

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 18 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01550

研究課題名（和文）ネットワーク信頼性に基づく自動車の自動運転実用化によるストック効果推計技術の開発

研究課題名（英文）Estimation of stock effects from connected autonomous vehicles based on network reliability

研究代表者

内田 賢悦 (Uchida, Kenetsu)

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：90322833

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、時間信頼性の視点から、自動車の自動運転技術実用化が社会もたらす効果を評価するための技術開発を行った。自動運転技術実用化がもたらす効果として、確率的に変動するリンク交通容量の改善、自動運転車両が獲得する経路移動時間情報の確度向上を扱っている。との影響によって、道路ネットワークの確率的移動時間が変化し、自動運転車両の普及率は道路ネットワーク上の時間信頼性を向上させる。開発した推計技術の挙動を確認するため、テストネットワークを対象に数値計算を行った。本研究で開発した推計技術が時間信頼性の面から、自動車の自動運転技術実用化が社会にもたらす効果を定量的に評価できることを確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コネクティッドな自動運転車両が道路ネットワークのパフォーマンスに与える影響を表現するために、本研究では、自動運転車両と一般車両における臨界車頭時間と獲得する経路移動時間情報の確度の違いに着目した。それらの関係を精緻な数学モデルとして記述することにより、自動運転技術実用化が社会もたらす効果を事前評価することが可能となった。自動運転車両が普及していく過程では、望ましい効果だけが発現するわけではない。そのため、将来の自動運転技術実用化を見据え、その効果を広く国民に知らしめることは、自動運転車を滞りなく普及させていく上で重要となるが、この点で本研究の成果の活用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a method for estimating the stock effects from connected autonomous vehicles is developed. The method focuses on the travel time reliability. The method addresses two effects of the connected autonomous vehicles, i.e., improvement of stochastic traffic capacity and enhanced travel time information in a road network. Such effects improve the travel time reliability. Numerical experiments are carried out for demonstrating the method developed in this study. It is shown that the method estimates correctly the stock effects from the connected autonomous vehicles from the viewpoint of the travel time reliability.

研究分野：交通計画

キーワード：自動運転 時間信頼性

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は、自動運転技術の向上により、公道上に自動運転車両が走行することに対する期待が高まりつつある時期であった。多くの自動車交通に関する研究者や評論家は、自動運転車両が普及すると、環境負荷削減、交通事故削減、移動時間の削減等、多くの効果が発現すると主張していた。しかしながら、交通事故発生の危険性もあり、日本国内において公道上で自動運転車両を用いた実験を行うことは、技術的にも法令的にも難しい状況にあり、具体的な効果はどのようなものとなるかについては判然としていなかった。こうした状況の中、自動運転が実用化された場合、社会にどのようなインパクトを与えるかについて、定量的に事前評価するための技術開発への必要性が高まっていった。

自動運転車両が普及していく過程では、先述の通り交通事故発生に代表される負の影響も顕在化すると考えられ、望ましい効果だけが発現するわけではない。そのため、将来の自動運転技術実用化を見据え、その効果を広く国民に知らしめることは、自動運転車を滞りなく普及させていく上で必要となる。さらに、そうした効果を推計するための技術においては、必ずしも自動運転車両でなくとも実現可能な効果、すなわち環境負荷削減、交通事故削減、移動時間の削減等にとどまらず、自動運転車両でなければ発現しないような効果も適切に推計することが求められる。

2. 研究の目的

本研究では道路ネットワークにおける時間信頼性に着目し、自動車の自動運転技術実用化が社会にもたらす効果を定量的に事前評価するための技術開発を行った。自動運転技術実用化がもたらす一次的な効果として、確率的に変動するリンク交通容量の量的・質的改善、自動運転車両が獲得する経路移動時間情報の確度向上を扱っている。リンク交通容量が確率的に変動するためその移動時間の確率的に変動することになる。によって、自動車間の運転特性が均一化するだけでなく、登坂部でのアクセル制御等も併せて行うことによって、道路ネットワーク上の各リンクにおける平均交通容量を増大させるだけでなく、その変動が削減されることになる。前者を量的な改善と呼び、後者は確率的に変動する交通容量のばらつきを削減することから、これを質的な改善と呼んでいる。によって、一般車両とコネクティッドな自動運転車両の経路選択における移動時間情報の確度の違いを表現することが可能となり、両車両の経路選択が異なる状況が再現されることになる。と の影響によって、道路ネットワークの確率的移動時間が変化するため、自動運転車両の普及率は道路ネットワーク上の時間信頼性に大きな影響を及ぼすことになる。

自動運転技術実用化による効果を時間信頼性の観点から定量的に評価を行うための技術開発は、これまで国内外を問わず試みられていない。自動運転技術実用化により、交通事故削減、渋滞の解消・緩和、環境負荷の低減、高齢者等の移動支援などの効果が期待されるが、それらと同等あるいはそれ以上に大きい効果は、時間信頼性の向上であると本研究では捉えている。時間信頼性は、所定の時間内に目的地に到着できる確率と定義され、と の関係を適切にモデル化することによって、時間信頼性を定量的に推計することが可能となる。

3. 研究の方法

自動運転車両の普及過程における道路ネットワーク上のリンク交通容量を推計するために、本研究では一般車両と自動運転車両の臨界車頭時間の違いに着目した。両車両の臨界車頭時間はそれぞれ対数正規分布に従うものとする。自動運転車両の臨界車頭時間の期待値および分散は一般車両のものよりも小さい値をとると想定できる。こうした関係とともに、自動車交通の総需要に対する自動運転車両の比率を与え、後に説明する両車両の経路選択行動の違いを表現すると、道路ネットワーク上の各リンクにおいて、自動運転車両の比率を計算することができる。両車両の臨界車頭時間分布と各リンク上の自動運転車両の比率から、両車両の混合流の臨界車頭分布を計算することができる。ここで、この臨界車頭分布もまた対数正規分布に従うことになる。臨界車頭時間の逆数が単位時間当たりの交通容量となり、それも対数正規分布として表現される。

本研究で開発した自動運転技術実用化による効果を推計する技術では、上述したリンク交通容量だけでなく道路ネットワーク上の生成交通量も対数正規分布に従うと仮定している。この仮定は、日々観測される交通量が確率的に変動しており、それが対数正規分布に従うとの観測結果に整合するものである。その結果、道路ネットワーク上の移動時間も確率的に変動することになる。道路ネットワーク上の車両は、確率的に変動する移動時間を踏まえ、経路選択を行うことになるが、そこでは移動時間の平均だけでなく、そのばらつきとしての標準偏差も経路選択に影響を与えることになる。すなわち、リスク回避的な経路選択を行う車両であれば、2つの経路で平均移動時間が同一であるとすると、より標準偏差の小さい経路を嗜好し、逆に標準偏差に同一であるとすると平均移動時間の短い経路を嗜好することになる。時間信頼性は、移動時間分布の平均と標準偏差によって特徴づけられるため、時間信頼性が道路ネットワーク上の車両の

経路選択に影響を及ぼすことがわかる。

コネクティッドな自動運転車両は、一般車両と比較すると、道路ネットワーク上の移動時間分布をより正確に把握できると考えられる。すなわち、自動運転車両と一般車両とでは、獲得できる経路移動時間情報の確度に差が生じる。両車両は、獲得した経路移動時間情報に基づいて経路選択を行うと考えられるが、本研究では自動運転車両は常に経路コストが最小となる経路を選択できる一方で、一般車両は必ずしも最小となる経路を選択できないと考えた。そこで、前者は確定的な利用者均衡配分原則に従い、後者は確率的利用者均衡配分原則に従って経路選択を行うものとして推計技術の定式化を行っている。すなわち、マルチユーザクラス型利用者均衡配分モデルとして定式化を行っている。

紙面の制約からモデルの詳細を説明することは困難であるが、道路ネットワーク上の時間信頼性を適切に表現することを目的とし、自動運転車両の普及率を考慮した上で、交通需要とリンク交通容量（交通供給量）の不確実性を表現し、マルチユーザクラス型利用者均衡配分モデルを精緻な数学モデルとして定式化を行った。さらには、解の存在と一意性を保証するモデルパラメータの存在範囲の検討も行っており、時間信頼性の観点から、自動車の自動運転技術実用化が社会にもたらす効果を適切に評価するための技術を開発することができた。

4. 研究成果

開発した推計技術の挙動を確認するため、図1に示すテストネットワークを対象に数値計算を行った。このネットワークでは9組のトリップの起終点ペアが存在し、各起終点ペアには4つの経路が存在する。

自動運転車両（AV）の普及率と自動運転車両の臨界車頭時間の平均を変化させたときの総移動コストの変化を図2に示す。この結果から、自動運転車両の臨界車頭時間の平均が短くなるにつれて、さらには自動運転車両の普及率が高まるにつれて、ネットワーク上の総移動コストが減少する傾向が示された。総移動コストの減少は、自動運転車両普及による効果として捉えることが可能であり、その効果には時間信頼性向上も含まれている。ノード1-7間の起終点ペアにおける各経路の交通量と移動時間の確率分布をそれぞれ図3、図4に示す。これらの図では、総交通需要とリンク交通容量が確率変数として表現され、2種類の車両の経路選択行動の違いを踏まえ、経路交通量と経路移動時間が計算されていることが示されている。以上の結果は、本研究で開発した推計技術が時間信頼性の面から、自動車の自動運転技術実用化が社会にもたらす効果を定量的に評価できることを示している。

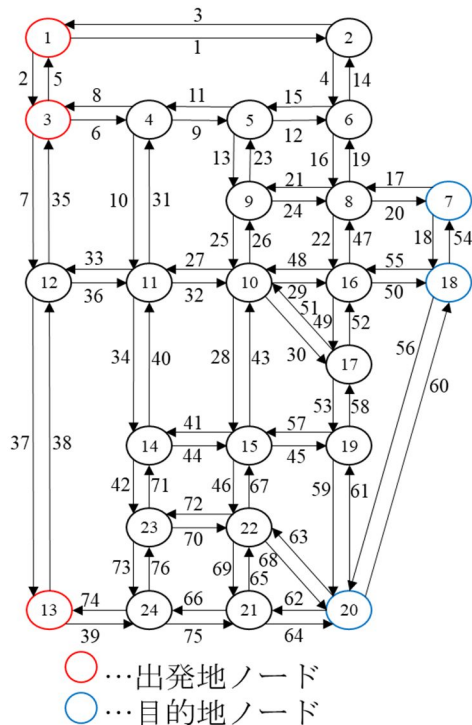


図1 テストネットワーク

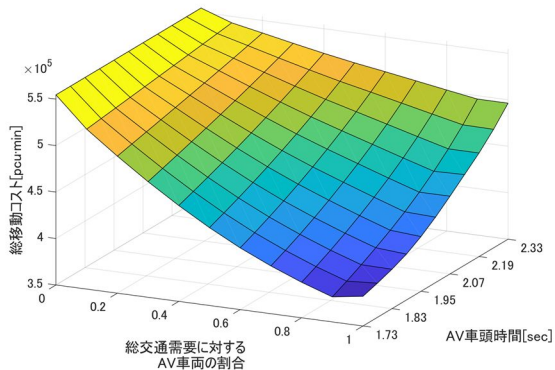


図2 総移動コストの変化

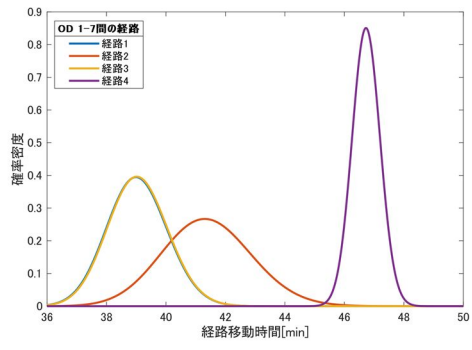


図3 経路移動時間分布

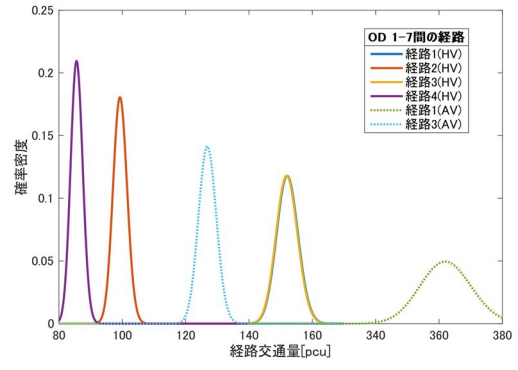


図4 経路交通量分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Teppei Kato, Kenetsu Uchida, William H.K. Lam, Agachai Sumalee	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimation of the Value of Travel Time and of Travel Time Reliability for Heterogeneous Drivers in a Road Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transportation	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11116-020-10107-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nitta, S., Tani, R., Kato, T. & Uchida, K.	4. 巻 13
2. 論文標題 Estimation of travel time reduction benefit considering the travel time reliability in an autonomous vehicle prevailed road network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Eastern Asia Society of Transportation Studies	6. 最初と最後の頁 664-677
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11175/easts.13.664	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Munehiro Kazunori, Nakamura Naohisa, Sato Masaya	4. 巻 -
2. 論文標題 Experiments of Autonomous Vehicles Running at a Test Track, and Future Prospects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transportation Soil Engineering in Cold Regions (Proceedings of TRANSOILCOLD 2019)	6. 最初と最後の頁 275-285
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tani, R., Owada, T. & Uchida, K.	4. 巻 -
2. 論文標題 Path travel time estimation method by incomplete traffic data	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13177-018-0168-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kazunori Munehiro, Naohisa Nakamura and Masaya Sato	4. 巻 265
2. 論文標題 Variation of traffic flow due to accumulated snow formation on road	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATEC Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/mateconf/201926502002	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Tani, R. & Uchida, K.
2. 発表標題 Reliability-based traffic assignment model considering mixed traffic flow of automated and connected vehicles and human-driven vehicles
3. 学会等名 The 24th International Conference on Transportation Studies, Hong Kong. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nitta, S., Ryuichi, T., Kato, T. & Uchida, K.
2. 発表標題 Estimation of Travel Time Reduction Benefit Considering the Travel Time Reliability in an Autonomous Vehicle Prevailed Road Network
3. 学会等名 The 13rd EASTS conference, Colombo (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新田 翔・峪 龍一・内田 賢悦
2. 発表標題 自動運転車両普及後の道路ネットワーク における移動時間不確実性を考慮した走行時間短縮便益の推計手法の開発
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Owada, T., Tani, R. & Uchida, K.
2. 発表標題 Travel time estimation in a road network by using traffic probe data
3. 学会等名 The 16th ITS Asia-Pacific Forum FUKUOKA 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tani, R., Kato, T. & Uchida, K.
2. 発表標題 A method for representing variability of travel time based on stochastic link flow
3. 学会等名 THE 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE OF HONG KONG SOCIETY FOR TRANSPORTATION STUDIES (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tani, R., Uchida, K.
2. 発表標題 Estimation of cognitive travel time in road networks exposed to risks of natural disasters
3. 学会等名 7th International Conference of Transport Network Reliability (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新田翔，嵯龍一，内田賢悦
2. 発表標題 自動運転車両普及後の道路ネットワークにおける移動時間信頼性を考慮した走行時間短縮便益の推計
3. 学会等名 平成30年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤哲平, 内田賢悦, 峪龍一
2. 発表標題 確率的交通容量を考慮したBPR関数のパラメータ設定
3. 学会等名 第58回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峪龍一, 内田賢悦
2. 発表標題 自動運転車両の普及過程における移動時間信頼性を考慮した交通量配分モデル
3. 学会等名 第58回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 峪龍一, 内田賢悦
2. 発表標題 リンク交通量に基づく移動時間信頼性の評価手法
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川裕修, 菊池光貴, 田村亨
2. 発表標題 ゲリラ豪雪がもたらす災害リスクへの適応戦略
3. 学会等名 第57回土木計画学研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Munehiro, Naohisa Nakamura and Masaya Sato
2. 発表標題 Experiments of Self-Driving Vehicles Running at a Roundabout, and Future Prospects
3. 学会等名 Proceedings of 98th TRB Annual Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazunori Munehiro
2. 発表標題 Variation of traffic flow due to accumulated snow formation on road
3. 学会等名 International Geotechnical Symposium "Geotechnical Construction of Civil Engineering & Transport Structures of the Asian-Pacific Region" (GCCETS 2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazunori Munehiro
2. 発表標題 Experiments of Self-Driving Vehicles Running at a Roundabout, and Future Prospects
3. 学会等名 98th TRB Annual Meeting
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 N.Otsuka, T.Tamura, M.Furuichi	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Routledge	5. 総ページ数 252
3. 書名 Russia's Far North -The Contested Energy Frontier-	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宗廣 一徳 (Munehiro Kazunori) (00414194)	国立研究開発法人土木研究所・土木研究所(寒地土木研究所)・主任研究員 (82114)	
研究分担者	井田 直人 (Ida Naoto) (50433420)	北海道科学大学・工学部・准教授 (30108)	
研究分担者	田村 亨 (Tamura Toru) (80163690)	北海商科大学・商学部・教授 (30112)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関