

福岡湾における貧酸素水塊の発生状況

篠原 満寿美
(研究部)

Formation and Decay of Hypoxia in the Fukuoka Bay

Masumi SHINOHARA
(Research Department)

福岡湾は、福岡市の北西部に位置する半閉鎖的な内湾である。湾内には、河川水の流入や福岡市及びその周辺都市からの生活・都市排水等の処理水が放流されており、それらに含まれる栄養塩で湾内は富栄養化が進んでいる。湾奥部では周年にわたって赤潮が発生し、夏期には底層で貧酸素水塊（ここでは水産用水基準における底生魚介類の漁獲量に影響を及ぼす底層の酸素濃度3.0ml/l以下の水塊をいう。また、この状況を以下「貧酸素状態」という）が度々形成されている。湾内では、小型底びき網漁業やカタクチイワシを中心としたまき網漁業及びノリ・ワカメ養殖などの多様な漁業が営まれている。近年、クルマエビ等の底生魚介類の漁獲量が減少するなど、赤潮や貧酸素水塊が漁業に及ぼす影響が懸念されている。

貧酸素水塊は、底層水の酸素濃度が低下することによって生じる現象である。底層での酸素濃度は、水平あるいは表層からの移流や拡散による酸素供給量と底層での有機物等の分解による酸素消費量の均衡によって決まると考えられる。

湾内に供給される多量の淡水が、湾内での成層の発達や有機物の増加に関与していると推察される。福岡湾における貧酸素水塊に関する報告は少なく、その実態等については不明な点が多い。そこで、福岡湾における貧酸素水塊の発生実態を把握する目的で、湾内で夏期に実施された調査資料の整理を行った。また、貧酸素水塊の発生と陸上からの淡水流入量との関係について明らかにするとともに、湾内のクルマエビ漁獲量と貧酸素水塊との関連性についても検討を行った。

方 法

解析に用いた資料は、福岡湾の'80年から'96年までの7月と8月の調査データを用いた。本調査では、図1に示した調査点で、7、8月に月2～4回の割合で調査を行っており、クロロテック（アレック電子 ACL 208PDK）を用いて、1m毎の水温、塩分を、また、DOメータ（YSI社 MODEL58）を用いて、表層、5m、及び底層の溶存酸素濃度（DO）を測定した。同時に3層（表層、5m、底層）で採水を行い、栄養塩類（NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、PO₄-P）を測定した。

一方、淡水流入量は、湾内への河川流入量と下水処理場の放水量の合計とし、河川流入量は、福岡県内の一級河川である遠賀川の流量¹⁾を参考にして、湾内に流入する河川とその流域面積比から算出した。また、下水処理場からの放水量は福岡市下水処理管理年報²⁾より求めた。福岡湾のクルマエビ漁獲量は福岡市農林水産統計³⁾を用いた。

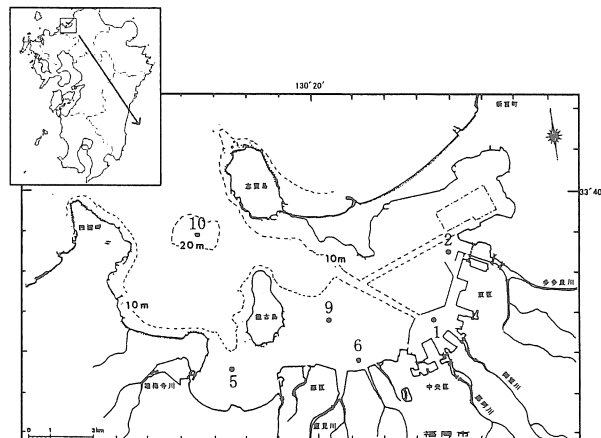


図1 調査点

結 果

1. 各調査点，湾奥部平均における夏期平均底層DOの経年変化

福岡湾における夏期の底層DOの経年変化をみるために、調査点別に7月と8月に観測された底層DOを平均して、図2に示した。

Stn. 1 (博多港沖) は、博多港路に位置しており、湾奥にもかかわらず水深は15mと深い。ここでは、'85年から調査を実施しているが、3.0ml/l以下の貧酸素状態を呈することが多かった。'93年から'96年には、連続して貧酸素状態を呈し、特に、'93年以降は水産用水基準基準において、甲殻類の致死濃度とされている2.5ml/l³⁾ (以下、単に「危険水準」という) を下回り、'94年は2.0ml/lと最も低い値を示した。

Stn. 2 (和白沖) は、最高値3.9ml/l、最低値1.7ml/lで、'85年～'88年と'91年～'95年には、連続して3.0ml/lを下回っており、湾内では貧酸素化が進んでいる海域といえる。

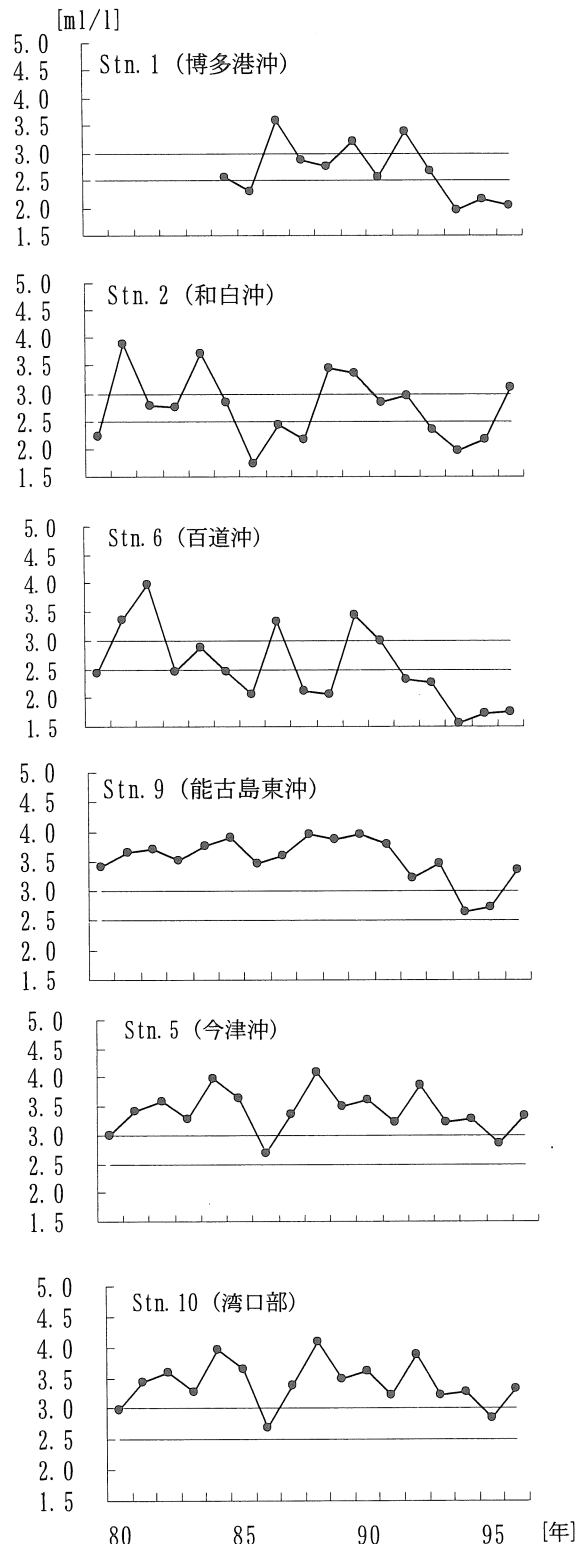
Stn. 6 (百道沖) は最高値4.0ml/l、最低値は1.6ml/lで'83年以降は、'87、'90年を除くと、全ての年で3.0ml/l以下の値を示しており、特に、'94年～'96年は2.0ml/l以下を示すなど、福岡湾内において、近年最も貧酸素化が進んでいる海域といえる。

Stn. 9 (能古島東沖) は、最高値4.0ml/l、最低値2.7ml/lで、'80～'93年は年変化がなく、3.0ml/lをこえる値を示していたが、'94、'95年は3.0ml/l以下を示した。

Stn. 5 (今津沖) は、最高値4.0ml/l、最低値2.7ml/lで、'86年、'95年を除くと3.0ml/lを越える値を示しており、福岡湾内では、比較的良好な海域といえる。

Stn. 10 (湾口部) は、最高値4.8ml/l、最低値3.8ml/lで、調査期間を通じてで3.0ml/lを上回る値を示した。

次に、湾奥部 (Stn. 1, Stn. 2, Stn. 5, Stn. 6, Stn. 9) 全体の底層DOの推移をみるために、各年毎の平均を夏期平均底層DOとして、図3に示した。夏期平均底層DOは、'80年に2.8ml/lを示し、'81年から'85年は3.0ml/lを越える値で推移したが、'86年には危険水準まで低下した。'87年から'92年まで再び3.0ml/lを越える値で推移したが、'93年以降は連続して貧酸素状態を呈し、特に、'94年、'95年の2ヶ年は、危険水準以下になるなど、夏期平均底層DOが甲殻類にとって危険な状態であることが分かった。



上線：底生魚類の漁獲に悪影響を及ぼさない酸素濃度
下線：甲殻類の致死濃度 (共に水産用水基準より)

図2 調査点の各年平均底層DO

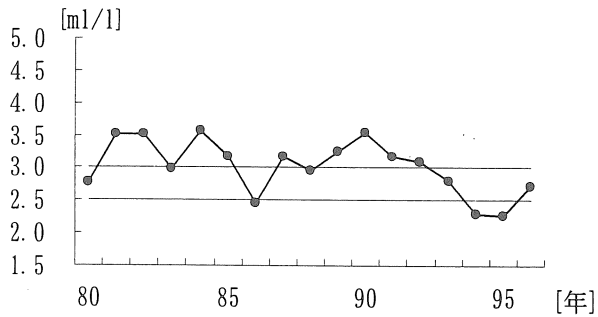


図3 夏期平均底層DO

2. 貧酸素水塊の発生状況 (1994年, 1995年, 1996年)

湾内における貧酸素水塊の発生状況を把握するために、貧酸素水塊が顕著に現れた'94年、'95年及び'96年における各調査日毎の底層DO濃度を整理し、図4、図5及び図6に示した。

'94年の貧酸素水塊は、まず7月5日にStn. 1とStn. 6の湾奥部の岸に沿って発生・発達し、湾奥部を中心に拡大し、8月上旬まで継続した。8月22日に、一旦貧酸素水塊は消滅したが、8月30日には再び湾奥部を中心として広範囲に再度発生していた。

'95年の貧酸素水塊は7月3日の時点では、既に、湾口部を除く、福岡湾内全体に広がっていたが、7月25

日には、その範囲を縮小してStn. 6付近のみとなった。しかし、8月3日には、再び、湾口部付近まで拡大し、8月23日にはほぼ湾全域に拡大して発生していたと推測された。特に、底層DOが1.0ml/l以下と貧酸素状態が強かったところ(図中の黒塗り区域)は、湾奥部の百道沖と博多港沖海域でその最低値は0.4ml/lであった。

'96年に発達した貧酸素水塊は7月1日には湾奥部の岸に沿って発生し、7月15日には'95年同様Stn. 6付近のみに縮小したが、その後再び拡大傾向を示し、少なくとも8月下旬まで継続して発生していた。8月21日には、湾口部に位置するSTN. 10においても底層DOが2.3ml/lと危険水準以下まで低下するなど、湾全体に強い貧酸素水塊が拡大していたと推測された。

3. 湾奥部における水質の経年変化

次に、'80年からの福岡湾の物理・化学環境がどのように変化をしたのかを検討するために、7月と8月の月初めの水温、塩分、DIN及びPO₄-Pの調査結果を平均して、それぞれの調査項目毎に経年変化を図7に示した。水温については、表層水温は横這い傾向であったのに対して、底層水温は緩やかな下降傾向を示した。

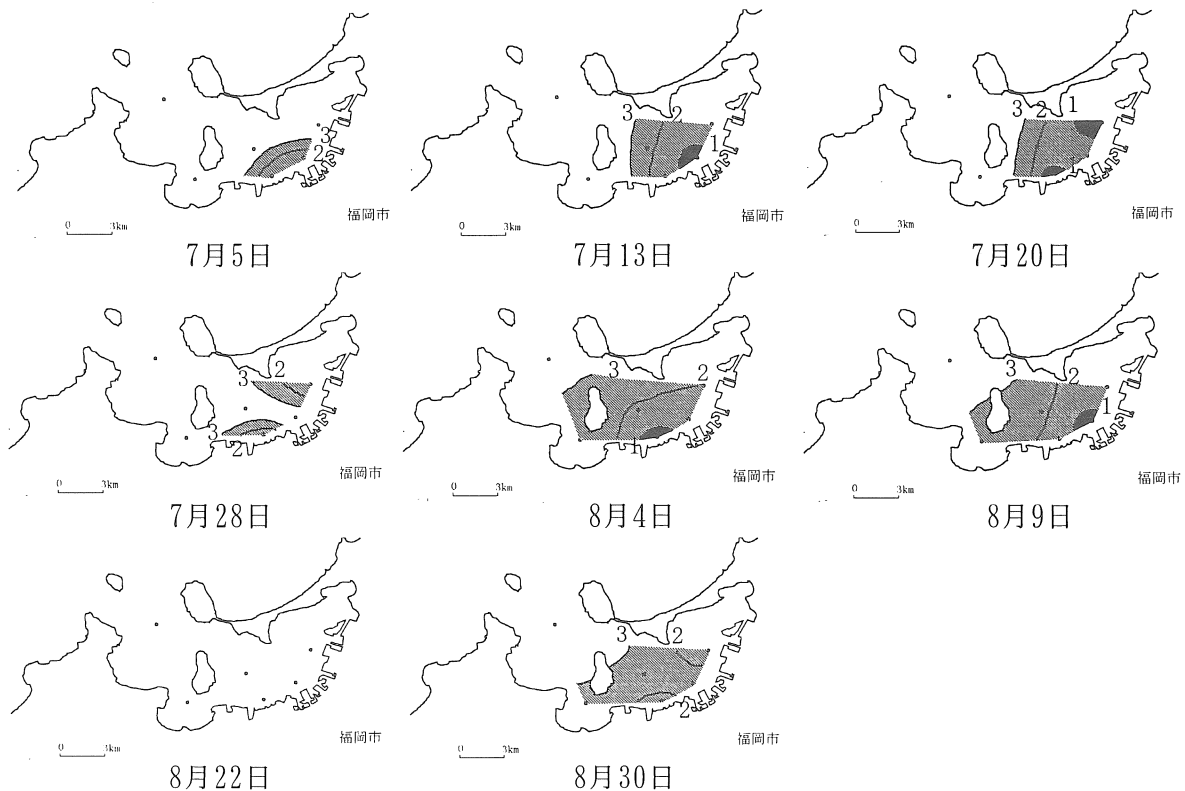


図4 1994年の各調査日における底層DO [ml/l] の水平分布
3ml/l以下の範囲をグレー、1ml/l以下の範囲を黒で示した

篠原

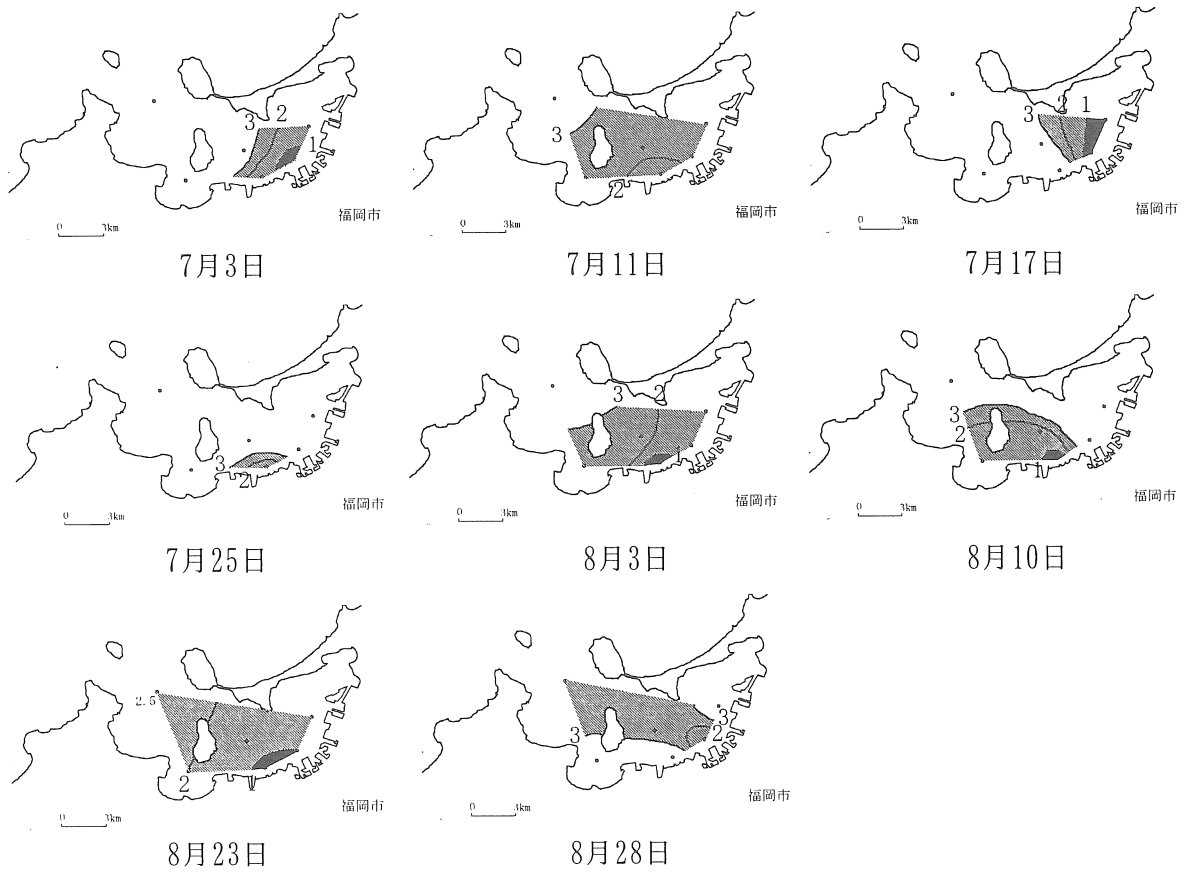


図5 1995年の各調査日における底層DO [ml/l] の水平分布
3ml/l以下の範囲をグレー、1ml/l以下の範囲を黒で示した

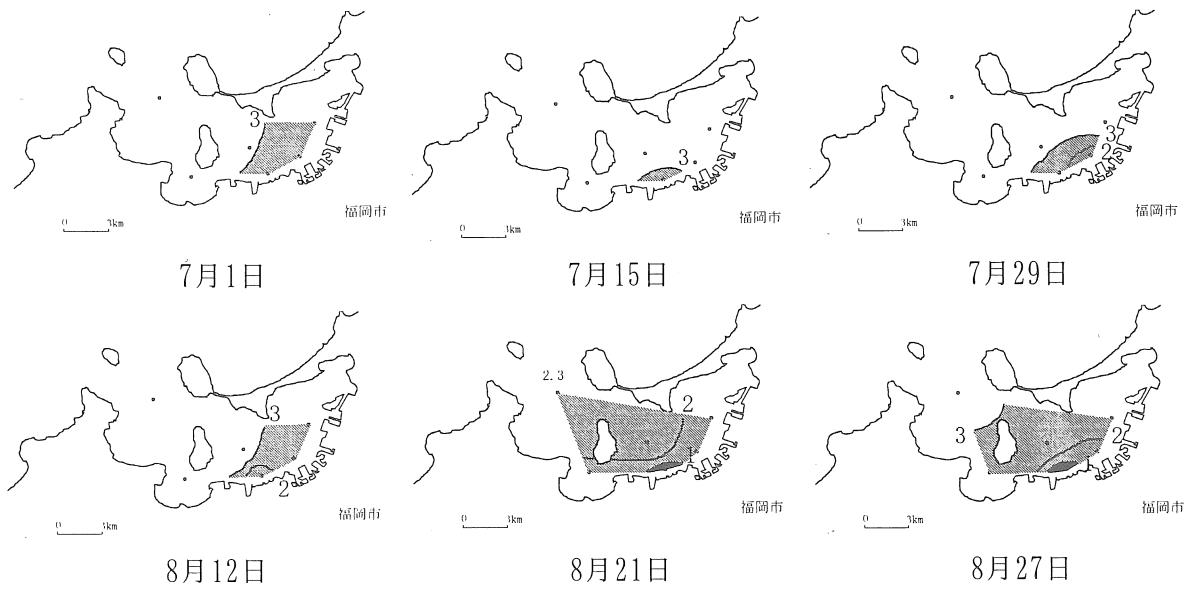


図6 1996年の各調査日における底層DO [ml/l] の水平分布
3ml/l以下の範囲をグレー、1ml/l以下の範囲を黒で示した

塩分は、底層は横這い傾向を示したが、表層は変動幅が大きいものの緩やかな上昇傾向がみられた。

DINは、微増傾向にあり、'92年までは、表層、中層、底層が同調して同じ変化をしていたが、'93年以降は底層DINが表層DINより高くなる傾向がみられた。

一方、PO₄-Pは、全体的に減少傾向にあり、'80年から'96年を通して、底層PO₄-Pが表層PO₄-Pよりも高くなる傾向がみられた。

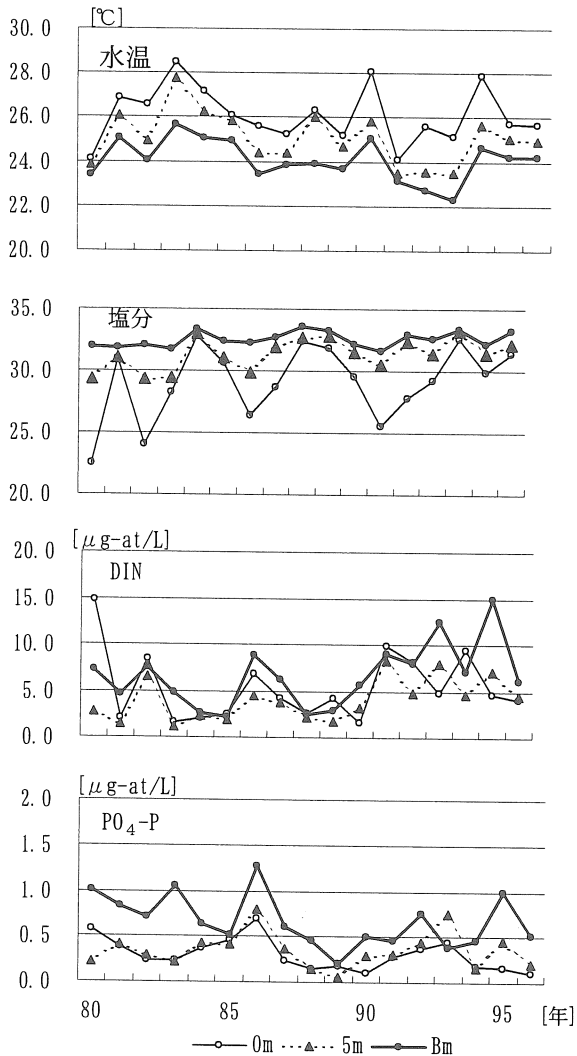


図7 夏期湾奥部の水温、塩分、DIN、PO₄-Pの経年変化

4. 福岡湾における貧酸素水塊発生と淡水流入量の関係

貧酸素水塊は底層での酸素濃度の低下によって形成され、その強弱は表層からの酸素供給速度と底層での酸素消費速度の均衡によって決まると考えられる。表層からの酸素供給速度は、該当海域における成層の強度に左右され、一方、底層における酸素消費速度は底層から供給される有機物の量および海底に堆積した有機物の量に多

寡に支配されると考えられる。特に、閉鎖海域においては陸域から淡水が供給されると、それに伴う密度成層が形成されやすく、同時に多量の栄養塩や有機物質が海域に供給されると考えられる。淡水流入量と貧酸素水塊の関係について、神菌ほか(1993)⁴⁾は豊前海における貧酸素水塊の形成に降水量が大きく関係していることを明らかにし、また、城ほか(1978)⁵⁾は大阪湾において、気温と降水量との関係が大きいことを示唆している。そこで今回は、これらの条件を強化する要因として考えられる淡水流入量と夏期平均底層DOの関係について、検討した。6, 7, 8月の淡水流入量(河川流入量+下水放流量)と夏期平均底層DOの経年変化を図8に、また、その関係を図9に示した。'80年から'96年までの全調査期間を通じて、淡水流入量と夏期平均底層DOの相関をみると有意な相関は得られなかった。しかし、経年変化をみると、'94年から'96年にかけては、淡水流入量に関係なく低い値を示した。そこで、'94年から'96年の3ヶ年を除外してその相関を求めると、95%信頼区間で相関係数-0.5の有意な相関が得られた。

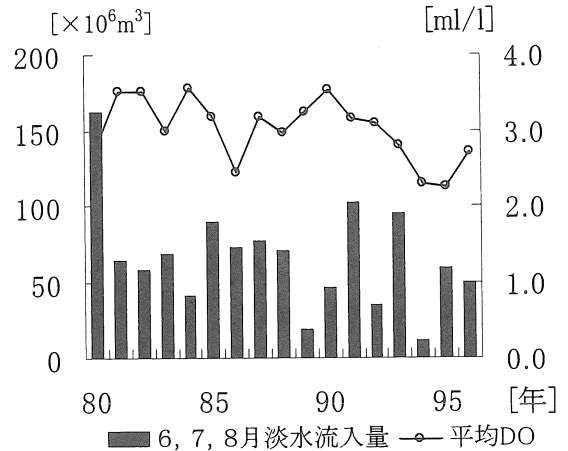
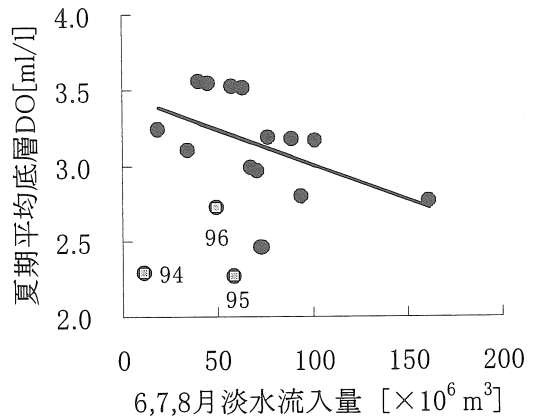


図8 淡水流入量と夏期平均底層DOの経年変化



(直線は'94, '95, '96年を除外した回帰直線)

図9 淡水流入量と夏期平均底層DOの関係

5. クルマエビ漁獲量に及ぼす底層酸素濃度の影響

近年、福岡湾におけるクルマエビの漁獲量が減少しているとの報告がある。クルマエビ等の甲殻類は、一般的に低酸素に弱く、溶存酸素濃度が2.5ml/l以下では死に至るとされている。従って、福岡湾における夏期の貧酸素状態は酸素濃度の低下は、クルマエビにとって明らかに不良な環境であったと考えられた。

そこで、クルマエビ漁獲量と夏期平均底層DOの経年変化を対比して図10に示した。福岡湾内におけるクルマエビの漁獲量は、'80年から'89年までは、47トンから93トンの間で推移していたが、'90年の159トンを最高に、翌年の'92年には24トンと激減し、'93年から'96年にかけては、27トンから64トンの低い水準で推移した。これを夏期平均底層DOと対比すると、159トンと豊漁だった'90年は、夏期平均底層DOが3.6ml/lと近年で最も高く良好な環境であったのに対して、翌年以降の夏期平均底層DOの低下と呼応するようにクルマエビの漁獲量は減少していた。

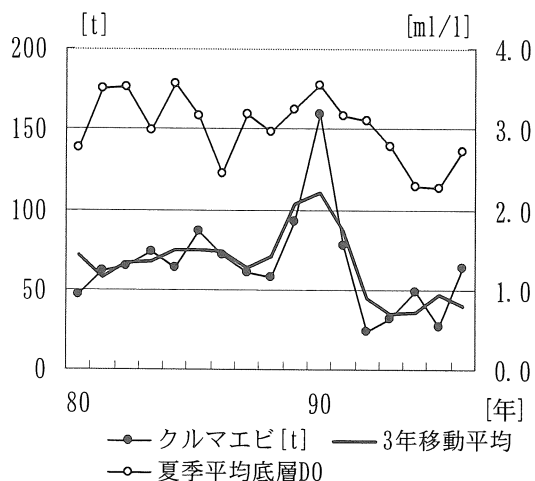


図10 夏期平均底層DOとクルマエビ漁獲量の経年変化

考 察

福岡湾においては、'80年の調査当初から、夏期に貧酸素水塊の発生が認められた。底層DOは、Stn. 1, Stn. 2, Stn. 6の値が低く、湾奥部の方が貧酸素水塊が発生しやすいことがわかった。特に、'92年から'96年には、Stn. 2, Stn. 6において1.0ml/l以下という強い貧酸素状態が確認された。また、Stn. 2付近は'86年から'88年にかけて、湾内でもっとも貧酸素化が進み、Stn. 6付近は'92年から'96年にかけて貧酸素化が進んだことがわかった。夏期平均底層DOは、'80年から'92

年の間は、年変化は大きいですが、'80年と'86年を除き、3ml/l以上の値を示した。これは、この期間に湾全体に広がる貧酸素水塊が少なく、Stn. 1, Stn. 2, Stn. 6を中心として局所的に湾奥部の東部沿岸に発生することが多かったからだと考えられる。'92年以降は、夏期平均底層DOが3ml/lを下回る値を示し、貧酸素水塊が1ヶ月連続して湾全体の広がるなど、湾全体の貧酸素化が進んでいることがわかった。

'94年、'95年及び'96年の福岡湾における貧酸素水塊の水平分布から、福岡湾における貧酸素水塊は、湾奥部の岸寄りから発生して徐々に湾全体へ拡大する傾向がみられた。また、'94年から'96年の期間は7月と8月に継続して貧酸素水塊の発生がみられ、貧酸素水塊が一旦縮小及び消滅した後も、再度発生・拡大することから、'94年から'96年の夏期の福岡湾は、貧酸素水塊が発生しやすい状況にあったと推測される。

福岡湾において貧酸素水塊の発生と淡水流入量の関係については、期間を通じては、関係がみられなかったものの、'80年から'92年の13年間に限ってみると、淡水流入量が多いほど、夏期平均底層DOは低くなる負の相関が認められ、淡水量の増加が、夏期における底層DOの低下を招き、貧酸素水塊を発生させるする要因の一つとして考えられた。しかし、'94年から'96年の間は淡水流入量とは関係なく夏期平均底層DOが低かったことから、淡水流入量以外の要因があることが示唆された。

湾奥部の栄養塩の経年変化をみると、'92年から底層DINが表層DINを大きく上回っており、これは、福岡湾について、高木ほか(1998)⁶⁾、神園ほか(2001)⁷⁾が、栄養塩の供給は陸上からの負荷もさることながら、海底からの溶出によるものが大きいことを明らかにしていることから、'92年以降の海水中への栄養塩の供給に関しては、海底からの溶出量が増加したものと考えられた。

福岡湾における夏期平均底層DOとクルマエビ漁獲量の推移については、クルマエビの漁獲量が'90年の豊漁年を境に急激に減少し、その後は低水準で推移し'90年代の漁獲量に回復しないのは、福岡湾の夏期平均底層DOが大きく影響していると考えられた。特に、漁獲依存の高い夏期に貧酸素水塊が長期間発生すると、クルマエビが漁場から逸散し、また極端な場合は大量へい死に至るなど、貧酸素水塊の発生・拡大は、漁獲量減少の大きな環境要因の一つと考えられた。今後は、本調査を継続するとともに、稚エビの育成場でもある干潟等の浅瀬における底層DOの監視も必要であると考えられる。

要 約

- 1) 福岡湾においては、'80年の調査当初から貧酸素水塊の発生が確認された。福岡湾内で、貧酸素水塊が頻繁に発生するのは、Stn. 1, Stn. 2, Stn. 6付近の湾奥部で、'92年から'96年には、Stn. 2, Stn. 6において1.0ml/l以下の極度の低酸素状態が確認された。
- 2) 福岡湾における貧酸素水塊は、湾奥部の岸寄りから発生して、湾全体に拡大する傾向がみられた。また、'94年、'95年及び'96'年は、継続して貧酸素水塊が発生し、しかもその水塊が縮小または消滅した後に、再び発生・拡大したことから、貧酸素水塊が発生しやすい状況にあったと推測された。
- 3) '80年から'96年の夏期平均底層DOと湾内へ流入する淡水流入量との関係をみると、期間を通じては、関係がみられなかったものの、'80年から'92年の13年間に限ってみると、淡水流入量が多いほど、夏期平均底層DOは低くなる負の相関が認められた。
- 4) クルマエビの漁獲量が最も高かった'90年は、夏期平均底層DOが3.6ml/lと高く、漁獲量が減少した

'92年以降は、連続して夏期平均底層DOが貧酸素状態をはじめた時期と重なることから、近年の漁獲量の減量は夏期の貧酸素水塊の発生が大きな影響を与えていると推測された。

文 献

- 1) 流量年表：建設省河川局編(1980-1996)
- 2) 福岡市下水道局：福岡市下水道年報(1980-1996)
- 3) 水産用水基準：日本水産資源保護協会(2000)
- 4) 神菌真人・江藤拓也・荒田敏生：豊前海の貧酸素水塊形成と降水量との関係，福岡水技研報，第1号，217-224(1993)
- 5) 城 久・矢持進・阿部恒之：大阪湾における貧酸素水塊の発生状況，大阪水試研報，5，71-84(1978)
- 6) 高木雅子・村瀬茂世・寺田和光・松原英隆：博多湾底質からの窒素・リン溶出速度の簡易測定方法の開発，用水と廃水，40，19-25(1998)
- 7) 神菌真人・池内仁・杉野浩二郎・本田清一郎・佐藤利幸・磯辺篤彦：福岡湾の窒素・リン収支，沿岸海洋研究，38，131-138(2001)