

知覚総コスト最小化原理に基づく 希望走行速度決定モデルの提案

松尾 幸二郎¹・廣島 康裕²

¹学生会員 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail:k-matsuo@tr.ace.tut.ac.jp

²正会員 豊橋技術科学大学大学院工学研究科 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail:hirobata@ace.tut.ac.jp

従来から、希望走行速度と道路交通環境条件との関連は指摘されてきたものの、その決定メカニズムについてはあまり議論されていない。本研究では、知覚安全性と知覚利便性を考慮した知覚総コスト最小化原理に基づき、ある道路交通環境条件下における個々のドライバーの希望走行速度決定モデルを構築した上で、本モデルを希望走行速度分布へと拡張した。さらに、道路交通環境条件の異なる道路における観測データを用いてパラメータ推定を試みた結果、道路交通環境条件がドライバーの知覚安全性コストに与える影響のみならず、通勤時間帯のドライバーの知覚利便性コストが比較的高いために希望走行速度が高くなっていること等を示すことができた。

Key Words : *desired speed selection, distribution of desired speed, perceived cost, driving behavior*

1. はじめに

交通工学分野では、一般に個々のドライバーは希望走行速度を有するとされる。特に自由流状態における交通流特性や車群の形成過程等を把握し道路利用者の利便性を評価する上で、各種道路交通環境条件と希望走行速度やその分布との関係を明らかにしておくことは重要であり、それらに関する既往研究も多く見られる^{1),2),3)}。一方で、希望走行速度は安全性とも密接に関連すると考えられる。例えばカーブ区間において、安全に走行できる限界速度を超えてしまうような希望走行速度が選択されるような道路環境条件は安全性が低いと考えられる。また歩道の設置が困難であるような集散道路や生活道路においては、過度に高い希望走行速度が選択されるような道路環境条件は、歩行者・自転車等の他主体も含めた道路安全性を下げることに繋がると考えられる。従って、道路交通の安全性を評価する上でも道路交通環境条件と希望走行速度やその分布との関係を明確にしておく必要がある。

従来から、希望走行速度やその分布が道路交通環境条件と関連するということが指摘されてきたものの、それがどのようにして決定されるかの議論はあまりされてこなかった。しかしその背景にはなんらかの行動原理があるはずである。もし効用やコストという概念を用いた行

動原理に基づき希望走行速度決定メカニズムが議論されるならば、なんらかの交通環境改善を行った場合のドライバーの速度選択挙動の適切な予測ができることに加え、それに伴うドライバーの便益やコストを推定し、交通環境改善策の評価に組み込むことができる可能性がある。

そこで本研究では、まず知覚安全性と知覚利便性を考慮した知覚総コスト最小化原理に基づき、ある道路交通環境条件下における個々のドライバーの希望走行速度決定モデルを構築する。次に、本モデルを希望走行速度分布へと拡張できることを示す。さらに、道路交通環境条件の異なる複数の両側2車線道路において観測されたデータを用いてモデルパラメータの推定を試みる。

2. 希望走行速度決定モデル

(1) 個々のドライバーの希望走行速度決定モデル

本研究では、知覚総コスト最小化によって希望走行速度が決定されるとするモデルを構築する。まず、ドライバー i がある速度で自由走行する際の単位距離あたりの知覚安全性コスト AC_i は道路幅員等の道路交通環境条件ベクトル \mathbf{E} と走行速度 v によって規定され、速度が増加するにつれて知覚安全性コストも増加すると考える(式(1), 図-1参照)。

$$AC_i = AC_i(v, \mathbf{E}) \quad (1)$$

一方、単位距離あたりの知覚利便性コスト DC_i は、ドライバーの時間価値 w_i と走行速度 v によって規定され、走行速度が減少するにつれて知覚利便性コストが増加すると考える (式(2), 図-1参照)。

$$DC_i = DC_i(v, w_i) \quad (2)$$

そして、ドライバー i は知覚安全性コスト AC_i と知覚利便性コスト DC_i の和である知覚総コスト TC_i が最小となる最適自由速度、すなわち希望走行速度 v_i^* を選択していると考え (式(3), 式(4), 図-1参照)。

$$TC_i(v, \mathbf{E}, w_i) = AC_i(v, \mathbf{E}) + DC_i(v, w_i) \quad (3)$$

$$v_i^* = \arg \min [AC_i(v, \mathbf{E}) + DC_i(v, w_i)] \quad (4)$$

(2) 希望走行速度決定モデルの特定化

上述の概念に基づき、本研究では希望走行速度決定モデルを式(5)のように特定化する。

$$TC_i = A_i \cdot v^\beta + \frac{w_i}{v}, \quad (A_i = A_i(\mathbf{E}, \boldsymbol{\alpha}), \beta \geq 1) \quad (5)$$

ただし、 $\boldsymbol{\alpha}$ (ベクトル)、 β はパラメータである。右辺第1項は AC_i を、第2項は DC_i を表している。 A_i は道路交通環境条件 \mathbf{E} の関数であり、速度が1単位変化したときの知覚利便性コストの変化に対する知覚安全性コストの変化の重み規定する変数であると考えられる。 TC_i を最小化する希望走行速度 v_i^* は式(6)のように表される。

$$v_i^* = \left(\frac{w_i}{\beta \cdot A_i} \right)^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (6)$$

(3) 希望走行速度分布への拡張

知覚利便性に対する知覚安全性の重みは個人によって異なると考えられる。しかし全ての個人特性の観測はできないため、式(5)における A_i を確率変数 (\tilde{A}_i で表す) と考えると、希望走行速度も確率変数となり、その分布が希望走行速度分布となる。その際、 $f_A(\tilde{A}_i | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta)$ は A_i の確率密度関数であり (ζ は分散に関するパラメータ)、その期待値は道路交通環境条件 \mathbf{E} によって規定されるとする。ここで、式(6)を $g(A_i)$ とするとその逆関数は、

$$g^{-1}(v_i^*) = A_i = \frac{w_i}{\beta \cdot (v_i^*)^{\beta+1}} \quad (7)$$

と表される。従って、変数変換により v_i^* の確率密度関

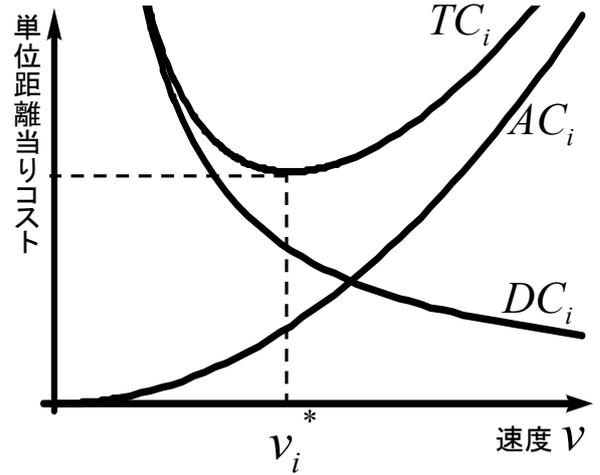


図-1 希望走行速度決定モデルの概念

数は、

$$f_{v^*}(v_i^* | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta) = f_A(g^{-1}(v_i^*)) \cdot \left| \frac{dg^{-1}(v_i^*)}{dv_i^*} \right| \quad (8)$$

と表すことができる。なお、 \tilde{A}_i の分布形に対数正規分布を仮定すると有用である。その理由として、i) A_i が非負となること、ii) 式(6)の両辺の対数をとると、

$$\ln v_i^* = \frac{1}{\beta+1} [\ln w_i - \ln \tilde{A}_i - \ln \beta] \quad (9)$$

となることから、結局 v_i^* が対数正規分布に従うということが挙げられる。さらに本稿では、 \tilde{A}_i の期待値を式(10)に示す対数線形関数として特定化する。

$$\ln E(\tilde{A}_i) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \alpha_k \ln E_k \quad (10)$$

また、時間価値 w_i は車種や時間帯等によって異なると考えられるため、 w_i を式(11)に示す対数線形関数として特定化する。ただし、 W は基準となる時間価値、 X_l は時間価値に影響すると考えられる車種等の変数、 γ_l はパラメータである。

$$\ln w_i = W + \sum_{l=1}^L \gamma_l \ln X_l \quad (11)$$

(4) 希望走行速度分布の推定方法

実際は追従走行中のドライバーの希望走行速度は観測できないため、本研究ではBotma et al.¹⁾による方法を用いて希望走行速度分布のパラメータを推定する。すなわち、観測データを検閲されたデータ (Censored Data) と考え、式(12)で表される対数尤度関数を最大化するパラメータを求める。ここで、 N は観測車両台数、 v_i は車両 i の観測走行速度、 δ_i は車両 i が自由走行状態であ

ば0, 追従走行状態であれば1をとるダミー変数, $F_{v_i^*}(\bullet)$ は v_i^* の累積分布関数である. また, 希望走行速度の高い車両の方がより大きい車群に属する可能性が高いことを考慮するため, 車両 i が属している車群の車群台数 S_{PLTi} (自由走行状態であれば $S_{PLTi}=1$ 台) によって重み付けしている.

$$LL = \sum_{i=1}^N \left[(1-\delta) \cdot \ln f_{v_i^*}(v_i) + S_{PLTi} \cdot \delta_i \cdot \ln(1 - F_{v_i^*}(v_i)) \right] \quad (12)$$

ここで, 推定方法の妥当性を検証するため, 単純な交通シミュレーションを用いて, あらかじめ希望走行速度分布のパラメータを設定した上で仮想的な観測データを生成し, 希望走行速度分布の推定を行った. 対象は追い越し不可能な両側2車線道路で, 交通流シミュレーションにおいては, 塩見ら²⁾を参考に, 「各車量は先行車両に追いつくまで希望走行速度を維持するが, 車頭時間が閾値以下になった時点以降, その車頭時間を維持しつつ先行車両の走行速度と等しい速度で走行する」という仮定をおいた. 希望走行速度分布を対数正規分布, 追従車頭時間の閾値を4秒とし, 表-1に示す条件の組み合わせの下で希望走行速度の期待値を推定した場合の, 追従車割合と推定誤差率の関係を図-2に示す. 車群サイズによる重み付け無の推定の場合に追従車割合が高くなるにつれて誤差が大きくなっている一方で, 重み付け有りの推定の場合には追従車割合が0.8以下であれば誤差が十分小さいことが分かる.

3. データ概要

提案した希望走行速度決定モデルを現実のデータに適用するため, 観測調査を行った. 対象地点は, 豊橋市内の両側2車線道路もしくはそれよりも規模の小さい道路19地点 (36方向) である. 信号交差点の影響の無い単路部において, ビデオカメラを用いて各車両の速度と車頭時間, 車種等を取得した. 自由走行状態か追従走行状態かの判断に関しては種々の方法が考えられるが, 本研究では車頭時間4秒以下の車両を追従走行状態にあると判断した. また, 各地点 (各方向) における様々な道路交通環境条件も取得した. 図-3に自由走行車両および追従走行車両の観測速度のヒストグラムを, 表-2に本稿の分析で用いる主な道路交通環境条件をに示す.

4. 結果と考察

観測調査により得られたデータを用いて, 希望走行速度決定モデルのパラメータ推定を行った結果を表-3に示

表-1 推定手法検証のためのシミュレーション条件

希望走行速度の設定期待値 (Km/h)	40, 60, 80, 100-
分散に関するパラメータ ζ	0.05, 0.10, 0.15
発生車両台数 (台)	100, 1000, 10000
観測地点 (m) (車両発生地点からの距離)	0, 1000, 5000, 10000, 100000
乱数 SEED 値	2種類

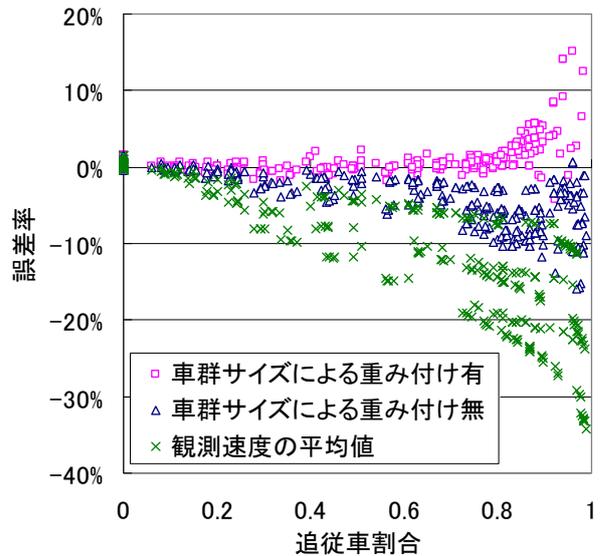


図-2 希望走行速度の推定誤差率

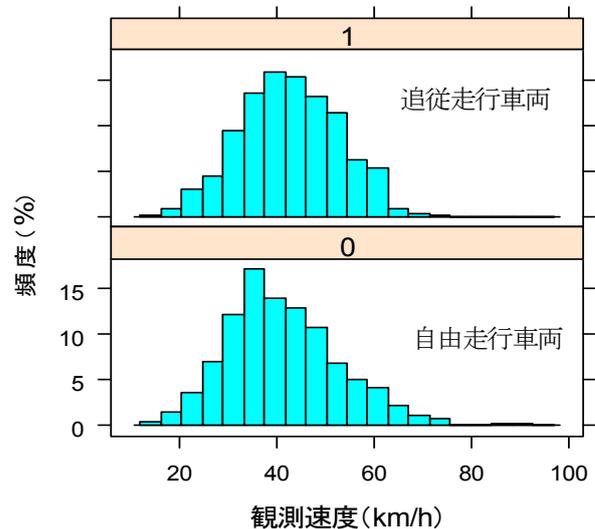


図-3 自由走行車両および追従走行車両の観測速度分布

す. ここで, 基準となる時間価値 W を2400円/時, β を1に固定して推定している. また, 対数線形関数であるため, ダミー変数は1もしくは2をとる変数としている. 表-3の上8つの説明変数は式(10)に対応するため, α_k が正であれば, 対応する説明変数値の増加によりドライバーの知覚安全性コスト AC_i が増加し, その結果希望走

行速度 v_i^* は減少する。一方、表-3の中段3つの説明変数は式(11)に対応するため、 γ_1 が正であれば、対応する説明変数値の増加によりドライバーの知覚利便性コスト DC_i が増加し、その結果希望走行速度 v_i^* は増加する。表-3の再右列は、それぞれの変数値に対する希望走行速度 v_i^* の弾力性を表している。

まず、適合度指標 ρ^2 が0.533であるため、モデルの適合は比較的良好といえる。具体的に見ていくと、知覚安全性コストに関する説明変数、すなわち道路交通環境条件の内でも最も影響の大きいのは「全幅員」であり、幅員が広がる程ドライバーの知覚安全性コストは減少することがわかる。また、住区エリアおよび商業エリアの方が郊外に比べて知覚安全性コストが高いことが分かる。これは住区エリアや商業エリアでは、郊外に比べ一般に見通しが悪い、歩行者の飛び出し等が多い、路肩に電柱等の障害物ある等のためだと考えられる。有意とならなかった道路交通環境条件は「センターラインの有無」と「自転車(左)交通量」であった。

一方、知覚利便性コストに関しては、「通勤時間帯ダミー」のパラメータが有意で負値である。これは通勤時間帯のドライバーが比較的急ぐ傾向にあるために、時間価値が平均的に高くなっているためだと考えられる。また、「車種(軽)ダミー」および「車種(大型ダミー)」のパラメータが有意で負値であることから、普通車に比べ大型車や軽自動車のドライバーが時間価値が高いことが示唆される。しかし、大型車や軽自動車のドライバーの方が知覚安全性コストが高いためこのような結果になったということも十分考えられるため、より詳細な調査が必要である。

5. おわりに

本研究では、知覚総コスト最小化原理に基づき個々のドライバーの希望走行速度決定モデルを構築し、本モデルが希望走行速度分布に拡張されることを示した、さらに、道路交通環境条件の異なる複数地点における観測データを用いて、モデルのパラメータを推定した。その結果、本モデルが一定の適用性を有していることが確認できた。また、道路交通環境条件がドライバーの知覚安全性コストに与える影響のみならず、通勤時間帯に走行しているドライバーの知覚利便性コストがその他の時間帯に走行しているドライバーに比べ高いために希望走行速度が高くなっていること等を示すことができた。

今後の展開として、時間価値にも分布を考慮した場合の影響の分析、パラメータ推定方法のより詳細な検討、本モデルを用いた交通環境改善策の評価等が挙げられる。

表-2 主な道路交通環境条件

道路交通環境条件	平均値等
車道幅員 (m)	5.34
路肩幅員 (m)	0.81
全幅員 (車道+路肩) (m)	7.02
歩道 (左側) の有無	8 方向
センターラインの有無	22
歩行者 (左側) 交通量 (人/時)	5.33
自転車 (左側) 交通量 (台/時)	15.7
観測地点周辺での流入出車台数 (台/時)	72.6
住区エリア	10 方向
商業エリア	14 方向
郊外エリア	12 方向

表-3 希望走行速度決定モデルの推定結果

説明変数	パラメータ	t値	v_i^* への影響	
定数	α_0	13.63	5.43	-
全幅員 (m)	α_1	-1.52	-18.0	0.758
歩道 (左) ダミー	α_2	-0.224	-6.14	0.112
センターライン ダミー	α_3	-0.034	-0.73	0.012
住区エリアダミー	α_4	0.693	11.0	-0.346
商業エリアダミー	α_5	0.428	10.7	-0.214
歩行者 (左) 交通量 (人/時)	α_6	0.090	10.4	-0.045
自転車 (左) 交通量 (台/時)	α_7	-0.008	-0.92	0.004
流入出車 (台/時)	α_8	0.038	3.20	-0.019
車種 (軽) ダミー	γ_1	-0.094	-3.46	-0.047
車種 (大型) ダミー	γ_2	-0.182	-3.65	-0.091
通勤時間帯ダミー (7:00~10:00)	γ_3	0.193	5.78	0.096
分散に関する パラメータ	ζ	0.465	59.4	-
	β	1.0	-	-
	W	2400	-	-
サンプル数			2504	
調整済み ρ^2			0.55	

参考文献

- 1) Botma H., P. Bovy: Free Speed Distribution at Arterial Highways: Estimation Approaches, The Proceedings of 9th WCTR, 2001.
- 2) 塩見康博, 吉井稔雄, 北村隆一: 希望走行速度分布に基づく車群台数分布推定手法, 交通工学, Vol. 45, pp. 58-67, 2010.
- 3) Jerome L. Catbagan, Hideki Nakamura: Desired Speed Distributions on Two-Lane Highways Under Various Conditions, Transportation Research Record, Vol. 2088, pp. 218-226, 2008.