

### 3次元空間の視覚化手法

#### Visualization of Three-Dimensional Space

測 図 部 井坂 隆・福島芳和  
Topographic Department Takashi ISAKA, Yoshikazu FUKUSHIMA

企 画 部 高橋英尚  
Planning Department Hidehisa TAKAHASHI

地理調査部 政春尋志  
Geographic Department Hiroshi MASAHARU

中国地方測量部 大塚孝泰  
Chugoku Regional Survey Department Takayasu OOTSUKA

#### 要旨

近年、空間や物体の形状などの3次元モデルをコンピュータ上に作成し、直感的に把握することが可能となっている。本研究は、1:25,000地形図に基づくベクトル型数値地図情報を想定し、2次元の数値地図情報と数値地図50mメッシュ標高を用いて、把握の容易な景観として視覚化する手法を検討したものである。

3次元モデルによる視覚化は、建築設計分野で既に行われているところであるが、モデルの構築には多大な労力を必要としている。本稿では、数値地図情報からプログラム処理により3次元モデルを作成する手法を述べるとともに、1:25,000地形図レベルの情報を景観として視覚化する景観表現手法を述べ、試験作業を通じて作成した景観を紹介する。

#### 1. はじめに

人は元来、視覚・聴覚・触覚・記憶といった動物の持つ基本機能により、空間を把握している。これらの基本機能による空間把握の範囲は極めて狭いものであるが、行動範囲の拡大や生活様式の変化とともに、より広範囲の空間や自分の知らない空間を把握する事が必要となり、地図として表現するようになった。

地図は、紙などを媒体として3次元の実空間を2次元上に投影したものであり、実空間の全てを表現することが不可能なため、空間を構成する要素に分類した上で、対象項目を取捨選択し記号等を用いて表現したものである。したがって、空間の把握には表現の規則についての知識や2次元の情報を3次元空間としてイメージする能力が必要である。

一方、コンピュータ・グラフィックス(CG)技術の進歩により、空間や物体をコンピュータ上に再現し視覚化することが可能となり、建築や設計分野では、設計構造物をモデル化し実空間に極めて近い形で視覚化することが一般化している。このような3次元CG技術を利用

して数値地図情報を景観として表現することで、直感的な空間の把握が可能となる。

本研究では、「筑波山周辺」「日光男体山周辺」「箱根芦ノ湖周辺」において、景観作成試験を行い、3次元モデルの作成手法および表現手法について検討を行った。

#### 2. 作成工程及び基図データ

##### 2.1 作成工程

3次元モデルの作成は、個々の地物を3次元座標で表現し、3次元地図データを新たに作成することも可能である。しかし、写真測量等により新規にデータ取得・編集を行うことは、多大な労力を要するものであり現実的ではない。本研究では、ベクトル型の中縮尺地図データを想定し、これを基図データとして、数値地図50mメッシュ標高を用いて、プログラム処理によりDXF形式の3次元モデルを作成した。さらに、市販の3次元CGソフトウェアを用いて、テクスチャ・マッピング、レンダリング処理を行って景観を作成した。(図-1)

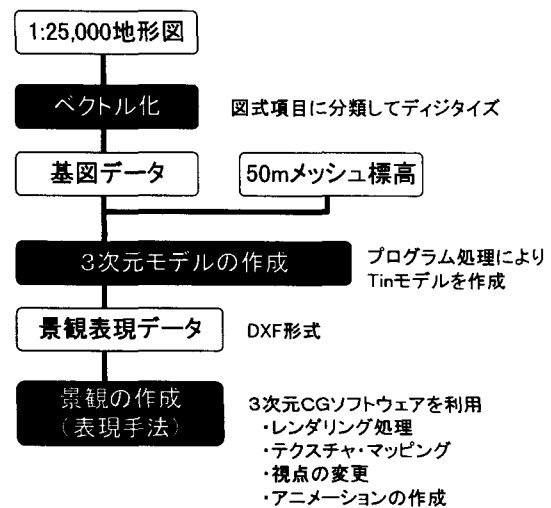


図-1 作成工程

2.2 基図データの取得項目

「筑波山周辺」及び「日光男体山周辺」では、道路データ及び行政界データについて既成のFDマップを利用し、建物、植生などについては地形図からのディジタイズにより基図データを作成した。しかし、FDマップでは対象項目や座標点数が少ないため、不自然な景観として表現されるといった問題があったため、「箱根芦ノ湖周辺」では、表-1に示す項目について、地形図ラスタデータからのディジタイズにより、基図データを作成した。

表-1 基図データの取得項目

項目	取得方法	備考
道路	ライン	3m以上の道路 国道・有料道路・橋を区分
鉄道	ライン	一般鉄道・特殊軌道
建物 (極小)	ポイント	中心及び長辺中点
(真形建物)	ポリゴン	
(総描建物)	ポリゴン	
河川 (一条)	ライン	
(二条)	ポリゴン	
湖池	ポリゴン	
目標物	ポイント	
植生 (耕地)	ポリゴン	
(未耕地)	ポイント	植生記号位置
崖・ケバ	ポリゴン	

特に植生は、耕地を植生界で囲まれる領域のポリゴンデータとして、未耕地を植生記号位置の点データとして取得した。これは地形図上において、耕地では対象が領域として意味を持つものである一方、未耕地植生においては、各記号の集合や分散の状況が意味を持つものであり、異種記号間の境界には意味を持たないことから、データ様式を分けて捉えることにした。

3. 3次元モデルの作成

3次元モデルは図式項目ごとに作成し、図-2に示すように植生や湖池の領域モデルの上位に、河川・道路等の線状モデル、建物・目標物等の形状配置モデルを、標高値を調整して重ね合わせ配置することで、全体の3次元モデルを形成している。以下に、各項目毎の3次元モデル作成手法、及び表現手法を述べる。

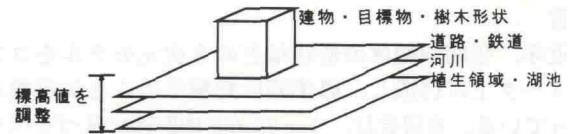


図-2 項目間の上下関係

3.1 湖池・植生領域

湖池や植生領域など、ポリゴンで取得される項目については、各ポリゴンを複数の三角形に分割し、三角形の各頂点の標高を近傍の標高点(50mメッシュ標高)より求め、領域毎の不定三角形網(Tinモデル)で表現した。(図-3、図-4)

このとき、分割される三角形の密度が高いほど、より



図-3 3次元モデルのワイヤフレーム

現況に近い形で地形の起伏を再現することが可能である。しかし、起伏のほとんど見られない湖池や水田等の耕地植生では、高密度に分割する効果が得られず、データ量の増加を招くことになる。このことから、図式項目ごとに分割密度を変えて作成した。

領域の3次元モデルでは、植生など対象領域の特性を示すばかりでなく、従来、等高線や標高点で表現されていた地形の形状も表現したものであり、景観表現において最も重要な要素である。

表現手法では、3次元モデルを構成する面にテクスチャ(模様)を貼りつけることで、現実感のある表現を行うテクスチャマッピングを用い、空中写真から取得した水田や樹木のイメージデータを貼りつけることで景観を表現している。

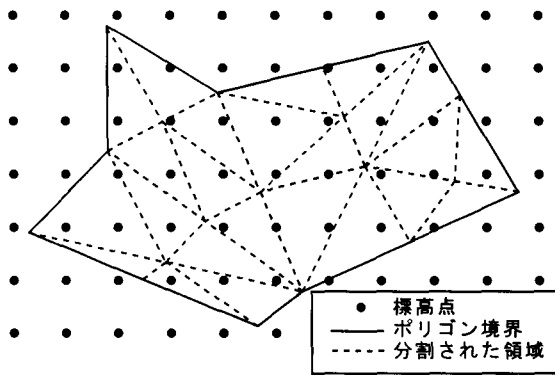


図-4 植生等領域の3次元モデル

### 3.2 道路・河川等の線状対象物

道路や一条河川などのラインとして取得される項目では、バッファリングによりポリゴンデータを作成し、ベースとなる植生等のTinモデルから2次元上の交点の標高を補完して、板状の3次元モデルを作成し、植生等の上位に配置した(図-5)。作成するポリゴンの幅(バッファリング量)は各項目毎に設定し、道路においては地形図上に表現される幅員に応じてバッファリング量を設定した。

表現手法では、現実世界からイメージし易く、ベース

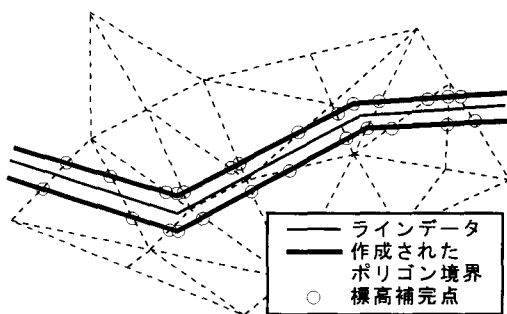


図-5 道路等の3次元モデル

となる植生等の領域と識別が容易な色を用いることで表現したが、国道・有料道路には特徴的な色を用いることで、景観には現れにくい地図としての機能を持ち合わせた表現を試みた。

また、領域表現のようなテクスチャマッピングを用いることも可能であるが、今回のような広域を対象とした景観表現では、線状対象物で示される領域が狭小であることから、テクスチャの持つ質感の効果が得られず無意味である。

### 3.3 建物

地形図上で極小表現される建物は、位置座標の標高を近傍の標高点(50mメッシュ標高)より求めるとともに、記号方向を考慮して、別途作成した建物形状データを配置することで作成した。また、真形で表現される建物は、近傍の標高点より建物地上部の標高を求め、一般・中高層などの分類に応じて高さを指定して、3次元モデルを作成した。(図-6)

大縮尺を対象とした都市景観シミュレーションや建築設計分野の建物表現では、建物の構造を詳細にモデル化した景観表現が用いられているが、データ量が膨大となるばかりか、個々の建物を個別にモデル化する必要がある、広域を対象とした景観には不向きである。今回は、地形図から得られる情報を基に景観を作成する観点から、画一的にデータ作成を行うこととした。建物については、個々の形状や配置の状況により、地形図レベルの景観を表現することが可能であり、このとき建物の屋根や壁面の色彩には特に制限が無く、他の地物とのバランスを考慮して色設定を行うことになる。

地形図では、建物密集地域について総描表現が用いられており、個々の建物を配置することができない。今回は、総描地域外周のポリゴンとして取得し、真形建物と同様の表現手法を用いたが、総描地域が巨大な建物として表現されることになり不自然な結果となった。今後、総描部の表現方法を検討していく必要がある。

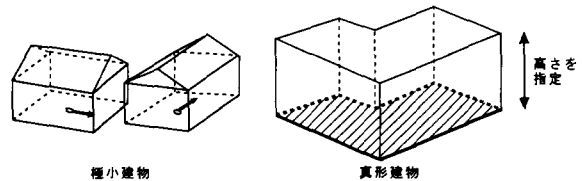


図-6 建物の3次元モデル

### 3.4 目標物

記号位置の標高を近傍の標高点より求め、別途作成した記号形状データを配置して3次元モデルを作成した。

高塔等の目標物は、空間把握を補助するものであり、景観に取り入れることで、地図機能を持ち合わせた景観を作成することができる。景観表現では、現実に近い表現が受け入れ易いが、目標物を実寸で表現すれば周囲の地物に埋もれ、特徴を生かすことができない。したがっ



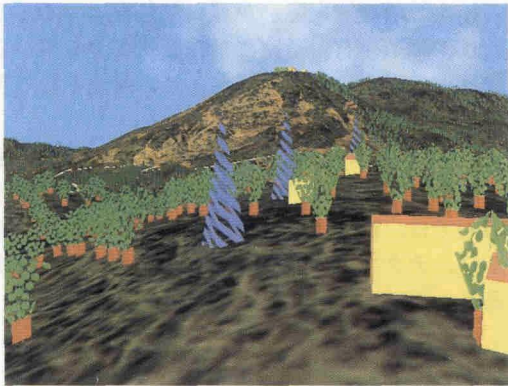


図-7 記号表現(電波塔・広葉樹)

て、記号形状の作成では、記号を大きくデフォルメして表現することが必要である。

表現手法では、記号の大きさの他、識別の容易な色彩を選択するとともに、単純なパターン・テクスチャを用いることも効果的である。

### 3.5 未耕地植生

「筑波山周辺」「日光男体山周辺」では、空中写真から山間部のテクスチャを取得し、植生領域にテクスチャマッピングを行った。しかし、テクスチャの方向性や明暗により、地形の起伏と無関係な凹凸感を与えてしまったり、樹木の最上部に建物が配置される印象を与えるといった問題があった。「箱根芦ノ湖周辺」においては、基図データとして地形図上の植生記号位置を取得し、記号位置を基準に樹木形状を配置することを試みた。

未耕地植生記号間隔は、水平位置で100m以上になることから、植生記号位置に配置しただけでは、景観表現としての効果が得られない。したがって、植生記号位置を中心として、複数の形状配置座標を作成し、各座標の標高を近傍の標高点より求め、別途作成した樹木形状を配置することで3次元モデルを作成した。このとき、基図データの隣接記号間で不自然な空白を作らずに、自然な配置となるように配慮する必要があり、配置距離や配置方法、個数は、配置する樹木形状の大きさを考慮することが必要である。「箱根芦ノ湖周辺」の広葉樹及び針葉樹では、図-8に示すように、一つの位置座標に対して、中心からの距離15mおきに、中心・3個・3個・5個・7個・9個の計28個の樹木形状を配置している。

形状データの配置は、形状を構成するポリゴンの増加を招き、今回の「箱根芦ノ湖周辺」でもデータの大半を未耕地植生がしめることとなった。し

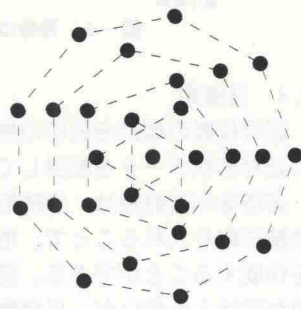


図-8 広葉樹の配置例

たがって、個々の形状をできるだけ単純な形状として作成することが必要である。また、樹木の葉の部分に単純なパターン・テクスチャを用い、テクスチャの黒色の部分を透過させることで、他の地物が樹木に埋もれることのないように配慮した。

## 4. 作成した景観

作成された3次元モデルは、視点位置、注目点の位置やディスプレイ上に投影する場合の画角など、各種のパラメータを設定し、レンダリング処理を行うことで景観図として視覚化することができる。レンダリング処理とは、設定した光源に基づく陰影計算や2次元のスクリーンへの投影計算を行う処理で、本研究では光や影の表現に劣るものの計算効率の高いシェーディング法によりレンダリングを行っている。

研究では、シリコングラフィックス社製EWS上の3次元CGソフトウェア「Qubism」を使用して、テクスチャマッピング、レンダリング処理等を行って景観図を作成した。以下に作成した景観図を紹介する。

### 4.1 筑波山周辺(図-9)

3次元モデルのベースとなる植生等領域について、植生種別毎に空中写真より取得したテクスチャを用いた表現を試みるとともに、道路及び建物形状の配置による立体感のある表現を試みた。その結果、田、畑など耕地植生や建物形状の配置では、現実の空間をイメージできる景観として表現することができた。しかし、道路については地図情報レベル200,000のFDマップを利用したため、座標点数の不足から道路形状を十分に表現することができなかつたり、座標取得精度の違いから、建物データとの不整合箇所(建物内を道路が貫通するなど)が見られるといった問題が残った。また、空中写真からテクスチャを作成していることから、未耕地植生領域において、「樹木の上部に建物が配置される」「テクスチャの明暗により地形形状と無関係な凹凸感を与える」といった印象を与えることとなった。

### 4.2 日光男体山周辺(図-10)

「筑波山周辺」の試みに加え、湖のある風景、地形起伏の激しい地域を選択し、数値地図50mメッシュ標高により表現できないケバなどの局所的地形の表現、及び注記表現を試みた。また、霧の発生による特殊効果を利用して、遠近感のある景観表現を試みた。その結果、山間部の特徴点を局所的地形表現により明示することができたほか、霧の発生により景観に奥行きを持たせることができた。「日光男体山周辺」のように同じ属性の領域(植生領域)が連続する場合には、景観として投影される画像が平面的になりがちである。したがって、広域を対象とした景観表現では、こうした特殊効果を用いることが効果的と考えられる。注記表現では、注記文字を3次元



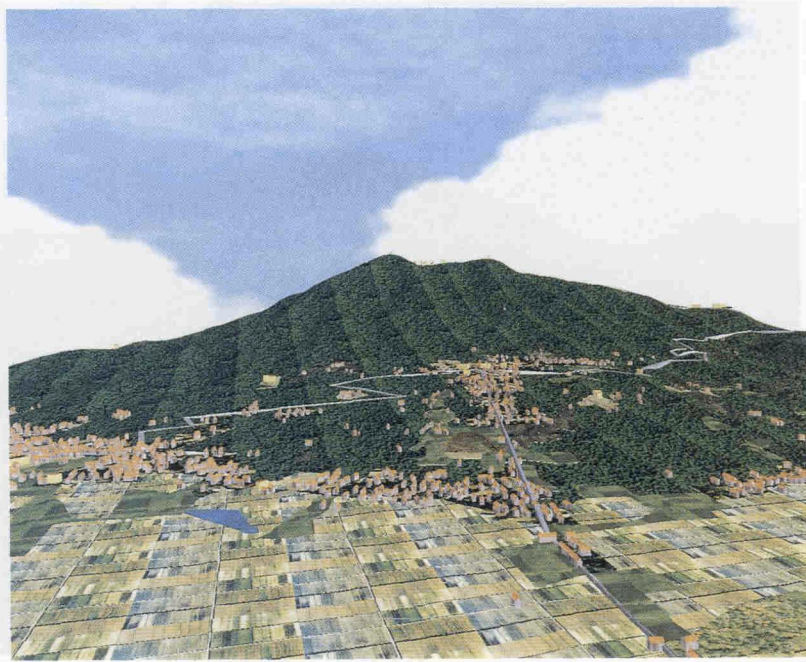


図-9 筑波山周辺の景観図



図-10 日光男体山周辺の景観図



図-11 箱根芦ノ湖周辺の景観図（春）

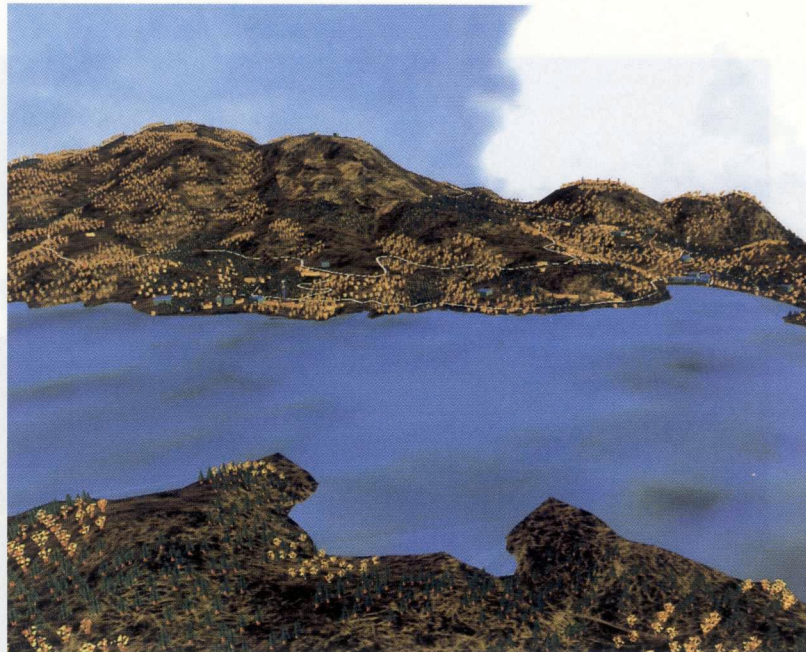


図-12 箱根芦ノ湖周辺の景観図（秋）



モデルとして作成し配置する手法を用いたが、3次元モデルの作成時に景観図をイメージして、文字の大きさ、配置方向、角度を設定して作成する必要がある、視点位置や注目点位置を自由に変更して、試行を繰り返しつつ景観を作成するといった3次元モデルの特徴を生かすことができない。注記については、3次元モデルに組み込まず、景観作成後に配置することが望ましい。

その他、未耕地植生部分のテクスチャを変えることで、秋の表現を試みたが、表現が面的で単調となり景観としてイメージできるものとはならず、十分な効果を得ることができなかった。

#### 4.3 箱根芦ノ湖周辺(図-11, 図-12)

「筑波山周辺」「日光男体山周辺」の試みで抽出された問題点の改善を行ったほか、樹木形状の配置や目標物の配置による立体感のある表現を試みた。3次元モデルの作成手法や個々の表現手法は既に述べたところであるが、道路データを詳細に取得し分類したことや目標物を配置したことで、単なる風景ではなく地図として空間の状況を認識できる景観表現を行うことができた。また、未耕地領域の植生を樹木形状で表現したことから、ベースとなる植生領域のテクスチャに森林部の空中写真を用いる必要がなく、建物との関係や地形表現の不整合を改善することができた他、針葉樹・広葉樹を分類し、広葉樹形状の葉のテクスチャを変えることで、秋の景観を作成した。

### 5. まとめ

コンピュータ上に作成された3次元モデルは、任意の視点からの景観として空間を視覚化することができるばかりか、視点位置をコースとして設定することで、アニメーションを作成したり、モデル内をリアルタイムに移動するウォークスルーを行うことも可能である。このようなシミュレーションは、直感的な空間把握を可能にするものであり、新しい地図表現として期待できると考え

られる。

今回用いた手法の多くは、既成の3次元CG技術に基づくものであるが、こうした3次元CGの作成においては、骨格となる3次元モデルの作成に膨大な作業を必要とする。本研究では、2次元のベクトル型地図データと数値地図50mメッシュ標高を利用して、プログラム処理により3次元モデルを作成することで、モデル作成作業を軽減することができた。これは、現在GIS等で利用される地図データの多くが2次元であることから、妥当なものであると考えられる。しかし、道路の一部が植生領域に埋められるといった、データ項目間の上下関係に一部逆転が見られる問題も残された。

3次元モデルを視覚化する場合の多くは、実際の構造物をイメージし易い写実的な表現を用いることが、効果的と考えられる。しかし、今回のように広域を対象とした場合には、個々の構造物が微小となるため、各構造物を認識することができず、詳細な形状を再現しても無意味である。したがって、属性として取得される構造物の特徴を含めて記号化して表現することが効果的と考えられる。今回は、目標物や道路など1:25,000地形図上に表現される分類に基づき、記号化して表現することで、実際の景観には現れない構造物の特徴を明示し、把握の容易な空間表現を行うことができた。

また、ベクトル型地図データでは、植生分類等の項目が軽視されがちであるが、中縮尺レベルを対象とした景観表現においては、ベースを形成する植生領域が重要な要素となるほか、未耕地植生の樹木を細かく分類することで、より季節感を反映した景観を作成できると考えられる。

地形図を対象とした3次元モデルでは、データ量が非常に多く、モデル作成や視覚化の処理に要する計算量が膨大となるため、現状では高額なコンピュータ環境が必要となる。しかし、一般の利用者にも導入の容易なパソコン環境で扱えることが望ましく、今後のハードウェア、ソフトウェアの進歩に期待したい。

### 参 考 文 献

- 国土地理院(1997):次世代GIS環境における基図データのあり方に関する研究IV報告書
- T. Ohtsuka (1997): Expression of 3-D Space -A New Generation of Maps, Geomatics Info Magazine May 1997.
- 長沼浩志(1997):三次元地形データにおける土地情報表現の研究, 国土地理院部外研究報告書
- T. Ohtsuka, H. Takahashi, Y. Fukushima, T. Isaka and H. Masaharu (1997): Expression of Three-Dimensional Space with Digital Cartographic Data and Computer Graphics Method, 国土地理院報告第43巻, 35-42.
- H. Takahashi, T. Ohtsuka and H. Masaharu (1995): A new approach of map representation for realistic expression of three-dimensional space, 17th International Cartographic Conference, Proceedings 1.
- 高橋英尚・大塚孝治・大塚孝泰(1994):次世代の数値地図情報に関する研究, 国土地理院測図部技術報告第4号
- A. S. Glassner・白田耕作監訳(1993):最新3次元コンピュータグラフィックス, アスキー出版局
- 太田昌孝・竹内あきら・大口孝之(1987):応用グラフィックス, アスキー出版局