

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 ——

藤 原 宏 志^{*}

イネ・アワ・ムギ・ヒエ・モロコシは五穀（モロコシのかわりに大豆を含める場合もある）と呼ばれ、古くから主食になりうる穀類として重用されてきた。これらはすべてイネ科植物に属しており、この他にも、ハトムギ・キビ・トウモロコシ・サトウキビ・シコクエビなど人間の食生活と係わりの深い作物群が同科に含まれている。

古代農耕を追究する場合もこれらイネ科植物を除いて考えることはできない。

筆者らはわが国における農作業体系の変遷を追究するため、古代遺跡の土壌・遺物（土器）に含まれるイネ科植物遺物を検出し、当時の栽培植物を推定する方法としてプラント・オパール分析法の開拓に努めている^{1)~3,5)}。

1940年代、ソヴィエトのOosovは土粒子の一部に植物起源のものがあることを発見し、その後英国のF. Smisthon⁷⁾（1956）がこの土粒子に plant opal と名付けた。

わが国に広く分布する腐植質火山灰土中にはとくにプラント・オパールが多く含まれ、わが国の研究者による土壌学的研究も多い^{4,6)}。

プラント・オパール（植物起源土粒子）の多くはイネ科植物に由来するものであり、なかでも、イネ科植物葉身に含まれる機動細胞珪酸体は形も大きく土壤中で典型的なプラント・オパールになる。

機動細胞珪酸体は「食パン状細胞」あるいは「泡状細胞」と呼ばれることもある。この珪酸体を断面方向から観察すると植物の種類により、それぞれ個有の形を持つことがわかる。

一方、植物珪酸体は SiO_2 を主成分にする非晶質ガラス体である。したがって、土壌中に残留してプラント・オパールとなっても、その大きさ、形状は変わらず、数万年前のものでもその給源植物種を推定することができる。

ここでは、プラント・オパール分析の基礎になる珪酸体（silica body）標本と今後さらに開拓されねばならない定量分析法を中心にプラント・オパール分析の現状と問題点に触れたいと思う。

* 宮崎大学農学部，宮崎市船塚3丁目210

1. イネ科植物の機動細胞珪酸体

イネ科植物は別名珪酸植物とも呼ばれ珪酸 (SiO_2) を多量に吸収することが知られている。

イネ科植物体内に吸収された珪酸は植物体全体に広がるのではなく、特殊な細胞の細胞壁に集中して沈積する。イネ科植物は草本植物であり、木部の発達が悪い。したがって、これらの珪酸質細胞は数メートルにも達する草丈を維持する骨格としての機能を持つものと考えられる。

このような珪酸質細胞は植物珪酸体 (silica body) と呼ばれている。

イネ科植物の珪酸体は機動細胞・結合組織細胞・まゆ状細胞・棘細胞の4種に大別できる。プラント・オパール分析は主として機動細胞に由来するプラント・オパールを対象にするので、同細胞珪酸体について少し詳しく述べたい。

イネ科植物の葉身は細長く (例えばイネの場合、長さ約 40 cm, 巾約 1 cm) 縦に葉脈が並んでいる。葉脈と葉脈の間の表皮組織の一部に機動細胞があり葉脈と平行に縦列している。

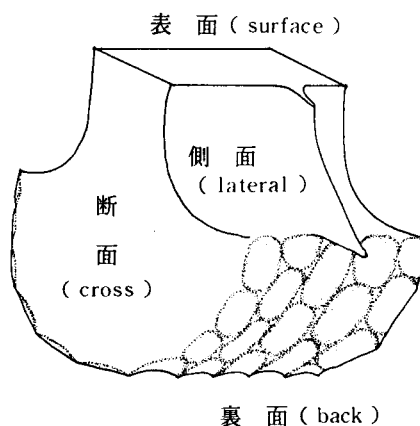
大きさや葉身上の分布密度は植物種により異なる。機動細胞は葉身のせつ捲作用を支配するものと考えられ、細胞壁に厚く珪酸が沈積しているのはその機能上の理由によるものと理解されている。しかし、そのようなせつ捲作用との関連だけでなく、長い葉身を支える機械的機能の面でも機動細胞のはたす役割は大きいものと思われる。

機動細胞珪酸体を取り出し各面から観察するとそれぞれの植物により個有の特徴を持つことがわかる。模式図により機動細胞の各面を示したので参照されたい。

機動細胞珪酸体の大きさは約 $50\mu \times 50\mu \times 50\mu$ の柱状体であるが植物種により異なる。比重は約 2.2 ~ 2.3 であり非晶質の SiO_2 である。

細胞として機能している時は細胞質を含んでいるが灰化すると細胞内は空洞化する。

珪酸質の厚さは部位により異なるが断面では約 1μ 程度である。



2. 珪酸体標本の作製

試料に含まれるプラント・オパールの給源植物を同定するには各植物の珪酸体標本が必要である。

珪酸体標本の作製は図に示したダイアグラムに沿って進められる。

電気炉で植物葉身を灰化する場合、 550°C , 6

第1図 機動細胞珪酸体模式図
Schematic figure of motor cell

hrs. で充分である。しかし、温度を最初から 550℃に設定すると炭化現象が起り十分灰化しない。100℃から 30 分間隔で 50℃ずつ段階的に上げ 550℃になってから 6 時間放置するとよい試料が得られる。

灰化した試料の一部は組織を崩さずプレパラートに包埋し灰像標本として残す。これは葉上の機動細胞の密度を調べたり、他の組織細胞との関連をみたりするとき必要である。

灰化試料から機動細胞をとりだすため、水中に試料を入れ超音波を照射する。20 KHz, 150 W, 15 min. でほぼ完全に灰化組織は破壊される。

次に Stokes 式にもとづく水中沈底法により 25 μ ~ 100 μ の粒子をとりだす操作を行なう。

機動細胞の大きさはほぼこの中に入るので、同上試料をプレパラートに包埋すれば機動細胞珪酸体標本ができる。

機動細胞珪酸体の各植物種による形状の特徴は断面構造にあるのが普通である。

したがって、検鏡する場合、機動細胞の断面が観察できる方向に珪酸体の位置が向いていなければならない。数多くの珪酸体の中には適当な方向で固定されているものがあり、それを探すことで足りるのが通例である。しかし、側面長が相対的に大きい植物種ではプレパラート作製に際し針などを用いて固定方向を調整しなければならない場合もある。

3. イネ (*Oryza sativa*) および近縁野草の珪酸体標本

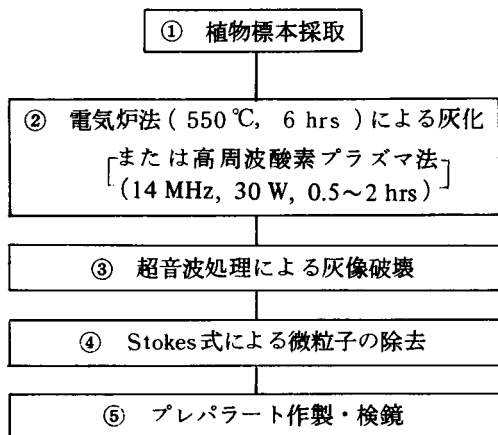
わが国における農作業体系の変遷を考える場合、稲作の歴史的検証を欠かすことはできない。

イネはイネ科植物の中でもとくに珪酸体の発達がよく特徴ある形状をしている。

一般的に言えば、機動細胞の形・大きさは近縁種ほど類似の度合いが高い。ここでは、イネの近縁種としてわが国に分布しているイネ族野草：マコモ属マコモ、サヤヌカグサ属サヤヌカグサ、同属ヒロハノサヤヌカグサ、同属アシカキと栽培稲農林 22 号の機動細胞珪酸体を比較検討することにした。

図に供試植物の類縁関係を示した。

イネ族植物の機動細胞珪酸体は断面がイチョウの葉形をしていること、側面に突起があること、裏面に亀甲状の紋様があることを特徴としている。



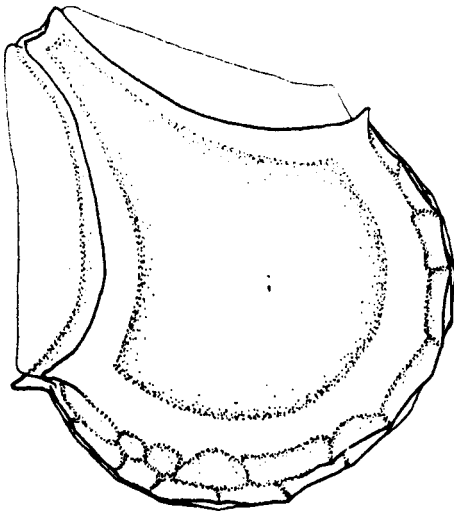
第 2 図 植物珪酸体標本作製ダイアグラム

属	種	亜種または品種
イネ (<i>Oryza sativa</i> L.)	イネ (<i>Oryza sativa</i> L.)	—— 農林22号 (var. Nōrin No. 22)
サヤヌカグサ (<i>Leersia oryzoides</i>)	サヤヌカグサ (<i>Leersia oryzoides</i>)	サヤヌカグサ (var. Sayanuka Ohwi) ヒロハノサヤヌカグサ (var. Hirohanosayanuka)
	アシカキ (<i>Leersia japonica</i> Makino)	—— アシカキ
マコモ (<i>Zizania latifolia</i> Turcz)	マコモ (<i>Zizania latifolia</i> Turcz)	—— マコモ

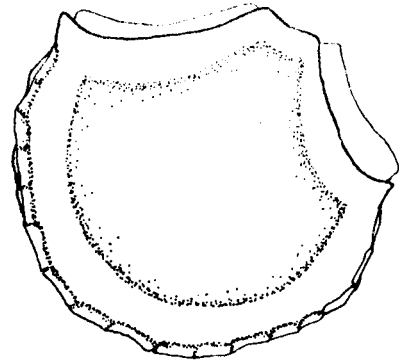
第3図 イネ族植物類縁関係

イネ族の中でも属・種の違いにより、断面形状、突起の大小、裏面紋様の大きさ、形に差があり相互に区別できることがわかる。

図および写真により各植物の機動細胞珪酸体を示したので参照されたい。

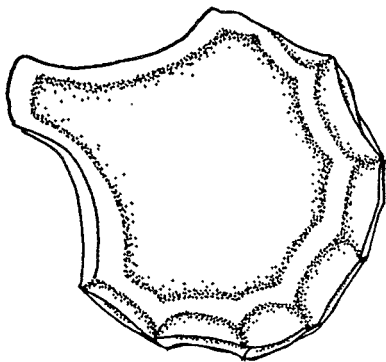


水稻農林22号 (*Oryza sativa* L.) × 1500
lowland rice (Norin 22)

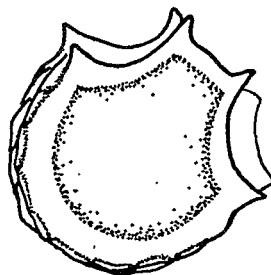


水稻 IR-8 (*Oryza sativa* L.) × 1500
lowland rice (IR-8)

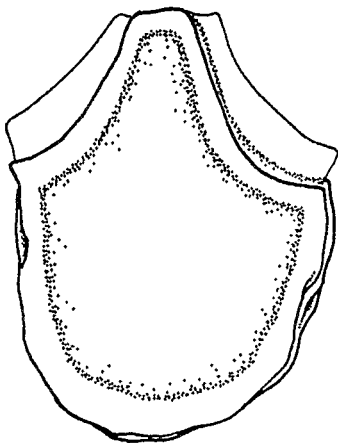
第4図 イネおよび近縁植物の機動細胞珪酸体
Microscopic sketches of motor cell



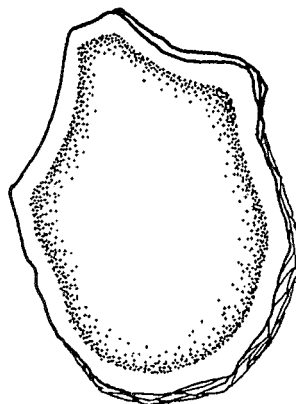
サヤヌカグサ (*Leersia oryzoides*) × 1200
cut grass (Sayanuka)



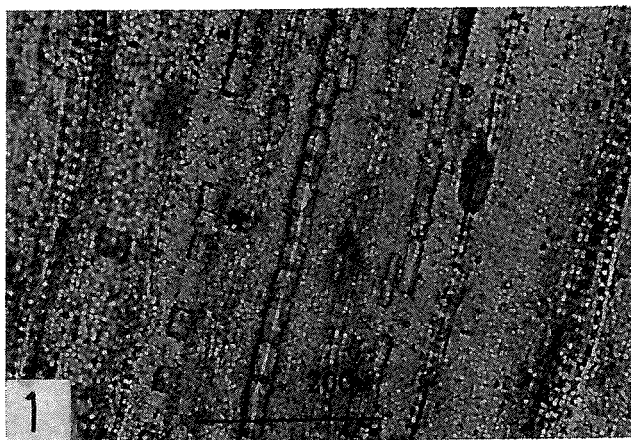
アシカキ (*Leersia japonica* Makino) × 1500
cut grass (Ashikaki)



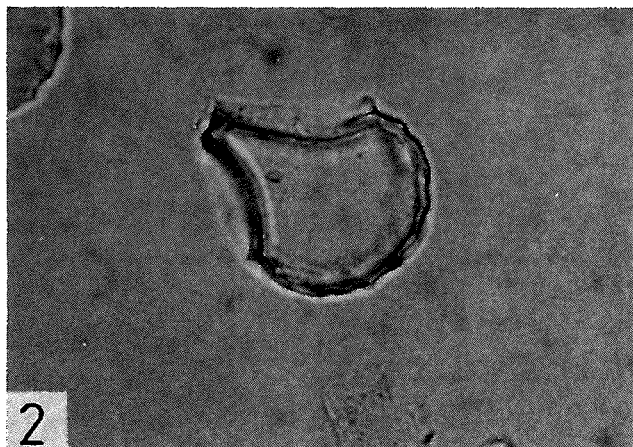
マコモ (*Zizania latifolia* Turcz) × 1500
manchurian



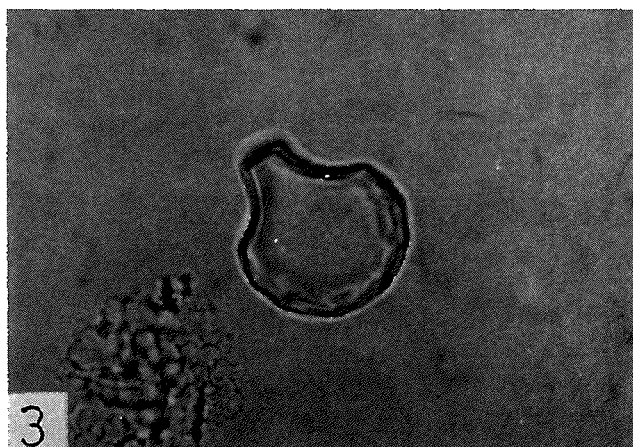
ヨシ (*Phragmites communis* Trinius) × 1000
reed



イネ葉身灰像
Spodgram of rice blade × 100



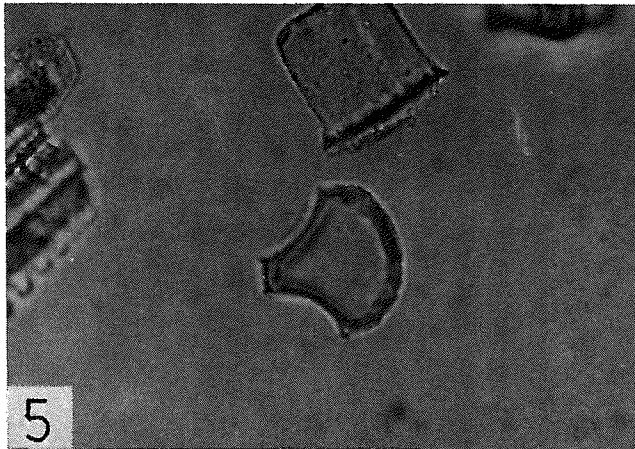
イネ（農林 22 号）機動細胞珪酸体×800
Motor cell of lowland rice (var. Norin No. 22) × 800



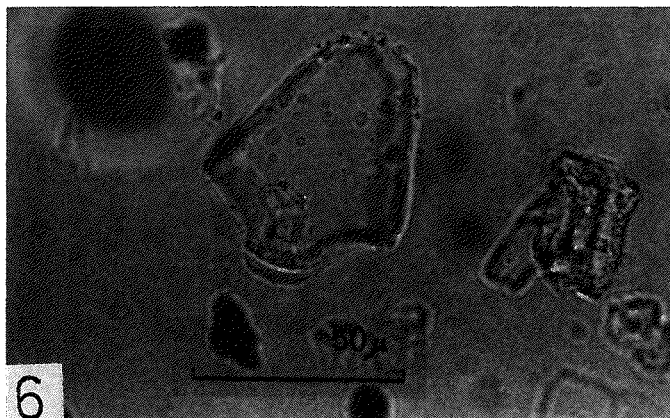
サヤヌカグサ機動細胞珪酸体×600
Motor cell of cut grass (Sayanuka) × 600



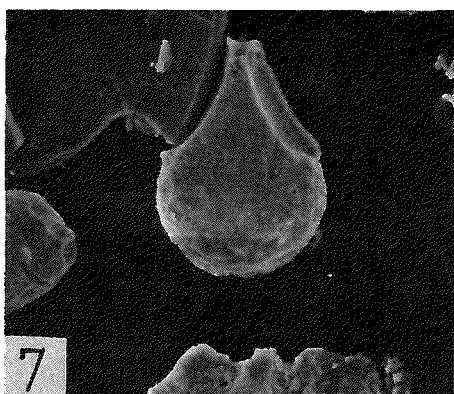
ヒロハノサヤヌカグサ機動細胞珪酸体×600
Motor cell of cut grass (Hirohano sayanuka) × 600



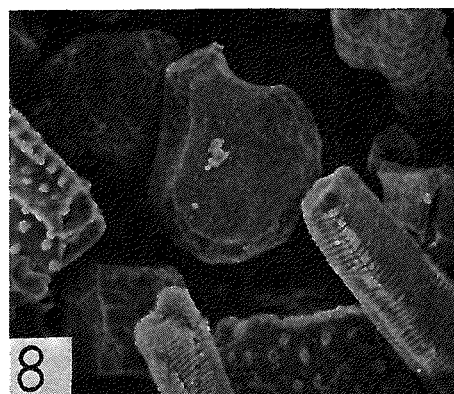
アシカキ機動細胞珪酸体×600
Motor cell of cut grass (Ashikaki) × 600



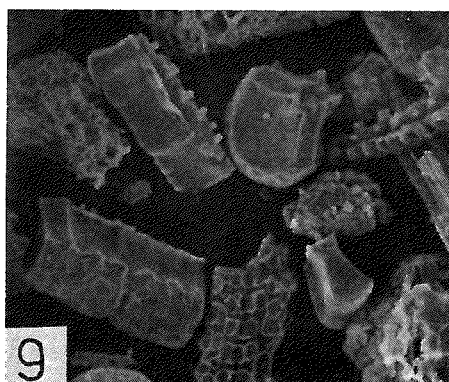
マコモ機動細胞珪酸体×800
Motor cell of manchurian × 800



イネ(農林22号)機動細胞珪酸体(走査型電顕)×600
Motor cell of lowland rice (var. Norin No. 22)
(by scanning microscope × 600)



サヤスカグサ機動細胞珪酸体(走査型電顕)×600
Motor cell of cut grass (Sayanuka) (by scan-
ning microscope × 600)



アシカキ機動細胞珪酸体(走査型電顕)×600
Motor cell of cut grass (Ashikaki) (by
scanning microscope × 600)

第1表に各植物の特徴点を列記しておく。

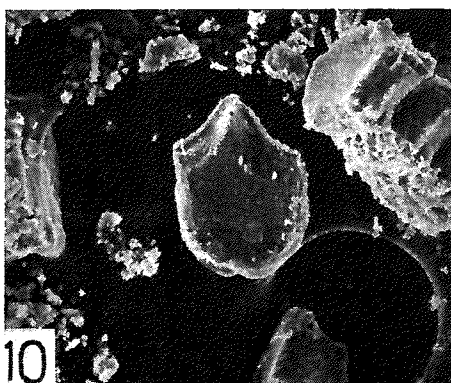
第1表 イネ族機動細胞珪酸体の特徴

植 物	機 動 細 胞 珪 酸 体 の 特 徴		
	断 面 形 状	側 面 突 起	裏 面 の 紋 様
イネ { 農林22号 京都旭 陸稲農林20 杣 IR-8	イチョウの葉形	あ り	整然とした亀甲紋様
	扇 形	あ り	
サヤヌカグサ	イチョウの葉形	ほとんどなし	亀甲紋様はあるが浅い
ヒロハノサヤヌカグサ	変形イチョウの葉形	ほとんどなし	深くやゝ乱雑な亀甲紋様
アシカキ	扇 形	特に発達	整然とした亀甲紋様
マコモ	ヨシ機動細胞珪酸体 断面に近い	あ り	はっきりした紋様はなし

ヒロハノサヤヌカグサはサヤヌカグサの亜種である。両植物の機動細胞珪酸体を識別することができるということはプラント・オパール分析により亜種レベルで判別できることを示唆している。しかし、イネ科植物のすべてについて亜種レベルまで分析可能ということでは必ずしもない。例えば、イネの場合品種：IR-8だけは他の品種と識別できるが、農林22号など4品種間の差は識別することができない。

イネの品種間差については伝播経路などを明らかにする上でも興味ある課題であるが、何ぶん品種数が多く結論を出すまでにはもう少し時間がかかろう。

参考のため、イネ族以外のヨシ族ヨシの機動細胞珪酸体をも示しておく。



ヨシ機動細胞珪酸体(走査型電顕)×400
Motor cell of reed (by scanning
microscope ×400)

4. 定量分析法

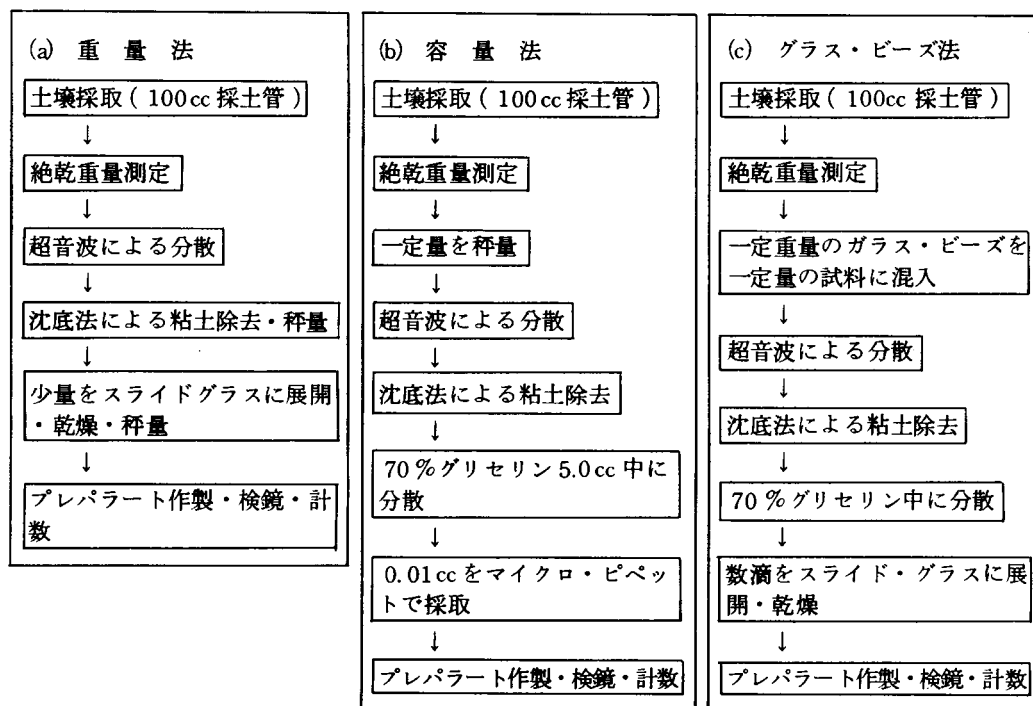
土壌中のプラント・オパール密度を求めるためにはプラント・オパールの定量分析法を確立することが必要である。

古代イネ科植物の分布を量的に把握しようとする場合あるいは、古代イネ科栽培作物を量的に検討しようとする場合はどうしても定量分析が必要になる。

現在プラント・オパールの定量分析法として次に述べる方法を採用あるいは検討している。

定量分析は土壌中の微粒子を量的に把握しようとするもので、どうしても時間と労力を要する。できるだけ誤差を少なく短時間に処理する方法を追求している段階である。

各方法の概略をダイアグラムに示したので参照されたい。



第5図 定量分析法ダイアグラム

(a) 重量法

もっとも直接的な方法であるが、プレパラートに展開する数mgの試料をスライドガラスと共に秤量するため測定誤差が大きいのが欠点である。超音波による試料の分散は定性分析の場合も極めて重要な処理であるが、定量分析においても欠かせない。この処理により粘土の塊りに囲まれたプラント・オパールを分離し、さらにプラント・オパールの表面に付着した汚れを取り除くことができる。

(b) 容量法

誤差の比較的大きい重量法の欠点を補うためグリセリン中に希釈し、マイクロピペットで一定容量を吸引しプレパラートに展開する方法である。重量法より測定誤差を小さくすることができるが操作に時間と労力を要する欠点がある。

(c) グラス・ビーズ法

径の小さいガラス・ビーズ ($d = 40 \sim 70 \mu$) を利用する方法であり、重量法・容量法が直接的方法であるのに対し間接的方法である。

ガラス・ビーズはほぼ完全な球形であり、比重もプラント・オパールと近似している ($S \cdot G = 2.2$)。したがって、ガラス・ビーズの重量を求めればその個数を算出することができる。

グリセリン中で試料とガラス・ビーズをよく攪反した後、任意の量をプレパラートに展開する。まず、顕微鏡視野中のガラス・ビーズの数を調べ、その後同視野中のプラント・オパールを計数する。

各測定値を下のように略記する。

S_p - 試料 (S_w) 中のプラント・オパールの数

S_w - 試料の絶乾重量 (g)

G_w - 添加ガラス・ビーズ重量 (g)

a - グラス・ビーズ 1 g 中の個数

α - 視野中のガラス・ビーズ個数

β - 視野中のプラント・オパールの数

$$S_p = \frac{a \times G_w}{S_w} \times \frac{\beta}{\alpha}$$

上式により、試料 (S_w) 中のプラント・オパールを求めることができる。

この方法は重量法・容量法に比較し時間的にも労力的にも有利である。また、ガラス・ビーズとプラント・オパールの形状・性質が近似しているため両者は処理過程の行動にも共通性があると判断してよく流亡、見落しによる誤差をカバーすることができる。

ただし、この方法はガラス・ビーズと試料を充分均一になるまで攪反することが重要な要件である。

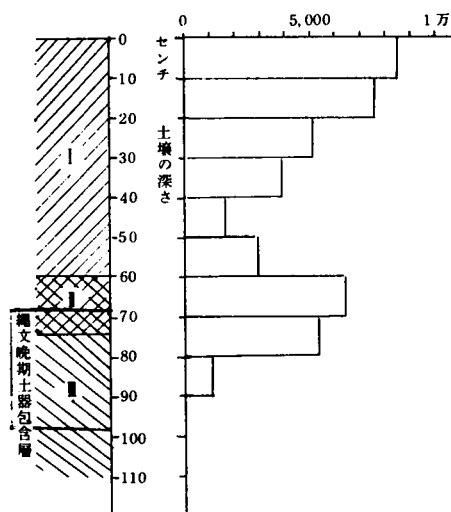
5. 定量法による遺跡土壌の分析例

遺跡土壌の定量分析例はまだ少なく、これからの追究課題である。ここでは、熊本・上ノ原遺跡 (縄文晩期初頭) の土器包含層土壌における分析例を挙げておく。

上ノ原遺跡は熊本市健軍町に位置し一帯は現在でも畑作地帯であり都市化が進行している。ここでの定量分析の目的は①、定性分析で確認されたイネ機動細胞様プラント・オパールが縄文晩期に生産された稲に由来するものかどうか？を明らかにすること、②、プラント・オパールの垂直密度分布から穂苅→株苅への移行時期の資料をうること、である。分析法は前項に記した容量法によった。

分析結果は図に示したとおりである。

図でみるように、土壌中のイネ機動細胞様プラント・オパールの垂直密度は表層から下るにしたがい減少し、縄文土器包含層の直上で最小値を示す。その後、縄文土器包含層にかけて増加し同包含層より下ると全く検出されなくなる。この結果から、後代のプラント・オパールが縄文土器包含層に降下したとすれば、同包含層でむしろ増加する事実を説明できなくなる。したがって、上ノ原縄文層で検出されたイネ機動細胞様プラント・オパールは同時代に生産された稲に由来するものと判断される。また、同地における火山灰の堆積・浸触活動が縄文晩期から現在までの間ほぼ一様に行なわれたと仮定すれば、同土器包含層の直上層でみられるイネ機動細胞様プラント・オパール密度の最小値はその地層に相当する時代に穂苅→株苅への移行が行なわれたと推定する根拠になる。



第6図 熊本・上ノ原遺跡縄文土器包含層土壌1グラム中のイネ機動細胞様プラント・オパールの数

6. 考察および結論

(1) イネ科植物を採取し、葉身中の機動細胞標本作製することが急がれる。

現在、九州地方の野生・栽培イネ科植物標本をほぼつくり終えたところである。

イネ科植物は分類・判別が難しく採取のつど専門家に識別してもらう必要があり困難をとまう。私達の研究室では、多年にわたり植物を採取・標本化して来られた宮崎大・平田正一教授の厚意で標本の一部を譲渡いただき、標本数を増し整理することができた。あらためて、平田教授に謝意を表したい。しかし、まだ、九州以外の地域における野生イネ科植物の中には標本未作製のものも多くあり、できるだけ早い機会に補足する必要がある。

珪酸体標本作製の技術的問題として、とくに側面長/断面縦長、断面縦長/断面横長の大きい機

動細胞珪酸体の断面形状を光学顕微鏡で観察することは困難な場合がある。例えば、アワ・ヒエなどがその例である。

これは、焦点深度の深い走査型電顕でゴニオステージにより観察すれば解決できる。

(2) 本論では土壌など遺跡試料中のプラント・オパール密度を求める方法について述べたが、葉身中の珪酸体密度も植物種によって異なる。したがって、土壌中のプラント・オパール密度のデータだけでは当時の植物体量を推量できない。定性的な標本だけでなく、各イネ科植物ごとに植物体総量－葉身量－葉身中珪酸体密度のデータを整備する必要がある。

(3) 熊本・上ノ原遺跡の分析例で、いわゆる畑地帯におけるイネ機動細胞様プラント・オパールの検出について述べた。

同遺跡の立地は傾斜火山灰台地であり現在でも水田が開かれていない所である。同地で縄文時代に稲作があったとすれば、やはり畑作の稲と考えるのが自然であろう。

その他にも、弥生時代中期の山地遺跡でイネ機動細胞様プラント・オパールが最近確認されている。今後の課題の一つとして、弥生・縄文時代における畑作稲の存在について検討してみる必要があらう。

これは、古代における農作業体系の変遷をテーマとする私達にとって、いわゆる水田農耕と焼畑農耕の位置づけの問題として極めて興味のあるところである。

(4) 最後に、自然科学的方法と人文・社会科学的方法の方法論的相違から派生する若干の問題点について私見を述べ批判を仰ぎたい。

自然科学的方法による遺跡、古文化財に関する研究の多くは、いわゆる分析科学的方法を用いている。分析科学的方法はすべてその分析的方法の成立する理論的前提と分析技術的限界をともしものである。分析科学の出す結果は具体的であるが、あくまでこの前提と限界の範囲で意味をもつものである。

自然科学の研究者には、分析科学にたづさわるものとして上記のことは自明であり、相互の分析法について吟味することができる。

しかし、自然科学者と考古学者が共同の研究を行なう場合、相互の方法論を充分吟味しあうことは難しいのが現状である。

今後、両分野の共同研究が進む中で、この問題はいつれ解決されなければならない。共同研究の初期的段階では両者の方法論的相違による弊害をできるだけ少なくするため双方の努力が必要と思われる。

プラント・オパール分析も上述の意味で前提と限界をともしものである。したがって、無条件に分析結果を絶対視できるものでは決してない。

プラント・オパール分析の分析結果について、例えば「イネ機動細胞様プラント・オパール」というように断定を避けた表現をとるのは、ただ研究的蓄積が少ないという理由だけでなく、上述の理由を加えてのことである。

参 考 文 献

- 1) 藤原宏志, 野方中原遺跡土壌の Plant opal 分析, 福岡市埋蔵文化財調査報告書 30 50 ~ 51 (1974)
- 2) 藤原宏志・佐々木章・末吉孝行, 熊本・上ノ原遺跡(縄文晩期初頭)土壌の Plant opal 分析, 日本作学会九州支部会報 No. 42 49 ~ 53 (1975)
- 3) 藤原宏志, 板付遺跡における Plant opal 分析, 福岡市埋蔵文化財調査報告 35 53 ~ 58 (1976)
- 4) 加藤芳朗, 黒ボク土壌中の植物起源土粒子について(予報), 土肥誌 30 549~552 (1960)
- 5) 森 浩一・藤原宏志, Plant opal 分析による窯壁中のスサ材の推定, 古代学研究 No. 75 28 ~ 33 (1975)
- 6) 佐瀬 隆・近藤練三, 北海道の埋没火山灰土腐植層中の植物珪酸体について, 帯広畜産大学学術研究報告 8 465 ~ 483 (1974)
- 7) F. Smisthon, Plant opal in Soil, *Nature* 176 107 (1956)

Fundamental Studies of Plant Opal Analysis.

— On the silica bodies of motor cell of rice plants
and their near relatives, and the method of quantitative analysis.

Hiroshi FUJIWARA

Faculty of Agriculture, Miyazaki Univ. Funazuka, Miyazaki

It is wellknown that most of the important crops belong to gramineae.

The author investigates the transformation of farm work systems in Japan. In order to investigate these problems, it should be important to establish the method of surveying ancient gramineae.

In the present paper, the plant opal analysis is suggested as a new method of surveying ancient gramineae buried in soil.

The outline of the discussion is summarized as follows.

(1) It is possible to distinguish clearly the silica bodies of motor cell of rice plants (*Oryza sativa* L.) from those of other plants.

(2) Gravimetric, volumetric and glass beads methods are discussed as methods of quantitative analysis.

Glass beads method would be a more desirable method.

The author would like to thank Dr. S. Hirata for his helpful advice.

This research was partially supported by the scientific research fund from the Ministry of Education.

