

# 太平洋の深層の流れ

櫻井 仁 人

## 1. はじめに

地球は奇跡の星だと言われています。もし、地球の質量が小さければ気体は留まっておれず宇宙へ飛び散ってしまい、もちろん海は形成されなかったでしょう。大きさが十分であっても、太陽に近ければ強いエネルギーを受けるし、遠ければ熱が弱いのでやはり海はできないでしょう。この位置と大きさが丁度良かったために我々は程良い気候のもとで命を育てることができたのです。

宇宙飛行士のガガーリン少佐が「地球は青かった」という名言を残しましたがそれは、地球の表面積が約5.1億平方キロメートルであり、海はその約70%に相当する3.6億平方キロメートルを占めていることから青く見えたのです。

海の中では、いろいろな現象が複雑に係わり合っていますが未知のことが非常に多いのです。人間は30年も前に38万キロ離れた月に行く程の科学力を持っていますが海の底たった10キロにまで達するのは大変なことなのです。

世界中の海で最も深いのはマリアナ海溝の中にあり、10000メートルを越えています。これらも入れて世界の海の深さを平均すると約3800メートル程になります。丁度富士山と同じ高さになります。

この海の中での流れもまた複雑ですが、近年観測技術の向上により飛躍的に解明が進んできています。海洋の大循環は大気との熱のやりとりをすることによって、双方で大きい影響を及ぼしあっています。その意味では我々の生活と密接に関係していると言えます。

この海洋の循環には長い長い時間をかけて全球的に大循環するものから、数年あるいは数十年で循環するものまでさまざまです。

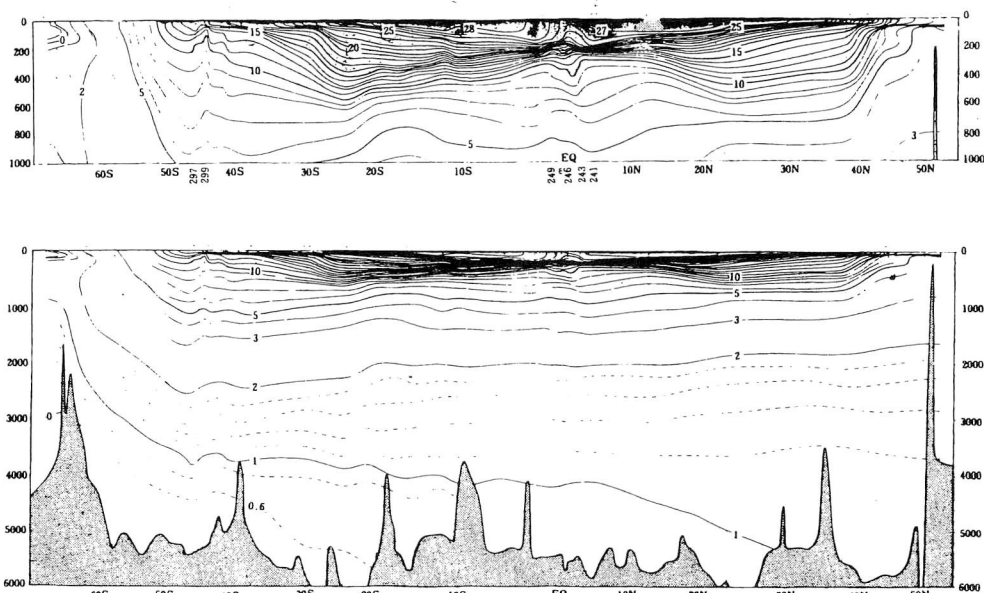
今回取り上げた深層循環は、基本的には高緯度で冷却された高密度の重い海水が深層に潜り込んで出来上がったものです。

しかし、表層と違って深層は観測も少なく分かっていないことばかりですが、ここでは、このような海の深層で何が起きているのかを述べていきたいと思っています。

## 2. 海水のほとんどは10℃以下で冷たい

前述したように、海の平均深さ3800mは地球の半径6400kmに比べると1:1700にしかありません。言い換えれば海は地球の表面に張りついた薄いフィルムのようなものです。

このフィルムの中で諸現象が起こっているわけですが、その変化の特徴を見る基本的な方法は一般的に水温や塩分の様子を眺めることです。ここでは、水温の鉛直断面分布を見てみましょう。第1図は太平洋の東経160度に沿った断面で右側の北緯50度から左(南)へ向かって、赤道(EQ)を



第1図 太平洋の東経160度に沿った南北断面における水温の鉛直分布（海洋大事典）

越えて南太平洋に入り、左端の南緯60度までの水温の断面を表現しています。

これを見ると、500m付近より浅い表層（図の上段参照）では、1℃毎に引かれた等温線が混みあって判別できないほどです。

それに対し500m以深では、5℃以下となり、水温降下の割合も小さいことが分かります。これを10℃毎に全海洋の容積（約13億7千万立方キロメートル）に対する比で表現すると、20℃以上が2%，10–20℃が5%，10℃以下が93%であり、また、海洋表面積比で見ると20℃以上が54%，10–20℃が21%，10℃以下が25%となります。

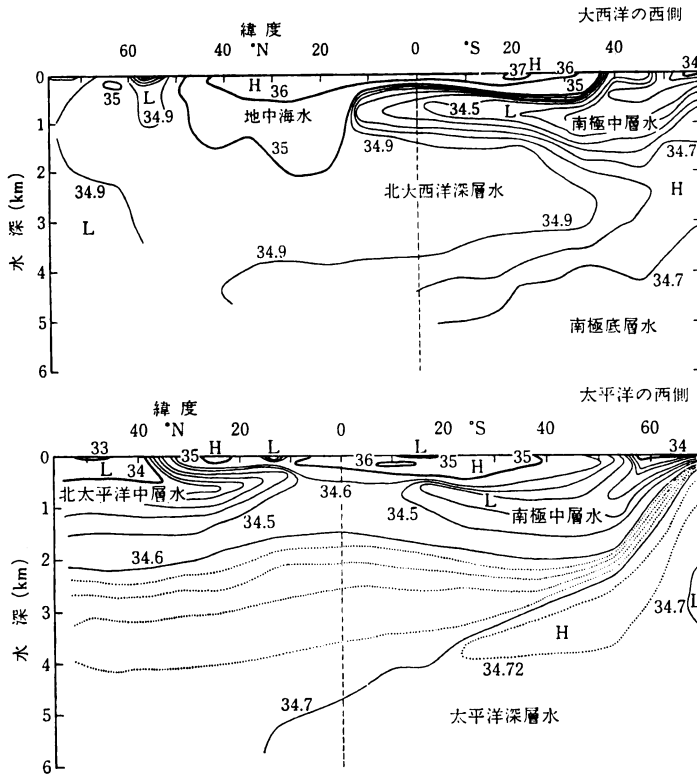
10℃以上の暖水は海の表面の75%を覆っているけれど体積にすると7%にしかならないのです。

海洋全体で平均すると水温は約3.5℃となります。通常、私たちは海の表面で泳いだり、数m潜ったり程度のことしかしませんので、その感覚から考えれば海の水は非常に冷たいと言えるでしょう。

### 3. 塩分の違いが深層循環を形成する

海が塩辛いのはいろいろの塩類が非蒸発物として溶け込んでいるからです。それは、およそ海水1キログラム中35グラム程度です。この割合が「塩分」です。つまり、数値が大きいほど塩辛いこととなります。

塩類が溶けているため海水は淡水よりも2–3%密度は大きく、つまり重くなります。ここで、少し横道にそれますが、水の重要な性質として淡水と海水では最大密度になる温度や氷点が異なるということです。淡水では4℃で密度が最大となります。例えば、秋から冬にかけて池や湖面など



第2図 大西洋（上図）と太平洋（下図）の南北断面における塩分の鉛直分布（角皆による）

の場合、水面が冷やされると重くなって下に沈み、下から軽い水が上昇して対流を繰り返します。4℃になると対流は止みます。これ以下の水温になると軽くなるからです。更に冷えて0℃になると表面の薄い層だけ急激に凍ります。一方、海水の場合には温度が下がるほど密度が大きくなり、凍結（約-1.8℃）するまで増え続け対流も止みません。

実際の海は深いので簡単にはいきませんが極近くの表面で冷やされ氷ができる。氷には塩類が入りにくいので余分な塩類が海水に溶け込み、冷たく、塩分の濃い重い水が下層に潜っていきます。

19世紀の終わり頃までは海水も4℃で密度最大となると信じられていましたので、深層の水はどこも4℃であって海水は動いていないと思われていました。

ではその塩分がどのように分布しているか第2図で説明します。

大西洋の3000m付近に塩分の高い層がみられます。これは、北緯60度付近のグリーンランド周辺で沈みこんだ海水により形成されたもので北大西洋深層水と呼ばれています。これは赤道を越え南半球に入り南緯40度付近まで延びています。この下に34.7を境としたやや塩分の低い海水が潜り込んで、逆に北上して北緯40度近くまで延びています。これを南極底層水と呼び、南極のウェッデル海で沈み込んだ海水です。

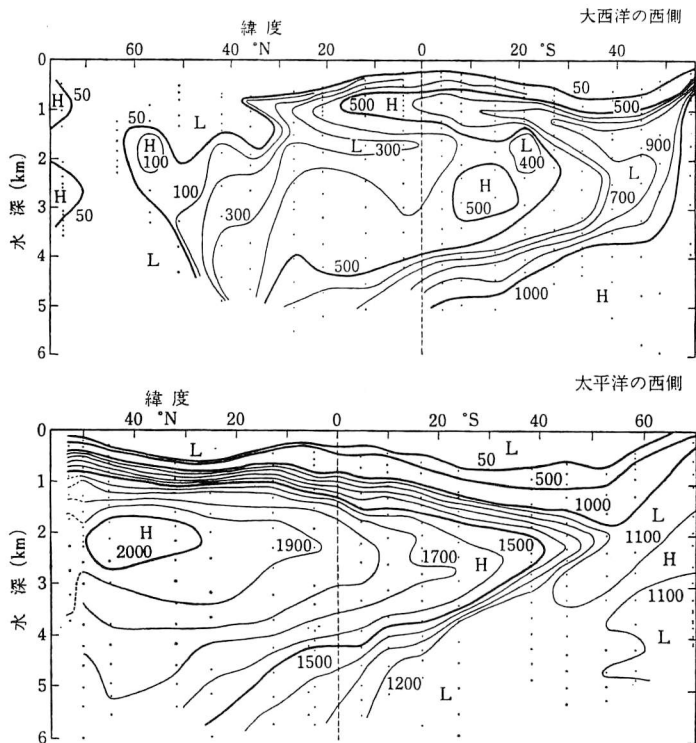
一方、太平洋では南極海の深さ1000m付近から塩分極大層が見られ北に向かって深くなっています。これは赤道を越えて北太平洋へ入ると極大層が消滅していってます。この塩分極大の海水は太平洋深層水と呼ばれ、前述の北大西洋深層水を起源としています。太平洋でも南極底層水が北上しているのですが大西洋ほどはっきりしていません。

以上、述べてきたことから分かるように深層水の生成域は世界でグリーンランド近海とウェッデル海のたった2カ所だけです。これが平均0.1cm/秒程度のゆっくりした速度で広がっているのです。

#### 4. 深層水の年齢

それでは、グリーンランド近海でもぐり込んだ海水が北太平洋までやってくるのに、どのくらいの時間がかかるのでしょうか。北海道大学の角皆教授が炭素-14の測定値から年齢を推定する方法を考案しました。

その結果が第3図ですが北大西洋の北部（つまり、グリーンランド周辺）で潜りはじめた海水は1000年かけて南極海に到達します。その後、南太平洋に回った海水が北太平洋にやってきますがそれには2000年かかっています。言いかえると、北太平洋にやってきた水はキリストやクレオパトラ



第3図 大西洋（上図）と太平洋（下図）の海水の年齢の南北断面（単位は年：角皆による）

が生存していた時代に生成されたものと言えます。

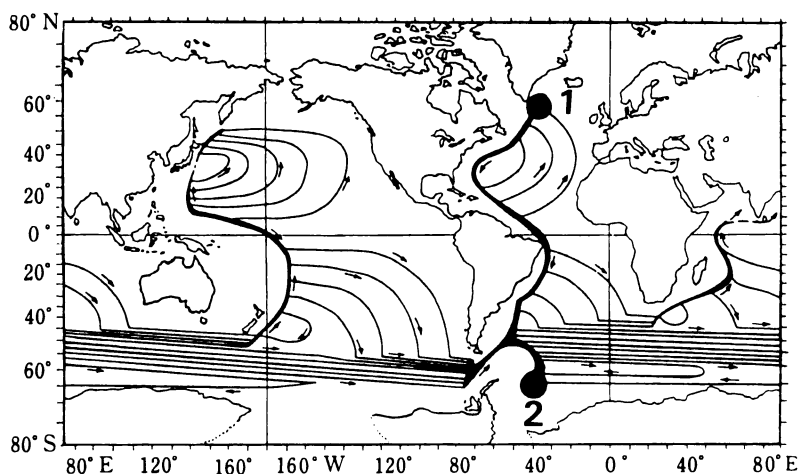
### 5. 深層水の流れのストーリー

表層循環（例えば黒潮や湾流）のように海面付近の強い流れに対して深層の流れについては、観測の困難さもあり、元来深い所に流れは無いとして片づけられていました。20世紀初頭の海洋大調査の時代になり、深層の水温・塩分が測定されるようになって極に向かう流れの存在が示唆されました。

1958年にアメリカのストンメル教授が独創的な深層循環モデルを提唱しました。第4図はその模式図です。2カ所に●印が付してありますがこれが深層水の生成域です。図でわかりますように太平洋には深層水の源はありません。

北大西洋のグリーンランド沖（●1）で冬季海氷が生成されるとき氷に溶け込めない塩分が海水に混ざり高塩分となり、冷やされて低温になった海水が重くなってめぐり込んで深層水が誕生します。この海水は深層を北米大陸沿い南下して、赤道を越え更に南下していき南極海に入ります。ここでもう1カ所の低温・低塩分水の生成域である南極のウェッデル海付近（●2）から沈降してきた海水が加わって南極大陸の周辺を西から東へ回り始めます。やがて、インド洋・太平洋の南へやってきたとき、その一部は大洋の西側を中心に北上します（大西洋でも南下してくる深層水の下側を北上しています）。これらの流れから更に枝分かれした分枝流が大洋の内部へと向かい、北半球では北向きに、南半球では南向きに流れています。

深層水の終着点は最後に浮上する北太平洋と言えますが、各大洋では北へ向かう流れは、2海域で沈降した分に見合うだけ湧昇しています。



第4図 ストンメルの予測による深層水の流れの模式図

これがストンメルの大ざっぱなストーリーで、ほぼ、確かなものとして認められています。

このモデルでは日本南方のフィリピン海盆は北太平洋の主要部から伊豆・小笠原海嶺によって独立しているとみなされ、ストンメルの深層循環から無視されています。

しかし、その後日本の深層循環研究グループが測定を行ったとき、日本南岸の黒潮の下層では黒潮の向きと逆の流れが存在していることが判明しました。

また、深層循環が子午面循環の対流である以上、最深部の水はやがて表面に戻ってきます。それが、太平洋の場合インドネシア多島海を通してインド洋に入り、アフリカ南端を通過して生まれ故郷のグリーンランド近海に戻る通過流として存在すると考えられています。

インドネシア多島海付近はエルニーニョ発生と切り離せない関係にある海域で、この熱輸送量を把握することは地球の気候変動を考えていく上で極めて重要であると思われます。

最後に、表層の水がそれぞれの大洋で水平的に循環しているのに対し、深層の水は世界中を駆けめぐっていると言えます。また、観測がなかなか困難でまだこれだという確証はないのですが、気候変動との関係も含めてこれから全地球を対象とした国際協力の観測や研究がますます重要になってきています。

#### 参考文献

- 角皆静男『化学が解く海の謎』共立出版, 1985
- 蒲生俊敬『海洋の科学』(NHK ブックス) 日本放送出版協会, 1996
- Broecker, W. S. "The Great Ocean Conveyor", *Oceanography*, 4: 79-89, 1990
- Stommel, H. & A. B. Arons "On the abyssal circulation of the World Ocean", *Deep Sea Research*, 6: 140-154, 1960