

学位論文題目 Studies on Quickest Flow Problems in Dynamic Networks and Arborescence Problems in Directed Graphs - A Theoretical Approach to Evacuation Planning in Urban Areas (邦訳:動的ネットワーク上の最速フロー問題と有向グラフ上の有向木問題の研究—都市における避難計画に対する理論的アプローチ)

取得年月 2009年3月 **学位種別** 博士(工学) **大学** 京都大学

氏名 神山直之(中央大学理工学部情報工学科 助教)

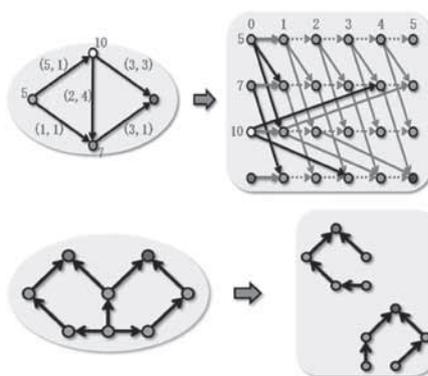
推薦研究会 アルゴリズム

推薦文 本論文の有向木詰め込みに関する最大最小定理は、Edmondsによる離散数学の重要な定理の一般化であり、基礎理論に新たな展開をもたらす結果として国際的評価も高い。同時に、定理が「災害時の避難計画」という現実問題の研究から導かれたことは、実用性の高さを窺わせ、他の現実問題への今後の応用も期待される。

近年多発する地震や津波などを背景に、これらの大規模災害に対する危機管理システムの構築の必要性が声高に叫ばれている。しかし、これまでこのような危機管理システムの構築は、長年の経験や勘に頼るところが大きかった。本論文は、そのような危機管理システム構築のための理論的基礎研究を、離散最適化の枠組みで行うことを目的としている。本論文は大きく分けて2つの問題を扱っている。1つは、最適な避難計画を求める動的ネットワーク上の最速フロー問題であり、もう1つは都市の道路ネットワークの頑健性の計算や避難経路の作成をモデル化している有向グラフ上の有向木問題である。

動的ネットワークとは、基礎となる有向グラフの各辺に移動時間と容量、そして各点にはサプライが与えられたネットワークである。このとき、最速フロー問題の目的はすべてのサプライを目的地であるソースまで可能な限り短い時間で流すことである。この問題に対しては、2000年にHoppeとTardosによって多項式時間アルゴリズムが与えられているが、このアルゴリズムは繰り返し劣モジュラ関数最小化問題を解く必要があり実用的であるとは言えない。よって実用的なネットワークの構造に対して高速かつ簡便なアルゴリズムを開発する必要がある。この問題に対して本論文では京都のような碁盤の目状のネットワークを一般化したネットワークに対して高速なアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムは時間拡大ネットワークという、元のネットワークを時間ごとに拡大したものをを用いている。この時間拡大ネットワーク自体は古くから知られているものであるが、多項式時間アルゴリズムの開発には使えないと考えられていた、しかし、本論文では時間拡大ネットワークを縮小するというアイデアを導入し効率的なアルゴリズムの開発に成功した。さらに工学的な立場からは、フローをただ早く流すだけではなく、交差点における混雑や使用するパスの種類などを考慮する必要がある。本論文ではこのような問題を扱うことのできる数理モデルを作成し、計算複雑性や多項式時間で解けるクラス等を明らかにしている。

もう1つの有向グラフ上の有向木問題は、応用性が高いうえ



さらに、理論的にもグラフ理論・離散最適化の分野では非常に古典的かつ重要な問題の1つである。具体的には、入力として有向グラフが与えられ、ある1つの点が根として指定

されたとき、可能な限り辺素な有向木を詰め込む問題である。有向木とは閉路を持たない部分グラフであり、すべての辺が根から遠ざかる方向に向き付けられているものである。この問題に対しては1973年にJack Edmondsによって詰め込むことのできる全域的な有向木の数と根を含むカットの大きさに関する最大最小定理が証明された。この定理はFordとFulkersonによって与えられた最大流最小カット定理と並ぶ、離散最適化の分野においては非常に重要な定理である。この定理が証明された後、有向木の詰め込みに関しては活発に研究されさまざまな結果が得られてきたが、この定理自体の真の拡張は与えられておらず、真に拡張することは難しいのではと予想されていた。しかし本論文ではこの予想に反し、このEdmondsの定理に対して根が単数であった条件を複数に、有向木が全域的であった条件を根からの到達可能性にと拡張することに成功した。この成果は有向木の研究に非常にインパクトを与え、Fujishigeによるグラフ上の凸性といった新たな概念などが生まれる新しいきっかけとなった。また、この有向木の詰め込みに関係する問題である独立有向木問題などに対しても、これまでの結果の拡張などを導くことに成功した。

(平成22年3月31日受付)