

# 景観情報処理システムの開発と応用に関する研究

斎 藤 馨\*

A study for development and application of  
a landscape information processing system

Kaoru SAITO\*

## 目 次

はじめに .....	54
第 I 章 序 論	
1. 研究の背景と目的 .....	54
1-1. 研究の経緯 .....	54
1-2. 本研究の目的 .....	57
2. 研究の方法 .....	58
2-1. コンピュータグラフィックスの応用 .....	58
2-2. システムの開発とその実証的応用 .....	58
第 II 章 景観情報処理	
1. 景観情報処理の定義 .....	58
2. 景観情報処理の考え方 .....	58
2-1. 解析から統合へ .....	58
2-2. 視覚的表示の重要性 .....	59
2-3. フォトリアリスティックと可視化 .....	59
3. 景観情報処理の目的と内容 .....	60
3-1. 景観情報処理の目的 .....	60
3-2. 解析支援と評価・説明支援 .....	61
3-3. 景観情報処理の内容 .....	61
第 III 章 システム開発	
1. 数値情報処理システム開発 .....	63
1-1. 数値情報処理システムの検討 .....	63
1-1-1. 数値情報処理システム開発の目的と方法 .....	63
1-1-2. 機能の検討 .....	64
1-2. 数値情報処理システムの開発 .....	66
1-2-1. システム構成 .....	66
1-2-2. 処理手法の開発 .....	70

\* 東京大学農学部附属演習林研究部

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

2. 画像情報処理システム開発 .....	82
2-1. 画像情報処理システムの検討 .....	82
2-1-1. 画像情報処理システム開発の目的と方法 .....	82
2-1-2. 景観予測手法の整理 .....	82
2-1-3. 機能の検討 .....	87
2-2. 画像情報処理システムの開発 .....	89
2-2-1. システム構成 .....	89
2-2-2. 処理手法の開発 .....	92
<b>第 IV 章 景観計画への応用</b>	
1. 数値情報処理システムの応用 .....	104
1-1. ケーススタディ対象地と数値情報の整備 .....	104
1-1-1. 対象地 .....	104
1-1-2. 数値情報の整備 .....	105
1-1-3. 整備情報の確認 .....	107
1-2. 景観計画への適用 .....	107
1-2-1. 開発前後の景観変化を明らかにした景観計画検討 .....	107
1-2-2. 景観資源把握と既存樹林の計画的評価 .....	111
2. 画像情報処理システムの応用 .....	113
2-1. 地区レベルの景観評価への適用 .....	113
2-2. 景観評価モデル作成のための景観予測評価実験 .....	113
2-2-1. 丘陵地景観評価特性と景観計画目標 .....	113
2-2-2. 景観シミュレーションによる景観予測 .....	114
2-3. 景観計画への適用 .....	115
2-3-1. 景観評価モデルの作成 .....	115
2-3-2. 景観評価モデルの適用 .....	117
<b>第 V 章 計画・設計統合化ツールとしての応用</b>	
1. 計画・設計の統合化 .....	118
2. 景観評価と生態評価のクロス評価による統合化 .....	119
2-1. 評価と統合化 .....	119
2-2. 開発前後景観ポテンシャル評価 .....	119
2-3. 開発前後生態ポテンシャル評価 .....	119
2-4. 景観・生態ポテンシャルのクロス解析による計画的評価 .....	121
3. 計画・設計統合ツールとしての景観情報処理システムの今後 .....	121
3-1. 数値情報処理と画像情報処理の統合的応用 .....	121
3-2. 統合化支援ツールとしての今後 .....	122
<b>第 VI 章 結 論</b>	
あとがき .....	124
要 旨 .....	126
参考文献 .....	128
Summary .....	130

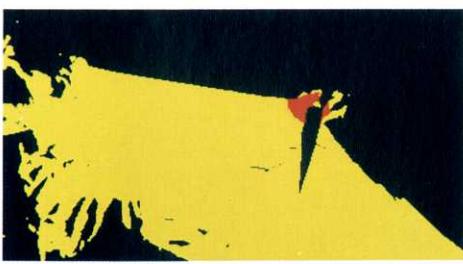


図 III-4 メッシュデータのカラー画像化（本文 p. 73）。

Fig. III-4. Colored image of mesh map data



図 III-15 視認性評価結果と空中写真画像によるフルカラー地形レンダリング（本文 p. 80）。

Fig. III-15. Full color terrain rendering of "High visual sensitivity zones on an aerial photograph"

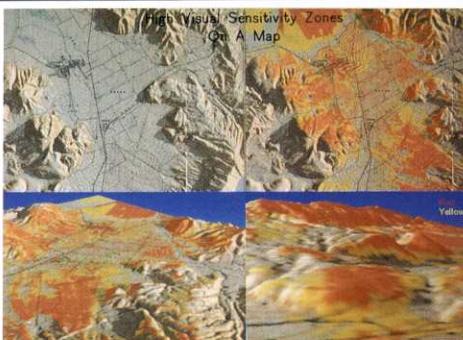


図 III-16 視認性評価結果と地形図像によるフルカラー地形レンタリング（本文 p. 81）。

Fig. III-16. Full color terrain rendering of "High visual sensitivity zones on a map"



図 III-9 衛星画像と立体的地形図像との合成（本文 p. 77）。

Fig. III-9. Composition process of map image in relief and landsat image.

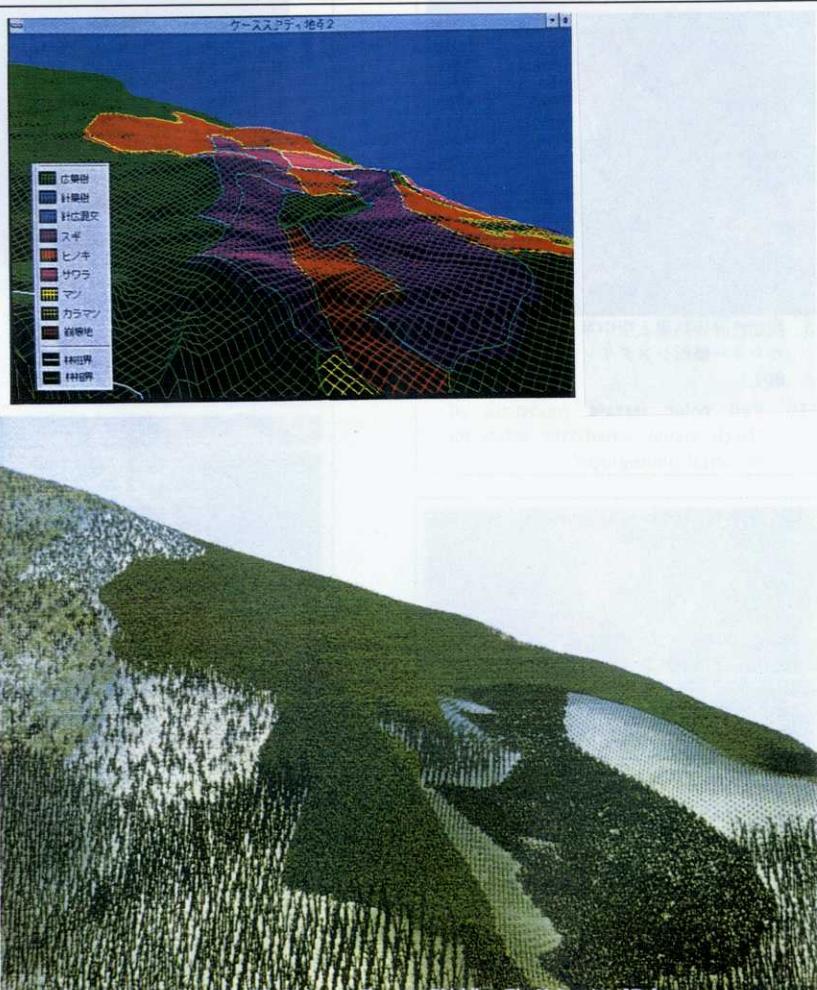


図 III-31  $\alpha$  合成前後の部分拡大画像（本文 p. 99）。

Fig. III-31. Enlarged images before and after  $\alpha$ -composition operation.



図 III-37 森林景観実写真（秩父演習林 31 林班）（本文 p. 104）。  
Fig. III-37. Photograph from view point of the case study.



CIRAD/CERDDY Modeling Unit, The University Forest at Chichibu, The University of Tokyo

図 III-38 GIS-CG システムによる 3 次元フルカラー CG 森林景観予測画像（本文 p. 104）。  
Fig. III-38. Forest landscape simulation by the GIS-CG system.

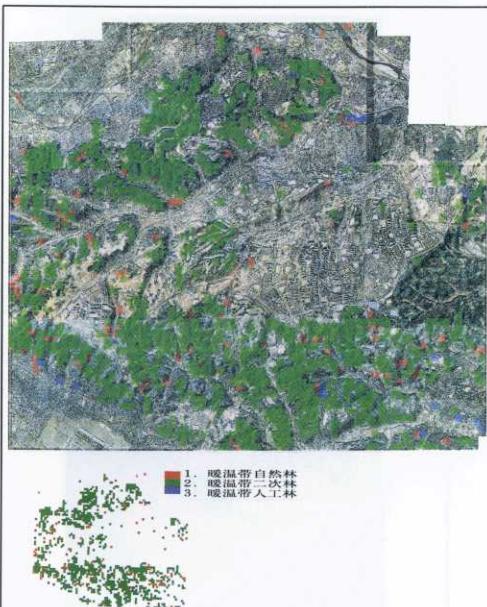


Fig. IV-4. Aerial photograph digital overlayed with the numerical landscape information.

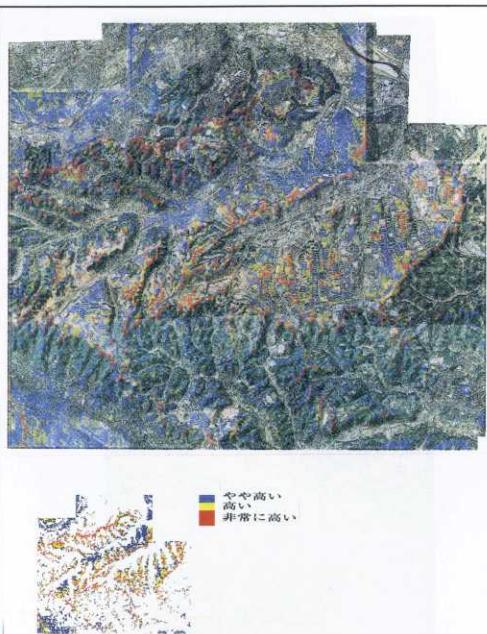


Fig. IV-9. Landscape potential evaluation by visual sensitivity.

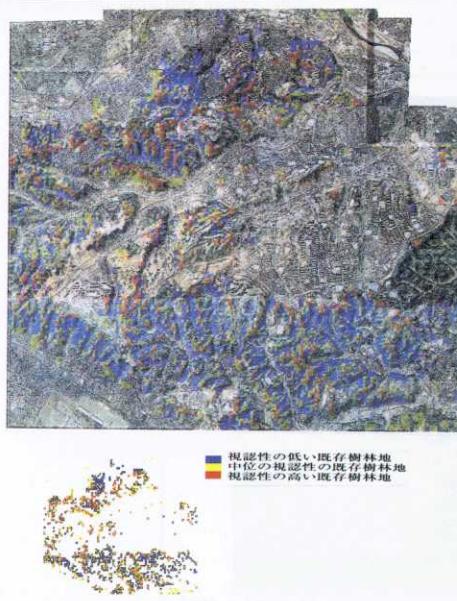


Fig. IV-10. Landscape potential evaluation in existing forest area.

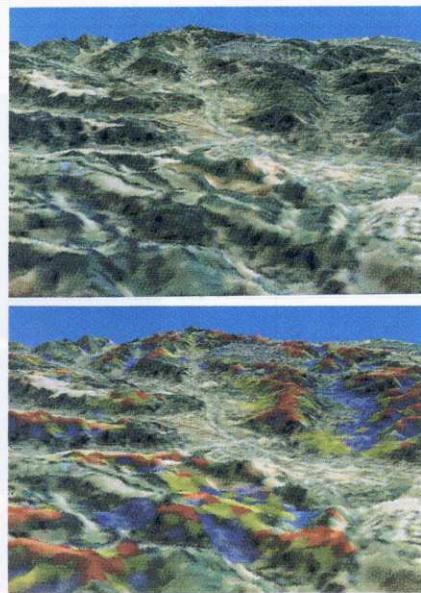


Fig. IV-11. Analysis of a small landscape using 3D perspective image.

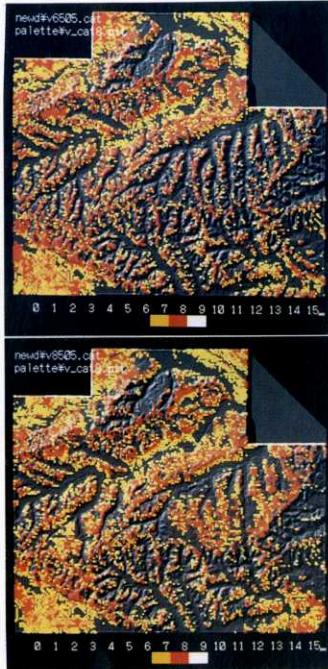


図 V-2 開発前後景観ポテンシャル評価（本文 p. 119）。

Fig. V-2. Landscape potential evaluation results before and after development.

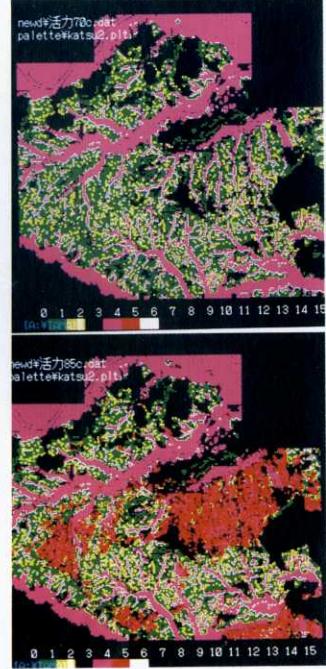


図 V-4 開発前後生態ポテンシャル評価（本文 p. 121）。

Fig. V-4. Ecological potential evaluation results before and after development.

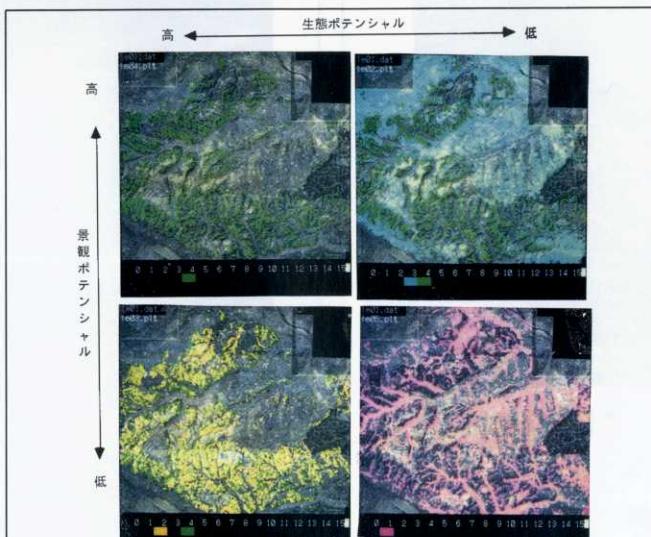


図 V-5 景観・生態ポテンシャルクロス評価メッシュマップ（本文 p. 121）。

Fig. V-5. Mesh map of cross evaluation by landscape potential and ecological potential.

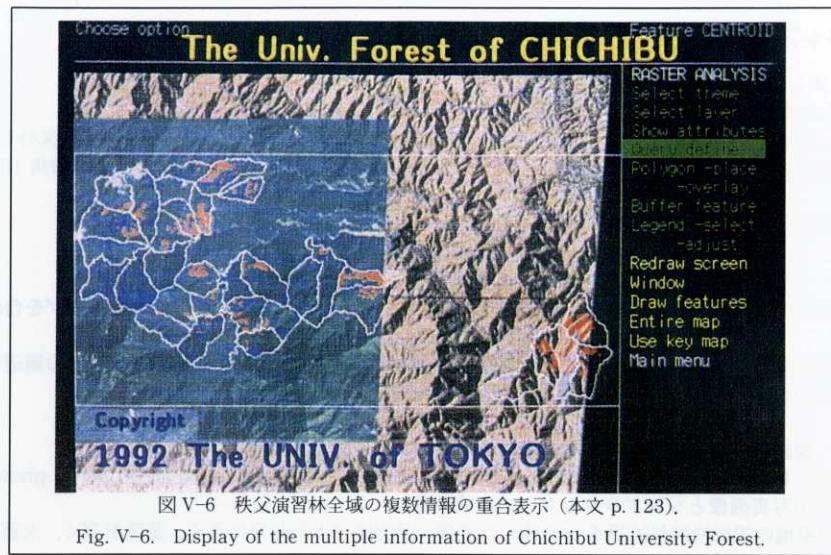


図 V-6 秩父演習林全域の複数情報の重合表示（本文 p. 123）。

Fig. V-6. Display of the multiple information of Chichibu University Forest.

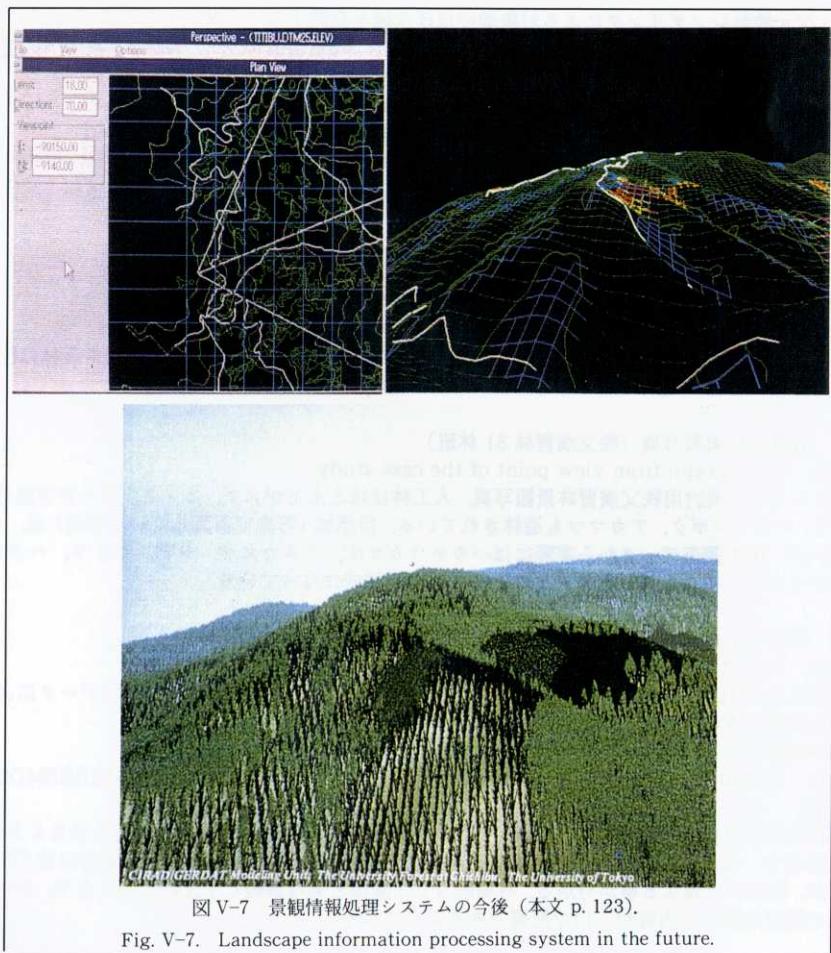


図 V-7 景観情報処理システムの今後（本文 p. 123）。

Fig. V-7. Landscape information processing system in the future.

### カラー図キャプション

図 III-4 メッシュデータのカラー画像化.

Fig. 4. Colored image of mesh map data.

メッシュ情報は、ある眺望点からの可視領域検索結果で、可視メッシュを俯角 10 度で区分している。

黒: 不可視メッシュ 黄色: 可視メッシュ（俯角 10 度未満から仰瞰）赤: 可視メッシュ（俯角 10 度以上）

図 III-9 衛星画像と立体的地形図画像との合成。

Fig. III-9. Composition process of map image in relief and landsat image.

上: ランドサット TM 画像; ランドサット画像を地形図画像の座標系に補正しておく。

中: 立体的地形図画像; ランドサット画像の光条件に一致させて作成したシャドウマップを合成した地形図画像。

下: 衛星画像と立体的地形図画像との合成画像ランドサット画像で解析する部分と、その周辺情報を参照するための地形画像とを合成することで地域レベルの把握が容易になる。

図 III-15 視認性評価結果と空中写真画像によるフルカラー地形レンダリング。

Fig. III-15. Full color terrain rendering of "High visual sensitivity zones on an aerial photograph".

左上: 空中写真画像とシャドウマップとの合成画像。

右上: 対象地の視認性評価結果を  $\alpha$  合成した画像。視認性は赤が非常に高く、黄色が高く、未着色はそれ以外。

左下: 3 次元地形レンダリングによる対象地のほぼ全域を鳥瞰するパース。

右下: 対象地の 1 部分を詳細に表現したパース。(ACM Siggraph'91 テクニカルスライド入選画像)

図 III-16 視認性評価結果と地形図画像によるフルカラー地形レンダリング。

Fig. III-16. Full color terrain redeling of "High visual sensitivity zones on a map".

図 III-15 と同一処理で空中写真画像の替わりに地形図画像を用いた。地形図には、空中写真では判読できない道路の規模や、森林内歩道や行政区などが表示されているので、こうした情報と解析評価結果とを対応させて判読することができる。

図 III-31  $\alpha$  合成前後の部分拡大画像。

Fig. III-31. Enlarged images before and after  $\alpha$ -composition operation.

上: 背景がブルーの場合、物体のエッジの部分はブルーに近くなる様子がわかる。

下: 図 III-30 の部分拡大画像で、物体のエッジの部分が  $\alpha$  合成によって背景の草地や森林の色彩に近くなっている。これによってジャギーのないスムーズな合成画像となる。

図 III-37 森林景観実写写真（秩父演習林 31 林班）

Fig. III-37. Photograph from view point of the case study

GIS-CG システム検討用秩父演習林景観写真。人工林はほとんどがスギ、ヒノキ、サワラであるが、カラマツ、クリ、ハンテンボク、アカマツも造林されている。自然林（写真で落葉している部分）は、イヌブナ、ツガが多いが、植生調査データから実際にはハウチワカエデ、ミネカエデ、シデ、サクラ、ハクウンボク、サワシバアワブキ、リョウブ、ミズナラなど多様な樹種構成になっている。

図 III-38 GIS-CG システムによる 3 次元フルカラー CG 森林景観予測画像。

Fig. III-38. Forest landscape simulation by the GIS-CG system.

上: 林相区分の 3D パース表示(Terra-Soft)。ワイヤーフレームの地形表示は、地形データによる起伏状況が容易に把握できる。

中: 森林情報をもとに図 III-36 のプロセスで作成した森林景観シミュレーション。

樹木総数 36,800 本 3D 形状ポリゴン数約 150,000,000, レンダリング時間 5 時間 (IRIS4D25TG), 樹種総数 7 種。

実際の現地景観写真（図 III-37）と比較して、林相界の形状が実際とは異なる部分もあることが分かる。また同じ林相で、森林簿では同一樹齢であっても成長が固体レベルで著しく異なる場合には CG では齊一な林相だが、現実には異なる事が分かる。写実的な CG 画像と実写景観とを比較することで、データの精度やモデルの精度の誤差の内容が一目で把握できるようになる。

図 IV-4 数値情報のデジタルオーバーレイによる即地的表示。

Fig. IV-4. Aerial photograph digital overlayed with numerical landscape information.

上：植生数値情報からカラーパレットにより樹林地だけを着色抽出し、立体感を付与した空中写真画像との $\alpha$ 合成すると、樹林地の分布と対象地との即地的な対応が直感的に把握できる。

下：カラーメッシュマップだけでは、着目した情報の分布特性や分量などが把握できるが、実際の地形や土地被覆状況とのコンテキストを読み取ることは難しい。

図 IV-9 視認性による景観ポテンシャル評価。

Fig. IV-9. Landscape potential evaluation by visual sensitivity.

- 上：視認性の高い3区分とシャドウ付き空中写真画像との $\alpha$ 合成画像。
- 下：視認性の高い3区分メッシュマップ。

図 IV-10 既存樹林地の景観ポテンシャル評価。

Fig. IV-10. Landscape potential evaluation in existing forest area.

- 上：景観ポテンシャル区分した既存樹林地とシャドウ付き空中写真との $\alpha$ 合成画像。
- 下：景観ポテンシャル区分した既存樹林地メッシュマップ。

図 IV-11 3次元パースによる小景観区解析。

Fig. IV-11. Analysis of a small landscape using 3D perspective image.

図 IV-10 を利用して解析を行なうと同時に、図 IV-10 の画像とDEMとから3次元パースを作成して、個別的小景観区毎に詳細に解析検討・評価を進めることができる。

図 V-2 開発前後景観ポテンシャル評価。

Fig. V-2. Landscape potential evaluation results before and after development.

- 上：開発前景観ポテンシャル評価図。
- 下：開発後景観ポテンシャル評価図。

図 V-4 開発前後生態ポテンシャル評価。

Fig. V-4. Ecological potential evaluation results in before and after development.

- 上：開発前生態ポテンシャル評価図。
- 下：開発後生態ポテンシャル評価図。

図 V-5 景観・生態ポテンシャルクロス評価メッシュマップ。

Fig. V-5. Mesh map of cross evaluation by landscape potential and ecological potential.

- 区分1：緑色 景観・生態ポテンシャルとも高い。
- 区分2：水色 景観的には目立つのが生態ポテンシャルは低い。
- 区分3：黄色 景観的には目立たないが生態ポテンシャルは高い。
- 区分4：紫色 景観・生態ポテンシャルとも低い。

図 V-6 秩父演習林全域の複数情報の重合表示。

Fig. V-6. Display of the multiple information of Chichibu University Forest.

図中の白線は演習林林班境界。林班内の赤い部分は人工林、青い部分は自然林（針葉樹林または混交林）、それ以外は広葉樹林の自然林。背景画像は衛星画像、地形図画像でいずれも第IX座標系に投影変換して重合した。

図 V-7 景観情報処理システムの今後。

Fig. V-7. Landscape information processing system in the future.

- 上左：林相区分平面図と視点、視野参照方向。
- 上右：上記視野系で林相区分を3Dパースで表現した画像。
- 右：森林情報をもとに植物モデリングにより図 III-36 のプロセスにより作成された森林景観シミュレーション画像(AMAP)。
- 樹木総数47,200本、3D形状ポリゴン数約264,000,000、レンダリング9時間(IRIS4D25TG)、樹種総数6種。

## はじめに

数値計算処理を中心としたコンピュータ処理は、近年では画像解析や画像生成も扱うようになっている。景観研究における情報化には、この画像入出力・処理機能の応用が必要不可欠である。現在、景観に関わる様々な情報整備とシステム開発が行われているが、実世界において「景観」が環境の総合指標として捉えられるように、景観研究における情報処理では、入力・解析・評価・計画など種々膨大な処理結果を画像として表現する「コンピュータグラフィックス」が、画像を介して人間の最終的な判断を促すマン・マシン・インターフェース機能を果たしている。この意味で、景観研究における情報システムは、コンピュータグラフィックスを応用してはじめて総合的なシステムになる。

本論文は、平成5年度に東京大学に提出した学位請求論文の主要な部分である。その内容は、景観計画における情報処理の効果的な応用を試みたものである。すなわち景観を視覚的な画像として捉えた情報処理応用を検討し、「景観情報処理」を定義し、景観情報処理システムを開発し、ケーススタディを通じて、景観計画における情報処理応用の有効性を検証したものである。

論文のとりまとめにあたり、研究の端緒を示して頂くとともに多くの示唆を賜った東京農業大学教授 塩田敏志博士、また「景観情報処理」という語を与えて頂き同時に始終懇切なる御指導と論文審査の主査の労を賜った、東京大学教授 熊谷洋一博士、さらに査閲を頂いた東京大学教授 南雲秀次郎博士、同教授 井手久登博士、同教授 箕輪光博博士、同助教授 武内和彦博士に対し、深甚なる謝意を捧げる。

## 第I章 序論

### 1. 研究の背景と目的

#### 1-1. 研究の経緯

情報処理はあらゆる分野で応用が進んでおり、景観計画もその例外ではない。景観計画では、計画プロセスの一部分をコンピュータ処理に置き換えて効率化することが情報処理応用の中心で、これは他の分野においても言える一般的傾向である。例えば、現在では普通に行われているコンピュータを用いた数値計算や統計解析は、景観計画においても計画プロセスの中で利用されている。これは計算部分をコンピュータ処理に置き換えることで、コンピュータを利用しない場合に比べ、高速で正確な計算処理が可能となった例である。コンピュータによる数値計算機能そのものは、情報処理の成果のひとつであるが、そのまま景観計画に応用できるようになったのではない。景観計画プロセスにおいて必要な計算処理手法が明らかにされ、一方では実際に運用できるハードウェアとソフトウェアからなるシステムが開発されて初めて応用が開始されたのである。そしてさらに応用事例を重ねながら適切な応用手法として確立してきたのである。

さて近年の情報処理の進展により、コンピュータで扱う情報は数値だけでなくテキストや、さらには画像、地図も含まれるようになってきている。つまり画像も、数値計算処理と同様に、コンピュータによって高速かつ正確に処理することが可能となってきた。一方、景観は視覚的なものであることから、景観計画で対象とする景観を画像で扱うことが多い。筆者はこの二つのことから、景観計画における情報処理応用について、従来の数値計算処理を中心とする応用とは異なる、新しい適用手法を構築できると考えた。しかも景観計画では、画像を解析や評価、予測資料

として扱う場合が多いことから考えても、その新しい適用手法は、景観計画プロセスのかなりの部分を支援することが可能で、景観計画をより論理的で科学的なものにすると考えている。

コンピュータで画像を扱う方法には、以前より「画像処理」がある。景観計画では、解析結果を画像化したり、計画に伴なう景観変化を予測した画像を作成するなど、画像を生成することが重要である。情報処理における画像生成の手法として「コンピュータグラフィックス」があることから、これを景観計画に応用することが適切であると考えた。

以上の観点から、特に情報処理、画像、コンピュータグラフィックスに着目して景観計画研究を以下に概観してみる。

1970年代にすでに造園学では、熊谷(1974)が景観予測手法としてコンピュータグラフィックスを紹介している。塩田ら(1976), 塩田(1981)はコンピュータグラフィックスを用い、我が国の自然風景地の大半を占める森林の景観シミュレーションを行っている。森林を標高値と植生コードにより数値化してコンピュータに入力し、透視投影変換・隠線処理計算を経て、地形線と植生シンボルをペンプロッタやベクトルスキャンディスプレイに描画した景観シミュレーション画像は、単色の画像ではあったが、広域の自然景観予測には十分な写実性を持っていた。標高値と植生コードはともに景観を数値で表現したものであるが、これらはメッシュというレコード単位で管理された。メッシュのXY座標値は、実際の対象地での位置情報を変換できるので、数値化した森林情報をコンピュータで計算処理して、視覚的に捉えた画像を描くことができたのである。数値情報を用いた情報処理を経て、予測景観の画像を生成した重要な研究である。

同じ1970年代に、情報処理の進展と深く関係する統計解析の分野において多变量が扱えるようになり、これを活用して発展した計量心理学的手法を、さらに景観研究に応用して、多数の景観評価実験が行われている。その際に、例えば斎藤(1978)は現地の補助視覚資料としてカラー写真を用いSD法による調査・因子分析により景観のイメージを把握している。つまり現地景観の代替としてカラー写真画像を用いたのである。Shafer *et al.*(1969)は白黒写真を用いた景観評価実験結果と写真画像から計測した各種景観要素の物理量とから景観評価モデルを作成した。斎藤(1985)はこのShaferら(1969)のモデルを日本の景観に適用し、カラー写真を用いて追跡実験を行っている。これらはいずれも実写写真画像を現地景観の代替として評価に用いたり、現地景観の画像的特徴量の計測に用いた例である。

このような実写写真を利用した景観評価実験の研究が進む中で、阿部(1977)は景観評価実験における評価刺激作成に際して、白黒ではあったがビデオ合成手法を応用了した景観シミュレーション画像を作成し、評価実験から風景の傷つきやすい部分を明らかにした。また、渡辺(1978)はコンピュータグラフィックスを用い、プロッタ出力により地形と送電鉄塔からなる予測画像を作成し、景観評価を行っている。これらの方法は、実写の景観写真を用いるのではなく、評価目的とした景観要素だけを変化させた予測画像を作成して評価実験に用いる点がポイントとなっている。計量心理学的手法を応用する場合に不可欠な実験的統制の精度を高めるために、実写写真の一部分の景観要素を系統的に操作した画像を作成したり、コンピュータグラフィックスにより特定の景観要素を操作して新たな予測画像を生成しているのである。こうした研究が進むなかで、写真やビデオの画像が現地景観をどのように再現するかについての確認も、下村(1978), 斎藤ら(1988)により研究された。

1980年代に、熊谷(1984)はカラーのビデオシステムを用いた景観予測手法を実用化した。こ

れは景観評価研究において重要な意味を持つシステムである。カラービデオシステムによって作成された景観予測画像は、現地景観を代替することができるカラー画像で、しかも実験的統制に基づいて景観要素を操作することができる。同様なシステムとしては、安岡(1982)がデジタル画像処理を応用して開発している。こうした景観予測手法は実際にはそれ単独で用いられるのではなく、現実の景観的な問題解決に応用されるのであるが、手法開発が先行することが多いため、その適切な応用については混乱が見られた。これに対し熊谷(1988)は、景観計画の立場から景観予測手法と景観評価手法とを整理し、実際の景観アセスメントのプロセスの中に、景観予測・評価手法の適用の手順と意義を明らかにした。また同時にコンピュータグラフィックスを応用した景観予測手法では、色彩情報を含むコンピュータグラフィックスを用いた景観予測システムの開発・実用化が重要であると論じた。その後、斎藤ら(1988)は、カラー写真画像に比べ解像度が低いビデオ画像は写実性が劣ることと、予測画像作成時の景観要素の操作性が従来の写真モニタージュよりも改善されたものの十分ではないという、カラービデオシステムの弱点を改善するために、フルカラーのコンピュータグラフィックスを応用した景観予測手法を開発した。この内容については本論文で詳しく述べる。さらに、その手法の実用化システムの開発が斎藤ら(1990)によりなされ、このシステムを景観計画に活用した研究が、石川ら(1988)、磯野ら(1990)、藤田ら(1990)で行われた。

以上のように、景観を画像として捉え解析・評価を行い、その結果を計画に応用する手法や、計画に伴なう景観予測を画像で表現する手法に対して、一方では地域の景観資源を数値で表現し、これを処理する一連の情報処理の実績が、造園学には早くからある。1970年代に、前田(1976)が我が国での応用研究を行ったメッシュアナリシスである。これは、対象地域をメッシュと呼ぶ小さな矩形単位に区分し、メッシュ毎に数値や記号を付し、コンピュータに入力し、対象地の景観資源の状況や、資源性評価を解析・予測するために計算・分類・照合を行う手法である。この方法の基本的な考え方は、1960年代後半の McHarg(1969)の研究によるオーバーレイ手法に遡ることができる。オーバーレイ手法は手作業によって複数の資源分布地図をトレーシングペーパで作成し、透写台で合成(オーバーレイ)して、より統合化された資源評価区分地図を作成する方法である。この手法は地域の景観計画における景観資源評価の重要な手法であった。さらにSteinitzら(1969)はこの手作業のオーバーレイ手法をコンピュータ化するためにメッシュを用いた。つまり資源分布地図をメッシュに区分し、景観資源の区分を数値で与えることにより、個別の資源分布地図をコンピュータが処理できる形式に変えることで、透写台でのオーバーレイ、つまり光学的な重合をコンピュータによるデジタルな処理に置き換えた。解析結果の出力も、ラインプリンターによる文字の重ね打ちによる濃淡画像ではあったが、メッシュマップと呼ぶビジュアルな出力をされている。コンピュータによる処理により、手作業に比べ、同時に多種類の資源地図をオーバーレイすることが可能となり、しかも一連の処理を高速に、正確に行うことができるようになった。さらに重要なメリットは、複雑な解析処理も必ず厳密な処理フローに基づいて実行されるので、処理プロセスを正確に明示できるようになって処理結果の再現性が確保でき、景観計画がより論理的、科学的になった点である。

1980年代に入り計算機の処理速度と容量の向上により、メッシュ情報はより広域に、詳細に扱うことができるようになった。現在我が国で整備されている国土数値情報は全国土を被っている。この国土数値情報やこれと同一メッシュ単位で作成した情報を用いて景観を捉え、情報処理

を加えて解析評価を行う研究が溝口(1986), 下村ら(1987)に見られる。また計画への応用研究では、熊谷(1989)が数値情報から解析的に把握した景観評価と住民アンケート評価とを突き合わせて計画的に論じ、武内ら(1988)は、メッシュ数値情報を多変量解析の対象データとして扱い、大型計算機による高度な解析処理を経て対象地を環境管理計画の観点から詳細に区分する研究を行っている。

1990年代に入り、メッシュ単位の極小化と、コンピュータグラフィックスのフルカラー化を応用したシステム開発が、斎藤ら(1990), 本條ら(1993)によって行われている。篠沢(1993)はこれらのシステムを活用してランドスケープ評価研究を行った。これらのシステムについては本論で詳しく説明する。こうした研究から、メッシュ単位が小さくなるに従い、出力されるメッシュマップはかつての濃淡画像とは異なり、地図の画像に近くなり、さらにメッシュマップがフルカラー化されると、それは衛星写真画像や空中写真画像に近くなっている。地域をメッシュに区分して数値化して情報処理を適用しているメッシュアリシスも、近年の情報処理の進歩を適用してメッシュマップ出力すれば、それは空中写真画像と同一のものとして扱うことができるるのである。

このように景観計画研究における情報処理応用の系譜をみると、近年では景観を画像で捉えた情報処理応用と、地域の景観資源を数値化しさらに画像化する情報処理応用が進展していることがわかる。こうした状況について斎藤ら(1991)は、景観計画におけるコンピュータグラフィックス応用の具体例を含めて紹介し、さらに斎藤(1992)は景観計画における情報処理応用を計画論的に論じている。この部分についても本論で詳しく論ずる。

以上の背景を踏まえて、本論文は景観計画における情報処理の応用についてコンピュータグラフィックスを取り上げて、景観計画プロセスに適合した情報処理手法を検討し、具体的なシステム開発と応用を行い、新たな景観計画手法を検討したものである。

## 1-2. 本研究の目的

本研究は、景観計画をより論理的かつ科学的に行うために必要な情報処理の応用手法を検討し、具体的なシステムを開発し、景観計画における応用を通じてその適性を明らかにすることを目的としている。

前節で概観したように、景観計画における情報処理応用では、既に数値計算処理を中心とした手法が確立している。しかし数値処理の応用は、景観計画プロセス全体のなかでは、部分的なものである。

近年の情報処理では画像処理・画像生成が可能になっており、景観計画では景観を画像として扱うことが多く、画像を中心とした情報処理応用手法を確立すれば、それは従来の情報処理支援よりも広範囲の景観計画を支援できる。これまでの景観計画における数値情報及び画像情報についての情報処理応用研究を概観すると、景観計画の特定の部分での応用が主で、個別に行われていた。本研究では、こうしたこれまでの研究成果を取りまとめ、景観計画プロセスの全体との関連から景観計画での画像を中心とする情報処理手法を明らかにして、具体的なシステムの開発と応用を行う。具体的な内容は以下の通りである。

- 景観情報処理の考え方を明らかにする。
- 具体的なシステム「景観情報処理システム」を開発する。
- 「景観情報処理システム」の応用を行い、本システムが景観計画をどのように支援するの

か、その内容を明らかにする。

- ・計画と設計を統合化ツールとして、景観情報処理システムを位置づけ、その展開を検討する。

## 2. 研究の方法

### 2-1. コンピュータグラフィックスの応用

本研究では、景観計画を支援する新たな情報処理手法応用を進めるための方法としてコンピュータグラフィックスを取り上げる。それは以下の理由による。

景観を視覚的に把握し分析する方法に、写真画像や衛星画像を利用する方法があるが、画像を扱うという意味での情報処理手法には、「画像処理」と「コンピュータグラフィックス」が存在する。画像処理は、写真画像などの画像をデジタル画像としてコンピュータに入力して、画像に含まれる情報を利用するために、画像の変形、変換、特徴抽出、分類などの各種の処理を行う手法である。一方、コンピュータグラフィックスは、コンピュータを利用して画像や動画の作成と表示を行う手法である。

また景観計画は、景観を分析的に扱い、分類・評価を行い、解析結果や評価をもとに統合化するプロセスを持つ。この計画プロセスの中では、写真画像は現況把握のための情報源の中の一つであるのに対して、プロセスの途中では、解析結果の画像化や、評価や説明のための画像化、さらには計画とともにうなう予測結果の画像化など、画像を作成・表示する場面が多い。従ってこの部分にコンピュータグラフィックスによる情報処理応用を行うことは、景観計画プロセスの多くの部分への応用となる。

### 2-2. システムの開発とその実証的応用

本研究では、景観計画に有効な情報処理システムを開発し、実証的に応用して検討を行う。

具体的には、景観情報処理システムとして「数値情報処理システム」と「画像情報処理システム」の開発を行い、ケーススタディに応用して実証的に検討する。さらに両者を統合した景観情報処理ツールについて検討を行い、妥当性を検証する。

## 第 II 章 景観情報処理

### 1. 景観情報処理の定義

本研究で用いる「景観情報処理」を以下のように定義した。

景観情報処理の定義：

景観情報（情報化された景観）についてコンピュータにより計算・分類・照合等の処理を行い、さらにコンピュータグラフィックスによる可視化処理を付加して、処理結果の統合をはかる手法。景観計画を支援するための一連の解析・統合・画像作成処理手法。

### 2. 景観情報処理の考え方

#### 2-1. 解析から統合へ

景観計画は、個々の景観解析・評価を積み上げて、それらの結果を統合することである。これは景観情報処理の定義に重要な意味を持つ。

前章で述べたが、景観計画における情報処理応用では、これまでコンピュータの適用性の高い

計算処理やテキスト処理が先行した。統計解析やメッシュアナリシスなどは、おもにこうした解析処理をコンピュータに支援させてきたのである。ところが、景観の解析・評価結果をもとに最終的な計画へと展開させるには、これらの解析・評価結果の統合プロセスが必須となる。この場合、試行錯誤的に様々な在統合操作が容易にできて、しかも統合結果の評価の一部が数値で扱える情報処理応用が求められている。これまでの情報処理応用は、景観計画のこの統合プロセスに対応した手法が不足しているが、これに必要な高精度のビジュアル化手法が未熟であったためである。従って、本研究における景観情報処理では、コンピュータグラフィックスのなかでも特に近年多くの科学分野において応用されている、高精度のビジュアル化を行う「Visualization（以下「可視化」と記す）」手法を取り上げ、従来のコンピュータによる景観解析・予測・評価に応用する。

## 2-2. 視覚的表示の重要性

景観情報処理では、景観計画のプロセスのどの段階であっても必要に応じて解析・評価結果や予測結果を表わす画像を作成し、表示することに重点を置く。景観計画は、常に最終的な景観を予測しながら、解析・評価結果を検討し、計画へと統合を進めることが重要である。従って、計画プロセスのどの段階であっても、当該時点以前の解析・評価を参照したり、それらを現時点の解析・評価と突き合わせたり、さらには現時点での情報をもとに最終的な景観予測をする必要が生ずる。これらを全て画像として表現できるならば、解析・評価検討や判断、さらには計画検討に有効となる。

## 2-3. フォトリアリストイックと可視化

ここで、景観情報処理において重要な役割を持つコンピュータグラフィックス手法について述べておく。筆者は、1980年代に急速に進歩したコンピュータグラフィックスの二つの機能が、景観情報処理において有効であると考えている。「フォトリアリストイック・シミュレーション(Photo-realistic Simulation)」と「サイエンティフィック・ビジュアライゼーション(Scientific Visualization)」である。

3次元コンピュータグラフィックスの基本は、対象物の3次元形状データを作成して、透視投影変換によって2次元画像で表示することである。フォトリアリストイック・シミュレーションは、最終的に得られる2次元の画像が言葉通り写真と見間違うほどに「実写写真と同程度の写実性」を持つ手法で、対象物の表面の質感モデルや照明モデルの開発により現在では技術的に完成されつつある。このフォトリアリストイックなコンピュータグラフィックス手法は、そのまま景観計画における視覚的表示手法として応用されるべきものである。

一方サイエンティフィック・ビジュアライゼーションは、膨大な科学的数値データやその解析結果データをビジュアルに表現する手法である。

ACM SIGGRAPH\* は、可視化を以下のように定義している。（以下は筆者訳）

「可視化」は情報処理手法である。「可視化」は、記号を形状に変換し、研究者のシミュレーションや計算結果を観察できるようにする。「可視化」は目に見えないものを見るための手段を提供する。そして科学的な発見過程をより確実なものにし、これまで予期できなかつた深遠な洞察力を育てる。「可視化」は既に、数多くの分野の科学者の研究の方法を

\* ACM SIGGRAPH は、米国コンピュータ学会 (Association for Computing Machinery, 略称 ACM) の CG 分科会 (Special Interest Group on Computer Graphics, 略称 SIGGRAPH) のことで、1967年創設された。

変えつつある。

「可視化」は、画像理解と画像合成を包含している。つまりコンピュータに蓄積された画像データを解釈したり、複雑な多次元データから画像を生成するツールである。「可視化」は、人間とコンピュータが協力して、視覚情報を知覚したり、使ったり、伝達したりするメカニズムを研究対象とする。

「可視化」は、以下の、独立してはいるが、複合分野を統合したものである。

- ・コンピュータグラフィックス (Computer Graphics)
- ・画像処理 (Image processing)
- ・コンピュータ視覚 (Computer Vision)
- ・CAD (Computer-aided design)
- ・信号処理 (Signal processing)
- ・ユーザインターフェース研究 (User interface studies)

可視化は、コンピュータに蓄積されるデータや、解析の結果生成される膨大なデータを視覚化して、対象を理解・解釈し説明する手段として研究・開発されてきたのである。

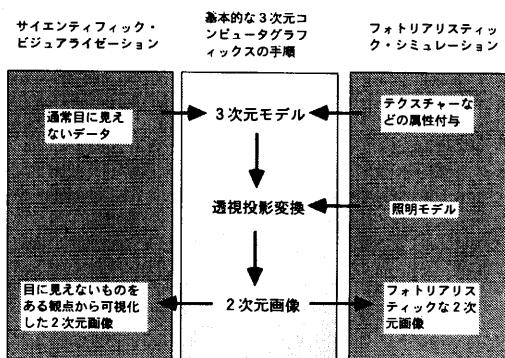


図 II-1 景観情報処理に有効なコンピュータグラフィックスの2つの機能。

Fig. II-1. Two important methods for landscape information processing.

3次元コンピュータグラフィックスは原則的には、3次元の形状モデルデータを投影変換して2次元の画像を得ることである。1980年代のコンピュータグラフィックス手法はフォトリアルティック・シミュレーションのための正確で詳細なモデリング、テクスチャーなどの物体とその表面属性の定義手法、レンダリング時の照明モデルなど研究成果がある。またサイエンティフィック・ビジュアライゼーションではCTスキャンデータや衛星画像・木星探査画像、各種科学計算結果（例えば流体）などから3次元モデルを作成し、フォトリアルティック・シミュレーションの技法を応用しながら通常では見ることのできない現象の2次元画像を作成する機能も同年代の成果である。

景観計画では先に触れたようにあらゆる段階で、分析・評価・計画途中の景観を画像として視覚的に表示することが重要であるため、この可視化手法も、フォトリアルティック・シミュレーションの処理プロセスに組み込むことがポイントとなると考えている。つまり通常では見ることのできない景観解析データを3次元形状データ化し、3次元透視投影変換やフォトリアルティックな手法による処理を経て、2次元画像として可視化するプロセスは、景観情報処理では重要な意義がある。1980年代にアルゴリズムとハードウェアとともに研究され、成果を生み出したこのコンピュータグラフィックスの二つの技術を景観情報処理に応用する観点から整理したものが〈図 II-1〉である。

### 3. 景観情報処理の目的と内容

#### 3-1. 景観情報処理の目的

景観を対象とする学術分野は、造園学だけではなく、景観地理学、景観生態学、景観工学などがあり、学際的である。それぞれに情報化が可能で実際に進められているが、その対象地が重複することも多い。従って、情報の共有と、それぞれの分野での解析・評価などが再現可能な処理手法として明示できると、それは一連の解

析・予測・評価プロセスとその結果が相互に比較検討できることにつながり、同一対象地の評価が各分野で相互に理解できることになる。その結果、多面的な分野を包含した、より高度な景観研究を誘発進展することができる。景観を環境の総体指標と考えれば、さらに対象分野は広がり、それらの総合的分析評価には情報化の共有のメリットは大きい。

景観情報処理の目的は、こうした景観に関わる学際的分野での調査・研究・計画における、「情報の共有」と、「解析・予測・評価手法と、その結果の明示と相互理解」を支援することにある。本論はその端緒として、特に景観計画での景観情報処理支援について、研究を進めている。

### 3-2. 解析支援と評価・説明支援

景観計画での「支援」は、「解析支援」と、「評価・説明支援」の二つに区分できる。これは、支援対象の主体による区分である。一連の景観情報処理の中間・最終結果を正しく表示して、解析する人を支援する「解析支援」と、結果の意味を分かりやすく表示し、解析者以外の他の人の理解を支援する場合である。後者では、一般の人に理解された内容について、その評価を得たり、さらにこうした評価を基にして作成した計画の説明を支援できることから、「評価・説明支援」とした。

前者については、塩田(1983)が『無数の繰り返し計算、比較対象、条件判断等に忠実に反応する電算機の特徴を生かし、現在判っている事柄について、その枠内での作業をまかせ、そのぶん計画的判断に注意力を向けようというが、造園計画における環境情報処理的なアプローチ』と述べたように、ルーチンワークを電算機に任せ、計画判断を人間が行う図式が一般的であった。現在では、扱うデータが膨大で処理が複雑になり、電算機を使わなければ実務的に情報収集・処理が不可能な内容が多く、あれば便利といった程度の支援とは異なる。

解析過程で解析モデルや解析値のカテゴライズの妥当性を確かめながら評価へと収束させるには、即地的な表現によるチェックと検討が必要である。それは、評価や計画を導くための解析方法や閾値の決定のために、中間結果を対象地に対応させて検討する作業である。その際に中間結果と対象地とを可視化を用いて表現した視覚資料が有効に機能する。視覚資料は、解析内容が一目で誰にでも理解できる可視化画像であったり、写実的な画像であったりする。これは評価を支援している。また、こうして作成された計画内容の説明に際しても、プレゼンテーション時の視覚資料が重要な説明効果を持つが、これは説明を支援している。

### 3-3. 景観情報処理の内容

#### (1) 数値情報処理と画像情報処理

景観情報処理の内容は、手法的に数値情報処理と画像情報処理とに区分できる。前者は、対象をモデル化して数値データを作成し、処理を進める手法で、情報処理応用の典型である。後者は、以下の理由から、景観情報処理において重要かつ特有な手法であると考えて区分した。もともと可視化技術は、数値情報処理の進歩とともに、結果として得られる解析値が肥大し、数値のままでは理解が困難となつたため開発された。3次元グラフや、時間軸を表現するアニメーション表現など、数値解析結果からモデル化される現象を、分かりやすく表現することを目的としている。一方景観計画では、従来から景観予測手法研究があり、写実的な景観予測技法が開発・応用され、景観計画における各種の評価・説明を支援している。従って、数値情報処理による景観予測評価や景観計画検討結果も、最終的に写実的な景観予測手法により可視化されなければならない。この点は景観情報処理に特有で、単に可視化手法の適用と考えるより、景観予測手法のなかで最も

高精度で写実的な手法を担う画像情報処理を景観情報処理の一手法として区分すべきと考えた。

従って本論では、この二つの手法についてのシステム、すなわち「数値情報処理システム」と「画像情報処理システム」とに区分して開発研究を進めた。(第 III 章)

### (2) 景観情報処理と計画スケール・オーダ

塩田(1983)は環境情報処理のアプローチを、空間計画の段階構造における計画のスケールとオーダに対応して、広域景観計画（環境計画的アプローチ）と地区景観設計（空間デザイン的アプローチ）とに区分している。これを情報処理の観点から見ると、扱う情報種別や計画判断のための出力内容が異なる。前者は、地域レベルでの標高・植生・保安林等の数値情報を入力し、(中間) 出力に地帯区分・活動適地・視覚環境適地等が地図出力される。こうしたゾーニングなどの情報と現地との対応を把握する際に可視化が有効となる。後者は、自然景観の描画が最終出力で、出力画像を用いて景観デザインのオルタナティブを検討するものである。また設計レベルにおいても設計案の写実的な景観像の作成にコンピュータグラフィックスによる可視化の技術が有効である。

### (3) 景観情報処理の応用

景観情報処理における数値情報処理と画像情報処理は、実際の景観計画に応用する場合、塩田(1983)のいう「広域景観計画」と「地区景観設計」とにはほぼ対応する。第 IV 章ではそれぞれについてケーススタディにより応用検討を行っている。さらに可視化によって、この二つのアプローチを統合することが可能であり「計画・設計統合化」を加えることができるを考えた。計画・設計統合化は、計画と設計を協調させるための視覚資料を、数値情報処理システムと画像情報処理システムとを用いて作成するステップとも言える。しかし本研究では有効なケーススタディとして検討するまでには至っていない。従って今後の景観情報処理システムの方向性として「第 V 章計画・設計統合化ツールとしての応用」において当面ツールとしての端緒と可能性について示した。

なお本研究では、数値情報処理システムの扱う計画スケールを、「地域レベル」(塩田(1973)による一空間オーダ) としていることから地区景観計画と呼ぶ。

#### ① 地域景観計画

可視化を応用することで対象地域の景観資源把握・解析・評価結果の理解が容易となる。地域レベルでの景観計画で既に使われているメッシュアナリシスにコンピュータを用いる手法に加え、さらにその解析結果に可視化を適用して様々な解析・評価・計画のための視覚資料を作成し計画を進める。McHarg(1969)が種々の資源図を透写台で重ね合わせながら対象地の評価区分を行った手法がコンピュータによるデジタル・オーバーレイに発展しているが、さらにこれにフルカラーのコンピュータグラフィックスを応用することになる。

#### ② 地区景観設計

景観シミュレーションは、設計段階のオルタナティブの検討に有効であり、一方では景観評価の実験的統制に応用すると論理的な評価実験が行え、その結果景観評価の一般的傾向把握が可能となる。イギリス風景式庭園の大成者 Humphrey Repton(1752~1818)が施主に造庭の効果を理解させ、造庭前後の有様が誰でも比較できるようにと案出した移動式着彩スケッチの手法（岡崎文彬(1982)) は、景観シミュレーションの原型と位置づけることができるが、これに先端的な可視化技術を応用した写実的な景観シミュレーションが、地区景観設計に極めて有効な景観情報

処理である。

### ③ 計画・設計統合ツールとしての景観情報処理

地域景観計画で得られた解析結果や計画方針などを可視化によってわかりやすく表現し地区景観設計プロセスへと伝達する。また地区景観設計での評価傾向などの情報を広域景観計画にフィードバックさせながら検討・調整を行うために可視化を活用する。計画から設計へのフィードフォア、設計から計画へのフィードバックという計画・設計調整は、従来から計画・設計におけるプロセスに含まれるものである。こうした計画・設計のプロセスにおいて情報化や可視化を実現することは、その論理的妥当性を、より明解にすると考えられる。なぜなら従来の情報処理応用では、計画者や設計者が個々の計画や設計のために個別にデータを作成・処理して分析的に結果を得て、その計画・設計行為の中での経験を踏まえて個別的に判断して統合していたため、その統合プロセスは不透明な部分が多く、計画案の再現性も低いものであった。しかし景観情報処理では、計画・設計の全てではないが、かなりの部分を数値情報処理や画像情報処理によってデータを共有しながら解析処理をすすめ、統合のための視覚資料の作成や、さらに計画・設計調整を行うための同様の作業を処理していくことができる。しかも、多くは再現可能なステップであり、説明可能な処理から導かれるのである。

景観情報処理の目的でも触れたが、「情報の共有」と「解析・予測・評価手法と、その結果の明示と相互理解」を具体的な対象地に適用していけば、おのずと多様な分野間を統合し、手順としても計画と設計を統合する結果につながると考えられる。そのためのツールとしても景観情報処理を位置づけることができる。

## 第 III 章 システム開発

### 1. 数値情報処理システム開発

地域レベルを対象とした景観資源の把握と、その評価、および計画的観点からの保全活用のためのゾーニングなど、地域景観計画のための一連の景観解析を支援するための情報処理手法では、メッシュアナリシスが広く用いられている。メッシュ単位の数値情報を用いて解析処理を進める手法である。この方法はコンピュータ応用の適性が高く、解析処理を行う場合には、メッシュ数が膨大になるほどコンピュータの支援なしで解析を進めることは不可能である。

本研究では、広域景観計画において景観資源解析・評価プロセスを支援するために用いられる数値情報を用いた一連の処理を総括して、景観情報処理における「数値情報処理」と呼ぶ。

本研究では特に、従来のコンピュータを利用した数値情報処理では困難であった解析プロセスの視覚化にコンピュータグラフィックスを応用した可視化手法を用いた新たなシステム開発を行った。

#### 1-1. 数値情報処理システムの検討

##### 1-1-1. 数値情報処理システム開発の目的と方法

###### (1) 数値情報処理システム開発の目的

本システム開発の目的は、「地域景観計画の主要な手法であるメッシュアナリシスにコンピュータグラフィックスを応用し即地的な視覚資料を作成することで、より正確で高速な景観資源解析・評価と多角的な検討による計画策定を支援する。」ことにある。

数値情報処理は、地域レベルでの景観資源把握、解析・評価支援、関連計画のための計画資料

の作成支援を主な目的としている。数値情報処理で用いられるメッシュアナリシスは、コンピュータを応用したデジタル・オーバーレイ手法により、再現可能な解析処理を広範囲に高速に行うことを可能にした。しかし数値情報やその解析結果の出力手法、特に視覚資料化の手法に多くの課題を残している。解析の途中結果や最終結果を評価する際に必要な、結果の即地的な出力に時間と労力を伴い、多角的な評価や検討に必要な出力が不十分なため、結果的に数値解析処理が高精度でなされても、その結果を十分に把握できないために、フィードバックを含めた解析が不十分になるのである。

この点に関して、かつての手作業によるオーバーレイ手法にかわってコンピュータに対応したデジタル・オーバーレイ手法が開発・利用されてきたように、解析プロセスの可視化手法をコンピュータグラフィックスを応用して開発し、景観計画において解析把握をより効果的に容易に行うための数値情報処理手法を開発した。

## (2) 数値情報処理システム開発の方法

現在用いられているメッシュアナリシスにフルカラーのコンピュータグラフィックスの効果的な適用を検討し、そのフィジビリティを検証しながらシステム開発を行う。

適用を検討したコンピュータグラフィックス手法は、フルカラーについての処理技術を中心である。またフィジビリティは、具体的なデータを用いた処理結果を画像で示し、その適否が一目で把握できるようにして検証を進めた。

システム開発の対象ハードは、パーソナルコンピュータ及びワークステーションとした。これは、フルカラーのコンピュータグラフィックス環境が、大型計算機よりも主にパーソナルコンピュータ、ワークステーションにおいて普及しているためである。

### 1-1-2. 機能の検討

システム開発に際して重要な機能について検討した。

#### (1) メッシュ情報の精度向上

近年の電算機の進歩はめざましく、処理速度、処理容量が著しく向上している。これまで、メッシュ精度はその処理可能な作業量から逆算して決定されることもあり、必ずしも解析目的に必要な精度を満たすことができない場合もあった。

本システムでは、コンピュータの処理速度と処理容量の向上を利用して、より広い範囲を、より詳細なメッシュ単位で扱い、解析処理の精度向上を図った。メッシュ情報の精度向上のメリットは二つある。

##### ① 解析精度の向上

国土地理院の国土数値情報で最小のメッシュ単位は3次メッシュの1/4で約250mに相当する。電算機性能の向上と共に、より小さなメッシュを扱うことが可能となったため、本システムでは、50m、10mメッシュや、場合によっては1mメッシュサイズを利用した。従って従来の250mでは抽出が困難であった微細な景観資源の分布パターンなどの情報を把握することができる。

##### ② 画像データを直接利用

主要な景観情報は、地形と植生・土地利用であるが、これらは地形図、植生図、土地利用図、空中写真等からデータ化される。地図や空中写真から抽出した情報は、解析のための2次情報であるが、メッシュサイズの極小化によって、これらの地図や写真を画像データとして、そのまま

利用することが可能になる。

特に空中写真は様々な解析の基礎資料として利用されるように、多様な情報を持っており、景観情報のデータソースとして重要なものである。

#### (2) 解析・統合プロセスと評価結果の視覚化

メッシュサイズの極小化に対応させるには、空中写真画像や地形図から必要なデータを読みとり2次データとして使用すると同時に、画像データのまま直接扱い、評価や計画判断にも利用したほうが情報量の欠損がなく、より合理的である。つまり空中写真画像から抽出された2次データだけでなく、情報源としての画像情報をそのまま最終の解析評価判断にまで持ち込むことができるるのである。

これまで、メッシュアナリシスの結果の出力方法はその時々の出力機器の性能に依存していた。初期には手描きや、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により視覚的に分かりやすい方法が工夫された。近年ではプロッタ出力や、地形図などを基図にしてメッシュ情報を図上に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。プロッタ出力は比較的時間がかかるため、中間段階では、表示の速い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。

従って、ディスプレイ上で空中写真画像や地形図画像を表示し、その上にメッシュ情報を直接合成すると、さらに即地的で速度の速い表示が可能となる。景観資源分布や評価結果を再度地域情報とオーバーレイして確認しながら評価判断を進め、必要に応じて再度解析へフィードバックするなどの一連処理には、即地的で高速な結果の表示は有効である。この機能は、メッシュアナリシスにおける解析プロセスを可視化することであり、景観計画においては重要な機能となる。

#### (3) DEM (Digital Elevation Model) を活用した立体的表示

景観計画でメッシュアナリシスを行う場合に必ず利用される地形標高モデル(DEM)に、3次元コンピュータグラフィックス技術を活用した視覚化を図れば、より景観計画に寄与する新たな視覚資料の作成ができる。DEMをデータとした3次元コンピュータグラフィックスを応用すると、地形図や空中写真の立体的表現のためのシャドウマップや、地形パースによる対象空間の立体的視覚化が可能となり、地域での景観資源把握や解析検討、評価検討において、対象空間の3次元的な地形状況と、資源分布・解析評価結果を突き合わせて検討する場合に、直感的な把握を容易にする。

#### (4) ネットワーク対応

近年の情報科学の進歩の中に、ネットワークによるデータの共有や、処理の分散がある。数値情報処理も、スタンドアロンの計算機の中で閉じたシステムであってはこうした情報化に対応できない。

特に景観計画の分野は、造園学や林学に留まらず、生態学や、土木学、建築学、地理学など様々な分野でも取り組まれていることから、学際的な情報ネットワークに対応した手法でなければならぬ。

本システムでは、LAN (Local Area Network) によるデータの共有や、公衆電話回線を利用したコンピュータ通信での共同解析への対応も検討した

#### (5) 実用的システム環境

現在もっとも普及し、実用に供されているパーソナルコンピュータと、ネットワーク型システ

ム構成機器として普及しているワークステーションとを対象ハードウェアとした。

情報処理を援用して景観計画を行う場合、比較的小さな地区レベルの空間をも対象とするため、様々な状況で手軽に利用できるシステム環境が必要である。高価で特殊で希少な情報処理機器では、普及も難しく実用化できない。

また景観情報というものが、造園学特有のものではなく、生態学・土木学・建築学・地理学など様々な研究分野の情報を対象とすることからスタンダードアロンなシステム構成の中に情報を閉じ込めて操作するものではない。従ってネットワークに対応することは、景観情報処理システムにおいては重要なことである。造園学が学際的であることから、そのシステム環境もネットワーク対応であることが重要である。

### 1-2. 数値情報処理システムの開発

従来よりメッシュアナリシスで利用されている、プロッタを用いて地形図にメッシュデータを描画した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、カラー空中写真や地形図をスキャナーでコンピュータに取り込み、フルカラーの画像ファイルを作成してそれを基図とする。この基図をディスプレイ上で、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 $\alpha$ 合成手法（後述）を用いた。

3次元表示による景観像の作成にあたっては、各メッシュを透視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だけでなく、メッシュに対応するカラー空中写真画像や $\alpha$ 合成された画像を透視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。

フルカラーの画像ファイルは容量が大きいため、ネットワークやコンピュータ通信で送る場合に時間やコストがかかることがネックとなりやすい。本システムでは、情報量の縮小を図るために、情報ファイルとパレットファイルを分離したり、可視化プログラムを共有する方法を用いた。

#### 1-2-1. システム構成

システムの機器構成は、パーソナルコンピュータシステムと、ワークステーションシステムの二つを開発対象とし、大形計算機を含めたネットワーク環境を構築した。

- パーソナルコンピュータシステム

現在普及しているパーソナルコンピュータを中心に、景観情報の可視化に必要なフルカラー・グラフィックスを操作するための周辺機器を加えたシステム構成。

- ワークステーションシステム

フルカラー・グラフィックスが利用でき、しかも高速な計算速度とネットワーク機能の充実したワークステーションを中心とする構成。

- ネットワーク環境

ネットワークでの情報交換には、パーソナルコンピュータシステムでは電話回線によるパーソナルコンピュータ通信を取り入れ、ワークステーションでは、ローカルエリアネットワーク高速通信を取り入れて開発を進めた。建物（東京大学農学部1号館）内のLanを整備して開発を進めていたが、1991年より東京大学高速ネットワーク UT-Net が当該建物に整備され、本システムと接続できたため、大型計算機とも高速ネットワークで接続された。そこで、計算速度や、グラフィックス機能、データの入力管理機能など、その処理

機能の内容によって、大型計算機、ワークステーション、パーソナルコンピュータに機能を分担した。

システム機器構成および各部分の処理機能を図 III-1 に示し、以下に各システム毎の機器構成と処理内容を記す。

### (1) 地形解析・可視化処理システム [Sys-1]

(グラフィックス専用コンピュータを接続したワークステーションシステム)

グラフィックス専用コンピュータを制御するホストコンピュータにワークステーションを用いた。グラフィックス専用コンピュータによって DEM データからのシャドウマップの作成、3 次元の地形レンダリング画像作成、高解像度ディスプレイによる広範囲な地域データ表示を高速に実行する。またホストコンピュータに接続したネットワークを介してデータ管理を行う。

本システムで使用したグラフィックス専用コンピュータは、36 Mb の大容量画像メモリとこれを処理する高速並列 CPU により、約 200 万メッシュを  $\alpha$  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 × 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 × 64 km の範囲を実用的な速度で扱えることになる。

#### ① [Sys-1] 機器構成

地形解析・可視化処理システムのハードウェア構成の概要を以下に示す。

- ホストコンピュータシステム： UNIX を OS とするワークステーションをホストコンピュータとした。ネットワークにより各種データをディスクの共有領域に割り当てて、 Lan に接続された他のワークステーションやパーソナルコンピュータから、当該データの参照・入出力ができる。ワークステーションは処理速度、容量ともパーソナルコンピュータに比べて大きいため、パーソナルコンピュータでは実用的な計算が困難な広範囲の可視不可視計算を、大型計算機の代わりに実行させることもできる。このコンピュータと VME バスにより接続されているグラフィックス専用コンピュータ (Pixel-II) へのプログラムやデータの転送などの一連の制御もこのワークステーションで行う。
- グラフィックス専用コンピュータ： 36 Mb の大容量画像メモリと、画像処理専用 CPU からなるグラフィックス専用コンピュータを使用した。36 Mb の画像メモリは RGBa の 4 チャンネル各 12 bit の容量からなる画像を扱える。従って最大で約 630 万画素 (約 2500 × 2500 メッシュ) の 4 チャンネル画像を実メモリに保持できる。これは、メッシュ

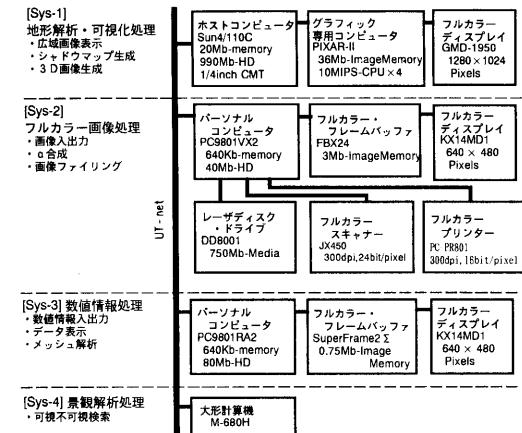


図 III-1 数値情報処理システムの構成と処理機能。

Fig. III-1. Diagram of the digital information processing system.

本システム中の個々のシステム機器は東京大学高速 LAN (UT-NET) によって接続されており、フィルムの共有や転送を高速に行うことができるので、景観情報処理の各種機能を分散させて組み合わせることで、柔軟かつ効率的なシステム構築・運用ができる。

ユニットサイズ 10 m であれば、25 km 四方に相当する。画像メモリの各チャンネルには、それぞれ 10 MIPS の CPU が接続されているため、最大 40 MIPS での画像処理が可能である。

## ② [Sys-1] 処理機能

地形解析・可視化処理システムの処理機能を以下に示す。

- 地域画像表示：画像メモリは 1 画素当たり 48 ビットで  $2048 \times 3072$  画素、つまり 36 M バイトであるが、画像メモリのうちモニターへは DA コンバータにより  $1280 \times 1024$  画素分を表示することができる。パーソナルコンピュータでのフルカラー画像モニター表示解像度が  $640 \times 400$  であるため、画素数で約 5 倍の表示ができる。これによって、広い範囲の地域の情報を表示したり、同一範囲であればメッシュ精度の高い情報の表示ができる。
- 広域可視不可視検索：ワークステーションは、処理速度・メモリ容量ともパーソナルコンピュータに比べ能力が高いので、大型計算機での可視不可視検索処理をワークステーションでも実行可能にした。
- 陰影起伏図生成：陰影起伏図は DEM から生成されるが、Pixar-II の並列 4CPU によるハードウェアの特徴を活かした専用の高速処理シャドウマップ生成プログラム makeshadow (Pixar 社製) を利用した。
- 地形レンダリング：フルカラーの空中写真画像とこれに対応する DEM データから 3 次元の地形パースを陰影起伏図と同様に Pixar-II の並列 4CPU によるハードウェアの特徴を活かした専用の高速処理による地形レンダリングプログラム ctrend (Pixar 社製) を利用した。
- $\alpha$  合成： $\alpha$  合成処理は、パーソナルコンピュータ、ワークステーションの両方で実行可能にした。

## (2) フルカラー画像処理システム [Sys-2]

パーソナルコンピュータによるフルカラー画像処理システム。メッシュアナリシスでのメッシュデータをフルカラーデータに変換、カラー写真をデジタル画像入力して各種画像処理を行う。

## ① [Sys-2] 機器構成

フルカラー画像処理システムのハードウェアを以下に示す。

- パーソナルコンピュータ：16 ビット CPU による普及型パーソナルコンピュータ
- フルカラー画像メモリ・表示装置：GDC (Graphics Display Controller) により高速なハードウェアズームやパンニングが利用できる。
- フルカラー画像スキャナー：フルカラー画像（反射・透過原稿）をデジタル画像入力する機器。パーソナルコンピュータとは GPIB によって接続した。
- フルカラープリンター：画像データの出力用インクジェットプリンター。パーソナルコンピュータとは SCSI によって接続。
- 光磁気ディスクドライブ：画像外部記憶用光磁気ディスク専用ドライブ (1 メディアで記憶容量 1500 Mb)

## ② [Sys-2] 処理機能

フルカラー画像処理システムの処理機能は以下のようである。

- a. 画像入出力: フルカラー画像の入出力をを行う。スキャナーでフルカラー画像を読み込む。  
フルカラープリンターでフルカラー画像を専用用紙に出力する。
- b. 広域パニング表示・部分拡大表示: フルカラー画像メモリを用いてパーソナルコンピュータより高解像度の画像表示を行う。ハードウェアによる高速なパニングやズームが可能で、1024画素×1024画素（約100万メッシュ）の画像を専用メモリにロードし、その部分（640画素×480画素）表示によりメモリ内の画像のすべてを見回すことができる。
- c.  $\alpha$ 合成: ディスク上の2つの画像ファイルを $\alpha$ 合成したり、フルカラー画像メモリ上の画像ファイルとの $\alpha$ 合成を行う。

## (3) フルカラー・デジタル・オーバーレイシステム [Sys-3]

本システムは、比較的低価格でフルカラー画像を含む数値情報処理が可能な普及型のシステム構成とした。普及型システムの位置づけは、電話回線によるコンピュータ通信を利用して複数の研究者が数値情報処理による解析・評価をそれぞれのシステムで共同で行うことができるようとしたものである。

### ① [Sys-3] 機器構成

フルカラー・デジタル・オーバーレイシステムの機器構成を以下に示す。

- a. パーソナルコンピュータ: 32ビットCPUによる普及型パーソナルコンピュータ
- b. フルカラー画像メモリ: 750 Kbの画像メモリ（640画素×400画素、1画素24ビット色）。パーソナルコンピュータ本体の画像表示信号と、このフルカラー画像メモリ上の画像との合成画像を、アナログRGBコンポジット信号で出力できるので、フルカラー画像メモリ上の画像と本体画像とをハードウェアで高速に合成表示することができる。その際、本体画像の黒の割合がクロマキーとなる。

### ② [Sys-3] 処理機能

フルカラー・デジタル・オーバーレイシステムの処理機能を以下に示す。

- a. 数値情報入力: メッシュ情報の数値入力は、キーボードから行う。
- b. データ表示: 入力されたメッシュ情報を、パーソナルコンピュータ本体画像メモリ（VRAM）に転送し画像表示する。
- c. フルカラー画像メモリとのハードウェア合成表示: VRAMとフルカラー画像メモリ上のフルカラー画像とをハードウェア合成により合成表示する。
- d.  $\alpha$ 合成: ディスク上のファイル同志での $\alpha$ 合成処理、およびフルカラー画像メモリ上の画像との $\alpha$ 合成を行う。
- b. PC-Terrainによる3次元パース作成: ワークステーションとグラフィックス専用コンピュータによって作成するフルカラー地形レンダリングによる3次元パースを、本システム構成のパーソナルコンピュータにおいても処理可能とした。

## (4) 大型計算機 [Sys-4]

東京大学大型計算センターの大型計算機である。最初にメッシュアナリシスがコンピュータによって行われたのは大型計算機である。現在では、高速ネットワークによってワークステーションやパーソナルコンピュータと接続されている。景観解析処理のうち、DEMデータを使って処

理が行われる可視不可視検索処理は、通常ワークステーションで行うが、視点数が多量でより高速な計算速度が必要な場合には大型計算機で処理する。

### 1-2-2. 処理手法の開発

数値情報処理システムのために開発した手法を以下に示した。

#### (1) フルカラー空中写真画像とメッシュマップとの $\alpha$ 合成

メッシュデータをシンボルや色に対応させて出力したものはメッシュマップと呼ばれている。本システムでは特にメッシュデータをディスプレイのピクセル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 1 画素に対するオン・オフにより白黒で表現できる。またデジタル RGB の 8 色表示のディスプレイでは、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で表現できる。従って数区分の情報を色分けで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。しかもプリンターやプロッタ出力に比べて、ディスプレイに表示するだけであるから、出力速度は瞬時である。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、従来手法と基本的に同じ考え方である。

本システム開発では、カラーの空中写真をフルカラーでデジタル化した画像をベースにし、メッシュデータを色区分表現した画像に不透明度（「 $\alpha$  情報」と呼ぶ）を設定し、 $\alpha$  情報を制御しながら合成する方法を用いた。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が可能となった。

#### ① $\alpha$ 合成の方法

ある画素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わす画像  $b$  を同様に、 $R_b, G_b, B_b$  とする。画像  $b$  を不透明度  $\alpha$  とした際、 $a$  と  $b$  の合成画像  $g$  の  $R_g, G_g, B_g$  値は〈式 III-1〉によって求めた。適切な  $\alpha$  値を選ぶことで、空中写真画像のフルカラー画像を背景に残しながら、メッシュデータを重ね合わせて表示することが出来る。 $\alpha$  合成による画像表示により、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時の把握も容易となる。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も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。

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

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

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

但し  $0 \leq \alpha \leq 1$

【式 III-1】

#### ② $\alpha$ 合成処理のためのファイル種別

画像同士を  $\alpha$  合成するために前節に示した合成処理に従ったプログラムを利用するが、複数のパーソナルコンピュータとワークステーションを利用し、しかもネットワークを用いて効率の良い数値情報処理を行うために、ファイル種別と処理方法を検討し、以下のように定義した。

コンピュータで利用するデータファイルは、大きく二つに大別される。バイナリファイルとテキストファイルである。これらにはアプリケーションプログラムが暗黙的に前提とするヘッダ

ファイルや圧縮や暗号化が施されている場合もある。本研究では、必要な情報が格納されていれば特にその種別は問わないが、一般的にバイナリファイルは容量が小さく、テキストファイルは内容の表示が容易であるため、それぞれのメリットを活かして定義した。

まず、基図と合成するべきメッシュ情報ファイルについて、フルカラーの  $\alpha$  合成を前提として、その効率化を図るためにファイル種別を以下の四つのファイルに決めた。

フルカラーのメッシュマップは一般にファイルサイズが大きくなりやすいので、メッシュ・データファイルとパレットファイルとから必要に応じて生成することにした。これはシステムの外部記憶容量を節約するだけでなく、コンピュータ通信などで、データや処理結果を通信する際に有利である。

#### a. rgb ファイル (ファイル拡張子 .rgb)

合成の基図となる画像ファイル形式として定義した。基図とする画像ファイルは、非圧縮のフルカラー画像 (24 bit) とする。非圧縮のフルカラー画像ファイルは、ファイルサイズが大きくなるため、できるだけそのファイル数は少ないことが望ましいが、基図へのファイルアクセスは、回数も多く、その都度ファイル展開と圧縮を行っていたのでは合成速度が遅くなるため、非圧縮にしている。ファイルは、バイナリーのピクセルアレイ形式 (図 III-2) を用いた。RGB 画像ファイルでは、ファイルの先頭からピクセルごとの RGB 値が各 1 バイトずつの並びとなっている。

#### b. rgba ファイル (ファイル拡張子 .a4)

合成用の  $\alpha$  合成ファイル。1 ピクセルの Red, Green, Blue, Alpha の 4 つのチャンネルの値が各 1 バイトのバイナリ整数値でピクセルアレイ形式で格納されたファイル。 $\alpha$  合成ファイル。合成する画像ファイルに  $\alpha$  値を付与した画像で、合成作業用中間一時ファイルとして定義した。 $\alpha$  値は 0 から 255 の値で、0 で表示 (不透明)、255 で非表示 (完全透明) とした。

#### c. メッシュ・データファイル

(ファイル拡張子 1 バイトバイナリファイル時 .mb1)

2 バイトバイナリファイル時 .mb2)

1 バイトまたは 2 バイトのバイナリ整数値がメッシュの配列順に格納されたファイル。メッシュの各種情報ファイル。メッシュの情報が 1 バイト (256 区分) 以内のカテゴリーや整数値データであればバイナリの 1 バイト、同様に 2 バイト (65,536 区分) 以内のカテゴリーや整数値データであればバイナリの 2 バイトで、ピクセルア

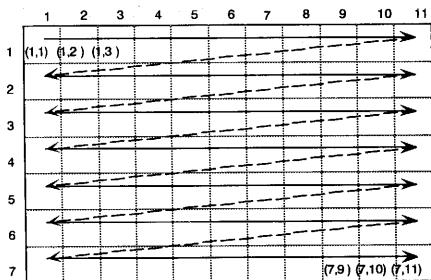


図 III-2 ピクセルアレイ形式模式図。

Fig. III-2. Diagram of pixel array file format.

ピクセルアレイ形式は、水平解像度  $h$ 、垂直解像度  $v$  の画像の画素について、各画素の値を上図のように画像の左上から右下の順に並べたファイル形式である。

上図のように、水平解像度 11、垂直解像度 7 の場合、 $r, g, b$  値からなる 24 ビットフルカラー画像では、

画素 (1, 1) の rgb 値

画素 (1, 2) の rgb 値

.....

画素 (7, 11) の rgb 値  
の順に値を並べたファイルとなる。

レイ形式に配列したファイル。メッシュ・データファイルのサイズは1バイト形式では画像ファイルの3分の1、2バイト形式では同じく3分の2のサイズである。

#### d. palette ファイル

ファイル拡張子: RGB 各 8 ビットパレット; .P8,  
 RGB $\alpha$  各 8 ビットパレット; .PA8  
 RGB 各 4 ビットパレット; .P4,  
 RGB $\alpha$  各 4 ビットパレット; .PA4

メッシュ・データ値とそれに対応するrgb 値やrgba 値を記述したテキストファイル。1行で1メッシュ・データコードを特定の画素情報 (RGB もしくはRGB $\alpha$ ) に変換する情報を与える。パレットファイルは、画像ファイルやメッシュ・データファイルに比較して非常に小さなファイルサイズである。例えば、25万メッシュからなるメッシュ・データがあって、メッシュ・データのデータカテゴリーが200 あったとする。メッシュ・データは1バイト形式となる。この場合の各ファイルのサイズを比較すると〈表III-1〉のようになる。メッシュ・データとパレットファイルから必要に応じて画像ファイルや $\alpha$  画像ファイルを作成した方がファイルの管理が容易である。このことはパーソナルコンピュータ通信などネットワークによるファイル転送時にも有効な方法である。

### ③ $\alpha$ 合成処理ツール

本研究で開発した $\alpha$  合成に必要な処理プログラムを以下に示す。

#### a. メッシュ・データ画像化コマンド

MKRGB. EXE (MS-DOS), mkrgb (UNIX)

メッシュ・データとRGB パレットファイルからメッシュマップ画像を作成する。パレットファイルの内容を書き換えることで、特定のデータコードを抽出した画像ファイルを作成したり、一時的にメッシュ・データの区分変更をした画像ファイルを作成する。

#### c. メッシュ・データ $\alpha$ 付画像化コマンド

MKRGB. EXE (MS-DOS), mkrgba (UNIX)

メッシュ・データとRGBA パレットファイルから $\alpha$  情報付きメッシュマップ画像ファイルを作成する。メッシュ・データ画像化コマンドと同様にパレットファイルの変更によって、RGB 値や $\alpha$  値を操作して目的の情報を表示した画像を作成することができる。

#### d. $\alpha$ 合成コマンド

COMPOSE. EXE (MS-DOS), compose (UNIX)

背景画像 (RGB 画像) と $\alpha$  合成用画像 (RGBA 画像) とから、両者を $\alpha$  合成したフルカラー画像を作成する。

#### e. 画像表示コマンド

DISP. EXE (MS-DOS), see (UNIX)

画像ファイルもしくは $\alpha$  画像ファイルをフルカラーのディスプレイに表示する。ディスプレイ上に同一地区の異なる情報を並べて表示できるように、ディスプレイ上の任意の位置に、画像ファイルの任意の矩

表 III-1 ファイルサイズ比較

Table III-1. Comparison of file size

メッシュ・データファイル	244 K バイト
パレットファイル	4 K バイト
画像ファイル (フルカラー)	732 K バイト
$\alpha$ 画像ファイル	976 K バイト

形部分だけを抽出して表示することもできる。

#### ④ 処理プロセスと結果

##### a. メッシュ・データの画像化と表示

図 III-3 に画像化するメッシュ・データファイルと、画像化のためのパレットファイルから、画像を作成表示するプロセスを示した。フルカラー画像では、約 1670 万色が利用できるため、全カテゴリコードに固有な色を定義することができるが、実際にモニターに表示した色彩を目視によって区別することのできるのは百色程度である。フルカラー利用のメリットは、細かな色定義ができる点にある。パレットファイルは、メッシュ・データそのものを変更することなしに、データの表示に際して任意の色を指定したり、疑似的なカテゴリ変更も可能にする。例えば、メッシュコードの 1, 2, 3 に同一色を割り当てて表示したり、特定のメッシュコードに黒(0, 0, 0)を割り当てて、モニター上で非表示にしたり、 $\alpha$  値を操作して必要な情報を必要な可視性で表示操作する際に有効になる。

メッシュ情報を画像化することは、メッシュアナリシスの最も基本的な機能である。画像化の例を図 III-4 (カラー、p. 47) に示した。

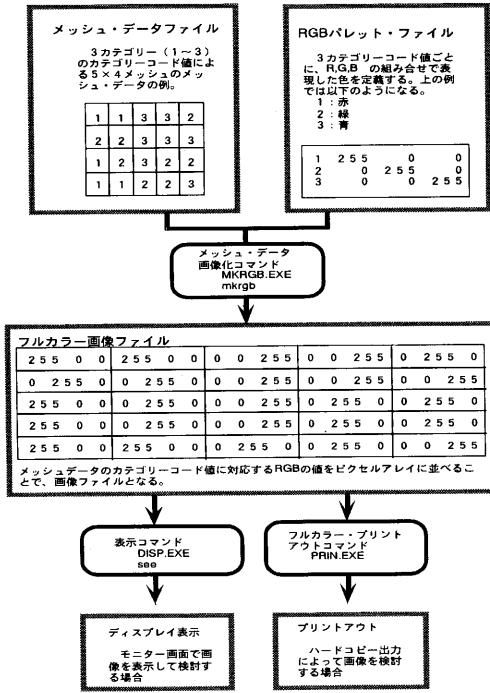


図 III-3 メッシュデータの画像化プロセス。

Fig. III-3. Process of making color images from mesh data.

メッシュ・データのカテゴリコード値と、これに対応する色を rgb の 3 原色の各 256 階調値で定義するパレットファイルを作成する。この二つのファイルからメッシュ・データ画像化コマンドを用いてフルカラー画像を作成する。メッシュを画像化した結果をディスプレイに表示するコマンド、フルカラープリンタへ のハードコピーを出力するコマンドによって結果を得る。

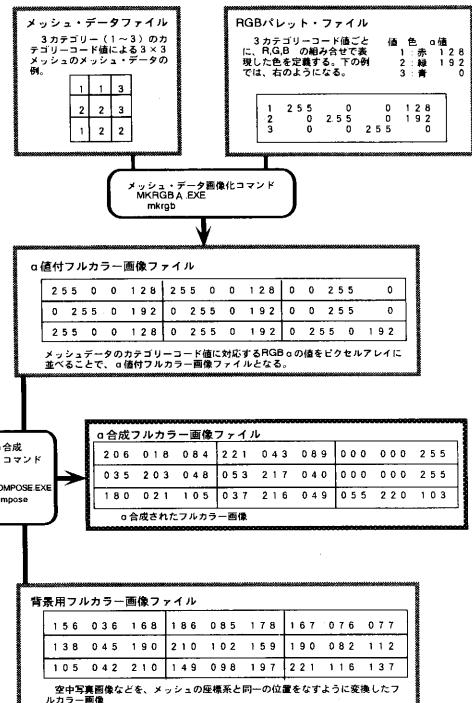


図 III-5  $\alpha$  合成処理プロセス。

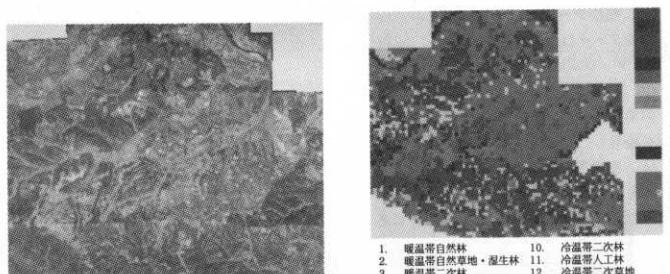
Fig. III-5. Process of composition using  $\alpha$ -mixed parameter.

### b. $\alpha$ 値付画像ファイルの作成と合成・表示

$\alpha$  値による合成では、合成画像の各ピクセルの透明度を  $\alpha$  値でコントロールする。〈図 III-5〉にそのプロセスを示した。 $\alpha$  値に対応した合成画像生成例を〈図 III-6〉に示す。 $\alpha$  値は合成画像の目的や用途に応じて最も効果の高い透明度を選択する。背景画像が空中写真である場合には空中写真画像から判読できる  $\alpha$  値で合成する。特に合成するメッシュ画像と対応して検討すべき景観情報の場合には、それが判読できる透明度で合成すると効果的である。

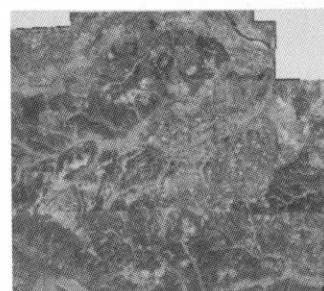
#### (2) シャドウマップ生成と $\alpha$ 合成

数値地形情報を可視化する手法にシャドウマップ（陰影起伏図）がある。シャドウマップは、

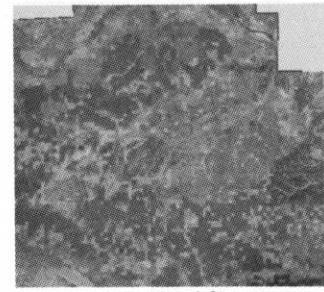


画像 a : 空中写真

画像 a を空中写真画像とし、その画素値を  $R_a$ 、 $G_a$ 、 $B_a$  とする。同様に画像 b をメッシュマップ画像とし、画像 a と同一画素の RGB 値を  $R_b$ 、 $G_b$ 、 $B_b$  とする。画像 b を不透明度  $\alpha$  とした際、a と b の合成画像 g の  $R_g$ 、 $G_g$ 、 $B_g$  値は右式によって求める。



$\alpha = 0.10$

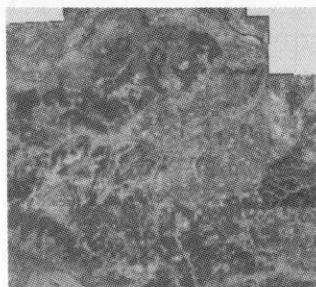


$\alpha = 0.40$

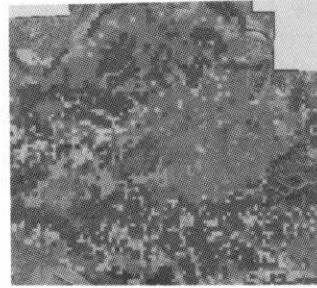
画像 b : メッシュマップ

$$\begin{aligned} R_g &= (1 - \alpha) \times R_a + \alpha \times R_b \\ G_g &= (1 - \alpha) \times G_a + \alpha \times G_b \\ B_g &= (1 - \alpha) \times B_a + \alpha \times B_b \end{aligned}$$

但し  $0 \leq \alpha \leq 1$



$\alpha = 0.25$



$\alpha = 0.50$

画像 III-6 空中写真とメッシュ情報の  $\alpha$  合成例。

Fig. III-6. Composition of aerial photograph and mesh data with  $\alpha$ -operation.

モノクロ濃淡値の画像で、地形の起伏が容易に把握できる画像である。さらにこれを空中写真画像や地形図画像と $\alpha$ 合成すると、空中写真や地形図の画像情報と同時に、地形の起伏が判読できる画像が生成できる。つまり平面画像でありながら、地形起伏の状態が可視化できる。シャドウマップを作成して、フルカラーの空中写真画像と $\alpha$ 合成を行うプロセスを以下に示す。

### ① シャドウマップの生成

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(DEM)を用いる。DEMを用い、太陽光源の位置を定義すれば、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と視線入射角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面の法線と太陽光線とのなす角を $\theta$ とすれば、 $\cos \theta$ でその濃淡が表現される。これにより作られるモノクロ画像はシャドウマップと呼ばれる。 $L$ を空中写真的不透明度 $\alpha$ と考えて処理すると、2次元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。

ファイル形式：DEMデータと太陽光の位置から陰影を計算した画像ファイルで、グレースケール256階調(1バイト)のバイナリのピクセルアレイ形式の画像ファイルとした。

### ② 半透明定数 $\beta$ による変換と $\alpha$ 合成

シャドウマップの明暗の強度 $L$ は、 $L=0$ の場合、そのまま $\alpha$ 合成すると、合成される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 $\beta$ を定義し以下の処理を行った後に $\alpha$ 合成を行うこととした。

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

$$L\beta = 1 - \beta(1 - L) \quad \text{【式 II-2】}$$

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

ここで、 $L\beta$ を $\alpha$ 合成時の $\alpha$ 値と考え、シャドウマップによる $\alpha$ 合成を次式により行う。

$$\begin{aligned} R_s &= L\beta \times R_a \\ G_s &= L\beta \times G_a \\ B_s &= L\beta \times B_a \end{aligned} \quad \text{【式 III-3】}$$

( $R_s, G_s, B_s$ は、シャドウマップ合成後画像のRGB値)

可視不可視解析は視点の位置と地形形状の影響を強く受ける。前節のメッシュデータの $\alpha$ 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 $\alpha$ 合成を行った画像をベースとして用いると、地形要因と解析結果が同時に把握できるため、より精度の高い検討や評価判断が可能となる。

### ③ 処理プロセスと実行例

#### a. シャドウマップの作成〈図III-7〉

DEM情報を用いて前述の手法でシャドウマップ〈図III-7下〉を作成することができる。

シャドウマップ自体は、各ピクセルが0~255の範囲にある濃淡値で、陰影が表現されている。比較のためにシャドウマップを生成するための元データであるDEMの標高値をグレースケールに対応させたモノクロ濃淡値の画像〈図III-7上〉をあわせて示した。

グレースケールの表示は、全域の標高値情報をそのまま、均等に表示している。従ってデータ内容をチェックするのに適している。一方、シャドウマップ画像は、図からもわかるように地形コンター模型を作成してライティングして上から真俯瞰で撮影して得られる画像

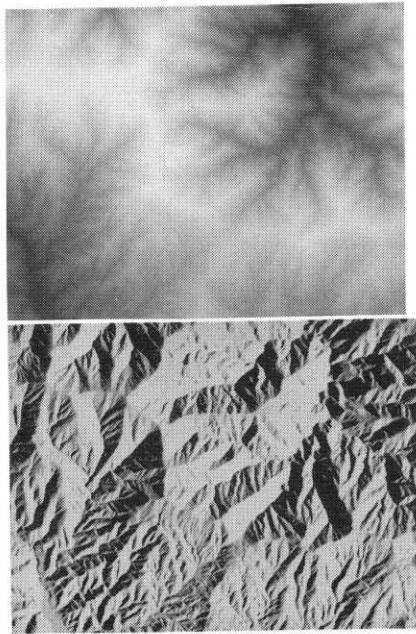


図 III-7 シャドウマップの作成例。

Fig. III-7. Example image of a shadow map.

上: DEM のグレースケール表示 グレースケール表示では、全域を DEM データの精度のまま均等に表示することができる。

下: シャドウマップ 南東方向からの太陽光による影を生成させた。グレースケール表示に比べて地表面の起伏の様子がライティングされた石膏模型のように「物」として表現されていて直感的な起伏の把握ができる。

に近似している。陰の部分は黒く潰れていて地形の状態を詳しくは把握できないが、地形を形ある物として観察するのに似て、全体を直感的に把握するには適している。  
b. シャドウマップの  $\alpha$  合成による立体感の付与〈図 III-8〉

シャドウマップの持つ地表面の物体的な表示は、これに対応する空中写真画像や地形図画像と  $\alpha$  合成することで、これらの画像に立体感を付与することができる。

〈図 III-7 下〉のシャドウマップでは影の部分は黒で潰れているため、このまま地形図画像などのフルカラー画像に  $\alpha$  合成するとフルカラー画像自体の判読もできない画像になる。そこで、半透明定数による前処理を行い補正画像〈図 III-8 上〉を作成する。

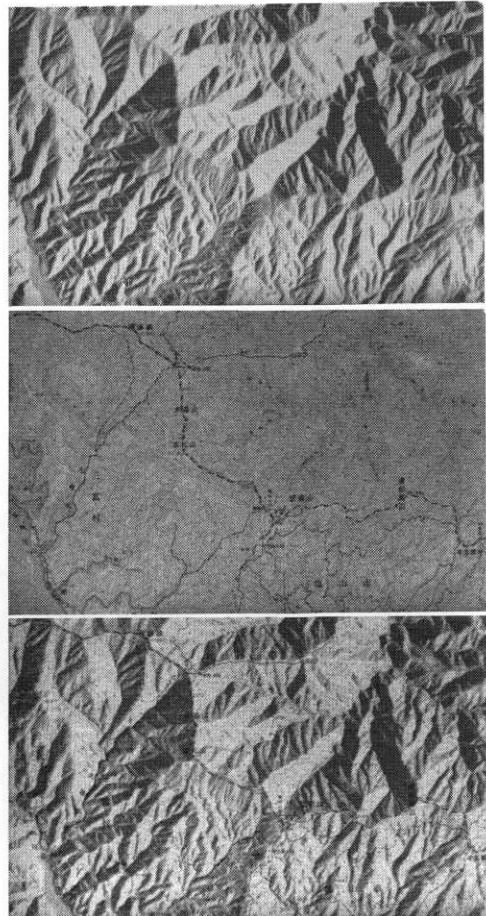


図 III-8 シャドウマップによる立体感の付与。

Fig. III-8. Map image in relief applying shadow map.

上: 半透明定数  $\beta$  による補正シャドウマップ シャドウマップ（図 III-7 下）に  $\beta=0.5$  の半透明定数で補正した画像。地形図画像や空中写真画像と合成する際に、未補正のシャドウマップでは影の部分が潰れてしまうので、こうした前処理を行う。

中: 地形図画像 シャドウマップを合成する前の地形図画像。

下: 立体感を付与した地形図画像 補正済みシャドウマップを地形図画像に合成すると地形の起伏把握が容易になる。

DEM に対応したフルカラー画像として地形図画像〈図 III-8 中〉の RGB 値のそれぞれに対して、補正済みシャドウマップを  $\alpha$  合成すると立体感が付与された地形図画像〈図 III-8 下〉が作成できる。

地形図は空中写真と違って太陽光の光条件の影響を受けていないので、シャドウマップを生成する際に設定した光条件による陰影がそのまま反映される。従って空中写真画像や衛星画像に比べて地形図画像に立体感を付与すると理想的な起伏感の表現ができる。2次元平面画像でありながら3次元的な地形の特徴をよく表現していて、しかも地形図の持つ情報もそのまま判読できる。一方空中写真では、それ自体が撮影時の光条件のもとでの影を持っていて、その光条件を全く無視した光源でのシャドウマップを作成して合成すると、この効果的な起伏感を得ることはできない。この場合には空中写真画像と同一の太陽光の位置によって立体感を強調するためのシャドウマップ合成が有効である。

#### c. ランドサット画像と地形図画像との合成〈図 III-9 (カラー, p. 47)〉

地域レベルを扱う場合に、ランドサット画像を利用する場合も多い。入手したランドサット画像の周辺部分に地形図画像を利用して関連する範囲をカバーした基図を作成する際にもシャドウマップは効果的である。ランドサット画像には、空中写真画像と同様に太陽光による陰影がついている。ランドサット画像の入手していない周辺部分の地形図に、DEM を利用してランドサット画像と同様な陰影条件でシャドウマップを作成して処理・合成することで、地形の特徴を良く表現した地域の基図を作成できる〈図 III-9 下〉。

### (3) 3次元地形レンダリング

景観計画では地図（真俯瞰）上で資源解析・評価を行う際にも地形状況との対応は常に必要である。それが前節での立体感を付与した地形図画像や空中写真画像による表現により可能となった。一方地形情報を利用してコンピュータでパースを描画することは、景観計画でも早くから行われている。広域での数値情報や前節での各種の基図や特定情報を  $\alpha$  合成した画像に地形情報を適用して、3次元パース画像を作成することで、対象地域の鳥瞰的な表現ができる。

#### ① 3次元地形パースと地形レンダリング

DEM を利用して、3次元地形パースをコンピュータによって描画して景観計画に応用する手法は、ワイヤーフレームモデルやサーフェイスモデルによる描画が多く使われている。CG のレンダリング技術を応用して、カラー画像による地形パースや、景観解析情報を加えた地形パース表示などがそれである。本システムでは、一般に応用されている「地形情報をを利用して地形パース画像を得る」だけでなく、CG のフルカラー機能を最大限に応用して、「写実的な表現」と、「景観計画情報の可視化（複数情報の同時可視化）」機能を取り入れた地形レンダリング応用手法を開発した。

##### a. ワイヤーフレーム 3次元パース〈図 III-10〉

ワイヤーフレーム線画による地形パースは、既に定着した手法である。DEM データを用いて線画による 3次元パースで表現する方法で、同一のハードウェアであれば最も高速な 3次元パース表示ができるため、現在では各種入力・加工データのチェック、地形の概略把握、パース描画地点を決める前の概略パース作成に利用される。

##### b. 3次元カラーパース〈図 III-11〉

CG のカラー化に伴ない、ワイヤーフレームで描画した地形表面を、数値情報の種別や内

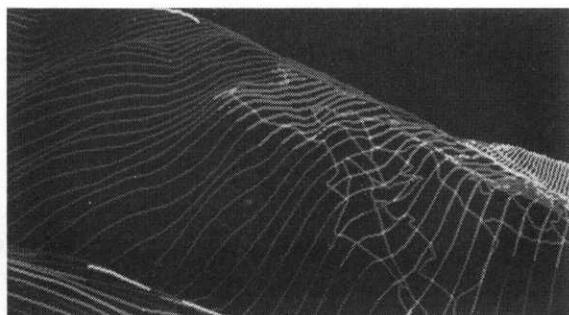


図 III-10 ワイヤーフレーム線画による地形パース。

Fig. III-10. 3D view image of wire frame terrain model.

ワイヤーフレームによる表示は高速な描画が可能でハードの制約も少なく DEM や各種入力データの概略チェックや、視点選定のための概略パースに多用される。

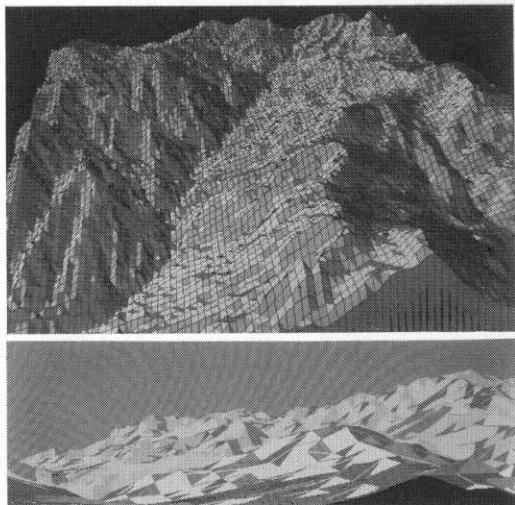


図 III-11 カラーパース画像。

Fig. III-11. 3D view image of colored surface terrain model.

上：傾斜方向による着色パースメッシュの各面に傾斜方向別の着色をするだけでもワイヤーフレーム表示よりも立体的な把握ができる。

下：視距離による2次尾根表示 傾斜方向とあわせて視距離によって色の組み合わせを変えると2次尾根などの識別も容易になる。

レットによる同時表示程度で十分に表現できるため、当該機能の実現にはハードウェアの制約は少ない。

#### b-ii. 景観解析情報

上記の手法による3次元カラーパースでは、さらに景観解析情報をメッシュによって表現することができる。特定の視点からの可視領域は、本来地形形状に密接に関係する解析情報

容に応じて着色する方法を利用すると、各種情報の分布を鳥瞰的に把握することが可能になる。また、より立体的に表現することもできる。以下ではメッシュの傾斜方向、視距離、景観解析情報をカラーで表現する手法を示す。

##### b-i. 傾斜方向

〈図 III-11 上〉は、3次元地形パースであるが、各メッシュの色を、その傾斜方向によって決定して表現したものである。これにより、ワイヤーフレーム線画に比べて地形形状がより立体的に把握しやすくなる。さらに視点からの距離によって構成色を変えることにより2次尾根の把握も容易になる〈図 III-11 下〉。この例では、傾斜方向によって地形表面のメッシュの色を変化させているが、それは単なる識別のための配色ではなく、少ない色のパターンのなかでも表面の陰影を想定した配色になっているため、より立体的に見えている。これらの例では、4096色の8色や16色パ

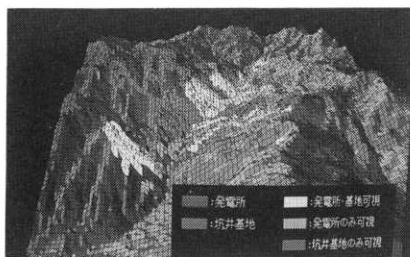


図 III-12 景観解析情報の3次元カラーパース表示。

Fig. III-12. 3D view image of colored terrain surface with visibility evaluation results.

複数の計画施設の可視領域を2段階に区分した解析結果をDEMを使って3次元表示した。地形と解析結果との対応が容易に把握できる。

であるので、3次元地形パースによって表現するならば、解析結果のチェックや把握、検討、理解を容易にする。

〈図III-12〉は、計画施設の位置と、これを可視できる領域を3段階の区分によって解析した景観情報を3次元カラーの地形パース上に重ねて表示した画像である。これらは、いずれも16色同時表示程度のマシンによる表示例であり、ハードウェアの制約は少ない。

#### c. フルカラーによるカラーパース

16ないし4096色カラーのコンピュータグラフィックスに対してフルカラーのコンピュータグラフィックスでは、通常24ビット色（約1677万色）で表示できるため色数の制限は無いに等しい。フルカラーグラフィックスでは、フラットシェーディングやフォンシェーディング、さらにはテクスチャーマッピングなどのレンダリングアルゴリズムが利用できる。〈図III-13〉は、スムーズシェーディングを利用した地形レンダリング画像である。DEMデータにより地形モデルを作成し、地表面の色を仮に緑としてレンダリングしたものである。光の陰影により本来定義した同一の緑の色に、微妙な陰影がついて連続的に変化したこまやかな色彩となっている。地形状況を把握したり、2次尾根の把握の容易性の点で見ると、少ない色数のカラーパースの方わかりやすいが、スムーズシェーディングでは、視点を移動させた画像を多数作成しコマ撮りしてアニメーションにすると、運動視差によって地形形状が容易に把握できるようになる。

このようにフルカラーのシェーディングを利用した地形パース表現では、動きの情報（アニメーションビデオでは1秒間に30コマ）を付加したり、静止画ではフルカラーを使用するに十分な情報量を更に付け加えなければ、景観計画に応用するにたる十分な効果がないと考えられる。そこで、メッシュ情報の各メッシュ毎に対応する空中写真画像を付加情報として与えるマッピングによるレンダリングが有効であると考えた。

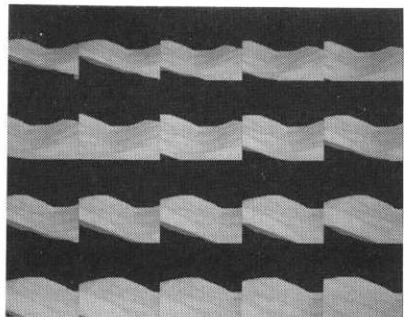


図 III-13 スムーズシェーディングによる地形レンダリング画像。

Fig. III-13. 3D view image of terrain rendering with smooth shading.

地形モデルを緑一色としてレンダリングすると意外に地表面の形状が把握しにくい。この場合アニメーションによって視点を移動させて地形モデルを見回すと運動視差による効果で形状の把握が容易になる。

### ② テクスチャーマッピングによる地形レンダリング

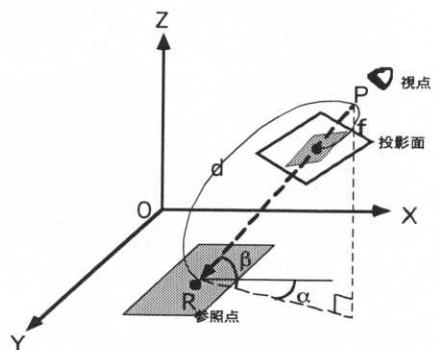
数値情報を利用したメッシュアナリシスで出力されるメッシュマップなどの2次元画像や空中写真画像をそのまま各メッシュのテクスチャーマッピングデータにしてDEMデータとあわせて3次元パースを作成することで、解析検討結果をより具体的に表現できると考えた。つまり前節の手法で作成される空中写真画像やメッシュマップ画像と地形情報から、3次元地形パースを作成することである。これまでフルカラー画像をマッピングデータとして用いた3次元画像生成は、ハードウェアの能力的制約から実用的なシステムを構築することは困難であったが、近年のハードウェア・ソフトウェアの進歩から実用可能となり、本節でのシステムの実現にはその技術向上が大きく影響している。本来コンピュータグラフィックスにおけるテクスチャーマッピングは、多数の物体の表面に同一のテクスチャーの繰り返しを張り付ける手法である。マッピング用のテクスチャーのデータは、高価なコンピュータグラフィックスシステムであっても、せいぜい1Mb程度であった。これはフルカラー画像で、約600×600画素程度のテクスチャーデータを読み込むに過ぎない。同じテクスチャーの繰り返しなど無いに等しい、全域が異なるカラー空中写真画像をテクスチャーデータとしてマッピングすることは現実的ではなかった。

本システムでは、画像情報処理専用のハードウェア(Pixar-II)とそのハードウェアの性能を活用したフルカラー地形レンダリングソフト(Chap Terrain)によって数十Mbのテクスチャーデータに、DEMを使って高速に3次元地形レンダリングを行うシステムを採用した。一般にDEMにより作られる地形モデルでは地表面がオーバハンジングすることはないので、図III-14のような座標軸をとった場合、テクスチャーデータ、DEMデータと共にX、Yの一値関数で表わされる。すなわち、これらのデータは、XY平面上に唯一の値しか持たないという特徴がある。Chap Terrainはこの特徴を応用したアルゴリズムで、しかも専用のハードウェアである Pixar-IIイメージコンピュータによりテクスチャーデータのRGBとDEMデータの四つのデータの組を同時に並列処理するための4CPUにより処理しており、非常に高速になっている。

### ③ 処理プロセスと実行例

#### a. フルカラー地形レンダリング〈図III-15, 16(カラー, p. 47)〉

視認性評価結果を対象地の空中写真画像と $\alpha$ 合成し、地形パースを作成した一連の画像が図III-15(本画像は筆者が作成した画像で、米国コンピュータ学会ACMのCG分科会Siggraph'91テクニカルスライド入選画像「田島篤(1991)」)である。この例では、空中写真画像にシャドウマップ画像を $\alpha$ 合成し立体感を付与している(図III-15左上)。さらに視認性評価結果の画像を $\alpha$ 合成したテクスチャーデータを作成し(図III-15右上), このテクスチャーデータを用いて地形レンダリングを2視点について行いパース画像作成して



図III-14 座標軸・視点・参照点・地形データ投影面の関係。

Fig. III-14. Relation of XYZ-axis, Viewpoint, Reference-point, and screen.

いる〈図 III-15 左下, 右下〉。全体の鳥瞰パース〈図 III-15 左下〉から、対象地の全体の地形形状の状況が空中写真画像から判読できる。さらにその一部を詳細に表示したもののが〈図 III-15 右下〉である。空中写真画像にはそのまま土地利用が撮影されているので、解析評価結果の分布と、森林や牧草地などとのオーバラップの状況が容易に把握できる。そしてこうしたフルカラー地形レンダリングによる 3 次元パース画像を利用すると、2 次元平面でのメッシュデータ表示に比べ、対象地の詳細な地形形状や土地被覆状況との対応を正確に把握することが可能になる。

〈図 III-16 (カラー, p. 47)〉は、〈図 III-15〉と同一の事例で、テクスチャーマップに地形図を利用したものである。景観計画では空中写真や地形図は必ず調査解析に使う資料であり、とくにこうした可視化のためだけにデータ化するものではなく、システムに入力されていて、いつでも利用できるデータである。地形図画像には、空中写真では判読の難しい道路の規模や、森林内歩道や行政区などが表示されているので、こうした情報と解析評価結果とを対応させて判読することができる。

#### b. 近景処理による写実性の向上

均質なメッシュサイズを使った 3 次元パースでは、視点近景のメッシュが粗くなり景観像の中での写実性のバランスが取れない。これを回避するためには異なるメッシュサイズを採用する方法がある。近景部分に、より詳細なメッシュサイズのテクスチャーデータを利用する方法である。〈図 III-17 上〉は、対象地の全域について 10 m メッシュサイズを 1 ピクセルでスキャンしたフルカラー空中写真画像を用いて、地形レンダリングを行ったものである。これに対して、〈図 III-17 中〉は近景部分の詳細データとして、視点周辺 2 Km について 2.5 m メッシュサイズを 1 ピクセル、つまり周辺の解像度の 4 倍精度でスキャンした画像を用いて地形レンダリングを行い、10 m メッシュサイズの画像と合成したものである。さらに〈図 III-17 下〉は 1 m メッシュサイズの空中写真画像を利用した地



図 III-17 近景処理による写実性の向上

Fig. III-17. Improvement of reality by processing immediate landscape.

上: 10 m メッシュを 1 画素でデータ化した空中写真画像による 3 次元地形パース。

中: 近景部分に 2.5 m メッシュを 1 画素でデータ化した空中写真画像を合成して 3 次元地形レンダリングを行い写実性を向上させたパース。

下: 全域を 1 m メッシュを 1 画素でデータ化した空中写真画像を用いて作成した地形レンダリング。

形レンダリングである。

## 2. 画像情報処理システム開発

地区レベルを対象とした景観デザインにおいて、デザインのオルタナティブを作成・評価・検討するために、景観予測手法が用いられている。ビジュアルな景観予測であることから一般に景観シミュレーションと呼ばれ、スケッチからCGまで様々な手法が開発され利用されている。

本節では、コンピュータグラフィックスを応用して写実性の高い景観予測を正確かつ高速に行うための「画像情報処理システム」について検討を行い、システムの開発を行った。

コンピュータグラフィックスを応用した景観シミュレーションは、土木・建築など他分野でも研究事例が多いが、本システムは特に自然風景地における景観予測に着目したものである。

本システムの特徴は、デジタル画像処理の活用、CGフォトモンタージュ法の開発、およびGISを応用したCG景観シミュレーションの開発にある。

### 2-1. 画像情報処理システムの検討

画像情報処理の目的を明らかにし、既存の景観予測手法の検討を踏まえ、画像情報処理に必要な機能を明らかにした。

#### 2-1-1. 画像情報処理システム開発の目的と方法

##### (1) 画像情報処理システム開発の目的

画像情報処理システム開発の目的は「地区景観設計の主要な手法である景観予測手法にコンピュータグラフィックスを応用し、より写実的で、かつ多くの代替案を高速に作成し、景観デザイン検討を支援する。」ことにある。これは「写実的」な予測画像を生成できて、しかも「操作性」の高いシステムを開発することである。

##### (2) 画像情報処理システム開発の方法

現在、景観アセスメントにおいて最も多用されているフォトモンタージュ手法を含む景観予測手法を整理し、フルカラーのコンピュータグラフィックス手法の応用適性を検討し、そのフィジビリティを検証しながらCGフォトモンタージュシステムの開発・実用化を行う。またフォトモンタージュ手法に替わる新しい予測手法として3次元フルカラーコンピュータグラフィックスによる景観予測システムを試験開発する。システム機能はいずれも、具体的な景観情報を使って画像を試作し、そのフィジビリティが確認できることを条件とした。

システム開発のハードは、基本的にパーソナルコンピュータを中心とし、高速な演算速度やレンダリング処理が必要な場合には一部ワークステーションを利用するシステムとした。これは数値情報処理システムと同様にフルカラーのCG環境が、大型計算機よりも主にパーソナルコンピュータ、ワークステーションにおいて普及しているためと、景観シミュレーションの需要が、地区レベルを対象にして分散的・個別に利用されることから、普及型ハードウェア、すなわちパーソナルコンピュータが有効との判断による。

#### 2-1-2. 景観予測手法の整理

既存の景観予測手法と本研究で開発を進めた景観予測手法を含めて、その整理を行った。現在景観計画に利用されている景観予測手法は、最も普及しているフォトモンタージュ法のほかに、カラーシミュレータ法、ビデオモンタージュ法、コンピュータを用いたデジタル画像処理法などがあり、各手法の特徴を活かした予測手法が用いられている。

### (1) 景観予測のプロセス

景観予測画像を作成するプロセスは基本的に以下の3ステップで行うことができる。

#### 〈景観予測基本プロセス〉

ステップ1: 既存景観情報を取得する。

ステップ2: 変化景観情報を取得する。

ステップ3: 両者の情報を合成しつつ予測画像を作成する。

最も多用されているフォトモンタージュについて考えてみる。具体的に検討するために自然景観地に新規の道路が計画された場合を想定してみる。

ステップ1: 既存景観情報として、景観シミュレーションを行う視点からの写真撮影を行い、その画像を得る。

ステップ2: 変化景観情報として計画道路の設計図を入手して、コンピュータに構造モデルを入力し、写真撮影画像と同じ視野系で線画パース画像を作成する。

ステップ3: 背景写真画像に線画パースを重ね、着色する。着色の際に背景の写真画像と計画構造物との前後関係を判断しながら合成する。

実務で使われているフォトモンタージュのプロセスでは「既存景観情報=写真・ビデオ画像」という前提から、背景画像として写真・ビデオ画像を得て、計画行為による変化画像をなんらかの方法で作成して、背景画像に合成する。この「既存背景画像に予測画像を合成する」手法をフォトモンタージュ・プロセス〈図III-18〉と呼ぶことにする。現在用いられているコンピュータグラフィックスを応用した景観予測手法の多くは、フォトモンタージュ・プロセスの部分的なステップで、画像生成や合成に各種の手法が適用されている。コンピュータグラフィックスの応用も、こうしたプロセスのある部分に限定して適用する方法が効果的であるため、本システムにおいてもフォトモンタージュ手法の部分的CG化を扱っている。

さて、この「既存背景画像に予測画像を合成する」という観点から従来の景観予測手法を整理したものが〈図III-19〉である。

### (2) 写真・ビデオによる背景画像を使った景観予測

フォトモンタージュプロセスによる景観予測手法〈図III-19〉は、背景画像に写真やビデオなど既存景観画像を利用する。これに対して模型やスケッチ、コンピュータグラフィックスなどを利用して新たに背景景観画像を生成するステップも存在する。これについては後で検討する。

〈B1〉 写真画像をネガフィルムからの紙焼きプリントや、ポジフィルムをそのまま利用する。

〈B2〉 写真画像をスキャナーでデジタル画像に変換して利用する。

〈B3〉 写真画像をビデオ画像に取り込むか、現地でビデオ撮影する。この場合はアナログのビデオ信号に変換される。

これらの方では、その解像度の違いから〈B1〉が最も写実性が高く、次に〈B2〉となり、〈B3〉が最も低い。

#### ① 予測画像

計画行為による景観変化予測画像の作成は、模型による方法とCG法に大きく分けられる。

### a. 模型画像

〈P1〉 模型画像：計画図などからスケール模型を作成し、写真撮影を行い、その画像を変化画像として利用する。その写実性は模型の精度・写実性に依存する。

### b. CG 法

CG 法には、2 次元 CG（デジタル画像処理）と 3 次元 CG（3 次元モデル、透視投影変換）とがある。計画施設の 3 次元データを作成し、フォトモンタージュ画像の背景に使われる実写写真上での透視投影位置を計算し下図を作成する 3 次元線画 CG と、写真画像処理による 2 次元 CG 画像を利用する方法、及び線画

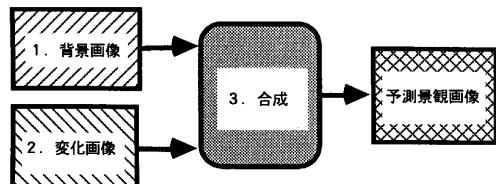


図 III-18 フォトモンタージュプロセス.

Fig. III-18. Process of photo-montage method.

自然風景地の景観シミュレーションの代表的なプロセスは、背景に写真画像を使い、計画施設建設や代伐などの土地被覆の改変に伴なう景観変化画像を作成・合成していく予測景観画像を得るものである。フォトモンタージュ手法がこれで、最も普及している手法である。

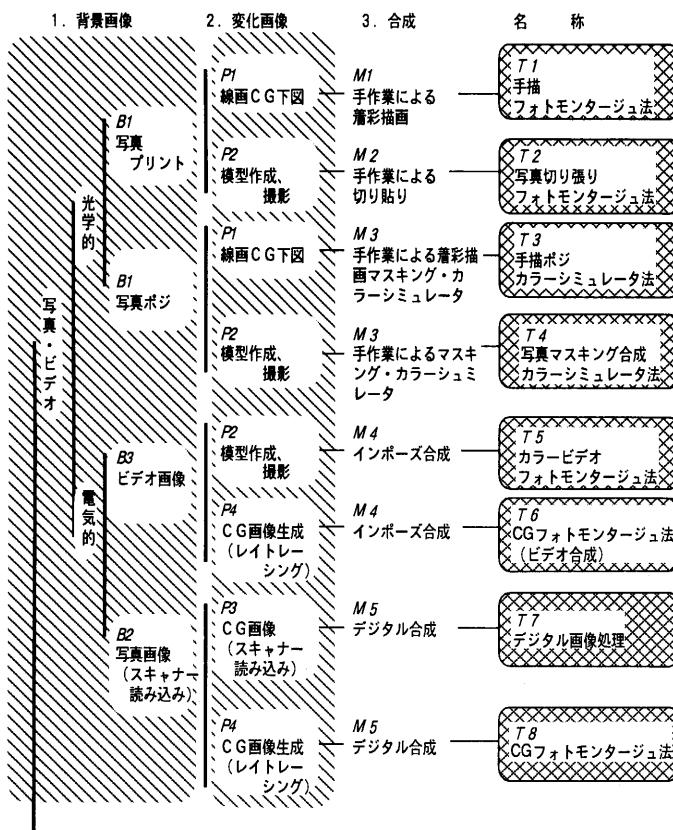


図 III-19 フォトモンタージュプロセスによる景観予測手法.

Fig. III-19. Landscape simulation techniques of photo-montage method.

CGよりも詳細にモデリングを行い、更にモデリングされた各パーツのテクスチャや色彩、反射率、透過率などのアトリビュートのデータを詳細に与えて、写実性の高いレンダリング手法による写実的なフルカラー3次元CG画像を利用する方法がある。

〈P1〉 3次元線画CG：計画施設や改変行為の形状を3次元のデータとして与えて、背景画像に使われる写真の視野系と同一条件でパースを計算し、背景画像での計画施設等の視覚的位置を線画によって描画する。

〈P2〉 2次元CG画像：計画施設と同一の写真画像や、模型の写真画像をスキャナーでデジタル画像に変換して利用する方法である。植栽などは同一の樹種、成育・植栽条件の写真画像を得やすいので、この方法が簡易で効果が高い。

〈P3〉 フルカラー3次元CG画像：計画施設や改変行為の形状を3次元データでモデリングし、背景画像と同じ太陽光条件をシミュレーションするレイトランキングなど写実性の高いレンダリング手法による予測画像を得る。

## ② 合成手法

合成手法は、背景や変化画像生成で利用した手法により区分される。手作業による方法と、アナログ画像信号による合成、デジタル画像処理による方法の三つに分けることができる。

### a. 手作業による合成

〈M1〉 手描着彩：3次元線画CGによる精度の高い下図を用いて、手作業で写真画像に直接接着彩する方法で、現在最も普及している手法である。大型カメラと全紙級の紙焼きプリントを使うなどの作業条件と熟練が伴えば最も写実的な合成が可能である。

〈M2〉 写真切り貼り：実写写真画像や、模型写真画像などから変化画像を切り取り、背景画像と重ねて再撮影を行う方法。

〈M3〉 手描着彩・マスキングポジフィルム：3次元線画CGによる下図を元に変化画像を作成し、ポジフィルムに撮影し、手作業によるマスキングによって合成用ポジフィルムを作成する。これを複数のスライドプロジェクターと色彩変更フィルターからなるカラーシミュレータによって合成し、投影スクリーンを再撮影して予測画像を得る。

### b. 映像機器・コンピュータでの合成

〈M4〉 インポーズ合成：クロマキーによるビデオ信号上での自動マスキング合成。いわゆるビデオ合成である。

〈M5〉 デジタル画像合成：コンピュータによる画像ファイルでのデジタル画像処理による合成。

## (3) 背景画像生成による景観予測

背景画像を新たに生成する方法には従来から行われているスケッチ、模型による方法がある。また近年研究開発が進められているフルカラー3次元CGも応用できる。景観変化を引き起こす計画施設や地形改変行為などの景観予測の対象となる画像は、どの予測手法を用いた場合でも新たに作成する。従って背景画像を新たに生成することは、最終的な景観予測画像の全てを生成することになる。背景画像と変化画像とを異なる方法で作成して合成することも可能であるが、それは予測画像作成に携わる専門家が途中段階で概略検討する場合であって、多くの場合同一の手法で行われる。従ってここでは同一手法による景観予測手法について検討する。

景観予測手法で、既存・変化の両景観とも合成しつつ最終的な予測画像を作成するスケッチ法が最も古く、模型による方法、そしてフルカラー3次元CGによる手法がある。

### ① スケッチ法

スケッチ法が景観計画で活用された起源はイギリス風景式庭園の造園家の例が挙げられるよう(岡崎文彬(1982)), 古くから行われている方法である。現実の視点に立ってスケッチする場合には、スケッチされた画像には目視による観察によりある程度の3次元的な精度があるが、写実的な予測、特に正確なパースペクティブを必要とする場合には問題が多い。また計画行為の予測や、現実の視点に立つことができない場合には、想像によって描くことになり、景観予測に必要とされる精度に欠けている。

### ② 模型

地形・植生・構造物の模型を作成し、写真やビデオ等で撮影する方法がある。モデルスコープによる都市景観での実用例(麻生ら(1986), 濱野ら(1987))はあるが、我が国のような地形の複雑な自然風景地では、その作業量や費用、および写実性の確保の点で実用化が難しい。自然風景地で、対象地を含む周辺地形の概略把握のために地形という景観要素に特化して作成するセンター模型があるが、写実的な予測ではない。また模型の精度は、その作成時の縮尺によって規定されてしまう。精度を上げれば模型作成のための作業量も増える。しかし一度に模型を作成すれば、モデルスコープ等を用いたビデオ撮影によるシーケンス景観の予測が可能であることと、同時に複数の人々によって多視点から多角的に検討できる長所がある。

模型を作成する場合には、地形図や植生図などの情報をもとに現況の対象地形・地物の模型を作成するが、後述するコンピュータグラフィックスの場合と同じように、既存景観および変化景観の検討に必要な精度の情報を収集する必要がある。

### ③ 3次元CG

本研究では、コンピュータグラフィックスの機能のうち「透視投影変換」部分によるものを「3次元線画CG」と呼び、フォトリアリストックなレンダリングアルゴリズムの応用部分を「フルカラー3次元CG」と呼ぶ。

#### a. 3次元線画CG

コンピュータグラフィックスでは、3次元モデルを作成し、コンピュータで透視投影変換を行い任意視点からのパース図を作成する方法が使われている。もっとも処理の簡易なものは、ワイヤーフレームモデルを利用することから線画CGと呼ばれる。フォトモンタージュ法においても、計画施設や森林伐採などの変更行為が、背景画像のどの部分にどのような形状を占めるかの3次元的なチェックや、計画施設など変更行為の結果を手描き着色する際の下図に線画CGが使われている。この方法は、フォトリアリストックな写実性には劣るが、3次元的な透視投影変換精度は正確である。ワイヤーフレームによる景観予測は都市景観では沢井(1985)が多くの事例を示している。一方森林景観では、小島ら(1972)によって開発され、塩田ら(1976)により完成されている。これは予測する対象森林の主要景観要素である地形情報と植生情報を、森林基本図と森林簿からメッシュ・データ化し、視点・視野方向参照点・画角をもとに3次元的なパースペクティブをコンピュータによって計算し、地形や植生を線画パースで出力する手法である。出力画像はベクタースキャンのディスプレイで確認して、プロッタによって出力するものである。データ化を含

めたこの方法は次で述べるフルカラー3次元CGの原形となっている。

#### b. フルカラー3次元CG

既に第III章で述べたがCGの1980年代の成果の1つは、照明モデルや属性モデルによるフォトリアリスティックなレンダリングアルゴリズムの開発であった。

フォトモンタージュ法における本システムの開発では、レイトレーシング法を変化画像作成に応用する手法を含んでいる。背景となる広大な自然景観は実写写真画像を使い、変化景観だけを最新のCG手法を応用して写真に匹敵する写実性のある画像を生成するシステムである。このフォトリアリスティックなレンダリング手法を応用して、背景となる既存の自然景観の全てを対象にして画像生成することは現時点では困難である。それは写実的なレンダリング手法とバランスの取れた自然景観の主要な構成要素である植物のリアルな形状モデリングが困難なためである。本研究では後述するGISと植物成長モデリング手法を応用するシステムを考案し、こうした障害を解決し、具体的なケーススタディデータに適用し、そのフィジビリティを明らかにした。

#### 2-1-3. 機能の検討

各種の景観シミュレーション手法を比較整理したが、コンピュータグラフィックスの応用が効果的なシステムは二つに区分できる。一つは、フォトモンタージュプロセスを用いて、すなわち背景に既存景観写真を利用し、予測景観画像にフォトリアリスティックなコンピュータグラフィックスを応用する「CGフォトモンタージュ法」である。もう一つは背景画像をもフォトリアリスティックなコンピュータグラフィックスによって生成する、すなわち全てをリアルな3次元CGで生成する方法で、その内容から「GIS-CG法」と呼ぶことにする。

この二つの方法について、応用のための機能を検討した。

##### (1) CGフォトモンタージュ法

CGフォトモンタージュではデジタル画像処理の応用と、レイトレーシング法による3次元CGを応用する。システム開発に際して重要な特徴について検討した。

###### ① 画質の恒常性

デジタル画像処理を応用すると、処理プロセスを何度も経ても画質の劣化がない。従って合成や色彩変更などを行っても、非処理画素の画質は不变である。光学的な通常のフォトモンタージュでは、合成画像を再撮影して複写するため、複写の度に中間明度が減少し、画質が硬くなる欠点があるが、デジタル画像処理では画像処理を行わない部分は何度処理を経ても不变であるので、画質を恒常に保つことができる。

###### ② 合成マスクの自動生成

デジタル画像処理によって、従来手作業で行っているマスキング処理のほとんどを半自動化できる。自動生成させたマスキングを目視で確認しながら手動微調整も容易で、効率のよいマスキングができる。これに対してカラーシミュレータ法では、手作業でマスキングを行っている。またビデオ合成ではクロマキーによって自動マスキングを行うが、これには前処理として予めマスキング部分にRGBのどれかの色彩を背景にした画像を撮影しなければならないため煩雑で、またマスキングの微調整が困難である。

###### ③ 3次元CGによる精度の高い予測画像の作成

フォトモンタージュ法も、現在では背景となる写真画像上に計画構造物などの予測画像の正確

な位置・形態を重ねるのにコンピュータグラフィックスによる透視投影変換を利用している。つまり予測対象構造物の形状についてはモデリングして入力している。このデータを利用してテクスチャーデータを付与し、視野系にあわせてレイトレーシングによる写実的なCGレンダリングを行えば、フォトモンタージュにおける手作業による着彩を省くことができる。また照明モデルなどの精度を向上させたレンダリング手法を応用すれば、陰影なども正確に表現でき、再現性のある予測を実現することができる。

#### ④ 写真画像とCGの解像度

デジタル画像処理で扱える実用的な画質は、解像度の制約をうけるため、大形カメラを用いたフォトモンタージュに比較して解像度の点で劣る。35 mm フィルムの実用時の解像度は約 900 画素×600 画素とされている(笹井(1981))。フォトモンタージュでは、6/9 や 4/5 サイズのフィルムで撮影した画像を、全紙に紙焼きして作業した場合がもっとも解像度が高い(約 3300 画素×2600 画素程度)。デジタル画像処理では、理論的にはこれと同程度ないしそれ以上の解像度も可能ではあるが、実用的にはいわゆるハイビジョン対応の解像度約 2000 画素×1000 画素程度が最大である。現在普及しているパーソナルコンピュータでは 640 画素×480 画素、ワークステーションでは 1280 画素×1024 画素が用いられている。ビデオ画像は、約 400 画素×300 画素であるから、デジタル画像処理はこれよりは解像度が高く、普及に至ったが、解像度の限界を考慮するならば、多数の代替案についての景観予測が必要な検討段階での CG フォトモンタージュ法を活用することがふさわしく、高精度で写実的な最終案の予測図には、従来からの 3 次元線画 CG によるフォトモンタージュ手法が適切である。

#### ⑤ 精度の混乱が生じやすい

CG フォトモンタージュの機能で、誤解を招くのは精度の混乱であり、これには十分な注意が必要である。デジタル画像処理による合成は、2 次元画像を利用する。2 次元画像には、奥行きの情報、つまりいわゆる 3 次元的な視野系の情報が欠落している。そのため合成される画像と合成する画像との位置は、目視により判定されることが多く、3 次元での正確な透視投影変換から 2 次元画像上の位置を計算したものではない。それでいてテクスチャーの精度は、写真画像を取り込んでいるのでフォトリアリスティックそのものであるため、精度の混乱が生じやすい。

#### ⑥ アプリケーションが複雑

デジタル画像処理を利用するには、コンピュータや画像入出力装置など様々なハード、ソフトが必要であるが、これらを組み合わせたシステムは、複雑で分かりにくい。画像変形やフィルタリングなどの処理の組み合わせや、それらの精度もハードやソフトに依存し、理解が難しい。これに対して従来のフォトモンタージュやカラーシュミレータ、ビデオ合成システムは、デジタル画像処理に比べアプリケーションウェアとしてのシステム構成が一意に決めやすく、修得が速くて、その後の応用もしやすい。

#### (2) フルカラー 3 次元 CG

自然景観画像を写実的に 3 次元 CG によって作成する方法は、非常に難しい。大きくは地形と植生とによって把握できるとされる森林景観については、塩田ら(1976)のワイヤーフレームによる方法以後、決定的な手法はない。本研究では地理情報システム(GIS: Geographics Information System)を応用して地形・植生情報を管理し、数値地形モデルと植物成長モデルを応用する方法を検討した。すなわち、GIS に入力された樹種と樹齢に植物成長モデルを適用して単木の 3

次元形状を作成する。さらに地形情報と林相形状データから地形形状を生成し、この地表面上での林相区画を生成する。この地形と林相区画に対し、林相毎の立木密度や混交率をもとに、先の3次元形状の単木を配置して森林の精緻な3次元モデルを作成し、これをレンダリングすることにより、最終的に写実的な森林景観画像を作成する手法を検討した。

#### ① GISによる空間データ・非空間データの入出力管理

地理情報システムは、地理的位置をもつ图形データである空間データと、その属性データである非空間データを、必要に応じてリンクさせながらデータベース化する機能を持つ。自然景観の植生情報の作成・管理にGISを応用することで、植生情報・地形情報とも必要な精度の地理的分布で取り出すことができる。これを応用して地形・植生情報を3次元モデル化する。

#### ② 植物成長シミュレーションの応用

自然景観の重要な構成要素に植物がある。森林景観では一本の樹木である。これを写実的にモデルリングするために、植物学的な成長モデルに基づく形状シミュレーション(de Reffye, P. et al. (1988))を応用してリアルな樹木の3次元形状を生成し、3次元CG画像を作成する。

#### ③ GISによる森林景観情報と植物成長シミュレーションのリンク

GISと植物成長シミュレーションの個別のシステムのデータをリンクして、森林景観情報から写実的な森林景観の3次元モデルを生成させる(斎藤ら(1993))。

### 2-2. 画像情報処理システムの開発

コンピュータグラフィックスを応用した景観予測手法として、実用性の高いCGフォトモンタージュ手法を開発し、またより精度が高く将来的な実用化が期待できるシステムとしてフルカラー3次元コンピュータグラフィックスを応用したGIS-CG法の二つのシステム開発を行った。

#### 2-2-1. システム構成

システム機器構成は、コンピュータグラフィックスを応用したフォトモンタージュシステムと、GIS-CGシステムとからなる。それぞれの機器構成と処理機能について〈図III-20〉、〈図III-21〉に示した。

##### (1) CGフォトモンタージュシステム

CGフォトモンタージュシステムは、パーソナルコンピュータを中心としたシステム構成である。景観評価検討のために常時一対比較が可能となるように、画像ファイルを共有し、二つのディスプレイに代替案となる景観シミュレーション画像を一対比較表示できるようにした。〈図III-20、22〉

また既存のフォトモンタージュのうち、最も熟練作業を要する手作業による着彩プロセスにはフォトリアリストイックな3次元CGの代表的手法であるレイトレーシング法による計画構造物の予測画像生成を行う。レイトレーシング法は計算量が膨大なため、計算部分だけを高速な並列計算CPUや、ワークステーションにより行い、「デジタル画像処理システム」に転送して、2次元デジタル画像処理を行う。

##### ① 機器構成

###### a. パーソナルコンピュータ

16ビットCPUによる普及型パーソナルコンピュータ

###### b. フルカラー画像メモリ

750 Kb 画像メモリ (640画素×400画素、1画素 24ビット色)

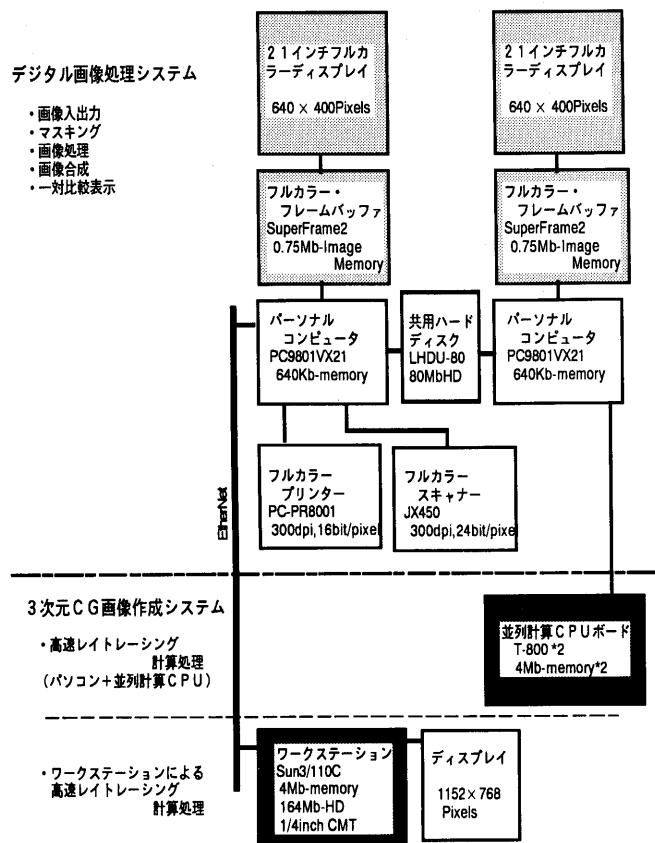


図 III-20 OG フォトモンタージュシステムの構成と処理機能.

Fig. III-20. Diagram of CG photo-montage system.

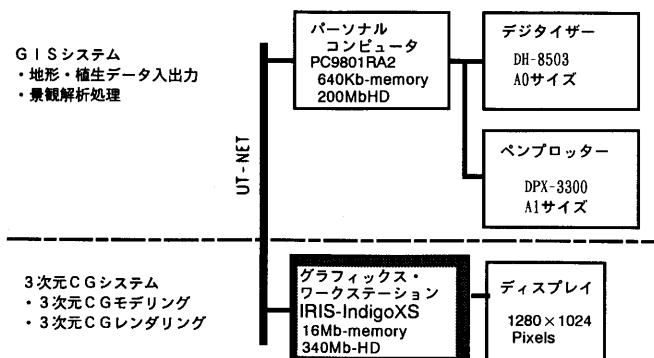


図 III-21 対比的3次元CGシステムの構成と処理機能.

Fig. III-21. Diagram of photorealistic 3D computer graphics system.

パソコン用コンピュータでフルカラー画像を処理・表示するための画像メモリ

c. 並列計算 CPU

パソコン用コンピュータでは、十分な計算速度が得られないため、レイトレーシングの計算処理を、パソコン用コンピュータに接続した専用の高速並列計算CPUで計算させるためのボードを利用した。並列計算CPUは、2個、4個と2個づつ増設することができるため、ハードウェアによって高速化できる。

メモリ容量については、各並列計算

CPUに附属する実メモリ4Mbに制限される。

d. ワークステーション

高速計算処理と、仮想記憶による大容量メモリの利用には、UNIXをOSとするワークステーションが有利である。

e. フルカラー画像スキャナー

フルカラー写真画像のデジタル入力機器。300 DPI, A3サイズ, 24 bit出力

f. フルカラープリンター

フルカラー画像の出力機器

② 処理機能

a. 画像入出力

フルカラー画像の入出力をを行う。スキャナーで背景写真などのフルカラー画像を読み込む。フルカラープリンターでフルカラー画像を専用用紙に出力する。

b. デジタルマスキング処理

画像合成時に不必要な部分にマスキングを行う。この機能は、デジタル画像処理の1手法であるが、景観シミュレーションに際しては特に応用すべき重要な機能である。

c. 画像合成

マスキング画像と背景となる被合成画像とを画素単位で合成する。合成用の $\alpha$ 情報があれば、 $\alpha$ 合成を行う。

d. 画像処理

デジタル画像処理のうち、景観シミュレーションで多用する機能は「色彩変更」「画像変形」である。

e. レイトレーシングによる合成用変化画像生成

計画構造物の情報から3次元モデルを作成し、背景画像に合わせて写実的な変化画像を生成する。

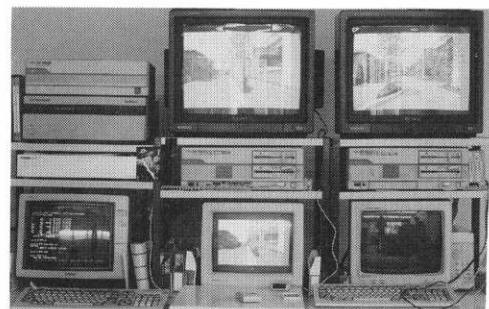


図 III-22 CG フォトモンタージュシステム。

Fig. III-22. CG photo-montage system.

2台のカラーモニターに予測画像を対にして表示することで、一対比較評価を可能としている。

## (2) GIS-CG システム

## ① 機器構成

- a. パーソナルコンピュータ  
32 ビット CPU による普及型パーソナルコンピュータ
- b. フルカラー画像メモリ  
750Kb 画像メモリ (640 画素×400 画素, 1 画素 24 ビット色)  
パーソナルコンピュータ用のフルカラー画像メモリボード
- c. デジタイザー  
地図情報の図形要素デジタイジング用入力機器 A0 サイズ 16 ボタンカーソル
- d. プロッター  
地図情報のプロット出力機器。A1 サイズ, 8 ペン
- e. グラフィックス・ワークステーション  
グラフィックス専用ワークステーション。グラフィックスの高速計算処理と、仮想記憶による大容量メモリの利用には、UNIX を OS とするグラフィックス・ワークステーションが有利である。

## ② 処理機能

- a. 空間情報の入出力・管理  
植生図や林相図の各植生区分や林相区分の境界線をデジタイザーにより入力し、修正・管理・出力する。地理情報システムを利用すると、地図ごとに異なる地図投影法であっても、内部で変換して一元的な投影法と座標系で管理することができる。
- b. 非空間情報の入出力・管理  
空間情報の各区分图形に対応して、その属性データ（非空間情報）を入力・修正・管理・出力する。データの管理はリレーショナル・データベースにより行う。
- c. 森林景観の 3 次元形状データの生成  
GIS が管理する地形データ、植生区分图形データ、および各植生区分の属性データから、地形と植生の 3 次元形状データを生成する。
- d. 森林景観の 3 次元形状データのレンダリング  
c. で生成した詳細な 3 次元形状データを高速にレンダリングして、最終的に写実的な森林景観画像を生成する。

## 2-2-2. 処理手法の開発

## (1) CG フォトモンタージュ手法による景観予測

## ① デジタル画像処理

デジタル画像による景観予測手法は、従来からリモートセンシングなど画像処理技術の応用開発で利用されている 2 次元画像に対する一連の画像処理手法を応用して、安岡ら (1982) が実用化した。大型計算機をホストにして、画像専用メモリであるフレームメモリ、ドラムスキャナー、カラーディスプレイなどの画像処理周辺機器を接続したシステム構成で、当時既にビデオ画像の解像度を越えた  $512 \times 512$  画素、色分解能 24 ビットフルカラーであったが、設備コストが高くシステムの普及には至らなかった。その後筆者らが開発したパーソナルコンピュータによる景観予測手法では、16 ビットパーソナルコンピュータと低価格フレームメモリを接続したシステム

構成で主にグラフィック・アート用に開発されたシステム機器をベースにして開発し景観予測手法に応用した手法で、現在ではパーソナルコンピュータを用いた景観シミュレーションで最も普及している方法である。

#### a. デジタル画像処理手法の適用

##### a-i. RGB値によるデジタルマスキング処理

デジタルマスキングは、マスキングを行うデジタル画像の各画素を検索して特定のRGB値に当たる場合はマスクすべき画素と判断させる処理である。

###### デジタルマスクの処理

ステップ1: マスクしたい対象の画素のRGB値を抽出する。

ステップ2: 抽出した画素のRGB値を基準に、RGB値のレンジを決めて該当する画素を検索して、表示する。

ステップ3: 検索されたマスクを目視により確認して、妥当であればマスクを生成する。より緻密なマスクが必要な場合にはステップ1に戻りさらにマスクの調整を行う。

抽出対象物の色彩とマスキング対象物の色彩が異なる場合に非常に効果的な方法である。逆に抽出対象と同系色の画素をこの方法によって自動的にマスキングすることは難しい。マスク画素の検索はデジタル画像処理で行われるので効率の良いマスク生成が容易になる。しかし、画面上でのマスキングの正確な位置決めは、目視による判断が最も効率的であるため手作業を伴う。

##### a-ii. 縮小マスキング合成による景観予測

マスクされた画像を背景画像に合成する方法は、やはりデジタル画像処理によって行う。

###### 縮小マスキング合成手法

ステップ1: マスク画像を背景画像上の合成位置に置く。目視で確認。

ステップ2: マスキング画像を拡大・縮小し適切なサイズに変更する。目視で確認。

ステップ3: マスキング画素を合成キーとして合成する。

デジタル画像処理による拡大・縮小のうち、実際の合成の際には縮小して合成するように元画像を作成しておくと合成後の精度が保証される。合成位置は背景画像の中のなんらかの手掛かりを元に決定する。合成時の大きさはあらかじめ計算が可能であるので、事前に処理して該当画素サイズに変換しておく。

これ以上の精度が必要なときは3次元処理が必要となる。

##### a-iii. リタッチ（インターラクティブなデジタル画像処理）による景観予測

デジタル画像処理の開発時は、コマンドによる処理を組み合わせることによって順次景観予測画像を作成していた。近年ではマウスやタブレットペン等のポインティングデバイスを利用して、対話的に画像処理機能を選択・適用しながら処理を進めることができるようにになった。写真画像をこうしたインターラクティブなペイントソフトを利用して加工することはリタッチとも呼ばれる。リタッチによる一連の処理は、同一のハード・ソフトを利用してても処理する者の熟練度によって作成された画像の精度に差が生じやすいが、従来の手書き着彩に比較すれば効率的に予測画像生成ができる。



図 III-23 RGB 値によるマスキング。

Fig. III-23. Digital masking with RGB value.

画像左は、マスキング処理前の写真画像である。画像中の樹木の列植部分を合成用の画像として残し、他の部分をマスキング処理を行ったものが画像右である。

#### マスキング処理の過程

1. 背景の空から、比較的明るい部分のRGB値と暗い部分のRGB値とをサンプリングすると両者のRGB各チャンネルの画素値の最大値、最小値が得られる。
2. サンプリングしたRGB各チャンネルの最大値と最小値の間に分布する画素を検索し、マスクとする特定の画素値（ここまでは、赤(R, G, B=255, 0, 0)である）に変換して、合成用マスクとする。
3. 同様の処理を路面や、列植植え込み部分のブッシュについて行い、順次マスキングを進める。
4. 画像処理検索による処理が満足できる段階になったら、必要に応じてマスキング境界部分拡大して、画素単位で、マスク色に変換して処理を終了する。

#### b. 処理例

##### b-i. マスキング画像作成

〈図 III-23〉は、マスキングを施す写真画像をスキャナーでデジタル画像に取り込み、樹木以外をマスキングした例である。

背景画像のRGB値を複数個サンプリングして、そのRGB値のレンジを確認し、これを基にRGBの各チャンネルに対してしきい値を決めて、これに該当する画素を特定のRGB値に変換し、マスク画素とする方法である。

##### b-ii. マスキング合成による景観予測画像作成

〈図 III-23〉のマスキング画素を利用して、マスキングにより画像合成したものが〈図 III-24〉である。

まず図上の奥の植栽画像を合成し、次に手前に縮率を変えた同一画像を合成して植栽による効果を予測した。この方法は3次元的な位置計算はしていない。背景画像と合成画像

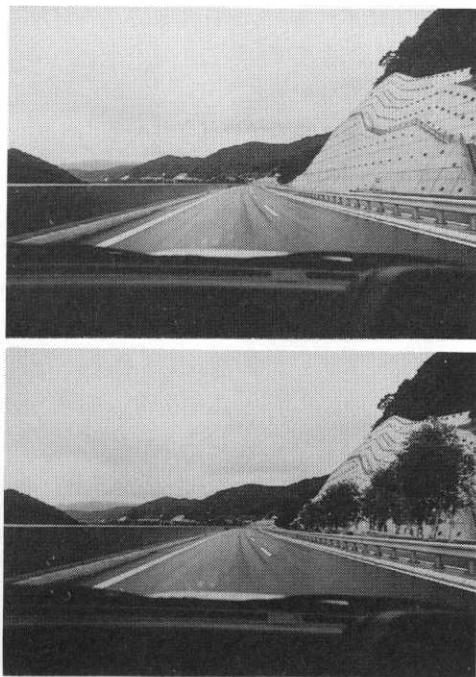


図 III-24 マスキング合成による景観予測。

Fig. III-24. Landscape simulation with digital mask composition.

背景画像（上）に図 III-23 のマスキング画像を、マスク色（この例では  $rgb=(255, 0, 0)$ ）を合成用キーとして 2ヶ所に合成した景観予測画像（下）。高速道路の植樹帯の景観対策効果を検討するためのもの。写真画像上の手掛けりをもとにラフに合成している。従って、平面図を使って 3 次元のパースペクティブの計算解析はされていない。

とも、撮影時に合成を意図して、できるかぎりパースペクティブが同一になるように作成し、さらに合成時に微調整している。実際には背景撮影時に合成時の目印になる物を確認しておいたり、測量ポールや、人間などを合成予定位置に写し込ませて、合成の手掛けかりを得ておく。合成用の画像撮影を行うときも同様である。高速道路の植樹帯の景観対策効果を検討するために作成したもので、厳密な合成精度よりもコンクリート構造物の視覚的影響を植栽がどのように和らげるのかを検討するための景観予測画像作成例である。

#### b-iii. リタッチによる景観予測画像作成

〈図 III-25〉は、インターラクティブなデジタル画像処理ソフトを利用して作成した景観予測画像である。街路樹の葉は実際の葉のデジタル画像を細かくコピーしている。陰も同様で手作業で画像メモリに書き込んでいる。このように個々の変更部分の画像を組み合わせることで効率的に複数の代替案の予測画像を作成することができる。

(2) レイトレーシング法を応用した景観予測  
現在最も普及しているフォトモンタージュ法では、背景に用いる写真画像上に、景観変化を引き起こす計画施設などの正確な構図上の位置と、背景画像のパースペクティブに一致した形状を得るために、可能なかぎり正確な平面図を入手し、3次元モデルデータを作成して、3次元線画CGで下図を作成する。さらに背景の写真画像に見合うフォトリアリスティックな予測画像を得るために、手作業による着彩を行っている。この手作業は熟練した技術を要する。ビデオ合成では、景観変化を引き起こす地形・植生や構造物の模型を、正確かつ写実的に作成し、背景写真的視野系と、模型撮影の視野系とを同一にして模型撮影を行い、クロマキーで合成画像を作成している。

いずれの場合にも、合成時の同一視野系のセッティングと、背景写真画像の写実性に見合う精

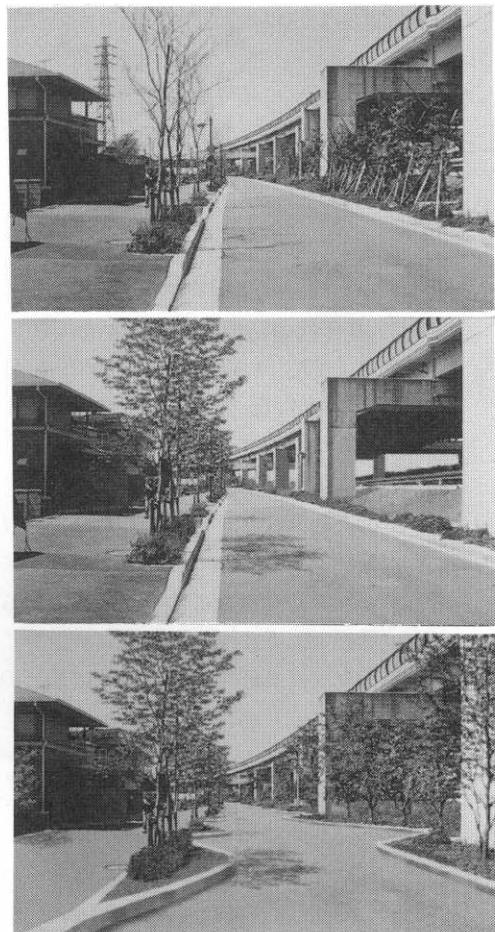


図 III-25 リタッチによる景観設計検討用予測画像。

Fig. III-25. Landscape simulation with re-touch technique for the examination of landscape design.

上：オリジナルの写真。

中：街路樹に葉を付け、道路に影を落としている。これらは全て熟練者によるリタッチである。高架道路下部の植栽は芝生に変更。

下：道路をスラロームにして、植え樹を設置。高架下も街路樹と合わせた植栽を合成し、沿道の住宅にも緑化を行っている。

度の予測画像を生成することが予測景観の作成には必須となる。

本研究では、コンピュータグラフィックスのレンダリング手法の中で最も写実的な画像生成アルゴリズムであるレイトレーシング法を応用した景観シミュレーション手法を開発した。

#### a. レイトレーシング法による写実的画像生成

1980年代の初めに開発されたレイトレーシング法 (T. Whitted (1980), S. D. Roth (1982)) は、光学モデルをそのままレンダリングのアルゴリズムにした手法で、光線追跡法とも訳されているが、影や反射、屈折などを表現するため実写写真画像に近い写実性の高い画像が得られる。レンダリングのアルゴリズムであるが、透視投影変換も含まれており、レイトレーシングを応用すれば、3次元でのパースペクティブなチェックも同時に可能である。

ビデオ合成法で利用している模型の写真画像以上の画質がレイトレーシングによるコンピュータグラフィックス画像で得られるならば、景観シミュレーションへの応用の効果が著しく向上すると考えて開発研究を行った。

#### a-i. パーソナルコンピュータでの応用開発

レイトレーシング法は、計算量が膨大なため、大型計算機でのみ利用されていたが、すでに1986年頃から数値演算プロセッサを組み込んだ16ビットパーソナルコンピュータでも計算が可能なまでにアルゴリズムの高速最適化と、ハードウェアの進歩がなされた。そこでまず試験的にパーソナルコンピュータでの応用研究を進めた。

レイトレーシングの手法を表現する一般的な画像は、球体・円錐体・円柱などのプリミティブで定義されるソリッドモデルによるモデリングと、それらの表面の色彩・テクスチャとその反射・屈折・鏡面反射などが定義され、光源からの光線追跡により画像化される。〈図III-26〉に示すように、こうしたレイトレーシングの効果がはっきりと表現される画像生成例が多い。

本研究では、パーソナルコンピュータで稼働する市販ソフト (Ray-Trek: VI社製) を利用してレイトレーシングを応用した景観予測手法への応用開発を進めた。応用のための処理プログラムの開発は、Ray-Trekの開発者の Ricard K. Hampton 氏の協力で行われた。景観シミュレーションへの応用のために、以下のソフト開発を行い機能向上を図った。

#### ◇コマンドジェネレータ

レイトレーシングのモデリングはプリミティブと呼ばれるソリッドモデルを基本に行わ

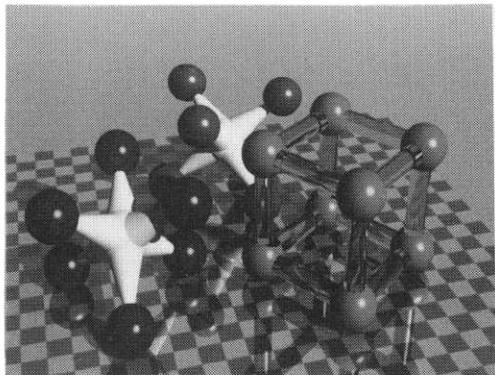


図 III-26 レイトレーシング法で作成した一般的な画像。

Fig. III-26. Sample image of ray tracing method.

(画像作成・提供 (株)ヴィイーアイ  
Ricard K. Hampton: 1985)

2次曲面で定義されたソリッド・モデリングの物体に、色彩や反射、屈折率や、太陽光・各種光源や環境光などを定義し、シミュレーション計算によって得られる画像である。この画像をみれば、景観設計で作成する各種模型の画像と同程度の画像がレイトレーシング法によって得られることが理解できる。

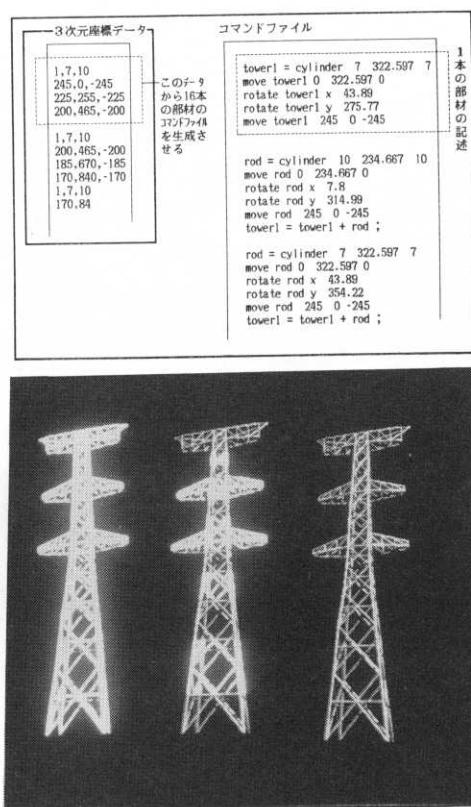
れる。球などの曲面を持つプリミティブは直接2次曲面を定義する方程式で記述されるため、多面体で近似する物体の定義に比べ滑らかな曲面が実現できる。そして各プリミティブを3次元座標系に組み合わせて配置してモデリングがなされる。こうした指示を一連のテキストファイルで記述することがモデリングの作業となり、記述ファイルはコマンドファイルと呼ばれている。

プリミティブはスケーリングによって大きさを定義し、その後x, y, zの3軸毎の平行移動と回転によって3次元座標空間に配置して定義する。3軸に平行でない物体の空間配置は非常に複雑な作業となる。そこでプリミティブの生成から3次元座標系への回転移動計算をも含み、目的の構造物のコマンドファイルを少ないと制御座標点で生成させるプリプロセッサー（コマンドジェネレータ）を開発した。図III-27上は、送電鉄塔のモデリングのために3点のx, y, z座標値から16本の円柱プリミティブを生成し平行移動と回転によって目的の3次元座標位置にセットさせたコマンドファイルを生成した例である。

ここで作成した1基の送電鉄塔は520個のプリミティブによって記述されている。

#### ◇構造物の奥行き別ソート

市販の高速なアルゴリズムによるソフトでも機能の制約は大きい。1987年当時で16ビットパーソナルコンピュータで一度に計算できるプリミティブの数は約200程度であった。同一ソフトのワークステーション版でも1100程度であった。そこで、一つの送電鉄塔内のプリミティブ間や、複数の送電鉄塔間で、視点からの距離の順に奥行きソートを行い、一度に計算できる量に分けてコマンドファイルを分割出力した。



図III-27. コマンドジェネレータによるコマンドファイル生成とレイトレンジング画像。

Fig. III-27. Example of command and its rendered image generated from the Command Generator.

3点のx, y, z座標値から16本の部材のレイトレンジング用のソリッドモデルによるシーン記述ファイルを生成する。送電鉄塔1基の部材（オブジェクト）数は520。パーソナルコンピュータでは一基の送電鉄塔を一度に計算することはメモリの制約から不可能であった。そこで、一基の送電鉄塔を定義とするコマンドファイルを視点からの奥行きでソートして3つのファイルに分割して計算し、個別に画像ファイルを作成した。それぞれの画像ファイルを奥から順に、オーバレイさせて一基の送電鉄塔の画像が完成する。レイトレンジングで作られる画像は、模型を作成して撮影したのと同程度の写実性がある画像であることが判断できる。

◇ピクチャファイルオーバーレイ

構造物の奥行き別ソートにより分割して計算された複数の画像ファイルをオーバーレイさせて一つの画像に合成するためのプログラムを作成した。

以上により作成した送電鉄塔の画像が〈図 III-27 下〉である。

a-ii. 高速演算 CPU による高速化

レイトレーシングの計算処理は、パーソナルコンピュータでは非常に時間がかかる。1986年当時で送電鉄塔1基を計算するのに約60時間である。従ってその実用化には演算処理の高速化が必要であった。

パーソナルコンピュータでは、計算処理部分だけを本体とは別に、専用の高速CPUで処理することが実用的で、本システムにおいても並列計算CPUにより高速化を図り実際の景観計画プロジェクトを行った(斎藤ら(1990))。

a-iii. ワークステーションでのレイトレーシング

レイトレーシングの計算処理の高速化は専用の高速演算CPUの利用である程度可能だが、一括計算するデータ量を増大させるにはパーソナルコンピュータだけでは実用上の制約が大きい。CGフォトモンタージュシステムの処理機能のうち、この部分だけを汎用のワークステーションで処理すれば、景観計画での応用範囲も広がる。

UNIXをOSとするワークステーションは、CPUの処理速度もパーソナルコンピュータに比べ高速で、メモリーも大きく、場合によっては仮想記憶による大量データ処理も可能となる。パーソナルコンピュータを中心機器とする当該画像情報処理システムでは、ワークステーションのネットワーク機能を活用して、両者をネットワーク接続した。

〈図 III-28〉は、ワークステーションで作成した送電鉄塔8基の画像である。送電鉄塔の形状データはパーソナルコンピュータと同一の物である。メモリーが大きいので2基の送電鉄塔を一括して処理できる。このため同一構造物内の奥行きソートの処理が不用となり、データ作成も容易になった。

b. レイトレーシング法を用いたCGフォトモンタージュ手法

レイトレーシング法による構造物CG画像を利用すれば、模型写真画像以上の写実性の高い予測画像が作成可能であることが明らかとなった。そこでレイトレーシングを利用して、写実的で予測操作性の良い手法開発を進めた。以下にそのプロセスと、特徴を示す。

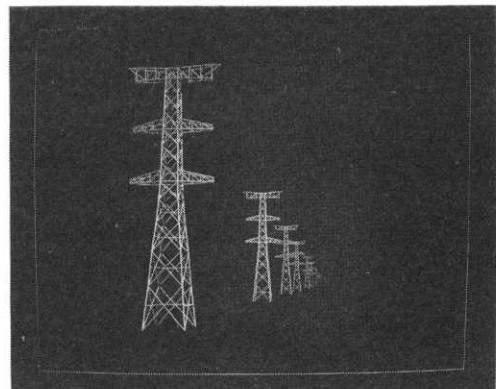


図 III-28 ワークステーションで作成した送電鉄塔レイトレーシング画像。

Fig. III-28. Power line tower image with ray tracing on a workstation.

ワークステーションでは同時に2基の送電鉄塔を計算できる。そこで2基ずつをグループとして奥行きソートして、ピクチャファイルを合成した。8基の送電鉄塔で計算時間は約7時間。画像の解像度も $1152 \times 768$ と高解像度になっている。

### b-i. CG フォトモンタージュ手法の検討

#### ◇太陽光条件

写真と写真の合成である通常のフォトモンタージュ法の基本は、合成する相互の写真の光条件を同一にすることである。少なくとも太陽光の位置は近似させることができることが実写写真同士の合成の基本である。順光写真と側光写真を合成しても浮いてみえてしまう。

レイトレーシングによるCG画像は、背景とする写真と同一の太陽位置に設定して画像計算ができるため一度モデリングを行えば、様々な太陽光条件の画像に合成することができる。背景写真撮影時の日時を記録して、これを利用すれば正確な太陽光の位置を判定できる。

#### ◇計画構造物の影

レイトレーシングによって計算した画像では、モデリングした構造物内での影は正確に表現されるが、計画構造物の影を背景写真画像に落とすことはできない。背景となる地物の詳細な形状データがあれば可能となる。

#### ◇ $\alpha$ 値によるアンチエイリアス合成

レイトレーシングの計算時に背景色を指定して、後からこれをマスク画素として合成する手法では、合成マスクが画素単位になってしまい、合成境界部分にジャギーが生ずる。従ってそのまま合成すると背景とレイトレーシング画像の写実性の高い画像精度と調和が取れない結果となる。レイトレーシング法はすべてをモデリングした3次元モデルを作り、計算によって2次元画像を得る手法である。各形状要素のエッジ部分で、ある物体が1画素に満たない場合には内部計算で輝度の中間値( $\alpha$  値)を用いてアンチエイリアス処理を施してジャギーのない境界線を表現している。

そこで本研究のように画像合成に応用する際には、内部処理で使われている $\alpha$  値を、外部出力して合成時のマスク処理に利用すれば、ジャギーのない合成が可能であると考えた。つまり画像合成プログラムで利用できる $\alpha$  値のファイル出力が景観合成の為には不可欠である。

### c. CG フォトモンタージュのプロセス

#### c-i. 合成処理

レイトレーシングによって画像作成する際に、背景色を黒などの物体の画像には存在しない色に定義して計算を行う。背景色をマスキング画素として、合成用の背景画像ファイルと合成を行うプログラムを作成し、合成する。

〈図 III-29〉は、パーソナルコンピュータでレイトレーシングによる計算を行い、CG フォトモンタージュ手法により作成した試作画像である。

#### c-ii. RGB $\alpha$ 画像ファイルによる $\alpha$ 合成

レイトレーシングを応用したCG フォトモンタージュには $\alpha$  値のファイル出力が必要であることを提案し、RGB 画像ファイルの他に RGB $\alpha$  画像ファイル出力を得ることにした。

これにより合成時にアンチエイリアスを施す画素処理によって、ジャギーのないスマートな合成画像作成が可能となり、実用的な景観予測手法となつた。

〈図 III-30〉は $\alpha$  合成による景観予測画像作成例で、〈図 III-31 (カラー, p. 47)〉は

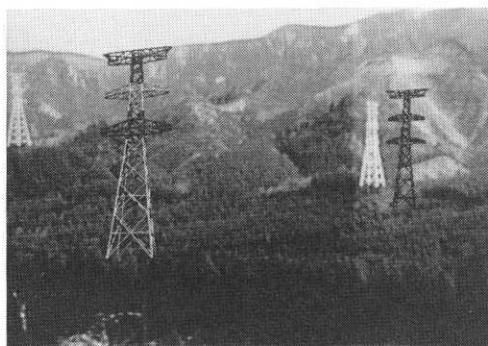


図 III-29 レイトレーシングによる CG フォトモンタージュ試作画像。

Fig. III-29. Test image of CG photo-montage with ray tracing

パーソナルコンピュータで計算したレイトレーシング画像について、背景画素の色をキーに合成したため、合成画像の緑のジャギーが目立つ。しかし、合成用の予測画像としては写真画像と合成しても違和感の無い程度の写実性はある。

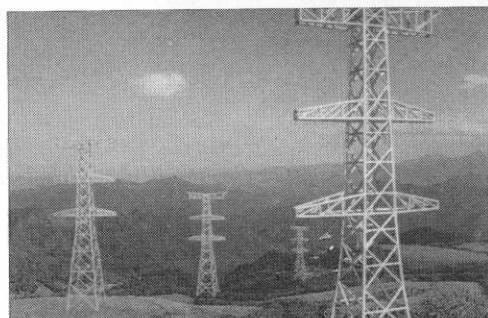


図 III-30 レイトレーシング CG フォトモンタージュによる予測画像。

Fig. III-30. Landscape simulation of CG photo-montage with ray tracing.

レイトレーシングによる RGB $\alpha$ 画像と背景写真画像とを $\alpha$ 合成した予測画像。これがレイトレーシングによる3次元CGを応用したCGフォトモンタージュ手法である。

リタッチとレイトレーシングとを組み合わせたCGフォトモンタージュ手法は現段階では最も効果的である。〈図III-32〉は、背景写真にレイトレーシングによる高架橋道路を $\alpha$ 合成し、さらにその沿道に植栽をリタッチによって合成処理した予測景観画像である。このようにリタッチとレイトレーシングとを組み合わせたCGフォトモンタージュ手法により、従来よりも操作性のよい、写実的な景観予測が可能となった。

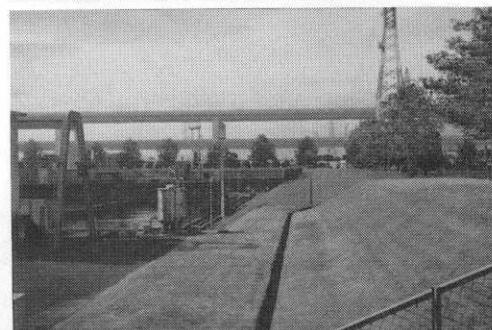


図 III-32 リタッチとレイトレーシングを組み合わせた CG フォトモンタージュ。

Fig. III-32. Lanscape simulation of CG photo-montage, combination of retouch and ray tracing.

画像情報処理システムで現段階で最も実用的な景観設計検討応用例は、レイトレーシングによる構造物予測画像と、デジタル画像処理による植栽予測画像を組み合わせ、リタッチにより調整する予測手法である。

上：地区全体の景観予測を鳥瞰的に説明するための画像。

下：地区内の具体的な地上視点での景観予測画像。

RGB $\alpha$ 画像ファイルによる予測画像による $\alpha$ 合成の効果を示した部分拡大画像である。

c-iii. リタッチとレイトレーシングによるCGフォトモンタージュ

## (2) GIS-CG による景観予測

### ① GIS と植物モデリングによるシステム検討

塩田ら(1976)による電算機を活用した森林景観予測手法は、林小班図と森林簿を用い、メッシュマップによる地形情報・植生情報整備を行い、予測景観の描画には、3次元CGにより地形の稜線探索を行い線画表示し、樹木については樹木シンボルをその3次元的な位置により投影変化して描画する手法である。

つまり森林情報を整備し、これをベースにして樹木シンボルを配置する方法である。近年ではアプリケーションとしてのGISを活用することで森林情報をデータベースとして管理できる。さらに当時の植生シンボルは、針葉樹と広葉樹の区分と、遠景・中景・近景の区分を表現する程度で、ワイヤーフレーム表現としては実データに基づいた写実的な手法であるが、写真と同程度の写実性つまりフォトリアリストイックな表現は不可能であった。これを解決するには植物の精緻なモデリングが不可欠である。これも後述する植物モデリングシステムの応用によって解決されつつある。

### ② 植物形状モデリングによる森林景観予測の試み

#### a. 実的な植物モデリング

写真と同程度の写実的な植物のモデリングは、CGの開発において様々な手法がある。このうち、特定の植物種毎に大量の計測データから成長モデルを作成し、成長モデルから特定の樹齢の植物形態モデリングデータを作成する de Reffye *et al.* (1988) [44] のモデルから発展した「AMAP (Atelier de Modelisation pour l' Architecture des Plants)」がある。本研究ではこの手法を応用して植物形状を生成して景観予測に応用了た。

#### b. 処理例

AMAPを利用して森林景観を3次元CGで写実的に表現する方法を試みた(本條毅ら(1992))。〈図III-33〉は、前述のAMAPを用いて、架空の地形データを作成し、地形上に密度を変化させた樹木を配置した架空の森林景観の試作画像である。これより、単木の写実的な形状データが得られるならば、より写実的な森林景観画像の作成が可能であると判断できる。課題は、現実の樹木の樹種と樹木位置のデータについて、写実的な植物形状

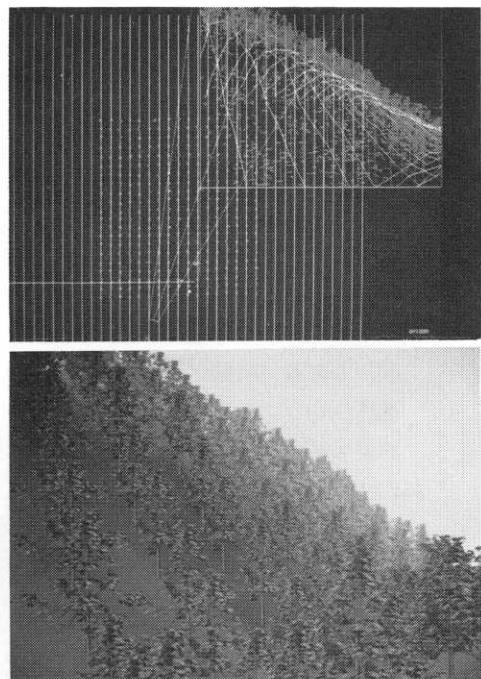


図 III-33 AMAP による自然景観予測試作画像。

Fig. III-33. Natural landscape simulation image with AMAP (Plant modeling technique.)

上：架空の地形データに格子状に樹木を配置し、ワイヤーフレームによる3次元ベース表示した画像。地形と植生による自然景観の様子が把握できる。

下：樹木の3次元形状を生成してレンダリングした画像。ワイヤーフレーム表示比べてリアルな画像となる。

データと同精度を確保することである。

### ③ 地理情報システムによる地形・植生情報整備

森林情報を、森林基本図・林小班図・森林簿を用い、メッシュを情報の単位としてデータ化し利用する方法では、メッシュにより空間情報と非空間情報を比較的コンパクトにデータ化できることが長所で、短所は原図の地図情報よりも低い精度のまま固定されていて、メッシュユニットの単位の変更が難しい点である。

近年そのシステム開発・実用化が進められている地理情報システムでは、基図の情報を図上のそのままの精度でベクトルデータにより入力・管理し、必要に応じて必要な解析精度のラスターデータ（つまりメッシュデータ）に変換して処理を進める方法が応用できる。そこで地理情報システムを利用して森林景観情報のデータ作成・管理を行うことにした。

#### a. 地理情報システムによる森林情報の作成

森林の植生情報に林相判読済みオルソフォト〈図 III-34〉を用いてデータ化した。投影法は国土調査法施行令(1951)で定められた公共座標系である19座標系の第IX座標系である。林相界を第IX座標系を用いて、地理情報システムのデジタイジング機能によりデータ化し、個々の林相区分に林相識別番号を付与し、林相識別番号と林相区分の図形とをリンクして林相ポリゴンと林相データベースファイルを生成した。〈図 III-35〉

#### b. 地形データの作成

地形データは、1/25,000地形図の等高線のベクトルデータから作成したDEMデータを利用した。メッシュユニットは、東西1秒（約25.07m）、南北0.8秒（約24.65m）の経緯度座標系であるため、直角直交公共座標系である第IX座標系での25m正方メッシュユニットに変換し、さらに当該地理情報システムのデータ形式に変換した。

### ④ 森林景観の3次元モデリング・レンダリングプロセス

森林景観の3次元モデリング・レンダリングプロセスを〈図 III-36〉に示す。オルソフォトにより判読された林相情報は樹種、樹高、密度である。林相毎の樹種・樹高・密度などのデータはGISでは「非空間情報」として扱う。一方、地形(DEM)や林相形状は「空間情報」で、GISではこの二つの情報をリンク(GISリンク)させてデータベースを構築し、解析に用いる。GISを用いる最大のメリットは、位置情報の統一性にあると考えた。座標系の概念がはっきりしていて、必要に応じて必要な座標系での位置情報を変換できる。分野やスケールによって使用する地図(投影法と座標系)が異なる場合が多いが、様々な地図上にプロットされた各種の森林情報を同一座標系で整理することはGISでは比較的容易なことである。さて、非空間情報である森林簿の樹種・樹高(または樹齢)をパラメータに用い、植物モデリング(AMAP)によりリアルな3次元の樹木形状データが生成できる。

単木の形状が生成されると、さらに樹冠密度、すなわち樹木の植栽間隔の情報から、林相単位の樹木群3次元データが生成できる。混交林では複数の樹種・樹高・密度と混交率から同様に混交林の林相を形成する樹木群3次元データが作成される。そして空間情報である地形情報、林相形状情報から、これらの林相が位置する地形形状と、地形表面上の区画が特定される。非空間情報と植物形状モデルから生成される林相ごとの3次元樹木群形状データと、空間情報による地表形状と林相区画から、地形と植生とをモデリングした森林景観の形状データが作成される。これをAMAPでレンダリングすれば、リアルな森林景観画像が完成する。



図 III-34 林相判続用オルソフォト（正射投影空中写真）。

Fig. III-34. Aerial photograph of the forest with contour lines and boundary lines of forest vegetation (orthographic projection).

縮尺 1/5,000 で作成されたオルソフォトから林相界や樹種・樹高・密度等の情報を読み取ることができる。林相界は、オルソフォトの図上精度のまま公共座標系（ここでは第 IX 座標系）でデータ化できる。

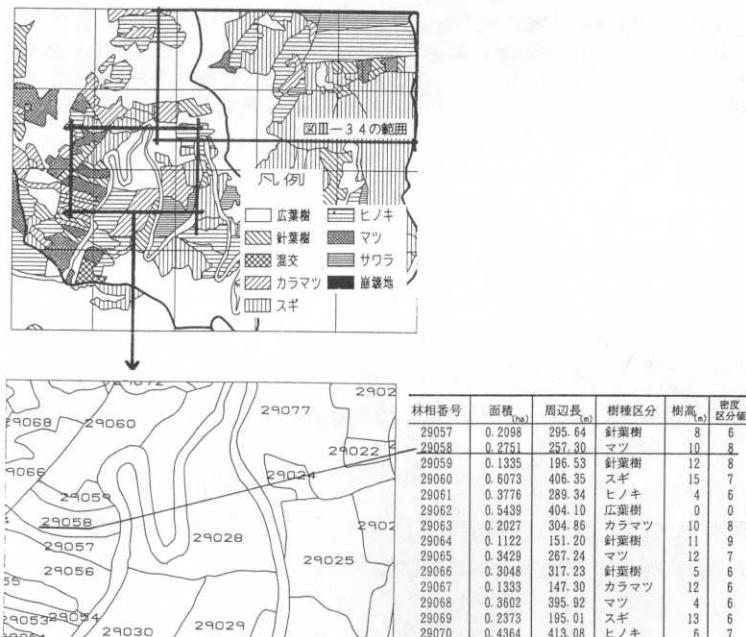


図 III-35 地理情報システムを用いて入力された森林景観情報のプロッタ出力・帳票出力。

Fig. III-35. Examples of the GIS output.

東京大学秩父演習林（総面積 5,832 ha）全域を 1/5,000 オルソフォトで判続された林相界および林相情報を入力した。左図：樹種別によるプロッター出力。左下図：林相ポリゴンに林相番号をリンクさせたプロッタ出力。下表：林相ポリゴンとリンクされた林相番号をフィールドを持つデータベースレコードを作成し、林相情報を入力した帳票データ地理情報システムを利用することで、地理的な座標位置が正確にデータに保持される。文字通り CG でのワールド座標系を、地球規模でのワールド座標（経緯度と高度）とすることができる。

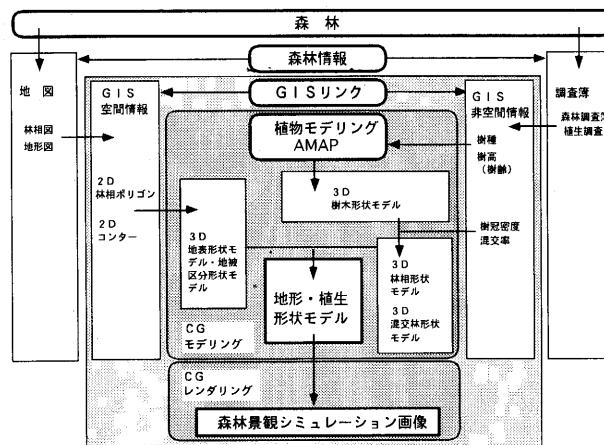


図 III-36 森林景観の3次元モデル・レンダリングプロセス。

Fig. III-36. The process of forest landscape simulation by using GIS and plant modeling technique.

森林をフィールドにして継続的に得られる森林情報には「林相図、地形図などの各種主題図」と「森林調査簿、植生組成表などの調査簿」がある。両者を地理情報システムに入力してリンクすると、樹木の集合体である林相の地理的位置と広がりと地形が情報化される。植物モデリングを用いて林相毎の樹種、樹高（林令）情報から単木の樹木をモデリングし、林相の地形表面区分に従って配置し、レンダリングすると、リアルな森林景観シミュレーションとなる。

##### ⑤ 3次元フルカラーCGによる森林景観画像

GISで整備した森林情報から、〈図 III-37（カラー、p. 48）〉に示す実際の森林景観を、前節のステップに従って景観画像を作成した〈図 III-38（カラー、p. 48）〉。これより、自然景観の全てを3次元モデルで扱って、写実的な景観予測画像を作成する手法のフィジビリティは確認できた。しかしこでの方法は、森林を含む自然景観地での膨大なGISデータが整備されることが前提である。この点を考慮すれば、今後実用化を進めることは十分に可能である。

## 第 IV 章 景観計画への応用

本章では、第III章で開発した「数値情報処理システム」と「画像情報処理システム」を具体的なケーススタディに応用し、景観計画への適応性を実証した。

### 1. 数値情報処理システムの応用

#### 1-1. ケーススタディ対象地と数値情報の整備

##### 1-1-1. 対象地

東京都西部に位置する多摩丘陵をケーススタディ地とした。1966年から多摩ニュータウンの建設が始まり、計画人口は3000haの面積で31万人である。1989年現在約14万人が居住し、なお開発が進行している。土地利用改変が急速に進んでいる地域であるので、丘陵地の自然と調和した住宅地開発を目標とした景観計画が重要である。調査範囲は多摩センター駅を中心とする10km×9kmで〈図 IX-1〉、情報は全て公共座標系（第IV座標系）を用い、情報は50mメッシュを基本単位とした。

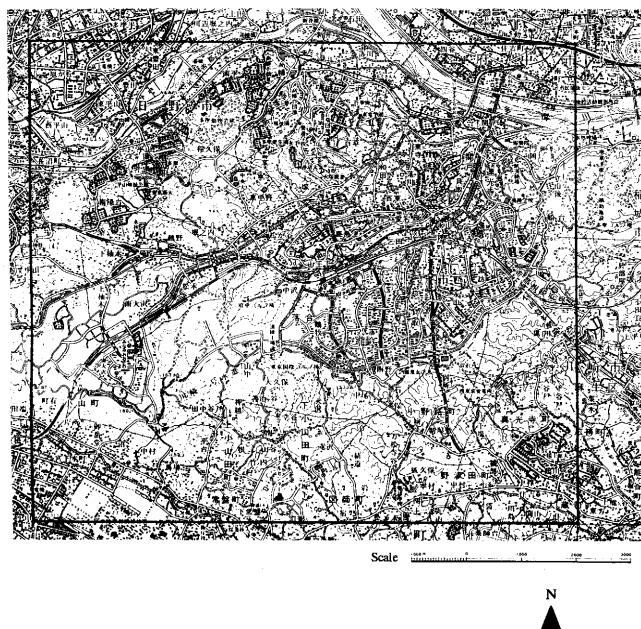


図 IV-1 ケーススタディ対象地。

Fig. IV-1. Location of case study area.

多摩センター駅をほぼ中心にして東西 10 km 南北 9 km の範囲について数値情報を作成した。

表 IV-1 整備メッシュデータ一覧

Table IV-1. Table of mesh-data

データ名	タイトル	備考
Data 1	空中写真画像	1984 年空中写真より作成
Data 2	1970 年頃地形標高	1970+1973 地形図
Data 3	1970 年頃地形類型	上記地形図より作成
Data 4	1985 年頃都地形標高	1985 年地形図
Data 5	1985 年頃地形類型	上記地形図より作成
Data 6	1984 年植生区分	1984 年現存植生図より作成
Data 7	1985 年頃視認性	Data 4, 視点群データより作成

### 1-1-2. 数値情報の整備

調査対象地域内でケーススタディに使用した数値情報の一覧を〈表 IV-1〉に示した。いずれも、メッシュ単位でコンピュータに入力したデジタルデータである。以下で用いるデータは西暦年が多少づれた複数の情報源から作成しているため、正確に西暦年を特定することはできないが、開発前後の情報を比較するという意味で便宜的に開発前「1970 年」、開発後の現況「1985 年」と記述する。それぞれのデータの作成処理内容についてその概要を以下に記す。

#### (1) 1985 年地形データ

昭和 60,61 年東京都縮尺 1/2,500 地形図(東京都都市計画局)に 50 m メッシュをかけて、そ

の交点の標高値を整数で読み取って入力した。これはほぼ現在の、つまり開発後の多摩ニュータウンの地形データである。

## (2) 1970年地形データ

(1)の地形図から地形類型を読み取り、改変地と判断したメッシュについて先ず1966（昭和41）年住宅公団縮尺1/2,500地形図から標高を読み取り、当該地図の範囲外の部分について1973（昭和48年）東京都縮尺1/2,500地形図（東京都都市計画局）から標高を読み取った。

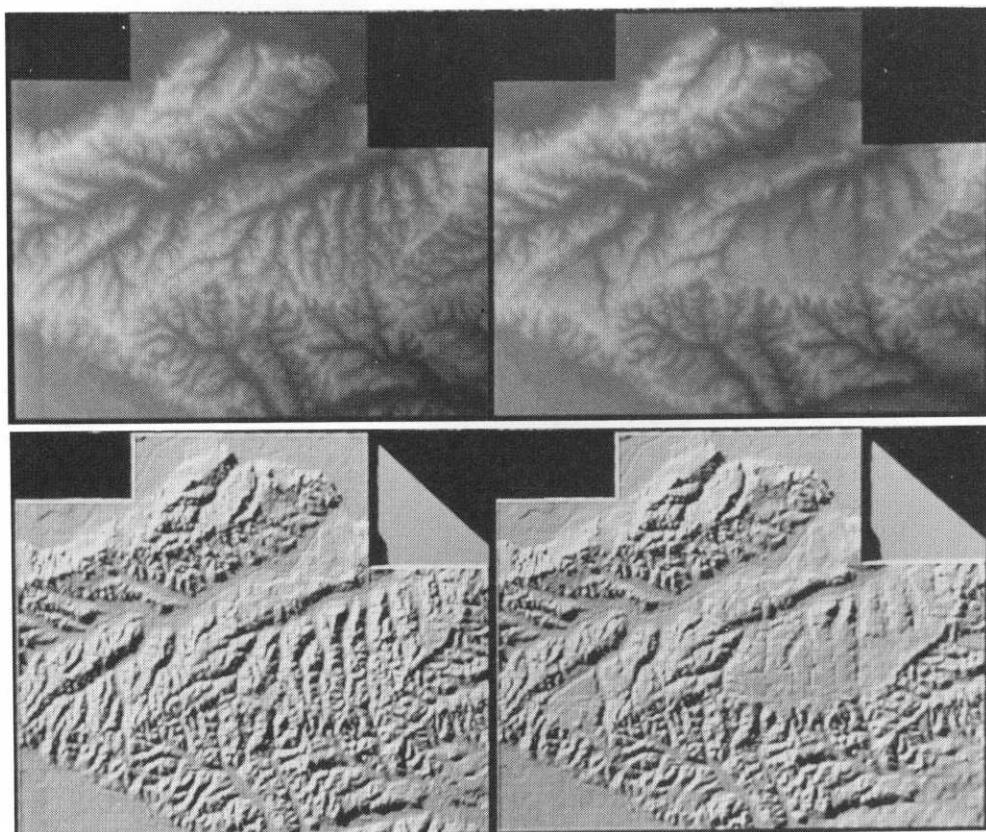
これとa.での未改変地標高をマージして1970年地形データとした。

このデータは、完全ではないが、多摩ニュータウンの開発前の地形データとなる。

### 地形データの可視化〈図IV-2〉

ステップ1: 1970年の地形データからシャドウマップを作成

ステップ2: 1985年の地形データからシャドウマップを作成



図IV-2 開発前後DEMによるシャドウマップ。

Fig. IV-2. The pair images of DEM and shadow map of before and after the development.

シャドウマップ処理により、地形データを地形模型のように物体として表示すると、造成による地形改変の様子がリアルに伝わってくる。濃淡の地形データ表示だけで十分に地貌を把握できる専門家でも、シャドウマップ表示の方が直感的な地形把握ができる。地形データにまったく馴染みの無い一般の人や、地形学的が専門でない他分野の専門家が地形状況を把握するにはシャドウマップ処理による表現が有効である。

### (3) 現植生情報

東京都現存植生図（1985年）の125mメッシュデータを50mメッシュに変換した。

### (4) 植生データ

(3)の76区分の植生データを、〈表IV-2〉に示した植生コード変換テーブル（武内和彦：1989）を用いて17区分植生コードに変換した。

メッシュデータのフルカラー表示〈図III-3参照〉

ステップ1: デジタルデータの整備

ステップ2: パレットファイルの作成

ステップ3: メッシュデータをカラー画像ファイルに変換・表示

ステップ4: 注目したい項目のメッシュだけを着色する。

### (5) 1985年空中写真フルカラー画像

1984年に撮影された対象地域のカラー空中写真44枚を用い可視化のベース画像を作成した。

立体感を付与した空中写真フルカラー画像の作成プロセス〈図III-3〉

ステップ1: 空中写真をスキャナーでデジタル画像化し、メッシュ座標系に合わせてアフィン変換する。

ステップ2: アフィン変換した画像を全て合成する。

ステップ3: DEMを用いてシャドウマップを作成する。

ステップ4: 空中写真画像とシャドウマップを合成する。

### (6) 開発後地形類型データ

開発後の地形類型データを地形図から読み取って作成した。地形類型は後述する樹木活力度推定の基礎情報としても利用している。

### (7) 開発前地形類型

開発前についても(6)と同様にして地形類型データを作成した。

#### 1-1-3. 整備情報の確認

(4)で作成した現存植生情報から、樹林地だけを抽出しパレットファイルで着色を指示してカラーメッシュ画像を生成した。さらに(5)で作成した立体感を付与したフルカラーの空中写真画像を背景画像にして、デジタルオーバーレイによってこの樹林地カラーメッシュマップ画像を $\alpha$ 合成した。〈図IV-4（カラー、p.49）〉

このようにフルカラーデジタルオーバーレイによるメッシュマップでは、基礎情報画像をパレットファイルを調整しながら作成し、背景の空中写真画像と合成すると、基礎情報の分布と対象地との対応が一目瞭然に把握できる。

## 1-2. 景観計画への適用

### 1-2-1. 開発前後の景観変化を明らかにした景観計画検討

開発前後の数値情報を比較することで、実際の開発行為に伴なう景観変化を明らかにすることができる。〈図IV-2〉で示した1970年と1985年のDEMシャドウマップだけを丹念に比較してもこうした変化を知ることができるが、さらに数値情報処理システムの機能を適用して、より正確に、分かりやすく解析し表現する方法を開発した。

#### (1) 1970年空中写真画像の作成〈図IV-5〉

前節(5)で作成した空中写真画像は1984年撮影のものである。開発前後の景観変化を特に、3

表 IV-2 植生区分変換表（武内：1989）  
Table IV-2. Conversion table of vegetation index (Takeuchi: 1989)

植生区分（17区分）/コード番号・植生分類（76区分）	
1. 暖温帯自然林	
1 スダジイ-ヤブコウジ群集	34 茶畠
2 タブーイノデ群集	35 落葉果樹林
3 シラカシ群集 ケヤキ亞群集	36 苗圃
4 シラカシ群集 典型亞群集	8. 水田
5 シラカシ群集 モミ亞群集	41 耕作水田雜草群落
6 シラカシ・ケヤキ屋敷林（半自然植生）	9. 冷温帯自然林
7 モミーシキミ群集	43 ブナ-イヌブナ群落
8 イロハモミジ-ケヤキ群集	44 ブナツクバネウツギ群集 典型亞群集
2. 暖温帯自然草地・湿生林	45 ブナツクバネウツギ群集 典型亞群集 ウラジロモミファシース
9 ハンノキ-オニスゲ群集	46 ブナツクバネウツギ群集 タイミング サモドキ亞群集
10 ヤナギ群集	47 ツガ-コансゲ群集 典型亞群集
11 ヨシースゲ群集	48 ツガ-コансゲ群集 ヒノキ亞群集
12 冠水河辺群集（中流部）	49 ハリモミ群落
13 冠水河辺群集（上流部）	50 シオジ-ミヤマクマワラビ群集
14 ウキヤガラ-マコモ群集	51 フサザクラ-タマアジサイ群集
15 ウラギク群落	72 コメツガ-ウラジロモミ群落
16 開放水域植物群落	73 コメツガ-ウラジロモミ群落 ヒノキ ファシース
3. 暖温帯二次林	10. 冷温帯二次林
80 ムクノキ-エノキ群集	52 ミズナラ-クリ群集
17 クヌギ-コナラ群集	11. 冷温帯人工林
18 イヌシテ群落	53 カラマツ植林
19 コナラ-クリ群落	12. 冷温帯二次草地
20 アカマツ-コナラ群落	54 ススキ-ヤマトラノオ群集落 ヒノキ ファシース
70 コナラ-クヌギ群落 アカマツファシ-ス	55 伐採跡地植物群落
4. 暖温帯二次林	74 スズタケ群落
21 落葉広葉樹林	75 ススキ-マルバハギ群落
22 クロマツ植林	76 ダケカンバ-ネコシデ群落
23 アカマツ植林	58 ミヤコザサ-シモツケ群集
24 スギ・ヒノキ植林	13. 亜寒帯自然林
25 モウソウチク・マダケ林	56 シラビソ-オオシラビソ群落 コメツガ 亞群集
26 ヤダケ・メダケ林	57 シラビソ-オオシラビソ群落 コメツガ 亞群集 ヒノキファシース
71 外国産針葉樹植林	14. 緑の多い住宅地等
5. 暖温帯人工草地	59 樹林をもった公園、基地など
27 アズサネザサ-スキ群集	60 緑の多い住宅地
28 ススキ-チガヤ群落	15. 緑の少ない市宅地等
81 埋立地ヨシ群落	61 緑の少ない市街地・住宅地
6. 人工草地・雜草地	62 工場地
29 人工シバ草地	16. 造成地・裸地等
30 牧草地・緑化法面	63 造成地
31 マント群落	64 裸地（崩壊地、探石地など）
33 耕作放棄畑雜草群落	65 広いコンクリート地
37 セイタカアワダチソウ群落	77 探石地
38 路傍雜草群落	17. 開放水域
39 踏跡群落	66 開放水域
40 埋立地雜草群落	
42 耕作放棄水田雜草群落	
7. 畑地	
32 耕作畑雜草群落	

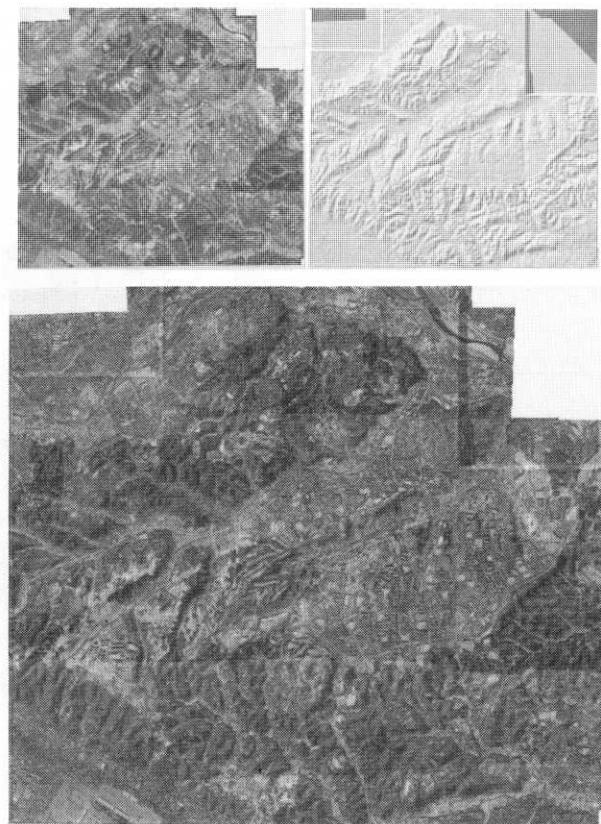


図 IV-3 背景用空中写真画像作成。

Fig. IV-3. Making of aerial photograph in relief for background image.

上左：対象地域の空中写真画像をアフィン変換によって補正しながら接合する。

上右：DEMからシャドウマップを生成し、合成用に補正したシャドウマップ画像。

下：空中写真画像と補正済みシャドウマップを合成して、立体感が付与された空中写真画像が生成できる。空中写真は広域域の景観解析で必ず利用するデータソースである。これに立体感を与えた空中写真画像は現実の地形を眺めているようと同じように、多角的な情報を直感的に与えてくれる。従ってこの画像をベースにして、各種数値情報のカラーメッシュマップを合成表示すれば、数値情報の分布特性と対象地との即地的なチェックが容易になる。また専門家の解析作業に有効なばかりか一般の人々に説明する際にも有効な手法である。

次元表示によって明らかにするために 1970 年の空中写真画像の復元を行った。

#### 復元のステップ

ステップ 1: 1970 年と 1985 年の地形  
類型を比較し、1985 年に  
「住宅地」であるメッシュ  
を検索し、同一メッシュ  
の 1970 年が「住宅地」以

表 IV-3 地形類型区分

Table IV-3. Table of topographic classification

地形類型	
1	丘頂部（尾根）
2	斜面上部
3	斜面下部
4	谷底
5	段丘面

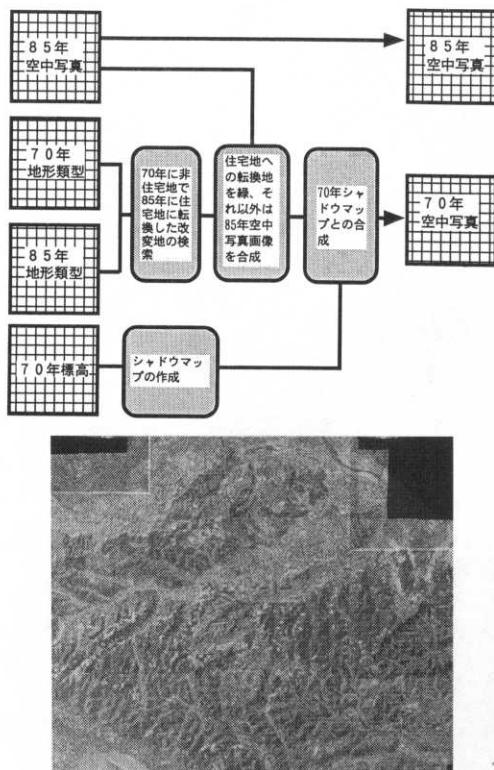


図 IV-5 1970 年空中写真画像の作成プロセスと画像。

Fig. IV-5. Process and image of making 1970's aerial photograph.

立体感を付与した 1985 年空中写真画像（図 IV-3）と 1970, 1985 年地形類型データ, 1970 年標高データから, 開発前の空中写真画像を調整した。画像中の緑色の部分が開発前後で非住宅地から住宅地に転換された部分。

### (3) 開発前後の景観変化把握と景観計画への知見

開発前後の比較解析を行い, 造成と土地利用パターンの違いによる景観変化の違う地区を見つけだし, その状況をシャドウマップ, 立体感を付与した空中写真画像, 3 次元パースによって比較して明らかにすることことができた。

〈図 IV-7〉は, 全面造成された地区である。開発前の丘陵地地形がほとんど残っていない様子が空中写真画像や 3 次元パースによって明らかである。

これに対して〈図 IV-8〉は一部丘陵地形が保全されている地区である。丘陵の尾根先端部分の地形が残存している。空中写真で緑被地であることが分かり, 3 次元パースから尾根地形と一体となっていることが分かる。実際に現地調査では当該地区の景観は良好で, これらの保全部分は公園や斜面緑地となっており, 丘陵地の緑が担保されている。一連の画像から開発前の尾根の先端部分が, 地形と一体的に緑地のまま保全することが, 快適な景観保全に寄与していることを明

外」であるメッシュを求めた。当該メッシュは 1970 年には樹林地などの緑被地で, 1985 年には開発によって住宅地に土地利用転換がなされていることになる。

ステップ 2: 1985 年空中写真画像のうち住宅地に土地利用転換されたメッシュの画像を緑 (RGB 値で 0,255,0) に変換した画像を作成し, 1970 年空中写真画像の代替とした。

ステップ 3: 1970 年 DEM から作成したシャドウマップを補正し, 代替として作成した 1970 年空中写真画像と  $\alpha$  合成し, 立体感を付与した 1970 年空中写真画像とした。

### (2) 3 次元アニメーション表示による変化比較解析

(1) により 1970 年と 1985 年の DEM と空中写真画像が揃うことになる。同一視野系での 3 次元パース画像を一対にして作成し, アニメーションにした。変化比較アニメーションの一部を〈図 IV-6〉に示した。これにより対象地内を均一に真俯瞰から眺めて解析する方法では捉えにくい詳細な部分部分の景観変化を鳥瞰的に見ることができる。

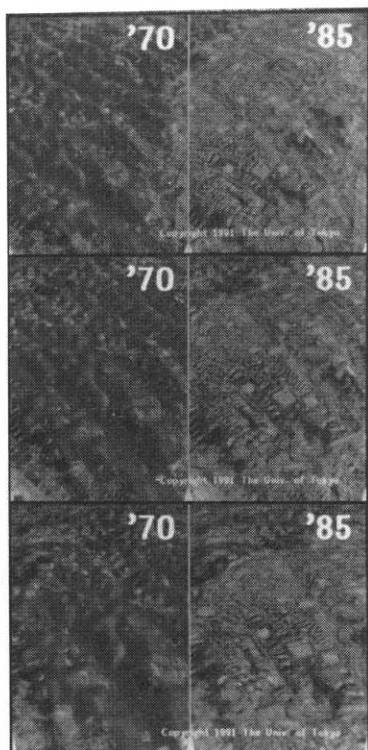


図 IV-6 3次元アニメーション表示による変化比較。

Fig. IV-6. Examination before and after development using 3D animation images.

開発前後の空中写真画像とDEMから、同一視野系での3次元パースを作成して比較することで、対象地域内を地区毎に詳細に比較することができる。

と解析評価したが、対象地域内全域について等質に景観ポテンシャル評価を可視不可視検索によって求めることができる。

#### 景観ポテンシャル評価プロセス

ステップ1: 視点群の抽出

ステップ2: 被視頻度の計算

ステップ3: 累積被視頻度解析による景観ポテンシャル評価クラスの決定

実際に、当該対象地を含むより地域のDEMデータと視点群データ(500 m メッシュごとに1視点、および主要同路上の視点からなる)からの累積被視頻度を求めたデータから景観ポテンシャルの高い3区分を抽出した数値情報を生成した。〈図IV-9(カラー、p. 49)〉にカラーメッシュマップ及び空中写真とのフルカラーデジタルオーバーレイによるメッシュマップを示した。

確にできる。今後の丘陵地開発での景観計画上の知見となるばかりでなく、造成計画など他分野での計画・設計者に対して、景観計画的な観点からのポイントをより具体的に説明する視覚資料としても有効である。

#### 1-2-2. 景観資源把握と既存樹林の計画的評価

多摩ニュータウンの開発は、1990年時点でもまだ計画人口のほぼ半分である。今後も開発が進められる。前節で、過去の開発前後での丘陵尾根の緑被地が景観資源的な資質に富むことが把握された。1985年の数値情報を利用して、残存する樹林地の景観資源評価を行い、将来的に緑地として担保することが効果的かどうかの計画的評価を行った。

##### (1) 既存樹林地の把握

1985年時点で当該対象地に残存する樹林地は、現存植生情報から抽出できる。その分布の様子は空中写真画像と合成した〈図IV-4〉に示したとおりで、この図からも植生情報と空中写真画像との対比による即地的な把握ができる。既存樹林は開発候補地でもあるが、同時に緑地として永遠に担保すべき保全対象地の候補地でもある。

開発にあたってはこれらの既存樹林をどのように取り扱うのか、つまり保全効果の高い樹林を評価区分することが重要になる。

##### (2) 景観ポテンシャル評価

前節での開発前後の景観変化把握では、漠然と尾根先端部分の地形・緑地の保全が効果的である

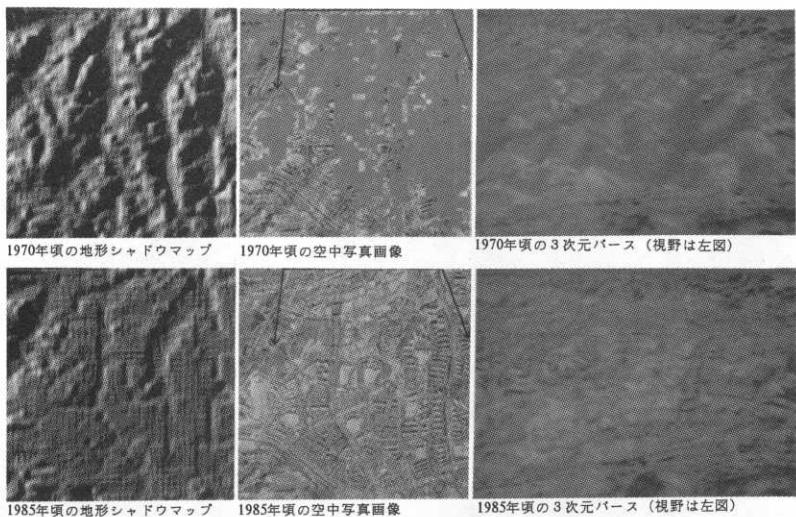


図 IV-7 全面土地造成地区の開発前後比較。

Fig. IV-7. Comparison of images in entire operated area before and after development.

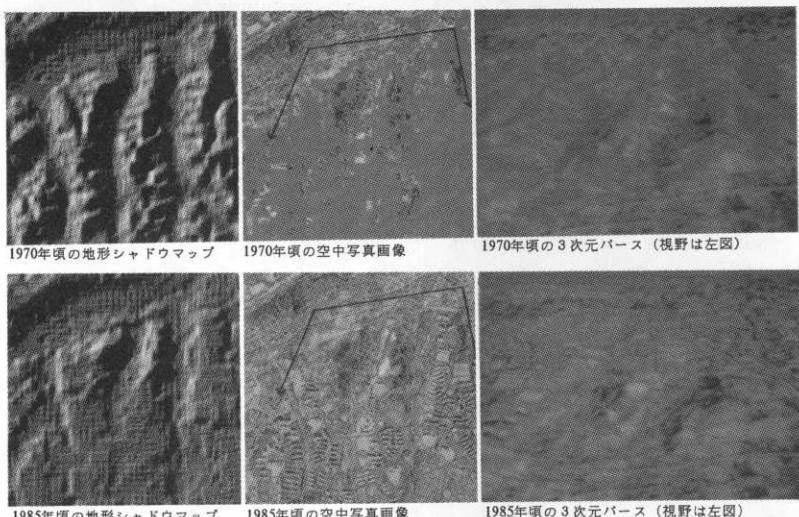


図 IV-8 一部地形保全地区の開発前後比較。

Fig. IV-8. Comparison of images in partly protected area before and after development.

## (3) 既存樹林地の景観ポテンシャル評価

既存樹林地を、景観ポテンシャル評価で区分する。これはメッシュアナリシスのオーバーレイ処理によって上記(1)(2)のデータのクロスから作成される。

〈図 IV-10 (カラー, p. 49)〉は既存樹林地を景観ポテンシャル3区分によって区分したカラー メッシュマップ、および空中写真画像との合成である。これより視認性の高い樹林地、低い樹林地、その中間の3区分の評価ができる。つまり丘陵地のみどりを構成する樹林地の分布について、景観的な評価から区分した既存樹林地の分布を明らかにしたことになる。

#### (4) 景観計画的観点からの評価

開発対象となるであろう既存樹林地を景観ポテンシャルから3区分の評価を行ったが、景観計画の観点からこれをどのように保全緑地に組み込むのかの検討が必要である。

現地調査や〈図IV-10〉のメッシュマップの解析から以下の保全計画案を検討することができた。

**保全計画案1:** 評価の高い樹林地を、保全樹林地とする。図中の赤い部分の樹林地が該当する。

**保全手法:** 開発に際して当該樹林地は極力残す。方法としては、残存緑地率の指定に際して当該緑地の保全緑地としての価値を高く評価し、当該樹林地の保全を行う場合には、その面積に応じて開発用件に必要な残存緑地率を下げるなどの方法がある。

**保全計画案2:** 図中の枠内部分は、周囲の稜線を含む谷部分で既存樹林地が多く分布するまとまった小景観区になっている。当該景観区をそのまま保全緑地とする。

**保全手法:** 尾根先端部分や斜面樹林を公園として保全する。谷低地部には低層で建蔽率の低い開発、特に図書館や美術館など公共的な開発を誘導し、樹林地と、樹林に囲まれた景観を保全する。

**保全計画案2**については、3次元パースのアニメーションによって対象地域内の部分部分を鳥瞰パースによって丹念に可視化・解析することによって具体的に検討することができ、同時に説明用の視覚資料としても有効であった。〈図IV-11（カラー、p. 49）〉はその1部である。真俯瞰からのメッシュマップだけでは把握しにくい小景観区の状態がこれらの視覚資料から容易に把握できるため、よりきめ細かい景観計画の検討や多くのオルタナティブの検討が可能となる。

## 2. 画像情報処理システムの応用

### 2-1. 地区レベルの景観評価への適用

画像情報処理による景観予測画像作成の目的は、景観評価に必要な「写実的」な予測画像を「操作性」の良い予測システムによって多数のオルタナティブについて作成することである。画像情報処理システムでの景観予測手法は、景観評価実験の実験的統制に有効である。そこで本システムで作成した予測画像を利用した計量心理学的評価実験を行い、多摩ニュータウンにおける丘陵地住宅地景観の評価モデル作成を行った。

### 2-2. 景観評価モデル作成のための景観予測評価実験

#### 2-2-1. 丘陵地景観評価特性と景観計画目標

多摩丘陵の景観評価特性については既に、現地調査と現況景観写真およびシミュレーション景観によって以下のような知見を得ている（磯野ほか（1990））。

##### 丘陵住宅地景観評価の傾向

- 「住棟規模」、「見えの緑住棟比」が景観評価指標となる。
- 「住棟規模では」、高層が評価が低い。

そこで、今後の開発における景観計画においてもっとも計画的な配慮を必要とする中層規模の住宅と丘陵地の緑とで構成される景観に着目し、その評価モデルを作成し、景観設計への指針を得ることにした。

既往研究を参考に、緑の形態に関する指標「緑量」「緑質」、住宅の形態に関する指標「屋根形態」「住棟向き」「住棟位置」を選定し、景観予測の際の操作要素とした。

### 2-2-2. 景観シミュレーションによる景観予測

景観評価指標を変化させた予測景観を系統的に作成するために、各指標の操作内容を決定し、マスキング合成を主とする画像情報処理により、評価実験のための画像（評価刺激）を作成した。景観構成要素を系統的に制御して予測画像を作成することで、刺激のコントロールが可能であり、これが評価実験における実験的統制となる。

#### (1) 予測景観の操作内容

景観評価指標として取り上げた5指標について〈表 IV-4〉に示すカテゴリ区分を設定した。

##### ① 緑の形態操作

緑量と緑質の組合せ9通りを、実写写真画像の空や緑地を画像合成して、指標以外の条件が同一になるようにして作成した〈図 IV-12〉。緑量は丘陵の起伏規模もある。

##### ② 住棟形態操作

住棟も同様に実写写真画像から画像合成し、マスキングし、8通りの画像を作成した。例を〈図 IV-13〉に示した。

##### ③ マスキング合成による景観予測

①、②での全ての組合せは72通りで、①を背景として②をマスキング合成し、リタッチ調整で72シーンの予測景観を評価実験用刺激として作成した。作成した景観シミュレーションの一部

表 IV-4 予測景観の操作内容  
Table IV-4. The controled landscape factor for landscape simulation

操作要素		カテゴリ		
緑の形態	緑量 緑質	多い 既存林	中程度 中木植栽	少ない 法面草地
住棟の形態	住棟位置 住棟向き 屋根形態	頂部 正面 傾斜屋根		下部 斜め 陸屋根

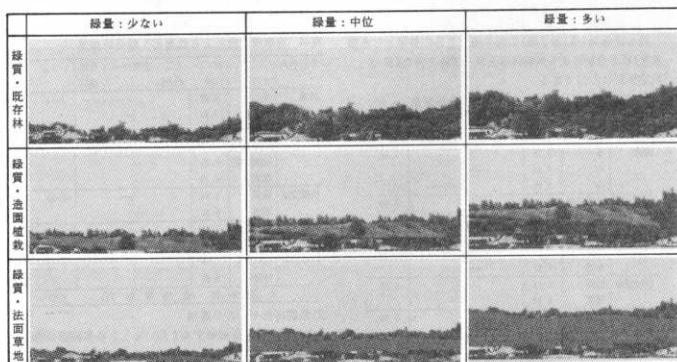


図 IV-12 緑量・緑質操作による背景用予測画像.  
Fig. IV-12. Background images controled by green quantity and quality.

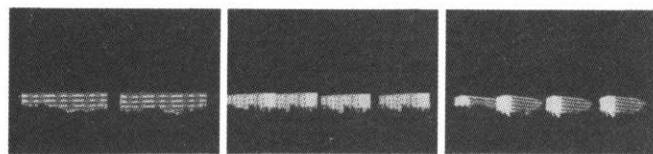


図 IV-13 住棟形態操作による合成用マスキング画像。

Fig. 13. Masked image for compose controled by housing type.

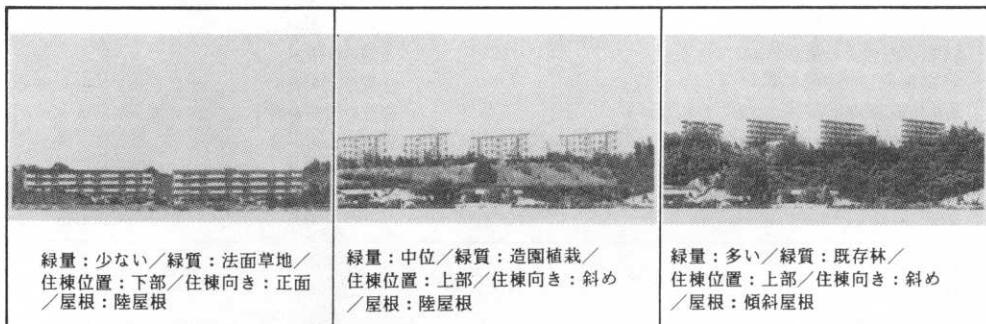


図 IV-14 景観評価実験用の予測画像 72 シーンのうちの一部。

Fig. IV-14. Some examples of 72 landscape simulation for psychometric experiment.

を〈図 IV-14〉に示した。

## (2) 評価実験と解析

72 シーンの評価刺激をランダムに被験者(34名)に提示し、SD法により丘陵住宅地の景観の印象を表現する24の形容詞対(表IV-5中の形容詞対参照)について7段階評定尺度によって評価させた。評価結果の平均値を用いて、主因子法、バリマックス回転による因子分析から次の3つの因子軸を抽出した。因子分析結果の因子負荷行列が(表IV-5)である。

これより、以下の3軸を因子軸として抽出した。

### 因子軸

第1因子軸：丘陵住宅地の景観の総合評価軸。

第2因子軸：緑や空間のイメージを表す自然環境軸。

第3因子軸：目立ち度の軸。

第3因子軸までの累積寄与率は86.7%である。

## 2-3. 景観計画への適用

### 2-3-1. 景観評価モデルの作成

前節によって求めた因子軸と、景観評価指標とから景観評価モデルの作成が可能となる。

各予測景観の因子得点を外的基準とし、景観操作要素である緑量、緑質、住棟位置、住棟の向き、屋根の形を説明変数として数量化1類により分析した。

#### (1) 総合評価(第1因子軸)による評価モデル

総合評価軸(第1因子軸)の因子得点を外的基準とした数量化1類の分析により景観評価予測モデルを得た(図IV-16)。決定係数は0.71である。景観評価予測モデルに対する各アイテムの

表 IV-5 因子負荷行列  
Table IV-5. Matrix of factor loading

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
好き-嫌い	0.972	0.0	0.0
住みたい-住みたくない	0.953	0.0	0.0
美しい-醜い	0.947	0.0	0.0
洗練された-野暮な	0.933	0.0	0.0
楽しい-つまらない	0.928	0.0	0.0
快適な-不適な	0.924	0.0	0.0
調和した-不調和な	0.910	0.0	0.304
親しみやすい-親しみにくい	0.888	0.0	0.0
建物が良い-建物が悪い	0.801	0.0	0.0
雰囲気のある-殺伐とした	0.797	-0.526	0.0
建物位置がよい-建物位置が悪い	0.782	0.0	0.361
統一感のある-ばらばらな	0.772	0.0	0.0
安定した-不安定な	0.717	0.0	0.625
新しい-古い	0.710	0.0	-0.465
乾いた-湿った	-0.263	0.912	0.0
軽い-重い	0.0	0.906	0.0
開放的な-窮屈な	0.251	0.892	0.0
明るい-暗い	0.327	0.864	-0.287
緑量感のある-緑量感のない	0.422	-0.858	0.0
爽やかな-うっとおしい	0.448	0.843	0.0
陽気な-陰気な	0.385	0.775	-0.432
自然な-人工的な	0.508	-0.752	0.322
緑の質が良い-緑の質が悪い	0.615	-0.623	0.0
目立つ-目立たない	0.0	-0.282	0.854
固有値	11.891	6.719	2.196
寄与率(%)	49.5	28.0	9.2
累積寄与率(%)	49.5	77.5	86.7

影響力をレンジから比較すると、「緑量」が最も影響が強く、次に「屋根の形」そして「緑質」「住棟位置」と続き、「住棟の向き」が最も低い。これより「緑量」が最も影響の強い指標であることがわかる。また各アイテムの評価への寄与内容をカテゴリー・スコアでみると、「緑量」は住棟面積と同程度の時に最も評価が高く、緑量が多いときは評価の低い方に寄与する。「屋根の形」は傾斜屋根が高い評価に寄与し、「住棟位置」は住棟が丘陵の低部に位置すると高い評価に寄与する。住棟が丘陵の低部にある景観はスカイラインが緑であるため、高い評価になっている。「緑質」は、既存林が低い評価に寄与し、造園植栽・草地が高い評価に寄与する結果となった。緑質についてはさらに検討が必要である。

## (2) 自然環境（第2因子軸）による評価モデル

自然環境評価軸である第2因子軸の因子得点を外的基準として、数量化1類の分析により自然環境景観評価モデルを得た〈図IV-17〉。決定係数は0.89である。アイテムレンジをみると「緑量」と「緑質」の寄与が高く、「住棟位置」「屋根の形」「住棟の向き」はあまり高くない。これらは、第2因子が緑に強く影響される自然環境に関する因子軸であることから説明できる。またカ

アイテム・ カテゴリー	カテゴリー スコア	良	総合評価	悪	レンジ
緑量	多	-0.15			1.03
	中	-0.44			
	少	0.59			
屋根の形	傾斜屋根	-0.45			0.90
	陸屋根	0.45			
緑質	既存林	0.37			0.64
	造園植栽	-0.10			
	草地	-0.27			
住棟位置	低部	-0.14			0.28
	頂部	0.14			
住棟向き	斜め	0.11			0.23
	正面	-0.11			
決定係数(重相関係数)		0.71			

図 IV-16 総合評価軸による景観評価モデル。

Fig. IV-16. Landscape evaluation model by total evaluation axis.

アイテム・ カテゴリー	カテゴリー スコア	人工	空間イメージ	自然	レンジ
緑量	多	0.87			1.74
	中	0.01			
	少	-0.88			
緑質	既存林	0.59			1.02
	造園植栽	-0.43			
	草地	-0.15			
住棟位置	低部	0.25			0.50
	頂部	-0.25			
住棟向き	斜め	-0.15			0.29
	正面	0.15			
屋根の形	傾斜屋根	-0.06			0.12
	陸屋根	0.06			
決定係数(重相関係数)		0.89			

図 IV-17 自然環境評価軸による景観評価モデル。

Fig. IV-17. Landscape evaluation model by natural environmental evaluation.

テゴリースコアからみると、「緑量」は、多いとき自然性が高く、少ないと人工性が高い。「緑質」では、既存林は自然性が高くなり、造園植栽は人工性が高く、草地はやや人工性が高くなる。第2因子軸は、正、負の両極でそれぞれ景観の固有性が評価されており、緑量の少ない場合や草地、造園植栽の場合に、人工的であるが開放的で爽やかな印象を与えている。

### 2-3-2. 景観評価モデルの適用

作成した景観評価モデルを用いると、各景観評価指標から評価を予測できる。つまり丘陵住宅地景観のうち、景観予測に際して操作した要因についての概略評価が、新たに評価実験を行わずに推定できるので、景観計画の初期段階での概略評価検討に有効である。また、各景観評価指標それぞれの評価への影響が明らかになったため、より快適性を感じることのできる丘陵住宅地を計画するためには、どの景観評価指標をどのように変化させれば良いかの判断の検討に利用できる。

#### (1) 景観評価の予測の方法

実際に現況景観写真を用いて景観評価予測を適用してみる。景観評価予測モデルの、該当するカテゴリースコア（以下CSと記す）の和が評価値となる。総合評価の評価予測モデルを用いると、景観評価予測モデルの評価式は下記のとおりである。

#### 景観評価予測モデルの評価式

$$Le = Gv + Rf + Ge + Bs + Bd$$

Le: 景観の評価値

Gv: 緑量評価を表すCS

Rf: 屋根の形に対する評価を表すCS

Ge: 緑質の状態に対する評価を表すCS

Bs: 住棟の位置に対する評価を表すCS

Bd: 住棟の向きに対する評価を表すCS

【式 IV-1】

住宅地の景観評価は、各景観評価指標に対する条件設定により、この式にカテゴリーアの値を代入することによって求められることになる。景観評価予測モデルの評価値の範囲は、-1.41 か



図 IV-18 現況景観写真-1。

Fig. IV-18. Landscape photo-1 for evaluation.

景観評価モデル中で、ほぼ中位の評価値となる住宅地景観。屋根の形が傾斜屋根で、住棟の位置が丘陵の低部であればより良い評価になることが分かる。



図 IV-19 現況景観写真-2。

Fig. IV-19. Landscape photo-2 for evaluation.

景観評価モデル中で、比較的良好な評価値である。住棟位置が丘陵地低部であるならにより良い評価となることが分かる。

ら 1.66 の間をとる。

## (2) 景観計画への適用

〈図 IV-18〉は、斜面の緑量が住棟面積と同程度、屋根の形は陸屋根、緑質は造園植栽、住棟位置は丘陵頂部、住棟向きは斜めである。この景観評価値を求めるため各景観評価指標のカテゴリースコアを加算する。

$$Le = -0.44 + 0.45 + (-0.10) + 0.14 + 0.11 = 0.16$$

となる。景観評価モデル中で、ほぼ中位の評価値である。この場合さらに評価の良い快適な住宅地であるためには、屋根の形が傾斜屋根で、住棟の位置が丘陵の低部であれば評価が高いことが分かる。

〈図 IV-19〉は、斜面の緑量が住棟面積よりも多く、住棟は傾斜屋根で丘陵上部、住棟向きは正面である。この景観を評価すると、

$$Le = -0.15 + (-0.45) + (-0.10) + 0.14 + (-0.11) = -0.67$$

となる。景観評価モデル中で、比較的良好な評価値である。住棟位置が丘陵地低部であるならより良い評価となったことが分かる。

## 第 V 章 計画・設計統合化ツールとしての応用

### 1. 計画・設計の統合化

第 II 章で論じた景観情報処理について繰り返すが、景観計画が個々の解析結果を統合するプロセスであり、その情報化の目的は「情報の共有」「解析・予測・評価手法とその結果の明示と相互理解」である。実際に第 III 章、第 IV 章において地域レベルの地域景観計画に対応する数値情報処理システムと地区景観設計に対応する画像情報処理システムからなる景観情報処理システムについて開発し、個々のシステムの応用について論じた。開発・応用を通じてコンピュータによる情報化が単に単純な繰り返し処理を代替し、計画者がその分計画判断に注意力を向けることができるだけの応用ではないという考え方を持つに至った。

「情報の共有」は複数分野や計画者・設計者など複数の立場での共有が理想であり、「解析・予測・評価手法とその結果の明示と相互理解」も同様である。そして景観情報処理システムがこれを支援するが、その機能を発揮している要素の集合体としての「システム」はコンピュータシステム単体ではなく、これを応用する複数分野の研究者や計画・設計者などを含むと考えるべきであろう。

本章では、今後ますます重要性が増すと考えている景観情報処理の複数分野での情報共有と解析・評価の相互理解による理想的な統合化について、その端緒としてコンピュータシステムである数値情報処理システムと画像情報処理システムからなる景観情報処理システムを、計画・設計統合化支援ツールと考え、事例を含めてその応用可能性について論じた。

## 2. 景観評価と生態評価のクロス評価による統合化

### 2-1. 評価と統合化

景観的に美しく、同時に生態的にも健全な環境の創造は、景観計画の目標である。景観情報処理システムは、各専門分野の評価を可視化し、比較解析・評価を複数の分野の専門家によって検討して学際的な評価に統合するためのツールでもある。

ここでは、ケーススタディ対象地の生態学的な評価手法を取り入れた解析から生態ポテンシャル評価数値情報を作成し、同時に景観ポテンシャル評価と比較検討して、両者のバランスからの景観計画について検討を試みた。生態学的な評価は奥水肇（明治大学教授：緑地工学）、武内和彦（東京大学助教授：緑地学）らの研究成果によるもので、本研究での解析プロセスを進めるにあたって適宜助言を得た。

### 2-2. 開発前後景観ポテンシャル評価

累積被視頻度解析による視認性評価区分を景観ポтенシャル評価とする。この景観ポтенシャル把握のために、地域内に一様に分布させた多数の視点からの視認性を計算し、累積被視頻度を求め、これをカテゴリ区分し、目立ちやすいところを景観ポтенシャルの高い地区とした。

#### 景観ポтенシャル評価 〈図V-1〉

ステップ1: 視点群の抽出

ステップ2: 被視頻度の計算

ステップ3: 累積被視頻度解析による景観ポтенシャル評価クラスの決定

#### (1) 視点群の抽出

調査対象地域内から一様に分布した視点を抽出。250 m メッシュユニットにつき 1 視点、合計で 1185 視点を抽出した。

#### (2) 被視頻度の計算

抽出した視点群の各視点からの、全メッシュの可視・不可視検索を行い、各メッシュの累積被視頻度を求めた。被視頻度の計算は、開発前 DEM と開発後 DEM について行った。

#### (3) 開発前後景観ポтенシャル評価

被視頻度分布より、開発前後景観ポтенシャル評価 8 区分を求めた。〈図 V-2 (カラー, p. 50)〉

### 2-3. 開発前後生態ポтенシャル評価

対象地の樹木活力度を推定し、活力度を区分して生態ポтенシャルとした。以下の樹木活力度の推定にあたっては奥水ら (1987) の研究、およびその後の研究成果を用いた。

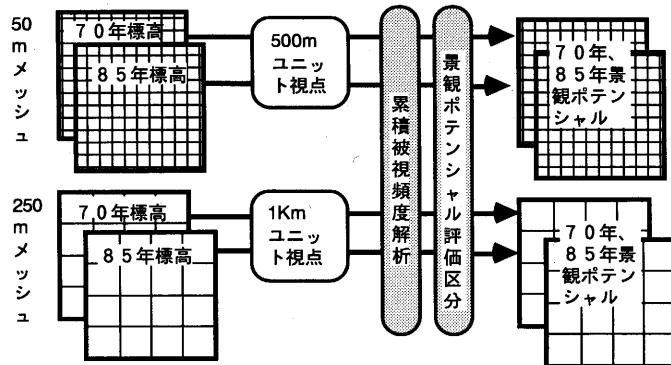


図 V-1 開発前後景観ポテンシャル評価プロセス。

Fig. V-1. Landscape potential evaeation process before and after development.

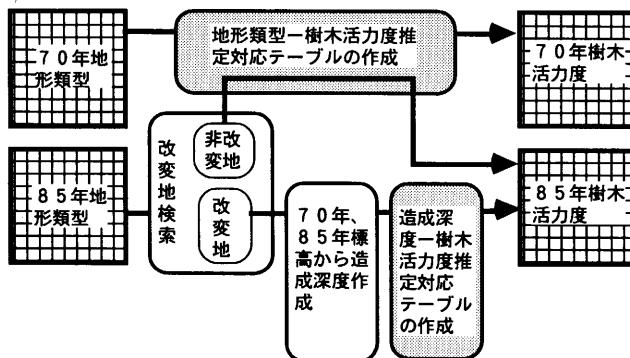


図 V-3 開発前後生態ポテンシャル評価プロセス。

Fig. V-3. Ecological potential evaluation process before and after development.

### 生態ポテンシャル評価（図 V-3）

ステップ1: 地形類型の作成

ステップ2: 地形類型から開発前樹木活力度を推定。

ステップ3: 改変地の造成深度を開発前後地形から算出し、造成深度から樹木活力度を推定。

ステップ4: 樹木活力度から生態ポテンシャル評価クラスの決定。

#### (1) 開発前樹木活力度の推定

1970年地形類型データを作成し、（表V-1）の地形類型別活力度変換テーブルより活力度を求めた。開発前においても宅地である場合には軽造成地と考えて活力度2.0とした。

#### (2) 開発後樹木活力度の推定

1985年地形類型データを作成し、住宅地以外は（表V-1）を適用した。住宅地については開発前後の地形データの差から造成深度を求

表 V-1 開発前樹木活力度推定値  
Table V-1. Estimated tree-vitality before development

地形類型	樹木活力度
丘頂部（尾根）	1.94
斜面（斜面）	1.70
谷底（谷底）	2.30
段丘面（台地状）	2.44
住宅地	2.00（軽造成地を想定）

表 V-2 改変地での造成深度別樹木活力度推定値

Table V-2. Estimated tree-vitality according to operating depth in developed area

深度 (m)	活力度	深度 (m)	活力度	深度 (m)	活力度	深度 (m)	活力度
-21	2.62	-21	2.05	-3	2.70	6	2.45
-20	2.72	-11	2.73	-2	2.50	7	2.57
-19	--	-10	2.53	-1	2.52	8	2.47
-17	2.73	-9	2.51	0	2.00	9	2.35
-16	2.68	-8	2.56	1	2.10	10	2.03
-15	2.64	-6	2.40	2	2.45	11	2.77
-14	2.47	-5	2.50	3	2.59	12	2.62
-13	2.64	-4	2.51	4	2.48	13	3.01

- : 切土 + : 盛土

め、造成深度に応じて〈表 V-2〉の造成深度別活力度変換テーブルより活力度を求めた。

### (3) 開発前後生態ポテンシャル評価

樹木活力度をもとに開発前後の生態ポテンシャル評価 5 区分を求めた。〈図 V-4 (カラー, p. 50)〉

#### 2-4. 景観・生態ポテンシャルのクロス解析による計画的評価

景観ポテンシャル評価、生態ポテンシャル評価ともさらに 2 区分し、景観・生態ポテンシャルクロスのメッシュマップを作成した。空中写真画像と合成して表示したものが〈図 V-5 (カラー, p. 50)〉である。4 区分の分布、空中写真画像とのデジタルオーバーレイ画像を参考に、現地調査を供にした専門家を交えて検討した結果、住宅地開発の観点からの評価を〈表 V-3〉のように導くことができた。

### 3. 計画・設計統合ツールとしての景観情報処理システムの今後

#### 3-1. 数値情報処理と画像情報処理の統合的応用

第 V 章での数値情報処理システム・画像情報処理システムの応用事例でのケーススタディ地

表 V-3 景観・生態クロス評価による計画検討

Table V-3. Examination of landscape planning by landscape and ecology cross evaluation

生態		高い ← 生態評価 → 低い	
景観		良好な生態質の維持、創造を優先させる	生態質を大きく変更する施設
高い 景観評価 ↓ 低い	目立たせるべき景観資源を優先させる。	視認性が高く活力度も高い所は保全し、緑地/公園や、これらと調和したシンボリックな公共施設などを誘致（緑地率の高い開発でしかも目立たない施設/目立たせる施設）	視認性が高いが、活力度が低い所は、計画的な配慮をする。目立つことを意識したシンボリックな植栽や施設計画
	目立たせない景観資源	視認性が低いが活力度の高い所はアメニティソースとして活用する。高層/中層住宅など、保存緑地率の高い開発適地	視認性、活力度とも低い所は、建築的な利用を行う。生態質を大きく改変する施設/目立たせたくない施設（廃棄物/ゴミ処理場など）

は多摩ニュータウンという同一対象地である。このなかで数値情報処理による地域景観解析では、既存樹林地を景観資源として、視認性という景観解析評価から分類し、その地域的分布特性から二つの保全計画案を導いている。一方、画像情報処理では丘陵地の住宅地開発についての評価アンケートから景観評価モデルを導いているが、その中には「既存林は自然性を評価される一方で暗いイメージがある」という知見も含まれる。

景観計画では、保全樹林地と開発樹林地を区分すると同時に、地域全体の景観解析から、保全樹林地を活用したデザイン指針を明示することができる。景観デザインに際しては、保全樹林地の分布に関する情報が自然性の高いデザイン検討を行う場合に重要な情報となる。一方、景観デザインで検討される自然性の高い景観資源としての既存林の具体的な対象樹林地は、必ずしも地域での景観計画での保全樹林地候補地と一致しない場合もある。こうした情報は、景観計画にフィードバックされるならば、より具体的な景観計画のための解析を導くことができる。つまり、設計サイドからの評価をもう一度地域景観計画での評価分布と突き合わせて計画を検討することになる。こうした十分な検討から導かれる保全樹林地であれば、設計にさいしても、担保性の高い樹林地として景観デザインに積極的に活用することになる。実際、全ての既存林を保全することはできないし、逆に全ての樹林地を住宅地として開発することも有りえないことである。

こうした相互の統合化は、よりスピーディに行われる必要がある。施工が終わってからでは遅いのはいうまでもない。景観情報処理システムを用いてシミュレーション画像により、計画・設計が統合されることが重要である。

つまり、数値情報処理と画像情報処理による統合的応用は、それぞれのシステムで扱う情報とその解析結果を相互に結び付けてより適切な計画・設計へと統合することを意味している。地域全体の景観計画と、地区の景観設計とは、実際には計画・設計のフローの中で、計画から設計へと上から下へと流れ行くだけでなく、本来相互に影響しあいながら統合化されて、具体的な開発・保全計画が立案され、設計され、実施されていくべきものである。

このことは、前節での景観ポテンシャルと生態ポテンシャルとを活かした総合的な検討事例でも同様である。相互の評価を踏まえて、統合した検討を導くことも統合的応用といえる。

景観情報処理システムは、計画と設計とを相互に調整し統合するツールとして存在するべきであり、景観、生態など複数の分野での評価を調整するツールとしても存在すべきものである。

### 3-2. 統合化支援ツールとしての今後

第III章で開発したシステム機能には、統合化を具体的におこなう手法として「可視化」があり、複数システムの「ネットワーク」接続がある。可視化は、「計画者と設計者」、「学術分野の個々の研究者」、「開発主体と地域住民」など景観に係わる様々な人々の相互共通理解に必要な手法である。そして数値情報処理や画像情報処理システムは個々に開発されているが、すべてネットワークに接続されている。これは「情報の共有」と「解析プロセス・結果の相互公開」を意味する。今後の情報化社会に対応した景観計画では、この二つの機能が必須である。同時に、本研究では「数値情報処理システム」と「画像情報処理システム」はネットワーク接続されているものの、計画と設計レベルに対応して区分して考えたが、今後はデータを含めて統合化されると考える。その端緒は同じく本研究での「GIS-CGシステム」に見ることができる。景観情報を数値で捉えるため、便宜的にメッシュという単位を用いているメッシュアナリシスによる数値情報処理システムは、近年の情報科学の一段の進歩と、処理機器・ソフトウェアの普及で、より源情報に近

い地図情報をそのまま扱う地理情報システムに置き換えることができる。地理情報システムでは必要に応じてメッシュ情報を生成することができるため、数値情報処理システムの各種機能はそのまま応用できる。地理情報システムによる景観情報の整備は、画像情報処理における対象地の精緻なモデリング手法でもあり、必要に応じて写実的な景観画像を生成することができる。

以下に具体的な画像により示す。〈図 V-6 (カラー, p. 51)〉は、地理情報システムに入力された東京大学秩父演習林の林相図を含む林相情報から人工林・自然林を検索表示した画像である。背景には地形図画像と衛星画像とも地図投影法と縮尺を同一にして合成した画像を用いている。このうち林相図は1/5000 第V座標系による地図を源情報にした。背景の地形図は国土地理院1/25000 地形図 (UTM 投影法) を源情報にし、さらに衛星画像はランドサット画像を幾何補正したもので、東京大学森林経理学研究室で解析している画像をネットワークで転送したものである。また背景画像中の地形図の陰影は、同様に国土地理院1/25000 地形図から作成した DEM を利用して、シャドウマップを作成し  $\alpha$  合成している (図 III-7, 8, 9 参照)。このように地理情報システムをベースとすることで、各種の地形図情報をそれぞれの地図の精度を確保したまま、投影法や縮尺の違いを補正し統一して複数の地図情報を重合操作することができる。また林相の区画線 (ポリゴン) と地形図などの画像の画素 (メッシュ) は、相互に変換し重合ができる。

〈図 V-7 上左 (カラー, p. 51)〉は、〈図 V-6〉で示した林相情報を平面図で表示し、視点・視野参照方向・画角を図示した画像である。そして 〈図 V-7 上右 (カラー, p. 51)〉は、林相情報から樹種種別を検索し、地形情報をを利用して、平面図に示した視野系に基づく3次元メッシュペース画像であるが、検索した該当メッシュと林相区画線を併せて表示した画像である。

このように地域レベルの景観情報処理手法として、これまで様々な制約があつて便宜的に使われているメッシュという単位は、情報源の地図の投影法や縮尺精度をそのままデータとして取り込み、必要に応じてメッシュにも加工できる地理情報システムを応用することで、より情報源に近いポリゴンで管理できるようになる。つまり地図で表現される全ての種類の情報がそのまま入力・処理できることになる。

さらに 〈図 V-7 上右〉 の3次元ペースで使用したデータに樹木モデリングを適用すれば、〈図 V-7 下 (カラー, p. 51)〉 で示すようなリアルな景観画像を作成できる。このリアルな景観画像は、地区景観設計での画像情報処理が対象とするフォトリアリストイックな画像に近いことから、数値情報処理システムと画像情報処理システムとを統合化したシステム開発が実用化できることを示すと考えることができる。統合化されたシステムとは、さきに述べた「GIS-CG システム」である。

## 第 VI 章 結 論

本研究の結論について述べる。

1. 景観計画における情報化について、具体的なシステム開発と応用を目的として、その内容を明確にするために「景観情報処理」の定義を行った。
2. 景観情報処理の目的と景観計画への支援について検討を加え、あわせて景観が視覚的に把握されることから、景観情報処理システムには情報の可視化機能が必須であると判断した。
3. 景観情報処理システムとして「数値情報処理システム」と「画像情報処理システム」とを開発した。景観のもつビジュアルな特性を考慮して、前者ではコンピュータグラフィックスにおける

る可視化技術を応用し、後者にはフォトリアリスティックなコンピュータグラフィックスを応用したシステムとした。

4. 開発した景観情報処理システムを、具体的なケーススタディに応用した結果、景観情報処理で利用する情報源は従来の景観計画と本質的に同一であるが、解析・評価プロセスを明らかにすることことができ、より詳細で多角的な検討が可能であることが明らかになった。

5. 景観情報処理システムは、従来の景観計画手法をコンピュータによって部分的に効率化するシステムではなく、景観情報処理システムの応用によって可能となる「解析から統合へのプロセス」即ち計画（設計）全体を提示するシステムであることを明らかにした。

6. 景観情報処理システムでは「視覚的表示」による相互理解、「ネットワーク接続」による情報源・解析手法・結果の共有が重要な機能であることを明らかにした。

7. 今後は、「GIS-CG システム」を発展させることで数値情報処理システムと画像情報処理システムとが統合された景観情報処理システムが開発できることを明らかにした。

### あとがき

筆者が初めてコンピュータに触れたのは1978年、千葉大学園芸学部造園学科3年生の授業で、フォートランのプログラミングを東京大学の大型計算機で実行させた時であった。この時は同大同学部園芸学科古在豊樹先生にお世話になった。統計処理のプログラミングの他に、自分の興味から待行列のシミュレーション言語 GPSS を実行させて多大な CPU タイムを消費した。コンピュータによるシミュレーションの難しさを実感させられた。学部4年では石井弘教授、油井正昭教授が指導する「造園原論及び造園史並びに風景計画論」研究室に所属し、自然公園を中心とした風景計画の考え方につれていた。同時に我が国の自然風景地での景観計画では、自然公園計画と森林計画との調整が大きな課題であると感じた。当時は多変量解析や数量化を応用した景観評価研究がさかんで、東京工業大学の鈴木忠義教授の授業を聴講したり、統計数理研究所で数量化理論の講義を聞いた。統計理論だけでなく、それを実行処理するコンピュータと処理プログラムの存在意義を知ることができた。また計算機を用いた景観解析では、東京大学農学部林学科森林風致計画学講座での研究が活発で、同講座塩田敏志教授の授業を聴講した。当時千葉大学園芸学部には計算機環境はなかったが、大学院はこの森林風致計画学講座に入学することができた。

大学院の修士課程では大型計算機を用いたメッシュアナリシスの実習で、計算機を用いた景観計画を学びながら、熊谷洋一教授の地熱発電所景観調査に参加し、景観予測評価について実践的に学ぶ機会を得た。同時に修士論文では、熊谷先生のマイクロコンピュータとの組み合わせたカラービデオシステムによる景観予測システムの開発研究成果を利用して景観シミュレーションを行った。熊谷先生には、現在まで研究の全般に渡る御指導を頂いている。また当時、塩田敏志教授・小島道雅講師が森林景観シミュレーション研究を進めており、システム開発の様子を傍らで見ていたことが、現在になって非常に役に立っている。博士課程では、ウェアハウザー財団の研究助成金を得て、コンピュータ画像処理を応用した景観評価モデル構築や、ワイヤーフレームやフラットシェーディングの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システム開発研究を行うことができた。

1986年4月より3年間は、(株)プレック研究所で景観アセスメントを中心とする調査研究に従事した。本研究での画像情報処理システムのCG フォトモンタージュシステムはこの時期に構

築したもので、コンピュータグラフィックスを応用した景観計画手法の実践的システムは、コンピュータを造園コンサルタント業務にいち早く応用していたプレック研究所でこそ開発できたものである。杉尾伸太郎社長・杉尾邦江専務には在職中から現在にいたるまで大変お世話になっており、厚くお礼申し上げる。また同社の西田不二男専務をはじめ多くの所員の方々との調査研究業務を通じて、景観をとりまく学際的な刺激を得たとともに、システムの実用性が重要であることを学ぶことができ感謝している。道路や橋梁等の土木景観でのシステム応用では(株)景観工学の佐川幸夫社長に多くの協力を得た。またフルカラーのコンピュータグラフィックスの応用開発では、ハードウェアでは(株)テクネに、レイトレーシングソフトウェア開発で(株)ヴィーアイのリチャードハンプトン社長にお世話になった。

現在筆者が所属する東京大学農学部附属演習林研究部には、1989年4月より在職している。大学に勤務してからは、数値情報処理システムの骨格である、景観・生態情報処理・可視化システムの開発研究に従事することができた。東京大学武内和彦助教授、明治大学輿水肇教授の指導で生態情報を組み込んだ環境情報の可視化システムを開発応用することができた。当該システムの開発には(株)伊藤忠テクノサイエンスの土井勇氏にお世話になった。情報整備・運用では森林風致計画学講座・緑地学講座・千葉大学園芸学部造園学科の学生達の協力を得ている。またこの時期から、現東海大学開発工学部講師本條毅氏とも共同研究を進めるようになり、現在まで様々な共同研究を通じて協力を得ている。

本論文をまとめる際に、平成3年度から3年間に渡って開催してきた「造園計画における情報化分科会」での議論も参考になった。同分科会共同企画責任者である筑波大学鈴木雅和講師をはじめ、分科会に参加し、活発な議論をしていただいた方々にも感謝したい。

本研究の最後に取り上げているGIS-CGシステムの構築では、東京大学南雲秀次郎教授を研究代表者とする科研費による森林情報システム機器を応用している。フィールドでは秩父演習林の教官・職員の協力を得て、植物モデリングではフランス農業研究国際協力センター(CIRAD)の植物モデリング研究室のPhilippe de REFFYE博士、René LECOUSTRE博士との共同研究による成果が大きい。CGシステムでは(株)住商エレクトロニクス、GISシステム応用では(株)ビジュアルサイエンスの協力、これらは物品供給だけでなく、開発・応用に必要な詳細な情報の提供やプログラム修正を含む的確なサポートを頂いた。

さらに、学内ネットワークでは森林利用学講座岩岡正博助手、農業生物学科修士笛部哲朗君、および森林情報システムでは森林経理学講座露木聰助手、同龍原哲助手、(株)ライフ計画事務所石田裕樹氏らとの共同作業や情報交換・助力により、常に最新の情報処理環境の中でとりまとめられたことを感謝する。

こうして振り返ると、本論文は、筆者がこれまで関わってきた情報処理を応用した景観研究を取りまとめたものであるが、そのなかで様々な景観課題に対応してシステム開発・応用を実践することができたのは、プロジェクト研究課題とハード・ソフトを含む研究環境に恵まれたことと、そしてなによりも、多くの方々の御指導と御助力よるもので、改めてこれまでたどってきた偶然に感謝する次第である。

## 要旨

本研究は、景観計画をより論理的かつ科学的に行うための効果的な情報処理支援手法の開発と

応用を行ったものであり、以下の6章から構成されている。

第I章では、本研究の背景と目的および方法について述べた。

情報処理はあらゆる分野で応用が進み、景観計画においても例外ではない。また数値・テキスト処理を中心としてきた情報処理は、近年では画像もその対象とできるようになり、画像情報の処理・生成が可能となっている。一方景観は視覚的なものであるため、景観計画においては対象景観を画像で扱うことが基本である。従って景観計画を支援する情報処理に画像情報を扱う技術を活用すれば、より効果的な計画情報処理システムの構築ができると考えた。まず景観計画における情報処理応用の系譜を通覧した。1970年代にワイヤーフレームのコンピュータグラフィックス（以下「CG」と記す）の応用がなされている。また数値情報処理を背景とした計量心理学的手法を応用して多くの景観評価研究がなされ、この中にはカラー写真画像で現地景観を代替した研究も含まれている。さらに評価対象景観に対して厳密な実験的統制を行うため、ワイヤーフレームのCGやモンタージュ写真、ビデオ合成画像が作成されるようになり、景観評価実験の論理性が高まり、同時に景観予測手法の重要性が認識された。1980年代には、デジタル画像処理やカラービデオシステムによる景観予測手法が開発され、実写写真と同程度の景観予測カラー画像が作成できるようになり、1990年代にかけてはフルカラーCGを応用した手法も開発された。これらは景観を画像として捉え解析・評価を行い、その結果を計画に応用する一連の研究である。一方では地域の景観資源を数値で捉えて処理する一連の情報処理応用研究がある。1970年代にはメッシュアナリシスの応用研究が始められた。1980年代には情報処理機器の性能向上により、より広域で詳細なメッシュ情報を扱うことが可能となり、地域レベルの数値情報を用いた解析評価が実際の計画に応用された。1990年代にはメッシュ単位をさらに極小化してフルカラーCGと組合せ、写真画像に近い解析結果出力も可能となっている。

以上の系譜から、近年では景観を画像で捉えた情報処理応用と、地域の景観資源を数値化しさらに画像化する情報処理応用が進展していることが明かとなり、これを踏まえ本研究の目的を次のように設定した。「景観計画をより論理的かつ科学的に行うために必要な情報処理の応用手法を検討し、具体的なシステムを開発し、景観計画における応用を通じてその適性を明らかにする。」

研究方法は、まず「情報処理手法のうち画像生成を主に扱うCGを取り上げ、これを景観計画プロセスに応用するシステムを検討する。」そして「具体的なシステムとして数値情報処理システムと画像情報処理システムの開発を行い、ケーススタディに応用して実証的にその支援適性を検討する」、最後にこれらの検討結果から「計画・設計統合ツールとしての景観情報処理システムについて検討し、その妥当性を検証する。」という手順をとった。

第II章では、景観計画を支援する情報処理システムの概念を明らかにするため「景観情報処理」を定義し、その内容を明らかにした。

景観情報処理を「景観情報（情報化された景観）をコンピュータにより計算・分類・照合等の処理を行い、さらにCGによる可視化処理を付加して、処理結果の統合をはかる手法。景観計画を支援するための一連の解析・統合・画像作成処理手法。」と定義した。景観計画では、常に最終的な景観を予想しながら、解析結果から計画への統合を進める。これまで解析プロセスに応用されてきた情報処理手法に、新たにCGを応用して、「解析から統合へ」のプロセスを含めて処理対象にできれば、景観情報処理が飛躍的に進展する。そのためには解析結果を画像化し、しかも最

終的な計画も写実的な画像として表現することが必要である。これらの課題を解決するために1980年代のCG研究の成果である「フォトリアリスティック・シミュレーション」と「サイエンティフィック・ビジュアライゼーション」の応用が最適であると考えた。また景観を対象とする学術分野が学際的であるので、景観情報処理を用いて情報源を共有し、解析は個別でも相互に理解され、最終的には統合されるべきという観点から、その目的を「情報の共有」「解析・予測・評価手法と、その結果の明示と相互理解」とした。特に景観計画を支援する景観情報処理では、支援対象の主体の区分から「解析支援」と「評価・説明支援」をシステム開発の重要な機能とした。さらに景観情報処理の内容を「数値情報処理」と「画像情報処理」とに区分した。前者は、地域レベルでの景観をモデル化し数値情報を作成し、処理を進める手法で、解析処理結果を画像化する可視化手法を含む。数値情報処理による解析・評価結果から計画へと統合し、地区レベルでの景観設計を進めるには写実的な予測景観画像が必要となるが、この予測景観の可視化には後者をあてている。

以上を踏まえ本論では、具体的なシステムとして「数値情報処理システム」と「画像情報処理システム」とを開発することとした。

第III章では、景観情報処理システムの開発について述べた。

数値情報処理システムは、パーソナルコンピュータとワークステーションとをネットワーク接続して構築した。特徴は、空中写真画像を背景にしたメッシュマップ出力により、現地とメッシュとを即地的に対応させた画像を生成し、さらに3次元地形レンダリングにより写実的な鳥瞰画像を生成する点にある。この二つの画像により正確で高速な景観資源解析・評価と多角的な検討が可能になった。画像情報処理システムは、パーソナルコンピュータとその周辺機器を中心にして、ワークステーションとグラフィックスワークステーションとをネットワーク接続して構築した。特徴は、地区景観設計において重要となる景観予測画像の作成に際し、予測画像を「写実的」に、しかも多くの代替案について生成できる高い「操作性」にある。これには従来のフォトモンタージュ手法にデジタル画像処理とレイトレーシング法を応用して開発した。さらに従来手法で実写真画像を用いる背景部分についてもCGの応用を検討し、これには地理情報システムと植物モデリング手法とを組み合わせて、既存景観の全てをデータ化し、写実的な景観画像を生成する手法を新たに開発した。

第IV章では、丘陵地の自然と調和したニュータウン開発を目標とする景観計画が重要な多摩丘陵をケーススタディ対象地に取り上げ、第V章で開発したシステムを応用し、その適性検討を進めた。

数値情報処理システム応用では、多摩ニュータウンの開発前後の数値情報を用い、まず開発前後の景観変化を明らかにして将来の景観計画への知見を得、さらに現在の景観資源で重要な既存樹林地についての計画的評価を行った。システムを用いることで、前者では開発前後の画像の比較から解析のヒントが得られ、後者では即地的なメッシュマップ画像と3次元地形パースの検討から複数の保全計画案が導かれ、それぞれの内容を的確に説明することができた。画像情報処理システム応用では、多摩ニュータウンの住宅地開発と景観評価との関係について、住棟の形態と緑地の形態とを操作した景観予測画像を作成し、その評価実験から、景観予測評価モデルを導いた。このような写実的な多数のオルタナティブ画像を用いた評価実験から、今後の丘陵地住宅地開発の景観設計の指針となる、一般化された評価傾向を導くことができた。

第V章では、景観情報処理システムによる複数分野の統合化と、数値情報処理システムと画像情報処理システムとの統合化について事例をあげて検討した。

景観と生態の2つの異なる分野の相互理解・検討事例として、第V章で取り上げた多摩丘陵の数値情報をベースに、視認性による景観評価結果と、樹木活力度を指標とした生態評価結果とを画像化し、さらにそのクロス評価を画像化した。これを検討用視覚資料として、景観および生態の研究者が相互に互いの評価結果を理解することができ、さらに比較検討を進めて両者を統合した計画的な評価を導くことができた。また第V章で個別に開発した2つのシステムを統合する手法として、地理情報システムとCGの組合せが有効であると展望し、具体的にGISで整備した森林情報と植物モデリング手法とを応用した森林景観シミュレーション画像試作を行いその可能性を明らかにした。

第VI章では、本論の結論を以下のようにまとめた。

①景観計画における情報化の内容を明確にするために「景観情報処理」の定義を行った。②景観情報処理システムには情報の可視化機能が必須であると判断した。③当該システムとして「数値情報処理システム」と「画像情報処理システム」とを開発した。④当該システムをケーススタディに応用して、従来の景観計画と同一の情報源を用いながら、より詳細で多角的な検討が可能であることを明らかにした。⑤当該システムは景観計画における「解析から統合へのプロセス」を扱うシステムであることを明らかにした。⑥当該システムでは「視覚的表示」による相互理解、「ネットワーク接続」による情報源・解析手法・結果の共有が重要な機能であることを明らかにした。⑦「GIS-CGシステム」を発展させて数値情報処理システムと画像情報処理システムとを統合したシステムが開発できることを明らかにした。

**キーワード：**景観計画、情報処理、コンピュータグラフィックス、可視化、景観シミュレーション

## 参考文献

- ACM SIGGRAPH (1987): VISUALIZATION IN SCIENTIFIC COMPUTING: Computer Graphics, **21**(6), 1-14.
- Carl Steinitz, Timothy Muray, David Sinton and Douglas Way(1969): "A Comparative Study of Resource Analysis Methods": Department of Landscape Architecture Research Office, Graduate School of Design, Harvard University, pp. 382, 1969.
- de Reffye, P. et al. (1988): Plant Models Faithful to Botanical Structure and Development, Computer Graphics, **22**, 151-158.
- Ian McHarg (1969): Design with Nature: Doubleday/Natural History Press, pp. 198.
- Kojima Michimasa et al. (1972): Computer-generated drawings of ground form and vegetation.: J. of Forestry, **71**, 21-31.
- S. D. Roth (1982): Ray Cating for Modeling Sokids: Computer Graphics and Image Processing, **18**, 109-144.
- Shafer, E. L., Hamilton, J. F. (1969): "Natural landscape preference; A predictive model: J. of Leisure Research, Vol. 1, No. 1, 1-19.
- T. Whitted (1980): An Improved Illumination Model for Shaded Display: Communications of the ACM, **23**: 6, 343-349.
- 麻生 恵, 鈴木忠義, 小林正幸(1986): モデルスコープシステムの実用化と景観の再現性について: 造園雑誌, **49**(5), 173-178.
- 阿部宗広(1977): 風景の傷つきやすさと建築物—VTRを用いた心理実験による考察: 東京大学卒業論文, pp.

- 100.
- 石川浩史, 堀 繁, 斎藤 馨(1989): 道路内部景観における法面と植樹帯について: 造園雑誌, 52(5), 145-150.
- 磯野順一, 斎藤 馨, 熊谷洋一, 武内和彦, 輿水 肇, 山本幹雄(1990): 丘陵地における住宅地景観評価に関する研究: 造園雑誌, 53(5), 251-256.
- 岡崎文彬(1982): 造園の歴史 II: 同朋社, p. 223.
- 熊谷洋一(1974): 自然風景地における景観評価: 観光, 53, 37-42.
- 熊谷洋一(1984): 景観予測技法としてのカラービデオシステムの実用化: 造園雑誌, 47(5), 213-218.
- 熊谷洋一(1988): 景観アセスメントにおける予測評価手法に関する研究(I) 景観予測手法: 演習林報告, 78, 97-166.
- 熊谷洋一(1988): 景観アセスメントにおける予測評価手法に関する研究(II) 景観評価手法: 演習林報告: 78, 167-245.
- 熊谷洋一(1989): 森林の保健休養機能と住民評価に関する研究: 造園雑誌, 52(5), 175-180.
- 輿水 肇, 武内和彦, 位寄和久, 安立 植(1987): 樹木活力度を指標とした多摩丘陵の土地自然特性と開発インパクトの総合評価: 造園雑誌, 50(5), 131-136.
- 斎藤 馨(1985): 写真による景観評価特性と既存評価モデルとの関連について: 造園雑誌, 48(5), 246-251.
- 斎藤 馨, 古谷勝則, 須走重康(1986): ビデオ画像による景観評価特性について: 造園雑誌, 49(5), 179-184.
- 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.
- 斎藤 馨, 熊谷洋一(1990): 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: 東京大学演習林報告, 38, 143-154.
- 斎藤 馨, 堀 武志(1990): CCG 景観予測評価システムの実用化: 造園雑誌, 53(5), 227-232.
- 斎藤 馨, 鈴木雅和(1991): 造園計画における情報化: 造園雑誌, 55(2), 170-174.
- 斎藤 馨, 熊谷洋一, 武内和彦, 磯野順一, 西川善康(1991): 景観計画におけるコンピュータグラフィックスの応用: 日本コンピュータグラフィックス協会第7回論文コンテスト論文集, 249-259.
- 斎藤 馨(1992): 景観情報処理に関する計画論的研究: 造園雑誌, 55(5), 295-300.
- 斎藤 馨, 熊谷洋一, 本條 毅, 石田裕樹, René LECOUSTR, Philippe de REFYE(1993): リアルな森林景観シミュレーション-GIS と植物モデリングの応用: 日本コンピュータグラフィックス協会第9回論文コンテスト論文集, 226-236.
- 斎藤淳子(1978): 森林のイメージに関する基礎的研究—奥日光の森林を対象にして—: 造園雑誌, 41(2), 2-10.
- 笹井明他(1981): フィルムと印画紙その現像: カメラ毎日別冊 写真講座 2: 毎日新聞社.
- 沢井 健(1985): コンピュータグラフィックスによる都市景観シミュレーションビデオの作成技法に関する研究: 日本コンピュータグラフィックス協会論文コンテスト論文集, vol. 1, 51-60.
- 塩田敏志(1973): 森林公園: 観光レクリエーション施設の計画: 日本観光協会, 222-255.
- 塩田敏志, 小島道雅, 熊谷洋一(1976): 電算機による風致施業計画へのアプローチ: 東京大学森林風致計画研究室.
- 塩田敏志(1981): 森林景観の予測と評価: 環境情報科学, 10(4), 2-8.
- 塩田敏志(1983): 環境情報処理と造園計画—景観デザインにおける電算機適用の展望—: 造園雑誌, 46(4), 270-277.
- 篠沢健太, 斎藤 馨, 武内和彦, 池口 仁(1993): 生態・景観特性に基づく小笠原諸島父島・兄島のランドスケープ評価: 造園雑誌, 56(5), 199-204.
- 下村彰男(1978): 写真による空間の再現性: 昭和53年度日本造園学会春期大会研究発表要旨, p. 94.
- 下村彰男, 前田 豪, 村田知厚(1987): 既存データベースの活用による自然風景地の空間特性の定量的把握について: 造園雑誌, 50(4), 268-279.
- 武内和彦・李 東根, 環境管理計画のフレームワーク: 造園雑誌, 52(2), 95-104.
- 田島 篤(1991): Art & Presentation SIGGRAPH '91: 日経 CG: 1991年10月号, 148-153.
- 濱野周泰, 麻生 恵, 北沢 清(1987): モデルスコープシステムによる街路樹の植栽パターンの分析について: 造園雑誌, 50(5), 137-142.
- 藤田辰一郎, 古谷勝則, 斎藤 馨(1990): 自然風景地における建築物のファサードタイプと色彩との調和に関する研究: 造園雑誌, 53(5), 239-244.
- 本條 毅, 斎藤 馨, 熊谷洋一(1992): 植物成長形状モデリングとその可視化による景観予測に関する研究: 造園雑誌, 55(5), 301-306.

- 本條 毅, 斎藤 馨(1993): 三次元地形レンダリングのための簡易アルゴリズムおよびシステムの開発: 造園雑誌, 56(5), 337-342.
- 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.
- 溝口周道(1986): データベースとしてみた自然環境保全情報について: 造園雑誌, 49(5), 161-166.
- 安岡善文(1982): 環境評価のための画像情報処理: 環境情報科学, 11(2), 42-47.
- 渡辺綱男(1978): 送電線景観に関する研究: 東京大学卒業論文, pp. 83.

(1994年4月27日受付)  
(1994年9月6日受理)

### Summary

In this research, a new landscape information processing system, which makes the landscape planning more logical and more scientific, has been developed. Its application has also been tested. The present paper consists of six Chapters.

In the Chapter I, the preceding works and their methods are examined, and the methodology and the purpose of this research are specified.

Today, information processing techniques are applied to more and more fields. Landscape planning is no exception. Especially, the progress in the image processing is remarkable in recent years, breaking through the previous restrictions to numerical and text processing. Since the landscape is a view, the fundamental objects in landscape planning are necessarily visual images. Therefore, one can naturally expect to construct more effective information system for landscape planning by applying image processing technologies.

First, previous studies on application of information processing to landscape planning have been reviewed. In 1970's, computer graphics based on the technique of wire frame were for the first time applied to landscape planning. Another approach in this period is the application of psychometrics aided by statistical analysis to landscape evaluation. Many researches in this line were indeed performed, among which some used color photographs instead of the landscape on site. Photographs were then replaced by landscape simulation images of wire frame computer graphics, by montage photographs or by video montage images because of the demand for better and more strict control to the landscape, which is the object of the evaluation. This contributed to make the landscape evaluation experimentation more logical, and at the same time, the importance of the landscape simulation technique was recognized.

In 1980's, landscape simulation techniques were developed by using a color video system and a digital image processing. The quality of these images almost reached that of a photograph.

Finally, in 1990's, a full color computer graphics was introduced to landscape simulation.

In the researches reviewed above, I see the development of an approach, in which the landscape is conceived as an image, which is to be analyzed and evaluated, in the aim of applying the result to landscape planning.

On the other hand, there is another approach which describes and processes the landscape resources as numerical value.

In 1970's, application of the mesh analysis had already started.

In 1980's, the progress of processing performance enabled to treat more detailed mesh informations in a larger area. The mesh analysis was in fact applied to the practical landscape planning at a regional level.

In 1990's, the mesh are minimized and its output images are combined with aerial photographs in full color computer graphics. The output images of the result of analyses have almost the same quality as photographs.

To summarize: there are two successful approaches in the recent landscape planning research. One is application of image processing and the other is analysis of numerical data of landscape resources.

In this research, following these approaches, I have examined various methods of application of information processing to the landscape planning in order to make it more logical and more scientific. I have developed a new landscape information processing system. Its practical usefulness has been proved by applying it to an actual landscape planning.

In Chapter 2, I have defined the term "landscape information processing" in order to clarify the concept of the information processing system which would support the landscape planning. Then I have examined the requisites to realize this system.

The landscape information processing is, "calculation, classification, and collocation of informations on the landscape, followed by visualization by computer graphics." That is, a series of analysis, integration, and visual image-making as a aid for landscape planning. The main concern of landscape planning is the image of final landscape realized by that planning. Therefore, all the analyses serve in the end to construct this final image, which is an outcome of synthesis. If one can apply the information processing techniques that have been applied only to the phase of analysis, to this process of consturcting final images (synthesis), using the technique of computer graphics, the whole process of landscape processing will be treated by information processing. This will bring about a breakthrough in landscape information processing, which is exactly my intention in this paper. For this purpose, it is necessary to visualize the final image of the planning as well as the results of analyses. To realize this, I have decided to adopt the techniques developed in the studies of computer graphics in 1980's, "photorealistic simulation" and "scientific visualization". Since the landscape is an interdisciplinary field, a landscape information processing system should also serve to share the data originating from various sources, and to integrate the results of analyses made by different disciplines related to landscape. The purpose of this system is therefore, "to share the informations" and "visual presentation of the results of the analysis, simulation, prediction and evaluation". My landscape information processing system consists of two parts: the digital-map information processing system on a regional scale and the visual landscape image processing systems on a site scale. The former treats numeric data of landscape information in a large area. The latter constructs the simulation images in site designs.

In Chapter 3, I have described the development of my landscape information processing system.

The digital-map information processing system is constructed by local area network which connects personal-computers and workstations. One of the merits of this system is that it can produce an synthesized image of a mesh map image on the background of an aerial photograph image. Moreover, this synthesized image is processed by DEM (a digital elevation model) using three dimensional terrain data. Thus, a photo-realistic bird's-eye view perspective image is produced. These two images—the synthetic image of mesh map and aerial photograph, and the bird's-eye view image—have made possible fast and accurate analyses from various points of view of the landscape resources. The other

system, the one for visual landscape image processing, consists of a personal-computer, its graphics peripherals, a workstation and a graphics workstation. All those computers are connected by local area network. This system is excellent not only in the quality of the photo-realistic visual simulation images it generates, but also in its ability to generate them for many alternative plans. To develop this system, I have improved to the current photo montage technique, using the digital image processing and the ray tracing technique. I have also used computer graphics to generate background images which have been provided by photographs. To realize it, I have developed a technique to render the landscape to three dimension data, from which a realistic landscape image is generated using GIS data and plant modeling technique.

In Chapter 4, I tested the availability of this system by applying it to planning of the Tama New Town region where the need is felt to develop a town in harmony with the landscape of the hilly countryside.

In the application of the numeric information processing system, I have produced the images showing the change of the landscape before and after the development of Tama New Town by using the numeric landscape data. These images clearly show the change caused by the development, and also give insights for future planning for the landscape. Then, I tried the evaluation and the planning for the remaining forest area which constitutes an important landscape resource. The mesh map images and three dimensional perspective images generated by the system led us to several conservation and maintenance plans for this forest area, and I could clealy explain each plan indicating its characteristics.

In the application of the image information processing system, I have deduced a model for predicting the evaluation of landscape. For this purpose, several simulation images of housing landscape are generated by changing both building type and green space type. Then, these alternative simulation images are submitted to evaluation experiment. Thus, I have confirmed some tendencies in landscape evaluations, which will serve as a general guideline for the landscape design of the hilly residential areas.

In Chapter 5, the problem of integration in the landscape planning has been examined. I considered two types of integration. One is integration of two or more fields concerning the landscape evaluation, and the other is the integration of my two systems: the numeric information processing system and the image information processing system.

First, I tried the integration of landscape field and ecology field. The landscape evaluation and the ecological evaluation were calculated from numeric informations on the Tama New Town. Both results have been visualized in images, and the result of the crossing evaluation has been also visualized. Using these images as a material for the examination, either landscape researcher or ecology researcher can understand the analytical process of the other and its results mutually. I have made further examinations, to derive the final evaluation for the planning in which the evaluations of both fields are integrated.

As for the second integration, I thought that the combination of the computer graphics and the geographic information system would be effective. To prove this hypothesis, I have done simulation of a forest landscape in the following manner:

- (1) Modeling the terrain from DEM.
- (2) Modeling the shapes of trees of each species and each height (age) with AMAP.
- (3) Allocating the trees on the terrain according to the information of GIS.

(4) Rendering the forest model.

Through this simulation, the possibility of the integration has been shown.

In the last Chapter 6, the conclusion of this study was summarized as follows.

1. The term "landscape information processing" has been defined to clarify the concept of informationization in the landscape planning.
2. Visualization of information is indispensable for the landscape information processing system.
3. The numeric information processing system and the image information processing system has been developed.
4. Feasibility of these developed systems has been tested in case studies. The systems enable more detailed, diversified examinations from the same data source.
5. The systems assist not only the analyzing process of landscape planning, but the whole process including integration of the analysis.
6. Both visualization and networking are the most important functions for the stems. The visualization enables the mutual understanding in multiple field. The networking enables the sharing of source, analytical techniques, and the results.
7. A new system can be developed as a GIS-CG (Geographic Information System and Computer Graphics) system which integrates the numerical information processing system and the image information processing system.

**Key words:** Landscape planning, Information processing, Computer graphics, Visualization, Landscape simulation