LC特異点を扱う複素解析理論を構築し、消滅定理を一般化した。これにより、LC特異点の解析的側面が明らかになり、ホッジ構造の複素解析的側面の探求が期待できる。また、アバンドンス予想や非消滅予想といった当該分野の大問題に対しても、部分的ではあるが新たな成果を上げた点で価値があると思われる。

研究成果の概要（英文）： Developing the theory of harmonic integrals for LC strata, I generalized the injectivity theorem (an extension of Kodaira's vanishing theorem) to the complex geometric setting for varieties with LC singularities, thus solving the Fujino conjecture. I also solved the abundance conjecture for minimal projective manifolds with vanishing second Chern class. Furthermore, I studied the non-vanishing conjecture in the framework of the generalized minimal model program and solved it for the nef anti-canonical bundles of three-dimensional varieties. Additionally, I clarified a relation between the geometry of algebraic fiber spaces and the positivity of relative (pluri-)anti-canonical bundles, aiming to establish structural theorems for varieties whose anti-canonical divisor or tangent vector bundle satisfies certain positivity.

研究分野： 複素幾何学、複素解析学、代数幾何学

キーワード： 双有理幾何 層構造 LC特異点 極小モデル理論 アバンドンス予想 非消滅予想 正曲率性 調和積分論 葉

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

幾何学の究極の目標のひとつは多様体の分理理論の完成である。代数幾何における極小モデル理論は代数多様体の双有理的な分類理論であり、この究極の目標に資する点で決定的に重要である。Birkar-Cascini-Hacon-McKernan の大結果により、標準因子が適切な意味で真の正值性を持つ多様体に対する極小モデル理論が完成した。これ以降、半正值性・特異点の研究が重要性を増しつつあり、アバンダンス予想が当該分野の最大の未解決問題のひとつとなっている。

高次元の多様体に対する極小モデル理論を考えると自然に特異点と呼ばれる接空間を定義できない点(尖ったり交差している点)が現れる。特異点は、その振る舞いの悪さに応じて、LC 特異点・PLT 特異点・KLT 特異点などのクラスに分割される。特異点の近くでは従来の微分積分が展開できず、超越的手法を安直には応用できない。特異点を解析的に扱う技術・哲学を開発することは興味深い課題であり、双有理幾何への応用も見込める。

KLT 特異点は、乗数イデアル層を用いて幾何学的に捉えることができ、複素解析に現れる L2 理論を用いて解析的に扱える。一方で、LC 特異点を解析的に扱う方法には未知の部分が多い。例えば、上述の哲学に基づき、Kodaira の消滅定理は複素幾何的状况で KLT 特異点を扱える Nadel の消滅定理に一般化できる。また、研究代表者は Kollar の単射性定理(Kodaira の消滅定理の一般化)を KLT 特異点を扱う形に一般化してきた。その一方で、Ambro・Fujino により LC 特異点を扱う単射性定理は代数幾何的な設定で確立されたが、その複素幾何的な設定への一般化を問う Fujino 予想は未解決であった。Ambro・Fujino は混合 Hodge 構造を用いて LC 特異点を扱っており、Fujino 予想を解決することで混合 Hodge 構造の解析的側面という新たな研究領域を開拓できる可能性がある。以上の理由から、LC 特異点を複素解析的に扱う手法の確立は重要であり、Fujino 予想・LC 特異点の複素解析側面の研究は非常に魅力的な研究対象である。

アバンダンス予想は標準因子の半正值性に関する大予想であり、アバンダンス予想が解決されれば極小モデル理論も完成する。当然、アバンダンス予想は極めて難解な予想であるが、非消滅予想と DLT 拡張予想の二つに分割できることが知られている。DLT 拡張予想は非負曲率性と特異点を扱う点にその困難さがある。DLT 拡張予想に対する有力な部分的成果は超越的手法に基づいており、非負曲率性と特異点を扱う超越的手法の開発による寄与が期待できる。一方で、(高次元の)非消滅予想に対しては部分的な成果もほとんどなく、解決の糸口すらない状況である。アバンダンス予想(DLT 拡張予想、非消滅予想)が解決できる適切なクラスを見つけることさえも興味深い問題である。

反標準因子や接ベクトル束が正值性を持つ多様体は、極めて剛的な構造定理を満たす。これを追求することで、アバンダンス予想の研究対象と対極にある多様体の構造定理の確立が期待できる。これにより、極小モデル理論とは異なる枠組みで構造定理を確立され、多様体の基本構成要素を明らかになる可能性がある。この点から、 $\bar{d}$ -微分方程式・L2 拡張定理・Bergman 核・葉層構造の理論を発展させ、正曲率多様体の構造定理を解明する研究は魅力的である。

## 2. 研究の目的

本研究では代数幾何(特に双有理幾何)に現れる半正值性や特異点を複素幾何・解析の立場から扱う枠組みの構築を目指す。LC 特異点を解析的に扱う方法を確立し、LC 特異点と非負曲率性を扱う単射性定理(Kodaira の消滅定理の一般化)を複素幾何的な状況で確立する。その応用

として、極小モデル理論におけるアバンドンス予想を背景に、正則切断の拡張問題への応用を与える。また、反標準因子や接ベクトル束が正值性をもつ多様体の構造定理を確立する。その過程で、 $\bar{d}$ -微分方程式・L2 拡張定理・Bergman 核・葉層構造などの複素解析・幾何学の理論を発展させる。

### 3. 研究の方法

本研究では、複素幾何学・代数幾何学・複素解析学などの幅広い分野の視点を必要とする。そのため、関連分野の研究集会やセミナーに参加し、情報収集や研究討論を行うことで研究を推し進めた。本研究の関連分野はドイツやフランスで活発に研究されている。2022 年度は Mihai Paun と Thomas Peternell を受入教員としてドイツのバイロイト大学に長期滞在し、日常的に議論することで研究を進めた。バイロイト大学のメンバーである Patrick Graf, Xiaojun Wu, Philipp Neumann とともに議論し研究を進めた。また、ヨーロッパに長期滞在する利点を活かし、国外での研究発表や情報収集も積極的に行った。さらに、講演の機会を与えて頂いた場合は可能な限りお引き受けし、講演での質疑応答や講演後の議論の際に助言やコメントを頂き、研究に還元した。以下の研究集会の開催に協力し、研究交流を促した。

- ・ 第 17 回 代数・解析・幾何学セミナー (2021 年度)
- ・ 第 18 回 代数・解析・幾何学セミナー (2022 年度)
- ・ ワークショップ 多変数関数論における擬凸性とその周辺 (2023 年度)
- ・ 第 19 回 代数・解析・幾何学セミナー (2023 年度)

### 4. 研究成果

本研究の成果は以下の三項目に大別できる。項目別に研究成果を概説する。

- (1) LC 特異点を持つ多様体に対する単射性定理の研究
- (2) アバンドンス予想および一般化された非消滅予想の研究
- (3) 反標準因子や接ベクトル束が正值性を持つ多様体の構造の研究

#### (1) LC 特異点を持つ多様体に対する単射性定理の研究

Kodaira は、正值な曲率を持つ直線束に対し、高次コホモロジー群の消滅定理を確立した。Kodaira の消滅定理は、歴史的な大結果というだけでなく、現在でも一般化や応用が盛んに研究されている。その最も重要な一般化は Kollar の単射性定理と川又-Viehweg の消滅定理である。Kollar の単射性定理(川又-Viehweg の消滅定理)は、Kodaira の消滅定理のそれぞれ半正值性への(KLT 特異点への)一般化である。

本研究では、複素幾何的な設定で LC 特異点を持つ多様体に対する単射性定理(Kodaira の消滅定理の一般化)を確立した。これは Mario Chan(Pusan National University)・Young-Jun Choi(Pusan National University)との共同研究である。これは Fujino 予想の解決に相当する成果である。

Fujino 予想自体は我々より数ヶ月前に Cao-Paun により証明されたが、我々の手法は本質的に異なり、LC 地層に対する調和積分論を発展させるものである。この利点から単純正規交差の多様体を含む形で予想を解決できた。代数的な単射性定理は Ambro・Fujino により混合 Hodge 構造を用いて証明されており、本研究により混合 Hodge 構造の複素解析的な側面の開拓が期待される。

さらに、本研究ではこの単射性定理をコンパクトな Kaehler 多様体に対して証明したが、この成果を正則凸な Kaehler 多様体へも一般化した。正則凸多様体は Stein 多様体への固有な正則射を持つため、この一般化は Kaehler 空間の(退化も許す)変形族への拡張と解釈できる。この変形族への拡張は、代数幾何的にも複素解析的にも極めて自然であり、様々な応用が期待できる。Fujino 予想は、博士課程以降、私が継続的に研究し続けたきた予想だが、上記の成果により満足のいく形で解決できた。

## (2) アバンダンス予想および一般化された非消滅予想の研究

Calabi-Yau 型の多様体上の強ネフ因子(strictly nef divisors)を研究した。結果として、不正則数が零となる 4 次元の Calabi-Yau 型の多様体に対して、Serrano 予想および豊富性予想を解決した。特に、4 次元のハイパーケーラー多様体(正則シンプレクティック多様体)に対して、上記の予想を解決した。これは Haidong Liu (Sun Yat-sen University) との共同研究である。

この研究の動機は強ネフ因子に対する Serrano 予想・豊富性予想・アバンダンス予想・一般化された非消滅予想に基づいている。その証明は 2 つの段階に分けられる。1 つ目の段階では、Serrano 予想を LC 対に対して一般化した形で定式化し、非消滅予想の仮定の下で極小モデル理論を利用しながら豊富性を証明する。この段階は代数幾何的な部分である。2 つ目の段階では、カレント(測度係数の微分形式)の Bedford-Taylor 積および高次カレントの Siu 分解を用いて、強ネフ因子に対して正則切断を構成し非消滅予想を証明する。この段階は複素解析的な部分であり、Lazic-Peternell の非消滅予想に対する先行研究が重要な役割を果たす。

また、一般化された極小モデル理論(the generalized Minimal Model Program)のカテゴリーでの非消滅予想も研究した。その成果として、ネフ反標準束を持つ 3 次元の多様体に対しての非消滅予想を解決できた。これは T. Peternell (Bayreuth 大学)・V. Lazic (Saarland 大学)・N. Tsakanikas (EPFL)・Z. Xie (Lorraine 大学) との共同研究である。

反標準束に対してアバンダンス予想は成立しないが消滅予想のみは期待できる点は興味深く、背後に幾何学的な現象があることが期待される。証明の過程で、ネフ反標準束を持つ多様体に対する力学系の視点を発見した。これは新たな視点であり今後の発展が期待できる。

さらに、ネフ余接ベクトル束を持つ射影多様体のアバンダンス予想も研究した。その成果として、第二チェーン類が消える極小な射影多様体に対してアバンダンス予想を解決し、Iitaka 射のファイバーの変動を微分幾何的な正值性の条件で記述した。これは M. Iwai (大阪大) との共同研究である。この第二チェーン類の条件は Miyaoka-Yau の不等式を用いて一般化されることが期待される。アバンダンス予想が解決できる適切なクラスを見つけた点で興味を引く成果だと思われる。

## (3) 反標準因子や接ベクトル束が正值性を持つ多様体の構造の研究

ベクトル束の特異エルミート計量に対する Nakano 正值性の理論を研究した。これは T. Inayama (東京理科大) との共同研究である。具体的には、Zariski 開集合上での滑らかな近似を用いた Nakano 正值性の定義を与え、その定義から  $\bar{\partial}$ -微分方程式の解の最良評価が得られることを証明した。また、代数幾何の設定で現れる順像層が近似を用いた Nakano 正值性の定義を満たすための幾何学的な条件を与えた。

また、底空間が Calabi-Yau 型の多様体になる局所定数射を研究し、その基本群のファイバーの自己同型群への作用を調べた。結果として全空間とファイバーの Kodaira 次元の関係を与え、Hacon-Mckernan 予想を含むいくつかの代数幾何の問題が局所定数射の性質から従うことを示した。

さらに、代数的ファイバー空間に対して定義される相対的な(多重)反標準束およびその順像層の正值性を研究した。これはEjiri(大阪公立大学)・Iwai(大阪大)との共同研究である。

結果として、(a) 相対的な反標準束の漸近的な基底点集合、(b) 順像層のある種の平坦性、(c) 代数的ファイバー空間の幾何学、 の間の関係が明らかになった。相対的な反標準束の正值性が、順像層の平坦性を介して、幾何学的な構造に影響を与えるメカニズムがわかってきた。ここで研究される漸近的な基底点集合とは、non-ample locus・stable base locus・non-nef locus・特異計量のLelong 数の level set であり、ある種の平坦性とは数値的平坦性・Hermite 的平坦性・エタール平坦性を意味する。

Kollar-Miyaoka-Mori によれば相対的な反標準束は豊富には成り得ない。近年、Deng により、この結果はnon-ample locus を用いて一般化された。我々のnon-ample locus に対する成果はDeng の結果のLC 特異点への一般化を与える。この研究はAmbro・Cao・Horing・Deng・Druel・Kollar-Miyaoka-Mori らによる類似の成果に対する系統的な理解を提供する。証明では順像層に対する代数的な正值性や複素解析的な正值性の理論が使われる。代数的な正值性は Viehweg の弱正值性などで定式化される一方で、複素解析的な正值性は Bergman 核や多重劣調和関数などで定式化される。これらを比較し検討する中で順像層の正值性の理論への理解が深まった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 S. Matsumura	4. 巻 9
2. 論文標題 Injectivity theorems with multiplier ideal sheaves for higher direct images under Kaehler morphisms	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Algebraic Geometry	6. 最初と最後の頁 122--158
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 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 S. Ejiri, M. Iwai, S. Matsumura	4. 巻 32
2. 論文標題 On asymptotic base loci of relative anti-canonical divisors of algebraic fiber spaces	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Algebraic Geometry	6. 最初と最後の頁 477--517
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 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 H. Liu, S. Matsumura	4. 巻 387
2. 論文標題 Strictly nef divisors on K-trivial fourfolds	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mathematische Annalen	6. 最初と最後の頁 985--1008
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 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 G. Hosono, M. Iwai, S. Matsumura	4. 巻 21
2. 論文標題 On projective manifolds with pseudo-effective tangent bundle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Institute of Mathematics of Jussieu	6. 最初と最後の頁 1801--1830
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S1474748020000754	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 O. Fujino, S. Matsumura	4. 巻 8
2. 論文標題 Injectivity theorem for pseudo-effective line bundles and its applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of the American Mathematical Society, Series B	6. 最初と最後の頁 849--884
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 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 S. Matsumura	4. 巻 144
2. 論文標題 On projective manifolds with semi-positive holomorphic sectional curvature	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 American Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 747--777
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 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. Campana, J. Cao, S. Matsumura	4. 巻 8
2. 論文標題 Projective klt pairs with nef anti-canonical divisor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Algebraic Geometry	6. 最初と最後の頁 430--464
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 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 S. Matsumura	4. 巻 31
2. 論文標題 Open problems on structure of positively curved projective varieties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Annales de la Faculte des Sciences de Toulouse	6. 最初と最後の頁 1011--1029
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 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 S. Matsumura	4. 巻 16
2. 論文標題 On the image of MRC fibrations of projective manifolds with semi-positive holomorphic sectional curvature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Pure and Applied Mathematics Quarterly	6. 最初と最後の頁 1443--1463
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 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 V. Lazic, S. Matsumura, T. Peternell, N. Tsakanikas, Z. Xie	4. 巻 28
2. 論文標題 The Nonvanishing Problem for varieties with nef anticanonical bundle	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Documenta Mathematica	6. 最初と最後の頁 1393--1440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4171/DM/936	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 Matsumura Shin-ichi	4. 巻 7
2. 論文標題 On the minimal model program for projective varieties with pseudo-effective tangent sheaf	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Epijournal de Geometrie Algebrique	6. 最初と最後の頁 該当なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.46298/EPIGA.2023.10337	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 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 30件 / うち国際学会 21件)

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Abundance theorem for minimal compact Kaehler manifolds with vanishing second Chern class
3. 学会等名 Oberseminar, University of Bayreuth (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Positivity of direct images and applications to algebraic fiber spaces
3. 学会等名 The Postech Conference 2022 on Complex Analytic Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Geometry of holomorphic sectional curvature
3. 学会等名 Oberseminar, University of Bayreuth, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Geometry of holomorphic sectional curvature I
3. 学会等名 Seminar on Complex Geometry, Pusan National University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Geometry of holomorphic sectional curvature II
3. 学会等名 Seminar on Complex Geometry, Pusan National University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 The nonvanishing problem for varieties with nef anticanonical bundle
3. 学会等名 Korea-Japan Conference in Algebraic Geometry, IBS center (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 The Nonvanishing problem for varieties with nef anticanonical bundle
3. 学会等名 Workshop on Complex Analysis and Geometry, University of Essen (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On asymptotic base loci of relative anti-canonical divisors of algebraic fiber spaces
3. 学会等名 Grauert Theory and Recent Complex Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Structure theorem for projective klt pairs with nef anti-canonical divisor
3. 学会等名 Analysis of Monge-Ampere, a tribute to Ahmed Zeriahi (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On projective manifolds with pseudo-effective tangent bundle
3. 学会等名 The Conference on Complex Geometric Analysis; in honor of Kang-Tae Kim's 65th birthday (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On projective manifolds with pseudo-effective tangent bundle
3. 学会等名 Subvarieties and foliations of complex projective varieties (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 非負曲率を持つ射影多様体の構造について
3. 学会等名 大阪大学 談話会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On projective manifolds with non-negative holomorphic sectional curvature
3. 学会等名 大阪大学 幾何学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 数値的に半正な反標準束を持つKLT対の構造定理について
3. 学会等名 Higher- dimensional algebraic varieties;in honor of Professor Shigefumi Mori ' s 70th birthday ( 招待講演 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Structure theorem for projective klt pairs with nef anti-canonical divisor
3. 学会等名 城崎 代数幾何シンポジウム2021 ( 招待講演 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Strictly nef divisors on K-trivial fourfolds
3. 学会等名 2021 年度多変数関数論 冬セミナー ( 招待講演 )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Projective klt pairs with nef anti-canonical divisor and rational curves
3. 学会等名 Complex Algebraic Geometry and Complex Analysis (Bochum-Essen-KoIn-Wuppertal) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On projective manifolds with pseudo-effective tangent bundle
3. 学会等名 Complex Geometry Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On asymptotic base loci of relative anti-canonical divisors of algebraic fiber spaces
3. 学会等名 Grauert theory and recent complex geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 非負の曲率を持つ射影多様体の構造定理について
3. 学会等名 京都大学 談話会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Hacon-McKernan's problem on rational connectedness
3. 学会等名 第26回複素幾何シンポジウム (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On projective manifolds with pseudo-effective tangent bundle
3. 学会等名 東京大学 複素解析幾何セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 On projective manifolds with semi-positive holomorphic sectional curvature
3. 学会等名 The 7th Workshop on Complex Geometry and Lie Groups (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 The Nonvanishing problem for varieties with nef anticanonical bundle
3. 学会等名 Seminar of Complex Geometry, Chinese Academy of Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 The Nonvanishing problem for varieties with nef anticanonical bundle
3. 学会等名 Seminar of Complex Geometry, Wuhan University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 The Nonvanishing problem for varieties with nef anticanonical bundle
3. 学会等名 Algebraic Geometry Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Abundance theorem for minimal projective varieties with vanishing Chern class of Miyaoka-type
3. 学会等名 One-day workshop on Algebraic and Complex Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 An injectivity theorem on snc compact Kaehler spaces
3. 学会等名 Workshop on Complex Geometry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 Compact Kaehler 3-folds with nef anti-canonical bundle
3. 学会等名 多変数関数論における擬凸性とその周辺
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 The Nonvanishing problem for varieties with nef anticanonical bundle
3. 学会等名 京都大学 代数幾何セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsumura
2. 発表標題 The Nonvanishing problem for varieties with nef anticanonical bundle
3. 学会等名 東京大学 複素解析幾何セミナー（招待講演）
4. 発表年 2023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
	ミハイ パウン  (Mihai Paun)	パイロイト大学・Mathematisches Institut・Professor	

## 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
ペターネル トーマス  (Peternell Thomas)	パイロイト大学・Mathematisches Institut・Professor	

## 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2件

国際研究集会 第 19 回 代数・解析・幾何学セミナー	開催年 2024年～2024年
国際研究集会 第 18 回 代数・解析・幾何学セミナー	開催年 2023年～2023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		
ドイツ	Universitat Bayreuth	Universitat des Saarlandes	
中国	Sun Yat-sen University	Chinese Academy of Sciences	
スイス	Ecole Polytechnique Federal		
フランス	Institut Elie Cartan de Lorraine	Universite Cote d'Azur	