HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	海底面上1m層内の溶存酸素量の垂直分布
Author(s)	梶原, 昌弘
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 23(1), 9-16
Issue Date	1972-05
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23463
Type	bulletin (article)
File Information	23(1)_P9-16.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
23 (1), 9-16. 1972.

海底面上1m層内の溶存酸素量の垂直分布

梶原昌弘*

Vertical Distributions of Dissolved Oxygen within One Meter Layer above the Sea Bed

Masahiro KAJIHARA*

Abstract

Water overlying the sediment is generally considered to be poor in oxygen due to the biochemical oxygen demand and respiration. Consequently, this will influence the vertical profile of oxygen near the sea bed.

In this paper, measurements of vertical distribution of oxygen within 1-m layer above the sea bed are presented. Waters were collected by using Kajihara's water sampler and also the research submarine "KUROSHIO-II". Results of the measurement may be classified into 3 types, according to their vertical profiles. The first type is that the oxygen value increases logarithmically with the distance from the sea bed. This is explained theoretically, provided that there is the oxygen consumption at the sea bed and that the eddy diffusivity is similar to the eddy viscosity near the ground surface as proposed by Rossby. The second type is that the oxygen value is uniform throughout the layer. This is considered as that the reasonable oxygen consumption did not exist at the sea bed, when compared with the results of the measurement at the same places but at some other days. The last type of the distribution is that the anomalous layer in the vertical profile of oxygen is recognized in the layer of 20 cm-60 cm above the sea bed. This may be caused by the vertical transport of the organic deposit from the sea bed. A detailed discussion of this type will appear in a separate paper.

緒　　言

海底面近くの化学成分の微細な垂直分布を測定することは，底棲動植物の環境要因としての観点から，また海底面を境界とした海底々質と海水相互間の物質循環の量的な取り扱いの上からも，さらにはこれら物質の海底面上えの乱流輸送過程を知る上にも極めて重要である。

一般に海底近くでは，堆積された陸性，海洋性の有機物質のバクテリヤによる分解，無機物質の酸化，また底棲生物の呼吸，海藻，植物プランクトンの生育等によって海底堆積物の中や海底面上の酸素が消費生産されており，このような酸素の消費生産が海底面上の海水の溶存酸素量分布にも影響をもたらしていると考えられる。

これまで堆積物中の酸素消費については室内実験や現場測定が数多く試みられてきているが[1]，これらの酸素消費が堆積物の上層の水に及ぼす影響，特に微細分布としての測定は湖沼を除き海洋では殆んど試みられていない[2),3)]。

* 北海道大学水産学部北洋水産研究施設
(*Research Institute of North Pacific Fisheries, Hokkaido University*)

この論文は水深 2.8 m から 50 m に至る沿岸域の海底面上 1 m 層内の溶存酸素量の垂直分布の測定を取り扱っているが，溶存酸素量分布に及ぼす要因についての測定は行なっていない。そのため分布構造の成因については必ずしも明確には説明できないが，しかし分布そのものは非常に特徴的であるため，予備的な研究としてこゝに二，三の考察を加えて報告する。

方　　法

採水は水深に応じ次の2通りの方法を用いた。

即ち，水深が比較的浅い場合には Fig. 1 に模式的に示したように，高さ 1.8 m の3脚に既報の採水器[4] を取り付け，採水用のビニールチュウブの先端が海底から任意の高さになるように各々固定した。採水に際しては船をアンカーした後採水装置を海底に垂下し，着底時の disturbance を考慮して5～10分後に採水を開始した。これによって同一場所の多層採水を短時間に行なった。第2の方法は Fig. 2 に示した潜水艇 "くろしおII号" を用いた採水である。海底近くの流水の disturbance を避けるため，底層流々向と直交するように "くろしおII号" を操船し，バラストタンクに注水して完全に海底に固定する。次に艇内からのハンドル操作によってビニールチユウブの先端部を海底から任意の高さに上下させ，艇内の2重バルブを除々に開くと水圧によって自動的に海水が流入し採水すること

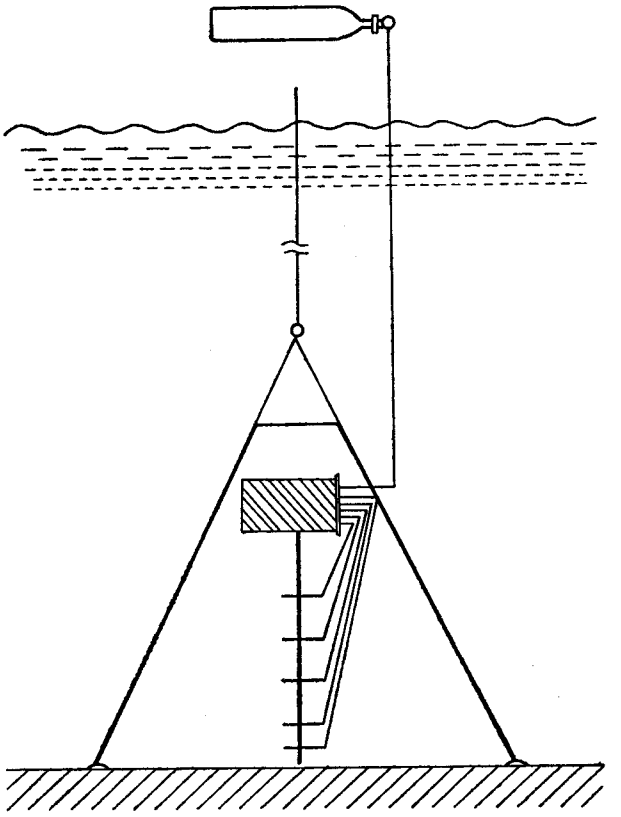

Fig. 1. Schematic representation of sampling apparatus.

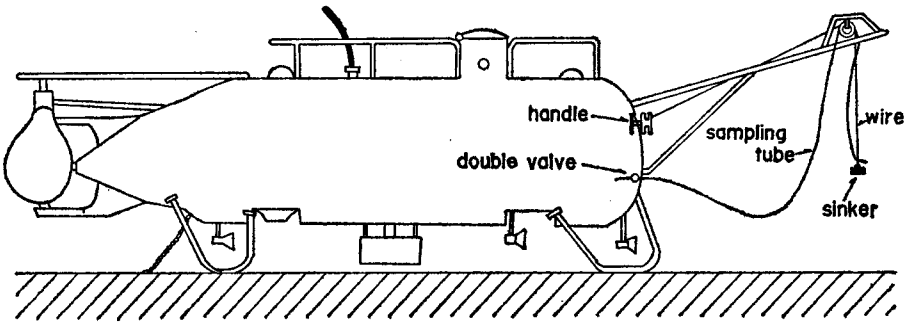

Fig. 2. Outline of the research submarine "KUROSHIO-II".

ができる。この時の海底からの距離は艇内の指示計によって読みとった。

試水の溶存酸素量は Winkler 法により滴定した。

結果と考察

測定を行なった海域は Fig. 3 に示した。

福島，白符は前述の採水器によって採水を行なった海域で Fig. 4 にその地形図と測点を図示した。いずれも汀線近くの水深の浅い場所から冲合にかけて測点を選んでいる。破線で示したのは潮時や波浪によって海面上に露出，ないしは露出に近い状態となる岩礁である。図から明らかなように両海域とも海岸線が弯曲して小さな入江を形成しており，その凹部に川が流入している。海底々質は福島の

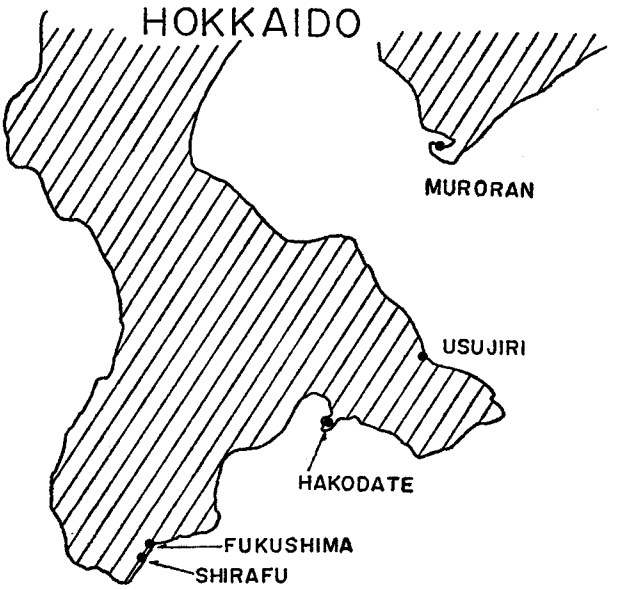

Fig. 3. Location map.

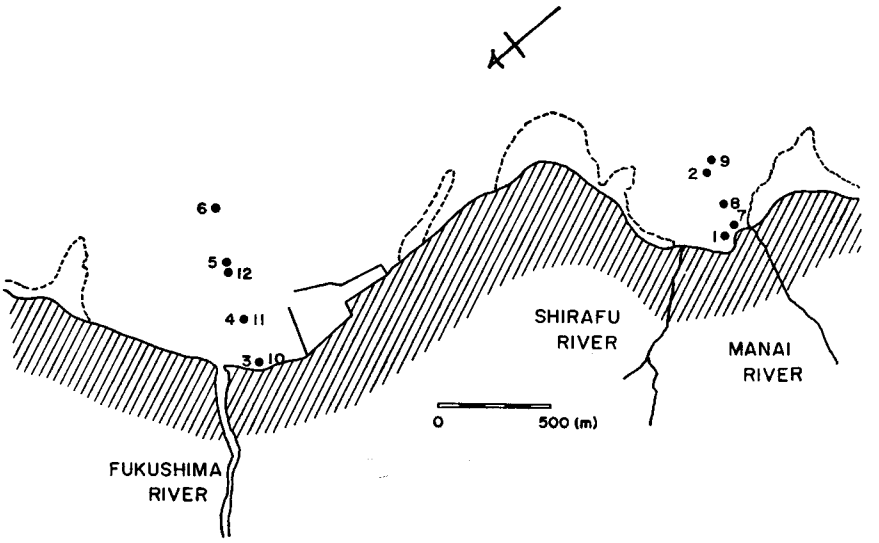

Fig. 4. Sampling stations at Shirafu and Fukushima sea areas.

(Broken line shows reefs wihch submerge under or rise above the sea surface according to tide and waves)

No 3, 4, 10, 11 が砂質，沖合の No 5, 6, 12 が砂泥質，また白符の No 7, 8 が泥質，No 1, 2, 9 が砂質である。

この浅海域の測定結果はまとめて Table 1 に示した。No 1～6 までの測定を行なった 1 月 23 日，25 日の両日はともにうねりや波の殆んどない静穏な海象状態であったが，このような状態が測定の前約 1 週間ほど続いていたことは特記しなければならない。水深の浅い No 1 では海底に近づくに従い急激に溶存酸素量が減少しており，5 cm 層では 60 cm 層に比べて半分以下になっている。この測点の沖合である No 2 では 3 層とも低酸素量である。No 1 と同様に水深の浅い福島の No 3 の測定結果も値にばらつきはあるが海底近くの酸素量は上層に比べて低い値を示している。しかし冲合の No 4, 5, 6 ではこのような変化はみられず表層の値にほゞ等しい。

一方，No 7～12 の測定を行なった 2 月 24 日，25 日は前記の 1 月の海象状態とは異なり 2 月 23 日まで時化が続いており，しかもこの両測定日にはなお風浪に弱いうねりが観察された海象状態であった。この 2 月の測定結果では水深の浅い No 7, 10 やその冲合の測点についても溶存酸素量は全層ほゞ一様の値を示している。このように汀線近くの浅い測点ではほゞ同一の測定場所にもかゝわらず溶存酸素量分布が測定日を異にしたこの 2 回の測定で全く異なっている。このような分布は酸素消費によっても，或いは酸素生産の鉛直的な違いによっても起り得るが，水温（2 月の測定では測点や海底からの距離によって僅かに異なるが 5.2°C～5.6°C である。1 月については測定していないが 1°C 前後低いと思われる）から考えて No 1, 2 の海底近くや No 3 の溶存酸素量は飽和量に比べて明らかに低い値であり，酸素消費が活発に行なわれていたと考えられる。そしてこれらの汀線近く，その沖合，また測定日を異にしたとき等による各々の分布の違いは，海象条件と沿岸地形に主な原因を考えることができる。

即ち，No 1～6 の 1 月の測定では静穏な海象状態のもとで河川水によって運搬された有機物や河川水との接触によって凝集吸着された有機物が汀線近くの海底に堆積して酸素消費の原因となり，この

Table 1. Vertical distributions of O_2 near the sea bed in shallow water

Station No.	1	2	3	4	5	6
Location	Shirafu		Fukushima			
Date	Jan. 23, 1968		Jan. 25, 1968			
Height (cm) \ Depth (m)	4.0	9.5	3.0	5.0	9.0	16.5
5	3.05					
10			4.38	7.05	6.91	6.93
15	4.00	3.04				
20			4.76		6.98	6.83
40	6.08		6.88	6.85	6.87	6.76
50		2.95				
60	6.42		6.68	7.02	6.90	6.85
70		3.70				
80			5.74	6.85	6.85	6.80
(Surface)			6.69	6.81	6.86	6.48

Station No.	7	8	9	10	11	12
Location	Shirafu			Fukushima		
Date	Feb. 24, 1968			Feb. 25, 1968		
Height (cm) \ Depth (m)	3.0	5.0	10.0	3.0	5.5	8.3
10	8.13	8.09	7.93	7.64	7.91	7.90
20	8.10	7.94	7.97	7.58		
40	8.02	8.05	7.96	7.56	8.00	8.04
60	8.05	8.26		7.64	7.99	7.97
80	8.44	8.05	7.91	7.82	7.84	7.94
(Surface)		8.34	7.96		7.78	7.71

海底直上の低酸素量の海水が乱流輸送された結果 No 1, 3 の分布を形成したものであろう。従ってこの分布に関しては乱流拡散の問題として取り扱ってみることができる。

いま水平方向の溶存酸素量の濃度勾配及び鉛直方向の流速を無視し，且つ生物的，化学的な酸素消費が海底にのみ存在するものと考えると，溶存酸素量の拡散方程式は定常状態のもとで簡単に次のように示される。

$$\frac{d}{dz}\left(A\frac{dc}{dz}\right)=0 \tag{1}$$

こゝで A は渦動拡散係数，c は溶存酸素量の濃度，z は鉛直軸で海底面上方に正とする。

海底面 $z=0$ では溶存酸素量は堆積物の消費によって平衡値 C_0 に保たれるものとし，同様に海底面から水面，或いは海底境界層の上縁までの距離を z_1 とし，この $z=z_1$ では溶存酸素量が飽和ないしは水塊固有の濃度 C_1 に保たれるものとする。云うまでもなく $C_0<C_1$ である。この境界条件のもとで溶存酸素量分布は，もし過動拡散係数が一定と考えられるならば，$z=0$，$z=z_1$ の濃度差に応じた勾配で直線的に海底から増加しなければならないことになる。しかし No 1, 3 の溶存酸素量分布は多少のばらつきはあるが Fig. 5 に図示した如く海底からの距離の対数に比例して増加していることが判る。

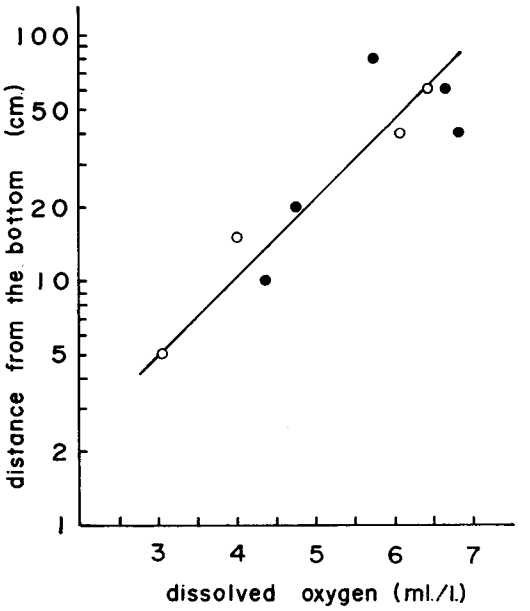

Fig. 5. Logarithmic distributions of O_2.
○: St. 1, ●: St. 3

そこで海底近くの渦動拡散係数として Rossby が仮定した大地境界面附近の渦動粘性係数と同様に海底附近では

$$A = k_0 u_* (z + z_0) \tag{2}$$

の形をとるものと考えてみる。こゝで k_0 はカルマン常数，u_* は摩擦速度，z_0 は粗度距離である。(1) 式に (2) 式を代入し，前記の境界条件のもとで解は次のように求められる。

$$C = C_0 + \lambda (C_1 - C_0) \ln \frac{z + z_0}{z_0} \tag{3}$$

但し，$\lambda = \ln (z_0/(z_1 + z_0))$ である。

この (3) 式は明らかに溶存酸素量の濃度が海底からの距離の対数に比例して増加することを示しており，No 1, 3 の分布を説明している。

No 2 の分布についても z_1 が No 1 に比べて大きいと考えることによって説明できるが，しかしこの分布は，低酸素量の海水と有機物質が沿岸の特殊な地形に原因する流れの停滞とまた乱流拡散によって海底面上え輸送されたものではなかろうか。しかしはっきりとしたことは判らない。

No 4, 5, 6 は川口から遠ざかっているため有機物質の堆積も少ないと思われるが，白符に比較して福島では表面流速が大きいことから推察し，鉛直混合が盛んであると同時に酸素消費の原因となる堆積物が水平拡散されて殆んど存在しなかったのではなかろうか。このことは時化続きの後での測定である 2 月の No 7～12 の分布についてもほゞ同様に適用される。即ち，海底の disturbance を誘起するに十分な波浪や海底々層流のもとでは，堆積された有機物質は運び去られるが，同時に沈降堆積もし難い。従って前述の特徴的な分布を示した No 1, 2, 3 とほゞ同一の場所である No 7, 9, 10 においても海象条件の異なった 2 月では酸素量の減少はみられない。

Fig. 3 の室蘭，臼尻，函館は潜水艇 "くろしお II 号" によって測定を行なった海域である。測定日及び水深は Table 2 に，また測定結果はまとめて Fig. 6 に示した。全般に海底の近傍では上層に比べて溶存酸素量は減少する傾向を示している。こゝで測定しているような沖合では，沈降堆積する有機物質が海底の disturbance によって水深の異なる海域えと輸送されたとしても，同時に供給が継続的に他の海域からも行なわれるから，一般に有機物質が常に海底に存在すると考えて良い。この有機物質の堆積によって海底近くでは酸素量が減少していると考えられる。しかし海底面上 20cm～60cm の層では，特に D-2, D-4, D-5 の分布が複雑であり，浅海域とは全く異なった分布を示している。そして海底々質も D-1, D-2 は砂質，D-3 が直径 1 cm 位の火山礫に薄く浮泥の堆積した底質，D-4

Table 2. Data of water sampling in Fig. 6.

Station No.	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5
Location	Hakodate	Hakodate	Usujiri	Muroran	Muroran
Date	July29, 1968	Aug. 1, 1968	Aug. 25, 1969	Sept. 3, 1969	Sept. 3, 1969
Depth (m)	25	20	50	42	30

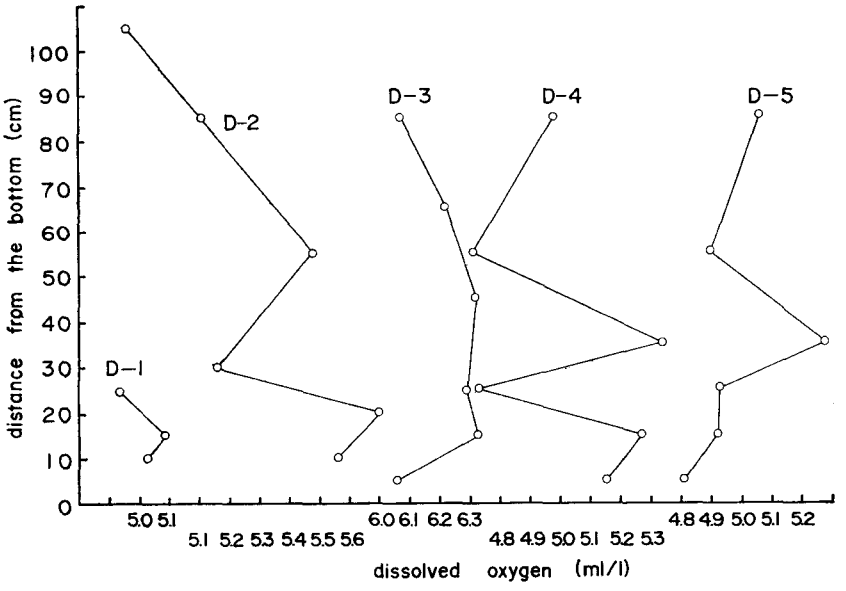

Fig. 6. Vertical profiles showing anomalous distribution of O_2.

が泥質，D-5 が砂泥質と異なっており，測定日も海域も異なっていることから底質や特定の生物起源によるものとは考え難い。この分布については更に詳細な検討を加えて別に報告する予定であるが，有機物を含む porous な懸濁物[6] が海底で破壊され，二次的に海底上方に乱流輸送される過程で生じたものと思われる。

終りに，この研究を行なうにあたり，終始激励と御討論を載いた井上直一教授に深く感謝するとともに，"くろしお II 号" の潜水に御協力を載いた同教授並びに竹田仁技官に謝意を表する。

文　　献

1) 例えば Hayes, F. R. (1964). *Oceanography and Marine Biology*. vol. 2, George Allen and Unwin Ltd.
Pamatmat, M. M. and Banse K. (1969). Oxygen consumption by the seabed II, in situ measurements to a depth of 180 m. *Limnol. Oceanog.* **14**, 250–259.
2) 湊清 (1966). 底土の酸素消費が直上の水の溶存酸素量に及ぼす影響について (予報). 陸水学雑誌, **27**, 123–134.
3) Koyama, T. and Tomino, T. (1967). Decomposition process of organic carbon and nitrogen in lake water. *Geochem. J.* **1**, 109–124.
4) Kajihara, M. (1968). A simple method and apparatus for obtaining water samples in a thin layer. *J. Oceanog. Soc. Jap.* **24**, 41–44.
5) Sutton, O. G. (1953). *Micrometeorology*. 333p. McGraw-Hill.
6) Kajihara, M. (1971). Settling velocity of large suspended particle. *J. Oceanog. Soc. Jap.* **27**, 158–162.