

PS-16 AIS による黒潮沿岸域の船舶偏流の推定

知識・データシステム系 *小林 充

1. はじめに

内航海上物流の主要な航路である本州太平洋沿岸は強力な黒潮があり、この予測情報を利用することで燃料消費量を削減する内航ウェザールーティングなど航海支援サービスが実施されている。黒潮海流は局所性が強く推定精度が必要な一方、衛星を利用した観測は時空間的にスパースであるため推定誤差が発生する。これに対し、運航中の船舶を偏流センサーととらえ運航データを収集し、ここからベクトル演算により偏流を算出することでその現状を把握し海流予測に反映させるのが有効と考えられる。本研究ではAISを通じて船舶の偏流を収集して集計し、既存海流推定に統合することで高精度な偏流推定を行うことができたので報告する。

2. AIS による船舶偏流の推定手法

2.1 概要

一定速力・針路での航行中において、対地船速ベクトルに対し、対水船速と船首方位で得られる対水船速ベクトルを減じた差に当たるベクトルを偏流ベクトルと定義し、時空間的に近傍を航行する船舶には同一の偏流が発生しているものと仮定する。

GPS、対水船速計、船首方位計の出力を時系列的に記録し陸上に送信する運航モニタリング装置を設置した船舶の場合、先述のとおり簡単な演算により偏流を算出することができる。しかし、このような装置を設置した船舶は一般的ではなく、かつその情報は船社・オペに開示される以外に一般に公開されないため、時空間的に密にその情報を収集することは極めて困難である。一方で、AIS 情報は沿岸に設置された受信機によって容易に収集でき、既存の販社等を通じて全国の情報を入手することは比較的容易である。その反面、AIS 情報には対地方位・同船速、船首方位の情報が記載されているが対水船速の値はなく、ここから偏流ベクトルを直接演算することはできない。

本手法では、AIS に記録された対地方位・船速、船首方位をもとに、複数のAIS 情報を組み合わせて偏流を推定する。前述のとおり1件のAIS 情報からは偏流ベクトルを算出することができないが、進行方向に対し横方向の偏流成分がある場合、対地方位と船首方位に角度差ができるため、これをもとに偏流の横方向成分を知ることができる。同一の偏流が生じているとみなせる、同一時間帯・同一海域上に進行方向の異なる別の船舶が存在すれば、それぞれの横方向の偏流成分をもとに偏流ベクトルとして決定することが可能となる。

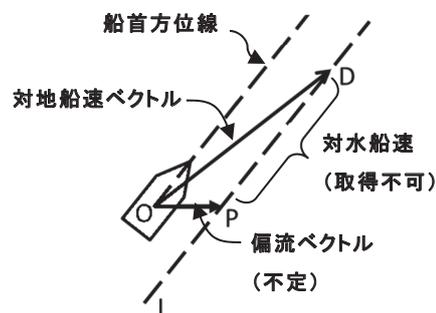


図-1 AIS 1レコードによる偏流推定（不定解）

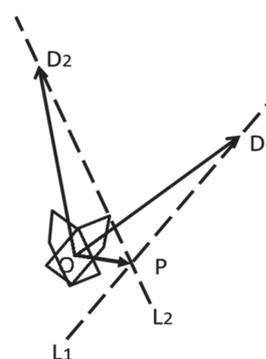


図-2 AIS 2レコードによる偏流推定（一意解）

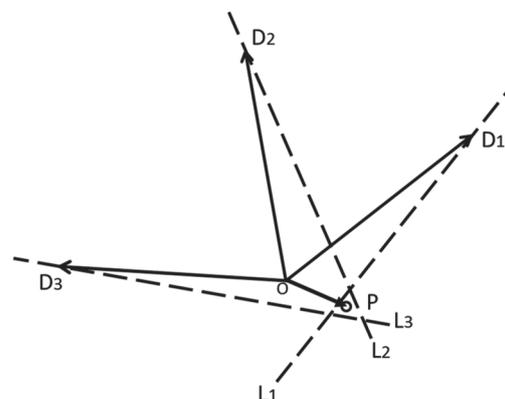


図-3 AIS 3レコード以上による偏流推定精度の向上

2.2 推定手順

図-1において、船舶の対地船速ベクトルODは偏流ベクトルOPと、船首方位に平行な対水船速ベクトルPDの和である。点Pは点Dを通過し、方角を船首方位にとる直線L上にあると考えられるが、対水船速(PD間距離)が不明であるため、点Pを一意に定めることができない。このとき進行方向の異なる船舶が、同一の偏流状態にある時空間的近傍に存在する場合、図-2のように船位Oを重ねるように描画することで、点PをL₁とL₂の交点として決定することができ、偏流ベクトルを一意に定めることができる。実際はさらに多くの運航情

報が集まるので、図-3 のようにこれらを重ねて各 L_i からの距離を最小化する点 P を求めることになる。

偏流の算出方法は次のとおりである。

偏流推定を得ようとする地点（注目地点）の近傍で得られる AIS 受信レコード $i = (1, \dots, m)$ は対地船速ベクトル $OD_i = (x_{Di}, y_{Di})$ 、船首方位 θ_i をもつ。また、注目地点と AIS 発信地点の時空間的距離によって遮減する重み $w_i \in (0,1]$ が与えられるとする。図-3 における点 $P = (x_p, y_p)$ と直線 L_i 間の距離 ε_i の重み付二乗和（コスト） $f(P)$ を最小化する次の式により偏流推定値が得られる¹⁾。

$$f(P) = \sum_i w_i \varepsilon_i^2 \quad (2.1)$$

$$A = \begin{pmatrix} \sum_i w_i \sin^2 \theta_i & -\sum_i w_i \sin \theta_i \cos \theta_i \\ -\sum_i w_i \sin \theta_i \cos \theta_i & \sum_i w_i \cos^2 \theta_i \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

$$B = \begin{pmatrix} \sum_i w_i (-\sin^2 \theta_i x_{Di} + \sin \theta_i \cos \theta_i y_{Di}) \\ \sum_i w_i (\sin \theta_i \cos \theta_i x_{Di} - \cos^2 \theta_i y_{Di}) \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

$$P = -A^{-1}B$$

推定値の安定性は、コスト $f(P)$ を一定以上増加させない点 P の移動可能面積の逆数として定義する。 $f(P)$ は等高線が楕円形の二次関数であり、その二軸は行列 A の固有ベクトル、各2次項微係数は同固有値として得られる。また、正方行列の固有値の積はその行列式と等しいため、結果として推定値の安定性指標は行列 A の行列式 $|A|$ で得ることができる。 $|A|$ は近傍の AIS 受信レコード数が多いほど大きく、それらの船首方位が平行（または反平行）に近いほど小さい。

2.3 既存海潮流への統合

前節では AIS 運航データのみから偏流を推定する手法を述べたが、AIS 受信レコードの少ない海域、すなわち船舶航行隻数が少ない、もしくは海岸線から遠いために受信が困難な海域においては推定値の安定性指標が低く、十分な推定精度が得られない。すべての海域で偏流マップを得るため、既存海潮流への統合を行う。

既存表層海潮流推定値に関し、ある注目地点の推定海潮流ベクトル $v_c = |v_c| \angle \theta_c$ に対して、次のような2つのレコードを用意して前節の AIS レコードに追加することで、統合した推定偏流を得る。

$$(OD_{m+1}, \theta_{m+1}, w_{m+1}) = (v_c, \theta_c + \pi/2, 10) \quad (2.4)$$

$$(OD_{m+2}, \theta_{m+2}, w_{m+2}) = (0, \theta_c, 40) \quad (2.5)$$

3. 船舶運航データによる検証

2015年11月の1か月間を対象に、一般内航商船27隻の運航モニタリング装置からの黒潮沿岸海域の偏流を観測し、こ

れを正として各手法の偏流推定精度を検証した。手法は①2.2節に示した AIS データのみをもとにした偏流推定値、②内航ウェザールーティングに用いられている JCOPE-T 海潮流予測システムによる表層流の直前予測値、③2.3節に示した①と②の統合推定値、の3つである。それぞれ偏流ベクトルを北方向・東方向成分に分け、観測値との相関を取り決定係数 R^2 を表1に記載した。なお、①において行列式 $|A|$ が閾値 10^4 を下回る海域では推定が安定しないため AIS のみによる推定を無効とした。これは観測件数ベースで1.4%であった。なお、検証の正当性のため、検証のための内航商船が発信した AIS レコードは推定のための元データから除外した。

表1 推定偏流の船舶観測値による検証

海域	手法	北方向 R^2	東方向 R^2
AIS 推定有効	①AIS	0.44	0.42
海域 ($ A \geq 10^4$) 覆域 98.6% [※]	②既存手法	0.19	0.25
	③統合	0.45	0.43
AIS 推定無効	①AIS(参考)	0.07	0.30
海域 ($ A < 10^4$) 覆域 1.4% [※]	②既存手法	0.16	0.53
	③統合	0.27	0.58

※観測件数ベース

検証結果によると、AIS 推定有効海域においては既存手法より AIS による偏流推定が良好な相関を示し、AIS による偏流推定手法が有効であることを示した。AIS と既存手法を統合した推定では、いずれの海域も AIS による推定や既存手法より良好な相関を示し、特に推定無効の海域では AIS による推定と観測値に相関がほとんどない ($R^2=0.07$) にもかかわらず統合推定では既存手法による推定より良好な相関を示した。これは統合が単なる推定値の内挿ではなく、AIS による推定、既存手法による推定ともに推定の安定性に基づくベクトル成分に分けて重みづけ統合をしたためである。

4. まとめ

本研究では内航船の主要な航路である黒潮沿岸海域を対象に、AIS で取得できる船舶運航情報から船舶偏流を推定する手法を提案し、精度検証を行ったところ、既存手法より良好な推定値を得た。AIS のみでの推定は元データの少なさから推定不能な海域があるため、既存海潮流推定と統合する手法を提案し検証したところ、既存の推定より相関が改善し、かつ推定不能な海域のない偏流推定を得ることができた。今後の社会実装に向け、パートナーを募集している。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 26420837, 17K06973 の助成を受けて実施したものであり、感謝の意を表します。

参考文献

1) 小林充：AIS による黒潮沿岸域における船舶偏流の推定、日本船舶海洋工学会論文集, vol. 28, 2018.