

調査と研究④

対馬海峡における流れ(1)

The Stream in Tsushima Strait, No.1

三井田 恒博*

はじめに

流れの実態を把握するための観測方法は、オイラー型とラグランジュ型に大別される。オイラー型は、ある特定点の流れの変動を係留測流系などを用いて測定することによって流動場の特性をとらえようとするものであり、ラグランジュ型の測流は、特定の水塊と共に移動するトレーサーの行方を追跡することによって、移動や分散の大きさを測定しようとするものである。トンネル建設に伴って必要とされる流れの情報は次の2点に大切されよう。ひとつは、各種の海洋構築物の設計、工事条件としての特定点における詳細な流れの資料であり、もうひとつは、建設工事に関連して、不測の事態によって海洋に排出された物質が時間の経過と共にどのように輸送・分散されていくかを予測するための広域にわたる流れの資料である。主に、前者はオイラー型観測によつて、後者はラグランジュ型観測によって得られる。さらに、トンネル建設に伴って直接的、間接的に影響を受けると予想される水産分野では、流れは浮遊性の魚卵、稚仔魚、幼生等の輸送や生残りの条件として、あるいは漁場形成条件として重要な役割を担っていることが指摘されており、オイラー型、ラグランジュ型観測はいずれも重要視されてい

る。

対馬海峡は、国際海峡として航海上、戦略上重要であり、また対馬海流の流路で各種回遊性魚類の移動系路にも当たっている等、海洋水産の調査研究の面からも興味深いところである。対馬海峡における測流は、旧海軍水路部、第7管区海上保安本部水路部、長崎海洋气象台、西海区水産研究所、各県水産試験場、大学ならびに韓国水産振興院等によって、他の外海域よりは比較的数量多く実施されてきた。これらの資料は膨大な量に達するものの、各機関がそれぞれの目的に応じて個別に実施されたものが多いため、時間的、空間的に不連続であり、今回の所期の目的に答えるにはきわめて不十分である。

本報告では、既往資料の中からラグランジュ型観測の海流びん、漂流ブイを用いた測流結果とオイラー型観測の定置測流結果について述べる。

1. 方法と資料

1.1 海流びん調査

本報告では、西水道においてはかつての慶尚南道水産試験場が1932～1939年に釜山牧島・対馬三ツ島間の横断定線で行ったものを、東水道においては福岡県福岡水産試験場が1954～1969年に福岡玄界島・対馬巖原間の横断定線で行ったものを用いる(図1、表1)。これらは、対馬海峡の全横

日韓トンネル研究

* 福岡県水産林務部漁政課

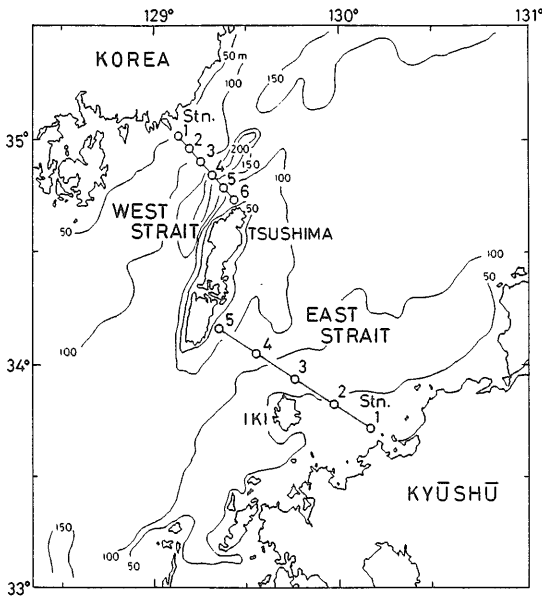


図1 海流ピンの投入点図

断線をカバーするように配置された各定點において、比較的長年にわたり季節別に行われているので、対馬海流表層流を海候学にとらえるには、最も適した資料であると思われる。

ここに、専門外の方のために海流びんについて若干説明を加えておく。海流びんは、洗浄乾燥したサイダーびんもしくはビールびんによく乾燥した適量の細砂、セロファン紙またはビニール袋でカバーした回答用のはがきを入れ、ゴム栓で密封し、びんの頸部が海面上に現われるように調整してある。びんの側面には、発見しやすいように、赤または白ペンキで「海流びん」と記入されることが多い。はがきは表面に宛先が、裏面には拾得年月日、拾得場所、拾得者住所、氏名、摘要等の記入欄が印刷されてある。

1.2 漂流ブイ追跡調査

科学技術庁特別研究「東シナ海に関する総合研究」が1973～1975年に実施されたが、その一環として五島西沖から対馬海峡にかけて、漂流ブイ追跡による測流が面海区水産研究所、山口県外海水産試験場、福岡県福岡水産試験場、佐賀県水産試験場、長崎県水産試験場の共同調査によって行われた。本報告ではこれら結果の中、トンネル建設計画周辺域のものに限定して述べる。

漂流ブイは、耐水性ベニヤ板(長さ182cm, 幅

表1 海流ピンの Stn 別, 時期別投入本数と拾得状況
西水道1932～1939年 慶尚南道水試

| Stn. | 投入時期 | 投入本数 | 拾得数 | 拾得率 |
|----------------------------------|------|-------|------|--------|
| 1 [35°03.7'N 129°09.1'E] | 冬 | 150 本 | 69 本 | 46.0 % |
| | 春 | 170 | 74 | 43.5 |
| | 夏 | 140 | 51 | 36.4 |
| | 秋 | 170 | 58 | 34.1 |
| 2 [34°59.7'N 129°12.7'E] | 冬 | 160 | 43 | 26.9 |
| | 春 | 170 | 58 | 34.1 |
| | 夏 | 180 | 53 | 29.4 |
| | 秋 | 140 | 42 | 30.0 |
| 3 [34°55.6'N 129°16.3'E] | 冬 | 160 | 60 | 37.5 |
| | 春 | 170 | 62 | 36.5 |
| | 夏 | 140 | 41 | 29.3 |
| | 秋 | 170 | 36 | 21.2 |
| 4 [34°51.1'N 129°19.8'E] | 冬 | 160 | 48 | 30.0 |
| | 春 | 170 | 45 | 26.5 |
| | 夏 | 180 | 69 | 38.3 |
| | 秋 | 170 | 45 | 26.5 |
| 5 [34°49.1'N 129°22.0'E] | 冬 | 140 | 39 | 27.9 |
| | 春 | 170 | 56 | 32.9 |
| | 夏 | 140 | 50 | 35.7 |
| | 秋 | 170 | 38 | 22.4 |
| 6 [34°45.1'N 129°26.5'E] | 冬 | 140 | 39 | 27.9 |
| | 春 | 170 | 56 | 32.9 |
| | 夏 | 179 | 66 | 36.9 |
| | 秋 | 140 | 32 | 22.9 |

東水道1954～1969年 福岡水試

| Stn. | 投入時期 | 投入本数 | 拾得数 | 拾得率 |
|----------------------------------|------|------|------|--------|
| 1 [33°42.5'N 130°13.0'E] | 冬 | 75 本 | 17 本 | 22.7 % |
| | 春 | 105 | 19 | 18.1 |
| | 夏 | 105 | 22 | 21.0 |
| | 秋 | 60 | 11 | 18.3 |
| 2 [33°49.5'N 129°59.3'E] | 冬 | 475 | 120 | 25.3 |
| | 春 | 505 | 149 | 29.5 |
| | 夏 | 505 | 131 | 25.9 |
| | 秋 | 460 | 105 | 22.8 |
| 3 [33°56.5'N 129°45.8'E] | 冬 | 475 | 144 | 30.3 |
| | 春 | 505 | 102 | 20.2 |
| | 夏 | 490 | 126 | 25.7 |
| | 秋 | 460 | 87 | 18.9 |
| 4 [34°04.1'N 129°32.3'E] | 冬 | 475 | 124 | 26.1 |
| | 春 | 505 | 132 | 26.1 |
| | 夏 | 490 | 85 | 17.3 |
| | 秋 | 460 | 81 | 17.6 |
| 5 [34°10.8'N 129°19.2'E] | 冬 | 105 | 23 | 21.9 |
| | 春 | 120 | 25 | 20.8 |
| | 夏 | 105 | 31 | 29.5 |
| | 秋 | 75 | 6 | 8.0 |

91cm, 厚さ12mm) を4枚十文字に組み合わせた抵抗板, 抵抗板を所定の深度に保持するための鍾

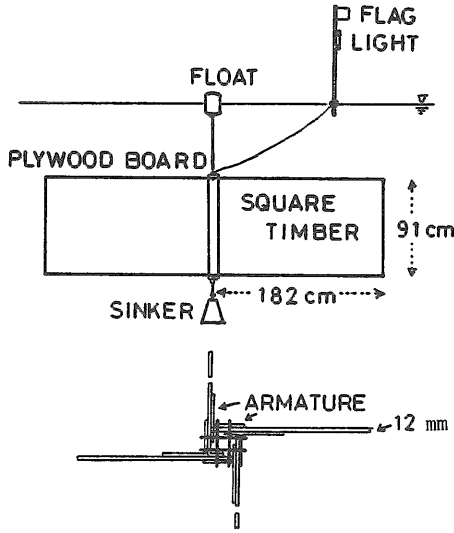


図2 漂流ブイの仕立

り、浮子、ロープと標識（旗と点滅灯付き）で構成される（図2）。漂流ブイは平均流速が0.6ノット程度であれば風力6までは測定誤差が問題にならないように設計されている。ブイの位置は毎正時ごとに、調査船の航海計器の装備状況に応じて

デッカとレーダあるいはロランとレーダで測定された。

1.3 定置測流

緯度31°00′～35°30′N、経度126°00′～130°00′Eで囲まれる対馬海峡を中心とした海域では、1昼夜以上の定置測流点は浅海内湾域を除いて1924年から1974年の間で431点に達する（表2）。この中の約半分が旧海軍水路部の観測によるもので、しかもこれらは測定層の数が多い。定置測流はほとんどエクマン・メルツ流速計による1昼夜観測であるが一部に自記式流速計による数昼夜観測も含まれている。観測頻度は気象条件の恵まれた夏に最も高く、春、秋、冬の順で低くなる。測流点は九州西方海域全般にわたっているが、とりわけ対馬海峡で多く分布している（図3）。1975年以降、定置測流は筆者の知る限りでは対馬海峡では浅海内湾域を除けば余り実施されていないようである。近年では、対馬東水道中央（34°03′N, 129°25′E）で九州大学応用力学研究所、福岡水産試験場が1983年7～9月実施した係留系による連続測流結果が認められる程度である。

本報告では、上述の資料を用いて対馬海峡全般

表2 定置測流の実施状況

| 期 間 | 実 施 期 間 | 延測定 点数 | 季 節 別 | | | | 測 定 層 の 数 | | | | | | | | |
|-----------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--|--|
| | | | 冬 (1-3月) | 春 (4-6月) | 夏 (7-9月) | 秋 (10-12月) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| 1920～1929 | 旧海軍水路部 | 7 | 1 | 1 | 3 | 2 | | 4 | 3 | | | | | | |
| 1930～1939 | 旧海軍水路部 | 47 | 10 | 14 | 23 | | 1 | 1 | | 13 | 12 | 4 | 16 | | |
| 1940～1949 | 旧海軍水路部 | 154 | 2 | 30 | 115 | 7 | | 1 | 14 | 13 | 64 | 58 | 4 | | |
| 1950～1959 | 第七管区海上保安本部水路部 | 2 | | | 2 | | | | | | | 1 | 1 | | |
| | 長崎海洋気象台 | 4 | | | 3 | 1 | | | | | | 2 | 2 | | |
| | 福岡県福岡水産試験場 | 2 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | |
| 1960～1969 | 第七管区海上保安本部水路部 | 105 | | 17 | 87 | 1 | 103 | | 1 | 1 | | | | | |
| | 西海区水産研究所 | 4 | | 4 | | | 3 | 1 | | | | | | | |
| | 福岡県福岡水産試験場 | 8 | 4 | 1 | 2 | 1 | | | 3 | 5 | | | | | |
| | 韓国水産振興院 | 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | | | 1 | 4 | 1 | | | | |
| 1970～1974 | 第七管区海上保安本部水路部 | 21 | | | 21 | | 21 | | | | | | | | |
| | 第十管区海上保安本部水路部 | 17 | | | | 17 | 17 | | | | | | | | |
| | 長崎海洋気象台 | 14 | | 14 | | | | 1 | 9 | 4 | | | | | |
| | 福岡県福岡水産試験場 | 4 | | | 4 | | | 1 | 3 | | | | | | |
| | 韓国水産振興院 | 36 | 13 | 9 | 5 | 9 | 2 | 2 | 4 | 22 | 6 | | | | |
| 合 計 | | 431 (100%) | 33 (7.7) | 91 (21.1) | 268 (62.2) | 39 (9.0) | 148 (34.3) | 11 (2.6) | 39 (9.0) | 62 (14.4) | 86 (20.0) | 65 (15.1) | 20 (4.6) | | |

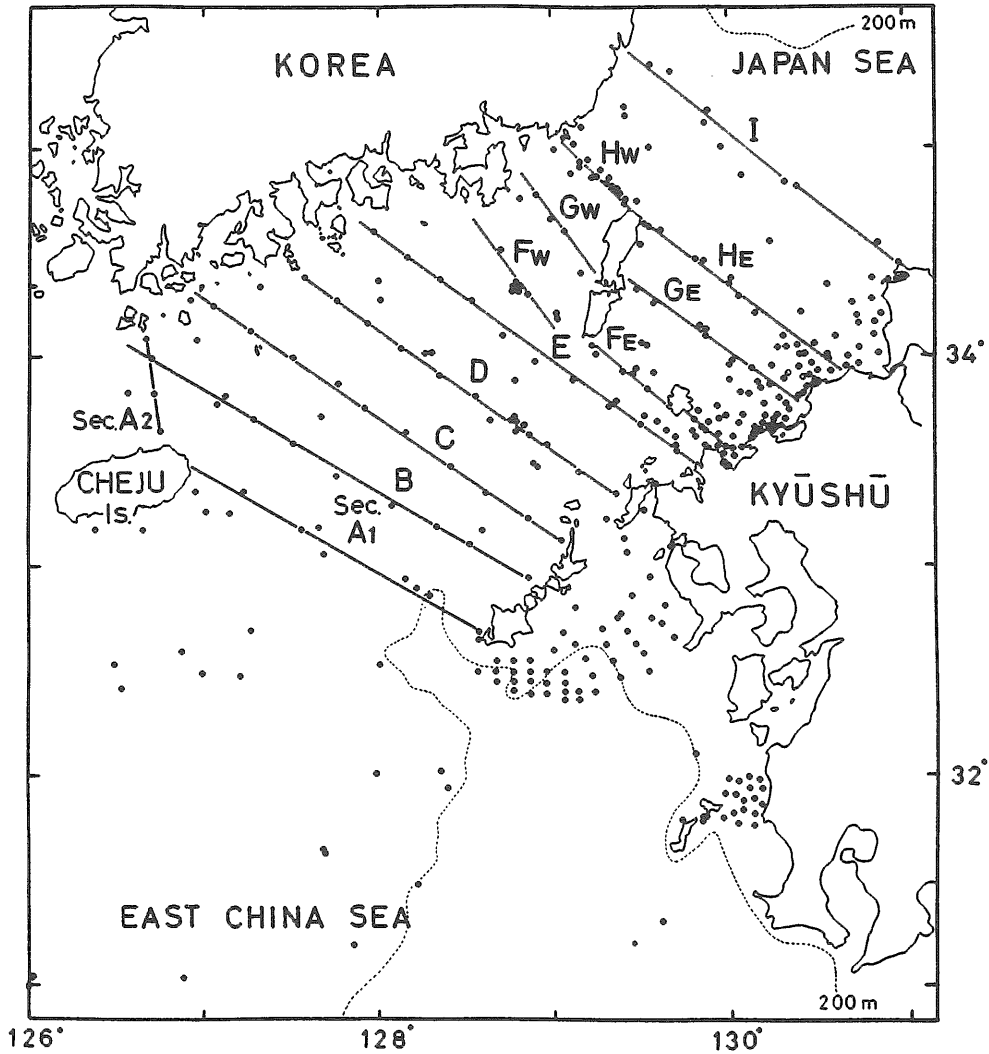


図3 定置測流点と恒流速連分布が描かれた横断断線

の恒流，潮流について概述し，さらにトンネル建設計画周辺域の主要点における測定流の特徴について述べる。

2. 海流びんからみた表層の流れ

海流びん調査は，投入された初めと拾得された終わりの位置がわかっていてその間の経時的位置変化が不明であること，拾得された時と漂着時との間にはずれがあることおよび風などの影響が加わるため流れそのものを表示しないなどの欠点もっている。しかし，これら欠点を認識した上で整理を行えば十分に有用な流れの情報が得られる。

No. 6-1987

海流びんは巨視的には対馬海流に乗って漂流したものと仮定し，漂流軌跡を描くために100m深水温分布図(図4)を参考にする。川合(1972)は，日本海沖合域における対馬海流流軸の位置を100m深の指標水温値で示されると述べている(表3)。川合のいう指標水温の等温線は，長沼ほか(1985)が作成した図4でみられるように水温水平傾度が大きいところにほぼ位置している。そこで，西水道で投入された海流びんは，主に冬8℃，春8℃，夏9℃，秋11℃の等温線に沿って漂流

表3 日本海における対馬暖流軸100m深の指標水温(川合)

| 月 | 1~3月 | 4~6月 | 7~9月 | 10~12月 |
|---------|------|------|------|--------|
| 指標水温(℃) | 8~10 | 8~10 | 9~11 | 11~12 |

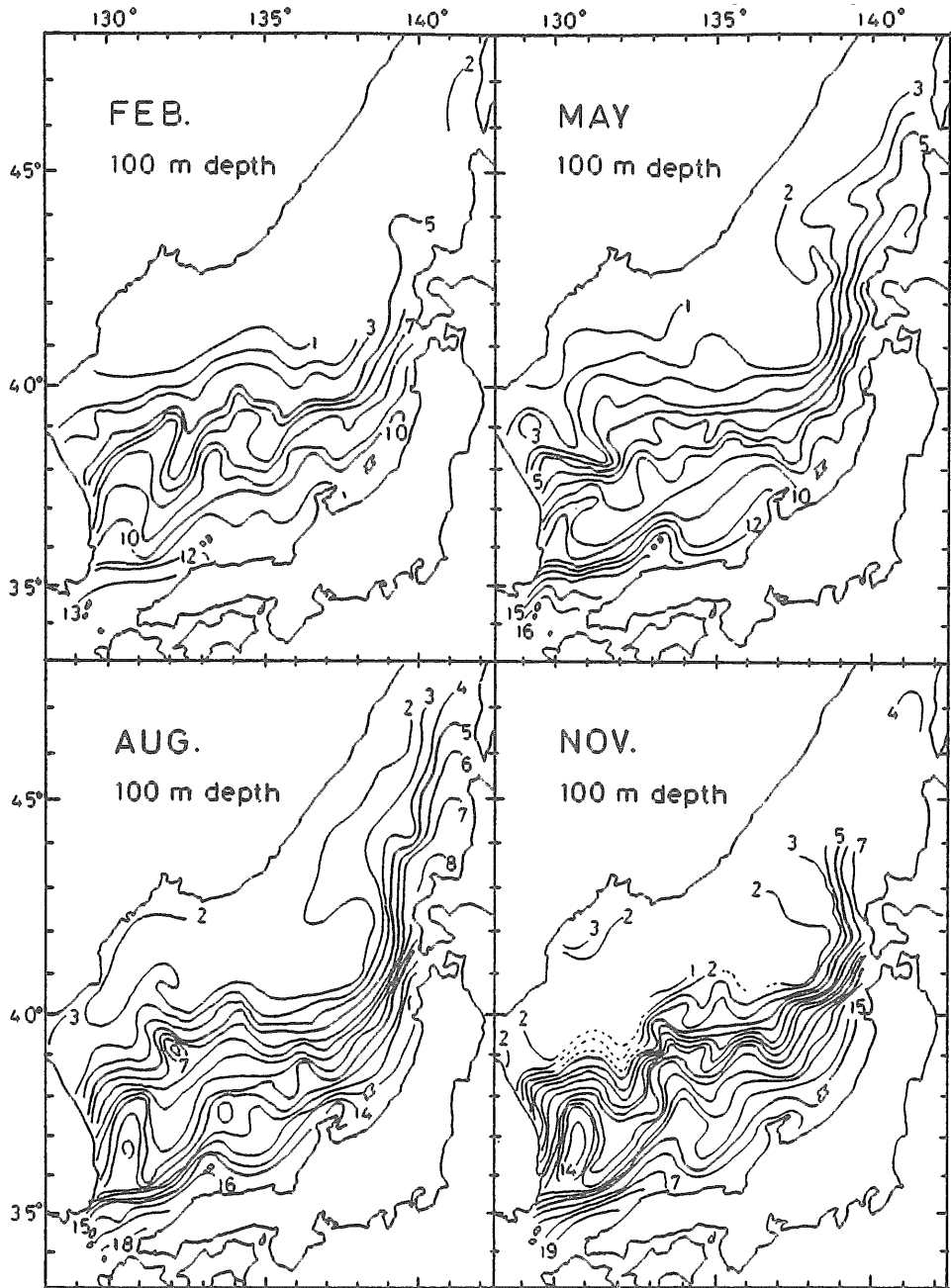


図4 1953~1980年の100m 深平均水温分布図 (長沼ほか)

したものと仮定して漂流軌跡を描いた。東水道で投入された海流びんは、日本列島沿岸沿いを北上する対馬海流沿岸分枝（第1分枝）に乗って漂流したものと仮定して、漂流軌跡を描いた。

冬：冬に西・東水道で投入された海流びんの漂着状況を図5.1, 5.2に示す。図中の数字は、海流びんの総拾得本数に占める各地区の拾得割合であ

る。冬に投入された海流びんは、北西季節風の連吹期と対馬海流の衰退期に当たるため他の季節に比べて、最も北西方への分散が小さい。そのなかで、両水道間の漂着には明瞭な相違が認められる。西水道で投入されたものは、北西風連吹期にもかかわらず韓国東岸や日本海本州沿岸へも漂着している。つまり、これらの大部分は、西水道を通り抜

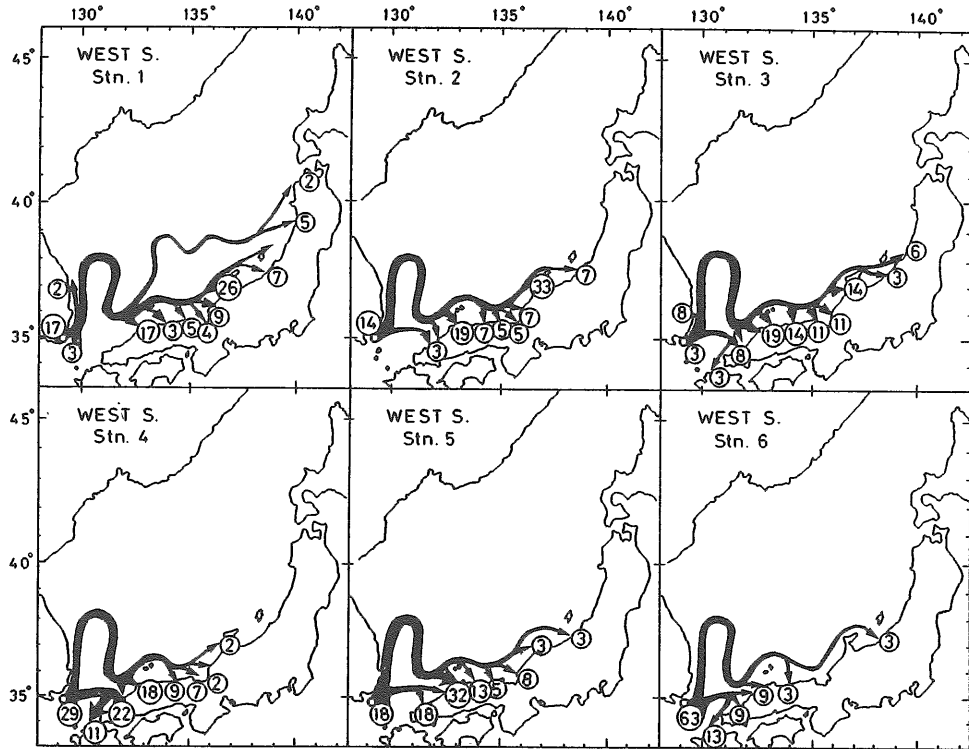


図5.1 海流ピンの漂着状況 (冬, 西水道)

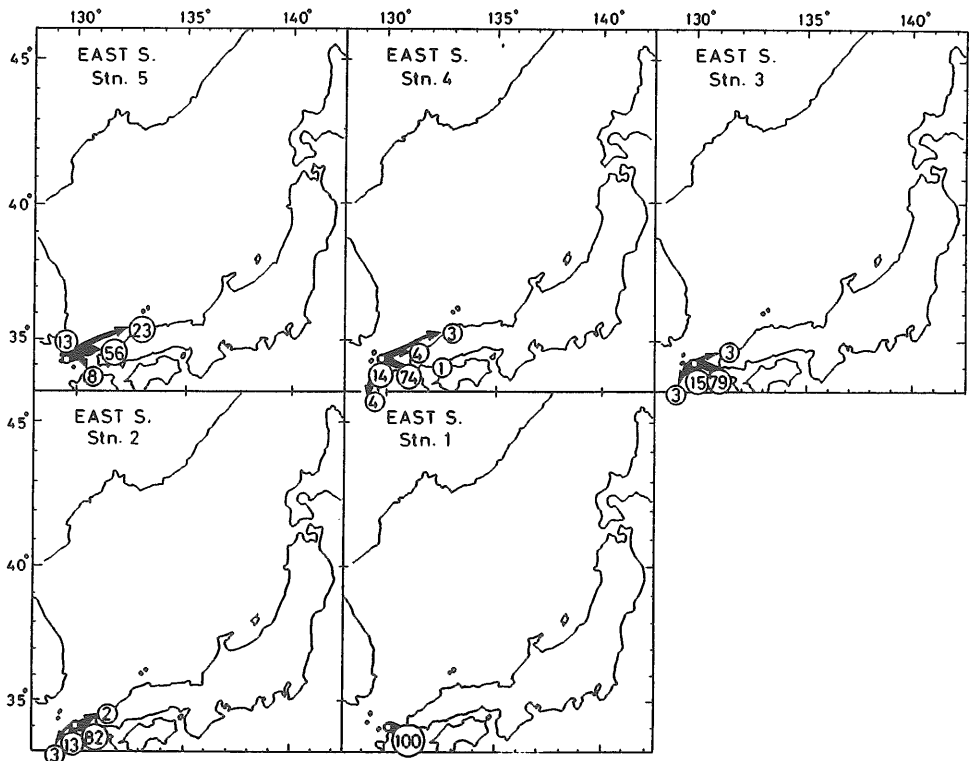


図5.2 海流ピンの漂着状況 (冬, 東水道)

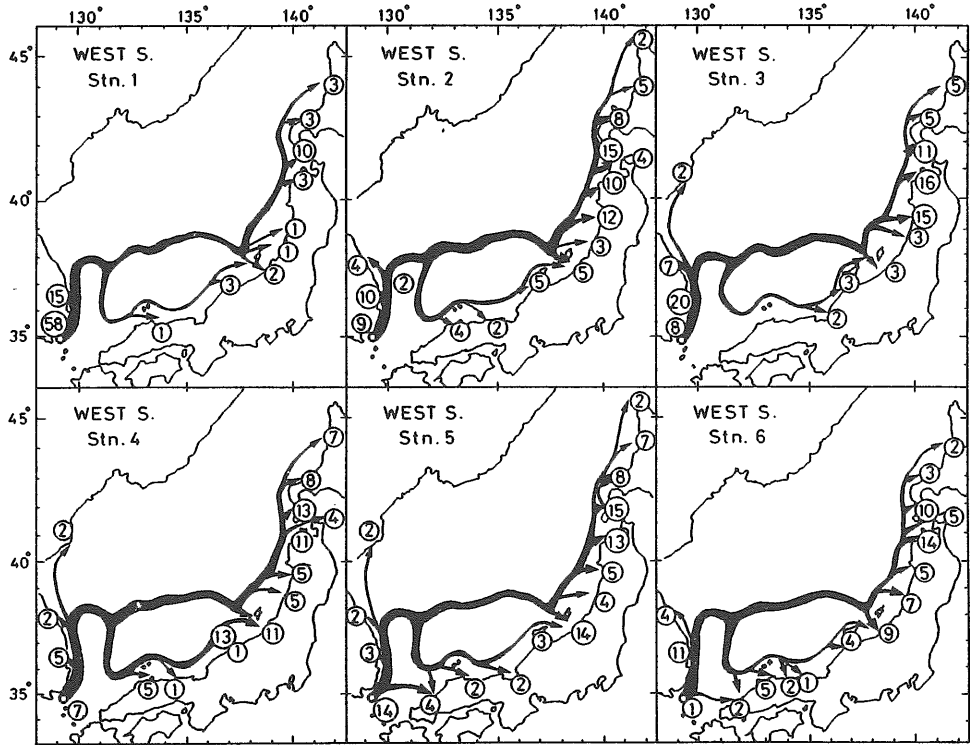


図5.3 海流ビンの漂着状況 (春, 西水道)

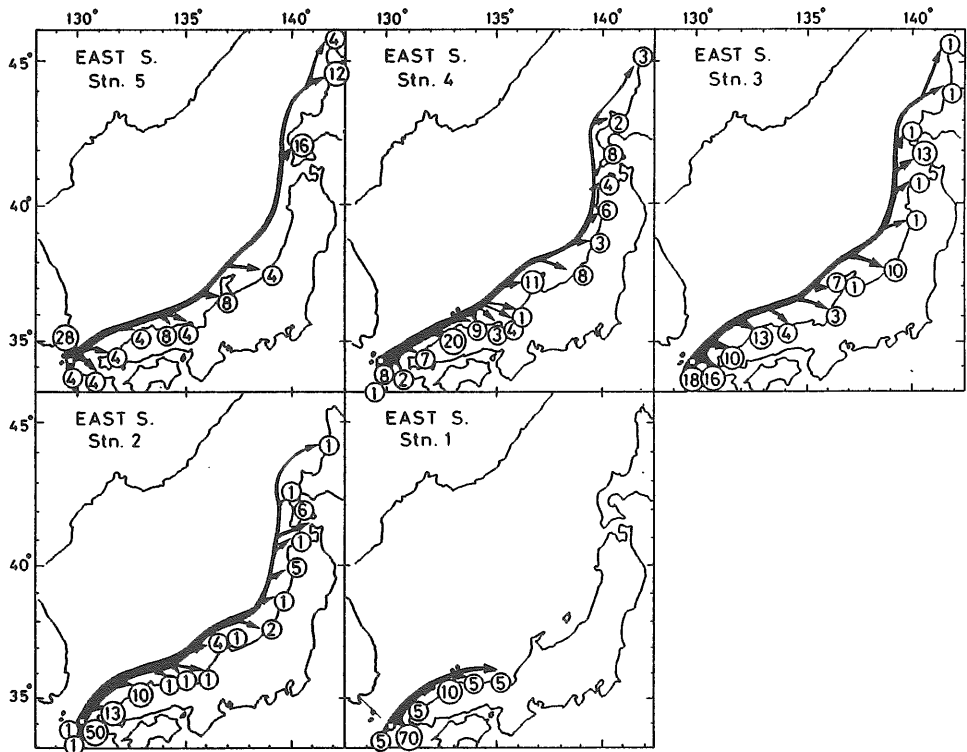


図5.4 海流ビンの漂着状況 (春, 東水道)

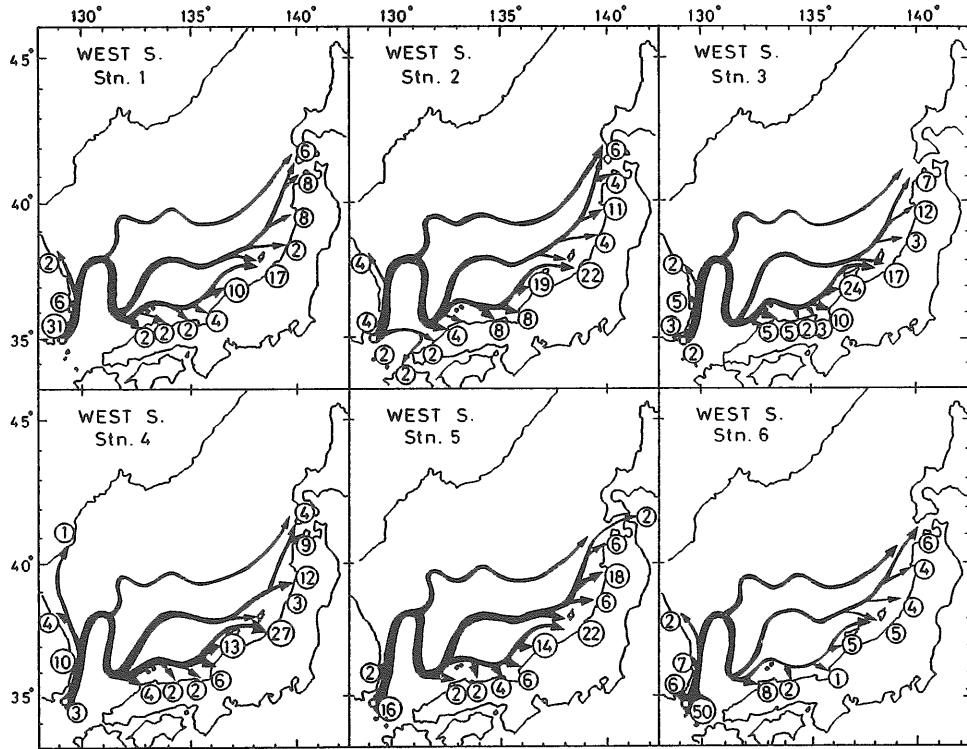


図5.5 海流ピンの漂着状況 (夏, 西水道)

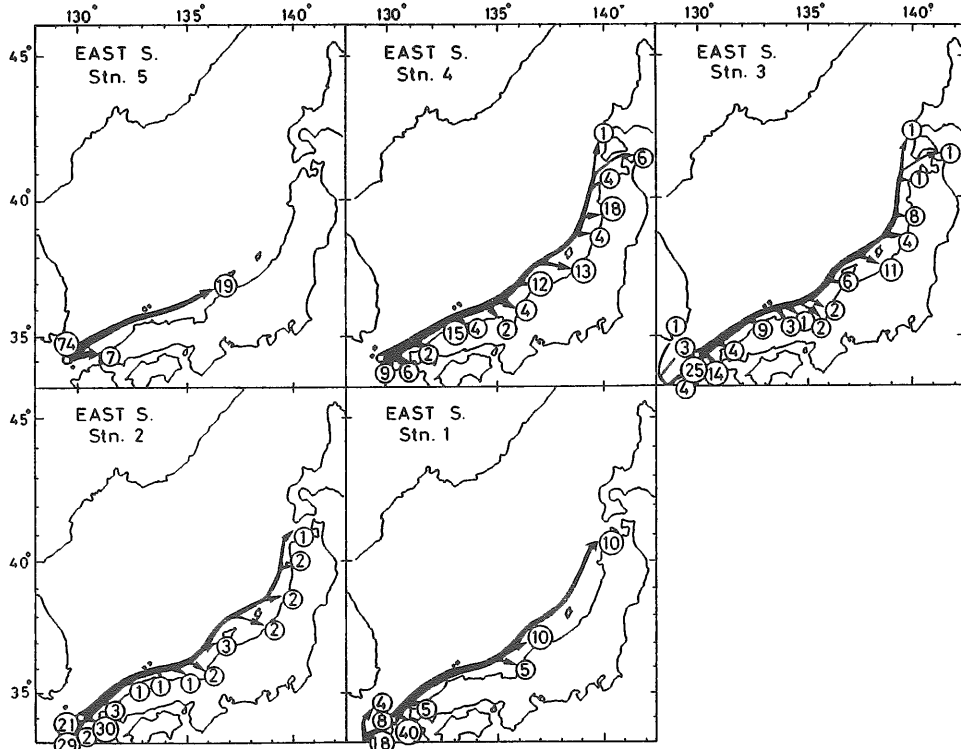


図5.6 海流ピンの漂着状況 (夏, 東水道)

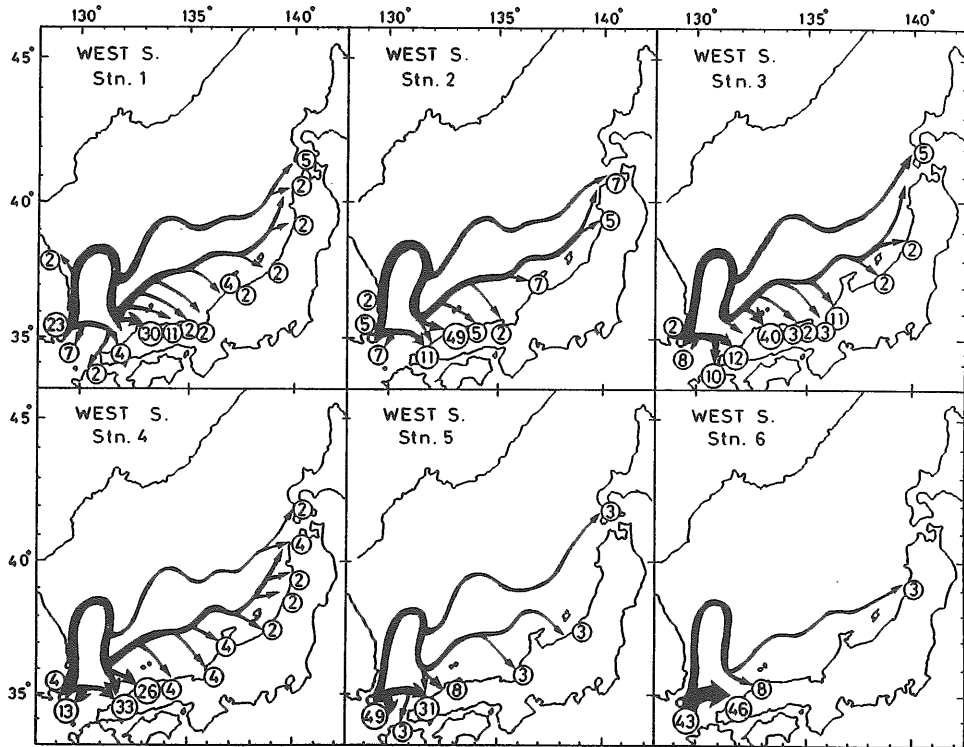


図5.7 海流ビンの漂着状況 (秋, 西水道)

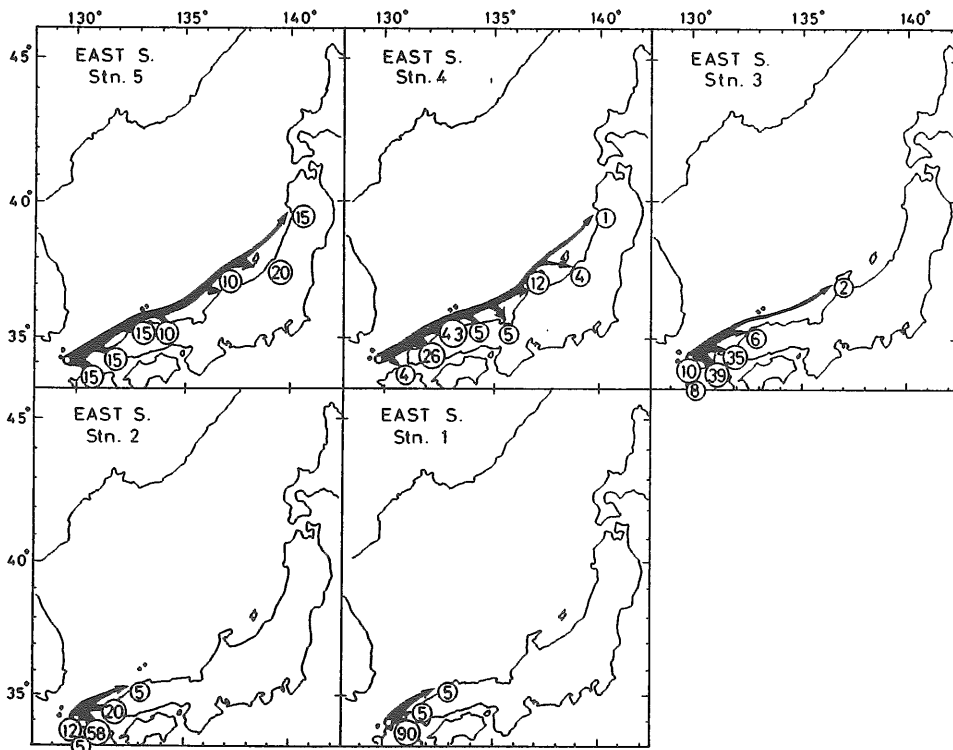


図5.8 海流ビンの漂着状況 (秋, 東水道)

けて韓国東岸沿いを北上する対馬海流に乗っていったんうつ陵島周辺まで迂回した後、対馬海流の蛇行、滞留、冷水の張り出し、北西風などの影響を受けながら漂流し、本州各沿岸に漂着したものと考えられる。また、西水道における各定点間の漂着状況を比べると韓国寄りの定点から投入されたものほど韓国東岸や本州沿岸しかもより北東方への漂着割合が高く、対馬寄りの定点から投入されたものほど対馬列島や島根以西の漂着割合がきわめて高い。それら漂着パターンは Stn. 4 と Stn. 5 を境に大別される。このことは、対馬海流流軸が韓国寄りに位置しており、その範囲は Stn. 1～4 間に分布すると推定される。

東水道で投入されたものは、西水道のそれに比べて北東方への分散がさらに小さく、島根以西までの漂着にとどまっている。定点別漂着状況を比べると、対馬寄りほど島根、山口への漂着割合が高く、九州寄りほど九州西岸への漂着割合が高い。東水道を通り抜けた対馬海流は本州沿岸沿いを北東進するので、これに乗った海流びんは北西風の影響を受けて容易に沿岸に漂着するものと推定される。

春：春に西・東水道で投入された海流びんの漂着状況を図5.3, 5.4に示す。春に投入された海流びんは流勢増大期の対馬海流に乗って最も北東方への分散が大きい。この時期においても、両水道間の漂着状況は異っている。西水道で投入されたものは、韓国東岸沿いを北上する対馬海流に乗って漂流し、その途中で一部が韓国東岸に漂着するが、うつ陵島周辺を迂回して蛇行をくり返しながらか東流し、本州沿岸や北海道沿岸へ漂着する。全般的に能登半島以東への漂着割合が高いが定点別にみると韓国寄り投入されたものほど北東方への分散が大きい。

東水道で投入されたものは、本州沿岸沿いを北東進する対馬海峡に乗って漂流し、本州沿岸や北海道沿岸へ漂着する。一部は九州北部沿岸域に出現する南下反流に乗って九州西岸へも漂着する。定点的にみれば、対馬海流流軸から離れた九州沿岸寄りほど、北東方への漂着割合が低く、Stn. 1で投入されたものは能登半島以西の漂着にとどまっている。

夏：夏に西・東水道で投入された海流びんの漂着状況を図5.5, 5.6に示す。この時期に投入され

たものは漂流している間に秋に入るため日本海北部では北西季節風の吹き出しに影響されて、北東方への分散が春のそれよりも小さくなるものと思われる。西水道で投入されたものは韓国東岸沿いを北上し、その一部が韓国東岸に漂着するが大部分はうつ陵島周辺を迂回して、蛇行をくり返しながらか漂流し、島根から北海道渡島半島までの日本海沿岸に漂着する。日本海沿岸各地への分散状況は各定点ともほぼ同様な傾向が認められる。

東水道で投入されたものは、全般的に九州西岸から北海道渡島半島までの各沿岸に漂着する。定点別にみると、対馬寄りの Stn. 5 から投入されたものは、この時期に対馬列島東岸域に発達する左旋渦流に取り込まれて、対馬沿岸に漂着するものが多い。中央部の Stn. 3, 4 で投入されたものは対馬海流に乗って日本海各沿岸に漂着する割合が高いが、九州寄り投入したものほど九州西岸への漂着割合が相対的に高くなっている。

秋：秋に西・東水道で投入された海流びんの漂着状況を図5.7, 5.8に示す。秋に投入されたものは、夏のそれに比べて対馬海流の衰弱と相まって冬季節風の吹き出しの影響も加わって、さらに北東方への分散が小さくなる。西水道で投入されたものは、能登半島以西の漂着が大部分を占めるが、夏のそれに比べて韓国東岸への漂着が少なくなる反面、山口、九州北部への漂着が認められるようになる。定点別にみると、北東方への分散は韓国寄りほど大きく対馬寄りほど小さい。

東水道で投入されたものは、全般的に島根以西の漂着割合が高く、西水道のそれに比べて北東方への分散が小さい。定点別にみると北東方への分散は対馬寄りほど大きく九州寄りほど小さい。

次に海流びんの漂流速度について若干触れておく。対馬海流流軸は西水道では Stn. 3, 東水道では Stn. 4 にほぼ位置していると考えられるので、これら定点から投入された海流びんの漂流速度を推定した。拾得海流びんごとに推定漂流日数 d (投入日から拾得日までの経過日数) と推定漂流距離 S (投入点から拾得点までの距離) を求め、漂流速度 S/d を算出した。各調査時ごとに比較的遠距離を漂流し、漂流速度が最も速いものを選び出し、それらの季節変化を示す(図6)。漂流速度は、年によってかなり異っているが冬に最小、夏に最大の周年変化が認められる。西水道から投入され

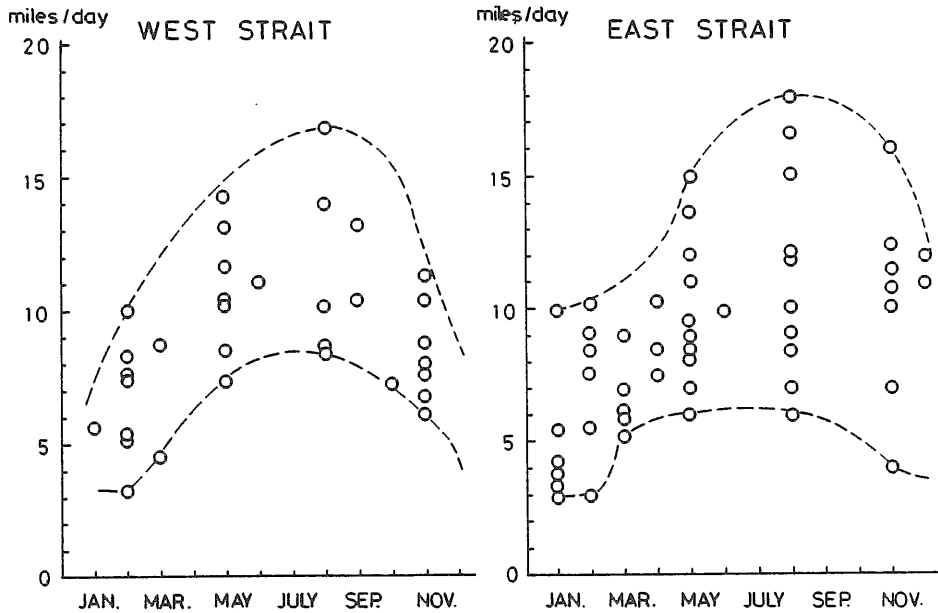


図6 海流ピンの漂流速度の季節変化

たものは、冬3~10マイル/日、春7~14マイル/日、夏8~17マイル/日、秋6~11マイル/日で、東水道から投入されたものは冬3~10マイル/日、春6~15マイル/日、夏6~18マイル/日、秋4~16マイル/日である。両者はほぼ同様な変動傾向を示している。

以上の結果は、数カ年間の累積された資料に基づいているから海候学的認識に耐える平均的な季節パターンを示していると考えられる。海流びんの漂流は、海流のほかに風、潮流、波浪などの影響も受けるので厳密には対馬海流そのものを表示しない。しかし、海流びんの漂流結果に認められた季節変化、すなわち春から夏にかけて漂流距離が長かつ漂流速度が速く、秋から冬にかけてその逆になるといった様相は、対馬海流の季節的消長を反芻していると判断される。また、西・東両水道で投入された海流びんの漂流状況は明らかに異っている。両者の相違は、西・東両水道を通った対馬海流が日本海へ入った後、それぞれ異なった流路をたどっていることを示唆している。

3. 漂流ブイからみた流れ

漂流ブイを追跡して得た流跡を示す(図7.1, 7.2, 7.3)。夏では、強い対馬海流の流れに乗っ

* 1マイル/日=2.14cm/S=0.042ノット

て全体としては、北東へ漂流している。しかし詳細にみると、ブイは直線的に流れるのではなく、一般に約1日の時間間隔でトロコイド曲線状の軌跡を描きつつ移動する。トロコイド曲線状の軌跡は、慣性流の効果も無視し得ないと考えられるが主として、日周潮流に依存している。そのほか、他のスケールの変動も加わっているが、特に、対馬海流流速が小さくなる沿岸域では短周期の乱れが卓越する。流速は、東水道では最も速かった沖合側のもので0.75~1.05ノット^{**}(25時間移動平均)を示すが東水道(壱岐・対馬間)3ブイの平均では0.54~0.90ノットである。西水道では1ブイの追跡結果しかないが、0.87~0.99ノットである。壱岐水道での平均流速は0.2~0.5ノットであるが、水道を通り抜けるまでが小さく通り抜けてから大きくなる傾向がみられた。壱岐北東方から追跡したものは右旋回し壱岐に近づき停滞したが、これは対馬海流北東流の島陰に形成される右旋性環流域の存在を示すものであろう(図7.1)。

秋におけるブイの流跡は夏の場合と同様であるが、流速は全般に小さくなっている。平均流速は東水道で0.55~0.78ノット、壱岐水道で0.1~0.5ノットである(図7.2)。

深度の異なった漂流ブイの同時追跡結果を示す(図7.3)。東水道では、それぞれ5m深と80m深

** 上付1ノット=24マイル/日=51.4cm/S

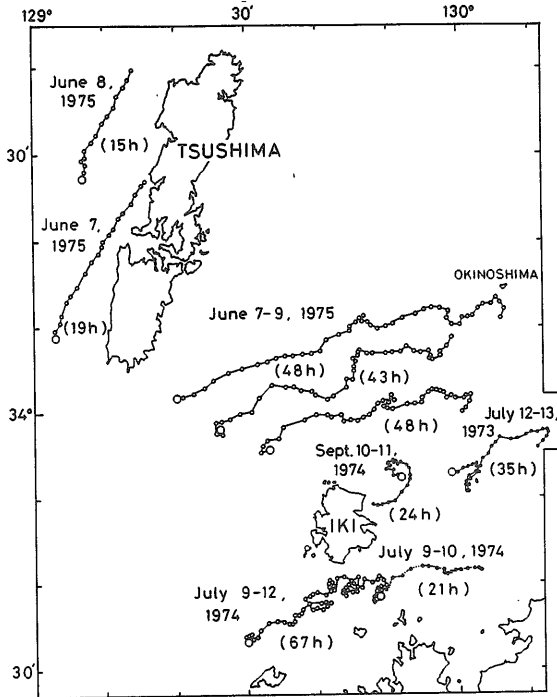


図7.1 漂流ブイの追跡 (5m深, 夏)

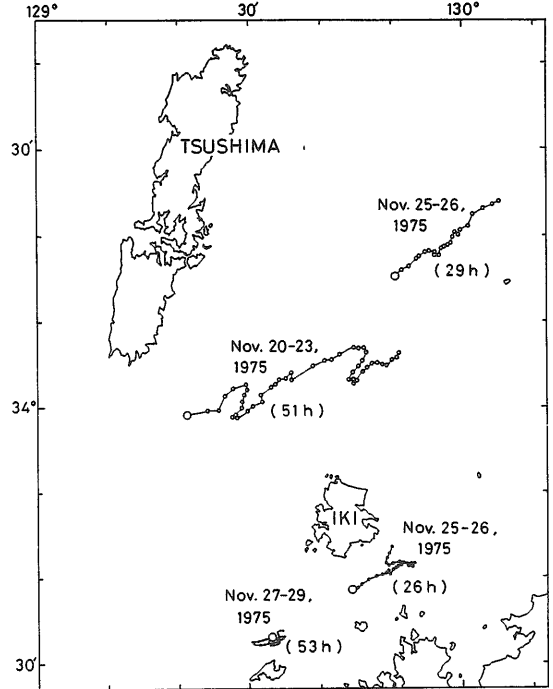


図7.2 漂流ブイの追跡 (5m深, 秋)

に抵抗板をもつブイを同一地点から同時追跡した。5m深ブイはN70°E方向に平均流速0.78ノットで、80m深ブイはN50°E方向に平均流速0.64ノットで移動し、両者の間隔は次第に広がっている。壱岐北方では、5m深ブイと40m深ブイの同時追跡を行っている。両者ともに、地形性右旋環流にとらえられて右旋し停滞しているが、5m深ブイの方が移動速度も大きく旋回範囲も大きい。流速は一般に深くなるほど小さくなる。以上は、流れの鉛直シアが存在することを示すものであるが、このように流れが深度によって異なる現象は、漁業者の間では二重潮、三重潮などと呼称され、良く知られている。

(次号へつづく)

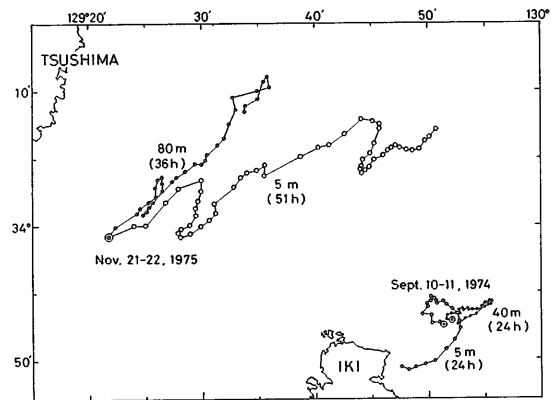


図7.3 深度の異なる漂流ブイの同時追跡図