

セイタカアワダチソウ (*Solidago altissima* L.) における生体鉱物

伊藤静香・大野源広・奥田 浩・加藤裕将・岸上佳史・桜山和美・
安多 剛・田崎和江

Shizuka ITOH, Motohiro OHNO, Hiroshi OKUDA, Hiromasa KATO, Yoshifumi KISHIGAMI,
Kazumi SAKURAYAMA, Takeshi YASUDA and Kazue TAZAKI: Biominerals in the
Structure of *Solidago altissima* L.

ABSTRACT: *Solidago altissima* L., which grows in the Kakuma campus of Kanazawa University was examined, in order to identify what kinds of elements were concentrated in the structure. Microstructure of four parts of each sample, such as pollen, leaf, stem and root, were observed with optical microscope and scanning electron microscope (SEM). Minerals and elements contained in the structure were analyzed by X-ray diffraction (XRD) and energy dispersive X-ray analyzer (EDX). The result suggests that numerous needle-shape crystals of whewellite were formed by biomineralization of living *Solidago altissima* L..

Key words: biomineralization, biominerals, optical microscope, SEM-EDX, *Solidago altissima* L., XRD, whewellite.

はじめに

植物体内に形成される種々の鉱物の研究は1980年代からさかんになった。例えば、キク科植物ではジプサム ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、バサナイト ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) などの鉱物が生成され (清水, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990), また, マメ科植物である大豆の茎にはハライト (NaCl) の結晶が一般的に生成されるが, ススを噴霧すると, 茎の部分に方解石を生成する (北世・田崎 1996)。キク科植物の1つである *Solidago altissima* L. は重金属を濃集することが知られており, その花粉がアレルギーを引き起こすことが問題となっている (茅野 1995)。

本研究では *Solidago altissima* L. が植物体内に生体鉱物を生成することを明らかにしたので報告する。

試料と実験方法

金沢大学角間キャンパス内に生息する *Solidago altissima* L. を11月下旬に採取し実験に用いた。*Solidago altissima* L. は, 北米原産の多年草帰化植物であり, 地下茎を放射状に伸ばして繁殖し, 土手や荒地に大きな群落をつくる。葉は茎に多く密集し, 披針形で鋭尖頭, 長さ6~13

cm, 幅1~2cmである。花期は晩秋(10~11月)で、小さい頭花を多数総状につけた枝が開出して、全体で大きな円錐花序をつくる。本研究では *Solidago altissima* L. を、植物の構造の違いによって花粉、茎、葉、根の4つの部分に分け、その鉱物学的・形態学的特徴を、微分干渉光学顕微鏡、X線粉末回折分析(XRD)、走査型電子顕微鏡(SEM)、エネルギー分散分析(EDX)を用いて、分析および観察を行った。

1. 微分干渉光学顕微鏡による観察

Solidago altissima L. の花粉、茎、葉、根の部分の切片をつくり、各々を Nikon 製微分干渉光学顕微鏡 NTF2A を用い、明視野検鏡法および微分干渉検鏡法で観察を行った。

2. X線粉末回折分析

Solidago altissima L. の花粉、茎、葉、根の部分を、液体窒素に浸し、凍結させた後、乳鉢でそれぞれを粉末にし、それに蒸留水を加えてペースト状にしガラス板に塗布した。含有する鉱物の同定には理学電機製 RINT1200型 X線回折装置を使用し、CuK α 線を用いて、電圧40kV、電流30mA で測定を行った。

3. 走査型電子顕微鏡による観察とエネルギー分散分析による化学分析

Solidago altissima L. の花粉部分、茎の横断面、葉の表裏及び剥離した面、根の横断面をそれぞれ検鏡試料とし、カーボンの両面テープで試料台に接着した後、炭素蒸着を施し観察を行った。走査型電子顕微鏡は日本電子製低真空走査顕微鏡 JSM-5200LV 型を用いた。また、エネルギー分散分析は、走査型電子顕微鏡に取り付けられたフィリップス製 EDAX PV9800 STD 型エネルギー分散型 X線分析装置を用いて行った。使用した加速電圧は15-25kV である。

結 果

1. 微分干渉光学顕微鏡による観察

Solidago altissima L. の茎の横断面を微分干渉光学顕微鏡により観察した結果、無色で光沢のある針状物質が認められた。また、維管束の細胞内にも100個前後の針状物質が認められ、それらは細胞壁の一部に凝集する場合もある。この針状物質の長さは平均10 μ m である。なお、そ

Table 1. Elements, crystal forms and sizes in *Solidago altissima* L. observed by scanning electron microscope equipped with energy dispersive X-ray analysis

	花粉	葉	茎	根
含有元素	—	Ca	Ca	K, Cl
結晶形態	—	針状、長柱状	長柱状	立方体
長さ	—	4~6 μ m	5~13 μ m	2 μ m

の針状結晶は、花粉、葉、根においては認められなかった。植物体内の各部位で生成される結晶形態とその長さを Table 1 に示した。含有元素についてはエネルギー分散分析の項で説明する。

2. X線粉末回折分析

微分干渉光学顕微鏡により観察された *Solidago altissima* L. の細胞内の針状物質の構造を知るためにX線粉末回折分析を行った。植物体内の各部位で生成される鉱物の同定結果を Fig. 1 に示した。

2・1. 花粉

Solidago altissima L. の花粉のXRDパターンは、約4 Åに幅広い反射が見られる他は強い反射は認められなかった。

2・2. 葉

葉のXRDパターンは、前述の花粉にみられたバックグラウンドの他に5.93, 3.65, 2.97, 1.98及び1.82 Åに非常に強い反射が認められ、ウェーベライト (whewellite : $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) と同定された。

2・3. 茎

茎のXRDパターンは、5.94, 3.65及び2.97 Åに弱い反射が認められ、葉の中の物質と同様にウェーベライトの存在を示した。しかし、それぞれの反射は葉と比べて強い反射を示さない。また、4.03 Åにはクリストバライトの幅広い反射も確認された。

2・4. 根

根のXRDパターンは、葉や茎と同様に5.93, 3.65, 2.97及び1.82 Åの強い反射が確認され、ウェーベライトであると同定された。しかし、三強線のピークは葉と比べて強い反射を示さない。また、7.25 Åに幅広い反射が確認され、カオリン鉱物であると同定された。さらに、4.03 Åにクリストバライトの幅広い反射も確認された。

Solidago altissima L. に生成したウェーベライトは、根→茎→葉にいくに従い、結晶度が高くなることをXRD結果は示している。また、クリストバライトの形成は、茎において顕著に認められる。

3. 走査型電子顕微鏡による観察とエネルギー分散分析による化学分析

微分干渉光学顕微鏡およびX線粉末回折分析で同定された鉱物が、どのような形態をしているのか、またどのような元素を含んでいるのかを知るために、電子顕微鏡による観察とエネルギー分散分析により化学組成を明らかにした。その結果を以下に示す。

3・1. 花粉の観察と分析

Solidago altissima L. の花粉は、イガイガ状で長径30 μm 、短径20 μm の均一な大きさを示し、顕著な鉱物の生成は見られなかった (Fig. 2)。

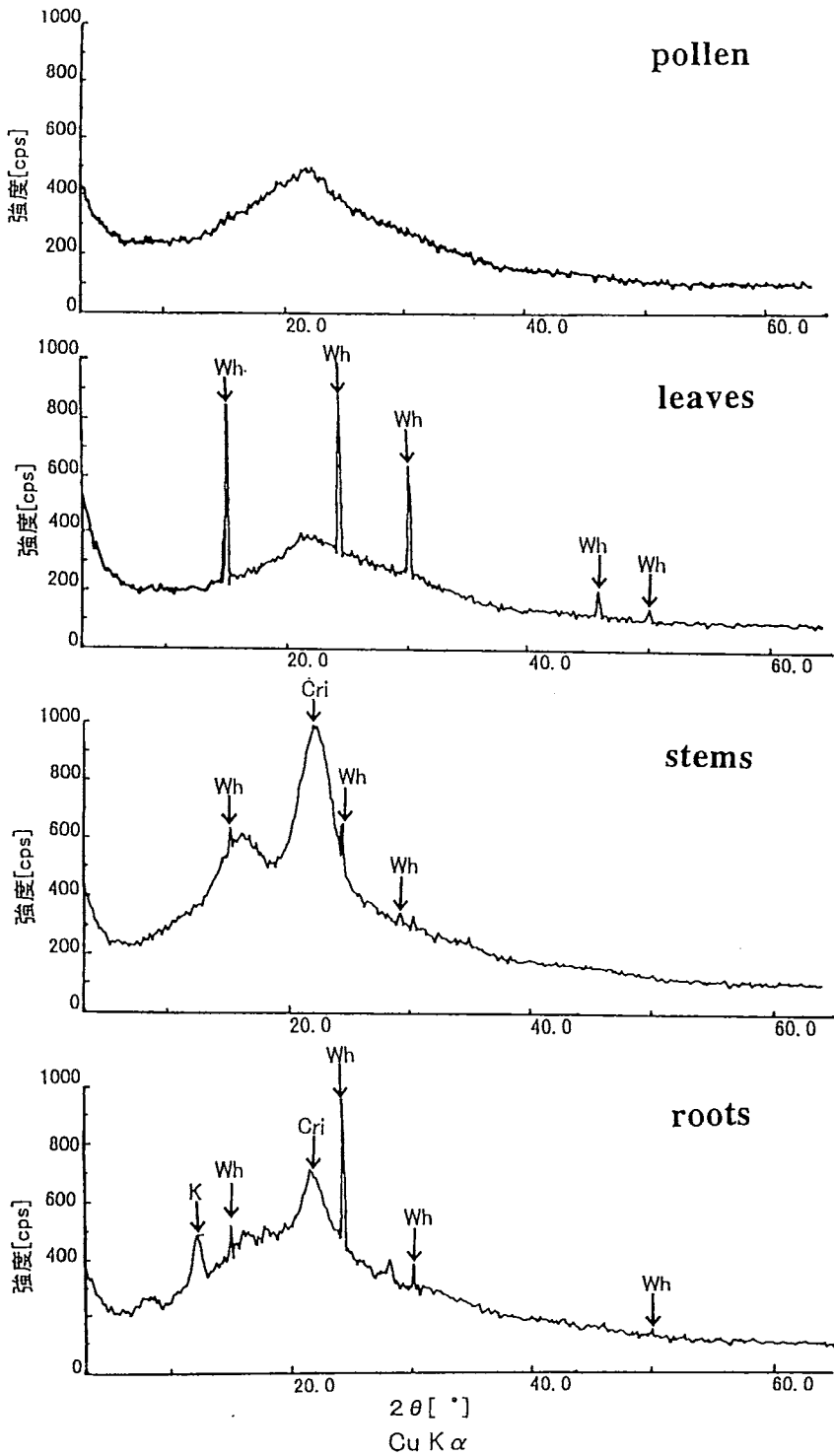


Fig. 1. X-ray powder diffraction patterns of the crystals in four parts (pollen, leaves, stems and roots) of *Solidago altissima* L.
Wh : whewellite, Cri : cristobalite, K : kaoline minerals.

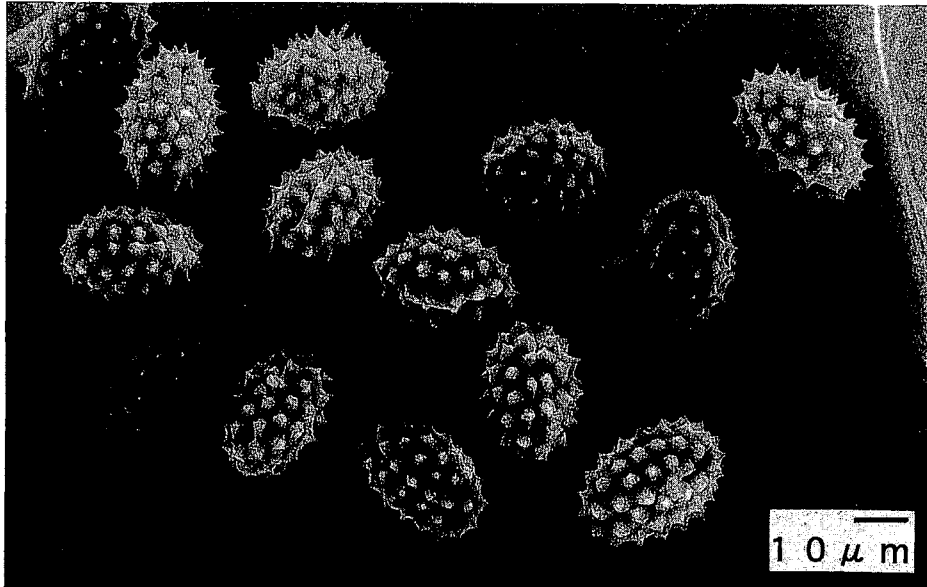


Fig. 2. Scanning electron micrograph of pollen of *Solidago altissima* L..

3・2. 葉の観察と分析

本論文においては図示していないが、葉の柵状組織に長柱状結晶が確認され、これをエネルギー分散分析をした結果、Caのピークが顕著である。長柱状結晶の大きさは4～6 μm である。柵状組織自体のエネルギー分散分析は、Mg, Si, P, S, Cl, K, Caの存在を示した。また、葉の裏面の気孔部分をエネルギー分散分析した結果、Si, P, S, Cl, K, Caが存在した。

3・3. 茎の観察と分析

茎の維管束の部分には長さ5～13 μm の針状結晶が多数確認された。エネルギー分散分析では、顕著なCaのピークが認められた(Fig. 3)。この結晶周辺の維管束部分の分析結果はCaの他、ClやKの存在も示した。また、有機物が多く存在するためバックグラウンドが大きい。この針状結晶は細胞壁の一部に凝集する傾向を示す。清水(1981)のウェーベライトの分類によると各々の結晶の先端は、針状の形態をとるものと長柱状の形態をとるものがある。また、その結晶の分布状態や結晶の方向性は一定ではない。

3・4. 根の観察と分析

本論文においては図示していないが、根にも立方体の結晶が確認され、これをエネルギー分散分析をした結果、KとClのピークが顕著に確認された。その結晶は、形態と元素からシルバイト(KCl)と考えられる。なお、Caを主成分とする結晶は根には認められなかった。

Solidago altissima L.の各構造における含有元素、結晶形態、大きさについてTable 1にまとめた。含有元素は、葉および茎においてCaが顕著であるのに対し、根の部分にはCaは認められず、K, Clのみが存在する。それにもよって形成する結晶の形態も異なる。すなわち、ウェーベライトは針状または長柱状を示し、シルバイトは立方体である。

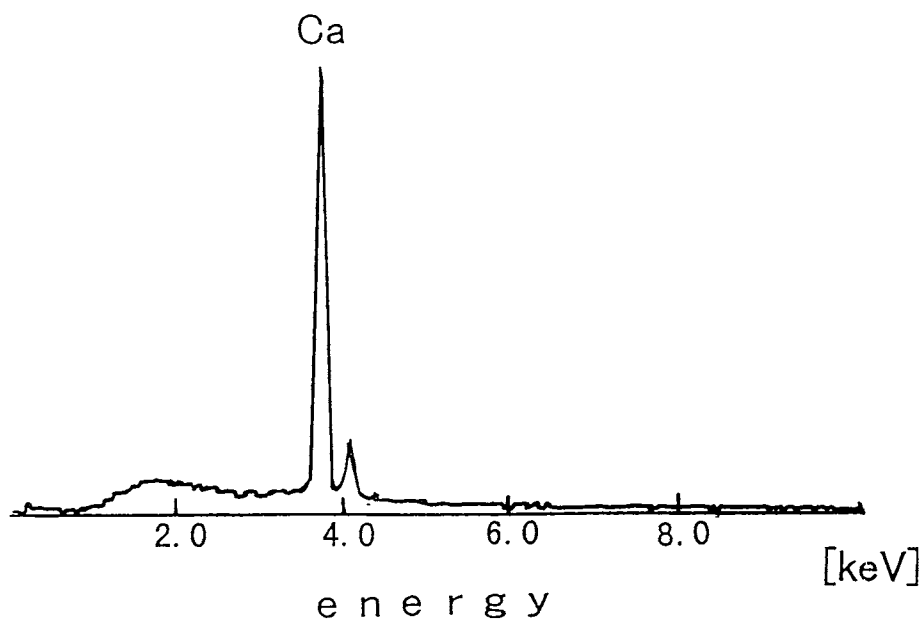


Fig. 3. Scanning electron micrograph of cross section of *Solidago altissima* L. stems and the EDX analysis, showing presence of needle shape whewellite in the structure.

考 察

Solidago altissima L. の微分干渉光学顕微鏡, SEM 観察, EDX 分析により, Ca を主成分とする鉱物の存在が明らかになり, これを X 線粉末回折分析を行った結果, ウェーベライトと同一とされた。一方, 無機的に合成されたウェーベライトは, 一般に無色透明でガラス光沢をもち,

その結晶形態は短柱状であり、酸性溶液に溶けるが、蒸留水には不溶である。ウェーベライトは熱水鉱床や断層面などにもみられる。また、鉱物学名辞典によれば、一般にウェーベライトは有機起源であり、しばしば植物化石や石炭を伴って産する。さらに、人体の腎臓結石などの一部もこの鉱物である（近藤・佐瀬 1986）。本研究により *Solidago altissima* L. に生成したウェーベライトは、無色透明で光沢のある針状または長柱状のものであった。すなわち無機的に合成されたウェーベライトと本研究の *Solidago altissima* L. にみられたウェーベライトとは、結晶の形態が異なる。また、*Solidago altissima* L. の葉を観察・分析した結果、XRD においてはウェーベライトの強い反射が確認されたが、SEM ではウェーベライトの存在はほとんど確認できなかった。今回、表皮および柵状組織の観察からはウェーベライトの存在が顕著に確認されなかったので、ウェーベライトは海綿状組織に局在すると推定される。

一般に多くの植物はあらゆる部位に珪素を多少とも沈積させ、植物体内で最も集積する部位は葉部である（PARRY and SMITHON 1966；BONNET 1972；GEIS 1973；近藤 1975, 1983 a）。これは葉部でとくに蒸散作用が活発におこなわれ、“蒸発皿効果”として珪素が沈積するためであると考えられている（BABA 1956；吉田 1965）。本研究結果からも葉において最も明瞭にウェーベライトの反射が確認されたので、ウェーベライトの形成は珪素と同様に蒸散に代表されるような代謝が関与していることが考えられる。また、*Solidago altissima* L. の場合、珪酸（クリストバライト）は葉部よりもむしろ茎の部分に多く集積しているので、珪酸は構造を保持する役目をしていることも考えられる。

本研究においては、何ら負荷を与えず自然の状態での *Solidago altissima* L. が一般的に形成する鉱物がウェーベライトやクリストバライト、シルバイトなどであると判明した。今後、重金属負荷を与え、重金属イオンがどのような場所にどのような状態で取り込まれるかを検討する必要がある。また、このことを利用し汚染土壌を改善することができると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、金沢大学理学部附属植物園の木下栄一郎博士、松崎一典氏、そして田崎和江研究室の方々には格段のご配慮をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

文 献

- BABA, I. 1956. Studies on the nutrition of the rice plant with special reference to nitrogen and silica. Proc. Roy. Soc. Japan. 24 : 29-33
- BONNET, O. T. 1972. Silicification cells of grasses : a major source of plant opal in Illinois soils. Agr. Exp. Sta. Bull. : 742
- 茅野充男. 1995. 生物による重金属の吸収と除去機能. 研究ジャーナル. 18-3, 11-17
- GEIS, J. W. 1973. Biogenic silica in selected species of dicotyledonous angiosperms. Soil Sci. 116, 113-130
- 原 襄. 1972. 植物の形態. 裳華房. pp. 156-190.
- 猪俣道也・比留川京子・鈴木進. 1995. 現生植物の植物珪酸体の形態. 東京農業大学農学集報. 40-1 : 8-31
- 木下亀城. 1960. 鉱物学名辞典. 風間書房. 899p

- 北世晃一. 1996. 大気汚染物質の植物への影響実験. 金沢大学理学部卒業論文.
- 近藤練三. 1975. 樹木起源の珪酸体について. ベドロジスト 20:174-190
- . 1983a. 植物珪酸体(プラント・オパール)分析の農学および理学への応用. 十勝農学談話会誌 24:66-83
- . 佐瀬 隆. 1986. 植物珪酸体, その特性と応用. 第四紀研究. 25-1:31-63
- 長田武正. 1976. 原色日本帰化植物図鑑. 保育社. 58p
- . 1981. 原色日本野草観察検索図鑑. 保育社. 146p
- PARRY, D. W. and F. SMITHON. 1966. Opaline silica in the inflorescences of some British grasses and cereals. *Ann. Bot.* 30:525-538
- 佐竹義輔・大井次三郎・北村四郎・亘理俊次・富成忠夫. 1981. 日本の野生植物III. 平凡社. 200:26-37
- 清水満子. 1981. キク科植物にみられる結晶I. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 24:101-109
- . 1982. キク科植物にみられる結晶II. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 25:19-30
- . 1983. キク科植物にみられる結晶III. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 26:25-34
- . 1984. キク科植物にみられる結晶IV. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 27:85-96
- . 1985. キク科植物にみられる結晶V. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 28:51-61
- . 1986. キク科植物にみられる結晶VI. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 30:1-19
- . 1987. キク科植物にみられる結晶VII. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 31:103-117
- . 1988. キク科植物にみられる結晶VIII. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 32:69-85
- . 1989. キク科植物にみられる結晶IX. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 34:59-73
- . 1990. キク科植物にみられる結晶X. 東洋大紀要教養編. (自然科学). 35:41-59
- 須藤俊男. 1980. 生体における結晶—リン灰石を中心として—. 科学. 50-7:420-428
- . 1987. 生鉱物学の研究領域と動向. 鉱物学雑誌. 18-3:149-162
- 吉田昌一. 1965. 水稻体中におけるケイ素の存在様式と生理的意義に関する研究. 農研報告 B. 15:1-59