

地理情報システムに基づく 3次元仮想都市の構築の一手法

杉原健一

1. はじめに
2. 仮想都市について
 - 2.1. 仮想都市の意義
 - 2.2. 仮想都市の事例
 - 2.3. 仮想都市の空間データ取得
3. 2次元 GIS から3次元 CG へ
 - 3.1. 2次元 GIS による空間データ基盤の構築
 - 3.2. 2次元 GIS からの空間 & 属性データのエキスポート
 - 3.3. 3次元 CG における空間 & 属性データのインポート
 - 3.4. 3次元 CG の生成
 - 3.5. VRML による仮想都市の再構築, 情報開示
4. 土地利用シミュレータの構築 (事例としての)
 - 4.1. はじめに
 - 4.2. 建築基準法における形態制限
 - 4.3. 仮想街区の構築
 - 4.4. 容積率・斜線制限による仮想街区の変化
5. むすび

【あらまし】

都市空間の3次元モデルである「3次元仮想都市」は、広範囲の分野で利活用が期待される重要な「情報基盤」である。この仮想都市構築のためのデータ取得・モデリングには、膨大な時間とコストがかかる。本論文では、最新のコンピュータ技術である GIS (地理情報システム), CG とインターネットの各技

術を活用・統合して、3次元仮想都市を半自動的に生成する方法を提案する。生成される仮想都市は「都市情報システム」として広く市民や専門家に、例えば、国土計画、都市計画、医療福祉情報を含む行政サービス、地籍管理、防災計画、公共事業のビジュアライゼーション、環境管理等について情報を提供・収集・管理することが可能である。本論文では、2次元GISにおいて、その管理する地図上の敷地や建物などのオブジェクトの位置や属性データを抽出して、そのデータに基づいて3次元CGを自動生成して3次元仮想都市を構築するまでのプロセスを述べる。構築した仮想都市の活用の事例として、都市計画における土地利用の制度と規制が街並みにどのような影響を及ぼすかのシミュレーションを行った。

3D model for real city space, that is, 3D Virtual City is the important information infrastructure that can be used for various purpose. However, in order to realize the 3D Virtual City, the enormous time and money have to be consumed to design the model and to acquire the data for 3D virtual city. In this paper, I propose the method to generate the 3D Virtual City, utilizing and integrating the new computer technology, that is, GIS (Geographic Information System), Computer Graphics, and Internet. 3D Virtual City can serve as the City Information Systems that provide citizen and experts with various information, such as city planning, disaster protection, administrative service information including welfare facilities. Through extracting the position and attribute data of the objects on 2D GIS, I present the process of developing 3D Virtual City spaces that are automatically created according to the extracted data. I also present the case study of 3D Virtual City by simulating virtual landscape as the result of land use system and regulations.

1. はじめに

「仮想都市」とは、コンピュータの中で作られる架空の都市であり、現実の都市とは似ても似つかない虚構の世界というイメージがあった。主にゲームやアミューズメントに見られる架空の世界で、そこに確かな情報があるとは思われなかった。しかし、リモートセンシング技術の発展によって現実世界のデータ取得が高精度で容易に行え、また、コンピュータグラフィックス

のめざましい進歩によって現実に近い画像を生成することが可能となり、仮想都市は確かな情報を供給するインフラストラクチャとなり始めている。例えば、米国では1994年4月に、国土や都市の空間データの共有化を図るため、国土空間データ基盤（NSDI）を整備する大統領令が発令され、インターネットを通じて、都市空間データの検索や取得ができるまで発展している。仮想都市やバーチャルリアリティといったサイバースペースは、コンピュータとそのネットワークの中に生まれた新しい活動空間となっている。

この新しい空間データ基盤である「3次元仮想都市」は、広範囲の分野での様々な利活用が期待される重要な情報基盤である。例えば、都市計画や景観評価、交通工学、教育といったアカデミックな分野での活用から公共事業の情報公開、街づくりへの市民参加の場としての活用、企業活動におけるマーケティングやアミューズメント分野での利用などが考えられる。都市計画や景観評価の分野では、建設が予定されている建築物を仮想的に作り出して景観がどう変化するかをシミュレーションする、建築の規制や制度を変えるとどう街並みが影響を受けるのかをシミュレートするのに大変使い勝手のよい「3次元のたたき台」を提供することができる。あるいは仮想都市をVRML（Virtual Reality Modeling Language）で再構築し、インターネットを使って、「都市情報」を情報発信する。仮想都市上のオブジェクトに各種の属性データ、例えば、土地利用や地籍管理の情報から医療福祉施設の情報まで広範な都市情報を付加し、それをインターネット上で共用して「都市情報システム」を構築することができる。我々は3次元の世界に生きており、現実の3次元の世界を正確に写像する仮想都市を探索できるのであれば、大変わかりやすい都市情報システムを作ることができる。

本研究では、構築する仮想都市の基盤を2次元GIS（地理情報システム）とした。このGISとは、広く平面的、立体的に分布する多次元的な地理情報を収集、管理、解析、表示することを目的とするコンピュータシステムである。GISはいわば電子地図である空間データを核とするデータベースであ

り、その空間データに位置情報、属性情報を結合して、応用システムを作ることができる。

本論文では、進歩の著しいコンピュータ技術である GIS、3次元 CG ソフトウェアとインターネットの各技術を活用、統合して、3次元仮想都市を自動生成し、広範な用途が考えられる仮想都市空間を構築する方法を提案する。構築した仮想都市空間を活用する事例として、都市計画における土地利用の制度と規制が街並みにどのような影響を及ぼすかのシミュレーションも紹介する。

2. 仮想都市について

2.1. 仮想都市の意義

「3次元仮想都市」は、広範囲の分野での活用が期待される情報基盤である。この情報基盤は「都市情報システム」として国土計画、都市計画、福祉情報を含む行政サービス、地籍管理、防災計画、公共事業のビジュアルイゼーション、環境管理等について情報を提供・収集・管理することができると考えられる。「都市情報システム」において、都市空間データ管理の最近のシナリオでは、行政、民間企業、一般市民の要望に応えるようなわかりやすい情報システムが望まれている (Michael Gruber, The Cyber-City Concept from 2D GIS to the Hypermedia Database, 1998)。

「都市情報システム」は都市空間情報全般をデータベース化し、管理・分析・シミュレーションを行う。このシステムで中核となるのは「3次元仮想都市」である。「わかりやすさ」を求めるような技術動向の現れとして、地図を主体とした伝統的な2次元 GIS から、現実世界に近い3次元マルチメディア化した都市情報システムへの移行が急速に進んでいる。情報処理の分

野での技術革新，例えば，インターネット，3次元CG，地理情報システムを含むデータベースの発展はめざましく，それらの成果は都市空間データの管理に十分活用できる。データ管理，データ更新とそれらを行う場合のユーザーインターフェイスは都市空間情報システムにおいて重要な役割を果たす。都市空間利用という情報を管理する，あるいは情報を公開する上で，3次元化されたCGによる仮想都市は，単に2次元情報を与えていた従来型のGISに比べて，3次元情報を視覚的に訴え，専門知識なしに都市空間データを理解できるという点で，またより現実に近い3次元仮想空間をウォークスルーして情報を手に入れられるという点でも優れたシステムであるということが言える。

こうして構築した「3次元仮想都市」をVRMLで再構築することで，インターネットを通してサーバからクライアント側へ送出することが可能である。仮想都市空間上のオブジェクトに様々なマルチメディアの属性データをハイパーリンクすることで，本システムは，一部の専門家，行政担当者だけのものではあった都市計画，公共事業計画，防災計画や環境管理などの都市情報を情報開示するための広く一般の市民への基本的な情報源とすることができる。つまり，現実に近い3次元の都市シーンをバーチャル訪問者はウォークスルーして容易に必要な情報を入手することで，数多くの都市情報を提供するサービスを享受することができる。

2.2. 仮想都市の事例

インターネット上に「3次元仮想都市」を制作している世界的に著名な企業に，「Planet9スタジオ」がある。この企業では，マーケティング，広告，製品の可視化，教育&トレーニング，建築のシミュレーション，軍事用の可視化，そしてエンターテインメントの分野で200以上もの製品を提供してきた。図1，図2はスタジオが制作した新宿の夜の仮想街区で，図3は新宿

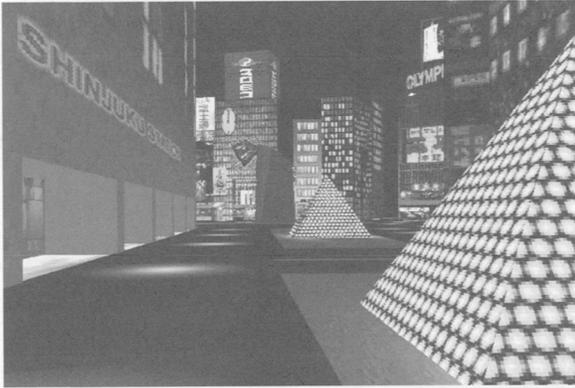


図1 新宿の仮想街区
(その1)

図2 新宿の仮想街区
(その2)



図3 新宿副都心の
仮想街区

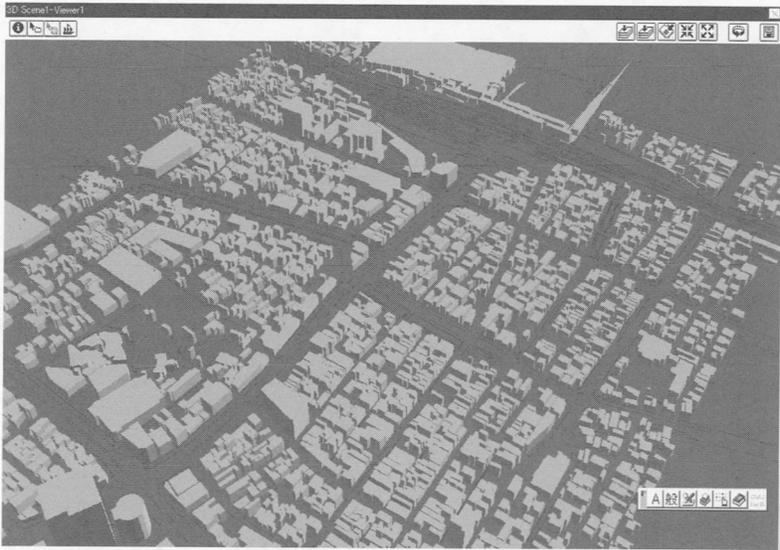


図4 GISに3次元拡張機能を付加し3次元化して生成した画像
(大垣市の駅前通り)

の高層ビルの乱立する副都心の街区である。これらはポリゴン数を減らしたVRMLで構成され、数百KBの大ききで、比較的ストレスなしにこの仮想街区をウォークスルーすることができる。

本研究では、GISとしてエスリ社のArcView3を使い、地図データとしてダイケイの大垣市の住宅地図を使って、2次元地理情報システムを構築した。ArcView3に3次元表示拡張機能(3D Analyst)を付加することで、2次元の地理情報から、図4に示すように3次元化を行い、ベーシックな3次元仮想都市を構築することができる。図4は、大垣市の駅前通りの一帯を、建物部分のポリゴンを押し出し(extrude)して、街並みを生成したものである。各建物は押し出しただけの単純な形状をしていて、また、テクスチャマッピングも施されていない。

2.3. 仮想都市の空間データ取得

仮想都市の基盤となる空間データ基盤は実世界から空間データを獲得しなくてはならない。そのための情報センシングの方法は数多くあり、多数の研究者が精力的に取り組んでいる分野である。時間とコストをかけずに、品質のいい空間データを獲得することは研究者の目指す目標である。マルチセンサーシステムを備えた衛星や航空機、乗用車はリモートセンシング技術を使って、空間データを取得する。レーザーやデジタルカメラ、CCDなどのセンサー技術の急速な進歩に助けられて衛星写真の品質が向上し、また、インターネットのめざましい技術革新のおかげで衛星写真が容易に手に入る時代にもなった。

これらリモートセンシング技術で得られた写真はビットマップデータであり、写真上にあるものが建物なのか道路なのか、コンピュータは判断できない。仮想都市をコンピュータグラフィックスにて生成するには、パターン認識の技術を使って、ビットマップデータをベクトルデータであるポリゴンデータとして認識させる必要がある。CGでは、建物やその他の地上のオブジェクトは、ベクトルデータでもあるプリミティブな図形の集合として、生成する。また、3次元の高さデータもビットマップの写真から読み取る必要がある。2つ以上のカメラを移動体に備え、位置の違うカメラから得られるイメージを基に3次元ステレオイメージ技術を使って、3次元データを取得している。

本研究では、まず2次元空間データはエスリ社のGIS対応の市販の住宅地図データを使い2次元地理情報システムを構築する。その基盤に、例えば、建物の高さ、壁の模様、屋根の形状などの様々な属性データを入れ込む。CGのソフトウェアにおいて、スクリプト言語を用いて、GISからのデータをインポートするインターフェイスを設計し、GISが持つ属性デー

タに基づいて3次元仮想都市を生成するシステムの構築を目指す。

3. 2次元GISから3次元CGへ

3次元仮想都市空間を実現するには、都市の建築物やその他のオブジェクトの3次元形状やサーフィスや材質の属性を再構築しなければならない。仮想都市空間を構成するオブジェクトの形状やマッピングデータの制作は手作業に依存し、莫大なコストと時間が必要とされるのが実状である。本研究では、進歩の著しい新技術「GIS」、「3次元コンピュータグラフィックス」の最新の成果を活用・統合化して、仮想都市の生成を自動的に行うシステムの構築を目指す。本システムのデータ処理の流れを図5に示す。

3.1. 2次元GISによる空間データ基盤の構築

【第1プロセス】

仮想都市を作る源流となるものは、国土地理院の空間データ基盤である数値地図、あるいはゼンリンなどの住宅地図会社の電子住宅地図となる。それらをGISで取り込み、空間データ基盤とする。それに都市計画、土地利用、公共事業などの行政情報を属性データとして付加する。2次元GISでは、何層もの地図レイヤーが重なっており、新しくレイヤーを作り、そこに新たなオブジェクトを配置し、属性データを付加することもできる。

また、属性データとして、画像も蓄積することができる。図6は大垣市の福祉施設の建物のポリゴンに施設の画像をハイパーリンクして表示したものである。即ち、2次元GISでは、空間データ基盤をデータベースの主キーとしてマルチメディアの情報にリンクすることができる。

このように2次元GISは管理する地図上のオブジェクトの位置や色々な

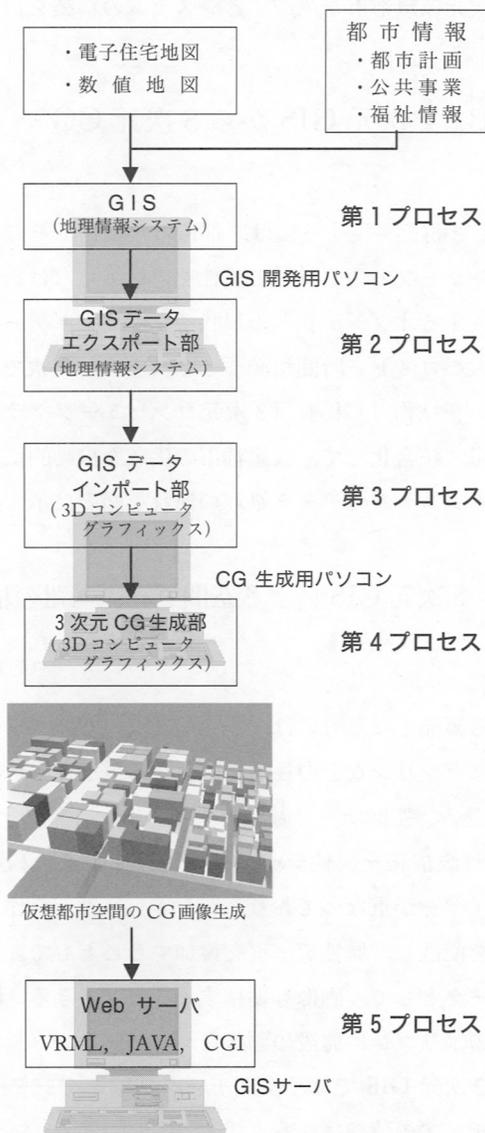


図5 本システムのデータ処理の流れ

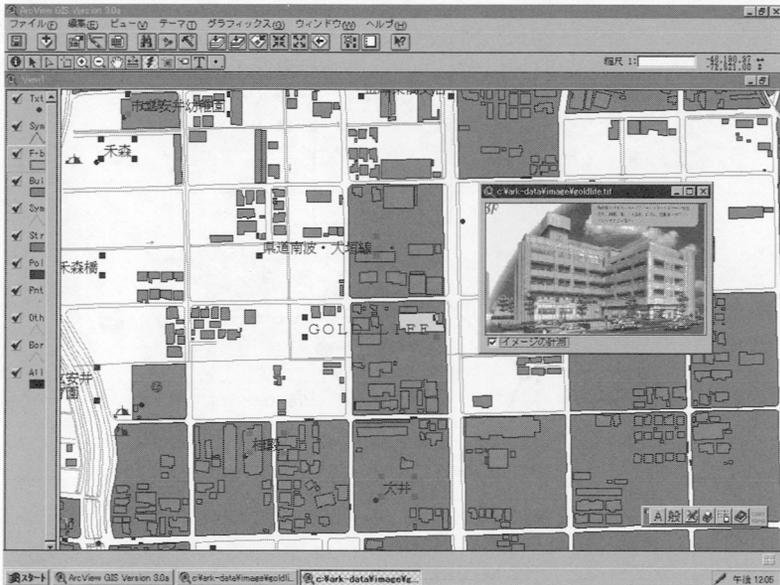


図6 2次元GIS(大垣市)でリンクしてある福祉施設の画像を表示

属性データを定義・編集・変更することができる。

3.2. 2次元GISからの空間&属性データのエクスポート

【第2プロセス】

市販の2次元GISにはCGソフトの方で取り込めるような形式で地図上のオブジェクトの位置情報や属性データをエクスポートする機能はない。そこで、GISを構成するGISソフトウェアコンポーネント(エスリ社, MapObjects)を使って、2次元GISが管理する地図上のオブジェクトの位置情報と属性データをCGソフトウェアが取り込めるような形式でエクスポートするインターフェイスを設計した。

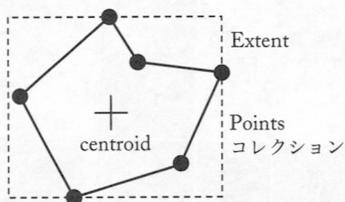
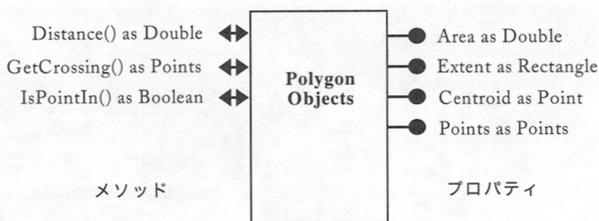


図7 ポリゴンオブジェクトのデータ構造 (GIS)

GIS ソフトウェアコンポーネントにおいて、敷地や建物のデータは図7に示すようにポリゴンオブジェクトとして取り扱われる。ポリゴンオブジェクトは閉じたシェープを形成する線状の図形で、エスリ社の GIS では、点 (Points) コレクションでデータは保存されている。

3.3. 3次元CGにおける空間&属性データのインポート

【第3プロセス】

2次元 GIS の方からエクスポートされる敷地や建物のポリゴンデータを CG ソフトウェアの方で CG オブジェクトとして再構築できるようにデータの構造や形式を整え、CG 生成部へデータを渡す機能を果たすインターフェイスを設計する必要がある。2次元 GIS 上の敷地や建物のポリゴンにリンクされている属性データに基づいて3次元 CG オブジェクトを生成するた

めの高さ等の3次元形状，テクスチャマップをはじめとするレンダリング情報を整えて，CG生成部へデータを引き渡す。

3.4. 3次元CGの生成

【第4プロセス】

GISデータインポート部から受け取ったデータに基づいて仮想都市上のオブジェクトを生成していく。CGオブジェクトはプリミティブな図形のクラス（box, prismなど）のインスタンスとして定義され，そのプロパティに値を入れて形状や位置などを指定する。

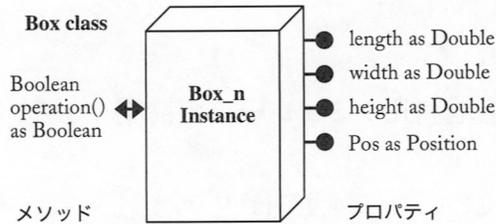


図8 Boxオブジェクトのデータ構造（CG）

より複雑な建物形状を実現するためにCGオブジェクトに対して各種の幾何学処理やブール演算を行う。例えば，本研究の事例研究として取り組んだ「建築規制によって建物が建てられる最大限の閉曲面（エンベロップ）」の生成において，建物群と道路の斜線制限によって形成されるプリズムとの間でブール演算を行った。

3.5. VRML による仮想都市の 再構築，情報開示

【第5プロセス】

仮想都市空間上の CG オブジェクトは VRML に変換すれば，WWW サーバから情報発信することができる。CG ソフトウェアには，CG オブジェクトを VRML に変換する機能を持つものが多く，変換処理は容易であるが，膨大な情報量となる仮想都市全体を一括変換するにはパソコンレベルでは不可能である。また，変換された VRML の建物データは個々に独立しておらず，膨大なデータ量になってしまう。

4. 土地利用シミュレータの構築（事例としての）

4.1. はじめに

我が国の都市の建物に対する規制としては，都市計画の中で土地の用途地域などを決める際の制度である「用途地域制」，建物に対して確保すべき詳細な基準・規制を決めている「建築基準法」が存在する。これらの規制には，都市の建物の形状に対してマクロ的な用途・容積・形態地域の配置から受ける規制と，個々の敷地が環境保全その他の理由によると同時にその周囲との関係により受けるミクロ的な規制がある。マクロ的な形態規制では，用途地域制と連動する形で容積率，建蔽率の上限，斜線勾配が指定される。ミクロ的な形態規制では，前面道路幅員による容積率の上限，それから道路・隣地・北側による斜線制限がある。これらマクロとミクロの規制によって，建物が建てられる最大限の閉曲面（エンベロープ）は決定される。例えば，道

路や隣地から斜線制限の形状そのままが建物の姿になった「斜線ビル」が都心でよく見られる。容積率の最大を目指して建物が建てられるような地域では、各建物の「エンベロープ」が描く閉曲面群は、ある程度、都市の姿、景観を仮想的に形作るものとなる。

こうした規制や制度の是非を検討する場合、こうした規制や制度は3次元の建物形状に対して適用される。これらの規制を適用した結果、3次元のエンベロープはどうなり建物形状はどう規制を受けるかをイメージする使い勝手のよい「3次元のたたき台」が存在しなかった。つまり、個々の規制を適用すると個々の建物形状はこうなるであろうと予想をつけイメージを思い浮かべることはあっても、これら複数の規制を適用した結果、全体として街並みはどういうイメージになるのかを検討するシミュレータは今まで存在しなかったのである。本事例では、最新のコンピュータテクノロジーを使って、この規制や制度の適用や景観をシミュレーションする操作性のよい「3次元のたたき台」を構築することを目標としている。ここで“操作性がよい”とは、シミュレーションを行うとき、敷地の位置や形状データなどの基盤データの入力容易で、色々な条件を付加し、条件値を簡単に変更できるということの意味する。

4.2. 建築基準法における形態制限

建築基準法では、市街地の防災や環境保全を目的に都市計画区内（条例により都市計画区域外でも指定できる）において、形態制限を定めている。形態制限の内容を整理すると表1のようになる。

ここで容積率とは、建築物の延べ面積の敷地面積に対する割合をいう。これには用途地域に応じて都市計画で定められる指定容積率と道路幅員12m未満に接する敷地の道路幅員から受ける容積率があり、計画する建築敷地の容積率限度は、いずれか厳しい方の数値以下となっている。道路幅員による

表 1

制限の種類	制限の方法	制限の目的
容積率の最高限度 (法 52 条)	建築物の延べ面積の敷地面積に対する割合の最高限度を規制する	市街地環境の総合的な維持および公共施設と建築物のバランス維持のための建て込み方の抑制
建蔽率の最高限度 (法 53 条)	建築物の建築面積の敷地面積に対する割合の最高限度を規制する	日照、通風、採光、防災などの市街地環境の維持のための空地確保
外壁の後退距離 (法 52 条)	低層住専系地域の敷地面積における外壁、柱面、建築物を敷地面積から一定距離以上後退させる (1 m から 1.5 m)	日照、通風、採光、延焼防止などの市街地環境の維持
敷地面積の最低限度 (法 54 条の 2)	低層住専系地域の敷地面積の最低限度を規制する (200 m ² 以下の数値)	日照、通風、採光、防災などの市街地環境の維持
絶対高さ制限 (法 55 条)	低層住専系地域の絶対高さの最高限度を規制する (10 m または 12 m)	日照、通風、採光などの市街地環境の総合的な維持
道路斜線制限 (法 56 条 1 項 1 号)	高さを前面道路の反対側の境界線までの水平距離に一定割合を乗じたもの以下に規制する	道路を挟んで向かい合う建築物の環境および道路上の日照、通風、採光などの確保
隣地斜線制限 (法 56 条 1 項 2 号)	高さを隣地境界線までの水平距離に応じて規制する	日照、通風、採光などの隣地の環境の確保
北側斜線制限 (法 56 条 1 項 3 号)	高さは北側前面道路の反対側の境界線または北側隣地境界線までの真北方向に計った水平距離に応じて規制する	北側の近隣の環境 (特に日照) の確保
日影規制 (法 56 条の 2)	敷地境界線からの一定距離内に一定以上の日影の生じる中高層建築物の規制	近隣 (主に北側) の建築物の日照の確保

容積率の制限は、住居系の用途地域では前面道路の幅員の数値に 40% を乗じた割合、その他の用途地域では 60% を乗じた割合を超えることができない。

道路斜線制限は、前面道路の反対側の境界線から一定の距離の範囲内において、当該敷地側の上空に向かって一定の勾配の斜面 (住専系・住居系地域では 1.5、その他の地域では 1.25) を描き、これにより建築物の高さを制限する。この際、高さの基準レベルとなるのは敷地前面の路面の中心の高さであり、

その中心線に勾配がある場合は、その勾配に沿った線が基準レベルとなる。

4.3. 仮想街区の構築

本システムを適用した事例を以下に示す。極く一般的に見られるような図9に示す仮想の街区を取り扱う。幅員20mの広幅員道路の端から20mは商業地域で、基準容積率400%、建蔽率80%、他の地域は図10に示す用途地域となっているとする。

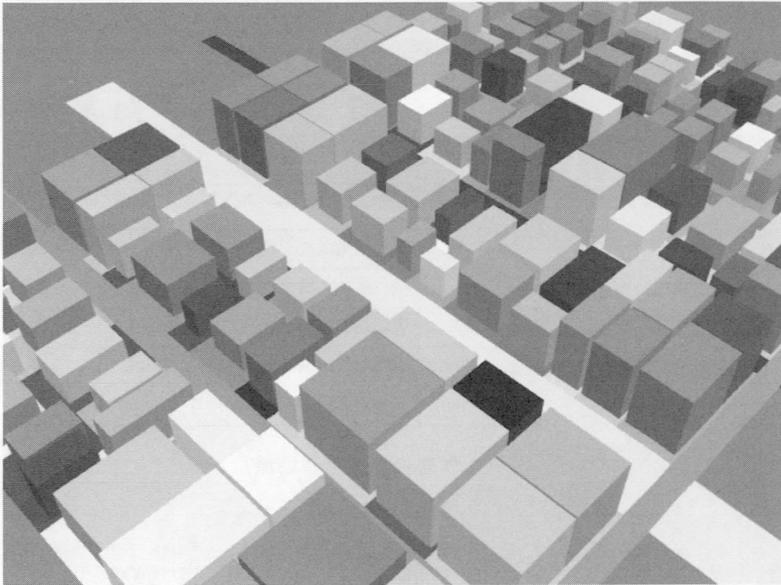
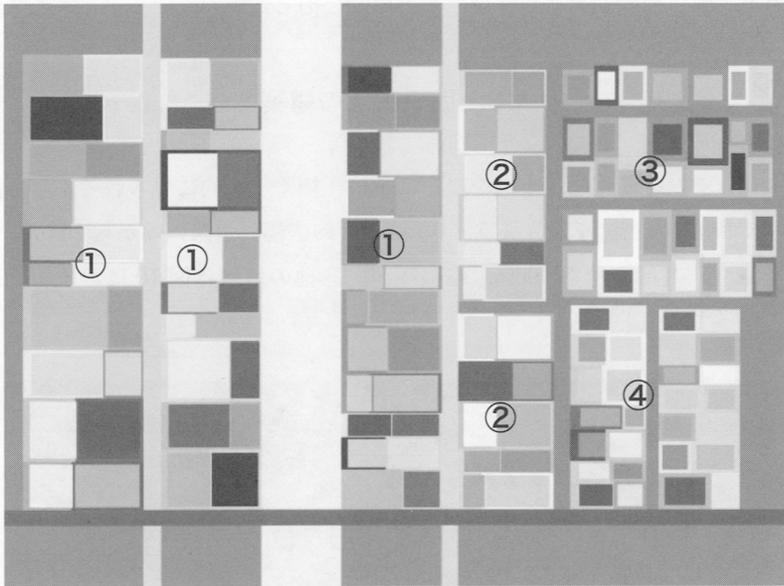


図9 広幅員道路を挟んだ仮想街区



注) 仮想街区の用途地域、
建蔽率、容積率、外壁後
退距離は右の表の値を与
えるものとする。

番 号	用途地域	建 蔽 率	容 積 率	外壁後退
①	商 業 地 域	80%	400%	1 m
②	近隣商業地域	80%	300%	1 m
③	一種低層地域	50%	80%	1 m
④	一種中高地域	60%	200%	1 m

図 10 仮想街区の用途地域

4.4. 容積率・斜線制限による仮想街区の変化

基準容積率の限界を目指す形で建物が建てられた場合の仮想街区の透視投影図を図 11 に示す。

この場合、裏地においては前面道路の幅員による容積率の制限のため、基準容積率を目一杯とすることはできない。この街区において、裏地の道路の幅

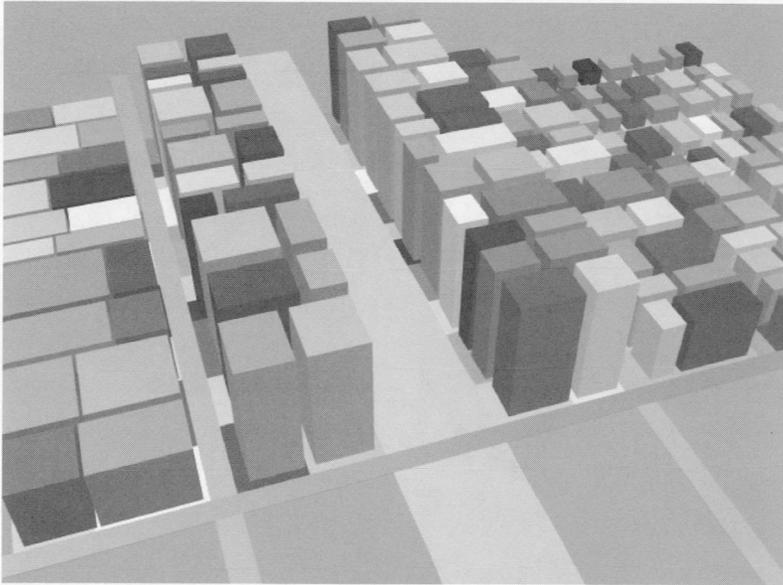


図 11 基準容積率を 100% 使った仮想街区

員を 4 m とすると、非住居系の地域では、道路幅員（単位は m）に 60% をかけた値となる。従って、裏地となる商業地域の容積率は 240% となる。制限のついた仮想街区を図 12 に示す。

この場合、建蔽率一定としたが、建蔽率を小さくとると、建物の高さの差が大きくなり、表地と裏地の差が顕著となる。

斜線制限も、表 1 で示したように色々あるが、道路斜線制限は、前面道路の幅員による制限と同様に空間形成における大きな条件となる。斜線制限は都市空間利用において、特に建物の形態に直接的に作用する規制である。この仮想街区に、道路による勾配 1.5 の斜線制限を仮想街区に適用してみた。前面道路の反対側の境界線から一定の距離の範囲内において、当該敷地側の上空に向かって一定の勾配の斜面を作るために、境界線を頂線とする下向きプリズムを生成し、規制が適用される建物との差のブール演算を行った。

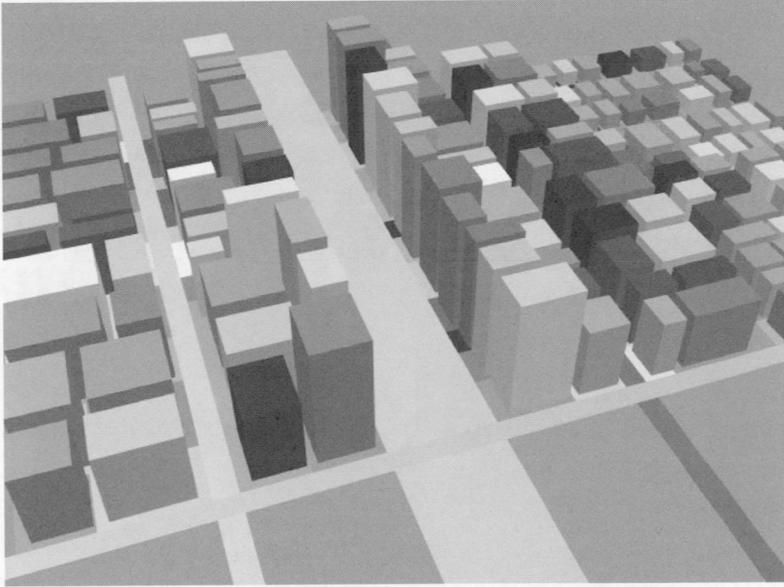


図 12 前面道路の幅員による容積率の制限が行われた仮想街区

制限となるプリズムと建物の関係を図 13 に示す。

5. むすび

本論文では、GIS が管理する 2 次元地図情報を基盤としてそこから地図上のオブジェクトの属性データを抽出し、それを基に 3 次元 CG ソフトでシミュレータとなる「仮想都市」を生成する方法を提案した。これは土地利用における規制や制度を検討する上で、「3 次元のたたき台」となることについて述べた。こうしたマクロやミクロの規制や制度が本当に街区の景観を改善し住みやすい街並みを実現するのかを検証する際に、3 次元 CG で仮想的に街並みを作り上げて、多くの人が容易に理解し、議論をたたかわせること

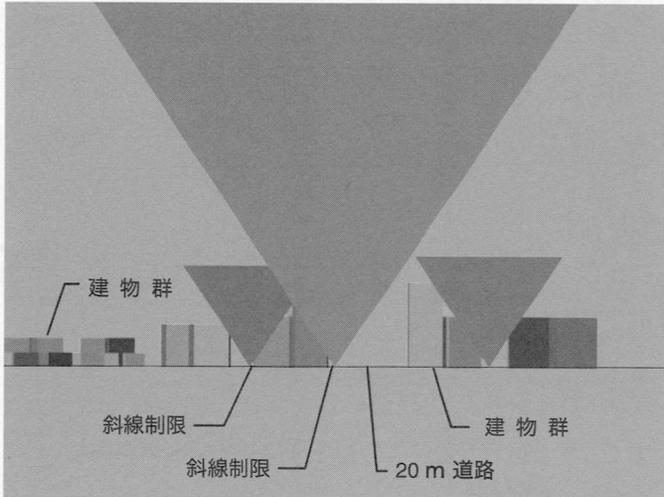


図 13 仮想街区における建物と斜線制限となるプリズムの関係

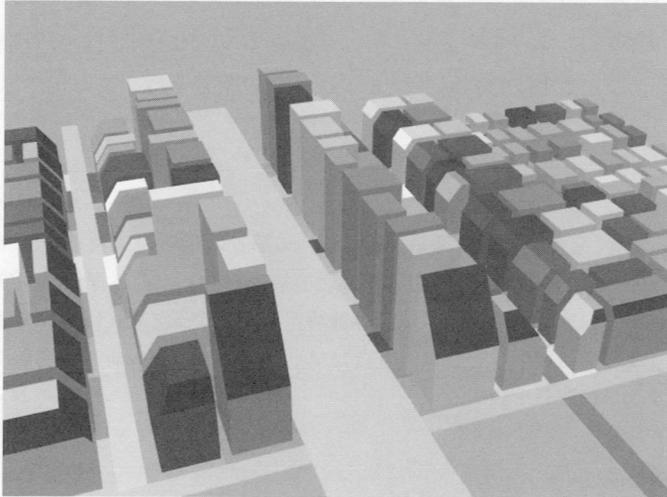


図 14 道路斜線制限による容積率の制限

でよりよい街づくりにつながる。

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 様々な目的に活用可能でシミュレーションも行える「仮想都市」を時間とコストをかけずに生成するのに、既存の GIS が管理する 2 次元地図情報を基盤として、3 次元 CG ソフトと GIS の間のインターフェイスを設計し、3 次元 CG ソフトをカスタマイズすることで半自動的に仮想都市を生成する方法がある。
- (2) 本研究で構築したシミュレータは、各種の条件を付けて「仮想都市」を生成することができる。このことは規制や制度の評価を行う「3 次元のたたき台」を提供することになる。
- (3) CG ソフトウェアをコントロールするオブジェクト指向言語によって、建物を 1 つのオブジェクトとしてまとめ、それに対して各種の操作を行うことで比較的容易にシミュレータの開発を行うことができる。

謝辞 本研究の一部は、平成 11 年度 文部省の科学研究費補助 基盤研究 (C) の研究助成、ならびに通信・放送機構 (TAO) の地域提案型研究開発制度に係わる研究開発で課題“地域福祉情報ネットワーク構築における基盤技術研究”として研究助成を受け、またソフトピアジャパンの研究助成も受けた。記してここに謝意を表する。

〔参考文献〕

- 〔1〕 日端康雄『ミクロの都市計画と土地利用』学芸出版社、1988 年
- 〔2〕 水谷清美、高橋友一「インターネット上の 3 次元ナビゲーションにおけるインターフェイスの検討」電子情報通信学会論文誌 (略称=信学論), Vol. J81-D-II,

No.5, pp.925-932

- [3] 納富幹人, 小澤史郎「移動体観測による都市モデル構築」信学論, Vol. J81-D-II, No.5, pp.872-879
- [4] 谷崎正明, 嶋田 茂「能動型検索機構による空間情報提供方式と仮想都市構築への適用」信学論, Vol. J81-D-II, No.5, pp.1005-1013
- [5] Chuang Tao, "Towards Sensor Integrated Technology to Fast Spatial Data Acquisition," UM3 '98 Organizing Committee
- [6] Kazuo Maejima, Hiroshi Shimizu and Takaaki Kato, "3D Visual Simulation of Increasing Urban Density Using GIS and Its Application", UM3 '98 Organizing Committee
- [7] Michael Gruber, "The CYBER-CITY Concept from 2D GIS to the Hypermedia Database," UM3 '98 Organizing Committee
- [8] Steve Elliott, *3D Studio MAX R2.5*, ソフトバンク社, 1998年
- [9] ハンマード アミン, 杉原健一「都市景観評価における合意形成のためのGIS, CG及びWWWの統合」土木学会平成11年度全国大会 景観分析 研究報告
- [10] Amin Hammad and Kenichi Sugihara, *Integrating GIS, CG and the WWW for Facilitating Public Involvement in Urban Landscape Evaluation*, CUPUM 1999
- [11] 杉原健一, 松島桂樹「GISベースの多目的3次元仮想都市空間の構築」情報処理学会 1999年度 第85回ヒューマンインターフェイス研究会研究報告
- [12] 杉原健一, ハンマード アミン「3次元土地利用シミュレータの開発」日本都市計画学会 中部支部研究発表会 1999年 第10回 研究報告
- [13] 『都市・建築企画開発マニュアル'99』(株)建築知識, 1999年