

界を下げるためには、いかにバックグラウンドを小さくする必要があるか明確に示されている。

$$DL = 3\sigma = 3\sqrt{(A+B) + \alpha^2 C + \beta^2 D}$$

ただし α, β は定数

実際のガンマ線スペクトルからピーク面積を求める際には、ピークが重なって示されたり、バックグラウンドの影響を受けているものもあるため、本コラムで紹介した方法ですべて解析できるわけではないが、基本的な考え方は同じである。今後はさまざまな場面で Ge 半導体検出器を用いた放射性物質の測定値を目にする機会があるかと思うが、示された放射能の数字だけではなく、検出限界や測定誤差にも注目していただければ幸いである。

コラム 分子で地球を読む No.5

三度目の春を迎えつつある放射性炭素年代法

大河内直彦* おおこうち なおひこ

横山祐典** よこやま ゆうすけ

*海洋研究開発機構

**東京大学大気海洋研究所

少々タイミングを逃してしまっただが、一昨年は放射性炭素年代法を確立したウィラード・リビーがノーベル化学賞を受賞してから半世紀目にあたる年だった。天然中に存在する放射性炭素(^{14}C)は、大気上層で窒素原子(^{14}N)の中性子捕獲によって生成される。生成後間もなく二酸化炭素に酸化され、対流圏下部にまで降りてきて、海洋や土壌、そして生物の中を縦横無尽に駆け巡る。およそ 5730 年の半減期をもつこの核種は、ベータ線を出していずれ再び ^{14}N へ戻っていく。現代の天然物中に ^{14}C は、安定な炭素(^{12}C)に比べわずかに 1 兆分の 1 しか含まれていない¹。だからその存在比を測定することは、現在でも決して容易なことではないし、ましてや 70 年も前にリビーが精密に測定しようと思いついたこと自体驚くべきことである。

この年代測定法の登場によって明らかにされた

ことは、挙げればきりが無い。今や常識となった数々の事実、たとえば直近の氷河期がおおよそ 2 万年に最寒期を迎えたこと²や、1 万 2000 年ほど前にベーリング海峡を渡って北米大陸にやってきた人類がいたことなどが知られるようになった³。日本の縄文時代が同じく 1 万 2000 年前ごろに始まったとわかったことも、もちろんこの手法のおかげである⁴。 ^{14}C 年代法が開発されるまで、過去数万年にわたる年代を科学的に知る術はなかったから、この方法が開発された当時の歴史学、考古学、地質学における熱狂はすさまじいものだった。

その一方で、 ^{14}C 年代法がもたらした福音が、単に歴史科学の枠内に収まらないことはあまり知られていない。たとえば、人類活動によって生み出される二酸化炭素のかなりの割合が、海に溶けることなく長期間にわたって大気中に残留すること(そして気候を温暖化させること)も、この方法論が明らかにしたことである⁵。また、北半球と南半球の間で、大気の交換がきわめて短期間に起きていることも知られるようになった。このことは裏を返せば、年代を知るという一見単純なことが、きわめて多様な情報と深くつながっていることを示している。 ^{14}C 年代法の威力は、この手法を開発したリビー自身の予測をもはるかに上回っていたのだった。ノーベル化学賞の選考委員長だったアルン・ウェストグレンは、リビーの受賞を発表する際に、次のように述べている。

「これまで、化学における一つの発見が、これほど多くの研究分野の見解に衝撃を与えたことはなかったし、一つの発見がこれほど広く人々の興味を生み出したこともなかった。」

しかし、過去半世紀以上にわたるこの年代測定法の道のりは決して平坦ではなかった(図)。リビーがノーベル賞を受賞する頃には、大気上層で生成される ^{14}C 濃度が時間とともに変動することが知られるようになった⁶。 ^{14}C 時計の「初期値」が自然変動することは、年代測定の大前提が崩れてしまうことを意味する。もっともこの点に関しては、木の年輪の測定など地道な研究の積み重ねによって、 ^{14}C 年代から暦年代へ「校正」する手法

2011	最初の微量放射性炭素年代測定ワークショップが開かれる
1998	炭素量 0.1 mg で放射性炭素年代が測定できることが報告される
1996	化合物レベル放射性炭素年代法が確立される
1994	放射性炭素年代の校正プログラム OxCal が作成・配布される
1986	放射性炭素年代の校正プログラム CALIB が作成・配布される
1977	加速器によって放射性炭素年代測定できることが報告される
1963	核実験によって北半球大気中の ^{14}C 濃度が天然レベルの 2 倍に達する
1962	放射性炭素年代の半減期が 5730 ± 40 年と改訂される
1960	リビーがノーベル化学賞を受賞する
1958	大気中の放射性炭素濃度が時代によって異なっていたことが初めて報告される
1955	放射性炭素年代の半減期が 5568 ± 30 年と提案される
1954	大気中の二酸化炭素に含まれる ^{14}C 濃度が年々減少していることが報告される
1952	ウィラード・リビーによる「放射性炭素年代(第 1 版)」が出版される
1949	最初の放射性炭素年代測定の結果が報告される
1947	天然物(下水中のメタン)中に ^{14}C が微量に含まれている証拠がみつかる
1940	放射性炭素がサイクロトロンを用いて初めて合成される
1934	放射性炭素が発見される

図一放射性炭素年代法の歩み

がその後確立され、なんとか危機を乗り越えてきた。また、当初からの大きな欠点は、測定に大量の試料を必要とすることだった。リビーがこの手法を開発した当時、炭素量にしておよそ 10 g もの試料を測定のために必要としたのである。 ^{14}C が壊変する際に放出されるベータ線をカウントするわけだから、5000 年以上の半減期でゆっくりと壊変する ^{14}C の測定には、当然ながらそれなりの試料量が必要となる。おかげで考古学的あるいは歴史的に貴重な資料や試料といえども、年代測定のためにごっそりと供せねばならなかった。

ところが 1970 年代後半に、大きな転機が訪れる。カリフォルニア大学やマクマスター大学の科学者らによって、加速器を用いて ^{14}C を直接測定する手法が実用化されたのである⁷。今では、加速器を用いたこの測定法がすっかり主流となっている。何せ、分析に必要な試料量がわずか 1 mg と、ベータ線をカウントする方法に比べ 4 桁も少ない。しかも分析精度は上がり、測定時間も大幅に短縮された。問題は加速器が巨大で、体育館サイズのハコを必要とする代物だったことと、加速器自体がきわめて高額で、潤沢な研究資金をもつ研究機関でなければ手も足も出なかったことだ。とはいえこの技術革新は、 ^{14}C 年代法に二度目の

春をもたらし、さらに多くの研究分野で使われるツールへと脱皮した。21 世紀の現在では、生態系の解析⁸やアルツハイマー病の研究⁹にまで応用され、研究の裾野はますます広がりを見せている。

最近、 ^{14}C 年代法にさらなる展開が開けつつある。加速器のサイズは時代とともに小さくなり、今や少し大きめの実験室なら十分収まるくらいになった。価格も随分安くなった。さらに重要なことは、測定に必要な試料量がさらに 1 桁以上下がったことだ。現在では東京大学の MALT を含め、いくつかのラボで炭素量にして 100 μg を下回る試料量で測定できるようになっている¹⁰。加速器そのものに革新的なイノベーションがあったわけではない。現場の研究者や技術者らが、日々積み重ねた小さな工夫を形にした結果、なしえた技術革新である。

どんな分野であれ、広く応用されている分析法が微量化されると、そこには全く新しい世界が開ける。 ^{14}C 年代法も例外ではない。今回の微量化の恩恵にあずかった分野では、視界が大きく開けつつある。特に、天然中に分布する数多くの有機分子を個々に測定する「化合物レベル ^{14}C 年代法」は、大きな恩恵を受けている¹¹。自然界は、出自の異なる有機分子の集合体であり、そのなか

ら特定の分子だけを取り出して ^{14}C 年代を測定することで、自然界で起こる個々の生物プロセスや輸送プロセスに時間軸が入るのだ。これまでになかったツールの登場によって、自然のバールがまた一枚めくられようとしている。 ^{14}C 年代法は今、三度目の春を静かに迎えようとしているのである。

次回以降は、 ^{14}C 年代法が切り出す新たな自然の一面について見ていくことにしよう。

文献

- 1—W. F. Libby: Radiocarbon Dating, 2nd ed., Univ. Chicago Press(1955)
- 2—R. F. Flint: Glacial and Quaternary Geology, John Wiley and Sons(1971)
- 3—C. V. Haynes: Science, **166**, 709(1969)
- 4—J. Habu: Ancient Jomon of Japan, Cambridge Univ. Press (2004)
- 5—R. Revelle & H. E. Suess: Tellus, **9**, 18(1957)
- 6—H. de Vries: Koninkl. Ned. Akad. Wetenschap. Proc. B, **61**, 94 (1958)
- 7—D. E. Nelson et al.: Nature, **198**, 507(1977)
- 8—I. Tayasu & F. Hyodo: In: Earth, Life, and Isotopes(eds. N. Ohkouchi, I. Tayasu, K. Koba), Kyoto University Press(2010) pp. 3-16
- 9—M. A. Lovell et al.: Neurobiol. Aging, **23**, 179(2002)
- 10—Y. Yokoyama et al.: Radiocarbon, **52**, 310(2010)
- 11—T. I. Eglinton et al.: Anal. Chem., **68**, 904(1996)

コラム はみだし生命科学 No.10

ライブラリ化する大学図書館の未来

有田正規 ありた まさのり

東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻(メタボロミクス)

理系に大学図書館は不要か

研究の進展が早くなるほど、新しい論文ばかり読んで研究を進められる¹。最近ではほとんどの論文をインターネットから取得できるので、図書室に足を運ぶ機会はめっきり減った。今後もオンライン化が促進され、紙媒体の購読は減る一途だろう。学生の勉強場所として重要な図書館も、研究者には不要の場所になってくる。オープンサイエ

ンスが主流になり大学が学術雑誌の購読をしなくなったら、図書館は何をする場所になるのだろうか。嘘のような話だがそんな事態も起こりかねない、と思わせるオープンアクセス雑誌の隆盛から紹介したい。

オープン化の色が図書館の命運を左右する

学術論文を無償公開(オープンアクセス化)する方針には大きく二つある。購読誌の掲載内容を著者自身のホームページや機関リポジトリで公開する形式をグリーン、出版社が著者に掲載料を払わせるオープンアクセス雑誌をゴールドと呼ぶらしい²。グリーンで有名なりポジトリは米国のPubMed Central(PMC)、そのイギリス版であるUK PubMed Central(UKPMC)、そして数理・物理系のプレプリントサーバー arXiv などだ。グリーンにはもともと、購読価格を不当につり上げてくる商業出版社への対抗策として機関や個人が研究成果を公開する草の根運動のような意味合いがあった³。しかしその運動が実を結ぶよりずっと早く、著者から掲載料を取るゴールド雑誌が世の中を席卷しはじめている。ブランド化した好例が2011年だけで1万3800報もの論文を掲載した総合誌 PLoS ONE で、掲載料は1350米ドルである⁴。この雑誌があまりにも成功したため、Springer や Nature などの学術出版社はもちろん、米国遺伝学会(Genetics Society of America)や米国物理学協会(American Institute of Physics)などのマンモス学会も類似のオープンアクセス総合誌を発行しはじめた⁵。

色別にみると、生命科学だけが(数学・物理・化学・工学・社会学などと違って)ゴールド優位である。実は、グリーンとゴールドの違いは大学図書館の命運を左右する。グリーンは大学図書館を一般社会と学術界を結ぶポータルとして位置づけるのに対し、ゴールドは図書館をスキップした構造を促進するからである。