

仮想空間における地形表現手法

Terrain Representation Methods in Virtual Spaces

蒔苗 耕司 (宮城大学・事業構想学部)

Koji MAKANAE (School of Project Design, Miyagi Univ.)

キーワード: 仮想空間, パーチャルリアリティ, 地形表現, DEM, GIS, CAD

Keywords: virtual reality, terrain representation, DEM, GIS, CAD

1. はじめに

空間情報の整備が進み, 国土に関するデジタル情報を容易に入手, 利用できる環境が整ってきた。地形の起伏に関する情報も例外ではなく, 国土数値情報の一部として整備され, 一般には「数値地図(標高)」として利用されている。地形情報は, 国土数値情報の整備目的である国土計画策定の基礎データとして利用される他, 社会基盤施設や宅地の計画・設計, 地理学的解析や地理教育, 登山等のレクリエーション目的にも利用されている。国土数値情報における地形情報は, メッシュデータとして提供されているが, これを視覚的に伝達する方法として, 高度や傾斜別に着色して表示する方法, メッシュから等高線を発生させて表示する方法, 陰影図を自動生成して表示する方法, 投影変換による鳥瞰図により3次元的に表現する方法等が用いられる。しかし, これらの地形表現は, コンピュータディスプレイの2次元平面上で表現されるものであり, 現実の3次元物体として表現されるものではない。そのため, 地形の起伏を直感的に理解することが難しいという問題がある。このような問題に対して, 著者らはバーチャルリアリティ(VR)技術を適用し, コンピュータ上に定義された仮想地形面をより直感的に表現する手法とその応用システムに関する研究開発を行ってきた。

そこで本論文では, VR技術による視覚的立体表現の手法についてまとめるとともに, 著者らがこれまで開発してきた地形表現とその応用システムを紹介する。さらに3次元地形表現システムを, GISのツールの一つとして位置づけ, 今後の地形表現システムの発展性について述べる。

2. VRによる視覚的立体表現手法

VRは, コンピュータ上に定義した仮想世界をより現実に近い感覚で体感するための技術である。視覚的に高い現実感を得るために, 人間の2つの眼を生かした立体視を活用したインターフェースが利用される。

人間が視覚的に物体の立体形状を認識するメカニズムは, 生理的要因と心理的要因に分類される(安居院ほか, 1985)。生理的要因は, 人間の眼の機能によるものであり, 水晶体による焦点調節機能, 両眼の輻輳, 両眼視差, 単眼運動視差等がある。また心理的要因は経験的に立体像を復元するものであり, 幾何学的立体視と光学的立

体視に分類されている。これらのうち, 生理的要因の一つである両眼視差による立体認識機能が, 最も重要であると考えられている。

VRにおいて用いられる立体視技術は, 主に両眼視差による立体視を用いたものである。コンピュータ上に定義した仮想的な空間の中で, 人間の両眼の位置を設定すれば, コンピュータグラフィックス(CG)技術の適用により, 人間の眼から見えるであろう2枚の透視画像を得ることができる。得られた透視画像を, 現実の人間の左右の眼に与えることにより, 人間は与えられた画像を立体として錯覚する。VR技術の発展の中で, 人間の左右の眼に対して異なる画像を与えるための装置が開発されており, 代表的なシステムとして, 液晶シャッタを用いた立体眼鏡, 3次元ディスプレイ, ヘッドマウントディスプレイ(HMD), 没入型ディスプレイ等がある。

・液晶シャッタを用いた立体眼鏡

液晶シャッタを用いた立体眼鏡システムは, 1つのCRTディスプレイ上で左目用, 右目用の画像を高速で交互に切替えて表示させ, それを立体眼鏡の液晶シャッタと同期させることにより, 左目, 右目それぞれに画像を与えるものである。しかし表示領域はディスプレイ上に固定されるため, 実際に人間が動き回ることにはできない。

・3次元ディスプレイ

3次元ディスプレイは, 両眼視差や両眼輻輳を利用して, 裸眼で立体視を実現するものである。立体眼鏡による手法と同様に人間が動き回ることにはできないが, 近年は技術開発が進み, 安価な市販システムが提供されるようになり, 急速に普及しつつある。

・HMD

HMDは頭部に装着するゴーグル型のディスプレイ装置であり, 左目, 右目それぞれの目の前に専用の小型ディスプレイを配置することにより, 立体画像を提供する。このシステムでは位置センサとの同期により, 人間の移動に応じた画像を提供することができる。

・没入型ディスプレイ

没入型ディスプレイ(IPT; Immersive Projection Technology)はイリノイ大学が開発したCAVEというシステムに代表される(Cruz-Neira et al., 1993)。CAVEでは左右・正面・床面に配置された約3mのスクリーンに立体映像を投影し, 人間はその立体視空間の中に没入する。

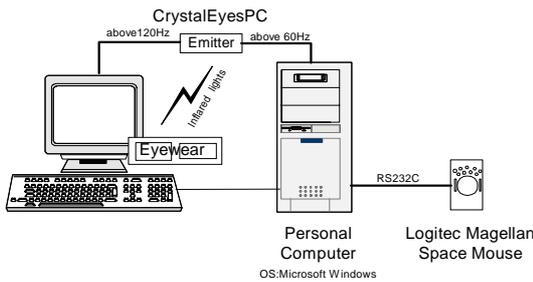


図 1 システム構成



図 2 システム利用風景

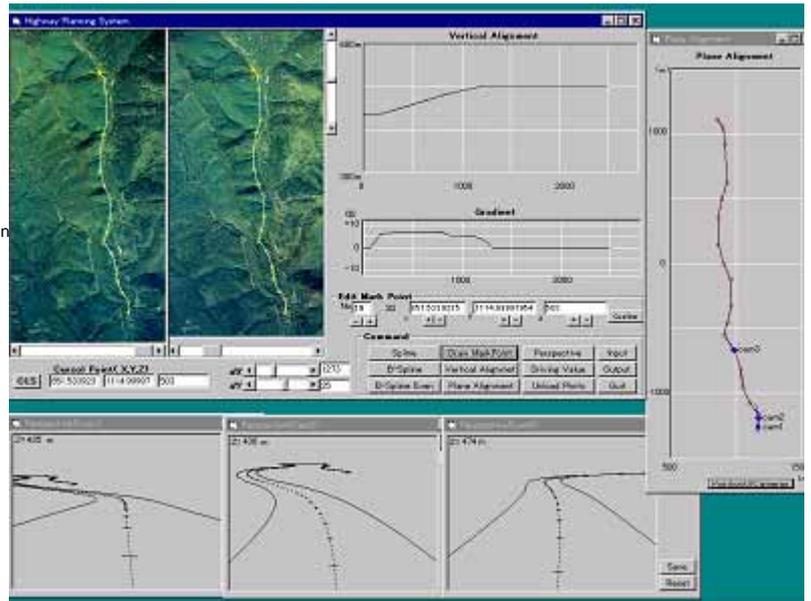


図 3 道路設計支援システムインターフェース

HMD に比して広い視野を確保でき、動きに同期して画像を生成する必要がないために、画像の遅延の問題がない等の利点を有する。

また近年では、仮想空間と現実空間とを重畳した複合現実感に関する研究開発が行われている。その中の一つの技術として、タンジブル(tangible)インターフェースの研究開発が行われている。例えば MIT のメディアラボでは、Illuminated Clay という、粘土で作出した地形面上に情報を投影するシステムを構築している(Piper et al., 2002)。

3. VRを用いた地形表現とその応用システムの開発

著者らは、VR 技術を地形表現及び設計支援に応用したシステムの構築を進めており、ここでは、航空写真の立体視を用いた道路設計支援システム、HMD を用いた地形表現・都市空間モデリングシステム、触覚可能な地形表現システムについて述べる。

(1) 航空写真の立体視を用いた道路設計支援システム

道路や鉄道等の土木構造物の設計においては、地形と調和を図ることが極めて重要である。一般に地形情報は、地形図上の等高線として表現されており、読図者は自らの頭の中に正確に地形を再現する能力が求められている。しかしながら、このプロセスにおいては、人間の頭脳による 2D/3D 変換能力が必要とされており、その正確性は読図者自身の経験や能力に依存する。このような問題を解決するために、経験や能力に依存しない地形表

現手法の確立が必要であり、VR 技術の適用はその有効な手段となり得る。

このような背景の下、蒔苗・福田(1998)、Makanac(2002)は、空中写真の立体視により地形面を立体面として捉え、その上で道路設計を実現するシステムを構築している。デジタル情報として PC 上に格納された空中写真の画像情報は、立体視装置(StereoGraphics 社 CrystalEyes2)を通じて、立体視可能な情報としてディスプレイ上に表現される(図 1、図 2)。またコンピュータ上には、空中写真の標定により得られた立体視空間と同一の座標空間を定義する。この空間の中に、3 次元的位置決めを行う 3 次元マウスカーソルを設定する。本システムは、この 3 次元仮想空間内において道路設計を行うシステムであり、道路線形の定義にはパラメトリック曲線(B-spline)を適用し、空間内に制御点を設定することにより、容易にその線形を定義できるようにしている。

図 3 は本システムのインターフェースを示している。航空写真上で定義した線形に基づき、道路構造物の 3 次元モデルが自動的に生成され、平面図、縦断図、透視図が表示されるようになっている。

本システムの利点は、航空写真からの地形的特徴(地すべり等)の判読能力に優れた技術者が、パラメトリック曲線を用いた道路設計モジュールの支援により、直接、道路線形を定めることができることである。これは、地形条件の悪い山岳道路の設計等に有効であると考えられる。また航空写真を直接適用することで、不必要な図化の工程を省くことが可能である。一方、パラメトリック曲線を用

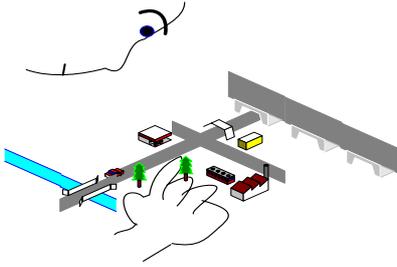


図 4 VR-CAD の概念 (巨人視)

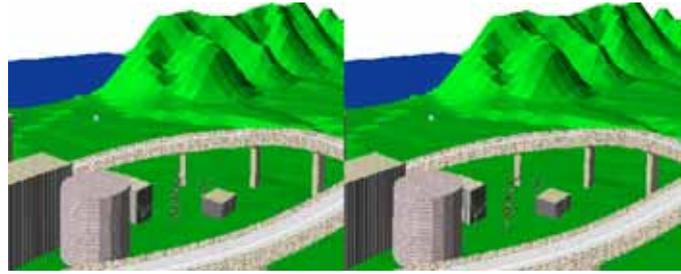


図 6 VR-CAD の表示画像の例

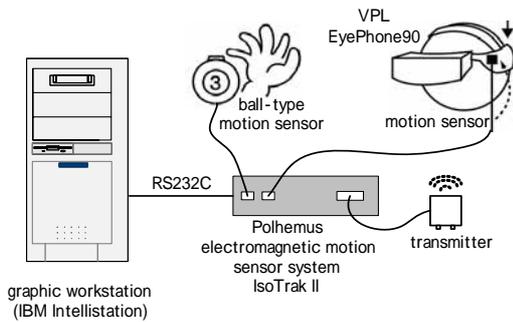


図 5 VR-CAD のシステム構成



図 7 VR-CAD 利用風景

いた道路の線形が、現行の設計基準に必ずしも適用できないことや、構築された道路構造物と立体視空間で仮想的に表現される地形面との間で演算処理ができないことが問題となる。

(2)HMD を用いた地形表現・VR-CAD システム

これまでの空間設計は、図面をベースに行われており、設計者自らが図面を描きながら、その 3 次元形状を自らの頭の中に想像するという過程を経ている。しかし VR 技術を適用すれば、コンピュータ上に任意の仮想空間を 3 次元的に定義することができる。蒔苗・一ノ坪(2003)が開発した VR-CAD では、コンピュータ上に構築された仮想空間の中に設計者自身が入り込むことが可能であり、その仮想空間の中における設計者の存在スケールは任意であり、実スケールの人間として入り込むことや、図 4 に示すように巨人として空間内に存在することが可能である。また、設計者の 2D/3D 変換能力に依存せずに、直接的に 3 次元設計を実現するシステムである。

本システムのハードウェア構成は、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)と 3 次元位置センサにより構成される(図 5)。HMD と位置センサを組み合わせることにより、頭部の位置や向いている方向を計測し、それに応じた画像を表示する。したがって、上下左右 360 度の視野を自由に見渡すことができる。

本システムは道路等の大規模な構造物の構築を想定しており、その基盤としての地形情報が必要不可欠である。そこで、基盤となる 3 次元地形モデルとして、国土数値情報の標高データ(50 m メッシュ)を適用し、仮想空間での地形表現を実現している。

VR-CAD におけるモデリングの入力インターフェースには、位置センサを用いた 3 次元マウス及びキーボードを用いた。これらの操作により、建物(直方体・円柱)、道路・樹木等の簡便な 3 次元モデリングを実現している。

本システムの表示画像の例とモデリング風景を図 6 と図 7 に示す。CAD の利用経験のある建築設計経験者を対象に、実際に本システムを利用してもらった後、アンケートを行なった。その結果、カーソルの位置や、地形面とオブジェクトとの位置関係がわかりづらい等の問題が明らかとなっている(Makanae, 2003)。

(3)タンジブル地形表現システム

(1)と(2)で紹介した地形表現・設計システムの問題点として、

- ・地形面とオブジェクトとの位置関係がわかりづらい
- ・特殊な立体視装置を必要とする
- ・視野が限定される
- ・グループワークができない

等が挙げられる。著者らは、このような問題点を解決するためには、タンジブルインターフェースの導入が有効であると考え、それを用いた地形表現システムの構築を行なっている(中原・蒔苗, 2005)。

タンジブル地形表現システムの構成を図 8 に示す。地形面を表現する伸縮性スクリーンの形状を、8×8の 64 本のアクチュエータにより制御し、スクリーン上に空中写真を投影することにより地形面を表現している。実際にシステムを用いて表現した地形表現の例を図 9 に示す。航空写真を投影した地形モデルは、手で触れることができる地形模型として表現される。今後は、この地形表現システム

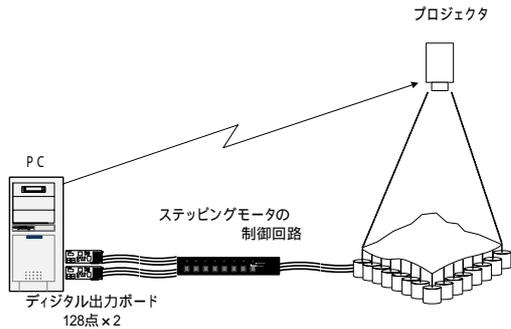


図 8 タンジブル地形表現システムの構成



図 9 地形表現の例

の有効性に関する評価を行うとともに、本システムを応用した道路等の設計支援システムの構築を進めていく予定である。

4. GIS のツールとしての地形表現システム

国土数値情報の整備と公開に伴い、地形のデジタル情報を容易に入手・利用できる環境が整いつつある。しかし、入手した地形情報を視覚的に表現しようとする場合、その表示領域は平面であるディスプレイに限定され、十分な立体感やスケール感を得るのが難しい。著者は、この問題を解決するためにシステムの開発を行ってきた。それらの開発で得た知見を踏まえて、地形表現システムに必要な要件を以下に示す。

地形面の立体認識が容易である。

立体眼鏡や HMD 等の特殊な装置を装着しない。

表現された地形面をデジタル情報と整合できる。

様々な情報の重畳表示が可能である。

このうち については、地形表現システムの前提条件の 1 つであり、より高度な立体認識を可能とすることが望ましい。 は、特殊な装置の利用が疲れや酔いを引き起こし、長時間の利用を難しくするためである。 は応用システムの開発において、仮想地形の地表面上の 1 点を確実に数値化して抽出することが必要なためである。 は表現された地形面上に、航空写真のみならず、土地利用や都市計画のデータ等を重畳することにより、システムを有効に活用しうるためである。

これらの条件を考慮し、今後有用であると考えられるシステムを以下に示す。

(A) タンジブル地形表現システム

著者が現在、開発を進めているタンジブル地形表現システムは、 ~ の条件を全て満たし得るシステムである。しかし、現在はまだ開発段階にあり、今後、地形表現の解像度を向上させる必要があるとともに、一般にも容易に利用できるような機器開発が必要である。また仮想地形上でのポインティングデバイスの開発も必要である。

(B) ラピッドプロトタイピングを用いた地形表現システム

近年は CAD/CAM システムの発達に伴い、CAD データ

として構築した 3 次元データに基づき、樹脂等を材料とした実体のある 3 次元モデルをリアルタイムで作成するラピッドプロトタイピングの技術が急速に進んできており、最近では地形模型の作成にも適用されている。当該技術の普及は、より容易に地形モデルを作り出すことを可能とする。問題となるのは、一度作り出した地形模型から電子情報へのフィードバックが難しいことと、上記(A)と同様にポインティングデバイスの開発が必要なことである。

(C) 3 次元ディスプレイを用いた地形表現システム

3 次元ディスプレイは特殊な機器を使用することなく、立体認識を可能とするものである。著者の研究室においても 3 次元ディスプレイを用いた地形表現システムを実際に開発・利用しているが、個人差はあるものの高い立体感を得ており、 の要件を満たしている。問題となるのは、 の仮想地形面とデジタル地形情報との整合であり、地表面上の 1 点を正確に指示することが難しいという問題を有している。

5. おわりに

本論文では、これまで著者らが開発してきたデジタル地形情報からの地形表現システムと、その応用について紹介した。また、GIS のツールとしての地形表現システムに求められる要件を示すとともに、今後、有用であると考えられる地形表現システムについて述べた。

デジタル地形情報の表現は、現状では 2 次元のディスプレイに制約されているが、VR やロボティクスの発展に伴う表現・制御技術の進歩により、今後はより容易に、現実に近い 3 次元情報としての地形表現が可能になると考えられる。当該技術の発展は、地理学・地質学・土木工学等の研究分野のみならず、建設分野における CAD インターフェースや、地理教育等の幅広い分野での応用に寄与し得ると考えられる。

参考文献

- Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., Defanti, T.A.(1993):
Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality:
The Design and Implementation of the CAVE.
Proceedings of SIGGRAPH'93, 135-142.
- 蒔苗耕司・福田 正 (1998) : 航空写真とCGを用いた 3
次元路線計画システム. 土木学会論文集 ,
No.590/IV-39, 23-30 .
- Makanae, K. (2002): Stereoscopic Systems for 3-D
Highway Route Planning on Aerial Photo-graphs,
International Journal of Design Sciences &
Technology, Vol.9-1, 15-22. Europa Productions,
2002.
- 蒔苗耕司・一ノ坪 平 (2003) : HMDを用いた3次元都市
空間モデリングシステム. 3次元画像コンファレンス
2003講演論文集, pp.221-224.
- Makanae, K. (2003): Development of the VR-CAD
System for Landscape and Town Planning.
Proceedings of the CONVR2003, Virginia Tech,
114-121.
- 中原守勇・蒔苗耕司(2005) : 触覚可能な地形表現システ
ムの開発. インタラクション2005論文集, CD-ROM論
文・デモコンテンツ集, C311.pdf.
- Piper, B., Ratti, C., Ishii, H. (2002): Illuminating Clay:
A 3-D tangible interface for landscape analysis. In
Proceedings of the Conference on Human Factors in
Computing Systems (CHI'02) 20-25 April,
Minneapolis.
- 安居院 猛・中嶋正之・羽倉弘之 (1985) : ステレオグラ
フィックス&ホログラフィ. 秋葉出版 .