

1. 2. 南太平洋の海洋構造

1. はじめに

本報は南北太平洋における生態系の特徴を見出し、それぞれの海域の生物生産の構造や量的見積りをするために必要な、基礎的な海洋構造に関する知識を綜述したものである。ここでいう南太平洋とは、赤道以南を意味するものではなく、主として亜寒帯及び寒帯太平洋水域（亜南極圏及び南極圏）のことである。良く知られているように、南極大陸周縁の水域で南極収束線（Antarctic Convergence; AC）以南に関して南極圏、ACと亜熱帯前線（Subtropical Convergence; STC）との間の海域に関して亜南極圏という呼称が一般的である。

2. 南太平洋高緯度水域の一般的特性

南大洋の特徴の一つは、内陸に南極点を含んだ南極大陸が存在し、これと南アメリカ、オーストラリア、アフリカの各大陸との間に、完全に開けた水路が圍繞していることである。しかもこの水路に相当する緯度帯付近には、中緯度高圧帯から高緯度の低圧部に吹き込む偏西風が卓越していて、これによって生ずる巨浪が概ね周年発達している。また、大陸沿岸沖付近には、極高圧帯から前述の低圧部に吹き出す偏東風がみられる。

南極大陸と周縁海面上の気候は極めて寒冷で、冬季の海面の冷却は甚しい海水を生じ、その最盛期には広く南極圏の海をおおうが、夏季には大きく氷縁は南退する。そのため冬季の南極圏の上層水温は、海水の結氷点近く（ -1.85°C 程度）にまで下降するが、夏季には海水の融解と共に 2°C 程度にまで昇温する。表層下には後述されるように、いくつかの特性的水塊が層重して、低緯度地方の海と密接に関連しているが、周極的に開けた水路のため、子午線断面内にみられる海洋構造の基本的な型は、異子午線断面毎に大きく変わることはない。

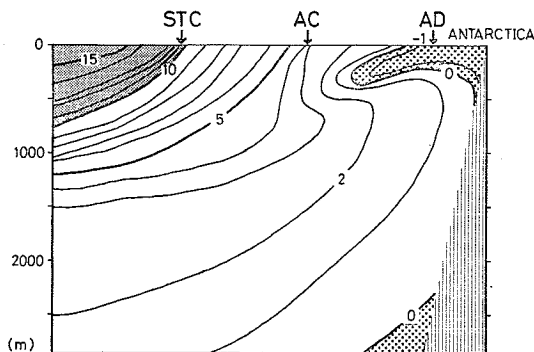
生物の生息環境としてもう一つの特徴は、大陸周辺の大陸棚が深いということである。世界の海洋の大陸棚縁辺部の平均水深は約130mであるが、ここでは400~800m以上である。南極大陸上の厚い氷の重みのために、地殻が押し下げられているためと理解されている。しかも陸岸近くから急激にその深さを増している。さらに重要なことは、高緯度水域であるために、夏季においても太陽高度が低いし、冬季においては陽光にも恵まれないので、植物生産が時期的に抑制されていることである。

石野 誠（東京水産大学）

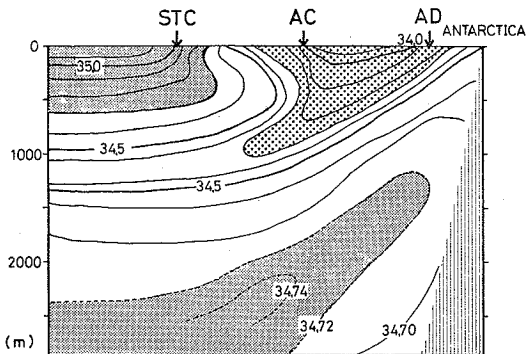
3. 水温・塩分場の構造

南大洋の海洋構造を理解するためには、不規則ながらもほぼ同心円状に周極的に見られる南極収束線と亜熱帯収束線（太平洋東部域で一部不鮮明）が存在することを認識した上で、ある子午線断面内での海洋構造を解析していくことが重要である。第1図および第2図は、それぞれ水温と塩分の鉛直断面を示したものであり、第3図は亜熱帯収束線と南極収束線の平均位置を示したものである。

第1図から明らかなように、低緯度水域から高緯度水域に向い、表層水温は漸次下降するが、およそ 40°S 付近および $50^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{S}$ 付近で水温傾度の大きい水帯に遭遇する。前者ではおよそ $10^{\circ}\sim 12^{\circ}\text{C}$ 、後者では $4^{\circ}\sim 2^{\circ}\text{C}$



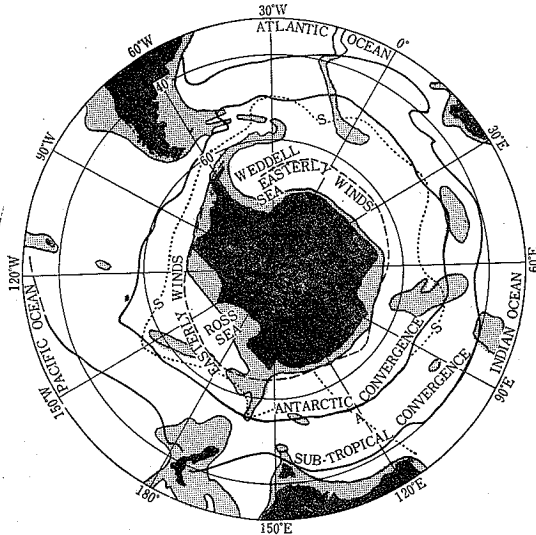
第1図 子午線に沿う南北断面内における水温 ($^{\circ}\text{C}$) の鉛直分布。



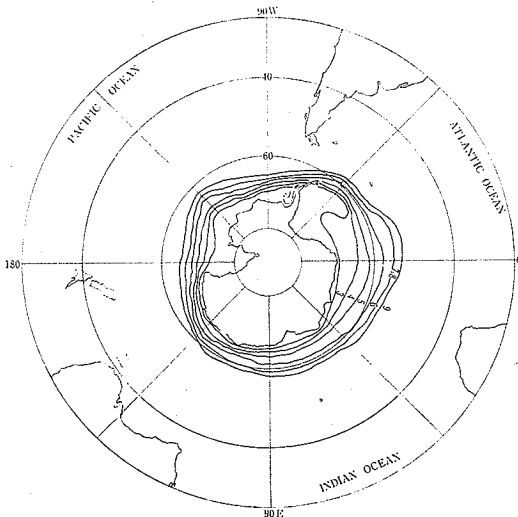
第2図 子午線に沿う南北断面内における塩分 (%) の鉛直分布。

の水温値が記録されることが多い。図中では AC 及び STC と示してある。第 2 図にも示されているが、ここでは表層塩分の変化も大きく、およそ 35.0‰ の水帯が STC 付近で、また 34.0‰ 程度の水帯が AC 付近で見られる。図は省略したが珪酸塩の分布図も極めてよく上述の変化特性と対応していることが判っている。

V.G. KORT によれば、南極収束線以南の水域は全海洋域海面の 22% (40°S 平均として) を占めるにもかかわらず、



第 3 図 南極収束線および亜熱帯収束線の平均位置。



第 4 図 海水域の季節的 (付字は月をあらわす) 変動。

らず、その熱含有量はわずかに全海洋域表面の 10% を受けもっているに過ぎないという。それほどにまでに広大な水域が低冷であることを示しているのであるが、大気との相互作用や、表層下水の南北方向への流動を通じて、全地球的な規模で大気や海洋に大きな影響を有している。

冬季生成される海水については既述したが、その水域は 9 月に最も拡大され、春季融氷の進行と共に縮小し、3 月に極小を示すようになる (第 4 図参照)。第 3 図と第 4 図を比較して明らかなように、南極収束線の位置と水域の分布域とは、極めて良く対応した形を示している。このような結水域とそれに隣接する水域では、海表面付近の水温値は負の値 (-1.85°C 位) を示すようになり、密度を増して次層水と対流混合し、100~200m 層まで大量の低冷水が産出されるようになる。この水は南極冬季水 (Antarctic Winter Water) とか南極低冷表層水 (Antarctic Surface Cold Water) と呼ばれる。夏季には海面からの加熱により、昇温して 2°C 以上にも暖められることについては既に述べたとおりである。しかし昇温は表層にのみとどまるため、150m 層を中心とした水層は低冷状態のまま残存し、中冷状態を示すようになる。第 5 図に水温の鉛直変化図を掲げてある。

第 1 図を再度参照されたい。図にみられるように、亜南極圏までは低緯度から高緯度へと、また深さと共に水温は漸次下降するが、南極圏内では温度変化の状態が異なる。ここでは表層から底層までの温度範囲が狭く、しかもその中層に当該水域として最高の水温層を見出すことができる (第 5 図も参照)。その値はほぼ 2°C 前後である。底層水中では再び水温が下降し、水域によっては負の値を示すが、太平洋域では極端に低温ではない。

一方、第 2 図によれば、この断面内での最高塩分値 (35.0‰ 以上) は、亜熱帯収束線以北にみられ、別の高塩分水 (34.7‰ 以上) が深層に広くみられる。南極圏内では後者の高塩分水塊が、浅層にまで上昇してきているのが注目される。逆に低塩分水帯は南極圏北部で、南極収束線に接した水域に見出される。既に述べてきたことで明らかなように、ここはほぼ海水域の北限付近に当り、融氷水に起因する低塩分水 (34.0‰ をわずかに下廻る) の生成水域であることが判る。この低塩分水層は温度が低く、南極収束線付近で急激にその分布深度を増し、亜南極圏及び以北水域では、1,000~1,500m 深に見出すことができる。したがって低緯度水域では、塩分極小層としての特性をあらわしている (第 5 図参照)。

ここに図を提示していないが、水温・塩分の水平分布

状態は、上下層を通じて同心円的に変化していて、南極周極流の流路に対応して分布をしている。したがって海底地形や海岸地形にも影響されていて、太平洋域についていえば、亜熱帯収束線に近いタスマン海南部、ニュージーランド付近、および南米大陸南端付近で、分布に複雑な変化がみられている。

4. 南極圏および亜南極圏内の特性的水塊

前節で当該海域における水温場および塩分場について概説した。さらに理解を深めるために、第6図を用意した。本図は当該海域とそのやや北方で得られた T-S 曲線図である。第1図～第6図から、次のような特性をもついくつかの水塊が区別できる。

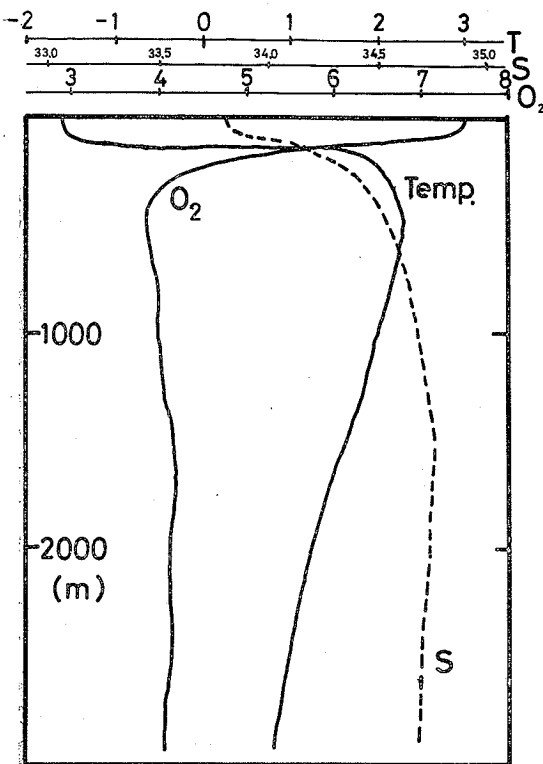
(1) 南極冬季水あるいは南極表層水：南極圏内において、水温値は負の値を示し、塩分は 34.0‰ よりやや低く、およそ 120~150 m 深を中心として見出せる。これについては既に詳説してあるが、 O_2 の量は多い。

(2) 亜南極表層水 (Sub-Antarctic Surface Water)：亜南極圏内の表層にみられ、水温 $4^{\circ}C \sim 10^{\circ}C$ 位、塩分 34.1~35.0‰ 程度を示し、塩分極小層の上部に見出さ

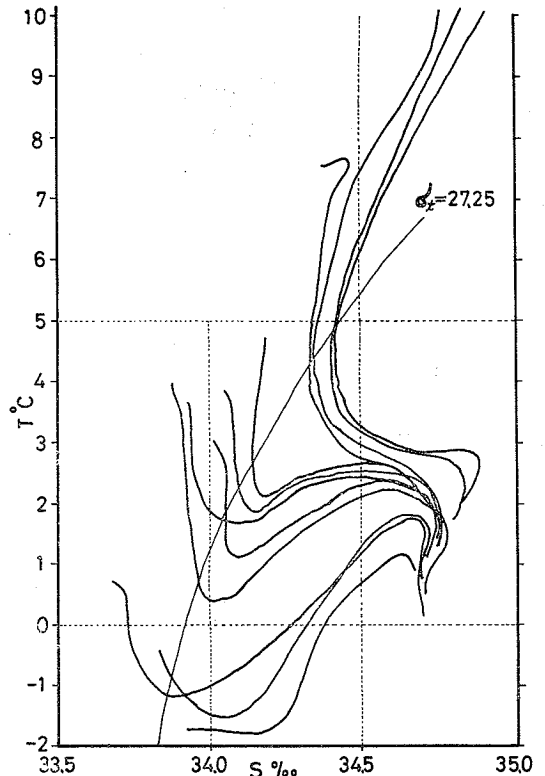
れる。

(3) 南極周極水 (Antarctic Circumpolar Water) あるいは南極温暖深層水 (Antarctic Warmer Deep Water)：低緯度の 2,000 m 以上の深層水に連なるもので、南極収束線付近から南でその深度を減じ、南極圏内では各層を通じて最も温度が高い。水温 $2^{\circ}C$ 前後、塩分 34.7‰ 以上を示しているが、各大洋の南極海でその値にわずかな差がみられる。栄養塩類の含有に富み、 O_2 の溶存量は少ない。第5図にもみられるように、水温と塩分極大層の深さとは一致しない。この水塊中では水温極大層の方が、より上層に位置しているのが普通である。また溶存酸素量極小層は、多くの場合水温極大層と一致するが、燐酸塩極大層は水温極大層中かそのやや上方に見出される場合が多い。

(4) 南極底層水 (Antarctic Bottom Water)：南極圏高緯度の底層にみられる低温・高塩分、富酸素水である。ウェッデル海およびインド洋南部でその水温値は最も低く、 $0^{\circ}C$ 以下を示すが、ロス海の西側入口付近でも、負の水温値がときとして観測される。南極圏高緯度で冬季



第5図 南極圏内で得られた水温 ($^{\circ}C$)・塩分 (‰)・溶存酸素量 (ml/l) の鉛直変化。



第6図 南極圏・亜南極圏および亜熱帯水域で得られる T-S 曲線の例。

生成されるため、深海にみられるが5m/l程度の酸素が溶存している。塩分は34.7‰をわずかに下廻るが、その源泉域は南極大陸の沿岸の大陸棚上で、密度を増した低冷表層水が沈降したものと理解され、特にその密度(塩分と水温、深さの函数)の増加、結氷点などの条件を考えると、ウエッデル海を中心として、一部インド洋海域で生成されるものと考えられている。

(5) 南極系中層水(Antarctic Intermediate Water): 南極収束線付近から低緯度の中層、1,000~1,500 mを中心とした層にみられ、塩分極小層をもって特徴づけられる。水温値は3~5°C位、塩分34.5‰以下を示すが、高緯度から低緯度へと水温も塩分も変質していくのがみられる。この層では酸素の溶存量は多い。

以上五つの特性的水塊の概要をのべたが、これらについてはさらに次節でも言及する。

5. 海水の流動

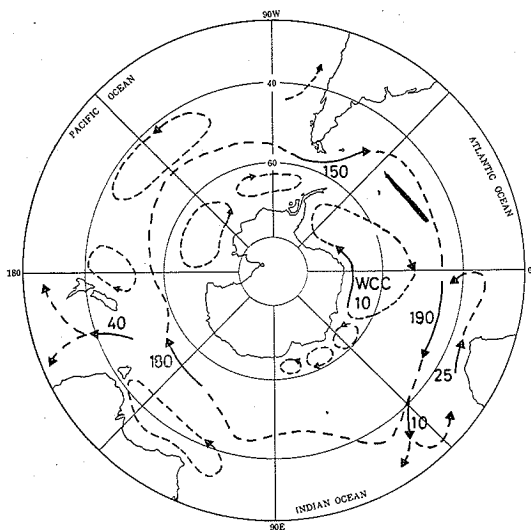
第7図はV.G. KORTの原図二葉に加筆し、作製したものである。図は簡略化してあるが、南極環海の水平流動はこのように単純ではない。しかし、既に述べてきたように当該海域には偏西風が強く連吹している、そのために発生する東向きの流れが顕著にみられる。その流域は亜南極圏とその南北隣接域を含む程に広大であり、この風によって生ずる流れに対して“西風皮流”(West Wind Drift Current)という呼称が与えられている。流幅は異った子午線上で差があるが、南太平洋の場合、

例えば80°~130°Eではほぼ40°~65°Sにかけて広がるし、ニュージーランド南島の南方では、55°~65°Sとも狭まっている。周極的にみれば、ドレイク海峡で最もその流幅が小さく、600海里以下に過ぎない。

偏西風に起因する上述の流れに加えて、表層下においても本海域には東向きの流れが維持されるような密度構造がみられる。すなわち、大陸沿岸の極めて低温、やや高塩水のために、南極圏を中心として極めて高密度水が表層から深層にまで存在していて、外方低緯度方向に向かって、各水層共に急激にその密度を減じている。良く知られているように、このような密度場が維持されるためには、南半球では高密度水域を右にみるような流れの存在が必要である。推算されるころでは、流れはかなりの深度(水域によっては2,000m以深でも)まで存在していると考えられている。この次層水以深の流れと、先に述べた西風皮流とを合わせ、一般には南極周極海流(Antarctic Circumpolar Current)と呼んでいる。

南極周極海流の直接流速値は全く乏しいが、地衡流推算に基づけば最強1kt以下と考えられている。流路はほぼ同心円的であるが、海底地形の影響を受けて変化し、南太平洋海嶺付近でもそのような変化がみられる。一般に流れが浅瀬を乗り越える場合、流路も流速も変り、アメリカ大陸、オーストラリアなど大陸の東西岸付近でも流路に変化が生ずるのが普通である。南極周極流の場合も例外ではない。この状態については第7図を参照されたい。この図の中で太平洋域に関しては、周極海流の外側について、オーストラリア南方、ニュージーランド東沖、135°Wを中心とした水域の渦流、タスマン海への流入、ペルー海流への分派が注意されるが、なお詳細な調査の結果を俟ちたい。

この広大な東向きの流れの大陸側内側域には、偏東風帯に対応した西向きの流れがあると考えられている。この流れに対して偏東風皮流(East Wind Drift Current)という呼称がある。一方では海水中の密度構造も、上述の流れと流向を共にする地衡流の存在を示唆している。内側域の流れに関する情報は少ないが、ウエッデル海付近の流れについては早くから指摘(ウエッデル皮流)されているが、V.G. KORTは西岸沿岸流(Western Coastal Current, WCC)と名付けているが一般的とはいえない。インド洋南極圏にも小環流があるらしいが、特にナンキョクオキアミの分布状態と関連して興味深い。太平洋南極圏内ではロス海沖の反時計廻りの環流と、90°Wを中心としたペリングハウゼン海の時計廻りの環流が指摘されているが、今後の重要研究課題の一つといえるであろう



第7図 南極環海の海水流動模式図。付字は流量(×10⁶m³/sec)を示す。実線域は流量計算を行った水域を示す(V.G. KORTの原図を訂正)。

う。これら内側域の流れの速さは南極周極流よりはるかに小さいものと考えられている。

KORT が Ob 号の資料を基に、これらの水平流の流量を計算しているの、ここに引用しておくことにする。

第 7 図に記載されているように、ドレイク海峡で、 $150 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、アフリカ南方の断面内で $190 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、タスマニア南方で $180 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ を示している。この値は SVERDRUP が求めたそれぞれ 90×10^6 、 120×10^6 および 150×10^6 よりやや多い。KORT はさらにそれぞれの断面内での流量変化について言及している。すなわちアフリカの南断面内では、アグルハス海流からの $25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ と西岸沿岸流 WCC からの $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ が加わって増加するが、インド洋でおよそ $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ が低緯度地方に流出し、タスマニア島の南では $180 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ となる。タスマニア島とニュージーランドとの間で、約 $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ が北方に分派し、太平洋を東流する間に増減をくり返して、 $150 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ がドレイク海峡を通過していくと説明している。

上述の流量は、何れも 3,000m 層を基準面とした計算であるが、両者の間に基本的にそれほど大きな差異はないように思える。むしろウェッデル海での西向き流量 $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、タスマン海への分派流 $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ は過大に見積っているようにも考えられる。特に後者は東オーストラリア海流との合流量かも知れない。また、大西洋での南フォークランド海流、ベンゲラ海流への流入量や、インド洋東部の西オーストラリア海流、太平洋域でのペルー海流への流入量の見落としの方が、より大きいのではないかの疑問をもつが、筆者も未だ計算を怠

ったままでいる。

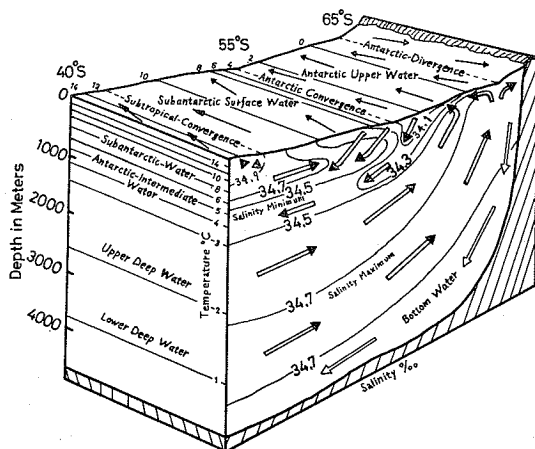
本海域での海水の流動に関し、付言しておかなければならないのは、表層下層重水塊が南北方向への流動成分をもっているということである。その理解のために第 8 図を用意した。各水塊の特性については既に述べた。この図は J. W. BRODIE によって提示されたものである。この種の図に関しては H. U. SVERDRUP の図が最も一般的であり、彼の図は水温構造を主体として描かれている。BRODIE のものは図にみられるように、塩分構造を主体にしてあるので、紹介をも兼ねてここに引用した。第 8 図の右手にみえる切断面は、任意の子午線に沿う切断面であり、太い矢印は南北方向の、細い矢印は東西方向への流動を示したものである。この図からも明らかのように、低緯度の深層水が、南極圏内では数百 m 以浅にまで、その深度を浅くして見出され、それが最も浅部にまで上昇（湧昇）してくるのは、南極収束線と南極大陸との中間域である。ここは偏西風流域と偏東風流域との境界付近で、上層水の発散域に対応していることが明らかである。第 1 図にもみられたように、南極冬季水の下限が最も浅くなっているのもこの発散域である。このような場所はほぼ周極的にみられる。

この南向きの流れと量的に釣り合うようにして、北向きの流向成分をもつのが、南極底層水と南極中層水とである。南極底層水の生成については既に述べたが、主としてウェッデル海とそれに隣るインド洋高緯度水域で作られた低冷・高塩分・富酸素溶存のこの水は、ウェッデル海からその主部は溢流し、南極海盆をつたわって、やがて北半球高緯度の深海にまで流れていくと考えられている。南極中層水は南極収束線付近で表層下に沈降し、深度を増し、1,200~1,500m 層を北方に拡張していくと考えられており、その深さはおよそ $\sigma_t = 27.25$ 面と一致している。この系水は北半球亜熱帯の中層でも、明瞭に認めることができる。

このような南北方向への流動を通じて、高緯度および低緯度水域の海洋構造は相互に関連し、生物生産や大気との相互作用にも影響を及ぼしていることが判る。

6. 海水域の変化

水域の変化については、前節までに断片的に記述したが、特に上層の海況変動や生物生産、船舶航行などに関連するので、さらに言及したい。既に提示した第 4 図にみられるように、9 月に水域は最も拡大され、3 月に最も縮小される。また、太平洋域では他の海域に比して、その北限が最も高緯度に位置していることが判る。南極周極流の流路状態や、南極発散線 (Antarctic Divergence)



第 8 図 南極環海における緯度方向および経度方向への流動模式図 (J. W. BRODIE)。

付近に湧昇する周極水自体の温度が他の海域より幾分高温であることなどと、関連しておきているものと思われる。しかし大陸岸からの水域北縁までの距離は、ロス海域においてはウエッデル海域に次いで長い。最も狭いのはインド洋南極海における、およそ450海里程度である。

例年11月頃融氷期に入るが、特に北縁ではバック・アイスが緩み、風や流れによって漂流し易くなる。融氷最盛期は12～1月であり、3月に水域は最も縮小、ウエッデル海におけると同様に、ロス海奥部にもオープン・スーが出現する。その場合、入口付近にアイス・バンドがかかることが多いが、その内側域に広く海面が開け、大陸沿岸のアイス・シェルフに接近することも可能となる。しかしオープン・スーの面積や出現時期には年変動が大きいようであり、アイス・バンドの中も1海里から400海里の間で変化するといわれている。

7. 結 び

以上極めて簡単に、南極環海の海洋構造について述べてきた。南太平洋は世界の海の中でも、最も研究のおかれている海域である。特に冬季における海況の情報には乏しい。厳しい気象条件と、海水域の拡大とが調査船の

接近を困難にしている他に、この海域を取り巻く国々が、比較的おくれて海洋研究にのり出したこともその一因と思われる。しかし、オーストラリアやニュージーランド、ニューカレドニアの海洋研究活動も活発になりつつあるので、この海域に関する知識の増大が期待されよう。現状では、海況の季節的変動に関する知識でさえ不十分で、北半球の海のような時間変動を取り扱うことはできない。今後の調査の展開に期待したい。

主な参考文献

ISHINO, M. (1963) Studies on the oceanography of the Antarctic circumpolar waters, J. Tokyo Univ. Fish., 49(2), 73-181.
 石野 誠 (1967) 南氷洋の海況, 極地, 3(1), 9-14.
 KORT, V. G. (1962) The Antarctic Ocean, Scientific American, 207(3), 113-128.
 SVERDRUP, H. U. et al. (1959) The Oceans, Prentice-Hall, Inc., USA.
 WOOSTER, W.S. (1970) Scientific Exploration of the South Pacific, National Academy of Sciences, Washington.

2. 生物生産過程

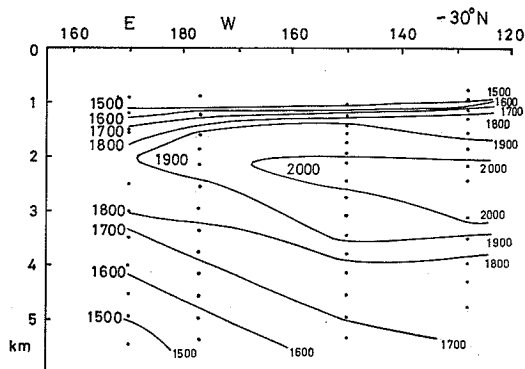
2. 1. 北太平洋の物質循環

北太平洋における物質循環を分解過程を中心に考察した。一次生産された物質の約1/3が水深1,000mまでの中層、約5%がそれ以深の深海で分解している。その組成は表層の有機物に比べ、Pはいくらか小さく、Nはかなり小さく、逆にCは大きくなり、Siはとりわけ大きくなっている。亜寒帯水域の中、深層水での酸素消費速度は亜熱帯水域より大きく、有機物が大型の粒子になって比較的速やかに沈降していることが推定される。

北太平洋は大西洋の北のはずれから始まった深層水の長い旅路の果ての終着駅であるといわれている。実際海水中の放射性炭素より見積られた海水の年齢は、南太平洋から西縁境界流として北太平洋の底近くに入り、北上しあるいは東進し、そして上層の水と拡散混合していることをよくあらわしている。第1図は北太平洋の30°N 付近の横断面での海水の年齢であるが、世界最古の海水は東部北太平洋の2,000m付近に存在し、齢2,000

角 皆 静 男 (北海道大学水産学部)

余歳であることがわかる。もちろん、この水は多くの異なった水の混合物であり、一方向に2,000年かけて流れた結果でないことは当然である。



第1図 北太平洋30°N 付近における深層水の年齢の断面図、図中の数字は年単位。