

(3) 太平洋沿岸域発生ゴミの漂流検討

漂流・漂着ゴミの問題は、日本近海に限った問題ではなく、地球規模の問題とされている。日本起源のゴミも日本沿岸及び周辺諸国だけでなく、地球規模の海流や風に運ばれると考えられ、実際に北太平洋に点在する諸島において、日本起源とされるゴミが漂着している事実が明らかになってきた。また、数値シミュレーションによって特定の海域に漂流ゴミが集中するという北太平洋ゴミベルト地帯の存在も言われている。

ここでは、日本の太平洋沿岸域で発生したゴミが、どのくらい割合で太平洋(計算領域外)へ流出するかを東シナ海モデルを用いて検討した。

1) 計算条件

外力

漂流・漂着予測計算に用いた外力データ(流動、風)は前項と同様である。

計算期間

計算期間は、図- 2.3.20 に示すとおり3年間とする。

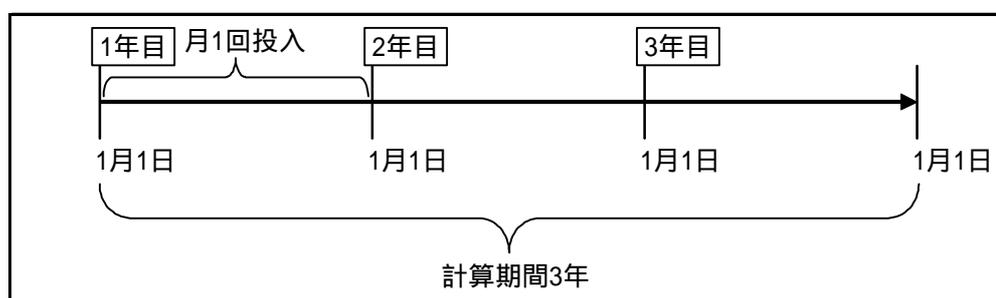


図- 2.3.20 計算期間

ゴミの投入条件

(i) 投入位置

太平洋沿岸の都道府県の代表として、鹿児島県、高知県、千葉県沿岸から発生したゴミを想定し、図- 2.3.21 に示す位置(各県 20 格子分)においてゴミを投入した。

(ii) 投入量

投入頻度は、計算1年目に月1回(各月1日)投入した。

(iii) 沈下率

沈下率は、様々な形態のゴミを想定して、空中:水中断面積比が 100:1、10:1、1:1、1:2、0:1 の5ケースとした。

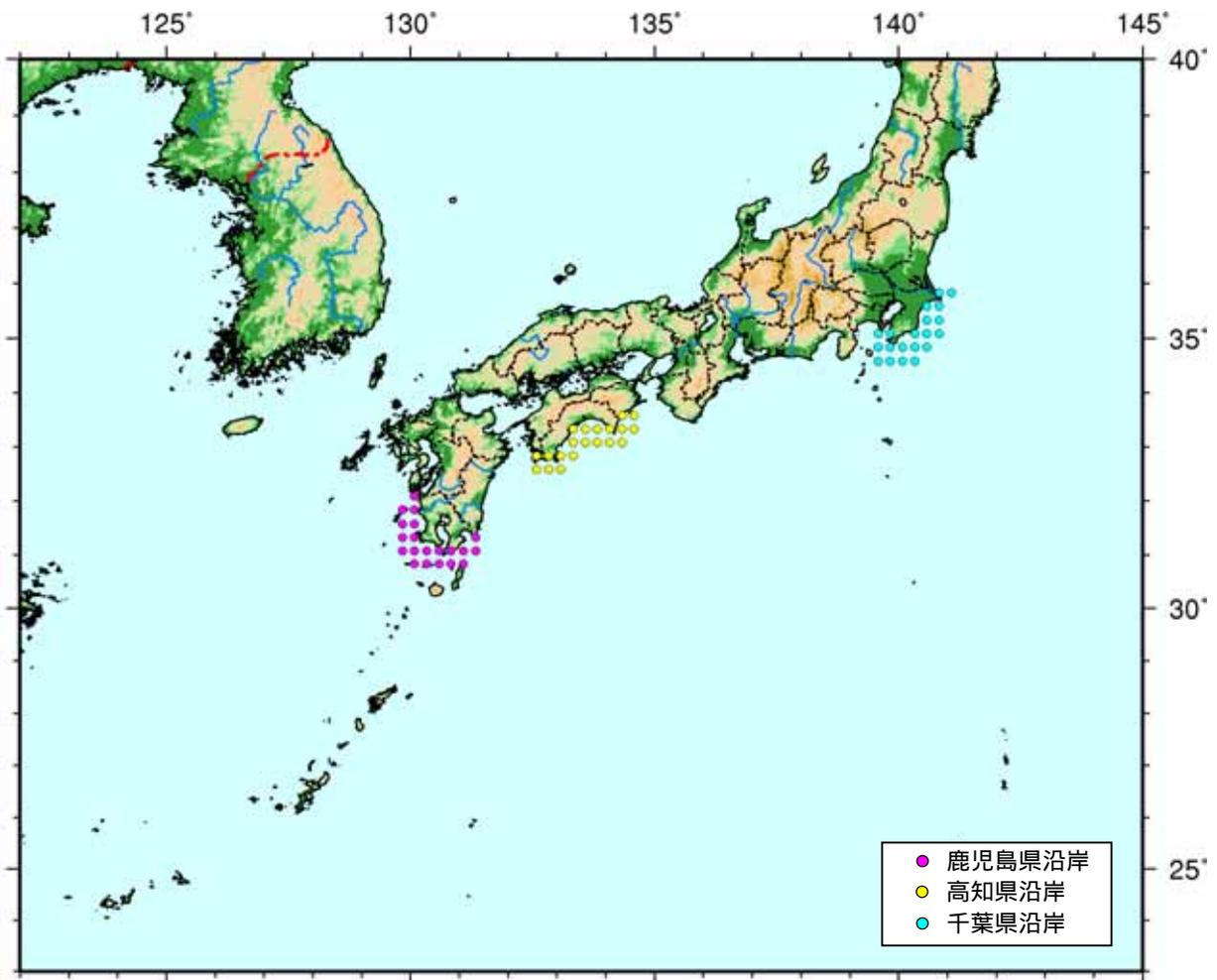


図- 2.3.21 ゴミの投入位置

2) 計算結果

計算結果として、沈下率別、投入県別の流出割合(計算領域外への流出)を図- 2.3.22 に、投入月別の流出割合を図- 2.3.23 に示す。また、各ケースの漂流経路を図- 2.3.24 に示す。

空中断面積比が大きいほど流出割合が低くなる傾向が見られるが、高知県は沈下率に関わらず50%程度の流出割合であった。千葉県は境界に近いために、他の県に比べて流出割合が高かった。

投入月別の流出割合を見ると、冬季に投入したものが流出する割合が大きく、夏季に投入したものは流出割合が小さい傾向が見られ、空中断面積比の大きいものほどその傾向は顕著であった。これは季節風の影響と考えられ、夏季に投入したものは、南風で沿岸に漂着しやすく、逆に冬季には南側へ流出しやすいためである。

次に、漂流経路に着目する。鹿児島県沿岸に投入したゴミは、南側と東側の両境界から流出している。空中断面積比が小さくなるにつれて、東側から流出するものが多くなっている。高知県沿岸に投入したゴミも同様の傾向であるが、鹿児島県に比べて東側から流出するものが多い。千葉県沿岸に投入したゴミは、沈下率 100:1 のものを除いて全て東側の境界から流出している。

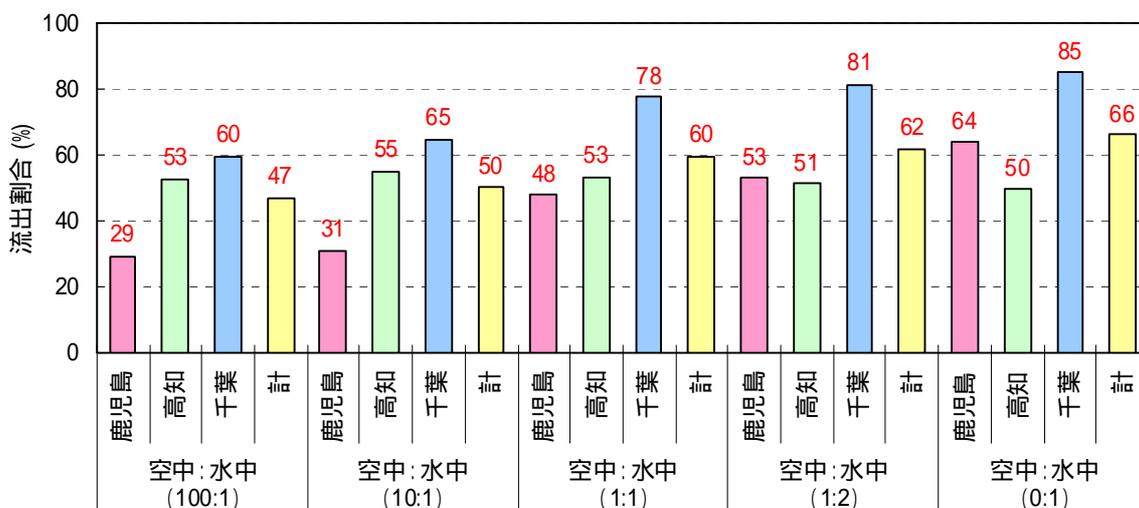


図- 2.3.22 流出割合

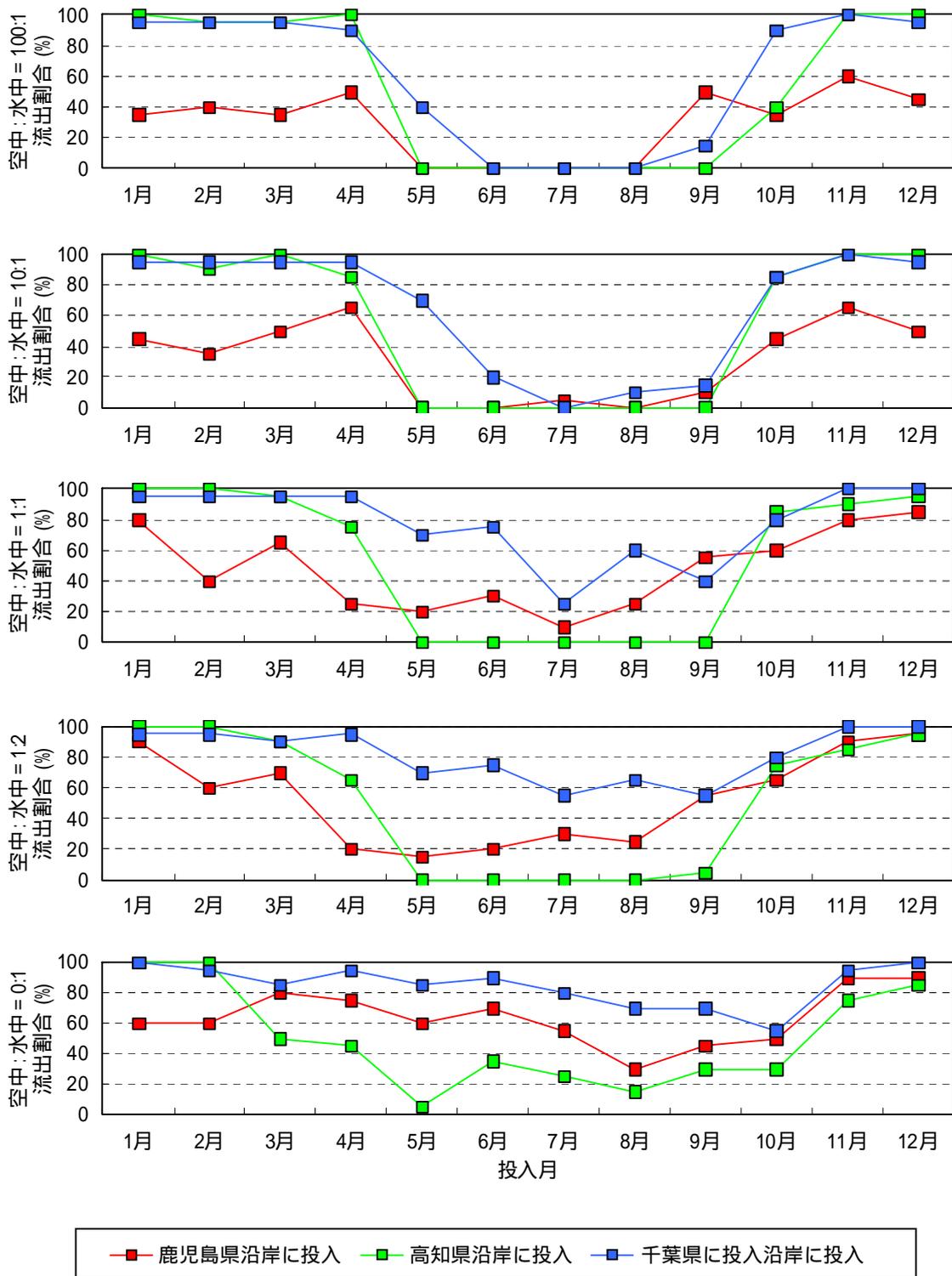


図- 2.3.23 投入月別流出割合

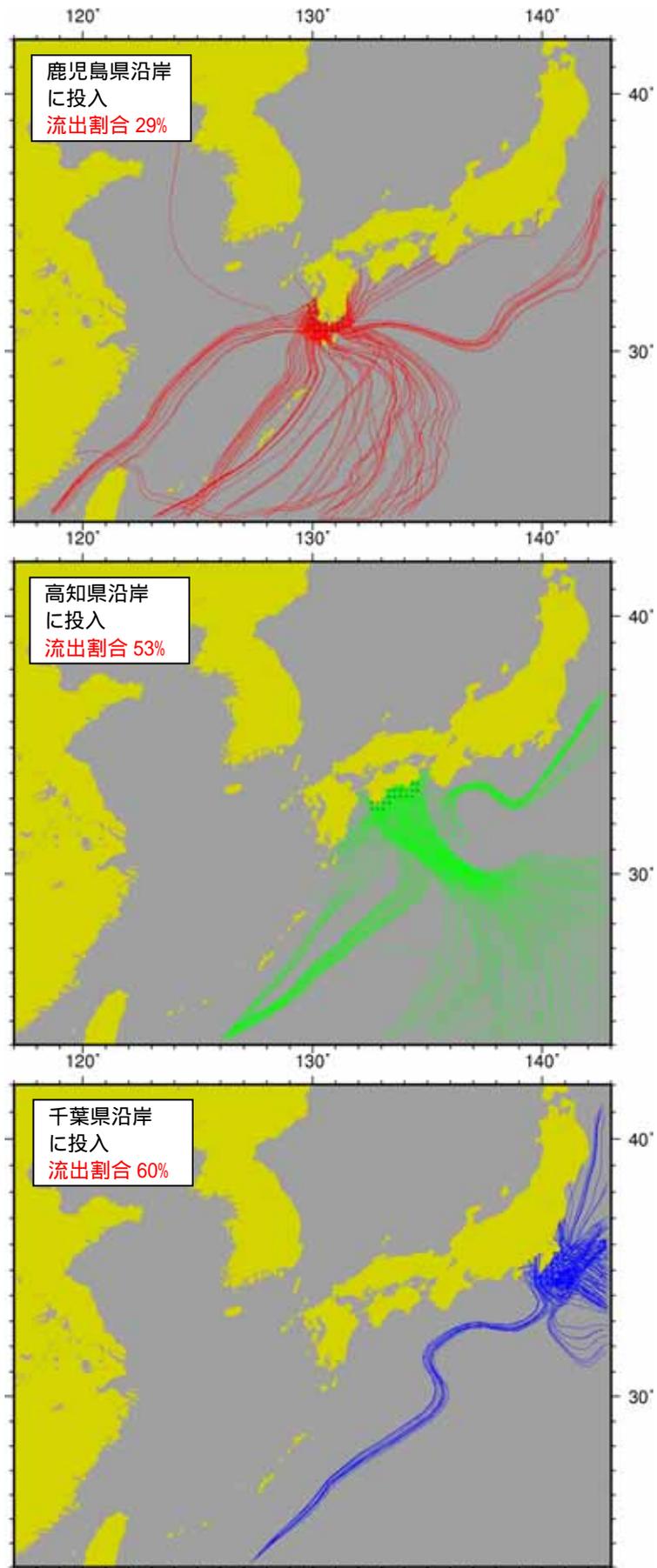


図- 2.3.24(1) 漂流経路(空中:水中 = 100:1)

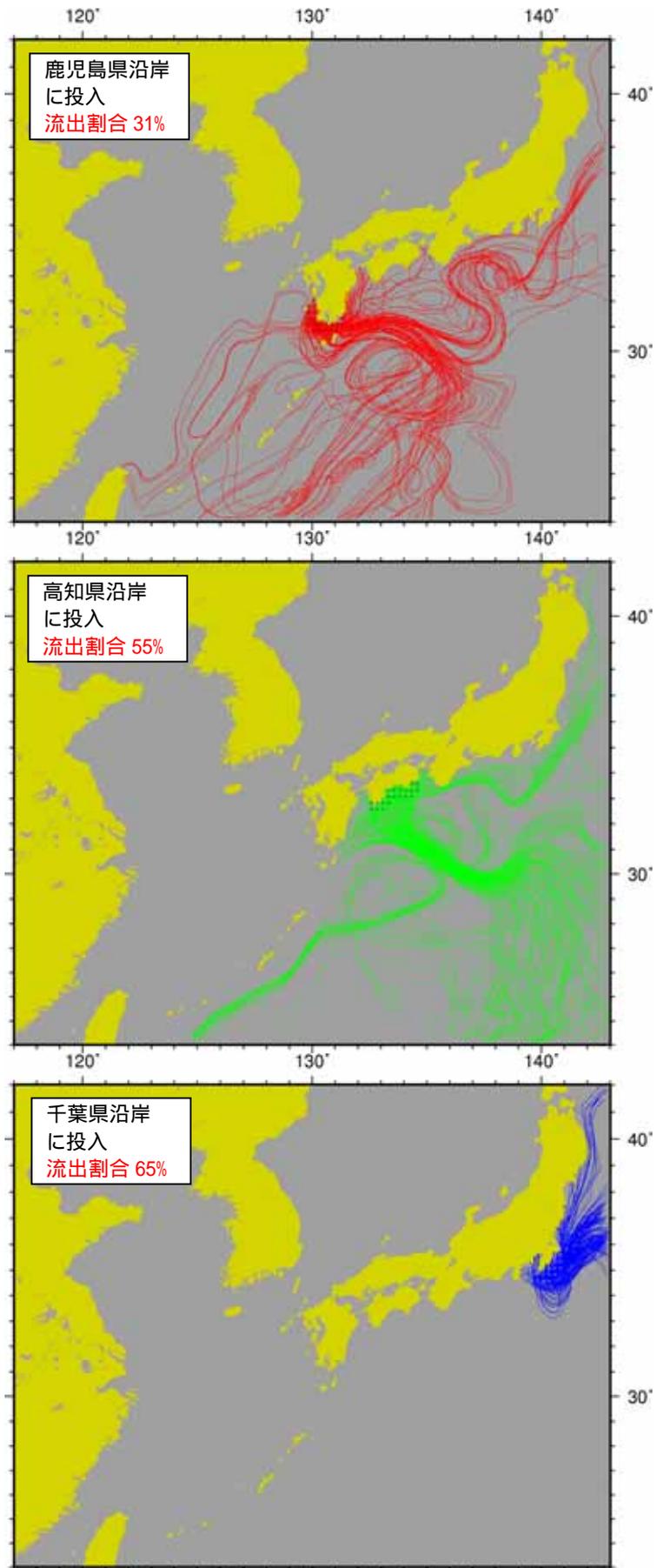


図- 2.3.24(2) 漂流経路(空中:水中 = 10:1)

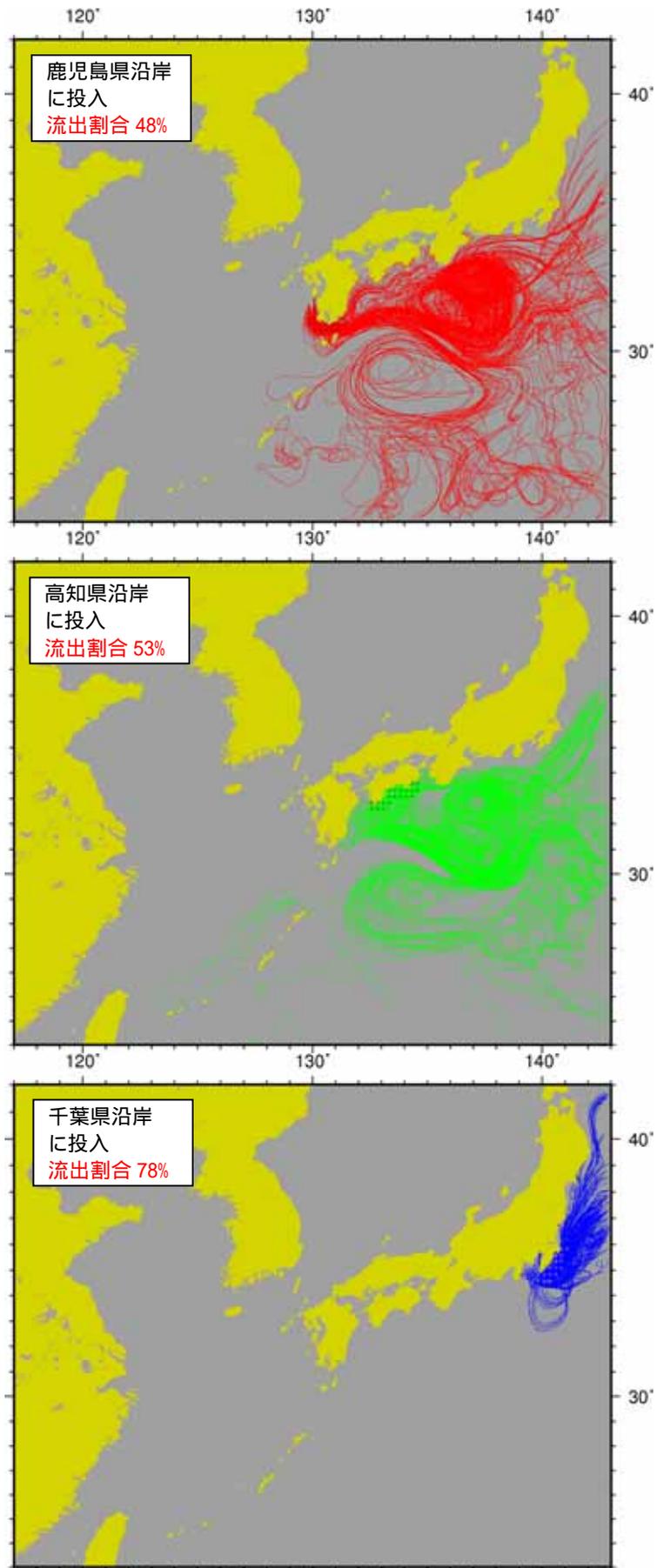


図- 2.3.24(3) 漂流経路(空中:水中 = 1:1)

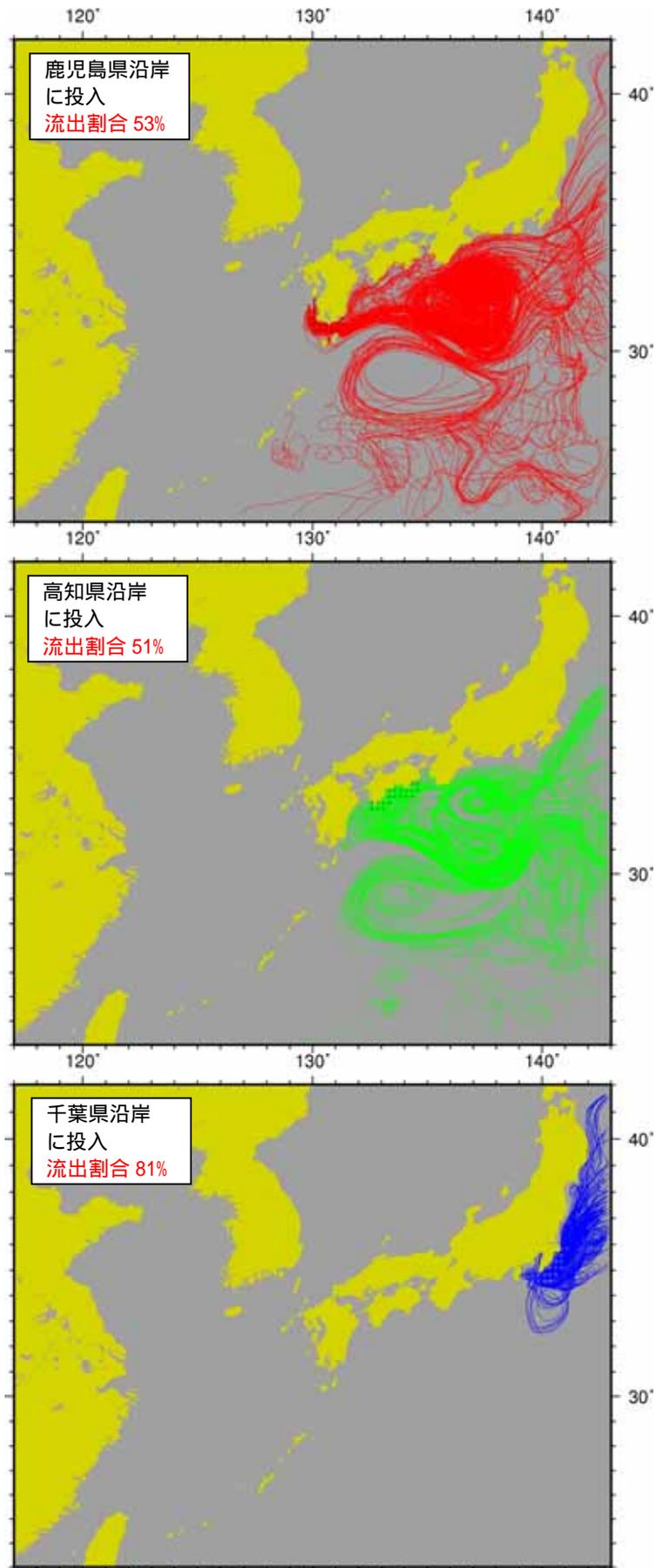


図- 2.3.24(4) 漂流経路(空中:水中 = 1:2)

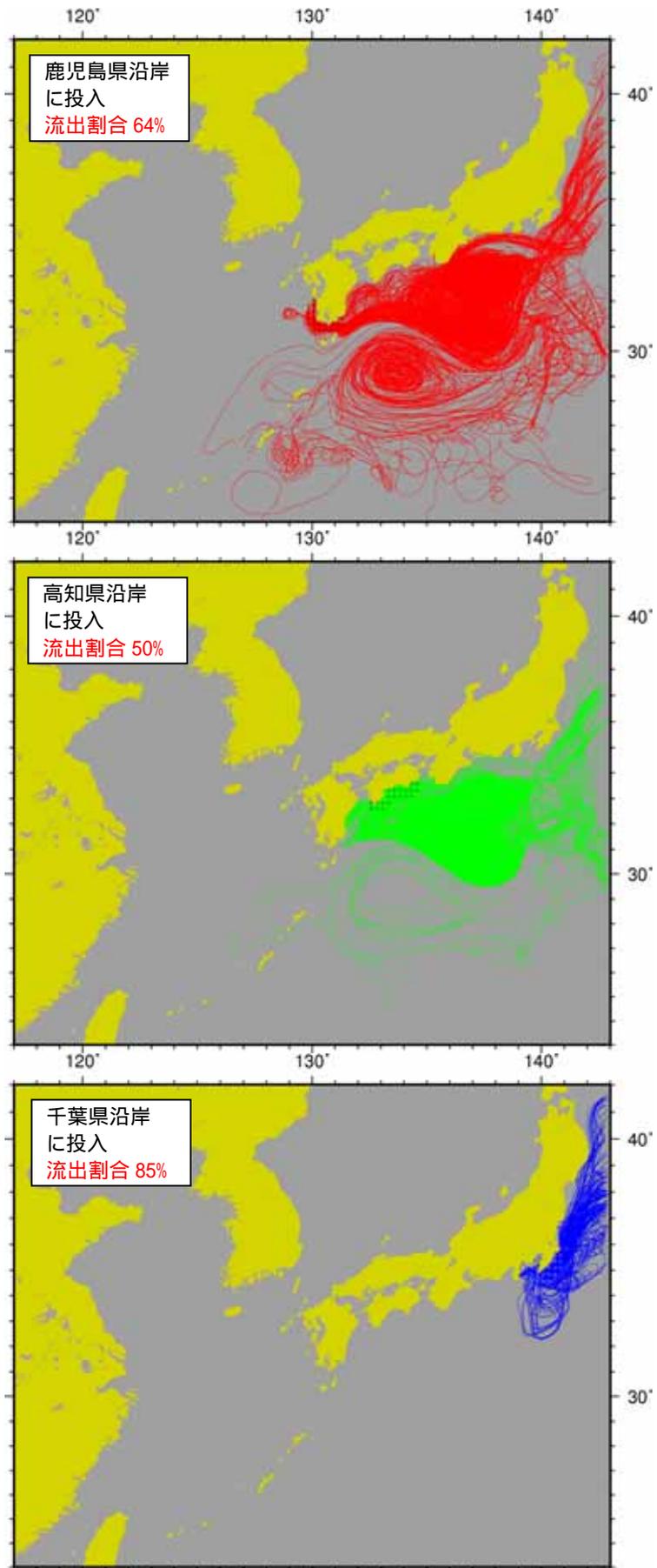


図- 2.3.24(5) 漂流経路(空中:水中 = 0:1)

(4) 韓国沿岸域発生ゴミの漂流検討

近年、韓国沿岸から発生したと推定されるハングル表記のゴミが、南西諸島に漂着していることが分かってきた。平成 20 年 2 月には奄美の喜界島でハングル表記のポリ容器が数百個回収されている。

東シナ海の流動の概況は、季節によって多少の変動はあるものの、台湾近海から対馬海峡へ向かって北上する対馬暖流があるために、基本的には南から北への流動場となっており、韓国から南西諸島への向きとは逆向きである。しかし、風速場には季節変動があり、夏季と冬季で全く風向が異なる(参考資料-1 参照)。

このような流動・気象条件下で、韓国沿岸から発生したゴミが、どの季節に、どのような経路で南西諸島に漂流してくるか、その漂流特性を把握するために東シナ海モデルを用いて検討した。

1) 計算条件

外力

漂流・漂着予測計算に用いた外力データ(流動、風)は前項と同様である。

計算期間

計算期間は、図- 2.3.25 に示すとおり 3 年間とする。

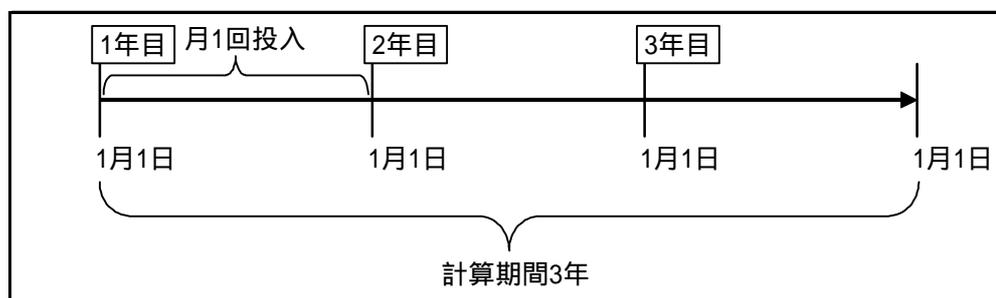


図- 2.3.25 計算期間

ゴミの投入条件

(i) 投入位置

投入位置は、図- 2.3.26 に示すとおりである。韓国沿岸を 3 つに区分して色分けした。

(ii) 投入量

投入頻度は、計算 1 年目に月 1 回(各月 1 日)投入した。

(iii) 沈下率

沈下率は、様々な形態のゴミを想定して、空中:水中断面積比が 100:1、10:1、1:1、1:2、0:1 の 5 ケースとした。

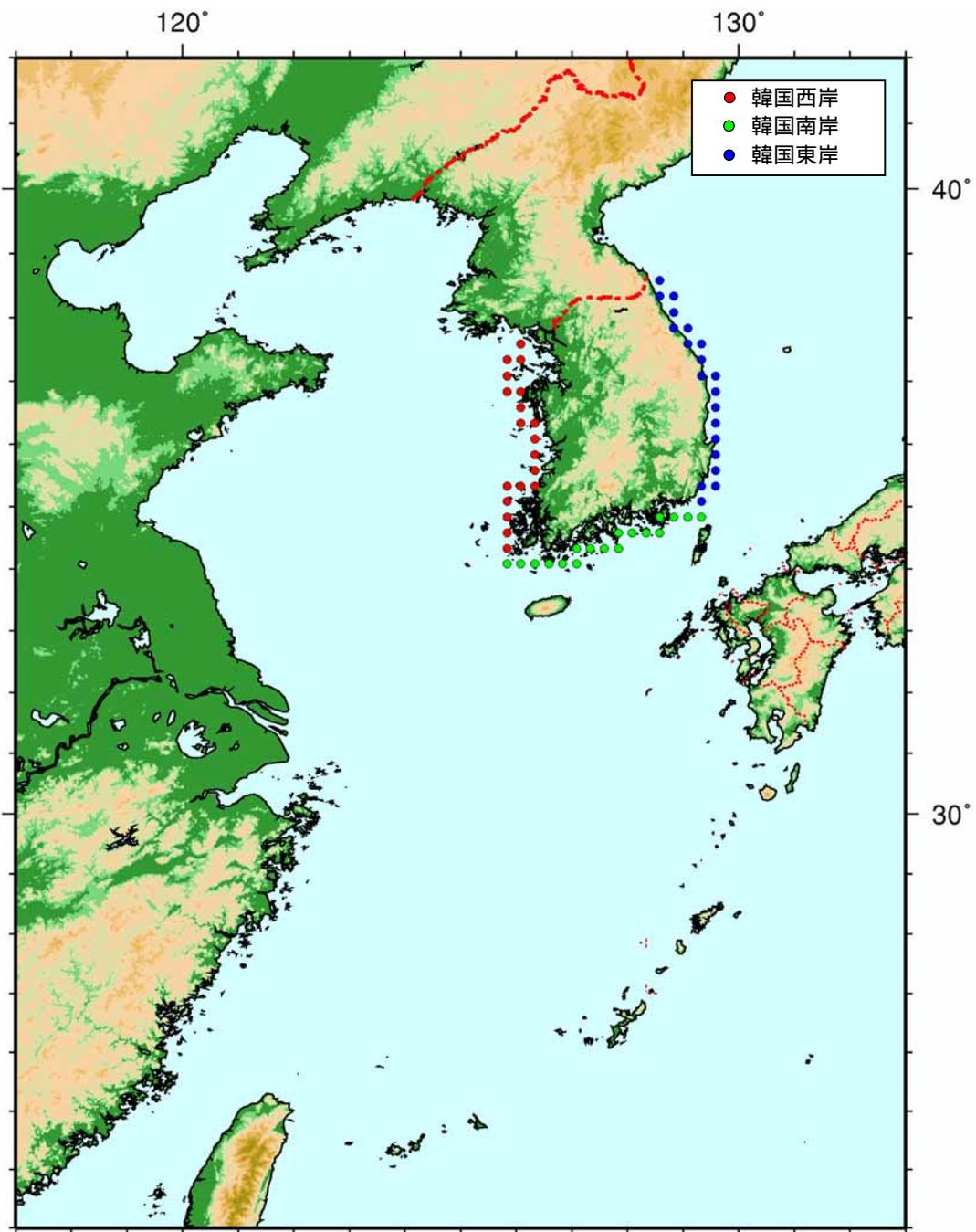


図- 2.3.26 ゴミの投入位置

2) 計算結果

計算結果として、各ケース、投入季節別に色分けした漂流経路を図- 2.3.27 に示す。

韓国西岸からの発生を想定したゴミの漂流経路

南西諸島(屋久島・種子島～与那国島まで)にたどり着く可能性のあるものは以下のとおりである。

沈下率 100:1	春季と冬季に投入したもの
沈下率 10:1	南西諸島に到達する可能性は低い
沈下率 1:1	夏季と秋季に投入したもの
沈下率 1:2	夏季と秋季に投入したもの
沈下率 0:1	冬季に投入したもの

韓国南岸からの発生を想定したゴミの漂流経路

南西諸島にたどり着く可能性のあるものは以下のとおりである。沈下率 100:1 と 10:1 の漂流経路を見ると、特に冬季に投入したものが、冬季季節風の影響で直接到達していることがわかる。

沈下率 100:1	春季、秋季、冬季に投入したもの
沈下率 10:1	春季、秋季、冬季に投入したもの
沈下率 1:1	春季、秋季、冬季に投入したもの
沈下率 1:2	冬季に投入したもの
沈下率 0:1	冬季に投入したもの

韓国東岸からの発生を想定したゴミの漂流経路

ほとんどのゴミが日本海を漂流しており、南西諸島にたどり着く可能性はあるものはなかった。

これらの結果から、韓国沿岸域で発生したゴミが南西諸島にたどり着く可能性は十分あり、特に冬季に発生したものが多くたどり着く可能性が高いことが分かる。ただし、この計算は漂流の概略傾向を把握するために、外力として気候値を用いているため、漂流経路や漂流時間などは実際とは異なる場合がある。

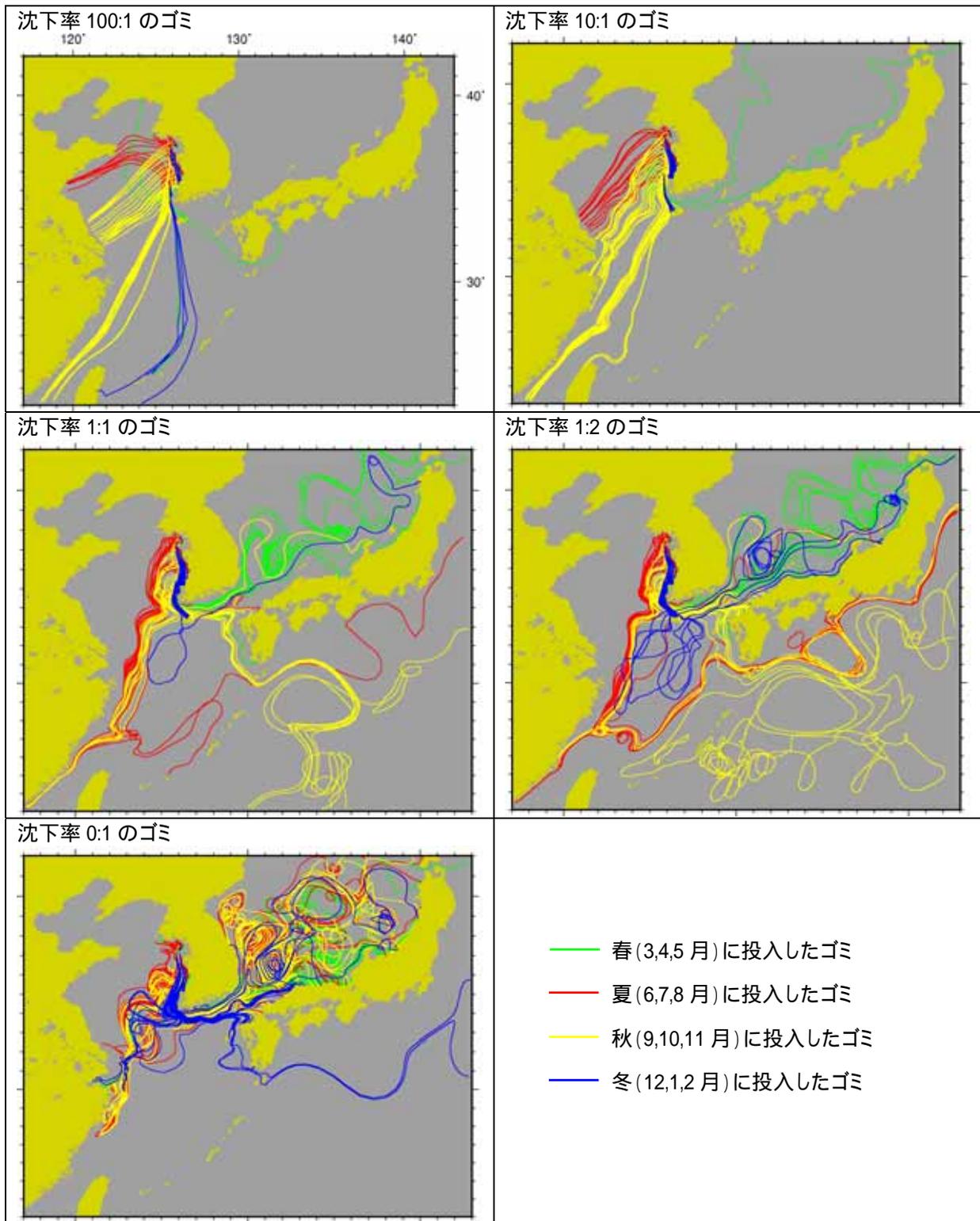


図- 2.3.27(1) 韓国西岸からの発生を想定したゴミの漂流経路

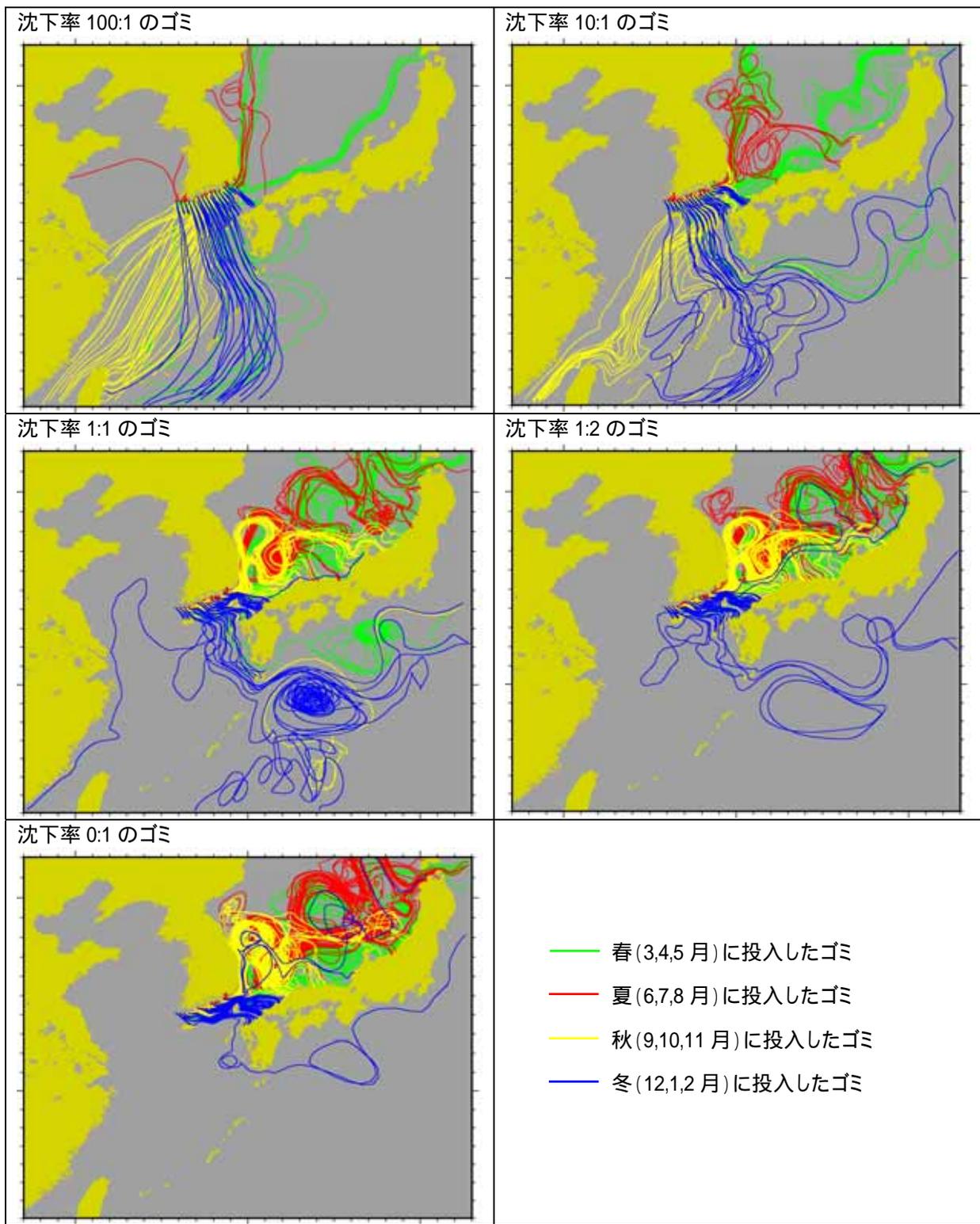


図- 2.3.27(2) 韓国南岸からの発生を想定したゴミの漂流経路

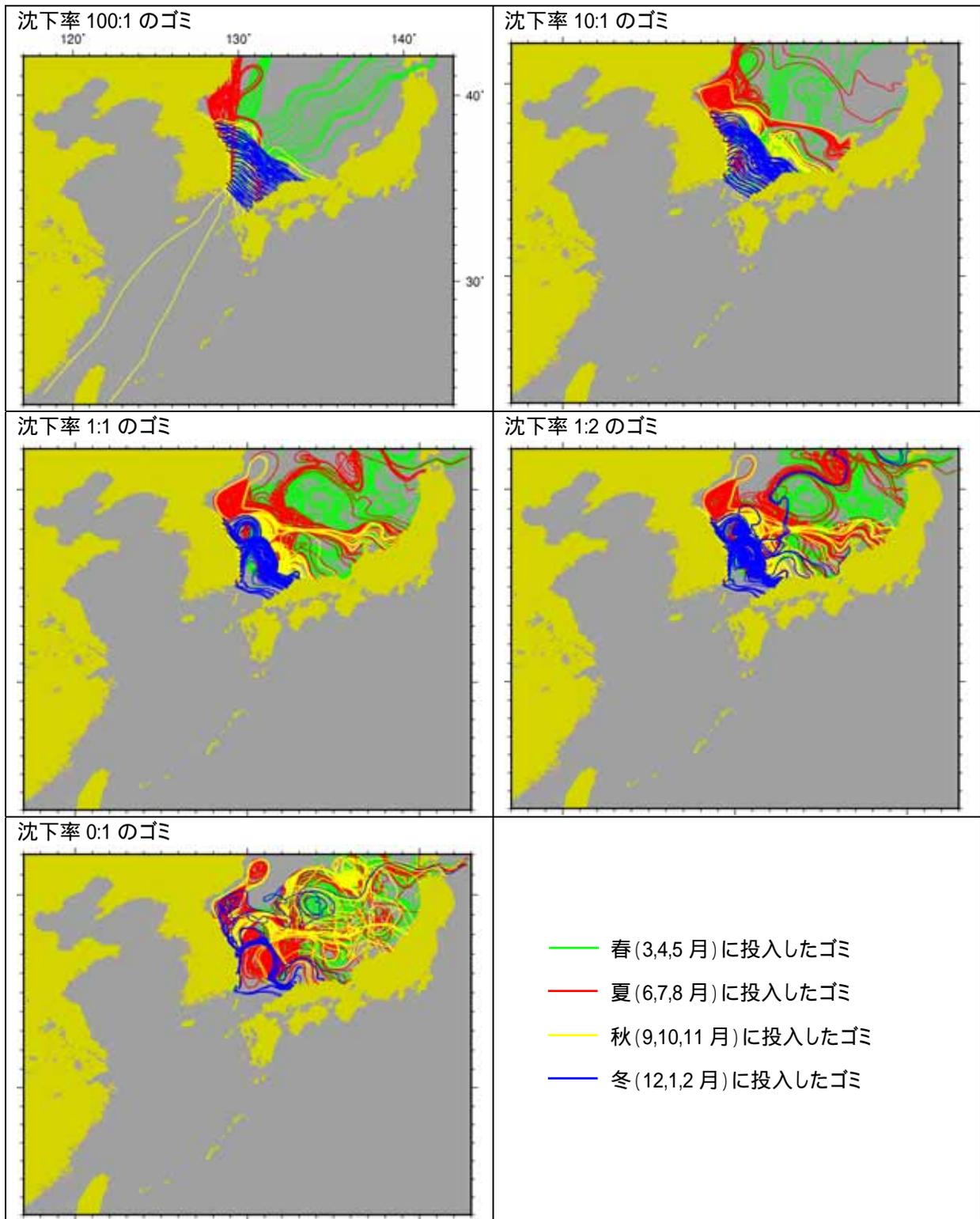


図- 2.3.27(3) 韓国東岸からの発生を想定したゴミの漂流経路

2.4 日本海・東シナ海結合モデルの構築

これまで、日本海と東シナ海は別の移動拡散モデルで検討してきたが、東シナ海から対馬海峡を通過して日本海を漂流し、日本沿岸に漂着するゴミを対象とした計算を行なうために、東シナ海と日本海を同時に計算できる結合モデルを構築した。

2.4.1 モデル構築の考え方

日本海流動モデルと東シナ海流動モデルの計算範囲は図- 2.4.1 に示すとおりである。

現在の漂流予測モデルでは、流動データとして一つのモデルの計算結果を内挿して各々のゴミの位置における流速を求めている。本年度のモデルの改良点は、流動データとして二つのモデルの計算結果を入力して、各々のゴミの位置によって使用するモデルを変更できるようにした点である。具体的には、日本海流動モデルの範囲にゴミがあるときはその計算結果を使用し、その他の範囲の場合は東シナ海流動モデルの計算結果を使用できるようにした。

なお、風データについては、ゴミの位置に関わらず、従来どおり気象庁 GPV データ(GSM)を用いた。

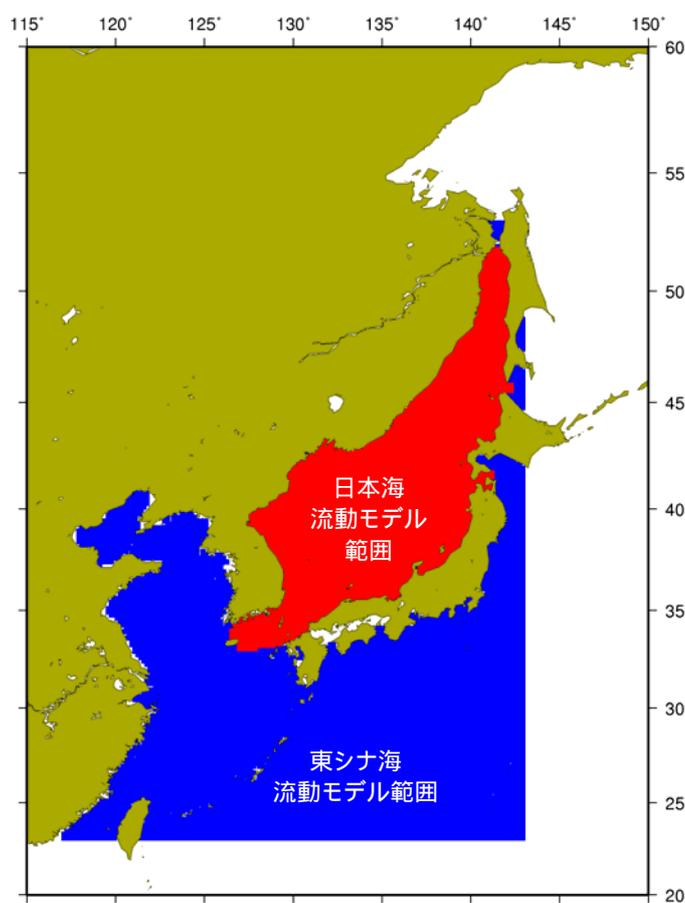


図- 2.4.1 各モデルの計算範囲

2.4.2 漂流物の移動・集積特性の検討

(1) 計算条件

1) 外力

漂流計算に使用した流動場は、日本海流動モデル(1/12°)及び東シナ海流動モデル(1/6°)の計算結果である。また、風速場は、気象庁のGPVデータ(GSM)を用いた。

なお、流動場、風速場ともに気候値を用いた。

2) 計算期間

計算期間は図-2.4.2に示すとおり3年とする。

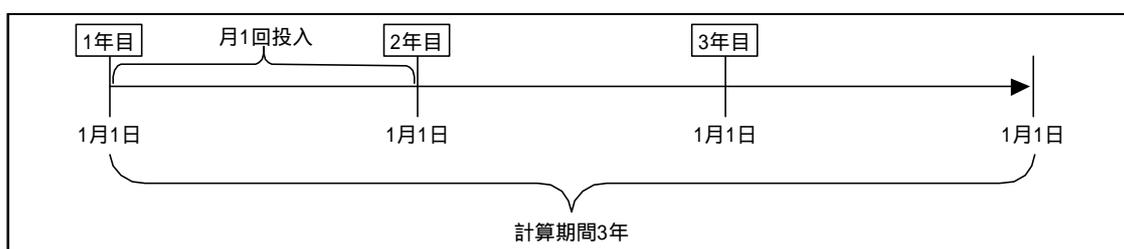


図- 2.4.2 計算期間

3) ゴミの投入条件と計算ケース

ゴミの投入日は毎月1回1日とし、計算開始から1年間(全12回)投入した。投入方法は対象海域全域一様とし1/4°に1個とする(6,433×12月=全77,556個投入)。ゴミの投入分布図を図-2.4.3に示す。

沈下率は表-2.4.1に示すとおり5ケースとした。

表- 2.4.1 海面浮遊物体の沈下率

計算ケース	沈下率	対象とするアイテム	備考
ケース1	空中:水中比 = 0:1	ライター(タイプ1)	全く風の影響を受けない
ケース2	空中:水中比 = 1:2	ライター(タイプ2)	
ケース3	空中:水中比 = 1:1	ライター(タイプ3)	
ケース4	空中:水中比 = 10:1	ポリ容器	蓋付き、中身空
ケース5	空中:水中比 = 100:1	ペットボトル	蓋付き、中身空

10:1は風圧係数0.03、風速10m/sの時、粒子に約1m/sの移動速度を与えるに等しい。

100:1は風圧係数0.03、風速10m/sの時、粒子に3m/sの移動速度を与えるに等しい。

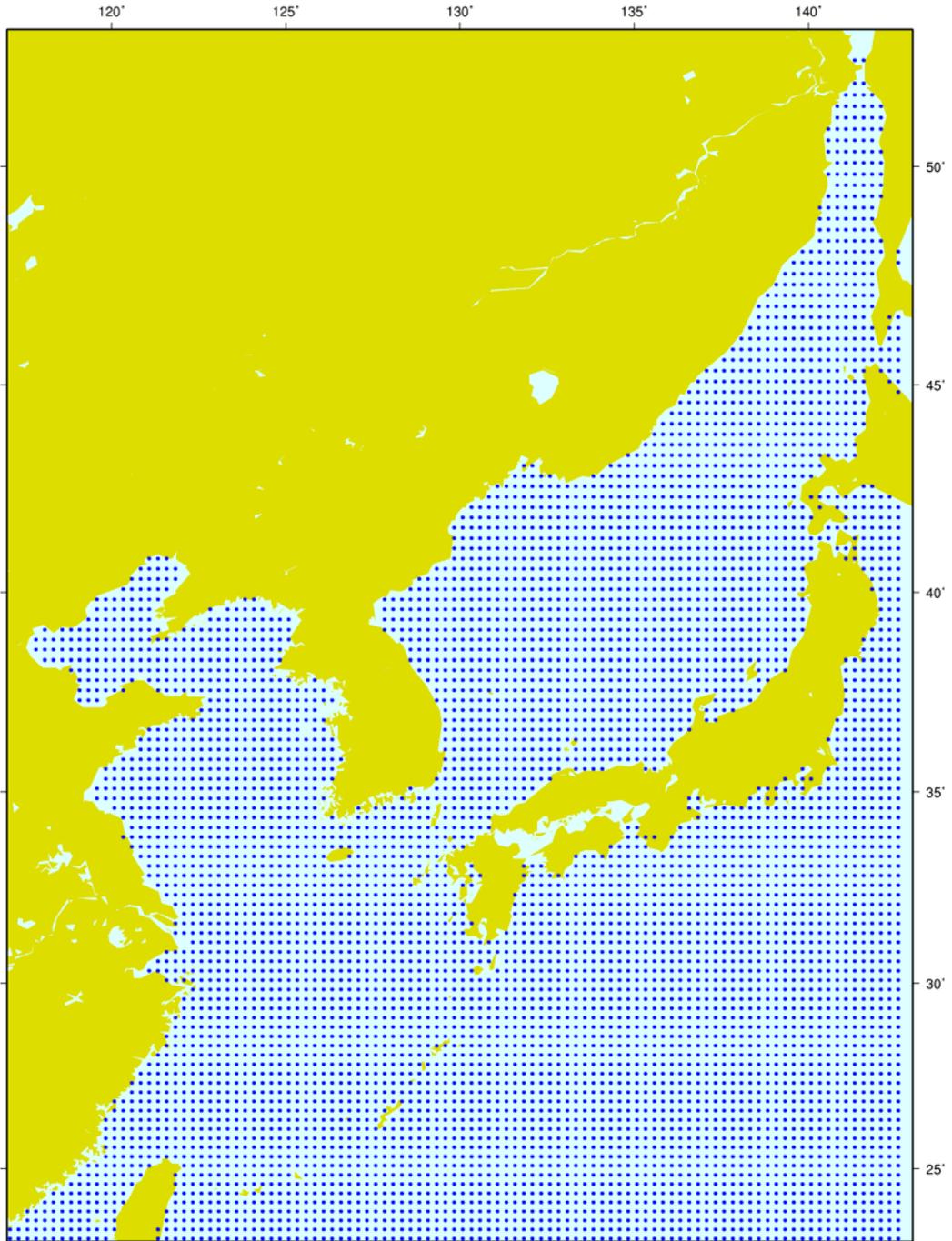


図- 2.4.3 ゴミの投入分布

1/4°に1個の割合で投入。図は1ヶ月分で6,407個投入した状況を表す

(2) 計算結果

1) 既存モデルとの比較

日本海・東シナ海結合モデルの動作確認のため、既存モデル(表- 2.4.2)の計算結果と比較した。比較項目は、計算開始から1年後、2年後、3年後の漂流分布である。

表- 2.4.2 既存モデルとの計算条件の比較

計算条件		日本海モデル	東シナ海モデル	結合モデル
計算領域		日本海	日本海・東シナ海	日本海・東シナ海
流動モデル の解像度	日本海	1/12°	1/6°	1/12°
	東シナ海	-	1/6°	1/6°
ゴミの投入分布		1/6°に1個の割合で 海域一様に投入 (投入個数: 3,973×12ヶ月=47,676)	1/4°に1個の割合で 海域一様に投入 (投入個数: 6,463×12ヶ月=77,556)	1/4°に1個の割合で 海域一様に投入 (投入個数: 6,407×12ヶ月=76,884)
その他		気象条件、ゴミの投入頻度、計算期間などその他の条件は共通		

漂流分布の比較を沈下率別に図- 2.4.4～図- 2.4.8に示す。

空中:水中比=0:1の漂流分布を見ると、結合モデルの日本海海域は日本海モデルの漂流パターンに良く似ており、東シナ海、太平洋の海域は東シナ海モデルの漂流パターンとほぼ一致している。他の沈下率の計算結果を見てもその傾向は同様である。

空中:水中比=10:1のケースでは計算開始2年後、沈下率100:1のケースでは計算開始1年後で全てのゴミが海岸に漂着あるいは計算領域外へ流出している。一方、空中:水中比=0:1、1:2、1:1のケースでは、計算開始から3年間経過後にも日本海を漂流するものが認められた。

計算結果は、日本海モデルと東シナ海モデルの結果の特徴を踏襲しており、妥当な計算結果と言える。今後は、この結合モデルを使用して日本海と東シナ海の両海を同時に検討することが可能となった。

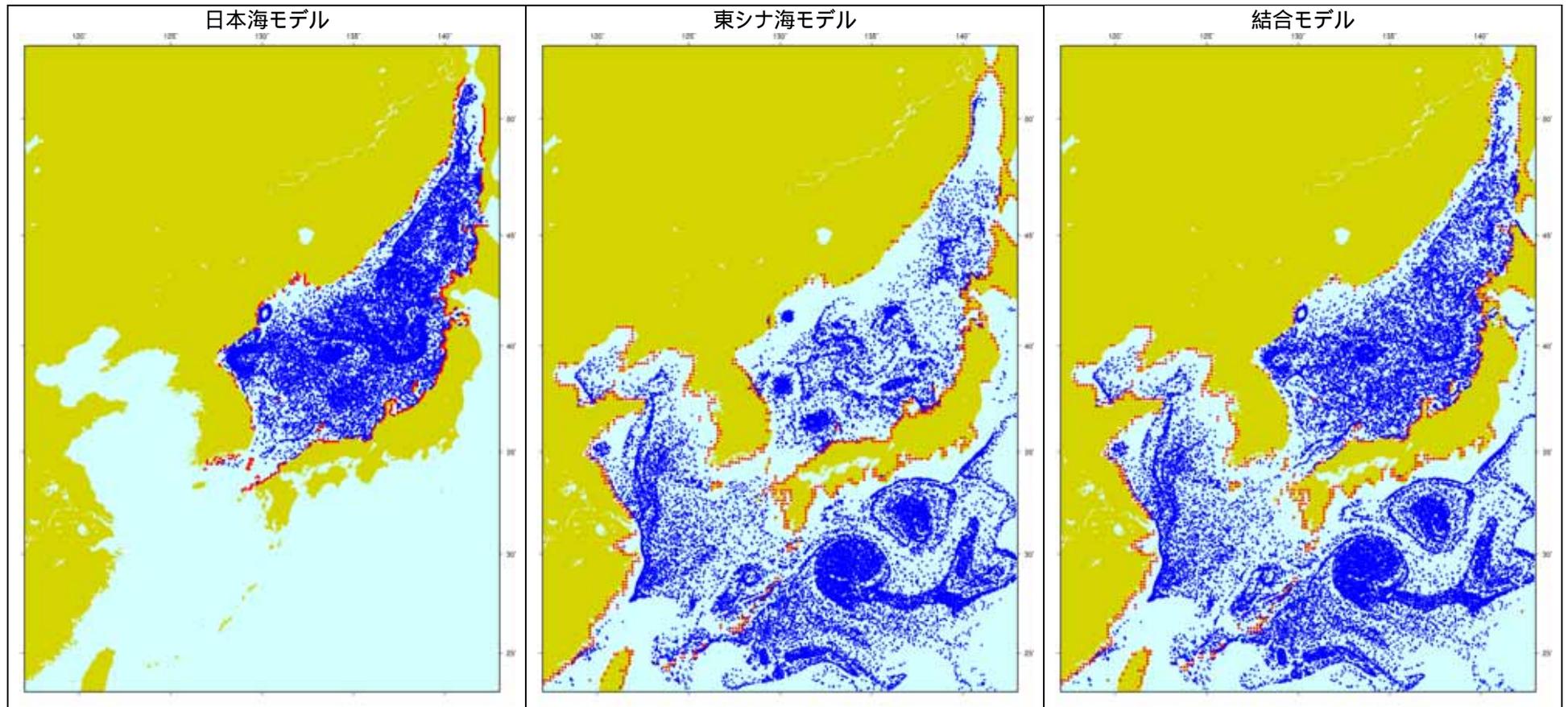


図- 2.4.4(1) 計算開始 1 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=0:1)

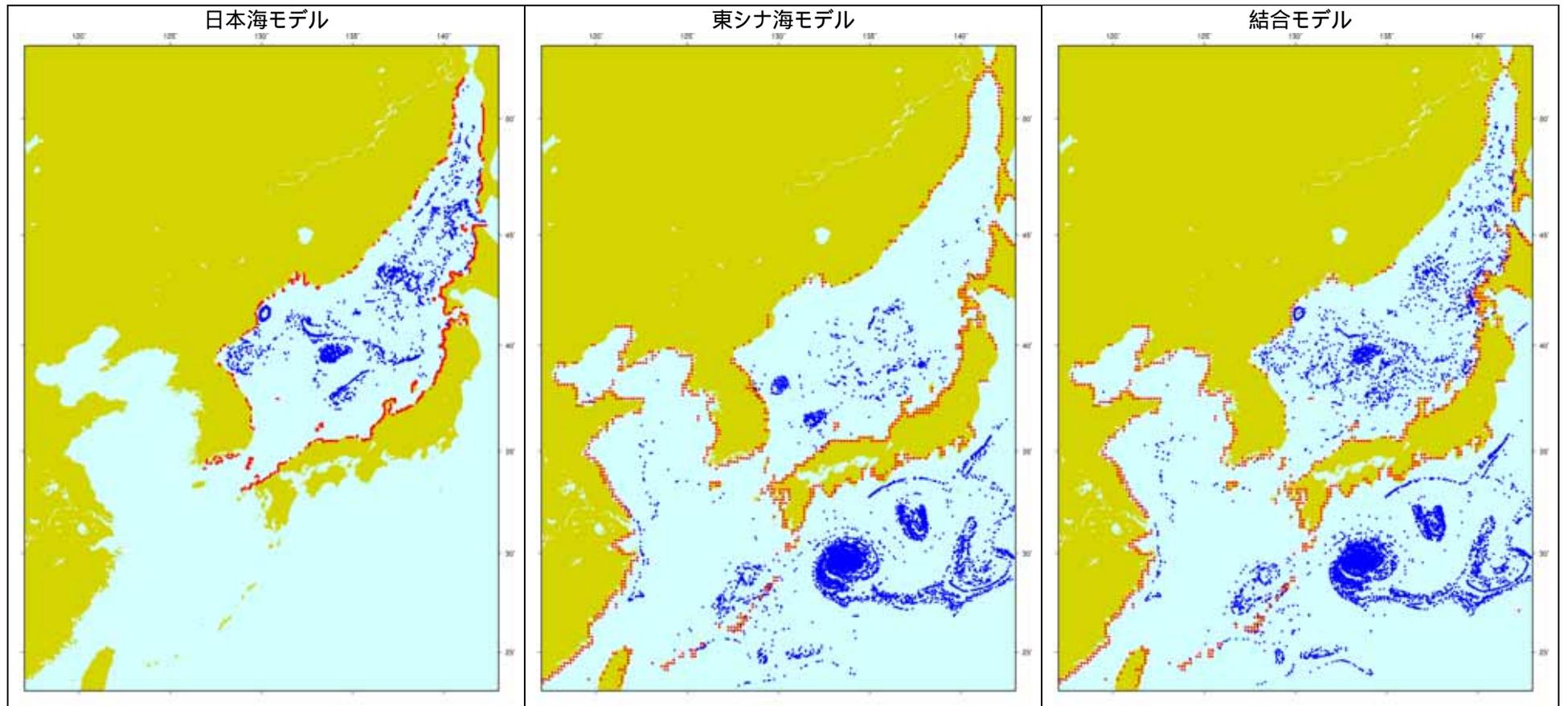


図- 2.4.4(2) 計算開始 2 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=0:1)

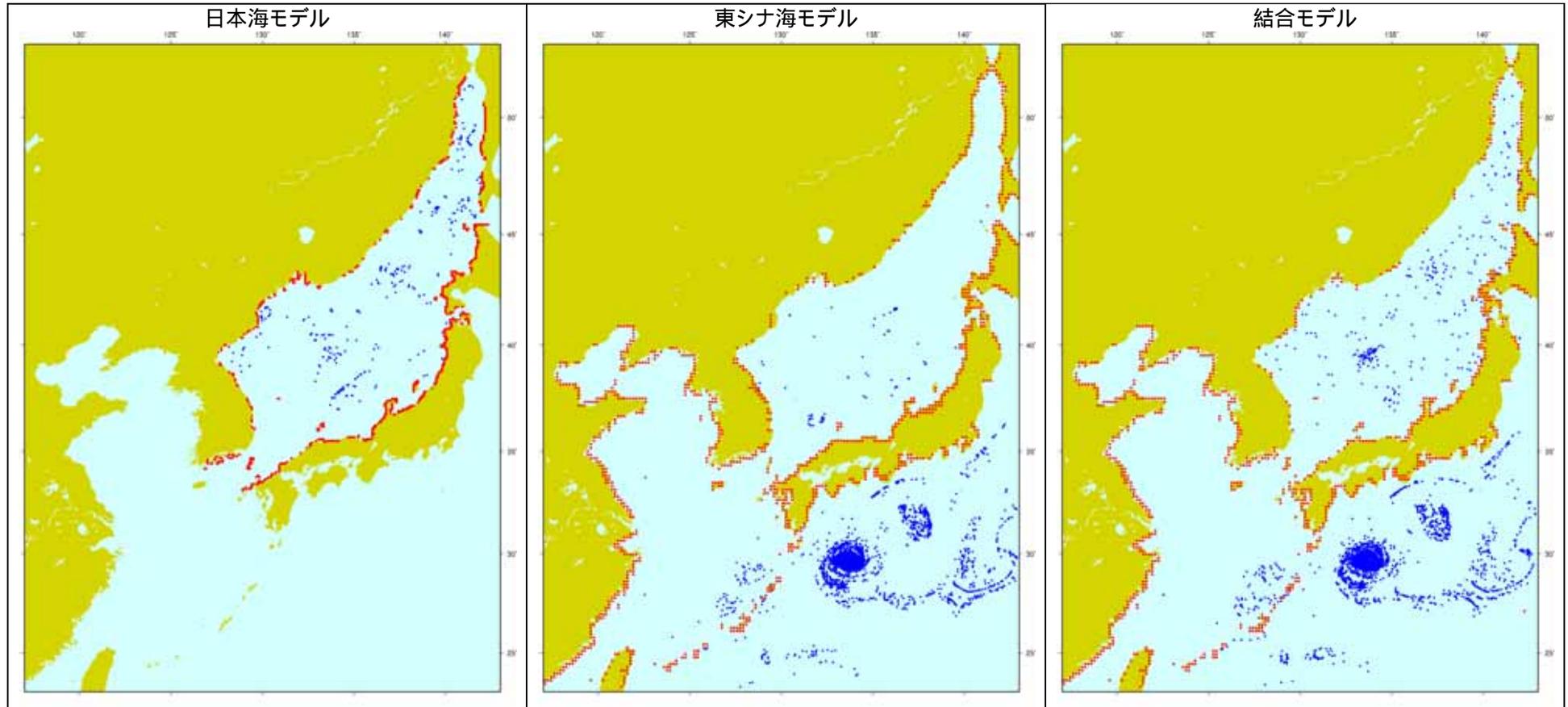


図- 2.4.4(3) 計算開始 3 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=0:1)

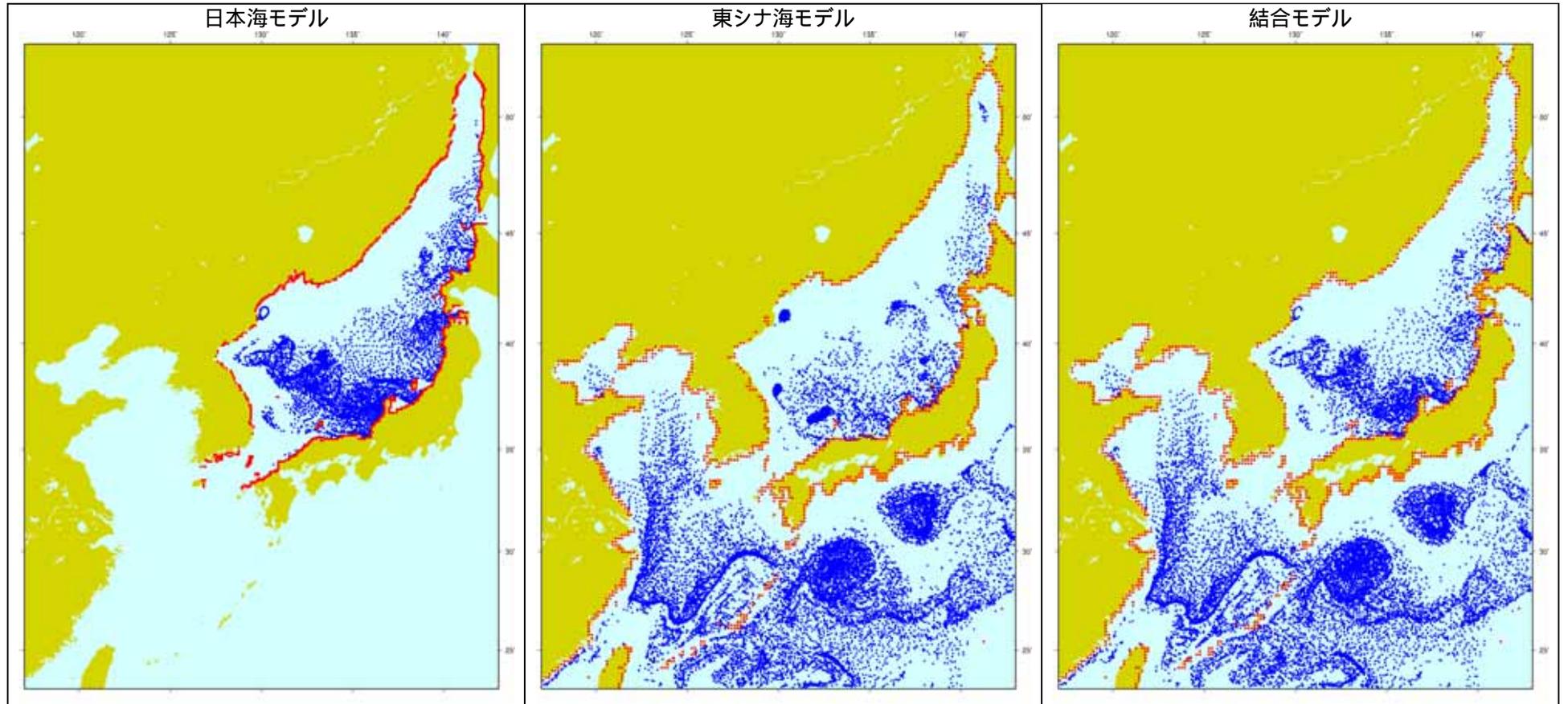


図- 2.4.5(1) 計算開始 1 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=1:2)

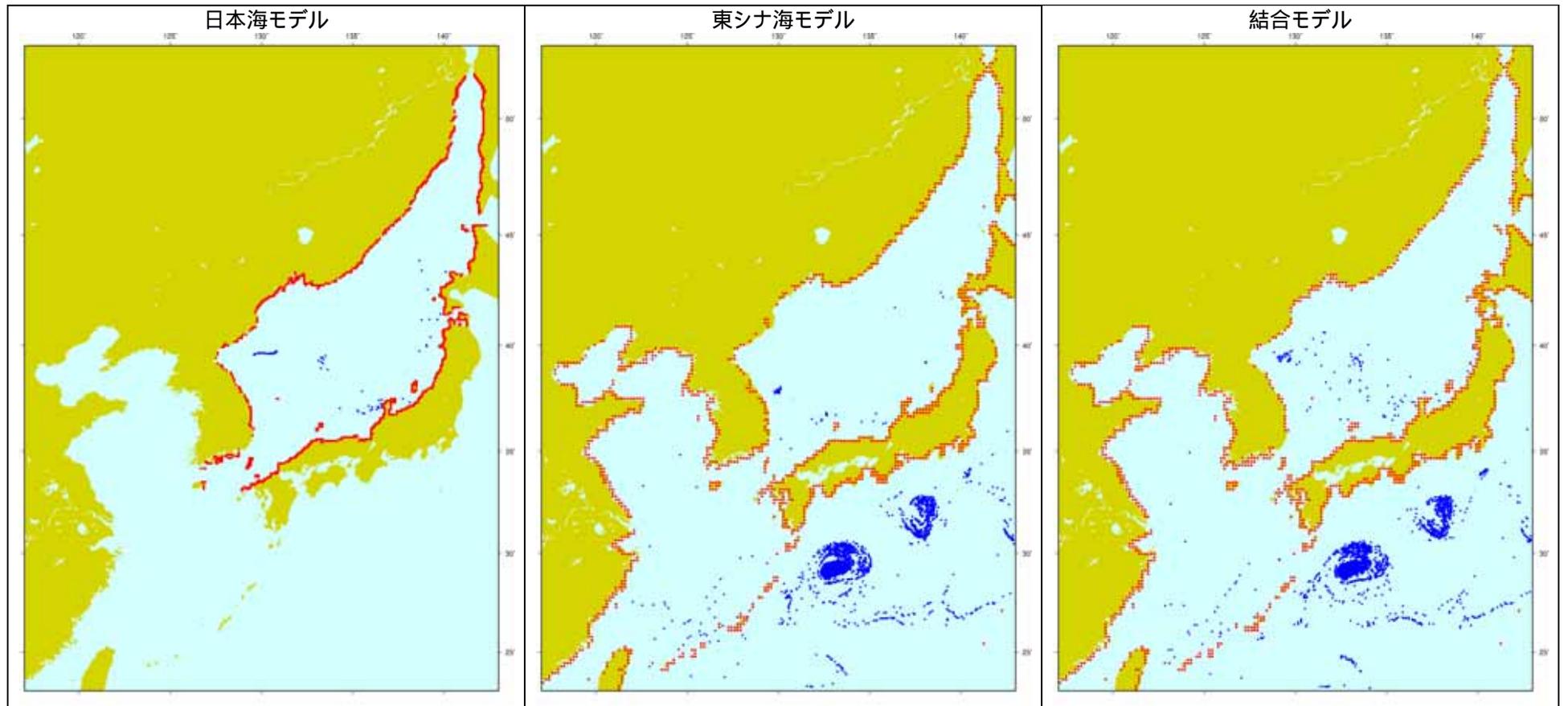


図- 2.4.5(2) 計算開始 2 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=1:2)

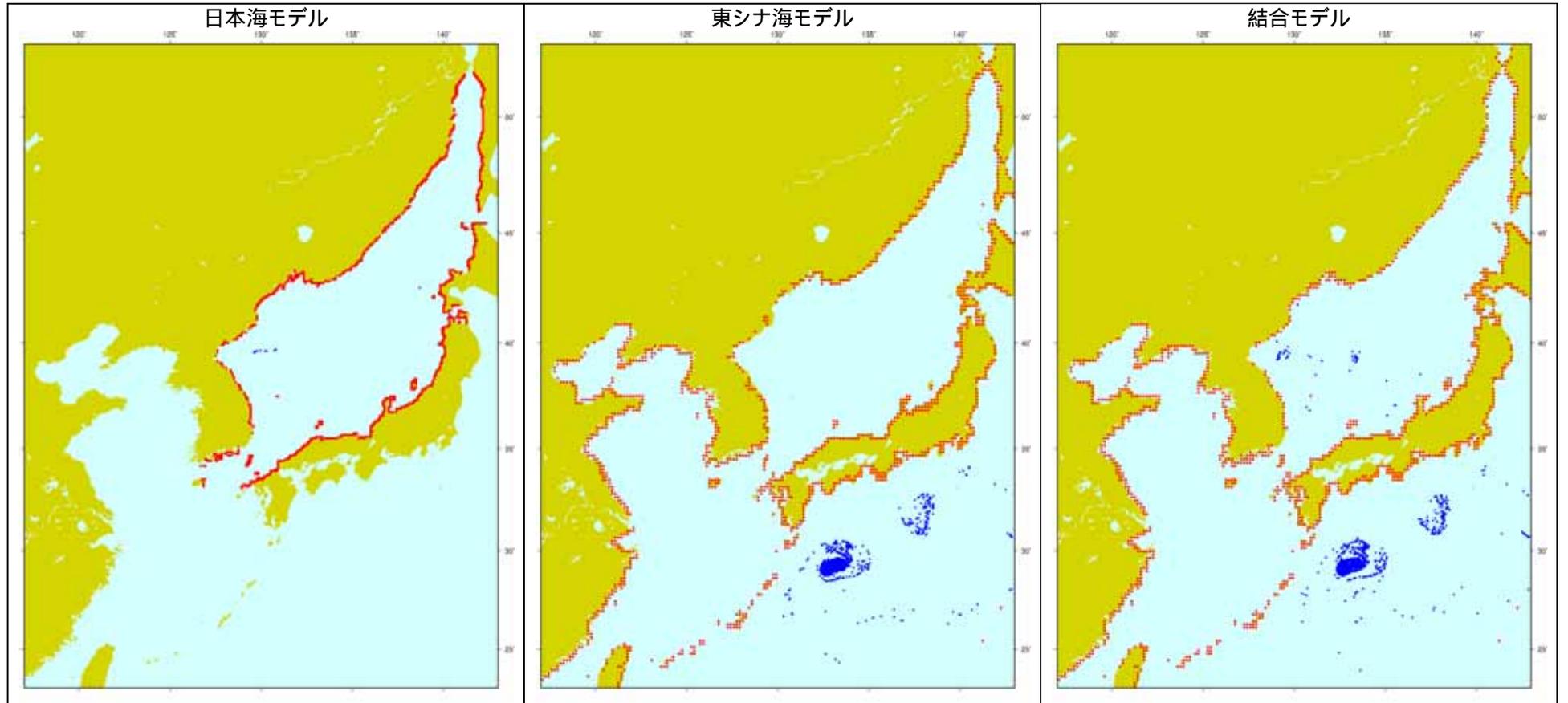


図- 2.4.5(3) 計算開始 3 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=1:2)

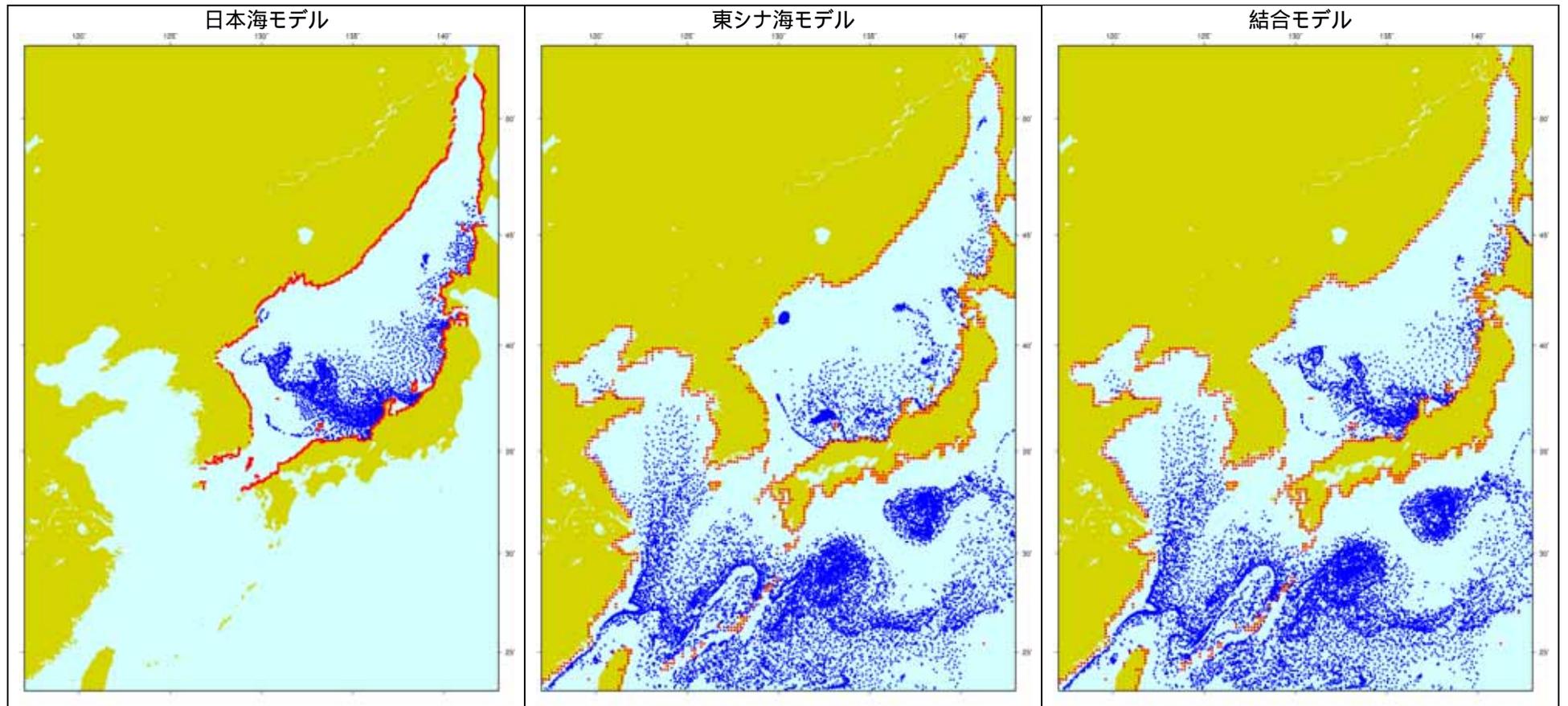


図- 2.4.6(1) 計算開始 1 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=1:1)

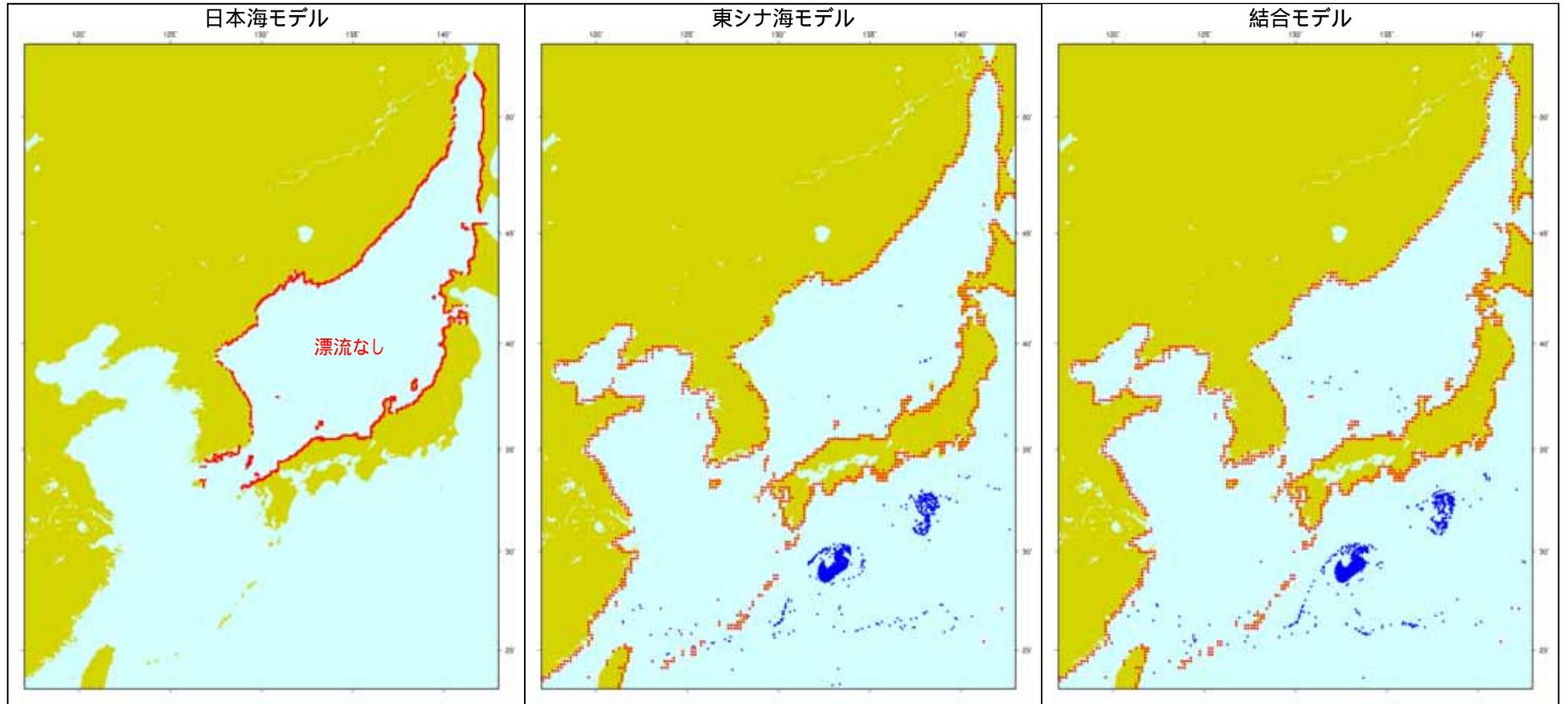


図- 2.4.6(2) 計算開始 2 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=1:1)

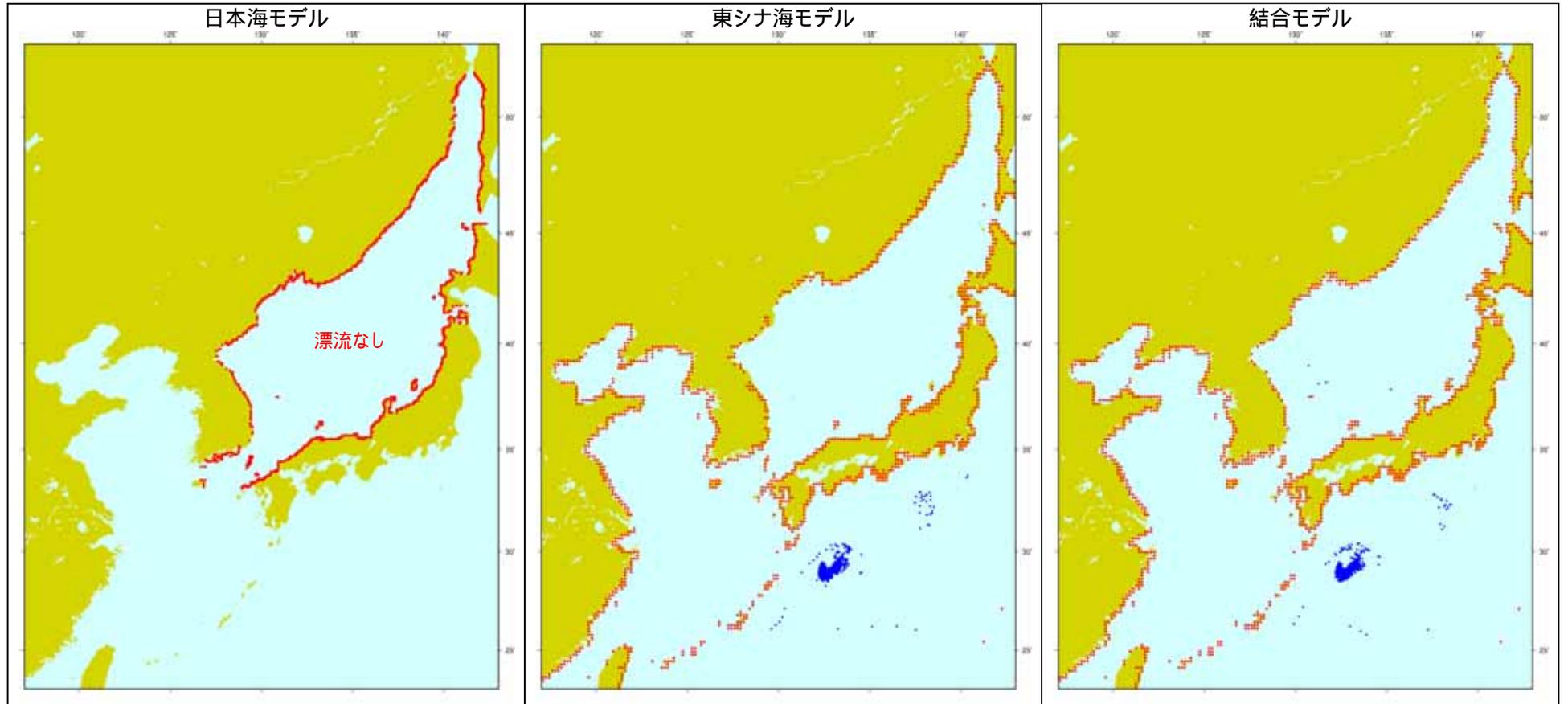


図- 2.4.6(3) 計算開始 3 年後の漂流分布の比較 (空中:水中=1:1)

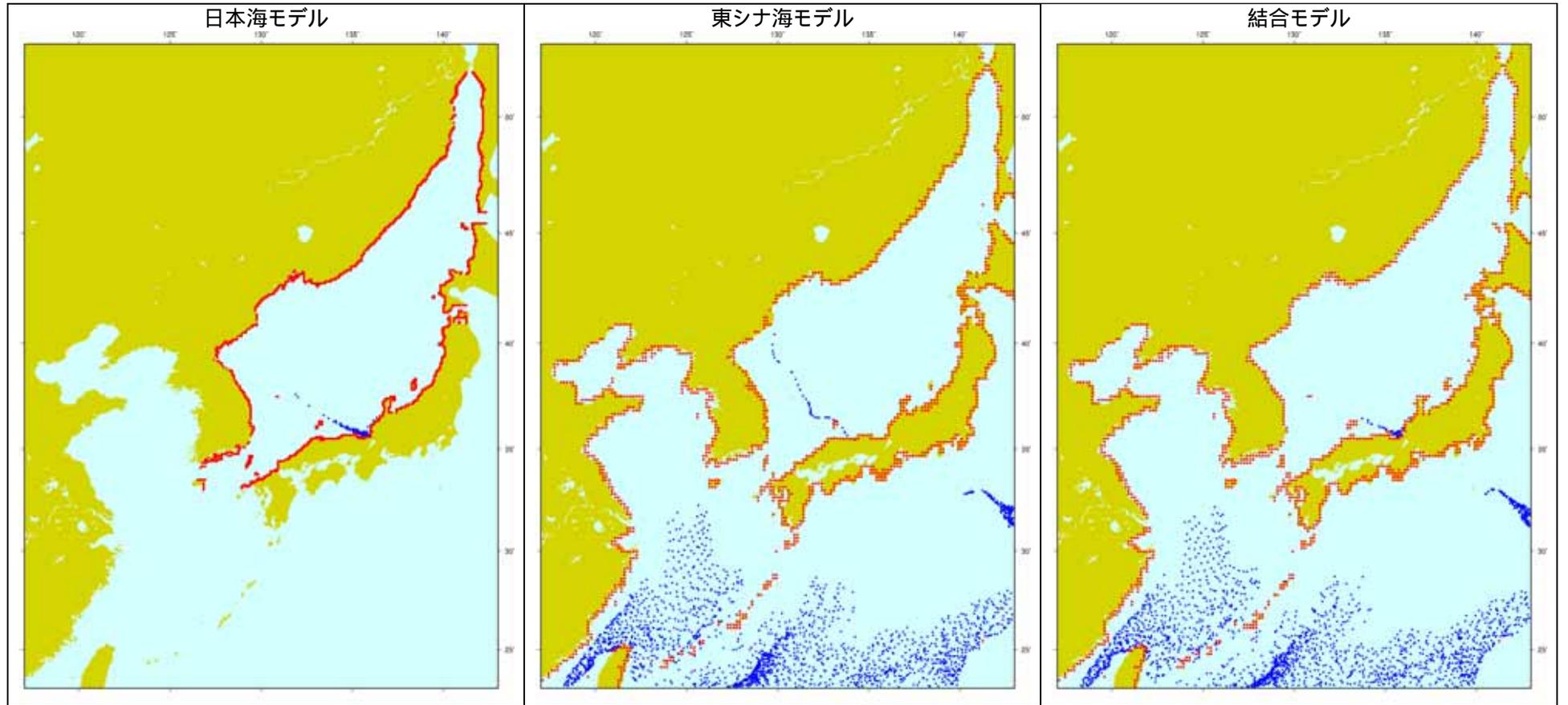


図- 2.4.7(1) 計算開始 1 年後の漂流分布の比較(空中:水中=10:1)

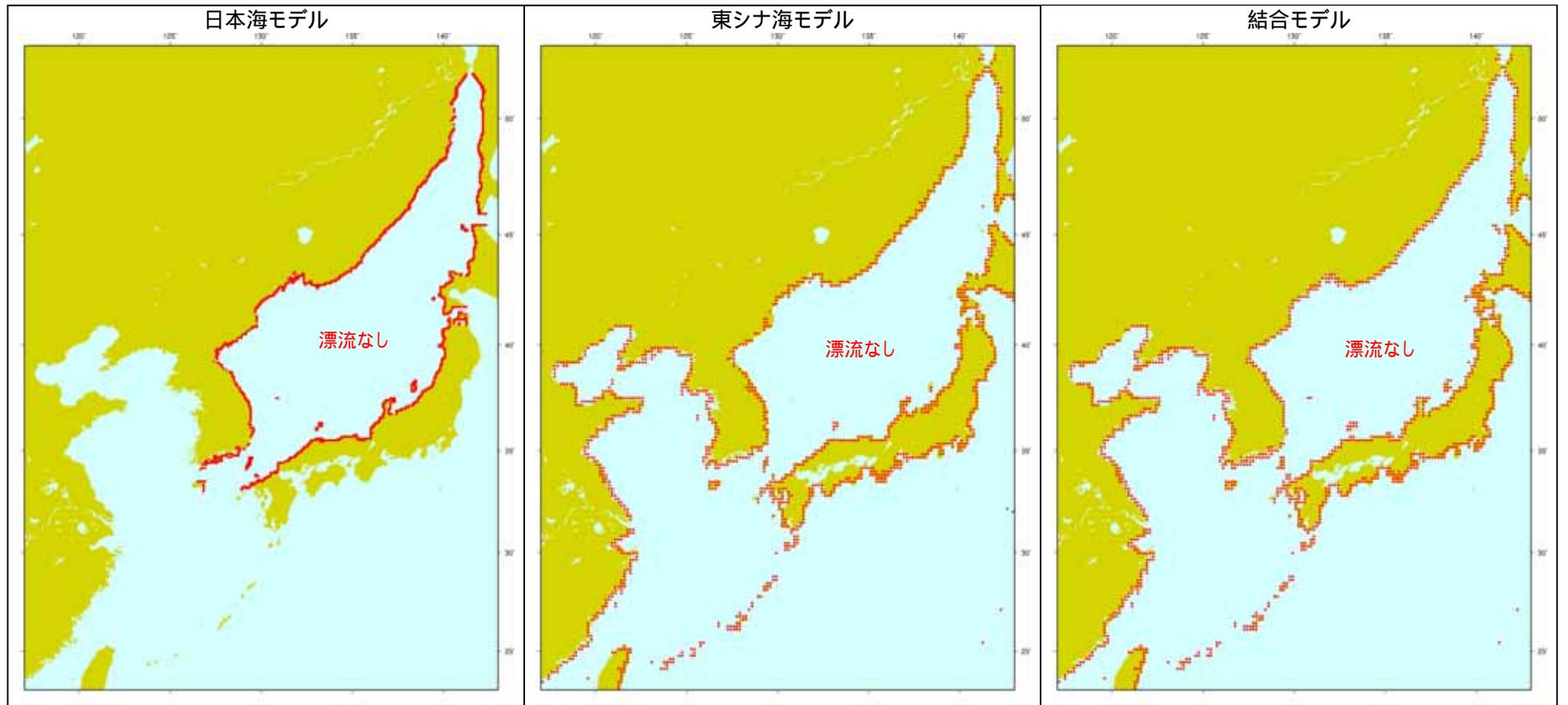


図- 2.4.7(2) 計算開始 2 年後の漂流分布の比較(空中:水中=10:1)

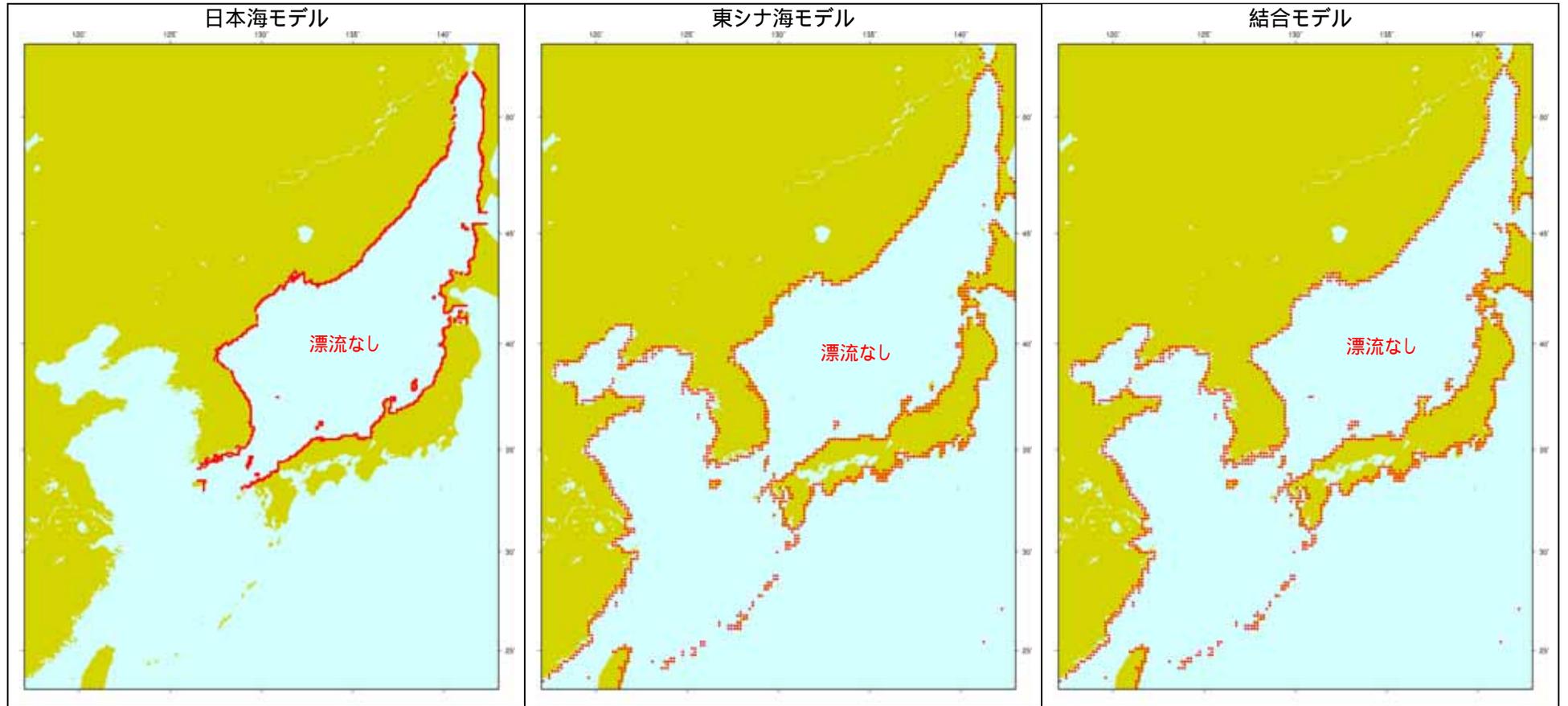


図- 2.4.8 計算開始 1 年後の漂流分布の比較(空中:水中=100:1)

2.5 予測手法検討のまとめ

2.5.1 日本海における漂流・漂着予測検討

ライターの漂流・漂着予測検討では、現地調査結果と非常によく一致した。

ライターの沈下率の設定は、ある程度の幅を持たせて設定することが望ましい。

ポリ容器の漂流・漂着予測検討では、空中:水中比 = 1:1 のケースの再現性が最も良く、ポリ容器の漂流形態については調査が必要である(蓋の有無・破損状況など)。

日本海においてはゴミの浮遊状態と発生域、発生量を把握できれば、高い精度で漂流・漂着予測を行うことができる

2.5.2 東シナ海における漂流・漂着予測

ライターの漂流・漂着予測検討において、日本海の検討に比べて再現性が良くない。

入力データ、外力データの見直しが必要である(気候値を日データに変更するなど)。

東シナ海海域で発生する空中:水中比 = 1:1 のゴミの内、対馬海峡に流入しやすいエリアを特定した。最も多く流入するのは対馬暖流の通り道である日中中間線付近で発生するゴミであった。

太平洋沿岸域で発生するゴミは、冬季に発生し、空中比が大きいゴミが太平洋へ流出しやすい結果を得た。

韓国沿岸域で発生するゴミが、南西諸島へたどり着く可能性について検討を行い、韓国南岸及び西岸から冬季に発生するゴミが南西諸島へ漂着する可能性が示唆された。

東シナ海の漂流・漂着予測はいくつか課題が残るが、漂流・漂着の概略検討は可能である

2.5.3 日本海・東シナ海結合モデルの構築

東シナ海と日本海を同時に計算できる結合モデルを構築して、中国や台湾など、東シナ海側から日本海に流入するゴミについても検討を行うことができる土台を整備した。

2.6 今後の課題

日本海においてはゴミの浮遊状態(沈下率)と発生域、発生量を把握できれば、高い精度で漂流・漂着予測を行うことができることが分かった。また、東シナ海においては、未だ開発段階ではあるが、漂流・漂着ゴミの概略を把握できるところまで開発が進んでいる。

日本海モデルと東シナ海モデルの相違点は表 2.6.1 に示すとおりであり、東シナ海を計算するに当たっての懸案事項は次に示すとおりである。

- ・ 国別漂着割合を比較・評価するには漂着量が少ない(=投入量が少ない)
- ・ 漂着を評価するのに島が小さすぎる可能性がある
- ・ 境界(台湾の東西)からの流入は考慮すべきであることは分かったが、想定人口の設定は今のところ確定できない
- ・ 黒潮を横切って漂着する状況が再現できていない可能性がある

これらの懸案事項を解決するためには、東シナ海沿岸域の人口設定の見直し、台湾東西に設定している境界流入量の見直し、平均化された外力データの見直し等が必要であると考えられる。

また、この予測シミュレーションモデルは、日本海の流動を高精度で予測する RIAMOM(九州大学応用力学研究所海洋モデル)の計算結果を利用しているが、流動計算結果及び気象庁の風データを取得・編集して漂流計算を行う手順をとっているため、迅速性にややかけている。

例えばある時に大量漂着が起こった場合にその発生域を推定するなど、社会的要請に対して迅速に予測計算ができるようなシステム作りが課題として挙げられる。

表 2.6.1 日本海モデルと東シナ海モデルの相違点

	日本海漂流モデル	東シナ海漂流モデル
流動場	日計算結果 (RIAMOM[解像度 1/12°])	気候値 (RIAMOM[解像度 1/6°])
気象場	GPV の日データ(GSM)	GPV の 4 年平均データ(GSM)
人口データ	日本:平成 15 年統計データ 海外:地図帳、インターネット	同左 中国の人口が巨大かつ流動的である
境界流入	対馬海峡から対馬の漂着割合を設定	台湾海峡、台湾東側から流入 (いくつかの仮定)

3. プレゼンテーション資料の作成

平成17～19年度の「漂着ゴミ実態調査」、「漂流・漂着ゴミの予測手法検討」の結果を基に、日本ならびに近隣各国で効果的な対策検討を行なう際に用いるための、パワーポイントによる説明資料(日本語版・英語版)を作成した。

パワーポイント資料は、「日本海・東シナ海における漂流ゴミの経路予測」を主眼におき、下記のプレゼンテーションが行なえる内容とした。

- (1) 漂流・漂着予測モデルの説明
- (2) このモデルによる日本海の浮遊物の漂流・漂着
- (3) このモデルによる東シナ海の浮遊物の漂流・漂着
- (4) このモデルによる種々の浮遊物の漂流・漂着検討結果

パワーポイント資料(日本語版)を次ページ以降に示す。

日本海・東シナ海における 漂流ゴミの経路予測

漂流・漂着ゴミに係る
国際的削減方策調査業務
環境省地球環境局

目的：越境する漂流・漂着ゴミ削減のための 基盤情報の提供

- 国際的な枠組みの中で、情報を交換し、協力しながら、その方策を探ることが必要。
- 日本海・東シナ海における漂流・漂着ゴミの予測モデルを開発することにより、漂着するゴミの漂流経路も含めた漂流・漂着の実態把握のための基盤情報を提供する。

漂流・漂着予測モデル
= 流動予測モデル + 移流・拡散モデル

流動予測モデル
九州大学応用力学研究所の海洋循環モデル(RIAMOM)

移流・拡散モデル (粒子追跡法)
移流・拡散(ランダム拡散)モデル

近年、世界中の海域の至るところで海洋ゴミが見つかるようになってきました。海上を漂流し、海岸に漂着した大量のゴミは、海浜景観を損なうだけでなく、海洋環境の保全の面からも国際的に問題視されています。

ここでは、日本海および東シナ海沿岸に漂着する大量の漂流・漂着ゴミの挙動から、問題解決への道をさぐるうとしました

海上に流出した物体は、世界中につながる海を人間の定めた境界にはとられず、どこへでも漂っていきます。従って、漂流ゴミを削減する実効ある対策を実施するためには、国際的な枠組みの中で情報を交換し、協力しながらその方策を探ることが必要となります。ここでは、日本海・東シナ海における漂流・漂着ゴミの予測モデルを開発することにより、沿岸に漂着するゴミの漂流経路も含めた漂流・漂着の実態把握のための基盤情報を提供することを目的とします。

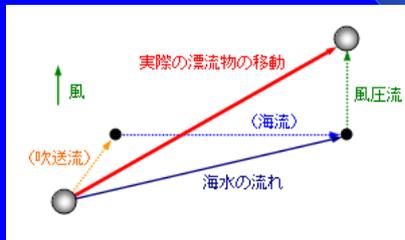
モデルの特徴についてざっと説明します。

ここで用いた漂流・漂着モデルは、海域の流れを予測・再現する流動予測モデルと、海上の物体の移動経路を予測する移流・拡散モデルとの2つの部分から成っています。流動予測モデルには、九州大学応用力学研究所の海洋循環モデル(RIAMOM)を用い、対象海域の詳細な流れを再現しました。移流・拡散モデルは、流動予測モデルによって計算された流れの中で、浮遊ゴミに見立てた粒子(仮想漂流物)が、流れのほかに風の影響を受けながらどのように動くかを再現・予測するモデルとしました。

移流・拡散モデル上の「漂流物」の移動

漂流物を移動させる力

- 海の水の流れ … 流動予測モデルの結果を使用
- 風が直接物体を押す力 … 風データから風圧流として算出



移流・拡散モデル上で、仮想漂流物を動かす力は海の流れと風です。海上の漂流物は海の水の流れに乗って移動しますが、漂流物の海面上に出ている部分に風が当たると、風からも力を受けて移動の向きや速さが変わります。風が漂流物を押すことによって生ずる物体の移動を風圧流と呼び、漂流物は海水の流速と風圧流の速さで移動していきます。風圧流の大きさは、物体の断面積の海中部分と空中部分の比の平方根に比例することが経験的にわかっていますので、モデルにもこの関係を取り入れました

風圧流

風が直接物体を移動させる効果 ~ 風圧流として計算

風圧流の実験・経験的近似式 $u = k \sqrt{\frac{B}{A}} w$

- u: 風圧流の強さ
- w: 風速
- A: 浮遊物の水中部の受圧断面積
- B: 浮遊物の水上部の風圧断面積
- k: 風圧係数

風圧係数は経験的に0.02~0.04程度、ここでは0.03を使用



漂流物断面積の空中:水中比

B:Aが10:1だと風圧係数0.03、風速10m/sの時、物体に約1m/sの移動速度を与えるに等しい、
B:Aが100:1だと風圧係数0.03、風速10m/sの時、物体に3m/sの移動速度を与えるに等しい、

風圧流の式を示します。風圧流の大きさは、海上10mにおける風速と、物体断面積の空中:水中比の平方根の積で表されます。個々の漂流物に対する風圧流の効果の大きさはこの断面積の空中:水中比によって概ね決まります。式の中のkは風圧係数と呼ばれる値で、漂流物の立体的な形状などにもよりますが、海上実験の結果から、一般には0.02~0.04程度の大きさといわれています。このモデルでは、中間を取って0.03を使用しました。風圧係数が0.03とすると、風速が10m/sあるとき、風による物体の移動速度はB:Aが10:1では約1m/s、100:1では3m/sに相当します。

このモデルによる検討の流れ

- 日本海における浮遊物の漂流・漂着 (モデルの妥当性の確認)
- 種々の検討ケース
 - 1) 冬季季節風による日本海の漂流物の移動
 - 2) 冬季に漂着するポリ容器の挙動
 - 3) 東シナ海からの漂流物の軌跡

ここでは、このモデルを用いて行なった検討の流れを、ご紹介します。まず、日本海内部を対象に、モデルの妥当性を確認しました。その後、いくつかの漂流物の移動を推定する計算を行ないました。

- 日本海における浮遊物の漂流・漂着
- 種々の検討ケース
 - 冬季季節風による日本海の漂流物の移動
 - 冬季に漂着するポリ容器の挙動
 - 東シナ海からの漂流物の軌跡

対象海域の区分

日本海モデル

流動データ:

緯度経度方向に $1/12^\circ$ (5分) 毎の格子
日本海海況予報モデルの再解析データ
2003年1月1日 ~ 2006年12月31日の4年間の流動場(1日毎)

風データ:

気象庁全球モデル(GSM)の結果を使用

東シナ海モデル

流動データ:

緯度経度方向に $1/6^\circ$ (10分) 間隔の格子
太平洋循環モデルの計算結果
(外力は気候値で駆動)

風データ:

気象庁全球モデル(GSM)の結果(4ヵ年平均=気候値)を使用(1日毎)

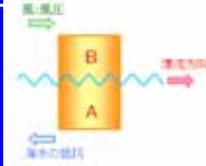


モデル計算を行なった範囲は東シナ海から日本海にかけての海域です。日本海モデルと東シナ海モデルの適用範囲は図に色分けして示したとおりです。東シナ海のモデルは、日本海のモデルより粗い格子で計算をしています。日本海のモデルと東シナ海のモデルの違いは、第一が、流動計算をするときの格子の大きさの違いです。東シナ海モデルは緯度経度方向に $1/6^\circ$ (10分)の大きさなのに対し、日本海はより細かく $1/12^\circ$ (5分)で計算しています。第二に、日本海モデルでは2003年から2006年まで毎日の計算値を使っているのに対して、東シナ海モデルでは長期間のデータを平均した気候値(1日毎の平均値365日分)を使っています。このため、東シナ海の予測計算は日本海の予測計算に比べ、精度は少し低くなりますが、漂流物の平均的な特性を把握することができます。

このような流れの場の上で、さまざまな浮遊物を流す計算を行ないました。

浮遊物の沈下率

空中:水中 (B:A)	対応アイテム	備考
0:1	水面下の流木、シート類	完全水没(海水と一緒に移動)
0:1 ~ 10:1	さまざまな浮遊物	一部水面上に露出(露出度に応じた風の効果を受ける)
100:1	ペットボトル(中身空・蓋付)、発泡スチロール	ほぼ全体が水面上に露出(強風時は風に飛ばされるような移動をされると考えられる)



浮遊物の移動(漂流)を考えると、注意しなければならないのは、浮遊物の浮かび方 - つまり沈下率あるいは空中:水中比といった要素 - です。浮遊物の全体が完全に水没していれば、風の影響をほとんど受けることなく海水と一緒に移動します。逆に水中にある部分がほとんどなく、ほぼ全体が水面上にある場合は、風が強くなると水面上を転がったり飛んだりするような動きになると考えられます。けれども多くの浮遊物は空中に出ている部分と水中に沈んでいる部分があり、その割合は様々です。

モデル上で扱う代表的な漂流物の選択

対象アイテム(item)の設定(沈下率の設定)

一般的な漂流物を代表する空中:水中比

ライター(調査データが豊富) 空中:水中 = 0:1, 1:2, 1:1
ペットボトル(最も一般的家庭ゴミの一つ) 空中:水中 = 100:1(蓋付を、中身空)
ポリ容器(大量漂着が問題になった) 空中:水中 = 10:1(中身空)

沈下率は、海上を浮遊する物体によってさまざまであり、それによって漂流経路や漂流時間が異なります。漂流・漂着ゴミの実態から、注目すべきアイテムはいろいろありますが、検討対象には、原則として漂流開始場所や漂流開始時期が推定できるような文字情報を持ったものを取り上げました。日常ゴミを代表するペットボトル、冬季に大量に漂着する薬品ポリ容器、そして配布された店や地域がわかる使い捨てライターなどです。このうち、ライターは小さくて回収しやすく情報の記載も多いため、全国的な調査データが豊富に蓄積されて整理・解析も進んでいることから、モデルによる検討対象として最初に取り上げることにしました。

日本海におけるライターの漂流・漂着

流動データ:
緯度経度方向に $1/12^\circ$ (5分) 毎の格子
日本海海況予報モデルの再解析データ
2003年1月1日 ~ 2006年12月31日の4年間の流動場(1日毎)

風データ:
気象庁全球モデル(GSM)の結果を使用
仮想漂流物(アイテム)の選択:
ライター(調査データが豊富)

タイプ1 (垂直)	タイプ2 (水平)	タイプ3 (斜め)
空中:水中 = 0:1 約15% (個数比)	空中:水中 = 1:2 約75% (個数比)	空中:水中 = 1:1 約10% (個数比)

ライターの浮遊
状態のタイプ



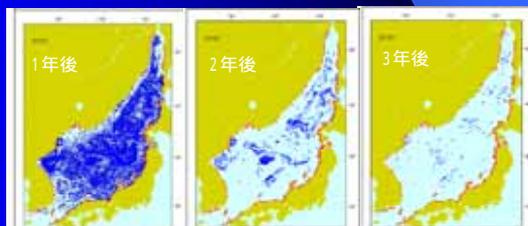
1) 漂流予測計算 1

日本海の海上漂流物の平均的な移動・集積特性を調べる、
2003年 ~ 2006年の4年間の流動場、風の月平均値を使用



計算開始から1年間(全12回)、毎月1回1日に $1/6^\circ \times 1/6^\circ$ に1個、
日本海全域一様に投入。(3,973 × 12月 = 全47,676個投入)

ケース1(ライター)
空中:水中 = 0:1



まず、日本海で漂流・漂着予測モデルの妥当性を確認しました。流動モデルの結果として RIAMOM による 2003 年 1 月 1 日から 2006 年 12 月 31 日の 4 年間の流れの計算結果を用いました。(この計算には風が流れに及ぼす効果を含んでいます。)風は気象庁の全球モデルの初期値(観測値)を用いました。仮想漂流物(対象アイテム)には調査データが豊富なライターを選択しました。回収ライターを計測したところ、空中:水中の断面積比はさまざまでしたが大きく区分して、1:1、1:2、1:1 のものがあるとみなすことにしました。それぞれのおおよその割合は 15%、75%、10% としました。

まず、日本海では、漂流物はどのように移動したり集積したりするのか、その特徴を調べました。日本海に一樣に粒子を分布させ、それが長い時間の中にどこかに集まりやすかったり、顕著な移動経路があったりするのかどうかを確認しました。

計算の全期間は 2003 年から 2006 年の 4 年間とし、計算開始から 1 年間、毎月の初めに 1 つの格子に 1 個の割合で仮想漂流物を日本海の全域に一樣に投入しました。これは全部で 47,626 個の仮想漂流物を投入・追跡したことになります。その結果、ほとんど水面上に出ないような、空中:水中 = 0:1 の漂流物は、2 年後ではまだ多くが日本海の中央部に分布し、3 年経って大方漂着が完了する結果になりました。空中:水中 = 1:2 や 1:1 の物体は、1 年後にはまだ相当数が漂流していましたが、2 年後にはほぼ全数が漂着しました。空中:水中 = 10:1 や 100:1 の、風の影響を強く受ける物体では、もっと早く、1 年後にはほぼ全てが漂着してしまいました。以上のように、3 年という長い期間を見れば、漂流物が滞留するような海域は日本海には見当たりませんが、計算開始から 1 年あるいは 2 年くらいまでは、空中:水中断面積比が小さい物体は、日本海にたくさんある渦に捉えられて海上を漂っている可能性があります。

計算ケース

計算ケース (対象物)	対象物及び 沈下率 (空中:水中)	ゴミ粒子投入条件	計算期間	気象 流動条件
ケース1		・都市投入 ・対馬海峡流入(1000万人) 中国・台湾・韓国:日本=11:49:10 ^{*1}	助走2年間 + 2003年1月 ~ 2006年12月	平均値+ 日データ
ケース2	ライター 1:2→全体の75%	・都市投入 ・対馬海峡流入(500万人) 中国・台湾・韓国:日本=11:49:10 ^{*1}		
ケース3	0:1→全体の15%	・都市投入+流域投入 ・対馬海峡流入(1000万人) 中国・台湾・韓国:日本=11:49:10 ^{*1}		
ケース4	1:1→全体の10%	・都市投入+流域投入 ・対馬海峡流入(2000万人) 中国・台湾・韓国:日本=11:49:10 ^{*1}		
ケース5	ポリ容器 10:1	・都市投入+流域投入 ・対馬海峡流入(2000万人) 中国・台湾・韓国:日本=11:49:10 ^{*1}		
ケース6	ペットボトル 100:1	・都市投入+流域投入 ・対馬海峡流入(2000万人) 中国・台湾・韓国:日本=11:49:10 ^{*1}		

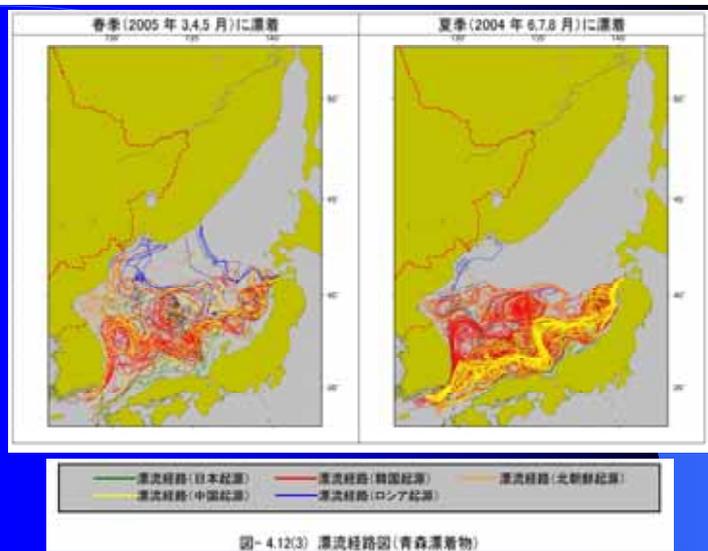
*1 藤枝繁・小島あずさ(2006):東アジア圏域における海岸漂着ゴミの流出起源の推定. 沿岸域学会誌, Vol.18, No.4, pp.15-22. による対馬の漂着割合

*2 平成17年度漂着実態調査による対馬の漂着割合

*3 平成17年度漂着実態調査による隠岐の漂着割合

計算は、漂流物としてライターを想定したケース1からケース4、ポリ容器を想定したケース5、ペットボトルを想定したケース6を実施しました。

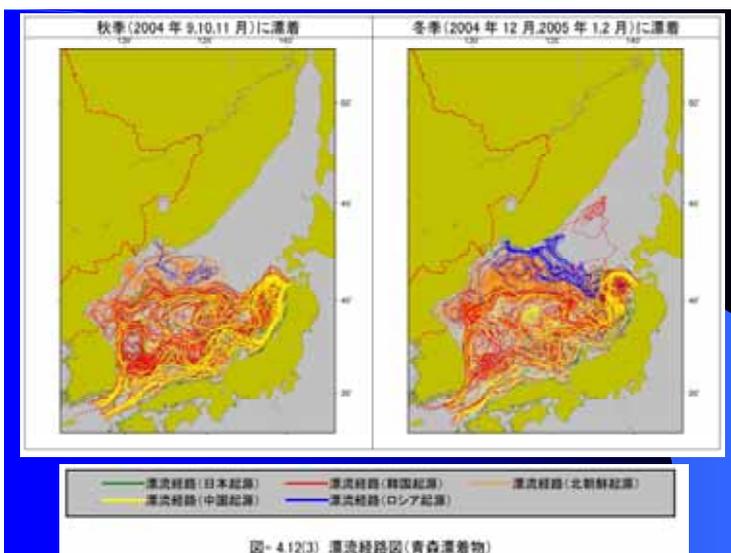
ライターの沈下率は、回収したライターの比率に従って設定しましたが、ライターが海に流れ出した時点での沈下率は正確にはわかりません。



ある海岸に漂着したゴミがどこから来ているかを見たのがこの図です。

ここでは、例として青森県のある海岸(格子)に漂着した粒子の、漂流開始から漂着までの経路を示しています。漂着粒子の数が多いので、四季に分け、経路はゴミの起源国別に色を変えて示してあります。

夏に漂着するゴミは、対馬海峡から流入するものや韓国の南東部の海岸から出て対馬暖流に乗って青森まで到着するものが多く見られます。



一方、北西の季節風が強い冬季に漂着するものは、対岸の北朝鮮、ロシアから流れ出したゴミが多くなります。

様々な検討ケース

- 冬季季節風による日本海の漂流物の移動
～ 沈下率による振る舞いの違い～
- 冬季に漂着するポリ容器の挙動
～ 発生場所別の経路～
- 東シナ海からの漂流物の軌跡
～ 漁業用フロートを手掛かりとして～

ご覧頂いたように、モデルの妥当性を確認した上で、これらのモデルを用い、さまざまな検討を行いました。

ここでは、冬季季節風による日本海の漂流物の移動、冬季に日本沿岸に多数漂着するポリ容器の挙動、どこにでも見つかる漁業フロートの発生域について検討を行いました。

冬季季節風による日本海の漂流物の移動

- 日本海の漂流ゴミの移動は風の影響が大きい
- 冬季季節風が卓越する時期を対象
- 異なる沈下率のアイテムを比較
- 大陸海岸線格子点から漂流開始
- 条件による到達時間を比較

漂流ゴミの移動には風の効果が大きいことがわかっています。日本海では、冬季は強い北西の季節風が吹くので、この時期を選んで海上の漂流物の移動を検討しました。海上の漂流物は、海面上に露出した部分の割合によって風による影響の受け方が違います。そこで沈下率の異なるアイテムを選び、大陸の海岸に沿った格子点から漂流を開始させました。条件による移動状況の違いを比べてみました。

1) 計算条件

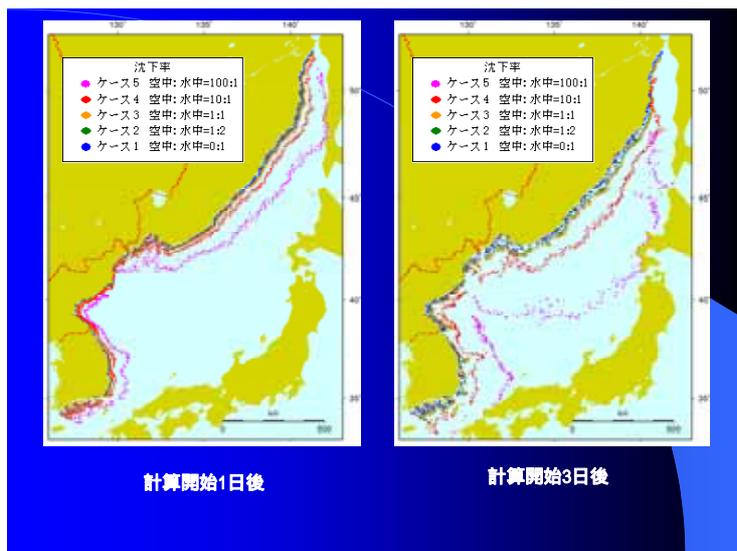
計算対象時期: 冬季
2005年12月～2006年2月
投入位置:
大陸沿岸格子
沈下率: 5 ケース
空中: 水中 = 0:1 ~ 100:1



海面浮遊物体の沈下率

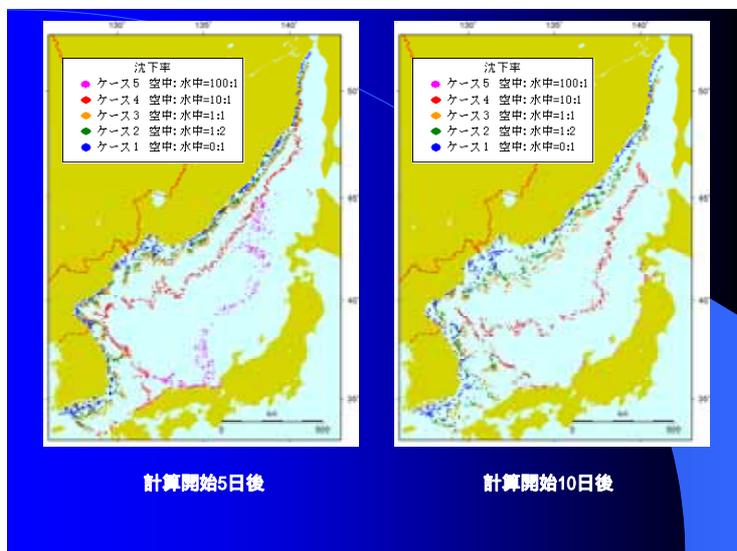
計算ケース	対象とするアイテム	沈下率	備考
ケース1	ライター(タイプ1)	空中:水中 = 0:1	全く風の影響を受けない
ケース2	ライター(タイプ2)	空中:水中 = 1:2	
ケース3	ライター(タイプ3)	空中:水中 = 1:1	
ケース4	ポリ容器	空中:水中 = 10:1	中身空
ケース5	ペットボトル	空中:水中 = 100:1	蓋付き、中身空

計算の対象時期は、2005年12月から2006年2月の冬季としました。右上の図の大陸に沿った青い点が投入位置です。沈下率は5種類とし、それぞれの沈下率が代表するアイテムを示しました。

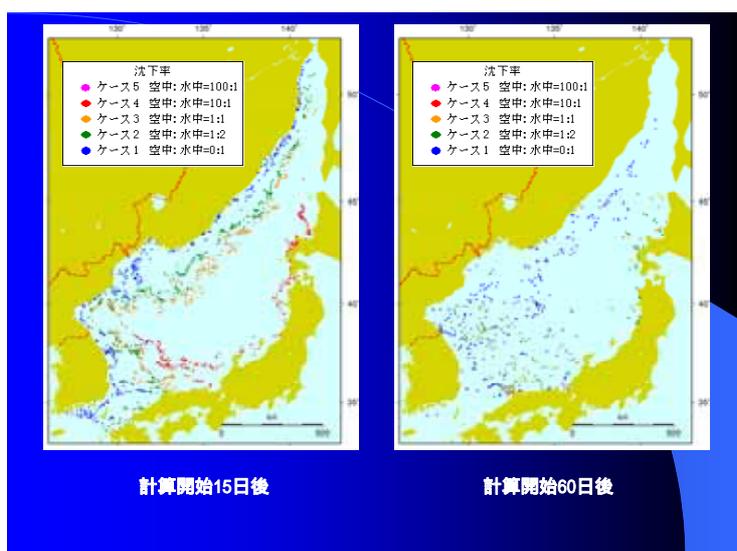


5種類の沈下率の物体を一斉に漂流開始させました。漂流物の位置は、沈下率別に色分けして示してあります。

計算開始後3日経つと、風の影響を最も受けやすい空中:水中=100:1のものは、すでに九州や北海道の一部に到達しています。北朝鮮海岸から出たものは少し移動が遅いようです。



計算開始後10日経つと、100:1の物体はほとんどが漂着済みになります。それに続いて10:1、1:1以下のものが日本海を移動してきます。

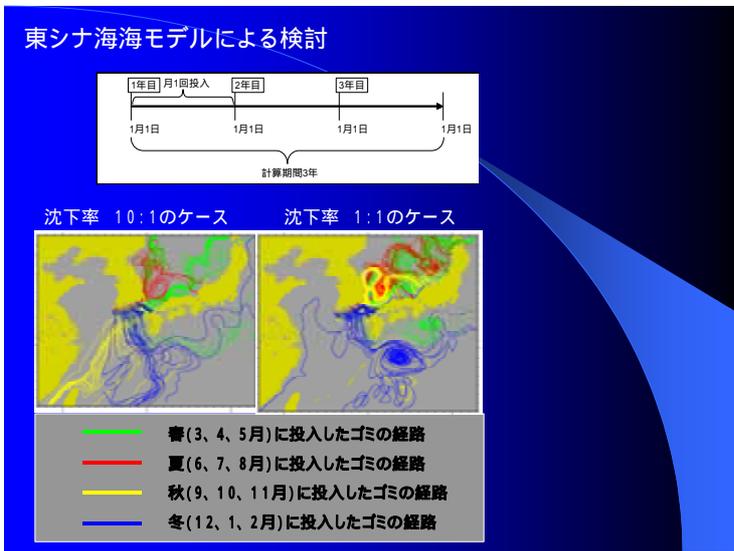


計算を開始して15日も経つと、空中:水中=10:1の物体も、かなりの数が漂着済みになります。

計算開始後60日経っても日本海の海面を漂流しているのは、ほとんどが空中:水中=1:1以下のものだけになります。

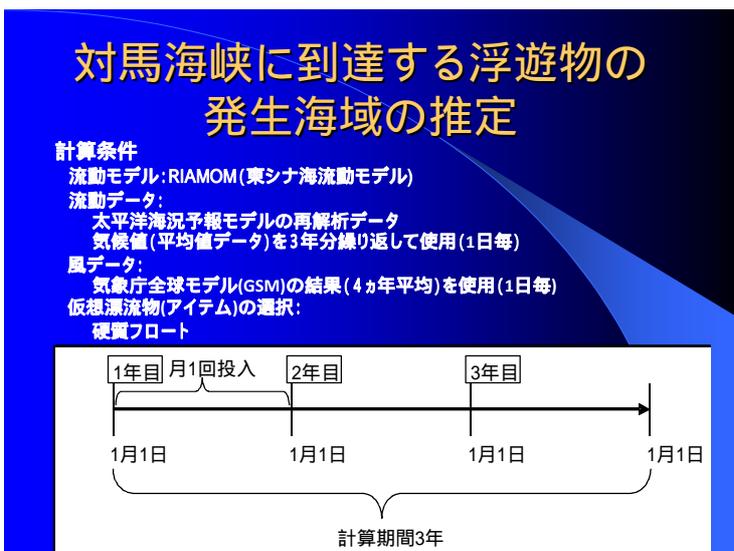
空中:水中 = 10:1					空中:水中 = 1:1						
	漂着 個数	漂流時間(日)			最大 発生月		漂着 個数	漂流時間(日)			最大 発生月
		平均	最大	最小				平均	最大	最小	
北海道	0	0	0	0	-	7	252	280	219	4月	
青森	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	
秋田	0	0	0	0	-	1	49	49	49	2月	
山形	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	
新潟	0	0	0	0	-	5	145	268	88	12月	
富山	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	
石川	33	40	54	25	2月	53	105	348	40	1月	
福井	34	31	51	19	2月	102	93	283	29	1月	
京都	25	29	42	19	1月	19	63	273	28	2月	
兵庫	26	28	38	15	2月	39	60	284	29	12月	
鳥取	45	22	38	14	2月	52	45	302	15	12月	
島根	193	16	36	7	3月	240	34	305	14	2月	
山口	139	14	31	6	1月	148	27	46	15	1月	
福岡	46	13	24	6	2月	31	25	33	18	12月	
佐賀	3	11	17	7	2月	4	25	35	18	1月	
長崎	51	9	14	6	1月	33	21	35	13	1月	

韓半島を出発した漂流物が日本の海岸にたどり着くのに要する時間は、風の影響を受けやすいものと受けにくいものとはかなり違いがあります。空中:水中=10:1のものでは、早ければ1週間くらいで九州沿岸に漂着し、1:1のものでは2週間から3週間で漂着しています。



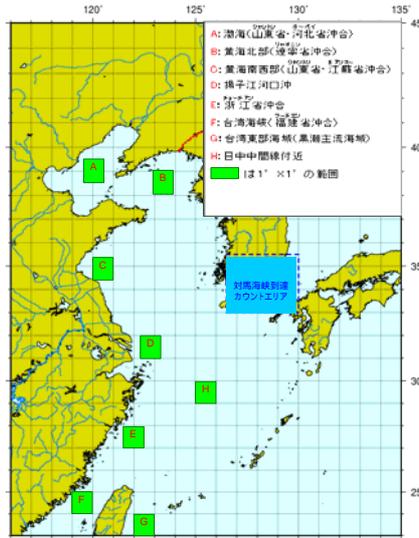
対馬海峡の南側にポリ容器が流れ出る可能性があるのかどうか、東シナ海モデルを使って計算を行ってみました。青色で示された経路が冬季の漂流経路です。2007年度に日本に漂着したポリ容器は、日本海沿岸だけでなく、奄美諸島でも多数発見されましたが、沈下率や風の状況によっては奄美諸島方面に到達する可能性は十分にあると考えられます。

現在のモデル計算ではポリ容器の出発点を韓半島の海岸としています。海上のどこから流れ出した可能性も否定できません。より正確な可能性を追求するためには、実際に流れてきたポリ容器が、どのような状態であったかのデータをきちんと整理する必要があります。



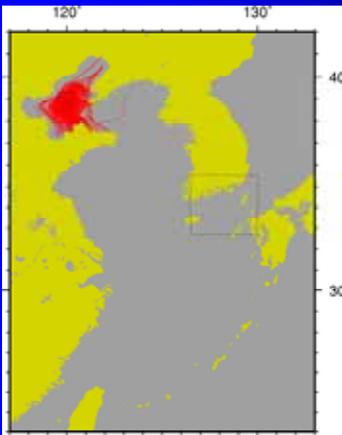
広く東シナ海近辺から対馬海峡に到達する浮遊物はどこに起源があるのかを推定する計算を実施しました。計算には東シナ海モデルを用い、仮想漂流物として漁業用の硬質フロート(空中:水中 = 1:1)を想定しました。硬質フロートはオレンジ色や青色のものが多く見られます。こういったフロートは日本の海岸いたるところで発見されています。

東シナ海、黄海、渤海から漂流を始めた物体がどのように対馬海峡へたどり着くか

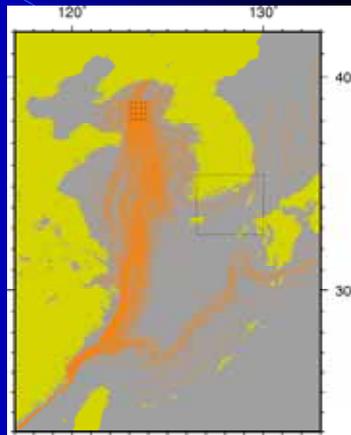


このような小さなフロートがどこから来る可能性があるのか、東シナ海から黄海、渤海にかけていくつかの領域を選び、漂流経路を描いてみました。

エリアA 渤海 (山東省・河北省沖合)



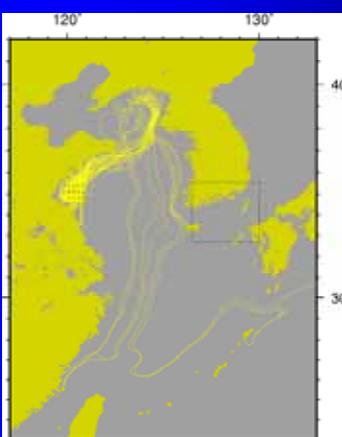
エリアB 黄海北部 (遼寧省沖合)



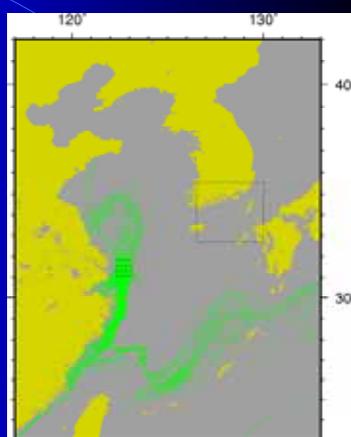
左の図は渤海に流出海域を設定したものです。ほとんど全て周辺の海岸に漂着して黄海や東シナ海まで流出するものではありません。

右の図は黄海北部の西朝鮮湾を流出海域としたものです。流出した季節により、沿岸の中国、北朝鮮、韓国の海岸に漂着するもの、南下して中国の江蘇省、浙江省、福建省に至り、さらに台湾海峡を南下するものもあります。一部は黒潮に乗って日本の太平洋側へ出て行くものもありますが、対馬海峡から日本海へ入るものは多くありませんでした。

エリアC 黄海西南部 (山東省・江蘇省沖合)

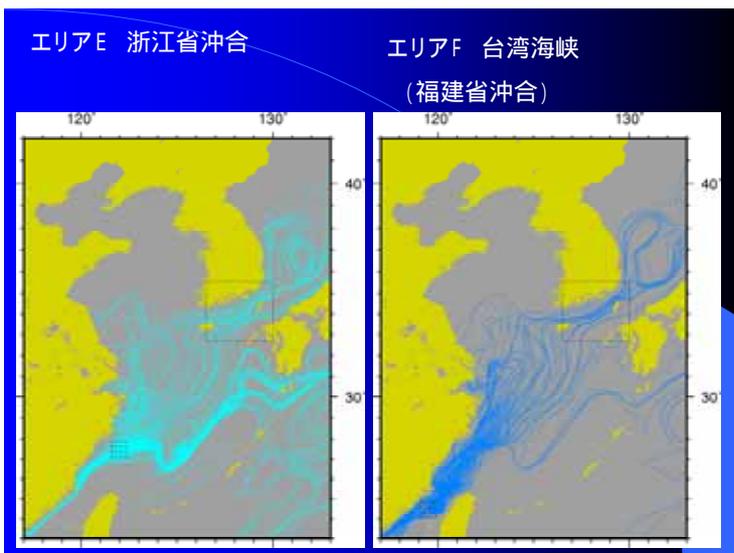


エリアD 揚子江河口沖



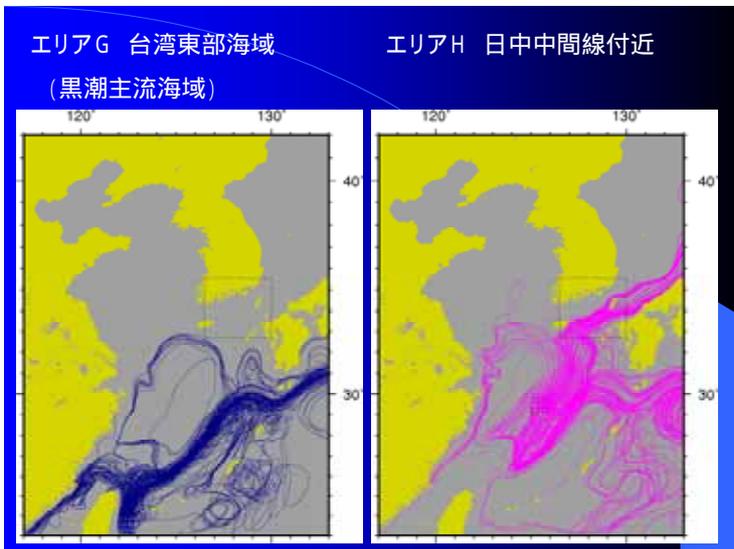
左図のように山東半島の付け根の海上を流出海域とした場合は、大方は山東半島の南岸に漂着し一部は西朝鮮湾の中国、北朝鮮海岸に向かいます。

右図のように、上海の沖合いを流出海域とした場合は、季節により、大陸沿いに南下して台湾海峡をさらに南下したり、黒潮本流に乗って日本の南側に流れ出すものもあります。一部は北側の江蘇省の海岸に漂着しています。



左図は浙江省沖合いを流出海域としたものです。季節により、台湾海峡を南下するものもありますが、多くは北上し、黒潮に乗るもの、浙江省、江蘇省の海岸に漂着するものもあり、さらに、かなりの数が対馬海峡を通過して日本海に入っています。

右図は台湾海峡の中を流出海域としたものです。南下するものと北上して中国沿岸に漂着するものと対馬海峡を通過するものがあります。



左図は台湾の東側を流出海域とするものですが、黒潮本流に乗って北上した後、季節により、一部は台湾海峡へ流入しますが、大部分は太平洋へ流出します。

右図は日中中間線付近からの流出です。太平洋側へも流出するものも、対馬海峡経由で日本海に流入するものも多数あります。

フロートがどこから来るのか、正確なことはわかりませんが、東シナ海の適当な場所で放棄されれば日本海へ流入する可能性は十分高いということがいえます。

今後の課題と方向性

- 東シナ海沿岸域の人口設定、台湾海峡からの流入量設定等の不確実性の改善
- 海洋表層流計算結果取り込み手順の迅速化
- 東シナ海の流動予測計算の高精度化
- 風圧流の高精度評価（形状依存性）
- 海上一般漂流物（船、人間等を含む）のリアルタイム漂流予測システムの開発への応用
- 社会的要請に応えられるシステムの開発

最後に今後の課題と方向性を示してみました。

ひとつめの課題としてモデルの高精度化が挙げられます。

現在のモデルは、海流の計算結果と漂流物が直接受ける風（風圧流）を組み合わせる移動予測をしています。漂流物を取り囲むごく表層の海水自体にも吹送効果が働くため、その効果をモデルに組み込むことで、モデルの一層の高精度化を図ることができます。

また、東シナ海の流動モデルの計算格子間隔を現在の $1/6^\circ$ から日本海モデルと同じ $1/12^\circ$ にすることでモデルの高精度化を図ります。

また、東シナ海沿岸域の人口設定や台湾海峡からの流入量は不確実性を伴うため、逆にこのモデルを使って最適な入力条件を導きます。

また、現在使用している風データは全球モデル(GSM)の再解析値ですが、計算する領域によってより高精度なメソ数値予測モデル(MSM)を使用できるようにして、モデルの高精度化を図ります。

ふたつめの課題は、予測システム開発の可能性です。

現在は、外洋における予測モデルに主眼を置いています。外洋から内湾まで様々な海域でこのモデルが適用できるよう、モデルに汎用性を持たせます。

また、海上一般漂流物（船、人間等を含む）のリアルタイム漂流予測システムの開発への応用が可能です。

最後に、これらの課題をクリアすることによって、より高精度な漂流・漂着予測システムを構築し、どこの何に対応すれば、漂流・漂着ゴミを減らせるのか、沿岸各国との確かな情報交換をして効果的な対策を施すことが重要であると考えています。

4. 検討会の運営

平成 19 年度は、検討委員会を下記のとおり 1 回開催し、漂流・漂着ゴミ予測手法の検討結果について検討いただいた。

平成 19 年度 漂流・漂着ゴミに係る国際的削減方策調査業務検討委員会

日時:平成 20 年 3 月 4 日(火)14:00～16:00

場所:東京八重洲ホール412号会議室

議事:

- (1) 漂流・漂着ゴミ予測手法検討結果報告
- (2) 浮遊物の沈下率測定結果報告

出席者:

(敬称略)

区 分	氏 名	役 職
委 員 (50 音順)	兼広 春之(座長)	東京海洋大学海洋科学部 教授
	小島 あずさ	JEAN/クリーンアップ全国事務局 代表
	藤枝 繁	鹿児島大学水産学部 准教授
	道田 豊	東京大学海洋研究所 教授
	尹 宗煥	九州大学応用力学研究所 教授
環境省 地球環境局	深見 正仁	環境保全対策課 課長代行
	竹本 明生	環境保全対策課 課長補佐
	安達 裕司	環境保全対策課 審査係長
	柴 里実	環境保全対策課 審査係
事 務 局	水谷 眞智子	いであ株式会社 環境技術本部 水環境解析 G 主任研究員
	河野 史郎	いであ株式会社 環境技術本部 環境技術 G 研究員
	諸町 爽子	いであ株式会社 技術営業部 主任

資料編

- 1．外力データ（モデル上の風速場と流速場）----- 資-1
- 2．沈下率の測定結果----- 資-15
- 3．ライターの腐食実験（海中浸漬実験）----- 資-39