

特集

海を 知 り、 学 ぶ

循環するサステイナブルな世界

地球という唯一無二の環境を形成し、あらゆる生命を育んだ海。それはいまだ謎に満ちた世界だ。たとえば地球規模の気候変動には「熱塩循環」という巨大な深層海流が影響しているといわれる。また、地球温暖化においても大気と海の二酸化炭素のやり取り、すなわち大気中の二酸化炭素を吸収・固定し再び放出する海洋の「炭素循環」が無視できない役割を果たしていると見られている。しかし、それらのメカニズムは十分解明されていない。海のとらえがたさは、その大きさはもちろん、それが動的な、まさに循環する世界だからだ。

海洋だけではなく、大気―海洋から身近な沿海域に至る、多様なスケールの熱やさまざまな物質の循環。それが地球上のあらゆる生命活動を支えている。海をめぐる循環は、地球の持続可能性の本質であるといっても過言ではない。

海を知ることなしに地球温暖化も人類の未来も語れない。一方で、その循環のメカニズムは、人間の活動にさまざまな示唆を与えてくれる。海はどこまで解明されたのか。そして私たちは、海から何を学び、その開発も含め、海とどうつき合っていくべきなのか、考える。

海と

地球環境

角皆静男
北海道大学 名誉教授

海は天候や気候を制御している

海は地球表面の70%を占め、海水の総量は13億7000万km³です。地表を平らに均すと、深さ2690mの海底になります。この海と海水が、日々の天候や気候に大きな影響を与えています。

海は水蒸気の源です。海に吸収された太陽エネルギーは、水蒸気となって大気に放出され、雲をつくり、雨や雪を降らせます。その際に出る多量の熱が、太陽からの直接的な熱とともに大気を温め、大気の流れをつくり出し、さまざまな天候をつくり出します。

もう一つ、海の特徴は熱容量が大きいことです。水は空気に比べ、密度は800倍、比熱は4倍です。昼の海風、夜の陸風という沿岸域での風向の逆転も、夏と冬で風向が変わる季節風も、海水の熱容量が大きく、海が陸に比べ、温まりにくく、冷めにくいことに起因しています。

また、大気と海（海流）が低緯度域から高緯度域へ運ぶ熱量を比べてみると、両者は同程度ですが、大気の方が日々の変動が大きいので、短期的な天気予報には大気の動きが重要です。

しかし、数週間先の天気予報や長期間の平均値が表れる気候になると、海との関係が重要になり、海のパターンが不可欠になります。

気候変化には、二酸化炭素など温室効果ガスが関係します。その大気中の濃度が増すと、地表と大気分子との間を往き来する赤外線が増え、下層大気の温度が上がります。現在、人間活動によって大気に放出された二酸化炭素の50%程度が大気に残り、残りの多くは海が吸収しているとされています。海には、大気の50倍もの二酸化炭素が溶けており、その動向が鍵を握っています。海洋学者たちは、大気・海洋間の気体交換、海水の循環混合、海洋における生物活動の変化に特に注目して研究を進めています。

海の表層1000m中の炭素と大気中の二酸化炭素とが交換し、平衡状態になるのに約1年かかり、深層に潜った水が表層に現れるのに約1000年かかりますから、海水の混合の速さが変わると海の炭酸系に大きな影響を与えます。また、海の生物が光合成で有機物をつくれば、二酸化炭素は海水に溶けやすくなりますが、炭酸カルシウムの殻をつくれれば、逆に海から出てきてしまいます。

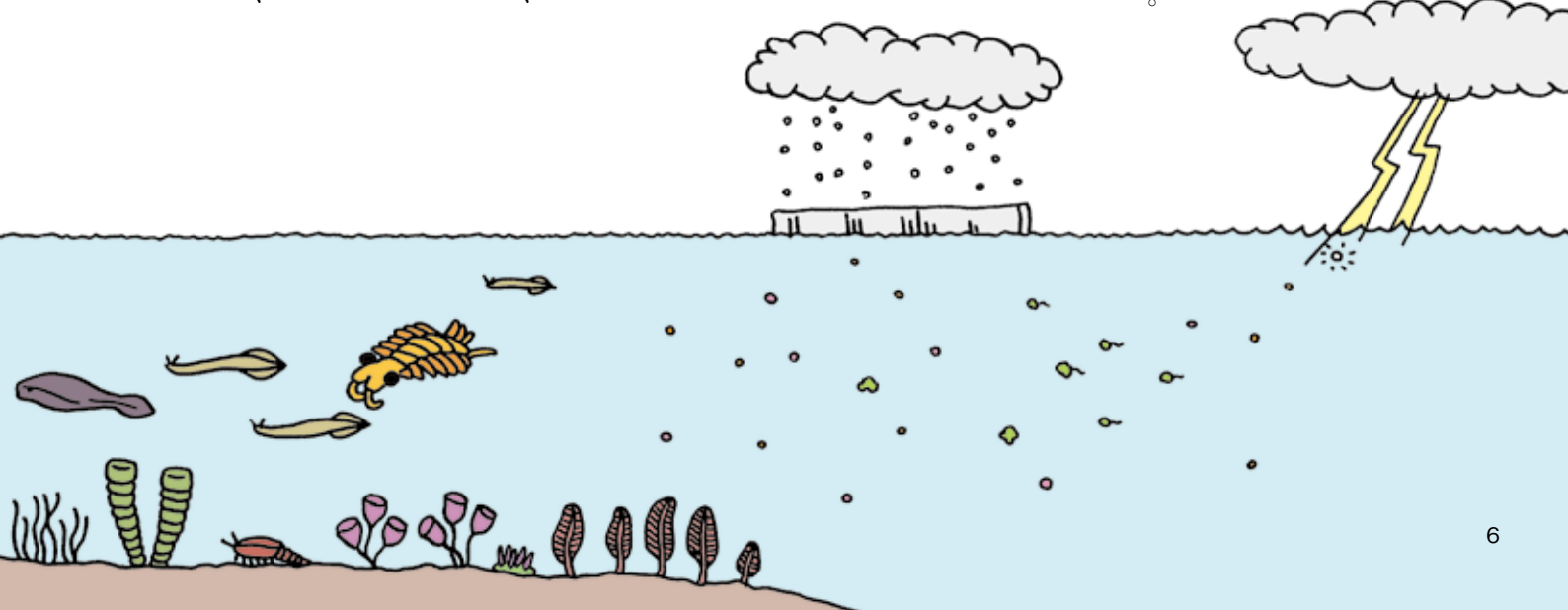
海流も気候を左右します。高緯度のわりに北欧が暖かいのは、北上する温かい湾流（メキシコ湾流）が熱を運び込むからです。その温かい水は、北部北大西洋で冬、低温で高塩分の重い海水が深層に沈み込んだ後にやってきたものです。温暖化で深層水の形成量が減ると、温かい湾流の北上も減り、逆に寒冷化を引き起こしかねないというややこしいことにもなります。

海の生物が 人の住める地球をつくった

では一体、昔の地球はどのような気候だったのでしょうか。それを理解するために、大急ぎで地球の歴史をたどってみましょう。注目するのは、海と生命とのかかわりです。

地球が生まれたのは46億年前。この時の大気は、高温になった原始太陽に吹き払われ、その後、今日の大気・海洋の成分になった水、窒素、二酸化炭素、その他の揮発性物質が地球内部から脱ガスし、地表の物質と反応しました。海の中に植物が誕生したのは38億年以上前です。あまりに大きな数字なので、地球の歴史を1年に縮め、1月1日の午前0時に地球が生まれたとします。すると、生物の誕生は3月1日以前、意外に早いのです。

植物が生まれると、光合成によって酸素が海水に放出されますが、海水中の還元物質であ



る鉄やイオウなどの酸化に使われてしまい、ようやく25億年前になって、まず海水に酸素が残るようになります。酸化環境の出現です。すでに6月半ば、ここに来るまでに、地球の歴史のほぼ半分が費やされたことになります。

酸化環境になると、鉄が沈殿するなど海洋環境は一変し、動物が現れます。海水に酸素が残ると、一定の割合で大気にも酸素が出てきます。しかし、強い紫外線のために、陸上ではまだ生物は生存できません。大気中に十分な酸素が蓄えられ、オゾンが形成されると、紫外線が遮断され、ようやく生物が上陸する古生代になります。5億7000万年前、実に11月15日のことです。

上陸した植物は、根が体を支えるようになって大きくなります。二酸化炭素は酸素に入れ替わり、12月11日には大型動物、恐竜の中生代になります。なおも大気中の酸素は増え続け、二酸化炭素は減り続けた結果、ついに6600万年前の12月26日になると、温室効果が弱まり、寒さに強い哺乳類(ほにゅうるい)の時代、新生代になります。

新生代に入ってから二酸化炭素濃度の減少は続き、100万年ほど前からは180ppmから280ppmの間で周期的に変動する氷期・間氷期の時代となります。二酸化炭素濃度は2万5000年前が最低で、現在は人間活動の結果、400ppmに迫ろうとしています。しか

し、この二酸化炭素の増加による酸素の減少は、通常の方法では感知できません。酸素濃度のほうが二酸化炭素より3桁(けた)も大きいからです。地球は長い歴史を通じ、いかに多くの炭素を地中に閉じ込め、酸素を発生させてきたかということです。

一方、180ppmという二酸化炭素濃度は、植物が正常に生育できる下限の濃度といえるかもしれません。また、二酸化炭素などの温室効果ガスがなければ、地表の温度はマイナス18℃くらいです。二酸化炭素も私たちの生存に欠かせないことは言うまでもありません。

氷期・間氷期の気候の 周期的変動はなぜ起こったか

海底堆積物(たんせきぶつ)中の有孔虫の化石の酸素同位体比からわかったことですが、6600万年前に新生代が始まると、地球の平均気温は、5500万年前をピークに、それぞれ2〜3℃ずつ3段階で下降し、300万年前には、現在の値に近い15℃程度になるとともに気温が周期的に変動するようになりました。

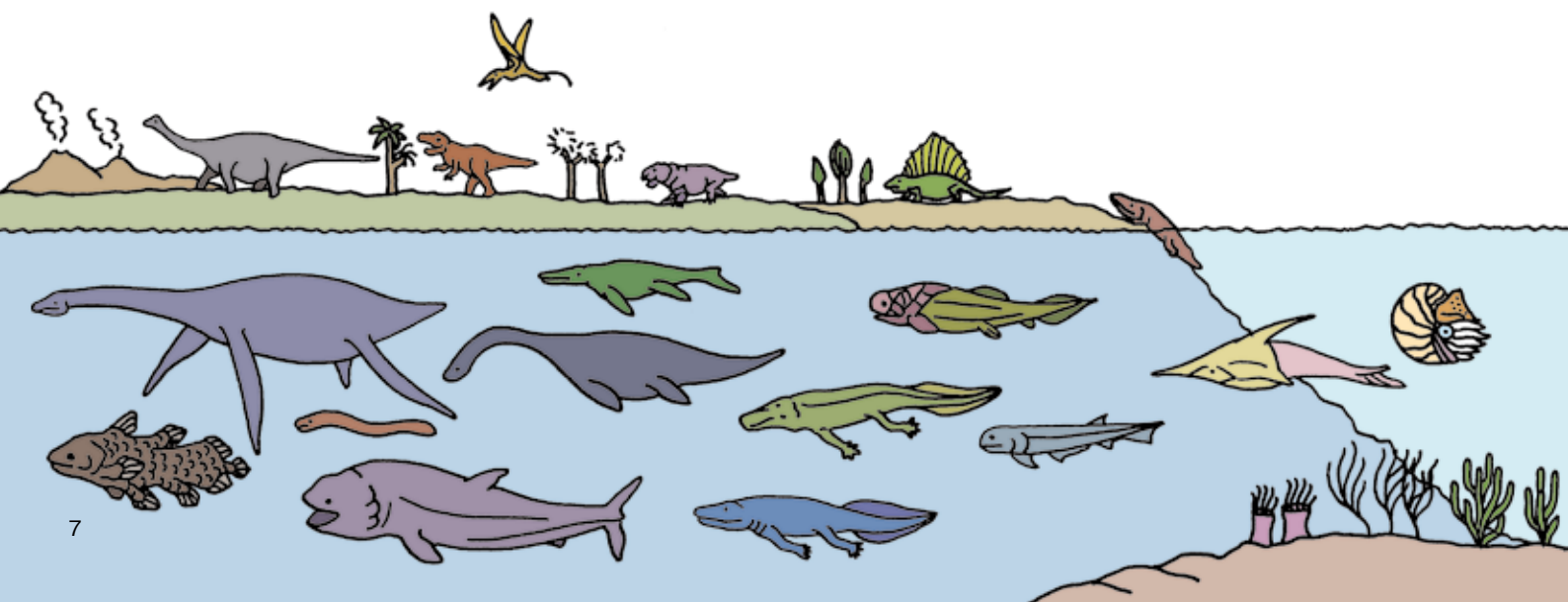
さらに過去80万年前くらいまで来ると、卓越する周期がそれまでの4万1000年と2万3000年から10万年になります。この周期は、ミランコビッチ周期といわれる地球の公転、自転にかかわる軌道要素の変動の周期と

一致しています。

地球は楕円軌道(だえんきどう)を描いて太陽の周りを回っていますが、この公転軌道が10万年周期で平らになったり円くなったりします。また地球の自転軸の傾きは、4万1000年周期で22度から24・5度の間で変動しています。さらに、この自転軸は2万3000年周期でコマの首振りのような歳差運動をしています。こうした地球の公転、自転の軌道要素の周期的変動によって、地表が受け取る太陽からの熱の総量は変わらなものの、地球の高緯度域への日射は変わります。こうして高緯度域への日射が最大になると、高緯度域に10万年かけてため込んだ氷が融け出し、黒い地面が露出すると、さらに暖かくなって氷の融解を促進するというフィードバック過程がはたいて、氷期から一挙に間氷期になったと考えられます。

さて、2万5000年前に地球は最終氷期を迎え、1万5000年ほど前に、急に暖かくなつていきますが、1万2000年前に突然、1000年ほど氷期に逆戻りする時期がありました。映画『ザ・デイ・アフター・トゥモロー』のモデルにもなった出来事です。一体、何があったのでしょうか。

北部北大西洋の大陸棚の外縁で海水ができると、海水に含まれている塩分が放出され、低温で高塩分の重い海水が海底に沿って流れ下り、周りと同じ密度になるまで混ざりながら、次





つのがい・しずお……1938年静岡県生まれ。東京教育大学大学院理学研究科化学専攻博士課程修了。理学博士。北海道大学水産学部教授、同大学院地球環境科学研究科教授を経て、同大学名誉教授。日本海洋学会会長など国内外の学会・研究機関の要職を務め、日本地球化学会賞などを受賞。著書に『化学が解く海の謎』（共立科学ブックス）、『海洋化学——化学で海を解く』（共著、産業図書）などがある。

第に沈んでいき、北大西洋深層水が誕生します。これは1000～2000年もかけて北大西洋で浮上する深層大循環の一部です。この重い海水の沈み込みによって、それを補うように上層に温かい湾流が流れ込みます。これが、高緯度域にもかかわらず北欧が比較的暖かな理由であることは、すでにお話ししたとおりです。

ところが、急激な温暖化によって、北アメリカの北半分を覆うローレンタイド氷床（面積100万km²、厚さ5000m）が融け、巨大なアガシー湖が出現します。その水は、湖の東側に氷の壁があつたために、ミシシッピ川を経てカリブ海に流れていましたが、氷の壁の崩壊によって溢れ出た水がセントローレンス川を流れ下り、淡水が北部北大西洋の表面を覆ってしまった。このために冬、海水ができて、海水があまり沈み込むことがなく、その結果、温かい湾流が北上せずに、氷期に逆戻りしてしまったのです。

これが100年ほど続くと、再び氷の壁ができます。流れはミシシッピ川に戻り、寒冷期は終焉します。この「新ドリアス期（ヤンガードライアス期）」は例外的なこととしても、間氷期にはこうした寒冷化が何度か起こったことは、記憶しておく必要があると思います。

海の環境は、多数の因子が関連し合い、融合してできている

話がちよつと物理系に傾きましたが、生物の存在を抜きにして海の環境を語れないことは言うまでもありません。中でも重要なのが生態系の一次生産者である植物プランクトンです。植物プランクトンは、海の表層で光合成により有機物をつくり出します。これが海の肥沃さの原点です。炭素を主成分とするこの有機物はマリンスノーとして深海に運ばれます。しかし、その99%以上は分解されてしまうので、大気中の二酸化炭素の除去にはさほど役立ちません。

一方で、植物プランクトンの成長には、窒素化合物やリン酸塩、ケイ酸塩などの栄養塩が不可欠ですが、これらは生体が分解して生成されたもので、深層水中に含まれており、表層に十分な栄養塩を保つには深層からの補給が欠かせません。深層水が湧昇するかどうか、上下混合の速さはいくらか、といったさまざまな要因で違った生態系が形づくられることになり

ます。

海と地球環境とのかかわりについての一端を、いくつかのトピックをもとに

紹介しましたが、海が地球環境の鍵を握っていること、その海の環境は、太陽をめぐる地球の動きから植物プランクトンの動態まで、実にさまざまな現象が連関した、精妙な自然のメカニズ

ムの中にあることを多少なりともわかってもらえたかと思います。

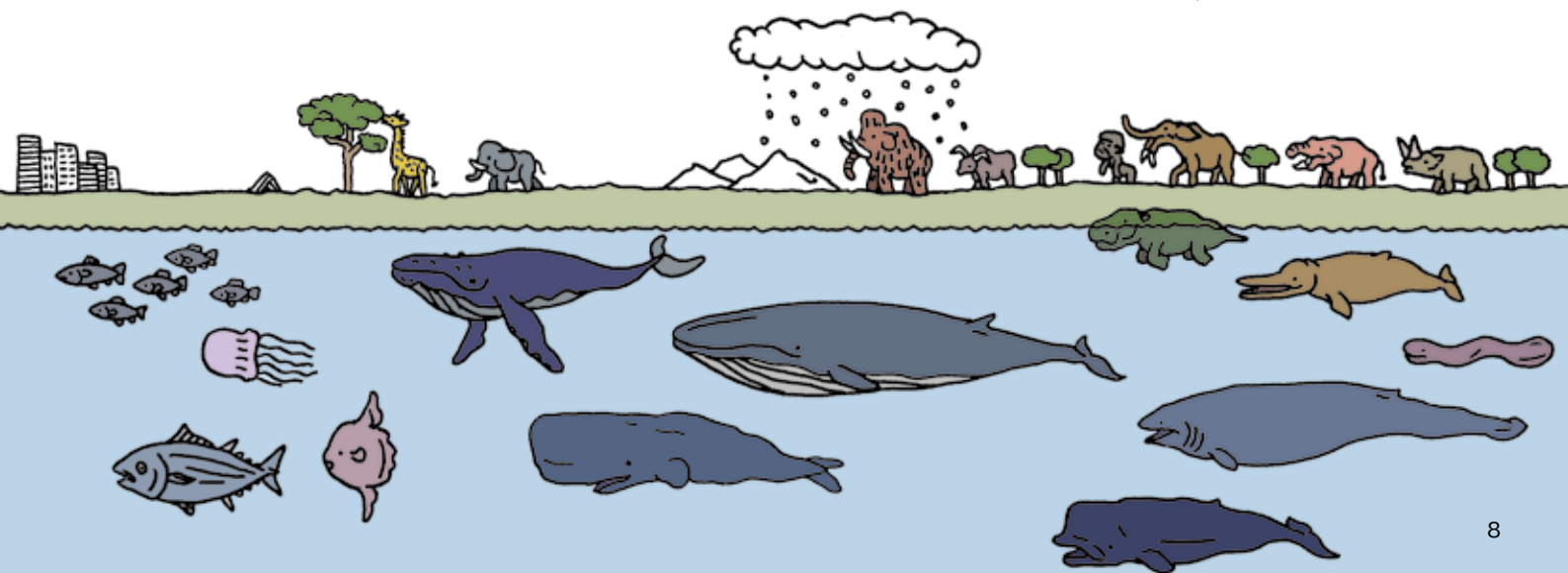
そこで、温暖化を抑えるために、それが何かどうかも含めて、そうした自然のメカニズムを正しく理解して対処するという発想が出てきます。たとえば、二酸化炭素を減らす対策としてサンゴを増やそうという試みがあります。しかし、有機物をつくるつもりが、炭酸カルシウムの殻の生成を促し、大気への二酸化炭素の供給源になってしまう場合もあります。

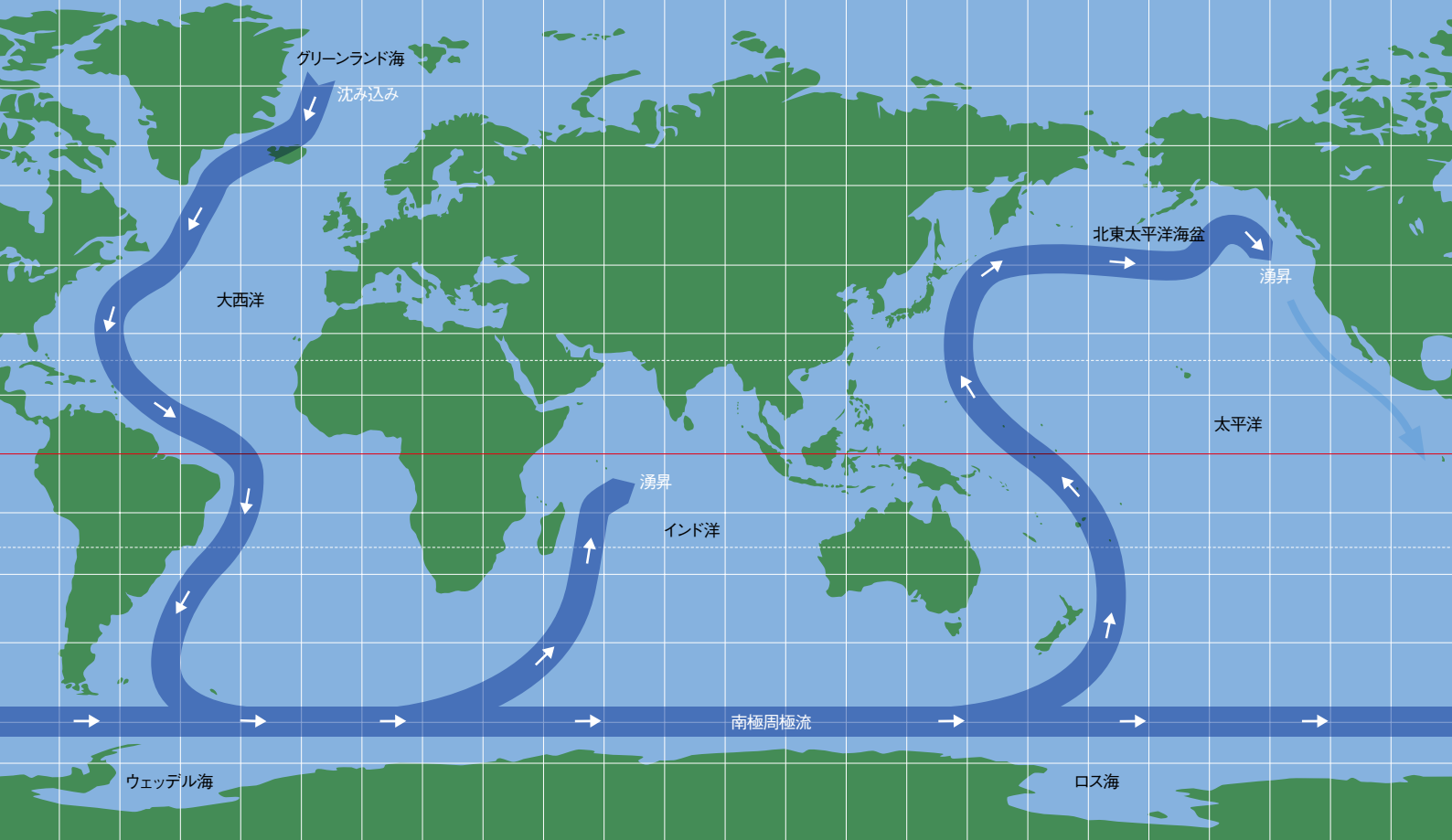
地球環境変化や気候変化の実態やメカニズムを知ること、海を知ることです。ただ、海を知るといっても、その一端を垣間見る程度ではどうにもなりません。私たち研究者にも責任があります。海の科学は、海洋物理学、海洋化学、海洋生物学に分けられますが、海洋学はホリスティック（全体論的な）科学です。海洋物理学、海洋化学、海洋生物学の和よりも大きいのです。

とはいえ、名医は患者を前にし、一とおりの診察を行えば、特別の検査をしなくても、その患者のどこに問題があるか大体的見当がつくといわれるように、地球の問題も、本質を見抜く力があれば、今ある情報を重ね合わせることで、かなりのことがわかります。

断片的な情報をコンピューターにインプットして将来を予測しようとしても、おそらく偏った答えしか得られません。その意味でも、地球変化を語るより多くの観測データを手にすることが、何より重要であることは言うまでもありません。

（談）





深層循環のモデル図 グリーンランド海で沈み込んだ海水(北大西洋深層水)は、より深く潜りながら大西洋を南下し、ウェッデル海で南極周極流に取り込まれ、一部はインド洋に入り、一部は太平洋を北上し、北東太平洋海盆で湧昇する。そこからアメリカ大陸に沿って南下していくと思われるが、その行方についてはよくわかっていない。

大深層循環

その構造と気候変動

川辺正樹 東京大学 海洋研究所 海洋物理学部門教授

深澤理郎 独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域 領域長

黒潮、親潮、メキシコ湾流……。地球儀や

世界地図でも目にする長大な潮の流れ、海流。

これらの海流は海上を吹き抜ける風によって海の表層を流れていくもので、「表層循環」という。

大洋のただけで循環しているこうした海流

のほかに、もう一つ、地球の海には大きな流れ

が存在している。海面での海水の冷却と結氷

によって生じる高密度水の沈み込みで駆動され、

3000mを超える深海をゆつくりと移動して

いく海流、地球の気候の成り立ちに重要な意味をもつ「深層循環」である。

北大西洋から始まる深層循環

北大西洋の北部で深層水が形成され、深海

の水温が表面の水温よりも低いことは以前から知られていたが、1970年代にアメリカ主

導で行われたGEOSecs(Geochemical Ocean Sections Study: 地球化学的大洋縦断研究)という観測プロジェクトで精密なデータが取られ、北大西洋の北部で低温の海水が4000mの深海にまで沈み込む様子が明瞭に示された。同時に、このあたりの海底付近の水は酸素濃度が非常に高いという特徴をもっていることがわかった。そして沈み込んだ水は、低温で酸素が豊富な深層水となつて、3000m以深の海洋をゆつたりと南下していくことが明らかにされた。これが秒速にして数cm、ときには1秒の動きが1cmにも満たない緩やかな速度で、1000年、2000年をかけて地球を巡るという深層循環である。

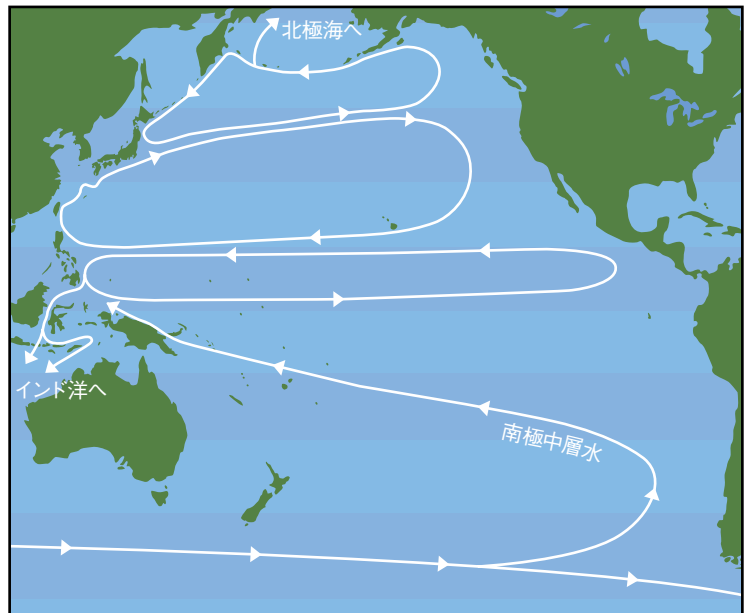
この深層循環の構造をはじめ、海洋全体の循環を詳しく知ろうと、1990年から国際プロジェクトWOCCE(World Ocean Circulation

「特集」海を知り、海に学ぶ

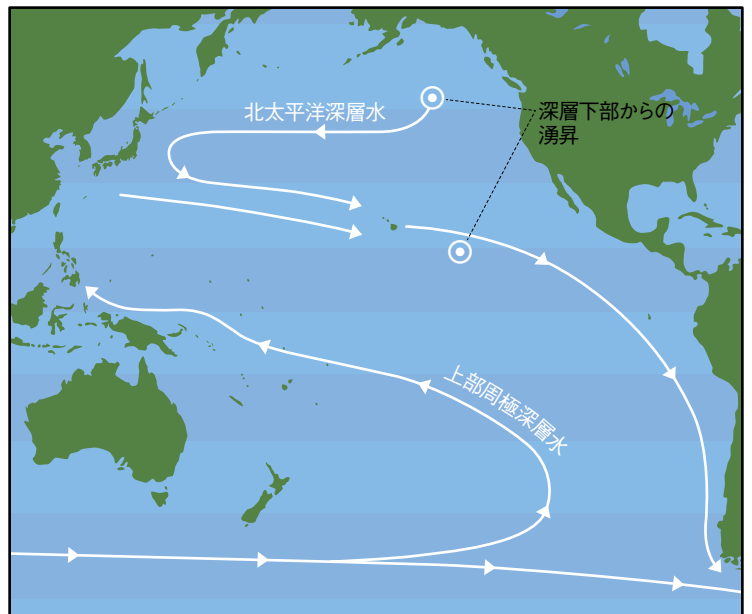


循環するサステイナブルな世界

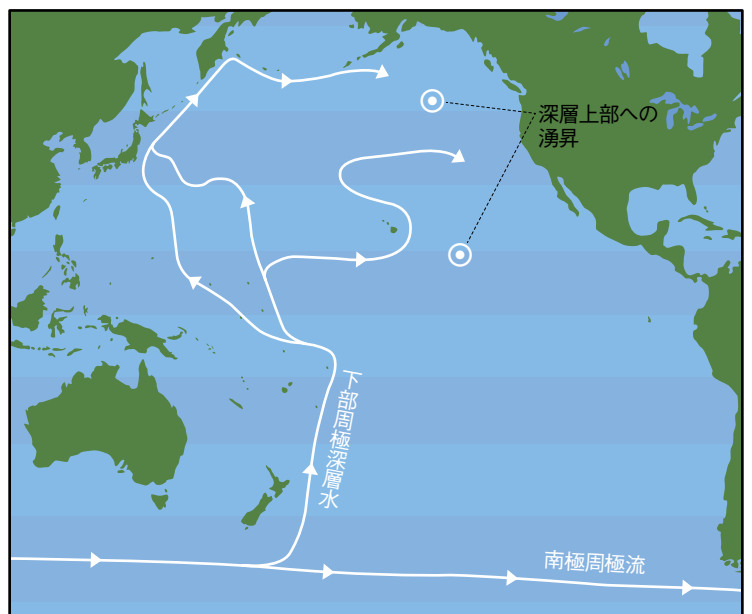
【表層・中層(2000m以浅)】



【深層上部(2000～3500m)】



【深層下部(3500m以深)】



太平洋の海洋循環(川辺正樹氏提供)

Experiment: 世界海洋循環実験が始まった。全海洋を対象に、海面から海底までの海水温や塩分、溶存酸素、栄養塩などの水塊データを最高の精度レベルで収集、解析し、海洋大循環の姿を描き出そうというものだ。しかし、この調査により解明が進んだとはいえ、なお深層循環には不明の点も少なくない。深層水の行き着く先はどこなのか。そこでは何が起きているのか。深層循環が果たしている役割は何なのか。そもそも、なぜ北大西洋北部から循環は始まるのだろうか。研究船「白鳳丸」でWOCCEの調査を行った東京大学海洋研究所教授の川辺正樹氏は語る。

「深層循環の始まる北大西洋のグリーンランド沖では、冬季に海水温がぐっと低くなります。ただし、冷たくなることも重要ですが、それだけでは十分大きな変化にはなりません。冷えた結果、水ができる。そのことが非常に大きな作用を与えるのです。海水が凍るときはほぼ真水の氷になるので、もともと含んでいた塩分が放出され、氷の周りの水は非常に塩分が高くなります。その結果、表層の水の密度が高くなり、下の層との間に海水密度の逆転が生じて対流が起こる。こうした対流の起こるグリーンランド海は比較的小さな海盆なので、対流で混ざり合った海水はそこに閉じ込め

られます。これが大きな特徴です。海水が対流によって混ぜられることで大気中の酸素もどんどん溶け込んでいく。その結果、低温で高塩分、高酸素という特徴をもつ高密度水が、流されずにグリーンランド海にたまります。そして、その高密度水が、グリーンランド、アイスランド、イギリスに連なる海嶺(かみね)を乗り越えてグリーンランド海から大西洋に溢れ出て、ぐっと深く深海へ潜っていく。ただし、海底にまでは達せず、3000mくらいの深さを南へ広がっていきます。そういう特徴的な動きが観測データからはっきりわかります」

北大西洋でつくられるこの「北大西洋深層水」は、大西洋を南へ流れていく途中で地中海から大西洋に流れ込む海水と接する。閉鎖海であり海面からの水の蒸発が激しい地中海では、海水の塩分濃度が高い。その水がジブラルタル海峡から大西洋の中層に流れ込み、深層水の上方に広がる。北大西洋深層水はこの地中海水と混ざることさらに塩分を高める。このように高塩分という特徴を強めながら、北大西洋深層水は西側の大陸に押しつけられる形で、北米大陸、南米大陸に沿って流れる。大洋の西岸域を流れるこのような海流は、「西岸境界流」と呼ばれ、地球が丸くて自転していることによつて形成されている。

大西洋から南極海、
そして終着点は？



かわべ・まさき……1954年神奈川県生まれ。東京大学大学院理学系研究科地球物理学専門課程博士課程修了。東京大学海洋研究所 海洋物理学部門 海洋大循環分野教授。理学博士(海洋物理学)。主に黒潮と深層循環の両面から太平洋の海洋循環を研究。「黒潮の流路と流量の変動に関する研究」で2002年度日本海洋学会賞受賞。

南北両大陸に沿って南下してきた北大西洋深層水は、やがて南極大陸に近づく。実は、北極海に近い北大西洋と同じように、南極大陸の近海でも低温で塩分濃度の高い水の沈み込みが生じる。ロス海、アデリー海、そして南下してきた北大西洋深層水がちょうど突き当たった位置にあるウェッデル海だ。これら南極の海でも、グリーンランド沖と同じようなしくみで冷やされて水ができ、海水の塩分が高くなり、密度が高く重くなって沈み込んでいく。これを「南極底層水」という。南極底層水は北大西洋深層水よりもさらに密度が大きく、4000m、5000mの海底にまで沈んでいく。そしてもう一つの特徴は、北大西洋深層水と違って、栄養塩の一つである珪酸塩けいさんえんの濃度が高いことだ。これは、南極の海では珪藻などのプランクトンの活動が盛んで珪酸を含む有機物が北大西洋に比べてはるかに多くつくられるためである。

南北両大陸に沿って南下してきた北大西洋深層水は、やがて南極大陸に近づく。実は、北極海に近い北大西洋と同じように、南極大陸の近海でも低温で塩分濃度の高い水の沈み込みが生じる。ロス海、アデリー海、そして南下してきた北大西洋深層水がちょうど突き当たった位置にあるウェッデル海だ。これら南極の海でも、グリーンランド沖と同じようなしくみで冷やされて水ができ、海水の塩分が高くなり、密度が高く重くなって沈み込んでいく。これを「南極底層水」という。南極底層水は北大西洋深層水よりもさらに密度が大きく、4000m、5000mの海底にまで沈んでいく。そしてもう一つの特徴は、北大西洋深層水と違って、栄養塩の一つである珪酸塩けいさんえんの濃度が高いことだ。これは、南極の海では珪藻などのプランクトンの活動が盛んで珪酸を含む有機物が北大西洋に比べてはるかに多くつくられるためである。

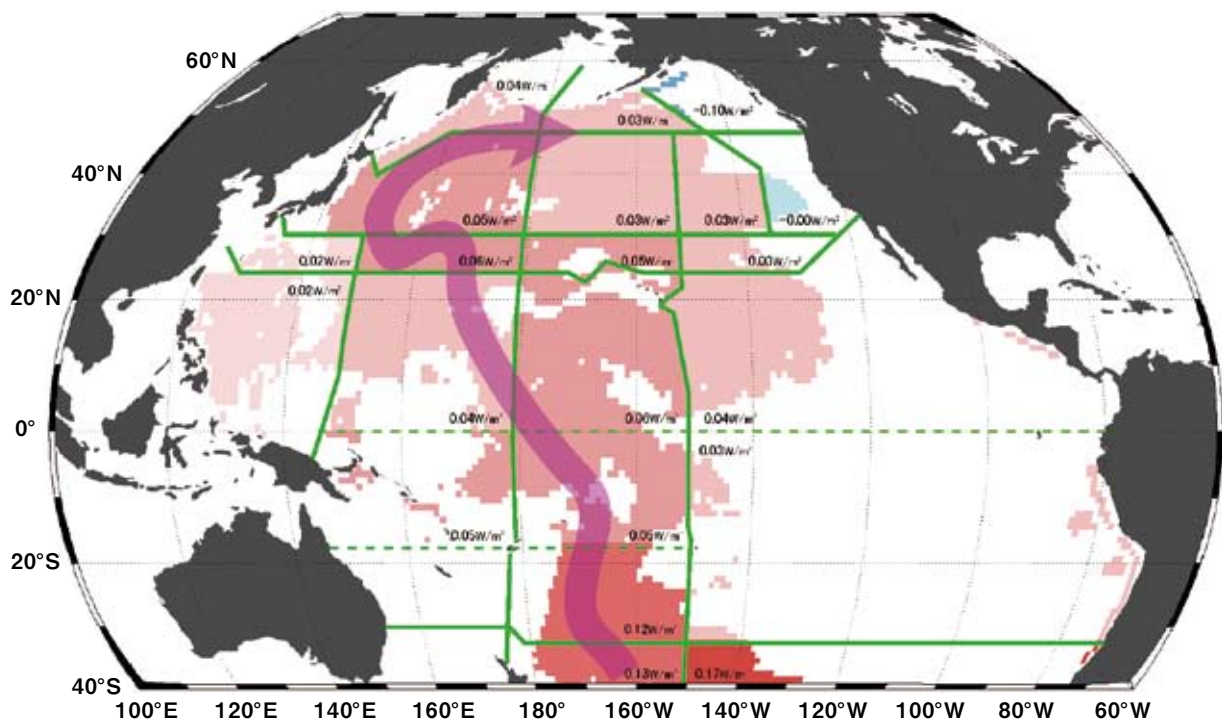
南北両大陸に沿って南下してきた北大西洋深層水は、やがて南極大陸に近づく。実は、北極海に近い北大西洋と同じように、南極大陸の近海でも低温で塩分濃度の高い水の沈み込みが生じる。ロス海、アデリー海、そして南下してきた北大西洋深層水がちょうど突き当たった位置にあるウェッデル海だ。これら南極の海でも、グリーンランド沖と同じようなしくみで冷やされて水ができ、海水の塩分が高くなり、密度が高く重くなって沈み込んでいく。これを「南極底層水」という。南極底層水は北大西洋深層水よりもさらに密度が大きく、4000m、5000mの海底にまで沈んでいく。そしてもう一つの特徴は、北大西洋深層水と違って、栄養塩の一つである珪酸塩けいさんえんの濃度が高いことだ。これは、南極の海では珪藻などのプランクトンの活動が盛んで珪酸を含む有機物が北大西洋に比べてはるかに多くつくられるためである。

南北両大陸に沿って南下してきた北大西洋深層水は、やがて南極大陸に近づく。実は、北極海に近い北大西洋と同じように、南極大陸の近海でも低温で塩分濃度の高い水の沈み込みが生じる。ロス海、アデリー海、そして南下してきた北大西洋深層水がちょうど突き当たった位置にあるウェッデル海だ。これら南極の海でも、グリーンランド沖と同じようなしくみで冷やされて水ができ、海水の塩分が高くなり、密度が高く重くなって沈み込んでいく。これを「南極底層水」という。南極底層水は北大西洋深層水よりもさらに密度が大きく、4000m、5000mの海底にまで沈んでいく。そしてもう一つの特徴は、北大西洋深層水と違って、栄養塩の一つである珪酸塩けいさんえんの濃度が高いことだ。これは、南極の海では珪藻などのプランクトンの活動が盛んで珪酸を含む有機物が北大西洋に比べてはるかに多くつくられるためである。

「特集」海を知り、海に学ぶ



循環するサステイナブルな世界



も太平洋を完全に横断する高精度観測を何度も実施している。そこでも注目すべき結果が出ているのだ。

「太平洋、大西洋、インド洋で、10年前に比べて深層海水の温度が上昇しているというデータが出たのです。太平洋の深層、底層にある海水の多くは南極のアデリー海で沈み込んだ海水がもたっています。それが1000分の5℃以上温かくなっている。これはどうか。その理由としては、流れが遅くなるか、流れてくる海水の量が減って地熱で温められたことが考えられます。いずれにせよ、基本的には流れが遅くなる。この流速の減少でこの温度の上昇になるためには、計算すると、深層流の速さが3

分の1程度にならないといけないのです。ということは、深層水の更新時間が3倍必要ですから、アデリー海での沈み込みが極端に弱くなっている可能性があるということです」(深澤氏)

大気比べて水は1000倍の熱容量がある。したがって、大気と海洋のあいだの直接の熱交換で大気の温度が1℃上がったとすると、そのとき海は1000分の1℃冷やされたということ。そのレベルで正確なデータを比較するためには、その一桁下の値で測定することも必要になる。地球環境、気候変動といった視点で深海を探るということは、これほどの精度を必要とするということなのだ。

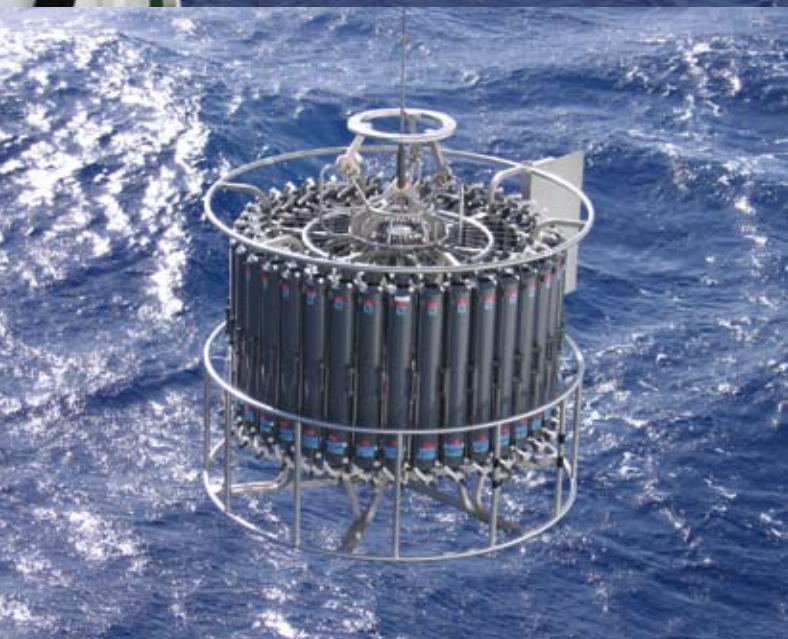
アデリー海での沈み込みが極端に弱くなって

いる原因はまだ特定できていない。ただ、南太平洋の海水塩分データを集めると、この10年間、平均すると毎秒200万tくらいずつ真水が増えていることがわかっていく。それはやはり南極の水が融けているからではないかと考えられる。

ただし、毎秒200万tの水という大変な量のように思えるが、地球の規模からするとそれほど大した量でもない。200万tの水になるために、南極大陸を覆っている水が毎秒どれくらいですむという。ただ、南極大陸周辺は海洋観測のデータもなく、衛星データも不正確と言う深澤氏、今後は、実際に南極海で行う観

測が不可欠で、2012年には研究船「みらい」に生物研究者も乗船し、アデリー海での総合観測を行う予定と語る。

「アデリー海で深層水の形成を止めると、50年後には太平洋の北緯30度付近で深層水の水温が観測可能な程度に上がるというモデル計算結果が出ています。ですから、今言った水温の変化は少なくとも過去50年くらいの動きということはいえそうです。こうした変化がこれから深層の海水物性にどのように影響するのか、さらに、どの程度の気候変動を引き起こすのか、調査船を使った今後の精密な観測活動の展開とモデルを使った研究との連携がますます重要になっていきます」(深澤氏)



(上) 北太平洋を航行する海洋地球研究船「みらい」(JAMSTEC提供)
(中・下) 「みらい」に搭載された大型CTD採水システム(JAMSTEC提供)
CTDでは塩分、水温、深度を測定。36本の採水器は溶存酸素、全炭酸、栄養塩などの高精度な測定に用いられる。

地球と海と生物をめぐる

現在、大気中のCO₂の増加に伴う地球温暖化防止が喫緊の課題となっているが、意外にも、CO₂の吸収・循環に果たす海の多大な役割についてはあまり知られていない。海は大気の50倍、140兆t(CO₂換算／2007年IPCC報告書)ものCO₂を蓄える貯蔵庫であり、全世界で人為的な活動により

大気中へ排出されるCO₂の年間量、235億tのうち、約81億t、すなわち約3割の量を吸収する。陸が吸収するのは約37億tなので、残り約117億tが大気に放出される計算で、これが温暖化の原因だと考えられている。

海が吸収する81億tのなかから、炭素Cだけをとり出すと約22億t。なぜ炭素に注目するかといえば、炭素は最も主要な生物元素であり、さまざまな物質と結びつきながら、生物活動などに取り込まれることで、地球をぐるりと循環しているから。地球上の炭素の総量は変わらないが、人為的な理由でCO₂の姿となり、大気中へと放出されることが問題なのである。そして海は、循環の過程で、非常に長い年月にわたり、炭素を内部にとめて固定しておくことが可能であり、CO₂削減の切り札と考えられているのだ。

しかし実のところ、そのしくみの全容は解明

炭素循環

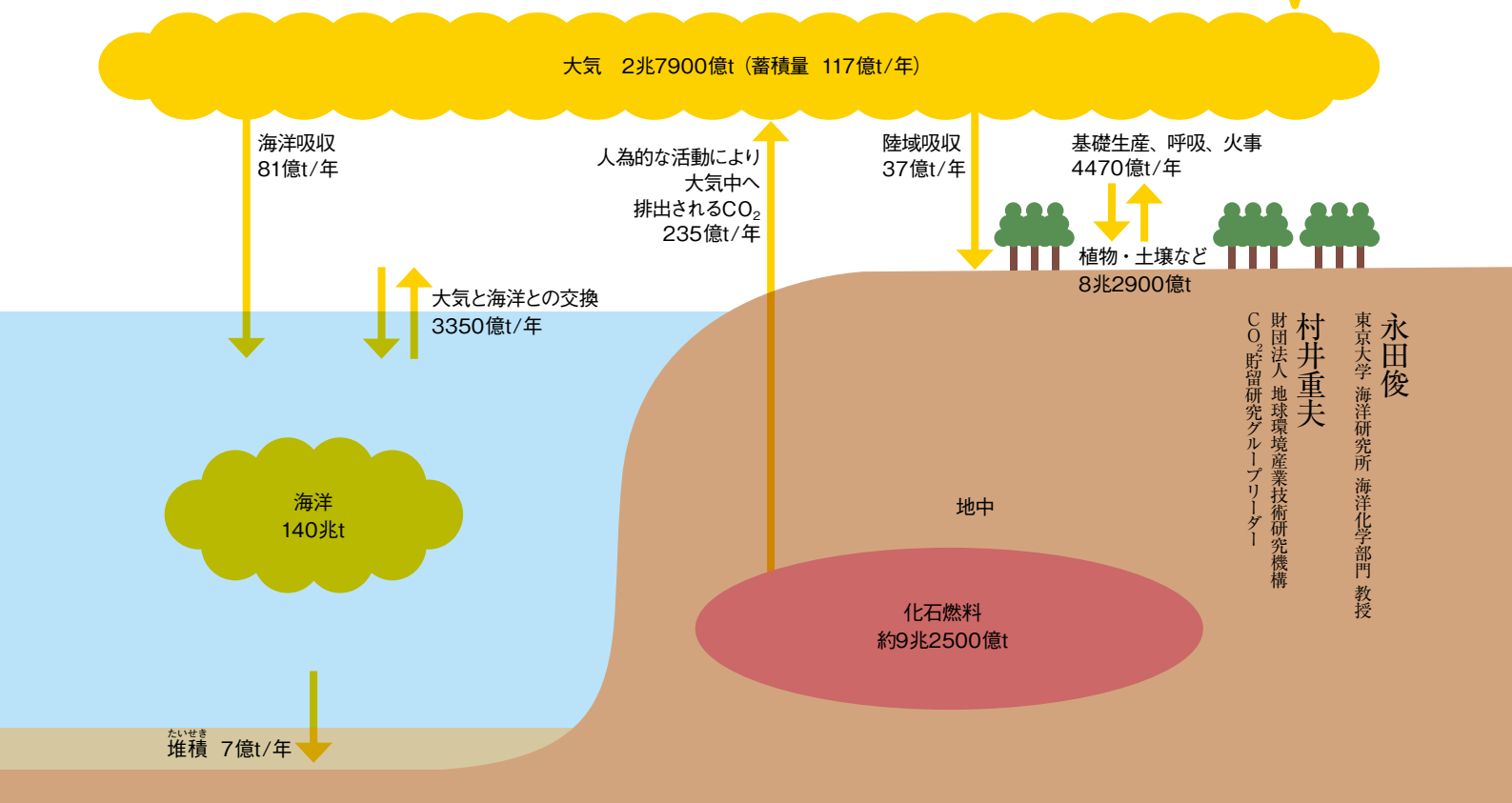
されていない。詳細な解明が始まったのはようやくここ数十年のことだ。なぜなら、広大な海で繰り広げられる炭素循環は、炭素をめぐりミクロな現象によつて紡ぎ出される、いくつもの物語の複雑な連なりだから。それぞれの物語がパズルのように組み合わせられることで、初めて全体像が浮かび上がってくることから、その解明には長期にわたる観測と解析が不可欠なのである。

ここでは、海洋の炭素循環の一部を垣間見ると同時に、脱温暖化社会のシナリオに海が果たす役割を探ろう。

大気と海の間で繰り広げられるいくつかのストーリー

大気から海に吸収される炭素循環のルートにはいくつかある。一つは、海洋の表面を通し

【地球の炭素収支(CO₂換算)】



永田俊
東京大学 海洋研究所 海洋化学部門 教授
村井重夫
財団法人 地球環境産業技術研究機構
CO₂貯留研究グループリーダー



て物理作用によって、直接海に溶け込むルート。溶けたCO₂はそのままの姿ではなく、そのほとんどが解離して弱酸性となる。つまり、重炭酸イオン(HCO₃⁻)や炭酸イオン(CO₃²⁻)などの溶存無機炭素へと姿を変える。このときに溶け込むCO₂の量は、たとえば水温が低いほど多くなるなど、温度や大気圧、波浪などの物理的な条件に支配される。

次に、風化と呼ばれる陸での作用を経て、海へ運ばれるルート。大気中のCO₂が水に溶け、炭酸(H₂CO₃)となり、地球表面の鉱物を溶かしながら、河川から海へと運ばれる。海に運ばれた物質は、プランクトンやサンゴの殻の形成(石灰化)に使われ、炭酸カルシウム(CaCO₃)へと姿を変えて、それらの生物が死ぬと、海底に堆積していく。深海に堆積したこれらの物質は、やがてプレート運動によって大陸の下に潜り込み、高熱・高圧のもとで鉱物へと姿を変え、生じたCO₂は火山ガスとしてふたたび大気へ放出される。この循環にかかる時間は平均1億年。このように炭素は、陸と海の間を、さまざまに形を変えながら、長い時間をかけて循環しているのである。

もう一つの重要なルートが、「生物ポンプ」と呼ばれるしくみだ。植物プランクトンは、太陽の光エネルギーと海水中に溶けたCO₂で光合成を行い、有機物と酸素をつくる。植物プランクトンがCO₂を消費すると、それを補うため

に大気中のCO₂が海に取り込まれることになる。生産された有機物の多くは、食物連鎖の過程でバクテリアの作用で酸化分解されて、無機炭素に戻り、過剰な分はすみやかにCO₂として大気へ放出される。

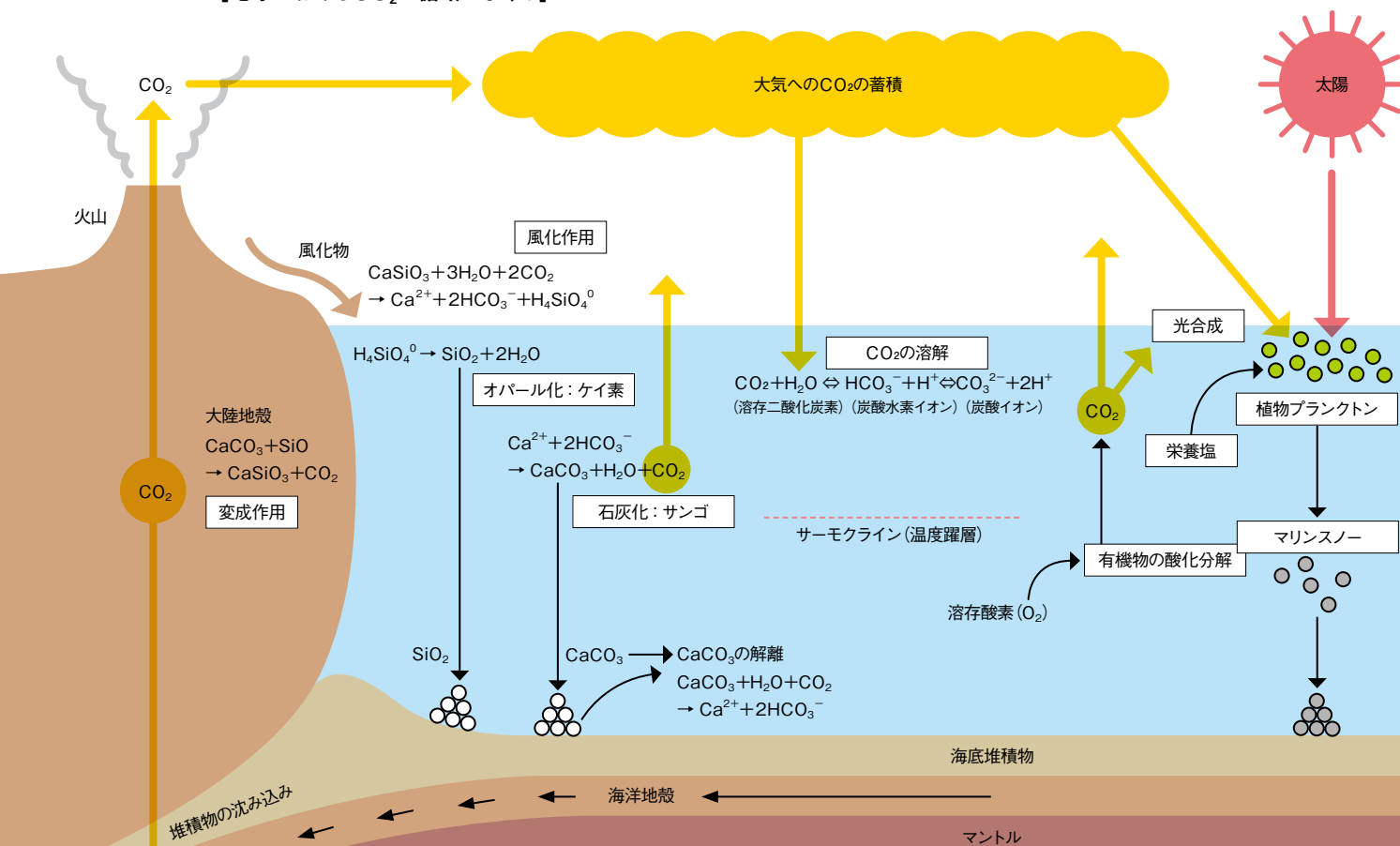
このとき、分解を免れた有機物の一部、20%ほどが、互にくっついて粒子状の塊となり中深層へ沈んでいく。これがいわゆるマリンスノーと呼ばれるもので、その大きさは、数十μm程度のものから、数cmのものまである。そしてこのマリンスノーの一部は、バクテリアや底棲生物によって分解され、再び無機炭素となって深層水に溶け込むのである。

ちなみに、前項で紹介したように、深層水の循環には長くて2000年もの歳月がかかることから、その間、炭素は海底に貯蔵されることになる。つまり、表層で行われた植物プランクトンの光合成をきっかけに、その後、炭素はさまざまに形を変えながら、長期間にわたって海中に固定されることになるのだ。

広大な海の生態系を支える ミクロの微生物たち

しかし実際には、マリンスノー形成の詳細なメカニズムはわかっていない。「植物や動物の死骸などから、何かネバネバした物質が出て、沈む過程でぶつかり合いなが

【地球におけるCO₂の循環のしくみ】



プレート活動によってマントルへ引き込まれた海底の堆積物は、高温・高圧のもと、鉱物へと形を変え、CO₂は火山ガスとして大気へ放出される。そのCO₂は岩石の風化に使われ、海洋へ運ばれ、生物活動に取り込まれることで、海底へと堆積していく。



ら凝集体をつくると考えられています。細胞の破片に含まれる多糖類やたんぱく質なども関与しているのですが、そのプロセスの詳細はまだよくわかっていません。

マリンスノーは、一般的に、深層から栄養塩がわき上がる高緯度の海域でたくさん形成されると考えられてきました。確かに、こういった海域には、珪藻類のような殻をもった植物プランクトンがよく繁殖し、それらが、マリンスノーを大量につくり出しています。しかし、最近の研究の結果、珪藻類以外のプランクトンも、マリンスノーの生産や分解に複雑に関与していることがわかってきました。このしくみを解明しないことには、精度の高い海洋炭素循環モデルをつくることはできません」と言うのは、東京大学海洋研究所の永田俊教授である。

さらに、生物ポンプのしくみの中には、炭素循環のモデルに組み込まれていない、未知の要素があるのだと永田氏は言う。

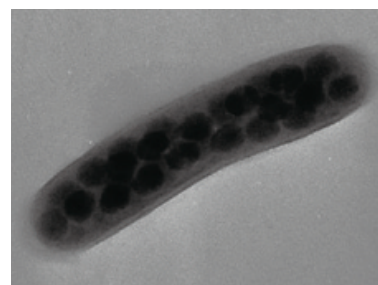
「海洋には、溶存有機物という形で存在する炭素があります。その量は700ギガト(1ギガト＝10億ト。ギガトは炭素換算量の単位にもなると考えられています。そのなかには、バクテリアなどに分解されることなく、安定した形で海中に固定されるものがありますが、溶存有機物の量は莫大です。その濃度がほんの少し変動しただけでも、人間が1年間に排出するくらいの炭素が簡単に発生してしまいます。つまり、溶

存有機物の変動は、CO₂の収支に大きな影響を与える可能性があります。しかし、海水中の溶存有機物が化学的にどういうものなのか、また、なぜ微生物によって分解されにくいのかといった基本的なことが解明されていないため、海洋炭素循環モデルに正しく組み込むことができない状態です」

この難分解の溶存有機物を調べたところ、その平均年齢は5000～6000年にもなることがわかった。つまり、2000年にわたる深層での巡回の旅を、3回ほど繰り返した計算だ。そして最終的には海面にわき上がり、紫外線に焼かれてCO₂となり、大気へ放出されると考えられている。

またここ数年で、永田氏らの研究により明らかにされつつあるのが、溶存有機物の形成に果たすウイルスの役割だ。

「最近、海洋には表層から深海に至るまで、実にさまざまな種類のウイルスがいることがわかってきました。その濃度は、1mlあたり100万～1000万粒にもなります。ウイルスはバクテリアや植物プランクトンに取り付いて、その細胞を破壊し、死滅させます。ウイルスによって破壊され、バラバラになった細胞の破片が溶存有機物になるのです。その一部はマリンスノーを形成します。つまり、ウイルスは、海洋炭素循環の重要な制御要因の一つである、という意外な事実がわかってきたのです。



宿主であるバクテリアに入り込んで増殖したウイルス。23のウイルスが確認できる。この後、細胞膜や細胞壁を突き破って、細胞を破壊する。

生態系や炭素循環のバランスを理解するうえで、このように微小な世界での物質循環過程を丹念に解明していくことが不可欠なのです」

そうしたなかで永田氏は、南極から亜北極まで太平洋を縦断して行われた海洋調査をもとに、世界で初めて、海洋のウイルス数やバクテリア数の地球規模の分布図を作成、解析を進めている。その結果、北太平洋の中緯度に、ウイルスが大量に存在する海域「ウイルス・ホット・スポット」が存在することなどをつきとめた。

「ウイルスの餌(宿主)が多く分布し、かつ、紫外線の照射が弱い層に、ウイルス・ホットスポットが現れるようです。面白いことに、ウイルス・ホット・スポットの場所は、溶存酸素が過飽和状態の場所と一致するのですが、その理由については、現在解明を進めているところです。我々の観測の結果から、微生物同士の非常に小さなスケールで起きている食物連鎖が、地球規模での大きなパターンを形成している様子が少しずつわかってきました。これこそが、海洋研究の醍醐味。今後は、微生物同士の食物連鎖の制御機構をさらに詳しく解析して、海洋生態系や炭素循環のしくみの解明に貢献したいと考えています」

深海への隔離は

CO₂削減の切り札となるか

ところで、大気中のCO₂が増大すると、海洋にはどのような影響が引き起こされるのだろうか。最近、新聞などでも取り上げられ話題となっているのが、海の表層の酸性化という問題だ。

「現在、海のpHは約8・1と弱アルカリ性なのですが、このまま大気中のCO₂濃度が上がり続けると、表層のpHが徐々に中性の7に近づき、生物への影響が心配されています。もちろん海は広大ですから急に酸性化するわけではありませんが、稚魚やウニの幼生の成長に悪影響を及ぼしたり、炭酸カルシウムの殻をもつ植物性プランクトンやサンゴを溶かしたりといった影響が出る可能性があります」。

また、日本が排出するCO₂は、年間13億ト以上にもなります。その量は、1分間で東京ドーム約1個分。そこで現在、CO₂削減のためのさまざまな方法が検討されているわけですが、いまだに決定打はありません。そうした中で期待されるのが、CO₂の深海への海洋隔離技術なのです」と語るのは、財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)のCO₂貯留研究グループリーダーの村井重夫氏である。

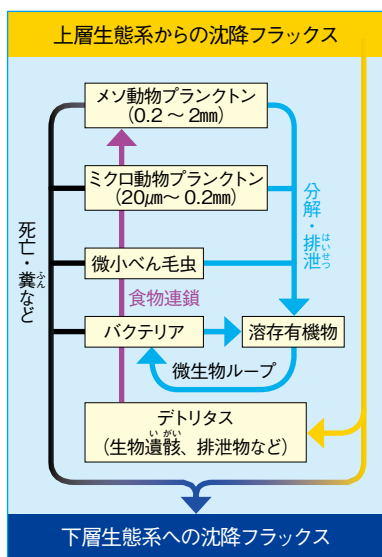
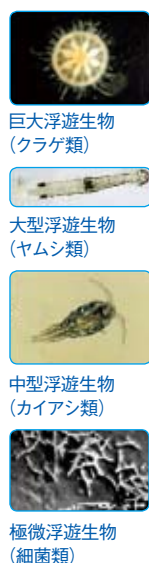
CO₂の深海への海洋隔離技術とは、火力発電所や製鉄所などの大規模プラントから排出されるCO₂を分離回収し、液化して専用船に積



ながた・とし……1958年長野県生まれ。'87年京都大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。デラウェア大学海洋学部研究員、名古屋大学大気圏科学研究所助手、東京大学海洋研究所助教授、京大学生態学研究センター教授を経て、2008年より東京大学海洋研究所教授。専門は生物地球化学・微生物生態学。著書に、京都大学総合博物館・京大学生態学研究センター編『生物の多様性ってなんだろう?』（共著 京都大学学術出版会）などがある。



むらい・しげお……1943年愛知県生まれ。'71年、京都大学大学院理学研究科化学専攻博士課程修了。同年、住友電気工業株式会社入社。2001年より地球環境産業技術研究機構(RITE) CO₂貯留研究グループリーダー、主席研究員。理学博士。専門は分析化学、海洋化学、温暖化対策技術。著書に『CO₂固定化・削減・有効利用の最新技術——地球温暖化対策関連技術』（共著 シーエムシー出版）がある。



RITEで作成した生態系モデルの模式図。沈降フラックスとは、デトリタスなどの沈降量(または下方向の輸送量)のこと。

(参考資料) 野崎義行『地球温暖化と海——炭素の循環から探る』（東京大学出版会） 京都大学総合博物館・京大学生態学研究センター編『生物の多様性ってなんだろう?』（京都大学学術出版会）

み込み、船からノズルを使って100×300 kmほどの領域の深海に注入・溶解させるといふもの。もともと、海には膨大な量のCO₂が蓄積されており、人為的な理由で発生したCO₂を受け入れるくらい余力は十分にあると考えられている。

とはいふものの、CO₂の海洋隔離は、海のさらなる酸性化を招き、悪影響を与えることはないのだろうか——。

「注入するのは、深さ1000~2000 mの深海で、微生物以外、非常に生物が少ない領域です。表層500 mくらいまではたくさん

の生物がいますが、表層と深海には温度差があつて海水が混ざりにくいので、溶かし込んだCO₂は長期間にわたつて浮上することはありません。また、液化したCO₂を深海に放出すると、ハイドレイド膜に覆われた液滴となつて上昇しながら少しずつ溶解されますが、数時間後には生物に影響のない濃度にまで希釈され、薄まりながら広がっていきます。試算によれば、同じ場所でも年間に5000万tの注入を30年間連続して行つても、影響は非常に少ない

と考えられています」

RITEのシミュレーションによれば、CO₂の 대기への放出をそのまま放つておくと、今後、数百年のうちにCO₂濃度が急激に上昇してピークを迎えることになる。その急激な変化が引き金となつて大きな気候変動を招くことも予想される。一方で、いったん深海にCO₂を隔離すれば、数千年のスパンでゆっくりと大気中のCO₂濃度を上昇させることができ、自然の適応能力を超える急速な地球温暖化を抑止できると説明する。

実はCO₂の隔離については、すでに先行して地下への貯留が始まっている。アルジェリアやノルウェーでは、採掘した天然ガスからCO₂を分離・回収して、地下や海底下に封じ込めることで、年間100万tの貯蔵を実現。日本でも、新潟県長岡市で実証実験が行われるなど、運用に向けて準備が進められているところだ。

「地下に比べると、海のほうがより多くのCO₂を固定できるとして期待されているのですが、地球上に海は一つしかないわけですから、慎重に進める必要があります。特に海の微生物

物の役割とCO₂濃度上昇による影響を、さらに詳しく調べる必要があるでしょう」と村井氏

は言う。そこで、RITEが力を注いだのが、中深層の生物に対するCO₂の影響の知見の蓄積である。長期的な生物影響まで理解しておくことが望ましいことから、RITEでは、中深層における生態系モデルの研究も進めている。具体的には、カイアシ類と呼ばれる動物プランクトン、べん毛虫、バクテリアなど微生物の生態系モデルを構築し、そのメカニズムを明らかにすると同時に、これらの生物および、溶存有機物やマリンスノーの形成に、CO₂濃度の上昇がどのような影響をもたらすのか、シミュレーションを行ってきた。ちなみに、これらの知見の一部は、IPCC特別報告書で取り上げられ、2006年に海洋廃棄物の汚染防止を目的として開催されたロンドン条約の締結国会議や、国内法の海洋汚染防止法改定の審議会において、CO₂の海底地層

貯留が認められた判断材料にもなった。

「最近では、生態系モデルを用いてCO₂影響シナリオに基づいたシミュレーションを行い、中深層生態系にどのような影響があるのか調べています。今後はさらに詳しい検証を行うために、小規模な海洋科学実験を経て、さらに大規模な実証実験を行い、実際にモニタリングしながら、もし不都合な点があれば改善をしつつ、実用化へと歩を進めていきたいと考えています」

その実現にはまだしばらく検証の時間を要するが、深海への隔離技術は、CO₂の大幅な削減の切り札であることには間違いない。

今後さらに、莫大なCO₂を蓄える海のメカニズムを解き明かすことで、よりよい解決策が見いだされる可能性は大いにあるだろう。海のしくみの解明は始まったばかりなのだから。海洋の生態系モデルの研究をリードする日本から、新たな知恵が示されることに期待したい。

里海

沿海域の再生をめざして

上真一

広島大学 大学院生物圏科学研究科 教授

瀬戸内海が生んだ「里海」の思想

里海。ちょっと耳慣れない言葉かもしれませんが、人の手が加わることで高い生産性と生物多様性が維持されている里山をヒントに、沿岸域での人と自然とのあるべき関係を指し示す概念として考えられたものです。瀬戸内海で海洋生物の研究に携わってきた私も含め、里海の提唱者は皆、瀬戸内海をフィールドにしてきた海洋の研究者たちです。瀬戸内海が里海の思想を生んだといってもいいでしょう。

瀬戸内海は浅く波静かな閉鎖性の海で、沿岸域には至るところに干潟や藻場が広がっています。そこには多様な生物が生息し、さまざまな海の幸を人間にもたらしてきました。外洋と違って、人々の暮らしと親密に結びついた海です。

その瀬戸内海が1960年代以降、大きく傷つき、漁獲高も著しく減少した。そこで、原因をつきとめ、人の手を加えることによってかつてのような漁業生産性の高い、豊かな海を取

り戻そうというのが里海の考え方です。

では、瀬戸内海とは一体どんな海なのか、なぜ豊かだったのかというと、まず瀬戸内海には、閉鎖系の浅い海という基本的な地形特性があります。このために河川から供給される土砂により干潟が形づくられ、その外側には藻場が形成され、なだらかに傾斜しながら沖に向かっていく。

干潟には、人間が排出したものも含め、河川から供給されるさまざまな有機物や栄養物質がほとんど保持され、それを分解、利用する微生物、つまり細菌や植物プランクトンが多く発生し、それらを捕食する二枚貝や甲殻類などが生息します。さらに藻場は、活発な光合成によつて海中に酸素を供給するとともに、魚の産卵や稚魚の育成に格好の場を提供しています。

こうした特質は、日本の閉鎖系の浅い海域に共通したものともいえますが、瀬戸内海にはもう一つの際立つた特徴があります。それは、「内海」でありながら、灘なだと呼ばれるかなり広い海があり、しかも海峡部の「瀬戸」が灘と交互に



古来、瀬戸内海では、豊かな自然と人間の営みが見事な調和を保ってきた。

存在しているという、その名のとりのユニークな海洋構造です。

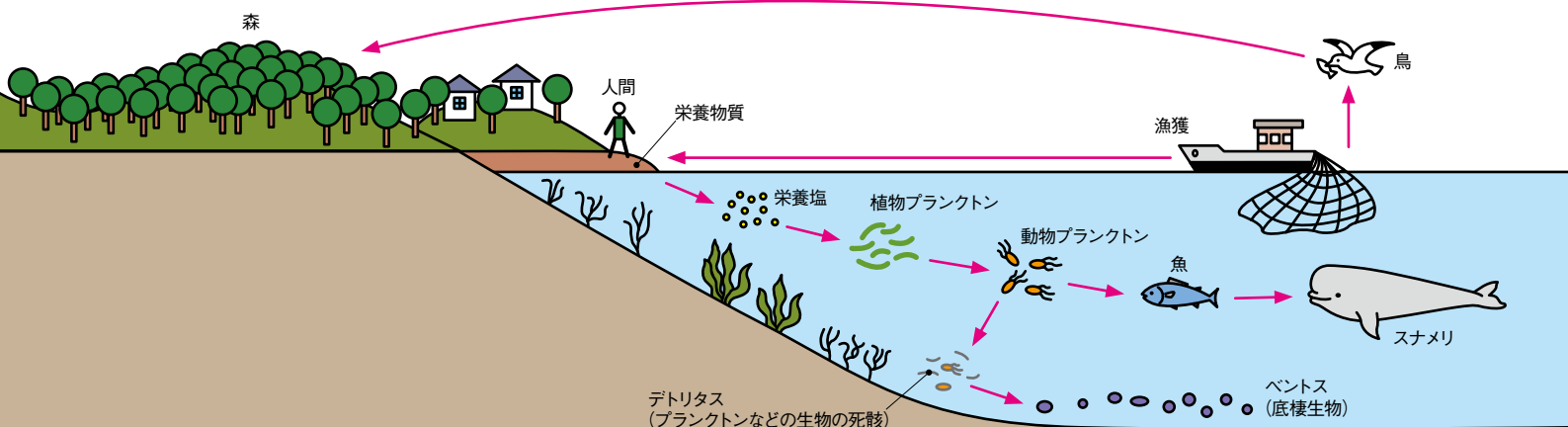
植物プランクトンの増殖には、灘のような穏やかな条件が必要ですが、一方で、表層の栄養塩は光合成によって消費されていきます。ところが潮流が速い瀬戸では、海水が上下に攪拌されるために、海底付近からの多くの栄養塩が表層に持ち上げられ、つねに豊富な栄養塩が保たれている。底層へは酸素が供給され、浄化作用を果たしている。

こうした環境によって、植物プランクトンから動物プランクトンへの移行が、速やかに効率よく行われ、多種多様な水産資源がもたらされてきた。生産機能と浄化機能が見事にバランスした瀬戸内海は、海洋生物にとってこれ以上ない環境なのです。

人と海をつなぐ水産物

この瀬戸内海地域には、実に3000万もの人が住んでいます。この3000万の人々と海をつなぐ最も大切なもの、それは何といっても水産物です。身近な海で獲れた魚介類が食卓に上るといえるのは、海と住民をつなぐうえでとても重要なことです。食料がもたらされなくなると、海に対する人々の関心は一挙に失われてしまう。漁業が健全に行われている海、それが里海のあるべき姿です。

【沿岸海域における栄養物質の循環】



【里海創生に向けた国の取り組み】

環境省は2007年度の里海創生検討会において、里海を「人間の手で陸域と沿岸域が一体的・総合的に管理されることにより、物質循環機能が適切に維持され、高い生産性と生物多様性の保全が図られるとともに、人々の暮らしや伝統文化と深く関わり、人と自然が共生する沿岸海域」と定義している。これは、九州大学の柳哲雄教授による「人手が加わることにより、生産性と生物多様性が高くなった沿岸海域」という定義を基にしたもの。環境省は、翌'08年には七尾湾(石川県)、赤穂海岸(兵庫県)、大村湾(長崎県)、中津干潟(大分県)の4地域を対象に里海創生支援事業を開始、'10年度には里海30選の選定が予定されるなど、里海創生に向けた支援活動を行っている。



2000年8月に宇和海の内湾域に押し寄せたミズクラゲの大群
(写真提供：上真一氏)



うえ・しんいち……1950年山口県生まれ。東北大学大学院農学研究科博士課程中退。農学博士(東北大学)。広島大学大学院生物圏科学研究科教授(生物海洋学)。生物生産過程における動物プランクトンの役割からクラゲの生態や里海創生へと研究の幅を広げる。著書「瀬戸内海を里海に」(共著、恒星社厚生閣)ほか。

押し寄せています。

これが漁獲量の減少と大いに関係しているのではない。実は、'80年代以降、瀬戸内海全域の動物プランクトンの現存量や生産量にはそれほど大きな変動は見られません。にもかかわらず、漁獲量が減少したとすれば、魚以外の生物が餌を奪っていると考えられるからです。それがミズクラゲではないかと。

ミズクラゲの主要な餌はカイアシ類と呼ばれる中型の動物プランクトンです。イワシ、サバ、アジ、さらに中・大型魚の稚魚も同じ動物プランクトンを餌とし、ミズクラゲはこれらの魚種と餌を巡る競合関係にあります。それどころか、ミズクラゲは魚卵や稚魚も捕食してしまう。まさに魚の敵なのです。

では、なぜミズクラゲがこれほど増えたのか、それについて私たちは調査しています。クラゲの生活史は大きくポリプ期とクラゲ期に分けられます。ポリプはクラゲの種のようなもので、

海底に付着して過ごしますが、コンクリート護岸などの人工物は、ポリプが付着するのに格好の場を提供しています。さらにポリプは、酸素が少なくても増殖するという恐るべき生命力をもっている。富栄養化によるプランクトンの増加と溶存酸素量の不足という事態は、ミズクラゲにとってきわめて有利な条件なのです。もちろん、ポリプにも天敵がいます。ポリプを餌とする小さなカニやエビ、貝類などです。ところが浅場が人工護岸に変わると、こうした天敵が少なくなります。

ミズクラゲは通常、盛夏時までに成長し、秋には完全に消えてしまいます。ところが近年は、秋になっても死ぬことなく、冬を越すクラゲも出現し、翌年にさらに増加するという事態が発生しています。これは温暖化の影響かもしれない。

もともと乱獲などによって魚類資源が減っているところへ、こうしたクラゲの成育にとつて

では、瀬戸内海の漁獲高はどのくらいかというと、ピーク時の1970年代から'80年代前半の年間漁獲高は40万tにも達し、これは、やはり閉鎖系の海である地中海の何と25倍です。

それほど瀬戸内海は豊かな海だといえますが、現在はピーク時に比べると半分以上に落ち込んでいる。減少した要因は、護岸や埋め立てなどによって、干潟や藻場といった、魚類の再生産にとって重要な浅場が失われたことです。現在残されている自然の海岸線は、瀬戸内海全域で40%足らずです。

さらに、'60年代後半から生活排水や工業排水が流入するようになり、瀬戸内海は急激に富栄養化した。'70年代後半には年間に300件近い赤潮発生件数を記録したこともありま

ましたが、獲れたのはイワシなどの小魚が多く、これは富栄養化に起因するものと思われ、必ずしも健全な漁獲とはいえない面もあるのです。

さらに追い打ちをかけているのが乱獲です。漁業資源の再生産が鈍っているにもかかわらず、高性能の漁船や魚探を使い、ピンポイントで魚を追いつめる。こうした要因が複合化して、なかなか漁獲高の回復に至らないのが実情です。

クラゲスパイラル

'90年代に入ってから、瀬戸内海各地の漁業者がしきりに口にするようになったことがあります。「クラゲが増えて漁ができない」というものです。聞き取り調査をすると、'80年代前半からミズクラゲが増え始め、'90年代になると著しく増加していることが明らかになってきた。2000年夏には、宇和海の内湾域に総個体数約6億と推定されるミズクラゲの大群が



広島大学呉基地におけるミズクラゲの現場調査。右は越冬ミズクラゲ。

漁獲高の減少に大きく作用していることはまず間違いありません。瀬戸内海の再生には、埋め立てやコンクリート護岸などによる浅場の喪失を食い止めることはもちろん、干潟や藻場などの再生を積極的に行う必要があります。これに、近年その重要性が認識されてきた、森から海に至る流域全体の総合的な環境管理などが加わったとき、豊かな里海、瀬戸内海の再生が実現されるのではないのでしょうか。



海面を埋め尽くす越冬ミズクラゲ(写真提供: 上真一氏)

ところで、クラゲの異常発生は瀬戸内海だけではなくありません。'02年以降、何度か日本海にエチゼンクラゲが大発生しています。ここでは、中国沿岸などの開発による富栄養化や自然海岸の喪失などの影響が考えられ、広域な東アジアの海全体の環境変化を視野に入れなければなりません。

東シナ海、黄海、日本海といった、東アジアの海も一つのまとまりをもった海域を形成しています。しかも、世界的に見れば、きわめて漁業生産性の高い海域です。瀬戸内海の里海化の向こうには、東アジア沿海域の里海化という大きなテーマがあるような気がしてなりません。

(談)



格好の条件がそろったために、海の生態系の中で魚が占めていた場所をクラゲがどんどん侵食してしまった。しかも、ミズクラゲは魚卵や稚魚も食べてしまうから、いったんクラゲが増えると、魚類の回復はますます困難になり、クラゲはどんどん増殖する。瀬戸内海はこうした「クラゲスパイラル」に陥っているのではないかと考えられるのです。

里海を東アジアへ

実は、この「クラゲスパイラル」やミズクラゲの越年化といった現象については、そのメカニズムが完全に解明されたわけではありません。それが解明されれば、魚を増やす好ましいスパイラルが見えてくるはずです。そこにクラゲ研究の意味があると考えています。

一方で、干潟や藻場など浅場の機能が失われたことが、クラゲの増殖を含め、瀬戸内海の



中国沿岸などの開発による富栄養化や自然海岸の喪失などの影響が考えられ、広域な東アジアの海全体の環境変化を視野に入れなければなりません。

東シナ海、黄海、日本海といった、東アジアの海も一つのまとまりをもった海域を形成しています。しかも、世界的に見れば、きわめて漁業生産性の高い海域です。瀬戸内海の里海化の向こうには、東アジア沿海域の里海化という大きなテーマがあるような気がしてなりません。