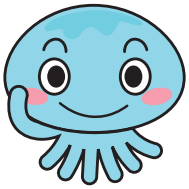
海洋
50のなぜ

ISEE
宇宙地球環境研究所
Institute for Space-Earth Environmental Research

名古屋大学宇宙地球環境研究所
Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE)
https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/



皆さんは海に対してどのようなイメージを持っていますか？この本に目を通そうとしている人であれば、少しは海に興味を持っているかもしれません。釣りに行くという人や、魚を食べるのが好きな人がいるかもしれません。多くの人にとって海は遠い存在のようですが、地球の表面積の７割を占めている海は、我々、人間の生活にも様々な影響を与えています。特に日本は海に囲まれた島国ですので、人によっては海洋立国（海で国を繁栄させる）と言っている人もいますが、残念ながら現在の教育においては、海洋の勉強をすることはほとんどないように思います。この機会に、人間が海についてどんなことを知っているかを学び、その先にまだまだたくさんある海の謎について考えてみてください。

もくじ

1. 海はどれくらい深いの？ 1
2. 海底ってうごくの？ 2
3. 「しお」ってどこからきたの？ 3
4. 氷が浮くのはなぜ？ 4
5. 燃える氷って何？ 5
6. 深海の温泉ってどんなところ？ 6
7. 太平洋は「太」で大西洋は「大」なのはなぜ？ 7
8. なぜ雨が降っても海はあふれないの？ 8
9. 大西洋と太平洋どっちの海がしょっぱいの？ 9
10. 海洋の深層循環ってなに？ 10
11. 海洋にも対流圏や成層圏はあるの？ 11
12. なぜ大洋の西側に強い海流があるの？（その 1） 12
13. なぜ大洋の西側に強い海流があるの？（その 2） 13
14. なぜ太平洋の真ん中にごみが集まるの？（その 1） 14
15. なぜ太平洋の真ん中にごみが集まるの？（その 2） 15
16. 人工衛星から海洋の何が測れるの？（その 1） 16
17. 人工衛星から海洋の何が測れるの？（その 2） 17
18. 中層フロートってなに？ 18
19. 魚の漁獲量から気候変動がわかる？ 19
20. 海洋にも渦があるの？ 20
21. なぜ地球温暖化による海面水位の上昇率が海域によって違うの？ 21
22. 海にはどんな生物がいるの？ 22
23. 海の植物とは？ 23
24. 動物プランクトンとは？ 24
25. 海の生物の大きさはどれくらい？ 25

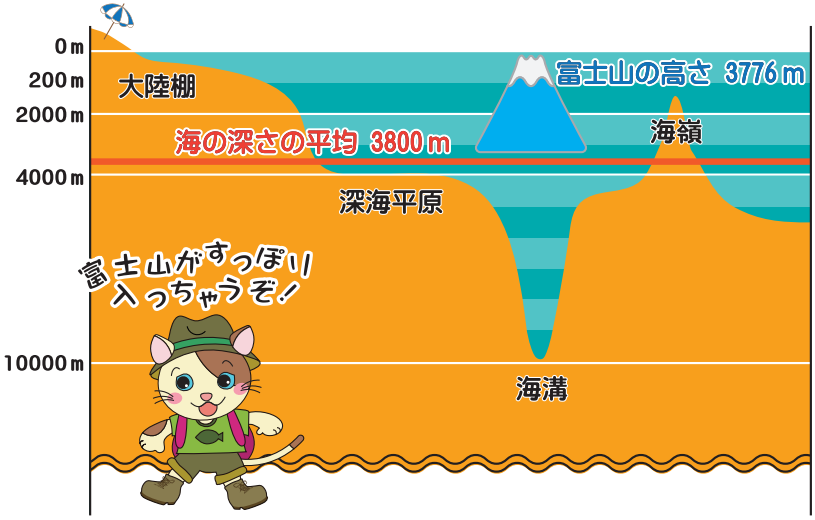
26. エチゼンクラゲの謎 26
27. 海にもホタルがいるの？ 27
28. 海の中の二酸化炭素も増えているの？ 28
29. 石灰化生物ってなに？ 29
30. サンゴが白くなる？ 30
31. 海に雪が降る？ 31
32. 動物プランクトンの大移動とは？ 32
33. 海洋の中で炭素はどう巡っているの？ 33
34. 海に砂漠がある？ 34
35. 魚はどこで捕れる？（その１） 35
36. 魚はどこで捕れる？（その２） 36
37. 海に鉄をまくとプランクトンが増える？ 37
38. 海にも桜前線があるって本当？ 38
39. 海の生物は台風によって影響されるの？ 39
40. 海の渦と生物に関係があるの？ 40
41. 宇宙からの顕微鏡？ 41
42. 海の色は何で決まっているの？ 42
43. 海の色からプランクトンの種類がわかる？ 43
44. 栄養分は多いほどよいの？ 44
45. 海洋汚染ってなに？ 45
46. むかし海から酸素がなくなったことがあるの？ 46
47. 気候の変動は漁獲量に影響するの？ 47
48. 温暖化は海洋生態系に影響するの？ 48
49. 海洋酸性化は海洋生態系を変えるの？ 49
50. 北極海に新しい「道」ができる？ 50

番外編

● 海洋学ってどんな学問？ 51
● 海洋の研究ってどうやるの？ 52
● 研究船での生活ってどんなもの？ 53
● どうやったら海洋の研究者になれるの？ 54

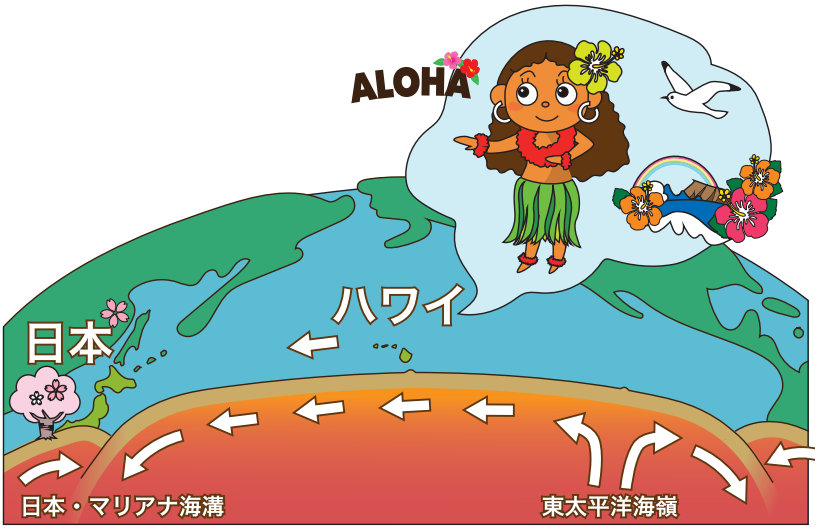
1. 海はどれくらい深いの？

海水浴場で海に入って沖に進むと、どんどん底が深くなって、足がつかなくなります。でも、この場所は「大陸棚」と呼ばれる比較的なだらかな斜面で、これが深さ 200 メートルくらいまで続きます。さらに陸からはなれると、滑り台のように急に深くなります。この「大陸斜面」は深さ 4000 メートルくらいまで続き、その先に「深海平原」と呼ばれる平らな海底が広がっています。場所によっては、さらに海底が谷のように深くなる「海溝」や、山のようにもり上がっている「海嶺」などがあります。海溝のなかには深さが１万メートルをこえる場所もありますし、巨大な海底山脈である「中央海嶺」のてっぺんは深さ 1000 ～２000 メートルくらいです。このように、海の底にはいろいろな地形があり、深さは場所によってさまざまです。海全体で平均すると海底の深さは約 3800 メートルで、富士山がすっぽり沈んでしまいます。



2. 海底ってうごくの？

＃1 で海の底は凸凹していることを話しましたが、この海底はとってもゆっくりですが動いています。1 年間に数センチくらいのスピードです。じつは、地球の表面は十数枚の岩盤（プレート）で覆われていて、このプレートがそれぞれ別々の方向に動いています。大陸や海底はこれらのプレートの上にのっているため、同じように移動しているのです。いくつかのプレートの端っこは中央海嶺や海溝の場所と同じところにあります。これは、中央海嶺で新しいプレートが作られて、長い時間をかけて移動し、海溝などの「沈み込み帯」と呼ばれる場所で地球内部のマントルに沈んでしまうからです。このようなプレートと一緒に海底も誕生して移動した後、消滅するのです。この結果、少しずつですが大西洋やインド洋の面積は広くなっていて、逆に太平洋は狭くなっています。日本列島の近くでは、日本・マリアナ海溝でプレートが沈み込んでいます。このため、沈み込み帯よりも上流（東側）にあるハワイ諸島は年間 12cm の速さで日本に近づいているのです！

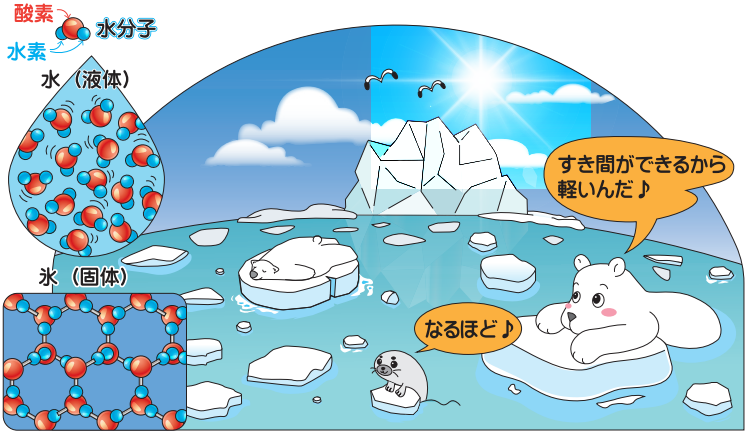


3.「しお」ってどこからきたの？

1リットルの海水の中には平均で35gの物質が溶けていて、このうちの大部分は正の電荷をもつナトリウム（ナトリウムイオン）と負の電荷をもつ塩素（塩化物イオン）です。この2つがくっつくと塩化ナトリウム（いわゆる「しお」）になるため、海水を舐めるとしょっぱく感じるのです。これは、だいたいお味噌汁の3倍くらいの濃さです。ではこのイオンはどこから来たのでしょうか？それは地球ができて間もない大昔（約46億年前）にさかのぼります。当時の地球はとっても熱く、大気は様々なガス（水蒸気、二酸化炭素、塩化水素など）でいっぱいでした。その後、地球がだんだん冷えてくると水蒸気が雨となって地表に降りそそいで海が誕生したのです。この時の雨は塩化水素がたくさん溶けていたため、塩化物イオンを含み、そして酸性の性質をもっていました。これが岩石の成分であるナトリウムを溶かして海に運んだのです。同じように、海水中の他のイオンも火山ガスと岩石の成分が起源です。ちなみに過去の数億年の間、これらのイオンの比率は一定だったと考えられています。太古の恐竜も「海水ってしょっぱいな〜」と思っていたかもしれませんね。

4. 氷が浮くのはなぜ？

水分子は、氷（固体）、水（液体）、水蒸気（気体）の３つの形で存在します。多くの物質の密度は固体、液体、気体の順に小さくなりますが、水はすこし違っています。固体である氷の方が液体の水よりも密度が小さいのです。このためにコップに入った水に対して氷は浮くし、北の海でみられる流氷も海面を漂っているのです。このような特殊な性質は、酸素原子１個と水素原子２個が結合した水分子が、近くにある水分子を引きつける強い力（＝水素結合）を持っているためです。液体のとき水分子は他の分子とくっついたり離れたりして不規則に動き回っている状態ですが、0℃まで温度を下げると分子の運動がピタッととまって、１つの水分子の周りに４つの水分子が水素結合によって正四面体を作るように整列し、これらがつながって六角形の結晶構造を作ります。これが氷の状態なのです。この氷の構造は内部の隙間が大きく、水に比べて密度が小さくなるため、水に浮くのです。もし水分子が水素結合をもたず、氷が水に浮かずに沈んでしまったら、海はどうなるでしょうか？流氷だけでなく北極の氷も海面からなくなります。そして海底にどんどん氷がたまってしまい、深層は氷漬けになってしまうでしょう。ホッキョクグマだけでなく、多くの海の生物にとって住みにくい環境だったかもしれません。



5. 燃える氷って何？

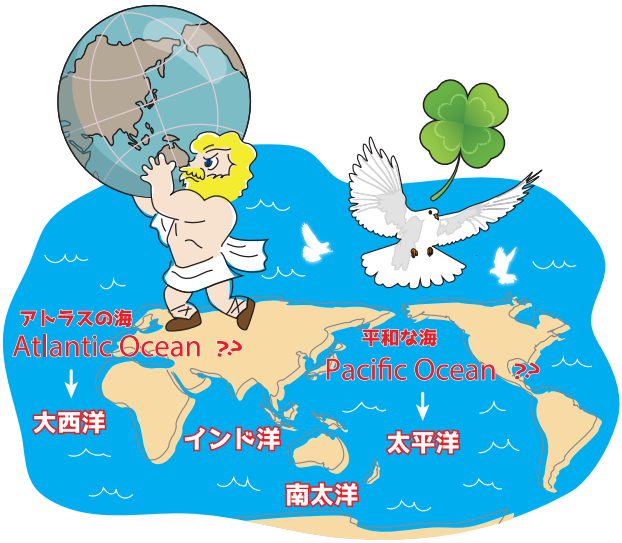
日本はエネルギー資源が少ないので、多くの石油や天然ガスを輸入に頼っています。しかし広大な排他的経済水域（EEZ）の海底には、新たなエネルギー資源と期待されている「メタンハイドレート」がたくさん存在します。メタンハイドレートは、天然ガスの主成分であるメタンが、水分子で作られたカゴ状構造の中に入った物質です。見た目は氷のようですが、火をつけると内部のメタンが燃焼するので、燃える氷と呼ばれます。このメタンハイドレートは、低温でかつ高圧の環境でしか存在することができません。陸上の存在場所は北極圏の永久凍土地帯だけですが、海では水深が 500 m より深い沿岸域の海底の下に比較的多く存在すると考えられています。日本では 2012 年から実際に愛知沖（渥美半島～志摩半島沖）でメタンハイドレート層から天然ガスを取り出す試験を行い、エネルギー資源として利用することを目指しています。一方で、メタンガスは二酸化炭素（CO_2）の 25 倍の温室効果があるため、採掘に関わるメタン漏出やメタンハイドレート層の崩壊などが、地球温暖化を加速するといった環境リスクも懸念されています。

6. 深海の温泉ってどんなところ？

深海の世界は真っ暗でとても圧力が高く、生物の数はあまり多くありません。ところが海の底には数百℃もある熱水が噴き出す「熱水噴出孔」という場所があり、そこにはいろいろな生物が密集して生息しています。まるで海底の温泉に集まってきているようです。このような熱水噴出孔周辺の生態系では、特殊な微生物が熱水の中の硫化水素やメタンを利用して有機物を作り、それを他の生きものが食べて生活しています。これだけでも珍しい場所といえますが、じつは深海の熱水噴出孔は、地球で生命がはじめて誕生した場所かもしれないと注目されているのです。太古の海にも同じような環境があり、熱水のエネルギーが生命の発生に必要な化学反応を促進させたと考えられています。また、噴出孔とその周辺には、熱水に含まれる金属成分が冷却・沈殿してできた鉱床が存在します。これらの鉱床はまだ開発されていませんが、将来的には貴重な鉱物資源の宝庫になると期待されています。このように深海の熱水噴出孔はいろいろな科学分野のホットスポットといえます。

7. 太平洋は「太」で大西洋は「大」なのはなぜ？

大航海時代にスペイン艦隊は西回り航路による初めての世界一周探検を成し遂げました。マゼランたちは 1519 年にスペインの港を出発し、大西洋を横切ってから、さらに南下し南米大陸に南端があること、つまり大西洋と太平洋が繋がっていることを発見しました。この南米大陸南端と南極大陸との間の海は南半球の大気の偏西風が強く吹くところですので、帆船で航行するのは大変な事でした。この荒れた海を通り過ぎて太平洋にたどり着くと今度はとても穏やかな平和な海でした。この海を、ラテン語で「平和な海」を意味する “El Mare Pacificum” と名付け、その英語名が Pacific Ocean となりました。これを日本語に訳すにあたり、天下太平（泰平）の意味と関連させて「太平洋」と名付けられました。大西洋の英語名は Atlantic Ocean ですが、これはギリシャ神話のアトラス神に関係しています。アトラス神はオリンポスの神々との戦に敗れ、世界（この場合は古代ギリシャ）の西の端で天空を双肩で支える罰を課せられました。このような事情から、アフリカ大陸のモロッコにある山脈はアトラスの山、さらに西の果てにある海はアトラスの海と名付けられ、この日本語名が「大西洋」となりました。海洋学では、太平洋、大西洋、インド洋、南大洋のような大陸の間にある大きな海のことを「大洋」と呼びます。

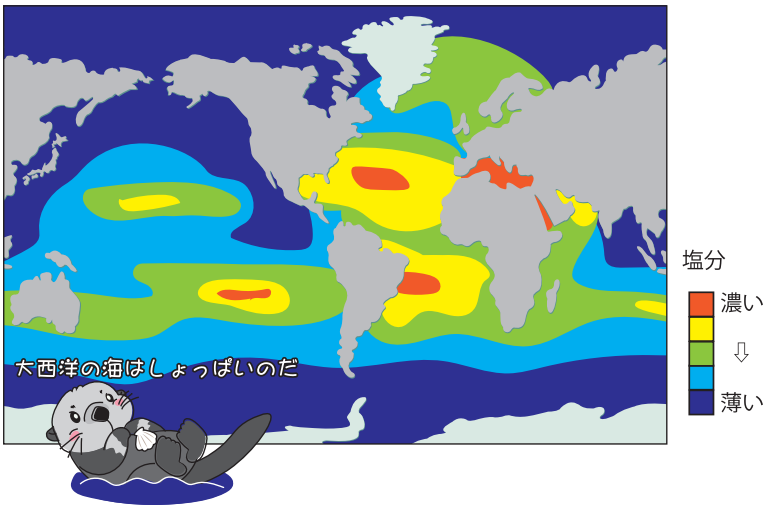


8. なぜ雨が降っても海はあふれないの？

日本全体で平均すると１年間に約 1700 mm の降水量があります。地球全体では陸と海を合わせて平均すると１年間に約 800mm の降水量があります。陸地に降った雨は河川となって海に流れ注ぎます。ブラジルのアマゾン川、アメリカのミシシッピー川、ロシアのオビ川、エジプトのナイル川、中国の長江、日本の利根川など、世界中の全ての河川の流量を足し合わせると、１秒間あたり約 100 万立方メートルの河川水が海洋に流れ込んでいます。これは毎秒、ナゴヤドーム一杯分の水が海に流れ込んでいるという勘定になります。これでは海があふれてしまう気がしますが、太陽光による海面の加熱によって降水量と同じくらいの蒸発量があります。これが大気中の水蒸気や雲となって私たちが生活するのに必要な恵みの雨や雪となるのです。これを地球上の水循環と呼びます。世界中の陸上の熱帯雨林や砂漠の分布を思い出してみるとわかるとおり、熱帯（赤道周辺の緯度帯）では降水が蒸発より多く、亜熱帯（緯度が 20 度から 30 度くらいの範囲）では蒸発が降水より多い傾向にあります。

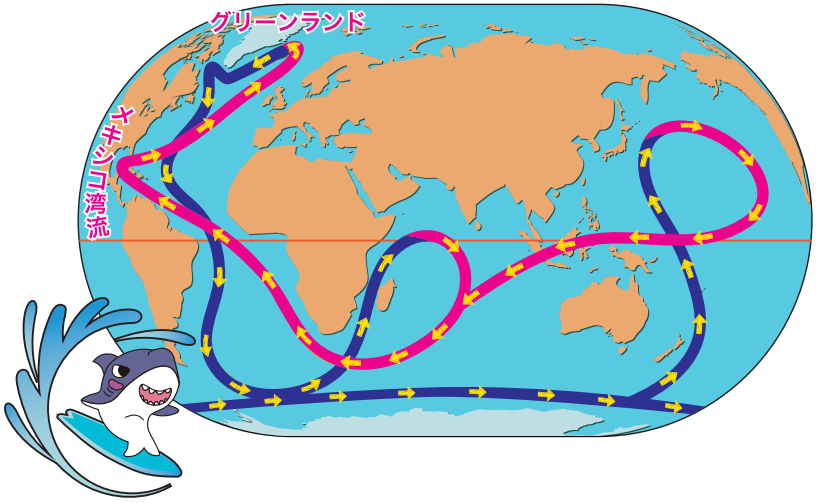
9. 大西洋と太平洋どっちの海がしょっぱいの？

太平洋やインド洋の海水には 1 リットルあたり約 35ｇの塩が含まれていますが、大西洋の海水には 1 リットルあたり約 37g、北極海の海水には約 30ｇの塩が含まれています。このような違いが生まれる理由について考えてみましょう。地球上の熱帯・亜熱帯では、太陽光によって海面近くの海水が温められて蒸発するので、残された海水の塩分（水に含まれる塩の量）が高くなります。蒸発量が同じでも海盆が小さく形が閉鎖的であるほど塩分が高くなりやすいです。これは塩田の仕組みとよく似ています。大西洋の形は、インド洋や太平洋に比べると狭く閉鎖的です。その結果として大西洋の塩分が高くなると考えられます。もう一つの原因は世界の降水量分布にあります。インド洋と太平洋の接続域は世界で最も雨が降るので、その周辺では海水の塩分が低くなります。またアジア上空の水蒸気は、大気の風（偏西風）に乗ってアメリカ大陸に向かって運ばれますが、アメリカ大陸に達するとロッキー山脈にさえぎられて大西洋まで到達することができません。このような理由によりインド洋と太平洋では塩分が低くなり、大西洋では塩分が高くなるといわれています。



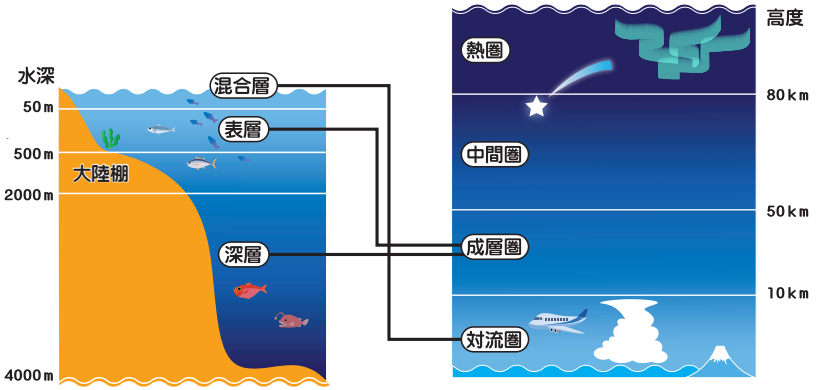
10. 海洋の深層循環ってなに？

海洋の深層（水深 1000 m から 4000 m にかけての範囲）では約 2000 年かけて世界の海を一周する非常にゆっくりとした循環があります。この深層循環は下図のようにグリーンランド沖を出発点として大西洋の赤道を越えて南大洋に向かうように流れた後に太平洋やインド洋に広がっていきます。なぜ深層循環が大西洋のグリーンランド沖から出発するのでしょうか？大西洋の海水には多くの塩が含まれます（#9 参照）。メキシコ湾流（アメリカのフロリダ沖から北に向かう強い海流）が塩辛くて温かい大西洋の水をグリーンランド沖まで運ぶと、その海水は大気からの冷却によって冷たくなります。この塩辛く冷たいというのは、海水の密度が高く（重く）なるために最適な条件です。興味深いことに、大気による冷却がさらに進むと海面では氷が作られますが、氷の中に塩は含まれません。そのぶん氷の下の海水は多くの塩を含むようになります。このようにグリーンランド沖では、海水の密度が高くなる（重くなる）ための条件が整っているのですが、太平洋やインド洋では海水があまり塩辛くないために深層への海水の沈み込みが起きないのです。



11.海洋にも対流圏や成層圏はあるの？

地球上の大気には地上から上空に向かって対流圏・成層圏・中間圏・熱圏が存在します。大気の対流圏では、積乱雲の姿にみられるように、地表や海面近くで温められて軽くなった空気塊が上空に移動して鉛直混合を促進します。大気の成層圏では上に温かい空気（＝軽い）、下に冷たい空気（＝重い）という風に重さと重力の関係に従って秩序よく分布しているので上下の混合はそれほどありません。海洋には海面から海底に向かって、混合層（海面から水深 50m くらいまで）・表層（水深 100m から 500mくらいの範囲）・深層（水深 1000m から 4000m くらいの範囲）が存在します。海洋の混合層は夜間や冬季における大気からの冷却によって、海面近くの水が冷やされて重くなり、沈むことによる海水の対流混合が生じる深さです。ですから海洋の混合層は大気の対流圏と似ています。海洋の表層と深層では上に温かい（＝軽い）水、下に冷たい（＝重い）水のように浮力に従って秩序よく分布しているので上下の混合はそれほどありません。ですから海洋の表層と深層は大気の成層圏に似ています。



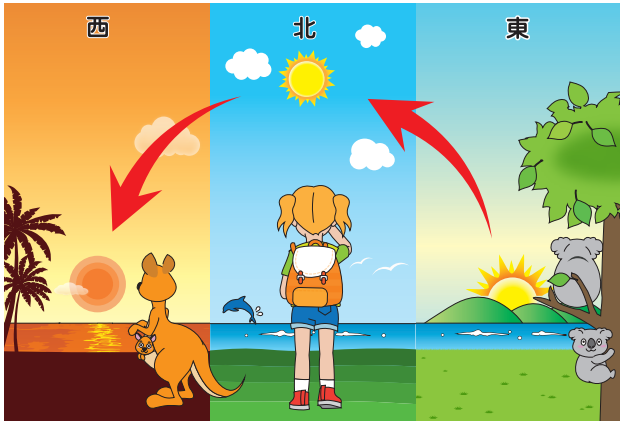
12. なぜ大洋の西側に強い海流があるの？（その 1）

世界中の海水の動きは表層循環と深層循環に分けて考えることができます。海洋の表層循環は大気の偏西風や貿易風によって駆動されています。表層循環のうち特に強くなっているところが海流と呼ばれて黒潮、メキシコ湾流、アグルハス海流、南極周回流のような名前がつけられています。北太平洋には黒潮、北大西洋にはメキシコ湾流、南インド洋にはアグルハス海流という強い流れがあり、いずれも大洋の西側に位置しています。これらの海流は赤道から離れるように流れていて、亜熱帯で太陽光によって温められた海水を亜寒帯に運びそこでは大気を温める役割を果たします。日本近海を流れる黒潮は、その流れ一帯の海水が青黒い色に見える事から名付けられました（#42 参照）。これは熱帯起源の海水が貧栄養であるためプランクトンの生息数が少なく透明度が高いことを意味します。黒潮は日本で名付けられたのでそのまま Kuroshio という英語名で呼ばれています。世界中の強い海流や大気の偏西風など地球上を巡る大きな流れは、地球の自転の影響を受けて北半球では圧力が高い方を「右」に見るように進みます。南半球では圧力が高い方を「左」に見るように進みます。

13. なぜ大洋の西側に強い海流があるの？（その 2）

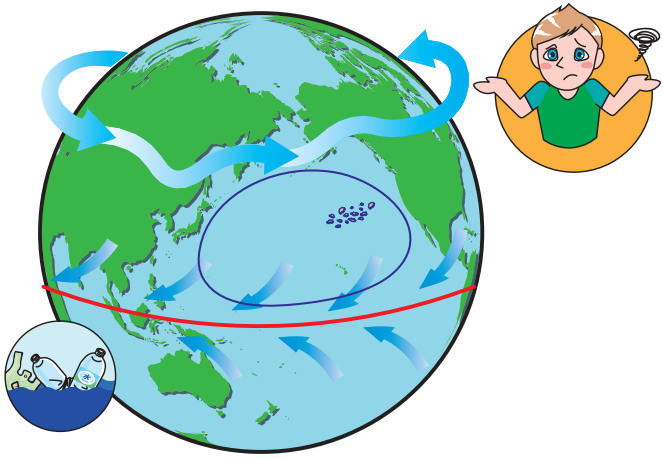
地球の自転の影響のかかり方が、北半球と南半球で違うのはなぜでしょうか？北半球のある場所（例えば日本）で 1 日中南向きに立っている人がいるとしましょう。太陽が東から昇り南の空を通り過ぎて西に沈むと、その人自身は「左回り」に回転したと解釈することができます。では今度は、南半球のある場所（例えばオーストラリア）で 1 日中北向きに立っている人がいるとしましょう。太陽が東から昇り北の空を通り過ぎて西に沈むと、その人自身は「右回り」に回転したと解釈することができます。このように北半球と南半球では地球の自転の感じ方が逆向きになります。地球上を巡る大気や海洋の流れの性質は、地球の自転の向きと重力が働く向きの関係によって決まります。地球の自転の感じ方が緯度毎にずれることによって、特殊な物理法則が働き、大気や海洋中の擾乱（じょうらん）は西向きに伝搬しようとするのです。

海面高度計を搭載した人工衛星が 1990 年代から本格的に運用されるようになり、世界全体の海面高度（10km から 100km スケールの凹凸）の時間変化を観測できるようになりました。この観測結果を見ると海洋の擾乱が、5 年から 20 年かけて西向きに伝搬していることが確認できます。このような海洋の表層循環の変動は大気の風によって駆動されながら 10 年以上かけて徐々に西側に寄せられます。その結果として強い海流が成立しています。



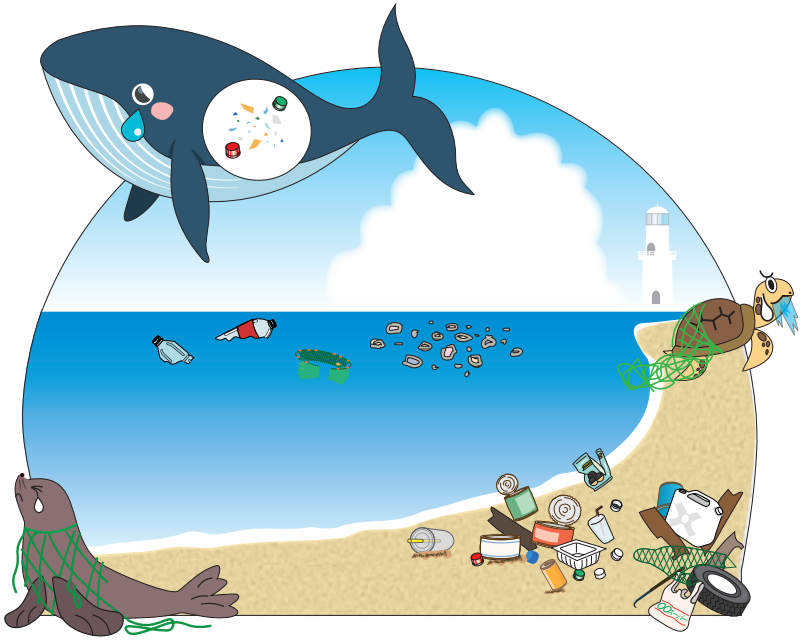
14. なぜ太平洋の真ん中にごみが集まるの？（その 1）

黒潮は九州・四国・紀伊半島・伊豆半島・房総半島の沖合を通り過ぎるとそのまま日本沿岸を離れてアメリカ・カナダに向かって流れ続けます。2011 年 3 月に東日本大震災が起きた後に日本沿岸から流出した漁具がアメリカのシアトル周辺の海岸にたどり着いたことがニュースで取り上げらました。これは大気の偏西風に押されて海水が流れ続けることで持続しています。ペットボトルなどの海洋ごみがこの海水の流れに乗り続けると 5 年あまりでアメリカ沿岸に辿り着くわけですが、それは太平洋全体に漂う海洋ゴミの一部でしかありません。ハワイの近海には海洋ごみが集まり続ける場所があります。なぜこのような場所ができるのでしょうか？大気の偏西風は海面近くの海水を東向きに押す作用がありますが、北半球では地球の自転の効果によって右に曲げる力が働き、中緯度域（北緯 30 から 40 度くらい）の海水は絶えず南にずれるように運ばれるのです。一方、低緯度域（北緯 10 から 20 度くらい）では大気の貿易風によって海水は西向きに押されています。ここでも北半球では地球の自転の効果によって右に曲げられる力が働き、海面近くの海水は北にずれるように運ばれます。



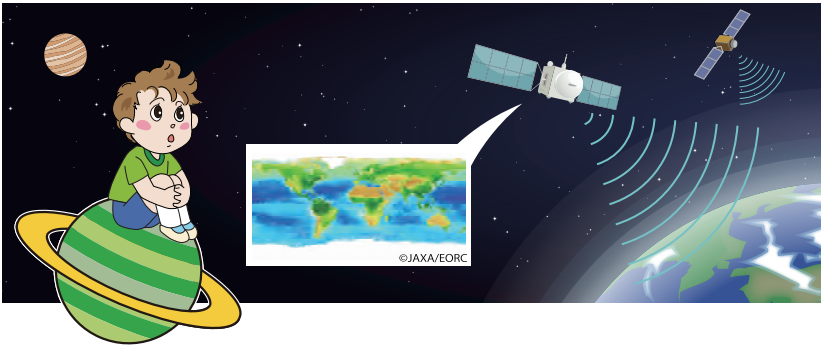
15. なぜ太平洋の真ん中にごみが集まるの？（その 2）

次に中緯度域と低緯度域の水温の違いに着目しましょう。中緯度域の海面近くの海水は冷たく（すなわち密度が大きく）、低緯度域の海面近くの海水は温かく（すなわち密度が小さく）なっています。この重さの違いから、中緯度域の海水は南に運ばれるにしたがって少しずつ低緯度域の海水の下に沈み込むのです。これをサブダクションといいます。このようにして中緯度出身の海水は水深 500 m あたりまで沈み込むことになるのですが、ペットボトルなどの海洋ゴミは浮力があるので海面に残り続けハワイ近海で行き場を失い集積され続けています。海面近くでは波に揉まれたプラスチックごみが砕けて大きさ数ミリ程度の粒子群を形成していることが、近年、国際的な問題になっています。



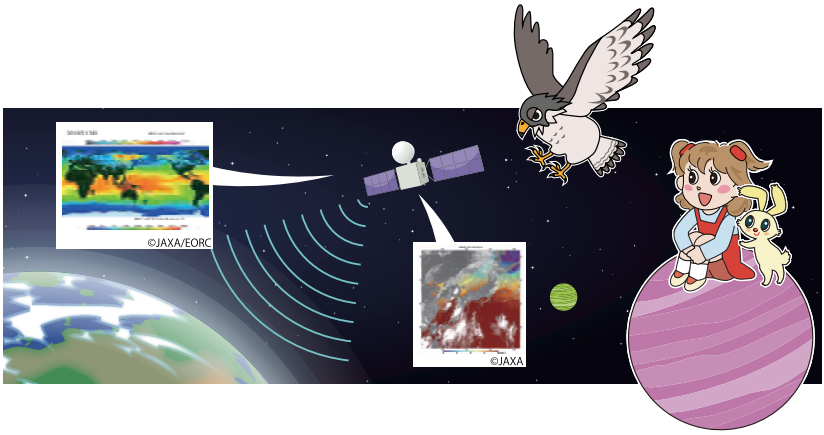
16. 人工衛星から海洋の何が測れるの？（その１）

潜水艦は海洋中の音波を使って位置を把握して航行しているのは有名な話ですね。なぜ音波を使っているのかというと、「光や電磁波」は海水中ですぐに減衰してしまい広大な深海の様子を探ることができないからです。人工衛星から海洋を観測する際には大きく分けて３つの方法があります。（１）海面から宇宙に向けて届く「光や電磁波」を受信する。（２）人工衛星から海面に向けて電磁波を照射してその反射信号を受信する。（３）地球の重力の分布を測定する。まず（１）の「光や電磁波」というのは、紫外線、可視光線、赤外線、マイクロ波のことです。マイクロ波はみなさんの家庭にある電子レンジや最近の携帯電話でも使われています。人工衛星に搭載された高精度のセンサーで海面から宇宙に向けて届く「光や電磁波」を受信することにより、海色や海面水温の分布を測定することができます。海色の分布を解析すると海洋中の植物プランクトンの量を推定することができます。広大な海のことを自転車のようにゆっくりとしか進むことができない船だけで、調べつくすことは不可能です。そのために、人工衛星で様々なことを調べる技術が進んでいますが、今のところ、海の生物や化学的なことを調べることのできる人工衛星はほとんどなく、海の色は貴重な情報となっています。海面水温は赤外線とマイクロ波のどちらを使っても測定することができますが、マイクロ波は大気中の雲に邪魔をされることなく受信できるという利点があります。



17. 人工衛星から海洋の何が測れるの？（その２）

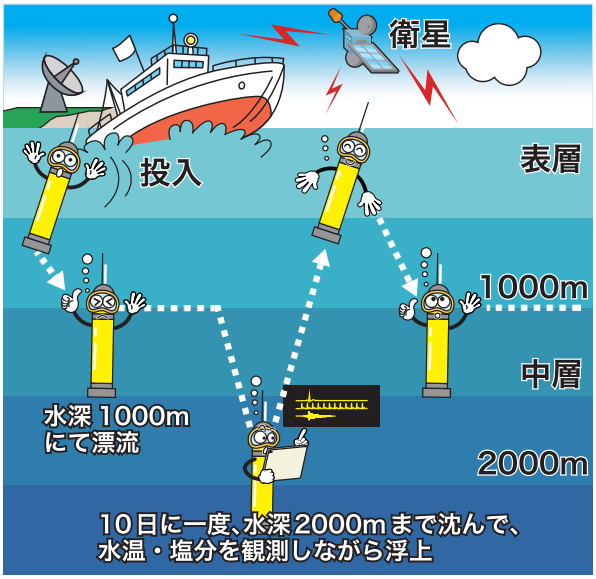
つぎに（２）の説明ですが、人工衛星から海面に向けて電磁波（マイクロ波）を照射するとその反射信号を受信して解析することにより、海面高度（10km から 100km スケールの凹凸）や海面散乱（10cm から 100cm スケールの凹凸）の分布を測定することができます。海面高度を詳しく解析すると海洋表層の流れの構造がわかります。例えば九州・四国・紀伊半島・伊豆半島・房総半島の沖合を流れる黒潮は 100km くらいの幅をもちますが、黒潮の進行方向の右側の海面高度の方が左側の海面高度より 1m くらい高くなっています。人工衛星から海面高度の分布を計測し、海流や海洋中の大きな渦の変動を監視する技術は 1990 年代中頃から実用化されています。一方、海面散乱を詳しく解析すると海上の風の強さを推定することができます。海上風や海面水温の観測結果は日々の天気予報に役立てられています。最後に（３）の説明となりますが、地球の重力の分布を測定することのできる人工衛星が 2002 年に打ち上げられ、海底から海面まで積算した海水の密度の変動を推定することができるようになってきました。（１）と（２）の技術では海面近くの情報しか測定することができませんでしたが、（３）の技術では海洋内部の情報が得られるようになりました。



18. 中層フロートってなに？

地球上の海洋の全熱容量は大気の全熱容量の約 1000 倍あります。例えば地球上の大気を平均 1℃温めるための熱を海洋に与えても、海水は平均 1000 分の 1℃しか温まりません。地球温暖化の問題だけでなく、海洋中の物質循環を理解するためには、海洋の内部構造（水温や塩分の分布）を測定する必要があります。これらの情報を得るために、観測船からワイヤーで測器をおろしたり、係留ブイ（海面の浮体と海底のアンカーをワイヤーでつないだもの）を使ったりして、水温や塩分を測定します。

世界の海をくまなく観測するのは大変なので、1990 年代から中層フロートと呼ばれる自動漂流型の測器が使われるようになりました。中層フロートは浮力調整機能がついており、水深 1000m を漂うように設定されています。そして 10 日に一回だけ海面に昇ってきて、人工衛星に自分の位置と水温と塩分の測定結果を報告します。現在では約 4000 台の中層フロートが世界各地の海で活動しています。この観測結果により、地球温暖化による水温の上昇がどのくらいの深さまで分布しているのか？冬季の大気からの冷却や強風によって発達した海洋混合層がどのくらい深くなっているのか？黒潮やメキシコ湾流のような強い流れがどのくらいの深さまで続いているのか？ が常時わかるようになってきました。



19.魚の漁獲量から気候変動がわかる？

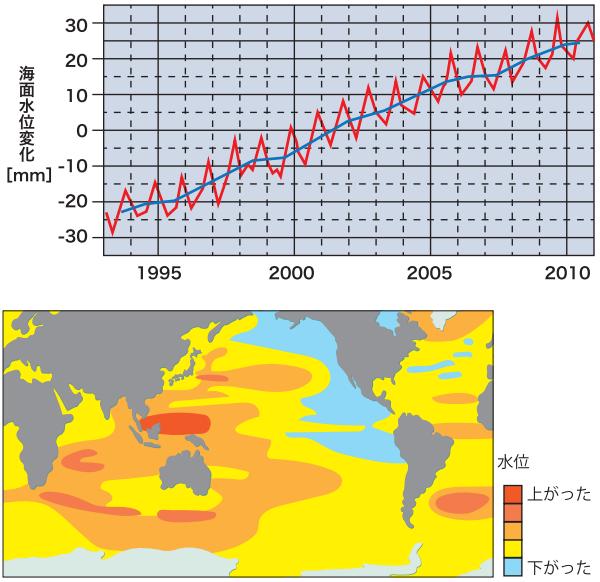
アメリカの太平洋岸ではアラスカ周辺とシアトル周辺という２つの海域でサケを捕ることができます。この漁獲量の数十年分の時系列を比較してみると、興味深いことに、アラスカ沖でサケがよく捕れる時にはシアトル沖で少なく、シアトル沖でサケがよく捕れる時にはアラスカ沖では少ないというシーソー構造になっています。サケの漁獲量だけでなく、海面水温の数十年分の時系列を解析してみると、アラスカ沖が温かい時にはシアトルの沖で冷たく、シアトル沖で冷たい時にはアラスカ沖で温かくなっていることがわかりました。これは北太平洋十年振動と呼ばれています。このようにサケの漁獲という私たちに身近な統計量を詳しく解析することによって、大気海洋結合系に特有の振動現象が着目されるようになりました。これによく似た例として、南アメリカ大陸の太平洋沿岸であるペルー沖のカタクチイワシの漁獲量の変動から熱帯太平洋におけるエルニーニョ／ラニーニャ現象が発見されました。

20. 海洋にも渦があるの？

地球上を巡る大気と海洋の流れはとても大きな渦を作り出します。大気の渦は日本周辺の天気図でよく目にするような高気圧や低気圧のことですが、その直径は 500km くらいです。海洋の渦は黒潮などの海流が蛇行することによって作られますが、その直径は 50km くらいです。大気と海洋では渦の大きさが 10 倍も違うのは不思議ですね。日本周辺の緯度で考えた場合、地球の回転の効果は大気も海洋も同じですから、密度の鉛直構造が大気と海洋で少しだけ異なることによって、渦の大きさの違いが生じています。大気では 1km くらいの高度差があると上側の空気と下側の空気では 20% くらいの密度差があります。海洋では 1km の深度差があると上側の海水と下側の海水では 0.2% くらいの密度差があります。つまり大気の方が海洋より 100 倍強く成層しているのです。成層というのは密度の高い流体の上に密度の低い流体が積み重なっている状態のことです。渦の大きさは密度差の平方根に比例する物理法則があるので、その結果、海洋の渦は大気の渦に比べて直径が 10 分の 1 になっています。人工衛星から海面水温や海面高度を測定すると、水温が高く海面が盛り上がっている海域は高気圧性（北半球では時計まわり）の渦、水温が低く海面が凹んでいる海域は低気圧性（北半球では反時計回り）の渦になっています。

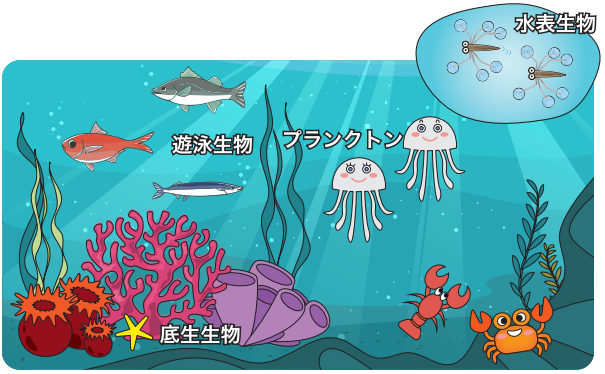
21. なぜ地球温暖化による海面水位の上昇率が海域によって違うの？

約２万年前の最終氷河期には南極や北極域がとても厚い氷で覆われていて、地球全体の海面が現在より 120m くらい低かったといわれています。現在では、人類活動による温室効果ガス（CO_2 など）排出によって地球温暖化がゆっくりと進行しており、北極海周辺（ロシアやカナダ）の永久凍土の融解や、南極の氷河の融解によって、海面の高さは全球で平均すると現状では１年あたり２mm くらいのスピードで上昇していることがわかっています。これによってポリネシアの環礁国（ツバルなど）は国土が水没の危機にさらされているといわれています。観測技術や数値シミュレーション技術の発達により、20 世紀後半における海面水位の上昇率の分布（下図）がわかってきました。これを見るとフィリピン近海では海面水位の上昇率が１年あたり６mm に達しています。太平洋、大西洋、インド洋における分布を比較してみると、いずれも大洋の西側で上昇率が高いことがわかります。これは黒潮などの海流が強くなったことを意味します。地球温暖化が進行すると、大気中の風の分布や水蒸気の移動の分布パターンも変化するので、海洋の応答にもこのような海域ごとの違いがでてきます。



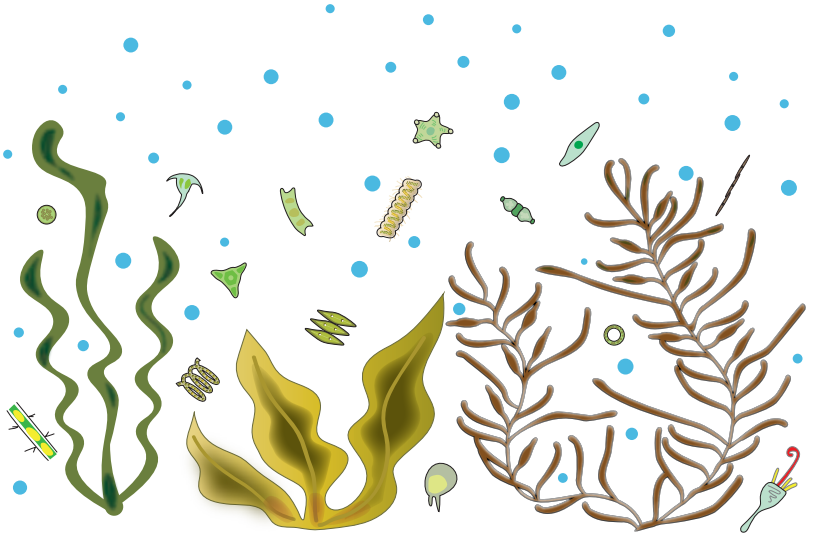
22.海にはどんな生物がいるの？

海にはどのような生物が生息しているのでしょう？クジラやイルカは哺乳類です。マグロやサンマ、イワシなどは魚類です。これらは人間と同じ脊椎動物です。これらの動物は泳ぎ回っていますので、遊泳生物といわれます。同じ遊泳生物にはイカもいますが、こちらはアサリやサザエなど貝の仲間の軟体動物です。普通の貝は泳ぎ回っているというよりも、海底の砂に潜ったり、岩にくっついています。このような仲間は底生生物（ていせいせいぶつ）といわれます。底生生物の中には、イソギンチャクやサンゴのような腔腸動物（こうちょうどうぶつ）、カニやイセエビなど節足動物、ミミズの仲間で釣りの餌にするゴカイなど環形動物、ウニやヒトデなど棘皮動物（きょくひどうぶつ）もいます。では、同じ腔腸動物ですが水族館などで人気のクラゲはどうでしょう。彼らも泳いではいますが、水中でフワフワと漂っています。このような水中に浮かんで生きている生物は、浮遊生物 (プランクトン) といい、その中にはバクテリアの仲間や、植物性・動物性のプランクトンなど、たくさんの種類がいます（#23、24 参照）。浮いているといえば、水の表面にいる水表生物という特別な生物もいます。水表生物には、ある種のクラゲや貝類が含まれていて、池などにいるアメンボの仲間でウミアメンボという昆虫もいます。昆虫も節足動物ですが、海にたくさんいる甲殻類とは違い、海にはウミアメンボしかいないといわれています。このように、浮遊生物、プランクトン、底生生物、水表生物は、水の中の生物の生き方を表す言葉で、生物学的な分類群を表す言葉ではありません。海の生き物は本当に多様で、その生き方も多様です。



23. 海の植物とは？

海の中にも光合成をして、動物の餌となる植物がいます。浅い海の底には、コンブやワカメのような海藻類や、海草と呼ばれる陸上の植物に近い仲間がいます。しかし、海の平均の深さは 3800m ですので、ほとんどの海底には光は届きません。このような海で光合成を担うのは、植物プランクトンというプランクトンです。この植物プランクトンと陸上植物とは、生物学的な分類では大きく異なっています。植物プランクトンのほとんどは単細胞生物で、原生生物と呼ばれる生物です。その中にも色々な種類がいますが、特に大切なグループとしては、珪藻類（けいそうるい）、渦鞭毛藻類（うずべんもうそうるい）など、岸の近くで多く、比較的大型（といってもほとんどは 1mm 以下）の仲間がいます。これらは顕微鏡でなら比較的簡単に見ることができます。また原生生物ではなく、核を持たない原核生物と呼ばれる生物である細菌類（バクテリア）の中にも、植物プランクトンがいます。海の砂漠（#34 参照）と呼ばれる栄養分の少ない外洋で多い、藍藻類（らんそうるい）というグループは、原核生物で、太古の昔からいる生物として知られています。



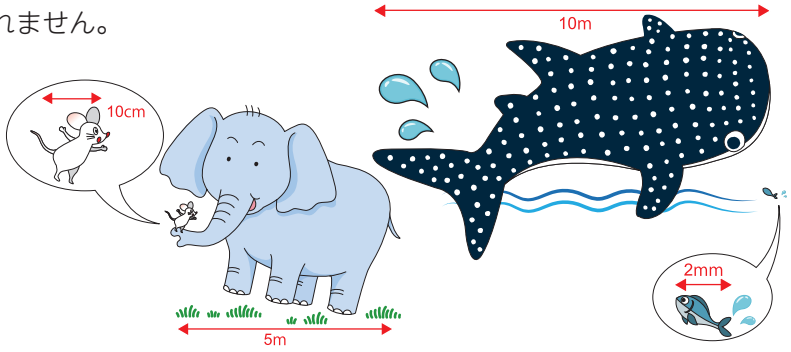
24.動物プランクトンとは？

動物プランクトンは、主に他の生物やその死骸等を食べてエネルギー源としているグループです。多細胞性のいわゆる動物といわれている生物では、クラゲのように比較的大きな生物もいますが、多いのはケンミジンコ（カイアシ類）と呼ばれる小さなエビ・カニの仲間です。また、遊泳生物や底生生物（ていせいせいぶつ）の多くも子供の時は、プランクトンである種類がほとんどです。一方、植物プランクトンと同じように単細胞性の原生生物である動物プランクトンもたくさんいます。実は原生生物である植物プランクトンと動物プランクトンは、その生物学的な違いがあまりはっきりしません。実際に生物学的に同じ分類群の中でも、植物性と動物性のいずれの種類もいる場合もあります。例えば渦鞭毛藻類（うずべんもうそうるい）あるいは渦鞭毛虫類（うずべんもうちゅうるい）と呼ばれるものは、光合成をする種類もいますし、他の生物を食べる種類もいます。それればかりか、中には同じ種でも光合成をする時としない時がある種もいますし、場合によってはどちらもできる種もいます。また、動物プランクトンである原生生物の中には、別の種類の単細胞性植物を細胞内に共生させて光合成をしている種類もいます。人間も体内に藻類を飼って食事をできるようになると便利かもしれません。

25. 海の生物の大きさはどれくらい？

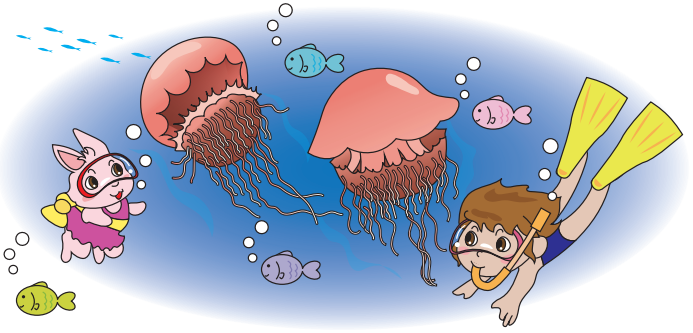
小さい生物、大きい生物というと、ネズミとゾウが思い浮かびます。ネズミ 10cm、ゾウが 5m くらいで、長さでだいたい 50 倍くらいの違いです。では、海の生物の大きさはどうでしょうか？海にいる同じ哺乳類の魚類では、2mm くらいの小さな魚から 10m以上になる大きなジンベイザメまで、5000 倍もの幅があります。クラゲでも、小型のクラゲは 2mm くらいですが、大型のエチゼンクラゲは 2m で 1000 倍です。単細胞性の原生生物といわれる植物や動物でも、2μm(1μm=1/1000mm) くらいから 2mm くらいでやはり 1000 倍くらいの幅があります。小型のバクテリアは 0.2μm くらいですから、20m のシロナガスクジラまで比べると、実に 10,000,000 倍もの幅になります。1m の人間の 1000 倍だと、1km ですし、1/1000 倍だと 1mm ですから、その大きさの幅の広さがわかります。

海の生物の大きさの面白いところは、他にもあります。海では基本的に大きい生物が小さな生物を食べるといわれています。植物プランクトンは小型で、それを少し大きい動物プランクトンが食べ、動物プランクトンを小型の魚が食べ、さらに大型の魚がそれを食べるといった具合です。陸上では小さな昆虫が大きな植物を食べたり、小型の捕食者が大型の草食動物を食べたりします。このような違いがどうして起きているのかは、はっきりとはわかっていません。海では食べ物を探すのに、大型の生物の方が動きやすく得なのかもしれません。



26.エチゼンクラゲの謎

2002 年から 2009 年にかけて、日本海で人間よりも大きなエチゼンクラゲが大発生しました。漁具が壊れたり、漁船が沈んでしまったこともあったようです。幸いなことに最近は、大発生はしていません。過去には 1920 年と 1958 年に大発生した報告があるだけで、なぜ大発生したのか、その後なぜ大発生しないのか、全くわかっていません。ほとんど研究がされていなかったエチゼンクラゲですが、この大発生を機に研究が始まり、卵から親まで育てることもできるようになりました。この日本海のエチゼンクラゲは、東シナ海の沿岸域で生まれたといわれています。生まれたといっても、卵からではなく、ポリプと呼ばれるイソギンチャクの様な幼生から切り離されて、それがどんどん大きくなるということもわかっています。このポリプは中国沿岸にいるといわれていますが、実際にはまだ見つかっていません。大発生の理由としては、温暖化、海の栄養分が増えて餌が増えた、乱獲によって魚が減って競争相手がいなくなった、海底のゴミなど幼生が付着しやすい場所が増えたなど、人間の影響が指摘されています。しかし、なぜ大発生したのかは、説明ができていません。最近、実はエチゼンクラゲだけではなく、他のクラゲやクラゲに似たゼラチン質の体を持つ動物の量が増加していることが世界中で指摘されています。このような生物は、人間よりもずっと昔から地球上に住んでいて、幾多の困難を耐えてきたつわものですので、一筋縄ではいきません。



27.海にもホタルがいるの？

光る生物といえばホタルを見たことがあると思います。ホタルは結婚相手を見つけるために光るといわれています。海にも光る生物がたくさんいます。その名も海ボタルは、ホタルのような昆虫に近い節足動物の仲間で、普段海底に住んでいる５mm くらいの生物です。ホタルイカも有名ですが、もっと大きなイカの仲間や、魚の中にも光るものがたくさんいて、最近は光るサメも見つかっています。プランクトンにも、光る生物がたくさんいます。単細胞生物の動物プランクトンの夜光虫は、日本の光るプランクトンの代表で、海岸の波うち際の水が光っているのは夜光虫による場合がほとんどです。夜光虫の仲間は、毒を持つ種類も多く、ある地域では海岸が光る時にはプランクトンを食べる貝類を捕らないようにするそうです。

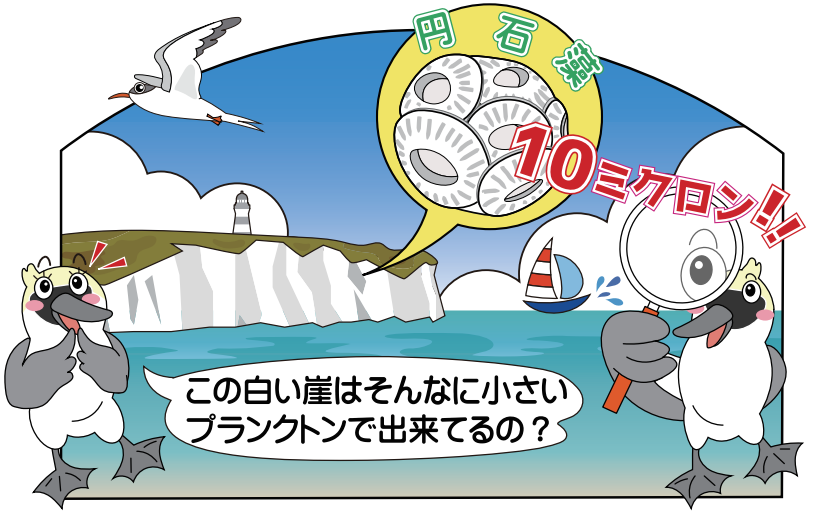
でもどうして光る海の生物が多いのでしょうか？結婚相手を見つけるために光っている生物もいるかもしれませんが、他の生物に食べられないようにする種類もいます。真っ暗な中で生きていて、捕まりそうになった時に光で目くらましするというのです。面白いのは、お腹の部分だけで光を出す生物です。昼間自分よりも深いところから魚などに狙われると、周りが明るいので影になって見つかりやすくなってしまいます。その時にお腹から光を出して、影に見えないようにするというのです。逆に背中側は暗い色にして、上からも見えにくくしている生物もいます。みんないろいろ工夫して生きているのです。

28. 海の中の二酸化炭素も増えているの？

地球温暖化は、18 世紀後半にはじまった産業革命以降、私たち人類が化石燃料をたくさん消費して温室効果ガスである二酸化炭素 (CO_2) を排出し、大気の CO_2 濃度を急上昇させたことが主な原因だと考えられています。この CO_2 は水に溶けやすく、海水中では 3 つの形 (溶存炭酸ガス、重炭酸イオン、炭酸イオン) に分かれて存在しています。そして、表層海水の中のこれら 3 つの合計量もまた近年増加しているのです。これは、私たちが排出した化石燃料起源の CO_2 量の約 1/4 を海が吸収したからです。もし海にこの働きがなかった場合、大気 CO_2 濃度は今よりも高くなっていたはずです。ただ、多くの CO_2 が海に溶けた結果、海水中の水素イオンと溶存炭酸ガス・重炭酸イオンが増える一方で、炭酸イオンが減ってしまう現象、すなわち「海洋酸性化」が近年観測されるようになりました。この酸性化が進むと、多くの海洋生物に悪影響があると心配されています (#49 参照)。

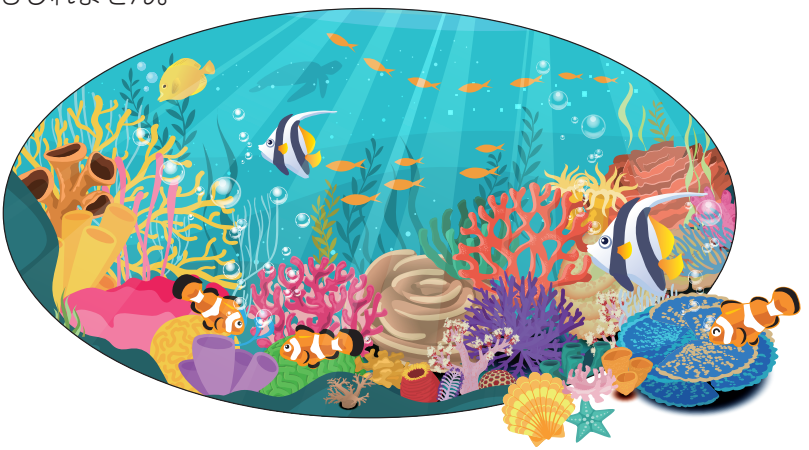
29. 石灰化生物ってなに？

海には、溶けている CO_2 とカルシウムを使って、炭酸カルシウムの骨格や殻を作る生き物が数多くいます。これらは「石灰化生物」と呼ばれていて、貝やエビ・カニ、サンゴもその仲間です。また円石藻や有孔虫（ゆうこうちゅう）などの小さなプランクトンも硬い殻におおわれています。このような構造は、軟らかい体を支えたり、敵から身を護ったりするのに役立ちます。光合成を行う円石藻の殻には光を集める機能もあります。この殻や骨格の一部は、生物自体が死んでしまった後も分解されずに海底にたまり、長い年月をかけて石灰岩になります。陸上にある石灰岩の地層の多くも、もともとは大昔の海の生物の殻だったのです。とくに有名なのは、イギリスのドーバー海峡に面した「白い崖」で、これも肉眼では見えない小さなプランクトンの化石がぎゅっと集まってできています。このような海の生物による石灰化は数十億年前から行われていて、温室効果のある CO_2 を岩石に閉じ込めることで、今よりもずっと高かった大気 CO_2 濃度を下げてきたのです。小さな石灰化生物が、過去の地球の気温を左右したほど大きな影響力をもっているのです。



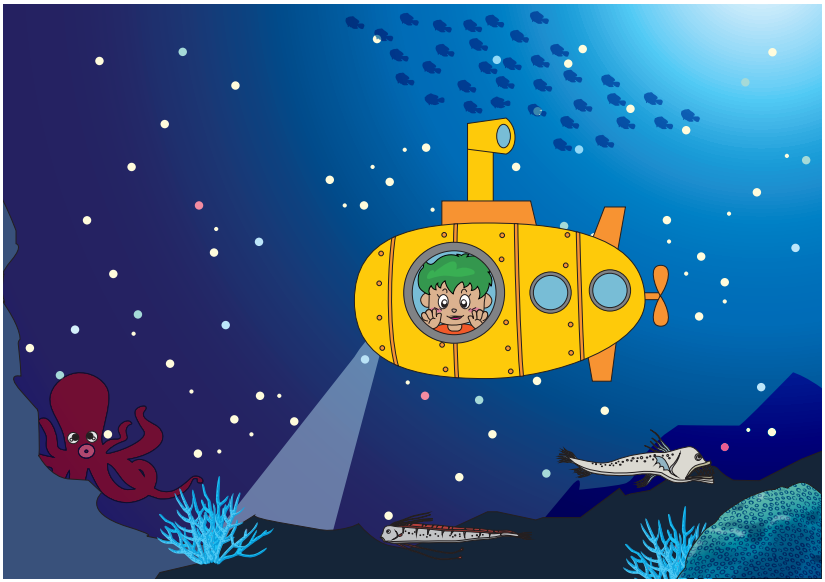
30.サンゴが白くなる？

サンゴ礁には多くの種類の生物がたくさん集まっているため、海のオアシスと呼ばれます。この地形はサンゴの石灰質の骨格が積み重なってできていて、この骨格をおおうように数百から数万の造礁サンゴの個体が集団生活しています。たくさんの個体がくっついて木の枝のような形を作る種類がいるため、植物だと間違われやすいですが、サンゴは動物 (イソギンチャクやクラゲの仲間) でプランクトンを捕まえて食べます。その一方で、体の中にはたくさんの「褐虫藻（かっちゅうそう）」という植物プランクトンが活発に光合成をしていて、褐虫藻とサンゴはお互いに必要な栄養分をあたえ合いながら共生しています。多くの造礁サンゴの色は茶色っぽく見えますが、サンゴ自体は透明で体内の褐虫藻の色が透けて見えているのです。この大事な共生パートナーがいなくなってしまうと、サンゴの白い骨格が透けて白く見えます。これを白化現象と呼び、この状態が続くとサンゴは死んでしまうのです。サンゴは一般に温かい場所に生息しますが、水温が高すぎると褐虫藻がサンゴの体内からいなくなってしまいます。そのため、近年、温暖化の影響でサンゴの白化が深刻化しています。また、海洋酸性化によっても、造礁サンゴの骨格形成が困難になることが予想されていて、海のオアシスがなくなってしまうかもしれません。



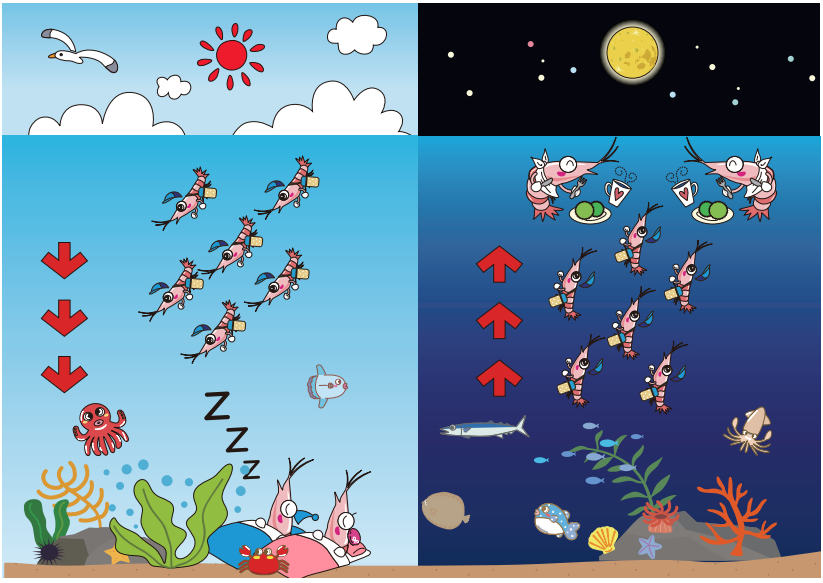
31. 海に雪が降る？

海の中は、水深が深くなると太陽の光が届かなくなり、真っ暗になります。そんな場所に潜水艇で行ってライトをつけると、数センチメートルの白い塊がゆらゆらと沈んでいくのが見えます。その様子がまるで雪のようなので、研究者はこれを「マリンスノー」(海に降る雪) と呼んでいます。本当の雪は氷の結晶ですが、マリンスノーは動物プランクトンなどの海の生物の排泄物や死骸、陸から飛んできた土の粒などいろいろな小さな粒子がくっついて出来ています。その組成は場所によってバラバラですが、石灰質やガラス質の生物殻 (#29 参照) や鉱物などをたくさん含むとよく沈むことが知られています。このマリンスノーに含まれる有機物は他の生物のエサとして利用され、特に深海生物にとって貴重な栄養源になっています。また、この有機物はもともと表層水に溶け込んだ CO_2 を材料にして植物プランクトンの光合成によって作られたものです。このため、マリンスノーは炭素を深海に運んで (#33 参照)、海が大気の CO_2 を吸収することを促す働きがあります。



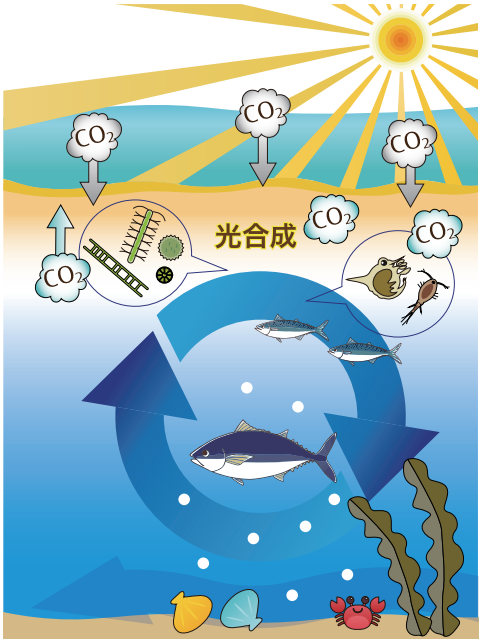
32. 動物プランクトンの大移動とは？

比較的大きなオキアミ類やカイアシ類などの動物プランクトンは、夜は浅いところ (水深 50m 以浅) でエサを食べて、昼間は光の届かない深い場所 (数百 m) ですごします。これは、暗い場所で捕食者から隠れる、有害な紫外線を浴びないようにするためだと考えられています。このために、毎日、早朝と夕方の 2 回、群れを作って鉛直移動します。種類によっては、片道で数百メートルの距離です。大きさ 1mm のプランクトンだと体長の数十万倍に相当します。人間サイズで計算すると 150km 以上の長距離走になります。これを毎日するのはすごく骨が折れそうですが、彼らの体は海水との密度差が小さいため、この移動にあまりエネルギーを必要としないようです。このように表層でエサを食べてから深い場所に移動することは、結果的に有機炭素を浅い場所から深い場所へ運びます。また彼らの排泄物はマリンスノー (#31 参照) としても、深層に運ばれます。このように、動物プランクトンは表層から中深層への炭素の運び屋としての役割を持っています。



33. 海洋の中で炭素はどう巡っているの？

地球温暖化の原因として大気 CO_2 の増加が問題視されていますが、実は海の中には大気中の 50 倍の CO_2 が溶けています。そして大気と接する海表面で常に CO_2 を交換（吸ったり吐いたり）しているのです。合計すると、放出量よりも吸収量の方が大きいため、海全体としては CO_2 を吸収して、大気中の CO_2 濃度を下げる働きがあります。もともと CO_2 は冷たい海水によく溶ける性質があるため、大気によって冷やされて重たくなった表層水はたくさんの CO_2 を溶解させて、中深層に沈み込みます。このような物理プロセスによって大気の CO_2 を海の内部に送り込むメカニズムのことを「溶解ポンプ」と呼びます。高緯度域における深層水の形成（#10 参照）などに伴って、CO_2 が深い場所に運ばれているのです。その一方で、生物プロセスによって CO_2 を運ぶ「生物ポンプ」もあります。これはまず植物プランクトンが光合成を行い、表層水に溶け込んだ CO_2 からデンプンなどの有機物を作ります。そして、この有機物がマリンスノーの沈降（#31 参照）や生物の鉛直移動（#32 参照）、あるいは海水の鉛直混合や拡散などによって深い場所に運ばれることで、CO_2 由来の炭素が海の内部に押し込まれるのです。これまで人間活動によって排出された CO_2 の一部も海に吸収されてきましたが（#28 参照）、今後もそれが続くかどうかは、溶解ポンプや生物ポンプの働きに大きく左右されます。

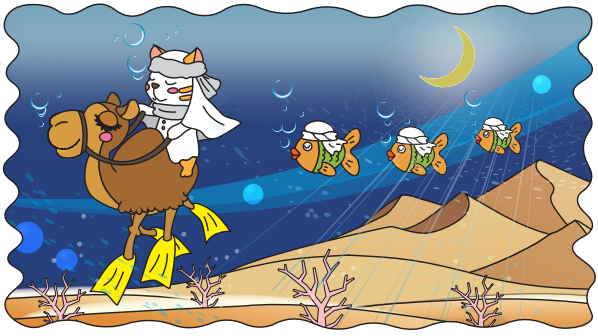


34. 海に砂漠がある？

砂漠というと、水がなくて生物のほとんどいない、荒れ地を思い浮かべると思います。実は海の 90％におよぶとても広い場所は、研究者の中では海の砂漠と呼ばれていました。それは外洋と呼ばれる、岸から遠く離れた場所で、北太平洋、南太平洋、北大西洋、南大西洋、インド洋といった、大洋と呼ばれる海のそれぞれの真ん中のあたりです。もちろん陸の砂漠とは違って、海の砂漠は水で満たされています。しかし、ここは魚をはじめとする生物が少ないのです。これは魚が食べる餌のもととなる植物プランクトンが少ないからだと考えられています。

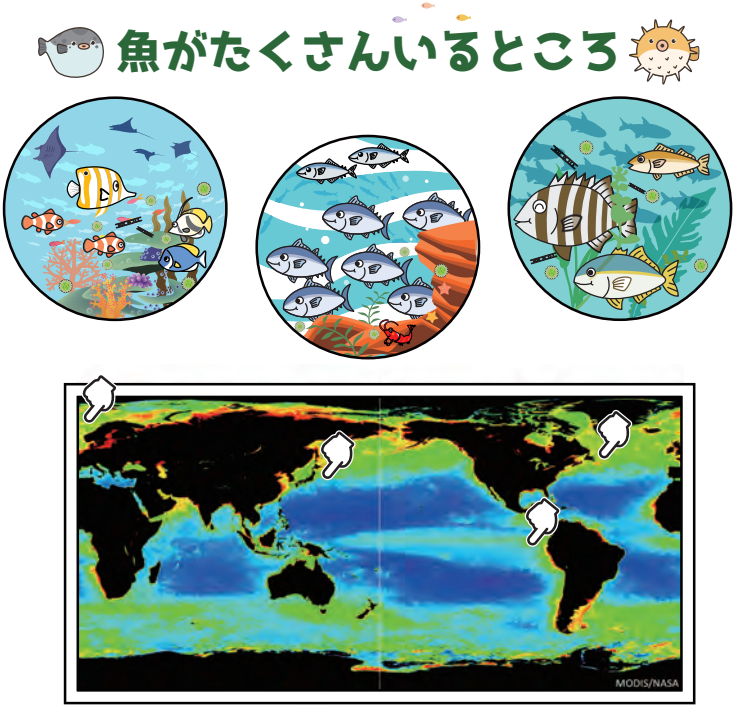
ではなぜ植物プランクトンが少ないのでしょうか？大洋の真ん中では、表面近くに温かい水があり、植物プランクトンが増えるために必要な栄養分が少ないのです。栄養分とは陸上の畑でまくような、窒素やリンのことです。これらの物質は炭素といっしょに生物ポンプ（#33 参照）によって、表面から中深層に運ばれるために、表面付近では少なくなっています。表面に栄養分が乏しい海では、植物プランクトンが少なく、魚も少ない、だから砂漠といわれてきたのです。

しかし、1970 年くらいから、少し考え方がかわりました。このような栄養分の少ない海にも、しっかりと生きている植物プランクトンがたくさんいたのです。藍藻類（らんそうるい）の仲間のとても小さな植物プランクトンで、普通の顕微鏡を使っても見ることができなかったので、気が付かなかったのです。この植物プランクトンの数は膨大で、1 ミリリットルの水の中に 10 万匹かそれ以上いるといわれています。でも 1 匹 1 匹が小さいので、全部まとめても量としてはまだまだ少ないといえます。



35. 魚はどこで捕れる？（その１）

大洋の真ん中では魚をはじめとする生物が少なくなっています(#34 参照)。それでは魚はどのようなところで捕れるのでしょうか。実は、魚は大洋の端のところ、つまり陸に近い海に多いのです。海の真ん中は植物プランクトンが増えるための栄養分が少ないのに対して、陸に近いところでは栄養分が多くなっています。これは、陸から川などで栄養分を含んだ水が入ってくるのが一つの原因です。また、陸からの栄養分は川だけではなく、大気を通じても入ってくるといわれています。黄砂など、大陸の土が舞い上がって風で運ばれることがあります。海に入るとその一部が溶け出して、植物プランクトンにとって栄養分になるのです。特に、鉄も植物プランクトンの栄養として大切で（#37 参照)、岸から遠い所の海水には少なく、大気経由の供給が重要だと考えられています。

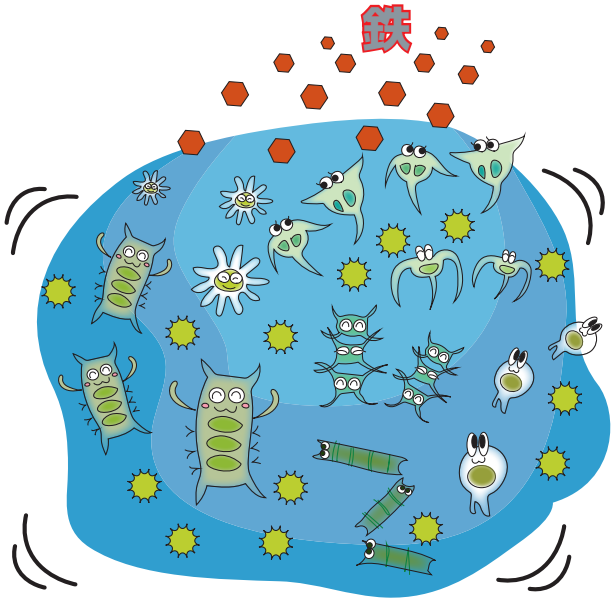


36. 魚はどこで捕れる？（その 2）

実は陸からだけでなく、海の深い場所にもたくさん栄養分があります。深い場所といっても、深海と呼ばれるほど深いところだけではありません。植物プランクトンは光を使って光合成をして生きていますが、水深 100 m にもなると、光合成をするには光が弱くなりすぎてしまいます。それよりも深い水には、栄養分がたくさん含まれています。この水が光のあたる表面に上がってくると、その中の栄養分を使って植物プランクトンが増えます。例えば、強い流れが島や海山などにぶつかることで深い所の水が上がってくる現象（局地性湧昇（ゆうしょう））があります。また、北半球では岸を左に見る方向（南半球では右に見る方向）に向かって風が吹くと、地球の自転の影響で、深い所の水が上がってくる現象（沿岸湧昇）が起こります。この現象は、特にカリフォルニアやペルーの沖で有名です。また、北半球と南半球の境目である赤道近辺でも湧昇（赤道湧昇）があり、植物プランクトンが比較的多く、人工衛星で観測すると、赤い道にまではなりませんが緑っぽい道になっています。このような栄養分の豊富な海域は、魚が多く捕れる場所として知られています。このような湧昇海域は、面積的には地球上の 0.1 % にもなりませんが、99 % の魚がこのような場所で捕れるという試算もあります。

37.海に鉄をまくとプランクトンが増える？

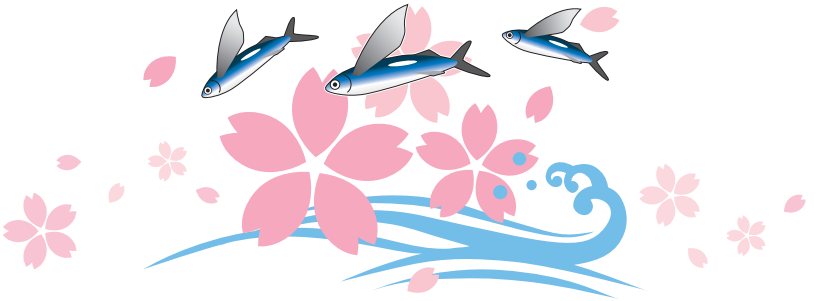
植物プランクトンの栄養分としては、窒素やリンだけでなく、鉄も大事な栄養分の１つです。鉄といっても、植物プランクトンが吸収するのは海水に溶けた状態の溶存鉄です。窒素やリンが十分あるけれど、この溶存鉄が足りないために、植物プランクトンがあまり増えない場所があります。具体的には南極海や赤道太平洋、北太平洋亜寒帯域などで、これらの広さの合計は海洋全体の約 20％にも相当します。実際にこのような海域で溶存鉄を散布すると、数日～数週間のうちにみるみる植物プランクトンの量が増えます。さらに表層水の CO_2 が減って、深い層へ沈降する有機炭素の量も増えるという現象も観測されました。このような実験結果から、陸上に豊富にある鉄分を海にまくことで、海による CO_2 の吸収を促進させて、地球温暖化の要因である大気中の CO_2 濃度の上昇を抑えようという提案があり、その効果について科学的に検討されています。



38. 海にも桜前線があるって本当？

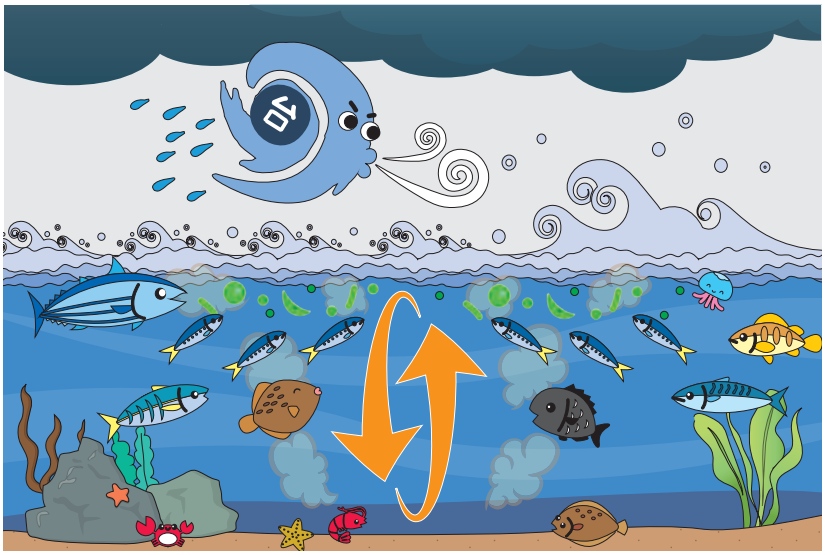
毎年春になると桜の開花予報が出ます。桜前線は南から北に進んでいきます。海の中にも開花前線があります。桜の開花も、植物プランクトンが大量に増えることも、英語ではブルームと呼ばれています。植物プランクトンには花はありませんので、本当は開花ではありません。しかし、海のブルームも、桜の開花のように、春になると南から始まって、北に移動していきます。桜は気温の上昇によっていつ咲くかが決まっていますが、植物プランクトンはどうして増えるのでしょうか？

冬の海は、水が表面から冷やされていて、良く混ざっています。深い水と混ざることによって、栄養分は表面でも豊富に存在します。しかし、植物プランクトンは水と一緒に、光のない深い場所に運ばれます。深く暗い場所に長くいると植物プランクトンは増えることができません。春になると、海の水は表面から温まって深い水と混ざりにくくなり、上の水の植物プランクトンにはいつも光が当たるようになります。光と栄養分がある快適な環境で、植物プランクトンはどんどん増えて、ブルームが起こります。やがて植物プランクトンは栄養分を吸収しつくして、後から増えてくる動物プランクトンに食べられたりして減っていきます。ブルーム（海の桜前線）は、海の生物たちにとって餌が増えることになりますので、魚、クジラ、海鳥などがこれを追って移動しています。また、ブルームの大きさやいつ起こるかによって、その後に捕れる魚の量も変わってくることがわかり始めています。



39. 海の生物は台風によって影響されるの？

日本にもよく、強い台風が上陸して、多くの被害を出しています。地球の温暖化の影響で熱帯域の海の温度が上昇し、強い台風が増えているともいわれています。では台風は海の生物にどんな影響を与えるのでしょうか？台風が来ると、強い風が吹き、海の水が混ざります。また、混ざるだけではなく、反時計回りの風が吹くことによって、地球の自転の効果で、深い所から水が上がってくる湧昇も起こります。混合や湧昇は海の表面の水温を下げるので、台風を弱くする効果があるとともに、生物にとって良い環境を生み出します。海の多くの場所では表面に栄養分が少なく（#34 参照）、台風による混合や湧昇によって、深い所にある栄養分が表面に上がってきます。栄養分が上がってくると、植物プランクトンが増えます。台風の後では魚が捕れるという話もありますので、台風の後に増えたプランクトンは魚の空腹を満たしているのかもしれません。



40. 海の渦と生物に関係があるの？

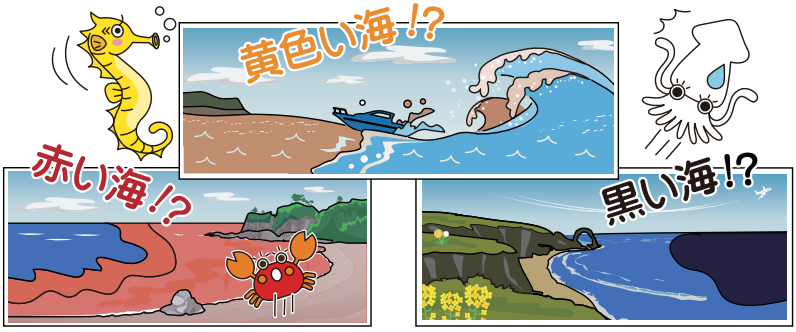
大気の高気圧・低気圧のように、海洋の中にもたくさんの渦があることが知られています（#20 参照）。これらの渦の中には、黒潮のような流れの蛇行がちぎれて、南の水を北に運ぶ暖水渦や、北の冷たい水を南に運ぶ冷水渦が知られています。これらの渦は、時には数年間、周辺の水から分かれたような状態で存在することもあります。暖水渦や冷水渦の中には、周辺と違った生き物が見つかることがあります。カツオなど遊泳能力の高い魚が、餌を食べにこの渦やその境界に集まることも知られています。また、黒潮のような強い流れの境界では、暖水渦や冷水渦よりも小さく、境界に沿って移動していく境界渦ができます。このような場所では、冷たく栄養を含んだ深い場所の水が上に上がってきて植物プランクトンが増加します。さらに島や海山に強い流れが当たると、その後ろ側に渦ができて流れていきます。このような渦も、深い場所の冷たく栄養に富んだ水を運び、植物プランクトンが増加する要因になります。このように海洋の渦は、強い流れの周辺でプランクトンや魚を増やす役割を果たしています。

41. 宇宙からの顕微鏡？

植物プランクトンの多くは顕微鏡でしか見ることのできない大きさです。しかし、最近はこれを宇宙から見ることができるようになってきています。もちろん、宇宙から一つ一つの細胞を見ることはできません。しかし、海水の中に植物プランクトンがどの程度いるかは、海の水の色を科学的に測定するとわかるのです。大洋の真ん中は植物の少ない海の砂漠ですが、沿岸や赤道域には植物がたくさんいます（#34、35 参照）。このようなことは昔からある程度はわかっていましたが、それを地球全体で見たことのある人は誰もいませんでした。1978 年に沿岸水色走査計と呼ばれるセンサーを搭載したアメリカの実験衛星が打ち上げられて、初めて地球全体の植物プランクトンの分布が見えるようになりました。その後、1997 年と 2002 年には、日本も「みどり」１号、２号を打ち上げて観測していますし、2017 年には「しきさい」を打ち上げ、地球全体の色を 250 mという空間的な細かさで観測しています。20 年以上にわたる観測で、地球の海の変化が、いろいろとわかってきています。海の中での桜前線のこと（#39 参照）など、海の中での季節の変化も人工衛星を使うことによって、はっきりわかるようになりました。また、台風の時には風が強く、波が高いので、船を使って海の調査をすることはとても大変です。台風で植物プランクトンが増えることも（#39 参照）、人工衛星を使うことによって、初めてしっかりとわかってきたのです。

42.海の色は何で決まっているの？

色が名前についた海や、海の現象があります。黒潮は日本の周辺を流れている海流の名前です。水自体の色はやや青みがかった透明ですが、深い海で混じり気の少ない水を上から見ると黒っぽく見えます。陸に近い所では、水の中にプランクトンや泥などが混じっていたり、海底で光が反射するために、より白っぽく見えます。中国に行くと、黄海と呼ばれる海があります。この近くには黄河と呼ばれる川があります。この川は昔、黄海に流れ込んでおり、黄色の泥が大量に流れ込んでいたので、この名前がついています。アラビアの紅海は、この語源がはっきりしていません。きれいな水でよく起こる赤潮の一種がその由来となっているという説があります。この他に、ヨーロッパには黒海や白海と呼ばれるところがありますが、その由来もはっきりしないようです。一方、プランクトンがたくさん増えた現象を赤潮と呼ぶことは知っていると思います(#43 参照)。東京湾や伊勢湾など汚れた内湾域で起こる青潮と呼ばれる現象がありますが、こちらはプランクトンの色ではありません。プランクトンなどが海底に沈んで、その有機物が分解された時に酸素が少ない状態になります。酸素の少ない海底の水で硫化物が発生し、水が風による湧昇で上がってくると、硫化物が酸化されて硫黄ができて、黄色がかった青になる状態です。このように、海の色が海の様々な状態を示すことは以前から知られていました。現在は海の色を人工衛星等で見ることによって、海を調べることに使っています。



43.海の色からプランクトンの種類がわかる？

海にどんなプランクトンがいるかを、海の色で調べることができるのでしょうか。まず、陸ではそこに植物があるということは、植物の葉が緑色ですから、すぐにわかります。湖や池などの水が緑色をしていることは見たことがあると思います。あの色は、湖や池の水に、緑色の植物プランクトン（緑藻や藍藻（らんそう）など）が多いことによります。特に藍藻と呼ばれる少し青みがかかった毒性のある種類が増えた場合には、アオコ（青粉）と呼ぶ場合があります。海の植物プランクトンは、緑色よりも赤みがかった種類が多く、珪藻（けいそう）や渦鞭毛藻類（うずべんもうそうるい）（#23 参照）が増えると水が赤っぽくなります。ただ、植物プランクトンだけが赤いわけではなく、日本では夜に光る夜光虫（#27 参照）と呼ばれる動物プランクトンの仲間が増えた時も赤潮になります。この種類は、熱帯域で増える時は、日本周辺とは違って緑色をしています。これは別の種類の緑色の生物を体内に住まわせているからです。また、白水という現象は、円石藻類（#29 参照）と呼ばれる炭酸カルシウムの殻をもつ種類が増えた時に使われます。中国の北京オリンピックの時には、ヨット会場で海藻のアオノリが大発生して問題になりました。これはプランクトンではありませんが、それを緑潮と呼ぶ場合があります。

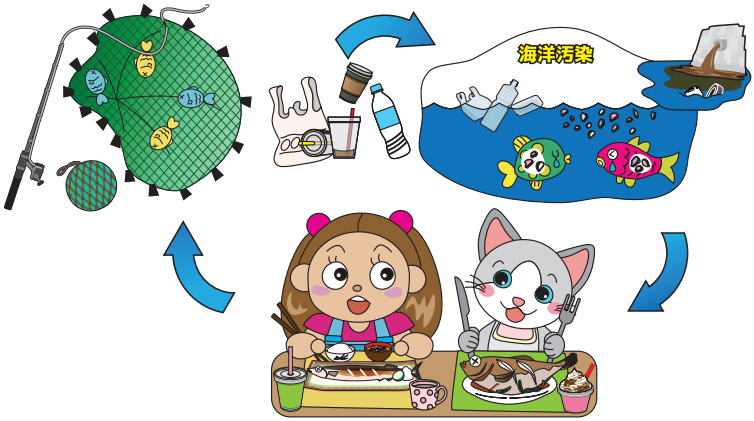
44.栄養分は多いほどよいの？

海洋の大部分は海の砂漠と呼ばれている生物の少ない海域で、魚が捕れるのは栄養分の豊富な海に限られています（#34･35･36 参照)。では、栄養分はたくさんあればあるほどよいのでしょうか。植物プランクトンに必要な主な栄養分は、畑の肥料にも含まれる窒素やリンです。人間生活が活発になると、生活排水や畑の過剰な肥料が川に流れ込んだりして、余分な栄養分が海に流れ込みます。このような栄養分は適度な量であれば、植物プランクトンと、それを餌にする動物プランクトンや魚なども増えて、漁獲も増えることにつながるはずです。東京湾は江戸前の寿司を生むように生産性の高い海だったのでしょう。しかし、栄養分が増えすぎると、植物プランクトンが増えすぎて赤潮を起こすため、死んだ植物プランクトンが海底にたまります。プランクトンの死骸は、そこで分解されて酸素を消費し、さらに毒性のある硫化水素を発生して魚介類を殺します。このような富栄養化と呼ばれる現象は、世界中の人間活動の活発な沿岸域で問題になっています。

日本は、このような問題を減らすために、沿岸域への栄養分の供給を減らす政策を世界に先駆けて取ってきています。そのおかげで、日本の内湾では赤潮は減ったといわれています。しかし、まだ毎年のように貧酸素化する海域もあります。一方で、むしろ最近は、栄養分を減らしすぎて、さらに魚が減っているのではないかといわれています。失われた豊かな生態系は、栄養分を減らすだけではすぐには戻ってこないのかもしれません。例えば、窒素、リン、ケイ酸など栄養分の比の変化も、生態系の変化を引き起こしていることも指摘されています。また多くの沿岸域では埋め立てが進み、魚の生息場所として重要性の見直されている干潟や藻場もなくなってしまっています。人間にとってどんな海が良いのか、そのために人間はどうしたらよいのか、研究することが必要です。

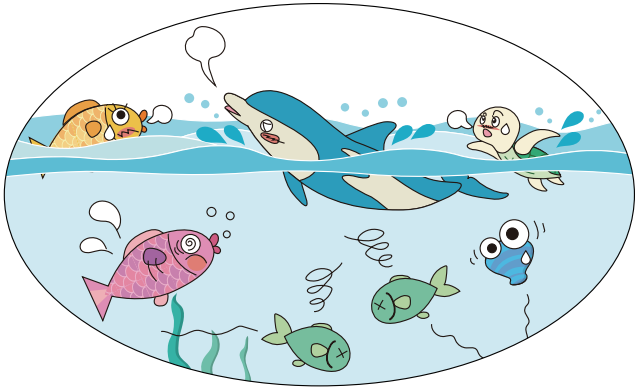
45.海洋汚染ってなに？

窒素やリンのような栄養分の他にも、産業・生活排水を通して、いろいろな物質が海に流れ込んでいます。このなかには海の生き物や私たちの健康に悪い影響をおよぼす物質があります。これらの物質が海に持ち込まれることを「海洋汚染」といいます。廃棄物を捨ててしまうことや、船の運航や事故によって油が流れ出てしてしまうことも、海洋汚染の原因の一つです。最近特に問題になっているのは、プラスチックごみによる汚染です。これまで人間が廃棄してきたプラスチックごみは、大小さまざまなサイズのプラスチック片として海の中に漂っていて、その結果、多くの海洋生物の体の中にも取りこまれてしまっているのです。これが深刻なのは、プラスチック片が海水中の有害な化学物質をくっつけて集めてしまう性質があるためです。このような物質はいったん取りこまれると、体の中に蓄積することがあります。また、その生物を餌として食べてしまった生物の体内では、さらに高い濃度で蓄積してしまう「生物濃縮」がおこります。このため汚染物質は、食物連鎖をとおして上位の捕食者の体にいっそう濃縮されてしまうのです。じつは、私たちが食べる魚は汚染物質が濃縮されている場合が多いので、人にも悪い影響がでる危険があります。そのため、海洋汚染をへらして海洋環境を守るための国際的な取り込みが行われています。

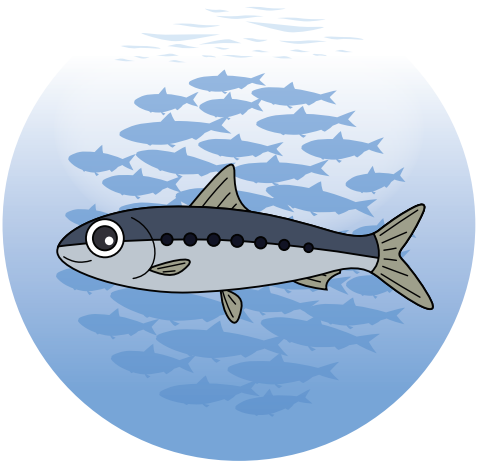


46. むかし海から酸素がなくなったことがあるの？

人と同じように海の動物も、生きていくのに酸素が必要です。そのため、一部の沿岸で貧酸素現象 (#44 参照) が起こると魚や貝などが窒息死してしまいます。しかし大昔の恐竜がいた時は、外洋のとても広い範囲で数十万年という長い期間、深層水の中の酸素がなくなってしまう「海洋無酸素事変」がくりかえし起こっていたことがわかっています。とくに約 1 億年前の白亜紀は活発な火山活動によって CO_2 が大量に放出され、今よりもずっと温暖化が進んでいました。その結果、海水が鉛直的にあまり循環せず、深い場所に酸素が運ばれなかったため、溶けていた酸素が生き物によって全部使われてしまったのです。そしてこのような大規模な海の酸素欠乏は、過去に数回、多くの生物を絶滅させたと考えられています。その一方で、無酸素状態のために死んだ生物たちの有機物は分解されずに海底に蓄積されて、黒い有機質の泥岩が作られました。実はこの時代にできた黒色泥岩から私たちは石油を採っているのです。そして今は、人が石油を利用して CO_2 を排出することで、それが地球温暖化の原因になっています。現代の海の環境は深層循環 (#10 参照) によって海底まで酸素が運ばれるため、深層でもたくさんの種類の生物が住んでいます。しかし近年になって海水中の酸素量が少しずつ減っているという観測結果が報告されていて、海全体の「貧酸素化」が懸念されています。



47. 気候の変動は漁獲量に影響するの？

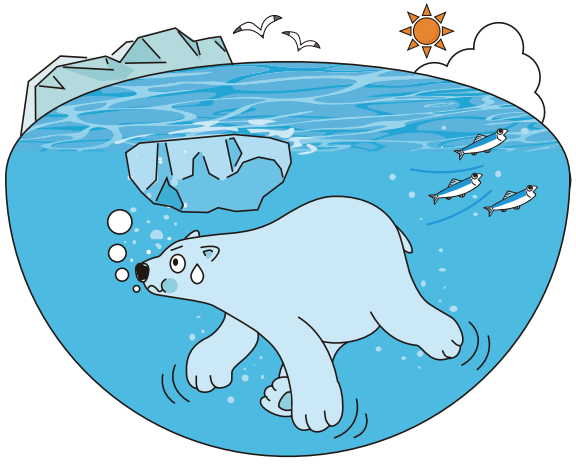


最近、全世界で魚を食べる文化が広がりつつある一方で、多くの海域で捕れる魚が少なくなっていると聞きます。人間が漁業資源を枯渇させずにどれだけ捕ってよいかはどのように決まっているのでしょうか。気候の変動が魚の量や種類組成を変えているといわれています。

例えば、1980 年代にはマイワシはたくさん捕れて、安い魚の代表でした。しかし、1990 年代には漁獲が減り、代わりにカタクチイワシが多く捕れるようになりました。これは気候の 10 年スケールの変動と関連していると考えられています。気候の変動だけではなく、人間の捕り過ぎも、魚を減らしています。これをはっきりさせたのが、エルニーニョでのペルー沖のカタクチイワシの漁獲の問題です。エルニーニョ現象とは、ペルー沖の水温が上がる現象で、栄養分の豊富な下層の水が上がってこなくなるために、植物プランクトンが減り、それを食べるカタクチイワシも減少します。1988 年に発生した強いエルニーニョ現象によってカタクチイワシは激減し、それに追い打ちをかけるように人間が漁獲をしたために、その後の漁獲量は長く低迷したといわれています。最近は、温暖化の傾向で、魚の生育環境も大きく変化しつつあると考えられ、今後の漁業のあり方が心配されています。

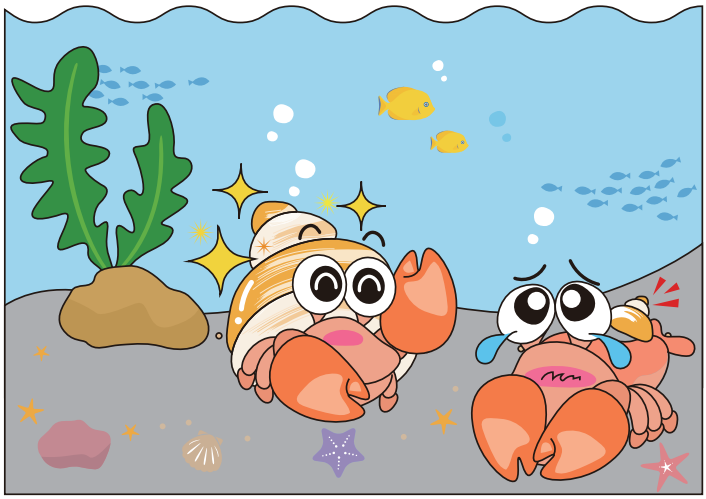
48. 温暖化は海洋生態系に影響するの？

最近、豪雨が増え、地球温暖化による影響の可能性が指摘されています。温暖化の影響は着実に海の中にも現れています。北極海の海氷が減少し、ホッキョクグマが絶滅の危機にあるといわれます。北極の夏の氷の面積は 2010 年代には 1980 年の半分程度になっており、ロシア沿岸で夏には氷が無くなってきています。ホッキョクグマは餌を捕るために陸地から氷の上にわたりますが、氷のない海を長く泳ぐことはできません。世界自然保護基金（WWF）は、ホッキョクグマの移動と海氷の関係を動画にしています。陸地と氷を行き来するのに、氷が無くなって空腹の中、泳ぐホッキョクグマの気持ちが伝わってきます。海水温も着実に上昇していて、日本周辺でもこの数十年で数℃の上昇が報告されています。夏と冬の気温差が 40℃近くもあるのに、数度の変化はたいしたことがないと思うかもしれませんが、もともと気温よりも変化が少ない海の中に住む生物にとって、数℃の変化も大きな影響があると考えられます。泳ぐ能力の高い魚であれば、自分の好きな水温の海域に移動してしまいます。よって、サンマやサケが捕れる場所は、北極の方に移動しつつあると考えられています。泳げないサンゴの白化現象については前に触れました（#30 参照）。また、表面が温められることによって、栄養分が下層から表層に上がりにくくなることも指摘されています。海の砂漠（#34 参照）で植物プランクトンや動物プランクトンがますます少なくなっている可能性があります。



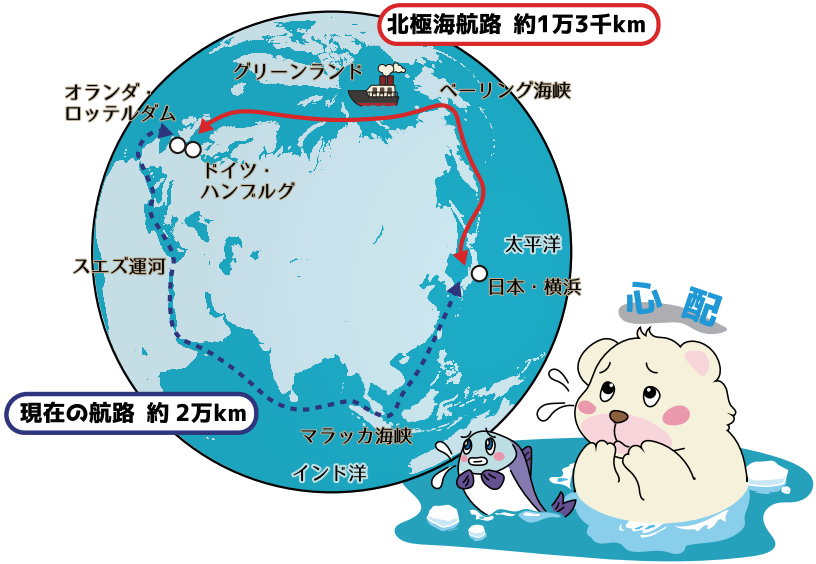
49. 海洋酸性化は海洋生態系を変えるの？

二酸化炭素（CO_2）が海水に溶け込むと酸性化します（#28 参照）。酸性化は多くの海洋生物が持っている炭酸カルシウムの生成に多大な影響を与えます。サンゴや貝類、円石藻類や有孔虫といった生物は、石灰化を行っています（#29 参照）。また、動物プランクトンの中でも、生物量の多いエビ・カニの仲間がキチン質と呼ばれる殻に炭酸カルシウムを使っています。実際、これまで CO_2 を増加させていろいろな生き物を飼う実験が行われており、大気中の CO_2 がこのまま上昇すると、間もなく海水中の多くの生き物の生存が危うい状況になることが指摘されています。もちろん中には CO_2 が多い方が良い生き物もいるかもしれませんが、そのような生物だけ増加したら、生態系全体がこれまでとは全く違ったものになってしまいます。以前、酸性化が着目される前には、温暖化を防ぐために人間が大気に排出している CO_2 を集めて、海の中に閉じ込めてしまうという研究も行われていましたが、大気から溶け込むだけでも影響があるのに、直接海に捨てるのは当然問題があることになります。では、増え続ける膨大な CO_2 をどうするのか？答えがみつからないまま、温暖化も酸性化も着実に進行しています。



50. 北極海に新しい「道」ができる？

北極域は地球でもっとも速く温暖化が進んでいる場所で (#48 参照)、海をおおっている氷の量がだんだん少なくなっています。このために、北極海を通って大西洋と太平洋の間を船が行き来する「北極海航路」の利用が注目されています。その理由は、現在よく利用している南回りのスエズ運河航路にくらべて航行距離が 3 分の 2 くらいしかなく、時間と燃料の節約になるからです。この北極海航路はまだ夏の間しか通れませんが、いずれ 1 年中利用できるようになるかもしれません。また同時に、北極海でのエネルギーや鉱物資源の開発も活発になると予想されています。その一方で、このような人間の活動が北極海の生態系に悪影響をあたえると心配もされています。海洋汚染（#45 参照）が北極海で急激に広がる可能性があるのです。北極海の生態系は、温暖化にともなう水温上昇・淡水化・酸性化などの環境ストレスを受けているので、これらの影響もちゃんと理解したうえで、人が北極海とどう関わっていくかを決めなくてはいけません。



―番外編―

● 海洋学ってどんな学問？

海洋の研究は様々です。分野で分ければ、主に水やエネルギーの動きを扱う海洋物理学、海水中に含まれる物質を扱う海洋化学、海洋に生息している生物を扱う生物海洋学があります。これまで海洋生物学は聞いたことがあるかもしれませんが、生物海洋学は聞いたことがないという人が多いかもしれません。海洋生物学 (Marine Biology) は海洋に生きている生物そのものを研究する学問ですが、生物海洋学 (Biological Oceanography) は生物の観点から海洋を研究する学問です。海洋物理学 (Marine Physics) や海洋化学 (Marine Chemistry) も本来、物理海洋学 (Physical Oceanography) や化学海洋学 (Chemical Oceanography) を使うべきですが、対象自体がはっきりと違うわけでないので、英語では後者を使う人も日本語では前者を使っている人が多いようです。このほかに海底のことを扱う海洋地質学・地質海洋学 (Marine Geology・Geological Oceanography) や、水産生物に関連することを中心的に研究する水産海洋学 (Fisheries Oceanography)、沿岸の現象を中心に研究する沿岸海洋学 (Coastal Oceanography) といった分野もあります。もちろんそれぞれの研究者は、それぞれの専門を生かして研究していますが、当然他の分野と一緒に研究をする必要があります。例えば、プランクトンが海でどう生活しているかを研究するには、水の動きのことも知っている必要がありますし、水の中の化学物質のことも知っている必要も出てきます。さらに、海洋学だけではなく、海に影響を与える気候や気象、大気化学などのことについても知っている必要があります。

● 海洋の研究ってどうやるの？

海洋の研究を行うには、海の状況を知る必要がありますので、多くの研究者は船に乗ります。今、私も船の上でこの原稿を書いています。船の上では、CTD(電気伝導度・水温・深度計) と呼ばれる測器で深さ方向の海水の水温や塩分を測定します。また、同時に他の項目を測定するセンサーで化学・生物などの情報も測定でき、日々新しいセンサーが開発されています。また、一緒にロゼットサンプラーと呼ばれる水を取る採水器を降ろし、望んだ複数の深さで水を取り、船の上に持ってきて、その水に含まれている小さな生物や化学物質を分析します。深い海ではこのセンサーや採水器の上げ下ろしだけで、何時間もかかることになります。どんな分析をするのかは、その人の専門によって違いますが、分析のために多量に水を取ったり、様々な分析機器を積み込むこともあります。岸近くの浅い海では、小さな船で水を採水器で取り、陸上の実験室まで持ち帰って分析することになります。また、生物の調査では、採水器で取れる生物量は限られますので、様々な大きさの網 (ネット) を使って生物を取ることもあります。さらに、海底の生物や化学物質の研究のためには、海底の泥を取ることもあります。船は同じ場所にずっととどまっているわけにはいきませんので、係留計と呼ばれる装置で、水の流れを測定する流速計や他のセンサー類を設置し、何か月もデータを取ることもあります。最近は自動的に浮き沈みする装置が大量に投入され、世界各海域の海の中の情報がたくさん集められるようになってきていますし（#18 参照）、自動的に決まった場所に行って戻ってくるような観測ロボットも開発されつつあります。また、直接海で観測するのではなく、人工衛星を使って様々なことがわかるようになっています。中には船酔いをするので船には乗りたくないが海の研究をしたいという人もいます。現在は、様々なデータを手に入れることができ、数値モデルと呼ばれる数式でコンピュータの中に海を再現する技術も進んでいますので自分では海に行かない研究者もたくさんいます。

● 研究船での生活ってどんなもの？

研究船での生活とはどんなものでしょうか。ある程度大型の研究船だと、1 週間から 1 か月くらい陸によらないで調査航海を続けることがあります。限られた時間内で最大限の成果を上げるために重要なのは、まず準備です。どんな研究をやるために、いつ頃どこの海域に行って何をやるのか、入念に計画を立てる必要があります。そして、どんな研究機材が必要なのかリストアップし、それを準備して引っ越しのように機材を研究船に積み込みます。研究船には多くの場合 1 人の研究者や一つのグループだけが乗るわけではありませんので、一緒に乗船する人たちとは事前によく話合って研究計画を立てます。また、大型の船を動かすのは研究者ではなく、船員さんたちです。船長を含めた船の人たちとも、どのように船を動かすのか、どこでどんな作業をやるのか、よく打ち合わせをしておく必要があります。数百トンの船であれば 10~20 名程度の研究者や学生たちと、同程度の人数の船員さんたちが共同生活をすることになります。また計画を立てても、船の上では何が起こるかわかりません。天候が崩れて観測ができないことはよくあります。場合によっては積み込んだ測器が壊れて、船員さんにお願いして応急修理してもらったり、けが人が出るなど大事の場合は緊急入港といったことも起こりかねません。そんな中でも計画変更をしながら、最大限の成果を出すために、みんなで協力しあって進めます。今はいろいろな機械が開発されていますが、それでも重い測器や水の入った容器を手で持ち上げなければならないこともあります。それを揺れている海の上で行うことになります。海や生物といった相手のある中で、夜中に働くこともありますし、夏の暑さや冬の寒さがとても厳しい航海もあります。それでもみんな自分の研究成果が上がることを信じて仕事をします。もちろん長い航海では、働くばかりではやっていけません。3 度の食事は一番の楽しみですし、時間を見つけてお酒をたしなんで、いろいろな研究機関からきた専門の研究者たちと情報交換するのも重要な時間です。仕事に疲れたり船酔いの後でも、変わった生き物と出会えたり、本当にきれいな朝日や夕日が見れたり、とても感動できる仕事です。みなさんもこんな仕事してみませんか？

● どうやったら海洋の研究者になれるの？

どうやったら海洋の研究者になれるのでしょうか？まずどんな大学へ行ったらよいのでしょう。実は世界各国の大学には海洋学部がたくさんあります。残念ながら日本には海洋学部はほとんどありません。でも日本では海洋大学と呼ばれる国立大学が一つ、水産学部と呼ばれる学部が三つの国立大学に存在します。また今は名前が変わっている大学も多いのですが、農学部系の水産学科もいくつかあります。しかし、水産だけが海洋学ではありませんし、水産の中でも本当に海洋学と呼ばれる分野はごく一部です。海洋学は物理・化学・生物など様々な分野からの見方があります。理学部や工学部の中で、海洋について扱っている大学があります。物理系であれば地球物理学科と呼ばれるところで海洋を扱っている大学も多くあります。いろいろな大学で海洋を扱っている学部学科がありますので、よく調べてみてください。このような大学に行っていなくても、大学院で海洋に関する専門的な勉強をすることもできます。その場合もいろいろな大学院を調べてみてください。大学院では、博士前期課程（修士）と博士後期課程（博士）に分かれており、後期課程はより専門的な教育を受けて博士論文を書くことになります。思いきって海外の大学や大学院に飛びだしてみるのも良いと思います。さて、それでは海洋のことを勉強して、どんなところに就職できるのでしょうか。本当に研究者になりたい人は、大学での就職を目指すべきです。研究開発法人である海洋研究開発機構や水産研究教育機構なども研究者として専門が生かせる職業です。気象庁のような国家公務員や水産試験場のような地方公務員でも専門が生かせると思います。一方、民間企業でも、環境アセスメントや調査関係の会社や、測器の開発や輸入を行っている会社があります。また、今は高校までは、ほとんど海洋について学ぶ機会がないので、ぜひ海洋のことを勉強した人が教員になって、学生さんたちに海洋のことを教えてもらうとよいと思っています。

海洋 50 のなぜ

発行日	2022 年 3 月 25 日　初版 第 1 刷発行
	2023 年 3 月 27 日　初版 第 3 刷発行
	2024 年 1 月 23 日　第 2 版 発行
企画・制作	名古屋大学宇宙地球環境研究所 広報委員会
発行	名古屋大学宇宙地球環境研究所
	〒 464-8601　愛知県名古屋市千種区不老町
	https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/

©2022 Tokai National Higher Education and Research System

海洋 50のなぜ

宇宙地球環境研究所
Institute for Space-Earth Environmental Research