

# フラクタル解析を用いた景観の数値化と適用事例

## NUMERICAL EVALUATION OF THE LANDSCAPE USING FRACTAL ANALYSIS AND ITS APPLICATION

佐藤隆洋 \*・磯打拓也 \*・斎藤静彦 \*\*・松永忠久 \*  
Takahiro SATO, Takuya ISOUCHI, Shizuhiko SAITO and Tadahisa MATSUNAGA

This study examined the effectiveness of using fractal analysis for landscape evaluation. Subjects paid attention to the parts of the viewed scene that showed the number of fractal dimensions as form with a unity. We believe this result is an expression of the "figure-ground" (perception) effect of the Gestalt system. It was suggested that this analytical technique could identify the attention area of users. In the case of numerical analysis of a road scene, the system arranged the data in chronological order. The result of this analysis was almost the same as from scene classification by an expert. This analytical technique was able to evaluate information about landscapes and could compare various information within a landscape. We believe this method offers a quantitative approach for landscape analysis.

**Keywords** : *Landscape analysis, fractal analysis, scene experience, clearly visible angle, sequence experience*

### 1. 研究の目的

本研究は、シーン景観やシーケンス景観を対象に、近年景観分析に用いられてきているフラクタル次元解析の有効性について検証を行ったものである。眺めの数値化におけるフラクタル解析の適用は、大野他<sup>1)</sup>や清水他<sup>2)</sup>の報告がある。

景観の保全や計画の際は、利用者が注目する箇所や景観を構成する要素の抽出、空間分類を行うことが欠かせない。注目する箇所や要素の抽出は、地元住民へのアンケートなどで行われることが一般的であるが、時間や費用面から常に実施することが難しい場合が想定される。そこで、被験者の注目の程度を模式的に数値化する手法について取り組んだものである。

### 2. フラクタルと景観の関連性

#### (1) フラクタルと景観の関連性

フラクタルとは、長さを持たないという特徴を持った図形で、自己相似性を持つ図形をフラクタル(fractal)図形という。例えば海岸線の長さは測る地図の縮尺によって変わり、縮尺を大きくすればそれまで無視していた地形の細かな形が見えてきて長さは長くなる。自己相似性とは、部分を拡大したとき全体と同じような図形が得られるような図

形である。山、樹木、海岸線、川、地形の起伏などがフラクタル図形と知られている。

#### (2) フラクタル次元

フラクタル図形を特徴づける要素として、フラクタル次元がある。フラクタル次元は、フラクタル図形の複雑さを表す概念で、ある図形全体が  $1/n$  に縮小した相似形のミニチュア  $m$  個によって構成されているとき、この図形のフラクタル次元は  $D=\log_n m$  と定義される。

例えば、正方形は、半分のサイズ(1/2)の正方形 4 個 ( $2^2$  個)でできているため、 $D=\log_2 4=2$  (2次元)となり、立方体は、半分のサイズ(1/2)の立方体 8 個でできているため  $D=\log_2 8=3$  (3次元)となる。図-1にフラクタル図形として有名なシェルピンスキーのガスケットを示す。



図-1 シェルピンスキーのガスケット

シェルピンスキーのガスケットは  $1/2$  に縮小したミニチュア 3 個からできているので、 $D=\log_2 3$  となる。

\* コンサルタント国内事業本部 地球環境事業部 環境部

\*\* 札幌支店 技術部

$D = \log_3 / \log_2 = 0.4771 / 0.3010 = 1.585$  次元となり、1次元と2次元の間の値をとる。この様に非整数次元をとるのがフラクタル図形の特徴である。

### 3. シーン景観の数値化手法

シーン景観においては、熟視角という対象を普通の状態で見られる場合の対象の目立ちやすさや見え方に関連する概念をとり入れたフラクタル次元解析による数値化を行った。

景観を認識する基本情報として色彩や形状等さまざまな情報があるが、ここでは、形を認識する情報として輪郭に着目し、形状に対する解析を行った。

ただし、本手法は、撮影条件やフラクタル解析の前処理として行う画像処理方法(コントラストや明るさの画像処理)により同一の景観や撮影画像でもフラクタル次元が異なる。したがって、解析結果については、景観に対する固有の値ではなく前処理後の画像に対する固有の値となる。

#### (1) ボックスカウンティング法によるフラクタル次元の求め方

フラクタル次元はボックスカウンティング法によって求めた。ボックスカウンティング法は、平面上に複雑な図形がある時に、図形上にある大きさの正方形を重ね合わせ、その正方形の一辺の長さを変化させ、正方形と図形が重なる数からフラクタル次元を求める方法である(図-2)。図-2に示す図形のフラクタル次元Dは、 $D = 1.172$ となる。

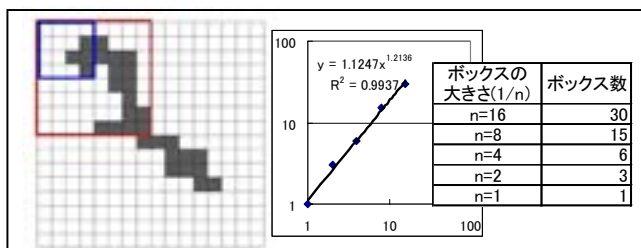


図-2 ボックスカウンティング法によるフラクタル次元の算出概念

#### (2) 解析ソフト

フラクタル次元の算出には、画像解析ソフト(PopImaging Ver3.70)を用いた。解析に用いる画像は元画像から画像中の線構造(輪郭線)を抽出したものを利用した。

#### (3) 解析領域

解析領域については、対象を普通の状態で見られる場合の対象の目立ちやすさや見え方に関連する概念として熟

視角から領域の選定を行った。熟視角とは、対象をはっきりと見るのできる視角のことであり、一般には視角1°あるいは2°が用いられている。そこで、解析する画像の1°から2°に相当する2のべき乗ピクセル(64,128,256,512,...)の正方形領域で解析を実施した。

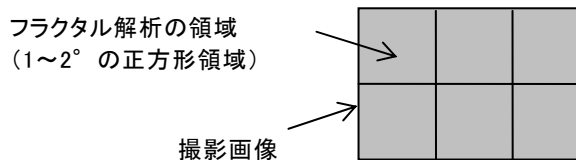


図-3 フラクタル次元の解析模式図

#### (4) 解析手順

まず、画像処理ソフト(Adobe PhotoshopCS)の輪郭抽出フィルターを用いて基画像から輪郭線を抽出し、これをグレースケールの線画像とした。ここでグレースケールの濃度は輪郭線の明瞭さを示している。つぎに、抽出した線画像について1°~2°の解析領域を設定し、この領域でフラクタル次元を算出し、分布図を作成した。解析の流れを図-4に示す。

人が対象物を見てから見た物に意味をもつまでの流れについては、ロバート・L・ソルソ<sup>3)</sup>によると、はじめに目での光学的処理変換・エッジの検出が行われ、次に視覚野で線、エッジ、形状の基本的処理が行われ、形態の分析がなされる。その後大脳皮質全体で意味の処理がなされ、認知されると考えられている(図-5)。

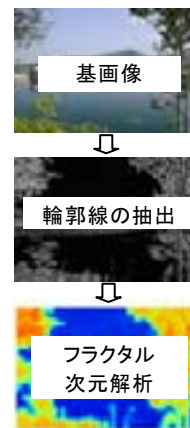


図-4 解析の流れ

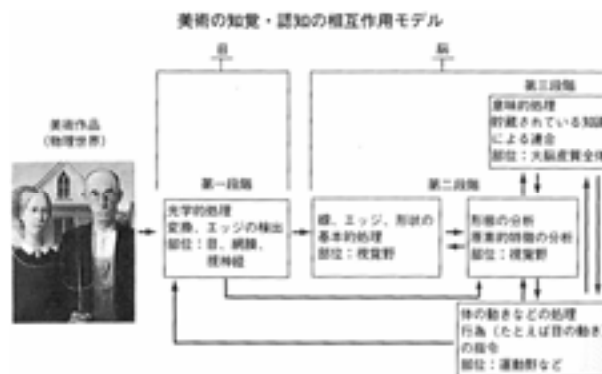

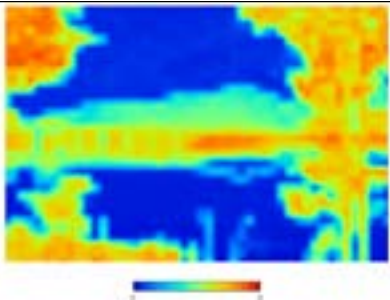


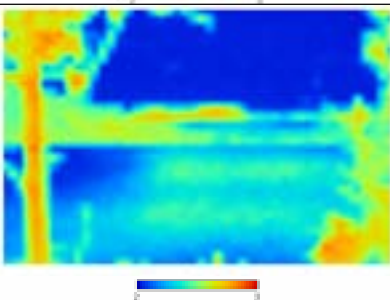
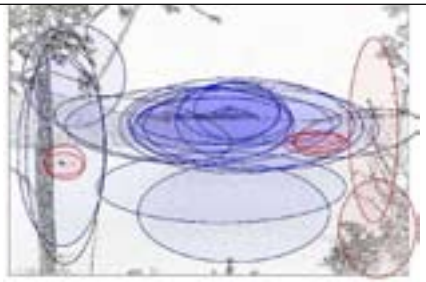

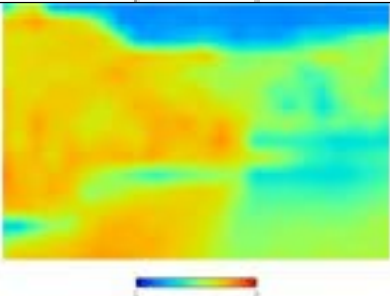
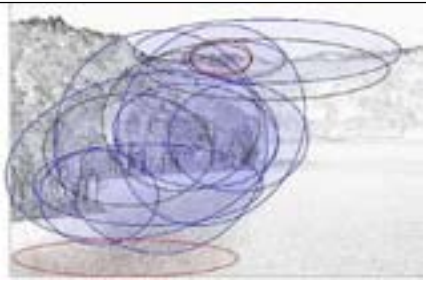


図-5 美術の知覚・認知の相互作用モデル (絵画の認知科学、ロバート・L・ソルソ、1997)

本手順では、解析の前処理である写真から線構造の抽出が第一段階の光学的処理に相当し、フラクタル解析の部分が形状を理解するための前処理の第二段階の視覚野での処

表-1 解析結果一覧表

	元画像	フラクタル解析画像	アンケート結果集計図 (青丸：好ましいと回答、赤丸：好ましくないと回答)
写真-1			
写真-2			
写真-3			

理に相当すると考えられ、景観(今回の場合は対象物の形状)を認知する際の目から脳へと情報を伝達し、認知を行う途中の段階を模した手順となっている。

#### 4. シーン景観の解析結果と有効性の検証

解析は、国土交通省北海道開発局の忠別ダムの視点場からの写真を用いた。忠別ダムは、大雪山国立公園に隣接しており、平成 18 年の試験湛水により旭岳を映し出す湖水景観が出現している。

解析結果の有効性の検証については、忠別ダムに来たことのある被験者を対象として解析に用いた画像に対して、画像中のどの部分に注目したかというアンケート結果と重ね合わせた。

フラクタル次元の解析結果とアンケート結果の集計図の一覧を表-1 に示す。

##### (1) フラクタル解析結果とアンケート結果

###### 1) 写真-1 の解析結果とアンケート結果

アンケート結果からは、ダム堤体を中心とした部分に注目が集まっている。

フラクタル次元解析からは、手前の木々、ダム堤体部分、奥の山々のフラクタル次元数が高い。手前の木々については、木々の模様が明瞭に読み取れるためフラクタル次元数が高くなり、奥のダム堤体については、ダムの構造が模様として現れているためと考えられる。なお、ダム堤体付近については、同じ中景域である山々や湖面と比べてフラクタル次元数が高くなっている。

アンケート結果からとくに注目されている部分は、フラクタル次元数の高い近傍の木々に枠どられた内部で、空や湖面のフラクタル次元数の低い空や湖面の部分には含まれたフラクタル次元数が高い部分(ダム堤体や山々)である。

###### 2) 写真-2 の解析結果とアンケート結果

アンケート結果からは、中央の山々(旭岳)や湖面、視点場の木々への注目が認められる。

フラクタル解析では、視点場の木々や旭岳、中景域の山々のフラクタル次元数が高く、空や湖面は低い。

アンケートで注目されている部分は、写真-1 と同様に視点場の木々に囲まれた内部のフラクタル次元数の濃淡差が認められる部分(旭岳や湖面)である。

###### 3) 写真-3 の解析結果とアンケート結果

アンケート結果からは、中央上の冠雪した山々や写真中

中央から左側に位置する近傍の山々から水際にかけての範囲がとくに注目されている。

フラクタル解析では、写真中央から左側の近傍の山の木々の紅葉や中央上の冠雪した山々が高い。湖面は、写真中央から左の山の映りこみの部分について、フラクタル次元数が高く、フラクタル次元数が高い山が湖面に映り込むことにより湖面のフラクタル次元数が高くなったと考えられる。なお、水際は、陰になっていることからフラクタル次元数が相対的に低くなっている。

アンケートで注目されている部分は、フラクタル次元数の高い部分(中央の山々、中央から左側の近傍の山々)や高い部分には含まれた相対的に低い部分(水際)であった。

#### 4) 解析結果のまとめ

解析結果からは、以下の特徴が認められる。

- ・ フラクタル解析結果と画像アンケート結果の注目されやすい箇所(旭岳、大雪山系の山々、ダム堤体、近傍の山々、水際、湖面への映りこみ)はおおむね一致している。
- ・ **写真-1**や**写真-2**のような視点場から撮影した写真は、フラクタル次元数の分布から、枠効果(フレーム効果)が認められる。
- ・ 視点場に近い木々については、木々の模様(葉や枝、幹等)がはっきりと認識でき、フラクタル次元が高い(**写真-1**、**2**)。
- ・ ダム湖の湖面が景観要素として重要な役割を担っており、ダム湖が、周辺の自然景観や構造物を強調する(浮き立たせる)効果がある(**写真-1**~**3**)。
- ・ 湖面のさざなみは、フラクタル次元が高く、はっきりと認識できる可能性がある(**写真-2**、**3**)。

#### (2) ゲシュタルトの図と地とフラクタル解析の有効性

前述の比較に用いたアンケートにおいて、被験者が注目している部分は、フラクタル次元数の低い部分に囲まれた次元数の高い部分ないしはその逆であり、同程度のフラクタル次元数がまとまりをもった形として現れている部分と一致している。



図-6 図と地の関係

(白地を見たときは杯に見え、黒地を見たときは人が向かい合っているように見える。図と地の反転図形として有名な図である。出典：絵画の認知科学、ロバート・L・ソルソ、1997)

この形の認識にはゲシュタルトという概念があり、ゲシュタルトは、「対象を知覚する際の形態の有する秩序」として、対象の見え方を論ずる際に用いる基本的概念の一つである。

ゲシュタルトの図と地の関係性を考えた場合、フラクタル次元数の分布が形として現れる濃淡差が高い箇所やまとまりのある箇所は誘目性が高く、図と認識される可能性があり(**写真-1**:ダム堤体、**写真-2**:中央の山々、**写真-3**:水際)、コントラストの変化が小さい箇所やまとまりと認識できない箇所は、地と認識される可能性がある(**写真-1**、**2**:湖面や空、**写真-3**:右側の湖面や山々)。

このような傾向を用いると、眺めを構成する要素のうち注目されやすい部分を事前に予測することが可能であり、景観の分析における本解析手法の有用性が認められると考える。

#### 5. シークエンス景観の数値化手法

走行中の車窓などからの連続的な眺めをシークエンス景観といい、道路を走行中に利用者が感じる代表的な景観である。

道路景観を考える上でシークエンス景観としてのとらえ方は古くから存在しており、主に道路の景観構造を記号等で表している。

そこで、記号で取り扱っていた道路景観の構造について、前述の忠別ダムの道路をケーススタディとして、フラクタル次元解析を用い、数値化・分類を試みた。

##### (1) 数値化手法

数値化に当たっては、道道のダム堤体下流側から散策広場までの区間(図-7)を、時速60km/hで走行し、ハイビジョンビデオカメラ(SONY HDR-HC1)で動画を記録した。

記録した動画は、パソコンに取り込み後、全フレームをJPEG画像として抽出した。抽出した画像から1,024×1,024pixelの正方形領域を切り出し、画像処理ソフト



図-7 対象区間(図中の赤線区間)



(Adobe PhotoshopCS)の輪郭抽出フィルターで輪郭線を抽出した。抽出した線画像を対象に、画像解析ソフト(PopImaging Ver3.70)を用いて、線画像(グレースケール画像)全体のフラクタル次元を算出した。

(2) 数値化結果(フラクタル次元の時系列変化)

解析区間のフラクタル次元数の時系列変化を図-8に示す。

グラフ中の下に記載している区間は、フラクタル次元数

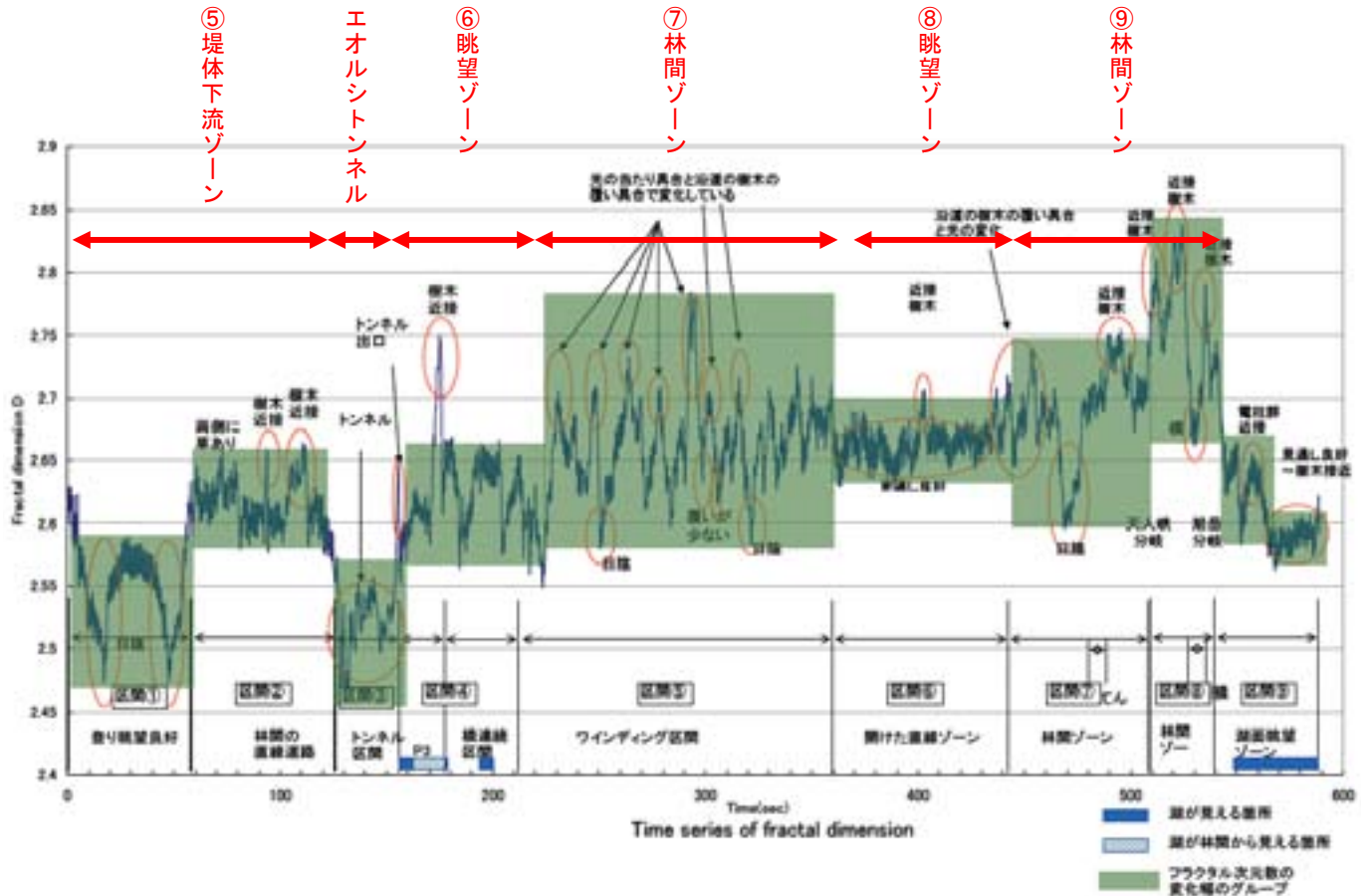


図-8 フラクタル次元の時系列変化(上のグラフ)と景観(下図)ならびに調査者による空間分類の関係

グラフ中の赤矢印で示したものは、調査者が前述図-7のゾーニングを作成する際に調査した結果である。グラフ中の下に記載している区間は、フラクタル次元数の時系列変化から大きく傾向が異なる部分(緑着色)を抽出し、区間分けしたものである。下の写真は、フラクタル次元数から区間分けした空間の代表的な状況写真である。

フラクタル次元数による区間分けは、調査者による空間分類と同じまたは含まれており、整合性が認められる。数値化手法(フラクタル次元)による空間分けが、より細かく分類できることを示している。

の時系列変化から大きく傾向が異なる部分(緑着色)を抽出し、区間分けしたものである。

図-8の下の写真は、フラクタル次元数から区間分けした空間の代表的な状況写真である。

グラフ中の赤矢印の区間は、調査者が図-7のゾーニングを作成する際に調査した結果であり、参考として記載した。

#### 1) 区間①

登り勾配で道路の右側に斜面が近接し、道路の左側は低い草地となっている。調査時は日陰となる箇所も存在した。フラクタル次元数は、2.47～2.59程度の範囲内で連続的に変化した。日陰の区間ではフラクタル次元数の低下が認められた。

#### 2) 区間②

見通しのよい林間の直線道路で、道路の右側に斜面が近接する。区間①とは異なり道路の左側に樹木が存在する。フラクタル次元数は、2.58～2.66程度の範囲で変化し、道路脇の樹木や草により部分的に次元数が上昇した。

#### 3) 区間③

トンネル区間である。フラクタル次元数は、2.46～2.57程度の範囲で変化した。

#### 4) 区間④

開けた場所では道路の左側にダム湖や大雪連峰が眺望でき、道路脇の樹木によりダム湖や大雪連峰が見え隠れする。道路の右側は斜面が近接している。フラクタル次元数は、2.57～2.66程度の範囲で変化し、とくに、覆うように樹木が近接したときに次元数が高い。

#### 5) 区間⑤

両側は林であり、曲線が多い道路線形で見通しが悪い。フラクタル次元数は、2.59～2.78程度と大きく変化し、沿道の樹木の覆い具合で大きく変化している。フラクタル次元数の低い場所は樹木等により日陰となっている場所である。

#### 6) 区間⑥

視界が開けた直線基調の道路で、道路の両側は背丈の低い草が存在する。フラクタル次元数は、2.64～2.70程度の狭い範囲で変化した。樹木が近接したときに高いフラクタル次元数を示した。

#### 7) 区間⑦

道路の両側に樹木が分布する区間で、直線の見通しは確保されている区間である。フラクタル次元数は、2.60～2.75の範囲で大きく変化し、区間⑤と同様に樹木の近接でフラクタル次元数は高くなり、日陰では低い。

#### 8) 区間⑧

林間の直線道路で、フラクタル次元数は、2.66～2.84の範囲で大きく変化する。区間⑤、区間⑦同様に樹木の近接時にはフラクタル次元数が大きく、日陰では低い。

#### 9) 区間⑨-1

開けた直線道路であるが、道路延長上に山が位置する。フラクタル次元数は、2.58～2.66程度であり、電柱や電線が混み合っている場所ではフラクタル次元数が高くなる。

#### 10) 区間⑨-2

両側が開けており、見通しがよい直線道路で、前方にはダム湖が広がる。フラクタル次元数は2.57～2.61と狭い範囲である。区間の最後に樹木が近接したためフラクタル次元数が高くなっている。

### (3) 数値化による区間の妥当性

フラクタル次元数による区間分けは、図-8に示すように調査者による空間分類と同じまたは包括されており、整合性が認められる。このことから本手法の空間分類は妥当であると考えられる。なお、区間⑦、⑧などは数値化手法(フラクタル次元)による空間分けのほうが細かく分類できており、調査者が認識しにくい空間の違いも検出できていることが分かった。

## 6. 景観の数値化と今後の展開

### (1) シーン景観の数値化手法のまとめと今後の展開

シーン景観において被験者に注目されやすい部分は、熟視角の領域で区分したフラクタル解析により数値化・予測することが可能であることが示唆された。これは、景観の保全や計画において注目されやすい部分の抽出に活用できる。今後は、フラクタル次元数の差がどの程度になると変化を感じるかなどの人間の認識や感覚に対する評価を行うことで、環境影響評価における景観の変化の評価にも応用が可能であると考えられる。

ただし、本解析手法は、景観の主要な構成要素である色彩を考慮できていない。色彩は誘目性と密接に関連しており、今後は色彩を含めた検討が必要であると考えられる。

### (2) シークエンス景観の数値化手法のまとめと今後の展開

シークエンス景観において、フラクタル解析を用いた数値化技術により、調査者による空間分類を再現できることが示され、その有効性が示唆された。さらに、景観に関する情報を数値化できたことは、さまざまな情報と関連づけた分析が可能となり、景観に対して科学的なアプローチが可能となるものとする。

今後は、道路や付帯施設(休憩箇所や道の駅)などの景観と心拍間隔(R-R間隔)などの生体情報と比較し、安らぎやストレス軽減に景観が寄与する効果や要素を明らかにすることで、道路設計や維持管理、道路情報に活用できると考える。

**謝辞**：本研究は、北海道開発局旭川開発建設部忠別ダム建設事業所の景観評価試行事業での調査検討結果を用いた。発注者をはじめとする関係機関にご助言をいただきましたことを、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 大野研、大野博之、鈴木勝士、葛西紀巳子：色彩・形状の観点からみた数値的景観評価の試み、土木学会論文集、No.695/IV-54、pp. 31-44、2002.
- 2) 清水俊行、下山修：周辺画像のフラクタル解析に基づく運転環境と運転負担の関係、自動車技術会学術講演会前刷集 No.134-06、2006.
- 3) ロバート・L・ソルソ、鈴木光太郎・小林哲生訳：脳は絵をどのように理解するか 絵画の認知科学、新曜社、1997.