

市街地景観計画・評価支援システムの開発

南 松 利 博[†], 多 田 村 克 己^{††}
 鷗 心 治^{††} 田 淵 義 彦^{††}

本論文では、市街地を対象にした景観計画・評価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いた視点場（景観を眺める場所）における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、インタラクティブな計量条件の設定および結果の表示を実現可能である。さらに、構築したデータベースを利用して、ユーザの指定した条件に最も近い景観特性量を持つ視線ベクトル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する手法やパノラマ画像を利用する手法を開発した。

Development of a System for Supporting Landscape Assessment

TOSHIHIRO NANMATSU,[†] KATSUMI TADAMURA,^{††} SHINJI IKARUGA^{††}
 and YOSHIHIKO TABUCHI^{††}

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 developed two methods to reduce the total number of the polygons drawn into the frame buffer: a method using space subdivision technique and a method using panorama images.

1. はじめに

近年、都市の新規・再開発の際、景観保全が大きく取り上げられるようになり、その計画段階から、景観面における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。最近の価格性能比の高いパーソナルコンピュータの普及により、この要求に応える有効な手段として、コンピュータグラフィックス (CG) が積極的に活用されるようになってきた。ここで、景観計画の分野では、計画地域の特性把握と、問題点の明確化が求められる。このため、景観特性量の計量は、対象地域において、多数の地点で

計量条件を変更しながら実施されるという特徴を持つ。したがって、景観特性の計量システムに対しては、できるだけ多くの地点における景観特性を効率良く把握できることが求められる。

本論文では、この問題に対処し、市街地における景観計画・評価を効率良く実施するための 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 (たとえば文献 1), 2), 景観評価に CG がさか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表現するための手法^{5),6)} が提案され、仮想・実在を問わずリアルな都市景観画像を生成可能になった。これらの CG 画像を用いて、具体的にどのように見えるのかを事前評価することが可能である。

[†] 山口大学大学院理工学研究科
 Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

^{††} 山口大学工学部
 Faculty of Engineering, Yamaguchi University
 現在、株式会社日立製作所
 Presently with Hitachi, Co., Ltd

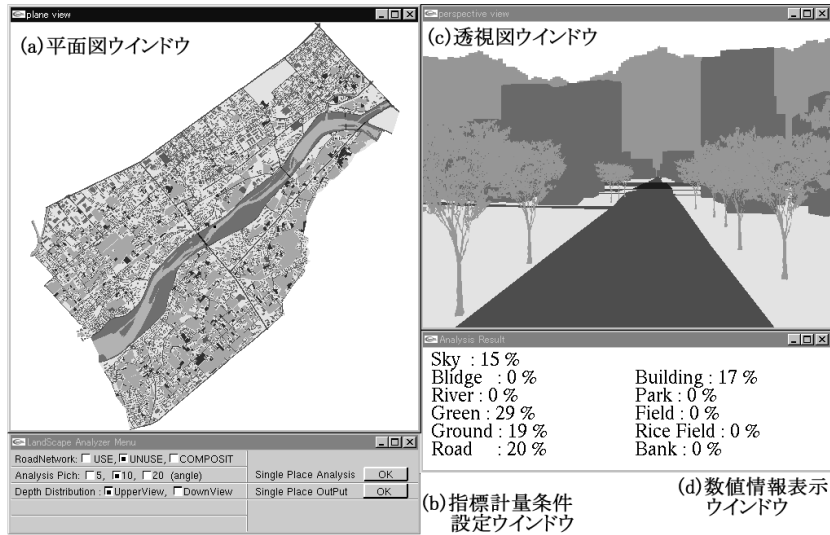


図1 ユーザインタフェース

Fig. 1 User interface.

他方、都市計画の分野では、主に手作業で景観指標の計量が行われていたが、数値地図やデジタル化された市街地図データを基に、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、空間の開放性や複雑さの観点で街路の評価を行い、それを基に建物のランドマーク性の評価を行う手法⁷⁾、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、および得られたデータの再利用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、2章において提案システムの概要を説明し、3章において景観評価指標の計算方法を述べる。さらに4章では、計量処理高速化のために採用した手法を述べ、5章において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る。6章において提案システムの有用性を検証し、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、主に道路上を想定した任意の視点場(景観を眺める場所)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。
- 街路樹や遠景を実写データで簡易表現することにより、評価のために十分な精度を保証しかつ高速処理可能。
- 道路ネットワークに対応した、効率の良い景観特性量データベース構築。
- 景観特性量の指定条件に対する満足度の高い地点および視線ベクトル(カメラの中心軸)、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 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1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。平面図ウィンドウ(図1(a))には、市街地の平面図や対応する道路ネットワークを描画し、計量やデータ表示を要求する地点や、経路指定のために利用する。計量条件の指定などは、指標計量条件設定ウィンドウ(図1(b))による設定や、プルダウンメニューの組合せにより行う。ユーザの要求す



図 2 見通し距離分布

Fig. 2 An example of distribution of vista distance.

る出力データにより、透視図(図 1(c))や見通し距離分布(図 2)、数値情報(図 1(d))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(指標計量のために描画する透視図の視線ベクトルのサンプリングピッチ(水平角および仰角方向における透視図の生成間隔))を指定すると自動的にデータベース作成処理を開始する。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視線ベクトル検索の場合には、平面図により位置、経路、領域などを指定し、また、メニューから計量、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. 景観評価指標の計量

提案手法では、任意の視点位置および視線ベクトルに対応する透視図(図 1(c) 参照)を描画し、その結果得られる画素情報を用いて景観評価指標を算出している。実空間に近い景観評価指標値を効率良く求めるため、街路樹および遠景山岳をテクスチャマッピングを利用して表現する。本章では、使用する 3 次元市街地データや、景観評価指標の計算方法、街路樹および遠景の表示方法について説明する。

3.1 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 平面図中での位置情報を、建物についてはその階数から 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。また、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。

3.2 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、任意の視点・視線ベクトルに対応する透視図中において、空、植物、水面、壁面、地面などの景観要素が占める比率のことで、透視図として得られた景観の特性を定量的に表すものである。これは、視線ベクトルを方位角 0 度から 360 度、仰角(俯角) -90 度から 90 度までサンプリングピッチごとに变化させ、それに対応する透視図(図 1(c) 参照)を描画し、画素ごとの景観要素を調べることで計量する。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 の視野とし、地面もしくは物体表面から鉛直方向 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、任意の視点場における全方向(方位角、仰角)に対する可視物体までの距離分布であり、その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デプスを考慮して透視図を描画するので、これを利用して求める。利用者に提示する際には、図 2 に示すように、距離を 256 階調のグレースケールに変換して可視化し、通常、鉛直軸正の半球部分を円にマッピングする。これにより分布を直感的に把握可能である。

3.3 街路樹、遠景へのテクスチャの利用

都市において街路樹などによりもたらされる緑は、景観として重要な要素の 1 つである。このため、市街地地図中には含まれていないが、視野内に占める植物の比率(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、これらはある程度の精度を保証してポリゴンにより表示すると、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。

街路樹は視点につね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 1(c) 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 に示すように山岳までの見通し距離が不自然なものにならず、かつ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透明な円柱側面にマッピングする。

4. 指標計算の高速化

提案システムの景観評価指標は、前述のように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

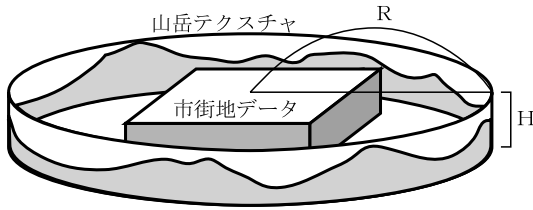


図 3 解析対象のデータ配置
Fig. 3 Geometry of analysis data.

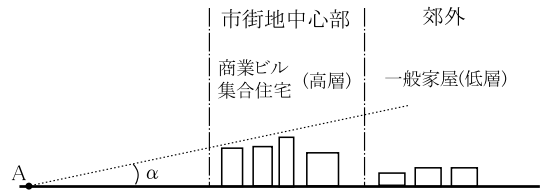


図 4 中小規模地方都市市街地における建物の空間的な分布特性
Fig. 4 Characteristic of the spatial distribution of buildings in an urban area at a middle or small size city.

これは、通常景観評価指標計量のための視点場あたり数百～数千(サンプルピッチ 5 度で 2,522)の透視図を描画することになるため、データベース構築時間短縮や、任意の視点場を指定された場合の景観評価指標計算の応答性を高めるためには、透視図あたりの描画時間をできるだけ短縮する必要がある。そこで提案システムでは、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と、パノラマを用いた透視図描画数の削減手法を採用した。

4.1 空間分割を利用した高速化

後ほど適用例で示すように、指標計算の際、すべての透視図についてつねに全ポリゴンを描画対象にすると、高性能なグラフィックスエンジンを使用しても、透視図描画が全計算時間の約 85%を占める。そこで、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簡易な処理であらかじめ抽出し、実際に描画されるポリゴン数を削減することにより、指標計算処理全体を高速化する。

具体的には、この問題もレイトレーシングの高速化と同様と考えることができるので、計算対象の空間をセルに分割し、セルに含まれるポリゴンを記憶しておき、透視図描画の際、それに対応する視野に含まれるセルを抽出した後、抽出されたセルに含まれるポリゴンのみを描画する方法が考えられる。ここで、適用対象に適した空間分割の方法を採用する必要がある。まず、ポリゴンデータの分布に注目すると、以下のような特性を持つ。(1) 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、(2) 今回データを作成したような地方の中小都市では、市街地であっても中心部を少し外れると建物はほとんど道路沿いに集中する。次に、視点場ごとに描画する透視図について注目すると、以下のような特性を持つ。(3) 図 4 に示すように、視点から遠方になるほど高仰角の領域に存在するポリゴン数は減少する、(4) 水平角、仰角方向に一定のサンプルピッチで視線ベクトルを回転させて描画する、(5) サンプルピッチは、視野角に比べて

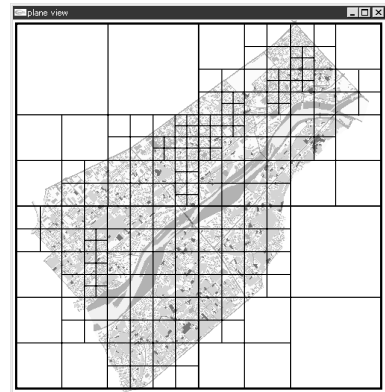


図 5 4 分木構造を利用した市街地の領域分割
Fig. 5 Space subdivision using a quadtree.

小さい。

(1), (2) から、ポリゴン分布の偏りが大きいいため、等分分割よりも、階層構造を持ち、セルに含まれるポリゴン数を平準化可能な分割法である 4 分木や 8 分木構造への分割の方が記憶効率および視野外セルの判定に有利である。さらに、データ存在領域の鉛直方向と水平方向のサイズ差が大きいことから、3 次元空間用の 8 分木構造ではなく、図 5 に示すような平面図上の 4 分木構造のセルに分割する。また、(4), (5) から、隣接する視線ベクトルにおいては、共通の可視ポリゴンが多いことが自明であり、これは、図 5 のようなセルに対してもあてはまるので、セルの可視/不可視の判定を視野ごとに行うと無駄が多い。したがって、データ空間のセルへの分割とは独立に、視点場ごとの空間的なコヒーレンスを利用した手法が必要になる。これに対しては、視点場を中心とする空間を、視野の形状に類似した小領域に細分化し、小領域ごとにそれに含まれるセル(ポリゴン)を記憶しておき、透視図描画の際にその情報を参照することで、無駄な処理を削減する。具体的には、視点場が与えられると、まずその視点場を中心として水平角方向にそれぞれ扇形領域に細分割し、それに含まれるセルから扇形領域に含まれるポリゴンを得る。そして、扇形領域ごとに仰角

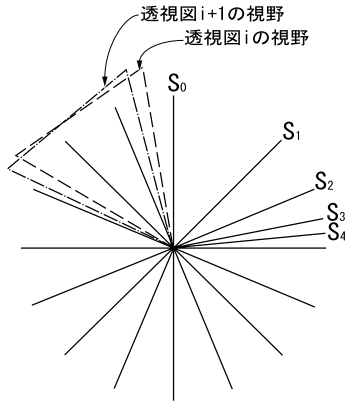


図 6 透視図描画のための視野と扇形細分割領域との関係
Fig. 6 Relationship between the horizontal view field for a perspective and the fan-shaped subdivided area.

方向にさらに細分割した最終細分割領域を生成し、最終細分割領域ごとにそれに含まれるポリゴンを求め記憶するようにする。これにより、同一セルが何度も内外判定の対象となることを回避可能であり、さらに扇形領域への細分割の際にコヒーレンスを利用可能である(たとえば、平面領域を視点を中心に4等分したある小領域に含まれるセルのみが、その4分の1領域をさらに細分化した領域に含まれる)。さらに(3)の特性から、仰角方向に関しては等分割の必要はなく、水平面付近とそれ以外の3領域に分割すれば、記憶量の増加に十分見合う効率向上を見込むことができる。図6は、水平角方向における扇形細分割領域と視野との関係、および扇形領域の細分割レベルを示したものである。図中の第1象限に S_0 から S_4 として示すように、細分割レベルは2分の1ずつ再帰的に細かくしていく。

透視図描画の際には、視野に含まれる最終細分割領域を選択するだけでよく、これは視点場の位置に依存することなくあらかじめ知ることができるので、視線ベクトルの方向と最終細分割領域との関係をルックアップテーブルにすることでさらに効率を向上できる。

4.2 パノラマを用いた高速化

描画ポリゴン数を削減する手法では、可視ポリゴン以上の削減はできず、一定量以上の高速化が困難である。また、透視図の読み込みでは、グラフィックスエンジンでVRAM上に描画した情報をメインメモリに転送しており、読み込む透視図が多いため、使用する計算機によっては相当量の時間を要す場合がある。そこで、もう1つの処理高速化手法として、パノラマ画像を景観評価指標計算のための透視図の代わりに描画し、透視図の描画数を削減する手法を提案する。

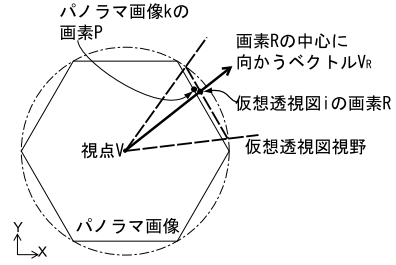
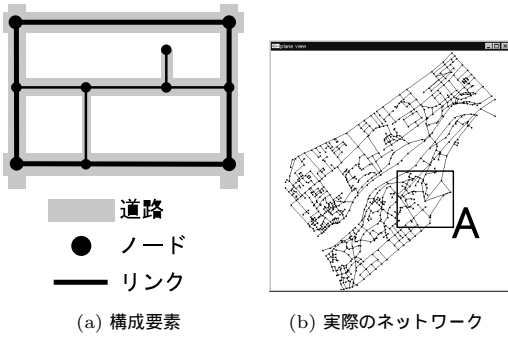


図 7 パノラマ画像と透視図の関連図

Fig. 7 The relationship between a virtual panorama and a perspective.

具体的には、景観評価指標計算のための透視図より視野の大きな画像を仮想的にパノラマ画像になるように複数枚描画し、描画対象であった透視図を描画せずに、パノラマ画像の画素情報を用いて景観評価指標を計算するものである。図7は、この手法により景観指標計算のために仮想的に発生する透視図*i*における画素Rと、その画素を実際に描画する代わりに用いるパノラマ画像*k*の画素Pとの関係を二次元で表現したものである。図中、外側の円はパノラマ画像と仮想透視図の投影面の関係が分かりやすくなるように設置したものであり、実際に生成はしていない。いま、視点から画素の中心に向かう方向の延長上にある物体を求め、その情報を利用して当該画素の色を決定しているとすると、仮想透視図*i*中の画素Rのために利用するパノラマ画像*k*の画素Pは、視点からすべてのパノラマ画像のすべての画素の中心に向かうベクトル V_P の中で、視点Vから画素Rの中心に向かうベクトル V_R に最も近い方向を持つものを探ることにより得られる。これは、 V_R と V_P の内積の最大値を与える画素Pを求めることで実現できる。ここで、パノラマ画像と景観指標計算のため一定のサンプリングピッチで生成する仮想透視図(群)との相対的な位置関係は変化しないことから、視点場ごとにパノラマ画像-仮想透視図間のマッピングテーブルを再計算する必要はない。そこで提案システムを使用する前に、視線ベクトルごとの仮想透視図の全画素に対応するパノラマの画素位置をあらかじめ求めておき、ルックアップテーブルとして保存する。景観評価指標計量時にルックアップテーブルを読み込み、パノラマ画像を描画し、その画素情報を取り込む。計量対象の透視図は、ルックアップテーブルを基に、取り込んだパノラマ画像の画素情報を取得し、景観評価指標を算出することで、描画枚数および、読み込み回数を削減できる。



(c) A の部分の拡大図
 図 8 道路ネットワーク
 Fig. 8 Road network.

5. 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的な景観構成を持つ透視図を与える視線ベクトルの検索機能について説明する。

5.1 道路ネットワーク

提案システムでは、図 8 (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ほかに周辺の土地利用用途の分類(住宅地、農業地(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 8 (b) は、図 1 (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り、図 8 (c) は、図 8 (b) 中の A の領域を拡大した図である。

5.2 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

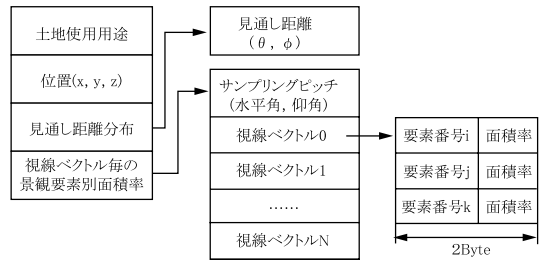


図 9 ノードごとの構成データ概念図
 Fig. 9 Structure of data stored at a node.

に保存するデータの構造を図 9 に示す。上述の道路ネットワーク本来の情報(土地利用用途, 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透視図ごと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、すなわち、量子化ビット数 8 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視線ベクトルが多数存在する。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。

5.3 データベースを利用した視線ベクトル検索

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。使用用途、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、視線ベクトルごとの得点 S を次式を用いて計算する。

$$S = \sum_i^N w_i * (\max(1 - \frac{|M_i - E_i|}{E_i}, 0)) + w_{N+1}U_j + w_{N+2}R_j$$

ここで、 N は理想面積率が零でない景観構成要素数、 w_i は景観構成要素 i の重み、 w_{N+1} 、 w_{N+2} はそれぞれ、土地利用用途、道路幅員の重みである。 M_i は対象視線ベクトルにおける景観構成要素 i の面積率、 E_i は、景観構成要素 i の理想面積率であり、 U_j および R_j は、ノード j が指定された土地利用用途、道路幅員と一致するとき 1、そうでないとき 0 となる関数である。また、 \max は、2 つの値の大きい方をとる関数である。計算結果から、各ノードごとに最も得点の高い視線ベクトルを、得点をベクトルの長さに変換して平面図上に表示(図 10 参照)する。このとき、ユーザの要求に応じて、その視線ベクトルに対応する透視

表 1 セル再分割条件と計算時間
Table 1 Comparison of calculation time.

セルの分割閾値(ポリゴン)	分割しない	1000	100	50	100+仰角再分割
延べセル数	—	585	9,713	29,097	29,139
(1) 4分木生成時間(s)	—	0.11	0.23	0.28	0.24
(2) 4分木探索時間(s)	—	0.61	0.68	0.73	1.24
(3) 透視図描画時間(s)	167.11	65.27	62.39	69.93	27.62
(4) 画像読み込み時間(s)	26.58	26.39	26.10	26.21	26.06
(5) 指標計算時間(s)	6.83	4.63	4.29	5.71	4.39
(6) 総処理時間 ((2)+(3)+(4)+(5))(s)	200.52	96.9	93.46	102.58	59.31
延べ描画ポリゴン数	400,024,508	140,181,470	120,071,260	117,537,822	38,655,352

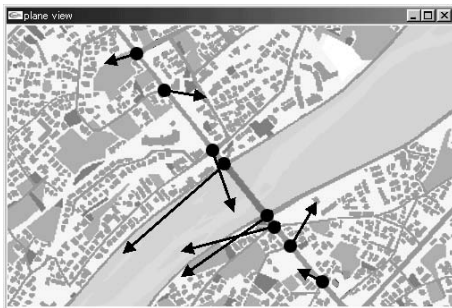


図 10 得点上位視線のベクトル表示
Fig. 10 Display of highest scored view-lines.

図や、指標データの一覧を表示することができる。

6. 適用例と評価

提案システムを実在の市街地(地形および建物: 158,614 ポリゴン, 街路樹: 460本(樹木テクスチャ: 256×128 ピクセル(132 Kbyte)×2種類, 256×256 ピクセル(260 Kbyte)×1種類), 遠景山岳テクスチャ: 128×1,024 ピクセル(516 Kbyte)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, 以下の項目について評価した。

6.1 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, 4.1 節で述べた提案手法(セルあたりの最大ポリゴン数を, 1000, 100, 50 ポリゴンとした場合と, 100 ポリゴンで分割した領域を仰角方向に3領域に再分割した場合)との比較を行った。適用例で使用する市街地データは, 図4に示すように市街地中心部に比較的高層(10から15階)の建築物が集中しており, それ以外はほとんどが4階以下の建物である。すなわち, 低仰角の領域にポリゴンが集中している。具体的には, 図4中のαが5度の場合, 点Aの地点は約500m離れたところになり, これ以上離れた地点では, 高仰

表 2 パノラマ画像を用いた計算時間
Table 2 Calculation time in case of using the panorama and virtual perspective.

(1) ルックアップテーブル読み込み時間(s)	15.80
(2) パノラマ画像描画+読み込み時間(s)	0.92
(3) 指標計算時間(s)	11.42
(4) 指標計算処理時間((2)+(3))(s)	12.34
(5) 計量総処理時間((1)+(4))(s)	28.14
延べ描画ポリゴン数	1,228,824

角の領域には視点近傍の建物しか入らない。このように仰角5度から-5度にポリゴンの分布が集中していることから, この市街地データの場合仰角の分割角度を±5度, すなわち-90度から-5度, -5度から+5度, および5度から90度の3領域に再分割した。計算時間の計測結果を表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, 83%から47%にまで低減できた。特に, 仰角方向に3分割することにより, 延べ描画ポリゴン数を約3分の1に削減できた。これは, 今回の適用対象が, 図4に示すようなポリゴンの分布特性を持つため, 視線ベクトルの仰角成分が±25度以上の透視図に対しては, 描画対象のポリゴンを高仰角の領域に含まれる非常に少数のものに限定できたことによるものと考えられる。提案システムを実装するコンピュータのCPUとグラフィックスエンジンにより差はあるものの, 透視図描画時間は延べ描画ポリゴン数に比例すると考えてよく, 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分かる。セル生成数と生成処理時間については, 通常複数の景観評価指標計量のための視点場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場が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無視できるほど十分小さい。表2は, パノラマ画像を利用して求めた, 1視点での計量時間を示す。視線ベクトルのサン

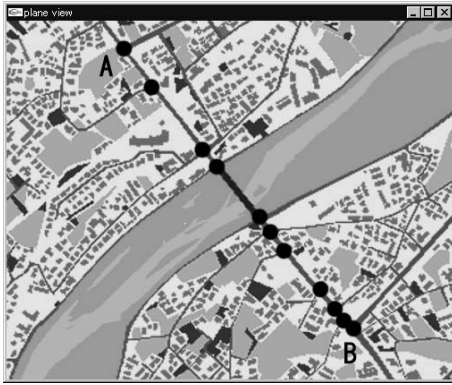


図 11 計量対象経路選択

Fig. 11 Selection of a route for measurement.

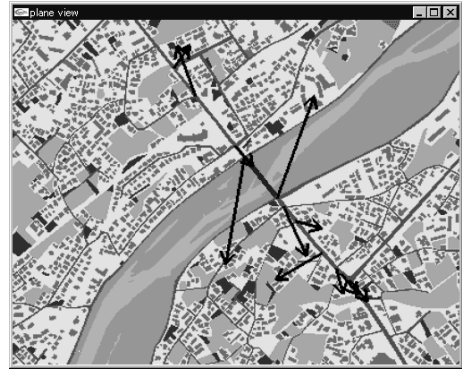


図 12 検索結果平面図表示

Fig. 12 Display of the result.

プリングピッチを 5 度とした場合、描画する透視図は 2,522 であり、それぞれの透視図を 500×375 ドット、各画素に対応するパノラマ画像の画素を記憶するために 4 バイト割り当てると、ルックアップテーブルは約 1.89 GB である。パノラマ画像サイズは、 800×600 ドットであり、20 枚の画像で視点を囲む全球を覆うように配置した。ルックアップテーブルをすべてメモリ上に保持する場合、データベース作成の最初に 1 度だけ読み込めばよく、1 ノードあたりの計算時間は表 2 の (4) であることを勘案すると、数百の視点場で計量を行うデータベース作成では、パノラマ画像を利用した計量手法が有効であると考えられる。ただし、約 2 GB の RAM を必要とするため、十分なサイズの RAM を持たない計算機では、ルックアップテーブル読み込みがノードごとに必要になる。今回処理時間計測に使用した計算機は、高速アクセス可能なハードディスクを備えたものであり、このようなシステムでは、たとえルックアップテーブルを毎回読んだとしても、パノラマを用いたほうが処理効率が良いが、そうでない場合は、空間分割を利用した手法のほうが有利である。

6.2 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。描画処理高速化の例で最も効率の良かったパノラマを用いる手法を採用し、所要時間は約 177 分、容量は 12.4 MB であった。このデータベースを用い、図 11 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 0.03 秒であった（図 12 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 157 秒を要した。この結果より、データベースを利用した検索は、実用上十分な応答性を有

しており、検索条件の変更を繰り返し、多くの視点場で検索を行う場合、提案システムはユーザの景観評価を効率的に支援可能であると考えられる。

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: Xeon 2GHz, RAM: 2GB, GPU: WildCat6110, OS: Windows 2000）で 10 回計測した結果の平均値である。

7. 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、パノラマ画像を利用した計量処理高速化を実現した。さらに、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視線ベクトルの高速検索を実現した。今後の課題として、データベース検索の結果を効果的に利用する機能の追加、ユーザインタフェースの改良などがあげられる。

謝辞 プログラム作成およびデータ計測にご協力いただいた山口大学（現日立アドバンストデジタル）谷重聡氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Nishita, T., et al.: A shading Model for Atmospheric Scattering Considering Luminous Intensity Distribution of Light Sources, *Computer Graphics*, Vol.21, No.4, pp.303-310 (1987).

- 2) Kaneda, K., et al.: Three-Dimensional Terrain Modeling and Display for Environmental Assessment, *Computer Graphics*, Vol.23, No.3, pp.207-214 (1989).
- 3) 秋葉澄伸, 山本 強, 青木由直: 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, *グラフィクスと CAD 研究報告*, 87-CG-29-009 (1987).
- 4) 安生健一, 武内良三, 佐藤 武: 自然景観エディタ, *グラフィクスと CAD 研究報告*, 93-CG-65-009 (1993).
- 5) 丸山恭扇, 中前栄八郎, 秦 学英, 多田村克己: 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) 三橋正邦: 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) 有馬隆文, 佐藤誠治, 萩島 哲, 坂井 猛: 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) 日高隆文, 有馬隆文, 萩島 哲, 坂井 猛: 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).

(平成 15 年 3 月 17 日受付)

(平成 16 年 4 月 5 日採録)



南松 利博

平成 14 年山口大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年(株)日立製作所入社。在学中は、都市計画および景観計画への CG 応用に関する研究に従事。



多田村克己(正会員)

昭和 61 年広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年(株)日立製作所入社。平成 3 年広島県立大学経営学部助手。平成 8 年同講師。平成 10 年山口大学工学部助教授。平成 16 年同教授。博士(工学)。3 次元 CG に関する研究に従事。IEEE, ACM, 照明学会, 画像電子学会各会員。



鶴 心治

平成 3 年九州大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年日本電信電話株式会社建築部入社。平成 6 年九州大学工学部助手。平成 10 年山口大学工学部講師。平成 12 年同助教授。博士(工学)。都市計画および景観設計に関する研究に従事。日本建築学会会員, 日本都市計画学会会員。



田淵 義彦

昭和 38 年京都大学工学部電気工学科卒業。同年松下電器産業(株)入社。昭和 48 年松下電工(株)移籍。平成 12 年山口大学工学部教授。平成 16 年同退職。博士(工学)。照明学会参与, 日本建築学会会員。