

南大洋の海洋構造

韓 東勲

1. はじめに

皆さんも日頃、海流はどうやって形成されているのか、それに関わって生物はどういう生活や分布をしているかについて気になったことがあるかも知りません。私は学生時代から南大洋の植物プランクトンの生理生態に関心を持ち、その研究を行った。入社してからは独立行政法人国立極地研究所から破冰船『しらせ』で採集した JARE (Japanese Antarctic Research Expedition) の植物プランクトン分析を行ってきた。その数年間の結果をまとめた結果を極地研で行った 2003 年シンポジウムで発表した。その時に海洋構造と生物の分布の関係を明らかにするために、南大洋の海洋構造を理解する必要性が感じられた。本人を含めて南大洋の構造に関して少しでも理解に役立てばと思って整理してみた。その内容は自分で日頃、特に、南大洋の海洋構造に関わる本や論文を読んで整理してまとめた内容の一部である。ここでは南大洋の海流と海洋構造との関係を立体的な図で説明すれば容易であるが、数値的なデータを元に物理環境と海流の流れなどを整理した内容である。

2. 南大洋の基本的な環境状況と海流の挙動

南大洋は亜南極水域 (Subantarctic region) と南極水域 (Antarctic region) の 2 つの水域に分けられ、「南極大陸から 40°S の緯度にかけての海域または亜熱帯収束線 (subtropical convergence) が明瞭な時はそこに至る海域」と定義されている (IOC 1970)。南大洋の北縁である亜熱帯収束線は、表層の水温と塩分がそれぞれ 10°C 以上と 34.5 ~ 34.8% の特徴を持っている (図 1)。47° ~ 62°S (平均 53°S) 付近に

は冬季 1 ~ 3°C、夏期 3 ~ 6°C 程度の比較的安定した表層水温の水塊 ($T = 2^\circ\text{C}$ 、 $\text{Sal.} = 33.8\%$ 、 $\sigma_t = 27.03$) が帯状になって南極収束線 (Antarctic convergence) が見られる (Mackintosh 1946; Tchernia 1980) (図 2)。これらの 2 つの収束線の間には夏期に表層の水温と塩分がそれぞれ 5 ~ 10°C と 34.0 ~ 34.5% の亜南極水域 (Subantarctic region) が位置する。南極収束線は力学的調査によって前線構造が確認されて南極極前線 (Antarctic polar front) と呼ばれている (Gordon 1971)。また、亜熱帯収束線から南極水域の間の亜南極水域の中で南下に伴う表層水温の低下に合わせて表層水の塩分も低下し、最低温度層が形成される共に 200 ~ 300 m に塩分極少層が下部へ潜り込む現象が顕著に見られ、亜南極極前線 (Subantarctic polar front) が認められる。しかし、大陸や島などの地形によってこの現象が柔く、顕著ではない海域もある。亜南極極前線と南極極前線の間には南極極前線域 (Antarctic polar frontal zone) が存在する (Whitworth & Nowlin 1987) (図 2)。南極極前線から南極大陸までは夏期に表層の水温と塩分がそれぞれ -1.85 ~ 6°C と 33.7 ~ 34.5% の特徴を持った南極水域 (Antarctic region) があり、その中で南極大陸沿岸寄りには表層の水温と塩分がそれぞれ -1.83 ~ 0°C と 33.9 ~ 34.47% の南極発散域 (Antarctic divergence) が存在する (Sverdrup 1942)。この水域の約 100 ~ 250 m の深さの水塊が南極表層水 (Antarctic surface water) である (Tchernia 1980) (図 1)。

南大洋の表層流は主に風系に支配され、時・空間の変動が大きいのが平均的に見ると南極極前線付近と南極発散域の間の水塊は偏西風により南極大陸を囲

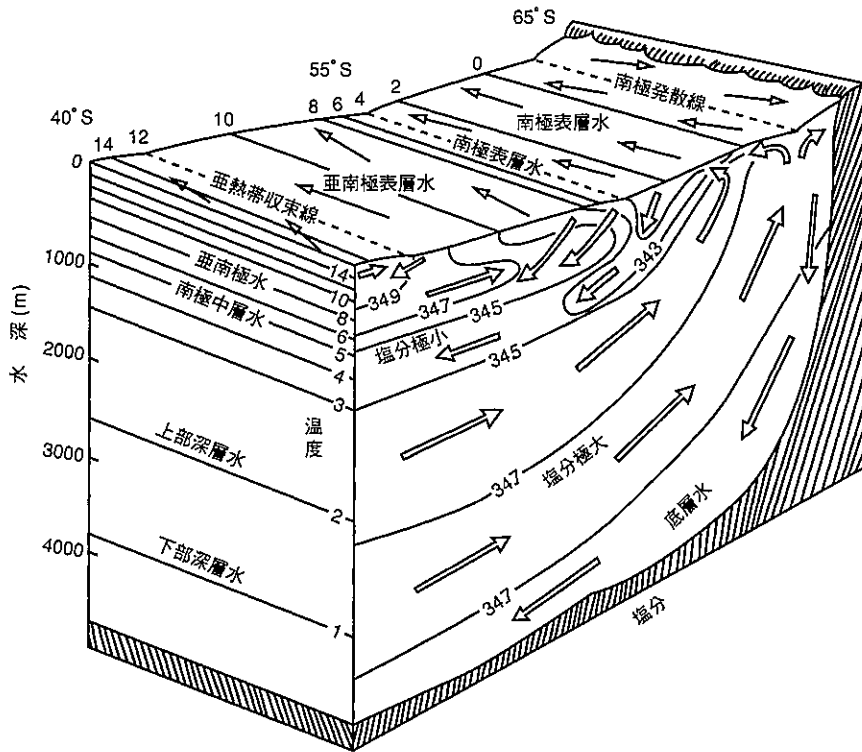


図1 南大洋の太平洋セクター(図2)の水温・塩分構造による(Brodie 1965の改変; 南極の科学)海域区分

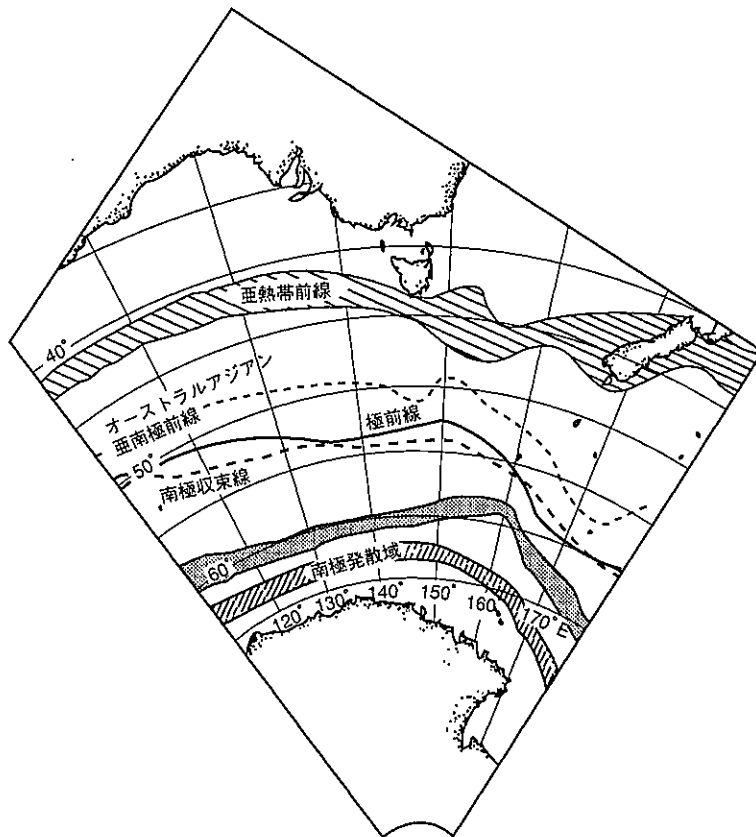


図2 ニュージーランドーオーストラリアセクターにおける前線構造 (Gordon 1972)

んで東向きに流れ、南極環流(Antarctic circumpolar current)を形成している(Sverdrup 1942)。その幅は海底の地形や海峡により変動して Australia の南が 200 km 未満で最も狭く、大西洋海域では 1,000 km を越える(Knox 1993)。南極環流域(Antarctic circumpolar ocean)は南極極前線によって亜南極水域から隔離され(Deacon 1982)、平均流速は Knox(1993)によると流速の 2 ~ 3 % に当たる 4 ~ 25 cm/s であり、グリニッチ子午線のセクションの表層で 13 ~ 40 cm/s、深層(3,000 m 以深)では数 cm/s であった(Whitworth and Nowlin 1987)。南大洋全海域の流速は南極極前線以北の 50°S 付近では約 15 cm/s であり、南極極前線の南側の 60°S 付近では約 4.4 cm/s で(Sverdrup 1942)、場所と水深による変動が大きいことが見られた。円周の長さをこれらの流速で割って南極環流の表層水の単純な一周時間を推定すると 50°S 付近(流速 20 cm/s)で約 5 ヶ月、60°S 付近(流速 4.4 cm/s)で約 16 ヶ月となる。一方、南極発散域の南側の南極大陸の近くでは偏東風により西向きの流れが起こり(Sverdrup 1942)、Ross Sea ice shelf 付近で流量は $100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流速は 0.1 ~ 1 m/s と推定された(Squire 1987)。

南極発散域で深層から海面近くに湧出してきた水塊は解氷と熱吸収によって軽くなり(表面水での水温と塩分はそれぞれ $-1.85 \sim 4^\circ\text{C}$ と 33.7 ~ 34‰)(Gordon 1971)、南極環流域を水深約 200 m までの表層水が東へ向かって流れながら Ekman transport によって徐々に北上し、亜南極水域の表層水に遭遇したところで、両者の密度の違いから南極水域の表層水が亜南極水域の下部へ沈み込んで南極極前線を形成する(Sverdrup 1942)。南極発散全域の推定湧出流量は $60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ で、その内、南極環流の表層水に回る分が $20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ と推定されている(Gordon 1971)。

南極極前線域で沈み込んだ南極水域の海水は中・深層水と混合しながら約半分の $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ が深層水になり、残りの $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ は中層水(800 ~ 1,200 m)として $\sigma_t = 27.1$ 層沿いに低緯度方向に流

れる(Johnson 1973)。後者の一部は対流によって深層水と混合し、水深 1,200 ~ 3,000 m に沈んで南極深層水の一部となり再び南極方向に流れて南極大陸付近の南極発散域で湧昇して表層に出る(図 1)。

南極発散域で湧出する水塊は夏期に解氷と表面の日射量のため表層水が軽くなり、100 ~ 150 m 層で横側に流れた結果で(Tchernia 1980)、その水塊の内、 $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ の海水は図 1 のように表層付近で冷却され、結氷時の高塩分水の生成に伴う比重の増大により、大陸斜面に沿って深海底(南極底層、 $\sigma_t = 27.9$ 層)に沈降して南極底層水になる(Gordon 1971)。沈降した低層水は海盆に充満して、やがて東向きに流れながら低緯度方向へ流れる。この現象は Weddell Sea の北西部のみが南極低層水生成域であると思っただが(Stommel and Arons 1960)、小規模で Ross Sea と Adelie 島の海岸でも見られ(Gordon 1971)、Weddell Sea の北西部は南極低層水生成域の 1 つであると報告された(Gill 1973)。

3. 考察

以上のように南大洋は現場観測の困難さや長期変動の把握が難しい点などを持っている同時に、複雑な海洋構造によって形成されている。さらに、海域構造の変動に伴う生物の長期変動の把握は困難である。その中で南大洋に出現するプランクトン(特に、動物プランクトン)の分布や生態系は海洋構造によってその分布が決まっていると知られている(Deacon 1982; Knox 1993)。しかし、実際に植物プランクトンの分布は海洋構造を乗り越え、さらに広い海域へ分布することが最近の研究で明らかになった(Han *et al.* 2003; 未発表データ)。植物プランクトンの分布が上記で述べた複雑な海洋構造の詳細な変化にどのように適応して生存するようになったのかに関しては今後吟味する必要があると思われる。さらに、プランクトンの分布や物質循環の長期変動の解析・理解は海域構造、物理環境の変動などを十分に理解した上、その両者との関係を調べることで可能であろう。

海洋用語説明集から

収束線: convergence line [流体において、流線が一線上に集まる場合をいい、下降流を伴う。従って、漂流物の堆積が行われる場合が多い。海洋における潮目として見られる] (→発散線)。

発散線: divergence line [流体において、流線が一線から出て行く場合をいい、上昇流を伴う]。

4. 参考文献

- 1) 国立極地研究所1989 南極の科学 8章 海洋. 古今書院, 136pp.
- 2) Brodie, J. W. 1965 Oceanography. Antarctica. ed. By T. Hatherton, London, Methuen, 101-127.
- 3) Deacon, G. E. R. 1982 Physical and biological zonation in the Southern Ocean. Deep-Sea Res., 29: 1-15.
- 4) Gill, A. E. 1973 Circulation and bottom water production in the Weddell Sea. Deep-Sea Res., 20: 111-140.
- 5) Gordon, A. L. 1971 Oceanography of Antarctic waters. Antarctic Oceanology I, ed. by J. L. Reid, Washington, D.C., Am. Geophys. Union: 169-203. (Antarct. Res. Ser., Vol. 15).
- 6) Gordon, A. L. 1972 Introduction: Physical oceanography of the Southeast Indian Ocean. Antarctic Oceanology II, The Australian-New Zealand sector, ed. by D. E. Hayes. Washington, D. C., Am. Geophys. Union: 3-9. (Antarct. Res. Ser., Vol.19).
- 7) Han, D. H., K. Watanabe, T. Odate, T. Hirawake and M. Fukuchi 2003 Abundance and distribution of selected phytoplankton species along the cruise track of R/V SHIRASE in the Indian sector of the Southern Ocean. Abstracts XXVI Symposium polar biology, NIPR.: 34.
- 8) Johnson, R. E. 1973 Antarctic intermediate water in the South Pacific Ocean. Oceanography of the South Pacific 1972, compil. by R. Fraser, Wellington, N. Z. Nat. Comm. UNESCO: 55-69.
- 9) Knox, G. A. 1993 The Biology of the Southern Ocean. Cambridge Univ. Press, pp.13-38.
- 10) Mackintosh, N. A. 1946 The Antarctic convergence and the distribution of surface temperature in Antarctic waters. Discovery Rep., 23: 177-212.
- 11) Squire, V. A. 1987 The physical oceanography and sea ice characteristics of the Southern Ocean. In Primer Symposium Espanol de Estudios Antarticos, Pama de Mallorca, 30 June-July 1985, pp. 201-226.
- 12) Stommel, H. and A. B. Arons 1960 On the abyssal circulation of the world ocean-II. An idealized model of the circulation pattern and amplitude in oceanic basins. Deep-Sea Res., 6: 217-283.
- 13) Sverdrup, H. V., M. W. Johnson and R. H. Fleming 1942 The Oceans, Their physics, chemistry and general biology. 1087 pp., Prentice-Hall, Englewood Cliff, Nojo.
- 14) Tchernia, P. 1980 Descriptive Physical Oceanography. Oxford: Pergamon Press, 253 pp.
- 15) Whitworth, T. III and W. D. Nowlin 1987 Water masses and currents of the Southern Ocean at the Greenwich Meridian. J. Geophys. Res., 92: 6462-6476.