

- Logan, J.A., 1983: *J. Geophys. Res.*, **69**, 3395.
- Martin, J.H. and R.M. Gordon, 1988: *Deep-Sea Res.*, **35**, 177.
- McCarthy, J.J., W.R. Taylor and I.L. Taft, *Limnol. Oceanogr.* **22**, 996.
- Meybeck, M. and T.K. Carbonnel, 1975: *Nature*, **255**, 134.
- Nishikawa, M., S. Kanamori and T. Mizoguti, 1989: Survey of kosa aerosol, ed by The Association of Air Pollution, 35-44.
- Oeschger, H., U. Siegenthaler, U. Schotterer and A. Guzman, 1975: *Tellus* **28**, 168.
- Ogura, N.: 1980: Dispersion of Pollutants from Air to Ocean, ed by S. Tsunogai, 47-54.
- Ohta, K. and N. Handa, 1985: *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 25.
- Paerl, H.W., 1985: *Nature* **315**, 747.
- Pszenny, A.A.P., F. MacIntyre and R.A. Duce, 1982: *Geophys. Res. Lett.*, **9**, 751.
- Redfield, A.C., B.K. Ketchum and F.A. Richards, 1963: *The Sea Volume 2*, ed by Hill, Interscience Publishers 26-77.
- Ryther, J.H. and D.W. Menzel, 1967, *J. Mar. Res.*, **25**, 69.
- Savoie, D.L. 1984: Nitrate and Non-Sea-Salt Sulfate Aerosols over the World Ocean, Ph.D thesis
- Schubel, J. and A. Okubo, 1972: Shelf Sediment Transport: Process and Pattern, ed. by D.J. Swift, D.B. Duane and O.H. Pilkey Dowden, Hutchinson and Ross, **33**.
- Smetacek, V. 1980: *Ophelia Suppl.*, **1**, 65.
- Soderlund, R. and B.H. Svensson, 1976: The Global Nitrogen Cycle in Nitrogen, Phosphorus and Sulfure-Global Cycles ed by B.H. Soderlung and R. Soderlund, SCOP Report **7**, 89-134.
- Steel, J.H. and I.E. Baird, 1972: *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* **29**, 73.
- Taguchi, S. 1982: *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, **14**, 533.
- Tsuruta, O. 1989: *Kagaku*, **59**, 305(in Japanese).
- Van Bennekom, A.J., G.W. Berger, W. Helder and R.T.P. de Vries, 1978: *Neth. J. Sea Res.*, **12**, 296.
- Van der Eijk, 1979: Marine Production Mechanism, ed by Dunbar M.J, 197
- Walsh, J.J., G.T. Rowe, R.L. Iverson and C.P. McRoy, 1981: *Nature* **291**, 196.
- Wassmann, P. 1983: *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **13**, 237.
- , 1984: *Marine Biol.*, **83**, 83.
- , 1985 a: *Sarsia*, **70**, 317.
- , 1985 b: *Mar. Ecol. Prog. Ser. Mar. Ecol. Prog. Sea.*, **22**, 259.
- , and A. Aadnesen, 1984: *Sarsia*, **69**, 139.
- Wefer, G., E. Suess, W. Balzer, G. Liebezeit, P.J. Muller, A. Ungerer and W. Zenk, 1982: *Nature*, **299**, 145.

03 (海洋大循環)

## 5. 海洋大循環—中層水の役割\*

杉ノ原 伸 夫\*

### 1. はしがき

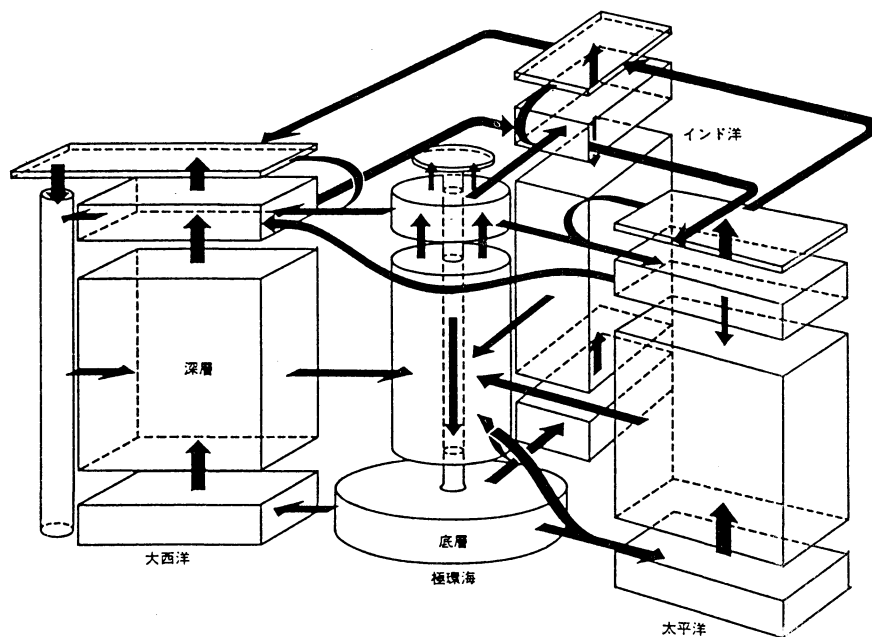
海洋大循環はその駆動力によって、洋上の卓越風による風成循環と海面を通しての熱収支・水収支の地域差による熱塩循環とを分けて考えることが出来る。いま便宜的に、躍層（水温が深さ方向に急激に変化する層）付近を中層、それから上を表層、下を深層とよぶことにす

る。いままでの研究によって、表層では風成循環が、深層では熱塩循環が卓越し、中層はこれらの循環が拮抗する深さであると考えられている。熱塩循環の理解は風成循環に比べ著しく立ち遅れていた。その理由の一つは、表層に比べ中層や深層、特に中層の循環の実態が観測の困難さのためほとんど把握されていなかったからである。しかし、近年の理論的研究の進展や GEOSECS によって得られた全世界の海洋における化学トレーサー分布から、その実態把握の糸口を得ることが出来た。

本講演で議題とする中層水は、塩分極小で特徴づけられるもので、北大西洋北部を除き、各大洋の低・中緯度域に広く存在しており、その大半が南極環海で形成され

\* Ocean General Circulation  
—Role of the Intermediate Water.

\*\* Nobbuo Sugino-hara, 東京大学理学部  
本稿は、シンポジウム当日に配布された予稿を著者の了解のもとに原文のまま掲載したものです(天気編集委員会)。



世界海洋循環のボックスモデル

たものである。最近の研究では、中層水は熱塩循環の上端（風成循環の影響を余り受けないとの意味）であろうとされている。本予稿では、講演をスムーズに進めるため、全球規模の海洋大循環の実態を述べておくことにする。

## 2. 全球海洋大循環

深層流の時間平均流速は、毎秒数 cm の速さがある深層西岸境界流を除いて非常に小さいため、直接測定を行うことがほとんど不可能であった。そのうえ、毎秒10 cm 以上の流速を持つ、直径 200~400 km、周期40~80 日で海面から海底付近まで達する渦（中規模渦）が全世界の海洋に充満している。さらに、複雑な海底地形が存在している。従って現在のところ、トレーサーとしての種々の化学物質や理論的考察からでしか深層循環像を描くことが出来ない。以下 GEOSECS などによって測定された塩分、溶存酸素、栄養塩、フロンそして種々の元素の同位体比などのトレーサーの分布と熱塩循環についての理論的考察から筆者が得た世界の大洋にまたがる循環像を述べる。

循環は北大西洋北端のグリーンランド沖を出発する。この北大西洋深層水は、大西洋の内部域の流れを供給し

つつ、西岸に沿って南下し南極環海に達する。そこでは、ウエデル海起源の南極底層水と混合しつつ、南極大陸のまわりを東向きに循環する。この混合水がインド洋そして太平洋に底層域から西岸に沿って流入し内部域で湧昇することによって、より上層の海水と混合し、そこでの深層水を形成する。南大西洋には南極底層水が直接流入しているようである。太平洋とインド洋の深層水は再度南極環海に戻り、南極環海水に混ざる。一方中層では、南極環海で、風の応力分布に起因するこの海域特有の南北循環である Deacon cell に伴って南極環海水が湧昇し、表層水と共に、各大洋に流入する。

各大洋に流入した深層水はグリーンランド沖にどのように戻って来るのであろうか。深層循環の終着点は北太平洋の北東海域であり、そこに最も古い海水が存在している。この海水は海面を離れてから約1500年経過していると見積られている。この太平洋の深層水は二つの経路を取って出発点に戻る。一つは、太平洋の深層から直接南極環海に戻り、そこで湧昇して中層循環としてグリーンランド沖に戻る経路である（インド洋のものも同じ）。もう一つは、北太平洋からインドネシア多島海を通過してインド洋に抜け、マダガスカル沖を南下して喜望峯沖から表層循環となって大西洋を北上するものである。

以上の循環像をボックスモデル的に表したのが図である。この図で太平洋、大西洋、インド洋と南極環海との境界を南緯50度付近に存在する南極前線に取っている。また躍層下の深層を深層と底層に分けており、そのおのおのは異なる循環を行っていることに注意されたい。

この循環像は、筆者が独断と偏見によって作成したものであり、今後の研究進展によって検証され更新されるべきものである。1990年から国際共同研究計画である

WOCE (世界海洋循環実験) が実施されている。この計画では、全世界の海洋において海面から海底、岸から岸の水温、塩分、種々の化学物質の高精度測定、そして要所をおさえた係留系による直接測流、また新開発のレイフォス・システムやアレス・システムによる、中層循環の直接測流などが行われる。WOCEによって世界の海洋の信頼できる循環像が確立されることが期待されている。

### 極域研究連絡会1992年春季研究会のお知らせ

1992年日本気象学会春季大会の前日午後に、極域研究連絡会主催の研究会を開催いたします。テーマとして、「南極域の物質循環」をとり上げます。雪氷学研究者を中心として現在進行中の「氷床ドーム深層掘削観測計画」にも深く関連し、かつ、「地球大気化学国際共同研究計画 (IGAC)」の下で進められている南極大気化学研究計画等にも関連のあるテーマであります。今回は、主に大気力学の観点からこの問題を議論します。また、その観点から今後の南極観測計画を議論し、この研究会を、その計画を煮詰めてゆく第一歩としたいと考えます。(今回の研究会以後も、このテーマの下で、主に大気化学の観点からの研究会、水循環をテーマとした研究会、大気力学および大気化学の総合的視点からの研究会、南極観測計画を詰める研究会等を開いてゆく予定です。) 皆様の積極的な参加を期待しております。

テーマ：南極域の物質循環

日時：1992年5月25日(月) 14:30—17:00

場所：気象学会大会C会場 (工業技術院共用講堂、つくば)

#### プログラム：

司会：大畑哲夫 (名大・水圏研)

1. 趣旨説明 (5分) 神沢 博 (極地研)
2. シンポジウム「地球気候における南極氷床の役割」  
(1990年5月22日)のレビュー (25分)

安成哲三 (筑波大)

コメント：内陸域での気象観測の展開 (15分)

榎本浩之 (北見工大)

3. 南極域での大気および水蒸気の循環 (25分)

山崎孝治 (気象研)

コメント：大気微量成分から見た南極域での物質循環 (15分)

村山昌平 (東北大理)

4. 南極域での大気中の物質循環観測計画について (25分)

神沢 博 (極地研)

コメント：カタバ風について (15分)

児玉裕二 (北大・低温研)

5. 総合討論 (25分)

(世話人) 神沢 博 (極地研)・安成哲三 (筑波大)