

## 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 24 年 5 月 30 日現在

機関番号： 32641

研究種目： 基盤研究（C）

研究期間： 2009 ～ 2011

課題番号： 21500021

研究課題名（和文） 地理情報システムにおけるデータ構造と最適化問題に関する研究

研究課題名（英文） Research on data structures and 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

研究成果の概要（和文）：地理情報システムにおいては、大量の GIS データを用いた最適化問題が非常に多く存在し、それらを実用的に解く解法が求められており、それには大規模なデータを効率的に扱うことのできるデータ構造と高速なアルゴリズムが必要となる。本研究では、集団下校の経路生成問題、施設配置問題などの最適化問題の解法や海上輸送分析の手法を研究し、そのためのデータ構造の構築を行い、実用的な成果を得た。また、最小極大流に関しては、最小極大マッチング問題を整数計画問題として定式化し、2 つの近似アルゴリズムを開発するなど理論的研究を行った。

研究成果の概要（英文）：In the Geographic Information Systems (GIS), there are a lot of optimization problems. In order to solve such problems, efficient data structures and algorithms that deal with a large amount of GIS data are strongly required. We developed data structures and algorithms for optimization problems in GIS, for example, a problem of deciding school-commuting routes for elementary school students, facility location problems in times of disaster, etc. We also analyzed marine transportation using a time-space network. Moreover, from a theoretical point of view, we proposed two approximation algorithms for a minimum maximal matching problem that have a strong relationship with minimum maximal flow problem in traffic flow.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目：情報学・情報学基礎

キーワード：アルゴリズム理論

## 1. 研究開始当初の背景

ネットワークにおける最適化問題や最適経路を求める問題、ネットワークや空間における施設配置問題は、研究の歴史も古く、多くの有用な結果が得られている。そこで得られた知見の有効性や有用性を検証するためには、実際の GIS データを用いて実験を行う必要がある。これまでは、国土地理院の数値地図などを用いて実験を行ってきたが、大規模や詳細なデータを必要とする研究を目的とした計算機実験を行う環境が整っていたとは言えない。「e-Japan 戦略」のなかで GIS が情報化社会の情報基盤と位置付けられ、国土地理院の電子国土の実現にむけた計画が進む中、数値地図やいくつかの企業から地図データが提供され、最近では、実際の大規模な GIS データで実験する環境が整ってきた。複数の地図データは作成母体ごとに仕様が異なり、研究のために重ね合わせた際に不整合が起こるなど問題点が多い。共通の土台となる基盤地図情報の整備が進行途中であり、研究用として利用するためには工夫が必要である。本研究グループは、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の補助によって、これまでに GIS データの取扱いに関する研究を行ってきたことから、実際の大規模 GIS データの利用が可能になってきていた。現実に現れる最適化問題を解くためには、従来のデータ構造に加え、GIS データ利用のための新しいデータ構造の開発が必要であることが、これまでの研究から分かってきていた。

また、従来のネットワーク理論における最大流問題は、流れを完全に制御できるとしたときの最善の性能を評価する手法であるが、実際の道路交通ネットワークでは流れを制御することは不可能であり、従来とは異なった理論の枠組みが必要とされる。これに対し、「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「制御不能流」の理論が伊理によって提案された。従来のネットワーク理論においては理論的な多くの成果があり、様々な性質がわかっているが、制御不能流の理論は枠組みが与えられたものの、もっとも

悪い状態になったときの流れの振舞いを表す最小極大流の性質はよく分かっていない。実際の道路交通ネットワークにおいては、このような制御できない流れに関する理論が必要であり、制御不能流における最小極大流の性質を解明することは、GIS において現れた特徴的なネットワークにおける最適化問題の研究は重要な問題といえる。

さらに、GIS 基盤の構築が進み、災害時の最適経路探索や安全な通学経路探索といった、複雑な GIS データを用いなければ解けない現実的な問題を解く基盤が出来つつあった。また、そのような複数の要素を持つ、現実的な最適化問題がオペレーションズ・リサーチの分野で考えられ、自治体などでも重要な問題として注目されてきている。したがって、このような問題を実際のデータを用いて実験し、その理論や解法の整備をしなければならない時期に来ている。

## 2. 研究の目的

本研究では、従来から研究が行われていたネットワークにおける最適化問題の新しい枠組みにおける理論の整備とその実際の地理情報処理 (GIS) におけるデータでの理論の検証、従来の最適化問題を GIS データに適用する際に現れる新しい問題の定式化とその解法に関する研究を行うことを目的とした。GIS 用特有のデータを管理するためのデータ構造をまず整備し、その上で実データを用いた最適化問題を解き、必要な理論の構築を行う。さらに、地理情報システムを扱う上で不可欠なものとして、近年提案された新しい枠組みでのネットワーク理論である制御不能流に関する理論に関する研究を行うことを目的としてきた。

特に、本研究では次の3つの点に焦点を当てて、研究を行うことにした。

- (1) 複数の異なる種類の GIS データを同時に扱うための効率的なデータ構造の構築。
- (2) 実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を解明。

### 3. 研究の方法

研究の目的で述べた 3 つの課題に対して、次のような方法により、研究を行ってきた。

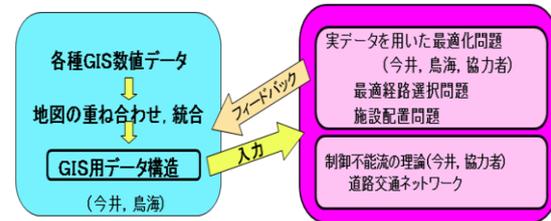
(1) 研究代表者は計算幾何学を専門としており、ここでは GIS に特有の基本的データ構造の研究もしてきた。そこで、計算幾何学の知見を基に、複雑な GIS データ用のデータ構造の構築を行った。また、研究分担者である鳥海重喜助教は、学位論文で GIS の位相構造を表現するデータ構造の研究を行っており、そこで得られた概念を拡張することにより、今回の目的のためのデータ構造の構築を行ってきた。また、GIS の国際標準化を目的として設置された ISO/TC211 に連携研究者である今井浩が参加しており、地図データの世界的取組に関する有用な情報を的確に得た。

(2) に関しては、最適化問題は数多く存在するので、まず、GIS における代表的な問題である、最適経路選択問題と施設配置問題を取り上げた。最適経路選択問題においては、博士課程前期課程学生（研究協力者；吉田）が、小学校の集団下校経路に関する研究を進めていたため、それを拡張し、より汎用な問題の解法を開発し、災害時などの最適経路の選択を行う方法の構築を目指した。施設配置問題に関しては、研究代表者や連携研究者が計算幾何学の分野でこれまでも研究を行ってきており、その知見を用いてきた。特に、施設のサービス領域を表す Voronoi 図に関する研究に長年携わっており、また、その拡張概念である中立地帯（どの母点の領域にも属さない領域）のある Voronoi 図に関する研究に取り掛かっており、それらを利用して、空間内の領域やネットワーク上の支配領域を構築する方法を確立し、複合した属性を持つ実データに対して施設配置のための解法を構築する試みを行った。

(3) に関しては、最小極大流を求めることが NP-困難であることがわかっており、研究代表者と企業に所属する研究協力者は APX-完全であることを示した。一般のネットワークでは理論の構築が難しいことが予想されるので、まず、2 端子ネットワークを対象と

して研究を始めた。

(1) と (2) は密接に関係しているため、並行して研究を行うことにした。



### 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。

3 つの課題のうち、(1) 複数の異なる種類の GIS データを同時に扱うための効率的なデータ構造の構築と (2) 実データを用いた最適化問題の解法の開発は密接に関係しているため、まず、(1) と (2) について、その研究成果を述べる。

#### ① 集団下校における経路生成問題

安全安心な社会の構築に地理情報システムを利用し、貢献するという立場から、本研究で扱ってきた最適化問題の 1 つに、小学校の集団下校において、一緒に帰る子供たちの集団である班とその下校経路を求めるといった問題がある。この問題に対しては、階層型の施設配置問題として定式化し、既存のネットワークに道路の安全度などを付加することによって現実的な解法を開発し、実データによって検証を行い、研究会発表や論文としてその成果を公表した。

#### ② 施設配置問題

昨年度の大規模災害を受けて、予想される現実問題の解法についても研究を行った。災害時における避難所の最適配置問題を江戸川区を例にとり、その解法を提案した。また、節電の方法として、実際の建物内のデータを用いて、必要な照度を確保できるような点灯すべき照明の選び方を求めた。

#### ③ ラベル配置問題

最近では、地図内で注記を配置したい対象物が動くという、動的なラベル配置問題に対する解法が求められている。例えば、航空管

制システムなどがその例である。このような問題に対して、これまでの計算幾何学で開発されたデータ構造を地理情報に組み込んだ形のデータ構造を構築し、実時間で動く対象物に対する解法を開発した。

また、ラベルを配置する対象物が多い場合は、引出し線を用いて領域外にラベルを配置する必要がある。この問題に対する、引出し線の条件に関する新しい最適化問題を定式化し、その解法を開発した。これに関しては、課題も多く、今後も研究を継続する予定である。

#### ④略地図生成

実際の数値地図から、略地図に必要な情報を抜き出し、道案内の略地図を生成する手法の開発を行った。また、出来上がった略地図を評価するために、実際の地図と略地図を重ね合わせる同定の方法を開発した。鉄道の路線図の自動描画手法についても研究を行ってきた。これらの成果は学会の研究会などで公表している。

#### ⑤海上輸送の分析

必ずしもGISで利用することを目的として蓄積されたデータではない船舶の動静データと、紙地図をもとにデジタル化した海上航路ネットワークを組み合わせ、地球規模の海上輸送をGIS上に再現し、海賊の発生地点やチョークポイント（物資輸送ルートとして広く使われている狭い海峡などの交通の要衝）に関する分析を行った。得られた成果は学会の研究会や国際会議で発表し、一部は論文として公表した。

#### ④最小極大流に関する性質の解明

3つめの課題として挙げていた、(3) 制御不能流の理論、特に最小極大流に関する性質を解明については、理論的研究を進めてきた。その結果、最小極大マッチング問題を整数計画問題として定式化し、多面体アプローチを用いて2つの近似アルゴリズムを開発した。また、整数計画問題として定式化したときの制約条件の係数行列の性質の解明を行い、この係数行列が完全ユニモジュラであるための必要十分条件を与えた。これらの結果は研究会、学会、国際会議で発表し、一部は論文として雑誌に掲載されている。本研究で得られた成果は、最小極大流の理論の研究の手掛かりと

なると思われるので、今後も継続して研究を続ける予定である。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

- ① Yusuke Matsumoto, Naoyuki Kamiyama and Keiko Imai  
An Approximation Algorithm Dependent on Edge-coloring Number for Minimum Maximal Matching Problem, Information Processing Letters, 査読有, Vol. 111, Issue 10, 2011, 465-468
- ② Shigeki TORIUMI and Daisuke WATANABE  
Time-space Network Analysis of Piracy Activity in Maritime Transportation, Asian Conference of Management Science & Applications, 査読有, Vol. 1, 2011, 432-435
- ③ 吉田祐太, 今井桂子  
安全性を考慮した集団下校経路の作成－階層型施設配置モデルの適用－, 査読有, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, 55巻, 8号, 2010, 453-458
- ④ Shigeki TORIUMI  
An Algorithm for Composing Principal Road Network from Digital Road Map by Using Topological Information, FORMA, 査読有, Vol.23, No.2, 2009, 97-107
- ⑤ Yusuke Yokosuka and Keiko Imai  
Guaranteed-quality anisotropic mesh generation for domains with courved boundaries, Computer-Aided Design, 査読有, Vol.41, No.5, 2009, 385-393

[学会発表] (計25件)

- ① 鳥海重喜, 高嶋隆太  
エネルギー資源の海上輸送におけるチョークポイント分析, 地理情報システム学会第20回研究発表大会, 2011年10月16日, 鹿児島大学
- ② 清家陽佑, 今井桂子  
移動する点に対するラベル配置問題, 地理情報システム学会 第20回研究発表大会, 2011年10月15日, 大会優秀発表賞, 鹿児島大学
- ③ Yusuke Matsumoto, Naoyuki Kamiyama and Keiko Imai  
A Simple Approximation Algorithm for Minimum Maximal Matching Problem, The 4th annual meeting of asian association

for algorithms and computation, 2011  
年4月16日, National Tsing Hua  
University

- ④ 相澤裕司, 今井桂子  
力学モデルを用いた引出し線ラベル配置  
の改良と応用, 情報処理学会研究報告, アル  
ゴリズム研究会 2010-AL-131(9), 1-4,  
2010年9月22日, 函館工業高等専門学校
- ⑤ 吉田祐太, 今井桂子  
階層型施設配置モデルを用いた集団下校  
経路の決定手法, 日本オペレーション  
ズ・リサーチ学会「都市のOR」ワークシ  
ョップアブストラクト集, p, 19, 2009年  
12月20日, 名古屋ガーデンパレス

## 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: 7 0 2 0 3 2 8 9

### (2) 研究分担者

鳥海 重喜 (TORIUMI SHIGEKI)  
中央大学・理工学部・助教  
研究者番号: 6 0 4 5 5 4 4 1

### (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: 8 0 1 8 3 0 1 0