

深海を巡る化学物質

山下 洋平

1. はじめに

深海探査や深海生物など、「深海」というキーワードを耳にする事が多くなってきました。また、深海には未知な部分が多く、興味がある方も多いと思います。明確な定義はありませんが、一般的に、水深が 200 m より深い海が深海とされます。海洋の生態区分（図 1）で考えると、200～1000 m が中深層と定義されている事から、200 m 以深が深海とされるのかと思います。ここで、海水の循環を考えると、中深層と深海層（2000～6000 m）以深では、大きく異なります（なお、1000～2000 m の漸深層は、下で述べる両者の中間的な位置付けです）。海洋表面で大気と接していた海水が海洋循環に取り込まれ中深層に到達し、その後の循環の結果、海洋表面に戻るまでの時間を循環時間とすると、中深層の循環時間は、<1 年から数十年となります。

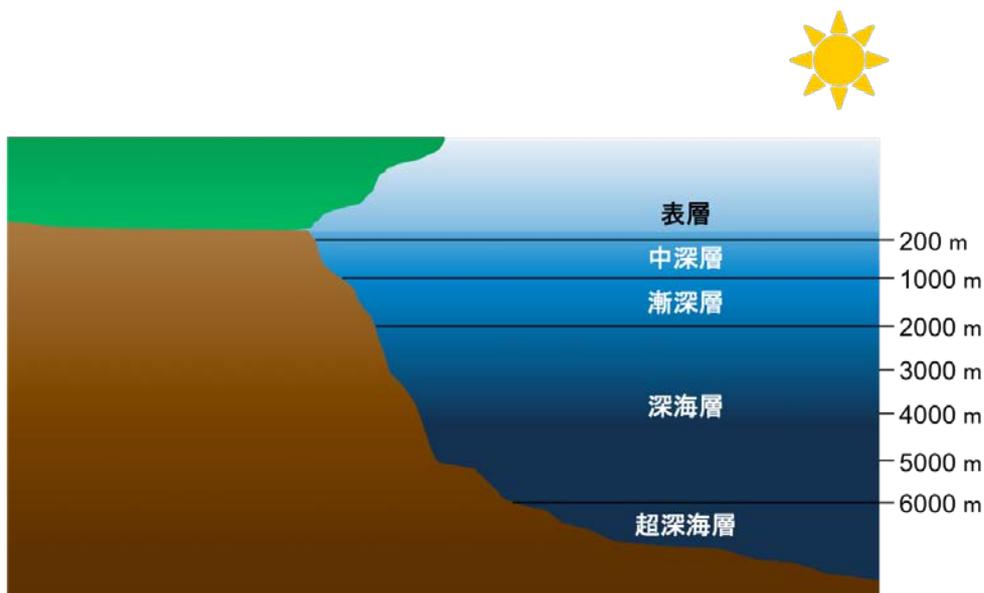


図1. 海洋の生態区分

一方、深海層以深の海洋循環は、七大洋を跨ぐ地球規模の循環で、その循環時間は 1000 年程度となります。この深層流の循環は、コンベアベルト循環と称され、海水の水温と塩分による密度差によって駆動されます（図 2）。図 2 の北大西洋に着目すると、表層から深層への流れがあります。表層では、南から蒸発の影響で塩分が高くなった海水が流れ込みます。北大西洋のグリーンランド沖では、表層水が冬季に冷却され重く（密度が高く）なり、深海の海水と混ざれるほどの高密度となった結果、深海層以深を循環する深層循環の起点となる水塊（北大西洋深層水）が形成されます。形成さ

れた北大西洋深層水は大西洋を南下し、南極海に辿り着きます。南極海では、海水が凍り海氷となりますが、海氷形成時にはブラインと称される低温・高塩分な高密度水が海氷下の海へ吐き出されることとなります。そのため、南極海の中でも大量に海氷が作られる場所では、南極底層水と呼ばれる深層水が形成され、コンベアベルト循環に加わります。この深層流は、南極海からインド洋と太平洋を北上し（実は大西洋も北上します）、北部インド洋と北部北太平洋で深層水が表層に戻り、表層流の循環に組み込まれます。このように、深海層以深では、1000年程度の時間をかけて、深層流が循環しているのです。

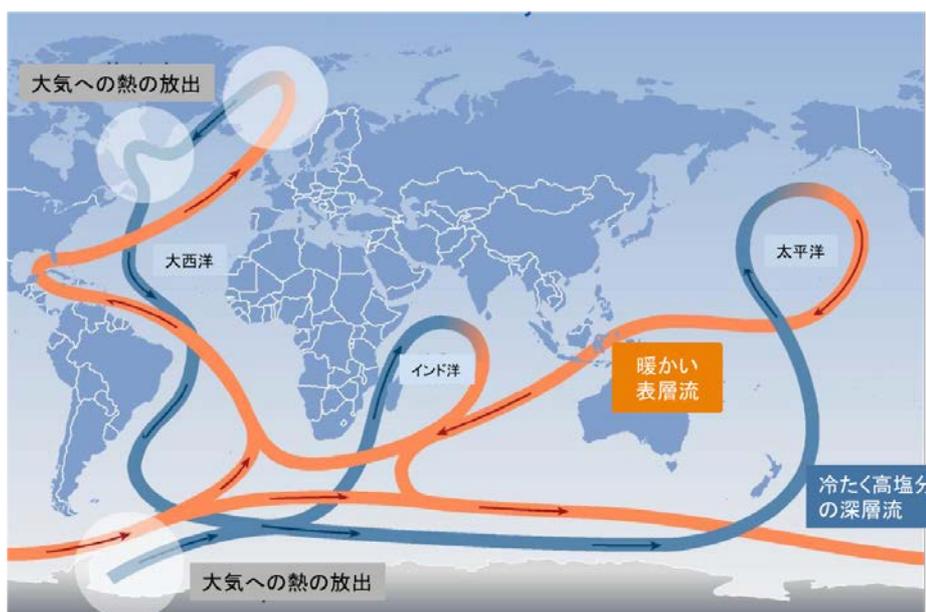


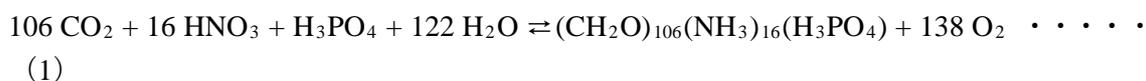
図2. 海洋のコンベアベルト循環像。青い線は深層流，赤い線は表層流を示す。
(IPCC TAR Synthesis Report Figure 4-2を一部日本語化)

2. 深層循環と化学成分

深層循環は長い時間をかけた比較的単純なゆっくりとした水の循環あり、深層水中に含まれる主要な化学成分は基本的に均質です。例えば、海水の主要成分の組成は全海洋を通してほとんど一定ですが、それらの総量に相当する塩分も北大西洋と北太平洋の深海層でほとんど変わりません（実際には、北大西洋深層水と南極底層水の塩分の違いにより、わずかに異なります）。

一方、主要元素と比べると微量成分ですが、生物の体を構成する元素（生元素）の濃度は深層循環に伴い変化します。海水中の生元素濃度の変化は、主に生物活動により変動します。つまり、光合成などの無機物から有機物が合成される過程で、海水中に溶けている無機物が、生物体粒子である有機物（アミノ酸、糖類、脂質など）へと形を変えます。一方、生物が生命活動を行う上で、二酸化炭素やアンモニウムイオンといった無機物が体外（すなわち海水中）へと排出されます。海洋では、このような生物活動による生元素の化学形変化が生じているのですが、その関係は一般的に下の

式 (1) で表す事ができます。



左辺が無機物で右辺が有機物と酸素になり、光合成により有機物が生成され酸素を放出する反応が右向きの反応、分解（呼吸）時に酸素を消費し有機物を無機化する反応が左向きの反応になります。ちなみに、式 (1) の「炭素 (C) :窒素 (N) :リン (P) :酸素 (O₂) = 106 : 16 : 1 : -138」はレッドフィールド比と呼ばれ、海洋の生態系や生元素循環を解析する上で広く使われています。

さて、深層循環の話に戻ります。海洋において光合成で利用出来る太陽光が届く深さは最大でも200 m程度です。従って、深海では光合成による有機物生産とその有機物を起点にする食物連鎖が起こらない、生物活動が極めて限られた海である事が想像できます。それでは、深海に棲む生物は何を頼り生きているのでしょうか。深海には写真や映像でよく見かける魚類などの深海生物に加え、細菌などの微生物が棲んでおり、微生物が深海生態系で重要な役割を果たします。その微生物の重要な餌の一つが、海洋表層から降ってくるマリンスノーと称される生物の死骸や排泄物などの有機物凝集体となります。このマリンスノーの降ってくる量は、水深や海域において異なりますが、その現象は全海洋で共通しています。すなわち、深層水が循環している間（ゆっくりと少しずつですが、、）永続的にマリンスノーが降り注ぎ、それらが深海微生物に食べられる（分解される）ため、式 (1) の左向きの反応が優先的に進みます。この生元素の化学形変化により、深層循環に伴い無機態炭素、無機態窒素、無機態リンの濃度が増加し、溶存酸素濃度が減少します。その結果、深海における無機態炭素、無機態窒素、無機態リン、溶存酸素の濃度は、海域によって異なります。例えば、北太平洋深海層における無機態リン濃度は、北大西洋深海層と比較して、2倍ほど高くなります。

3. 深層循環と有機化学物質（有機物）

マリンスノーは、自重で沈降する「粒子状有機物」ですので、深層循環に伴い、深海を水平的に巡る事はありません。一方、深海のみでなく全海洋の海水中には、「溶存有機物」と称されるサイズの極めて小さな有機物が存在し、それらは海洋循環に伴い海洋を鉛直的かつ水平的に巡ります。外海の海水中に存在する溶存有機物の濃度は最大で 1 ppm 程度であり、海水中の溶存有機物は微量成分です。しかし、全海洋における溶存有機物の存在量を計算すると、700 PgC（ペタグラム炭素、10¹⁵gC）となり、その存在量は大気中二酸化炭素や陸上植生の総量に匹敵します（図 3）。

溶存有機物や大気中二酸化炭素、陸上植生など図 3 で示されている項目は、地球表層で主に無機態炭素や有機物が存在している場所であり、炭素プールと称されます。地球表層では、炭素がこれらの炭素プールの間を式 (1) をはじめとした様々な反応を

伴い移行しており、その循環が炭素循環と称されます。炭素循環を理解するためには、各炭素プールがどのように振る舞っているかを知る必要があります。ここで、海洋の全体積の中で、97%が深海、54%程度が深海層以深になります。従って、深海に存在する無機態炭素や溶存有機物の振る舞いを理解する事は、炭素循環を正確に評価し、その将来的な変化を推定する上で重要となってきます。深海に存在する溶存有機物に関する研究は決して多くないのですが、最近のいくつかの研究により、深層循環に伴い、溶存有機物の濃度が僅かながら減少する事、その平均年齢が古くなる事、深海で生成する成分がある事、などが分かってきました。これらの事は、深海中の溶存有機物は安定に存在しているのではなく、その存在量は100~1000年の時間スケールで変動する事、つまり炭素循環を制御する重要な1つの要因である事を示唆しています。

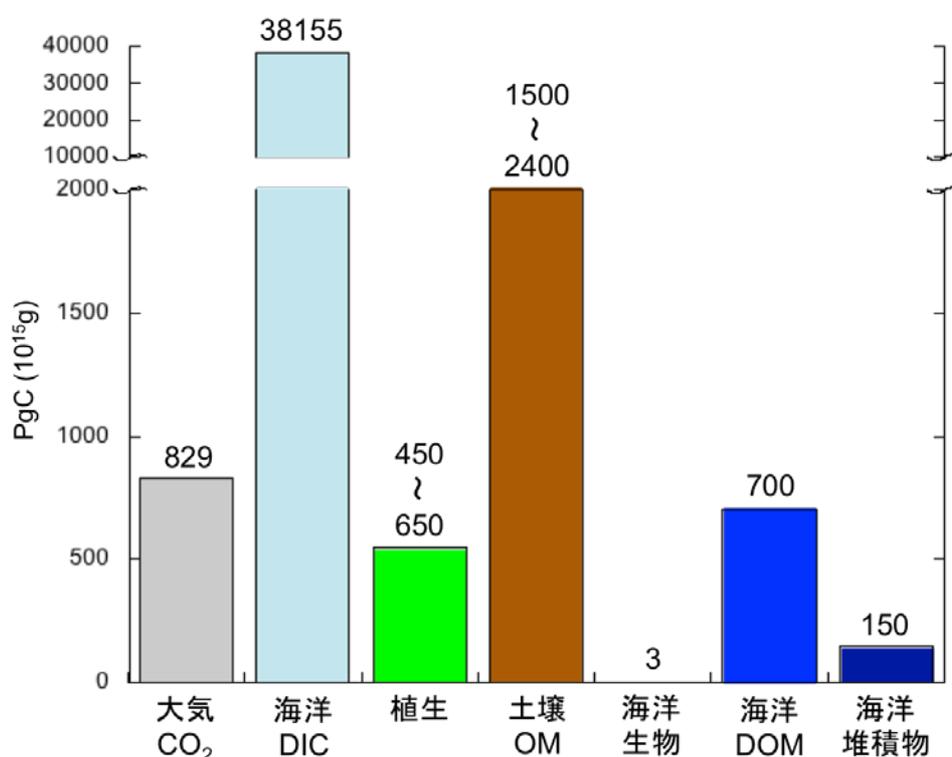


図3. 地球表層における主要炭素プールの大きさ. DICは溶存無機態炭素を, OMは有機物を, DOMは溶存有機物を意味する. (IPCC AR5 WG1 Figure 6-01を基に作図)

4. おわりに

本テキストでは、深海の中でも特に深層循環に着目し、深層循環と共に長い時間をかけて海洋を巡る生元素について、紹介しました。本テキストの最後で述べた溶存有機物の振る舞いに関しては、研究が進みつつあるも断片的な情報しかなく、「深海における未知」の一つだと思います。講義では、深海における溶存有機物の振る舞いについて、最新の研究成果も含め、もう少し掘り下げたいと思います。