

筑前海沿岸環境の経年変動傾向とその要因について

江崎 恭志・江藤 拓也
(研究部)

筑前海沿岸域の水温・栄養塩量・クロロフィル量について、その近年における変動傾向を、対馬暖流主流域・内湾域(福岡湾)それぞれとの相互関係という側面から検討した。

直近61年間の水温の長期変動については、年代の古い順に「平衡期」「低温期」「高温期」に区分でき、そのうち低温期については夏季の水温低下が、高温期については冬～春季の水温上昇が、それぞれ寄与していることがわかった。また、近年の冬季においては、福岡湾内とその地先沿岸域の水温変動の相関が弱くなっていた。

2000年代以降については、福岡湾内の環境変化に伴う栄養塩のアンバランスや、水産動物の餌料としての植物プランクトンの減少などが窺われた。

キーワード：筑前海，沿岸環境，水温，栄養塩量，クロロフィル量

本県の筑前海沿岸域では、まき網・二そうごち網など様々な漁船漁業によって多種多様な魚介類が資源として利用されているが、近年ではイカナゴ・カタクチイワシ等、重要魚種の資源量が著しく減少するなど、生産が不安定になっている。

このため、様々な角度から資源変動に関する研究が行われているが、資源変動に強く影響を与える海洋環境との関係から論じた研究は少ない。

ここでは、海洋環境と資源変動との関係を解明する端緒として、これまでに当センターにおいて調査した長期の海洋観測データをもとに、主要漁場である沿岸域の水温・栄養塩量等の環境条件について、対馬暖流の影響を強く受ける沖合域と陸域の影響を受ける内湾域の環境条件との同時系列の比較を行うことで、その変動傾向を整理した。

方 法

図1に示す定点において毎月1回月上旬に観測したデータを統計解析に供した。定点は、沿岸域の代表点として玄界島北西沖、沖合域の代表点として対馬東方沖、内湾域の代表点として福岡湾内の3点とし、相互に比較検討した。観測層は、長期的な変動を議論するため、日々の気象条件等による短期的影響を受けない水深10mとした。

解析対象項目・年代は、以下のとおりとした。

水温：1949～2009年 61年間
DIN・PO₄-P 濃度：2000～2009年 10年間
chl-a 濃度：1998～2009年 12年間

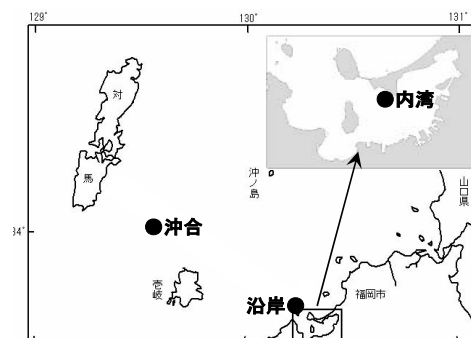


図1 調査定点

上記項目のうち、水温については長期にわたるデータセットが存在し長期変動の議論が可能であるが、他については年代が直近10～12年程度に限られるためそれが困難である。そこで本研究では、まず水温データから、長期的な変動傾向とそれの中の近年の位置付け・特性を明らかにし、次にそれを踏まえて近年の栄養塩量・クロロフィル量の傾向について検討を加えた。

結 果

1. 水温

(1) 沿岸域における長期変動

沿岸域の年平均水温について、年偏差(=当該年の値-61年間平均値)およびその累積値の経年変化を図2に示した。偏差の推移を見ると、1949～1967年(19年間)で

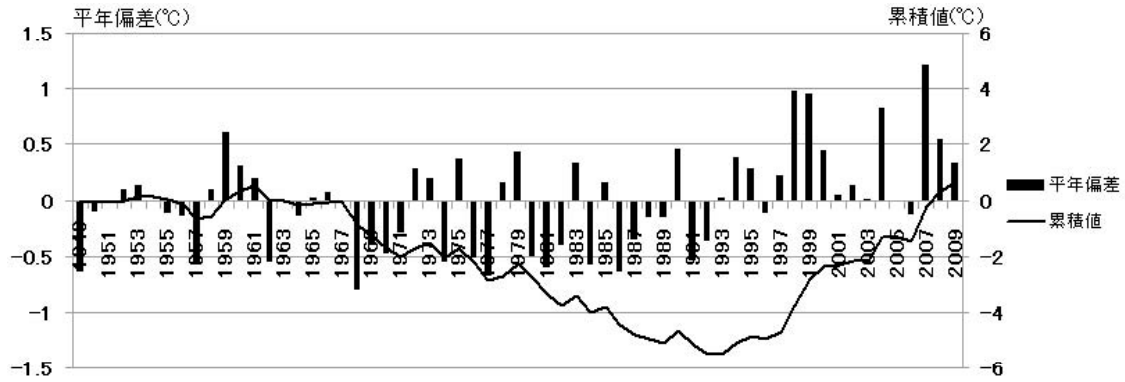


図2 沿岸域における水温の平年偏差およびその累積値の経年変化

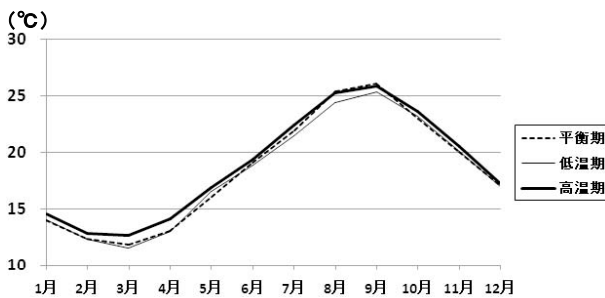


図3 沿岸域における各年代の水温の経月変化

は正負とも顕著な傾向が見られなかったが、続く1968～1993年(26年間)は負偏差傾向となり、さらに1994～2009年(16年間)では正偏差に転じていた。このように、対象年代を大きく三つの年代に区分できることがわかった(以下、順に「平衡期」「低温期」「高温期」という。)

これらの各年代における水温の経月変化(月毎の平均水温)を図3に示した。低温期については高水温季の水温低下が、また高温期については低水温季の水温上昇が、それぞれ認められた。このことを踏まえ、低温期・高温期と平衡期の平均水温の差とその統計的評価について、季節別に、それぞれ表1に示した。低温期については、春季(4～6月)・夏季(7～9月)・秋季(10～12月)・冬季(1

～3月)のうち、夏季のみ水温低下(t検定による1%有意水準)が認められた。高温期については、春季・冬季に水温上昇(同1%)が、また秋季にも弱いながら同様の傾向(同5%)が認められた。

(2) 各海域間の変動の相関

沖合-沿岸間および沿岸-内湾間の水温変動の相関とその統計的評価について、年代別・季節別に、表2に示した。沖合-沿岸間では、低温期・高温期とも、すべての季節で、強い相関($R > 0.8$, 1%有意水準)が認められた。これに対して、沿岸-内湾間では、冬季に相関が弱く、特に高温期においては有意な相関が認められなかった。

沿岸-内湾間の季節別・年代別の水温の関係を図4-①に示した。また気温の影響の検証のため、相関の認められなかった高温期の冬季における沿岸・内湾両海域の水温と気温(月平均気温・福岡管区气象台, 1986-2009)との関係を図4-②に、それぞれ示した。両海域間の水温差は、春季・夏季および初秋季では小さかったが、盛秋季以降および冬季では内湾で相対的に水温が低くなっていた。また、高温期の冬季における水温と気温の関係では、両海域とも同程度の強い相関を示した。

表1 低温期・高温期と平衡期の平均水温の差と

その統計的評価

	春季	夏季	秋季	冬季
低温期-平衡期	-0.07°C	-0.72°C	0.06°C	-0.03°C
高温期-平衡期	0.61°C	0.01°C	0.54°C	0.71°C

検定による有意水準... **:1% * :5% -:有意差なし

表2 海域間の水温変動の相関係数とその統計的評価

	春季	夏季	秋季	冬季	
沖合-沿岸	低温期	0.947	0.815	0.952	0.949
	高温期	0.949	0.810	0.945	0.898
沿岸-内湾	低温期	0.969	0.754	0.922	0.541
	高温期	0.986	0.967	0.928	0.306

有意水準... **:1% * :5% -:有意でない

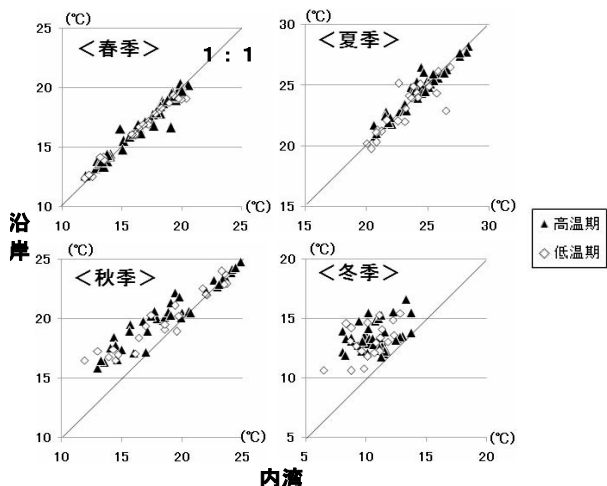


図4-① 各年代における内湾-沿岸間の水温の関係

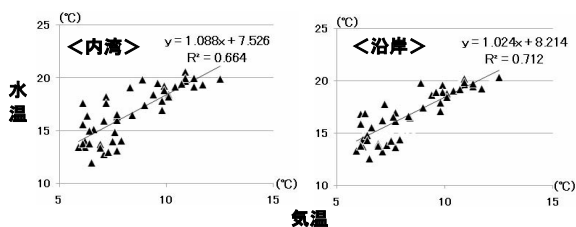


図4-② 高温期の冬季における気温と水温の関係

2. 栄養塩量・クロロフィル量

(1) 海域間の比

沖合-沿岸間・沿岸-内湾間それぞれのDIN・PO₄-P濃度の関係について、季節別に、図5に示した。沖合-沿岸間(図5-①)では、DIN・PO₄-Pは互いに類似した傾向を示した。すなわち、どちらの海域でも、概して夏季には濃度が低下し、かつ沿岸で沖合より高濃度の場合が多く、また冬季には濃度が回復し、かつ沖合で沿岸より高濃度の場合が多かった。これに対して、沿岸-内湾間(図5-②)では、DIN・PO₄-Pは互いに異なる傾向を示した。すなわち、DINはいずれの季節でも内湾で沿岸より高濃度傾向であるにも関わらず、PO₄-Pは季節によって異なっており、概して冬季・春季の低水温期において内湾で沿岸より低濃度で、しばしば濃度0となった。一方、夏季・秋季の高水温期では内湾の方が沿岸より高濃度になっていた。

(2) 沿岸域における窒素・リンのバランス

沿岸域におけるDIN・PO₄-P濃度の経年変化(12ヶ月移動平均)について図6に、またDINとPO₄-P濃度の関係について図7に、それぞれ示した。DINは2000年頃高水準で、その後2002年にかけて減少したが、再び増加し2006年に最高となっていた。PO₄-Pは2000年から2002

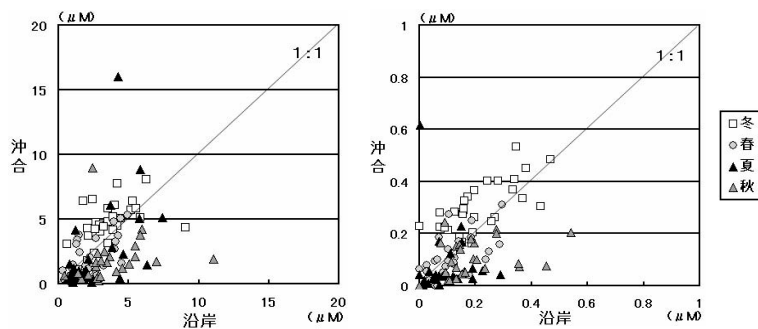


図5-① 沖合-沿岸間のDIN(左)・PO₄-P(右)の関係

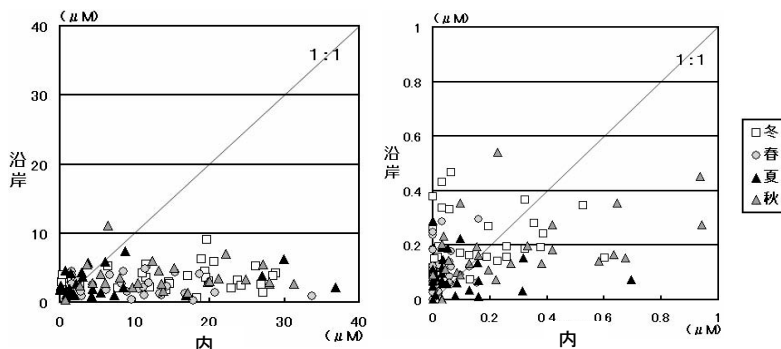


図5-② 沿岸-内湾間のDIN(左)・PO₄-P(右)の関係

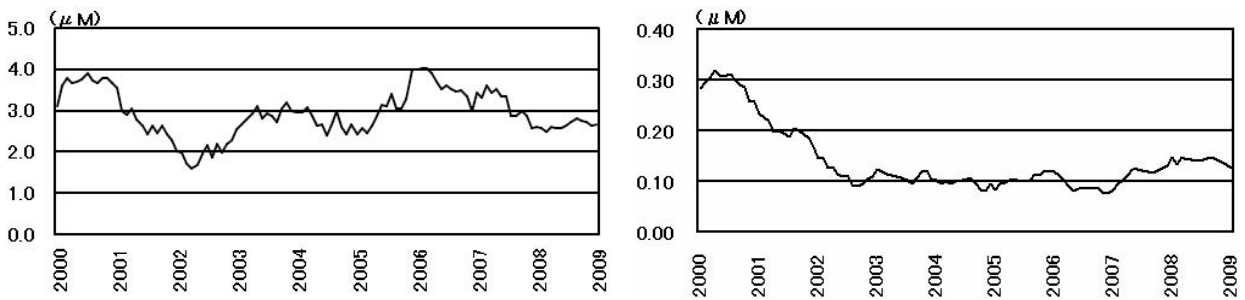
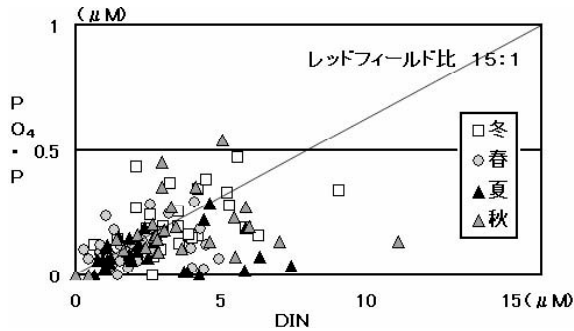
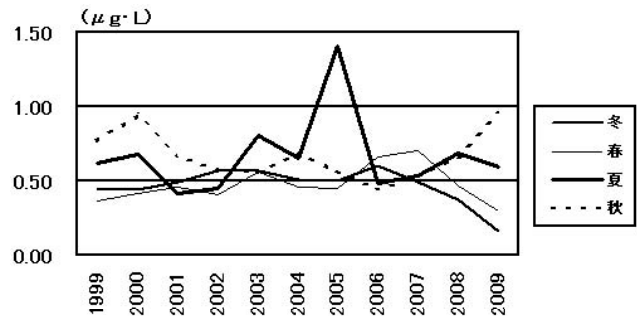
図6 沿岸域におけるDIN(左)・PO₄-P(右)濃度の経年変化図7 沿岸域におけるDINとPO₄-P濃度の関係

図8 沿岸域におけるchl-a濃度の経年変化

年かけて大きく低下し、その後現在まで低水準で横ばい傾向で推移していた。すなわち、特に2002年以降でDINとPO₄-Pの変化傾向が大きく異なっていた。またこの濃度変化に伴い、N/P比がレッドフィールド比の15:1より顕著に大きくなっていった。

(3) クロロフィル量の経年変化

沿岸域におけるchl-a濃度の季節別(3ヶ月平均値)の経年変化を図8に示した。春～秋季については年変動が大きく明確な傾向が見られなかったが、2007年以降、冬季・春季の低水温期において減少傾向が窺われた。

考 察

1. 水温

一般に、海水温の変動の要因としては、ローカルな気象等の変化のほか、地球規模での気候の変化、いわゆるレジームシフトが挙げられる。近年では1998年の変化が有名であり、これがレジームシフトに当たるかどうか、多くの議論がなされている。¹⁾

本研究で明らかになった、筑前海沿岸域の水温変動傾向は、1999年以降の高水温化という点では、地球規模の傾向と合致することから、その影響を窺うことができる。しかし、それ以前の年代においては必ずしも合致していないこと、またこの沿岸域は水深が浅く陸域の地形や気象の影響を受けやすいことから、筑前海とその周辺のロ

ーカルな要因が相当程度に関与していることが推察される。

近年における高水温季の水温低下や、低水温季の水温上昇は、東京湾²⁾・備讃瀬戸³⁾・豊後水道⁴⁾等、日本各地の内海および内湾域で報告されている。このうち、安藤ら(2003)²⁾は、東京湾での夏季の水温低下は外海水の湾内への流入増大によるものと推論している。同じく近藤ら(2005)⁵⁾は、福岡湾内の夏季水温の低下傾向について、その要因が湾内の成層強度の増大・エスチャリー型鉛直循環の強化に伴う湾内外の海水交換の増大である可能性を指摘した上で、秋～冬季の水温上昇についてはその原因が湾外に求められるとしている。本研究で示された筑前海沿岸域における水温変動もまた、これらの傾向と軌を一にしている可能性がある。

沿岸～内湾間の水温の相関が、冬季において他の季節より弱くなっている理由については、ひとつの仮説として、浅い内湾域の水温変動が暖流に接する沿岸域よりも気温に依存する度合いが大きいことが考えられる。しかし、沿岸・内湾両海域の水温と気温の関係からは、内湾域が特段に気温に大きく依存した水温変動傾向を取っていることは窺えない。その他の可能性としては、両海域間の海水交換が何らかの理由で減退している可能性が考えられる。一般的に、沿岸と内湾の海水交換に影響を与える大きな要因としては降水量が挙げられるが、福岡湾周辺の降水量のデータ(福岡管区气象台, 1968-2009)によれば、本研究で言う低温期の月間降水量は冬季で平均

84.6mm(最小13.0～最大223.5, 以下同じ), 秋季で74.1mm(16.5～200.5), また同高温期では冬季で77.7mm(27.0～208.0), 秋季で76.3mm(11.0～256.5)であり, 年代間や季節間で差がなかったことから, 主として降水量の低下により海水交換が減退しているという説明は妥当性に欠ける。ここでは, 冬季に前述の現象が降水量と無関係に起こっていることを指摘するに留めたい。

2. 栄養塩量・クロロフィル量

栄養塩量・クロロフィル量については, データセットの存在する年代が直近10ヶ年程度に限られており, 前項の水温のような長期的変動の検証をすることはできない。しかしながら, この年代は前項の「高温期」に当たっており, 水温のデータから沿岸-内湾間の海水交換の変化の可能性も窺えるため, この年代の栄養塩等の分布の傾向についても併せて検討を加えることは有意義であろう。

栄養塩については, 沖合-沿岸の関係では, 夏季では活発な基礎生産が行われるために全体的に冬季より低栄養となるが, 沿岸では降雨に伴う陸域からの栄養塩供給がなされるために相対的に沖合より高栄養になるという説明が可能である。

一方, 沿岸-内湾の関係では, 一般的には福岡湾のような都市化の進んだ内湾が栄養塩の供給源となるために, 栄養塩は内湾に偏在すると考えられる。本研究のデータを見ると, DIN についてはそのような傾向が認められるが, PO₄-P についてはそうではない。近年の福岡湾内の窒素・リンのバランスは窒素側にしばしば偏っているが,⁶⁾このことは同海域がリン制限的であり, 内部生産によって PO₄-P が0レベル近くまで消費されることを示している。

福岡湾沿岸の福岡市都市圏では, 1994～1999年度に下水道高度処理施設整備が行われ, 特にリンの同湾への下水道経由での負荷は軽減されてきていると考えられる。江藤ら(2011)⁷⁾は, ボックスモデルを用いたシミュレーションにより, 1990年代以降の冬季では福岡湾は湾外に対してリンの供給源たりえなくなっており, 逆に湾外からリンの供給を受けて内部生産を行っていることを指摘している。沿岸-福岡湾間の海水交換が減退しているという仮説に立てば, 結果として湾内のリン消費が進行し, さらに沿岸域が湾内から流出するリン欠乏海水に暴露されることが推測される。

ここで沿岸域の PO₄-P 濃度を見ると, 2000年代初頭に大きく減少した後低位横這いで, N / P 比も著しく窒素寄りになる例が見られるが, このことから福岡湾に隣接するこの海域に同湾の環境が強く影響していることが窺われる。

chl-a 濃度についても, 解析年代が新しくデータ数が少ないものの, 冬季において減少傾向にある可能性が示唆された。海洋における食物連鎖の基礎となる植物プランクトン量は, より高次の栄養段階生物のバイオマス, ひいては漁業資源量全体にも影響を及ぼすことから, 栄養塩の量およびバランスと共に, 筑前海沿岸域の漁業生産力を左右する要素として, 近年重要になってきていると言える。

以上のように, 水温については過去数10年スパンでの変動傾向を把握し, また直近10年程度については栄養塩・クロロフィルの現状を明らかにした。しかしながら, 海洋環境は長期的なスケールで変動するため, 今後とも海洋環境に関するモニタリング, および知見の蓄積とこれに基づく再検討を, 継続的に実施していく必要がある。

文 献

- 1) 水産海洋学会：1998年に日本周辺でレジームシフトは起こったか？. 水産海洋シンポジウム 2004.
- 2) 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 2003 ; 12(4) : 407-413.
- 3) 山本昌幸：瀬戸内海中央部の備讃瀬戸における水温と塩分の長期変動. 水産海洋研究 2003 ; 67(3) : 163-167.
- 4) 木村聡一郎：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 2004 ; 5 : 1-10.
- 5) 近藤明希子・磯辺篤彦・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 2005 ; 14(3) : 399-409.
- 6) 片山幸恵・江藤拓也・江崎恭志：福岡湾の水質環境の長期変動について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 19 : 51-59.
- 7) 江藤拓也・片山幸恵・江崎恭志：福岡湾における栄養塩収支. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2011 ; 21 : 47-58.