

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360222

研究課題名(和文)安全安心な都市を創る効率的かつ柔軟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)Efficient and reliable urban freight transport systems for creating safe and secured cities

研究代表者

谷口 栄一(Taniguchi, Eiichi)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70252468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円、(間接経費) 4,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究においては、平常時・災害時における都市物流システムの輸送の信頼性を評価するため、所要時間変動を考慮した動的経路探索モデルを構築し、プローブデータとの比較を行い、所要時間の信頼性向上によるトラックの経路選択行動への影響を明らかにした。また災害時における総燃料消費量と被災者への供給不足ペナルティの多目的最適配車配送計画モデルを構築し、東日本大震災のケースに適用し、モデルの妥当性を示した。また物流拠点の配置配送計画の最適化についても検討した。さらにマルチエージェントモデルを用いて都市物流施策を評価し、平常時・災害時において効率的かつ柔軟に対応できる都市物流システムを構築できることを示した。

研究成果の概要(英文)：This study presented dynamic route choice models considering the variable travel times on road networks to evaluate the reliability of urban freight transport systems in normal and disaster cases. We compared the results of route choice using the models with real probe data of truck movements and clarified the effects of increasing the reliability of travel times on the route choice behavior of trucks. We developed multi-objective optimization models taking into account the total fuel consumption and the penalty for shortage of supplies to displaced people. We applied the models in the Tohoku Earthquake disaster cases in 2011 and revealed the applicability of the models. The optimization of location routing of relief supplies distribution was also examined. We evaluated the urban freight transport policy measures using multi-agent models and clarified that it is possible to establish the efficient and reliable urban freight transport systems in normal and disaster cases.

研究分野：工学

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 物流 シティロジスティクス 柔軟性 配車配送計画

1. 研究開始当初の背景

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、地震などの災害が発生した場合においても、効率的かつ柔軟に対応できるシステムが求められるようになってきた。一方、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。

また、これまでは、環境負荷の低減に資するような都市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、災害時の負傷者の病院への輸送や被災者への物資の輸送など、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。

2. 研究の目的

本研究においては、平常時・災害時における都市物流システムの輸送の信頼性の評価を行うための方法論を開発し、柔軟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、災害時におけるトラック交通による物資輸送による住民の安全・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、平常時において効率的かつ環境負荷が少なく、災害時においても効率的かつ突発事象に柔軟に対応し、住民の安全・安心の確保に資するような都市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、進化ゲーム理論を用いた動的経路探索問題の検討を行う。そこで開発した試行錯誤ダイナミクスによる学習モデルについて、実際の道路ネットワークへの適用性を検討するため、複数のトラックを用いた実際の道路を走行させるプローブ実験を行い、実測値と推計値の比較を行う。これらのデータを用いて所要時間信頼性が向上した場合の経路選択行動を分析する。

次に災害時における総燃料消費量および優先度の高い顧客への総供給不足ペナルティなどの多目的を考慮した場合の配車配送計画の検討を行う。遺伝的アルゴリズムを用いて多目的パレート最適解を求める。このモ

デルを東日本大震災で被災した石巻市における避難所への物資配送の問題に適用し、モデルの妥当性を検討する。また物流拠点の配置配送計画問題モデルを構築し、物流拠点の配置による災害時の物資配送への影響について検討する。

また、緊急時の救急車の配送拠点配置モデルを構築し、所要時間の変動を考慮した救急車の配送拠点の最適化について検討する。

最後に荷主、物流事業者、行政などの利害関係者の行動を考慮したマルチエージェントモデルを用いて、平常時、災害時ともに効率的かつ柔軟に対応できる都市物流システムとするための都市物流施策について評価を行う。

4. 研究成果

(1) 進化ゲーム理論による所要時間変動を考慮した動的経路選択モデルの構築

道路ネットワーク上の配車配送計画において、リンク所要時間が変動する場合、平均と分散を用いて1つの経路を選びだすことが多いが、実際の物流企業のトラックの経路選択行動を見ると、同じ起終点間であっても一定期間の間に複数の経路を選択している場合が多い。そのため、本研究においては、試行錯誤ダイナミクスによる学習を仮定するモデルを用いて、トラックのドライバー（あるいは物流企業の配車係）の学習過程をシミュレートし、複数の経路をある確率で選択するようなモデルを構築した。このモデルを実際のトラックの経路選択データに適用し、所要時間変動の分散が小さくなった場合の物流企業の経路選択行動の変化について分析を行った。

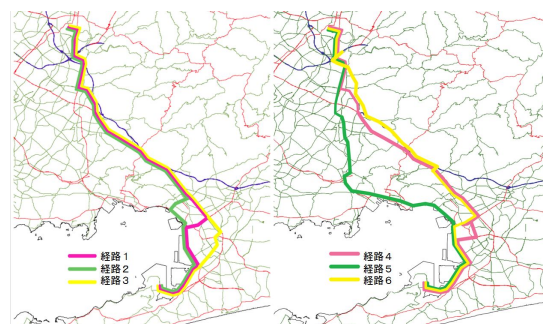


図1 プローブデータによるトラックの経路選択行動

図1は愛知県内におけるプローブ実験によって得られたある2地点間のトラック輸送における経路の選択を示している。同一の起終点間においても、所要時間の変動に応じて6種類の経路が選択されている。ここではこの6種類の経路について、試行錯誤ダイナミクスによる学習モデルを適用した。

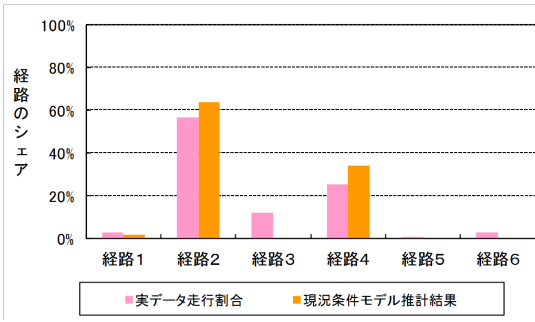


図2 試行錯誤ダイナミクスによる学習モデルによる実データの再現

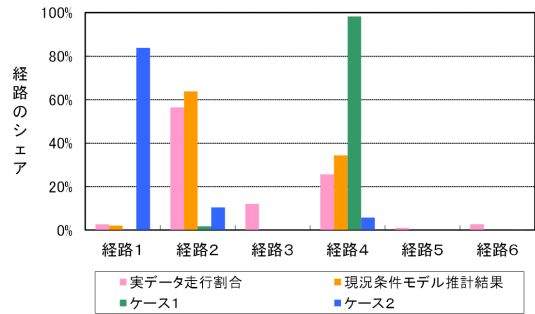


図3 所要時間の信頼性向上によるトラックの経路選択行動の変化

図2は実際のトラック走行による経路選択のシェアを示しており、この状況を再現できるように、モデルのパラメータを設定した。また図3は、(ケース1)経路3, 4において所要時間変動の標準偏差が3/4に減少した場合および(ケース2)高速道路料金が半分になった場合の経路選択行動の変化を示す。所要時間の信頼性が向上した経路4の利用が増加し、高速道路料金が半分になった場合には経路1の利用が増加している。このように、このモデルを用いることによって、道路整備や道路政策によるトラックの経路選択行動への影響をシミュレートすることができる。

(2) 災害時における多目的最適配車配送計画モデルの構築

災害時においては、顧客の需要に対して、供給できる物資が少ない場合が想定される。そのような場合には、トラックの総走行時間(あるいは総燃料消費量)を最小化するのみならず、病院などの優先的に物資を配送すべき被災者への配送を行うこと目的として取り入れる必要がある。

このような多目的配車配送計画問題は、パレート解として複数の解が求められる。ここでは、解法として、非優越ソート遺伝的アルゴリズム(Non-dominated sorting genetic algorithms)(Goldberg(1989))を用いてパレート最適解の近似解を求めた。ここで開発したモデルを東日本大震災の石巻市の実際の道

路ネットワークに適用し、災害時において、トラックの総燃料消費量および優先度の高い顧客への総供給不足ペナルティの2つの目的を考慮する場合の多目的配送戦略について検討した。

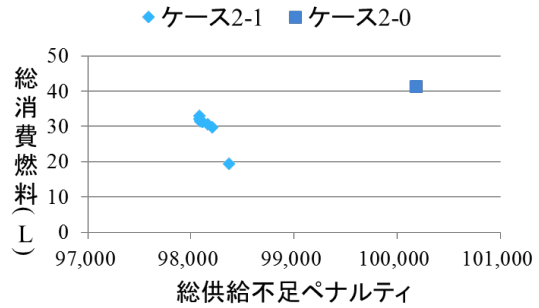


図4 多目的最適配車配送計画におけるパレート最適解



図5 各避難所における救援物資の充足度

図4は、石巻市における避難所への救援物資配送についてのパレート最適解を示す。避難所への物資配送における優先度を考慮しないケース2-0に比べて、優先度を考慮したケース2-1においては、総燃料消費量および総供給不足ペナルティの両方において改善が見られた。図5は、各避難所における救援物資の充足度の例を示している。充足度の低い避難所も見られるが、4日間に渡って優先度を調整すると、充足度の低い避難所は解消され、総燃料消費量も23%減少することがわかった。

(3) 災害時における物流拠点配置配送計画

災害時において、物流拠点の配置と救援物資配送を最適化するために物流拠点配置配送計画モデルを構築した。このモデルを前述の東日本大震災の石巻市の実際の道路ネットワークに適用した。図6は、物流拠点が3か所の場合の最適配送経路を示す。物流拠点多くなるほどトラック1台当たりの配送距離が減少し、被災者に早く救援物資を配送できるが、物流拠点のコストが増大する。



図 6 物流拠点からの配送経路

(4) 救急車の配車配送計画モデルの構築

緊急時に負傷者を病院に搬送する場合の救急車の配送拠点配置モデルを構築した。この問題について従来の研究は所要時間の変動を考慮していない場合が多いが、ここでは所要時間の変動を考慮した配送拠点配置モデルを構築した。このモデルを大阪の道路ネットワークに適用し、所要時間が大きく変動する場合の救急車の配送拠点の最適化について検討を行った。

(5) 平常時、災害時における都市物流施策の評価

荷主、物流事業者、行政などの利害関係者の行動をモデル化したマルチエージェントモデルを構築し、平常時および災害時における都市物流施策の評価を行った。その結果、トラックの推奨経路の設定、ロードプライシング、積載率規制、共同配送などの都市物流施策が、効率的かつ柔軟に対応できる都市物流システムを構築するために効果があることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 29 件)

- 1) Bhusiri, N., Qureshi, A.G. and Taniguchi, E., The trade-off between fixed vehicle costs and time-dependent arrival penalties in a routing problem, *Transportation Research Part E*, 62, pp.1-22, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.tre.2013.12.003
- 2) Taniguchi, E., Thompson, R.G. and Yamada, T., Recent Trends and Innovations in Modelling City Logistics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 4-14, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1451
- 3) Teo, J.S.E., Taniguchi, E. and Qureshi, A.G. Evaluation of Load Factor Control and Urban Freight Road Pricing Joint Schemes with Multi-agent Systems Learning Models. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 62-74, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1456
- 4) Dizaiin, D., Taniguchi, E. and Dablanc, L. Urban Logistics by Rail and Waterways in France and Japan. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 159-170, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1464
- 5) Bhusiri, N., Qureshi, A.G. and Taniguchi, E. Application of the Just-In-Time Concept in Urban Freight Transport. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 171-185, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1465
- 6) Okude, M. and Taniguchi, E. Hierarchical Traffic Network For Heuristic Approximation Method Of Vehicle Routing Problems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 262-274, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1472
- 7) Uchiyama, N. and Taniguchi, E. Analysis of Impacts on Dispatcher's Route Choice Behaviour by Road Improvements on using a Trial and Error Learning Model. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 297-311, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1475
- 8) Taniguchi, E., Imanishi, Y., Barber, R., James, J. and Debauche, W. Public Sector Governance to Implement Freight Vehicle Transport Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 345-357, 査読有 2014. DOI:10.1016/j.sbspro.2014.01.1479
- 9) Pramudita, A., Taniguchi, E. and Qureshi, A.G. Location and Routing Problems of Debris Collection Operation After Disasters with Realistic Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 445-458, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1487
- 10) Wangapisit, O., Taniguchi, E., Teo, J.S.E. and Qureshi, A.G. Multi-Agent Systems Modelling For Evaluating Joint Delivery Systems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 472-483, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1489
- 11) Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T. and Qureshi, A.G. Environmental Analysis of Pareto Optimal Routes in Hazardous Material Transportation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 125C, pp. 506-517, 査読有 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1492
- 12) Bhusiri, N., Qureshi, A.G. and Taniguchi, E., Vehicle routing and scheduling problem for convenience store industry considering soft time windows, *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.10, pp.934-953, 査読有 2013. DOI: 10.11175/easts.10.934
- 13) Taniguchi, E. and Thompson, R.G. Humanitarian logistics in Great Tohoku disasters 2011, In Zeimpekis, V., Ichoua, S. and Minis, In (Eds.) *Humanitarian and relief logistics*, Springer, 査読有 207-218, 2013. <http://www.springer.com/business+%26+management/operations+research/book/978-1-4614-7006-9>
- 14) Gonzalez-Feliu, J., Taniguchi, E. and d'Arcier, B.F. Financing Urban Logistics Projects, In Gonzalez-Feliu, J., Semet, F. and Routhier, J.-L. (Eds.) *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems*, Springer, 査読有 245-265, 2013. <http://www.springer.com/environment/environmental+engineering+and+physics/book/978-3-642-31787-3>
- 15) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., Exact solution for vehicle routing problem with soft time windows and dynamic travel times, *Asian Transport Studies*, 査読有 Volume 2, Issue 1, pp.48-63, 2012. DOI: 10.11175/eastsats.2.48

- 16) Teo, J.S.E., Taniguchi, E. and Qureshi, A.G., Evaluation of distance-based and cordon-based urban freight road pricing on e-commerce environment with multi-agent model, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 査読有 No. 2269, pp.127-134, 2012. DOI: 10.3141/2269-15
- 17) Pramudita, A., Taniguchi, E. and Qureshi, A.G., Undirected capacitated arc routing problem in debris collection operation after disasters, *土木学会論文集 D3*, 68-5, 査読有 pp.1805-1813, 2012. DOI: 10.2208/jscejpm.68.1_805cejpm.68.1_805
- 18) 山田忠史, 中村昂雅, 横山大河, 谷口栄一, サプライチェーンを考慮した交通ネットワークの離散型最適化：最適設計と脆弱性評価、土木学会論文集 D3,68-4, 査読有 pp. 272-284, 2012. DOI: 10.2208/jscejpm.68.272
- 19) Taniguchi, E., Thompson, R. and Yamada, T., Emerging techniques for enhancing the practical application of city logistics, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39, 査読有 pp. 3-18, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.087
- 20) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., A microsimulation based analysis of exact solution of dynamic vehicle routing with soft time windows, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39, 査読有 pp. 205-216, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.102
- 21) Taniguchi, E., Ferreira, F. and Nicolson, A., A conceptual road network emergency model to aid emergency preparedness and response decision-making in the context of humanitarian logistics, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39, 査読有 pp. 307-320, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.110
- 22) Duin, van R., Kolck, van N., Anand, N., Tavasszy, L. and Taniguchi, E., Towards an agent-based modelling for the evaluation of dynamic usage of urban distribution centres, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39, 査読有 pp. 333-348, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.112
- 23) Okude, M. and Taniguchi, E., An approximation algorithm for vehicle routing problems with hierarchized network, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39, 査読有 pp. 369-386, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.115
- 24) Uchiyama, N. and Taniguchi, E., A study of dispatcher's route choice model based on evolutionary game theory, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39, 査読有 pp. 495-509, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.125
- 25) Thompson, R.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., Estimating Benefits of Considering Travel Time Variability in Urban Distribution, *Transportation Research Record*, 査読有 No.2238, pp.86-96, 2011. DOI: 10.3141/2238-11
- 26) Yamada, T., Imai, K., Nakamura, T. and Taniguchi, E., A supply chain-transport supernetwork equilibrium model with the behaviour of freight carriers, *Transportation Research Part E*, E47(6), 査読有 887-907, 2011. DOI: 10.1016/j.tre.2011.05.009
- 27) 岡林楠博、中村有克、安東直紀、山田忠史、谷口栄一、災害時における配送量の優先度を考慮した救援物資配送モデルの構築、土木学会論文集 D3、査読有 Vol.67, No.5, pp.1887-1897, 2011. DOI: 10.2208/jscejpm.67.67_I_887
- 28) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., An analysis of exact VRPTW solutions on ITS data-based logistics instances, *International Journal of Intelligent Transport Systems Research*, 査読有 Vol.10, No.1, pp.34-46, 2011. DOI: 10.1007/s13177-011-0040-2
- 29) 山田忠史、中村昂雅、谷口栄一、商物分離型サプライチェーンネットワーク均衡モデル：異なるネットワーク形態の比較分析、土木学会論文集 D3、査読有 Vol.67, No.5, pp.1801-1811,2011. DOI: 10.2208/jscejpm.67.67_I_801

〔学会発表〕(計7件)

- 1) Teo, J.S.E., Taniguchi, E. and Qureshi, A.G., Evaluation of highway corridors considering urban freight movements with multi-agent learning model, *93rd Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington DC, 査読有 12-16 January 2014.
- 2) Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T. and Qureshi, A. G., A risk base vehicle routing and scheduling with time windows in hazardous material transportation, *92nd Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington DC, 査読有 13-17 January 2013.
- 3) Qureshi, A.G., Taniguchi, E. and Yamada, T., Evaluation of truck ban scheme using exact optimization for the VRPSTW, *92nd Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington DC, 査読有 13-17 January 2013.
- 4) Holguin-Veras, J., Jaller, M., Taniguchi, E. and Aros-Vera, F., The lessons from catastrophic events for post-disaster humanitarian logistic efforts: The Port au Prince earthquake and the Tohoku disasters, *92nd Annual Meeting of Transportation Research Board*, Washington DC, 査読有 13-17 January 2013.
- 5) Wangapisit, O., Taniguchi, E., Qureshi, A.G. Multi-agent modelling systems for evaluating urban freight policy measures using parking restriction, 13th WCTR, Rio de Janeiro, Brazil 査読有 15-18 July 2013.
- 6) Limpattanasiri, W. and Taniguchi, E., Solving a maximum covering emergency ambulance location problem in urban area by dynamic programming technique, 10th Eastern Asia Society of Transport Study Conference, Taipei, Taiwan, 9-12 September 査読有 2013.
- 7) Holguin-Veras, J., Taniguchi, E., Ferreira, F., Jaller, M., Thompson, R. G. and Imanishi, Y., The Tohoku disasters: Preliminary findings concerning the post disaster humanitarian logistics response, 91st Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington DC, 査読有 22-26 January 2012.

〔図書〕(計2件)

- 1) Taniguchi, E. and Thompson, R.G., City logistics: Mapping the future, CRC Press, Taylor and Francis, Boston, 210 pages, 2014.
- 2) Taniguchi, E., Fwa, T.F. and Thompson, R.G. Urban transportation and logistics: Health, safety,

and security concerns, CRC Press, Taylor and Francis, Boston, 280 pages, 2013.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

谷口 栄一 (Eiichi Taniguchi)
京都大学・大学院工学研究科・都市社会工学
専攻・教授
研究者番号：70252468

(2)研究分担者

山田 忠史 (Tadashi Yamada)
京都大学・大学院工学研究科・都市社会工学
専攻・准教授
研究者番号：80268317

中村 有克 (Yuki Nakamura)
京都大学・大学院工学研究科・都市社会工学
専攻・助教
研究者番号：80589185