

京都大学	博士（都市社会工学）	氏名	奥 出 真 理 子
論文題目	道路の階層性を考慮した配車配送計画の最適化に関する研究		
（論文内容の要旨） 本論文は、交通状況を反映した精緻な配車配送計画を目指し、最適化演算時間を短縮する必要性から、道路の階層性を近似解の生成戦略に適用した高速な近似解法を考案し、その効果や実現性を検証した結果をまとめたものであり、6章からなっている。 第1章は序論であり、本研究の背景として地球温暖化やエネルギーなどの諸問題を取り上げて物流活動の課題を整理し、ITS(Intelligent Transport Systems)を活用して実際の交通状況を配車配送計画に反映することで、物流活動の諸問題が解決可能であること、その実現に伴う技術課題を明らかにした上で本研究の目的を述べている。 第2章では、配車配送計画および経路探索に関わる既往の研究をレビューし、本研究の目的とする時々刻々変化する交通状況に対応可能な、実現性のある高速計算手法の観点から既往の研究を整理し、本研究の位置づけを明らかにしている。まず、配車配送計画では、VICS (Vehicle Information and Communication Systems)やプローブカーから得られる実際の交通状況を計画に反映することによって、配送業務全体に関わる費用や環境面において効果のある計画が可能であることが既往の研究で明らかにされていることを確認している。短時間で最良解を得るための高速計算手法については、大規模問題を対象とした並列分散処理による様々な研究が進められているが、並列化にあたり、プロセス分割やメモリアクセスの競合や協調を如何に最適に制御すべきかといった実装上の問題が存在することを明らかにしている。さらに、並列化は、問題の大規模化に伴いシステム規模が大きくなり、システム導入や運用費負担が普及の阻害要因となる可能性があることを示唆している。次に、経路探索手法については、道路ネットワークを対象に大規模な経路問題を実時間で計算する既往の研究を調査し、その多くはカーナビのような個人向けの経路案内において、特定の2地点間（出発地と目的地）の最小費用経路問題を短時間で計算することを目的としたものであり、配車配送計画に必要な全顧客間経路を次の計画更新までに準備するには、更なる高速化手法が必要であることを明らかにしている。これらを踏まえ、配車配送計画においては、逐次処理の段階で計算時間の短い実用的な近似解計算手法、経路探索においては、多地点間経路が短時間で更新可能な高速経路探索手法が必要であることを論じている。 第3章では、配車配送計画に必要な全顧客間経路を生成する経路探索において、時々刻々と変化する交通状況に対応し、短時間で全顧客間経路を探索する高速な多地点間経路探索手法を提案し、その実用性を論じている。提案手法のベースとなるアルゴリズムは、カーナビで多く利用され、実績のあるダイクストラ法を用いている。提案手法は、一般的に顧客間経路が、顧客の分布する地域に集中するという配車配送計画問題の特徴を利用し、ダイクストラ法の計算過程で得られた経路情報を次の経路計算に順次再利用して経路探索エリアを狭めて顧客間経路を計算することを特徴としている。経路探索エリアを狭めることによって経路計算量が大幅に削減され、短時間で			

京都大学	博士（都市社会工学）	氏名	奥 出 真 理 子
全顧客間経路が出力可能となる．提案手法を用いて，都市近郊および郊外の道路密度が異なる3つの地域を対象に、顧客数が200～700の顧客間経路を計算し，全地域において従来の1／100以下の計算時間で全顧客間経路が得られることを確認し，実用性の高い手法であることを示している． 第4章では，階層道路交通ネットワークを配車配送計画の近似解生成戦略に適用し，短時間で良解を得る近似解法を提案し，その有効性と階層道路交通ネットワークの構成について論じている．階層道路交通ネットワークは，高頻度に利用される道路を上位レイヤ，低頻度に利用される道路を下位レイヤとする二階層で構成され，その基本概念は貨物自動車のプローブデータから得られた配送車両の動態に基づいており，高頻度に利用される道路は長距離移動，低頻度に利用される道路は近距離移動に利用される．提案手法は，タブーサーチを基本アルゴリズムとし，上位レイヤに分類された道路に接続する顧客同士を優先的に移動させて近似解候補を生成する戦略的な近似解探索を特徴としており，上位レイヤに分類された道路は，配送行動において高頻度に利用される重要な道路であるから，重要な道路の組み合わせの中に最適解に近い解が存在するという仮説に基づき考案された．配車配送計画のベンチマーク問題を用いて，リンク長に基づく仮想の階層道路交通ネットワークを構成し，提案手法による近似解探索を実行し，提案手法が有効となる階層道路交通ネットワークを分析した結果，デポと顧客を結ぶリンク（デポー顧客間リンク）が顧客間リンクよりも長いとき，デポー顧客間リンクで上位レイヤを構成すると，従来の非階層道路交通ネットワークのおおよそ1／2の計算量で既存の最良解に到達することを確認している．一方，デポー顧客間リンクが顧客間リンクとリンク長で分類できないネットワークにおいては，提案手法を適用しても効果が期待できないことを示している． 第5章では，実際の道路ネットワーク上に設定した配車配送計画問題に提案手法を適用し，その有効性と階層道路交通ネットワークの構成について論じている．実問題の最適解は不明なため，初期解と比較したコストの改善率を用いて解精度の改善スピードを評価している．第3章と同様の道路密度が異なる3地域において提案手法を評価し，一般国道以上の道路を上位レイヤとしたとき，非階層道路交通ネットワークよりも少ない計算時間（最大1／20）で改善率10％程度の近似解が得られることを示している．道路種別に基づく階層化で効果が得られない地域では，さらに，デポと顧客を結ぶ経路（デポー顧客間経路）を上位レイヤに含めると近似解の改善が期待できることを確認した．ただし，その条件として，デポー顧客間経路のコストが顧客間経路のコストよりも高い地域である必要があり，顧客間経路がデポー顧客間経路と同等のコストとなる郊外エリアでは，デポー顧客間経路を上位レイヤに含めると，解精度の改善が鈍化する点を示唆している． 第6章は結論であり，本論文で得られた成果について要約している．			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、交通状況を反映した精緻な配車配送計画を目指し、最適化演算時間を短縮する必要性から、道路の階層性を近似解の生成戦略に適用した高速な近似解法を考案し、その効果や実現性を検証した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 時々刻々変化する交通状況に対応可能な、実現性のある高速計算手法の観点から既往の研究を整理し、配車配送計画においては、逐次処理の段階で計算時間の短い実用的な近似解計算手法が必要であることを示した。さらに、交通状況の変動に応じた全配送地点間の経路情報を得るには、高速な多地点間経路探索手法が必要であることを示し、本研究の位置づけを明らかにした。

2. 多地点間経路探索について、一般的に顧客間経路が、顧客の分布する地域に集中するという配車配送問題の特徴を利用し、ダイクストラ法の計算過程で得られた経路情報を次の経路計算に順次再利用して経路探索エリアを狭めて全顧客間経路を短時間で計算する多地点間経路探索手法を提案した。都市近郊および郊外の道路密度が異なる3つの地域を対象に提案手法による経路探索を評価し、全地域において従来の1/100以下の計算時間で全顧客間経路が得られることを示し、その有効性を確認した。

3. 配車配送計画の近似解計算手法について、貨物自動車の動態から得られた道路の使用頻度に基づき階層化した階層道路交通ネットワークを、タブーサーチを用いた配車配送計画の近似解生成戦略に適用した高速な近似解法を提案した。配車配送計画のベンチマーク問題を用い、リンク長に基づく仮想の階層道路交通ネットワークを構成して提案手法を評価し、階層道路交通ネットワークの構成に依存して計算時間の短縮効果が得られることを示した。

4. 実際の道路ネットワーク上の配車配送計画問題に、階層道路交通ネットワークを利用したタブーサーチに基づく提案手法を適用し、実際の道路においても階層道路交通ネットワークの構成に依存して計算時間の短縮効果が得られることを確認した。また階層道路交通ネットワークを構成する際は、地域性を考慮する必要があることを示唆した。

以上の内容より、本論文は、配車配送計画において、動的に変化する交通状況の反映や、配送車両の動態に基づく道路ネットワーク構成を利用した新たなアプローチによって、より精緻な計画の実現可能性を示しており、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25年2月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。