

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510183

研究課題名(和文) 先進的経路検索理論の実用化を目指した拡張の研究

研究課題名(英文) Extensions for applying advanced method of shortest path queries

研究代表者

宮本 裕一郎 (Miyamoto, Yuichiro)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：20323850

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：最短経路検索理論は、与えられた始点・終点に対して高速に最短経路を答えるための理論的枠組である。組合せ最適化問題としての最短経路問題を計算複雑度の意味で改善するものではないが、実計算時間の意味では有効な工夫が2000年台中盤以降数多く提案されている。最短経路問題を部分問題として扱う複雑かつ実用的な問題は数多くあるが、最短経路検索手法が有効に利用されているとは言い難い。本研究では、最短経路検索理論を実用的な問題に適用するための理論的枠組の拡張を行った。

研究成果の概要(英文)：Methods for shortest path queries are investigating to answer the shortest path for the given origin and destination. Since the middle of 2000, several techniques are proposed. Though these techniques cannot improve the computational complexity for the shortest path problem, these are efficient for real-world instances. In this research, we extend the methodology of the shortest path queries for applying practical problems.

研究分野：組合せ最適化

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：最短経路検索 組合せ最適化

### 1. 研究開始当初の背景

2000年以降のWebサービスの充実に伴い、経路検索がエンドユーザーに頻繁に使用されるようになった。そして2000年代中盤には最短経路検索を高速化する手法が多数提案された。いずれの手法も、近似的な最短経路ではなく、厳密な意味での最短経路を高速に答える洗練された手法であった。

これらの最短経路検索手法は、そのまま道路ネットワーク上の最短経路検索に適用可能であるばかりでなく、他のより複雑な問題の部分問題を解くためにも有用なものである。しかしながら、他の複雑な問題に適用する方法は自明ではなく、橋渡しとなる拡張が必要であった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、最短経路検索手法を拡張し他の複雑な問題に適用可能にすることである。

最短経路検索手法は、基本的なアイデアが異なるものが多数提案されているが、研究代表者らが既に提案している階層メッシュ疎化法を使用する。この手法は、他の最短経路検索手法と比較して「探索アルゴリズムへの依存度が低い」「使用する付加的データが比較的小さい」などの利点がある。これらの利点により、より複雑な問題の部分問題の解法として適用しやすいことが予想される。

複雑な問題への適用を考える際には、その複雑な問題がどのような問題であるか程度限定する必要がある。本研究では対象とすべき価値のある複雑な問題を見つけることも目的とする。

### 3. 研究の方法

まず、最短経路検索を利用する複雑な問題のうち、通常の最短経路検索手法が簡単に適用可能ではない問題の特定をする。ここで言う通常の最短経路検索手法は「与えられたネットワークは検索の間は不変と仮定する」「始点と終点が与えられたら一目的の(最適な)最短経路を答える」ものとする。

基本とする最短経路検索手法は、研究の目的の項でも述べた通り、階層メッシュ疎化法とする。再掲となるが、階層メッシュ疎化法の長所は、

- ・探索アルゴリズムへの依存度が低いこと、
- ・使用する付加的データが比較的小さいことである。一方で短所は
- ・付加的データの作成及び最短経路探索中に

幾何学的データを必要とすること、  
・付加的データの作成にかかる時間が、他の手法と比べて、短いとは言えないことである。地理的データ上での最適化問題においては、多くの場合において緯度・経度などのデータが与えられている。よって幾何学的データを必要とすることは必ずしも短所となるわけではないが注意は必要である。参考までに、階層メッシュ疎化法において、道路ネットワークデータから疎化ネットワークを作成する様子を図1に、その疎化ネットワークを利用して始点・終点間の最短経路を検索する様子を図2に示す。

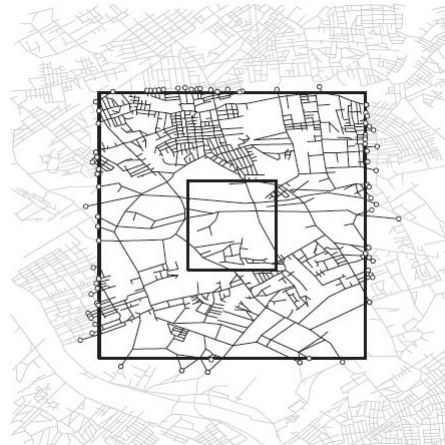


図1 疎化ネットワーク作成中のイメージ。細い灰色の線と細い実線が道路ネットワークである。図にあるように大小2つの矩形を用意し、大きい矩形の外側に始点・終点がある最短路に使われる道路のうち小さい矩形の内側にあるものを疎化ネットワークで利用する道路とする。大小2つの矩形をずらして他の場所に対しても同様の処理を行う。



図2 疎化ネットワークを利用した最短経路探索のイメージ。図1で抽出した「遠い地点同士の最短経路で使われる道路」を部分的に利用する。左下と右上の黒い点が始点・終点であるとすると、そこから離れているところでは疎化ネットワークを利用して(最適な)最短経路が求まる。

なお、図1、図2は研究代表者らが2010年に発表した予稿からの引用である。実際に大規模ネットワークに適用する際には、図1図2で示されている矩形の大きさを変化させ、さまざまな大きさの矩形で疎化ネットワークを抽出しておき、最短路の検索においてはそれらを適切に組み合わせて利用する。図3にその様子を示す。



図3 大小様々な矩形を組み合わせた検索用疎化ネットワーク。

#### 4. 研究成果

本研究では、まず、最短路検索を利用する複雑かつ有用な問題として、交通などのネットワーク設計問題を対象とすることとした。より具体的には、学会発表で発表した「交通計画におけるインフラストラクチャーの整備計画問題」と学会発表で発表した「流れの安全性に着目したネットワーク設計問題」である。

前者の「交通計画におけるインフラストラクチャーの整備計画問題」は、二酸化炭素排出量の削減を目的とした場合に、限られた予算内で道路拡幅・バイパス開通などを最適に計画する問題である。環境問題は地球規模で取り組むべき重要な課題であり、新興国の発展に伴い、その国際的重要性は増すばかりである。この問題では、交通需要を所与とした上で、BPR関数を仮定して総旅行時間の最小化問題を(近似的に)整数計画問題として定式化している。数理計画ソルバーで最適解は得られるものの、より早く高性能近似解を得るためには発見的解法の構築が必要と思われる。そして、その発見的解法のサブルーチンとして最短路検索を用いる方法が考えられる。

後者の「流れの安全性に着目したネットワーク設計問題」は、直感的には、小学生児童などの集団下校においてなるべくまとまって帰る経路を最適化する問題である。各児童が最短経路に従って下校するならば、下校経路

を合わせたものは学校を始点とし各自宅終点とする最短路木になる。図4に、学校を始点とし各自宅を終点とする最短路木を示す。

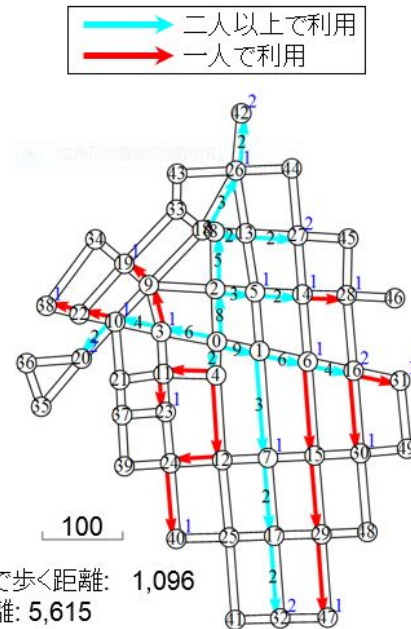


図4 流れの安全性に着目したネットワーク設計問題における最短下校経路。ノード0が学校であり、矢印が下校経路を表している。矢印の終点になっているところが各自宅であり、矢印上の数字はその道を通る人数である。最短経路で下校すると一人で歩くべき距離の合計は少なくない。

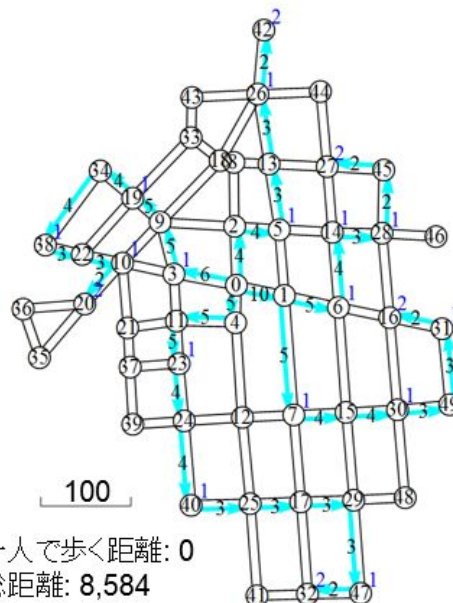


図5 流れの安全性に着目したネットワーク設計における一人で歩かない下校経路。最短経路とはかけ離れた経路を歩きながら、一人にならないようにしている。

一方で、なるべく一人にならないようにまとまって下校するならば、下校経路を合わせたものはシュタイナー木に近いものになる。ここで、シュタイナー木のターミナルに対応す

るのは学校と各自宅である。図5に、学校を始点とし、児童が一人にならないよう下校する経路を示す。なお図4, 図5は研究発表の発表資料からの引用である。まとまって下校することによるリスク軽減と下校経路の長さはトレード・オフの関係にあるが、その調度良いところを見つける問題もまた、これからの社会で重要な問題である。この問題もまた整数計画問題として表せるものの、計算困難問題に属するものであり、大規模な問題例に対しては高性能な発見的解法が必要と思われる。そして、その発見的解法のサブルーチンとして最短路検索を用いる方法が考えられる。

両方の問題に共通することとして、「サブルーチンとして現れる最短路検索は一始点・一終点の最短路を求めるものではなく、一始点・多終点の最短路を求めるものである」ということである。ここで多終点は始点以外のすべての点というわけではない。

これらの点を鑑みて、最短路検索の拡張として「一始点・多終点の最短路を高速に答える方法」が実用的に有用なものの一つと考えた。階層メッシュ疎化法は幾何的なデータを必要とするものの、探索アルゴリズムに依存しない(自由に選べる)という利点があり、そのような拡張が可能である。これは、A\*探索に依存しているランドマーク指定タイプの手法や、双方向ダイクストラ法に依存している Highway Hierarchy タイプの手法では難しい。

一始点・多終点の最短経路を高速に答える階層メッシュ疎化法の概要は以下の通りである。

- ・疎化ネットワークの作成は、通常の一始点・一終点最短路検索と同様に行う。
  - ・最短路木の探索においては、始点とすべての終点からともに遠いところのみ疎化ネットワークを用いる。
  - ・構成された検索用ネットワーク上で通常の一始点 Dijkstra 法を用いる。
- この手法は単純であり実装も容易である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Takehiro ITO, Yuichiro MIYAMOTO, Hirotaka ONO, Hisao TAMAKI and Ryuhei UEHARA. Route-enabling graph orientation problems. *Algorithmica*, 査読有, Vol. 65 (2013), pp. 317--338 (Issue 2).

宮本裕一郎. [上智大学数理科学講演会] 最短経路の話. 数学セミナー, 査読無, Vol. 51 (2012), No. 8, pp. 26--31.

〔学会発表〕(計9件)

Yuichiro MIYAMOTO, Ryuhei MIYASHIRO, Ken-ichi TANAKA, Ryokichi ONISHI and Akira YOSHIOKA. Road infrastructure planning for CO<sub>2</sub> reduction using mathematical optimization, 20<sup>th</sup> ITS World Congress Tokyo 2013. (October 18, 2013, Tokyo, Japan)

Ken-ichi TANAKA, Ryuhei MIYASHIRO and Yuichiro MIYAMOTO. Safe walking route design problem. in Proceedings of EWGLA XX (April 17--19, 2013, Ankara, Turkey)

田中健一, 宮代隆平, 宮本裕一郎. 流れの安全性に着目したネットワーク設計 安全下校問題への応用. 第24回 RAMP シンポジウム論文集, 2012. (2012年9月27日東北大学片平キャンパスさくらホールにて)

松井知己, 宮本裕一郎. 不動点定理によるドロネー性の確認. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年秋季研究発表会. (2012年9月13日 ウィンクあいちにて)

Tomomi MATSUI, Yuichiro MIYAMOTO. Characterizing Delaunay Graphs via Fixed Point Theorem. In Proceedings of the 24th Canadian Conference on Computational Geometry (CCCG2012), pp. 241--246. (in Charlottetown, Prince Edward Island, Canada, 2012/08/10).

Ken-ichi TANAKA, Ryuhei MIYASHIRO and Yuichiro MIYAMOTO. A multi-objective minimum cost flow problem to design safe walking-routes for school children. INFORMS 2011 Annual Meeting, in Vilnius, Lithuania, July 11, 2012.

宮本裕一郎. 経路探索の高速化と拡張性. in Proceedings of International Symposium on Mathematics of Logistics: Theory and Practices, pp. 55--58, 2011. (2011年11月30日 東京海洋大学にて)

Ken-ichi TANAKA, Ryuhei MIYASHIRO and Yuichiro MIYAMOTO. A risk-minimization network flow problem for designing safe walking-routes for school children. INFORMS 2011 Annual Meeting, in Charlotte, North Carolina, USA, November 16, 2011.

田中健一, 宮代隆平, 宮本裕一郎. 一人で歩く距離に着目した Min-Sum 型と Min-Max 型のネットワークフローモデルと安全下校問題への応用. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会. (2011年9月16日 甲南大学にて)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮本 裕一郎 (MIYAMOTO, Yuichiro)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号：20323850