

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01803

研究課題名（和文）被覆グラフを利用した巨大グラフ解析へのアプローチ

研究課題名（英文）Approach to huge graph analysis using graph coverings

研究代表者

根上 生也（Negami, Seiya）

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・非常勤教員

研究者番号：40164652

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,700,000円

研究成果の概要（和文）：いくつかの点を配置し、それらを線で結んでできるネットワークのような図形をグラフという。被覆グラフという手法により、小さなグラフをもとにして大きなグラフを作ることができる。被覆グラフに関して代数的トポロジーとグラフ理論で独立に展開されていた2つの理論の整合性を精査し、それらを統合した理論を構築した。その理論の応用として、位相幾何学的グラフ理論における未解決問題である「平面被覆予想」の解決に向けた新たなアプローチを与える定理を証明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

被覆グラフの今後の研究の礎となる理論が構築できたことに学術的な意義がある。いわゆるビッグデータは個々のデータの関連性をリンクとする巨大なネットワークを構成していることが多い。その巨大なネットワークを解析する際に、それを被覆グラフで近似することで、それが被覆する小さなネットワークの解析に読み替えることができる。本研究で確立した理論はそうした解析を行う上での基盤となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：A graph is a figure consisting of several points and lines joining them, which looks like a network. There is a method called "graph covering" to make a huge graph from a small graph, which has been discussed in algebraic topology and in graph theory separately. We investigated the consistency between those two theories and unified them. As an application of our theory, we proved a theorem which proposes a new approach to a famous open problem called "Planar Cover Conjecture".

研究分野：位相幾何学的グラフ理論

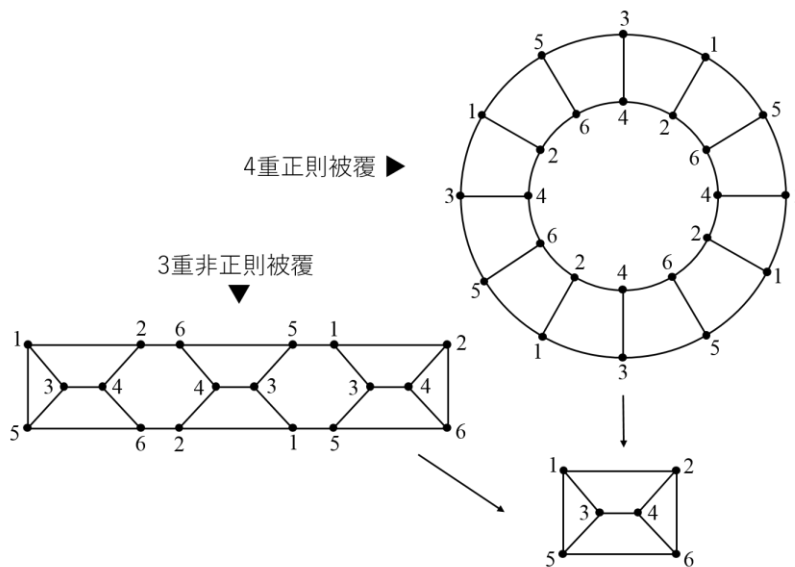
キーワード：位相幾何学的グラフ理論 閉曲面上のグラフ 被覆グラフ 平面被覆予想 ボルテージグラフ

1. 研究開始当初の背景

平成 28 年に内閣府が決定した「第 5 期科学技術基本計画」では、超スマート社会の構築のためには数理学と情報科学の発展が重要であるとされ、とりわけビッグデータ解析のできる人材育成が急務とされていた。とはいえ、当時はビッグデータ解析の確たる手法が開発されていたわけではなく、その手法自体の開発が求められていた。ビッグデータは個々のデータの関連性をリンクとするネットワークを形成しており、グラフ理論的な解析が期待されているが、探索すべき不変量や構造によっては、合理的な時間内に計算結果を得ることが困難な場合が多く、特殊な構造に着目した高速計算を開発する必要がある。そのようなニーズに応えるために、位相幾何学的グラフ理論において長年研究されてきた「被覆グラフ」の理論が活用できるのではと考えた。

2. 研究の目的

グラフとは点(頂点)と線(辺)で構成された図形であり、その図形の中に潜んでいる構造や現象を明らかにして、必要な構造を探索する方法などを探究する数学が**グラフ理論**である。グラフがデータとその関連性を表すものとして情報科学の中で利用されることが多いが、数学ではグラフ理論は離散数学の一分野に位置づけられている。また、グラフは点と線からなる 1 次元図形と見なすことで、トポロジー(位相幾何学)における手法で解析することもできる。当研究グループが展開している**位相幾何学的グラフ理論**は、そのような手法を積極的に取り入れることで展開されるグラフ理論である。閉曲面上にグラフを配置することで表面化する構造や現象を明らかにする研究が多いが、本研究は、代数的トポロジーで確立されている**被覆空間**の理論をグラフに適用し、ビッグデータ解析に資する理論を構築することを目的としている。



簡単にいうと、**被覆グラフ**とは小さなグラフ(基底グラフ)から大きなグラフを生成する手法である。たとえば、図下にあるグラフをその上にある円形の大きなグラフ(被覆グラフ)が被覆している。それぞれの点に付随している番号がその被覆の様子を表している。たとえば、被覆グラフの 1 を付された頂点(4 個ある)は、基底グラフの頂点 1 に対応している。基底グラフの頂点 1 は頂点 2, 3, 5 と隣接しており、それを被覆する上の頂点 1 はやはり頂点 2, 3, 5 と隣接している。このように、対応する頂点の周辺の状況を保存する対応が**被覆射影**であり、被覆する側のグラフは被覆される側のグラフよりも大きくなる。

円形の被覆グラフの頂点数は基底グラフの 4 倍になっているので、それは**4重被覆**と呼ばれるが、90° 回転を繰り返すことで同じ番号の頂点どうしが重なるといふ対称性を有している。一般に群の作用による対称性を有している被覆を**正則被覆**という。一方、図左のグラフも同じ基底グラフの被覆グラフの例である。それは 3 重被覆であるが、番号付けまで考慮すると対称性がないので、**非正則被覆**である。

代数的トポロジーの理論を適用すると、どんな被覆グラフも、基底グラフの基本群の部分群と対応して構成することができ、それが正則かどうかはそれが対応する部分群が正規部分群になる場合であることがわかる。その詳細はここでは述べないが、被覆グラフの諸性質が基底グラフの基本群を議論することで解析できる可能性があるということである。

本研究の目的は、この被覆グラフと基底グラフの関係を精査して、ビッグデータが作る大きなグラフの諸性質をそれが被覆する小さなグラフを解析することで明らかにするという手法を探究することである。また、そのために必要な数学的理論を確立し、位相幾何学的グラフ理論で長年研究されてきた「平面被覆予想」(後述)の解決に向けた議論を展開することも目指す。

3. 研究の方法

グラフ理論においても、「地図色分け定理」の解決と連動して、被覆グラフを組合せ的に構成する方法が開発されている。それは、基底グラフとなるグラフの各辺に群の元または置換を割り当てた**ボルテージグラフ**をもとにして被覆グラフを構成するというもので、特に、群の元を割り当てたボルテージグラフからは正則被覆を構成することができる。しかし、ボルテージグラフの理論は、代数的トポロジーにおける被覆空間の理論と独立に展開されていたため、それぞれの理論を融合した議論を展開する場合には細心の注意が必要である。そこで、両者の理論を精査・比較し、その関係を明らかにして、2つの理論を統合し、その適用が容易な理論体系を構築にする。特に、「平面被覆予想」の解決に向けた考察に適用を試みる。

その**平面被覆予想**とは、研究代表者の根上が1986年に提唱した「連結グラフが有限の平面的被覆を持てば、そのグラフは射影平面に埋め込み可能である」という予想であり、位相幾何学的グラフ理論における未解決予想の1つとして有名である。特に、その平面的被覆が正則な場合には、すでに根上によって肯定的に解決されており、それがこの予想の出発点になっている。射影平面というトポロジーの対象との関連でグラフの被覆を考えるため、ボルテージグラフの理論のみでは不十分で、代数的トポロジーの理論も不可欠である。

このような探究をより強固なものにするために、当研究グループが定例開催している「位相幾何学的グラフ理論セミナー」や「位相幾何学的グラフ理論研究集会」で発表し、参加者からコメントやアドバイスを得る。また、分野を越えた知見が得られるように、例年開催されている「離散数学とその応用研究集会」や「応用数学合同研究集会」に参加し、研究成果を発表する。国際会議の参加や海外の研究者の招聘などは、コロナ禍のため、積極的には行わなかった。

4. 研究成果

当初、被覆グラフにおける全域木、マッチング、彩色などの組合せ構造の探索の高速化について考察したが、素朴な結論は得られるものの、深遠な結果には至らなかった。その後はボルテージグラフと被覆空間の理論の統合に注力し、平面被覆予想の解決に向けた理論構築に注力した。その結果、予想解決に向けた新たなアプローチを提言することができた。

平面的な被覆グラフは平面に埋め込めるので、平面上の向き（時計回り）に従って、その被覆グラフの各頂点に隣接する頂点は自然に巡回列をなしている。それをその頂点の**ローテーション**という。特に、そのローテーションに対して、次の2つの条件が満たされるとき、その平面的な被覆グラフは**ローテーション適合** (rotation compatible) であるという。

条件1 同じ頂点に射影される頂点には、高々2通りのローテーション(時計回り, 反時計回り)が定まっている。

条件1が成立しているという前提で、辺の両端に定められたローテーションがともに時計回り、または、ともに反時計回りならば、それを**同調辺**と呼び、そうでなければ**非同調辺**と呼ぶ。

条件2 同じ辺に射影される辺は、すべて同調辺であるか、すべて非同調辺になっている。

この定義のもとで、次の定理が証明できた。正則な平面的被覆はローテーション適合になるので、これは根上が正則な平面的被覆に対して証明した上述の定理の拡張になっている。

定理1 連結グラフがローテーション適合な平面的被覆を持てば、そのグラフは射影平面に埋め込み可能である。

これまでの研究では、予想の反例候補 $K_{1,2,2,2}$ が反例になるかどうかを議論することが主流だったが、この定理により予想が成立する範囲を拡大していくという流れを生み出すことができた。

さらに、被覆空間とボルテージグラフの理論を統合する流れの中で、次の定理を得た。

定理2 与えられた被覆グラフを経由してグラフを被覆するすべての正則被覆が経由する正則被覆が一意的に存在する。

この定理は抽象的な内容だが、この定理の応用として、次の定理が証明できた。

定理3 可換群が作用する被覆グラフが経由する被覆グラフには可換群が作用する。

可換群が作用する被覆グラフを研究対象とする研究者はすべての被覆に可換群が作用することを仮定していることが多い。この定理により、その仮定をしなくても、必然的に可換群が作用することが保証されるので、その分野の研究者にとっては画期的なことである。

この他にも、位相幾何学的グラフ理論に属する事象に関する定理を多数証明することができた。当研究課題では理論研究が中心となっているが、そこで構築された理論を基礎として、ビッグデータ解析にとどまらず、広くデータサイエンスやAI、セキュリティなどに関わる応用を生み出すことを今後の課題としたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Naoki Mochizuki, Seiya Negami	4. 巻 88
2. 論文標題 Stable embeddings on closed surfaces with respect to the minimum length	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Mathematica Universitatis Comenianae	6. 最初と最後の頁 293 ~ 304
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 Maria-Jose Chavez, Seiya Negami, Antonio Quintero, Maria Trinidad Villar-Linan	4. 巻 69
2. 論文標題 A generating theorem of punctured surface triangulations with inner degree at least 4	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mathematica Slovaca	6. 最初と最後の頁 969 ~ 978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/ms-2017-0281	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 Nakamoto Atsuhiko, Noguchi Kenta, Ozeki Kenta	4. 巻 33
2. 論文標題 Extension to 3-Colorable Triangulations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 1390 ~ 1414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/17M1135505	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 Ozeki Kenta, Nakamoto Atsuhiko, Nozawa Takayuki	4. 巻 33
2. 論文標題 Book Embedding of Graphs on the Projective Plane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 1801 ~ 1836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/16M1076174	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 Nakamoto Atsuhiko, Noguchi Kenta, Ozeki Kenta	4. 巻 90
2. 論文標題 Spanning bipartite quadrangulations of even triangulations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Graph Theory	6. 最初と最後の頁 267 ~ 287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jgt.22400	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 Asayama Yoshihiro, Matsukawa Ryo, Matsumoto Naoki, Nakamoto Atsuhiko	4. 巻 36
2. 論文標題 N-Flips in Triangulations with Two Odd Degree Vertices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Graphs and Combinatorics	6. 最初と最後の頁 469 ~ 490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00373-019-02130-2	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 Hamanaka Hiroaki, Nakamoto Atsuhiko, Suzuki Yusuke	4. 巻 36
2. 論文標題 Rhombus Tilings of an Even-Sided Polygon and Quadrangulations on the Projective Plane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Graphs and Combinatorics	6. 最初と最後の頁 561 ~ 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00373-020-02137-0	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 Matsumoto Naoki, Nakamoto Atsuhiko, Negami Seiya	4. 巻 283
2. 論文標題 Diagonal flips in plane graphs with triangular and quadrangular faces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 292 ~ 305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dam.2020.01.007	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 Furuya Michitaka, Maezawa Shun-ichi, Ozeki Kenta	4. 巻 36
2. 論文標題 Long Paths in Bipartite Graphs and Path-Bistar Bipartite Ramsey Numbers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Graphs and Combinatorics	6. 最初と最後の頁 167 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00373-019-02127-x	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 Li Binlong, Ozeki Kenta, Ryjacek Zdenek, Vrana Petr	4. 巻 343
2. 論文標題 Thomassen 's conjecture for line graphs of 3-hypergraphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 111838 ~ 111838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disc.2020.111838	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 Cada Roman, Ozeki Kenta, Yoshimoto Kiyoshi	4. 巻 93
2. 論文標題 A complete bipartite graph without properly colored cycles of length four	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Graph Theory	6. 最初と最後の頁 168 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jgt.22480	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 Akbari S., Dalirrooyfard M., Ehsani K., Ozeki K., Sherkati R.	4. 巻 93
2. 論文標題 Orientations of graphs avoiding given lists on out degrees	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Graph Theory	6. 最初と最後の頁 483 ~ 502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jgt.22498	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 Ozeki Kenta, Wiener Gabor, Zamfirescu Carol T.	4. 巻 343
2. 論文標題 On minimum leaf spanning trees and a criticality notion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 111884 ~ 111884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disc.2020.111884	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 Enami Kengo, Negami Seiya	4. 巻 7
2. 論文標題 Recursive Formulas for Beans Functions of Graphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theory and Applications of Graphs	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20429/tag.2020.070103	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 Hidaka Fumiya, Matsumoto Naoki, Nakamoto Atsuhiko	4. 巻 37
2. 論文標題 Quadrangulations of a Polygon with Spirality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Graphs and Combinatorics	6. 最初と最後の頁 1905 ~ 1912
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00373-021-02346-1	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 Nakamoto Atsuhiko, Omizo Yuta	4. 巻 299
2. 論文標題 Y-equivalence and rhombic realization of projective-planar quadrangulations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Discrete Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 98 ~ 112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dam.2021.04.026	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 Ozeki Kenta	4. 巻 -
2. 論文標題 Hamiltonicity of Graphs on Surfaces in Terms of Toughness and Scattering Number, A Survey	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Springer. Lect. Notes Comput. Sci.	6. 最初と最後の頁 74 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-90048-9_7	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 Enami Kengo, Ozeki Kenta, Yamaguchi Tomoki	4. 巻 37
2. 論文標題 Proper Colorings of Plane Quadrangulations Without Rainbow Faces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Graphs and Combinatorics	6. 最初と最後の頁 1873 ~ 1890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00373-021-02350-5	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 Malnegro Analen A, Malacas Gina, Ozeki Kenta	4. 巻 8
2. 論文標題 The Color Number of Cubic Graphs Having a Spanning Tree with a Bounded Number of Leaves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Theory and Applications of Graphs	6. 最初と最後の頁 Article 1, 1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20429/tag.2021.080201	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 Haghparast Nastaran, Ozeki Kenta	4. 巻 344
2. 論文標題 2-Factors of cubic bipartite graphs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 112357 ~ 112357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disc.2021.112357	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 Chavez Maria-Jose, Negami Seiya, Quintero Antonio, Villar-Linan Maria Trinidad	4. 巻 30
2. 論文標題 Generating punctured surface triangulations with degree at least 4	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Analele Universitatii "Ovidius" Constanta - Seria Matematica	6. 最初と最後の頁 129 ~ 151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2478/auom-2022-0008	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 Negami Seiya, Sato Iwao	4. 巻 68
2. 論文標題 Note on graph coverings with voltage assignments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Yokohama Mathematical Journal	6. 最初と最後の頁 109 ~ 126
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 Ikegami Daiki, Nakamoto Atsuhiko	4. 巻 42
2. 論文標題 Flippable edges in triangulations on surfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discussiones Mathematicae Graph Theory	6. 最初と最後の頁 1041 ~ 1041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7151/dmgt.2377	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 Eom SeungJae, Ozeki Kenta	4. 巻 9
2. 論文標題 An Even 2-Factor in the Line Graph of a Cubic Graph	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Theory and Applications of Graphs	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20429/tag.2022.090107	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 Abe Toshiki, Kim Seog-Jin, Ozeki Kenta	4. 巻 345
2. 論文標題 The Alon-Tarsi number of K_5 -minor-free graphs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 112764 ~ 112764
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disc.2021.112764	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 Mukae Raiji, Ozeki Kenta, Sano Terukazu, Tazume Ryuji	4. 巻 345
2. 論文標題 Covering projective planar graphs with three forests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 112748 ~ 112748
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disc.2021.112748	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 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 根上 生也
2. 発表標題 多面的フレームを持つ閉曲面上の三角形分割の弛緩度 2
3. 学会等名 第31回 位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小関 健太
2. 発表標題 グラフの出次数制約のある向き付け
3. 学会等名 第31回 位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiya Negami
2. 発表標題 Approach to Big Data Analysis Using Topological Graph Theory
3. 学会等名 The 4th International Conference on Operations Research 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根上 生也
2. 発表標題 Beans function の不連続点について
3. 学会等名 第32回位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中本 敦浩
2. 発表標題 射影空間の四角形分割について
3. 学会等名 第32回位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小関 健太
2. 発表標題 3-正則 2部グラフにおける各閉路が長い λ_2 -factor
3. 学会等名 第32回位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小関 健太, 木村 正博
2. 発表標題 K1,p-free グラフの独立頂点の次数和と最小葉数の関係
3. 学会等名 2020年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 オム スンジェ, 小関 健太
2. 発表標題 4-正則グラフの4辺彩色性とeven 2-factor
3. 学会等名 2020年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Seiya Negami
2. 発表標題 Approach to huge graph analysis using graph coverings
3. 学会等名 YNU-PSU Joint Mathematical Seminar 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 根上 生也
2. 発表標題 平面被覆予想, 新たなアプローチ
3. 学会等名 第33回位相幾何学的グラフ理論研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小関 健太
2. 発表標題 4-正則グラフのH-彩色
3. 学会等名 第33回位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根上 生也
2. 発表標題 Very topological, topological graph theory
3. 学会等名 離散数学とその応用研究集会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中本 敦浩
2. 発表標題 射影空間の四角形分割の彩色
3. 学会等名 離散数学とその応用研究集会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小関 健太
2. 発表標題 3-正則 2 部グラフにおける各閉路が長い 2-factor
3. 学会等名 離散数学とその応用研究集会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 オム スンジエ, 小関 健太
2. 発表標題 Claw-free 3-正則グラフの2-bisectionとその単色辺の数について
3. 学会等名 2021年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Analen A. Malnegro, Gina A. Malacas, 小関 健太
2. 発表標題 4-正則グラフの H-彩色
3. 学会等名 2021年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根上 生也
2. 発表標題 平面被覆予想, 新たなアプローチ
3. 学会等名 第34回位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中本 敦浩
2. 発表標題 東京オリンピックのエンブレムから射影空間の四角形分割の彩色へ
3. 学会等名 第34回位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小関 健太
2. 発表標題 3-連結平面3-正則グラフの Kempe 同値類の数
3. 学会等名 第34回位相幾何学的グラフ理論研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根上 生也
2. 発表標題 被覆グラフ上の標準正則被覆とその応用
3. 学会等名 2022年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中本 敦浩、小関 健太、八森 正泰
2. 発表標題 射影空間の四角形分割の染色数
3. 学会等名 2022年度応用数学合同研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiya Negami
2. 発表標題 Graph coverings with topology and group theory
3. 学会等名 YNU-PSU Joint Mathematical Seminar 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Atsuhiko Nakamoto
2. 発表標題 Geometric quadrangulation of a polygon with spirality
3. 学会等名 YNU-PSU Joint Mathematical Seminar 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenta Ozeki
2. 発表標題 Kempe equivalence classes of 3-edge-colorings of cubic graphs
3. 学会等名 YNU-PSU Joint Mathematical Seminar 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中本 敦浩、小関 健太	4. 発行年 2021年
2. 出版社 サイエンス社	5. 総ページ数 216
3. 書名 曲面上のグラフ理論	

〔産業財産権〕

〔その他〕

位相幾何学的グラフ理論研究拠点 / 横浜国立大学 http://tgt.ynu.ac.jp/

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	中本 敦浩 (Nakamoto Atsuhiro) (20314445)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授 (12701)	
研究分担者	小関 健太 (Ozeki Kenta) (10649122)	横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授 (12701)	

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