

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500013

研究課題名(和文)幾何的特徴をもつグラフ構造に対する効率のよいアルゴリズムの研究と開発

研究課題名(英文)Research on efficient algorithms for graph structures with geometric properties

研究代表者

上原 隆平 (Uehara, Ryuhei)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：00256471

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究テーマでは、幾何的な構造を持つグラフ構造上のさまざまな問題を効率よく解決するアルゴリズムの研究開発を目指した。2011年4月から2014年3月までの研究成果は、書籍を3冊(自著1冊、翻訳2冊)、査読つきジャーナル論文21編、国際会議での発表24件(うち招待講演2回)という形で発表した。特に「計算折り紙」と呼ばれる、幾何的な折りに関する研究は、多くの応用が見込まれる有望な分野であるにも関わらず、国内ではあまり研究されておらず、この分野で多くの研究成果を得た。

研究成果の概要(英文)：In this research, I investigate efficient algorithms that solve many problems on geometric graphs. From April 2011 to March 2014, I publish three books (one own book and two translations), 21 journal papers, and 24 presentations at refereed international conferences (two presentations are invited). Especially, I investigate on "computational origami", which is a topic about geometric folding. This area is one of frontiers that have many applications, however, it is not well investigated even in Japan. I propose several remarkable results in this area.

研究分野：理論計算機科学

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：アルゴリズム 計算モデル グラフ構造 計算折り紙

## 1. 研究開始当初の背景

本研究テーマでは、幾何的な性質を持つグラフ構造に対する効率的なアルゴリズムの設計と開発がテーマである。幾何的なグラフには以下の二つの研究系列がある。

- (1) グラフ理論の発展としての幾何的な特徴づけをもつグラフクラス：このテーマは1990年代から始まり、特にヨーロッパで幅広く研究が行われている。全般的には数学色が強く、理論的なアルゴリズムの研究が今なお盛んである。
- (2) 計算折り紙からの幾何アルゴリズム：この流れは計算幾何学の一部として、2000年ごろから発展してきている。北米でかなり活発な研究が行われている。理論計算機科学ではあるが、グラフ理論の流れに比べるとやや実際の側面が強い。

研究代表者は、こうした二つの流れの両方の研究者と交流があり、こうした利点を生かしながら研究を進めてきた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は「幾何的な構造をもつグラフを対象を絞り、従来は手におえないとされてきた問題を実用的な時間で解くアルゴリズムを開発すること」であった。さらに言えばこれまでアドホックにしか扱えなかった幾何的な構造をもつ対象を、一般的なグラフとしてモデル化し、計算機で容易に扱えるようにすることが長期的な目標である。上記の背景に即していえば、グラフ理論における確固とした枠組みを、いまだにモデルすら確定していない「計算折り紙」の分野に持ち込み、理論計算機科学の研究対象として、より安定した枠組みを確立することと、そのプロセスにおいて、実際に「よい」アルゴリズムを設計・開発することが本研究の大きな目的であった。

## 3. 研究の方法

本テーマは理論計算機科学の一つであり、具体的なモノを介した研究ではない。したがって、多くの研究者と議論を重ねて、既存の結果を学び、そして発展させ、新しいモデルやアルゴリズムを提案していくことが必要となる。そのためには、実際に国際会議に参加・発表し、自分の結果をアピールすると同時に、その分野でそのとき問題になっているテーマや課題を学ぶ必要がある。また近年、特に北米やヨーロッパでは、少人数で合宿をし、未解決問題を議論して短期間に集中して研究成果を出すという研究スタイルが確立している。こうした研究合宿に積極的に参加する(あるいは声をかけてもらえるように存在や研究成果をアピールする)ことは、研究を進める上で非常に重要である。そのため、なるべく多くの国際会議に出席して発表を行った。

## 4. 研究成果

以下に示した通り、本研究期間において、査読付きの論文を21件、審査のある国際会議での発表を24件(うち招待講演2件)という成果を得た。おおまかに「背景」で書いた二つの系列にまとめれば、以下の結果を得た。

- (1) グラフアルゴリズム：幾何的な特徴づけをもつグラフクラスに関するアルゴリズムを多数開発し、発表した。特に論文(3)(4)(5)(6)(10)(14)(17)(18)(19)(20)は、幾何的なグラフに対する効率的なアルゴリズムの発表である。
- (2) 幾何的な折りアルゴリズム：計算折り紙に代表される、「折り」に注目した研究成果としては、論文(2)(9)(13)(21)は、「折り」に関するアルゴリズムや、展開図に関する新たな結果などである。特に以下の二つは高い評価を得た。

「3通りの異なる箱が折れる一つの展開図」の発見(論文(2))。これは雑誌などにも取り上げられた、一般にもわかりやすい結果といえる。

「折りの計算量」の提案と解析(論文(21))。これは、「折り」の回数を基準として、与えられた折り目を作るコストを評価する指標に関する研究である。多くの共著者を巻き込んで、影響力のある結果につながった。

論文の数もさることながら、当初予定していた、グラフアルゴリズムと「計算折り紙」の相互作用による研究成果を多数得ることができ、本研究テーマの成果としては十分であったと考えている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計21件)

- (1) E. D. Demaine, M. L. Demaine, N. J. A. Harvey, R. Uehara, T. Uno, Y. Uno: UNO is hard, even for a single player, *Theoretical Computer Science* (査読有), Vol. 521, pp. 51-61, 2014. DOI:10.1016/j.tcs.2013.11.023
- (2) T. Shirakawa and R. Uehara: Common Developments of Three Incongruent Orthogonal Boxes, *International Journal of Computational Geometry and Applications* (査読有), Vol. 23, No. 1, pp. 65-71, 2013.
- (3) T. Uno, R. Uehara, and S.-I. Nakano: Bounding the Number of Reduced Trees, Cographs, and Series-Parallel Graphs by Compression, *Discrete Mathematics, Algorithms and Applications* (査読有), Vol. 5, No. 2, pp. 1360001-1360014, 2013.

- (4) R. Uehara: Tractabilities and Intractabilities on Geometric Intersection Graphs, Algorithms (査読有), Vol. 6, No. 1, pp. 60--83, 2013.
- (5) S.-I. Nakano, R. Uehara, and T. Uno: Efficient algorithms for a simple network design problem, Networks (査読有), Vol. 62, No. 2, pp. 95--104, 2013.
- (6) M. Kiyomi, T. Saitoh, and R. Uehara: Reconstruction Algorithms for Permutation Graphs and Distance-Hereditary Graphs, IEICE Trans. Inf. & Syst. (査読有), Vol. E96-D, No.3, pp. 426-432, Mar. 2013.
- (7) B. Ballinger, N. Benbernou, P. Bose, M. Damian, E. D. Demaine, V. Dujmović, R. Flatland, F. Hurtado, J. Iacono, A. Lubiw, P. Morin, V. Sacristán, D. Souvaine, and R. Uehara: Coverage with  $k$ -Transmitters in the Presence of Obstacles, Journal of Combinatorial Optimization (査読有), Vol. 25(2), pp. 208-233, February, 2013. DOI:10.1007/s10878-012-9475-x
- (8) T. Ito, Y. Miyamoto, H. Ono, H. Tamaki, and R. Uehara: Route-Enabling Graph Orientation Problems, Algorithmica (査読有), Vol. 65, pp. 317-338, February, 2013. DOI:10.1007/s00453-011-9589-z
- (9) T. Umehata, T. Saitoh, R. Uehara, H. Ito, and Y. Okamoto: Complexity of the stamp folding problem, Theoretical Computer Science (査読有), Vol. 497, pp. 13-19, 2012. DOI:10.1016/j.tcs.2012.08.006
- (10) M. Kiyomi, T. Saitoh, and R. Uehara: Bipartite Permutation Graphs are Reconstructible, Discrete Mathematics, Algorithms and Applications (査読有), Vol. 4, No. 3, pp. 1250039:1-14, August, 2012. DOI:10.1142/S1793830912500395
- (11) T. Asano, J. Jansson, K. Sadakane, R. Uehara, and G. Valiente: Faster Computation of the Robinson-Foulds Distance between Phylogenetic Networks, Information Sciences (査読有), Vol. 197, pp. 77-90, August, 2012. DOI:10.1016/j.ins.2012.01.038
- (12) Y. Okayama, M. Kiyomi, and R. Uehara: On Covering of Any Point Configuration by Disjoint Unit Disks, Geoinformatics (査読有), vol. XXI(1), pp.14-23, July, 2012.
- (13) T. Asano, E. D. Demaine, M. L. Demaine, and R. Uehara: NP-completeness of generalized Kaboodle, Journal of Information Processing (査読有), Vol. 20, No. 3, pp. 713-718, July, 2012.
- (14) Y. Okamoto, Y. Otachi, and R. Uehara: On bipartite powers of bigraphs, Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science (査読有), Vol. 14, No.2, pp.11-20, July, 2012.
- (15) D. Charlton, E. D. Demaine, M. L. Demaine, V. Dujmović, P. Morin, and R. Uehara: Ghost Chimneys, International Journal of Computational Geometry and Applications (査読有), Vol. 22, No. 3, pp. 207-214, June, 2012. DOI:10.1142/S0218195912500057
- (16) E. D. Demaine, M. L. Demaine, and R. Uehara: Any Monotone Function is Realized by Interlocked Polygons, Algorithms (査読有), Vol. 5(1), pp. 148-157, March, 2012. DOI:10.3390/a5010148
- (17) T. Saitoh, Y. Otachi, K. Yamanaka, and R. Uehara: Random Generation and Enumeration of Bipartite Permutation Graphs, Journal of Discrete Algorithms (査読有), Vol. 10, pp. 84-97, January, 2012. DOI:10.1016/j.jda.2011.11.001
- (18) Y. Okamoto, Y. Otachi, R. Uehara, and T. Uno: Hardness Results and an Exact Exponential Algorithm for the Spanning Tree Congestion Problem, Journal of Graph Algorithms and Applications (査読有), Vol. 15, No. 6, pp. 727-751, 2011.
- (19) S. Teramoto, E. D. Demaine, and R. Uehara: Voronoi game on graphs and its complexity, Journal of Graph Algorithms and Applications (査読有), Vol. 15, No. 4, pp. 485-501, 2011.
- (20) M. Kiyomi, T. Saitoh, and R. Uehara: Voronoi Game on a Path, IEICE Trans. Inf. & Syst (査読有), Vol. E94-D, pp. 1185-1189, 2011. DOI:10.1587/transinf.E94.D.1185
- (21) J. Cardinal, E. D. Demaine, M. L. Demaine, S. Imahori, T. Ito, M. Kiyomi, S. Langerman, R. Uehara, and T. Uno: Algorithmic Folding Complexity, Graphs and Combinatorics (査読有), Vol. 27, pp. 341-351, 2011. DOI:10.1007/s00373-011-1019-0

[学会発表](計24件)

- (1) E. D. Demaine, M. L. Demaine, S. Eisenstat, T. D. Morgan, and R. Uehara: Variations on Instant Insanity, Conference on Space Efficient Data Structures, Streams and Algorithms, LNCS Vol. 8066, pp. 33--47,

- 2013/08/15-2013/08/16. Waterloo, Canada.
- (2) E. D. Demaine, Y. Okamoto, R. Uehara and Y. Uno: Computational complexity and an integer programming model of Shakashaka, The 25th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG 2013), pp. 31-36, 2013/08/08-2013/08/10, Waterloo, Canada.
- (3) E. D. Demaine, M. Demaine and R. Uehara: Zipper Unfoldability of Domes and Prismoids, The 25th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG 2013), pp. 43-48, 2013/08/08-2013/08/10, Waterloo, Canada.
- (4) O. Aichholzer, J. Cardinal, T. Hackl, F. Hurtado, M. Korman, A. Pilz, R. Silveira, R. Uehara, B. Vogtenhuber and E. Welzl: Cell-Paths in Mono- and Bichromatic Line Arrangements in the Plane, The 25th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG 2013), pp. 169-174, 2013/08/08-2013/08/10, Waterloo, Canada
- (5) R. Uehara: The Graph Isomorphism Problem on Geometric graphs (招待講演), The 2nd Pacific Rim Mathematical Association (PRIMA), 2013/06/24-28, Shanghai, China.
- (6) R. Uehara: On generation of graphs with geometric representations, 4th Biennial Canadian Discrete and Algorithmic Mathematics Conference (CanaDAM), in Gray codes and universal cycles Minisymposia, 2013/06/10-2013/06/13, Newfoundland, Canada.
- (7) R. Uehara: The graph isomorphism problem on graphs with geometric representations, 4th Biennial Canadian Discrete and Algorithmic Mathematics Conference (CanaDAM), in Geometric Representation of Graphs Minisymposia, 2013/06/10-2013/06/13, Newfoundland, Canada.
- (8) Z. Abel, E. D. Demaine, M. L. Demaine, T. Horiyama and R. Uehara: Computational Complexity of Piano-Hinged Dissections, The 29th European Workshop on Computational Geometry (EuroCG 2013), pp. 147-150, 2013/03/17-2013/03/20, Braunschweig, Germany.
- (9) J. Chun, T. Horiyama, T. Ito, N. Kaothanthong, H. Ono, Y. chi, T. Tokuyama, R. Uehara and T. Uno: Base location problems for base-monotone regions, 7th International Workshop on Algorithms and Computation (WALCOM 2013), LNCS Vol. 7748, pp. 53--64, 2013/2/14-16. Kharagpur, India.
- (10) T. Ito, S.-I. Nakano, Y. Okamoto, Y. chi, R. Uehara, T. Uno, and Y. Uno: A 4.31-Approximation for the Geometric Unique CoV.ge Problem on Unit Disks, 23rd Annual International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2012) , LNCS Vol. 7676, pp. 372--381, 2012/12/19-21. Taipei, Taiwan.
- (11) T. Horiyama, T. Ito, N. Kaothanthong, H. Ono, Y. chi, T. Tokuyama, R. Uehara, and T. Uno: Algorithms for Computing Optimal Image Segmentation using Quadtree Decomposition, Thailand-Japan Joint Conference on Computational Geometry and Graphs (TJCCGG 2012), 2012/12/06-08, Bangkok, Thailand.
- (12) H. Fukui, R. Uehara, T. Uno and Y. Uno: On Complexity of Flooding Games on Graphs with Interval Representations, Thailand-Japan Joint Conference on Computational Geometry and Graphs (TJCCGG 2012) , LNCS Vol. 8296, pp. 73--84, 2012/12/06-08. Bangkok, Thailand.
- (13) T. Shirakawa and R. Uehara: Common Developments of Three Different Orthogonal Boxes, The 24th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG 2012), pp. 19-23, 2012/8/8-10. PEI, Canada.
- (14) G. Aloupis, R. Hearn, H. Iwasawa and R. Uehara: Covering points with disjoint unit disks, The 24th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG 2012), pp. 49-54, 2012/8/8-10. PEI, Canada.
- (15) T. Horiyama, T. Ito, K. Nakatsuka, A. Suzuki and R. Uehara: Packing Trominoes is NP-Complete, #P-hard and ASP-Complete, The 24th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG 2012), pp. 219-224, 2012/8/8-10.

PEI, Canada

- (16) T. Ito, S.-I. Nakano, Y. Okamoto, Y. chi, R. Uehara, T. Uno and Y. Uno: A Polynomial-Time Approximation Scheme for the Geometric Unique CoV.ge Problem on Unit Squares, 13th Scandinavian Symposium and Workshops on Algorithm Theory, LNCS, Vol. 7357, pp. 24-35, 2012/7/3-5. Helsinki, Finland
- (17) S.-I. Nakano, R. Uehara and T. Uno: Bounding the number of reduced trees, cographs, and series-parallel graphs by compression, Workshop on Algorithms and Computation (WALCOM 2012), LNCS Vol. 7157, pp. 5-16, 2012/2/15-17. Dhaka, Bangladesh.
- (18) T. Shirakawa, T. Horiyama, and R. Uehara: On Common Unfolding of a Regular Tetrahedron and a Cube, Japan Conference on Discrete and Computational Geometry (JCDCG 2011), 2011/11/28-29. Tokyo.
- (19) Y. Okayama, M. Kiyomi and R. Uehara: On covering of any point configuration by disjoint unit disks, The 23rd Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG' 11), pp. 393-397, 2011/8/10-12. Toronto, Canada.
- (20) Z. Abel, E. Demaine, M. Demaine, H. Matsui, G. Rote and R. Uehara: Common Developments of SeV.I Different Orthogonal Boxes, The 23rd Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG' 11), pp. 77-82, 2011/8/10-12. Toronto, Canada.
- (21) T. Umesato, T. Saitoh, R. Uehara, and H. Ito: Complexity of the stamp folding problem, 5th Annual International Conference on Combinatorial Optimization and Applications (COCOA '11), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6831, pp. 311-321, 2011/8/4-6. Zhangjiajie, China.
- (22) H. Fukuki, A. Nakanishi, R. Uehara, T. Uno, and Y. Uno: The Complexity of Free Flood Filling Game, 14th Korea-Japan Joint Workshop on Algorithms and Computation (WAAC 2011), pp. 51-56, 2011/7/8-9. Busan, Korea.

(23) R. Uehara: On Common Developments of SeV.I Different Polyhedra (招待講演), 14th Korea-Japan Joint Workshop on Algorithms and Computation (WAAC 2011), pp. 159-163, 2011/7/8-9. Busan, Korea.

(24) Y. Okamoto, Y. chi, R. Uehara and T. Uno: Hardness Results and an Exact Exponential Algorithm for the Spanning Tree Congestion Problem, 8th Annual Conference on Theory and Applications of Models of Computation (TAMC 2011), LNCS, Vol. 6648, pp. 452-462, 2011/5/23-25, Tokyo.

〔図書〕(計3件)

- (1) 上原隆平著、近代科学社、『はじめてのアルゴリズム』、2013年、183ページ
- (2) ジョセフ・オルーク著、上原隆平訳、近代科学社、『折り紙のすうり』、2012年、235ページ
- (3) ロバート・A・ハーン、エリック・D・ドメイン著、上原隆平訳、近代科学社『ゲームとパズルの計算量』、2011年、279ページ

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.jaist.ac.jp/~uehara/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上原 隆平 (UEHARA RYUHEI)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：00256471

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者