



表1. 各水塊の水温特性 (°C)

表層水	20 $\geq$
中層水	20 $\sim$ 10 $\geq$
中層変質水	10 $\sim$ 1 $\geq$
固有水	1 $<$

この海域における最低水温期から上昇期に相当する3月～5月（春季），最高水温期から下降期の9月～11月（秋季）に焦点を当て資料の整理を行った。

**水塊の分類と海洋構造：**対象海域に出現する海水を既往知見<sup>8, 9)</sup>の水温を基準として①表層水，②中層水，③中層変質水，④固有水の4つの水塊に分類し，その特性を併せて表1に示した。調査対象海域の海洋構造モデルを図2に示したが，この海域では主躍層の上限が10°Cの等値線に相当する<sup>10)</sup>ので，これ以浅が中層水，以深が中層変質水に相当する。また1°C未満を固有水，20°C以上を表層水とした。

**水塊体積の推定：**海洋観測処理ソフト（応用技術社）

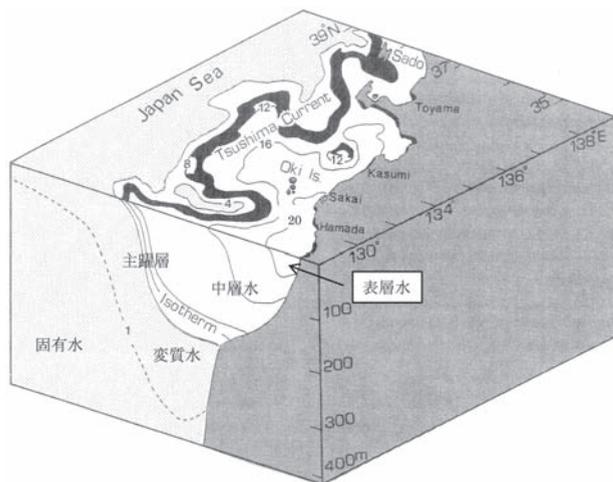


図2. 日本海南海域の海況模式図

を用いて基準水深別に1°Cごとの等温分布図を作成した。次に面積計測処理ソフト（Area Measure）を使用して基準水深（0m, 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, 100m, 150m, 200m, 300m）別に1°C毎の各水温に対応した色ドット数を計測し，この値を各水温帯の相対的な面積とした。さらに区分求積法により1°C毎の体積を計数し（図3），表1の水塊特性値に従って各水塊の体積を推定した。

## 結果と考察

**水塊体積の長期的変動：**出現した各水塊体積を調査対象範囲の容積に対する割合として示した（付図1, 2）。春季・秋季とも固有水の占める割合はほぼ8%

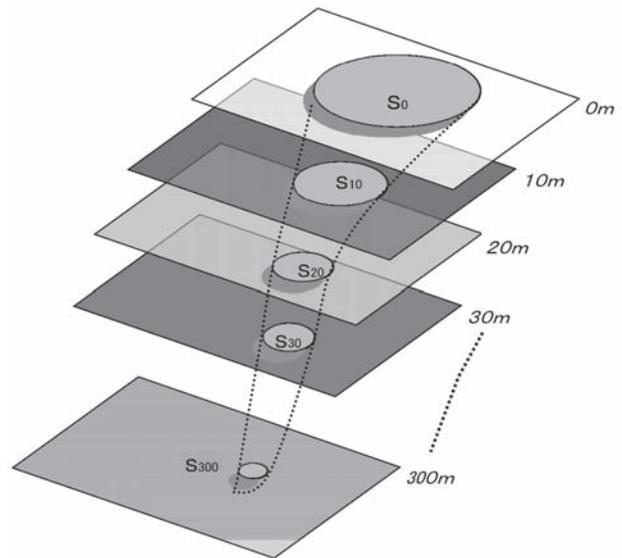


図3. 水塊体積の計算方法： $V = \{(S_0 + S_{10}) / 2 \times 10 + (S_{10} + S_{20}) / 2 \times 10 + \dots + (S_{200} + S_{300}) / 2 \times 100\}$  ここで， $V$ （体積）， $S_0$ （0m 深の面積）， $S_{10}$ （10m 深の面積）…， $S_{300}$ （300m 深の面積）を表す。

以下で大きくはない。春季では年による差はあるが中層水，中層変質水とも平均で45%～50%を変動している。一方，秋季には表層水が出現し平均で15～20%の範囲を変動している。また中層水と中層変質水は平均30%台にある。

各月の中層水塊体積間の相関をみると（表2），春季では互いに高い相関がみられたが，秋季で高い相関があったのは9月/10月間だけであった。また春季と秋季との間にはいずれの月においても相関は認められなかった。このことは春季と秋季とでは海況の変動機構が異なることを予想させる。事実，日本海の水温変動は，冬と夏の変動パターンが異なることも分かってきた<sup>3)</sup>。

春季として3月の中層水塊体積の長期的変動をみると（図4），1988年以降は2006年を除いて平均値を上回っている。1977年から1987年までは平均値を下回る年が多い。1964～1971年は同質の資料を欠くが，春季の中層水塊体積は互いに高い相関があるので4, 5月で指標させて比較すると，1960年代後半から'70年代初頭にかけては平均を下回る傾向が強いように思われる。

一方，秋季の海況を特徴付ける表層水の経年変動（図5）をみると，9～10月では調査対象期間を通じて大きな変動傾向は指摘できないが，11月では1998年からは平均値を大きく上回る年が継続している。秋11月にはこの海域では底層付近の高塩水と表層の低塩水とが混合して均質化される<sup>11)</sup>。このことは

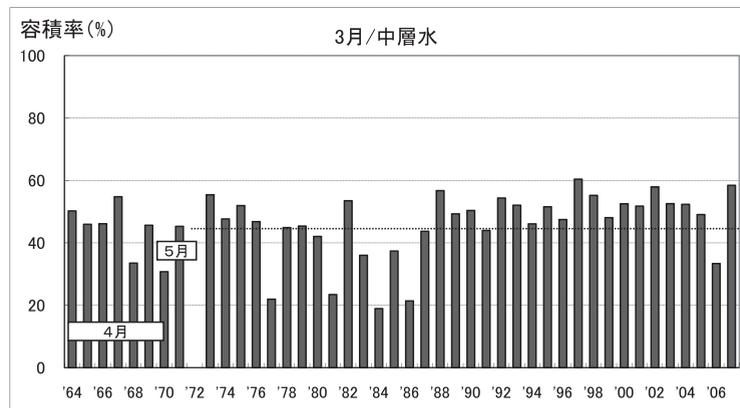


図4. 3月の中層水体積（容積率）の経年変動 点線は期間の平均値

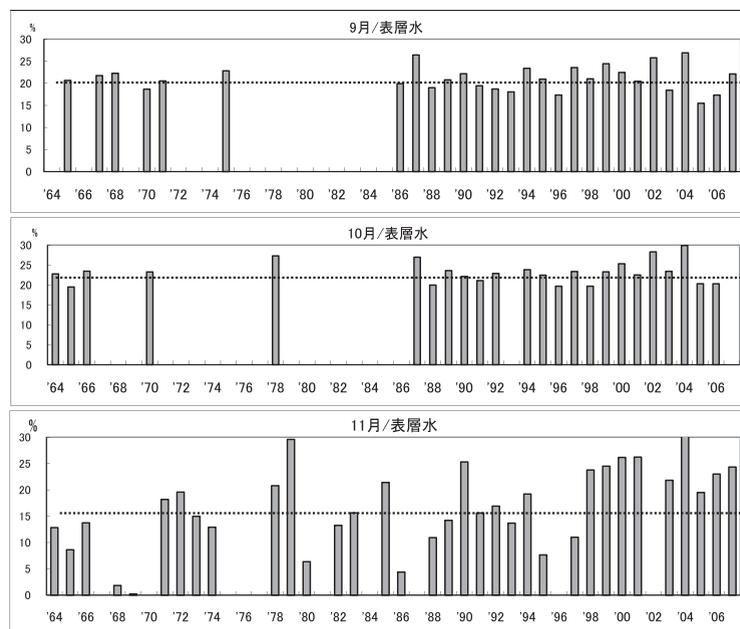


図5. 秋季（9～11月）の表層水体積（容積率）の経年変動 点線は期間の平均値

1998年以降、秋季における熱塩循環過程に変化が生じた可能性が示唆される。ただこの循環過程は対馬海峡から流入する対馬海流の海況特性の変化や熱収支の作用－蒸発・降水による水の授受－が密接に関連している現象であり、今回の調査では定量的に検討できなかったが、今後数値計算などによる検証が必要である。

春季の水塊体積と気象要因との関連：春季の水温は冬季気象と密接に関連することが指摘されている<sup>12-14</sup>）。そこで極東域における冬季季節風の強さの指標となるモンスーンインデックス（MOI）と各水塊との関連をみた（図6）。MOIと中層水とは負相関、中層変質水とは正相関になり、固有水とは相関が認められなかった。固有水は容積率も変動も小さいので一定とみなして、残りの大半の容積の中では

中層水が増加（減少）すれば中層変質水は減少（増加）するといういわば「シーソー」の関係が成り立つ。それらの境界面は主躍層の上部に相当するので、MOIの変動に伴う「シーソー」関係は躍層の上下運動が生じていることを連想させる。

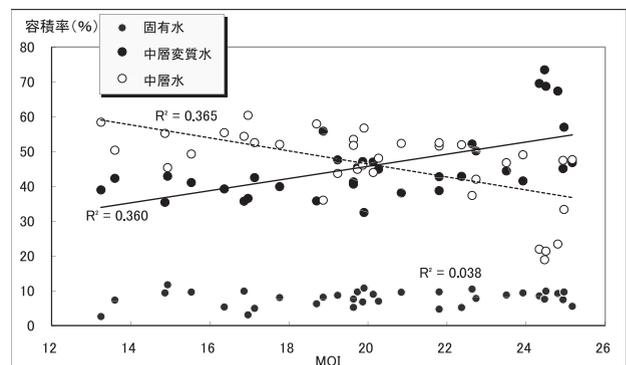


図6. モンスーンインデックス（MOI）と3つの水塊（固有水、中層水、中層変質水）との相関関係

表2. 各月の中層水塊体積の相互相関 下線部は0.1%水準で有意

中層水	3月	4月	5月	9月	10月	11月
3月	-	<u>0.927</u>	<u>0.681</u>	0.147	0.325	-0.134
4月	-	-	<u>0.808</u>	0.155	0.415	-0.204
5月	-	-	-	0.225	0.316	-0.005
9月	-	-	-	-	<u>0.759</u>	0.317
10月	-	-	-	-	-	0.427
11月	-	-	-	-	-	-

### 若干の論議

日本海南西部海域の海況について特に水温の長期的な変動に関連した報告<sup>1-6, 15)</sup>を総合的に要約すると、日本海南西部沿岸域では1980年代半ばまでは低温期であったが1980年代後半から上昇に転じ、その後1990年代末からは高温期にはいった、といえよう。このような水温の長期的変動傾向と中層水塊出現体積のそれとは類似した。今回用いた手法は対象海域で得られたデータをすべて使用しており、立体的な視点からみた水塊体積の変動傾向はいわば総合的な指標とみなすことができよう。水棲生物は程度の差はあっても水中という三次元空間で生活しているのであり、生物との対応関係を考える場合に適切な指標となりうることを期待できる。

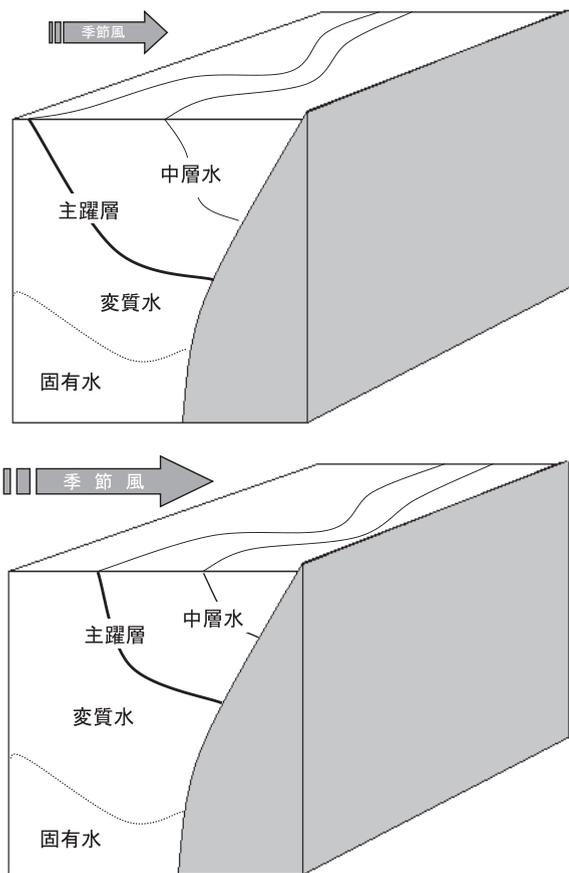


図7. 冬季の季節風の変化に伴う各水塊の変動を説明するモデル 上: 冬季季節風の弱い年, 下: 冬季季節風の強い年

一方、秋季については鉛直混合の強まる11月に1998年以降継続的に表層水体積が平年を上回っていた。この事実は、この時期に表層部の熱塩循環過程の変化が生じた可能性を指摘できる。その原因として潜熱・顕熱フラックスの変動および対馬海流による水平的な熱輸送の関与が考えられるが、それらの寄与の程度あるいは変動メカニズムは今後の課題である。ただ、表層水は主として大陸河川系の淡水の影響を強く受けた水塊であることを考慮しておく必要がある。

さらに春季では水塊体積と気象-モンスーンインデックス(MOI)-との間に密接な変動関係があることが示された。MOIは冬季季節風の変動の指標であり、水塊との関係は現象的には図7のように表わされる。この結果は気象変動にともなう主躍層の上下振動-表層混合層の変化-を示している。図7の結果は今回の研究から予想されたものであり、これまで類似の調査結果はない。今後の検証が必要であるが、冬春季の表面水温および混合層深度などの表層環境は黒潮統流域ではマイワシの加入量変動と関連していることが指摘され<sup>16)</sup>、対馬海流域においても類似の調査研究の進展が望まれる。

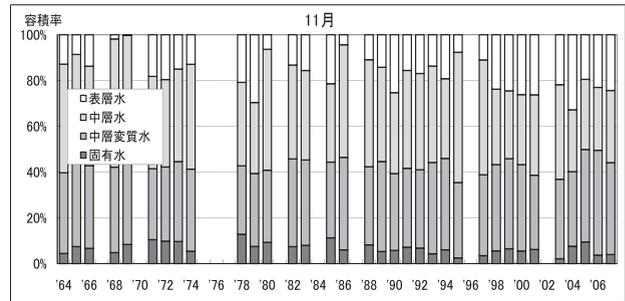
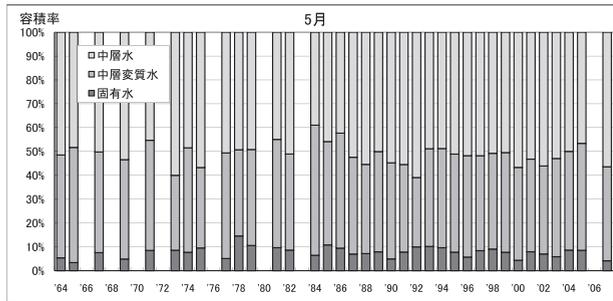
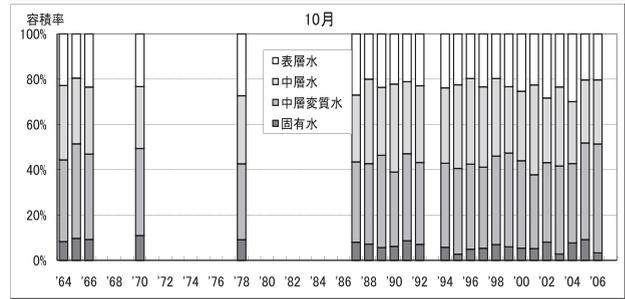
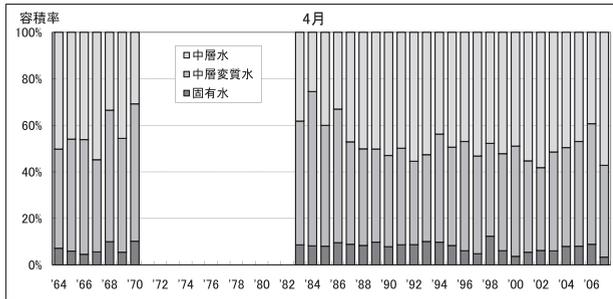
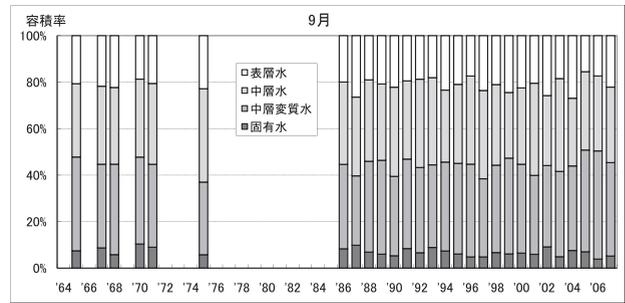
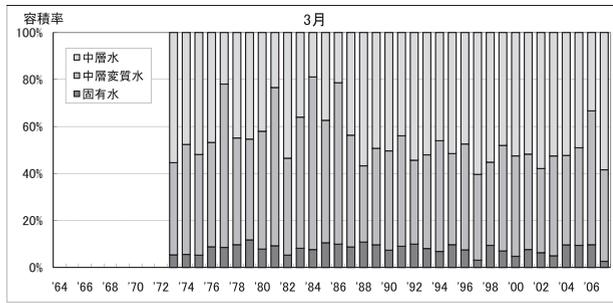
水温変動と水棲生物との関係は従来「浮鱼类」との関係で語られることが多かったが、最近、日本海南西海域においても水温環境と「底鱼类」との関係が重要視されつつある<sup>17-21)</sup>。今後は水生生物の資源変動との対応関係において、ここで用いた水塊体積が環境変動の指標となることを期待される。

### 謝 辞

西海区水産研究所大下誠二主任研究員からMOIデータの提供を、また鳥取県水産試験場志村健研究員から水温データの提供をいただいた。ここに記してお礼申し上げるとともに海洋観測に従事された山口県～兵庫県の歴代の漁況海況予報事業担当者及び船舶職員に感謝します。草稿に建設的なご指摘を頂いた当所編集委員の皆様に深謝します。

## 文 献

- 1) 小林知吉・堀 成夫・土井啓行・河野光久 (2006) 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, 4, 19-56.
- 2) 京都府海洋センター (2004) 京都府の海の水温変動. 季報 第80号.
- 3) 加藤 修・中川倫寿・松井繁明・山田東也・渡邊達郎 (2006) 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 (1), 19-24.
- 4) 加藤 修・山田東也・渡邊達郎 (2006) 過去40年間における日本海の水温変動の特徴. 日本海区分水研主要研究成果集, 1, 8-10.
- 5) 中村浩二 (1992) 日本海南部の水温の経年変動. 海と空, 67, 217-230.
- 6) 為石日出生・藤井誠二・前林 篤 (2005) 日本海水温のレジームシフトと漁況 (サワラ・ブリ) との関係. 沿岸海洋研究, 42 (2), 125-131.
- 7) 磯田 豊・是松弘志 (1995) 対馬暖流域における水温・塩分・溶存酸素の鉛直断面分布の経年変化. 海と空, 71 (2), 47-57.
- 8) 宇田道隆 (1934) 日本海及び其の隣接海区の海況. 水産試験場報告, 5, 57-190.
- 9) 宮崎道夫 (1953) 日本海の水塊に就いて (海況予想の研究Ⅱ). 北海道水研研報, 7, 1-65.
- 10) 森脇晋平・小川嘉彦 (1988) “底部冷水”の海況学的特性. 東北水研研報, 50, 25-47.
- 11) 小川嘉彦 (1981) 日本海南西沿岸水域の海況特性とその漁業生物学的意義. 山口県外海水試研報, 18, 1-96.
- 12) 平井光行 (1994) 対馬暖流域における春季の海面水温に与える冬季の海面冷却の影響. 日水研報告, 44, 1-17.
- 13) 千手智晴・渡辺俊輝・繁永裕司 (2003) 日本海山陰沿岸水温にみられる十年スケール変動. 月刊海洋, 35 (1), 59-64.
- 14) 木村龍治 (2006) 日本海の冬季の気候と日本海. 日本海学の世紀 (6) 海の力, 角川書店, 127-135.
- 15) 黒田一紀・平井光行 (2003) 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. 長江大洪水と東シナ海等の海洋環境 (西海区水産研究所), 93-102.
- 16) 安田一郎 (2005) 海洋・気候のレジームシフトと資源変動. 海の生物資源-生命は海でどう変化しているか-. 東海大学出版会, 225-240.
- 17) 森山 充・安達辰典 (2002) 福井県沿岸のアカガレイ漁況変動に及ぼす海況の影響. 水産海洋研究, 66, 84-87.
- 18) Kyuji Watanabe, Kazumi Sakuramoto, Takashi Minami, and Naoki Suzuki (2006) Population dynamics and catch forecasts of sandfish *Arctoscopus japonicus* in the western Sea of Japan. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr. 70, 221-228.
- 19) Daisuke Yamanaka, Kazumi Sakuramoto, Nakao Suzuki and Tohru Nagasawa (2007) Catch forecasting and relationship between water temperature and catch fluctuations in snow crab *Chionoecetes opilio* in the western Sea of Japan. Fisheries Science, 73, 837-844.
- 20) 森脇晋平・若林英人・為石起司 (2007) 島根県敬川沖における魚類の出現特性-Ⅲ. 島根水技セ研報, 1, 1-10.
- 21) 森脇晋平 (2009) 日本海南西部島根沖合水域におけるタラ類漁獲量の急増現象とその要因. 島根水技セ研報, 2, 15-18.



付図 1. 春季における各水塊の容積率の経年変化

付図 2. 秋季における各水塊の容積率の経年変化