

(注意) この論文には正誤表があります

香川大学農学部学術報告 第23巻第1号 正誤表

URL

http://www.lib.kagawa-u.ac.jp/metadb/up/AN00038339/AN00038339_23_1_e.pdf

Notice

Technical Bulletin of Faculty of Agriculture, Kagawa University

Vol.23 No.1 Errata

URL

http://www.lib.kagawa-u.ac.jp/metadb/up/AN00038339/AN00038339_23_1_e.pdf

燧灘東部海域の有機汚染

岡市友利, 越智 正, 平野正子

瀬戸内海水産開発協議会⁽¹⁾は、瀬戸内海周辺における公害の漁業におよぼす影響を調査し、大阪湾や広島湾などと共に、燧灘の新居浜市沿岸および伊予三島・川之江両市の沿岸および沖合を、漁業価値がとくに著しく低下している海域であると指摘した。これらの海域はいずれも工業地帯に隣接するところであるが、伊予三島・川之江両市にはとくに紙・パルプ工業が発達しており、1960年以降、生産の伸びは著しく、1968年の製品出荷額は470億円に達している。一方、それともない、廃水量も増加し、愛媛県衛生研究所の調査によると、1969年には廃水量は1日当たり約41万tといわれ、そのBOD負荷168tは燧灘全域のBOD負荷の64%に相当している。

1960年以降、燧灘では例年のようにかなり規模の大きい赤潮が発生しているが、1970年8月に、燧灘東部から備後灘にかけて発生した赤潮は養殖魚類その他魚貝類に大きな被害を与えた。このような赤潮の頻発は、水産環境の悪化が単に沿岸域にとどまらず、沖合におよんでいることを示すもので、上述のような大量の有機廃水の流入が大きな影響を与えていることは否定できないと思われる。

岡市⁽²⁾は1967年以来、国際生物学事業計画 (IBP) の一環として、燧灘全域にわたり、海水中のけん濁物有機炭素 (particulate organic carbon, POC) 同窒素 (particulate organic nitrogen, PON) および溶存有機炭素 (dissolved organic carbon, DOC) を測定し、季節によっては、POC, DOC が東部海域の海水に著しく多いことを見出した。その分布状態から、これらのPOC, およびDOCが伊予三島・川之江地域から排出される紙・パルプ廃水によるものと思われたので、1970年10月に、燧灘東部海域をさらに詳しく調査し、紙・パルプ廃水がこの海域の汚染の原因であることを認めたので、その結果を報告する。

I 調査方法

調査は1970年10月22日に、三島港から香川県三豊郡仁尾町西方にわたる海域で行なわれた。観測点 (以後 St. と略す) は第1図に示す通りで、2隻の調査船を用い9時38分に調査を開始し、15時25分に終了した。St. 13は川之江港堤防の外側で、St. 18は三島港内、大王製紙岸壁約100mの地点である。なお当日の三島港の干潮は9時22分で満潮は17時2分であった。

栄養塩類の分析を含め15項目について、海水の分析を行なったが、今回は表層水 (0.5m層) の水温、透明度、pH、塩素量 (‰)、溶存酸素 (mg/l)、紫外外部吸収 (275m μ における吸光値)、COD (O₂mg/l)、炭水化物 (mg/l, glucose 換算) およびDOC (mgC/l) について報告する。海水をグラスファイバーフィルターでろ過後、CODはアルカリ過マンガン酸カリ法 (100°C, 20分間加熱) により、炭水化物は Anthrone 法により 50mm セルを使用して日立 FPW 4型光電比色計 (610m μ フィルター使用) で測定した。また、DOCはMENZEL R⁽³⁾の方法により分析した。

底泥は柱状採泥器で採取し、灼熱減量、COD、全硫化物および重金属類を測定したが、これらの結果については別に報告する。

II 結果および考察

1) 透明度、水温、pH、塩素量および溶存酸素量

第1表に、各 St. の透明度、水温、pH、塩素量および溶存酸素量を示す。透明度は北部で大で、南部で小さい傾向が顕著である。この海域の濁りについては井上⁽⁴⁾が1969年7月~11月に海水流動と共に詳しく調査しているので、その結果が参考になる。

観測当日は、快晴、無風状態で、水温は表層がやや高いが、底層水とそれ程大きな差はなく、溶存酸素量も南方の St. を除けば、底層まで過飽和であった。St. 17. および 18 の表層の溶存酸素量が他の St. にくらべて著しく低い、海水中の有機物の分解によるものであろう。

pH は他の海域にくらべてやや低い傾向があるように思われるが、海水中の容存成分との関係はとくに検討しなかった。

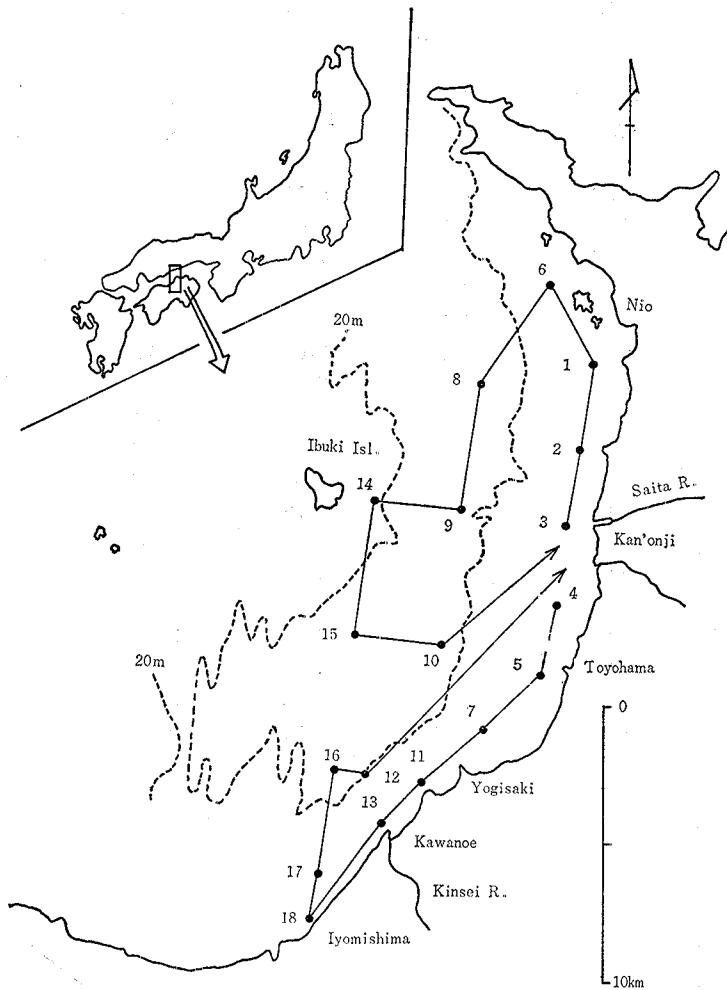


Fig. 1. Sampling stations and the courses of the survey boats on Oct. 22, 1970

2) COD および溶存有機炭素量.

MENZEL らの DOC 定量法は、COD や BOD にくらべて、有機物を炭素量として表示しうること、有機物の質によって値が変動せず、また精度も比較的高いことから、現在では海水中の溶存有機物を測定するのに最も適当な方法とされている。SKOPINISEV⁽⁶⁾によれば、太平洋や大西洋の DOC は $1 \text{ mgC}/\ell$ 程度で、COD に対する比はほぼ 1 であるが、バルト海やバレンツ海ではこの割合が 1 以上に変動するようである。

1970年6月中旬に愛媛県西條市沖で発生した *Heterosigma sp.* による赤潮海水の分析結果および今回の調査結果を整理してみると、燧灘海水では、COD との間には

$$\text{DOC}(\text{mgC}/\ell) = 0.77\text{COD} + 1.04 \dots\dots\dots(1)$$

という関係が認められる(第2図)。燧灘海水には COD として検出しえない有機物が約 $1 \text{ mgC}/\ell$ 含まれていることになる。

海水中の DOC は特別な海域を除いては $1 \sim 3 \text{ mgC}/\ell$ で、燧灘東部でもこの時期には第3図に示すように南部の St. 13・17 および18を除いてはとくに高くはない。通常、海洋では DOC/POC は約10といわれるが、1970年6月における燧灘の中心部での値は8前後で、溶存有機物の分解またはけん濁物へのとり込みが比較的速やかであると思われる、これがある程度汚染の拡大を防止しているのであろう。今回の調査では、廃水の影響は余木崎北方には達していないが、1970年6月には、St. 9 付近で $3.7 \text{ mgC}/\ell$ が検出されており、高温成層期にさらに詳しい調査を行なう必要がある。

Table 1. Oceanographic elements of surface water
(0.5m layer)

St	WT °C	T* m	pH	Cl ‰	D.O** mg/l
1	23.2	4.9	8.00	17.09	9.2
2	23.7	4.7	8.00	16.98	8.6
3	22.5	5.5	7.96	16.40	8.9
4	22.9	5.5	8.02	16.68	8.9
5	23.6	5.5	8.01	17.20	8.8
6	23.4	4.9	8.07	17.20	9.7
7	23.7	7.5	8.00	17.00	7.4
8	23.8	6.6	8.00	17.18	8.1
9	23.9	6.5	8.01	17.19	8.3
10	24.0	4.8	8.08	17.10	9.6
11	23.9	7.5	7.98	17.23	7.7
12	24.2	6.0	7.97	16.80	8.2
13	24.6	0.3	7.65	15.45	5.1
14	23.6	5.3	8.02	17.13	10.0
15	23.8	—	8.04	17.05	10.3
16	24.2	4.7	7.98	16.68	7.5
17	25.2	3.5	7.83	16.83	4.4
18	23.8	0.3	7.73	16.75	3.4

* Transparency

** Dissolved Oxygen

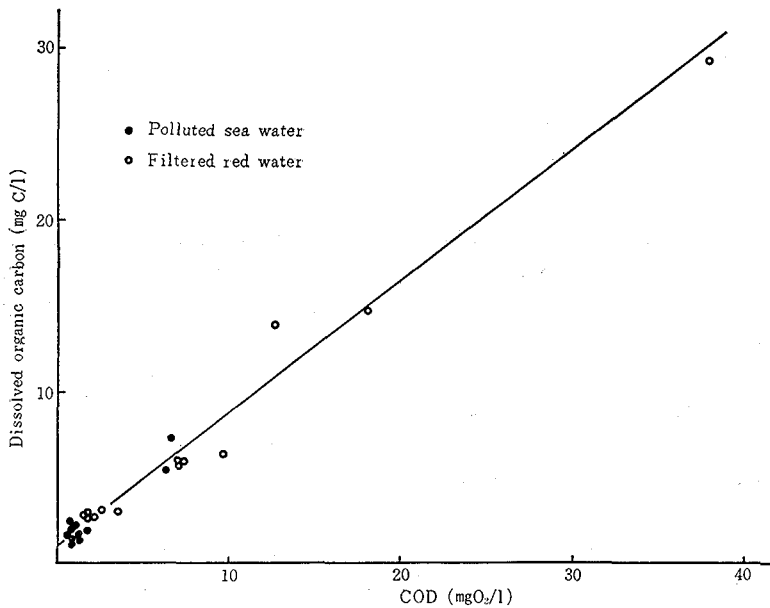


Fig. 2. Relationship between dissolved organic carbon (DOC) and COD

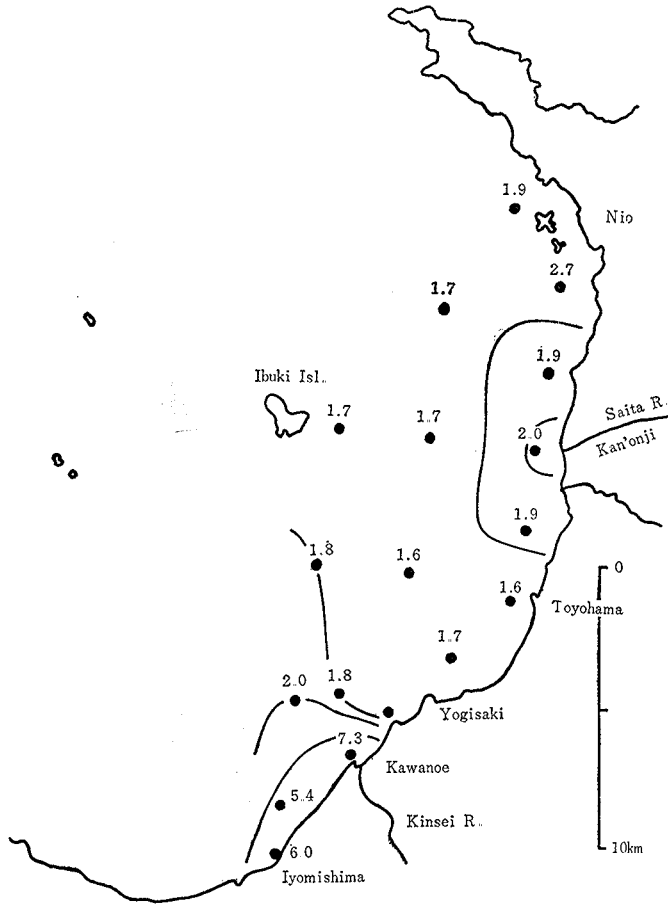


Fig. 3. Distribution of dissolved organic carbon (mgC/l)

なお、三島港内でも廃水は一樣に流れているわけではなく、濃度に極端な差があり第3図の St. 18 に示した6.0mg C/l という海水以外に COD として 199mgO₂/l (DOC として 154mgC/l 相当) の値を示す濃い赤褐色の海水も採取されている。

3) 紫外外部吸収

1970年6月の IBP 調査時に、東部海域の海水に、275m μ の極大吸収が認められたので、今回の調査においても、DOC と関連して海水の 275m μ の吸光値を測定した。第4図に示すように、やはり南部に紫外外部吸収が高いが紫外外部吸収の減衰状態から、調査時には三島港から北方6~7.5km の範囲に廃水が拡散していたと思われる。観音寺港外の St. 3 の海水も周辺の St. にくらべてやや高く、財田川や一之谷川から流入する汚水の影響が認められる。

精製 lignosulfonic acid を紫外外部吸収の低い海水に溶解すると、St. 17 や 18 の海水の紫外外部吸収と比較的よく一致し、これらの海水中の高い紫外外部吸収は lignin やその誘導体由来するものと考えられる(第5図)。海藻から 280m μ 附近に極大吸収を示す polyphenol その他が抽出されることが知られている⁽⁶⁾が、天然で海水の紫外外部吸収に大きく影響するとは考えられない。津軽海峡西部の日本海で採取した海水の 275m μ の吸収は 0.015(10mmセル使用) でこれを一応パルプ廃水の影響のない海水として、紫外外部吸収から St. 16.17 および 18 の海水中の lignosulfonic acid 量を求めると、それぞれ、2.8, 8.3, および 7.2mg/l に相当し、上述の赤褐色海水には 255 mg/l の lignosulfonic acid が含まれている。さらに、岡市ら⁽⁷⁾は亜硫酸パルプ工場の大下水から採取した廃水中に、727~912 mg/l の lignosulfonic acid を見出しているが、三島港のように工場の廃水口から離れた地点で、このような高濃度の lignosulfonic acid が認められるのは極めて異常であると思われる。1971年5月27日に、三島港の6箇所て採取した海水は、0.103, 0.162, 0.190, 0.284, 0.668, および 2.91 とかなり異なった吸光値を示し、港内で稀釈されて、

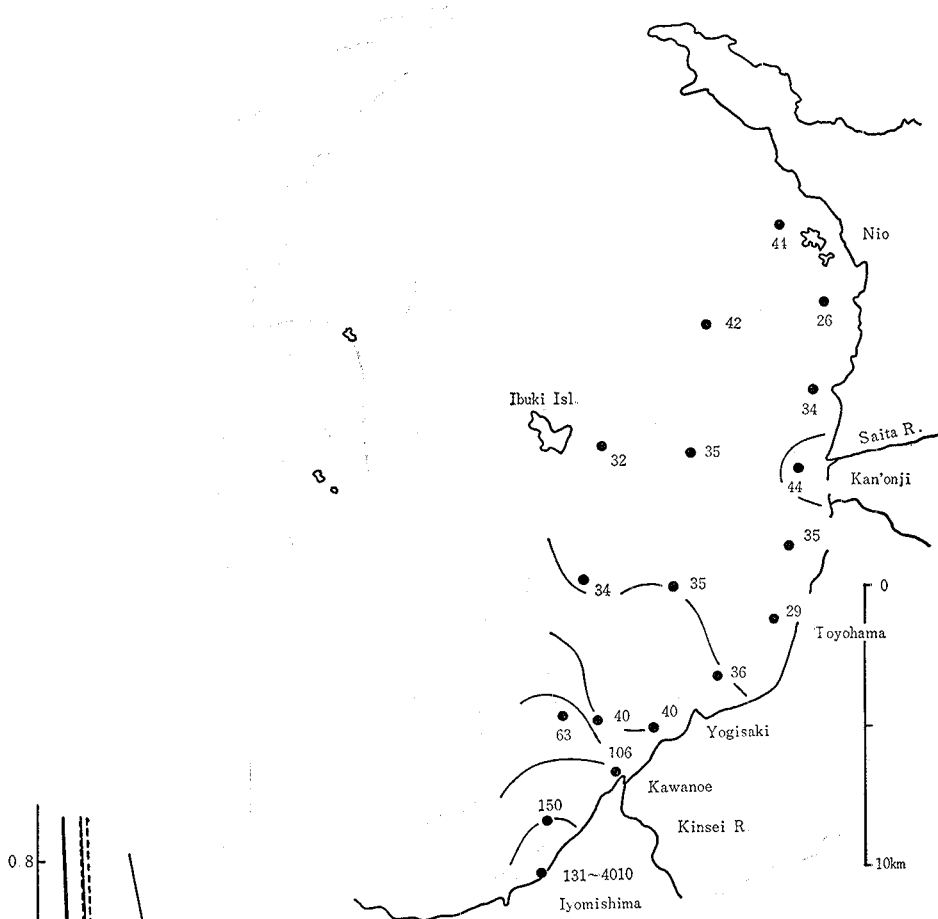


Fig. 4. Ultraviolet absorptions ($\times 1000$) of sea water (275 $m\mu$, light pass 10 mm)

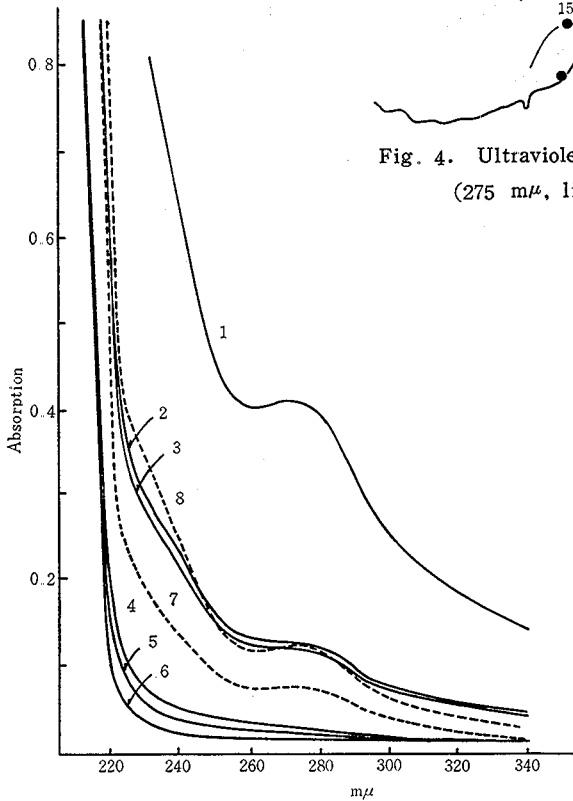


Fig. 5. Ultraviolet absorption spectra of sea water and liginosulfonic acid

1. Highly polluted sea water obtained at the Mishima Harbor. Dilution : 10 times.
2. Polluted sea water obtatined at the Mishima Harbor (St. 18).
3. St. 17.
4. St. 16.
5. St. 3.
6. Sea water of the Japan Sea.
7. Liginosulfonic acid in sea water. 3.75mg/1.
8. " " 7.5mg/1.

次第に港外へ排出されていく様子が明瞭であった。

金生川川口の汚水を除けば、この海域では $275\text{m}\mu$ における吸光値と COD や DOC の間に相関が認められ、とくに COD 2.5 以上のパルプ廃水を含む海水の調査に紫外外部吸収を測定することは、有効であると思われるが、この点は今後さらに検討して報告したい。

4) 炭水化物

炭水化物の分布はかなり南方に限られ、金生川川口や三島港内でそれぞれ 22 および $28\text{mg}/\ell$ が検出されたが、三島港から 2km 北方の St.17 では $0.6\text{mg}/\ell$ にすぎず、DOC や $275\text{m}\mu$ の吸光値の変化にくらべて、減少が著しい(第6図)。炭素量で計算した場合、三島港内の海水中の溶存有機物の18%が炭水化物であるが、St. 17 では4.4%にすぎ

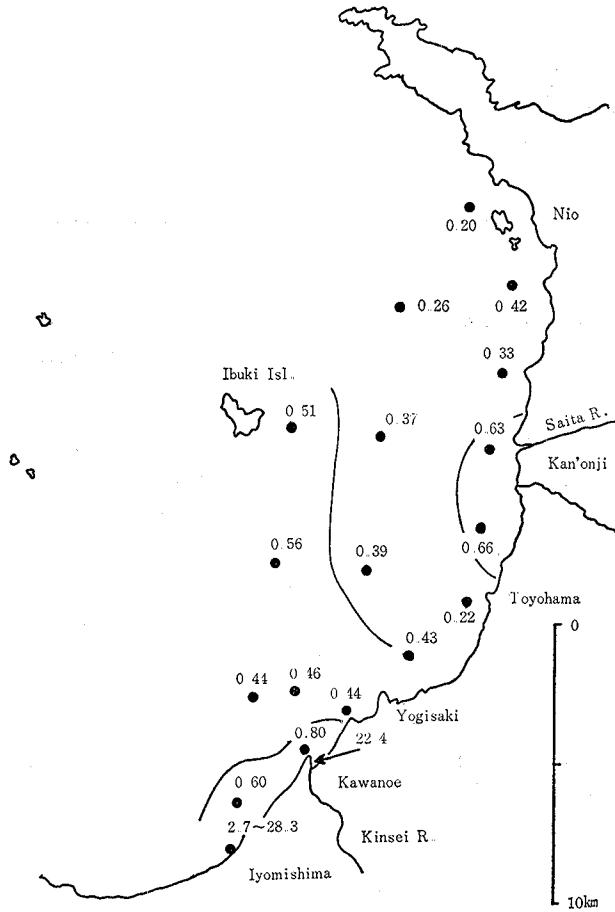


Fig. 6. Distribution of carbohydrate (mg glucose/l)

ず、他の有機成分にくらべて速やかに分解されていることがわかる。このような DOC に対する炭水化物炭素量の割合は St. 17 から北方にかけてまた次第に増加し、St.16 で 8.8%, St. 15 および St. 14 では約 12%を示す(第7図)。伊吹島周辺の海域で炭水化物が増加しているのは、溶存酸素量の高いことから植物プランクトンに由来するものとも考えられるが、詳しい理由は不明である。

以上のように燧灘東部海域のとくに南部の海中には有機物が多く、その多くが伊予三島および川之江両市の紙、パルプ工場廃液によるものと結論することができる。しかもこのような有機汚染は伊予三島、川之江地先の海域の問題として限定することはできず、かなり広汎な汚染と富栄養化をもたらしているものと思われる。湖沼学で定義された富栄養化の概念を海洋にそのまま適用するには問題があるが、St. 9 についていえば、透明度は9月から12月にかけて $5.0\sim 7.0\text{m}$ 、10月の無機態窒素 $0.11\text{mg}/\ell$ 、無機態磷 $0.03\text{mg}/\ell$ で、富栄養湖の特徴に極めて類似している。本

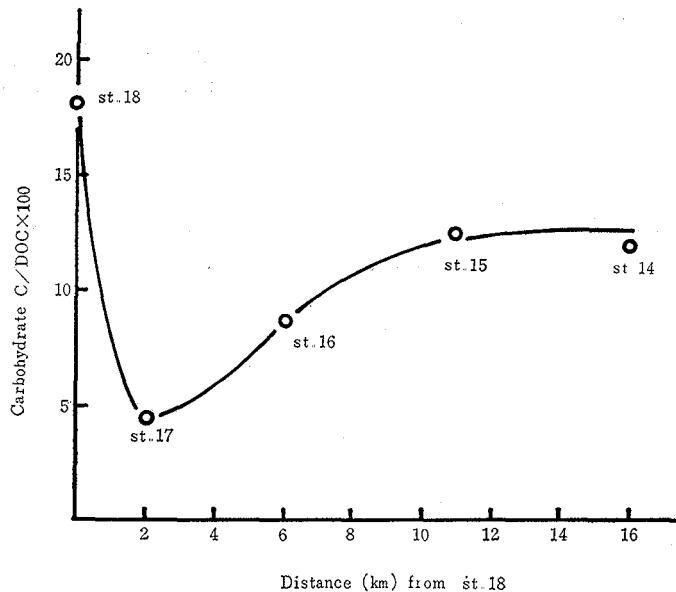


Fig. 7. Carbohydrate contents in dissolved organic substance. The values are expressed by percentages of carbohydrate carbon to dissolved organic carbon

海域をはじめ瀬戸内海各地で赤潮が頻発しているが、富栄養化が原因であることは多くの研究者の指摘するところである。とくに亜硫酸パルプ廃水は濃度によっては赤潮プランクトン (*Eutreptiella sp.*) の増殖を促進する⁽⁷⁾ので、この海域の紙、パルプ廃水汚染と赤潮発生の関係は今後究明されるべき重要な課題である。海水ばかりでなく底泥の汚染も著しく、調査した全域で COD は $15\text{mgO}_2/\text{g}$ 以上で、St. 13 および 18 は別としても、北部の St. 8 で $32\text{mgO}_2/\text{g}$ と高い値がえられた。この海域は、懸礁全域の海水流動からみてもけん濁物の沈降しやすいところと考えられ、上野⁽⁸⁾は他の海域に比較して底泥中の *phaeophytin* の多いことを指摘している。St. 8 の底泥の汚染がすべて紙、パルプ廃水によるとは考えられないが、南部に堆積した腐泥が海底が攪拌されるような場合には浮上して、北部に沈降することはありうることで、1970年8月下旬に、著者らも St. 2 附近の海水中にあきらかに繊維かすと思われるけん濁物を認めることができた。

井上⁽⁴⁾はフロートテストおよび定点観測により、この海域の海水流動を調べ、北東流が南西流より卓越していることを明らかにし、合田⁽⁹⁾も三島港、川之江港沖で投入したビニールシートがすべて豊浜を中心とした香川県側で回収されたことと、年間の風向から、三島、川之江沿岸の表層水は夏期を中心に香川県側に流れることを報告している。このように、懸礁東部水域は南部の沿岸水の影響を受けやすく、漁場価値の回復のためには、伊予三島、川之江地区の紙、パルプ工場廃水の規制が不可欠である。水質審議会は、最近、この海域の類型を指定したが、この指定がまもられるためには、1972年4月1日までに廃水中の COD を 70%、けん濁物では 80% 減少させる必要があるといわれる。このような海域の類型指定が真に著効を収めるには、水質の監視体制を備えなければならないが、275~280 $\text{m}\mu$ の紫外外部吸収の測定は、適当な分析機器があれば極めて簡便に行なうことができるので、この海域ではとくに有効な手段となりうるであろう。

III 摘 要

懸礁東部水域は、伊予三島および川之江地区の紙、パルプ工場廃水による汚染が目立っているが、1970年10月22日に化学的調査を行ないその実態を明らかにした。溶解有機炭素量および 275 $\text{m}\mu$ における吸光値から、本調査時に廃水の影響が、三島港から北方 6~7.5 km におよんでいることを認めた。紫外外部吸光値の測定は簡便なために今後紙、パルプ廃水の影響調査に有効であると思われる。

終りに、本調査にあたり有益な示唆をいただいた本学海拓工学研究室井上裕雄助教授、田中啓陽博士、調査に御協

力いただいた香川県三豊漁業協同組合連合会および、本学学生杉本利行、武川純一、西尾幸郎の諸氏に深く感謝する次第である。

文 献

- 1) 瀬戸内海水産開発協議会：公害にさらされる瀬戸内海の漁業—現状と対策 (1970).
- 2) 岡市友利：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43~45年度研究業績報告
- 3) MENZEL, D. W., VACCARO, R. F.: *Limnol and Oceanogr.*, 9, 138 (1964).
- 4) 井上裕雄, 田中啓陽：香川県沿岸海域における微海洋環境に関する研究 2. 三島一観音寺間海域の汚濁について (香川県汚水対策協議会報告)(1970).
- 5) SKOPINTSEV, B.A.: *Trud. Gos. Okeanogr.*, in-ta 17 (29) (1950), 石渡良志他, 水処理技術 7 (5), 56 (1966) より引用
- 6) CRAIGIE, J. S., MCLACKLAU, J.: *Can. J. Bot.*, 42, 23 (1964).
- 7) 岡市友利, 柳生昭孝：日本プランクトン学会報, 16, 126 (1969).
- 8) 上野福三：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43年度研究業績報告
- 9) 合田栄作, 高桑糺, 横山昭市：私信

Organic marine pollution in the eastern area of the Hiuchi Nada

Tomotoshi OKAICHI, Tadashi OCHI, and Masako HIRANO

It seems in this decade that organic marine pollution due to pulp wastes have developed in the eastern area of the Hiuchi Nada attending with deterioration of fishing ground. About four hundreds and ten thousands tons of pulp wastes containing 168 tons of BOD are discharged in a day from paper and pulp industries in Iyomishima and Kawanoie cities.

On the survey carried out on Oct. 22, 1970, highly polluted water was collected at the Mishima Harbor, in which 199 mgO₂/l of COD and 255 mg/l of lignosulfonic acid were detected. Dissolved organic carbon (DOC) in sea water was also determined with Menzel's method. There was a close correlation between DOC and COD as expressed in equation (1). For the determination of lignosulfonic acid, absorption at 275 mμ is used effectively if sea water contains more than 2.5 mgO₂/l of COD. Distribution of DOC showed almost the same pattern as that of lignosulfonic acid which was detected at 6 km north of Mishima Harbor (Fig. 3 and 5). On the contrary, the distribution of carbohydrate was limited in southern coastal area (Fig. 6).

(1971年5月31日 受理)