

カラー・コンピュータ・グラフィックスによる 森林景観情報処理手法の開発

—空中写真画像と地形・植生数値情報の α 合成表示と3D表示—

齋藤 馨*・熊谷洋一**

Development of Forest Landscape Information Processing System with Color Computer Graphics

—Generating α -composed 2D-image and 3D-image using Aerial Photo,
Digital Terrain Model and Categorical Vegetation Data—

Kaoru SAITO* and Youichi KUMAGAI**

1. はじめに

筆者らは、カラー・コンピュータ・グラフィックス（以下「CCG」と略記する）を応用した景観予測技法の開発を進めてきており（1988¹⁾、最近その成果が景観計画に利用²⁾されるようになってきた。

開発の進展にはコンピュータの画像表示解像度と色表示解像度の精度向上に依るところが大きく、筆者らはその技術を活用して従来のフォトモンタージュ法を発展させフルカラーのコンピュータグラフィックスによる景観予測技法の構築を図ってきている。

この技法では、景観計画の予測プロセスにおけるオルタナティブの臨場感のある表現を目的として写実性を重視し、写真画像に近い表現をシミュレーションすることに力点をおいた。

現在は、この予測技法に評価プロセスを組込んだシステム化を図り、「CCG 景観予測評価システム」として活用を始めている。

このシステムは、現実に人間が眺める景観を扱う地区レベルの計画にはきわめて有効であるが、より広い地域レベルでの景観計画すなわちゾーニング等には対応しにくい部分が多い。

近年、リゾートに代表される開発が森林地域へ計画されることが多くなり、それにとまって地域レベルでの景観計画の重要性がますます必要となってきた。また、単に計画の手法としてだけでなく、地域住民や自治体などには十分に説明のできるプレゼンテーション手法の開発も急務となってきた。

そのような状況を踏まえ、本研究では、「CCG 景観予測評価システム」を更に拡充発展させ、地域レベルでの景観情報処理システムの構築を試みたものである。

広域の景観情報を用いた解析手法であるメッシュアナリシスは前田ら³⁾によって紹介され、そ

* 東京大学農学部附属演習林研究部

Research Division of The University Forests, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

** 東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

の後全国レベルでの各種データ整備が進められてきている。

メッシュアナリシスは、地域の景観情報をメッシュ単位で整備・解析し、その結果をメッシュ単位で表現するものである。

結果の出力方法としては、ラインプリンタでの英数字出力、その重ね打ちによる濃淡表現を用いて視覚的に分かりやすくする表示が初期の方法であった⁴⁾。

現在はプロッタで出力したり、地形図などを基図にしてその上にメッシュマップを合わせてプロットし即地的な対応を表現する出力方法が用いられている。プロッタによる出力は時間がかかり解析途中の結果を数多く出力するには不向である。したがって中間解析出力でディスプレイ上にメッシュマップを表示し、目視によりデータの分布などを把握している。しかしこの方法では各メッシュの即地的な対応を確認しながらの解析はできない。

筆者らはCCGによる開発と、メッシュ・アナリシスによる景観解析を行ってきた過程で、CCGによって平面的なメッシュデータを即地的に表現できる方法が有効であると考え、その開発可能性を模索してきた。また、近年の3次元コンピュータグラフィックス技術を活用すれば、より景観計画に寄与する新たな景観情報処理手法の開発も可能である。さらに近年急速に普及しつつある地理情報システムも、フルカラー画像を用いることで景観計画手法に応用できる。

本研究は、こうした経緯の中でこれまで試行錯誤的に行ってきた開発の成果を整理し、新しいシステムの開発を目的としたものである。

2. 研究の方法

2.1 手法開発の考え方

従来のプロッタを用いて地形図にメッシュデータを描画する方法をより発展させて、ビジュアル化を図るとともに、その作業をディスプレイ上で行うことを考えた。すなわちディスプレイ上でカラー空中写真による基図を作成し、メッシュ情報を重ね合わせて表示する方法の開発である。さらにその表示結果に数値地形情報を重ね合わせ、3次元処理を施すことによって立体感のある表現の開発を検討した。これらには α 合成手法(後述)を用いた。

3D表示による景観像の作成にあたっては、各メッシュを投影変換してその上にメッシュデータ区分をもとに着色表示する方法もあるが、本研究ではメッシュに対応するカラー空中写真画像や α 合成された画像を投影変換したメッシュの表面にテクスチャマッピングする方法を用いた。

2.1.1 フルカラー空中写真画像とメッシュデータとの α 合成

メッシュデータをディスプレイのピクセル(画素)に対応させて表示する方法を採用した。この方法は、ラスタスキャン型モノクロディスプレイであれば2値情報をディスプレイの画素に対するオン・オフにより白黒で表現でき、またデジタルRGBの8色では、RGBの各チャンネルに対してのオン・オフの組合せで8区分のメッシュデータを色分けて表現できる。したがって数区分の情報の色分けて表示してそのパターンをディスプレイ上で目視により確認しながら、その該当メッシュ数や割合を同時計算し利用することが容易にできる。フルカラー表現の場合には、24ビット(約1677万色)の色解像度を活用できるため、標高や植生、被視頻度等の組合せによる数~数十区分を中間色を使って表示することが可能である。しかし、この方法では、扱える色数が増えただけで、これまで使ってきた手法とは基本的に同じ考え方である。

そこで本研究は空中写真のナチュラルカラーをフルカラーでデジタル化した画像をベース画像

にして、メッシュデータを色区分表現した画像に不透明度（「 α 情報」と呼ぶ）を設定し、 α 情報を制御しながら合成（「 α 合成」と呼ぶ）する方法を用いた。

その結果、従来プロッタで地形図にメッシュデータを表示するよりも把握しやすい表示になると考えた。この方法は、CCG 景観予測システム¹⁾で、背景の実写写真画像とレイトレーシングによる構造物画像とを任意の位置でスムージングして合成する際に用いた α 合成方法を応用したものである。

■ α 合成の方法:

あるピクセルのフルカラー空中写真画像 a の RGB 値を、 R_a, G_a, B_a とし、メッシュ情報の区分を表す画像 b を同様に、 R_b, G_b, B_b とする。

画像 b を不透明度 α とした際、 a と b の合成画像 g の R_g, G_g, B_g 値は次式によって求める。

$$R_g = (1 - \alpha) \times R_a + \alpha \times R_b$$

$$G_g = (1 - \alpha) \times G_a + \alpha \times G_b$$

$$B_g = (1 - \alpha) \times B_a + \alpha \times B_b$$

但し $0 \leq \alpha \leq 1$

適当な α 情報を選ぶことで、ベースに空中写真画像のナチュラルカラー画像を残しながら、メッシュデータを重ね合わせて表示することが出来る。この表示により、基礎メッシュデータの確認だけでなく、メッシュアナリシス結果の即地的把握も容易となる。空中写真の持つ情報量は、メッシュデータや地図データに抽出された情報よりはるかに膨大であるため、きめ細かい景観計画策定が可能となり、その効果は大きい。

2.1.2 地形情報によるシャドウマップの α 合成

メッシュアナリシスによる景観解析では、数値地形モデル (DTM) を用いる。この DTM 情報を利用し、かつ太陽光を定義すれば、各メッシュの明暗の強度 L ($0 \leq L \leq 1$) は、太陽光の位置を視点と考えた場合の可視不可視検索によって求められる。

不可視メッシュは、影となるので黒（濃度 0）とし、可視メッシュについてはその法線と太陽光線とのなす角 θ とすれば、 $\cos \theta$ でその濃淡を表現される。これにより作られる 2D のモノクロ画像はシャドウマップと呼ばれる。 L を空中写真の不透明度 α と考えて処理すると、2D の画像ではありながら、空中写真画像にハケ図のような凹凸表現を施すことができる。ただし、 $L=0$ の場合、ベースの空中写真画像濃度値が 0（黒）となりベースが見えなくなるため、シャドウマップに対し半透明定数 β を定義し以下の処理を行った後に合成を行うこととした。

■ 半透明定数 β による変換と α 合成:

$0 < \beta < 1$ とし、変換後の L を $L\beta$ とし次式により変換する。

$$L\beta = 1 - \beta(1 - L)$$

[$L\beta$ の取り得る値は $(0 <) 1 - \beta < L\beta \leq 1$ となる]

ここで、 $L\beta$ を α と考え、シャドウマップによる α 合成を次式によりおこなう。

$$R_s = L\beta \times R_a$$

$$G_s = L\beta \times G_a$$

$$B_s = L\beta \times B_a$$

(R_s, G_s, B_s は、シャドウマップ合成後画像の RGB 値)

地形に起因する、傾斜度や被視頻度解析結果の表示では、前節のメッシュデータの α 合成に際

して、事前にその空中写真画像にシャドウマップによる α 合成を行った画像をベースとして用いると、より分かりやすい表示が可能となる。

2.1.3 3D マッピングの適用

2.1.1 及び 2.1.2 で作成した 2D 画像を、DTM を用いて 3D 表示することで、鳥瞰パースや地上視点からのパースを作成することができる。これまで、ランドサットデータを 3D 表示する方法などが行われているし、筆者らもメッシュデータから 3D 画像を作成して利用している。

本研究では、空中写真画像をそのまま各メッシュのテクスチャデータとして 3D 表示する方法を用いることで、メッシュアナリシスによる 2D での検討結果をより具体的に表現できると考えた。これまでフルカラー画像をマッピングデータとして用いた 3D 画像生成は、ハードウェアの能力的制約から実用的な写実性を確保することが困難であったが、近年のハードウェア・ソフトウェアの進歩から実用可能となり、本方法の実現にはその技術向上が大きく影響している。

2.2 システムの構成

システム構成および各部分の処理機能を〈図-1〉に示す。これまで、【S4】と【S3】によりメッシュアナリシスを行ってきた。その後【S2】により CCG 景観予測システムを作成し、今回さらに【S1】を整備した。

本研究では、【S2】を用いて、メッシュアナリシスによるメッシュデータをフルカラーデータに変換、カラー空中写真をデジタル画像入力して α 合成を行っている。新たに整備した【S1】では、3D の画像表示と、高解像度ディスプレイによる広域データ表示を行っている。

【S1】では、12 Mb の大容量画像メモリとこれを処理する高速 CPU により、約 200 万メッシュを α データ付きフルカラーで処理することができる。これは 1 メッシュ辺長 10 m の場合、12 km \times 16 km の範囲のフルカラーデータを実用的速度で扱えることを意味する。本システムの中核とも言えるこの画像メモリは、最大 192 Mb まで拡張できるため、10 m メッシュで 48 km \times 64 km の範囲を実用的に扱えることになる。

2.3 ケーススタディ対象地およびデータ

2.3.1 対象地の範囲

本研究のケーススタディでは、メッシュアナリシスによる平面的な景観解析と同時に、鳥瞰ないし地上視点から 3 次元的な景観解析を必要とする。そこで、既存視点データなどの準備状況と土地利用が多様で表示テストに相当と考えられる都市と森林との接点地域を取り上げることとし、多摩ニュータウンを選んだ。位置は多摩センター駅をほぼ中心にした 10 km \times 9 km の範囲である〈図-2〉。解析単位は 10 m メッシュとした。

2.3.2 メッシュデータ種別

(1) 数値地形データ

数値地形データは、50 m メッシュ交点での標高値 (1 m 未満四捨五入) を情報源とし、これを比例配分によって 10 m メッシュデータとした。

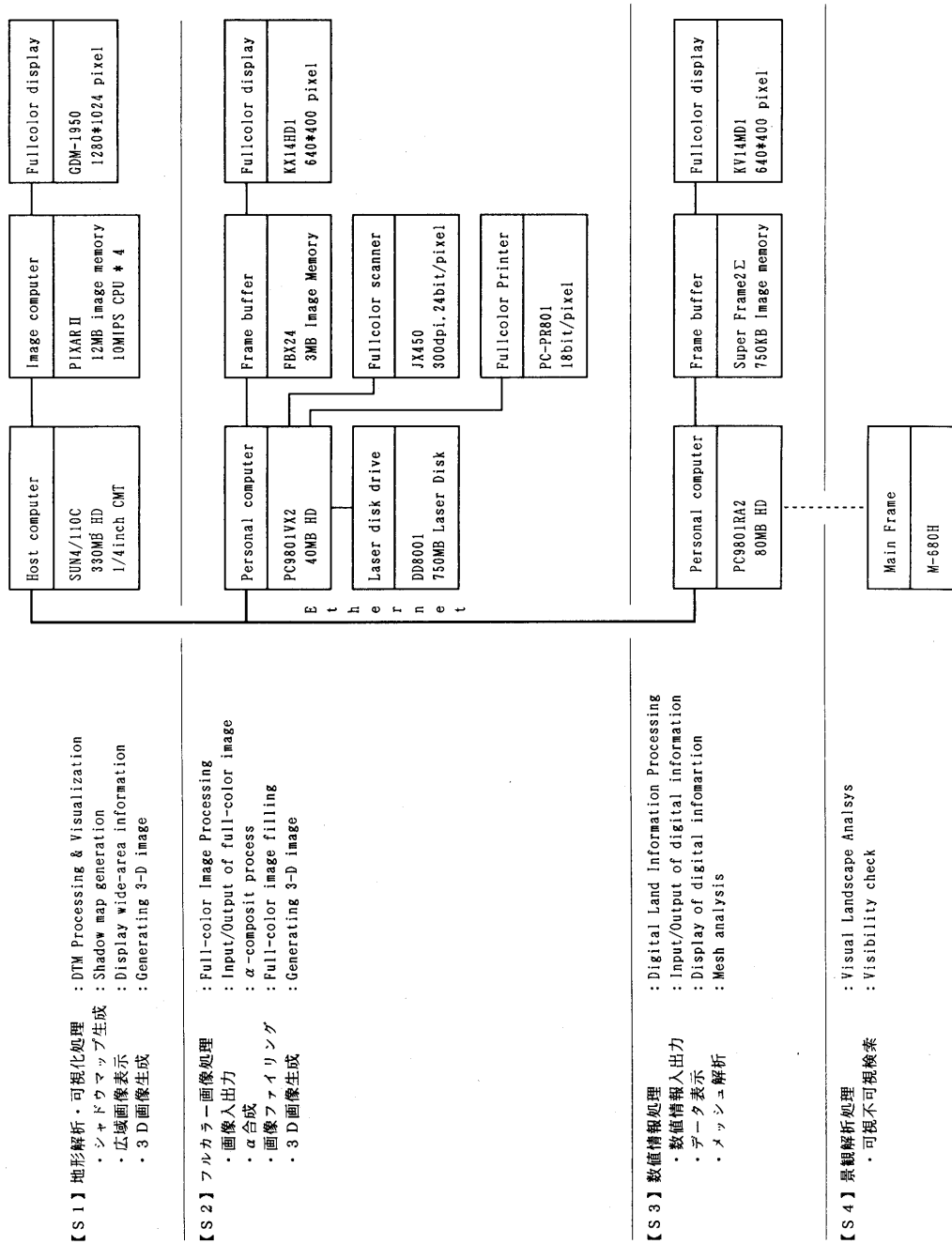


図-1 処理機能とシステム機器構成
Fig. 1. Processing function and hardware diagram.

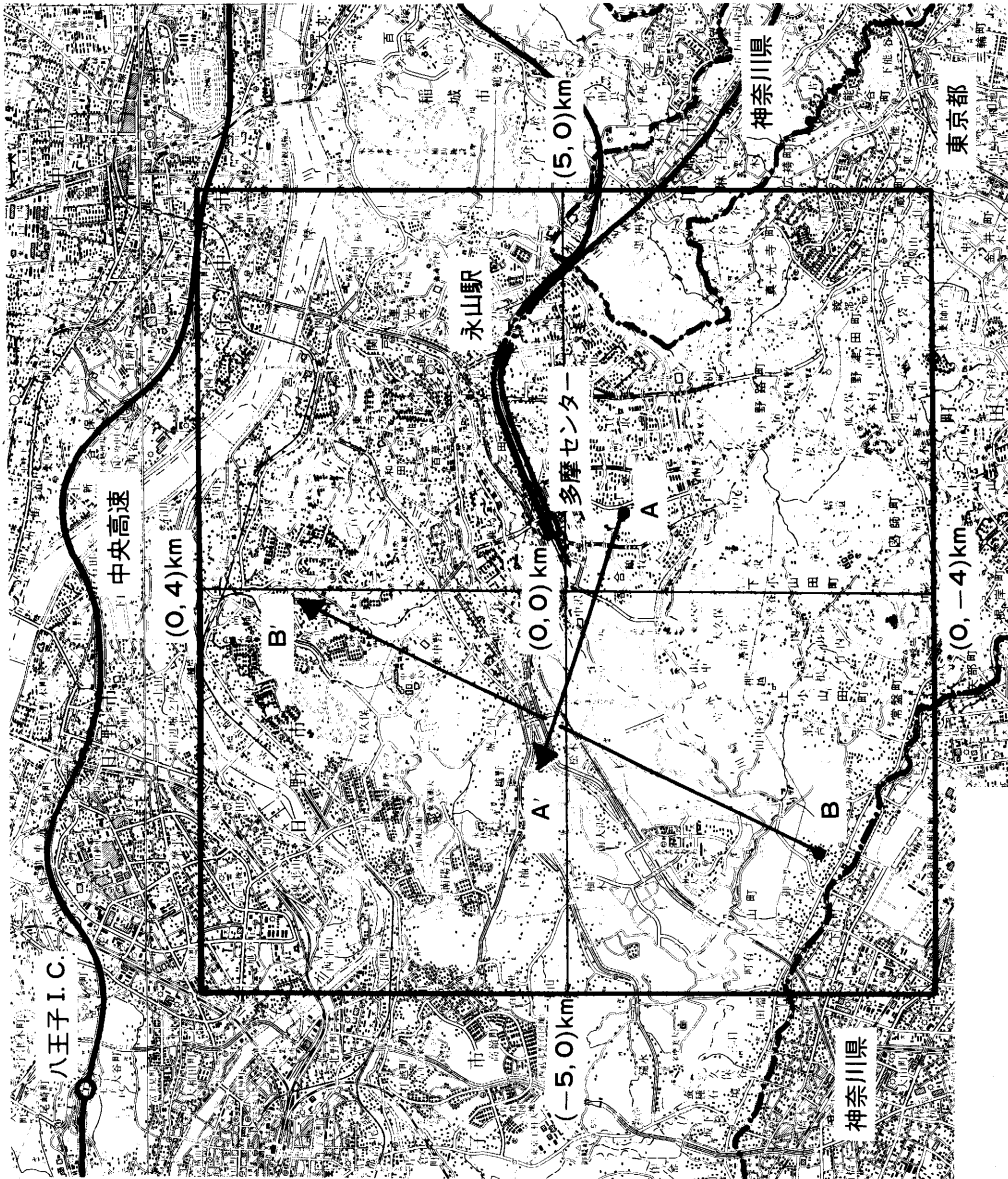


Fig. 2. Location of case-study area.

(2) 植生データ

植生データは、東京都現存植生図（昭和 60 年）から 125 m メッシュで数値化されたデータを、10 m メッシュに加工した。

(3) 可視性データ

対象範囲からほぼ均等に抽出した視点群からの、各メッシュ交点（50 m メッシュ）の可視不可視を検索し、その被視頻度 3 区分した可視性データを作成し、10 m メッシュに加工した。

(4) 空中写真画像データ

対象範囲をカバーする空中写真 44 枚を、スキャナーで読み取り、各写真内の 4 点のメッシュマップ上の座標と地形図での位置を対応させて直線補間により正射投影化を行い、10 km × 9 km の 10 m メッシュ画像とした。

3. 手法開発の結果

3.1 α 合成による 2 次元表示

ベースとなる、フルカラーの空中写真画像（10 km × 9 km）を〈画像-1〉に示す。

3.1.1 メッシュ情報の α 合成テスト

メッシュデータのフルカラー画像を〈画像-2〉に示す。従来ディスプレイ上でもこのような表示が多く用いられている。この画像に対し、不透明度 α を変化させて〈画像-1〉に合成したものが、〈画像-3〉である。 α 値が、0.1 ではメッシュデータが判読できない。逆に 0.4, 0.6 ではベースの空中写真が判読できない。 α 値 0.25 では、メッシュデータ区分と、背景の空中写真とが判読できる。この α 値を用いることによりデータとその即地的状況との同時把握可能な表示となることが分かる。以下の例でのメッシュデータ合成では、総て α 値 0.25 での合成である。なお、この α 値は、ディスプレイや画像メモリの DA コンバータや、また最終出力をカラープリンタにする場合など、そのハードウェア環境によって調整する必要がある。

3.1.2 シャドウマップ合成による空中写真画像変換

数値地形データを、その標高値を濃淡で表現したものが〈画像-4〉である。北東方向から高度 15 度に太陽を置き（実際にはありえないが、影が右下の方が画像の立体感を把握しやすいと考えたため）、シャドウマップを作成し、半透明度 $\beta=0.49$ で変換したものが〈画像-5〉である。この画像の濃淡値を α 値と考えて画像処理を行うと〈画像-6〉となる。地形の起伏が把握しやすくなっていることが分かる。

3.1.3 森林景観情報の 2D 表示

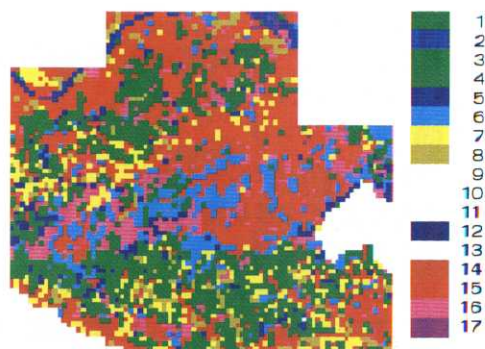
植生数値情報から、樹林地（暖温帯自然林、暖温帯二次林、暖温帯人工林からなる）を抽出し、さらに可視性データとクロスしたメッシュデータを作成した。これを色区分で表示したものが〈画像-7〉である。これを 3.1.2 で作成した空中写真画像をベースに α 合成したものが〈画像-8〉である。

ケーススタディ地内に現存する樹林地をその可視性で 3 区分したメッシュ情報を示しており、現存樹林地をその地域の緑視環境への貢献度によって区分したといえる。こうした評価マップが立体感のある空中写真像に α 合成されると、その即地的状況を含めて計画者はもとより、地域住民など一般の人々にも把握されやすい表現となる。



画像-1 フルカラー空中写真画像(横:10 km, 縦:9 km)

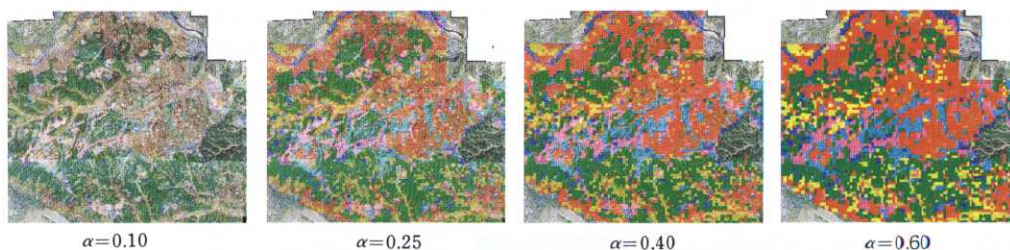
Image 1. Full color digital-image of natural colored aerial photo.



- | | | | |
|----|-------------|-----|-----------|
| 1. | 暖温帯自然林 | 10. | 冷温帯二次林 |
| 2. | 暖温帯自然草地・湿生林 | 11. | 冷温帯人工林 |
| 3. | 暖温帯二次林 | 12. | 冷温帯二次草地 |
| 4. | 暖温帯人工林 | 13. | 亜寒帯自然林 |
| 5. | 暖温帯人工草地 | 14. | 緑の多い住宅地等 |
| 6. | 人工草地・雑草地 | 15. | 緑の少ない市街地等 |
| 7. | 畑地 | 16. | 造成地・裸地等 |
| 8. | 水田 | 17. | 開放水域 |
| 9. | 冷温帯自然林 | | |

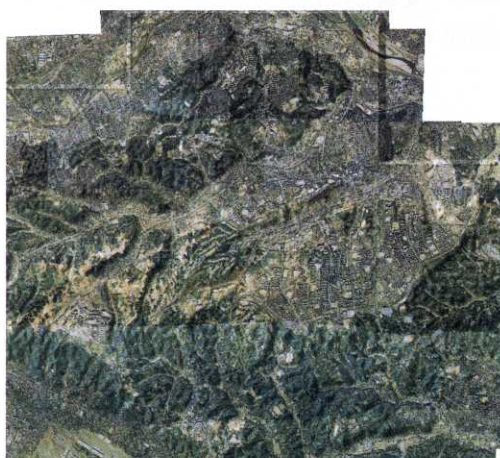
画像-2 メッシュ情報のカラー表示

Image 2. Display of mesh data with classified color.



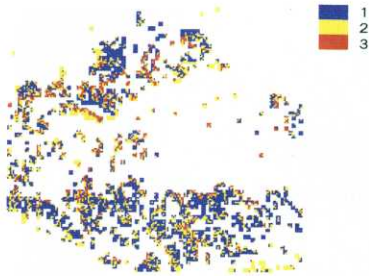
画像-3 メッシュ情報の不透明度 α の変化による合成例

Image 3. Composition of aerial photo and mesh data with α operation.



画像-6 シャドウマップの α 合成による立体感の表現

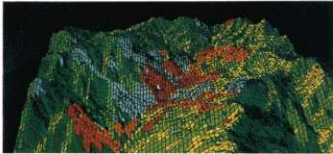
Image 6. 2D-area photo image α -composed with shadow map (looks like 3D-image).



1. 可視性 C
(1~ 19 地点から見える)
2. 可視性 B
(20~ 59 地点 ")
3. 可視性 A
(60~200 地点 ")

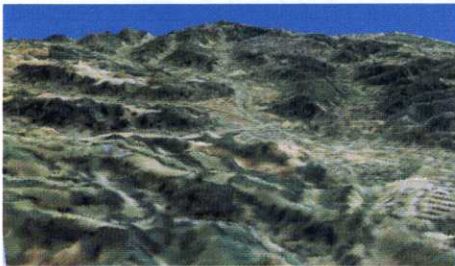
画像-7 景観情報処理結果（樹林地の可視性区分メッシュ情報）表示

Image 7. Result of landscape information process (woodland classified with visibility link).



画像-9 メッシュデータの3D表示

Image 9. 3D-image of mesh-data.



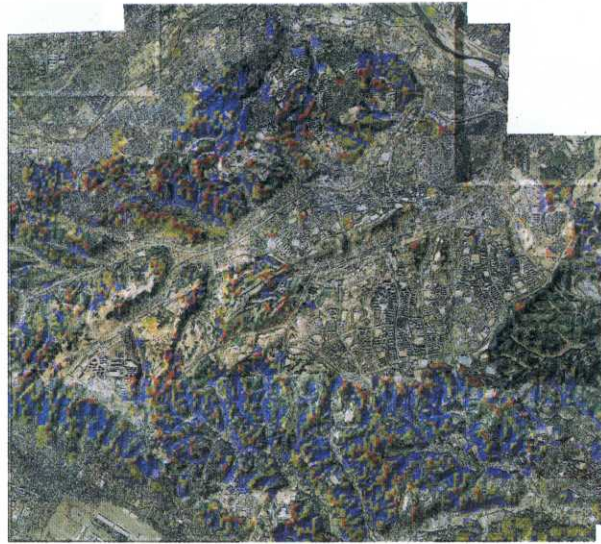
- ① 図-2中のAからA'方向を望む
(Look at A' from A, in Fig. 2.)



- ② 図-2中のBからB'を望む
(Look at B' from B, in Fig. 2.)

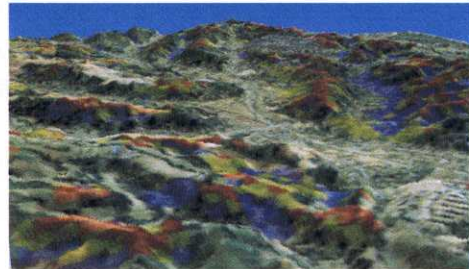
画像-10 空中写真画像の3D表示

Image 10. 3D-image of aerial photo and DTM

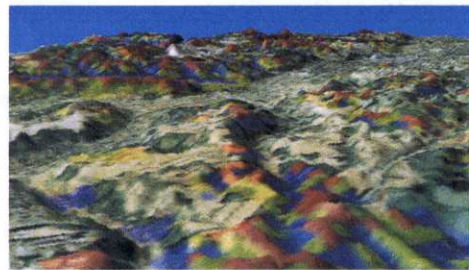


画像-8 景観情報処理結果と空中写真画像との α 合成

Image 8. Aerial photo image α -composed with the result of landscape information process.



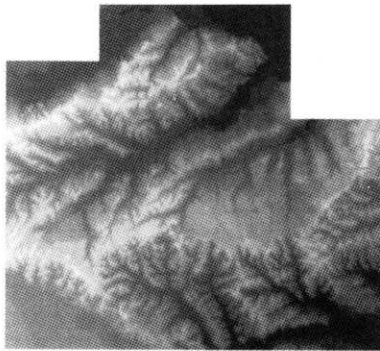
- ① 画像-10-①と同一視点
Same view point as Image 10-①.



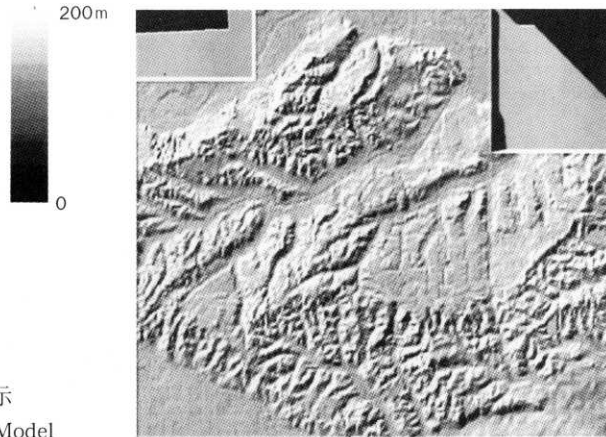
- ② 画像-10-②と同一視点
Same view point as Image 10-②.

画像-11 景観情報結果を合成した空中写真画像の3D表示

Image 11. 3D-image of α -composed mesh data of aerial photo and DTM.



画像-4 数値地形情報のモノクロ濃淡表示
Image 4. Display of Digital Terrain Model with mono-chrome.



画像-5 α 情報用シャドウマップ
Image 5. Shadow map generated from DTM for α -information.

3.2 2次元表示画像と地形数値情報による3次元表示

3.2.1 従来のメッシュデータ 3D 表示

メッシュデータを3D表示する方法は、これまで〈画像-9〉のようにCCGによる面画で表現してきた。すなわちメッシュを投影変換して、メッシュデータの内容によって色分けしてレンダリングする方法である。しかし即地的状況との同時表示は不可能であった。

3.2.2 空中写真画像の3D表示

DTMをもちいて、3.1で作成した空中写真画像をベースとするフルカラー画像を各メッシュにマッピングして3D表示すれば、その表現効果は飛躍的に向上すると考え、空中写真画像〈画像-6〉の各メッシュごとに標高値を対応させて、3Dに作成したものが〈画像-10-①, ②〉である。また、現存する樹林地をその可視性で3区分したメッシュデータを α 合成した平面画像〈画像-8〉を同様に3D表示したものが〈画像-11-①, ②〉である。

画像10, 11は同一視点からの3D画像である。地形と植生の状況はもちろん、メッシュアナリシスによるゾーニング評価と、地形・植生との対応関係も容易に把握することができる。

4. 考察と今後の課題

以上の結果、画像を見れば一目瞭然であるように、カラーコンピュータグラフィックスを用いた森林景観情報処理手法は、現データの確認や、解析中間段階での検討用の表示、さらに最終的な結果の表示や、3D画像での表示に充分効果がある。そして、このシステムは景観計画分野にとまらず、広く環境を扱う様々な分野での応用が考えられ、その利用も期待される。

本研究では、手法開発に主眼をおいたため森林景観情報に必要な精度、システムの入出力時での各データの精度、CCGによる表現の精度などこれから実用システムを構築していく際必要な検証は不十分である。CCGを用いる可能性の検証と、テストシステムの開発は満足できる結果と考えているが、今後有効な入出力データ精度の問題は検討しなければならない課題である。また、3D画像については、視点を移動しながら画像を生成し、コマ撮りによってアニメとしての表現

も可能である。本研究で若干のテストを行った結果、アニメ表示では、運動視差による3次元的な立体感が感じられ、対象地の空間把握はさらに分かりやすくなることが確認できた。

昨今、森林環境情報整備が電算システムにより進められ始めている。森林簿等の帳票情報のデータベース化が充実するに従い、帳票データベースを用いた解析が行われ、解析結果を利用した森林計画も可能になってくる。この帳票データベースとその解析結果を実際の林地の地理情報と重合すると即地的な解析が容易となる。ポリゴンやメッシュ情報を地形図にプロットするのはこうした応用の一手法であり、広義にはコンピュータマッピングやデジタルマッピングなどと呼ばれる方法である。

さらに森林の持つ多面的機能を活用するためには、森林・地理情報に加え、生態、観光レクリエーション、各種法規制、景観などの各種情報を加えての解析が不可欠となる。扱う情報の分野が広く、しかも項目が多くなるほど、即地的な地図情報と併せて可視化することが、総合的解析の際に効果的である。すなわち、基礎情報や一次解析結果を地図情報に重合した単純な可視化もとより、各種分野にまたがる複雑な解析結果を、即地的な地図情報と併せて可視化することは、よりマクロな規模とスケール、学際的分野での解析を可能とする。本研究で開発したCCGによる景観情報システムは今後ますます需要が増すと考えられる。

これまで、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)におけるマッピングについては、いくつかの手法が研究されている。しかし本研究は、GISの手法を用いるのではなく、森林環境情報抽出の情報源の一つである空中写真のカラー情報をそのまま利用するために、フルカラーのコンピュータグラフィックスを用い、従来の景観解析手法と併せて、その可視化手法を実験的に開発したものである。手法としてはFC-GIS(Full Color-Geographic Information System)と呼ぶこともでき、森林環境情報に必要な不可欠なシステムとなろう。

なお、本研究は平成元年度科学研究費試験研究(1)「快適環境形成のための生態・景観予測評価システムの整備と最適化モデルの開発」に依る部分が大きく、同研究で整備中の情報機器を活用して進めたものである。

9. 要 旨

カラー・コンピュータ・グラフィックスを活用した森林景観情報処理システムを開発した。その結果、以下の点が明らかとなった。

(1) フルカラー空中写真画像とメッシュデータの α 合成は、空中写真が持つ即地的な地域情報とメッシュデータとの同時表示に効果的である。

(2) 数値地形情報を利用したシャドウマップとフルカラー空中写真画像とを α 合成することにより空中写真画像に立体感をあたえた画像が生成でき、メッシュ情報表示の効果的なベースとすることができた。

(3) 数値地形情報もちいたメッシュの3D表示に際して、空中写真画像をそのまま各メッシュのテクスチャーデータとして3D表示する方法を用いることで、メッシュアナリシスによる2Dでの検討結果を、従来のメッシュデータの色分け3D表示よりも即地的な状況を含めて分かりやすく表現することができた。

キーワード: カラー・コンピュータ・グラフィックス, 森林景観情報, メッシュアナリシス, α 合成

引用文献

- 1) 斎藤 馨・熊谷洋一(1988): カラーコンピュータグラフィックス (CCG) による景観予測手法の開発に関する研究: 造園雑誌 51(5): 257-262.
- 2) 本州四国連絡橋公団・(社)道路緑化保全協会(1989): 緩衝緑地帯及び遮音壁の修景緑化に関する調査(その2) 報告書: pp. 68.
- 3) 前田 豪(1976): メッシュ法とそれを応用した観光レクリエーション計画技法の研究: 東京大学農学部博士論文: pp. 697.
- 4) CARL Stenitz *et al.* (1969): A Comparative Study of Resources Analysis Methods: HARVARD UNIVERSITY: pp. 382.

Summary

The Forest landscape information processing system making use of Color Computer Graphics was developed. The following results were obtained.

(1) By α -composit process the mesh data of vegetation, visibility etc. is conveniently displayed together with aerial photo. Thus one can easily grasp the relation and contrast between the numerical mesh data and general area information provided by aerial photo.

(2) In order to present 3-Dimensional information in 2-Dimensional aerial photo, the aerial photo should be α -composed with the shadow map generated from DTM (Digital Terrain Model). This composite image is also appropriate as background image for displaying mesh data.

(3) In generating the 3-Dimensional image with DTM we have mapped the aerial photo to each mesh. Thus, the fidelity of the landscape image is considerably improved in comparison with the ordinary method of painting each mesh in accordance with the digital mesh data.

Key words: Color Computer Graphics, Forest Landscape information, Mesh Analysis, Alpha-Compositing Method