

ケイ素の生物学 -6-

京都大学名誉教授

高橋 英一

藻類とケイ素

ケイ素を濃縮するケイ藻

動物には無機の骨格成分としてシリカを用いるものとカルシウム塩を用いるものの二つの系統があることを前に紹介しました。その中でシリカを骨格成分にしているのは、海棲の原生動物と海綿動物のあるものに限られていました。それでは藻類ではどうでしょうか。

藻類は緑藻、褐藻、黄金藻、紅藻など色で大別されることが多いですが、この色は光合成に関連する色素の組成の特徴を反映しています。これらの中、黄金藻に近緑のケイ藻はケイ酸を集積することで有名です。一方カルシウムを集積するものとしては、紅藻の仲間のサンゴ藻があります。サンゴ藻は腔腸（刺胞）動物のサンゴ虫とともに、南海の珊瑚礁の形成に役かっています。またケイ藻と同様黄金藻近緑のハプト藻は、ケイ酸ではなくカルシウムを集積します。このように藻類にもケイ酸を集積するものとカルシウムを集積するものとの二つのタイプがあります。

ケイ藻の形態の特徴³⁴⁾³⁵⁾

ケイ藻は細胞一個からなる顕微鏡的な単細胞藻

図 10 ケイ藻細胞の構造 (断面)

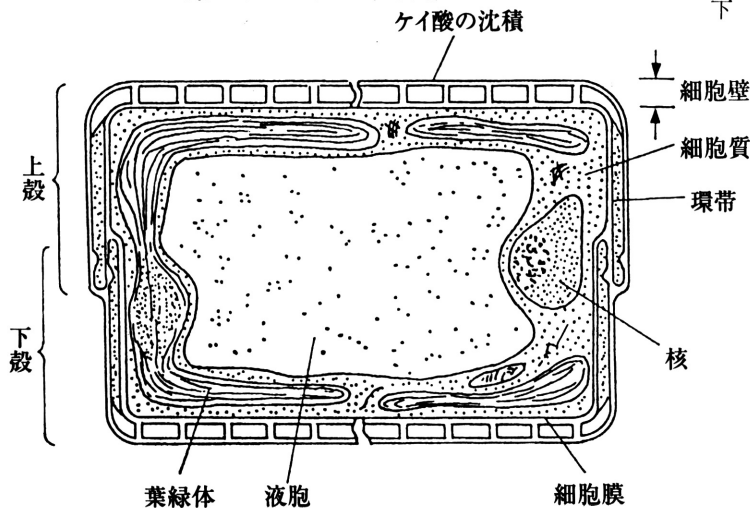
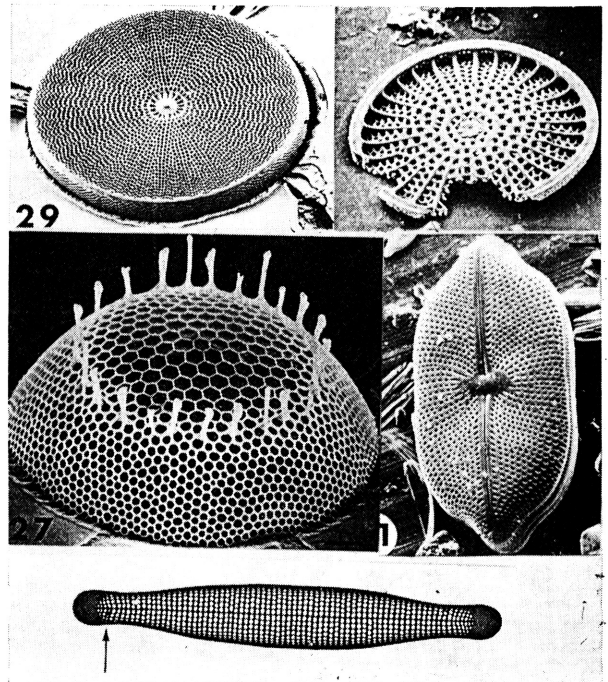


写真 2 種々のケイ藻被殻の電顕写真³⁵⁾



上段左：中心型クモノケイソウ上殻、右：同下殻
中段左：中心型ミカドケイソウ
右：羽状型フナガタケイソウ
下段：羽状型オビケイソウ

類ですが、蓋をした弁当箱のようなユニークな形態をしています。図10にみられるように細胞はケイ酸質 (SiO₂·nH₂O) の外蓋 (上殻) と内蓋 (下殻) に包まれ、内部には大きな液胞とそれと細胞壁に挟まれて、細胞質、核、葉緑体、ミトコンドリア、ゴルジ体などが存在しています。

殻の上面と下面のケイ酸質は厚く、沢山の細孔があいていて複雑な

模様を呈しています。この模様は種によってきま
っているので、分類に使われます(写真2)。殻
の重なり合っているところ(環帯)はケイ酸質が
薄く、模様も少なくなっています。

ケイ藻は分裂によって増殖します。ケイ藻の英
名の Diatom には「二つに分裂する」という意味
があります。すなわちまず環帯付近から細胞質の
中心へ向かって細胞膜が陥入し、これと平行して
核の分裂が起こり、それが終わる頃細胞膜による
仕切が完了します。こうしてできた娘細胞の新しい
細胞膜の内側にシリカの集積が起こり、新しい
下殻ができます。つまり娘細胞の上殻は常に親細
胞のもの、下殻は新しくつくられたものというこ
とになります。

ケイ藻は外形と殻の模様から、大きく中心型ケ
イ藻と羽状型ケイ藻に分けられます。中心型は殻
がほぼ円形で、中心から放射状に派生する模様
があり、羽状型は楕円形で殻の長軸に対してほぼ直
角に線状に伸びる模様があります。またケイ藻の
外側は透明なゼリー状の物質で包まれており、こ
れが厚いものは細胞が分裂しても分離せず、群
体をつくります。たとえば羽状型のイカダケイソ
ウは数十個の細長い細胞が平行に並んで群
体をつくっていますが、細胞が互いに周期的な滑
り運動するので、群体は伸びたり縮んだりしま
す。こうして水底を滑走運動しますが、その様
がイカダに似ているので、この名があります。

ケイ藻のシリカ被殻の形成³⁴⁾³⁵⁾³⁶⁾

海水のケイ素(Si)濃度は1~3ppmです。一
方海棲のケイ藻のケイ素濃度(乾物当たり)は10

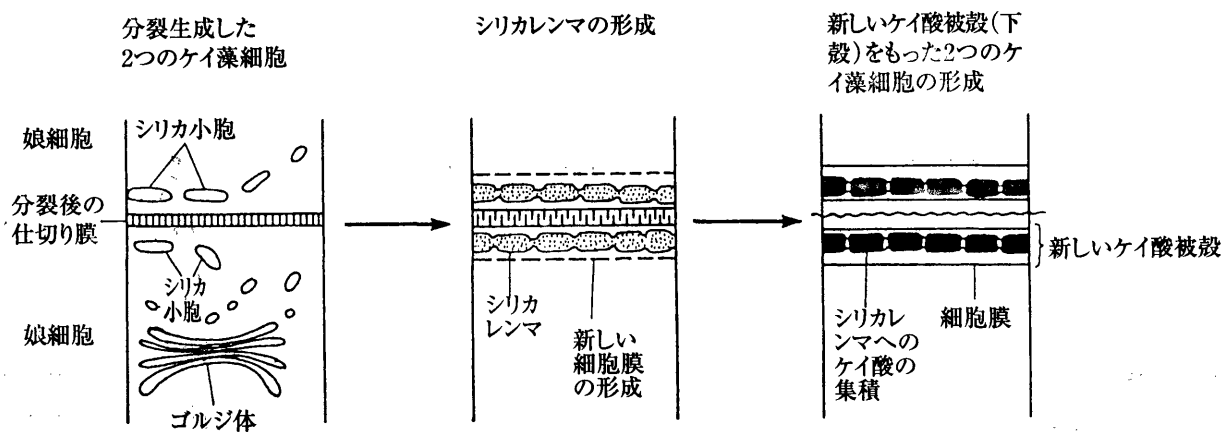
~30パーセントにのびります。つまりケイ藻は海
水中にとけているケイ素を十万倍に濃縮してい
るわけです。しかもそれで種によって特徴のある
模様をもったシリカ被殻をつくります。このこ
とは被殻形成が遺伝的制御のもとに行われてい
ることを示唆しています。これは生物学的に興
味ある現象ですが、現在までに明らかにされて
いる大要を紹介すると次のよう

です。海水に溶存しているケイ酸(H₄SiO₄)の
吸収濃縮は、シリカレンマというケイ藻特有
の膜組織中で行われます。このシリカレンマは
つぎのようにしてつくられることが、電子顕
微鏡によって観察されています。

図11に示すように、細胞内のゴルジ体周
辺から小胞が遊離され、細胞分裂によって形
成された娘細胞の細胞膜の方へ移動して平面
に並び、互いに融合して扁平な袋をつくりま
す。この袋の膜がシリカレンマで、これを通
して内部にケイ酸の集積が起こります。この
集積は均質に起こるのではなく、多くの孔が
あり、その配列によって写真2に例示したよ
うに、ケイ藻の種類によって特徴のある模
様を形成します。このようなケイ酸集積を行
わせる情報源がどこにあり、どのように伝え
られるのかはまだよく分かっていません。そ
して新しい細胞膜が細胞質とシリカレンマの
間に形成され、シリカ被殻は出来上がります。

ケイ藻のケイ酸集積にはエネルギーが必要
で、呼吸、解糖、酸化リン酸化反応の阻害
剤によってケイ酸の吸収は阻害されます。一
方ケイ酸の供給を断って欠乏状態においた
細胞にケイ酸を与え

図11 ケイ藻の分裂によって生成した娘細胞におけるケイ酸被殻の形成過程³⁴⁾



ると、呼吸の増加が見られます。またある種のケイ藻からとりだされた膜系の ATPase が、ケイ酸で活性化されることが見いだされています。一方ミトコンドリアの ATPase にはこのような性質はないので、この見いだされた ATPase はケイ酸が膜を通過して取り込まれる機構に関係していると思われる。

トレーサーによるケイ素集積機構の研究³⁶⁾

ケイ酸がシリカレンマを通過して内部に集積されるしくみを詳しく調べるために、ケイ素の放射性同位元素 ^{31}Si がトレーサーとして用いられました。しかし ^{31}Si の半減期はわずか三時間足らず(156分)で、利用に不便でした。ところがケイ素の同族元素であるゲルマニウム、かつてメンデレーフがエカケイ素(第二のケイ素の意)として存在を予言したケイ素に化学的性質のよく似た元素が、ケイ藻の吸収においてケイ素と全く同じ行動をとることが分かりました。しかもゲルマニウムには長寿命(半減期282日)の ^{68}Ge があります。もっともゲルマニウムは多量に吸収されると、ケイ素と違って害作用を呈します。しかし微量ならケイ素の代替トレーサーとして十分利用できます。

これらのトレーサーを利用した研究で次のような知見が得られています。

i) シリカレンマの表面にはケイ素結合部位がある。

ii) シリカレンマには Na^+/K^+ ATP アーゼがあり、これによって形成されたナトリウムの勾配に

よって、ケイ素はナトリウムとともに膜を通過して内部に共輸送される(Si-Na symport)。これは小腸内壁から糖やアミノ酸がナトリウムと共に取り込まれるしくみに似ている。

iii) ケイ素が膜を通過するときの形態は明かではないが、担体(ionophore)の存在の可能性はある。

iv) ケイ素の取り込み速度パターンにはピークがあり、細胞分裂の周期と同調している。これには特殊なタンパク合成が関係しているらしい。

このようなしくみでシリカレンマ中のケイ酸濃度が高まると(3.5 mM 以上)、重合(autopoly condensation)が起こり、無定形の加水シリカ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)が生じ、シリカ被殻が形成されます。しかし重合は一様に起こるのではなく、種によって特徴のある模様を示すので、単なる化学的重合ではなく、何らかの鋳型が存在している可能性があります。

生物によるケイ素の集積(biomineralization)の研究はケイ藻が最も進んでいます。まだまだ解明されるべきことが残されています。

参 考 文 献

- 34) 巖佐耕三: 珪藻の生物学, 6—27頁, 東京大学出版会(1976)
- 35) R. M. Crawford: The siliceous components of the diatom cell wall and their morphological variation, 文献 6) の pp.129—156
- 36) C. W. Sullivan: Silicification by diatom, 文献 9) の pp.59—89