

|             |                                                                       |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 氏 名         | すぎ はら けん や<br>杉 原 堅 也                                                 |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (情 報 学)                                                           |
| 学 位 記 番 号   | 情 博 第 314 号                                                           |
| 学位授与の日付     | 平 成 20 年 3 月 24 日                                                     |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                               |
| 研究科・専攻      | 情 報 学 研 究 科 通 信 情 報 シ ス テ ム 専 攻                                       |
| 学 位 論 文 題 目 | Studies on Maximum-Cover Source Location Problems<br>(最大被覆供給点配置問題の研究) |

|        |                      |           |             |
|--------|----------------------|-----------|-------------|
| 論文調査委員 | (主 査)<br>教 授 岩 間 一 雄 | 教 授 永 持 仁 | 准教授 伊 藤 大 雄 |
|--------|----------------------|-----------|-------------|

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、グラフ理論分野における最適化問題である供給点配置問題を発展させ、新たに最大被覆供給点配置問題とその多品種版である多品種供給点配置問題とを提案している。前者に対しては、アルゴリズムの導出や計算複雑さに関していくつかの結果を与え、後者に関しては、ゲーム理論的観点から、プレイヤーによる利己的な振る舞いについて解析している。本論文は6章から構成されている。

第1章、第2章では研究の背景及び結果の概要、グラフ理論や計算量理論などの基本的概念について述べられている。供給点配置問題に関する既存の研究を紹介し、最大被覆供給点配置問題と多品種供給点配置問題を提案した動機やそれらを研究する意義について応用も絡めて議論されている。また、後の章で示される結果の概要がわかりやすくまとめられている。さらに、本論文を理解するのに必要な知識について簡潔に述べられているとともに、特に重要となる枝連結度に関しては詳しく解説されている。

第3章では、最大被覆供給点配置問題に対する多項式時間アルゴリズムの導出について議論されており、4つの異なる場合について多項式時間アルゴリズムが与えられている。特に、目標となる枝連結度が2の場合は、連結グラフの2-枝連結成分分解が木構造を持つことを利用し、木からある与えられた個数以下の葉をもつ重み最大の部分木を見つける問題に帰着している。この問題が既存の最長路問題を解くアルゴリズムを拡張することによって解けることを証明し、また計算時間を線形時間とできることを示している。また、このアルゴリズムから非連結グラフに対するアルゴリズムを導いている。この手法は一般の場合に適用可能である。また、目標連結度が3の場合、入力が $(k-1)$ -枝連結グラフの場合、入力が木の場合の各々について多項式時間アルゴリズムを設計している。

第4章では最大被覆供給点配置問題の計算複雑さについて議論されている。まず本問題がNP困難であることを、高々次数3の最大頂点被覆問題を還元することによって示し、さらに、本問題のその他のバージョンにおけるNP困難性や、 $P=NP$ でない場合に定数近似困難となることを証明している。

第5章では複数のプレイヤーが存在する多品種供給点配置問題について議論している。個々のプレイヤーが自分の利益しか考えず利己的に振舞った場合と協力した場合との総利得の比である貪欲さの代償という評価値を解析している。まず一般の問題について厳密な値を与え、さらに、入力グラフを木にするなどの制限を加えた問題についても厳密な値を与えている。一般に、問題を限定するほど貪欲さの代償は小さくなるが、この場合においては強い制限を与えているのにもかかわらず高々1しか小さくならないことを示している。

第6章では本論文の結果がまとめられ、今後の課題が与えられている。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文で提案されている最大被覆供給点配置問題は、既存の供給点配置問題の自然な拡張であり、応用も広く、本問題を

研究することは重要であると考えられる。本論文では4つの場合に対して多項式時間アルゴリズムを導出しており、また、計算困難性についても様々な結果を与えており、本問題の計算複雑さについて、その大部分を解明していると言える。また、もう一つの提案した問題である多品種供給点配置問題では、ゲーム理論の見地からプレイヤーの行動について論じ、アルゴリズム的な考え方をを用いて利己的なプレイヤーが全体の利益に与える影響を解析している。利己的な振る舞いを新規参入業者の行動に注目してモデル化し解析したことは、最近盛んなこの種の研究に対して新たな指針を与えている。本論文の主要な成果は、以下の通りである。

- (1) 最大被覆供給点配置問題に対し、目標枝連結度が2及び3の場合、入力が $(k-1)$ -枝連結グラフ及び木の場合について多項式時間アルゴリズムを導出した。
- (2) 最大被覆供給点配置問題に対しNP困難性を示した。また、配置コストを与えた場合や有向グラフの場合についての近似困難性を示した。
- (3) 多品種供給点配置問題をゲームとして解析し、プレイヤーが利己的に振る舞う場合と協力した場合の総利得の比について、厳密な値を与えた。

(1) は最大被覆供給点配置問題の4つの場合に対して効率的なアルゴリズムを与えている。これらには、重み最大の部分木を発見する問題を利用したり、解析によって計算時間を少なくしたりなど興味深い手法を含んでおり、本問題の研究以外にも有用となるアイデアを提案している。(2) は本問題と従来の供給点配置問題との間に大きな計算複雑さのギャップがあることを明らかにしている。すなわち、供給点配置問題では多項式時間可解な場合であっても、本問題ではNP困難や定数近似困難となることを示している。これら2つの問題は似ているが、同様の類似点を持つ問題は多くあり、(1) のアルゴリズムの議論と合わせてそれらの問題の解析に良い指針を与える結果である。(3) は、複数のプレイヤーが存在する多品種供給点配置問題について、プレイヤーの利己的な振る舞いを貪欲さの代償という尺度を用いて解析している。従来はプレイヤーのあらゆる利己的な振る舞いを解析対象としていたが、本論文ではある定義したモデルでの振る舞いに注目している。扱う問題によって利己的なプレイヤーの振る舞いがある種限定して解析することは自然な考え方であり、同種の研究に対して新たな方向性をもたらすものと考えられる。

以上、本研究は最大被覆供給点配置問題およびその周辺の問題に関するアルゴリズムの設計と計算量理論的解析、及びゲーム理論の考えを用いた利己的な振る舞いの解析に関して学術上意義深い成果をあげている。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成20年3月3日に施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。