

弛緩テンプレート照合に基づく海表面流速場の推定

北海道大学大学院工学研究科 ○金平 祐介 金子 俊一 五十嵐 悟
北海道大学大学院水産科学研究科 齋藤 誠一

要旨

本研究では、複合テンプレート照合に基づいて、海面温度分布を観測するためのNOAA衛星画像の時系列画像群をデータとして、海表面流速場を安定に推定するための新しい手法を開発し、実応用の可能性を検討する。しかし、本研究で対象とするNOAA画像には多くの不良特性を持っており、海面温度の変化に起因する固有の問題もある。そこで、海表面流速場の復元においては弛緩法を導入して推定精度の向上を図る。

1 はじめに

海表面流速場の観測・推定は、沿岸寒流・暖流の解析、植物プランクトン分布の解析、ブルーミング予測、魚卵・稚魚の輸送、産卵予測などを行うために、非常に基本的な重要性を持っている。そこで、海表面流速場を画像認識の見地からの応用から推定する手法を開発し、その実応用の可能性を検証する。本研究では海表面流速場を、複合テンプレート照合に基づいて格子上の標本点の移動を検出するアプローチと融合させることで推定を試みる。しかしながら、本研究で対象とするNOAA画像には多くの不良特性が存在する。海表面流速場の推定には、その推定結果を利用するに適した測定精度が必要となるので、海表面流速場の復元においては弛緩法を導入して推定精度の向上を図る。

2 データ画像の特性

NOAA画像はAVHRR(改良型高分解能放射計)の測定値を10Bitのデジタル値で観測・記録される。NOAAの解析システムによって2Byte値に変換され、輝度温度 $t(^{\circ}C)$ となる。本論文の実験では、実際に必要な温度幅は限られる、画像表示する、という2点の理由から、初期値・傾きを設定し、1Byteの輝度値 DN に、 $DN = 6.67t + 133$ によって変換している。数時間の間隔を空けて撮影された画像が時系列に並んでいる。これから連続した2枚の画像を選択し t 時刻の画像を参照画像、 $t + \Delta$ 時刻の画像を対象画像とする。画像を取得する際には、ふれや雲による寒流フロントの広範囲の隠れが無いものを目視で判断し選別する。

観測画像には部分的に陸地や雲の領域が低輝度領域として含まれる。加えて温度差の微小な海面部分では推定が困難であるので、それらを除外した、いわゆる海流(寒流)フロントの部分を測定対象とする。図1は画像の例である。本論文では、画像右下、襟裳岬沖の海流フロント部分に注目して実験を行う。

著者の一人を含む別グループは、北海道南海域の噴火湾における海表面流速場の測定を、短波海洋レーダ(HFレーダ)によって行っている[1]。この方法で測定を行うと、HFレーダからの観測が可能である沿岸部で、数10km単位の比較的狭い範囲においては信頼の置ける結果が得られる。

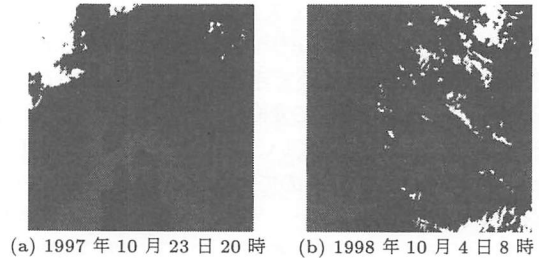


図1: 海面温度分布画像例

3 複合テンプレート照合

本論文では海面を撮像した参照画像と、その後時刻において撮像された対象画像との中に、変形しながらも照合すべき部分画像を発見することが課題である。参照画像内から複数の特徴的な小部分画像を複数枚選択する。これらの照合位置を推定することによって、それらを含む部分における海面場の移動情報を解析することとする。このようなアプローチを複合テンプレート(以下、TP)照合と呼ぶ。

図2は複合テンプレート照合の概要を示している。参照画像から取得したTPに優先順位を割り付けるため、画像内の輝度標準偏差を用い、その減少順に番号付けを行う。1番目のTPを特に起点TPと呼ぶ。また、起点TPから他のTPを見た相対位置情報(ベクトル)を算出し、登録する。照合の第1段階では、起点TPを対象画像内でラスタ走査し、照合位置を探索する。第2段階では、起点TP以外のTPの探索を行う。起点TPの探索では対象画像内全体を探索したのに対し、ここでは前述の相対位置ベクトルを利用して探索範囲を相対位置ベクトルの大きさに比例した大きさの半径を持つ円内に限定する。最終的に、全TPの正規化相関値の平均をTP群の総合評価値とする。

第2段階でTPの探索範囲を限定することによって、計算時間の短縮と計算精度の向上を計ることができる。複数枚のTPを用いて総合的に評価しているため画像の歪みに対応できる、などの長所が挙げられる。

4 弛緩法

この手法は、画像上の矛盾を無くすための手法である。元々はラベル問題に用いられている手法であり、直線・曲線の検出用に発展させた方法もある[2][3]。各TP画像箇所におけるベクトルのラベル尤度(存在確率の分布)を近傍との関係から修正し、反復演算を

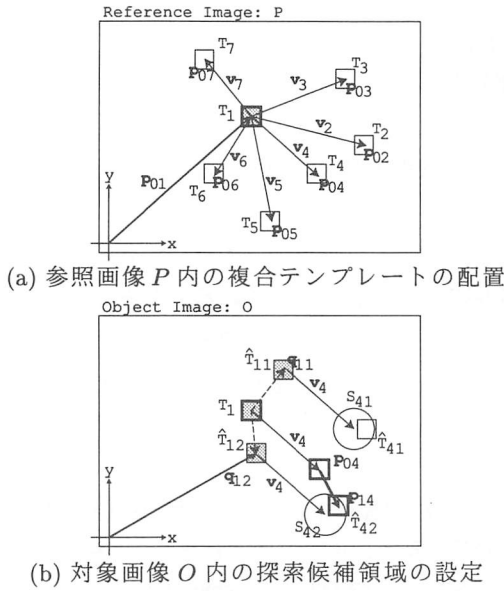


図 2: 複合テンプレート照合法の概要

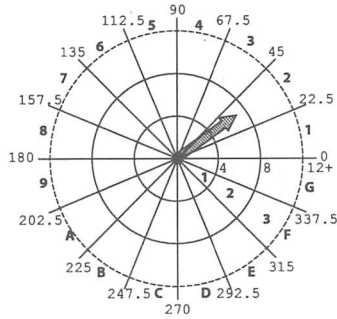


図 3: クラスタリング

行うことで、全体との調和を取ることが目標である。

元画像上の TP の集合を $\tau = \{T_{i,j}\}$ とする。ここで i, j は元画像上での位置である。また、TP 照合の結果得られるベクトル群 $v = \{v_{i,j}\}$ を、ベクトルの角度と大きさによってクラスタリングする。図 3 はその区分を示す。次に、各 $T_{i,j}$ において得られる $\{v_{i,j}\}$ の、上記に設定した各クラスでのラベル尤度 $P_{i,j}(\theta, l)$ を設定する。初期値は、TP 照合の結果の $v_{i,j}$ が属するクラスを $P_{i,j}(\theta_0, l_0) = 0.53$ 、それ以外を $P_{i,j}(\theta, l) = 0.01$ とする。次に $T_{i,j}$ とその 8 近傍 $T_{i-1,j-1}, \dots, T_{i+1,j+1}$ との関係から $T_{i,j}$ におけるラベル尤度 $P_{i,j}(\theta, l)$ を計算し、値を更新する。 k 回目の更新時における $P_{i,j}(\theta, l)$ を $P_{i,j}^{(k)}(\theta, l)$ とおくと、更新後の存在確率 $P_{i,j}^{(k+1)}(\theta, l)$ は (1) とおける。

複数回の反復計算の後、各クラスに属するベクトルと最終的に得られたラベル尤度 $P_{i,j}(\theta, l)$ の期待値を取り、これを注目 TP の復元ベクトルとする。

$$P_{i,j}^{(k+1)}(\theta, l) = \frac{P_{i,j}^{(k)}(\theta, l)[1 + q_{i,j}^{(k)}(\theta, l)]}{\sum_{\theta, l} \{P_{i,j}^{(k)}(\theta, l)[1 + q_{i,j}^{(k)}(\theta, l)]\}} \quad (1)$$

$$q_{i,j}^{(k)}(\theta, l) = \frac{1}{n} \sum_{i-1, j-1}^{i+1, j+1} \left[\sum_{\theta, l} r(\Delta\theta, \Delta l) \cdot p_{i,j}^{(k)}(\theta, l) \right] \quad (2)$$

$$r(\Delta\theta, \Delta l) = 1.0 - 0.2 \cdot \Delta\theta - 0.2 \cdot \Delta l \quad (-1 \leq r \leq 1) \quad (3)$$

5 実験

参照画像から寒流フロント部分にあたる部分を中心に大きさ 20×20 の TP を 5 画素おきに取得する。この実験では、TP は 137 枚得られた。図 4 は、TP を取得した箇所を示している。

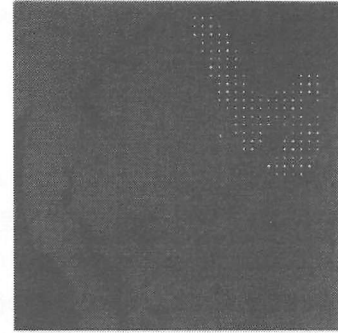
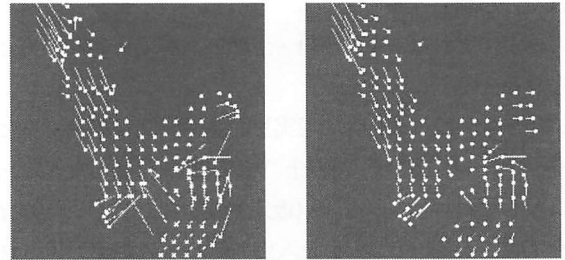


図 4: TP 取得位置



(a) TP 照合結果 (b) ベクトル群修正結果

図 5: 実験結果

TP 照合の結果、図 5(a) のような流速ベクトル群が得られた。このベクトル群を弛緩法を用いて修正したものが、図 5(b) である。(a) では例外値 (突出したベクトル) が存在しているが、(b) ではそのベクトルが矛盾の無いベクトルに修正されている。

6 まとめ

本論文では、海面温度分布を観測するための NOAA 衛星画像の時系列画像群をデータとして、海表面流速場を安定に復元するための新しい手法として、複合 TP 照合及び弛緩法を用いる手法を開発し、海表面流速場の復元・推定に用いる際の有用性を確認した。

参考文献

- [1] 前野, 齊藤他: 沿岸親潮の噴火湾への流入及び湾内移流過程, 北海道大学 FA 研究会研究成果報告書, pp.4-9, 2001.
- [2] Azriel Rosenfeld, Robert A. Hummel and Steven W. Zucker: Scene Labeling by Relaxation Operations, IEEE TRANSACTIONS ON SMC, Vol.6, No.6, pp.420-433(1976)
- [3] Steven W. Zucker, Robert A. Hummel and Azriel Rozenfeld: An Application of Relaxation Labeling to Line and Curve Enhancement, IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTERS, Vol.26, No.4, pp.394-403(1977)