

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 25 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2019

課題番号：26400089

研究課題名(和文) 距離空間における漸近次元・位相次元及び計算可能モデルの位相構造

研究課題名(英文) Asymptotic dimension, topological dimension on metric spaces and topological structures of computational models

研究代表者

服部 泰直 (Hattori, Yasunao)

島根大学・学内共同利用施設等・学長

研究者番号：20144553

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)：D. Scottが高水準プログラミング言語によって記述されたプログラムの意味付けに、代数的束及び連続束が応用できることを示し、表示の意味論に数学的基盤を与えた。それにより、連続束は、計算機科学と数学(代数学、トポロジー、解析学等)双方向から重要性が認識され研究が進められている。本研究課題では、ドメイン理論の位相的側面の研究と関連する位相数学的課題及び次元論について研究した。具体的には、距離空間上の形式的球体から成るドメインに導入されたMartin位相の研究から着想を得た実数空間における位相の諸性質や、 n 次元Khalimsky空間における次元特性や位相的諸性質等に関する知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ドメイン理論は計算機科学に数学的観点から理論的基盤を与える重要な研究領域である。ドメイン理論は、代数学、トポロジー、解析学等多様なアプローチが可能な領域であり、計算機科学への応用のみでなく純粋理論としても学術的意義は高い。本研究では主にドメインの位相数学的アプローチによる研究を進め、ドメインの順序構造を位相を用いて解析し、さらに、位相数学の課題として次元論と関連も含めて研究を推進したことは、計算機科学への応用と位相数学の発展の両面で意義深い。

また、10か国以上の海外協力研究者との連携によるドメイン理論とトポロジー両分野の国際的ネットワークが構築されるなど、国際連携が推進された。

研究成果の概要(英文)：D. Scott gave a mathematical foundation for denotational semantics by pointed that continuous lattices could be used to analyze the semantics of the program written by high-level programming languages. Then continuous lattices are studying by the motivations from both of the theory of computation and mathematics (algebra, topology and analysis, etc.)

In the research project, we study domain theory by topological approach, topological properties motivated by the study of domain theory and dimension theory of several topological spaces.

Especially, we study special types of topologies on the space of the real numbers motivated by the study of the Martin topology of the domain of the formal balls of the real numbers, and several topological properties of n -dimensional Khalimsky space.

研究分野：位相数学

キーワード：ドメイン 位相 次元 計算可能性 順序構造 距離空間

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) D. Scott は、高水準プログラミング言語によって記述されたプログラムの意味付けに、代数的束及び連続束が応用できることを指摘した : D. Scott, Outline of a mathematical theory of computation, In Proc. 4th Annual Princeton Conference on Infor. Sci. and Systems, 1970, and D. Scott, Continuous lattices. In Toposes, Algebraic Geometry, and Logic, Lecture Notes in Mathematics 274, Springer, 1972。これにより、計算機科学の理論的基盤としての表示的意味論は、順序構造を用いた数学的基盤を与えられることとなり、連続束及びドメイン (有向的完備性を持つ連続半順序集合) は、計算機科学への応用として、また、代数学、トポロジー、解析学等の観点からの重要性が認識され、急速に研究が進展してきた。ドメインには、その半順序から自然にトポロジーが導入される。これによりドメイン理論におけるトポロジーからのアプローチが可能となり、この観点から A. Edalat, J. Goubault-Larrecq, R. Heckmann, A. Jung, K. Keimel, J. Lawson, M. Mislove, 立木等により先駆的研究が進められた。

(2) A. Edalat と R. Heckmann は 1998 年に、距離空間における形式的球体の概念を導入し、形式的球体からなるドメインを用いて、完備距離空間が「計算可能な有限値の近似」として表現できることを示した。この結果は位相空間に対する計算モデルの概念を確立させ、トポロジーにおける計算可能性理論の応用としての基本的役割を果たし、その後ドメイン表現可能化論として発展する起点となった。Edalat-Heckmann の結果から着想を得て、2008 年に服部と立木は距離空間 X の拡張型形式的球体の概念を導入し、 X の拡張型形式的球体からなるドメイン $B(X)$ の Lawson 位相、Martin 位相、 X の双曲位相と $B(X)$ の順序構造との関連を調べた。また、2000 年に K. Martin はドメインの計量的性質を分析するために、ドメインに新たな位相 (Martin 位相) を導入した。服部等は R の拡張型形式的球体からなるドメイン $B(R)$ の Martin 位相と、実数直線 R における Sorgenfrey 位相との関連性を調べ、その過程で R における Sorgenfrey 位相の一般化である R の部分集合 A に依存して定まる位相 (A) の着想を得た。そして、服部は V. Chatyrko との共同研究でこの分野の端緒を開いた : Chatyrko-Hattori, A poset of topologies on the set of real numbers, *Commen. Math. Univ. Carolinae*, 54 (2013), 189-196。本研究課題の研究開始当初は、上記テーマの研究が本格的に始まった時期である。現在、本テーマは国際的展開 (アメリカ、ロシア、チェコ、カナダ、中国等) を見せながら研究が進展している。上記のようにドメイン理論は代数構造、順序構造、位相構造等により計算機科学の数学的基盤を与えながら、また、数学の一分野として代数学、位相数学、解析学等様々なアプローチにより研究されてきた。

(3) 計算機理論のトポロジーへの応用としてデジタル空間の位相的解析がある。この方面では、Eon-Sang Han, D. Georgiou, A. C. Megaritis 等による束などが持つ順序位相に関する次元解析に関する先駆的研究がある。さらに、粗い幾何学のトポロジーへの応用及び漸近次元については、有限次元について A. Dranishnikov, J. Dydak 等による先行研究がなされ、その後、漸近次元の無限次元空間への拡張が J. Dydak 等により研究されてきた。また、距離空間及び一般の位相空間における次元論では、無限次元空間の理論に関して、服部、V. Chatyrko, J. van Mill, R. Pol 等多くの位相数学研究者により先行研究がなされてきているが、一方で多くの未解決問題が残されており、さらなる研究の進捗が期待されていた。

2. 研究の目的

(1) 計算理論及びドメイン理論におけるこれまでの先行研究では、主に意味論からのアプローチと代数的構造の解析がなされてきた。本研究は、ドメイン理論の位相的アプローチであり、ドメイン理論の研究から派生したトポロジーに関連する諸課題の解決を目的として研究を進めた。

特に、計算可能性理論のトポロジーへの応用として、ドメイン（連続な有向完備順序集合）の代数・順序構造の位相的アプローチによる解析と、ドメイン理論の位相的側面からの研究により派生した諸性質についてトポロジーの観点から研究を進め、ドメインの持つ順序構造とそれから導かれる位相的特性を解明する。また、集合論的トポロジーの観点から計算機理論（画像処理）の数理モデルであるデジタル空間や距離空間、一般の位相空間における無限次元性を含めた次元様相を解析する。

(2) 計算可能性理論のトポロジーへの応用として、ドメイン上の Martin 位相の研究から派生した実数直線 \mathbb{R} の部分集合 A に依存して定まる位相 (A) を、 A を変数として A の特性が与える (A) の位相的諸性質の解析を行う。また、計算理論の次元論及び無限次元論への応用として、デジタル空間、そして Alexandroff 空間における小帰納的次元に関する次元論の観点から解析する。

(3) 海外協力研究者を中心にドメイン理論とトポロジー両分野の研究者によるバーチャルなネットワークを構築し、幅広い国際的な共同研究体制の下で研究を推進すると共に、研究成果を国際的専門誌や国際会議等に発表するなど、本研究課題に関する国際的関心・評価を高める。

3. 研究の方法

(1) 本研究については代表者（服部）、研究分担者（渡邊）と海外研究協力者の V. Chatyrko が中心となり、連携研究者やその他の海外協力研究者と連携して研究を進めた。ドメインにおける位相構造及び、それから派生する位相空間の諸性質の解析について、服部は本研究課題の開始時にはすでに先行研究として海外研究協力者（V. Chatyrko, E.S. Han, W. Yao, D. S. Zhao 等）との共同研究を実施していた。また、主要なテーマである計算可能性理論とドメイン理論、及び次元論は、国内の研究状況に比して海外での研究がより活発であり、海外における主要な研究者と緊密な国際ネットワークを構築し、それを活用して研究を進めることがより有効である。そこで、これまでの海外協力研究者との連携を継続しながら、さらに当該分野における一線の海外研究協力者の充実を図った。具体的には、ドメイン理論から派生した位相的側面及び、次元論に関しては V. Chatyrko（リンショーピン大学、スウェーデン）、J. Kulesza（ジョージメイソン大学、USA）、A. Karassev（ニピシング大学、カナダ）、Eon-Sang Han（全北大学校、韓国）等との連携により、そして、計算理論及びドメイン理論に関しては、A. Jung（パーミンガム大学、イギリス）、J. Lawson（ルイジアナ州立大学、USA）、Dong Shang Zhao（南洋理工大学、シンガポール）、W. Yao（河北科技大学、中国）等と連携して研究を進めた。上記の海外研究協力者とは相互に相手大学を訪問するか、または、国際会議で互いが出席するなどして、一年に複数回は、直接、研究連絡や意見交換を行った。実際に、服部と渡邊は本研究課題の期間中に 14 件の国際会議での研究成果の公表や本研究課題に関連する未解決問題の提示等、本研究領域の研究推進を図ると共に、相手大学の招きに応じるなどして海外の 14 大学を訪問し（ニピシング大学（カナダ）、リンショーピン大学（スウェーデン）、マルタ大学（マルタ）、南洋理工大学（シンガポール）、釜山大学校（韓国）、南京大学（中国）、スタンフォード大学（USA）、オレゴン大学（USA）、マックスプランク研究所（ドイツ）、フィールズ研究所（カナダ）等）、また、4 名の海外研究者（J. Kulesza, V. Chatyrko, A. Jung, V. Valov）を招聘するなど、海外における当該領域の一線の研究者によるバーチャルな国際的ネットワークを構築し、それを活用することにより研究を推進した。

4. 研究成果

(1) 位相空間 X は全ての連続な全単射が同相写像となる (すなわち、連続な全単射が同相写像しか存在しない) とき、可逆的 (reversible) という。本研究課題では、デジタル空間の数学モデルである Khalimsky 空間 K 及び実数空間 R 上の形式的球体からなるドメインの Martin 位相の研究に触発され、Sorgenfrey 空間 S に関する可逆性について調べ、 n 次元 Khalimsky 空間 K^n が可逆であり、Sorgenfrey 空間の任意個の直積 S^A は可逆ではないことを示した。尚、Khalimsky 空間の任意の無限積 K^A () が可逆的であるか否かについては未解決である。さらに、実数直線は可逆であり、Sorgenfrey 直線が可逆でないことより、ユークリッド位相と Sorgenfrey 位相の間にある位相 $(A), A \subseteq R$ 、がどのような場合に可逆となるか、は興味深い問題である。この部分解として、無限個の有界な开区間 $(c_k, d_k), k = 1, 2, \dots$ が存在して、任意の k に対して $(c_k, d_k) \subseteq A$ であり、 c_k, d_k が A に属さないならば、 $(R, (A))$ は可逆ではないことを得た。さらに、位相空間 X と Y が相補的 (すなわち、 X から Y への連続な全単射と、 Y から X への連続な全単射が共に存在する) であり、かつ、 X が可逆的であるならば、 X と Y は同相であることを示し、相補的である 2 つの位相空間 X と Y で互いに同相でなく、従って、共に可逆的ではない例を構成した。

(2) 任意の部分空間が可逆となる空間を継承的可逆空間という。継承的可逆空間に関しては 1966 年に Rajagopalan-Wilansky によって研究が始められたが、50 年以上経った今日に至るまで離散でない Hausdorff 継承的可逆空間は、 $N = \{p\}, p \in N - N$ しか知られていない、ただし N は可算離散空間 N の Stone-Čech コンパクト化である。本研究課題において、(i) 第 1 可算な Hausdorff 継承的可逆空間は、離散空間と可算離散空間の一点コンパクト化しかない、(ii) 任意の非可算濃度 κ に対して、濃度 κ を持つ離散空間 D_κ の一点コンパクト化 (D_κ) は継承的可逆空間である、(iii) N は継承的可逆空間ではない、等の成果を得た。これらの結果より、さらに「 (D_κ) 以外の非可算キャラクターを持つ継承的可逆空間である無限な Hausdorff コンパクト空間 H が存在するか？」が自然に提起される。この条件を満たすコンパクト空間 H は、 N も可算な収束点列も含まないことがわかる。 N も可算な収束点列も含まないコンパクト空間は集合論的トポロジーでは、Effimov のコンパクト空間として知られている。Effimov のコンパクト空間の存在性を示すことは困難であり、例えば、連続体仮説 [CH] やその他いくつかの集合論の公理系の下ではその存在性は証明されているが、ZFC 体系での存在性は未解決である。従って、ZFC 体系における上記の未解決問題の解決は容易でないことがわかる。尚、これまで知られている Effimov のコンパクト空間が継承的可逆空間であるかどうかについても未解決であり、集合論における如何なる公理系の下での空間 H の存在性についてさえ知られていない。

(3) 情報基礎論に関するトポロジーへの応用として、デジタル空間の位相的解析がある。位相空間 X は、 X の各点が最小近傍を持つとき、Alexandroff 空間と呼ばれる。また、各点が有限個の点からなる近傍を持つ位相空間を局所的有限空間という。デジタル空間のモデルである Khalimsky 空間 K は局所的有限空間であり、また、局所的有限空間は Alexandroff 空間であることより、Khalimsky 空間の次元特性的解析として Alexandroff 空間の位相的解析を試みた。無限濃度を持つ Alexandroff T_0 -空間 X が、任意の点 x に対して 0_x を x の最小近傍とすると、 $|\{0_y : 0_x \subseteq 0_y \subseteq \Phi, y \in X\}| < \infty$ を満たすとす。このとき、 X が継承的可逆空間であるのは、 X が有限空間と離散空間の直和に表される時に限ることを示した。さらに、任意の自然数 $k > 1$ に対して、 \mathcal{B}_k を各点の最小近傍の濃度が k 以下である局所有限空間のクラスとする。このとき、 \mathcal{B}_2 に属する空間 X に対して X が継承的可逆であることの必要十分条件を得た。一方、 $\mathcal{B}_k, k \geq 3$ における継承的可逆性の特徴付けについては未解決である。

(4) Alexandroff 空間における小帰納的次元 ind に関して、次元論における基本定理である次を得た：(i) X を $\text{ind } X = n$ である Alexandroff 空間とする。このとき、 $X = X_0 \cup X_1 \cup \dots \cup X_n$ であつ $\text{ind } X_i \leq 0, i = 0, 1, \dots, n$ を満たす X の部分空間 X_0, X_1, \dots, X_n が存在する(分解定理);(ii) X を Alexandroff 空間、 $X = X_1 \cup X_2$, ただし、 X_1 と X_2 は X の閉部分空間とする。このとき、 $\text{ind } X = \max\{\text{ind } X_1, \text{ind } X_2\}$ が成り立つ(和定理);(iii) X, Y を Alexandroff 空間とすると、 $\text{ind } (X \times Y) = \text{ind } X + \text{ind } Y$ が成り立つ(積定理)。上記(iii)について等号が成り立つことは重要である。次元の直積に対する振る舞いとして、一般には $\text{ind } (X \times Y) \leq \text{ind } X + \text{ind } Y$ が成り立つ場合でも、等号が成り立つ場合は限定的である。実際、Alexandroff 空間における ind の積定理について、Widerhold-Wilson が 1993 年に $\text{ind } (X \times Y) \leq \text{ind } X + \text{ind } Y$ が成り立つことは証明しているが、等号が成り立つことは未解決であった。さらに、上記結果を無限次元空間について考察し、超限小帰納的次元 trind に関する和定理と積定理を得た。また、 n 次元 Khalimsky 空間 K^n の部分空間 A の次元を測るテスト空間に関して次を得た： $E(n) = \{0, 1, \dots, n\}$ とし、 $0 \leq i \leq n$ なる i に対して $\{i, i+1, \dots, n\}$ を i の最小近傍として $E(n)$ に位相を導入する。このとき、 $E(n)$ は $\text{ind } X = n$ である Alexandroff 空間となる。このとき、 n 次元 Khalimsky 空間 K^n の部分空間 A と自然数 $k \leq n$ に対して、 $\text{ind } A \geq k$ であることと、 A が $E(k)$ を部分空間として含むことは同値である。

(5) 上に述べた研究成果はいずれも国際数学専門誌に掲載されると共に、ドメイン理論及びトポロジーに関する国際会議において発表された。成果として、代表者の服部と分担者の渡邊を合わせて、国際学術誌への掲載論文が計 6 編、国際会議における成果発表は計 14 件(内 10 件が招待講演)であり、本研究課題に関連する研究成果や課題等について積極的に国際的な研究コミュニティに向けて発信した。さらに、海外協力研究者を中心にドメイン理論とトポロジーの関連分野に関するバーチャルな国際ネットワークが構築された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tadayuki Watanabe	4. 巻 22
2. 論文標題 Higher order generalization of Fukaya's Morse homotopy invariant of 3-manifolds I. Invariants of homology 3-spheres,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asian Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 111-180
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 Vitalij Chatyrko, Sang-Eon Han, Yasunao Hattori	4. 巻 225
2. 論文標題 On hereditarily reversible spaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	6. 最初と最後の頁 53 - 66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.topol.2017.04.010	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 Vitalij Chatyrko, Sang-Eon Han, Yasunao Hattori	4. 巻 30
2. 論文標題 The small inductive dimension of subsets of Alexandroff spaces	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Filomat	6. 最初と最後の頁 3007-3014
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2298/FIL1611007C	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 Tadayuki Watanabe	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Higher order generalization of Fukaya's Morse homotopy invariant of 3-manifolds I. Invariants of homology 3-spheres	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Asian Journal of Mathematics	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 Vitalij Chatyrko and Yasunao Hattori	4. 巻 201
2. 論文標題 On reversible and bijectively related topological spaces	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Topology and its Applications	6. 最初と最後の頁 432-440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.topol.2015.12.052	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 Tadayuki Watanabe	4. 巻 1991
2. 論文標題 On equivariant perturbative invariants in 3-dimension by Morse theory	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 164-174
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 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27件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 Applications of domain theory to topology
3. 学会等名 Symposium on General Topology 2018, Nanjin Univesity, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 The small inductive dimension of subsets of Alexandroff spaces
3. 学会等名 2018 International Conference on Topology and its Applications, Nafpaktos, Greece (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊忠之
2. 発表標題 Diff(S ⁴)の特性類と族のクラスパー手術
3. 学会等名 日本数学会2018年度秋季総合分科会（特別講演）（岡山大学）（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tadayuki Watanabe
2. 発表標題 Some exotic nontrivial elements of the rational homotopy groups of Diff(S ⁴)
3. 学会等名 OIST Geometry, Topology and Dynamics Seminar, 沖縄科学技術大学院大学（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tadayuki Watanabe
2. 発表標題 Some exotic nontrivial elements of the rational homotopy groups of Diff(S ⁴) (1)、(2)
3. 学会等名 Branched Coverings, Degenerations, and Related Topics, 広島大学（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊忠之
2. 発表標題 4次元球面の微分同相群 / グラフクラスパーと4次元球面束 / 4次元球面束のKontsevich特性類の計算
3. 学会等名 ENCOUNTER with MATHEMATICS、中央大学（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 Topological aspects of continuous posets of formal balls
3. 学会等名 2017 International Conference on Domain Theory and its Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ysunao Hattori
2. 発表標題 Product theorems on dimensions
3. 学会等名 2nd Pan-Pacific International Conference on Topology and its Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊忠之
2. 発表標題 On the 4-dimensional smooth Smale conjecture
3. 学会等名 トポロジーとコンピュータ 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊忠之
2. 発表標題 Kontsevich's characteristic classes for $\text{Diff}(S^4)$
3. 学会等名 信州トポロジーセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 Hereditarily reversible spaces
3. 学会等名 2016 International Conference of the Honam Mathematical Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 渡邊忠之
2. 発表標題 Garoufalidis-Levine's finite type invariants for $Z\pi$ -homology equivalences of 3-manifolds
3. 学会等名 RIMS研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 On a condition that a connected meta-Lindelof space is Lindelof
3. 学会等名 International Conference on Set-Theoretic Topology (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 A survey on the transfinite separation dimension
3. 学会等名 Workshop on Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 Topologies on the real line related to the Sorgenfrey topology
3. 学会等名 1st Pan-Pacific International Conference on Topology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tadayuki Watanabe
2. 発表標題 On equivariant perturbative invariants in 3-dimension by Morse theory
3. 学会等名 RIMS Seminar: Topology, Geometry and Algebra of Low-Dimensional Manifolds
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 渡邊忠之
2. 発表標題 An invariant of fiberwise Morse functions on surface bundles over S^1 by counting graphs
3. 学会等名 リーマン面に関連する位相幾何学
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tadayuki Watanabe
2. 発表標題 Finite type invariants of nullhomologous knots in 3-manifolds by counting graphs
3. 学会等名 Braids, Configuration Spaces and Quantum Topology
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tadayuki Watanabe
2. 発表標題 An invariant of fiberwise Morse functions on surface bundles over S^1 by counting graphs
3. 学会等名 日仏共同研究小研究集会(タイヒミューラー空間と写像類群)(国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tadayuki Watanabe
2. 発表標題 Morse homotopy and A_∞ structures for surface bundles over S^1
3. 学会等名 Workshop on finite type invariants of 3-manifolds
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 服部 泰直
2. 発表標題 A unified approach on inductive dimensions
3. 学会等名 第49回位相空間論シンポジウム
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 Reversible and bijectively related topological spaces
3. 学会等名 2014 International Conference on Topology and its Applications (招待講演)
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 Yasunao Hattori
2. 発表標題 The Martin topology on the posets of formal balls and related topologies
3. 学会等名 2015 CJK Seminar on Pure and Applied Topology (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tadayuki Watanabe
2. 発表標題 Morse theory and Lescop's equivariant propagator
3. 学会等名 Floer and Novikov homology, contact topology and related topics (招待講演)
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 渡邊 忠之
2. 発表標題 equivariant propagatorとAmidakuji-like pathのmoduliを使った実現
3. 学会等名 Workshop on the universal finite type invariants (招待講演)
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 渡邊 忠之
2. 発表標題 Morse theory and Lescop's equivariant propagator
3. 学会等名 空間の代数的・幾何的モデルとその周辺
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 渡邊 忠之
2. 発表標題 On a Morse theoretic invariant of 3-manifolds with $b_1=1$
3. 学会等名 空間の代数的・幾何的モデルとその周辺 (招待講演)
4. 発表年 2014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
研究分担者	渡邊 忠之 (Watanabe Tadayuki) (70467447)	島根大学・学術研究院理工学系・講師 (15201)	
連携研究者	立木 秀樹 (Tsuiki Hideki) (10211377)	京都大学・人間・環境学研究科・教授 (14301)	
連携研究者	横井 勝弥 (Yokoi Katsuya) (90240184)	東京慈恵会医科大学・医学部・教授 (32651)	