

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25249070

研究課題名(和文) 交通ネットワークのリスクマネジメントのための動的行動・交通流解析理論の構築

研究課題名(英文) Development of Theories on Dynamic Travel Behaviour and Traffic Flow Analysis for Transport Network Risk Management

研究代表者

朝倉 康夫 (Asakura, Yasuo)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：80144319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,100,000円

研究成果の概要(和文)：高度情報化社会では、突発事象や災害によりシステム障害が発生した際に、その影響を最小化するような交通ネットワークの動的運用が求められている。本研究は、交通ネットワークのリスクマネジメントのための交通行動分析とネットワーク解析の理論的基盤の確立を目的として研究を進めた。4年間の研究の結果、プローブパーソン手法を改良することにより交通システム利用者の行動調査・分析手法を高度化し、時空間解像度の高い行動データを用いた動的ネットワーク交通流解析手法を開発するとともに、行動分析手法とネットワーク解析手法を統合した、リスクマネジメントのための動的ネットワーク解析理論の基盤を構築した。

研究成果の概要(英文)：Our modern society has required dynamic risk management for transport network to minimize the negative effects of a system failure caused by traffic incident and/or natural disaster. This study aims to establish theoretical basis of advanced travel behaviour analysis and transport network analysis for dynamic risk management of transport network. Four years research with 14 researchers has achieved to develop advanced methods in travel behaviour survey based on the Probe Person survey, and to establish dynamic network traffic flow analysis methods by utilizing travel and traffic data with higher resolution. We have contributed to investigate fundamental theories on dynamic risk management of transport networks incorporating advanced travel behaviour models into dynamic network flow models. As a part of research activities, some of the research members organized three international symposiums in the field of traffic and transport theories in 2015 and 2017.

研究分野：土木計画学・交通工学

キーワード：ネットワーク 交通工学 減災 移動体通信 交通ネットワーク 交通行動分析 交通流理論 リスクマネジメント

1. 研究開始当初の背景

様々な活動がネットワーク化され相互依存性が高まった現代社会では、突発事象や災害によりシステム障害が発生した際の影響が広範囲に及ぶため、その影響を緩和することに資する交通ネットワークの信頼性評価やリスクマネジメントに関する学術研究への関心が高まっている。

交通ネットワークの信頼性に関する国際シンポジウム等では、平常時の時間信頼性研究や、災害時の交通ネットワークの信頼性評価に関する理論研究が発表されているが、高精度の行動データを得ることが容易でないこともあり、実証を伴う総合的研究の蓄積は十分ではない。交通ネットワーク上での移動体シミュレーションについて、災害時を含むシステム障害時の交通現象の持つ複雑な動的特性を反映したモデルの研究開発は緒についたばかりであるといえる。

交通ネットワークのリスクマネジメントには、機能低下したネットワーク上で生じる交通状態を的確に記述することのできるモデルが求められており、そのための理論的基盤として、高精度の交通調査データを踏まえた交通行動分析と動的なネットワーク解析に関する研究が必要である。

研究代表者らは、平成21年度から4年間にわたって科学研究費補助金・基盤研究(A)「移動体シミュレーションと連動した交通ネットワークの信頼性評価」(代表者：朝倉康夫)を推進する中で、急速なモバイルコミュニケーション技術の進化を交通行動観測に反映させ、時空間解像度が高くかつ長期間の行動データや選好意識データを得る方法論を開発できる見通しを得た。この方法によって平常時や異常時を含む長期間の行動・選好データを獲得できるが、その解析結果を動的な交通流モデルの成果に組み合わせれば、交通ネットワーク上での複数個人の相互作用を前提とした動的行動・交通流モデルを開発できると着想した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、交通ネットワークのリスクマネジメントのための動的な交通行動分析とネットワーク解析の理論的基盤を確立することにある。具体的達成目標は以下のとおりである。

(1) 交通ネットワークのリスクマネジメントの理論的フレーム設計：自然災害や大規模な事故により交通ネットワーク上に通行不能となる区間が発生した場合の社会的損失を最小化するためのネットワーク運用方策に関する理論的フレームを設計する。

(2) 移動体観測技術による交通行動・選好意識データの収集および解析手法の高度化：

GPS携帯とWEBによるプローブパーソン調査を進展させ、スマートフォンアプリによる交通行動と選好意識のデータ収集法を確立する。高い時空間解像度を持つネットワーク上の行動ログデータを用いた動的な経路および出発時刻の選択モデルを開発する。

(3) 行動の相互作用を考慮した創発型交通ネットワークフローモデルの開発：ネットワークの知識と行動規範の異なる複数のエージェントの相互作用による創発現象と混雑の時空間伝播を考慮した動的なネットワークフローモデルを構築する。交通状態の日々の変動をモデル化することにより、機能低下したネットワーク上での交通状態の動的変容過程をシミュレートする。

(4) 行動・ネットワークモデルの統合と検証：実際の都市空間で行動・選好意識データを収集して経路および出発時刻選択モデルの構造を推定し、その結果を動的な交通流モデルに統合することによって動的な行動・ネットワークモデルを構築するとともに、現象再現性とリスクマネジメントへの適用性を検証する。

3. 研究の方法

交通ネットワークシステムのリスクマネジメントのための行動分析とネットワーク解析の理論的基盤を確立するため、具体的達成目標に対応して研究者を3グループ(交通行動調査・解析、動的なネットワーク交通流モデリング、リスクマネジメント)に編成し、研究代表者の統括の下、相互の連携を緊密に保ちながら研究を進めた。(図1)

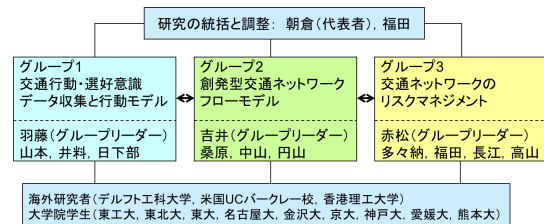


図 1 研究体制

(1) グループ1は、移動体観測技術による交通行動・選好意識データの収集および解析手法の高度化を分担する。東京大学の羽藤がリーダーとなり、名古屋大学の山本、神戸大学の井料、東工大の日下部と連携して、プローブパーソン手法の改良による交通行動・選好意識データの収集と解析手法を開発し、実空間での調査を実施して経路および出発時刻選択モデルを構築する。

(2) グループ2は、行動の相互作用を考慮した創発型ネットワーク交通流モデルの開発

を分担する。愛媛大学の吉井がリーダーとなり、東北大学の桑原、金沢大学の中山、熊本大学の円山とともに、ネットワークを利用する複数のエージェントの相互作用による創発現象と混雑の時空間伝播を考慮した動的ネットワーク交通流モデルを構築する。機能低下したネットワーク上での交通状態の動的変容過程のシミュレータを開発し、数値解析と感度分析を通じた検証を行う。

(3) グループ3は、交通ネットワークのリスクマネジメント手法の理論的フレーム設計を分担する。東北大学の赤松がリーダーとなり、京都大学の多々納、東京工大の福田、東北大学の長江、愛媛大学の高山と共同して、リスク分析と信頼性評価の視点から機能低下した交通ネットワーク上の社会的損失を最小化するネットワークマネジメントに関する理論的フレームを構築する

本研究は2013年から4年間で実施した。前半の2年間は、サブテーマごとに先行研究の調査とその体系化を踏まえた要素理論の構築に注力した。後半の2年間は実空間での行動調査を踏まえて、研究グループ1と2で開発する個別方法論を一体化し、ネットワーク上の動的行動・交通流モデルとして統合することを検討した。さらに、システム障害が発生した交通ネットワークの信頼性確保のための運用方策の構築に向けて、行動変容を内包した動的ネットワーク交通流モデルをグループ3で構築するリスクマネジメントの視点から検討した。

4. 研究成果

(1) 移動体観測技術による交通行動・選好意識データの収集および解析手法の高度化

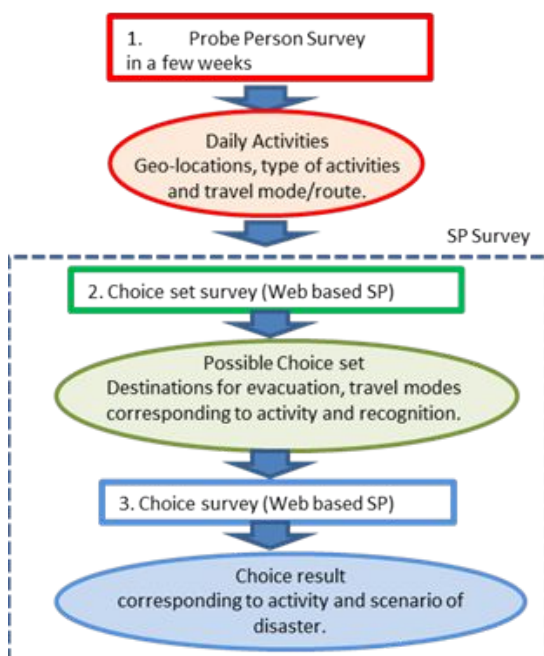


図 2 PP+SP 調査の枠組み

モバイルコミュニケーション技術による交通行動および選好意識データ収集手法と行動変容のモデル化に関する国内外の最新の研究動向を体系的に整理するとともに、スマートフォンアプリにより行動軌跡と選好意識を同時に収集する新たなプロブパーソン(PP)調査システムを開発した。

図2に、災害時を想定した交通行動データの収集方法の枠組みを示す。日常時の行動をPP調査により継続的に長際しておき、特定の時間・場所で災害が発生したと想定した時の選好意識をSP調査で調べることで、より現実的な条件設定の下で選好意識のデータを収集することが可能となった。

(2) 行動の相互作用を考慮したネットワーク交通流モデルの開発

異なった行動規範を持つネットワーク利用者の創発作用とその収斂プロセスを内生化し、混雑が支配的なネットワーク上での交通状態の日々の変動を記述するための動的交通流モデルの基盤を構築し、その数理的特性を明らかにした。

ネットワーク交通流の確率的な変動をモデル化する手法の一例として、ペイズ理論による動的・確率的な交通量配分手法を開発した。この手法はある条件下で最も生じやすいネットワーク上の経路交通量の確率分布をMetropolis-Hastingsのサンプリング手法を用いて推定する手法であり、利用者の行動や交通流モデルに関する強い仮定を必要としないという特徴を持っている。

(3) 交通ネットワークのリスクマネジメント手法の理論的フレーム設計

交通システムの脆弱性やリスク評価に関する先行研究を調査し、従来指標の特性と相互関連性を体系的に整理するとともに、現象モデルを交通システムのリスクマネジメントに適用する際にモデルが備えるべき必要条件を明らかにした。

一例として、インフラストラクチャーのような相互依存関係が存在するネットワーク状のシステムで、ひとつのネットワーク内の局所的な故障が複数のネットワークに渡って連鎖的な故障を引き起こし、大規模な故障に発展する現象(カスケード故障)を分析する方法を提案した。相互依存性の度合いがネットワークのカスケード故障に対する脆弱性に与える影響を調べ、数値計算による分析の結果、単体の場合に頑強なネットワークでも、相互依存性によって脆弱性が大きく増大する場合があることを確認した。また、依存性の度合いが比較的小さい場合でも、脆弱性が大きく増大する可能性が示唆された。依存性の度合いが小さくても脆弱性は大きく増大する可能性があり、ネットワークの脆弱性評価の際は相互依存性を考慮に入れることが必要不可欠であることを確認した。

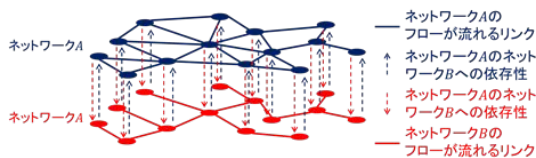


図 3 相互依存ネットワーク

(4) 論文発表

4年間の研究成果として、雑誌論文 94 編、学会発表 76 件を発表した。この中には、国際的に評価の高い学術誌である Transportation Research に掲載された論文も多く含まれている。

図書としては、研究代表者らが編集し、代表者を含む 4 名の分担者が著者となって「道路交通の信頼性評価」を出版した。道路交通計画の実務面でも関心の高まっている課題について、旅行時間の信頼性やネットワークの連結性に関する理論と適用方法に関してわかりやすくとりまとめることができ、時宜を得た出版となった。

英文の著作として、Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis の中で、研究代表者らが世界に先駆けて開発し蓄積してきた移動体通信を用いた交通行動調査手法を体系的にとりまとめで公表した。

(5) 国際シンポジウムとワークショップの開催

2015 年には、わが国で開催される 2 つの国際会議 (ISTTT, INSTR) に合わせて、国際ワークショップを開催し成果発信を行った他、最終年である 2016 年度には、交通システム工学の世界的研究拠点であるカリフォルニア大学バークレー校の Carlos Daganzo 教授、シドニー大学の Mike Bell 教授、香港理工大学の William Lam 教授等を東京に招いて国際ワークショップ・セミナーを開催した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 94 件)

Wei, C, Asakura, Y., Iryo, T.: Formulating the within-day dynamic stochastic traffic assignment problem from a Bayesian perspective, Transportation Research Part B: Methodological, 59, 45-57, 2013. (査読有)

土倉悟, 中山晶一郎, 高山純一: 時間信頼性と連結信頼性を統合した道路評価法の開発および金沢市道路ネットワークへの適用, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 69(5), I_555-I_562, 2013. (査読有)

朝倉康夫: 突発事象の検出と交通運用,

高速道路と自動車, 57, 5-8, 2014. (査読無)

Shoichiro NAKAYAMA, David WATLING: Consistent formulation of network equilibrium with stochastic flows, Transportation Research Part B: Methodological, 66, 50-69, 2014. (査読有)

Yusuke Hara, Masao Kuwahara: Traffic Monitoring immediately after a major natural disaster as revealed by probe data - A case in Ishinomaki after the Great East Japan Earthquake, Transportation Research Part A, 75, 1-15, 2015. (査読有)

Ma, J. and Fukuda, D.: A hyperpath-based network generalized extreme-value model for route choice under uncertainties, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 59, 19-31, 2015. (査読有)

赤松 隆, 大澤 実, 長江 剛志, 山口 裕通: 巨大災害時のガソリン不足に対する戦略とその社会経済評価: 東日本大震災における実証分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 72(5), I_1-I_19, 2016. (査読有)

Subhajyoti Samaddar, Norio Okada, Junho Choi, Hirokazu Tatano: What constitutes successful participatory disaster risk management? Insights from post-earthquake reconstruction work in rural Gujarat, India, Natural Hazards, 85(1), 111-138, 2017. (査読有)

兵頭知, 吉井稔雄, 倉内慎也: 一般国道における事故リスク原単位の検討, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 72(5), I_1293-I_1299, 2016. (査読有)

Seo, T., Bayen, A. M., Kusakabe, T. and Asakura, Y.: Traffic state estimation on highway: A comprehensive survey, Annual Reviews in Control, 2017, in press. (査読有)

[学会発表](計 76 件)

Yoshii, T., Takayama, Y.: Development of a traffic accident simulation model on urban expressway networks, International Symposium on Recent Advances in Transport Modelling, Australia, 2013.

Urata, J., Hato, E.: Modeling convergence enhancement of social interactions for evacuation behaviors in the devastated areas - With the case study of the heavy rain disaster, 8th Triennial Symposium on Transportation Analysis, San Pedro de Atacama, Chile, 2013.

三留拓也, 長江剛志: 社会的損失最小化のための道路ネットワークの耐震補強問題: 統計的推計と確率的最適化, 第 48 回土木計画学研究発表会, 大阪市立大学, 2013.

地主遼史, 井料隆雅: 災害時の避難における情報混雑, 第 12 回 ITS シンポジウム 2014, 東北大学, 2014.

Yasuo ASAKURA, Takahiko KUSAKABE and Mayumi YOSHIDA: Behavioural Data Collection and Analysis for Disaster Risk Evaluation, Third International Conference on Evacuation Modeling and Management, Tainan, Taiwan, 2015.

Yamamoto, T., Sugiyama, Y., Kanamori, R. and Hiroi, Y. : Analysis of the effects of information provision on going home behavior and traffic congestion at large-scale disaster: Case study of Nagoya metropolitan area, Third International Conference on Evacuation Modeling and Management, Tainan, Taiwan, 2015.

浦田 淳司, 羽藤 英二: 被災時刻不確実性と他社同調を考慮した動学的避難開始選択, 第 51 回土木計画学研究発表会, 九州大学(福岡県福岡市), 2015.

Nakata, R., Nagasawa, M., Nakanishi, M., Fukuda, D. and Asakura, Y.: Application of an integrated approach for determining travel time reliability benefit in an urban expressway, 6th International Symposium on Transportation Network Reliability, Nara, 2015.

Ruotian TANG, Ryo KANAMORI, Toshiyuki YAMAMOTO: Urban link travel time prediction considering turning choice with a non-explicit state-transition model, 6th International Symposium on Dynamic Traffic Assignment, University of Sydney (Sydney, Australia), 2016.

Oyama, Y., Chikamatsu, K., Shoji, Y., Hato, E., Koga, M.: Trajectory-oriented

traffic management using sequential discount rate: a case study of the Great East Japan Earthquake, New transport services from satellite technologies in ITS European Congress 2016, Glasgow, United Kingdom, 2016.

〔図書〕(計 3 件)

中山晶一郎, 朝倉康夫, 福田大輔, 長江剛志, 他 (中山晶一郎, 朝倉康夫(編)): 道路交通の信頼性評価, コロナ社, 318 ページ, 2014.

Fukuda, D., Ma, J., Yamada, K. and Shinkai, N.: Tokyo: Simulating hyperpath-based vehicle navigations and its impact on travel time reliability, 8 pages, In Andreas Horni, Kai Nagel, Kay W Axhausen (eds.), The Multi-Agent Transport Simulation MATSim. London: Ubiquity Press., 2016.

Yasuo ASAKURA, Eiji HATO, Takuya MARUYAMA, Behavioural Data Collection Using Mobile Phones, 19 pages, In Rasouli, S. and Timmermans, H (eds.), Mobile Technologies for Activity-Travel Data Collection and Analysis, IGI Global, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

朝倉 康夫 (ASAKURA, Yasuo)
東京工業大学・環境・社会理工学院・教授
研究者番号: 8 0 1 4 4 3 1 9

(2) 研究分担者

羽藤 英二 (HATO, Eiji)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 6 0 3 0 4 6 4 8

山本 俊行 (YAMAMOTO, Toshiyuki)
名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授
研究者番号: 8 0 2 7 3 4 6 5

中山 晶一郎 (NAKAYAMA, Shoichiro)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号: 9 0 3 3 4 7 5 5

吉井 稔雄 (YOSHII, Toshio)
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 9 0 2 6 2 1 2 0

井料 隆雅 (IRYO, Takamasa)
神戸大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 1 0 3 6 2 7 5 8

円山 琢也 (MARUYAMA, Takuya)

熊本大学・政策創造研究教育センター・准教授
研究者番号：20361529

赤松 隆 (AKAMATSU, Takashi)
東北大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号：90262964

多々納 裕一 (TATANO, Hirokazu)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：20207038

長江 剛志 (NAGAE, Takeshi)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：30379482

桑原 雅夫 (KUWAHARA, Masao)
東北大学・情報科学研究科・教授
研究者番号：50183322

福田 大輔 (FUKUDA, Daisuke)
東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授
研究者番号：70334539

日下部 貴彦 (KUSAKABE, Takahiko)
東京大学・空間情報科学研究センター・講師
研究者番号：80604610

高山 雄貴 (TAKAYAMA, Yuki)
金沢大学・環境デザイン学系・准教授
研究者番号：90612648