

ケ イ 素 の 生 物 学 — 3 —

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

下等生物とケイ素

生物が進化の過程でどのようにケイ素と関わってきたかを知るためには、より始源的な生物いわゆる下等生物とケイ素の関係についての知見が必要です。

生命が地球に誕生してから40億年近くが経過したと見積もられていますが、最初の20億年余り、すなわち生物の歴史の半ば以上は細菌（バクテリア）だけの時代でした。

細菌は細胞一個のみからなり（単細胞生物）、遺伝物質のDNAはそのまま細胞質に存在する（原核生物）という共通性があります。細菌は形態構造は単純ですが変異性に富んでおり、多様な生化学的機能（光合成、化学合成、窒素固定、酸素呼吸など）が細菌の時代に開発されました。

そのあと、DNAが膜に包まれた核をもった細胞（真核細胞）からなる真核生物が現れました。これには菌類、動物、植物の三系統があります。真核生物は大部分が多細胞生物で、細胞の分化によって複雑な組織構造と、それによる新しい機能をそなえるようになりました。

このうち菌類はいわゆるカビ、キノコのグループで一般には植物的イメージがありますが、植物と動物の中間的存在です。菌類は明瞭な細胞壁をもっていますが、その成分はキチンかセルロースあるいはその両方からなっています。セルロース性の細胞壁をもっているところは植物に似ていますが、もう一つのキチンは動物にはありますが（エビ、カニ、昆虫類の殻の成分）、植物はつくれません。また栄養の取り方は動物と同じ従属栄養で、腐生、寄生、共生によって生活しています。

菌類は生物界ではもっぱら分解者として役割を果たしています。細菌も分解者として働きますが、細菌は主に動物体を分解を行うのに対して、

菌類は植物体を中心に分解を受け持っています。

ここでは先ず下等生物として細菌類と菌類（糸状菌）をとりあげ、ついで動物そして植物とケイ素の関係をみてゆきたいと思います。

細 菌

1 Silicate bacteria

前出の Voronkov の著書⁷⁾には、旧ソ連でのケイ酸塩を分解する細菌（silicate bacteria）についての研究が多数紹介されています。この細菌はケイ酸質の土壤中に生息し、aluminium silicateを分解してケイ素を養分として吸収し、その際土壌鉱物に含まれていたカリウムを遊離します。このカリウムは植物によって利用されるので、これに着目して土壌のカリウムの有効度を増進する細菌肥料が開発されました。試験の結果によると、多くの作物に増収効果があったということです。

この細菌の研究をしている Alexandrov 一派はこの細菌を *Bacillus mucilaginosus subsp. nova siliceus* と命名していますが、国際的には認められていないようです。また彼らは silicate bacteria は陸地に定着した最初の微生物であり、これによって地殻のケイ酸塩が分解され、他の生物が生育するのに適した環境がつくられたので、もしこの細菌の活動がなかったら、カリウムやリンを必要とする植物が岩の上に生育することはなかっただろうと述べています。

ケイ酸塩を分解し、あとで述べるケイ藻のようにケイ素を養分とする細菌が存在することは大変興味深いですが、ソ連圏内で行われていた研究は詳細な内容が伝わりにくいといううらみがあります。またこのような研究の追試が西欧圏でみられないのも気になることです。

2 *Proteus mirabilis*

Proteus mirabilis は好気性ないし通性嫌気性で、通常有機酸を炭素源として利用する短桿菌です。オランダの Heinen は1960年代に、この細菌のケイ酸代謝について一連の研究を行っていますが、その中から興味深い結果を列挙するとつぎのようになります。

1) この細菌のケイ素含有率は高いとはいえないが (0.3~0.6%)、吸収にあたって培養液のケイ素濃度を減少させる。したがって吸着のような物理的なものでなく、生理的なプロセスによる吸収である¹³⁾。

2) ケイ素の吸収は培養液に通気すると増加し、また糖 (グルコース) や有機酸 (ピルビン酸, コハク酸, クエン酸など) やアミノ酸の添加も吸収を促進する¹⁴⁾。

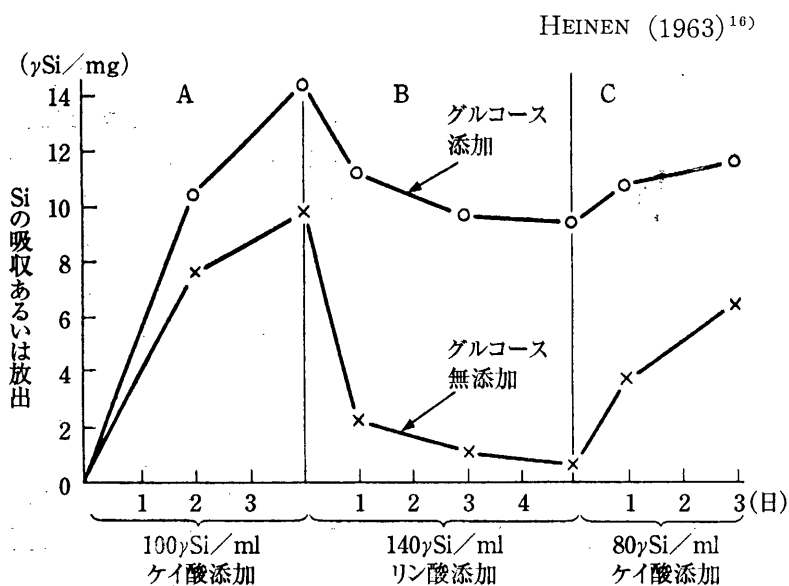
3) ケイ素の吸収は培養液のリン濃度を上げると低下し、リン・ケイ素濃度比4以上でケイ素の

6) 細胞抽出物 (cell free extract) がケイ素をとりこむことを認め、さらにケイ素代謝に関係する膜系由来の2種の粒子を見いだした。一つは酸素の消費と共役し、リン酸と水素イオンを放出する粒子、いま一つはケイ酸を取り込んで還元し、揮発性のケイ素の水素化物 (X-SiH) を出す粒子である^{19, 20, 21)}。

以上の一連の研究で Heinen は *Proteus mirabilis* の中には Si-C, Si-N をもった化合物があることを主張しています。またケイ素を集積する膜系由来の2種の粒子を見いだしたとしています。これらの結果には非常に魅力的ですが、残念なことにその後 Heinen の実験を追試した報告はないようです。

このほかケイ酸濃度の高い熱泉に生息する高度好熱細菌の中には、ケイ素と特別な関係 (耐熱性などに関して) を持つものがある可能性がありますが、詳しいことは分かっていません。

図4 *Proteus mirabilis* のケイ酸のとりこみとリン酸による置換放出におよぼすグルコースの影響



吸収はほぼ停止する¹⁵⁾。

4) グルコースのないときは吸収されたケイ素は速やかにリン酸と置換されるが、グルコースの存在下では置換されない (図4)¹⁶⁾。

5) グルコースとケイ酸を含む培養液で通気培養した菌体の赤外線スペクトルをとったところ、Si-OH, Si-H, Si-C, Si-N, Si-O-C の結合の存在が認められた^{17, 18)}。

糸状菌

糸状菌ではクロカビ (*Aspergillus niger*) についての研究があります。ケイ酸を添加した培地で培養したクロカビ菌体には、かなりの量のケイ素が取り込まれる (SiO₂として数パーセントにのぼることがある) という報告があります^{22, 23)}。

またクロカビを用いた微量元素の生物検定法の研究で、完全培地に添加したケイ酸によって平均15パーセントの菌体の増加をみとめたものがあります²⁴⁾。

糸状菌の中でクロカビは研究対象にされることが多いので、このような知見を得る機会があるのでし

う。しかしクロカビが菌類の中でとくにケイ素に反応する種類なのか、クロカビ以外にもいろいろあるのかはよく分かっていません。

糸状菌と藻類との共生体である地衣類は岩石の上に繁茂し、地衣酸を分泌して岩石を侵食します。地衣類のケイ素含有率はかなり高いという分析結果 (灰分中 SiO₂として10~20パーセント) もあります。このようなことから地衣類がケイ酸

鉱物の分解（岩石の風化）を行い、ケイ素の循環に一定の役割を果たしている可能性があります。

ケイ素は環境中には普遍的に、とくに岩石や土壌中には多量に存在しているので、地衣類や菌糸を扱う場合、汚染の問題が付きまといます。また細菌のような微小なものでは、体内のケイ素化合物の形態についての分析結果も、信頼性に疑問が持たれがちです。現在のところ、生物体に有機ケイ素化合物（前述の Heinen が示唆したような）が存在することは否定的です。

またこのような面倒なことがあるので、特別な場合（たとえばケイ藻）を除いては、微生物を対象にケイ素の研究が行われることは少ないのが現状です。始源的な生物とケイ素の関係については、今後の研究に待つところが大です。

参考文献

13) Heinen, W. : Archiv fur Mikrobiologie, **37**,

199~210 (1960)

14) Heinen, W. : *ibid.* **45**, 161~171 (1963)

15) Heinen, W. : *ibid.* **41**, 229~246 (1962)

16) Heinen, W. : *ibid.* **45**, 172~178 (1963)

17) Heinen, W. : *ibid.* **52**, 49~68 (1965)

18) Heinen, W. : Archives Biochemistry Biophysics, **110**, 137~146 (1965)

19) Heinen, W. : *ibid.* **120**, 86~92 (1967)

20) Heinen, W. : *ibid.* **120**, 93~100 (1967)

21) Heinen, W. : *ibid.* **120**, 101~107 (1967)

22) Holzapfel, L., Engel, W. : Z. Naturforschg. **9b**, 602~606 (1954)

23) Holzapfel, L., Richardson, E. : *ibid.* **10b**, 419~420 (1955)

24) Niklas, H., Tourset, O. : Z. Pflanzenernahr., Dung., Bodenk., **23**, 357~360 (1941)