

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：37102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700019

研究課題名（和文）ウォークに基づく局所演算の結合による大域的最適化

研究課題名（英文）Global optimization by local optimization with walks

研究代表者

朝廣 雄一（ASAHIRO YUICHI）

九州産業大学・情報科学部・教授

研究者番号：40304761

研究成果の概要（和文）：グラフ構造において、頂点間を移動しながら何らかの指標に従い処理を行うことを続けるタイプのアルゴリズムが存在する。そういったアルゴリズムによる局所的な処理結果を組み合わせることで、全体として何らかの指標に関する最適化を行うという観点から、いくつかの最適化問題（直径指定部分グラフ問題，グラフ有向化問題など）の研究に取り組み，アルゴリズムの設計や計算複雑さに関する考察を行った。

研究成果の概要（英文）：We designed algorithms and considered computational complexity for some combinatorial optimization problems, where we utilize a type of algorithms which traverses a graph structure and compute based on local information.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	700,000	210,000	910,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
2012 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：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：組み合わせ最適化，アルゴリズム，近似，計算複雑さ

### 1. 研究開始当初の背景

様々な目的・用途のためにグラフ構造が実際に利用されている。そのグラフ構造の全体を見渡して何らかの最適化をすることは容易ではないことが多い。そこで，グラフ構造中を移動（ウォーク）しながら，局所的な情報に基づいてグラフの構造を変更したり，何らかの演算・処理を行ったりすることが行われている。例えば，ウェブページ群のハイパーリンク構造を辿りながら，情報を収集・解析するエージェントなどがその典型例である。

### 2. 研究の目的

局所的な情報に基づいた演算を繰り返し行い，それを結合することで，大域的な指標についての最適化を行うことが目的の一つである。また，そういった枠組みを意識した上で，計算機により現実的な処理時間でどのような内容の処理までなら実施可能であるかを明らかにすることが，もう一つの目的である。

### 3. 研究の方法

既知の成果についての調査を実施し，それにより得られた知識をもとに，対象とする問

題のモデル化を行う。その後、高性能なアルゴリズムの設計を行うことと、問題の計算複雑さについて考察することを、お互いの場面で得られた知見を相互に利用することで、共に行う。なお、得られた研究成果については、国内外の学術雑誌や国際会議、研究会などで公表を行う。

#### 4. 研究成果

次項の「主な発表論文等」の〔雑誌論文〕に記載するものに関連づけて、主な研究成果を以下の3点にまとめる形で記載する。

- (1) 〔雑誌論文〕の④⑤⑧⑨⑩においては、グラフ有向化問題について研究した。グラフ有向化問題においては、グラフ構造が入力され、その辺の向きを決定あるいは変更するという局所的な演算を結合することで、何らかの大域的な指標についての最適化を行う問題である。ここで、最適化する指標としては、最大次数や最小次数が相互接続の密度を示す指標として分かりやすい。ここで、各頂点から出る辺の重みの総和の最大値と最小値を最大次数と最小次数という。局所的な決定の繰返しで大域的な最適化を、ある程度の精度で実施できるような、グラフの構造について考察を進めるとともに、逆に、どういった構造でも問題のNP困難性が維持されるのかについて明らかにした。ここでグラフの構造としては、カクタスグラフや木幅限定グラフ、平面グラフ、二部グラフなどを対象とした。
- (2) 〔雑誌論文〕の⑪においては、直径指定部分グラフ問題について研究した。直径指定部分グラフ問題においては、全体のグラフ構造の中から、指定された直径を持つ最大部分グラフを抽出することが目的である。直径指定部分グラフ問題に対して、得た成果は、以下のようなものである。一般のグラフ構造に対して、NP困難であることを示すとともに、どのようなアルゴリズムを用いても、ある近似度以上に良い解を得られないことを示した。また、ある頂点から出発し、指定された直径の半分に位置する頂点までを順次全部抽出するという単純なアルゴリズムの性能について解析し、指定された直径の値が偶数の場合は、この単純なアルゴリズムの性能が最良であることを示した。ただし、指定された直径の値が奇数の場合は、このアルゴリズムが出力する解と、近似度の下界の値は一致していない。このことは、このアルゴリズムの性能に関する解析が厳密でないこと、または、別のより良いアルゴリ

ムの存在を示唆している。弦グラフやスプリットグラフといった特殊な構造を持つグラフに対しても、同様にNP困難かつ、近似も難しいことを示すとともに、上記のアルゴリズムの性能について解析した。

- (3) また、他の問題に対する成果として以下を得た。〔雑誌論文〕の⑥では、通信における周波数帯域がグラフ構造で定義されており、その頂点が通信に利用できる周波数群に対応するという設定下において、周波数を如何に割り当てるかという問題について考察し、競合アルゴリズムを設計した。〔雑誌論文〕の①③⑦では、グラフ構造中から正則部分グラフ（バランスのとれた部分構造に対応する）を発見する問題の計算複雑さについて考察した。〔雑誌論文〕の②においては、順次入力される列に対して、部分的な並び替えを可能とするバッファを利用することでコストを最小化する問題について考察し、その計算複雑さを明らかにした。

以上により得られた研究成果については、（詳細は発表論文の欄にゆずるが）、国際的な学術雑誌や国際会議において採録されており、また国内の研究会等でも研究成果の公表に努めたことから、当該分野において国内外で一定のインパクトを持つ成果として捉えられていると期待している。

今後の展望としては以下の通りである。本研究課題において、各種のアルゴリズムの設計ならびに計算複雑さの解明を行い、一定の成果を得た。しかしながら、一部においては、既知の計算複雑さ（の下界）とアルゴリズムの性能に開きが残ったままになっている。これらに継続的に取り組み、より良いアルゴリズムの設計ならびに厳密な計算複雑さの解明に繋げていくこと、また設計したアルゴリズムを実装しその実際的な性能を明らかにすることが、今後の課題であると同時に当該分野に対する科学的な貢献になると考えている。

#### 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11件）

- ① Yuichi Asahiro, Hiroshi Eto, and Eiji Miyano, Inapproximability of Maximum  $r$ -Regular Induced Connected Subgraph Problems, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E96-D,

- No. 3, pp. 443-449, March 2013. (査読有)  
DOI: 10.1587/transinf.E96.D.443
- ② Yuichi Asahiro, Kenichi Kawahara, and Eiji Miyano, NP-hardness of the Sorting Buffer Problem on the Uniform Metric, *Discrete Applied Mathematics*, Volume 160, Issues 10-11, pp. 1453-1464, July 2012. (査読有)  
DOI: 10.1016/j.dam.2012.02.005
- ③ Yuichi Asahiro, Hiroshi Eto, and Eiji Miyano, Improved Inapproximability of Maximum  $r$ -Regular Induced Connected Subgraph Problems, *Proc. The 15th Japan-Korea Joint Workshop on Algorithms and Computation (WAAC 2012)*, pp. 161-168, 2012. (査読有)
- ④ Yuichi Asahiro, Jesper Jansson, Eiji Miyano, and Hirotaka Ono, Graph Orientations Optimizing the Number of Light or Heavy Vertices, *Proc. 2nd International Symposium on Combinatorial Optimization (ISCO 2012)*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 7422, pp. 332-343, 2012. (査読有)  
DOI: 10.1007/978-3-642-32147-4\_30
- ⑤ Yuichi Asahiro, Jesper Jansson, Eiji Miyano, and Hirotaka Ono, Upper and Lower Degree Bounded Graph Orientation with Minimum Penalty, *Proc. Computing: The Australasian Theory Symposium (CATS 2012)*, *Conferences in Research and Practice in Information Technology*, Vol. 128, pp. 139-146, 2012. (査読有)  
URL:  
<http://crpit.com/abstracts/CRPITV128Asahiro.html>
- ⑥ Yuichi Asahiro, Kenta Kanmera, and Eiji Miyano,  $(1+\epsilon)$ -Competitive Algorithm for Online OVFS Code Assignment with Resource Augmentation, *Proc. 17th Annual International Conference on Computing and Combinatorics (COCOON 2011)*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6842, pp. 259-270, Aug. 2011. (査読有)  
DOI: 10.1007/978-3-642-22685-4\_24
- ⑦ Yuichi Asahiro, Hiroshi Eto, and Eiji Miyano, Inapproximability of Maximum  $r$ -Regular Induced Connected Subgraph Problems, *Proc. The 2011 International Conference on Foundations of Computer Science (FCS)*, pp. 102-107, Jul. 2011 (査読有)
- ⑧ Yuichi Asahiro, Jesper Jansson, Eiji Miyano, Hirotaka Ono, and Kouhei Zenmyo, Approximation Algorithms for the Graph Orientation Minimizing the Maximum Weighted Outdegree, *Journal of Combinatorial Optimization*, Vol. 22, No. 1, pp. 78-96, May 2011. (査読有)  
DOI: 10.1007/s10878-009-9276-z
- ⑨ Yuichi Asahiro, Jesper Jansson, Eiji Miyano, and Hirotaka Ono, Graph Orientation to Maximize the Minimum Weighted Outdegree, *International Journal of Foundations of Computer Science*, Vol. 22, No. 3, pp. 583-601, Apr. 2011. (査読有)  
DOI: 10.1142/S0129054111008246
- ⑩ Yuichi Asahiro, Eiji Miyano, and Hirotaka Ono, Graph Classes and the Complexity of the Graph Orientation Minimizing the Maximum Weighted Outdegree, *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 159, No. 7, pp. 498-508, Apr. 2011. (査読有)  
DOI: 10.1016/j.dam.2010.11.003
- ⑪ Yuichi Asahiro, Eiji Miyano, and Kazuaki Samizo, Approximating Maximum Diameter-Bounded Subgraphs, *Proc. The 9th Latin American Theoretical Informatics Symposium (LATIN)*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6034, pp. 616-627, Apr. 2010. (査読有)  
DOI: 10.1007/978-3-642-12200-2\_53
- [学会発表] (計 11 件)
- ① 土井悠也, 弦グラフにおける直径限定部分グラフ最大化問題, 火の国情報シンポジウム 2013, 熊本大, 2013 年 3 月 14-15 日
- ② 江藤宏, 次数を限定した平面グラフにおける誘導部分グラフ探索問題, 日本 OR 学会九州支部第 3 回九州地区における若手 OR 研究交流会, 北九州市立大, 2012 年 10 月 27-28 日
- ③ 江藤宏, 次数を限定した誘導部分グラフ探索問題, 2012 年度夏の LA シンポジウム, 天橋立 宮津ロイヤルホテル, 2012 年 7 月 17-19 日

- ④ Hiroshi Eto, W[1]-Hardness of Regular Induced Connected Subgraph Problems, Fifth Asian Association for Algorithms and Computation Annual Meeting (AAAC12), Fudan University, Shanghai, China, April 21-22, 2012.
- ⑤ Hirotaka Ono, Minimizing Penalty on Upper and Lower Degree Constrained Graph Orientation, 電子情報通信学会 コンピューテーション研究会, 名古屋大, 2011年12月16日
- ⑥ 朝廣雄一, 資源増加を許した OVSF 符号割当問題に対する  $(1+\epsilon)$ -競合アルゴリズム, 情報処理学会アルゴリズム研究会, 山口大, 2011年11月18日
- ⑦ 江藤宏, 最大正則連結部分グラフ問題のパラメータ化計算量, 電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 佐賀大, 2011年9月28日
- ⑧ Yuichi Asahiro, 2-Competitive Algorithm for Online OVSF Code Assignment with Small Resource Augmentation, The 4th Annual Meeting of Asian Association for Algorithms and Computation, National Tsing Hua University, Taiwan, April 16-17, 2011.
- ⑨ 江藤宏, 頂点数を最大とする正則誘導連結部分グラフ問題の計算複雑さ, 電子情報通信学会 コンピューテーション研究会, 広島大, 2011年6月30日
- ⑩ 朝廣雄一, 資源増加を許した OVSF 符号割当問題に対する 2 競合アルゴリズム, 情報処理学会アルゴリズム研究会, 琉球大, 2011年3月7日
- ⑪ 上米良謙太, オンライン OVSF 符号割当問題のリソースと競合比, 電子情報通信学会九州支部学生会講演会, 福岡工業大, 2010年9月24日

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

朝廣 雄一 (ASAHIRO YUICHI)  
九州産業大学・情報科学部・教授  
研究者番号: 40304761

(2) 研究分担者  
なし

(3) 連携研究者  
なし