

[特 集]

道路交通における走行サービスの質と その計測：効用アプローチに基づく方法

喜多 秀行¹・前田 信幸²¹正会員 工博 鳥取大学 工学部社会開発システム工学科 (〒680-8552鳥取市湖山町南4-101)

E-mail:kita@sse.tottori-u.ac.jp

²正会員 工修 鳥取大学大学院工学研究科博士後期課程社会開発工学専攻 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

(欄建設技術研究所 道路・交通部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋本町4-9-11)

E-mail:n-maeda@cite.co.jp

本研究では“ドライバーの認識に基づくサービスの質”を評価する上で、共通の理論的基盤が必要であることを指摘し、効用アプローチに基づく検討フレームを提案する。この検討フレームはマイクロおよびマクロなレベルの二層構造となっており、ドライバーがある道路区間を走行する際の“全体的なサービスの質”に対する評価を、そこで生じた時々刻々のマイクロな走行環境に対する評価の集計値として記述する、というものである。提案したフレームを用いた事例分析を行い、サービス水準を記述するのに適した交通状態変数を適切に選定し、評価モデルを構築しうることを提示した。

Key Words : quality-of-service, road traffic, analytical framework, two-layer structure, utility base approach, microscopic evaluation, aggregation model

1. はじめに

道路交通の“サービスの質”は、サービスの消費者であるドライバーにとって主たる関心事である。道路の機能は、より速く、より安全に、より快適に目的地へ到達する、というドライバーのニーズを実現することである。より多くのドライバーにより高水準のサービスを提供することは、道路整備や交通管理の目的でもある。

迅速性や安全性、快適性等は必ずしも両立するわけではなく、多くの場合トレードオフ関係にある。投入しうる資源には限りがあり、技術的制約もあるため、すべてのサービス要素を最高水準にまで高めることは困難であり、一定の投入資源の下で、どの要素をどこまで高めるのが利用者から見てより望ましいのかを明らかにしておくことが必要である。“利用者が認識するサービスの質とは何か”を理解することの必要性がここにある。しかし、ドライバーの認識に基づきサービスの質を評価するという試みは、ようやく始まったばかりであり、共通する検討基盤すらないといった状況にある。

そこで、本研究では“ドライバーの認識に基づくサービスの質”を評価するためのひとつの検討フレームを提案するとともに、提案したフレームを用いることにより、サービス水準を示すのに適した交通状態変数を適切に選

定し、評価モデルを構築しうることを提示する。

フレームの各構成要素に関わるモデル分析等については折に触れ発表しているため^{[2], [15]~[19], [21], [24]}、本論文ではそれらの基盤となる考え方をひとつの検討フレームとしてとりまとめ、各部分モデルで得られた成果と合わせて方法論の全体像とその有用性を述べたい。したがって、部分モデルの詳細については必要最小限の記述に留め、なるべく全体の見通しをよくすることに留意する。

以下、第2章では、既往研究をレビューし、共通の理論的フレームに基づく検討の必要性を指摘する。第3章では、ドライバーの選択行動を規定する効用に着目した検討フレームを提案する。第4章では、提案した検討フレームに基づき構築したモデルを用いて、高速道路のオンランプ流入部における交通流のサービス水準を評価するとともに、観測が比較的容易な交通状態変数を説明変数とするサービス水準評価のモデル式を同定する。第5章では、得られた成果と今後の検討課題を整理する。

2. 共通の理論フレームに基づく検討の必要性

(1) 既往研究のレビュー

ドライバーから見た交通の質を示す“サービス水準”

に関する研究は、1965年版 HCM (Highway Capacity Manual)¹⁾にその概念が導入されて以来精力的に進められてきた。65年版 HCM では、旅行時間が交通の質を支配する主たる要因であるとの認識から、サービス水準を旅行時間と交通量-交通容量比の組み合わせに基づく A~F の6つの階級として記述した。しかし、階級の定義は定量的には示されていない。

1985年版 HCM²⁾では、例えば、高速道路単路部については密度、ランプ接続部については交通流率というように施設のタイプ別の指標が導入され、この考え方は、2000年版 HCM においても踏襲されているが、同じタイプの道路区間上のサービス水準を比較評価する限りにおいては有用であるものの、異なるタイプの道路区間のサービス水準を横断的に評価することは困難である。また、これらの指標はサービス水準と相関の高いマクロ交通特性を示すものに過ぎず、個々のドライバーが直面している交通の状況と明示的に関連づけられているものではなかった。

これに対し、Morall and Werner³⁾は、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、交通流全体のサービス水準を個々のドライバーが評価するサービス水準の集計値で評価しようと試みた。彼らは、シミュレーションモデルを用いて2車線道路区間における追い越し率(実現追い越し回数/希望追い越し回数)を算定した際に、遅れ時間率(遅延時間/旅行時間)が高い領域では、遅れ時間率がわずかしこ増加していないにもかかわらず追い越し率が大きく低下するという事実を見出し、遅れ時間率で記述されたサービス水準がほぼ同じであってもドライバーが感じるサービス水準が大きく低下しているはずだと指摘した。

彼らが用いた評価指標としての追い越し率は、個々のドライバーの追い越し率を集計して算定したものである。ここで注意すべきは、マクロな交通状態変数と個々のドライバーが直面している運転環境を記述した指標の集計値の挙動は、必ずしも同じでないということである。サービス水準がドライバーが認識する交通の質であるということに鑑みると、この差異は、サービス水準の評価指標はミクロな運転環境に対する評価指標を集計したものでなければならないことを示唆するものである。

とはいうものの、個々のドライバーが認識するミクロな運転環境指標には多様なものが存在する。“追い越し率”はそのひとつに過ぎない。例えば、De Arzoza and Meleod⁴⁾はサービス水準の評価指標として“平均旅行時間”を採用すべきであると主張している。また、Flannery and Jovanis⁵⁾は“遅れ時間”が、Hall⁶⁾は交通密度が、それぞれドライバーが認識するサービス水準と相関が高く指標として適切であると報告している。

(2) 検討のための基本フレームの必要性

このように、ドライバーの認識に基づくサービス水準評価については、さまざまな提案がなされてはいるものの未だ確立されたものがない状況にある。これは、さまざまな提案の妥当性を比較判断する共通の基盤がないためであり、その原因は“サービスの質の本質とは何か”という議論と“それをどのような指標で記述すればよいか”という2つの議論が混同してなされている点にある、というのが著者の見解である。重要なことは、上記の諸指標自体はサービス水準そのものではないということであり、われわれがそれらの中のひとつをサービス水準の評価指標として選ぶ場合には、“サービスの質とはどのようなものであるか”ということの言明と、“なぜそれがサービス水準の評価指標として望ましいと考えるのか”という選定理由を明らかにしておくことが必要である。

「ドライバーの認識に基づくサービスの質の測定」は多くの要因を内包するドライバーの評価構造を同定する営みであるがために、多数の研究者の間で要因相互の関連についての共通認識をつくり、その下で議論を進めていく必要がある。多数の研究者の参加を得て研究を進展させるためには、共通に認めうる理論的フレームの存在とそれに立脚した研究の積み上げが必要である。そこでは、「サービスの質の本質は何か」と「それをどのような指標で記述すればよいか」を分けて考えるべきであろう。まず、「サービスの質の本質」を明らかにし、しかる後、それを適切に記述するための指標の選び方とその算定法を検討すべきと考える。

(3) 検討のためのフレームが具備すべき要件

上記より、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要件は、以下のように整理できる。

- (a) 利用者の認識を的確に反映しているという客観的な根拠を有すること。
- (b) 個々のドライバーの認識を規定するのはミクロな交通状態であるため、ミクロな交通状態に基づき構成されているものであること。
- (c) 同一の交通状態に対してもサービス水準の認識は利用者により異なることがある。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こと。
- (d) ミクロな交通状態やその生起確率を規定する交通需要特性や道路構造変数、運用に関わる操作変数と明示的に対応づけられていること。
- (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こと。

また、既に確立されている理論体系を援用することができれば、大いに議論の助けとなる。

3. サービス水準評価の基本フレーム

(1) 提案する基本フレーム

以上の要件を具備した「ドライバーの認識に基づくサービス水準評価のための基本フレーム」を提案する。

図-1 に示すように、この検討フレームはマイクロおよびマクロなレベルの二層構造となっている。ここでは、「マイクロレベル」とはあるドライバーが直面する瞬間瞬間の運転環境に対するものを意味し、「マクロレベル」とは当該ドライバーが通過する対象道路区間の全体的な運転環境に対するものを意味している。基本的な考え方は、あるドライバーがある道路区間を走行する際に「認識されるマクロレベルのサービスの質」を、そこで生じた時々刻々のマイクロな運転環境に対する評価の集計値として記述する、というものである。

各ドライバーは「マイクロレベルの評価構造」を通して、マイクロな運転環境が有するサービスの質を認識する。この認識内容をここでは「マイクロレベルの認識サービス水準」と呼ぶ。「マイクロレベルの評価構造」は外部から観測できないので、分析者はその内容を推測しモデル化して評価構造の内容を理解することになる。このモデルを「マイクロレベルの評価モデル」と呼び、この評価モデルにより評価されたマイクロレベルの運転環境が有するサービスの質を「マイクロレベルのサービス水準指標」と呼ぶ。

種々のマイクロな運転環境に対して「認識されるマイクロレベルのサービスの質」と「マイクロレベルのサービス水準指標」がよい対応を見ることが確認できるならば、「マイクロレベルの評価モデル」は「マイクロレベルの評価

構造」をよくモデル化しているとみなせるため、「マイクロレベルの評価モデル」を用いて「マイクロレベルのサービス水準指標」を算定し、それを評価に用いればよい。しかし、「認識されるマイクロレベルのサービスの質」を測定することは一般に容易でないため、これを用いて「マイクロレベルの評価モデル」の妥当性を検証することは困難であることが多い。

一方、ドライバーの認識を測定することの困難さとは対照的に、ドライバーの認識から生じる運転挙動を観測するのは比較的容易なことである。「認識されるマイクロレベルのサービスの質」と「実現した運転行動」の間、および、「マイクロレベルのサービス水準指標」と「予測される運転行動」との間に、共通の「マイクロレベルの行動選択原理」を想定するならば、「実現した運転行動」と「予測される運転行動」がよい一致を示すことで「マイクロレベルの評価モデル」が「マイクロレベルの評価構造」のよいモデルであると結論づけることができる。

「マイクロレベルにおける評価構造」を首尾よく記述する適切な「マイクロレベルにおける評価モデル」を見出せば、このモデルを用いて評価した「マイクロレベルのサービス水準指標」の値は、「認識されるマイクロレベルのサービスの質」のよい近似となるであろう。

次に、マクロレベルの認識に目を向けよう。ドライバーは、何らかの「集計構造」を通して道路区間上で経験した「認識されるマイクロレベルのサービスの質」を「認識されるマクロレベルのサービスの質」へと集計化していると考えられる。この「集計構造」も外部からは特定化できないため、「集計構造」を説明する「集計モデ

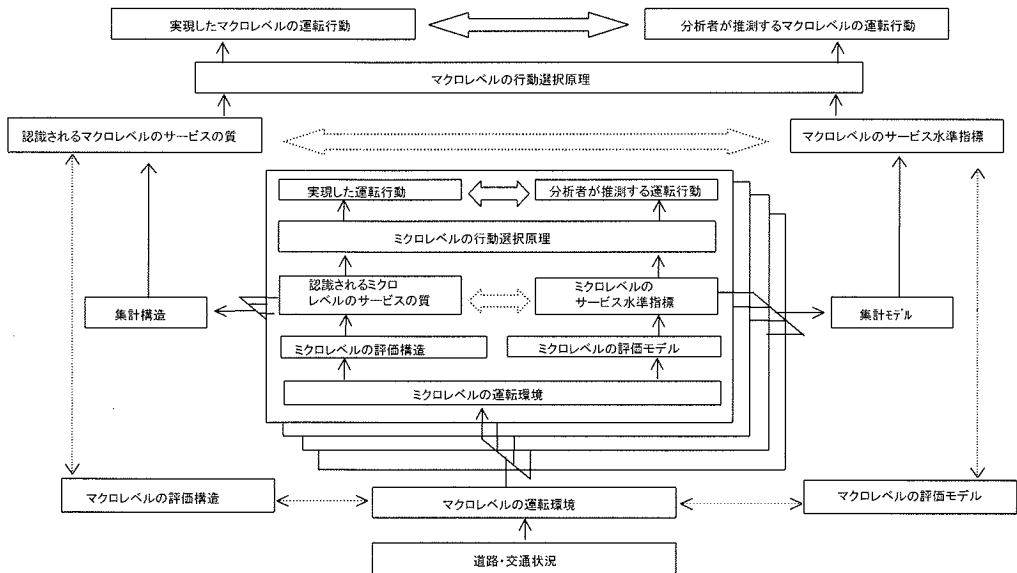


図-1 提案する検討フレーム

ル」を作成し、これにより評価したマクロな運転環境が有するサービスの質を「マクロレベルのサービス水準指標」と呼ぶ。

「ミクロレベルの評価モデル」が「ミクロレベルの評価構造」を的確に記述し、かつ「マクロレベルの運転環境」に関して「マクロレベルのサービス水準指標」が「認識されるマクロレベルのサービスの質」とよい対応を見せるならば、「集計モデル」は「集計構造」のよいモデルであると言える。「認識されるマクロレベルのサービスの質」を測定することが困難な場合は、ミクロレベルの場合と同様、「認識されるマクロレベルのサービスの質」と「実現したマクロレベルの運転行動」の間、および、「マクロレベルのサービス水準指標」と「予測されるマクロレベルの運転行動」の間に共通の「マクロレベルの行動選択原理」を想定し、「実現したマクロレベルの運転行動」と「予測されるマクロレベルの運転行動」がよい一致を見せることを示せばよい。

以上は、ある道路区間の交通サービスの質に対するドライバーの認識を評価するための検討フレームであるが、このフレームは、複数のドライバーあるいは繰り返し走行する場合についても拡張することができる。

(2) ドライバーの行動選択原理としての効用最大化仮説

“行動選択原理”および“ミクロレベルの評価モデル”は、提案する検討フレームの中心となる一対の構成要素である。ドライバーは所与の運転環境の中でもっとも望ましいと考える行動を選択し、そのことによって運転環境を改善しようとする。これは、ドライバーの“行動選択原理”が“ドライバーが最も望ましい運転環境を実現する行動を選択している”ことを意味している。したがって、ある時点でドライバーが直面している運転環境は、その時点でドライバーが選択しようとする運転環境の中で最も望ましいものである、と見なすことができる。

この望ましさの程度は、迅速性や安全性、快適性といった要因により規定され、これらの要因は周辺車両の位置や道路の平面線形といった道路特性や交通特性に依存する。ドライバーが感じる望ましさは、運転環境がドライバーにもたらす効用と解釈することができる。道路特性や交通特性と効用とを関連づけることは、効用関数の同定と等価である。

本研究では、“ミクロレベルの評価モデル”として効用理論を、“行動選択原理”として離散選択モデルを採用することを提案する。これは、離散選択モデルに関する研究の蓄積を用いることがモデル作成上有用であり、また効用最大化仮説に基づく研究が運転行動を記述する上で多くの成果をもたらしてきたためである。

効用最大化仮説および離散選択モデルに基づく行動分析は広く行われてきており、とりわけ交通行動の分野に

において有用であることが示されている（例えば、Ben-Akiva and Lerman⁸、McFadden⁹を参照されたい）。この、成果はまた、モデルの基本的仮説としての効用関数が適切に推定されていることを意味している。

このアプローチに基づく研究は、運転行動分析の分野においても蓄積されてきた。Daganzo¹⁰およびMahmassani and Sheffi¹¹は、ギャップアクセプタンス行動の分析に離散選択モデルを導入し、種々の要因がギャップアクセプタンス行動に及ぼす影響を明らかにする上で本モデルの優位性を実証した。Kita¹²は、オンランプ流入部における合流挙動を離散選択モデルによってモデル化し、合流車線長が流入挙動や事故危険度に及ぼす影響を解明した。Ahmed et al.¹³は、このアプローチを拡張し、加減速挙動の詳細な説明に成功している。また、Kita¹⁴、Kita and Fukuyama¹⁵は、流入部における合流車と本線車の流入・避走行動を分析し、両者の相互作用が挙動に及ぼす影響を明らかにした。

(3) 検討フレームの適格性

ここでは、提案した検討フレームが、2.(3)で述べた条件に適合しているかどうかを検討する。

まず、“選ばれたサービス水準指標がサービスの質に対する利用者の認識を的確に反映しているという客観的な根拠を検討フレームが有すること”という条件(a)に関しては、サービス水準を規定する走行効用にに基づき予測された行動と、同一の運転環境の下で観測された行動を比較対照し、よい一致を示すことを確認するというプロセスを踏んでいることにより満足している。

“ドライバーが直面するミクロな運転環境の記述に基づくものでなければならない”という条件(b)は、ミクロレベルの認識サービス水準を集計することによってマクロレベルの認識サービス水準を評価するメカニズムを持つことにより満たされている。

“ドライバーの異質性を考慮しうる構造を有していなければならない”という条件(c)に関しては、ドライバーの属性と行動に関するデータセットが利用可能であればドライバーの個人差を考慮できる、という構造を本検討フレームが有していることにより満足される。

“ミクロな交通状態やその生起確率を規定する交通需要特性や道路構造変数、運用に関わる操作変数と明示的に対応づけられていること”という条件(d)に関しては、本検討フレームが、ミクロな交通状況とそれを規定する影響要因との関係を組み込んでいるということにより満たされている。この関係は、例えばシミュレーション分析により与えられる。

また、“構造形式が異なっても適用可能な共通の方法論を有していること”という条件(e)についても、異なるタイプの道路区間に共通して存在する運転行動を介し

てドライバーの選択行動を記述するための適切な効用関数と集計モデルを見出すことが可能である、という構造を有しており満足される。

4. 効用アプローチに基づく分析

(1) ミクロレベルでの評価モデル

本章では、前章で提案した検討フレームに基づいて行った高速道路オンランプ流入部における分析を紹介する。オンランプ流入部では、加速、減速、隣接車線への車線変更、隣接車線からの流入といった中断されない交通流のサービスの質に影響を及ぼす主だった要因がいずれも比較的頻繁に生じているため、分析対象区間として適切であると考えたためである。ここで用いられている方法論は、当初喜多・藤原¹⁶⁾により開発され、その後、Kita¹⁷⁾、Kita¹⁸⁾、ならびに喜多・伊勢田・塩谷¹⁹⁾により改良されてきたものである。これらの研究では、個々のドライバーが認識するサービスの質を、速度・自由度・安全などに関して望ましいと考える運転状況の達成度であるとみなしている。マクロレベルの認識サービス水準は、評価対象区間を通過するすべてのドライバーの認識を集計した値として算定される。

先述のように、上記の達成度は走行時のドライバーの効用と理解することができる。以下では、ドライバーの効用関数として次式を仮定する。

$$\begin{aligned} u_{1i}(t) &= \lambda_1 t_1^{-1} + \lambda_2 t_2^{-1} + \gamma_1 \\ u_{2i}(t) &= \lambda_2 t_2^{-1} + \mu |v_0 - v_i| + \gamma_2 \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $u_{1i}(t)$ 、 $u_{2i}(t)$ は、それぞれ時刻 t における流入車と本線車のドライバーの運転行動 i ($i=1\sim 4$) に対する効用であり、運転行動 i は、現状維持、減速、加速、車線変更からなる。第1項は衝突に対する安全性であり、説明変数 t_1^{-1} は加速車線の終端および直近車両に対する“衝突余裕時間(TTC)”の逆数である。衝突余裕時間はそのまま走行し続けた場合に衝突に至るまでの時間であり、相前後する車両の車頭間隔 d を相対速度 v_r (接近する場合に正値をとる) で除した値として定義される²⁰⁾。相対速度がゼロないし負値の場合は衝突の危険性は存在しないため $=0$ とみなす。また、車線変更については瞬間的に隣接車線に移動したと考えた時の当該車線直近車との TTC とする。第2項は、希望速度に対する満足度であり、希望速度 v_0 と実現速度 v_i の差の絶対値で説明する。ここに、 λ_1 、 λ_2 、 μ 、 γ_1 、 γ_2 はパラメーターである。

各ドライバーは、最大効用 $u_n^{\max}(t)$ を与える選択肢 i を選択する。

$$u_n^{\max}(t) = \max_i \{u_m(t)\} \quad (2)$$

実際には、“ドライバーの認知量と物理量の乖離”や“認知に対する時間遅れ”、“予見による近視眼的でない意思決定”など本モデルで考慮していない諸要素が存在し、また、ドライバーが行動選択を行うタイミング等についてもより実態に即したモデル化が要請されるが、これらを考慮しない単純化したモデルであっても一定の説明力を有している。また、本論文で提案する枠組みは、これらの諸要素をも組み込みうる構造を有している。

この方法論では、式(2)によって与えられる効用の最大値が、その瞬間においてドライバーが獲得しうるサービスの質の「上限値」に対応していると仮定している。サービスの質が低下すればするほど、より速く・より安全で・より快適な走行を望むドライバーがそれ以上は獲得しえないサービスの「上限値」もまた低くなる。

本研究で用いた効用関数のパラメーターを表-1に示す。これは、ドライバーの行動選択が式(1)を効用関数の確定項とするロジットモデルで記述しようとすると、東名高速道路豊田インターチェンジ東行き流入ランプに設置したビデオカメラの観測データをもとに、最尤推定法を用いて推定したものである。データ取得のためのビデオ映像は、観測地点上 150メートルの高さでホバリングする遠隔操作ヘリコプターに装着したビデオカメラで撮影したものである。交通量はやや多いものの、渋滞することはなかった。推定に用いたサンプル数は 150 で、加速車線、直進車線、追越し車線の各 50 車両につきそれぞれある一時点の走行挙動と周辺状況を計測した。尤度比は 0.42 であり、推定した効用関数は、観測した車両挙動に関する十分に優れた再現能力を有している。

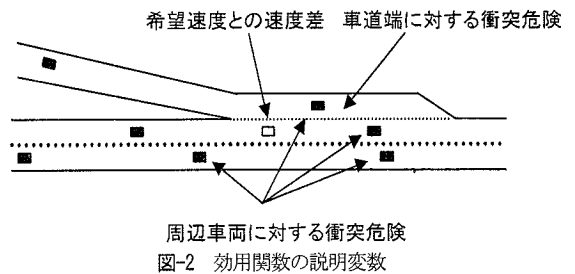


表-1 効用関数のパラメーター値

パラメータ	推定値 (t 値)	尤度比
加速車線終端への衝突余裕時間 (λ_1)	-11.88 (-6.21)	0.42
直近車両との衝突余裕時間 (λ_2)	-10.18 (-5.54)	
希望速度との速度差 (μ)	-0.15 (-1.91)	
「流入」ダミー (γ_1)	-0.48 (-2.09)	
「車線変更」ダミー (γ_2)	-7.60 (-2.78)	

(2) 「認識されるマイクロレベルのサービスの質」と「マイクロレベルのサービス水準指標」との対比

このモデルにより提示される「マイクロレベルのサービス水準指標」とドライバーにより「認識されるマイクロレベルのサービスの質」との対応関係を検証するため、オンランプ流入部を含む高速道路区間における走行実験を行い、「マイクロレベルの運転環境」と「認識されるマイクロレベルのサービスの質」に関するデータを収集した²⁰。名神高速道路の桂川 PA～大津 SA間を走行し、京都南 IC 上り線の流入部ノーズ端を中心とする前後 500m (延長 1km) の区間のデータを使用した。走行中に時々刻々の運転環境に対するサービスの質の評価を聞き出すのは必ずしも容易でないため、走行中に撮影したビデオ画像を記憶が新しい内に見せながら運転環境に対する評価を一定時間間隔ごとに計測するという方法をとった。運転環境の変化の程度や認識の実態等から計測時間間隔は 6 秒とし、並行してビデオ画像から運転環境に関わる説明変数の値を読みとり運転環境データを作成した。図-3 にその一例を示す。両者の間に比較的良好な対応関係が認められ、「マイクロレベルの評価モデル」は「マイクロレベルの評価構造」を概ね記述していると言える。中村・鈴木・劉²¹も本フレームを踏まえた形で実証分析を試みており、ドライバーが認識するサービスの質と運転環境を特徴づける状態変数の関係づけに成功するとともに、いくつかの有用で興味深い知見を提示している。

(3) 集計モデル

本線車のドライバーによって認識される流入部区間サービスの質 $U_{T,n}$ と、当該区間の始点から終点までの各瞬間の最大効用 $u^{max}(t)$ との関係についてはほとんど研究の蓄積がない。そこで、前述の走行実験で収集した時々刻々の地点評価値と区間評価値に関するドライバーの主観データならびに対応する運転環境データを用いて両者の関係を分析した。サービス水準評価モデルにより算定した各瞬間の最大効用 $u^{max}(t)$ の最大値、平均値、最小値とドライバーが認識した区間評価値の相関を見たところ、平均値と最小値に関していずれも一定の相関関係が認

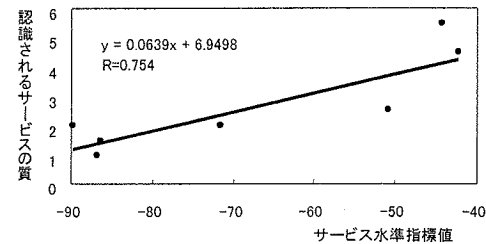


図-3 「認識されるマイクロレベルのサービスの質」と「サービス水準指標値」との対応

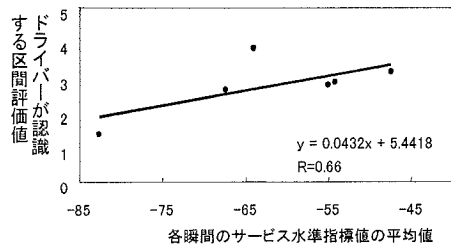


図-4 地点評価値と区間評価値の関係

められた。図-4 にその一例を示す。ここでは、各瞬間における最大効用 $u^{max}(t)$ の区間走行時間 T に関する平均値として、以下のように集計モデルを定式化する。

$$U_{T,n} = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T u^{max}(t) \quad (3)$$

(4) シミュレーション分析

ここで用いるマイクロシミュレーションモデルは、道路交通のサービスの質の評価を目的として、喜多・平泉²²が作成したものに基いている。このモデルでは、各車両のドライバーが、式(1)に示したように、各タイムスライスにおける運転効用を最大化するために運転行動(加速、減速、車線変更など)を選択する。タイムスライスの刻み幅は 0.1 秒とした。図-5 に、シミュレーション分析のための仮想オンランプ流入部区間の概要を示す。この区間は、2 車線の本線と、それに平行する長さ 240 m の加速車線 1 本から構成されている。ノーズ端から上流側および下流側それぞれ 500 m 地点までの区間の本線車のドライバー、およびノーズ端から下流側 500 m 地点までの区間の流入車のドライバーの時々刻々の最大効用を記録し、サービス水準評価値として集計する。

(5) サービスの質の指標の選択

ノーズ端における流入車の平均速度は 70 km/h、本線車の平均速度は交通量に応じて設定し、流入車・本線車の車頭時間分布は、それぞれ Cowan の M3 モデル²²に従うと仮定して与える。加速度および減速度は、それぞれ 0.1 m/s^2 、 -0.1 m/s^2 とする。

シミュレーション実験において交通量を変化させると、当該交通量の下でのサービス水準指標値 \bar{U} ならびに平均速度 V 、交通密度 K 、平均旅行時間 T といったミクロな交通状態変数が求まる。

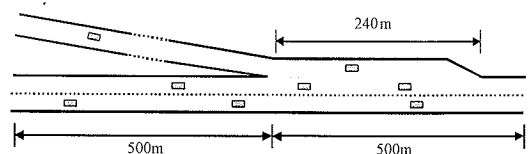


図-5 シミュレーション分析のための仮想流入ランプ

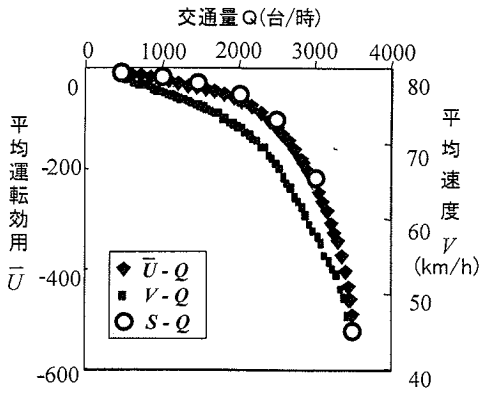


図-6 \bar{U} - Q と V - Q , S - Q の対応関係

図-6に、 V - Q および \bar{U} - Q の対応関係を比較した例を示す。平均速度 V と提案したサービス水準指標 \bar{U} とは一定程度の相関関係を有しており、この意味で平均速度 V をサービスの質の代理指標として利用することができなくはない。しかし、交通量 Q が 1500~3000 台/時の範囲においては少なからぬ乖離が生じている。すなわち、交通量が比較的少ない領域($Q=1500\sim 2500$)では交通量が増加しても \bar{U} はさほど低下しないが、交通量が多い領域($Q=2500\sim 3000$)では交通量の増加に伴ってかなり急激に低下する、という傾向を十分に説明していない。この意味で、平均速度は必ずしもドライバーが認識するサービスの質の十分な代理指標とは言えず、この傾向をよりの確に表しうる代理指標が存在するならばそちらの方が望ましい。代理指標として適切な交通状態変数が見あたらない場合には、適当な交通状態変数を用いて新たな代理指標を構成することも可能である。例えば、次式で表される指標 S は、所定の条件下で Q の全領域においてと十分よい一致を見せている。

$$S = -0.39 K^2 \quad (4)$$

このようにして、提案した検討フレームを用いることにより、観測が容易かつドライバーの認識するサービスの質の評価をよりの確に把握しうる指標を選択することが可能となる。

5. 結論

本論文では、“サービスの質の評価”を検討する上で、共通の理論的基盤の構築が必要であることを指摘し、効用アプローチに基づく検討フレームを提唱した。そして、著者らがこれまでに開発してきた高速道路の流入部を対象とした効用理論に基づくサービス水準評価法等を援用して、ドライバーが認識するサービスの質の評価を的確に記述する指標を選定しうることを示した。

とはいえ、ここで述べた方法論はひとつのたたき台に過ぎない。個々の要素モデルについては改善すべき点が少ないからあり、今後の検討課題も多数残されている。

まず、運転中の行動選択レベルにおける効用関数の検討である。本研究では、運轉行動選択が各瞬間の運轉環境にのみ依存して行われると仮定しているが、実際には運轉環境の変化に関する一定の予見に基づいて運轉行動を選択している。将来に対する完全な予見が不可能であることに鑑みると、何らかの限定合理的な行動モデルを考慮する必要がある。

ドライバーが認識するミクロレベルのサービスの質の計測については、行動分析的アプローチに加えバイオセンサーの利用等さまざまな計測手法も開発されつつある。IT 技術を活用した運轉挙動や運轉環境の計測法についても大きく発展が見込まれるため、これらを適宜援用し検討フレームの拡張を図ることも重要である。

また、行動選択レベルの走行効用を区間レベルへ、さらにはトリップレベルへと集計するための方法の開発も必要である。本論文では時々刻々の走行効用を区間レベルの走行効用に集計する方法として平均値を用いたが、集計構造についてはまだほとんど何もわかっていない。区間レベルにおける評価が独立にはなされず相互依存性が存在している可能性(サービス水準の評価値がそれまでに走行した区間の評価値に影響される)や、順序効果の有無など、集計構造のさらなる解明が必要である。これらについては今後の実証分析を待ちたい。

さらに、交通条件の経時変化が繰り返し利用するドライバーの認識に及ぼす影響や、ドライバーの異質性の検討なども明らかにする必要がある。

他にも今後の研究に委ねるべき課題が多数あるが、本論文で提唱した検討フレームと理論的基盤はそれらに対する改善方策を提案しその有効性を議論する上でも有用となるものと考えられる。

謝辞：本研究の一部は、(社)土木学会土木計画学研究委員会に設置された「道路利用の効率化・情報化に関わる調査研究小委員会」における調査研究の一環として実施された。また、同研究小委員会WG3ならびに(社)交通工学研究会に設置された「交通の質に関する研究小委員会」での議論が有益であった。データ解析に際しては、当時鳥取大学大学院生であった塩谷直文氏(現鳥取県庁)、伊勢田充氏(現富士通システムズエンジニアリング)、大学生であった北島巳幸氏(現NTTドコモ九州)の協力を得た。記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, *Special Report*, No.87, TRB, 1965.

- 2) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, *Special Report*, No.209, TRB, 1985.
- 3) Morrall, J.F. and Werner, A.: Measuring Level of Service of Two-Lane Highways by Overtakings, *Transportation Research Record*, No.1287, pp.62-69, 1990.
- 4) De Arzoza, R.E. and McLeod, D. S.: Methodology to Assess Level of Service on US-1 in the Florida Keys, *Transportation Research Record*, No.1398, pp.1-6, 1993.
- 5) Flannery, A. and Jovanis, P.: Driver's Perception to the Quality-of-Service of Road Traffic, *Proc. of the TRB Conference on Advanced Highway Capacity Modeling Technique and Quality of Service*, Truckee, CA, 2001.
- 6) Hall, F.: A Questionair Survey on the Driver's Perception of Quality of Road Service, *Proc. of the TRB Conference on Advanced Highway Capacity Modeling Technique and Quality of Service*, Truckee, CA, 2001.
- 7) 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単路部におけるサービス水準の評価, 土木学会論文集, (本特集号), 2004.
- 8) Ben-Akiva, M. and Lerman, S.: *Discrete Choice Analysis*, The MIT Press, Cambridge, 1985.
- 9) McFadden, D.: Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM side: A 30-Year Retrospective, *paper presented at the 9th International Association for Travel Behavior Conference, Gold Coast, Australia*, 2000.
- 10) Dagarzo, C. F.: Estimation of Gap Acceptance Parameters within and across the Population from Direct Roadside Observation, *Transportation Research*, Vol.15B, No.1, pp.1-15, 1981.
- 11) Mahmassani, H. and Sheffi, Y.: Using Gap Sequences to Estimate Gap Acceptance Functions, *Transportation Research*, Vol.15B, No.3, pp.14-148, 1981.
- 12) Kita, H.: Effects of Merging Lane Length on the Merging Behavior at Expressway on-Ramps, *In: Dagarzo, C.F.(ed.) Transportation and Traffic Theory*, Elsevier, Amsterdam, pp.37-51, 1993.
- 13) Ahmed, K. I., Ben-Akiva, M. E., Koutsopoulos, H. N. and Mishalani, R. G.: Models of Freeway lane Changing and Gap Acceptance, in *Transportation and Traffic Theory (J.-B. Lesort ed.)*, Pergamon, Oxford, pp.501-515, 1996.
- 14) Kita, H.: A Merging-Giveway Interaction Model of Cars in a Merging Section: A Game Theoretic Analysis, *Transportation Research*, Vol.33A, pp.305-312, 1998.
- 15) Kita, H. and Fukuyama, K.: A Merging-Giveway Behavior Model Considering Interactions at Expressway On-Ramps, in *Transportation and Traffic Theory (A.Ceder ed.)*, Pergamon, Amsterdam, 1999.
- 16) 喜多秀行, 藤原栄吾: 道路のサービス水準に関する再考とひとつの評価指標, 第 15 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.25-28, 1995.
- 17) Kita, H. : A Level-of-Service Measure of Road Traffic Based on the Drivers' Perception, *Transportation Research Circular*, E-C0180, "Proc. of the 4th Int. Symp. on Highway Capacity, Maui, Hawaii", pp.53-62, 2000.
- 18) Kita, H.: Influence of ETC on the Level-of-Service in On-Ramp Merging Sections, *Proc. of the 7th International Congress on Intelligent Transport System, Turin*, 2000.
- 19) 喜多秀行・伊勢田誠・塩谷直文: ドライバーの認識に基づくサービス水準指標の比較分析, 第 55 回土木学会年次学術講演会講演概要集, IV, IV-026, 2000.
- 20) Hayward, J. C.: Near-miss Determination through Use of a Scale of Danger, *Highway Research Record*, No.384, pp.24-35, 1972.
- 21) 喜多秀行, 平泉 顕: 道路のサービス水準評価のためのシミュレーション分析, 第 16 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.121-124, 1996.
- 22) Cowan, M.: Useful Headway Models, *Transportation Research*, Vol.9, No.6, pp.371-375, 1975.
- 23) Elefteriadou, L., Leonard II, J. D., List, G., Lieu, H., Thomas, M., Giguere, R., Johnson, G. and Brewish, R.: Beyond the Highway Capacity Manual, Framework for Selecting Simulation Models in Traffic Simulation Analysis, *Transportation Research Record*, No.1678, pp.96-106, 1999.
- 24) 北島己幸, 喜多秀行, 谷本圭志: 走行の質に対するドライバーの認識構造の分析, 土木学会中国支部平成 15 年度研究発表会発表概要集, pp.443-444, 2003.

(2003.8.19 受付)

QUALITY-OF-SERVICE OF ROAD TRAFFIC AND ITS MEASUREMENT: A UTILITY BASED APPROACH

Hideyuki KITA and Nobuyuki MAEDA

Quality-of-service is of major interests to drivers, who are the consumers of road service. However, currently used measures of level-of-service to evaluate the traffic condition of road sections are not necessarily linked to the perceived level-of-service by the drivers. This paper proposes a framework to measure the driver's perception to the quality of service. The proposed framework has a two-layer structure consisting of microscopic and macroscopic levels with aggregation model. A series of analysis based on the proposed framework is conducted, and finding process of a rather good index of level-of-service is also demonstrated.