

プローブデータを用いた 道路の走行性能評価指標の構築と検証 ードライバーの認識に着目してー

松村 健志¹・喜多 秀行²・四辻 裕文³

¹正会員 株式会社地域ブランディング研究所 (〒111-0034 東京都台東区雷門 2-20-3)

E-mail:t.matsumura@chibra.co.jp

²正会員 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail:kita@ctystal.kobe-u.ac.jp

³正会員 神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

E-mail:yotsutsuji@people.kobe-u.ac.jp

道路を適切に運用・管理する上で、交通の質の評価は重要な役割を果たしている。我が国で導入が検討されている性能照査型道路計画設計法においても、性能照査を行う上で、道路に求められる機能に応じた性能をどの程度満たしているか判断する「性能評価指標」を適切に選定することが重要となる。そこで本研究では、ドライバーが認識する道路の接続機能に関する性能評価を区間効用という概念で捉え、ドライバーが認識する時々刻々のマイクロな運転環境を反映したプローブデータを説明変数とした効用関数として記述することで、性能評価指標として提案した。またドライビングシミュレータ実験より、ドライバーの区間効用に対する本指標の説明力が他の指標より高いことを確認するとともに、マクロな交通状態変数によるサービス水準ではドライバーのマイクロな認識を捉えきれていないことを指摘した。さらにシミュレーションより、プローブデータ普及率に応じた指標値推定精度の分析を行い、本指標の有用性及び実用性の検討を行った。

Key Words: Measure of Effectiveness (MOE) Probe Data Traffic smoothness Traffic safety

1. はじめに

道路を適切に整備するうえで、交通の質の評価は重要な役割を果たしている。我が国で導入が検討されている性能照査型道路計画設計法においても、性能照査を行う上で道路に求められる機能に応じた性能をどの程度満たしているか判断する「性能評価指標」を適切に選定することが重要となり、最も端的な指標として旅行速度等¹⁾が用いられている。

それに対し、ドライバーが認識するマイクロな交通環境に着目した指標が提案されているが、算出の複雑さやデータの入手困難性等の課題がある。²⁾そこで本研究では計測が容易なプローブデータを用いた、道路の接続機能を評価可能な性能評価指標の構築を行う。さらに、他の指標との比較及び、性能評価手法の体系化、またプローブデータ取得可能車両の普及率に応じた性能評価値推定手法の整理を行うことで、指標の有用性・実用性の検証を行う。

2. 既往研究

道路走行環境の評価に関する既往研究のレビューをする。米国の Highway Capacity Manual³⁾では、高速道路単路部の性能評価指標として「交通密度」が用いられている。交通密度から、交通流の運用状態を評価する6段階のサービス水準を設定しており、それに対応した「平均旅行速度」「交通量/交通容量」「最大サービス交通流率」が関連づけられている。またドイツにおいては、道路計画・設計の差異の性能評価指標として「目標旅行速度」が挙げられており、これは拠点間に定められた目標旅行時間によって定められる⁴⁾。またこの時、交通流の運用状態を HCM と同じく 6 段階の尺度に分類しており、これには「交通量/交通容量」が用いられている。

日本においても、交通工学研究会⁵⁾により道路の交通容量とサービスの質に関する研究が取りまとめられており、性能評価指標として「旅行時間」と「旅行速度」が提案されている。特に自動車専用道路は、都市内道路や生活道路と比較して通行機能が卓越しているため、「旅

行速度」が最も端的でわかりやすい性能評価指標となっている。

これらに対し、Morall and Werner⁵⁾は、道路のサービス水準評価は個々のドライバーの認識に基づいて記述されるべきであると主張し、個々のドライバーの認識に基づくサービス水準の集計値によって、交通流全体の評価を行うことを試みた。シミュレーション分析から、交通流全体をマクロ的に捉えた指標である「遅れ時間率」で表されたサービス水準が同一であっても、個々のドライバーが感じるサービス水準に差異があることを示した。また Ko et al⁶⁾は、ドライバーの認識するマイクロなサービス水準と、道路全体のマクロなサービス水準には差異があると考え、道路全体のマクロなサービス水準として「交通密度」、ドライバーの認識するマイクロなサービス水準として、ある 1 台の車両の「平均旅行速度」「アクセレーションノイズ(加減速度分散)」を用い、その水準の差異について検証を行った。異なるマクロサービス水準の中に同質のマイクロサービス水準が含まれていることを明らかにし、交通密度というマクロな指標では交通流の質の多様性を捉えきれないことが示唆された。

ここまでの性能評価指標は主に道路の円滑性の評価を目的としていたが、道路の円滑性に着目する際、道路の安全性は前提条件とされ、道路の性能向上は、ドライバーが安全性の確保を前提とした上での走行円滑性の最大化に帰着するとされている⁷⁾。しかしドライバーは時事刻々と変化する交通状況の下、常に事故に対する緊張を強いられて走行を行っており、安全性の確保を前提条件とすることは、現実のドライバーの認識に適さない可能性がある。そこで浅香ら²⁾は、ドライバーの円滑性と安全性の認識に基づいた、「接続機能性」を表す性能評価指標を構築した。まず、ドライバーは走行中の各瞬間に効用最大化行動をしているとし、円滑性を表す「希望速度との差」及び安全性を表す「PICUD」から、(2.1)式に示す瞬間効用モデルを記述した。

$$U^t = \lambda_1 L_1^t + \lambda_2 L_{-1}^t + \mu |v^d - v_0^t| \quad (2.1)$$

$$L_1^t = \frac{(v_1^t)^2}{-2a} + (v_1^t h_1^t - l) - (v_0^t \Delta t + \frac{(v_0^t)^2}{-2a}) \quad (2.2)$$

$$L_{-1}^t = \frac{(v_0^t)^2}{-2a} + (v_0^t h_{-1}^t - l) - (v_{-1}^t \Delta t + \frac{(v_{-1}^t)^2}{-2a}) \quad (2.3)$$

- U^t : 地点 t での瞬間効用値
- L_1^t : 地点 t での前方車との衝突危険度 (PICUD)(m)
- L_{-1}^t : 地点 t での後方車との衝突危険度 (PICUD)(m)
- v_1^t : 地点 t での前方車の速度(m/s)
- v_0^t : 地点 t での自車の速度(m/s)
- v_{-1}^t : 地点 t での後方車の速度(m/s)
- h_1^t : 地点 t での前方車との車頭時間(s)

- h_{-1}^t : 地点 t での後方車との車頭時間(s)
- v^d : ドライバーの希望走行速度(m/s)
- a : 減速度(-3.3m/s²)
- l : 車長
- Δt : 反応速度(0.75s)
- $\lambda_1, \lambda_2, \mu$: パラメータ

さらに、ドライバーの各地点での評価値には、前の地点の印象が影響を及ぼすとし、(2.4)式に示す、一つ前の地点からの瞬間効用値の変化量を変数に取り入れた地点評価値を提案した。

$$V^t = \phi_1 U^t + \phi_2 (U^t - U^{t-1}) + \phi_3 \quad (2.4)$$

- V^t : 地点 t での地点評価値
- ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : パラメータ

さらに、(2.5)式に示す、区間の目標旅行時間、地点評価値の重み付け平均値、走行区間内での地点評価値最小の値を考慮した「拠点間アクセシビリティ評価値」を提案した。

$$A = \phi_1 \frac{S}{v_{goal}} + \phi_2 \frac{1}{N} \left(V^t \frac{1}{(1+i)^t} \right) + \phi_3 V_{min} + \phi_4 \quad (2.5)$$

- A : 拠点間アクセシビリティ評価値
- S : 距離(km)
- v_{goal} : 目標旅行速度(km/h)
- N : 走行区間内の地点数
- V^t : 地点 t での地点評価値
- i : 割引率(=0.01)
- V_{min} : 地点評価値の最小値
- $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$: パラメータ

このようにして、円滑性と安全性を考慮したモデルを構築したものの、指標値算出にオイラー的な観測機器であるトラフィックカウンターを想定していたために、その算出が非常に複雑であるという問題があった。また複数のモデルを介していることから、推計誤差が累積するという問題も有していた。そこで本研究では、まずモデルが具備すべき要件とそれに対するモデルの基本方針を述べ、次いでモデル構造の簡略化とモデル内部における推計誤差の累積を避けるための変数選択について述べる。

3. モデル

(1) モデルの考え方

本研究では、道路に求められる種々の機能のうち、安全・円滑・快適に走行できる機能である通行機能に着目し、通行機能がより重要視される、出入り制限の為された高規格道路を対象とし、ドライバーの認識に基づく区

間評価値を表すモデルを構築する。

(2) モデルの具備すべき要件

本研究では、前田ら⁹⁾が提案したサービスの質の評価に関する検討フレームが具備すべき以下の要件に留意する。

- A) 利用者の認識を的確に反映している
- B) ミクロな交通状態に基づき構成されている
- C) 利用者が異質性を有する場合にも対応しうる構造を有している
- D) 交通運用に関わる操作変数と対応づけられている
- E) 構造形式やサービス形態が異なっても適用可能な共通の方法論を有している

ドライバーの認識を的確に表し得るモデル構築のために、上記の諸要件を以下の要素で表現したモデルとする。

- ・ 区間に設定された目標旅行時間
- ・ 走行円滑性
- ・ 走行安全性

まず区間に設定された目標旅行時間は、ドライバーがより短い所要時間で走行可能な区間に対して接続機能性を感じることを表す。次に走行円滑性は、ドライバーがより円滑な走行が可能な区間に対して接続機能性を感じることを表す。最後に、走行安全性は、ドライバーがより危険なく走行可能な区間に対して接続機能性を感じることを表す。浅香らの研究²⁾では、安全性を表す変数として「PICUD」が用いられており、急ブレーキを踏んだ際の相手車両との相対的停止距離によって、潜在的な危険性を表現していた。このように複数の要素を含むことは要件(A)を満たし、これらの要素をミクロな変数で記述することは要件(B)、いかなる道路でも共通の要素で表されていることは要件(D)(E)をそれぞれ満たしている。また、これらの要素のパラメータを利用者特性によって区別することで、要件(C)にも対応可能と考える。さらに本研究では、ドライバーの区間走行の認識を表現すべく、以下の特徴を踏まえるべきと考える。

- ・ 区間走行中の交通状態の平均
- ・ 区間走行中の交通状態のばらつき

例えば、HCM³⁾で用いられている「交通密度」は、自車の周辺しか目視できないドライバーでは知覚できず、道路の平均的な混雑度を表したのみの指標である。しかし、時々刻々の速度あるいは希望速度からの乖離に関する区間集計値は区間平均速度で記述できる。また PICUD を

用いて記述していた走行の自由度や安全性は、平均速度と速度の変動の両者により近似的に評価できると考える。従って本研究のモデルは、区間走行の「平均」「ばらつき」の特徴を捉えるよう考慮する。

(3) プローブデータの利用

2章で述べた浅香ら²⁾のモデルの問題を解消すべく、本研究で提案するモデルの変数には、ラグランジュ的な観測機器であるプローブデータから得られる変数を用いることで、算出が簡便なモデルの構築を行う。プローブデータは、GPS を搭載した自動車から得られる移動軌跡情報であり、緯度経度や車両 ID、時刻といったデータで構成される。GPS を利用したデータ取得を行うため、センサーの有無に関わらず、どのような場所からでもデータを得られるラグランジュ的な観測機器である。データ取得の周期や対象は提供機関により異なるが、共通して速度情報や経路情報を取得可能である。具体的には、GPS により取得された時空間データから速度や加速度等を算出することが可能である。

(4) 提案するモデル

(1)で述べたモデルの基本構造及び、(2)で述べたプローブデータの特徴を踏まえ、(3.1)式に示すモデルを、本研究における基本モデルとして提案する。

$$U_{section} = \lambda_1 t_{section} + \lambda_2 \sum_{t=1}^N \frac{v_t / v_{desired}}{N} + \lambda_3 \sum_{t=1}^N \frac{(\alpha_t - \bar{\alpha})^2}{N} \quad (3.1)$$

$U_{section}$: 区間走行から受け取る効用
$t_{section}$: 区間の目標旅行時間
N	: 地点数(データ取得数)
v_t	: 地点 t での速度
$v_{desired}$: 区間の目標旅行速度
α_t	: 地点 t での加速度
$\bar{\alpha}$: 区間の平均加速度
λ_i	: パラメータ

第 1 項は区間に設定された目標旅行時間を表しており、区間距離を目標旅行速度で除することでも求められる。これは区間走行の長さの特徴を踏まえている。

第 2 項は目標旅行速度走行の達成率であり、区間における地点毎の速度を目標旅行速度で除した、目標旅行速度達成率を平均値として集計することで、区間走行中に円滑な走行をした割合を表している。これにより、ドライバーが区間走行した際の円滑性を表しつつ、区間走行中の交通状態の平均としての特徴を踏まえることができ

ている。

第 3 項はアクセレーションノイズを表しており、区間における加減速の値を分散として集計することで、安全な走行をした程度を表している。ここで、加減速と安全性の関係性について、福井ら⁹⁾は、短期間に大量のデータが収集できる指標としてプローブデータの急減速挙動を用い、この指標が事故を代替する指標になりえることを明らかにしている。具体的には、-0.3G 以上の急減速データから急減速リスクを定義し、事故リスクとの相関関係を明らかにした。その結果事故リスクと急減速リスクには相関係数 0.587 と高い相関が得られており、特に人口密度が高い市街地エリアにおいては、急減速リスクを用いて事故リスクを代替することが可能であるとされている。また藤井ら¹⁰⁾は、民間プローブデータを用いた事故対策の評価と効果モニタリング・評価手法の検討を行う中で、プローブデータの-0.3G 以上の急減速データと事故件数の相関を見ると、相関係数 0.72 と高い相関を示していることを確認している。

浅香らの研究²⁾では、安全性を表す変数として PICUD が用いられており、急ブレーキを踏んだ際の相手車両との相対的停止距離によって、潜在的な危険性を表現していたが、これに対して加減速データは実際の危険性を表している。ドライバーは区間走行中、衝突の危険性や、その他様々な要因を受けてブレーキ（アクセル）を踏む。ブレーキを踏まない限り、PICUD のような潜在的な危険性は測ることができないが、その反面 PICUD では測れなかった「前方・後方車との衝突危険性以外の危険性」も測ることができる。なお、アクセレーションノイズは Ko et al の研究⁹⁾より、安全性とともに円滑性の意味も併せ持っていると考えられる。しかし、円滑性を平均値として集計する第 2 項と違い、ばらつきを表す分散として集計していることで、第 2 項との差別化ができていると考えられる。

4. 実験

(1) 実験の目的と概要

提案するモデルのパラメータを推定するために、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を実施した。具体的には、マイクロ交通流シミュレーションソフトで様々な交通流を生成し、ドライビングシミュレーションソフトにより被験者に走行してもらった。そして前後に走行した 2 つの道路の組み合わせを比較し、どちらの道路がより「行きやすい」と感じたか表明してもらうことで、接続機能の優劣に関する道路の対比較のデータを得た。こうして得た走行実験のプローブデータ及び一対比較データから、離散選択モデルによって、ドライバーの区間走行における効用関数となる、(3.1)式のパラメータを推

定する。実験では表 4-1 に示すデータを取得した。尚、このデータはドライビングシミュレーションソフトにより、コンピュータ上に記録される。

表 4-1 実験で取得するデータ

取得データ	説明
接続機能性	ドライバーに 2 つの道路を一对比較してもらい、より行きやすいと感じた道路を表明してもらう。
走行距離 (m)	1 秒単位で取得可能
走行時間 (s)	1 秒単位で取得可能
旅行速度 (m/s)	1 秒単位で取得可能
加減速度 (m/s ²)	1 秒単位で取得可能
目標旅行時間 (s)	区間距離を区間に設定された目標旅行速度で除することで得られる区間固有の値。
平均旅行速度 (m/s)	シミュレーション上で区間を走行した全車両の平均旅行速度。
交通密度 (veh/km)	区間全体の交通密度

ここで、(3.1)式の第 2 項は 1 秒単位で取得された旅行速度から算出可能であり、第 3 項は加減速度の分散より算出可能である。また、実験の被験者数及びサンプル数は表 4-2 に示す通りである。

表 4-2 被験者数及びサンプル数

項目	概要
被験者数	10 名
被験者の概要	普通自動車運転免許を持つ 20 代男性
道路走行データ及び一対比較データ数	360 サンプル

また、本実験で道路環境を生成する際、以下の 3 点に留意する必要がある。

- ① 比較する道路間で目標旅行時間が異なるか
- ② 比較する道路間で区間の混雑度が異なるか
- ③ 走行する道路間は加減速が生じうる状態であるか

以上の 3 点を踏まえ、本実験では「区間距離」「目標旅行速度」「速度低下率」「合流部の位置」について、それぞれ表 4-3 に示す 3 水準を設定した。

表 4-3 実験の各要素の水準

要素	水準 1	水準 2	水準 3
区間距離	2km	3km	4km
目標旅行速度	80km/h	90km/h	100km/h
速度低下率	0.97	0.9	0.8
合流部の位置	序盤	中盤	終盤

3水準の組み合わせを考えると、 $3^4=81$ 通りの組み合わせとなる。しかし、実験の時間制約上、より効率的な組み合わせで行うべきであると考え、直交配列表を用いて、表 4-4 に示す組み合わせの道路環境をマイクロ交通流シミュレーション上にて生成した。

表 4-4 生成した道路環境

Road No	目標旅行速度(km/h)	速度低下率	区間距離(km)	合流部
1	80	0.97	2	序盤
2	80	0.9	3	中盤
3	80	0.8	4	終盤
4	90	0.97	4	中盤
5	90	0.9	2	終盤
6	90	0.8	3	序盤
7	100	0.97	3	終盤
8	100	0.9	4	序盤
9	100	0.8	2	中盤

以上 9 通りの道路において、被験者はどの道路が走りやすいか表明する。しかし、道路の接続機能性の優劣は、円滑性・安全性・その他様々な要素が相互に複雑な影響を及ぼしていると考えられ、9 通りの道路の順序付けをすることは困難である。そこで、本実験では 2 つの道路を一对比較してもらうことで、直感的に接続機能を感じた道路を表明してもらう。9 通りの道路から 2 つの組み合わせを抽出し一对比較すると、 $C_2^9=36$ 通りの組み合わせとなる。本実験では、「一つ前に走行した道路」と一对比較してもらうこととした。また、順序効果が生じないように、道路環境の出現順序は被験者毎にランダムに変化させた。

(2) 実験の手順

- ① 被験者となるドライバーに、目的地となる拠点までの距離、区間の目標旅行速度、目標旅行時間を伝える。
- ② ドライバーは任意のタイミングで走行開始する。最初の 500m は助走区間となり、評価には含まれない。
- ③ ドライバーは拠点までの目標旅行時間を意識した上で区間走行を行う。目標旅行時間をより現実的に捉えてもらうため、目標旅行時間の残り時間をストップウォッチにて表示する。また、目的地となる拠点をビル群で表すことで、走行距離を視覚的に捉えやすいようにする。
- ④ 目的地となる拠点に到達した時点で実験の終了を伝える。その際、一つ前に走行した道路に比べて

より「行きやすい」と感じたか表明する。



図 4-1 実験中の様子

(3) 実験データ概要

走行実験データから得られた被験者データの概要として、表 4-5 には各道路における平均目標旅行速度達成率と平均アクセレーションノイズを示している。旅行速度低下率に着目すると、マイクロ交通流シミュレーションで設定した交通流全体の速度低下率 0.97, 0.9, 0.8 とは異なる道路 (Road No.5, 8, 9) が存在する。その要因としては、シミュレーション上の各車両で希望速度が異なることで走りやすい区間と混雑区間が発生したこと、また被験者が臨機応変に車線変更による追い越しをしたこと等が考えられる。しかし、旅行速度低下率を大きく設定した道路ほど、被験者の旅行速度も低下しており、設定していた 3 水準の傾向は表れている。またアクセレーションノイズに着目すると、各道路によって異なる値を示しており、多様なサンプルを得ることができたと考えられる。被験者一人ひとりの効用関数は同質とは限らないものの、10 人の被験者のデータ (総サンプル数 360) から分析することで、ドライバーの平均的な効用関数を推定することが可能となると考える。次章では、本実験結果を基に、本研究で提案する構造モデルのパラメータ推定及び有用性の確認を行っていく。

表 4-5 各道路における被験者走行の交通状態

Road No	目標旅行速度達成率平均	アクセレーションノイズ平均
1	0.946	0.512
2	0.900	0.537
3	0.780	0.946
4	0.970	0.458
5	0.840	1.270
6	0.782	1.320
7	0.975	0.353
8	0.964	0.606
9	0.888	0.609

5. 分析結果

(1) パラメータ推定結果

パラメータの推定には 2 項ロジットモデルを用い、2 つの道路を一对比較した時の「行きやすさ」を 0, 1 の質的データとし、プローブデータを説明変数とする、ドライバーの効用関数のパラメータを推定した。

また、以下に示すモデル2-モデル5の性能評価指標について、基本モデル（モデル 1）と同様の分析を行うことで、本研究で提案する基本モデルの妥当性を確認する。モデル2はモデル1に 1km あたり急減速回数を加えている。プローブデータの中でも、国土交通省の提供するETC2.0は-0.25Gを超える急減速時のみデータを蓄積する特徴があることから、このモデルの分析を行う。またモデル3-6は、他の性能評価指標として、ミクロな指標である「旅行速度低下率」「遅れ時間率」及び、マクロな指標である「交通密度」「(区間を走行した車両全体の)平均旅行速度」の分析を行う。

モデル 1：基本モデル(3.1)式

モデル 2：基本モデル+1km あたり急減速回数（ミクロ）

モデル 3：旅行速度低下率（ミクロ）

モデル 4：遅れ時間率（ミクロ）

モデル 5：交通密度（マクロ）

モデル 6：平均旅行速度（マクロ）

各モデルのパラメータ推定の結果を表 5-1 に示す。まずモデル1のパラメータの符号を確認すると、目標旅行時間のパラメータは負の値を取っており、目標旅行時間が長くなるほど行きやすさが低下することを示している。また旅行速度達成率平均のパラメータは正の値を取っており、低下率が大きくなるほど行きやすさが低下することを示している。またアクセレーションノイズのパラメータは負の値を取っており、アクセレーションノイズが大きくなると行きやすさが低下することを示している。各符号と現実的状况の整合性はとれていることから、符号条件に問題はないことを確認した。

次にt値に着目すると、目標旅行時間、旅行速度達成率、アクセレーションノイズ全ての変数において0.1%有意となっている。また、一对比較で1番目と2番目に走行した区間の効用差を示す定数項のt値を見ると、有意な結果は得られなかった。これは道路を走行する順番による影響は少なかったことを表していると考えられる。またモデル全体に着目すると、自由度調整済みの尤度比は0.30であり、0.2を超えていることからモデル全体の適合度は十分高いと判断することができる¹¹⁾。

次にモデル1とモデル2-6の比較を行う。モデル2に着目すると、1km あたり急減速回数の変数のt値は-0.42であり、有意な結果は得られなかった。プローブデータの急減速データと安全性の関係について扱った既往研究⁹⁾¹⁰⁾では、急減速と事故リスクにおける相関が明らかにされていたが、その対象道路は交差点や市街地エリアと

表 5-1 モデルの特徴と現象説明力

	モデル 1	モデル 2	モデル 3	モデル 4	モデル 5	モデル 6
目標旅行時間	-34.1*** (-3.40)	-34.3*** (-3.42)				
目標旅行速度達成率平均	10.9*** (6.95)	10.9*** (6.77)	12.5*** (8.56)			
アクセレーションノイズ	-1.16*** (-4.16)	-1.03** (-2.42)				
急減速回数		-0.12 (-0.42)				
遅れ時間率				-9.63*** (-8.49)		
交通密度					-0.31*** (-6.08)	
全体の平均旅行速度						0.08*** (8.04)
定数項	-0.05 (-0.36)	-0.05 (-0.35)	-0.04 (-0.27)	-0.04 (-0.31)	-0.01 (-0.13)	0.01 (0.08)
尤度比	0.31	0.31	0.25	0.25	0.09	0.20
自由度調整済尤度比	0.30	0.29	0.24	0.25	0.09	0.19
AIC	313.9	315.7	338.2	336.7	408.5	361.9
N	360	360	360	360	360	360

()内は t 値を示す ** 1%有意 *** 0.1%有意

いった場所に限定されていた。対して本研究では通行機能に特化した高規格道路に着目した実験であったため、有意な結果が出なかったものと考えられる。

またモデル 3~モデル 6 の変数の t 値に着目すると、基本的にどの変数のパラメータも有意な結果となっている。その中でもマクロな性能評価指標であるモデル 5(交通密度)とモデル 6(全体の平均旅行速度)は、その尤度比がミクロな指標と比べて低下する傾向が見られる。これは、ドライバーの自車を取り巻くミクロな交通環境に対する認識に基づき区間全体の走行評価を行っているという本研究の考え方を支持するものといえる。

またミクロな性能評価指標であるモデル 3(旅行速度低下率)、モデル 4(遅れ時間率)は、その尤度比が 0.2 を超えており、モデルの適合度は十分高いことが分かる¹⁾。旅行速度低下率や遅れ時間率は、ドライバーが走行中比較的認識しやすく、円滑性を表すミクロな性能評価指標として妥当であると考えられる。しかし、本研究で提案する基本モデルは尤度比で最も高い値を示している。このことから、ドライバーは安全性を表すアクセレーションノイズや区間に設定されている目標旅行時間といった、複数の要素を考慮して総合的に「行きやすさ」を判断していると考えられる。尤度比及び AIC で比較しても、本研究で提案する基本モデルが最も良いモデルとなっており、その有用性を確認した。

(2) マクロ交通指標と本指標の関係

ここで、本指標はドライバー個人のミクロな認識を表すものであり、交通流全体としてのマクロな交通状態変数では表しきれない状態を表現できるか否か、確

認する必要がある。そこで、ミクロ交通流シミュレーションにより、表 5-3 のような交通流を作成し、マクロなサービス水準の中で、ミクロな交通状態を表す本指標がどのように分布しているかを確かめた。

表 5-3 シミュレーションで生成した交通流

道路 No	目標 旅行速度 80km/h			目標 旅行速度 90km/h			目標 旅行速度 100km/h		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
全車両 速度 低下率 平均	0.97	0.9	0.8	0.97	0.9	0.8	0.97	0.9	0.8
交通密度 (veh/km)	200	250	344	167	201	250	125	160	200

ここで、マクロな交通状態変数として自由流速度低下率を採用しており、そのサービス水準として、本研究で実施した実験と同じく 0.97, 0.9, 0.8 の 3 水準を設けた。また目標旅行速度によってドライバーの挙動も変化することを想定し、目標旅行速度は 80km/h, 90km/h, 100km/h の 3 水準を設けた。なお、表 5-3 には生成した交通流により実現した交通密度の対応も記載している。表 5-3 に示す 9 通りの交通流にてミクロ交通流シミュレーションを行った結果、各交通流における指標値の頻度分布は図 5-1 のようになった。交通流全体のマクロなサービス水準である、交通流全体の速度低下率の 3 水準それぞれにおいて、ミクロな交通状態である本指標がそれぞれ分布している様子が見て取れる。この時、速

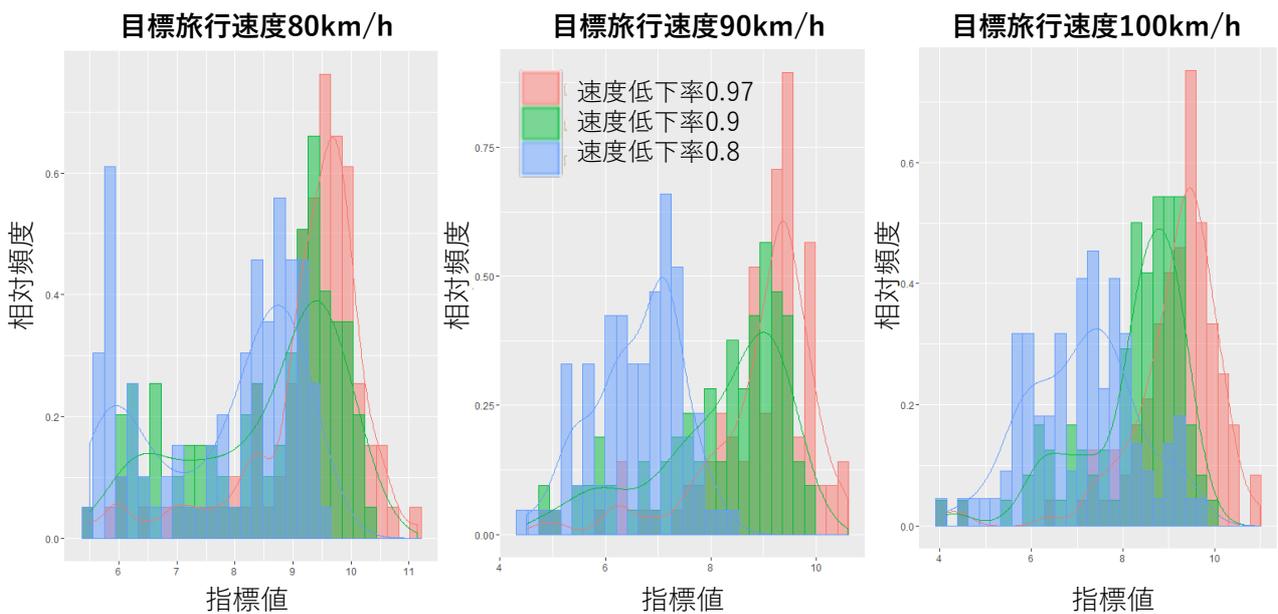


図 5-1 各交通流における指標値の分布とマクロサービス水準

度低下率 0.97, 0.9, 0.8 のいずれの水準においても、本指標の分布が重なる領域が存在している。これは、異なるマクロサービス水準の中に、同質なマイクロ交通流が存在していることを表している。このことから、マクロな性能評価指標値では交通流の質の多様性を捉えきれず、従って交通流の質を評価する際、本研究で提案するようなマイクロな指標を用いるべきであると考えられる。

(3) 先行モデルとの比較

ここでは先行研究²⁾である、(2.5)式に示す浅香モデルとの比較を行う。浅香ら²⁾も本研究と同様に、1つ前に走行した区間に対して行きやすいと感じたかを尋ねる走行実験を実施しており、(2.5)式のパラメータを算出、さらに旅行速度との説明力の比較も行っている。ドライバーの評価した接続機能に対するモデルの適合度を表す尤度比にて本研究と先行研究を比較すると、表 5-4 のようになっている。

表 5-4 先行モデルとの尤度比の比較

	本研究		浅香ら	
モデル	旅行速度	モデル 1	旅行速度	浅香モデル
尤度比	0.24	0.30	0.31	0.45

尤度比では浅香らのモデルの方が高い値を示しているが、旅行速度の尤度比にも差が生じているように、実験の諸条件が異なるために一概に比較することは出来ない。ここで、指標値算出の簡便性にて比較を行うと図 5-2 のようになる。

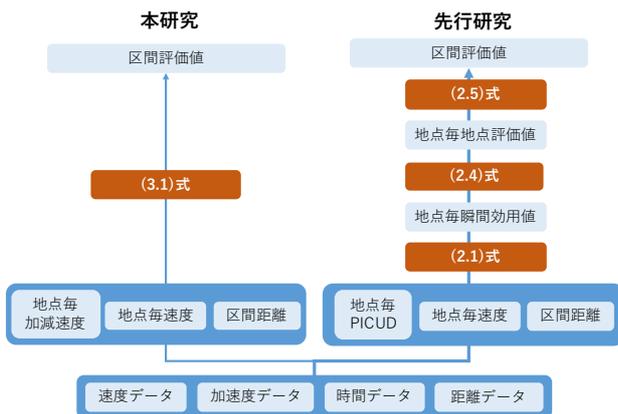


図 5-2 指標値算出過程の比較

本研究の算出過程を見ると、取得した変数から直接的に指標値を算出可能となっている。対して先行研究では複数のモデルを介すことによる誤差の重複が生じてしまう構造となっている。また現状のプローブデータの普及率とその観測精度では、前後車両との衝突危険

度を表す PICUD の算出は非常に困難となっている。このことより、本研究では一定の精度を保証した上での簡便性向上ができたと考える。

6. 本指標を用いた性能評価手法

(1) 提案する性能評価手法

前章までで提案した指標は、個々のドライバー単位の評価指標であった。本章ではこの指標値を、評価対象区間を定期間内に走行する車両に関して集計し、対象区間の性能評価指標とする方法を述べる。性能評価をする上でその道路が第一に保証すべきは、ドライバーが道路に求める機能に応じた水準を満足しているか否かである。つまり、本研究で提案する指標値を用いて保証されるべき道路の性能目標値を設定し、「どの程度の車両がそれを満たしているか」について第一に照査すべきである。具体的には、5章で提案した指標を全車両分集計することで指標値分布を導出し、各道路の機能に応じて定めた性能目標値をどの程度の車両が達成しているかを表す「性能目標達成率」によって性能評価を行うこととする。性能評価手法の具体的なプロセスは以下のようになる。

- ① 各道路の機能に応じた性能目標値 U_t を設定する。
- ② 各車両 (N 台) の指標値を集計し、指標値分布を作成する。
- ③ 各車両の指標値 $U_i (i = 1, 2, \dots, N)$ を算出する。
- ④ 性能目標達成率 $P (U_t \leq U_i \text{ を満たす車両の割合})$ を算出する。この評価値をもって性能照査を行う。

(2) 普及率と性能評価精度

性能評価手法について述べたが、プローブデータ取得可能車は 2018 年時点で普及率が低く、区間を走行した全車両の指標値分布を算出することができない問題が生じる。ここで、国土交通省が推進している ETC2.0 プローブデータに着目すると、2016 年春から導入された ETC2.0 は既に普及率 15% 程度まで広がっており、旧型 ETC の普及率が 90% であることを考慮すると、今後国内で一般に普及する可能性が高い。このように、今後普及率が上昇していくことを踏まえると、その普及率に応じて性能評価の精度がどのように変化するか整理しておくことが不可欠である。本研究で提案する指標値は、区間走行車両 1 台につき 1 つの値が算出され、それらを集計することで指標値分布が導出される。区間を走行した全車両の指標値が算出され、それらを集計して導出した分布を母集団分布とすると、普及率に応じてサンプリングされた指標値を集計して導出した分布

は標本分布と捉えることができる。本研究では、指標値分布から得られる情報の内、「性能目標達成率」に着目し、標本分布から「母集団の性能目標達成率」を区間推定し、普及率と母集団の性能目標達成率の推定精度の関係を整理することで、実務においても指標値が活用できる体系の整理を行う。標本分布から母集団の性能目標達成率の 95%信頼区間を推定する手法として、モンテカルロ法の一つであるブートストラップ法を用いる。具体的に以下の手順により推定を行う。

- ① N 個の母集団データから無作為に n 個のデータを抽出する。
- ② この n 個のデータを標本 1 とし、標本 1 の性能目標達成率を算出する。
- ③ ②で抽出したデータを母集団に復元し、①及び②を繰り返すことで、標本 2, 標本 3, …の性能目標達成率を算出する。
- ④ 以上の作業を 1000~10000 回行うことで、標本の性能目標達成率の標準偏差を算出し、その値をばらつき（標準誤差）とみなし、母集団の性能目標達成率の 95%信頼区間を推定する。

(3) 数値例

ここでは、表 5-3 で示した 9 通りのシミュレーション結果を用いて実際に性能目標達成率を算出する。ここで、性能目標値を設定する必要がある。本研究で提案する指標は「区間距離」「目標旅行速度達成率」「ア

クセレーションノイズ」の 3 つの要素からなっており、本来であればそれらの変数とドライバーが道路に求める機能に応じた水準の関係を整理したうえで、適切な性能目標値を設定すべきである。しかしここでは簡便のため、表 6-1 に示すように、区間距離 3km、目標旅行速度達成率 1.0、アクセレーションノイズ 0 とした指標値の値を性能目標値とした。

表 6-1 性能目標値算出のパラメータ

性能目標値算出パラメータ	
区間距離	3km
目標旅行速度達成率	1.0
アクセレーションノイズ	0

9 通りの道路に対して性能目標達成率を算出した結果は図 6-1 のようになった。本研究ではこのように、性能目標達成率を算出することで性能評価を行う手法を提案する。

また、様々な指標値分布における母集団と標本の関係を確認するために、表 5-3 で生成した 9 通りの交通流の指標値分布を母集団分布とし、ブートストラップ法による母集団性能目標達成率の 95%信頼区間の推定を行った。この時、普及率に応じて 95%信頼区間がどのように変化するか確認するために、普及率の水準は 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90% の 9 水準を設定した。横軸は普及率、縦軸は性能目標達成率を表しており、普及率が上昇するに従って、信頼区間の幅が

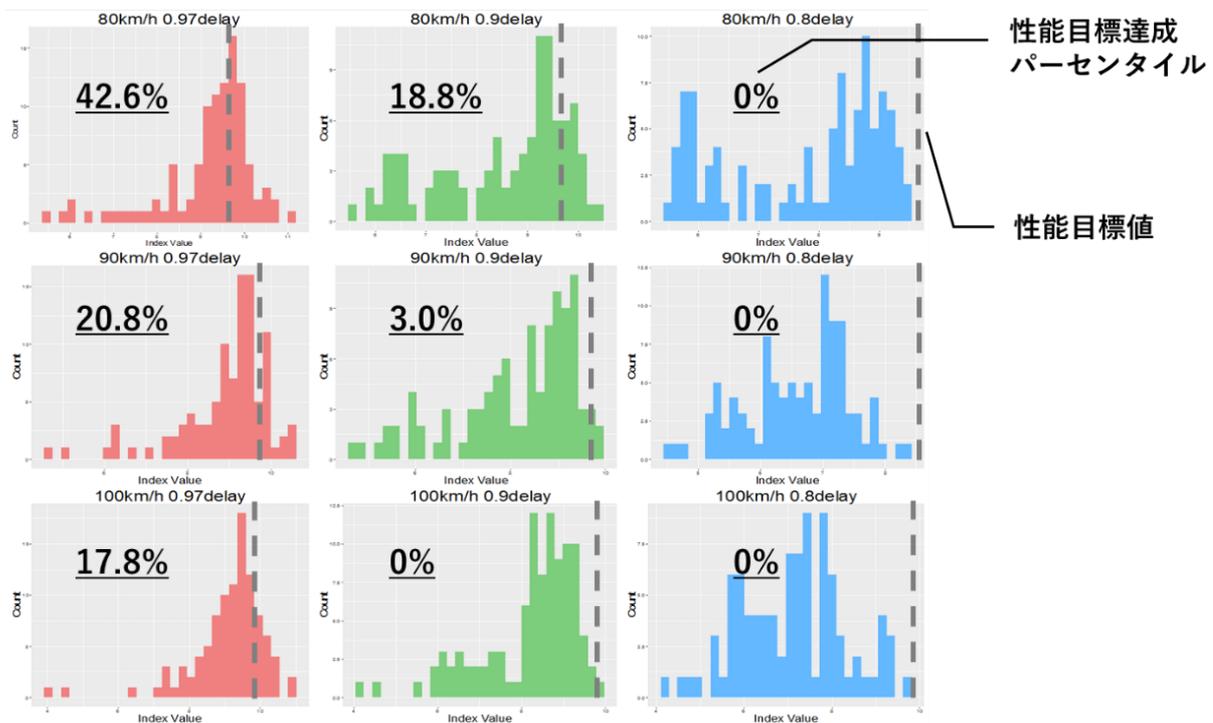


図 6-1 性能目標達成率の算出例

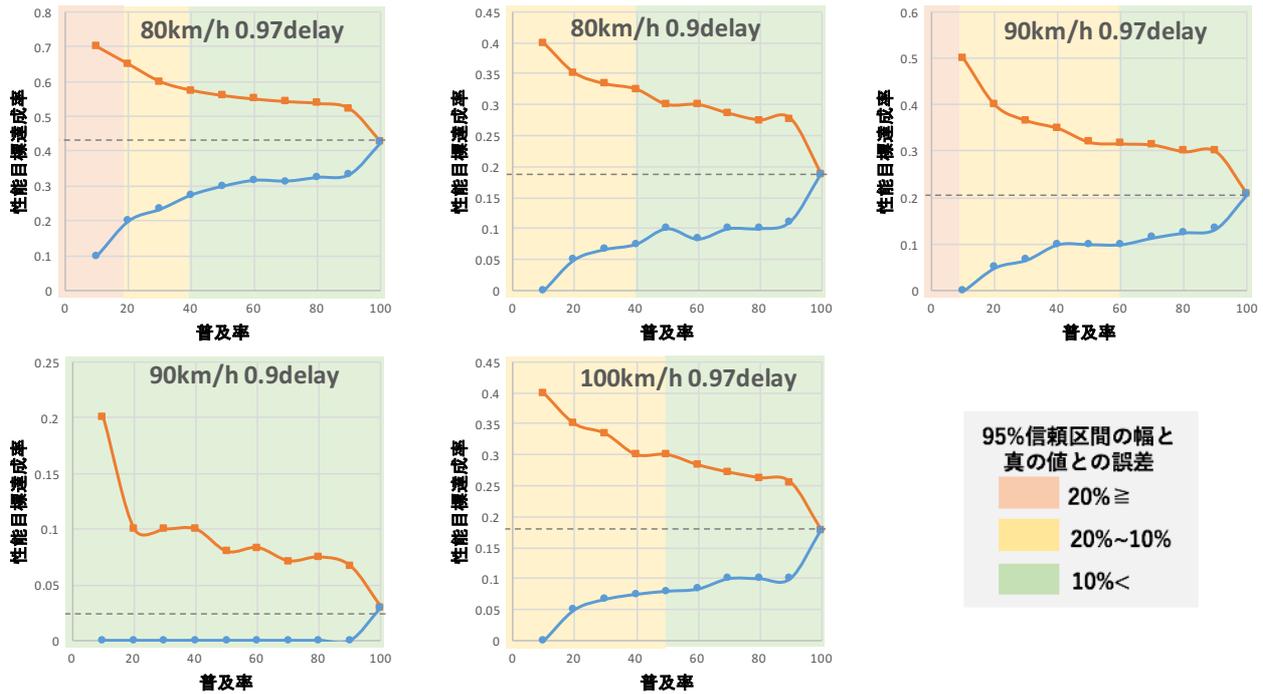


図 6-2 普及率と 95%信頼区間のシミュレーション結果

収束していく様子が確認された。ここで、母集団の真の性能目標達成率に対して、推計した 95%信頼区間の幅による誤差が 20%以上で赤色、10%~20%で黄色、10%未満で緑色とし、それぞれ色分けしている。これを見ると、普及率が 60%以上になると、すべての状況において誤差が 10%以内に収まっていることが確認される。つまり普及率 60%以上では、標本分布から算出した性能目標達成率±10%の範囲に母集団の性能目標達成率が 95%の確立で存在していると考えられる。

7. おわりに

本研究では、先行研究²⁾において問題であった指標値算出の複雑さを解消するため、PICUD等の代わりに、プローブデータを用いたドライバーの区間効用を推定するモデルを開発するとともに、地点間接続機能に関する道路区間の性能評価指標を取りまとめた。また他のモデルとの現象説明力の比較から、交通のサービスの質をミクロな運転環境に基づき評価することの妥当性を確認できた。本指標を用いることで、ドライバーが認識するミクロな交通流の性能評価を高い精度かつ、より簡便に行うことが可能となったと考えられる。さらに性能評価を行う際のプローブデータ普及率の影響を検証した。

しかし課題として、ドライバー異質性が考慮されていないこと、本指標のサービス水準や性能目標値の整

理が為されていないことがあげられる。前者については、実験の被験者が 20代男性 10名と、偏ったものとなっており、今後はドライバーの個人属性と指標値の関係の分析を行っていく必要がある。

また、各道路に定める性能目標値に関しても、道路特性と指標値の関係を整理した上で、明確に設定する必要がある。以上の2点を改善することで、実務展開も十分可能な指標となりえると考えられる。

参考文献

- 1) (一社), 交通工学研究会: 道路の交通容量とサービスの質に関する研究, 2015年8月.
- 2) 喜多秀行・浅香遼・渡邊友崇・辻谷純: 円滑性と安全性に着目した道路の性能評価指標, 土木学会論文集D3(土木計画学) Vol. 71 No. 5, 2015.
- 3) Transportation Research Board: HIGHWAY CAPACITY MANUAL, 2000.
- 4) 藤田清二: 高速道路のサービス水準の適用に関する考察, 土木学会論文集, No. 772, IV-65, 2004.
- 5) Morrall, J. F. and Wemer, A.: Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings, Transportation Research Record No. 1287, pp. 62-69, 1990.
- 6) Ko, J., Guensier, R., and Hunter, M.: Variability in Traffic Flow Quality Experienced by Drivers:

- Evidence from Instrumented Vehicles, Transportation Research Record, No1988, pp. 1-9, 2006.
- 7) 中村英樹, 大口敬: 性能照査型道路計画設計の導入に向けて, 土木学会論文集 D3, Vol. 67, No. 3, pp. 195-202, 2011.
 - 8) 前田信幸, 喜多秀行: 道路交通における走行サービスの質とその計測: 効用アプローチによる方法, 土木学会論文集 No. 772, 2004.
 - 9) 福井智侑, 塩見康博: プローブデータを用いた細街路エリアにおける事故リスク要因の分析, 交通工学ワンデーセミナー, 2017.
 - 10) 藤井琢也, 高橋考治, 清橋秀聡, 馬場範夫: 民間プローブデータを用いた事故対策の評価と効果モニタリング・評価手法の検討, 土木計画学研究・講演集, Vol. 49, pp. 239, 2014.
 - 11) 小林潔司, 織田澤利守: 確率統計学 A to Z, 電気書院, p. 242, 2012.

(2018.4.27 受付)