

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業

研究成果報告書



平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2013～2017

課題番号：25289160

研究課題名（和文）都市内交通システムにおける旅行時間信頼性の評価・運用方法の体系化

研究課題名（英文）Synthesizing evaluation and management methods of travel time variability for urban transportation systems

研究代表者

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

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では，従来交通手段別に扱われてきた旅行時間信頼性研究の体系化を行う．まず，研究代表者・分担者らがこれまでに進めてきた都市内交通システムにおける旅行時間信頼性に関する研究をさらに発展させて，都市内道路交通，都市鉄道，空港アクセスバスの各具体事例を対象に，旅行時間信頼性の経済便益評価方法，ならびに，社会的費用最小化の観点から見た運用方法を確立させる．それらの結果を踏まえ，旅行時間信頼性の現象記述・評価・運用に係る方法論を横断的に再整理した上で体系化の枠組みを設計する．最後に，実際の施策分析を通じて，提案した体系化の枠組みの妥当性・有用性を検証する．

研究成果の概要（英文）：This study aims at comprehensive analysis of travel time variability for various types of transportation modes. Firstly, we enhance studies on travel time variability and establish the economic evaluations methods, prediction methods, and traffic management strategies. Based on these individual study results, we secondly further synthesize the unified methodology for travel time variability. Finally, we examine the proposed unified framework with actual case studies.

研究分野：土木計画学・交通工学

キーワード：旅行時間信頼性 交通運用 交通行動分析 交通ネットワーク分析 交通経済分析 ビッグデータ

1. 研究開始当初の背景

高度化した現代社会において、都市内交通システム(道路、鉄道、バス等)における移動の「質」のさらなる向上に対する利用者側のニーズが高まっている。特に、旅行時間信頼性、すなわち、移動の定時性の向上に対するニーズは、交通手段の種別にかかわらず大きいものとなっている。一般に、交通システムの定時性向上による経済便益は、従来計測されてきた時間短縮便益等と比べても無視できない大きさであることが指摘されており、定時性向上のための交通システム運用や施策、及び、それらの経済評価に関する学術研究への関心が高まっている。

しかし、既存研究を俯瞰すると、パフォーマンスマネジメントの視点を重視する工学的アプローチと厳密な便益評価を追求する経済学的アプローチとが必ずしも相容れないものとなっていたり、対象面でも交通手段毎の個別分析に留まって横断的な検討はほとんどなされていなかったりするなど、旅行時間信頼性に関する総合的研究の蓄積は十分ではない。高度かつ複雑なシステムによって構成される都市内交通の旅行時間信頼性を考える上では、現象記述・評価・運用の各方法の総合的整理と体系化の取り組みが必須であると考えられる。とりわけ、従来縦割りの(交通手段毎)に行われてきた旅行時間信頼性研究を横断的に再構成し、現象記述・評価・運用の各視点から整理を行うことで、研究の体系化を図ることができると着想した。

2. 研究の目的

本研究の全体目的は、従来は交通手段別に扱われてきた旅行時間信頼性の現象記述・評価・運用に係る方法論を横断的に再構成し、旅行時間信頼性研究の体系化を行って統一的な分析枠組みを構築することにある。そのための具体的達成目標は以下のとおりである。

①旅行時間信頼性の評価・運用方法のさらなる高度化：都市内道路交通、都市鉄道、空港アクセスバスの各具体事例を対象に、代表者・分担者らがこれまで進めてきた旅行時間信頼性の評価と運用に関する研究をさらに発展させて、その経済便益評価方法、ならびに、社会的費用最小化の観点から見たシステム運用方法を確立させる。

②旅行時間信頼性研究の体系化枠組みの設計：これまでの旅行時間信頼性研究を、交通手段横断的に現象記述・評価・運用の観点から再整理し、研究の現在到達点と残された課題を包括的に整理した上で、体系化のための全体枠組みを設計する。

③体系化された評価・運用方法の妥当性・有用性の検証：実際の都市内交通システムの旅行時間信頼性向上施策を対象として、旅行時間統計データ並びに利用者行動データを収集し、それらを②で体系化した評価・運用方

法に照らし合わせて分析することを通じて、体系化の妥当性・有用性を検証する。

3. 研究の方法

第一ステップでは、各事例に対応する三つのサブグループ(①都市内道路交通、②都市鉄道、③空港アクセスバス)を組織し、旅行時間信頼性の評価・運用方法のさらなる高度化に取り組む。第二ステップでは、分析対象に対応する三つのサブグループ((a)現象記述、(b)評価、(c)運用)を組織し、旅行時間信頼性研究の体系化枠組みを設計する。第三ステップでは、実際の旅行時間信頼性向上施策を対象に、第二ステップで体系化した評価・運用方法の妥当性・有用性を検証する。最後に国際シンポジウムを開催し、成果を取りまとめる。

(図1)

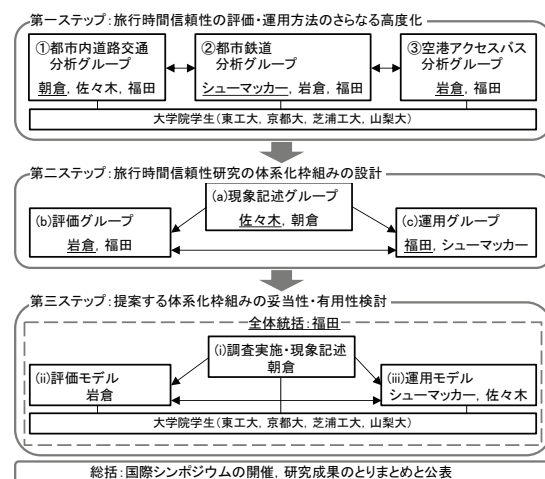


図1 研究体制

具体的な手順は以下の通りである。

第一ステップ：

①都市内道路交通

- ・都市内道路交通における旅行時間信頼性の経済評価手法の確立

- ・ハイパーパス (HP) に基づく動的経路誘導による交通管理システムの確立

②都市鉄道

- ・都市鉄道遅延のネットワーク全体への影響を評価するための統合システムの構築

- ・相互直通運転状況下における列車遅延の最適管理・運用方法の検討

③空港アクセスバス

- ・空港アクセスバス定時性向上の経済価値計測方法の開発

- ・空港アクセスバスの定時性向上のための運行管理方法の高度化

第二ステップ：

(a) 現象記述面～旅行時間分布の確率的特性に着目した体系化

- ・自動車・公共交通のリンク旅行時間変動に共通して観察される“平均値と標準偏差の

Anti-Clockwise Looping Dynamics”の生起メカニズムの解明。

- ・リンクー経路ー起終点という、異なる分析単位で得られる旅行時間信頼性指標間の関連性の解明。

(b) 影響評価面～時間信頼性の価値計測と将来予測に着目した体系化

- ・旅行時間信頼性の価値付けのための一般モデル構築とその特殊形としての各交通手段への適用可能性の整理と行動・意識データの収集指針の確立。

(c) 交通運用面～動的経路誘導方法を中心とした体系化

- ・大量交通データの利用を念頭に置いたマイニングアプローチによる交通状態オンライン推定方法の体系化。

- ・旅行時間信頼性を考慮した動的 Reliable Routing 理論の体系化。

- ・社会的費用から見たインシデント生起後の最適なシステム回復方法の体系的整理。

第三ステップ：

(i), (ii), (iii) 設計した体系化枠組みの有用性・妥当性検証を、実際の都市内交通システムにおける旅行時間信頼性向上施策を対象として検討。

4. 研究成果

①都市内道路交通

- ・従来の旅行時間信頼性価値計測モデルを拡張し、実際の行動を適切に反映した行動モデルを構築・検証した。また、トラフィックカウンター・高速道路 ETC・民間プローブ等のビッグデータを用い、データ同化手法を適用し、道路旅行時間の日別変動や時間帯別変動をより細かい時空間分解能で高精度に予測可能とした。

- ・旅行時間信頼性の貨幣価値原単位を推定するための統合アプローチを開発すると共に、旅行時間信頼性指標の将来予測モデルのプロトタイプの開発を行った。(図 2)

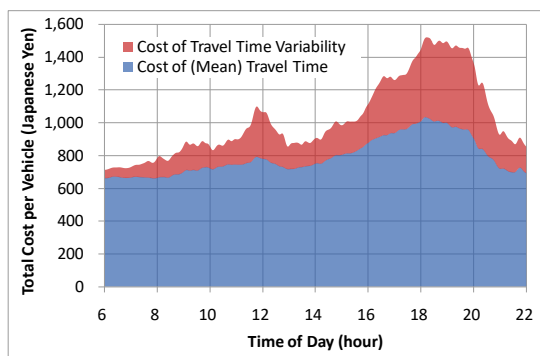


図 2 旅行時間変動に起因するコストの試算

- ・リンク毎の最大遅れ旅行時間を考慮した HP 概念に基づくリスク回避型経路推奨アルゴリズムを構築し、別途開発したスマートフォンアプリケーションに実装した。また、このア

プリケーションを搭載した車両による実走実験を行い、通常の最短経路推奨に比べて、HP による動的経路誘導の方が旅行時間の定時性が有意に改善されることが実証的に確認された。さらに、HP が広く社会に普及した近未来を念頭に置いた動的交通流ミクロシミュレーションに関する基礎的検討を行った。(図 3)

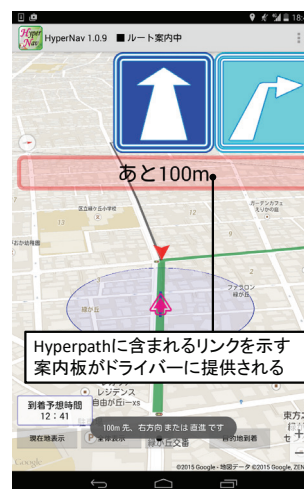


図 3 Reliable Routing アプリの開発

②都市鉄道

- ・旅行時間信頼性価値計測モデルを離散的な拡張し、H22 首都圏大都市交通センサス個票データを用いて通勤者の出発時刻選択モデルを推定した。

- ・都市鉄道における慢性的遅延を対象に、施策(移動閉そく区間の導入)によって、信頼性向上を含めた全体便益がどの程度発生するのかを推計した。

- ・出発時刻モデルで用いられるスケジューリングアプローチを拡張して、都市鉄道の旅行時間信頼性評価について検討した。具体的には、大都市交通センサスマスターデータより得られた通勤者の鉄道乗車時刻に関する Revealed Preference データと Day-to-Day の列車運行実績データを統合し、遅延による運行ダイヤからの乖離及び時間変動を考慮した出発時刻選択モデルを構築し、良好な推定結果を得た。さらに、ケーススタディとして、実際に実施された信号保安システム等の遅延対策による改善便益の試算を行い、評価手法の妥当性を確認した。

- ・首都圏鉄道における列車遅延の分析を行うことを念頭に、駅間走行・駅停車等の要素別に遅延の生じやすさを定量的に評価するため、東京メトロ東西線の長期(約 2 年)の秒単位車両運行実績データを用いて列車遅延現象の確率的特性の基礎統計分析を行った。具体的には、列車遅延現象に関する時空間的な統計的傾向の把握を行うと共に、遅延を考慮した列車の出発及び到着時刻の確率モデルを構築した。

③空港アクセスバス

- ・航空利用者の空港アクセス行動に着目し、現地調査と交通実績データに基づいて、アクセス旅行時間信頼性価値計測モデルを開発し、選好意識データを用いた検証を行った。
- ・路線バスを対象に、ダイヤからの遅れ時間の分布形状に着目して、バス利用者の時間信頼性評価に対する影響について実調査データを基に考察した。

(a)現象記述

- ・旅行者の旅行時間変動の「誤認」による追加コストがどの程度大きいのかを記述する理論モデルを構築し、Stated Preference データを用いてその程度を推計した。
- ・行動経済学の知見に基づいて「通勤者は旅行時間の分布を誤認している」という基本仮説を措定し、その影響を分析した。理論分析より、確率荷重関数の形状と時間の限界効用の変化率によって通勤者が主観的に判断する最適出発時刻と客観的な最適出発時刻との乖離の程度が決定されると共に、旅行時間変動誤認の費用が生じることを明らかにした。さらに、選好表明実験を通じて得られたデータを用いて実証分析を行い、通勤者の多くが悲観的であること、確率重み関数を適用しないことでスケジューリング選好を表すパラメータに約 20%のバイアスが生じること、旅行時間変動の確率誤認コストが全コストの約 1-8%程度であることを明らかにした。

(b)影響評価

- ・ラッシュアワー渋滞のもとでの利用者間相互作用を考慮した旅行時間信頼性の便益評価を行うための基礎理論について検討した。古典的なボトルネックモデルを一般的な通勤者コスト関数を用いて拡張し、ボトルネック容量の確率的な変動を考慮した上で導かれる利用者均衡問題の数理的特性を分析することで、旅行時間変動の社会的限界価値を導出した。さらに、代表的な二種類のスケジュールコスト関数を想定した上で理論解析と数値解析を行い、(i) 到着時刻制約の緩い通勤者から構成される社会では VTTV(私的価値)と SVTTV が一致すること、(ii) 逆に到着時刻制約の厳しい通勤者から構成される社会では VTTV が SVTTV を過大評価することなどを明らかにした。

(c)交通運用

- ・交通状態を表す諸量の一般的定義に基づいて、任意の時間空間領域で車両の走行軌跡データを集計して得られる総走行距離・総旅行時間の統計値を用い、エリアレベルで旅行時間信頼性指標を算出する方法を提案した。国内の広域プローブデータへの適用を行い、地域的・経年的差異や、交通規制の有無が信頼性に及ぼす影響を分析し、提案手法の一定程度の妥当性・有用性を確認した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 53 件)

1. Chong Wei and Yasuo Asakura: A Bayesian approach to traffic estimation in stochastic user equilibrium networks, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 36, pp. 446-459, 2013. (査読有)
2. Jiangshan Ma, Jan-Dirk Schmoecker, Daisuke Fukuda: Faster hyperpath generating algorithm for vehicle navigation, *Transportmetrica A: Transport Science*, Vol. 9(10), pp. 925-948, 2013. (査読有)
3. 荻原貴之, 岩倉成志, 野中康弘, 伊東祐一郎: 羽田空港リムジンバスを対象とした旅行時間信頼性の評価, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol. 70(5), pp. I_589-I_596, 2014. (査読有)
4. Jiangshan Ma and Daisuke Fukuda: A hyperpath-based network generalized extreme-value model for route choice under uncertainties, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 59, pp. 19-31, 2015. (査読有)
5. Yu Xiao and Daisuke Fukuda: On the cost of misperceived travel time variability, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 75, pp. 96-112, 2015. (査読有)
6. Schmoecker, J.-D., Sun, W., Liu, R. and Fonzone, A.: Bus Bunching Along a Corridor Served by Two Lines, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 93, pp. 300-317, 2016. (査読有)
7. Ge Qian and Daisuke Fukuda: Updating origin-destination matrices with aggregated data of GPS traces, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 69, pp. 291-312, 2016. (査読有)
8. 鈴木康平, 佐々木邦明: ボラティリティに着目した高速道路の非周期的変動の時系列分析, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol. 72(5), pp. I_1311-I_1319, 2016. (査読有)
9. Tatsuya Iwase, Yukihiro Tadokoro, Daisuke Fukuda: Self-Fulfilling Signal of an Endogenous State in Network Congestion Games, *Networks and Spatial Economics*, Vol. 17(3), 889-909, 2017. (査読有)
10. 福田大輔, 水口正教, 瀬尾亨, 日下部貴彦, 朝倉康夫: 広域・長期観測プローブ情報を用いたエリアレベルでの旅行時間信頼性評価, *土木学会論文集 D3(土木計画学)*, Vol.

73 (5), pp. I_1105-I_1118, 2017. (査読有)

[学会発表] (計 66 件)

1. Seiji Iwakura, Kotaro Kawamura, Ryuji Tsunoda, Ikuto Takahashi: A Multi Agent Simulation Model for Estimating Knock-on Train Delays under High-Frequency Urban Rail Operation, The 9th Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei, 2013.
2. Jiangshan Ma and Daisuke Fukuda: Hyperpath or shortest path: An evaluation method and a case study with GPS probe data, The 9th Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei, 2013.
3. Yu Xiao and Daisuke Fukuda: Identifying the distribution of value of travel time with amonotonic nonparametric estimator, The 2nd Symposium of the European Association for Research in Transportation, Stockholm, 2013.
4. Achille Fonzone, Jan-Dirk Schmoecker, Fumitaka Kurauchi, Seham Hassan: Strategy Choice in Transit Networks, The 9th Conference of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Taipei, 2013.
5. Kashin Sugishita, Katsuya Sakai and Yasuo Asakura: Vulnerability Assessment for Cascading Failures in Interdependent Networks, The 3rd Symposium of the European Association for Research in Transportation (hEART), Leeds, 2014.
6. Yasuo Asakura, Takahiko Kusakabe, Long Xuan Nguyen and Takamasa Ushiki: Incident Detection Methods using Probe Vehicles with on-board GPS Equipment, International Symposium of Transport Simulation, Corsica, 2014.
7. Ge Qian and Daisuke Fukuda: Work/school-related Travel Demand Estimation from Aggregate Datasets, The 10th International Conference on Transport Survey Methods, Leura, 2014.
8. Masanori Mizuguchi and Daisuke Fukuda: Long-Term Time-Series Modeling of Traffic Demand for Urban/Interurban Expressways in Japan, The 20th Hong Kong Society for Transportation Studies, Hong Kong, 2015.
9. Jiangshan Ma and Daisuke Fukuda: Finding Multiple Dissimilar Reliable Routes in Linear Time Complexity under Travel Time Uncertainties, TRB 94th Annual Meeting, Washington DC, 2015.
10. Seiji Iwakura, Wataru Kobayashi:

Agent-Based Model for Assessing Techniques to Reduce Knock-on Urban Train Delay, CECAR7 Conference, Hawaii, 2016.

[図書] (計 3 件)

1. 福田大輔, 朝倉康夫他(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.
2. 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.
3. Kurauchi, F. and Schmoecker, J.-D. (eds.) Public Transport Planning with Smart Card Data, Taylor & Francis, 261 pages, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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

岩倉 成志 (IWAKURA, Seiji)
芝浦工業大学・工学部・教授
研究者番号 : 20223373

佐々木 邦明 (SASAKI, Kuniaki)
山梨大学・医学工学総合研究部・教授
研究者番号 : 30242837

シューマッカー ヤンディアク
(SCHMOECKER, Jan-Dirk)
京都大学・工学研究科・准教授
研究者番号 : 70467017