

景観シミュレーション・システム (LANSIS) の構築とその機能拡充

大阪産業大学工学部 榊原 和彦
○大阪産業大学工学部 三宅 良司
カタルーニャ工科大学大学院 武田 豊

1. はじめに

土木の分野における景観計画・デザインの重要性は年々高まっており、景観シミュレーションを行うことも一般的になりつつある。したがって、コンピュータ・グラフィックスを利用した、使いやすく、総合的な景観シミュレーション・システムを開発することは不可欠と言える状況にある。

そこで、筆者らは、従来より3次元コンピュータ・グラフィックスを利用した総合的な景観シミュレーション・システム (LANSIS) を開発し、応用に努めてきた¹⁾。ところが、景観シミュレーション・システムが備えるべき諸条件の中で、①操作性の高さ、②利用可能な領域の広さ、③表現性の高さ、などの点において未だ問題点を抱え、システムのさらなる改良・発展が必要であることがわかってきた。本論文は、その中で特に、基本的なレンダリング機能、アニメーション作成機能の拡充について述べるものである。

2. LANSISの構成と課題

2-1 LANSISの概要と構成

LANSISは、構造物景観、都市景観、地域・自然景観などの景観シミュレーションのためのシステムであり、エンジニアリングワークステーション (SUMITR-300/SS300) 及びフルカラーグラフィックス装置 (グラフィカ/M1048) を主なハードウェアとして開発したものである。システム構築の主眼点は、第一に、あらゆるシミュレーション場面に対応できる利用可能性の高さであって、そのために、3次元グラフィックスだけでなく画面合成をも含むようなレンダリングシステム、データベース・システム、モデリング・システム、2次元レンダリング・システム等をもつ総合的な景観シミュレーション・システムを目指している。第二に、写実的なシミュレーションを可能とする表現性の高さである。3次元レンダリング・システムは、開発の容易さのために、既存の3次元CGソフトウェア・パッケージ (グラフィカ社/LUMINOUS) を母体としたが、それは、スキャンライン・アルゴリズムでつくられ、写実的な表現などの点で極めて不十分なものであった。そこで、LANSISでは質感の表現 (マッピング) や鏡面反射、樹木等自然物の写し込みなどの機能をもたせ、写実的なシミュレーションを可能にしている。システムの全体構成を図-1 (本論文で紹介するアニメーション・システムを含む) に示す。

2-2 LANSISの課題

従来のLANSISは、大きく分けて、2つの課題を有する。一つは、3次元レンダリングにおいて、1. で述べたシステムがもつべき3つの条件に関わる課題があること、今一つは、景観シミュレーションの高度化に伴って必要となるアニメーション作成システムをもたないこと (したがって、利用領域が限られてしまうこと)、である。後者については、4. に譲り、前者についてももう少し詳しく述べよう。

- ① データはプリミティブで入れるが、2以上の物体の交差・干渉を許さない。この点は、データの作成効率を著しく損ない、操作性を大きく下げており、また、物体数も多くなるので、是非とも改善が必要である。
- ② 影計算は、隠面処理計算と同時的に行っているが、光源変化への対応、日影の検討、光・照明のシミュレーション、樹木マッピングの影計算などの便を考えると、独立に行った方がよい。
- ③ 樹木等の自然物の表現は、実物画像の単純なマッピングによっている (視点からの距離によって大きさ

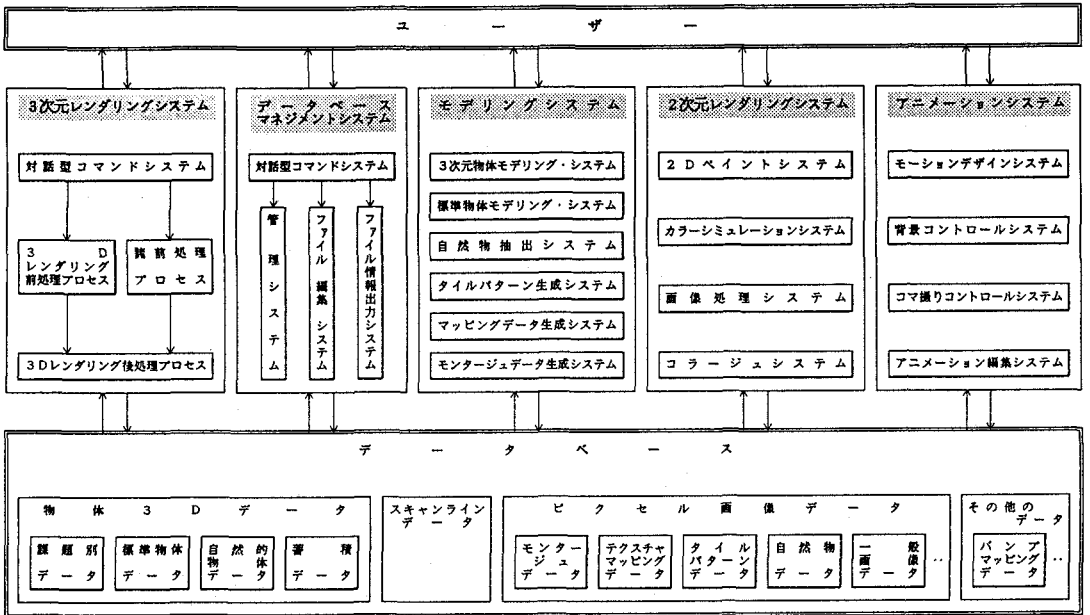


図-1 LANSISの基本的構成

を定め、透視変換で位置を決めてマッピングする)が、隠面の処理が必要である。

④ 透明物体の表現を可能にすることが必要である。

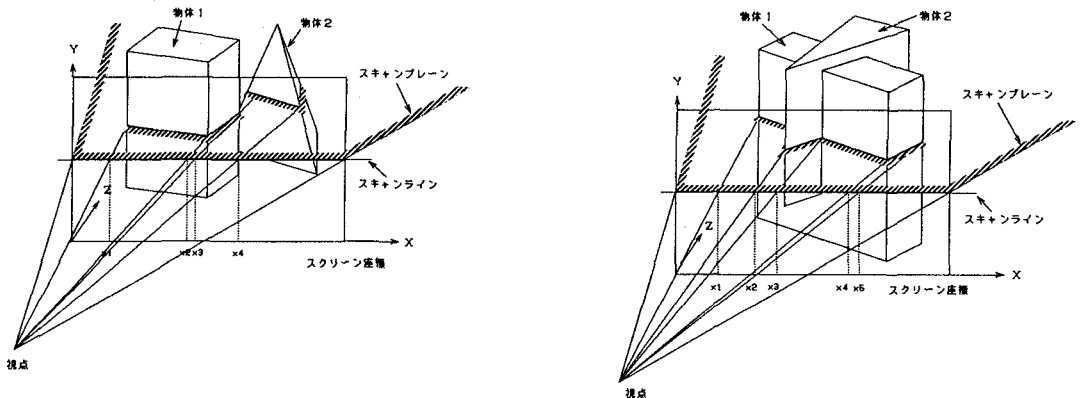
⑤ プリミティブは、内部表現ではポリゴン集合となっており、曲面としての入力・表現ができない。また、同様の理由で、地形データの表現がしにくく、景観シミュレーションとしては、不都合が多い。

以上の課題の解決のために、3. で述べる3次元レンダリング・システムの改良を行った。

3. 3次元レンダリング・システムの改良

3-1 隠面処理部分の改良

従来のLUMINOUSでは図-2 (a)のような、物体同士の交差・干渉が無い場合しか隠面処理できず、図-2 (b)のような物体には、対応できなかった。レイ・トレーシングやZバッファ法ではアルゴリズムの特性上このような問題は生じないが、スキャンライン法では対処が必要であり、改善するものとした。すな



(a) 物体の交差・干渉なし

(b) 物体の交差・干渉あり

図-2 スキャンライン・アルゴリズムの概念図

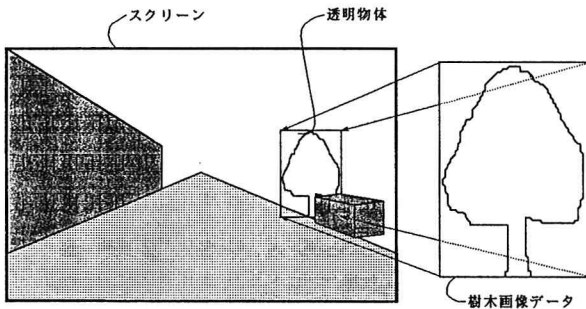
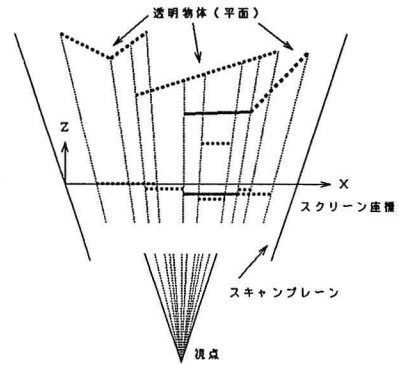
わち、スキャンライン・アルゴリズムではスキャンプレーンと個々の物体（平面）との交線（セグメント）を求めてスキャンプレーン上で前後判定（隠面処理）を行うのであるが、セグメントを求める段階で物体同士の交差がある場合にはセグメントを分割することにより物体の交差に対応するようにした。また、この改良の時、LUMINOUSでは透視変換の段階で同時に行っていた影の計算を独立させて、隠面処理の後に、影データを独立して持つように変更した。

3-2 透明物体の導入

透明物体は光を透過する物体で、2-2 の③④の課題に対処するために導入した。入力はこの物体と同様に行い、透視変換するが、図-3に示すように、透明物体同士の隠面処理は行わず、前後判定後に透明物体としてデータを保存する。従来の物体と異なる点は、ひとつのサブスパンに複数の透明物体が存在することもあり、データとしては透明物体の個数とそれぞれの座標データをもつ点である。色計算時は完全透明の場合は単に背景の色となり、半透明の場合は透過率に応じて透明物体の色を掛け合わせる。また、図-4に示すように透明物体に樹木をマッピングすることにより、写真-1に示すように、従来の樹木マッピングでは不可能であった見上げや見おろし、樹木の隠面処理が可能になり、建築物に対するあおり（画面上での傾き）の一致などの樹木マッピングの課題が克服できるようになった。

3-3 レイ・トレーシングの導入

すでに述べた2-2 の⑤の課題を克服するためには、1)従来のLANSISでは受け付けない表現・構造のデータも許容できるシステムとすること、2)データのタイプに応じたアルゴリズムを導入すること、3)それらを総合化してレンダリングできるシステム



透明物体データ	位置データ	$X = \{x1, x2, \dots\}$
	物体個数データ	$N = \{n1, n2, \dots\}$
	奥行データ(左)	$Zl = \{z1(1, 1), \dots, z1(1, n1), z1(2, 1), \dots, z1(2, n2), \dots\}$
	奥行データ(右)	$Zr = \{zr(1, 1), \dots, zr(1, n1), zr(2, 1), \dots, zr(2, n2), \dots\}$
	面データ(面番号)	$S = \{s(1, 1), \dots, s(1, n1), s(2, 1), \dots, s(2, n2), \dots\}$
	物体データ(物体番号)	$O = \{o(1, 1), \dots, o(1, n1), o(2, 1), \dots, o(2, n2), \dots\}$

図-4 透明物体への樹木マッピング

図-3 透明物体のスキャンとデータ

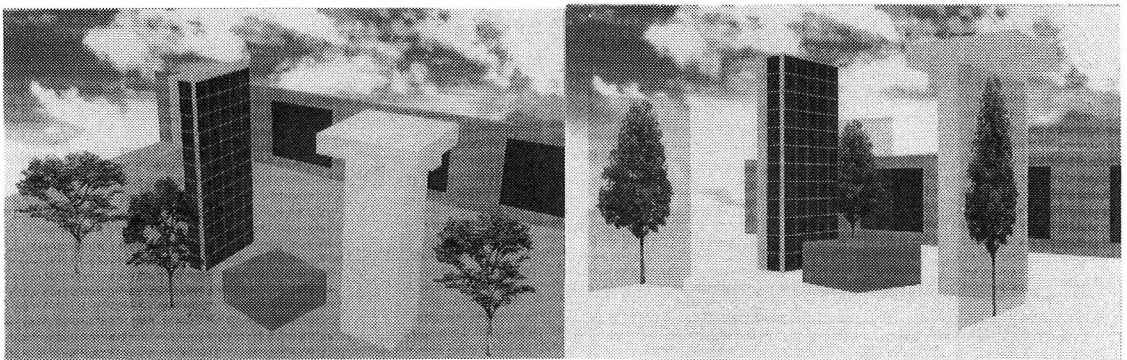
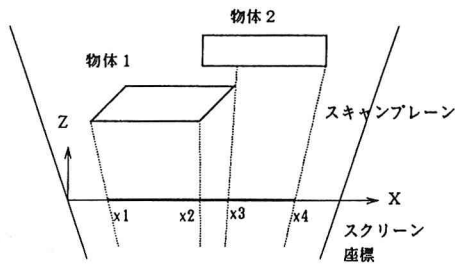
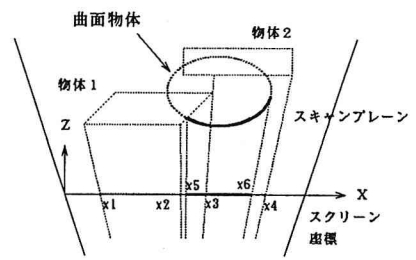


写真-1 透明物体へのマッピング（写真では着色して半透明）



(a) 曲面以外の物体のスキャン



(b) 曲面物体のスキャン

図-5 レイ・トレーシングを用いた曲面表示手順

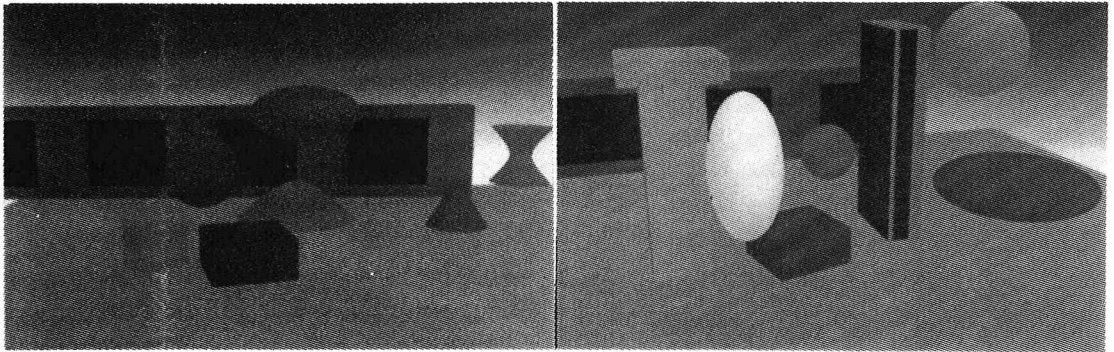


写真-2 曲面の表示例

とすること、が必要である。今回は、データタイプとして、球や回転体などの曲面をもつ物体をプリミティブとして定義できるようにし、その透視変換・隠面処理に、曲面表現に優れるレイ・トレーシングを導入することとした。

LANSISにおけるレイ・トレーシングは、当面、曲面物体だけを対象として次のような手順で行う。

- ① ひとつのスキャンラインにおいて、曲面以外の物体に対し従来のスキャンライン・アルゴリズムでスキャンを行い、スキャン画像データ（スクリーン座標、奥行き、面番号など）を保存する（図-5 (a)）。
- ② 次に同じスキャンラインにおいて曲面物体だけを対象に1ラインのレイ・トレーシングを行う。このときの前後判定においては(1)のスキャン画像データの奥行き情報も含めて行い、曲面のエリア、物体番号、各ピクセルの法線ベクトル、色データなどを曲面情報として保存する（図-5 (b)）。

曲面プリミティブのデータは、2次曲面の中心座標およびパラメータで入力する。曲面の表示例を写真-2に示す。

この方法は、全ての物体をレイ・トレーシングで処理するより効率的であり、かつ、スキャンライン法で滑らかな輪郭線をもって曲面物体表現をしようとする場合に生じる複雑な計算手続きを必要としない。このような複合的なレンダリング・システムの考え方は、最近の傾向でもあり²⁾、有効と考えられるので、今後、多様なデータ構造に対応できるようにして行きたい。

4. アニメーション作成システム

景観シミュレーションの提示媒体としては、これまでは静止画を用いた場合が多く、より現実的な状況を想起出来るように写実的表現の手法が研究されてきた。一方、“動き”を取り入れたより体験的な景観予測への要望は高くなり、コンピュータの性能やCG技術が向上するにともないCGアニメーションが景観シミュレーションにおける提示媒体として利用され始めてきている³⁾。

景観は視覚的な体験であり、また、人間が3次元空間・奥行き・スケール感を把握するのは透視図だけによるのではなく、“動いて見る”“動きを見る”体験が重要であると考えられる。すなわち、環境・景観の体験においては“動き”が重要な要素であり、体験の本質に係わっている部分であると言える。従って景観シミュレーションにおいては、動画・アニメーションが不可欠であり、LANSISにおいてもCGアニメーション作成の機能を整備する必要がある。

4-1 景観計画におけるCGアニメーション・システムの課題

景観計画のためのCGアニメーション・システムとして基本的に要求される機能・性能は、以下のようにとまとめることができる。

(1) 動きの表現と操作性 基本的な動きとしては、①視点・注視点の動き、②視界の中で移動する物体（自動車・船舶など）の動き、③視線の変化にともなう背景（空、雲）の動き、などがある。システムを実際に景観計画へ適用するにあたっては操作性が大きな課題となるので、これらの動きの表現に必要なパラメータの計算の自動化が必要である。これを行うには動きのモデル化が前提となるが、景観計画では、現実の複雑な動きを正確に表現する必要は必ずしも無く、疑似体験的なシミュレーションとしておかしくない範囲で簡易化して構わないので、動きのモデル化は比較的容易であると考えられる。

(2) 時間の表現 時間の経過にともなう景観の変化をシミュレートすることは、アニメーションの長所でもあり同時に課題でもある。景観計画において要求されるのは、一日における時間変化および季節による変化の表現であり、日中から夕方・夜へと時間が経過する際の景観の変化、季節が移ろうにつれて変化する景観などが対象となる。また、時間経過に伴う材質の変化や緑の生長の表現なども考えられる。

(3) 環境の表現 季節の表現と同様に気象の表現も課題となる。対象となる空間が常に晴天であるとは限らず、晴天から曇天への変化、雨・雪・霧・もや・虹などの表現も必要である。

(4) 写実性の向上 静止画では、一枚の画像から現実的な状況を想起するに十分なだけの写実性を有することが課題であった。アニメーションにおいても同様であるが、写実的表現の手法は、①視界が動かない場合、②視界が動く場合の2つに大きく分けられる。①では、対象となる空間が動かないため、静止画と同様に考えることができ、従来のLANSISの質感表現（テクスチャ・マッピング、乱数処理）、鏡面反射、樹木マッピング等の手法が利用できる。しかし、②の場合、たとえば、乱数処理の様な質感表現の手法は画像の乱れの様に見える、あるいは、テクスチャ・マッピングは時間がかかりすぎて使えない、などの問題が出てくるので、種々の工夫が必要である。

図-6にアニメーション作成システムの構成を示す。システムは視点・注視点移動データなどを作成するモーション・デザイン・システムとCG画像を作成してビデオ撮りするシステムに分けられる。

4-2 モーション・デザイン・システム（動きの制御）

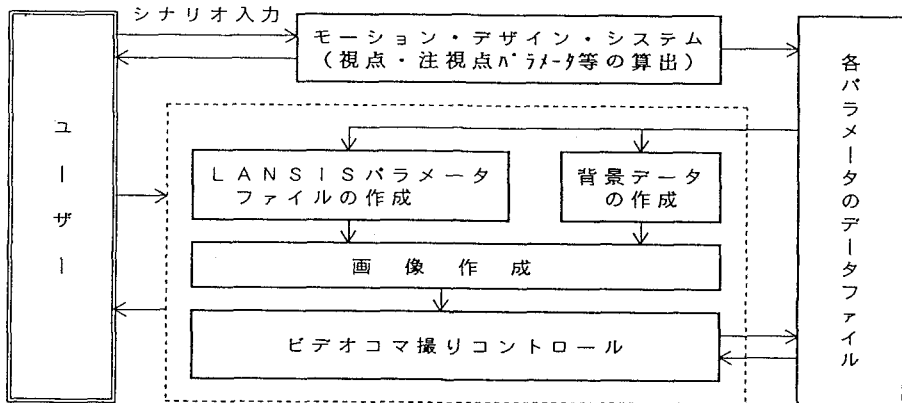


図-6 アニメーション作成システムの構成

ここで扱う“モーショ”には2種類の動きがある。一つは景観を見る主体の動きすなわち視点および注視点の動きであり、もう一つは景観の中の対象物の動きである。このシステムの課題は、歩行者・自動車利用者などの景観計画における評価主体の動きを容易に実現し、シナリオ作成を簡素化するとともに、景観の中で動くべき物体を制御する事である。

このシステムでは、想定したシナリオを対話形式で入力することにより、視点・注視点・光源・物体移動などのパラメータ・データを作成する。図-7にモーショ・デザインのフローを示す。最初に初期値を設定し、以下各パラメータ・データを設定していく。

(1) 視点データ作成 視点データは移動の種類および移動速度を入力することにより作成される。移動には直線移動・曲線移動・停止の3種類から選択し、曲線移動は3次スプライン関数による方法で代表点を入力することにより作成される。移動距離と速度が入力された段階で全体のコマ数が確定する。

(2) 物体移動データ作成 ここで対象とする移動物体は自動車や船舶などの交通主体である。従って移動座標と同時に、常に進行方向を向くように回転させる必要があり、各コマの移動ベクトルの変化成分をx, y, z軸方向の回転角として与えている。

(3) 光源データの作成 光源の移動は、太陽光変化や自動車のライトの動きなどに対応するもので、停止、自由移動および物体移動に追従の3つから選択する。

(4) 注視点データの作成 最後に注視点の設定を行う。注視点は、固定・自由移動・視点に追従・物体移動に追従、の中から選択する。注視点の設定が終了した段階で1ステップの入力が終了しコマデータが計算される。継続する場合は、最終コマのデータが次の初期値となり同様の作業を繰り返す。

4-3 背景データ(空)の作成

LANSISにおいて空は背景としてモンタージュにより表現される。従って、『空』作成の課題は、視線の動き・時間の経過にともない変化する背景のデータを作成する事に帰着する。

『空』データを作成する方法は基本的には、1)背景の空・雲を計算によって作成する方法、2)既存の写真などのデータより背景データを作成する方法、の2つが考えられる。前者は適当なモデルによって雲状に見えるものを表現したり、より物理現象に忠実にシミュレーションするものである⁴⁾が、一般的に、フォトリアリスティックな雲の表現はそう簡単ではなく、動きまで入れればより難しく、計算時間がかかり、アニメーション・システムへの導入には課題が多い。一方、後者であれば、得られる背景が写真によって規定され、また、雲自体の動きや変形の表現が難しいなどの欠点があるものの、リアリティには問題なく、処理時間が比較的短くてすむと考えられる。アニメーション・システムにおいては処理時間の短縮は大きな課題であり、後者の方法を採用するものとした。方法は以下に述べるとおりであるが、実際に、データ数が約14,300ポリゴン、画素数506×380のアニメーション作成に用いたところ、1枚あたりの作画時間が約7分であったのに対し、『空』データの作成時間は概ね10秒程度で、問題にシなくてよいレベルのものと言ってよいだろう。

『空』データは、半球状である全天空に対応している必要がある。普通の広角レンズによる写真をつなぎ

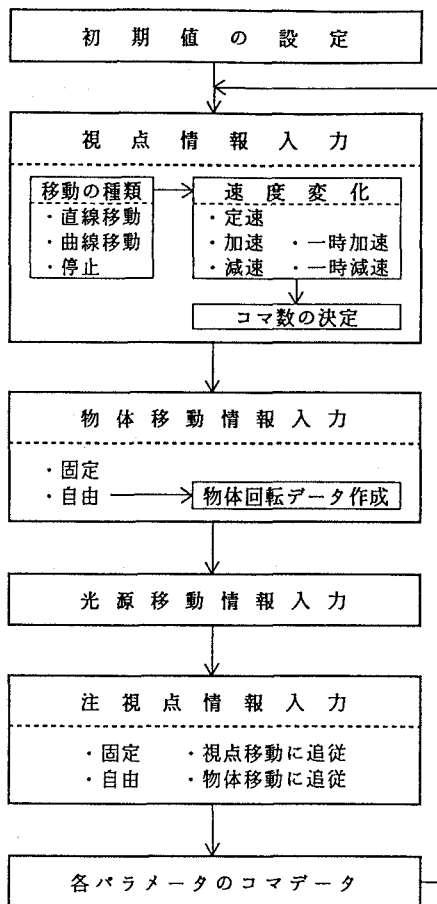


図-7 モーショ・デザイン・システム

合わせる方法では継ぎ目が不自然になったり、背景部分の抽出の際の規則性が確保できない等の問題があるため、全天を網羅した魚眼レンズによる写真を用いた(図-8)。使用したレンズはZUIKO AUTO-FISHEYE8mm 1:2.8であり、このレンズは等立体角射影方式を用いている。背景部分の抽出は魚眼レンズによる写真データを、あらかじめ抽出しやすいように展開(変換)したデータを作成する方法を用い、図-9に示すように経線の長さを保持する方法で展開した。この方法は仰角が大きくても背景の面積が保持されているため、緯線方向の歪み(図の背景部分の破線部分)が無視できる領域では背景部分を抽出するのは比較的簡単である。仰角が大きい場合を含めて厳密に抽出する場合には魚眼レンズからのデータから直接抽出する必要がある。

4-4 透明物体を用いた樹木マッピング

静止画においては透明物体を用いることで樹木マッピングの問題点が解決できたが、アニメーションでは、(1)樹木画像データの拡大・縮小時の計算時間が長過ぎる、(2)透明平面1枚では、視点によっては樹木が歪んで見える、などの問題があり、以下の方法で解決を図った。

(1) サンプルング・マッピング 従来のマッピング・プロセスでは、樹木画像データからマッピング・データを作成するとき図-10 (a)に示すように画面の1ピクセルに対応する樹木画像データの複数のピクセルの色を混ぜ合わせて(加重平均)新たなピクセル(画面の1ピクセル)の色としている。そこで、処理を早めるために加重平均を行わず、図-10 (b)に示すように樹木画像データの複数のピクセルの中から代表となるピクセルの色をサンプルングして画面の1ピクセルの色とすることで高速化を図った。結果的に、樹木の場合サンプルング・マッピングでも充分写実性は確保されることがわかった。

(2) モデリングの方法 アニメーションでは従来のようにひとつの平面にマッピングを行った場合、視点が発動するにともない、ある視点では図-11 (a)のように樹木が細長くなり、また、真横からの視点では物体が見えなくなるなどの問題が生じる。これを解決するため、透明物体を組み合わせることによって対応した。図-11 (b)のように2つの平面を格子状に作成すれば真横からの視点でも見えなくなることはない。なお、上空から見おろす場合では、不十分であるため水平平面をつけ加えるなど、視点毎に対応する必要がある。この種の方法では、レイ・トレーシング法を使い透明楕円ボールにマッピングするものもある⁵⁾。計算時間がかかるのが欠点であるが、3-3の方法の応用の一つとして、今後取り入れたい。

5. おわりに

本稿で述べた改良によって以下が可能となった。

① 物体の交差・干渉を許すシステムとすることにより、

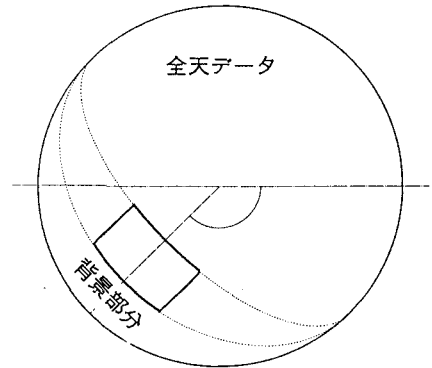


図-8 魚眼レンズによる全天データ

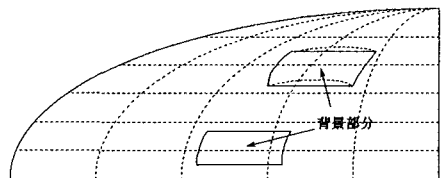
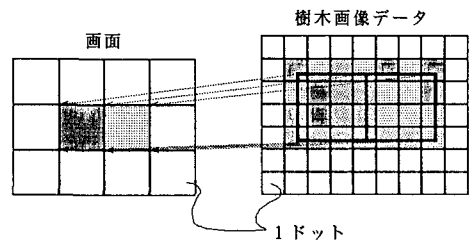
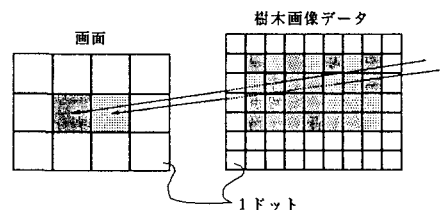


図-9 展開した全天データ



(a) 従来のマッピング



(b) サンプルング

図-10 ピクセルの色計算

データチェックの簡略化が計れ、さらにデータ量の低減が可能となって、データ作成効率を格段に向上させることができ(定量的計測は困難だが、LANSISをよく使いこなしているオペレータによればデータ・デバッグ時間を含めて1/3程度の作成時間節約になっているとのこと)、計算機利用率向上などの面でもメリットが生じた。

② 影計算の独立化により、光源変化への対応、光・照明シミュレーションなどシステムの利用領域が広がり、さらに、樹木マッピングの影計算の効率化にも寄与した。

③ 透明物体の導入により、透明物体表現ができるようになったばかりでなく、樹木マッピングの可能性を広げ、その影計算の簡易化が可能となった。

④ 曲面物体の入力を可能にし、レイ・トレーシングの導入によりその表現が行えるようになった。また、それは、水面の反射光、透明曲面物体マッピングなど、他の表現可能性を高めることにつながった。

3次元レンダリング・システムでは今後さらにデータ構造の異なる様々な対象に対応することが課題である。例えば、現在は2次元面しか対応していないが、3次元面や自由曲面の表現も必要であるし、地形の表現などはモデリング方法も含めて効率的に対応しなければならない。

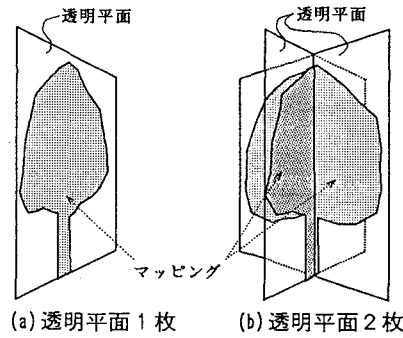
アニメーション機能については、以下が可能となった。

⑤ モーションデザイン・システムにより、パラメータ計算とそのフェイリングを自動化でき、アニメーションの作成効率を高めた。

⑥ 『空』データの作成手法とその背景としての取り出しのシステムをつくり、簡単に背景としての動く『空』をつくることできるようになった。

⑦ 透明物体を用いて樹木マッピングをアニメーションに適用する方法を考案し、プリミティブでつくればデータ数が多くなりすぎ、写実性にも問題があることへの一つの解を与えることができた。

しかし、残された課題もまだまだあり、写実的表現の機能を向上させることと同時に、シナリオ作成をシステム化させることも重要である。現在のシステムでは景観計画に使用するアニメーションとしての基本的な動きの表現は可能であるが、操作性にやや問題があり、基本的な動きのパターンをモデル化するなど、ノウハウの蓄積が必要がある。



(a) 透明平面 1 枚 (b) 透明平面 2 枚
図-11 透明物体の組み合わせ

【参考文献】

- 1) たとえば、
 - 榎原(1988):「コンピュータ・グラフィックスを用いた景観シミュレーション・システム(LANSIS)の開発」土木計画学研究・講演集, No. 11, pp. 565-572.
 - 榎原, 中田, 三宅, 西田(1989):「景観シミュレーション・システム(LANSIS)のみちづくりへの適用に関する研究」土木計画学研究・講演集, No. 12, pp. 697-704.
 - 榎原, 武田, 三宅(1991):「景観計画のためのCGアニメーション作成システムに関する研究」土木計画学研究・講演集, No. 14(1), pp. 781-788.
- 2) 高桑昌男(1992):「レンダリングの基礎から最新情報まで」PIXEL, No. 114, 3月号, pp. 35-42.
- 3) たとえば、
 - 瀧岡・山下・白水・八木(1991):「聴覚情報を統合した動的景観シミュレータの開発と海岸空間設計への応用」土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 205-212.
 - 萩原・小池・加来(1991):「3次元CGアニメーションを用いた道路標識評価システムの開発」土木計画学研究・講演集, No. 14(1), pp. 703-710.
 - 榎原・谷口(1992):「CGアニメーションを用いた景観シミュレーションの利用可能性に関する研究—動画的景観のデザインの事例から—」都市計画論文集, No. 27掲載予定.
- 4) たとえば、
 - 大島登志一(1990):「モーション・テクスチャによる炎のCG表現」PIXEL, No. 93, 6月号, pp. 89-95.
 - 千葉則茂(1991):「CGによる自然物・自然現象の表現, 山岳・樹木・雲・炎などの形や動きをシミュレーション」PIXEL, No. 106, 7月号, pp. 126-130.
 - 長谷川一光(1991):「レイ・トレーシングで簡単に雲や樹を作る法」PIXEL, No. 106, 7月号, pp. 58-60.