

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03670

研究課題名（和文）幾何学的測度論を用いた動的変分問題の多面的研究

研究課題名（英文）Multifaceted studies on dynamical problems in the calculus of variations using geometric measure theory

研究代表者

利根川 吉廣（TONEGAWA, Yoshihiro）

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：80296748

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,500,000円

研究成果の概要（和文）：幾何解析において極小曲面は歴史的に重要な研究対象であり、その時間発展問題といえる平均曲率流は極小曲面に動的な観点を与える。当研究課題では幾何学的測度論の枠組みで考える平均曲率流であるBrakke流について、境界固定条件下での基本的な時間大域存在定理、新しい概念である標準的平均曲率流の存在定理、最終時刻を含む究極的な正則性定理、平坦な特異点を持つ極小曲面から出発する非自明なBrakke流の存在定理を証明した。最後の結果は特異点を持つ極小曲面に対する新規の動的な安定性、不安定性の概念を自然に誘導している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

幾何学的測度論を用いた極小曲面に関する結果は決定的で学術的に重要なものが多い一方で、その時間発展版であるBrakke流については未知の部分が多い。当該研究はその基本的な存在定理や正則性定理などに関して着実な結果を出し、またそれらを通じて標準的平均曲率流や極小曲面の動的な安定性など、複数の新しい概念の創出に至っているという点で学術的意義がある。

研究成果の概要（英文）：In the field of geometric analysis, minimal surface is historically an important object of study and mean curvature flow which is the time-evolutionary version gives a dynamic perspective to the minimal surfaces. For Brakke flow which is a mean curvature flow considered within the framework of geometric measure theory, we proved the following: the time-global existence theorem with fixed boundary condition, the existence of canonical mean curvature flow whose concept is new, an ultimate end-time regularity theorem, and an existence theorem of non-trivial Brakke flow starting from minimal surface with flat singularity. The last result naturally leads to a new concept of dynamic stability/instability for minimal surfaces with singularities.

研究分野：変分解析、幾何学的測度論

キーワード：平均曲率流 変分問題 極小曲面 幾何学的測度論 特異点 正則性

1. 研究開始当初の背景

近年、幾何解析の分野において幾何学的時間発展問題の研究が注目されており、特に平均曲率流はその中心的な研究対象の一つとなっている。平均曲率流の時間大域解存在を示す枠組みとしては、1991年の陳-儀我-後藤、および Evans-Spruck による粘性解理論を用いた等高面法がよく知られている。これは存在定理としては現在までのところ唯一、時間大域的な一意性を備えた理論である一方、(a)特異点発生後にいわゆる fattening によって内点をもつ集合が解となってしまふ可能性が高い、(b)最大値原理を用いるため、3重点などを含む多相結晶粒界の平均曲率流の存在理論には適用できない、という短所がある。そのため特異点を持つような一般閉集合を初期データとする平均曲率流の存在について知られていることは限られていたのであるが、この問題に対し、私と共同研究者の Lami Kim は幾何学的測度論の手法を駆使し、局所測度有界な一般閉集合を初期データとする Brakke の平均曲率流の時間大域解の存在を一般次元において証明した(2017)。この結果は位相的变化を起こしながら動く非自明な解が時間大域的に存在することを、一般初期データに対しすべての次元で保証するものである。等高面法と比較すると、曲面測度の時間変化が測れるので局所的な解析が可能、基本的な局所正則性定理がある、fattening が起こらない、等の数々の利点があるが、一方で特異点に起因する非一意性の可能性がある。この存在定理は平均曲率流の具体的な弱解構成方法の一つの指針を与えており、特異点の性質の研究や弱解の概念自体の見直しを行うための土台となるものである。構成された解の一意性は一般的には結論できないとはいえ、一意性が成り立たない場合の特徴づけや、よりよい解の構成方法、特異点集合の正則性等、様々な基本的疑問が Kim との共同研究の結果から自然に提起される状況であったと言える。

2. 研究の目的

本研究の目的は現在までの研究成果に基づいて、主として平均曲率流の研究を多面的かつ総合的に推進すること、そして研究分担者・連携研究者の協力を得て関連する幾何学的時間発展問題にその知見を応用および普及させることである。

(1) 平均曲率流の存在定理と動的安定性

一般論により平均曲率流の各点各時刻においてはいわゆる接流が存在する。接流は時空近傍での漸近挙動を決定するもので、その解析は特異点集合解析には必須のものである。我々の時間離散的な近似解の構成手法からは接流がある弱い意味での面積最小性を持っていることが推察され、動的安定性の特徴づけに重要な役割を果たしていることが予想される。一次元の場合には近似解がほとんどすべての時刻において極限の平均曲率流に良い収束をしていると考えられる為、まず一次元の場合の接流の完全な分類を目指す。その知見を基に一般次元における接流の分類問題と動的安定性の理解について先鞭をつける。また 50 年来の未解決問題に、一般化された極小部分多様体の殆ど全ての点における正則性があるが、極小性に自然な動的安定性の条件を付加した下での正則性理論の研究を行う。

(2) 平均曲率流の特異点集合解析

3つの半平面が 120度で交わっている集合を考える。これは一般化された意味で極小であり、特異点集合を持つ極小部分多様体の中で最も基本的なものである。平均曲率流がこの集合に弱い測度の意味で近いとき、平均曲率流は滑らかな意味でこの集合に近く、動く特異点集合自体も滑らかであることが予想される。この正則性理論を、Simon による特異点解析の平均曲率流版を構成することで一般次元において確立することを目指す。

(3) 平均曲率流の境界正則性

平均曲率流に対する測度論的な意味での固定角度条件の下、境界正則性理論の構築を行う。直交(90度)条件については、定常の場合(極小部分多様体)は Grüter-Jost による正則性理論があるが、この平均曲率流版を確立すると共に、任意角度を与えたときの固定角度条件の場合も含めた理論を目指す。

(4) 平均曲率流の再出発手法

構成された平均曲率流がある時刻で面積最小ではない定常の接流を持ってしまうことは一般には避けられないと考えられる。それらを漸近挙動としてもつ平均曲率流は大まかに言えば無限小の意味で面積最小性を満たしていない。そのような事象が起こってしまった時空近傍において、より望ましい性質を持つような種の置き換えを行って再出発させることができれば、より良いクラスの平均曲率流を確実に構成できる。この再出発手法について研究する。

(5) 研究成果の発信

若手研究者を対象としたスクールや連続講義を通じて、Brakke の平均曲率流に関する基礎知識と研究成果を多くの若手に対して普及することにより、今後の応用や研究進展につなげていく。

3. 研究の方法

研究分担者および研究協力者と連携して研究を進め、研究集会参加および研究成果発信をする。コロナ禍中はオンラインの形式で、研究人材資源をフルに活用することで活発な研究活動を継続し、収束後には早期に対面での研究成果発表を行う。普及活動の実績としては、若手向けのミニコースを国際理論物理研究所（トリエステ、2018年6月）、ハウズドルフ研究所（ボン、2019年1月）、ミラノ大学主宰サマースクール（ガルダーニョ、2022年6月）、ロンドン大学主宰サマースクール（ロンドン、2022年7月）で担当し、2022年11月にはピサ大学（イタリア）で博士課程学生向け集中講義を担当した。また若手のポスドクを1名雇用して研究に従事させる。

4. 研究成果

主として Brakke の意味での平均曲率流（以下 Brakke 流と称する）に関する様々な研究成果について列挙する。

(1) 境界固定条件付き平均曲率流の時間大域存在定理

Salvatore Stuard との共同研究で、境界固定条件の下で Brakke 流の時間大域解の存在定理を証明した。この結果は Lami Kim との共同研究で証明した存在定理の、境界がある場合への拡張であるが、境界が動かないように解を構成するための新規の工夫が必要なものとなっている。時間が経つにつれて位相的な変化を伴いながら曲面積が減少する解となっており、時間無限大において一般化された意味での極小曲面に収束する。系として古典的なプラトー問題に対する時間発展的な解法を同時に与えた点が画期的である。従来プラトー問題は曲面積の最小化を考えることによって解かれていたが、この手法では原理的に最小曲面積ではないような極小曲面が得られる可能性がある。論文は *Calculus of Variations and PDE* より出版済みである。

(2) 一次元平均曲率流のアプリオリ正則性

Lami Kim との共同研究で証明した Brakke 流について、その次元が1次元の場合、ほとんど全ての時刻において、解は局所的に2回弱微分可能かつ2回弱微分が2乗可積分である有限個の曲線の和集合として表せることを証明した。またこれら曲線が交わることができる角度は0、60、120度のみであることも証明した。これら結果により、2017年のKimとの研究で示された解は古典的な3重点のみを持つネットワーク集合の自然な測度論的閉包となっていることが示された。位相的变化が起こり得る時間大域的な枠組みでこのような正則性を持つ曲率流の存在が証明されたのは初めてである。論文は *Interfaces and Free Boundaries* より出版済みである。

(3) 平坦な特異点を持つ極小曲面の動的不安定性

極小曲面は平均曲率が0であるためにそれ自身が動かない Brakke 流であるのだが、十分平坦な特異点がある場合、それを初期値として連続的に動き出す Brakke 流が存在することを証明した。平坦性の条件は \log のオーダーの平坦性で与えられており、一方で具体的に現在知られている特異点は典型的に多項式オーダーであるため、すべて条件を満たしている。この結果は一般化された極小曲面に対しての動的な意味での安定性の概念を初めて提示するものとなっている点、意義ある結果となっている。論文は査読中である。

(4) 標準的平均曲率流の存在定理

閉修正可能集合を初期値として任意に与えた時、2017年のKimとの研究結果では Brakke 流の時間大域解の存在を証明したが、その構成方法を若干修正することにより、その解は Brakke 流であるだけでなく、有界変動関数(BV)の意味での平均曲率流になっていることを証明した。元々 Brakke 流は一意性がないことが問題であったが、BV の特徴付けがあることにより自明な非一意性は回避できるようになった。結果は新しい平均曲率流の概念を提案している点有意義である。論文は *Advances in Calculus of Variations* よりオンライン出版済みである。

(5) 外力項付きの Brakke 流に関する正則性

Brakke の意味で曲面の法線方向速度が、平均曲率と外力項の和で表せる問題を考える。葛西-利根川(2014)による正則性定理により、ほとんどの点において動く曲面はパラボリックの意味で局所的に一回連続微分可能なグラフになることがわかっていたが、外力項がヘルダー連続ではない場合、界面運動を表す2階放物型方程式の強解になるかどうかは未解決だった。この問題に対し、森龍之介と富松瑛太と共同で、もしグラフの時間微分がラドン測度であれば、グラフは期待される2階偏微分方程式の強解になっていることが解明された。興味深いことに、Allen-Cahn 方程式から得られる解はこの条件を自動的に満たしている。これは Brakke の意味での界面速度の繊細な性質を表すものであり、未知であった現象である。論文は *Indiana University Math Journal* に出版受理済みである。

(6) 3重点近傍の正則性

Brian Krummel と共同で、一次元 Brakke 流の3重点周りの2回微分可能性について検討し、少なくとも空間2回微分および時間1回微分が3重点まで有界になることがわかった。これより前の研究として、Wickramasekera との共同研究では空間1回微分がヘルダー連続になることを2016年の論文で示していたのだが、今回の研究で2回微分、つまり曲率が3重点まで有界でかつ3重点の動く速度も有界になることがわかった。さらに検討を重ねて2回微分がヘルダー連続になることを証明する予定である。

(7) 最終時刻までの平均曲率流の正則性

Brakke の正則性定理として知られていた一般 Brakke 流に対する正則性定理は、空間のみではなく時間方向にも内部における局所正則性の結果であった。一方でパラボリックの問題に特有な

最終時間までの正則性を保証する定理が自然に期待されていたのであるが、それを葛西-利根川 (2014 年)の結果を改良することにより証明した。これは対象の Brakke 流が滑らかな平均曲率流の極限として得られる特別な場合には White の正則性定理として知られていたもので、それを一般 Brakke 流、さらに一般外力項を付加した Brakke 流に拡張した結果となっている。結果は最も一般的な形で得られており、Brakke の正則性定理を究極的な形で証明したことになる。論文は査読中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 31件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Salvatore Stuvard and Yoshihiro Tonegawa	4. 巻 -
2. 論文標題 On the existence of canonical multi-phase Brakke flows	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Calculus of Variations	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/acv-2021-0093	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 Ryunosuke Mori, Eita Tomimatsu and Yoshihiro Tonegawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Brakke's formulation of velocity and the second order regularity property	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Indiana University Mathematical 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) 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 Salvatore Stuvard and Yoshihiro Tonegawa	4. 巻 60
2. 論文標題 An existence theorem for Brakke flow with fixed boundary conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Calculus of Variations and Partial Differential Equations	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) 10.1007/s00526-020-01909-Z	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 Lami Kim and Yoshihiro Tonegawa	4. 巻 22
2. 論文標題 Existence and regularity theorems of one-dimensional Brakke flows	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Interfaces and Free Boundaries	6. 最初と最後の頁 505 ~ 550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4171/IFB/448	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 Yoshihiro Tonegawa and Yuki Tsukamoto	4. 巻 59
2. 論文標題 A diffused interface with the advection term in a Sobolev space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Calculus of Variations and Partial Differential Equations	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) 10.1007/s00526-020-01860-z	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130件 (うち招待講演 122件 / うち国際学会 65件)

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of canonical mean curvature flow starting from closed set
3. 学会等名 Univ. of Milan, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Introduction to mean curvature flow
3. 学会等名 Ph.D. course University of Pisa, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of canonical mean curvature flow starting from closed set
3. 学会等名 Chinese University of Hong Kong (Zoom) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 End-time regularity theorem for Brakke flows
3. 学会等名 Geometry seminar, University College London, UK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 End-time regularity theorem for Brakke flows
3. 学会等名 PDE seminar, Cambridge University, UK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of canonical Brakke's mean curvature flow
3. 学会等名 Hausdorff Center Bonn, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of mean curvature flow
3. 学会等名 PDE seminar, KAIST, Korea (Zoom) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Introduction to the Brakke flow and its existence theory
3. 学会等名 Mini course, Geometric Measure Theory and Applications, University College London, UK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Introduction to the Brakke flow and its existence theory
3. 学会等名 Mini course, Geometric analysis and PDE on Garda Lake, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of generalized solution of mean curvature flow
3. 学会等名 Seminar, University of Padova, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Some existence and uniqueness questions for mean curvature flow
3. 学会等名 Analysis Seminar, ETH Zurich, Switzerland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Some existence and uniqueness questions for mean curvature flow
3. 学会等名 Analysis Seminar, University of Warwick, UK (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 利根川吉廣
2. 発表標題 一般化された平均曲率流の存在定理について
3. 学会等名 早稲田大学応用解析研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of canonical multi-phase mean curvature flows
3. 学会等名 New Trends in Geometric PDEs, Munster, Germany (Zoom) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of canonical multi-phase mean curvature flows
3. 学会等名 Singularity Formation in Nonlinear PDEs, Banff International Research Station, Canada (Zoom) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Generalized mean curvature flow
3. 学会等名 15th International Conference on Free Boundary Problems, Berlin, Germany (Zoom) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 On the Brakke flows starting from minimal hypersurfaces with flat singularities
3. 学会等名 NCTS Differential Geometry Seminar, National Taiwan Normal Univ (WebEx) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence of canonical multi-phase mean curvature flow
3. 学会等名 Recent Developments in Geometric Measure Theory and its Applications, Houston, USA (Zoom) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Brakke flows starting from closed rectifiable sets
3. 学会等名 Calculus of variations, Oberwolfach, Germany (Zoom) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 An existence theorem for Brakke flow with fixed boundary condition
3. 学会等名 Joint Mathematics Meetings 2020, Denver, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Singular perturbation problems of phase interfaces
3. 学会等名 Yonsei Univ. Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Modica-Mortolaエネルギーの特異摂動極限について
3. 学会等名 明治非線型数理セミナー, 明治大学 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Singular perturbation problems of phase interfaces
3. 学会等名 研究集会「非線形偏微分方程式の理論と応用」, Hokkaido University (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 An existence theorem for Brakke flow with fixed boundary condition
3. 学会等名 Gradient flows and related topics: analysis and applications, Kanazawa (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 An existence theorem for Brakke flow with fixed boundary condition
3. 学会等名 Partial differential equations, Oberwolfach, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Singular perturbation problems of phase interfaces
3. 学会等名 Workshop on New Trends in Variational Models: From Superconductors to Liquid Crystals, Fields Institute, Canada (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence and regularity theories of Brakke flow (6 hour mini-course)
3. 学会等名 International School on Extrinsic Curvature Flows, ICTP, Trieste, Italy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Existence theorem for Brakke flow
3. 学会等名 The 11th MSJ-SI: The Role of Metrics in the Theory of Partial Differential Equations, Hokkaido University, Sapporo, Japan (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 相分離モデルの数学
3. 学会等名 研究集会「ベシクルの変形の物理と数理」(東北大学、宮城県仙台市)(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 幾何学的測度論を使った平均曲率流
3. 学会等名 非線形解析セミナー(慶応義塾大学、神奈川県横浜市)(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Introduction to Brakke's mean curvature flow (6 hour mini-course)
3. 学会等名 Winter School for Evolution of Interfaces, Hausdorff Center at Bonn, Germany (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshihiro Tonegawa
2. 発表標題 Some remarks on the 1-dimensional Brakke flow
3. 学会等名 AMS sectional meeting, University of Hawaii at Manoa, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Yoshihiro Tonegawa	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 112
3. 書名 Brakke's mean curvature flow : an introduction	

〔産業財産権〕

〔その他〕

利根川吉廣研究室ホームページ http://www.math.titech.ac.jp/~tonegawa/toppagejp.htm

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	高坂 良史 (KOHSAKA Yoshihito) (00360967)	神戸大学・海事科学研究科・教授 (14501)	

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
研究分担者	石井 克幸 (ISHII Katsuyuki) (40232227)	神戸大学・海事科学研究科・教授 (14501)	
研究分担者	三浦 達哉 (MIURA Tatsuya) (40838744)	東京工業大学・理学院・准教授 (12608)	
研究分担者	高棹 圭介 (TAKASAO Keisuke) (50734472)	京都大学・理学研究科・准教授 (14301)	
研究分担者	可香谷 隆 (KAGAYA Takashi) (60814431)	室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授 (10103)	
研究分担者	小野寺 有紹 (ONODERA Michiaki) (70614999)	東京工業大学・理学院・准教授 (12608)	

	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	キム ラミ (KIM Lami)		
研究協力者	スチュバード サルバトーレ (STUVARD Salvatore)		

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	クラメル ブライアン (KRUMMEL Brian)		

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			
イタリア	University of Milan			
米国	テキサス大学オースチン校			
韓国	延世大学			