

景観設計のためのフォトモンタージュシステムの開発

鳥取大学工学部	正会員	○奥山	育英
鳥取大学大学院	学生員	信原	伸司
鳥取大学大学院	学生員	永田	泰章

1 はじめに

1. 1 背景

建設プロジェクトのプランニングのプロセスでは、非常に多くの計画的手法を用いて検討がなされ、様々な側面から総合的に評価が進められる。往々にして、これらのプロジェクトの多くは、既存の周辺環境に与える影響が大きいためプロジェクトの規模が大きくなればなるほど総合評価が重要になってきている。そして、計画を行なう上で、とりわけ景観の質的水準の向上が求められている。

景観の設計および評価は、定量的に取り扱うことの困難な分野に属しているが、都市計画、都市再開発事業を行なう上で不可欠なファクターとなっている。また、プロジェクトの検討過程においても、プロジェクトが完了した後の景観の具体的イメージを予測しておくことは、景観上の種々の不都合を見付け出し、評価作業を円滑に行なうことを可能とし、設計評価の確認の一助となる。この具体的イメージは、『完成予想図』と称されるスケッチ、透視図、模型など様々な技法を使った景観シミュレーションによる景観図によって与えられる。

とりわけ、コンピュータの飛躍的な発達により、コンピュータを利用した景観図の作成が盛んになってきた。コンピュータによって作成した景観図は正確で迫真性を持っているが、従来の手作業による技法、投映技術による技法に比べてより多くハードウェアに依存している。そのため、膨大な量の入力データとそれに伴う演算を要する周辺景観も含めた写実的な景観図作成には、ミニコンクラス以上のコンピュータと専用の画像処理装置を必要とし、多くの費用が費やされている。従って、誰もが手軽に景観を扱おうというわけにはいかなかった。

1. 2 目的と意義

本研究は、現在広く普及している取扱いの容易なパーソナルコンピュータを利用して、比較的安価で写実的な景観図を作成するシステムの開発を目的とする。

既に述べたように環境、特に景観に対する関心が高まっている現在、プロジェクトのマスタープラン作成段階からの景観への配慮が望まれている。しかし、前述したように、マスタープラン作成段階での複数の代替案の検討作業時に手軽に景観図を描くことは困難であった。このような状況のなかで、本研究で開発したシステムの利用により、コンピュータによる景観図の作成が、比較的容易に行なえる。さらに、迫真性を持った景観図を用いたプレゼンテーションにより計画の初期の段階における関係者間の意思疎通を円滑に行なうことが可能となる。

パーソナルコンピュータを用いていることから、一般の市民が自分たちの住んでいる町の景観シミュレーションを容易に実行でき、一種の市民参加による町づくりが可能となる。このことは、完成した景観図が成果として得られるばかりでなく、景観図を作成する過程における諸々の作業が、計画に対する正しい判断力を育成し、市民の景観を含めた計画全体に対する意識の変化を生むといった付加的な効果も期待される。

2 モンタージュシステムの構成

2. 1 概説

本システムは、パーソナルコンピュータを用いて安価で写実的な景観図を作成するために、既存景観を撮影した画像に計画案実行後の変化箇所のみを景観図をモンタージュするという方法を用いた。

本システムの構成は、次の三つの部分からなる。

- (1) 背景作成
- (2) 透視図の作成
- (3) モンタージュ

2. 2 機器構成

ビデオカメラで撮影された画像情報をデータとしてコンピュータに入力するには、画像入力機器が必要となる。特別な専用ハードウェアを持たないパーソナルコンピュータでは、ビデオカメラ等から直接画像入力することは不可能である。ビデオカメラ等から画像を入力する場合、アナログビデオ信号をA/D変換し、RGBデータ（各画素の色を光の三原色である赤緑青それぞれについて0から255までの256段階の濃度値で表わしたデータ、従って、 $256^3 = 16777216$ 色を表示可能）として格納するデジタル画像メモリが必要である。また、画像メモリを持つことによって画像データの取り込みと表示について高速化し、画像処理能力を向上させることができる。

本研究で使用した周辺機器について説明する。

(1) ビデオ機材

画像の入力装置として市販のポータブルビデオカメラ（NVM-50：松下電器）を使用した。背景となる画像をポータブルビデオカメラで撮影録画し、この後、パーソナルコンピュータに取り込む。出力信号は、ビデオ信号であり、輝度信号と色差信号からなる。

(2) ビデオデジタイザ

ビデオデジタイザとは、ビデオから送られてくるビデオ信号をA/D変換し、フレームメモリに格納する装置である。本システムでは、HYPER-VISION（㈱デジタルアーツ）をコンピュータ本体の拡張スロットに取り付けて使用した。この装置は水平方向640ドット×垂直方向400ドットの解像度を持ち、各ドット毎に24ビット（RGB各8ビット）で1670万色の認識が可能である。

(3) フレームメモリ

フレームメモリとは、画像データをフレーム（1画面）ごとに蓄える画像メモリである。本システムでは、HYPER-FRAME（㈱デジタルアーツ）をコンピュータの本体の拡張スロットに取り付けて使用した。通常のグラフィックス表示は、VRAMと呼ばれる特別なRAM領域に書き込むことにより行なわれるが、この装置は、画像専用のRAMを768kバイト搭載している。そのため、水平方向640ドット×垂直方向400ドットの画面に1ドットあたり1670万色の色数で表示することが可能である。したがって、パーソナルコンピュータ本体のテキスト画面、グラフィックス画面とは独立した表示領域が追加されることになる。

(4) ディスプレイ

画像出力装置として、アナログRGBディスプレイ（N5913L：NEC）を使用した。これにより、フレームメモリ上のデータを一画面として表示する。

2. 3 フォトモンタージュシステムの特徴

フォトモンタージュは、断片的な画像や写真を重ねあわせる技法である。これは周辺景観と計画部分のみの景観図を重ねることによって全体の景観を見ることが出来る。コンピュータを利用して背景をビデオ入力した場合、次のような利点があげられる。

(1) 背景となる周辺景観は実際の既存景観を撮影したものを使うため、景観図全体をコンピュータで作成した図と比べてアニメーション的画像でなくなり、細部における景観の違和感がより少ない。

(2) CGのみで景観図を作成するのに比べ、入力データ数を大幅に減らすことができるため、多くの労力と時間を削減できる。

以上の理由により、記憶容量と演算能力の限定されたパーソナルコンピュータへの利用に適している。

しかし、モンタージュを行なう上で次のような問題があげられる。

(1) 背景の撮影条件（視点、注視点、視野角）と計画部分のみの景観図を作図するうえ

での条件（視点、注視点、視野角）を三次元空間で一致させる必要がある。

（２）背景となる周辺環境のディテールは現実の景観を撮影しているが、データの入力に限度のあるコンピュータによる景観図のディテールは再現度に限りのある。そのため、背景画像と作成した景観図の表現度に不整合を生じる場合がある。

（３）逆に、背景となる画像は撮影時におけるぼけやコンピュータに取り込むときの画像の劣化が考えられるため、鮮明度や色彩の再現度に不整合を生じる場合がある。

本研究では、以上のような点を考慮し、最近一般に普及してきたビデオカメラで撮影した背景となる画像に、コンピュータで景観シミュレーションを行なった画像を円滑にモニターするシステムを構築した。

2. 4 景観図の作成

2. 4. 1 背景の作成

本システムで背景とは、既存景観であり、あるプロジェクトが実行されても変化しない空や遠くの山などの遠景とそのプロジェクトの当該地域とその周辺の建造物などを含む近景を包括した景観である。

背景は、VTR、ビデオカメラ、レーザーディスク、スチルビデオカメラなどのビデオ信号を出力する機器から画像をコンピュータに取り込むことにより作成することができる。本研究では、この画像の取り込みは、前述したように背景を撮影したビデオ画像をビデオデジタイザによりA/D変換し、フレームメモリに蓄えた。

背景画像の作成の手順を次に示す。

（１）景観シミュレーションを行なって検討しようとする際の視点、注視点、視野角を決定し、その位置からビデオカメラ等の機器を使い、実際に既存の景観を撮影する。

（２）撮影した画像をコンピュータに取り込む。

（３）取り込んだ画像情報を外部記憶装置（フロッピーディスク、ハードディスク）に保存する。

2. 4. 2 計画部分のみの景観図の作成

計画部分のみの景観図の作成にあたり、三次元空間の座標データの映像化を行なう。その映像化手段として、対象物のエッジ（外縁）のみを線分で表現するワイヤーフレームモデルや、対象物の表面の形状のみを扱うサーフェイスモデルなどがある。しかし、これらのモデルでは対象物の反射光・透過光を取り扱うことが困難であるため、鏡や金属表面などの強い反射、ガラス等の透明感および影の部分の微妙な陰影等の写実的な表現が難しい。この難点を解決するために、光源から発した光がどのような経路を通過して物体に反射、透過、吸収され、最終的に視点に到達するかを追跡し、その情報を基にして画像を構成する必要がある。

レイ・トレーシング法はこのアルゴリズムを実現する映像化手法の一つである。ただ

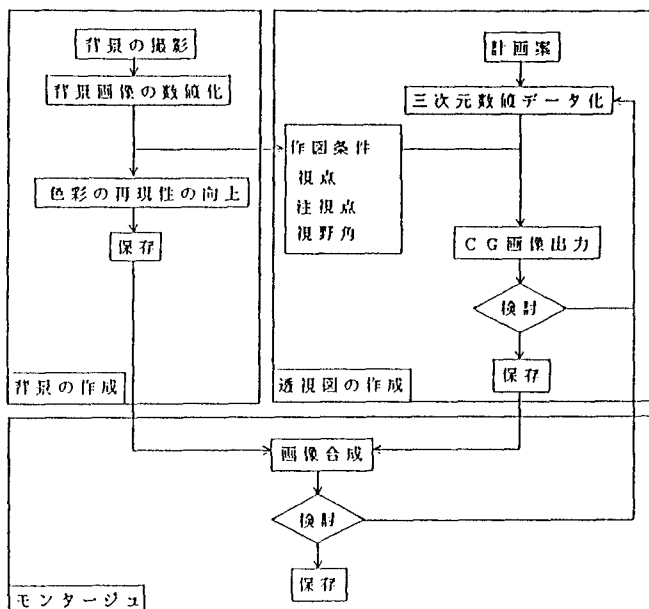


図. システムの基本構成

し、実際には計算の効率化のために、視点に到達する光線だけを逆に追跡して対象物による光線の経路図を作った後、再び経路図をさかのぼって対象物の陰影から各画素の陰影を決定する方法を用いている。また、このレイ・トレーシング法には次のような特徴がある。

- 1) 他の技法に比べて、非常に写実的な画像や特殊な効果を得ることができる。
- 2) モデルとして扱える対象物が多様である。
- 3) 膨大な反復計算が必要なため、作画時間が非常に長いが、並列処理が容易なため、多数のコンピュータを用いてそれぞれのコンピュータに画面の一部分を計算させ、それらを合わせることににより作画時間を短縮できる。
- 4) 現在、この技法のソフトウェアの開発が盛んになってきている。

本システムでは、撮影された背景となる画像と計画部分のみの景観図との表現度の不整合を少なくするため、レイ・トレーシング法を採用し、市販ソフトウェア（C-T R A C E : (株)キャスト）を使用した。

計画部分のみの景観図を作成する原理を以下に示す。

- (1) 計画案より対象物の質感（色、反射率、透過率）を決定し、その形状を三次元空間における座標データで表わし、コンピュータに入力する。光源の位置、光の量については、背景撮影時に合うように入力する。
- (2) 作図条件パラメータ（視点、注視点、視野角）を入力する。
- (3) 作図演算を実行し、結果の画像情報をフレームメモリに蓄える。
- (4) フレームメモリの画像情報を外部記憶装置に保存する。

計画部分のみの景観図の背景（以後 b a c k とする）は、モンタージュを行なうための一般には存在しない無光状態の黒色（R G B 濃度はすべて 0）とした。これについては、次節で述べる。

2. 4. 3 モンタージュ

本システムでは、計画部分の景観図は、視点と注視点と視野角を背景画像と一致させ、コンピュータによって作成しているので、画面上での位置・大きさ・形において背景画像と不整合とはならない。そのため、背景画像の上にそのまま計画部分のみの景観図を重ねることだけでモンタージュが可能である。計画部分の景観図の視点と注視点と視野角を背景画像と一致させる方法については次章で述べる。

具体的には、次のような方法でモンタージュを行なった。画面上の画素ごとに、計画部分の景観図のファイルから R G B データを読み出し、それが b a c k（R G B 濃度はすべて 0）にあたるかどうか判断し、b a c k であればビデオ画像による背景画像を、そうでなければコンピュータで描いた計画部分の景観図の画像を選択し、フレームメモリに読み込んだ。

3 補助機能の開発

3. 1 作図条件決定機能

撮影された背景画像とコンピュータで作成した計画部分の景観図をモンタージュするためには、計画部分の景観図の作図条件（視点、注視点、視野角）を背景画像の撮影条件（視点、注視点、視野角）と三次元空間で一致させて、景観図を作成する必要がある。しかし、背景画像の視点に関しては撮影時の実際の測量などによりその位置は求められるが注視点と視野角を知るのは困難である。計画部分の景観図を作成するために必要な作図条件となるパラメータ（視点、注視点、視野角）を、ビデオ撮影された背景の画像から決定する方法を以下に述べる。

(1) 方針

撮影された背景画像と作図条件のまったく異なる計画部分の景観図を背景画像にモンタージュした場合、その画像は、明らかに不整合であると分かる。このようなとき、試行錯誤により、視点、注視点、視野角を変えながら多くの景観図を作成し、モンタージュしてみれば、二つの画像を整合させることができる。しかし、本研究で用いたレイ・トレ

シング法による作画は写実性には優れているが処理時間が長いために、このような試行錯誤による方法は適さない。そこで、背景画像と処理時間の短いワイヤーフレームモデルによる景観図でモンタージュした画面で試行錯誤を行ない、視点、注視点、視野角を決定した。

ワイヤーフレームモデルは、対象物をエッジ（外縁）のみで表現する方法であり、次のような特徴がある。

- 1) 対象物の位置・形状は非常に正確に表現できる。
- 2) 視点と注視点と視野角を自由に変えることができる。
- 3) 他の技法に比べて、多くの計算を必要としないため処理時間が短い。
- 4) エッジのみの表現のため、写実的ではないが隠線処理を行なえばより迫真性を増すことができる。
- 5) 直方体あるいは直線の組み合わせの表現は容易であるが、曲線や曲面の表現が難しい。

計画部分の三次元データは、そのおおよその外形のデータのみとし、視点、注視点、視野角の入力は操作性の点から、マウスを用いた。

また、ワイヤーフレームによる景観図と背景画像の整合性を得やすくするため、陰線処理は行なわなかった。

(2) アルゴリズム

ワイヤーフレームモデルによる三次元空間の表現のための三次元空間上の点をディスプレイ画面上（投影面上）の座標に変換するアルゴリズムについて説明する。

視点、注視点、視野角をそれぞれ、 $E(x_e, y_e, z_e)$ 、 $T(x_t, y_t, z_t)$ θ とし、視線のベクトル ET を、

$$ET = (l, m, n) = (x_t - x_e, y_t - y_e, z_t - z_e) \text{ とする。} \quad \dots (3.1)$$

視野角から投影面までの距離 d を算出する。

$$d = \frac{1}{2} t \tan \frac{\theta}{2} \quad (l: \text{投影面の横幅}) \quad \dots (3.2)$$

< 投影面の決定 >

① 視線の方程式（直線 ET ）

$$\frac{X - x_e}{l} = \frac{Y - y_e}{m} = \frac{Z - z_e}{n} \quad \dots (3.3)$$

② 投影面と直線 ET との交点 O の座標

$$O: (x_o, y_o, z_o) = a(l, m, n) + (x_e, y_e, z_e) \quad \dots (3.4)$$

$$a = d / \sqrt{l^2 + m^2 + n^2} \quad \dots (3.5)$$

③ 交点 O を通る視線 ET に垂直な平面（投影面）

$$l(X - x_o) + m(Y - y_o) + n(Z - z_o) = 0 \quad \dots (3.6)$$

< 三次元空間上の各点の投影面への投影 >

三次元空間上のある点を、 $M(x_m, y_m, z_m)$ とする。

④ 視点とある点 M とを結ぶ直線の方程式（直線 EM ）

$$\frac{X - x_e}{x_m - x_e} = \frac{Y - y_e}{y_m - y_e} = \frac{Z - z_e}{z_m - z_e} \quad \dots (3.7)$$

⑤ ③の平面と、④の直線の交点 $P(x_p, y_p, z_p)$ は、

$$\begin{aligned} x_p &= k(x_m - x_e) + x_e \\ y_p &= k(y_m - y_e) + y_e \end{aligned} \quad \dots (3.8)$$

$$\begin{aligned} z_p &= k(z_m - z_e) + z_e \\ k &= \frac{l(x_o - x_e) + m(y_o - y_e) + n(z_o - z_e)}{l(x_m - x_e) + m(y_m - y_e) + n(z_m - z_e)} \end{aligned} \quad \dots (3.9)$$

である。

＜点Pを投影面上の座標に変換＞

投影面（二次元）の原点は点Oとし、三次元空間内での投影面上方向（Y軸方向）のベクトルは、 $(0, 0, 1)$ とする。ただし、このベクトルは視線方向のベクトルと直角になるよう補正される。

- ⑥ 点TのZ軸上方に点T'($x_t, y_t, z_t + \alpha$)をとると、点E, T, T'を通る平面の方程式は、次式で表わされる。

$$m(X - x_o) - 1(Y - y_o) = 0 \quad \dots (3.10)$$

- ⑦ 点Pと⑥の平面との距離の絶対値が投影面上のX座標の絶対値となる。

$$|x| = \frac{|m(x_p - x_o) - 1(y_p - y_o)|}{\sqrt{1^2 + m^2}} \quad \dots (3.11)$$

- ⑧ ベクトルEPとベクトルETの外積を取り、⑦で求めたxの符号を決定する。

$$\begin{aligned} 1 \ y \leq m x \quad \text{のとき} & \quad x \geq 0 \\ 1 \ y > m x \quad \text{のとき} & \quad x < 0 \end{aligned} \quad \dots (3.12)$$

- ⑨ 点Oと点Pとの距離と、⑦で求めたxより

$$|y| = \sqrt{(x_o - x_p)^2 + (y_o - y_p)^2 + (z_o - z_p)^2 - x^2} \quad \dots (3.13)$$

$$\begin{aligned} z_p \geq z_o \quad \text{のとき} & \quad y \geq 0 \\ z_p < z_o \quad \text{のとき} & \quad y < 0 \end{aligned}$$

以上の計算により、投影変換を行なった。

3. 2 色彩の再現性の向上

ビデオで撮影された背景となる画像をコンピュータに取り込む際に画像の劣化が認められ、コンピュータによって作成した景J図との間に鮮明度や色彩の点で不整合が生じる。そこで、色彩の再現性の向上を試みた。

(1) 色彩の再現性の分析

ビデオで撮影された背景となる画像は、コンピュータに取り込むと、取り込む前のビデオ画像に比べて全体に白っぽく霞んでしまうため、コンピュータに取り込む前後の色の变化を分析する必要がある。そこで、前もって作成したRGB濃度が既知であるカラーサンプルをビデオカメラで撮影し、コンピュータに取り込んだ後のRGB濃度の変化を調べた。

カラーサンプルは、RGBそれぞれの濃度を16段階に分け、1画面256(16×16)色を表示してあり、全体で16画面(4096色)をパーソナルコンピュータで作成し、RGBデータから直接カラープリントした。

このようにして作成されたカラーサンプルをコンピュータに取り込んだ後のRGBそれぞれの256段階の濃度には、濃度値約60以下の画素は見られず、濃度がカラーサンプルで0の画素は濃度約60に増加しており、それ以上の濃度の画素に関しては、ほぼ均等に濃度255まで分布していた。しかし、カラーサンプルをビデオカメラで撮影する際には、撮影環境、カラーサンプル表面の反射等によりその濃度にばらつきが見られ、濃度変化を明確に特定することは出来なかった。

以上の分析の結果、ビデオ画像をコンピュータに取り込むと濃度範囲が限定され、コントラストが悪くなることが分かった。

(2) 濃度変換

コントラストの劣化を改善するため、線形濃度変換を行なった。線形濃度変換は、線形変換を用いて濃度範囲 $[a, b]$ を濃度範囲 $[z_1, z_x]$ にする変換であり、濃度Zは次式によりZ'に変換される。

$$Z' = \frac{z_x - z_1}{b - a} (Z - a) + z_1 \quad \dots (3.14)$$

本システムでは、 $z_1 = 60$, $z_x = 255$ とした。

4 本システムの適用例

4.1 概説

本章では、本研究で作成したシステムを用いた適用例を示す。適用例として、鳥取大学工学部知能情報棟の増築計画を取り上げた。

4.2 景観の概況

鳥取大学工学部は、平成元年度学科改組を行なった。これに伴い、知能情報工学科に知識工学大講座が新設され、更に生物応用工学科の生物機能基礎学大講座の増員が行なわれ、学生数および教官定員の増員となる。その結果、校舎が狭隘となるため大講義室や知能情報工学科の実験室等を中心に、校舎の新営が概算要求された。

ここでは、その鳥取大学工学部施設整備費概算要求書の工学部校舎利用計画図を基に社会開発システム工学科棟の西側に新校舎を増築すると仮定し、景観図を作成した。その際、外観は現在の校舎と同様にした。

4.3 景観図の作成

(1) 背景画像の作成

2.4.1 の手順に従い背景画像を作成し、3.2 で述べた色彩の再現性の向上を試み、その画像を保存した。(写真1)

(2) 計画部分の景観図の作成

3.1 の機能を用い作図条件を決定し、2.4.2 の手順に従い景観図を作成した。(写真2)

(3) モンタージュ

2.4.3 の方法を用いてモンタージュを行なった。(写真3)

以上のような手順で鳥取大学工学部知能情報棟増築後の景観図を作成した。

ここでは、紙面の関係上、一地点からの景観図の作成に

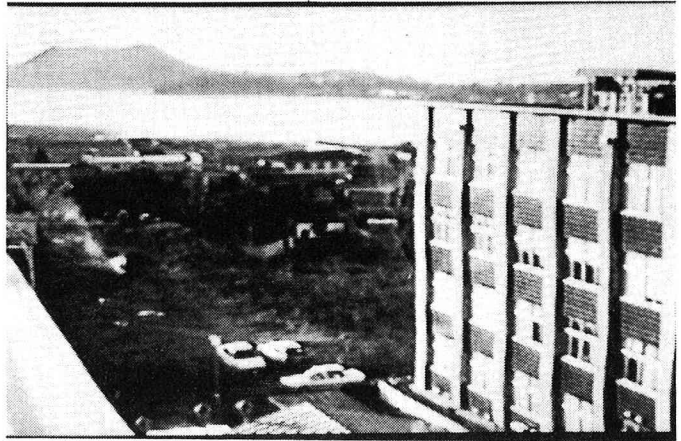


写真 1

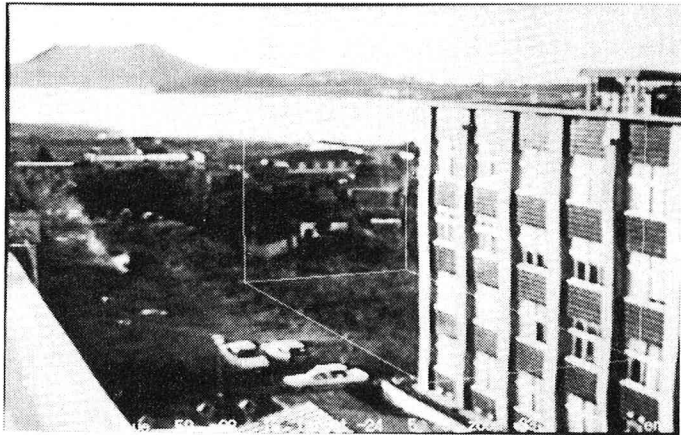


写真 2

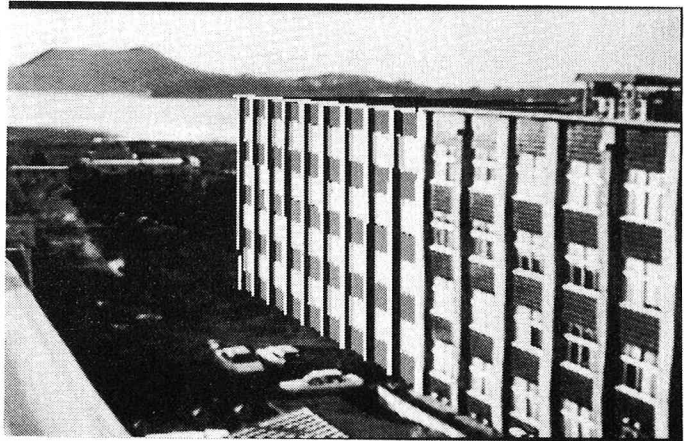


写真 3

とどまったが、他の位置からの景観図も容易に作ることができる。作成した景観図は、形状の整合性に関しては満足できたが、色彩については完全に整合させることが出来なかった。これは、実際の質感（色・反射率・透過率）を明確にできず、景観図の質感を実際の質感と一致させることが困難であったためである。

5 おわりに

本研究では、パーソナルコンピュータを用いて円滑にモンタージュが出来る様に、補助機能を装備した景観設計のためのフォトモンタージュシステムを開発した。この補助機能は、マウスを利用して入力したことから比較的容易に作図条件を探索でき応答性も良好で、その後に続く景観図作成を容易な操作で可能とすることに成功し、簡単な操作で景観図が作成出来た。しかし、写実的な景観図を作成するためのレイ・トレーシング法は、処理時間が長く、前章の適用例では、約8時間を要し、今後の改良が望まれる。

本システムには次の課題が残されている。

(1) 透視図における対象物の質感と背景画像の質感の整合。

(2) 3次元CGの部分と背景画像の相互の光（陰）の影響を表現できない。

本システムのハードウェアは、文献^{1) 2)}で紹介されているような通常のパソコンにビデオデジタイザとフレームメモリの2枚のボード（各10万円）を取り付けただけであり、従来の装置と比較すると格段に安価なシステムである。図面への図化については、図化装置がいまだ高額であるので精緻な図面を作るにはカラーサンプルを作成したときのようにフレームメモリからカラー写真を作成する方法をとり、多くの景観図を作るときは、ディスプレイ周辺を暗くしてディスプレイの画像を通常のカメラで適切な露出で撮影するより安価な方法をとった。

本システム構成のソフトウェアの開発に関してここで述べたのは、まだほんの一部であり今後の研究領域は奥が深いと思われる。このような安価なシステムで1670万色を扱える本格的な景観図が作成できることは、景観工学研究の裾野を広げるのに非常に有効であると考えられる。研究の試みが景観設計を行なううえでの合意形成の道具に発展することを期待する。

参考文献

- 1) 井上、玉谷、奥谷：パソコン・グラフィックスによる広場の景観シミュレーション、第41回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集
- 2) 井上、川上、清水：パソコン・グラフィックスによる街路の景観シミュレーション、第41回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集
- 3) 奥山、信原、永田：景観設計のためのフォトモンタージュシステムの開発、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集第4部