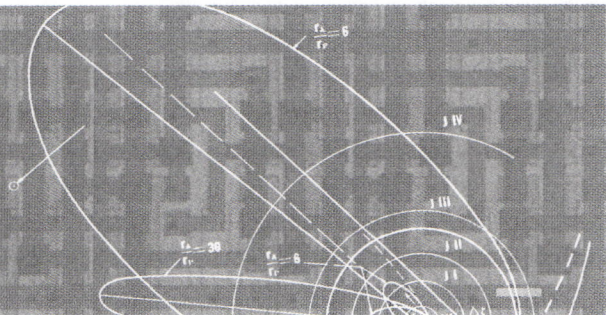




コラム 分子で地球を読む No.12

謎だらけのメタン

大河内直彦 おおこうち なおひこ
海洋研究開発機構

ご存じのとおりメタンとは、1つの炭素原子に4つの水素原子が結合したもっとも単純な有機化合物である。有機化学の授業で最初に出会う分子で、その物理的、化学的特性はもちろん十分理解されているし、その分析もガスクロマトグラフィーを用いて簡単にできる。そんなイージーな分子であるにもかかわらず、地球上におけるその動態となると、とたんに謎だらけになる。

現在、大気中に1.8 ppmほど含まれるメタンは、温暖化ガスの一つであるとともに成層圏における光化学反応で重要な役割を果たしているため、長らく大気モニタリングの対象となってきた。過去30年以上におよぶ観測データだけでなく、氷床コア中に含まれる気泡の分析から、大気中のメタン濃度は過去80万年間にわたって詳細に復元されている¹。その一方でメタンは昔から「沼気」とも呼ばれ、沼地や田んぼから放出され、時に爆発を引き起こす無色無臭のガスとして一部の地域では人々から恐れられてきた。首都圏一帯から房総にかけては「南関東ガス田」として知られ、地下深くで生成したメタンが地下水に溶けた状態で大量に蓄積されている。おかげでこの近辺では、大深度から地下水を汲み上げた都内の温泉施設が爆発するなど、近年でも事故が後を絶たない。こういったメタンは、酸素が全くない嫌気的な環境にひっそりと暮らす古細菌が主たる起源である。

一方、海に目を向ければ、将来の天然エネルギー

資源となる可能性も秘めたメタンがハイドレートとして存在する。これらも多くは堆積物中に生息する古細菌を起源としたものだ。しかし、それがいったいどこでできたものかについては実は定かではない。メタン・ハイドレート層内に暮らす微生物が作っているという考えもあれば、ずっと深い堆積物中で生まれたメタンが移動する途中でハイドレートを形成したという考えもある。海底のさらに下という研究しにくい場であることが足かせとなって、その謎は解けないままだ。石油を掘削すると一緒に出てくる天然ガスの主成分もメタンであるが、こちらは有機物が熱分解したものが主な起源と考えられてきた。とはいえ、貯留層内における古細菌の活動によってもメタンが大量に生成されていることが近年指摘されており²、議論はふりだしに戻った形だ。最近では、陸上植物がメタンを放出していることや³、マントル物質が高温で水と反応して変質する際にメタンが生じることも知られるようになった⁴。

とにかく天然中にみられるメタンには、化学的に生じたものと微生物学的に生じたものの2種類がある(図)。微生物が生み出すメタンとは、微生物が酢酸や二酸化炭素、メタノールといった「材料」からエネルギーを取り出す際の代謝物である。つまり、ある種の有機物を分解してメタンに変換するとエネルギーの差分が生じ、それを自らの生きる糧として利用しているというわけである。メタンとはその微生物にとっては、単なる排泄物にすぎない。

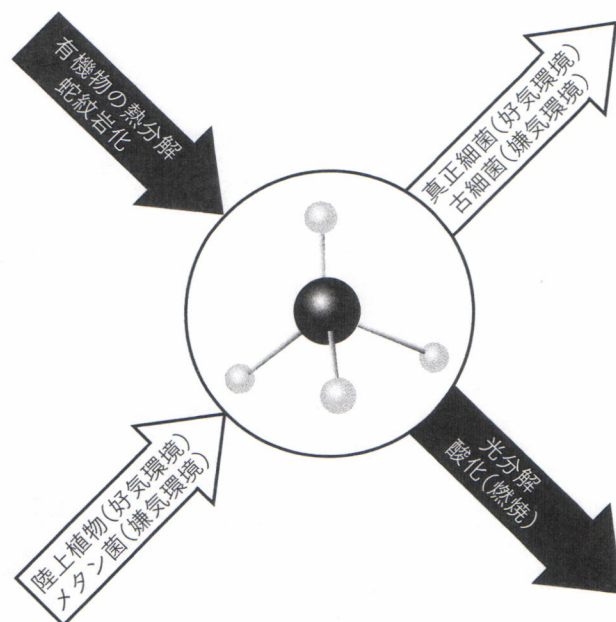
一方、天然環境中においてメタンが消費されるプロセスにも、化学的なものと微生物学的なものの2種類に分けられる。微生物学的にはさらに2通りに分けられて、長らく知られてきたのは、酸

素がたっぷりある環境下で起こるものだ。メタンを食べているのは真正細菌、いわゆるバクテリアの一種である。しかしその一方で、酸素ガスを含まない嫌気環境中でもメタンが消費されていることは、1970年代から地球科学者によって繰り返し指摘されてきた⁵。堆積物の奥深くにたっぷり含まれていたメタンが、海底面に近づくにつれて急激に減少するからである。とはいえ、嫌気的な堆積物中からそんな機能をもつ微生物が単離された例はなかった。このことから、嫌気環境中でメタンが消費されることは、微生物学者の間では長らく信じられてこなかった。

犯人がようやく捕まったのは、世紀が変わる直前のことである。犯人は、硫酸還元菌とコンソーシアム(共同体)を作る古細菌だった。古細菌が作り出す特殊な膜脂質の炭素安定同位体比($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比)がメタン由来のきわめて低い値と一致し、古細菌がメタンを食べて自らの細胞膜を合成していることの動かぬ証拠となった⁶。その後まもなく、硫酸還元菌が表面を覆う直径5~20 μm ほどの粒子状のコンソーシアム内部に、メタンを食べる古細菌が多数寄り添って暮らす様子が、特殊な染色法によって可視化された⁷。それ以降は堰を切ったかのように、このメタンを食べる古細菌が、硝酸や酸化鉄などを還元する多様な微生物たちとコンソーシアムを作っていることが次々と報告されている。お楽しみは当分続きそうである。

謎はまだ残されている。海を表層水中にメタンが過飽和に溶けていることだ⁸。光と酸素に満ち溢れた海を表層水は、常識的に考えればメタンが酸化され消費される場である。そんな所に溶けきれないほど大量のメタンが存在することを説明するためには、誰かがメタンを大量に供給していなければならない。しかし、これまで天然中で見つかったメタンを作る微生物は、酸素がたっぷりある表層海水中では生きていけないものばかりだ。いったいどうなっているというのだ？

この不思議な現実を説明するために、メチルホスホン酸が分解することによってメタンが放出されるといった説や⁹、シアノバクテリアにメタン



図一自然環境中におけるメタンは、化学と生物学がクロスオーバーする稀有な有機分子である
生物プロセスは白色の矢印、化学プロセスは黒色の矢印で示す。

菌が共生しているという説¹⁰が報告されている。しかし、その真の原因は相変わらず謎に包まれたままだ。半世紀近くにわたって「海洋メタン・パラドックス」として知られてきたこの現象は、21世紀の今も海洋学の謎の一つとして君臨し続けているのである。

メタンは、純粋科学の世界において研究されつくされた分子であるにもかかわらず、地球科学の分野ではいまだに話題に事欠かない分子なのである(図)。有機化学や微生物学といった縦割りの科学だけでは、複雑な自然は見通せないことを示す格好の分子と言えそうだ。

文献

- 1—L. Loulergue et al.: Nature, **453**, 383(2008)
- 2—D. M. Jones et al.: Nature, **451**, 176(2007)
- 3—F. Keppler et al.: Nature, **439**, 187(2006)
- 4—J. L. Charlou et al.: Geochim. Cosmochim. Acta, **62**, 2323 (1998)
- 5—W. S. Reeburgh: Earth Sci. Planet. Lett., **28**, 337(1976)
- 6—K.-U. Hinrichs et al.: Nature, **398**, 802(1999)
- 7—V. J. Orphan et al.: Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **99**, 7663 (2002)
- 8—W. S. Reeburgh: Chem. Rev., **107**, 486(2007)
- 9—D. Karl et al.: Nature Geoscience, **1**, 473(2008)
- 10—H.-P. Grossart et al.: Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **108**, 19657 (2011)