

洞海湾の湾奥部に存在する干潟が生態系に果たす役割

Ecological roles of the mud flats at the innermost areas of Dokai Bay

代表研究者 北九州市環境衛生研究所研究主査 山田 真知子
Senior Res., Kitakyushu Municipal Inst. of Environ. Health Sci.
Machiko YAMADA

協同研究者 北九州市環境衛生研究所研究員 上田直子・梶原葉子・徳崎健史
Junior Res., Kitakyushu Municipal Inst. of Environ. Health Sci.
Naoko UEDA, Youko KAJIWARA, Kenji TOKUSAKI

熊本女子大学生生活科学部助教授 提 裕 昭
Assoc. Prof., Faculty of Living Sci., Kumamoto Women's Univ.
Hiroaki TSUTSUMI

香川大学農学部助教授 門 谷 茂
Assoc. Prof., Faculty of Agric., Kagawa Univ.
Shigeru MONTANI

Intertidal areas including mud flats are located at the interface between land and ocean. These areas are ones of the places with the highest primary production in the terrestrial ecosystem. Various and abundant marine organisms occur there. We have exploited these organisms as ones of the most important food resources since ancient times. However, in the past three decades, half of the mud flats have disappeared from Japanese coastal areas, mainly due to reclamation. The reclaimed land has been used for various purposes such as residential areas, industrial areas, commercial areas, ports, and etc.

In our research projects, we have described the seasonal fluctuations of environmental conditions and abundance of benthic communities on and offshore the mud flats which are remained at the innermost areas of the bay adjacent to a major city. We are aiming at clarifying the ecological functions and roles of the mud flats in the coastal ecosystem of the bay, and at reviewing their importance from the standpoint of environmental conservation of the coastal areas.

In our study areas, heavy-chemical industrial plants which were established along the shore line of the bay have loaded a huge amount of nutrient salts to the bay system. The overloading of nutrient salts resulted in extremely eutrophic conditions of the water and the organic pollution of the bottom sediment of the bay. At the innermost areas of the bay, the benthic communities markedly declined in summer. The benthic communities not only at the subtidal areas offshore the mud flats but also on the mud flats were suffered from the occurrence of anoxic water mass during summer, due to the organic pollution. However, in this bay system, the mud flats were only the refuge areas from the dissolved oxygen depletion of the water. In the faunal recovery process from autumn to winter, the remnant benthic communities on the mud flats recovered very rapidly prior to those in the subtidal areas offshore the mud flats. It is very likely that the benthic communities on the mud flats play very important roles in production and supply of the seed populations of the organisms for recolonization at the subtidal areas.

研究目的

1. はじめに

海洋の沿岸域、なかでも陸地との境界に位置する潮間帯域（干潟を含む）は、地球生態系の中で最も生物生産性の高い場所の一つであり、年間の一次生産量は熱帯降雨林にも匹敵する（Mann 1973）。ここでは、その豊富な生物生産量を背景に多種多様な生物が生息し、繁殖や採餌の場としても利用され、沿岸域の生態系のなかで最も重要な位置を占めている。

日本においては、潮間帯域は古くから沿岸漁業を通して幅広く利用されてきた。また、この場所は、ウォーターフロントとして経済的な利用価値の高いところでもある。特に、戦後、大都市の周辺においては、干潟を埋め立てることによってさまざまな目的に利用してきた。その結果、1989年～1991年にかけて環境庁が行った調査では、戦前における全国の干潟面積の約4割が消失していることが明らかとなっている（朝日新聞1992）。

さらに、近年の研究において、干潟は人間社会と海洋の接点の場として重要な場所であるだけでなく、物理化学的な作用や生物の活性によって有機物を効率よく分解し、沿岸域の水質を浄化する機能を果たしていることも明らかになってきた（佐々木 1989, 1990）。現在、全国各地において干潟が急速な勢いで消失しつつあるなかで、沿岸域生態系の一部としての干潟の機能を見直すことは、水域の環境保全を推進する見地から極めて重要な課題である。

2. 本研究の目的

洞海湾は、北九州重化学工学地帯の中心に位置し、約100万人の人口を抱える北九州市の市街地に隣接する半閉鎖的な水域である。筆者らは、これまで、この湾において、水質および底質の物理化学的な調査、ならびに湾内に生息するプランクトンをはじめ、海藻、底生動物、付着動物、大型甲殻類および魚類などの生物群集について定量的な調査を実施してきた（北九州市環境衛生研究所 1990, 1992）。今回の調査においては、これらの調査を踏まえて、この湾の湾奥部に広がる約40

haの干潟の重要性に着目し、この干潟の存在意義を科学的に解明することを目的とした。

本報告書においては、この干潟における水質および底質の物理化学的な環境条件の季節変化、ならびに干潟に生息する生物群集の定量的な調査結果を報告するとともに、干潟の存在が湾全体の生態系に及ぼす効果を明らかにし、同時にこれまでの調査結果に基づいて、今後の干潟を含めた内湾域における環境対策についても検討を加える。

研究経過

1. これまでの経過

洞海湾は、北九州工業地帯の発展に伴い、我が国の他の内湾より早い時期である1930年代より水質汚濁や底質汚染が進行した。その後、高度成長期を迎えた1960年代後半には「死の海」と呼ばれるほど著しい汚染海域となり、湾央から湾奥にかけての水域には魚類がほとんど生息しない状態となった（Yamada *et al.* 1991）。

しかしながら、1970年以降の工場排水の規制、汚泥の浚渫および下水道の整備など環境回復に関するさまざまな行政施策の結果、洞海湾の環境は1983年からはクルマエビ漁が再開されるまでに回復してきた。1989年に行った魚類および大型甲殻類の分布調査では、クルマエビをはじめ、マハゼやクロダイなど115種が湾内全域に生息していることが明らかになった（山田 1990, 山田ら 1992）。また、1989年～1990年にかけて実施した底生動物の分布調査では、湾奥部において夏季には環境悪化のために生物相が貧困となるものの、冬から春にかけては湾内全域で底生動物が豊富に生息していることを確認した（上田ら 1992）。

2. 調査域

洞海湾は、九州の北端に位置し、湾口部が響灘に開口している、奥行き約13 km、幅は湾口部で1.2 km、湾奥部で0.3 kmの東西に細長い水路状の内湾である。湾口から湾奥にかけて、両岸からほぼ中央部が水深8～10 mで、航路として利用されている。本研究の調査域となった干潟は湾奥部に広がっており、この干潟およびその周辺域に合計11地点の調査地点を設定した（図1）。

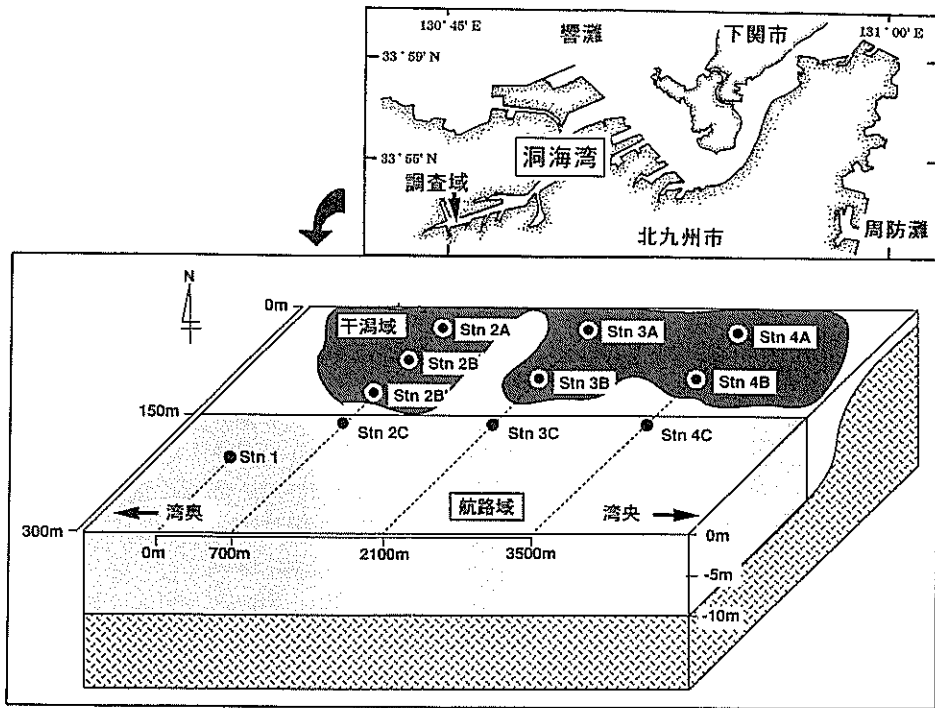


図1. 調査地点.

3. 調査日時, 調査方法

本研究において, 1992年8月31日, 12月18日および1993年4月15日の3回にわたって調査を実施した。

各調査地点において, 投げ込み型の溶存酸素計 (YSI model-58) を用いて, 水深1mごとに水温および溶存酸素の測定を行った。採泥は潜水して行った。アクリル筒 (直径8cm, 高さ50cm) を用いて化学分析用の底質コアサンプルを採取した。サンプルは, 当日中に1cmごとにカットし, 検知管法により AVS (Acid Volatile Sulphide) の測定を行った。エックマンバージ型採泥器 (15cm×15cm) を用いて, 底生動物の定量調査のための底質サンプルを採取した。サンプルは, 現場で1mm目のふるいにかけて, ふるいに残った生物をローズベンガル入りの10%ホルマリンで固定した後, 種を同定し, 計数と湿重量の測定を行い, 75%のエチルアルコール中に保存した。

研究成果

1. 夏季の貧酸素水塊の発生

1992年8月(夏季)における, 湾奥部の干潟から沖合いにかけての溶存酸素の垂直分布を, 図2に示した。最も湾奥に位置する調査地点 (Stn 2A~Stn 2C~Stn 1) においては, Stn 1を除き, 表層~水深2mの層で溶存酸素が5~10 mg/lであった。しかしながら, 水深1~3.5mの層では, 溶存酸素が2~5 mg/l, 水深3.5~4mでは1~2 mg/lと急激に低下した。Stn 1においても同様な傾向がみられたが, 赤潮のために, 表層~水深3mの層において, 溶存酸素が10 mg/l以上の著しい過飽和状態であった。いずれの地点においても, 水深4m以深の層の溶存酸素は1 mg/l以下に低下していた (図2(a))。

干潟の中央部の調査地点 (Stn 3A~Stn 3C) においては, 表層~水深3mの層で溶存酸素が5 mg/lを越えていた。水深3~6.5mおよび8m以深の層では2~5 mg/lの範囲に低下し, 水深6.5~8mにおいて, 1~2 mg/lの範囲の最も低

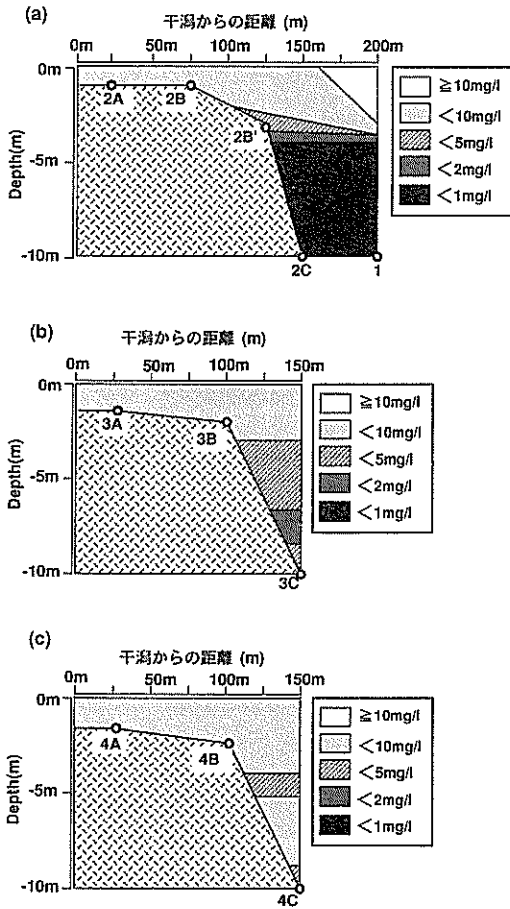


図2. 溶存酸素の垂直分布。
(a) Stn 2A~Stn 2C~Stn 1; (b) Stn 3A~Stn 3C; (c) Stn 4A~Stn 4C.

い値がみられた(図2(b))。調査地点で最も湾中部に近い地点(Stn 4A~Stn 4C)においては、水深4~5.5 mおよび9 m以深の層において、溶存酸素が2~5 mg/lの範囲に低下していた。しかしながら、他の層には5 mg/l以上の溶存酸素が含まれていた(図2(c))。

以上のように、洞海湾においては、8月(夏季)に最奥部の水深4 m以深の層において、ほとんど溶存酸素を含まない水塊(貧酸素水塊)が発生していることが判明した。しかしながら、この時期においても干潟の海水の溶存酸素のレベルは5~10 mg/lの高い値に保たれていて、飽和~過飽和状態となった。12月(冬季)になると、最奥部に

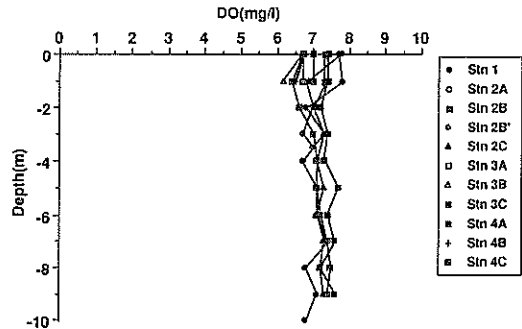


図3. 溶存酸素の垂直分布(1992年12月18日)。

発生していた貧酸素水塊は解消され、全調査地点において表層から底層まで溶存酸素はほぼ飽和に近い状態となっていた(図3)。

2. 底質の嫌気化

夏季に貧酸素水塊が発生していた最奥部の調査地点(Stn 2A~Stn 2C~Stn 1)について、1992年8月、12月および1993年4月における海底の嫌気化の状態を、AVSの垂直分布で示した(図4)。干潟のStn 2A, Stn 2B および Stn 2B'においては、3回の調査を通して表面から深さ7 cmまでの層においてAVSの値が0~3 mg/gの範囲にあり、表層ではほぼ0に近い値が記録された。これらの調査結果は、干潟の表層が周年にわたって好気的な状態に保たれていることを示している。

これに対して、航路に位置するStn 2C および Stn 1においては、表面から7 cmの深さまでの層のAVSの値が4~8 mg/gであった。特に、湾の最奥部に位置するStn 1においては、貧酸素水塊が発生している8月に、底質の表面においても4.7 mg/gの高い値が記録された。底質は強い硫化水素臭を放ち、著しく嫌気化していた。

3. 底生動物群集の季節的変化

図5および図6には、各調査地点における、1992年8月、12月および1993年4月の底生動物の密度および湿重量を示した。1992年8月には、干潟から沖合いにかけてのすべての調査地点において、密度が1,000 個体/m²以下、湿重量が25 g/m²以下であり、底生動物がほとんど生息していない状態であった。このことは、沖合いの航

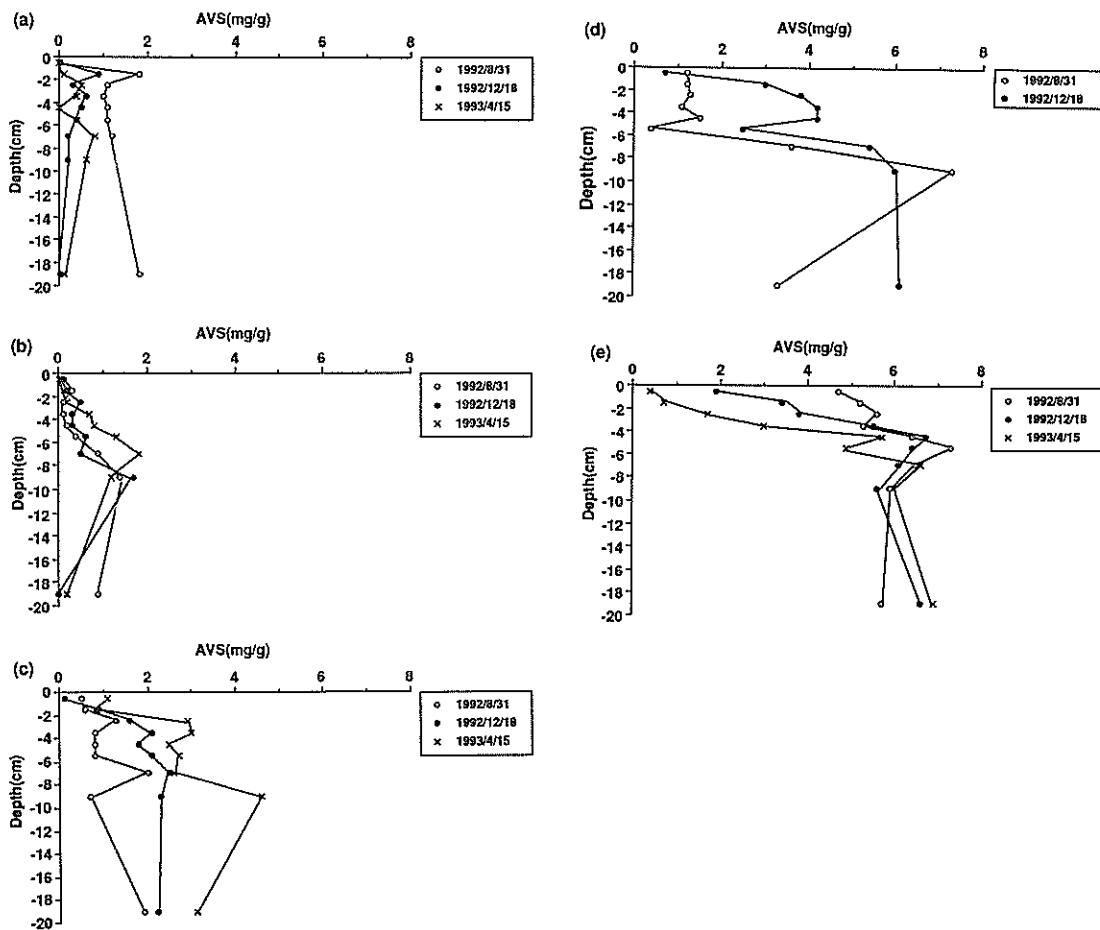


図4. AVS 濃度の垂直分布 (a) Stn 2A; (b) Stn 2B; (c) Stn 2B'; (d) Stn 2C; (e) Stn 1.

路に位置する地点においては、夏季に底層における貧酸素水塊の発生と底質の著しい嫌気化によって、底生動物群集の生息が困難な環境が形成されていたことと一致する。これに対して、干潟においては、図2および図3に示したように、8月の調査時においても海水の溶存酸素が飽和～過飽和状態のままであった。底質も、嫌気化の度合を示す AVS の値が低く、比較的に好気的な状態が保たれていた。ところが、このような底生動物群集の生息にとって好適と思われる環境条件にもかかわらず、干潟では底生動物がほとんど生息していなかった。

12月になると、干潟の Stn 2B, Stn 3B および Stn 4B において、底生動物群集の急速な回復がみられた。密度が、それぞれ 41,688 個体/m²,

33,267 個体/m² および 13,622 個体/m² であった。湿重量は Stn 2B において、1,590 g/m² に達した。12月に、この干潟において回復した底生動物群集の優占種は、多毛類の *Polydora* sp., *Neanthes succinea*, *Cirriformia* sp. および *Capitella* sp., 軟体動物のコウロエンカワヒバリガイ (*Limnoperna fortunei kikuchii*) などであった。一方、航路に位置する地点においては、12月にもほとんど底生動物群集の回復がみられなかった。翌年の4月になると、これらの地点においてようやく底生動物の姿がみられるようになったが、いずれの地点でも密度は干潟の地点と比較すると著しく低い値であった。Stn 1, Stn 2C および Stn 4C において、それぞれ、1,067 個体/m², 911 個体/m², 178 個体/m² であった。

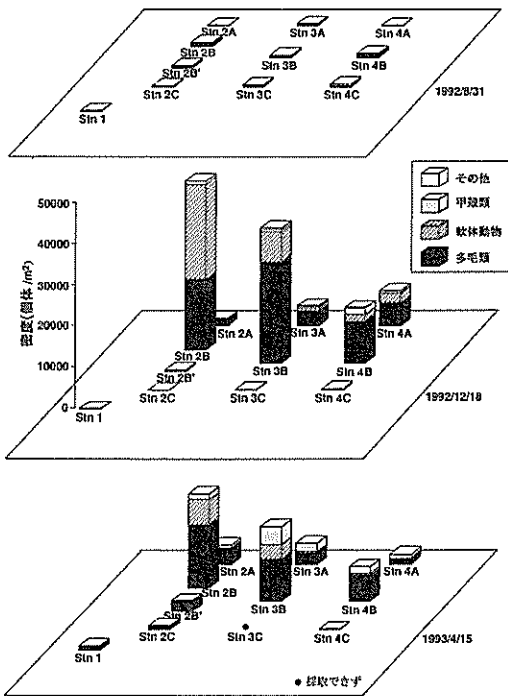


図5. 底生動物の密度.

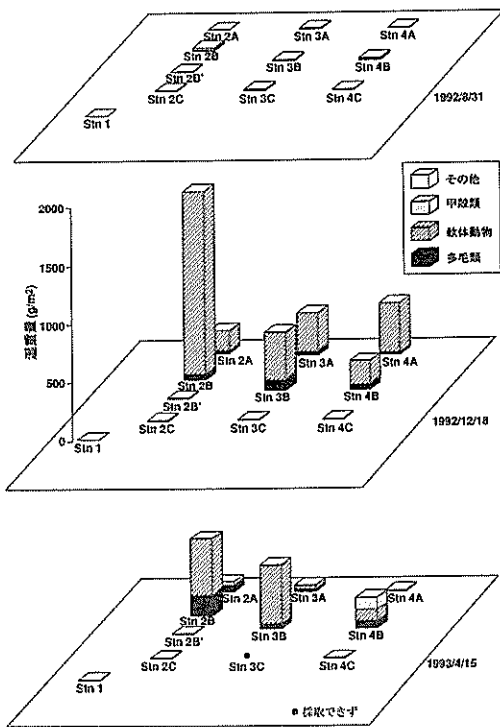


図6. 底生動物の湿重量.

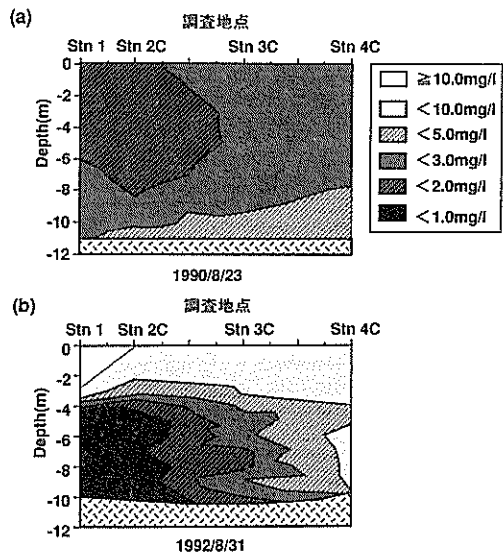


図7. 溶存酸素の垂直分布.

(a) 1990年8月23日; (b) 1992年8月31日.

4. 考察

今回の調査において最も注目すべきことは、洞海湾の干潟においては、夏季の8月の調査においても、海水の溶存酸素のレベルが飽和～過飽和状態にあり(図2)、底質表層も比較的的好気的な状態が保たれていた(図4)にもかかわらず、底生動物がほとんど生息していなかったことである(図5, 6)。続く12月および翌年の4月の調査時においては、底生動物群集の急速な回復が見られた。このことから判断すると、干潟の底生動物群集は、夏季に何らかの原因で壊滅的な打撃を受けて、著しく衰退したものであると考えられる。

富栄養化した内湾域においては、夏季に海水の成層構造が発達し、停滞した底層において貧酸素水塊がしばしば発生する(Tsutsumi and Kikuchi 1983, Tsutsumi 1990, Tsutsumi *et al.* 1991)。洞海湾においても、夏季の調査時に、最奥部の航路域を中心に貧酸素水塊が発生していた。この貧酸素水塊は、一般的に見られるような海底付近に発生するものでなく、水深10~11mの海底から水深4m付近にまで及ぶ大規模なものであった(図2)。航路内の底質の嫌気状態からみて(図4)、このような大規模な貧酸素水塊は、湾奥部の

航路域において、毎年夏季に発生していると考えられる。

図7に、1990年8月における調査結果（未発表）および今回の1992年8月における調査結果をもとに、湾奥部のStn 1～Stn 4Cにおける溶存酸素の垂直分布を示した。1992年8月の調査結果では、Stn 1～Stn 2Cの地点にかけて、規模の大きな貧酸素水塊が発生していることがわかる。一方、1990年8月の調査では、同じ海域において、1.5 mg/l以下の溶存酸素のレベルの水塊が、水深約2～6mの中層に浮上し、すぐには酸化されることなく浮遊しているのがみられた。このような現象については、1990年8月の調査時の外にも、しばしば確認されてきた（未発表）。1990年8月の調査結果では、海底付近には、3～5 mg/lの比較的高いレベルの溶存酸素を含む水塊が、湾口の方向から差し込んで来ているように分布している。このことから、最奥の航路域で発生した貧酸素水塊は必ずしも安定して存在するものではなく、強風や潮汐などの要因によって、上層へ押し上げられていることが考えられる。この現象は、近年、東京湾、大阪湾および三河湾などの湾奥部において頻繁に発生し、水産業に大きな打撃を与えて問題となっている、「青潮」と類似した現象である（風呂田 1987、佐々木 1989、村岡 1992）。この貧酸素水塊は干潟域にまで打ち寄せている可能性があり、その結果、夏季から秋季にかけて干潟に生息する底生動物群集にも壊滅的な打撃を与えているのではないかと考えられる。

このように、湾奥部において、大規模な貧酸素水塊が発生する原因としては、この湾の海水の栄養塩類濃度が、我が国の内湾域の中でも極端に高いレベルにあることが挙げられる（吉田 1991）。1971年に公害対策基本法および1973年に福岡県の条例によって、洞海湾の海水の環境基準および湾内に流入する工場からの排水の上のせ基準が設定された。その結果、湾の水質および底質は、見た目にも明らかに、著しい改善が見られた（北九州市環境衛生研究所、1984）。しかしながら、従来の規制は、排水中に含まれる栄養塩類量に関して全く考慮していなかった。このため、この湾

の海水は極端な富栄養状態が続いたままである。特に湾奥においては、赤潮が頻繁に発生し、その結果、生産された有機物が植物プランクトンの死骸や懸濁物質となって海底に堆積し、海底を有機物で汚染し続けている。夏季における大規模な貧酸素水塊の発生は、この汚染域における底層水の溶存酸素が、海底に大量に沈積した有機物によって消費される結果として発生するものであると考えられる。

夏季の貧酸素水塊の発生は、干潟を含めた洞海湾全体の生態系に壊滅的な打撃を与えている。しかしながら、干潟は本来豊かな生物生産性を誇っている場所であり、今回の調査においても、冬季から翌年の春季にかけて、いち早く底生動物群集の回復が見られた（図5,6）。もし、この干潟においても、夏季に貧酸素水塊に襲われることによって底生動物群集が衰退することがなければ、この干潟が湾全体へ生物を供給する場所として、湾全体の生態系をさらに活性化させることが可能になることが考えられる。

今後の課題と発展

今回の調査によって、洞海湾の湾奥部においては、現在もおおきな問題を抱えていることが明らかとなった。この干潟を含む湾奥部の環境保全を進めていくためには、湾の水質の富栄養状態を改善し、さらに生態系に大きな打撃を与えている貧酸素水塊の発生を緩和し、解消していくことが必要である。そのためには、排水の規制の対象外であった栄養塩類に着目した新たな規制が必要であり、湾内の栄養塩類の収支および貧酸素水塊の発生メカニズムを明らかにする調査が求められる。

また、夏季を除けば洞海湾においても干潟域での豊かな生産性が確認されたので、さらにこの干潟におけるバクテリアの有機物分解力や、生物群集の食物連鎖に関して詳細な調査を行い、干潟生態系の浄化機能やさまざまな生物の生育場所としての機能を明らかにしていきたい。

謝辞 この研究は日産科学振興財団の研究助成を得て行われた。この研究助成によって、ここ

に報告した結果のほかに、膨大な量の貴重な環境データを得ることができた。末筆ながら、ここに研究グループ一同より心から感謝の意を表したい。

引用文献

- 1) 風呂田利夫 (1987): 東京湾における青潮の発生。水質汚濁研究, 10, 14-18.
- 2) 北九州市環境衛生研究所 (1984): 10年のあゆみ—記念特集号一, pp. 72.
- 3) 北九州市環境衛生研究所 (1990): 洞海湾総合調査報告書 I, pp. 89.
- 4) 北九州市環境衛生研究所 (1992): 洞海湾総合調査報告書 II, pp. 98.
- 5) Mann, K. H. (1973): Seaweeds: their productivity and strategy for growth. *Science*, 182, 975-981.
- 6) 村岡浩爾 (1992): 青潮。水, 485, 16-21.
- 7) 佐々木克之 (1989): 干潟域の物質循環。沿岸海洋研究ノート, 26, 172-190.
- 8) 佐々木克之 (1989): 三河湾における貧酸素水塊の形成機構。沿岸海洋ノート, 26, 109-118.
- 9) 佐々木克之 (1990): 干潟を活用した窒素・リンの除去。用水と廃水, 32, 38-43.
- 10) Tsutsumi, H., Kikuchi, T. (1983): Benthic ecology of a small cove with seasonal oxygen depletion caused by organic pollutions. *Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.*, 7, 17-40.
- 11) 堤 裕昭 (1990): 内湾域における養殖漁業の自家汚染と生態系保全に関する研究。日産科学振興財団研究報告書, 13, 279-287.
- 12) Tsutsumi, H., Kikuchi, T., Tanaka, M., Higashi, T., Imasaki, K. and Miyazaki, M. (1991): Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. *Mar. Pollut. Bull.*, 23, 233-238.
- 13) 上田直子, 堤 裕昭, 徳崎健史, 竹内良治, 城戸浩三 (1992): 洞海湾湾岸部の底質環境と底生生物の分布。日本ベントス学会誌, 42, 55-62.
- 14) 山田真知子 (1990): 洞海湾の水質汚濁の進行と水質回復途上における生物相の変遷。瀬戸内海科学, 4, 52-58.
- 15) Yamada, M., Sueta, S., Hanada, Y., Takeuchi, R., Kido, K., Yabumoto, Y. and Yoshida, Y. (1991): Recovery of aquatic animals in Dokai Bay, Northern Kyushu, Japan. *Mar. Pollut. Bull.*, 23, 203-207.
- 16) 山田真知子, 末田新太郎, 花田喜文, 竹内良治, 城戸浩三, 藪本美孝, 吉田陽一 (1992): 水質回復途上の洞海湾における海産動物の出現状況。日本水産学会誌, 58, 1029-1036.
- 17) 吉田陽一 (1991): 海域および淡水域の NP 比の変動。栄養塩類構成比変化影響調査報告書 (平成2年度水産庁委託水産業振興事業), 65-72.