

市街地景観計画・評価支援システムの開発

南松 利博 鷗 心治 多田村 克己 田淵 義彦
山口大学大学院 理工学研究科

本論文では、市街地を対象にした景観計画・設計のために使用する景観特性量をインタラクティブな操作により自動的に算出し、ユーザの作業を支援するシステムを提案する。提案システムは、道路ネットワークに基づき発生した景観特性量の自動計算、および計算結果のデータベース化機能を備え、グラフィカルユーザインタフェースを中心とした操作体系により、計量条件の設定および結果の表示をインタラクティブに実現可能である。さらに、構築したデータベースを利用して、ユーザの理想とするシーンの検索機能を備えている。また、景観特性量の自動計算を効率良く行うため、空間分割を利用して小さい計算コストで実際に描画するポリゴン数を削減した。

Development of a System for Supporting Landscape Assessment

Toshihiro Nanmatsu, Shinji Ikaruga, Katsumi Tadamura, and Yoshihiko Tabuchi.
Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University.

We propose a system for supporting planning/assessment work for visual environment in urban area utilizing techniques of 3D computer graphics. The proposed system realizes automatic computation of landscape characteristics indices according to a road network, interactive data-input through graphical user interface, and intuitive grasp of the computation/simulation results with visualized information. The system also allows users to search optimal scenes defined by weighted combination of the indices. In order to efficient calculation of landscape characteristics indices, we reduce the total number of the polygons drawn into the frame buffer by employing a space subdivision technique to classify the entire polygons.

1. はじめに

都市において、その格を決定しうる重要な要素として景観が挙げられる。景観保全論議が大きく取り上げられる中で、景観は都市が抱える問題の中でも特に重要な位置を占めている。このため、都市の新規・再開発の際には、景観面からの検討を客観性のあるデータに基づいて様々な観点から行うことが要求されている。この要求に応えるものとして、コンピュータグラフィックス(CG)が活用されている。景観計画の分野では、計画地域の特性の把握と、問題を明確にすることが必要とされている。このため対象地域において、景観特性量を多くの地点で計量条件を繰り返し変更しながら計量するのが特徴である。したがって、景観特性の計量を行うシステムに

対しては、できるだけ多くの地点で地域特性を効率良く把握できることが求められている。

本論文では、この問題に対処し、効率良く市街地における景観計画・評価を実施するためのCGを活用した支援システムを提案する。

まず、本論文の位置付けを明確にするため、景観計画・事前評価とCGとの関わりについて概観する。実用的なコストで写実性の高い景観画像をCGにより生成可能な手法が提案され(例えば文献[1、2])、景観評価にCGが盛んに利用されるようになってきた。さらに、景観自体を構築する手法[3、4]、樹木、雲などの自然物を効率良く実現するための手法[5、6]が提案され、仮想・実在の都市景観画像をリアルに生成可能になった。これらのCG画像により、具体

的にどのように見えるのかということ事前に評価することが可能になった。

他方、都市計画の分野では数値地図や、デジタル化された市街地図データを基に、主に手作業で景観指標の計量が行われていた。この作業に3次元CG技術を応用することにより、それまでは計量困難と考えられていた指標を比較的容易に求められるようになってきた。具体的には、視点と対象建築物との関係から、開放性や複雑さの観点で街路の評価を行い、建物のランドマーク性の評価を行う手法[7]や、3次元地形モデルを計量対象とし、CGを利用して数値的な特性を計量する手法[8]、3次元の街路景観モデルを計量対象とし、街路景観の物理的特性を計量し、実験を用いた心理評価を行う手法[9]などが提案されている。しかし、これらの手法はいずれも景観特性量の効率良い計算や、多地点における自動計量を考慮していないなど、実用性の点で多くの問題を含んでいる。本論文は、これらの問題を解決し、3次元CG技法を活用して景観特性量を自動計量するばかりではなく、得られた情報からデータベースを構築し再利用可能なシステムを提案する。まず、第2章において提案システムの概要を説明し、第3章において景観評価指標の計算とその処理高速化のために採用した手法を述べる。第4章では、道路ネットワークに基づいた景観評価指標データベースについて述べ、第5章において本稿で提案したシステムの有用性を検証したのち、最後に結論を述べる。

2. 提案システムの概要

2.1 システムの特徴

提案システムは、3次元の市街地データを計量対象とし、任意の視点(主に道路上を想定)における景観特性量の計量を行うものであり、以下の特徴を持つ。

- ・ インタラクティブな操作で計量対象、計量条件を設定可能。
- ・ 街路樹や遠景を簡易なデータで表現することにより、これらを精度良くかつ高速に処理可能。
- ・ 道路ネットワークに対応させて、計量結果を効率良くデータベース化可能。

- ・ 景観特性量の指定条件に対する満足度の高いシーン、地点を上記データベースを利用して高速に検索し、その結果を可視化可能。

2.2 景観評価指標

提案システムでは、景観特性量の計量指標として、景観要素別面積率と見通し距離分布を算出する。

景観要素別面積率は、視点からの透視図(シーン)において、空、植物、水面、壁面、地平面等の景観要素が占める比率のことで、視点から見える景観の特性を定量的に表すものである。これは、視軸(カメラの中心軸)を方位角0度から360度、仰角(俯角)-90度から90度まで指定ピッチ毎に図2(b)に示すような透視図を描画し、画素毎の要素を調べることにより計量する。ここで透視図は、景観評価の際に用いられる人間の視野[10]を考慮し、水平開き角50度、画角を縦：横=3：4、地面もしくは物体表面から2mの高さに視点があるものとして作図している。

見通し距離分布は、任意の視点における全方向(方位角、仰角)についての可視物体までの距離分布であり、視点場の開放感を表すものである。この指標は、景観要素別面積率計算の際に得られるデプス値を利用して求める。可視化提示する際には、図1に示すように、距離をグレースケールで表現し、通常鉛直軸正の半球部分を円にマッピングする。これにより直感的に分布の把握が可能である。



図1.見通し距離分布

2.2 市街地データ

3次元市街地データは、鉛直方向をz軸とし、2次元の市街地地図中の形状からxy平面図中の位置情報を、建物については、階数からz座標値を求

め、土手、河川敷などについては、現地での測量結果を用いて基準とする水平面に対する相対的なz座標値を与えている。市販の3次元デジタル地図データをそのまま使用することも可能である。ただし、次節で述べる景観要素別面積率を計算するため、景観要素ごとに異なる色を割り当てる必要がある。

2.4 ユーザインタフェースと概略操作手順

提案システムは、グラフィカルユーザインタフェースとマウス、キーボードによりインタラクティブに操作可能である。図2に提案システムで標準的に表示するウィンドウ群を示す。平面ウィンドウ(図2(a))には、市街地の平面図や対応する道路ネットワークを表示し、計量やデータ表示を要求する地点、経路指定のために利用する。計量条件の指定等は、マウスボタン操作とプルダウンメニューの組み合わせにより行う。ユーザの要求するデータにより、透視図(図2(b))や見通し距離分布(図1)、数値情報(図2(c))を表示するウィンドウを開く。通常、後述する道路ネットワークに対応したデータベース構築を最初に行うが、これは市街地を選択、確認後、データベース生成条件(シーンのサンプリングピッチ)を指定すると自動的に開始する。任意地点の景観特性量計量、およびデータベースを利用したシーン検索の場合には、平面図により位置、経路、領域などを指定し、メニューに対応して計量、検索条件を指定す

る。処理結果は、対象により平面図や数値情報として提示される。

3. 効率の良い景観評価指標計量

提案システムの景観評価指標は、隠面を考慮して描画して得られた透視図を基に求める。この透視図の数は、通常1サンプリング視点あたり数百~数千(サンプリング角5°で2522)になるため、データベース構築時間短縮や、任意の視点における景観評価指標計算の応答性を高めるためには、シーン当りの描画時間をできるだけ短縮する必要がある。提案手法では、実空間に近い景観評価指標値を効率良く求めるため、街路樹、遠景山岳をテクスチャマッピングを利用して表現し、描画処理高速化の手法として、空間分割を利用した描画対象ポリゴンの削減手法を採用した。本章では、これらについて説明する。

3.1 街路樹、遠景へのテクスチャの利用

都市における緑は、景観として重要な要素のひとつである。このため、市街地地図中には含まれていないが、緑視率に大きく影響を与える街路樹と遠景の山を考慮する必要がある。しかし、これらのある程度の精度を保証してポリゴンにより表示するには、データ量が大きくなる。これを回避するため以下に述べるテクスチャマッピングを用いた手法を採用した。街路樹は視点に常に正対する透明ビルボード上に、樹木の写真から作成したシルエットをテクスチ

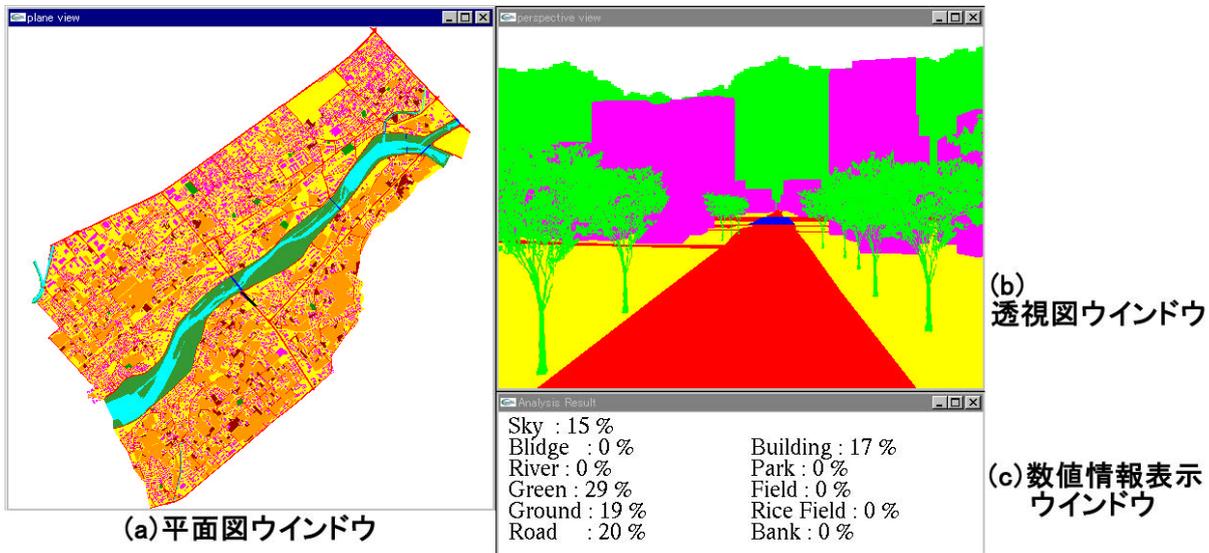


図2. ユーザインタフェース

ャ画像としてマッピングする。樹木の大きさは、ビルボードの大きさを变化させて対応する(図 2(b)街路樹参照)。また、遠景に山岳が存在する場合は、対象市街地でスカイラインを含むパノラマ写真を撮影し、それから遠景シルエットを作成し、図 3 に示すように最高点が実際の標高と一致するように半径(R)と高さ(H)を調節して配置した円柱側面にマッピングする。

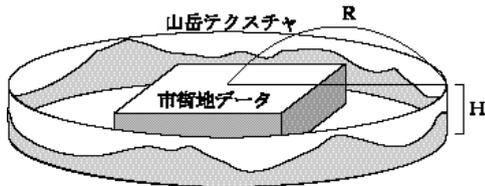


図 3.解析対象のデータの配置

3.2. 領域分割を利用した高速処理

適用例で示すように、描画対象となるポリゴンを限定せず常に全ポリゴン进行处理すると、透視図描画に全計算時間の約 88%を要する。そこで、各ポリゴンに対して、空間的なコヒーレンスを利用可能な前処理を施して明らかに視野外に存在し描画対象にならないポリゴンを予め抽出し、実際に描画されるポリゴン数を削減して処理を高速化する。具体的には、解析空間を 4 分木構造セルに分割し、そのセルへのポリゴンの配分と、視点ごとの方位ベースでの空間分割の結果得られるセルの分類の 2 段階により、方位角ベースで視野内に含まれるポリゴンを予め抽出する手法を採用した。まず第 1 段階として、レイトレーシングの高速化手法として一般に利用される空間分割の手法のうち、ポリゴン分布が 3 次元空間中で一様ではなく、平面状である特性を考慮して、図 4 に示すように平面図を 4 分木構造を持つセルに分割し、それに属するポリゴンを求める。セル内に含まれるポリゴン数が閾値を越える場合に再分割する。シーン毎の景観構成要素比率を求める際、水平角、仰角方向に一定のサンプリングピッチで視軸を回転させて描画する。すなわち、隣接する視軸においては、共通の可視ポリゴンが多い。これは、上記領域分割の結果得られたセルについても当てはまる。そこで、第 2 段階として、サンプリング視点ごとに、

等角度の扇形領域に水平角方向を分割し、それに含まれるセルを記憶する。視野に含まれる扇形領域は、容易に求めることができるので、これから視野内に含まれるセルを求め、最終的には描画対象ポリゴンを効率よく得ることができる。

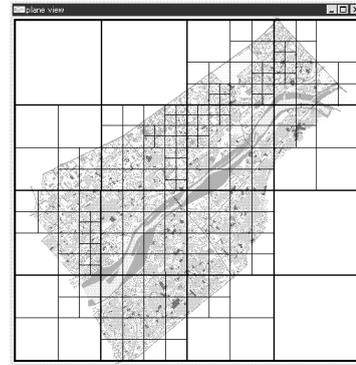


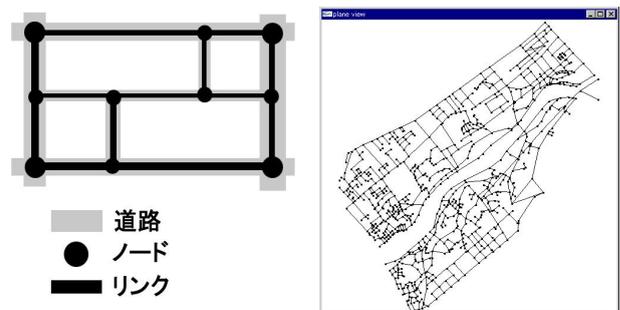
図 4.4 分木構造を利用した市街地の領域分割

4. 道路ネットワークを利用したデータベース

市街地における景観評価の対象(視点場)は、主に人が移動する道路空間に集中している。したがって、効率良く景観評価を行うためには、道路を基点として解析点を発生させることが望ましい。本章では、道路空間をネットワーク化した道路ネットワークと、道路ネットワークに対応した景観特性量データベース構築、およびそのデータベースを利用した理想シーンの検索機能について説明する。

4.1 道路ネットワーク

提案システムでは、図 5(a)に示すように道路ネットワークを、交差点の中心(ノード)と交差点を連結する道路(リンク)により表現する。現在、ノードは位置情報の他に周辺の土地使用用途の分類(住宅地、農業地



(a)構成要素

(b)実際のネットワーク

図 5.道路ネットワーク

(田畑)、工業地、商業地、河川敷)を付加情報として持ち、リンクは線分として両端点のノード番号と、道路幅員(0~4、4~6、6~8、8m以上に分類)の情報を持つ。これらの情報から、ネットワークを構成する。図 5(b)は、図 2(a)の平面図に対応する道路ネットワークを表したものである。

4.2 計量結果のデータベース化

提案システムのデータベースにおいて、ノード単位に保存するデータの構造を図 6 に示す。上述の道路ネットワーク本来の情報(土地用途、位置)に加え、景観評価支援プログラムで計量される、見通し距離分布および視線ベクトルに対応したシーン毎の景観要素別面積率を付加情報として記憶する。ここで、景観要素別面積率は実数値として計量されるものであるが、解析精度、実際の評価の際に要求される精度を勘案すると 0.5%程度の精度で実用上十分であり、また、視点を中心とする全球を解析するため、面積率零の景観要素が大半を占めるシーンが多数存在する。これらから、データベースには、非零の要素番号と面積率をペアにしてそれぞれ 1 バイトで記憶することにより、記憶容量の削減を図った。

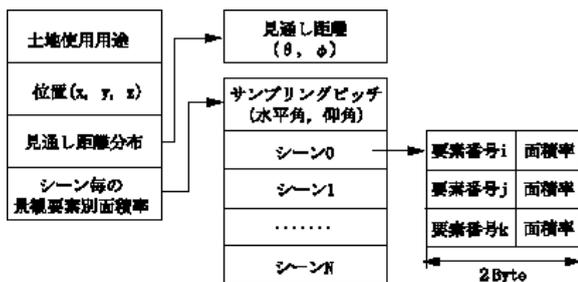


図 6. ノード毎の構成データ概念図

4.3 データベースを利用したシーン検索

提案システムでは、データベース化されたノード情報を利用して、ユーザの指定した理想条件に近いノード、視線ベクトルの検索機能を備える。使用量、道路幅員、景観構成要素とその理想面積率、およびそれら要素の重み(重要度を反映)を用いて、シーン毎の得点を計算し、各ノード毎に最も得点の高いシーンの視線の方向を、得点をベクトルの長さに変

換して平面図上に表示(図 7 参照)する。このとき、ユーザの要求に応じて、そのシーンに対応する透視図や、指標データの一覧を表示することができる。

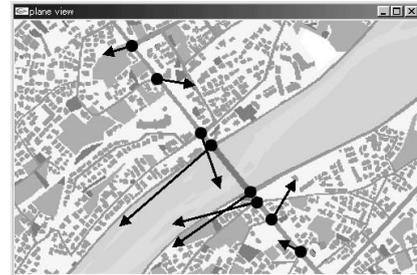


図 7. 得点上位の視線ベクトル表示

5. 適用例と評価

提案システムを実在の市街地(地形・建物: 158614 ポリゴン、街路樹: 460 本(樹木テクスチャ: 256 × 128 ピクセル(132Kbyte)*2 種類、256 × 256 ピクセル(260Kbyte)*1 種類)、遠景山岳テクスチャ: 128 × 1024 ピクセル(516Kbyte)の画像を 36 角柱にマッピング、道路ネットワーク: 858 ノード)の計量に適用し、以下の評価を実施した。

5.1 描画高速化の効果評価

空間分割の所要時間と、描画高速化の効果のトレードオフを確認するため、全ポリゴンを描画する場合と、3.2 節で述べた提案手法(セルあたりの最大ポリゴン数を、100、1000 ポリゴンとした場合)との比較を行った。計算時間と最大所要メモリ容量の計測結果を表 1 に示す。この例では、指標計算中に描画処理が占める割合を、88%から 54%にまで低減できた。提案システムを搭載するコンピュータのグラフィックスハードウェアにより差はあるものの、透視図描画時間はのべ描画ポリゴン数に比例すると考えて良く、空間分割の利用により、ハードウェアに依存せず指標計算全体を高速化できることがわかる。セル生成数と生成処理時間が比例しているが、通常複数のサンプリング視点を持つ経路で指標計算/評価を行い、データベース作成時には数百もの視点を対象になるのに対して、セル生成は一度でよいことを勘案すると、ここに示す程度の処理時間であれば、セル生成のために要する時間は、それにより得られる効果に対して十分小さく、特に問題になることは

ないと考える。また、メモリの使用容量も、一般ユーザーに十分許容できる範囲であると考え。

表 1.セル再分割条件と計算時間

セルあたりの最大ポリゴン数	使用しない	100	1000
のべセル数	-	9,505	585
(1)4分木セル生成時間(s)	-	22.73	1.85
(2)4分木探索時間(s)	-	3.59	3.47
(3)描画時間(s)	1,038.12	173.74	200.32
(4)画像読み込み時間(s)	29.53	25.31	25.26
(5)指標計算時間(s)	117.19	117.69	117.86
指標計算総処理時間 (2)+(3)+(4)+(5)(s)	1,184.84	320.33	346.91
使用メモリ(KB)	29,420	66,484	63,808
のべ描画ポリゴン数	400,024,508	91,669,464	113,356,932

5.2 データベース構築と検索

道路ネットワークのノードごとに、景観評価指標(水平角、仰角のサンプリング間隔5度)を計量し、データベースを構築した。所要時間は、約75.55時間、容量は12.4MByteであった。このデータベースを用い、図8のAB間の経路(11ノード)において緑視率と水視率の高いシーンを検索したところ、検索時間は0.15秒であった(図9参照)。同様の検索を新規に景観評価指標を各ノードで計算しながら行った場合、約3487秒を要した。これから、データベース利用により高速化され、実用上十分な応答性を有すといえる。本論文で示した計算時間は、すべてパーソナルコンピュータ(CPU: Pentium /400MHz、RAM: 320Mbyte、OS: Windows NT)での計測結果である。



図 8.計量対象経路選択 図 9.検索結果平面図表示

6. 結論

3次元市街地データを計量対象とし、景観特性の計量を定量的に行い、景観評価の判断材料をユーザーに提供することにより、景観評価を効率良く実施するための支援システムを提案した。実空間に近い景観評価指標を効率良く計算するため、簡易なデータ

で街路樹や遠景を表現し、さらに、空間分割手法を利用して、計算量の大部分を占めるポリゴン描画処理の高速化を実現した。また、道路ネットワークに対応したデータベースを構築し、それを利用して、効率良く理想的な景観要素別面積率を持つシーン的高速な検索を実現した。データベース構築にはまだかなりの処理時間を要するため、描画のさらなる高速化手法の考案が必要である。

参考文献

- [1]Nishita, T, et al., A shading Model for Atmospheric Scattering Considering Luminous Intensity Distribution of Light Sources, Computer Graphics 21(4), pp.303-310, 1987.
- [2]Kaneda, K., et al., Three-Dimensional Terrain Modeling and Display for Environmental Assessment, Computer Graphics, 23(3), pp.207-214, 1989.
- [3]秋葉, 山本, 青木, コンピュータグラフィックスによる景観シミュレーション, グラフィックスとCAD 研究報告, 87-CG-29-009, 1987.
- [4]安生, 武内, 佐藤, 自然景観エディタ, グラフィックスとCAD 研究報告, 93-CG-65-009, 1993.
- [5]丸山, 中前, 秦, 多田村, 簡易3D樹木モデルと天空光を考慮したレンダリング, グラフィックスとCAD 研究報告, 99-CG-94-010, 1999.
- [6]Nishita, T, et al., Display of Clouds Taking into Account Multiple Anisotropic Scattering and Sky Light, Proc. SIGGRAPH96, pp.379-386, 1996.
- [7]三橋, CGによる街路景観の定量分析, 日本都市計画学会第27回学術研究論文集, pp.745-750. (1992).
- [8]有馬, 佐藤, 萩島, 坂井, 3次元CGを用いた景観特性の計量化とそのシステム開発に関する研究, 日本建築学会計画系第523号論文集, pp.227-234, (1999).
- [9]日高, 有馬, 萩島, 坂井, 3次元CGを用いた街路景観特性の計量化と景観評価に関する研究-景観設計支援システムの開発(その1)-, 日本建築学会第23回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.31-36, (2000).
- [10]樋口 忠彦, 景観の構造, 技報社, (1975).