

PALYNO

No.5

パリノ・サーヴェイ株式会社創立30周年記念号

- 講演会 -

創立30周年記念講演会開催主旨
講演会プログラム

- 挨拶 -

パリノ・サーヴェイ株式会社創立30周年にあたって
学際領域研究とパリノ・サーヴェイ株式会社
パリノ・サーヴェイ株式会社の歩み

高橋則忠
徳永重元
橋本真紀夫

- 動向 -

研究センター
分析センター
地質調査室
土壌研究室
考古学研究室
遺跡調査と自然科学分析調査

辻本崇夫
中根秀二
興津昌宏
中根秀二
植木真吾
橋本真紀夫

- 研究報告 -

黒曜石産地同定法の進展
越後平野北部地域における古植生変遷
射水平野周辺の古環境変遷

五十嵐俊雄・齋藤紀行
斉藤崇人・千葉博俊
田中義文・千葉博俊

- 技術報告 -

胎土分析における薄片観察法の展開
- 砂粒のポイント法による計数 -
珪藻分析の歩みと動向
当社での植物珪酸体分析の動向
- 処理方法を中心として -
遺跡におけるデンプン粒分析の展開
- 海外の分析事例から見た現状 -
森林総合研究所・木材採集会参加の成果
当社における植物標本作製と活用

矢作健二・石岡智武・山川真樹・辻 康男
伊藤良永

馬場健司

馬場健司・辻 康男
高橋 敦・松元美由紀
斉藤崇人

バックナンバー目次
編集後記

編集委員



2007.9.

PALYNOSURVEY CO., LTD

当社での植物珪酸体分析の動向—処理方法を中心として—

馬場 健司¹⁾

要 旨

当社では、植物珪酸体の形態分類を中心とした調査方法から、主にイネ科の葉部に形成される短細胞珪酸体および機動細胞珪酸体を対象として相対比(出現率)を算出する方法を採用するまでの間に、的確かつ効率的に試料中から植物珪酸体を分離して同定するための処理行程を試行錯誤してきた。その過程で、土壤、植物遺体や灰・炭化物、土器胎土を分析試料とする調査に対応できるようになった。今後さらに、植物珪酸体の挙動やタフオノミー(化石化作用)を考慮した的確な処理方法を検討していきたい。

はじめに

当社では、1980年代に植物珪酸体分析の受注対応を始めた。その後、同定可能な分類群を増やすとともに、より正確かつ効率的に試料中から植物珪酸体を分離し、同定するための処理行程を試行錯誤し、現在に至る。

ここでは、当社での処理方法の変遷と今後の展開について簡単に述べてみたい。

1. 当社での分析対象について

日本国内外での植物珪酸体分析の研究史および応用例については、近藤・佐瀬(1986)や近藤(1995)に詳しく記載されている。

日本国内の主な調査方法としては、イネ科葉身の機動細胞に由来した植物珪酸体(以下、機動細胞珪酸体と呼ぶ)を調査対象とする方法(藤原, 1976など)、葉鞘や葉身の短細胞に由来した植物珪酸体(以下、短細胞珪酸体と呼ぶ)を対象とする方法(大越, 1980など)、植物珪酸体全体を対象とする方法(近藤・佐瀬, 1986など)がある。

当社では、当初は加藤(1960)や近藤(1974)などを参考に植物珪酸体の形態分類を中心とした方法を採用していた。その後、先達の研究者の方々に現世・化石標本の蓄積や分析調査の際にご協力頂き、同定可能な分類群を増やすことができた。

特に、短細胞珪酸体を対象とした分析法では大越昌子先生(現 筑波大学生命環境学科)、植物珪酸体分析全般については帯広畜産大学教授の近藤鍊三先生(現 同大学名誉教授)にご指導を頂いた。

現在は近藤・佐瀬(1986)や近藤(2004)を参考に

して、主にイネ科の短細胞珪酸体および機動細胞珪酸体を対象とし、各分類群の相対比(出現率)を算出する方法を採用している。両珪酸体を対象とした手法により、イネ属などイネ科作物の有無を容易に確認できるようになった。

また、樹木起源の植物珪酸体についても、近藤・ピアスン(1981)や近藤(2004)などを参照して形態分類しており、現生標本の収集および観察を進めている。

2. 当社の処理方法

分析試料には、主に土壤、植物遺体や灰・炭化物、土器胎土がある。

以下に、試料別の処理方法を述べる。

(1) 土壤試料(図1)

1) 処理行程について

試料5g前後(湿重)を秤量する。この際、試料の粒径を触感法、土色をマンセル土色帳で確認する。

過酸化水素水・塩酸処理、沈定法(分散が進まなければ超音波照射を併用)、重液分離法の順に物理・化学処理を行い、植物珪酸体を分離・濃集する。これを検鏡しやすい濃度にしてカバーガラス上に滴下し、伸展器で対流しないように加熱しながら乾燥させる。その後、プレパラートで封入してプレパラートを作製する。400倍の光学顕微鏡下でプレパラート全面を走査し、その間に出現する植物珪酸体を同定・計数する。

この中で、重液分離法を除いた行程は当社の珪藻分析の処理工程と重なる部分が多かった。また、重液分離法は花粉分析の処理行程に含まれていた。そこで、

1) 調査研究部分析センター考古学研究グループ

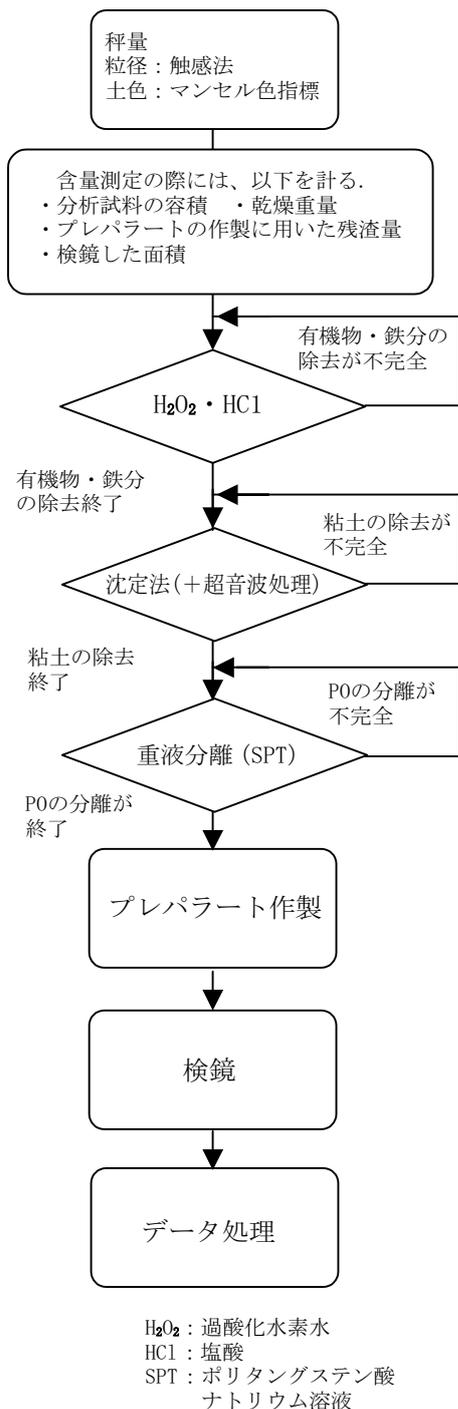


図1 土壌試料の処理行程

珪藻・花粉分析で用いる器材を共用できるように、処理行程を工夫した。これは、社内で珪藻分析や花粉分析の処理行程を併行して進め、作業の効率化を図るためである。

2) 重液用剤について

当社では、重液用剤にポリタングステン酸ナトリウム（SPT）を使用している。この試薬は、重軽鉱物の分離に用いる重液用剤として紹介されている（檀原ほか,1992）。化学的に安定で無臭、不燃性で、光に曝されても分解しない。溶媒は蒸留水であり、希釈あるいは蒸発により比重を1.0～3.1程度まで任意に調整できる。単価が3万円/kg前後と高額であるものの、廃液から試薬を回収することができ、比重調整することで繰り返して使用可能である。

試薬の毒性については、ドイツでの製造元であるSOMETU社の「製品安全データシート」(MSDS:Material Safety Data Sheet)では無毒（毒性が低い）とされる。ただし、アメリカでの製造元であるSigma-Aldrich Corporation社のMSDSでは有毒とされている。東京都立産業技術研究所（現在は都立産業技術研究センター）では、これを受けて他の重液用剤の利用が模索された（後藤・山崎, 2004）。

当社では現時点で、SPTの溶媒が毒性のない蒸留水である点、ゴム手袋やゴーグルなど防護具を装着すれば人体への飛沫の付着を防ぐことが出来る点を考慮して、SPTを用いている。

また当社では、重液分離後の廃液を回収し、不純物を除去した上でドラフト内に設置した電熱器により水分を蒸発させて比重を調整する。この行程で、可能な限り再利用している。

3) 絶対量測定について

前述した機動細胞珪酸体を調査対象とする方法では、土壌1ccあるいは1g当りの植物珪酸体密度を求めている。特に、稲作が行われた水田跡の土壌ではイネ属の機動細胞珪酸体が5,000個/g程度検出されることが多く、安定した水田稲作の1つの基準とする事例がある（杉山, 2000）。

調査する遺跡の周辺で同様な手法で既存調査がある場合、その結果と比較するために、各分類群の絶対量（含量）を測定することもある。その際には分析試料の容積、乾燥重量、プレパラート作製に用いた残渣量、検鏡した面積を計量し、同定した数を堆積物1gあたりの個数に換算して、植物珪酸体含量を求める。

(2) 植物遺体や灰試料の処理方法

住居跡で用いられた草本質の屋根材や壁材、炉やカマドの燃料材を推定する場合には、炭化物（特に草本

質)あるいは灰を用いる。

葉や茎に存在する植物珪酸体は、珪化細胞列などの組織構造を呈している。植物遺体や植物が燃えた後の灰には植物珪酸体を含む組織構造が珪化組織片などの形で残されている場合も多い(例えば、パリノ・サーヴェイ株式会社, 1993)。

試料中の有機物が被熱により消失、灰化している場合には、そのまま光学顕微鏡の観察が可能である。

試料が炭化している場合、炭が観察の障害となるため、試料を過酸化水素水で漂白、灰化して、光学顕微鏡で観察する。

(3) 土器胎土の処理方法

土器胎土を対象とした調査には、これまでも稲作の開始時期を推定する資料を得る調査(藤原, 1981など)、胎土の供給源や混和材に関する調査(辻本・伊藤, 1995など)が行われている。

処理方法には、胎土試料を粉碎する方法と胎土薄片を観察する方法がある。

前者では、胎土に付着した土壌からの植物珪酸体の混入を除くため、胎土試料の表面を流水で洗浄し、表面をグラインダーなどで削る、あるいは超音波照射で

洗浄する。これを鉄乳鉢で粉碎し、細粒物(粒径1/16mm未満)を得る。その後の処理方法は、土壌試料での方法と同様である。なお、堆積物の地質学的背景を考える上で鉱物分析との併用が有効である、その際は鉱物分析を先行し、処理行程で除去される細粒物を用いる。焼成によって植物珪酸体の周囲で粘土分などが固化するために、植物珪酸体が分離しにくい場合も多いものの、植物珪酸体を濃集でき、観察が容易になる。

後者では、胎土試料の一部をダイヤモンドカッターで切断し、正確に0.03mmの厚さに研磨して薄片を作製する。これを、顕微鏡で観察して植物珪酸体の有無や含まれる分類群を確認する。切断面の設け方により同定の基準となる部位が観察できない場合があるものの、植物珪酸体の有無を確認できる。

現段階では、粉碎する方法と薄片観察を併用することが有効である。その際には、いくつかの土器形式について複数の試料を対象として植物珪酸体の産状を調査することが望まれる。なお、珪質の微化石である珪藻殻や海綿骨針が含まれる時もあり、胎土の供給源を検討する際の参考とする。

3. 今後の課題

今回は、試料中からの的確かつ効率的に植物珪酸体を分離し、同定するための処理行程について、これまでの経過や手法を簡単に述べた。植物珪酸体の保存が悪く含量の少ない試料を除いて、上記の方法により多くの試料から植物珪酸体を確認できる。

今後は、土壌や堆積物中での植物珪酸体の挙動やタフオノミー(化石化作用)を考慮して、さらに的確な処理方法を検討したい。例えば、亜熱帯湿潤気候の土壌、特に沖縄地方に分布するグスク時代以前の土壌試料では植物珪酸体の検出個数が少なく、農耕や古植生を検討することが難しい。亜熱帯湿潤気候の堆積物中では珪酸分を含む無機成分の溶脱作用が見られ(松井, 1988)、湿潤あるいは地温の高い土壌では植物珪酸体の風化の度合いが高いとされている(近藤, 1988)。そのため、植物珪酸体の保存状態を考慮した土壌試料の採取方法を検討するとともに、処理行程の各段階でより適切な植物珪酸体の回収方法を検討したい。

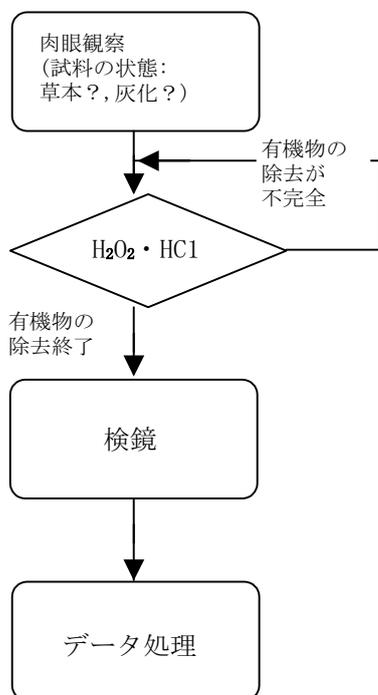


図2 炭化物や灰試料の処理行程

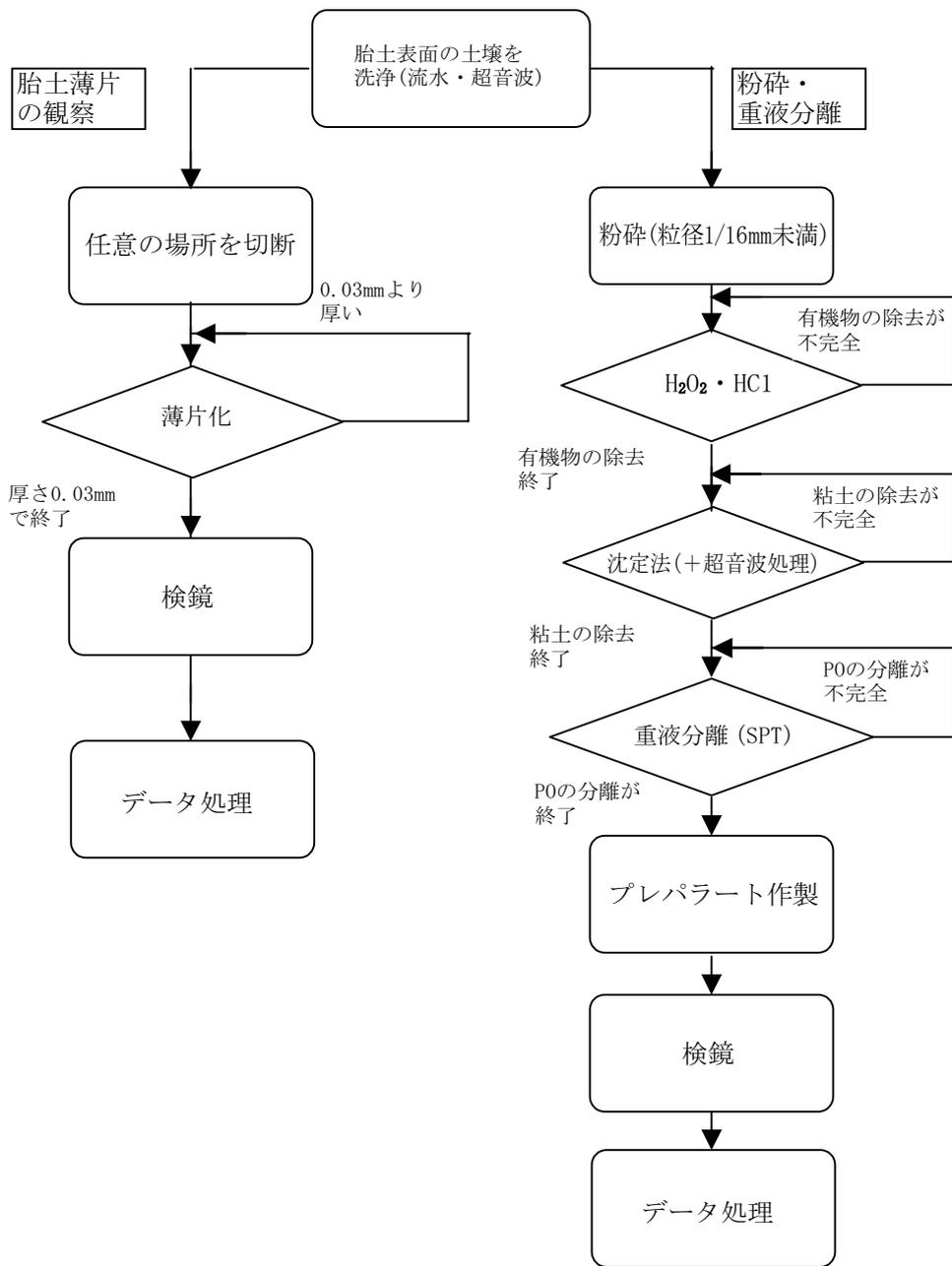


図3 土器胎土の処理行程

引用文献

- 檀原 徹・岩野英樹・槽谷正雄・山下 透・角井朝昭 (1992) 無毒な重液SPT (ポリタングステン酸ナトリウム) とその利用. 地質ニュース, 455, 31-36.
- 藤原宏志 (1976) プラント・オパール分析法の基礎的研究 (1) 一数種イネ科植物の珪酸体標本と定量分析法一. 考古学と自然科学, 9, 15-29.
- 藤原宏志 (1981) プラント・オパール分析法の基礎的研究 (4) 一熊本地方における縄文土器胎土に含まれるプラント・オパールの検出一. 考古学と自然科学, 14, 55-65.
- 後藤典子・山崎正夫 (2004) 照射粉末食品のTL測定における試料調製. 食品照射, 39, 8-12.
- 加藤芳朗 (1960) 「黒ボク」土壌中の植物起源粒子について (予報). 日本土壌肥料学会誌, 30, 549-552.
- 近藤鍊三 (1988) 植物珪酸体 (Opal Phytolith) からみた土壌と年代. ペドロジスト, 32, 189-203.
- 近藤鍊三 (1995) 日本における植物珪酸体研究とその応用. 近堂祐弘教授退官記念論文集, 31-56.
- 近藤鍊三 (2004) 植物ケイ酸体研究. ペドロジスト, 48, 46-64.

- 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.
- 近藤鍊三・佐瀬 隆 (1986) 植物珪酸体分析, その特性と応用. 第四紀研究, 25, 31-64.
- 松井 健 (1988) 土壌地理学序説. 316p, 築地書館.
- 大越昌子 (1980) 市川市土宇遺跡No.100地点における住居址出土灰の分析結果について. 日本考古学研究所集報, II, 90-113.
- パリノ・サーヴェイ株式会社 (1993) 自然科学分析からみた人々の生活 (1). 慶應義塾藤沢校地埋蔵文化財調査室編 湘南藤沢キャンパス内遺跡 第1巻 総論, 慶應義塾, 347-370.
- 杉山真二 (2000) 植物珪酸体 (プラント・オパール). 辻 誠一郎 (編著) 考古学と自然科学3 考古学と植物学, 同成社, 189-213.
- 辻本崇夫・伊藤良永 (1995) 市兵衛谷遺跡第II群土器の製作技術について—分析調査結果の解釈から—. 綾瀬市埋蔵文化財調査報告4 市兵衛谷遺跡・新道遺跡—綾瀬市における縄文早期遺跡の研究一, 綾瀬市教育委員会, 108-125.

遺跡におけるデンプン粒分析の展開—海外の分析事例から見た現状—

馬場 健司¹⁾・辻 康男²⁾

要 旨

石質遺物など考古学資料に付着残留したデンプン粒分析について、近年報告された海外の調査事例を中心に紹介する。デンプン粒の特性、分析に適した試料、分析方法、他の分析との複合調査例についてまとめ、日本で応用する際の留意点や課題を挙げる。

はじめに

近年、世界各地で石器や土坑などの考古学資料を対象としたデンプン粒分析の調査例が増加し、熱帯～亜熱帯地域での根栽農耕の成立および展開（特にイモ類の利用状況）、可食植物の利用などに関する情報が蓄積されてきている。昨年出版されたANCIENT STARCH RESEARCH (Torrence & Bartonh 編, 2006) では、デンプン粒の性質や土壌中でのタフオノミー（化石化作用）などの基礎的な研究、考古学や古植生推定への様々な応用例が紹介されている。

これまでの調査研究から、デンプン粒分析はイモや塊茎が保存され難いため人間が利用した残滓からの直接的な検討が難しい根栽農耕（吉田ほか編, 2003）や野生根茎類の食料化（山本, 2002）への有効なアプローチの1つであることが認識される。日本国内でも、近年になって考古学資料を対象とした調査研究が始まり、今後の展開が注目される状況である。

パリノ・サーヴェイ株式会社は、徳永重元博士（現名誉顧問）が設立されて以来、考古学資料に対して、自然科学的観点から情報を提供すべく様々な分析手法を検証し、的確な方法を模索する姿勢で望んできた。

そこで今回は、植物質食糧を検討する新手法であるデンプン粒分析について海外での調査例を中心に事例を紹介したい。

1. デンプン粒とは

植物の葉部などでは、光合成によりブドウ糖（ショ糖）が合成され、デンプン粒が形成される。形成されたデンプンはブドウ糖に分解され、一部は植物の成長や呼吸に利用されるが、一部は再び種実、根、塊茎の内部に入り、貯蔵デンプンとして水に不溶な粒子の形で貯蔵される。

植物体から採取・利用されるのは、この貯蔵デンプンである。粒径 $2\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ 程度の楕円球体、釣り鐘形、多面体などを呈する。粒の大きさ（粒径）、形状、表面装飾は植物の種類や形成された部位により異なる傾向のあることが知られている（Loy, 1994；藤本, 1994ほか）。

デンプン粒の内部には、結晶部分と非結晶部分から成るリング状の構造が形成される。また、光学的には複屈折性を有する。偏光顕微鏡の直交ニコルの下で観察すると、多くのデンプン粒で、中心核付近に交点を持つ偏光十字（十字状の暗線）が見られる（図版1）。

デンプン粒は、 50°C 以上の高温や極端な酸性・アルカリ性およびデンプン分解酵素による変性・分解を除いて、物理・化学的な作用に抵抗性を持つとされる（Barton & Matthews, 2006）。そのため、土壤生物や微生物の活動が押さえられる冷涼で乾燥した暗所では保存されやすい。

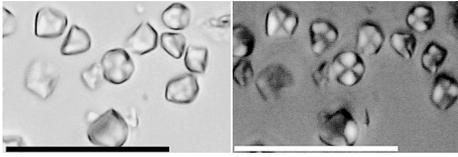
ただし、高温多湿の条件下にある遺跡や遺物を埋積する土壌でも、デンプン粒に周囲から珪酸分が沈着して珪化が促進される場合や石質遺物の亀裂・小孔の奥にあって周囲からの影響を受けにくかった場合など、何らかの要因で局所的にデンプン粒が残留し、保存されている場合もある。

このような特性を応用して、過去に利用された可食植物や栽培植物の種類を明らかにする手法がデンプン粒分析である。

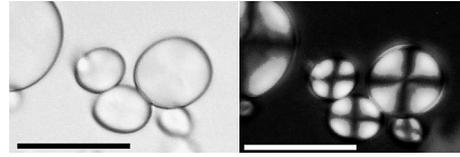
なお、イモ類などには採取や調理時のカブレ、食す際のエグ味の原因であるシュウ酸カルシウムの針状結晶（長さ $100\text{--}200\mu\text{m}$ 程度）が、デンプン粒とともに含まれる種類もある。この針状結晶の有無も、種類を同定する際の参考になる。また、デンプン貯蔵器官には導管を構成する木質部も認められ、その認定も給源植

1) 調査研究部分析センター考古学研究グループ 2) 研究センター大阪支店

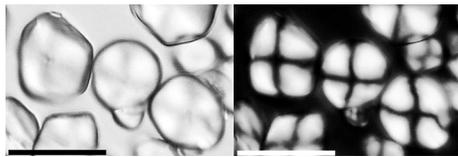
デンプン粒 (左:開放ニコル, 右:直交ニコル)



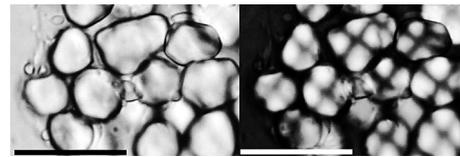
イネ(*Oryza sativa*)



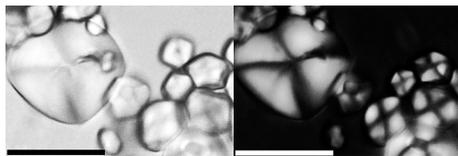
コムギ(*Triticum aestivum*)



トウモロコシ(*Zea mays*)



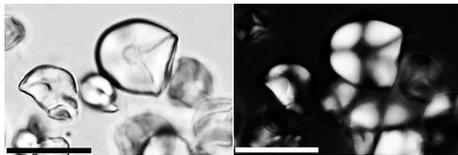
ソバ(*Fagopyrum esculentum*)



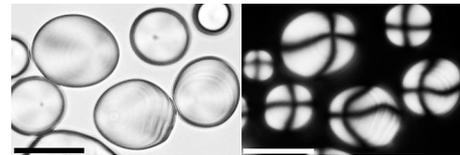
クズ(*Pueraria hirsute*)



スタジイ(*Castanopsis cuspidata*)

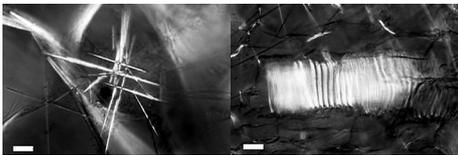


キャッサバ(*Manihot esculenta*)

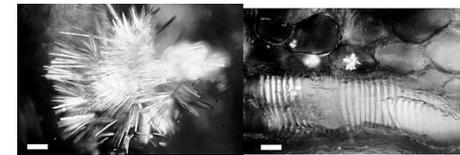


ジャガイモ(*Solanum tuberosum*)

左:シュウ酸カルシウムの針状結晶/右:導管の構成繊維 (いずれも直交ニコル)



クワズイモ(*Alocasia odora*)



タロイモ(*Colocasia esculenta*)

図版1. 現世のデンプン粒ほか (写真のスケール: 黒あるいは白いバーが20 μ m)

物を推定する際の補足的な手法と成り得る。

2. 考古学への応用例

(1) 根栽農耕および人類のイモ類利用の検討

デンプン粒分析は、1979年にShafer & Hollowayによるアメリカ・テキサス州での調査以来、その調査数が増加している。また2006年までにアジア・オセアニア地域、アフリカ地域、南北アメリカ地域の熱帯域から温帯域にかけて、複数の遺跡の遺物などからデンプン粒が確認されている（渋谷ほか、2005）。

熱帯域では冷涼な山岳地帯、あるいは乾燥した洞窟や岩陰遺跡より出土した石質遺物から検出される例が多い。例えばアジア・オセアニア地域では、南太平洋のソロモン諸島にあるKilu遺跡（石灰岩の岩陰遺跡）で約28,000年前とされる石質遺物からデンプン粒やシュウ酸カルシウム結晶が検出され、根菜の利用が示唆された（Loy *et al.*, 1992）。また、パプアニューギニア中部の標高1,560mにあるKuk湿地から出土した約7,000年前の石器にタロイモ（*Colocasia esculenta*）やヤマイモ（*Dioscorea* sp.）のデンプン粒が検出され、周辺地域よりも早く、独自に農業が開始された可能性が指摘された（Denham *et al.*, 2003; Fullagar *et al.*, 2005）。ただし、この見解については、年代値の解釈やイモ類の伝播経路の点から、議論の余地が残される（Torrence, 2006）。

オーストラリアのニューサウスウェールズ州にあるPetzkes洞窟（砂岩の岩陰遺跡）では、約1,500年前とされる堆積物の表面で複数の箇所からデンプン粒が確認された（Balme & Beck, 2002）。その分布の意味を、炭化物や物理・化学性（水分量・pH・地温など）の測定結果も含めて考察し、洞窟内で行われた根茎の処理・加工など当時の人間の行動が明らかにされた。

中南米の熱帯域では、パナマのAguadulce岩窟で先土器時代（約5,000～7,000年前）の製粉具からキャッサバ、ヤマイモ、クズウコン、トウモロコシのデンプン粒が検出され、イモ類とトウモロコシの混合農耕の存在が示唆された（Piperno *et al.*, 2000）。

ベネズエラのオリノコ谷中部に立地する13～18世紀とされるLos Mangos del Parguaza遺跡から出土した石器群や埋積物からもイモ類やトウモロコシのデンプン粒が検出され、トウモロコシの利用される比重が大きくなって、イモ類の利用が減らなかった可能性が

示唆された（Perry, 2004）。

エクアドルにある紀元前9～5世紀（2,800-2,400 calBC）頃のReal Alto遺跡では石器からデンプン粒とトウモロコシの穂軸珪酸体が検出され、硬い種と軟かい種のトウモロコシが遺跡内に存在していたことが示唆された（Pearsall *et al.*, 2004）。

ペルー共和国の海岸砂漠に面するCasma渓谷では、紀元前2,000年以降の遺跡から出土したジャガイモ（*Solanum tuberosum*）、サツマイモ（*Ipomoea batatas*）、食用カンナ（*Canna edulis*）、キャッサバ（*Manihot esculenta*）の乾燥した根茎からデンプン粒が検出された（Ugent *et al.*, 1981, 1982, 1984ほか）。

中緯度地域においても、乾燥地に構築された遺構の埋積物からデンプン粒が検出されている。例えば、アメリカ・ワイオミング州中央-北部で7～10世紀（約1,300～1,000年前）に構築された円柱状のpit oven埋積物からセゴユリ（*Calochortus nuttallii*）のデンプン粒が検出され、加熱による球根の糖化处理が推定された（Smith *et al.*, 2001）。

なお、亜熱帯気候下にある遺跡から出土した石器内にもデンプン粒が残される場合がある。オーストラリアのクイーンズランド州南東部に位置する原住民アボリジニーの遺跡（貝塚）で表採された石器からデンプン粒（植物種は不詳）が検出され、過去の生業の中でデンプンの採取や利用があったと推定された（Lamb & Loy, 2005）。

デンプン粒は、石質遺物や埋積物以外にも保存される。ニュージーランドでは先史時代（紀元前10世紀頃？）のポリネシア人の遺跡から糞石が出土し、内部から確認されたデンプン粒や木質部（導管構成物）によりサツマイモ栽培とシダ類（ワラビ根？）の利用が指摘された（Horrocks *et al.*, 2004）。これより、デンプン粒が動物の消化にも耐性のあることが判る。またエジプトの紀元前1,350年前とされるごみ捨て場から煮炊きに用いた土器が出土し、内面の付着物や吹きこぼれ痕からデンプン粒が検出された（Samuel, 2006）。

(2) 分析手法

考古学的に有効なデンプン粒の抽出は、石質遺物を試料とした場合である。Loy（1994）は、双眼実体鏡下での採取方法を述べている。石質遺物の縁（刃部）あるいは表面の細かく薄い亀裂内に白色の点状物を探し、細く鋭い針で採り出し、スライドガラスに置いた

蒸留水 1 滴内へ取り、カバーガラスを掛ける。このスライドを偏光顕微鏡（クロスニコル）で検鏡して偏光十字の有無を確認し、大きさ（粒径）を測定し、形状や表面装飾を観察する。併せて、シュウ酸カルシウムの針状結晶の有無も確認する。これらの特徴を現世標本と比較して、種類を同定する。

なお、石器に接する土壌面にもデンプン粒が見られることがあるので、現地でその土壌を注意深く採取して、観察する必要がある。

このような石質遺物が得られない場合もあるため、重液を用いてデンプン粒を濃集・分離する方法も検討されている。Horrocks (2005) は比重の調整が容易で、人体に比較的安全なポリタングステン酸ナトリウム (sodium polytungstate) 溶液を用いる重液分離法を報告している。この方法では、最初に比重の軽いデンプン残留物（比重1.7溶液を使用）を分離し、残りから鉱物・粘土・腐植を沈定法や酸処理などで取り除き、植物珪酸体を分離（比重2.3溶液を使用）することも可能である。また、デンプン粒を観察しやすいように、デンプンを選択的に染色する試薬コンゴレッドを用いた染色法も研究されている (Lamb & Loy, 2005)。

なお、土壌や埋積物からデンプン粒を回収する場合、残留していたデンプン粒の由来を検討するために、残留過程を考慮する必要がある。デンプン粒の保存と分解の要因には、デンプン粒の大きさや成分の差異による劣化の違いだけでなく、土壌中の酵素、粘土、金属などが関連する (Haslam, 2004)。この他にも埋積後から現代にかけての残留過程やタフォノミーに関する研究があり (Barton & Matthews, 2006)、今後さらに研究例が蓄積されることによって、検鏡結果を解析する際の精度の向上が期待される。

また、デンプン粒自体の形態から由来となった植物を同定する研究も進められている。パプアニューギニアでの調査では、現世植物から得られたデンプン粒のサイズおよび長径と短径の比率をデジタル画像の解析により得て、そのデータを用いた多変量解析により種レベルの同定を試みている (Torrence *et al.*, 2004)。さらに植生との関連について、Lentfer *et al.* (2002) はパプアニューギニアの湿潤な熱帯地域で現世の表土を対象としたデンプン粒分析を行い、形態的な要素を多変量解析することにより、検出されたデンプン粒の形

状と現存植生との間に関連性を見出した。

(3) 複合分析

デンプン資源には、イモ類の根茎だけでなく、イネ科などの穀物や樹木類の果実も挙げられる。これらの植物は花粉を生産し、その化石が古植生を推定する上で極めて有効であることは周知である。またイネ科の葉部や籾殻（外穎）には特徴的な植物珪酸体が形成される。そのため農耕の開始時期や範囲を推定する方法として、デンプン粒分析だけでなく、花粉分析や植物珪酸体分析、植物遺体同定を複合した方法も試みられている。

ニュージーランド北部の南オークランドで検出されたstonefield（玄武岩質溶岩の表面に風化した玄武岩礫が分布する原野）の遺構群では複合分析によりサツマイモとタロイモの利用、後代のヨーロッパ人によるトウモロコシ (*Zea mays*) の栽培の痕跡が確認された (Horrocks & Lawlor, 2006)。

北アメリカのGreat Plainsでは、考古資料や炭化物のデンプン粒、植物珪酸体、大型植物遺体同定の各分析により、11～17世紀頃にトウモロコシなどの栽培植物の消費がカナダ東部に広がる大草原の広範囲に及んでいた可能性が示唆された (Boyd *et al.*, 2006)。

(4) デンプン粒以外

分析の際に、デンプン粒に形態が類似した有機物があるので注意を要する。それはアオカビなど不完全菌の孢子、すなわち分生子 (conidia) である。偏光顕微鏡（直交ニコル）で観察すると十字状の暗線が見られ、特に顕微鏡の持つ解像度の限界付近ほどに小さい場合は形態学的に見分けがつかない。これまでに、ホンジュラス、バラオ、ニューカレドニアの石質遺物と土器表面上で観察された事例がある (Haslam, 2006)。

(5) 日本での調査例

日本では、文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 B 「日本における稲作以前の主食植物の研究」(研究代表者 新潟県立歴史博物館 西田 泰民氏：ホームページ <http://www.asahi-net.or.jp/~zh4y-nsd/starchhp/stitle.html>) が進められている。その一環として縄文時代以前の植物利用、特に北海道や新潟県の縄文時代遺跡などから出土した食物加工具や珪藻土塊でデンプン粒が検出されている (西田・阿部, 2005)。

この調査とは別に、静岡県磐田市内の後期更新世とされる3つの遺跡（匂坂中遺跡、坂上遺跡、池端前遺

跡)より出土した石器の調査が行われ、表面の窪みからデンプン粒の単体粒あるいは複数粒の集合体が検出された(渋谷ほか, 2005)。渋谷綾子氏のブログ「Japanese Archaeobotany. net」(<http://japanese-archaeobotany-ja.blogspot.com/2005/11/japanese-archaeobotany.html>)にはこの調査成果とともに、デンプン粒分析の概要も紹介されている。

3. 今後の日本での展開

これまでの調査例を見る限り、日本でも保存状態に恵まれたデンプン粒を含む植物の残留物が検出されることにより、デンプン資源となった植物の種類、その利用や栽培の開始時期の判定、そして植物利用の中での具体的な石器の特定が可能になると思われる。

デンプン粒分析の対象試料は、石質遺物(石刃や播り石)が有効である。これは、刃の隙間や表面の小孔にデンプン粒が混入している可能性が高いためである。その中でも、洞窟や岩陰など冷涼で乾燥した暗所に残されていた石質遺物はデンプン粒の保存が期待でき、周辺の土壌から他のデンプン粒が混入しにくいと思われる。石質遺物の表面を覆う埋積物・土壌(特に石器側の面)あるいは石器周辺の埋積物にもデンプン粒が残されている可能性がある。また前述したオーストラリアや静岡県磐田市での調査例からは、遺構埋積物や土壌中より出土した石器からデンプン粒が検出されることも期待できる。前述したニュージーランドやエジプトでの調査例を考慮すれば、石質遺物以外の遺物(糞石や土器附着物)についても留意しておきたい。

これらの点から、遺物の表面を水洗することは極力避け、微生物の活性による分解を防ぐため冷凍庫内で保存する必要がある。また考古学資料に関連したデンプン粒分析には、実体鏡下で遺物からデンプン粒を直接採取して偏光顕微鏡で観察する方法や遺物表面の土壌を剥離(ヘラもしくは超音波照射)した後で封入剤(蒸留水など)を加えて懸濁液を作り、スライドガラスに塗布したプレパラートで観察する方法も考えられる。いずれにしても、適切な方法でデンプン粒を破損・破壊することなく観察できる手法の確立が必要である。

なお海外の熱帯～温帯地域での調査例を参考にすれば、今後さらに日本国内の土壌や埋積物中からのデンプン

粒の検出も期待できよう。

デンプン粒はイモ類だけでなく、イネ科の穀物や堅果類、シダ類の根にも含まれている。そのため、デンプン粒分析は根栽農耕だけでなく、堅果類の利用、野生根茎類の食料化、種子農耕などの考古学的検討においても有効な手段に成り得ることが予想される。

それゆえに今後、最も重要かつ早急な課題は日本産植物のデンプン粒の大きさや表面形態などの特徴を把握する基礎研究の進展であると判断される。その際、考古学および植物学双方の分野の連携や組織化が重要と思われる、当社においても出来る限りの努力をしていきたいと考える。調査可能な遺物が出土した場合には積極的に分析調査して情報を蓄積するとともに、現生試料の形態記載などの基礎資料を整備したい。

なおデンプン粒については、遺跡でよく適用される花粉や種実などの植物化石と同様に常にそのタフオノミーを検討することが重要である。この点についても、未だ多くの検討課題があると考えられる。そのため本分析実施にあたっては遺跡での発掘段階から遺跡形成過程の検討なども併せた調査・分析や遺物の使用痕研究、民俗考古学的アプローチ(山本, 2002)を含めた多面的かつ慎重なアプローチで一つ一つの分析事例を蓄積していくことが必要と考えられる。

また、これまでの分析事例から遺跡ではデンプン粒だけでなく、その他の古植物残滓と複合的な分析を行うことが有効である。特に、人間の植物利用を考える上において極めて重要な炭化物、住居跡床面やそれに伴う炉跡や竈跡埋土から検出される種実である(櫛原, 1999; 黒尾・高瀬, 2003)。その際、水洗選別による種実の細やかな回収に努めることが大切であると判断される。これにより、これまでの植物珪酸体分析などによる調査では得られなかった情報(イネ科以外の食糧資源や炊事の燃料材)も期待できる。今後、日本国内の遺跡でデンプン粒分析を実施する場合でも、他の植物化石との複合分析を視野に置いて調査を進めることが望ましいと判断される。

引用文献

Balme J. and Beck W.E. (2002) Starch and Charcoal: Useful Measures of Activity Areas in Archaeological Rockshelters. *Journal of Archaeological Science*, 29, 157-166.

- Barton H. and Matthews P.J. (2006) TAPHONOMY. In R.Torrence & H.Bartonh (Eds), *ANCIENT STARCH RESEARCH*; Left Coast Press, 75-94.
- Boyd M., Surettea C., Nicholson B.A. (2006) Archaeobotanical evidence of prehistoric maize (*Zea mays*) consumption at the northern edge of the Great Plains. *Journal of Archaeological Science*, 33, 1129-1140.
- Denham T., Haberle G., Lentfer C., Fullagar R., Field J., Therin M., Porch N., Winsborough B. (2003) Origins of agriculture at Kuk Swamp in the highlands of New Guinea. *Science*, 301, 189-193.
- 藤本滋生 (1994) 澱粉と植物. 233p, 葦書房.
- Fullagar R., Field J., Denham T., Lentfer C. (2005) Early and mid Holocene tool-use and processing of taro (*Colocasia esculenta*), yam (*Dioscorea* sp.) and other plants at Kuk Swamp in the highlands of Papua New Guinea. *Journal of Archaeological Science*, 33, 595-614.
- 黒尾和久・高瀬克範 (2003) 縄文・弥生時代の雑穀栽培. 木村茂光編, 雑穀 畑作農耕論の地平: 29-56, 青木書店.
- 櫛原功一 (1999) 炭化種実から探る食生活—古代～中世を中心に—. 櫛原功一編, 食の復元—遺跡・遺物から何を讀みとるか: 81-98, 岩田書院.
- Haslam M. (2004) The decomposition of starch grains in soils: implications for archaeological residue analyses. *Journal of Archaeological Science*, 31, 1715-1734.
- Haslam M. (2006) Potential misidentification of in situ archaeological tool-residues: starch and conidia. *Journal of Archaeological Science*, 33, 114-121.
- Horrocks M. (2005) A combined procedure for recovering phytoliths and starch residues from soils, sedimentary deposits and similar materials. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1169-1175.
- Horrocks M., Irwin G., Jones M., Sutton D. (2004) Starch grains and xylem cells of sweet potato (*Ipomoea batatas*) and bracken (*Pteridium esculentum*) in archaeological deposits from northern New Zealand. *Journal of Archaeological Science*, 31, 251-258.
- Horrocks M. and Lawlor I. (2006) Plant microfossil analysis of soils from Polynesian stonefields in South Auckland, New Zealand. *Journal of Archaeological Science*, 33, 200-217.
- Lamb J. and Loy T. (2005) Seeing red: the use of Congo Red dye to identify cooked and damaged starch grains in archaeological residues. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1433-1440.
- Lentfer C., Therin M., Torrence R. (2002) Starch Grains and Environmental Reconstruction: a Modern Test Case from West New Britain, Papua New Guinea. *Journal of Archaeological Science*, 29, 687-698.
- Loy, T.H. (1994) Methods in the analysis of starch residues on prehistoric stone tools. In J.G. Hather (Eds.), *Tropical Archaeobotany*, London. Routledge; 86-114.
- Loy T.H., Spriggs M., Wickler S. (1992) Direct evidence for human use of plants 28,000 years ago: starch residues on stone artefacts from the northern Solomon Islands. *Antiquity*, 66, 253, 898-912.
- 西田泰民・阿部千春 (2005) 遺跡土壤中の残存デンプン粒について. 日本文化財科学会第22回大会研究発表要旨集, 110-111.
- Pearsall D.M., Chandler-Ezell K., Zeidler J.A. (2004) Maize in ancient Ecuador: results of residue analysis of stone tools from the Real Alto site. *Journal of Archaeological Science*, 31, 423-442.
- Perry L. (2004) Starch analyses reveal the relationship between tool type and function: an example from the Orinoco valley of Venezuela. *Journal of Archaeological Science*, 31, 1069-1081.
- Piperno D.R., Ranere A.J., Holst I., Hansell P. (2000) Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest. *Nature*, 407, 894-897.
- Samuel D. (2006) Modified starch. In R.Torrence & H.Bartonh (Eds), *ANCIENT STARCH RESEARCH*; Left Coast Press, 205-216.
- 渋谷綾子・Peter J. Matthews・鈴木忠司 (2005) Residues of starchy tissues on stone artifacts in Japan. 日本文化財科学会第22回大会研究発表要旨集, 206-207.
- Smith C.S., Martin W., Johansen K.A. (2001) Sego Lilies and Prehistoric Foragers: Return Rates, Pit Ovens, and Carbohydrates. *Journal of Archaeological Science*, 28, 169-183.
- Torrence R., Bartonh H. (Eds) (2006) *ANCIENT STARCH RESEARCH*. Left Coast Press, 256p.

Torrence R., Wright R., Conway R. (2004) Identification of starch granules using image analysis and multivariate techniques. *Journal of Archaeological Science*. 31, 519-532.

Ugent D.,Pozorski S.,Pozorski T. (1981) Prehistoric remains of the sweet potato from the Casma Valley of Peru. *Phytologia*, 49, 401-415.

Ugent D.,Pozorski S.,Pozorski T. (1982) Archaeological potato tuber remains from the Casma Valley of Peru.

Economic Botany, 36, 2, 182-192.

Ugent D.,Pozorski S.,Pozorski T. (1984) New evidence for ancient cultivation of *Canna edulis* in Peru.*Economic Botany*, 38, 417-432.

山本直人 (2002) 縄文時代の植物採集活動—野生根茎類食料化の民俗考古学的研究—. 250p, 溪水社.

吉田集而・堀田 満・印東道子 (2003) イモとヒト 人類の生存を支えた根菜農耕. 356p, 平凡社.