

氏 名	あ ん だ 直 紀
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2702 号
学位授与の日付	平 成 18 年 9 月 25 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	工 学 研 究 科 都 市 社 会 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	旅行時間の不確実性を考慮した確率論的配車配送計画に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 谷 口 栄 一 教 授 北 村 隆 一 教 授 小 林 潔 司

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、都市内貨物配送において利便性を損なうことなくコスト削減と環境負荷低減を実現するため、配車配送計画問題において旅行時間の不確実性を考慮する定式化及び動的な旅行時間情報の取り扱いに関する拡張を行い、その効果を、仮想道路ネットワークを用いた数値解析及び都市内配送実験により検証することを目標に研究した成果についてまとめたものであり、8章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景として都市内配送に関わる現状と課題についてまとめ、課題を考慮した上で本研究の目的及び本論文の構成について述べている。

第2章においては、配車配送計画問題において旅行時間の不確実性を考慮するため、確率論的配車配送計画を定式化し、ヒューリスティクス手法を用いた解法についてまとめている。確率論的配車配送計画では、使用トラックの固定コスト・運行コストおよび顧客の到着時間帯指定に対する遅刻・早着に関するペナルティの総和を目的関数とし、その値を最小化するような、使用トラック、トラック毎の出発時刻・顧客訪問順序および走行経路を与えるものとして定式化している。

配車配送計画問題はNP困難な問題の組合せ最適化問題として知られており、大規模な問題について厳密解を求めることは非常に困難である。そこで、近似解を求めるヒューリスティクス手法として、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて顧客訪問順序と出発時刻とを同時に求める手法について説明している。またベンチマーク問題を用いた精度検証では、以降に検討する問題と同等規模のベンチマーク問題に対し、最適解が得られることを確認している。

第3章においては、確率論的配車配送計画に適用する都市内の道路交通情報について、検討している。ITSにおけるVICSの位置づけと、VICSデータを検証するためのプローブシステムの開発を行い、また、VICS情報とプローブシステムにより得られる旅行時間情報を用いて、都市内道路ネットワークの旅行時間分布の推定手法について提案している。

第4章においては、仮想ネットワークを用いて確率論的配車配送計画を行う際に用いる旅行時間情報の精度について、検証を行っている。ブロック密度法を用いた交通流シミュレーションにより、実際の都市内の旅行時間変動と同様のリンク旅行時間の変動を作成し、得られた旅行時間情報を加工して得られた異なる更新頻度の旅行時間情報を確率論的配車配送計画・確定論的配車配送計画に用いる場合の影響を考察している。その結果、確率論的配車配送計画を用いることによってコスト削減が可能であると同時にコスト変動の分散も減少させることが可能となり、安定した配送が実現可能となることを明らかにしている。

また確率論的配車配送計画では目的関数における遅刻・早着ペナルティの算出において、旅行時間分布を用いて遅刻・早着ペナルティの期待値を求め、これを最小化する組合せを求めることが特徴であるが、旅行時間分布を用いることにより遅刻・早着を極力避ける解が求まるメカニズムについて考察している。

第5章においては、もう一つの配車配送計画の拡張である動的配車配送計画について、モデルの構築を行い、仮想ネットワークにおいて、その効果を検証している。動的配車配送計画ではリアルタイム情報を用いて配車配送計画を解き直すこと

を特徴としている。このような特徴を考慮し、突発事象発生時における有効性を考慮するため、仮想ネットワークにおいて、突発事象を再現し、その際の効果について、確定論的配車配送計画との比較を行っている。その結果、突発事象発生時のみならず、通常時においても動的配車配送計画はコスト削減効果を発揮することを確認している。また、現状では動的配車配送計画を実際の配送に適用するためには、計算時間の短縮などの課題が残されていることを指摘している。

第6章においては、阪神地区および大阪南部地区において、確率論的配車配送計画にプローブデータ及びVICSデータを適用し、実際の都市内配送を効率化する効果を検討している。ケーススタディでは、旅行時間分布を用いて実際の配送と最適解の期待値を求め、コストおよび環境負荷に関して比較を行っている。その結果、最適解は実際の配送よりいずれのケースにおいてもコスト・環境負荷の両面において効率化することが可能である事を示している。そこで、大阪南部地区を対象に、仮想の配送を行う実証実験を行い、具体的に効果を計測した。その結果、通常の配送に比べ確率論的配車配送計画の総コストは平均値が約4%、標準偏差が約75%削減し、安定した配送を実現可能であることを実証した。環境負荷に関して、確率論的配車配送計画を行うことによって通常の配送経路と比較して、総走行時間が6.8%、CO₂排出量が7.6%、NO_x排出量が6.9%、PM排出量が8.0%、それぞれ削減可能であることがわかった。このように確率論的配車配送計画を用いることによって配送コスト削減のみならず渋滞緩和および環境負荷低減に効果があることを明らかにしている。

第7章においては、確率論的配車配送計画において、経路選択に学習を用いる拡張を提案している。経路選択手法として、強化学習を経路選択に適用したアンツルーティングを用いたモデルについて検討を行っている。

経路選択にアンツルーティングを用いる確率論的配車配送計画を都市内配送に適用する効果を、大阪中央部における実証実験により確認している。実証実験の結果、コストを比較したところ、平均・標準偏差ともにアンツルーティングを用いる確率論的配車配送計画が最も安価で安定した配送を実現可能であることを確認している。環境負荷に関しては経路選択にアンツルーティングを用いた確率論的配車配送計画は、所要時間の平均値を用いる最短経路探索を行う確率論的配車配送計画と比べて同等程度であることを確認している。

第8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、ITS（高度道路交通システム）により得られる旅行時間情報を用いて都市内配送を効率化するため、配車配送計画問題に対し旅行時間の不確実性を考慮するための定式化及び動的な旅行時間情報の取り扱いを行うための拡張を行い、その効果について、仮想道路ネットワークを用いた数値解析及び都市内配送実験により検証することを目標に研究した成果について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) 配車配送計画問題において、旅行時間の不確実性を考慮した確率論的配車配送計画の定式化を行い、遺伝的アルゴリズムを用いた近似解法を構築した。このモデルを仮想道路ネットワークに適用した数値解析により、配送コスト・環境負荷の削減効果があることを示し、そのメカニズムについて考察を行った。またリアルタイム旅行時間情報を用いる動的配車配送計画についても定式化を行い、仮想道路ネットワークを用いた数値解析により配送コストおよび環境負荷（CO₂・NO_x・SPM）の削減効果があることを確認した。

(2) ITSにより得られる旅行時間情報を解析し、得られる旅行時間分布の多くが正規分布と見なせる特徴を持つことを示した。VICS（高度交通情報システム）およびプローブ情報を比較し、情報の精度・頻度が異なる旅行時間分布を同時に使用する確率論的配車配送計画を仮想道路ネットワークにおいて考察し、その妥当性を確認した。またプローブ情報を用いた旅行時間分布の推定手法として、簡便で非対称分布にも対応可能な三角形分布を用いる手法を提案した。

(3) 提案した手法により推定した旅行時間分布を用いて、実際の都市内配送および確率論的配車配送計画により得られる最適解を比較し、配送コストおよび環境負荷の削減効果について期待値を求め、最適解の効果を明らかにした。また確率論的配車配送計画により得られた最適解について、実際の都市内における配送実験により配送コストおよび環境負荷の削減効果があることを検証した。

(4) 従来の配車配送計画において用いられてきた最短経路探索手法に代わり、経路学習（アンツルーティング）を用いた配車配送計画を提案し、仮想道路ネットワークを用いた数値解析および都市内配送実験により配送コストおよび環境負荷の

削減効果があることを示した。

以上の内容より，本論文は，都市内配送において確率論的配車配送計画・動的配車配送計画といった高度な配車配送計画を用いることによって都市内配送コストの削減が可能であること，また効率性の向上と同時に環境への負荷の低減も可能であることを示しており，学術上・実用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18年8月1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。