

# 粒子経路選択モデルの特性

岐阜大学・(株) テイコク 正会員 ○宮城 俊彦

## 1. 目的

本文は、個々の利用者の経路選択に関わる意思決定本文は、個々の利用者の経路選択に関わる意思決定行動を獲得できる交通情報との関係で定式化するゲーム理論の枠組みと達成される均衡について考察したものである。ここで取り扱うモデルの特徴は、個々の利用者を離散的に扱う粒子(atomic)モデルという点であり、利用者の純粋戦略としての経路選択を扱っている点で従来のロジットモデルとは異なっている。したがって、セルオートマトンやセルトランミッション交通流モデル<sup>1,2)</sup>と整合的であり、離散的交通手段選択モデルとも整合的なモデル構造をもつ。著者が関わったモデルを中心に計算アルゴリズムと達成される均衡について概説する。

## 2. 交通情報のタイプ

日々繰り返えされる day-to-day の経路選択行動を考える。利用者が得ることのできる経路情報（ゲーム論的には利得）を以下のように 3 つのタイプに分類する。

### (1) 告知情報(Announced Payoffs)

利用者は自己の利得関数（あるいはリンクのコスト関数）そして他者の行動ルールに関する知識はない。しかし、交通情報センターより、彼の利用可能経路に関する所要時間などの経路情報を得ることができる。すなわち、利用者は実現利得(Realized payoffs)を‘事後的に’得ることができる。利用者は自分の経験情報と交通センターから得られる情報を利用してより多い利得を得ようとする

### (2) 評価情報(Anticipated Payoffs)

利用者は自己の利得関数を知っているが、他者の利得関数は知らない。このとき、利用者は前日の経路利用者数の情報を得ることができれば経路探索アルゴリズムを利用してどの経路が最大利得を与える経路を知ることができる。同質の利用者を仮定すれば、このゲームは混雑ゲームあるいはポテンシャル

ゲームになり、従来の経路選択モデルの離散化したものに相当する。

### (3) 経験情報(Experienced Payoffs)

利用者は自己の利得関数を知らず、また、他者の利得関数も知らないし、行動を観察してもいない。利用者が知り得る情報は自分が経験した利得のみである。

(2) は、利用者は他者の行動およびの経路集合に含まれ経路の利得を知ることができるという意味で完全情報モデルと呼ぶことができ、この仮定より達成される均衡を IU(Informed User)均衡と呼ぶ<sup>3)</sup>。しかし、(1) の場合、他者の行動ルールを知らない、あるいは、行動を観測していないという意味でゲーム論的には不完全情報ゲームであり。利用者は最善行動を取ることはできない。(3) は (1) よりも更に交通情報が限定された状況であり、この仮定から導かれる交通均衡を NU (Naïve User) 均衡と呼ぶ<sup>4)</sup>。これらのモデルでは、利用者が日々の学習を通して、完全情報ゲームに近づくことができるのか、言い換えれば Nash 均衡が達成されるかが問題になる。

## 3. アルゴリズム

2 節に示した利得構造と対応するゲームとその解法について触れる。粒子均衡モデルでは混合戦略と純粋戦略を明確に区別する必要がある。混合戦略は、経路選択確率と同じである。利用者は、この混合戦略に従ってその日の行動（純粋戦略）を決定する。すなわち、実際の経路選択は 0-1 選択である。この点で、集団を前提にロジットモデルによって経路に割り振るモデルとは根本的に異なっている。

### (1) リグレット・マッチング

2. (1) の告知情報のケースには Hart and MasCollé<sup>5)</sup>によって提案されたリグレットマッチング理論を用いることができる。Miyagi<sup>6,7)</sup>は、リグレットマッチング理論を初めて交通行動選択モデルに適用した。この場合得られる均衡は「粗い相関均衡」である。

均衡は経路選択確率に対して定義されるのではなく、経路選択頻度である。

## (2) 確率的仮想プレイ

混雑ゲームはポテンシャルゲームであり、確定的モデルと確率モデルがあり、それぞれ利用者均衡および確率的利用者均衡に対応している。決定論的モデルに対しては *fictitious play* そして確率的混雑ゲームに対しては *stochastic fictitious play* アルゴリズムをベースにしたアルゴリズムを構成することができる。確率的仮想プレイは Fudenberg and Krep によって提案され、 $\epsilon$  Nash 均衡に収束することが知られている<sup>8)</sup>。経路選択確率はロジットモデルになるので利得に関わる係数がゼロに漸近するならば、確率的仮想プレイは Nash 均衡を十分に近似できる。Miyagi, T., and G.C. Peque, Jr.<sup>3)</sup>は、 $\epsilon$  摂動を考慮したアルゴリズムを提案し、リンクコスト関数が非連続であったり、そのヤコビ行列が非対称の場合にも適用できること、また、提案アルゴリズムは、連続系の場合より早く収束することを示している。

## (3) 確率近似理論

交通ネットワークにおける *naïve user* 均衡を扱った研究は極めて少ない。Miyagi and Peque<sup>4)</sup>は利用者が確率近似公式によって経路所要時間情報を更新し、推定値に基づく最善経路選択を行うとした、アルゴリズムの提案と収束特性を示している。この場合には Nash 均衡に確実に収束することを保証できない。また、均衡に達してもそこに留まることなく、近傍で周期的に変動する。こうした特徴は室内実験でも確認されている<sup>9)</sup>。利用者は均衡の存在を知らず、システムが Nash 均衡状態だったとしてもそこに留まることはないからである。

## 4. 最後に

粒子経路選択モデルはセルトランスミッションモデルのような動的交通流シミュレートモデルと経路選択の間でフィードバック機構をもつシミュレーションモデルの開発を意図している。個別のセルと意思決定者が 1 対 1 に対応する場合を完全同期モデルと呼ぶ。一方、非完全同期モデルでは、ある時間帯の経路選択母集団を対象にし、セルと対応関係は無視する。非完全同期モデルについては比較的容易に

開発可能と考えている。

## 参考文献

- 1) CF Daganzo. The cell transmission model:A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transpn. Res.B.*, 28(4),267-287,1994.
- 2) CF Daganzo. The cell transmission model, Part II:Network traffic. *Transpn. Res.B.*, 29(2),79-93,1995.
- 3) Miyagi, T., and G.C. Peque, Jr. : Informed-user algorithms that converges to Nash equilibrium in traffic games, *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 54, Elsevier, pp.438-449, 2012.
- 4) Miyagi, T., G.C. Peque, Jr and J. Fukumoto. Adaptive Learning Algorithms for Traffic Games with Naive Users, the 20th International Symposium on Traffic Theory and Transportation, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 80, pp. 806 – 817, 2011.
- 5) Hart,S. and A. Mas-Colell. A simple adaptive procedure leading to correlated Equilibrium, *Econometrica*, 68(5),1127-1150,2000.
- 6) Fudenberg,D., and D.K. Levine. Conditional universal consistency, *Games and Economic Behavior* 29, 104-130,1999.
- 7) 池田 愛,宮城俊彦:経路選択行動に関する室内実験, *交通工学*,Vo1. 48, No.2, pp.53-62, 2013.