

# 定線観測による水温データからみた土佐湾における漁海況 変動

誌名	黒潮の資源海洋研究 = Fisheries biology and oceanography in the Kuroshio
ISSN	13455389
著者	梶, 達也 田ノ本, 明彦
巻/号	8号
掲載ページ	p. 11-18
発行年月	2007年3月

沿岸定線調査結果の地域水産業への貢献

定線観測による水温データからみた土佐湾における漁海況変動\*<sup>1</sup>

梶 達也\*<sup>2</sup>・田ノ本明彦\*<sup>2</sup>

Analyses of the ocean and fishery trends in Tosa Bay, Kochi Japan,  
using water temperature data accumulated by research vessel monitoring \*<sup>1</sup>

Tatsuya KAJI \*<sup>2</sup> and Akihiko TANOMOTO \*<sup>2</sup>

水産試験場にとって、地先の海洋環境を把握することはきわめて重要な使命である。高知県水産試験場では、図1に示す定点で調査船による定線観測をおこなひ、漁海況に関する多様なデータを蓄積してきた。し

かし、近年の財政状況の悪化にともない、定線観測は金銭的利益を生まないとの理由からその存続があやぶまれる事態となっている。そこで本研究では、定線観測の中でもとりわけ基礎的なデータである水温を活用して土佐湾の漁海況変動を解析し、そこから本県における沿岸定線観測の意義を再評価することを試みた。

まず、定線観測は重要な海洋環境モニタリングであるという意義を明らかにするため、土佐湾における表面水温の長期変動を解析した。近年、地球温暖化問題が人類共通の課題として認識され、海水温の上昇も注目されている。一方、レジーム・シフト理論に代表されるように、水産資源の変動メカニズムを海水温変動との関係から明らかにしようとする試みがなされている。いずれもきわめて重要な課題であり、その解明に向けては長期間にわたる基礎的なデータの蓄積が不可欠である。ここでは、本県の沿岸定線観測がそのための基礎的なデータとして貢献しうる点を検証することを試みた。

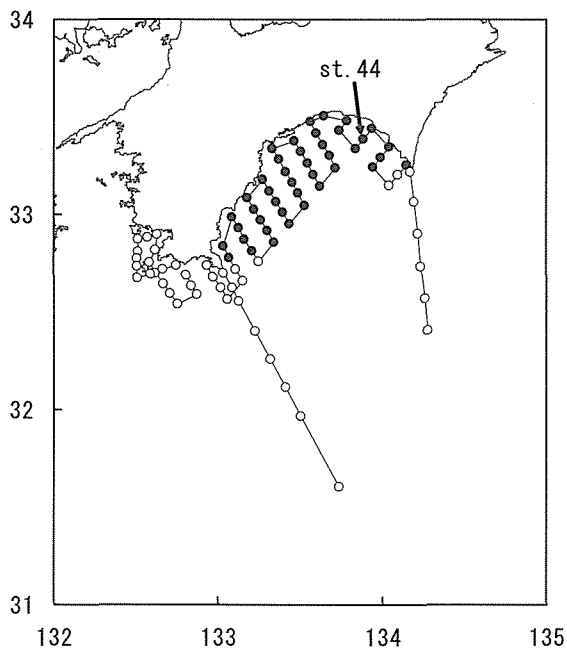


図1 高知県水産試験場が調査船により実施している定線観測。本研究では図中の黒丸で示す定点のデータを解析に用いた。表面水温の長期変動解析に用いた代表点のst.44を矢印で示す。

次に、定線観測は地域水産業へ貢献できるという観点から、マルソウダ *Auxis rochei* の漁況におよぼす水温の影響について解析した。2004年の高知県におけるマルソウダ漁獲量は10,256トンであった(高知農林統計協会 2006)。これは本種の全国漁獲量の約47%、高知県下の海面漁業による全漁獲量の約11%に相当し、本県漁業にとってマルソウダがきわめて重要な対象で

\*<sup>1</sup> 平成18年度中央ブロック資源・海洋研究会(平成18年9月:高知市)にて口頭発表した。

\*<sup>2</sup> 高知県水産試験場 〒785-0167 高知県須崎市浦ノ内灰方1153-23 e-mail: tatsuya\_kaji@ken3.pref.kochi.jp

Kochi Prefectural Fisheries Experimental Station, 1153-23 Haikata, Uranouchi, Susaki-shi, Kochi 785-0167, Japan

あることがうかがえる。新谷 (1999, 2001a, 2001b) は、本種の生態について詳細に調べ、それに基づく漁況予測をおこなっている (新谷, 私信)。この予測手法によると、1月から6月にかけてのマルソウダ漁獲量は、主に黒潮の離接岸により影響される。この原因は、黒潮の離接岸に対応して水塊構造の変化が生じ、水平あるいは鉛直方向へ魚群の圧迫と拡散が生じるからではないかと考えられている。本研究では、定線観測により蓄積されたデータを用い、この予測手法の背景について水温鉛直分布から検討を加えた。

### 材料および方法

#### 土佐湾内表面水温の長期変動

図1に示す定点でおこなった沿岸定線観測結果から、表面 (0 m) 水温のデータを用いた。観測は調査船を用い、原則として毎月1回、数日間をかけておこなった。表面水温は各定点で採水して棒状温度計により測定した。なお、ここでは土佐湾内表面水温として、足摺岬と室戸岬の先端を結んだ線の内側にある定点 (合計42点) の平均値を用いた (図1)。データ期間は1973年1月から2005年12月までの33年間とした。

本県の沿岸定線観測では欠測した月もあることから、月ごとの観測定点数を整理し、全定点欠測月の数を確認した。次に、木村 (2004) にしたがって、全定点欠測月の表面水温データを補完した。すなわち、1) 土佐湾内表面水温の経月変化をもっともよく反映する定点を代表点として選定し、2) 代表点の年間水温挙動に5次近似曲線を回帰し、3) 得られた回帰式に平均観測日を代入し、欠測月のデータを補完した。その際、後に示す観測日のかたよりや他県の結果を考慮し、データ期間の33年間で11年ずつの3期に分けて扱った。以後、1973年から1983年を1期、1984年から1994年を2期、1995年から2005年までを3期とした。

得られたデータセットを用い、月別の土佐湾内表面水温に25ヶ月移動平均をかけて長期変動を調べた。また、水温の変動率を明らかにするため、年平均値を算出し、最小二乗法による1次回帰直線を求めた。

観測日のかたよりが観測結果におよぼした影響についても検討した。代表点水温の年別5次近似曲線から得られた回帰式に、実際の代表点観測日をそれぞれ代入して計算上の水温を求めた。あわせて、乱数を発生させて作成した観測日も代入し、ランダムな観測日における計算水温を求めた。これら2つの計算水温に

ついて、各月ごとに3期間でKruskal-Wallis検定をおこない、異質性が認められた場合にはScheffe法による多重比較をおこなった。

#### マルソウダ漁況におよぼす水温の影響

マルソウダの漁獲量として、高知県西部の土佐清水市漁業協同組合本所の月別水揚げ量を用いた。なお、漁法はひき縄によるものであり、データ期間は1987年1月から2005年12月までとした。

漁況の概要を把握するため、マルソウダ漁獲量の経年変化と経月変化を調べた。次に、海上保安庁発行の海洋速報 (<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/index.html>) から足摺岬沖南方向の黒潮離岸距離を読みとり、月別の黒潮離岸距離指標を作成した。これらのデータのうち1月から6月に着目し、漁獲量と黒潮離岸距離指標の関係をプロットした。得られた結果から、好漁と不漁の典型的な月を取り上げ、その月の沿岸定線観測による土佐湾内水温鉛直分布との対応をみた。さらに、離岸距離指標と水温の関係を水深別に調べた。以上のことから、黒潮の離接岸にともなう水温鉛直分布の変化とマルソウダ漁況の関係について考察した。

## 結 果

#### 土佐湾内表面水温の長期変動

1973年から2005年における全定点欠測月数の経年変化を図2に示す。全定点欠測月は1991年以前に多く、その月数も0から5ヶ月とばらつきがあった。一方、1992年から2004年における全定点欠測月は1ヶ月であった。これは3月の定線観測がおこなえなかったことによるものであった。

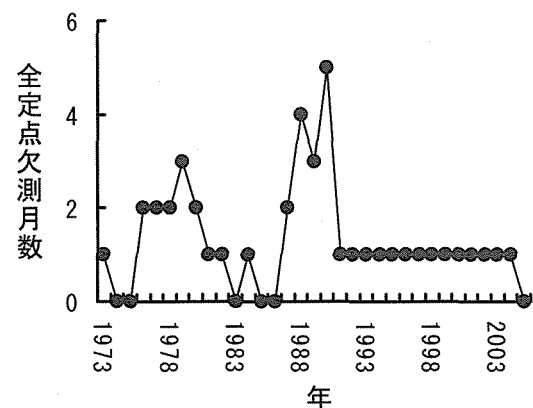


図2 高知県水産試験場による定線観測における全定点欠測月数の経年変化。

次に、これら全定点欠測月のデータを補完するため、土佐湾内表面水温の推移をもっともよく反映する定点を選定した。全期間のデータを用いた表面水温の全定点月別平均値を図3に示す。全定点月別平均値は3月に最低値の16.5℃、8月に最高値の27.9℃を示した。同じく全期間のデータを用いて定点別に月別平均値を算出し、全定点月別平均値との相関を調べた。相関係数は0.997から0.999の範囲にあった(いずれも $p < 0.001$ )。これら相関係数の上位4定点を取り上げ、全定点月別平均値との水温差を求めたところ(図4)、もっとも相関係数の高かったst.44が水温差の正負のかたよりが小さかった。以上より、土佐湾東部にあるst.44(図1)を、土佐湾内表面水温をよく反映する代表点として選定した。

代表点水温を、1月1日を基準日とした経過日数の時系列上にプロットし、1期を例として図5Aに示す。また、それぞれのデータに5次近似曲線を適用して図5Bに示す。それぞれの回帰式は次のとおりであった。

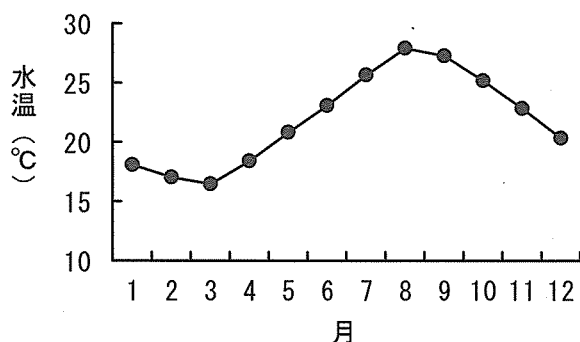


図3 1973年から2005年のデータを用いた土佐湾内表面水温の全定点月別平均値。

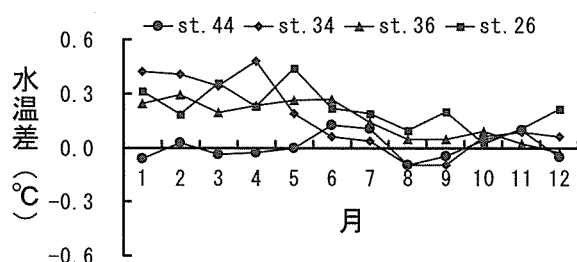


図4 1973年から2005年における土佐湾内表面水温の全定点月別平均値と、定点月別平均値の水温差。両者の相関係数上位4点について示す。

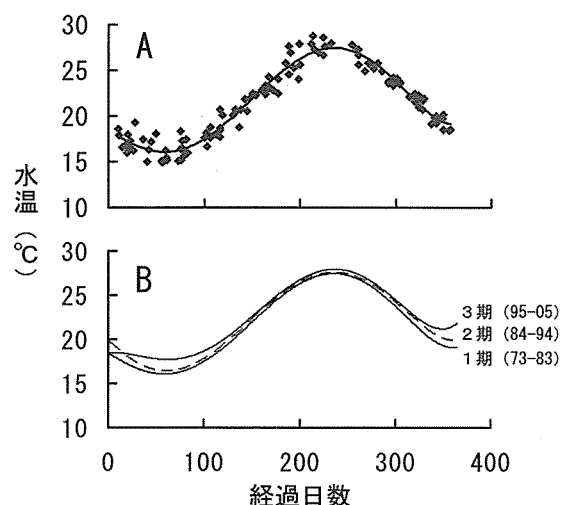


図5 土佐湾内表面水温の代表点(st.44)における水温の時系列変化。A: 1期における代表点水温と5次近似曲線。B: 3期の代表点水温5次近似曲線。

$$1期: y = 6.33325 \times 10^{-11}x^5 - 4.86850 \times 10^{-8}x^4 + 9.88536 \times 10^{-6}x^3 - 2.25079 \times 10^{-5}x^2 - 6.34717 \times 10^{-2}x + 18.4056 \quad r^2 = 0.947$$

$$2期: y = 5.31314 \times 10^{-11}x^5 - 3.85215 \times 10^{-8}x^4 + 6.23008 \times 10^{-6}x^3 + 5.67466 \times 10^{-4}x^2 - 1.06768 \times 10^{-1}x + 19.8890 \quad r^2 = 0.929$$

$$3期: y = 8.42100 \times 10^{-11}x^5 - 6.89455 \times 10^{-8}x^4 + 1.73041 \times 10^{-5}x^3 - 1.23674 \times 10^{-3}x^2 + 1.33008 \times 10^{-2}x + 18.4543 \quad r^2 = 0.918$$

これらの回帰式に、代表点における月ごとの平均観測日を代入し、得られた計算水温を用いて全定点欠測月のデータを補完した。

データ補完後の土佐湾内表面水温を月別に図6Aに示す。表面水温の最低値は1985年2月の14.4℃、最高値は2003年9月の29.5℃であった。長期変動をみるため、これら月別の表面水温に25ヶ月移動平均をかけた(図6B)。土佐湾内表面水温は1970年代に下降し、1980年代ははじめからは上昇していた。次に、月別の土佐湾内表面水温(図6A)から年平均水温を求めた(図7)。年平均水温の最低値は1976年の21.1℃であり、最高値は1998年の23.3℃であった。全体としては上昇傾向を示し、有意な1次回帰直線が得られた( $p < 0.01$ )。その上昇率は、回帰式から0.037℃/年と推定された。上昇率にデータ期間の33年間を乗じると、この間の表面水温の上昇は約1.2℃と推定された。

次に、観測日のかたよりが観測水温におよぼした影響について検討した。代表点の観測日を、10月を例と

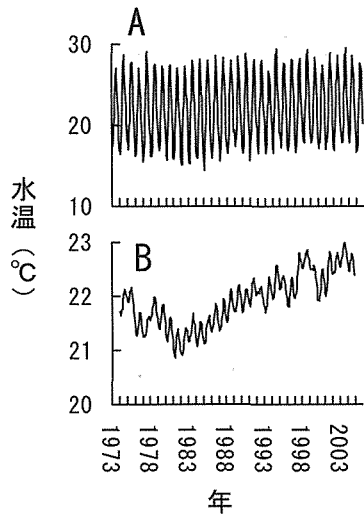


図6 1973年から2005年における土佐湾内表面水温の長期変動。A：月別表面水温。B：月別表面水温の25ヶ月移動平均。

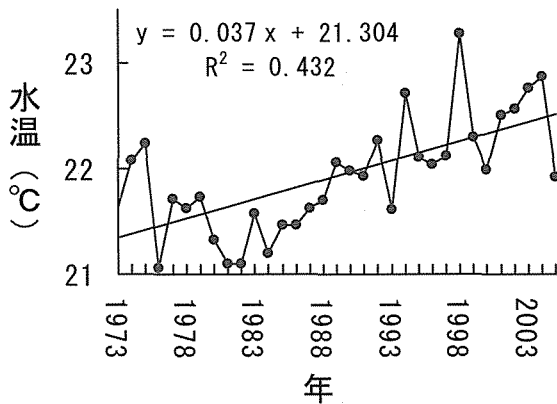


図7 1973年から2005年における土佐湾内表面水温の年平均値と、最小二乗法による1次回帰直線。

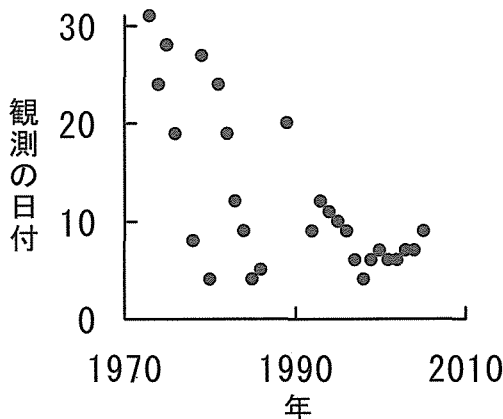


図8 代表点における観測日の経年変化。10月を例として、10月のなん日に観測されたかを示す。

して図8に示す。1970年代は10月の下旬に観測されている例が多く、1990年代からは月の月上旬に観測されている例が多かった。同じく10月を例として、代表点の実際の観測日と、乱数により作成したランダムな観測日を5次近似曲線の回帰式に代入し(図9)、各データセットについて3期間で検定した。その結果、ランダムな観測日による計算水温には、3期間で有意差が認められなかった(Kruskal-Wallis検定,  $p > 0.05$ )。一方、実際の観測日による計算水温では3期間で有意な異質性が認められ(Kruskal-Wallis検定,  $p < 0.01$ )、1期と3期の間には有意に異なった(Scheffe法による多重比較,  $p < 0.01$ )。このような、実際の観測日とランダムな観測日における計算水温の検定結果の違いは、5、10、11月でみられた。

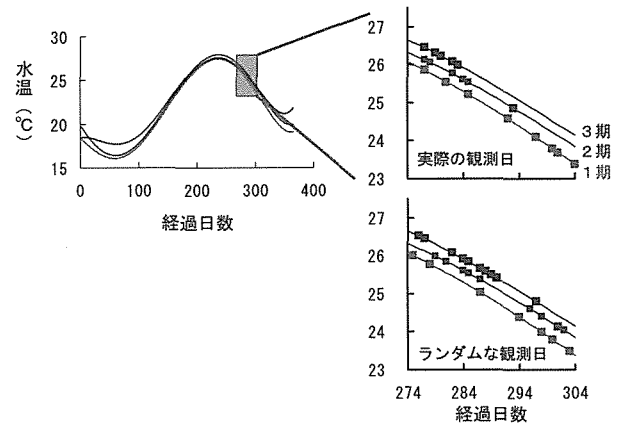


図9 観測日のかたよりが観測水温におよぼした影響。10月を例として示す。代表点の年代別5次近似曲線において、実際の観測日とランダムな観測日の位置を四角で示す。ランダムな観測日では3期間で有意差が認められなかった。実際の観測日では1期と3期の間に有意差が認められた。

マルソウダ漁況におよぼす水温の影響

土佐清水市漁業協同組合本所における、ひき縄によるマルソウダ漁獲量の経年変化を図10Aに示す。年間漁獲量の最低値は2003年の2,364トン、最高値は1988年の7,235トンであった。データ期間の多くで、1年ごとに増減する隔年変動があった。季節変動を検討するため、漁獲量の月別平均値を算出した(図10B)。漁獲量は5月を中心とする春期に多かった。また、夏期には漁獲がいったん途切れた。

次に、1月から6月の足摺岬沖における黒潮離岸距離指標と、同期間のマルソウダ漁獲量の関係を月別に

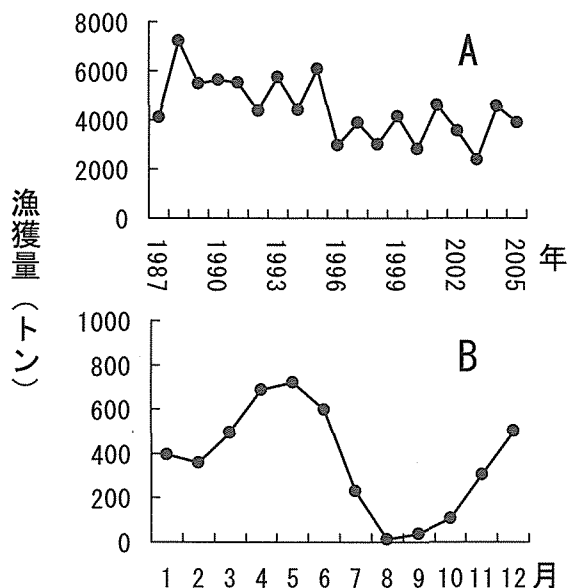


図10 土佐清水市漁協本所におけるマルソウダ漁獲量の経年変化 (A) と経月変化 (B). ひき縄による漁獲量について示す.

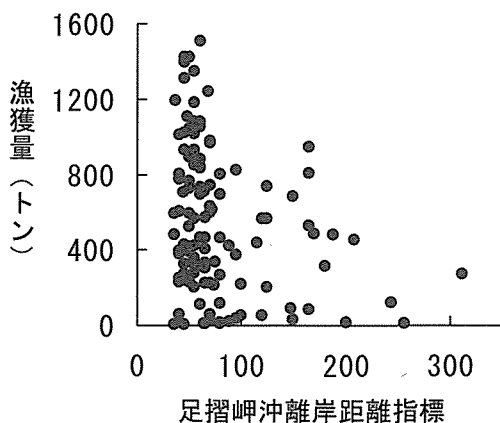


図11 1987年から2005年における足摺岬沖黒潮離岸距離指標とマルソウダ月別漁獲量の関係. 各年の1月から6月について示す.

調べた (図11)。離岸距離指標が小さく、黒潮が接岸基調にあった月は、好漁、不漁のばらつきが大きかった。一方、離岸距離指標が大きく黒潮が離岸基調にあった月は、データ数は少ないものの、接岸月にみられたような好漁はみられなかった。これらのデータから典型的な接岸・好漁月と、離岸・不漁月を取り上げ、その月の沿岸定線観測による水温鉛直分布を調べた例を図12に示す。平年値を基準にすると、接岸・好漁月と、離岸・不漁月は水温が逆転する傾向があった。すなわち、接岸・好漁月は観測水温が平年値とほぼ同じかそれより低く、離岸・不漁月は観測水温が平年値より高かった。このうち、離岸・不漁月の水温が

平年値よりも高いという傾向は、表層よりも底層で顕著であった。この傾向をより詳しく検討するため、黒潮離岸距離指標と、定線観測による水温平年偏差の関係を水深別に調べた。盛漁期である5月を例とすると (図13)、表層 (0 m) 水温は離岸距離指標との間に明瞭な関係は認められなかった。しかし、より深い水深、特に100m以深では、離岸距離指標が大きくなると水温平年偏差が正の値をとる傾向があった。このような傾向は他の月でも共通してみられた。

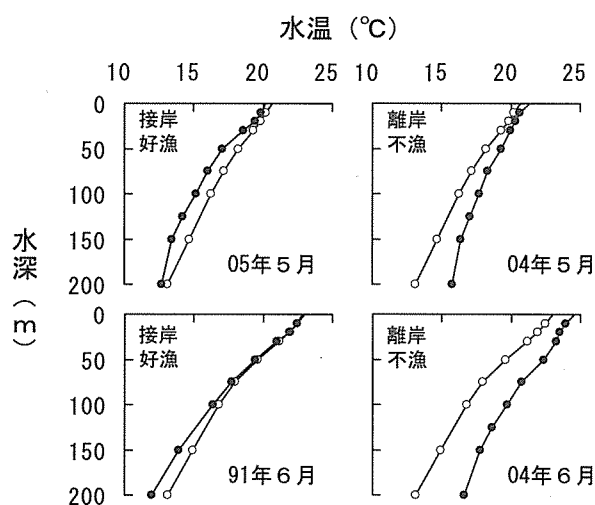


図12 接岸・好漁月と離岸・不漁月における土佐湾内水温鉛直分布の例. 平年値を白丸、各月の観測値を黒丸で示す.

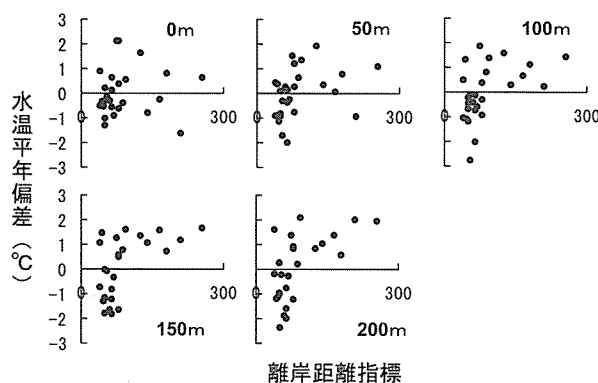


図13 5月の黒潮離岸距離指標と土佐湾内水温平年偏差の関係. 1976年から2005年のデータを用い、水深別に示す.

### 考察

#### 土佐湾内表面水温の長期変動

本研究から、土佐湾内の表面水温は1980年代から上昇傾向にあることが明らかとなった (図6 B, 図7)。近年、多くの研究機関で蓄積された水温データの解析

が行われている。周辺海域の例についてみると、豊後水道西部（木村 2004）、豊後水道中央部と斎灘（宇野 2004）、紀伊水道西部（石田 2006）からも水温の上昇傾向が報告されている。水温の上昇率は、土佐湾では年平均水温の回帰分析から $0.037^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と推定された（図7）。これは、豊後水道西部（ $0.030^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、木村 2004）や、伊予灘（ $0.029^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、田村 2003）、別府湾（ $0.040^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、田村 2003）の値とほぼ類似していた。水温上昇の季節的傾向に関しては、代表点の年代別5次近似曲線（図5B）から、秋から冬の水温上昇が著しいことが示された。高知県水産試験場（2004）が土佐湾内表面水温を月別に調べた例でも、秋から冬にかけての水温上昇が顕著であることが示されている。このような水温上昇における季節的傾向も、豊後水道西部（木村 2004）や伊予灘、別府湾の底層水温（田村 2003）と共通していた。以上のことから、土佐湾のようにきわめて開放的な水域（瀬藤他 2004）においても、他海域と類似した傾向を持った水温上昇が認められたことが注目される。

瀬藤他（2004）は土佐湾の各層水温の経年変動特性を調べ、1）水深0～20mの水温は時間差0ヶ月の地上気温と相関が高く、2）水深0～300mまでの水温は時間差0ヶ月の地上気温と主水温躍層深度の二変数で良く説明できることを示した。本研究では表面水温のデータ整理をおこない、その長期変動傾向を明らかにするにとどまった。今後、本研究で明らかになった水温上昇傾向について、その変動に影響する要因を含めた解析を進めていく必要がある。

漁業資源の多くは変温動物であり、環境水温の変化は体温の変化を通じてその生理生態に大きく影響すると考えられる。本研究で明らかとなった表面水温の上昇傾向は、有用漁業対象種に少なからず影響をおよぼしていると推測される。都道府県の水産試験場が、地域における海洋環境の長期モニタリングデータを蓄積し、そこから漁業資源変動要因の解析と将来予測を詳細におこなった事例もみられる（児玉 2004、内山他 2004など）。本研究を足がかりとして、高知県における漁業資源の変動要因解明と将来予測へと研究を展開していく必要がある。また、有用水産生物の育成場としてその重要性が指摘されている藻場の消長と、土佐湾の水温上昇の関係については、本研究と同じ定線観測データを用いて石川他（2004）や平岡他（2005）により検討されている。

長期間にわたり継続されてきた定線観測において、毎月の観測日を一定にすることは困難である。本研究で、あらためて土佐湾内表面水温の代表点観測日について経年変化を調べたところ、偏りがみられた（図8）。水温は季節変化することから、観測日が偏ってしまったことが観測値に影響した可能性が考えられる。しかし、この影響を実測した水温から評価することは出来ないため、代表点水温の年代別5次近似曲線（図9）から推定を試みた。1年のうち3ヶ月では、実際の観測日に基づく計算上の水温に3期間で有意差が認められた。しかし、乱数により設定した観測日を代入すると、計算水温に有意差が認められなかった（図9）。乱数により設定した観測日は、言い換えると33年間偏りや傾向がなく、一様の日付で観測していたことを意味する。このことから、定線観測の一部は、実際よりも水温差が大きくなるような日付の偏りを持っておこなわれた可能性が示唆された。

以上のことから、沿岸定線観測は土佐湾の水温長期変動を明らかに出来ることが示された（図6、7）。一方、特に近年では3月の定線観測をおこなえなかった年が多かった（図2）。これは表面水温が最低値を示し（図3）、近年水温上昇が著しい時期に相当する（図5B）。また、観測日が一定ではない場合、その偏りが結果に影響を及ぼした可能性も示された（図9）。定線観測は今後も環境モニタリングとしての意義から継続されるべきであり、欠測月や観測日の偏りが無いように配慮することが必要である。

#### マルソウダ漁況におよぼす水温の影響

新谷（私信）は、マルソウダの漁況予測について、1）好漁年は春先の黒潮流路は接岸傾向で推移し、9月の新仔は多い、2）不漁年は春先の黒潮流路は離岸傾向で推移し、9月の新仔は少ない、3）1月から6月と、9月から12月に漁期を分けると、前期は黒潮の離接岸に、後期は新仔の加入量に影響される、ことを指摘した。本研究で1月から6月の漁況を再検討した結果、足摺岬沖で黒潮が離岸した月は漁獲量が少なく、接岸月にあるような好漁はみられなかった（図11）。これは新谷（私信）の予測手法とほぼ一致していた。

この現象の背景について、定線観測による水温鉛直分布から検討を加え（図12、13）、推定されたことを模式的に図14に示す。土佐湾における表層付近の水温には、黒潮の離接岸に関連した変動は認められなかった（図13）。一方、水深が深くなるにつれて、黒潮が

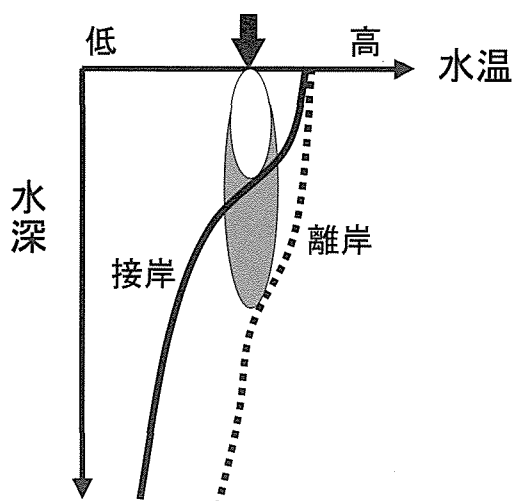


図14 水温鉛直分布から推定されるマルソウダ漁況に関する模式図。ある水温(矢印で示す)をマルソウダの適水温下限とすると、黒潮接岸時には白抜き部分に魚群が集約し、離岸時には影付き部分まで魚群が拡散すると考えられる。

接岸基調にあるときは水温が低く、離岸基調にあるときは水温が高くなる傾向があった。マルソウダは熱帯・亜熱帯域に分布の中心があり、日本周辺海域でも適水温を求めて南北に回遊することが報告されている(新谷 1999)。このことから、黒潮が接岸すると、底層の水温が低下することによりマルソウダの魚群が上層へ集約することが考えられる(図14)。これはひき縄漁にとって好適な条件であり、結果として好漁へつながると推定される。逆に離岸基調にある時は、より深い水深まで水温が高くなり、マルソウダの魚群が鉛直方向に拡散して不漁へつながると考えられる。

ここでは、沿岸定線観測が地域固有の水産有用魚種の漁況を考察する上で有効な手段となることが示された。一方、漁況は種々の生物的・非生物的要因が複雑に影響した総体としてあるものと考えられる。今後より詳細な検討を加えていくことで、精度の高い漁況予測が可能となるものと期待される。

#### おわりに

定線観測は地道なデータ収集であり、その第一義はモニタリングにある。本研究における表面水温の長期変動解析で用いたデータ期間は33年間であり、長期的なデータの蓄積が重要な知見をもたらしたと言える。一方、谷口(2002)は「元来モニターという語の意味は、監視観察するだけでなく、観察することによって

好ましからざる事態を予見し、“注意を喚起し”たり“警告を発する”という、指導的なものであった」ことを指摘した。このことは花輪(2004)によっても注意喚起されている。本県の沿岸定線観測は、いまだこの指摘に答える域には達していない。より本来的なモニタリングへ向けて、データや解析の量と質を高めていくことが今後もっとも重要なことと考える。

#### 謝 辞

高知県水産試験場の歴代の船員、調査員諸氏は、長期にわたり定線観測データを蓄積してこられた。高知県水産試験場の大河俊之氏には、本研究の全般にわたる助言と、本稿へのコメントをいただいた。高知県水産試験場の山脇美佐子さん、西村良子さん、中村かず代さんには、資料の整理にあたりご尽力いただいた。大分県南部振興局の木村聡一郎氏には水温データの取り扱いについて、高知県水産試験場の新谷淑生氏にはマルソウダの漁況についてそれぞれ貴重な助言をいただいた。皆様に深く感謝する。

#### 文 献

- 花輪公雄, 2004: 沿岸モニタリングの必要性に対するコメント—日本周辺—. 月刊海洋, 36(1), 76-79.
- 平岡雅規・浦吉徳・原口展子, 2005: 土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化. 月刊海洋, 27(5), 485-493.
- 石田鉄平, 2006: 徳島県における沿岸環境調査の継続の重要性. 徳島水研だより, 59, 7-10.
- 石川 徹・田井野清也・萩田淑彦, 2004: 藻場管理手法開発事業. 平成14年度高知県水産試験場事業報告書, 90-116.
- 木村聡一郎, 2004: 1967~2002年における豊後水道域の水温の長期変動. 大分県海洋水産研究センター調査研究報告, 5, 1-10.
- 高知県水産試験場, 2004: 高知県海域における漁海況と主要魚種の資源生態. 高知, 84p.
- 高知農林統計協会, 2006: 平成16年高知県漁業の動向. 86p.
- 児玉純一, 2004: 宮城県における海洋環境モニタリングの重要性—海洋環境長期変動が宮城県水産物水揚量に及ぼす影響—. 月刊海洋, 36(1), 11-21.
- 新谷淑夫, 1999: 標識放流から推定される太平洋岸におけるマルソウダの回遊. 日本水産学会誌, 65(6),



- 1078-1083.
- 新谷淑夫, 2001a : 高知県足摺岬周辺海域におけるマルソウダの成熟周期と産卵数. 日本水産学会誌, 67(1), 10-16.
- 新谷淑夫, 2001b : 高知県太平洋海域におけるマルソウダの年齢, 成長, 成熟および寿命. 日本水産学会誌, 67(3), 429-437.
- 瀬藤 聡・秋山秀樹・斉藤 勉, 2004 : 土佐湾の表層水温の経年変動特性. 海と空. 79(4), 97-106.
- 田村勇司, 2003 : 伊予灘・別府湾の水温等の長期変動. おおいたアクア・ニュース, 17, 4.
- 谷口 旭, 2002 : 低次生産のモニタリングの思想と将来. 月刊海洋, 34(11), 772-776.
- 内山 勇・井野慎吾・高松賢二郎・小善圭一, 2004 : 富山県における海洋環境モニタリングの現状・成果と今後の取り組み. 月刊海洋, 36(1), 22-25.
- 宇野奈津子, 2004 : 愛媛県における海洋モニタリング. 月刊海洋, 36(1), 31-34.