

研究テーマ 屋外環境モデルの生成

研究者	篠田直正	川崎重工業株式会社	共同研究員
	B.Babu MADHAVAN	財団法人ソフトピアジャパン	雇用研究員
	矢島賢治	大日コンサルタント株式会社	共同研究員
	飯田潤士	大日コンサルタント株式会社	共同研究員

フェーズ I

1 研究の概要

本研究では、世界文化遺産等のデジタルアーカイブ化や、GIS やデジタル地図製品として利用することを目的とした広域景観や市街地等における高精度な屋外環境モデル生成手法の開発を行った。屋外環境モデルは室内環境モデルの生成手法と異なり、既存の3次元計測器で環境の3次元情報を取得することは非効率であるため、複数の航空写真を用いたステレオマッチングによる広域の3次元情報を取得したり、上空からのレーザセンシングデータを用いた3次元情報の取得等、目的に応じた多くの方法がある。本研究では、「世界文化遺産のデジタルアーカイブ化」、「GIS による活用を主眼とした屋外環境モデル化」、「景観シミュレーション等に利用可能なデジタル地図としての屋外環境モデル化」の3つの目的を設定し、それぞれの目的に応じた屋外環境モデル生成の検討を行った。

「世界文化遺産のデジタルアーカイブ化」としては、国内6番目にUNESCOの世界遺産として登録された岐阜県内にある「白川郷・五箇山の合掌造り集落（岐阜県白川村、富山県平村、富山県上平村）」の白川郷に関するモデル生成に関する研究を行った。本研究では、他の文化遺産のデジタルアーカイブ化にも適用可能な、広域景観モデル作成のためのより効率的なシステムの構築と、構築した文化遺産モデルを検証するため、フルスクリーンで同時に複数人が体感できる没入型6面ディスプレイによる表示、および白川郷の周辺環境の再現としての天体シミュレーションを行った。

「GIS による活用を主眼とした屋外環境モデル化」としては、岐阜駅を中心とした市街地を対象に、GIS による活用を主眼としたモデル化およびVR化を実施した。また、その利用分野に対する検討・検証を行なうとともに、製品化可能性に関する調査を実施した。結果として、都市空間モデルの構築は、技術的、経済的に実用可能である。また、利用分野についても、今回の業務における検証で明らかのように、市街地再開発事業をはじめとした各種の分野において潜在的な需要が存在すると考えられる。

最後に「景観シミュレーション等に利用可能なデジタル地図としての屋外環境モデル化」としては、「GIS による活用を主眼とした屋外環境モデル化」の成果である高精度な3次元市街地モデル構築技術をベースとして、さらに高品質で、デジタル地図製品として販売可能な「3次元デジタルマップ岐阜」を開発した。3次元デジタルマップ岐阜は、従来の3次元デジタル地図製品に比べはるかに3次元情報が高精度である、形状データのみでなく写実性を高めるテクスチャを持つ等の特徴を持つデジタル地図製品プロトタイプである。

上記の3つの目的に応じた屋外環境モデル生成の他に「ビークル用複合現実感システムの構築」に関する研究を行った。近年、現実環境に仮想物体や仮想画像を合成することで、現実環境に情報を付加する拡張現実感が新たな情報提示手法として注目されている。特に、航空機の操縦者に対する環境情報の補強は、安全運行に役立つ等の様々な場面で有益と考えられている。そこで、本研究では、実世界と仮想モデルとのマッチング手法についてのサーベイと検討を行った。

2 研究の目標

近年、市街地再開発事業をはじめとした各種の分野において、市街地の3次元モデル生成に対する需要が多く存在する。特に都市空間モデルに関しては、景観シミュレーションやGIS等の多くの応用アプリケーションに利用可能であるため、航空写真や上空からのレーザセンシングデータ等からの効率的かつ高精度なモデル生成に関する研究は重要な課題であり、また確立された手法がないのが現状である。

一方、文化遺産のデジタルアーカイブ化にあたっては、文化遺産である建築物、遺跡等の外見形状に関する記録が必要なことは言うまでもないが、加えて文化的な側面を記録、保存することが重要である。

文化財等のデジタルアーカイブ化におけるVRシステムでは、対象物の形状などの外観に主力が注がれ、文化遺産が生れ、育まれ、今日まで保存されてきた周囲の景観、環境についての記録が、なおざりにされる場合がある。これは、周辺環境のVRによる再現は、データ量が膨大であるため、軍用システムなどの一部の場合を除き、一般的なコンピュータの能力およびVRソフトの組合せでは技術的に困難であることによる。

しかしながら、世界遺産の価値基準として、「歴史上の有意義な時代を示す優れた建造物や建築物群、景観の例」、「ある文化を代表する伝統的集落や土地利用の典型的な例で、消滅の危機にあるもの」などが挙げられるなど、周辺の景観のデジタルアーカイブ化の必要性は高いと考えられ、文化遺産のデジタルアーカイブ化に関する研究は世界各地で行われている。

上記のように応用アプリケーションが幅広く存在する屋外環境モデル生成に関する研究は重要な課題である。そこで、本研究では、応用アプリケーションとしての目的に応じた屋外環境モデル生成の手法の検討を行う。

また、屋外環境モデルを利用したビークル用複合現実感システムを構築するために、実世界と屋外環境モデルとのマッチング手法についてのサーベイと検討を行う。

3 実施内容

3.1 VRによる世界文化遺産「白川郷・五箇山の合掌造り集落」の構築に関する研究

—世界文化遺産のデジタルアーカイブ化—

本研究では、成果文化遺産である白川郷を対象として、他の文化遺産のデジタルアーカイブ化にも適用可能な広域景観モデル生成のための、より効率的なシステムの構築と、構築した文化遺産モデルの検証をするため、フルスクリーンで同時に複数人が体感できる没入型6面ディスプレイによる表示、および白川郷の周辺環境の再現としての天体シミュレーションを行った。

3.1.1 広域景観モデル生成のための効率化手法

3.1.1.1 広域景観モデルの必要性

文化遺産のデジタルアーカイブ化にあたっては、文化遺産である建築物、遺跡等の外見形状に関する記録が必要なことは言うまでもないが、加えて文化的な側面を記録、保存することが重要である。

文化財等のデジタルアーカイブ化におけるVRシステムでは、対象物の形状などの外観に主力が注がれ、文化遺産が生れ、育まれ、今日まで保存されてきた周囲の景観、環境についての記録が、なおざりにされる場合がある。これは、周辺環境のVRによる再現は、データ量が膨大であるため、軍用システムなどの一部の場合を除き、一般的なコンピュータの能力およびVRソフトの組合せでは技術的に困難であることによる。

しかしながら、世界遺産の価値基準として、「歴史上の有意義な時代を示す優れた建造物や建築物群、景観の例」、「ある文化を代表する伝統的集落や土地利用の典型的な例で、消滅の危機にあるもの」などが挙げられるなど、周辺の景観のデジタルアーカイブ化の必要性は高いと考える。

本研究の対象である白川郷は中部山岳地帯の険しい山間地にあり、しかも、日本有数の豪雪地帯

である。地域の中心には、庄川が 1,500m 前後の山並みを縫うように流れ、深い溪谷を刻みながら南から北へ流れている。山地は全て急峻な地形のため、地域のほとんどの集落は、庄川に沿って形成された狭い平坦地にひらけている。こうした、厳しい地理的および気候的条件により、古くから平家落人の隠れ里として他地域との交渉の少ない地域であり、そのため独特の文化の形成と、合掌造り建築をはじめとした昔からの社会制度や民族・慣習が今日でもよく伝えられている。

したがって、白川郷の VR 技術を用いたデジタルアーカイブ化にあたっては、地形をはじめとした広域にわたる周辺環境を、仮想的に再現することが必須であると考えられる。



図1 白川郷の合掌造り民家の例

3.1.1.2 広域景観モデルにおける求められる要素と課題

白川郷を例とした文化遺産の VR 技術を用いたデジタルアーカイブ化における周辺景観環境の再現には、以下のような要素が必要とされる。

(1) 主体としての景観の表現

地域の中央を流れる庄川、集落を取り囲む急峻な山々、わずかな平地に密集する集落とその周辺の耕地など、景観の主体としての白川郷の地形環境を表現するモデルが必要である。

(2) 背景としての景観の表現

集落の中を VR システムによりウォークスルーした場合に、合掌造り建築物は背景の景観との調和の中ではじめてその存在価値があり、建築物単独では文化遺産としての価値は半減する。したがって、切れ目のない背景としての景観が必要とされる。

(3) データ量

近年の情報関連ハードウェアの進歩は著しく、かつては軍事用のシステム、あるいは高価なグラフィックワークステーションでのみ可能であった 3D アクセラレーションが、PC レベルでも可能となってきた。しかしながら、広域の地形を VR システム内でストレス無く表示し、仮想空間の体験者に違和感を生じさせない環境を提供するためには、1 オブジェクト当り 2~3 千ポリゴン内で作成する必要がある。

また、より広く仮想空間を体験する機会を提供することが、VR 技術を使用した文化遺産のデジタルアーカイブ化の目的の 1 つでもあることから、より身近なハードウェア（パソコン等）での VR 環境提供が求められている。このため、データ量をできる限り減少させつつ、本来の形状を伝える必要がある。

(4) 他モデルとの連続性

本研究における白川郷の VR 化では、モデルの階層と平面的な関係を図 2 に示す構成としている。

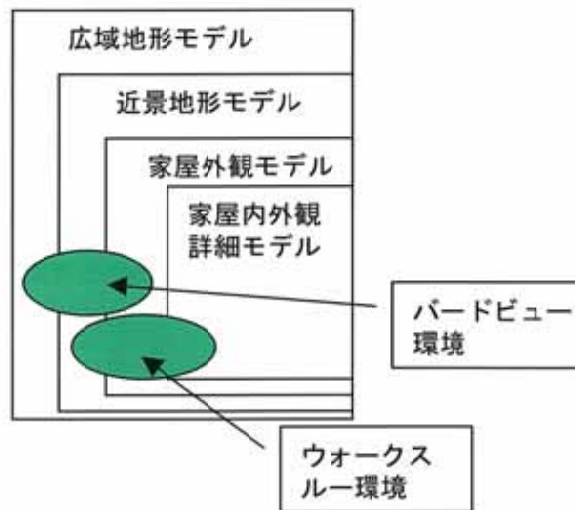


図2 VRシステムにおけるモデル構成

VRシステムの詳細については、前年度において報告済みであるので、ここでは省略するが、仮想空間の体験者がパードビュー環境とウォークスルー環境を往來する場合に、システムが必要なモデルを切替えながら表示する。また、VRシステムにおける各モデルと、その実空間における占有空間と密度、システム内でのモデルデータ量（ポリゴン数）の関係を図3に示す。

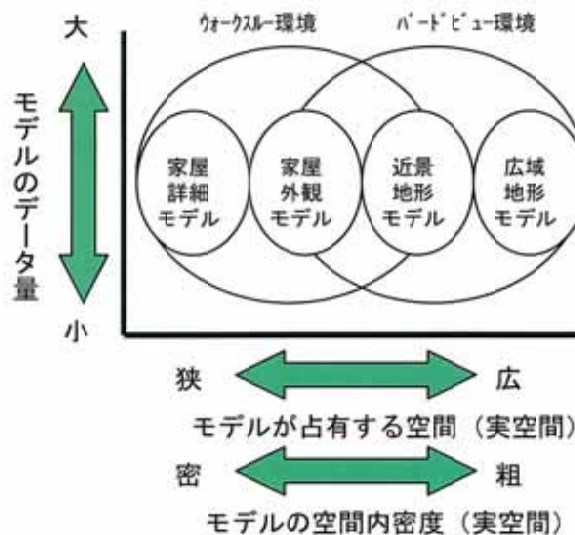


図3 各モデルのデータ量と実空間内の属性

パードビュー環境からウォークスルー環境への移行においては、広域地形モデルから近景地形モデルへのスムーズなモデルの切替えが必要とされる。そのため、両モデルの位置設定を正確に行う必要がある。

また、VRシステムの操作時レスポンスが、環境の移行時に急激に変化することがないように、モデルデータ量に大きな差が生じないように調整する必要がある。

(5) 効率的なモデル作成

図3に示したように、広域地形モデルは実空間における平面的な範囲は広大である。そのため、モデル作成のための資料収集と、データ入力に要する手間は膨大なものとなる。一方、VRシステム内における、モデルの実空間に対する密度は他のモデルと比較すると非常に粗いもので十分であることがわかる。

したがって、文化遺産のVR技術によるデジタルアーカイブ化において、広域地形モデルをいかに効率的に作成するかが、重要な要素として捉えられる。

3.1.1.3 広域景観モデル作成システム

本研究では、前項で述べたような、広域景観モデル作成に対して求められる条件を満たし、かつ効率的に作成するために、

- ・汎用データの利用
- ・公共測量座標系による位置管理およびモデルの集中管理
- ・地形データのポリゴンリダクション
- ・汎用的な出力フォーマット

の各項目について効率化の手法を検討し、総合的な広域景観モデル作成システムを構築した。以下に、システムの概要と効率化のための手法について述べる。

(1) システム概要

本システムは、各種のサブシステムとコンバータ等のツール群で構成され、これらをネットワークで接続し、データ連携をはかることにより実現している。表1に主なサブシステムとツールの仕様を示す。

また、図4に、データの流れからみたシステムの概要を、図5にシステム構成を示す。

表1 サブシステムの概要

サブシステム名	プラットフォーム	ソフトウェア名	機能概要
デジタル画像解析システム	IRIS Indigo2	PHODIS カールツァイス株式会社	航空写真画像のデジタル解析システム 複数の航空写真より DTM およびオルソ フォト画像を作成。
DTM→DXF 変換プログラム	PC	ドメインソフト	PHODIS より出力された DTM データお よび数値地図 (250m メッシュ、50m メッシュ) から、DXF データ (3DFACE) を作成。
3次元地形入力システム	PC WinNT	3D-MAP 株式会社 CTC	地形図イメージデータのベクトル化、高 さ情報付加、ポリゴン生成。ポリゴンデ ータは DXF データ (3DFACE) により出 力。
ポリゴンリダクションプログラム	PC	ドメインソフト	ポリゴン数の削減を行う。入出力ともに DXF データ (3DFACE)
CG システム	IRIS Indigo INDY	QuBISM 株式会社エヌケー・エ クサ	モデルのマテリアルおよびテクスチャマ ッピング設定。 入力は DXF データ (3DFACE)。 出力は VRML2 および IV データ。

効率化のための手法

広域景観モデル作成システムのデータフロー

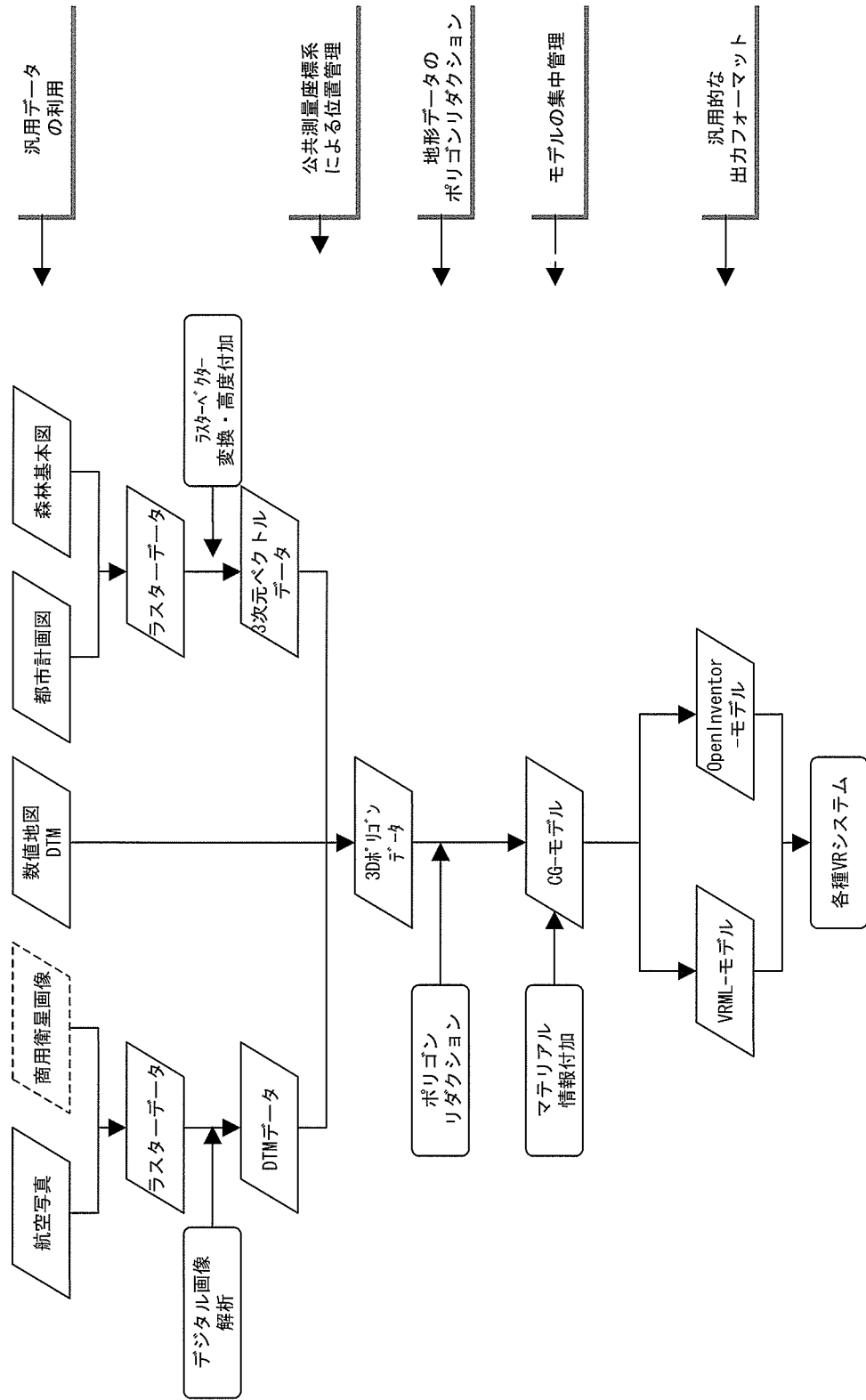


図4 広域景観モデル生成システムのデータフロー

ただし、商用衛星画像については、現時点では入手が困難なため情報収集のみとした。

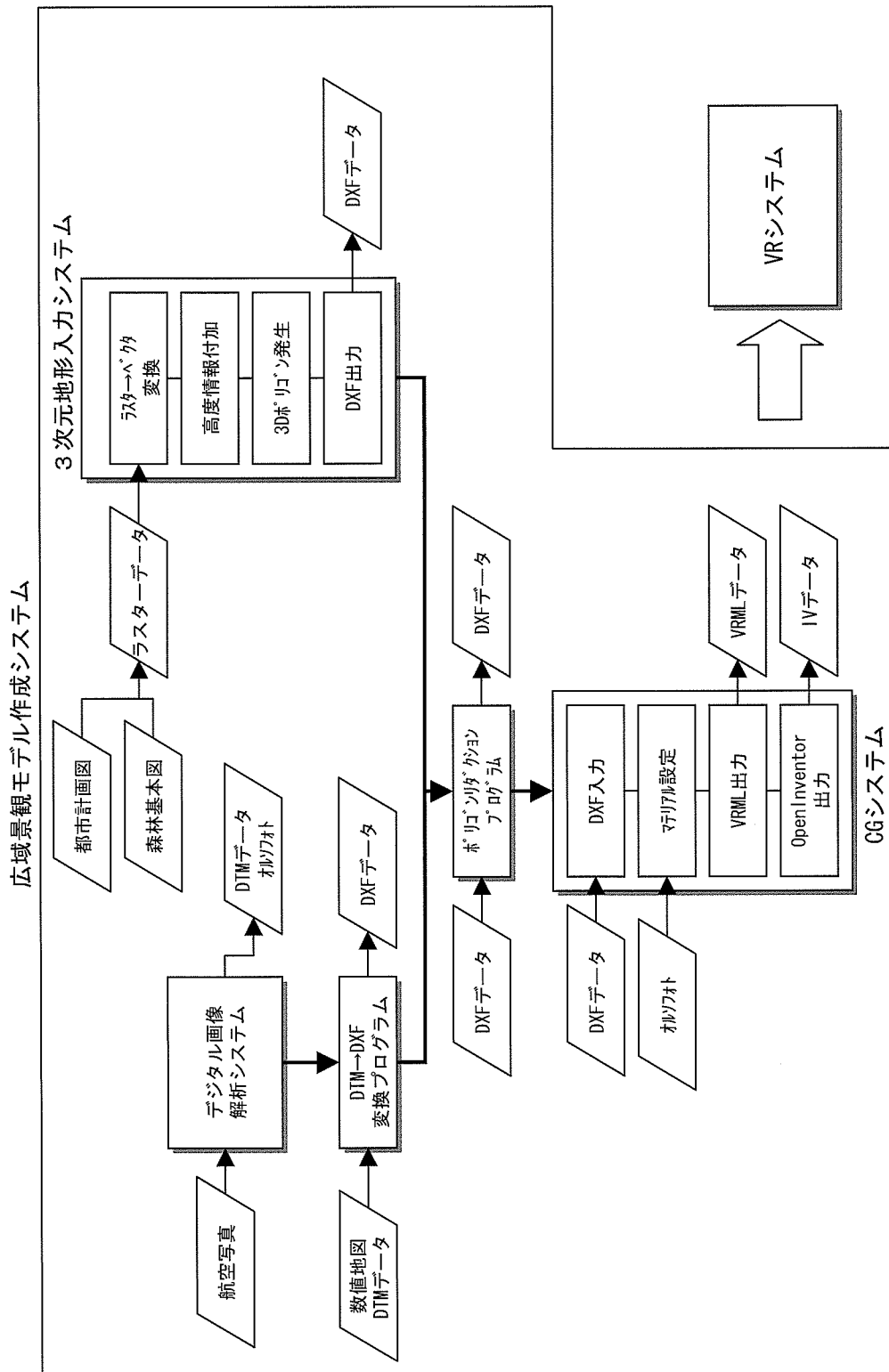


図5 広域景観モデル生成システムの構成

(2) 汎用データの利用

広範囲にわたる領域の地形をデータ化するためには、モデル化対象エリアの規模に応じた高度による航空写真撮影を行い、これをもとに地形モデルおよびテクスチャマッピング用のオルソフォト画像を作成するのが、もっとも確実な手段といえる。

しかしながら、航空写真撮影とその画像解析には、かなりの時間と費用が必要とされる。一方、VRシステム内では、広域地形モデルに対してはそれほどの精度を要求されておらず、作成のための手間と費用と、利用上の効果の間にギャップが生じている。

そこで本システムでは、現状で容易に入手可能なあらゆる種類の地形関連資料からのデータ入

力手段を装備することにより、モデル化対象エリアや、必要精度、および入手可能な資料の種類など、各種条件に応じて効率的にデータ採取を行い、かつ、均一な品質による VR システムのためのデータ出力を可能とした。

入手可能な資料の主なものと、その特徴を表 2 に示す。

表 2 入手可能な資料

資料名	縮尺・精度	特徴	入手先
地形図	1/25,000	国土地理院により全国エリアで整備済み。カラー印刷のためラスター・ベクタ変換は困難。	地図センター、書店
都市計画図	1/2,500	都市計画区域に指定されている市町村では必ず整備されている。等高線のデジタイズが必要。	市役所など
森林基本図	1/5,000	全国のほとんどのエリアが整備済み。等高線のデジタイズが必要。	地方自治体
工事用地形図	1/2,500 1/1000 1/500	当該区域において、道路計画、宅地農地造成などの工事計画が存在する場合に、整備されている場合がある。等高線のデジタイズが必要。	自治体、所管官公庁など
都市計画図ベクタデータ	1/2,500	全国ほとんどの市の都市計画図がベクタ化され、市販されている。等高線は省略されている場合がある。	メーカー
数値地図	50mメッシュ地形高度 250mメッシュ地形高度	全国のエリアが整備済み。	地図センター、書店
数値地図 25000	1/25,000	1/25,000 地形図のラスターデータ。全国エリアで整備済み。ラスター・ベクタ変換には解像度不足。	地図センター、書店
航空写真	1/25,000 地図作成用	全国のエリアが整備済み。撮影年度にバラツキがある。	地図センター
	各種	工事などのため、自治体などにより撮影されている場合がある。	地方自治体など
商用衛星写真	最低解像度 1m 程度	今年度サービス開始。現在、詳細を調査中。	メーカー

資料を、情報の格納形態および入力サブシステムに分類すると表 3 の種別に分類される。

表 3 資料の分類

種別	資料名	データ採取範囲	入力サブシステム
印刷物	地形図 (1/25,000)	約 10km	3次元地形入力システム
	都市計画図 森林基本図 工事用地形図	約 5km~1km 以下	
	都市計画図ベクタデータ	約 5km	
DTM データ	数値地図(50mメッシュ)	約 10km	DTM→DXF 変換プログラム
	数値地図(250mメッシュ)	約 50km	
ラスターデータ	数値地図 (1/25,000 地形図)	約 10km	3次元地形入力システム
航空写真	航空写真	撮影高度による	デジタル画像解析システム

各資料のサブシステムにおける処理概要を以下に示す。

①3次元地形入力サブシステム

印刷物の資料を、モノクロスキャナによりラスターデータ化、サブシステム内でラスター・ベクタ変換後、等高線のベクタに対し高さ情報を付加する。その後 3次元ポリゴンを発生させ、DXF

データとして出力する。

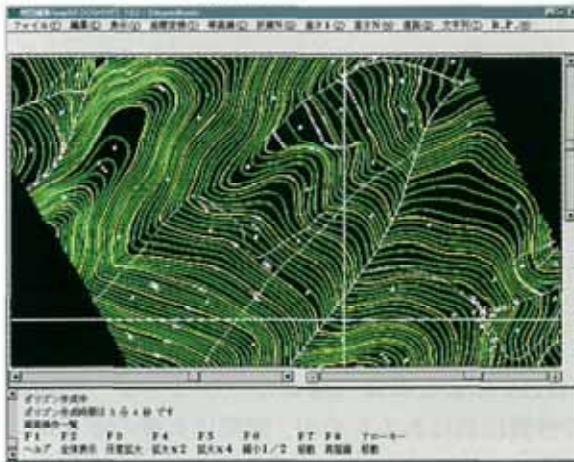


図6 高さ情報の付加状況

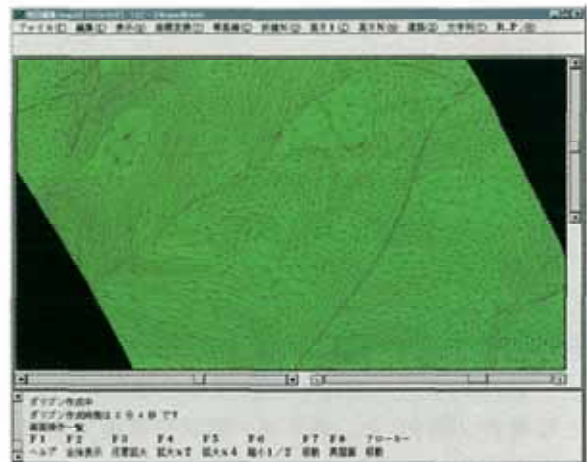


図7 ベクトルデータより生成した
ポリゴンデータ

②DTM→DXF 変換プログラム

数値地図(50mメッシュ、250mメッシュ)あるいはデジタル画像解析システムより出力されたDTMデータを、DXF形式の3次元トライアングルデータとして出力する。

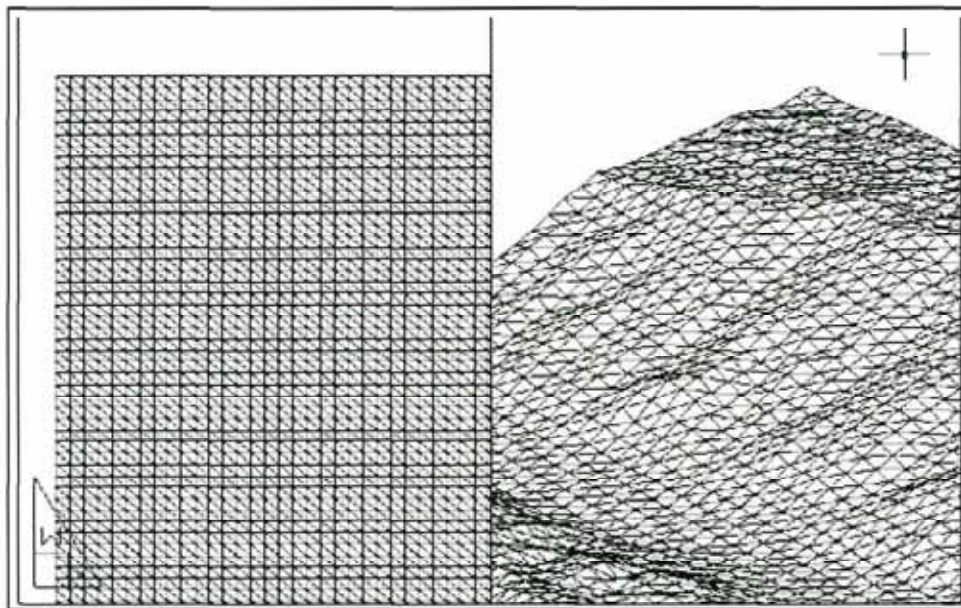


図8 DTMから生成した3次元ポリゴンデータ

③デジタル画像解析サブシステム

航空写真測量のためのデジタル図化システムの一部である、デジタル画像解析システムを使用した。本サブシステムの出力は、DTMデータとして出力される。

(3) 公共測量座標系による位置管理とモデルの集中管理

前項で述べたように、地形モデル作成のための資料として、各種の資料が利用可能である。しかしながら、各資料における位置情報は、緯度経度、測量座標系、数学座標系など多様であり、広域地形モデル以外のモデル(近景地形、建築物、道路など)についても、それぞれが独自の位置情報を持つ可能性が高い。

このため、最終的にVRシステムにそれぞれのモデルのデータを移行した場合に、シームレスにモデル間を接合することが困難となる。

本システムでは、この課題に対し、VRシステムにモデルを移行する直前までの全工程におい

て、データの位置情報を公共測量座標系に統一し、CG システム内でモデルを集中的に管理することとした。

これにより、以下のような効果を得ることができた。

- ・ 各種の資料を組み合わせたモデル作成
- ・ 正確な位置管理による部分的なモデルの修正
- ・ 一部モデルの入れ替え
- ・ 広域地形、近景地形、建築物など各モデル作成の並行作業
- ・ 航空写真オルソフォト画像の正確なテクスチャマッピング

(4) 地形データのポリゴンリダクション

汎用的な資料を用いて作成した地形データは、DTM による場合（図 8）、ベクトルデータによる場合（図 9）と、ポリゴン形状や密度分布などの性質に差はあるものの、非常に大量のポリゴンを有する。

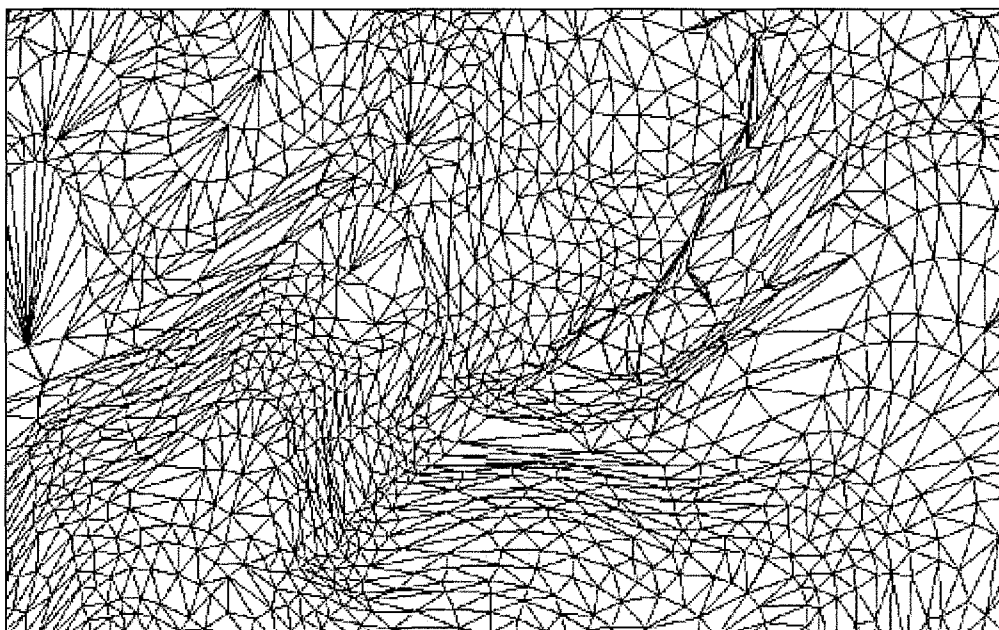


図 9 ベクトルデータにより生成した地形データ

例として、数値地図（50m メッシュ）の 1 データファイルから生成される地形モデルのポリゴン数は、約 79,000 ポリゴンに達する。

これまでも、市販のポリゴンリダクションのためのツールは存在したが、それらの多くは、数千ポリゴン程度のモデルに関するリダクションを目的としたものである。そのため、本研究における地形モデルに見られるような、多数のポリゴンのリダクションの場合には、ソフトウェア的な取扱いの面（インターフェース）、およびリダクション結果について満足な結果を得られなかった。

そこで、本研究では、多数のポリゴンを有する地形モデル専用のポリゴンリダクション用プログラムを作成した。

以下に、このポリゴンリダクション用プログラムについて述べる。

①リダクションのアルゴリズム

ポリゴンのリダクションに関するアルゴリズムには、既にエッジ評価による 3 次元モデルの近似化アルゴリズムが提案されている。今回は、このアルゴリズムによるリダクションを行った。

このアルゴリズムでは、モデルを構成するポリゴンのエッジ A に着目する。このエッジ A に関連する複数のポリゴンによる立体の体積 $V1$ と、A 上に新たな頂点 P3 を作成し、これと P1, P2 以

外の頂点をつなぐポリゴンによる体積 $V2$ との体積差をエッジ A の評価値とする。評価値の高低がすなわち形状の特徴への寄与度の指標となり、評価値の低いものほど削除してもモデル形状に影響を与えないことになる（図10参照）。

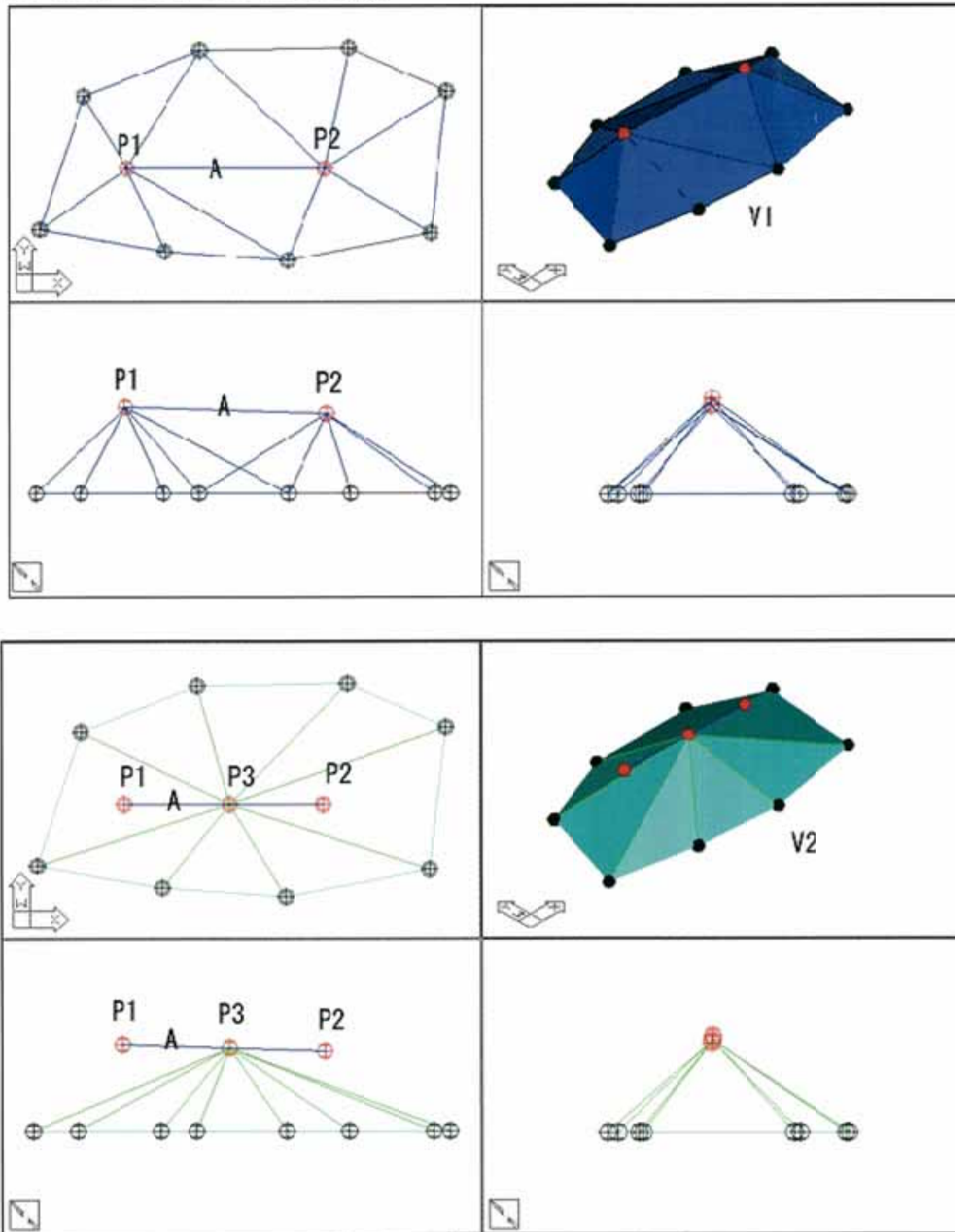


図10 ポリゴンリダクションのアルゴリズム

オブジェクト内の、両側にポリゴンを持つ全てのエッジ（開いたオブジェクトの縁辺エッジは除外）について評価を行い、評価値の低いエッジから順に削除を行う。

②リダクションの効果

このアルゴリズムにより、数値地図（平瀬）の50mメッシュから生成した地形モデルについてリダクション効果を検証した。

この数値地図のDTMデータは、50m間隔の標高点が緯度、経度方向にそれぞれ200点で構成

される。このDTMから作成した地形モデルは79,202個の三角形ポリゴンで構成される。リダクション前の地形モデルを図11に示す。



図11 地形モデル（ポリゴンリダクション前）

この地形モデルにおける、評価値に対するエッジの度数分布を図12に示す。これより、比較的モデル形状に影響の少ないエッジが多く含まれ、リダクション効果が大きいと予想された。

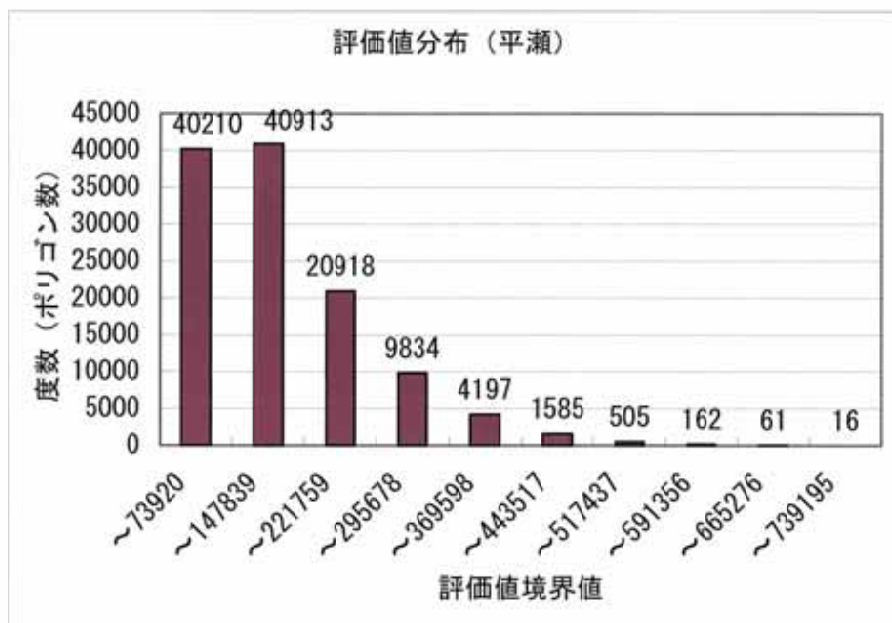


図12 評価値による度数分布

地形モデル内エッジについて、評価値0をパラメータ0、評価値の最大値をパラメータ100とし、パラメータを0~100の間で段階的に変化させながら、境界値パラメータ以下のエッジ削除を行った場合のポリゴン数を図13に、ポリゴン削減率を図14に示す。

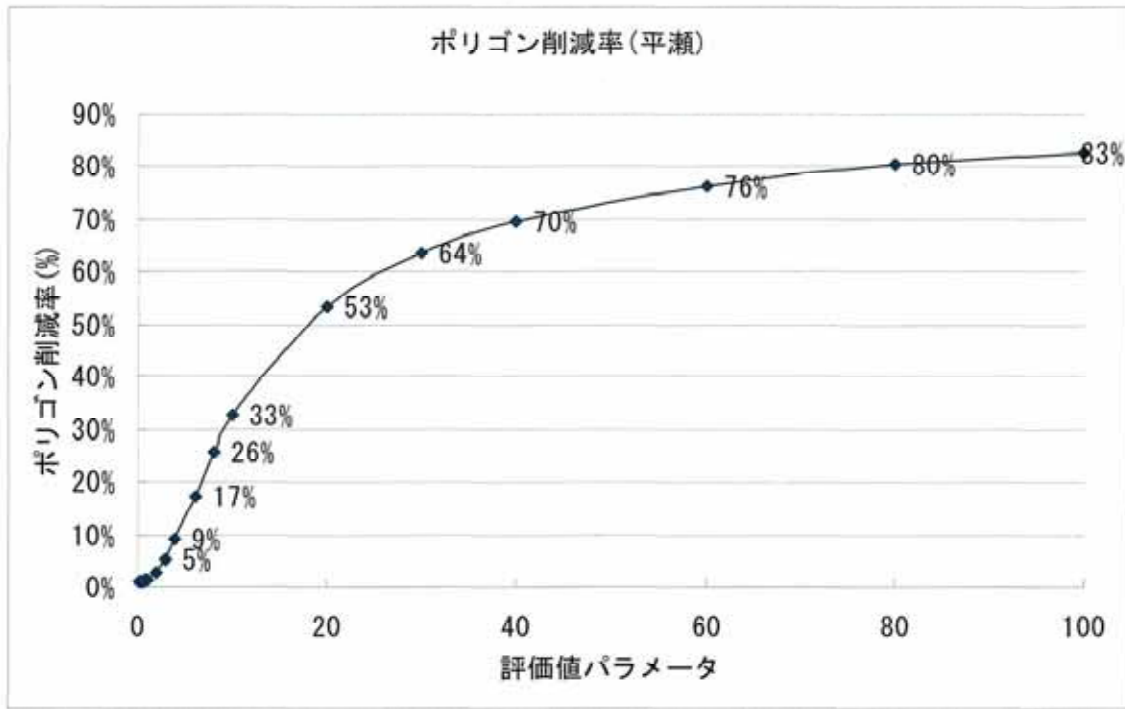


図13 ポリゴンリダクションによるポリゴン数

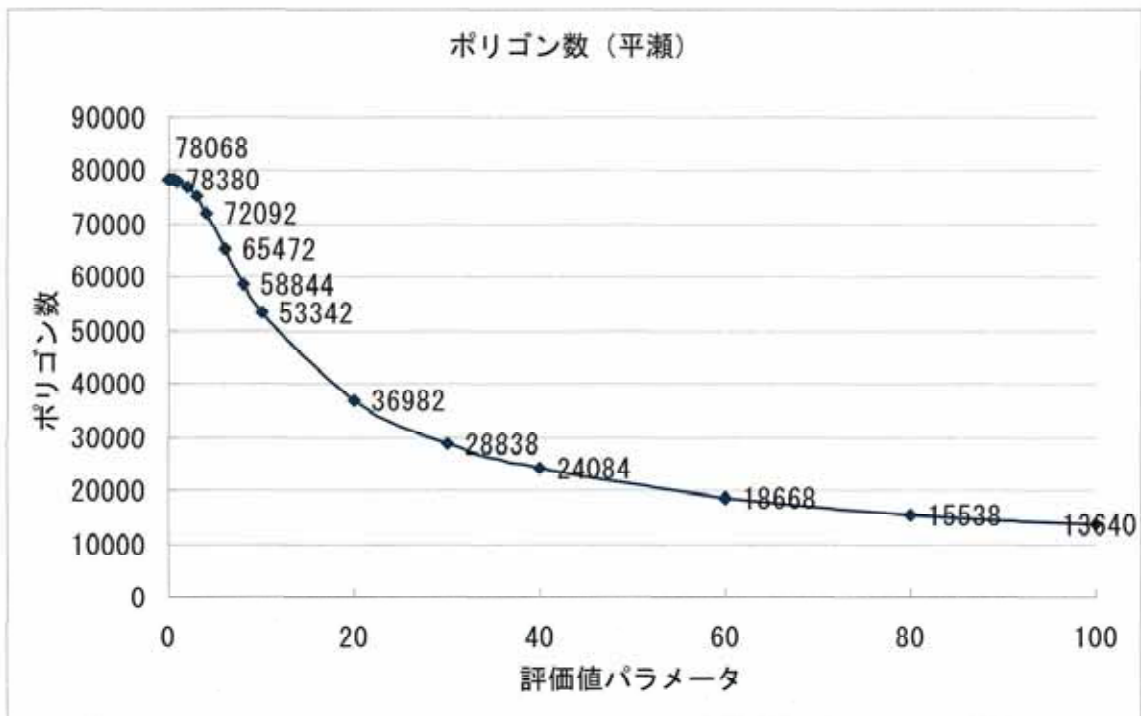


図14 ポリゴンリダクションによるポリゴン削減率

グラフから、パラメータ 60 付近までのポリゴン削減効果が大きいことがわかる。

また、ポリゴンの削除状況を図 15 に示す。ポリゴンの約 80% を削除したにもかかわらず、地形形状の特徴を維持することが可能である。細部の山壁などの形状をより詳細に表現する場合にも、パラメータ 40 程度でのリダクションにより、70% のポリゴンを削除することが可能である。

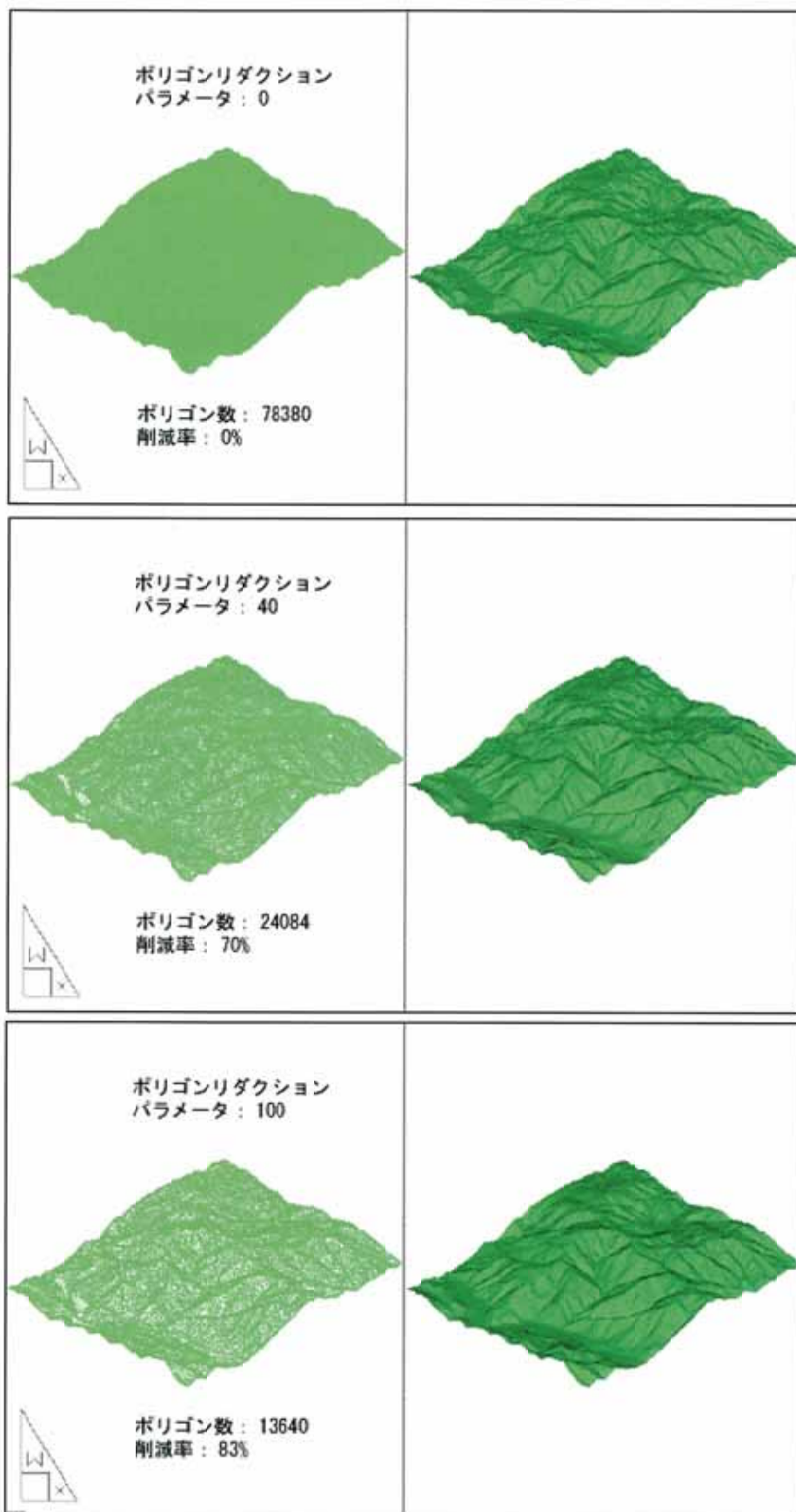


図 15 ポリゴンリダクションの状況

③再リダクション

一度リダクションによりポリゴンの削除を行った地形モデルに対し、再度リダクションを実施した場合のポリゴン数を図 16 に示す。

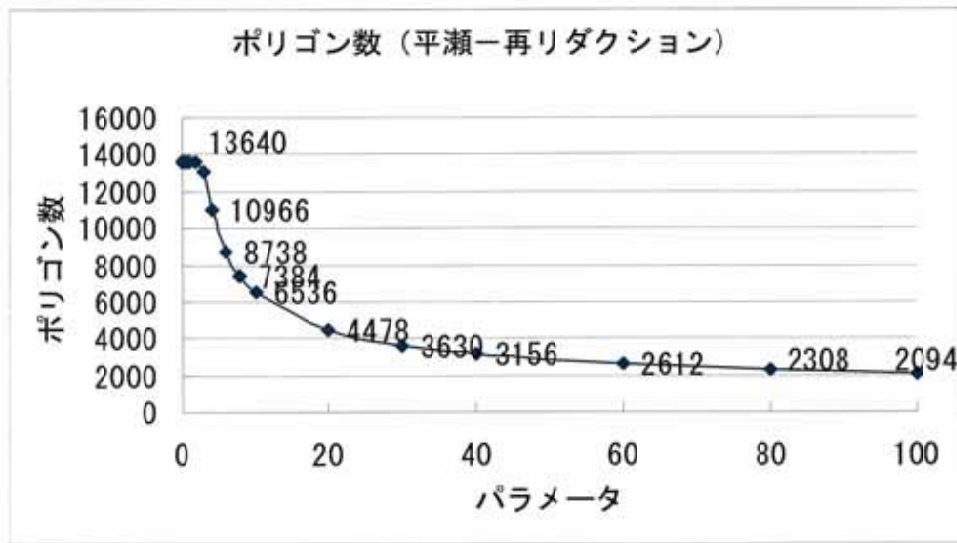


図 16 再リダクションによるポリゴン数

ポリゴン減少は1回目のリダクションと同様の傾向を示し、パラメータ 40 までの効果が高いことがわかる。

また、2回のリダクション全体でみたポリゴン削減率の変化を図 17 に示す。

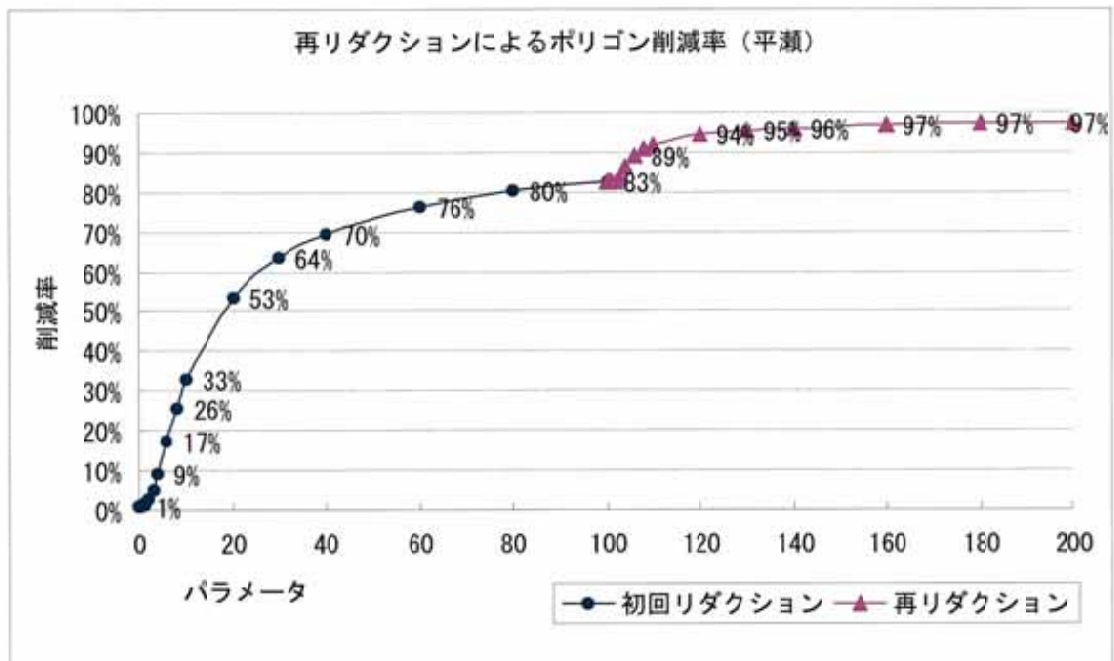


図 17 再リダクションによるポリゴン削減率

再リダクション後の地形モデルの状況を図 18 に示す。

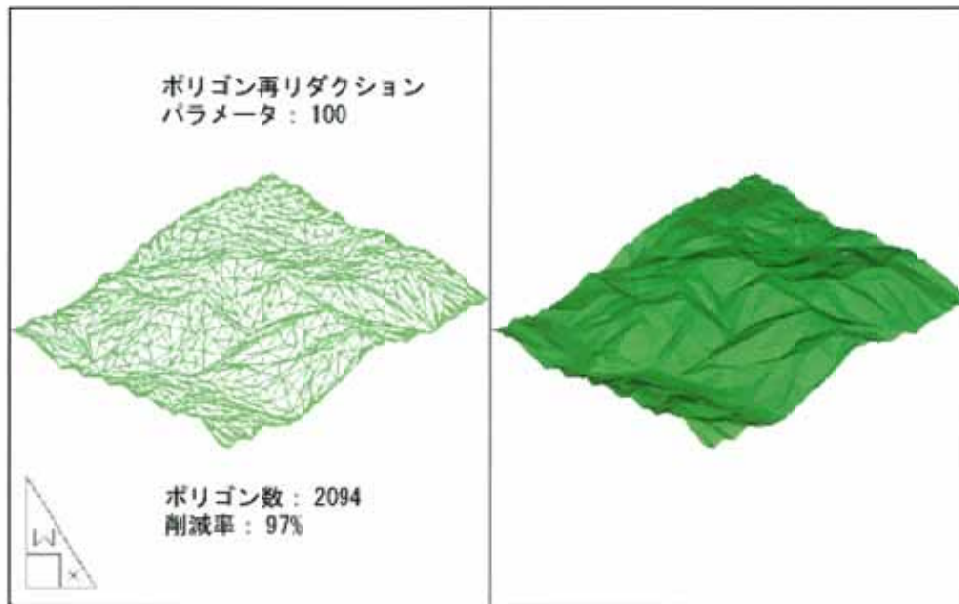


図 18 再リダクション後の地形モデル

細かな山巒形状は失われるものの、大まかな地形上の特徴は忠実に残されている。

以上より、非常に広範囲の地形モデル作成にあたっては、再リダクションあるいは複数回のリダクションを繰り返すことで、効率的なモデル作成が可能である。

④地形条件のリダクションへの影響

これまでのリダクションに関する検証は、数値地図 25,000（平瀬）の 50m メッシュから作成した地形モデルに対して行ってきた。

当該の地域はかなり起伏の激しい山地部である。リダクションが起伏の緩やかな平地部における地形モデルに対しても、同様の効果を得ることが可能かを検証した。

平地部の地形モデルは、数値地図 25,000（小牧）の 50m メッシュから作成したモデルとした。図 19 に山地部および平地部地形モデルのリダクション後の形状を示す。

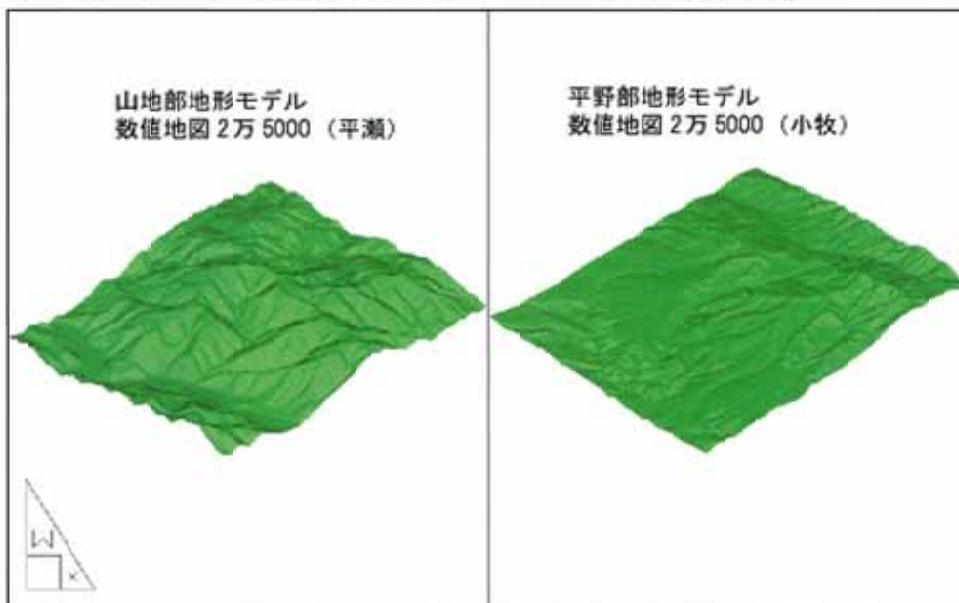


図 19 山地部、平野部モデルのリダクション後の形状結果

形状的には、両モデルとも地形形状の特徴を維持したモデルとなっている。評価値パラメータとポリゴン削減率のグラフを図 20 に示す。

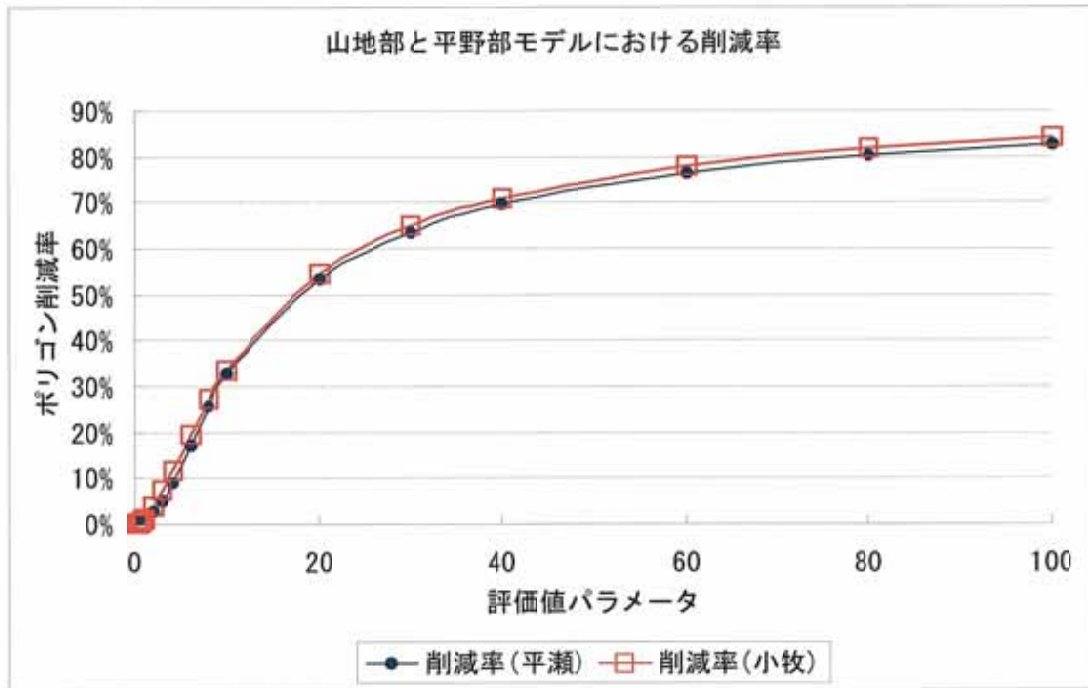


図 20 山地部、平野部モデルにおける削減率

グラフより、山地部と平野部モデルのリダクション状況は、ほぼ同様な傾向を示した。したがって、本アルゴリズムによるリダクションは、山地、平野などの地形的な条件にかかわらず、汎用的なポリゴン削減効果を得ることが検証された。

(5) 汎用的な出力フォーマット

本広域景観モデル作成システムからの出力においては、各種 VR システムに対応可能とすることを目的として、汎用的に使用されているフォーマットのデータ（具体的には VRML 形式および OpenInventor 形式）のデータとした。

これにより、地形モデルの形状のみならず、CG システムにおいて設定されたマテリアルおよびマッピングテクスチャの情報まで、一括して VR システムに渡すことが可能となった。

したがって、VR システム側では、モデルの配置、マテリアル設定、マッピング設定などの作業が軽減されることとなり、効率的な VR 環境の構築が可能となった。

3.1.2 没入型 6 面ディスプレイによる表示

前節で構築した白川郷のモデルを実際に体験するため、我々は岐阜県にある没入型 6 面ディスプレイ COSMOS（COsmic Scale Multimedia Of Six-screen）で表示を行った。COSMOS は、岐阜県科学技術振興センターにある VR の映像表示装置で、3m 四方のスクリーン 6 枚で作られる空間である。この中にユーザが入り、壁面、床、天井に映し出される映像を見ると、周りを全て映像で取り囲まれ、非常に臨場感のある仮想空間を体験することができる。

3.1.2.1 モデルについて

白川郷のモデルは下記の 2 つを使用した。

1	白川郷全景 (45.6 ヘクタール)	28,000 ポリゴン
2	民家園及びその近景(5.8ヘクタール)	32,000 ポリゴン

COSMOS 上で表示するためにモデルフォーマットは OpenInventor で、テクスチャは RGB フォーマットとした。

また、非常にテクスチャーデータ量が多いと、ユーザが快適にウォークスルーすることができな

くなるため、テクスチャの解像度をある程度まで落としたものを使用した。

白川郷全景	地形データ	8MB
	合計	8MB
民家園及びその近景	地形データ	16.4MB
	合掌造り民家	4.2MB
	木及び青空	2.2MB
	合計	22.8MB

COSMOS 上でモデルを表示するためには、一般的な 3 次元モデル上でのウォークスルーと同じように、ユーザがモデル上から見ている視野（モデルビュー）を考える必要がある。その際、通常はカメラ（ユーザが見ている画面）は 1 個しかないが、COSMOS では 6 個のカメラを使用する。6 個のカメラでユーザの位置からの前後左右上下の位置で見えるモデルビュー情報を獲得し、それをずれがないようにスクリーン上でリアルタイムに表示する。6 個のカメラを制御しモデルを COSMOS 上で表示するライブラリを岐阜県生産情報技術研究所らが開発した。そこで、今回はそれを使用して COSMOS 上で表示を行った。

3.1.2.2 表示結果

表示結果を図 21、22 に示す。なお、モデル内での移動は、ゲーム用コントロールにて行った。6 面ディスプレイを使用した場合、非常に没入感を体験することができる。



図 21 白川郷全景での表示結果



図 22 民家園及びその近景での表示結果

3.1.3 天体シミュレーション

白川郷の形状を保存するだけでは、世界遺産の保存とはいえない。その周辺環境も世界遺産の 1 つといえる。周辺環境の保存には、その地域の季節の変化、例えば、雪が積もった合掌造り民家や、緑の木々が青々としている民家園周辺等があげられる。そこで、我々は今回、人が生活をするようになってから今までほとんど変化をしていない、「白川郷から見える星空」の保存を行うことにした。

3.1.3.1 シミュレーションの方法

西暦と日時を指定すると、その時点での白川郷から見える星空をシミュレーションすることにした。ただし、太陽・月・惑星の動きをシミュレーションするには、一般的な恒星と異なり、地球からの距離を求める必要があるなど、非常に計算が複雑になる。そこで、今回は恒星のシミュレーションのみを行うことにした。

恒星の位置を表すには、いくつかの座標系がある。地平座標系や時角・赤緯系、赤道座標系などである。前者 2 つは、観測者が地上にあって天球を見上げた場合を想定して定めた座標系であるのに対し、後者は天球に貼り付いている恒星の見かけの位置を表すのに都合のよい座標系である。

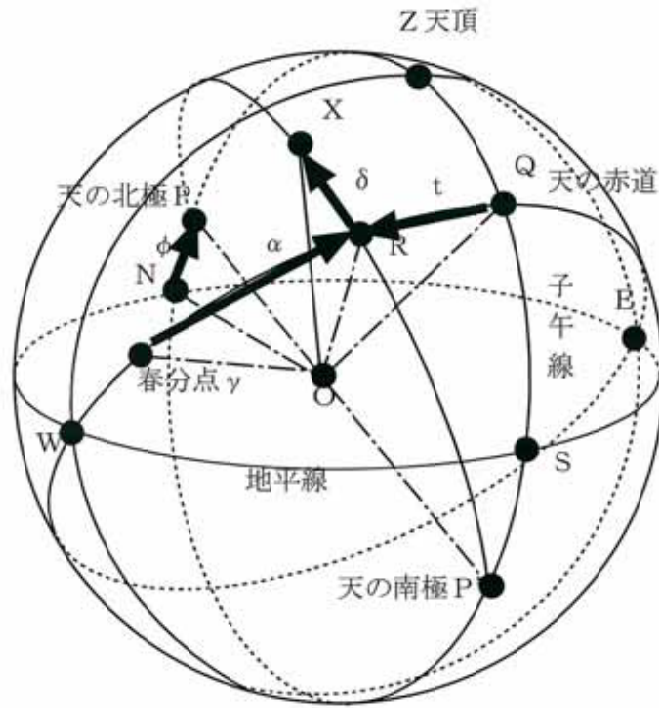


図23 赤経と赤緯

天球上の恒星 X の位置は、赤経 α 、赤緯 δ の赤道座標によって $X(\alpha, \delta)$ と表示することができる。つまり、

$$\alpha = \angle \gamma OR$$

$$\delta = \angle ROX$$

となる。

また、方位角 A 、高度 h から時角 t 、赤緯 δ を求める関係は、

$$\sin t \cos \delta = -\cos h \sin A$$

$$\cos t \cos \delta = \sin h \cos \phi - \cos h \sin \phi \cos A$$

$$\sin \delta = \sin h \sin \phi + \cos h \cos \phi \cos A$$

となる。

これらの式を利用して、天球上での恒星の位置をシミュレーションする。

3.1.3.2 表示結果

星のデータとしては、北半球上で見ることができる星座 + α として 60 ほどの星座を入れ、シミュレーションを行った。その表示例を図 24 に示す。



図24 シミュレーション結果の例

3.2 行政利用向け岐阜市モデルの開発

—GISによる活用を主眼とした屋外環境モデル化—

岐阜駅を中心とした市街地を対象に、GISによる活用を主眼としたモデル化およびVR化を実施した。また、その利用分野に対する検討・検証を行うとともに、製品化可能性に関する調査を実施した。

結果として、都市空間モデルの構築は、技術的、経済的に実用可能である。また、利用分野についても、今回の業務における検証で明らかのように、市街地再開発事業をはじめとした各種の分野において潜在的な需要が存在すると考えられる。今後は都市空間モデルの構築手法のさらなる研究をすすめると同時に、その応用アプリケーションの開発を進めていく予定である。

研究は以下の項目について実施した。

1. 開発環境の整備

モデル化、VR化に必要な開発環境として、以下の項目について整備した。なお、開発環境の整備にあたっては、市販調達可能なものとした。

- ・ハードウェア、OS
- ・開発用ソフトウェア

2. 都市空間のモデル化

市街地を低コストかつ高精度に3次元GISモデル化する手法を開発し、岐阜市JR岐阜駅周辺を対象に市街地の3次元GISモデル化を行った。モデルの主な仕様を以下に示す。

・モデル化の範囲

岐阜市駅前周辺について、南端：岐阜駅南口、北端：十六銀行前通り、西端：忠節橋通り、東端：長良橋通り、の範囲内市街地をモデル化した。

・モデルの精度

作成したモデルの精度は、±50cm以内とした。

・データ構造

作成したモデルは、VR化を可能とし、ネットワーク上でデータの共有が可能なデータ量、品質のモデルとした。また、構造物データの更新が容易なデータ構造とした。

3. 利用分野の検討

作成した都市空間モデルのについて、行政支援、環境アセスメント、ナビゲーション、教育、およびアミューズメント等の各分野における利用可能性の検討を行った。

また、各種の分野における利用について検証を行なうために、市街地再開発事業における利用を対象としたデモンストレーション用システムを開発した。

3.2.1 開発環境の整備

以下の環境整備のため必要な機器・ソフトウェアを揃え、環境を構築した。

整備した環境は以下の通りである。

①市街地GISモデル作成環境



図 25 左から 3次元データ処理システム、画像取得・処理システム、現地位置取得システム

②利用分野検証のための試作システム



図 26 試作システム

システムで使用したソフトウェアやハードウェア

品名	個数	備考
AutoCAD Map 2000i	3	GIS コンテンツ作成ソフト
MathCAD 2000 professional	1	数学計算補助ソフト
Image Processing Factory	1	画像 3 次元情報解析ソフト
DVD-RAM ドライブ	1	大容量データバックアップ
簡易 GPS レシーバ	1	現地位置データ取得
VR 表示用パソコン	1	試作システム 3 次元データ表示用
データ格納用パソコン	1	試作システムデータサーバ
Face Mount Display	1	試作システムディスプレイ
一眼レフデジタルカメラ	1	建物テクスチャ取得用
主要建築物詳細 3 次元データ	1	既存の建築物 3 次元データ

上記のソフトウェア、ハードウェアを組み合わせ、環境を構築した。

3.2.2 市街地の 3 次元 GIS モデル化

従来から都市を 3 次元モデル化しようとする試みは成されてきた。しかしながら、十分な精度と作成コストを両立させ得るモデルの構築手法は確立されていない状況である。

本研究で作成しようとする都市モデルは、GIS アプリケーションでの利用を想定しているため、広範囲にわたる市街地形状を高精度で構築することが求められている。

表 4 に、従来の市街地 3 次元モデル化に対する主な手法とその問題点を示す。

表 4 既存の都市の 3 次元モデル化手法

	手 法	問 題 点
①	複数の航空写真を用いステレオマッチングにより建物の 3 次元情報を得る方法。	人手による作業部分が多くコストがかかる。±1~2m の精度のモデル化が可能。
②	建物の階数情報と 2 次元地図の建物輪郭線情報を用いて、高さの推定と建物形状の自動作成を行なう方法。	自動モデリングが可能で、非常に低コストでモデルを作成できる。しかしながら高さ方向の精度は非常に低い。
③	上空からのレーザセンシングデータを用いた手法。	このデータを用いて自動的にモデルを構築する手法はまだ確立されていない。そのため高精度のモデルを作成するには、手作業に頼ることとなりコストがかかる。また、センシングにかかる費用も高い。しかしながら高精度なモデル作成が可能。

上記にまとめた通り、従来の手法による市街地の 3 次元モデル化は、製品化を考慮した場合には精度とコストを両立させることが困難である。

そこで本研究では、複数の基礎データを関連付けながら利用することにより、高精度でありなが

ら低コストな作成が可能なモデル構築手法の開発を目指した。

3.2.2.1 モデルの仕様

多目的に利用できる 3 次元 GIS モデルとして求められる機能を満足するべく、作成するモデルの仕様を定めた。

(1) モデル化の範囲

岐阜市の JR 岐阜駅前市街地(約 800m×800m)をモデル化対象範囲とした。図 27 に範囲を示す。



図 27 モデル化する対象範囲

(2) モデルの精度

±50cm の精度

(3) データ構造

以下の条件を満たすデータとした。

- ・VR 化が可能
- ・ネットワーク上でデータの共有が可能
- ・構造物データの更新が容易

具体的には

- ・総ポリゴン数：約 10 万ポリゴン
- ・総テクスチャファイル容量：80MB
- ・モデルデータ形式：VRML97 形式
- ・テクスチャ形式：PNG(Portable Network Graphic)形式

で作成した。

(4) その他

モデル作成に利用した座標系は、第Ⅶ座標系(昭和 43 年建設省告示第 3059 号の規定による)とした。なお、建物屋上詳細および側面詳細の形状は今回の研究では表現していない。

3.2.2.2 作業フロー

市街地 3 次元モデル作成のフローを図 28 に示す。



図 28 作業フロー

3.2.2.3 モデル生成システムの構成

市街地3次元モデルを作成するために利用したシステムを以下に示す。

(1) 2・3次元データ処理システム

各種2・3次元データの入出力、加工、統合に利用。表5に2・3次元データ処理システムの構成を示す。

表5 2・3次元データ処理システム

名称	用途	備考
ソフトウェア		
Autodesk 社 AutoCAD Map 2000i	2・3次元 GIS データ処理	
Autodesk 社 CADOverlay 2000	画像データ処理	
Autodesk 社 3D Studio Max R3.1	3次元データ処理	
Microsoft 社 Visual Studio 6.0	アプリケーション開発	
RealViz 社 IPF	画像データ処理	
Smisoft MathCAD 2000	各種データ解析	
ハードウェア		
Intergraph VisualWorkStationZX10	ワークステーション	

(2) 画像取得・処理システム

現地で撮影したビデオ画像や静止画のPCへの取り込み、静止画に対する画像処理に利用。表6に画像取得・処理システムの構成を示す。

表6 画像取得・処理システム

名称	用途	備考
ソフトウェア		
Adobe 社 photoshop 5.5	イメージ処理	
Canopus 社 raptorVideo	動画像取り込み、編集	
都市計画図イメージデータ	基礎データ	
ハードウェア		
Victor BR-DV600	DV デッキ	
Sony DCR-PC100	DV カメラ	
Olympus E-10	一眼レフデジタルカメラ	
Panasonic LF-D201JD	DVD-RAM ドライブ	
JCS 社 vintage pro	パソコン	



図29 2・3次元データ処理システムおよび画像取得・処理システム

(3) 現地位置取得システム

現地での地物(信号、歩道、ガードレール等)位置取得に利用。表7に現地位置取得システムの構成を示す。

表7 現地位置取得システム

名称	用途	備考
ソフトウェア		
Autodesk 社 AutoCAD Map 2000i	2,3次元 GIS データ処理	
ハードウェア		
Sony Vaio PCG-GT1+PCGA-GPS3VG	GPS ユニット	



図30 現地位置取得システム

3.2.2.4 基礎データの収集とデータベース化

各種基礎データについて、同一座標系による配置情報を付加しデータベース化した。すなわち2次元地図のCADデータ、2次元地図のイメージデータ、航空写真、DEMデータを、共通の座標空間上に配置したわけである。これにより座標をキーに必要なデータを他のデータと関連付けながら利用することを可能とした。

具体的な作業としては、

- ・2次元地図のCADデータ、DEMはすでに実座標を持ったデータとして作成されているため、そのまま利用する。
- ・2次元地図のイメージデータは紙の地図をスキャンしたものであるため、紙の伸縮による歪みが発生している。これを補正したのち配置する。
- ・航空写真はオルソフォトを作成したのち、画像のピクセルと座標を関連付けを行う。

市街地モデルを作成するために利用した基礎データは以下の通りである。

(1) 2次元地図のCADデータ(1/2500都市計画図ベクトルデータ)

市販されているデジタル地図「新ダイケイマップ」を利用している。これは紙ベースの都市計画図をスキャニングし、ベクトルデータ化したものである。ただし、全てのデータがベクトル化されているわけではなく、標高点や、街路樹位置、等高線の主曲線などの情報は省かれている。

(2) 2次元地図のイメージデータ

紙ベースの都市計画図をスキャニングしたもので、上記の「新ダイケイマップ」で省かれている情報を取得するために使用した。ベース地形モデルを作成するために利用。



図31 1/2500都市計画図ベクトルデータ



図32 2次元地図のイメージデータ

(3) 航空写真(約 1/5000)

ラップ部分約 80 パーセントの約 1/5000 航空写真 2 枚を高解像度(約 900dpi)でスキャンし、デジタル図化機で解析、オルソ化(正投影化)したものを使用した。建物屋上テクスチャを得るために利用。

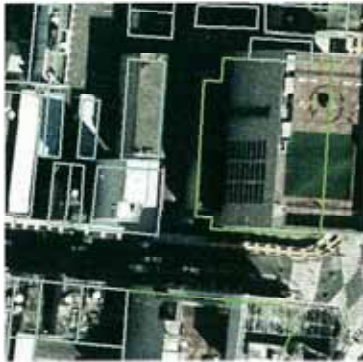


図 33 航空写真(約 1/5000)

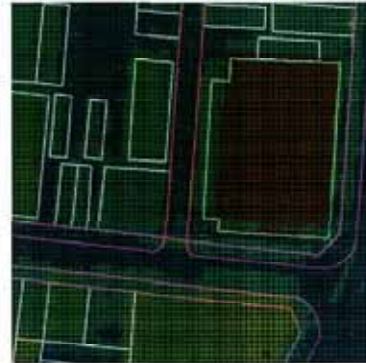


図 34 50cm ピッチ DEM

(4) 50cm ピッチ DEM(Digital Elevation Model)データ

ヘリコプターに搭載したレーザスキャナを用いて上空からのレーザ計測を行い、その結果を解析し 50cm ピッチの格子状高さデータに調整したものを使用した。建物屋上高さを得るために利用。

3.2.2.5 地形モデルの作成

(1) DTM の作成

全てのベースとなる DTM(Digital Terrain Model)を作成した。DTM 作成に利用したデータは、2次元地図のイメージデータから得られる標高点情報である。

これらを CAD 上でデジタルイズし、点群データを作成。これに対し最適 3 角形分割を施すことにより、TIN(Triangulated Irregular Network)を発生させ、これを DTM とした。



図 35 標高点データ、最適三角形分割による地形モデル

今回モデルの作成対象範囲は都市部であり、地形に勾配がついていなかったため標高点情報をベースとする手法を用いたが、地形の凹凸が多い部分では工夫が必要であると思われる。

(2) 地形モデルの領域分割

次の段階では地形モデルを土地利用区分に応じた領域に分割した。今回のモデル作成範囲は都市部であるため、車道部分、歩道部分、その他部分の 3 種類に分割したのみである。具体的な手法は以下の通りである。

- ①2次元のCADデータから車道の線を抜き出し、これを閉じた領域に加工した。
 - ②領域を構成する線の各頂点にベース地形モデルを利用した高さ付けを施した。
 - ③3次元的に高さのついた領域にたいして面を張った。
 - ④①～③と同様な手法で歩道部分も作成した。
 - ⑤地形モデルから車道部分と歩道部分をくり抜き、その他部分とした。
- 車道部分のポリゴンモデルを示す。

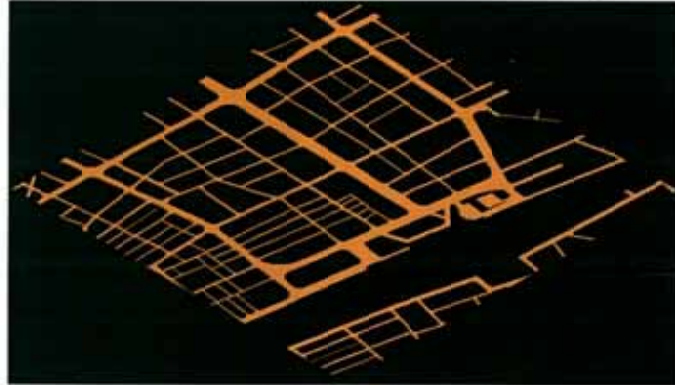


図 36 車道のポリゴンモデル

(3) 2D ポリラインに対する高さ付け

上記工程の②に関しては AutoCAD 上で利用可能なプラグインを開発し、作業を自動化した。以下に処理ツールの概要を示す。

1. ポリラインとベース地形モデルを選択
2. ポリラインの各頂点に対して以下の処理を繰り返す

①X-Y 平面で見、処理対象頂点を含む3角形を検索する。頂点を含む3角形の探索の様子を図37に示す。

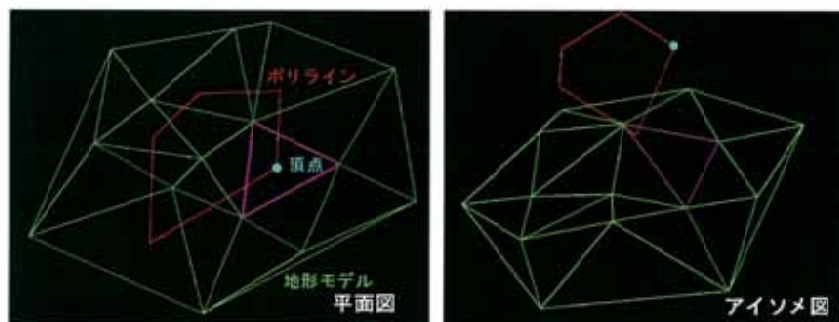


図 37 頂点を含む3角形の探索

②3角形において処理対象点と同一の(X,Y)座標における高さを求める。

3角形の3つの頂点座標を

$$P1=(x1, y1, z1)$$

$$P2=(x2, y2, z2)$$

$$P3=(x3, y3, z3)$$

とし、処理対象点の座標を $P=(xp, yp)$ とする。

3角形の平面の式を $a \times x + b \times y + c \times z = d$ で表すとすると a, b, c は

$$a=(y1-y2)(z1-z3)-(y1-y3)(z1-z2)$$

$$b=(x1-x3)(z1-z2)-(x1-x2)(z1-z3)$$

$$c=(x1-x2)(y1-y3)-(x1-x3)(y1-y2)$$

で済み、また d は

$$d=a \times x1 + b \times y1 + c \times z1$$

で求まる。よって処理対象点と同一の X,Y 座標における高さ H は

$$H=(d-a \times xp-b \times yp) / c$$

で求まる。

③頂点を上で求めた高さに移動する。



図 38 頂点の移動

3.2.2.6 地物オブジェクトの作成

上記で領域分割したモデルに対して、信号、フェンス、植栽部、横断歩道を追加した。これらの情報は地図データから得ることができなかったため現地で調査を行い、その結果を CAD 上でプロットした。このプロットしたデータは 2 次元の情報であるが、地形モデルの領域分割で使った 2D ポリラインに対して高さ付けするツールをもちいて 3 次元化した。その後、3 次元の配置情報を利用して対応する地物を CG ソフト上で配置した。

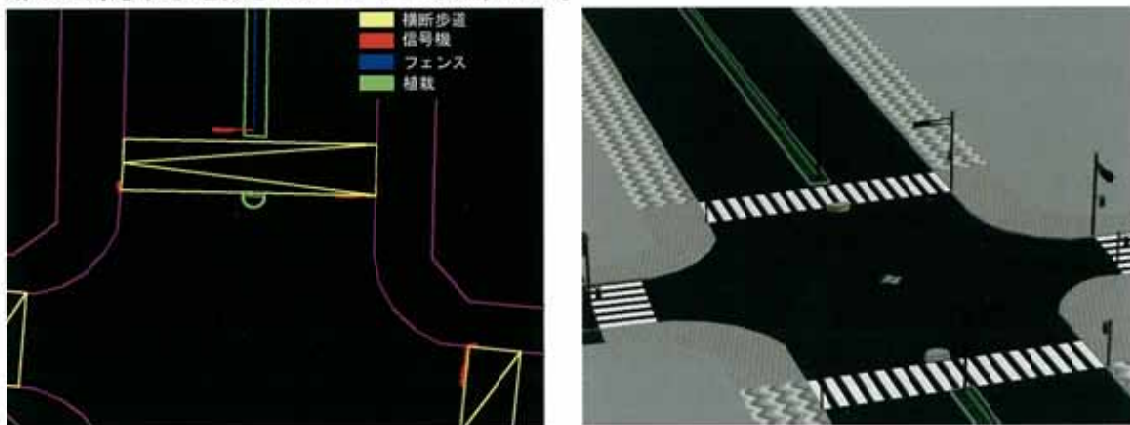


図 39 CAD 上でプロットした 2 次元情報、構造物を配置後の CG 画像

なお、地物に対するテクスチャは現地でデジタルカメラを用いて撮影した画像を、画像処理ソフトで加工し、CG ソフト上でマッピングしている。

3.2.2.7 建物オブジェクトの作成

(1) 形状データの作成

建物モデルを構築するにあたり、まずどの程度詳細なモデルとするかを検討する必要があった。今回作成するモデルは GIS での利用を前提としているため、形状特徴を捉えることよりも位置精度が信頼できることが重要である。そのため、2 次元図面の輪郭線を正確な高さに立ち上げたものを今回の建物モデル作成の目標とした。

【使用データ】

- ・ 2 次元図面の CAD データにおける建物輪郭線
- ・ 50cm ピッチ DEM データ

【建物モデル作成手法】

- ①建物輪郭線は2次元情報であるため、ベース地形モデルと2Dポリラインに対して高さ付けするツールを用いて高さ付けする。
- ②建物輪郭線内に含まれるDEMデータを抜き出す。図41において青色の部分が輪郭線内に含まれたDEMデータである。
- ③抜き出したDEMデータに対し、高さのヒストグラムをとる。図40は図41における青色の部分のDEMデータに対し高さのヒストグラムをとったものである。
- ④ヒストグラムの一番大きなピークは建物の屋上部分の高さとみなせるので、この高さに対し輪郭線を立ち上げる。

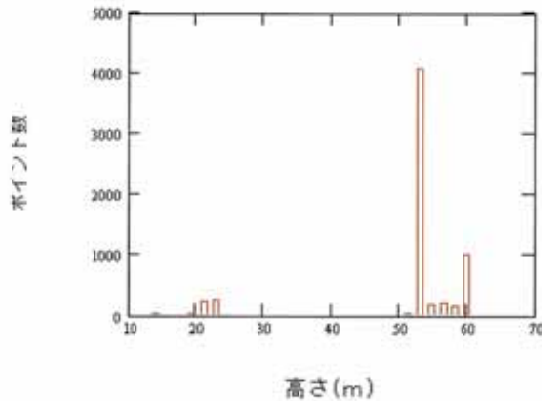


図40 高さのヒストグラム

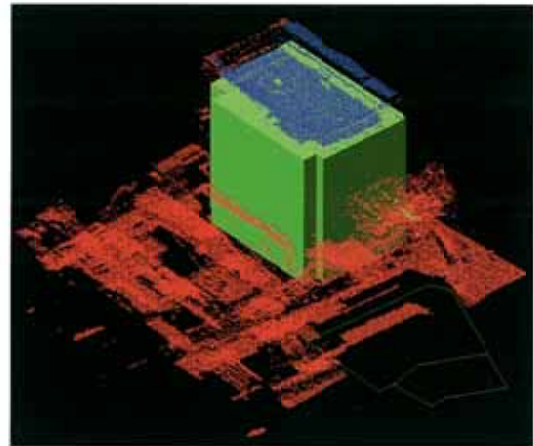


図41 輪郭線内のDEMデータと作成した建物モデル

(2) 建物モデルへのテクスチャマッピング

次に建物モデルに対してテクスチャマッピングを施し、モデルの写実性を高める作業を行った。ただし、壁面のテクスチャに関しては全てのモデルに対しては行っていない。今回作成したのは主要道路に面した部分のみ約300棟分である。

建物側面テクスチャーの作成は以下のように行っている。

- ①現地をデジタルビデオで撮影
- ②ビデオ画像から建物テクスチャーとして見えそうなフレームを静止画としてパソコンに取り込み
- ③上記でキャプチャーした静止画を画像処理ソフトで建物の壁面形状(四角)に補正

以上が建物側面テクスチャーの作成方法である。しかしながらほとんど手作業であるためかなりの作業量となり、2名の画像処理オペレータで約2週間の時間を要した。



図42 側面テクスチャー作成範囲

建物屋上テクスチャーに関しては航空写真を利用して全ての建物に対して行った。この工程は

以下の手法で自動化している。

【使用データ】

- ・2次元図面のCADデータにおける建物輪郭線
- ・オルソ化した航空写真イメージデータ

【建物屋上テクスチャー作成手法】

- ①建物輪郭線に名前を付ける。
- ②建物輪郭線のバウンダリーボックスを作成。図43に例を示す。
- ③輪郭線の名前とバウンダリーボックスの最小座標と最大座標をファイルに書き出す。

図43 バウンダリーボックスの例



バウンダリーボックス情報の例を表8に示す。

表8 ファイルに書き出したバウンダリーボックス情報の例

建物名称	中心のX座標	中心のY座標	幅	高さ	ボックスの最小値X	ボックスの最小値Y	ボックスの最大値X	ボックスの最大値Y
building19	-37354.0519	-65127.6885	12.149	12.0633	-37360.1264	-65133.7202	-37347.9775	-65121.6569
building20	-37359.403	-65119.0773	13.4341	15.358	-37366.1201	-65126.7563	-37352.6859	-65111.3983
building21	-37364.8195	-65127.3697	10.3302	15.2363	-37369.9846	-65134.9879	-37359.6543	-65119.7516
building22	-37339.3029	-65124.4337	17.3456	6.3015	-37347.9757	-65127.5845	-37330.6301	-65121.283
building23	-37295.6134	-65120.8649	14.1707	6.8796	-37302.6987	-65124.3046	-37288.5281	-65117.4251
building24	-37298.2434	-65127.1652	21.1593	8.9957	-37308.8231	-65131.6631	-37287.6637	-65122.6674
building25	-37305.8519	-65121.867	7.5383	6.582	-37309.6211	-65125.158	-37302.0828	-65118.576
building26	-37311.8301	-65124.5926	6.8833	9.2634	-37315.2717	-65129.2243	-37308.3885	-65119.9639

- ④航空写真のイメージデータを実座標に対応させ、上記ファイルに記載されているバウンダリーボックスに対応する部分を抜き出す。また、新たに作成する画像ファイル名は建物輪郭線と同一のファイル名をつける。
- ⑤CGソフト上でバウンダリーボックス情報ファイルを利用して、建物名称が一致するオブジェクトに対して抜き出した画像ファイルをテクスチャーマッピングする。

作成した市街地モデルを図45に示す。

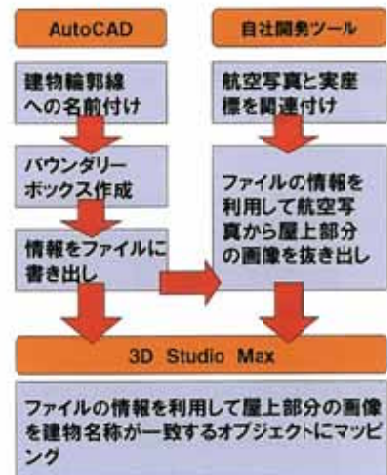


図44 屋上テクスチャーの作成



図 45 作成した市街地モデル

3.2.2.8 VR システムへの対応

さらに市街地 3 次元 GIS モデルとしての利用しやすさを考慮し、データをオブジェクトごとに VRML 化した。オブジェクトは以下の項目で分類した。

- ①建物
- ②建物敷地
- ③車道
- ④歩道
- ⑤フェンス、ガードレール
- ⑥信号
- ⑦マーキング

3.2.3 市街地 3 次元 GIS モデルの製品化に関する可能性調査

以下のように 3 次元 GIS モデルの製品としての可能性を分析、調査した。

- ・高精度市街地 3 次元 GIS モデルの特徴を生かした、モデル利用可能分野の抽出
- ・抽出した利用可能分野における製品化の可能性検討、市場性の検討
- ・有望であると思われる分野におけるデモシステムの試作と、これによる市場性調査

3.2.3.1 対象分野の抽出

市街地 3 次元モデルの利用分野を検討した。図 46 に示すような分野において技術的に応用可能であると考えられる。



図 46 モデル利用が技術的に可能と思われる分野

(1) 行政支援

- ・都市計画への利用

都市計画における計画や設計内容を市街地3次元モデル上に反映させ、VRシステム上で表示することにより、計画のイメージを具現化でき行政、住民、専門家の合意形成を図るツールへの利用などが考えられる。

- ・施設管理への利用

上下水道、ガスなどの地下埋設物、電線、電柱、植樹などを3次元的に管理する。3次元情報をもっているため、公共工事などの影響を把握しやすい。

(2) 環境

- ・各種環境調査

都市部の熱シミュレーション、大気の流体シミュレーション等のベースモデルとして利用、従来にはなかった高精度のモデルを利用することによりシミュレーションの精度を上げることが可能などのメリットが考えられる。

(3) 防災

- ・水害対策

実際の環境に近い3次元地表面モデルを有しているため、降雨時における流水シミュレーション等に利用できる。

- ・火災、地震時などにおける避難シミュレーション

(4) ナビゲーション

- ・車椅子利用者用ナビゲーションシステム

車椅子利用者が目的地に自力で到達しやすいルート（バリアフリーゾーンや勾配の緩やかな区間）を選定し、ナビゲートするようなシステムへの応用

- ・歩行者レベルの都市案内等

カーナビゲーションの歩行者版のような応用イメージ。GPS等を利用して現在位置を把握し、市街地3次元GISモデルへアクセスすることにより目的地へのルート探索、お店などの検索などが可能。

(5) 教育

- ・地図学習

2次元の地図により表現されている空間が、実空間上でどう見えるかという経験を仮想空間上で体験し、地図の認識能力を向上させるようなシステムへの応用。

- ・異文化交流

インターネットを通じ国内や海外の仮想3次元都市を訪問するような応用方法。ネット上の訪問と同時にチャットなどの遠隔コミュニケーション手法でお互いの都市や文化を紹介できれば、非常に効果的な異文化交流が実現する。

(6) アミューズメント

- ・ゲーム、映画等

ゲームや映画に利用可能な電子セットとしての利用。

3.2.3.2 製品化可能性の検討

上記で抽出した項目は、技術的に実現可能な応用分野を挙げたものである。しかしながら3次元GISモデルの構築にかかる時間・予算を考慮すると、上記全ての分野において十分な費用対効果が得られるわけではない。現時点において分析した市街地3次元GISモデルの市場性は以下の通りである。

(1) 現時点で利用が見込まれる市場

都市計画などの大規模プロジェクトでの利用においては、十分な費用対効果が期待できる。行政・住民・専門家の合意形成ツールとしての利用のみならず、今後の都市計画において重要な要素となる環境・防災計画などに利用でき、最も有効的にモデルを活用できる分野であると思われる。

(2) 将来的に利用が見込まれる市場

現時点におけるモデル作成において最もコストがかかった部分は基礎データの購入である。特にレーザセンシングデータと航空写真が高価であったが、これらのデータは今後現在より安価に入手できると予想できる。理由としては

- ・航空写真に代わり、より安価な商用衛星画像による画像データの入手が可能になりつつあること
- ・ヘリ搭載型レーザスキャナが普及してきたこと。
- ・レーザセンシングデータのライブラリ化が一部地域ではじまっており、ライブラリ化されたデータは比較的安価であること。

などが挙げられる。またモデルの構築手法は現在発展途上であり、今後より効率的なモデル作成手法を開発していく予定である。これらによりモデル作成にかかるコストは将来的に減少する。

このようにモデル構築コストが低下していくに伴い、十分な費用対効果がえられる分野が増えるため市場は拡大する。

(3) 行政による社会資本としての整備の可能性

現時点では行政が市街地の3次元GISモデルを整備するという動きはないが、市街地の3次元GISモデル自体は社会資本となりうる性格を持っており、行政・住民にモデルの有用性をアピールすることにより将来的に実現の可能性はあると思われる。これが実現すれば巨大な市場が誕生することとなる。

また、行政サイドで市街地3次元GISを整備し、様々な分野から無料もしくは低価格でモデルを利用できるような仕組みを作れば、モデルを活用する分野は拡大する。利用分野が拡大すればモデルに対する様々な要求がでてくることにより、3次元GISモデルの製品価値はより高まると推測できる。

3.2.3.3 試作システムによる検証

市街地再開発事業への利用可能性を調査するため試作システムを構築し、これを利用して市場調査を行った。検証利用分野として市街地再開発事業を選んだのは以下の理由による。

- ・都市計画への市街地3次元GISモデル利用は、現時点で最も有望な市場と考えられるため。
- ・今回市街地3次元GISモデルを作成したJR岐阜駅周辺では、現在市街地の再開発計画があるため。

(1) システム仕様

近年の市街地を初めとした都市開発においては、開発を進める行政、企業と住民が一体となったプロジェクトの推進が必須となってきている。しかしながら住民側は一般的には都市開発の専門家ではなく、以下のような問題点から本当の意味での住民参加型街づくりが実現していないのが現状である。

【従来の住民参加型街づくりにおける問題点】

- ・住民側は開発側の提案する計画の具体的なイメージをつかむのが困難。
→図面や特定視点からの透視図だけでは開発後の都市をイメージできない。
- ・街づくりに対する意見を提案する手立てがない。
→都市で生活する全ての住民が自由に街づくりに対する意見を述べられる仕組みが必要。

上記の問題を解決できるシステムがあれば、住民参加型の街づくりにおいて有効である。そこで以下の特徴をもつ「住民参加型街づくり支援システム」を試作した。

①VR(仮想現実感)技術の利用

- 都市モデルをVRの技術により可視化し、住民側においても都市計画のイメージを具現化できる。



図47 VRによる都市計画における合意形成

②情報の共有

→上記において可視化された仮想空間を公共スペースで公開できるようなものとし、都市の住民が街づくりに参加可能な仕組みとする。

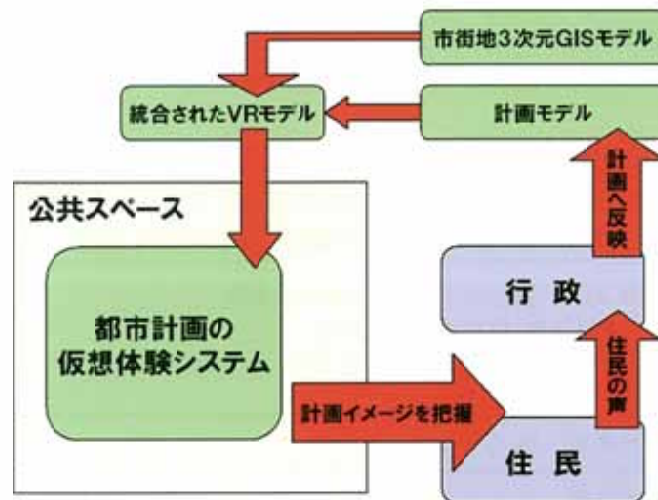


図48 情報の共有による住民参加型まちづくり

上記がわれわれの提案する住民参加型街づくり支援システムである。試作システムの仕様を以下に示す。

【試作システムの仕様】

- ・都市計画のイメージを具現化できるような十分な写実性を有していること。
- ・現在のコンピュータの描画性能で都市モデルのVR化が可能であること。
- ・計画モデルの統合が容易であること。

(2) システム構成

試作システムは以下の機器により構築した。

名称	用途	備考
ソフトウェア		
EON Reality 社 EON 2.5	VR	
ハードウェア		
Dell Dimension8100	VR用パソコン	
Epson Direct MT-4000	データサーバ	
Olympus Eye-trek FMD-700	試作システムディスプレイ	
Sony PVM-9040	試作システムモニター	
IO.DATA TVC-XGA	RGB-NTSC コンバータ	
Logitech Wingman	VRコントローラ	



図 49 試作システム



図 50 デモシステム展示状況

以下に試作システムの特徴を示す。

- ・利用者はHMD(ヘッドマウントディスプレイ)を利用して臨場感あふれる仮想都市体験が可能
- ・利用者はゲーム感覚の操作パッドを利用し、仮想都市内を自由に歩き回ることが可能。
- ・VRの画像生成装置には一般的なパソコン(35万円程度)を利用している。

(3) 試作システムによる調査

本システムを以下の展示会に展示し、市街地3次元GISモデルを都市計画分野で利用する際に求められる機能(写実性、スムーズなVR表示)を満たしているかを確認した。

名称	第2回 都市づくり先進情報技術展 IT CITY PLATFORM in GIFU
日時	2001年3月1日～3月2日
場所	岐阜県・岐阜メモリアルセンター
主催	岐阜県
開催趣旨	ITを活用したこれからの都市づくりに関連した、研究成果・最新の開発動向・製品情報・応用技術を一堂に集め、一括して紹介し、その普及を図ろうというもの
延来場者数	14,602人

【調査結果】

- ・利用者のほぼ全員が、市街地3次元モデルが都市の景観を認識できる写実性を持っていると判断した。
- ・VRの画像表示においてぎこちなさを感じる利用者は皆無で、現在のPCのスペックでVR可能なモデルであることを確認できた。

3.3 3次元デジタルマップ岐阜の開発

—景観シミュレーション等に利用可能なデジタル地図としての屋外環境モデル化—

「GISによる活用を主眼とした屋外環境モデル化」の成果である高精度な3次元市街地モデル構築技術をベースとして、さらに高品質で、デジタル地図製品として販売可能な「3次元デジタルマップ岐阜」を開発した。3次元デジタルマップ岐阜は以下の特徴を持つデジタル地図製品プロトタイプである。

①従来の3次元デジタル地図製品に比べ、はるかに高い精度を持つ

従来の3次元デジタル地図製品は平面精度はある程度もっているものの、高さ情報が正確なものとは皆無であった。本製品プロトタイプでは、上空レーザ計測データから作成した高精度の高さ情報をもつモデルデータをベースに、イメージベースドモデリングによる側面形状の取得方法を

組み合わせることにより、高い精度の3次元モデルを構築している。

②形状データのみでなく、写実性を高めるテクスチャーをもつ

地上からの計測による詳細な建物モデル構築技術として、イメージベースドモデリングを採用しているため、形状計測と同時にテクスチャーの取得が可能である。これをモデルにテクスチャーマッピングすることによりモデルの写実性を高めている。

③汎用的なデータフォーマットをもつ

特定のソフトウェアに特化したデータフォーマットを採用せず、汎用的なものを利用している(VRML97形式)。そのため、GIS、VR、CG等の様々なアプリケーションから利用可能である。

④JR 岐阜駅周辺市街地の広範囲モデルを有す

JR 岐阜駅周辺 800m×500mの広範囲モデルを有する。

⑤データ確認用のビューアを含む

本プロトタイプ製品は相当なデータ量を持つため、使用する環境(ハードウェア、ソフトウェア)によっては一度に全てのモデルを確認することが難しい。これを解決すべく、製品に納められている全てのデータを確認できるデータ確認用ビューアを同梱する。

3.3.1 調査

3.3.1.1 調査目的

「3次元デジタルマップ岐阜」に関連した調査。主な調査項目は以下の2点。

- ・同種製品の調査
- ・建物モデル構築手法の候補としている地上型レーザプロファイラーの調査

3.3.1.2 調査結果

3.3.1.2.1 同種製品のリサーチについて

本研究で開発中の製品が目指すような、3次元デジタル地図製品と同様のコンセプト(高精度、高い写実性)を持つ製品を見つけることは出来なかった。しかしながら、3次元情報をもったデジタル地図製品自体のラインナップは非常に多く、また価格も安価であった。特に目を引いたのが以下の製品である。

■10m メッシュ DEM(GEMI store)

日本国内にある同様な製品で50mメッシュDEMというものがあるが、それに比べてかなり高精度である。データの作成方法は分からなかったが、3次元データを見る限り山部のかなり細かい凹凸が表現できており、同様の製品が国内にあれば多目的に利用が可能であるとおもわれる。

■3D ベクトルコンター(GEMI store)

メッシュの状態でなく、3次元の等高線データになっているもの。地形の形状をDEMよりも正確に表現できている。

■1m解像度の航空写真付3D都市モデル(ISTAR)

航空写真をマッピングした3D都市モデル。本事業で開発している製品と類似しているが、精度的にはかなり低く、また、建物等のオブジェクト分けがされていない。そのため分類的には上記の10mメッシュDEMに近く、1mメッシュDEMと考えてもよいもの。今後、アメリカの主要都市100以上に関してデータ販売を行っていく予定とのこと。

3.3.1.2.2 地上型レーザプロファイラーについて

A/E/C Systems 2001において、4社が最新のレーザプロファイラーを展示していた。

- ・ Optec 社 IRLIS 3D
- ・ CYRA 社 CYRAX
- ・ Riegl 社 LMS-Z210
- ・ Quantapoint

このうち Riegl 社の製品に関しては国内展示会等で見ることがあり、Cyrax に関しては国内代理店にデモを行ってもらったことがあり、ほぼ性能は把握していた。また、多少特徴の違いはあるものの Quantapoint の製品もほぼ同様の性能であった。しかしながら Optec 社の IRLIS-3D に関しては他の製品を大きく上まわる性能を有しており、特に迅速に大量のデータを取得、各ポイントでの計測データを容易に統合する必要性が求められる、都市内建築物の地上レーザ計測には非常に有効な製品であると感じた。具体的には以下の性能を持つ

■計測速度が高速

- ・ 2000point/sec のスキャン速度(cyrax200~1000point/sec,riegl 7000point/sec)を持つ。

■人体への影響がない

- ・ class1 レーザーを使用しており人体への影響がなく、都市部での利用に有効。他製品では測定範囲内に人がいる環境では使用できないものもある。

■測定可能距離が長い

- ・ 測定可能距離が長く、約 2km までの範囲が測定可能。当社が調査した範囲の他製品では 350m まで計測可能な riegL LMS-Z210 が最長であったが、これを大きく上回る。

■高精度

- ・ 計測誤差は 100m で 1cm 程度。それ以上の距離では 100m 距離が伸びるごとに 1cm の誤差が生じる。(他製品とほぼ同等)

■計測コストが低い

- ・ パワーサプライユニットが非常に小さく(他製品の 10~30 分の 1 程度の大きさ)、持ち運びが容易。都市モデル計測での利用を考えた場合、計測ポイントが非常に多くなるため、パワーサプライユニットが小さいことは非常に有利である。正確に試算したわけではないが、測定にかかるコストを大きく(3 分の 1 程度に)抑ええることが可能になると思われる。また、従来製品では機材の設置スペースが十分取れないような場所でも、計測ができる可能性が出てくる。

■操作性が良い

- ・ 本体にモニターがついている。また、操作は PDA で行うため操作性が非常によい。
- ・ カナダ製の製品であり、単位が mm で利用しやすい。

■価格が低めに設定されている

- ・ 価格は 15 万 US \$。Riegl 社の LMS-Z210(約 1300 万円)よりは高いが、その他の製品よりは安価である。(cyrax 約 3000 万円、scene modelar 約 5000 万円等)

■各スキャンポイントのデータ統合が容易

- ・ 通常一ヶ所からのスキャンで対象物を計測することは不可能である。多くの位置からスキャンを行い、後にこれを統合するのが一般的なレーザ計測の手法である。従来の製品では、この統合の作業が非常に手間がかかるものであった。IRLIS-3D では測定の位置を変えるたびに、前回の測定位置でスキャンしたデータを利用することにより、1 分程度の調整をするだけで新しい位置でのスキャンデータを前回の位置でのデータに統合することが出来る。

IRLIS-3D はこのように優れた性能を持つ製品であるが、現時点では国内に代理店をもっていないため早急に購入することは難しい。そのため、今年度の研究に本製品を利用することは出来ないが、このような製品の存在を念頭におきつつモデルの開発手法を検討することが重要であると感じた。

3.3.1.2.3 まとめ

上空からのセンシングデータを利用して作成した3次元デジタル地図製品はラインナップも多く、日本よりも進んでいた。しかし、日本で積極的に開発されている地上からのセンシングによる都市のデジタル地図に関しては、製品化されているものはなく、利用者の関心も低いようであった。地上型レーザ計測器は、今回視察した展示会において最も注目を集めていた製品のひとつであったが、広範囲の3Dモデルの作成に使うよりは、単体の建築物、遺跡等のモデル化を想定しているものがほとんどであった。しかしながら、当社が注目したOptech社IRLIS-3Dに関しては広範囲のデータ取得にも適しており、都市の3次元モデルの構築への応用が可能な製品である。

3.3.2 開発環境の整備

3.3.2.1 開発に使用したソフトウェア

開発に利用したソフトウェアを以下の表9に示す。

表9 開発に使用したソフトウェア

名 称	数量	用 途
Autodesk 社 AutoCAD Map 2000i	3	2D データ編集 各モデリングアプリケーションインターフェイス
Autodesk 社 CAD Overlay 2000i	2	ラスターデータの歪み補正・配置 航空写真の配置
Autodesk 社 3D Studio Max R4	1	各種 3D オブジェクトの作成 データ変換 3D データ統合
RealVIZ 社 IPF	1	高解像度パノラマ画像作成 イメージベースドモデリング
Microsoft 社 Visual C++ 6.0	1	DLL 開発
Microsoft 社 Visual Basic 6.0	2	モデリング用アプリケーション開発 ビューア開発
SmartLinks 社 3D Linx ver1.6	1	VR コンポーネント
EonReality 社 EON2.5	1	VR テスト用
Adobe 社 photoshop 5.5	3	テクスチャ作成、その他画像処理

3.3.2.2 開発に使用したハードウェア

開発に利用したハードウェアを以下の表10に示す。

表10 開発に使用したハードウェア

名 称	数量	用 途
Intergraph 社 VisualWorkStation ZX10	1	3D データ作成編集 モデリングアプリケーション開発 イメージベースドモデリング
Dell 社 Dimension 8100	2	ビューア開発 3D データ作成編集 CD-ROM 作成
EpsonDirect 社 MT-4000	3	モデリングアプリケーション開発 2D データ編集 画像処理
Logitech Wingman	1	確認用ビューアコントローラ
Olympus 社 E-10	1	現地写真撮影

3.3.3 3次元都市モデルデータの開発

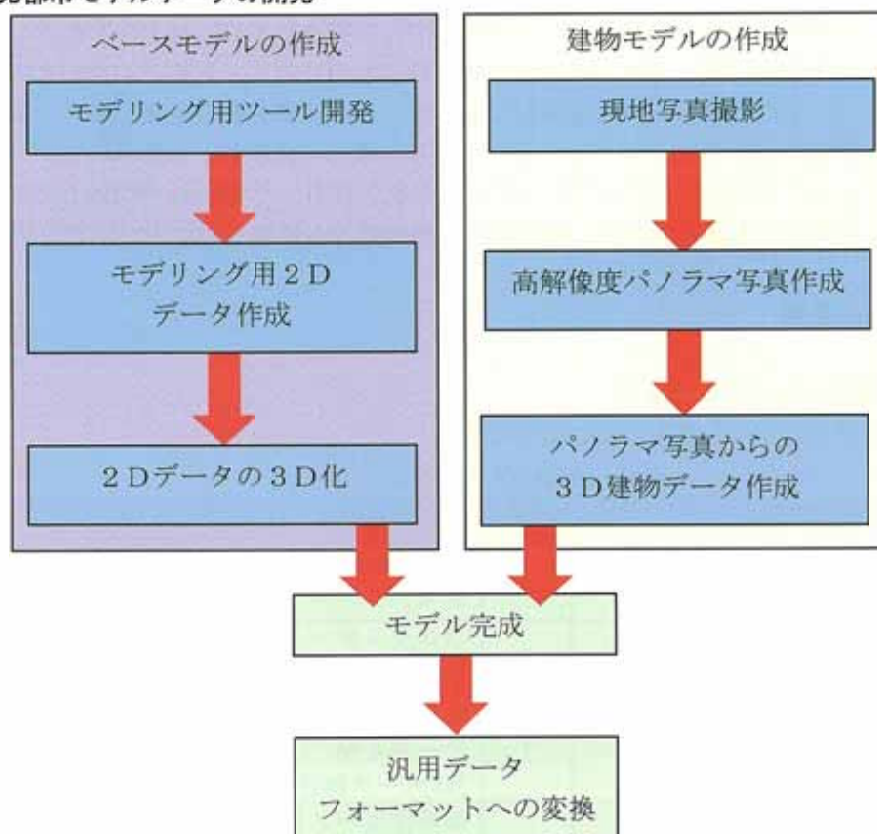


図 51 開発フロー

モデル開発のフローを図 51 に示す。
各工程における詳細な開発結果を示す。

3.3.3.1 モデリング用ツールの開発

「行政向け岐阜市モデルの開発」での成果を再検討し、モデリングにおいて効率化・高精度化できる部分の洗い出しを行った。この結果より、表 11 に示す開発項目を抽出した。

表 11 ベースモデル作成用ツールの開発

開発項目	「行政向け岐阜市モデルの開発」の問題点
ポリラインを正確に地形モデルに投影するプログラムの開発	昨年度のプログラムでは、単にポリライン頂点を地形高さに移動するだけのものであったため、頂点間の線分が地形に埋もれたり、地形から浮いてしまうという問題があった。
閉じたポリラインに対してメッシュを張るプログラムの開発	昨年度はポリライン内のメッシュ化に CG ソフト 3D Studio MAX のメッシュ化機能を使っていたが、うまく面を発生できない場合が多かった。
ランダムに配置された点群に対し TIN を発生させるプログラムの開発	昨年度は TIN の発生にポロノイ分割の手法を使っていたが、面発生速度が遅く、点の配置が特定の条件の場合うまくいかなかった。

開発した各ツールについて詳細に述べる。

3.3.3.1.1 ポリラインを正確に地形モデルに投影するプログラムの開発

<機能>

ほぼ同様の機能を持ったツールを、「行政向け岐阜市モデルの開発」でも開発したが、これはその機能改良版である。

旧プログラムでは、単にポリラインの各頂点の高さを地形モデル上に移動させるだけであった。その際、ポリライン頂点は正確な高さに移動するものの、頂点間の線分が地形に埋もれたり、地

形から浮いてしまう問題があった。本プログラムは、ポリラインと地形メッシュのエッジが平面的に見て交差するポイントにポリライン頂点を追加することにより、ポリラインの正確な地形への投影を可能とした。

また、旧プログラムは AutoCAD VBA で作成していたが、本プログラムは DLL として作成してカプセル化し、AutoCAD VBA から CALL する形態としている。

3.3.3.1.2 閉じたポリラインに対してメッシュをはるプログラムの開発

<機能>

閉じた 3D ポリライン(各頂点に異なった高さのついたポリライン)の内部をメッシュで埋めるプログラム。DLL として開発した。利用するときは DLL をコールできる言語から、ポリラインの頂点情報を DLL に渡し、結果を 3 角形の配列でうけとる。

<アルゴリズム>

- ・ ポリライン頂点の並びを反時計回りにする。
- ・ ポリラインの各頂点から、左側(内側)に折れる線のみを引く。
- ・ 線分のリストから最も短いものが、他の 3 角形エッジと交差していなければこれを採用する。
- ・ これを繰り返して 3 角形でポリライン内を埋め尽くす。

3.3.3.1.3 点群からの TIN 発生プログラムの開発

<機能>

ランダムに配置されている点群に対し、TIN(不定形 3 角形網)を発生させるプログラム、標高点データから地形メッシュの作成に用いる。TIN は最適 3 角形分割になるように作成する。


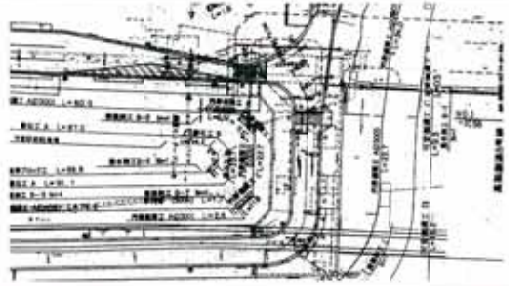

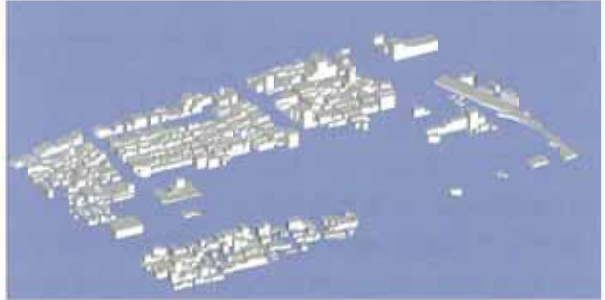
<アルゴリズム>

- ①点群間を結ぶ、あらゆる線分のリストを作成する。
- ②これらの線分を短い順にソートする。
- ③ソートされた線分の最も短いものは TIN を構成する線分である
- ④さらに 2 番目に短い線分が 1 番目に短い線分と交差していなければこの線分も TIN を構成する線分である
- ⑤同様に、リストで次の順番の線分が今で TIN を構成すると決定した線分と交差していなければ、TIN を構成する線分であると判断できる。
- ⑥これを繰り返し、TIN を構成する線分のリストを作成する。
- ⑦次に線分で使われている頂点を X 座標の小さい順にソートする。
- ⑧X 座標が同一の頂点情報に対し、Y 座標も同一であるかを調べ、同一であればこれは共有頂点としてみなす。線分の持つ頂点情報を更新する。
- ⑨X 座標が同一の頂点情報に対し、Y 座標も同一であるかを調べ、同一であればこれは共有頂点としてみなす。線分の持つ頂点情報を更新する。
- ⑩そこに接続される線分情報をもった頂点リストを作成する
- ⑪線分リストと頂点リストを利用して 3 角形網を作成する。

3.3.3.2 モデリング用 2D データ作成

今回の都市モデル作成に利用したデータソースを表 12 に示す。

表 12 モデリング用データソース一覧

種類	形態	サンプル
航空写真	TIFF 形式	
西駐車場付近 図面	紙	
岐阜駅北側図面	ベクトル データ	
岐阜駅南側図面	ベクトルデータ	イメージは上と同じ
岐阜市モデル	VRML97	

モデリング用 2D データ作成の工程に関しては、「行政向け岐阜市モデルの開発」の中で開発された手法をベースにしている。以前の手法と今回の手法の主な相違点は、新しい航空写真のオルソ化手法の導入と、縮尺の違う図面を統合し、これらの中に整合性をもたせることによって、高精度の 2 次元地図を作成した点である。2 次元図面の精度を向上させたことにより、従来では取得できなかった情報(樹木の配置、側溝の位置等)を取得できるようにした。

「行政向け岐阜市モデルの開発」のオルソ化手法との相違点を表 13 にまとめる。

表 13 「行政向け岐阜市モデル開発」における手法と今回手法の違い

手 法	利 点	問題点
デジタル図化機による オルソ化	ステレオマッチングにより高さの解析を することにより、高さの違いによるずれ をある程度修正できる。	専任のオペレータでなければ作業 できない。 作業に時間がかかる
カメラパラメータの算 出による簡易オルソ化	短時間での作業が可能 技術の習得が容易	地上面からの高さの違いによって 平面的な位置がずれる。

本モデル作成においては、カメラパラメータの算出による簡易オルソ化手法を採用しているがこの理由は以下のとおりである。

- ・今回用いる航空写真は低高度から撮影したものであるため、ビル屋上部分等は平面的なずれが非常に大きく、自動のステレオマッチングができず、デジタル図化機を利用した場合でも精度があまり向上しない。
- ・本モデル作成に限れば、航空写真データから抽出する情報は地上面高さにあるものがほとんどであるため、高さによるずれの影響が小さい。
- ・作業に要する時間が短い(約 5～10 分の 1)程度。

実際の作業手順をしめす。

- ①2枚の航空写真のラップしている部分に7箇所以上の対応点を設置する。
- ②RealVIZ社IPFにより、カメラ位置、焦点距離を解析する。
- ③地上高さに平面モデルを作成する。
- ④カメラから航空写真を平面モデルに投影する。
- ⑤平面モデルのテクスチャーをエクスポートする。

以上が今回用いた、オルソフォト作成手法である。

次に、ここで作成したオルソフォトと他のデータソースを CAD の実座標空間上で統合した。この統合した2次元地図より、必要な部分をトレースした。さらに、トレースした線分を接合し閉じたポリラインを作成した。

3.3.3.3 高解像度パノラマ写真を利用した詳細建物モデルの作成

詳細な建物形状を作成するための手法を検討した。検討段階で浮上した方法は以下の2つである。その特徴を比較した結果を表 14 に示す。

表 14 詳細な建物形状を取得する手法の比較

手 法	利 点	欠 点
地上からのレーザ 計測	・高精度(誤差数 mm)の 測定が可能	・計測器が非常に高価(数千万円) ・計測器のサイズが大きく持ち運びが困難。 結果として広範囲の測定にはかなりの時間を要する。 ・テクスチャーの同時取得ができない ・多視点のデータの統合が困難
イメージベースド モデリング (写真からの3次元 形状復元)	・現地の計測はデジタル カメラ一台あれば可能 である。 ・テクスチャーの同時取 得が可能。	・精度は写真の解像度に依存する。しかしながら写真の解像度をあげると、モデル化に必要な写真の枚数が増大するため、モデル化作業に多大な時間を要することになる。

今回採用したのは、イメージベースドモデリングの手法である。

採用の理由は以下の通りである。

- ①テクスチャーを同時に取得できる。

レーザ計測器では形状データの取得はできるものの、テクスチャーを同時に取得できるものはまだない。そのため、CG・VR などモデルを可視化して利用する場合はイメージベースドモデリングが有効である。3D デジタルマップ岐阜におけるモデルはVRを行うことが前提となっており、テクスチャーマッピングによる写実性の付加が必須となっている。そのため、本開発での建物作成にはイメージベースドモデリングが適している。

②短時間で計測を行え、計測コストが安い

レーザ計測器は非常に高価で1千万円を超える製品がほとんどである。さらに計測器のサイズが大きく、電源等も含めると、持ち運びは容易ではない。建築物などの大型構造物を計測する場合、一箇所からの計測だけでは不十分であるため、複数回計測器を移動することとなり、測定には相当な時間を要する。イメージベースドモデリングでは、モデリング作業は時間がかかるものの、測定に要する時間はレーザ計測に比べはるかに短い。また、計測に必要なのはデジタルカメラ一つであり、10万円程度のもを用意すれば十分である。そのため計測に要するコストは比較にならないほど安価である。ゆえに、モデル化対象物の形状が複雑でない場合(モデリング作業が比較的短時間で終わる場合)には、コスト的にはレーザ計測より有利である。ただし、レーザ計測ほどの精度はでない。

本開発で作成する建物モデルでは、レーザ計測ほどの精度(mm 単位の誤差)は必要ない。また、形状も複雑な部分まで作る必要はないため(1棟あたり10~20程度の頂点で構成する予定)、イメージベースドモデリングのほうが効率的である。

本事業における「室内環境モデルの生成」にて、基礎的研究としてレーザ計測データとテクスチャーを自動対応させる研究等も行われている。また、米国でのレーザプロファイラーの調査の際にコンタクトを取った Optec 社の IRLIS-3D という製品を用いれば、その計測範囲の広さと、持ち運びの容易さで、従来のレーザ計測の問題点の幾つかは軽減されるが、Optec 社が国内代理店を持たず、早急な購入が難しかったこともあり今回はイメージベースドモデリングによるテクスチャー付建物モデル作りに取り組んだ。さらに今回は、表14であげられている写真計測の問題点を解決する手法を用いている。今回用いた写真計測手法のフローは以下のとおりである。

①写真撮影

モデリング対象建築物を10枚程度に分割して撮影した。撮影にはデジタルカメラ(約400万画素)を用い、各画像は1280×960pixelの解像度で取得した。

②高解像度のパノラマ画像の作成

上記で撮影した写真を RealVIZ 社 IPF を用いてパノラマ画像化した。統合の結果を図52に示す。



図 52 IPF による統合画像

このように継ぎ目のほとんどわからない、超高解像度画像(今回作成した画像は幅約 5000pixel)が得られた。

③カメラパラメータの解析

この統合画像を RealVIZ 社 ImageModeler にとりこみ、各画像に対応点を設置し、カメラパラメータの解析を行った。

④モデリング

カメラパラメータを解析することにより、統合画像の 2 枚以上に写っている点に関して、3 次元位置の取得が可能となる。これを利用してモデリングを行った。結果を図 53 に示す。



図 53 イメージベースドモデリングによる詳細建物モデル

この手法では、大量の写真を統合し一枚の超高解像度写真にすることにより、モデリング工程での写真処理枚数を減らし、モデル化作業を省力化している。

3.3.4 データ確認用ビューア開発

ビューア開発のフローを図 54 に示す。

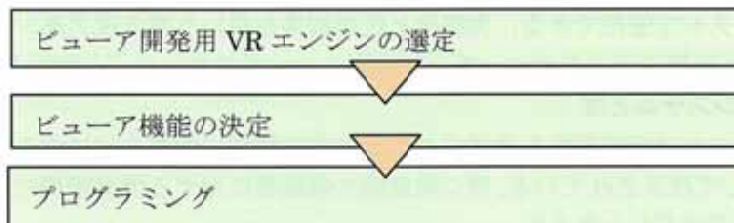


図 54 ビューア開発のフロー

本データ確認用ビューアは以下の機能を持つ。

- ・データ確認用ビューアは 3D デジタルマップの専用ビューアになっており他のデータを読みこんで表示することはできない。
- ・大容量データ(約 15 万ポリゴン、テクスチャー容量約 50MB)の 3D モデルをパソコン上でスムーズにウォークスルー可能である。
- ・ジョイスティックによる操作で自由な位置に視点の移動が可能



図 55 データ確認用ビューアによるモデル表示例

3.3.5 没入型 6 面立体ディスプレイ(COSMOS)への表示

岐阜県各務原市にある VR テクノジャパン内に岐阜県が所有している没入型 6 面立体ディスプレイ(COSMOS)への 3D デジタルマップ岐阜の表示を行った。現在 COSMOS は VRML データの入力を取り扱えるようになってきているため、「3D デジタルマップ岐阜」のデータがほぼ問題なく取り込むことが出来た。「3D デジタルマップ岐阜」を COSMOS で表示する利点として、実世界と同様のスケール感を得る事が出来る点があげられる。特に都市の景観シミュレーションなどへの応用では、これから計画が予定されている建物の、その大きさによるインパクトなどをほぼ現実世界に近い形で体験することが可能である。



図 56 没入型 6 面立体ディスプレイ COSMOS への表示例

3.4 ビークル用複合現実感システムの構築

本研究では航空機等のビークルで使用できる、実画像と仮想画像を用いた複合現実感システムの構築を行うにあたり、実世界と仮想モデルとのマッチング手法についてのサーベイと検討を行った。

3.4.1 ビークル用複合現実感システムとは

近年、現実環境に仮想物体または仮想画像を合成することで現実環境に情報を付加する拡張現実感が、新たな情報提示手法として注目されている。特に航空機の操縦者に対する環境情報の補強は、安全運行に役立つ他様々な場面で有益と考える。

アプリケーションとして、例えば、

- ①画像情報から障害物を抽出し操縦者に認識しやすい表示に置き換え提示する危険回避システム
 - ②飛行場への着陸進入経路（コリドー）を現実映像に重畳して表示する着陸誘導表示システム
 - ③霧等の視程の悪い環境において現実映像に仮想 CG を重畳して表示する視界画像補強システム
 - ④フロントガラス部分や計器板に CG 情報を表示する計器レスコックピットシステム
- 等が考えられる。

ビークル用拡張現実感システムとは、上記アプリケーションを実現するためのシステムであり、パイロットの頭方向の画像または視界に CG による情報を重ね合わせて提示するシステムである。本システムは、頭方向検出装置、表示装置（HMD）、画像生成合成装置、画像撮影装置により構成される。図 57 に構成図を示す。

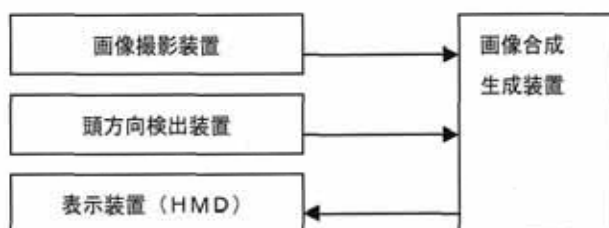


図 57 ビークル用拡張現実感システム構成図

3.4.2 サーベイと検討

3.4.2.1 研究内容

本研究では航空機等のビークルで使用できる、実画像と仮想画像を用いた複合現実感システムの構築のため、ビークルシステム用高精度ヘッドトラッカーの開発を行う。そこで、光式ヘッドトラッカーの開発のため、センサの特性を把握する。

3.4.2.2 光式ヘッドトラッカーの開発

このセンサは、最大 8 点のポジション計測が可能な光スポット位置計測装置であり、頭部にこの発光体を幾何学的に取り付け、カメラにより得られる幾何学的形状により頭の動きを検出するヘッドトラッカーを開発する。センサとして浜松ホトニクス社製 C5949 を採用した。図 58 にヘッドトラッカーの概観を示す。8 個の赤外線 LED を図 58 のように配置する。

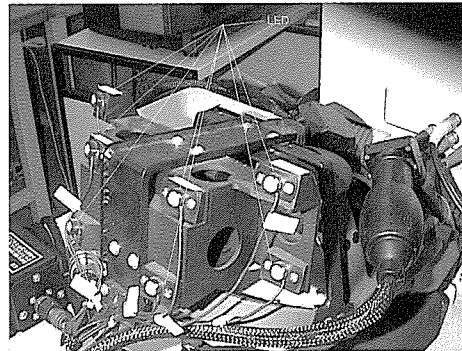


図 58 ヘッドトラッカー外観

3.4.2.3 赤外線 LED 検出特性について

図 59 のような赤外線 LED の発光検出特性があることが経験からわかっている。この LED の発光検出特性による位置情報オフセット分を以下の手順で補正する。

- (a) 赤外線 LED と PSD の各位置関係におけるオフセット値を計測し、補正用テーブルを作成する。

合わせてオフセット値に関して LED 個体差の有無も確認する。

- (b) 補正式を検討する。

本研究では、LED のこの特性を計測し、誤差補正用データを取得した。

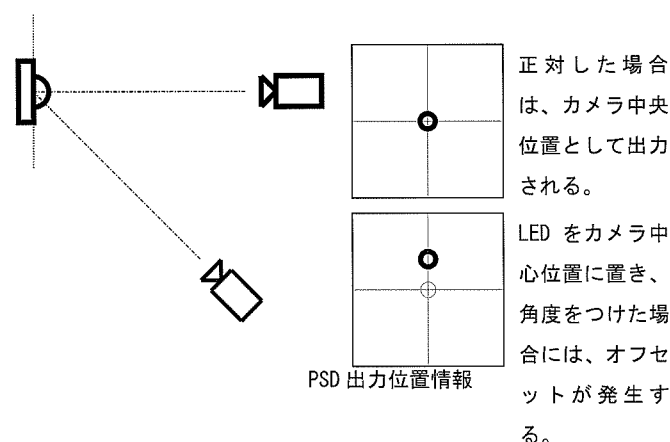
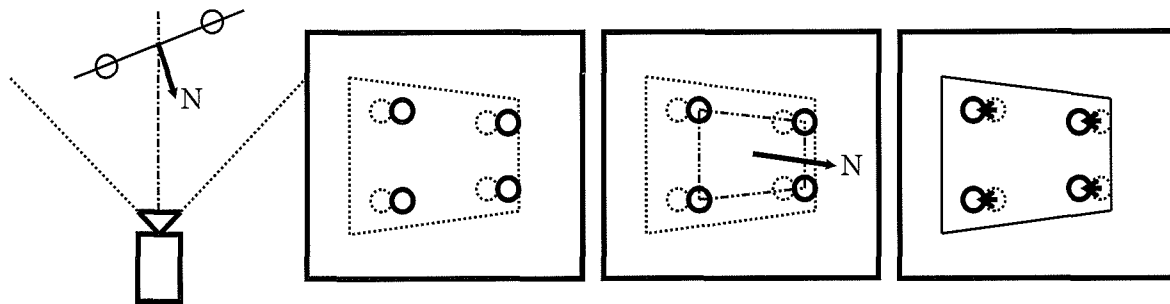


図 59 LED の発光検出特性

3.4.2.4 補正式導出の手順

補正式は、個々の LED に対する PSD 検出位置情報を単純に補正する方式ではなく(PSD 出力位置情報から LED の回転と移動の判別ができないため)、複数の LED 位置から各 LED の向きを求め、向きに応じた補正を行う方式とする。図 60 に補正式導出の手順を示す。



各 LED はオフセットが LED の位置関係から面 LED の向き(法線ベクトル LED の向きに応じた補
 かかった位置として認 の向き(法線ベクトル 正を行ない、LED 位置を
 識される。 N)を求める。 求める。

図 60 補正式導出の手順

3.4.2.5 誤差補正データの取得

(1) 目的

光式 HMS 精度向上のための、赤外線 LED—PSD 間の相対角度による PSD 出力電圧特性計測について測定を実施した。

(2) 使用機器及び治具

本計測で使用する機器及び治具を以下に示す。また試験イメージ図を図 61 に、試験風景を図 62 に示す。

- ・光式 HMS 装置
 (赤外線 LED×8、LED ドライバ、PSD カメラ)
- ・オシロスコープ ・ターンテーブル及び LED 取付治具 ・カメラ三脚

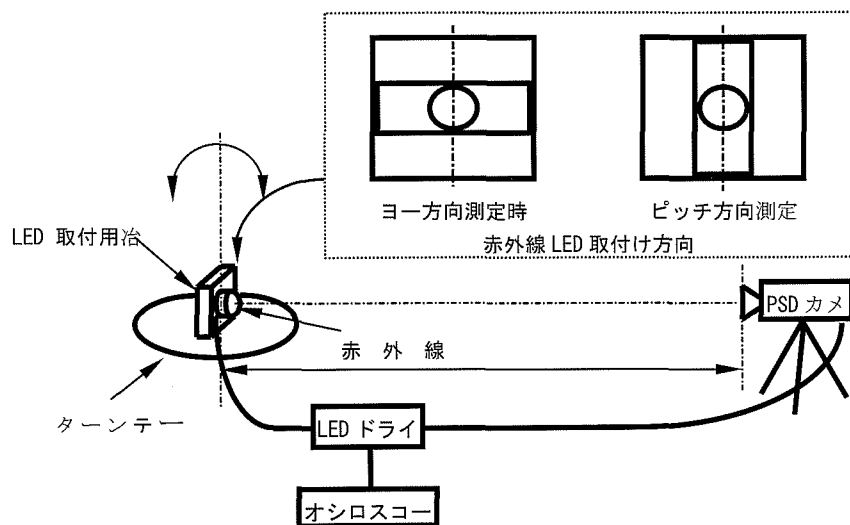


図 61 試験イメージ図

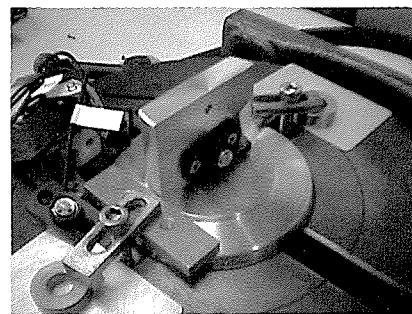
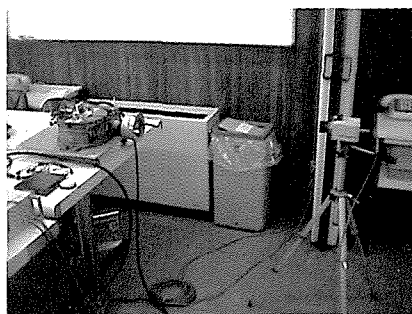


図 62 試験の様子

(3) データ取得の概要

8個のLEDについて、

①カメラとの相対距離を変化させたときの影響

②カメラとLEDとを結ぶ直線に対して、直角横方向にずらしたときの影響を確認した。

図63にLED1~8についての80cm正対位置におけるオフセット量を示す。

図64にLED1を前後向にずらした状態でのオフセット量を示す。

図65にLED1を横方向にずらした状態でのオフセット量を示す。

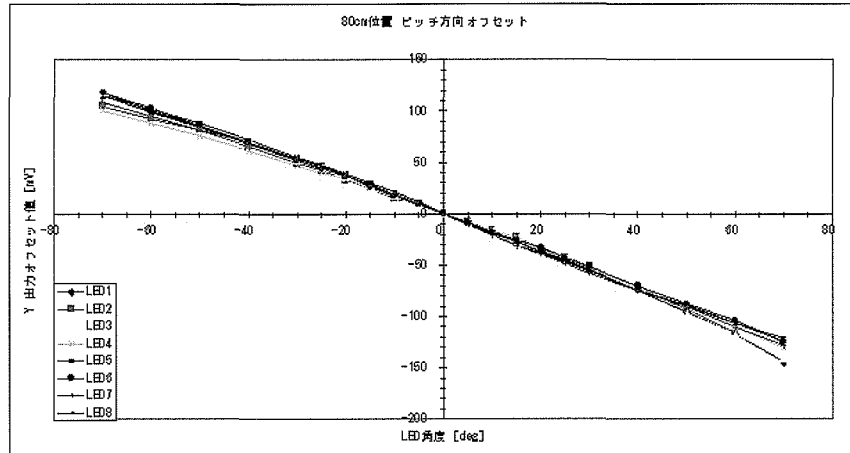


図63 LED1~8 についての 80cm 正対位置におけるオフセット量

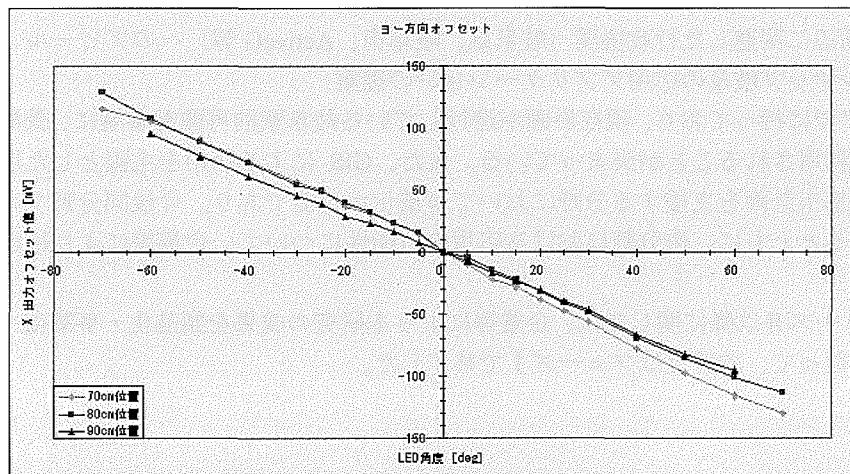


図64 LED1を前後向にずらした状態でのオフセット量

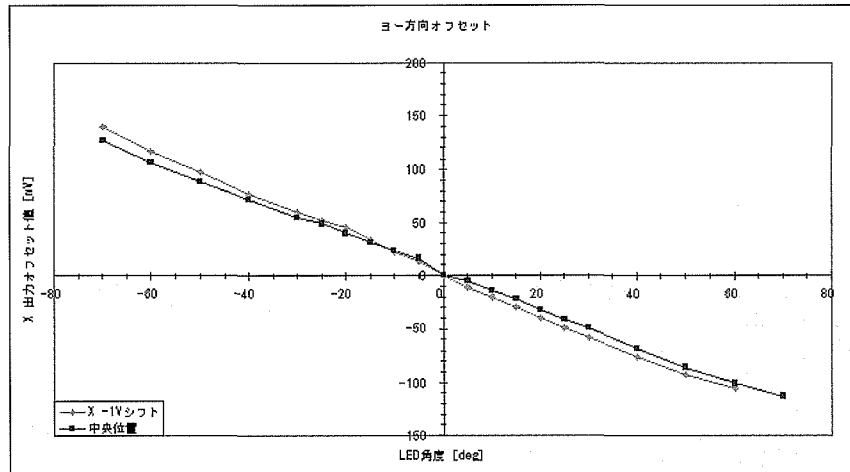
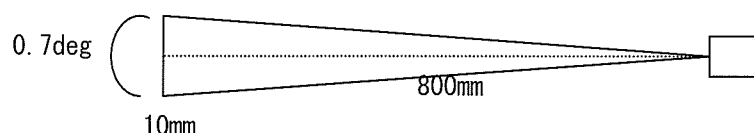


図65 LED1を横方向にずらした状態でのオフセット量

3.4.2.6 まとめ

本研究では、LED のこの特性を計測し、誤差補正用データを取得した。

カメラと LED の距離を 800mm としたときの誤差 (60deg のとき) は 140mm である。この電圧値は約 10mm の誤差に換算できる。このデータをもとに誤差補正を実施することで、約 0.7deg の誤差補正が期待できる



フェーズ II および III

今後の取り組み

これまでのフェーズ I の研究において、白川郷に特化した世界文化遺産のデジタルアーカイブ化や、GIS やデジタル地図製品として利用することを目的に岐阜市街地に限定した高精度な屋外環境モデル生成手法の開発を行った。これらの屋外環境モデル生成に関して、モデル生成の自動化等の解決すべき問題点はあるが、基本的なモデル生成の部分に関しては、フェーズ I でほぼ解決した。

本研究の成果の展開として、岐阜市街地のモデルに関しては、

- ・岐阜駅周辺に関連した行政機関（岐阜県、岐阜市、ActiveG 等）へのアピール
- ・デジタルマップ岐阜の応用アプリケーションの提案

等の活動をすでに行っており、現在計画が進行している岐阜駅前再開発事業に、景観検討のベースモデルとして利用されることが決まっている。また、GIS による活用を主眼とした屋外環境モデルに関しては、都市計画を支援する分野において事業化が可能であり、今後同分野での事業化に向けた検討を進めるとともに、他分野における応用の可能性について、企業等により検討がされている。

従って、フェーズ II 以降に関しては、企業等により本研究の成果を製品化・事業化への展開を図ることとした。従って、本研究はフェーズ I で終了した。