

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*

加藤 修**・中川 倫寿†・松井 繁明††・山田 東也**・渡邊 達郎**

Long-term Fluctuations of Water Temperature in the Japan Sea and the Tsushima Strait Shown by Data from Prefectural Oceanographic Observations along the Coastal and Offshore Measurement Lines

Osamu Katoh, Norihisa Nakagawa, Shigeaki Matsui,
Haruya Yamada and Tatsuro Watanabe

1964～2004年の41年にわたる沿岸・沖合定線観測データに基づいて、日本海及び対馬海峡における50 m 深水温の長期変動傾向を調べた。日本海については、100 m 深水温分布に基づいて、主要4冷水域の分布変動についても調べた。日本海において顕著な水温上昇は、1980年以降2回生じていることが明らかとなった。1回目は1988/89年頃で主として冬季に顕著な水温上昇が認められるのに対し、2回目は1997/98年頃で、冬季だけでなく他の季節においても明瞭に認められた。また、水温上昇が認められたこれらの時期には、冷水域の分布面積にも変動が認められ、佐渡沖及び入道崎沖冷水域では1989年頃を境に、島根沖及び山陰・若狭沖冷水域では1997年頃を境に、それぞれ分布面積が平年値よりも大きくなることほとんど見られなくなった。対馬海峡の水温変動は、日本海西部の水温変動と冬季・春季には類似していたが、夏季・秋季には大きく異なっていた。

Based on data from prefectural oceanographic observations along the coastal and offshore measurement lines from 1964-2004, we examined long-term fluctuations of water temperature at 50 m depth in the Japan Sea and the Tsushima Strait. We also examined distribution fluctuations of the four main cold water areas, based on water temperature at 100 m depth in the Japan Sea. It became clear that a remarkable temperature rise occurred twice in the Japan Sea after 1980. The first temperature rise, primarily in winter, was recognized around 1988/89. The second rise was recognized around 1997/98 in all seasons. During these times when the temperature rise was recognized, remarkable changes were found in the cold water distribution areas: distributions of the Sado and Nyudo Cold Water Areas and those of the Shimane and San'in-Wakasa Cold Water Areas showed little diffusion after 1989 and 1997, respectively. The temperature fluctuation in the Tsushima Strait was similar to that in the western area of the Japan Sea in winter and spring, but differed greatly in summer and autumn.

キーワード：日本海, 対馬海峡, 水温長期変動, 沿岸定線, 沖合定線

1. はじめに

1963年(昭和38年)冬～春季に発生した「異常冷水」を契機に、水産庁及び都道府県の水産試験研究機関によ

る組織的な海洋観測が翌年から開始され、現在においても継続されている。その観測線は「沖合定線」「沿岸定線」「浅海定線」という名で呼ばれており、観測点網及び頻度は非常に充実したものになっている。得られたデータは漁海況予報や重要魚種の資源変動要因の検討等、水産上の諸課題を解決するための基礎資料として利用されるだけでなく、地球規模の環境変動をモニターするためのデータとしても重要な意味を持っている。特に、近年注目されている「レジームシフト」の発生及びそれが重要資源の変動に及ぼす影響等、長期間に亘る現象の解明を行おうとする場合、これらの定線観測データは不可

* 2006年2月13日受領, 2006年5月11日受理

** 独立行政法人 水産総合研究センター 日本海区水産研究所

† 独立行政法人 水産総合研究センター 西海区水産研究所

†† 福岡県水産海洋技術センター

連絡先: 加藤 修, 独立行政法人 水産総合研究センター 日本海区水産研究所

〒951-8121 新潟市水道町1-5939-22

E-mail: tsushima@fra.affrc.go.jp

欠なものである。

本報告では、1964～2004年の41年にわたる日本海及び対馬海峡で実施されてきた沿岸・沖合定線観測データに基づいて50 m 深水温の長期変動傾向について整理し、季節変動及び海域間の変動の類似性について述べる。日本海については、100 m 深の水温データに基づいて整理されている主要冷水域の分布面積の変動についてもあわせて報告する。

2. 日本海における水温変動

日本海における観測定線の例として、2005年9月のものを Fig. 1 に示す。観測点の間隔は、沿岸付近では10海里以下であるのに対し、沖合域では直径50～150 km の渦状の暖水域・冷水域の構造を把握できるように約20海里ごとに設定している。観測点の配置は月によって変動はあるものの、3～11月については日本海南部をほぼ網羅する形になっている。このような各機関による月別の50 m 深水温データを Fig. 2 に示す2つのエリアごとに平均し、それらを日本海西部・北部のデータとして使用した。両海域とも得られたデータの季節別（冬：1～3月，春：4～6月，夏：7～9月，秋：10～12月）の水温偏差（それぞれの季節の1964～2004年にわたる平均値からの偏差）を今回の解析に使用した。

1964年以降の日本海西部・北部における50 m 深水温変動を Fig. 3 に示す。1980年代半ば頃までは6～8年の周期変動が認められていたが、1980年代後半以降それが

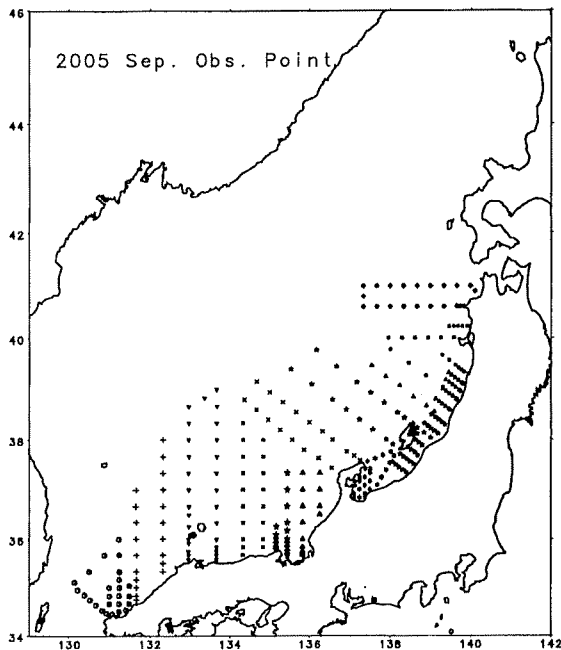


Fig. 1 Stations of prefectural oceanographic observations in the Japan Sea in September 2005.

不明瞭になっている。1988年から1989年を境に平年よりも低めになることが少なくなり、その傾向は日本海北部で顕著である。1996年頃に一旦平年並みに戻るものの、その後再び高めになっている。

日本海西部における季節別の50 m 深水温偏差の時系列を Fig. 4 に示す。冬季には1988年頃までは平年よりも低めであるのに対し、それ以後は高めと明瞭に分かれている。春季についても1987年頃を境にそれまで平年よりも低めであったのが平年並みで経過し、1997年以降高めに推移している。夏季については1980年代から1990年代前半までは平年よりも低めで経過していたが、1997年以降急に高めへと転じている。秋季についても夏季の変動と類似しており、1980年代から1990年代前半まではほぼ

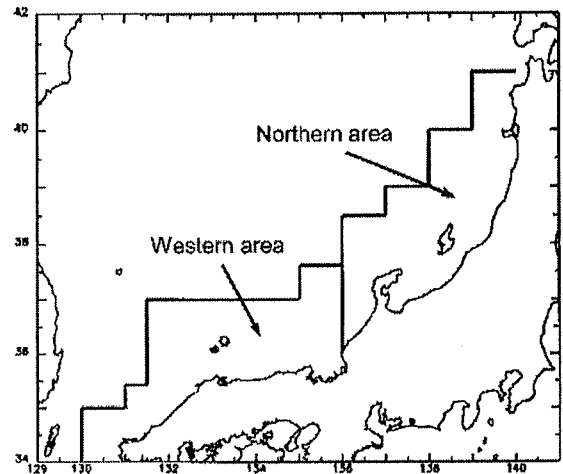


Fig. 2 Two areas where averaging of observation data were performed, in order to investigate fluctuations of water temperature at 50 m depth. The two areas are hereafter referred to as the western and northern areas of the Japan Sea.

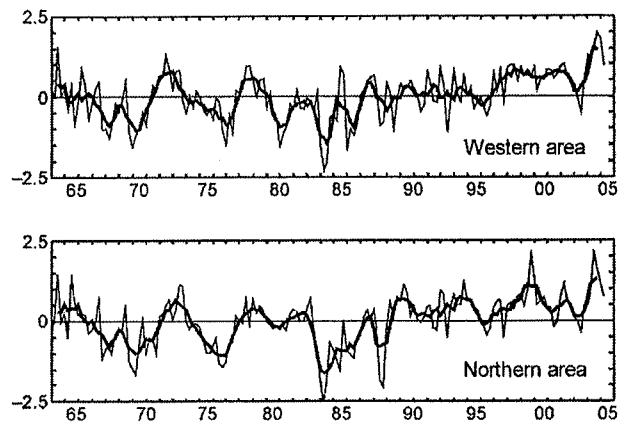


Fig. 3 Anomalies of water temperature at 50 m depth in the western and northern areas of the Japan Sea since 1964 (thin lines). Thick lines indicate the running mean of the five data.

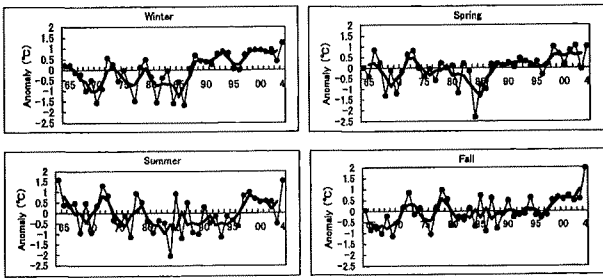


Fig. 4 Seasonal anomalies of water temperature at 50 m depth in the western area of the Japan Sea (thin lines with solid circles). Thick lines indicate the running mean of the three data.

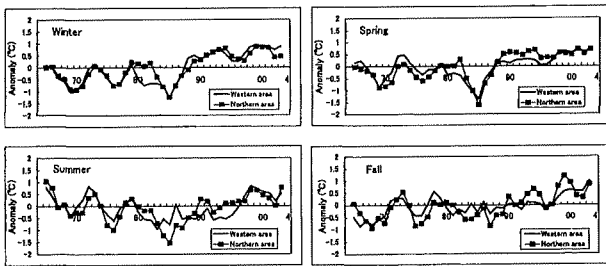


Fig. 5 Seasonal anomalies of water temperature at 50 m depth in the northern area of the Japan Sea, together with those in the western area. As for these anomalies, running means of three years are shown.

平年並みで経過しているが、1998年以降高い状態が続く。以上のことから、日本海西部において顕著な水温上昇は、1980年以降2回生じている。1回目は1988年頃に冬季において明瞭に認められる。2回目は1997/98年頃に、冬季だけでなく他の季節においても明瞭に認められる。

このような2回の水温上昇は、日本海西部だけでなく日本海北部でも明瞭に認められ、1988/89年頃に発生した春季の水温上昇については西部よりも著しい (Fig. 5)。

3. 日本海における主要冷水域の分布面積変動

日本海区水産研究所では、「島根沖」「山陰・若狭沖」「佐渡沖」「入道埼沖」の主要4冷水域の消長を把握するため、各冷水域の出現エリアを Fig. 6 のように規定し、3月、6月、9月、11月の100 m 深水温分布に基づいて、それぞれの月ごとに設定した指標水温 (Table 1) 以下の水温分布が規定水域内で占める面積の割合 (%) を「面積占有率」として算出している。得られた値については、冷水域別及び月別に平均・標準偏差を算出し、平均からの偏差を標準偏差で除して標準化した値を解析に供した。

主要4冷水域の面積占有率偏差の時系列を Fig. 7 に示

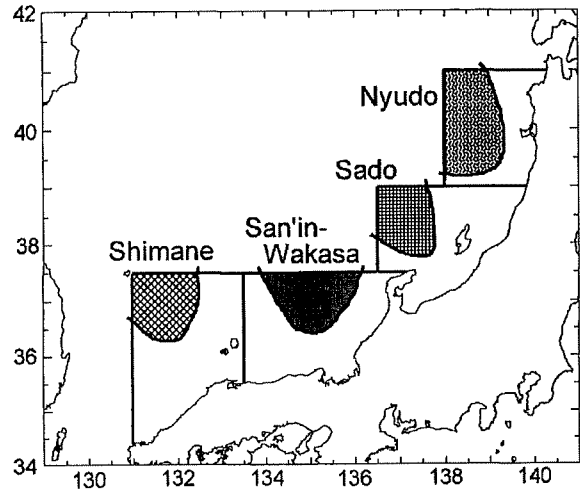


Fig. 6 Areas prescribed as calculating shares of the main four cold water areas of the Japan Sea, based on the distribution of water temperature at 100 m depth. The percentage of the area where water temperature is lower than the index temperature shown in Table 1 is calculated in each of the four prescribed areas.

Table 1 Index temperatures (°C) of the four main cold water areas of the Japan Sea in March, June, September and November.

	Shimane	San'in-Wakasa	Sado	Nyudo
March	10	10	8	8
June	11	11	9	9
September	15	15	12	12
November	15	15	12	12

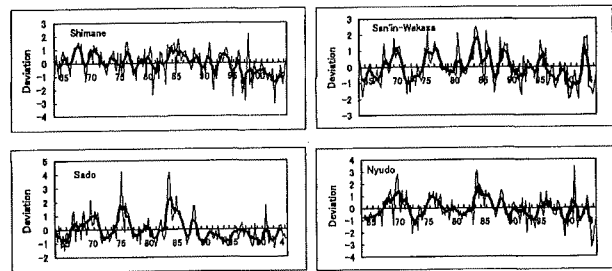


Fig. 7 Deviation of the area-share of the four main cold waters (by thin lines). The deviation is calculated by dividing the anomaly of the area-share percentage by its standard deviation in each of the four months, i.e., March, June, September and November. Thick lines indicate the running mean of the five data.

す。山陰・若狭沖、佐渡沖及び入道埼沖冷水域については、1980年代半ば頃までは6~8年の周期変動が認められるが、その後不明瞭となっている。一方、島根沖冷水域は他の3冷水域とは大きく異なった変動特性を示して2~3年周期が明瞭に認められる。

冷水域間の変動の類似性を検討するため、隣接した2つの冷水域について面積占有率偏差の変動を比較した

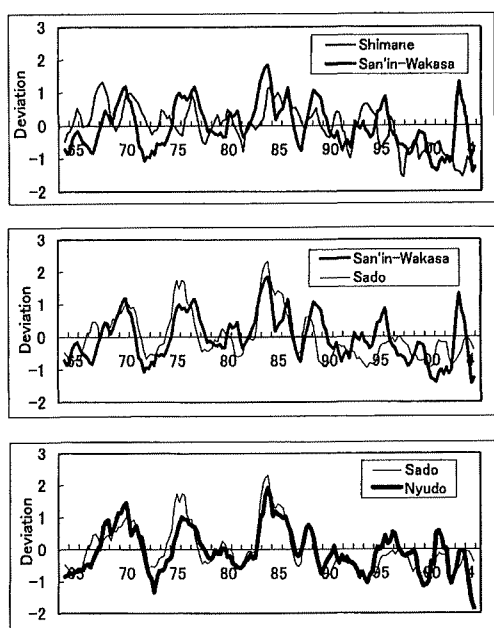


Fig. 8 Comparison between the deviations of the area-share of the adjacent cold water areas. The lines indicate the running mean of five data, as shown in Fig. 7.

(Fig. 8). 佐渡沖及び入道埼沖冷水域は非常に類似した変動を示し、1989年以降、面積占有率偏差が大きく正になる場合（冷水域の張り出しが平年よりも強い場合）がみられなくなっている。山陰・若狭沖冷水域については、1989年までは佐渡沖冷水域とほぼ同じ変動を示していたが、その後大きくずれている。島根沖冷水域と山陰・若狭沖冷水域の変動は元々ずれてはいるものの、1997年以降についてみると2003年に山陰・若狭沖冷水域の面積占有率偏差が一時的に高くなるのを除けば、平年よりも低い状況で推移するという点で一致している。以上のことから、冷水域の分布状況にも1980年以降大きな変化が2回認められる。1回目は1989年頃に佐渡沖及び入道埼沖冷水域で認められる。2回目は1997年頃に、島根沖及び山陰・若狭沖冷水域で認められる。

4. 対馬海峡における水温変動

福岡県水産海洋技術センターの観測定線を Fig. 9 に示す。対馬東水道を横断する形で st. 1～st. 5 の5観測点が配置されている。本報告では、対馬暖流沿岸分枝の主流域に位置し、西海ブロックの海況予報の際の基礎データとして長年にわたり蓄積されている st. 4 のデータを解析に使用した。同地点では毎月観測が実施されているものの、日本海のデータ形式と合わせるため、季節別（冬：1～3月，春：4～6月，夏：7～9月，秋：10～12月）に50m深水温偏差を計算した。

st. 4 における四季別50m深水温偏差を Fig.10 に示す。

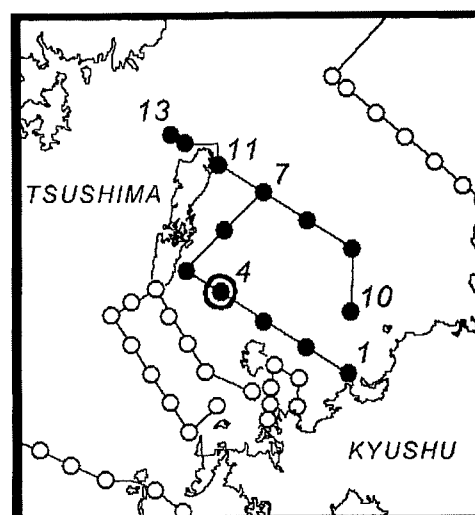


Fig. 9 Oceanographic observations stations of Fukuoka Fisheries and Marine Technology Research Center, shown by solid circles.

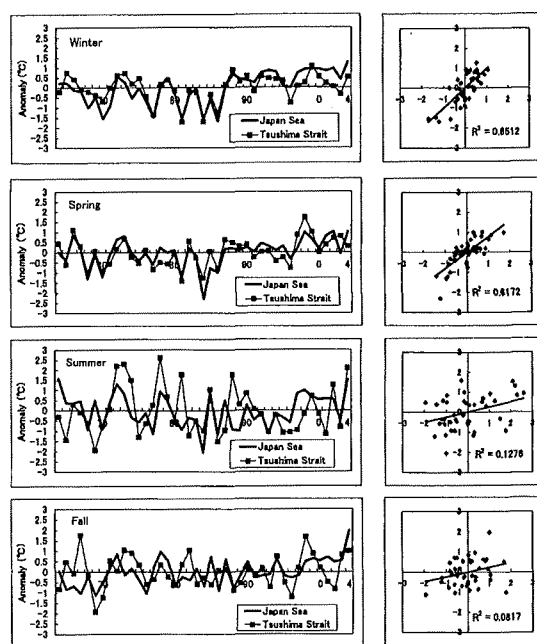


Fig.10 Seasonal anomalies of water temperature at 50 m depth at station 4 (see Fig. 9) in the Tsushima Strait, together with those of the western area of the Japan Sea (left panels) and their correlation (right panels). In the right panels, X- and Y- axes correspond to the data of the Tsushima Strait and the western area of the Japan Sea, respectively.

同図では、日本海西部の50m深水温偏差及び両者の相関関係も合わせて示している。冬季・春季については、対馬海峡と日本海西部との間の相関係数が0.8程度と高く、両海域の変動傾向はよく類似している。ただし、細かく見ると、冬季の水温変動に関し1996年頃に両者とも一旦大きく低下した後、日本海西部では再び高めに転じ

てその状態が2000年以降も継続しているのに対して、対馬海峡では1999年に水温のピークを記録した後徐々に低下していく等変動の相違が認められる。これに対し、夏季・秋季では相関係数も冬季・春季に比べるとかなり低く、両海域間で変動の類似性はそれほど認められない。

5. 考 察

今回の解析結果から、日本海において顕著な水温上昇は、1980年以降2回生じていることが明らかとなった。1回目は1988/89年頃で冬季において（日本海北部では春季も）顕著な水温上昇が認められるのに対し、2回目は1997/98年頃で、冬季だけでなく他の季節においても明瞭に認められた。また、水温上昇が認められたこれらの時期には、冷水域の分布面積にも変動が認められ、日本海北部に分布する佐渡沖及び入道崎沖冷水域では1989年頃を境に、また日本海西部に分布する島根沖及び山陰・若狭沖冷水域では1997年頃を境に、それぞれ分布面積が平年値よりも大きくなるのがほとんど見られなくなった。

1988/89年頃にアリューシャン低気圧の変動と関連した「レジームシフト」と呼ばれている大きな海況変動が生じたことはよく知られており、日本海でも水温や水位に変化が生じていたことが報告されている¹⁾。今回の解析で認められた1988/89年頃の変動についても、冬季において顕著に認められていることから、これまで報告されている1988/89年頃に北部太平洋で広く生じた海況変動を捉えたものと考えることができる。一方、1997/98年の変動については、同時期に大きな海況変動が生じていたとする報告があるもののデータの蓄積が乏しいこともあり、その実態については不明な部分が多い。今回の解析結果からみると、日本海においては1997/98年頃にも大きな海況変動が生じていた可能性が高いと言える。ただし、1988/89年の水温上昇については冬季に（北部海域では春季にも顕著に）生じていたのに対し、1997/98年の水温上昇については全季節をとおして認められ、水温上昇の発生状況がかなり異なっていた。このことは、両時期の変動を引き起こした要因が異なっていたものであることを強く示唆する。

対馬海峡における水温変動について、冬季及び春季においては日本海西部の水温変動と類似したものであった。日本海における冬季の水温変動と冬季モンスーン指数との間には高い相関があることが報告されており^{1,2)}、冬季の水温変動は基本的には冬の季節風の影響を非常に強く受けると考えられている。このことから、冬季においては、対馬海峡から日本海西部まで季節風の影響がほぼ同様に及ぶため、両海域の水温変動が類似し

たものになると考えられる。また、冬季と春季の水温変動の相関が高いことから²⁾、春季についても対馬海峡と日本海西部との相関が高くなったと考えられる。ただし、1997年以降については冬季における両海域の水温変動にかなりの相違が認められるが、この原因については不明である。一方、夏季及び秋季については、両海域の水温変動は大きく異なっていた。夏季・秋季には季節水温躍層が形成されるが、その分布状況は観測年によって当然大きく変動することが予想される。今回、使用した水温データは日本海西部ではエリアの平均値であるのに対し、対馬海峡ではst.4の1地点のみの値である。このため、Fig.10で示した水温変動のうち、対馬海峡の方が水温躍層の分布状況の影響をより強く受けることが想定され、このことが両海域の水温変動が大きく異なった主要因と考えられる。このため、水温躍層の影響をなるべく除去したデータ（例えばst.1～st.5の5地点の平均値）を用いて、今後検討を進める予定である。

1988/89年及び1997/98年頃に見られた大きな海況変動は、漁況にも当然大きな影響を及ぼすことが想定される。実際、1988/89年頃を境に、マイワシの資源量が急激に減少したのに対し、スルメイカでは逆に増加したことがよく知られている³⁻⁵⁾。一方、1997/98年の水温変動に関しては、太平洋側では目立った漁況変動は報告されていないものの、日本海側では水温上昇以降サワラがまとまって漁獲されるようになった^{6,7)}。水温上昇等の海況変動がどのようなメカニズムで漁況変動を引き起こすのかについては、魚種毎にいろいろな仮説が提示されているものの未解明な事項も非常に多く、今後の研究の展開が望まれる。

6. おわりに

1964年以降の沿岸・沖合定線観測データに基づいて、日本海及び対馬海峡の水温の長期変動傾向について、いくつかの特徴を明らかにすることができた。このような水温の長期変動を把握し、水産資源の変動要因を解明していくうえで、沿岸・沖合定線観測から得られたデータは不可欠である。昨今、予算上の理由で沿岸・沖合定線観測の維持が困難になってきているが、単に水産上の課題解決のためだけではなく、今後危惧される東アジア周辺海域における環境問題への的確な対処を可能とするデータを蓄積するため、沿岸・沖合定線観測の重要性は今後も決して低下することはないであろう。

最後に、1964年以降長年にわたり沿岸・沖合定線観測の実施に携わってこられた関係機関の皆様にご心より感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 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, 59-64.
- 2) 長沼光亮 (2000) : 生物の生息環境としての日本海. 日本海区水産研究所研究報告, 50, 1-42.
- 3) 能登正幸・安田一郎 (1999) : マイワシの資源・分布と海洋環境変動. 月刊海洋, 31, 184-191.
- 4) 平井光行 (2001) : 日本海における海面水温の長期変動とマイワシ, スルメイカの資源変動. 月刊海洋/号外, 24, 237-244.
- 5) 桜井泰憲・山本 潤・木所英昭・森 賢 (2003) : 気候のレジームシフトに連動したスルメイカの資源変動. 月刊海洋, 35, 100-106.
- 6) 久田哲二・熊木 豊・上野陽一郎・河岸 賢 (2003) : サワラの漁獲変動について. シンポジウム「対馬暖流域における海洋変動と漁業生産」講演要旨集, 6.
- 7) 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, 125-131.

質疑応答

問：島根沖冷水域の分布は、対馬暖流の流量や流路に対応しているのか？

(水産大学校, 滝川哲太郎)

答：島根沖冷水域の分布変動と対馬暖流の変動との間には、何らかの対応が存在することが想定されるものの、現時点ではまだ解明されていない。ただ、島根沖冷水域の分布変動に認められる2～3年周期変動について、対馬暖流の変動の中にこのような周期のものが顕著に認められることを指摘した報告は現在のところないので、対馬暖流以外にも島根沖冷水域の変動に関与する要因が存在するものと考えられる。

問：対馬東水道における冬季の上層と下層との水温の差は、イベント的に水塊が入ってきたことによって生じたものとは考えられないのか？

(水産大学校, 滝川哲太郎)

答：ご指摘のとおり、冬季に表面水温が10 m以深の水温よりかなり低かった事例(本報告では図の掲載な

し)に関して、低温で低塩分の海水がイベント的に流入したことによって生じた可能性はある。

問：何故、水温が上昇するとサワラ、ブリ、スルメイカの漁獲量は増加するのか？

(沖縄県亜熱帯総合研究所, 鹿熊信一郎)

答：サワラについては、水温上昇によって分布の北限が北上したため漁獲量が増加したと考えられている。日本海北部でのブリの漁獲量が増加したことについても、サワラの漁獲量の増大と同じ要因と考えられている。スルメイカについては、水温上昇がどのように漁獲量の増加に関係しているのか、そのプロセスについてはよくわかっていない。

問：これからも高温化が続き、それに伴って日本海の生態系が変わっていくのか？

(東北大学, 川村 宏)

答：今後の水温変動を予測することは困難ではあるが、過去の水温変動傾向をみると高温化が続くとその後低温期に転じており、1988年以降の水温上昇についてもいずれ平年並みの状況に戻ると考えられる。したがって、このまま日本海の生態系が変化していく可能性は低いと思われる。

問：環境変化の生態系への影響をモニタリングするという意味で、現在取られているか、あるいは今後考えられるべき生物要素など他の指標があるか？

(九州大学応用力学研究所, 松野 健)

答：現在のところ、一部の観測点でクロロフィルの測定及び動物プランクトンの採集が実施されている。予算的にこれらの観測点を増やすことは困難ではあるが、水温等の物理情報だけでなく、プランクトンの分布状況も把握することは、環境変化の生態系への影響を評価するうえで非常に重要だと考えている。