

所要時間信頼性指標を用いたサービス水準評価手法の検討*

Evaluation Of The Method For Rating Service Level By Travel Time Reliability Indices *

岩里泰幸**・石橋照久***・朝倉康夫****・田名部享*****

By Yasuyuki IWASATO**・Teruhisa ISHIBASHI***・Yasuo ASAKURA****・Jun TANABE*****

1. はじめに

成熟した社会が形成されつつあるわが国においては、道路交通サービスに関しても、これまでのような“速達性”だけではなく“確実性（信頼性）”といった新たな視点でのサービスレベルの評価及び利用者への情報提供が求められており、諸外国でも観測データに基づいた信頼性指標と情報提供に関する取り組みがなされている¹⁾。

本稿は、阪神高速道路のサービス水準を示す新たな指標として時間信頼性に着目し、既存渋滞指標である渋滞量・渋滞損失時間と時間信頼性指標を組み合わせ、阪神高速道路における渋滞レベルを総合的に評価するための手法を検討した。まず、SP調査結果に基づいて時間信頼性指標を変数の一部とする行動モデルのパラメータを推定し、これをベースとして時間価値及び時間信頼性の貨幣価値を算定した。推定した時間価値と時間信頼性の貨幣価値を用いて、既存渋滞指標と時間信頼性指標とを統合的に評価する方法論を提案し、実際の観測データに基づいて阪神高速道路のサービス水準を評価した。

2. 総合的なサービス水準評価手法の必要性

これまで、阪神高速道路では渋滞状況の評価指標として渋滞量や渋滞損失時間など、主に量的な観点に立脚した指標が用いられてきた。一方、本研究の主たるテーマである時間信頼性指標（パーセントタイル値や近年米国の所要時間情報提供などでも用いられているBTやBTIなど）は、所要時間の大きさだけでなく変動範囲という質的な観点にも着目した指標であり、従来の指標である渋

滞量や渋滞損失時間とも異なる傾向を示すことが確認されており²⁾、サービスレベルを新たな視点で評価できる指標としても注目されている。例えば、渋滞量や渋滞損失時間など、従来の渋滞指標では評価が低い（＝渋滞が多い）路線でも、BTやBTIを用いて変動範囲という観点で評価すると、恒常的な渋滞により所要時間の変動が少なく高い評価を得るというケースもあることが確認されている³⁾。

これらの異なる視点から算定された複数の指標値を用いて総合的に渋滞状況を評価しようとする際には何らかの手法でこれを基準化、あるいは統合することが必要となる。定量的指標と定性的指標など、性質の異なる複数の指標を用いて総合的な評価を行うための手法として多基準分析が存在している。多基準分析は「多様な目的を取り扱い、それらを総合的に判断することができる手法であり、現実のプロジェクトのもつ多様な目的と多様な効果をより忠実に評価に反映するための手法」として位置づけられている。基本的には「評価に用いる指標相互の関係をウェイトで表現することによって総合的な評価値を算出する」という構造を有している。本稿では、このような多基準分析の中でもウェイト設定の恣意性を排除でき、理論的にも洗練されている効用関数の枠組みに基づいて阪神高速道路における渋滞レベル評価を行う。

効用関数に基づく多基準分析は、各評価項目を標準化・ウェイト付けする際に、効用（価値）の尺度に変換する関数を設定し、各代替案のもたらす効用（価値）を相互に比較できるようにする手法である。効用関数は、全ての評価項目を変数とする多変数関数を1つ定めるものである。例えば、渋滞損失時間が a 、時間信頼性指標が b の状態であるとき、その状態から得られる効用は効用関数 u により $u(a, b)$ と算出される。この効用関数（以下、渋滞レベルの評価関数とする）を同定するには、用いる変数に係るパラメータを推定する必要があるが、本稿では全ての変数を貨幣価値に換算することで単純な線形和として渋滞レベルの評価関数を定義する。渋滞損失時間については時間価値を用いることで貨幣価値への換算が可能であるが、時間信頼性指標については確立された換算値が存在しない。従って、次章で述べる交通行動モデルの同定を通じて換算値を推定することとした。

*キーワード：時間信頼性、渋滞、サービス水準

**正員、阪神高速道路(株)計画部調査グループ

(大阪市中央区久太郎町4-1-3, Tel 06-6252-8121,

yasuyuki-iwasato@hanshin-exp.co.jp)

***正員、工修、阪神高速道路(株)計画部調査グループ

(大阪市中央区久太郎町4-1-3, Tel 06-6252-8121,

teruhisa-ishibashi@hanshin-exp.co.jp)

****正員、(株)都市交通計画研究所 (大阪市中央区釣鐘町1-

1-11, Tel 06-6945-0144, tanabe@ots-inc.jp)

*****正員、工博、神戸大学大学院工学研究科 (神戸市灘区六

甲台町1-1, Tel 078-803-6208, asakura@kobe-u.ac.jp)

3. 行動モデルに基づく時間信頼性の貨幣価値推定

(1) 効用関数の推定に用いるデータ

一般的に、阪神高速道路利用者は混雑レベルに応じて出発時刻選択や経路選択などの交通行動に関する意志決定を行っていると思定される。料金や所要時間に加え、時間信頼性指標を組み込んだ交通行動モデルを精度良く同定できれば、そのパラメータから時間信頼性の貨幣価値を推定することが可能となる。

行動モデルを推定するための基礎データとしては、2007年に実施したアンケート調査結果を用いることとした。このアンケート調査では、図-1のようなSP調査(選択意識調査)を実施しており、平均所要時間、95%タイ尔所要時間、料金といった変数に応じて経路を選択するタイプの質問が設けられている。このデータを用いることで、変数として料金、渋滞量/渋滞損失時間、時間信頼性指標を組み入れた効用関数を同定することが可能となる。このSP調査では混雑レベル評価に用いる渋滞量/渋滞損失時間をダイレクトに提示していないが、これらの指標は平均所要時間とほぼ等価であると考えられることから²⁾、渋滞量/渋滞損失時間に代えて平均所要時間を用いることとする。

SP調査は、3つの異なるパターンにおいて、平均所要時間、95%タイ尔所要時間、料金の違う3つの経路のうちどの経路を選択するかを選択してもらい、それぞれの経路の選択確率を集計した。

パターン1の条件と結果を表-1に示す。同じ料金であれば、平均的所要時間が5分短い高速道路Aよりも、95%タイ尔値が5分短い高速道路Bの方が選好されていることがわかる。パターン2の条件と結果を表-2に示す。高速道路Aと高速道路Bを比較すると、高速道路Bに対して平均所要時間が5分高く、かつ95%タイ尔値が15分も高い高速道路Aが500円安いために3倍近く選好されていることがわかる。パターン3の条件と結果を表-3に示す。平均所要時間・95%タイ尔値共に最も低い高速道路Bが、最も高い料金のために高速道路Aや一般道路よりも選好されていないことから、このパターンにおいても経路選択に料金が支配的であることがわかる。

(2) 効用関数のパラメータ推定結果

混雑レベルを評価するための効用関数として、式(1)に示すような料金、平均所要時間、BT (Buffer Time) という変数で構成される経路選択モデルを用いることとする。ここでは選択肢に関する望ましさを表す効用であり、料金 (V_{ic})、平均所要時間 (V_{it})、BT (V_{ir})、及び誤差項 (ε_{in}) の線形和として定義される。 $\theta_1 \sim \theta_3$ は、それぞれ料金、平均所要時間、BTに関するウェイトを示すパラメータである。SP調査から得ら

れたデータを用いて、パラメータ $\theta_1 \sim \theta_3$ を推定する。パラメータ推定には最尤推定法を用いた。ここで、被験者nが選択肢 i を選択する確率 P_{in} は式(2)のように多項ロジットモデルとして表現することができる。



図-1 SP調査の画面例

表-1 SP調査による経路選択結果(パターン1)

経路	平均的所要時間	95%タイ尔値 (1か月のうちに最もひどい渋滞に巻き込まれた場合の所要時間)	料金	選択比率
高速道路A	30分	35分	700円	55.1%
高速道路B	25分	40分	700円	29.7%
一般道路	50分	65分	0円	15.2%

表-2 SP調査による経路選択結果(パターン2)

経路	平均的所要時間	95%タイ尔値 (1か月のうちに最もひどい渋滞に巻き込まれた場合の所要時間)	料金	選択比率
高速道路A	40分	55分	700円	64.0%
高速道路B	35分	40分	1200円	22.1%
一般道路	65分	80分	0円	13.9%

表-3 SP調査による経路選択結果(パターン3)

経路	平均的所要時間	95%タイ尔値 (1か月のうちに最もひどい渋滞に巻き込まれた場合の所要時間)	料金	選択比率
高速道路A	25分	35分	300円	42.9%
高速道路B	20分	30分	500円	20.6%
一般道路	35分	40分	0円	36.5%

$$U_{in} = \theta_1 V_{ic} + \theta_2 V_{it} + \theta_3 V_{ir} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

U_{in} : 個人 n の選択肢 i に関する効用

V_{ic} : 選択肢 i の料金

V_{it} : 選択肢 i の平均所要時間

V_{ir} : 選択肢 i の BT

θ : 各変数に対するパラメータ

ε_{in} : 誤差項

$$P_{in} = e^{V_{in}} / \sum e^{V_{in}} \quad (2)$$

P_{in} : 個人 n の選択肢 i の選択確率

V_{in} : 個人 n の選択肢 i に関する効用 (誤差項を除いた値)

最尤推定法によりパラメータを推定した結果を表-4に示す。各パラメータがマイナスを示しているということは、料金、95%タイル値、所要時間が上がると、効用は下がるということを意味しており、一般的な常識と合致している。またt値については絶対値が1.96で信頼度95%、2.576で信頼度99%で選択確率に影響を与えるとみなしうることから⁴⁾、今回の推定結果はいずれのパラメータも99%以上の信頼度を有しているといえる。これは、モデルに組み込んだ料金、平均所要時間、BTのいずれもが、ドライバーの経路選択行動を説明する変数として意味があることを示している。

一方、自由度調整済尤度比は0.0966と低い値にとどまっており、モデル全体としての適合度の観点からは問題を残す結果となっている。これは、パラメータ推定に用いたデータセットの中には、SP調査で提示した条件と被験者がふだん阪神高速道路を利用している条件が異なっていたためうまく交通状況を想定できないケースを含んでいたことが影響している可能性がある。例えば、ふだんの利用目的が時間制約のない自由トリップである被験者が、通勤や業務といった到着時刻制約があるトリップを想定することが困難であった等が考えられる。

このモデルから時間価値及び時間信頼性の貨幣価値を算出した結果を表-5に示す。料金と平均所要時間に関するパラメータから算出される時間価値($\theta 2 / \theta 1$)は36.12円/分であり、費用便益分析で用いられている乗用車の時間価値40.1円/分⁵⁾よりは低い結果となった。時間信頼性(BT)の貨幣価値($\theta 3 / \theta 1$)は21.5円/分であり、時間信頼性の価値は、時間価値の約6割に相当することを意味している。つまり平均所要時間を10分短縮することと、BT(95%タイル所要時間と平均所要時間の差分)とを6分短縮することは等価であるといえる。

表-4 パラメータ推定結果

$\theta 1$ (料金)	-0.00683 (-18.061)
$\theta 2$ (平均所要時間)	-0.24673 (-19.670)
$\theta 3$ (BT)	-0.14687 (-16.721)
サンプル数	2523
L(0)	-2771.80
L(θ)	-2502.67
-2(L(0)-L(θ))	538.25
的中率	0.673
自由度調整済尤度比 $\rho 2$	0.0966

※()内はt値

表-5 貨幣価値の算定

時間価値($\theta 2 / \theta 1$)	36.12 (円/分)
時間信頼性の貨幣価値($\theta 3 / \theta 1$)	21.50 (円/BT)

4. 阪神高速道路における混雑レベル評価

(1) 評価関数

前章の検討を通じて、交通行動に関するドライバーの時間価値及び時間信頼性の貨幣価値を算定することができた。この結果を活用することで、渋滞によって利用者が受ける不効用を貨幣価値という同一の尺度で評価することが可能となる。ここでは、ある路線を利用した全ての利用者の不効用を「総旅行費用」と呼ぶ。総旅行費用は式(3)のように、①渋滞に巻き込まれたことによる不効用(=渋滞損失費用、式(4))と②所要時間の不確実性に起因する不効用(=リスク費用、式(5))の和として表現することができる。渋滞損失費用は渋滞損失時間に時間価値を乗じたものであり、渋滞に巻き込まれた利用者が失ったコストを表している。一方、リスク費用は利用台数に時間信頼性指標(BT)をかけあわせ、これに時間信頼性の貨幣価値を乗じたものであり、所要時間の不確実性がもたらすコストを表している。

$$C_i = C_{li} + C_{ri} \quad (3)$$

$$C_{li} = \sum_j q_{ij} \delta_{ij} \{ (t_{ij} - t_{in}) * v_t \} \quad (4)$$

$$C_{ri} = \sum_j q_{ij} * RI_{ij} * v_r \quad (5)$$

i : 路線

j : 時間帯

C_i : 総旅行費用

C_{li} : 渋滞損失費用

C_{ri} : 不確実性に起因するリスク費用

q_{ij} : 交通量

t_{ij} : 所要時間

t_{in} : 規制速度走行時の所要時間

δ_{ij} : $t_{ij} > t_{in}$ のとき1, それ以外は0

RI_{ij} : 時間信頼性指標 (BT)

v_t : 時間価値

v_r : 時間信頼性指標の貨幣価値

(2) 現状の渋滞レベル評価

ここでは、前節で提案した渋滞状況評価関数を用いて、推定した時間価値や貨幣価値をもとに路線ごとの総旅行費用を試算することで、現状の阪神高速道路ネットワークの渋滞状況評価を事例的に行うこととした。具体的には、平成18年度の平日・昼間12時間を対象として路線別総旅行費用を算定した。その結果を表-6に示す。

表-6 各路線の総旅行費用試算結果

区間	距離 (km)	A: 渋滞損失費用 (百万円/年)	B: リスク費用 (百万円/年)	C: 合計 (A+B) (百万円/年)	Aによる順位	Bによる順位	Cによる順位
11号池田線 上り: 池田→池環合流	14.2	2,304	1,767	4,071	1	3	1
11号池田線 下り: 環池分岐→池田	14.2	284	425	710	15	16	14
12号守口線 上り: 守口→守環合流	10.7	825	1,538	2,363	7	6	6
12号守口線 下り: 環守分岐→守口	10.7	83	432	515	19	15	19
13号東大阪線 上り: 水走→東環合流	11.7	1,492	1,799	3,291	2	2	2
13号東大阪線 下り: 環東分岐→水走	11.7	144	651	795	16	12	13
14号松原線 上り: 松原Jct.→松環合流	12.1	1,141	1,818	2,959	3	1	3
14号松原線 下り: 環松分岐→松原Jct.	12.1	21	91	112	21	23	22
15号堺線 上り: 堺→堺環合流	12.5	818	1,559	2,378	8	5	5
15号堺線 下り: 環堺分岐→堺	12.5	6	49	55	25	26	26
16号大阪港線 下り: 阿波座→天保山	6.0	101	762	863	18	10	12
16号大阪港線 上り: 天保山→阿波座	6.0	647	663	1,310	9	11	10
3号神戸線 下り: 阿波座→西宮IC	14.5	6	96	102	24	22	23
3号神戸線 上り: 西宮IC→阿波座	14.5	1,086	1,020	2,106	4	8	7
3号神戸線 下り: 西宮IC→京橋	16.5	1,016	1,628	2,645	5	4	4
3号神戸線 上り: 京橋→西宮IC	16.5	629	822	1,451	11	9	9
3号神戸線 下り: 京橋→月見山	8.6	136	452	588	17	14	16
3号神戸線 上り: 月見山→京橋	8.6	881	1,168	2,048	6	7	8
4号湾岸線 上り: 助松→天保山	18.6	636	630	1,267	10	13	11
4号湾岸線 下り: 天保山→助松	18.5	309	261	570	14	18	18
4号湾岸線 上り: りんくうJct.→助松	16.6	25	66	91	20	25	24
4号湾岸線 下り: 助松→りんくうJct.	16.6	15	70	85	22	24	25
5号湾岸線 上り: 住吉浜→天保山	18.0	329	258	587	12	19	17
5号湾岸線 下り: 天保山→住吉浜	18.0	314	361	675	13	17	15
7号北神戸線 下り: 伊川谷Jct.→西宮山口Jct.	32.5	3	134	137	26	21	21
7号北神戸線 上り: 西宮山口Jct.→伊川谷Jct.	32.6	13	135	148	23	20	20

11号池田線 上り

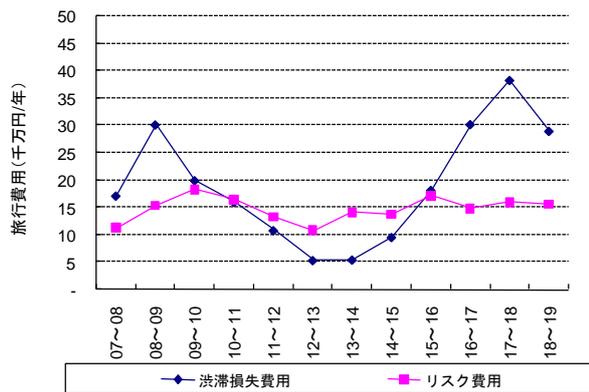


図-2 時間帯別旅行費用

11号池田線 上り, 13号東大阪線 上り, 14号松原線 上り, 3号神戸線 下り (西宮IC~京橋), 15号堺線 上りという順序で総旅行費用が高いという結果になった。但しその内訳をみると, 例えば渋滞損失費用では1位の13号池田線 上りが, リスク費用では3位であるなど, 従来指標である渋滞損失費用と, 所要時間の信頼性に着目したリスク費用とでは, 順位に違いがみられる。これは, 池田線のように恒常的に渋滞している区間では, 平均所要時間は高いが, 所要時間の変動が少なくないため, リスク費用が抑えられているものと推察される。一方, 15号堺線 上りのように, 渋滞損失費用では8位であるが, リスク費用が5位となり, 総旅行費用は5位と高位になる例もあった。

また例として池田線 上りの時間帯別旅行費用を図-2に

示す。朝・夕のピーク時に, 渋滞損失費用が多く発生していることがわかる。しかし渋滞に巻き込まれることを懸念して時間に余裕を見ることによるリスク費用は, 時間帯による変動は少なく, 自由流状態・渋滞状態に関わらず一定のリスクを見込んだ行動をしていることがわかる。また朝・夕のピーク時には, 渋滞が発生することによる渋滞損失費用が大きくなり, 交通量が比較的少ない11時~15時は逆に渋滞損失費用よりもリスク費用が大きくなることがわかる。このような指標を用いた評価を行うことで, 渋滞対策の前後における効果や, 路線ごとのサービス水準を把握することが可能になると考えられる。

5. おわりに

本研究では, 2007年に実施されたSP調査結果より料金, 平均所要時間, 時間信頼性指標を変数とする経路選択モデルのパラメータを推定した。推定したパラメータに基づいて時間価値及び時間信頼性の貨幣価値を算定し, ほぼ妥当な値であることを確認した。さらに, 渋滞損失時間と時間信頼性指標を組み合わせて総合的な渋滞レベル評価を行うための評価関数を提案し, 平成18年度のデータを用いて試行的に路線評価を実施した。

しかしSP調査結果を用いた経路選択モデルのパラメータ推定には, 適合度の課題が残っている。これはSP調査で提示された条件を被験者が的確に想定できなかったことが原因の一つと考えられる。今後は, 経路選択モデルの適合度を高めるため, より精緻なSP調査を実施して, 時間価値や時間信頼性指標の便益価値の精度を高める必要がある。そのような指標を用いて, 渋滞対策の前後における効果や, 路線ごとのサービス水準を計測していきたい。また, 物流企業等へのアンケート調査等も実施して, 時間価値のばらつきについても検証していきたい。

参考文献

- 1) Lomax T. , Schrank D. , Turner S and Margiotta R. : Selecting Travel Reliability Measures, <http://tti.tamu.edu/documents/474360-1.pdf> , 2003.
- 2) 飛ヶ谷, 石橋, 田名部, 朝倉: 旅行時間信頼性指標と既存の渋滞評価指標との比較~阪神高速道路の事例~, 土木計画学研究・講演集vol. 36, 2008
- 3) 飛ヶ谷, 石橋, 松本: 阪神高速道路における所要時間信頼性に関する実験的検証, 阪神高速道路第40回技術研究発表会論文集, 2008
- 4) 社団法人土木学会: 非集計行動モデルの理論と実際, 1995
- 5) 国土交通省道路局都市・地域整備局: 費用便益マニュアル, 2008