

優等列車の車内デザインを考慮した 旅客需要の分析手法 —小田急ロマンスカーを対象に—

秋山 岳¹・岩倉 成志²

¹正会員 株式会社プランニングネットワーク (〒114-0012 東京都北区田端新町三丁目14-6)
E-mail: Takeshi_Akiyama@pn-planet.co.jp

²正会員 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 (〒173-8548 東京都江東区豊洲三丁目7-5)
E-mail: iwakura@sic.shibaura-it.ac.jp

近年、わが国ではプロのデザイナーによって鉄道車両が設計され、旅行の付加価値を向上させる事例がみられるが、全国的な展開には至っていない。その理由のひとつに、車両デザインと需要増との関係性が明らかではないため、事業者が鉄道車両のデザイン化に消極的であることがあげられる。本論文では、小田急ロマンスカーを対象とし、鉄道車両の車内デザインを考慮した需要予測モデルの構築を目指す。そのために、1)車内色彩デザインの計測手法、2)色彩快適度関数の構築、3)車内デザインの評価手法、4)需要予測モデルの構築、以上4点を検討する。本論文で構築したモデルを用いた分析の結果、車両をデザインすることで、他交通機関からの利用者の転換が望め、一定の収入増加が見込めることを確認した。

Key Words : *interior design of high-speed train, travel demand model, color preference model, ordered logit model, Odakyu-Romance-Car*

1. はじめに

近年、わが国の鉄道車両、特に優等列車の車両設計に、プロのデザイナーが加わる事例がみられる。例えば、小田急ロマンスカー5000系 (VSE) や6000系 (MSE) のデザインを岡部憲明氏が手掛け、JR九州は水戸岡鋭治氏をデザイン顧問に迎え、様々なデザインの車両が供用されるようになった。2010年に供用を開始した京成スカイライナーでは山本寛斎氏が車両のデザインを手掛けた。

観光路線を走る優等列車において、利用者に旅の楽しみを与える車両デザインは、古くは1935年の小田急ロマンスカー3000系 (SE) や、阪急電鉄の特急列車などがある。近年は旅客の多様化に合わせ、様々な工夫を施した車両が見受けられるようになり、その事例は少しずつ増加傾向にある。

このように、今後は鉄道車両をデザインすることに対する利用者からのニーズは高まっていくことが考えられるが、一部の鉄道事業者が活発に取り組んではいないものの、全国的な広がりはない。その要因のひとつとして、鉄道車両をデザインすることが、利用者の旅行行動にどの程度影響を及ぼすかを評価する手法がない点があげら

れる。そのため、鉄道車両のデザインが利用者行動に及ぼす影響が予測できないことや、車両デザインにかかる費用と需要増・収入増との関係性が不明確であるため、事業者が鉄道車両のデザインに取り組みにくい環境にあると考えられる。鉄道車両のデザインを考慮した旅客需要の分析手法が確立できれば、運賃収入の予測が可能となり、車両のデザイン費用との関係性を分析することができる。

本論文では、鉄道車両のデザインのうち、乗客が旅行時間の大部分を過ごす車内のデザインに着目し、それを考慮した交通機関選択モデルを開発する。それにより、車内をデザインすることによる他交通機関からの旅客の転換ないしは在来線から優等列車への需要転換を分析する。このモデルを構築することで、車内デザインと旅客需要との関係性を評価することが可能となる。車両がデザインされることによる需要増加は、他交通機関からの転換以外に、旅行行動自体の喚起が考えられるが、今回はこれを対象としない。

以降、車内デザインを考慮した交通機関選択モデルの開発の上で必要な以下の点に論及する。1)車内色彩デザインの数値変換技術の検討、2)利用者の車内評価値取得

のためのスライド評価実験方法の提案, 3)車内色彩に対する快適度関数の構築, 4)車内デザインの評価値を組み込んだ交通需要予測モデルの構築である。

2. 本研究の位置づけ

鉄道車両全体のデザインが人の感性に与える影響に関する研究はこれまでも複数行われている。清水¹⁾は乗客のニーズが高度化していくことを予想し、それに応えるためには乗客の感性や印象を科学的かつ客観的に反映させる必要があるとし、感性工学的手法を車両設計に生かすことを試みている。また田中²⁾は交通機関の選択の際に、費用・時間という基本的な要素以外に居住性を考慮する必要があるとし、これは経営的にも大きな意味をもつものとしてとらえており、新幹線にどのような要素が重要かを明らかにしている。鈴木ら³⁾は、同じように快適性の重要性を示唆し、列車快適性の評価指標の確立を目指している。結果的に快適性の評価は、振動・騒音、座席の寸法諸元、車内デザイン、空気清浄度の5つに集約できるとしている。

これらの既存研究から分かるように、従来から鉄道車両をデザインすることや付加価値を付けることについては多くの研究がされており、特に車内デザインが利用者に及ぼす影響を考慮することの重要性が述べられている。

しかし、このようなデザインが交通需要へ与える影響を分析することのできる手法はごく少数しか存在しない。その一例として、森川・佐々木⁴⁾の共分散構造モデルによる主観的価値を組み込んだ離散選択モデルの開発と、それを都市間交通機関選択時の乗り心地・交通機関のイメージの評価へ応用した研究成果がある。この研究において、使用した潜在変数の多くは個人属性を用いており、個人の選好に寄与するところの大きいモデルとなっている。したがって、車両デザインの物理的特性を評価し得るものではない。また本研究の先行研究である佐藤ら⁵⁾は、小田急ロマンスカーを対象に、車両デザインを考慮した列車選択モデルを構築している。効用関数にデザインに関わる変数を導入しているが、デザインの要素である色彩や空間をひとつにまとめたダミー変数を使用しており、個々の影響を分析することができない。また、車両デザインが交通需要へ与える影響を分析可能となっていない。したがって、デザインの各要素が必要に及ぼす影響を予測可能なモデルを開発したものは存在しないといえる。

そこで、本研究では図-1のフローに従い、研究を進めていく。本研究では車内デザイン要素として、車内の空間の物理的な状況を表す、天井高・座席幅・シートピッチ・車内の色彩をとりあげることとした。詳しくは3.で後述するが、色彩はデザインを評価する視覚的要素の中

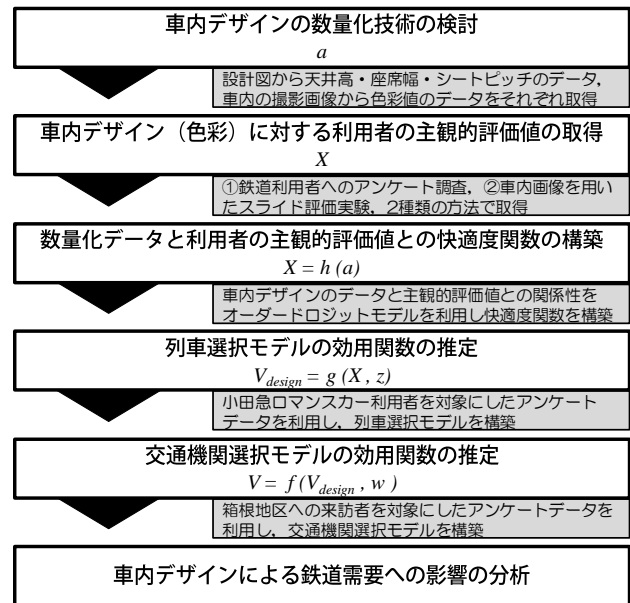


図-1 研究のフロー

で大きなウェイトを占めるものであると考えられるため、利用者に車内デザインの快適性について評価してもらい、佐川ら⁶⁾の研究成果を参考に、利用者評価と色彩に関する変数との相関関係を表現することで色彩の数値化を行っている。本研究では、視環境のうち色彩に対して人がどの程度快適と感じるかを表現したものを色彩快適度関数としており、この構築の結果の詳細は3.で述べる。これ以外に本研究で取り扱うデザイン要素のうち、天井高・座席幅・シートピッチについては設計書から取得可能である。

この他、シートや壁などの質感や形状などの要素も、同様にデザインを評価するうえで欠かせない要素である。しかし、これらの要素については安定的に数量化する先行研究が見つからなかったことと、車内の撮影画像をデータとして取り扱うため、その数値的な再現が困難であると考え、本研究では対象としなかった。今後、デザインを取り扱うモデルの発展の上で、これらの数量化表現の手法については重要な課題であると考えられる。

4.では色彩快適度関数を導入した交通需要予測モデルの構築について述べる。5.では車内のデザインの変化が必要に及ぼす影響について、その推計結果を示す。

3. 色彩快適度関数の構築

(1) 色彩快適度関数の構築フロー

まず、車内デザインを数量的に表現するため、天井高・座席幅・シートピッチのスペックの取得するとともに、デジタルカメラによる撮影画像データから色彩の数値化を行った。並行して、利用者の車内デザインに対する見た目の快適さの評価値を得るために、九州新幹線つばめの利用者を対象にアンケート調査を実施した。

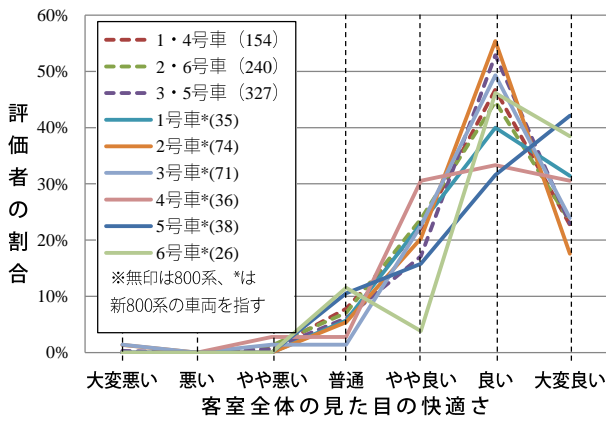


図-2 九州新幹線つばめに対する利用者の評価の分布

このアンケート調査の結果と数量化した車内の色彩値を用いて色彩快適度関数の構築を試みた。詳しくは3.(2)で後述するが、多くの車両で評価が高く、加えて車内デザイン変数の分散が小さかったために、利用者の評価に与える影響を分析することができなかった。そこで、鉄道車両の車内画像を使用し、3.(3)で述べるスライド評価実験を行い、問題の解決を試みた。スライド評価実験により、評価対象となる車内の画像に多様性をもたせ、それらに対する評価値の分散を増大させることが可能であると考えた。

最終的には、スライド評価実験で得られた評価値をもとに色彩快適度関数を構築した。

(2) 優等列車利用者からの主観的評価値の取得

実際に優等列車を利用した乗客から、車内デザインに対する主観的評価値のデータを取得するため、2009年10月10～12・17～18日の土日祝日の5日間でアンケート調査を実施した。九州新幹線つばめの利用者を対象とし、乗車前にアンケートを直接配布、郵送回収とした。この調査で九州新幹線利用者を対象としたのは、1編成に6車両が連結され、車内のデザインが車両ごとに異なっており、全9種類のデザインが存在するため、多様なデザインに対する評価値を取得するのに適しているとして、当初考えていたためである。アンケートは3,000枚配布し、1,335枚(44.5%)を回収し、そこから有効な回答1,001サンプル(33.3%)を得た。

アンケート項目は、1)旅行行動に関する項目、2)車内デザインに関する7段階評価、3)個人属性である。1)では乗車目的や乗車時間などについて聞いている。車両によりデザインが異なるため、被験者がどの車両に乗ったのかを把握するために乗車した時刻、号車を聞く項目を設けている。2)では車両の視覚的な快適さを測るために「客室全体の見た目の快適さ」という項目を設け、それに対して利用者が「大変悪い：1」から「大変良い：7」の7段階で評価する手法を取った。3)では性別、年齢、

表-1 九州新幹線つばめの各車両の評価分布間の χ^2 検定結果 (自由度：6)

		800系			新800系				
		1・4号車	2・6号車	3・5号車	1号車	2号車	3号車	4号車	5号車
800系	2・6号車	0.60			*は5%で、**は10%でそれぞれの分布の間に有意に差があることを示す。				
	3・5号車	2.60	4.68						
新800系	1号車	5.54	4.83	8.82					
	2号車	4.34	6.28	2.66	12.51**				
	3号車	6.40	5.20	6.72	18.38**	15.42**			
	4号車	20.01**	11.51**	29.71**	9.18	29.24**	12.32**		
	5号車	24.85**	24.49**	28.43**	11.64**	36.52**	81.41**	35.99**	
	6号車	28.41**	30.06**	27.00**	24.27**	87.77**	97.36**	60.73**	16.17**

表-2 九州新幹線つばめにおける各車両の色彩値

車種	赤成分	緑成分	黄成分	青成分	色彩数 N	
	R	G	Y	B		
800系	1号車	0.00823	0.00026	0.04337	0.00000	4
	2号車	0.00835	0.00025	0.03909	0.00000	4
	3号車	0.01600	0.00046	0.04761	0.00000	5
	4号車	0.00804	0.00030	0.04165	0.00000	5
	5号車	0.01426	0.00043	0.04237	0.00000	5
	6号車	0.00861	0.00019	0.03849	0.00000	5
N800系	1号車	0.01293	0.00007	0.03224	0.00000	6
	2号車	0.01201	0.00013	0.02827	0.00000	6
	3号車	0.02567	0.00013	0.03603	0.00000	6
	4号車	0.01079	0.00012	0.03496	0.00000	6
	5号車	0.02378	0.00005	0.03607	0.00000	6
	6号車	0.01230	0.00007	0.03211	0.00001	6
平均	0.01341	0.00020	0.03769	0.00000	5.3	
標準偏差	0.00588	0.00014	0.00551	0.00000	0.6	

※各色彩成分は0～1で推移し、全ての値が0なら白色、R=1なら赤色となる

住所について記入してもらっている。

評価値を取得できた1,001サンプルのうち、性別を見ると男性が483サンプル(48.3%)、女性が515サンプル(51.4%)、無回答が3サンプル(0.3%)の構成比となった。年齢では10代が4%、20代が15%、30代・40代がともに17%、50代が23%、60代が12%、70代が6%となった。旅行目的については25%が名所見物、16%が保養・休養と答え、観光目的の利用者が多かった。仕事目的の利用者は19%存在した。

各車両の車内デザインの評価の分布を図-2に示す。ほとんどの車両で「良い」と評価する人が最大となる傾向を示し、全ての車両が高評価を受けていることがみられる。それぞれの評価の分布を車両ごとに χ^2 検定した結果が表-1であるが、「良い」の評価の割合が他の車両に比べて小さい新800系4号車、「良い」が最頻値とならない新800系5号車、「やや良い」で度数が小さくなる新800系6号車以外は、類似した分布傾向を示し、統計的にみて車両間で評価に優位な差はないといえる。

また、色彩快適度関数の構築の際に、各車内の撮影画像から色彩値を抽出する必要があり、本研究では反対色理論⁷⁾による色彩値R, G, Y, Bの各値とカテゴリカルカラーの概念に基づく色彩数Nを抽出する。この方法については4.(4)で詳しく述べるが、九州新幹線つばめを撮影した画像を解析すると、表-2に示すように色彩値

表-3 撮影の対象車種と撮影環境

鉄道会社	調査日程	撮影環境	調査場所	対象車種
小田急電鉄	11月24日 15:00~	建物内 遮光可能 車両停車中	喜多見 車両基地	VSE
				MSE
				EXE
				RSE
				HiSE
JR九州	12月6日 18:00~	屋外・日没後 車両停車中	川内車両 センター	800系 (3車両) 新800系 (6車両)
東武鉄道	12月15日 15:00~	屋外・日中 車両停車中	業平橋 車両基地	りょうもう
海外車両	11月5日~9日	建物内 (半屋外) 日中 ホーム停車時	フランクフルト 駅 および パリ市内の4駅	ICE (3編成) TGV (2編成) thalys

の分散が小さい。このため、同じく分散の値が小さい主観的評価値との関係性を分析するうえで、取得したデータは適さないと判断した。

そこで、これらの問題を解決するために、一般的な特急車両を含めた様々な車両に対する主観的評価値を得るためにスライド評価実験を行う。これにより、主観的評価値および画像の色彩値に分散を持たせ、利用者の評価と車内の色彩との関係を明らかにすることができるデータを取得する。

(3) スライド評価実験に使用する画像データの取得

スライド評価実験に使用する画像は、a) 国内・国外の様々な優等列車を対象とし、デジタル一眼レフカメラを使用して客室内を撮影、b) 撮影画像をもとにした合成画像を作成の2つの方法により取得する。

a) 優等列車の車内画像撮影

撮影画像の取得は、画像解析に使用するソフトとの相性を考え、デジタル一眼レフカメラ Canon kissX2を使用した。車内の撮影にあたり、人が車内全体を見ているときの視環境を可能な限り表現するため、撮影条件として、1)撮影高さはレンズの中心の位置が150cmとなるように設定する。2)撮影角度は水平視点とする。3)レンズの焦点距離は人間の視野とほぼ同等の10mmで撮影する。4)撮影視点は車内の前方から後方に向けたものとする。以上4点を定めた。

また、撮影環境は以下の点に留意する必要がある。1) 運行時は振動により撮影視点の条件を一定に保つことができない。2)日中は太陽光の進入およびそのゆらぎにより安定した色彩値を取得できない。3)夜間においても、外部照明の影響により同様の問題が生じる。以上の問題を可能な限り排除する方針で車内の撮影をおこなった。

対象とした車両と撮影条件を表-3に、実際に撮影した車内画像の一部を図-3に示す。

b) 合成画像の作成

撮影した鉄道車両の車内画像をベースにして、スライド評価実験に用いる合成画像を作成した。車内の画像を

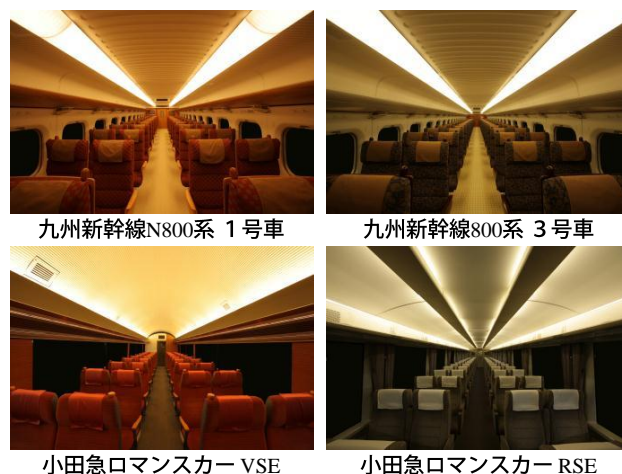


図-3 実際に撮影した車内画像

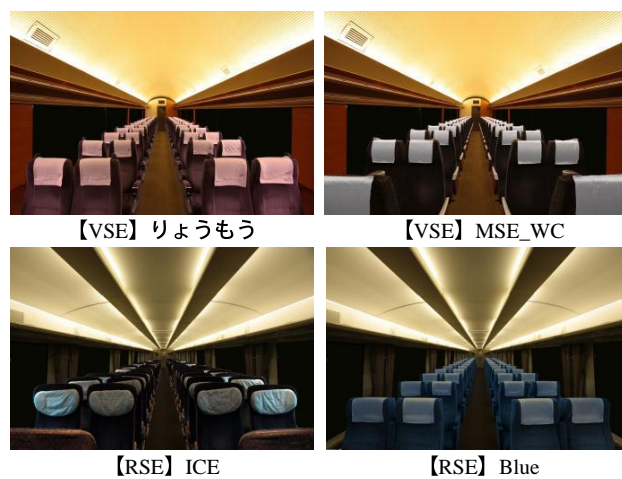


図-4 撮影画像から作成した合成画像

要素に分解すると、1)座席、2)天井、3)床、4)壁、5)窓、6)荷だなに大別することができる。これらの変化が利用者の評価に影響を及ぼすと考え、合成画像を作成している。また、実際の車内画像から見るに、ヘッドカバーの色の影響が視覚的に大きく、これに関する分析が可能となるような合成画像もあわせて作成した。

作成する合成画像に多様性を持たせるため、ベースとなる車両を小田急ロマンスカーのフラグシップモデルであるVSEと、一般的な特急車両のデザインのRSEの2種類に固定し、座席を他の車両のものを入れ替えることで合成画像を作成している。VSEは暖色系の色彩でまとめられ、対するRSEは落ち着いた彩度の低いものである。使用した座席は1)VSE、2)RSE、3)りょうもう、4)新800系つばめ1号車、5)RSEの座席を寒色系に変化させたもの、6)TGV、7)ICEの7種類である。また、ヘッドカバーの影響を見るためにMSE車両の座席を用いてヘッドカバーを白色に変化させた画像を作成した。

作成した合成画像の一部を図-4に示す。図中の各画像の略記については表-4を参照されたい。

表-4 スライド評価実験に使用する画像の色彩値

画像		略記	R	G	Y	B	N	
合成画像	VSEベース	RSE座席	[VSE] RSE	0.00523	0.00213	0.02764	0.00000	7
		TGV座席	[VSE] TGV	0.01828	0.00175	0.02801	0.00000	6
		りょうもう座席	[VSE] りょうもう	0.00873	0.00130	0.02093	0.00372	7
		Blue座席	[VSE] Blue	0.00539	0.00501	0.02103	0.00783	7
		ICE座席	[VSE] ICE	0.00586	0.00157	0.02232	0.00026	6
		N800_1座席	[VSE] N800_1	0.01637	0.00129	0.03818	0.00000	8
	RSEベース	VSE座席	[RSE] VSE	0.01553	0.00206	0.02959	0.00000	6
		TGV座席	[RSE] TGV	0.01770	0.00206	0.02894	0.00000	7
		りょうもう座席	[RSE] りょうもう	0.00331	0.00209	0.01348	0.00332	4
		Blue座席	[RSE] Blue	0.00012	0.00549	0.01330	0.00718	4
		ICE座席	[RSE] ICE	0.00112	0.00229	0.01457	0.00026	5
		N800_1座席	[RSE] N800_1	0.01071	0.00204	0.02897	0.00000	6
	ORC	MSE座席	[VSE] MSE	0.00896	0.00130	0.02493	0.00000	6
		MSE座席(カバー白色)	[VSE] MSE_WC	0.00541	0.00131	0.02186	0.00002	6
		VSE車両+RSE床	[VSE] ←RSE	0.02034	0.00137	0.03594	0.00000	7
		RSE車両+VSE床	[RSE] ←VSE	0.01653	0.00205	0.03135	0.00000	6
		MSE	MSE	0.00710	0.00009	0.01305	0.00000	6
		VSE	VSE	0.02051	0.00129	0.03672	0.00000	7
撮影画像	800	RSE	RSE	0.00020	0.00280	0.01923	0.00000	4
		EXE	EXE	0.00144	0.00106	0.00525	0.00026	5
		1号車	800_1	0.00233	0.00149	0.03381	0.00000	4
	2号車	800_2	0.00198	0.00165	0.03221	0.00000	4	
	3号車	800_3	0.00597	0.00097	0.03524	0.00000	4	
	N800	1号車	N800_1	0.01482	0.00022	0.04274	0.00000	6
		4号車	N800_4	0.01577	0.00011	0.04515	0.00000	5
		5号車	N800_5	0.02336	0.00012	0.04529	0.00000	5
	平均値			0.00973	0.00173	0.02730	0.00088	5.7
標準偏差			0.00726	0.00126	0.01051	0.00217	1.2	

※上記のうち、りょうもう・RSE・EXEの車両は、製作にデザイナーは介入していない。

(4) 車内画像の色彩値の解析

スライド評価実験に使用する画像から色彩値を抽出する。これには佐川ら⁹⁾の開発した「カラーコンフォートメータ」のソフトを使用する。佐川らは景観を対象とし、デジタルカメラによる撮影画像を用いて、その色彩が人に及ぼす心理的影響について分析を行っている。その結果、式(1)を用いることで、対象画像に対して人の感じる快適さを数値的に表現できるとしている。

カラーコンフォートメータは画像の色彩に対する快適度を算出することができ、それ以外に画像のもつ色彩情報も抽出できる。

カラーコンフォートメータは、佐川らの実験により、色彩環境に対する快適性を、色彩数と反対色理論による色彩値によって定量化する分析手法及びその計測器であり、デジタルカメラで撮影した画像を用いて分析を行う。

定量化に用いられる色彩数は、カテゴリカルカラーと呼ばれる概念を用いており、連続的に変化する色彩を緑・黄・橙・赤・紫・青・桃・茶・灰・白・黒の11色に大きく分類する概念であり、人が瞬間的に色彩の違いを判断できる限界の色の数といわれている。カラーコンフォートメータによる分析では、分析する画像の全画素中、5%以上を占める色彩を色彩数として計上している。また、反対色理論とは色彩の数値的表現手法のひとつであり、色彩を赤成分R・緑成分G・黄成分Y・青成分Bの4変数に分解して表現する。詳しい数値化手法につい

表-5 スライド評価実験概要

実施日	2011年1月24日(月)～27日(木)
時間帯	17:30～21:00
場所	芝浦工業大学 教室棟510教室および511教室
被験者	豊洲住民および豊洲への通勤・通学者 44名
使用機材	パソコン1台、プロジェクター1台、暗幕
実施環境	・画像は3m×2mの大きさで投影 ・投影高さは着座時の被験者の目線
画像提示	26枚の画像を提示、1枚の画像につき20秒提示する 半数の13枚提示した後1分の休憩を設ける
評価項目	① 各画像に対する快適度の7段階評価 ② 個人属性

ては既存の文献⁷⁾に譲るが、いくつかある色彩の数値的表現方法の中で、色の見え方を説明するのに非常に優れた表現方法であるといわれている⁷⁾。

本論文では、このソフトを用いて、画像から色彩快適度関数の構築に必要な、反対色理論による色彩値R, G, Y, Bの各値とカテゴリカルカラーの概念に基づく色彩数Nを抽出する。

$$C = w_r R + w_g G + w_y Y + w_b B + w_n N + \text{const.} \quad (1)$$

C: 画像に対する快適度

R, G, Y, B: 画像の赤, 緑, 黄, 青の反対色成分

N: 画像に含まれる色彩数 w_r, w_g, w_y, w_b, w_n : パラメータ

カラーコンフォートメータを利用し、実験に使用する画像から抽出した色彩値を表-4に示す。表-3で示した色彩値と比較して、全ての色彩値と色彩数の分散が大きくなっていることがわかる。表記しているもの以外にも、いくつかの撮影画像および合成画像が存在するが、1) 選択する画像が車内デザインの多様性に富むこと、2) 選択する画像の色彩値がある程度の分散を持つこと、3) 九州新幹線つばめを対象としたアンケート調査から得られた評価値のデータとの整合性を確認することのできる画像を組み込むこと、4) 被験者の正確な評価をおこなえる範囲での枚数を設定すること、以上の4つの観点からスライド評価実験に使用する画像の選定を行い、表-4に示す26種類としている。

(5) スライド評価実験

前節で作成した画像データを使用してスライド評価実験を行った。実験環境は既存研究⁸⁾⁻¹¹⁾を参考にベースを決め、プレ調査を実施し、そこで得た意見をふまえて決定した。プレ調査では画像の提示に関して「どのような画像が提示されるかが分からず、最初の1～3枚目の評価に迷う」「画像が小さく車内のスケールが判断しにくい」「提示時間(20秒)が長く感じる」「26枚を連続で見ると正確な判断ができなくなる」といった意見を得た。

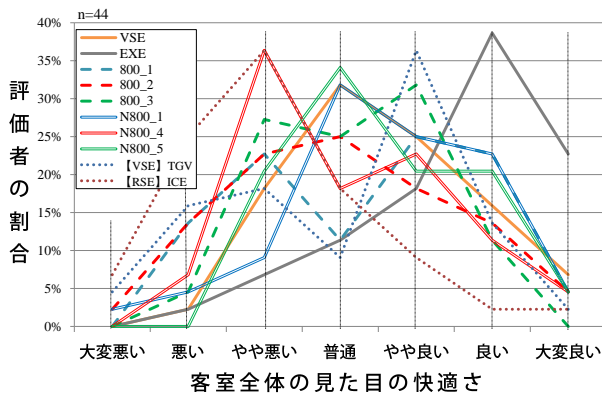


図-5 スライド評価実験結果（一部抜粋）

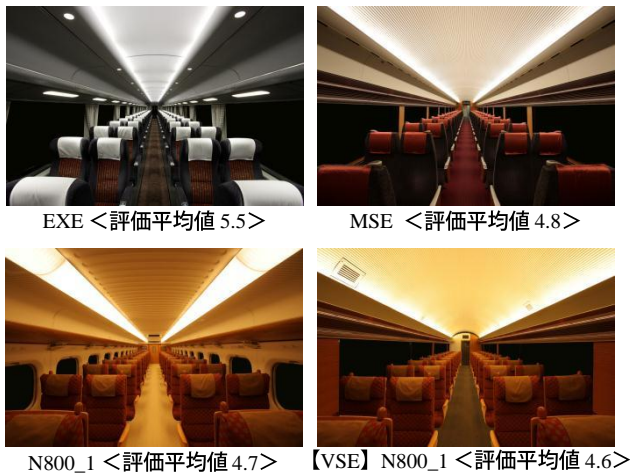


図-6 スライド評価実験で高評価を得た車両

a) 実験概要

既存研究とプレ実験の知見をもとに、スライド評価実験の方法を決定した。実験の概要を表-5に示す。被験者に各画像を提示後、「車内全体の見た目の快適さ」を7段階で評価してもらう。プレ調査において「最初の1~3枚目の評価に迷う」との意見があったことから、被験者に画像評価を行ってもらう前に、例題を3枚提示することとした。初めに見る画像が後の画像の評価に影響することも考慮し、例題に使用する画像は順序・種類を被験者ごとにランダムに提示した。また、提示順序によるバイアスを軽減するため、26枚の画像は被験者ごとに提示順序を入れ替え、ランダムに提示することとした。

画像から車両に乗車しているような臨場感を被験者に感じてもらうために、投影時のサイズを2m×3mとし、車内の空間的スケールをしっかりと認識できるサイズでの投影を行った。また、「26枚を連続で見せられると正確な判断ができなくなる」との意見から、間に休憩時間を設けることで対応することとした。

b) 実験結果

まず、被験者の個人属性についてまとめる。被験者は総数で44名であり、男性19名（43%）、女性25名（57%）であった。また年齢層は20代15名（34%）、30代12名

表-6 取得方法の違いによる評価値の違い

		n	平均点	標準偏差	t値	χ^2 検定 自由度	P値
800_1	que.	44	5.8	0.9	8.63	5	0.93
	sli.	154	4.3	1.5			
800_2	que.	44	5.8	0.9	11.01	6	0.92
	sli.	240	4.0	1.5			
800_3	que.	44	5.9	0.9	11.02	4	0.63
	sli.	327	4.2	1.1			
N800_1	que.	44	6.0	0.9	5.83	6	0.91
	sli.	35	4.6	1.3			
N800_4	que.	44	5.9	1	7.42	5	0.78
	sli.	36	4.1	1.3			
N800_5	que.	44	6.1	1	6.25	4	0.47
	sli.	28	4.5	1.2			

※que.：アンケート調査結果，sli.：スライド評価実験結果

(27%)、40代4名（9%）、50代8名（18%）、60代以上5名（12%）であり、20~30代のサンプルが多い結果となった。3.(2)のアンケート調査から得られるデータとの比較のため、性別・年齢層の分布について χ^2 検定をおこなった。その結果、性別に関しては自由度1、 χ^2 値0.01、P値0.91となり、年齢層に関しては自由度6、 χ^2 値0.31、P値0.99となった。したがってアンケート調査とスライド評価実験において、性別と年齢の分布に統計的に有意な差はないといえる。

スライド評価実験における車両ごとの評価結果を一部抜粋したものを図-5に示す。図-6の車内画像は評価の平均点が高かった上位4種である。平均点が高かったものはEXEであり、全画像の中で唯一「大変良い」と評価した被験者が10人に達している。合成画像としてICE・TGVの座席を組み込んだ車内に対する評価値は低く、実験中も被験者からICEの座席は「不揃いにみえる」という意見、TGVの座席に対しては「斬新過ぎて好きになれない」という意見がそれぞれあった。また合成画像においては、座席の雰囲気と車内全体の色彩がマッチせず、不快な印象を与えたためか、評価が低くなる傾向がみられた。アンケート調査において評価値の高かった九州新幹線の車両は、スライド評価実験においては評価値が減少する結果となった。この要因として、アンケート調査は日中に九州新幹線を利用した乗客を対象に行っており、車内が画像の印象よりも明るく、評価環境に相違があった点が考えられる。

九州新幹線の車両である6車種に関してはアンケート調査から得られた主観的評価値の分布についてt検定と χ^2 検定をおこなった。その結果を表-6に示す。t検定の結果、アンケート評価とスライド評価実験の評価値は、どの車両も統計的に有意な差が認められたが、相関係数は0.75で、相対的關係は整合している。また、 χ^2 検定の結果からは、両手法による評価値の分布の間に統計的に有意な差は見られないため、スライド評価実験の有効性がある程度支持できる。

表-7 色彩快適度関数のパラメータ推定結果

X_m について		τ_m について		閾値について	
変数	パラメータ	変数	パラメータ	閾値	値
R_m	44.56 (3.08)	R_m	0.40 (0.01)	μ_0	-10
G_m	-35.25 (-3.33)	G_m	-4.90 (-1.33)	μ_1	-4.59 (-4.43)
Y_m	-89.87 (-1.22)	Y_m	-45.53 (-1.28)	μ_2	-2.42 (-3.87)
B_m	33.43 (0.92)	B_m	35.75 (1.77)	μ_3	-1.19 (-2.60)
N_m	0.05 (0.86)	N_m	-0.02 (-0.54)	μ_4	-0.24 (-0.23)
Po_m	0.29 (1.91)	Po_m	0.14 (1.72)	μ_5	0.80 (1.95)
Ne_m	-0.95 (-3.69)	Ne_m	0.36 (4.06)	μ_6	2.24 (3.75)
				μ_7	10
尤度比		0.468			
サンプル数		1144			

(6) 色彩快適度関数の構築

スライド評価実験で得られた評価値と画像から抽出した色彩値を用いて、オーダーロジットモデルによる色彩快適度関数の推定を行う。

佐川ら⁹⁾は色彩に対する快適度の評価値と画像から得られる色彩値の関係を、重回帰分析の結果から各パラメータを算出している。しかし、アンケート調査やスライド評価実験から分かるように、車内の色彩に対する快適度の評価が線形的に分布しているとは考えられない。そこで、閾値パラメータを推定することのできるオーダーロジットモデルを用い、色彩快適度関数の推定を行う。

a) オーダーモデルによる色彩快適度関数

一般的なオーダーロジットモデルを構築する際、段階的な一対比較データを利用して選択行動を表現する。しかし、本研究で得られたデータは複数の画像それぞれに対する段階評価のデータである。そこでGreen & Hensher¹²⁾が考案したグループデータを利用したオーダーロジットモデルを応用する。

本研究において、スライド評価実験から得られる段階評価のデータは複数画像に対するもの、かつ複数被験者によるものとなる。スライド評価実験では、画像を26枚提示し、被験者一人あたり段階評価のデータを26種類得ている。したがって、画像 m から受ける快適さを X_m としたとき、画像 m から刺激を受けた個人 i が、快適度 j を選ぶ確率は式(2a)および(2b)で表現される。

$$\Lambda(t) = \frac{\exp(t)}{1 - \exp(t)}$$

$$prob(y_i = j | pict = m)$$

$$= \Lambda\left(\frac{\mu_j - X_m}{\tau_m}\right) - \Lambda\left(\frac{\mu_{j-1} - X_m}{\tau_m}\right) \quad (2a)$$

y_i : $pict_m$ に対する個人 i の選択した快適度 ($y_i=1-7$)

τ_m : $pict_m$ に対するスケールファクタ μ_j : 閾値

X_m : $pict_m$ に対する評価値【見た目の快適さ】

ただし、

$$X_m = \alpha_r R_m + \alpha_g G_m + \alpha_y Y_m + \alpha_b B_m + \alpha_n N_m + \alpha_{po} Po_m + \alpha_{ne} Ne_m + const. \quad (2b)$$

X_m : $pict_m$ に対する評価値【見た目の快適さ】

R, G, Y, B : 画像の赤, 緑, 黄, 青の反対色成分

N : 画像に含まれる色彩数 α_i : 各パラメータ

Po : 取得画像ダミー変数 Ne : 海外車両座席ダミー変数

式(2a)におけるスケールファクタ τ_m は、車内画像に依存しており、各車両ごとに閾値が変化することが考えられ、それを補正するためにスケールファクタ τ_m を式(2c)のように構造化した。

$$\tau_m = \exp(\beta_r R_m + \beta_g G_m + \beta_y Y_m + \beta_b B_m + \beta_n N_m + \beta_{po} Po_m + \beta_{ne} Ne_m + const.) \quad (2c)$$

τ_m : $pict_m$ におけるスケールファクタ

R, G, Y, B : 画像の赤, 緑, 黄, 青の反対色成分

N : 画像に含まれる色彩数 β_i : 各パラメータ

Po : 取得画像ダミー変数 Ne : 海外車両座席ダミー変数

スライド評価実験において、合成画像の評価が撮影画像の評価よりも概ね低く、海外車両のTGV・ICEの座席を用いた合成画像では顕著だった。これは合成画像の違和感を被験者が感じ取ったためであると考えられる。これらを補正するため、2種類のダミー変数 (Po, Ne) を導入している。評価対象となる画像が撮影画像の場合は Po を、合成画像のうち座席に海外車両 (TGV・ICE) を組み込んでいる場合は Ne をそれぞれ導入することとした。

式(2a)に組み込む閾値は、各画像の色彩に対する快適度評価の境界となる値である。 μ_0, μ_7 は、理論上無限大の値をとるが、演算上十分に無限大とし得る値を一義的に定め、推定を行っている。

b) 色彩快適度関数の構築結果

前節で示した方法論を用いて、色彩快適度関数の構築を行った。パラメータの推定には数値計算ソフト GAUSSを用いる。

表-7はパラメータの推定結果を示したものである。色彩快適度関数 X_m 内のパラメータの値を見ると、反対色理論による R, B 値が大きく、 G, Y 値の小さい画像が、より評価が高くなるパラメータが算出結果となった。 Y 値、 B 値のパラメータに関しては t 値が低い。

このパラメータ推定結果を用いて、色彩快適度関数から各画像の評価の分布を推定することができ、その結果の一部を表-8に示す。算出した選択確率をスライド評価

表-8 色彩快適度関数による評価分布の推定結果

画像		(単位：人)							色彩 快適度 平均値
		大変 悪い	悪い	やや 悪い	普通	やや 良い	良い	大変 良い	
VSE	実測値	0	1	8	14	11	7	3	4.5
	推定値	0	2	5	8	11	11	6	5.0
MSE	実測値	0	2	6	7	17	9	3	4.8
	推定値	0	3	6	9	11	10	4	4.7
RSE	実測値	1	4	12	11	11	4	1	4.0
	推定値	1	4	9	11	10	7	2	4.3
EXE	実測値	0	1	3	5	8	17	10	5.5
	推定値	0	2	5	8	11	11	6	4.9
800_2	実測値	1	6	10	11	8	6	2	4.0
	推定値	1	6	10	10	9	6	2	4.0
N800_1	実測値	1	2	4	14	11	10	2	4.6
	推定値	1	4	8	9	10	8	3	4.4

実験の被験者数である44に乘じることで、表中の網掛部の推定値を算出した。実測値との相関係数は0.86となり、高い精度で評価分布を推定するこのできるモデルとなった。以後の章で行う交通選択モデルを考慮し、小田急ロマンスカーの車両のみのデータを見ると、相関係数は0.83となる。

4. 車内デザインを考慮した需要予測モデルの構築

(1) 需要予測モデル構築の流れ

交通需要予測モデルの構築にあたっては、まず列車選択モデルの構築し、その効用関数を交通機関選択モデルに組み込む手順を採用した。

列車選択モデルを組み込む理由は、交通機関選択による鉄道と自動車、バスなどとの対比のみでは各車両の色彩の影響やシートピッチなどの車内の設計諸元による効用を計測しきれない可能性が高いと考えたためである。需要予測モデルは、その構築のための選択データ取得に最も適していた小田急ロマンスカーを対象とした。この選定理由として、1)新宿駅一箱根湯本駅間をデザインの異なる優等列車が複数運行されているため、デザインの影響を分析できること、2)競合する交通機関（小田急在来線、自家用車、JR在来線、高速バス）が存在し、利用者が各交通機関を選択可能であるため、選択モデルの構築が可能な路線であること、以上2点が挙げられる。

手順としては、まずロマンスカー利用者を対象にアンケート調査を行い、得られた選択データから列車選択モデルを構築する。このモデルの効用関数に色彩快適度関数や、座席幅・天井高・シートピッチといった空間的変数を導入し、車内デザインが選択行動に及ぼす影響について分析をする。続いて、列車選択モデルで推定した効用関数から算出される車内デザインに関わる効用値を抽出して、需要予測可能な交通機関選択モデルを構築する。このモデルから車内デザインが人間の交通機関選択行動に及ぼす影響を分析することが可能となる。

表-9 選好意識調査における水準

	実際に乗車した車両	仮想車両	
	水準	水準 1	水準 2
乗車時間 (分)	実際に乗車した時間	実際に乗車した 時間+30分	実際に乗車した 時間-30分
車両外観 画像	乗車した車種の外観	乗車車種ごとに2種類を設定 ex)乗車した車種がMSE ⇒ VSEとRSE	
車内画像	乗車した車種の内装		
座席幅 (cm)	実際に乗車した車種	実際の車種 +3cm	実際の車種 -3cm
シートピッチ (cm)	実際に乗車した車種	実際の車種 +10cm	実際の車種 -10cm
天井高さ (cm)	実際に乗車した車種	実際の車種 +30cm	実際の車種 -30cm

(2) 列車選択モデル

a) 小田急ロマンスカー利用者へのアンケート調査

2008年11月8～9・16日の土日3日間で小田急ロマンスカーの利用者を対象に、旅行の行動の傾向を把握するためのアンケート調査を行った。アンケートは箱根湯本駅から小田急ロマンスカーに乗車する利用者に対して直接配布し、郵送回収とした。アンケートの内容は大きく分けて、1)旅行行動調査に関する項目、2)仮想状況下における列車選択、3)個人属性の3つである。

1)については、モデル構築に必要な旅行者の行動を把握するために、乗車したロマンスカーの出発時刻・車種・座席種類、乗車時間変更可否・変更可能幅、旅行目的、旅行中の行程を聞いている。

2)では「箱根湯本駅から乗車した車種」と「仮想的に設定した車両」の2肢選択を行う選好意識調査を行っている。選択の基準として、乗車時間・車両外観画像・車内画像・1人あたりの座席幅・シートピッチ・天井高さの6要素を情報として与えている。実際に乗車した感覚をもとに、車内デザインの異なる仮想の車両の状況を示し、選択をしてもらう。また、仮想的に設定した車種は表-9に示す通り、各要素で2水準を設定した。外観と車内デザインに関しては乗車車種ごとに異なる2車種が仮想列車の水準として設定している。調査に使用したアンケートは、実験計画法を用いて、ロマンスカーの車種ご（デザインが類似しているLSEとHiSEは合わせて1車種としている）に仮想列車を8タイプとし、「5車種×8タイプ=全40種類」を作成した。アンケート配布は、乗車車種とアンケートにある実際に乗車した車種が一致するようにし、車種ごとに8タイプをランダムに配布した。

3)の個人属性では年代・性別・居住地・収入の4項目を聞いている。

アンケートは2,676枚配布し、925枚（34.6%）を回収した。そのうち、モデルの構築に有効なサンプルは574サンプル（21.4%）を抽出した。

b) 列車選択モデルの構築

アンケートから得られた選好意識調査データをベース

に、3.で構築した色彩快適度関数と、車内の空間を示す変数を効用関数に導入し、列車選択モデルを構築する。これにより、色彩による車内デザインの違いを効用関数の中で表現することが可能となり、選択行動への影響を分析することができる。

効用関数を式(3)に示す。説明変数には色彩快適度関数から推定される評価値(以下、色彩快適度)と座席幅・シートピッチ・天井高さといった空間変数、MSE・VSE・RSE・EXEにおける外観ダミー変数と早着不効用の計9つの変数を組み込んでいます。

$$V_{design} = \alpha X_{RCI} + \sum \theta_n Z_n + const. \quad (3)$$

V_{design} : 列車選択モデルの効用
 X_{RCI} : 色彩快適度関数から推定される評価値【色彩快適度】
 Z_n : 各空間変数 α, θ_n : 各パラメータ
 また、選択確率 P_i は式(4)であらわされる。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V_j)} \quad (4)$$

これらを用いて列車選択モデルを構築し、そのパラメータ推定結果を表-10に示す。まず、モデル全体の精度を示す尤度比は0.17であり、符号条件の整合は取れている。また、パラメータのt値をみると、早着不効用に加えて、評価値と内装諸元に関する変数で有意なt値を示している。

このモデルを用いて、表-11に示す条件をモデルケースに色彩快適度の変数に対する感度分析を行った。選択肢1の条件を固定し、選択肢2における色彩快適度を「大変悪い:1」から「大変良い:7」に推移させた際の変化をみる。分析結果を示したものが表-12である。EXEの色彩快適度の推計値は4.7である。選択肢2の色彩快適度が「普通:4」から「やや良い:5」に変化すると、選択肢2の選択確率が17.4%上昇する。さらに色彩快適度が「良い:6」になると選択肢2の選択確率をさらに20.8%上昇させ、選択肢2の選択確率が選択肢1を上回る。

(3) 交通機関選択モデルの構築

列車選択モデルにより、車両デザインのうち、車内の色彩値・座席の幅・シートピッチ・天井高を量的にとらえることができ、外観デザインをダミー変数を用いることで、限定的だが車両デザインの差異を表現することができた。列車選択モデルのデザイン変数の効用値を交通機関選択モデルの効用関数に導入し、車両デザインを考慮した交通機関選択モデルを構築する。

交通機関選択モデルの対象とするのは東京都近郊を出発地とし、箱根地区を目的地とする旅客行動である。交通機関選択モデル構築のために必要なデータ取得のための

表-10 列車選択モデルのパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ (t 値)	
X ₁ :色彩快適度	0.85	(2.65)
X ₂ :座席幅 (cm)	0.23	(7.02)
X ₃ :シートピッチ(cm)	0.05	(5.20)
X ₄ :天井高さ (cm)	0.009	(2.89)
X ₅ :早着不効用(分)	-0.013	(-2.31)
X ₆ :MSE外観ダミー	0.15	(0.65)
X ₇ :VSE外観ダミー	0.74	(3.58)
X ₈ :RSE外観ダミー	-0.20	(-0.86)
X ₉ :EXE外観ダミー	0.15	(0.80)
初期尤度	-397.9	
最終尤度	-328.2	
尤度比	0.17	

表-11 列車選択モデルの感度分析における条件設定

条件	選択肢1	選択肢2
到着時間	希望通り	30分早い
外観	EXE	EXE
車内画像	EXE	可変
色彩快適度	4.7	可変
座席幅	47cm	44cm
シートピッチ	101cm	91cm
天井高	222cm	253cm

表-12 列車選択モデルの感度分析結果

	選択肢2の車内に対する色彩快適度						
	大変悪い 1	悪い 2	やや悪い 3	普通 4	やや良い 5	良い 6	大変良い 7
選択肢1	97.9%	95.2%	89.5%	78.5%	61.1%	40.3%	22.4%
選択肢2	2.1%	4.8%	10.5%	21.5%	38.9%	59.7%	77.6%

アンケート調査と、選択行動の分析に必要な各交通機関の所要時間・費用のLOSデータを取得し、交通機関選択モデルの構築・推定を非集計ロジットモデルにより行う。

a) 箱根来訪者を対象としたアンケート調査

目的地を箱根とする旅客行動のデータを取得するため、2010年11月20日・21日の2日間、箱根来訪者を対象にアンケート調査を行った。箱根町内の3か所(箱根湯本駅前商店街・大涌谷・芦ノ湖箱根町港)でアンケートを直接配布し、郵送回収とした。アンケート調査では、1)旅行行動に関する項目(出発地・目的地、利用交通機関、出発・到着時間・所要時間・旅行目的)、2)個人属性(性別、年齢、居住地、運転免許の有無)を聞いている。2,142枚配布し、回収数は974枚(45.5%)であった。そこから有効サンプルを抽出し、412サンプル(19.2%)を得た。そのうち男性が41%、女性が59%であった。来訪者の主な利用交通機関の内訳は、小田急ロマンスカーの利用者が最も多く37%であり、次いで自動車利用者が33.5%、小田急電鉄在来線利用者13.6%、JR東海道線利用者15.3%とつづく。高速バス利用者はほとんど存在しな

表-13 ロマンズカー各車両の車両デザイン変数の推定値

	色彩 快適度	座席幅 (cm)	シートピッチ (cm)	天井高さ (cm)	外観 ダミー	車両 デザイン変数	
パラメータ値	0.85	0.23	0.05	0.009	-	-	
MSE	4.7	46	98.3	234	0.15	21.7	
車種	VSE	5	47	101	255	0.74	23.1
	RSE	4.3	44	100	222	-0.20	20.6
	EXE	4.9	43.5	100	206	0.15	21.1
	LSE/HISE	4.4	45.5	97	210	0	20.9

表-14 交通機関選択モデルのパラメータ推定結果

説明変数	パラメータ (t 値)
X ₁ :所要時間 (分)	-0.026 (-5.67)
X ₂ :費用 (円)	-0.00090 (-4.80)
X ₃ :車両デザイン変数	0.33 (2.69)
X ₄ :ロマンズカーダミー	-5.99 (-2.23)
X ₅ :自動車ダミー	-0.45 (-1.72)
X ₆ :JRダミー	-0.10 (-0.36)
X ₇ :高速バスダミー	-2.01 (-2.84)
初期尤度	-633.1
最終尤度	-442.4
尤度比	0.30

かった。小田急ロマンズカーの利用者はどの地域にも存在していたが、自動車利用者のうち39%は横浜市居住者であった。またJR東海道線利用者のうち44%は横浜市居住者、次いで大田区居住者が21%となり、居住地によって利用交通機関に違いがある傾向がみられる。

サンプルを居住地別にみると、神奈川県サンプル数の割合が大きく、全体の39%を占めており、ショートトリップデータが多い。東京区部全体のサンプルは44%であった。東京都の中でも世田谷区や杉並区、新宿区、品川区など区西部に位置する区のサンプル数が多く、箱根までのアクセス性の良さが関係していると考えられる。

b) LOSデータの取得

2008年度に行った、ロマンズカー利用者を対象としたアンケート調査での居住地のデータをもとに、今回のモデル構築のLOSデータの代表ゾーンとなる都市を選定した。各地域の市役所ないしは区役所をゾーンの中心と定義する。また目的地のゾーンには、アンケート配布を行う箱根湯本駅前・大涌谷ロープウェイ乗り場前・芦ノ湖箱根町港の3か所を定めた。

自動車による所要時間・高速道路使用料・走行距離のデータをウェブ上の総合ナビゲーションサービスのnavitimeを使用し、データを取得した。アンケート調査を行う日程にあわせ2010年11月20日・21日の両日、8時～17時の1時間おきに、代表都市を出発した際に最も早く目的地に着くことができる所要時間・経路・費用・走行距離のデータを抽出する。代表都市20か所から出発し、箱根のゾーン中心である3か所を目的地とし、1時間あた

り60経路のデータを取得した。

燃料費は、ガソリン代のレートを2010年11月現在で関東圏の平均値であった130円/1とし、燃費を便宜的に15km/lと定め、算出した。また、高速道路・特別道路の使用料と燃料費の和を各サンプルの同行者人数で除することにより、一人あたりの費用を算出している。

鉄道のLOSデータの取得に関しては、アンケート調査期間中に、関東圏の鉄道で目立った遅延は発生しておらず、また高速バス会社からも大きな遅延があった事は公表されなかったため、公共交通機関においてはアンケート調査当日、時刻表通りに運行がされていたと仮定を置いた。自動車LOSデータの取得と同じようにnavitimeのサービスを利用し、各ゾーン間の所要時間と費用を抽出した。移動経路の選択の優先順位として、第一に早く到着すること、第二に費用が安いこと、第三に乗り換えが少ないこと、と便宜的に定め、小田急ロマンズカー利用・小田急在来線利用・JR東海道利用・高速バス利用の各交通機関の所要時間と費用のデータを、自動車のLOSデータと同じく60経路を取得した。

c) 交通機関選択モデルの構築

上述のデータを利用して交通機関選択モデルの構築を行う。モデルの推定には非集計ロジットモデルを用いる。交通機関選択モデルにおけるロマンズカーRC、小田急在来線Local、自動車car、高速バスbus、JR東海道線JRの各効用関数は式(5a)～(5e)であらわす。

$$U_{RC} = \theta_c C_{RC} + \theta_t T_{RC} + \gamma V_{RCi} + \text{const.} \quad (5a)$$

$$U_{Local} = \theta_c C_{Local} + \theta_t T_{Local} \quad (5b)$$

$$U_{car} = \theta_c C_{car} + \theta_t T_{car} + \text{const.} \quad (5c)$$

$$U_{bus} = \theta_c C_{bus} + \theta_t T_{bus} + \text{const.} \quad (5d)$$

$$U_{JR} = \theta_c C_{JR} + \theta_t T_{JR} + \text{const.} \quad (5e)$$

U_i : 各交通機関の効用関数 C_i : 各交通機関の費用
 T_i : 各交通機関の所要時間 V_{RCi} : 車両デザイン変数
 $\theta_c, \theta_t, \gamma$: 各パラメータ

式(5a)における車両デザイン変数 V_{RCi} は、4. (2)で構築した列車選択モデルの効用関数から算出することで得られる推定値である。列車選択モデルの効用関数のうち、デザインに関係する、色彩快適度・座席幅・シートピッチ・天井高・外観ダミー変数から、各ロマンズカーの車両のデザインを客観的に評価可能なデザイン変数を推計する。その推計値を表-13に示す。これらの値を小田急ロマンズカーの効用関数に反映させた交通機関選択モデルの推定結果を表-14に示す。

構築したモデルの尤度比0.30の精度が得られた。所要時間および費用のパラメータが負の符号、車両デザイン変数のパラメータは正の符号で推定され、t値も良好な値を示している。

5. 車両デザインが需要に及ぼす影響の分析

4.で推定した交通機関選択モデルを使用し、車両の色彩の変化が需要に及ぼす影響を分析する。車両デザイン変数以外のLOSデータを固定し、デザインの需要に与える影響をみる。今回は例としてEXE車両に乗り込むことを想定し、この色彩快適度の値を7段階に変化させた時の色彩の影響を分析する。

サンプル中の交通機関のシェアの実績値と分析結果を示したものが表-15である。小田急電鉄在来線Localが過少推定される結果となった。この原因として、小田急在来線を利用したサンプルの平均同行者数が全体の平均値よりも多かったことがあげられる。サンプル全体の平均同行者数が2.8人であったのに対し、小田急在来線を利用したサンプルの平均同行者数は、平均よりも多い4.2人であった。自動車の一人あたりの移動費用の計算方法が、同行者数が多いほど費用が安く算出されるものであるため、在来線利用者が過少推計され、その分が自動車利用者として推計される結果になったと考えられる。

色彩快適度が「最も悪い：1」の時には自動車が圧倒的な選択のシェアを占め、ロマンスカーの選択シェアはJR東海道線よりも低い結果となる。しかし色彩快適度の値が上昇するにつれ、ロマンスカーを選択する確率が上昇する傾向がみられる。色彩快適度が「良い：6」で自動車とのシェアが逆転する。EXEの色彩値から算出される色彩快適度は4.7であり、交通機関選択モデルによる推定結果では自動車のシェアに及ばないことが表から分かる。しかし、例えばEXEより色彩快適度の推定値が高いVSE（推定評価値：5.5）を導入することで、ロマンスカー利用者の需要が5.4%増加することが分かった。

現在、小田急電鉄では土日祝日のダイヤでVSEが新宿一箱根湯本間を1日に6往復を運行している。この車両が供用する際にEXEからの転換が図られたと仮定し、その時のデザイン車両の運用に伴う増収について試算する。表-13に示すように、VSEはEXEよりも、色彩快適度・座席幅・シートピッチ・天井高さのすべての変数において優位な値となっている。なお、両車両間で1編成あたりの車両数はVSEは11両、EXEは6両と異なるが、総座席数は同じ358席となっている。

上述の条件下で、今回の調査対象日程であった土日祝日の年間あたりの増収についての試算を行う。新宿一箱根湯本間の1日あたりの輸送力は10,414人、料金は片道で2,020円（内訳は運賃1,150円、特急料金870円）である。土日祝日のロマンスカーの平均乗車率を50%、年間の土日祝日の日数を104日と仮定すると、年間で約1億1千万円の増収と試算できる。車両更新期間を13年とし、4編成を製造したと仮定すると、供用期間中、土日祝日のみで一編成あたり約3億8千万円の増収となる。したがって、

表-15 交通機関選択モデルにおける感度分析結果

交通機関	実績値	色彩快適度						
		大変悪い 1	悪い 2	やや悪い 3	普通 4	やや良い 5	良い 6	大変良い 7
RC	37.0%	12.1%	20.1%	30.3%	36.9%	44.4%	50.7%	60.0%
Car	33.5%	68.0%	63.3%	56.6%	50.0%	47.8%	44.2%	39.1%
Local	13.6%	1.5%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
JR	15.3%	18.4%	15.5%	12.1%	12.1%	6.8%	4.1%	0%
Bus	0.6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

デザインされた鉄道車両を導入することで、他交通機関からの転換が見込め、鉄道運賃の収入増加につながるといえる。

6. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

- 1) デザインの数量化技術の検討を行った。車内デザインのうち、座席幅や天井高さといった比較的容易に計測できる空間に関するものに加え、デジタル一眼レフカメラによる撮影画像を使用することで、車内の色彩を量的に表現することができた。
- 2) 利用者の鉄道車両の車内デザインに対する主観的評価値を得るためにスライド評価実験を行い、その方法論の提案をおこなった。これにより、車内の色彩値とそれに対する利用者の評価値の分散の拡大が可能となる。また、仮想状況下で得られる利用者の主観的評価値が、実際に鉄道車両に乗り込んだ利用者の主観的評価値との整合が取れることを確認した。仮想評価のサンプル数は多くはないが、統計的に有意な差がないことが分かった。
- 3) 数量化した車内の色彩値とスライド評価実験から得られる主観的評価値を用いて、車内の色彩と利用者の評価の関係性を表す、色彩快適度関数の構築を試みた。車両のデザインごとに利用者の評価分布には差があるため、本論文で提案したオーダーモデルを採用することによって、評価の分布を車両ごとに表現可能なモデルを構築することができた。スライド評価実験から得られた評価値をもとにモデルを構築し、推定値と実測値の相関が0.86と、高い再現性を示した。
- 4) 需要予測モデルに色彩快適度関数と空間変数を組み込むことで、選択行動への車内デザインの影響を詳細に分析可能なモデルを構築した。また、箱根地区を目的地とする交通機関選択モデルを構築の際、その効用関数に列車選択モデルから推定した優等列車に関するデザイン変数を組み込むことで、車両デザインを考慮した交通機関選択モデルを構築した。これを用いて、車両デザインのうち、色彩に対する利用者の快適度の変動による機関選択のシェアの変化を確認することができ、優等列車の車内デザインに対する色彩快適度が上昇すると、優等列車

を選択する確率が増加し、質の高いデザインの車両を導入することの有用性を示すことができた。

謝辞：本研究は、科学研究費基盤（C）課題番号21560599の助成を受けたものである。また研究を進めるにあたり、アンケート調査および鉄道車両の画像取得に多大なる協力をしていただいた小田急電鉄株式会社、九州旅客鉄道株式会社、東武鉄道株式会社と、研究進行の上でご助力をいただいた増淵迪恵氏、佐藤宏紀氏、一木理乃氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 清水公男：デザインを科学する 感性工学へのいざない, *Railway Research Review*, pp.15-20, 1990.
- 2) 田中綾乃：新幹線の魅力を考える, *Railway Research Review*, Vol.58, No.6, pp.16-19, 2001.
- 3) 鈴木浩明, 白戸宏明, 小美濃幸司：列車の車内快適性に影響する要因の特定, *鉄道総研報告書*, Vol.11, No.11, pp.31-36, 1997.
- 4) 森川高行, 佐々木邦明：主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル, *土木学会論文集*, No.470/IV-20, pp.115-124, 1993.
- 5) 佐藤宏紀, 増淵迪恵, 岩倉成志：高質な鉄道車両デザインの効用計測に関する研究—小田急ロマンスカーを対象に—, *J-rail*, pp.749-752, 2009.
- 6) 佐川賢, 瀧澤惣一, 斎藤建雄：色彩コンフォートメータの開発, *日本色彩学会誌*, Vol.31, No.SUPPLEMENT, pp.158-159, 2007.
- 7) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会, 1998.
- 8) 五十嵐淳博, 平野勝也：山間部の外部景観に対する法面・擁壁・覆道の知覚過程, 第26回土木計画学研究発表会, 2002.
- 9) 遠藤裕志, 山田宏之：街路樹のある街路空間における原理・スライド評価実験による心理評価の比較研究, *ランドスケープ研究*, Vol.71, No.5, pp.675-678, 2008.
- 10) 八束知恵美, 福多佳子, 田村明弘, 山本早里：室内における色彩と照明の組み合わせによる心理的効果について—高齢者と若年者を被験者とするCGで作成したスライド評価実験—, *日本建築学大会学術講演梗概集*, 2000.
- 11) 岡部衣羽子, 須永修通, 室恵子：屋上の緑化形態による心理評価の違いに関する研究—スライド評価実験による検討—, *日本建築学大会学術講演梗概集*, 2001.
- 12) Greene, W. H. and Hensher, D. A.: *Modeling Ordered Choices*, Cambridge, pp.167-170, 2010.

(2011.10.26 受付)

ESTIMATING VALUE OF THE INTERIOR DESIGN OF A HIGH SPEED TRAIN USING TRAVEL DEMAND MODEL —CASE STUDY OF THE ODAKYU ROMANCE CAR—

Takeshi AKIYAMA and Seiji IWAKURA

This study developed a travel demand model considering the effectiveness of high quality interior design of a high speed train. There are already some cases of interior design of high speed trains that are designed by professional designers in Japan. This has the potential of not only to have a comfortable trip for users, but also to increase travel demand volume. However, the high speed train interior design strategy has not spread nationwide. One of the reasons is that the relationship between increased demand and cost of design remains unanswered. The travel demand model in consideration of the design is required. This paper presents ; 1) measurement method of the train interior design ; 2) estimation of a color preference function ; 3) the method of evaluation of the train interior ; and, 4) estimation of a travel demand model incorporating a color preference function. As a result, the increased revenues designing the high speed train are confirmed by using the constructed model.