

## コンピュータ・グラフィクス画像に対する 高能率符号化法

High Efficiency Coding for Computer Graphics Pictures

新井 幸宏 安居院 猛 中嶋 正之  
Yukihiro ARAI Takeshi AGUI Masayuki NAKAJIMA

東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設

(Tokyo Institute of Technology)

This report presents a high efficiency compression coding method for computer graphics pictures. The method is based on the idea of coding pixel boundaries. It can take advantage of two dimensional extension of uniform colors on given pictures, though its operation goes with raster scanning.

Comparison with some of other methods is also described.

### 1. はじめに

コンピュータ・グラフィクス画像の利用は、コンピュータ本体および通信網の発展に伴って、ますます活発になりつつあり、その分野も各種情報の提供をはじめとして教育、医療等様々な方面に及んでいる。しかし画像の持つ情報量は、数値データなどに比べると著しく多量なために、その取扱いに対するコストが高く、まだ充分な利用が可能な段階には至っていない。この問題を解決するには、ハードウェアの進歩に期待するところが大きいですが、ソフトウェア的にも種々の工夫がなされている。

コンピュータ・グラフィクスで用いられるカラー階調画像の基本的な記述形式は画像をラスタ・スキャンしたときに、得られる各ピクセルの r g b 値の並びである。しかし、大量の画像を扱うときにこの記述形式をそのまま用いると、データ量が多いために大容量の記憶領域や伝送路が必要になる。例えば、r g b 各8ビットの 512×512 の画像のデータ量は一枚でも約768 キロバイト、毎秒30枚、30分間の動画では、約40ギガバイトにも達することになる。このために、画像に対して様々な操作を施してデータ量を縮小する方法が既にいくつか提案されているが、それらは大別すると次の2種類に分類される。

(1) 人間が見たときに不自然さを感じない範囲内で情報の削減を行うことによってデータ量を縮小する方式

[例]

(a) カラー・コンプレッション[1]

(b) 量子化してからディザをかける方法

(c) ベクトル量子化法[2]

(d) 図形コマンド符号化法[3]

この方式による符号化法は一般に非可逆的である。

(2) 対象画像の範囲を限定し、その範囲の画像の持つ特徴を利用して圧縮符号化を行う方式

[例]

(a) ランレンジス符号化法[4]

(b) 予測符号化法[5]

(c) ピラミッド符号化法[6]

(d) 等色領域の境界線のチェーン・コーディング[6]

(e) ストラクチャ・ランレンジス符号化法[7]

この方式は可逆的であるが、現在の段階では、自然画像の有効な特徴を見出すことが著しく困難であるために、CG画像、セル画像、地図、イラスト画像等の特定の範囲に限定して適用されることが多いと考えられる[8]。(2)の方法は、それぞれの方法が対象とする範囲以外の画像に適用された場合には、逆にデータ量が増加することもある。また、(1)で得られた出力画像に対して(2)の方法のどれかを適用することによって両者を併用することも可能である。

上に挙げた(2)の例は全てコンピュータ・グラフィクスで作られた画像の単純さ

を利用したものであるが、これらは、その処理手順によってさらに次のように細分することができる。

#### (1) ラスタ・スキャン方式の符号化法

[例]

- (a) ランレングス符号化法
- (b) 予測符号化法
- (c) ストラクチャ・ランレングス符号化法

#### (2) 2次元的な処理方式の符号化法

[例]

- (a) ピラミッド符号化法
- (b) 等色領域の境界線のチェーン・コーディング

原画像は通常先に述べた基本的な記述形式で与えられるので、(1)の符号化法によれば処理速度も速く、処理に必要な記憶容量も少なくすむ。(2)の符号化法は画像の2次元的な特徴を捕えやすいが、高速で処理を行うためには原画像全体を主記憶装置に格納する必要があり、大規模の記憶容量を要する。(1)の中でも、予測符号化法およびストラクチャ・ランレングス符号化法はラスタ・スキャン処理でありながら一ライン上のスキャンラインを見ながら画像の2次元的な単純さを利用する効果的な圧縮法である。

次に、対象とする画像の特徴から考察を行う。ランレングス符号化法はスキャン方向に等色のピクセルが多数並ぶ画像、すなわち、アニメーションに用いるセル画や図表を主な対象としているが、縦方向の等色性は全く利用していないために、効率が悪い、また、スキャン方向に徐々に色が変わるような画像に対しては、効果がない。予測符号化法は急激な色の変化が少ない画像を対象としており、自然画像にも、やや効果がある。ストラクチャ・ランレングス符号化法はランレングス符号化法と同種の画像を対象としているが、縦方向や斜め方

向の等色のピクセルの並びも用いているので、効率がよい。ピラミッド符号化法および等色領域の境界線のチェーン・コーディングは2次元的な広がりのある等色領域を多く含む画像を対象としている。

さて、コンピュータ・グラフィクスでは、図表やイラスト画などのように比較的簡単な画像が用いられることが多い。これらの画像は等色領域を多く含むため、上記(2)の2次元的な処理による符号化法を用いると優れた圧縮率を得ることができる。しかし、従来の方法を用いて高速で処理をするためには、上述のように膨大な記憶容量が必要になる。

本報告では、このような比較的簡単な画像を対象とする境界点検出符号化法を提案する。本符号化法はラスタ・スキャン処理で等色領域の境界線を検出することによって、主記憶をほとんど用いずに高速高効率な可逆的圧縮符号化を行うものである。また、サンプル画像に対して実際に符号化を行った結果についても述べる。

#### 2. 境界点検出符号化法

本符号化法ではピクセルそのものよりも各ピクセルを正方形のブロックと考えたときのピクセルとピクセルの境界線および縦横の境界線の交点に注目して処理を行う。画像をスキャンする場合にも図1の(a)のようにピクセルをスキャンするのではなく、同図(b)のようにピクセルとピクセルの間の境界線をスキャンする考え方をとる。以下、図中においてピクセルの境界線を表すのに境界線の両側のピクセルの色が同じ場合には破線、異なる場合には実線を用いることにする。また、画像の外周に接しているピクセルの外周側の境界線も実線で示す。

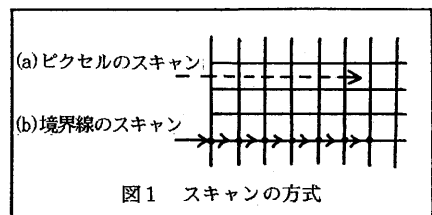


図1 スキャンの方式

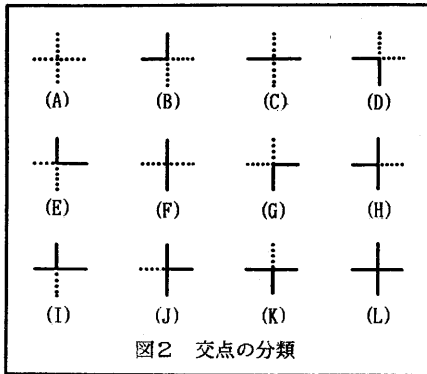


図2 交点の分類

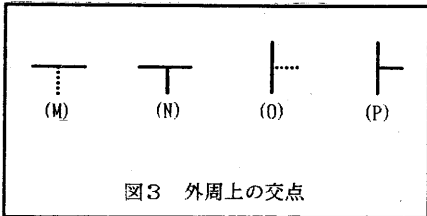


図3 外周上の交点

画像の内部にある境界線の交点はそのまわりに4個のピクセルを持ち、それらのピクセルの色の状況によって図2に示すように12通りに分類される。

外周上の交点もそれに接する2個ののピクセルの色が同じ場合と異なる場合で2通り

に分類されるが、以下の符号化で重要なのは、上辺および左辺の交点の分類である。それを図3に示す。

ラスタ・スキャン処理で画像内部の交点を逐次見て行くと、図2に示した(A)~(L)のパターンの並びが得られるが、任意の並びが許されるわけではない。例えば、JKLDという並びは可能であるが、BCという並びは不可能である。交点の並び方の規則を左辺上の交点も含めて整理したものを図4に示す。同図は交点をスキャンするときの状態の遷移を表している。状態は画像の左端の交点の分類に応じて(O)または(P)からスタートして矢印に従って変化する。長方形の枠の中では、どれかひとつの状態が選択される。

実際に画像を符号化するときには、交点の種類だけを符号化したのでは、等色領域の境界線の形状の情報しか与えることができない。したがって、適宜、境界線で囲まれた部分の色に関する符号も与えなくてはならないが、その具体的方法は後述する。

ここで、上述の交点の並びについて更に

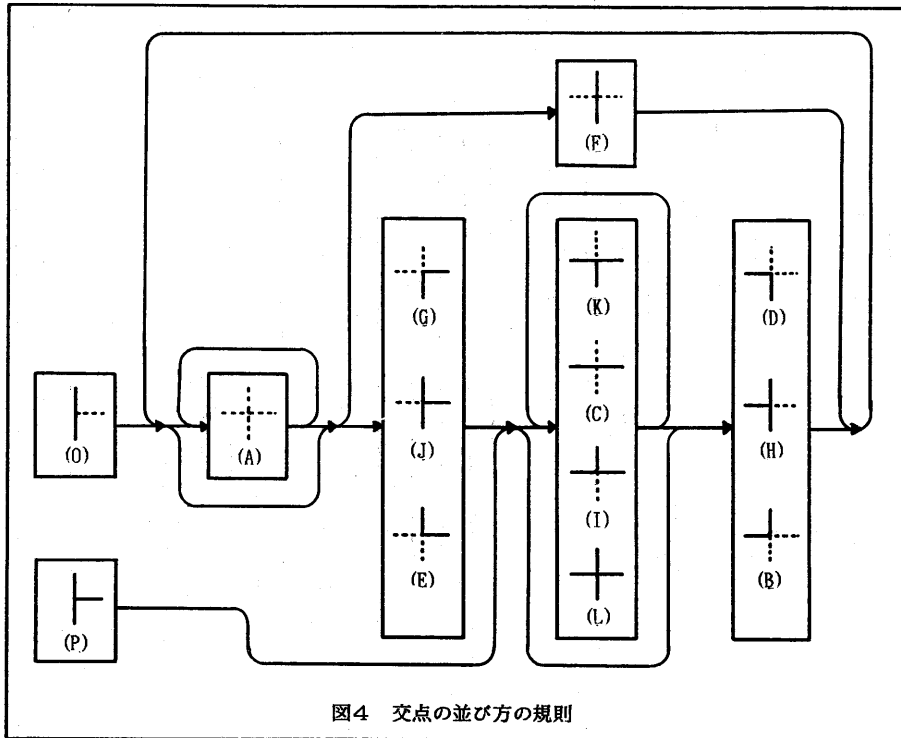


図4 交点の並び方の規則

考察を行う。交点の並びは通常文字列と異なり、左右だけでなく上下の交点とも関係を持っている。すなわち、図2のB, E, F, H, I, J, Lのように上側に実線のある交点は、同図のD, F, G, H, J, K, Lまたは、図3のNのように下側に実線のある交点の直下には存在できない。この事実を利用すると、図2のA、すなわち等色領域の内部の交点は、除外して規則を考えてもほとんどの場合に1ライン上の交点の情報を用いて復号化することができる。図2のA以外の交点を境界点と呼ぶ。これによって等色領域の内部では交点の状況に関する符号は出力されなくなる。この考え方に基づいた境界点の並び方の規則を図5に示す。

図5で各境界点の右側に記されている2進数は、符号化のときに実際に出力される符号である。2進数の後に記されている文字『色』については後述する。この規則によって符号化を行うと、等色領域の内部では全く符号が出力されず、実質的に等色領域の境界線を追跡していることになる。図5中の(1)のグループは、境界点の並びの開始時に選択される境界点の種類を示している。(2)のグループは、境界点の並びの横方向の絶対的な位置が未確定の状態、つま

り上側に実線を持った境界点はまだ現れていない状態で選択される境界点の種類を示している。また(3)のグループは、横方向の絶対的な位置が確定した状態で選択される境界点の型の種類を表している。(1)および(3)のグループは、4通りの境界点を含むので2ビット、(2)のグループは7通りの境界点を含むので3ビットの符号を要する。(3)のグループでは、境界点の上向きの枝が記されていないが、(3)に入った時点では1ライン上との関係は問題にならないので、破線の場合も、実線の場合も同一の符号を出力する。また、各スキャンの最後の交点では、画面の外側に、画像には含まれない特別な色が存在するものと考えて、符号化を行う。符号化の例を図6に示す。

境界点の並びが終わるまでに、絶対的な位置が確定した場合は、復号化のときにも、1ライン上の交点の並びの状況に基づいて位置を決めることが可能である。しかし、絶対的な位置が未確定のまま境界点の並びが終わってしまった場合、具体的には図4のグループ(B)のcで終わった場合は、境界点の並びを表す符号の後に絶対的な位置を表す符号を付け加える。これによって、全

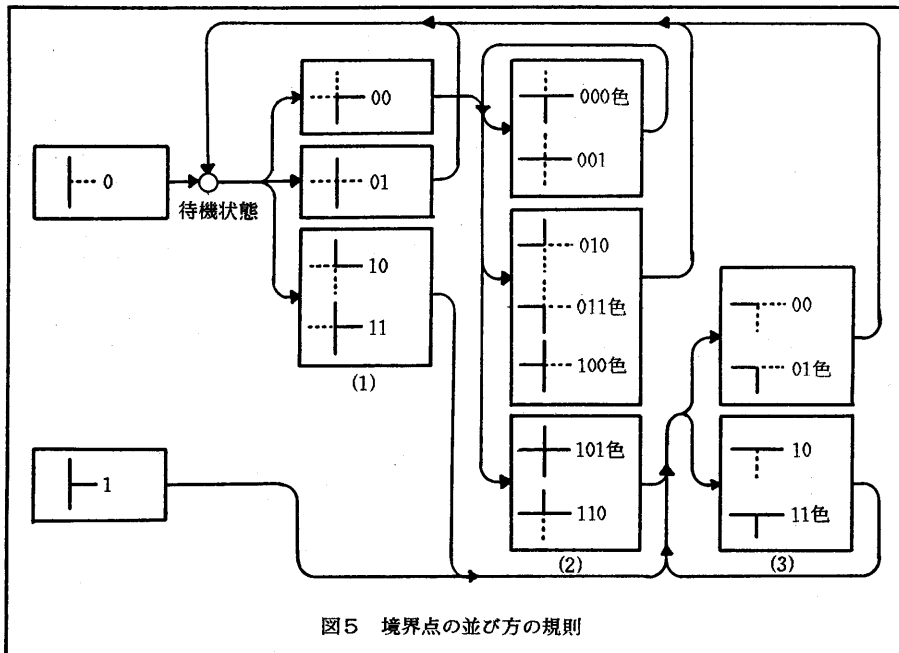
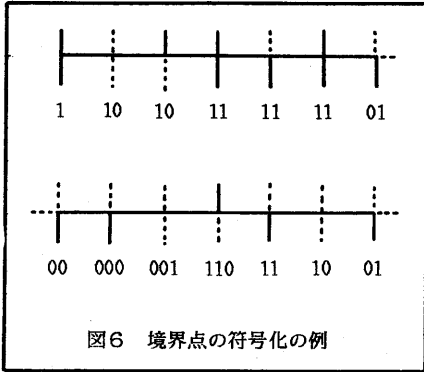


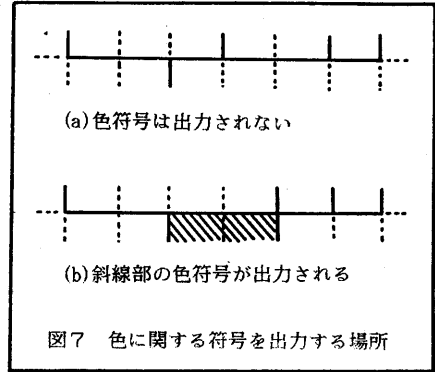
図5 境界点の並び方の規則



ての場合に境界点の並びの横方向の絶対的位置を決定することが可能になる。いいかえれば、上に実線を持つ境界点、または位置符号によって絶対的な位置が確定するまでは相対的な位置による復号化しかできないわけである。

次に、境界線で囲まれた等色領域の色の符号化について述べる。図2のAに相当する部分では等色領域の内部であるために下側のピクセルの色は上側のピクセルの色をそのままコピーすれば復号化できるので色に関する符号は不必要である。したがって、等色領域の内部では、交点の状態および色に関して一切符号を出力しない。また、図7の(a)のように境界点の並びの下側のピクセルの色が左右からのコピーで復元可能な場合にも色に関する符号は出力されない。したがって、色が出力されるのは画像の内部においては図7の(b)のように境界点の並びの下側に左右からのコピーでは色を復元できない部分がある場合だけである。実際の符号化では、図5の2進符合の後に『色』と記されている場合にその交点の左下のピクセルの色を、出力する。本符号化では色に関しては特別な符号化法を用いてはならず、例えば r g b 各8ビットで出力する。

上述の符号を復号化する場合、常に1ライン上で復号化した結果を用いるので、第1スキャン・ラインのピクセルは、別の方法で符号化および復号化を行わなければならない。本符号化法では、図3のMを0で、Nを1で表し、1の後に交点Nの右下のピクセルの色を出力する方式を用いた。



本方式による符号化はスキャン・ライン毎に入力する場合には2ライン分のバッファ、ピクセル毎の入力では、1ライン分のバッファを用意すれば図5の規則に基づいて容易に行うことができる。また、復号化は1ライン分の絶対座標を持ったバッファと、位置未確定の境界点の並びを一時的に保持するための相対座標バッファを用いて行うことができる。

### 3. 従来の圧縮符号化法との比較

境界点検出符号化法の圧縮効果を従来の方法と比較検討するために、ラスタ・スキャン処理型の代表的圧縮法である可変長ランレングス符号化法と、等色領域を多く含む画像に効果が有るピラミッド符号化法を用いた。本方式をサンプル画像に適用した結果について述べる前に、これらの符号化の具体的方法について簡単に述べる。

可変長ランレングス符号化法では原画像をラスタ・スキャンしてピクセルの色が変化することに r g b 各8ビットの色符号と『0』を区切符号として用いる可変長ランレングス符号[4][7]を出力する方式をとった。

また、ピラミッド符号化法では原画像を、一辺が  $2^N$  の最小の正方形の画像に変換してから、次のアルゴリズムによって符号化を行う方式を用いた。

- (1) 画像が1ピクセルから成り立っていれば、そのピクセルの r g b 値を出力して復帰。

(2) 画像全体が等色ならば、'1' と r g b 値を出力して復帰。

(3) '0' を出力した後、画像を4等分して、各部分画像に対して本手続きを再帰的に適用する。

このピラミッド符号化法はデータ間のポインタなどを含まない非常に効率的な方式である。

可変長ランレングス符号化法は本符号化と同様にラスタ・スキャンで処理を行っているために、作業用の記憶領域はほとんど必要としないが、スキャン方向の等色性にしか注目していないために、2次元的な広がりを持った等色領域を多く含む画像に対して高い圧縮率を得ることが出来ない。

他方、ピラミッド符号化法は2次元的な等色性を利用した方法であるが、ラスタ・スキャンになじまないという問題がある。また、ピラミッド符号化法は、再帰的4分割の分割線と等色領域の境界線の位置関係によって符号量が大きく左右されるために、非常に似た画像でも、数ビットの違いのために圧縮率が大幅に変わってしまうという問題点も持っている。

境界点検出符号化法は、ラスタ・スキャンによっているために、必要な作業領域は非常に少なくすみ、画像の持つ2次元的な単純さも十分に活用しているという点で上記のような問題点を同時に解決したものとすることができる。

#### 4. 実験結果

今回の実験では、サンプル画像は全て横512ピクセル、縦480ピクセル、各ピクセルの値はr g b各8ビットとした。図8にサンプル画像、および、それらに可変長ランレングス符号化法、ピラミッド符号化法および本符号化法を適用したときの圧縮率を示す。本実験ではピラミッド符号化法は予想したよりも効果が少なく、可変長ランレングス符号化法は予想よりも効果が高かったが、各サンプルに対して本符号化が最も圧縮率が高く、特にピラミッド符号化法に

対しては、必要な記憶容量および圧縮率の双方でまさっていると言える。また図8の(a)~(d)から分るように、本方式は比較的簡単なイラスト調の画像に対して、他の方法の4分の1以下という非常に優れた結果を与えている。

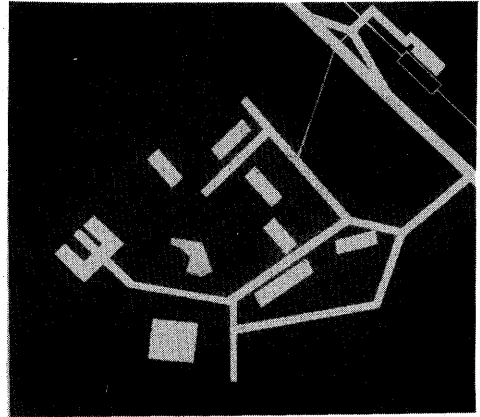
#### 5. 結論

本報告では、コンピュータ・グラフィクス画像、その中でも最も使用頻度の高い図表、地図、イラスト等の比較的単純で等色領域の大きい画像に対して、ラスタ・スキャン処理で高能率の圧縮符号化を行う方法を提案した。従来の圧縮符号化法の中にもピラミッド符号化法や等色領域の境界線をチェーン・コードで追跡する方法のように、等色領域を利用して高能率な圧縮符号化を行う方法があるが、画像全体を2次元的に調べて符号化するものがほとんどであり、それらは、画像全体を主記憶装置に格納して処理を行うほうが効率的であるために、非常に大きな記憶容量を必要とした。本報告で提案した符号化法は、ラスタ・スキャンを行いながら、等色領域の境界線と出会うたびに、符号を発生するという方法で実質的に境界線の追跡を行っているので、非常に小容量の記憶装置でも高能率かつ高速の圧縮符号化を行うことができる。また、実際にサンプル画像に適用した結果、1次元の可変長ランレングス符号化法はもとより、等色領域の多い画像に適しているピラミッド符号化法と比較しても、より高い圧縮率を得た。

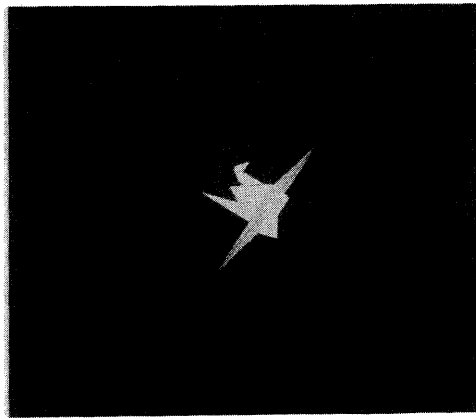
今後、コンピュータおよび通信機器の発展に伴って、コンピュータ・グラフィクス画像の利用が益々盛んになることが予想される。そして、コンピュータ・グラフィクスによる、情報提供用、教材用画像等には上述のような比較的簡単な構図のものが多用されるであろうから、本報告で提案したような、高能率、高速、小記憶容量の圧縮符号化法はさらに重要度を増すものと考えられる。



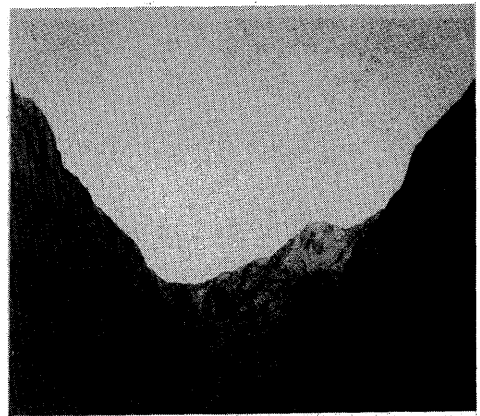
(a) ランレンクス法 2.5%  
 ピラミッド法 5.7%  
 境界点検出法 0.3%



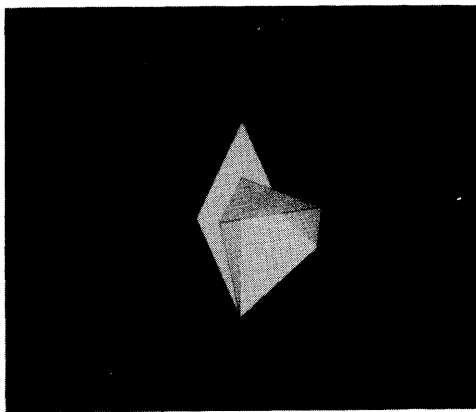
(d) ランレンクス法 3.0%  
 ピラミッド法 7.4%  
 境界点検出法 0.5%



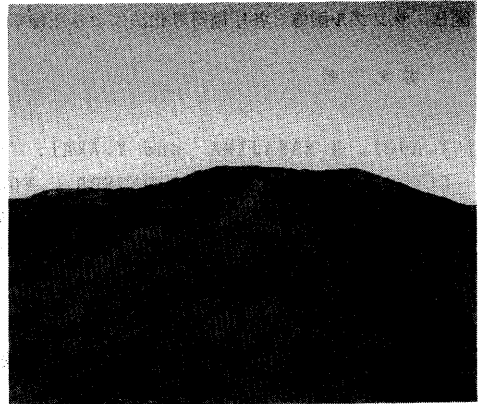
(b) ランレンクス法 0.7%  
 ピラミッド法 0.9%  
 境界点検出法 0.2%



(e) ランレンクス法 26%  
 ピラミッド法 55%  
 境界点検出法 13%



(c) ランレンクス法 0.9%  
 ピラミッド法 1.1%  
 境界点検出法 0.2%

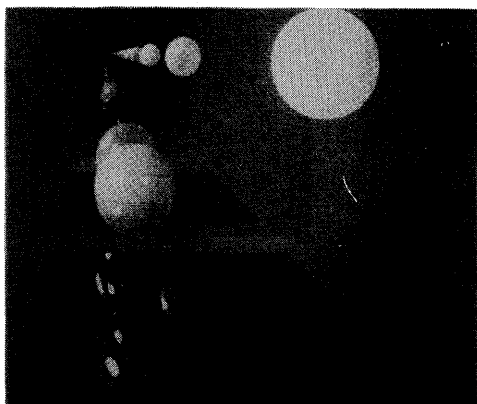


(f) ランレンクス法 31%  
 ピラミッド法 96%  
 境界点検出法 24%

図8 サンプル画像と各圧縮符号化法による圧縮率



(g) ランレンクス法	27%	JCGL提供
ピラミッド法	47%	
境界点検出法	20%	



(h) ランレンクス法	14%	JCGL提供
ピラミッド法	21%	
境界点検出法	11%	

図8 サンプル画像と各圧縮符号化法による圧縮率

## 6. 参考文献

- [1] T. AGUI, M. NAKAJIMA and Y. ARAI, "A COLOR COMPRESSION METHOD FOR NATURAL SCENE AND COMPUTER ANIMATION", work shop on visual language, 1984, IEEE, pp. 2-5.
- [2] 中田和男、『デジタル情報圧縮』、産報出版.
- [3] 秦、堀内、高田、中田、『多色画像の図形コマンド符号化に関する一考察』、信学技報、IE85-53.

- [4] 小野他、『ファクシミリ帯域圧縮装置』、第3回画像工学コンファレンス 2-1 (1972).
- [5] 初崎、安居院、中嶋『コンピュータ・アニメーション画像の圧縮符号化』昭和59年度日本印刷学会第72回春期研究発表会講演予稿集, pp. 32~35.
- [6] M. TAMMINEN, "ENCODING PIXEL TREES", Computer Vision, Graphics, and Image Processing 28, pp. 44~57.
- [7] 安居院、新井、中嶋、『ストラクチャ・ランレンクス符号化法』昭和60年度信学全大S22-6.
- [8] 安田、杉本、中野、『画像通信プロトコルの標準化について』、信学技報、IE85-52.
- [9] C. H. CHIEN and J. K. AGGARWAL, "A NORMALIZED QUADTREE REPRESENTATION", Computer Vision, Graphics, and Image Processing 26, pp. 331~346, (1984).
- [10] C. M. WILLIAMS, "THE TRAPEZODIAL APPROXIMATION OF DIGITALIZED IMAGES", Computer Vision, Graphics, and Image Processing 27, pp. 64~77, (1984).