

杉山真二*：遺跡調査におけるプラント・オパール分析の 現状と問題点

Shinji SUGIYAMA*: Some Problems of the Plant Opal Analysis in the Case of Archaeological Research

1. はじめに

植物の分類群の中には、イネ科やカヤツリグサ科の一部など、珪酸の集積性が高いものがある（高橋ほか，1981）。植物体内に吸収された珪酸分は、主に葉身の特定の細胞に沈着され、植物珪酸体（silica body）とよばれるガラス体が形成される。

植物珪酸体は、その主成分が鉱物と同じ珪酸であるため、植物珪酸体をもつ植物体が枯れて分解されたのちも、土壤構成物質の一種として半永久的に土壤中に残留する。この植物起源の土壤構成物質を、プラント・オパール（plant opal）とよんでいる（藤原，1976 a）。

花粉分析や種子分析などの植物遺体分析法は、遺体の保存上の問題から対象が水成堆積物に限定されることが多いが、プラント・オパール分析は台地や山地など乾陸上で堆積した土壤にも適用され、さらには土器胎土や灰でも分析ができるという利点がある。また、イネ科の植物珪酸体は分類群に固有の形態をもつものが多いので、草地や林床の植物相を復元するのに有効性を発揮する。ちなみに、栽培植物であるイネについては、種さらには亜種のレベルまで同定することができ（藤原・佐々木，1978）、稲作の歴史解明に寄与するところが大きい。

植物珪酸体は、イネ科以外にも草本類の一部や樹木葉中にも形成され（近藤・隅田，1978；近藤・ピアスン，1981）（図5-6，7）、森林植生の復元にも役立てることができる。たとえば、照葉樹林の主要構成種を多く含むクスノキ科は、花粉壁が完形では保存されないことから花粉分析によって捕えられたことはないが、同科の葉身中には植物珪酸体が形成され、これらは分類群に固有なものが多い（図5-6）。このことは、花粉分析と並行することによって、カシ林やシイ林はもとよりタブ林やクスノキ林などの照葉樹林の存在や、その分布拡大の様相・様式の解明に有効であることを示している。

以上のように、農耕史や古環境復元へのプラント・オパール分析のもつ有効性を考慮して、表1に示すような多方面への応用が考えられている。植物珪酸体の特性と応用については、近藤・佐瀬（1986）に詳しいので、ここでは主に遺跡調査への応用に関して、その現状と問題点について述べたい。

*〒331 埼玉県大宮市土屋 1795-24 有限会社 古環境研究所

Paleoenvironment Research Co., Ltd., Tsuchiya 1795-24, Omiya 331, Japan.

表1 プラント・オパール（植物珪酸体）分析の応用

植物学
植物分類の基準
植物系統樹との関連
植物群落の構成状態（草原と森林の分布、草原・湿原の変遷）
植物群落の生産力の推定
動物学
野生動物の食性と摂取量の推定
糞石との関係
農学
栽培植物の伝播経路
作付体系の変遷
光合成能との関係
乾燥牧草中のマメ科（またはイネ科）率の推定
土壌肥料学
土壌生成における植生の影響
腐植層の成因
腐植層蓄積年数の推定
腐植層の年代の推定
過去の表層の推定
過去に施用された稲藁堆肥量の推定
地質学
古植生・古気候の推定
示準地層の確認
考古学
古代水田跡や畑跡の探査・確認
土器の産地同定
農耕開始期の推定
古代人の生活様式（衣食住）の推定
遺跡をとりまく古環境の推定
その他
生薬の推定
法廷における犯罪識別（微量土砂試料の鑑別）

近藤・佐瀬（1986）の表3を一部改変。

2 プラント・オパール分析の現状と問題点

上述のように、植物珪酸体とプラント・オパールは、本来異なった意味で使われる（藤原，1976 a）が、これらの区別はあいまいであり、大越（1982）のように植物体中に含まれるものもプラント・オパールとよんだり、近藤・佐瀬（1986）のように土壌中から検出されたものも植物珪酸体とよび、分析法の名称も「植物珪酸体分析」としている場合がある。ここでは従来どおり、植物標本から抽出されたものを「植物珪酸体」、遺跡土壌や土器胎土などから検出されたものを「プラント・オパール」とよぶことにする。

植物珪酸体は植物体中のいろいろな細胞で形成されるが、このうち筆者らはイネ科の葉身中に特有な機動細胞に由来する珪酸体を同定の対象としている。これは、機動細胞珪酸体が他の細胞に由来する珪酸体とくらべて比較的大型（約 $50\mu\text{m}$ ）であり、珪酸体の抽出や同定および定量が容易であるためである。主な分類群の機動細胞珪酸体を図5-1～5に示す。しかし、オオム

ギ族やウシノケグサ族などのように、機動細胞珪酸体の発達が悪いものもある（藤原，1979）ため、すべてのイネ科にこの手法が有効であるわけではない。

これに対して、比較的小型（約 20 μm ）であるが、ほとんどのイネ科植物に形成される短細胞に由来する珪酸体のみを同定の対象とする方法（大越，1982）や、以上の細胞を含め長細胞や表皮毛由来などあらゆる種類の珪酸体をその形態によって分類する方法（近藤・佐瀬，1986；河室・鳥居，1986）がある。このように、プラント・オパール分析の対象となる植物珪酸体の種類は研究者によって異なり、同じプラント・オパール（あるときは植物珪酸体）分析といいながらも、対象のちがいによって結果やそれから導かれる知見には質的なちがいがある。

また、このような対象とする細胞のちがいによる問題ばかりでなく、プラント・オパール分析は植物珪酸体の形態分類に関しても大きな問題をかかえている。その一つは、イネ科植物の外部基本形態にもとづく分類と植物珪酸体の形態にもとづく分類とが一致しない場合がある（杉山・藤原，1986）ことである。この問題はイネ科の分類学にかかわるものである。もう一つは、植物珪酸体の分類や名称などで混乱を生じていることである。たとえば、「食パン状」珪酸体という名称は、機動細胞珪酸体のことを指す場合（加藤，1960；近藤・佐瀬，1986）もあれば、短細胞由来の珪酸体の一分類群を指す場合（大越，1982）もある。また、短細胞由来の珪酸体のうち「キビ型」と分類されるものは、キビ亜科に特有なものではなく、ダンチク亜科やスズメガヤ亜科の一部にも含まれている（近藤・佐瀬，1986；佐瀬ほか，1987）など、名称として考慮されなければならないと思われるものもある。

このように、プラント・オパール分析は、応用面が問われる一方で基礎的な研究が立ちおくれているというのが現状である。その原因として、この分野に関する研究者が少ないこととあいまって、研究者間の交流が少なくそれぞれ独自に研究が進められていること、研究の蓄積が概して少ないことなどがあげられる。対象とする植物種が多いこともあって、主要なイネ科植物以外の珪酸体標本の整備と検討はまだ不十分であり、珪酸体の形態記載についても主要なものを除いてあまり行なわれていない。このことがまた、研究者間の相互理解の妨げともなっている。

3. 遺跡調査への応用

我が国でプラント・オパールが遺跡調査に応用されたのは、1970年代の前半からである（藤原，1974）。藤原は、おもにイネ科栽培植物を中心に研究を進め、遺跡土壌等から機動細胞プラント・オパールを分離して同定および定量する方法を確立し、これを「プラント・オパール分析」とよんだ（藤原，1976 a）。同分析法を用いた遺跡調査への応用はおもに、古代農耕の探索および遺跡をとりまく古環境の復元の二つである。ここでは、筆者の知りうる範囲で、これら二つについてこれまでどのような成果が得られたかを具体的に示し、若干の展望を述べておくことにしよう。

1) 古代農耕の探索

古代農耕を探索する上で基礎となるものは、イネ科とりわけイネを中心とする分類群の植物珪酸体の同定と、農耕地であることを裏づける基礎資料の蓄積である。そのためにも、おもなイネ科植物について珪酸体標本が作成され、その形態について詳細な検討が行なわれた。その結果、機動細胞珪酸体の断面形状や裏面の紋様などから、イネ (*Oryza sativa* L.) とこれに近縁なものとは互いに区別されることが確かめられた (藤原, 1976 b)。さらに、機動細胞珪酸体の表面側と裏面側との比率 (b/a) など微細な形態の違いから、日本稲と外国稲とが区別されることが見出された (藤原・佐々木, 1978)。

また、植物体中の珪酸体密度や土壌中のプラント・オパール密度を計測するために、ガラスビーズを用いた定量法が開発された。同法を用いて植物体中の珪酸体密度が計測され、各植物の換算係数 (機動細胞珪酸体1個あたりの植物体各部乾重) が求められた (藤原, 1979)。たとえば、イネの葉身1g中には約20万個の機動細胞珪酸体が含まれ、珪酸体1個あたりの稲稈重は 1.03×10^{-5} g となる。土壌試料から検出された機動細胞プラント・オパールの密度にこの換算係数をかけることによって、植物体の生産量を推定することができる。この方法を用いて、青森県垂柳遺跡の第Ⅵ層 (弥生時代中期) で生産された稲稈の総量が算出された。その結果、面積10aあたり約18tとなり、当時の年間収量を100kgと仮定すると、およそ180年間にわたって稲作が営まれたことが推定された (藤原, 1984 b)。

以上のような基礎的な研究をふまえて、水田跡を探索する試みが各地の遺跡で行なわれた。その一例として福岡市那珂君休 (なかくんりゅう) 遺跡 (藤原ほか, 1984) の場合をみてみよう。この遺跡では、試掘の段階でトレンチ壁面から試料が採取されプラント・オパール分析が行なわれた。その結果、古墳時代前期の堆積物 (Ⅴ層) にイネ機動細胞プラント・オパール密度のピークが認められ (図1)、同層に水田跡が存在しているものと判断された。つぎに、5mメッシュでボーリングによる試料採取と分析が行なわれ、Ⅴ層水田跡の分布域が推定された (図2)。発掘調査の結果 (図3) は推定結果と良く整合しており、同調査法が水田跡の探索に有効であることが実証された (藤原・杉山, 1984)。このような調査法は、青森県垂柳遺跡 (藤原, 1984 b) をはじめ多くの遺跡に適用されて成果を上げている。

農耕史を解明する上で極めて重要な課題は、それぞれの遺跡で農耕が行なわれたことを確認することはもちろんのこと、それにもまして稲作がいつ開始されたかを明らかにすることであろう。このことの追究を目的として、九州西北部の縄文時代の遺跡においてプラント・オパール分析が行なわれた。

その結果、福岡県四箇東遺跡では、縄文時代後期末とされる三万田式土器包含層の土壌や転倒した土器の内部の土壌から、イネ機動細胞プラント・オパールが検出された。また、熊本県東鍋田遺跡や上ノ原遺跡などでも縄文時代後期末から晩期初頭とされる土壌や焼土から、イネ機動細胞プラ

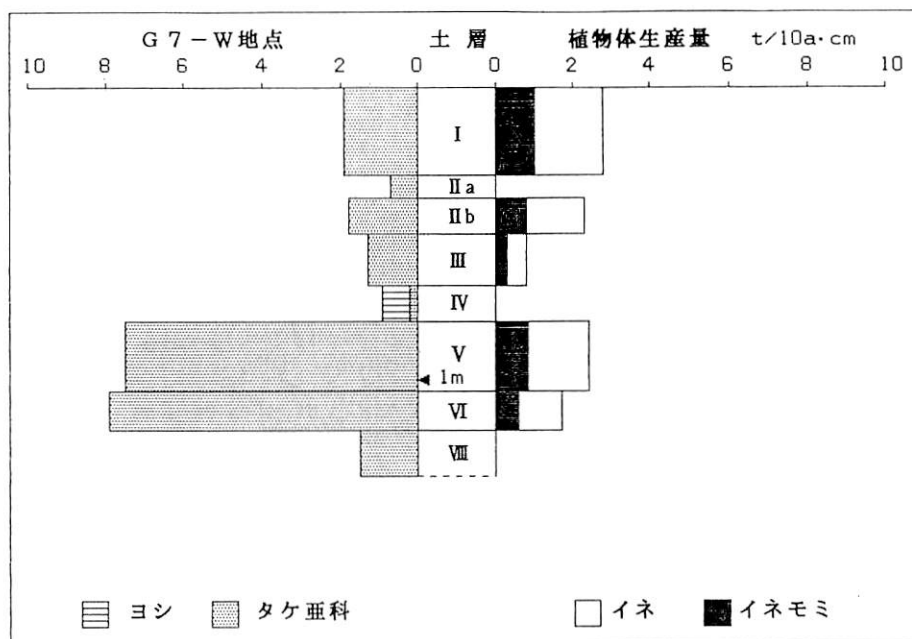


図1 那珂君休遺跡における主なイネ科植物の生産量 (藤原ほか, 1984)

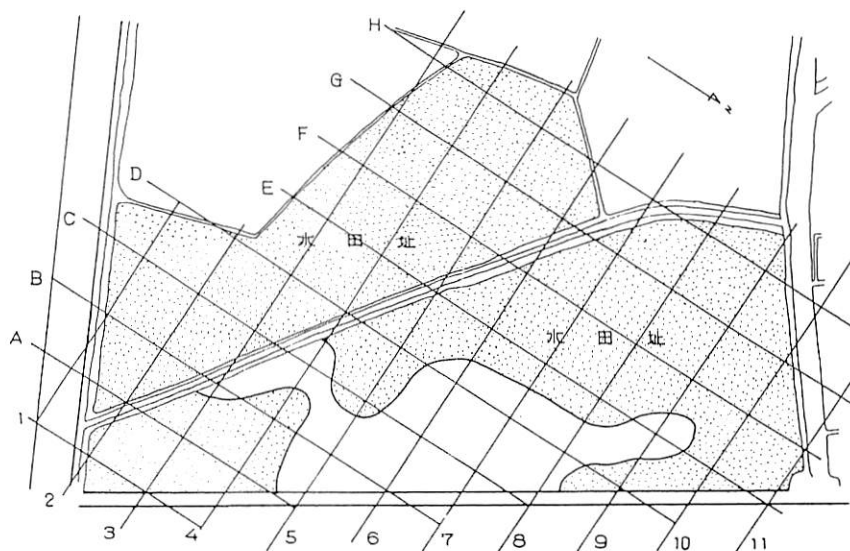


図2 那珂君休遺跡におけるV層水田跡の推定分布域 (藤原, 1984 a)

ント・オパールが検出された (藤原, 1976 a; 藤原, 1982 a)。これらのことから、九州西北部では縄文後期末にはすでに稲作が行なわれていたことが示唆された。

しかし、こうした稲作開始期の追究法に問題がないわけではない。すなわち、堆積土壌や焼土などの場合、プラント・オパールが他所から混入した可能性が全く無いとは言い切れず、また堆積時

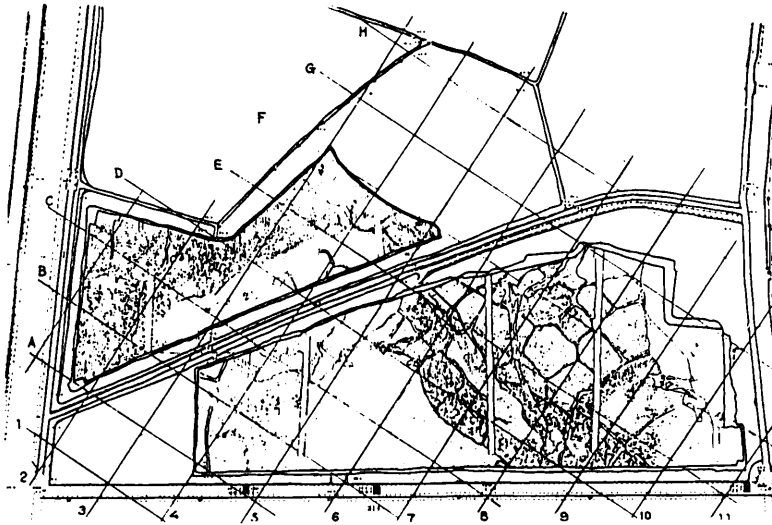


図3 那珂君休遺跡V層水田跡の発掘結果（藤原，1984 a）

期の決定についても種々の問題があるからである。そこで、プラント・オパールの混入がほとんど考えられない土器の胎土そのものからプラント・オパールを抽出する方法が開発され、熊本県内の縄文土器45点について分析が行なわれた。その結果、上南部遺跡から出土した上ノ原式土器（縄文時代晩期初頭）の胎土から、イネの機動細胞プラント・オパールが検出され、少なくとも同時期以前にイネが存在していたことが立証された（藤原，1982 b）。土器胎土の原産地や土器制作地がどこであるかといった問題など、稲作開始期の決定にはまだ多くの問題が内在しているが、以上述べたような方法論の開発や材料の検討も精力的に進められている。

ところで、古代農耕をめぐる問題で水田稲作とならんで注目を集めているのは、焼畑の系譜とりわけ焼畑の開始時期や様式についてである。焼畑作物の主要なものはヒエやアワなどのキビ族植物とされるが、同族の機動細胞珪酸体の形態についても詳細な検討が行なわれた。その結果、断面の形態や大きさから属レベルで区別される見通しは得られたが、栽培種までを特定するには至っていない（松田・藤原，1987）。

このことの応用として、群馬県六合村の熊倉遺跡（平安時代）周辺の山地においてプラント・オパール分析が行なわれた。その結果、浅間Cテフラの下層を含め数層にキビ族のプラント・オパールのピークが認められた。また、このピークはススキの消長と対応しており、ササ類とは相反する関係にあることがわかった。ススキが林床で繁茂することは考えにくいことから、焼畑など何らかの原因によって数回にわたって森林が開かれ、そこでキビ族植物が生産されるとともにススキが侵入・繁茂したものと推定された。このように、キビ族とススキの出現傾向から焼畑跡が推定される可能性が指摘された（藤原，1984 c；藤原ほか，1986）。

2) 遺跡をとりまく古環境の復元

プラント・オパール分析のもう一つの目玉となる応用面は、遺跡をとりまく古環境を復元することである。これには、遺跡縁辺の低地の植生復元やそれにもとづく堆積水域の環境復元、あるいは遺跡周辺の土地環境（たとえば草原であるのか林地であるのか、またそれは実際どのような状況であるのか）を復元することなどが含まれるであろう。こうした応用ができるのは、イネ科植物が分類群によっておおむね生育域を異にするからである。たとえば、ススキ属やタケ亜科は比較的乾燥したところに生育し、ヨシ属やマコモ属は湿地に生育している。またタケ亜科のうち、クマザサ属は落葉樹の林床でも生育できるが、ネザサ節は森林破壊の結果侵入するといわれている（室井、1960）。さらに樹木起源の珪酸体が検出されれば、花粉分析や種子・果実などの検討結果とあわせ、森林植生の復元にも寄与できるであろう。

その一例として、埼玉県川口市の赤山陣屋跡遺跡西堀の場合をみてみよう。この遺跡では、縄文時代末期を境として、下位の木本質泥炭(Ⅲ層)から上位の草本質泥炭(Ⅱ層)への堆積物の明瞭な変化が認められ、堆積環境はもとより周辺の環境が急変したことが堆積物の観察からも指摘された。そこで両層のプラント・オパール分析を試みたところ、木本質泥炭および草本質泥炭の下部ではネザサ節の卓越が見られ、草本質泥炭上部ではネザサ節の減少とともにヨシ属が激増したことが確認された(図4)。これらのことから、草本質泥炭下部までは比較的乾いた堆積環境であったが、草本質泥炭の上部では何らかの原因でヨシの繁茂する湿地に移行したものと推定された(杉山・藤原、1987)。この結果は、堆積物が急変する層準ではプラント・オパールの組成は明瞭に変化せず、若干遅れて変化することを示し、プラント・オパール分析が水域の環境の変化を具体的にとらえるのに有効なことを示した。

3) 遺跡調査における現状

古環境研究所という企業の研究機関として、筆者らは最近1年間に40をこえる遺跡についてプラント・オパール分析を行なったが、これらのほとんどが古代水田跡の探査もしくは確認を目的としたものであった。このように、プラント・オパール分析というと水田跡の調査という印象が強く、こればかりが同分析法の応用分野として定着してしまったかのような感がある。たしかに、生活遺構との関わりで生産遺構を検出することは考古学的に重要なことであり、今後とも必要なことと考えられる。しかし、表1に示したように、遺跡をとりまく古環境の復元などプラント・オパール分析には多方面への応用が考えられることから、遺跡調査においてもさらに積極的な活用が期待される。

4. おわりに

プラント・オパール分析が遺跡調査に応用されるようになったのは、わずか10数年前からのことであり、研究の歴史がはるかに長い花粉分析などと比べると、まだまだ研究の蓄積が少ないよう

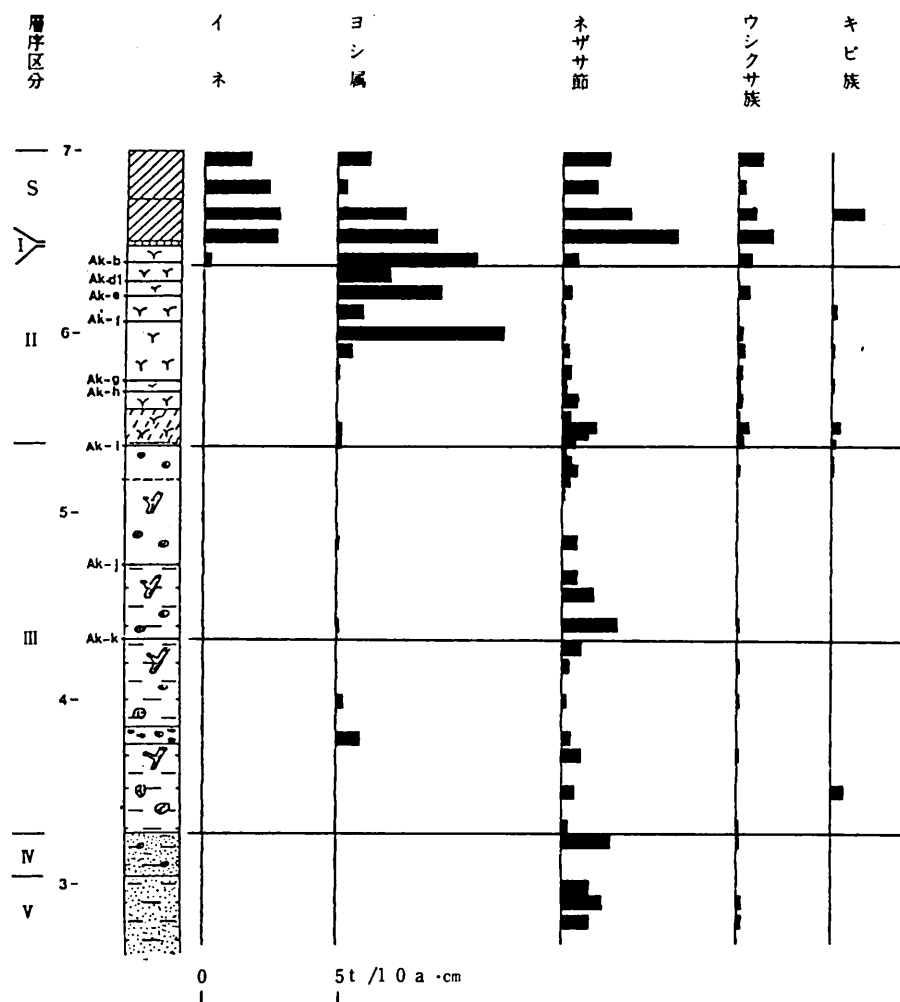


図4 赤山陣屋跡遺跡西堀スタンダードにおける主な植物の植物体供給量(杉山・藤原, 1987)

に思われる。形態・分類学的な問題や、まだほとんど手つかずの植物珪酸体の拡散・堆積・化石化の問題など、基礎的問題を根気強く解決していかなければならないが、一方では研究者間の交流と理解を深め、研究者層の充実や研究課題の展開をはからなければならない。現在、花粉分析などの研究者との共同研究をはじめ、炭素同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) による古植生復元や、シカのパレオバイオマスに関する研究者との共同研究を行なっているが、近い将来これらの研究成果も遺跡調査に応用されるものと思われる。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、大阪市立大学理学部生物学教室の辻誠一郎氏には終始ご指導をいただきました。ここに深く感謝いたします。

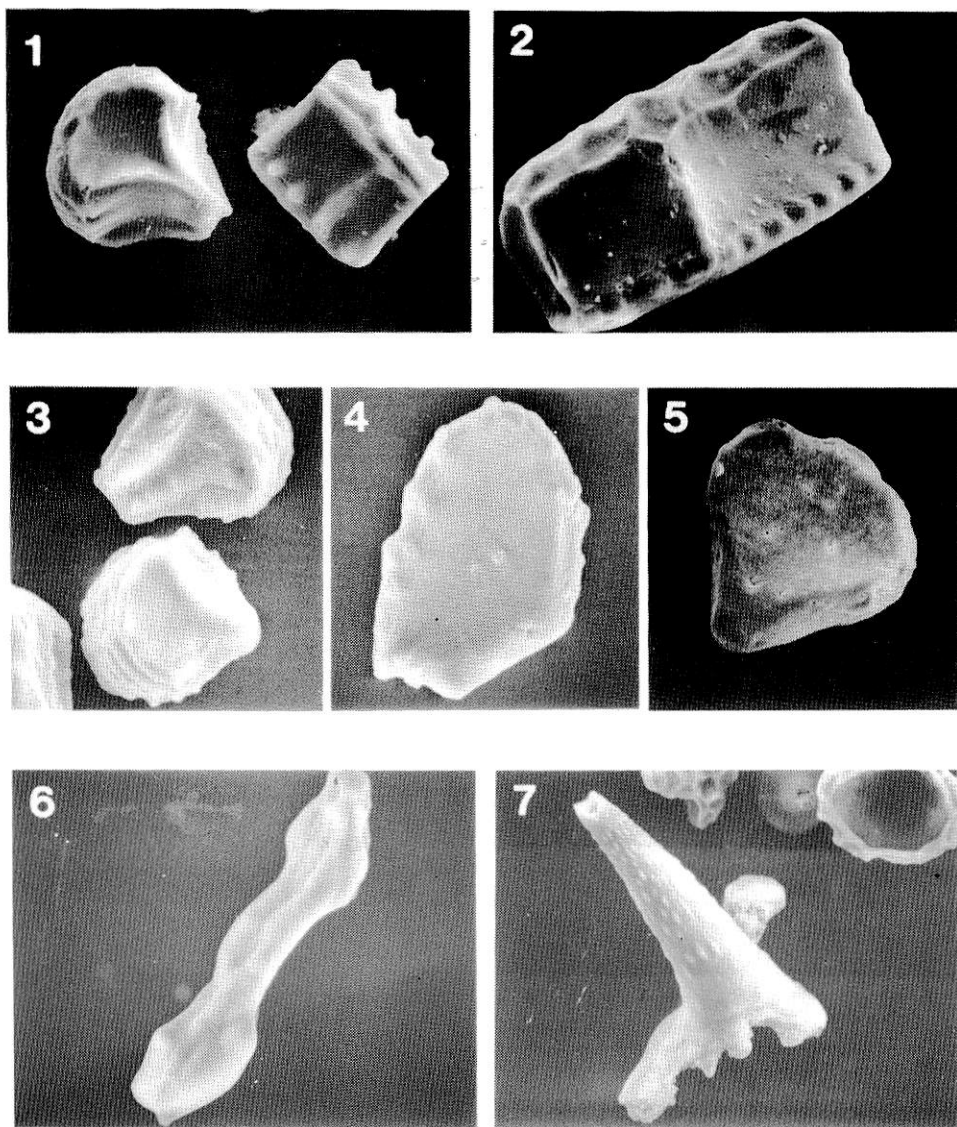


図5 主な分類群の植物珪酸体

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. イネ機動細胞珪酸体 (×1000). | 2. ヒエ機動細胞珪酸体 (×1000). |
| 3. アズマネザサ機動細胞珪酸体 (×1000). | 4. クマザサ機動細胞珪酸体 (×1000). |
| 5. ススキ機動細胞珪酸体 (×1000). | 6. クスノキの植物珪酸体 (×750). |
| 7. ヤマグワの植物珪酸体 (×500). | |

(3, 4 は杉山・藤原, 1986)

引用文献

- 藤原宏志, 1974. 野方中原遺跡上層の Plant Opal 分析, 「福岡市埋蔵文化財調査報告書30」, 50-51. 福岡市教育委員会.
- . 1976 a. プラント・オパール分析による古代栽培植物遺物の探索, 考古学雑誌, Vol.62, No.2: 54-62.
- . 1976 b. プラント・オパール分析法の基礎的研究(1)—数種イネ科植物の珪酸体標本と定量分析法—, 考古学と自然科学, No.9: 15-29.
- . 1979. プラント・オパール分析法の基礎的研究(3)—福岡・板付遺跡(夜臼式)水田および群馬・日高遺跡(弥生時代)水田におけるイネ (*O. sativa* L.) 生産量の推定—, 考古学と自然科学, No.12: 29-42.
- . 1982 a. プラント・オパールからみた稲作, 「シンポジウム縄文農耕の実証性」, 49-58. 特定研究「古文化財」総括班.
- . 1982 b. プラント・オパール分析法の基礎的研究(4)—熊本地方における縄文土器胎土に含まれるプラント・オパールの検出—, 考古学と自然科学, No.14: 55-65.
- . 1984 a. プラント・オパール分析法とその応用—先史時代の水田址探査—, 考古学ジャーナル, 227: 2-7.
- . 1984 b. 垂柳遺跡における水田跡の研究, 「青森県埋蔵文化財調査報告書(垂柳遺跡)」, 139-152. 青森県教育委員会.
- . 1984 c. プラント・オパール, 「熊倉遺跡」, 22-25. 六合村教育委員会.
- . 佐々木 章, 1978. プラント・オパール分析法の基礎的研究(2)—イネ (*Oryza*) 属植物における機動細胞珪酸体の形状—, 考古学と自然科学, No.11: 9-20.
- . 杉山真二, 1986. プラント・オパール分析法の基礎的研究(6)—プラント・オパール分析による畑作農耕址の検証—, 考古学と自然科学, No.18: 111-125.
- . 杉山真二, 1984. プラント・オパール分析法の基礎的研究(5)—プラント・オパール分析による水田址の探査—, 考古学と自然科学, No.17: 73-85.
- . 外山秀一, 1984. 土層の区分と水田址の探査, 「那珂君休遺跡Ⅱ, 福岡市埋蔵文化財調査報告書第106集」, 7-15. 福岡市教育委員会.
- 加藤芳朗, 1960. 「黒ボク」土壌中の植物起源粒子について(予報), 日本土壌肥科学雑誌, 30: 549-552.
- 河室公康・鳥居厚志, 1986. 長野県黒姫山に分布する火山灰由来の黒色土と褐色森林土の成因的特徴—とくに過去の植被の違いについて—, 第四紀研究, 25: 81-96.
- 近藤鍊三・ピアスン友子, 1981. 樹木葉のケイ酸体に関する研究(第2報)—双子葉被子植物樹木葉の植物ケイ酸体について—, 帯広畜産大学研究報告, 12: 217-229.
- . 佐瀬 隆, 1986. 植物珪酸体, その特性と応用, 第四紀研究, 25: 31-63.

- , 隅田友子, 1978, 樹木葉のケイ酸体に関する研究(第1報)—裸子植物および単子葉被子植物樹木葉の植物ケイ酸体について—, 日本土壌肥科学雑誌, 49:138-144.
- 松田隆二・藤原宏志, 1987, キビ族機動細胞珪酸体の形状に関する研究, 「日本文化財科学会大会, 研究発表要旨」, 28-29, 日本文化財科学会.
- 室井 綽, 1960, 竹笹の生態を中心とした分布, 富士竹類植物園報告, 5:103-121.
- 大越昌子, 1982, プラント・オパール, 「寿能泥炭層遺跡発掘調査報告書—自然遺物編—」, 239-259, 埼玉県教育委員会.
- 佐瀬 隆・細野 衛・宇津川 徹・加藤定男・駒村正治, 1987, 武蔵野台地成増における関東ローム層の植物珪酸体分析, 第四紀研究, 26:1-11.
- 杉山真二・藤原宏志, 1986, 機動細胞珪酸体の形態によるタケ亜科植物の同定—古環境推定の基礎資料として—, 考古学と自然科学, No.19:69-84.
- , 1987, 川口市赤山陣屋跡遺跡におけるプラント・オパール分析, 「赤山・古環境編」, 281-298, 埼玉県川口市遺跡調査会.
- 高橋英一・田中輝夫・三宅靖人, 1981, 植物界におけるケイ酸植物の分布について(その6), 日本土壌肥科学雑誌, 52:511-515.

(1987年7月2日受付)