

山岳景観シミュレーション画像における 解像力に関する一考察

A study on Resolution of Mountain Landscape

青島正和*・村井俊治*

Masakazu AOSHIMA and Shunji MURAI

本論文では景観画像の視覚効果のうち、画像をクリアーにしたりボケさせたりする主因である解像力について検討を行った。その結果土地被覆データの解像力が細かければ、地形データの解像力がかなり荒くても十分使用可能なシミュレーション画像が作れること、テクスチャーの遠近感解像力が高い時のみ有効で効き目がローカルなこと、シェーディングの遠近感解像力はコントラストが低くてもかなり強いことなどがわかった。

1. はじめに

CG (コンピュータグラフィックス) による景観シミュレーションの研究が盛んに行われている。しかしいずれの研究も景観のそれらしさの再現を目的としている割には、自然景観と違う作爲性が抜け切れていない。これは景観の人間による感覚的モデリング、および視覚効果を見捨てた安易な写真の切り貼りに原因がある。これに対し既報¹⁾では物理理論や色彩理論に忠実な景観シミュレーションの方法を述べ、その後シミュレーション時に考慮すべき視覚効果²⁾についての検討を行った。本論文ではこれに加えて、画像をクリアーにしたりボケさせたりする主な要因である解像力について検討を行う。

解像力については、その具体的な測定法に関して種々研究³⁾がなされているが、ここではそれらとは異なり画像のボケや判別能力などの、解像力の持つ視覚効果の面から考察を加える。

2. 解像力とその性質

①解像力の指標

いわゆる解像力の指標としては、一般に以下の3つがある。

1. 出力画像の単位長さあたりの情報量を表現……写真 (40本/mm)
2. 出力画像の全体の情報量を表現……テレビ (512本)
3. 入力画像の単位画素あたりの情報を表現……衛星画像 (地上解像力30m)

いずれも画像の見える程度を示しているが、解像力の全容

を示すには上記の3つの指標とも明らかにする必要がある。なお画像の見え方は視点と画像との距離によっても変わるが、ここでは人が通常画像を見る距離 (25cm 程度) を考える。

②景観シミュレーションに用いるデータと解像力

景観画像を作成するときに必要なデータの種類としては次の3つが考えられる。

1. 地形を表現するもの (DTM)。
2. 土地被覆の画素の大きさ。
3. 土地被覆の色 (濃度) のレベル。

このうち一般に解像力といわれているのは2. の土地被覆の画素の大きさであるが、ここでは1. の地形についても解像力を想定する。地形の解像力はDTMのメッシュの大きさで表す。

③解像力による画像上の形状の見え方

一般に土地被覆の写っている衛星画像の解像力は、1画素が対応する地表面の大きさ (地上解像力という) で表されるが、それは画素の大きさの物体まで見えるということの意味しない。物体を判別するには、その形状に応じた画素群が必要である。これについては既報⁴⁾で検討し以下の結論を得ている。

衛星画像から判別できる物体の大きさは、物体の概要がわかる程度の判別性に対し次の大きさが必要である。

- | | |
|-------------|---------------------------|
| 角型物体 | (物体の大きさ) > 4.0 × (画素の大きさ) |
| 長方形物体 | (物体の大きさ) > 2.5 × (画素の大きさ) |
| 線状(コントラスト小) | (物体の大きさ) > 1.5 × (画素の大きさ) |
| 線状(コントラスト大) | (物体の大きさ) > 0.7 × (画素の大きさ) |

*東京大学生産技術研究所 第5部

つまり四角い物体のほうが細長い物体よりわかりやすく、四角い物体では画素が16ヶ程度ないと判別できないが、細長いものでは画素以下の大きさでも判別できることがある。このように解像力で画像の荒さの概要はわかるが、物体の見え方は解像力の大きさだけからでは決められない。

3. 人間が判別できる画像の細かさの限界

人間の目の判別能力は視角で表される。人間の視角の最小分離いきは1分⁵⁾と測定されている。この視角は25cm離れた画像上での解像力に変換すると

$$250\text{mm} \times 1\text{分}(0.000291\text{ラジアン}) = 0.0728\text{mm}$$

1mm当たりの解像力に直すと13.7本

となる。

次に判別できる物体の大きさについて検討を行う。樋口⁶⁾は景観の解析をするときに、遠景と中景の境の判定に樹木の樹冠の見え方を指標として使用した。このとき肉眼で識別できる樹冠の視角を測定して3分であるとしている。つまり視角の3倍の大きさの時にはじめて樹冠が識別できるとしており、この値は前節で述べた角型物体と長方形物体の中間にあるので両者は矛盾しない。

また人間の印刷物上での識別力は0.2mmと言われており、この値は25cm離れた画像の視角3分ぶんに相当しこのケースも景観の場合と矛盾しない。この程度の値が画像の最小の見え方を規定するものと考えてもよいと言える。つまり画像のアウトプットの解像力は一画素が0.2mmより大きければ、画像がボケる。

4. 解像力と視覚効果

①既往研究の考察

解像力が景観シミュレーションおよび視覚効果に与える影響に関する研究が、本多⁷⁾により行われている。本多はCGを用いた流域景観の解析を行っているときに、地形データと土地被覆データの精度がどのように景観に影響を与えるかを検討し、次のような結論を得ている。すなわち

「景観画像の合成には地形データの精度よりも、そのうえにマッピングするテクスチャー情報(土地被覆)が非常に重要であると言える。オーダー的に地形データより1から2桁高い分解能(解像力)が要求されると考えてよいと思われる。」

この結論は景観シミュレーションに関して、2つの大きな意味を持つ。

一つは地形データのサイズに関するものである。すなわち従来の景観シミュレーションは地形データと土地被覆

データは同じ大きさ(解像力)のものを使用していた。近年のリモートセンシング技術の発達により土地被覆データは比較的簡単に入手が可能となったが、地形データ作成の大半はまだ人力によっているので、土地被覆データが細かくなればなるほど地形データの作成に多大な時間と費用がかかることになる。ところが上記のような結果から、地形データはかなり荒くても土地被覆データが細かければ、景観シミュレーションの結果にほとんど差がないことが保証され、データの作成時間と費用の大幅な節約になる。

他の一つは視覚効果としての遠近感に関するものである。既報⁸⁾において、遠近感はその発生原理ごとに作用の強さが異なることを示唆した。この裏付けとして、本多の研究から次のような推定が可能となる。

- ・この研究で対象となる遠近法は上下法、隠れ線法、陰影効果(シェーディング)、テクスチャー遠近法で、線遠近法や空気遠近法は用いられていないが、それでも画像から十分に遠近感を感じる。線遠近法や空気遠近法を用いなくても遠近感があり、かつテクスチャーの遠近法は谷と尾根の差としての高度感を与えるが、山全体の遠近感あまり与えないことより、上下法あるいは隠れ線法と陰影効果を組み合わせた遠近感はかなり強いと推定できる。この場合DTMのメッシュは細かい必要はなく、上下の関係さえ保たれる精度があればよい。当たり前のような結論であるが、現在一般に用いられている、遠くのもの小さく書く手法が使われるようになったのが比較的新しい時代であること⁹⁾を考えると実用性の観点から価値ある結論のひとつといえる。
- ・樹冠のテクスチャーによる遠近感からは、山全体の奥行きを表す遠近感が得られないのは、この画像が中景～遠景なので樹冠が小さく写っており、遠近感を表すほどのテクスチャーの差がないことによると思われる。山全体の奥行きを示すテクスチャーとしては、樹冠のテクスチャーを平均化して得られる、より解像力の粗い陰影のテクスチャーのほうが効果があるように思える。

②シミュレーション画像の作成

本論文では解像力が景観画像の視覚効果に与える影響を調べる目的で、①で述べた画像の解像力を変化させ検討を行う。

シミュレーション画像の作成方法は本多の論文¹⁰⁾に詳しいので、ここではポイントだけ簡単に示す。

シミュレーション画像は、白山付近のもので高度5800mから俯角35度で見た場合を想定して作成した。

- ・DTMデータは三角形ポリゴン(メッシュを4分割)を使用
- ・陰面消去はZバッファ法を使用
- ・土地被覆は空中写真を使用(解像力は1.9m～3.6m, 10枚の空中写真をモザイク)

・座標変換は次式を使用

X_p, Y_p, Z_p : 写真座標 X, Y, Z : 地上座標

X_s, Y_s, Z_s : 視点座標

M_p : 地上座標系から写真座標系への座標変換マトリックス

M_s : 地上座標系から生成画像の視点座標系への座標変換マトリックス

作成した基本画像は次のとおりである。

1. 国土数値情報 1/4 メッシュ (解像力約 250m) DTM のシェーディング画像 (図 1 左画像)
2. 詳細 DTM (解像力 20m) のシェーディング画像 (図 1 右画像)
3. 1 の DTM に土地被覆 (原画) をマッピングした画像 (図 2 中画像)
4. 1 の DTM に土地被覆 (4 × 4 画素平均) をマッピ

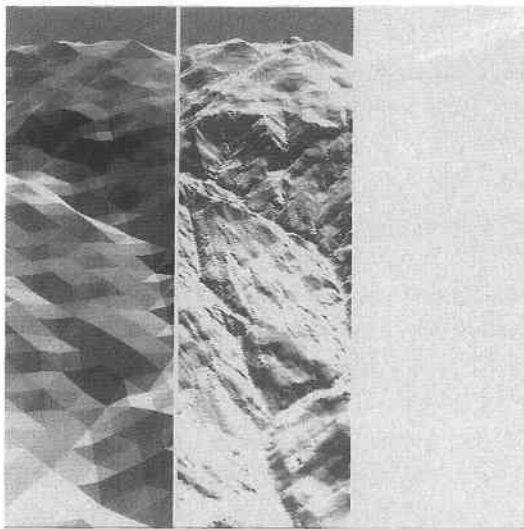


図 1 シェーディング画像

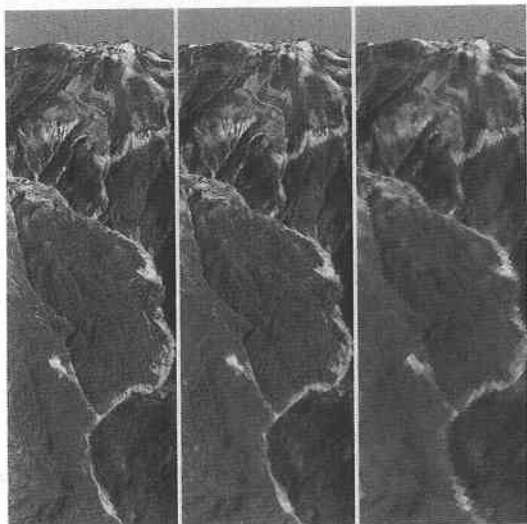


図 2 解像力 250m HK1. PIC (国土数値情報のみ)

ングした画像 (図 2 中画像)

5. 1 の DTM に土地被覆 (16 × 16 画素平均) をマッピングした画像 (図 2 右画像)
6. 2 の DTM に土地被覆 (原画) をマッピングした画像 (図 3 左画像)
7. 2 の DTM に土地被覆 (4 × 4 画素平均) をマッピングした画像 (図 3 中画像)
8. 2 の DTM に土地被覆 (16 × 16 画素平均) をマッピングした画像 (図 3 右画像)

③シミュレーション画像の視覚効果

図 1 に DTM の解像力が 20m の場合と 250m の場合のシェーディング画像を示した。その差は一目瞭然であり、左側の 250m の画像は大まかな地形しか把握できないが、右側の 20m の画像は地形の詳細な状況が明瞭に出ており細かい谷間などもよくわかる。また視覚効果としての立体感 (遠近感) も 20m の画像は十分である。シェーディングで地形を表現しようとするときは、印画紙上で密になるようになりに細かな DTM データを使用する必要があることがわかる。

ところが土地被覆のデータを用いると、シェーディング画像ではまるで異なっていたものがほとんど違いがわからなくなる。図 2 と図 3 のおのおの左画像を見ればわかるが、両者にはほとんど差がない。非常に細かく言えば、たとえば地滑り地の形が若干違って表現されていたりするが、景観シミュレーションに大きな影響を及ぼすようなものではない。つまり上下法の基準を守っている DTM であればそれが相当荒くても、それにマッピングした土地被覆のデータさえ細かければ十分使用可能なシミュレーションが可能であると言う本多の研究結果が再確認できた。

次に図 3 に示した 3 枚の画像から解像力によるボケについて考察する。図 3 の中の画像と右の画像は、原画である

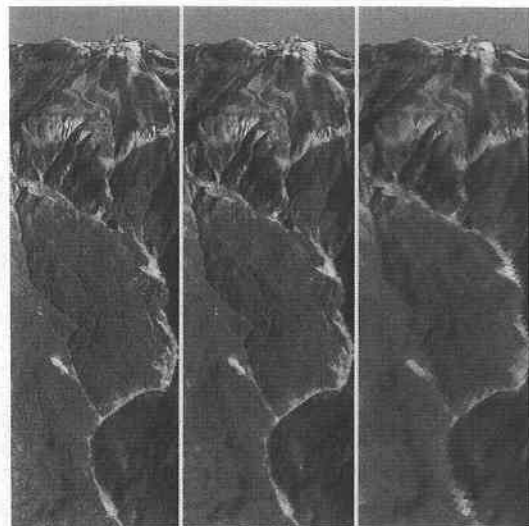


図 3 解像力 20m HK2. PIC (国土 ± 20m)

マッピングする画像(左画像)をおおの $4 \times 4 = 16$ 画素平均, $16 \times 16 = 256$ 画素平均して使用したものである。見比べればわかるが, 右の画像は完全にボケているが, 中の画像はちょうどボケかかったところと言うことができる。

このボケ始めの画像の解像力がどの程度か計算すると, 空中写真の幅20cm に対し画素が1280なので, 解像力として

$$200/1280 \times 4 = 0.625\text{mm}$$

が得られ, この値は地上解像力で7.6m~14.4m(平均11m程度)になる。樹冠の大きさは広葉樹6m程度, 針葉樹3~4m程度と11mより小さいので, テクスチャーがわからない程度にボケると予想できるが, 画像からはそれほどボケを感じない。

恐らくスムージングの方法が原画をかなり保存できたことによると思われる。

図3の3枚の画像では尾根と谷の差である高度感はかなり違うが, 山全体の奥行きを示す遠近感は解像力が大きく異なるわりには思うほど差がない。3枚の画像の違いは, 解像力の違い特にいわゆる樹冠のテクスチャーの表現能力の違いであり, 左画像ではテクスチャーが明瞭であるが, 右画像では樹冠はまったくわからずに, わかるのはコントラストの低い陰影のテクスチャーである。樹冠のテクスチャーが変わっても山全体の遠近感がかわらないと言うのは, 樹冠のテクスチャーは思うほど山全体としての遠近感を与えないと言う事実を表しているものと思われる。テクスチャー遠近法は線遠近法と同じ理論のもとに効果が発揮されるが, 遠景景観ではテクスチャーの差があまりないので, さほどの効果が出ないと言える。逆に陰影(シェーディング)の遠近感はコントラストが低い割には強いと言える。

既報¹¹⁾ではテクスチャーのない衛星画像から作った影のみの画像では, 遠近感を与えない結果がでた。そこで今

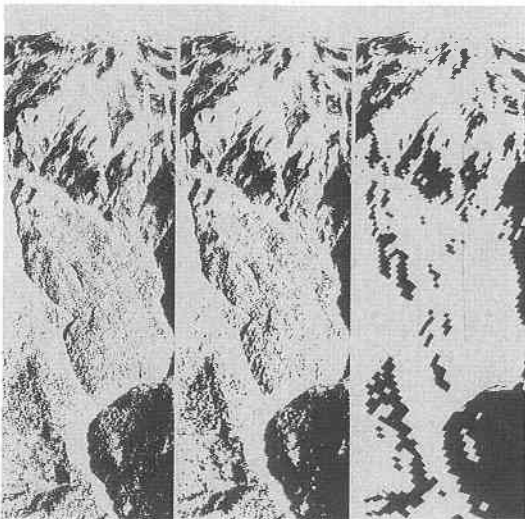


図4 影画像

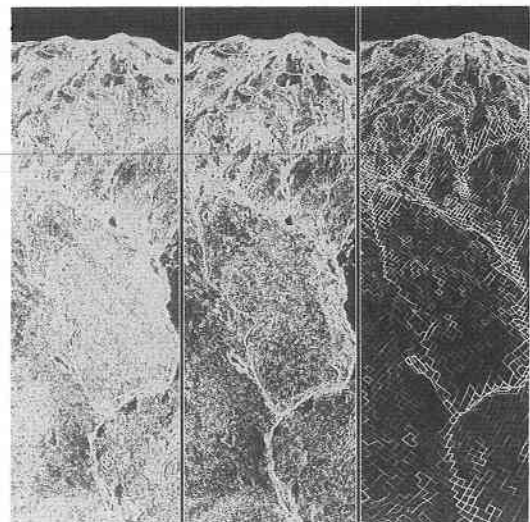


図5 ソーベル微分

回のように細かいテクスチャーがあるときについて, 影を抽出してみた画像が図4である。図4より衛星画像の場合と違い, 谷の部分では樹冠のテクスチャーを表す小さな影が密に分布しているので, 周辺と見比べるとはっきりとした凹凸感が得られる。シェーディングほどではないが条件さえよければ, 影のみの画像からでも高度感が得られる。ただしテクスチャーによる凹凸感は, 密度の差があるような部分におけるローカルなものと思われる。なお山全体の遠近感はあまり感じられない。

また図3の3枚の画像の内, 通常の景観画像としての左と中の画像の違いは明確でないが, どの程度の差があるかを示す目的で微分画像を作成した。図5はソーベル微分を掛けたものであるが, 左画像と中画像の濃度分布の違いを表現しており, また右画像のテクスチャー密度の薄さを表している。このように景観画像では見落とすような違いも, 微分等のフィルターをかけると明確な差となるので, ボケの程度などの視覚効果を判定するときに使うと便利である。

5. おわりに

景観シミュレーションに用いる解像力について検討し, 以下に示す有意義な知見を得た。

- ①上下法あるいは隠れ線法と陰影効果の組み合わせは, 解像力が低くても山全体の奥行きを表す遠近感がかなり強い。
- ②樹冠のテクスチャーは尾根と谷の差の高度感を表すが, 山全体の奥行きを表す遠近感は小さい。
- ③シェーディングで地形の起伏を表すには相当細かいDTMが必要である。
- ④景観シミュレーションでは土地被覆のデータが細かければ, DTMデータは粗くてもよい。
- ⑤陰影の遠近感はコントラストや解像力が低くてもかな

りある。

- ⑥樹冠のテクスチャーの影のみの画像は、部分的な地形の高低差による高度感を与える。
ただし解像力が低いと与えない。

⑦微分により原画ではわからない濃淡の違いができる。

最後に本検討では特に画像データの使用に関して農林省林野庁大阪営林局の御協力があった。ここでお礼申し上げます。
(1994年1月21日受理)

参 考 文 献

- 1) 青島正和・村井俊治：画像処理による水墨画景視の特性解析 生産研究 1993年12月 PP. 52~59
- 2) 青島正和・村井俊治：山岳景観における陰影の視覚効果に関する基礎的研究 生産研究 Vol. 46 No.3 PP. 48~53 1994年
- 3) 森・坂倉：画像認識の基礎 [I] P. 4 オーム社
- 4) 青島正和・村井俊治・柳田 聡：人工衛星画像の物体判読に関する基礎的研究 PP. 80~92 日本写真測量学会秋季学術講演会 1993年10月
- 5) 樋口忠彦：景観の構造 P. 23 技報堂出版
- 6) 5) と同じ
- 7) 本多 潔：コンピュータグラフィックスによる手取川流域の荒廃度調査 P. 11 大阪営林局 1993年
- 8) 2) と同じ
- 9) 西岡文彦：絵画の読み方 P. 118 (株)宝島社
- 10) 本多 潔：空中写真モザイクとTM データによる景観画像の合成 P. 29 日本写真測量学会 平成4年度秋季学術講演会 1992年10月
- 11) 2) と同じ