

画像処理による水墨画景観の特性解析

Landscape Analysis by Image Processing

青島正和*・村井俊治*
Masakazu AOSHIMA and Shunji MURAI

自然景観を解析する手法にはいくつか挙げられるが、いずれも人間の感性により行っている。これに対し本解説では、既報に示した景観シミュレーション手法を逆に用い、画像処理と組み合わせることで、物理理論に沿った景観解析を行った。使用した画像は雪舟の水墨画で、画像から物理値としての空の色や湿度を測定できた。またエッジ抽出等の画像処理を用いて、遠近感についての所見も得ることができた。

1. はじめに

建設業界でも景観の重要性が認識され始めた昨今であるが、建設業界でもっぱら取り組んでいるのは、構造物景観の解析が主体である。しかし自然景観の解析も行っておく必要があるのは当然である。なぜなら構造物は所詮自然の中に作られるものなので、自然との調和なしには存在すべきでないからである。たとえば景観工学の専門書^{1)~3)}を見ると、その内容のほとんどが自然景観に関するものであったり、または自然景観に関する内容が基本部分であったり、その重要性は大きい。

このように重要な自然景観であるがその解析方法は変化しており、近年の工学の発達と相まって著しく進歩してきている。例として解析要素で見ると、旧来の研究が視点や俯角など人間の見る姿勢や位置を考察していたのに対し、最近では主対象、副対象、対象場、背景、添景など画像上での構成がどうかという視点からの考察ができた。この傾向を発展させると画像処理を用いた景観解析が考えられる。ところで筆者は光学理論を用いた景観シミュレーションを行っていたが、その結果理論から絵が作れる(景観シミュレーションができる)なら逆に理論をたどれば絵から自然現象が物理的にわかるはずであろうと推論した。これより本論文では画像処理と光学理論を用いた景観解析を試行するものである。もちろん篠原が定義⁴⁾しているように、景観は対象の全体的眺めであって、それを契機として形成される人間の心的現象であるので、解析に当たっては単純に自然の物理状態がどうかだけでなく、画像から何を感じとれるのかを重点的に調べる必要がある。

本論文ではこの点を考慮した上で、古来すばらしい景

*東京大学生産技術研究所 第5部

観を具現して、かつ景観としてシンプルな水墨画を対象に、画像解析とその考察を行ってみた。従来感覚に頼ることの多かった景観画像の特性が、工学的な数値で表現できればとても有用であり、今後の景観工学の発展の一助になると思われる。

2. 景観の発生原理とシミュレーション

景観が心的現象であるにせよ、その景観は物理的のどのようになされたかを知っておくのも重要である。ここでは日本の風景を、物理的に考察した志賀重昂⁵⁾の日本風景論を紹介する。志賀によれば、日本の風景は次の4要素で説明できるとのことである。

- 1 日本には気候・海流の多変多様なること
- 2 日本には水蒸気の多量なること
- 3 日本には火山岩の多々なること
- 4 日本には流水の侵食激烈なること

この説は明治28年に説かれたものであるが、最近のCG(コンピューターグラフィックス)関連における景観シミュレーションの動向はこれに近い。つまり中前⁶⁾や筆者⁷⁾の既報からは、水蒸気に起因する空の色や遙青効果(大気遠近法)が物理的に表現可能であるし、千葉⁸⁾らによる山岳地形生成法は山地における侵食の原理をそのまま用いて、山岳形状を発生させているからである。水墨画が得意とする霞たなびく山岳の風景を物理的にシミュレーションできるのである。明治時代の斬新な景観論の原理が、平成の最先端の技術により再び生かされつつあると言ってもよいと思われる。このような立場からのアプローチは、たとえば山際のエッジ効果のありようや遙青効果(6章参照)におけるすがすがしさの検討など、後で述べる画像景観に対する濃度解析の、重要な背景になる。

3. 画像の解析要素

景観工学の専門書^{1),9)}によれば、従来の景観構造解析の要素としては、表1のようなものが使われている。この表から、古い時代の上3つはいずれも人間がどこでどう見ているかに関する要素が多く、最近の下2つは画像をどう分類するべきかに関する要素がでてきていることがわかる。

表1 景観解析要素

提案者	要素
上原	視点, 視界, 方位, 主景, 距離
リットン	距離, 視点, 形態, 空間の形, 光, シークエンス
樋口	可視不可視, 距離, 視線入射角, 不可視深度, 俯角, 仰角, 奥行き, 日照による陰陽度
篠原	視点, 視点場, 主対象, 対象場, 変動要因
鈴木	主体, 対象, 背景, 添景, つなぎ, 天然現象

また、景観の評価手法⁹⁾には次の2つがある。

①計量心理学的方法

②伝統的景観の分析とその応用法

今回の方法は、②に相当する。

さて本論文の方法は、画像上で対象が物理的にどのような値であるかの検討をするのであるが、解析に画像処理を用いるので従来の方法とはアプローチの仕方が異なる。以下に本論文での解析の概要を列記する。

- 1 画像はラスタ状の濃淡で表される。この場合人間の判別できる濃淡は 100^{10} レベルであるが、解析機は256レベルで処理可能なので、人間の能力をカバーできる。ラスタの大きさは 512×512 である。
- 2 画像は濃淡と形の組み合わせで表されるので次の解析ができる。
濃淡は、濃度分布、濃度ヒストグラム、スエードカラー等で解析できる。
形はエッジ抽出、輪郭分離等で解析できる。
- 3 濃度の持つ意味を解析し、画像に描かれている空の色やモヤの具合を推定できる。
- 4 画像の濃度をデフォルメ（2値画像、輪郭画像、エッジ強調画像等）することで、人間の心的現象を推定する。なお形についてもデフォルメできるが今回は行わない。

4. 解析に用いる景観画像

解析には雪舟作の秋冬山水図の秋景図と冬景図を用いる（図1、図2参照 以下原画と称する）が、主に解析するのは秋景図である。この画像は雪舟の代表的作品と



図1 秋景図



図2 冬景図

言われており、雪舟の特色がすべて備わっていると言われている。このようなすばらしい水墨画であるが、残念ながら画像が古く色あせていて、機械への取り込みに若干難があった。秋の画像で言えば、全体的にピントがボケたようになっているが、解析には大きな障害はない。以下に各画像の濃度分析結果を示す。

表2 画像の濃度特性値

画像	平均濃度	標準偏差	最大値	最小値
秋景	144.9	52.5	219	20
冬景	150.0	45.4	219	25

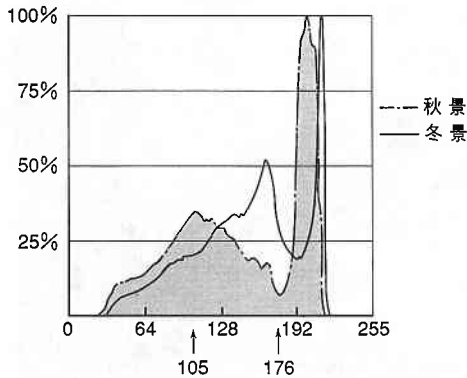


図3 濃度ヒストグラム

①平均濃度

筆者が瞬間的に両図を見た印象は、冬の方が秋より暗いと感じたが本プリントでは明瞭でない。(表2参照)、実際に機械で平均濃度を測定してみると見たのと逆であった。ただしその差は全体から見ると小さく、最大値の2.3%しかない。この理由をどう見るかであるが、水墨画ではこのような平均濃度をもつものが一番すばらしい表現ができると推定できる。後でも述べるが、モノクロ画像の濃度は濃ければよいとか薄ければよいとかではなく、最適な値というのが存在するように思える。この原因を調べるために、次に濃度分布を検討した。

②濃度分布

図3に濃度ヒストグラムを示す。図3で影を付けた一点鎖線は秋景で、実線は冬景である。冬の方がヒストグラムの山も濃度も高いことがわかる。またその形状も冬の方が鋭い。したがって冬の方が明るく見えて当たり前のはずである。それが逆に見えるのは濃度のレイアウトのせいと考えられる。つまり秋の景色は下方が暗く上方が明るい。それに対し冬の景色は下が比較的明るく、中が暗くなって上がまた明るい。景色の水平線より上が明るい絵は明るく感じるのではないであろうか。これを調べるために、秋景の濃度分布の特徴点を調べた。濃度の特徴点の一つは、二つの山の間の谷の濃度で、輝度は176である。今一つは暗い方の山の頂点を示す点で、輝度は105である。前者で輝度176以下の濃度を、黒で表したのが図4である。遠山の一部と図中の山のごく一部を除いて筆を入れたと思われる部分がほとんどこの領域に入る。また後者では輝度105以下の部分の輪郭を作り画像と重ね合わせた(図5参照)。画像で黒いと感じる部

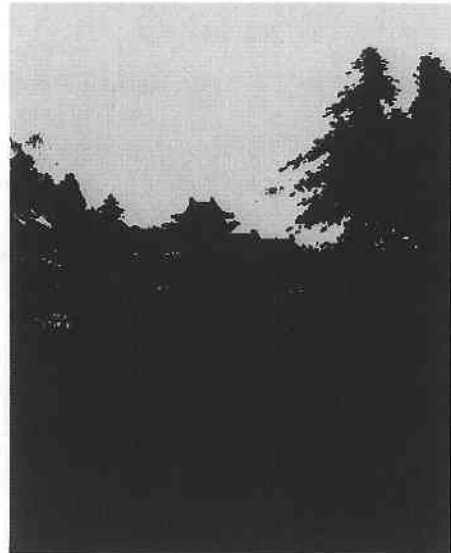


図4 輝度176以下の画像

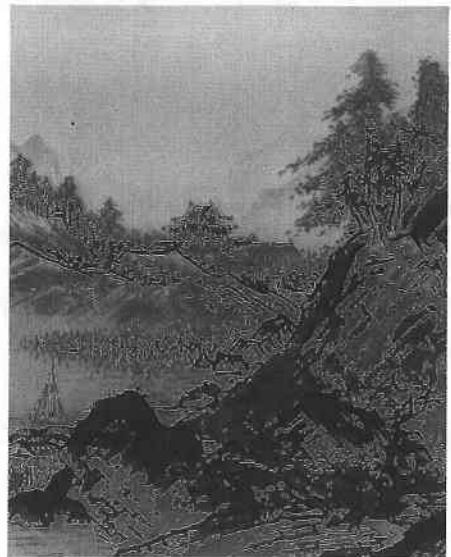


図5 輪郭の濃度

分はほとんどこの領域に入り、かつ画像の真ん中から下の方に重点的に分布し、上に行くに従って線状となりかつ少なくなっているのがわかる。つまり暗さの重心が下にあることがわかる。空気遠近法的発想でいけば、手前が暗く、遠い所が明るいということで、遠近感を感じる人間の感性と一致していると言える。逆に言えば遠近感にのっっていない景観は画像が安定せず、かつ中心部が暗いと全体が暗く感じるものと推定できる。

③スエードカラー

濃度の状態をよりわかりやすく把握するために、スエードカラー(図6参照)を作成した。色の付け方は、

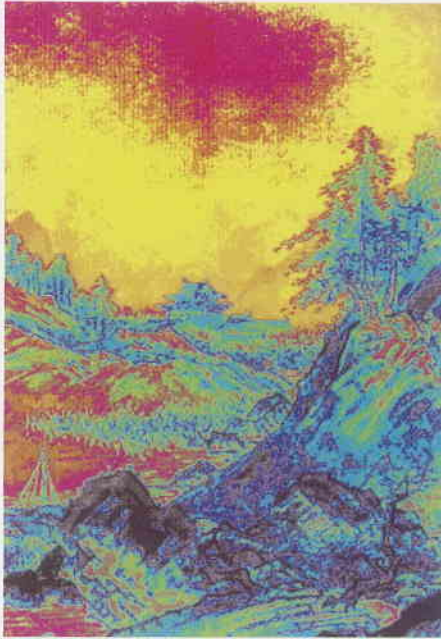


図6 スエードカラー

各色がなるべく等分に濃度を分割するようにした。したがって濃度の区切り方はランダムである。この図で暗い色が表す陸の部分は、あたかも右左に逆まく大波を連想させ、モノクロだけの時は気がつかなかったダイナミックな動きと遠近感を感じさせる。葛飾北齋の富嶽三十六景神奈川沖浪裏における、遠方の富士山と手前の大波の図と同様の原理である。

5. 画像処理

①コントラスト強調

図7は原画にコントラスト強調を掛けたものである。

図7よりコントラスト強調は以下の効果の得られることがわかる。

- 1 エッジ効果の増大
- 2 樹木の葉のボケた状態の明瞭化。逆に浮き上がる感じの増大
- 3 中央部の植生群の強調
- 4 キャンバスの地の部分が浮き上がる。

全体的に原画における滑らかな奥行き感が消え、キチキチとした離散的な奥行き感となっている。つまり、手前のガケ、中ほどの山、その先の城、背景の遠山がちょうど紙芝居を重ねたようにおのおの一枚ずつの面にあるように見える。奥行き感はあるが、なにか少し不自然である。ただし次に示すエッジ抽出画像よりは少し遠近感が良い。

②エッジ抽出

エッジ抽出を行った画像を図8に示す。この画像は最

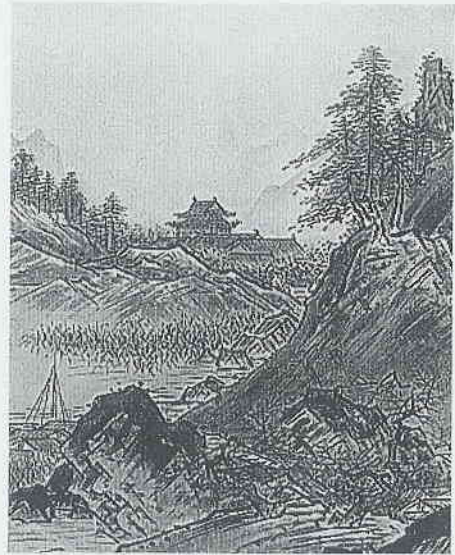


図7 コントラスト強調画像

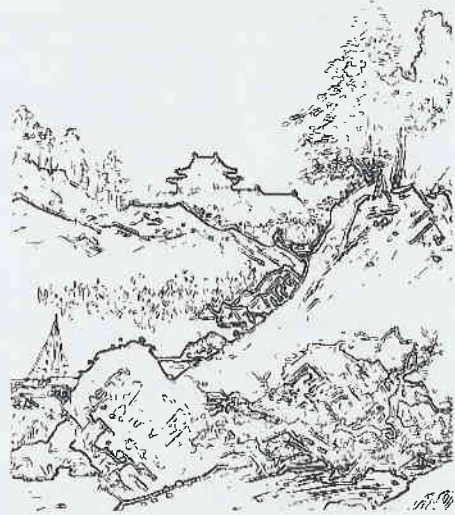


図8 エッジ抽出画像

初にパラウィッツの微分¹²⁾を行い、その後にエッジの強い部分だけ抽出する目的で輝度値157以上の画素のみをセレクトしたものである。

図8よりエッジは大部分が斜めに流れており、かつ主要なものは滑らかな曲線で表されていることがわかる。またエッジ画像からは、ギブソンが指摘している遠近感を与える手法の内、手前にある山の輪郭線が後ろの山(構造物)の稜線を切断して部分的に隠蔽する方法による遠近感が読み取れる。もちろん遠くのもの小さく見える線遠近法も使っているが、隠蔽の方が効果が強いと感じる。またこの図からは、テクスチャーや遙青効果による遠近感は感じられない。しかも相互の稜線の切断

方法が斜めなので自然な状態であり、近年の高層構造物による隠蔽のような、直立した直線による威圧感がない。

6. 雲厚の推定

①空の色

図1, 2における空の状態の推定をする。まず秋景であるが、空の上部が暗く水平線が明るいのは、太陽が傾いているか、青空かのどちらかである。ただし太陽が傾いているとすると、図の中に太陽が入ってくるはずであるので、この図は残りの青空であることがわかる。冬景の場合は逆で、太陽が天頂付近にあるか、曇り空かのどちらかである。ここでは後者をとるが、このような状態は濃い曇り空ではなく、比較的薄い曇り空である。

では秋景の場合の空の色の濃度はいくらであろうか。空の濃度を示す前に、画像における濃度と実際の明るさ(照度)の関係について触れる。筆者等の既報⁷⁾に示したように、画像の明るさは人間が目で見えたものであり、物理的な明るさとは異なる。この変換は、真白い紙の表す放射照度を $589 \times 35000 / 134000 = 154 \text{ w/m}^2$ とすれば算定できる。今回計測している画像は古く変色しているが、画像の地である真白い部分の輝度値が219なので、これを 154 w/m^2 と見なせばよい。景観の部分の濃度は計測値をそのまま使うとすると、スチーブンスの式より次式で放射照度に交換できる。

輝度Xとすると、放射照度は

$$L = \left(\frac{X}{219}\right)^3 \times 154$$

で表せる。

空の一番上部の輝度は174なので、天空光を計算すると 77.2 w/m^2 となる。これに対応する空の青さは、図9から逆算することで求まる。図9は太陽高度を 51.4° とした時の雲厚と照度の関係を表すもので、既報⁷⁾に準じれば計算が可能である。

図9で 77.2 w/m^2 の放射照度に対応する水平線をとり、

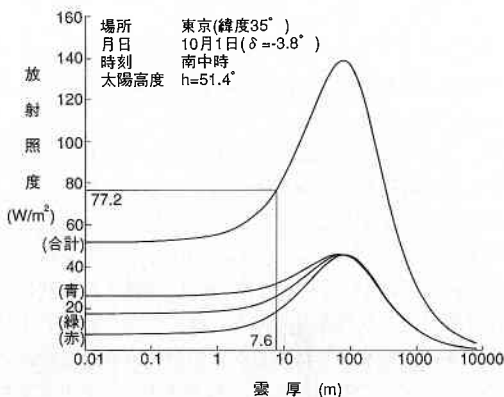


図9 秋景図の場合の天空光照度

合計放射照度のグラフとの交点をとる。その交点から垂直線を引き各、青、緑、赤のグラフとの交点を出せば空の色が出る。つまり、

$$R = 18.6 \text{ w/m}^2 \text{ (HSI系で } 18.6 \div 51.2 = 0.363)$$

$$G = 26.2 \text{ w/m}^2 \text{ (HSI系で } 26.2 \div 51.2 = 0.512)$$

$$B = 31.2 \text{ w/m}^2 \text{ (HSI系で } 32.1 \div 51.2 = 0.627)$$

HSI系に直すと

$$I = 0.627 \rightarrow I_0 = 0.627^{0.33} = 0.857$$

$$S = (I - i) / I = (0.627 - 0.363) / 0.627 = 0.421$$

$$r = (I - R) / (I - i) = (0.627 - 0.367) / (0.627 - 0.363) = 1.0$$

$$g = (I - G) / (I - i) = (0.627 - 0.512) / (0.627 - 0.363) = 0.436$$

$$b = (I - B) / (I - i) = (0.627 - 0.627) / (0.627 - 0.363) = 0$$

B=Iより

$$H = \frac{\pi}{3}(4 + g - r) = \frac{\pi}{3}(4 + 0.436 - 1.0) = 3.60 \rightarrow 206^\circ$$

つまり、 $I = 0.857$, $S = 0.421$, $H = 206^\circ$ である。この色は発色させてみればわかるが、比較的色水に近い青で、普通の明るさである。

②雲の厚さ(水分量)

雲の厚さも図9から求まり、標準雲(直径 10μ 、濃度 200 ケ/cm^3)で厚さ 7.6 m である。

この値は大気中に次の量の水分があることを示す。

$$W = \frac{4}{3}\pi \times 0.0005^3 \times 200 \times 10^6 \times 7.6 / 8000 = 99 \mu\text{g/m}^3$$

比較的清浄な大気の水分量は $50 \mu\text{g/m}^3$ ¹³⁾と言われていたので、若干水っぽい青空であることがわかる。

7. 遙青効果の解析

①照度の推定

遙青効果は遠方左側にある山岳と空の濃度の状態から推定する。

山岳近辺の空の輝度は196なので放射照度は 110 w/m^2 であり、山岳の輝度は173なので放射照度は 75.9 w/m^2 である。また山が目の前にあるときの、山の明るさ(放射照度)は図上の木の放射照度に等しいとすれば、輝度値は100なので照度は 14.7 w/m^2 となる。

②消散係数の推定

次に既報により、遙青効果を表す式は以下のとおりであるので、これに上記の変数を代入すれば消散係数が算定できる。

$$B = B_0 e^{-\alpha R} + B_b (1 - e^{-\alpha R})^{14}$$

B : 物体の見かけの明るさ

B_0 : 物体の本来の明るさ

B_b : 空の明るさ

σ : 消散係数

R : 物体と視点間の距離

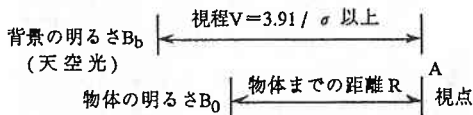


図10 遥青効果の式

代入して,

$$75.9 = 14.7e^{-\sigma R} + 110(1 - e^{-\sigma R})$$

$$\sigma R = 1.028$$

これより, σR は遥青量を示し, $\sigma R = 1.028$ 程度のポケ方は人間に心地よく写るとも言える. ここで絵における山の見え方より, 山までの距離 $R = 10\text{km}$ とすると,

$$\sigma = 0.1028 \text{ (km}^{-1}\text{)}$$

となる.

③ 視程・相対湿度

視程は

$$S = 3.91 / \sigma^{(5)} = 3.91 / 0.1028 = 38.0\text{km}$$

この視程に相当する相対湿度は次式⁽⁶⁾ (図11参照)より求まる

$$\log S = 2.5 - 0.025H$$

H : 相対湿度

$$H = (2.5 - \log S) / 0.025 = (2.5 - \log 38.0) / 0.025 = 37\%$$

風速は一意的とは言い難いが図11より 4 ~ 8 m/s 程度と推定される. ここで季節は秋なので10月の平均的な日中の温度として 20°C をとると不快指数 DI⁽⁷⁾が図12か

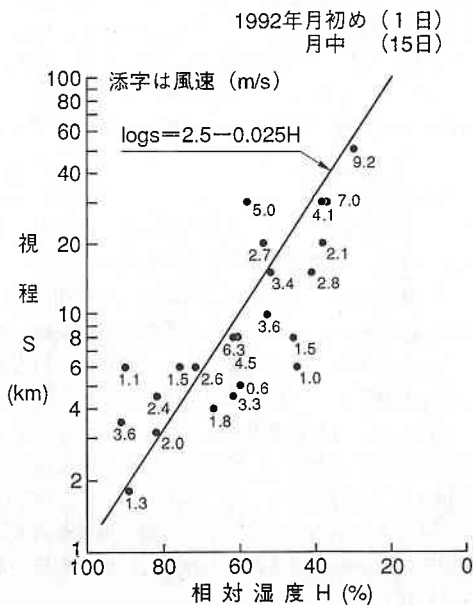


図11 相対湿度と視程

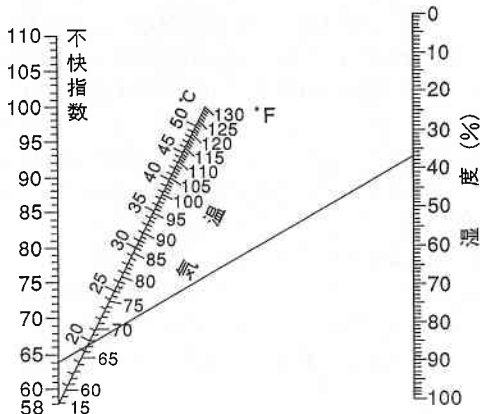


図12 気温と湿度より不快指数を求める図表

ら求まり,

$$DI = 64$$

となる.

不快指数64ならば不快を感じる人はほとんどいない. ただし風が若干強めであるので少し寒いくらいと考えられる. しかしすがすがしい感じの気候であることは間違いない.

志賀も言っているように日本は水蒸気の多い国であり, その分遥青効果が典型的に現れて来るものと思われる.

また山岳のエッジの連なりがその効果を増大させている. 砂漠地帯等の水蒸気の少ない平坦な地域における景観の状態を調べてみたい.

8. 画像の加工

① 2値化画像

図13は筆者が見て, 一番原画の情報が残っていると思



図13 二値画像

われる状態で2値画像を作成したものである。画像から得られる遠近感、もちろん原画に及ばないが、それに加えてエッジ画像にも及ばないと感じられるのではないだろうか。同じモノクロ2階調であり、かつ2値画像のほうがペイントの量が多いので、より多い情報を持つ可能性があるはずなのに結果は逆である。単純につまらない画像になってしまったと言える。景観の分野で人間が感激をする景観を作りたい場合には、このようなノッペリしたものにならないように心がける必要を感じる。ただし今回はモノクロであるが、カラーを用いて遠近感を出そうとする時に、無闇に色を増やしてエッジ効果を得ようとすることは避けたい。

②輪郭画像

濃度ヒストグラムの特徴点、輝度で言えば105と176(図3参照)であるが、この部分をいき値として輪郭を抽出し画像化したのが図14である。

この図を見ればわかるように、図から景観の概要はある程度わかる。しかし遠近感の有無という点ではエッジ画像にも及ばない感じである。この理由は不明であるが、人間がエッジとして感じかつ遠近感が得られるというのは、ある程度特殊なエッジであって、エッジなら何でもよいというものではないことが推測される。あるいは遠近感の得られる肝心のエッジの他に余計なエッジが入っていると、せっかくの遠近感が潰れてしまうとも考えられる。構造物等で直線的なエッジが入り込むと、せっかくの自然な景観が潰れてしまい、不自然な景観になるのと同様な原因かもしれない。

③エッジ付加画像

抽出したエッジを原画に加えて画像化したものが図15である。



図14 輪郭画像



図15 エッジ付加画像

エッジがついている分原画よりメリハリがついているが、なまじメリハリがついた方が何か景観が浮き上がっているように感じられる。コントラスト強調の時にも見られたが、離散的な遠近感という感じである。しかもコントラスト強調画像より強く浮き上がった感じがある。マイナーなエッジは除去し、かつコントラスト画像より太くて濃く強調している分、より浮き上がって見えるものと思われる。

この理由として、エッジ画像が隠れ線による遠近感であることを考え合わせると、エッジによりその示す山の面が規定されるのではないだろうか。つまりエッジ(山線)があると、その線に相応した鉛直面を人間が認識し、それらが重なることで遠近感が感じられる。ただし面の重なりを感じるので、滑らかな遠近感にはならない。

④マックスフィルター

画像の視覚的特性を調べる方法には種々あるが、最近のコンピュータグラフィックスの応用の一つとして新しい手法ができた。山本¹⁸⁾が提唱している Algorithmic Painting (アルゴリズムによる画像の絵画調変換) がそれである。たまたま筆者等も山本とは独立にこの現象に気づいており、いくつかの絵画調画像の作成を行っていた。これを用いると普通のカラー写真にいわゆるフィルターを作用させるだけで、絵画調の絵たとえば油絵タッチとか水彩画タッチとか、あるいはもう少し技術的なゴッホタッチとかの絵が作れる。人間の視覚が画像からどのように刺激を受けるのかの理論的解析にも使えるものと思われる。

ここではその中の例の一つとして、マックスフィル



図16 マックスフィルター画像

ターを用いた画像の例を示す。図16がそれであるが、これは5×5のマックスフィルターを作用させたものである。このフィルターは、ある画像を中心とする周辺25画素の濃度の内最大の値を中心画素にセットするもので、概念的には単純であるが算定結果は興味深い。

図16を見てどのように感じるかは人によって異なるであろうが、ちょうど曇りガラス越しに景観をみた、あるいは焦点をボケさせた景観であるように感じられる。画像からは原画よりあたたかさを感じ、逆にボケた分もどかしさを感じると思える。どちらにせよ原画の清々しさはあたたかさに変わっている。景観を見せる時の一つのテクニックになるような気がする。

9. 遠近感の順序

以上今までにランダムに示した各種画像の遠近感の程度を強引に比較してみると、次のようになる。

- 1 マックスフィルター画像
- 2 原画
- 3 コントラスト強調画像
- 4 エッジ付加画像
- 5 エッジ画像
- 6 二値画像、輪郭画像
- 7 輝度176以下の画像

この順序を眺めてみると、最初にボケた画像が来ており、その後徐々に先鋭な画像がきている。なまじ人間の感覚に強く作用するエッジを強調すると景観が浮き上がって見え、かつ平板的な画像になると言える。エッジ

だけでも強い遠近感が得られるのであるから、エッジと他の遠近法を併用すると、他はエッジに負けてしまうとも言える。輪郭画像がエッジの付け過ぎの画像だとすると、輪郭画像に遠近感がないことは、エッジの持つ強調効果を別の意味で示しているとも言える。

10. おわりに

雪舟の秋冬山水図について、その濃淡に着目した画像処理と光学理論を利用した解析を行い、画像から次のような物理環境の特性把握が得られた。

1. 濃度分布
2. 青空の色と水分量
3. 湿度、風速、不快指数
4. 遙青効果

またエッジ処理とフィルター処理結果を考察することでそれらが画像に与える個別の効果が明らかになった。

1. エッジ抽出を用いた構図の動き
2. 遠近感の有無
3. 画像の暖かさ

今後このような手法を用いることで、景観の持つ特性の分析を行っていきたい。(1993年9月3日受理)

参考文献

- 1) 樋口忠彦：景観の構造 pp.1~160 技法堂出版
- 2) 中村良夫他：土木工学大系13景観論 pp.1~321 彰国社
- 3) 篠原修：新体系土木工学59土木景観計画 pp.1~306 技法堂出版
- 4) 篠原修：新体系土木工学59土木景観計画 pp.3 技法堂出版
- 5) 志賀重昂：日本風景論 pp.35 岩波文庫
- 6) 中前、西田：最近の光のシミュレーション PIXEL No.92 pp.94
- 7) 村井、青島：大気の状態を考慮した景観画像の作成 生産研究 Vol.45 No.5 pp.18~24
- 8) 千葉：自然物・現象のCGシミュレーション 可視化情報 Vol.13 No.49 pp.31~38 1993
- 9) 土木工学ハンドブック
- 10) 村井他：画像の処理と解析
- 11) LUZEX 3 取扱説明書 pp.13 ニコン
- 12) LUZEX 3 取扱説明書 pp.13 ニコン
- 13) 高橋幹二：応用エアロゾル学 p.118 養賢堂
- 14) 高橋幹二：応用エアロゾル学 p.117 養賢堂
- 15) 高橋幹二：応用エアロゾル学 p.117 養賢堂
- 16) 野本真一：視程の変動 天気 Vol.123 No.5 pp.235 1976年5月
- 17) 日本生気象学会：生気象学 pp.358 紀伊国屋書店
- 18) 山本強：Algorithmic Painting カラーエイジ spring 1992 pp.34