

令和 3 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：2016～2020

課題番号：16K00024

研究課題名(和文) 動的環境における計算幾何学と計算位相幾何アルゴリズムに関する研究

研究課題名(英文) Research on dynamic geometric problems and computational topological algorithms

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、計算幾何学や計算位相幾何学の分野におけるアルゴリズムやデータ構造に関する研究を行ってきた。地理情報システムにおいては非常に多くの幾何情報を扱わなければならない、また、地図の拡大縮小に伴い実時間での解法が求められる。さらに、対象物が移動するという動的環境で問題を解くことが多い。したがって、本研究で扱う動的環境における幾何的問題として、地理情報システムに現れる問題を取り上げ、それらを最適化問題として定式化し、解法を提案した。計算位相幾何学の分野においては、物体の位相構造を扱う問題としてReebグラフや3次元錯視立体に関する研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では大量の幾何情報を効率よく扱うためのアルゴリズムやデータ構造を研究する分野である計算幾何学と、物体の構造を表現する位相構造をコンピュータで扱う分野である計算位相幾何学における問題を研究してきた。特に、地理情報システムにおいてはモバイル端末で地図を扱うことが一般的となり、動的なデータ処理を効率的に行わなければならない場面が多くなっている。3次元物体はデータ量が多く、構造を抽出してデータを削減する必要もある。理論的な問題の定式化手法や解法を提案しているという点、現実的な問題を解決することを念頭に幾何学的データを処理する問題の解法を与えていることから、学術的意義、社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have been investigated algorithms and data structures in Computational Geometry and Computational Topology. In the geographic information systems, a large amount of geometric data has to be handled, and there are many problems that must be solved in real time as the map is zoomed in and out and we also considered problems in a dynamic environment where the object is moving. We formulated some of these problems as optimization problems and proposed solution methods. Mainly, in this project, we considered label placement problems, in particular, we proposed polynomial time algorithms for label size maximization on rotating maps and approximation algorithms for minimum point-overlap labeling. We gave solutions in automatic drawing problems for metro maps. Also we studied Reeb graphs of geometric objects and optical illusion 3D solids. The results of our research were presented at international conferences and research meetings, and published in academic journals.

研究分野：数理工学

キーワード：計算幾何学 計算位相幾何学 動的ラベル配置 路線図自動生成 錯視立体

1. 研究開始当初の背景

大量の幾何学的図形を扱うためのアルゴリズムやデータ構造は、回路設計、コンピュータグラフィックス、地理情報システムなどの分野において、古くから各分野で研究が行われてきた。1970年代後半、それらを統一的に扱い、基盤となるアルゴリズムやデータ構造を開発し、計算量の理論を用いてアルゴリズムの解析を行い、その有効性を明らかにする計算幾何学という分野が生まれた。

動的環境の例として第一にあげられるのは、地理情報システム(GIS)である。これは、道路や河川、建物といった幾何情報から構成される地図の上に関連する多くのデータが付随しているもので、ICT社会基盤となっている。日本でもe-Japan戦略の国家的課題として取り組まれてきた。モバイル端末の急速な普及により、スマートフォンに表示される地図のように、大量の幾何情報を日常的に扱う場面が増えていった。そこでは、対象物が動いている状況や、端末上の地図の拡大縮小やスクロールなどに対応して幾何情報を更新する必要に迫られる。動的環境下の研究は始められているが、モバイル環境などの発達の高さに追いついていない部分も多くあり、対応はまだ十分であるとは言えない。最近では3次元地図も考えられており、3次元内の幾何データへの対応が必要となる。

3次元内にある物体表現には、多くの場合メッシュが使われる。メッシュは、位相幾何学における概念の一つである単体分割を基本とし、有限要素法やCAD、コンピュータグラフィックスなど様々な応用分野で利用されている重要な概念である。計算幾何学においても、その理論的性質や構成方法が研究されてきた。また、近年、位相幾何学における様々な概念をコンピュータによって、具体的に与えられたメッシュ上で計算する、計算位相幾何学という研究分野が盛んになってきた。位相幾何においては連続変形で不変なものは同値とみなすが、これは対象物が動いている環境とも考えられる。計算位相幾何学では、いくつかの理論的な研究は進んでいるが、まだ不十分な点も多い。また、誤差や欠損のある実データに耐えうる解法にはなっていなかった。

2. 研究の目的

幾何情報処理のアルゴリズムやデータ構造を研究する計算幾何学の分野においても、近年、動的環境やビッグデータに対応するための研究を行う必要に迫られている。また、web上に存在する大量の幾何データを効率的に扱うには、位相幾何学的手法が必要になってきている。そこで、既存の幾何アルゴリズムを動的環境や膨大なデータ数に対応できるように再構築し、幾何情報処理のための位相幾何アルゴリズム整備を目的としてきた。さらに、アルゴリズム構築の効率化のため、また、開発した幾何アルゴリズムを実用的に広く利用してもらうためには、アルゴリズムの動作や実行結果の可視化が必要であることから、可視化の手法の研究もあわせて行ってきた。そこで、本研究課題では、次のようなテーマに絞って研究を行った。

- (1) 動的環境における問題に対する計算幾何学的アプローチ
- (2) 位相幾何学の各種不変量の計算手法の開発
- (3) アルゴリズムの動作と結果の可視化

3. 研究の方法

これまで、研究代表者はモバイル環境や対象物が動く状況におけるGISデータに対する、多くの効率的なアルゴリズムを開発してきた。(1)においては、これまでの成果と知見を基に、研究代表者がアルゴリズムの動的環境やデータ数に関する検証を行うことにした。それらの問題点を理論的、実験的に改良し、計算幾何学以外のアルゴリズム理論の知見も駆使して、動的環境や実データに耐えうる手法に改善してきた。

(2)に関しては、計算位相幾何学における理論がどこまで数学的概念を計算できているかを整理し、それらのアルゴリズムがどのようなデータに有効であるかを計算量の観点からの評価を行ってきた。また、実データに対する有効性も検証した。

(1)、(2)の研究の過程におけるアルゴリズムの動作や実行結果の可視化は、アルゴリズムの正当性の確認や性能の評価のために重要な要素であるので、(1)や(2)の研究と並行して、可視化に関する研究も行ってきた。また、全体を通して、幾何情報に対する解法を開発し、アルゴリズムを実装、その結果を可視化して評価を行うということを繰り返し、改良するという研究方法を取ってきた。

データ収集やアルゴリズムの実現などは、大学院生、特に博士後期課程に在籍していた社会人大学院生や、理工学部共同研究員として長年一緒に研究を行ってきた研究協力者、さらには研究代表者の学科に助教として勤務していた研究者と共に研究を遂行した。

4. 研究成果

本研究で扱った3つのテーマについて成果を示していく。(3)の可視化については、(1)と(2)の研究の成果を可視化することで研究を進めたことから、研究成果としては主に(1)と(2)について説明をすることにする。

まず、(1)動的環境における問題に対する計算幾何学的アプローチに関しては、多くの幾何的データを扱わなければならない、かつ動的環境で解かなければならない問題が地理情報システムに多く現れることから、このような問題の例として、ラベル配置問題と非常に複雑な構造をしている東京の地下鉄の路線図を駅名も含め自動描画する問題を主に扱ってきた。

モバイル端末が普及し、それにデジタル地図を表示し、拡大縮小や回転をすることが出来るようになった。そのような場合に、地図が変化するのに合わせて、注記と呼ばれるラベルを読みやすい位置に自動的に配置することが求められる。静的な問題に対する研究成果はかなり多くあり、研究代表者も多くの成果を出してきている。本研究ではそれを動的な場合に拡張した研究を続け、その成果をまとめてきた。ラベル配置に対する最適化問題の多くは、NP 困難と呼ばれる多項式時間で解を求めることが難しいとされている問題に分類される。地図上にラベルを配置したい点と、ラベル内にその点に一致させる点を定め、これらの対の集合を考える。また、各ラベルの大きさが定められているとする。地図を回転しても、地図上の点と対応するラベル内の点を一致させ、地図が回転している間、ラベルは常に水平になるようにおくことにする。地図を回転しても、すべてのラベルが他のラベルに重ならないようなラベルの大きさを求めたい。ラベルは最初に大きさが与えられているので、同じ拡大率で拡大し、最大の拡大率をもとめるという問題を考える。地図上の点と一致させるラベル内の点をどこに置くかによって場合分けが必要となるが、1つの場合を除き、多項式時間で最大になる拡大率を計算することが可能であることを示すことができた。また、除外された問題に対しても、近似アルゴリズムを提案し、学術論文として公表した。

ラベル配置問題に対しては、次のような問題も研究対象としてきた。航空管制官が監視している画面上には、飛行場に離着陸する多くの航空機の情報ラベルとして引き出し線を用いて表示されている。これらのラベルは、重なって表示されており、航空管制官は知りたい情報のラベルを手作業で読める位置に動かさなければならない。この作業を行いたくするための初期配置を考えなければならない。ラベルの重なりを許したラベル配置問題はこれまで研究されてきたが、既存研究における、重ならないラベルの数を最大にするという定式化では、航空管制官の手作業を軽減することはできないことが分かった。そこで、1点に重なるラベルの数を最小化するようにラベルを配置するという最適化問題を定式化し、この問題を解く近似アルゴリズムを開発し、学術論文として公表した。

路線図を自動描画する問題は、グラフの自動描画の分野として研究されてきた。一般のグラフを描画する場合には点の位置は自由に配置できる。しかし、路線図の場合には駅の位置が決まっており、駅の位置関係が大きく変わらないことが要求されるので、駅を表す点の位置には制約がある。また、路線図の描画の場合には駅名のラベルも同時に配置する必要があるということである。世界の主要都市の路線図を対象として自動描画の研究が行われてきた。しかし、東京の路線図は非常に複雑なために有効な手法がなかなか開発されていなかった。そのため、東京の路線図を対象に路線図と駅名を同時に自動描画する手法に関する研究を行ってきた。研究会や国際会議での発表を経て、学術論文誌に採録された。

(2)の位相幾何学の各種不変量の計算手法の開発に関しては、3次元物体の形状を表現するReebグラフの計算方法に関して研究を行い、研究会での発表や学術論文として公表をおこなった。また、2つの線画を入力として、異なる2方向から見ると与えられた線画となるようなワイヤーアートを構成し、使用したワイヤーが最小となるような最適化問題を定式化した。このようにして作成したデータを基に、3Dプリンターで作成したものが右に示した写真である。中央にある物体が、実際にワイヤーアートとして作成したもので、2つの方向の影が最初に入力した線画に一致している。このように画面上での可視化だけではなく、実際に作れることも確認した。



これらの研究の他にも、警備員巡視路問題と呼ばれる、障害物のある多角形内をくまなく見て回る最短経路を求める問題の解法についても研究を行った。監視する多角形領域の中に障害物がある場合には最短巡視路を求める問題はNP 困難であるが、領域が長方形の場合、障害物の形状と配置によっては多項式時間で解くことができることが分かり、そのアルゴリズムを示した。これらは、学会において発表を行っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 ONDA Masahiro, MORIGUCHI Masaki, IMAI Keiko	4. 巻 9
2. 論文標題 Automatic Drawing of Complex Metro Maps	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 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020DMP0019	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 Higashikawa Yuya, Imai Keiko, Shiraga Takeharu, Sukegawa Noriyoshi, Yokosuka Yusuke	4. 巻 36
2. 論文標題 Minimum point-overlap labelling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optimization Methods and Software	6. 最初と最後の頁 316 ~ 325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10556788.2020.1833880	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shahroz Khan, Erkan Gunpinar, Masaki Moriguchi, Hiromasa Suzuki	4. 巻 141(11)
2. 論文標題 Evolving a Psycho-Physical Distance Metric for Generative Design Exploration of Diverse Shapes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mechanical Design	6. 最初と最後の頁 111101-1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/1.4043678	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 該当する
1. 著者名 Sugihara Kokichi, Moriguchi Masaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Reflexively-Fused Cylinders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 275 ~ 275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym10070275	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 Yokosuka Yusuke, Imai Keiko	4. 巻 25
2. 論文標題 Polynomial Time Algorithms for Label Size Maximization on Rotating Maps	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 572 ~ 579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.25.572	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 Takashi Michikawa, Hiromasa Suzuki, Masaki Moriguchi, Naomichi Ogiwara, Osamu Kondo, and Yasushi Kobayashi	4. 巻 12(4)
2. 論文標題 Automatic extraction of endocranial surfaces from CT images of crania	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0168516	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 森口 昌樹
2. 発表標題 多義立体の形状モデリングと退化した入力
3. 学会等名 第3回 制度保証付き数値計算の実問題への応用研究集会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森口昌樹
2. 発表標題 多義立体と視体積交差法
3. 学会等名 第13回錯覚ワークショップ「錯覚現象のモデリングとその応用」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森口昌樹
2. 発表標題 視体積交差メッシュの接続性計算
3. 学会等名 日本応用数学会2018年度年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森口昌樹
2. 発表標題 離散曲面の骨格線とその計算
3. 学会等名 Interaction between Pure and Applied Mathematics 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森口昌樹
2. 発表標題 鏡映合成型の錯視立体
3. 学会等名 数理工学センター (MCME) セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Onda, Masaki Moriguchi and Keiko Imai
2. 発表標題 Automatic Drawing for Tokyo Metro Map
3. 学会等名 European Workshop on Computational Geometry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森口昌樹, 今井桂子, 杉原厚吉
2. 発表標題 融合型シャドウアートのモデリング
3. 学会等名 第12回錯覚ワークショップ「錯覚科学への諸アプローチとその応用」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ren Suzuki, Masaki Moriguchi and Keiko Imai
2. 発表標題 Generation and Optimization of Multi-ViewWire Art
3. 学会等名 Pachific Graphics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森口昌樹
2. 発表標題 空間埋め込みの幾何情報を用いた骨格線計算
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年研究部会連合発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森口昌樹
2. 発表標題 離散閉曲面に対する骨格線の計算
3. 学会等名 数学と現象
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masaki Moriguchi
2. 発表標題 Parallel computation of Reeb graphs on surface meshes
3. 学会等名 Topology-Based Methods in Visualization (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 廉, 森口 昌樹, 今井 桂子
2. 発表標題 多視点ワイヤーアートの生成と最適化
3. 学会等名 精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 廉, 森口 昌樹, 今井 桂子
2. 発表標題 多視点ワイヤーアートの連結性と最適化
3. 学会等名 日本応用数理学会2017年研究部会連合発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuya Higashikawa, Keiko Imai, Yusuke Matsumoto, Noriyoshi Sukegawa, and Yusuke Yookosuka
2. 発表標題 Minimum Point-Overlap Labeling
3. 学会等名 International Conference on Algorithms and Complexity (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 恩田雅大, 森口昌樹, 今井桂子
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本オペレーションズ・リサーチ学会 都市のORワークショップ
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鈴木 廉, 森口 昌樹, 今井 桂子
2. 発表標題 多視点ワイヤーアートの生成
3. 学会等名 日本応用数学会2016年度年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森口昌樹
2. 発表標題 三角形メッシュ上のReebグラフ計算の並列化
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2016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
研究 分担 者	森口 昌樹	中央大学・理工学部・准教授	
	(Moriguchi Masaki)		
	(10525893)	(32641)	

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