

令和 6 年 5 月 1 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03583

研究課題名(和文)半順序理論と一般位相空間論の手法を用いた力学系と葉層構造の相補的な研究

研究課題名(英文)Complementary study on dynamical systems and foliations using methods of partially ordered set and general topology

研究代表者

横山 知郎 (Yokoyama, Tomoo)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30613179

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：既存の曲面上のHamilton流の位相不変量の表現を精密化し、曲面上の"有限的な"流れに対する表現を構成し、より広いクラスの流体现象を解析できる枠組みを構築した。距離空間上の流れのMorseグラフ・Morse-Smale流の付随するCW複体構造・曲面上のジェネリックなHamilton流のReeb graphの一般化となるような新しい高次元の流れの位相不変量の構成した。Poisson安定、recurrentなどのさまざまな再帰的な流れの軌道類空間を分離公理と順序を用いて特徴付けられることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

曲面上の微分方程式の解などの流れを記述できる有限位相不変量を構成したことにより、トポロジーの意味で情報を失わずに、ある種の微分方程式の解を遷移グラフ上のウォークに変換できることを示した。これにより、対称性の高い流れなどのトポロジーを表現し解析することができるようになった。

Morseグラフ・Morse-Smale流の付随するCW複体構造・曲面上のジェネリックなHamilton流のReeb graphの一般化となるような新しい高次元の流れの位相不変量の構成したことは、これまで別々に扱われていた研究を統合的に扱う枠組みを提供している。よって、異なる分野の手法の融合による新しい解析が期待される。

研究成果の概要(英文)：We refined the existing representation of the topological invariant of Hamiltonian flows on surfaces, constructed an expression for flows of finite type on surfaces, and constructed a framework for analyzing a broader class of fluid phenomena. We have constructed new topological invariants, which generalize Morse graphs of flows on metric spaces, CW complex structures associated with Morse-Smale flows, and Reeb graphs for generic Hamiltonian flows on surfaces. We have demonstrated that some recurrent concepts (e.g. Poisson stable, recurrent) for the orbit class spaces can be characterized using the separation axiom and partial order.

研究分野：力学系 トポロジー

キーワード：力学系 トポロジー 葉層構造 位相不変量

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

力学系は流れの定性的な性質を解析するための基礎として重要である。実際、解析学や流体力学などの分野において、力学系の理論は幅広く使われている。さらに、流れの高次元への拡張である葉層構造も、空間自身の性質や流れの性質を調べる上で重要な道具である。

(背景 1) さまざまなクラスの曲面流の完全不変量が構成されている

空間を分類するために位相不変量が構成されるように、曲面流に対しても、拡大する流れや縮小する流れの一般化である双曲的な曲面流や周期的な流れの一般化である再帰的な曲面流の分類のためにさまざまな位相不変量が構成されてきた。一方、双曲的な流れの典型例である Morse-Smale 流と再帰的な流れの典型例である Hamilton 流を含むような統一的な有限完全不変量は構成されていない。そこで、このような統一的な有限完全不変量の構成が期待されている。

(背景 2) 高次元多様体上の流れの位相不変量が構成されている

Reeb グラフという Hamilton 曲面流の位相不変量や、Morse グラフという高次元多様体上の流れの位相不変量が知られている。一方、Morse グラフは双曲的な流れに対する分類能力は高いが、再帰的な流れを分類できないという欠点がある。そこで、微分方程式の解や流体現象などの一般の流れを扱えるような有限位相不変量の構成が期待されている。

(背景 3) 流れの分岐についての局所的な記述が構成されている

これまでにさまざまな分岐について研究されてきた。一方、分岐理論は局所的な記述を列挙しているが、流れの遷移を記述するのに適した流れを表す位相不変量は構成されていなかったため、一般にどのような遷移があるのかというリストは構成されなかった。そこで、研究代表者らは流れの遷移を記述するのに適した流れを表す位相不変量を構成し、穴あき球面上の Hamilton 流の遷移グラフを構成した。一方、さまざまな微分方程式や流体現象を記述するために、勾配流や一般の曲面流の遷移グラフの構成が求められている。

(背景 4) 軌道や葉の性質の記述によって力学系や葉層構造を解析する研究が行われている軌道類空間という軌道の閉包が一致するような点を潰して得られる空間を用いて、さまざまな分離公理を用いて軌道の性質を記述できることが示されてトーラス上の葉層構造理論においても、類似の結果が示されている。

本研究は、以下のような学術的な問いに基づいている: 流れや葉層構造を理解するとはどういうことか?

例えば、不変集合という流れに対して不変な領域に制限して流れを扱うことで解析の精度を向上させ、(背景 1) と(背景 2) で述べた方向の研究として、上の問いは以下の具体的な問題に帰着される:

(問題 1) 多様体上の流れの不変集合に対応する位相不変量はどのようなものがあるか?

微分方程式の解や流体現象に対して、(背景 3) の方向の研究として、上の問いは以下の具体的な問題に帰着される:

(問題 2) 微分方程式や流体現象の時間発展をどのように記述すれば良いか?

(背景 4) で述べたように、構成要素である軌道や葉の性質を記述することにより、力学系や葉層構造を理解することができる。そこで、この方向の研究として、以下の問題がある:

(問題 3) 軌道や葉の性質をどのように記述すれば良いか?

2. 研究の目的

葉層構造理論と力学系理論を相補的に研究することにより、多様体上の流れや余次元の高い葉層構造を解析することである。特に、3次元の流体現象を位相幾何学的に解析するための理論的な基盤を作る。特に(背景 1) と(背景 2) と(問題 1) に対応する本研究の目的は以下である:

(目的 1) 多様体上の微分方程式の解や流体現象などの流れの不変集合を記述できる計算機上での実装に適した有限位相不変量を構成する

(背景 3) と(問題 2) に対応する本研究の目的は以下である:

(目的 2) 曲面上の勾配流や一般の曲面流の遷移グラフを構成する

(背景 4) と(問題 3) に対応する本研究の目的は以下である:

(目的 3) 軌道類空間や葉類空間上で、分離公理と順序を用いて、軌道や葉の性質を特徴付ける

3. 研究の方法

研究目的(目的 1), (目的 2), (目的 3) を達成するために、6つの研究項目(i)-(vi)を設定する。

(目的 1) について

(i) 既存の穴あき球面上の Hamilton 流の位相不変量を、境界の貼り合わせ構造を順序構造として付与することにより、コンパクト曲面上の Hamilton 流に対する位相不変量に拡張する。

(ii) 軌道の過去と未来の極限の構造に適した半順序構造を構成し、Hamilton 曲面流の不変量と両立するような表現としてコンパクト曲面上の Morse-Smale 流の位相不変量を構成する。

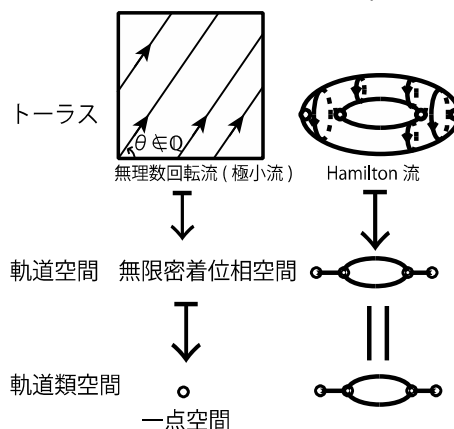


図 1 軌道類空間の例

(iii)葉層構造の手法を用いて軌道のトポロジーを解析し、半順序構造や一般位相空間論の概念を用いて、再帰的な不変集合に対応する順序構造付き商空間の位相不変量を構成する。

(目的 2)について

(iv)コンパクト曲面上の Hamilton 流に対する遷移グラフを構成する。さらに、Morse-Smale 流の遷移を記述するには、Morse-Smale 流でない不安定な流れを経由する必要がある、Morse-Smale 流に似た流れを特徴付けることにより、Morse-Smale 流の遷移グラフを構成する。

(v)不安定な流れを階層化することにより、余次元の高い Hamilton 流の遷移の分類を行う。

(目的 3)について

(vi)閉多様体上のコンパクト葉のみからなる余次元 2 葉層構造の葉空間は曲面になることが知られており、分離公理や順序構造を用いて、余次元が 2 に近いという性質を特徴付けることにより、横断的な等質性がある余次元 2 に近い性質を持った葉層構造が曲面になることを示す。

4. 研究成果

研究実施計画に基づき、各研究目的に沿って研究を進め、以下の研究成果を得た。

〔目的 1〕多様体上の微分方程式の解や流体現象などの流れの不変集合を記述できる計算機上での実装に適した有限位相不変量を構成する

既存の有限位相不変量は全ての構造に記号を割り振っていなかったため、アルゴリズムを用いて構造安定な Hamilton 流のトポロジーを生成することはできなかった。そのため、全ての構造に記号を割り振り、有限位相不変量を計算機上での実装に適した表現に変えることにより、特異点の数が少ない場合にたいして、コンパクト曲面上の Hamilton の遷移グラフを出力するアルゴリズムを構成した(図 2)。本成果は Discrete Mathematics, Algorithms and Applications (2021) に掲載された。研究項目(ii)については、軌道の過去と未来の極限の構造に適した半順序構造を見出すためには曲面上の流れの過去と未来の極限の構造がどのようなものであるかを特徴づける必要があった。そのため、コンパクト曲面に埋め込めるような曲面上の有限個の特異点を持たない流れに対する Poincaré-Bendixson 定理を部分的に拡張することにより、過去と未来の極限の構造に依存性があることを示し、本成果は Journal of Differential Equations(2023)に掲載された。この過去と未来の極限の構造の依存性は、過去と未来の極限の構造が対称になる場合を特徴付ける結果を導く中で示唆されたことであった。この対称性の結果は、Proceedings of the American Mathematical Society (2023)に掲載された。さらに、有限的な流れが勾配的な部分と Hamiltonian 的な部分に分割されることを見出し、Hamilton 曲面流の不変量とコンパクト曲面上の Morse-Smale 流を含むような完全位相不変量を構成した。本成果は Discrete Mathematics, Algorithms and Applications (2023)に掲載された。研究項目(iii)については、コンパクト距離空間上の流れの Morse グラフ、Morse-Smale 流の付随する CW 複体構造、曲面上のジェネリックな Hamilton 流の Reeb graph を分離公理や順序構造を用いて捉え直すことにより、これらの概念を統合し、より一般の新しい高次元の流れの位相不変量を構成した。特に、軌道類空間の商空間としてこの位相不変量は構成されている。その中で、軌道の位相的な分類が移送不変量の構成の鍵となっている。本成果は Discrete and Continuous Dynamical Systems(2022)に掲載された。研究項目(i)については、コンパクト曲面上の Hamilton 流に対して、適切な周期軌道を曲面上から抜くことにより、得られた曲面が球面に含まれるものと同相になることを用いて、コンパクト曲面上の Hamilton 流に対する位相不変量に拡張する結果を得て、現在プレプリントが発表されている。

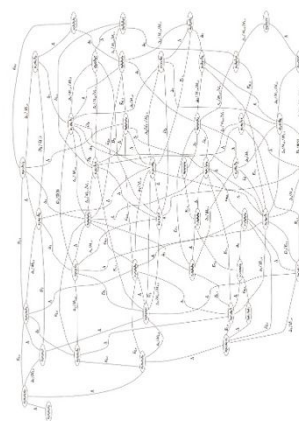


図 2 遷移グラフの例

〔目的 2〕曲面上の勾配流や一般の曲面流の遷移グラフを構成する

研究項目(iv)については、Smale によって Morse 流が良い性質を持った勾配流であるという事実をもとに研究を進めた。第一に、勾配流の時間発展を記述できるような枠組みを創出するために、コンパクト曲面上の Morse 流を位相的に特徴づけた。さらに、コンパクト曲面上の Morse-Smale 流の limit cycle を切って、その境界を潰すことにより得られた流れが勾配流であるという考察のもとに、コンパクト曲面上の Morse-Smale 流を“勾配流で limit cycle を持つもの”とみなすことにより、Morse-Smale 流の位相的に特徴づけを行なった。これにより、勾配流の時間発展を記述できるような枠組みの類似として、Morse-Smale 流の遷移を記述する基盤を構築した。

Vladislav Kibkalo 氏(Moscow 大学)と共同研究として行なった本成果は Discrete and Continuous Dynamical Systems(2022)に掲載された。一方、Morse-Smale 流の遷移グラフを構成についてはその存在が理論的には言えたが、実際の構成は今後取り組むべき課題である。

〔目的 3〕軌道類空間や葉類空間上で、分離公理と順序を用いて、軌道や葉の性質を特徴付ける

軌道を一点に潰してえられる軌道空間でなく、軌道の閉包が一致する点を潰してえられる軌道類空間を解析する利点は、位相や順序を用いても区別できないものを潰すことにより空間の形が単純になるためであり、この様な縮約は一般位相空間論で古くから用いられてきた手法である。一方、これらの手法は位相力学系などの抽象的に空間上の力学系では用いられてきたが、

曲面上の力学系などの具体的な多様体上の力学系の研究にはほとんど用いられてこなかった。そのため、軌道類空間という概念や Cantor 多様体などの概念を用いることにより、曲面上の再帰性に関する概念(e.g. 非遊走性, recurrent, Poisson stable, equicontinuous)を、コンパクト曲面上の流れの軌道類空間上で分離公理として特徴付けた。特に, recurrent という性質は $T_{1/2}$ 分離公理と等しいこと, Poisson stable という性質は T_1 分離公理と等しいこと, equicontinuous であるという性質は T_2 分離公理と等しいことを示した。とくに, equicontinuous な流れは等長的な流れと topological equivalent であることも示された。本成果は Israel Journal of Mathematics に掲載予定で、オンラインで公開されている。

一方, 研究項目(v) については, 不安定な流れを階層化することにより, コンパクト曲面上の Hamilton 流全体のなす空間において, 生成消滅のないという仮定のもとで, 各連結成分が高々有限の topological equivalence class を持つことが示させる。一方, これらの連結成分には, 位相から定まる自然な順序構造があり, これを用いて, 空間に階層構造を入れることができる。一方, この階層構造は, 流れの摂動を考察して得られたものである。さらに, この階層構造を用いて, 余次元の高い Hamilton 流の遷移の分類を得た。さらに, 生成消滅のないという仮定のもとで, Hamilton 流のなす空間の連結成分で可縮ないものが存在することを, 一般位相空間論や組合せ理論の手法を用いることで示し, 現在プレプリントが発表されている。研究項目(vi)については, “コンパクトに近いという性質”の同値な条件を特徴づけ, 分離公理や順序構造を用いて, 余次元が 2 に近いという性質を特徴付けることにより, 結果を得て, 現在プレプリントが発表されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kibkalo Vladislav, Yokoyama Tomoo	4. 巻 42
2. 論文標題 Topological characterizations of Morse-Smale flows on surfaces and generic non-Morse-Smale flows	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discrete and Continuous Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 4787 ~ 4787
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2022072	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 Sakajo Takashi, Yokoyama Tomoo	4. 巻 2250143
2. 論文標題 Discrete representations of orbit structures of flows for topological data analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics, Algorithms and Applications	6. 最初と最後の頁 1 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1793830922501439	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 Yokoyama Tomoo	4. 巻 151
2. 論文標題 Flows with time-reversal symmetric limit sets on surfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the American Mathematical Society	6. 最初と最後の頁 161 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1090/proc/16113	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 Sannami Atsuro, Yokoyama Tomoo	4. 巻 34
2. 論文標題 Topological bifurcation structure of one-parameter families of C^1 unimodal maps	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nonlinearity	6. 最初と最後の頁 7991 ~ 8016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6544/ac2a4c	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 Yokoyama Tomoo	4. 巻 42
2. 論文標題 Refinements of topological invariants of flows	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discrete & Continuous Dynamical Systems	6. 最初と最後の頁 2295 ~ 2295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/dcds.2021191	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 Yokoyama Tetsuo, Yokoyama Tomoo	4. 巻 13
2. 論文標題 Complete transition diagrams of generic Hamiltonian flows with a few heteroclinic orbits	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics, Algorithms and Applications	6. 最初と最後の頁 2150023 ~ 2150023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1793830921500233	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 Yokoyama Tomoo	4. 巻 -
2. 論文標題 Topological characterizations of recurrence, Poisson stability, and isometric property of flows on surfaces	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Israel Journal of Mathematics	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/s11856-023-2601-x	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 Yokoyama Tomoo	4. 巻 368
2. 論文標題 Dependency of the positive and negative long-time behaviors of flows on surfaces	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Differential Equations	6. 最初と最後の頁 376 ~ 393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jde.2023.06.008	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 -

[学会発表] 計25件(うち招待講演 2件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Topological invariants for flows on surfaces and metric spaces
3. 学会等名 The 2nd POSTECH MINDS Workshop on Topological Data Analysis and Machine Learning (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Existence and Non-existence of Length Averages for Foliations
3. 学会等名 Dynamical Systems Seminars, Centro de Matematica da Universidade do Porto, Portugal
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Cell complex structure of the space of Hamiltonian vector fields on compact surfaces
3. 学会等名 力学系セミナーとトポロジー-金曜セミナーの合同開催, 九州大学
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Flows on surfaces and calculations on the related studie
3. 学会等名 トポロジーとコンピュータ 2022, 広島大学
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 曲面上の流れの正方向と負方向の極限の振る舞いの依存性
3. 学会等名 岐阜数理科学セミナー, 岐阜大学
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Topological invariants of 2D and 3D flows and their applications
3. 学会等名 RIMS Workshop, Mathematical methods for the studies of flow, shape, and dynamics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Topological flow data analysis
3. 学会等名 セミナーシリーズ「データ科学と計算科学の融合」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 On codimension-two-like foliations
3. 学会等名 葉層構造論シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 トポロジカルな流れの解析とその応用について
3. 学会等名 日本数学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Cell complex structure of the space of Hamiltonian vector fields on compact surfaces
3. 学会等名 2021年度冬の力学系研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Topological characterizations of 2D gradient flows and 2D Morse-Smale flows and their generic intermediate flows
3. 学会等名 Seminar cathedral on Monday, Moscow State University, Moscow, Russia (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 A generalizations of Morse graphs of flows and Reeb graph of surface Hamiltonian flows
3. 学会等名 Algebraic Topology: Computation, Methods, and Science(ATMCS) + Applied Algebraic Topology Research Network(AATRN) Talk Series (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Topological fluid data analysis: COT representations of surface flows and their implementations
3. 学会等名 Asia Pacific Seminar on Applied Topology and Geometry (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 トポロジカルな流れのデータ解析のための位相不変量
3. 学会等名 工学と数学の接点を求めて
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Hamiltonian flows on punctured surfaces
3. 学会等名 2020年度冬の力学系研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Generalizations of topological invariants of flows and topological reconstructions of flows from their time-one maps
3. 学会等名 京都力学系セミナー
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Refinement of Morse graphs of flows
3. 学会等名 数理科学の諸問題と力学系理論の新展開,
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Generalizations of Morse graphs of flows
3. 学会等名 日本応用数学会 2020年度 年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Topological study of 2D flows and its application
3. 学会等名 The Grad Conjecture in Fluid Mechanics and Magnetohydrodynamics: Theory and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Irregular behavior in foliations
3. 学会等名 Dynamics of Foliations (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Generic transitions for flows on surfaces with or without constraints
3. 学会等名 ICIAM 2023 Tokyo Minisymposium Topological data analysis and machine learning (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Topological Data Analysis for line fields and its relative topics
3. 学会等名 力学系に対する相空間全構造解析と分岐解析の統合による新たなアプローチ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 曲面上の流れの正方向と負方向の極限の振る舞いの依存性
3. 学会等名 トポロジー火曜セミナー
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoo Yokoyama
2. 発表標題 Dependency of the positive and negative long-time behaviors of flows on surfaces
3. 学会等名 力学系理論の展開と応用
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山知郎
2. 発表標題 曲面上の流れの極限集合について
3. 学会等名 埼玉大学幾何セミナー
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 1. 発明の名称：有限型の流れパターンの語表現装置、語表現方法、プログラム、構造物形状の学習方法および構造物設計方法	発明者 横山知郎，坂上貴之	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/020584	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

ホームページ http://www.rimath.saitama-u.ac.jp/lab.jp/yokoyama/ ホームページ https://www1.gifu-u.ac.jp/~tomoo/
--

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
---------	---------