

ケ イ 素 の 生 物 学 - 1 -

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

はじめに

シリカと私

Guy B. Alexander という人の書いた“SILICA AND ME: The Career of an Industrial Chemist”「シリカと私 —工業化学者の履歴」という本があります。ウィスコンシン大学で学位をとって間もないアレキサンダーが、一九四七年に講師をしていたユタ大学からクリーブランドのデュポンの研究所に移り、そこではじめてコロイド状シリカの研究に取り組むようになった数年間の出来事を生活記録風に綴った化学研究物語です。

私はこの本を二十数年前に翻訳¹⁾で読みましたが、著者のアレキサンダーに大変親しみを覚えました。それは実験室での著者の思考錯誤や一喜一憂の様が肌に伝わってくる上に、畑違いながら私もシリカに関する研究をしていたからです。

アレキサンダーの仕事は、当時デュポンが開発した「リュドックス」という商品名のシリカコロイド製品の種類を広げるための基礎研究でしたが、私の場合は、戦後暫くして肥料としてイネに施用されはじめたケイ酸塩の効果について、植物栄養学的な立場から研究をすることでした。そしてそれは、一九五六年に私が農林省の農業技術研究所から、京都大学の農学部へ移って間もない頃でした。

それまでの農技研での主な仕事は、丁度私の入所後にはじまった施肥改善事業のための水田の土壌調査でした。イネとは関係があるとはいえ、対象は専ら土であったので、植物主体の仕事をするのにはいささか不安がありました。それでアレキサンダーがボスのラルフ・アイラー博士からコロイド状シリカについて研究するようにいわれたときの戸惑いの気持ちが、何となく分かるような気がしました。

こうして私のシリカとのつきあいが始まりました。そしてそれは、途中とぎれながらも今日まで続いています。

当初私は、イネを中心に実験を行っていました。しかしよりよい理解をするには「シリカの大地」に根ざす植物全体を対象にした方がよいのではないかと考え、いろいろな植物を供試するようになりました。

さらにその後関心は、陸上植物から水圏の植物である藻類特にケイ藻や、動物全般とケイ素の関わりへと広がってゆきました。もっともこれらについては文献を調べるだけにとどまらざるを得ませんでした。農学の分野では得られない多くの知見に巡り会いました。

このようなことをしている中に、自然界に普遍的に存在するケイ素はどのように生物の世界に組み込まれてきたのだろうか、またいろいろな分野に散らばっている知見を「ケイ素の生物学」として総合できないだろうかと思うようになったわけです。

ケイ素の生物学の現在

ケイ素は半導体の素材などとして今やハイテク産業の花形になっていますが、ケイ素の生物学的研究の現状はどうか手短かに紹介しておきたいと思います。

19世紀中ごろには自然界に存在する元素の大半が発見され、分析法も進歩してきました。そのため土や植物体の元素組成が調べられるようになり、それらをもとに、土なしで植物を育てるための水耕液の組成が検討されました。植物の無機栄養生理の本格的な研究はこれからはじまります。

当時ケイ素は土や植物の恒常成分であり、イネやトクサなどいくつかの植物には多量に含まれていることも知られていました。しかし試験をして

も生育への効果が明瞭には認められないことが多く、結局水耕液の成分としては加えられませんでしたが。ただこのころ用いられていた水耕液には、不純物としてかなりのケイ素が存在していた可能性があります。

ところが今世紀になって水耕栽培の精度の向上がきっかけとなって、微量必須元素の研究が始まると、ケイ素は再び取り上げられ、イネ科など特定の植物の生育には効果のあることが認められるようになりました。しかしながら必須元素の基準を満たすには至らず、現在も水耕液の組成にケイ素は入っていません。

一方微量必須元素の探求が一段落した今世紀後半になって、有用元素というカテゴリーが登場しました。これは必須ではないが、ある種の植物の生育を促進したり、ある種の環境条件下で生育に必要となる元素のことです。

必須元素が植物栄養における普遍性を代表しているのに対して、有用元素は特殊性、すなわち環境への適応の結果形成された植物の個性を反映しています。有用元素という視点の導入は植物栄養学の地平を広げる役割を果たすことになりましたが、ケイ素はこの有用元素の代表的な存在です。

有用元素としてのケイ素への関心は、これまで日本は別として欧米では一般に低かったのですが、最近変化が起こりつつあります。

たとえば一九九四年に植物栄養学界の長老のエプスタインは、アメリカ科学アカデミーの会誌²⁾に、これまでのケイ素ぬきの水耕液で行われた試験結果には妥当でないものがあり得る（とくに環境ストレスが存在している場合）として、ケイ素は常に水耕液の組成に加えておくべきであると主張しています。

またドイツのマルシュナーは、一九九五年発行の大著「高等植物のミネラル栄養」³⁾に、ケイ素の生理作用について10頁近くも割いています。このようなことはそれまでの欧米のテキストには見られませんでした。

さらに1997年の *Advances in Agronomy* には、世界における持続可能な米生産のためにはケイ素地力の維持管理が必要であるとする、アメリカのダトノフらの50頁に及ぶ大論文⁴⁾（引用文献 234

篇、その三分の一以上を日本が占めている）が掲載されました。これなどすっかりわが国のお株を奪った感があります。

一方ケイ素の必須性が認められている生物もあります。その代表がケイ藻です。ケイ藻は水界の生産者として大きな地位を占めているので、詳しく調べられています。ケイ藻は種によって特徴のある見事な紋様のシリカの殻に包まれています。ケイ素はケイ藻の必須元素であることが確定しています（たとえば1977年に刊行のウェルナーの編著による「ケイ藻の生物学」⁵⁾）。

シリカを骨格物質にしている生物はケイ藻のほかにもいろいろあります。原生動物や海綿動物には、骨格物質にシリカを使うものと炭酸カルシウムを使うものの二系統のあることが知られており、生物進化との関係で興味を持たれています。

また脊椎動物の骨形成（硬骨化）には、ケイ素が微量必須元素的な役割をしていることが1970年代に証明され、現在動物の必須元素の表にはケイ素が加えられています（これらに関しては1981年刊行のシンプソンおよびヴォルカーニ編著「生物の系統におけるケイ酸質組織とケイ素の役割」⁶⁾が詳しい）。

さらにバクテリア、菌類、植物、動物、つまり生物全般とケイ素との関係についての文献を網羅したものに、ロシアのヴォロンコフらによる「ケイ素と生命」と題する著書があります（1975年に独訳が刊行）⁷⁾。これには1973年までの文献5000余りが紹介されています。

その後冒頭で触れたアイラーも、1979年刊行の「シリカの化学」⁸⁾の中で“生物学におけるシリカ”という一章を設け、70頁を費やして詳しく述べています。

また1986年には、Ciba Foundation によって「ケイ素の生化学」⁹⁾ が出版されました。これはケイ素の生理作用と医療への応用について1985年に行われた学際的なシンポジウムの講演と討論の議事録です。

このように見てきますと、ケイ素は生物界と深く関わっていることが分かります。自然界に普遍的かつ多量に存在する元素としてそれは当然のこ

とかも知れません。ここでは、生物が進化の過程でケイ素とどのように関わってきたか私なりに整理し、その中でイネやムギなどの「ケイ酸作物」がどのように位置づけられるか考えてみたいと思います。

参考文献

- 1) G. Alexander 著, 井上勝也訳: シリカと私, 東京化学同人 (1971)
- 2) E. Epstein: The Anomaly of silicon in plant biology, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol. 91, 11-17 (1994)
- 3) H. Marschner: Mineral Nutrition of Higher Plants 2nd ed. 417-425 Academic Press (1995)
- 4) N. K. Savant, G. H. Snyder and L. E. Datnoff: Silicon Management and Sustainable Rice Production, Advances in Agronomy, vol. 58, 151-199 (1997)
- 5) D. Werner edited: The Biology of Diatoms, 110-149, Blackwell Scientific Pubs. (1977)
- 6) T. L. Simpson & B. E. Volcani: Silicon and Siliceous Structures in Biological Systems, Springer-Verlage pp. 587 (1981)
- 7) M. G. Voronkov, G. J. Zelchan, E. Lukevitz: Silizium und Leben, Akademic-Verlage pp. 370 (1975)
- 8) Ralph, K. Iler: "Silica in Biology" in The Chemistry of Silica p. 730-802, A Wiley-Interscience Publication (1979)
- 9) Ciba Foundation Symposium 121: Silicon Biochemistry, John Wiley & Sons pp. 264 (1986)