

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420511

研究課題名(和文) 粒子経路選択モデルを基礎とする交通流シミュレーションモデルの実用化に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Dynamic Traffic Assignment Based on An Atomic Model of Route-Choice

研究代表者

宮城 俊彦 (MIYAGI, Toshihiko)

岐阜大学・工学部・特任教授

研究者番号：20092968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：来るべき高度情報社会において情報と行動の関係を分析する手法は増々重要性を増している。本研究は、道路利用者の経路選択に与える情報の役割を分析する理論とツールを開発することを目的としている。この場合の問題と結論は以下のようなものである。本研究で開発されるアルゴリズムを組み込んだナビゲーション・システムを具備するドライバーが、日々の経路選択でこれを有効に活用した場合、そのドライバーは、あたかも完全な情報を得ていた場合と同水準の最適な経路選択が行えるかという問いである。本研究の結論は、理論的には可能であるというもので、これを動的交通シミュレータを用いて確認した。

研究成果の概要(英文)：The approach to analyze the relationship between information and travel behavior in the coming era of advanced information society is increasingly becoming important. This research aims to develop the theory and procedures to analyze the role of information given to road users' route-choice. A naive question in this situation is as follows. Is it possible when a driver equipped with a navigation system equipped with the algorithm developed in this research effectively utilizes it by daily route selection, the driver's utility is really achievable the same level as if the driver had obtained complete information about traffic conditions. The conclusion of this research is affirmative at least theoretically. This conclusion is confirmed by using dynamic traffic simulation.

研究分野：交通計画

キーワード：経路選択行動 利用者均衡アルゴリズム 混雑ゲーム 一般化弱仮想プレイ 強化学習 交通流シミュレーション、Nash均衡 離散選択モデル

1. 研究開始当初の背景

(1) 交通流シミュレータ技術の進展とともに実務上の交通政策立案においても交通流シミュレータの応用が盛んになってきたが、Wardrop 均衡(あるいは利用者均衡)と整合するアルゴリズムの提案はほとんどなく、特に、ミクロ交通流シミュレータ上での利用者均衡を求めるアルゴリズムは理論面でも整備されていない。

(2) 既存の経路選択モデルは集計モデルであり、その前の段階で実施される非集計手段選択モデルと整合しておらず、また、コスト関数の連続微分可能性や交通量をモニターしている必要があるなど、多くの制約がある。

2. 研究の目的

(1) 粒子型経路選択モデルとセルオートマトン型交通流シミュレーションを統合化し、短期的交通政策、例えば、高速道路における流入制御や料金政策、あるいは交通事故等が与える動的な経路変更行動と交通流変化の相互作用を扱うモデルを開発する。道路上のセルと経路選択を行うドライバーが1対1対応するモデルが可能になると同時に道路情報の影響をシミュレートできるモデル構築が可能になる。

(2) 経路選択モデルはオンライン交通情報を受信できる場合とオフライン交通情報(走行経験)のみの場合を想定し、それぞれに対応した均衡状態を Informed-User Equilibrium (IUE) および Naive-User Equilibrium (NUE)と呼ぶことにする。IUE および NUE では利用者はネットワーク上の交通量や走行時間関数を知らないと仮定しており、その意味で限定合理性の経路選択モデルになる。本研究では、走行経験を通して学習することによって漸近的に最適化行動を達成するモデルを構築する。

(3) モデルの有効性を確認するためセルオートマトンモデルを用いて、収束性や均衡の達成水準等を分析する。

3. 研究の方法

理論研究と実証研究の2つで構成される。

(1) 理論研究

漸近的最適応答モデルは、近未来の交通環境を想定しており、経路情報がオンラインで受信できる場合と現状のようにドライバーの日々の経験に基づく場合の(オフライン)経路選択行動を記述する。日々の動的変化を記述するモデルあるいはアルゴリズムの大域的収束性は、確率近似理論に基づく。本研究では、漸近的最適応答が一般化仮想プレイになることを示し、したがって、Nash 均衡の集合に収束することを明らかにする。

(2) 実証的研究

提案モデルがミクロ交通流シミュレーション上で十分に機能するかを確認するため、2段階で実証実験を行なう。まず、初めに、モデルの詳細な特性を把握するため、セルオートマトンの単純モデルある Nagel-Schreckenberg (Nasch)モデルをプログ

ラム化し、シミュレーションを実施する。Nasch は if-then ルールのモデルであり、走行時間関数は想定されていない。したがって、伝統的な走行時間関数を利用するアルゴリズムは適用できない。次に、Nasch モデルを一般化した実用モデルである SUMO(Simulated Urban Mobility)を使用した実証実験を行う。

4. 研究成果

(1) 理論的成果

漸近的最適応答モデルを以下のように定義する。ゲーム

$$G|I = \{1, \dots, i, \dots, N\}, \{A^i\}_{i \in I}, \{u^i\}_{i \in I, t \geq 0}, \{U^i\}_{i \in I, t \geq 0}$$

を考える。各プレイヤー  $i \in I$  の行動空間  $A^i$  は有限であると仮定する。今、プレイヤー  $i$  がステージ  $t$  の終了後受信する行動価値のオンライン情報あるいはオフライン情報  $U_t^i$  を次のように定義する。

$$U_t^i = u^i(a_t^i, a_t^{-i}) + \varepsilon_t^i(a_t^i)$$

ただし、各プレイヤーは自己の利得関数  $u^i(\cdot)$  を知らないと仮定する。このとき、次の条件を満足する混合戦略  $\pi = (\pi^i, \pi^{-i}) \in \Delta$  を漸近的最適応答と定義する。

1. 実現利得に基づく期待値の推定値  $\hat{u}_t^i(U_t^i)$

は極限において期待値  $u^i(\pi_t)$  に漸近する。す

$$\|\hat{u}_t^i - u^i(\pi_t)\| \rightarrow 0 \text{ as } t \rightarrow \infty$$

2. 以下の最適応答において、

$$\varepsilon_t \rightarrow 0 \text{ as } t \rightarrow \infty \text{ を満足する}$$

$$b_{\varepsilon_t}^i(\pi_t^{-i}) = \left\{ \begin{array}{l} \pi_t^i \in \Delta^i : u^i(\pi_t) \geq \\ u^i(b^i(\pi_t^{-i}), \pi_t^{-i}) - \varepsilon_t \end{array} \right\}$$

$$\text{ここに、} b^i(\pi^{-i}) = \arg \max_{\pi^i \in \Delta^i} u^i(\pi^i, \pi^{-i})$$

この問題に対応した学習アルゴリズムは次のようである。

経路選択確率

$$\beta_{\mu_t}^i(a^i) = \frac{\exp\{\hat{u}_t^i(a^i) / \mu_t^i\}}{\sum_{b^i \in A^i} \exp\{\hat{u}_t^i(b^i) / \mu_t^i\}} \quad (1)$$

### 価値推定値の更新

$$\hat{u}_{t+1}^i(a^i) = \hat{u}_t^i(a^i) + \lambda_{t+1} (U_t^i(a^i) - \hat{u}_t^i(a^i))$$

$$\sum_t \lambda_t = \infty \text{ and } \sum_t (\lambda_t)^2 < \infty \quad (2)$$

### 混合戦略の更新

$$\pi_{t+1}^i \in \pi_t^i + \alpha_{t+1} [\mathbf{1}\{a_t^i = a^i\} - \pi_t^i] \quad (3)$$

### パラメータの更新

$$\mu_t^i = \max u^i(a^i, z_t^{-i}) - \bar{u}_t^i \quad (4)$$

この時、次のことが成立する。

【命題】(1)~(4)で生成される混合戦略系列は一般化弱仮定プレイであり、したがって、Nash 均衡集合に収束する。

### (2)実証研究

Nasch への適用

計算例は一つの起終点を結ぶ平行な3経路を想定した非常に単純なネットワークである(図1)。3つの道路の諸元は表1に示す通りである。トータルの流入量は  $q = 3000(v/h)$ 、シミュレーション時間は  $T = 3600(s)$  である。なお、利用者が経験する旅行時間は流出時間と流入時間の差で定義し、 $g_t^i = t_{out}^i - t_{in}^i$  で与えている。

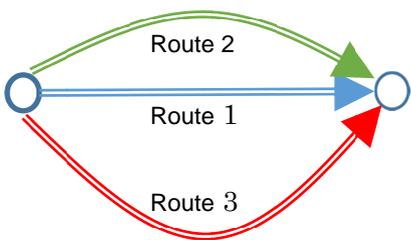


図1 . Nasch モデル適用のネットワーク

Route	Length	$v_{\max}$
Route 1	1000 m	2 (54km/h)
Route 2	1500 m	3 (81km/h)
Route 3	2000 m	4 (108km/h)

表1 . 各ルートの諸元

計算結果の1例を示す。図2に示すように感度パラメータはゼロに漸近する。このことは、経路選択行動が最適応答に漸近している

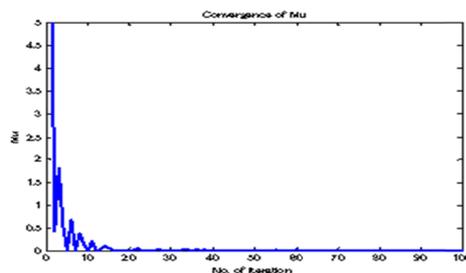


図2 感度パラメータの収束

ことを表す。その結果を受け、図3に示すように各経路の費用はすべて等しくなることが分かる。

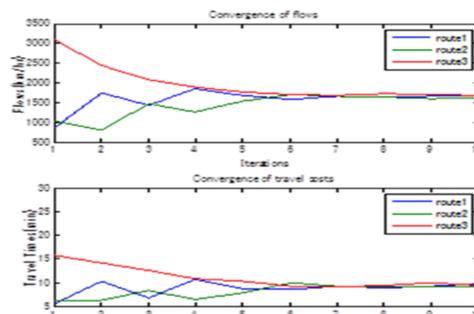


図3 フロー(上段)とコスト(下段)の収束

図3は、ネットワーク上で交差点遅れや確率的停止遅れが存在しない場合である。これらを考慮すると、私的情報に伴うランダム性以外にシステム固有のランダム性が常に発生する状況であり、次の例に示すように所要時間のバラティティが大きくなる。

### SUMO シミュレータへの応用

Sioux Falls ネットワークへの適用例。オリジナルネットから14ノード、42リンクを抽出した。また、ランダムに選んだ48起終点ペアで34,400トリップ/時を想定している。リンクは片側1車線あるいは2車線で構成され、最高速度を13.89m/secと設定している。交差点は信号交差点(赤丸)、優先通行付き交差点そして常時一時停止交差点で構成されている。起点からネットワークへの流入時間間隔は指数分布に従うと仮定し、シミュレーション時間は120,000ステップとしている。反復回数は1,000回である。他の設定はSUMOのパラメータを使用している。

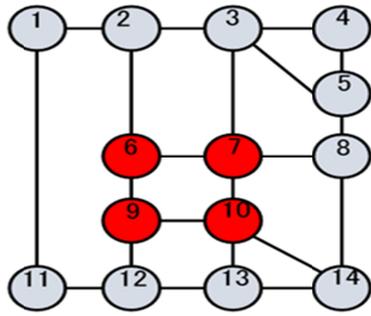


図4 SUMO 適用のネットワーク

結果について、フローとコストの変動を図5にそして平均利得（負の所要コスト）の推定値の実績値を図6に示す。SUMOの場合、ランダムショックが常に走行車両に与えられること、また、交差点での待ち時間がランダムに発生するので、経路所要時間は各反覆ごとに確率的に変動する。そのため、図5の中段に示すように所要時間は常に変動している。それにも関わらず、その時間平均は安定化し、また、利得の推定値も安定化する。

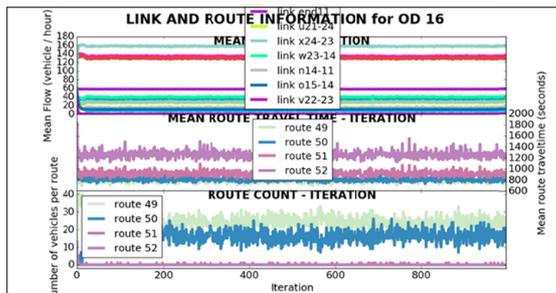


図5 フローの変動（上段，下段）と経路コスト（中段）の変動

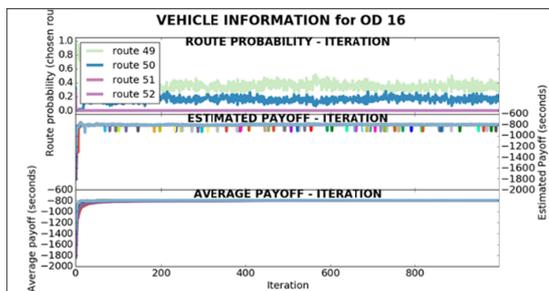


図6 利得推定値（中段）と平均利得

### 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 2件)

(1) Miyagi, T. and Peque, G.C. Jr. "Adaptive Learning Algorithms for Simulation-based

Dynamic User Equilibrium", International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 2016 (Accepted.)

(2) Peque, G.C. Jr., Miyagi, T. and Kurauchi, F. "A new perspective of traffic assignment: A game theoretical approach", Journal of the EAST, Vol. 11, 2015, p. 488-506.

<http://doi.org/10.11175/easts.11.488>)

〔学会発表〕(計 2件)

(1) Peque, G.C. Jr., Miyagi, T. and Kurauchi, F. "A multi-agent, simulation-based dynamic traffic user equilibrium", 6th International Symposium on Dynamic Traffic Assignment, Sydney Australia, June 28-30, 2016.

(2) Miyagi, T. and G. Peque Jr., "A Combined Model of Adaptive Route Choice and Traffic Simulation with Cellular Automata", European Transport Conference, 29 Sep.~1Oct.2014, Goethe University, Frankfurt, Germany.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

### 6. 研究組織

(1)研究代表者

宮城 俊彦 (MIYAGI, Toshihiko)

岐阜大学・工学部・特任教授

研究者番号: 20092968

(2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

( )

研究者番号:

(4)研究協力者

( )