

# 山岳景観における陰影の視覚効果に関する基礎的研究

Fundamental Study on Effect of Shading in Visualization of Mountain Landscape

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

山岳景観シミュレーションを行う場合に考慮すべき重要な要因の一つに陰影がある。しかしながら自然の山岳や森林にどのような陰影(シェーディング)を使用すればよく、かつ陰影はどのような視覚効果を持つのかは明らかでなかった。本論文では衛星画像等を用いて、自然の山岳景観がもつ陰影の視覚効果とその特性を検討し、従来感覚で捕えていた視覚効果を明確にし、かつ山岳景観に適した陰影の発生法について報告した。

## 1. はじめに

既報<sup>1)</sup>においては建設分野における景観解析の動向と重要性を述べ、かつ物理モデルを用いた景観シミュレーションの手法を、景観解析に使用する方法を説明した。そのうち空の色の発生法や遙青効果(空気遠近法)の計算法については、当面の使用に耐えるだけの検討をすでに行っていたが、物体を認知する基本である陰影効果についてはまだ検討していなかった。それが原因となって既報のうちの水墨画の解析では、陰影効果について一部不十分な結論となった。今回、水墨画の検討の結果、従来なかった画像処理的な立場から見た遠近感についての所見が得られたので、それを土台に陰影効果についての検討を行う。

陰影効果の検討を行うに際してはカラー画像を使うとよいが、検討が複雑になることが予想されるので、モノクロ画像を用い濃淡の検討を行う。モノクロ画像とは台紙上のある位置に、ある濃度の明るさが割り当てられたものと言え、かつここで対象とするのは人間が景観として知覚できるものとする。このようにすると既報等から図1のように、モノクロ画像に関する整理ができる。

すなわち、ある位置にある濃度を割り当てられた画像からは、画像の特性(浮き上がりや沈み度、背景量)を示す全体的な明るさと、形と大きさを決める個別濃度差と、遠近感(奥行き)を感じさせる画像特性を知ることができる。これらは複雑に組みあわさっており、本来こんな簡単な図では示せないが、単純化し整理してみるとスッキリする。陰影はこの図のなかで、個別濃度差(分布)の項目にあてはまる。

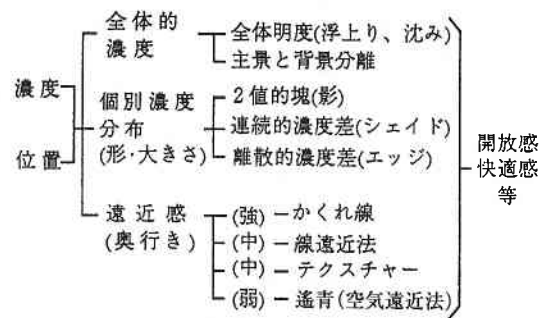


図1 画像の濃度

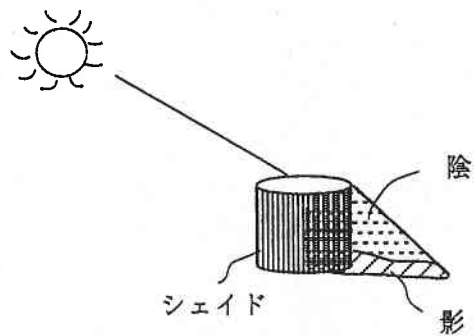


図2 陰影

## 2. 陰影とは

一言で陰影と書いているが、ここでは3種類の現象をさしている。一つは物体の可視面における太陽光の反射の具合により決まる濃淡の程度であり、一つは物体により太陽光がさえぎられてできた部分でありもう一つは物体により隠れた部分である。おのおのをシェイド、影、陰と呼ぶことにする(図2参照)。

\*東京大学生産技術研究所 第5部

ちなみに陰影に関する言葉を国語辞典で引いてみると次のようになっている。

- 陰影……………光の当たらないかげの部分
- 陰……………光がさえぎられて当たらない所
- 影……………物が光をさえぎった時，光源と反対の側にできる，その物の黒い形
- 陰影画法…色彩の濃淡によって陰影をつけ，立体感を表す画法

陰影画法と言う言葉は，シェイドの意味ももっているが，陰影と言う言葉そのものはシェイドの意味を持っていないので上記のようにした。陰影画法の定義からもわかるとおり，陰影はものの立体感を表現することができると思われる。

陰影を発生させる2大要素は太陽光と物体であり，このうち太陽光は天空光と直達光に分けられる。物体の反射特性については5節で詳述するとして，ここでは太陽光と陰影の関係について述べる。図2を見てもわかるように，陰影の明るさは表1の要素で発生する。

人間が遠くからシェイドと影を見ると，影はほとんど真暗に見える。しかし影の中に入れば影で隠れた壁などが見える。これは人間の視覚特性からくるもので，明るいものと暗いものを同時に見ると暗い方が認知できないが，全体が暗ければわずかな光でも認知できることによる。それでは直達光と天空光の明るさはどの程度違うのかを計算して

みる。計算は既報<sup>2)</sup>の手順で行う。

すなわち太陽高度60度の時の直達光と天空光の明るさの比は次のようである。(表2参照)

$$105000 : 14000 = 7.5 : 1$$

影の部分がシェイドに比べてとても暗い状態がわかる。

### 3. 自然画像における陰影

陰影がある自然景観画像の解析には衛星画像を使う。衛星画像はほとんど同時刻に撮影された四季別の画像が簡単に入手できるので，各種の太陽高度つまり各種の陰影の強さの画像が得られる。かつそのセンサーに性能が保証されているので，シェイドの強さが定量的に解析できる。

ここでは筆者が保有していた2時期の画像として，静岡県北部に位置する塩見岳の6月(夏画像)と10月(秋画像)のものを利用する。(表3参照)太陽高度の関係から夏の画像からはシェイドの分布がわかり，秋の画像からは影がわかる。

使用するのはTM画像1, 2, 3, 4, 5, 7バンドである。なお2画像は完全には同一場所の画像ではないが，画像の状態からはほぼ同じ区域と考えてもよいものとみなせる。

表4, 表5に2画像の濃度特性を，表6に両者の平均濃度比を示す。3表より次のことが言える。

波長バンド	1	0.45~0.52 μm	5	1.55~1.75 μm
	2	0.52~0.60	7	2.08~2.35
	3	0.63~0.69		
	4	0.74~0.90		

表1 光と陰影

	陰 影	照 射 光
青空時	シェイド 影	直達光 + 天空光 天空光
曇り時	シェイド 影	天空光 発生せず

表2 直達光と天空光

条 件	太陽高度 水滴量 60度 50 μg/m <sup>3</sup>	60度
結 果	直達光	3刺激値 R 28.7 G 26.8 B 23.2 x=0.349 y=0.351 明るさ Y=105000 I x
		天空光

表3 使用画像の概要

場所	静岡県北部塩見岳	
バス	108	
ロー	35	
年月日	88/6/15	89/10/24
時刻	9時52分30秒	9時46分40秒
経緯度	N36°-03'	N36°-03'
(中心)	E138°-34'	E138°-35'
衛星	ランドサット5	ランドサット5
太陽高度	62°	35°
方位角	109°	148°

表4 88/6/15(夏)の画像

濃 度	1	2	3	4	5	7
平均濃度	72.1	33.9	36.2	81.0	71.2	28.2
標準偏差	22.5	13.2	20.0	19.3	27.8	14.0
最大濃度	255.0	202.0	255.0	208.0	200.0	100.0
最小濃度	46.0	16.0	11.0	14.0	14.0	7.0
有効濃度	55~128	25~64	20~80	30~128	25~160	10~70
原画の 可視性	見える	見えない	見えない	見える	見える	見えない

表5 89/10/24(秋)の画像

濃度	1	2	3	4	5	7
平均濃度	45.9	19.5	20.1	44.6	41.9	16.5
標準偏差	7.1	5.2	8.6	19.9	27.2	12.0
最大濃度	106.0	54.0	85.0	109.0	212.0	96.0
最小濃度	34.0	11.0	8.0	2.0	0.0	0.0
有効濃度	32~85	15~45	10~55	10~90	0~128	0~64
原面の可視性	見え ない	見え ない	見え ない	見え る	見え る	見え ない

表6 2画像の平均濃度比

	1	2	3	4	5	7	全
比率	0.64	0.58	0.55	0.55	0.59	0.59	0.58

表7 衛星画像の太陽高度

季節	高度	正弦
夏の画像	62°	0.883
秋の画像	35°	0.574
夏と秋の正弦の比		0.650

① 夏の画像の方が秋の画像より明るい。各バンドとも平均濃度比が0.55~0.64の範囲に入っており、平均は0.58である。この濃度の違いが太陽の高度の違いによるかどうかのチェックを行う。

夏の画像と秋の画像の高度の正弦の比は0.65(表7参照)で衛星画像の実測値の比0.58より若干大きい。この理由として、夏の樹木の方が秋の樹木より反射率が高いことが推定される。どちらにせよ比の違いはさほど大きくはないので、夏と秋の画像の明るさの違いは太陽高度の違いからくと結論してもよいと思われる。これは大スケールの地上の反射の性質は、小スケールの実験室でのそれと同じ事を意味し、かつ後述する反射特性を推定させる。

② 夏の画像で最大濃度が平均より非常におおきいのは一部雲が写っているからである。有効濃度の最大値はさほど高くない。秋の画像では最大濃度と有効濃度の値は近い。

③ 濃度の高いのは1, 4, 5バンドであるが、濃度値はセンサーの性能によるので、一概に反射量が高いとはいえない。

次に影のある画像の性質として、影とシェイド部分との明るさの比と、影が持っている言われる遠近感について検討する。

秋の画像の影の部分とシェイド(日向)の部分の輝度の違いを調べたのが図3と表8である。

表8より可視光部、特にバンド1(青)の波長の部分は影もシェイドも明るさがあまり変わらないことがわかる。そしてバンド4, 5, 7(近赤外)の部分は影とシェイド

表8 影と日向の最多頻度を示す輝度値

TNバンド	1	2	3	4	5	6	7
影部	44	14	12	11	7	94	3
シェイド部	49	23	22	65	59	105	20
比	0.898	0.609	0.545	0.169	0.119	0.895	0.15

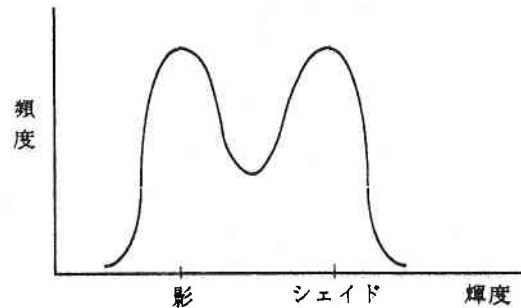


図3 輝度の違い

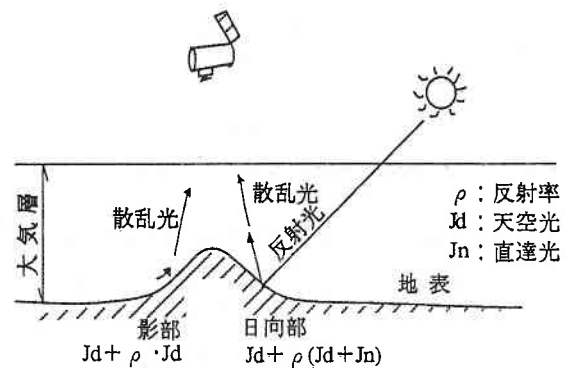


図4 シェーディングの概要

で明るさに大きな違いのあることもわかる。この原因としては大気の散乱の影響が考えられる。

すなわち図4に示すように、衛星画像は大気の散乱成分もセンサーに取り込んでしまうので、波長が短いほど多くの光が入射して、影の影響をなくしてしまうものと考えられる。

この現象を式で表現すると次のようになる。

影部輝度/日向部輝度 = 
$$n = (Jd + \rho \cdot Jd) / (Jd + \rho \cdot Jd + \rho \cdot Jn)$$

より 
$$\rho = Jd(1-n) / (nJd + nJn - Jd)$$

このケースでは波長0.485 $\mu$ m、太陽高度35°水分50 $\mu$ g/m<sup>3</sup>とすると、Jd=243w/m<sup>2</sup>/ $\mu$ m、

Jn=1125w/m<sup>2</sup>/ $\mu$ mとなり n=0.898より

$$\rho = 0.0252$$

青波長の森林の反射率がこの程度なら推定が証明されるが、少し小さすぎると思われる。

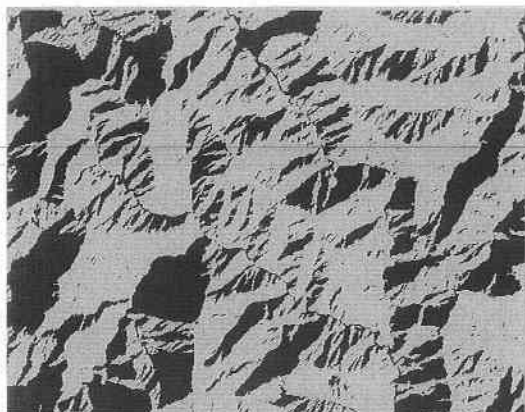


図5 影の画像

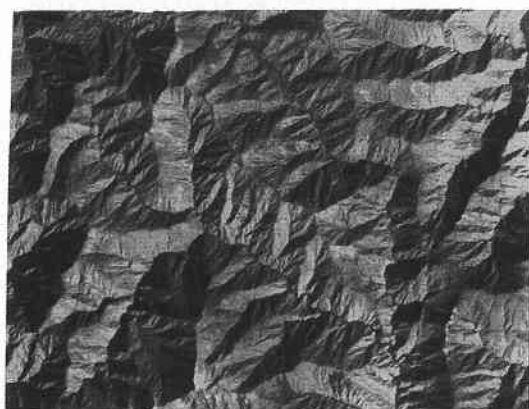


図6 秋の画像

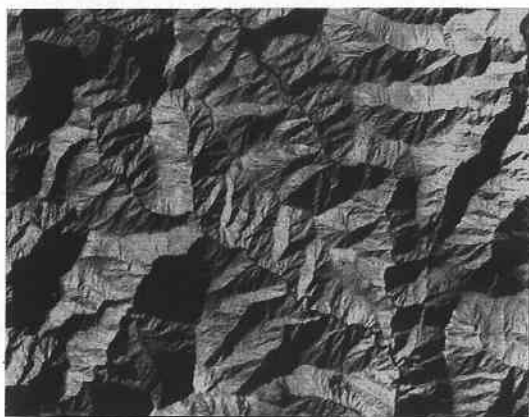


図7 シェイドと影



図8 輪部画像

もわかるが、真っ暗な影はあまり良好な影ではなく、遠近感を感じさせないこともわかる。つまり遠近感を感じるのは、ほとんどシェイドの状態によるものであり、よほど特殊な形態をした地形でないかぎり影からは地形の状況を読むことはできない。ただし遠景図などでは、シェイドの効果を増す作用があると思える。同様に影の輪郭を抽出したのが図8であるが、やはり何を示しているかわからない。

#### 4. 陰影と形状把握について

衛星画像そしておそらく一般の画像も、その遠近感（立体感）は主にシェイドから決まることがわかった。筆者は1984年に衛星画像の単画像を用いて、それに写っている山岳の断面形状を推定する方法を開発<sup>3)</sup>した。これは単画像でも人間が見て立体感（奥行き）を感じるのなら、逆に単画像から奥行きを推定できるはずであるとの考えから行ったものである。この考えはちょうど前節で得たシェイドで遠近感（立体感）を得られると言う結論と一致する。この推定方法は山の絶対高さを得るには難があるが、概略の形状を知ることは十分出来た。ただ使用した画像がMSS（マルチスペクトルスキャナー）で解像力が低かったことや土地被覆が一様でなかったことなど改良すべき点は多

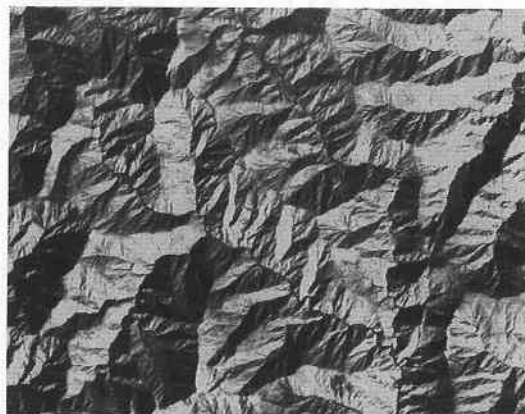


図9 TM4バンド画像

次に影が持つと言われる遠近感の検討に用いるために、秋の画像を影の部分とシェイドの部分に分け、おのおの領域の平均濃度で塗ったのが図5である。もともとの秋の画像（図6）と比べて遠近感が非常に少ない事がわかる。もちろん一部何となく遠近感を感じる部分もあるが、もとの画像を見ない限りどのような地形なのかの推定もできない。つまり影はそれだけでは遠近感（立体感）をもてないのである。しかも原画の影の部分塗りつぶし図7をみて

かった。これがTM(セマチックマッパー)画像でかつほぼ森林で覆われている地域なら、より高度な推定が可能であることが推定できる。図9に本論文で使った地域のTMの4バンドの画像を示すが、これは地表を完全拡散面とみなして計算したシェイドの画像と非常によく似ている。この画像を用いればより高度な山岳断面の推定が可能と思われる。次節では、山岳地帯の表面反射特性について考察を行う。

### 5. シェイドと表面反射特性

森林に覆われた山岳の光の反射特性は、3節の測定結果より太陽高度に依存すると述べた。これは太陽が地表に斜めに当たると、太陽高度の正弦で光の反射量が決まることで、図10に示すような入射光量の減少(ランバートの余弦則)を反映したものである。次はよりミクロな森林の葉による反射の状況を調べる。物体の反射については、CG(コンピューターグラフィックス)の分野で主に鉄や木などの材質を表現する目的で多数の研究がなされている。専門書<sup>4)</sup>によれば物体の反射の状況は、

環境光+拡散光+鏡面反射光

で表される。自然の森林では環境光は天空光で決まり、残りの二つは直達光で決まるものと考えられる。

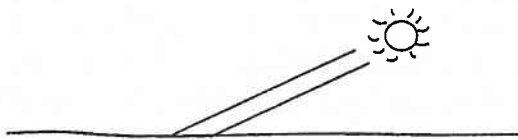


図10 斜めの太陽光

・環境光

環境光の反射は次式で表される

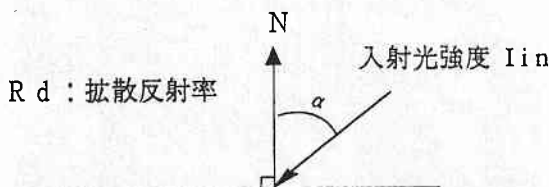
$$I_c = I_a R_a \quad I_a \text{ 環境光の強さ} \\ R_a \text{ 反射率}$$

環境光の強さは地表の面の向きに無関係に同じ量のエネルギーを受けるので、反射輝度としては定数項的なり扱いでよい。かつその値は一般に拡散光より小さい。

・拡散光

完全拡散面(すべての方向にまったく一様な強さで反射する面)の反射は太陽光の入射角で決まり次式で表される

$$I_d = I_{in} \cos \alpha R_d$$



$R_d = 1.0, I_{in} = 255$  (最大輝度), 太陽高度 $90^\circ$ で反射

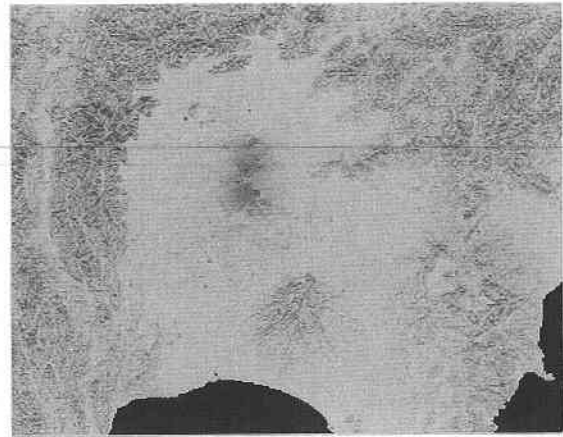


図11 太陽高度 $90^\circ$ , 完全拡散面

を完全拡散面とした場合天頂方向から見下ろした富士山周辺の景観は図11のようになる。

このケースは太陽が斜めから当たった時と違い影は生じず、かつ遠近感が一番少ない時であるが、4節で述べたように人工衛星の4バンドの画像によく似ている。つまり4バンドの波長域では森林の反射は完全拡散面と見なしてもよいと言える。1バンドの画像では大気の影響が強く、4バンド明瞭な結果ではないが、おそらく同様の反射メカニズムであると考えられる。本来なら人工衛星画像と同一の場所のモデルを用いればより詳しい検討が可能であるが、データ入手ができなかったので後日の課題とする。

・鏡面反射光

森林は鏡面反射をしないと考えられるが、一応チェックする。

鏡面反射の式はいくつか挙げられているがここでは一般によく用いられている Phong のモデルを検討する。Phong のモデルは次式で表される。

$$I_r = I_{in} w(\alpha) \cos^n \gamma \\ I_{in} \text{ 入射光の強さ, } \alpha \text{ 入射角,} \\ \gamma \text{ 反射光と視線のなす角}$$

ここで Phong は  $w(\alpha)$  を材質に応じたカーブとして図にしている。しかしこの式では面に平行な光線がきた時でも反射がある事になり、測定事実と一致しない。よってここでは材質が一定の時は太陽入射角の関数にもなると想定して次式で反射を表す。

$$I_r = I_{in} \cos \alpha \cos^n \gamma$$

本式で  $n = 3$  とし、完全拡散面の時と同様太陽高度 $90^\circ$ 天頂方向の視点を想定すると図12を得る。完全拡散面の時よりコントラストの強いかつ尾根部谷部が明瞭な図となり、実測結果である衛星画像のイメージとは違う。ただし遠近感は図11より強い。つまり森林の山岳は鏡面反射的な

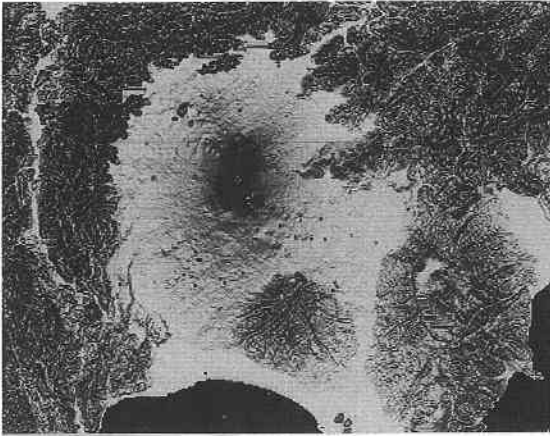


図12 太陽高度90°, n=3

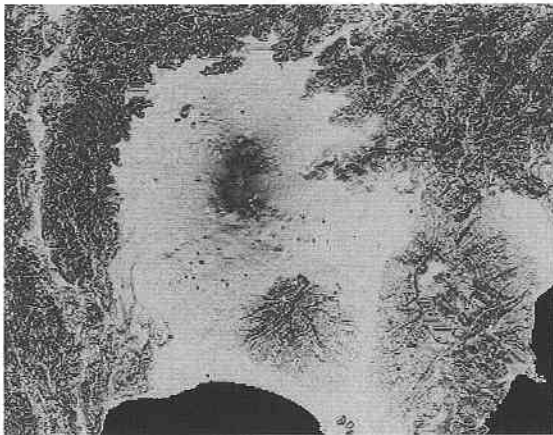


図13 スチプンスのベキ乗則を考慮した画像



図14 太陽高度30°, 視点高度30°

反射特性はなく、完全拡散面で計算すれば、景観シミュレーションとして十分な事が推定される。

なおスチプンスのベキ乗則の効果を考慮した時は図13のようになり、少し明るくなっただけで視覚効果はあまり変わらない。

次に視点の位置の変化の効果を簡単に調べたものが図14である。図14は  $n=3$  で太陽高度90°, 視点高度30°, 視点方位角180° (下から上をみる) の図であるが、地表の凹凸感が逆であり、かつ地表の材質が鉛であるような印象を受ける。景観シミュレーションの一つの応用として面白い結果である。

## 6. おわりに

山岳景観における陰影の視覚効果について基本的な検討を行い、次にあげるような結論を得た。

1. 直達光と天空光はほぼ1桁大きさが違う
2. 森林に覆われた山岳の反射特性はランバートの法則に従う
3. 青バンドの衛星画像は、大気散乱の影響を強く受ける
4. 影はそれ単独では遠近感を感じさせない。ただしシェイドの効果を増す作用はあると推定される。
5. 森林に覆われた山岳は、完全拡散面として十分表現可能である。

今回は使用したデータに一貫性がなかったため、あまり細かい検討は出来なかった。今後追加検討を行うつもりである。  
(1993年11月2日受理)

## 参考文献

- 1) 青島, 村井: 画像処理による水墨画景観の特性解析 生産研究 Vol. 45, No. 12
- 2) 青島, 村井: 光学現象(青空)の画像化に関する一考察 生産研究 Vol. 46, No. 1
- 3) 青島, 建石, 信田, 成松: LANDSAT 画像の濃淡による地形起伏の推定 PP. 119~124 1984年5月 日本写真測量学会年次学術講演会
- 4) 中前栄八郎, 西田友是: 3次元コンピュータグラフィックス PP. 153~164 昭晃堂