

放射性炭素-14を使った 海洋生物の動態・生態系理解

横山 祐典
大河内 直彦

重さの違うレアな炭素 (^{14}C)

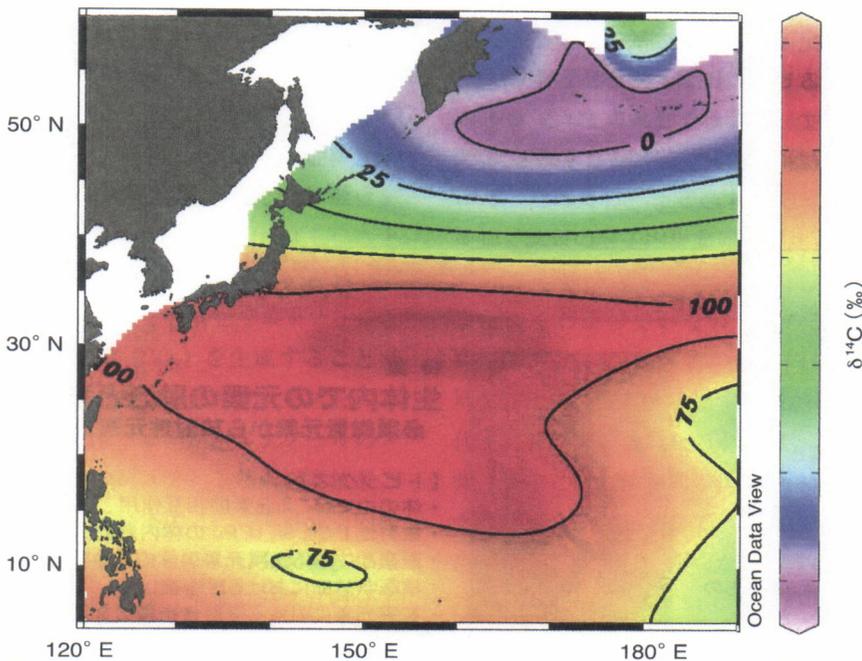
太陽系のはるか遠くで起こった超新星爆発によって放出される高エネルギーの宇宙線。2002年や2014年に東京大学の小柴昌俊博士や梶田隆章博士がその超新星爆発に関連したニュートリノに関する観測でノーベル物理学賞を受賞したニュースは記憶に新しいと思うが、地球に到達する宇宙線のほとんどは高エネルギーの陽子からなる。それらが地球大気に入射し生成した中

性子との反応によって二次的につくられるのが宇宙線生成核種といわれるもので、ベリリウム-10(^{10}Be)や塩素-36(^{36}Cl)などとともに放射性炭素-14(^{14}C)がある。上層大気で生成された ^{14}C は速やかに酸化され、二酸化炭素のかたちで炭素循環に乗り“まんべんなく”大気から海洋または植物、そして動物など地球表層に広がる。炭素のほとんどは12の質量数をもち地球表層での存在度は99%を占める。ほぼ1%

が13の質量数の ^{13}C であり、どちらも安定同位体だ。炭素循環の際に起こるわずかな質量分別効果を記録し、生態学的にも広く使われている安定炭素同位体比はこの二つの存在度を測定している。これに対して ^{14}C はなんと1兆分の1以下というわずかな量である(文献1)。古代エジプトの考古学試料や日本の縄文時代の遺物の年代測定など、5700年あまりの半減期をもつ ^{14}C が年代測定のツールとして活躍しているのは、皆さんもよくご存知かと思う。およそ5万年前までの試料を測定できるこの手法だが、時間がたつにつれ1兆どころか10兆分の1などの存在度になってしまう。しかし現在では、加速器質量分析装置を用いることで、誤差が0.1%以下と高精度で測定できるようになった(文献2)。この ^{14}C をトレーサー(追跡子)として用いることで、地球のいろいろな物の流れがわかってきた。

分布が違う炭素

大気上層でつくられた ^{14}C が広がる様子をインクに例えてみよう。まずは海洋に見立てた水槽に赤いインクを落としたとする。表層の色が濃く、そこから遠くなるにつれインクの色が薄まっていく。大気で作られた ^{14}C の場合も同様で、海の表層は多く、深層

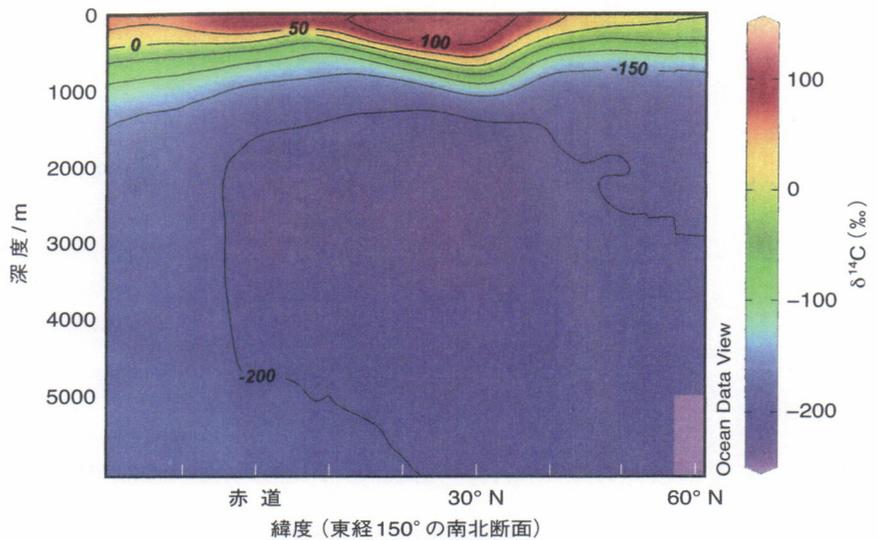


親潮域で低く、黒潮域で高い。

図1 北西太平洋、日本近海の表層海水の放射性炭素 (^{14}C) 濃度分布

では少ない。インクと水槽の関係と少し異なるのは、 ^{14}C が時間とともに崩壊して減少していくということである。すなわちこれとは別に、水の“年齢”が古くなることで ^{14}C の量が減少する。実はこの方法を使って地球の海洋の流れの“速さ”は測定された(文献1)。塩分と温度差で駆動されるこの流れは、熱塩大循環とよばれベルトコンベアーのように地球の海をゆっくりと流れている。およそ1000年というスピードで1周する動きを捉えるためには、 ^{14}C の分布の違いを測定するのが最も信頼度が高い。放射性炭素の“濃度”を表す指標として $\delta^{14}\text{C}$ が使われるが、これはインクの濃さ、ともいえる ^{14}C の濃度を表す指標である(図1)。1950年の大気濃度を基準にし、それからのずれを表している。東経150°の断面を見ても、表層水が高い一方で、水深1000 m以深では5000 mに至るまでほぼ一定の-200‰という低い値をとる(図2)。この水の ^{14}C 濃度を水の年齢に換算すると、およそ2000年となる。言い換えると、この水深にある水は弥生時代以来大気に触れていないことになるのだ! 今から約2000年前*1といえ、ローマでジュリアス・シーザーが活躍していた時期だ。そんな“古い”水が太平洋の奥深くに多く存在しているのだ。

ここで図2の北緯50° 辺りを見てみよう。表層付近の様子を見ると、低緯度では平行だった $\delta^{14}\text{C}$ のコンター(等濃度線)が盛り上がっている。表層の水が少し古くなっているのだ。海の水は通常、表層と深層がしっかりと



表層と深層で300‰もの違いがあることがわかる。

図2 北西太平洋域の東経150°の断面図

分離されていて混ざり合うことはない。実際、図中の $\delta^{14}\text{C}$ のくっきりした境界もそれを裏付けている。これは何を表しているか。低い $\delta^{14}\text{C}$ を示すのは深層から海水が湧昇しているためである。湧昇域は全海洋面積のわずか0.1%しか存在しないといわれているが、海洋生態系にはきわめて大きな影響を及ぼしている。

表層から沈降する有機物が深層水に供給され、かつ光が届く有光層より深いため、栄養塩が使われずに蓄積されている。しかし太平洋北部で湧昇することに伴い、多くの栄養塩をもたらし、高い生物生産をもたらししている。多くのプランクトンが発生し、それを追って小型魚から大型魚まで広がる豊かな生態系を形成している。親潮が親潮とよばれる所以でもある。

生まれと育ちを示す炭素

海は広く大きい。光が届くとされる有光層は表層からたかだか100 mほどに限られ、200 m以深では光合成活動も行われないとされる。したがって深海に生息する生物は、その生態がよくわかっていないものが多い。近年、データロガー*2を用いた生物の生態研究は広く行われてきているが、個体サイズが小さい対象の情報が取れないことやデータロガーを付ける前の生態情報が取れないことなどの問題が存在していた。

魚類には平衡感覚を担うために耳石という石が三半規管に存在している。人間ももつこの“石”は炭酸カルシウムからなり、成長に伴い年輪のような縞状構造ができる。安定同位体やレーザーを使った、耳石に含まれる微量金

*1 実質的には大気と海洋混合過程などを考慮すると、およそ1000年間となるが、ここでは詳細は省き2000年とした。

*2 対象に装着し、その行動と周辺の情報環境を記録できる装置。メモリー、CPU、センサー、バッテリーからなる。



写真1 耳石(左)とヒウチダイ(右)



これまでの装置と異なり、多数点の高精度測定や微量測定などが可能。

写真2 東京大学大気海洋研究所高解像度環境解析センターで稼働している日本で唯一のシングルステージ加速器質量分析装置

属の分析によるナマズなどの沿岸魚種への生態学理解のための研究は、われわれも含めこれまでも行われてきた(文献3など)。

たとえば駿河湾に生息するヒウチダイは、体長がたかだか20 cmほどの魚である。味がよいため、煮付けや刺身、焼き物としても人気の高い食材となっている。しかし、一般に300~900 mに生息しているといわれているものの、一生のうちのどの段階で、どの辺りの水深に生息しているのかはよくわかっていない。

私たちは駿河湾で採取されたヒウチダイの耳石を取出し、放射性炭素を分析した(写真1)。すると、とても興味深いことに耳石の内側から外側に向かって $\delta^{14}\text{C}$ が大きくなる傾向があることがわかった。内側はその個体が小さいころであり、成長に伴う履歴は耳

石の外側に残っている。最も外側の部分の $\delta^{14}\text{C}$ は筋肉のそれと一致し、さらに表層海水の $\delta^{14}\text{C}$ の値である+50%という値とも合致した。つまりこのヒウチダイは生まれてすぐは水深400 mほどのところに生息していたが、捕獲される前に200 mより浅い水深に上昇したのちに採取されたということがわかる(文献4)。

昆布の炭素

親潮は湧昇域の海水の影響で生物生産性が高い。戦前は輸出品としても重宝されていた北海道の昆布。冷たくて栄養塩に富んだ海水に洗われて、大きく立派に育ち商品価値も高い。しかしこれらのなかの炭素の“重さ”は少しだけ違う。そう、海流が親潮起源か黒潮起源かによって変わるのである。北海道の日本海側の昆布の $\delta^{14}\text{C}$ は太平

洋側のそれに比べて、優位に高い値をとり、昆布がどの辺りの海岸から採取されたかについてもわかる。

同じように、表層付近を回遊する魚で、黒潮域と親潮域に生息範囲をもつものは、その体内に記録している $\delta^{14}\text{C}$ が異なるため、産地判別にも用いることができる。これまでの水産学や生態学から得られてきている知見と組み合わせることで、より定量的に生き物の動きを判別することが可能なのである。

放射性炭素がもつ大きな可能性

炭素循環の一端として生態系のピラミッドが存在するが、そのなかでどのような有機物が再利用され、動物の生態を支えているのかといった重要な課題についても答えを出すことが可能になりつつある。有機化学的な特定化合物抽出技術の発展と微量試料の高精度測定かつ多点測定を行えるようになった加速器質量分析法の進展が大きい(写真2)。今後、海洋生物の生態情報を詳細に明らかにできる有力なツールとして、大きな発展が予想される分野である。

参考文献

1. 横山祐典, “放射性炭素を用いた気候変動および古海洋研究”, 『真空』, 50, 486 (2007).
2. Y. Yokoyama, T. M. Esat, *Global environmental change in the ocean and on land*, 1, 279 (2004).
3. K. Kubotaほか, *Geochem. J.*, 49, 469 (2015).
4. Y. Miyairiほか, “Radiocarbon in fish obtained from North Pacific recording ecological signatures”, *Radiocarbon* (2017).

現代化学合本用ファイルをご利用ください

1年分12冊を綴じ込めます。
ご希望の方は直接弊社営業部宛に
代金(切手代用可)を添えて
お申し込みください。

宛て先は 〒112-0011
東京都文京区千石 3-36-7
(株)東京化学同人 営業部
振替 00130-0-84301

1部 1000円
(税、送料込み)

