

# 機動細胞珪酸体の形態によるキビ族植物の同定とその応用

——古代農耕追究のための基礎資料として——

杉山真二\*・松田隆二\*・藤原宏志\*\*

## 1. はじめに

プラント・オパール(植物珪酸体)分析による古代農耕追究の試みは、これまで主にイネを中心として進められ、水田跡探査法の開発と応用(藤原, 杉山: 1984c), 稲穀生産量の推定(藤原: 1979), 土器胎土分析法による稲作開始期の検討(藤原: 1982b)など、稲作史の解明に寄与するところが大きい。しかし、イネ以外の栽培植物については未解明な部分が多く、これからの検討課題といえよう。

水田稲作以外の古代農耕に関する検討は、主に焼畑農耕との関連について行なわれ、これまでに宮崎県椎葉村(佐々木: 1984), 群馬県熊倉遺跡(藤原・杉山: 1984b), 宮崎県須木村(藤原ほか: 1986)などで調査が行なわれた。その結果、山地土壌などからキビ族植物(*Panicaceae*)の、機動細胞珪酸体由来するプラント・オパール(以下、プラント・オパールと略す)が多量に検出された。また、青森県垂柳遺跡でも、弥生時代の水田跡の下層からキビ族植物のプラント・オパールが多量に検出されている(藤原: 1984a)。

キビ族植物には、イヌビエやエノコログサなどの雑・野草のほか、ヒエやアワなどの重要な栽培植物が含まれている。しかし、同族の機動細胞珪酸体の形態は互いに類似しており、しかも同一個体内での変異も大きいことから、同定の精度はこれまで族(Tribe)のレベルにとどまっていた。

このため間接的な方法として、現植生との比較(佐々木: 1984)や随伴する他の植生との関連で考察する(藤原ほか: 1986)などの試みがなされているが、直接的な方法で稲作以外の農耕の存在を実証することができないのが現状である。

本論では、キビ族の栽培植物(特にヒエ)の同定を目的として機動細胞珪酸体の形態の検討を行なった。また、その結果に基づいて、青森県垂柳遺跡と宮崎県須木村の山地から検出されたキビ族のプラント・オパールの同定を試みた。

## 2. 試料および方法

供試植物は表1に示した8属20種である。このうち、ヒエは16系統、イヌビエは8系統、アワは8系統、キビは3系統、他は1系統ずつである。

\*古環境研究所: 331 埼玉県大宮市土屋1795-24

\*\*宮崎大学農学部: 889-21 宮崎市大字熊野7710

表1 キビ族植物の標本リスト  
Table 1. The list of *Panicas* analyzed.

| 属名      | 種名        | 学名                                        |
|---------|-----------|-------------------------------------------|
| キビ属     | キビ        | <i>Panicum miliaceum</i>                  |
|         | ヌカキビ      | <i>Panicum bisulcatum</i>                 |
| ヒエ属     | ヒエ        | <i>Echinochloa utilis</i>                 |
|         | イヌビエ      | <i>Echinochloa Crusgalli</i>              |
|         | ケイヌビエ     | <i>Echinochloa Crusgalli v. caudata</i>   |
|         | タイヌビエ     | <i>Echinochloa Crusgalli v. orizicola</i> |
| エノコログサ属 | アワ        | <i>Setaria italica</i>                    |
|         | キンエノコロ    | <i>Setaria glauca</i>                     |
|         | コツブキンエノコロ | <i>Setaria glauca v. pallide-fusca</i>    |
|         | オオエノコログサ  | <i>Setaria pycnocomia</i>                 |
|         | エノコログサ    | <i>Setaria viridis v. minok</i>           |
|         | ハマエノコロ    | <i>Setaria viridis v. pachystachys</i>    |
|         | アキノエノコログサ | <i>Setaria Faberi</i>                     |
|         | ムラサキエノコロ  | <i>Setaria viridis f. misera</i>          |
| チカラシバ属  | チカラシバ     | <i>Pennisetum alopecuroides</i>           |
| チヂミザサ属  | チヂミザサ     | <i>Oplismenus undulatifolius</i>          |
| ナルコビエ属  | ナルコビエ     | <i>Eriochloa villosa</i>                  |
| スズメノヒエ属 | スズメノヒエ    | <i>Paspalum Thunbergii</i>                |
| メヒシバ属   | メヒシバ      | <i>Digitaria ciliaris</i>                 |
|         | アキメヒシバ    | <i>Digitaria violascens</i>               |

植物珪酸体の抽出は次の方法で行なった。まず供試植物の葉身を洗浄し、電気炉で灰化（550℃、6時間）させたのち、超音波（20 kHz, 150 W）で分散させた。次に、沈底法によって 20 μm 以下の粒子を除去したのち、乾燥させて植物珪酸体標本とした。

これをオイキットで封入してプレパラートを作成し、400 倍の光学顕微鏡下で観察した。また細部については走査型電子顕微鏡で観察した。

大きさの測定は、顕微鏡のマイクロメータを用いて、同一個体を回転させながら、縦長、横長、側長を測定した（図1参照）。測定個数は50個を目標にしたが、珪酸体密度の低いものについては30個にとどまったものもある。この測定値を基に判別分析を行なった。

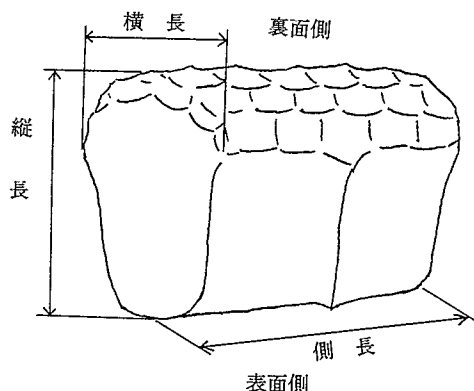


図1 ヒエ属の機動細胞珪酸体の模式図  
Fig. 1. Schematic figure of Phytolith in the motor cell of *Echinochloa*.

### 3. 結果および考察

今回検討したキビ族植物8属のうち、チヂミザサ属、チカラシバ属、スズメノヒエ属、ナルコビエ属の4属は、断面の形状や裏面部の模様、大きさなどの形態的特徴によってそれぞれ識別された（図版2参照）。メヒシバ属は機動細胞珪酸体が確認されなかった。

ヒエ属、キビ属、エノコログサ属の3属は、それぞれヒエ、キビ、アワという栽培植物を含んでいる。これら3属の機動細胞珪酸体はたがいに類似していることから、形態的な特徴を検討するとともに、判別分析の結果とをあわせて検討した。表2に機動細胞珪酸体の各部測定結果を、図2-1に機動細胞珪酸体の縦長と横長の関係を、図2-2に縦長と側長の関係を示した。各属間の判別式を次に示す。

#### a. ヒエ属：エノコログサ属

$$Z=0.0121L-0.232V-0.141H+4.85$$

$$(M=0.168, P_E=23.7\%, P_S=17.1\%)$$

#### b. ヒエ属：キビ属

$$Z=0.0245L+0.0342V-0.409H+4.10$$

$$(M=0.233, P_E=34.7\%, P_F=30.3\%)$$

表2 おもなキビ族植物における機動細胞珪酸体の各部測定結果  
(平均値と標準偏差, 単位:  $\mu\text{m}$ )

Table 2. Measurement of Phytoliths for *Panicum*, *Echinochloa*, and *Setaria* in *Panicaceae*.

| 植物名       | 縦 長      | 横 長      | 側 長       | 側長／縦長     |
|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| キビ属 キビ    | 38.8±8.0 | 29.1±4.4 | 69.1±17.3 | 1.86±0.64 |
| ヒエ属       | 41.7±8.7 | 33.1±6.8 | 68.3±18.5 | 1.71±0.58 |
| ヒエ        | 43.2±8.4 | 35.4±5.4 | 69.4±17.4 | 1.66±0.49 |
| イヌビエ      | 38.6±8.4 | 28.4±6.9 | 66.6±20.7 | 1.82±0.74 |
| ケイヌビエ     | 41.7±6.0 | 32.6±4.5 | 67.7±14.1 | 1.65±0.42 |
| タイヌビエ     | 48.8±8.3 | 33.2±5.4 | 83.0±17.5 | 1.76±0.51 |
| エノコログサ属   | 30.3±6.8 | 25.5±5.0 | 67.6±24.3 | 2.31±0.87 |
| アワ        | 29.3±6.3 | 25.7±4.6 | 60.0±14.7 | 2.13±0.66 |
| キンエノコロ    | 32.2±4.6 | 27.3±3.6 | 77.6±20.3 | 2.46±0.72 |
| コツブキンエノコロ | 38.0±6.5 | 31.6±5.3 | 87.1±23.8 | 2.34±0.66 |
| オオエノコログサ  | 31.2±7.1 | 23.0±4.6 | 67.2±22.2 | 2.27±0.96 |
| エノコログサ    | 28.3±7.2 | 23.7±5.0 | 89.3±40.7 | 2.31±1.20 |
| ハマエノコロ    | 32.0±5.6 | 26.8±3.8 | 59.6±12.7 | 1.99±0.95 |
| アキノエノコログサ | 33.2±5.1 | 26.3±3.4 | 60.0±14.5 | 1.84±0.50 |
| ムラサキエノコロ  | 26.2±4.4 | 21.1±3.1 | 67.1±14.6 | 2.62±0.64 |

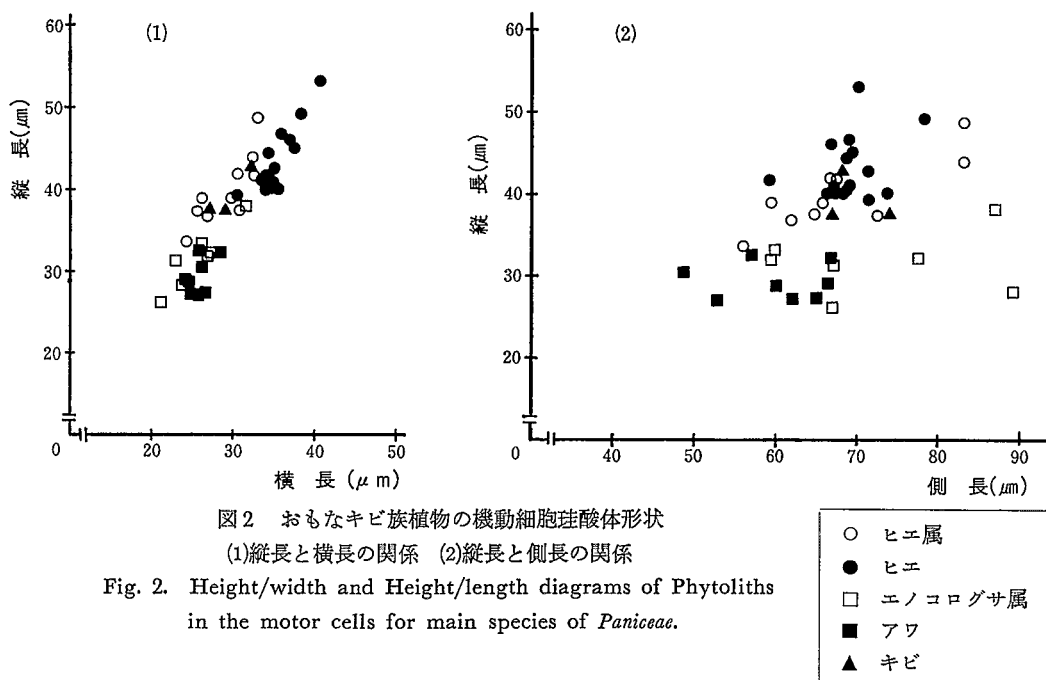


図2 おもなキビ族植物の機動細胞珪酸体形状

(1)縦長と横長の関係 (2)縦長と側長の関係

Fig. 2. Height/width and Height/length diagrams of Phytoliths in the motor cells for main species of *Panicum*.

### c. エノコログサ属：キビ属

$$Z = 0.0129L - 0.388V + 0.0686H + 3.88$$

$$(M = -0.388, P_s = 25.9\%, P_F = 29.7\%)$$

ただし、Z：判別得点、L：側長、V：縦長、H：横長、M：判別境界値（判別点）、P：誤判別率

（注）代入値はマイクロメータの読み取り値。1目盛りは  $2.5 \mu\text{m}$ 。

エノコログサ属は、他の2属と比較して断面形状が小さく、側長／縦長がおおよそ2.0以上と細長い（図2，3参照）。また、裏面部の亀甲状模様は輪郭が比較的滑らかで不明瞭である。これらの特徴から、エノコログサ属の大部分はヒエ属およびキビ属とは識別される。

ヒエ属およびキビ属は、基本的には丸みを帯びた直方体であって、例えば食パンのような形状をしている（図1参照）。しかし、キビ属のなかには断面形状が扇形のもの（図版2参照）が含まれているが、これはヒエ属にはほとんど見られない。また、ヒエ属には横長が  $35 \mu\text{m}$  を超えるような大型のものが含まれているが、これはキビ属には見られない。裏面部の亀甲状模様はどちらにも明瞭に認められるが、キビ属の方が比較的彫りが深く鮮明である。これらの特徴から、典型的な形態のものについては両者の識別は可能である。

次に、ヒエ属とエノコログサ属について、栽培種と野生種の比較検討を行なった。ヒエ属の栽培種であるヒエは、図2-(1)のようにイヌビエなどの野生種と比較して横長がやや大きい傾向が見られるが、変異の幅が大きいことから、両者を識別する決め手にはならない。そのほかの形態的特徴も類似しているため、栽培種と野生種を識別するのは困難である。

エノコログサ属の栽培種であるアワは、図2-(2)のように側長がおおよそ  $70 \mu\text{m}$  未満であり、エノコ

たが、同層の下部に位置する VI c 層ではイネは検出されず、代わってキビ族のプラント・オパールが多量に検出された（藤原：1984a）。

ここでは、V区およびⅧ区の VI c 層で検出されたキビ族のプラント・オパールについて検討を行った。その結果、図版3のようにヒエ属の特徴を持っているものが多く見られ、判別分析ではV区で90%、Ⅷ区で73%がヒエ属と判別された。

なお、VI c 層ではキビ族とともにヨシが随伴していることから、当時この周辺は低湿地であったものと推定される。ヒエ属は、タイヌビエのように水田雑草などとして低湿地でも生育できるが、キビ属やエノコログサ属は低湿地では生育しにくい。このことも、ここで検出されたものがヒエ属であるとする間接的な根拠になるであろう。

このように VI c 層でヒエ属のプラント・オパールが多量に検出されたことから、垂柳遺跡では水田稲作よりも以前に、なんらかのかたちでヒエ属植物が利用されていた可能性が考えられる。

## （2）宮崎県須木村の山地

調査対象は、九州山地の東麓に位置する標高 400～650 m、平均傾斜度約30度の急傾斜地である。ここでは昭和20年代まで焼畑農耕が行なわれており、とりわけノイネと呼ばれる焼畑稲作が行なわれていたことが特徴的である。ここで焼畑による稲作が行なわれていたことは、分析的にも実証されている（藤原ほか：1986）が、同調査域では同時にキビ族のプラント・オパールもほぼ全山にわたって多量に検出された（図4）。

ここでは、D 6、D 8、H 5 地点で検出されたキビ族のプラント・オパールについて検討を行った。その結果、図版3のようにエノコログサ属およびヒエ属の特徴を持っているものが多く見られ、キビ属の特徴を持っているものも若干見られた。そこで、エノコログサ属と見られるもの以外を対象として判別分析を行なったところ、D 6 地点で77%、D 8 地点で90%、H 5 地点で83%がヒエ属と判別された。

なお、ヒエ属およびエノコログサ属のプラント・オパール密度が高いところでは、ススキが多量に検出される傾向が認められた。ススキは、森林が切り開かれなにかぎり繁茂できないことから、おそらく焼畑によってヒエ属およびエノコログサ属が生産され、そこにススキが侵入して繁茂したものと推察される。

このように、当調査域では焼畑によってイネをはじめヒエやアワなどが栽培されていたものと考えられる。これは、聞き取り調査の結果（藤原ほか：1986）とも符合していることから、この手法が焼畑跡の確認や探査に有用であるものと考えられる。

## 5. ま と め

本論では、ヒエやアワなどの重要な栽培種を含むキビ族について、機動細胞珪酸体の形態の検討を行った。また、青森県垂柳遺跡と宮崎県須木村の山地で検出されたキビ族のプラント・オパールに

ログサなどの野生種と比較して小型であることが認められた。しかし、野生種の側長の変動係数が約40%と大きいことから、このことだけでアワを特定するのは危険であろう。

以上のように、ヒエ属、エノコログサ属とも栽培種と野生種は類似しており、現段階ではこれらの識別は困難である。野生種から栽培種が分化したことを考えると、識別できないのが当然とも思われるが、今後さらに詳細な検討が必要であろう。

参考までに、栽培種と野生種間の判別式を示しておく。

d. ヒエ属 (栽培種：野生種)

$$Z = -0.00361 L + 0.0610 V - 0.464 H + 5.21$$

$$(M=0.196, P_{EV}=22.2\%, P_{EC}=26.5\%)$$

e. エノコログサ属 (アワ：野生種)

$$Z = 0.0888 L + 0.302 V - 0.374 H - 2.21$$

$$(M=0.0284, P_{sT}=26.5\%, P_s=39.4\%)$$

#### 4. 分析調査例

##### (1) 青森県垂柳遺跡

垂柳遺跡では、弥生時代中期とされる VI a 層の上面から広範囲にわたって水田跡が検出され、東北地方の稲作史に大きな変革をもたらした。同層からはイネのプラント・オパールが多量に検出され

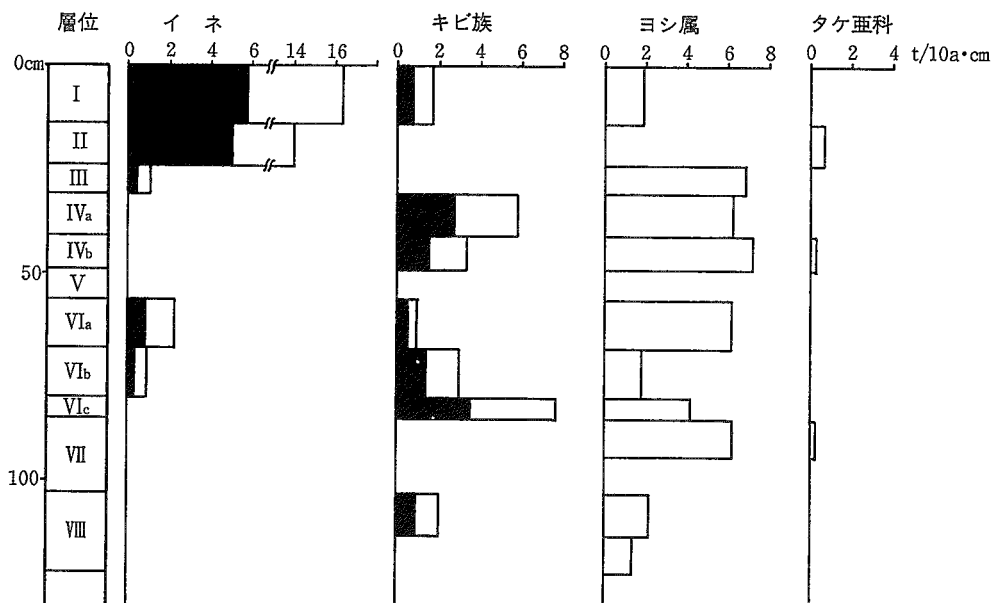


図3 垂柳遺跡Ⅲ区R32地点におけるおもな植物の推定生産量

イネ、キビ族の黒部分は種実重、白ワクは全体重。キビ族はヒエと仮定して算出した。藤原(1984a)の第59図を加筆改編。

Fig. 3. Estimated production for *Oryza, sativa*, *Panicaceae*, *Miscanthus sinensis*, *Bambusoideae* in Tare-Yanagi site (III-R-32).

ついて同定を試みた。これらの結果を要約すると次のとおりである。

1. キビ族8属のうち、チデミザサ属、チカラシバ属、スズメノヒエ属、ナルコビエ属の4属は、形態的特徴によりそれぞれ識別された。メヒシバ属は機動細胞珪酸体が確認されなかった。
2. エノコログサ属は、側長／縦長がおおよそ2.0以上と細長く、裏面部の亀甲状模様がはっきりしないことで、ヒエ属およびキビ属とは識別された。ヒエ属とキビ属は類似しているが、典型的な形態

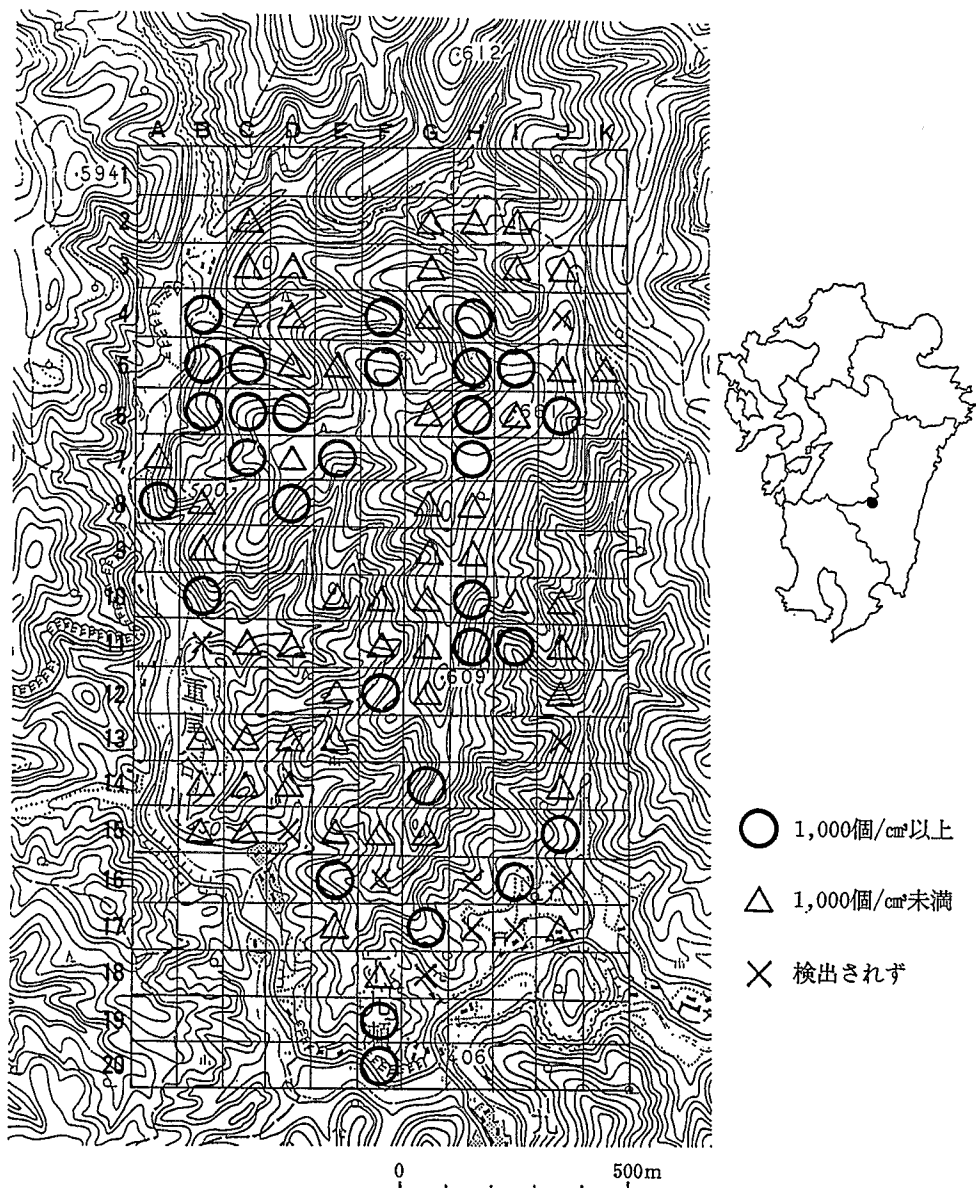


図4 宮崎県須木山地におけるキビ族機動細胞プラント・オパールの検出状況  
(国土地理院 1/25,000 地形図「田代ヶ八重」使用)

Fig. 4. Density distribution of Phytoliths of *paniceae* in the mountain area  
Suki district in Miyazaki pref.

のものについては識別が可能である。

3. ヒエ属のうち、ヒエはイヌビエなどの野生種に、エノコログサ属のうち、アワはエノコログサなどの他の野生種と類似しており、栽培種の同定は困難である。
4. 青森県垂柳遺跡 VI c 層で検出されたキビ族のプラント・オパールは、そのほとんどがヒエ属と同定された。宮崎県須木村の山地で検出されたキビ族のプラント・オパールは、エノコログサ属とヒエ属が混在しているものと判断された。いずれも栽培種を直接的に同定するには至らなかったが、ヨシやススキなど随伴する植生との関係から間接的に農耕の存在が想定された。

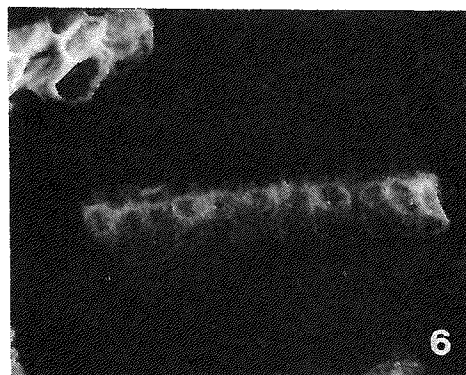
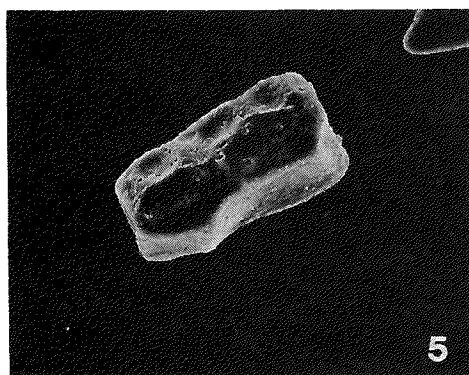
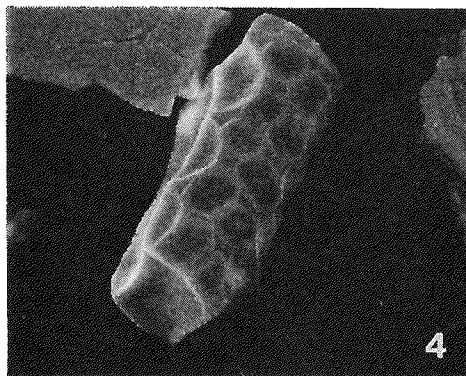
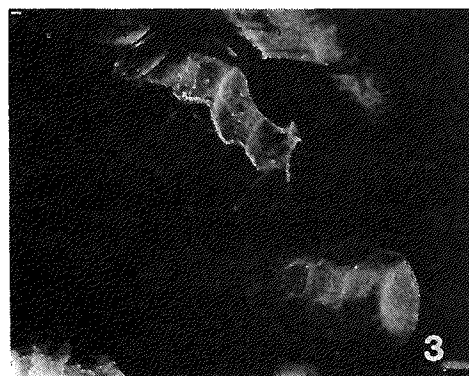
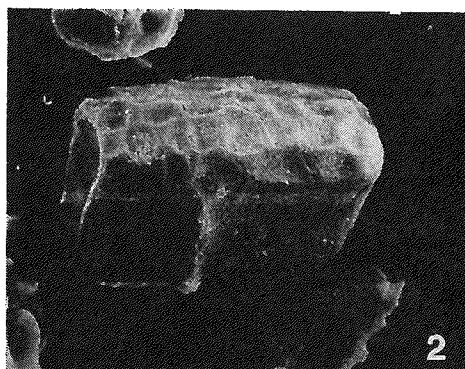
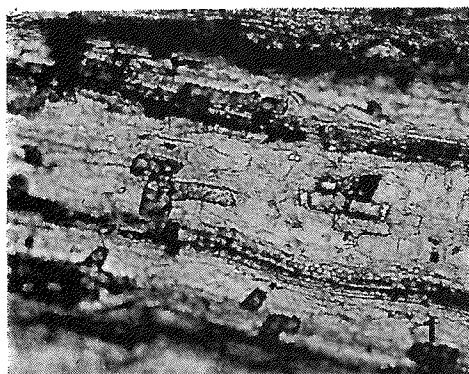
## 謝 辞

本論をまとめるにあたり、岩手県立農業試験場の大野氏にはヒエの標本を、京都大学農学部、阪本寧男教授にはアワの標本を、埼玉大学教養部、永野巖教授にはエノコログサ属の標本の一部を分譲していただいた。ここに厚く感謝いたします。

なお、本論の一部は日本文化財科学会第4回大会（1987）で発表したものである。

## 引 用 文 献

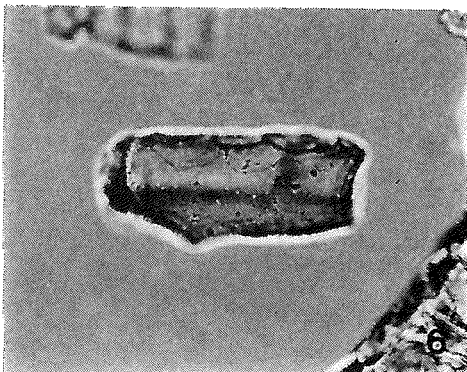
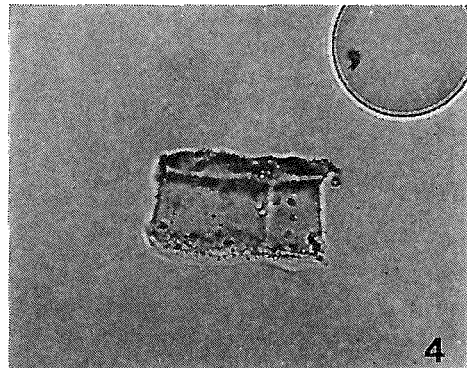
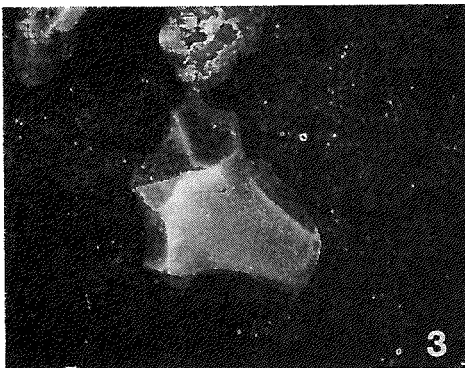
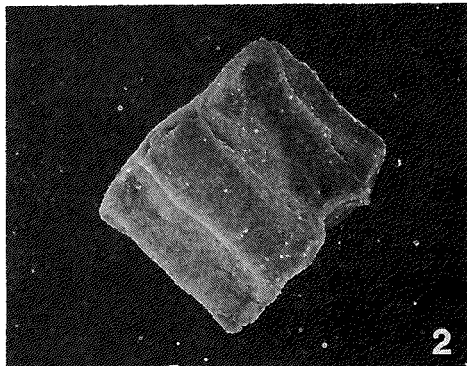
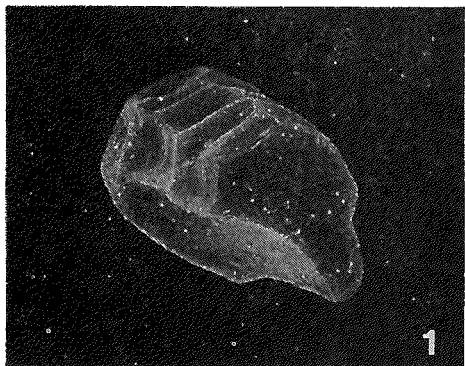
- 藤原宏志（1979） プラント・オパール分析法の基礎的研究（3）——福岡・板付遺跡（夜臼式）水田および群馬・日高遺跡（弥生時代）水田におけるイネ（*O. sativa* L.）生産総量の推定——. 考古学と自然科学 12：29-42.
- 藤原宏志（1982） プラント・オパール分析法の基礎的研究（4）——熊本地方における縄文土器胎土に含まれるプラント・オパールの検出——. 考古学と自然科学 14：55-65.
- 藤原宏志（1984 a） 垂柳遺跡における水田跡の研究，青森県埋蔵文化財調査報告書（垂柳遺跡）. 青森県教育委員会：139-152.
- 藤原宏志（1984 b） 熊倉遺跡，プラント・オパール，六合村教育委員会：22-25.
- 藤原宏志・杉山真二（1984 c） 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 17：73-85.
- 藤原宏志・佐々木章・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 18：111-125.
- 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.
- 佐々木章（1984） 焼畑山地土壌のプラント・オパール分析——宮崎県椎葉村向山——. 古文化財の自然科学的研究 古文化財編集委員会：747-752.



図版 1 キビ族の機動細胞珪酸体

Plate 1. Phytoliths in the motor cells of *Panicum*.

- |      |         |       |   |          |       |
|------|---------|-------|---|----------|-------|
| 1    | ヒエ葉身の灰像 | ×100  | 5 | アワ       | ×1000 |
| 2, 3 | ヒエ      | ×1000 | 6 | オオエノコログサ | ×1000 |
| 4    | タイヌビエ   | ×1000 |   |          |       |

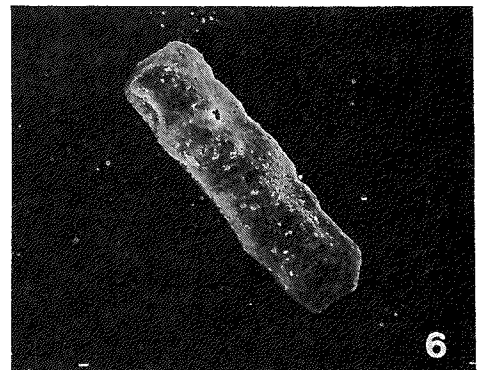
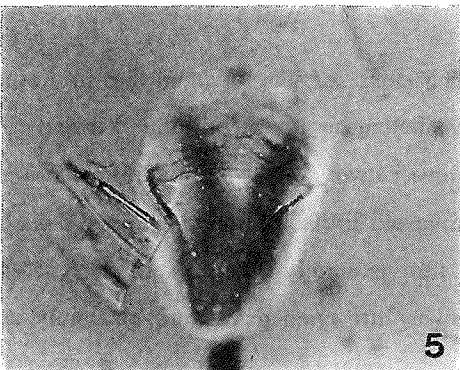
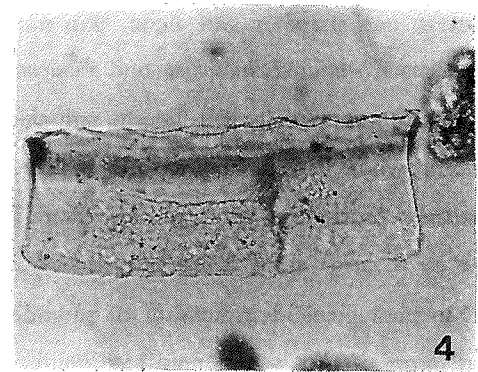
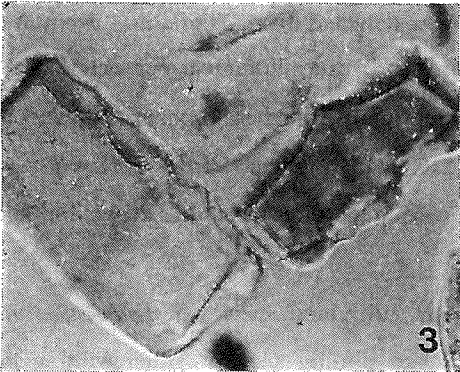
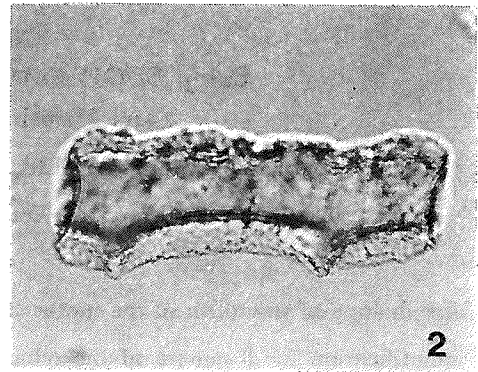
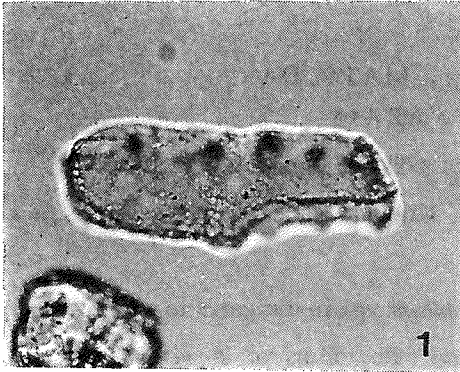


図版2 キビ族の機動細胞珣酸体

Plate 2. Phytoliths in the motor cells of *Panicum*.

1 キビ ×1000  
2 スズメノヒエ ×750  
3 チヂミザサ ×1000

4 チカラシバ ×400  
5 ナルコビエ ×400  
6 ナルコビエ ×400



図版3 機動細胞プラント・オペール

Plate 3. Phytoliths of *Panicum* detected from Tare-Yanagi site and Suki district.

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 1 垂柳遺跡Ⅴ区Ⅵc層, ヒエ属 ×400 | 4 須木山地, ヒエ ×400      |
| 2 垂柳遺跡Ⅶ区Ⅵc層, ヒエ属 ×400 | 5 須木山地, キビ属 ×400     |
| 3 須木山地, ヒエ属 ×400      | 6 須木山地, エノコログサ属 ×400 |

## Morphology of Phytoliths in the Motor Cells of *Paniceae*

### —Basic Study on the Ancient Cultivation—

Shinji SUGIYAMA\*, Ryuji MATSUDA\*  
and Hiroshi FUJIWARA\*\*

\*Paleoenvironment Research Co., Ltd., Tsutiyu 1795-24, Omiya 331, Japan

\*\*Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Kumano 7710, Miyazaki 889-21, Japan

- 1) Morphology of phytolith in the motor cell of *Paniceae* was investigated to establish criteria of identification for 8 genera of the tribe, *Paniceae*. Phytoliths of *Pennisetum*, *Oplismenus*, *Eriochloa*, *Paspalum* were distinguished among each other by their size, posterial surface pattern and shape in side view. No moter cell was detected from *Digitaria*. Remaining 3 genera (*Setaria*, *Echinochloa* and *Panicum*) are similar in morphological characteristics.
- 2) Measurement of length, height and width of the phytolith in these 3 genera showed that *Setaria*, whose length/height ratio is larger than 2.0, is distinguished from *Echinochloa* and *Panicum*. Distinction of *Echinochloa* from *Panicum* was generally difficult except for some species of large sized *Echinochloa*.
- 3) Morphological identification of phytoliths for the cultivated species of *Echinochloa utilis* and *Setaria italica* was generally difficult: *E. utilis* has similar size as other wild species such as *E. crusgalli*. Although *S. italica* is small in length of the phytolith, wild species of *Setaria* had a wide variation in their size.
- 4) Phytolith analysis was applied to 2 archaeological sites. At Tare-Yanagi site in Aomori Prefecture, phytoliths from the upper layer (VIa) belonging to the middle Yayoi period were identified as *Oryza sativa*, and those from the lower layer (VIc) were mainly *Echinochloa*. Phytoliths from mountain area at Suki-son in Miyazaki Prefecture were mainly *Echinochloa* and *Setaria*. Phytoliths of *Miscanthus sinensis* are also generally found from the analyzed area, suggesting that primary forest had cut down into open grass land, probably used as slash-and-burn field.