

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24500021

研究課題名(和文) 動的環境において地理情報システムに現れる最適化問題に関する研究

研究課題名(英文) Research on dynamic optimization problems in GIS

研究代表者

今井 桂子 (Imai, Keiko)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：70203289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：地理情報システム(GIS)に現れる最適化問題において、動的環境を扱う場面が増えてきている。そこで、本研究では、動的環境において実際に現れる最適化問題に対する実用的な解法を開発することを目的に研究を行ってきた。現実のGISにおいて現れる最適化問題として、デジタル地図生成の場面で大きな問題となっているラベル配置問題(特に、回転する地図におけるラベルサイズ最大化問題や密集している点が動く場合の重なりを少なくするラベル配置問題)、ネットワーク構造を図示する自動描画問題(略地図生成や東京の地下鉄路線図の自動描画)を主な研究対象として効率的な解法を提案し、研究会や国際会議、学術論文誌で成果を公表した。

研究成果の概要(英文)：Recently, in the Geographic Information Systems (GIS), there are a lot of optimization problems in dynamic environments. In order to solve such problems, efficient algorithms that deal with moving data and a large amount of GIS data are strongly required. We have investigated algorithms for optimization problems in GIS. Mainly, in this project, we considered label placement problems and automatic drawing problems for network structures. Examples of label placement problems include the label size maximization for rotating maps and the minimum point-overlap labeling problem. We obtained efficient algorithms or approximation algorithms for such problems. For automatic drawing problems, we developed methods of drawing the Tokyo Metro map, which cannot be applied by existing methods, using mixed integer programming.

研究分野：アルゴリズム理論

キーワード：最適化問題 地理情報システム ラベル配置問題 自動描画問題

1. 研究開始当初の背景

日本では「e-Japan 戦略」において GIS が情報化社会の情報基盤と位置付けられてから、国土地理院の電子国土の実現にむけた計画が進んできていた。そのような状況で、国土地理院の数値地図の他、企業による地図データが提供され、実際の大規模な GIS データで実験する環境が整いつつあり、それに加え、マイクロジオデータと呼ばれる、マイクロスケールの非統計データが利用可能になっていた。例えば、住宅地図、デジタル電話帳等のような高い空間的精度と網羅性を持つデジタルデータやパーソントリップデータやモバイル統計といった加工余地が高い非集計データなどが取得可能になりつつあった。ここでは、歩行者や車など動いている対象の情報を実時間で獲得できるようになり、それによって動いている対象物に対する最適化問題や、渋滞情報などから道路網自体の変化に応じた最適化問題の解法が求められるようになってきていた。それまでも、動的環境における最適化問題に関する研究は理論的には考えられてきたが、実データを用いた大規模な実験はあまり行われておらず、動的に変化する GIS データを処理するためのデータ構造に関する研究や最適化問題の解法に関する研究を行う必要がでてきていた。

ネットワーク最適化や地理的最適化の分野においては、古くから最適化問題の解法に関する研究が進み、多くの理論的研究成果が知られていた。これらの結果が実社会で現れる問題に適用可能かどうかを検証する必要がでてきた。本研究グループは、これまで、理論的研究成果の有効性の検証を GIS の実データを用いて行ってきた。平成 9 年度から 13 年度のハイテク・リサーチ・センター「統合型地理情報システム」やその後の科学研究費補助金により、GIS 特有の性質に特化した最適化問題の解法やデータ構造の研究を継続している。特に、日本におけるラベル配置問題に関する研究は本研究グループがリードしてきたと言える。ラベル配置問題は地図における注記を配置する問題であり、GIS において非常に重要な問題の一つである。本研究グループにより開発された解法は、地図を利用するソフトウェアの中に組み込まれ、製品化されている。本研究では、それまでの経験を活かし、対象物が動く場合やデータが実時

間で変化するような動的環境に、静的な場合に得られた研究成果を拡張することを考えた。

2. 研究の目的

研究当初の学術的背景を考慮して、本研究では次の 3 つの点に焦点を当てて、研究を行ってきた。

- (1) GIS データに対する動的データ構造の構築。
- (2) 動的データを用いた最適化問題の解法の開発。
- (3) 制御不能流の理論、特に最小極大流に関する性質の解明。

本研究グループは、それまでの経験から、静的な大量の GIS データ特有の扱いについては熟知していた。(1)では、その知見を活かし、動いている対象物が管理可能になるように、既存のデータ構造を改良することを目的とした。莫大な GIS データをどのように管理するかは、最適化問題を解く場合だけでなく、地理情報の抽出の効率にもかかわる。変化するデータに対応し、必要なデータを瞬時に取り出すことが可能であることが GIS データ構造には求められているため、これに対応できるような機能の整備を行うことを考えた。

歩行者や航空機など動いている対象物や渋滞などの影響でネットワーク構造自体が動的に変化する環境での最適化問題が GIS においては数多く存在する。動的環境における最適化問題に関する理論的研究はこれまでも行われているが、データ量が多いため、理論的に有用な解法がうまく動作しない場合もある。そこで、(2)においては、理論的解法を膨大な動的データを用いた最適化問題においても効率的に解を得ることができるように拡張することを目的とした。

(3)における制御不能流の理論は、一般のネットワーク理論に「いったん流れたものは変更できない」という制約を加えたものである。道路交通ネットワークにおいて、これまでのネットワーク理論における最大流問題では流れを完全に制御できることが仮定されなければならない。しかし、実際には、このようなことは難しい。最大流は最も「良い」振舞いを表しており、多くの既存研究成果があり、それらはネットワーク理論の多くの教科書に載っている。しかし、現実問題を扱う

場合には、ネットワークの振る舞いのうち、最も「悪い」状況を把握することも重要であると考えられる。これを表現する概念が最小極大流である。最小極大流に関する研究は始まったばかりで、理論的成果も多くない。そこで、少しでも理論的に解明できる手がかりを得ることを目的とした。

3. 研究の方法

最適化問題の効率的解法とデータ構造は切り離すことができないので、交互にフィードバックを行いながら研究を遂行してきた。まず、これまでのGISにおける最適化問題のうち、動的環境への拡張が必要になっているものとその可能性のあるものを洗い出し、解法の開発と必要とされるデータ構造の機能を整理し、動的環境におけるデータ構造の構築を行った。それと並行して、上記の作業で構築したデータ構造をもとに最適化問題を解き、解法の開発とデータ構造の見直しを行った。このように、本研究ではデータ構造の機能の整備と効率的な最適化問題の解法の開発を関連させながら研究を遂行する方法を採った。制御不能流、特に最小極大流に関する研究は、理論的にまだ分かっていないことが多いので、これまで行ってきた最小極大マッチングの結果をもとに、その性質の解明の理論的研究を進めた。

本研究では、研究目的で述べたように、次の3つに焦点を当てて研究を行ってきた

- (1) GIS データに対する動的データ構造の構築。
- (2) 動的データを用いた最適化問題の解法の開発。
- (3) 制御不能流の理論、特に最小極大流に関する性質の解明。

これらを行うための計画・方法の概要をそれぞれに対して述べる。

計算幾何学という研究分野にはGISに関する基礎研究も含まれており、GISに特有の基本的データ構造の研究が行われている。研究代表者は計算幾何学を専門としているので、計算幾何学での知見を基に、動的なGISデータ用のデータ構造の構築を行った。また、研究分担者の鳥海重喜准教授は、GISの位相構造を表現するデータ構造や、各種のGISデータを用いた研究を行っていたので、そこで得られた概念を拡張す

ることにより、今回の目的のためのデータ構造の構築を研究代表者と共に行った。また、連携研究者である今井浩が、GISの国際標準化を目的として設置されたISO/TC211に参加していたことから、地図データの世界的取組に関する有用な情報を得ることができた。

(2)に関しては、現在、重要とされている最適化問題のうち、動的環境への拡張が必要になっているものとその可能性のあるものを洗い出し、解法の開発を行う。最初は、これまでも研究を進めてきている経路探索問題や施設配置問題、ラベル配置問題などの動的環境への拡張を行った。そこで必要とされるデータ構造の機能を整理し、その結果を(1)の動的環境におけるデータ構造の構築へフィードバックすることを考えてきた。

(3)に関しては、最小極大流を求めることがNP-困難であり、APX-完全であることも分かっている。研究代表者と研究協力者は関連する研究として最小極大マッチングに関する研究を行ったので、それを利用し、最小極大流の性質の解明を試みた。

4. 研究成果

本研究で焦点を当ててきた3つの課題について、その研究成果の主なものを以下に述べる。

回転する地図におけるラベルサイズ最大化問題

ラベル配置問題とは地図上にある対象物に、対応する文字列やシンボルなどのラベルを配置する問題である。ラベルサイズ最大化問題は、すべてのラベルを重なりなく配置し、ラベルの大きさを最大にする問題であり、一般にはNP困難な問題として知られている。近年、モバイル端末に表示する地図は回転することが可能になり、それに伴って大きさを変えることなく、ラベルも回転できることが望まれる。その際にも、ラベルは重ならないようにしたい。このような問題に対して、ラベルの形(単位正方形、正方形、単位高さ長方形、長方形)や回転の中心とする点の位置(ラベルの内部、境界上)のすべての組み合わせに対して、最大の大きさと回転の中心となる点の位置を決める問題に対して、最適解を求めるアルゴリズムと近似のアルゴリズムを開発した。この成果は、国内の研究会や査

読付き国際会議で発表し、学術雑誌に掲載されることが決まっている。

動的な密集した点に対する重なり最小化問題

航空管制などの現場では、ディスプレイ上の航空機を表す動的な点に、便名などの付加情報が引出し線を用いて表示されている。しかし、付加情報が多いことや飛行場の近くでは航空機が多いため、付加情報の記入されたラベルが重なって表示されてしまう。必要な情報を読み取るためには、重なっているラベルを手動で移動する必要がある。このような状況を解決するために、フリーラベル最大化という問題が既に提案されていた。この問題の解法では、重なっていないラベルの数を増やすために、多くのラベルを重ねて、重なっていないラベルを増やすということも起こる。そのため、重なってしまっているラベルを読み取ろうとすると、逆に移動しなければならぬラベルの数が増えてしまうことが考えられる。本研究では、移動しなければならぬラベルを減らすことを目的として、次のような新しい定式化を行った。平面上のある点に重なるラベルの数を数え、その最大値を最小化するという問題を考えた。この新しい問題に対する近似アルゴリズムを提案し、査読付き国際会議で発表を行った。

ネットワーク構造の自動描画問題

GISには道路網、鉄道網などのネットワーク構造が数多く存在し、それらは複雑化してきており、新しい路線が開通するなどによりデータが更新されることがある。そのため、ネットワーク構造を自動描画する手法が必要となってきた。本研究では道案内を目的とした略地図生成、バス路線図や鉄道路線図の自動描画手法に関する研究を進めてきた。ここでは、鉄道路線図に関する成果を述べることにする。

鉄道路線網を自動描画する問題は長い間研究が行われ、単純な路線図に関しては自動描画が可能になってきており、様々な手法が提案されている。しかし、東京やロンドンのような複雑な路線図に対しては、解の条件として設定したものを満たすような出力を得られる手法が既存手法ではなかった。あまり複雑ではない路線に対して、路線を8方向に描くなどのいくつかの制約を混合整数計画問題として定式化し、望ましい路線図を自動

描画する既存手法を改良し、解き方を工夫することによって、東京の地下鉄路線図を作成することに、本研究では成功した。また、この手法では駅名のラベルも同時に配置可能になっている。この研究の成果はいくつかの研究会で口頭公表やポスター発表を行った。また、改良すべき点があり、それを解決するための手がかりも得ているので、今後も改良を行うことによって、より見やすい路線図が作成可能であると考えられる。

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13件)

- (1) Yusuke Yokosuka and Keiko Imai: Polynomial Time Algorithms for Label Size Maximization on Rotating Maps, Special issue of Discrete and Computational Geometry, Graphs, and Games, Journal of Information Processing, 2017, 査読有
- (2) Yuya Higashikawa, Keiko Imai, Yusuke Matsumoto, Noriyoshi Sukegawa and Yusuke Yokosuka: Minimum Point-Overlap Labeling, Proceedings of 10th International Conference on Algorithms and Complexity, 2017, 査読有
- (3) 島海重喜, 稲川敬介: 東京オリンピック開催時の宿泊施設不足に対する改善策, オペレーションズ・リサーチ, Vol.62, 2017, 15-21, 査読無
- (4) Yusuke Yokosuka and Keiko Imai: Polynomial Time Algorithms for Label Size Maximization on Rotating Maps, Proceedings of the 25th Canadian Conference on Computational Geometry, pp.187-192, 2013, 査読有
- (5) 島海重喜, 高嶋隆太: 海上航路ネットワークとエネルギー資源の国際輸送におけるチョークポイント分析, GIS 理論と応用, Vol.21, 2013, pp.47-55, 査読有

[学会発表](計45件)

- (1) 関森あゆみ, 島海重喜: エネルギー資源の輸入計画の評価, 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会, 2017年3月16日, 沖縄県市町村自治会館(那覇市)
- (2) 恩田雅大, 森口昌樹, 今井桂子: 東京都における鉄道路線図の略地図生成とラベル配置問題, 都市のORワークショップ, 2016年12月11日, 南山大学(名古屋市).
- (3) Ayumi SEKIMORI, Shigeki TORIUMI and Ryuta TAKASHIMA: Evaluating risks of maritime transportation and countries

of import source for LNG, INFORMS Annual Meeting, 2016年11月15日, Nashville, TN, USA.

- (4) 横須賀祐介, 今井桂子: 回転する地図に対するラベルサイズ最大化について, 電子情報通信学会コンピュータシミュレーション研究会, 信学技報, Vol.116, No.262, COMP2016-30, pp.47-52, 2016年10月21日, 東北大学(仙台市).
- (5) 今井桂子:[フェロー記念講演] 幾何学の地理情報処理への応用, 電子情報通信学会コンピュータシミュレーション研究会, 信学技報, vol. 115, no. 510, COMP2015-39, p. 21, 2016年3月14日, 九州産業大学(福岡市).
- (6) 篠原 卓, 森口 昌樹, 今井桂子: バス路線図描画手法, 「都市の OR」ワークショップ, 2015年12月13日, 南山大学(名古屋).
- (7) 尾野航平, 森口昌樹, 今井桂子: ラベル配置における総交差数最小化問題, 地理情報システム学会第23回研究発表大会, 講演論文集 D-7-4, 2014年11月8日, 中部大学(春日井市).
- (8) 鳥海重喜: エネルギー資源の海上輸送における地政学的リスクと経済合理性, 日本オペレーションズ・リサーチ学会「公共的社会システムと OR」研究部会 第3回研究会, 2014年9月11日, 政策研究大学院大学(東京都).
- (9) 横須賀祐介, 今井桂子: 回転する地図上の正方形ラベルに対するラベルサイズ最大化, 電子情報通信学会コンピュータシミュレーション研究会, 信学技報, vol.113, no.371, COMP2013-59, pp.131-135, 2013年12月21日, 沖縄産業支援センター(那覇市).
- (10) 横須賀祐介, 今井桂子: 回転する地図に対するラベルサイズ最大化, 電子情報通信学会コンピュータシミュレーション研究会, 信学技報, vol. 113, no.50, COMP2013-18, pp.157-162, 2013年5月18日, 小樽商科大学(小樽市).

〔図書〕(計2件)

- (1) ギルバート・ストラング著, 世界標準 MIT 教科書 ストラング: 計算理工学, 日本応用数理学会監訳, 今井桂子, 岡元久 監訳幹事, 山本有作, 三井斌友, 土屋卓也, 芦野隆一, 緒方秀教, 降旗大介, 速水謙, 山下真, 近代科学社, 2017年1月.
- (2) 今井桂子: ポロノイ図とドロネー図, pp.542-543. 日本応用数理学会監修, 薩摩順吉, 大石進一, 杉原正顕編集, 応用数理ハンドブック, 朝倉書店, 2013年10月.

〔その他〕

アウトリーチ活動情報

ソサイエティ人図鑑, No.7 COMP 研究会, 情報・システムソサイエティ誌 第19巻第1

号, 通巻74号, pp4-7.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今井 桂子 (IMAI Keiko)
中央大学・理工学部・教授
研究者番号: 70203289

(2) 研究分担者

鳥海 重喜 (TORIUMI Sigeki)
中央大学・理工学部・准教授
研究者番号: 60455441

(3) 連携研究者

今井 浩 (IMAI Hiroshi)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授
研究者番号: 80183010