

燧灘東部海域における貧酸素層の形成

越智 正, 西尾 幸郎, 岡市 友利

ANOXIC WATER IN THE EASTERN AREA OF HIUCHI NADA

Tadashi OCHI, Sachio NISHIO and Tomotoshi OKAICHI

In August of 1976, mass mortality of benthic animals, mainly composed of shell fish such as cockle (*Fulvia mutica* (REEVE)) occurred in the eastern water area of Hiuchi Nada which locate at the central part of Seto Inland Sea. This seemed to be caused by the development of anoxic water in the lower layer of the water column. In August 1977, the heavy depletion of oxygen in this water area was again observed.

The surveys on dissolved oxygen contents and water temperature were carried out on August 25, 1976 and August 6-8, 1977. In this paper, distribution of dissolved oxygen and the formation of thermocline in summer season are discussed on basis of the data mainly obtained in 1977.

On August 5-7, 1977, surface water was saturated with oxygen in whole area surveyed and oxygen maximum (120%) layer was found at the depth of 5-8m. Mean depth of this water area is estimated as about 20m. The anoxic water less than 1 mg/1 developed in lower layer off the line of 20m deep which runs along about 4 km off Kanonji and 1.5km off Kawanoe. It occupied about one half of this water area (total area 400km²). Discontinuity of oxygen contents appeared between 6 and 15m deep. The layer was slightly below the thermocline which was formed between 4 and 10m deep. The maximum temperature gradient estimated near the shore reached to 3.2°C·m⁻¹ and this caused the stratification of water from early summer to autumn. Water stream of this area seemed to be very weak and after the formation of thermocline the water became more stagnant. Organic matters which derive from both waste of paper making and pulp industries locating along the south west coast and plankton residues consume dissolved oxygen in lower layer than that of thermocline to make the water anoxic. COD inflow from the industries is now reported to be about 36 ton·day⁻¹, but total inflow of organic matter including plankton residues still remains to be estimated.

近年、燧灘東部海域では夏期に貧酸素化が進行し、時に魚介類が斃死し問題になっている。そこで1976年8月および77年8月に、水温と溶存酸素量を重点的に調査し、夏期の温度躍層の形成と溶存酸素分布について検討した。その結果、両年とも表層水は酸素で飽和されているが、20m以上の深さを有する海域の底層水では1 mg/1 以下しか検出できなかった。そしてこのような底層の貧酸素化を示す海域は東部海域の約1/2を占めていた。温度躍層は水深4~10mに形成され、最高温度勾配は3.2°C·m⁻¹を記録し、成層は垂直的に極めて安定なものであった。溶存酸素の躍層は温度躍層よりわずかに深い5~15mに認められた。この海域は極度の停滞域であるために成層は初夏から秋まで続き、この間

底層水の溶存酸素は紙・パルプ工場排水やプランクトン起源の有機物の分解によって消費される。工場排水のCOD負荷は現在約36 ton・day⁻¹とされているが、海で生産される有機物による負荷については今後さらに検討する必要がある。

緒 言

香川県観音寺市沖合の伊吹島を中心とする懸灘東部海域は極度の停滞域で、1965年以降毎年数回赤潮が発生し、さらに1970年頃から夏の成層期に貧酸素層が形成され、魚貝類が大量に斃死することがあり漁場価値が著しく低下している。貧酸素層の出現は近年のことであり、その原因、発現機構の解明は今後の漁場改善措置を考える上で重要な問題となっている。そこで1976年8月と77年8月に懸灘東部海域の貧酸素化の進行程度とその形状を把握する目的で調査観測を行ったので、その結果を報告する。

調 査

1976年8月25日の観測は午前中風波が強かったために、図1に示すように香川県豊浜町沖合から北の海域で16測点、南の海域では沿岸の5測点にとどまった。1977年8月5日から7日にかけての調査は図1に示すように懸灘東部海域を

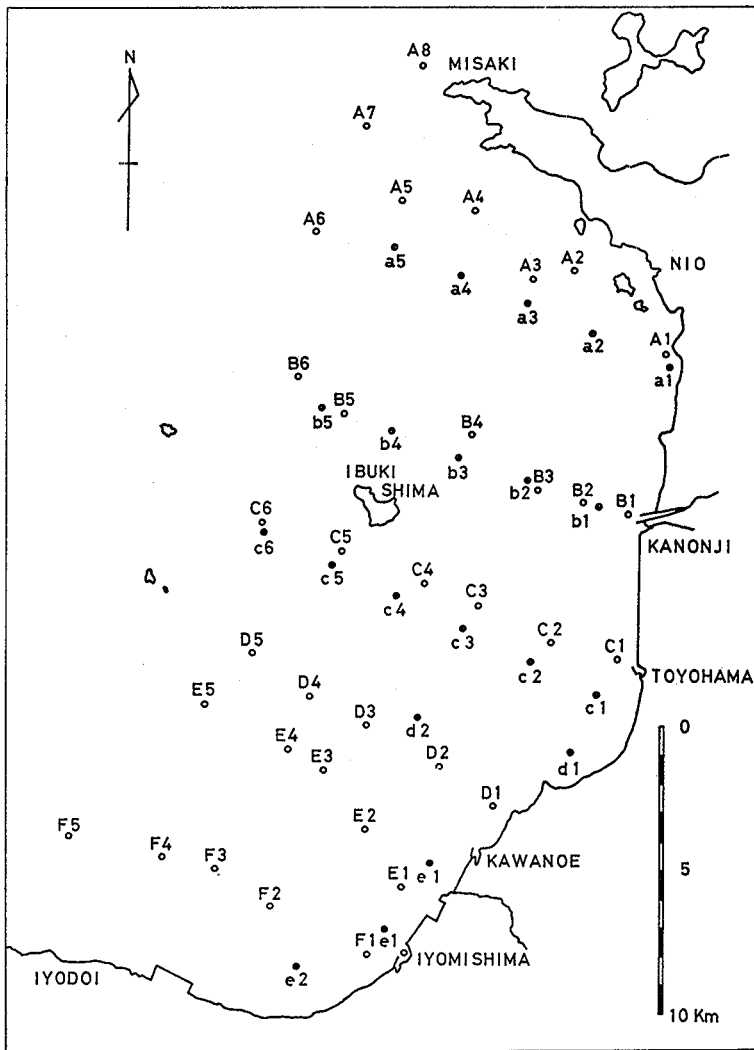


Fig. 1. Location of Sampling stations in the eastern area of Hiuchi Nada
● : August 25, 1976 ○ : August 5-7, 1977

ほぼ網羅できるように36測点を設けて実施した。

使用観測機器は、1976年にはエレクトロニック インスツルメント社製の溶存酸素分析計 (15A型)、77年にはマーテック社製の水質分析計 (Mark III型) で、主として溶存酸素と水温を測定した。なお2測点で同時に採水も行いウインクラー法で溶存酸素を測定し、計測値を補正した。

結果および考察

調査結果は観測点数の多い1977年8月のものを中心にまとめ、76年8月の結果はそれを補強するにとどめた。1977年8月の観測時点での透明度深は沖合部で10m前後を示し、本海域としては高い値が得られた。

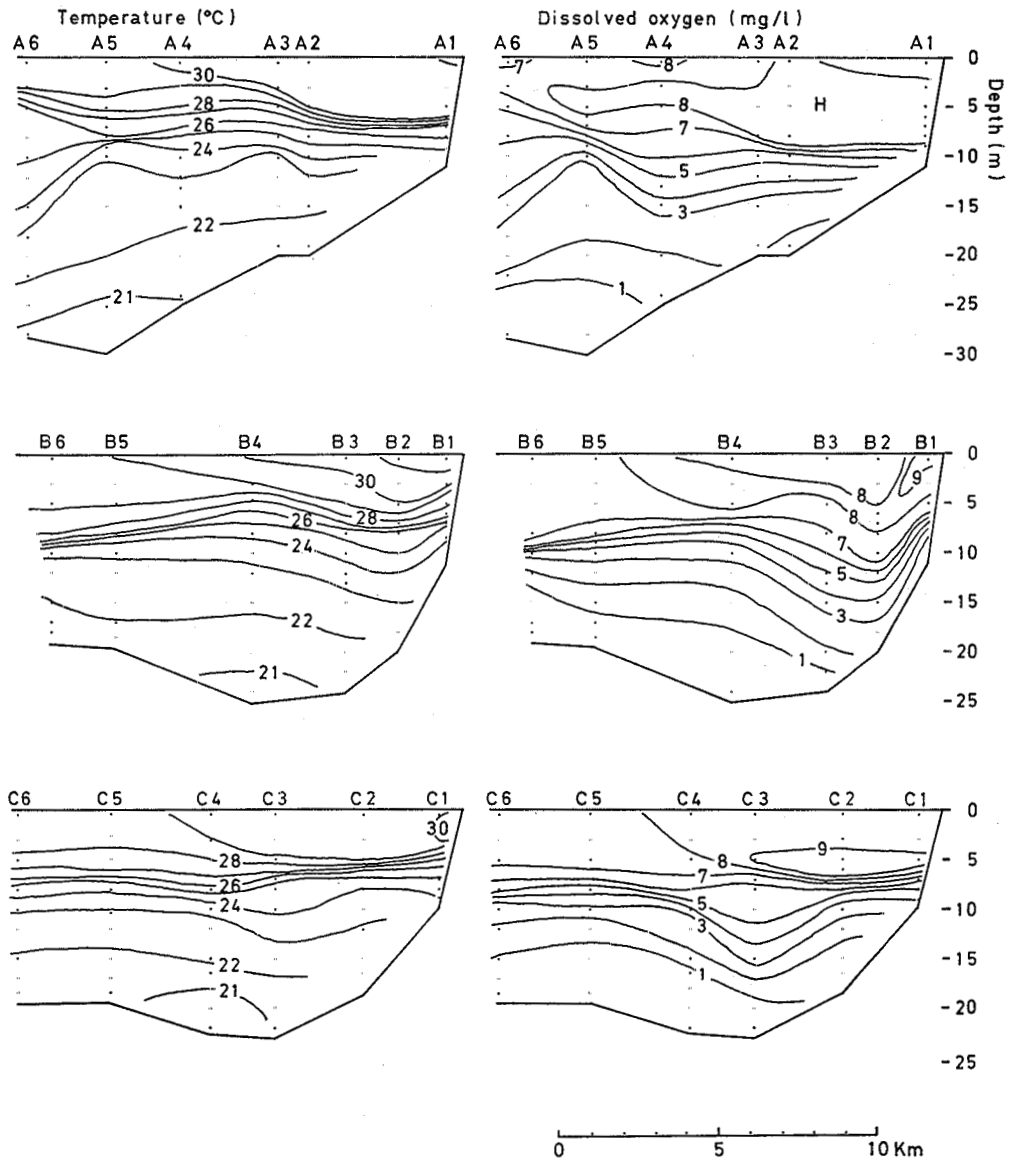


Fig. 2 a. Distribution of temperature and dissolved oxygen content in vertical sections of along east-west lines of stations (August, 1977)

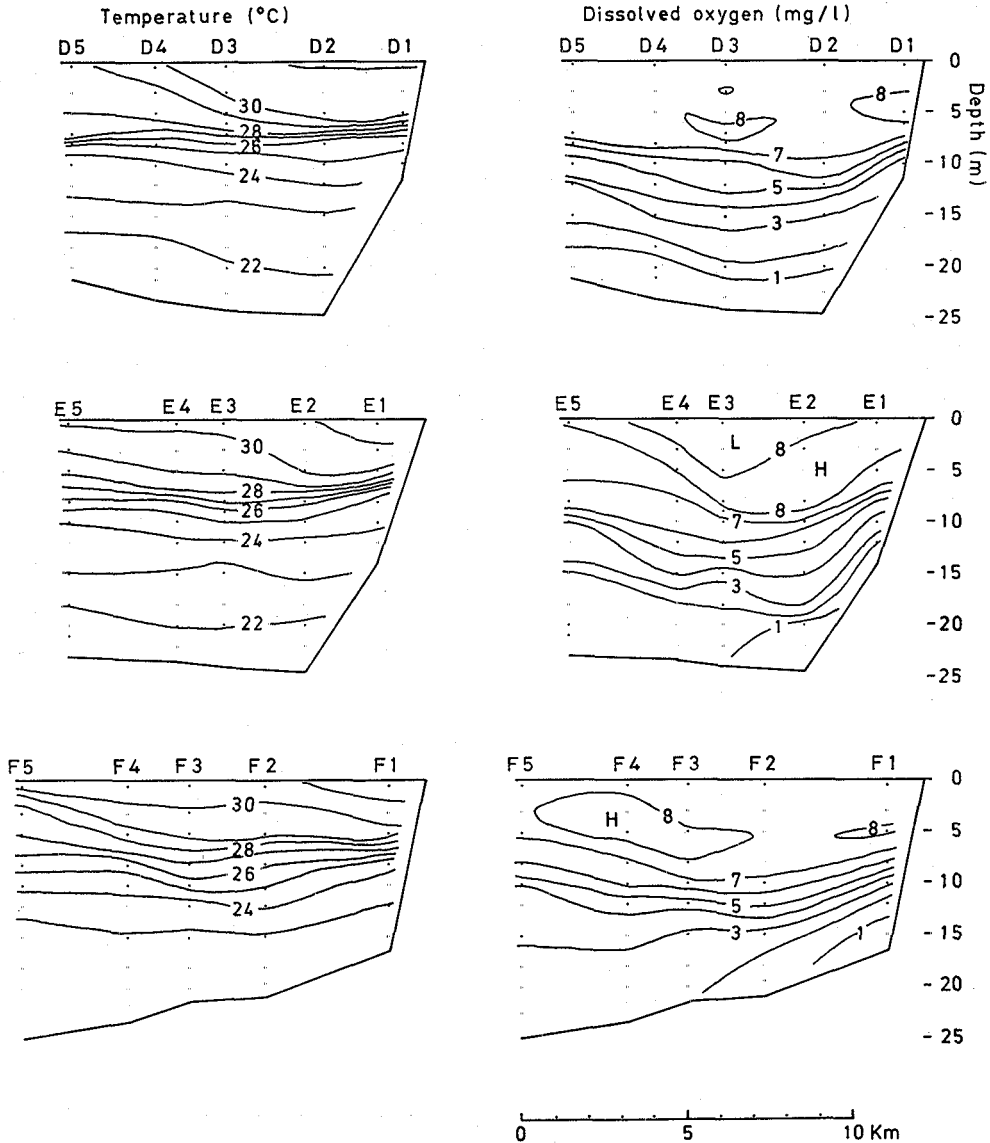


Fig. 2b. Distribution of temperature and dissolved oxygen content in vertical sections of along east-west lines of stations (August, 1977)

図2aおよび2bに東西に設けた6測線の水温, 溶存酸素分布の断面を示し, 南北3測線の水温分布の断面は図3に, 同様に溶存酸素分布の断面は図4にそれぞれ示した。

水温は Sta. E 1 の表層が最高で 31.6°C, 最低は Sta. A 5 の水深 29m で 20.6°C を記録した。表層水と水深 25m のところの水温を比較すると約 8°C の差が認められる。水温躍層は場所により多少異り, 水深 4 m から 10m の間にあり, 特に Sta. A 1 の水深 6 m と 7 m における温度差は 3.2°C に達した。底層水の水温は南に較べて北の海域で若干低い傾向が認められ, 特に Sta. C 4 と Sta. A 7 を結ぶ線を中心に巾 4 km ないし 5 km の海域が特に低く, 21°C 以下であった。香川県三崎沖の Sta. A 8 では温度躍層がほとんど認められないが, これは備讃瀬戸の流れの影響によるものと思われる。また愛媛県土居町沿岸の Sta. F 5 辺りになると躍層は幾分緩む傾向を示す。以上のようにこの時期には南

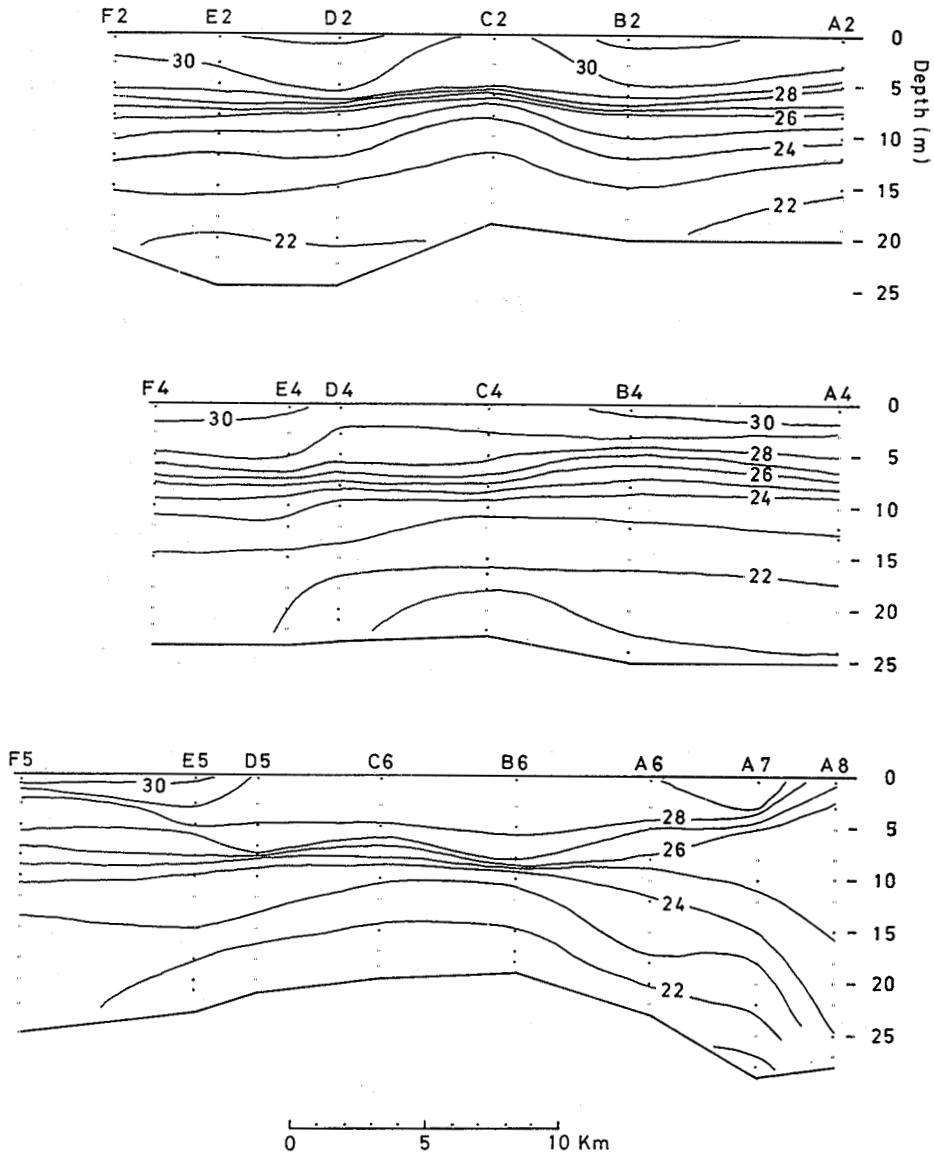


Fig. 3. Distribution of temperature (°C) in vertical sections of along south-north lines of stations (August, 1977)

北のごく一部の海域を除いた他は著しく成層が発達し、垂直的に極めて安定な構造を示していた。

一方、1976年8月の調査結果でも成層が認められたが表層水と底層水の温度差は約6°Cであった。底層水温が低い海域は全般的に陸寄りで見受けられ、Sta. C3の22m層で22.6°Cを示した。調査時期がやや遅かったためか沖合部から成層が崩れかかっているように見受けられる。

溶存酸素は表層水については過飽和状態で水深5~8mに極大層が観測された。それ以深は低下の一途をたどるが、6~15m附近に酸素の躍層が認められる。Sta. B1では水深6mから7mの間に躍層が認められ、この間に2.8mg/lの濃度差が記録された。一般に酸素躍層は温度躍層と同一水深か、または数m深いところに認められた。20m以深では溶存酸素は2mg/l以下に減少している。底泥上1mの海水の溶存酸素が1mg/l以下の海域は、伊予三島港から半

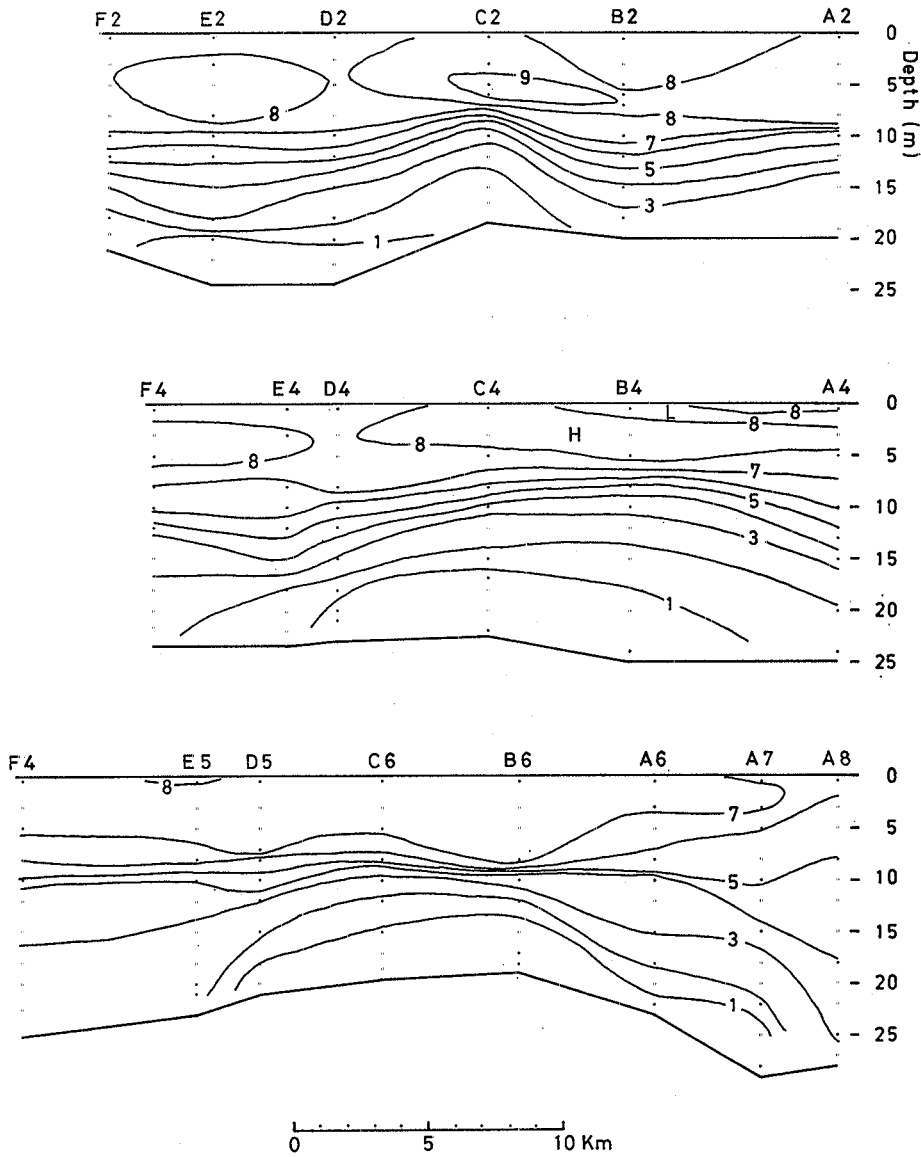


Fig. 4 Distribution of dissolved oxygen content (mg/1) in vertical sections of along south-north lines of stations (August, 1977)

径1~2 kmの範囲内と、同港の沖合3~4 kmから三崎に至る区間である。後者は香川県沿岸より3~5 km沖合から西方に伸びており、調査海域の約50%を占めている。76年にも同様に貧酸素層が認められたが、底層水の溶存酸素が1 mg/1以下の海域は77年に較べて狭く、その分布域は香川県沿岸より約3 km沖合から伊吹島の間に限られ、全般的に東方に片寄っていた。ただ愛媛県の沿岸部の貧酸素水域は広く、川之江市沖から土居町沖に達していた。

以上のようにこの海域は夏期に底層の溶存酸素量が著しく減少し、魚貝類の生棲には極めて不適当な環境となることが明らかである。

貧酸素層の形成条件の一つとして先ず安定な温度躍層の発達と考えられる。1977年5月中旬に香川県豊浜町沖合から三崎にかけて渦鞭毛藻の *Heterosigma inlandica* による赤潮が発生した。その時の調査によれば室本港沖合1 kmで

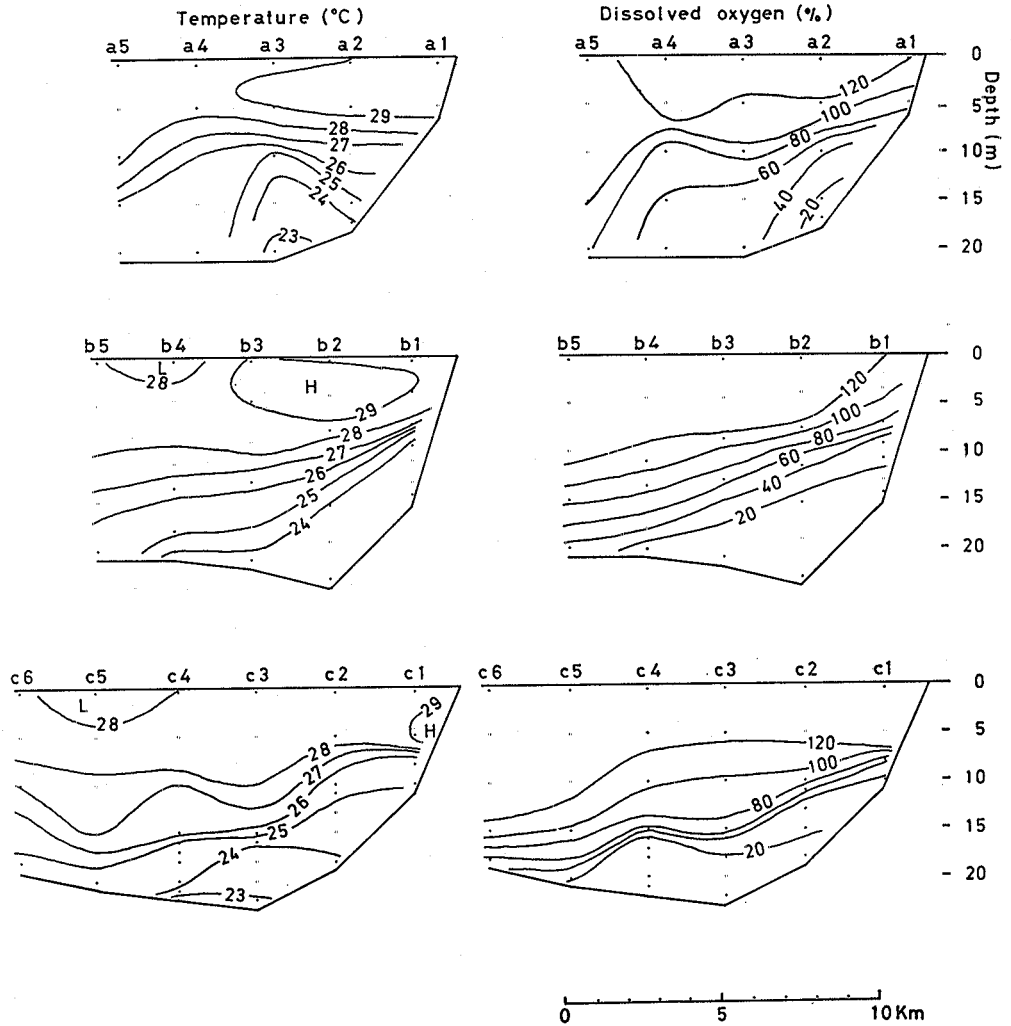


Fig. 5. Distribution of temperature and dissolved oxygen content in vertical sections of along east-west lines of stations (August, 1976)

表層水温 21.8°C 、水深9mで 14.7°C が観測され、この時点で既に温度躍層が確認された。従って成層期は5月頃から8月下旬または9月上旬頃まで続くと考えられる。

塩分量は1977年8月の観測時点で $30.9\sim 31.3\%$ の範囲にあり、上下層の差は 0.4% 以下であった。従って海水の現場密度は主として水温によって支配されているといえよう。ただ、このような物理的条件は近年大巾に変ったとは考えられず、夏期の成層はおそらく以前より形成されてきたものと推察される。しかしながら1965年以前には赤潮や酸素不足による魚貝類の大量死がそれほど問題にならなかったのも、その後、他の何らかの要因をもって海の生態系のバランスが崩れてきたと考えざるをえない。その原因の一つは溶存酸素を一方向的に消費する陸生起源の有機物の排出であり、他の一つは海の富栄養化の進行にともなう植物プランクトンその他の増殖にあると思われる。

溶存酸素の垂直分布からみて底泥の酸素消費が大なるために底層水から貧酸素化が進行するものと推察される。東部燧灘には伊予三島、川之江市にまたがる製紙工業地帯があり、1970年当時には日量 4.1×10^5 tonの工業排水が放出され、COD負荷は $300\text{ ton}\cdot\text{day}^{-1}$ 、浮遊固形物が $170\text{ ton}\cdot\text{day}^{-1}$ におよんでいた⁽¹⁾。難分解性の固形物は伊吹島を中心

にした反時計廻りのいわゆる伊吹島環流⁽²⁾によって東部海域に分散沈降し、底泥を汚染したと考えられる。その結果、泥のCODが30mg/gを超えるところは東部海域の1割に達していた⁽³⁾。このような汚染泥の回復には相当の年月を要するものと考えられる。現在パルプ・製紙工業地帯からの排水の水質の改善が認められるものの、1977年から排水量が日量 5.2×10^6 tonに増加しており、COD負荷は36 ton \cdot day⁻¹と推定される。77年8月に一部の底泥のCODを分析した結果、Sta. C 3で17mg/g、Sta. D 3で19mg/gが検出され、70年当時の値と比べて多少回復の兆しが認められるが、伊予三島港内のへドロのCODは240mg/gを示し、この点に関しては特に改善されているようには思われない。

本海域が富栄養化されていることについては既に多くの指摘⁽¹⁾があり、春先から初夏にかけて植物プランクトンが増殖し、時には赤潮を形成することもある。プランクトンが生育している間は表層の溶存酸素は豊富にあるが、これが死滅沈降すればその分解過程で酸素を消費する。遠藤⁽³⁾は燧灘の年平均一次生産量を $0.33g(m^2)^{-1}\cdot day^{-1}$ と報告している。この値から東部海域について海水中の炭酸ガスより固定される懸濁態有機炭素量を概算すれば106 ton \cdot day⁻¹になる。西村⁽⁴⁾によれば本海域の有機物の沈澱量は基礎生産量の30%である。また上野⁽⁵⁾は愛媛県西条市、新居浜市沖で増殖した植物プランクトンは潮流によって燧灘東部海域にまで運ばれ、ここで沈積すると報告している。このように海で生産される有機物の沈澱量もかなりの量に達すると思われる。

以上のように従来は底泥の汚染は海で生産される有機物に比べて紙・パルプ工場排水による影響が大であったことが容易に推察されるが、今後は逆に海で生産される有機物の影響の方が大きくなる可能性がある。しかし、海で生産される有機物は本来、生産量はその海域で適正であれば高次の生産に利用されるものであり、この点については今後この海域の適正基礎生産量という面も含めてさらに検討されなければならない問題である。

工場排水のCOD負荷の規制は1972年以来実施されているが、栄養塩である窒素、磷については実施されていない。燧灘のように閉鎖性の強い海域では一度富栄養化されると、栄養塩は無機態—プランクトン—堆積物—無機態といった形態変化をするのみで、この系から固定排除される割合は極めて少ない。従ってこの海域の富栄養化の進行をとめ、無酸素化現象を防止するためには早急に栄養塩の排出を規制するとともに、現在蓄積されている栄養塩類を何らかの方法で系外に除くことが重要であると思われる。

終りに臨み、調査観測に御協力いただいた室本漁協組合長小浜福重氏、豊浜町漁協組合長植村与市氏および香川大学農学部今富幸也氏に感謝いたします。

引用文献

- (1) 村上彰男：瀬戸内海の海域生産と漁場, 142—147, フジ・テクノシステム (1976)。
- (2) 大西行男, 国司秀明：燧灘における潮汐残差流の数値計算, 日本海洋学会昭和51年度春季大会講演要旨集, 313 (1976)。
- (3) 遠藤拓郎：内海性海域における生物群集の生産の動態に関する研究, 文部省特定研究昭和44年度研究業績報告, 42—50 (1970)。
- (4) NISHIMURA, H.: Industrial ecology and its application to environmental assessment; A case of the Seto Inland sea, 362—374, Proceeding of the International Congress on the Human-Environment, Kyoto Japan (1975)。
- (5) UENO, F.: JIBP Synthesis, 14, 287—288, Univ. Tokyo Press (1977)。

(1977年10月15日 受理)