

# 円滑性と安全性に着目した道路の性能評価指標

喜多 秀行<sup>1</sup>・浅香 遼<sup>2</sup>・四辻 裕文<sup>3</sup>・渡邊 友崇<sup>4</sup>・辻谷 純<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: kita@crystal.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail:121t101t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 神戸大学自然科学先端融合研究環 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail: yotsutsuji@people.kobe-u.ac.jp

<sup>4</sup>学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail:1024260t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>5</sup>学生会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)  
E-mail:130t127t@stu.kobe-u.ac.jp

性能照査型設計では性能が発揮されている程度を評価するための性能評価指標が重要な役割を果たす。本研究では、道路の機能が拠点間のアクセシビリティの確保であるとの認識の下、他の拠点への“行きやすさ”が評価すべき性能であると考え、交通機能の主たる要素である安全性と円滑性に着目した性能評価指標を提案する。

まず、ドライバーの眼前に広がる走行環境に対する局所的評価とドライバーが認識する“行きやすさ”の程度を関連づける評価構造モデルを構築し、ドライビング・シミュレータを用いた室内実験により、モデルの特定と現象説明力の検証を行った。また、提案したモデルを組み込み、道路交通特性に関する常時観測データから性能評価指標値を算定するための方法論を提示し、事例分析によりその有用性を明らかにした。

**Key Words** : *Measure of Effectiveness, Performance-based Road Design, Accessibility*

## 1. はじめに

道路は本来、道路利用者が目的地で活動をするために車で移動する際に用いられるものであると考えられ、道路が満たすべき性能とは、目的地へ早く、安全に行くことであると考えられる。そこで、各々の道路がどのようなことをするとき利用するのかを示し、分類を行ったうえで、目的地までドライバーにとって行きやすい道路を整備する必要があると考える。

また、道路構造令の解説と運用<sup>1)</sup>では、多様化する国民のニーズの変化と社会経済状況の変化の中で、様々なニーズに的確に対応するために道路利用者にとっての必要性を第一に考えて、道路を計画・設計しなければならないと考えられている。

一方で、道路が持つ機能を確実に発揮するために必要な道路の整備・改良・運用のために、性能照査型設計手法の必要性が指摘されている<sup>2)</sup>。

性能照査型設計とは、必要な性能を満たすような

設計方法であるが、性能照査型設計では、所定の性能がどの程度発揮されているかを評価するための性能評価指標が必要となる。

道路の性能照査型設計に関しては旅行速度が提案されている<sup>1)2)</sup>。その理由は、道路の主たる機能が安全で円滑な移動空間の提供であり、安全性の確保を大前提と考えた時には、速度が最も端的な状態変数といえるためである<sup>2)</sup>。しかし、ドライバーは時々刻々と変化する交通状況の下で注意と緊張を強いられて走行しており、安全性が確保されていることを前提とすることは必ずしも現実に即していない。また、他の地点へ移動する時、多くのドライバーは走行速度が同じであっても当該地点までの距離が長いほど行きにくいと感じる。

そこで、本研究では、道路が拠点間のアクセシビリティを確保する装置であるとの認識の下、他の拠点への“行きやすさ”が評価すべき性能であると考え、道路の交通機能の主たる要素である安全性と円滑性と関連付けた性能評価指標を提案する。また、

提案したモデルを組み込み、交通量常時観測装置から得られる、観測が容易な道路交通特性から性能評価指標値を推定するための方法論を提示する。さらに、提案した方法に従って事例分析を行い、その有用性を明らかにした。

## 2. 本研究における性能評価指標の考え方

### (1) 性能評価指標が具備すべき条件

本研究では、道路が有する第一義的な機能である、交通機能<sup>3)</sup>の主要素であるトラフィック機能に関する性能評価指標を開発する。また、本研究では“行きやすさ”が、基本的に確保すべきものだと考えられている安全性と円滑性を包含したものであると考え、性能評価指標は道路の円滑性・安全性を的確に評価する必要があると考える。以上を踏まえ、性能評価指標として、最低限、以下の3つの条件を具備しておく必要があると考える。

目的地までの実所要時間が、目標とする所要時間よりどれくらい多くかかるか、その程度が性能に及ぼす影響を的確に反映しうるものであること。

どの程度安全に走行できるかが性能に及ぼす影響を的確に反映しうるものであること。

走行する距離の差異が性能に及ぼす影響を的確に反映しうるものであること。

### (2) 拠点間アクセシビリティ評価モデルの提案

“行きやすさ”は拠点間の移動に要する時間が長いほど低下し、渋滞による遅れや混雑による走行自由度の低下があるとさらに低下する。また、走りやすさによるドライバーの認識が時々刻々の認識の累積として形成される<sup>4)</sup>ことに留意し、“行きやすさ”の程度を次式のような構造として記述し、その妥当性を検証する。

$$A = \sigma \frac{S}{v_{goal}} + \gamma \sum_{n=1}^N (V_{spot}^n \cdot \rho_n) + \lambda V_{spot}^{Min} + \varepsilon \quad (1)$$

$A$ : 行きやすさ

$V_{spot}^n$ : 地点評価値

$\rho_n$ : 割引因子 ( $n: 0 \sim N$ )

$V_{spot}^{Min}$ : 地点評価値の最悪値

$v_{goal}$ : 目標旅行速度

$S$ : 区間全体の距離

$\sigma, \gamma, \lambda, \varepsilon$ : パラメータ

地点評価値  $V_{spot}^t$  は式(3)で示す瞬間効用値から式

(2)で与えられる。

$$V_{spot}^n = \phi U_i^n + \eta (U_i^n - U_i^{n-\Delta n}) + \varepsilon \quad (2)$$

$V_{spot}^n$ : 第  $n$  地点の地点評価値

$U_i^n$ : 第  $n$  地点の瞬間効用

$U_i^{n-\Delta n}$ : 第  $n-1$  地点の瞬間効用

$\phi, \eta, \varepsilon$ : パラメータ

瞬間効用値  $U_i^n$  は、個別のドライバーが時々刻々と変化するミクロな運転環境の下で効用最大化行動をとっているとの仮定の下で走行実験データから推計した瞬間効用関数(式(3))に基づき算定される。

$$U_i^n = \lambda L + \mu |v^d - v_0| \quad (3)$$

$U_i^n$ : 第  $n$  地点の瞬間効用

$L$ : 衝突危険度 (PICUD)

$v^d$ : 自車両速度

$v_0$ : 希望走行速度

$\lambda, \mu$ : パラメータ

右辺第一項の  $L$  は前後の直進車両および隣接車線の前後の直進車両との衝突危険度 (PICUD) であり、第二項は希望走行速度と実走行速度との乖離の程度である。

式(1)の第一項は目標とする旅行時間で条件 に対応している。第二項・第三項は、安全性と円滑性に関する不快の程度を表し、条件 に対応している。

また、式(1)のモデルを、以後、拠点間アクセシビリティ評価モデルと呼ぶ。

## 3. 拠点間アクセシビリティ評価モデルの構造の特定

### (1) データ収集

拠点間アクセシビリティ評価モデルを特定するためには、様々な交通状況下における地点評価値  $V_{spot}^n$  と行きやすさ  $A$  を取得する必要がある。

そこで、ドライビング・シミュレータを用いた実験を行った。同一の道路構造の下で、走行区間の長さ、交通状況(渋滞・非渋滞)を変化させた 9 つの走行区間のうち抽出した 2 つの道路を繰り返し走行する。

被験者は、2 つの道路を走行後に、どちらの走行区間の方が行きやすいかを表明する。表明する行きやすさ  $A$  を効用と見なして、2 項ロジットモデルとしてパラメータを推定することとする。

次に、実験の手順を記述する。

被験者に目標旅行速度および、走行する距離を提示する。

所与の交通状況の中でドライバーは目的地（終点）まで運転する

運転の際に 30 秒毎に走行状況（5 秒間）に対する主観評価（地点評価値  $V_{spot}^n$ ）を 0 ~ 10 の範囲で表明する。

2 つ目の走行区間の目標旅行速度および走行距離を提示し、2 つ目の走行区間の走行を開始する。

運転の際に 30 秒毎に走行状況（5 秒間）に対する主観評価（地点評価値  $V_{spot}^n$ ）を 0 ~ 10 の範囲で表明する。

走行終了後、1 つ目の走行区間と比較して、次同じ目的地へ行くとすれば、どちらの道を選択するかを表明する。

これら から の手順をすべての組み合わせ、つまり 36 通りの組み合わせに対して行う。

この結果から得られる、距離  $S$ 、目標旅行速度  $S$ 、地点評価値 ( $V_1, V_2, \dots, V_n$ )、および選択結果から、式(1)のパラメータを導出した。なお、2 つの走行区間のうち、走行区間 1 および走行区間 2 のそれぞれの選択確率  $P$  は、次の式(4)と式(5)で表すことが可能である。ここに、 $A_m$  は走行区間  $m$  の拠点間アクセシビリティ値である。

$$P(A_1) = \frac{e^{A_1}}{e^{A_1} + e^{A_2}} \quad (4)$$

$$P(A_2) = 1 - P(A_1) \quad (5)$$

表-1 で実験で設定した評価区間、被験者、取得したデータについて記述する。

表-1 シミュレータ実験の概要

項目	内容
評価区間	距離と交通状況の異なる8つの走行区間 (距離は、3km,6km,9kmそれぞれ3通りずつ) それぞれ直線の道路構造に変化のない4車線道路である。
被験者	10名 (20代男性:8名,20代女性:2名)
取得したデータ	・2つの走行区間の行きやすさに関する一対比較の結果 (各被験者毎に36個の結果が得られる) ・走行区間を走行中の、30秒毎の5秒間に対する地点評価値 (被験者10人全員で11157個) ・前後車両、隣接前後車両の速度および自車両との車間距離 ・自車両速度と運転挙動

## (2) 結果

取得したデータから式(1)のパラメータを最尤推定法によって推定した。

表-2 に示すように、各パラメータは 0.1%有意または 1%有意であり、尤度比  $\rho^2$  が 0.445 と比較的高いことから、式(1)で示している拠点間アクセシビ

リティ評価モデルは、ドライバーが認識する“行きやすさ”を的確に説明しうることが確認された。

表-2 パラメータの推定結果

パラメータ	$\sigma$	$\gamma$	$\lambda$	$\varepsilon$
推定値	-33.16	0.16	0.25	5.40
t値	-11.63**	2.63*	3.47**	9.47**

\* 1%有意 \*\* 0.1%有意

## 4. 性能評価値の算出法

### (1) 算出方法

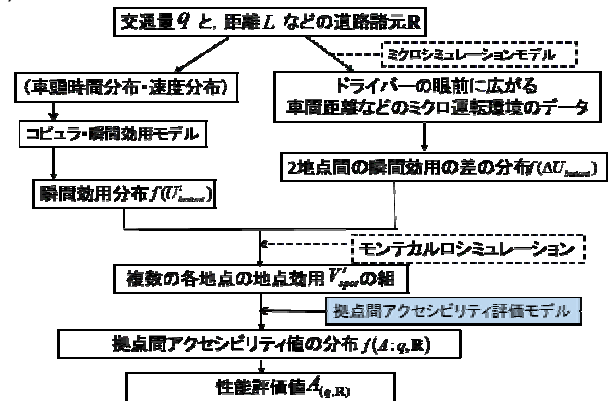


図-1 性能評価値の導出方法

道路管理者が交通の運用管理をする際には、交通量など、常時観測データから性能評価値を算定しうることが望ましいと考えられる。そこで、拠点間アクセシビリティ評価モデルを用いて、観測が容易な道路交通特性から性能評価指標値を推定するための導出方法を図-1 に示す。

初めに、交通量から車頭時間分布と速度分布を求める<sup>8)</sup>。分布間相互の相関を考慮した以下の式(6)の同時生起確率をコピュラを用いて導出する。

$$F(v_1, v_0, h_1) = C(F_{v_1}(v_1), F_{v_0}(v_0), F_{h_1}(h_1)) \quad (6)$$

上式で求まるマイクロ交通特性の同時分布と瞬間効用モデル式(3)から瞬間効用分布を導出する<sup>9)</sup>。

また、マイクロシミュレーションモデルを用いることで、ドライバーの目の前に広がる車間距離などのマイクロ運転環境のデータと求め、瞬間効用モデルから2地点間の瞬間効用の差の分布を求める<sup>9)</sup>。

このようにして導出した瞬間効用分布と2地点間の瞬間効用の差の分布を用いてモンテカルロシミュレーションによって、区間内の各地点の地点評価値の組み合わせ(一走行に相当)を多数生成する。

その後、提案した式(1)の拠点間アクセシビリティ評価モデルを介して、拠点間アクセシビリティ評価値分布を求め、その代表値(たとえば 15 パーセントイル値)をして性能評価値  $A(q, R)$  を算定する。

### (2) 数値例

上述の算出方法に基づいて事例分析を行った。対象区間の諸元を表-3 に示す。

表-3 対象区間の諸元

項目	内容
対象区間	東北自動車道 下り
道路構造	片側2車線高速道路単路部
交通量	660(台)
区間長	2.4(km)
平均速度	94.88(km/h)
標準偏差	12.40(km/h)

この対象区間における瞬間効用分布および2地点間の瞬間効用差の分布が、喜多・本田ら<sup>9)</sup>によって特定されている。式(5)は瞬間効用分布、式(6)は2地点間の瞬間効用差の分布である。

$$f(U_i - 1.327) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\{0.496(U_i - 1.327)\}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(U_i - 1.327) - 0.658}{0.456}\right)^2\right] \quad (5)$$

$$g(\Delta U_i) = \frac{0.167}{\pi\{\Delta U_i + 0.029\} + 0.167^2} \quad (6)$$

これら式(5)(6)の分布を用いてモンテカルロシミュレーションで地点評価値の組み合わせを多数導出する。

得られた地点評価値の組み合わせそれぞれの平均値および最悪値から、特定した拠点間アクセシビリティ評価モデル(式(7))を介して性能評価値分布を導出した。

$$A = -33.2 \frac{S}{V_{goal}} + 0.16 \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (V_{spot}^n \cdot \rho_n) + 0.25 V_{spot}^{Min} + 5.40 \quad (7)$$

このようにして得られた性能評価値分布および性能評価値の一例を図-2に示す。拠点間アクセシビリティ評価値分布の15パーセンタイル値をして性能評価値とすると、図-2における性能評価値は1.98となる。

## 5. おわりに

本研究では新たな指標としての“行きやすさ”を提案し、それを算定する基礎となる拠点間アクセシビリティ評価モデルを構築するとともに、指標値を算定するための方法を提示した。この成果により、交通量や平均速度の予測値に基づき道路の行きやすさを性能評価指標とした性能照査型設計を行うことが可能となると考える。

そのためには、種々の道路諸元、交通特性の下での簡便な算定式を整備しておくことが今後の課題である。また、道路管理者が道路管理を行う際には、15分間交通量や交通密度などの常時観測機器を用いて観測した交通特性データを集計したデータを用いやすいと考えられる。

そこで、集計された交通特性データから瞬間効用の代表値  $U_{i(agg)}^n$  を導出する出来るようにし、得られた瞬間効用の代表値  $U_{i(agg)}^n$  と式(2)の地点評価モ

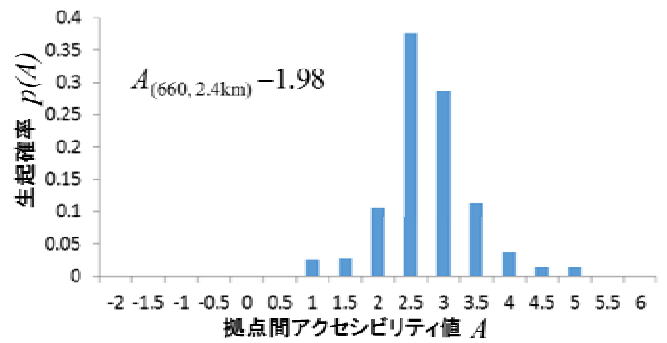


図-2 性能評価値分布の一例

デルと式(7)の特定した拠点間アクセシビリティ評価モデルから性能評価値を導出する方法も考え得る。

この方法で性能評価値を導出するためには、距離などの道路諸元ごとに、様々な交通状況をマイクロシミュレーションで作成し、瞬間効用分布を導出した後に、その代表値としての集計された瞬間効用値  $U_{i(agg)}^n$  を導出し、集計された瞬間効用と15分間交通量などの集計された常時観測データと関係を示しておく必要がある。

また、集計された瞬間効用値  $U_{i(agg)}^n$  と15分間交通量などの集計された常時観測データと関係を示した実験式の特定をすることで、道路管理者がより使いやすい指標となることが考えられる。

## 参考文献

- 1) 道路構造令の解説と運用(改訂版)：社団法人日本道路協会，2004年2月
- 2) 国際交通安全学会：性能照査型道路設計のための交通容量・サービス水準に関する研究報告書，平成19年度IATSSプロジェクト(PL:中村英樹)，p.1，2008.6
- 3) 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，-65，p33-39，2004.10
- 4) 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(土木計画学)，Vol.67，No.3，195-202，2011
- 5) 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，-65，p33-39，2004.10
- 6) 社団法人日本道路協会：道路構造令の解説と運用(改訂版)，2004年2月。
- 7) Hideyuki Kita and Akira Kouchi：Quantifying Perceived Quality of Traffic Service and its Aggregation Structure, Transportation Research PartC, Vol.19, No.2, pp.296-306, 2010
- 8) May, A.D: Traffic Flow Fundamentals, pp.95-101, pp126-133, Prentice Hall, New, 1990.
- 9) 喜多秀行，本田健祐，浅香遼，四辻裕文：道路の走りやすさに対するドライバーの評価とその予測方法，第33回交通工学研究発表会論文集，pp.213-217，2013

(2014.4.25)