

## 可変形状領域分割を用いた フラクタル画像符号化

大隅謙一

森川良孝

山根延元

岡山大学 工学部

700-8530 岡山市津島中 3-1-1

Phone. 086-251-8128

E-mail. oosumi@shingou.elec.okayama-u.ac.jp

あらまし 本稿では、可変形状領域分割を用いたフラクタル画像符号化法を検討する。可変ブロック分割として四分木分割を用いた従来法では、フラクタル符号化の誤差が大きな場所では小さなレンジブロックになるように分割して画質の向上を図っている。しかしレンジブロックの個数が増大して逆に符号量が増加するため、必ずしもレート-歪み特性が向上するものではなかった。そこで本論文では、レンジブロックを構成する画素の個数は一定のままで、ブロックの辺を局所的なエッジに沿うように適応的に制御する可変形状領域分割を新しくフラクタル画像符号化に導入し、この分割に応じてドメインブロックを選択して符号量を削減する方法を検討する。最後に符号化シミュレーションを行い、提案法が四分木分割法に比較してレート-歪み特性が向上し、またエッジを多く含む画像では画質が大きく改善することを示す。

キーワード フラクタル画像符号化、可変形状領域分割、四分木分割法

## Fractal Image Coding via use of Variable Shape Partitioning

Kennichi OSUMI

Yoshitaka MORIKAWA

Nobumoto YAMANE

Faculty of Engineering, OKAYAMA University

3-1-1 Tsushima-naka, Okayama-shi 700-8530, Japan

Phone. (+81)86-251-8128

E-mail. oosumi@shingou.elec.okayama-u.ac.jp

**Abstract** This paper discusses variable shape partitioning method to improve coding performance of fractal image coding. In the quad-tree partitioning method, which is well known as one of variable shape partitioning, we divide detail region into small range blocks to improve quality of reconstructed image. However, since the number of range blocks increases, the rate-distortion characteristics are not necessarily improved. In this paper, we first introduce a partitioning method in which we control blocks such that their sides stand parallel to local directions and the number of pixels in block remains constant, and discuss the selection method to decide the fitting domain blocks. In the last, we carry out coding simulations for our and the existing methods, and show that rate-distortion characteristics of our method outperforms and the quality of reconstruction are much improved for images including many edges.

**key words** fractal image coding, variable shape partitioning, quad-tree partitioning

## 1. まえがき

近年、画像情報を用いた双方向通信がインターネットユーザの間でよく用いられるようになったが、情報量が多いため双方向通信の実時間性がかなり犠牲となっている。この場合、画像情報の圧縮はJPEG或いはMP EGに基づいて行っているが、ネットワークユーザ数は今後ますます増加するため、上述の実時間性を確保するためにはさらに高圧縮を可能とする技術の開発が望まれる。本論文で扱うフラクタル画像符号化法は、高圧縮を実現する次世代の技術として注目を浴びている<sup>[1]</sup>。

フラクタル画像符号化法は、Barnsleyらが提案したもので、画像に内在している自己相似性に着目し、少ない個数の相似パラメータを符号化する方法である。当初は、中間調画像をフラクタル表現するための手法として確率的方法が考案されたが、現在では以下に述べる大域的方式が主流となっている。この方法の符号化では、まず画像全体をレンジブロック(通常は小さな正方形ブロック)に分割する。さらにレンジブロックより大きなサイズをもつブロックすなわちドメインブロックを画像中に、ある制限条件のもとで複数個取る。縮小アフィン変換を行ったときに最も当該レンジブロックを近似するドメインブロックの番号とアフィン変換のパラメータ(IFSパラメータ)をすべてのレンジブロックに対して符号化する。復号化では、適当な初期画像に対して、関連付けドメインブロックをアフィン変換して各レンジブロックを書き換える。この操作を有限回繰り返すことにより画像を復元する。このように任意画像から出発して復元が可能であるのはコラージュの定理<sup>[2]</sup>によるが、圧縮が達成されるのは少ないIFSパラメータにより実画像が記述できるという経験に基づいている。

以上に述べた符号化では画像の符号化レートは小さくなるものの、必ずしも満足できる復元画像品質を提供しない。すなわち画像中のエッジ部等、輝度変化の激しいレンジブロックでは、十分な近似を達成することが難しく、ブロック状の歪みが発生する。そこで復元画像品質を補償するため、レンジブロックのサイズを可変にし、アフィン変換後の誤差が大きい場合にはさらにそのレンジブロックを四分分割して誤差を小さくする方法が用いられるようになった。この方法は四分木分割法と呼ばれている<sup>[3]</sup>。画像品質を向上するためにはエッジ付近のレンジブロックを相当小さなものを選ぶ必要があり、それに伴ってIFSパラメータの個数が増加するため、必ずしもレート-歪み特性の上で改善がなされたわけではなかった。

以上の現況を考慮して本論文では、フラクタル画像符号化レンジブロック分割法として、DCT法で成功を取めた可変形状領域分割法<sup>[4]</sup>を新しく導入する。本分割法では、レンジブロックの面積は概略一定のままで、レンジブロックの長辺が画像の局所的なエッジに平行になるように分割を制御する。画像を被覆するために、この方法におけるレンジブロックの形状は、面積の等しい平行四辺形、長方形及び正方形と、ほぼ半分の面積の三角形に制限する。また各レンジブロックの形状に応じてドメインブロックを次のように分類する。レンジブロックが正方形または平行四辺形の場合は、ドメインブロックとして画像の中から正方形ブロックを取り出す。長方形の場合は、画像の中から長方形ブロックを取り出し、三角形の場合は、三角形ブロックを取り出す。この取り出

したドメインブロックに幾何変換を施し、レンジブロックと形状を合わせ、比較を行う。本手法では、四分木分割法と異なって、レンジブロックの面積を概略一定にしているため、レンジブロックの総数は増加せず、従ってIFSパラメータの個数も増加しないため、レートの増加なしに近似誤差を小さくできるという長所がある。

以下、2.では一般的なフラクタル符号化について述べる。そして、3.で従来法である四分木分割法を説明し、4.で本論文の提案法である可変形状領域分割をフラクタル符号化に適用する手法を説明する。そして、両手法に対するレート-歪み特性の実験結果を5.で述べ、本手法の有効性について考察する。

## 2. フラクタル画像圧縮

本章ではフラクタル符号化の基本操作を説明する。

### 2.1 符号化手順

画像符号化は以下の手順で行う(図1参照)。

- I. 入力画像全体を重なり合わない $N_r \times N_r$ 画素のブロックに分割して、レンジブロックを作る。
- II. レンジブロックとは別に入力画像を $N_d \times N_d$ 画素のブロックに分割してドメインブロックを作る。ただし、ここで $N_r < N_d$ とする(コラージュの定理による<sup>[2]</sup>)。
- III. ドメインブロックに式(1)のアフィン変換を行い、縮小ドメインブロックを作る。

$$\begin{pmatrix} x_i' \\ y_i' \\ b_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S \cos \theta & S \sin \theta & 0 \\ -S \sin \theta & S \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ b_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{io} \\ y_{io} \\ f \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $(x_i, y_i)$ はドメインブロック内の $X, Y$ 方向位置を示し、 $b_i$ はその輝度値を表す。添え字 $i$ はレンジブロックの番号である。 $(x_i', y_i')$ 、 $b_i'$ はそれぞれアフィン変換後のもので、 $(x_{io}, y_{io})$ はドメインブロックの位置を示す。 $S$ はドメインブロックの縮小を表し、 $\theta$ は回転を表す。さらに $e, f$ は輝度値の変換を表す。以下では $e, f$ をそれぞれスケール係数、オフセットと呼ぶ。

- IV. 次にそれぞれのレンジブロックに対し、縮小ドメインブロックとの平均二乗誤差(MSE)が最小となるドメインブロックを探索する。
- V. 探索したドメインブロックの位置と、アフィン変換情報を符号化する。
- VI. (III)~(V)の作業をすべてのレンジブロックに対して行う。

このように各レンジブロック内の輝度値を、対応するドメインブロックの位置とアフィン変換の情報(以下、IFSパラメータという)に置き換えることで、画像を圧縮することができる。

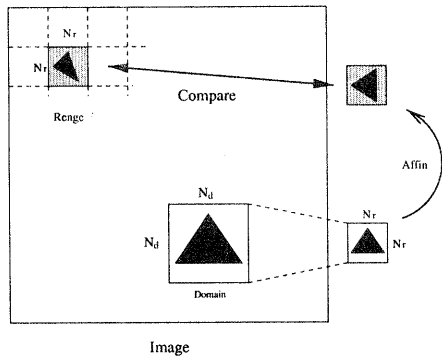


図 1: フラクタル符号化の概略図

## 2.2 復号化手順

IFS パラメータからの復号化は次のような手順で行う。まず、任意のグレイスケールの画像を初期画像とする。初期画像を符号化時と同じようにレンジブロックに分割する。そして、各レンジブロックに対応する IFS パラメータを用いて、ドメインブロックを取り出しアフィン変換したもので、レンジブロックを書き換える。すべてのレンジブロックが書き換えられた画像全体を新たな初期画像として、これらの作業を有限回繰り返すことにより復元画像を得る。なお、このようにして復号化が可能なのはコラージュの定理<sup>[2]</sup>のよる。

## 3. 従来法

2. で述べた固定ブロックサイズの符号化法では、レンジブロックがどのような画像であっても同じドメインプール(ドメインブロックの集合)の中から適合するドメインブロックを探している。ゆえに、レンジブロックによっては、あまり近似されていないブロックが存在する。これを解決するために、四分木分割法を用いる手法が提案されている<sup>[3]</sup>。以下にその手順を説明する。

### 3.1 四分木分割法を用いたフラクタル符号化

四分木分割—フラクタル符号化の手順を述べる。

- A. はじめに 2.1 で説明したようなドメイン探索を行う。
- B. 適合したドメインブロックとレンジブロックの MSE を求め、MSE がある決められた閾値未満なら、このレンジブロックの輝度値を IFS パラメータで置き換える。閾値以上ならこのレンジブロックを 4 分割する(図 2 参照)。
- C. 分割後のレンジブロックに対してドメイン探索を行い、手順(B)の操作を行う。そしてこのブロック分割を決められた最小のサイズになるまで行なう。
- D. 手順(A)~(C)をすべてのレンジブロックに対して行なう。
- E. 最後に分割の木構造を符号化する。各階層で置き換えられるレンジブロックには 1 の符号語を、再分割されるブロックには 0 の符号語を付加する。ただし、

その階層より上の階層ですでに置き換えられているブロックの情報は符号化しない。

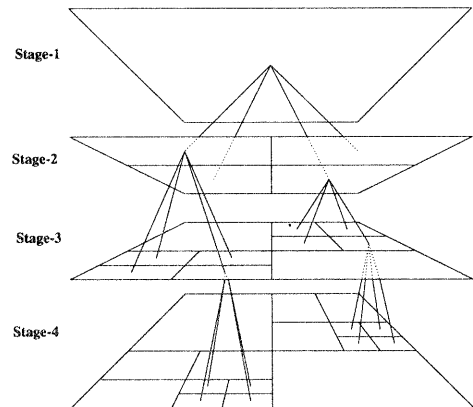


図 2: 四分木分割法

### 3.2 シェードブロックの導入

次に、IFS パラメータの削減を図るためシェードブロックを導入する<sup>[5]</sup>。2.1、3.1 節のフラクタル画像符号化では、レンジブロックが起伏の激しい画像であっても平坦な画像であっても、そのレンジブロックに適したドメインブロックを探している。しかし、平坦なレンジブロックに対しては IFS パラメータのスケーリング係数は 0 に近く、参照しているドメインブロックの輝度値は、ほとんど関係ない。ゆえにこのようなレンジブロックに対しては、オフセットパラメータだけを符号化すればよいことになる。このオフセットパラメータだけで表現したブロックをシェードブロックという。このシェードブロックを用いて情報量を削減する。

## 4. 可変形状領域分割によるフラクタル符号化

3. で述べた四分木分割法ではレンジブロックの数を増やして画質改善を図っているが、レンジブロックの数を増やすとレートが増加してしまうので、必ずしもレート—歪み特性が改善されるものではない。また、ブロック状の歪みも生じる。そこで本章では、レンジブロックの個数を増やさずに画質を向上させるため、ブロックの辺が画像の局所的なエッジに沿うような分割を行う可変形状領域分割を用いる方法を提案する。

### 4.1 可変形状領域分割

まず、提案法の処理手順について説明する。ここではまずエッジ方向に沿ったブロック分割を行う。ブロックの方向検出法として Bjøntegaard 法を用いる<sup>[6]</sup>。図 3 に方向性カテゴリを示す。ここで、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  は各方向成分が等間隔になるように決定され、 $\theta_1 = 0.05\pi$ 、 $\theta_2 = 0.15\pi$  である。また、この方法では、正方ブロックに対して方向検出を行い、同時に方向強度を調べるが、強度が小さい場合は方向性を 0 とする。

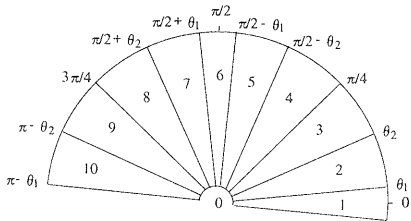


図 3: ブロック分割における方向性カテゴリ

このようにして得られた正方ブロックに対する方向性を用いて、ブロック領域分割を行う。図 4 に本提案法で用いる正方形、長方形及び平行四辺形と三角形のブロック形状を示す。添え字はブロックの方向情報を表す。次に、検出された正方ブロックの方向性を用いて、ブロック分割情報を置き換える手順を述べる。

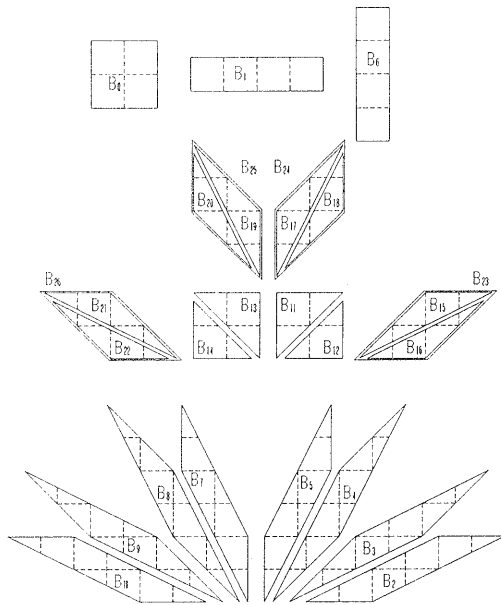
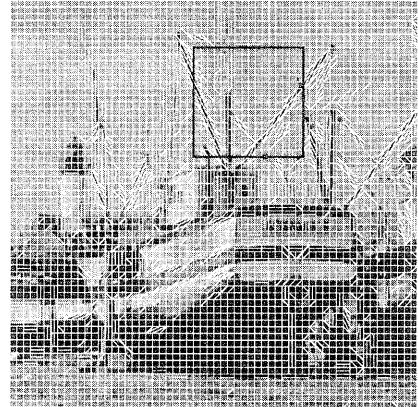


図 4: ブロック形状

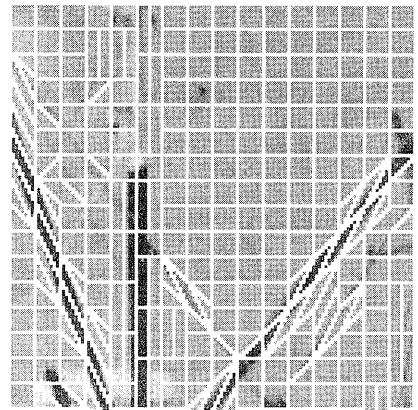
- i. 正方ブロックを走査し、無方向なら正方形 ( $B_0$ ) を再分割の結果とし、方向が 1, 6 ならば隣接するブロックの方向性を調べ、その方向が一致すれば、2 つのブロックの分割情報を長方形ブロック ( $B_1, B_3$ ) に再分割する。一致しなければ正方形を再分割の結果とする。
- ii. 次に正方形ブロックの方向性が 2~5, 7~10 ならば、直角三角形ブロック ( $B_{11-14}$ ) に分割する。
- iii. 再度ブロック情報を走査し、直角三角形ブロックならば短辺に隣接するブロックの方向性を調べ、両者の方向性が一致するならば、分割情報をそれぞれ斜行三角形ブロック ( $B_{15-22}$ ) に分割する。
- iv. さらに、斜行三角形ブロックを調べ、短辺に接する斜行三角形ブロックの方向性が一致するならば、両ブロックを斜行平行四辺形ブロック ( $B_{2-5}, B_{7-10}$ ) に統合する。

- v. また、斜辺同士が隣接する斜行三角形ブロックの方向性が一致するならば両ブロックを統合し、平行四辺形ブロック ( $B_{23-26}$ ) とする。
- vi. 直角三角形ブロックの斜辺が接するブロックが同じ方向性を持つならば、統合し正方形ブロックとする。

図 5(a) は、ISO-CCITT 標準画像 “Boats” をブロックサイズ  $8 \times 8$  で可変形状領域分割した結果である。また、黒枠部分を拡大したものを図 5(b) に示す。



(a) ブロック分割結果



(b) 一部分を拡大

図 5: 分割結果 (Boats)

## 4.2 フラクタル符号化への適用

次に、可変形状領域分割を行ったレンジブロックに、フラクタル符号化を適用する方法を述べる。まず、レンジブロックに対して前節で述べた領域分割を行うが、ドメインブロックに対してはこの操作は行わず、正方ブロックのままにしておく。そしてドメイン探索時にレンジブロックの形状に合わせてドメインブロックにアフィン変換を行う。

実際のドメインブロックのアフィン変換を図 6 に示し、以下に説明する。取り出したドメインブロック (図中では中心の大きいブロック) に対しては、従来法と同じように、回転、鏡像反転の変換を行うとする。次にレンジブロックの形状に合わせて、ドメインブロックの形

状を変形する(表1参照)。レンジブロックの形状が正方形の場合は、従来どおり正方ドメインブロックをX、Y方向に等しく半分に縮小する。平行四辺形の場合は、まず正方ドメインブロックをX、Y方向に等しく半分に縮小する。次にブロックを平行に傾斜変形し、レンジブロックと形状を同じにした後、比較する。レンジブロックの形状が長方形の場合、長方形ドメインブロックを取り出しサイズをX、Y方向に等しく半分に縮小し、比較する。三角形のブロックに対しては正方ブロックを取り出しそれを含む四角形ブロックと同じように形状を変形した後、対象となる三角形の部分だけをレンジブロックと比較する。このようにして、ドメインブロックをレンジブロックと同じ形状に変形したドメインプールの中で、ドメイン探索を行う。

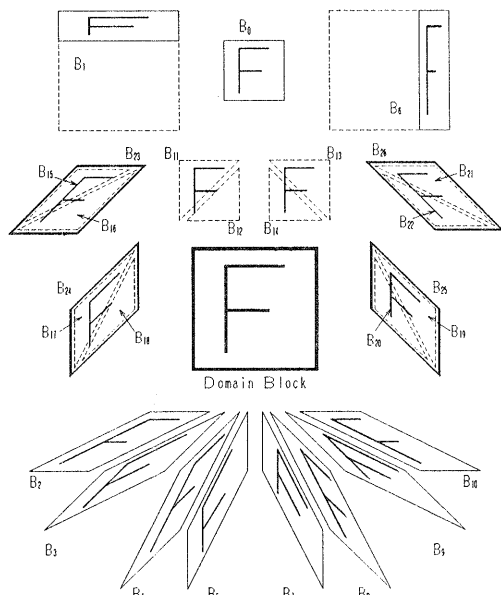


図6: ドメインブロックのアフィン変換

この可変形状領域分割を用いることの利点は、1つのドメインブロックで27種類のレンジブロックを表現できることである。つまり、さまざまな形状のレンジブロックを1種類のドメインブロックで表現できるため、IFSパラメータのドメイン位置情報に割り振られる情報を削減することができる。また、エッジを包み込むように、可変形状ブロックを構成することによって、従来のフラクタル画像符号化で生じていた視覚的に目立つエッジ付近のブロック歪みを抑えることができる。

表1 レンジブロックの形状とドメインブロックのアフィン変換

レンジブロック形状	ドメインブロックの操作	
	抽出ブロック	形状変形
正方形	正方形	縮小
平行四辺形	正方形	縮小、傾斜変形
長方形	長方形	縮小
三角形	正方形	縮小 (対象部分だけ比較)

## 5. 計算機シミュレーション

本章では、可変形状領域分割の符号化効率を評価するために実験の結果を示す。

本実験で用いた画像は480×480画素、8ビットモノクローム画像の標準画像“Lena”とISO-CCITT標準画像“Boats”を用いる。以下に実験条件を示す。

- 信号対雑音比 [PSNR]  
PSNRは次式(2)のように定義する。

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\text{平均二乗誤差 (MSE)}} [dB] \quad (2)$$

- レート  
レートは、すべての信号を符号化するのに要した情報量をエントロピで算出し、その総和を全画素数で割って1画素当りに換算したものである。
- IFSパラメータのビット割り当て  
IFSパラメータは、表2のようにビット割り当てした。ただし、対称性はブロックの90度ごとの回転(0°、90°、180°、270°)と鏡像反転を組み合わせたものである。

表2 各パラメータに割振られる情報量

	情報量 [bits]	
DomainBlockの位置	x	4
	y	4
対称性	3	
スケール係数	8	
オフセット	8	

- 四分木分割法  
レンジブロックサイズは32×32、16×16、8×8、4×4画素の四階層とし、ドメインブロックはレンジブロックの4倍の面積とする。
- 閾値  
四分木分割法において、ブロックを再分割する閾値は、シェードブロックを割り当てるときの閾値と等しくして、その閾値を変化させる。
- 可変形状領域分割  
提案法において、初期レンジブロックのサイズを32×32、24×24、16×16、8×8、6×6、4×4として変化する。ドメインブロックはレンジブロックの4倍の面積で、画像全体を重なりなく覆いつくすようにとっている。また、シェードブロックを割り当てるときの閾値は、ブロック間のSNRを2[dB]毎に変化させた。

レート歪み特性を図8、7に示す。点線は提案法、破線は従来法の結果を示し、実線は閾値のトレードオフをとったものである。また、0.5[bits/pe]付近の数値データを表3に示す。この結果を見ると提案法が従来法に比べて低レートで符号化特性が向上していることがわかる。これは、高レートにおいてはレンジブロックのサイズが小さくなり形状情報を送る提案法とブロックを再分割する従来法のレンジブロックの分割結果が近づいてくるが、低レートにおいては本提案法の効果がよく現れるからであると考えられる。

次に、図9、10に両手法における復元画像(一部分を拡大)を示す。この結果より、提案法は従来法に比べて、エッジ付近の歪みを軽減し、復元画像品質を改善していることがわかる。

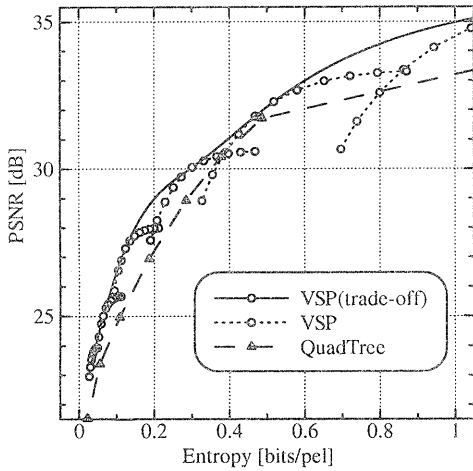


図 7: レート-歪み特性 (Lena)

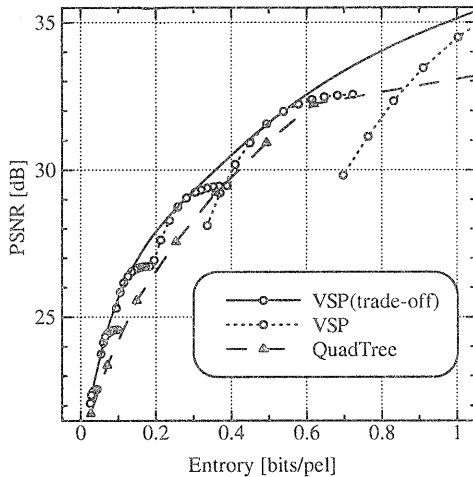


図 8: レート-歪み特性 (Boats)



図 9: 四分木分割法による復元画像 (一部を拡大)  
(Boats, 0.493[bits/pel], 30.92[dB])

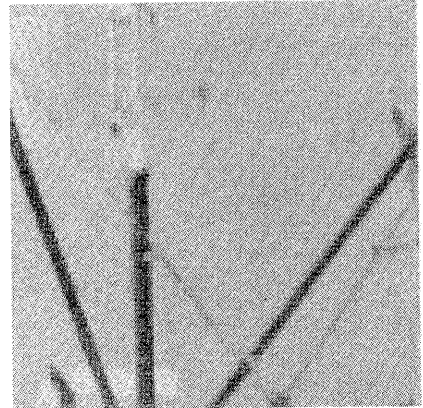


図 10: 提案法による復元画像 (一部を拡大)  
(Boats, 0.494[bits/pel], 31.57[dB])

表 3 レート-歪み特性 (Lena, Boats)

		Entropy[bits/pel]	SNR[dB]
Boats	QuadTree	0.493	30.91
	VSP	0.494	31.57
Lena	QuadTree	0.487	31.71
	VSP	0.468	31.79

## 6. まとめ

本論文では、フラクタル画像符号化において画像の方向性に応じたブロック分割の手法を提案した。これにより、うまく近似できていないレンジブロックをさらに再分割する四分木分割法に比べて、レンジブロックの総数を増加させずにブロックの辺を局所的なエッジに沿うように画像を分割する本提案法が有効であることを示した。また、今まで視覚的に目立っていたエッジ付近の歪みを軽減できることを示した。

なお、本提案法によって画像品質を改善することができたが、これがアフィン変換の種類を増やしたことによる効果なのかを調べるのが今後の課題であろう。

## 参考文献

- [1] M.F.Barnsley,L.P.Hurd,(蔡 東生, 江守正多訳), “マルチメディア・フラクタル画像圧縮”, 株式会社凸版,1995.
- [2] N.Lu, “Fractal Imaging”, Academic Press, New York, 1997.
- [3] Y.Fisher, “Fractal Image Compression - Theory and Application”, Springer-Verlag, New York, 1995.
- [4] 山根, 森川, 成相, 鶴原, “斜行軸上の DCT による画像の高効率符号化”, 信学論 (B-I), Vol.J81-B-1, no.2, pp110-117, Feb.1998.
- [5] 原田, 藤井, 木本, 谷本, “逐次ドメインプールの用いるフラクタル画像符号化”, 電子情報通信学会技術研究報告 CS98-129, IE98-108(1998-12).
- [6] G.Bjontegard, “A Nobel Method for Compressing Images Using Discrete Directional Transforms”, SPIE Vol.1001 Visual Communications and Image Processing'88, p840-846.