法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-16

ウェーブレット変換の海洋・気象データへの 応用

松山, 佐和 / 小口, 雄康 / SAITO, Yoshifuru / OGUCHI, Yuko / MATSUYAMA, Sawa / 斎藤, 兆古

(出版者 / Publisher)法政大学計算科学研究センター

(雑誌名 / Journal or Publication Title) 法政大学計算科学研究センター研究報告 / Bulletin of Computational Science Research Center, Hosei University

(巻 / Volume) 11 (開始ページ / Start Page) 99 (終了ページ / End Page) 104 (発行年 / Year) 1998-03-31 (URL)

https://doi.org/10.15002/00024817

松山 佐和 , 小口 雄康 法政大学計算科学研究センター

斎藤 兆古 法政大学工学部

ウェーブレット変換の特徴の一つにデータの特性をウェーブレットスペクトラムのマザーウェーブレ ット近傍に集中させることが上げられる。スカラーデータの圧縮にはこの特徴が利用されている。本 稿では、海洋・気象データにウェーブレット変換を適用した結果、スカラーデータと同様にデータの 特性がウェーブレットスペクトラムのマザーウェーブレット近傍に集中し、データの圧縮が可能であ ることを示す。

1. はじめに

ウェーブレット変換は1次元波形データの周波数解析 や2次元画像データの圧縮などに適用されている。本稿 では気象・海洋データ(ベクトルデータ、平面ベクトル データ)にウェーブレット変換を適用し、気象・海洋デ ータの圧縮と多重解像度解析の有用性について述べる。

気象データは広範囲の気圧配置、雲量、気温、風など、 それぞれが多くのデータ量を有し、データの配送、保存 に多大な時間と資源を消費している。この多量の気象デ ータにウェーブレット変換を適用し、データ圧縮が可能 であれば、データの転送時間の短縮および保存効率に多 大な成果が期待できるであろう。

ウェーブレット変換によるデータの圧縮は、データの 特徴がウェーブレットスペクトラムのマザーウェーブレ ット近傍に集中することを利用して、その近傍のスペク トラムの要素のみ残し、他をゼロとすることで行われる [1]、[2]。同様な操作を駿河湾奥部の潮流データと 250hPa 高度の風データに適用し、種々の異なる基底関数を用い たウェーブレット変換を行い圧縮率とデータの復元率に ついて検証する。

2. ベクトルデータのウェーブレット変換

一般に、ウェーブレット変換は、

$$X' = WX \tag{1}$$

で表される。X は n 次の列ベクトル、X' 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。 これを 列ベクトル X の要素 が x成分 V_x y成分 V_y の 2 次元のベクトル

$$X = V_{\rm r} + V_{\rm y} \tag{2}$$

であるとき、(1)により

$$X' = W(V_{\rm r} + V_{\rm y}) \tag{3}$$

となる。ここで *V_x*、*V_y* は直交するから

$$X' = WV_{y} + WV_{y} \tag{4}$$

となる。すなわち、ベクトルのウェーブレット変換は各 成分のウェーブレット変換の和である。

また、マトリックス*M*のウェーブレット変換は

$$S = W_m \cdot M \cdot W_n^T \tag{5}$$

で与えられる。ここで、Sはウェーブレットスペクトラム、Mは $m \times n$ の長方マトリックス、 W_n および W_m はそれぞれ $n \times n$ 、の長方マトリックス、 W_n および W_m はそれぞれ $n \times n$ 、 $m \times m$ のウェーブレット変換マトリックスである。ここで、Mを要素がそれぞれ2 成分からなる平面ベクトルデータとする。この場合も同様に各成分に分けてウェーブレット変換し、得られたスペクトラムを各成分とするスペクトラムが平面ベクトルデータの変換スペクトラムとなる。

3. ウェーブレット変換の潮流データへの適用

3.1 使用する潮流データ

ここではベクトルデータの適用例として駿河湾奥部の 潮流記録(1991年7月,10分間隔で測定)を使用する。Fig.1 はウェーブレット変換の対象とする潮流データ(データ 数512個,1991年7月17日13時20分から21日2時30 分の3日16時間20分)である。このデータは約12時 間周期が顕著である。潮流の大きさは東西、南北成分と も-10~10cm/sec.である。



Fig.1. 潮流データ (1991 年 7 月 17 日 13 時 20 分から 21 日 2 時 30 分)

まず、この潮流データをウェーブレット変換する。潮 流データの東西成分および南北成分をウェーブレット変 換し、それぞれのウェーブレットスペクトラムを各成分 とするウェーブレットスペクトラムベクトルを求める。 Fig.2 に基底関数にドビッシーの2次を用いた場合のウェ ーブレットスペクトラムベクトル、Fig.3 に基底関数にド ビッシーの20次を用いた場合のウェーブレットスペク トラムベクトルを示す。これらの図に示されるようにマ ザーウェーブレット近傍に大きなベクトルが集中してい る。これは、潮流データが圧縮可能であることを示して いる。



Fig.2. 基底関数にドビッシーの2次を用いた場合のウェ ーブレットスペクトラムベクトル





Fig.3. 基底関数にドビッシーの 20 次を用いた場合のウェ ーブレットスペクトラムベクトル

そこで、潮流データを圧縮してみる。Fig.2 および Fig.3 に示すウェーブレットスペクトラムで、マザーウェーブ レット近傍の 128 個を残し他をゼロとしてデータを4分 の1に圧縮する。圧縮したデータを逆変換して再現され た潮流データが Fig.4 と Fig.5 である。再現された潮流デ ータは、Fig.1 の元の潮流データとほぼ一致していること がわかる。データの再現率を斎藤[1]は相関係数を用いて 評価しているがこの方法を用いて計算した相関係数はそ れぞれ 0.94、0.96 でありよい再現性を示している。ここ では、基底関数にドビッシーの 2 次と 20 次を使用した 例を示したが、他の基底関数を使用した結果もほとんど 同じである。



Fig.4.4 分の1に圧縮されたデータから再現された潮流デ ータ 基底関数にドビッシーの2次を使用

cm sec. 5 107 30 50 70 hour 次に多重解像度解析によるデータ圧縮を試みる。多重 解像度解析は各レベルの部分ウェーブレットスペクトラ ムを逆変換して得られる。Fig.2 に示したウェーブレット スペクトラムにおいて高周波部分の 2 レベルで再現され る潮流データ(Fig.6 320 分まで表示)はベクトルの絶 対値が小さく、方向がランダムで潮流データの主要部分 ではなくノイズとみなされる。この高周波部分を除いて 再現した潮流データが Fig.7 で、Fig.1 の元の潮流データ とほぼ一致していることが分かる。相関係数は 0.94 であ る。



Fig.6. 高周波部分の2レベルで再現される潮流データ 基 底関数にドビッシーの2次を使用



Fig.7. 高周波部分の 2 レベルを除いて再現される潮流デ ータ 基底関数にドビッシーの 2 次を使用

Fig.3 に示したウェーブレットスペクトラムにおいて も同様の解析を試みた。Fig.8、Fig.9 は高周波部分で再 現された潮流データと高周波部分を除いて再現された潮 流データである。Fig.9 は、Fig.1 の元の潮流データとほ ぼ一致しており、相関係数は 0.96 である。これにより、 Fig.4 および Fig.5 に示した単純な圧縮法においても、Fig.6、 Fig.8 のノイズベクトルを除去していることが分かる。



Fig.8. 高周波部分の2 レベルで再現される潮流データ 基 底関数にドビッシーの20次を使用



Fig.9. 高周波部分の 2 レベルを除いて再現される潮流デ ータ 基底関数にドビッシーの 20 次を使用

4. ウェーブレット変換の風データへの適用

4.1 使用する風データ

ここでは平面ベクトルデータとして 250hPa 高度の風 データ(NCEP/NCAR 再解析データ月平均、2.5° × 2.5°)を使用する。Fig.10 は 1993 年 7 月(冷夏)、Fig.11 は 1994 年 7 月(暑夏)である。このデータの特徴はジ ェット気流が 1993 年 7 月では例年に比べて南寄り(日 本上空の北緯 37°~47°付近)、1994 年 7 月では 北寄

Fig.5.4 分の1 に圧縮されたデータから再現された潮流デ ータ 基底関数にドビッシーの20次を使用





Fig.11. 風ナータ(1994 年 / 月 /.5 间隔で衣示)

リ(北緯 42°~52°付近)である。ここではデータ数 を 64×128 個とするためウェーブレット変換の対象とす る範囲を南緯 75°から北緯 82.5°、東経 0°から西経 42.5°とする。対象範囲全体を図示すると日本上空のジ ェット気流の位置が鮮明に表せないので日本近辺のみ図 示したのが Fig.12 と Fig.13 である。この図により、この 2 つの年の夏のジェット気流の特徴がよく表されている。 日本上空の夏のジェット気流の風速は約 30m/sec.であり、 南半球の冬のジェット気流の風速は 40~50m/sec.である。



Fig.12. 日本上空の風(1993年7月 2.5°間隔で表示)



Fig.13. 日本上空の風(1994年7月 2.5°間隔で表示)

まず、この風データを東西成分および南北成分に分け てそれぞれウェーブレット変換する。変換後のウェーブ レットスペクトラムを各成分とするウェーブレットスペ クトラムベクトル(1993年7月)をFig.14に示す。この 図に示されるように大きなベクトルがマザーウェーブレ ット近傍に集中しており、このデータが圧縮可能である ことを意味する。



Fig.14. ウェーブレットスペクトラムベクトル 基底関数 にドビッシーの2次を使用(1993年7月)

そこで、風データを圧縮してみる。Fig.14 に示すウェ ーブレットスペクトラムで、マザーウェーブレット近傍 の 32×64 の部分行列を残し他をゼロとしデータを4分の 1 に圧縮する。圧縮したデータを逆変換して再現された 風データが Fig.15 である。Fig.15 の風データは、Fug.12 の元の風データとほとんど同じであることがわかる。デ ータの再現率を評価するため求めた相関係数は 0.99 であ りよい再現性を示している。圧縮時に除いた部分のデー



Fig.15. 圧縮されたデータから再現される風データ(1993 年7月)



Fig.16. 除いた部分のデータから再現される風データ (1993年7月)

タを再現したものが Fig.16 である。Fig.16 のベクトルは

方向を示すために矢印の部分が表示されているが絶対値 の大きさは Fig.15 に比べて 10 分の 1 程度である。

ここで、別の圧縮法を試みる。Fig.14 のウェーブレッ トスペクトラムの 8 行目までと 8 列目までを残して他を 0 とする (Fig.17)。このウェーブレットスペクトラムを 逆変換して再現された風データが Fig.18 である。この場 合も元の Fig.12 の風データとよく一致し相関係数は 0.99 である。



Fig.17. Fig.14 の 8 行目までと 8 列目までを残して他を 0 としたウェーブレットスペクトラム



Fig.18. Fig.17 のウェーブレットスペクトラムを逆変換し て再現される風データ

次に多重解像度解析による圧縮を試みる。多重解像度 解析は各レベルの部分ウェーブレットスペクトラムを逆 変換して得られる。高周波部分の2レベルで再現される 風データは Fig.19 である。この部分のデータはベクトル の絶対値が小さく、方向がランダムであり、風データの 主要部分ではないとみなせる。この部分を除いて再現し た風データが Fig.20 である。Fig.19 のベクトルは方向を 示すために矢印の部分が表示されているが、絶対値の大 きさは Fig.20 に比べて 10 分の1程度である。Fig.20 の 風データと Fig.12 の元の風データとほとんど同じである といえる。相関係数は 0.99 である。



Fig.19. 高周波部分の 2 レベルで再現される風データ (1993年7月)



Fig.20. 高周波部分の2レベルを除いて再現される風デー タ(1993年7月)

各図は、1993年7月について示してきたが、1994年7 月についても全く同様で、この2年間における夏のジェット気流の特徴は再現された風データにおいても、よく現れている。

ここまでは、2.5[°] 間隔の風データ 64×128 個について ウェーブレット解析を行ってきたが、ここで南半球の強 い冬のジェット気流を除いて、北半球の日本上空に注目 しデータ数を 16×32 個にして同様に計算してみる。元 の風データは Fig.21 である。ウェーブレット変換スペク トラムは Fig.22 である。



Fig.21. 風データ(日本上空 北緯 22.5°~60°,東経 100°~175.5°1993年7月)



Fig.22. ウェーブレット変換スペクトラムベクトル 基底 関数はドビッシーの2次を使用(1993年7月)

データの再現率はウェーブレットスペクトラムベクト ルを4分の1に縮小した場合の相関係数は0.98、多重解 像度解析により高周波部分の2レベルを除いた場合の相 関係数は0.97である。南半球の大きなベクトルが除かれ た分だけ再現性は悪くなっているが、よく再現されてい るといえる。

5. おわりに

本稿では、潮流データ、風データにウェーブレット変換を適用することで、データの支配的なベクトル分布が 抽出可能であり、データ圧縮にも有用であることを示した。データ圧縮の方法としては、マザーウェーブレット 近傍のスペクトラムの大きさに着目した単純な圧縮法と 多重解像度解析を用いてノイズ成分を除去する方法を取 り上げた。その結果いずれの方法を用いても圧縮効果に は大差ないことが判明した。

最後に潮流データを提供していただいた東京水産大学 海洋環境学科松山研究室、および、風データを提供して いただいた東京大学気候システム研究センター新田研究 室にお礼申し上げる。

参考文献

- [1]斉藤兆古著,"Mathematica によるウェーブレット変換", 朝倉書店,1996,9.
- [2]榊原進,"ウェーブレットビギナーズガイド",東京電機 大学出版局,1995.

<u>キーワード.</u>

ウェーブレット変換、ベクトルデータ圧縮、地球規模の風の場、潮流

Summary.

Applications of the Wavelets to the Oceanographic and Meteorological Data

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

> 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. In the present paper, we apply this property to the meteorological data and oceanographic data. As a result, we have succeeded in compressing these data.

<u>Keywords.</u>

Wavelet transform, Vector data compression, Global wind field, Tidal current