

Queen Maud Land と南アフリカ間の 南極洋における栄養塩について

塩 崎 愈*

ON THE NUTRIENT SALTS OF THE SOUTHERN OCEAN IN THE SECTION BETWEEN QUEEN MAUD LAND AND SOUTH AFRICA

Masaru SHIOZAKI*

Abstract

The serial observations were carried out along $10^{\circ} - 15^{\circ}$ E at every 5° in latitude in JARE-7. In the Antarctic Circumpolar Water, $24 \mu\text{g-atoms/L}$ of phosphate-P, $100 \mu\text{g-atoms/L}$ of silicate-Si and $35-38 \mu\text{g-atoms/L}$ of nitrate-N were observed. There was difference between the distribution of phos-

phate-P and that of silicate-Si, the maximum values of phosphate-P and nitrate-N were observed in 400-600m layer at 60°S , but that of silicate-Si was at a depth of 1,500m. Regeneration of phosphate-P and nitrate-N was observed in 400-600m layer in the Antarctic zone and the Antarctic Intermediate Water, and the regeneration of almost all silicate-Si was estimated in the Antarctic zone.

ま え が き

昭和40年度に南極観測が再開され、観測船も「宗谷」から「ふじ」に一新され、同時に海洋観測の能力も一段と増強され、海洋部門の長年の念願であった南極大陸—ケープタウン間のほとんど海底までの各層観測が緯度5度おきに行ない得た。しかし、得られた垂直断面は1つのみであり、しかも300マイル間隔というこの種の観測ではかなりあらいものであるため、今回の観測のみからは多くを述べることは困難であり、これまでに行なわれた種々の観測結果を参考にし、今回の観測結果をまとめたものである。Fig 1 に第7次南極観測(JARE-7)で行なった各層観測の測点図を示す。

* 海上保安庁水路部. Hydrographic Division, Maritime Safety Agency

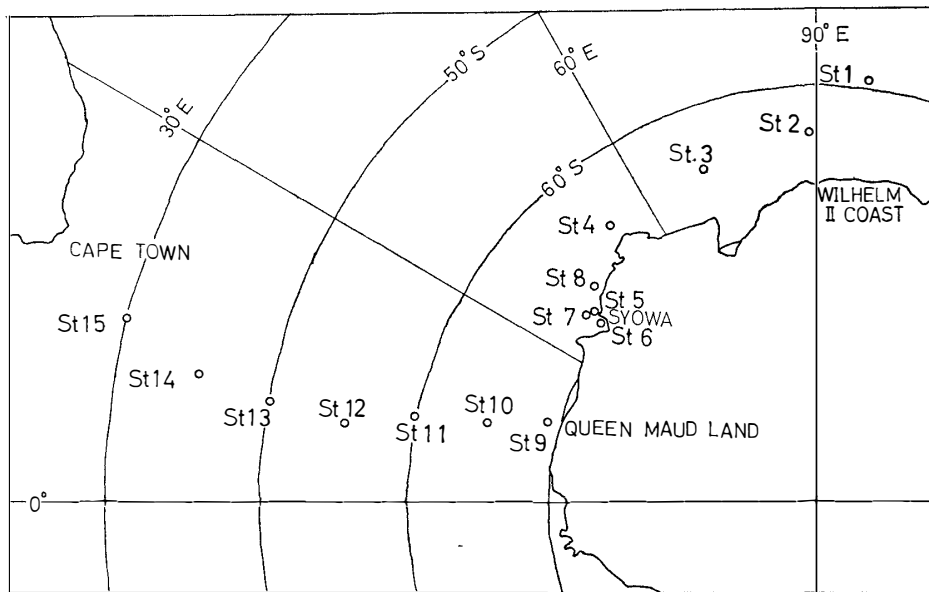


Fig. 1. Locations of serial observation stations.

分 析 法

1. 溶在酸素：Winkler 法.
2. リン酸態リン：海洋観測指針¹⁾による.
3. ケイ酸態ケイ素：海洋観測指針による.
4. 亜硝酸態窒素：Griess-Romijin 法.
5. 硝酸態窒素：Mullin and Riley 法²⁾.

比色分析に使用した光電比色計は東京光電製記録式光電比色計 (ANA-R100D) を用いた。セルは径 40mm の円筒型セルを用いた。

溶在酸素について

Fig. 2 および Fig. 3 にフリーマントルー氷縁間および氷縁—ケープタウン間の表面観測の結果を示す。フリーマントルー氷縁間では溶在酸素は 32°S あたりで 5ml/L で南に向かって徐々に増加し、亜熱帯集連線(Subtropical Convergence)と思われる 45°S で 6.3 から 6.8ml/L に増加する。南極集連線(Antarctic Convergence)である 52°S では 7.2 から 8.0ml/L に増加する。その後氷縁まで 7.5~8.0ml/L の値を示す。他方、氷縁—ケープタウン間では、亜熱帯集連線があると思われる 41°S 附近で、5.2 から 6.5ml/L まで急激に増加する。南極集連線と思われる 52°S あたりでは 7.1 から 7.4ml/L に増加する。その後 66°S

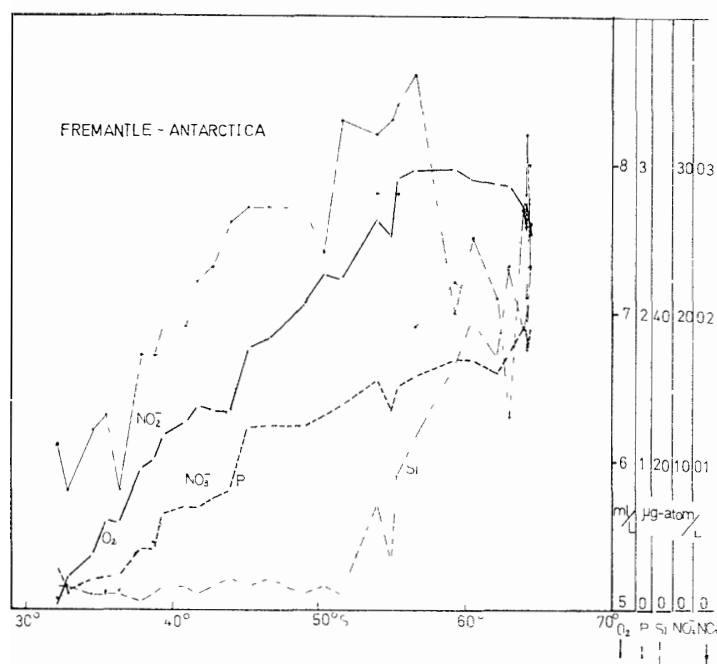


Fig 2 Variation of dissolved oxygen, phosphate-P, silicate-Si, nitrate-N, and nitrite-N (Dec 1965).

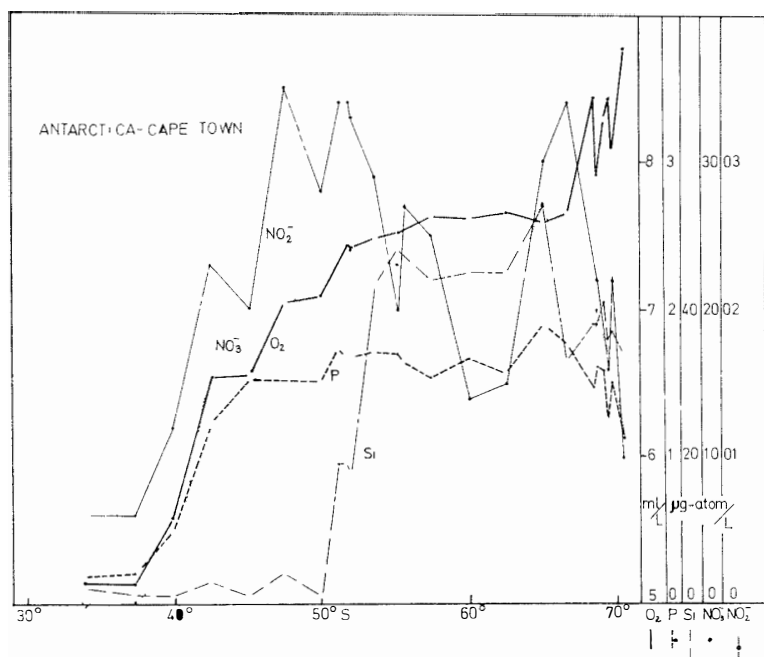


Fig 3 Variation of dissolved oxygen, phosphate-P, silicate-Si, nitrate-N, and nitrite-N (Feb 1966).

あたりまで約 7.6ml/L の値を示し、氷海では融氷水のため 8.0ml/L 以上の高い値を示す。両者の間には相違が見られ、100°E にそったフリーマントルー氷縁間の場合、亜熱帯集連線における酸素の増加は 32°S ですでに始まっており、ゆるやかに広範囲にわたっている。他方 10°~15°E の氷縁—ケープタウン間では、亜熱帯集連線における酸素の増加は 37°S から始まり、増加が急であり範囲が狭い。このことは溶在酸素以外の成分についてもいえることであり、インド洋の西側ではアフリカの南を流れる Agulhas Current により暖かい水がより南に押しやられるために生じたものである³⁾。

Fig. 4 に氷縁—ケープタウン間 (10°~15°E) の溶在酸素の垂直断面図を示す。南極表層水では 7.5~8.0ml/L の値を示し、表層水の下に著しい不連続線があり、溶在酸素は急激に減少する。200m から 800m にかけて酸素極小層があり、この層が南極集連線のある 52°S 附近から下降し、45°S では 1000~1500m 層に見られる。この極小層は生物の分解のために酸素が消費されてきたものであり、栄養塩類の極大層と一致する。北大西洋起源であると云われる⁴⁾深層水は 40°S では 2000~3000m に見られ 4.6~5.0ml/L の値を示し、南極集連線の所で 1000m 層に上昇し、南極圏の深層水となる。極小層のすぐ下から 1000m まで 4.5~4.8ml/L の値を示し、深くなるにしたがって徐々に増加し、底層水では約 5.6 の値を示す。

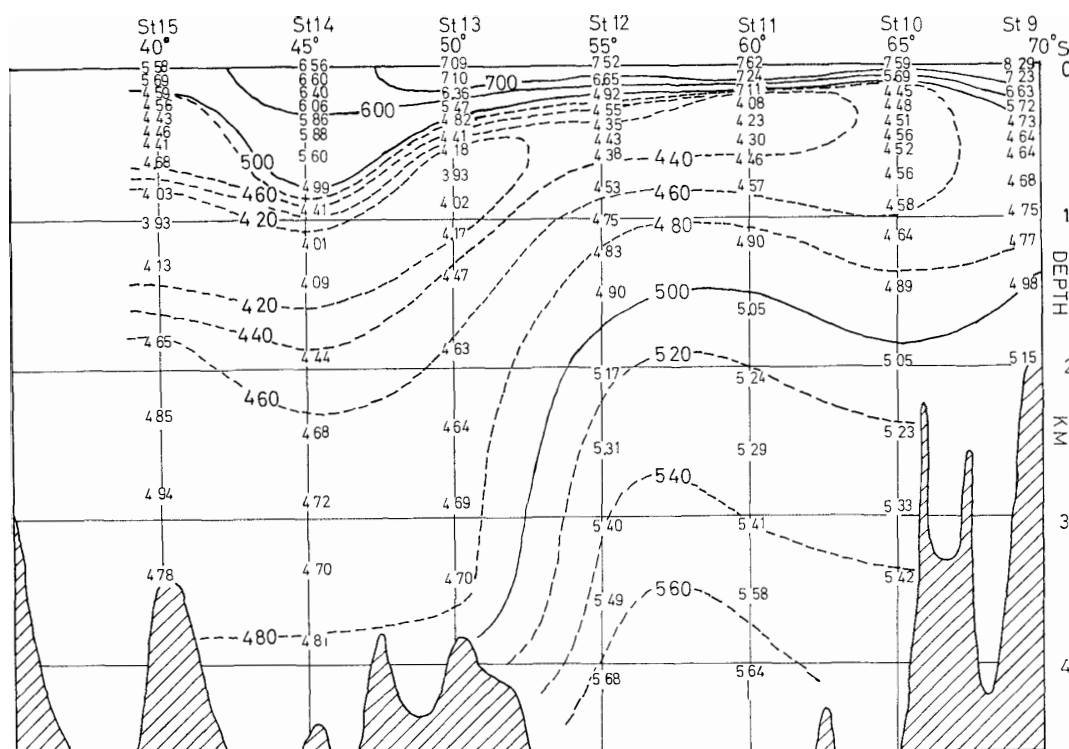


Fig. 4. Distribution of dissolved oxygen in a longitudinal section in the southeastern Atlantic Ocean Units ml/L.

リン酸塩

表面水のリン酸塩は亜熱帯集連線以北では非常に少なく $0.2\mu\text{g-atoms/L}$ 以下であるが、亜熱帯集連線で急激に増加し、 $1.2\mu\text{g-atoms/L}$ に達する。南極集連線では増加はあまり著しくない。南極集連線から氷縁まで $1.5\sim 2.0\mu\text{g-atoms/L}$ の値を示す。 15°E の線と 100°E の線の差は溶在酸素の場合と同様である。

Fig. 5 にリン酸塩の氷縁—ケープタウン間の垂直断面図を示す。南極圏では表層水中のリン酸塩の濃度は $1.5\sim 2.0$ の値を示すが、これは他の海洋の表層水より著しく高い値であり、その起源が深層水であるためであろう。融氷水の著しい所では溶在酸素は高く、栄養塩は低くなっている。南極表層水の下には深層水があり、非常に均一な濃度を示し、300m から海底までほとんど $2.4\mu\text{g-atoms/L}$ の値を示す。 60°S の 400~600m においてリン酸塩の最大値があり、2.6 の値が見られる。この極大層は酸素の極小層と一致し、しかもこの極大層は北に延び南極次層水とつながり、同様に酸素極小層も南極次層水につながる。この層においてリン酸塩の再生が活発に行なわれているものと思われる。即ち、生産力に富んだ南極表層水中の生物が南極圏内で沈降し、深層水のごく上部で分解し、リン酸塩が再生される。またこの生産力に富んだ表層水が北に流れ南極集連線で沈降し、南極次層水を形成するか、こ

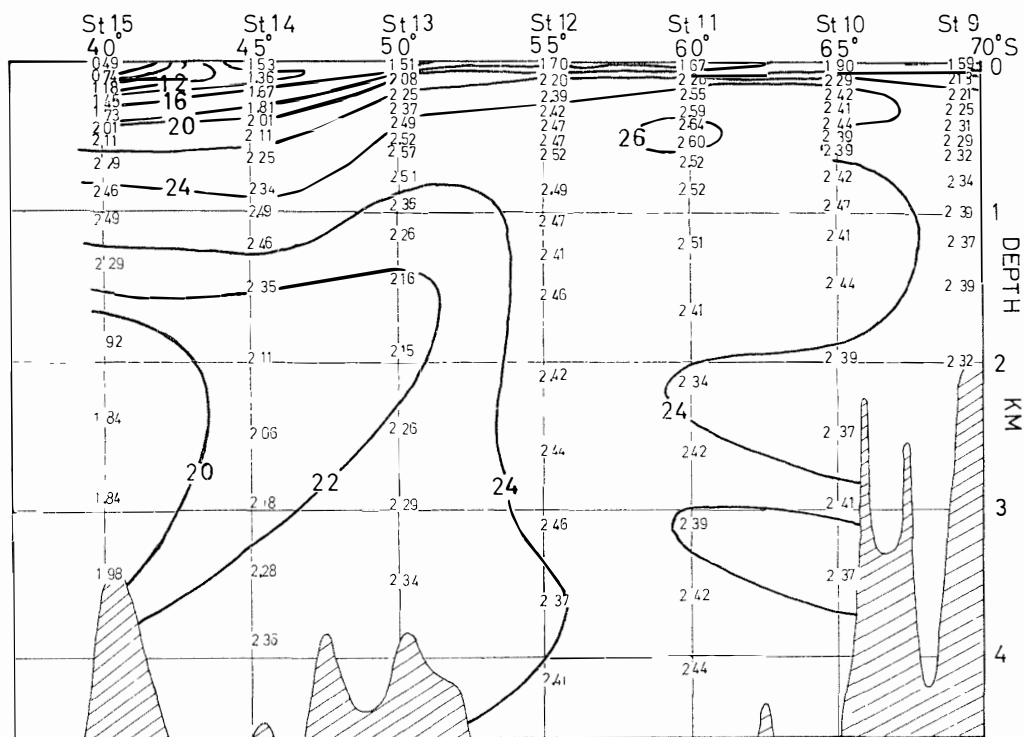


Fig. 5 Distribution of phosphate-P in a longitudinal section in the southeastern Atlantic Ocean Units $\mu\text{g-atoms/L}$

の途上においても生物の分解が活発に行なわれ、リン酸塩の再生が起る。南極圏に流入してくる深層水は 40°S の $2000\sim 3000\text{m}$ に見られ、 $1.8\sim 1.9\mu\text{g-atoms/L}$ の低い値を示す。北大西洋起源と云われるこの深層水は、栄養塩にとぼしく、低酸素、高塩分である。そのため南極起源の南極次層水、底層水より値が小さく極小値を示している。このリン酸塩極小の深層水は 50°S で cross ridge およびより重い底層水と出合い、その上に持ち上げられ 1000m 層へと上昇する。この上昇の際、すぐ上を下降してくる栄養塩極大の南極次層水と活発に混合が行なわれ、栄養塩も増加し、高栄養塩の水となり南極圏に入る。南極圏では深層水は非常に均一な分布を示している。この深層水の一部が融氷水や陸水により希釈され表層水を形成する。他方特殊な場所で特殊な条件のもとであまり希釈されることなく冷却されたものが底層水を形成する。そのため両者とも栄養塩に富んでいる。

ケ イ 酸 塩

Fig. 6 にケイ酸塩の $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{E}$ における垂直分布図を示す。ケイ酸塩はリン酸塩等とは異なり、亜熱帯集連線において増加を示さなく、南極集連線において初めて急激な増加を示す。そのため南極集連線の良き指標となる⁵⁾。南極では表層水で $40\sim 50\mu\text{g-atoms/L}$ の値を示し、これはリン酸塩同様他の海洋の表層水と比較し、著しく高い。 40°S の $2000\sim 3000\text{m}$ に見られる深層水では $40\sim 45\mu\text{g-atoms/L}$ の低値を示し、これが $50^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{S}$ にかけて 1000m 層に上昇する際約 $100\mu\text{g-atoms/L}$ に増加する。南極圏内の深層水ではケイ酸塩も非常に均一に分布し、約 $100\mu\text{g-atoms/L}$ の値を示す。最高値はリン酸塩と同じ 60°S に見られるが、深度は更に深く、 1500m 層に見られ、 $110\mu\text{g-atoms/L}$ の値を示す。それ以深では海底に向けてわずかに減少している。南極次層水におけるケイ酸塩の極大はあまり著しくなく、ケイ酸塩の再生のほとんどは南極圏内で行なわれている⁶⁾。 45°S から 50°S に向け海底近くで南に向かってのケイ酸塩の増加は南極底層水の影響によるものであろう。しかし、底層水は Atlantic Indian Cross Ridge によりその北進がさえぎられ、あまり著しい影響は見られない。

硝 酸 塩

Fig. 7 に硝酸塩の垂直分布図を示す。硝酸塩についてはその分析法に手頃なものがないためデータが非常に少ない。硝酸塩の分布はリン酸塩の分布によく似ている。表面水の硝酸塩はリン酸塩同様、亜熱帯集連線で増加し、1 から $15\sim 20\mu\text{g-atoms/L}$ に増加する。南極表層水では $20\sim 28\mu\text{g-atoms/L}$ の高い値を示す。亜南極圏の深層水では $25\mu\text{g-atoms/L}$ で

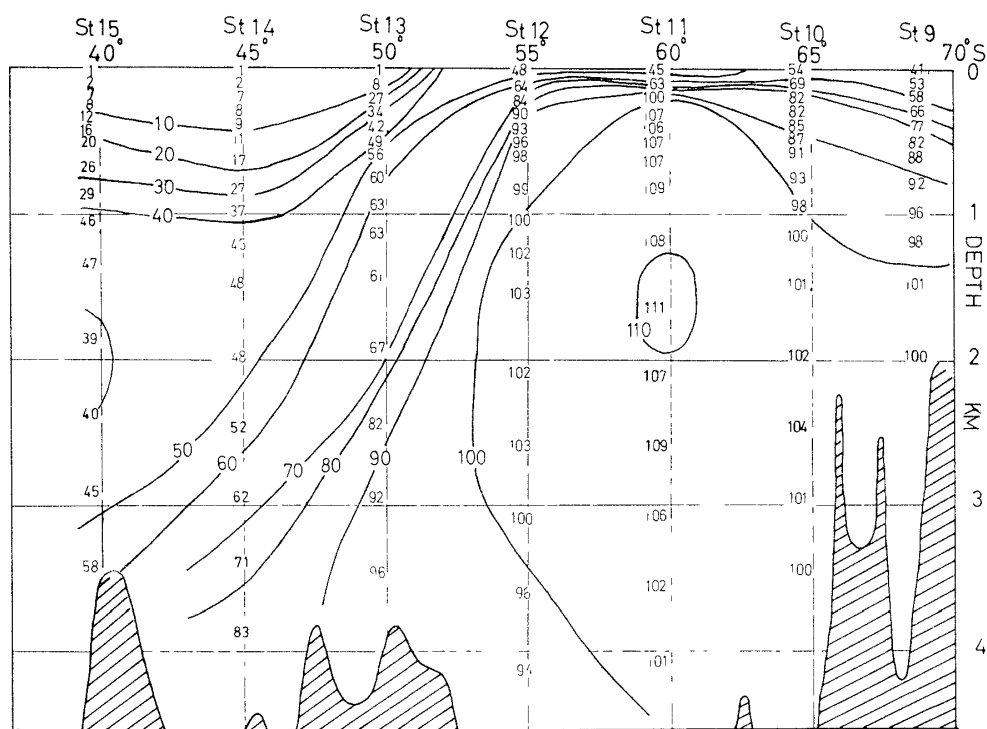


Fig. 6 Distribution of silicate-Si in a longitudinal section in the southeastern Atlantic Ocean Units $\mu\text{g-atoms/L}$.

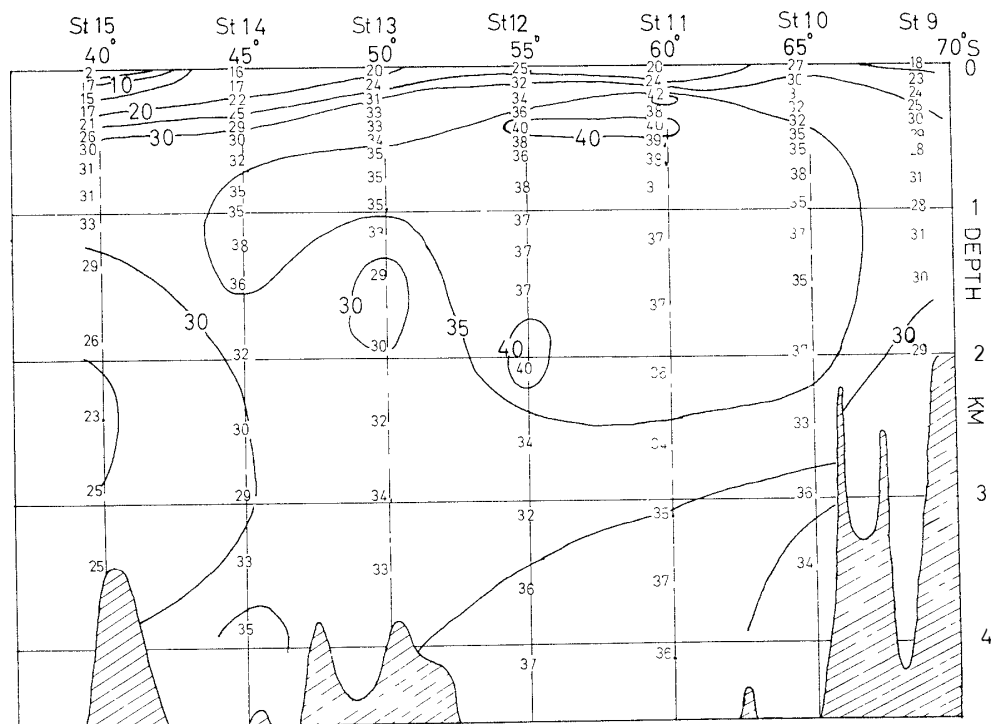


Fig. 7 Distribution of nitrate-N in a longitudinal section in the southeastern Atlantic Ocean Units $\mu\text{g-atoms/L}$.

1000m 層に上昇したあたりでは $35\mu\text{g-atoms/L}$ となる。南極周極水 (Antarctic Circumpolar Water)¹¹⁾ では $35\sim 38\mu\text{g-atoms/L}$ で非常に均一である。リン酸塩と同様 60°S の 400m 層で最高値が見られ、この極大層は南極次層水へと続く。したがって、硝酸塩の再生もリン酸塩と非常に類似している。底層水の値は深層水の値とあまり変わらない。

リン酸塩とケイ酸塩の相違について

リン酸塩と硝酸塩とはよく似た分布を示すため、リン酸塩とケイ酸塩の相違について検討を行なった。 60°S の 400~600m 層でリン酸塩の極大層があり、酸素極小層と一致することから、著しいリン酸塩の再生が行なわれているものと思われる。ケイ酸塩の極大層は更に深く 1500m 附近で見られる。この相違はリン酸塩とケイ酸塩において栄養塩が再生される速度の相違によるものと思われ、生物およびその排泄物における溶解速度がリン酸塩とケイ酸塩との間に差があり、前者は比較的容易に溶解され、浅い層にて極大を示すが、後者の場合は、溶解に更に時間を要し、生物の死骸が更に沈降した所で極大が見られる。分布からも明らかなように、ケイ酸塩のかかなりの部分が沈降途上で再生されたものであり、未溶解のケイ酸含有有機体が海底に沈積し、海底にてケイ酸塩が溶解再生される部分が、ケイ酸塩の分布の支配的なものではないことがうかがえる。1 度生物に摂取された後排泄されたケイ藻類は、比較的溶解が容易であると云われており⁷⁾、この種のものはほとんど沈降途上で溶解するものと思われる。

ケイ酸塩の再生はほとんど南極圏内で行なわれているのに比べ、リン酸塩の場合は、南極次層水中においてもかなり活発に行なわれている。

亜熱帯集連線においてリン酸塩は急激に増加するが、ケイ酸塩は南極集連線において初めて増加する。従って、亜南極圏 (Sub-Antarctic Zone) ではリン酸塩は高濃度を示すが、ケイ酸塩は非常に少ない。この差は次のように考えることができる。即ち、表層水では夏、植物の繁殖により栄養塩は低下する。ケイ酸塩に関してもケイ藻類の繁殖により著しく低下し、植物の成長をある程度抑制しているものと思われる。生物に摂取された栄養塩類は、リン酸塩等の溶解の容易なものは摂取されると同時に同じ層で再生されるが、溶解困難なケイ酸塩は表層ではほとんど再生されず、より深い層へと運ばれ、その為表層水中のケイ酸塩は常に欠乏した状態にあり、植物の成長をある程度抑制する要因ともなると考えられる⁶⁾。

南極圏における栄養塩の収支

これまで述べた事柄から明らかなように、南極圏からは栄養塩に富んだ南極次層水および

底層水が北方に流出し、多量の栄養塩が持ち出される。これにひきかえ、南極圏に入って来る深層水は北太西洋起源の低栄養塩の水である。しかし、この深層水も南下して来る途上高栄養塩の南極次層水および底層水から栄養塩の供給を受け⁶⁾、40°S の 2000~3000m に達した附近ではかなりの高栄養塩の水となり、40°S のリン酸塩および硝酸塩の垂直分布図において多少極小層が見出される。しかし、南極集連線で 1000m 層に上昇する際、すぐ上の栄養塩に富んだ南極次層水との境で栄養塩の再生が活発に行なわれ、栄養塩の供給を受け、高栄養塩の水となり南極圏に入り、栄養塩の収支を保つ。また、この断面において、底層水の北進が ridge により妨げられているため、底層水によるこの断面における南極圏からの栄養塩の持ち出しは非常に少ない。今回の測定は一断面のみであり、他の多くの南北方向の断面を得て初めて完全な栄養塩の収支についての検討が可能となる。

他の測定結果との比較

今回行なった 10°~15°E にかかなり近い位置でこれまでに行なわれた観測として、DISCOVERY II (1933年)⁷⁾、OB (1957年)⁸⁾ および海鷹丸 (1957~58年)⁹⁾ 等があげられる。これらの観測結果との比較検討を行なう。比較的均一な値を示す南極圏の深層水の値について比較すると、リン酸塩に関しては、JARE-7 の場合は、ほぼ 2.4 $\mu\text{g-atoms/L}$ であり、海鷹丸の場合は 2.1~2.2 $\mu\text{g-atoms/L}$ でやや少なく、DISCOVERY の場合は 1.9~2.1 $\mu\text{g-atoms/L}$ と更に少ない。OB の場合は、2.2~2.3 $\mu\text{g-atoms/L}$ とほぼ同じ値を示す。また、今回観測された 60°S のリン酸塩の極大については、海鷹丸の場合にも大体同じ場所に見られるが、DISCOVERY の場合には南極圏には極大は見られず、その最高値は 40°S の 1000m 附近に見られ、2.8 $\mu\text{g-atoms/L}$ と云う高い値が観測されており、リン酸塩の再生はほとんどが亜南極圏の南極次層水で行なわれている。今回の観測結果においても南極次層水中に極大層が見られるか、しかし、リン酸塩の再生は南極圏内の方がより著しい。OB の場合はかなり相違していて、60°S を境にしてその南北で様子が異なり、南では 2.2~2.3 $\mu\text{g-atoms/L}$ のかなり均一な分布を示す。60°S の北では 55°S にかけて 200m から 4000m に至るまで 2.5~2.6 と云う高い値を示す。

ケイ酸塩の場合海鷹丸では、深層水は 70~80 $\mu\text{g-atoms/L}$ で多少小さく、DISCOVERY の場合は、100~110 $\mu\text{g-atoms/L}$ とかなりよく一致している。硝酸塩に関しては、今回の測定値は南極周極水では、35~38 $\mu\text{g-atoms/L}$ であるが、JARE-4 で深瀬氏の測定された値¹⁰⁾ では、20~25 $\mu\text{g-atoms/L}$ とかなり小さい値を示す。今回の硝酸塩について、N:P ratio を求めると、南極周極水では、約15の値が得られた。

かように値そのものには分析法によるものも多少あると思われるが、分布の様子の相違については、海況の相違によるもの、またその他の自然現象との関連性、氷の状態と海洋の立体構造との関連性等問題点は多く、今後のより多くの観測結果の集積が切望される。

文 献

- 1) 日本海洋学会 海洋観測指針, 1963.
- 2) MULLIN, J. B. and J. P. RILEY. The spectrophotometric determination of nitrate in natural waters with particular reference to sea water. *Analytica Chim Acta* **12**, 464-480, 1955
- 3) DEACON, G. E. R.. The Sea, by M. N. Hill, **2**, 281-296, 1963
- 4) DEACON, G. E. R. 'Discovery' Rep. **15**, 1-124, 1937.
- 5) 鳥居鉄也, 吉田栄夫, 平山善吉 ケープタウン・南極リュッツォウホルム湾間の海水中の栄養塩類に関する化学的調査. 南極資料, **8**, 40-56, 1959.
- 6) ARMSTRONG, F. A. J. Chemical Oceanography, by J. P. Riley and G. Skirrow, **1**, 352-355, 1965
- 7) CLOWES, A. J.. 'Discovery' Rep. **19**, 1, 1938.
- 8) CAPURRO, L. R. A.. IGY Oceanography Report, **2**, 1961.
- 9) ISHINO, M., Y. MORITA and Y. SAOTOME Note on the oceanographical surveys in the Indian Ocean and the Southern Ocean. *J. Tokyo Univ. Fish* **1** (3), 103-230, 1958.
- 10) 深瀬 茂: 第4次日本南極地域観測海洋資料. 南極資料, **13**, 17-28, 1961.
- 11) SVENDRUP, H. V., M. W. JOHNSON and R. H. FLEMING. The Oceans, p. 605-625, 1954

(1966年9月20日受理)