原著論文

ラフ集合による道路走行時の快適性に影響する 景観構成要素に関する一考察

保田 敬一*, 山崎 元也**

* 国際建設技術協会, ** 東京農業大学

A Consideration on Landscape Elements Affecting Road Comfort by Rough Set

Keiichi YASUDA* and Motoya YAMASAKI**

* Infrastructure Development Institute-Japan, 23-6, Sekiguchi 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 112-0014, Japan

** Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan

Abstract : Improving ride comfort is important both from the viewpoint of road user satisfaction and in order to improve the effective use of existing social infrastructure. In the past, ride comfort was usually examined with multivariate analysis using road landscape elements as well as questionnaire results. This study uses rough set analysis to investigate the landscape features such as alignment, slope surface and planting of a specific road section in order to improve ride comfort. The most frequently employed concept even in rough set analysis involves the use of decision rules. In this study, a Covering Index (CI) is used to indicate what sample of the whole decision class corresponds to the decision rule. Based on the CI, road alignment, slope surface and planting can be considered factors that influence ride comfort.

Keywords : Road, Comfort, Rough set, Road alignment

1. はじめに

既存の道路ストックの有効利用という観点からすると、利用者増に直結する満足度向上は重要なテーマである。国民（道路利用者）が求めるサービスの視点も安全性・信頼性・快適性であるという認識のもと、中長期的なサービス目標として、快適な走行性の提供、良好な沿道の景観維持、渋滞等の道路交通情報を的確に提供するなどの施策が検討されている[1]。このように、快適な走行性や良好な景観は道路維持管理においては重要なキーワードになっており、舗装点検要領でも快適性の向上を重視した内容に改訂されている[2]。

国は快適性向上や良好な道路景観形成を図るために、舗装の状態を計画的に把握して修繕計画を策定することや、沿道景観維持のための施策を行っている[1]。この中の舗装修繕計画については、国や地方自治体など道路管理者は路面の状態をMCIやIRIなど客観的指標にて管理し、所定のサービス水準を確保するための点検・補修・改築計画を策定している。一方、沿道景観の維持については、道路管理者が「清掃」「除草」「剪定」に関する頻度設定などを実施してきているが、道路景観はその構成要素が多いことと、道路景観形成の関係者が多岐に渡るため、効果的な対策を実施することが困難な状況にある。また、道路景観を構成する様々な要素とその内部景観評価との関係はこれまでにシークエンス景観の印象評価という観点から、例えば深堀ら[3]や杉山ら[4]を始め過去数多く研究されてきている。

これまでの道路走行時の快適性向上に対する取り組みを俯瞰した結果を以下に示す。高速道路会社は快適性向上のた

めに事故防止策や渋滞解消施策、SA/PA施設の充実を目指しているが、道路構成要素（線形、のり面・植栽など）を改善して走行時の快適性を向上させようという取り組みは遅れている。しかも、快適性を向上させるための付帯施設の整備などは進んでいるが、維持管理において道路構造や植栽などの修景を改善することにより快適性を向上させる具体的な措置についての知見はほとんどない。また、道路維持管理に関わる指標は舗装路面の状態を説明するIRIやMCIなどの平坦性やひび割れ、わだち掘れなどを表現する数値しかない。走行時の快適性を管理する指標そのものも管理者サイドにはほとんどなく、仮にあったとしても快適性を説明する指標はこれらIRIなどの路面性状指標とは別に管理されているし、リンクもとれていない。

著者らは、既往の研究にて、道路走行時の快適性向上には景観が影響すると仮定し、観光用道路である箱根ターンバイクを対象にして、のり面形状、のり面状態、植栽などの景観要素および道路線形が道路景観評価および快適性評価に与える影響を検討した[5]。そして景観性向上の視点から快適性をコントロールすることを試みた[5]。この研究では数量化理論により得られたカテゴリスコアを用いることにより、快適性が高くなる道路構成要素を抽出することが可能となったが、アンケート対象人数が多くないことや、多重共線性やサンプル数の関係から景観や快適性に関係する道路構成アイテムを限定せざるを得なかったことなどから全ての道路構成要素を反映したものとはなっていない。数量化理論による分析では道路を構成する景観要素を抽出し、個々の景観構成要素の最適解を組合せることで全体最適を図ろうという要素還元主義に基づいている。この方法ではデザイン要素が多くな

ると部分最適が全体最適とはならないケースが生じる。すなわち、人は評価する際に10近くもあるアイテムを全て考慮して判断しているのかという疑問があり、もっと大まかな区分けによる、少ないアイテム／カテゴリの組合せにて評価する方が現実的ではないかという点に着目し、ラフ集合の適用を考えた。そこで、本論ではサンプル数の制約や多重共線性の問題のないラフ集合を用いて快適性に影響する道路構成要素を考察することを目的とする。

本研究では、維持管理段階において走行時の快適性を向上させるための施策を提案するために、快適性評価に影響を与える道路構成要素（線形、のり面・植栽など）を把握することで、道路構造やのり面・植栽を含めた景観がどのような特徴をもっているのかが整理でき、快適性向上のための施策に直結することができるようになる。これまで舗装維持管理と利用者満足度あるいは快適性とが別々に管理されてきたものを快適性指標による統一した維持管理という状態へ移行していくことが可能となる。すなわち、快適性を向上させるために舗装の路面改良を行う方法と、走行時の景観を修景することで快適性を向上させる方法とが補修工法選定という場面で検討できるようになり、補修工法の選択肢がこれまでよりも増えることになる。

本研究では、特定の路線を対象に、走行時の快適性を向上させるためには道路構造あるいはのり面・植栽を含めた景観がどのような特徴をもっているのかをラフ集合を用いて検討する。ラフ集合により求められたカテゴリの組み合わせで表される決定ルール条件部が結論となる決定クラス全体のどの程度のサンプルに該当するかを表す指標として、C.I. (Covering index) という考え方を用いる。このC.I.値をもとに快適性に影響する道路構造およびのり面・植栽要素を考察する。これにより評価に影響する道路構成要素が把握できる。さらに、ラフ集合と数量化理論との比較や維持管理面での修景改善方法の具体的な提案を行うことで、維持管理面での留意点がより明確になる。

以下、本論の構成を以下に示す。1章では、本論の背景と必要性および目的を、2章では既往の研究と本論の位置づけを示す。3章では道路の快適性に影響する項目を、4章ではラフ集合の概要と決定ルール抽出方法を示す。5章ではラフ集合を用いた道路走行時の快適性評価について、決定クラス数の比較や選考の決定ルールに対する考察、数量化理論との比較や維持管理面での修景改善方法の提案について述べる。最後に、6章では本論の結論と今後の課題を示す。

2. 既往の研究と本研究の位置づけ

2.1 道路景観と快適性

道路利用者へのサービス指標で最上位に位置付けられるのは乗り心地等の満足度があるが、その満足度へ影響を与える舗装の性能として安全性、円滑さ、快適性、環境という機能があげられる[6]。そのため、国、都道府県、市町村、高速道路会社などの道路管理者は渋滞の解消や道路付帯施設（情報提供、

SA/PAなど）の充実、路面の平坦性改良、事故数低減などに取り組んでいる。中でも道路の快適性向上については近年よく取り上げられるようになってきている。平成28年10月に改訂になった舗装点検要領[2]でも快適性の向上を重視した記述となっている。

道路インフラの観点からみると、道路走行時の快適性を向上させるためには、舗装の平坦性や凹凸などの路面状態はもとより、走行時に視界に入ってくる景観の評価を良くすることも重要となるという既往の研究があり[7]、景観はドライブの満足度を高めるのに効果があることがわかる。また、高速道路会社の方針でもアウトカム指標の中で快適性の向上を取り上げているし、快適性向上のための事故防止や渋滞解消施策、PA/SA施設の快適性向上などを目指している[8]。

本論で対象としている道路景観を構成する要素とその内部景観評価との関係を把握することは、シークエンス景観の印象評価という観点から過去多く研究されてきている。深堀ら[3]は、高速道路の走行景観を対象に、シークエンスを構図変化の連続としてとらえ、構図の変化自体の評価構造を把握している。被験者実験から計測した評価から特定区間の動的景観を定量的指標によって評価している。安藤ら[9]は、高速道路走行において地域景観要素の眺めを含む印象的シークエンス景観の構成である原型を提示し、事例分析より原型に該当するそれぞれの具体的な型を提示している。古市ら[10]は、首都高速道路の曲線区間を含む複数の路線で評価実験を行い、運転者の眼球運動、曲線部の車両の遠心加速度と曲線線形を含む道路環境に関連付けて運転者のヒューマンエラー発生原因を考察している。星子ら[11]は沖縄自動車道におけるシークエンス景観の構造分析を行い、印象的な景観を体感できる見せ場を抽出し、植栽による新たな見せ場を創出することで全体のシークエンス景観を演出する方法を提案している。中島ら[12]は沿道景観の有無により運転者の運転挙動の変化を明らかにする目的で、実験を行っている。特定の被験者では景観あり走行では速度低下を引き起こしたり、景観を排除した場合は注視回数や注視時間ともに減少する傾向にあることを示している。角湯ら[13]は、道路用遮音壁の景観配慮事例を検討している。景観対策の効果や課題をヒアリングし、景観配慮事項と対策を論じている。二ノ宮ら[14]は、シークエンス景観における注視行動特性から景観の評価構造を検討し、さまざまな機能を現地実験から把握し、景観と機能とが両立した道路空間要素の配置技術の提案を行っている。

杉山ら[4]は「快適性」についての道路内部景観評価尺度の構築を試みている。静止画のCGを用いた印象評価実験より、曲率半径および対向車線側の側方勾配の影響が特に大きく、次いで橋梁、走行車線側の側方勾配、道路両側の表面材料が影響すると論じている。兵庫ら[15]は道路構成要素以外に着目し、シークエンス景観の印象評価実験から、「景観が良い」と感じた区間には、遠景の山並みや中景の田畑などの眺望景観や開放感を感じる景観が続いたり、

ラフ集合による道路走行時の快適性に影響する景観構成要素に関する一考察

近景の並木などの統一感のある区間が出現すると結論づけている。また、奥谷ら[16]は、脳波特性は快適さの指標となりうると仮定し、直線・曲線区間、コンクリート壁の有無、付属工作物の有無などと評価の関係を論じている。しかし、対象が郊外の見通しの良い道路、あるいは、生活道路で曲線区間には周りを構造物に囲まれ見通しがきかない区間が主になっており、植栽の多い山間部の道路とは異なっている。

以上、既往の研究では道路線形や修景と快適性の評価とは直接リンクしていない。また、快適性を向上させるための要素の整理や道路構造、付帯施設などの整備効果を確認しているが、維持管理段階での運用において道路構造や植栽など修景改善により快適性を向上させるための具体的な措置については言及していない。すなわち、植栽やのり面等を維持管理段階で修景すると快適性の評価がどのように改善されるのかという観点からの知見は少ない。このような知見を求めるためには、道路景観構成要素と快適性などの評価との関係を把握する必要がある。路面の快適性を向上させるためには切削オーバーレイなどの補修が必要となるが、例えば、舗装以外の道路構成要素、のり面や植栽等の状態を変更することで快適性を改善することができれば、維持管理での補修工法選択で自由度が高くなり、選択肢が増えることに繋がる。

2.2 本研究の位置づけ

以上の背景より、本研究では、箱根ターンパイクを対象に、走行時快適性を向上させるためには道路構造あるいはのり面・植栽を含めた景観がどのような特徴をもっているのか、また、それらの道路構造およびのり面・植栽要素が景観評価にどのような影響を与えるのかラフ集合を用いて検討することを目的とする。

ラフ集合の概念は、1982年にポーランドのZdzislaw Pawlakによって提唱された[17]。ラフ集合の適用例としては、商品を対象にしたものが多く[18-20]、特に文献[21]に詳しく記載されている。文献[18-21]では主に商品を対象にしており、アイテム数も10以下、同様にサンプル数も10以下のケースが多い。商品では事前にデザイン要素となるアイテム数を検討し、できるだけそれらを少なくなるようにしていると想定される。あまりアイテム数やサンプル数が多くなると、ラフ集合による分析に時間がかかるか、あるいは分析不能になる可能性を排除していると考えられる。しかしながら、ラフ集合を道路景観性評価に適用したような事例はほとんどみうけられない。

本研究では、ラフ集合の中でも決定ルールを考え方が最も多く使用されており、カテゴリの組み合わせで表される決定ルール条件部が結論となる決定クラス全体のどの程度のサンプルに該当するかを表す指標として、C.I. (Covering index) という考え方をを用いる[22]。C.I. 値の高い決定ルール条件部を考察することで、快適性に影響する道路構造およびのり面・植栽要素を抽出する。

3. 道路の快適性に影響する項目

3.1 快適性を確保するための要素

走行快適性を確保するための必要な構成要素は、①道路構造(線形、車線数、幅員、トンネル)、②交通付帯施設(PA, SA)、③道路情報(質と量)、④道路保安全管理(路面性状、トンネル内視環境、周囲の景観)、⑤交通環境・その他(交通量、渋滞、事故)である[23]。文献[23]でもこの中で費用をかけないで改良・工夫を行う方法として②③④を挙げている。本論でもこの①から⑤の中で維持管理面での費用対効果を考え、できるだけ費用をかけずに済む工夫・対策として、道路保安全管理の中の路面性状と周囲の景観を考えた。舗装は永久構造物ではなく10年～20年の間に補修(切削オーバーレイ、打ち替えなど)されるものであり、近年のIRI調査に代表されるように、路面平坦性は乗り心地と直結しており、補修の要否の判断指標としても採用されるようになってきている。利用者からの走行時の苦情(段差やわだち掘れなど)が多ければ舗装の修繕を実施せざるを得なくなるわけである。道路線形は改良するのに多大な費用がかかる。付帯施設や道路情報は通常走行時には快適性にあまり影響しない。交通量、渋滞、事故も道路管理者側はコントロールすることが難しい。道路景観については植栽の管理・補修工事を定期的の実施しているように、のり面・植栽の景観は管理者側の意思で景観性向上に資するような工夫・配慮・改良が可能である。

路面の平坦性を改善すれば快適性は向上すると推察されるが、これには費用もかかる。道路景観はドライバーの満足度に大きく影響していることから快適性にも関係が深いと考え、本論では景観性能を向上させると快適性も良くなると考えた。

よって、本論では景観性能を向上させることによりどの程度快適性が改善されるのかを検討することを目的とした。

3.2 対象路線

対象とした路線はマツダターンパイク箱根である。神奈川県小田原市から足柄下郡箱根町を経由し、足柄下郡湯河原町に至る延長15.782 kmの観光有料道路であり、特徴的な景観を持っている。すなわち、起点側から4 kmほど続くあじさいレインボーロードと呼ばれる道路脇に咲き誇る四季の花々や春の桜のトンネル区間(新緑の季節には緑のトンネル区間になる)、眼下に広がる相模湾の景色を一望できる湘南ビュー展望台、芦ノ湖や富士山を眺望できる大観山ビューラウンジなど季節によって全く違った雰囲気を楽しむことができる。

道路構造・植栽面に着目すると、トンネル区間がなく、切土や盛土区間が多い、建造後かなり年数が経つので周辺の樹木が生育していることがあげられる。このような景観特性以外にも、建造後年数がたつため、維持管理が重要になってきており、本道路の売りである景観面を重視しつつ、かつ、道路利用者の快適性を向上させる取り組みが求められている。本論では快適性を向上させるために景観要素との関連を検討しているが、対象として選定した箱根ターンパイクは

研究対象として申し分ないと考えている。なお、相模湾や富士山を眺望できるような景観シーンはそれだけで利用者の満足度を高めることが可能で、快適性向上にも寄与すると考えられるが、本論で対象とするのは維持管理面でコントロールできない特殊眺望スポットではなく、箱根ターンパイクの植栽やのり面など維持管理面である措置をすることにより評価が改善されるであろうと思われる区間を対象としている。

3.3 景観構成要素

道路景観には視点場の位置によって内部景観と外部景観とがあり、内部景観も視点の動きによってシーン景観（歩く、またはたたずんでみる景観）とシーケンス景観（走行車両から見る景観）とに分類できる（図1参照）。本論では走行中の快適性を対象にしているため、シーケンス景観について考えるものとする。シーケンス景観における道路景観構成要素については2章でも述べたようにこれまで検討がされてきており、杉山らの研究[4]で用いている道路景観構成要素を表1にとりまとめる。この表1から本論で用いる景観構成要素を抽出した。この他にも、道路施設（休憩所）、照明、標識、橋梁用防護柵なども道路景観構成要素に該当する。この中から、非常停車帯、花などの目立つ植栽、ガードレールを景観構成要素として抽出した。他に、空の面積や明暗も快適性に影響する要素として対象に加えた。これらの要素は、事前に対象路線を複数名で何回も走行し、快適性に関係のあるアイテムを聞き取り調査した結果から判断している。

表1から道路線形とりのり面・植栽を景観構成要素として選定した理由は以下のとおりである。道路線形は本論でも同じように採用している。自然風景については箱根ターンパイクで評価を行った区間のほとんどが山地であったため対象には選定していない。また、表1でいう道路構造物は立ち上がりのある橋やトンネルのことであり、箱根ターンパイクではそのような立ち上りのある橋は存在しないため、景観構成要素としては除外している。道路横断面におけるのり面勾配につ

図1 道路景観の分類

表1 道路景観構成要素 [4]

道路線形	道路曲線半径	Rの大きさを区分
	道路カーブ方	左カーブ、直線、右カーブ
	道路縦断勾配	下り勾配、平坦、登り勾配
自然風景	自然風景（海、平地、山地）、景勝地など	
道路構造物	橋が見える（形式、立ち上がり高、延長、色彩など）	
道路横断面	走行車線側	のり面勾配（開放、緩斜面、急斜面）
		表面材料（草本、高木、低木、コンクリート面、ネットなど）
	対向車線側	のり面勾配（開放、緩斜面、急斜面）
		表面材料（草本、高木、低木、コンクリート面、ネットなど）
	道路幅員（片側1車線、片側2車線）	

いては本論ではのり面形状として切土、盛土で表現し、表面材料についてはのり面の状態として表1と同様に、草本、高木、低木、コンクリート面（ブロック積）、ネットを考慮している。なお、本論でのり面・植栽という表記にしているのは、植栽は維持管理段階で構造物に比べて比較的容易に改変がし易いことがその理由で、植栽を草本、高木、低木などに分類している。表1でいう走行車線は本論では進行左側、追越車線は進行右側を表している。表1に示す道路幅員は箱根ターンパイクの場合、片側1車線のため分類はしていない。

なお、本論では、道路管理者から借用した設計図面および走行時撮影動画をもとにして、景観に関連するアイテムを検討した。景観に影響する要因として「のり面形状（進行方向左）」、「のり面形状（進行方向右）」、「のり面の状態（進行方向左）」、「のり面の状態（進行方向右）」、「縦断勾配」、「空の面積」、「明暗」、「非常停車帯」、「花などの目立つ植栽」、「ガードレール」、「平面線形（R）」を路線全線にわたって整理した。

4. ラフ集合とは

4.1 ラフ集合の概要

ラフ集合の特徴は、ある対象を特定する際に、その特徴が属する集合の範囲の情報を正確に記述するのではなく、大まかに分類・設定することにより、対象の集合の適度な情報の記述を求めるところにある。すなわち、分析対象の特徴が把握できることになる。

例えば、人間はあるモノや人を特定する際に、全ての特徴や要素、属性をみて判断するのではなく、その対象の主な特徴だけを把握して特定につなげていると考えられる。外見上のある要素から端的に説明できる要素を探そうとする。しかし、一つの要素だけで説明出来ない場合は複数の要素、「長身で、メガネをかけていて、体格が良く・・・」という属性値の組合せを探すことで多くの人の中から目的の人を特定することになる。待ち合わせの場所にいる多くの人の中からAさんを探してもらう際は、「長身で、メガネをかけていて、体格が良い人」といった性質を列挙することがよく行われている。このように、日常では「メガネをかけている」や「背が高い」というように、ある属性に関して対象を大まかに分類することが一般的である。正確に説明するには、身長180 cm、黒縁のメガネをかけている人、BMIが28以上というように、より詳しい情報を提供しなければならないが、正確な計測が伴うためこれでは対象を特定することは難しい。荒い記述は対象を十分に特定できないデメリットはあるが、一方で細かい記述は対象をより精密に特定することができるが、本質が見極め難くなるという欠点も持つ。したがって、現実的にはほどよい記述の仕方が望ましいと考えられる。つまり、ラフ集合はラフな記述の極少の属性値の組み合わせ（単独も含めて）で特徴を表現することを可能とする。

ラフ集合の特徴としては、多変量解析で問題となる多重共線性の問題やカテゴリ数がサンプル数よりも少なくなくてはならないという制約がないことも挙げられる。

ラフ集合による道路走行時の快適性に影響する景観構成要素に関する一考察

4.2 道路景観評価にラフ集合を適用することの意義

道路景観評価と道路構成要素との関係を把握する目的では、重回帰分析や数量化理論などがよく用いられているが、ラフ集合を適用した研究はほとんどみあたらない。ラフ集合の適用例は商品が多く、アイテム数も10以下、サンプル数も10以下のケースが多い。この理由は商品はターゲットの属性（年齢、性別、職業、嗜好など）が細かく決まっており、多品種大量販売を目的にしているためであり、単品受注生産をしている社会インフラとの違いがある。

道路の景観設計では、要素還元主義を前提とした考え方に従って、のり面形状や植栽、路面、分離帯、高欄や照明などの付属物など細かいデザイン要素に分割して設計・評価を行っている。デザイン要素の数は商品に比べて格段に多い。しかし、各デザイン要素は設計を行う際に他のデザイン要素と何らかの関係があることが多く、各デザイン要素が全て独立したものと考ええることには無理がある。すなわち、各デザイン要素は独立して設計しているにもかかわらず、隣接するデザイン要素や全体的なバランスや評価などが最終的に求められるため、必ずしも各デザイン要素が独立となっているとは言いがたいのが現状である。人のもつ感性は従来の工学的な分野と異なって、どうしても説明しようとする項目間（変数または属性）が少なからず関係のあるものになってしまうことが多い。要素還元主義による方法では、数量化分析によって得られるスコアの高いアイテム・カテゴリを改善することで評価を向上させることが可能となるため、代替案の検討には有用であり、これまで景観設計の現場等で多く適用されている。しかし、このような多くの細かいデザイン要素に分割して設計・評価を行うことが有効かどうかは常に疑問が付きまとう。数量化理論では説明変数の数だけスコアが算出される。多ければ10以上のパラメータが判断に関係することになる。人は評価する際に本当に10以上のアイテムを全て考えて評価しているかどうかという疑問である。もっと大まかな区分けによる、少ないアイテム／カテゴリの組合せにて評価の方が実際に適合しているのではないかと、すなわち、ラフ集合を適用する方が利点が多いと考えた。ラフ集合の利点は多重共線性の問題を気にすることがないこと、さらに、カテゴリ数がサンプル数よりも少なくはならないという制約がないことがあるが、数個という少ないカテゴリ組合せによる決定ルールで景観を評価の方が人間の試行判断に合致しているのではと考えた。

5. ラフ集合を用いた道路走行時の快適性評価

5.1 感性アンケート調査

評価者は東京農業大学造園科学科の学生148人を対象に実施した。箱根ターンパイクの走行映像動画を動画編集ソフト（Adobe Premier pro）を用いて1区間100m間隔で区切った。評価区間の選定では様々なパターンの道路形状と道路景観が含まれるように注意し、往路と復路の中から40区間を選定した。そして、100mの道路景観動画（約9秒間）の後「評価をお願い

写真1 評価用動画の一部分

します」と流れる静止画を5秒間流し、次の100mの道路景観動画が流れるように40区間分の道路景観を1本の動画に編集した。編集動画の一画面を写真1に示す。景観の印象評価では、とても良い(5)、良い(4)、普通(3)、悪い(2)、とても悪い(1)の5段階のSD（Semantic Differential）評価を行った。

5.2 決定表の作成

ラフ集合を用いて解析するためには、まず決定表を作成する必要がある。決定表は数量化理論での分析におけるアイテム／カテゴリ表と同類であり、本研究で作成したアイテム／カテゴリ表（表2、表3参照）を決定表として表4のように置き換えて作成した。サンプル数は40である。

表4は「景観評価」の決定表の例である。ここで、Yは決定クラス（景観性）を指す。この表示例では決定クラスを1, 2, 3としている。U01, U02, U03はサンプルであり、S1, S2, S3・・・S10, S11（a, b, c,・・・j, k）は表2のアイテムと対応しており、それぞれ「法面形状（進行方向左）」から「ガードレール」に対応する。決定表に示すa1, c2などは、英字+数字の形式をとっており、S1列のa1は「法面形状（進行方向左）／切土」を、S3列のc5は「法面状態（進行方向左）／なし」を表現している。

表2 アイテム／カテゴリの一覧表

名称	記号	カテゴリ				
		1	2	3	4	5
法面形状（進行方向左）	a	切土	盛土			
法面形状（進行方向右）	b	切土	盛土			
法面状態（進行方向左）	c	ブロック積	モルタル吹き付け（ネットあり）	高木	低木	なし
法面状態（進行方向右）	d	ブロック積	モルタル吹き付け（ネットあり）	高木	低木	なし
縦断勾配	e	上り勾配10%以上	上り勾配10%未満	下り勾配10%未満	下り勾配10%以上	
平面線形	f	直線	左曲線	右曲線		
空の面積	g	多い	普通	少ない		
明暗	h	明るい	普通	暗い		
非常停車帯	i	あり	なし			
花などの目立つ植栽	j	あり	なし			
ガードレール	k	片方	両方	なし		

表3 アイテム／カテゴリ表の一部

No.	自	至	法面形状 (進行方向 左)		法面形状 (進行方向 右)		法面状態 (進行方向左)				
			切 土	盛 土	切 土	盛 土	ブロッ ク積	モルタル 吹付	高 木	低 木	な し
1	No.5+00	No.6+00	1			1	1				
2	No.10+00	No.11+00	1			1		1			
3	No.20+00	No.21+00	1			1		1			
4	No.25+00	No.26+00	1		1				1		
5	No.36+00	No.37+00		1	1					1	
6	No.42+00	No.43+00		1		1					1
7	No.50+00	No.51+00	1			1			1		
8	No.54+00	No.55+00		1		1				1	
9	No.60+00	No.61+00	1		1		1				
10	No.65+00	No.66+00		1		1					1
11	No.75+00	No.76+00		1	1				1		
12	No.80+00	No.81+00	1		1				1		
13	No.86+00	No.87+00	1		1						1
14	No.90+00	No.91+00		1	1				1		
15	No.97+00	No.98+00	1		1				1		
16	No.101+00	No.102+00		1	1				1		
17	No.110+00	No.111+00		1	1				1		
18	No.113+00	No.114+00	1		1					1	
19	No.120+00	No.121+00		1	1				1		
20	No.130+00	No.131+00	1		1					1	

表4 決定表の例示 (一部)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	決定クラス:Y
U01	a1	b2	c1	d5	e1	f1	g1	h2	i1	j2	k1	2
U02	a1	b2	c2	d3	e1	f2	g1	h2	i1	j2	k1	2
U03	a1	b2	c2	d3	e2	f2	g2	h2	i2	j2	k1	3
U04	a1	b1	c3	d4	e1	f2	g3	h1	i2	j1	k1	2
U05	a2	b1	c4	d4	e2	f2	g1	h1	i2	j1	k2	1
U06	a2	b2	c5	d5	e2	f2	g1	h1	i2	j2	k2	1
U07	a1	b2	c3	d3	e1	f2	g3	h1	i2	j2	k1	2
U08	a2	b2	c4	d3	e1	f3	g1	h1	i2	j1	k2	1
U09	a1	b1	c1	d3	e1	f1	g2	h1	i2	j2	k1	3
U10	a2	b2	c5	d5	e2	f3	g1	h1	i2	j2	k2	1

ここで、アイテム・カテゴリー一覧表にはのり面や植栽、道路線形以外に、空の面積、明暗、道路付属物（ガードレール、非常停車帯、花などの目立つ植栽）も分析対象としているが、これらの情報を入力項目とした理由は以下のとおりである。維持管理面において快適性を向上させることを考えた場合、景観面で目立つのり面や植栽以外の要素、すなわち、付属物や空の面積、明暗の程度なども快適性の評価に関係しているのではと考えた。空の面積が快適性に関係するとなると、例えば、樹木が上まで生い茂っている区間では上方の枝を伐採することで開放感を生み出すことが可能になるし、明暗が快適性に関係する場合、例えばできるだけ明るい雰囲気を作成するために植栽を変更したりすることも維持管理での措置として検討できる。ガードレールは主に安全性の観点から設置区間や設置タイプが決まるが、快適性に関係があるとすれば所定の安全性を保持したままで快適性向上が期待できるタイプへの変更なども考えられる。よって、これらののり面・植栽・道路線形要素以外のパラメータも分析には必要であると考えている。

ラフ集合による具体的な分析方法は、まず、説明変数と目的変数とをカテゴリカルデータに変換する。景観性に対するアンケート結果の平均値を3つ（飽きのこない、どちらでもない、飽きのくる）あるいは4つ、5つの決定クラスに分類した。決定クラス数の比較は後述するが、SD アンケートが

5ランクであるのに対し、それよりも少ない3つに分類した理由は、商品のラフ集合分析などでは選好をある、なし、どちらでもないの3ランクにして扱うことが多いことと、5ランクにすると1つのランクの数が極端に少なくなることを避けるためである。クラス数が3の場合は決定クラス3が景観評価が低い、決定クラス1が景観評価が高い、決定クラス2がどちらでもないというように設定した。

ここで、目的変数に被験者毎の平均値を用いている理由を説明する。様々な価値観を持つ利用者を一つの集団として捉えることは難しく、10人いれば10通りの景観評価パターンが存在する。橋梁を含むインフラ構造物は多くの利用者を対象に計画を行わなければならないので、多人数の選好をできる限り満たす形状寸法や形態要素の決定が求められる。既往の研究[24]では、利用者を学生や橋梁技術者など大まかな属性に分類し、同じ属性の対象者は価値観も大きく変わらないという考えのもと、属性ごとの平均値を用いて評価分析を行っている。既往の研究[24]でも学生と橋梁技術者とは異なった評価結果が得られていることから、属性による分類は必要と考えられる。しかし、同じ属性であっても評価は一人ひとり異なるため、個々の人の決定ルールを多人数で統合して共通のルール条件部を求める提案がなされている[25]。この方法は、各被験者個人から得られた先行ルール条件部を多人数間において総当たりで併合することにより、多人数の選好を満たすルール条件部を得ることができるというものである。詳しくは、文献[25]を参照のこと。この多人数ルール条件部併合の考え方と本研究で用いた各属性の評価に平均値を用いる方法との差は検証できていないが、今後の検討課題としたい。その際、平均値を用いることにより抽出された決定ルールが各属性間でどの程度有効なのか、得られた決定ルールが何名の人に利用されているか、有効な人数は全体のどの程度の割合なのかについても検討していきたい。

5.3 決定クラス数の比較

ラフ集合の中でも決定ルールの考え方が最も多く使われており、カテゴリの組み合わせで表される決定ルール条件部が結論となる決定クラス全体のどの程度のサンプルに該当するかを表す指標として、C.I. (Covering Index) という考え方をを用いる[22]。決定ルール条件部のC.I.とは、そのルールの結論と同じ決定クラスの対象数のうちで、そのルールに当てはまる対象数の占める割合をさす。言い換えると、そのルールに当てはまる対象数をそのルールの結論と同じ決定クラスの対象数で除したものとなる。高い値のC.I.は決定ルール条件部が決定表の結論に寄与している割合が高いことを示している。すなわち、C.I.値が1に近いほどその決定ルールは選好に大きく影響していることになる。このC.I.値は決定クラスに寄与している貢献度合いを示す指標であり、たくさんの決定ルールの中でどの属性値の組み合わせが重要かの目安になるのでとても有益であるといえる。

ここでは、まず、決定クラス数の検討を行った。決定クラスの作成方法は以下に示すとおりである。各サンプルの評価

ラフ集合による道路走行時の快適性に影響する景観構成要素に関する一考察

値を降順に並べ替え、決定クラス数ごとに分類のための境界値を設定し、各ランクでのサンプル数が極端に差が出ないような方針で各サンプルを3ランク、4ランク、5ランクに分類した。表5に決定クラスごとのサンプル数とクラス内評価の平均値を示す。各クラスでサンプル数に極端な差が生じていないこと、クラス内の評価の平均値も設定した境界値の間にうまく分類されていることが確認できる。決定クラスを3ランク、4ランク、5ランクにして、表4で作成した景観評価の決定表を用いてラフ集合により分析した結果を表6に示す。ルール条件部の数はY=1, Y=2, Y=3それぞれで数十～数百となっており、表6ではCI値の高い順に降順に並べ直している。表6ではC.I.値が高く(表中ハッチング部分)、かつ条件部のルール数が少ない方がよいとされる。この理由は人間が判断する際あまり多くの条件判断はできないとされるためである。また、決定ルール表でも条件部に多く出現する要素も重要である。

表5 決定クラスごとのサンプル数とクラス内評価の平均値

		サンプル数	クラス内での 評価の平均値	境界値
クラス数:3	Y=1	12	3.5777	3.3<= 3.3~3.1 3.1>
	Y=2	14	3.1791	
	Y=3	14	2.9484	
クラス数:4	Y=1	10	3.6236	3.4<= 3.4~3.2 3.2~3.0 3.0>
	Y=2	11	3.2303	
	Y=3	9	3.0893	
	Y=4	10	2.9142	
クラス数:5	Y=1	7	3.6853	3.5<= 3.5~3.25 3.25~3.15 3.15~2.98 2.98>
	Y=2	7	3.3813	
	Y=3	7	3.1863	
	Y=4	10	3.0797	
	Y=5	9	2.9054	

表6をみると、「景観評価が高い」に該当する条件部でC.I.値が高いルールは決定ランク数3, 4, 5で必ずしも一致しているわけではないことがわかる。これは、「景観評価が低い」に該当する条件部でも同じ傾向にある。ランク分けに際しては、一つのランクに極端にデータ数が少なくなることを避けるためにランク分けを変える毎に再分類しているため、ランク3とランク5とでは景観評価が高い、あるいは景観評価が低いに位置付けられるデータセットが異なる結果になっている。よって、決定ランク数によらず、3つのランク分けで共通する条件部があればそのルールは有効であろうと推察される。

そこで、景観評価が高い場合と低い場合とに分けて、C.I.値が高い条件部においてC=3, 4, 5ランクごとに共通する条件部があるかを検討した。その結果を表7および表8に示す。表中の数値はC.I.値である。重複する条件部の*は、そのルールが3ランク、4ランク、5ランクでも同じように抽出されているかを示している。

表7より、景観評価が高い場合に抽出された3ランクでの条件部は4ランクおよび5ランクでは抽出されていないことから、これらの条件部「e2g1」、「h3g1f1」、「h3k1f1j2」は少し特異なルールであるといえる。景観評価が低い場合も一部ルールは他のランクでの重複が認められるが、3ランクで抽出された条件部は4ランク、5ランクでも抽出されるとは限らない。これは逆の場合、すなわち、5ランクで抽出された条件部は4ランクでもほぼ抽出されている。

表7, 表8において、複数のランクで重複する条件部で共通する項目を景観評価が高い、低いで区分したのが表9である。カテゴリは景観評価が高いと低いとで正対していればそのカテゴリの評価は理解しやすいが、景観評価が高いと低いとに同じ

表6 決定ルール条件部とC.I.値

決定クラス数:3					決定クラス数:4					決定クラス数:5					
決定ルール/Covering Index (CI)					決定ルール/Covering Index (CI)					決定ルール/Covering Index (CI)					
Y= 1		Y= 2		Y= 3	Y= 1		Y= 4			Y= 1		Y= 3		Y= 5	
景観評価が高い		どちらでもない		景観評価が低い	景観評価が高い		景観評価が低い			景観評価が高い		どちらでもない		景観評価が低い	
e2g1	0.5	k2g2b1	0.375	g2k1j2	0.417	a2i2h1e2	0.3	b1d3i2e1	0.3	k2j1h1	0.429	g3b1k1	0.286	b1d3i2e1	0.333
h3g1f1	0.333	c3g2b1d3	0.312	g2b2j2	0.25	a2j1h1	0.3	b1j2i2e1	0.3	k2j1a2	0.429	j1a1c3	0.286	b1j2i2e1	0.333
h3k1f1j2	0.333	b1g2e2	0.25	g2f2	0.25	c4g1b1	0.3	g2k1h1	0.3	j1g1h1	0.429	e4b1d3c3	0.286	g2k1h1	0.333
a2i2h1e2	0.25	c3g2e2	0.25	b1d3i2e1	0.25	h1g1e2	0.3	g2k1j2b1	0.3	j1g1a2	0.429	e4b1d3j2	0.286	g2k1j2b1	0.333
a2j1h1	0.25	f1e2g2	0.25	b1j2i2e1	0.25	j1g1a2	0.3	e3c3i1	0.3	c4g1d3	0.429	c1b2	0.143	b1d3e1k1	0.222
c4g1b1	0.25	i1g2b1	0.25	g2k1h1	0.25	j1g1h1	0.3	b1d3e1k1	0.2	c4g1b1	0.429	c1d5	0.143	b1j2e1k1	0.222
j1g1a2	0.25	c3g2h3	0.25	e4i2a1c3	0.25	k2g1e2	0.3	b1j2e1k1	0.2	a2j1h1	0.429	c1g1	0.143	b1j2i2a1k1	0.222
j1g1h1	0.25	h3f1g2	0.25	e4i2a1j2	0.25	k2i2a2e2	0.3	b1j2i2a1k1	0.2	k2j1f2	0.286	c1h2	0.143	b1j2k1h1a1	0.222
k2i2a2e2	0.25	e1a1b2	0.188	e3c3i1	0.25	k2j1a2	0.3	b1j2k1h1a1	0.2	k2f2e2	0.286	c1i1	0.143	g2a1h1d3	0.222
k2j1a2	0.25	e1j2b2	0.188	g2b2h2	0.167	k2j1h1	0.3	g2a1h1d3	0.2	k2f2d4	0.286	d5a1b2	0.143	g2i2e1	0.222
k2j1h1	0.25	e1k1b2	0.188	g2h2k1	0.167	c4g1d3	0.3	g2i2e1	0.2	j1g1f2	0.286	d5a1g1	0.143	g2k1a1b1	0.222
a2i2e2j2	0.25	i1e1	0.188	i2h2b2d3	0.167	b1g1a1	0.3	g2k1a1b1	0.2	j1g1d3	0.286	d5e1	0.143	g2k1j2f1	0.222
c4g1d3	0.25	e1f2k1	0.188	i2h2b2j2	0.167	h3g1a1	0.3	g2k1j2f1	0.2	j1g1b1	0.286	d5h2	0.143	h1f1a1d3	0.222
f3b2a2	0.25	c3a1e1	0.188	i2h2f2	0.167	h3k1a1j2	0.3	h1f1a1d3	0.2	j1b2h1	0.286	d5i1	0.143	h1f1k1	0.222
f3b2h1	0.25	d4a1i2	0.188	i2h2k1b2	0.167	a2d4	0.2	h1f1k1	0.2	j1b2a2	0.286	d5k1	0.143	i2f1a1k1b1	0.222
f3k2a2	0.25	g3k1	0.188	i2h2k1j2	0.167	a2f2e2	0.2	i2f1a1k1b1	0.2	h1e2f2	0.286	f1b2e1	0.143	c5b1	0.222
f3k2h1	0.25	j1k1c3	0.188	b1d3e1k1	0.167	a2f2j1	0.2	c5b1	0.2	f3j1d3	0.286	f1b2h2	0.143	h3i2e1	0.222
h1g1f3	0.25	b1j2k2e2	0.188	b1j2e1k1	0.167	c4a2	0.2	h3i2e1	0.2	f3h2d3	0.286	f1b2i1g1	0.143	e3c3b1	0.222
b1e2k1j2	0.25	c3k2e2	0.188	b1j2i2a1k1	0.167	c4h1	0.2	c3i1b2	0.2	e4j1	0.286	f1b2i1k1	0.143	e3c3i1f1	0.222
c3e2k1j2	0.25	f1k2e2	0.188	b1j2k1h1a1	0.167	c4j1b1	0.2	e3b2i1	0.2	e4g1i2	0.286	f1d5	0.143	e3c3k2	0.222
c3g1f1	0.25	k2g2e2	0.188	g2a1h1d3	0.167	d4g1b1	0.2	e3c3h2	0.2	e2g1f2	0.286	f1g1e1	0.143	e3k2i1	0.222
d3f1g1	0.25	k2a1i2	0.188	g2i2e1	0.167	d4g1e2	0.2	e3h2i1	0.2	d4g1h1	0.286	f1h2e1	0.143	e3c3j2g2	0.222
b1g1a1	0.25	e1h2	0.125	g2k1a1b1	0.167	d4g1f2	0.2	e3c3b1	0.2	d4g1f2	0.286	f1h2g1a1	0.143	e3h1c3	0.222
h3g1a1	0.25	g1a1e1	0.125	h1f1a1d3	0.167	d4g1h1	0.2	e3c3k2	0.2	c4k1	0.286	f1h2k1a1	0.143	e3h1g2	0.222
h3k1a1j2	0.25	e1f2b2	0.125	h1f1k1	0.167	e2g1f2	0.2	e3k2i1	0.2	c4j1d3	0.286	f1i1k1e1	0.143	d1	0.222
a2d4	0.167	c3d4i2b1	0.125	i2f1a1k1b1	0.167	h1e2f2	0.2	d1	0.2	c4j1b1	0.286	b1a1f2h1	0.143	e4f1k1	0.222

カテゴリが存在するとそのカテゴリは単独では評価ができずに、他の条件部と組み合わせでの評価になるため、少し複雑になってくる。例えば、表9でハッチングで示す、g1とg2、j1とj2、k1とk2などは正対するカテゴリであるといえ、b1、d3、h1などのカテゴリは景観評価が高い場合も低い場合も両方に存在するため、単独では評価がしづらいカテゴリであるといえる。また、a2、c4、e1、i2などのカテゴリは景観評価が高いあるいは低いどちらか一方だけに出現することも特徴である。

表7 景観評価が高い場合の条件部抽出

	景観評価が最も高い場合の条件抽出			重複する条件部		
	C=3ランク	C=4ランク	C=5ランク	3rank	4rank	5rank
e2g1	0.5	-	-	*		
h3g1f1	0.333	-	-	*		
h3k1f1j2	0.333	-	-	*		
a2i2h1e2	0.25	0.3	-	*	*	
a2j1h1	0.25	0.3	0.429	*	*	*
c4g1b1	0.25	0.3	0.429	*	*	*
h1g1e2	-	0.3	-		*	
j1g1a2	0.25	0.3	0.429	*	*	*
j1g1h1	0.25	0.3	0.429	*	*	*
k2g1e2	-	0.3	-		*	
k2i2a2e2	0.25	0.3	-	*	*	
k2j1a2	0.25	0.3	0.429	*	*	*
k2j1h1	0.25	0.3	0.429	*	*	*
c4g1d3	0.25	0.3	0.429	*	*	*
b1g1a1	0.25	0.3	-	*	*	
h3g1a1	0.25	0.3	-	*	*	
h3k1a1j2	0.25	0.3	-	*	*	
k2j1h1	0.25	0.3	0.429	*	*	*
k2j1a2	0.25	0.3	0.429	*	*	*
j1g1h1	0.25	0.3	0.429	*	*	*
j1g1a2	0.25	0.3	0.429	*	*	*
c4g1d3	0.25	0.3	0.429	*	*	*
c4g1b1	0.25	0.3	0.429	*	*	*
a2j1h1	0.25	0.3	0.429	*	*	*

表8 景観評価が低い場合の条件部抽出

	景観評価が最も低い場合の条件抽出			重複する条件部		
	C=3ランク	C=4ランク	C=5ランク	3rank	4rank	5rank
g2k1j2	0.417	-	-	*		
g2b2j2	0.25	-	-	*		
g2f2	0.25	-	-	*		
b1d3i2e1	0.25	0.3	0.333	*	*	*
b1j2i2e1	0.25	0.3	0.333	*	*	*
g2k1h1	0.25	0.3	0.333	*	*	*
e4i2a1c3	0.25	-	-	*		
e4i2a1j2	0.25	-	-	*		
e3c3i1	0.25	0.3	-	*	*	
b1d3i2e1	0.25	0.3	0.333	*	*	*
b1j2i2e1	0.25	0.3	0.333	*	*	*
g2k1h1	0.25	0.3	0.333	*	*	*
g2k1j2b1	-	0.3	0.333		*	*
e3c3i1	0.25	0.3	-	*	*	
b1d3i2e1	0.25	-	0.333	*		*
b1j2i2e1	0.25	-	0.333	*		*
g2k1h1	0.25	0.3	0.333	*	*	*
g2k1j2b1	-	0.3	0.333		*	*

表9 評価が共通・正対しているカテゴリ

景観評価：高い	景観評価：低い
a2	b1
b1	d3
c4	e1
d3	g2
g1	h1
h1	i2
j1	j2
k2	k1

以上をまとめると、分割するランク数を多くすればサンプル数は少なくなるが、各ランクの特徴は把握し易くなる。評価が高くなる条件部や評価の低くなる条件部に着目するならば、よりその傾向が明確になると推察される細かいランク分け(5ランクなど)が望ましい。しかし、サンプル数が極端に少ない場合は決定クラス数も3以上のように多くはできないが、ある程度のサンプル数があればSD評価での区分数と同じ程度に設定することは可能である。ただし、問題の種類や性格、データセットの数や範囲などにより最適なランク数は変動することが予想されるため、分析に入る前にランク分けの検討を実施し、傾向を把握しておくことが望ましいといえる。

5.4 選考の決定ルール

決定ルールを考察する上で、景観評価が高いルールと低いルールとを比較すると分かり易い。そのため、決定ランク数5のケースにおいて、景観評価が高い(Y=1)条件部、および景観評価が低い(Y=5)条件部に含まれるカテゴリの数をカウントした(表10参照)。この数が多い方が抽出した条件部により多くそのカテゴリが含まれていることになるため、評価に際しては重要なカテゴリであると判断できる。表10では抽出した全ルールを対象にしたケースとC.I.値の高いルールを対象にしたケースを併記している。

(1) 正対するカテゴリ

まず、カテゴリが正対かそうでないかに注目する。これは、同一アイテム内で異なるカテゴリが評価が高いと低いとに分かれるかそうでないかを意味する。例えば、のり面形状(進行方向左)では、C.I.値の高いルールに着目すると景観評価が高い場合はa2=8、a1=1、景観評価が低い場合はa1=6、a2=0とa1、a2が評価の高い／低いでうまく分かれている。この場合、評価は分かり易く、片方のカテゴリの評価が判明すれば別のカテゴリの評価も推定できることになる。一方、カテゴリが正対していないケースとしては、例えば、のり面形状(進行方向右)が該当する。同様に、C.I.値の高いルールに着目すると景観評価が高い場合はb1=8、b2=2、景観評価が低い場合はb1=11、b2=0とb1が評価の高い／低いで両方に出現している。この場合は同一カテゴリであっても評価が高くなるのか低くなるのかは分かりづらいといえる。h1も同様で、景観評価が高い場合と低い場合の両方に関係している。

このように、正対するタイプ(a1とa2、f1とf2、j1とj2)とそうでないタイプ(b1、h1)に分類することができる。正対するタイプは評価が分かり易いが、同じカテゴリが評価の高い条件部と評価の低い条件部の両方に出現するタイプについては、評価に対して何らかの影響があると考えられるが、そのカテゴリ単独では効果は少なく、組合せのルール(他の条件)の中で発揮されるものと推察できる。

また、全ルールを対象にした場合とC.I.値の高いルールを対象にした場合を比較すると、カテゴリの正対関係はC.I.値を対象にした場合の方がより分かり易くなる傾向にある。

表の中で、赤字で記載した箇所は抽出した条件部にそのカテゴリがほとんど含まれていない(カテゴリ数が6以下)こ

ラフ集合による道路走行時の快適性に影響する景観構成要素に関する一考察

とを意味している。よって、これらのカテゴリは評価に際してほとんど影響しないと判断してよいものと考えられる。

(2) 各アイテムの特徴

次に、個々のアイテムごとに考察する。

まず、のり面形状（進行方向左）では前述したようにC.I.値の高いルールを対象にするとa1とa2とで評価が高い／低いがうまく分かれているため、理解しやすいアイテム／カテゴリであるといえる。

一方、のり面形状（進行方向右）ではa1, a2とは逆になり、b1は評価が高いケースでも出現頻度が高く、また、評価が低いケースでも出現頻度が高くなる。b2は評価が高い／低い両方のケースにおいてほとんど出現しないため、評価への影響は少ないと考えられる。このb1のケースは正対しないパターンであり、このカテゴリ単独では評価が難しく、他の条件部をみて判断しないと評価が高くなるか低くなるかのどちらにもなる可能性がある。

のり面状態（進行方向左）については、ブロック積（c1）やモルタル吹付け（c2）は評価の高くなる条件部には全くカウントされないため、評価は低いと思われるが、C.I.値の高いルールをみると評価の低い条件部にもカウントされていない。全ルールを対象にした場合で評価が低いランクに数個カウントされる程度であるが、評価の高いランクには全くカウントされていないことから、どちらかという評価は低いと考えられる。このことからこういったのり面の構造物はあまり快適性という観点からは意識されていないのではと推察される。このことはのり面状態（進行方向右）でも同様である。一方、植栽（c3, c4, c5）はうまく正対の傾向がでている。植栽が高木の場合は評価が低く、低木の場合は評価が高くなる。植栽無しの場合は比較的評価は低い傾向にある。高木の場合は上空の樹木が覆いかぶさるような印象を受けるのに対し、低木になると空の面積が増えるので、開放感が快適性とリンクし、評価が高くなる傾向にある。空の面積は多い方が評価が高くなることは表10より確認できる。

のり面状態（進行方向右）では表6にあるように、「d1」という条件部が単独でランク数4およびランク数5で評価が低いという結果になっていることが特筆される。d1のカテゴリは「ブロック積」であり、それぞれC.I.値も上位から2番目で低くはない。このようにC.I.値が高く、しかも単独の条件部（単一ルール）になっていることは重要である。ランク数3ではd1単独のルールを“景観評価が低い”の中に見つけることはできないが、ブロック積は景観評価が低いという判断は無視することができないといえる。

縦断勾配については、上り坂では勾配で評価が正対している。急な上り坂は評価が低くなっており、緩やかな上り坂は評価が高い。下り坂では上りとは逆の勾配で評価が正対している。急な下り坂は評価が高くなっており、緩やかな下り坂は評価が低い。この傾向はC.I.値の高い条件部だけでなく全ルールを対象にしても同様である。

平面線形については、直線区間の評価が低く、曲線区間の評価が高い。曲線区間の方が走行中の景観に動きがあり、

好まれる傾向にあると推察される。この傾向はC.I.値の高い条件部だけでなく全ルールを対象にしても同様である。

空の面積については、g1（面積：多い）とg2（面積：普通）とで評価が正対している。空の面積が多い方が評価が高く、面積が少なくなっていくほど評価は低くなる。この傾向はC.I.値の高い条件部だけでなく全ルールを対象にしても同様である。g3（面積：少ない）は評価の高い／低い条件部にほとんど出現していないため、影響は少ないと思われる。空の面積は維持管理でコントロールすることは難しいが、樹木が生い茂っている箇所では上空の枝を伐採するなどの措置が考えられる。

明暗については、“明るい”が評価の高い条件部と評価の低い条件部の両方に出現している。このカテゴリは注意が必要で、一概に明るいから評価が高いというわけではなく、他のルールと組み合わせることで評価が低くなるケースも存在する。明暗の全体をみると“明るい”の方が暗いよりも評価は良い傾向にあるといえる。

非常停車帯については、無しと有りとで評価が正対しているとはいえず、無しの方が比較的評価が低い傾向にある程度のことはいえる。

表10 景観評価が高い場合の条件部抽出

		全ルールを対象		C.I.値の高いルールを対象	
		景観評価：高 (Y=1)	景観評価：低 (Y=5)	景観評価：高 (Y=1)	景観評価：低 (Y=5)
法面形状 (進行方向左)	a1	15	27	1	6
	a2	30	18	8	0
法面形状 (進行方向右)	b1	43	38	8	11
	b2	21	25	2	0
法面状態 (進行方向左)	c1	0	5	0	0
	c2	0	3	0	0
	c3	14	17	0	5
	c4	19	0	8	0
	c5	1	12	0	1
法面状態 (進行方向右)	d1	0	1	0	1
	d2	0	4	0	0
	d3	43	27	11	4
	d4	15	0	4	0
	d5	1	0	0	0
縦断勾配	e1	19	32	0	6
	e2	32	20	4	0
	e3	9	32	0	7
	e4	24	12	2	1
平面線形	f1	6	31	0	6
	f2	27	11	9	0
	f3	29	15	3	0
空の面積	g1	55	14	14	0
	g2	0	41	0	8
	g3	0	6	0	0
明暗	h1	24	32	7	7
	h2	25	13	3	0
	h3	6	10	0	1
非常停車帯	i1	20	17	2	2
	i2	25	31	1	6
花などの目立つ植栽	j1	42	0	16	0
	j2	1	27	0	7
ガードレール	k1	24	40	3	11
	k2	35	15	5	2
	k3	0	6	0	0
全ルール数		187	180	37	26

凡例	N=30以上
	N=7以上

太字：同一アイテム内でカテゴリの評価が正対している

赤字：カテゴリ数が6以下

花などの目立つ植栽については、無しと有りとの評価は正対している。有りの方が評価は高く、無しの方が評価は低くなる。この傾向はC.I.値の高い条件部だけでなく全ルールを対象にしても同様である。よく沿道で見かける、スポットで置いてある植樹樹や植樹帯のことを指すが、これらの設置は維持管理でも検討すべきと考えられる。

ガードレールについては、片方のみの評価が低かったが、両方有りの場合、無しの場合に有効な条件となるかという点と難しいと思われる。左右アンバランスな設置（片方のみ）は評価が低くなるということが実証されれば維持管理面でも対策を講じることが可能と考えられる。

(3) “どちらでもない”の考察

評価が高いか低いかは重要であるが、その中間の“どちらでもない”はこれまであまり検討されてこなかった。表6に示すランク数3およびランク数5の“どちらでもない”に含まれる条件部について考察する。C.I.値の高い条件部において含まれるカテゴリを表11に示す。3ランクと5ランクに共通しているカテゴリはb1（のり面形状「進行方向右」：切土）、c3（のり面状態「進行方向左」：高木）、d3（のり面状態「進行方向右」：高木）である。出現する頻度の多いカテゴリであるb1, c3, d3, e2, e4, f1, g2, h3は他よりも重要なカテゴリになる。b1は表10より明らかなように、C.I.値の高いルールでも評価が高い条件にも含まれており、また、評価の低い条件部にも含まれている。さらに、評価が中間である“どちらでもない”にもこのb1が含まれているということはb1単独での評価は決まっておらず、その他の条件部（ルールの組合せ）によっていずれの評価にもなる可能性があることを示している。他の正対するようなカテゴリとは性格が異なり、いずれの条件部でも出現するような重要な位置づけになるカテゴリと推察される。c3は表10によれば景観評価は低い部類に属するため、“どちらでもない”の結果を含めるとc3は“どちらでもない～低い評価”になる。d3は同じく、景観評価は高い部類に属するため、“どちらでもない”の結果を含めるとd3は“どちらでもない～高い評価”になる。

(4) 数量化理論との比較

多変量解析の一手法である数量化理論では、カテゴリごとにスコアが算出される。同じカテゴリでみると、評価の高い数値から評価の低い数値を引いた値が数量化のスコアに相当すると考えると分かり易い。例えば、のり面形状（進行方向左）

表11 表5より抽出された“どちらでもない”条件部に含まれるカテゴリ

3 ランク		5 ランク	
どちらでもない	出現数	どちらでもない	出現数
b1	4	a1	1
c3	3	b1	3
d3	1	c3	2
e2	3	d3	2
f1	2	e4	2
g2	8	g3	1
h3	2	j1	1
k2	1	j2	1
		k1	1

ではa1（切土）が $1-6=-5$ 、a2（盛土）が $8-0=+8$ となり、切土よりも盛土の方が快適性評価は高いという結果になる。正対する場合は分かり易いが、例えば、h1（明暗：明るい）のようなケースはスコアが $7-7=0$ となり、評価は高い／低いのもどちらでもないという結果になるため注意が必要となる。h1では実際は評価が高くなる条件部（n=7）と低くなる条件部（n=7）とが少なからず存在するため、他のルールを見ないと組合せによってどちらの評価になるかは決定されることになる。よって、h1単独ではスコアの大小は判断できない。h1ではスコア換算値が $7-7=0$ であるが、d5でもスコア換算値は $0-0=0$ でスコアの値だけみれば同じである。しかし、h1のケースとd5（のり面状態進行右：植栽なし）とでは意味が異なることに注意しなければならない。d5は評価の高いルールにも評価の低いルールにも両方とも出現していないため評価にはほとんど影響しないと判断しても差し支えないが、h1は両方とも出現しているため、評価には少なからず影響していることが重要である。

また、数量化理論で計算される偏相関係数はそのアイテムが評価に与える影響の度合いを示しているが、ラフ集合ではこの偏相関係数に該当するのはアイテム間の出現カテゴリ数の合計であろう。

以上を総括して、数量化理論による出力に相当する数値として表12を作成した。ここで、カテゴリのラフ集合スコアは「評価の高い決定クラスでのそのカテゴリの出現回数」から

表12 評価への影響度合いとラフ集合スコア

		アイテムの影響度合い総和	評価への影響度合い	ラフ集合スコア
法面形状（進行方向左）	a1 切土	15	7	-5
	a2 盛土		8	8
法面形状（進行方向右）	b1 切土	21	19	-3
	b2 盛土		2	2
法面状態（進行方向左）	c1 ブロック積	14	0	0
	c2 モルタル吹付		0	0
	c3 高木		5	-5
	c4 低木		8	8
	c5 なし		1	-1
法面状態（進行方向右）	d1 ブロック積	20	1	-1
	d2 モルタル吹付		0	0
	d3 高木		15	7
	d4 低木		4	4
	d5 なし		0	0
縦断勾配	e1 上り勾配10%以上	20	6	-6
	e2 上り勾配10%未満		4	4
	e3 下り勾配10%未満		7	-7
	e4 下り勾配10%以上		3	1
平面線形	f1 直線	18	6	-6
	f2 左曲線		9	9
	f3 右曲線		3	3
空の面積	g1 多い	22	14	14
	g2 普通		8	-8
	g3 少ない		0	0
明暗	h1 明るい	18	14	0
	h2 普通		3	3
	h3 暗い		1	-1
非常停車帯	i1 あり	11	4	0
	i2 なし		7	-5
花などの目立つ植栽	j1 あり	23	16	16
	j2 なし		7	-7
ガードレール	k1 片方	21	14	-8
	k2 両方		7	3
	k3 なし		0	0

ラフ集合による道路走行時の快適性に影響する景観構成要素に関する一考察

「評価の低い決定クラスでのそのカテゴリの出現回数」を差し引いたもの、カテゴリの評価への影響度合いは「評価の高い決定クラスでのそのカテゴリの出現回数」と「評価の低い決定クラスでのそのカテゴリの出現回数」の和、およびアイテムの影響度合いの総和はアイテムのすべてのカテゴリの評価への影響度合いの総和として定義する。ここでもスコアは数量化理論と区別するためラフ集合スコアにしている。決定的に異なるのはラフ集合ではカテゴリごとに評価への影響度合いが計算されていることである。この評価への影響度合いは数量化理論における偏相関係数とは意味合いが異なる。スコアが小さいからといってそのカテゴリは無視できず、この評価への影響度合いをまず参照しなければならない。スコアと評価への影響度合いが比例していれば問題はないが、スコアが小さいのに影響度合いが大きいような場合（h1, b1 など）は注意が必要である。

5.5 維持管理面での改善方法の提案

これまでラフ集合にて分析してきた結果をもとにして、維持管理段階で快適性を向上させるための措置を以下に示す。また、措置を取りまとめた結果を表13に示す。

のり面形状は切土か盛土かであり、これは道路線形と現況地形との関係でどちらになるかが決定される。表12より、切土よりも盛土の方が評価が高いからといって、供用後の維持管理段階で切土を盛土に変更したりすることは現実的には困難であり、むしろ他のルールとの組み合わせにおいて検討させるべきと思われる。

のり面の状態とは、ブロック積か、モルタル吹付か、高木か低木か、植栽無しかのカテゴリ分けである。表12より、ブロック積やモルタル吹付の評価が高くないのは供用年数も影響していると推察される。すなわち、供用後年月が経過すると構造物は風景の一部として認識されるようになり、その

存在も目立たなくなるとともにアクセントとしての位置づけも少なくなるため評価は良くも悪くもない状態になっていくものと推察できる。モルタル吹付は緑色のネット張りになっていることも重要である。表12ではモルタル吹付の評価は特に高い／低い差は生じていないが、緑色の格子状ネットにすることで現状の灰色で黒っぽい汚れた印象から明るい色へと改善することができる。また、ネットの格子間隔や色、太さなどを調整することによってより快適性の高い見え方を検討することもできると思われる。一方、構造物に対して植栽は高木、低木で評価が異なっており、高木と低木は剪定や伐採などで評価の良い方向に改善することが可能で、様々なバリエーションが考えられよう。表12では高木の評価への影響が大きい、設置位置と設置本数、高さなどを再検討すれば十分維持管理面での修景改善メニューとして利用できると思われる。

縦断勾配もりのり面形状と同様に、起終点位置とその高さ、平面線形、現況地形などによって決定されるため、供用後の維持管理段階での変更は難しい。他のルールとの組み合わせにおいて個別に検討されるべきと思われるが、軽微な切盛で評価の低い区間の縦断線形が改善できるのであれば検討に値すると思われる。

平面線形も縦断線形と同様に、起終点位置、縦断線形、現況地形などによって決定されるため、供用後の維持管理段階での変更は難しい。縦断勾配と同様に、他のルールとの組み合わせにおいて個別に検討されるべきと思われる。しかし、直線区間よりも曲線区間の方が評価が高くなるという結果は重要で、例えば、直線区間であれば他の要素、高木や低木の選定などと組み合わせで評価を改善するという方法も考えられる。また、仮に用地に余裕があれば直線区間を緩やかな曲線区間に改善するという方法も有効であろう。

空の面積は表12より面積が多い区間が評価が良くなる結果となった。区間の植栽の状況、平面縦断線形などとも関係するが、植栽で高木が多ければ上方の枝を伐採して上空の空間を多く確保することが考えよう。切土でかつ曲線区間で植栽があるケースでは改善は難しいと思われるが、空が走行中に一部でも確認できるような位置を検討していくことも必要であろう。空の面積が多い方が評価が高いからといって高木や低木を全て伐採するということは現実的ではないが、上空の枝を伐採し少しでも評価を改善できる方法を模索することも重要と思われる。

明暗も空の面積と関係していると思われるが、空の面積を多くする措置がとれない場合、すなわち、切土でかつ曲線区間で植栽があるケースでは、植栽を常緑樹に変更するとか、途中にアクセントとなる別の植栽を追加したり、明るい印象の標識などを設置するなどの措置が有効と思われる。

非常停車帯は表12より評価への影響は少ないと思われるが、無しよりも有りの方が評価が高くなることから、用地に余裕があれば設置を検討することも必要であろう。ただし、むやみに非常停車帯を設置する必要はなく、本来の目的を逸脱しないように注意しなければならない。

表13 修景改善方法の提案

項目	修景改善方法
のり面形状	切土を盛土に変更することは困難、他のルールとの組み合わせにおいて検討させるべき
のり面状態	構造物には緑色のネット張りが効果的、高木と低木は剪定や伐採などで評価を改善することが可能、設置区間や組合せなど様々なバリエーションがある
縦断勾配	縦断勾配を変更することは困難、他のルールとの組み合わせにおいて検討させるべき
平面線形	縦断勾配を変更することは困難、他の要素、高木や低木の選定などと組み合わせで評価を改善するという方法がある
空の面積	植栽で高木が多ければ上方の枝を伐採して上空の空間を多く確保する
明暗	空の面積を確保することが効果的、植栽を常緑樹に変更する、途中にアクセントとなる別の植栽を追加する、明るい印象の標識などを設置するなどの措置が有効
非常停車帯	用地に余裕があれば設置を検討する
花などの目立つ植栽	植樹樹も様々なパターンがあり、樹の大きさ、設置位置、色、植樹物の種類などより効果の高い組合せを検討していく
ガードレール	区間を限定したり、明るい色のガードレール、スポットで目立つ構造物という目的で設置する方法あり

花などの目立つ植栽は表12より設置効果が明確に評価が高くなる方向になっている。予算もそれほどかからないため、設置位置に余裕があれば積極的に導入を検討すべきであろう。植樹樹も様々なパターンがあり、樹の大きさ、設置位置、色、植樹物の種類などより効果の高い組合せを検討していくべきと思われる。

ガードレールは主に路面からの逸脱防止という安全面での機能を満足するために設置されるべきもので、快適性の評価を向上させるために設置されるべきものではない。しかし、区間を限定したり、明るい色のガードレールや、スポットで目立つ構造物という目的で設置したりという「明暗」、「目立つ植栽」に関連した設置方法も考えられることから、安全面での設置以外の用途での使用方法も検討すべきと考える。

6. お わ り に

本研究では、道路走行時の快適性を向上させるために、道路構造あるいはのり面・植栽を含めた景観がどのような特徴をもっているのかをラフ集合を用いて検討した。道路快適性が高いと判断される景観ではどういったのり面・植栽要素を採用しているかを、ラフ集合により導出された決定ルール条件部とC.I.値から考察した。

今後、維持管理において、補修工法や補修時期等を判断・決定する際、従来の路面性状からの評価だけでなく、快適性を向上させるための施策を補修のメニューの中に取り入れていくことで、道路利用者増に直結し、道路の資産価値も向上すると思われる。

本研究で得られた結果を以下に要約する。

- (1) ラフ集合のルールは人が評価する際のイメージに近い。
- (2) C.I.値は決定クラスに寄与している貢献度合いを示す指標であり、たくさんの決定ルールの中でどの属性値の組み合わせが重要かの目安になるので有益である。
- (3) 得られた決定ルールをC.I.値の高い順に並べ直すことで快適性が高くなる判断基準とデザイン要素との関係が把握できた。さらに、条件部に出現するカテゴリの傾向やカテゴリの数を考察することで評価に関係するデザイン要素が明確になった。
- (4) 決定クラスの数はいくつにするかは問題の性質やサンプル数、アイテム数などに影響されるが、評価の高い／低いというルールを明確に抽出するならば多い方が望ましい。
- (5) 維持管理面において道路構成要素をどのように修景すれば快適性の改善に繋がるかという観点でその改善方法を提案した。

今後の課題は次のとおりである。

ラフ集合は快適性が高くなる道路構造・植栽要素を特定する組合せをルールとして抽出してくれる。一方、デザイン要素と評価からアイテム／カテゴリを作成し、数量化理論を用いて分析した結果から得られるカテゴリスコアとラフ集合の

ルール条件部とを比較することで、お互いの分析手法の特徴や適用上の制限などを把握することが必要である。

本研究で検討した道路構造・植栽・付属物要素はあくまで対象路線に限定したものであり、より汎用性を持たせるためには他路線での分析が望ましい。また、アンケートの被験者も学生だけに限定したため、得られた結果（決定ルール）が現時点では汎用的なものとは言えないが、今後はより幅広い被験者属性（社会人、技術者、主婦、高齢者など）を対象にしたアンケートを実施して汎用性を高めていきたいと考えている。

本研究では道路構成要素の改善方法を提案したが、かかる費用までは算出していない。維持管理では予算の制約もあり、費用のかかる路面補修との兼ね合いの中でどの施策が有効かを舗装繕繕計画全体の枠組の中で検討していく必要がある。

参 考 文 献

- [1] 国土交通省：サービス目標と維持管理基準，
http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road_maintenance/pdf/19.pdf（2019.02.17閲覧）。
- [2] 国土交通省 道路局：舗装点検要領，2016。
- [3] 深堀清隆，窪田陽一：高速道路走行中の継時的景観変化の特性分析と評価手法，土木学会，土木計画学研究・論文集，12，pp.357-366，1995。
- [4] 杉山和雄，八馬智，張挺：道路のシークエンス景観評価尺度に関する研究，国際交通安全学会誌，29(4)，pp.246-254，2005。
- [5] 保田敬一，山崎元也，鈴木省吾，島根高啓：道路景観の構成要素が快適性評価に与える影響，日本感性工学会論文誌，17(4)，pp.405-414，2018。
- [6] 渡邊一弘，久保和幸：舗装マネジメント体系～より効率的・計画的な舗装管理に向けて～，土木技術資料，53(4)，pp.6-9，2011。
- [7] 松田泰明：北海道における道路の魅力向上と観光への貢献，寒地土木研究所第5回技術者交流フォーラム資料，2009。
- [8] 東日本高速道路株式会社：NEXCO東日本レポート2016（ウェブ版），http://www.e-nexco.co.jp/csr/download/pdfs/2016/csr_all.pdf（2019.02.17閲覧）。
- [9] 安藤義宗，齊藤潮：高速道路走行における地域景観要素の視覚的展開に関する研究，東工大・社工・論部梗概集，33，pp.2-3，2002。
- [10] 古市朋輝，門間健，岩崎征人：都市高速道路曲線区間における運転者の注視挙動と運転特性，土木学会論文集，772/IV-65，pp.153-167，2004。
- [11] 星子隆，齊藤潮，岡田一天：沖縄自動車道のシークエンス景観構造に関する研究，土木学会論文集，779/IV-66，pp.83-93，2005。
- [12] 中島久智，岩崎征人：道路景観の有無が運転挙動に与える影響，土木学会，第32回土木計画学研究発表会・講演集，2005。

ラフ集合による道路走行時の快適性に影響する景観構成要素に関する一考察

- [13] 角湯克典, 吉永弘志, 大河内恵子: 道路用遮音壁に関する景観評価の現状と事例, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国総研資料, 788, 2014.
- [14] 二ノ宮清志, 松田泰明, 岩田圭佑, 宗廣一徳, 高田哲哉, 景山裕幸: 景観機能を含めた多面的評価による道路空間要素の最適配置技術に関する研究, 土木研究所, 平成26年度プロジェクト研究・重点研究報告書, 重点研究, 43, 2015.
- [15] 兵庫利勇, 松田泰明, 岩田圭佑: 郊外部道路におけるシーケンズ景観の印象評価に関する考察, 第57回北海道開発技術研究発表会, 2014.
- [16] 奥谷巖, 山崎英成, 森下時磨: 脳波による道路走行快適性要因の抽出, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.509-510, 1996.
- [17] Pawlak, Z.: Rough sets, International Journal of Information Computer Science, 11(5), pp.341-356, 1982.
- [18] Inoue, K., and Hirokawa, M.: Proposal of related analysis between Kansei words and Cognitive form, Bulletin of International Rough Set Society, 7(1/2), pp.55-59, 2003.
- [19] 伊藤弘樹, 井上勝雄, 中村千枝, 関口彰: 女性向メガネデザインの調査分析, 第7回日本感性工学会大会予稿集, p.157, 2005.
- [20] 関口彰, 井上勝雄, 嶋暁人, 伊藤弘樹: 携帯音響製品デザインの調査分析, 第7回日本感性工学会大会予稿集, p.195, 2005.
- [21] 森典彦, 田中英夫, 井上勝雄: ラフ集合と感性, 海文堂, p.80, 2004.
- [22] 田中博, 津本周作: ラフ集合とエキスパートシステム, 数理化学, 383, pp.76-83, 1994.
- [23] 井上義之, 竹内淳, 河内建, 中園真人, 中川浩二: 山岳高速道路における走行快適性改善対策の効果分析, 土木学会論文集, 742/VI-60, pp.61-73, 2003.
- [24] 保田敬一, 白木渡, 安達誠, 三雲是宏, 堂垣正博: 感性工学手法による桁橋の景観評価・設計に関する一考察, 土木学会論文集, 665/VI-49, pp.103-116, 2000.
- [25] 森典彦: ラフ集合と感性工学, 日本ファジィ学会誌, 13(6), pp.600-607, 2002.

保田 敬一 (正会員)

1983年 鳥取大学工学部土木工学科卒業, 1999年 鳥取大学大学院工学研究科博士後期課程終了. 現在, 一般社団法人国際建設技術協会に所属, 博士(工学). この間, 橋梁の計画・設計・施工・維持管理, ソフトコンピューティング, 感性工学等に関する研究に従事. 所属学会は土木学会, 感性工学会. 2001年～現在 日本感性工学会 評議員, 2003年～現在 日本感性工学会論文誌編集委員会 編集委員.

山崎 元也 (非会員)

1980年 北海道大学工学部土木工学科卒業, 1982年 北海道大学大学院工学研究科土木工学専攻修了, 1982年 日本道路公団入社, 1998年 日本道路公団試験研究所, 博士(工学), 2007年 東京農業大学造園科学科 准教授, 2009年 東京農業大学造園科学科教授, 現在に至る. ソフトコンピューティング(遺伝的アルゴリズム, プロダクトモデル, VR)の道路計画・設計・道路管理への適用研究に従事. 所属学会は土木学会, 日本都市計画学会, 造園学会.