

日本海沿岸に漂着したポリ容器の漂流源の推定

中村 啓美：海洋研究室

瀬河 孝博，尾形 淳：環境調査課

Prediction of Sources of Plastic Containers Washed up on the Japan Sea Coast

Hiromi NAKAMURA : Ocean Research Laboratory

Takahiro SEGAWA and Jun OGATA : Environmental and Oceanographic Research Division

1 はじめに

平成14年2月下旬，福井県から島根県一帯の日本海沿岸に4,000個を超すポリ容器が漂着した。多くの容器に，「 H_2O_2 」，「過酸化水素」，「亜塩素酸」のほか会社名などがハングル文字で表示されていた。また，これより前の1月には九州の長崎県，福岡県，更に山口県の日本海沿岸にも多数の漂着が確認された他，4月には北海道沿岸でも発見された。これら漂着地域から，多数のポリ容器が漂着した若狭湾沿岸を起点とし，漂着情報のあった2月20日を起日とした漂流源を推定するため，「単線型漂流予測計算プログラム」と現在運用されている「リアルタイム海況データベース」の当時の風，海流データを使用して逆漂流予測経路の計算を行った。

また，過去に朝鮮半島東岸で放流された漂流パイと同じ位置を起点として，秋季の11月にポリ容器を投棄した場合を想定した漂流予測経路も試行した。

冬の日本海を対象とする漂流予測精度は，季節風，冷水域，暖水域の分布，更に卓越する対馬暖流の変動等の現況，すなわち希薄な現場の気象，海象データの把握に依存されるものと考えられる。

2 ポリ容器の漂着状況

写真1は，海岸に漂着したポリ容器の状況，写真2はハングル文字で表示されたポリ容器の例である。漂着したポリ容器のほとんどが日本では灯油缶等に使用されている20～30リットル缶と同じ型である。また，第1図は第八管区海上保安本部の調査に

よる管内のポリ容器の漂着状況である。



写真1 漂着海岸

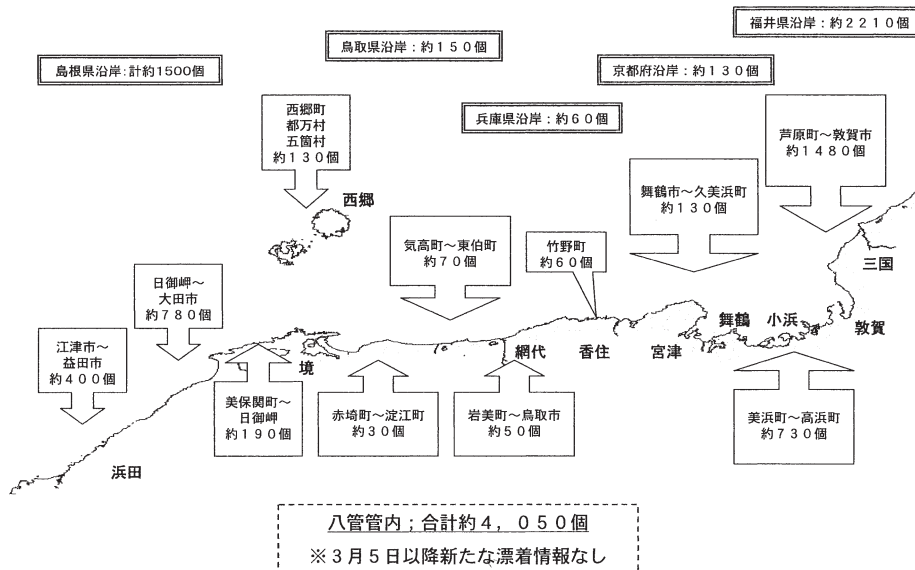
Photo.1 A lot of litter washed up on a coast.



写真2 ポリ容器

Photo.2 Plastic container.

管内ポリ容器漂着状況(平成14年2月17日～3月25日)



第1図 漂着状況図

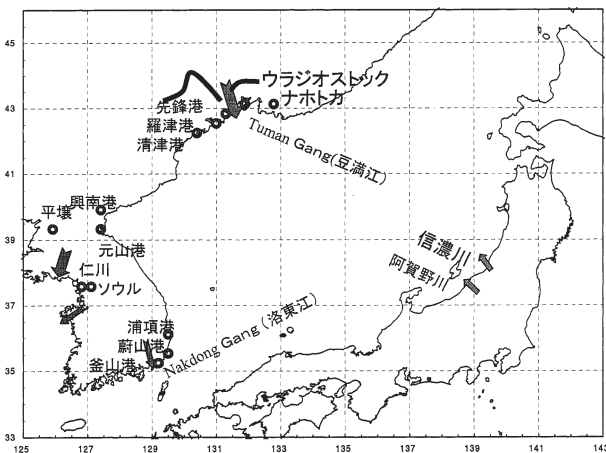
Fig. 1 Distribution map of plastic containers which drifted ashore.

3 日本海及び周辺の自然環境

3.1 日本海へ流入する主な河川と朝鮮半島東岸の主な港湾

第2図は、面積約100万km²の日本海に流入する主な河川を示す。南部には、Busan(釜山)から対馬海峡へ流入する流域面積約6,180km²の Nakdong Gang (洛東江)、北部には北朝鮮とロシア連邦国境から流入する約2,080km²の Tuman Gang (豆満江) の2つがあり、日本からは流域面積11,900km²の信濃川と、

7,710km²の阿賀野川が流入している。また、朝鮮半島東岸の主要な港湾を概観すると、南東部に韓国の二大貿易港の1つである釜山港、これから北に行くと韓国最大の工業港である蔚山港、更に世界有数の浦項総合製鉄所がある浦項港、更に北の東朝鮮湾には、鉄道車両基地と元山造船所がある元山港、化学工業地区にあって背後に肥料工場や繊維工場などがある工業港である興南港があり、この北には北朝鮮最大の港である清津港、天然の良好で、工業製品と塩、雑貨などを扱う羅津港、原油専用港の雄基港(先鋒港)が存在している。



第2図 主な河川と港湾

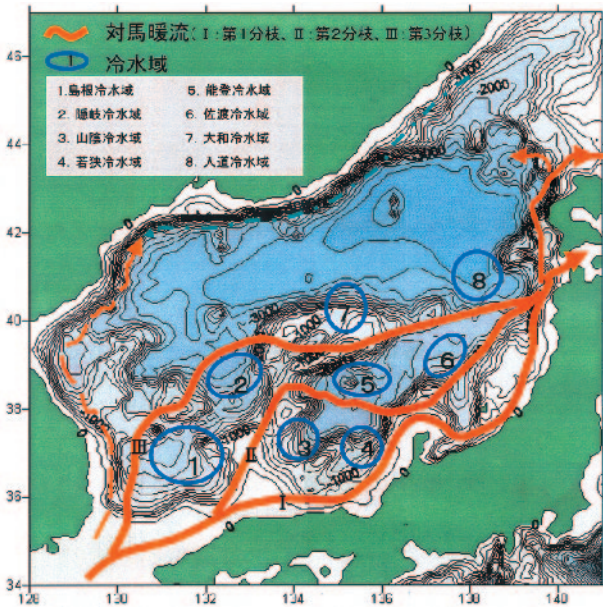
Fig. 2 Main rivers and ports.

3.2 日本海の海流と海底地形

3.2.1 対馬暖流と冷水域

日本海に卓越する主な流れは、対馬海峡から日本海中央に流去する対馬暖流の3分枝と、朝鮮半島東岸を北上する東鮮暖流、またロシア連邦沿岸を南下するリマン海流がある。また、対馬暖流域にはいくつかの冷水域が存在する。第3図は、これら各海流と冷水域を模式化したものである。

対馬暖流の第1分枝は、山陰から能登の沿岸に沿って北上し、一部は津軽海峡から太平洋へ流出し、一部は北海道の西を北上して宗谷海峡からオホーツク海へ流出する定常的な流れである。この移動速度

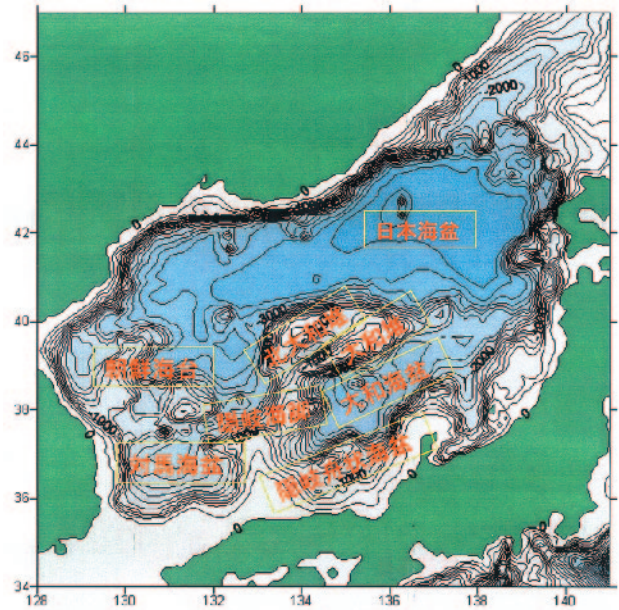


第3図 対馬暖流と冷水域の模式図
 Fig.3 Schematic map showing Tsushima warm current and cold water areas.

は平均10~50cm/sと見積もられている(花輪, 1984)。第2分枝は、隠岐島西方沖から北東流し、山陰冷水域、若狭冷水域、能登冷水域及び佐渡冷水域などを迂回しながら男鹿半島沖から一部は津軽海峡へ、一部は北海道西岸へ流去する約20~80cm/sの流れである。第3分枝は、対馬海峡から北流して韓国の沿岸からやがて北東に向きを変え、日本海では最深度をもつ日本海盆に流入し、大和海嶺を迂回して男鹿半島沖へ向かう約20~80cm/sの流れであり、この流れは、北緯40度線付近の極前線付近を東流する。この第3分枝は、朝鮮半島東岸沿いを北上する東鮮暖流を形成している。また、北部沿岸域では、リマン海流や北朝鮮寒流が南西に流れている。

3.2.2 日本海海底地形

第4図は、日本海海底地形を示す。大陸棚は日本側で発達しているのに比べて大陸側では大変狭く、広い大陸棚を有する隠岐海脚から連なる大和堆(最浅水深236m)と北大和堆(最浅水深397m)は、北側の深部である日本海盆(水深3,000~3,500m)と南東側の大和海盆(水深2,500~3,000m)、及び南西側の対馬海盆(水深1,500~2,500m)を分離し、他の海と連絡する対馬海峡、津軽海峡及び間宮海峡はいずれも浅くて狭いといったような特徴がある。



第4図 日本海海底地形
 Fig.4 Bathymetry of the Japan sea.

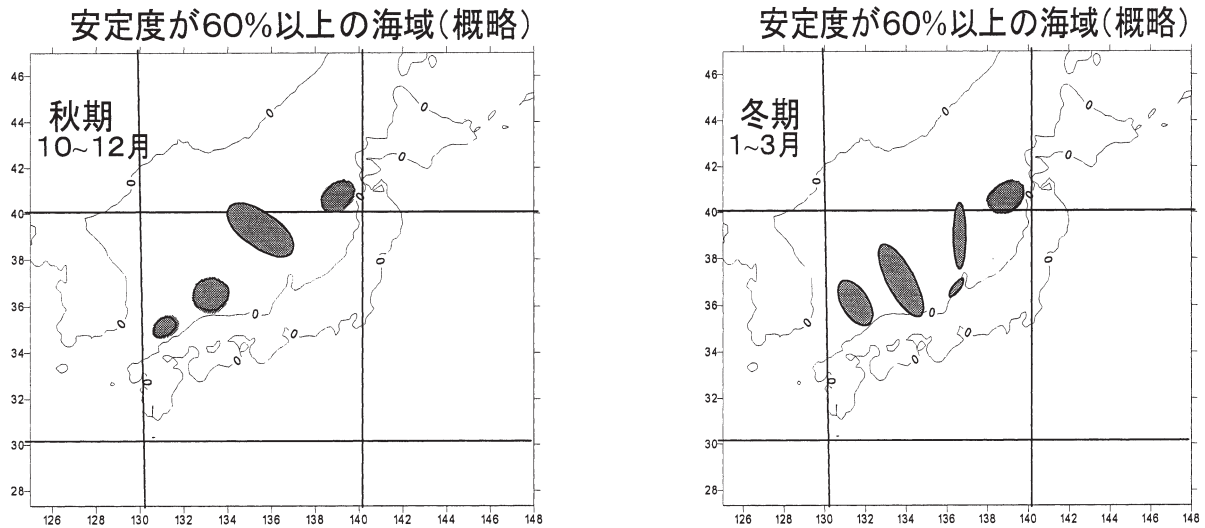
上で述べた日本海の流れと海底地形環境の中で、冬の日本海の表層循環は、両側が山脈のウラジオストックを吹き抜ける北西季節風が、中規模の循環を形成させる大きな役割を果たしている(尹・私信, 2002)。日本海の流れは、この季節風と海底地形効果が重なって複雑な変動をしていると考えられる。

3.2.3 海流統計値による海流安定度分布

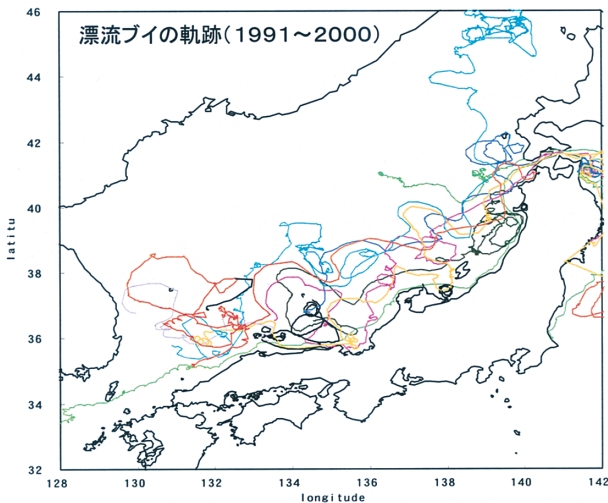
第5図は、「海流統計図-季節別-」(JODC, 1991)の緯度・経度30分メッシュの安定度の値から、秋期(10, 11, 12月)と冬期(1, 2, 3月)について、安定度が60パーセント以上の高い海域を模式化したものである。両季節とも、安定度の高い海域はほぼ同じ海域に存在し、能登半島沖の高い海域は、秋季より冬季の海域が狭く、また山陰沖の高い海域は、秋季より冬季の海域が広い。男鹿半島沖の高い海域は秋、冬季ともほとんど変わらない。

4 漂流ブイの軌跡

第6図は、1991年以降に日本海で海洋情報部(旧水路部)及び第八管区海上保安本部が投入したアルゴス漂流ブイの漂流軌跡である。漂流ブイは直径約30cmの球形で、海面下には海流の抵抗を受け漂流するように抵抗体(ドローク)が取り付けられている。これら漂流ブイは、12個中9個が12月~3月に投入



第5図 海流安定度の高い海域
Fig. 5 Areas of high current stability.



第6図 漂流ブイの軌跡
Fig. 6 Tracks of drifting buoys.

されている。

この図から、ほとんどの漂流ブイが、北緯40度付近に存在する極前線を越えて北へ流れていないこと、蛇行しながら小規模な低気圧性、高気圧性の渦と思われる回転を伴うなど、対馬暖流の複雑な流れが良く解る。

5 ポリ容器漂流源の推定

5.1 逆漂流予測計算

第1表は、逆漂流予測計算に使用したプログラムと各係数、及び風、海流を示す。「リアルタイム海況

第1表 計算プログラムとデータ
Table 1 List of programs and data.

使用プログラム	漂流物 漂流誤差円 漂流時間 吹送流偏角 吹送流係数 風圧係数 断面積比	板(A/B=1) 漂流距離の1/8 12時間毎、10日間 15度 0.0126 0.025(風圧中心の低い物体) 1.0
使用データ	風(観測値)	日時毎30'メッシュ 例(w_obs 20020101_11_30.mesh)
(リアルタイム海況データベース)	海流	日時毎10'メッシュ 例(f_010_20020101_10.mesh)

データベース」は、漂流予測精度向上に向けて、風、海象データを一元的に収集・処理・管理し、短期間の漂流予測・逆漂流予測に使用される「オンライン漂流予測プログラム」、及び「海洋速報」の作成等に使用されているデータベースである。

今回試行した漂流源の推定は、平成14年2月という過去の事例であること、長期間の漂流計算が予想されること、また日本海の北部では海流や風のデータが希薄と考えられること等から、データを手入力で計算できる「単線型漂流予測計算プログラム」を使用した。すなわち、漂流経路を単線に表示し、漂流距離の1/8の誤差円を表示することとした。計算の進め方は、12時間前の位置を算出し、24時間毎に誤差円を表示して10日間繰り返し、10日目の中心位置を起点にして、また10日前まで計算を繰り返すという方法で進めた。10日間とした理由は、これ以上長くすると誤差円が大きくなり、位置の誤差が大き

なり過ぎると判断したものである。

対象としたポリ容器は、漂流中の海面上・下の面積比は変動していると考えられるが、ここでは「板」と同じ1：1の面積比を全期間採用した。また、風データは「リアルタイム海況データベース」の日別1時間30分毎に用意されている30分メッシュ値から、23時30分と11時30分の風が、その時刻以後12時間そのメッシュ内を吹いていたものとした。更に海流データは、日別の緯度・経度10分メッシュ値を使用した。両要素とも、データが無いメッシュがあり、この傾向はアジア大陸に近づくと増大した。データが無い場合は、隣りのメッシュあるいは近傍のメッシュを検索し、風については周辺メッシュの傾向や天気図の気圧配置を考慮しながら、また海流については流向・流速を想定しながら、主として他のメッシュから採用し、採用できないと判断した場合は、想定流線により想定した。

5.2 逆漂流予測経路の結果

海岸の漂着調査は平成14年2月20日頃であったので、漂着日時を2月20日12：00、漂着位置は若狭湾東端（北緯35度50分、東経135度55分）とした。第7図は、2月20日から前10日毎の逆漂流予測経路を順に示した図であり、第8図は、計算した全期間の逆漂流予測経路と、過去に旧水路部が日本海で放流した漂流ブイの漂流経路を合わせ表示した。

予測結果は、逆漂流予測開始の2月20日から約3ヶ月前の11月14日頃、極東ロシアのピョートル大帝湾奥まで遡ったので、予測計算を打ち切った。この間の逆漂流予測経路から、20日間毎の漂流を想定すると以下のとおりとなる。

11月14日頃～12月1日：ピョートル大帝湾奥で投棄されたポリ容器は、南東へほぼ一直線で漂流を始めたが、11月20日頃から移動量は小さいながら東へ向きを変え、11月26日頃に向きを南方向に変えて12月1日には丹後半島の真北、北緯39度付近に到達した。

12月1日～12月20日：丹後半島真北、北緯39度付近に到達後、12月10日頃までは左旋回で南下し、12月12日頃からは右旋回となり、12月17日頃、南に変化して丹後半島の北、北緯37度付近まで達

した。

12月20日～1月10日：丹後半島の北、北緯37度付近から、北上傾向で右旋回し、12月26日頃に南下を始め、12月30日頃丹後半島付近へ漂着した。1月1日頃からは北東海上へ大きく離岸を始め、1月10日頃に越前岬の北沿岸域に到達した。

1月10日～1月31日：越前岬北沿岸域（海岸漂着あり）から、大きい右旋回で能登半島西方沖まで流れたが、1月17日頃富山県沿岸へ向きを変えた。1月20日頃、再び越前岬北部沿岸まで南下して、周辺海岸へ漂着しながら西へ流れ、1月30日頃に丹後半島沿岸に接近した。

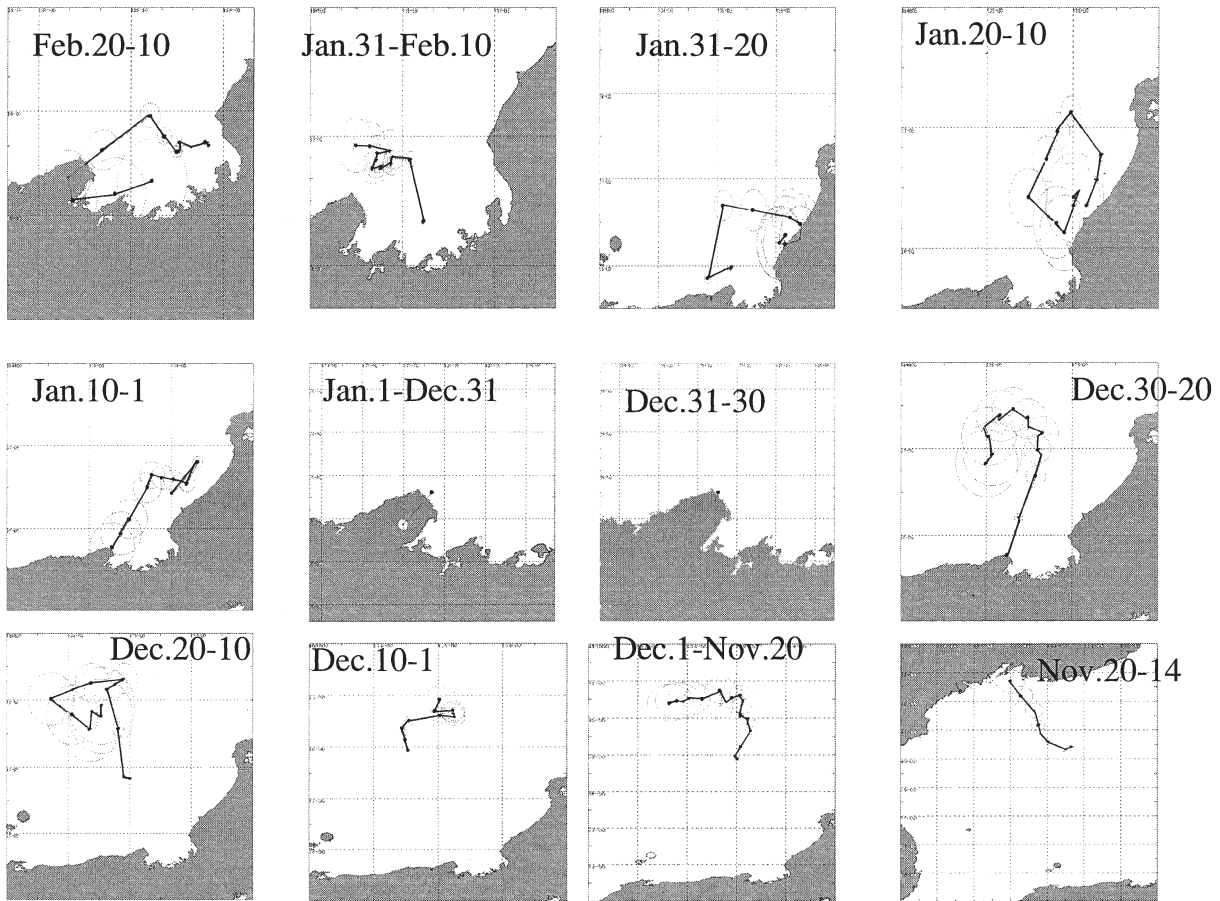
1月31日～2月20日：丹後半島沿岸から、若狭湾口を東へ流れ、小規模な左旋回後、若狭湾奥部へ流れ湾奥の海岸に漂着し、更に西側海岸一帯へ漂着した。2月14日頃に一旦若狭湾沖合へ離れたが、2月15日になって南東へ流れ、2月20日頃起点周辺の海岸一帯へ漂着した。

6 漂流予測経路と海面高度計データとの比較

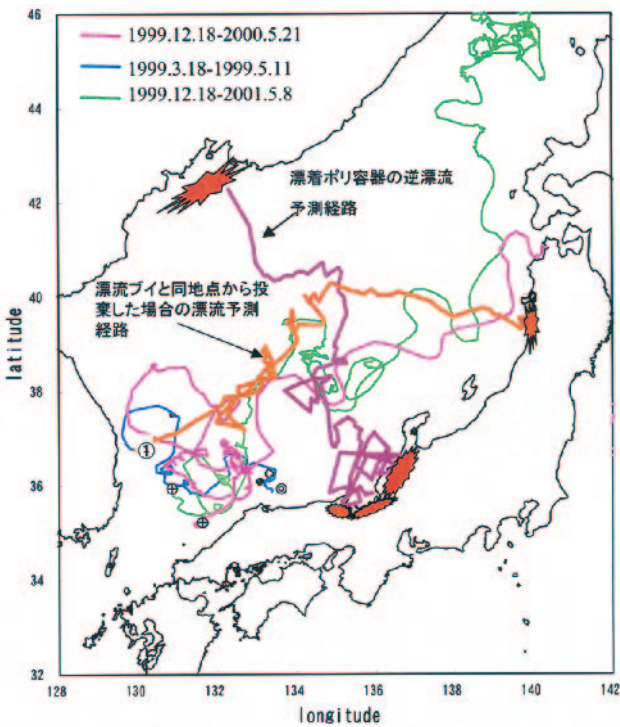
第9.1図～第9.2図は、漂流予測経路の途上で、特徴的な経路が見られた期間を選び、Topex/Poseidonの海面高度偏差図と比較したものである。第9.1図では、予測経路が右旋回した11月20日～12月1日の期間中から11月25日の偏差図を、またその後左旋回した12月1日～10日の期間中は12月6日の偏差図を示した。それぞれ暖水域と冷水域の影響による漂流が考えられる。また第9.2図では、12月10日～20日に見られた右旋回の経路、及び12月20日～30日の右旋回の経路はそれぞれ暖水域によるものと考えられる。

7 強風期間中の漂流

第2表は、「リアルタイム海況データベース」から、漂流期間中に10m/s以上の強風が吹いた期間とその時の風向、風速、及び漂流方向を示したものである。風圧を受ける中心が低い漂流物の場合、風による漂流量は風速の2.5%であるので、15m/sの風では約40cm/s移動することとなり、対馬暖流の平均的な速度と同じ量となる。強風時の影響は、第7図の



第7図 10日毎の逆漂流予測経路
Fig. 7 Reverse drift prediction route in every 10 days.



第8図 漂流予測経路と漂流ブイの経路
Fig. 8 Drift prediction route and drifting buoy route.

第2表 強風期間中の風向、風速とポリ容器の漂流方向

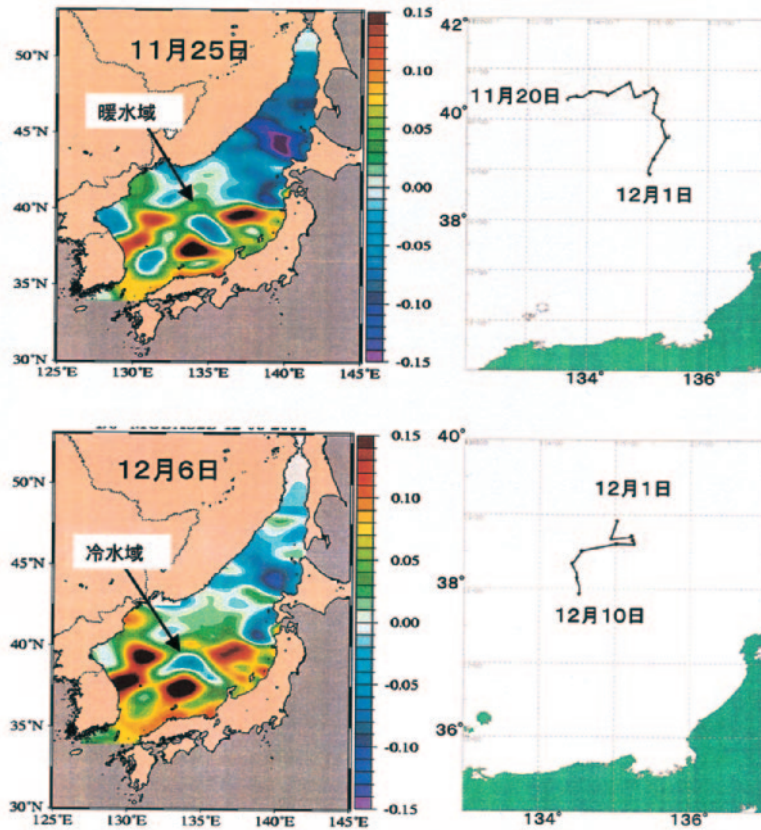
Table 2 Wind direction and velocity, and direction of the container drift.

期間	風向	風速	ポリ容器の漂流方向
11月14日～19日	北西～北北西	9～14m/s	南東
11月25日～30日	北北東	10～14m/s	南
12月6日～11日	北西	10～14m/s	南南東
12月14日～15日	西	21m/s	東北東
12月23日～24日	西北西	14m/s	北東
12月27日～30日	北	13～18m/s	南南西
1月10日～12日	北北西～北	13～18m/s	南南西

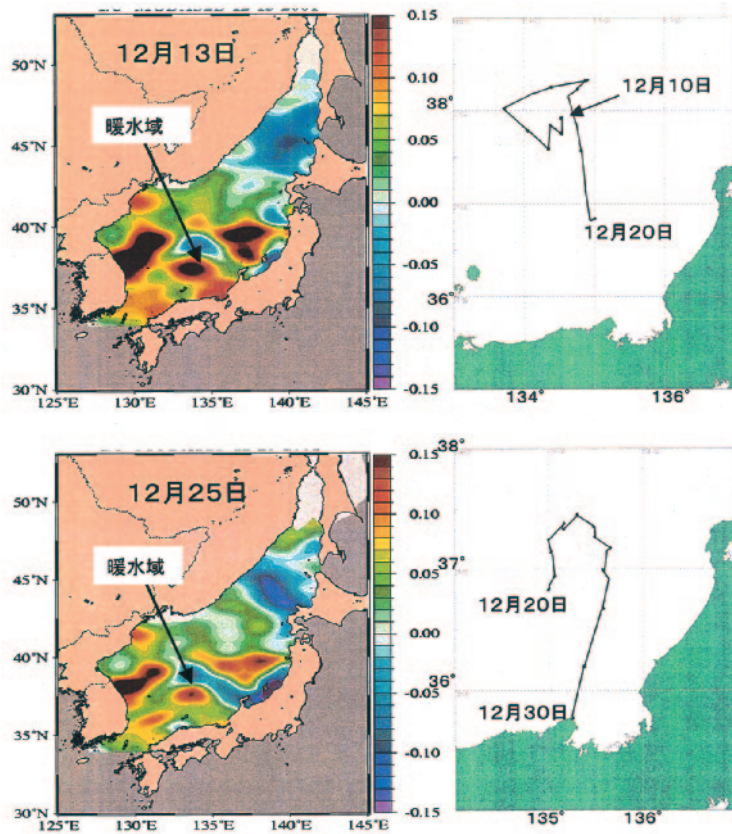
漂流方向に顕著に見られる。

8 朝鮮半島東岸を起点とした漂流予測計算結果

第8図の橙色で示した経路は、平成11年3月18日に朝鮮半島東沖で投入された漂流ブイ（漂流経路は青色で示す）と同位置①を起点にして、平成13年11月20日にポリ容器を投棄した場合を仮定した漂流予測経路である。前述同様、「単線型漂流予測プログラム」と「リアルタイム海況データベース」を使用し



第9.1図 海面高度偏差と漂流経路
Fig.9.1 Surface height deviation and drift route.



第9.2図 海面高度偏差と漂流経路
Fig.9.2 Surface height deviation and drift route.

て、同じ進め方で漂着地点まで繰り返した全期間の漂流予測経路である。

この漂流予測の結果は、漂流開始の平成13年11月20日から北東に漂流し、12月1日には隠岐諸島の真北、北緯38度付近まで達した。その後北緯39度付近まで北上後、逆に緩やかに南へ流れた。12月5日頃南西に進路を変え、12月10日に隠岐諸島の北西、北緯37度30分付近まで南下した後少し西へ流れたが、以後は流れて来た方向である北東方向へ逆に流れて、東経134度、北緯40度付近まで流れた。この付近は極前線があり、東の方向へ向かい、平成14年1月6日頃、男鹿半島南部海岸付近へ到達する予測結果となった。その到達までの期間は約1.5ヶ月であった。

9 海難と漂着事例

今回試行した漂流計算日から約1年前の平成12年12月に、日本海でコンテナと製材の流出海難がある。第10図の12月2日のコンテナ42個の流出では、12月13日以降に石川県能登半島西方から北西方沖で複数のコンテナが発見され、1月8日までに石川県等に6個が発見されている。また、12月24日の製材流出については、1月8日に青森県海岸に漂着している。

これら事例からも、冬季に日本海で流出した漂流物は、日本の沿岸部へ必ず漂着するものと考えられ

る。

10 結論と問題点

本報告では、「単線型漂流予測プログラム」と「リアルタイム海況データベース」を使用した。漂流源の推定と漂流予測に使用した当時の海流、風データについては、現場海域においての利用可能なすべてのデータを網羅しているものと考えている。

漂流源の推定では大陸沿岸へ、漂流先では秋田市南方の海岸となったこと、また海難例等から、流出の海域、時期、漂流物によって日本沿岸への到達期間、到達場所は異なるが、海流、風、冷水域、暖水域によって複雑な漂流経路となることが示された。

しかし、単線予測経路は、誤差円の中心位置の経路であり、実際のポリ容器の漂流状況が不明である中で海面上・下の断面積を1:1と固定したこと、風データについては、30分メッシュ内は12時間同じ風が吹いたとしたこと、更に漂流時間間隔をもっと短くして行う必要があったこと等の問題点が残る。

逆漂流予測による漂流源の推定を含め、漂流予測システムの高度化については、「リアルタイム海況データベース」の充実と、現在運用されている「オンライン漂流予測プログラム」の更なる拡充が図られており、益々信頼性の高い漂流予測、逆漂流予測結果が得られるものと期待される。

11 謝辞

おわりに、日本海海岸へ漂着したゴミ状況を調べていたところ、ポリ容器の漂着状況の貴重な写真、調査資料を第八管区海上保安本部からいただきました。厚く謝意を申し述べます。

参 考 文 献

花輪 公雄：沿岸境界流，沿岸海洋研究ノート，22(1)，67-82，(1984)
 橋本 祐一：若狭湾及び近海の流動について，舞鶴海洋気象台要報，15，1-11，(1985)
 磯田 豊・田中 希美子：対馬／韓国海峡周辺における対馬暖流分岐の経年変化，海と空，75(3)，71-79，(2000)



第10図 コンテナと製材の海難
 Fig.10 Marine accident of containers and lumbers.

- JODC：日本近海海流統計図—季節別—，(1991)
- 香西克俊：ナホトカ号船首部漂流期間を含む日本海南部における衛星海面高度場の変動，海と空，**75**(2)，53-66，(1999)
- 鮎野義夫：日本海の謎，築地書店，(1975)
- 気象庁：気象要覧，(2001，2002)
- 舞鶴海洋気象台海上気象課：日本海の海上気象，気象庁技術報告，**80**，1-62，(1972)
- 舞鶴海洋気象台海洋課：若狭湾(III)，沿岸海洋研究ノート，**12**(2)，145-149，(1975)
- 小田巻 実：大規模油流出事故に伴う漂流経路の予測について，沿岸海洋研究，**37**(1)，11-22，(1999)
- 尾形哲男：日本海の海洋生物，海洋科学，**184**(4)，(1985)
- 瀬河孝博，中村剛，岡野克彦：日本海におけるTOPEX/POSEIDON衛星高度計データを用いた海況の監視，測候時報，**67**(特別号)，s67-s72，(2000)
- 関根義彦：日本海の海洋循環について，月刊海洋，**23**(8)，509-514，(1991)
- 関根義彦：日本海の海洋循環について，海と空，**67**(特別号)，205-216，(1992)
- 馬谷紳一郎・廣江豊：衛星赤外画像から見た日本海の海洋循環。月刊海洋，**26**(12)，747-752，(1994)
- 米国海軍：海面高偏差図，<http://www7320.nrlssc.navy.mil/altimetry/index.html>