

豊前海の水温・塩分変動と漁獲量の変動

佐藤 利幸・神薊 真人
 (豊前海研究所)

Variation in water temperature and salinity and catch quantity in the Buzen Sea

Toshiyuki SATO and Masato KAMIZONO
 (Buzenkai Laboratory)

瀬戸内海の周防灘西部に位置する福岡県豊前海域は、高い漁業生産力を有し、小型エビ類、シヤコ、カレイ類など多様な魚介類が漁獲される。しかしながら、近年の漁獲動向をみると、カレイ類やアサリなど重要資源は低水準にあり、スギヤナルトビエイなど暖海性魚種¹⁾の出現がみられるようになった。また、養殖業においてもノリの色落ちが深刻な問題となるなど、漁業者から「海が変わった」との声を聞くようになった。最近の諸研究から、漁業資源にみられる資源変動は、様々な環境要因の影響を受けていることが指摘されている。²⁾今回、1973年1月～2003年12月にかけて毎月1回、海洋観測を行った浅海定線調査データを主体に豊前海の長期的な水温・塩分変動を解析し、その変動要因を考察することで、有用生物の変動との関連性を検討した。その結果、'80年代後半に豊前海の水温・塩分等の環境や生物生産に大きな変動が起きたことが明らかになったので報告する。

方 法

1973年1月～2003年12月にかけて、図1に示す観測点(10点)において毎月上旬に1回観測を行った。全測点において表層(0.5m層)、5m層、底層(底上1m層)の水温・塩分を観測し、また水深10m以深の測点(5点)においては10m層も観測を行った。各調査年月の観測方

法は表1に示した。

今回、豊前海の水温・塩分を解析する値として、調査日毎に表層から底層までの観測データを加重平均し、各観測点の平均値を算出した後、単純平均した値を用いた。次に、このデータに36月移動平均を施し、水温・塩分の変動を整理した。さらに、上記で算出した海域の値を月別及び季節別に平均し、季節変動を整理した。

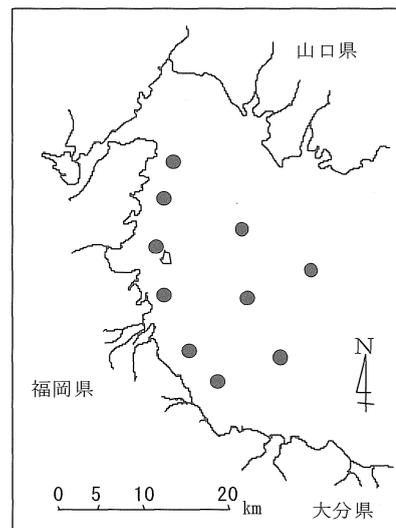


図1 浅海定線調査定點

表1 観測方法

観測に用いた機材				
使用期間				
水温	電気温度計 (電気化学計器 K.K.製) 1973.1-1976.3	棒状水銀温度計 1976.4-1982.3	電気温度計 (東邦電探 ET-5D) 1982.4-1985.3	CSTD (フレック電子 ADR-500) 1985.4-1889.3
				STD (フレック電子 AST-1000M) 1989.4-2003.12
塩分	電気化学計器 (電気化学計器 K.K.製) 1973.1-1974.3	サリノメータ (鶴見精器製 TS-E2型) 1974.4-1989.3	STD (フレック電子 AST-1000M) 1989.4-2003.12	

まず、水温・塩分の変動要因を考察するため、気象要因を整理した。気温、降水量として、行橋市データ（気象庁、1975-2003³⁾）を、河川流量として、一級河川である山国川の下唐原測定流量（国土交通省、1970-2003⁴⁾）を用い、経年変動等を整理した。さらに、海面からの蒸発量を次式（q）で算出し、降水量との差を求めた。

$$q = k (E_s - E_a) W$$

ここでkは蒸発係数（石崎・斉藤（1978）⁵⁾を参考に0.15mm・day⁻¹・hPa⁻¹・sec・m⁻¹とした）、Esは毎月の各観測点の表面の水温を加重平均して求めた豊前海の平均海面水温に対する飽和蒸気圧、EaとWはそれぞれ行橋市の月平均蒸気圧と月平均風速（気象庁、1975-2003）である。

次に、豊前海への外洋水の影響を検討するため、海象要因として、豊前海に隣接し外海に位置する伊予灘の水温・塩分について、大分県の観測結果（1976-2003⁶⁾）を基に、季節変動を整理し、豊前海と比較した。さらに、豊前海の潮流変化を相対的に把握するため、門司と徳山の大潮時の高潮位、低潮位及び潮位差（海上保安部、1960-2004⁷⁾）を抽出し、潮位の変動を整理した。

一方、生物生産環境の変動を把握するため、'80~'88年及び'03~'04年までの5~9月にかけて、検鏡にて表層のプランクトンを計数し、プランクトン出現量を算出して年別の基礎生産を比較した。また、福岡農林水産統計年報（1975-2003⁸⁾）を用い、有用生物の漁獲データを抽出し、魚種別漁獲量の変動を整理した。

結 果

1. 水温・塩分の長期変動の解析

(1) 水温の変動

豊前海の水温の変動（月平均と36ヶ月移動平均）を図2に示した。36ヶ月移動平均は、数年程度の周期からなる増減を繰り返しながら、上昇傾向を示した。また、36ヶ月移動平均の線形は図2に示すとおり、0.0017の正の傾きであり、試算すると28年間で約0.57℃、1年で約0.0204℃水温が上昇していると見積もられた。

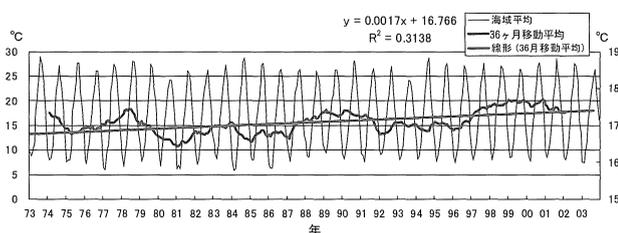


図2 水温の変動

(左側縦軸は月平均水温、右側縦軸は36ヶ月移動平均)

(2) 夏季水温と冬季水温の変動

夏季水温（7~9月）と冬季水温（1~3月）の変動を図3に示した。夏季水温は、増減を繰り返しながら推移するものの、線形の傾きは-0.0168と負の値となり、低水温化傾向を示した。この結果は、前述した水温の経年変動と異なった。

一方、冬季水温は、'73~'86年まで約7~9℃の範囲で増減を繰り返しながら推移し、'87年に約1℃上昇した後、約8~10℃の範囲で推移した。また、線形の傾きは0.0355と正の値となり、高水温化傾向を示した。この結果は、水温の経年変動と同じ傾向であったが、冬季水温の方が、より線形の傾きは大きくなった。

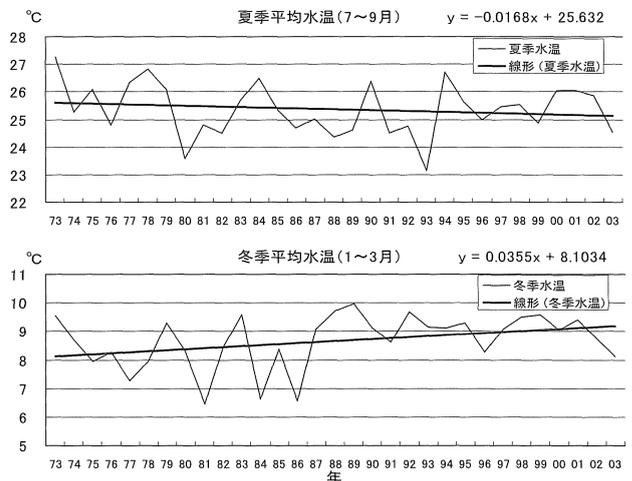


図3 夏季平均水温と冬季平均水温の変動（各3ヶ月平均）

(3) 塩分の変動

豊前海の塩分の変動（月平均と36ヶ月移動平均）を図4に示した。36ヶ月移動平均は、数年程度の周期からなる増減を繰り返しながら、上昇傾向を示した。また、36ヶ月移動平均の線形は図4に示すとおり、0.0014の正の傾きであり、試算すると28年間で約0.48psu、1年で約0.0173psu 高塩分化しているの見積もられた。

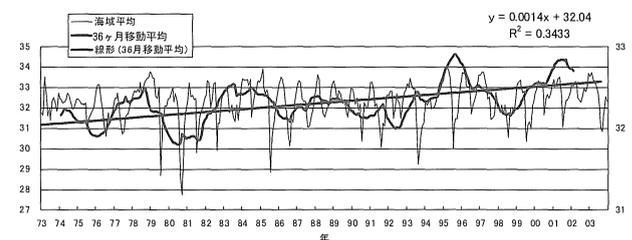


図4 塩分の変動

(左側縦軸は月平均塩分、右側縦軸は36ヶ月移動平均)

2. 変動要因の解析

(1) 気温との関係

次に、豊前海の水溫・塩分変動に対して、最も影響を与えていると考えられる気温、河川流量、降水量、蒸発量、外洋水流入、潮位などの環境要因について整理した。まず、一般的に水溫変動は気温と関係が深いと考えられることから、気温の変動について整理した。豊前海沿岸に位置する行橋市の気温の変動（月平均と36ヶ月移動平均）を図5に示した。その結果、気温の36ヶ月移動平均は微増減を繰り返しながら増加し、線形の傾きは0.006と正の値となり、水溫同様に気温の経年変動は高温化傾向を示した。

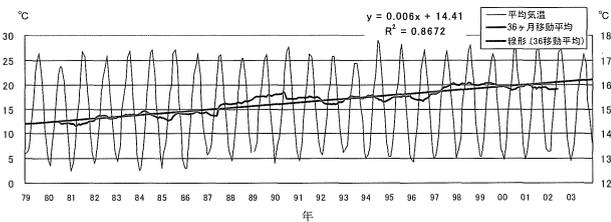


図5 行橋市の気温の変動

(左側縦軸は月平均気温，右側縦軸は36ヶ月移動平均)

次に、水溫変動と同様に夏季（7～9月）と冬季（1～3月）に分けて、気温の変動を図6に示した。その結果、気温は夏季と冬季ともに、線形の傾きが正の値となり、高温化傾向を示した。このことから、水溫と気温の変動は、経年変動及び冬季変動については同傾向であるが、夏季変動に違いがみられた。

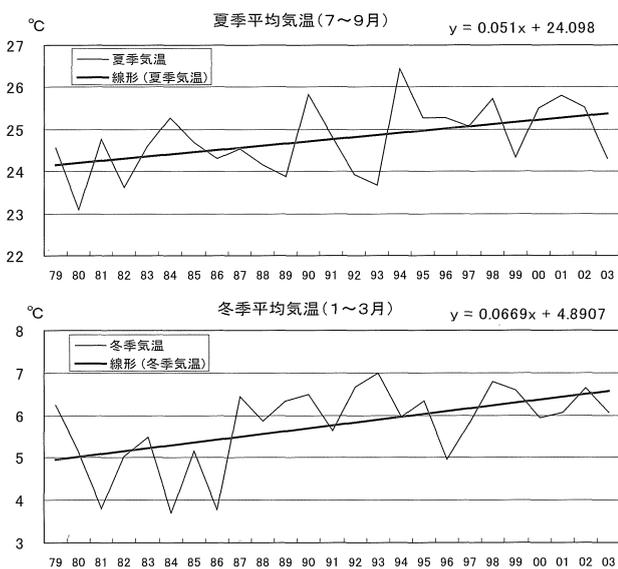


図6 行橋市の夏季平均気温と冬季平均気温の変動

(各3ヶ月平均)

(2) 河川流量との関係

次に、豊前海の高塩分化に影響を及ぼすと考えられる環境要因について検討した。まず、河川流量の変化を整理した。豊前海に流入する河川の代表として一級河川である山国川の年平均流量の変動を図7に示した。山国川の年平均流量は年により多少の差はあるものの、経年的に大きな変動はみられず、河川流量が大きく減少することはなかった。

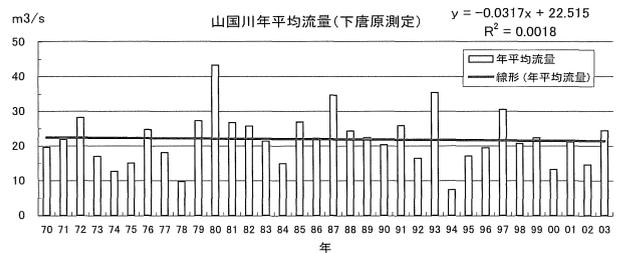


図7 山国川の年平均流量の変動（下唐原測定）

(3) 降水量及び蒸発量との関係

次に、降水量と蒸発量について整理した。行橋市の降水量と蒸発量の変動を図8に示した。両者とも年により多少の増減を繰り返しながら推移した。経年的には、降水量に大きな変動はみられず、蒸発量に若干の上昇が見受けられたが、降水量から蒸発量を差し引いた正味の淡水負荷量を算出すると、高塩分化に影響を与えるような大きな変動はみられなかった。

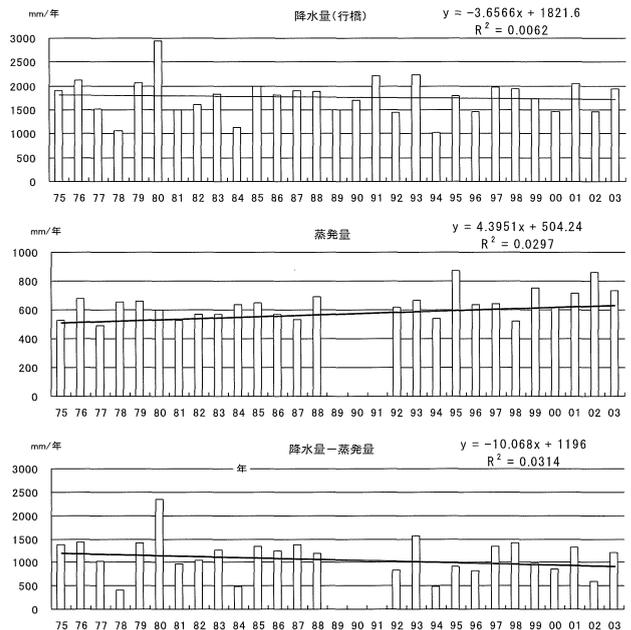


図8 行橋市の降水量と蒸発量の変動

(4) 外洋水との関係

次に、豊前海の水温・塩分変動について、外洋水の影響を検討した。豊前海は伊予灘及び響灘に隣接するが、響灘は関門海峡により挟まれているため、より影響が大きいと考えられる伊予灘について、豊前海の水温と塩分の季節変化を整理し、豊前海と比較した(図9)。その結果、水温は伊予灘の方が冬季を中心に11~4月まで高く、夏季を中心に5~10月まで低かった。特に1月に約4.4℃高く、8月に約3.9℃低い値であった。また、塩分は伊予灘の方が周年を通して約0.7~1.7高く、特に夏季の差は大きかった。

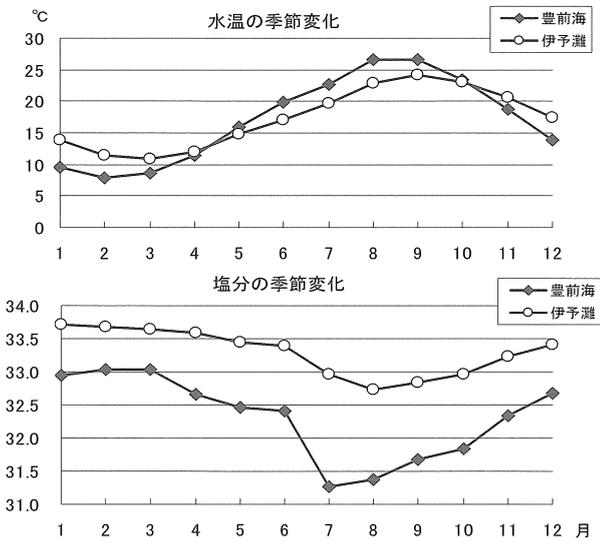


図9 豊前海と伊予灘の水温と塩分の季節変化
(伊予灘は'76~'02年の平均値)

(5) 潮位との関係

次に、豊前海の潮流変化を相対的に把握するため、潮位の変動について整理した。豊前海の北部に位置する門司港とその周辺部に位置する徳山港の大潮時の潮位の年変動を図10に示した。その結果、門司港と徳山港ともに、高潮位、低潮位の水位が高くなる傾向を示し、その潮位差は小さくなる傾向を示した。このことから、豊前海に流入する水量が近年増加する傾向にあることが推察された。

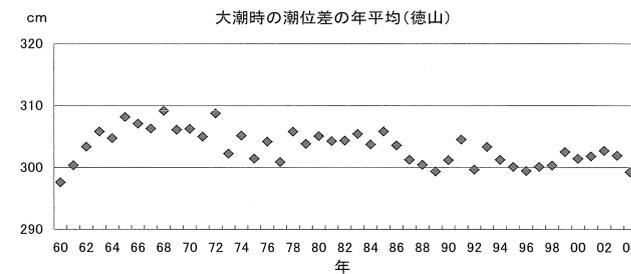
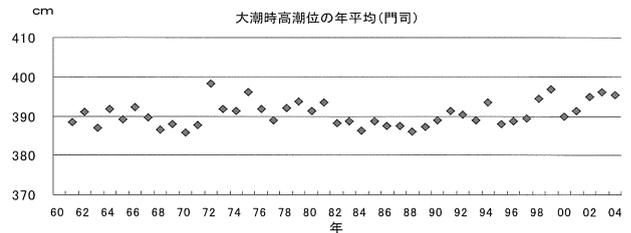
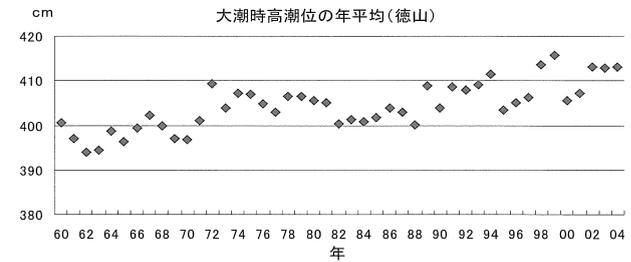
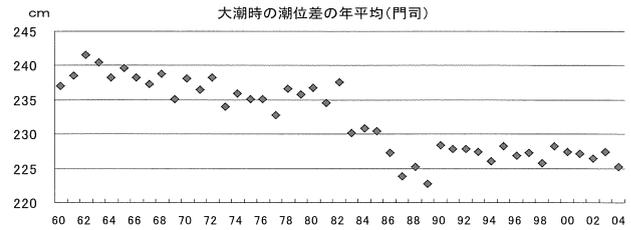
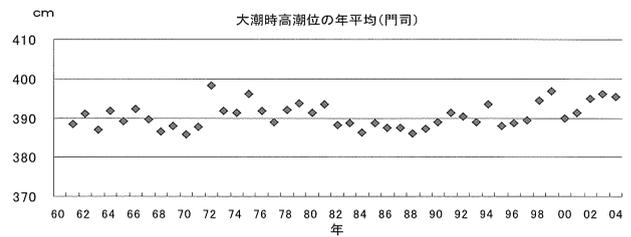
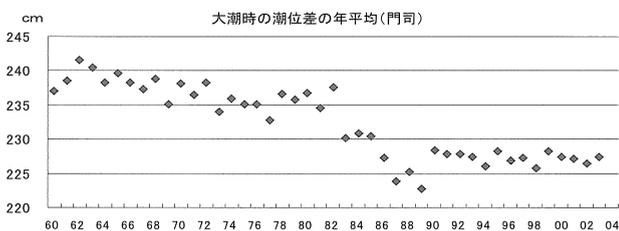


図10 大潮時の潮位の年変動(門司港, 徳山港)

3. 生物生産環境の解析

(1) プランクトンの出現量

次に、生物生産環境の変動を把握するため、'80~'88年及び'03~'04年までの5~9月までの表層のプランクトン出現量を算出し、基礎生産の指標とした(図11)。その結果、'86年以前の'80~'86年までは、7年中5年に500cells/mlを越える年がみられ、うち3年は1,000 cells/mlを越えた。一方、'87年以降は4ヶ年とも500 cells/ml未満であり、魚介類の餌料となるプランクトン

は、'86年を境に'87年以降1/5以下に減少していた。

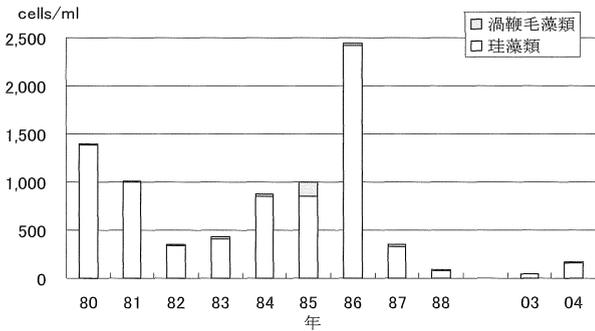


図11 5～9月までのプランクトン出現量（表層）

(2) 魚種別漁獲量

最後に、高次生産の指標となる有用生物について、豊前海における魚種別漁獲量の変動を図12に示した。

まず、内湾性魚類として、従来から漁獲されているス

ズキ及びカレイ類を示した。両者とも'75年～'82年頃をピークに'90年頃まで減少し、その後、低位水準の漁獲となった。次いで、内湾性甲殻類として、シヤコ及び小型エビ類を示した。前者は'89年をピークに、後者は'84年をピークに減少傾向となった。

また、内湾性貝類として、アサリ及びその他貝類を示した。前者は'86年まで比較的安定した漁獲がみられたが、その後、減少傾向となった。後者は'80年代前半まで400トン以上漁獲される多獲年がみられたが、'90年以降みられていない。

一方、外海性魚種として、タチウオ及びメバル・カサゴを示した。内湾性魚種と違い、両者とも漁獲が次第に増加し、漁獲のピークが後半の'94年にみられた。特にタチウオの漁獲は特異的で'75～'83年にかけて漁獲実績が無く、'84～'91年にかけて10トン未満の漁獲がみられるようになり、'92年以降20～70トンの範囲で推移していた。

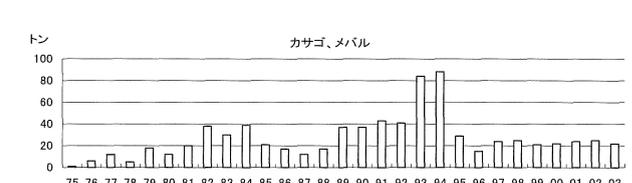
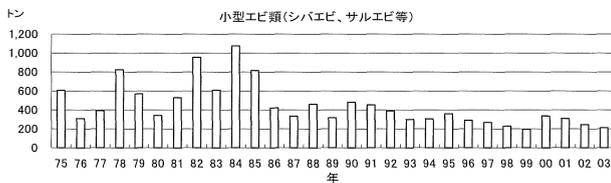
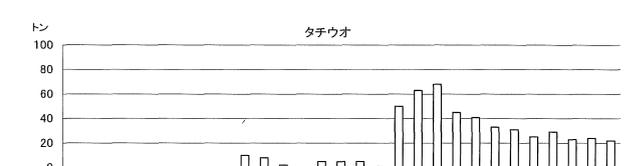
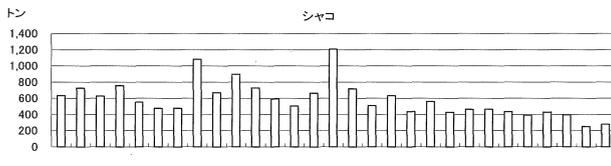
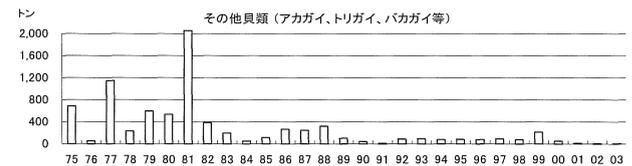
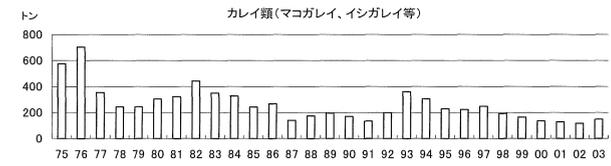
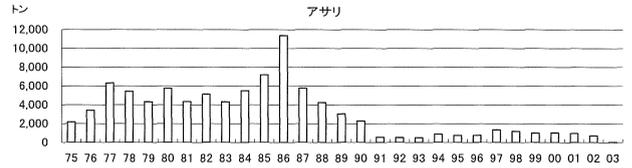
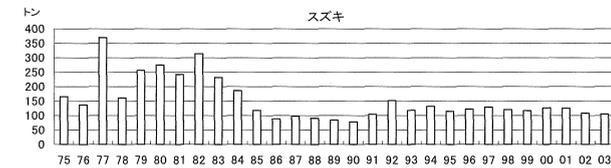


図12 魚種別漁獲量の変動

考 察

1973年1月～2003年12月までの豊前海の水温・塩分環境は、図2及び図6に示すとおり高水温化及び高塩分化

傾向であることが明らかとなった。また、季節別にみると(図3)、冬季水温の上昇傾向が顕著で、逆に夏季水温は下降傾向にあることが明らかとなった。このような冬季水温の上昇に関しては、最近、隣接する山口県周防灘海域⁹⁾や福岡湾¹⁰⁾など幾つかの海域で報告されている。

一方、夏季水温の下降傾向に関しては、東京湾¹¹⁾や福岡湾¹⁰⁾と言った大都市圏に面した内湾で報告されているが、瀬戸内海での報告例はない。さらに、豊前海の冬季水温を年別にみると、'87年以降約1℃上昇した。

そこで、これらの変動に大きく関与していると考えられる変動要因について整理し、どの要因が最も関係しているか検討した。まず、水温であるが、一般的に言われる気温との関係を調べた。その結果、図4に示すとおり気温も上昇傾向にあった。しかし、気温は冬季のみならず夏季も上昇傾向を示したため(図5)、水温変動に気温が影響しているとは一概に言えず、むしろ、それ以外の変動要因が影響していることが推察された。

次に、塩分であるが、高塩分化に影響を及ぼすと考えられる幾つかの気象要因について検討した。まず、豊前海に流入する山国川の流量変動に経年的な変動はみられなかった(図7)。次に、降水量及び蒸発量も図8に示すとおり、大きな変動はみられず、総じて淡水負荷量には変動はみられなかった。これまでの気象要因では十分に今回の高塩分化を説明できないことから、水温変動と同様に、それ以外の変動要因が影響していることが推察された。

そこで、気象以外の変動要因として、外洋水の流入について検討した。豊前海に流入する外洋水として、最も影響が大きいと考えられる伊予灘の水温・塩分を整理し、豊前海と比較した(図9)。その結果、伊予灘は豊前海に比べ夏季に低水温、冬季に高水温であり、周年をとおして高塩分であった。この結果は、前述した豊前海の水温・塩分変動とよく連動しており、豊前海への外洋水(伊予灘水系)の流入量が増加傾向にあると仮定するならば、これらの現象をうまく説明できた。最近になって近藤ら¹⁰⁾は、福岡湾では湾外水(外洋水)の流入が増し、湾内水温に影響を与えていると報告している。豊前海も近藤らの報告と同じように外洋水の影響が増加した可能性が高いと思われたので、豊前海沿岸の潮位変動についてみると(図10)、門司及び徳山ともに高潮位・低潮位は上昇傾向にあり、その潮位差は縮小傾向にあった。このことから、豊前海の海水量は増加傾向、潮汐流は縮小傾向にあるものと推察された。

以上のことから、気象要因による淡水負荷量に大きな変動は無く、外洋水の影響についての定量的な検討やその原因については今後の課題であるが、豊前海への外洋水の流入量が増加したものと考察した。

次に、このような環境変動に対し、生物生産環境との関連を検討した。基礎生産の指標となるプランクトン出現量は、'86年を境に'87年以降1/5以下に減少しており(図11)、餌料環境の悪化に伴う基礎生産力の低下が

危惧される結果となった。次に、高次生産の指標である魚種別漁獲量の変動をみると(図12)、従来から漁獲されている有用資源のスズキ、カレイ類、シャコ、小型エビ類、アサリ及びその他二枚貝類は、総じて'80年代を境に漁獲量が減少傾向にある一方で、'70年代にほとんど漁獲のみられなかったタチウオやカサゴ・メバルは、次第に漁獲量を増やし、'94年に漁獲のピークを向かえた。特に外海型のタチウオは顕著であった。このように、この約30年間で有用生物に変動や新規出現がみられており、そのターニングポイントは'80年代後半に起こっていることが明らかとなった。水温環境も'80年代後半に冬季水温が約1℃上昇するなど、この時期が各種の変動キーとなった可能性が高い。地球規模でみると、'88~'89年にかけて、レジームシフトが発生し、寒冷な状態から温暖な状態への遷移があったと考えられている。本報告で示した豊前海の水温変動は、レジームシフト現象の発生時期と一致していることから、瀬戸内海の西端部に位置する内湾型の豊前海でも、その影響を受けたことを否定できない。

最後に環境と生物との関連をまとめると、'80年代、特に'87~'88年頃から豊前海の水温・塩分(物理環境)に変化が起き、そのことが要因となり、豊前海における基礎生産や生物生産の構造的枠組みが変化したのではないかと考えられた。

要 約

- 1) 1973年1月から2003年12月にかけて毎月1回、海洋観測を行った浅海定線調査データを主体に豊前海の長期的な水温・塩分変動を解析し、その変動要因を考察することで、有用生物の変動との関連性を検討した。
- 2) 豊前海の水温は、高水温化傾向を示し、28年間で約0.57℃、1年で約0.0204℃上昇していると見積もられた。また、季節別にみると、冬季水温の上昇傾向が顕著であり、'87年を境に前後で約1℃上昇していることが明らかとなった。逆に夏季水温は東京湾や福岡湾と同様に下降傾向にあることが明らかとなった。
- 3) 豊前海の塩分は、高塩分化傾向であることが明らかとなり、28年間で約0.48psu、1年で約0.0173psu上昇していると見積もられた。
- 4) 豊前海の水温・塩分の変動要因は、気象要因でなく、外洋水の影響が増したことが、最大の要因ではないかと考えられた。
- 5) 餌料生物の指標となるプランクトン出現量の変動、

高次生物の指標となる有用生物の漁獲変動は、ともに'80年代後半に起こっていることが明らかとなった。

- 6) 豊前海の水温・塩分環境変動と有用生物の変動は、ともに'87年、'88年にターニングポイントがあったと推察され、'88～'89年に地球規模で発生したと言われているレジームシフトと一致した。
- 7) '87年、'88年頃から豊前海の物理環境（水温・塩分）に変化が起き、そのことが要因となり、豊前海における基礎生産や生物生産の構造的枠組みが変化したのではないかと考えられた。

文 献

- 1) 重田利拓・吉川浩二・薄 浩則・石津敏之・徳村 守：広島湾における暖海性魚類の出現とこれに伴う新たな問題，水産海洋研究，67，273-277(2003)。
- 2) 谷津昭彦・渡邊千夏子・杉崎宏哉・渡邊朝生：小型浮魚類の魚種交換：再生産関係，成長，レジームシフト，月刊海洋，35，95-99(2003)。
- 3) 気象庁：福岡県気象月報，(1975-2003)。
- 4) 国土交通省河川局：流量年報，(1970-2003)。
- 5) 石崎 廣・斉藤 実：瀬戸内海における蒸発量について，沿岸海洋研究ノート，16，11-20(1978)。
- 6) 大分県：大分県海洋水産研究センター事業報告，(1976-2002)。
- 7) 海上保安部：潮位年報，(1960-2004)。
- 8) 九州農政局福岡統計・情報センター：福岡農林水産統計年報，(1975-2003)。
- 9) 和西昭二：山口県周防灘海域における最近30年間の水温変動，山口県水産研究センター研究報告，2，1-6(2004)。
- 10) 近藤明希子・磯部篤彦・篠原満寿美：福岡湾における水温長期変動とその要因，海の研究，14(3)，399-409(2005)。
- 11) 安藤晴夫・柏木宣久・二宮勝幸・小倉久子・山崎正夫：東京湾における水温の長期変動傾向について，海の研究，12，407-413(2003)。