

フィリピン東方およびルソン海峡の海水の化学成分

日向野 良治・背戸 義郎・猿渡 了己・岩永 義幸

DISTRIBUTION OF CHEMICAL CONSTITUENTS OF SEA WATER IN THE EASTERN SEA OFF PHILIPPINES AND IN THE LUZON STRAITS

Ryuzi Higano, Yoshiro Seto, Ryoki Saruwatari and Yosiyuki Iwanaga

Received 31 August 1967

Abstract

This report is a description of the distribution of chemical constituents of sea water collected by R/V "TAKUYO" in the eastern sea off the Philippines and in the Luzon straits. The cruises of the R/V "TAKUYO" were carried out in the summer of 1965 and 1966 as a part of the Cooperative Study of the Kuroshio and Adjacent Regions. Distributions of phosphate, silicate and dissolved oxygen are illustrated and some relationships between oxygen consumed and phosphate or silicate are shown with figures. Main results are as follows.

1) Salinity minimum layer was seen at the level of 500 to 600 meters deep in the zone about 20°N. This minimum layer becomes shallower towards south gradually to 5°N.

Large horizontal gradients of chemical constituents of sea water in the direction across the current were seen in the region of the North Equatorial Current, the Kuroshio off Luzon, the Mindanao Current and Equatorial Counter Current. But the gradient in these current regions was smaller than that of the Kuroshio off the south coast of Japan.

2) The oxygen minimum layer was found 100-200 meters below the salinity minimum layer. The values of oxygen minimum in this whole region are remarkably high (1.8-1.2 ml/l) compared with other area in the Pacific.

3) Almost linear relation between silicate and depth was seen when logarithmic scale was used.

4) The upper layer water between 15° N. and 25° N. is characterized by high salinity, almost saturated dissolved oxygen and low concentration of nutrient matter. The thickness of this water layer is 300 to 400 meters. In the upper layer of the Equatorial Countercurrent region of 5°-7° N, the distribution of some constituents is variable from place to place. In the layer deeper than 200 meters of the same region the distribution is more uniform. In the northern part of the South China Sea, thin surface mixing layer and gentle gradient of vertical distribution of the constituents were observed. This may be due to the smaller relative movement between upper and lower water.

5) An approximately linear relationship between apparent oxygen utilization (A.O.U.) and phosphate concentration was observed. The inclinations of P/A.O.U. on these P-A.O.U. figures were 1.6 $\mu\text{g-at/l/13ml}$.

The ratio of Si/P was seen to be comparatively constant at a range of 2 to 3 ml/l of A.O.U. This values lay between 10 to 20 and nearly equal to that obtained by Richards (1958) in the Atlantic ocean.

1 ま え が き

1965年および1966年の夏季に、国際黒潮共同調査としてフィリピン東方およびルソン海峡の海象観測が2回行なわれた。この報告は、海水の化学分析結果について、各成分の海況に応じた分布の概略と地域別分布の特性を主として説明するものである。

海域は、北緯5度から25度まで、西はフィリピンの東岸から（ルソン海峡の西部は東経114度以東）東は129度までの区域で、測点間隔は60Mごとであり、海流の優勢な地域では30Mごとであった。観測層は、2kmの深度までの21層で、特別の地点（約15点）では5.5kmまでの28層で、1回の観測の全測点数は103であった。測定項目のすべては船上で行なわれたが船内実験室の温度は $22 \pm 2^\circ\text{C}$ に調節された。

分析法

塩分……………Salinometer (Auto Labo-Model 401 MKⅢ) を使用した。

溶在酸素……………Winkler 法

PH ……………Cresol red と Thymol blue を指示薬とする比色法（自記光電比色計を使用）

リン酸塩……………モリブデンブルー法（ // ）

ケイ酸塩……………ケイモリブデン酸法（ // ）

硝酸塩……………Mullin and Riley 法（ // ）

亜硝酸塩……………Griess-Romijn 法（ // ）

この報告には硝酸塩および亜硝酸の調査結果は含まれない。またリン酸塩およびケイ酸塩の分析に関しては、試薬濃度および発色時間について検討し Fig.1 に示すような最良条件で分析した。

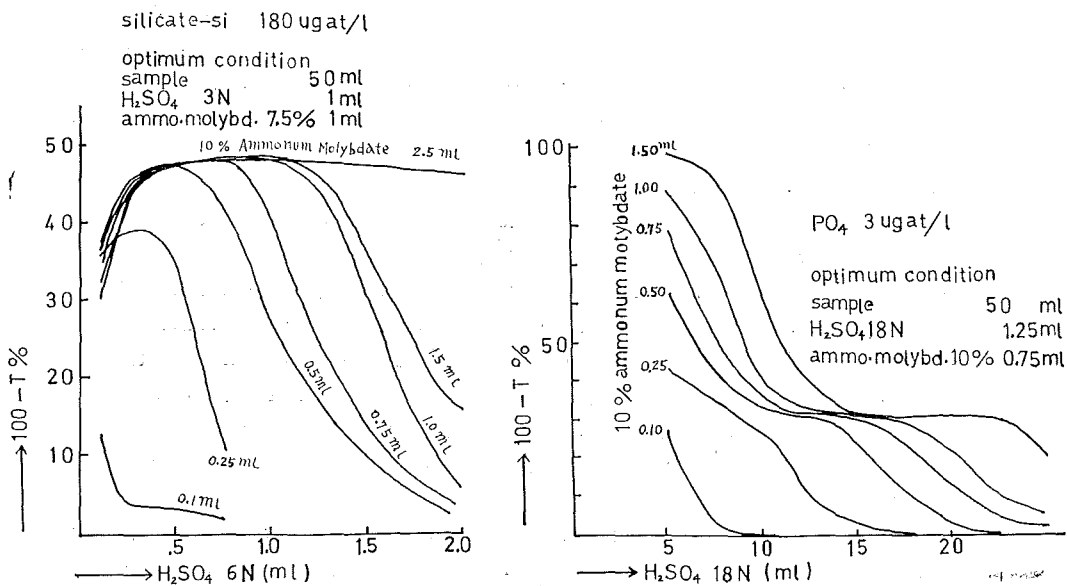


Fig. 1 Influence of reagent concentration for phosphate and silicate analysis.

2 海 況

1965年と1966年の観測結果から大差は見られない。すなわち北緯9度から16度にわたり北赤道海流が西流しており、このうち北部はルソン海峡の南端で西進して、南支那海に入り込む分岐流を持ち、ルソン海峡の北端でこ

の分岐流を合わせて台湾東岸近くを北上している。

北赤道海流の一部は、サマル島東方で南下し始めて、ミンダナオ島東岸に接しながら南下し、北緯6~7度付近で東に方向を変え赤道逆流となっている。

このほか、小渦流が台湾およびルソン海峡とルソン島およびミンダナオ島の東にみられる。

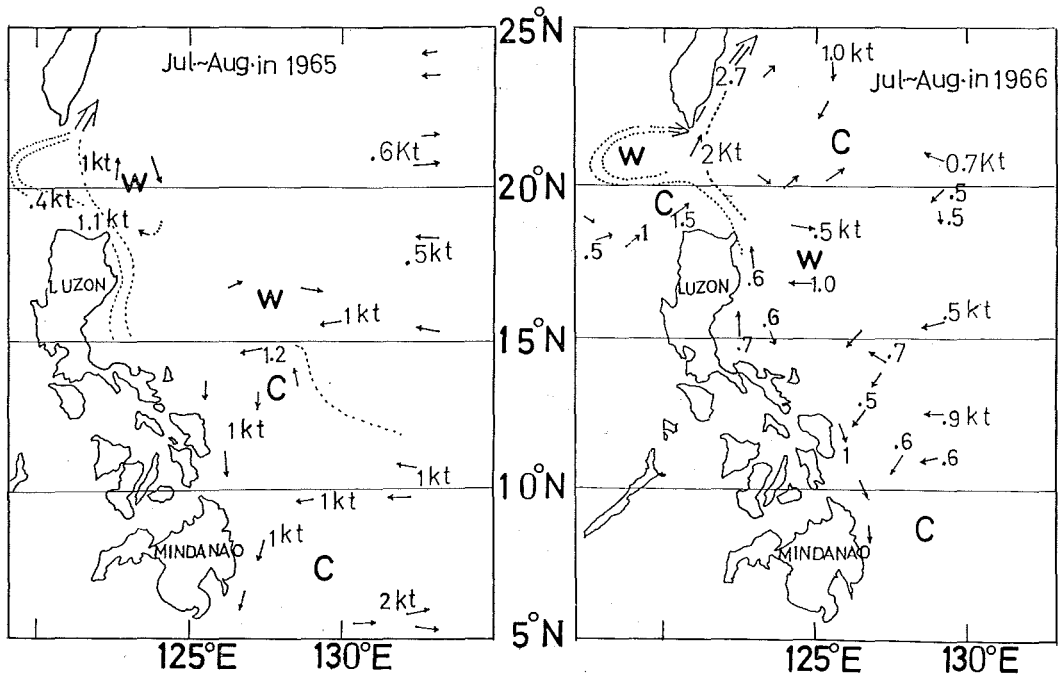


Fig. 2 Surface current

1965年の観測では、サマル島の東に上昇渦流がみられたが、1966年の観測ではこの渦流は見いだされなかった。

北赤道海流から黒潮につながる主流とみられる北緯13度、東経130度付近からルソン島東岸を経て台湾の東に抜ける海流の経路では、200m層の水温は19°C、塩分は34.95‰、リン酸塩は0.3 $\mu\text{g-at/l}$ 、ケイ酸塩は水平方向の勾配はみられず6 $\mu\text{g-at/l}$ となっている。

3 塩分極大値および極小値の分布

塩分極大値は、亜熱帯貿易風で蒸発濃縮された高塩分の亜熱帯次層水の中核の指標として、また塩分極小層は北緯40~50度帯で冷却により沈降した中層水の中核の指標として、その分布を知ることは化学成分の分布とその要因を探るうえにも重要である。

最高の塩分極大は、北緯13度、東経130度付近にみられ35‰を示し、34.95、34.90‰と順次低い等塩分極大線の示す舌状形は、北赤道海流から黒潮に移行していく主流を現わしているものとみることができる。

ルソン海峡の西側では、34.7~34.75‰とこの海域では最低の塩分極大を示している。塩分極大の出現深度は、北部で深く南部では浅いが、渦流部では局所的な出現深度の昇降がみられる。塩分極小の等量線は、ほぼ北赤道海流に平行して走り、東経130度線では北緯14~18度まで北赤道海流の下を西進し北上して黒潮の下部を構成している模様である。

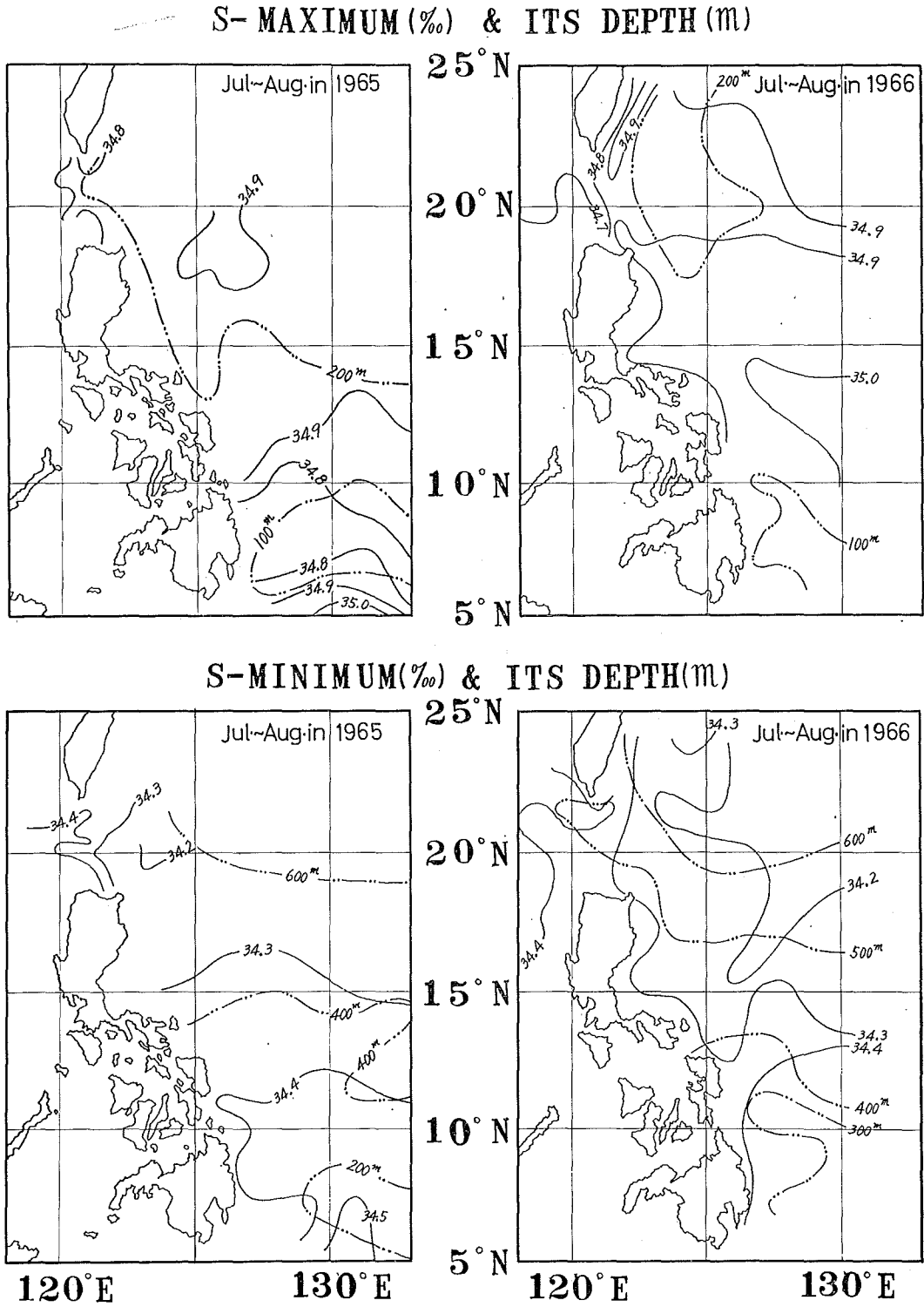


Fig. 3 Horizontal distribution of salinity maximum and salinity minimum

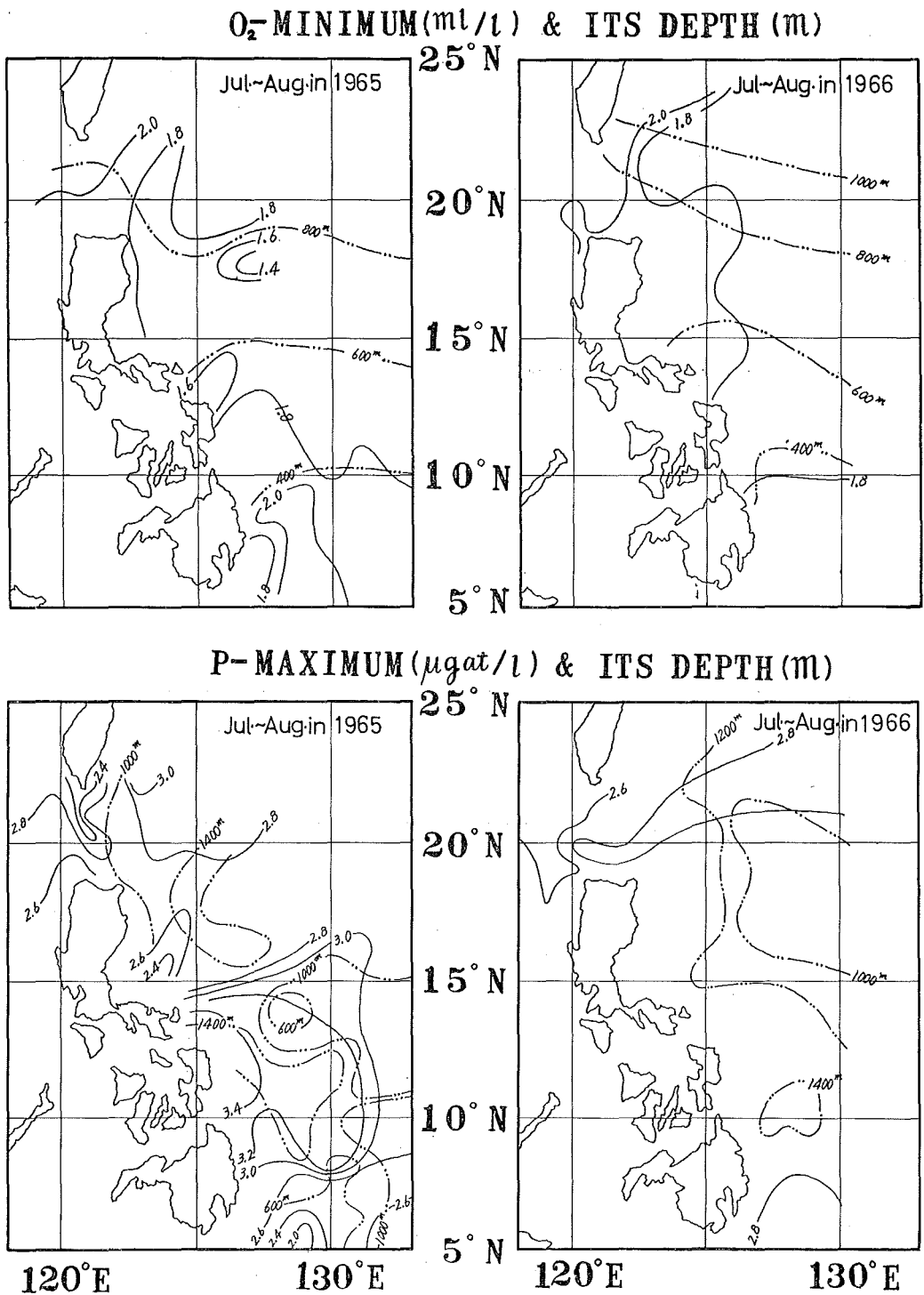


Fig. 4 Horizontal distribution of dissolved oxygen minimum and phosphate maximum

4 酸素極小値およびリン酸塩極大値の分布

酸素極小値の分布は、海水の流動の経路途上の有機物の合成、分解の多寡を反映しているものであるが、この海域では他の海域に比較して酸素極小値が高く1.8~2.0ml/lで、大部分の海域で1.8ml/l、ルソン島東岸およびミンダナオ島の東方で1.9ml/l、台湾の東からルソン海峡およびその西側で2.0ml/lとなっている。

酸素極小層の出現深度は、北部から南部に向かって浅くなり、北緯10度以南では400m以浅に見られる。リン酸塩極大については、地域差は殆んどみられないが、ルソン海峡の西側から台湾の東でやや低い。

1965年の観測では、サマル島の上に昇渦流がみられ、この海域で高いリン酸極大が見いだされたが1966年の観測では、この渦流も高いリン酸極大値も検出されなかった。したがって、この地域の渦流は一次的なものと考えられる。

5 海域別にみた各成分の鉛直分布特性

これまでの水平分布図から当海域は、北赤道海流から黒潮に続く海流の右側の部分と、北赤道海流から南の赤道反流までと、ルソン海峡の西側の区域に分けて考えることができる。しかし、北赤道海流から赤道反流までは中層水の出現深度の地域差が大きいため、便宜上、北緯10~15度帯と7~10度帯に分けた。したがって、北緯15~25度帯をA地域、10~15度帯をB地域、7~10度帯をC地域、ルソン海峡の西側をD地域として説明する。

各成分の鉛直分布については、その特性を失わずに簡単な数量的表現を行ない、できれば各成分に関するこれらの分布特性を現わす数量の比較検討を行ないたい。各成分の鉛直分布図を描くとき、深度を対数尺でとる場合には、各成分の濃度と深度との関係が殆んど直線で示される部分が多い。

すなわち、 $\log(\text{Depth}) = K_0 X (\text{concentration}) \dots\dots\dots(1)$

で表わされる領域が存在する。

今、深度が2倍になるときの濃度の変化は、

$$\frac{1}{K_0} = \frac{C_2 - C_1}{\log D_2 / D_1} = \Delta C / \log 2 \dots\dots\dots(2)$$

(2)式のように鉛直分布の勾配を表わす便宜的数値として作図上から簡単に求めることができる。(1)式中の K_0 の中には、各成分の濃度の変動幅に関する係数が含まれているとみることができ、この変動幅の係数で K_0 を修正することにより濃度を支配する要因を探りたい。

しかし、この報告においては分布曲線の勾配を示すに止める。

1) σ_t の鉛直分布

比重の等しい海水は、断熱変化の無視できる範囲でエネルギーの変化なく相互の位置を置換することができるため、同一系統の水中における化学成分の考察でしばしば σ_t を同一系統水の指標とした取り扱いがなされる。当海域では、深度と σ_t との関係が緯度により著しく変わるので、化学成分の鉛直分布の説明に先立ち σ_t の鉛直分布をFig.5に示す。

A海域では表層で21.5~22.0が30~50mの深さまで続き、 σ_t の平均値はそれ以深500~600mまで一様に増加し、その増加率は深度が倍になるとき σ_t が1.5増加する割合の勾配に等しい。以後、勾配については、このよむな場合 $K=1.5$ の表現を用いる。600mから1,100m間は $K=0.6$ となり、1,200~2,000m間は $K=0.2$ となり、1,200m層の σ_t は27.65となっている。1,000m以深の σ_t -深度関係は、A、B、CおよびD海域の全域について殆んど等しい形を示しているが、1,000m以浅では各地域ごとにそれぞれ特徴がみられる。A海域

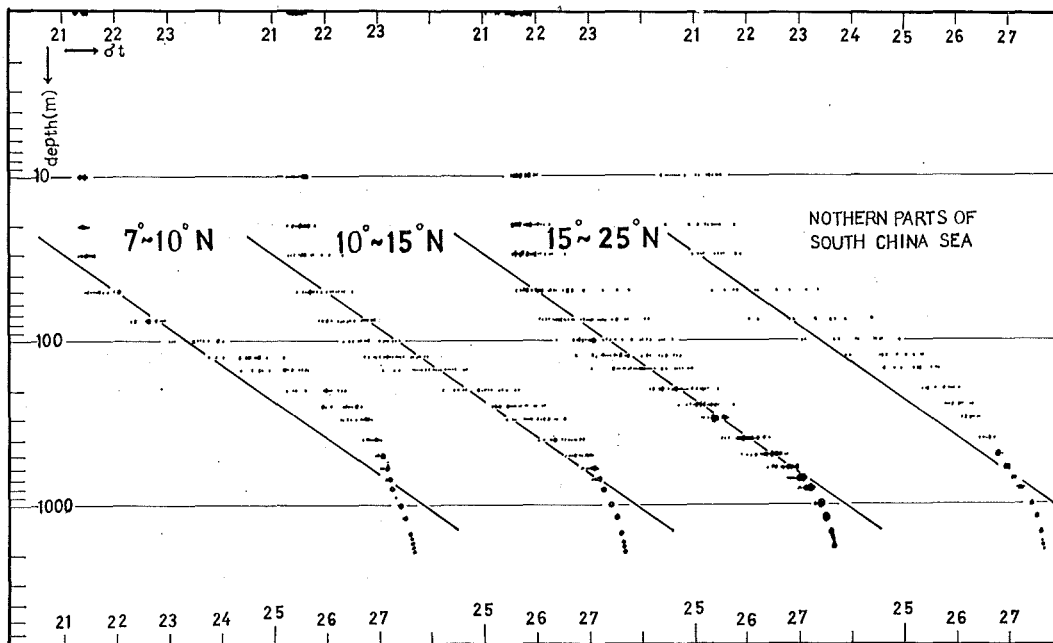


Fig. 5 Vertical distribution of σ_t .

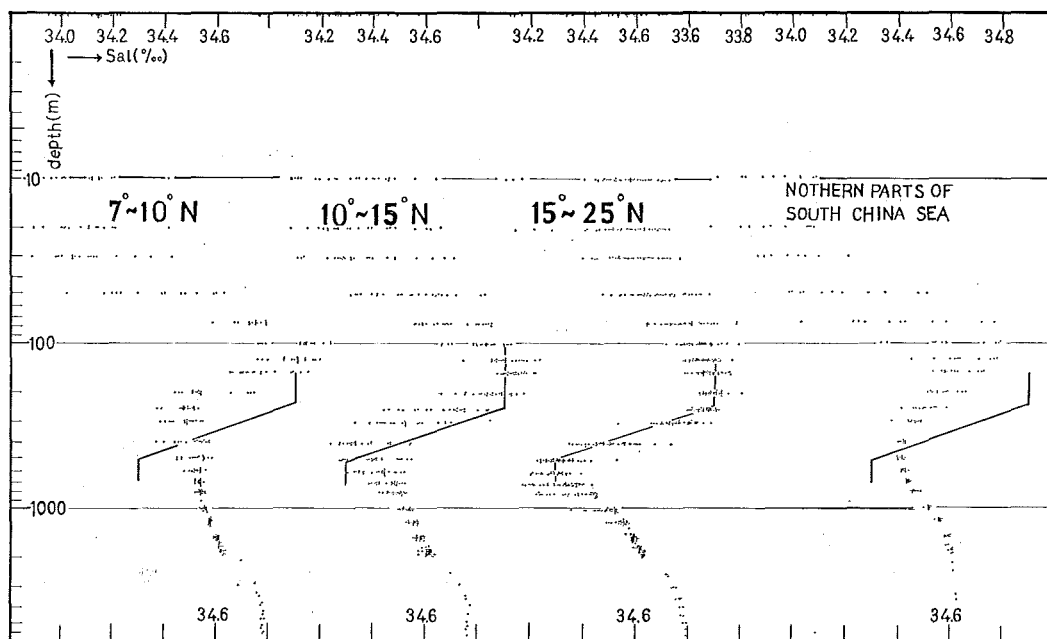


Fig. 6 Vertical distribution of salinity

では緯度上の地域幅が広いためか 75~150m 間で σ_t の地域差が大きく 2 程度の幅がみられる。

A 海域の分布の平均の形を基準にとり (図中の実線) 他の海域の分布図と比較すると, B 域では 300~400m 層付近の σ_t が A 海域より大きい。C 域では, 表層 (0~30m) の σ_t が小さく, 700m 以浅 150m までの σ_t は A 域より大きくなっている。D 域では, 浅層の σ_t が 20.5~21.5 と比較的小さく 100~500m 間の σ_t が大きい。

ルソン島東の黒潮の Type は, 浅層部が A 海域の σ_t の小さい部分に位置し, 300~500m 層が σ_t の大きい部分で示されるような σ_t - 深度関係を持っている。この関係は, 化学成分についても同じ傾向を示す。

2) 塩分の鉛直分布

全地域について 100~500m 層に亜熱帯次層水の塩分極大がみられ, 300~600m 層には亜寒帯中層水の塩分極小がみられる。A 域では, 表層塩分が 34.1~34.7% で 30~50m の深度から増加がみられ, 120m 層まで $K=0.15$ の勾配をもち, 150m 層に極大があり, 250~500m 間は $K=-0.5$ で減少し, 約 600m 層に塩分極小がある。1,800m 層の塩分は 34.59~34.62% と殆んど地域差がみられない。

A 域の分布の形を基準にして (Fig.6 中の実線) 他の地域と比較すると, B 地域では塩分極大の出現層の地域差が小さく浅い。また, 極大値と極小値も A 域より僅かに高い。C 域については, B 域より更に浅い形となる。塩分極大ならびに極小がやや不明瞭になっているがいずれも高い値を示し, 南半球からの次層水および中層水の潜入もうかがわれる。塩分極大と極小間の勾配は, A, B および C 域とも殆んど等しい。D 域については, 表層の塩分および塩分極大が小さいこと, 勾配が緩やかであることが目立つ。すなわち $K=-0.5$ ~ -0.2 である。このことは, 上下水の相対的運動が他の地域に比較して小さいことを意味するものと思われる。

3) 溶在酸素の鉛直分布

表層の酸素は全海域 4.4~4.6ml/l で 1,500m 以深では D 域を除き同じ分布形を示す。50~75m 層に酸素極大がみられるが, A 域に最も顕著に現われ圧力の影響を無視すれば過飽和に達している。これは, 表層水温の季節変化に相当する酸素飽和量の差に殆んど等しいので, 植物プランクトンの光合成作用の影響よりも,むしろ冬季における表面からの溶解と考えられる(1962)。

A 域の濃度分布は, 表面から 350m 層まで高濃度が続き, 400~800m 間は $K=-2.6$ で減少し, 800~1,200m 間に酸素極小が現われ, それ以深では $K=0.6$ で 2,000m まで一様な増加がみられる。この分布形を他地域のそれと比較すると (Fig.7 中, A 域の型を実線で示す) 他の地域では表層形が浅くなり, B 域では 100~120m, C 域では 90m, D 域では最も浅く約 75m になっている。酸素極小層の出現深度も B 域では 500m, C 域では 400m, D 域では 700~800m に現われ, いずれも A 域に比較して浅い。

4) 酸素不足量 (Apparent Oxygen Utilization)

海洋での化学元素の分布の支配要因のうち, 生物の影響を最も顕著に, しかも正確に測定されるものに溶在酸素があり, また, その飽和量から溶在酸素量を差引いた酸素不足量 (A.O.U.) がある。すなわち第 1 水温躍層下の A.O.U. をみれば, 有機物の酸化の結果としての分解溶離物の量が有機物の構成元素から, ある程度推察できるはずで, A.O.U. の分布および A.O.U. と他の成分との関係を知ることは極めて有意義である。この海域の A.O.U. の鉛直分布は, 酸素の分布と極めて対照的である。Fig.8 に示すように, A 地域では A.O.U. 極大の範囲が 5.1~5.9ml/l と他の地域に比較して大きいほかは, 他の成分と同様 A 域の表層の形が他地域のそれより深いことが目立つ。

5) 無機リン酸塩の鉛直分布

表層濃度は全域について $0.2\mu\text{g-at/l}$ 以下で, この層の厚さは A 域で最高を示し, 約 150m で, B, C および

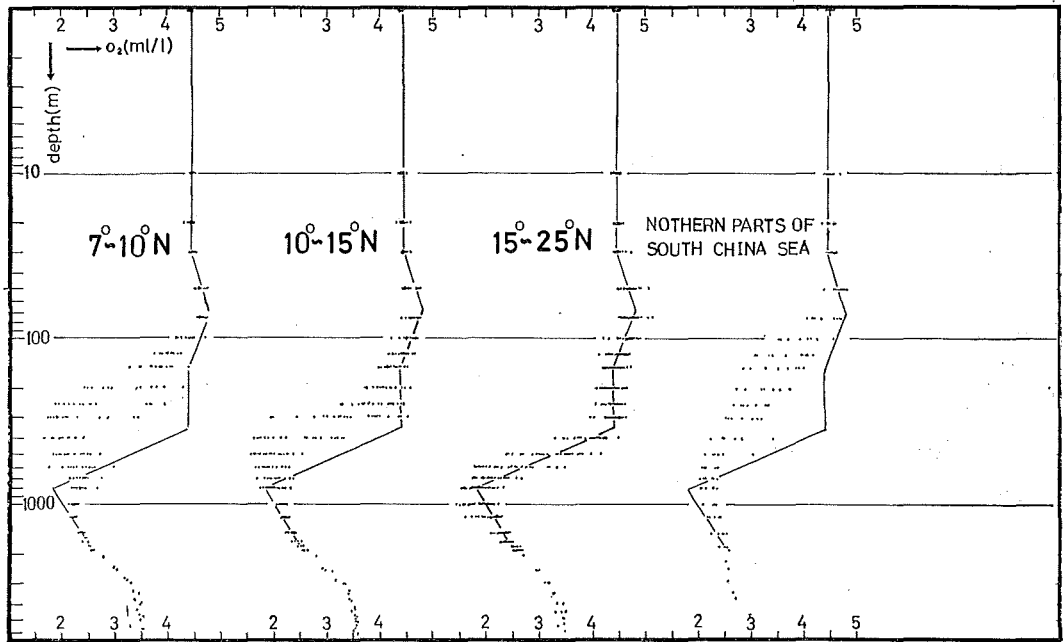


Fig. 7 Vertical distribution of dissolved oxygen

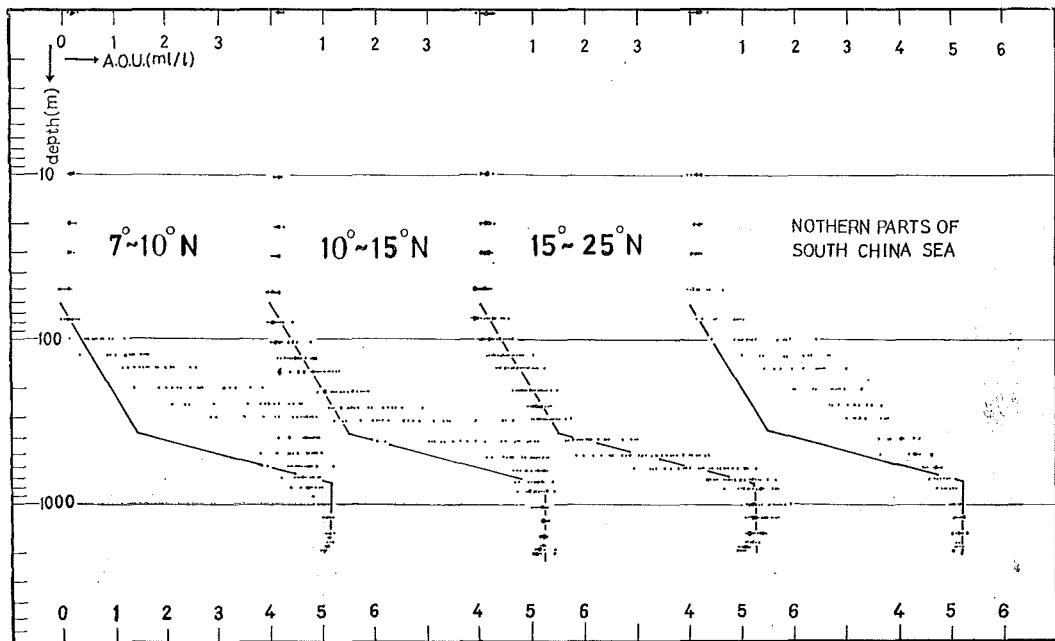


Fig. 8 Vertical distribution of Apparent oxygen Utilization

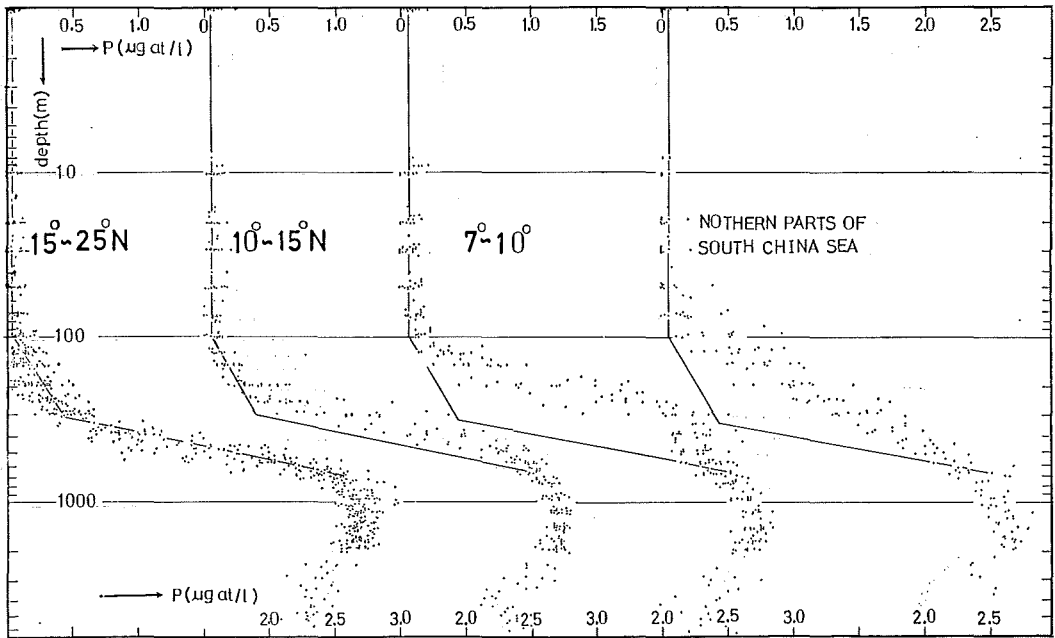


Fig. 9 Vertical distribution of phosphate

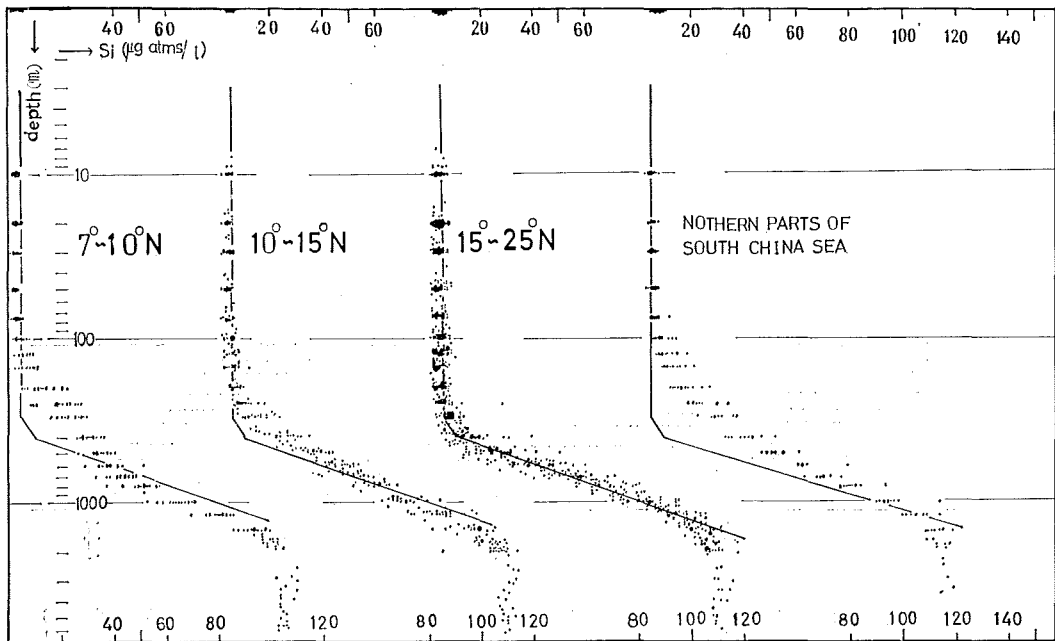


Fig. 10 Vertical distribution silicate

Dの順に浅くなり、B域では120m、C域で100m、D域では75mとなっている。D域を除き、A.O.U.が約1ml/lの深度までは、その増加が緩やかであるが、この深度をこえると急にリン酸塩の濃度が増加し、その増加の勾配は、A域が $K=2.0$ 、B域が $K=1.8$ 、C域が $K=1.2$ 、D域では他の成分と同様に小さい値を示し、 $K=0.7$ となっている。

6) ケイ酸塩の鉛直分布

深度を対数尺で、ケイ酸塩濃度を普通の尺度で表わすとき、ケイ酸塩の分布は直線に近い曲線で表わすことができる。A域では表層濃度1~9 $\mu\text{g-at/l}$ 、その厚さは300~400mで、400~1,300m間は $K=50\sim60$ で増加し、1,500~2,000m以深で一定の濃度を示している。B域では表層厚が200mと浅くなり濃度の増加率は $K=35$ とA域より小さい。C域では2段階の形をなし、表面下120~700m間は $K_1=15$ で、700~1,700m間は $K_2=45$ となっている。D域では90~300m間は $K_1=10$ 、400~1,300m間は $K_2=40$ となっている。

ケイ酸濃度と深度との間に直線的関係が見いだされることは、低濃度の表層水と高濃度の深層水との間に、中間濃度の中層水が適当な相対速度で貫入しているためと思われる。この中層水のケイ酸濃度は、A域およびD域では、約50 $\mu\text{g-at/l}$ でB域では40、C域では約30 $\mu\text{g-at/l}$ となっている。B域では、中層水がA域より浅いため直線性が少しくずれ、C域では中層水が更に浅いところに貫入しているのでこの部分が鉛直分布曲線上でとび出した形を示している。D域の分布の形は、中層水の動きが遅く、鉛直拡散が目立つためと思われる。

7) 分布形の比較

以上、海域別に各成分の分布形をまとめ、Fig.11に掲げたが、第1欄は表層濃度、第2欄は曲線の折点の深度、第3欄は曲線の勾配で、第4欄は極大値および極小値である。

中層水以下の代表的勾配を各成分について海域別にみると次表のようになるが、各成分の濃度の変量幅で勾配の係数 K を除いた値は、A.O.U.と PO_4 では殆んど同じ値が得られている。

TABLE 1 GRADIENTS OF DEPTH-CONC. CURVES

area	15°~25°N.	10°~15°N.	7°~10°N.	North, S.chi.sea
$K_{D.o}/2.5$	1.0	1.0	0.6	0.3
$K_{A.O.U.}/5$	0.7	0.7	0.5	0.3
$K_{\text{PO}_4}/2.5$	0.7	0.7	0.5	0.3
$K_{\text{Si}}/100$	0.5	0.4	0.5	0.4

6 リン酸塩およびケイ酸塩濃度と酸素不足量(A.O.U.)との関係

Fig.12に示すように4海域に共通にA.O.U.のある範囲内では、A.O.U.とリン酸塩濃度およびケイ酸塩濃度がほぼ直線的関係にある。この海域では、リン酸塩とA.O.U.との比 $\Delta P/\Delta A.O.U.$ の値は見掛け上 $1.6 \times 1 \mu\text{g-at/l} / 3\text{ml}$ になっている。これは、日本近海についての杉浦氏等の研究(1964a)(1963)のように $\Delta P/\Delta A.O.U.=1/3$ の勾配を持つ海水層の階段として考えるなら、 $\Delta P/\Delta A.O.U.=1.6 \times 1/3$ の意味することは、保存性部分のリンの異なる系統の水が層状に積み重なったことを意味し、勾配の緩急は、保存性リンの異なる系統の海水の接触を表わしているものと思われる。

ケイ酸塩とA.O.U.との関係については、A.O.U.が1ml/l以下ではケイ酸濃度の変化は殆んどないこと、A.O.U.が大きいところで見かけ上A.O.U.のわずかな増加に対しケイ酸濃度の増加が顕著であり、A.O.U.以外の因子が支配的であることがわかる。

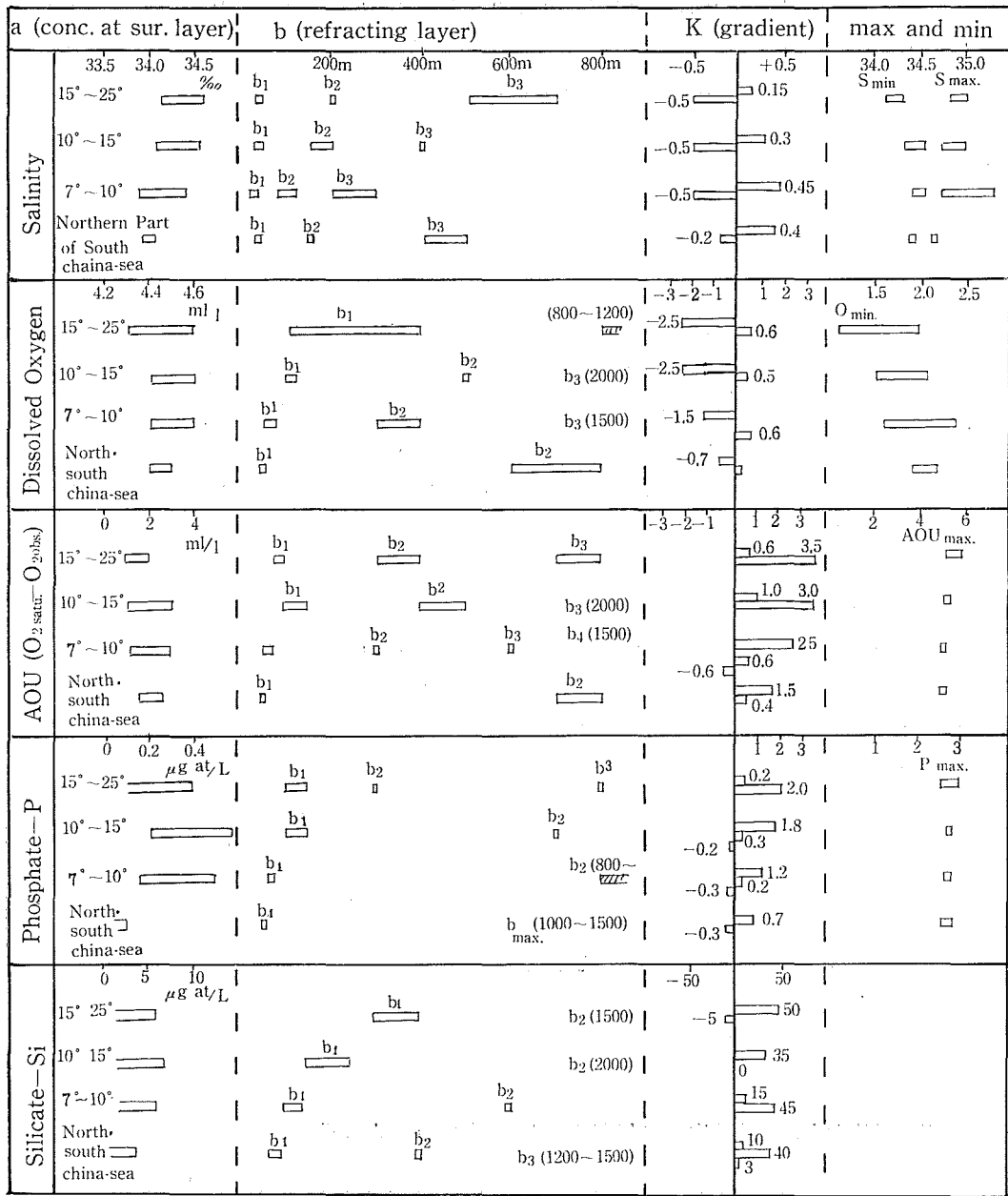


Fig. 11 Type of vertical distribution of some constituents of sea water

σ_t とケイ酸濃度との関係を見ると、 σ_t が 26.5 以上になると、A.O.U. の増加に関係なくケイ酸塩は急激に一
定値まで増加するが、 $\sigma_t - Si$ あるいは $T - Si$ 曲線上では割合単調な曲線関係を示している。

これらのことは、ケイ酸の海洋における分布の支配因子を追求する際、極めて重要な意義を持つものと考えら
れる。有機物が酸化分解する際、ケイ酸塩はその分解過程の終りころで溶出する比率が高いことを意味するであ
らうと云うことより、むしろ σ_t や水温の等しい海水のケイ酸塩の濃度が近い値を示すことから、ケイ酸塩濃度
はA.O.U. との関係より海水の源泉とその経路との関係が深いように思われる。すなわち、ケイ酸塩は、有機物か

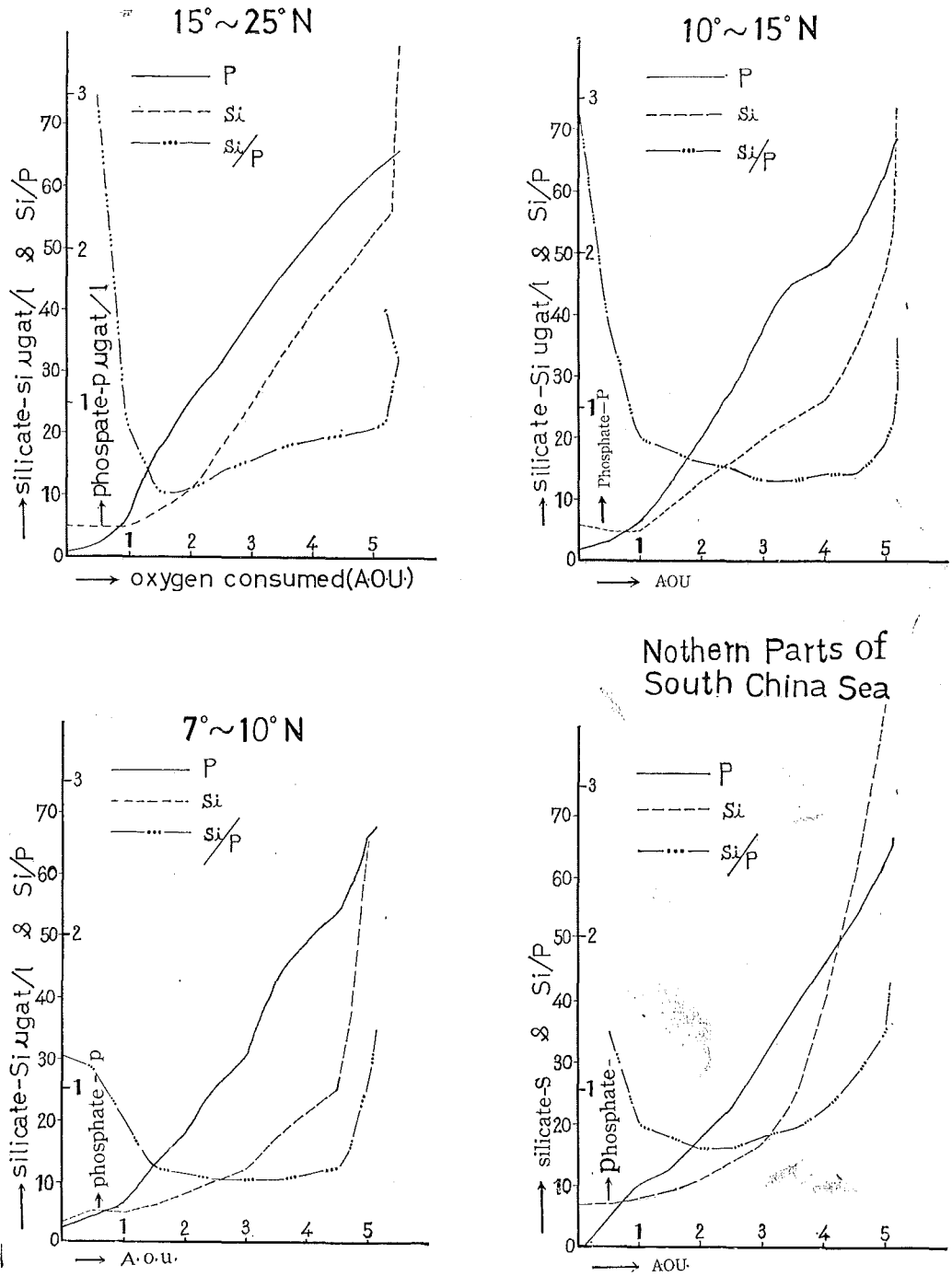


Fig. 12 Relation between phosphate, silicate and A.O.U.

ら海水への還元過程がリン酸塩等と異なるため、この過程の多累サイクルの結果を反映した濃度分布を示していることができる。

Si/P の比率については、それぞれの濃度の小さい場合は、リンの濃度が小さいのでこの比率も高いが、A.O.U. の増加と共に Si/P の値もやや安定し、A.O.U. が $2\sim 3\text{ml/l}$ の領域では Si/P 比は $10\sim 20$ を示し、大西洋で求めた Richards (1958) の値、 $\Delta Si/\Delta P=16$ や、杉浦氏の北太平洋における A.O.U.- Si 調査図 (1964b) の A.O.U. が $2\sim 4\text{ml/l}$ 範囲の値にほぼ等しい。

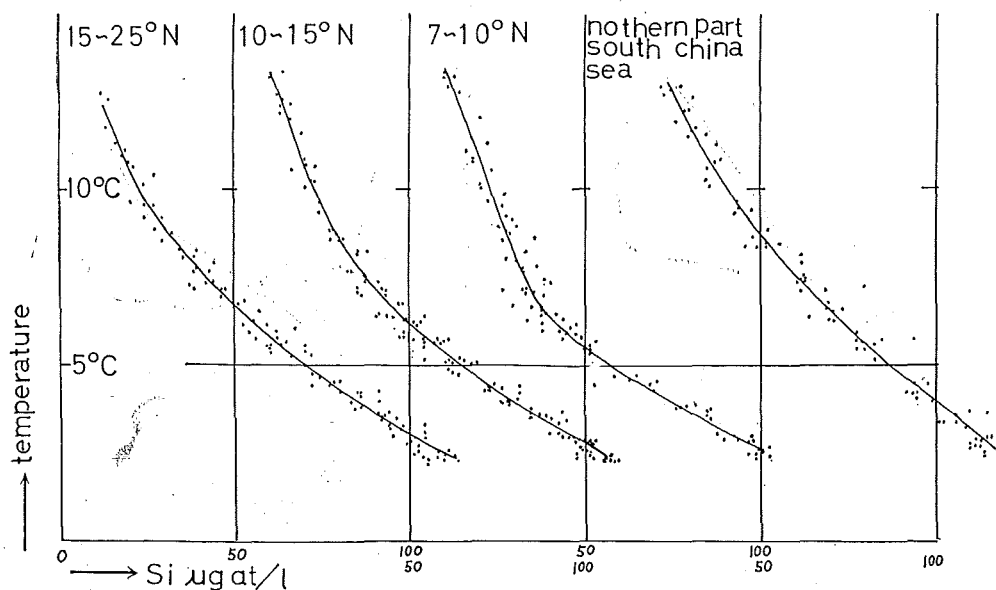


Fig. 13 Temperature-Silicate curves in the eastern sea off the Philippines.

$T-Si$ 図をみると、いずれの海域においても、 $\sigma_t > 26$ の領域で Si と T との間に単純な関係がみられ、 10°C で Si 濃度は $20\sim 45\mu\text{g-at/l}$ 、 3°C で $90\sim 110\mu\text{g-at/l}$ となっている。これらはそれぞれの海域における起源水ならびにその経路の Si 供給物の多寡を反映しているものであらう。 $T-Si$ 図で 5°C のケイ酸塩濃度は A 域では 70、B 域では 65、C 域では 57、それに D 域では $85\mu\text{g-at/l}$ となっており、 Si 濃度の高い海域の順序を示し、 $T-Si$ 曲線の型の指標にとることができるものと思われる。

フィリピン東方の海域ではケイ酸塩以外の塩分、酸素等の鉛直分布からみても、中層水以下 $1,500\text{m}$ 層くらいまでは経度線に沿う方向に順次水質の僅差がみられ、これらは中層水の下部や深層水上部の移動が東西方向であるらしいことを暗示している。なお、ケイ酸塩の測定に関しては、日本海洋学会編海洋観測指針に記載されたとおりのクロム酸カリウム標準溶液を使用しているが、著者の 1 人 (日向野) は、このクロム酸カリウム標準溶液が現在使用している比色計では実際のケイ酸塩濃度の約 8 割に相当するものと考えている。しかし、混乱を避けるためこの補正は行わない。したがってこの問題については、将来、別紙で報告する予定である。

7 結 語

2 年間にわたるフィリピン東方およびルソン海峡西部の海象観測で得られた化学成分の分布についての地域別特徴や、リン酸塩、ケイ酸塩と A.O.U. との関係について説明した。

これらを要約すると次のとおりである。

- 1) 塩分極小値や溶在酸素および栄養塩の分布から中層水は北部 ($15^{\circ}\sim 25^{\circ}N$. 帯) で深く (500~600m), 南部 ($7^{\circ}\sim 10^{\circ}N$.) では浅い (200~300m). また海流の存在する海域の表層下における各成分の海流に直角な水平方向の濃度勾配は中緯度にある日本近海に比較して小さい.
- 2) 酸素極小値は, 太平洋の他の地域に比較して割合高く, $1.8\sim 2.0\text{ml/l}$ で, 出現深度は塩分極小層より 100~200m 深い.
- 3) 各成分の地域別鉛直分布の特性を図により互に比較して示した.
- 4) この海域の特徴は, 北部 ($15^{\circ}\sim 25^{\circ}N$. 帯) では, 高温高塩分で酸素が飽和に近く, 栄養塩の極めて少ない表層水および亜熱帯次層水が, 栄養塩の豊富な中層水上に厚く (約300m) おおっている.

5~7° 帯の赤道逆流域では 200m 以浅で各成分の濃度変化が大きいが 200m 以深では変化が少ない. ルンソン海峡の西方, 南支那海北部では, 表層の混合層は薄い. また各成分の鉛直分布の勾配が緩やかで, 上下層間の相対的流動が小さいと考えられる.

フィリッピン東方側では, 中層水以下約 1,500m層まで南北方向に, わずかながら各成分濃度の漸増がみられ, 水質的差異を示し, 東西の流動方向を暗示している.

- 5) リンの測定値を等塩分属ごとに分類しないで, すべてのリン酸塩測定値から A.O.U. とリン酸塩濃度との関係を見ると, ほぼ直線的になり, $dP/dA.O.U.$ は見かけ上 $1.6\mu\text{g-at/l/3ml}$ となっており, 印度洋の場合とは逆に, プランクトンの混成試料の分解から得られた $P/A.O.U.=1\mu\text{g-at/l/3ml}$ より大きくなっている. A.O.U. とケイ酸塩濃度は簡単な直線関係はみられず地域的特性がみられる.

ケイ酸塩は A.O.U. が 1ml/l 以下では殆んど濃度変化がみられず σ_t が 26.5 以上では A.O.U. に関係なく水温の低下とともに Si 濃度が増大する. dSi/dP についても地域差があるが, A.O.U. が $2\sim 3\text{ml/l}$ 間では $Si/P=10\sim 20$ となり Richards の大西洋等での調査結果¹⁶にほぼ等しい. $T-Si$ 図は, $\sigma_t > 26$ の領域で Si と T との間に単純な関係がみられ, 水型の特徴を示している.

この報告の 1 部について検討をいただいた庄司大太郎博士ならびにこの観測の班長として終始面倒を見ていただいた二谷顯男氏に感謝致します. (海象課)

参 考 文 献

- Richards Francis, A., 1958, "Dissolved Silicate and Related properties of Some Western North Atlantic and Caribbean Waters" *Jour. Mar. Res.*, p. 449~462, 17, 1958.
- Reid Joseph, L. Jr., 1962, "Distribution of Dissolved Oxygen in the Sommer Thermocline" *Scripps institution of Oceanography, contribution*, No. 1409, 32, 1962.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum and F.A. Richards 1963, "The Sea" *Interscience, publishers, New York*, p. 26~48, 2.
- Sugiura Yoshio and Hirozo Yoshimura 1964a, "Distribution and Mutual Relation of Dissolved Oxygen and Phosphate in the Oyashio and Nothern part of Kuroshio Regeions" *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, P14~23, 20, No. 1, 1964.
- Sugiura Yoshio and Suphachai Chaitiamvong 1964b, "Relation of Silicate concentration to Dissolved Oxygen Amount in the Nothern Frontal Region of Kuroshio" *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, P39~42, 20, No. 2, 1964.