

ファジィ経路選択モデルによる学習過程を考慮した運転者挙動の分析
Travel Behavior Analysis of Drivers with Learning Process
 by Fuzzy Route Choice Model

安田 浩明 ・ 秋山 孝正

By Hiroaki YASUDA, Takamasa AKIYAMA

1. はじめに

情報通信機器の進展に伴い、ナビゲーションシステムなどの交通情報に基づく自律的な道路交通管理が重要である。このため、運転者の経路選択時の意思決定過程に対応した運用方法が必要である。

既存の研究では、運転者の学習に着目し、経路選択モデルを構築している。ここでは、モデルにより運転者の経路選択行動について分析している¹⁾³⁾。

本研究では、とくに運転者の曖昧性と、不確実な状況下での意思決定に注目し、ファジィ所要時間を導入した経路選択モデルを提案する。ここで、学習に伴うファジィ数の形状変化を検討することで、運転者の現実的判断の分析が可能となる。

2. ファジィ経路選択モデルの構築

ここでは、運転者の所要時間認知に含まれる曖昧性に着目した経路選択モデルの構築を行う。

2.1 ファジィ経路選択モデルの基本的概念

まず、モデル内の運転者の行動を仮定する。

運転者は各経路の所要時間を予測するとともに、OD間に対する標準的所要時間を認識しているとする。ここで、運転者の認知所要時間に曖昧性が含まれると考え、図-1のように三角型ファジィ数を用いて表現する。前者を「ファジィ予想所要時間」、後者を「ファジィ基準所要時間」と呼ぶ。具体的には、パラメータ ϕ 、 θ を用いて所要時間の認知幅（スプレッド）を中央値との関係から次のように定める。

*キーワード：経路選択、交通行動分析

** 学生員 岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

***正会員 工博 岐阜大学工学部土木工学科

(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1

TEL058-293-2446 FAX 058-230-1528)

$$T_l = \phi \cdot T \quad 0 < \phi < 1 \quad (1)$$

$$T_r = \theta \cdot T \quad \theta \geq 1 \quad (2)$$

ϕ, θ : パラメータ T : T.F.N.の中央値

T_r : T.F.N.の右辺値 T_l : T.F.N.の左辺値

運転者は、走行経験から認知所要時間の中央値と、認知幅を修正するものとする。しかしながら、渋滞時などの妥当とはいえない経験を参考にするとは考えにくい。そこで、運転者は妥当な実走行時間のみを経験として取り扱うものとする。また、非走行経路の認知所要時間の見誤りをOD間の標準的所要時間により修正するものとする。

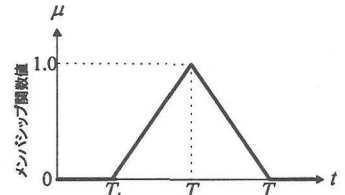


図-1 三角型ファジィ数

2.2 ファジィ経路選択モデルの概要

ここでは、運転者の意思決定プロセスを記述したファジィ経路選択モデルを提案する。図-2にモデルにおける1期の間に実行される算定内容を示す。

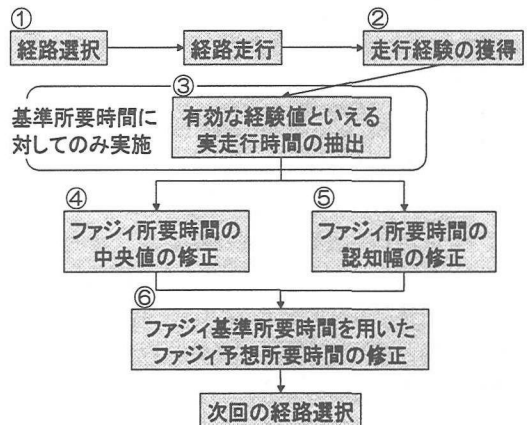


図-2 経路選択モデルのフロー図

図中の手順に従い各段階の算定内容を説明する。

① 走行経路の決定

運転者はファジィ予想所要時間Eを比較し、経路を選択する。本研究では経路選択指標を可能性指標、必然性指標を用いて次のように定める⁴⁾。

$$r = f(\lambda_l, \lambda_r) \tag{3}$$

$$r_r = (1 - \lambda_r) \cdot Pos(S > E) + \lambda_r \cdot Nes(S > E)$$

$$r_l = (1 - \lambda_l) \cdot Pos(S \geq E) + \lambda_l \cdot Nes(S \geq E)$$

λ_r, λ_l : 組み合わせパラメータ

各指標は、図-2のように三角形ファジィ数のメンバーシップ関数の各交点に対応する値で求められる。運転者はrが最大となる経路を走行する。

② 走行経験の獲得

運転者は走行した結果から実走行時間及びファジィ予想所要時間の予測誤差を獲得し、蓄積する。

③ 有効な経験値といえる実走行時間の抽出

実走行時間の平均値と分散より、有効な経験とする範囲を規定する。この範囲から逸脱する場合には、その走行経験は無視され、経験値として利用しない。

$$\bar{t}_R - \delta\sigma \leq t_{R,k} \leq \bar{t}_R + \delta\sigma \tag{4}$$

σ : 実走行時間の分散
 \bar{t}_R : 実走行時間の平均値
 $t_{R,k}$: k期の実走行時間
 δ : パラメータ ($\delta > 0$)

④ ファジィ所要時間の中央値の修正

ファジィ基準所要時間Sの中央値は、蓄積した実走行時間を用いて修正する。また、ファジィ予想所要時間Eの中央値は蓄積した予測誤差を用いて更新を行う。具体的には以下のように定式化する。

$$t_{S,k+1} = (1 - \alpha)t_{S,k} + \alpha \bar{t}_{R,k} \tag{5}$$

$t_{S,k}$: k期のSの中央値
 $\bar{t}_{R,k}$: k期までの実走行時間の平均値
 α : パラメータ ($0 < \alpha \leq 1$)

$$t_{E,i,k+1} = t_{E,i,k} - \beta \bar{\Delta t}_{E,i,k} \tag{6}$$

$t_{E,i,k}$: k期の経路iのEの中央値
 $\bar{\Delta t}_{E,i,k}$: k期までの経路iの予測誤差の平均値
 β : パラメータ ($\beta > 0$)

⑤ ファジィ所要時間の認知幅の修正

実走行時間とファジィ所要時間の一致度により認知幅の修正量を規定する。ここで、一致度はファジィ所要時間と実走行時間の交点のメンバーシップ関数値とする。修正量は次の式より定める。

$$f(\mu) = 0.1 \cdot \left(\frac{1}{1 + \exp\{-10(2\mu - 1)\}} - 0.5 \right) \tag{7}$$

μ : 認知所要時間と実走行時間の一致度

たとえば、図-4のように一致度が0.3であった

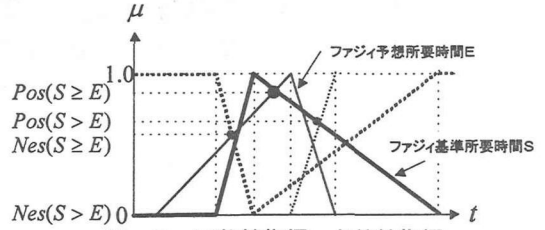


図-3 可能性指標・必然性指標

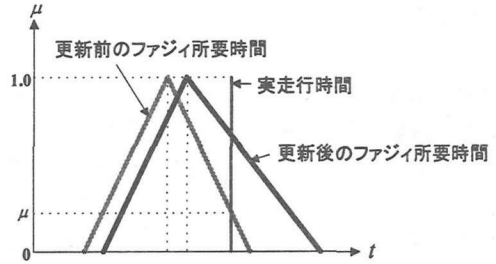


図-4 所要時間の認知幅の修正

場合には式(7)より修正量は-0.0482となる。式(2)の認知幅を決定するパラメータθに式(7)によって算出された修正量を加え修正を行う。

⑥ 非走行経路のファジィ予想所要時間の修正

運転者は、数期間連続して走行しなかった経路の予想所要時間の見誤りを修正するものとする。

$$t_{E,i,k+1} = t_{E,i,k} - \gamma \Delta t_{S-E,k} \tag{8}$$

$\Delta t_{S-E,k}$: 基準所要時間と予想所要時間の相違
 γ : パラメータ ($\gamma \geq 0$)

各パラメータが規定する値を次の表にまとめる。

表-1 各パラメータで規定される値

| パラメータ | 規定される値 |
|----------|----------------------------|
| α | 経路交通量の変動の幅 |
| β | 経路交通量の変動の周期 |
| γ | 経路交通量の変動の周期 |
| δ | 経路交通量の収束する時期 経路交通量の変動の幅 |

3. ファジィ経路選択モデルの推定結果の検討

ここでは、ファジィ経路選択モデルの交通行動記述の現実性を検討するため数値計算を行いパラメータが経路交通量に与える影響を検討する。また、現実的なパラメータの設定範囲についても検討を行う。

3.1 計算ケースの設定

ここでは、OD間に3経路が存在する場合を考える。また、OD交通量は6000台であり、運転者は1日1回走行し、100日間繰り返し走行するものと

する。各経路の交通量に対応した所要時間は、BPR関数を用いて表現するものとする。

$$t^i = t_0^i \{1 + 0.15(x^i / Q^i)^4\} \quad (9)$$

t^i : 経路*i*の所要時間 x^i : 経路*i*の交通量

Q^i : 経路*i*の交通容量

t_0^i : 経路*i*のゼロフロー時の所要時間

これら3経路は、OD交通量が約5:5:2に配分されるときに利用者均衡状態(UE)となり、所要時間は23分となる。また、運転者は実走行時間と予測誤差について過去5期分を記憶し、それ以前の経験は忘却するものとする。また、非走行経路の予想所要時間の修正は過去5期間連続して走行していない経路の予想所要時間について行うものとする。

3.2 パラメータの妥当性についての検討

パラメータの設定範囲の検討を行うため、パラメータを変化させて数値計算を行った。ここでは、 $\alpha = 0.1 \sim 0.5$ 、 $\beta = 0.1 \sim 0.3$ 、 $\gamma = 0.1 \sim 0.3$ と変化させて数値計算を行った。各パラメータが経路交通量に与える影響を表-2にまとめる。

表-2 パラメータが交通量に与える影響

| パラメータ変化 | 経路交通量へ与える影響 |
|---------------|---------------------------|
| α : 増加 | 変動の幅の増加 |
| β : 増加 | 変動の周期の短縮 |
| γ : 増加 | 変動の周期の短縮 |
| δ : 減少 | 収束時期の早期化 経路交通量の変動の幅の増加 |

ここで、 $\alpha = 0.1$ 及び0.5の場合には経路交通量は変動を続けた。これは、ファジィ基準所要時間の修正が小さい場合と大きい場合に相当する。それにより、非走行経路のファジィ予想所要時間が適切に行われなくなり、経路交通量は変動を続けることになる。また、 $\beta = 0.4$ 及び $\gamma = 0.3$ の場合においても経路交通量は変動を続けた。これは、予想所要時間の修正が過剰に行われることになり経路交通量が変動を続ける。そこで、これらよりパラメータの設定範囲としては、 $\alpha = 0.2 \sim 0.5$ 、 $\beta = 0.1 \sim 0.3$ 、 $\gamma = 0.1 \sim 0.2$ が妥当であると考えられる。

3.3 モデルの安定性についての検討

モデルの出力の安定性について検討を行う。ここで、各経路の均衡状態における交通量の5%以下の範囲の変動を安定した状態と考えることにする。この設定範囲では、18ケース中14ケース(78%)で

経路交通量の安定が見られた。しかしながら、残り20%のケースで経路交通量の安定が見られない。また、運転者の認知所要時間の初期分布を変えて数値計算を行った。このときのパラメータは $\alpha = 0.3$ 、 $\beta = 0.3$ 、 $\delta = 0.1$ 、 $\gamma = 1.0$ である。また、所要時間の認知幅の修正量の最大値は0.025である。

この場合は14ケース中10ケース(71%)で経路交通量の安定が見られた。この原因は、経路選択モデルがまだまだ不完全であるためと考えられる。また、経路所要時間の認知幅の修正量による経路交通量の変動を検討するため、認知幅の修正量の最大値を0.005~0.100まで変化させて数値計算を行った。認知幅の修正量の最大値が0.02~0.03の場合に経路交通量の安定が見られた。

4. 運転者の経路選択状況の分析

4.1 ファジィ利用者均衡状態の検討

ここでは、経路選択モデルの出力結果より、経路交通量におけるファジィ利用者均衡状態の発生について検討を行う。経路交通量の安定が最も早い時期に見られた場合について考察する。このときのパラメータは $\alpha = 0.3$ 、 $\beta = 0.3$ 、 $\delta = 0.1$ 、 $\gamma = 1.0$ である。このときの経路交通量の変化を図-5に示す。

これを見ると40期付近から50期にかけて経路交通量の安定が見られる。このときの運転者の経路選択状況を見ると、ほとんど同一の経路を走行し、たまに経路を変更するといった「ある程度交通均衡に達した」状態である。すなわち、ファジィ所要時間の概念を導入することで、「ファジィ利用者均衡状態」の表現が可能となったといえる。

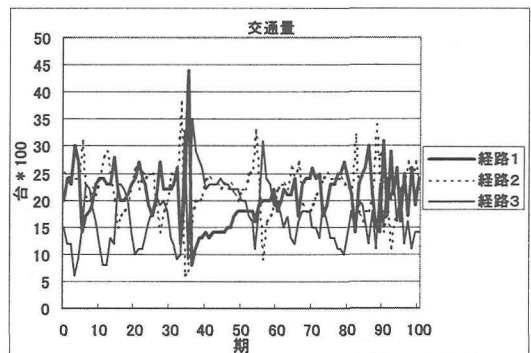


図-5 各期の交通量の変化

4. 2 運転者の経路選択行動の分析

運転者の経路選択行動の詳細な分析を行うことにより、以下の2点が考察できる。

(1) 経路選択状況のグループ化の発生

図-6に運転者の経路選択回数の分布を示す。これを見ると、運転者の行動パターンは2種類に大別できると考えられる。経路をそれほど変更していない運転者と頻繁に変更している運転者である。

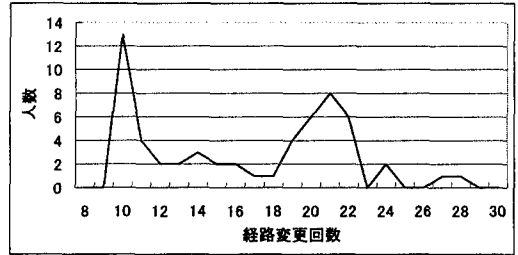


図-6 経路変更回数

運転者の行動パターンの差が明らかになったのは35期以降である。その原因としては、30期から35期にかけての経路交通量の大きな変動が考えられる。経路の固定化が見られた運転者は、この時期に渋滞を経験している。それにより、渋滞した経路の予想所要時間が増大しその経路を走行することがなくなり、走行経路の固定化が発生したと考えられる。

動の分析を行った。また、運転者の経験の違いによる経路選択行動の違いについての検討を行った。本研究の成果は以下のように整理できる。

(2) 所要時間の認知幅の更新

図-7に各経路のファジィ予想所要時間の認知幅の変化を示す。これは経路変更をそれほど行っていない運転者である。これを見ると経路3と経路2の認知幅が狭くなっていることがわかる。これは、走行経験に基づいて経路に対する認識を修正した結果であると考えられる。また、経路変更を行った運転者の認知幅は3経路とも認知幅が近い値となっている。それは、経路の所要時間の変動はほとんど等しく、どの経路を走行しても同様の結果が得られるだろうといった認識である。すなわち、経路所要時間の認知幅によって運転者の経路に対する認識を経路所要時間の変動も考慮した形で表現できた。

- ① 道路網において「ファジィ利用者均衡状態」が発生する可能性があることがわかった。
- ② 運転者の知識の固定化による経路交通量の安定が見られることが分かった。
- ③ 運転者の所要時間の認知幅(スプレッド)を考慮することにより、現実的な経路選択行動の記述が可能となることが示された。

また、本研究の今後の課題として、①経路選択行動に関するアンケート調査及び経路選択実験などによる実証的分析、②確率的な複数の運転者挙動に関する分布を明示的に考慮した交通現象記述方法の導入などが挙げられる。

参考文献

- 1) 飯田恭敬・内田敬・宇野伸宏：交通情報の効果を考慮した経路選択行動の動的分析, 土木学会論文集, No.470, pp.77-86, 1993
- 2) 森津秀夫・中島正樹：動的経路誘導のための経路選択行動モデルに関する一考察, 土木計画学研究論文集, No14 pp.621-630, 1997
- 3) 中山昌一郎・藤井聡・北村隆一：ドライバーの学習過程を考慮した道路交通システム解析, 第17回交通工学研究発表会論文報告集, pp.73-76, 1998
- 4) 野村朋子・秋山孝正：ファジィ測度を用いた交通量配分法に関する検討, 第14回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.833-834, 1998

5. おわりに

本研究では、運転者の所要時間認知の曖昧性に着目したファジィ経路選択モデルにより、経路選択行

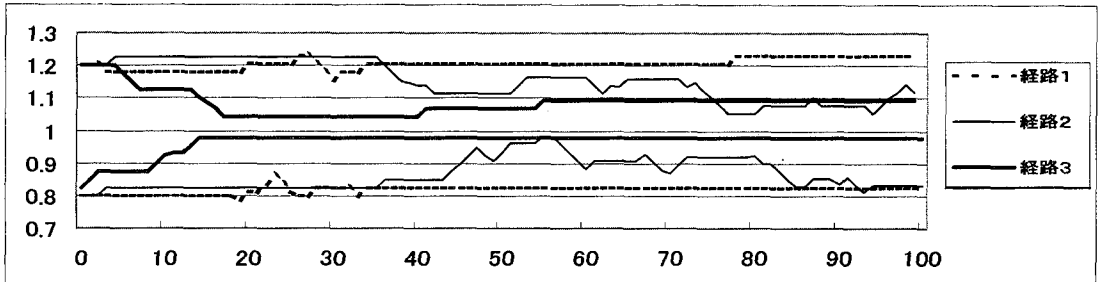


図-7 ファジィ所要時間の認知幅の変化