

東電は凍土壁やサブドレン、地下水バイパスの計画がまだ端緒だった2014年4月に、対策が効果を上げれば最大で1日あたりの汚染水増加量が100 m³を下回ると予想していた。地下水バイパスやサブドレンが稼働してからは増加量の予測がさらに減少し、2015年9月28日の試算では凍土壁が稼働する年明け(16年1月)からは1日あたり50 m³の増加になるとしていた。

その後、凍土壁の稼働が遅れたり、汚染水の増加量を実態に合わせる*6などしたことから予測が後退していく。それでも凍土壁の効果が出れば、前述したように250 m³/日の増加になるという考えを変えていない。しかし現実には、これも前述したように500 m³/日弱の汚染水がたまり続けている。

また凍土壁は、8月の台風による大雨のあと、9月になって3カ所が溶けたことがわかった。東電は水が通る道があったために溶けた可能性があるという説明をしたが、温度が0度以下になった後、大雨とはいえ融解するほどの水が通るのでは、ほかの場所も一時的に溶ける可能性が否定できない。

ところで凍土壁の維持にかかる電力消費量は、今年度が4400万kWhで、来年以降は30台中20台の冷凍機を定常運転することで約4600万kWh*7になると、東電は説明している。電事連の資料*8によれば1世帯あたりの年間電力消費量は2013年度で約3240kWhなので、1万4000世帯分の電力を消費することになる。

非常事態なので電力消費量の問題ではないとは思いつつ、これだけのエネルギーを使い続けて所定の効果が得られなければ、企業統治の観点からも問題は大きいのではないだろうか。

東電は現在、凍土壁の温度が下がりきらない部

分に補助工法として、水ガラスなどを注入している。廃炉カンパニーの増田代表は、補助工法が完了する9月末には凍土壁の効果を評価できると述べている。

結果はもう少しで見えるが、問題は、代替案の有無だろう。繰り返しになるが、なぜか東電は今のところプランBを検討していないのだ。汚染水対策の先は見えない。

コラム 分子で地球を読む No.21

放射性炭素今昔

大河内直彦 おおこうち なおひこ
海洋研究開発機構

天然レベルの放射性炭素(¹⁴C)は、年代測定の手段として過去半世紀以上にわたって重宝されてきた。特に考古学や最終氷期以降の気候変動の研究にとって、ほどよい長さの半減期(約5730年)で放射壊変するからである。しかし、天然レベルの放射性炭素がトレーサー(物質の動きを追跡するツール)として同じく有用であることは、その道の専門家以外にはあまり知られていないようだ。特にこの半世紀については、ある特殊な理由によって、そのトレーサーとしての有用性がさらに増している。ここで放射性炭素の歴史とともに、改めて紹介することにしたい。

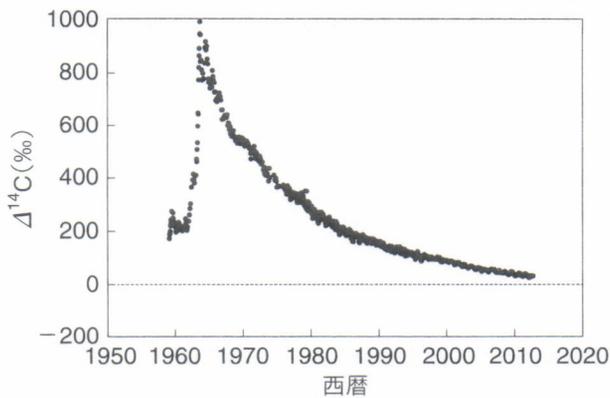
放射性炭素は、対流圏上部から成層圏において、窒素原子(紫外線によってN₂分子の三重結合が開裂して生じたもの)に宇宙線によって生じた中性子が捕獲されて生成する。この放射性炭素は間もなく二酸化炭素に酸化され、大気の大気対流にともなって混合されるとともに地表面付近に降りてくる。現在、大気中におよそ400ppm含まれる二酸化炭素のおよそ1兆分の1が¹⁴CO₂である。

第二次世界大戦後、米国とソ連の冷戦にともなう熾烈な核兵器開発競争が起き、1955年以降世界各地で大規模な核実験が行われた。中でも上層大気で行われた核実験では中性子が直接大気中に放出され、それが新たに放射性炭素を生み出し

*6—東電は2015年秋の時点で、汚染水は1日に350 m³の増加だと説明していたが、実際には500 m³の増加になっていたため、15年末に予測を修正した。詳細は本誌15年12月号に詳述。

*7—冷凍機1台の消費電力は261kW。

*8—<http://www.fepec.or.jp/enterprise/jigyou/japan/>



図一北半球中緯度(ヨーロッパ中部)において長年測定されてきた、大気中に含まれる二酸化炭素の放射性炭素濃度の変遷(文献2, 11)

縦軸は、産業革命以前のレベルが0で、その2倍が1000に相当する。

た。特に1961年9月から1962年12月にかけて、ソ連および米国が北極圏で行った数回の水爆実験のエネルギー量は、それ以前に行われた全ての核実験の2倍に匹敵するものだった。このことを反映して対流圏の放射性炭素濃度は急激に上昇し、北半球高緯度では各地で軒並み天然レベルの2倍(+1000%)を超えるレベルにまで達した¹。

1963年10月に部分的核実験禁止条約が発効し、大気中での核実験は実質上行われなくなった。それ以降、大気中の放射性炭素濃度も徐々に減少し始め、21世紀の今に至るまでその傾向は続いている。長期モニタリングが実施されてきたスイスのユングフラウおよびドイツ南部のシュワルツワルトの測定結果は、2011~2012年の段階ですでに+30%台にまで低下している(図)²。大気中の放射性炭素濃度はこの半世紀の間にはほぼ半減し、再び核実験以前のレベルにかなり近づいてきたわけだ。この放射性炭素濃度の減少は主として、1) 大気と海洋の間で行われる二酸化炭素の交換、2) 光合成を通じた生物圏への拡散、3) 放射性炭素を含まない化石燃料起源の二酸化炭素による希釈(スース効果)によるものである。モデル計算によると、化石燃料起源の二酸化炭素の影響により今後-250%程度にまで下がると推定されている³。

歴史的に見ると、こういった地球規模で行われた「放射性炭素スパイク実験」にいち早く目をつけたのが、大気中の二酸化炭素の動態に興味をも

っていた研究者たちである。当時はまだ地球温暖化が問題視される以前だったとはいえ、一部の研究者は、大気中に増大した放射性炭素が地球上の炭素循環を解き明かすうえで格好のツールになることを見抜いていた。彼らの推定によると、大気中の二酸化炭素の滞留時間は5~10年ほどである⁴。もちろんこの成果は、後に地球温暖化問題を考える上できわめて重要な知見となる。

とはいえ、この大気中の放射性炭素濃度の大幅かつ継続的な減少は、もっと広い分野に応用可能なものである。特に、同位体標識実験が難しい医学の臨床研究には重要な情報をもたらしてくれる可能性がある。細胞や細胞内物質の代謝速度の推定にユニークな方法論を提供するからだ。いまだ応用例は数少ないものの、脳の後頭部の神経細胞は生後ほとんど代謝しない(つまり、生年とほぼ同じ年代を持つ)ことや⁵、肥満の原因となる脂肪細胞の平均寿命が痩せた人、肥満の人にかかわらずおよそ10年であることなどが、この方法論により明らかにされた⁶。また、アルツハイマー病に特異的に見られる老人斑や神経原繊維変化に応用された結果、それらの回転率が通常の脳細胞よりかなり遅いことも報告されている⁷。1963年以降に生まれた人、つまり現在53歳以下の人はいずれも、大気中の放射性炭素濃度が減少してきた時期に生まれ育ってきたことになる。この世代の患者が今後増えてくると予想される中で、放射性炭素を用いる手法が病理学的研究に威力を発揮する場も間違いなく増えていくだろう。

さらにこの方法論は、法医学にも応用が利く。例えば、歯のエナメル質には微量の炭素が(主にアミノ酸として)含まれている。それは永久歯が生える時に合成され、その後代謝されることはない。そのため、歯の放射性炭素濃度を測定することによって、歯の持ち主の生年を推定することができる⁸。これに限らず、私自身の経験からすると、事故や事件の解明に放射性炭素が潜在的に役立つケースは多々存在する。

測定技術も同時に進歩してきた。かつては放射壊変によって生じるβ線をカウントすることに

より測定されていたが、1970年代には、試料をグラファイトに還元して加速器を用いた直接的な測定法が開発される。この分析上のブレイクスルーによって、測定に必要とする試料量が数gから1mg(炭素量換算)にまで3桁以上軽減されただけでなく、測定時間も大幅に短縮された。1990年代後半以降はさらなる微量化が進み、現在では100μg以下の炭素量で放射性炭素濃度の測定を行っているラボが世界中にいくつもある。また最近では、レーザー吸収分光法を用いたさらに簡便な測定法も提案され⁹、今後の展開が期待されている。こういった技術革新によって、測定可能な試料は桁違いに多様化した。おかげで研究の裾野が広がり、さまざまな分野の試料がこの方法論の恩恵に浴する基盤は着実に整備されつつある。

年々着実に進む、物質の単離・精製技術などとも相まって、天然物から特定の成分だけ取り出して、放射性炭素を測定する方法論の開発も徐々にその応用範囲を広げている¹⁰。地球科学や考古学といった歴史科学以外では知名度はまだ決して高いとはいえないが、放射性炭素を天然のトレーサーとして用いる研究は高い潜在性を秘めたものである。今後、多様な分野で利用されることを期待したい。

文献

- 1—R. Nydal & K. Lövsæth: *Nature*, **206**, 1029(1965)
- 2—I. Levin et al.: *Tellus B*, **65**, 20092(2013)
- 3—H. D. Graven: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **112**, 9542(2015)
- 4—例えば、R. Nydal: *J. Geophys. Res.*, **73**, 3617(1968); A. Walton et al.: *J. Geophys. Res.*, **75**, 3089(1970)
- 5—K. L. Spalding et al.: *Cell*, **122**, 133(2005)
- 6—K. L. Spalding et al.: *Nature*, **453**, 783(2008)
- 7—M. A. Lovell et al.: *Neurobiol. Aging*, **23**, 179(2002)
- 8—D. H. Ubelaker et al.: *J. Forensic Sci.*, **51**, 484(2006)
- 9—I. Galli et al.: *Phys. Rev. Lett.*, **107**, 270802(2011)
- 10—例えば、T. I. Eglinton et al.: *Science*, **277**, 796(1997); N. Ohkouchi et al.: *Science*, **298**, 1224(2002)
- 11—I. Levin et al.: *Radiocarbon*, **22**, 379(1980); I. Levin & B. Kromer: *Radiocarbon*, **46**, 1261(2004)

バイオエコノミーは未来の経済になりうるか

今泉みね子 いまいすみ みねこ

環境ジャーナリスト、翻訳家、生態学専攻。ドイツ在住

バイオエコノミーとは

今から20年近く前、環境記事のネタを探す中で「アウロ」という会社を知り、大いに感動して日本に紹介したことがある。アウロ社は、石油から作られた有機合成物質はいっさい使わず、植物からとられた精油(例えばオレンジの搾り糟からとられるレモン油)、根、ヤニ、牛乳カゼイン、ハチミツなどのバイオマスを主な原料として、ペンキ、ラッカー、材木の防腐・防虫剤、ワックス、家具のクリーナー、絵の具などを生産している。原料に再生可能資源を使い、環境にも健康にも負荷をあたえないことから、当時は「ソフトな化学」などと呼ばれて話題になった。日本でも、この会社の商品が売られるようになって久しい。

紹介した当時はこの他にも、トウモロコシやサトウキビのデンプンを原料とするバイオマスプラスチック製のポリ袋やボールペン、ヘンプの繊維から作られる断熱材、自然素材を使った化粧品などもぼつぼつと登場していた。今から言えば、これらはまさに、近年ブームとなりつつある「バイオエコノミー」の「はしり」的な存在だったと言えるだろう。

バイオエコノミーは一口で言えば、「生物を基盤とした(バイオベースという言葉が好んで使われている)持続可能な経済」、あるいは「生物資源の経済的利用」である。動植物や微生物などの「再生可能な」または「再育成する」資源を生産・加工・利用、そして流通させる経済、従来の石炭・石油を基盤にした経済に代わる経済である。農業、林業、漁業、養殖などから得られる動植物資源、微生物の働きから生み出される資源、さらには生物質の