

道路路線計画プロセスに準拠した多段階景観評価システムに関する研究*

The Landscape Evaluation System in Route Planning of Road*

深堀清隆*¹・窪田陽一*²・大友正晴*³・政木英一*⁴

By Kiyotaka FUKAHORI*¹, Yoichi KUBOTA*², Masaharu OTOMO*³, and Hidekazu MASAKI*⁴

1 緒言

建設計画における環境影響評価の重要性の認識が高まっている。環境に対する価値観が多様化することによって環境への影響度を評価する項目の数は増加し、質的にも複雑化が進んでいる。このような情勢の中、総合評価における項目間の独立性の問題や、それぞれの項目をどこまで定量化できるか、客観的なウェイトを導くことができるかといった評価手法上の問題点を再考する必要があると思われる。

一方、道路環境における景観の問題についても、従来からいくつかの評価基準が提示されてきている。鈴木他⁽¹⁾は速度、曲線率、空間的閉塞性、路側の性格、ランドマークを基にして快適度を評価している。一方大林他⁽²⁾は構造物を対象として景観度という概念を提示し、これが可視不可視やいくつかの感覚量によって規定され、さらにそれらが見込み角や入射角などの要因に規定されているという一種の評価体系を構築した。

しかしこれらの基準の利用法であるが、ある程度路線設計が進展して路線が明確化されていないと入手ができない情報も多く、評価の結果、設計技術者に対して非常に大きなフィードバックを要求することになるかもしれない。現状では総合評価における景観という項目は他の環境基準に比べると2次的あるいは付加的な価値と見なされやすく、景観の項目による評価結果を根拠として設計のフィードバックを要求することは困難であるといわざるを得ない。

このような状況下でより景観的に優れた路線を創出するためには、総合評価の中で景観の基準をどのように確立し、どれだけのウェイトを付加するかという発

想よりも、路線の総合評価システムとは別個に、計画設計プロセスの各段階でチェック機能を果たするような多段階の景観評価システムを構築することが有効であると考えられる。

路線計画および設計プロセスにおいて路線の詳細設計図面が完成するまでには、多くの設計上の試行錯誤を経なければならない。この繰り返しの過程に評価作業を内包させるためには、各段階の作業精度に見合う評価基準の利用が必要となる。本研究はこれを考慮して、景観評価システムの構築を行うものである。またこのような多段階型の評価システムを構築することによって、評価作業が複雑かつ煩瑣なものになると予想される。従って評価システムの自動化の方法論についても考察を加える。

2 景観評価システムに要求される機能

(1) 景観評価システムの役割

景観評価は路線設計プロセスの初期の段階から実施され、設計作業の進展に伴って路線案が修正されたり、新たな代替案が作成されるたびに繰り返し実施されるのが望ましい。評価システムには、それらの路線に対する評価情報を逐次提供する能力が要求される。プロセスにおいて最適案の比較決定が実施される段階になると、それまでの時点で蓄積されている評価情報をもとに最適案が示されることになる。

同様に環境アセスメントなど景観以外の評価項目を含めた路線の総合評価が行われる場合にも、アセスメントが実施される段階において得られている景観評価結果を総合評価の中の1項目として情報を提供することになる。

(2) 路線計画における景観評価モデル

図—1に本研究における評価システムの利用を前提とした景観評価モデルを示す。

路線の景観評価の際に根底にあるのは景観の認識主体が実景観をどのように認識しているかという問題である。景観認識の状況は様々であるが内部景観としての認識（ドライバーの視点）と外部景観としての認識（沿線住民の視点）を同一のモデルで議論することはできないので別個の評価法を構築する必要がある。次

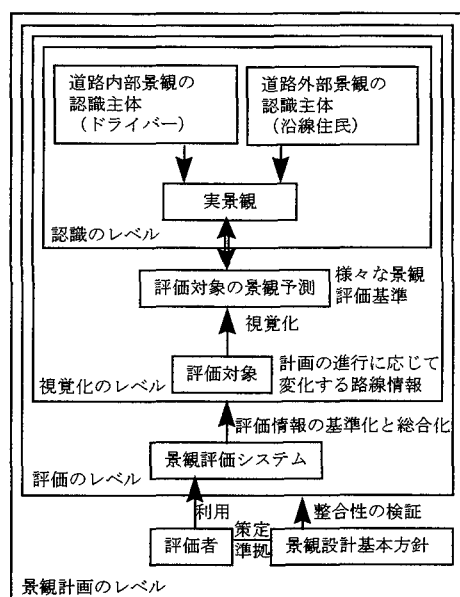
* 景観

*¹ 学生会員、工修、埼玉大学大学院理工学研究科
(埼玉県浦和市下大久保 255、TEL&FAX048-855-7833)

*² 正会員、工博、埼玉大学工学部建設工学科
(埼玉県浦和市下大久保 255、TEL048-858-3551)

*³ 正会員、国際航業株式会社
(東京都千代田区6番町2番地、TEL03-3237-2172、
FAX03-3237-7367)

*⁴ 正会員、Ph.D.、国際航業株式会社
(東京都千代田区3番町2番地、TEL03-3237-2172、
FAX03-3237-7367)



図一 1 路線計画における景観評価モデル

にCG等の媒体を用いて路線設計情報から視覚的な予測評価を行う。ここでは実景観に関して把握した認識モデルを適用できるかを検証する必要がある、さらに路線計画において設計情報の変更や精度への対応を考慮する必要がある。ここまでのレベルで得られた視覚的情報を定量的な基準によって総合的に評価するのが景観評価システムである。次に評価者がシステムを利用する景観計画のレベルがある。ここではシステムは評価基準の定量的な目標値を含む景観設計技法への準拠が前提となる。

ここでシステムのユーザーである評価者の概念について言及しておく。景観評価システムは視覚情報や路線情報の分析作業の自動化を目指すものである。そのためシステムの利用者には道路の景観を評価する意志を持つ広い意味での評価者が該当する。しかし利用者が道路や景観についてある程度の知識を有していないとシステム内の評価プロセスがブラックボックスとなり評価情報がうのみにされるおそれがある。したがってシステムの利用が真に効果を発揮するのは、道路計画の試行錯誤の中で景観的情報を多く取り入れていきたいと考えている道路技術者が利用する場合と、景観を専門とするプランナーやデザイナーが自分の経験的判断に多側面からのチェックを加えたり客観的な根拠を与えようとする場合であると考えられる。

(3) 基本評価項目

評価システムには、評価の各段階を通じてある程度、共通して利用される基本評価項目が必要となる。

これらは、物理的評価項目と心理的評価項目に分類される。

(a) 物理的評価項目

各景観構成要素について、視点と対象の空間的關係から求められる視覚特性を、道路内部の連続的な視点場集合か、道路外部の代表的視点場集合において算出したものである。景観構成要素には、景観設計基本方針において指定された景観の演出を考慮すべきランドマーク（山岳、湖沼、構造物）や、路面、法面、空、地形などがある。算出される視覚特性は、評価プロセスの初期段階においては、可視率、仰俯角、視線入射角、水平及び鉛直見込角であり、プロセスが進行しより詳細な情報が要求される場合は、CGにおける対象の面積、水平および鉛直長さ、水平及び鉛直位置などが有効となる。

その他にシーケンスを特徴づける評価指標として区間内の構図変化パターンの多様性を示す指標、視線誘導効果を示す指標も考慮することが望ましい。

(b) 心理的評価項目

道路景観を規定する心理的要因については様々な評価基準が存在するが、主観的で測定におけるデータの信頼性に問題があるものも多い。しかし景観という現象が本来、物理的存在である対象が人間の認識に取り込まれるその関係性を扱うものである以上、これらの心理的要因を無視することはできない。本研究の場合、従来から存在が示唆されている種々の心理的要因をSD法—因子分析によって集約化した既存文献⁹⁾の成果を利用しており、圧迫感や閉鎖性を評価するための力量性、単調さや動きを評価するための活動性、美しさや快適性を評価するための評価性の3つの因子を採用している。

(4) 設計精度を考慮した多段階の評価

路線設計のプロセスの中では、作業の進展に伴って利用される地形図の精度がかわる。従って路線データの位置や形状についても設計の初期の段階では、正確さを期待することはできない。このような精度でCGにより法面等のサイズ、形状を推定し景観の影響を詳細に吟味するのは有効ではない。また従来の景観評価では、比較的設計が進展した段階でCGが作成され評価が実施される。この時点で景観の問題点が明らかになったとしても、路線位置の変更などのより高度な設計変更を加えることは難しく、対策としては表面的な修景を施す程度になってしまうことが多い。道路景観の様相を本質的に規定するのは路線位置である。従って路線選定の段階においても代替案の比較評価を実施することが必要である。

さらに設計段階に入っても代替案の暫定的な路線線形が確定するごとに景観評価を実施し、常に景観的に問題の大きい路線とならぬよう監視する必要がある。

(5) 代替案の評価と段階的な問題解決

路線代替案は前述の基本評価項目によって評価され

る。これらの項目についてウェイトとの積和得点によって最適案を見だし、次段階ではこの案をもとに、より詳細な設計案を作成することも可能である。評価システムには、前段階で取り残された景観的問題点の情報を保持することが要求される。

景観的問題の抽出は具体的には2つの観点で行うことができる。

(a) 路線内に景観的問題点のある地点

景観設計基本方針あるいは、評価実験等によって、各評価項目ごとに目標値を設定しておく。例えば法面の可視率の許容限界値、ランドマークの可視率の達成目標などが考えられる。これを満たさない地点が存在するときは、評価者に警告を与え、その周辺での設計変更、修景技法の適用を促す。

(b) 区間評価において基準を満たさない路線案

区間内での評価値の総計が基本方針の目標値に達しない場合にも、路線案についてどの評価項目において問題があるかを評価者に示す。

(6) ウェイトについて

各評価項目に与えられるウェイトについては、意志決定者である評価者が項目の優先度を一対比較によって決定するなどの方法もあるが、本評価システムの基本評価項目は全て視覚的な要因とそれに対応した心理的な要因であり、どれを優先するかという決定において、客観的根拠は存在し得ないと考えられる。したがって道路の特性に応じた景観設計基本方針に適合するウェイトを専門家グループが決定する方法が妥当であろう。そのためこのような方法が有効に機能するためには、基本方針が対象となる道路景観の望ましい姿について具体的な戦略を備えている必要がある。例えば物理的評価項目については特定のランドマークの演出を優先したり、法面の影響を少なくすることを優先するなどの方針を有すこと、心理的評価項目については、開放的な道路にするか、落ち着いた道路とするか、変化に富んだ道路とするかなどの方針が定量的な目標値として明確化されていることが必要となる。

3 景観評価システムの全体構想

(1) 景観評価システムの特徴

前述した評価システムについてコンピューターによる支援システムの構築を考える。このシステムが有すべき特徴を整理しておく以下ようになる。

- ① 路線の計画設計の各段階において、適切な精度の評価を実施する
- ② 道路景観における対象の見え方と心理的影響の相互関係を考慮する
- ③ 道路内部景観および外部景観を共に考慮する
- ④ CGアニメーションを用いた評価を行う

表ー1 計画プロセスの各段階における内部景観および外部景観の評価項目

	内部景観（ドライバーの視点）	外部景観（沿線住民の視点）
路線検討	・構造別延長に基づく心理評価尺度 (それぞれの区間は心理的にどのような意味をもつか) ・ランドマークの視覚特性解析 (ランドマークがどう見えるか)	・外部視点場から可視となる構造別延長 (土工、橋梁区間はどのくらいの距離みえるか)
概略設計 予備設計	・立体線形上の視覚的問題 (視線誘導、錯視) ・法面、ランドマークの透視形態によるインパクト (法面、ランドマークがどれだけ目立つか) ・景観変化の多様性と心理評価尺度 (単調なシーケンスになっていないか)	・法面、橋梁の視覚特性解析 (外部から法面橋梁がどう見えるか) ・法面、橋梁の透視形態によるインパクト (外部から見て法面がランドマークの眺望を損なっていないか)
実施設計 施工供用	・修景技法の適用効果	・修景技法の適用効果

⑤ シークエンス景観の特性を考慮する

①に関してであるが、このような複雑な評価作業をできるだけ軽減するために、評価システムの利用者が線形の情報を入力すると、路線案の評価結果が可能な限り自動的に出力されるような評価システムであることが望ましい。

②は対象の見え方という客観的な数量と人間の心理的判断という主観的な数量の相互作用の関係を考慮するということである。

③についてであるが、道路を走行するドライバーの視点に立てば、眺望を阻害するトンネル、巨大法面などはさけるべき要素である。さらに走行上の快適性、ある程度の風景変化が得られること、視線誘導などの機能が備わっていることが求められる。一方道路外の沿線住民からみれば橋梁や切土面などが見えるよりはトンネルの方が好まれるなど立場間の相違が存在する。評価システムはこれらの相違を考慮した基準を取り入れる必要がある。表ー1は立場間の相違と路線計画の初段階の関連を考慮して利用すべき評価項目をまとめたものである。

④については路線上の連続的な視点の移動を考慮して道路内部景観を予測する。従来、多くの評価手法が代表的な視点場からの評価に限定されていたが、これにより区間全体の評価が可能となる。

⑤については対象の見え方についての時系列的変動のしかたや、心理的反応の変動の仕方あるいは分類された典型的構図の連続の仕方についても考慮がなされることを意味している。

(2) システムにおける評価情報について

景観評価システムは、路線設計プロセスの進展に対応したシステムフローをもつ。そして各段階ごとの評価はそれぞれ役割の異なるサブシステム群によって実施される。まず設計や調査作業の結果すなわち線形、地形データ等がその段階の精度に応じてサブシステム

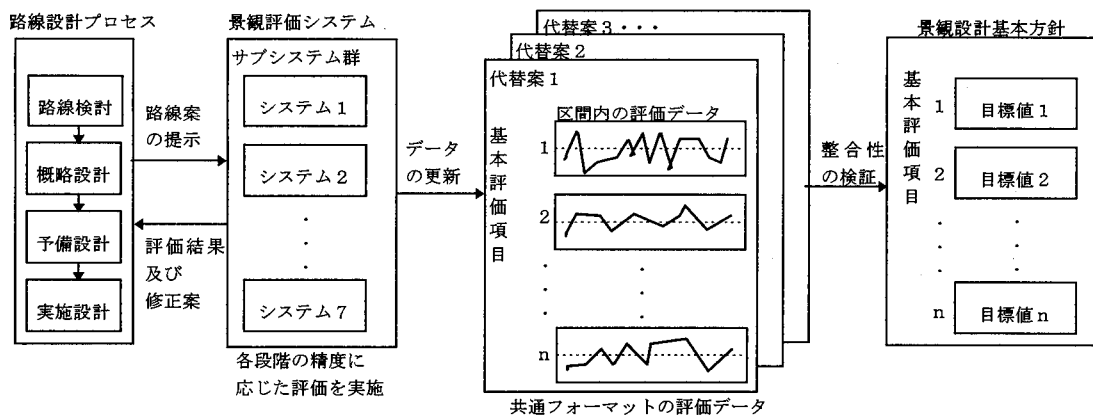


図-2 システムによる評価作業の概念図

群に与えられる。サブシステムは、これらをもとに役割に応じて解析作業を行い評価情報を出力する（図-2）。

評価データの形式であるが、初期の路線案や後の段階で現れた修正案や新規案も共通したフォーマットのデータを有する。このデータは評価プロセスにおいて一貫して利用される複数の基本評価項目の区間データから構成される。そして段階ごとに異なる観点から分析され、結果に応じて、修正、更新されることになる。この分析結果は段階ごとに景観設計基本方針との整合が検証され、最も目標案に近いものを最適案とする。

このように評価プロセスにおいてデータの一貫性を保持することは、設計段階の進展によって路線案がどれだけ改善されたかなど、段階ごとの比較のために重要である。

（3）評価システムが対象とする計画設計段階

本評価システムが対象とする路線計画段階は、路線検討、概略設計、予備設計、実施設計、施工供用段階である。ここでの路線検討とは路線の概略計画の中で社会経済、交通、環境への波及効果、地質などの調査結果を考慮して行われる概略路線選定の作業を指す。地形図は 1/50000、1/25000 の縮尺のものが利用される。これは高速道路計画の法的手続きでいうと基本計画の段階に相当する。次の概略設計段階は 1/5000、1/2500 縮尺の地形図を用いてコントロールポイントとのかねあいを考慮しながら平面、縦断計画いわゆる路線選定が行われる段階である。高速道路計画では基本もしくは整備計画に該当する。予備設計段階は 1/1000 の精度で行われ、この段階で路線の中心線が決定する。実施設計はトンネルや橋梁も含めて詳細設計が行われる段階である。施工供用段階は設計段階ではないが、道路が竣工した後も修景事業などが別個に行われることがあること、修景事業の経験蓄積のため事後評価が重要であること、評価システムで予測した種々の評価結

果の精度評価を行う段階であることから本システムの対象範囲とした。

（4）評価システムの流れ

ここでは各路線設計段階に対応した景観評価プロセスの各評価項目について述べる（図-3）。

（a）路線検討段階での景観評価

①土工、構造、トンネル部の構成比による評価

この段階では路線の精度は粗く、景観構成要素の透視形態上の特性を吟味する段階ではない。概略検討段階では、概略工費算定のために、土工、構造、トンネル部の距離を推測するが、これを路線の景観的特徴を示すパラメータとして利用する。トンネル区間は内部景観においては眺望が阻害され、最も閉鎖的な区間であるが、一方外部の視点場からは見えず、自然景観の破壊感はない。土工区間についてはやや閉鎖的であるがトンネルほどではない。ただし法面の出現によって特に外部視点場からの不快感が大きい。橋梁区間は、開放的で外部視点場から見たときの破壊感もあまりない。評価は、心理実験を通じて各区間の平均的な評価値すなわち基本評価項目の力量性、活動性、評価性を求める。さらにそれぞれの構造区間の位置、距離の把握をもとに各代替案に対し全体区間の評価を実施する。

②代表的ランドマークの見え方による評価

この段階においては一般に 1/50,000 あるいは 1/25,000 の地形図をもとに路線位置が検討されるが、評価システムは 50m 区画の標高メッシュデータもしくは 20m 格子点データをもとに、周辺の代表的ランドマーク（特定の山岳、湖、河川、大規模橋梁など景観設計基本方針で設定されているもの）の路線上からの可視率など物理的な基本評価項目を計測する。

（b）概略設計段階での景観評価

1/5,000 の地形データと路線の線形データをもとに道路上の連続的視点における CG が作成される。ここでは道路の外部からの見え方、道路内部からの周辺景

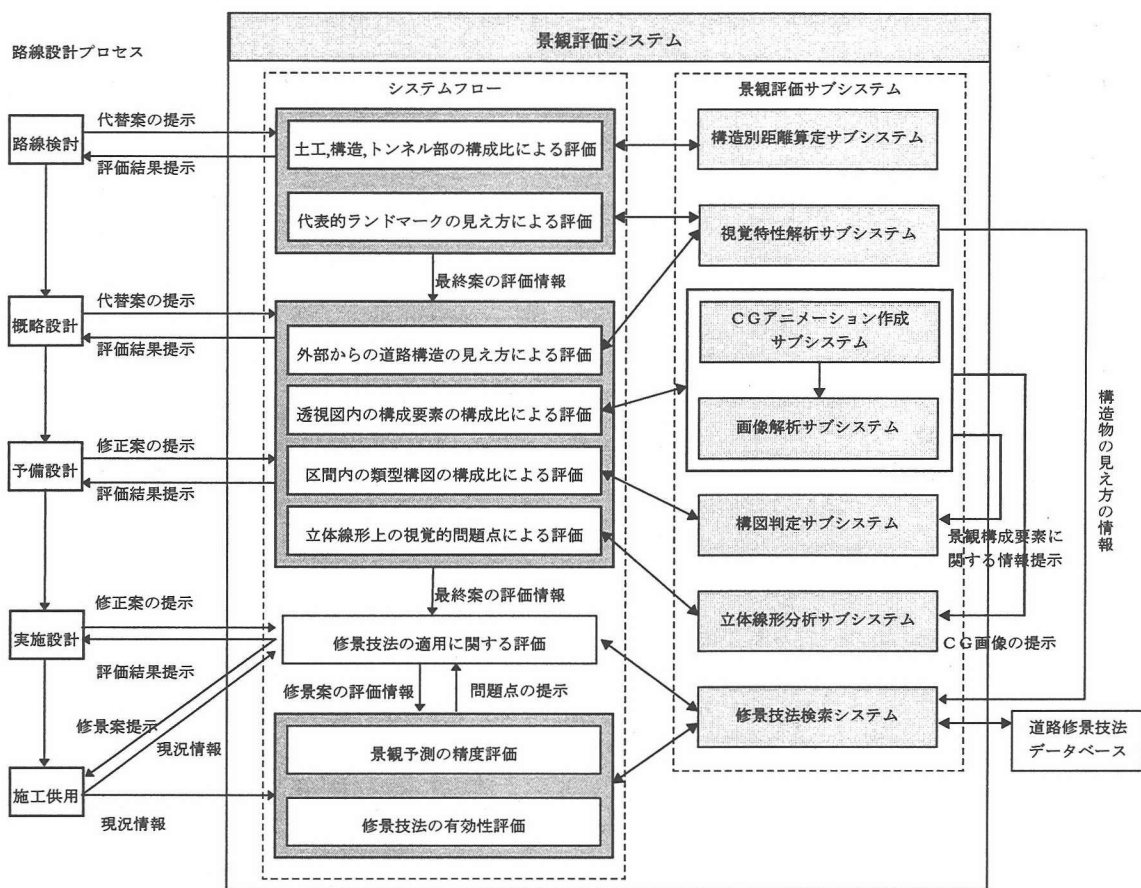


図-3 景観評価システムのフローとサブシステム

観の見え方について、前段階以上に詳細な評価が実施される。

①外部からの道路構造の見え方による評価

土工、橋梁、トンネルが外部の視点場からどのように見えるかを可視不可視分析をもとにして評価する。橋梁については予想される構造形式が何であるかを配慮し、土工部についてはのり面の規模や形状をもとに評価が実施される。

②透視図内の構成要素の構成比による評価

作成されたCGアニメーションについて景観構成要素の見え方を把握するための画像解析を行い、ランドマーク、路面、法面、空、地形等の画面内における面積など物理的な基本評価項目を定量的かつ時系列に把握する。これらの景観構成要素の中から、法面やランドマークなどのデータについて基本方針において設定された目標値を達成しているかなどが検証される。

③区間内の類型構図の構成比による心理的評価

ここでは構図分類という形で典型的な道路景観の構図を抽出し、路線代替案がそれらの構図をどのような比率で有しているか、どのような構図変化パターンを

有しているかを調べ物理的な基本評価項目として加える。さらに心理実験によって構図変化パターンを心理的な基本評価項目である力量性、活動性、評価性に変換して、区間全体の評価を実施する。

④立体線形上の視覚的問題点による評価

立体線形に由来する視覚的問題が起りやすい地点をCGアニメーションの画像解析と線形データをもとにして抽出する。そして路線代替案ごとに問題点をどれだけ有するかを一つの評価基準とする。視覚的問題の例としては不十分な視線誘導、視覚的連続性のない線形、錯視などがある。

(c) 予備設計段階での景観評価

前段階で候補路線がほぼ確定するが、1/1,000の図面に引かれる予備設計での路線案にも評価が適用される。ここでも同様にCGアニメーションを作成し、概略設計と同じ評価基準で評価する。

(d) 実施設計段階での景観評価

概略的な路線位置や路線線形は前段階においてほぼ確定する。前段階にける比較評価の結果得られた最適案でも、依然として基本方針の目標値を達成できてい

ない地点が残されている可能性がある。従って、実施設計段階以降においては、これらの問題地点を修正しつつ設計を行うことが望ましい。

①修景技法の適用に関する評価

路線案に残された景観の問題には、例えば区間内に許容範囲をこえる大きさの法面や擁壁、トンネルの坑口の存在や、あるいは依然として視線誘導効果が十分でなかったり、錯視等の問題も残されていることが考えられる。これに対し、のり面の表面処理や、トンネル坑口のコンクリート表面処理、植栽などを、それらの修景効果を考慮して、どの問題地点にどの修景技法を適用すべきかが判断される。そして適用された場合には、技法の効果に応じて路線の評価情報が更新される。

(e) 施工供用段階での景観評価

①景観予測の精度評価

景観構成要素の画面占有率や、可視率、仰俯角、見込み角、入射角等の物理的な評価項目については、道路の施工が完了したら事後評価を実施し、これらのパラメーターがどれだけ正確に予測されていたかを評価し、次の景観評価プロセスにおける地形図の利用やCGアニメーションの精度の決定に参考となるような情報を残す。

②修景技法の有効性評価

同様に修景技法の適用の有効性についても事後評価を実施し、意図した修景効果が得られているかをモニタリングを通じて評価し、問題点を明らかにする必要がある。またこの結果、データベースに収録されている修景技法の適用効果に関するデータが適切でないときには修正を加える。

4 各サブシステムの構築

(1) 構造別距離算定サブシステム

これは橋梁、トンネル、土工の区間距離を推定するシステムである。

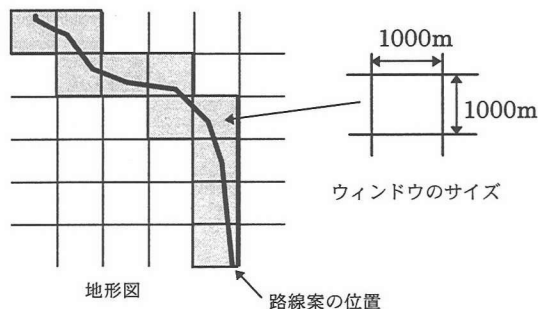
路線検討段階においては1/50,000あるいは1/25,000の地形図をもとに路線位置が検討される。このような粗い設計精度を考慮して、地形の標高メッシュデータの利用法を考える。本研究では平面線形データのみ与えられた場合と平面、縦断の両方のデータが与えられた場合を想定して2通りの区間距離算定法を示す。

(a) 平面線形のみ既知の場合

同じ路線検討でも概略的な位置だけを検討する場合には、評価情報が地形図と平面線形データに限られることがある。道路構造を決定する要因は縦断線形であ

表－2 地形特徴量の算定式およびトンネル長との相関係数

地形特徴量	意味	算定式	トンネル長との相関
平均路面高	ウィンドウ内で想定される平均高さ	-	0.15
平均標高	ウィンドウ内の標高データの平均	$\bar{h} = \sum_{h=0}^{L-1} hp(h)$	0.37
分散	標高データの分散	$\sigma_h^2 = \sum_{h=0}^{L-1} (h - \bar{h})^2 p(h)$	0.53
標準偏差	ウィンドウ内の標高データの標準偏差	V (分散の平方根)	0.56
接峰面高度	ウィンドウ内の高度の最大値	$h_{\max}$	0.41
接谷面高度	ウィンドウ内の高度の最小値	$h_{\min}$	0.32
最大起伏量	接峰面高度－接谷面高度	$h_r = h_{\max} - h_{\min}$	0.58
開析度	現地形→幼年期→壮年期という地形発達モデルにおける進行の程度	$p = 1 = h / h_{\max}$	0.16
スキューネス	平均値を中心とした高度分布の偏り	$h_s = \frac{1}{\sigma_h^3} \sum_{h=0}^{L-1} (h - \bar{h})^3 p(h)$	0.02
エネルギー	ウィンドウ内の各メッシュがある高度となり得る確率の2乗和	$h_N = \sum_{h=0}^{L-1} \{p(h)\}^2$	0.06
エントロピー	値の増加に伴い平均高度が低下する	$h_E = - \sum_{h=0}^{L-1} p(h) \log_2 p(h)$	0.01



図－4 地形図上へのウィンドウの設定

るから、この場合、構造別延長は沿線の地形的な特徴から統計的に推定するしかない。本研究では地形特徴量からトンネル長を推定するモデルの構築を試みた。路線位置はかなりの変動領域を有すると考えられるので、ある程度、面的な拉がりを考慮する。

基本となるのは1/25,000の数値地図で、メッシュデータが地形図を縦横200等分して得られた約50m四方の区画の中心標高値として与えられている。ここでは1000m四方のウィンドウ(図－4)を定義し、そのウィンドウごとに表－2に示すような地形特徴量(標高の平均、分散、接峰面高度、接谷面高度、最大起伏量、開析度、スキューネス、エネルギー、エントロピー)を算出した。まずあるウィンドウについて、高度を0～L-1に分割し、高度がaであるメッシュの個数をN(a)とする。そしてウィンドウ内のあるメッシュ(i, j)が高度aをとる確率p(a)を高度aの点の数の相対値と仮定する。すなわち

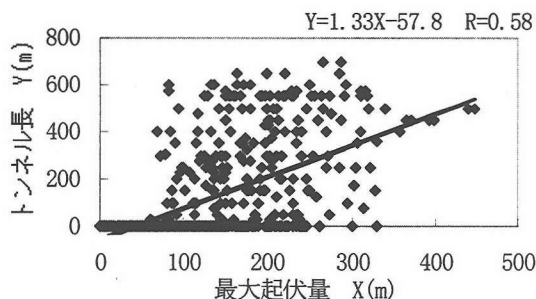


図-5 最大起伏量からトンネル長を推定するモデル式とプロット図

$$p(a) = \text{prob}\{u(i, j) = a\} = n(a) / M$$

ここにMはメッシュの総数である。以上の定義に基づいて、表-2のような算定式により各指標を求める。これに対して、全国的高速自動車道（平成7年10月現在）におけるトンネル長を測定し、その中から供用年代、トンネル長が分散するように配慮して東北、山形、上信越、関越、北陸、名神の各自動車道から標本ウィンドウを選択した。ウィンドウ数は626個であり、それぞれのウィンドウに存在するトンネル本数、長さおよび平均路面高を分析用データとした。

次にこれらのデータを用いて、トンネル長を従属変数、地形特徴量を独立変数として回帰分析を行った。表-2にはトンネル長と各地形特徴量間の相関係数が示されている。この中から比較的相関の強い変数を組み合わせて重回帰分析を行ったところ、最大起伏量による単回帰直線より有意な回帰式は見いだせなかった。起伏量による単回帰式および散布図を図-5に示す。

以上の結果からは起伏量が大きい地形条件のとき、トンネルが長くなるなどの傾向が見いだせるが、推定式としては他に推定手段がないときの代替手法程度の有効性とみるのが無難であろう。

(b) 平面、縦断線形がともに既知の場合³⁾

一方、縦断線形が得られれば、推定はより有意に行えるようになる。推定は平面線形の入力から現況地盤の高さを算定し、この値と縦断計画高を比較して行う。算定した盛土高があらかじめ設定しておいた盛土限界高を超える場合は橋梁、そうでない場合は盛土、算定した切土高が切土限界高を超える場合はトンネル、そうでない場合は切土と推定される。

図-6はシステムによる道路構造の推定プロセスである。図-7はシステムによって路線位置、切土高、盛土高、道路構造種別を表示したものである。

表-3はシステムによって実際に推定した区間別延長（地形データは1/12500の地形図から作成した20m格子点データ）と1/2500の精度でCADによって作成し

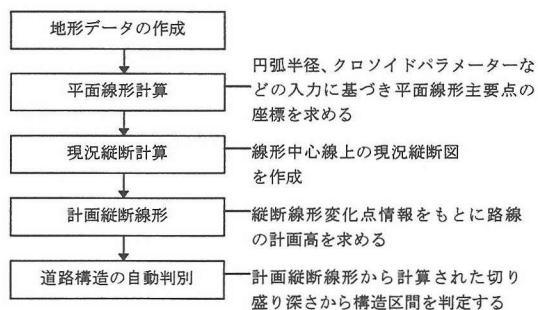


図-6 道路構造の判定プロセス

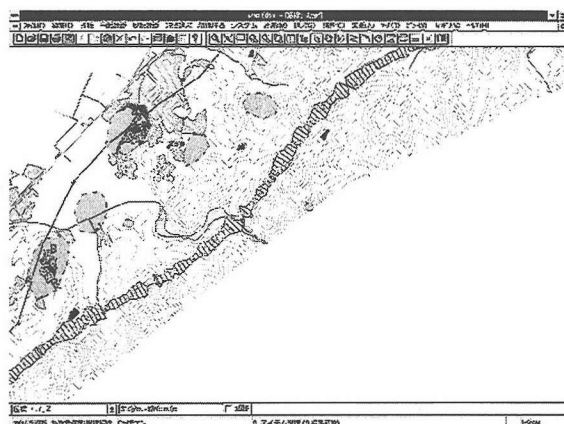


図-7 道路構造の判定結果

表-3 システムによる構造別延長の算定値とCADによる算定値の比較

	システムによる 構造別延長(m)	CADによる 構造別延長(m)	誤差(%)
土工部	7080.0(71.36%)	7060.0	0.9%
トンネル部	253.5(4.4%)	280.0	9.5%
橋梁部	2401.4(24.2%)	2611.4	2.7%
合計	9921.37(100.0%)	9951.4	0.3%

た路線から算定した区間別延長を比較したものである。いずれも誤差が10%以内であることがわかる。

(2) 視覚特性解析サブシステム⁴⁾

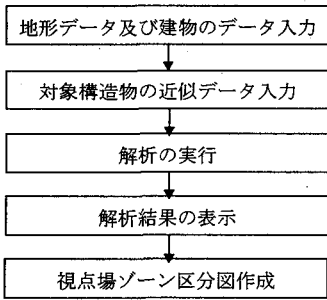
路線上や外部視点場など指定された始点場からの視対象の見え方が分析される。視対象となるのは、路線上の視点場（内部景観）からみたランドマーク（山岳、湖沼、河川、建築物、橋梁、ダムなど）およびのり面、外部視点場（外部景観）からみた道路構造自体の見え方、例えばのり面と橋梁である。

(a) システムが算出する指標

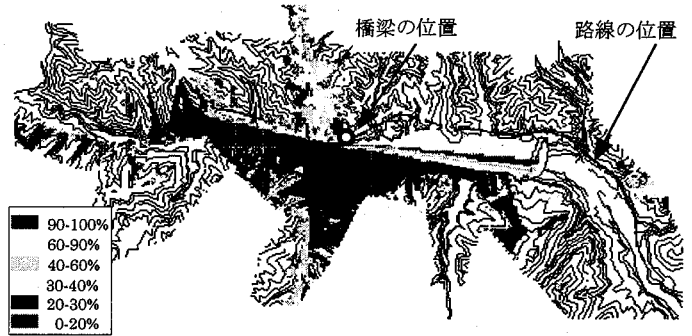
このシステムは計画地域の地形図と構造物データをもとに以下の5つの視覚特性値を算出するものである。

①鉛直可視率（対象構造物を鉛直方向に見て何%が見えるか）

②水平可視率（対象構造物を水平方向に見て何%が見えるか）



図－8 視覚特性解析のプロセス



図－9 路線上の橋梁に対する外部視点場における可視率出力結果

えるか)

③水平見込角（対象構造物が視野の中でどれくらいの水平角度で見込まれるか）

④視線入射角（対象構造物と視軸方向のなす角度がどれくらいか、橋軸と平行で 0° ）

⑤仰俯角（対象をどれくらいの角度で見上げ、あるいは見下ろすのか、水平を 0° として仰角が＋）

ここでは対象の見え方の特徴を類型化してゾーン区分を行うために指標をグループ分類する必要がある。従来から指標の分類は経験的に行われてきた。これに対し著者らは既存文献⁴⁾において、かたちの類似性を考慮して、それぞれの指標内で対象が同じようにみえる範囲を評価実験を通じて導き出している。いくつかの指標は概略的な橋梁形状が直線、曲線形、十字形（斜張橋）であるかによって分類結果が異なると判明しており、表－4にはアーチ橋を対象としたときの指標分類結果を示す。分析手法としてファジィ理論を使用しており類似性のあいまいな判断を取り込んでいるため指標値が重複して2つのグループにまたがることもある。

(b) 解析のプロセス

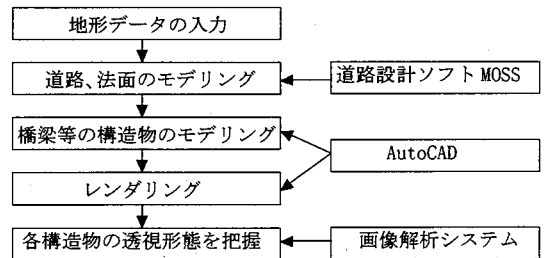
解析のプロセスを図－8に示す。まず地形図を20m四方のメッシュに区切りその格子点に高さデータを与えたものを作成する。構造物についてはこの段階では形状は未確定なので近似的な形状を入力する。これらをもとに対象範囲内の全ての格子点について5つの指標を算出する。続いて算出した5指標の組み合わせが類似した格子点をまとめることにより視点場ゾーン区分図を作成する。これを道路、公園など実際に視点場になり得る場所に限定し最終的なゾーン区分図とする。ただし上述のプロセスを経て得られたゾーンとは、その中のどの地点でも対象構造物が同じような見えかたをする区域という意味である。図－9に橋梁を視対象とした可視率の分析結果を示す。

(3) CGアニメーション作成サブシステム及び画像解析サブシステム

このシステムは市販の道路設計ソフトである MOSS、

表－4 視覚特性指標の分類

指標	カテゴリー分類
鉛直方向の可視率	① 0～20%、② 20～30%、③ 30～40%、④ 40～60%、⑤ 60～80%、⑥ 70～100%
水平方向の可視率	① 0～20%、② 20～30%、③ 30～40%、④ 40～60%、⑤ 60～90%、⑥ 90～100%
水平見込角	① $1\sim 2.5^{\circ}$ 、② $2.5\sim 10^{\circ}$ 、③ $7.5\sim 30^{\circ}$ 、④ $30\sim 60^{\circ}$
視線入射角	① $1\sim 10^{\circ}$ 、② $10\sim 30^{\circ}$ 、③ $20\sim 70^{\circ}$ 、④ $60\sim 90^{\circ}$
仰俯角	① $-45\sim -25^{\circ}$ ② $-25\sim -15^{\circ}$ ③ $-15\sim -5^{\circ}$ ④ $-5\sim +30^{\circ}$ ⑤ $+30\sim 50^{\circ}$ ⑥ $+50\sim 60^{\circ}$ ⑦ $+60\sim 70^{\circ}$ ⑧ $+70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ⑨ $+80\sim 90^{\circ}$



図－10 CGアニメーション作成サブシステムのシステムフロー

市販 CAD ソフトの AutoCAD および独自開発の画像処理プログラムの3つのソフトウェアで構成される（図－10）。はじめに1/5,000の地形図を等高線データ化し、これをもとに MOSS によって道路および法面のモデリングを実施する。さらに AutoCAD によって橋梁、ダムなどの構造物のモデリング（図－11）およびレンダリングを行う。

一方アニメーションを作成するために道路測点の座標データを視点位置座標に変換してモーションモデルを構築しておく。最終的に景観構成要素の形状や大きさ、位置の把握は画像解析プログラムで実施する。空、路面、切土面、ランドマーク等の景観構成要素はあらかじめ指定された色彩で描画される。画像解析サブシステムは、 640×480 または 320×240 pixel の CG 画面の各 pixel について RGB 値を抽出し、景観構成要素ごと

の画面内占有面積（図-12）、水平、鉛直長さおよび位置を計測する。

（4）構図判定サブシステム

構図判定サブシステムは道路景観のある場面において、どの景観構成要素が最も影響力をもつのかを判定するシステムであるが、この判定には2つの意義が存在する。第1には景観構成要素の相互関係（背景と構造物など）を考慮した視覚的なインパクトを定量化し、法面などの構造物の景観評価を行うこと。第2に場面ごとの主対象を判定し、区間内でどのような主対象の交代が発生しているかを把握し、道路走行景観が単調なものとならず、適切な景観変化を有しているかを評価できることである。

（a）景観構成要素の視覚的インパクトの評価

ここでは画像解析サブシステムで得られた景観構成要素の面積や位置から、ある場面において主対象として認識される景観構成要素が見いだされる。主対象であるということは、画面内で最も目立つと同時にインパクトの強い構成要素であることを意味する。この主対象を本研究ではその場面の構図の名称としている。例えばダムが最も目立つ場合にはその場面はダムの構図と呼ばれる。

ここでは例として跨道橋が主対象となる確率の算出法を示す。対象を主対象と認識する知覚構造はゲシュタルト知覚と考えられるが、対象のサイズや形状、位置がどのようなかたちで主対象としての認識に寄与するかは、非常にあいまいな過程といわざるを得ない。したがってファジィ理論の適用により主対象の判定を試みる。

図-13に主対象の判定プロセスを示す。この中で5つの指標値、画面占有率、水平占有率、鉛直占有率、水平位置、鉛直位置と目立ち度の関係および目立ち度と主対象確率の関係は回帰モデルによって与えられている。これは高速道路における跨道橋のカラー映像提示による心理実験から得たものである。実験では40通りの映像が提示され、14名の被験者は各場面の中の代表的な景観構成要素を主要な順に3つ回答し、さらに場面中の跨道橋の目立ち度を7段階尺度で評価した。まずカラー映像から測定された画面占有面積をはじめとする5つの指標値をそれぞれ独立変数、跨道橋の目立ちやすさの7段階評価値を従属変数とした回帰モデルを作成した。次に目立ちやすさの7段階評価値を独立変数、跨道橋が主対象と判断された確率（全被験者数のうち何人が跨道橋を主対象と回答したか）を従属変数とする回帰モデルを作成した（表-5）。

各回帰モデルの従属変数の値は最大1になるように正規化されており、これらのモデルをファジィ帰属度関数とみなすことができる。

5つの指標値ごとの目立ち度に関する帰属度関数は、

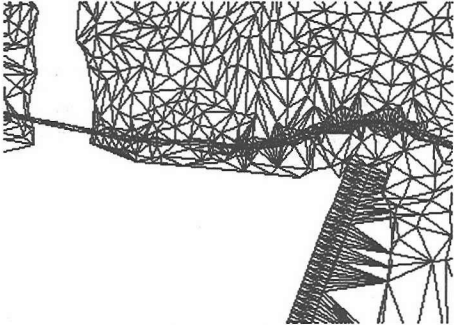


図-11 MOSSによる路線代替案にAUTOCADによるダムを追加したCGモデル

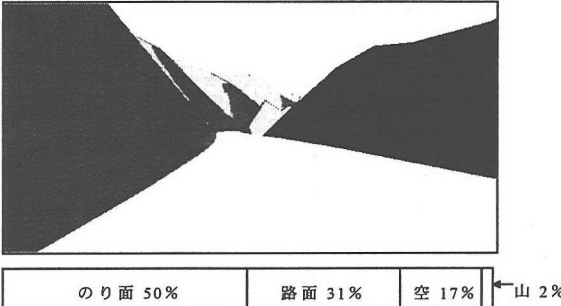


図-12 画像解析サブシステムによって計測した各景観構成要素の構成比

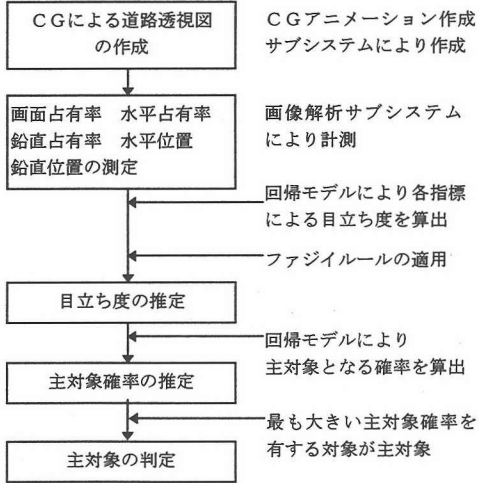


図-13 主対象確率を算出するプロセス

表-5 回帰モデルによる帰属度関数

従属変数 Y	独立変数 X	回帰モデルによる帰属度関数	決定係数
目立ち度	画面占有率	$Y=0.22\ln(X)+1.43$	0.834
目立ち度	水平占有率	$Y=0.415\ln(X)+0.875$	0.875
目立ち度	鉛直占有率	$Y=0.322\ln(X)+1.29$	0.701
目立ち度	水平位置	$Y=-0.00002X+0.0007X+0.725$	0.500
目立ち度	鉛直位置	$Y=0.466\ln(X)-1.41$	0.527
主対象確率	目立ち度	$Y=2.59X-1.32 \quad (X>0.51)$ $Y=0 \quad (X\leq 0.51)$	0.746

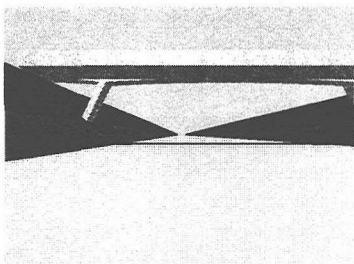


図-14 50m離れた視点から見たスパン40mの跨道橋

ファジィルールによって演算され、集約化された目立ち度が算出される。ファジィルールは被験者の回答傾向から導き出され、「画面占有率が大きくかつ水平長さが大きい」かまたは「水平位置が中央でかつ画面の上方に位置する」ときには対象は目立つというものであった。

集約化された目立ち度から主対象確率を算出する際にも帰属度関数が利用される。

5つの指標値に対してファジィ演算を施すルールは以下のように定式化される。

$$E = (S \cap L_h) \cup (\neg H_p \cap V_p) \dots \dots \dots (1)$$

⇔

$$\mu E(x) = (\mu S(x) \wedge \mu L(x)) \vee ((1 - \mu H(x)) \wedge \mu V(x)) \dots \dots \dots (2)$$

E：主対象と認識される集合

S：画面占有率による目立ち度の集合

L_h：水平長さによる目立ち度の集合

H_p：原点からの水平距離による目立ち度の集合

V_p：原点からの鉛直距離による目立ち度の集合

ここで¬は補集合、∩は共通集合、∪は和集合を表す。式(2)は式(1)のメンバーシップ表示である。Vはmax、∧はminを表し、変数xは0から1の間で変化する。

以上のファジィルールをもとに実際にCGで作成した跨道橋の主対象確率の推定を試みる。図-14はスパン40m、桁高1.2m、幅員4mのπ型ラーメン橋である。この橋梁に450m遠方から接近した際の目立ち度および主対象確率の変動を図-15に示す。実際の構図判定においては、法面などの他の景観構成要素の主対象確率も算出し、場面内で最も大きいものを主対象とする。

(b) 景観変化の多様性の評価

場面ごとに主対象が判定されるので、これらを区間内で時系列に連結し、構図の変動パターンを知ることができる。既存文献⁵⁾では、道路景観画像の提示による心理実験を実施し、高速道路において体験される257

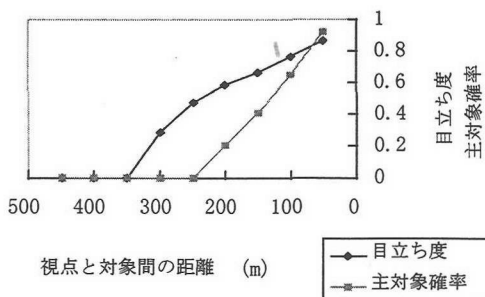


図-15 跨道橋の目立ち度と主対象確率の変動

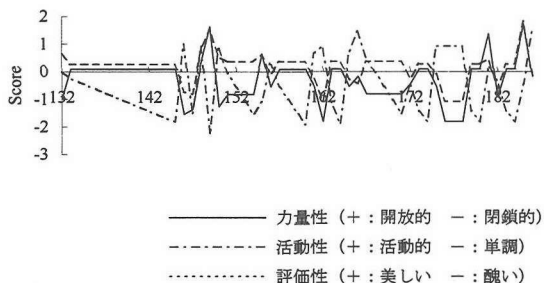


図-16 3つの心理的評価項目による区間評価
(東北自動車道、大鰐弘前～碓ヶ関間)

通りの構図変化パターンに対し3つの心理的評価値を与えている。このため、構図の変化パターンが構図判定サブシステムの分析によって明らかになると、心理的評価項目による区間評価結果を得ることができる。図-16は東北自動車道の大鰐弘前から碓ヶ関までの構図変化パターンをもとに連続的な心理評価を求めたものである。

(5) 修景技法検索システム

修景技法検索システムは市販のデータベースソフトMS-ACCESSによって構築された技法データベースからVisualBasicによって開発された検索システムを使い道路路線計画において適切な技法を自動的に選択するシステムである。図-17に技法の検索プロセスを示す。

(a) システムの機能

システムは次のいくつかの条件に関してデータベースの項目を参照し、条件に合致する技法を抽出する。

① 対象の見え方の特性を考慮して技法を選択する。

まず視覚特性解析サブシステムによって路線区間内全ての構造物に関して見え方を把握し、この見え方の条件にあった技法をデータベースから検索する。これによって例えば遠距離の視点場を多く持つ橋梁には遠距離から見たときに効果を発揮する技法が優先的に割り当てられる。

② 景観設計基本方針と技法の整合性チェック

選ばれた技法が基本方針に反しないかをデータベースの「目的/効果」項目を基に自動的にチェックする。

③選択された技法間の整合性チェック

ある構造物に適用された複数の技法同士の整合性を「目的／効果」項目を基に自動的にチェックする。

④複数の対象に適用された技法間の整合性チェック

同様に複数の対象に適用された技法の整合性があるかをチェックする。

(b) 修景技法データベースの内容

総データ数 240 件のうち 60 件が道路の植栽や土工などを対象とした修景技法で、橋梁に関するものが 40 件がある。図-18 にデータベース収録された技法の事例を示す。入力された項目は次の通りである。

①NO.

全ての修景技法に付される通し番号。

②対象分類

技法の適用対象はダム、橋梁、道路、植栽、照明施設、建築物、公園、遊歩道、駐車場、色彩である。

③対象部位

この項目は、実際に技法が適用される部位を示す。道路に関しては擁壁、法面、トンネル坑口、防護柵、休憩施設、舗装、沿道、ストリートファニチャー、植栽などが入力されている。

④設計技法

修景技法の具体的な内容であり、対象部位に対して何をすればよいのかが示されている。

⑤技法の効果があらわれる視点の条件

設計対象が橋梁、法面、ダムなどの構造物の時にだけ、距離、見込み角、仰俯角、入射角の欄に A（必ず

適用すべき）から G（絶対適用すべきでない）の 7 段階の評価が入力されている。視覚特性解析の結果が 7 段階の評価のどれに該当するかにより適用すべきか否かが判定される。

⑥適用条件/状況

その技法によってどのような景観の問題点に対処すべきか、対象がどのような視点場分布を有するときに適用すべきかが解説されている。

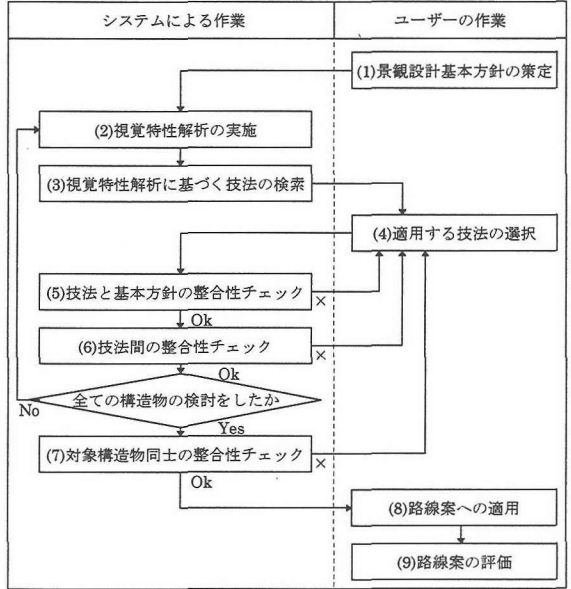


図-17 修景技法を検索するプロセス

① NO. ② 対象分類 ③ 対象部位 ④ 設計技法 ⑤ 技法の効果があらわれる視点の条件 ⑥ 適用条件/状況 ⑦ 目的分類 ⑧ 適用段階 ⑨ 技法の効果があらわれる視点の条件 ⑩ 解説

検索条件: 1/23 検索条件設定 一覧表示 視覚特性表示

結果: 1/23 検索条件設定 一覧表示 視覚特性表示

④ 設計技法: 橋台と桁を一体構造にする

⑤ 技法の効果があらわれる視点の条件: 適用条件: せり

⑥ 適用条件/状況: 橋台面傾が小さく、橋面が正面から見える視点場を、特に注意を要する。

⑦ 目的分類: 環境・自然景観の保護 形態の工夫 視覚的構造物の調整 配置・見せ方の工夫 維持管理

⑧ 適用段階: 計画 設計 施工 維持管理

⑨ 技法の効果があらわれる視点の条件: 可視率 見込み角 仰俯角 入射角 距離

⑩ 解説: 一体となった橋台の構造やボリューム感に留意する。桁の付け根にサークルランプを入れて、滑らかに橋台へすり付けると連続性が得る。

図-18 修景技法データベースに収録された景観設計技法の事例

⑦目的分類

技法を適用する目的は、「自然環境、自然景観の保護」、「形状の工夫」、「複数の対象の関係」、「配置、見せ方の工夫」、「維持管理」の5つに大きく分類され、その下に35種類の詳細な分類がなされている。

⑧目的/効果

この項目は技法の目的についてより詳細に解説を加えたものである。

⑨適用段階

計画段階、設計段階、施工段階、維持管理段階のどの段階で実施されるべきかを示す項目である。

⑩解説

設計技法についての詳細な説明が示されている。

⑪事例写真、説明図

修景技法の意味や効果が視覚的に確認できる。

⑫重要性

景観的な効果の観点から適用が必須のものから望ましくないものまで4段階のランク付けがなされている。

(c) 考察

修景技法検索システムは実施設計段階での路線の評価のために利用されるが、その目的は評価システムがここに至るまでの段階において示してきた路線代替案の視覚的問題点を解決することにある。技法の適用の際には対象の見え方の特性を考慮することが重要であるが、本評価システムは景観構成要素の視覚的特性に関する情報を自動的にチェックし、路線区間上の各地点および対象構造物に適した修景技法を割り当てることができる。今後の課題は技法の適用効果を定量化し、修景案の比較評価を行えるようにすることである。

5 結語

この研究は、路線計画、設計における景観評価システムの全体像とその特徴、および各サブシステムの機能を示したものである。評価システムは路線計画や設

計プロセスを中心として多段階のプロセスを有し、設計の進行状況に見合った評価手法が適用される。このため様々な分析手法が混在することになるが、コンピュータによる支援および評価データを段階ごとに共通性の高い形式とすることによって、システム利用の簡便化がはかられている。

設計技術者が路線設計作業と並行してシステムによる景観評価を繰り返し実施し、結果を作業に反映させることによって、道路景観のより本質的な向上が見込まれる。ただしこのような評価システムを有効に機能させるためには、比較評価する代替案をできるだけ多く作成することが前提として必要である。

現段階では各評価項目に割り当てるウェイトの取り方、検討するランドマークの設定、最適案の判定法などは景観設計基本方針に依存している。道路環境の審美性という主観的な問題について、より合理的な決定法が存在しうるかを吟味することが今後の課題である。

<参考文献>

- 1) 鈴木忠義(1966)観光道路の研究, 日本観光協会
- 2) 丸安隆和、大林成行(1982)環境計測と測量設計, 山海堂
- 3) 水上幹之、村上芳明、後藤英夫、八木英夫、高木博康、水科良浩(1996)GISを利用した道路路線選定の試行、第7回機能図形情報システムシンポジウム
- 4) 政木英一(1996)橋梁景観基本設計のための基本形状選定支援システムに関する研究、埼玉大学学位論文
- 5) 深堀清隆、窪田陽一(1995)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、土木計画学研究論文集12
- 6) 土木学会編(1982)美しい橋のデザインマニュアル
- 7) 樋口忠彦(1975)、景観の構造、技報堂
- 8) 篠原修、新体系土木工学59土木景観計画、技報堂、1982
- 9) 樋口忠彦(1977)シークエンス景観、土木工学体系13景観論、彰国社
- 10) 村田隆裕(1967)道路景観の研究、土木学会第22回年次学術講演会概要集
- 11) 遠藤作次(1977)、山地部道路の路線設計、地人書館
- 12) 柳原和彦(1982)都市景観評価システム、計量都市計画、丸善
- 13) Donald Appleyard, Kevin Lynch, John R. Myer(1964), The view from the Road, The MIT press

道路路線計画プロセスに準拠した多段階景観評価システムに関する研究

深堀清隆・窪田陽一・大友正晴・政木英一

本研究では路線計画・設計プロセスの進行に伴って実施される景観評価作業を支援する評価システムの構築を行う。このシステムの特徴は、計画設計の各段階においてその時点の設計精度に応じた評価基準を適用できること、路線選定段階において定量的な景観評価を行えること、道路景観における視対象の見え方と心理的影響の相互関係を考慮すること、内部景観と外部景観を共に考慮すること、CGから得られるより詳細な視覚情報を分析に取り入れること、最後に路線のシークエンス景観としての特性を考慮していることが挙げられる。システムは上記の機能を満たすいくつかのサブシステムから構成され、このシステムにより道路計画者が路線を修正する度に景観評価を試行することが可能となる。

This study tries to develop the landscape evaluation system of the road. The system has some abilities to evaluate the view from the road in each stage of route planning. The adequate criteria is selected with considering accuracy of design. The next, the view from the road can be evaluated quantitatively in route selection stage.. And, this system consider the relation between visual environment and psychological response caused by visual experience, detailed information from computer graphics, sequential view from the road and psychological response of it. By this system, planner and designer of road can execute evaluation task repeatedly.