



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	日本海における沈降(序報)
Author(s)	福岡, 二郎; FUKUOKA, Jiro; 美澄, 篤信 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 28(3), 143-153
Issue Date	1977-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23614
Type	departmental bulletin paper
File Information	28(3)_P143-153.pdf



日本海における沈降(序報)*

福岡二郎**・美澄篤信**

Sinking in the Japan Sea (Preliminary Report)*

Jiro FUKUOKA** and Atsunobu MISUMI**

Abstract

As already known, the oceanographical structure in the Japan Sea is more homogenous than it in the Okhotsk Sea or northern part of the North Pacific Ocean because the sinking motion in the northern part of the Japan Sea develops remarkably in winter season. One of the authors, Misumi pronounced that the existence of the secondary maximum of oxygen value about 200 m or 300 m depth might be one characteristic in the Japan Sea. Since we pay our attention to the distributions of the secondary maximum of the oxygen value, this value decreases towards south and the positions of this maximum value have some interval (for example refer to Fig. 3), it is seen that the sinking motion of the northern part of the Japan Sea occurs intermittently.

According to the meteorological data in Vladivostok and Kimchaek (north Korea), remarkable low air temperature and strong wind speed occur almost at the same time in winter. (refer to Fig. 7) Owing to low air temperature and strong wind speed, the density of the sea surface layer in the northern part of the Japan Sea may be increased suddenly and sinking appears. But by difference of salinity value on the secondary maximum layer of oxygen, we can suppose that the sinking areas appear separately in east and west sea regions.

序

冬季日本海においては海面の冷却、結氷及び蒸発等の影響から、表層付近では海水密度が増し、沈降現象のあらはれることは指摘されている。

この現象は種々の面で海洋構造に影響を与える。例えば上下にかなり均質となる海洋構造は、水温、密度等の分布からみても日本海北部の海況の特徴を形づくっている。著者の1人¹⁾はこうした turn over の現象は生産性を低める要因であろうと指摘した。こゝでは冬季における日本海の沈降現象を解析し、この海域の海洋循環、海水交替等の解明の一助としたいと考えている。尚こゝで使用した観測資料は1966年及び'67年に舞鶴海洋気象台清風丸の行ったものである。

* 北海道大学水産学部北洋水産研究施設業績第78号
(Contribution No. 78 from the Research Institute of North Pacific Fisheries, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

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

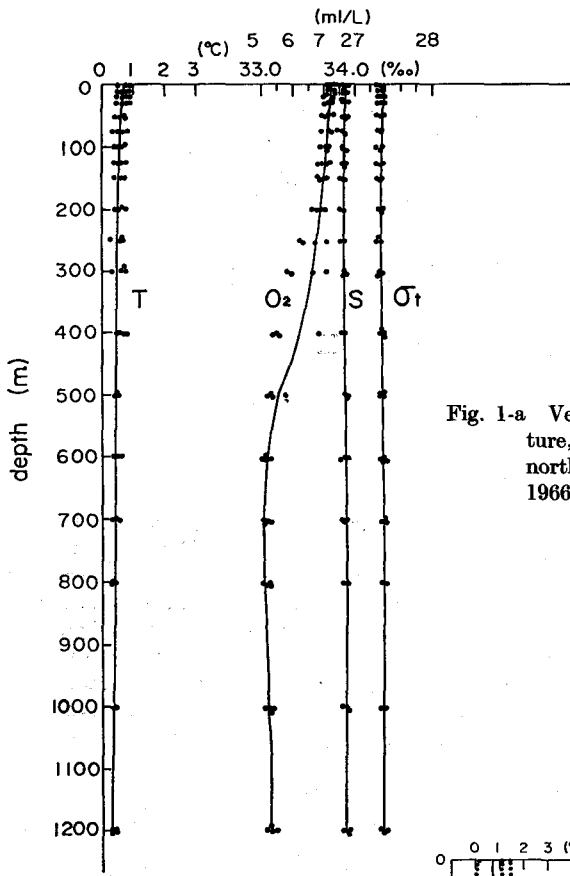
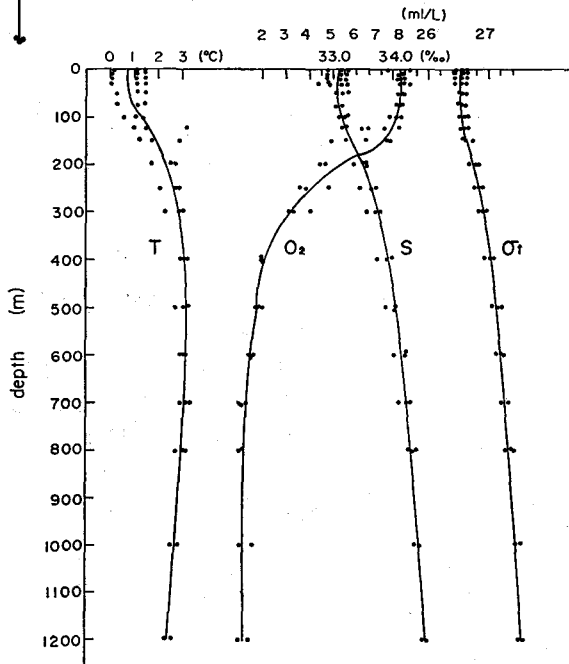


Fig. 1-a Vertical distributions of water temperature, salinity, oxygen and density in the northern part of the Japan Sea (winter 1966)

Fig. 1-b Vertical distributions of water temperature, salinity, oxygen and density in the North Pacific Ocean (east off Hokkaido, winter 1966)



日本海における海洋特性の 2, 3

1. 海洋構造の一様性

冬季の日本海で特に目につく現象は北部海域でみられる鉛直方向の海況の一様性である。この現象は既に多くの研究者により指摘されている。(須田²⁾, 宇田³⁾, 福岡⁴⁾, 二谷⁵⁾) こうした一様性は水温、塩分、酸素量等の分布によくあらわれていて、例えば、オホーツク海や北太平洋北部などの成層構造をもつ海とは著しい差が認められる。(図1) ここではこうした一様性に着目して主に酸素量の分布から、沈降運動ならびにその後の水塊移動に主眼をおき考察を進める。

2. 1966 及び '67 年の酸素量分布

1966 年及び '67 年の冬季における日本海の観測で解析に利用出来る測点は図2に示す。兩年とも観測点は多くなく、十分な解析が行えるとはいえない。しかしながら兩年の酸素量分布からある程度の推論を行うことは可能である。始めに1966年の資料について述べる。この年は日本海の北西部から南東にかけての3断面の観測が行われた。この中でかなりの点において中層で(大体200m~300m深)2次的な酸素量の極大値が認められる。一般に酸素量は表層で最大値を示すが日本海では中層にも極大値が場所によってはあらわれる。しかもこの極大値は適当な間隔をもってあらはれてくる。更にこの極大値は大体においてその点の塩分極小の層とほぼ一致する。図3には酸素量及び塩分の西側域の断面分布図を示しておいた。こうした分布からみて、比較的塩分は低いが、酸素量の多い海水が

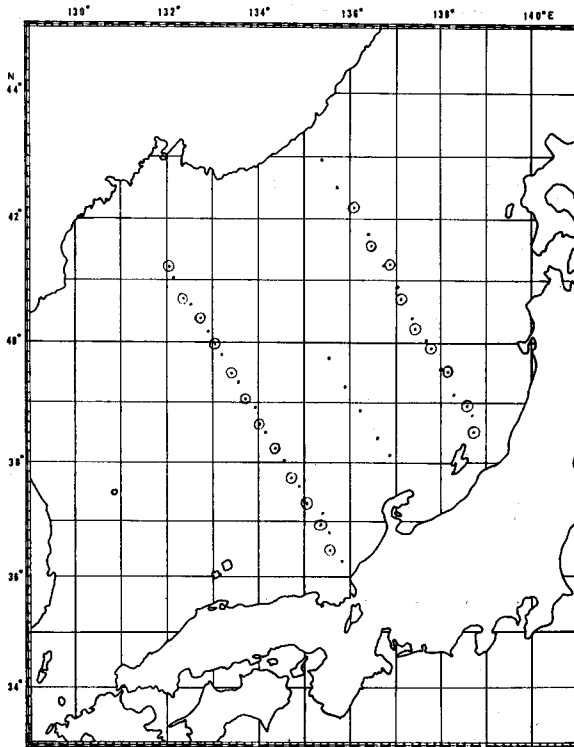
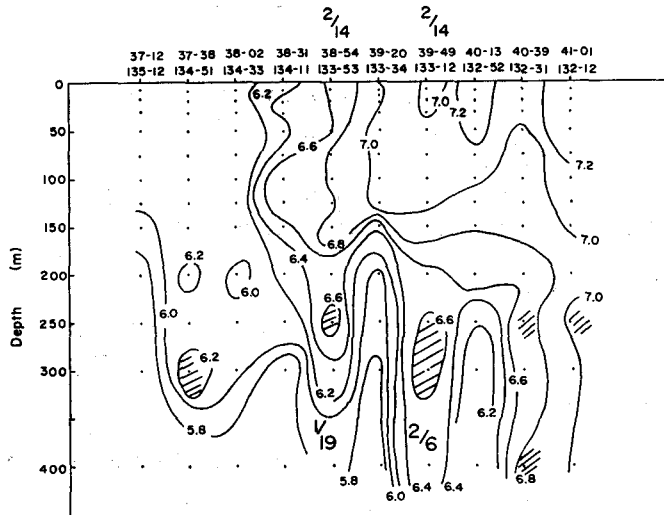
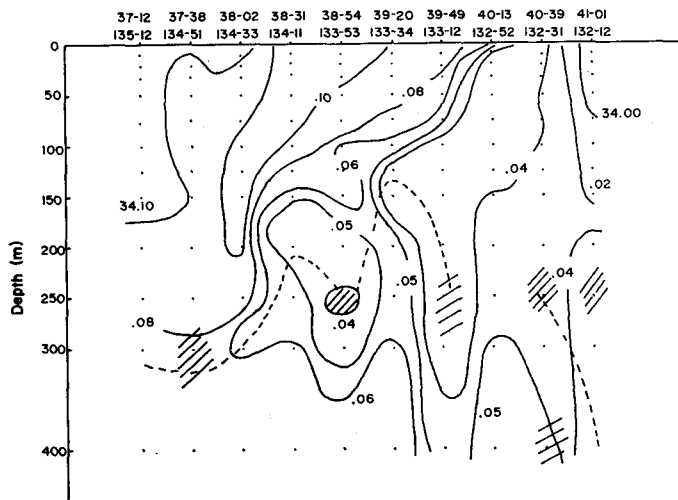


Fig. 2 Observation station in winter (• 1966 and ⊙ 1967)



O₂ Distributions, Feb. 1966 // secondary maximum of O₂

Fig. 3-a Distributions of oxygen along the west section (1966)
 (//// secondary maximum layer of O₂, numeral on upper part, e.g. 2/14 means observation date on 14th Feb., 1/19 on lower part means date of meteorological disturbance appearance on 19th Jan., same expressions are shown on Figs. 4-a and 5-a)



S Distributions, Feb 1966 ---- minimum of S

Fig. 3-b Distributions of salinity along the west section (1966)
 (---- positions of salinity minimum, //// secondary maximum of O₂, same expressions are shown on Figs. 4-b and 5-b)

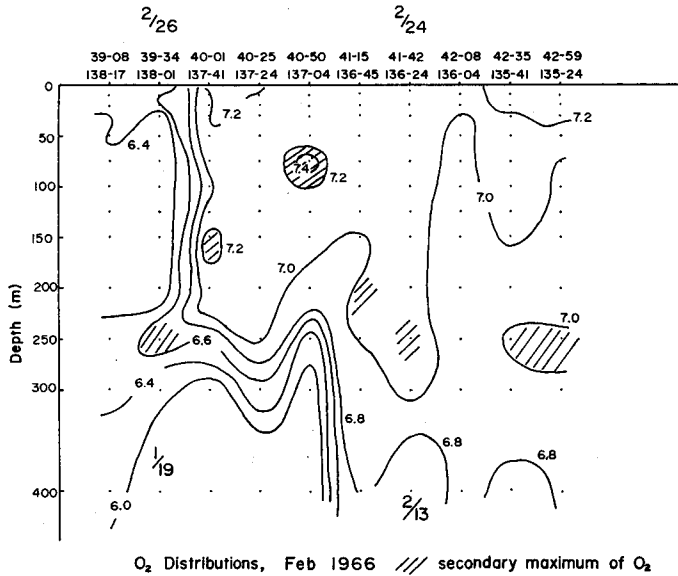


Fig. 4-a Distributions of oxygen along the east section (1966)

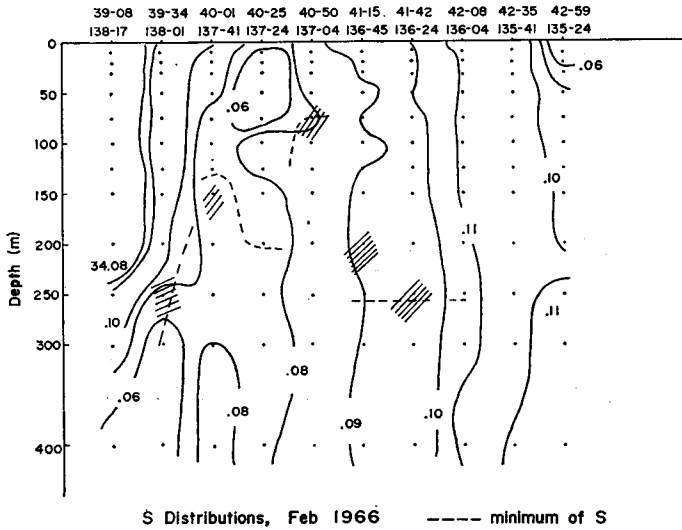


Fig. 4-b Distributions of salinity along the east section (1966)

何処かで沈降し、その後移動してきたということが考えられる。しかもこれらの極大値が適当な間隔をもってあらはれるということは、間歇的に沈降がおこっているという推論も出来よう。

1966年の中央部の断面では2次的な酸素量の極大値は西側断面とは少し異り、深さが100mから300mにかけてみられる。しかもこれに対応する塩分極小値は西側断面の値よりやゝ大きい。このこ

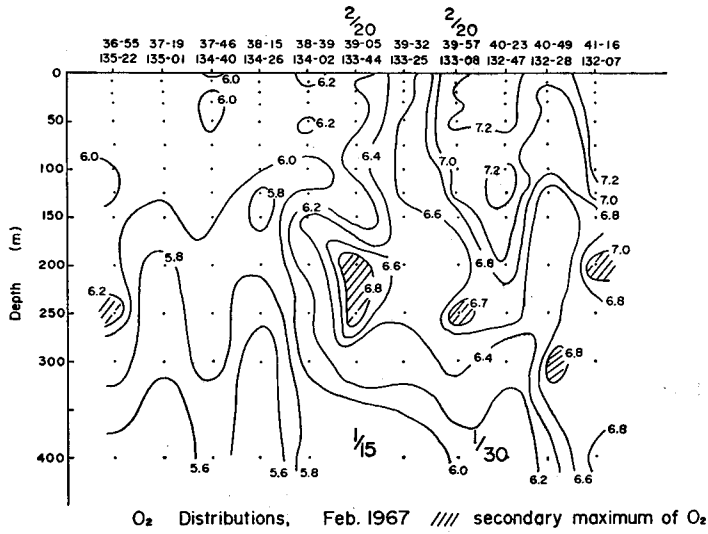


Fig. 5-a Distributions of oxygen along the west section (1967)

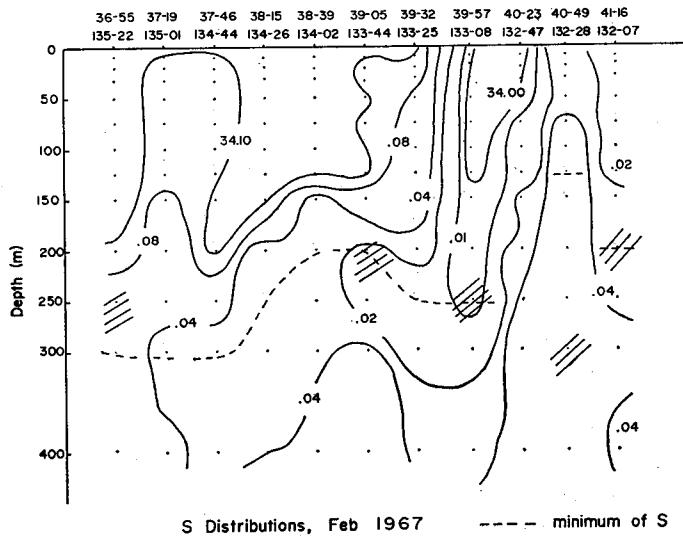


Fig. 5-b Distributions of salinity along the west section (1967)

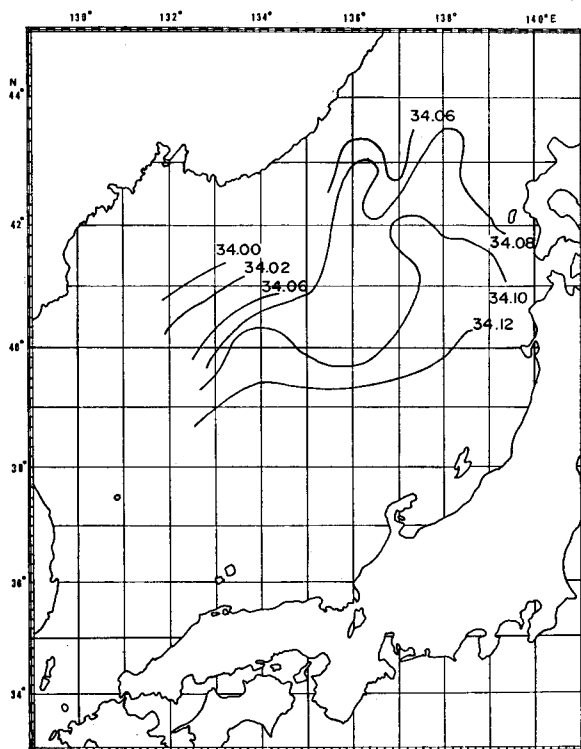
とは西側断面でみられる2次的酸素極大層の水と、この断面でみられる酸素極大層の生成される場所が異なるのではなかろうかと想像することが出来る。こうした推定を更にはっきりさせる意味から、最も東の断面での酸素量及び塩分の分布図を求めてみた。これらは図4に示しておいた。この断面では酸素量の2次的極大値の深度はかなり変動するが、しかし大体250m深の所にみられる。しかもある間隔をもってあらわれるのは西側断面と大体同じある。たゞこれに対応する塩分極小層の値は西側断面より大分高くなっている。この事実は中層に酸素の極大値をもつ水塊の形成場所は東西で異った海

域であらわれるだろうと考えられる。

次に同様な考察を1967年の資料についても行った。この年は図2でも示したように主な観測断面は東西の2つである。西側断面の酸素量及び塩分の分布図は図5に示してあるが、2次的な酸素の極大値はある距離をへだててみられることは1966年の例と殆ど同じである。しかもこの極大値は塩分極小値の層とほぼ一致している。この事実は1966年と同様ある時期にやゝ塩分の低い海域で沈降が起り、それが移動してきたと考えられる。こゝで図を省略したが東側断面でも同じように考えられる。たゞ1967年の東側断面の塩分極小値は1966年程、高い値を示してはいない。

3. 表面塩分について

前節では200mから300mにみられる2次的な酸素の極大値をもつ海水は何処かで沈降し、しかもその起源となるべき海域の塩分値が異なるであろうと推定した。そこで日本海の冬季はどのような表面塩分の分布をしているかを調べてみた。海上保安庁水路部発行の海洋環境図によれば一般的には日本海の東側で塩分が高く、西側では低い。この東西の塩分の異りは、ほぼ136°E線を中心としている。しかしこれはあく迄も平均的な分布であるから、手許にある1966年から'69年迄の冬の資料で表面塩分々布を示すと図6のようになる。日本海では北西部では塩分が低く、北東部では高いという分布になる。



Surface Salinity
(1966 Feb. - 1969 Feb.)

Fig. 6 Distributions of surface salinity in winter (1966-1969)

2 次的な酸素極大層の間歇的な生成

既に 1966 年 '67 年の分布図から酸素量の 2 次的極大は間歇的に起こるだろうと述べてきた。冬季の日本海北部で turn over をおこすには表面の海水密度が増加しなければならない。この為には水温が下るか、又は塩分が増加するか、或いはこの両者が同時におこれば尚効果的である。この様な現象をひきおこす要因としては、まず、気象状況の変化が考えられる。そこで 1966 年及び '67 年冬季の

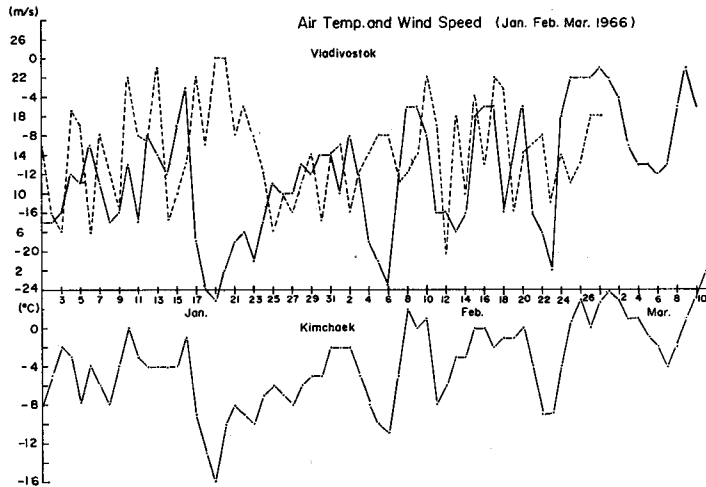


Fig. 7-a Meteorological data in Vladivostok and Kimchaek (north Korea) in winter 1966 (— air temperature, - - - - wind speed)

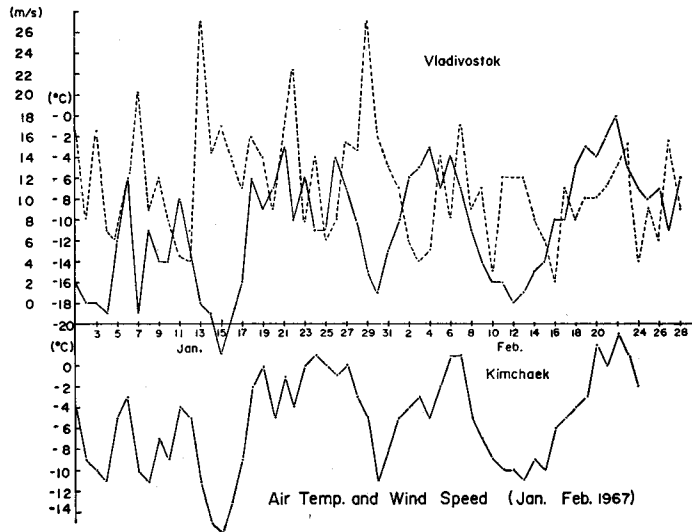


Fig. 7-b Meteorological data in Vladivostok and Kimchaek (north Korea) in winter 1967 (— air temperature, - - - - wind speed)

日本海北部の気象条件を示すものとして沿海州のウラジオストーク及び北朝鮮の金策の気温，更にウラジオストークの風速の状態を図7に示しておいた。これを見ると冬季に数回著しい気温低下が起り，それと殆ど同じ時期に風速がかなり増加している。このような著しい気象変化によってどの程度塩分増加がおこるか，又低温による密度増加はどの位いかはこゝでは示すことが出来ないが，影響をうけることはいう迄もない。STOMMEL⁶⁾は地中海におけるMEDOC Exp.において風速増加と気温低下に伴い著しい沈降が生ずると報告している。これと同じ現象が日本海北部でもおこることは考えられる。とすると気象状態からみて間歇的な沈降というものゝが想定出来る。

海洋観測資料と気象要素からみた沈降域の推定

前章で沈降をおこす要因として，気象要素の変化を考えてみた。こゝでは酸素量の2次的極大値の分布と気象変化との対応を取りあげてみる。

先ず各断面において酸素量の分布を調べてみる。たゞしこゝではもっとも簡単な例として一般流はこの断面に沿う流れのみを仮定する。又鉛直方向の拡散のみを想定し，酸素量の移流と拡散によるバランスを考えることにする。

$$A_z \frac{\partial^2 O}{\partial z^2} - \rho u \frac{\partial O}{\partial x} = 0 \tag{1}$$

こゝでOは酸素量，x軸は断面に沿い南東方向に正，z軸は上方を正とする。Azは鉛直方向の拡散係数，uはx方向の速度，ρは海水の密度である。こゝではせいぜい2~300kmの範囲を考えるので生物過程による酸素の消費は考えない。

(1)式の解はDEFANT⁷⁾によれば

$$O_{(xz)} = O_{(x)} + m e^{-az} \cos \frac{\pi}{2l} z \tag{2}$$

初期条件としてx=0の原点で，酸素量の鉛直方向の分布は

$$O_{(x)} = O_0 + m \cos \frac{\pi}{2l} z \quad \text{として与えてある。}$$

こゝで $a = \pi / 4l^2 \cdot A_z / \rho u$ lは今酸素分布を考えている層の厚みをあらわしている。

吾々の取扱っている例では酸素量の2次的極大値は大体250mの深さにあり，これを中心として上下に酸素量がやゝ少い。(この分布も間歇的な沈降に関連があるかもしれない)そこで原点での酸素量の上下の分布は250mで7.00ml/L，200m及び300mでは6.85ml/L，mは-0.15ml/Lと与える。z=0を250mの深さとして，この深さでの酸素量の変化を原点からの距離で求めると第1表のようになる。

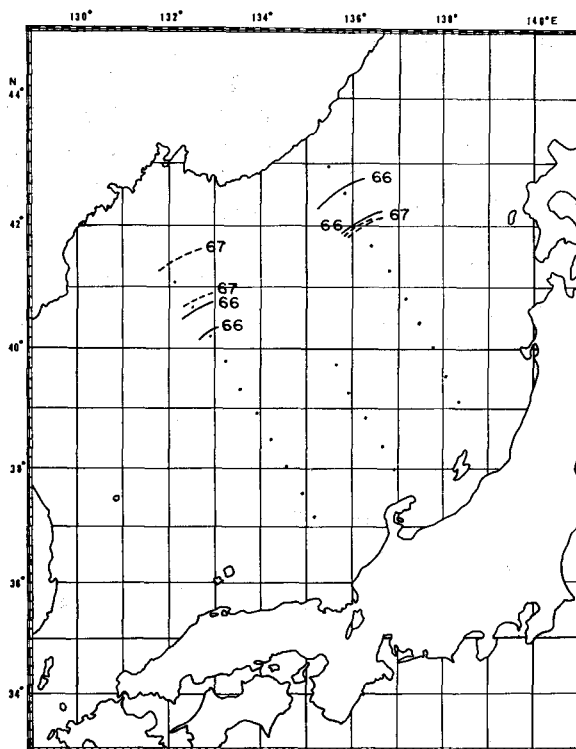
この表ではAz/ρの値をc.g.s.単位で10~1のオーダーとして，一般流は10cm/sで原点から100

Table 1. Calculated oxygen values under selected values of vertical eddy diffusivity

$x(\text{km}) \backslash A_z/\rho u$	1.0	0.1
100	6.90	6.98
200	6.87	6.97

$A_z/\rho u = 1.0$ ($u = 10 \text{ cm/s}$ $A_z = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$)

$A_z/\rho u = 0.1$ ($u = 10 \text{ cm/s}$ $A_z = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$)



Estimated Sinking Area

Fig. 8 Estimated sinking areas in the Japan Sea

km 又は 200 km の距離での酸素量を求めてある。この値は図 3-a や図 5-a でみられる酸素の 2 次的極大の比較的北に位置している値と似ている。こゝでは対馬暖流の分枝がこうした北方海域にどの程度影響を与えるかについては考慮を払っていない。しかし今とりあげている層は 250 m 位の深さを考えているので対馬暖流分枝の影響は比較的少ないのではなかろうかと思う。しかし今後の解析には十分注意を払はなければいけない。こゝでは (2) 式による酸素量の分布を考えれば、連続的に南に向い減少することになる。しかし観測結果はそうなっていない。そこで間歇的な沈降を考えた訳である。

ここでは表 1 の値を参考とし、一般流は 10 cm/s の値をそのまま利用する。図 3-a の 1966 年の場合、38°54'N, 133°53'E の酸素の 2 次極大は 1 月 19 日の気象変化に、(図 7-a 参照) 39°49'N, 133°12'E での 2 次極大は 2 月 6 日の気象変化でおこったとする。これらの点での観測日迄の日数と一般流をかければ原点迄の距離が求まる。こうして沈降域の大体の推定を行ったのが図 8 に示してある。同じ考えのもとに東側断面でも沈降域を推定してみた。1967 年の資料についても同じ考えで、1 月 15 日及び 1 月 30 日の気象変化の影響が図 5-a の 39°05'N, 133°44'E 及び 39°57'N 133°08'E での酸素の値に影響を及ぼしているとして沈降域を推定したのが図 8 に記入してある。勿論各断面の上で沈降域を定めるのであるから、その線上にありひろがりはない訳ではあるが、図 8 では模式的に示しておいた。

結語ならびに今後の課題

日本海の生産性の低さを、海水交換の早さ、海洋構造の一様性から考察しようと、沈降現象について

て調べてみた。十分な資料とはいえないが数100mの沈降はおこっているといえる。又その発生は間歇的におこっているのではなかろうかと想定出来る資料もある。しかしまだまだ不明な点が多々残っている。こうした点を解明するには次のように考えて行きたい。

① 気温低下、風速の増加に伴い、表面の海水密度がどの程度変化するかを十分につかむ必要がある。又密度が増加した場合、下層の海洋構造にどの程度のはやまで応答するかも調べたい。この為冬季における連続観測を期待している。

② 日本海北部の中層(200m~300深)では南下流が認められるかどうか、その速度などもつかまねばならない。

③ ある断面での酸素の2次的極大値のあることは判るが、これがどの程度水平的なひろがりをもつか、更に日本海における海洋構造と2次的な酸素の極大値の分布との関連も十分調べなければならない。

文 献

- 1) 秋葉芳雄・福岡二郎(1976). 海洋の不連続性と生産との関連. 日本プランクトン学会報 **23**, 61-74.
- 2) 須田皖次他(1930). 日本海南部海洋観測報告(第2報). 海洋時報 **2**, 155-199.
- 3) 宇田道隆(1936). 日本海及び其の隣接海区の海況. 水産試験場報告 **7**, 91-151.
- 4) Fukuoka, J. (1965) Hydrography of the adjacent sea (1)—The circulation in the Japan Sea— *Jour. Oceanogr. Soc. Japan* **21** 96-102
- 5) Nitani, H. (1972) On the deep and the bottom waters in the Japan Sea *Researches in Hydrography and Oceanography* 151-201 Tokyo Maritime Safety Agency
- 6) Stommel, H. (1972) Deep winter-time convection in the western Mediterranean Sea *Studies in Phys. Oceanogr. A tribute to Georg Wüst on his 80th Birthday* **2** 207-218
- 7) Defant, A. (1961) *Physical Oceanography* **1** 729 p Pergamon Press, New York