

短波海洋レーダを用いた潮目予測精度向上のための試み

国土交通省 中部地方整備局 非会員 内田 吉文 正会員 本多 和彦 非会員 吉村 藤謙
 国際航業株式会社 非会員 金津 伸好 非会員 永松 宏 正会員 米澤 泰雄
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 日向 博文

1. はじめに

伊勢湾・三河湾の海面に浮遊するゴミを回収する海洋環境船「白龍」は、短波海洋レーダで観測した流れのデータを用いて浮遊ゴミが集積するとされる潮目位置の予測を行う“ゴミ回収支援システム”によりゴミ回収の効率化を図っている。システムでは、ある時刻の流れの観測値から流れの収支計算を行い、流れが収束している分布域を潮目として予測していた。しかし、実際の海面浮遊ゴミは、河川などから湾内へ流入し、時間の経過とともに漂流し、潮目に取り込まれるものであり、ある時刻の潮目の予測位置が必ずしもゴミの集積場所であるとは限らないという課題があった。そこで、過去の流れの履歴を考慮した予測手法としてリアプノフ指数 (FTLE) を用いた方法 (日向ほか 2010¹⁾) を適用し、予測プログラム開発とシステムの改良を行うことにより予測精度の向上を図った。本稿では、新しい潮目の予測手法と検証結果について報告する。

2. 潮目予測プログラムの開発

仮想的に海面に粒子を一定間隔に配置させ、短波海洋レーダで観測した流れのデータを用いて一定時間漂流させた場合、粒子は拡散か、収束する分布形状になる。リアプノフ指数 (以下、FTLE とする) $\sigma(x_0, t_0)$ による潮目位置の予測方法は、これらの東西・南北方向の漂流距離偏差の歪みテンソル () から最大の固有値 λ_{max} を求めて潮目の強さを表すものである。本手法の特徴は、これまでの潮目予測は現在流の差分により求めるのに対し、仮想粒子の位置を過去に遡り漂流計算を行なうことにより、流れの履歴が考慮できる点である。

$$\sigma(x_0, t_0) = \frac{1}{2|T|} \ln \lambda_{max}(\Delta) \quad \dots (1)$$

$$\Delta(\text{内積}) = \left[\left[\frac{\partial \bar{x}(t_0 + T; x_0, t_0)}{\partial x_0} \right]^T \left[\frac{\partial \bar{x}(t_0 + T; x_0, t_0)}{\partial x_0} \right] \right) \quad \dots (2)$$

T : 粒子計算時間 (単位: 時間)

$\bar{x}(t_0, x_0)$: 初期粒子配置位置

$\bar{x}(t_0 + T, x_0)$: T 時間後の粒子配置位置

新たに開発した予測プログラムの適用性を確認するため、湾内に仮想粒子を一様に配置させ、潮流シミュレーションモデルによって一定時間 (T 時間) 計算した。一定時間後の仮想粒子は密集するエリアと発散するエリアが発生する (図-1)。この密集するエリア (潮目) を FTLE によって推定することができるか確認した。FTLE 分布は、集積度が強いエリアを濃い色で示し、集積度が弱いエリアを薄い色で示した (図-2)。この結果、図-2 に示すように FTLE の濃い色の上に粒子の集積域 (潮目) があることを確認した。

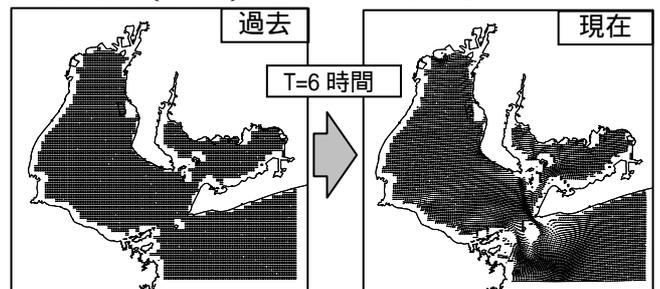


図-1 仮想粒子計算による粒子の集積場所 (潮目)

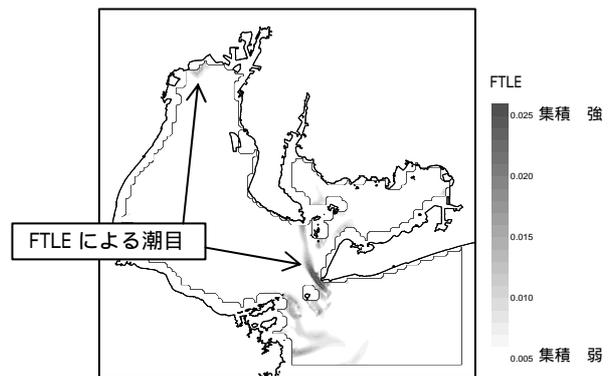


図-2 FTLE による潮目の予測結果

3. ゴミ回収支援システムへの適用

ゴミ回収支援システムに新しい潮目予測プログラムを適用するために、短波海洋レーダに含まれるノイズの除去を行い、潮目の観測精度の向上のための検討を行った。短波海洋レーダの観測データは面的な流速データであり、かつ1時間毎に準リアルタイム

キーワード 潮目, 短波海洋レーダ, 業務支援システム

連絡先 〒457-0833 名古屋市南区東又兵衛町1丁目57-3

国土交通省 中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所 TEL052-612-9984

ムに算出されるため、空間的な異常値や時間的に不連続な流れが発生する可能性がある。

流速データの異常値を除去する方法は図-3 に示すように、短波海洋レーダによる流れをまず潮流成分と残差流(潮流成分以外)に成分分けを行い、残差流成分についてのみノイズ処理を加えた。残差流自体は数時間のスケールは大きく変化せず、空間分布としても数 km 程度の範囲は、ほぼ同じ流速であるという仮定のもとで以下の処理を行った。

1 時間毎の残差流に含まれる空間的に異常な流速値(V)を $|Avg \pm 3 \sigma|$ V による判定によって除去し、時間的に不連続な流速値の除去については、時間平均を行うことにより、補正処理を行った。

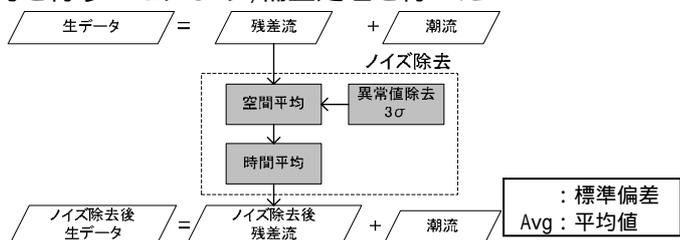


図-3 短波海洋レーダのノイズ除去方法

さらに、FTLE における仮想粒子の計算時間を設定するため、湾内の潮目の形成過程との対応を検証した結果、潮目位置と仮想粒子の集積分布の対応がもっとも良く一致した6時間と設定した。

4. 潮目予測プログラムの検証

潮目予測プログラムの検証データとして、クロロフィル a 濃度の衛星画像と、「白龍」の乗組員による目視確認された潮目位置を用いた。前者の検証では、降雨による出水から数日後の衛星画像で植物プランクトンが増殖しクロロフィル a 濃度分布が大きく変化する境目、つまり河川からの栄養塩を多く含む淡水が流入し、成層のフロントとなっている部分を潮目として判読した。後者は船員の判断による強弱5段階で記録されたデータを用いて潮目を判定した。

検証の結果、図-4 のクロロフィル a 濃度分布は、撮影の2日前に降雨があり、湾奥部から知多半島の先端にかけて、濃度の高い分布がみられ、潮目と推定される境目は北西から南東方向に伸びている。一方、同時刻の FTLE の潮目予測位置はほぼ同じ位置、方向に帯状に分布する結果を得た。ゴミ回収位置との比較結果においては、実際の潮目上のゴミ回収位置と FTLE の潮目予測位置は、潮目を目視可能範囲(約 2.0km の範囲)で一致した(図-5)。

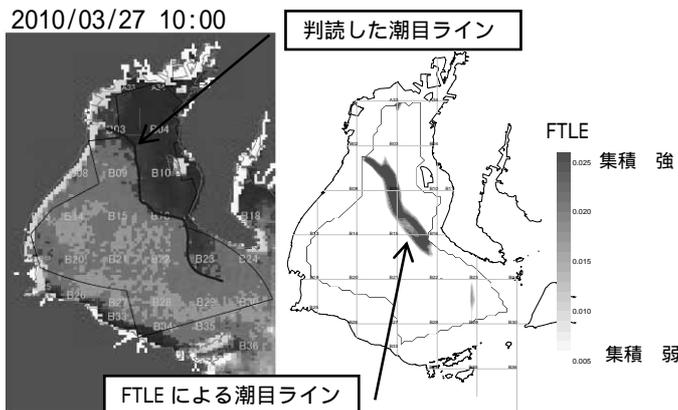


図-4 衛星画像による潮目と FTLE 分布の比較

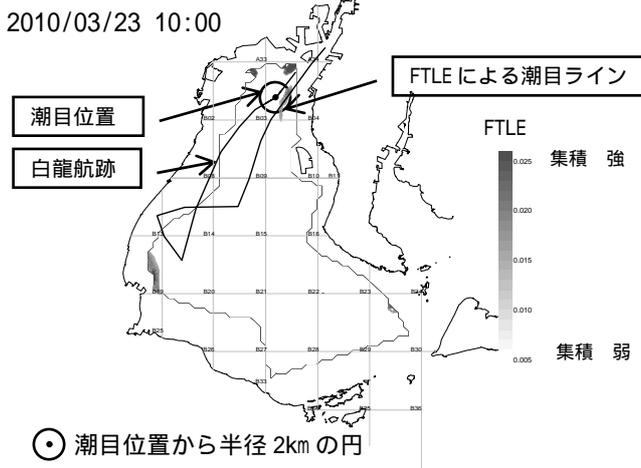


図-5 白龍による潮目の位置と FTLE 分布の比較

5. まとめ

潮目予測精度の検証は、衛星画像は 5 ケース、白龍のゴミ回収記録は 15 ケース検討した。この結果、従来の手法による潮目の予測的中率は 50%程度から 80%まで向上した。実際の新しい潮目プログラムのシステム化においては、潮目プログラムの精度向上以外にも、潮目の表示方法をこれまでの色分け表示から線表示に切り替えることにより潮目の視認性を向上させた。また実際のゴミ回収作業におけるシステム操作を考慮して現在から3時間先の潮目表示や、自動更新機能を加えることにより利用者側の利便性を向上させた。今後は、日常のゴミ回収業務を通して、潮目的中率の検証をすすめていき、海上ゴミの回収の効率化や、船舶事故による油流出などへの有効性を検討していきたい。

なお本研究の一部は、環境省の環境研究総合推進費(戦略的研究開発領域 B-1007,平成 22-24 年)の支援を受け実施している。

参考資料

1)五島列島西岸沖表層流動場のラグランジュ解析 日本海洋学会大会講演要旨集 pp107 2009 年秋季