

氏 名	やぎ 柳	うら 浦	むつ 睦	のり 憲
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)			
学位記番号	論 工 博 第 3416 号			
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日			
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当			
学位論文題目	Studies on Metaheuristic Algorithms for Combinatorial Optimization Problems (組合せ最適化問題に対するメタ戦略に関する研究)			

(主査)

論文調査委員	教 授 茨 木 俊 秀	教 授 岩 間 一 雄	教 授 加 藤 直 樹
--------	-------------	-------------	-------------

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、組合せ最適化問題に対し、精度の高い近似解を求めるために効果的とされているメタ戦略について、実用的に有用な設計指針を得ることを目指して行われた実験的研究、および理論的解析をまとめたもので、7章からなっている。

第1章は序論であり、組合せ最適化問題の計算の複雑さの理論の概略、とくにNP困難性について述べたのち、NP困難性の克服のためにメタ戦略が果たす役割など、研究の背景を述べ、本研究の目的、位置づけ、および研究成果の概要を述べている。

第2章では、メタ戦略に含まれる様々なアルゴリズムについて解説を行っている。代表的なメタ戦略である多スタート局所探索法、遺伝アルゴリズム、アニーリング法、タブー探索法などに加え、それらの変形である遺伝的局所探索法、GRASP法、反復局所探索法、アントシステムなど、様々なアルゴリズムについて、アルゴリズムの概略と歴史的背景を述べている。さらに、これらの理論的性質など、これまでに知られている成果を調査した結果をまとめている。

第3章では、遺伝アルゴリズムの内部に、組合せ最適化問題に対する代表的な厳密解法の1つである動的計画法を組合せて用いる手法を提案している。サイズの小さい問題例では、動的計画法や分枝限定法などの厳密解法が効果的に動作する事に着目し、探索のために候補として保持している2つ以上の解に共通する部分的な構造を固定した上で、残りの部分を動的計画法を用いて厳密に最適化するという操作を、遺伝アルゴリズムの基本オペレータである交叉法として利用するのが基本となるアイデアである。この手法を、代表的な組合せ最適化問題である、1機械スケジューリング問題、1次元最適配置問題、巡回セールスマン問題の3つに適用し、他の様々な手法と比較検討した結果がまとめられている。

第4章では、遺伝アルゴリズムの基本的な内部オペレータである交叉法に着目し、それらの基本的な性質をアルゴリズムの性能の観点から検討している。すなわち、アルゴリズム内に組み込まれた交叉法と全体の性能との関係を、比較的多くの交叉法が提案されている順序付け問題を対象として検討をしている。交叉法の性能をはかるための基本的性質としては、性能に関係があると思われるものの中で、比較的容易に推定、または観測できるものが選ばれている。例えば、交叉により生成され得る解集合の大きさなどである。前半では、まず、準備として、順序付け問題に対してこれまでに提案されてきた様々な交叉法を調査した結果をまとめたのち、それらの基本的性質に対する考察を行っている。次に、後半では、それらの基本的ないくつかの性質と、実際にアルゴリズムに組込んだときの性能との関係を、実験によって比較検討した結果が述べられている。最後に、以上の結果に基づいて、効果的な交叉法を設計する際の指針がまとめられている。

第5章では、メタ戦略が組合せ最適化問題に対する近似解法として注目される理由の中に、「手軽さ」と「ロバスト性」があることに着目し、問題固有の性質をあまり利用しなくても十分高い性能が出せるようなメタ戦略の設計指針を提案する事を目標として実験を行った結果がまとめられている。代表的なメタ戦略のほかにも、それらから派生して提案された様々な変形型アルゴリズムも研究対象として考察している。メタ戦略は、通常、アルゴリズム内部に様々なパラメータを含むため、まず、アルゴリズムの性能がそのようなパラメータに対してロバストであるかどうかを、対象とするメタ戦略のそれぞ

れに対して評価している。次に、その結果に基づいて設計された様々なアルゴリズムに対する比較実験を行っている。これらの結果から、上記目的を達成するための指針を、アルゴリズムの開発に必要なマンパワーとの比較の下に、実用性の観点からまとめている。

第6章では、遺伝アルゴリズムの中でしばしば登場する、与えられた2つの順列に対し、それらを集合と見なすと一致するような区間対を列挙するという問題を取り上げ、効率的なアルゴリズムの提案と、確率的な解析などを行っている。まず、基本となるアルゴリズムを提案した後、その中で利用されている関数がモンジユ性を満たすなど、いくつかのよい性質を持っていることを示している。次に、そのような性質を利用して、基本アルゴリズムを高速化する方法をいくつか提案している。これらのうちの1つは、最悪時間が入力サイズに対して線形オーダーとなっていること、また他の一つはアルゴリズムとして簡単であり、さらに入力がランダムな場合の期待計算時間が、入出力サイズに対して線形オーダーになることなどを示している。さらに、提案された手法全てに対する計算実験による比較を行い、実用性の観点から検討を加えている。

第7章は結論であり、本論文で得られた諸結果を総括的にまとめている。

### 論文審査の結果の要旨

現実に現れる多くの組合せ最適化問題に対し、厳密な最適解を求めることがきわめて困難であることが計算の複雑さの理論により明らかにされている。メタ戦略は近似解法の一般的枠組みであり、そのような困難な問題に対する現実的解法として近年注目を浴びており、その性質を明らかにすることはきわめて重要な課題である。

本論文は、組合せ最適化問題に対して効果的なメタ戦略を実現するために必要な設計指針を得ることを目指して行われた実験的研究、および理論的解析をまとめたものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 遺伝アルゴリズムの内部に、厳密解法の一つである動的計画法を組合せた方法を提案し、代表的ないくつかの組合せ最適化問題に対する計算実験により、提案手法が有効であることを示した。
2. 遺伝アルゴリズムの内部オペレータである交叉法について、順序付け問題に対してこれまで提案されてきた諸方法を調査した結果をまとめ、それらの基本的ないくつかの性質と、実際にアルゴリズムに組込んだときの性能を、実験によって比較検討した結果に基づき、効果的な交叉法を設計する際の指針を示した。
3. メタ戦略の魅力の中で、とくに「手軽さ」と「ロバスト性」に着目し、問題固有の性質をあまり利用しなくても高い性能が出せるようなメタ戦略の設計指針を提案した。
4. 遺伝アルゴリズムの中でしばしば登場する、2つの順列に対し、それらを集合とみなすとき一致するような区間対を列挙するという問題を取り上げ、効率的なアルゴリズムを提案した。また、提案アルゴリズムに対する確率的な解析を行い、基本的な性質を明らかにすると共に、実用性の観点から比較を行った。

以上のように、本論文は困難な組合せ最適化問題を実用的に解くことを目的とするメタ戦略の有効性を示すとともに、メタ戦略に基づく効率的な解法を設計する際の指針を与えており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年1月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。