

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008 ~ 2010

課題番号：20360229

研究課題名(和文) 安全安心かつ快適な都市を支える信頼性の高い都市物流システムに関する研究

研究課題名(英文) Reliable Urban freight transport systems for supporting safe, secured and comfortable cities

研究代表者

谷口 栄一 (TANIGUCHI EIICHI)

京都大学大学院工学研究科・教授

研究者番号：70252468

研究成果の概要(和文):

本研究においては、都市物流システムについて、所要時間変動を考慮した動的経路選択モデルを開発し、それを時間指定付配車配送計画に組み込み、コスト信頼性を評価できるモデルを構築した。また危険物輸送について総走行時間および交通事故に巻き込まれたときの周辺住民への損害リスクを考慮した多目的の指定時間付配車配送計画モデルを開発した。これらのモデルを用いて安全安心、快適な都市を支える信頼性の高い都市物流システムを構築することが可能となる。

研究成果の概要(英文):

This research presents a new model for evaluating the cost reliability of urban freight transport systems using the vehicle routing and scheduling problem with time windows (VRPTW) model with the dynamic route choice considering variable travel times. As well we developed a multi-objective VRPTW model which minimizes the total travel times and risks of exposure of residents to traffic accidents of hazardous material transport. These models help establishing more reliable urban freight transport systems supporting safe, secured and comfortable cities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2009年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：シティロジスティクス

科研費の分科・細目：土木工学、土木計画学・交通工学

キーワード：安全・安心、都市物流、信頼性、シティロジスティクス、配車配送計画

1. 研究開始当初の背景

都市内における物流システムは、グローバル化する経済の中で、サプライチェーンの末端部分を担う重要な役割があり、国際競争力を高めるために、さらなる効率化が必要となってきている。また一方で、都市内物流は主としてトラックを用いて行われるために、都市内道路の交通混雑を激化させ、沿道環境を悪化させ、交通事故を増やす一つの要因とな

っている。このような状況において、効率のかつ環境にやさしい都市物流システムに関する研究が行われ、企業における効率性の追求と社会的な観点からみた都市計画・交通計画を融合させた「シティロジスティクス」(Taniguchi *et al.* (2001))の提案がなされている。

これまでの研究においては、企業の効率性を評価する方法として、物資輸送にかかわる

「コスト削減」を中心としてモデル化を行い、施策の評価を行ってきた。しかし、実際の企業の行動においては、ジャストインタイム輸送の進展とともに、輸送の「信頼性の確保」という点が重要な項目にあがってきている。すなわち、顧客への到着時間指定が非常に厳しくなるなかで、遅刻をしないような出発時刻の余裕時間の設定および交通事故などの突発事象の発生時においても時間信頼性の高い経路の選択が重要となってきた。また、ITS(Intelligent Transport Systems、高度道路交通システム)の普及とともに、輸送の信頼性を定量的に評価するための所要時間変動データなども利用できるようになってきた。

2. 研究の目的

本研究においては、都市内物流システムの輸送コストの信頼性の評価を行うための方法論を開発し、コスト信頼性の高い戦略的物流システムの構築を支援する施策を評価することを1つの目的とする。

また、これまでは、環境負荷の低減に資するような都市内物流システムの構築に主に目を向けてきたが、それに加えて、交通事故の削減、危険物輸送の安全性の確保など、住民の安全・安心にかかわる項目が重要になってきており、本研究はここに焦点をあてる。したがって、本研究においては、トラック交通にかかわる危険物輸送における安全・安心を確保するための多目的最適化手法を開発することを目的とする。以上のような2つの目的を統合し、最終的には、企業にとって輸送コストの信頼性が高く、社会的には環境負荷が少なく、安全・安心の確保に資するような都市内物流システムの評価手法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究においては、まず、確率論的最短経路探索問題の検討を行い、そこで開発した最短経路探索モデルを、顧客間所要時間変動を考慮した指定時間付き配車配送計画モデルに組み込み、全体のモデル化を行う。次にそのモデルの実際の道路ネットワークへの適用性を検討する。また、交通事故などの突発事象の発生確率を考慮した輸送コストの算定モデルを構築し、上記の所要時間変動を考慮した確率論的配車配送計画モデルおよび動的交通シミュレーションにより、輸送に伴うコストの信頼性およびそれに対応する出発余裕時間の変動を推計する。このような推計値の妥当性を検討するために、複数のトラックを実際の道路を走行させる実験を行い、実測値と推計値の比較を行う。さらに、危険物輸送のリスクを考慮した多目的の指定時

間付き配車配送計画モデルを構築する。このモデルにおいても所要時間の変動を明示的に考慮する。これらのモデルを統合し、最終的に輸送のコストの信頼性および危険物輸送のリスク解析の両方を行うことができるモデルとする。ここで開発されたモデルを実際に近い形の道路ネットワークに適用し、トラックの流入規制、トラックの推奨経路の設定、ロードプライシングなどの都市内物流施策を実施した場合の評価をコスト、渋滞、環境、安全などの多方面から行う。

4. 研究成果

(1) 確率論的最短経路探索問題の検討および顧客間所要時間変動を考慮した配車配送計画問題のモデル化

従来、確率論的配車配送計画において、顧客位置における遅刻については確率論的に取り扱っていたが、顧客間の経路選択については Dijkstra 法による確定論的最短経路を用いていた。ここでは所要時間変動を考慮した動的かつ確率論的な最短経路探索手法として Fu and Rilett (1998)による期待経路モデルおよび Miller Hooks (2001)による最小期待時間探索手法を、配車配送計画に組み込んだモデルを構築した。これらのモデルを小規模な仮想道路ネットワークに適用した結果、表1に示すように、顧客間の所要変動を考慮したモデルにおいては、確定論的に取り扱ったモデルに比べて、総費用が減少し、かつ総費用の変動も減少することが明らかになった。所要時間変動を考慮して事前に求めた顧客間経路は、配車配送当日の所要時間変動に対して安定しており、顧客位置での遅刻ペナルティの削減に貢献し、その結果、総費用の削減につながったと考えられる。

表1 確率論的な最短経路探索手法による総費用の削減効果

	車両費用 (円)	走行費用 (円)	早着・遅刻ペナルティ (円)	総費用 (円)
確定論的最短経路探索	20,835	14,364	10,156	45,355
期待経路モデル	20,835	14,364	5,279	40,253
最小期待時間経路探索手法	20,835	14,364	5,989	40,997

(2) 突発事象の発生確率を考慮したコスト信頼性を評価するモデルの構築

交通事故などの突発事象によるトラック

輸送におけるコスト信頼性を評価するために、進化ゲーム理論を用いて所要時間変動および突発事象による交通障害発生確率を考慮した経路選択モデルを構築した。このモデルを名古屋の道路ネットワークに適用し、実際の物流企業の経路選択割合に一致するようにモデルのパラメータを調整した後、道路の渋滞対策を実施したことによって所要時間の標準偏差が減少した場合の経路選択割合の変化について分析を行った。表2に分析対象とした6つのルートを示す。

表2 分析対象としたルート

	距離 (km)	平均所要時間 (分)	標準偏差 (分)	参考)95% 所要時間 (分)
ルート1 (豊川橋通過、小坂井ハイパス利用)	60.0	127.4	7.6	139.9
ルート2 (豊川橋通過)	60.5	132.7	8.8	147.1
ルート3 (豊川橋迂回、豊橋市中心部通過)	59.5	152.2	7.7	164.8
ルート4 (豊川橋迂回)	64.8	132.8	5.1	141.2
ルート5 (東名集中工事期間に利用されたルート)	62.3	139.3	8.0	152.4
ルート6 (高速利用、豊川橋通過)	62.9	101.8	7.2	113.6

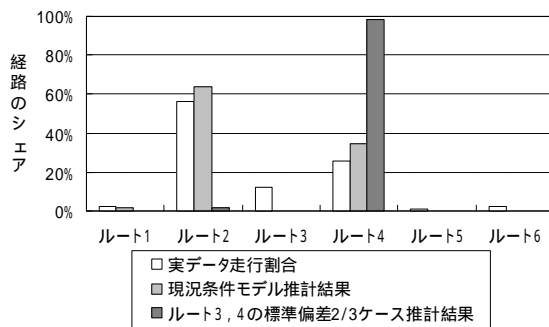


図1 経路選択の推定結果

図1に各ルートの選択に関する実際の選択結果との比較およびルート3、4の所要時間の標準偏差が2/3になった場合の変化を示す。これによると、所要時間の標準偏差が2/3になると、ルート4の選択確率が増加している。ルート3の選択確率が増加しなかったのは、ルート3の元の平均所要時間および標準偏差が大きいことが影響していると考えられる。

(3)顧客間所要時間変動を考慮した時間指定付き配車配送計画モデルの実際の道路ネットワークへの適用および比較検討

これまでに構築した時間指定付き配車配送計画モデルを用いて実際の道路ネットワークへの適用を試みた。具体的には、東京圏を模した道路ネットワーク(ノード数:約730、リンク数:約2,300、顧客数:約39)においてあるコンビニエンスストア企業の実際の配送活動実績に基づき、時間指定付き配車配送計画モデルにより最適解を求めた。特に、本モ

デルでは、顧客間所要時間変動の考慮が最も重要であるため、顧客間経路の比較および所要時間の比較に重点を置いて検討を行った。

(4)危険物配送における多目的の指定時間付き配車配送計画モデルの構築

危険物を配送するトラックについて、配送に用いる車両台数、総走行時間および交通事故に巻き込まれたときの周辺住民への損害リスクを考慮した多目的の指定時間付き配車配送計画モデルを開発した。このモデルにおいては、交通事故の発生確率を道路ネットワークの各リンクに与え、そのような交通事故が発生したときの火災・爆発等による周辺住民へ与える損害リスクを、交通事故の規模に応じて推定するモデルとなっている。このモデルにおいては、配送に用いる車両台数、総走行時間および交通事故に起因する火災・爆発等による周辺住民へ与える損害リスクを考慮し、最適な配送順序および経路を決定することができる。

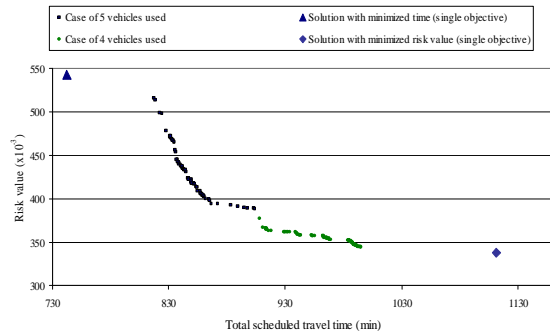


図2 総走行時間および損害リスクを考慮した多目的最適化のパレート最適解

図2に大阪中央部の道路ネットワークに総走行時間および損害リスクを考慮した多目的配車配送計画モデルを適用した場合のパレート最適解を示す。この図に示すように、多目的最適化のパレート解は、単目的最適解の間に位置するので、総走行時間および損害リスクをどの程度考慮するかによってパレート解は変化する。

(5)都市物流施策の評価

以上のように、トラックによる都市内物流システムについて、所要時間変動を考慮した動的経路選択モデルおよびそれを組み込んだ時間指定付き配車配送計画モデルを構築した。また、突発事象の発生確率を考慮したコスト信頼性を評価するモデルを構築した。このようなモデルを用いることによって、都市内の道路ネットワークの改良施策による所要時間信頼性向上による効果を評価することができる。さらに、危険物輸送に関して、

多目的最適化モデルを構築した。このようなモデルを用いることにより、より安全性が高く、総走行時間も短い配送計画を立案することが可能になり、そのような経路を推奨する施策を実施することもできる。

なお、本研究において開発した配送計画モデルは、従来のモデルに比べて、所要時間の変動による経路選択を明示的に考慮している点において優れている。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 25 件)

- (1) Taniguchi, E., Thompson, R.G. and Yamada, T., Incorporating risks in city logistics, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 査読有 Vol.2, No.3, pp.5899-5910, 2010.
- (2) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., Exact solution for vehicle routing problem with semi soft time windows and its application, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 査読有 Vol.2, No.3, pp.5931-5943, 2010.
- (3) Tamagawa, D., Taniguchi, E. and Yamada, T., Evaluating city logistics measures using a multi-agent model, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 査読有 Vol.2, No.3, pp.6002-6012, 2010.
- (4) Nakamura, Y., Taniguchi, E., Yamada, T. and Ando, N., Choosing dynamic and stochastic path method for vehicle routing and scheduling problems, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 査読有 Vol.2, No.3, pp.6042-6052, 2010.
- (5) Pradhananga, R., Taniguchi, E. and Yamada, T., An ant colony system based routing and scheduling of hazardous material transportation, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 査読有 Vol.2, No.3, pp.6097-6108, 2010.
- (6) 山田忠史, 繁田健, 今井康治, 谷口栄一: 在庫費用を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡モデル:消費需要の不確実性に伴う物資流動量とネットワーク効率性の変化, *土木学会論文集 D*, 査読有 Vol.66, No.3, pp.359-368, 2010.
- (7) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., An analysis of VRPTW exact solutions based on realistic logistics instances, *Proceedings of 3rd T-LOG Conference*, Fukuoka, Japan, 査読有 CD-ROM, 2010.
- (8) Pradhananga, R., Taniguchi, E. and Yamada, T., Optimization of vehicle routing and scheduling problem with time window constraints in hazardous material transportation, *The Journal of the Eastern Asia Society for Transport Studies*, 査読有 Vol.8, pp.778-791, 2010.
- (9) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., Column generation-based heuristics for vehicle routing problem with soft time windows, *The Journal of the Eastern Asia Society for Transport Studies*, 査読有 Vol.8, pp.815-829, 2010.
- (10) Yamada, T., Russ, B.F., Castro, J. and Taniguchi, E., Designing Multimodal Freight Transport Networks: A Heuristic Approach and Applications, *Transportation Science*, 査読有 Vol.43, No.2, pp.129-143, 2009.
- (11) 山田忠史, 今井康治, 谷口栄一, 物流事業者の行動を考慮したサプライチェーンネットワーク均衡分析, *土木学会論文集 D*, 査読有 Vol.65, No.2, pp.163-174, 2009.
- (12) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., An exact solution approach for vehicle routing and scheduling problems with soft time windows, *Transportation Research Part E*, 査読有 Vol.45, pp.960-977, 2009.
- (13) Pradhananga, R., Taniguchi, E. and Yamada, T., Minimizing exposure risk and travel times of hazardous material transportation in urban areas, *土木計画学研究・論文集*, 査読有 Vol.26, No.4, pp.689-701, 2009.
- (14) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., Hybrid insertion heuristics for vehicle routing problem with soft time windows, *土木計画学研究・論文集*, 査読有 Vol.26, No.4, pp.703-713, 2009.
- (15) 高井健司, 谷口栄一, 山田忠史, 配車集配送計画モデルを用いた e-コマースの都市内交通への影響分析, *土木計画学研究・論文集*, 査読有 Vol.26, No.4, pp.725-730, 2009.
- (16) 中村有克, 谷口栄一, 山田忠史, 安東直紀, 配車配送計画における所要時間変動を考慮した顧客間経路選択の効果に関する研究, *土木計画学研究・論文集*, 査読有 Vol.26, No.4, pp.731-741, 2009.
- (17) 田辺建二, 山田忠史, 谷口栄一, サプライチェーンネットワーク均衡モデルを用いた流通経路特性および都市物流施策の影響評価に関する基礎的研究, *土木計画学研究・論文集*, 査読有 Vo.25, No.2, pp.431-439, 2008.
- (18) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., A comparison of environmental impacts of hard time windows and semi soft time windows using exact routing solution, *土木計画学研究・論文集*, 査読有 Vol.25, No.2, pp.451-462, 2008.
- (19) 岡本太郎, 谷口栄一, 山田忠史, マルチ

- エージェントシミュレーションを用いた都市高速道路の交通管理における経営効率化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 査読有 Vo.25, No.2, pp.499-507, 2008.
- (20) 安東直紀, 谷口栄一, 山田忠史, 岡 弦太郎, 平均-分散アプローチを用いた経路の所要時間評価に関する研究, 第 28 回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有 pp.173-176, 2008.
- (21) 岡本太郎, 谷口栄一, 山田忠史, 都市高速道路における交通管理方策の見直しによる経営改善に関する研究, 第 28 回交通工学研究発表会論文報告集, 査読有 pp.245-248, 2008.
- (22) Takai, K., Taniguchi, E. and Yamada, T., Pickup and delivery problem with time windows for evaluating the effect of e-commerce on urban freight transport, *Proceeding of 15th World Congress on Intelligent Transport Systems*, 査読有 CD-ROM, 2008.
- (23) Taniguchi, E., Thompson, R.G. and Yamada, T., Modelling the behaviour of stakeholders in City Logistics, *Innovations in City Logistics*, E. Taniguchi and R.G. Thompson (Eds.), NOVA Science Publishers, New York, NY, 査読有 pp.1-15, 2008.
- (24) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., A hybrid genetic algorithm for VRPSTW using column generation, *Innovations in City Logistics*, E. Taniguchi and R.G. Thompson (Eds.), NOVA Science Publishers, New York, NY, 査読有 pp.153-169, 2008.
- (25) Nakamura, Y., Taniguchi, E., Yamada, T. and Ando, N., A macroscopic traffic simulator for evaluating measures for heavy vehicles, *Innovations in City Logistics*, E. Taniguchi and R.G. Thompson (Eds.), NOVA Science Publishers, New York, NY, 査読有 pp.185-196, 2008.

〔学会発表〕(計 11 件)

- (1) Thompson, R.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., Estimating Benefits of Considering Travel Time Variability in Urban Distribution, *Transportation Research Board 90th Annual Meeting*, Washington DC, 25 Jan. 2011.
- (2) Ando, N., Arima, K., Taniguchi, E. and Yamada, T., Evaluating routes on urban road network using mean-variance approach, *4th International Symposium on Transportation Network Reliability*, Minneapolis, 23 July 2010.
- (3) Taniguchi, E., Sustainable network capacity,

The 24th ARRB Conference, Melbourne, 13 Oct. 2010.

- (4) Uchiyama, N. and Taniguchi, E., A route choice model based on evolutionary game theory considering the travel time reliability and traffic impediments, *12th World Conference on Transport Research*, Lisbon, 14 July 2010.
- (5) 山羽佑樹, 谷口栄一, Qureshi, A.G., 物流事業者の行動を考慮した都市物流施策の評価に関する研究, 第 9 回 ITS シンポジウム, 京都 2010. 12. 11
- (6) Schreiner, S. and Taniguchi, E., Application of Micro-Simulation on Truck Route Choice Model, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.7, Surabaya, 17 Nov. 2009.
- (7) Nakamura Y., Taniguchi, E. and Yamada, T. and Ando, N.: Vehicle Routing and Scheduling Incorporating Shortest Path Model for Dynamic and Stochastic Networks, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.7, Surabaya, 17 Nov. 2009.
- (8) Pradhananga, R., Taniguchi, E. and Yamada, T., A single step multi-objective optimization of hazardous material transportation, *Odysseus Cesme*, 26 May 2009.
- (9) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., A column generation based approach for vehicle routing problem with semi soft time windows, *Odysseus Cesme*, 28 May 2009.
- (10) Dai Tamagawa, Eiichi Taniguchi, Tadashi Yamada Evaluating city logistics measures using multi-agent models *Odysseus Cesme*, 28 May 2009.
- (11) Taniguchi, E., Smart parking management in Japan, *ITS World Congress*, New York, 18 Nov. 2008.

〔図書〕(計 2 件)

- (1) Taniguchi, E. and Thompson, R.G., *Innovations in city logistics*, *Nova Science Publisher*, New York, 2008.
- (2) Taniguchi, E. And Nemoto, T., Intermodal freight transport in urban areas in Japan, In: *The future of intermodal freight transport* (Eds. Konings, R., Priemus, H. and Niikamp, P.) *Edward Elger*, Cheltenham, UK, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 栄一 (TANIGUCHI EIICHI)
 京都大学大学院工学研究科・教授
 研究者番号: 70252468

(2)研究分担者

山田 忠史 (YAMADA TADASHI)
京都大学大学院工学研究科・准教授
研究者番号：80268317

安東 直紀 (ANDO NAOKI)
京都大学大学院工学研究科・特定准教授
研究者番号：20432062