

高速道路単路部の運転者満足度推計モデル*

Analysis of Driver's Satisfaction of Basic Expressway Segments and Satisfaction Rating Model*

酒井 隆**・内田 敬***

By Takashi SAKAI** and Takashi UCHIDA***

1. はじめに

「道路の交通容量」¹⁾によると、「サービス水準とは、道路がそのときの交通状況下において運転者に提供するサービスの程度を表すもの」とある。サービス水準は、速度、旅行時間、走行の中断・妨害、行動の自由、安全性、運転の快適さ・容易さ、経済性といった評価項目の総合的な尺度で、通常1時間単位でとらえらとされている。道路計画設計はこの考え方に基づいているが、交通運用面に関しては明確に示されていないため、実際には用いられていない。

米国では2000年版HCM(Highway Capacity Manual)²⁾において、LOS(Level of Service)を定義し、道路交通サービスの質を評価する手法を設定している。LOSの評価項目は、道路施設ごとに定めており、高速道路単路部の場合、交通密度、速度、交通量/容量比(v/c)である。HCMのLOSは、評価尺度値に応じて、交通流の運用状態を6つの水準(A~F)に設定している。また、ドイツもHBS2001(Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen)³⁾で、6段階のサービス水準を定義している。

国際標準化機構の品質管理マネジメントISO10002では、顧客満足度(CS:Customer Satisfaction)を「顧客の要求事項が満たされている程度に関する顧客の受けとめ方」⁴⁾と定義している。一般の製品・サービスを対象とする顧客満足のマネジメントでは、「サービスの質は、顧客が評価するものであり、ベンチマーク(測定基準)として、CSを用いることが必要」⁵⁾とされている。また、米国マーケティング協会では、「CSとは、製品・サービスに対する期待値と実際の製品・サービスの評価値の一致する程度である。」⁶⁾と定義している。

LOSに関しても、道路利用者の認識・評価との合致度を検証する研究が増えてきている⁷⁾。高速道路単路部においてアンケート調査で把握した運転者CSと交通状況との関連性を分析した中村ら(2000)⁸⁾や石橋ら(2004)⁹⁾の研究

*キーワード: サービス水準、交通意識分析

**学生員、後期博士課程、大阪市立大学大学院工学研究科

(大阪市住吉区杉本 3-3-138、TEL:06-6605-3099、

E-mail: sakai@plane.civil.eng.osaka-cu.ac.jp)

*** 正員、工博、大阪市立大学大学院工学研究科

がある。また、旅行速度と道路利用者満足度の関係性を分析した塚田ら(2006)¹⁰⁾の研究や、道路構造評価ランクと利用者の走りやすさ評価との一致を確認した井坪ら(2007)の研究¹¹⁾がある。これら既存研究は、交通指標と利用者の評価値との関連性の強さや線形・非線形関係性を分析している点では共通しているが、なぜ関連しているかの因果推論が不十分と思われる。

そこで、本研究では、因果関係を推論し、さらに推計モデルを構築することを目的とする。研究は、次の3つのステップで行う。

走行直後の運転者アンケート調査データを用いて、運転者の円滑性満足度と交通指標との関連性を予備的に考察する。類似した交通サービスの質であっても、走行中の交通状況に関する運転者の認知と満足度は個人差が大きい。特定の交通状況で類型化すると、交通指標と運転者の満足率(満足人数÷観測人数)や満足度には、非線形関係性が推察される。

走行ビデオ映像評価調査データによって、走行中の運転者の交通環境認知と円滑性満足度との因果関係を推定する。

車線数別に交通指標を決定変数とした実用的な円滑性満足度推計モデルを構築し、モデル式の精度・妥当性を確認するため、走行直後の運転者アンケート調査データの円滑性満足度と比較する。

2. 運転者の満足率・満足度と交通状況との関連性

(1) 走行直後の運転者CSアンケート調査データの概要

東名高速(6車線)・名神高速(4車線)・上信越道(2車線)の利用者を対象に2002年に石橋ら⁹⁾が実施した特定区間走行時の道路交通状況に関する満足度アンケートデータおよび対象者が走行した時刻の車両感知器から得た交通量、速度、交通密度、交通量/容量比などの交通指標とのマッチングデータを使用する。

調査は、平日と休日の昼間2日間行い、上流の休憩施設に立ち寄った運転者に協力を依頼し、下流の休憩施設に設置した記入箇所ですり式調査票を回収する方法で実施された。調査対象区間は、東名高速は「横浜町田IC→大和トンネル→海老名SA」、名神高速は「京都南IC→京都

東IC→大津SA」、上信越道は「東部湯の丸SA→上田菅平IC→坂城IC」の各2区間である。

道路交通状況に関するアンケート項目は、円滑性満足度と安全性評価および交通量、大型車交通量、速度、幅員、カーブ、坂などの認知状況である。円滑性満足度は「満足(4点)」、「やや満足(3点)」、「やや不満(2点)」、「不満(1点)」の4段階尺度である。回答者数は、東名：平日140人・休日97人、名神：平日97人・休日115人、上信越道：平日131人・休日128人で、各回答者は上記の2区間の評価を行った。

(2) 分析手順

分析手順は、個人データ(individual data)に基づく交通指標と満足度の関連分析、交通状況を類型化した集計データ(aggregate data)の作成、集計データに基づく円滑性満足度と満足率および交通指標との関連分析、集計データに基づく交通指標を決定変数とする円滑性満足率および満足度推計モデルの作成である。

(3) 個人データに基づく交通指標と円滑性満足度の関連

満足度データを得た走行時の交通状況は、東名高速は自由流と渋滞流(Q-V相関図をもとに区間旅行速度70km/hを閾値として分類)の両方、名神高速は主に自由流、上信越道は全て自由流である。満足率(満足+やや満足)は、上信越道、東名高速、名神高速の順に高く、自由流では満足率が高い。自由流・渋滞流を問わず、満足度分布はばらついている(図-1)。円滑性満足度と各種交通指標の単相関係数を求めたところ、最大値でも区間旅行速度の0.230であった。このことは、同じ道路交通条件であっても、交通状況の認知と評価に関して個人差が大きいことを意味する。円滑性満足度を目的変数、各種個人属性や各種交通指標を説明変数とする重回帰分析を試みたが、18変数を用いても重回相関係数は $R=0.326$ と低い。

(4) 交通状況に基づく集計データの作成方針

円滑性満足度は、区間旅行速度が速くなると高くなる傾向がある(図-2)。同様に、交通密度が低下すると満足度が高くなる傾向も見られる。このことは、個人差は大きいものの、交通状況の認知と評価に一定の関連性があると云えよう。因って、類似した交通状況を走行した個々人のデータを集計して導出する「集計データ」を用いて解析する。

著者ら¹²⁾の研究では、路線別平・休日別の集計データで見ると、円滑性満足率(満足+やや満足の割合)とpcu換算交通密度や区間旅行速度との相関関係は高低様々である(表-1)。そこで、円滑性満足度や満足率と交通状況との関連を把握し、4章で構築する満足度推計式の妥当性検証も兼ねるため、交通状況の分類数は5分類とし、平・休日の要素も加味する。交通状況を表す指標は、pcu換算

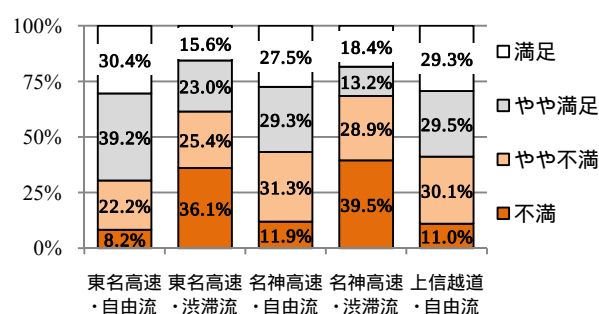
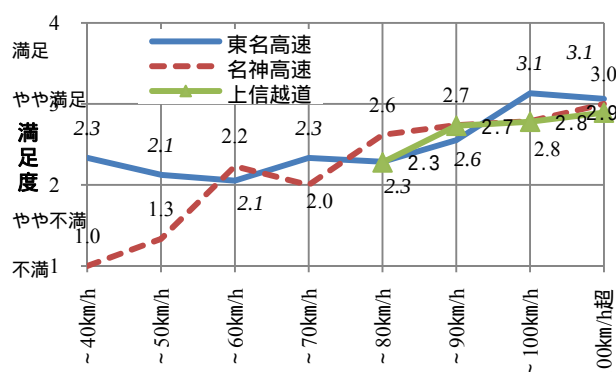


図-1 路線別交通状況別の円滑性満足度分布



標本数	~40 km/h	~50 km/h	~60 km/h	~70 km/h	~80 km/h	~90 km/h	~100 km/h	100km/h超
東名高速	21	64	19	18	7	114	183	48
名神高速	2	9	19	12	76	180	121	5
上信越道	0	0	0	0	36	200	68	214

図-2 3路線の区間旅行速度別円滑性満足度の分布

表-1 円滑性満足率と交通指標との相関係数(集計データ)

	東名・平日	東名・休日	名神・平日	名神・休日	上信越道平日	上信越道休日
区間旅行速度	0.66	0.89	0.24	0.67	0.80	0.28
pcu換算交通密度	-0.60	-0.75	-0.67	-0.72	-0.42	-0.07

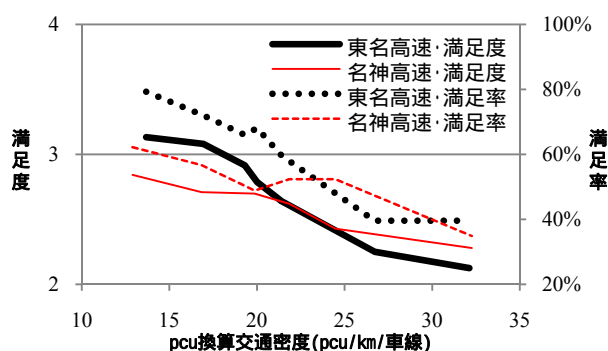


図-3 pcu換算交通密度と円滑性満足度・満足率の関係

交通密度と区間旅行速度を用いる。標本数は、pcu換算交通密度では東名高速と名神高速で各10で合計20(上信越道の交通密度は15未満のみのため対象外)、区間旅行速度では東名高速と名神高速各10、上信越道8(70km/h未満の頻度は0のため)で合計28である。

pcu換算交通密度を例に集計データの特徴を確認すると、交通密度が少ないほど満足度が高くなっている。また、pcu換算交通密度と満足度・満足率とは、非線形関係にあると思われる(図-3)。

表-2 満足率推計モデルの回帰係数（1%有意）＜集計データ＞

目的変数：p	満足率		
路線	東名高速	名神高速	上信越道
標本数	10	10	8
説明変数：X	LN(pcu 換算交通密度)		
説明変数：X	LN(区間旅行速度)		
回帰モデル	ロジットモデル $\logit(p/(1-p))=a+bX$		
定数 a	6.106	2.590	-10.766
回帰係数 b	-1.853	-0.834	2.448
重相関係数 R	0.987	0.979	0.985

表-3 満足度推計モデルの回帰係数（1%有意）＜集計データ＞

目的変数：Y	満足度(満足 4 点～不満 1 点)	
路線	東名高速・名神高速	上信越道
標本数	20	8
説明変数：X	LN(pcu 換算交通密度)	
説明変数：X	LN(区間旅行速度)	
回帰モデル	ロジスティック回帰式 $Y = 4/(1+a e^{-bX})$	
定数 a	31.054	1935.813
回帰係数 b	0.947	1.845
重相関係数 R	0.708	0.794

(5) 交通指標を説明変数とする円滑性満足率および満足度推計モデル

路線別に図-2や図-3に示したような交通状況で分類した集計データをもとに、交通指標を説明変数とする推計モデルを構築する。説明変数としての交通指標は、精度面より自然対数(LN)変換値を用いる。満足率推計式はロジットモデル(表-2)、満足度推計式は上限値4のロジスティック回帰式を当てはめる(表-3)。重相関係数は、満足率推計式のほうが高い。

推計モデル式をもとに満足率50%の交通指標を計算すると、東名高速では27.0(pcu/km/車線)、名神高速では22.3(pcu/km/車線)、上信越道では81.2(km/h)である。また、満足度2.5の交通指標は、東名高速と名神高速では26.2(pcu/km/車線)、上信越道では79.7(km/h)である。上信越道は、渋滞流でのデータがないため、区間旅行速度が高くなっていると思われる。

満足率推計式の精度が、満足度推計式よりも高いのは、満足度平均値よりも交通状況を的確に表しているのか、満足度が4段階尺度(満足2段階、不満2段階)と粗いためなのかは確認できない。満足度は期待値と実際の評価値との一致の程度であるならば、測定尺度を4段階よりも多段階にすることで、一致の程度をより詳細に把握することが可能だと考えられる。

以上の通り、運転直後の運転者CSアンケート調査データを用いた予備的分析の結果、満足度(率)と関連が強い交通指標は多車線区間では交通密度、2車線区間では旅行速度であり、それらは非線形関係にあることが確認できた。この結果をもとに、次章で用いる走行ビデオ映像評価調査の交通指標を定めている。なお、HCM2000のLOS評価尺度も、高速道路単路部では交通密度、2車線道路では旅行速度と追従時間率を用いている。

3. 運転者の交通状況認知と満足度の因果関係の解析

表-4 多車線走行ビデオ映像のパターン

車線	交通状況	pcu換算交通密度*	大型車混入率(%)**	放映時間***	パターン番号****
6車線(中央車線を走行)	混んでいない	9.9	12	60秒	8
	やや混んでいない	14.3	30	61秒	9
	普通	17.4	31	69秒	2
	やや混んでいる	22.0	20	60秒	7
	混んでいる	48.3	12	90秒	4
4車線(左車線を走行)	混んでいない	9.8	44	54秒	10
	やや混んでいない	16.0	31	60秒	1
	普通	20.7	22	60秒	3
	やや混んでいる	30.0	59	60秒	5
	混んでいる	53.1	3	55秒	6

* 車両感知器から得たビデオ撮影時の交通密度(pcu/km/車線)

** 映像をもとに計測

*** 被験者には、この状態が最低5分間は続く」と教示

**** 放映順を示し、逆順も放映

表-5 2車線走行ビデオ映像のパターン

追従状況	後方車両の存在割合*	平均旅行速度(映像で計測)**	放映時間	パターン番号***	備考
前方車両あり	50%	71.3 (km/h)	4分14秒	2	大型車は映っていない
前方車両あり	40%	83.7 (km/h)	3分41秒	3	
前方車両なし	70%	70.8 (km/h)	4分16秒	1	
前方車両なし	100%	80.5 (km/h)	3分48秒	4	
前方車両なし	100%	90.0 (km/h)	3分38秒	5	

* バックミラーに映る後方車両がミラー面積の1割以上存在(存在時間÷放映時間)

** 車両感知器データはない

*** 放映順を示し、逆順も放映

(1) 走行ビデオ映像評価調査データの概要

a) 調査概要

ここでは、高速道路運転者は「交通状況をどのように認知しているか」、「認知内容が円滑性満足度にどのような影響を与えているか」といった認知・評価メカニズムについての因果関係モデルを構築する。解析には、Ishibashi et al.¹³⁾の調査データを用いる。

同一交通状況を疑似体験・評価するため、昼間における様々な交通状況の走行ビデオ映像を用いた室内集合実験を行った。実験は、交通状況の動画映像を90インチ画面に映写することに満足度と交通状況の認知を評価する調査で、2003年に東京と松山で実施した。被験者は年1回以上の高速道路利用者で、年齢、利用頻度等のバランスを考慮して選定した。有効被験者数は69名である。

b) 調査設計

多車線区間ではコンジョイント分析を行うため、車線数2水準・交通状況5水準の直交計画をもとに10パターンの走行ビデオ映像を用い、交通指標は車両感知器から得たビデオ撮影時のpcu換算交通密度を用いる(表-4)。映像は東名高速で、6車線は横浜青葉IC→厚木IC間、4車線は東名三好IC→名古屋IC間で撮影した。放映時間は概ね1分だが、被験者には「この状態が最低5分間は続く」と教示した⁽¹⁾。区間長に換算すると6車線は2km～8km、4車線は3km～9kmである。

2車線区間では、追従状況と旅行速度を変えた5パターンの映像を用い、交通指標は前方車両の有無と映像から計測した後方車両の存在割合と旅行速度を用いた(表-5)。

映像は、磐越道の郡山東IC→船引三春IC間の一方通行区間3.7kmを撮影した。実験では2車線映像を先に放映し、次いで多車線映像を放映した。

円滑性満足度は11段階尺度(集計解析時は満足10点～やや不満5点～不満0点に変換)を用い、評価理由(表-6)は交通状況10認知要因への複数回答方式の質問である。

c) 車線数別に見た交通状況別満足度分布

本調査の交通状況別の満足度は、分布がばらついており個人差が大きい(表-7)。多車線では、交通状況と平均満足度との関係は、交通状況が混んでくるほど満足度が低くなる。6車線では概して4車線より満足度が高いが、混雑時は4車線よりも満足度は低くなる。4車線の満足度は、「やや混んでいる」より「混んでいる」で高く、逆転現象が生じている。これは、大型車混入率59%(表-4)が影響しているためである。

2車線では、旅行速度が速いほど満足度が高くなる傾向があり、旅行速度が低く前後に車両がある状態では満足度が低くなる。

d) 走行ビデオ映像と実際の運転感覚

被験者の73%が運転しているように感じ、12%はあまり運転しているように感じていなかったが、概ね、実走行時の感覚と一致しており、調査用のビデオ映像として妥当であったと考えられる。

ビデオ映像では、トンネル区間、急坂や急カーブ区間はない。車線数が、満足度を規定する主条件と考えられるため、映像から見た道路構造はデータ化していない。

得られた円滑性満足度という主観評価値は「区間評価」である。映像のある特定の地点・時点に関する評価・印象が支配している可能性は否定できないものの、それを確認することはできない。

(2) 交通指標と交通環境認知および満足度の共分散構造分析

a) 分析手順

分析手順は、交通状況認知構造の仮説設定を行い、次に交通指標と交通環境認知および満足度の因果関係の共分散構造分析を行う(図-4)。

手順1では、交通状況認知構造の仮説を設定する。そのため、車線数別に交通状況認知項目、満足度と交通指標を含めた探索的因子分析を行い、項目の回答選択肢や交通指標と満足度との関係を確認する。因子分析の結果(表-8)、多車線は混雑や前方視界などの自車周辺の車群の動向を認知する「マクロ交通環境認知」と前車や自車の速度などの自車直近の車の動向を認知する「ミクロ交通環境認知」の2因子構造、2車線は「マクロ交通環境」、「速度環境認知」と「車群中の位置認知」の3因子構造である。

手順2では、共分散構造分析の多重指標モデルを適用し

表-6 アンケート調査項目

項目	内容
対象者特性	・性別、年齢、免許取得年数、高速道路利用頻度 ・安全運転自己診断(全日本交通安全協会の検査用紙)
満足度	・運転のしやすさ(11ポイントスケール)
満足度評価理由 (交通状況認知要因)	混雑認知の有無、大型車交通量認知の有無、 前車速度認知の有無、自車速度認知状況、車の 流れ速度認知状況、後車との距離認知状況、前 車との距離認知状況、右車線の車の接近状況認知 の有無(6車線と4車線)、左車線の車の接近状況 認知の有無(6車線)、前方視界状況認知の有無
実験の評価	・映像を見て運転しているように感じたかどうか

表-7 車線別交通状況別満足度平均と標準偏差

車線数	交通状況	混んでいない	やや混んでいる	普通	やや混んでいる	混んでいる
6車線	満足度平均	9.39	8.20	7.00	3.10	2.28
	標準偏差	1.03	1.76	2.12	1.91	1.85
4車線	満足度平均	8.38	7.97	5.59	2.36	2.87
	標準偏差	1.81	1.93	1.84	1.97	1.92
2車線	前方車両の有無	前方車両あり(追従)	前方車両なし(先頭を走行)			
	平均旅行速度	71.3km/h	83.7km/h	70.8km/h	80.5km/h	90.0km/h
	満足度平均	3.99	6.22	5.90	6.91	6.07
	標準偏差	2.29	2.53	2.29	2.33	2.41

注)満足度は、満足10点、やや不満5点、不満0点として算出した。

手順1 交通環境認知構造の仮説設定

交通状況認知項目(満足度評価理由)の探索的因子分析



手順2 交通指標と交通環境認知および満足度の因果関係の共分散構造分析

交通環境認知構造の測定・因果関係モデル(手順1の仮説検証)
交通環境認知から安全快適認知へ、さらには満足度評価への総合的な因果関係モデル

図-4 交通状況認知と満足度の因果関係の分析手順

表-8 交通状況認知構造の仮説

車線数	因子(潜在変数)名	交通状況認知項目 (観測変数)	関連する交通 指標(観測変数)
6車線 4車線 2車線	マクロ交通環境認知 (自車周辺の車の動向)	混雑認知	・pcu換算交通密度(多車線) ・旅行速度(2車線)
		大型車交通量認知	
		前方視界認知	
		車の流れ速度認知	
6車線 4車線	ミクロ交通環境認知 (自車直近の車の動向)	前車速度認知	・pcu換算交通密度(多車線)
		自車速度認知	
		前車との距離認知	
		後車との距離認知	
		右車線の車の接近状況認知	
		左車線の車の接近状況認知(6車線)	
2車線	速度環境認知	前車速度認知	・旅行速度
		自車速度認知	
		車の流れ速度認知(マクロ交通環境とも関連)	
	車群中の位置認知	前車との距離認知 後車との距離認知	・追従の別 ・後方車両の存在

て、最初に「交通環境認知構造の仮説検証」を行い、次に「交通環境認知から安全快適認知へ、さらには満足度評価への総合的な因果関係モデル」を作成する。解析は車線数別に行い、受容できるか否かを逐次判断し、関係

を修正する手順を採る。実験は、提示映像を変えながら同様の質問を繰返す調査であるから順序相関を考慮して、誤差間相関のあるモデルを設定する。

計算ソフトウェアはAMOSを用い、修正指数を計算して測定・因果関係や誤差間相関関係を判断する¹⁴⁾。

b) 多車線の満足度構造分析の結果

構築した多車線区間の満足度因果関係モデルを、6車線を例に解釈する。4車線の満足度因果関係モデルは、6車線モデルの観測変数「左車線の車の接近状況」がない点のみが異なる。共分散構造分析の結果に基づく、パス係数は異なるがモデル構造は等しく、6車線と4車線の満足度因果関係は基本的に等しい¹⁵⁾。

6車線の共分散構造分析の結果を、図-5に示す。6車線区間を走行中の運転者は、自転車周辺の車群動向（マクロ交通環境認知）と自転車直近の車の動向（ミクロ交通環境認知）を認知している。マクロ交通環境認知に影響する観測変数のパス係数トップ3は混雑(0.89)、車の流れ速度(0.84)と客観指標のpcu換算交通密度(-0.74)である。同様に、ミクロ交通環境認知に影響する観測変数トップ4は、前車との距離(0.78)、自転車速度(0.67)、右車線の車の接近状況(0.57)と後車との距離(0.57)である。また、ミクロ交通環境認知は、危険運転性向とはマイナス関係(-0.1)で、安全快適認知に若干結びつく。

6車線では、マクロ交通環境認知(パス係数0.81)とミクロ交通環境認知(0.08)および経験・個人属性(0.07)に基づき、総合的に安全快適認知がなされ、円滑性満足度に直結している。満足度は、パス係数の値を解釈すると殆どマクロ交通環境認知によって決まり、客観指標のpcu換算交通密度は満足度を説明する観測変数として適切である。

c) 2車線の満足度構造分析の結果

2車線の共分散構造分析の結果を、図-6に示す。2車線の満足度因果関係は多車線とは異なり、マクロ交通環境認知に観測変数の前車との距離が追加され、ミクロ交通環境認知は速度環境認知と車群中の位置認知に分かれる。

マクロ交通環境認知に影響する観測変数のパス係数トップ3は前方視界(0.76)、大型車交通量(0.74)と混雑(0.70)である。映像に大型車が映っていないにも関わらず大型車交通量のパス係数が大きいのは、大型車がいらないという認知が影響している。マクロ交通環境認知の安全快適認知への影響力は小さく、2車線では大型車交通量と満足度の関連性は大きくないと考えられる。

速度環境認知に影響する観測変数トップ4は、前車速度(0.61)、自転車速度(0.47)、車の流れ速度(0.32)、客観指標の旅行速度(0.31)である。旅行速度は、後方車両ありの割合と誤差間相関が高く(0.86)、後方車両の存在が旅行速度を速くすると思われる。また、車群中の位置認知に影響する観測変数トップ3は、追従の別(-1.05)、後方車両のありの割合(-0.86)、前車の距離(-0.66)で、マイナスの影響があ

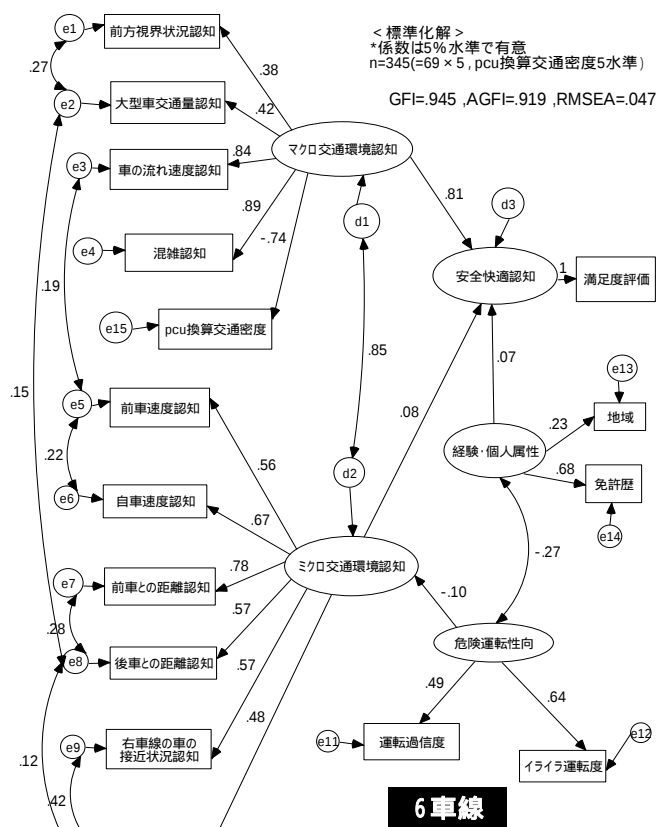


図-5 6車線(片側3車線)区間走行時の満足度の共分散構造分析

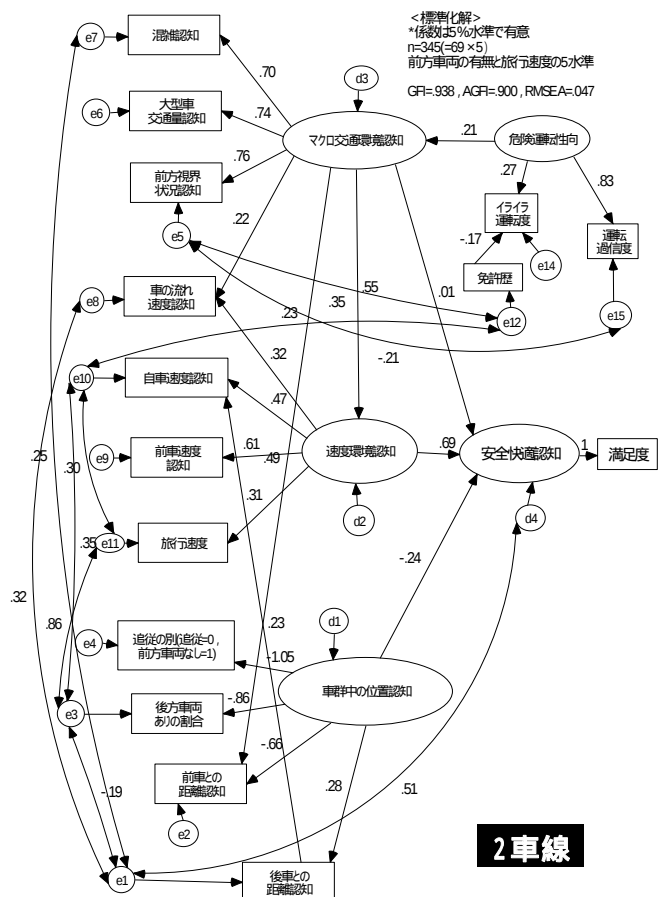


図-6 2車線(片側1車線)区間走行時の満足度の共分散構造分析

る。

2車線では、速度環境認知(パス係数0.69)と車群中の位置認知(-0.24)とマクロ交通環境認知(0.01)に基づき、総合的に安全快適認知がなされ、円滑性満足度に直結している。満足度は、速度環境認知と車群中の位置認知によって決まると云ってよい。満足度を説明するには、客観指標の旅行速度に加え、車群中の位置を指標化することが必要である。なお、運転者の危険運転性向(パス係数0.21)はマクロ交通環境認知に影響を与えているが、居住地域は安全快適認知とは無関係である。

2車線では多車線と異なり、認知パス構造が複雑になる。2車線(対面通行)の場合、追い越し、追い抜きが不可能であるから、自車の前後の状況に極めて敏感になるためである。前後の状況に関する認知は、「速度認知」と「車群中の位置認知」に分かれ、これらは観測変数や誤差項との間に複雑な関係を有している。要するに、車線変更の可否が、2車線と多車線とで認知構造が大きく異なる原因である。

d)満足度の因果推論の位置づけ

共分散構造分析を用いた交通環境認知と満足度の因果推論により、2車線と多車線では交通環境の認知構造が異なることが明らかになった。また、交通指標と交通環境認知内容との因果関係を把握し、満足度推計モデルの決定変数の候補を得た。ただし、走行ビデオ映像評価調査では、走行車線の違いや車線変更に係る認知を把握していないなどの課題は残っている。

4. 円滑性満足度の推計モデル

3章で明らかにした満足度評価の因果関係をもとに、客観的指標を用いた運転者の円滑性満足度推計モデルを構築する¹⁶⁾。分析データは、前述の走行ビデオ映像評価調査データおよび2車線区間の車群中の位置を推計するための交通流パルスデータを用いる。

(1) 分析手順

分析手順は、コンジョイント分析、pcu換算交通密度を決定変数とした多車線区間の満足度推計モデル、速度を決定変数とした2車線区間の満足度推計モデルと残差推計方法、2車線区間の満足度の残差を補正する車群中の位置分布の推計モデルの作成、速度と車群中の位置分布を決定変数とした2車線区間の満足度推計モデル、満足度推計モデルの検証である。

(2) コンジョイント分析の結果

多車線のコンジョイント分析は、離散モデルと2次関数モデルを適用した。両モデルとも要因の重要度(効用値範囲の割合)は、車線数1割、pcu換算交通密度9割である。

表-9 多車線のコンジョイント分析の結果

要因	水準	離散モデル		2次関数モデル	
		効用値	重要度	効用値	重要度
車線数	4車線	-0.2797	10.0%	-0.2797	10.1%
	6車線	0.2797		0.2797	
交通状況	混んでいない	3.1696	90.0%	-1.6193	89.9%
	やや混んでいない	2.3725		-3.3099	
	普通	0.5826		-5.0720	
	やや混んでいる	-2.9826		-6.9056	
	混んでいる	-3.1420		-8.8106	
定数		5.7145		10.8580	

注) 重相関係数 R は、離散モデル0.992、2次関数モデル0.957

表-10 2車線のコンジョイント分析の結果

要因	水準	効用値	重要度
前方車両の有無	あり	-0.4420	55.3%
	なし	0.4420	
速度	70km/h	-0.6014	44.7%
	80km/h以上	0.6014	
定数		5.5435	

注) 離散モデルを適用、重相関係数 R は0.823

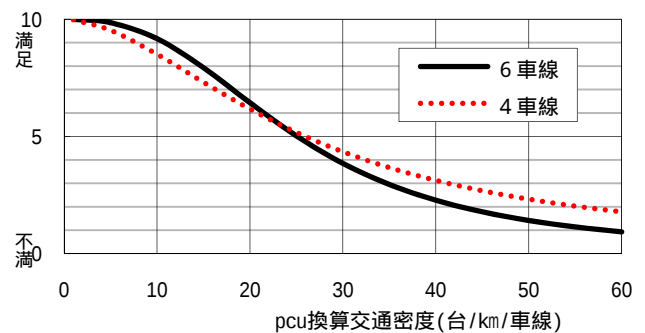


図-7 多車線区間の満足度とpcu換算交通密度の関連

因って、満足度推計モデルは、車線数別に作成することで、pcu換算交通密度のみで構築可能である(表-9)。

2車線は、前方車両の有無と旅行速度の離散モデルで解析し、前方車両の有無の重要度が大きく、詳細な車両位置を説明変数に組み込む必要がある(表-10)。

上記の結果から、車線数別にモデル化することが望ましいことを確認した。また、満足度推計モデルの説明変数として、交通密度や旅行速度などの観測値を用いる事が適切と考えられる。

(3) pcu換算交通密度を決定変数とした多車線区間の円滑性満足度推計モデル

表-7に示したように交通状況と満足度の関係は、シグモイド曲線関係にあると思われる。因って、交通指標を決定変数とした満足度推計モデルとして、上限値を10とするロジスティック回帰モデルを適用する。交通指標は、pcu換算交通密度の自然対数(LN)変換値を用いる。

6車線区間の満足度回帰式は、式(4.1)で記述する。

$$CS_{lane} = \frac{10}{1 + 0.000219e^{2.61571 \ln(p)}} \quad (4.1)$$

4車線区間の満足度回帰式は、式(4.2)で記述する。

$$CS_{4lane} = \frac{10}{1 + 0.002642e^{1.82267 \ln(p)}} \quad (4.2)$$

ここで、 CS は満足度、 p はpcu換算交通密度 (pcu/km/車線)である(図-7)。推計精度は、式(4.1) $R=0.919$ 、式(4.2) $R=0.903$ である。

pcu換算密度が少ないほど、満足度が高くなる。6車線は4車線に比べ満足度曲線の傾きが急で、交通密度が小さければ満足度が大きく、交通密度が大きければ不満が大きい。混雑時、4車線では隣接車線を認知し、6車線では中央車線を走行させているため、左右の2車線を認知し、ストレスが大きくなるためと考えられる。

(4) 速度を決定変数とした2車線区間の円滑性満足度の推計モデルと残差推計方法

2車線区間走行時の円滑性満足度は、上限値10のロジスティック回帰式をあてはめ、満足度の観測値と推計値の残差を数量化 類で説明する式とする。

2車線区間の満足度回帰式は、式(4.3)で記述する。

$$CS_{2lane} = \frac{10}{1 + 7.5581e^{-0.0298v}} + Z \quad (4.3)$$

ここで、 CS は満足度、 v は旅行速度、 Z は残差(=CS観測値-CS推計値)である。

次に、推計した結果でてきた残差 Z を、車群中の位置の満足度と考えモデル化する。残差 Z を推計するため、 Z を目的変数とする数量化 類を行い、前方車両あり-1.001、前方車両なし+0.650、後方車両あり-0.276、後方車両なし+1.054のカテゴリー値を得た。これらを組合せて車群中の位置を4パターンに分類し、カテゴリー値に変換した(表-11)。

次に、車群中の位置別交通量より車群全体の位置に係る平均満足度 Z を式(4.4)で求める。

$$Z = \sum C_i Q_i / Q_{total} \quad (4.4)$$

ここで $C_{i=1, \dots, 4}$ は表-11のカテゴリー値、 $Q_{i=1, \dots, 4}$ は車群中の位置に該当する交通量、 Q_{total} は交通量で Q_i の合計である。なお、交通量は1時間交通量とする。

式(4.3)の推計精度は、 $R=0.874$ である。式(4.3)と表-11より、満足度は、旅行速度が速いほど高く、さらに速度の自由度に応じて車群1台(単独走行)、車群先頭と車群末尾の順に満足度が付加され、車群の中に挟まれている車両の運転者は満足度が控除される。

式(4.4)は、3種類の車群中の位置に該当する交通量、即ち 車群1台の交通量 Q_1 、車群2台以上の車群数の2倍、即ち車群の先頭と末尾の交通量($Q_2 + Q_3$ 、 $Q_2 = Q_3$)、交通量から を引いた交通量 $Q_4 (= Q_{total} - Q_1 - Q_2 - Q_3 =$ 車

表-11 2車線区間における車群中の位置の満足度カテゴリー値

車群中の位置	満足度 カテゴリー値	前方 車両	後方 車両
車群1台(C_1)	1.714	なし	なし
車群2台以上先頭(C_2)	0.385	なし	あり
車群2台以上末尾(C_3)	0.063	あり	なし
車群3台以上・先頭末尾以外(C_4)	-1.267	あり	あり

群3台以上で先頭・末尾以外の交通量)から計算する。つまり、車群1台と車群2台以上の車群数を求めればよい。

(5) 2車線区間の満足度の残差を補正する車群中の位置分布の推計モデル

東海北陸自動車道の暫定2車線区間の車両感知器で取得されたパルスデータをもとに、車群定義と車群数の集計を行い、集計結果より位置分布の推計モデルを構築する。

a) データ概要

車両感知器の設置箇所は、東海北陸道自動車・暫定2車線区間の 上り線48.43kp・美濃IC～美並IC間(苅安トンネル付近、勾配2.6%)および 上り線59.07kp・美並IC～郡上八幡IC間(亀尾島トンネル付近、勾配3.0%)の2箇所、規制速度は70km/hである。観測日時は、平成16年2月22日(日)9時00分～平成16年2月23日(月)14時59分の30時間で、データ件数は、48.43kp地点11,419台、59.07kp地点9,252台、合計20,671台である。観測当日は事故の影響はないが、渋滞が生じている。2月22日に、美並IC先の苅安トンネル付近(48kp付近)を先頭に、13時20分頃～20時頃にかけて最大20km程度の渋滞があった。

b) 車群の定義と車群の区分指標

車群とは自由走行の先頭車両と追従走行状態にある後続車両から成る2台以上の車両の連なりと定義するのが通常である。本研究では、式(4.4)に鑑み、車群中の位置分布を推計するために必要な「車群中に含まれる車両台数別車群の頻数」、即ち「車群台数分布」を検討する際は、車群に単独走行車両(車群1台と表記)を含める。

車群の区分方法に関して、交通工学ハンドブック2005では「個々の運転者の挙動特性から追従走行状態と単独走行状態を区別する方法、理論的根拠は未だに見つけられていない」¹⁷⁾と記述され、塩見(2008)¹⁸⁾の研究では「便宜上3～5秒程度の車頭時間を指標として区分されている」とあり、本研究でも車頭時間に着目して車群を区分する。

c) 車群を区分する車頭時間の検討

車群を区分する車頭時間を定めるため、車頭時間ランク別に先行車両と後続車両の走行速度の相関を計算した。観測地点KP別にみると、両地点とも車頭時間3秒～8秒の相関は0.95以上あり、区分指標として活用できないと判断した。次に、車頭時間別に車群を区分し、車群内の先頭車両と末尾車両の走行速度の相関を計算すると、車頭時

間が短いほど相関が高い傾向が見られる。

図-8を見ると、KP48.43の相関のピークは車頭時間2秒以下、KP59.07は車頭時間3秒以下である。車群2台以上の平均車群数（群/h）を車頭時間別にみると、KP間に違いがある。地点間に有意差のない最短車頭時間を基準値と定めるため、相関が0.95以上の車頭時間3秒以下～5秒以下について、地点別交通量ランク別車群中の位置分布別交通量を算定し、分散分析を行った。その結果、車頭時間4秒と5秒で地点別に有意差がなく、交通量ランク・車群位置分布及びその交互作用で有意差が見られたため、本研究では「車頭時間4秒以下」を車群区分の基準値とする。

d) 車頭時間4秒以下の車群台数分布と車群中の位置

車頭時間4秒以下の走行車両を車群と定義し、2地点の1時間交通量60データの車群台数分布を計算した（表-12）。車群形態別台数分布を見ると、交通量と車群1台の割合は反比例、車群2台以上の先頭末尾は交通量50台以上になると約4割程度、車群3台以上の先頭末尾以外の割合は交通量と比例関係にある。

e) 車群中の位置別台数分布の推計方法

車群台数分布を推計するモデルとして、待ち行列理論などの確率分布や離散データの分布形状を取り扱う推計手法が各種提案されている¹⁸⁾。本研究では、車群中の位置別台数分布の推計にロバストネス（頑強性）と簡便性が重要であると考え、対数線形分析を適用して交通量ランク別車群中の位置別構成比を推計する。

ポアソン分布モデルを用いた対数線形分析のパラメータ推定値は、交通量50台/h以下で車群2台以上の先頭末尾台数を除く、すべての推定値で1%水準の有意差が見られ、交通量と車群中の位置分布には関連性があると云える。モデル式に基づき、交通量ランク別車群中の位置別構成比の推計値を得た（図-9）。

(6) 速度と車群中の位置分布を決定変数とした2車線区間の円滑性満足度の推計モデル

図-9の交通量ランク別車群中の位置構成比 $P_{1,2,3,4}$ と交通量 Q_{total} より、車群中の位置別交通量は、式(4.5)のように求める。

$$Q_i = P_i \cdot Q_{total} \quad i=1,2,3,4 \quad (4.5)$$

ここで、 $Q_{i=1, \dots, 4}$ は車群中の位置に該当する台数、 Q_{total} は交通量で Q_i の合計、 P_i は、図-9の交通量ランク別車群中の位置構成比である。

満足度回帰式を実適用する場合、式(4.3)における v は、車両感知器から取得する地点走行速度となる。2章の走行直後の運転者アンケート調査データでは、区間旅行速度と地点走行速度との相関係数は0.977である。

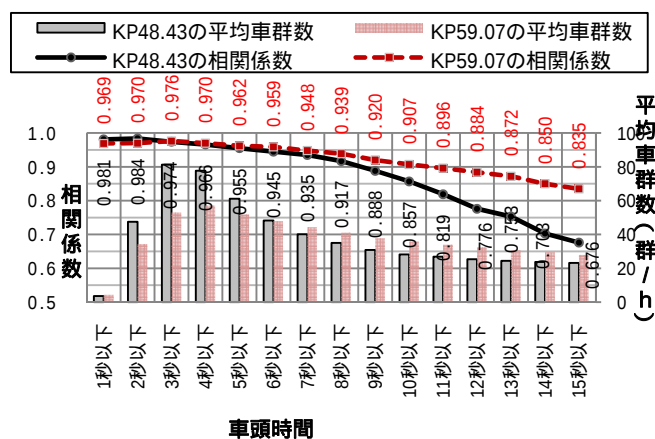


図-8 車頭時間別車群内の先頭車両と末尾車両の走行速度相関および平均車群数（車群2台以上）(単位：群/h)

表-12 交通量(台/h)ランク別平均車群台数分布

交通量 ランク (台/h)	合計 車群 数 (群/h)	車群 1台	車群 2台	車群 3台	車群 4台	車群 5台	車群 6台	車群 7台	車群 8台	車群 9台	車群 10台	車群 11台以上	平均交通 量 (台/h)	標本 数 (h)
50台以下	18.6	17.4	0.9	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20	14
51～200台	90.0	64.4	14.6	6.4	1.9	1.4	0.7	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	137	7
201～300台	126.9	78.4	21.3	11.5	6.6	3.8	1.8	1.1	0.7	0.5	0.5	0.8	244	16
301～600台	219.2	134.8	38.9	18.6	8.6	5.2	3.8	3.0	1.6	1.5	0.5	2.8	444	12
601～900台	293.1	115.9	65.3	39.9	24.9	15.4	9.6	6.1	3.4	2.4	2.4	7.9	847	7
901台以上	281.3	82.8	63.0	32.3	26.8	23.0	11.8	11.5	7.0	5.8	4.5	13.0	1033	4

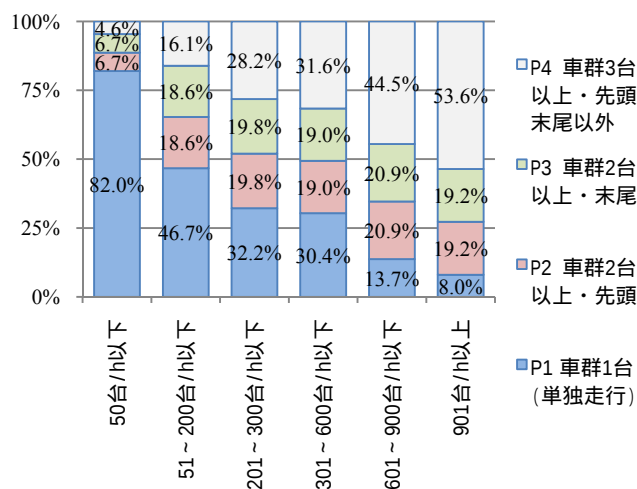


図-9 交通量ランク別車群中の位置の構成比推計値

(7) 円滑性満足度の推計モデルの検証

走行ビデオ映像評価調査と交通流パルスデータをもとに構築した多車線区間と2車線区間の円滑性満足度の推計値（満足10点～不満0点）の妥当性を検証する。検証には、2章の走行直後の運転者CSアンケート調査の集計データを用いる。

走行直後の運転者CSアンケート調査における個人別走行時の交通指標値を、満足度推計式にあてはめ、個人別満足度推計値を算定する。東名高速はpcu換算交通密度を式(4.1)、名神高速はpcu換算交通密度を式(4.2)に当てはめ、

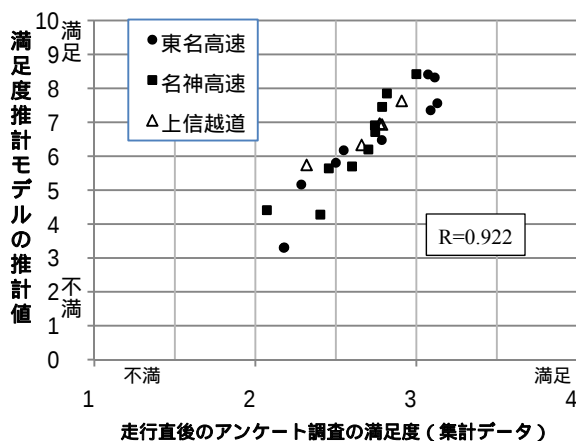


図-10 満足度回答値と満足度推計値の散布図と相関係数

満足度推計値を算定する。上信越道については区間旅行速度を式(4.3)、交通量を式(4.5)にあてはめ車群中の位置別交通量を求め、車群全体の位置に係る平均満足度を式(4.4)で求める。満足度推計値は、式(4.3)と式(4.4)の値を合計して算定する。

次に、2章(4)に記述したように交通指標を5ランクに分類し、集計データのpcu換算交通密度と区間旅行速度のランク別満足度推計値を算定した。集計データの交通指標ランク別満足度回答値と満足度推計値の相関係数は0.922であり、1調査ケースに過ぎないものの、満足度推計モデルの妥当性が確認できる(図-10)。

5. おわりに

2章では、走行直後の運転者アンケート調査データをもとに、走行中の区間の道路交通状況が類似していても運転者の円滑性満足度は個人差が大きいが、集計データを用いた解析により、運転者群の満足率や平均的な運転者の満足度には一定の傾向があることを確認した。

3章では、走行ビデオ映像を用いた実験データをもとに、共分散構造分析により満足度評価の因果構造を明らかにした。満足度は、多車線区間では自車周辺のマクロ交通環境認知(混雑状況や車の流れ速度などの主観的認知と客観指標のpcu換算交通密度)と、2車線区間では速度認知と車群中の位置認知との関係が強い。交通指標が属する交通環境認知変数が定まり、満足度推計モデルの決定変数の意味解釈を明確にした。

4章では、車線数別に交通指標を決定変数とした円滑性満足度推計モデルを構築した。多車線区間はpcu換算交通密度、2車線区間は旅行速度をもとにロジスティック回帰式で求め、2車線区間では推計値に車群中の位置の満足度を加減する。構築した満足度モデルを2章のアンケート調査にあてはめ、推計精度が高いモデルであることを確認した。

満足度評価の因果推論と満足度推計モデルの構築に用いた走行ビデオ映像評価調査には、映像継続時間や大型車の影響などいくつかの課題・問題点がある。しかし、本研究で作成した各種満足度推計モデルを第1ステップとして、より現実を反映するモデルへと発展させることができると考えられる。

HCM2000ではFREEWAY単路部のLOSは、車線数とは無関係に交通密度で設定している。本研究により、日本の多車線(6車線と4車線)・単路部のLOSは、車線数別に交通密度で設定することが望ましいと考えられる。また、HCM2000のTWO-LANE HIGHWAY単路部のLOSは、追従時間率や旅行速度で設定している。本研究により、日本の2車線(片側1車線1方通行)・単路部は、速度と車群中の位置で設定することが望ましいと考えられる。

今後は、走行車線別満足度や8車線以上の車線数区間の満足度計測を実施することや、長大トンネル、連続トンネル区間、長大橋梁や連続曲線区間など道路構造と満足度との関連性についての更なる研究が必要である。

謝辞：東海北陸自動車道の暫定2車線区間のパルスデータは、財団法人高速道路調査会のXing Jian氏より頂きました。深く御礼申し上げます。

注(1) 実験においては、概ね1分間の映像放映にも関わらず「この状態が最低5分間は続く」と教示した。このような教示を与えたのは、実験に要する時間を短縮しつつ、被験者の日常的運転体験を踏まえた回答を期待したものではあるが、回答の歪みも懸念される。実際に5分間の放映を行った場合との被験者反応の比較は今後の課題である。なお、認知心理学の分野で、Kahneman¹⁹⁾は「体験評価は概ね、Peak-End Ruleが適用できる」という法則性を見出している。すなわち、全体評価はPeak(最高または最悪の時間)とEnd(終わり方)でほぼ決まってしまう、体験時間の長さや刺激の平均値は殆ど全体評価に影響を与えないという法則である。この法則が、本研究のようなビデオ視聴実験にも適用できるかを検討すべきと考えている。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路の交通容量，pp.14，1984.
- 2) Transportation Research Board：Highway Capacity Manual 2000 CHAPTER 23 BASIC FREEWAY SEGMENTS，pp.23-3-4，2000.
- 3) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)：Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen，2001
- 4) JISQ10002，品質マネジメント - 顧客満足 - 組織における苦情対応のための指針，日本工業標準調査会，2005.
- 5) 佐野良夫：顧客満足の実践，日本経済新聞社，2001.
- 6) アメリカ・マーケティング協会の用語解説，http://www.marketingpower.com/_layouts/Dictionary.aspx?dLetter=C，(2009年11月確認)
- 7) 尾崎晴男，森浩，鹿田成則：HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2000：6. サービス水準(LOS)の考え方，交通工学，Vol.38，No.3，pp.66-71，2003.
- 8) 中村英樹，加藤博和，鈴木弘司，劉俊晟：ドライバー主観の計量による高速道路単路部のサービスの質の定量化とその要

- 因分析,土木計画学研究・論文集№17,pp.941-946,2000.
- 9) 石橋善明・小藪英彦・河内朗:道路利用者満足評価に基づく高速道路のサービス水準の評価,土木学会論文集, No.772/IV-65, pp.41-51, 2004.
- 10) 塚田幸広・桐山孝晴・濱谷健太:新たなニーズに対応した道路構造に関する検討,国土技術政策総合研究所資料,335号, pp.16-17, 2006.
- 11) 井坪慎二・奥谷正・橋本浩良・前川友宏:走りやすさマップデータをを用いた日本の道路ネットワークの現状分析,土木計画学研究・講演集, No.35, No.292, CD-ROM, 2007.
- 12) 酒井隆,内田敬:高速道路利用者の円滑性評価と交通指標の関連性の考察,平成18年度学術研究発表会講演論文集,大阪交通科学研究会, pp.13-14, 2006.
- 13) Yoshiaki ISHIBASHI, Akira KOUCHI, Takashi SAKAI: ANALYSIS OF RELATIONSHIPS BETWEEN DRIVERS SATISFACTION WITH TRAFFIC CHARACTERISTICS AND SERVICE LEVELS OF EXPRESSWAYS, Proceedings of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service volume 1 Country Reports and Special Session Papers, JSTE, pp.123-138, 2006.
- 14) 山本嘉一郎,小野寺孝義:Amosによる共分散構造分析と解析事例[第2版],ナカニシヤ出版,2002.
- 15) 酒井隆,内田敬:高速道路利用者の円滑性評価に関する共分散構造分析,第27回交通工学研究発表会論文報告集,交通工学研究会, pp.29-32, 2007.
- 16) 酒井隆,内田敬:高速道路の2車線および多車線区間の満足度推計モデル,土木計画学研究・講演集 Vol.40, CD-ROM, 2009.
- 17) (社)交通工学研究会編:交通工学ハンドブック 2005 (CD-ROM), (社)交通工学研究会, 2005.
- 18) 塩見康博:車群交通流モデルによる渋滞現象解析,京都市大学学術情報リポジトリ, <http://hdl.handle.net/2433/66193>, 2008
- 19) Kahneman, D.: Experienced Utility and Objective Happiness: A Moment-Based Approach, Chapter 37, pp. 673-692, in: D. Kahneman and A. Tversky (Eds.) Choices, Values and Frames New York: Cambridge University Press and the Russell Sage Foundation, (2000), http://www.som.yale.edu/faculty/keith.chen/negot.%20papers/Kahneman_ExperiencedUtility00.pdf, (2010年5月確認)

高速道路単路部の運転者満足度推計モデル*

酒井 隆**・内田 敬***

本研究の目的は、高速道路の単路部区間におけるサービス水準を表す交通状況と運転者の円滑性満足度との関連性を分析することである。

交通状況に関する運転者の認知や満足度は個人差が大きいが、集計データで分析すると運転者の満足度には一定の傾向が見られる。そこで、共分散構造分析により交通指標と運転者の交通環境認知および満足度との因果関係を把握する。そして、車線別に交通指標を決定変数とした運転者満足度推計モデルを構築する。

Analysis of Driver's Satisfaction of Basic Expressway Segments and Satisfaction Rating Model*

By Takashi SAKAI** and Takashi UCHIDA***

The objective of this study is to analyze the relationship between traffic conditions and driver's satisfaction with level of services (LOS) for basic expressway segments.

Driver's perception and satisfaction about the traffic conditions has large difference among individuals, however, the aggregate satisfaction tends to constant. Then, by using the covariance structure analysis, causal relationships between drivers' satisfaction and both traffic indices and perceptions of traffic condition. Finally, for each number of lanes, a satisfaction rating model with traffic indices as independent variables is proposed.
