海水汚濁の測定について—II.

汚濁指標として B.O.I. を用いた水質調査

諸 岡 等

(1960 年 7 月 28 日受理)

DETERMINATION OF SEA WATER POLLUTION—II.
SURVEY ON THE WATER QUALITY WITH B.O.I.
AS A POLLUTION INDICATOR.

Hitoshi MOROOKA*

This study was conducted to clarify the significance of a new indicator (B.O.I.—Biological Oxygen Index), which had been assumed as an indicator of sea water pollution caused by microorganisms, and the following results were obtained.

1) Many fishes of N Aquarium died last summer. Although no abnormality was found by chemical analysis, the value of B. O. I. revealed that there were so many microorganisms. It is easily conceivable that microorganisms can not proliferate in the culture water, from the fact that the value of B. O. D. or C. O. D. of the culture water is small. The microorganisms which play an important part of the origin of the B. O. I., grow on the body of some fishes and make them die, and then spread to some other fishes through the culture water.

2) As the results of a survey on the quality of the waste water from starch factories, that might badly effect fishes, the author reached the following conclusion.

a) In the areas where waste water flows in and tidal currents wash, the value of C. O. D. or B. O. I. indicates somewhat wider polluted areas than the value of pH or B. O. D. does. But the area is not so spread. In such a case, organic substances are decomposed but microorganisms are left alive.

b) In the areas where waste water flows in but tidal currents do not effect, pH, D. O. and B. O. I. reveal nearly same results in extent of spreading, and the area is so spread. In such a circumstance, waste water that spreads and pollutes sea water, seems not to be usually diluted and the organic matter decomposed in the same area.

この報告は筆者が前報¹⁾において微生物による海水の汚濁を示す指標として検討した B. O. I. (Biological Oxygen Index—海水に 1000 p. p. m. 相当の葡萄糖を添加して 30°C で 24 時間培養した時の酸素消費量)の測定を、汚濁された海水の実地調査に用いて有効であることを示すものである。

1. 水族館における魚族の異状斃死と水質調査

N水族館は昭和 34 年 4 月に開館された。ここでは飼育用の海水は循環使用されている。観覧水槽を出た水はシャワーとなつて曝気され砂戸しによつて戸過され再び観覧水槽に戻る。開館当初は順調に魚族の飼育がなされていたが、7 月頃になつて魚族が異常斃死を始めたので、その原因を調べることになつた。

ここで、予め考えられる斃死の諸要因のうち、物理的原因については、これはむしろ開館当初に起ることであろうと思われたので吟味する必要なしとした。ここにおいて、まず飼育中の魚族の排泄物あるいは分泌物が原因ではないかと検討した。よつて飼育海水中の窒素化合物の分析から調査を行なつた。その結果を

* 長崎県水産試験場 (Nagasaki Pref. Fish. Exp. Station).

Table 1 に示す。(昭和 34 年 7 月 1 日)

Table 1. Contents of Nitrogen Compound in Water of Aquarium. (g/l)

Sample Water	Nitrate-N	Nitrite-N	Ammonia-N
1. Natural Sea Water	0	0	32
2. Circulating Culture Water before Filtration through Sand Filter	2900	42	41
3. Circulating Culture Water after Filtration through Sand Filter	2600	42	59
4. Culture Water in Oceanarium	2600	42	43
5. Circulating Culture Water before use in Show-Aquarium.	3600	42	41
6. Circulating Culture Water after use in Show-Aquarium.	4200	49	32
7. Water of the fresh Water Aquarium, culturing Carp.	1700	14	32
8. Inlet Water of the fresh Water Pool, out Door.	400	28	28

表中 $\text{NO}_2\text{-N}$ は $\text{NH}_3\text{-N}$ が酸化され、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は $\text{NO}_2\text{-N}$ が更に酸化されて生じたものと考えられるが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は天然海水中のそれに比べて著しく多い。しかし他の水族館²⁾にはこの約 10 倍量の $\text{NO}_3\text{-N}$ を含む例もあり問題になるとは思われない。また $\text{NO}_2\text{-N}$ については含量も少ないし、前述のごとき水族館にはこれの約 10 倍を含む例もあつて障害が認められていないのであるから特に問題になるとは思われない。 $\text{NH}_3\text{-N}$ については 0.3 p.p.m.²⁾ 程度で血液の呼吸作用に障害を与えるといわれているが、分析の結果はその 1/5 以下であり、他の水族館の飼育水中の含量に比べてもその 1/2 以下であつて、特に斃死の原因になるとは思われない。

供試海水の N 化合物については、このように特に有害あるいは有毒であることを示す結果は得られなかつたので、7 月 3 日水族館に赴き現場で N 化合物以外の事項について調査した。その結果を Table 2 に示す。この表の値からは水温は高いが、pH、溶存酸素、化学的酸素要求量等については異常を認めない。(この季節の飼育水の温度として、異常に高いとは思われぬ。)

Table 2. Results of Analyses Made at Aquarium.

Sample Water	Temperature (°C)	Chlorinity (‰)	pH	D.O. (p.p.m.)	C.O.D. (p.p.m.)
1. Inlet Water for Sea Water Aquarium.	26.2	18.65	8.4	6.26	1.40
2. Circulating Culture Water before Filtration.	26.2	17.59	8.16	6.08	0.99
3. Circulating Culture Water after Filtration.	26.2	17.73	8.06	6.45	1.08

化学分析によつては以上のように特に異常を認めることができないので、水質が水槽中で均一でなく、特に悪い水塊が水槽中に残っているのではないかと考えて、最も被害の大きい 60 トン容量のオセアナリウム(立体水槽)について、水槽の構造上混合されない水塊の残ると思われる場所を選んで、改めて精細な調査を行なつた。その採水点を Fig. 1 に示す。採水試料について分析した結果を Table 3 に示す。この結果からオセアナリウム中に魚族にとつて有害な水塊が残っているとは思わない。この種の調査を数回繰り返したが、結果はすべて同様であり、化学的水質検査では死因究明が不可能であつた。

つぎに斃死率の高い水槽の魚族は、魚体の全面が白く侵されているもの、鱗が剥がれ出血あるいは菌叢の生じたもの、鰓が侵され出血あるいは菌叢の見られるもの、眼球が侵され白濁あるいは菌叢が認められるもの

Fig. 1. Sampling Points in Oceanarium.

Table 3. Characters of Water Mass of Oceanarium.
c. f. Fig. 1.

Sample	Temperature (°C)	pH	D.O. (p.p.m.)	C.O.D. (p.p.m.)
1	26.4	8.0	6.60	0.98
2	26.2	8.0	6.43	0.74
3	26.2	8.0	6.38	0.78
4	26.2	8.0	6.39	0.93

の等がある。これはおそらく魚体のそれぞれの場所に繁殖した微生物が飼育水を媒体として他の魚体に伝染し、これがまた原因となつて他に伝染したためと考えられる。従つて魚族の被害程度が高ければ高い程飼育水には被害魚から移行した微生物の多いことが予想された。

Tables 2, 3 の分析結果から明らかなように、飼育水の B.O.D. (Biological Oxygen Demand) や C.O.D. (Chemical Oxygen Demand) は小さく、N 化合物含量は大きい。しかし飼育水はそのままでは微生物の培養基としては不完全であり、その中では微生物の繁殖は圧えられているが、これに培養基の栄養源として最も欠けている炭素源として炭水化物を添加すればたちまちよい培養基となるはずである。よつて飼育水に葡萄糖を加えて微生物の培養基を作り、存在する微生物を活動させ、その活動状況を酸素の消費割合によつて知ることにした。すなわち B.O.I. の測定を加えて総合的な水質調査を行なつた。調査結果は Table 4 に示す通りである。

調査は海水取入口 (原水) とオセアナリウム (循環水) で採水したものについて行なつた。物理ならびに化学的要因については前記の場合と同様すべて正常であり、特に注意をひくような

異常な値は認められない。すなわち、水温、pH、溶存酸素等については両者に差はないが、窒素化合物だけは循環水に特に多かつた。しかし窒素化合物が多いことは水族館の飼育海水の特徴であつて問題にならない。C.O.D. や B.O.D. は循環水に少くこれは循環中に好気性細菌によつて酸化された結果であろう。B.O.I. は両者とも比較的大きく、特に循環水の 6.90 は大きな値であつて、長崎港の汚濁した場所の値にも匹敵する。取入口の原水の B.O.I. も比較的大きい値である。このように汚れた水を取入れたことも水質汚濁の原因であろう。現在では補充用の飼育海水は沖合の方で汲まれ、その B.O.I. は 0.60 (昭和 35 年 2 月 28 日) であり、微生物的に浄水の部に属する。

この調査により飼育水の水質は化学的には異常を認め得ず、生物学的に調査を行なつて始めて異常を認め得ること、すなわち微生物の発生が多く、そのための障害を考慮すべきことが明らかにされた。また実際には斃死魚族からかなり多数の白点病の原因となる原虫類の存在が認められている。

2. 澱粉工場廃水による水質汚濁の調査

澱粉工場廃水は腐敗し易いために各種の問題を起すものである。以下はその調査に B.O.I. 測定を加えて汚濁の概要を明らかにした例証である。

Table 4. Characters of Culture Water of Aquarium.

Sample Water	Inlet Water for Sea Water Aquarium	Circulating Culture Water
Water Temperature °C	26.4	26.2
Chlorinity	17.88	17.85
pH	8.20	8.16
D. O. (p.p.m.)	6.26	6.08
Nitrate-N (γ/l)	—	2600
Nitrite-N (γ/l)	—	42
Ammonia-N (γ/l)	32	43
C. O. D.	1.74	1.25
B. O. D.	0.48	0.06
B. O. I.	3.60	6.90

A. 廃水が潮流の影響を受ける場合

長崎県 S 町にある澱粉工場の例である。本調査は工場の作業が終りに近づいた時（昭和 34 年 12 月 8 日）行なつた。その調査結果を Table 5 に示す。なお工場は河口（灌漑用水路で水量が少い）より約 10m 上流に排水口を持ち、廃水が海面に出た後は干満の際の潮流によつて稀釈されている。採水点 1, 2, 3, 4 はそれぞれ河口から沖に 20, 60, 100, 150m 離れている。分析結果をみると汚濁を示す数値は何れも沖の方に向かつて汚濁度が減少することを示している。しかし沖の正常な海水を基準にとり精細に検討すると、pH や沃素消費量よりも B.O.D. が汚濁に対して敏感であり、さらに B.O.D. よりも C.O.D. や B.O.I. が汚濁を敏感に示している。C.O.D. と B.O.I. を比較すると、C.O.D. の測定は容易であるが、汚濁度の解明という点から考えると B.O.I. の測定は遙かに論理的なものがある。何れにしろこの場合は pH や沃素消費量よりも B.O.D. が広い範囲の汚濁を示し、C.O.D. や B.O.I. の方が更に広い範囲の汚濁を示すことが明らかになつた。

Table 5. Character of Sea Water Polluted by Waste Water from Starch Factory*.

Sampling Station	1		2		3		4	
Distance from the point of Inflow (m)	20		60		100		150	
Depth (m)	1.50		2.30		4.20		5.50	
Transparency (m)	1.20		2.30		4.00		3.80	
Classification of the Bottom type	Gravel		Gravel		Gravel+Sand		Gravel+Sand	
Sampling Layer	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Water Temperature (°C)	15.6	15.6	15.7	15.6	15.7	15.5	15.8	15.6
Chlorinity (‰)	18.30	18.35	18.29	18.35	18.38	18.38	18.40	18.39
pH	7.95	7.95	8.05	8.10	8.05	8.10	8.10	8.10
D. O. (p.p.m.)	7.34	7.52	7.58	7.67	7.69	7.62	7.70	7.69
H ₂ S by I ₂ Method (mg/l)	0.231	0.126	0.096	0.017	0.070	0.025	0.025	0.026
B. O. D.	8.08	3.81	8.74	0.84	0.25	0.24	0.42	0.45
C. O. D.	33.4	9.2	19.0	1.46	1.95	0.74	0.77	0.74
B. O. I.	7.50	5.99	8.21	1.95	0.74	1.36	1.00	0.84

* Waste water from the starch factory usually spread over some extent because of the sea current. Therefore, bad effects caused by the waste water are minimized in this area.

B. 廃水が潮流の影響を受けない場合

O 市地先の海面が約 10 カ所の澱粉工場の影響を受けて、多数の魚族が斃死したことがある（昭和 34 年 11 月 18 日）。この附近は O 湾の湾奥部にあたり、地形上潮流の影響の少い処で、かかる危険は予め考えられていたが、従来は澱粉工場の操業期は風の強い日が多く、廃水は稀釈されるので障害は少なかつた。しかしながら問題が起きた当時は約 10 日間ほとんど無風に近い静かな日が続いていた時であり、海面が攪拌されず、従つて廃水が稀釈されていなかった。その結果、一面に廃水が停滞して腐敗酸酵をし、広範囲に亘つて被害を生ずるに至つた。その調査結果をまとめると Table 6 の通りである。試水の採取は廃水溝が海に出る地点より沖へ Table 5 に示した地点で行なつた。調査の結果から判断すると全般的には海面上層を廃水が覆つた形に拡がっている。しかもその廃水は腐敗し分解し易いので、pH や酸素含量の測定だけでも明白な被害範囲が判り、B.O.D. や B.O.I. の結果をまつまでもない。B.O.D. は酸素消費が起こる場合に予知的な作用をするものと考えられるが、今次的場合は酸素欠乏による障害の方が B.O.D. により予想される障害よりも顕著に現われている。これは恐らく酸素欠乏の原因となる有機物が比較的短期間に分解されていたのであろう。B.O.I. は前報にも述べたように B.O.D. による問題が解決したと思われる後に残つていて汚濁の原因となるものであり、その示す汚濁範囲は B.O.D. によつて知り得る範囲よりも広い。本調査

Table 6. Characters of Sea Water Polluted by Waste Water from Starch Factory.*

Sampling Station	1	2		3		4		5	
Distance from the point of Inflow (m)	80	200		300		400		800	
Depth (m)	0.5	4.0		4.5		4.6		6.7	
Transparency (m)	0.5	2.0		2.0		4.0		5.7	
Sampling Layer	Surface	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Water Temperature (°C)	17.4	17.4	—	17.8	18.1	18.3	—	18.4	18.4
Chlorinity (‰)	—	18.02	18.17	18.04	18.24	18.24	18.27	18.28	18.28
pH	6.4	7.5	7.2	6.9	7.5	6.9	8.0	8.1	8.1
D. O. (p.p.m.)	0	0.10	0.08	0	2.48	6.78	6.30	8.42	8.48
H ₂ S by I ₂ Method (mg/l)	11.62	0.474	0.156	2.128	0.018	0.08	0	0.017	0.034
B. O. D.	—	4.53	0.74	—	1.71	—	—	0.48	—
C. O. D.	328.3	17.7	2.3	18.7	2.01	1.13	1.23	0.94	0.98
B. O. I.	—	6.25	3.88	—	2.46	—	—	1.79	—

* Waste water from the starch factory does not spread and it is decomposed in this area because of motionlessness of the sea. So, bad effects take place.

において B.O.I. により知り得た汚濁範囲は酸素含量が示す汚濁範囲と大体同程度である。これらの事実は澱粉工場廃水が同一箇所に停滞して稀釈されずに分解したことを示すものである。

摘 要

前報で概念的に確立した海水の汚濁度を微生物の働きによつて判定する新しい指標 (B.O.I.) が、海水汚濁の調査に適用して有効であることを次の諸例によつて確認した。

1) N水族館で飼育中の魚族が多数斃死したことがある。その原因は化学的水質調査だけでは明らかにされず、B.O.I. を用いて始めて解明のいとぐちが得られた。すなわち飼育水には微生物が多く、ために魚体は微生物に侵されていたのである。

飼育水の B.O.D. や C.O.D. は小さく、そこでは微生物の繁殖することが困難である。従つて B.O.I. を示す原因となつた微生物は、魚体で繁殖したものであり、その斃死原因ともなり、飼育水を媒体として他の魚に伝わつたものであろう。

2) 澱粉工場廃水による水質汚濁の状況の調査が、従来の化学的方法に B.O.I. 測定を加えただけで、その様相を一層明確なものとした。

a) 廃水が海に出て直ぐに潮流によつて攪拌稀釈される場合、その汚濁範囲は狭いものであるが、pH や B.O.D. によるよりも C.O.D. や B.O.I. による検索が若干広範囲の汚濁を示す。この場合は有機物が分解したあとに微生物が残つていることが認められる。

b) 廃水が注ぐ海面が静かである場合は、pH、溶存酸素、B.O.I. 等で検知される汚濁範囲はほとんど同程度であり、海面はかなり広範囲に亘つて汚濁している。これは廃水が稀釈されることなく、流出したまま停滞し、その場所で分解し種々不都合な原因になつていと推定した。

文 献

- 1) 諸岡 等：日水誌，26，663 (1960)。
- 2) 佐伯有常：日水誌，23，684 (1958)。