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*

Covariance Structure Analysis for Driver's Satisfaction of Highway and Satisfaction Rating Model *

酒井隆**・内田敬***
By Takashi SAKAI**・Takashi UCHIDA***

１．はじめに

米国のHighway Capacity Manual 2000(HCM2000)において、高速道路のサービス水準（LOS:Level of Service）の評価尺度は、2車線道路では追従時間率と旅行速度、多車線道路ではｐｃｕ換算交通密度、旅行速度や交通量/容量比が用いられ、道路利用者の感覚を重視すべく評価尺度が改訂されてきている。しかし、道路利用者の受ける感覚との合致度の検証等の調査研究が不足しているとの指摘[1]がある。

我が国の道路利用者の交通円滑性に係る満足度（CS: Customer Satisfaction）評価と交通特性の関連性に係る既往研究では、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[2)3)]が、運転者の満足者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が知られている。

筆者らは、高速道路の多車線区間における運転者の交通状況に関する認知・評価メカニズムの因果関係を説明するための「円滑性満足度に係る共分散構造分析」[3]を行ってきた。本稿では、2車線区間（片側１車線）での円滑性満足度に係る共分散構造分析を行い、多車線区間における満足度共分散構造分析と比較し、交通特性を説明変数とした円滑性満足度推定モデルを構築する。研究データは、石橋ら[4]が行った高速道路単路部の走行ビデオ映像評価調査のデータを使用する。

２．研究データ

（１）走行ビデオ映像評価調査の調査概要[4]

a) 調査概要

調査対象とする交通状況は、2車線区間では旅行速度と追従状況で記述し、多車線区間では車両感知器データで記述する。特定の交通状況を統制する必要があるため、室内集合実験で調査を行った。実験は、様々な交通状況の走行状況をビデオ撮影し、会場にて各交通状況の映像を映写するごとに満足度を評価する会場アンケート調査である。実験は、2003年11月に東京と松山の２箇所、被験者は高速道路を年に１回以上利用する運転者で、年齢や高速道路利用頻度などバランスよく選定した。有効被験者数は69名（東京45名、松山24名）である。

b) 調査項目

2車線区間では、旅行速度と追従状況を変えた5パターンの映像を用いた。交通指標は映像から計測した旅行速度と追従状況（前方車両の有無と放映時間に占める後方車両視認割合）を用いた(表-1)。多車線区間では車線数２水準・交通状況５水準の直交計画をもとに10パターンの映像を用いた。交通指標は、車両感知器から得たpcu換算交通密度と映像から計測した旅行速度と大型車混入率を用いた(表-2)。アンケート項目は、表-3に示す。

表-1　２車線走行ビデオ映像のパターン

交通状況1（設定）	交通状況2（後方車両の視認割合）注1	交通状況3（平均旅行速度・映像で計測）注2	放映時間	放映順（逆順も実施）
前方車両あり	50%	71.3（km/h）	4分14秒	2
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

注1）後方車両あり：バックミラーに映る車両がミラー面積の1割以上視認（視認時間÷放映時間）
注2）映像に表示した速度を10秒ごとに計測した平均値

表-2　多車線走行ビデオ映像のパターン

車線	交通状況1(車両感知器で		交通状況2(映像で計測)		放映時間	放映順（逆順も実施）
	交通量	pcu換算交通密度(台/km/車線)	旅行速度(km/h)	大型車混入率(%)		
4車線を（左車線走行）	少ない	10	100	44	54秒	10
	やや少ない	16	90～95	31	60秒	1
	普通	21	80	22	60秒	3
	やや多い	30	40	59	60秒	5
	多い	53	20～30	3	55秒	6
6車線を（真ん中車線走行）	少ない	10	105	12	60秒	8
	やや少ない	14	105	30	61秒	9
	普通	17	80～90	31	69秒	2
	やや多い	22	40	20	60秒	7
	多い	48	15～30	12	90秒	4

c) 対象者特性

高速道路の運転頻度は、月に数日以上が67％である。性別は、東京・男性80％女性20％、松山・男性54％女性46％で、年齢は20歳代～60歳代の10歳刻みでほぼ均等で、

*キーワーズ：運転者満足度、サービス水準、潜在構造、車群
**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

表-3　アンケート調査の項目

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)
満足度の評価理由（多項目選択の複数回答方式）注）評価理由⑧⑨は多車線で使用	①混雑認知2項目（混雑している，混雑していない<以下，直前の同一用語を「-」で表記>），②大型車交通量認知2項目（トラックなどの大型車が多い-少ない），③前車速度認知2項目（前車の速度が遅すぎる-ちょうどよい），④自車速度認知3項目（自車の速度が遅すぎる-速すぎる-ちょうどよい），⑤車の流れ速度認知3項目（全体の流れの速度が遅すぎる-速すぎる-ちょうどよい），⑥後車との距離認知3項目（後の車が接近している-追い越しをしたそうなのにできない-距離があいている），⑦前車との距離3項目（前の車と接近している-追い越したいのにできない-距離があいている），⑧右車線の車の接近状況認知2項目（右車線の車が接近している-車がいない），⑨左車線の車の接近状況認知2項目<6車線のみ>（左車線の車が接近している-車がいない），⑩前方視界状況認知2項目（車高の高い車で前方の視界がさえぎられる-さえぎられることがない）の10認知要因24項目
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

免許取得年数は、20年以上44%、10年～20年未満33%、10年未満23%である。安全運転自己診断では、荒っぽい運転48%、イライラ運転26%、判断に迷い運転22%、運転技術に過信45%、落ち着いた運転10%に分類された。

（2）走行ビデオ映像評価調査の結果

a）映像と実際の運転感覚

73%が運転しているように感じており、回答内容は、実走行時の感覚と乖離していなかったと思われる。

b）車線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の標準偏差は、ばらついており個人差が大きい（表-5）。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、自車の前方に車両がある追従状態では満足度が低くなる。多車線では、交通状況と満足度平均の関係は、交通量が多いほど満足度が低くなる。6車線では4車線よりも満足度が高いが、混雑すると満足度が低くなる。

表-5　車線別交通状況別満足度平均と標準偏差

車線数	2車線					
前方車両の有無	前方車両有り（追従）		前方車両なし（非追従=先頭を走行）			合計
後方車両の有無	あり	なし	あり	あり	あり	
満足度平均値	3.99	6.22	5.90	6.91	6.07	5.82
標準偏差	2.29	2.53	2.29	2.33	2.41	2.55

車線	4車線						6車線					
交通量	少ない	やや少ない	普通	やや多い	多い	合計	少ない	やや少ない	普通	やや多い	多い	合計
満足度平均	8.38	7.97	5.59	2.36	2.87	5.43	9.39	8.20	7.00	3.10	2.28	5.99
標準偏差	1.81	1.93	1.84	1.97	1.92	3.13	1.03	1.76	2.12	1.91	1.85	3.33

注）満足度は、満足10点、やや不満5点、不満0点として計算した。

3．円滑性満足度の共分散構造分析

（1）分析手順

満足度評価理由の認知要因、交通状況と満足度について探索的因子分析を行い、因子は潜在変数と見なした。

共分散構造分析では、認知と評価の２段階因果関係を仮定し、第１段階は交通特性とその認知状況を説明する「認知モデル」として複数の潜在変数を想定した。第２段階は「認知から安全快適評価、即ち満足度評価の因果モデル」を想定する。因果関係を修正し検証するため、共分散構造分析の多重指標モデル用い、受容できるかどうかを逐次判断する手順を採用する。

提示映像を変えながら同様の質問を繰返す調査であることから、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。モデルの評価には、共分散構造分析の代表的な適合度指標GFI、AGFIとRMSEAを用いる。

（2）２車線区間走行時の満足度の分析

運転者の認知と評価の因果関係仮説をたてるため、探索的因子分析を行った。その結果、自車直近のミクロ交通環境として、前後車両との距離に係る認知因子、自車と前車の速度認知因子および自車周辺のマクロ交通環境に係る認知因子が抽出された。

共分散構造分析の結果、2車線区間の満足度には、速度環境認知が最も影響し、車群中の位置認知とは直接的関係が見られなかった（図-1）。

運転者は、自車周辺の混雑状況、大型車交通量や前方視界状況といった「マクロ交通環境を認知」している。この種の認知は、運転者の危険運転性向（イライラ運転度と運転過信度）から影響を受け、「速度環境認知」と「安全快適認知、即ち満足度」に影響を与える。

「速度環境認知」は、前車速度、車の流れ速度や旅行速度などから構成されている。自車速度認知は後車との距離認知の影響を受けており、速度認知の誤差間相関もあることから、追従状態では前車速度と、非追従状態では自車速度と関係していると考えられる。

前後車両との距離や追従状態といった「車群中の自車位置の認知」は、「安全快適認知」と直接関係がない。車群中の位置認知に含まれる後方車両認知は、誤差間相関が多数あり、安全快適認知誤差とも関連しており、具体的な車両位置の特定が重要と考えられる。

潜在変数間では、安全快適評価と関係が大きいのは速度環境認知、次いでマクロ交通環境認知である。これらの事から、2車線区間の満足度は速度で推計し、誤差を車群中の位置で補正することが望ましいと考えられる。

（3）多車線走行時の満足度の共分散構造分析との比較

4車線と6車線走行時の満足度に係る共分散構造分析を行い、両者の因果関係は基本的に等しいことが判明した。多車線の代表として6車線の結果（図-2）を記述する[3)]。

6車線の自車周辺の「マクロ交通環境認知」には、2車線でのマクロ交通環境認知に車の流れ速度認知とpcu換算交通密度が加わる。自車直近の「ミクロ交通環境認知」に関しては、2車線走行時の自車と前車速度および前後車両の接近状況に加え、左右の車両との接近状況も含まれ、交通状況を複合的に認知していると云える。

個人特性の危険運転性向はミクロ交通環境認知のみに影響を与えており、2車線の結果とは異なる。また、

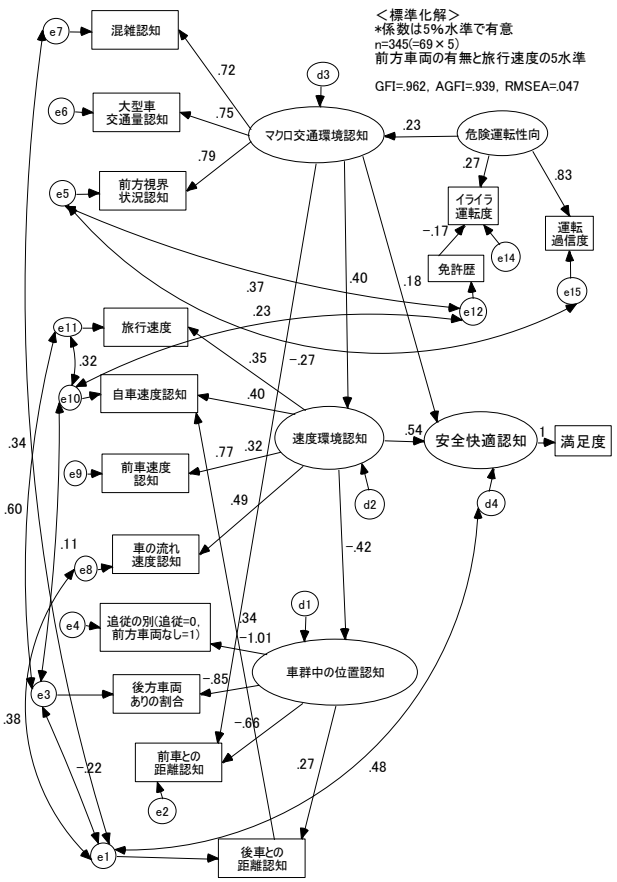

図-1　２車線走行時の満足度の共分散構造分析

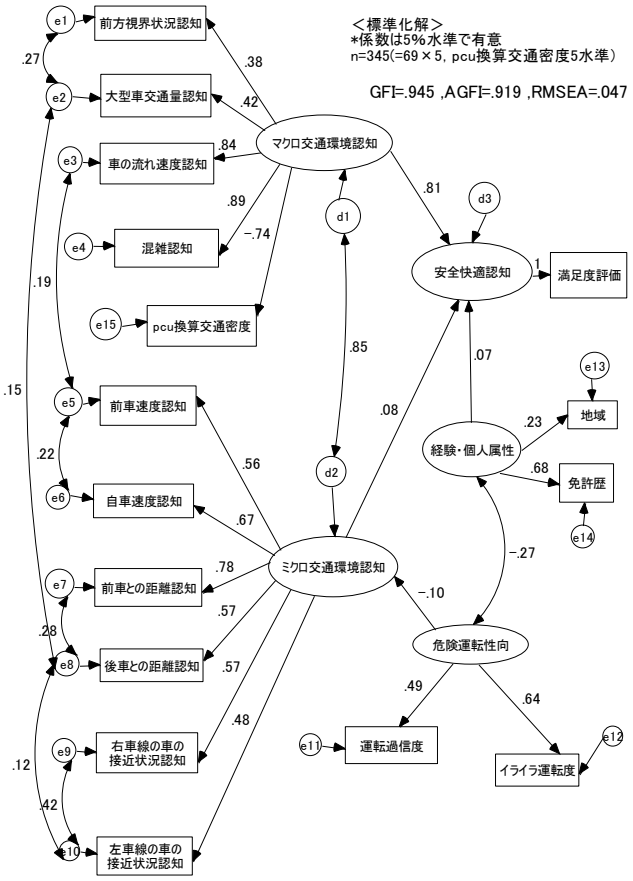

図-2　６車線走行時の満足度の共分散構造分析

居住地域は安全快適認知に若干影響があるが、2車線では影響がない。

6車線では、マクロ交通環境認知が安全快適認知、即ち満足度に大きく影響しており、ミクロ交通環境認知と個人属性も僅かに影響があると云える。安全快適認知には誤差間相関がなく、満足度の推計誤差は小さいと予想できる。つまり、多車線区間ではpcu換算交通密度が大きくなれば満足度が小さくなるという傾向があり、満足度をpcu換算密度で推計することが望ましいと云える。

４．円滑性満足度の推計

（１）２車線区間走行時の満足度推定モデル

a）モデル式の構築

2車線（片側１車線）区間走行時の円滑性満足度を交通指標から説明するモデルを構築する。共分散構造分析の結果より、満足度は平均旅行速度で推計し、残差を車群中の位置（先頭、最後尾）で補正する回帰モデルを適用する。なお、満足度はアンケート時点では満足0点、不満-10点で回答を求めたが、モデル構築に際し解法上の支障が生じるため、満足10点、不満0点に変換した。

b）回帰モデル

満足度（CS）は、上限値10のロジスティック回帰式をあてはめ、残差を数量化Ｉ類で説明する式とする。

2車線区間満足度の回帰式は、式(1)で記述する。

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

ここで、CSは満足度、vは旅行速度、Zは残差であるが、車群中の自車位置の満足度と考えた。Zを推計するため、残差を目的変数とする数量化Ｉ類を行い、①前方車両あり-1.001、②前方車両なし+0.650、③後方車両あり-0.276、④後方車両なし+1.054のカテゴリー値を求めた。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結果を表-6に示す。

表-6　車群中の自車位置の満足度

車群中の自車位置	満足度	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

$$Z = \sum C_i Q_i / Q_{total} \qquad (2)$$

ここで$C_{i=1,\cdots,4}$は表-6のカテゴリー値、$Q_{i=1,\cdots,4}$は該当する交通量、Q_{total}は総交通量である。

式(1)の推計精度は、r=0.874である。式（1）と表-6

より、旅行速度が速いほど満足度が高く、自由走行ができない車群中の位置ほど満足度が低いと云える。

c)車群台数分布の推計方法に関する検討

追い越しが不可能な高速道路の2車線区間の平均的な運転者満足度を、交通指標から求めるには、表-6のカテゴリー値に該当する交通量、すなわち車群台数分布の推計が不可欠である。

車群台数分布は、交通量、片側1車線の区間長や旅行速度などによって異なるが、交通量が少ないほど車群1台が多くなる傾向が顕著である。モデルとして、車頭時間分布を所与とする幾何分布モデル、平均車群台数を所与とするBorel-Tannerモデルや希望走行速度と区間延長を所与とする塩見モデルなど、主に離散データの確率分布を取り扱う推計手法が提案されている[6)]。

本研究では、交通量を所与とした推計精度が高い車群台数分布モデルができれば、満足度推計が容易になると考え、2車線高速道路の事例を収集中である。以下、予備解析の結果とモデル化の着眼事項を記述する。

文献7)の車群台数分布12事例を用いて各種関数形を適用した。その結果、べき乗関数（y=aX^b：a,bはパラメータ、yは車群台数別構成比、Xは車群台数）の推計精度が高かった（r=0.950～0.994）。

イスラエルの事例は、3台までの累計で車群台数総頻数の82%～97%を占めている。そこで、3台までの台数別構成比をべき乗関数で求め、求めたパラメータを交通量で説明する回帰式を計算すれば、交通量別車群台数別車群構成比が推計可能である。4台以上も同様の手順を繰返せばモデル化できよう。

（2）多車線走行時の満足度推定モデル

4車線と6車線区間走行時の円滑性満足度を交通指標から説明するロジスティック回帰モデルを構築する。交通指標は、pcu換算交通密度の*ln*値を用いる。

4車線区間満足度の回帰式は、式(3)で記述する。

$$CS_{4lane} = \frac{10}{1 + 0.002642e^{1.82267\ln(p)}} \qquad (3)$$

6車線区間満足度の回帰式は、式(4)で記述する。

$$CS_{6lane} = \frac{10}{1 + 0.000219e^{2.61571\ln(p)}} \qquad (4)$$

ここで、CSは満足度、pはpcu換算交通密度（pcu/km/車線）である。推計精度は、式(3)：r=0.903、式(4)：r=0.919である。pcu換算密度が少ないほど、満足度が高くなると云える。

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車線では真ん中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。

5．おわりに

本研究では、車線別単路区間について交通条件を割付けた各種走行ビデオ映像を見せ、円滑性満足度とその評価理由を解析データとして用いた。車線別に交通環境認知と交通指標との関係および認知と満足度との関係を共分散構造分析で解析した。満足度は、4車線と6車線では自車周辺のマクロ交通環境認知と、2車線では速度認知と車群中の位置認知と関連性が高いと云える。

次に、車線別に満足度を推計するモデルを構築した。このモデルにより、4車線と6車線の満足度は、pcu換算交通密度を所与としたロジスティック回帰式で推計できる。2車線の満足度は、旅行速度を所与としたロジスティック回帰式と車群中の位置の満足度で推計できる。

車群台数分布モデルを検討するため外国文献事例より車群台数別構成比をべき乗関数で求め、交通量を所与とする車群台数分布のモデル化が可能な感触を得た。今後は、我が国の車群台数分布について、べき乗関数モデルの適用可能性を検証したい。

参考文献

1）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.

2）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

3）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

4）石橋善明，阿部公一：高速道路のサービス水準に関する調査検討，交通工学，Vol.40，No.1，pp35-43，2005

5）Yoshiaki ISHIBASHI,Akira KOUCHI,Takashi SAKAI：ANALYSIS OF RELATIONSHIPS BETWEEN DRIVERS' SATISFACTON 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

6）塩見康博：車群交通流モデルによる渋滞現象解析，京都大学学術情報リポジトリ，http://hdl.handle.net/2433/66193，2008

7）Galin，D.: A comparison of some bunch-size models for two-lane rural roads - An Israeli experience，Transportation Research，Vol.14A，pp.51-56，1980.