

佐賀県玄海沿岸海域における地球温暖化による 漁場環境・水産生物への影響調査

梅田 智樹・千々波行典・伊賀田邦義^{*1}・広瀬 茂^{*1}・秋山 秀樹^{*2}・
山田 東也^{*2}・種子田 雄^{*2}・村上 憲男^{*3}・臼井 雅一^{*3}・伊賀上孝徳^{*3}

Influence investigation to the fishery environment and the fishery living thing by the global warming in Saga Genkai nearshore waters

Tomoki UMEDA, Yukinori CHIJIWA, Kuniyoshi IGATA, Shigeru HIROSE, Hideki AKIYAMA,
Haruya YAMADA, Takeshi TANEDA, Norio MURAKAMI, Masakazu USUI and Takanori IGAUE

キーワード：温暖化，水温変動，水産生物，影響評価

はじめに

近年，地球温暖化にともなうとされる海水温の上昇が世界的にみられている。なかでも，東シナ海北部海域の海水温は，「異常気象レポート九州・山口県・沖縄版2009」¹⁾によると，1901年以降において $1.27 \pm 0.27^\circ\text{C}/100$ 年上昇したと報告されており，これは世界全体の海水温上昇率 ($0.50^\circ\text{C}/100$ 年) に比べ著しく大きい。さらに，日本近海の海水温は，2100年までに最大約 3°C 上昇する²⁾ことが予想されている。

地球温暖化にともなう海水温の上昇は，特に温暖化の影響を受けやすい沿岸域で大きいことが考えられることから，今後さらに海水温が上昇した場合，漁場環境や沿岸域に生息する魚介藻類や養殖魚介類等に対してさらに影響を及ぼすことが懸念されている。

そのため，これまでの水温上昇の要因について考察するとともに，水温上昇が漁場環境や水産生物へ及ぼした影響を調査した。また，将来の水温上昇を予測するとともに，漁場環境や水産生物，養殖魚介類への影響について予測した。

なお，この研究は，水産庁の平成20年度地球温暖化による沿岸漁場環境への影響評価・適応策検討調査委託事

業および(独)水産総合研究センターの成21，22年度地球温暖化対策推進費のうち自動観測ブイを用いた沿岸漁場環境モニタリングによる温暖化影響評価手法の開発により実施した。

材料および方法

1. 過去の水温変動要因

1) 2008~2010年に自動観測ブイで観測した短期の水温変動要因

a 水温変動と気象変動との関係

漁場環境が異なる唐津湾，名護屋浦，伊万里湾の3海域(図1)に，2008年4月に自動観測ブイ^{3, 4)}を設置し，表層(水深0.5m)，中層(水深の1/2m)および底層(B-1m)の三層における毎時0，20，40分のリアルタイムモニタリングを行った(図2)。この観測で得られた水温と気象庁の枝去木地域気象観測所(以下，枝去木観測所とする。図2)において観測された各気象データとの相関係数(以下， r という。)を求め，水温変動との関係を検討した。

解析に用いた気象データは気温，日照時間，風速のN-S成分(風速(m/s)×風向($^\circ$))；以下， $v \cdot \cos$

*1：現 高等水産講習所，*2：独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所，*3：株式会社東京久栄

($\theta + \pi$) とする。) および風速の E-W 成分 (風速 (m/s) \times 風向 ($^{\circ}$); 以下, $v \cdot \sin(\theta + \pi)$ とする。) の10分毎の観測データとした。また, 水温上昇のタイムラグを考慮し, 気温, $v \cdot \cos(\theta + \pi)$ および $v \cdot \sin(\theta + \pi)$ については水温観測時間を基準に 0~24 時間前, 24~48 時間前, 48~72 時間前および 72~96 時間前のそれぞれの平均値を, 日照時間は同様にそれぞれの積算値を算出し用いた。データの期間は 2007 年 12 月 13 日から 2010 年 2 月 22 日とし, 全体及び月毎に r を求めた。

なお, 得られた相関係数については, 「 $0.3 \leq |r|$ 」となった場合に相関があったとみなし, 「 $0.7 \leq |r|$ 」の場合は強い相関がみられたと判断した。

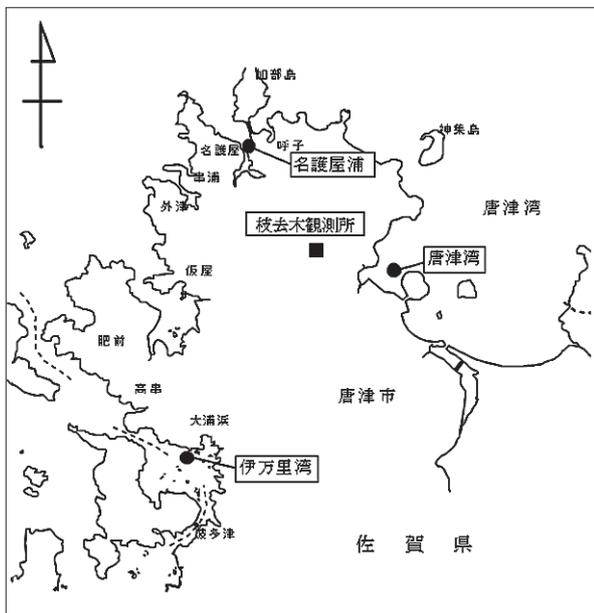


図 1 自動観測ブイ設置地点および枝去木地域気象観測所位置

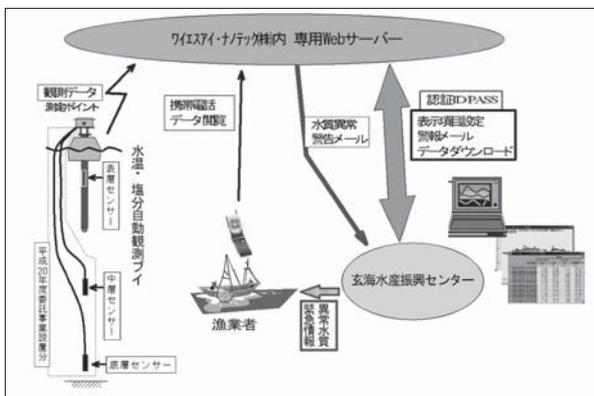


図 2 自動観測システム概要

b 短期的に観測された異常高水温の発生要因

自動観測ブイにより得られた表層水温の平年率 ((観測値 - 同地点の過去観測値の平均値 [唐津湾 1978~2007 年; 30 年間, 名護屋浦 1976~1999 年; 24 年間, 伊万里湾 1977~1999 年; 23 年間]) / 標準偏差) が, 250% 以上となった場合 (以下, 異常高水温とする) に, 枝去木観測所の観測データのうち最も水温上昇の要因と考えられた気温と, 人工衛星画像 (JAFIC 提供等) による対馬暖流の流勢を参考に, 水温上昇の要因について考察を行った。

2) 1979~2008 年の長期の水温変動要因

まず, 沿岸域の長期水温変動をみるために代表点として唐津湾の玄海水産振興センター地先 (以下, センター地先とする。図 3) における平日 9:00 観測の表層水温データの年平均値を, また, 沖合域の長期水温変動をみるために代表点として St.4 (図 3。以下, 壱岐水道とする。) の表層, 30m 層, 底層及び St.12 (図 3。以下, 対馬東水道とする。) の表層, 50m 層, 底層における 2, 3, 4, 6, 8, 11 月の水温データの各層の各年の各観測月の水温観測値の平均値を基に算出した平年率を用いて, 1979 年から 2008 年までの 30 年間の長期水温変動を調べた。また, 沖合域の月別の長期水温変動をみるために, 壱岐水道および対馬東水道の各観測層の月別直線回帰より算出した傾きを各月の水温上昇率として, その変動を調べた。

次に, 枝去木観測所および芦辺地域気象観測所 (以下, 芦辺観測所とする。図 3) における 1979 年から 2008 年までの 30 年間の日平均気温を収集し, 長期気温変動,

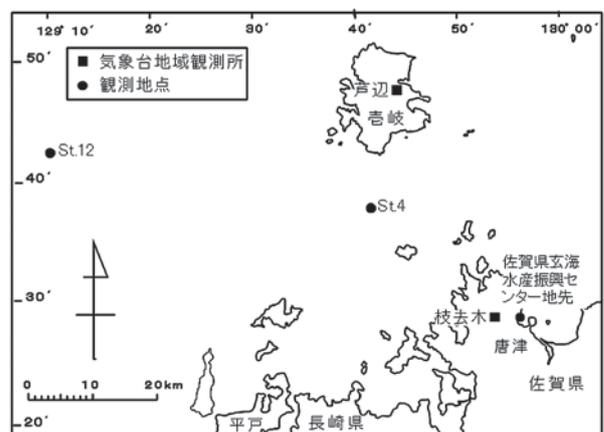


図 3 過去データ比較地点および気象庁地域観測所位置

月別気温変動を調べた。

2. 過去の水温変動と漁場環境や漁況変化との関係

1) 漁場環境や漁況の変化

定置網漁業, 1 そう吾智網漁業, 沿岸いか釣り漁業, その他の釣り漁業, 採介・採藻漁業, トラフグ養殖業およびマガキ養殖業者から, 1999年から2008年にかけての10年間の漁場環境や漁況等の変化について聞き取り調査を実施し, 水温変動との関係について検討した。

2) 定置網で漁獲される水産生物と水温変動の関係

図4に示す玄海沿岸域の主要定置網4ヶ統のうち, 内湾の唐津湾に設置している高島大敷, 及び壱岐水道に面した唐津市鎮西町加唐島に設置している大泊大敷における漁獲推移で, 漁獲サイズに変化がみられたサワラ, 漁獲月数の減少がみられたスルメイカおよび漁獲量の減少がヤリイカについて⁴⁾, 主要定置網4ヶ統全体における1983年以降の月別漁獲量について検証した。

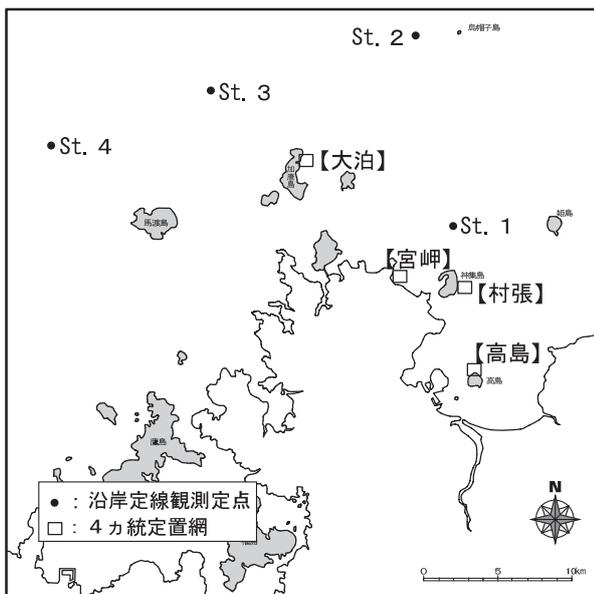


図4 玄海沿岸域の定置網設置位置および沿岸定線観測点位置

さらに, 主要定置網4ヶ統で漁獲された魚介類のうち, 上記2)で年間漁獲期間の短縮が確認された種, および食植性魚類について, 対象魚種の漁獲された水温を当該海域での回遊可能水温, 漁獲が多くみられた水温を回遊適水温とし, 漁獲時期と水温の関係について検証した。

なお, 検証に用いた水温は, 対象魚種が漁獲された月

の図4に示す沿岸定線定点 St. 1～4で観測された0 m層を除く全層平均水温とした。

3. 将来の水温変動予測

まず, 玄海沿岸海域を玄海上浦海域, 玄海中浦海域, 玄海下浦海域及び壱岐水道海域の4海域に分類した(図5)。次に, 玄海沿岸海域内の観測定点21定点から4海域の代表点を, 玄海上浦海域では定点1, 5, 19, 玄海中浦海域では定点10, 12, 16, 玄海下浦海域では定点13, 壱岐水道海域では定点6, 11を選定した(図5)。そして, 各代表点の観測期間およびデータ数から長期水温変動を捉えることが出来るか否かを判断し, 長期水温変動予測に用いる定点として, 玄海上浦海域では定点1および5, 中浦海域では定点10および12, 下浦海域では定点13, 壱岐水道海域では定点6および11を選定した(表1)。また, 水深は表層, 海面下10m, 20m, 50m層を選定した。

なお, 検討対象とする各観測点について, 1971年1月から2010年12月までの観測データの整理を行い, データが欠落した月がある場合はデータ補完を行ったが, 検討期間当初の1971年から既知の観測データがない場合は, 無理な外挿補完を行わなかった。

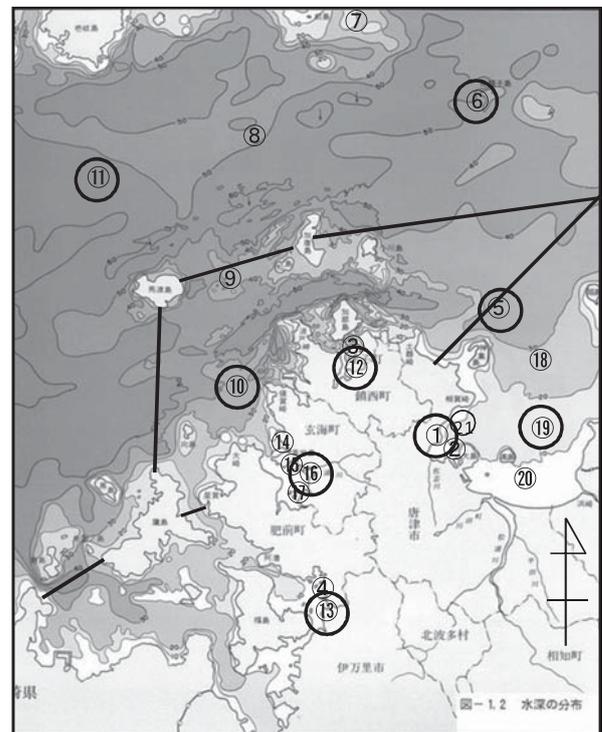


図5 水温変動予測対象海域の代表定点 (図中の○囲み)

1) 1971年から2000年の水温変動

上記で得られた各観測定点のデータを基に統計期間の平均からの水温差を経年変化であらわし、1971年から2000年までの過去30年間の水温上昇傾向を一次回帰式により分析した。

2) 将来の水温変動予測の検討

上記1) で得られた各定点の過去30年間の水温上昇傾向を用い、水温変動予測の基準年を他の温暖化予測シナリオと同じ2000年とした各海洋観測定点における10年後(2010年)、50年後(2050年)の水温を予測した。また、気象庁の東シナ海北部の水温上昇シナリオ²⁾(表2)および2010年における実測値との比較を行い、予測の検証を行った。

表1 観測点とデータ期間

海域区分	場所	定点	所定層	解析に用いたデータ期間	データ間隔	欠測の有無
玄海上浦海域	唐津湾	定点1	表層	1971年1月～2010年12月	日別	なし
		定点19	表層	1993年1月～2010年12月	月別	あり
	唐津沿岸	定点5	10m層	1993年1月～2010年12月	月別	あり
			20m層	1973年1月～2010年12月	月別	あり
玄海中浦海域	名護屋浦	定点12	表層	1977年1月～2010年12月	週別	あり
			底層	1992年1月～2010年12月	週別	あり
	仮屋湾	定点16	表層	1997年1月～2010年12月	月別	あり
			底層	1997年1月～2010年12月	月別	あり
玄海町沿岸	定点10	表層	1973年1月～2010年12月	月別	あり	
		10m層	1973年1月～2010年12月	月別	あり	
玄海下浦海域	伊万里湾	定点13	表層	1978年1月～2010年12月	週別	あり
			底層	1979年1月～2010年12月	週別	あり
	唐津沖合	定点6	0m層	1971年1月～2010年12月	月別	あり
			10m層	1971年1月～2010年12月	月別	あり
壱岐水道海域	玄海町沖合	定点11	20m層	1971年1月～2010年12月	月別	あり
			50m層	1971年1月～2010年12月	月別	あり
	唐津沖合	定点6	20m層	1971年1月～2010年12月	月別	あり
			50m層	1971年1月～2010年12月	月別	あり

注) 網掛けの定点および所定層を今回の検討対象として選定。

表2 気象庁の東シナ海北部の水温上昇シナリオ

シナリオ	背景 (温室効果ガス排出量の将来変化シナリオ; IPCC SRES シナリオ)	東シナ海の 水温上昇率 (℃/100年)
A1B	「すべてのエネルギー源のバランスを重視しつつ、高い経済成長」の場合	2.4
B1	「環境の保全と経済の発展が地球規模で両立」の場合	1.6

4. 水温上昇が漁場環境や水産生物へ及ぼす影響の検討

気象庁等の関係機関による短期・長期的水温変動予測、佐賀県玄海沿岸域における既知の海洋観測データの推移、水産生物の生息適水温、生活史等⁵⁻¹⁶⁾を基に、佐賀県沿岸海域において温暖化により想定される水温変動が要因となり、短期的および中期的に引き起こされる漁業対象水産生物の水平・鉛直的な漁場(分布域)、漁獲時期等の変遷、養殖業対象水産生物の生産環境の変化および藻場を構成している海藻(草)類の水平・鉛直的な分布域、分布密度等の変化について検討を行った。

検討を行う水産生物は、漁業対象種としてマアジ、マサバ、カタクチイワシ、ケンサキイカ、マダイ、カサゴ、ヒラメ、アカウニ、クロアワビおよびマナマコ、養殖対象種としてマダイ、トラフグ、ブリ、マガキ、エゾアワビおよびアコヤガイ、藻場構成種としてアラメ、ホンダワラ類およびヒジキを選択した。また、成長段階(遊泳種:産卵期・幼稚魚期・成魚期、底生種:産卵期・底生期、藻場構成種:孢子体期・葉体期・成熟期)別に影響を検討した(表3)。

なお、当初検討を行う短期的および中期的予測年とし

表3 変化予測を行った各対象種の対象ステージ、検討対象定点および水深

種別	対象ステージ	検討対象定点及び水深
回遊性	マアジ 成魚期	定点5, 6, 11; 10m深
	マサバ 成魚期	定点5, 6, 11; 10m深
	カタクチイワシ 産卵期, 幼稚魚期, 成魚期	定点5, 10; 10m深
	ケンサキイカ 産卵期, 幼稚魚期, 成魚期	定点6, 11; 50m深
漁業対象種	マダイ 産卵期, 成魚期	定点6, 11; 10, 20, 50m深
	マダイ 幼稚魚期	定点5, 10; 10m深
	カサゴ 成魚期	定点5, 10; 10, 20m深
	ヒラメ 産卵期, 成魚期	定点6, 11; 10, 20, 50m深
定着性	マダイ 幼稚魚期	定点5, 10; 10m深
	アカウニ 底生期	定点5, 10; 10m深
	クロアワビ 産卵期, 底生期	定点5, 10; 10m深
	マナマコ 底生期	定点5, 10; 0m, 10m深
養殖対象種	マダイ 種苗(当歳)期, 成魚期	定点12, 13; 0m深
	トラフグ 種苗(当歳)期, 成魚期	定点1, 12, 13; 0m深
	ブリ 種苗(当歳)期, 成魚期	定点1, 12, 13; 0m深
	マガキ 底生期	定点1, 12, 13; 0m深
藻場構成種	エゾアワビ 底生期	定点5, 10; 10m深
	アコヤガイ 底生期	定点12; 0m深
	アラメ 孢子体期, 成熟期	定点1, 12, 13; 0m深
	ホンダワラ類 葉体期, 成熟期	定点5, 10; 10m深
ヒジキ 成熟期	定点1, 12, 13; 0m深	

て、上記3と同じく2000年を基準年とした10年後（2010年）、50年後（2050年）を想定していた。

しかし、本検討を行う時点で2010年となっていたことより、2010年を基準年として、短期的予測年を10年後（2020年）とし、中期的予測年は他の温暖化予測シナリオとの整合性を考慮し40年後（2050年）とした。

そして、上記3で検討対象とした定点の基準水温として2010年の水温を算定し、水温上昇モデルとしては、気象庁の「九州・沖縄海域の海域平均海面水温（年平均）の長期変化傾向（2009年）；平成22年3月」（表4）を用いた。

表4 東シナ海北部の海面水温の長期変化傾向
[統計期間（1900年～2009年）]

時 期	上昇率 (°C/100年)	上昇率 (°C/年)	上昇水温(°C)	
			10年後	40年後
年 間	+1.26	+0.0126	0.126	0.504
冬季（1～3月）	+1.60	+0.0160	0.160	0.640
春季（4～6月）	+1.06	+0.0106	0.106	0.424
夏季（7～9月）	+0.77	+0.0077	0.077	0.308
秋季（10～12月）	+1.53	+0.0153	0.153	0.612

結果および考察

1. 過去の水温変動

1) 2008～2010年に自動観測ブイで観測した短期の水温変動要因

a 水温変動と気象変動との関係

各地点の各層と気温データとのrの一覧について、表5に示す。

全体では、全地点および全層で気温と強い正の相関を示し、かつ48～72時間前平均もしくは72～96時間前平均で最も強い相関がみられた。他の気象データについては唐津湾の底層、伊万里湾の中層および底層では西方向の風にも正の相関が見られた。

月別では、4、6、11月で気温と強い相関がみられた地点および層がみられたもの、その他の月では、全体ほど相関はみられなかった。また5、7、9、10月で北寄りの風と相関がみられていたが、その他の月では南寄りの風と相関がみられる場合が多く、11月から2月にその傾向が強くみられた。また、8月にも南寄りの風との相

関がみられた。さらに、6～8月では西寄りの風と、11～3月は東寄りの風と相関がみられる傾向にあった。

以上のことより、水温上昇の主要因として気温が推定された。さらに、南寄りの風成分も水温上昇の要因として推定された。

また、水温と気象データのタイムラグについては、各項目で72～96時間前の平均値と最も強い相関を示すことが多くみられた。

b 短期的に観測された異常高水温の発生要因

観測期間中^{5, 17, 18)}、名護屋浦で2008年7月30日に平年率259%、31日に同305%を記録し、伊万里湾で平成21年2月14日に同258%、15日に同275%を記録していた（図6）。

a) 2008年7月に名護屋浦みられた水温上昇現象

7月24日まではほぼマイナス基調の平年並みで推移していたが、25日以降高めに転じ、27日に210%と甚だ高めとなり、30日（259%）および31日（305%）に250%以上となった。8月1日以降は200%以下となり、同3日以降はやや高めから平年並みで推移した。唐津湾では7月30日に166%、31日に177%、伊万里湾では7月30日に160%、31日に129%と、200%を超えなかったもの高めであった。気温は、梅雨明けが7月6日と例年より12日早かったことから、上昇が著しく、7月中旬以降の日平均気温の平年率は高めで推移し、7月27日には224%となった（図7）。

また、衛星画像による海面水温は、7月15日には対馬暖流の流勢が明瞭でなかったもののその後、対馬暖流の流勢が強くなり、29°Cの等温線が7月25日には対馬東水道中央まで張り出し、7月30日には九州北部沿岸に接岸した。しかし、8月1日には長崎本土と五島の間から佐賀県玄海沿岸にかけて、表層水温29°C未満の範囲が広がり、8月5日には、29°Cの等温線は五島列島北端西側まで南下した。

この名護屋浦における水温上昇の要因として、日平均気温が高めで推移していたもののその平年率が200%を超えたのは7月27日のみであり気温上昇のみによる水温上昇は考えにくい。そのため、対馬暖流の流勢の強まり及び表層水温29°Cの水塊の接岸が、最大の要因として考えられた。

表5-1 自動観測水温と各気象データの相関一覧

全体

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	495	49,672	27,304	28,466	52,537	29,435	28,899	53,990	34,337	34,340	
気温 (°C)	10分観測	0.927	0.897	0.860	0.827	0.861	0.783	0.739	0.907	0.868	0.842
	0-24時間平均	0.933	0.931	0.904	0.877	0.896	0.834	0.793	0.947	0.918	0.891
	24-48時間平均	0.936	0.932	0.911	0.888	0.899	0.844	0.806	0.948	0.924	0.900
	48-72時間平均	0.938	0.935	0.916	0.895	0.902	0.851	0.816	0.949	0.927	0.907
	72-96時間平均	0.941	0.937	0.919	0.899	0.905	0.857	0.824	0.948	0.928	0.912
日照時間 (分)	10分観測	0.025	0.091	0.051	0.034	0.091	0.021	0.022	0.095	0.071	0.069
	0-24時間積算	0.164	0.185	0.098	0.065	0.169	0.049	0.026	0.180	0.136	0.124
	24-48時間積算	0.133	0.185	0.099	0.067	0.165	0.061	0.041	0.180	0.145	0.133
	48-72時間積算	0.140	0.174	0.101	0.072	0.156	0.067	0.036	0.179	0.151	0.140
	72-96時間積算	0.170	0.174	0.103	0.086	0.149	0.066	0.035	0.176	0.151	0.145
v · cos (θ+π)	10分観測	0.141	0.127	0.062	0.136	0.111	0.043	0.021	0.152	0.088	0.061
	0-24時間平均	0.102	0.167	0.070	0.169	0.164	0.065	0.042	0.203	0.105	0.078
	24-48時間平均	0.127	0.175	0.087	0.198	0.178	0.081	0.058	0.208	0.115	0.093
	48-72時間平均	0.197	0.190	0.098	0.209	0.181	0.067	0.052	0.214	0.119	0.103
	72-96時間平均	0.237	0.201	0.094	0.203	0.188	0.060	0.051	0.213	0.112	0.105
v · sin (θ+π)	10分観測	-0.248	-0.251	-0.329	-0.240	-0.207	-0.249	-0.258	-0.247	-0.326	-0.342
	0-24時間平均	-0.290	-0.260	-0.364	-0.263	-0.216	-0.271	-0.280	-0.251	-0.354	-0.369
	24-48時間平均	-0.276	-0.260	-0.370	-0.269	-0.221	-0.269	-0.260	-0.251	-0.356	-0.369
	48-72時間平均	-0.224	-0.252	-0.372	-0.274	-0.213	-0.265	-0.243	-0.250	-0.358	-0.371
	72-96時間平均	-0.201	-0.249	-0.378	-0.287	-0.213	-0.266	-0.234	-0.245	-0.364	-0.377

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

4 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	42	2,885	2,106	2,106	4,318	2,158	2,156	4,320	2,160	2,160	
気温 (°C)	20分平均	0.732	0.587	0.296	0.193	0.540	0.346	0.339	0.386	0.319	0.221
	0-24時間平均	0.785	0.711	0.534	0.383	0.653	0.588	0.573	0.491	0.567	0.385
	24-48時間平均	0.739	0.599	0.612	0.528	0.586	0.637	0.635	0.442	0.624	0.493
	48-72時間平均	0.674	0.525	0.695	0.642	0.583	0.700	0.699	0.452	0.677	0.599
	72-96時間平均	0.673	0.562	0.746	0.735	0.593	0.767	0.770	0.544	0.754	0.704
日照時間 (分)	20分積算	-0.375	0.021	-0.055	-0.142	0.089	-0.091	-0.089	-0.007	-0.114	-0.100
	0-24時間積算	-0.084	-0.003	-0.059	-0.209	0.222	-0.059	-0.076	-0.029	-0.077	-0.124
	24-48時間積算	0.150	-0.011	-0.222	-0.343	0.202	-0.085	-0.095	-0.041	-0.079	-0.219
	48-72時間積算	0.245	0.019	-0.140	-0.195	0.149	-0.087	-0.089	-0.094	-0.082	-0.187
	72-96時間積算	0.194	0.032	0.006	-0.033	0.146	-0.030	-0.030	-0.041	-0.046	-0.072
v · cos (θ+π)	20分平均	0.306	-0.003	0.055	0.016	0.103	0.083	0.068	0.011	0.098	0.039
	0-24時間平均	0.202	0.046	-0.065	-0.050	0.143	0.084	0.066	0.089	0.076	0.053
	24-48時間平均	0.111	0.041	0.077	0.117	0.094	0.094	0.099	0.071	0.085	0.146
	48-72時間平均	0.178	0.091	0.315	0.276	0.200	0.227	0.222	0.116	0.217	0.222
	72-96時間平均	0.151	0.130	0.238	0.169	0.202	0.278	0.276	0.117	0.264	0.234
v · sin (θ+π)	20分平均	-0.164	0.061	-0.033	-0.022	0.119	-0.042	-0.041	0.069	-0.044	0.043
	0-24時間平均	-0.216	-0.083	-0.183	-0.152	0.031	-0.107	-0.114	0.037	-0.121	0.014
	24-48時間平均	-0.074	-0.150	-0.087	-0.043	0.021	-0.034	-0.033	0.015	-0.047	0.023
	48-72時間平均	0.083	0.055	0.156	0.155	0.146	0.132	0.132	0.066	0.117	0.112
	72-96時間平均	0.178	0.272	0.262	0.192	0.216	0.223	0.224	0.161	0.191	0.203

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

5 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	36	4,463	547	2,232	4,464	2,232	2,232	4,464	2,232	2,232	
気温 (°C)	20分平均	0.329	0.481	-0.048	0.109	0.472	0.143	0.131	0.288	0.227	0.108
	0-24時間平均	0.506	0.510	0.183	0.269	0.439	0.375	0.353	0.413	0.541	0.300
	24-48時間平均	0.538	0.358	0.265	0.423	0.309	0.500	0.494	0.386	0.578	0.484
	48-72時間平均	0.480	0.404	0.247	0.566	0.354	0.616	0.610	0.377	0.619	0.562
	72-96時間平均	0.456	0.426	0.590	0.692	0.400	0.694	0.687	0.343	0.638	0.611
日照時間 (分)	20分積算	-0.268	0.028	-0.046	-0.283	0.073	-0.286	-0.291	-0.107	-0.161	-0.263
	0-24時間積算	-0.371	0.036	-0.031	-0.410	0.068	-0.381	-0.403	-0.271	-0.159	-0.394
	24-48時間積算	-0.210	-0.007	-0.138	-0.417	-0.007	-0.395	-0.408	-0.246	-0.142	-0.436
	48-72時間積算	-0.081	-0.139	-0.597	-0.429	-0.088	-0.406	-0.407	-0.184	-0.148	-0.466
	72-96時間積算	-0.019	-0.115	-0.744	-0.394	-0.123	-0.370	-0.373	-0.164	-0.172	-0.392
v · cos (θ+π)	20分平均	-0.079	0.061	-0.344	-0.192	0.068	-0.086	-0.087	-0.003	0.099	-0.072
	0-24時間平均	-0.080	0.051	-0.749	-0.308	0.140	-0.132	-0.148	0.053	0.033	-0.062
	24-48時間平均	0.196	0.056	-0.442	-0.212	0.076	-0.104	-0.114	0.071	0.037	0.021
	48-72時間平均	0.224	0.271	-0.298	-0.025	0.194	0.000	-0.011	0.174	0.105	0.055
	72-96時間平均	0.409	0.290	0.336	0.169	0.202	0.111	0.102	0.204	0.154	0.088
v · sin (θ+π)	20分平均	-0.155	0.161	-0.345	-0.294	0.298	-0.148	-0.158	0.047	-0.004	-0.082
	0-24時間平均	-0.298	0.091	-0.751	-0.446	0.199	-0.242	-0.257	0.025	-0.082	-0.123
	24-48時間平均	0.037	0.143	-0.819	-0.366	0.132	-0.249	-0.266	0.050	-0.035	-0.141
	48-72時間平均	0.269	0.222	-0.772	-0.202	0.122	-0.188	-0.205	0.082	0.021	-0.159
	72-96時間平均	0.425	0.221	-0.662	-0.064	0.107	-0.123	-0.127	0.148	0.018	-0.167

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

表5-2 自動観測水温と各気象データの相関一覧

6 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	43	4,320	1,916	2,160	4,320	2,160	2,160	4,320	2,160	2,160	
気温 (°C)	20分平均	0.708	0.562	0.470	0.483	0.620	0.588	0.584	0.636	0.549	0.540
	0-24時間平均	0.613	0.613	0.640	0.641	0.689	0.827	0.821	0.799	0.844	0.780
	24-48時間平均	0.402	0.467	0.596	0.646	0.584	0.822	0.825	0.733	0.865	0.830
	48-72時間平均	0.387	0.463	0.580	0.687	0.575	0.811	0.818	0.691	0.841	0.848
	72-96時間平均	0.561	0.508	0.660	0.781	0.591	0.817	0.818	0.670	0.801	0.836
日照時間 (分)	20分積算	0.169	0.130	0.145	0.028	0.184	0.027	0.004	0.064	-0.045	-0.037
	0-24時間積算	0.240	0.329	0.366	0.073	0.320	0.102	0.062	0.221	0.038	-0.007
	24-48時間積算	0.175	0.349	0.501	0.164	0.267	0.230	0.197	0.342	0.186	0.062
	48-72時間積算	0.210	0.236	0.411	0.150	0.227	0.346	0.328	0.318	0.342	0.211
	72-96時間積算	0.345	0.271	0.224	0.196	0.283	0.418	0.416	0.366	0.477	0.367
v · cos (θ+π)	20分平均	0.106	0.019	0.186	0.028	0.125	0.190	0.199	0.209	0.356	0.261
	0-24時間平均	-0.077	-0.105	0.016	-0.100	0.107	0.137	0.153	0.222	0.346	0.310
	24-48時間平均	-0.211	-0.188	-0.100	-0.114	0.032	0.091	0.106	0.170	0.266	0.336
	48-72時間平均	-0.109	-0.061	-0.016	0.074	0.053	0.111	0.115	0.160	0.189	0.290
	72-96時間平均	0.226	0.073	0.188	0.310	0.117	0.201	0.191	0.160	0.119	0.254
v · sin (θ+π)	20分平均	-0.011	0.072	0.219	0.047	0.294	0.235	0.236	0.273	0.354	0.319
	0-24時間平均	-0.010	0.056	0.181	-0.022	0.259	0.259	0.260	0.318	0.408	0.409
	24-48時間平均	-0.087	-0.004	0.234	0.080	0.137	0.240	0.237	0.278	0.337	0.368
	48-72時間平均	0.015	0.055	0.315	0.219	0.114	0.325	0.315	0.240	0.359	0.402
	72-96時間平均	0.307	0.183	0.407	0.397	0.183	0.432	0.420	0.243	0.374	0.450

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

7 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	44	4,464	2,232	2,232	4,463	2,168	2,167	4,464	2,231	2,232	
気温 (°C)	20分平均	0.517	0.394	0.061	-0.028	0.490	0.196	0.173	0.581	0.040	-0.033
	0-24時間平均	0.557	0.483	0.085	0.009	0.595	0.318	0.295	0.770	0.161	0.040
	24-48時間平均	0.585	0.518	0.164	0.146	0.623	0.446	0.438	0.747	0.312	0.160
	48-72時間平均	0.620	0.574	0.271	0.262	0.654	0.521	0.520	0.703	0.405	0.256
	72-96時間平均	0.679	0.636	0.338	0.352	0.683	0.568	0.588	0.685	0.400	0.337
日照時間 (分)	20分積算	0.355	0.228	-0.205	-0.231	0.244	-0.161	-0.163	0.314	-0.257	-0.294
	0-24時間積算	0.451	0.422	-0.268	-0.340	0.423	-0.176	-0.203	0.627	-0.309	-0.402
	24-48時間積算	0.623	0.548	-0.207	-0.277	0.461	-0.037	-0.065	0.663	-0.192	-0.270
	48-72時間積算	0.619	0.579	-0.172	-0.200	0.485	0.032	0.042	0.676	-0.125	-0.181
	72-96時間積算	0.514	0.482	-0.091	-0.122	0.449	0.076	0.079	0.622	-0.073	-0.085
v · cos (θ+π)	20分平均	0.032	-0.241	-0.356	-0.420	-0.127	-0.162	-0.160	0.003	-0.286	-0.420
	0-24時間平均	-0.248	-0.300	-0.408	-0.437	-0.094	-0.119	-0.105	0.047	-0.242	-0.391
	24-48時間平均	-0.140	-0.239	-0.317	-0.317	-0.021	-0.012	0.012	0.051	-0.168	-0.305
	48-72時間平均	-0.046	-0.113	-0.188	-0.197	0.043	0.073	0.069	0.004	-0.109	-0.227
	72-96時間平均	0.212	0.085	-0.068	-0.062	0.149	0.153	0.178	0.081	-0.055	-0.123
v · sin (θ+π)	20分平均	0.012	0.130	-0.396	-0.428	0.185	-0.174	-0.162	0.294	-0.279	-0.418
	0-24時間平均	0.223	0.156	-0.501	-0.487	0.235	-0.201	-0.160	0.396	-0.327	-0.464
	24-48時間平均	0.284	0.207	-0.379	-0.367	0.254	-0.110	-0.081	0.381	-0.299	-0.408
	48-72時間平均	0.292	0.258	-0.273	-0.282	0.297	-0.054	-0.045	0.362	-0.267	-0.332
	72-96時間平均	0.320	0.324	-0.166	-0.173	0.350	0.012	0.054	0.416	-0.208	-0.222

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

8 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	42	4,412	2,182	1,709	4,464	2,232	2,232	4,464	2,232	2,232	
気温 (°C)	20分平均	0.612	0.398	-0.336	-0.061	0.347	-0.104	-0.102	0.543	0.057	-0.131
	0-24時間平均	0.548	0.515	-0.490	-0.021	0.496	-0.100	-0.078	0.775	0.259	-0.128
	24-48時間平均	0.402	0.473	-0.348	0.103	0.521	0.073	0.092	0.766	0.373	0.035
	48-72時間平均	0.481	0.568	-0.091	0.306	0.606	0.232	0.237	0.784	0.294	0.096
	72-96時間平均	0.667	0.644	0.018	0.421	0.668	0.334	0.336	0.782	0.296	0.190
日照時間 (分)	20分積算	0.580	0.306	0.239	0.412	0.292	0.402	0.403	0.346	0.341	0.375
	0-24時間積算	0.465	0.534	0.374	0.608	0.547	0.616	0.618	0.592	0.547	0.598
	24-48時間積算	0.252	0.397	0.399	0.523	0.497	0.683	0.700	0.522	0.615	0.668
	48-72時間積算	0.314	0.384	0.400	0.543	0.510	0.729	0.738	0.470	0.551	0.692
	72-96時間積算	0.419	0.438	0.422	0.587	0.547	0.783	0.789	0.465	0.535	0.696
v · cos (θ+π)	20分平均	0.161	0.168	-0.386	-0.123	0.270	0.030	0.036	0.382	0.403	0.038
	0-24時間平均	-0.002	0.144	-0.422	-0.014	0.336	0.169	0.168	0.476	0.574	0.191
	24-48時間平均	0.121	0.127	-0.174	0.239	0.328	0.360	0.351	0.414	0.560	0.335
	48-72時間平均	0.329	0.219	0.203	0.464	0.376	0.538	0.522	0.357	0.450	0.407
	72-96時間平均	0.371	0.299	0.378	0.592	0.411	0.576	0.566	0.306	0.299	0.447
v · sin (θ+π)	20分平均	0.200	0.233	-0.417	0.012	0.321	0.040	0.026	0.492	0.385	0.053
	0-24時間平均	0.112	0.238	-0.396	0.168	0.355	0.170	0.164	0.567	0.528	0.193
	24-48時間平均	0.281	0.258	-0.087	0.411	0.383	0.387	0.392	0.549	0.574	0.369
	48-72時間平均	0.427	0.316	0.306	0.623	0.453	0.581	0.574	0.497	0.478	0.470
	72-96時間平均	0.473	0.416	0.408	0.695	0.485	0.628	0.618	0.461	0.314	0.513

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

表5-3 自動観測水温と各気象データの相関一覧

9 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	39	2,906	2,158	0	2,908	2,158	2,158	2,916	2,158	2,158	
気温 (°C)	20分平均	0.497	0.512	0.294	—	0.491	-0.079	-0.204	0.526	0.131	-0.034
	0-24時間平均	0.235	0.673	0.650	—	0.510	-0.120	-0.299	0.729	0.345	-0.052
	24-48時間平均	0.170	0.634	0.671	—	0.345	-0.085	-0.229	0.688	0.403	-0.028
	48-72時間平均	0.237	0.616	0.720	—	0.364	0.064	-0.073	0.652	0.483	0.080
	72-96時間平均	0.305	0.596	0.695	—	0.393	0.163	0.009	0.597	0.555	0.172
日照時間 (分)	20分積算	0.359	0.103	0.110	—	0.161	0.271	0.150	0.056	0.160	0.251
	0-24時間積算	0.395	0.140	0.160	—	0.376	0.387	0.258	0.120	0.195	0.297
	24-48時間積算	0.292	0.135	0.032	—	0.172	0.110	0.067	0.056	0.104	0.087
	48-72時間積算	0.059	-0.132	-0.013	—	-0.035	-0.088	-0.049	-0.081	0.017	0.001
	72-96時間積算	-0.211	-0.229	-0.124	—	-0.230	-0.193	-0.139	-0.233	-0.068	-0.033
v · cos (θ + π)	20分平均	0.067	-0.120	-0.188	—	-0.091	-0.236	-0.167	-0.106	-0.073	-0.230
	0-24時間平均	-0.203	-0.234	-0.318	—	-0.195	-0.267	-0.158	-0.133	-0.172	-0.259
	24-48時間平均	-0.465	-0.365	-0.233	—	-0.349	-0.136	0.004	-0.225	-0.166	-0.120
	48-72時間平均	-0.439	-0.257	-0.233	—	-0.180	-0.036	0.065	-0.244	-0.197	-0.104
	72-96時間平均	-0.153	-0.113	-0.184	—	0.021	0.245	0.316	-0.154	-0.129	-0.036
v · sin (θ + π)	20分平均	0.070	-0.020	-0.117	—	0.099	-0.190	-0.140	0.019	0.072	-0.129
	0-24時間平均	-0.106	-0.127	-0.184	—	-0.103	-0.110	-0.023	-0.024	0.036	-0.067
	24-48時間平均	-0.375	-0.275	-0.112	—	-0.271	0.046	0.165	-0.136	0.031	0.055
	48-72時間平均	-0.351	-0.198	-0.128	—	-0.169	0.165	0.270	-0.190	-0.020	0.091
	72-96時間平均	-0.091	-0.091	-0.130	—	0.044	0.392	0.458	-0.120	-0.012	0.138

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

10 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	41	3,206	2,398	2,816	3,125	3,173	3,124	3,333	3,329	3,330	
気温 (°C)	20分平均	0.549	0.418	0.480	0.150	0.473	0.367	0.356	0.442	0.382	0.364
	0-24時間平均	0.611	0.588	0.761	0.343	0.618	0.620	0.626	0.619	0.644	0.633
	24-48時間平均	0.550	0.621	0.793	0.397	0.615	0.662	0.677	0.626	0.670	0.658
	48-72時間平均	0.509	0.667	0.814	0.420	0.675	0.726	0.740	0.674	0.709	0.690
	72-96時間平均	0.553	0.684	0.834	0.413	0.692	0.751	0.755	0.690	0.738	0.715
日照時間 (分)	20分積算	-0.219	0.032	0.075	0.060	0.074	-0.039	-0.050	0.092	0.018	0.009
	0-24時間積算	-0.276	-0.044	0.039	0.149	-0.045	-0.131	-0.145	-0.012	-0.074	-0.081
	24-48時間積算	-0.096	-0.094	-0.059	0.115	-0.078	-0.185	-0.170	-0.135	-0.143	-0.122
	48-72時間積算	-0.003	-0.201	-0.201	0.078	-0.219	-0.309	-0.311	-0.178	-0.197	-0.164
	72-96時間積算	-0.069	-0.235	-0.226	0.102	-0.306	-0.353	-0.355	-0.245	-0.268	-0.228
v · cos (θ + π)	20分平均	-0.215	-0.063	-0.208	0.043	-0.066	-0.017	-0.010	-0.105	-0.126	-0.106
	0-24時間平均	-0.149	-0.003	-0.305	0.020	0.003	0.024	0.013	-0.078	-0.112	-0.085
	24-48時間平均	-0.118	0.023	-0.217	0.075	-0.036	0.036	0.052	-0.071	-0.035	-0.007
	48-72時間平均	-0.211	-0.069	-0.301	0.014	-0.048	-0.022	-0.002	-0.140	-0.070	-0.035
	72-96時間平均	-0.018	-0.049	-0.213	-0.128	0.039	0.028	0.043	-0.168	-0.104	-0.069
v · sin (θ + π)	20分平均	-0.246	-0.041	-0.422	0.064	-0.065	-0.052	-0.037	-0.112	-0.141	-0.124
	0-24時間平均	-0.322	-0.069	-0.429	-0.008	-0.105	-0.062	-0.036	-0.157	-0.147	-0.128
	24-48時間平均	-0.290	-0.092	-0.478	-0.072	-0.081	-0.052	-0.035	-0.190	-0.157	-0.136
	48-72時間平均	-0.231	-0.155	-0.534	-0.148	-0.100	-0.103	-0.106	-0.232	-0.187	-0.170
	72-96時間平均	-0.131	-0.202	-0.459	-0.233	-0.127	-0.126	-0.149	-0.296	-0.243	-0.222

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

11 月

	センター 前	唐 津 湾			名護屋浦			伊万里湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	36	2,266	2,160	2,266	4,313	3,536	4,313	4,314	4,314	4,314	
気温 (°C)	20分平均	0.676	0.653	0.645	0.663	0.577	0.620	0.573	0.630	0.591	0.536
	0-24時間平均	0.714	0.766	0.789	0.800	0.667	0.727	0.696	0.730	0.711	0.661
	24-48時間平均	0.709	0.795	0.812	0.819	0.627	0.707	0.706	0.731	0.731	0.696
	48-72時間平均	0.652	0.807	0.809	0.827	0.603	0.661	0.702	0.715	0.740	0.710
	72-96時間平均	0.627	0.751	0.751	0.776	0.582	0.589	0.682	0.693	0.733	0.694
日照時間 (分)	20分積算	0.082	-0.030	-0.048	-0.056	0.018	0.006	-0.004	0.047	0.012	0.003
	0-24時間積算	0.164	-0.002	-0.059	-0.059	0.103	0.097	0.072	0.133	0.081	0.026
	24-48時間積算	0.335	0.104	0.035	0.066	0.155	0.160	0.114	0.148	0.113	0.057
	48-72時間積算	0.275	0.118	0.100	0.109	0.163	0.199	0.152	0.184	0.142	0.080
	72-96時間積算	0.249	0.179	0.115	0.189	0.167	0.220	0.196	0.214	0.196	0.156
v · cos (θ + π)	20分平均	-0.121	-0.044	-0.028	-0.040	-0.122	0.008	-0.115	-0.114	-0.145	-0.149
	0-24時間平均	0.002	0.223	0.227	0.223	0.085	0.219	0.064	0.038	-0.006	-0.026
	24-48時間平均	0.277	0.298	0.317	0.348	0.231	0.328	0.183	0.127	0.092	0.098
	48-72時間平均	0.216	0.348	0.359	0.385	0.260	0.346	0.209	0.168	0.143	0.195
	72-96時間平均	0.258	0.307	0.335	0.360	0.297	0.323	0.214	0.198	0.176	0.234
v · sin (θ + π)	20分平均	-0.270	-0.410	-0.453	-0.363	-0.320	-0.351	-0.272	-0.298	-0.310	-0.378
	0-24時間平均	-0.204	-0.376	-0.379	-0.338	-0.275	-0.295	-0.221	-0.285	-0.300	-0.368
	24-48時間平均	-0.058	-0.312	-0.303	-0.292	-0.176	-0.208	-0.158	-0.264	-0.258	-0.301
	48-72時間平均	-0.132	-0.233	-0.217	-0.223	-0.050	-0.140	-0.139	-0.217	-0.216	-0.236
	72-96時間平均	-0.074	-0.165	-0.142	-0.127	0.036	-0.066	-0.098	-0.115	-0.140	-0.145

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

表5-4 自動観測水温と各気象データの相関一覧

12 月

	センター 前	唐 津 湾			名 護 屋 浦			伊 万 里 湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	47	4,995	2,411	3,748	5,114	1,959	3,260	5,629	4,306	4,307	
気温 (°C)	20分平均	0.491	0.343	0.360	0.345	0.385	0.399	0.467	0.401	0.436	0.383
	0-24時間平均	0.513	0.397	0.447	0.471	0.436	0.510	0.579	0.482	0.529	0.469
	24-48時間平均	0.581	0.382	0.408	0.539	0.364	0.355	0.501	0.492	0.527	0.510
	48-72時間平均	0.621	0.430	0.484	0.611	0.368	0.329	0.490	0.526	0.584	0.637
	72-96時間平均	0.475	0.443	0.456	0.574	0.466	0.432	0.540	0.535	0.612	0.681
日照時間 (分)	20分積算	-0.085	0.032	0.031	-0.012	0.072	0.026	0.021	0.057	0.041	0.005
	0-24時間積算	0.061	0.054	0.150	-0.036	0.062	0.120	0.077	0.090	0.061	0.026
	24-48時間積算	0.185	0.086	0.170	0.060	0.151	0.156	0.023	0.109	0.083	0.063
	48-72時間積算	0.202	0.020	0.057	0.053	0.062	0.043	-0.069	0.067	0.041	0.021
	72-96時間積算	0.004	-0.022	-0.062	0.029	-0.044	-0.069	-0.175	-0.035	-0.036	-0.024
v · cos (θ+π)	20分平均	0.092	0.047	0.252	0.097	0.057	0.289	0.197	0.034	0.105	0.079
	0-24時間平均	0.049	0.166	0.308	0.176	0.183	0.431	0.324	0.059	0.146	0.094
	24-48時間平均	0.225	0.181	0.209	0.234	0.231	0.353	0.307	0.059	0.130	0.075
	48-72時間平均	0.395	0.242	0.243	0.355	0.144	0.176	0.172	0.116	0.201	0.207
	72-96時間平均	0.340	0.307	0.241	0.418	0.188	0.108	0.116	0.147	0.228	0.302
v · sin (θ+π)	20分平均	-0.068	-0.233	-0.318	-0.228	-0.138	-0.226	-0.288	-0.249	-0.299	-0.280
	0-24時間平均	-0.075	-0.238	-0.372	-0.300	-0.150	-0.382	-0.388	-0.255	-0.347	-0.340
	24-48時間平均	-0.116	-0.187	-0.208	-0.322	-0.159	-0.310	-0.297	-0.225	-0.298	-0.266
	48-72時間平均	-0.299	-0.146	-0.096	-0.351	-0.100	-0.033	-0.141	-0.229	-0.315	-0.321
	72-96時間平均	-0.265	-0.154	-0.120	-0.385	-0.135	0.009	-0.145	-0.246	-0.361	-0.421

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

1 月

	センター 前	唐 津 湾			名 護 屋 浦			伊 万 里 湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	47	6,683	4,442	4,444	6,677	2,907	1,109	6,693	4,462	4,462	
気温 (°C)	20分平均	0.498	0.258	0.101	0.080	0.216	0.041	0.566	0.380	0.299	0.294
	0-24時間平均	0.590	0.339	0.233	0.209	0.281	0.100	0.698	0.437	0.343	0.360
	24-48時間平均	0.706	0.423	0.407	0.410	0.330	0.158	0.631	0.429	0.302	0.344
	48-72時間平均	0.706	0.420	0.431	0.439	0.282	0.121	0.567	0.384	0.256	0.359
	72-96時間平均	0.462	0.338	0.296	0.351	0.245	0.127	0.352	0.333	0.155	0.275
日照時間 (分)	20分積算	0.203	0.075	-0.095	-0.073	0.036	-0.120	0.192	0.176	0.186	0.123
	0-24時間積算	0.303	0.178	-0.003	0.015	0.135	0.149	0.558	0.297	0.316	0.264
	24-48時間積算	0.391	0.224	0.131	0.118	0.202	0.182	0.502	0.273	0.293	0.344
	48-72時間積算	0.406	0.253	0.237	0.236	0.271	0.272	0.421	0.257	0.282	0.348
	72-96時間積算	0.299	0.280	0.310	0.344	0.291	0.264	0.399	0.265	0.287	0.385
v · cos (θ+π)	20分平均	0.196	-0.051	-0.051	-0.066	-0.223	-0.098	0.259	0.045	0.119	0.080
	0-24時間平均	0.249	0.027	0.042	0.000	-0.106	-0.138	0.385	0.101	0.204	0.167
	24-48時間平均	0.253	0.079	0.209	0.187	0.083	-0.140	0.353	0.077	0.153	0.177
	48-72時間平均	0.228	0.094	0.289	0.283	0.042	-0.170	0.399	0.055	0.164	0.174
	72-96時間平均	0.284	0.045	0.228	0.246	0.023	-0.185	0.244	0.029	0.107	0.204
v · sin (θ+π)	20分平均	0.039	-0.086	0.187	0.174	0.110	0.237	-0.388	-0.281	-0.052	0.006
	0-24時間平均	-0.080	-0.082	0.101	0.103	0.108	0.217	-0.591	-0.308	-0.131	-0.049
	24-48時間平均	-0.171	-0.112	-0.099	-0.081	0.008	0.130	-0.663	-0.281	-0.168	-0.158
	48-72時間平均	-0.245	-0.129	-0.287	-0.268	0.005	0.097	-0.555	-0.233	-0.175	-0.151
	72-96時間平均	-0.245	-0.089	-0.345	-0.345	0.012	0.086	-0.526	-0.171	-0.235	-0.229

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

2 月

	センター 前	唐 津 湾			名 護 屋 浦			伊 万 里 湾			
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層	
サンプル数 (n)	38	4,608	2,520	2,521	3,907	2,520	1,756	4,609	2,521	2,521	
気温 (°C)	20分平均	0.532	0.386	0.321	0.257	0.519	0.267	0.246	0.579	0.227	0.103
	0-24時間平均	0.709	0.383	0.439	0.345	0.578	0.417	0.409	0.695	0.383	0.094
	24-48時間平均	0.699	0.302	0.458	0.323	0.566	0.452	0.527	0.694	0.466	0.095
	48-72時間平均	0.452	0.319	0.336	0.229	0.451	0.388	0.523	0.669	0.415	0.150
	72-96時間平均	0.288	0.301	0.112	0.087	0.371	0.251	0.371	0.582	0.286	0.234
日照時間 (分)	20分積算	-0.423	-0.097	-0.125	-0.124	-0.009	-0.095	-0.050	-0.006	-0.167	-0.254
	0-24時間積算	-0.199	-0.171	-0.140	-0.227	-0.125	-0.089	-0.160	-0.101	-0.273	-0.312
	24-48時間積算	-0.214	-0.091	-0.112	-0.038	-0.088	-0.065	-0.087	-0.106	-0.186	-0.055
	48-72時間積算	-0.111	-0.099	-0.037	-0.014	-0.018	0.021	-0.197	0.025	-0.073	-0.050
	72-96時間積算	-0.060	-0.136	0.062	0.126	-0.027	0.112	-0.026	0.080	-0.034	0.010
v · cos (θ+π)	20分平均	0.123	0.053	-0.066	-0.110	0.002	-0.032	-0.132	0.232	-0.171	-0.107
	0-24時間平均	0.204	0.227	0.087	0.091	0.203	0.149	0.027	0.355	-0.090	-0.065
	24-48時間平均	0.468	0.220	0.353	0.342	0.414	0.405	0.316	0.387	0.193	0.020
	48-72時間平均	0.504	0.215	0.457	0.377	0.312	0.478	0.396	0.442	0.314	0.066
	72-96時間平均	0.265	0.371	0.392	0.283	0.178	0.444	0.387	0.448	0.335	0.199
v · sin (θ+π)	20分平均	0.095	-0.126	0.026	0.097	-0.164	0.238	0.064	-0.301	0.019	-0.012
	0-24時間平均	-0.195	-0.229	0.157	0.214	-0.230	0.291	0.061	-0.370	0.037	0.023
	24-48時間平均	-0.186	-0.047	0.263	0.221	-0.243	0.363	0.209	-0.275	0.141	0.295
	48-72時間平均	-0.043	0.173	0.257	0.302	-0.156	0.367	0.233	-0.169	0.225	0.394
	72-96時間平均	-0.147	0.067	0.288	0.260	-0.088	0.422	0.339	-0.140	0.326	0.415

太字箇所: ρ ≠ 0 (α = 0.01) であった r, 網掛け箇所: 各項目の ρ ≠ 0 (α = 0.01) で |r| が最も高かった r

表5-5 自動観測水温と各気象データの相関一覧

3 月

	センター 前	唐 津 湾			名 護 屋 浦			伊 万 里 湾		
		表層	中層	底層	表層	中層	底層	表層	中層	底層
サンプル数 (n)	40	4,464	2,232	2,232	4,464	2,232	2,232	4,464	2,232	2,232
気温 (°C)	20分平均	0.202	0.441	0.169	-0.010	0.495	0.159	0.092	0.439	0.212
	0-24時間平均	0.398	0.510	0.248	0.043	0.560	0.302	0.206	0.548	0.310
	24-48時間平均	0.572	0.468	0.258	0.119	0.506	0.339	0.281	0.536	0.353
	48-72時間平均	0.502	0.469	0.281	0.195	0.455	0.389	0.363	0.524	0.374
	72-96時間平均	0.467	0.505	0.351	0.315	0.469	0.405	0.407	0.542	0.383
日照時間 (分)	20分積算	-0.250	0.028	0.090	0.105	0.024	0.068	0.069	-0.011	0.110
	0-24時間積算	0.151	0.056	0.285	0.291	0.050	0.264	0.264	0.011	0.283
	24-48時間積算	0.243	0.095	0.373	0.330	0.090	0.322	0.294	0.045	0.305
	48-72時間積算	0.252	0.006	0.357	0.281	-0.011	0.292	0.272	-0.010	0.286
	72-96時間積算	-0.039	-0.022	0.293	0.255	-0.038	0.296	0.292	-0.018	0.319
v · cos (θ + π)	20分平均	-0.144	0.006	-0.102	-0.242	0.016	-0.099	-0.123	-0.028	-0.080
	0-24時間平均	-0.022	0.035	-0.036	-0.215	0.033	-0.081	-0.139	-0.041	-0.101
	24-48時間平均	0.162	0.001	0.016	-0.118	0.011	-0.030	-0.082	-0.049	-0.039
	48-72時間平均	0.097	0.068	0.107	-0.004	0.076	0.153	0.105	0.018	0.122
	72-96時間平均	0.019	0.138	0.238	0.122	0.150	0.241	0.202	0.098	0.256
v · sin (θ + π)	20分平均	-0.078	-0.158	-0.105	-0.108	-0.207	-0.138	-0.128	-0.227	-0.143
	0-24時間平均	-0.130	-0.202	-0.063	-0.068	-0.282	-0.197	-0.197	-0.315	-0.242
	24-48時間平均	-0.134	-0.233	-0.036	-0.024	-0.295	-0.120	-0.121	-0.335	-0.203
	48-72時間平均	-0.205	-0.202	0.092	0.096	-0.213	0.036	0.021	-0.309	0.016
	72-96時間平均	-0.306	-0.245	0.215	0.105	-0.214	0.095	0.052	-0.302	0.165

太字箇所: $\rho \neq 0$ ($\alpha = 0.01$) であった r, 網掛け箇所: 各項目の $\rho \neq 0$ ($\alpha = 0.01$) で |r| が最も高かった r

b) 2009年2月に伊万里湾でみられた水温上昇現象

伊万里湾において、2月5日以降、平年率100%以上の高めで推移し、2月14日(258%)、15日(275%)と平年率250%以上となった(図6)。唐津湾では2月12日から17日までが150%以上、名護屋浦では2月16日に232%、17日が179%と高めであった(図6)。同時期の気象状況は、2月11日より気温が高くなり、2月12日から同15日の枝去木観測所における日平均気温の平年率は180~270%であった(図7)。なお、衛星画像による海水温は、佐賀県沿岸海域に水温上昇現象を引き起こすようなものではなかった。

この伊万里湾における水温上昇の要因として、同時期の気温が高かったことおよび九州周辺海面の水温分布状況が佐賀県沿岸海域に水温上昇を引き起こすようなものではなかったことより、当該海域周辺の気温の上昇が、その要因として考えられた。

2) 1979~2008年の長期の水温変動要因

a 気温変動

枝去木観測所、伊万里観測所、芦辺観測所における1979年から2008年までの日平均気温年平均値の平年率の変動を図8に、各観測所の日平均気温月平均値の月別水温上昇率を図9に示す。

各観測所の日平均気温年平均値の変動は、いずれの観測所においても1990および1994年を除き1996年まで低め

基調、1997年以降は高め基調で推移した。

月別の上昇率は、枝去木観測所では、2月、8~10月の水温上昇率が高く、最大値は10月の0.0621°C/年、最小値は6月の0.0235°C/年であった。伊万里観測所では、月別の水温上昇率は、2月、9~10月の水温上昇率が高く、最大値は10月が0.0637°C/年、最小値は6月の0.0178°C/年であった。芦辺観測所では、月別の水温上昇率は、2月、9~10月の水温上昇率が高く、最大値は10月の0.0634°C/年、最小値は6月の0.0277°C/年であった。

b 水温変動

センター地先における表層水温データの年平均値平年率、壱岐水道および対馬東水道の観測層別の水温の年平均値平年率の1979年から2008年まで30年間の変動を図10に示す。また、各観測地点における月別の水温上昇率を図11に示す。

センター地先における表層水温の平年率は1996年まで低め基調、1997年以降は高め基調で推移していた。

月別の水温上昇率は、1~6月および10~11月の上昇率は0.020°C/年を上回り、7~9月および12月は0.020°C/年を下回った。

壱岐水道における平年率は、表層及び30m層では、1997年まで低め基調、1998年以降は高め基調で推移し、底層では、1996年まで低め基調、1997年以降は高め基調

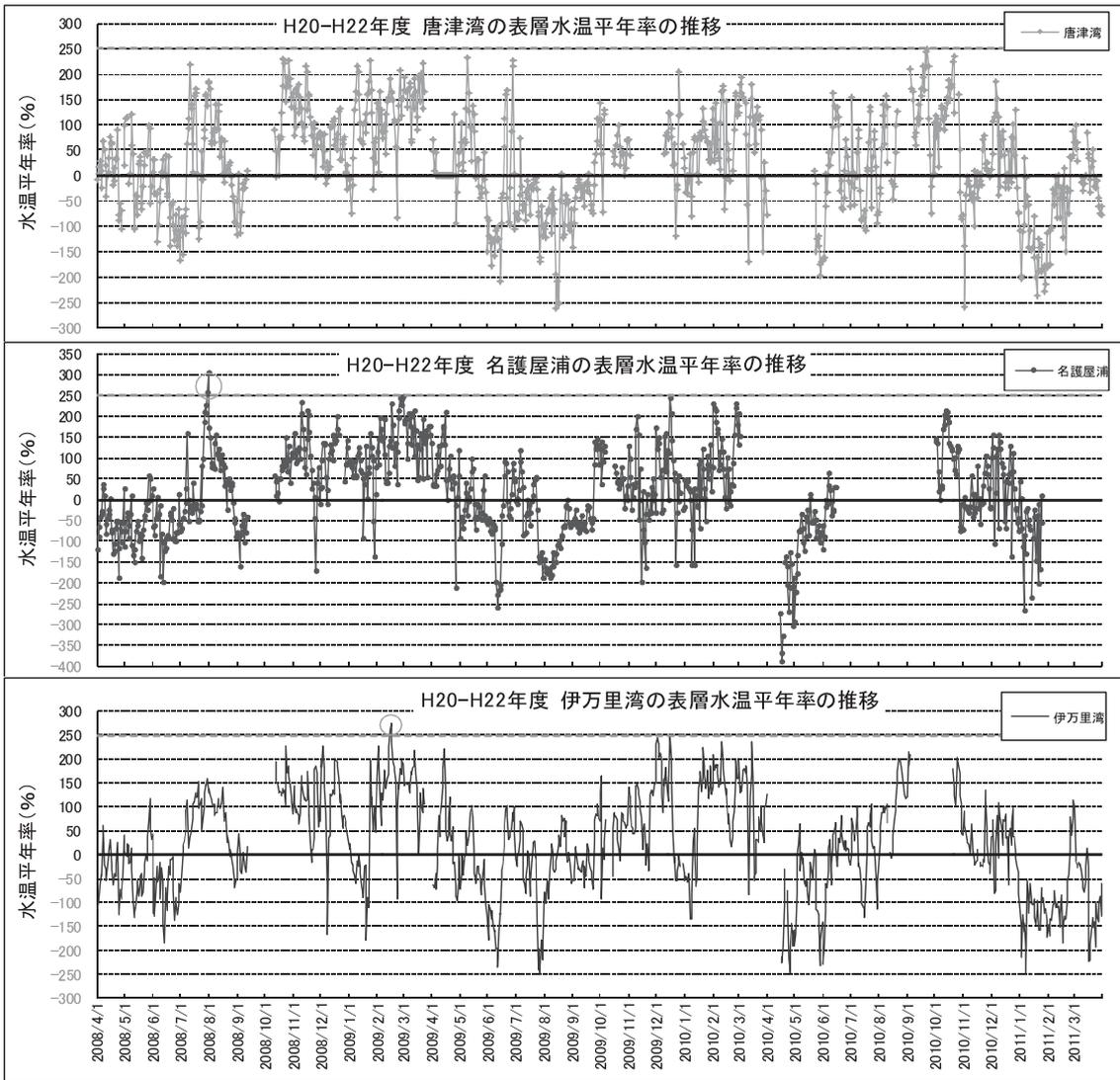


図6 沿岸域表層水温平年率の推移

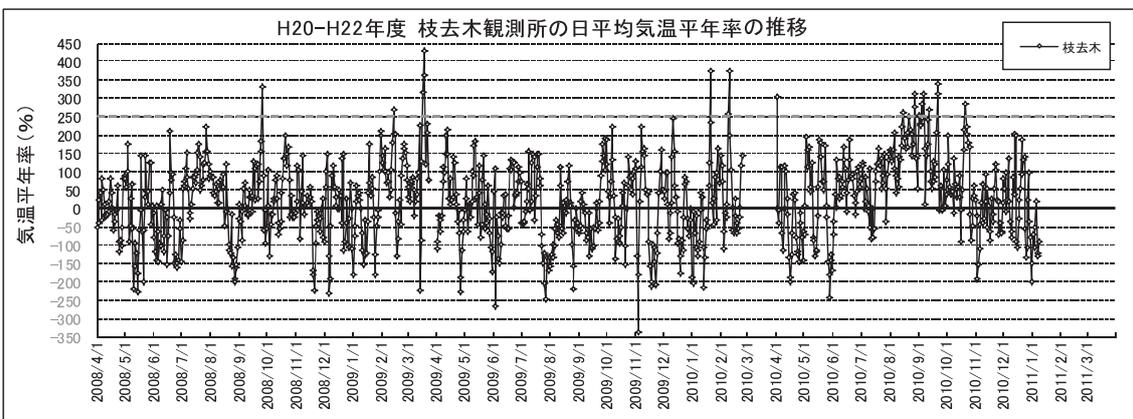


図7 日平均気温平年率の推移

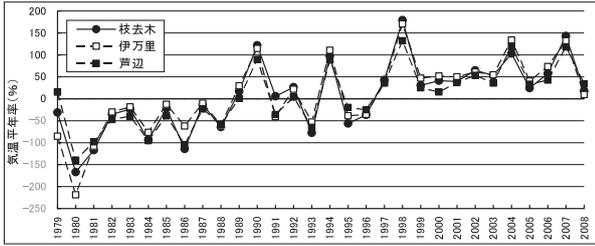


図8 気象庁地域気象観測所の日平均気温年平均値平年率の変動

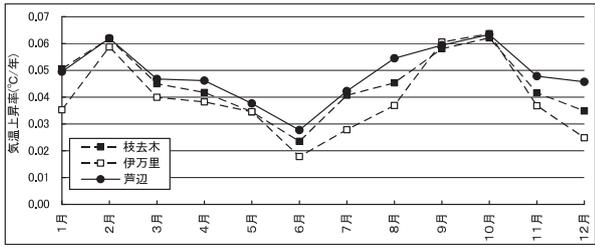


図9 気象庁地域気象観測所の日平均気温の月別水温上昇率

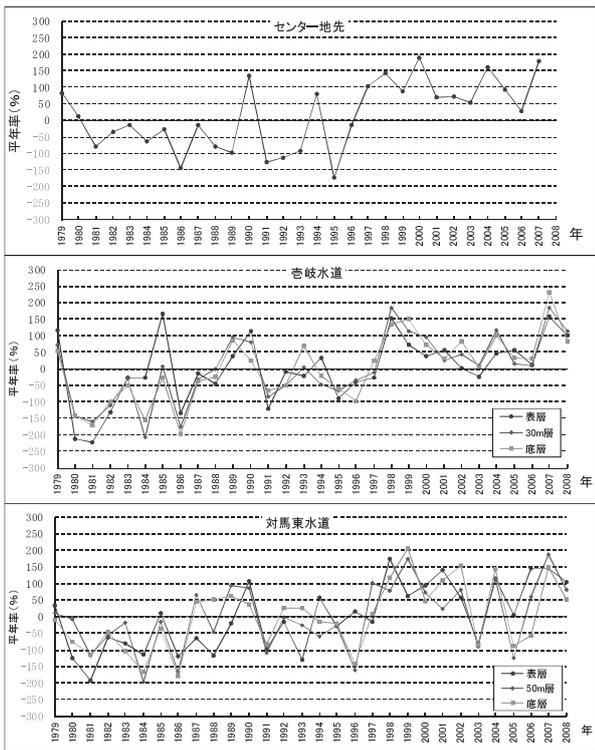


図10 センター地先、壱岐水道および対馬東水道の水温年平均値平年率の変動

で推移した。月別の水温上昇率は、表層が高く、特に8月は $0.048^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と最も高かった。30m層は、4月が $0.048^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と最も高く、水温の低い2～4月での水温上昇率も高かった。底層は、8月が $0.056^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と最も高

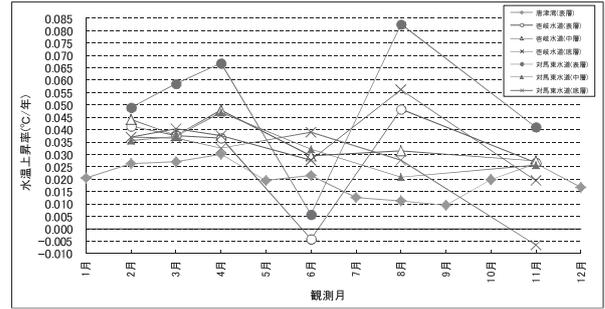


図11 玄海沿岸域の月別水温上昇率

かった。

対馬東水道における平年率は、各層とも、1997年まで低め基調、1998年以降は高め基調で推移した。月別の水温上昇率は、表層で8月の水温上昇率が $0.083^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と最も高く、6月の水温上昇率が $0.006^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と低かった。50m層は、4月の水温上昇率が $0.047^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と最も高く、水温の低い2～4月でも水温上昇率が高かった。底層は、6月の水温上昇率が $0.039^{\circ}\text{C}/\text{年}$ と最も高かった。

なお、センター地先、壱岐水道および対馬東水道で水温年変動が高めとなった1997年から1998年は日本海において全季節で明瞭な水温上昇が確認された時期¹⁹⁾と一致していた。

また、気温変動との比較では、センター地先および壱岐水道の水温年平均値平年率の変動と各観測所の日平均気温年平均値平年率の変動は、かなり類似していた。これは、両海域の水温変動が気温の変動に大きく影響を受けていると推測される。一方、対馬東水道の水温年平均値平年率の変動については、各観測所の日平均気温年平均値平年率の変動とある程度類似しているものの異なる部分も多い。この要因として、対馬東水道での水温変動では対馬暖流の流勢の影響を受ける部分も大きいことが考えられる。

また、月別上昇率については、センター地先が各観測所の日平均気温の月別水温上昇率の1～2ヶ月遅れの変動と類似していた。壱岐水道および対馬東水道では、各観測所の日平均気温の月別水温上昇率と同様の変動であった。

2. 過去の漁場環境や漁況変化と水温変動との関係

1) 漁場環境や漁況の変化

玄海沿岸域における主な沿岸漁業種類の漁業状況の間

き取り調査結果を表6に示す。

今回の聞き取り結果から、漁業者自身が1998年あたりを境に玄海沿岸海域の水温が上昇し始めたことと認識したとうかがうことができ、前述の「1 2) b」の結果を裏付けるとものとなっていた。

また、2003年から2004年を境に、吾智網やイカ釣りの漁船漁業では夏場の漁獲物の活魚出荷のために必要な活け間氷の量が増加し、採介採藻業では冬場のウエット

スーツが薄くなっていることから、これらの時期あたりから水温上昇が顕著になったのではないかと推定された。

さらに、ケンサキイカの分布域範囲の縮小、および分布水深の深化、夏場の高水温による活魚出荷およびアワビ類出荷前蓄養の困難化等海水温上昇に伴う悪影響がすでに出ていると確認できた。

表6 玄海沿岸域における主な沿岸漁業種類の漁業状況の聞き取り調査結果（2008年実施）

漁業種類	海 域	過去10年間ににおけるの漁業状況
定置網	佐賀県唐津市高島地先	<ul style="list-style-type: none"> ・以前は、4月から12月まで操業していたが、最近では4月から1月中旬までの操業。水温が下がったら魚がいなくなるが、水温が高くなっているようである。 ・カマス、タチウオが減った。サワラが遅れてきており、ヤナギ、サゴシは獲れているが、サワラが少なくなってきた。 ・水温が低くないと、松イカは入らない。 ・クマノミ等南方系の魚が時々獲れ、時化の後に獲れることが多い。 ・網の汚れが、4～5年前から早くなった。
イカ釣り	長崎県の山大島周辺から福岡県沖の島周辺	<ul style="list-style-type: none"> ・ここ3～4年くらいからケンサキイカの分布域の範囲が狭くなっている。 ・ケンサキイカを活魚で運ぶには27℃以下でなくてはならないが、表層水温が30℃以上なら、活間のイカの90%が死んでしまう。 ・近年、水温が高くなっており漁具を入れる水深が深くなっている。大島回り（水深100m）では、昔は水深10～20mで釣れたが、今は60～70mくらい深く入れないと釣れない。 ・昔は、長崎県鷹島北側から佐賀県加唐島南にかけての海底にケンサキイカの卵塊が筋上に産み付けられていたが、現在はほとんど見ない。 ・最近の夏は、海水温が高くて死ぬ。水揚げしたとき既に赤くなっているため、最初から鮮魚として漁獲している。
その他の釣り（マダイ）	長崎県壱岐周辺から同県対馬周辺	<ul style="list-style-type: none"> ・夏の潮が速くなっている気がする。 ・H17にスギが釣れた。なお、底定置網ではここ4～5年秋口に数尾のスギが入網している。 ・ここ数年、ミノカサガオが増えている。 ・マダイは18℃を境に餌を食ったり食わなかったりするが、その時期がずれてきている。 ・秋は水温が高いので遅くまで釣れる。
吾智網	佐賀県唐津湾から同県加唐島西側までの海域	<ul style="list-style-type: none"> ・ここ数年は、朝の満ち潮と夕方の引き潮時の潮の流れが速い（2ノット程度）。 ・漁獲したマダイは活間の水温25℃までは死なないが、活間に入れる氷が4～5年前までは2～3角でよかったが、現在は6角必要（40～60kg/角）。
	佐賀県馬渡島から同県向島の内側海域	<ul style="list-style-type: none"> ・小潮時の流れが逆になるなど潮流が変わってきたようであるが、季節的な要因もあるようである。 ・活間の水温が高い（27℃以上）ので魚が死んでしまう。 ・10年前くらいから水温が高くなり30℃を越えるようになったので、氷を2角（40kg/角）積んで漁に出ている。 ・サルノコシカケのような黄色の海藻が10～15年前から増えている。 ・冬のウエットスーツの生地厚が10年前までは冬8mmであったが今は6.5mmで、手袋も夏用でよい。
	佐賀県唐津市屋形石地先から同市呼子町大友地先	<ul style="list-style-type: none"> ・アワビは、H17年頃から夏の港内での蓄養中に2～3割が死ぬ。 ・アワビ類の出荷前蓄養は、海水温が30℃以上の時は3日は持たない（メガイ強く、クロ弱い）。 ・大型のニナが増えてきた（コシダカガンガラのようなもの？）。 ・ここ数年、これまで冬に見られなかった青い熱帯魚のような魚やハリセンボンがみられている。 ・4～5年前から冬場のウエットスーツが8mmから6.5mmとなり、冬場の水温が上がってきているようだ。 ・アワビの生活水温じゃなくなってきたようである。
採介・採藻	佐賀県唐津市鎮西町串崎地先から外津浦	<ul style="list-style-type: none"> ・アカウニの冬場の病気が減っているようで、環境（水温）が合ってきたのではないか。 ・漁獲物の蓄養については、水温27℃くらいが限度のようで高水温にクロアワビが弱い。 ・スズメダイ等の青い魚、チョウチョウウオ類をよくみる。 ・魚突きでイシダイ類を獲った場合、イシダイとイシガキダイの割合が半々くらいになる。
	佐賀県飯屋湾	<ul style="list-style-type: none"> ・10年前から、水深2mまで石灰藻増えた。 ・磯の水温は10年前より2℃高い。7～8年前から冬のスーツを8mmから6.5mmに変更し、3mmのチョッキも着ない。またここ2～3年は冬場に手がかじかむことがない。 ・潮の流れが昔に比べ一定でない。ここ5～6年は流れが読めない。 ・10年前からみられ始めたガンガゼは、7～8年前から増え始めた。 ・ニザダイが最近増えた。
トラフグ養殖	佐賀県唐津市大島西地先	<ul style="list-style-type: none"> ・水温が31～32℃になってもトラフグ養殖に問題なかった。
	佐賀県伊万里湾	<ul style="list-style-type: none"> ・トラフグは、30℃を超えても元気がよく、32℃でも変わらない。 ・生け簀等への水温27～28℃以上で死ぬムラサキイガイやミズボヤの付着が減った。 ・3～4年前から冬でもマダイを避寒せず、伊万里市波多津地先に置きっぱなしでも大丈夫になっている。
マガキ養殖	佐賀県唐津市鳩川地先	<ul style="list-style-type: none"> ・生産は問題ない。 ・死貝の中にナマコ等が入っていたものが、2006年頃よりガンガゼが多くなってきた。 ・ロープ等には7年前頃まではムラサキイガイが多かついていたが、最近ではほとんどついていない。
	佐賀県唐津市鎮西町名護屋地先	<ul style="list-style-type: none"> ・生産は問題ない。 ・同漁場で2～3月に発生していたウニの棘抜け（13℃以下で発生）が5年前くらいから無くなり、水温も上がってきている。 ・7年前くらいからガンガゼが見え始めた。 ・南方系の魚は、10年前から見え始めた。

2) 主要定置網の漁獲量および魚種組成の変化等

玄海沿岸海域の主要定置網4ヶ統で漁獲されたサワラ、スルメイカおよびヤリイカの年別月別漁獲推移を図12に示す。

サワラでは、その水揚げ対象サイズは、1998年までは大型サイズ（銘柄；サワラ）が大半を占めていたが、1999年後半頃からは小型サイズ（銘柄；サゴシ・ヤナギ）がそのほとんど占めようになり、漁獲量も増加していた。この現象は同じ対馬暖流域である福岡県志賀島の小型定置網でもみられていた²⁰⁾。なお、1998年以降は対馬東水道および壱岐水道で水温が高め傾向で推移している（図11）。また、対馬暖流下流域の日本海においては2000年頃からは水温の上昇がみられはじめ、サワラの漁獲量も増加し始めていた²¹⁾。今回確認された現象については、対馬暖流域の海水温が高めに推移したことによりサワラの小型魚の分布域に影響を及ぼし、当該海域への来遊量が増えたことが要因の一つと推測された。

スルメイカでは、水揚げ対象サイズのほとんどを大型サ

イズ（銘柄；松イカ）が占めており、年別月別の水揚げ状況では、1993年までは海水温が高くなる8、9月の2ヶ月間以外の月で水揚げがみられたが、1994年からは7、10月の水揚げがほとんどみられなくなり、1998年以降は7、10月の水揚げがみられなくなり、さらに6、11月の水揚げ量もほとんどなく、水揚げされる期間が12月から5月までの冬期から春期に限定されていた。ヤリイカでは、1995年までは1月から4月の低水温期を中心に、水温が高くなる7月でも水揚げがみられたが、1996年頃から1月から4月の低水温期にのみ水揚げがみられるようになり、水揚げ量自体もかなり減少していた。

上記イカ類2種に関しては、一年魚であり月別年別漁獲量の変動はその年の資源量の増減に左右されるところが大きいと考えられる。しかしながら、スルメイカは猛暑となった1994年から、またヤリイカはセンター前水温、対馬東水道および壱岐水道で水温年平均値が高めとなった1997年前後から漁獲月の減少がみられた。そのため、これらイカ類2種は、水温上昇により漁獲月が減少

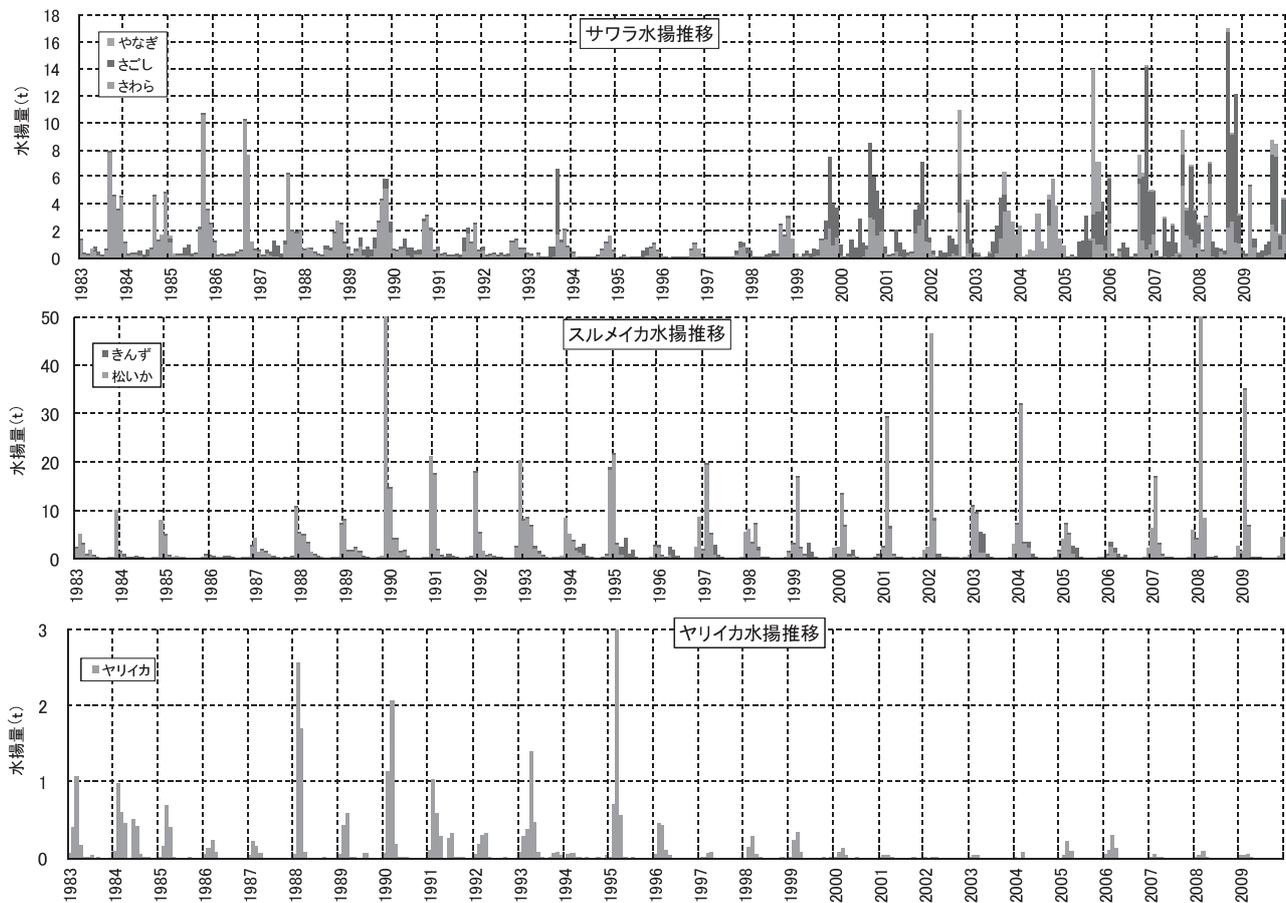


図12 佐賀県玄海沿岸の主要定置網4ヶ統で漁獲されたサワラ、スルメイカおよびヤリイカの漁獲推移

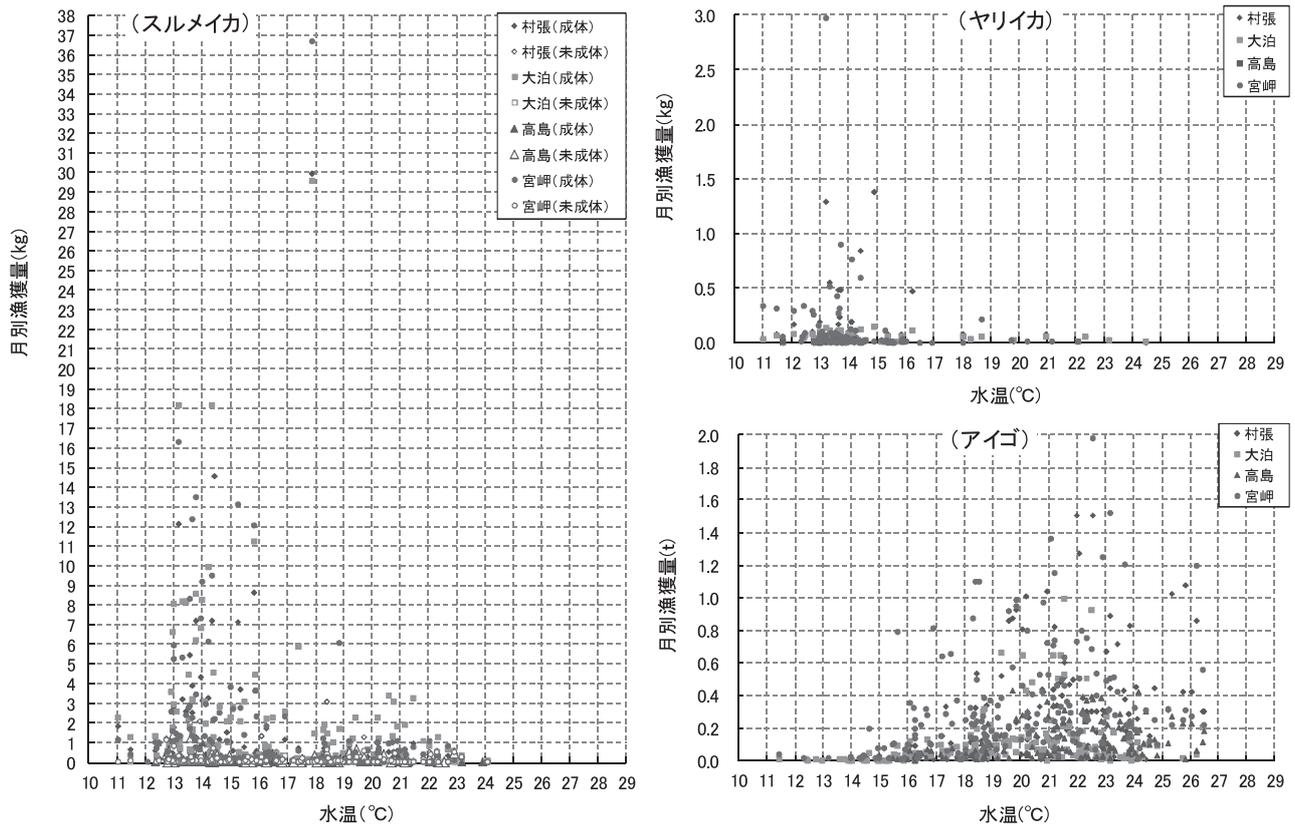


図13 各魚種の月別漁獲量と漁獲当月水温の相関

表7 過去30年間の年水温上昇傾向（データ期間：1971年～2000年）

海域区分	場所	地点	所定層	平均水温	水温上昇率 (°C/年)	過去30年間の水温上昇傾向	
						(°C/30年)	95%信頼限界
玄海上浦 海域	唐津湾	定点1	表層	18.0	0.0144	0.432	±0.019
			表層	18.8	0.0190	0.569	±0.275
	唐津沿岸	定点5	10m層	18.6	0.0017	0.051	±0.024
			20m層	18.4	0.0100	0.299	±0.145
玄海中浦 海域	名護屋浦	定点12	表層	18.8	0.0160	0.480	
			表層	19.0	0.0107	0.322	±0.156
	玄海町沿岸	定点10	10m層	18.7	0.0086	0.257	±0.124
			20m層	18.6	0.0116	0.349	±0.169
玄海下浦 海域	伊万里湾	定点13	表層	18.3	0.0140	0.420	
			底層	17.9	0.0296	0.888	
			0m層	19.1	0.0197	0.592	±0.286
壱岐水道 海域	唐津沖合	定点6	10m層	18.8	0.0145	0.436	±0.211
			20m層	18.6	0.0157	0.472	±0.228
			50m層	18.2	0.0124	0.372	±0.180
	玄海町沖合	定点11	0m層	19.3	0.0117	0.352	±0.170
			10m層	19.0	0.0085	0.256	±0.124
			20m層	18.7	0.0081	0.242	±0.117
			50m層	18.2	0.0103	0.310	±0.150
気象庁「海洋の健康診断表」 東シナ海北部			表層	19.4	0.0151	0.450	±0.016

注) 網掛けの所定層は、データ期間が短いため、長期変動が捉えることが出来ていないことを示す。
また、信頼限界のない所定層はデータ期間が短いため算出できなかったことを示す。

したものと推測された。

3) 定置網で漁獲される水産生物と水温変動の関係

各魚種の月別の漁獲量と水温の相関を図13に示す。

スルメイカでは、未成体（きんず）の生息水温が5～28℃、成体（まついか）の漁獲水温が16℃（対馬近海、冬イカ）⁵⁾、22～23℃（対馬近海、秋イカ）⁵⁾とされているが、主要定置網での漁獲時水温は11.0～24.0℃で、12.5℃～21.0℃の間で高い漁獲量がみられた。11℃という水温は今回の観測地点における最低値と推測される。このことから、スルメイカの回遊適水温の上限値は21.0℃付近、回遊可能水温の上限値は24℃付近と推測できた。

ヤリイカでは、漁獲水温は7～23℃（福島）⁵⁾とされているが、主要定置網での漁獲時水温は11.0～24.5℃で、11℃～16.5℃の間で高い漁獲量がみられた。このことからヤリイカの回遊適水温の上限値は16.5℃付近、回遊可能水温の上限値は24.5℃付近と推測できた。

アイゴでは、生息水温の下限が10～10.5℃（未成魚では10～13.5℃）⁶⁾とされているが、主要定置網での漁獲

時水温は11.5～26.5℃で、15.0℃～26.5℃の間で高い漁獲量がみられた。26.5℃は今回の観測地点における最高値と推測される。このことより、アイゴの回遊適水温の下限値は15.0℃付近、回遊可能水温の下限値は11.5℃付近と推測できた。

以上のことから、これら3魚種の主要定置網での漁獲時期、漁獲量の変動は、温暖化による水温変動を検討する指標として活用できると考えられた。

なお、定置網設置海域の水温変動と定置網の漁獲物の変化については、吉田ら²²⁾が1994年10月から1995年9月にかけて、同じ玄界灘の福岡県福岡市東区志賀島地先の底層の定地水温の日別平均水温とその周辺の小型定置網の主要漁獲物15種の日別漁獲量を用い、各魚種の詳細な漁獲水温範囲および主漁獲水温帯の検討を行っている。吉田ら²²⁾の報告では今回の3魚種については検討されていなかったが、玄海沿岸海域の主要定置網で漁獲される主魚種については検討されており、それらの魚種について、今回の検討方法と吉田ら²²⁾の方法とでの整合を検証する必要があると考える。

表8 過去30年間の季節別水温上昇傾向（データ期間：1971年～2000年）

海域区分	場所	地点	所定層	過去30年間の水温上昇傾向（℃/30年、95%信頼限界）			
				冬季	春季	夏季	秋季
玄海上浦 海域	唐津湾	定点1	表層	0.583±0.034	0.561±0.019	0.135±0.041	0.450±0.026
			表層	1.644±0.033	0.016±0.031	0.058±0.046	0.090±0.042
	唐津沿岸	定点5	10m層	1.617±0.031	-0.071±0.028	-1.010±0.038	-0.116±0.039
			20m層	1.941±0.030	0.077±0.028	-1.116±0.037	-0.058±0.038
玄海中浦 海域	名護屋浦	定点12	表層	1.939±0.031	-0.011±0.024	-0.453±0.043	-0.103±0.039
			表層	1.811±0.030	0.075±0.022	-0.932±0.039	0.358±0.040
	玄海町沿岸	定点10	10m層	1.811±0.030	0.075±0.022	-0.932±0.039	0.358±0.040
			20m層	1.834±0.029	0.583±0.035	-1.052±0.034	0.396±0.040
玄海下浦海域	伊万里湾	定点13	表層				
			底層				
	唐津沖合	定点6	0m層	1.896±0.034	-0.008±0.030	0.068±0.045	0.058±0.036
			10m層	1.718±0.034	-0.219±0.027	-0.281±0.040	-0.065±0.033
20m層			1.696±0.034	0.030±0.028	-0.277±0.037	-0.125±0.034	
50m層			1.567±0.033	0.118±0.028	-0.581±0.038	-0.166±0.028	
壱岐水道 海域	玄海町沖合	定点11	0m層	1.475±0.035	0.158±0.029	-0.650±0.051	-0.147±0.035
			10m層	1.660±0.036	0.096±0.026	-1.314±0.045	0.002±0.030
			20m層	1.922±0.032	0.265±0.027	-1.194±0.036	0.032±0.029
			50m層	1.527±0.035	-0.038±0.028	-1.095±0.037	0.168±0.025
気象庁「海洋の健康診断表」 東シナ海北部			表層	0.417±0.031	0.398±0.017	0.376±0.027	0.591±0.022

注) 網掛けの所定層は、データ期間が短いため、長期変動が捉えることが出来ていないことを示す。
また、信頼限界のない所定層はデータ期間が短いため算出できなかったことを示す。

3. 水温変動予測

1) 過去の水温上昇傾向

1971年から2000年までのデータを基にした年平均値による過去30年間の水温上昇傾向を表10に示す。

この期間のデータ解析では、玄海中浦海域の定点12の表層、玄海下浦海域の定点13の表層、底層はデータ期間が短かったため、長期変動が捉えることが出来ていなかった。

しかし、玄海中浦海域の定点12の表層、玄海下浦海域の定点13の表層定点の所定層については、他の定点と比較して異常な値ではなかったため、今回は、参考データとして用いた。過去30年間の水温上昇傾向は、表層では0.0107~0.0197℃/年の範囲にあり、海域別にみると佐賀県玄海上浦海域では0.0144~0.0190℃/年、中浦海域では0.0107~0.0160℃/年、下浦海域では0.0140℃/年、壱岐水道海域では0.0117~0.0197℃/年であった。東シナ海北部海域平均海面水温の上昇率0.0151℃/年（気象庁「海洋の健康診断表」より）と比較すると、上浦海域の定点5と壱岐水道海域の定点6は、これを上回り、中浦海域の定点10と壱岐水道海域の定点11は下回った。

また、鉛直方向の水温上昇率は、壱岐水道海域の定点6の表層が0.0197℃/年であり、下層に向かって低くなり、海面下50m層では0.0124℃/年であった。

その他の各海域、所定層のうち、玄海上浦~下浦海域の海面下20m層（0.0100~0.0116℃/年）と壱岐水道海域の海面下50m層（0.0103℃/年）表層（0.0107~0.0190℃/年）では同程度にあり、海面下10m層（0.0017~0.0086℃/年）で水温上昇率が低かった。

また、季節毎による30年間の水温上昇傾向を表8に示す。各海域の表層における過去30年間の水温上昇は、冬季が0.583~1.941℃/30年、春季が-0.219~0.583℃/30年、夏季が-1.314~0.135℃/30年、秋季が-0.166~0.450℃/30年にあり、冬季に大きい傾向にあった。夏季は、上浦海域と壱岐水道海域の表層で上昇傾向がみられ、その他の海域、所定層では低下する傾向にあった。鉛直的な水温上昇傾向は、各海域ともに下層に比べて表層で上昇する傾向にあったが、壱岐水道海域の定点11では夏季を除いて海面下20m層で水温上昇が大きくなる傾向がみられた。

東シナ海北部海域平均海面水温の上昇率0.376~

0.591℃/30年（気象庁「海洋の健康診断表」より）と比較すると、冬季では上回り、春季、夏季及び秋季では下回った。特に夏季の水温上昇傾向は、各海域ともに大きく下回った。

2) 各海域の水温上昇予測

2000年を基準とした10年後、50年後の各海域の水温上昇予測を図14および表9に示す。

玄海上浦海域では、表層が2010年までに0.14~0.19℃、2050年までに0.72~0.95℃の水温上昇が、10m層で2010年までに0.02℃、2050年までに0.09℃の水温上昇が、20m層で2010年までに0.10℃、2050年までに0.50℃の水温上昇が予測された。玄海中浦海域では表層で2010年までに0.11~0.16℃、2050年までに0.54~0.80℃の水温上昇が、10m層で2010年までに0.09℃、2050年までに0.43℃の水温上昇が、20m層で2010年までに0.12℃、2050年までに0.58℃の水温上昇が予測された。玄海下浦海域では表層で2010年までに0.14℃、2050年までに0.70℃の水温上昇が、底層で2010年までに0.30℃、2050年までに1.48℃の水温上昇が、20m層で2010年までに0.12℃、2050年までに0.58℃の水温上昇が予測された。壱岐水道海域では表層で2010年までに0.12~0.20℃、2050年までに0.59~0.99℃の水温上昇が、10m層で2010年までに0.09~0.15℃、2050年までに0.43~0.73℃の水温上昇が、20m層で2010年までに0.08~0.16℃、2050年までに0.41~0.79℃の水温上昇が、50m層で2010年までに0.10~0.12℃、2050年までに0.52~0.62℃の水温上昇が予測された。

各海域における水温予測を他の水温上昇シナリオとの比較を行うと、玄海上浦海域では、内湾の定点1がB1シナリオを下回る上昇傾向を示し、沿岸の定点5は0m層が気象庁B1からA1Bに準じた上昇傾向を示したものの他の層はB1シナリオよりも上昇傾向が小さかった。玄海中浦海域では、内湾の定点12の0m層がB1シナリオに準じた上昇傾向を示し、沿岸の定点10の全層でB1シナリオよりも上昇傾向が小さかった。玄海下浦海域では、定点13の0m層でB1シナリオを下回る上昇傾向を示した。壱岐水道海域では、定点6の表層で気象庁A1BとB1の間の上昇傾向であり、20m層でB1シナリオに準じた上昇傾向を示し、10m層および50m層でB1シナリオよりも上昇傾向が小さかった。定点11で

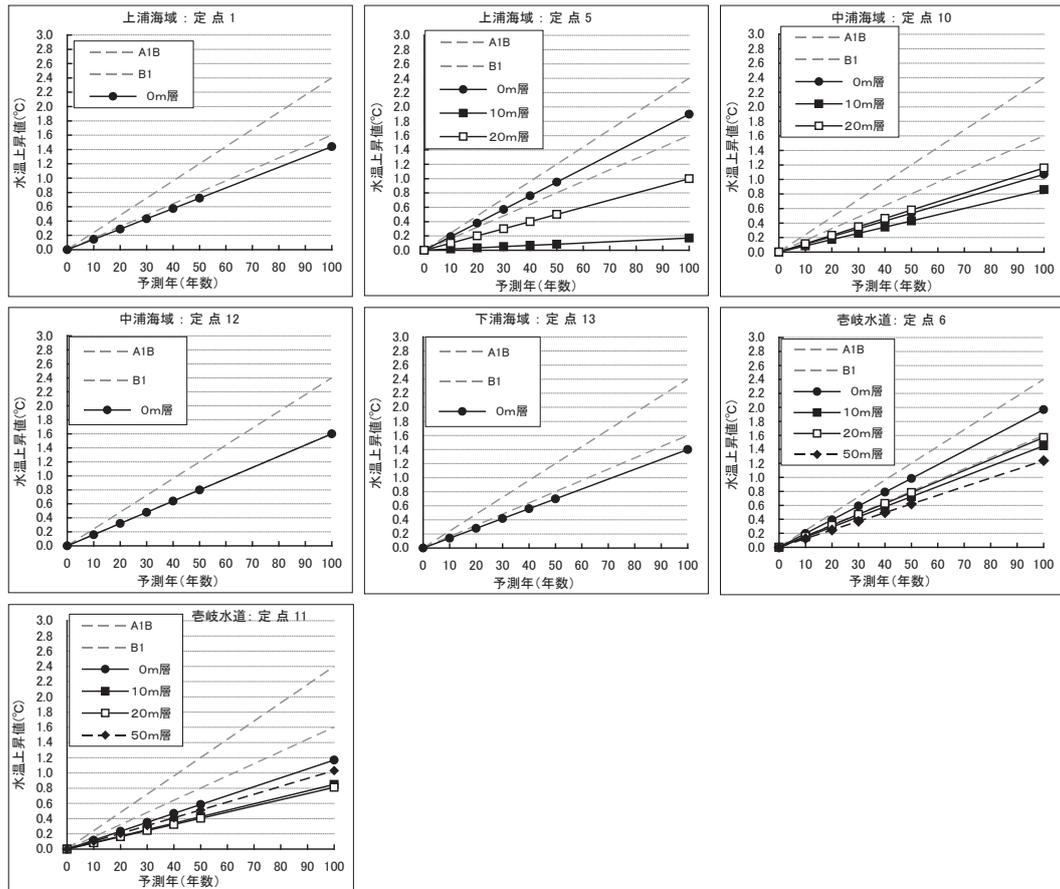


図14 各検討定点における水温上昇傾向

表9 各海域の水温上昇率と予測上昇水温

単位：℃

海域区分	場所	地点	所定層	水温上昇率 (℃/年)	10年後 (2010年)	50年後 (2050年)	100年後 (2100年)
玄海上浦 海域	唐津湾	定点1	表層	0.0144	0.14	0.72	1.44
			表層	0.0190	0.19	0.95	1.90
	唐津沿岸	定点5	10m層	0.0017	0.02	0.09	0.17
			20m層	0.0100	0.10	0.50	1.00
玄海中浦 海域	名護屋浦	定点12	表層	0.0160	0.16	0.80	1.60
			表層	0.0107	0.11	0.54	1.07
	玄海町沿岸	定点10	10m層	0.0086	0.09	0.43	0.86
			20m層	0.0116	0.12	0.58	1.16
玄海下浦 海域	伊万里湾	定点13	表層	0.0140	0.14	0.70	1.40
			0m層	0.0197	0.20	0.99	1.97
壱岐水道 海域	唐津沖合	定点6	10m層	0.0145	0.15	0.73	1.45
			20m層	0.0157	0.16	0.79	1.57
			50m層	0.0124	0.12	0.62	1.24
	玄海町沖合	定点11	0m層	0.0117	0.12	0.59	1.17
			10m層	0.0085	0.09	0.43	0.85
水温上昇シナリオ			A1B	0.0240			2.40
			B1	0.0160			1.60

表10 各海域の水温変動予測と実測値の比較

単位：℃

海域区分	場所	地点	所定層	1971～2000年のデータから求めた 水温変動予測 (A)		1971～2010年のデータから求めた 水温変動 (B)		水温差 (B - A)	
				水温上昇率 (℃/年)	2000～2010年の 上昇水温値 (℃)	水温上昇率 (℃/年)	2000～2010年の 上昇水温値 (℃)	水温上昇率 (℃/年)	2000～2010年の 上昇水温値 (℃)
玄海上浦 海域	唐津湾	定点1	表層	0.0144	0.14	0.0212	0.21	0.0068	0.07
			表層	0.0190	0.19	0.0242	0.24	0.0052	0.05
	唐津沿岸	定点5	10m層	0.0017	0.02	0.0119	0.12	0.0102	0.10
			20m層	0.0100	0.10	0.0167	0.17	0.0067	0.07
玄海中浦 海域	名護屋浦	定点12	表層	0.0160	0.16	0.0119	0.12	-0.0041	-0.04
			表層	0.0107	0.11	0.0165	0.17	0.0058	0.06
	玄海町沿岸	定点10	10m層	0.0086	0.09	0.0140	0.14	0.0054	0.05
			20m層	0.0116	0.12	0.0173	0.17	0.0057	0.06
玄海下浦 海域	伊万里湾	定点13	表層	0.0140	0.14	0.0181	0.18	0.0041	0.04
			底層	0.0296	0.30	0.0094	0.09	-0.0202	-0.20
壱岐水道 海域	唐津沖合	定点6	表層	0.0197	0.20	0.0239	0.24	0.0042	0.04
			10m層	0.0145	0.15	0.0194	0.19	0.0049	0.05
			20m層	0.0157	0.16	0.0185	0.19	0.0028	0.03
			50m層	0.0124	0.12	0.0166	0.17	0.0042	0.04
	玄海町沖合	定点11	表層	0.0117	0.12	0.0126	0.13	0.0009	0.01
			10m層	0.0085	0.09	0.0120	0.12	0.0035	0.04
			20m層	0.0081	0.08	0.0131	0.13	0.0050	0.05
			50m層	0.0103	0.10	0.0160	0.16	0.0057	0.06
気象庁「海洋の健康診断表」 東シナ海北部			表層	0.0151	0.15	0.0165	0.16	0.0014	0.01

は、各層ともにB 1シナリオよりも上昇傾向が小さかった。

また、今回の水温予測について、2010年の水温上昇予測値と1971年から2010年までの実測値の一次回帰による比較検証を行った(表10)。

その結果、玄海上浦海域では1971年から2010年までの水温上昇率は0.0119～0.0242℃/年で、2000年から2010年までの水温上昇値は0.12～0.24℃で、予測値との差は+0.05～+0.10℃であった。玄海中浦海域では、1971年から2010年までの水温上昇率は0.0119～0.0173℃/年で、2000年から2010年までの水温上昇値は0.12～0.17℃で、予測値との差は-0.04～+0.06℃であった。玄海下浦海域では1971年から2010年までの水温上昇率は0.0094～0.0181℃/年で、2000年から2010年までの水温上昇値は0.09～0.18℃で、予測値との差は-0.20～+0.04℃であった。壱岐水道海域では、1971年から2010年までの水温上昇率は0.0120～0.0239℃/年で、2000年

から2010年までの水温上昇値は0.12～0.24℃で、予測値との差は+0.01～+0.06℃であった。

以上のように、玄海中浦海域の定点12の表層、玄海下浦海域の定点13を除くすべての定点の水温上昇率で予測値を上回った。この要因としては、1997年から1998年以降玄海沿岸海域の水温が高めで推移していることがあげられ、気象庁「海洋の健康診断表」の東シナ海北部の水温上昇率についても、1971～2000年が0.0117℃/年であったのに対し、1971～2010年が0.0124℃/年と+0.0014℃/年増加しており、同様の傾向が見られていた。

なお、上記の水温変動予測については、関連データの収集及び解析を随時行い、検証及び修正を行う必要があると考える。

4. 水温上昇が水産生物へ及ぼす影響検討

各検討対象定点における水温上昇による10年後(2020

表11-1 将来の水溫上昇による各対象種への変化予測

【漁業対象種】

種名	対象ステージ	適水温(℃)	漁獲期・産卵期(盛期)	10年後の変化予測(2020年)	40年後の変化予測(2050年)	
回遊性	マアジ	成魚期 13~25	通年(5~12月)	・8~10月に適水温を超え、回遊量が減少	・8~9月に適水温を超え、回遊量が減少 ・盛期の期間は長期化するが、実質的な盛期の短期化	
	マサバ	成魚期 13~22	通年(11~翌2月)	・盛期の遅れ ・7~11月に適水温を超え、回遊量が減少	・盛期の遅れ(10年後より顕著) ・7~11月に適水温を超え、回遊量が減少	
	カタクチイワシ	産卵期	12~28	春季:2~4月 秋季:9~10月	・春季産卵期の短期化、秋季産卵期の長期化	・春季産卵期の短期化、秋季産卵期の長期化(10年後よりさらに進行)
		幼稚魚期	8.5~31	通年(7~翌4月)	・盛期の早まり	・盛期の早まり(10年後よりさらに進行)
		成魚期	8.5~31	通年(7~翌4月)	・盛期の早まり	・盛期の早まり(10年後よりさらに進行)
	ケンサキイカ	産卵期	16~20.5	4~10月	・7~11月に適水温を超え、産卵行動への影響あり ・期間そのものは長期化するが、実質的に短期化	・7~12月に適水温を超え、産卵行動への影響あり ・期間の短期化
		成魚期	12~27	3~10月(3~7月)	・7~11月に適水温を超え、回遊量が減少 ・漁獲期の遅れ、盛期の短期化	・7~12月に適水温を超え、回遊量が減少 ・漁獲期の遅れ、盛期の短期化(10年後よりさらに進行)
	マダイ	産卵期	13~23	4~5月	・産卵期の早まり	・産卵期の早まり(10年後よりさらに進行)
		幼稚魚期	14~26.7	4~6月	・幼稚魚期の早まり	・幼稚魚期の早まり(10年後よりさらに進行)
		成魚期	8~28	通年(4~11月)	・盛期の長期化	・盛期の長期化(10年後よりさらに進行)
定着性	カサゴ	成魚期 7~21	通年(12~翌5月)	・7~11月に適水温を超え、生息量が減少 ・盛期の短期化	・7~11月に適水温を超え、生息量が減少 ・盛期の短期化(ともに10年後よりさらに進行)	
	ヒラメ	産卵期	11~23	3~7月	・産卵期の短期化	・産卵期の短期化(10年後よりさらに進行)
		幼稚魚期	12~28	4~8月	・幼稚魚期の早まり	・幼稚魚期の早まり(10年後よりさらに進行)
性	クロアワビ	成魚期	12~23	通年(12~翌2月)	・8~10月に適水温を超え、生息量が減少 ・盛期の遅れ	・8~10月に適水温を超え、生息量が減少 ・盛期の遅れ(ともに10年後よりさらに進行)
		底生期	10~28	4~9月	・漁獲期の長期化	・漁期の長期化(10年後よりさらに進行)
	マナマコ	産卵期	15~24	11~12月	・産卵期前の8~10月の適水温超えの影響有り ・産卵期の遅れ	・産卵期前の8~10月の適水温超えの影響有り ・産卵期の遅れ(ともに10年後よりさらに進行)
		底生期	10~27.5	9~10月、12~翌4月(12~翌3月)	・秋季漁期の長期化、冬春季漁期の短期化	・秋季漁期の長期化、冬春季漁期の短期化(10年後よりさらに進行)
マナマコ	底生期	8~17	12~翌3月	・5~12月の適水温超えによる深層への移動や斃死 ・漁期の短期化	・5~12月の適水温超えによる深層への移動や斃死 ・漁期の短期化(ともに10年後より顕著)	

年)、40年後(2050年)における各対象種の変化予測の結果について、表11に示す。

各対象種の変化予測を基に、各検討対象種の水溫上昇による影響を検討した結果は次のとおりである。

1) 漁業対象種

マアジでは、漁獲盛期は開始時期が早まり終了時期が遅くなるが、漁獲盛期の適水温超えによる回遊量の減少により漁獲量が減少する可能性が考えられた。

マサバでは、漁獲期が遅くなり、漁獲盛期前もしくは初期の適水温超えによる回遊量の減少により漁獲量が減少する可能性が考えられた。

カタクチイワシでは、漁期および漁期盛期には全体としては大きな変化ないが、産卵期の期間が春季に短く、

秋季に長くなる可能性が考えられた。

ケンサキイカでは、産卵期は、期間後期に適水温を超えるため、産卵量が減少することが予想され、また、漁獲盛期の期間が短くなる可能性が考えられた。

マダイでは、産卵時期が早まる可能性があり、漁獲盛期の期間が長くなる可能性が考えられた。

カサゴおよびヒラメでは、漁獲盛期が遅れ、短期化する可能性が考えられた。

アカウニでは、漁期が長くなる可能性が考えられた。

クロアワビでは、産卵期が短くなる可能性があり、秋季の漁期は長くなるが、冬季の漁期は短くなる可能性が考えられた。

マナマコでは、漁期が短くなる可能性が考えられ、適

表11-2 将来の水温上昇による各対象種への変化予測

【養殖対象種】

種名	対象ステージ	適水温(℃)	期間	10年後の変化予測(2020年)	40年後の変化予測(2050年)
マダイ	種苗(当歳魚)期	10~30	通年	・ほとんど影響ない。	・ほとんど影響ない。
	成魚期	8~28	通年	・ほとんど影響ない。	・St.13で8月に適水温超えによる成育障害あり
トラフグ	種苗(当歳魚)期	16~29	通年	・ほとんど影響ない。	・ほとんど影響ない。
	成魚期	11~29	通年	・ほとんど影響ない。	・ほとんど影響ない。
ブリ	種苗(当歳魚)期	15~29	通年	・ほとんど影響ない。	・ほとんど影響ない。
	成魚期	12~29	通年	・ほとんど影響ない。	・ほとんど影響ない。
マガキ	底生期	0~26	通年	・8~9月に適水温超えによる成育障害あり	・8~9月に適水温超えによる成育障害あり(10年後より可能性が高い)
エゾアワビ	底生期	10~25	通年	・8~10月に適水温超えによる活性低下	・8~10月に適水温超えによる活性低下(10年後より期間の長期化)
アコヤガイ	底生期	10~28	通年	・ほとんど影響ない。	・ほとんど影響ない。

【藻場構成種】

種名	対象ステージ	適水温(℃)	期間	10年後の変化予測(2020年)	40年後の変化予測(2050年)
アラメ	胞子体期	10~20	通年	・6~11月の高水温期に枯死が促進され、藻場が衰退する可能性あり	・6~11月の高水温期に枯死が促進され(10年後より長く)、藻場が衰退する可能性あり
	成熟期	15~24	9~翌3月	・期間の短期化	・成熟期の短期化
ホンダワラ類	葉体期	19~25	通年	・8~10月の高水温期に枯死が促進され、藻場が衰退する可能性あり	・8~10月の高水温期に枯死が促進され(10年後より長く)、藻場が衰退する可能性あり
	成熟期	15~23	2月中旬~7月中旬	・期間の短期化	・期間の短期化(10年後より進行)
ヒジキ	成熟期	19~28	5~8月	・St.12以外で期間の長期化 ・St.12で期間の短期化	・St.12以外で期間の長期化傾向が進行 ・St.12で期間の10年後より短期化傾向が進行し、繁茂が抑制される可能性あり

水温を超える期間に深層への移動や斃死の可能性が考えられた。

2) 養殖対象種

トラフグおよびブリでは、水温変動に伴う影響はほとんど無いものと考えられた。

マダイでは、一部の海域で高水温により養殖が困難になる可能性が考えられた。

マガキ、エゾアワビでは、夏季に適水温を超えるため、身痩せしたり、養殖が困難になる可能性が考えられた。

アコヤガイでは、水温変動に伴う影響はほとんど無いものと考えられた。

3) 藻場構成種

アラメ、ホンダワラ類では、成熟期の短期化や胞子体期もしくは葉体期における適水温超えによる生長阻害等の影響が出てくる可能性が考えられた。

ヒジキでは、一部の海域で、夏季の高水温期に適水温を超えることが予想されるため、水温上昇により繁茂する海域と衰退する海域が出てくるものと考えられた。

なお、温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測については桑原ら²³⁾による報告がある。その中の佐

賀県沿岸海域を含む福岡県沿岸から沖縄県沿岸までの東シナ海区における水産生物への影響予測があり、今回の影響検討結果との比較を行うと、魚種により影響予測が異なっている。これらの水産生物への水温上昇に伴う影響予測についても、随時関連資料を収集及び解析し、検証および修正を行うことが重要であると考えられる。

文 献

- 1) 福岡管区気象台・長崎海洋気象台・沖縄気象台 2009; 異常気象レポート九州・山口県・沖縄版2009, 109-111.
- 2) 気象庁 2008; 地球温暖化予測情報, 23-24.
- 3) 梅田智樹・千々波行典2009; 水温・塩分自動観測データ転送システム等機器整備事業. 平成19年度佐賀県玄海水産振興センター業務報告書, 143-144.
- 4) 梅田智樹・千々波行典 2010; 自動観測ブイを用いたリアルタイム沿岸漁場環境モニタリングによる地球温暖化影響評価手法の開発(地先型). 平成20年度佐賀県玄海水産振興センター業務報告書, 155-156
- 5) (社)日本水産資源保護協会 1981; 水生生物生態資料.
- 6) (社)日本水産資源保護協会 1983; 水生生物生態資料(続)
- 7) (社)日本水産資源保護協会 1980; 水産生物適水温図.
- 8) (社)日本水産資源保護協会 1983; 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理.

- 9) 財海洋生物環境研究所 1977: 沿岸海域水生生物と水域環境の関係に関する文献調査報告書.
- 10) 財海洋生物環境研究所 1991: 沿岸至近域における海生生物の生態知見 魚類・イカタコ類編.
- 11) 財海洋生物環境研究所 1991: 沿岸至近域における海生生物の生態知見 貝類・甲殻類・ウニ類編
- 12) 下茂繁・秋本泰・高浜洋 2000: 生生物の温度影響に関する文献調査. 海洋生物環境研究所研究報告第2号.
- 13) 上田拓 2009: ケンサキイカ産卵場と海水温との関係. 福岡水産海洋技術センター技術報告第19号, 61-67.
- 14) 馬場将輔 2007: ホンダワラ類8種の初期成長に及ぼす温度と光量の影響. 海洋生物環境研究所研究報告第10号, 9-20.
- 15) 須藤俊造 1951: ヒジキの卵・精子の放出及び遙拝の離脱と着生について. 日本水産学会誌第17巻第1号, 9-12.
- 16) 伊藤龍星 2006: ヒジキ養殖実用化技術開発事業. 平成18年度大分県農林水産研究センター水産試験場事業報告, 184-188.
- 17) 梅田智樹・伊賀田邦義・山田東也・秋山秀樹 2011: 佐賀県沿岸における地球温暖化が沿岸漁場環境へ与える影響の評価手法の検討. 平成21年度佐賀県玄海水産振興センター業務報告書, 148-152.
- 18) 梅田智樹・広瀬茂・山田東也・秋山秀樹 2012: 佐賀県沿岸における地球温暖化が沿岸漁場環境へ与える影響の評価手法の検討. 平成22年度佐賀県玄海水産振興センター業務報告書.
- 19) 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. 沿岸海洋研究第44巻第1号, 19-24.
- 20) 上田拓・的場達人 2009: サワラ漁獲量と水温との関係. 福岡水産海洋技術センター技術報告第19号, 69-74.
- 21) 為石日出成・藤井誠二・前林篤 2005: 日本海のレジームシフトと漁況(サワラ・ブリ)との関係. 沿岸海洋研究第42巻第2号, 125-131.
- 22) 吉田幹英・秋本 聡 2000: 筑前海の沿岸水の水温変動と定置網漁業. 福岡県水産海洋技術センター研究報告第10号, 85-90.
- 23) 桑原 久実・明田 定満・小林 聡・竹下 彰・山下洋・城戸 勝利 2006: 温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測. 地球環境 Vol. 11, No. 1, 49-57.