

令和 4 年 4 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2021

課題番号：16K00020

研究課題名(和文) 計算量クラスの階層定理の証明と論理合成システムの新評価法の確立

研究課題名(英文) Hierarchical results on complexity classes and methods for evaluating logic synthesis systems

研究代表者

岩本 宙造 (Iwamoto, Chuzo)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：60274495

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：より難しい問題を解くには、より多くの計算時間や記憶領域が必要になることは直感的に明らかである。計算時間や記憶領域などの計算資源をどのくらい使用すれば、どの程度の難度の問題が解けるのかを理論的に解明するのが、計算量クラスの階層性の研究である。本研究では、各種の組合せ問題の理論的難しさを探究し、幾つかの問題がNP完全になることを証明した。また、多角形の内部をくまなく監視するための警備員の配置アルゴリズムの設計や計算複雑性を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

理論計算機科学の分野で最も重要かつ有名な未解決問題はP≠NP予想の証明である。本予想は、ミレニアム懸賞問題としてアメリカのクレイ数学研究所によって100万ドルの懸賞金がかけられている7問題の一つである。本研究では、どのような問題がNP完全になるのか、または多項式時間で解ける問題のクラスPに属するのかを探究することで、予想の証明の手がかりを探った。その結果、十数個の組合せ問題がNP完全になることを解明できた。

研究成果の概要(英文)：It is strongly believed that in order to solve more difficult problems, we need more computational resources, such as space and time. Studies on hierarchies of complexity classes provide a theoretical evidence for such properties. In this research, we studied the computational complexity of several combinatorial problems, and proved that some of those problems are NP-hard. We also proposed placement algorithms which assign a set of minimum guards on a given polygon, and discussed the complexity of the placement problem.

研究分野：情報学基礎

キーワード：計算複雑性

1. 研究開始当初の背景

n 変数の関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ に対して、素子数 n^3 の回路を設計したとする。はたして、良い回路が設計できたかどうかは、どのように評価すれば良いだろうか。たとえば、任意の微小な定数 $\epsilon > 0$ に対して、素子数 $(n^3 - \epsilon)$ の如何なる回路でも関数 f は計算できないといった最適性が、理論的に証明できればいいのだが、その証明は非常に難しいことが知られている。さらに言えば、任意の有理数 $r > 1$ に対して、素子数 n^r の回路で計算できるが、素子数 $(n^r - \epsilon)$ の回路では計算できないという具体的な関数 f が実際に存在するか否かさえも分かっていない。

2. 研究の目的

本研究では、計算複雑性クラスの階層構造を理論的に解明することを主な目的とする。計算量クラス P と NP については、 $P = NP$ 予想と呼ばれる重要かつ有名な未解決問題が知られている。 P は多項式時間で解ける易しい問題のクラスであり、 NP 完全問題は解くのに指数関数的な時間がかかる難しい問題と見なされている。 $P = NP$ 予想は、ミレニアム懸賞問題としてアメリカのクレイ数学研究所によって 100 万ドルの懸賞金がかけられている 7 問題の一つである。

本研究では、どのような問題が NP 完全になるのか、それとも、多項式時間で解ける問題のクラス P に属するのかを探究することで、予想の証明の手がかりを探る。

3. 研究の方法

P と NP が違うクラスであるという分離定理を証明する最も良い方法は、クラス P に所属するのかそれとも NP 完全なのかが未解決な問題について、その計算複雑性を解明することである。2 つのクラスの間には存在する具体的な問題を、 P または NP 完全に仕分けることで、両クラスの性質を明らかにしていく。

ある計算問題が NP 完全であることを証明する方法は、すでに知られている NP 完全問題を、その問題に多項式時間アルゴリズムで帰着することである。本研究では、どのような性質を有する問題が、どういった NP 完全問題から帰着できるのかを解明する。

4. 研究成果

Art Gallery Problem とは、多角形内を監視する最少人数の警備員を配置するアルゴリズムを設計し、その計算複雑性を解析する問題である。本研究では、多種類の警備員で、長方形監視と呼ばれる方法で、館内全体を警備する問題が NP 完全であることを証明した。また、同種類の複数の警備員から同時に見られる点が存在しないように、多角形内に警備員を配置する conflict-free 警備員配置問題を提案し、その計算複雑性も解明した。

- マンハッタンタワーと呼ばれる 3 次元空間内の直交多面体の可視性問題の NP 完全性を 3-occurrence planar 3-SAT 問題からの帰着で証明した。
- 高低差のあるビルディング群の 2 方向からの可視性計算の NP 完全性を monotone one-in-three SAT 問題からの帰着で証明した。
- 複数種類の警備員を矩形視界の条件下で直交多角形内に配置する問題の NP 完全性を clause-linked planar 3SAT 問題からの帰着で証明した。
- 多角形内のすべての点を頂点上の 2 種類の警備員で監視する問題について、conflict-free 条件下での NP 完全性を variable-clause-linked planar 3SAT 問題からの帰着で

証明した。

近年、計算複雑性理論の分野で活発に議論されている課題の一つが、パズルやゲームの困難性の理論的解明である。本研究では、ペンシルパズルと呼ばれる平面上の組合せ問題について、計算複雑性を解明した。ペンシルパズルを中心に十数個の理論パズルについて、NP完全性を証明した。

- Five cells, Tilepaint 問題の NP 完全性を 3-occurrence planar 3-SAT 問題からの帰着で証明した。
- Kurotto, Juosan 問題の NP 完全性を planar 3-SAT 問題からの帰着で証明した。
- Moon-or-Sun, Nagareru, Nurimeizu の各問題の NP 完全性を 3-regular Hamiltonian 有向閉路問題からの帰着で証明した。
- Nurimisaki, sashigane 問題の NP 完全性を 3-occurrence 3-SAT 問題からの帰着で証明した。
- Usowan 問題の NP 完全性を monotone one-in-three SAT 問題からの帰着で証明した。
- Herugolf, Makaro 問題の NP 完全性を 3-occurrence planar 3-SAT 問題からの帰着で証明した。
- Dosun-Fuwari 問題の NP 完全性を planar 3SAT 問題からの帰着で証明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Chuzo Iwamoto, Tatsuaki Ibusuki	4. 巻 E104-A
2. 論文標題 Chromatic Art Gallery Problem with r-visibility is NP-complete	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020DMP0006	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 IWAMOTO Chuzo, IDE Tatsuya	4. 巻 E103-A
2. 論文標題 Computational Complexity of Nurimisaki and Sashigane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1183-1192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2019DMP0002	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 Iwamoto Chuzo, Ibusuki Tatsuaki	4. 巻 12049
2. 論文標題 Computational Complexity of the Chromatic Art Gallery Problem for Orthogonal Polygons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 146-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-39881-1_13	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 Chuzo Iwamoto and Tatsuya Ibusuki	4. 巻 E103-D
2. 論文標題 Polynomial-Time Reductions from 3SAT to Kurotto and Juosan Puzzles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 500-505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2019FCP0004	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 Chuzo Iwamoto, Masato Haruishi, and Tatsuya Ibusuki	4. 巻 E102-A
2. 論文標題 Computational Complexity of Herugolf and Makaro	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1118-1125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E102.A.1118	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 Chuzo Iwamoto and Masato Haruishi	4. 巻 E101-A
2. 論文標題 Computational Complexity of Usonian Puzzles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Science	6. 最初と最後の頁 1537-1540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E101.A.1537	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 Chuzo Iwamoto and Tatsuki Ibusuki	4. 巻 26
2. 論文標題 Dosun-Fuwari is NP-complete	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 358-361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjip.26.358	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 Chuzo Iwamoto	4. 巻 E100-D
2. 論文標題 Finding the Minimum Number of Open-Edge Guards in an Orthogonal Polygon is NP-hard	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1521-1525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2016EDL8251	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 岩本宙造, 春石聖人	4. 巻 J100-D
2. 論文標題 もじびったんのNP完全性	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D-I	6. 最初と最後の頁 974-977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2017JDL8016	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 Chuzo Iwamoto and Yuta Matsui	4. 巻 E99-A
2. 論文標題 Computational Complexity of Building Puzzles	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1145-1148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.E99.A.1145	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 Chuzo Iwamoto and Tatsuya Ide	4. 巻 E105-A
2. 論文標題 Moon-or-Sun, Nagareru, and Nurimeizu are NP-complete	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences	6. 最初と最後の頁 1-8
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 Chuzo Iwamoto and Tatsuaki Ibusuki	4. 巻 13174
2. 論文標題 Vertex-to-Point Conflict-Free Chromatic Guarding is NP-hard	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 111-122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-96731-4_10	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 Chuzo Iwamoto and Tatsuya Ide	4. 巻 E105-D
2. 論文標題 Five Cells and Tilepaint are NP-complete	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 508-516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2021FCP0001	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 Chuzo Iwamoto and Tatsuaki Ibusuki	4. 巻 13034
2. 論文標題 Computational Complexity of Two Pencil Puzzles: Kurotto and Juosan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 175-185
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_14	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5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Chuzo Iwamoto
2. 発表標題 Nurimisaki and Sashigane are NP-complete
3. 学会等名 The 31st Canadian Conference on Computational Geometry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井出達也, 岩本宙造
2. 発表標題 Moon-or-Sun, Nagareru, and Nurimeizu are NP-complete
3. 学会等名 冬のLAシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩本宙造
2. 発表標題 Computational Complexity of the Chromatic Art Gallery Problem for Orthogonal Polygons
3. 学会等名 冬のLAシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chuzo Iwamoto
2. 発表標題 Kurotto and Juosan are NP-complete
3. 学会等名 The 21st Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs, and Games (JCDCG^3 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chuzo Iwamoto
2. 発表標題 Herugolf and Makaro are NP-complete
3. 学会等名 The Ninth International Conference on Fun with Algorithms (FUN 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------------------------	-----------------------	----

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