

## 愛媛県宇和海沿岸における海水温の経年変動

鈴木 怜・竹内一郎\*

### Inter-annual variation in seawater temperature on the Uwa Sea coast, Ehime Prefecture

Satoshi SUZUKI and Ichiro TAKEUCHI\*

**Abstract** : Global seawater surface temperature has been rising  $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ yr}$ . Since the mid-1990s, in particular, The years of high temperature frequently recorded Thus, global warming is reported to have already probably influenced the fish production. Accordingly, in the present study, we analyzed seawater temperature data recorded daily on the Uwa Sea coast, Ehime Prefecture at 0.5, 2.0 and 5.0 m depths between 1981 and 2004. The coast is one of the main areas for fish and pearl oyster aquaculture. A significant trends of annual mean seawater temperature ranging between  $0.032$  and  $0.035^{\circ}\text{C}$  were found for all depths. These increases occurred mainly in winter ( $0.059$  to  $0.074^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ ), while temperatures in summer were almost constant ( $0.007$  to  $0.022^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ ). In our previous study, we measured seawater salinities off Yusu in the Uwa Sea, where values were high in winter ( $34.47 \pm 0.15$ ) and low in summer ( $33.94 \pm 0.27$ ). Recently, the Kuroshio has a tendency to flow close to the southern coast of Shikoku Island. Thus, the high temperature and salinity in winter might be caused by the inflow from the Kuroshio. On the other hand, during summer, the cold water, in a process called "bottom intrusion", derived from the Kuroshio is reported to reach the coast along the Uwa Sea. We considered that the bottom intrusion is responsible for the constancy of seawater temperatures in summer. Global warming is thought to have increased the speed of the Kuroshio Current. Therefore, the seawater temperatures at the coast of the Uwa Sea may continue to increase mainly in winter.

**Keywords** : inter-annual variation, seawater temperature, Uwa Sea

#### 1. 緒言

二酸化炭素などの温室効果ガス濃度の上昇に伴って、海水温の上昇がオーストラリアグレートバリアリーフ等の熱帯域をはじめヨーロッパ等の世界各地の温帯域沿岸でも観測されている (COLES and BROWN, 2003; HAWKINS *et al.*, 2003; JOKIEL and BROWN, 2004; SHEPPARD and RIOJA-NIETO, 2005; WOEHRLING *et al.*, 2005)。気象庁の解析でも地球温暖

化等の影響によって全球の年平均海面水温は、長期的には100年あたり $0.5^{\circ}\text{C}$ の割合で上昇しているが、特に1990年代中頃以降、高温となる年が頻出していることが報告されている (気象庁, 2006)。日本沿岸では、1985年から2003年にかけて、南西諸島から日本海で $0.01\text{--}0.06^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ 、東海沖や関東東方沖では $0.1^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ を超える上昇率を示している (気象庁, 2004)。しかし、同一海域でも海水温上昇の規模やスピードには局所的に差が存在することも報告されている (SHEPPARD and RIOJA-NIETO, 2005)。また、海水温と海面水位には比較的良い相関が存在する (岩崎ら, 2002)。日本沿岸の平均的な海面水位の変動をみると、一様な上昇傾向となっておらず、1950年前後に極大がみられ、また、約20年周期の変動が繰り返されている。過去約100年にわたる日本沿岸の海面水位は統計的に有意な上昇を示していないが、1980年代半ば以降海面水位は上昇を続け、

愛媛大学農学部生態系保全学研究室, 790-8566 愛媛県松山市樽味3-5-7

Department of Life Environment Conservation, Faculty of Agriculture, Ehime University, 3-5-7 Tarumi, Matsuyama, Ehime, 790-8566, Japan

\*Corresponding author. Email: takeuchi@agr.ehime-u.ac.jp; TEL/FAX: 089-946-9899

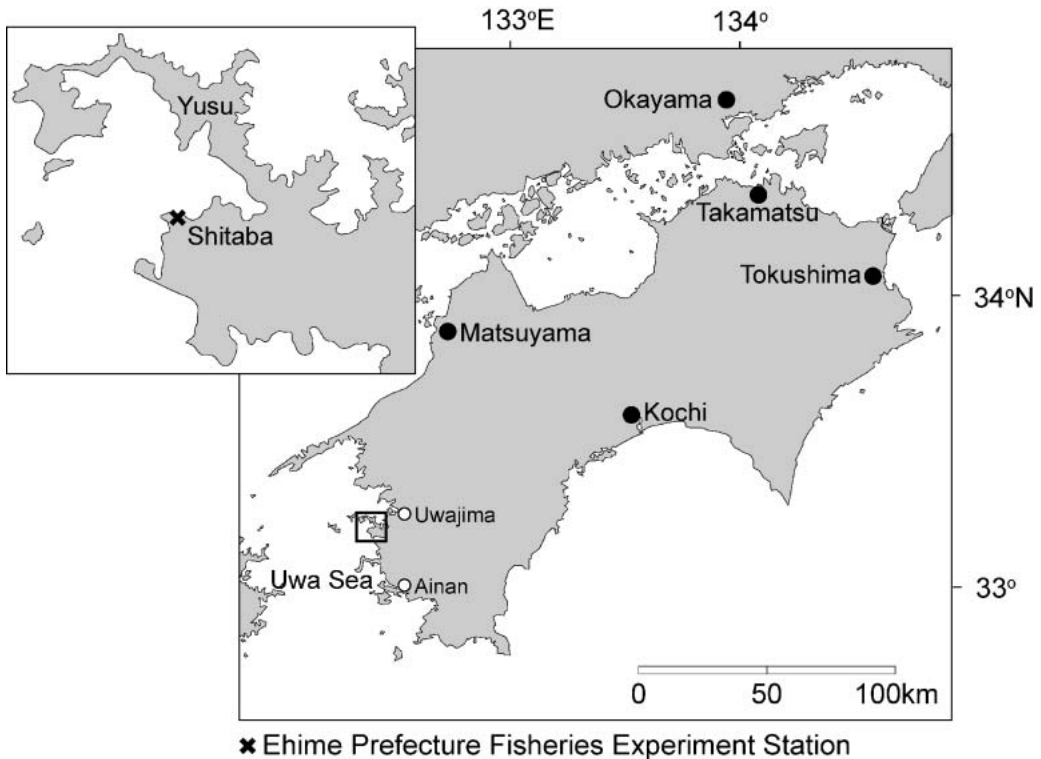


Fig. 1. Location of the study site.

近年は1950年前後とならんで過去100年でもっとも高い状態にある（気象庁，2005）。海面水位の上昇は，特に西日本で顕著であり，過去約30年の変動は $2.4 \text{ mm yr}^{-1}$ であった（岩崎ら，2002）。過去の変動の周期性から類推すると，1990年代半ばに海面水位の極大値，2000年代半ばに極小値がみられることが期待されるが，5年移動平均でみた観測結果からは，海面水位は低下することなく現在まで上昇を続けている（気象庁，2005）。したがって，近年の海面水位の上昇には1960–1990年頃の海面水位の変動とは別の要因（海水温の上昇による熱膨張など）が加わっていると考えられる。

近年，地球環境変化とりわけ地球温暖化は，すでに魚類生産に影響を及ぼしている可能性も報告されるようになった（友定，2002）。しかし，その確たる証拠は未だ見出されていない。よって，現在，その影響が検出されていないとしても，地球環境変化と魚類生産等の関係を明らかにすることは差し迫った重要課題である。海洋の変化を検出するには長期間にわたるデータの蓄積およびそれらデータの有効利用が重要であるが，日本における長期的な海洋観測は水産試験場等の限られた試験研究機関によって行われており，なかでも沿岸域における長期データは極めて少ないのが実情である。そこで，本研究では日本の南西部に位置し，魚類

養殖やアコヤガイ養殖が最も盛んな地域の一つである愛媛県宇和海，特に，生物生産量が高い沿岸域における24年間の海水温の経年変動に解析した結果について報告する。

## 2. 資料と方法

海水温データは，愛媛県水産試験場により1981年1月から2004年12月にかけて愛媛県宇和島市下波に位置する同水産試験場地先（Fig. 1）の深さ0.5，2.0および5.0 mで1日ごとに測定されたデータを用いた。なお，測定は午前8時半から9時の間に行われている。全ての深さにおいて年間100日前後のデータ欠落が存在しているが（Table 1），それぞれの年における海水温データの欠落は，1981年を除いて各月にほぼ均等に分布している（Fig. 2）。1981年のデータに関しては冬季のデータ数（ $n=28$ ）が夏季のデータ数（ $n=73$ ）と比較して少なく，年平均海水温が過大評価される危険性があった為，年変動の解析においては使用しなかった。また，深さ2.0 mの海水温データに関しては1996年1月から1997年1月にかけての約1年間にわたって欠落している。

海水温の年変動の解析は，年ごとに平均値を求め，Stat View ver. 5.0 (SAS Institute Inc. 1992–1998) を

Table 1 Number of samples collected annually by depth.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
0.5m	198	267	290	316	342	323	269	264	252	224	241	247
2.0m	192	268	291	317	342	325	273	263	252	225	241	246
5.0m	191	268	292	316	342	319	266	264	251	224	241	246
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
0.5m	228	264	269	281	316	326	304	310	314	316	315	291
2.0m	235	266	269	0	264	323	304	310	307	316	314	289
5.0m	228	265	269	279	318	326	309	311	313	316	314	289

Table 2 Increase of annual mean seawater temperature at 3 depths between 1982 and 2004.

Depth (m)	Increase ( $^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ )
0.5	0.032
2.0	0.032
5.0	0.035

Table 3 Increase of minimum and maximum seawater temperatures in each year from 1981 to 2004.

Depth (m)	Increase ( $^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ )	
	Minimum	Maximum
0.5	0.078	-0.015
2.0	0.079	-0.012
5.0	0.067	0.005

用いて単回帰分析を行った。最高・最低水温の変動の解析は、月ごとに平均値を求め、それぞれの年における最高・最低水温を記録した月の水温を単回帰分析した。また、各月の水温変動も、月ごとに平均値を求め、単回帰分析を行った。

### 3. 結果

#### 3.1. 年平均水温の変動

愛媛県宇和海沿岸の年平均海水温は、深さ0.5 mでは $19.5 \pm 4.2^{\circ}\text{C}$  (平均±標準偏差) (1991年) から $20.8 \pm 3.6^{\circ}\text{C}$  (1998年) の間で変動した (Fig. 2)。また、深さ2.0 mに関しては $19.1 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$  (1993年) から $20.8 \pm 2.9^{\circ}\text{C}$  (1997年)、深さ5.0 mに関しては $19.2 \pm 4.0^{\circ}\text{C}$  (1991年) から $20.5 \pm 3.4^{\circ}\text{C}$  (1998年) の間であった (Fig. 3)。各年で比較すると、1997年を除くすべての年で深さ0.5 mの海水温が最も高く、深くなるにつれ海水温は低下した。各年の平均海水温を平年値との偏差で表すと (1982年から2004年にかけての各深さでの平均海水温を0とした)、全て深さにおいて1982年から1993年にかけては主にマイナスで推移し、1994年から2004年にかけては主にプラスで推移していた (Fig. 4)。すべての深さで有意な年平均海水温の上昇傾向が示され ( $p < 0.05$ )、1982年から2004年にかけての水温上昇速度は $0.032^{\circ}\text{C yr}^{-1}$  (深さ0.5 m)、 $0.032^{\circ}\text{C yr}^{-1}$  (深さ2.0 m) および $0.035^{\circ}\text{C yr}^{-1}$  (深さ5.0 m) であった (Table 2)。

#### 3.2. 海水温の季節変動

愛媛県宇和海沿岸における24年間にわたる海水温の季節変動は、最低平均水温は0.5 m、2.0 mおよび5.0 mの全ての深さで2月に記録し、最高平均海水温は8月に記録した (Fig. 5)。海水温の変動 (最高平均海水温 (8月) と最低平均海水温 (2月) との差) は、深さ0.5 mでは $11.5^{\circ}\text{C}$ 、2.0 mでは $11.0^{\circ}\text{C}$ 、5.0 mでは $10.6^{\circ}\text{C}$ であり、浅い深度で最も変動が大きく、深くなるにつれ変動が小さくなる傾向が見られた。

各年の月平均最低海水温は、深さ0.5 mでは $12.7 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$  (1981年) から $15.7 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$  (1998年)、深さ2.0 mでは $12.8 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$  (1981年) から $15.7 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$  (1998年)、深さ5.0 mでは $12.9 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$  (1981年) から $15.8 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$  (1998年) の間で変動し (Fig. 6)、全ての深度において主に2月 (1981年は1月; 1987, 1993, 1994, 1995 および2001年は3月) に記録した。また、各年の月平均最高海水温は、全ての深さにおいて主に8月 (2002年のみ9月) に見られ、深さ0.5 mでは $24.7 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$  (1993年) から $27.3 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$  (1986年)、深さ2.0 mでは $24.2 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$  (1993年) から $26.9 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$  (1986年)、深さ5.0 mでは $24.0 \pm 1.4$  および $24.0 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$  (1982年および1993年) から $26.6 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$  (1994年) の間で変動した (Fig. 6)。年間変動 (最高-最低) は深さ0.5 mでは $9.9^{\circ}\text{C}$  (1998年) から $14.4^{\circ}\text{C}$  (1986年)、2.0 mでは $9.5^{\circ}\text{C}$  (1997年) から $13.7^{\circ}\text{C}$  (1986年)、5.0 mでは $9.3^{\circ}\text{C}$  (1995年) から $13.3^{\circ}\text{C}$  (1986年) であり、深さ0.5 mにおける変動幅が大きく、反対に、深さ5.0 mにおける変動幅は小さかった (Fig. 6)。月平均最低海水温の上昇速度は、深さ0.5 mでは $0.078^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ 、2.0 mでは $0.079^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ 、5.0 mでは $0.067^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ であり (Table 3)、全ての深さで有意な上昇傾向を示した ( $p < 0.05$ )。月平均最高海水温の上昇速度は、深さ0.5 mでは $-0.015^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ 、2.0 mでは $-0.012^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ 、5.0 mでは $0.005^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ であり (Table 3)、深さ0.5 mおよび2.0 mは有意ではないが低下傾向、深さ5.0 mは有意ではないが僅かな上昇傾向が見られた。そして、全ての深さで最低海水温の上昇速度が最高海水温の上昇速度を大きく上回っていたため、年間変動の幅は1981年から2004年にかけて有意に小さくなった (Fig. 6;  $p < 0.05$ )。

各月の平均海水温を平年値との偏差で表すと (1981年から2004年にかけての各月、各深さの平均海水温を

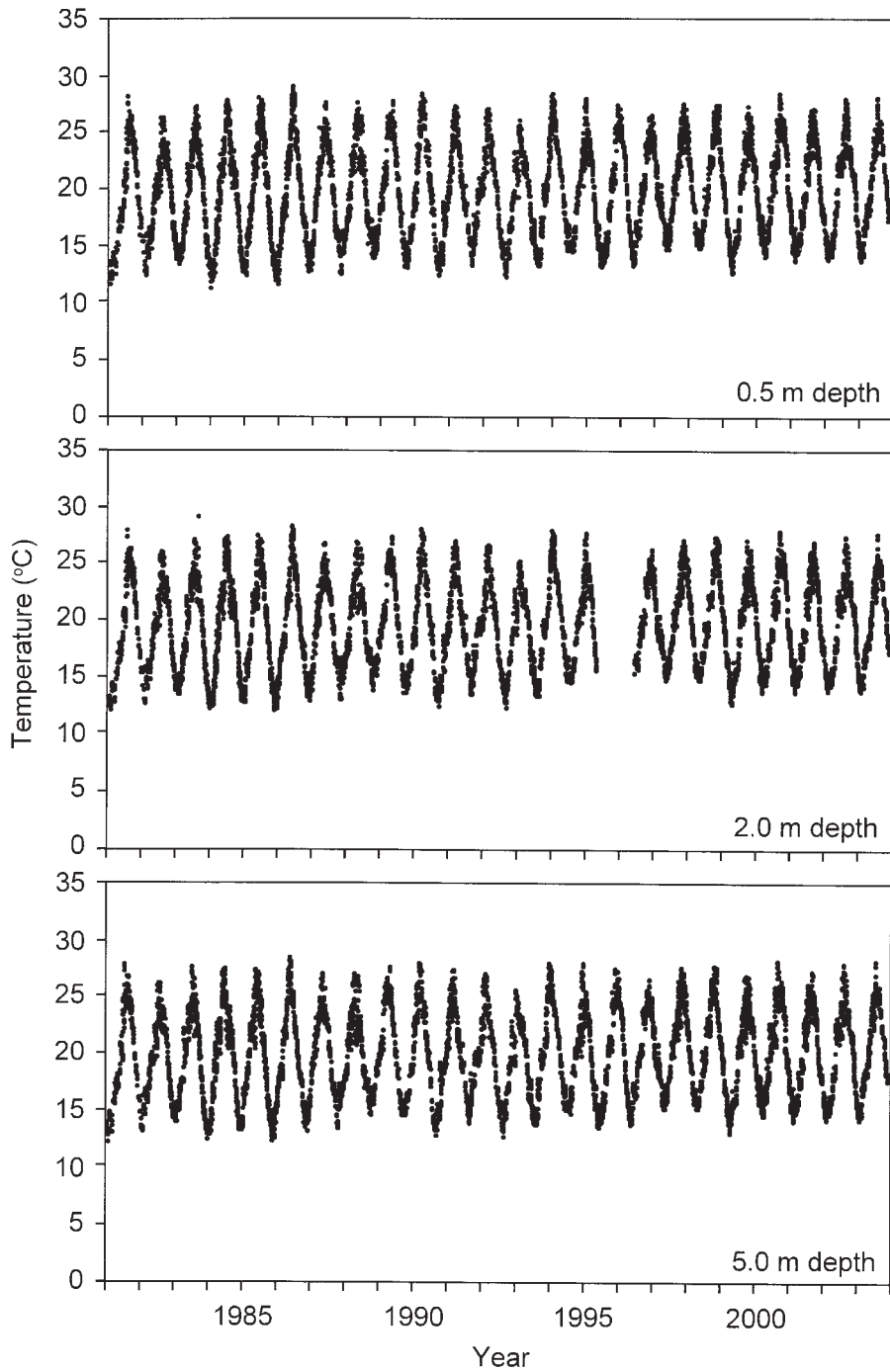


Fig. 2. Time series of original temperature data at Shitaba, Uwajima along the coast of Uwa Sea between 1981 and 2004.

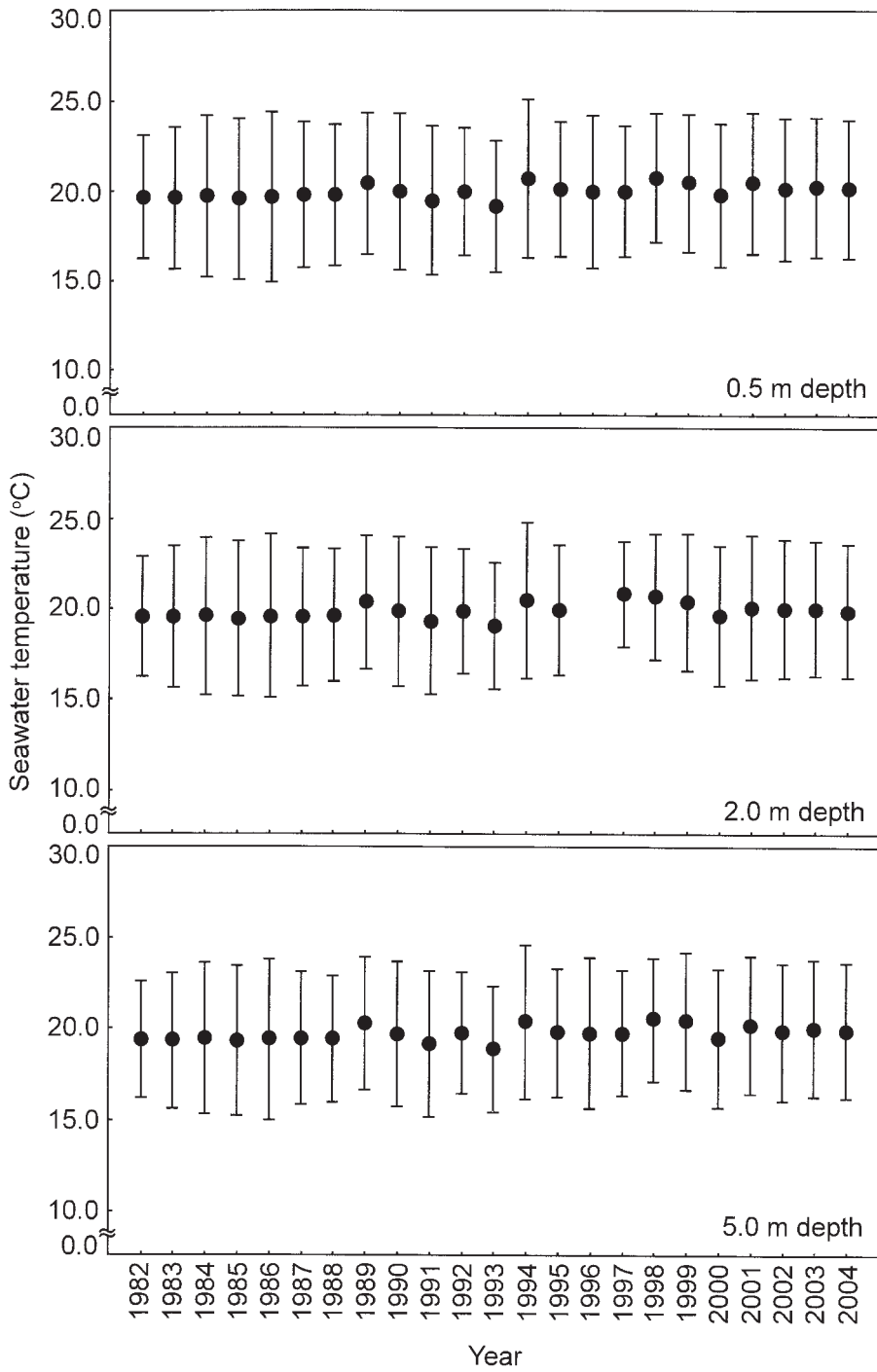


Fig. 3. Annual mean seawater temperature at Shitaba, Uwajima along the coast of Uwa Sea between 1982 and 2004. Vertical lines indicate standard deviations.

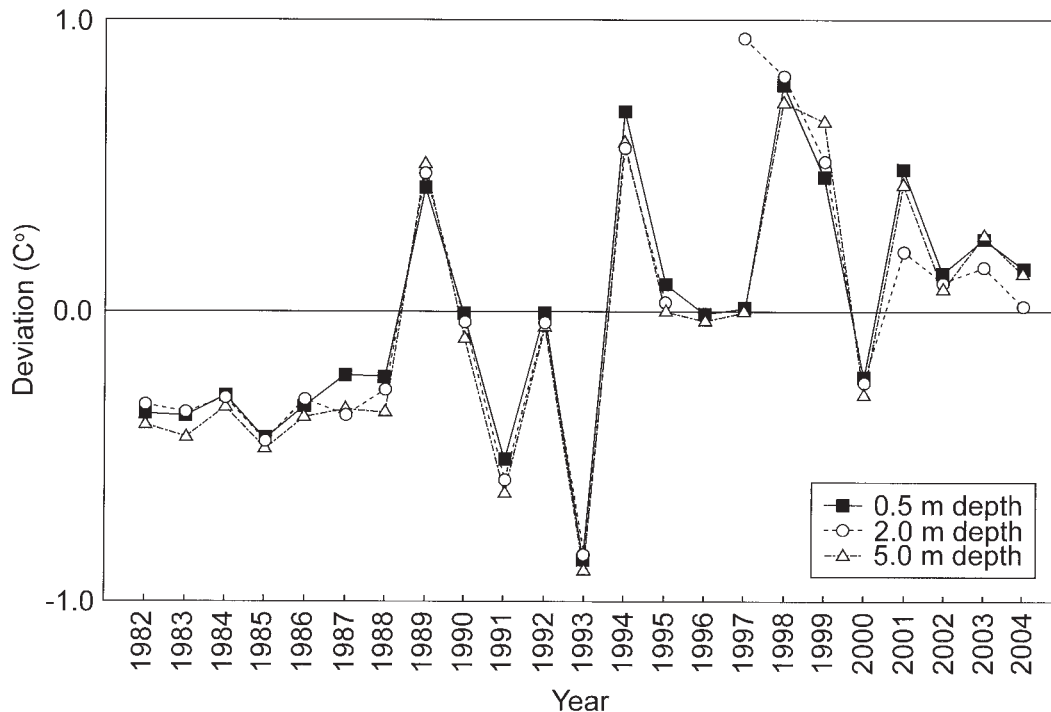


Fig. 4. Deviation in mean annual seawater temperature at Shitaba, Uwajima along the coast of Uwa Sea between 1982 and 2004. The mean from 1982 to 2004 has been set to zero.

0とした), 全ての深さで冬季(12月, 1月および2月)の海水温上昇が顕著であり, 夏季(6月, 7月および8月)はほとんど上昇が見られなかった(Fig. 7)。冬季の海水温はすべての深さで有意に上昇しており( $p < 0.05$ ), その上昇速度は, 深さ0.5 mで $0.074^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ , 深さ2.0 mで $0.064^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ , 深さ5.0 mで $0.059^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ であった。夏季の上昇速度は, 有意ではないが深さ0.5 mで $0.013^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ , 深さ2.0 mで $0.007^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ , 深さ5.0 mで $0.022^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ であり, 特に8月に関しては全ての深さで低下傾向を示した(Table 4)。

以上より, 愛媛県宇和島市下波における海水温は, 全ての深さにおいて年平均レベルでも上昇傾向を示しているが, 特に冬季の海水温上昇が著しく, 夏季はほぼ一定で推移しているという傾向が見られた。

#### 4. 考察

地球温暖化によると考えられる海水温の上昇は世界各地で報告されており, カリブ海の大部分の地域では1980年頃から, インド洋から太平洋にかけては1970年代頃から海水温上昇が確認され始めた(SHEPPARD and RIOJA-NIETO, 2005)。熱帯域では, 1998年以降, オーストラリアのグレートバリアリーフ等の広範囲な海域で水温上昇がおり, グレートバリアリーフでは大規模なサンゴ礁の白化が観測されている(BERKELMANS and OLIVER, 1999)。温帯域でも, 北大西洋沿岸のフランス北部のGravelinesでは1990年以降, 冬季の最低海水温および夏季の最高海水温が以前と比較して高く推移し(WOEHLING *et al.*, 2005), また, イギリス南部のPlymouthでは1990年以降急激な海水温上昇が確認されるようになった(HAWKINS *et al.*, 2003)。

本研究では, 愛媛県宇和島市下波における1981年か

Table 4 Increase of mean seawater temperature in each month from 1981 to 2004.

Depth (m)	Increase ( $^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ )											
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
0.5	0.081	0.070	0.052	0.021	0.024	0.035	0.002	-0.016	0.049	0.037	0.038	0.072
2.0	0.066	0.067	0.052	0.024	0.017	0.040	0.0004	-0.019	0.050	0.036	0.028	0.060
5.0	0.070	0.057	0.046	0.024	0.032	0.055	0.019	-0.007	0.060	0.038	0.027	0.050

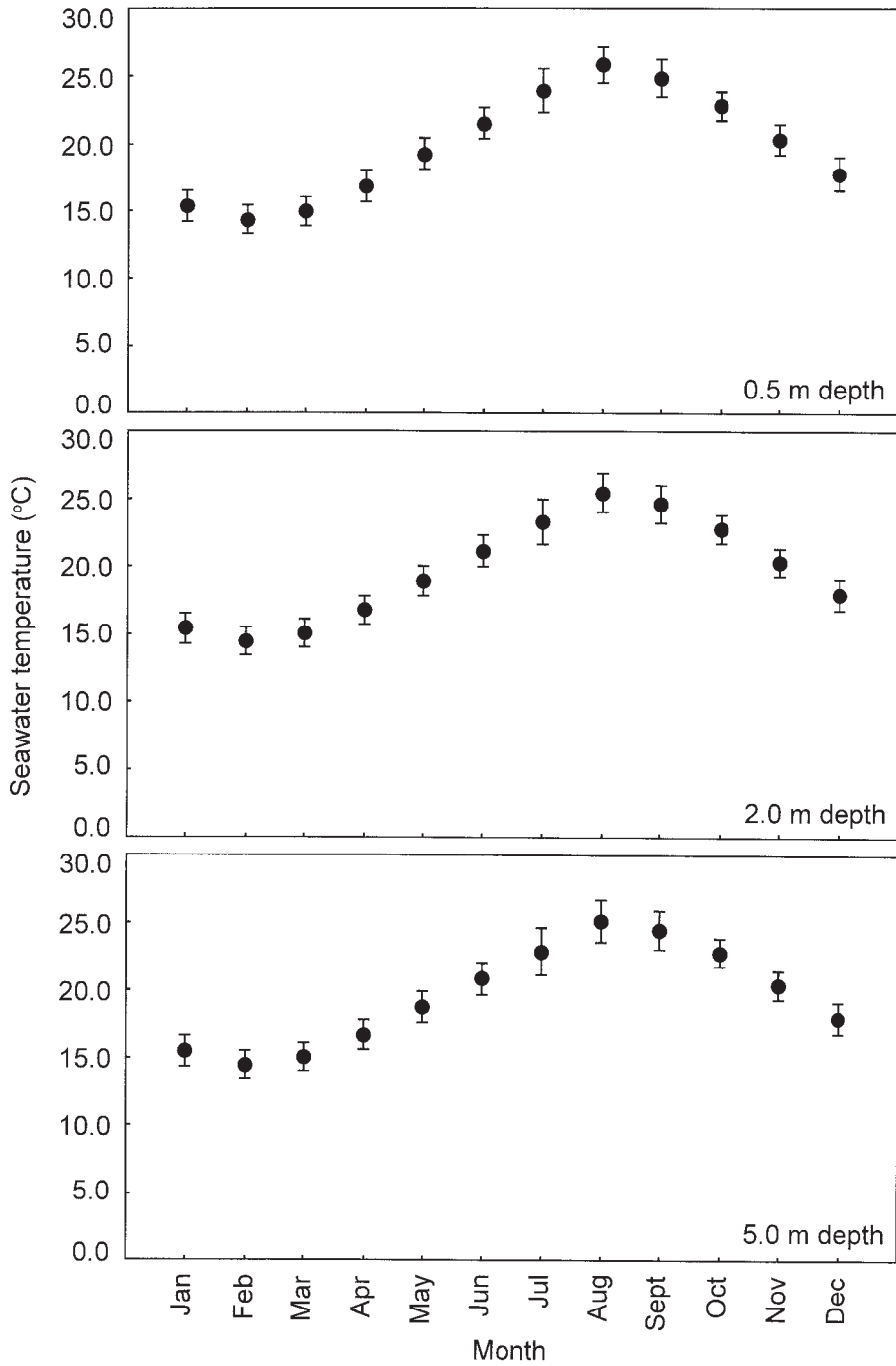


Fig. 5. Seawater temperatures averaged each month over 24 yr at Shitaba, Uwajima along the coast of Uwa Sea. Vertical lines indicate standard deviations.

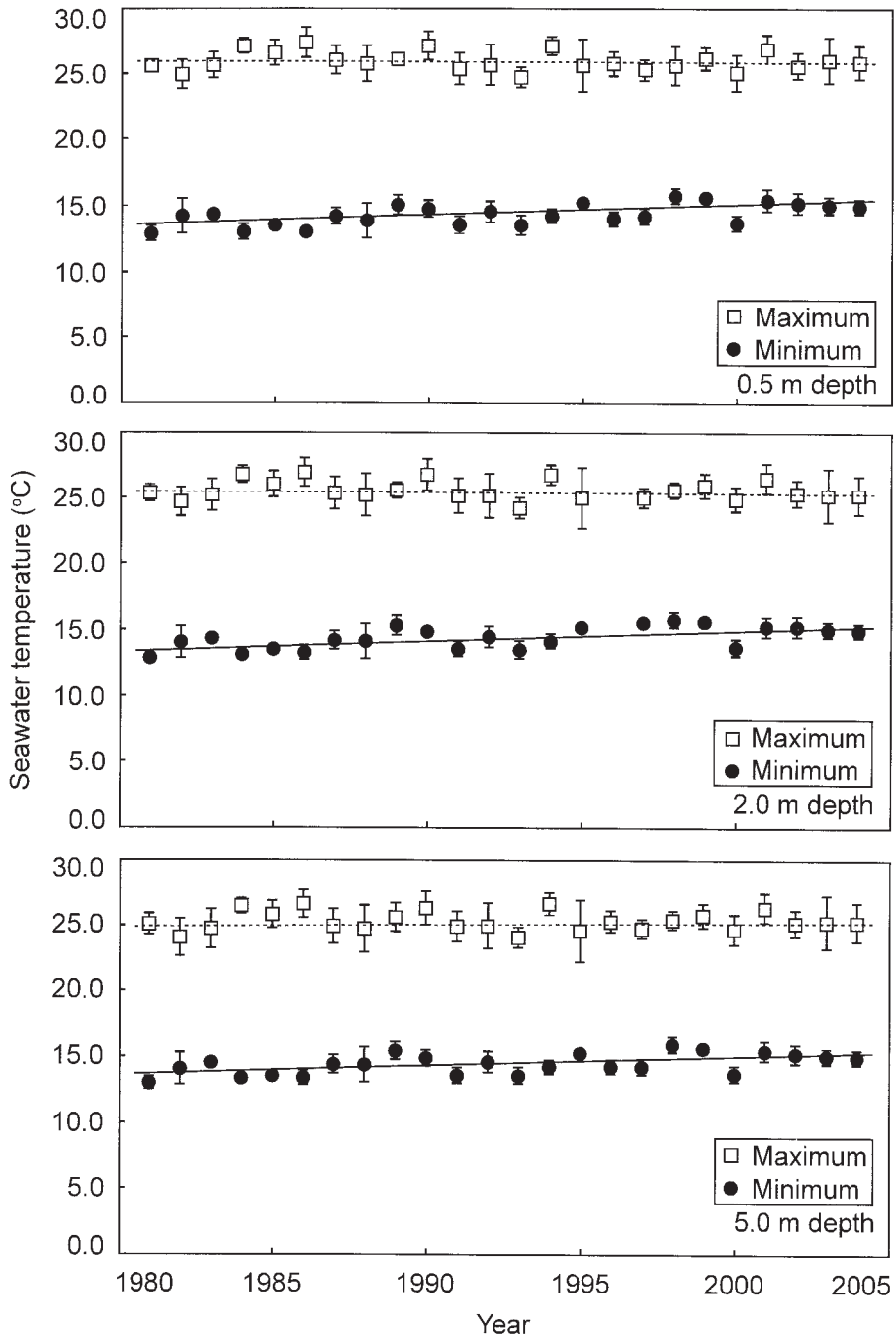


Fig. 6. Monthly average maximum and minimum seawater temperatures in each year at Shitaba, Uwajima along the coast of Uwa Sea coast from 1981 to 2004. Vertical lines indicate standard deviations.



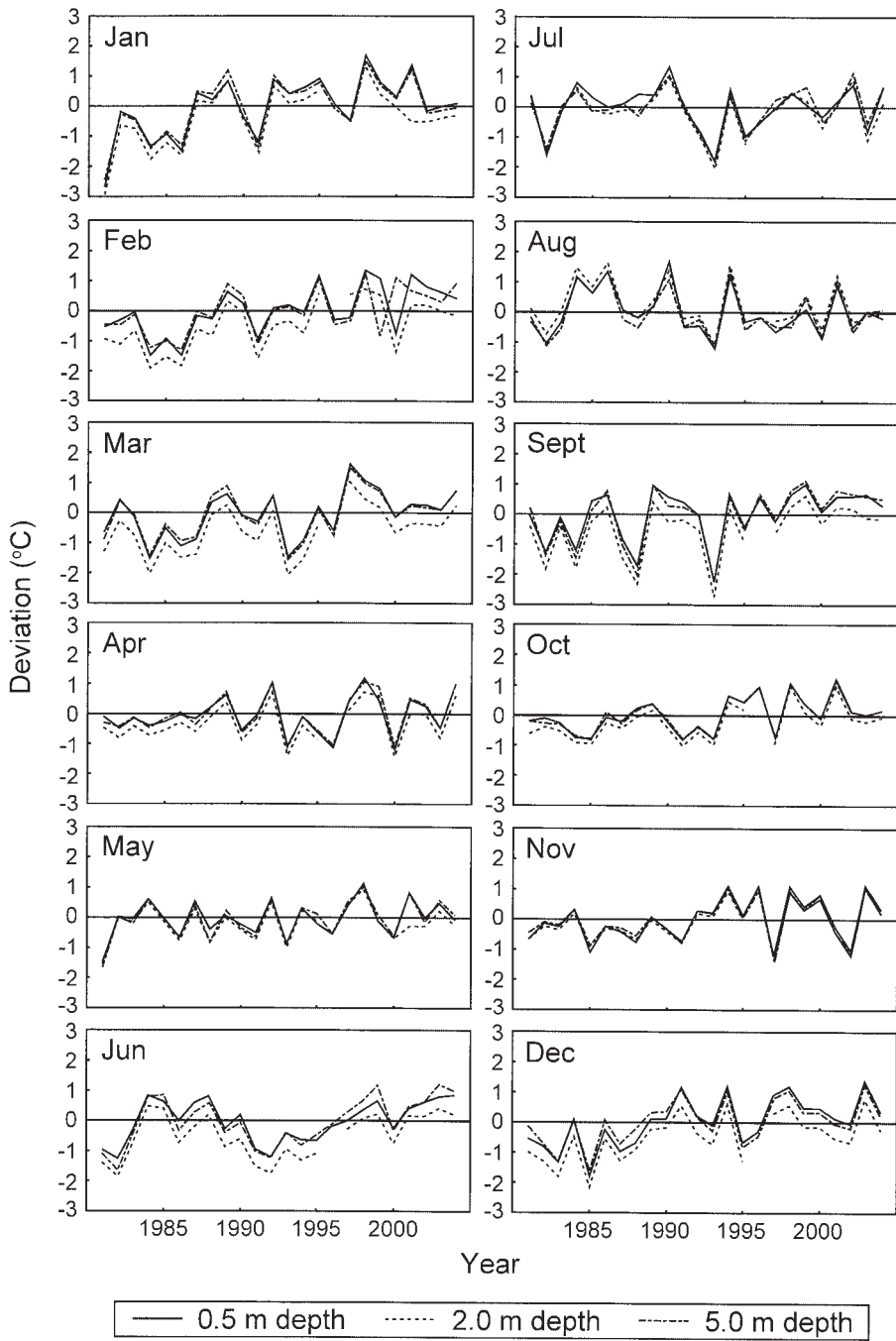


Fig. 7. Deviation in mean monthly seawater temperature at Shitaba, Uwajima along the coast of Uwa Sea between 1981 and 2004. The mean at each month from 1981 to 2004 has been set to zero.

ら測定されている海水温データを解析したが、海水温上昇は24年間（年平均水温に関しては23年間）を通して直線的であり、北大西洋沿岸などで報告されたような（HAWKINS *et al.*, 2003; WOEHLING *et al.*, 2005）、1990年前後の海水温上昇の傾向が変化する顕著な点（変節点・変曲点）は確認されなかった。気象庁（2006）は、全球平均の海面水温は地球温暖化等の影響によって毎年0.005°Cの割合で上昇し、特に1990年代中頃以降、高温となる年が頻出していると報告している。それぞれの地域における海水温の上昇率は、Plymouthでは1980年から2000年にかけての20年間で約0.9°C（HAWKINS *et al.*, 2003）、カリブ海バハマでは1980年から2000年にかけての20年間で約0.4°C（SHEPPARD and RIOJA-NIETO, 2005）であった。本研究の海水温データが測定された宇和島市下波の沖合に位置する豊後水道南部および北に位置する斎灘では、1968年より試験船によるほぼ毎月1回の定線調査が行われている（宇野, 2004）。1964年から2002年の61ヶ月移動平均値は、1970年代後半はやや高めで、1980年代前半の低温期間を経て、1980年代後半以降上昇傾向にあった。1980年から1999年までの20年間では、豊後水道南部で1.1°C、斎灘で0.9°Cであった（宇野, 2004）。また、1985年から2003年にかけて、南西諸島から日本海で0.01–0.06°C yr<sup>-1</sup>、東海沖や関東東方沖では0.1°C yr<sup>-1</sup>の上昇率を記録した（気象庁, 2004）。以上の日本沿岸の研究と比較すると、本研究では20年間で約0.66°C（1年当たり約0.033°C）の上昇率となることから（Fig. 3, Table 1）、少し低い傾向が認められた。

宇和島市下波における月ごとの年代別海水温を詳しく分析すると、冬季の海水温上昇が顕著であり、その速度は0.059°C yr<sup>-1</sup>（深さ5.0 m）から0.074°C yr<sup>-1</sup>（深さ2.0 m）であり、24年間では1.4°C（深さ5.0 m）から1.8°C（深さ2.0 m）の上昇に相当する。一方、夏季における水温上昇は、0.007°C yr<sup>-1</sup>（深さ2.0 m）から0.022°C yr<sup>-1</sup>（深さ5.0 m）であったが有意差は認められず、特に8月に関しては全ての深さで低下傾向を示した。そのため、冬季の海水温上昇速度は夏季の3–9倍に相当することが明らかになった。

我々は本研究の対象である宇和島市下波の北東約5 kmに位置する宇和島市遊子沖にて、2001年12月以来月2回のSTD（AST200-PK; Alec Electronics Co., Ltd.）を用いた水温・塩分の長期海洋モニタリングを実施している。2001年12月から2003年8月までの深さ1–3 mの塩分は、12月から2月までの冬季の塩分は高く（34.47±0.15）、6月から8月までの夏季は低い（33.94±0.27）傾向が明らかになった（SUZUKI *et al.*, 2006）。黒潮の塩分は34.5であることから、このモニタリング結果は、冬季には宇和海沿岸の中部に位置する宇和島市沿岸一帯まで暖かい黒潮系水が長期間にわたり流入し続けていることを示している。また、平岡ら（2005）

は高知県土佐湾沿岸における水温上昇の概要を報告している。土佐湾は本研究海域から東に約100 kmの地点に位置する極めて開放的な湾であり、黒潮の影響を強く受けている。土佐湾の年別表層水温の偏差は–0.7°C（1965年）から1.5°C（2002年）の間で変動し、70年代でやや高く、80年代で低く、90年代は高く維持されており、土佐湾における沿岸水域の水温上昇は湾内への黒潮の流入量に関連するのではないかと考察している。また、近年、黒潮が九州・四国沖に接岸傾向にあり、宇和海への黒潮系水の流入が増加していることも報告されている（兼田ら, 2002）。以上より、黒潮が九州・四国の沿岸域に接岸する傾向があることが冬季の顕著な水温上昇の要因の1つであると推察される。さらに、SAKAMOTO *et al.*（2005）は黒潮の流速は地球温暖化によって増加することを予測しており、今後も宇和海への黒潮系水流入の増加傾向は続く可能性が高いと考えられる。

本研究の観測地点である宇和島市下波の沖合に位置する豊後水道では、夏季には上層に海面加熱と黒潮側からの水平的な加熱による暖水層の形成と、陸棚斜面に起源をもつ冷水が下層に進入する現象（bottom intrusion）によって冷水層が形成されていることが報告されている（兼田ら, 2002; KANEDA *et al.*, 2002等）。黒潮が九州東岸から豊後水道にかけて接岸して流れているときはbottom intrusionが強く、豊後水道の水温が低下し、反対に離岸して流れているときはbottom intrusionが弱く、水温が上昇する。黒潮が離岸傾向をとった1999年はbottom intrusionが発生しなかったため、豊後水道の海水温は例年よりも約2°C高くなった。同様に、黒潮が離岸傾向を示した1974, 75, 77–79, 86, 89, 94, 95年も99年の海水温と同程度かそれ以上の高温であった。bottom intrusionの強度は1980年代後半から弱体化し、1990年代後半から再び強くなっている（TAKEOKA *et al.*, 2000）。以上の研究より、近年、黒潮が接岸傾向にあるため、夏季には水温が低いbottom intrusionの豊後水道への侵入が強くなっていることが示される。そのために黒潮の影響が増大する傾向にあるものの、宇和海沿岸域では、夏季の海水温が低下傾向またはほぼ一定となっていることが推察される。

従来、水温上昇の沿岸域生態系における影響評価は、熱帯域のサンゴ礁生態系における研究が中心であった。グレートバリアリーフ等のサンゴ礁生態系では、夏季の最高水温が1°C上昇するだけで、サンゴに共生する褐中藻類の光合成量が減水し、サンゴが白化をおこし、斃死にいたることが報告されている（JOKIEL and COLES, 1990; BERKELMANS and OLIVER, 1999等）。また、日本沿岸では、1990年代後半より静岡県から九州西岸沿岸一帯で、アイゴやブダイ等の藻食性魚類の被食によるアラメ・カジメ群落等の藻場の消失が多数報告されるようになり（桐山ら, 1999, 2002; 中山・新井,

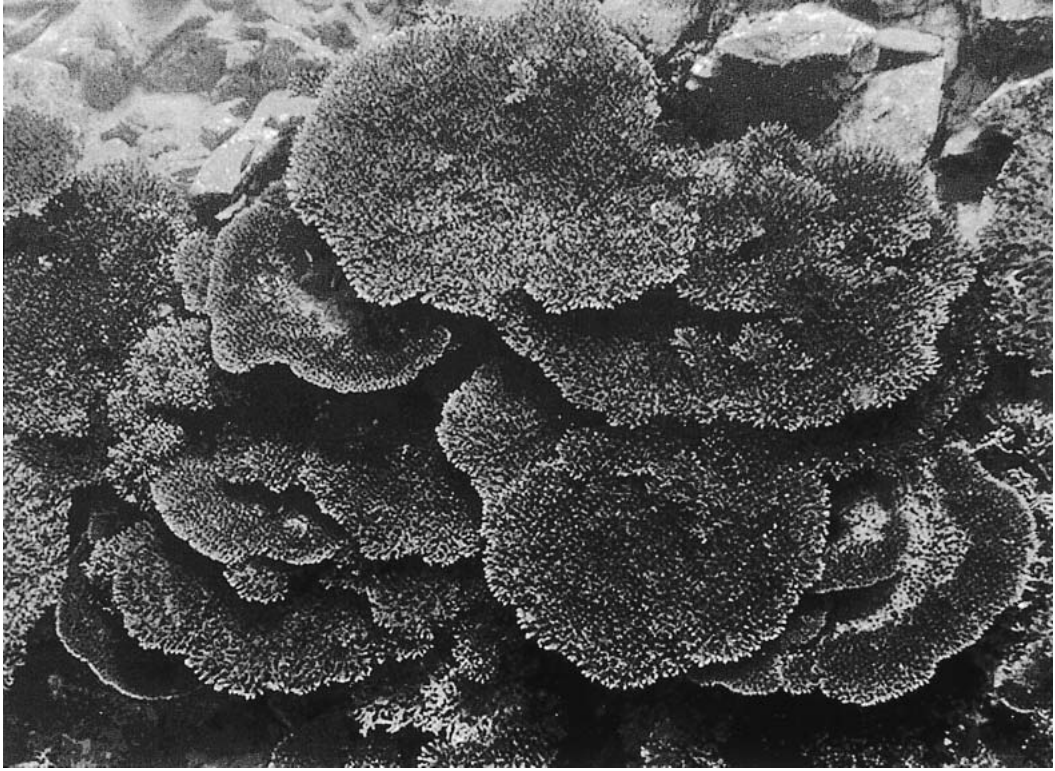


Fig. 4. Coral reef community found at the southern coast of Uwajima, the Uwa Sea (Photographed by I. Takeuchi on December, 2006).

1999; 清本ら, 2000; 長谷川ら, 2003等), 水温上昇が魚類の活動を活発化させていることが考えられる。本研究では, 宇和海沿岸では冬季における水温上昇が顕著であることが明らかになった。2004年に発刊された「日本のサンゴ礁」では, 宇和海沿岸の岩礁域にはサンゴが分布するものの, 高い被度でサンゴが分布するのは西海町(現在の愛南町)以南であると報告されている(岩瀬, 2004)。しかし, 2006年12月に実施した我々の予備的な調査では, 愛南町の北に位置する宇和島市南部でも大規模なサンゴ群落が発見されていることが確認された(Fig. 8)。宇和島市遊子沖では, 2004年以降, 熱帯性のミドリイガイが出現し始めており, また, 2001-2003年にはロープ1 mあたり33-34 kg(湿重量)あった養殖コンブの生産量も2003-2005年には約1/10に減少しており, 12月から1月にかけての冬季の水温上昇の影響が考えられた(SUZUKI *et al.*, MS)。よって, 宇和海沿岸では, 冬季の水温上昇により, 従来越冬できなかった熱帯あるいは亜熱帯性の海洋生物が越冬可能となり, 逆に温帯性の生物の一部は冬季の最低水温の上昇に耐えられず, 生態系を構成する生物群集の組成が大きく変動しはじめていることが考えられる。

以上の結果をまとめると, 宇和海沿岸の海水温の上

昇速度は他の地域よりも低いものの, 冬季の上昇速度は $0.059-0.074^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ と顕著であった。冬季は黒潮系水の大幅な流入の影響を強く受けており, また, 黒潮の流速は地球温暖化によって増加することが予測されていることから(SAKAMOTO *et al.*, 2005), 今後も地球温暖化が続くならば宇和海に流入する黒潮系水の影響も増加し, 海水温の上昇速度が速まることが予想される。一方, 夏季は黒潮によって引き起こされる冷却効果のあるbottom intrusionの影響下にあり, もしbottom intrusionがこの海域に存在しなければ, 海水温の上昇速度は本研究で求められたものよりもさらに速くなっていた可能性がある(1.1から1.5倍程度)。即ち, 宇和海の水温上昇はbottom intrusionによって緩和されていると考えられる。2100年には地球の平均気温は $1.4-5.8^{\circ}\text{C}$ 上昇することが予測されており(IPCC, 2001), 前述したように黒潮の影響も増大することが予想されることから, 宇和海沿岸域では, 海水温は冬季を中心に今後も上昇し続けることが考えられる。

#### 謝辞

本水温データを提供していただいた愛媛県水産試験場, データ解析に関してご助言いただいた愛媛大学農

学部若松伸司教授及び同大学沿岸環境科学研究センター兼田淳史博士、本論文に関して様々な有意義な意見をいただいた2名の匿名の査読者に深くお礼申し上げます。

### 文献

- BERKELMANS, R. and J.K. OLIVER (1999): Large-scale bleaching of corals on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, **18**, 55–60.
- COLES, S.L. and B.E. BROWN (2003): Coral bleaching-capacity for acclimatization and adaptation. *Adv. Mar. Biol.*, **46**, 183–223.
- 長谷川雅俊, 小泉康二, 小長谷輝夫, 野田幹雄 (2003): 静岡県榛南海域における磯焼けの持続要因としての魚類の食害. 静岡県水産試験場研究報告, **38**, 19–25.
- HAWKINS, S.J., A.J. SOWTHWARD and M.J. GENNER (2003): Detection of environmental change in a marine ecosystem - evidence from the English Channel. *Sci. Total Environ.*, **310**, 245–256.
- 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. *海洋と生物*, **27** (5), 485–493.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 881pp.
- 岩崎伸一, 松浦知徳, 渡辺 勲 (2002): 地殻変動を除去した長期海水位変動と海面水温の関係—本州沿岸域—. *海の研究*, **11** (5), 529–542.
- 岩瀬文人 (2004) 日本各地のサンゴ礁の現状 6–2–4 四国. 日本のサンゴ礁 (環境省・日本サンゴ礁学会編), 財団法人 自然環境研究センター, 東京, p.266–277.
- JOKIEL, P.L. and S.L. COLES (1990): Response of Hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperature. *Coral Reefs*, **8**, 155–162.
- JOKIEL, P.L. and E.K. BROWN (2004): Global warming, regional trends and inshore environmental conditions influence coral bleaching in Hawaii. *Glob. Chan. Biol.*, **10**, 1627–1641.
- 兼田淳史, 乗松桂輔, 渡辺浩三, 小泉喜嗣, 武岡英隆 (2002): 黒潮の離接岸が豊後水道の水温に与える影響. *沿岸海洋研究*, **39** (2), 181–188.
- KANEDA, A., H. TAKEOKA, E. NAGaura and Y. KOIZUMI (2002): Periodic intrusion of cold water from the Pacific Ocean into the bottom layer of the Bungo Channel in Japan. *J. Oceanogr.*, **58**, 547–556.
- 桐山隆哉, 藤井明彦, 吉村 拓, 清本節夫, 四井敏雄 (1999): 長崎県下で1998年秋に発生したアラメ類の葉状部欠損現象. *水産増殖*, **47** (3), 319–323.
- 桐山隆哉, 藤井明彦, 四井敏雄 (2002): 長崎県下で広く認められたヒジキの生育阻害の原因. *水産増殖*, **50** (3), 295–300.
- 気象庁 (2004): 報道発表資料 日本沿岸の海面水位の長期変化について —海面推移変化は海洋内部に原因—. 4 pp.
- 気象庁 (2005): 2.4.2. 日本の海面水位の変化. 異常気象レポート2005. [http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/climate\\_change/2005/2.4.2.html](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/climate_change/2005/2.4.2.html)
- 気象庁 (2006): 海面水温の長期変化傾向 (全球平均). [http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/a\\_1/glb\\_warm/glb\\_warm.html](http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/shindan/a_1/glb_warm/glb_warm.html)
- 清本節夫, 吉村 拓, 新井章吾, 桐山隆哉, 藤井明彦, 四井敏雄 (2000): 長崎県野母崎において1998年秋に発生したクロメ葉状部欠損現象の経過観察. 西海区水産研究所研究報告, **78**, 57–65.
- 中山恭彦, 新井章吾 (1999): 南伊豆・中木における藻食性魚類3種によるカジメの採食. *藻類*, **47**, 105–112.
- SAKAMOTO, T.T., H. HASUMI, M. ISHII, S. EMORI, T. SUZUKI, T. NISHIMURA and A. SUMI (2005): Responses of the Kuroshio and the Kuroshio Extension to global warming in a high-resolution climate model. *Geophys. Res. Lett.*, **32** (14), L14617, 10.1029/2005GL023384.
- SHEPPARD, C. and R. RIOJA-NIETO (2005): Sea surface temperature 1871–2009 in 38 cells in the Caribbean region. *Mar. Environ. Res.*, **60**, 389–396.
- SUZUKI, S., K. FURUYA and I. TAKEUCHI (2006): Growth and annual production of the brown alga *Laminaria japonica* (Phaeophyta, Laminariales) introduced into the Uwa Sea in southern Japan. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **339**, 15–29.
- SUZUKI, S., K. FURUYA, T. KAWAI and I. TAKEUCHI (MS): Effect of seawater temperature on the production of *Laminaria japonica* in the Uwa Sea, southern Japan. (Submitted)
- TAKEOKA, H., Y. KOIZUMI and A. KANEDA (2000): Year-to-year variation of a *kyucho* and a bottom intrusion in the Bungo Channel, Japan. *In* Interactions between Estuaries, coastal seas and shelf seas. YANAGI, T. (ed.), Terra Scientific Publishing Company (TERRAPUB), Tokyo, p.197–215.
- 友定 彰 (2002): 海洋観測の継続を期待する. *月刊海洋*, **34** (11), 751–756.
- 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.
- WOEHLING, D., A. LEFEBVRE, G. LE FÈVRE-LEHOERFF and R. DELESMONT (2005): Seasonal and longer term trends in sea temperature along the French North Sea coast, 1975 to 2002. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **85**, 39–48.

Received November 6, 2006

Accepted May 2, 2007