

微生物による炭酸石灰の沈積*

都 留 信 也**

1. まえがき

1925年にMOLISCH¹⁾は“石灰細菌および石灰沈積菌類”という興味ある論文を発表している。そこには結晶炭酸カルシウムを沈積する石灰細菌の存在についての記述がある。

この細菌は人工海水培地から分離されたもので、彼は*Pseudomonas calci precipitans*と命名した。この細菌は純粋分離しても炭酸カルシウムを沈積することが観察されている。石灰細菌は淡水・海水など天然水体においてカルシウム循環に重要な役割をもつことが知られるようになってきている。

MOLISCH もすでに引用しているように、石灰細菌の研究は新しいものではない。

1914年にDrew²⁾は脱窒細菌、*Pseudomonas calcis*を発見し、人工海水培地中に結晶炭酸カルシウムの沈積することを観察、報告している。この種の細菌はフロリダの海底底質に広く分布し、とくにバハマ諸島の底質には $1.6 \times 10^8 / \text{cm}^2$ の数値が報告されている。

塩湖についての微生物学的研究も18世紀末に行われ、ここでも炭酸カルシウムの沈積に関与する細菌群が観察、報告されている(1899年)³⁾。これら塩湖の水中には硫酸カルシウムが含有されており、底質中にはかなりの量の炭酸カルシウムが確認されている。同様の研究は塩湖について引続いて行なわれてきているが、ここでは実験について概略を記述することにした。

2. 湖底底質における炭酸カルシウムの形成⁵⁾

塩湖底質の黒泥をガラスシリンダーにつめ、上から湖水をかけ流す。黒泥表面は第一酸化鉄でおわれている。あらかじめ湖水を滅菌しておくと、炭酸カルシウムの沈積はまったく生じないか、部分的にしか生じない。

* 1969. 7. 1. 受理

** 工業技術院微生物工学研究所

ガラスシリンダーに湖水と黒泥をつめ、空気の入りをふせいでおくとつぎのプロセスが観察される（第二酸化鉄→第一酸化鉄→硫酸第一鉄）。

黒泥はその呈色度を高め暗黒色となる。炭酸カルシウムは可溶性の重炭酸塩となる。

こういったプロセスはどのような微生物によって行なわれているのであろうか？ また、どのような役割を微生物は演じているのであろうか？ こういった問題提起によって、黒泥から多くの微生物が分離された。つぎに、それらの微生物について述べることにする。

鉄とカルシウムの移動について注目することによって、まず、黒泥中には腐敗細菌として知られている *Proteus vulgaris* が広く分布していることがあきらかとなった。この細菌は蛋白を分解して、アンモニアと硫化水素とを形成する。2% ペプトン培地にこの細菌を接種すると、まず、コロニー近辺に鉄の集積が生じる。炭酸カルシウムは培養が古くなるにしたがって多くなる傾向をしめした。なお、滅菌しておく、このような現象は生じなかった。つまり、微生物が介在しなければ鉄・カルシウムの集積は起らないのである。

つぎに、*Bacillus mycoides* であるが、この細菌も蛋白を分解して、アンモニアを形成する。そして炭酸カルシウムを沈積するプロセスに関与している。肉汁・ペプトン・ブイヨンまたは寒天培地で純粋培養すると、当初小さな球状または殻粒状を呈するが、のち大きさとその数を増加する。そして最後には赤褐色の凝集体となり、硫酸カルシウムの球状体を形成する。寒天培地上では、培養が古くなると結晶炭酸カルシウムを形成した。この他、*Bacillus salinus* も同様の性質をもつことがあきらかにされている。

BEIJERINCK の *Bacterium cyaneofuseus* や OMELYANSKII の *Bacterium formicum* は、炭酸カルシウムの循環とは関連していないことが判明している。

細菌の他に、放線菌 *Actinomyces albus* は、蛋白を分解してアンモニアや硫化水素を形成する。とくに古い培養では炭酸カルシウムの沈積が認められる。1% ペプトン、1% 寒天培地では、炭酸カルシウムの沈積がみとめられる。人工海水培地では、硫酸カルシウムが炭酸アンモニウムに置換される反応がみとめられている。この他、*Actinomyces roseolus* や *Actinomyces verrucosus* も、同様の性質をもつことで知られている。

炭酸カルシウムの沈積は海水存在下で著しい。つまり硫酸カルシウムが存在し、有機物の腐敗が生じる際に、炭酸カルシウムの沈積がみとめられるのである。

3. 海洋での炭酸カルシウムの形成³⁾

その他の実験としては、人工海水培地に尿素を添加すると、尿素の分解にしたがって炭酸カルシウムが漸次沈積することが知られている。約20日間で70%以上が炭酸カルシウムとして沈積される。この炭酸カルシウムは、硫酸カルシウムと炭酸アンモニウムとの反応によって形成される。このことは室内実験でも確かめられる。たとえば、硫酸カルシウムと塩化カルシウムの溶液中で卵

白の腐敗を行なわせると、炭酸カルシウムが沈積する。つまり、海中で、動・植物の分解により、磷酸カルシウムや磷酸マグネシウムから炭酸カルシウムの球状体が沈積することは可能である。

とくに、海藻の腐敗（分解）プロセスに多くの細菌が関与するものと考えられるが、運動性をもつ非孢子性桿菌である *Bacterium helgolandicum* が分離された例もある。この細菌は、人工海水培地においても炭酸カルシウムを沈積する。

実験的には、褐藻 *Laminaria saccharina* を細断して人工海水に浸漬し、1ヶ月後の分解状況を観察してみると、白・灰色の粉状体が褐藻表面に出現していることがみとめられる。これは炭酸カルシウムの非晶質の小粒体であることが確認された。

この他の海藻については、褐藻 *Laminaria digitate* とか *Fucus vesiculosus* を用いた実験でも、海藻の分解が進行するにしたがって、細菌による炭酸カルシウム結晶の沈積がみとめられている。

黒海底質には大量の炭酸カルシウムが沈積しているといわれるが、この形成プロセスも細菌の関与する硫化水素の形成と関係があろう。

動・植物蛋白からのアンモニアの形成や細菌による脱窒現象、硫酸還元のプロセスが湖沼・海洋に広く分布しているからには、高緯度から熱帯にかけて、それぞれの条件下で、微生物による炭酸カルシウムの沈積が生じていることが推察できる。

ただ、微生物の活性は温度・圧力に関連するから、熱帯海域における作用のほうが、寒沼海域におけるより、その活性は高いであろう。

熱帯海域での炭酸カルシウムの沈積と微生物起源の炭酸カルシウム形成は、腐敗プロセスか脱窒プロセスによるものであると云うことができる。ところが、寒冷海域でも炭酸カルシウムの沈積がみとめられており、とくに海藻の腐敗分解による場合があらかにされている。

炭酸マグネシウムの沈積については、前述の *Proteus vulgaris* を用いた実験によると、2%ペプトン人工海水培地で灰黄白色の沈積が得られている。化学分析によると、この沈積物は炭酸カルシウムと炭酸マグネシウムとからなっており、沈積物の大きさは直径 0.5～2.0 mm で、微結晶の構造であった。この現象は、炭酸マグネシウム（ドロマイト）も炭酸カルシウムと同様に、微生物によって海水中で沈積しうることをしめすものと考えられる。

4. あとがき

炭酸カルシウム沈積に関する微生物の作用は、上述したプロセスによるものと考えられている。これは炭酸カルシウム団塊の形成とは直接関連はないが、化石化プロセスを実験的に考慮する際には、一つのアプローチとも考えることができる。

ここでは微生物活性とかそれらの作用の表面的記述にのみ力点をおいたが、今後の問題点としては、各種の底質中の炭酸カルシウムが入手されるならば、それらの炭素同位元素について地球化学

的分析を行って δC^{13} (C^{13}/C^{12}) 測定値を比較することが可能であろう。また、微生物菌株を供試しての比較的短時間の室内実験も可能である。

近年、魚類(ニシン)の分解(有機部分)による炭酸カルシウムの沈積が報告されている。⁴⁾ これも同様の仮説から行なわれた研究である。

文 献

- 1) MOLISCH, (1925) Zbt. f. Bakt., Abt. II, 65.
- 2) DREW, H. (1925) cited by MOLISCH.
- 3) NADSON, G. A. (1927) Arch. f. Hydrobiol., 19, 154.
- 4) BEYNER, R. A. (1968) Science, 159, 195.
- 5) TSURU, S. *et al.* (1964) Proc. Agr. chem., 28.

報 告

第135回AAAS国際会議の シンポジウムに出席して

小 林 巖 雄

昨年の暮、12月26～31日の5日間にわたって、第135回のAAAS国際会議が、アメリカ合衆国テキサス州ダラスにおいておこなわれた。AAASはアメリカ科学振興協会(American Association for the Advancement of Science)の略で、ご存じの世界的科学雑誌である「Science」を発行している協会である。この協会は、数学・物理・化学・生物など自然科学、医学・教育、さらに社会科学に及ぶ広範囲の研究者を集めて、毎年、講演会やシンポジウムを開いている。今回も、100以上の講演・シンポジウムがいろいろな分野にわたって開かれた。たとえば、日程の都合で開くことはできなかったが、「生命の起源」に関するシンポジウムが、OPARIN, FOX, ORO, ABELSON, KRAMPITZ らを集めて行われ、また地質学・地理学分野では、「南極研究」「人間の健康と病気に関する環境地球化学(アメリカ地質学会主催)」、「洞穴の研究(国際洞穴学会主催)」などのシンポジウムが催された。

私が参加した会は、アメリカの動物学会(American Society of Zoologists)の