

# 三次元ウェーブレット変換によるベクトル動画像

松山 佐和 小口 雄康 松山 志保  
法政大学計算科学研究センター ウェザーマップ

齋藤 兆古  
法政大学工学部

風のデータをベクトル動画像として扱い、空間・時間の両領域にまたがる大容量3次元ベクトル画像にウェーブレット変換を適用する。離散値系ウェーブレット変換の特徴はウェーブレット変換スペクトラムのマザーウェーブレット近傍要素にデータの平均的特性を抽出することにある。この特徴がベクトル動画像データの圧縮およびノイズ低減を可能にしている。ここでは、離散値系ウェーブレット変換を用いて風のベクトル動画像データの情報量を縮小する方法と情報量の少ないデータを人間の視覚能力にに応じて情報量の多い動画像に再現する方法を考察する。

## 1. はじめに

ここ数年の間に、インターネットという新しい情報伝達手段が社会通念を変えつつある。個人用計算機いわゆるパソコンの低価格化と高機能化、音楽や画像を扱うアプリケーションのプレインストール化、動画像のメール送受信等による爆発的普及が急速な変化に拍車をかけている。さらにまた、携帯電話によるメールとホームページ検索もパソコンを上回る速さで普及し、着メロや待ち受け画面のダウンロードも盛んで、データ量の多い画像処理アプリケーションの更なる高機能化が望まれている。

画像情報は豊富な情報を有する反面、計算機ハードウェアにかかる負担が極めて大きい。単純な静止画像ですらテキスト情報に比べると大きな信号量を有しており、動的な画像情報における信号量は巨大となる。

ウェーブレット変換はデータの本質的な特徴を抽出する一手法として知られている<sup>1)</sup>。我々は動的画像情報の伝達におけるハードウェアに対する負担を低減するため、ウェーブレット変換により画像の持つ本質的な情報のみを抽出し、人間の視覚情報処理能力に適合した動画像情報の生成技術の開発を試みている<sup>4)</sup>。本稿では、風のデータをベクトル画像データとみなしてウェーブレット変換を適用し、情報量の少ないベクトル画像から人間の視覚情報処理能力に応じたベクトル動画像を生成する方法を述べる。

## 2. ベクトル画像のウェーブレット変換

一般に、1次元のウェーブレット変換は、

$$S = WV \quad (1)$$

で表される。ここで、 $V$  は  $n$  次の列ベクトル、 $S$  はウェーブレット変換スペクトラム、 $W$  は  $n \times n$  のウェーブレット変換マトリックスである。

3次元のウェーブレット変換は、3次元マトリックスの転置行列を

$$[H_{lmn}]^T = H_{nlm} \quad (2)$$

と表すと、

$$S = [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot H_{lmn}]^T]^T]^T \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 $S$  はウェーブレットスペクトラム、 $H$  は  $l \times m \times n$  の直方マトリックス、 $W_l$ 、 $W_m$ 、 $W_n$  は、それぞれ  $l \times l$ 、 $m \times m$ 、 $n \times n$  のウェーブレット変換マトリックスである。ここで、 $H$  が2成分  $U, V$  からなるベクトル

$$H = U + V \quad (4)$$

であるとき、(3)、(4)式より

$$S = [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot (U + V)]^T]^T]^T \quad (5)$$

が得られる。ここで  $U, V$  はそれぞれ直交するベクトルであるから(5)式は、

$$S = [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot U]^T]^T]^T + [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot V]^T]^T]^T \quad (6)$$

となる。すなわちベクトルデータのウェーブレット変換スペクトラムは各成分  $U, V$  のウェーブレット変換スペクトラムを成分とするベクトルである。

## 3. ベクトル画像の風データ

ここではベクトル画像データとして 250hPa 高度の風データ(NCEP/NCAR 再解析データ月平均、 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ )を使用する。このデータは東西成分、南北成分の2成分を持つベクトルデータである。風のベクトル画像のウェーブレット変換は、ベクトルの成分を東西成分と南北成分に分け、それぞれをウェーブレット変換し、得られたウェーブレット変換スペクトラムを2成分とするベクトルをウェーブレット変換スペクトラムとすればよい。

Fig.1 は北半球の春夏秋冬を代表する1月、4月、7月、

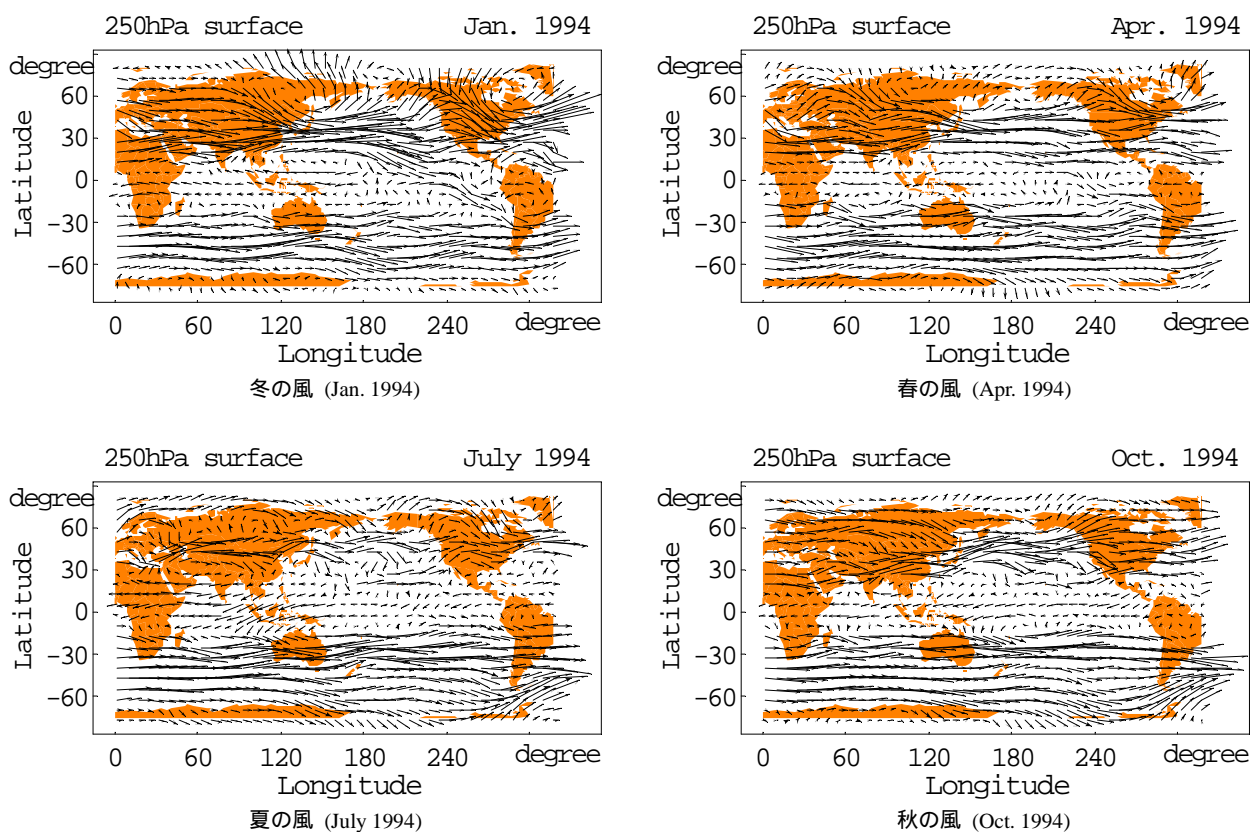


Fig.1 風のデータ(1994)

10月の風の様子を1994年について示したものである。北半球、南半球の夏と冬のジェット気流の特徴がよく表われている。日本上空での夏のジェット気流の風速は約30m/sec.であり、冬は50~60m/sec.である。また、南半球での冬のジェット気流の風速は40~50m/sec.である。ここではウェーブレット変換のデータ数を2のべき乗の $64 \times 128$ 個とするため、変換の対象の範囲を南緯 $77.5^\circ$ から北緯 $80^\circ$ 、東経 $0^\circ$ から西経 $42.5^\circ$ としている。

Fig.2は日本上空の東経 $140^\circ$ 、北緯 $35^\circ$ の地点での1989年1月から1994年12月の6年間の月平均風速を図示したものである。uは東西成分、vは南北成分である。

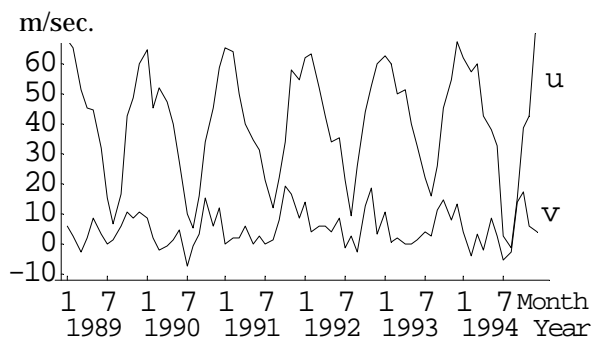


Fig.2 風データ(140E, 35N)

Fig.3はオーストラリア上空の東経 $126^\circ$ 、南緯 $30^\circ$ の地点の同様の6年間の月平均風速である。

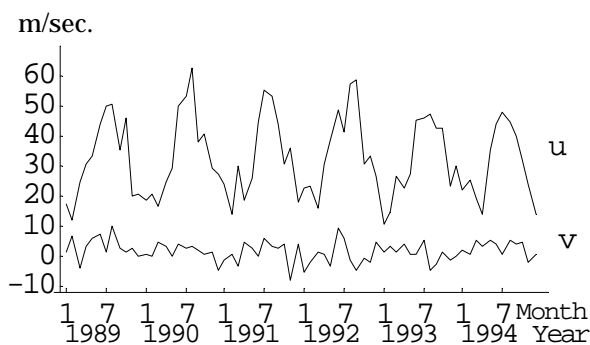


Fig.3 風データ(126E, 30S)

これらの地点での風速の変化は周期1年であることがよくわかる。また、Fig.1の四季を代表する各データにも表われているように、南北成分に比べて東西成分が非常に大きい。

#### 4. ベクトル動画の生成

少ない画像情報を元にして情報量の多い画像データを生成する方法として、次の2つの方法を試みる。既存の

情報量の多い画像データをウェーブレット変換により圧縮しておき復元する方法と、少ない画像データをウェーブレット変換して拡大し情報量の多い画像データを生成する方法である。以下にこの2つの方法について述べる。

#### 4.1 ベクトル動画像の圧縮

1992年3月から1994年10月までの32か月分の風データを時間軸( $t$ )方向に並べ、ベクトル動画像データ32枚分とみなす。Fig.4に示すように風データは3次元空間に分布する2次元ベクトルである。このデータを3次元ウェーブレット変換し、得られたウェーブレット変換スペクトラムのマザーウェーブレット近傍の要素を抽出し圧縮する。次にウェーブレット変換スペクトラムの残りの要素をゼロとして逆変換し動画像データを復元する。この手順をFig.5に示す。

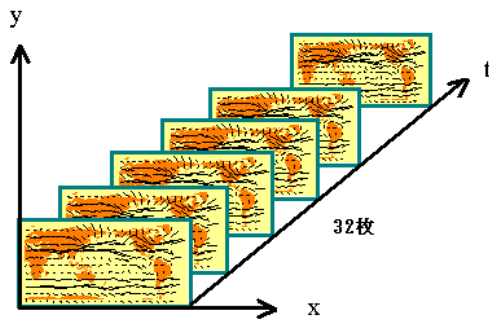


Fig.4 3次元空間の風データ

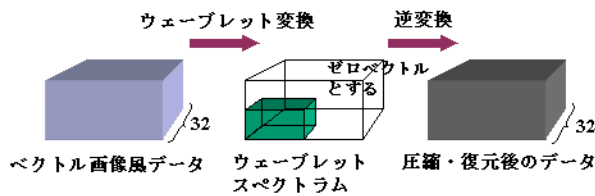


Fig.5 ベクトル画像の圧縮と復元

ウェーブレット変換スペクトラムの圧縮率については斎藤ら<sup>2),3)</sup>によって確かめられている。ここでは使用する基底関数を吟味するため、まず、ベクトル画像データ一枚(1994年7月)を2次元ウェーブレット変換し、基底関数による復元率(元の画像データと復元後の画像データの相関係数<sup>1)</sup>)を計算する。緯度、経度方向に異なる基底関数を用いて基底関数による復元率の変化を図示したものがFig.6とFig.7である。Fig.6は圧縮率 $0.5 \times 0.5$ (経度方向に0.5、緯度方向に0.5)、Fig.7は圧縮率 $0.25 \times 0.25$ である。基底関数にはドビッシーの2~20次を使用している。

Fig.6, Fig.7ともに緯度方向には基底関数の次数による違いはほとんど見られないことがわかる。また緯度方向では、ドビッシーの2次と4次では差があるものの6次以降はわずかな違いが見られるだけである。

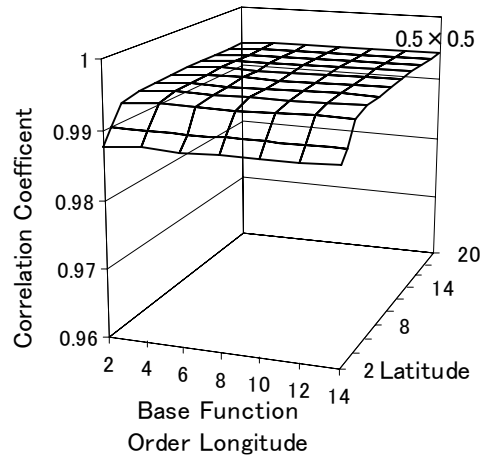


Fig.6 基底関数による復元率(圧縮率 $0.5 \times 0.5$ )

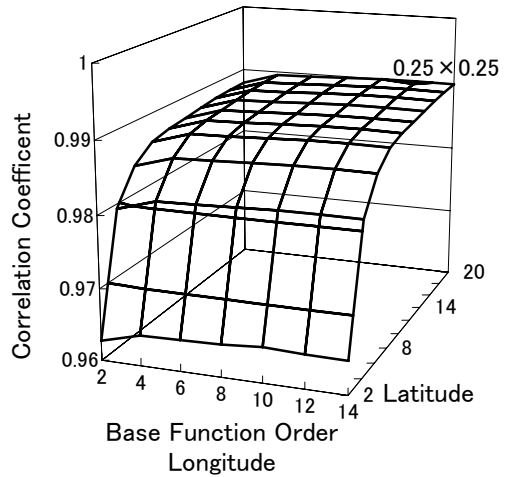


Fig.7 基底関数による復元率(圧縮率 $0.25 \times 0.25$ )

Fig.8は経度方向の基底関数にドビッシーの12次、緯度方向にドビッシーの20次を用いて2次元のウェー

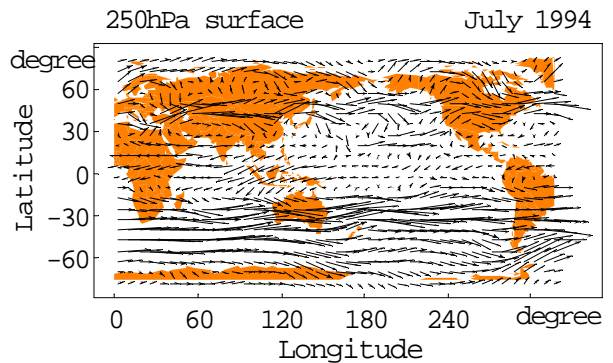


Fig.8 復元後のベクトル画像(圧縮率 $0.5 \times 0.5$ )

プレット変換を行い  $0.5 \times 0.5$  に圧縮して逆変換し復元した 1994 年 7 月の画像である。Fig.9 は Fig.8 と同様の基底関数を用いて  $0.25 \times 0.25$  に圧縮して逆変換し、復元した画像である。復元率は Fig.8、Fig.9 とともに 0.99 であり、復元後の画像もほとんど違いが認められない。元の画像である Fig.1 の夏の風と比較しても非常によく復元されている。

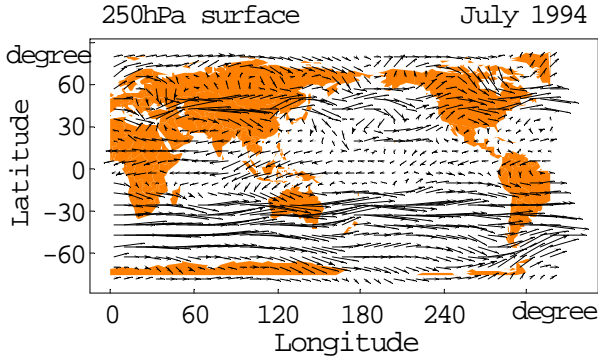


Fig.9 復元後のベクトル画像(圧縮率  $0.25 \times 0.25$ )

次に、時間軸方向に関するウェーブレット変換の基底関数による復元率を計算する。基底関数にドビッシーの 2~14 次を使用した場合の復元率を Fig.10 に示す。この例では圧縮率 0.5、0.25(時間軸方向のみ)ともに基底関数の次数が増すと相関係数は大きくなり、8 次で最大の 0.97 と 0.95 に達している。

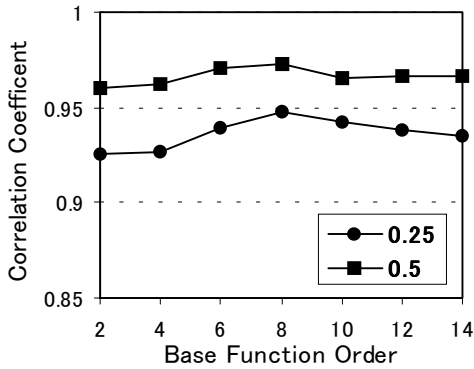


Fig.10 基底関数による復元率(時間軸方向の圧縮)

Fig.5 に示した 3 次元ウェーブレット変換による圧縮を経度方向の基底関数にドビッシーの 12 次、緯度方向にドビッシーの 20 次、時間軸方向にドビッシーの 8 次を用いて行ったところ、圧縮率  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  では復元率が 0.96、圧縮率  $0.25 \times 0.25 \times 0.25$  では復元率が 0.94 である。この基底関数を用いて 3 次元のウェーブレット変換を行い圧縮後逆変換して復元したベクトル動画像の一枚(1994 年 7 月の風)を圧縮率  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$  と  $0.25 \times 0.25 \times 0.25$  について Fig.11 と Fig.12 に示す。元の画像 (Fig.1 の夏) と比較してみると非常によく復元されていることがわかる。

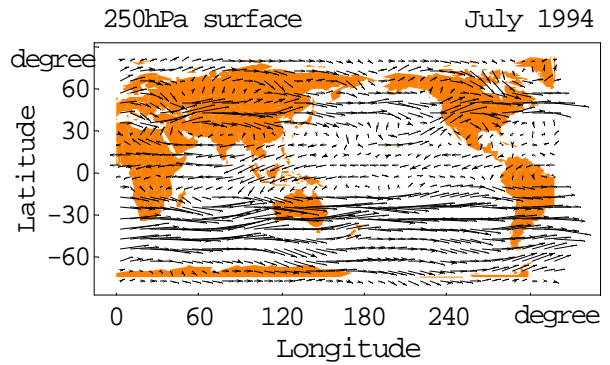


Fig.11 復元後のベクトル画像(圧縮率  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ )

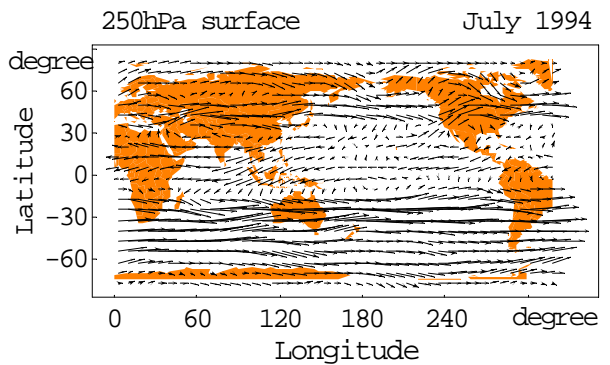


Fig.12 復元後のベクトル画像(圧縮率  $0.25 \times 0.25 \times 0.25$ )

#### 4.2 ベクトル動画像の拡大

1991 年から 1994 年の 4 年間の 1 月、4 月、7 月、10 月のベクトル画像データ 16 枚分を基本のベクトル動画像データとし、このデータ間を補って人間の視覚情報能力に合わせたベクトル動画像を生成する。

まず、基本のベクトル動画像 16 枚分のデータをここでは時間軸方向 (画像の枚数) に着目してウェーブレット変換する。得られたウェーブレット変換スペクトラムの時間軸方向の後ろにゼロを補い、32 枚分のデータ量のウェーブレット変換スペクトラムを作成する。それを逆変換し 32 枚の動画像データを生成する。この手順を Fig.13 に示す。

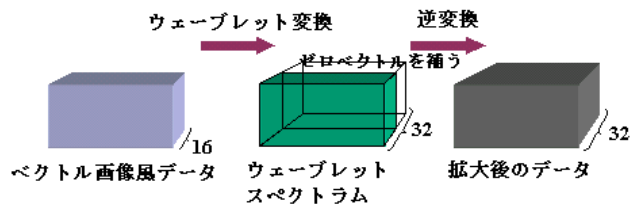


Fig.13 ベクトル画像の拡大

ウェーブレット変換の基底関数にドビッシーの 8 次を使用して 2 倍に拡大生成されたベクトル動画像の一枚、1994 年 1 月と 4 月の間の風を Fig.14 に示す。

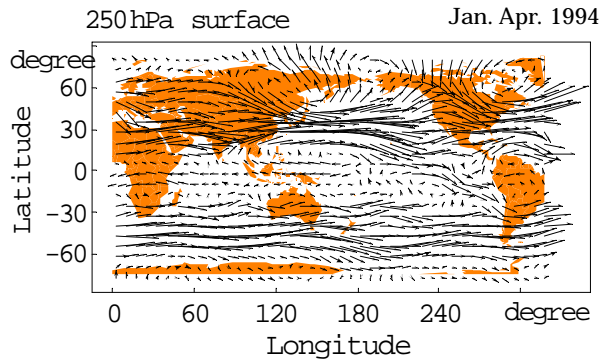


Fig.14 拡大後のベクトル画像(2倍に拡大)  
(Jan.-Apr. 1994)

同様にウェーブレット変換スペクトラムにゼロを補って 64 枚分に拡大生成されたベクトル動画像の一枚、1994 年 1 月と 4 月の間の風を Fig.15 に示す。

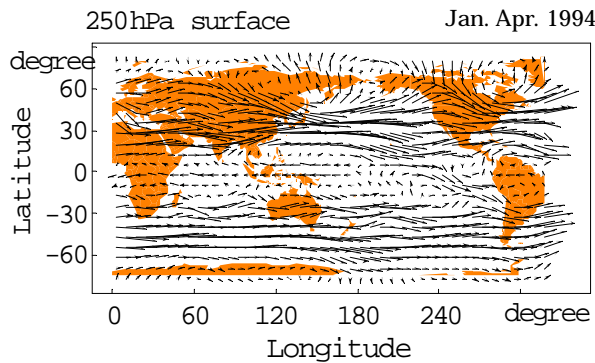


Fig.15 拡大後のベクトル画像(4倍に拡大)  
(Jan.-Apr. 1994)

32 枚および 64 枚に拡大され補間された、これらの画像を動画像としてみた場合(ここでは示せないが)、スムーズに補間されていることがわかる。

## 5. おわりに

本稿では、風データをベクトル動画像データとして扱い、このデータに 3 次元ウェーブレット変換を適用した。データの支配的なベクトル分布を抽出することにより画像データを圧縮し、非常に高い復元率が得られることを確認した。また、情報量の少ない動画像データをウェーブレット変換し、拡大することにより動画像データを生成する方法を示した。人間の視覚情報能力を考慮すれば、ある程度十分な結果が得られたといえる。

## 参考文献

- [1] 齊藤兆古著：Mathematica によるウェーブレット変換,朝倉書店,1996.
- [2] 松山佐和,小口雄康,齊藤兆古：ウェーブレット変換の気象データへの応用,計算工学講演会論文集, Vol.2(1997), No.2, 359-362.
- [3] S.Matsuyama,Y.Oguchi and Y.Saito: Applications of the Wavelet Transform to the Meteorological Vector Data, 1998 ASME FEDSM, June 21-25, 1998, Washington, D.C.
- [4] 松山佐和,小口雄康,齊藤兆古,國井利泰：ウェーブレット変換による動的カラー画像のハンドリング,可視化情報, Vol.19, Suppl., No.1,83-86, 1999.

キーワード.

ウェーブレット変換、三次元ベクトルデータ、ベクトルイメージデータ、ベクトル動画像

-----

Summary.

**Vector Fields Animation by Wavelets Transform**

Sawa Matsuyama    Yuko Oguchi    Shiho Matsuyama  
Computational Science Research Center, Hosei University    Weathermap

Yoshifuru Saito  
College of Eng., Hosei University

Major applications of the wavelet transform have been focused on the waveform analysis and image data compression. One of the distinguished properties of the wavelet transform is that the major dominant factors can be extracted from the data. We have applied this property to the data compression and reducing the noise data. In the present paper, we have tried to shrink and enlarge the wind vector image data by the three-dimensional discrete wavelets transform. Several examples (vector fields animation) demonstrate the usefulness of our new method to work out the graphical communication tools.

Keywords.

Wavelets transform, Three dimensional vector data, Vector image data, Vector fields animation