

I-6 国土数値データを利用した環境シミュレーションシステム

Environmental Simulation System with Numerical Land Data

草間 晴幸¹・鈴木 斎²

Haruyuki KUSAMA, Hitoshi, SUZUKI

[妙録] 国土数値データが整備されつつあり、三次元地形画像のベクターデータ作成のためにしばしば利用されている。しかしながら、その使用は補完的、間接的な場合が多く、それを基本データとして環境シミュレーションなどに直接利用した事例はあまり見られない。本論文では、三次元地形画像自動作成と環境アセスメントの一手段である可視不可視領域自動判定を含んだ環境シミュレーションシステム構築に国土数値データを直接利用した手法について言及する。本手法は、三次元地形画像作成に航空写真や等高線図を利用した従来手法に比べ、作業時間、使用技術、費用の面から考えると十分に有用である。また、このシステムの特徴は、土地造成などの計画案変更に対しデータ修正・画像再表示が容易に行えること、VRMLへのデータ転用が容易なことである。

[Abstract] The numerical land data has been provided and utilized to make the vector data of the three-dimensional topographical images. However, in many cases, its use seems to be restricted within narrow range just like additional, supplementary and indirect data, and there is few case to apply directly it as the basic data to the environmental simulation. This paper presents the method to apply the numerical land data to establish the environmental simulation system including the automatic production of topographical images and the landscape simulation for checking visible area which is a means for the environmental assessment. The method is quite useful for the topographical image making from the viewpoints of working-time, utilized-technology, and cost in comparing with the existing methods which use the aerial photograph and the contour line map. It is very convenient for this system to modify the data for the plan change and to make data diversion for the VRML.

[キーワード] 国土数値データ、地形画像、環境シミュレーション、自動作成プログラム、VRML

[Keywords] Numerical Land Data, Topographical Image, Environmental Simulation, Automatic Generating Program, VRML

1. はじめに

地域開発・再開発を行う場合、現在では周辺地域をも含めた環境アセスメントが義務づけられている¹⁾。環境アセスメントには数値的および可視的な地形情報が必要であり、数値的情報は三次元情報として何らかの方法で入力する必要がある。従来、この情報は、二次元の等高線図を読み取ったラスターデータからベクターデータを作成し、その後、三次元モデラーを使って高度を付加する方法が一般的であった²⁾³⁾⁴⁾。また、近年では航空写真から直接三次元データを作り出すソフトウェアも市販されている⁵⁾。航空写真を利用する方法は、等高線図を利用する方法に比べて、作業速

度が著しく向上し、また出力作業に熟練技能を必要としないなどの優れた点はあるが、価格の面から考えると、航空写真作成料とソフトウェア購入費は、ラスターデータから三次元情報を作成する場合と同程度のコストが一般に必要となる。したがって、作業時間、使用技術、および、費用の面でより有用な代替手法が期待されてきた。また、開発計画の変更に伴って地形が変化するなど、地形情報は常に変化する可能性を含んでいるが、上記の既存手法では、それに対する有効な解決方法は現在のところ未解決である。

本研究では、以上のことを鑑み、現在国土地理院により刊行されている国土数値データを利用し、三次

¹ 大阪大学 大学院工学研究科 環境工学専攻 助教授 工博

² 科学技術振興事業団, 戦略的基礎研究推進事業 (CREST) 研究員 (大阪大学へ出向) 工修

元地形画像自動作成、地形データ修正機能、および環境アセスメントの一手段である可視不可視領域自動判定を含んだ環境シミュレーションシステムを構築する手法について言及する。

2. 環境シミュレーションシステム

本研究で構築した環境シミュレーションシステムは以下のプログラム群から構成される。

- (1) 三次元地形画像自動作成プログラム
- (2) 三次元データ修正プログラム
- (3) 可視不可視領域自動判定プログラム
- (4) VRML展開プログラム

これらのプログラムはいずれも著者によって独自に開発されたものである。また、これらの基本入力データとして国土数値データを活用する。

三次元地形画像自動作成プログラムは、「はじめに」で述べたような状況を鑑み作成されたものであり、他のプログラムの入力データを発生させる役割を持つ。なお、表-1に本プログラムと既存の地形画像作成方法を比較した結果を示す。

三次元データ修正プログラムは、地域開発・再開発の計画段階において頻繁に発生する地形画像の変更に対応する三次元データの修正・変更をスムーズに処理するためのプログラムである。

可視不可視領域自動判定プログラムは、環境アセスメントのために通常提示される二次元領域図を作成することはもちろんのこと、その領域内の点が環境資源として如何ほどの重要性を有しているかを判定する被視頻度解析機能も備えている。

環境シミュレーションに対し、通常、三次元データ修正プログラムと可視不可視領域自動判定プログラムは繰り返し使用することになり、そのルーチンの作業性も本システムでは勘案されている。

VRML展開プログラムは、他のプログラムで出力される画像を動的に照査するために作成したものである。そのために、データはDXF形式で渡される。

3. 三次元地形画像自動作成プログラム

現在、刊行されている国土数値情報の特徴を以下に示す。

- (1) 1km, 250m, 50m メッシュデータが存在し、1kmメッシュは内部に含まれる250mメッシュを基にした平均標高で構成される。(現在、50mメッシュデータは全国を網羅していない)
- (2) 250m, 50m メッシュデータは各メッシュの中心点の標高データから構成され、0.1m 単位で記述されている。ただし、基データとして使用した等高線図により±5mの誤差を持つ⁶⁾。
- (3) 50m メッシュは、縮尺 1/25000 の等高線図上で2mm 間隔のデータであり、手作業時の標本点数と比べて見劣りしない。

以上から、今回は 50m メッシュデータを加工し三次元地形画像作成の基本データとして使用する。この50mメッシュデータは縮尺 1/25000 の等高線図を基にデータが整備されているが、地域開発はこのメッシュデータの区画に沿って行われることは当然無い。したがって、必要となる任意の長方形区域の三次元データを50mメッシュデータから抽出可能にした。抽出に対し、指定可能なパラメータは次の何れか一方である。

- (1) 長方形区間の左下、右上隅の緯度、経度
 - (2) 中心地点の緯度、経度、区間の縦横の距離
- また、何も指定しない場合でも50mメッシュデータが入力として与えられている場合には、10km×10kmの三次元データを最初に与えられた50mメッシュデータから抽出するものとした。なお、入力に使用した緯度、経度がこの50mメッシュデータで使用される格子点に重ならない場合は指定点を一番近くの格子点上へ修正し、その旨をプログラム内で自動報告するものとした。

50mメッシュデータは格子点で囲まれる領域の中央標高値をデータとして持つが、格子点そのものにデータを持たせる方が、作業上都合の良い場合があるので、格子点のデータとして、近傍4領域の中心点の標高を各格子点に一度足し合わせておき、最後に、各格子点データを足し合わせた回数で除算した数値を格子点上のデータとして扱うこととした。もし、使用する近

入力データ	等高線図	航空写真	国土数値データ
作業速度	時間がかかる	速い	速い
技能	熟練作業が必要	誰でも使用可能	誰でも使用可能
費用	人件費, 標高地図代	航空写真代, ソフトウェア代	数値地図代
データ修正	熟練度に依存	不明 (現状への変更は簡単)	小規模な変更は簡単

表-1 入力データによる比較

傍 4 領域の中心点に一つでも海部を示すデータが存在する場合にはそれに合わせた処理を行う必要がある。今回は、周辺 4 近傍が全て海部データである場合のみ、格子点も海部データとすることにし、それ以外の場合には、海部データは使用しないこととした。また、各格子点に十分な (4 つの周辺中心点分) データを与えておけば、後作業において三次元地形画像をスムーズに結合表示することが可能となる。

4. 三次元データ修正プログラム

4.1. PPM 画像フォーマット

PPM とは、Portable PixMap の略で以下に示す格納形式をとる。

- (1) P6 ホワイトスペース
- (2) 十進表記の画像横幅 ホワイトスペース 十進表記の画像縦幅 ホワイトスペース
- (3) 十進表記の各 RGB 濃度の最大値 (256 以下) ホワイトスペース
- (4) 左上から右下へと進む各ピクセル毎の RGB 値 (各 1 バイトづつ)

つまり、赤一点からなる画像は、C のソースで、

```
fprintf(o, "P6\n%d %d\n%d\n%c%c", 1, 1, 255, 255, 0, 0);
```

となる。

また、グレースケール画像は PGM (Portable GrayMap) と呼ばれ、P6 を P5 へと変更し、各ピクセル毎に 1 バイトで濃度を表現する。

三次元データを加工するために、二次元画像を効果的に活用することとした。したがって、地盤造成等に対する三次元データの修正作業は、視覚で確認しながらできることとなる。画像フォーマットの種類は多岐にわたるが、どのフォーマットであっても変換ツールが通常存在するので、特定の画像フォーマットだけに対応したとしても、それはシステム構築上の制限とはならない。本研究では、Unix で良く使用され、PPM (バイナリ形式) と呼ばれる可搬性に富んだフォーマットを選択した。

画像データに変更点を指定できるとしても、1 ピクセル毎に 1 データに対応させると、編集作業は困難かつ、膨大な時間が必要なものとなる。そこで、入力する PPM 画像がデータとしてどれだけの標本点数の情報を保有しているか、PPM 画像の左上に位置するデータはどの格子点用のデータに対応しているかといった情報も合わせて指定することにより、任意の PPM 画像サイズを使用可能とした。また、複数ピクセルのデータを一

点のデータに変換する場合、それら複数ピクセルが全て同じ値を持たない場合の処理が必要となる。今回は、最大の割合を持つデータを標本点用のデータとして作業を進めることとした。ただし、最大の割合でも高々 20%しか存在しないデータは無視することとした。

4.2. DXF による三次元情報の出力

二次元画像情報の変更、修正は簡単ではあるが、修正された二次元画像の高さ情報の妥当性を判定することは難しい。したがって、修正作業後の地形を三次元に可視表示する方法を採用した。今回は三次元 CAD ソフトに対し、広く利用されている共通フォーマットのひとつ、DXF 形式の出力を採用した。

DXF では、三次元メッシュという出力形式が存在しないため、各格子毎に 3DFACE として出力することとした。この出力を form・Z と呼ばれる CAD ソフトで読み取ったところ、三次元メッシュとして解釈することが可能であった。

5. 可視不可視領域自動判定プログラム

5.1. 可視不可視シミュレーション

「はじめに」で述べたように、自然環境アセスメント技術マニュアルには、地域開発・再開発に対し、可視不可視領域シミュレーション図を作成することが義務づけられている。従来、この判定作業は手作業で行われることがしばしばであった。また、航空測量の結果を基に可視不可視領域判定図の作成を専門業者に委託した場合、得られるものは最終的な可視不可視領域図だけであり、開発計画変更を使用するデータには別途経費が必要となる。したがって、簡単に可視不可視領域判定ができ、また、開発計画の変更によって地形が変更する場合にも、瞬時にその変更に対応できるシステムを開発した。また、その変更が妥当な変更であったかを確認するために、修正後の地形データも扱いやすい形で出力できるシステムとした。

国土数値データを使用した可視領域判定が可能なソフトウェアとしてカシミール⁷⁾と呼ばれるものがある。これは、もともと、山頂からの展望を楽しむためのソフトウェアであるため、判定点は一度に一つのみ受け付ける。今回の可視・不可視領域図では開発する事業地全体を対象として判定することが必要となる。

文献 8) では、国土数値データを利用して可視不可視領域の判定を行う際、メッシュ間隔と判定結果の精度に間する研究を取り扱っている。若干の数値シミュレーションから、50m メッシュデータを用いたシミュレーションの再現率は 95%に達し、さらに、50m メッシュス

ケールを最大値とすることが妥当であると結論づけている。なお、この論文では国土数値データの妥当性のみを論じている。

5.2. 可視領域の判定方法

可視領域を判定するには、

- (1) 視点 (開発する事業地外の各格子点)
- (2) 注視点 (事業地内の各格子点)
- (3) 両点を結ぶ線上の標高データ

が必要である。

ここで、視点はカメラの高さを考慮して標高データから 1.5m さらに上方に設定した。また、任意点の標高データは、その点を含む格子上にある格子点の標高データから比例計算で算出するものとする。視点、注視点を結ぶ線上の、標本点数は格子点データの標本方式に合わせて線の x 成分、y 成分のうち長いほうを基にして算出するものとした。

可視とは視点と注視点の間をなにも遮るものが無いことを示す。つまり、ある一つの視点が可視領域に含まれている場合には、視点、注視点の間を遮るものが無いような注視点が少なくとも一つは存在することを意味する。

5.3. 被視頻度計算方法

被視頻度を判定する場合にも、可視領域を判定するのと同じデータを使用する。

被視頻度とは、各注視点について全ての視点から可視を判定し、可視領域に含まれる視点数を数え上げたものである。

つまり、被視頻度の計算の際に可視判定を行うこととなるので、この可視判定結果を別に保存しておけば、両方同時に計算可能となる。

結果の出力には、画像出力を選択した。標高差をもっともらしく画像で表現するために、各出力画像毎に標高の最大、最小値を求め、標高を 255 段階に分割した結果を基に RGB 値の G を適当に割り振ることとした。これに加えて、被視領域には、RGB 値で R に 255 を設定し可視・不可視領域図とする。

被視頻度情報の場合には、数値での出力が使用に便利となるが、画像での出力は、陸部の表現と同様に被視頻度にあわせて頻度の高い所ほど色が濃くなるように 256 段階のグレースケールで表現した。

5.4. 計画対象となる事業地の設定

視点、注視点を特定するためには、計画対象となる事業地を指定する方法が必要となる。本システムでは、各格子点毎に事業地内部の点であるか、そう

でないかを設定することで可視判定や被視頻度が計算可能であるが、この事業地の設定方法として事業地内部に存在する格子点の座標を指定するファイルを受け付けるものとする。(基準となる点は三次元地形図内に指定する)

事業地の領域としてファイルで指定する方法だけでは事業地データの変更が不便であるし、また、計画に伴って地形データを変更したい場合にも、いちいちその格子点を指定していたのでは大変扱いづらい。そこで、画像データを通して事業地となる点の指定、とか、地形の変更点を指示できるようにする。

事業地となる領域の指示、および、開発に伴う地形の変更箇所を、画像データ中に色で示すこととする。これで、二次元上の位置に対して何らかの情報を付加することが可能であり、この色に対して別途情報を用意することで、変更後の高さ、事業地等を指示できる。

6. VRML 展開プログラム

3D 地形図の作成手段として、CAD データとして DXF を出力形式として選択したが、CAD データのままでは、DXF を理解する CAD ソフトを使用している人しか有効利用できない。また、DXF は結局、一企業が提案しているフォーマットの一つであり、その仕様もあまり明確では無い。

そこで、次なる表現手段として VRML が挙げられる。この VRML は三次元空間を表現できるものの一つであり、現在、急速に利用環境がひろがっており、DXF データを VRML1.0 データへとコンバートするプログラムも存在する。また、規格もさらなる発展を続けながら明確に定まりつつある。

この VRML2.0 の規格中には、ElevationGrid という格子点の標高を表現する正に今回のデータに適したノードが存在する。さらに、このノードは高さデータの変更といったイベントを受け付けるし、JAVA と組み合わせる事によって VRML 内部で計算まで可能となる。よって、これらを使用することにより、さらに効果的なシミュレーション環境を作成することが期待できる。

7. ケーススタディ

図-1 に、上述の方法により得られたデータに基づいて作成した三次元地形画像の一例を示す。本システムでは、このような出力画像を基に地形情報の修正変更が可能となる。なお、例題として採用した国土数値データは、中部新国際空港が沖合に計画される愛知県知多半島周辺のものである⁹⁾。

編集画像の作成方法は以下の通りである。

- (1) 50m メッシュ国土数値データ (523626.MEM, 523627MEM, 523616.MEM, 523617.MEM) より標高データを取り出す。
- (2) 中心標高を、便宜的に各格子点に割り振る。
- (3) 各格子点について、海部は RGB 値 (24, 14, 240) を、陸部は、陸上の標高を 255 段階に分割し、各段階に応じて RGB の G 値を変える。
- (4) 各格子点のデータを出力する。

面を持つ格子の中心標高データから、画像出力する際に、点である格子点にデータを転嫁することは一見無駄のように思われるが、この作業により、結合される画像の結合格子点と同じデータを持っているため、結合作業をスムーズに行うことができる。

図-2 に、今回、造成変更データとして使用した、中部新空港の二次元図を示す。本図は、平成九年四月一日に新聞発表となった概略図を基に作成したものである。本画像で、横 100、縦 130 のメッシュデータ用の情報として使用可能である。

本ケーススタディでは、既に事業地を配置する位置が決定されているが、本手法が提供するシステムでは、この事業地を配置する場所、形、大きさといった情報を二次元の画像で与えることが可能である。そこで、本システムを有効に利用するには、以下のルーチンワークを何セットか繰り返すこととなる。

- (1) 候補地 (形状を含む) をおおまかに作成
- (2) 可視領域、被視頻度の判定
- (3) 判定結果を基に事業地内部の造成プランを作成
- (4) 造成プランを三次元表示させ妥当性を判断
- (5) 造成プランを基に可視領域、被視頻度を判定
- (6) 判定結果が妥当なものとなるまで、(1) からやり直す、もしくは、建物等の計画を開始

図-3に、空港を実際に配置した結果の可視領域判定図を示す。図上で、陸部上の白く着色された範囲(カラーでは赤)から、空港が見えると予想される。なお、今回は、空港を作成した際に標高値として 5m を持つものとして可視領域判定を行っている。

図-4は同様に求めた頻度情報であり、被視頻度の高い所ほど濃くなるように 256 段階の濃度で表現した。

図-5は DXF を経由して VRML で一部の三次元データを表示した。(見易さのために高さ方向を 5 倍した)

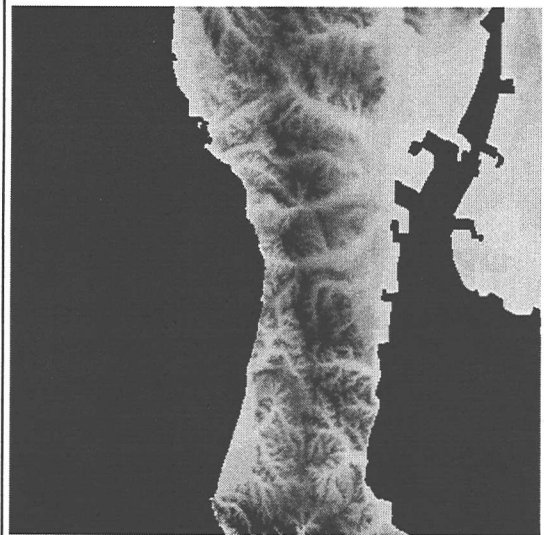


図-1 数値地図から作成した地図

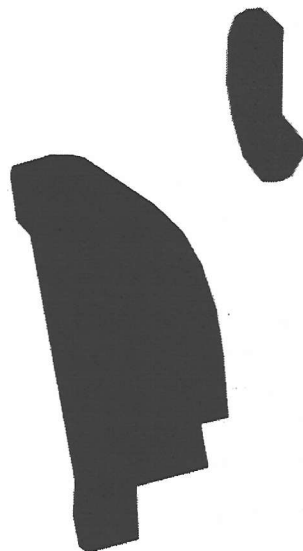


図-2 変更に使った図

8. 結び

本論文で提供したシステムは、計画初期段階における粗い計画を行う際に一番威力を発揮するシステムであるといえる。本システムはデータの変更方法に力点を置いたシステムである。

景観の変更を伴う土地造成、事業地範囲設定等の構想段階で何度となくデータの変更を要求される用途で、計画支援に十分に実用的なシステムとなりうる。さらに、本システムは、単純な画像で入力を扱っており、変更計画を指示するために特殊なハード・ソフト等を一切必要としない。例えば、FAX 等も十分にデータ入出力装置として使用可能である。

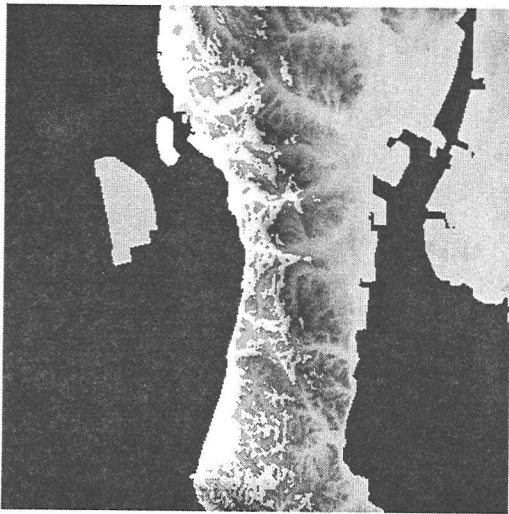


図-3 可視不可視領域判定図

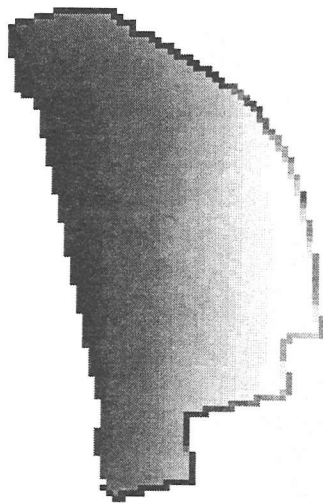


図-4 被視頻度解析図

謝辞

本研究を支援していただいた科学振興事業団戦略的基礎研究推進事業に深謝いたします。

参考文献

- 1) 財団法人自然環境研究センター，“自然環境アセスメント技術マニュアル”
- 2) 草間晴幸，福田知弘，笹田剛史，“橋梁環境デザインのシステムとモデリング”，土木学会全国大会年次学術講演概要集，1996
- 3) 川崎寧史，草間晴幸，笹田剛史，“橋梁環境デザインにおける周辺環境の表現”，土木学会関西支部年次学術講演概要集，pp.IV 82-1/2，1996
- 4) 草間晴幸，福田知弘，笹田剛史，“橋梁環境デ

ザインにおける三次元モデリングとプレゼンテーション”，土木学会関西支部年次学術講演概要集，pp.IV 81-1/2，1996

- 5) 新井伸博，吉田茂喜，笹川滋，“三次元CADによる道路設計と走行シミュレーション”，土木情報システム論文集，Vol.5，pp.1-6，1996
- 6) 建設省 国土地理院，“数値地図利用マニュアル”，1996
- 7) <http://www.kt.rim.or.jp/~sugi/> “カシミール作者のホームページ”
- 8) 東海林克彦，斎藤馨，“メッシュ標高モデルを用いた可視・不可視領域シミュレーションの再現性に関する調査”，造園雑誌，58(5)，189-192，1995
- 9) <http://www.shatchy.ne.jp/carf/> “中部国際空港”
- 10) <http://www.gsi-mc.go.jp/JIS/gsihome.html> “国土地理院のホームページ”
- 11) <http://www.pref.aichi.jp/> “愛知県のホームページ”
- 12) 三浦憲二郎，“VRML2.0”，朝倉書店，1996
- 13) 竹内芳美監修，“デザインエンジニアリング総覧”，第Ⅱ編，第3章，[6] 景観シミュレーション，フジテクノシステム，1996

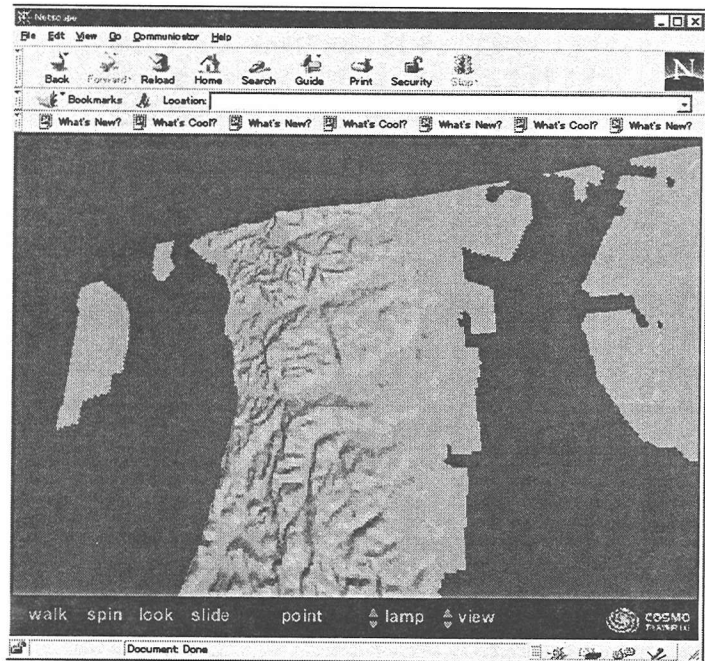


図-5 VRML 画像