

総コスト最小化原理に基づく希望走行速度分布に関する基礎的研究

豊橋技術科学大学大学院 学生会員 松尾 幸二郎
 豊橋技術科学大学大学院 正会員 廣島 康裕
 豊橋技術科学大学大学院 学生会員 加川 一輝

1. はじめに

道路交通において、個々のドライバーはそれぞれ異なった希望走行速度を有している。この事実は、交通密度が高く追い越しが困難である状況や、交通密度が低くても追い越しが困難な往復2車線幹線道路において、サービス水準に大きく影響を及ぼす。希望走行速度が比較的遅い車両が1台存在すると、その後方には車群が形成される。その際、車群中の追従車両は自身の有する希望走行速度よりも低い速度で走行しなければならず、少なからず負担を強いられることになる。

上記のような状況は、道路改良等による希望走行速度の底上げや追い越し付加車線の設置等の施策によって緩和されることが望まれるが、限られた財源の中では、実施費用に見合うだけの改善効果が得られるのかを十分に検討する必要がある。もし、ある走行状態にあるドライバーの満足度を適切な金銭的指標で表すことができれば、施策実施前後のドライバーの満足度変化と費用を比較し、実施するか否かの意思決定を合理的に行うことができると考えられる。これまで、ある走行状態におけるドライバーの満足度を計測している研究は見られるが¹⁾、それらを金銭的指標で表そうとした研究は見られない。

そこで本研究では、ある走行状態におけるドライバーの満足度を主観的なコストとして表すことを目的とし、その基礎として、ある道路環境条件下における希望走行速度分布の形成メカニズムを総コスト最小化に関連付けて整理する。

2. 総コスト最小化に基づく希望走行速度分布

(1) 希望走行速度決定の概念

従来から、個々のドライバーは希望走行速度を有するとされてきたが、それがどのようにして決定されるのか、その分布はどのような形状が良いのか等の議論はあまりなされてこなかった。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。本研究

では総コスト最小化によって希望走行速度が決定され、さらにその構造を規定するパラメータが個人間で異なることで希望走行速度分布が形成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 は道路線形等の道路環境条件ベクトル $\mathbf{E}$ 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 ((1)式, 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 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 ((2)式, 図-1 参照)。

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

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 ((3)式, (4)式, 図-1)。

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

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

ここで、ドライバー*i*は当該道路環境条件下において v_i^* を希望走行速度と考えているのに対し、道路環境条件が変わらずに追従速度 v'_i に下げられた場合の単位距離あたりの負担は(5)式の TC_i 増加量 C_i によって表すことができる (図-1 参照)。

$$C_i(v'_i, \mathbf{E}, w) = TC_i(v'_i, \mathbf{E}, w) - TC_i(v_i^*, \mathbf{E}, w) \quad (5)$$

(2) 総コスト最小化モデルの特定化

上述の希望走行速度決定の概念に基づき、本研究では総コスト最小化モデルを(6)式のように特定化する。

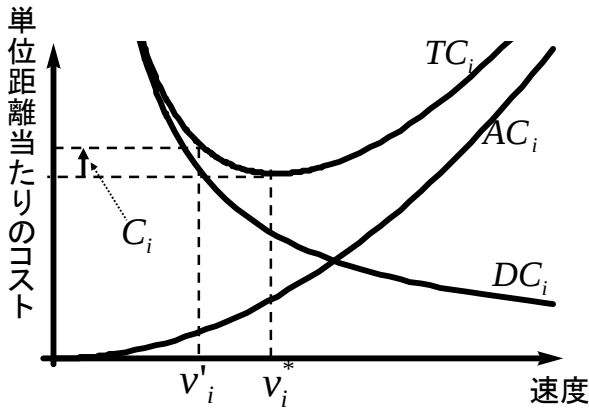


図-1 希望走行速度決定と追従による負担の概念

$$TC_i = A_i \cdot v_i^\beta + \frac{w}{v_i}, \quad (A_i = \mathbf{E}' \cdot \boldsymbol{\alpha}, \beta \geq 1) \quad (6)$$

ここで, $\boldsymbol{\alpha}$, β はパラメータ ($\boldsymbol{\alpha}$ はベクトル) である. 右辺第 1 項は AC_i を, 第 2 項は DC_i を表しており, A_i は速度が 1 単位変化したときの利便性コストの変化 (時間価値) に対する安全性コストの変化の重みであると考えることができる. TC_i を最小化する希望走行速度 v_i^* は (7) 式のように表される.

$$v_i^* = \left(\frac{w}{\beta \cdot A_i} \right)^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (7)$$

(3) 希望走行速度分布への拡張と推定

利便性に対する安全性の重みは個人によって異なると考えられる. すなわち (6) 式における A_i は個人によって異なり, 確率変数と考えると, 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と考えられる. その際, $f_A(A_i | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta)$ は A_i の p.d.f であり (ζ は分散に関するパラメータ), その期待値は, (8) 式のように道路環境条件によって規定されるとする.

$$E(A_i | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta) = \mathbf{E}' \cdot \boldsymbol{\alpha} \quad (8)$$

ここで, (7) 式を $g(A_i)$ とするとその逆関数は,

$$g^{-1}(v_i^*) = A_i = \left(\frac{w}{\beta \cdot v_i^*} \right)^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (9)$$

と表される. 従って, 変数変換により v_i^* の p.d.f は,

$$f_{v_i^*}(v_i^* | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta) = f_A(g^{-1}(v_i^*)) \cdot \left| \frac{dg^{-1}(v_i^*)}{dv_i^*} \right| \quad (10)$$

と表すことができる.

また, A_i の分布形に対数正規分布を仮定すると有用なモデルとなる. その理由として, i) A_i が非負となること, ii) (7) 式の両辺の対数を取ると,

$$\ln v_i^* = \frac{1}{\beta+1} \left[\ln \left(\frac{w}{\beta} \right) - \ln A_i \right] \quad (11)$$

となり, 結局 v_i^* が対数正規分布に従うということがあげられる.

これで, 実際の観測データを用いてパラメータ $\boldsymbol{\alpha}$, β , ζ を推定することにより, ある道路環境条件下においてある走行状態にあるドライバー集団の満足度を金銭的指標として表すことができる.

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. これまでにいくつかの希望走行速度推定手法が提案されているが, 本研究では Botma et al.²⁾による方法を用いる. すなわち, 観測データを検閲されたデータ (Censored Data) と考え, 以下に示される尤度関数を最大化するパラメータを求める.

$$L(\boldsymbol{\alpha}, \zeta) = \prod_{i=1}^N \left[f_{v_i^*}(v_i | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta) \right]^{\delta_i} \cdot \left[1 - F_{v_i^*}(v_i | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta) \right]^{1-\delta_i} \quad (12)$$

ただし, N は観測車両台数, v_i は観測車両 i の走行速度, δ_i は車両 i が自由走行状態であれば 1, 追従走行状態であれば 0 を取るダミー変数, $F_{v_i^*}(A_i | \boldsymbol{\alpha}, \mathbf{E}, \zeta)$ は v_i^* の c.d.f である.

3. おわりに

本研究では, ある走行状態におけるドライバーの満足度を金銭的指標として表すことを念頭に, ある道路環境条件下における希望走行速度分布の形成メカニズムを総コスト最小化に関連付けて整理するとともにその推定方法を述べた. 紙面の都合上, 本稿ではモデルの説明を中心に述べたが, 発表時には, 実際の観測データを用いてパラメータ推定を行った結果を述べる.

参考文献

- 1) 例えば; 中村英樹・鈴木弘司・劉俊晟: ドライバーストレスの間接計測に基づく高速道路短路部におけるサービス水準の評価, 土木学会論文集, No. 772, IV-65, pp. 11-21, 2004.
- 2) Botma H., P. Bovy, : Free Speed Distribution at Arterial Highways: Estimation Approaches, The Proceedings of 9th WCTR Conference in Korea, 2001.