

漂流予測プログラム Ver 6.0 の紹介[†]

浅原悠里*, 東 吉一*, 森岡裕詞*, 入澤沙弥*, 増山昭博*

On the drift prediction program version 6.0[†]

Yuri ASAHARA*, Yoshikazu HIGASHI*, Hiroshi MORIOKA*, Saya IRISAWA*, and Akihiro MASUYAMA*

Abstract

In order to comply with IAMSAR manual (IAMSAR : The International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual) that is the international standard of search and rescue activities, Japan Coast Guard has constructed the drift prediction program Ver 6.0.

In this paper, we report the main features of the drift prediction program Ver 6.0, especially the calculation method by drift error and double-track scheme in accordance with the IAMSAR manual.

1 はじめに

海上保安庁における遭難船舶・遭難者の捜索のための漂流予測は、1985年に構築された捜索区域設定の計算機能に端を発し、2013年の漂流予測プログラム Ver 5.1（以下、Ver 5.1という）に至るまで改良が重ねられてきた（斉藤，2011）。並行して、2001年に大幅な改正がなされた、捜索救助活動の国際標準とされている国際航空海上捜索救助マニュアル（International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual。以下、IAMSAR マニュアルという）に準拠すべく検証が進められてきた（福島，2006）。

2013-2014年にかけて、海洋情報部環境調査課（以下、環境調査課という）と警備救難部救難課（以下、救難課という）で連携して IAMSAR マニュアルを実用化する体制が整えられ、漂流予測の計算を環境調査課が、捜索区域の設定支援を

救難課が担当し、漂流予測の計算から捜索区域の設定支援まで一連の手順で算出することが可能となった。

本稿では、今回構築した漂流予測プログラム Ver 6.0（以下、Ver 6.0という）の改修部分を中心に、新規に追加及び改良した機能について報告する。

2 海上風・海流メッシュの範囲の拡大

漂流予測では、漂流物の種類、漂流開始時刻、漂流開始位置を漂流予測計算のためのサーバー（以下、漂流予測サーバーという）に入力し、メッシュデータとして与える海上風と海流によって漂流物の漂流経路をシミュレーションする。そのため、海上風及び海流のメッシュデータが漂流予測の信頼性を決める主要な要素となる（環境調査課，2012）。

[†] Received September 19, 2014; Accepted November 13, 2014

* 環境調査課 Environmental and Oceanographic Research Division

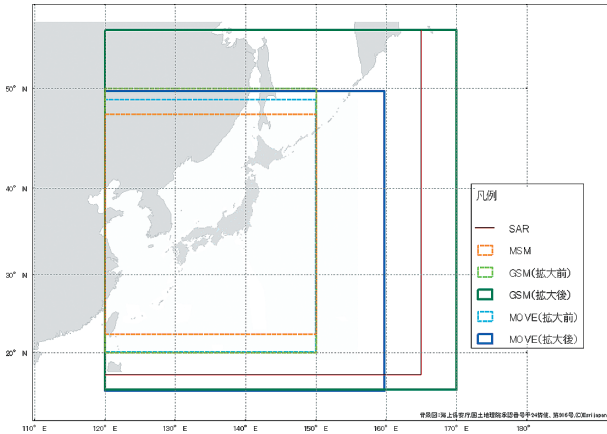


Fig. 1. Marine area of the Agreement between the Government of the United States of America and the Government of Japan on Maritime Search and Rescue (U.S.-Japan SAR Agreement), the data range of ocean wind (GSM, MSM) and ocean current (MOVE).

図 1. 日米 SAR 協定に定められた海域、海上風 (GSM, MSM) 及び海流 (MOVE) のデータの範囲。

海上風の予報値は気象庁からメソ数値予報モデル (Meso Spectral Model. 以下, MSM という) と全球数値予報モデル (Global Spectral Model. 以下, GSM という) が送られてきており, これに別途入手する観測データを加えてメッシュデータを作成している。海流の実況値も海上風と同様に気象庁から海流解析格子点データ (MOVE/MRI. COM-WNP. 以下, MOVE という) が送られてきており, これに人工衛星高度計から計算する地衡流データ, 管区海上保安本部で独自に作成する海流データ, さらに別途入手する観測データを加えてメッシュデータを作成している。

今回, 日本国政府とアメリカ合衆国政府との間の海上における捜索及び救助に関する協定(以下, 日米 SAR (Search and Rescue) 協定という) の海域まで漂流予測計算を可能にするため, これまでより広範囲の GSM 及び MOVE のデータの提供を受けることとなった (Fig. 1)。

3 漂流予測計算の高度化

3.1 吹送流の計算

海上風によって発生する吹送流の推定についてはこれまでも検証されてきた (吉・他, 2001; 寄

高・他, 2001)。

Ver 6.0 では, 陸地や海底の影響が大きく吹送流が計算できないと考えられる海域, つまり吹送流除外海域を見直し, 東京湾, 大阪湾, 対馬, 津軽, 八重山, 沖縄を除く内海と再定義した。その他の海域では, 吹送流が海面を浮遊する物体の漂流経路に影響を与えることになる。実際に漂流予測計算が開始されると過去 48 時間分の海上風メッシュデータが読み込まれ, エクマンの吹送流の理論に基づいて吹送流計算が実施される。

エクマンの吹送流は定常に達すると, 海面では風向に対して右方向に 45 度の角度をなして流れ, 海面下では深さとともに右回りに螺旋状に流向を変えながら流速は深さ方向に急速に減衰していく (宇野木・久保田, 1996)。よって, Ver 6.0 では漂流物の構造に応じて, 影響を受ける吹送流の深度を設定している (Table 1)。

なお, 通常の漂流予測計算時では吹送流を加味した設定としているが入力画面にて無効化することも可能である。

3.2 風圧流偏角

風圧流偏角の導入についてはこれまでも議論されてきたが, 検索範囲が大きくなること, 検証が十分でなかったことから取り入れるには至っていなかった。Ver 6.0 を構築するにあたり環境調査課と救難課では, 検索区域に対する影響よりもアメリカ, カナダ, イギリス等世界各国の標準に合わせることを重視したため, 今回初めて風圧流偏角の概念を取り入れることとなった。

風圧流とは, 水面上に現れた漂流物の構造が海上風を受けて移動する物体の運動を指す。風圧流のベクトルと全海面流と呼ばれる海流, 潮流, 吹送流等の総合的な流れのベクトルを合成することにより, 海面を浮遊する漂流物の漂流経路が表される (福島, 2006)。

実際には漂流物が風によって流される際に, 風下方向から若干外れて流される傾向が知られており, この風向と風圧流による漂流方向がなす角度を風圧流偏角という。これは漂流物の構造が水面

Table 1. List of parameters dependent on drifting matters.

表 1. 漂流物に依存する設定値のリスト.

種類	風圧流偏 (±) (度)	吹送流の 深度(m)	風圧流の速度誤差(Lwe) (ノット)	備考 (IAMSARマニュアルとの対応)
原油	0	0.5	0.1	
ガソリン	0	0.5	0.1	
ナフサ	0	0.5	0.1	
A重油	0	0.5	0.1	
C重油	0	0.5	0.1	
人(救命具装着)	30	0.5	0.2	非直立状態を仮定
人(救命具なし)	30	0.5	0.1	非直立状態を仮定
サーフボード上の人	15	0.5	0.1	サーフボード扱い
板	15	0.5	0.1	樽樺船(V字底・水船状態)扱い
水船	15	0.5	0.1	樽樺船(V字底・水船状態)扱い
転覆船	10	0.5	0.25	漁船の残骸扱い
伝馬船	20	0.5	0.1	樽樺船(平底)扱い
ゴムボート	20	0.5	0.1	樽樺船(平底)扱い
救命筏	15	0.5	0.2	バラストあり・天幕あり・海錨使用
救命艇	20	0.5	0.1	樽樺船(平底)扱い
プレジャーボート	20	0.5	0.1	スポーツフィッシングボート扱い
レスキューブイ	0	0.5	0.1	
カヌー・シーカヤック	15	0.5	0.1	
漁船(5トン未満)(満載)	20	0.5	0.1	スポーツフィッシングボート扱い
漁船(5トン未満)(半載)	20	0.5	0.1	※
漁船(5トン未満)(空船)	20	0.5	0.1	※
漁船(5~150トン)(満載)	50	0.5	0.25	延縄漁船(30m未満)扱い
漁船(5~150トン)(半載)	50	0.5	0.25	※
漁船(5~150トン)(空船)	50	0.5	0.25	※
漁船(150~500トン)(満載)	50	3	0.35	商用漁船(船形不明30m未満)扱い
漁船(150~500トン)(半載)	50	3	0.35	※
漁船(150~500トン)(空船)	50	3	0.35	※
漁船(500トン以上)(満載)	50	3	0.35	商用漁船(船形不明30m未満)扱い
漁船(500トン以上)(半載)	50	3	0.35	※
漁船(500トン以上)(空船)	50	3	0.35	※
フェリー(5~50トン)(満載)	50	0.5	0.35	商用漁船(船形不明30m未満)扱い
フェリー(5~50トン)(半載)	50	0.5	0.35	※
フェリー(5~50トン)(空船)	50	0.5	0.35	※
フェリー(50~500トン)(満載)	50	3	0.35	商用漁船(船形不明30m未満)扱い
フェリー(50~500トン)(半載)	50	3	0.35	※
フェリー(50~500トン)(空船)	50	3	0.35	※
フェリー(500~10000トン)(満載)	50	3	0.35	商用漁船(船形不明30m未満)扱い
フェリー(500~10000トン)(半載)	50	3	0.35	※
フェリー(500~10000トン)(空船)	50	3	0.35	※
フェリー(10000トン以上)(満載)	50	3	0.35	商用漁船(船形不明30m未満)扱い
フェリー(10000トン以上)(半載)	50	3	0.35	※
フェリー(10000トン以上)(空船)	50	3	0.35	※
貨物船(満載)	50	3	0.25	沿岸貨物船(30m未満)扱い
貨物船(半載)	50	3	0.25	※
貨物船(空船)	50	3	0.25	※

※半載・空船は満載と同等に扱う

上と水面下とで形状が異なることにより生じる(稲田, 2012). 模式図を Fig. 2 に示している.

漂流物毎の風圧流偏角は IAMSAR マニュアルに付属する表に掲載されているが, 表に掲載されている漂流物と海上保安庁で想定している漂流物

とは必ずしも一致しないため, 海上保安庁の仕様に合わせて偏角を再設定した (Table 1).

3.3 単線方式と複線方式

漂流物が油以外の場合には風圧流偏角をもつ,

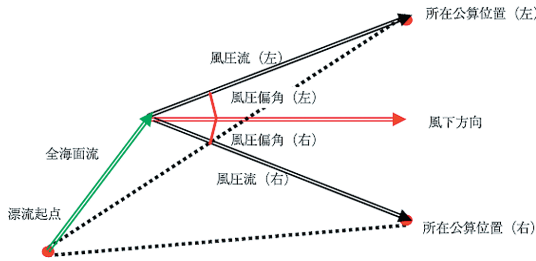


Fig. 2. Movement of drifting matters (excerpt from Fukushima, 2006).

図 2. 漂流物の移動 (福島, 2006 より引用).

という考え方を取り入れたため、漂流物の流下方向の決定には海上風の風向に対して左右の偏角を与えて、漂流物が左右へ偏向した二通りの漂流経路を取るよう設定した (Fig. 2). このように偏角を加味した計算方式を複線方式, Ver 5.1 で採用していた偏角を考慮しない計算方式を単線方式と呼んでいる.

Ver 6.0 では、単線方式と複線方式のいずれの計算も行えるよう入力画面で選択式としている.

3.4 拡散誤差と漂流誤差

漂流予測計算の誤差の考え方として Ver 5.1 では拡散誤差を、Ver 6.0 では拡散誤差に加えて漂流誤差の計算を可能とした.

Ver 5.1 では、乱流による拡散の概念係数を取り入れ、乱数と拡散係数を設定すると同時に漂流予測計算を 1 万回の漂流物を流し試行することで、漂流物の分布予測範囲を広がりのある表示とし、漂流物の存在確率を 60%, 30%, 10% と色分けして表現していた (齊藤, 2011).

一方で Ver 6.0 では、油を除いて漂流予測計算の試行回数を 1 回とし、単線方式または複線方式にて漂流経路を算出している. これに誤差の要素を取り入れ、拡散誤差もしくは漂流誤差から存在予測範囲を表す円の大きさを算出している. なお、油に関しては関係部署からの要望があり、Ver 5.1 の機能を移植し試行回数 1 万回の漂流物による計算方式を採用している.

まず、Ver 6.0 での拡散誤差では Ver 5.1 の拡散係数を取り入れた考え方に従い、漂流物の存在予

測範囲を算出している. 拡散誤差による漂流物の存在予測範囲 $Vd(i)$ は (1) の式で表現される.

$$Vd(i) = \beta \times Div(i) \times \sqrt{t(i)} \quad (1)$$

ここで β は円の大きさを設定する係数であり、 $Div(i)$ は海域 i における拡散速度を、 $t(i)$ は海域 i における漂流物の漂流時間を示している. β は任意に変更可能であり、現在は試行回数 1 万回の漂流物が 99% 以上存在するよう 4.5 に設定している. $Div(i)$ については海域 i における拡散係数 $Di(i)$ を用いて (2) の式で算出される.

$$Div(i) = \sqrt{\frac{Di(i)}{\pi}} \quad (2)$$

$Di(i)$ については海域毎に異なる値が設定されており、漂流物が拡散係数の異なる海域を跨って漂流する場合、使用する拡散係数が計算途上で変化する.

次に、漂流誤差では漂流経路を求める風や海流のデータは推定値であり、その推定過程に多くの誤差が含まれているという考え方から、(3) の式を用いて漂流誤差による存在予測範囲 De が算出される.

$$De = DVe \times t \quad (3)$$

ここで DVe は漂流速度誤差である. t は漂流開始からの計算時間を表し、 De は時間に比例して大きくなるのがわかる. DVe は海上風、全海面流、風圧流の誤差に基づき、(4) の式から計算される.

$$DVe = \alpha \times \sqrt{ASWDVe^2 + TWCE^2 + LWE^2} \quad (4)$$

ここで $ASWDVe$ は平均風速の確率誤差に起因する速度誤差を、 $TWCE$ は全海面流の速度誤差を、 LWE は風圧流の速度誤差を指す. また、 α は任意に設定変更可能な係数であるが、現在は IAMSAR マニュアルに従い、存在確率 50% となるよう 1.0 に設定している. 同様に、 $ASWDVe$ は 0.5kt、 LWE は、漂流物の種類毎に設定している (Table 1). この中で、 $TWCE$ については下記の (5) の式で表現される.

$$TWCe = \sqrt{TCe^2 + SCe^2 + WCe^2 + OWCe^2} \quad (5)$$

TCe は潮流の速度誤差を, SCe は海流の速度誤差を, WCe は吹送流の速度誤差を, OWCe は「その他の流れ」の速度誤差を指す. これらについては, IAMSAR マニュアルに基づき各 0.3kt と設定している.

Ver 6.0 では, 単線方式と複線方式, 拡散誤差と漂流誤差が選択式となっていることから, 4 通りの漂流予測計算が可能であり, 逆漂流予測も同様である. 例として単線方式かつ拡散誤差, 単線方式かつ漂流誤差, 複線方式かつ拡散誤差, 複線方式かつ漂流誤差の 4 通りの計算を実施し, それぞれ漂流物が 3 時間後及び 6 時間後の結果を Fig. 3 に示している.

4 機能の追加及び改良

4.1 現場値の取り込み機能の改良

漂流予測の精度を向上させるためには, 推定値だけではなく当該現場の観測データ, つまり現場値の活用が重要である. 一方で現場値には, 潮流, 吹送流及び風圧流並びに波の要素が加味されているため, これらの影響を除去する必要がある. 今回, 観測機器から自動で潮流, 吹送流及び必要に応じて風圧流の影響を除去し, 真に漂流予測計算に寄与する海流データを取り入れる仕様とした. なお, 波についてはその影響に関する研究も進んでいるが(原・他, 2004), 風圧流計算に波の効果も含まるという考えを採用していることから対応はしていない.

Ver 6.0 では, 現場値として海流データが登録可能な観測機器は, 超音波多層流向流速計 (Acoustic Doppler Current Profiler. 以下, ADCP という), 沿岸域用漂流ブイ, レスキューブイ及び短波レーダである. ADCP からは潮流及び深度 10 m の吹送流, 沿岸域用漂流ブイからは潮流及び深度 3 m の吹送流, レスキューブイからは潮流, 深度 0.5 m の吹送流及び風圧流, 短波レーダからは潮流及び深度 0.5 m の吹送流の影響を取り除く必要がある. 各観測機器による値の入力後, リア

ルタイムで吹送流や風圧流を算出し入力値から除去する. これにより得られた海流データを用いて漂流予測計算を行う. レスキューブイに関しては, 位置情報が記録された複数のファイルから自動で流向と流速を算出する機能が備えられている.

4.2 海況リアルタイムデータベースとの連携

海況リアルタイムデータベースとは, 海上保安庁の巡視船, 測量船や他機関から入手した観測データを集積し, 漂流予測計算に用いられる海流のメッシュデータを作成するデータベースである(寄高, 2002). 海況リアルタイムデータベースが観測データを処理する際の補助的な機能として, 吹送流メッシュファイルの作成及び風圧流メッシュファイルの作成を追加した.

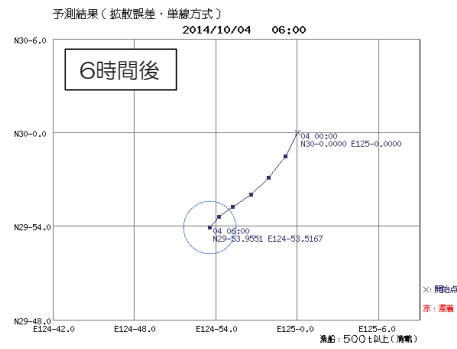
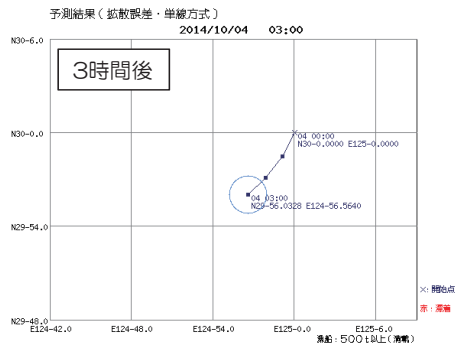
漂流予測サーバーでは, 3.1 節と同様の理論を用いて過去 48 時間分の海上風予報値から深度 0.5 m, 3 m, 10 m の 3 種類の吹送流ファイルを計 7 時間分 (過去 3 時間, 予報 4 時間), 3 時間毎に更新する. 海況リアルタイムデータベースは, 観測機器に応じて適した深度の吹送流メッシュファイルを自動で取得し吹送流の影響を除去した海流データを算出する.

海況リアルタイムデータベースで処理する観測機器のうち, レスキューブイについては吹送流に加えて風圧流の影響を除去する必要がある. そのため, 漂流予測サーバーの特定のディレクトリにレスキューブイデータが配置された場合, レスキューブイデータから算出した, 漂流経路に沿った風圧流を自動で計算し風圧流メッシュファイルを作成する. 風圧流メッシュファイル及びレスキューブイデータは海況リアルタイムデータベースへ自動で送信し, 海況リアルタイムデータベースで風圧流の影響を除去した海流データを算出する.

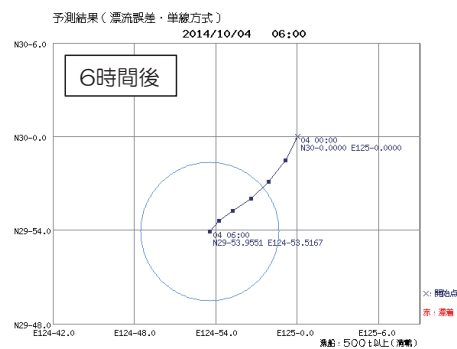
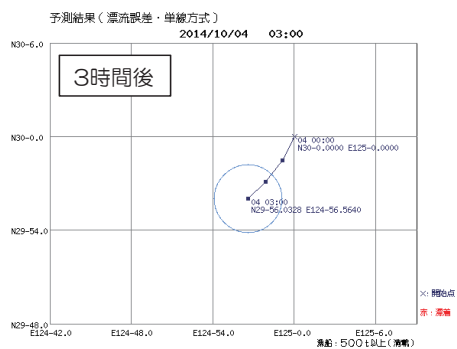
4.3 出力機能の改良

Ver 5.1 では, 漂流予測計算の結果を出力する場合はテキストデータだけであった. Ver 6.0 では, 検索区域の設定を支援するシステムとの連携

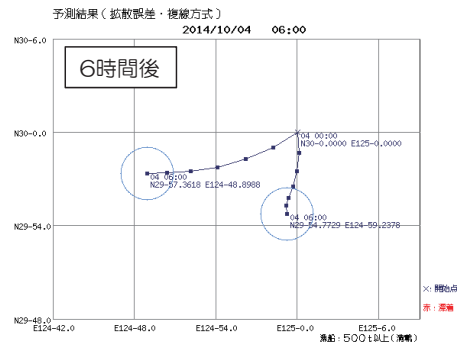
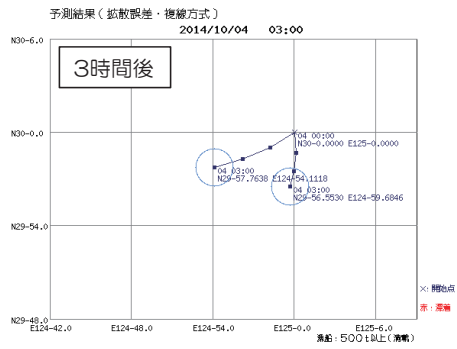
① 単線方式＋拡散誤差



② 単線方式＋漂流誤差



③ 複線方式＋拡散誤差



④ 複線方式＋漂流誤差

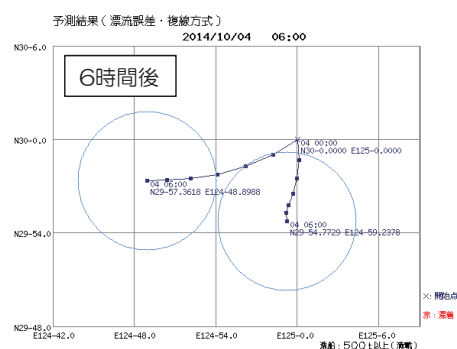
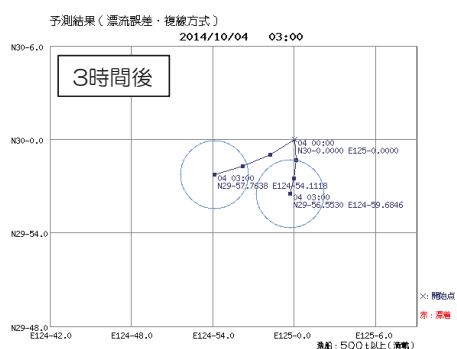


Fig. 3. The results of the drift prediction program Ver 6.0. It is set to be calculated using single-track scheme and diffusion error (first panel), single-track scheme and drift error (second panel), double-track scheme and diffusion error (third panel) and double-track scheme and drift error (fourth panel). Each drifting matter is shown 3 hours after (left) and 6 hours after (right).

図3. Ver 6.0の漂流予測結果. 上から, 単線方式かつ拡散誤差(1番目), 単線方式かつ漂流誤差(2番目), 複線方式かつ拡散誤差(3番目), 複線方式かつ漂流誤差(4番目)を採用した. それぞれ, 漂流物が3時間後(左)及び6時間後(右)を示している.

が重視されたことから、単線方式または複線方式の計算結果をシェープファイルで出力する機能を追加した。漂流予測計算の実施後「shape出力」にて漂流開始点の座標と漂流中心点の座標をつなぐラインデータ及び漂流予測対象物の存在確率毎の範囲を表すポリゴンデータが圧縮ファイルで出力され、検索区域の設定を支援するシステムに入力することができる。また、地理情報システム(GIS)で読み込みその他の関連する任意のデータとの重ね合わせ表示等も可能である。

5 おわりに

今回の改修で拡散誤差と漂流誤差の同時算出や吹送流の厳密な計算を実現したことにより、サーバの負荷が増加し処理速度の低下といった課題が生じた。実運用開始後も引き続き課題の抽出を行い、漂流予測の高度化を図るべく検討を進めていきたい。

謝 辞

漂流予測の計算範囲を拡大するにあたり、GSM及びMOVEのデータ範囲の拡大にご対応いただきました気象庁予報部数値予報課、地球環境・海洋部地球環境業務課及び海洋気象課の皆様、IAMSARマニュアルの解説からVer 6.0の構想にご協力くださいました警備救難部救難課の関係各位、そして原稿を読み込んでいただき、示唆に富んだご指摘をくださった匿名の査読者に心から感謝の意を表します。

文 献

福島繁樹(2006)漂流予測の高度化のための基礎調査～風圧流と偏角について～, 海洋情報部技報, 24, 107-115.
原 正一, 谷澤克治, 山川賢次, 星野邦弘, 湯川和浩, 長谷川純, 上野道雄, 南真紀子, 桐谷伸夫, 大松重雄, 猿田俊彦, 岡本三千朗(2004)荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究, 海上技術安全研究所報告4(2), 147-303.

稲田健二(2012)海上捜索の理論と実践, 242pp., 三恵社, 名古屋.
環境調査課(2012)漂流予測, 海洋情報部研究報告, 49, 50-56.
斉藤茂幸(2011)最新の漂流予測プログラムの概要について, 海洋情報部技報, 47, 22-26.
宇野木早苗・久保田雅久(1996)風に伴う循環, 海洋の波と流れの科学, pp.125-133, 東海大学出版会, 東京.
寄高博行・橋間武彦・工藤宏之(2001)相模湾における漂流実験と吹送流について, 水路部技報, 19, 55-60.
寄高博行(2002)漂流予測手法の高度化に関する研究, 水路部研究報告, 38, 43-46.
吉宜好・寄高博行・橋間武彦(2001)大阪湾漂流計算プログラムの改良について, 水路部技報, 19, 69-76.

要 旨

海上保安庁では、捜索救助活動の国際標準とされているIAMSARマニュアルに準拠するため、漂流予測プログラムVer 6.0を構築した。

本稿では、IAMSARマニュアルに則り、新たに取り入れた複線方式や漂流誤差による計算手法を中心に、漂流予測プログラムVer 6.0の主な機能について報告する。