

対馬海峡東水道における水塊変動モニタリング

松井 繁明¹・千手 智晴²
(¹研究部・²九州大学応用力学研究所)

対馬海峡東水道（以下対馬東水道とする）を通過する海水の特性と時間変動を把握することを目的に当該水道を東西に横断する3測点（蓋井島、沖ノ島、美津島）に水温、塩分計を設置し表層水の連続観測を行った。また、水産海洋技術センターで行っている沿岸定線観測データから長期にわたる対馬東水道の塩分変化の傾向と季節変化を明らかにし、特徴的な水塊の動向を検討した。塩分の経時変化から、最低値が8月下旬から9月上旬に水道西部中央に現れており、3測点の比較により、観測された低塩分水は対馬海流によって移流された水塊であることが示唆された。季節的な変動に加えて、数日の時間スケールをもつ変動が水温・塩分に認められ、パッチ状の低塩分水、高温水の通過が明らかになった。夏季の低塩分水塊は1971～2000年の平均値から求めた鉛直断面分布図から8～9月に明確にみられ、過去からの継続性が明らかになった。また、1998年に対馬東水道で塩分が大きく低下する傾向がみられ長江の流動変化との関係が示唆された。

キーワード：長江流量、塩分、低塩分水、時系列変化

近年、東シナ海の海洋変化が日本海環境変化や生態系に影響を与えることが懸念されている。エチゼンクラゲの大量発生やマアジをはじめとした魚類の好不漁等、海況の短期的な変化による影響に加えて¹⁾、海水温の変動による熱帯・亜熱帯性の生物の出現など、長期的な変化が注目されている²⁾。対馬海峡は東シナ海と日本海をつなぐ唯一の通路であり、東シナ海から日本海に輸送される物質は必ずこの海域を通過する³⁾。とくに、対馬東水道は地理的に日本本土に近いことから、そこを通過する海水の特性を把握することは、福岡県沿岸のみならず、日本海沿岸各地の海況予測のために重要である。対馬海峡における水温の長期変動とその影響については三井田⁴⁾、小川⁵⁾をはじめとして加藤ら⁶⁾の報告があり、詳細な研究が行われている。一方、塩分の変化に関しては、対馬東水道の夏季の低塩分水の発生が古くから知られていたが^{5, 7)}、その出現状況や特性については詳細な検討がされていない。近年、1995年から立て続けに起こった長江の大洪水やエチゼンクラゲによる漁業被害から、大陸起源水の挙動と低次生産、生態系に与える影響が注目を集め研究が進んできている。

本研究では、対馬東水道で連続的な観測を行うことにより、大陸水起源の低塩分水の挙動を把握するとともに、過去の観測データから低塩分水の出現状況を明らかにし特徴的な水塊の動向を検討した。

方 法

対馬東水道をほぼ東西に横断する3測点（蓋井島、沖ノ島、美津島）にアレック電子社製ワイパー式水温・塩分計（COMPACT-CTW）を設置し、1時間ごとに表層水温・塩分の連続観測を行った（図1）。沖ノ島への測器の設置と回収、解析を水産海洋技術センターが、美津島への設置と回収、解析を九州大学、蓋井島への設置と回収、解析を水産大学校が行った。蓋井島と美津島は

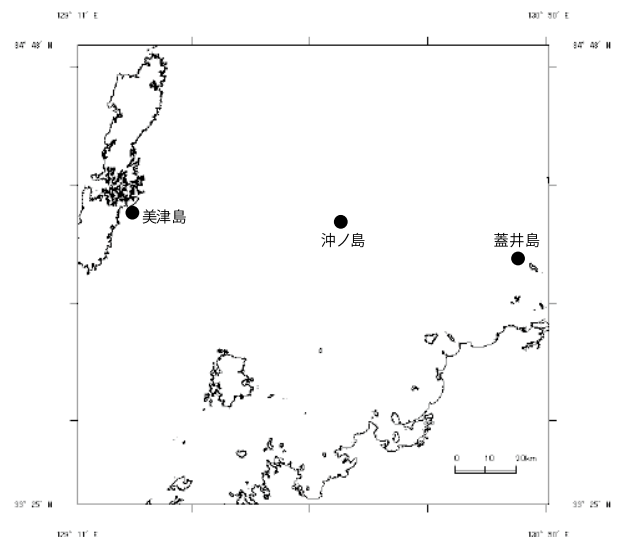


図1 測器設置点

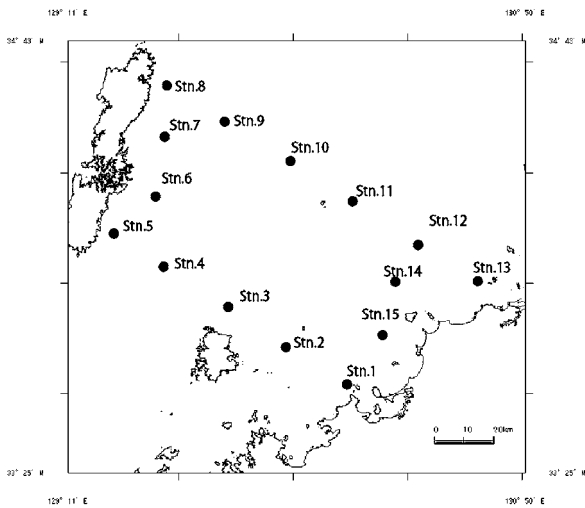


図2 対馬横断観測調査点 (1971～2001年)

漁業用の定置網のブイからロープを使って測器を係留し、水深4～5mにセンサー部分がくるように設置した。沖ノ島は、漁具やブイが敷設されておらず設置箇所が限られることから、漁港内にケイソブロックを置き、海底からブイを立ち上げて他と同様の水深(4～5m)になるように設置した。観測は夏季に東シナ海から移流されてくる大陸起源の低塩分水をとらえることを念頭に置き、梅雨入前6月上旬から開始した。各点の観測期間は蓋井島2007年5月9日～11月15日、沖ノ島5月21日～11月14日、美津島6月6日～11月20日であった。

水温、塩分の経年変化については、当センターで毎月上旬に実施している沿岸定点観測のデータ(1971～2007年)を使用し、GISソフト(マリンエクスプローラー)上にデータベースを形成した。データセットは福岡県のデータを中心に、独立行政法人西海区水産研究所のデータ(CUR)と、FRESCO(フレスコ:我が国周辺資源調査情報収集システム)データを加えて欠測部分を補間した。データ集計範囲は、塩分:28～35PSUとし、測定水深(0, 10, 20, 30, 50, 75, 100m, 底層)の値が規定外の場合、補間した値を規定水深(標準層)へ内挿した後に平年値を算出した。1970～1989年の期間は、転倒式採水器によって採水し、実験室で鶴見精機社製TS-E2型サリノメーターによって測定した。それ以降はアレック社製クロロテックを使用し、鉛直方向0.1mごとに連続測定を行い、規定水深についてはYEO-KAL社製塩分計(MODEL601MK1V型)サリノメーターで測定して値を補正した。各データは位置データ(緯度、経度)で集計し、3マイルを許容範囲として範囲内にはいるものを同一調査点として整理し、全体で15調査点にまとめた(図2)。

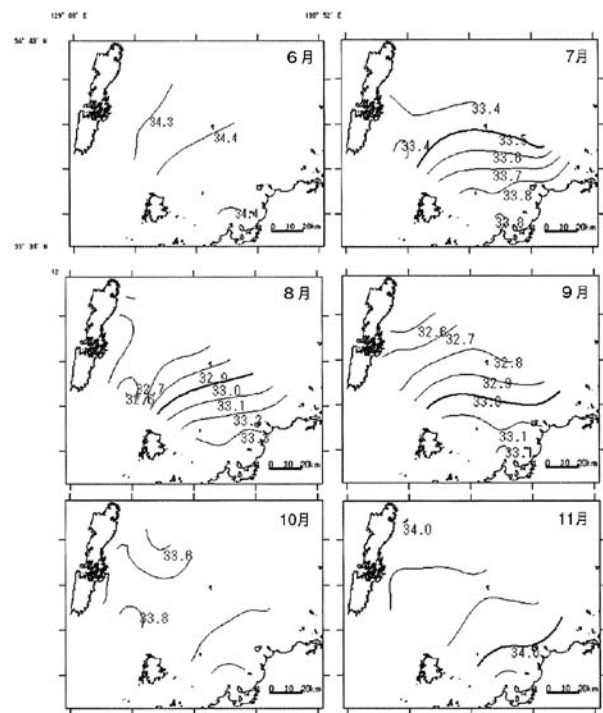


図3 塩分の水平分布 (1971～2001年平均値)

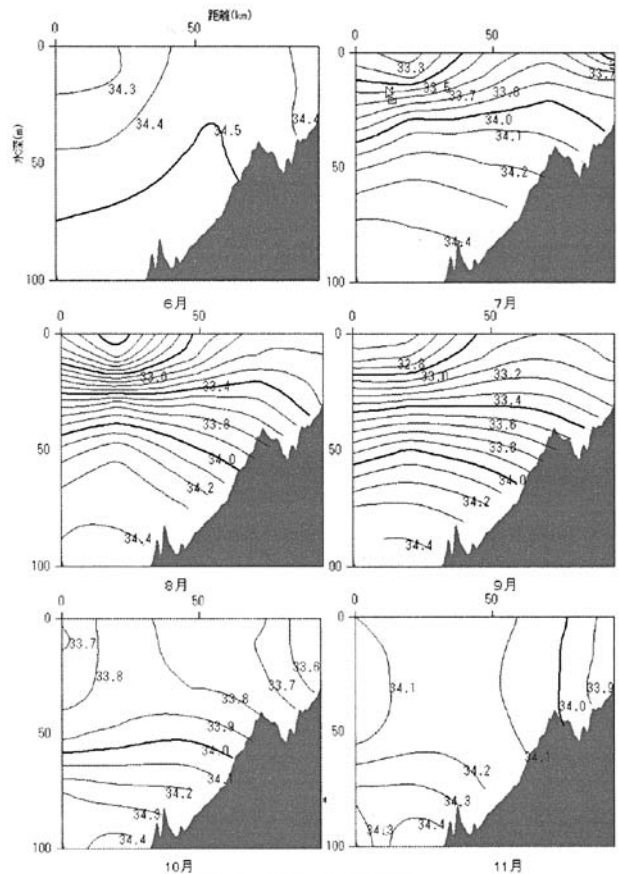


図4 塩分の鉛直分布 (1971～2001年平均値)

結 果

1970～2001年の平均値による対馬東水道の夏季の塩分の水平分布を図3に、鉛直断面分布を図4に示す。水平分布は水深10m、鉛直断面分布は南側定点(Stn. 1～5)のデータを使用した。水平分布をみると、6月では対馬沿岸で34.3PSU未満の分布がみられるが大きな差はなく、海域全体に比較的高い濃度の分布がみられる。7月に入ると全体的に塩分が低下し、壱岐島付近(Stn. 3)を境に西側の対馬沿岸で塩分濃度が低く、東側の福岡県沿岸部にむけて塩分濃度が高くなっている。8月はさらに塩分の低下傾向が顕著になり、壱岐島の西側では33.0PSU未満の分布がみられ、対馬沿岸では32.6PSU未満の低塩分水の分布が出現する。9月も同様の傾向が観測され、低塩分水域が北側にむかって広がる傾向を示す。10月に入り塩分は上昇傾向を示し、対馬北側で低い水域が残るものの、水平方向の大きな分布変化はなくなった。鉛直断面分布をみると、7月から成層が形成され、壱岐島西側で塩分が減少する。8月ではさらに明確に成層が形成されるとともに、Stn. 4を中心に低塩分水の分布がみられる。9月に入ると低塩分水の分布は対馬沿岸に広がりを見せる。7～9月の低塩分水の鉛直方向への分布は、範囲が狭くいずれも30m以浅である。10月には成層が崩壊し低塩分水の分布も解消される。

対馬東水道の代表的な調査点 Stn. 4 の水深10m における塩分の年変動を図5に示す。冬季(1～3月)は変動が少なく34.0PSUを超える高い塩分濃度で安定する傾向を示した。春季(4～6月)は、4、5月は冬季と同様に高い濃度で安定し、6月は、33.2～34.8PSUの範囲で3～4年周期で変化した。夏季(7～9月)は塩分の低下傾向がみられ、変動幅も7月:34.62～31.91, 8月:33.83～30.16, 9月:34.09～30.12PSUと他の季節と比較して大きかった。32.0PSUを下回る低塩分水は7月では1998年、8月では1971, 1973, 1975, 1982, 1983, 1990, 1991, 1992, 1996, 2001年、9月では、1980, 1983, 1987, 1992, 1995, 1998年に出現した。このうち8月では1973年、9月では、1983, 1998年に31.0PSUを下回る著しい低塩分水が観測された。秋季(10～12月)は、10月に狭い範囲(32.44～34.41PSU)で年変動がみられるものの、全体的に夏季に比べ塩分濃度が高く、11, 12月では冬季と同様の高い値で安定する傾向がみられた。

1970年以降に起きた長江洪水年のうち姉妹水^{8, 9)}(長江中流の漢口の水位が2年連続して27m以上になった洪水)が起こった年度1995, 1996, 1998, 1999のStn. 4

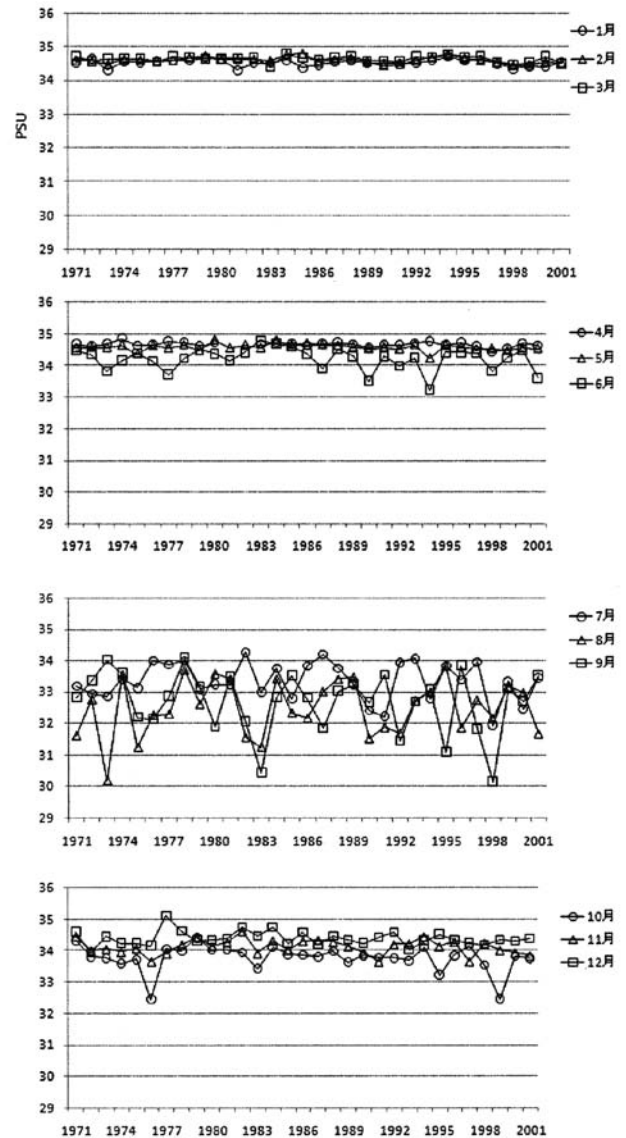


図5 塩分の経年変化 (Stn. 4)

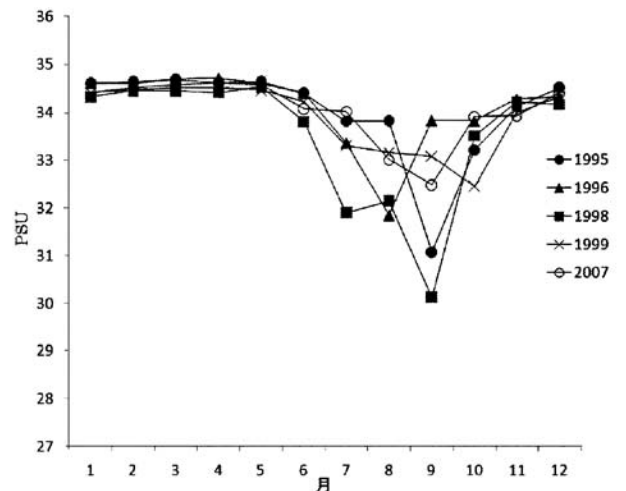


図6 年度別塩分の経月変化

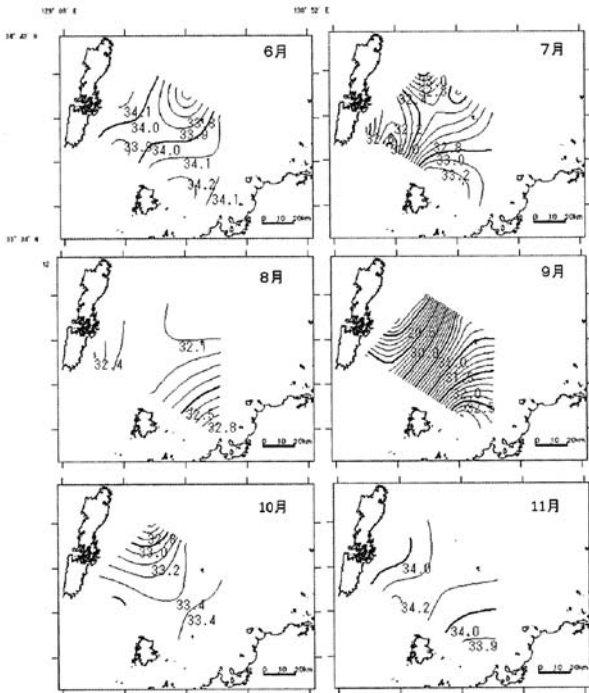


図7 塩分の水平分布 (1998年)

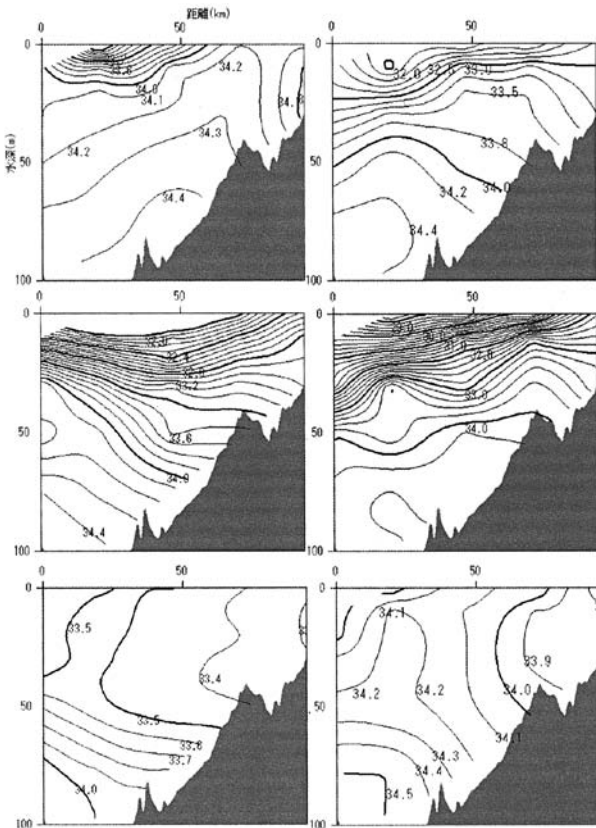


図8 塩分の垂直分布 (1998年)

における塩分濃度の経月変化を図6に示す。この中で対馬東水道では、1995、1998年の9月に大きな塩分の低下傾向がみられ、1998年に最も塩分が低下した。

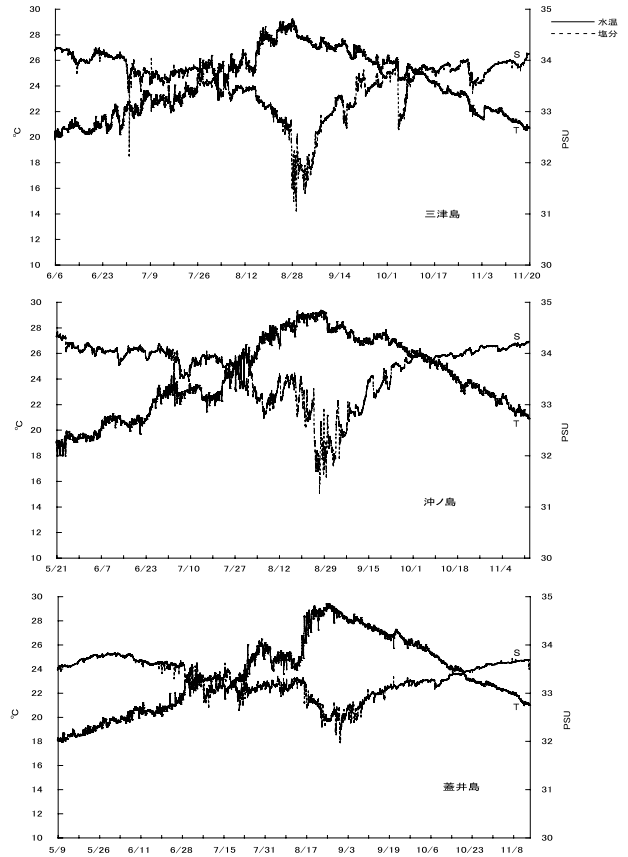


図9 水温、塩分の経時変化

の対馬東水道の夏季の塩分変化を図7、8に示す。水平分布をみると6月にStn. 4で塩分の低下傾向がみられ34.0PSUを下回る値を示したものの対馬沿岸部では高く、34.0PSUを超える値であった。7月には全域で塩分が低下し、壱岐島西側では33.0PSUを下回り、Stn. 4付近の海域では32.0PSU未満を示した。8月は、低塩分水域が拡大し、西側全域で32.2PSU未満を示した。9月に入ってさらに全域で塩分が低下し、壱岐島東側31.0～32.8PSU、西側30.8～28.5、対馬北側沿岸では、最低値28.5PSUを示した。10月に入ると対馬北側で33.0PSUの水域を残すものの、塩分は上昇傾向を示した(図7)。鉛直断面分布を見ると6月にすでに成層が形成されており、Stn. 4の20m以浅では塩分の低下が観測された。7月には成層がより顕著になり、Stn. 4の10m以浅では、32.0PSU未満の明確な低塩分水の分布がみられた。8月では低塩分水の分布が沖合に広がり、壱岐島の西側10m以浅で32.0PSU未満の値を示した。9月には対馬沿岸のStn. 5～Stn. 4にかけて10m以浅で29.0PSU未満の値を示し、約20m以浅で30.0PSUを下回る値を示した。さらに、50m以浅でも、34.0PSUを下回る値を示した(図8)。

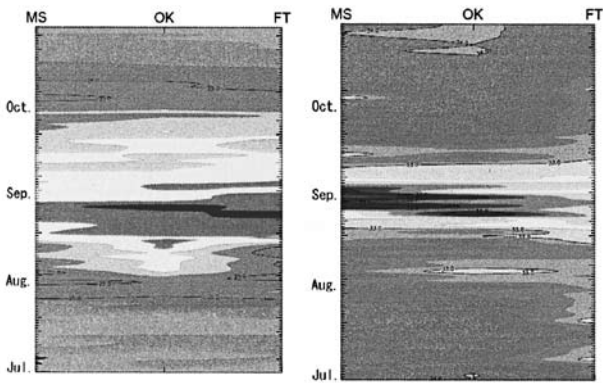


図10 水温（左）塩分（右）の時空間ダイアグラム
(NS：美津島, OK：沖の島, FT：蓋井島)

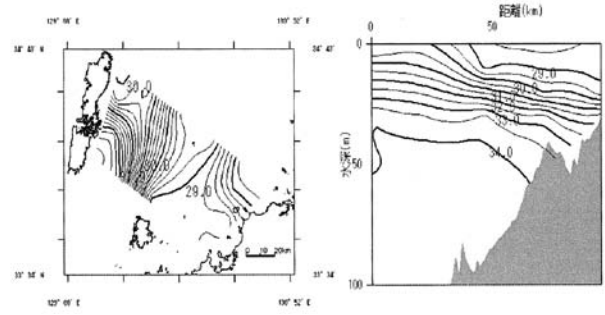


図12 塩分の分布状況（1995年，9月）

考 察

1970～2001年の平均による夏季の塩分変化は、小川⁵⁾が示した1964年～1980年の海況変化や、長江の洪水が頻発する1990年代以前の海況変化と良く一致している⁷⁾。このことは、対馬東水道の主要な部分の海水特性の変動は小さく、安定したパターンを維持していることを示唆している。福岡県側の塩分の明確な減少傾向が8、9月でみられていないが、これは、福岡側に大きな河川がなく、長期の平均では単年の降雨による陸水の影響が現れないためと考える。長期変動をみると、春、秋、冬季は、全体として緩やかな減少傾向を示し、夏季に隣接する6、10月に年変動がみられるが、大きな変動は無く安定している。一方、夏季は、長期的には7月、9月は緩やかな減少傾向、8月は緩やかな上昇傾向を示しているが変動幅が激しく、大陸からの陸水の影響を受けていることが示唆されるが、長江の洪水年と低塩分水が出現した年は必ずしも一致していない。例えば、観測点で31.0PSUを下回り、顕著な低塩分水の出現した1973年（8月）、1983、1998年（9月）のうち、姉妹水が起こったのは1998年のみである。長江の洪水は、1995年以降に頻発しており1997年をのぞく4ヶ年で姉妹水が発生している^{7,8,9,10)}。しかし、このうち明確な低塩分水が対馬東水道で観測されたのは95,98年の2ヶ年だけである。特に1998年は、6月にすでに対馬沿岸部で塩分の減少がみられはじめ、8、9月の低塩分水の分布範囲は、壱岐島を境に福岡側に水塊を残す基本パターンはあるものの、通年よりも広域に及んでいる。また、このとき最低塩分を示した9月の塩分濃度の変化は20m以浅に著しく、塩分偏差は最高で-4を超えている（図11）。1995年をみると塩分の低下傾向は、1998年が6月から塩分が低下するのに対して、9月に低下がみられるだけである（図6）。また、1995年の9月の低塩分水は、壱岐島東側に分布がみられ、福岡沿岸のStn. 1で最も低い値を示している（図

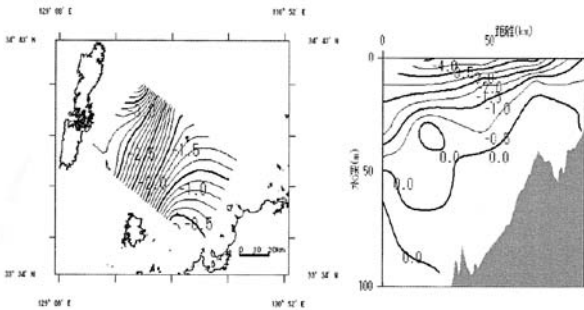


図11 塩分偏差（1998年，9月）

連続観測を行った各観測点（美津島、沖ノ島、蓋井島）の水温、塩分の時系列変化を図9に示す。各点とも6月上旬から水温が上昇するとともに塩分が低下する傾向を示し、8月下旬から9月上旬にかけて最高水温（美津島29.2、沖ノ島29.3、蓋井島29.3℃）、最低塩分（美津島31.0、沖ノ島31.3、蓋井島32.0PSU）を記録した。その後11月にかけて水温が低下し、塩分が上昇する季節変化を示した。観測期間中、各調査点の水温と塩分は負の相関関係を示した。また、季節的な変動に加えて数日間の時間スケールをもった変動が水温、塩分に認められた。特に沖ノ島では8月5～6日、8月26～27日に低塩分水、8月15～7日に高水温がみとめられた。観測点間の変動の関連性を把握するために48時間タイドカラーフィルターをかけた水温、塩分の時空間ダイアグラムを図10に示す。水温は7月、10月では対馬東水道の東西でほとんど差が認められないが、水温が最も上昇する8～9月では水道東部蓋井島地先のほうが中央、西部に比較し2～3日早く最高水温に達していた。塩分については、最低値は、8月下旬～9月上旬に対馬東水道中央部から西部（沖ノ島～美津島）に現れ著しい低下を示した。それ以外の時期では対馬東水道東部の蓋井島方面が低い傾向を示した。

12)。このように、2ヶ年の異常低塩分水の発生、移流、拡散にも違いがあったことが示される。この原因として、洪水の発生パターンに加えて台風の発生や気圧配置などの気象要因が大きな原因となっていることが指摘されている^{11, 12, 13)}。夏季は成層が形成されるために表層付近ではこうした気象要因の影響が強く、長期変動でみた8月の低塩分水の発生年と長江の洪水発生年が一致しないのも同様の理由によると考えられる。長江等大陸からの陸水は対馬沿岸部に到達するまで時間がかかり、こうした種々のノイズの影響で分布、拡散し、海況に与える影響の予想は困難である。

連続観測を行った2007年は長江の洪水も無く、大陸起源の陸水の影響が比較的弱かった年と考えられる。(図6)。定期観測データでは、海況変化は、30年間の平均パターンに一致しており¹⁴⁾、通常の夏季の陸水による影響を表している。連続観測から得られた時系列変化では、水温と塩分は負の相関関係にある事を示している。また、各調査点の水温の上昇と塩分の低下パターンから、観測された低塩分水は対馬海流によって移流された水塊であることが示唆される。季節的な変動に加えて数日のスケールをもつ変動が水温、塩分に認められるが、このことは大きな水塊の移動に加えて、パッチ状の低塩分水、高温水が通過したことを示している。長江起源水の挙動は、近年における降雨傾向の変化による洪水の頻発や、三峡ダムの完成による洪水の緩和等により今後いっそう変化が大きくなることが予想される。

今回の調査(2007年)では比較的陸水の影響を受けていないパターンの時系列変化を把握したが、さらに、連続観測を継続し、姉妹水等洪水時の時系列変化を調査することが必要である。長江の大洪水等の影響でおこる低塩分水の変化は、対馬海峡の海況に異変を起こし、漁場形成、資源の再生産に影響を与える可能性が高い。今後、より詳細な海況把握を行うためには、各県や研究機関が行っている定期観測のデータと連続観測のデータを連携させることが必要である。

長期にわたり継続してきた月1回の定期観測等のヒストリカルデータの解析は、温暖化や長江流域の開発(三峡ダム建設等)が問題となっている現在、極めて重要である。しかし、長期的なデータを扱う上でその採水方法や観測、分析方法、値の表し方等が変化することは避けられない。今回解析に使った塩分データは、観測機器の開発が行われ測定技術が進んだことにより測定方法が変更されている。しかし、塩分計による継続した補正を行っているために信頼性については特に問題が無いと考える。観測点については1970～2001年間で何度か

変更がなされていることに加えて、観測時に操船の都合等で規定の位置からずれているものもある。観測点のずれは、変化が大きい成層形成時には、解析結果に大きな影響を与える。そこで、今回は各観測データを時系列と位置情報で集計し一定の規則(3マイル範囲の調査点の同一化)で解析を行った。各調査点を位置情報としてとらえるGIS(地理情報システム)は、ヒストリカルデータを扱う上で最も問題となる観測点のばらつきを解決する有効な方法である。さらに、各研究機関の持つデータを広範囲に利用するためにも必要不可欠であると考ええる。

謝 辞

今回行った塩分の連続測定は、九州大学応用力学研究所の共同利用研究予算を使って行った。データ取得と研究についてご指導、ご協力をいただいた九州大学応用力学研究所海洋大気力学部門海洋循環力学分野 千手智晴准教授、独立行政法人水産大学校 滝川哲太郎助教に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 川野光久, 渡辺俊輝, 繁永祐司: 1998～2002年の山口県日本海沿岸域における魚群分布. 山口県外海水産試験場研究報告, 87-94 (2004).
- 2) 小林知吉, 堀成夫, 土井啓行: 山口県の日本海沿岸域における海洋生物に関する特記的現象. 山口県水産研究センター研究報告, No. 4. 19-56 (2006).
- 3) T.SENJYU, S. MATSUI and IN-SEONG HAN: Hydrographic Condition in the Tsushima Strait Revisited, of journal Oceanography Vol.64, 171-183 (2008).
- 4) 三井田恒博: 対馬東水道中央部における水温の周年変化と長期変動について. 福岡県福岡水試研報, 第13号, 1-8 (1967).
- 5) 小川嘉彦: 対馬海峡から日本海へ流入する海水の水温・塩分の季節変化. 水産海洋研究会報, 第43号, 1-8 (1983).
- 6) 加藤修, 中川倫寿, 松井繁明, 山田東也, 渡邊達郎: 沿岸・沖合定線観測データから示される日本海及び対馬海峡における水温の長期変動. 沿岸海洋研究, 44, 19-24 (2006).
- 7) 皆川昌幸: 中国大陸における近年の降水量及び長江の流量について. シンポジウム「長江大洪水と東シ

- ナ海等の海洋環境」講演集, 1-18 (2003).
- 8) 黒田一紀, 平井光行: 1990年代の日本海における海況の特徴, 特に低塩分現象について. シンポジウム「長江大洪水と東シナ海等の海洋環境」講演集, 93-101 (2003).
- 9) 平井光行: インターネットによる中国長江の1998年洪水と治水史の検証. 水分・水資源学会誌, 12, 53-89 (1998).
- 10) 高橋実: 対馬水道における水温・塩分の季節変化. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告, 1-14 (1987).
- 11) 皆川昌幸: 1995,1996年長江大洪水について. 西海区水研ニュース, 89, 8-10 (1997).
- 12) 木谷浩三: 陽光丸が東シナ海で観測した異常低塩分. 西海水研ニュース, (95), 9-11 (1998).
- 13) 渡邊俊輝: 山口県における水温・塩分の長期変動. 日本海水産海洋研究推進レポート, 34-45 (1999).
- 14) 江崎恭志, 内田秀和: 我が国周辺漁業資源調査. 水産海洋技術センター事業報告. 77-91 (2007).