

## プラント・オパール分析法の基礎的研究(3)

### —福岡・板付遺跡(夜白期)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—

藤原宏志\*

一昨年から昨年にかけて、各地で古代水田址の遺構およびそれにとまう遺物が発掘・検出された。これらの水田遺構は九州から関東にいたる広い地域に散在し、遺跡時代も夜白式土器時代から奈良・平安時代にいたる各時期のものが含まれている。著者等が試料を採取することができたのは7遺跡であるが、他にも水田址検出が報告されている遺跡がある。とくに弥生時代の水田址については従来検出例が少ないうえ、遺跡保存上の配慮から、分析試料を採取することが困難であった。比較的短い期間に数多くの水田址が検出され、試料を採取することができたのは幸運であったとともに、試料採取の機会を与えていただいた各遺跡発掘関係者の方々に謝意を表する次第である。

本報では、すでに分析作業の大半を終了した福岡・板付遺跡<sup>3)</sup>および群馬・日高遺跡における分析結果について述べることにしたい。

プラント・オパールの定量分析法についてはその基本的方法をすでに報告<sup>1), 2)</sup>したところである。プラント・オパールは土壤中における残留性に優れている。これはプラント・オパールの化学的組成がSiO<sub>2</sub>であり水に対して不溶性であること、非晶質(ガラス状)であり物理的強度を有していることによるものであろう。また、プラント・オパールは比較的移動しにくい性質を有している。これは、花粉などのように、その生理機能上、植物体外に移動する必要のある細胞は一般に比重が小さく、場合によっては浮遊するための特殊構造を持っているのに対し、植物珪酸体は比重約2.3と比較的重く、植物体の酸化にとまなって土壤中に埋没するのが通常である。

一方、機動細胞珪酸体は植物葉身中に一定密度で分布している。葉身は植物における物質生産の主场であり、葉身面積と植物体乾物量、種実重量は高い正相関を持つことが知られている。これらの諸条件をもとに、土壤に含まれるイネ科植物機動細胞プラント・オパールの密度を定量することにより、その土壤に埋没した植物体量を求めようとするのがプラント・オパール定量分析である。

\*宮崎大学農学部、宮崎市船塚3丁目210

水田遺構の土壤に含まれるプラント・オパールを定量することにより、その水田で生産されたイネの総量を推定することができる。求められる数値は単位面積あたり植物体乾物重量、種実重量であるが、この値は年あたり生産量ではなく、その水田が活用された期間の総生産量である。年あたり生産量を求めるには何らかの方法で、その水田が活用された期間を知る必要がある。イネと同様に、その水田に生育したイネ科雑草量をも知ることができる。もちろん、こうして求められる数値は一定の実験誤差をとまなうものである。分析法の改良、試料数の増加により、実験誤差の幅を狭めることは可能であろうが、現在のところ、かなり大きな誤差範囲をとまなっていることに留意されたい。ここでは、重量法で求めた結果を示した。重量法はむしろもっとも当初的な方法であり、実験誤差も大きい。しかし、各時代における植物生産量の概括的な値とその変遷傾向を知るには充分な指標になるものと思われる。

福岡・板付遺跡、群馬・日高遺跡の詳細については発掘調査報告書の刊行をまたねばならない。ここでは試料採取にあたり、筆者が観察した水田遺構の概略を述べることにするが、その意図はプラント・オパール分析結果の理解にあり、概況とはいうもののさらに限られたものであることを付言しておきたい。

① 福岡・板付遺跡（G7a）は福岡市博多区板付5丁目に位置し、宅地造成に際し調査検出されたものである。遺跡近傍には御笠川など中小河川が流れており、治水技術の未熟な時代にはたび重なる氾濫を受けたものと思われる。

試料採取地点の土層断面を見ると厚い砂層が何枚も認められ氾濫の影響を想起させた。

この地点では表層水田の他に、確認された三層の水田址と未確認ではあるが水田址ではないかと想定される一層が発掘されている。確認された水田址三層のうち二層はⅥ層およびⅦ層の弥生前期（板付Ⅰ式土器包含）のものであり、Ⅵ層水田址はⅤ層の砂層によって埋没されている。残る確認された水田址はⅩ層である。この層は夜臼式土器の単純包含層とされており、周知のように日本最古の水田址として話題になった遺構である。このⅩ層水田址もⅨ層の砂層によって被覆されている。このほか、Ⅷ層は夜臼式土器包含層であり、水田遺構は確認されていないが、水田址であった可能性があるとされている層位である。なお、Ⅺ層は八女粘土層の上にある黒色有機質土で遺構は検出されていない。

夜臼式土器をとまなうⅩ層水田址には幅：約2m、深さ：約0.6mのU字溝と幅：約1.6m、田面からの高さ：約0.3mの畦畔がともなっている。さらに、この畦畔の一部を開削する形で木柵水門が設けられている。これらの水田施設を見ると、予想外に高度な水田技術がすでに存在していたことを認めなければなるまい。試料採取地点の土層断面は土柱図に示した。

② 群馬・日高遺跡は高崎市日高町に位置し、弥生時代後期の遺物をともなう水田址遺構（Ⅷ層）が検出されている。遺跡は関東平野の北端にあたる前橋台地上にある。この台地は現在、乾田ないし畑作地帯であり、板付遺跡が低地の湿田であることと対称的である。Ⅷ層の水田址遺構は20～30 m<sup>2</sup>の大きさであり、広幅の畦で区切られている。この遺跡では木製農具も出土しており、水田農耕の跡がうかがえる。Ⅳ<sub>a</sub>層の平安時代水田址遺構は大型であり、近代における水田基盤整備事業の行なわれる以前の水田規模にほぼ匹敵するものである。

遺跡の分布する一帯には浅間山、榛名山二ツ岳の数次にわたる火山活動により堆積した火山灰層は堆出年代がほぼ明らかにされており、各土層の時代区分に利用されている。さらに、土壌試料を分析する立場からみると、これらの火山灰層はその土層上に含まれる微粒子が下層土に流下混入するのを防ぐ、いわばフィルター的作用を果すことが期待される。

この前橋台地には新保・熊野堂・同道の各遺跡で水田址様遺構が検出されている。これらの中で、とくに古墳時代の遺構は浅間山Cパミス層の上に位置し「ミニ水田」と呼ばれており、イナ作遺構として興味深いものであるが当該遺跡ではこれにあたるものは検出されていない。

試料採取地点の土層断面は第1、2図に示した。

土層	cm	
	0	
I	14	作土
II	23	
III		鎌倉～弥生後期遺物
IV	59	弥生中期遺物
V	70	砂層
VI	80	板付Ⅰ式水田Ⅰ
VII	90	板付Ⅰ式水田Ⅱ
VIII	108	縄文晩期水田?
IX	120	
X	140	縄文晩期水田址
XI	151	黒色有機質土

第1図 福岡：板付遺跡  
(G7a)土層断面

The soil profile of the Itazuke site (G7a).

土層	cm	
	0	
I		作土
IIa	21	
	30	近世～中世 浅間山Aパミス泥り(天明3年1780)
IIb	40	
III	48	1108年 天仁元年 Bパミス層
IVa	67	平安時代水田址
IVb		
V	95	榛名山(6C後半)ニツ岳火山灰(Fav)
	103	
VI		古墳時代(無遺物)
VII	118	浅間山Cパミス層(4C初頭)
VIII	129	弥生後期水田址
	145	
IX		
	185	
X		洪積層

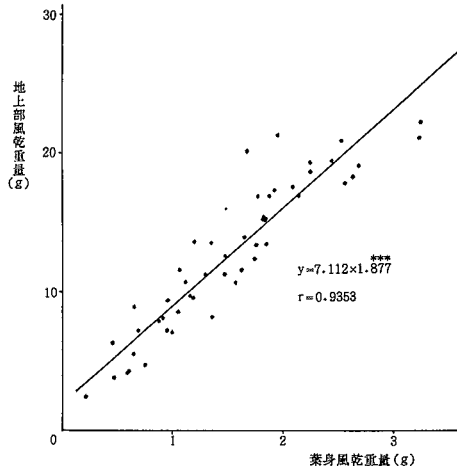
第2図 群馬：日高遺跡  
(M-53)土層断面

The soil profile of the Hidaka site (M-53).

## 2. イネ科植物における機動細胞珪酸体量

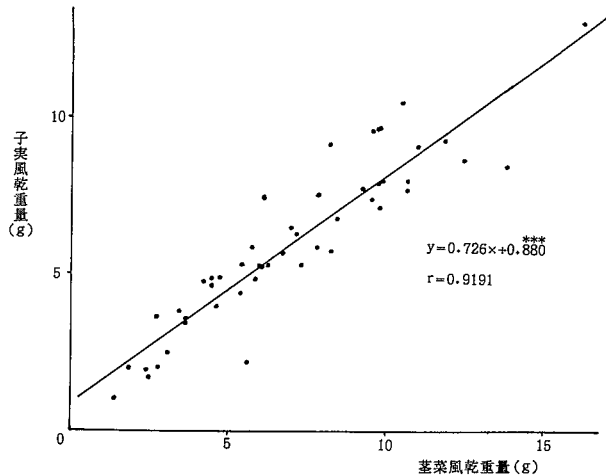
植物における物質生産、すなわち光合成は葉で行なわれる。イネ科植物の場合は主として葉身部で炭水化物を生産し植物体各部に転流させている。したがって、光合成作用の行なわれる場として、

葉面積量の多少は物質生産量あるいは生産された物質の蓄積結果である植物体量の多少と深いかわりを持っている。一般に著しい過繁茂などの場合を除けば葉面積量の増大は植物体量、種実重量の増大につながる事が知られている。その一例として、宮崎・椎葉村で行なわれている焼畑におけるヒエ（シロビエ）に関するデータを示した。葉身面積と葉身重量はきわめて高い正相関関係にあるので、図では葉身重量と植物体地上部重量の関係を示した。第3、4図でわかるように、葉身重量は植物体地上部重量、種実重量と高い正相関を示している。



第3図 シロビエの葉身風乾重量と地上部風乾重量との関係

The relation of the air-dry weight between leaves and aerial parts on barnyard millet (*E.cruss-galli* L.var. *Shirobie*).



第4図 シロビエの地上部風乾重量と子実風乾重量との関係

The relation of the air-dry weight between seeds and aerial parts on barnyard millet (*E.cruss-galli* L.var. *Shirobie*).

一方、イネ科植物葉身に存在する機動細胞珪酸体は葉脈と並列する形でほぼ一定の間隔で規則的に配列されている。したがって、葉面積、葉身重量と機動細胞珪酸体個数は当然高い正相関関係を持つことになる。

以上のことは機動細胞珪酸体の個数から、その給源植物の葉面積、植物体量さらに種実重量を推定することができることを示すものである。

イネ科植物葉身に含まれる機動細胞の定量法については既説したところであるが、ここでは重量法により、第5、6図に示した手順で処理を行った。

イネ科植物の種により、植物体に含まれる機動細胞珪酸体の量は異なっている。タケ亜科、ウシクサ族、イネ族、ダンチク族などの機動細胞珪酸体はきわめてよく発達しているが、オオムギ族、ウシノケグサ族などは比較的発達が悪い。

したがって、各植物種ごとに植物体量と機動細胞珪酸体量の関係を求めておく必要がある。第1表に、数種イネ科植物における植物体量と機動細胞珪酸体量の関係を示した。

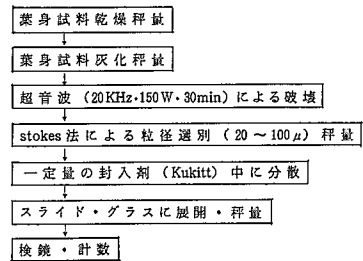
### 3. 機動細胞プラント・オパールの定量による植物体量の推定

プラント・オパールの定量法は重量法によった。分析手順は第5、6図に示すとおりである。

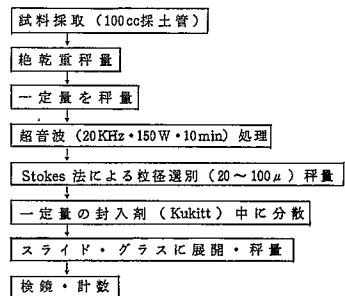
両遺跡におけるプラント・オパール密度（個数/g）を第7、8図に示した。板付V層は氾濫による砂層であり、日高Ⅲ・Ⅴ・Ⅶ層にそれぞれ火山活動によるパミス層である。これらの各層は共通してプラント・オパール密度が極端に低い。これは氾濫および火山活動により、一時期に堆積した層であることを考えれば当然の結果であろう。もし、これらの層のプラント・オパール密度が高ければ、その上層に堆積したプラント・オパールが落ち込んだものと考えよりほかならう。しかし、第7、8図でみるとおり、これらの層にはほとんどプラント・オパールが認められない。このことはプラント・オパールの土壌中における垂直移動がほとんど起っていないことを示唆するものと思われる。

かりに、わずかのプラント・オパールが砂層あるいはパミス層へ流下したとしても、それらの層の中にとどまるはずであり、より下部の層まで移動することはほとんど考えられない。

分析結果で注目されるのは板付Ⅷ層と日高Ⅵ層である。板付Ⅷ層は夜臼式土器を包含しており、



第5図 重量法による機動細胞珪酸体の定量  
A quantitative determination of silica bodies of motor cells in weight.



第6図 重量法によるプラント・オパールの定量  
A quantitative determination of plant opals in weight.

第1表 機動細胞珪酸体1個に対する植物体各部  
乾重

The partial dry weight of plant per a silica  
body of motor cells.

	葉身重 (g)	地上部全重 (g)	種実重 (g)
イネ ( <i>Oryza sativa</i> )	$2.65 \times 10^{-6}$	$13.46 \times 10^{-6}$	$6.25 \times 10^{-6}$
ヨシ ( <i>Phragmites communis</i> )	$1.27 \times 10^{-5}$	$6.93 \times 10^{-5}$	
ヒエ ( <i>Echinochloa Crus-galli</i> )	$5.6 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{-4}$	$1.93 \times 10^{-4}$
タケ類 ( <i>Bambusaceae</i> )	$2.43 \times 10^{-6}$	$4.8 \times 10^{-6}$	
ススキ ( <i>Miscanthus sinensis</i> )	$1.86 \times 10^{-5}$	$3.58 \times 10^{-5}$	

遺構としては確認されなかったが水田址であった可能性があるとして示されている層である。第7, 8図にみられるとおり、イネ機動細胞プラント・オパールの特徴が明らかに認められイネが栽培されていた可能性がきわめて大きいことを示している。日高VII層は榛名山ニッ岳の火山灰

(V層)と浅間山Cパミス(VII層)に挟まれており上層からイネ機動細胞プラント・オパールが流下する可能性は考えられない。この層は古墳時代に相当するが、ここでは水田遺構が検出されていない。量的には少ないながら、ここでイネ機動細胞プラント・オパールが検出されたことは、この時代に試料採取地点の近傍でイネが栽培されており、そのイネに由来するプラント・オパールが水平移動したものであると思われる。遺跡の地形とVI層の植生(ヨシが多い)から、古墳時代にこの地点が低湿地であったと推定されることを考慮すれば肯ける結果であろう。

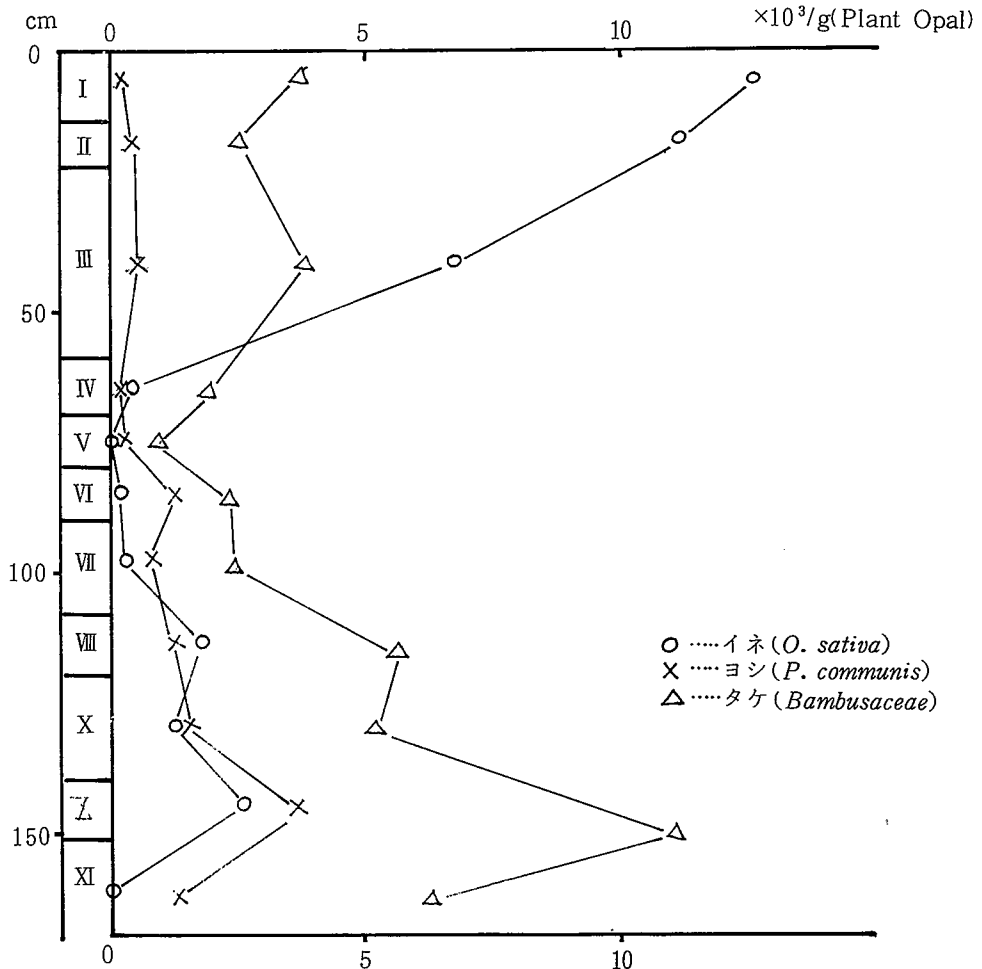
プラント・オパール密度(個数/g)と試料土壌の仮比重( $\text{g}/\text{cm}^3$ )から土層1cm×面積10aあたりのプラント・オパール密度(個数/10a・cm)を求め、さらに、その結果を地上部乾物重量あるいは籾重量に換算した結果を第9, 10図に示した。

対象植物はイネ(*O. sativa* L), ヨシ(*Phragmites communis*)およびタケ類(*Bambusaceae*)である。

#### 考察および結論

1. 考古学的な発掘により遺構として水田址が検出された層より採取した試料からは総てイネ機動細胞プラント・オパールが検出された。ただし、量的には多少があり、必ずしもより新しい(より上層の)水田がより古い(より下層の)水田よりも多いとは限らない。これは単位面積あたりの年間収量の差ではなく、水田として利用された期間の長短によるところが大きいと思われる。すでに述べたように、板付VIII層は分析結果から水田址と推定された。

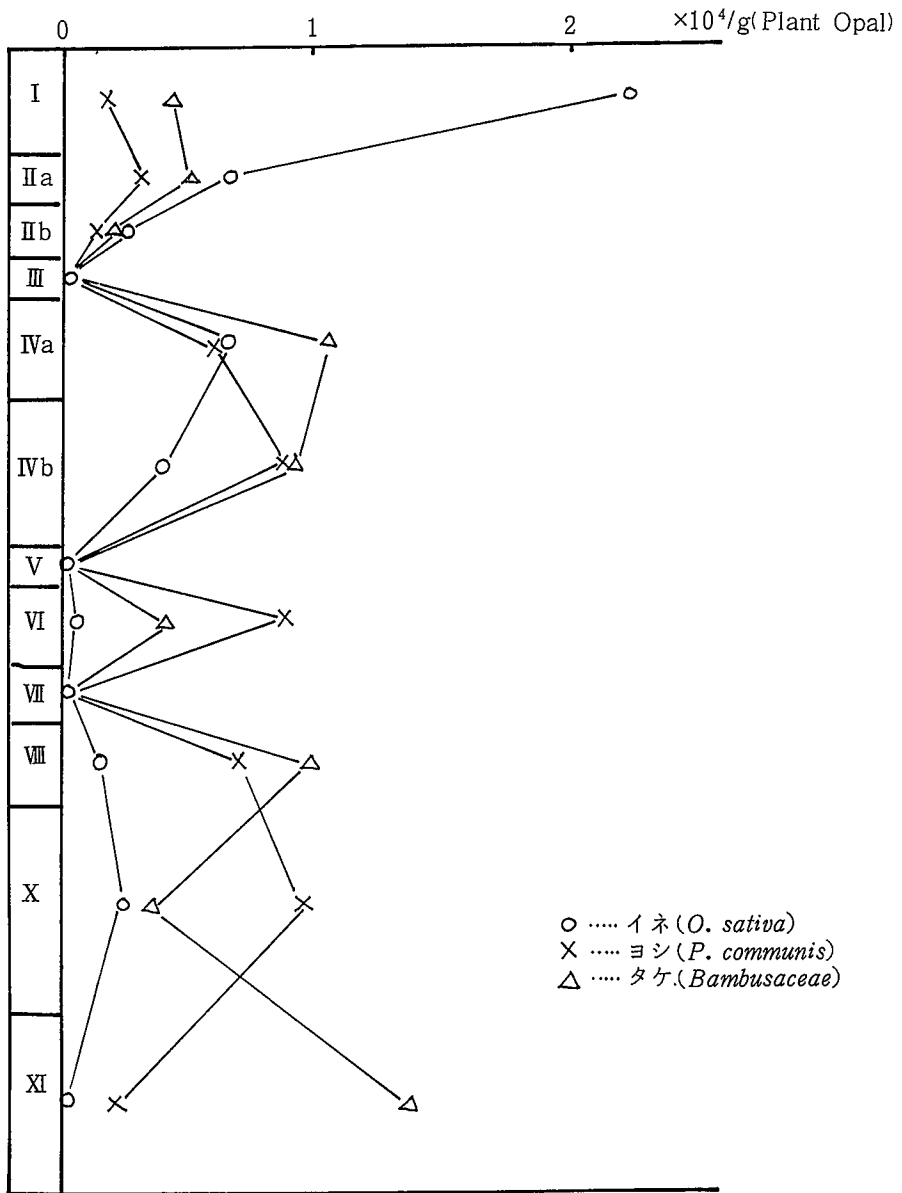
2. イネとともにヨシおよびタケ類の乾物量( $\text{kg}/10\text{a}\cdot\text{cm}$ )をも推定してみた。第9, 10図に示すとおり、両遺跡とも古代水田ではヨシがきわめて多いことが注目される。板付遺跡では弥生時代の水田址を含め、それ以前の水田址からは多量のヨシ機動細胞プラント・オパールが検出された。とくに夜田期水田では乾物量にして3t/10a・cmものヨシが繁茂していたと推量される。これはイネの乾物量の約10倍にも達する量である。イネの推定乾物量がヨシの推定乾物量を凌ぐのはIV層より上層においてである。X層からV層までは多少の曲折をみせながらも全体としてヨシの推定乾物量は減少し続け、その後はほぼ0.5t/10a・cmで横這いになる。これとは対象的にイネの推定乾物量はV層以上で急激に増加しI層で2t/10a・cmに達する。日高遺跡の場合もIVa層・平安時代水



第7図 福岡：板付遺跡（縄文晩期水田）における土1gあたりプラント・オパール数  
 The number of plant opals per the soil specimen (1.0 g) at the Itazuke site (G7a).

田まではヨシの乾物量が3~6 t/10 a・cmであり、きわめて多い。

かりに、各時代におけるイネの収穫が穂刈りで行なわれたとすれば、水田におけるイネが優占種となるのはIIa層以降だということになる。ただし、イネの収穫法にともなう問題については次項で詳論する。ヨシは宿根性の多年生植物であり、その地下茎は40cm深にも達し、年間地上部乾物生産量は約1.8t/10aである。少なくとも夜臼期・弥生時代前期におけるイネの収穫が穂刈りで行なわれていたとすれば、板付遺跡におけるこの時期の水田にはイネの10倍に及ぶヨシが生育していたことになる。この点については二つの場合が考えられる。その一つはイナ作水田の中にヨシが雑草として繁茂していた場合、他の一つはイネが連続的に栽培されたのではなく、一定の休耕期間があり、その間はヨシが繁茂していた場合である。分析結果から両者の何れであるかを判別することはできない。しかし、ヨシの地下茎の深さから考えると、犁などによる深耕が行なわれるようにな

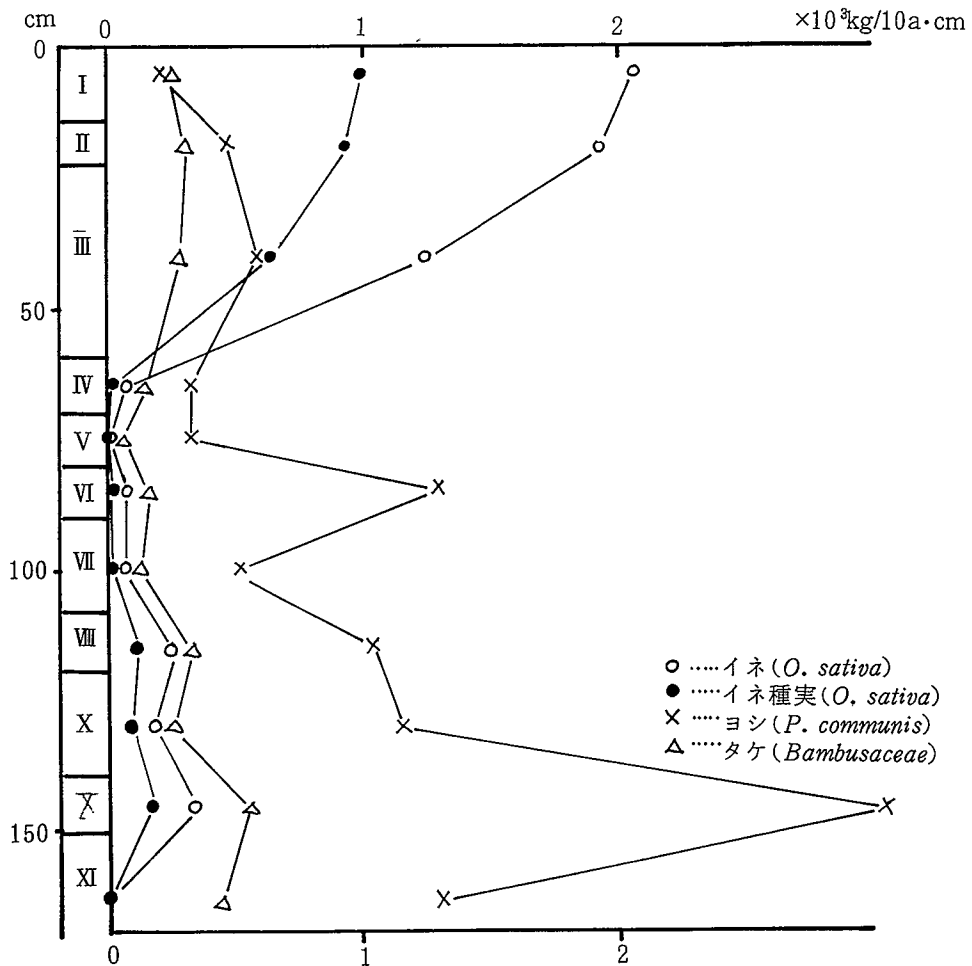


第8図 群馬：日高遺跡（弥生後期水田）における土1gあたりプラント・オパール数  
 The number of plant opals per the soil specimen (1.0 g) at the Hidaka site (M-53).

るまではヨシの生育を抑えることは難かしかつたと思ふのが自然に思える。そう考えると、何らかの理由による休耕を想定するよりも、水田雑草としてヨシが繁茂していたものと理解する方が納得しやすいようである。

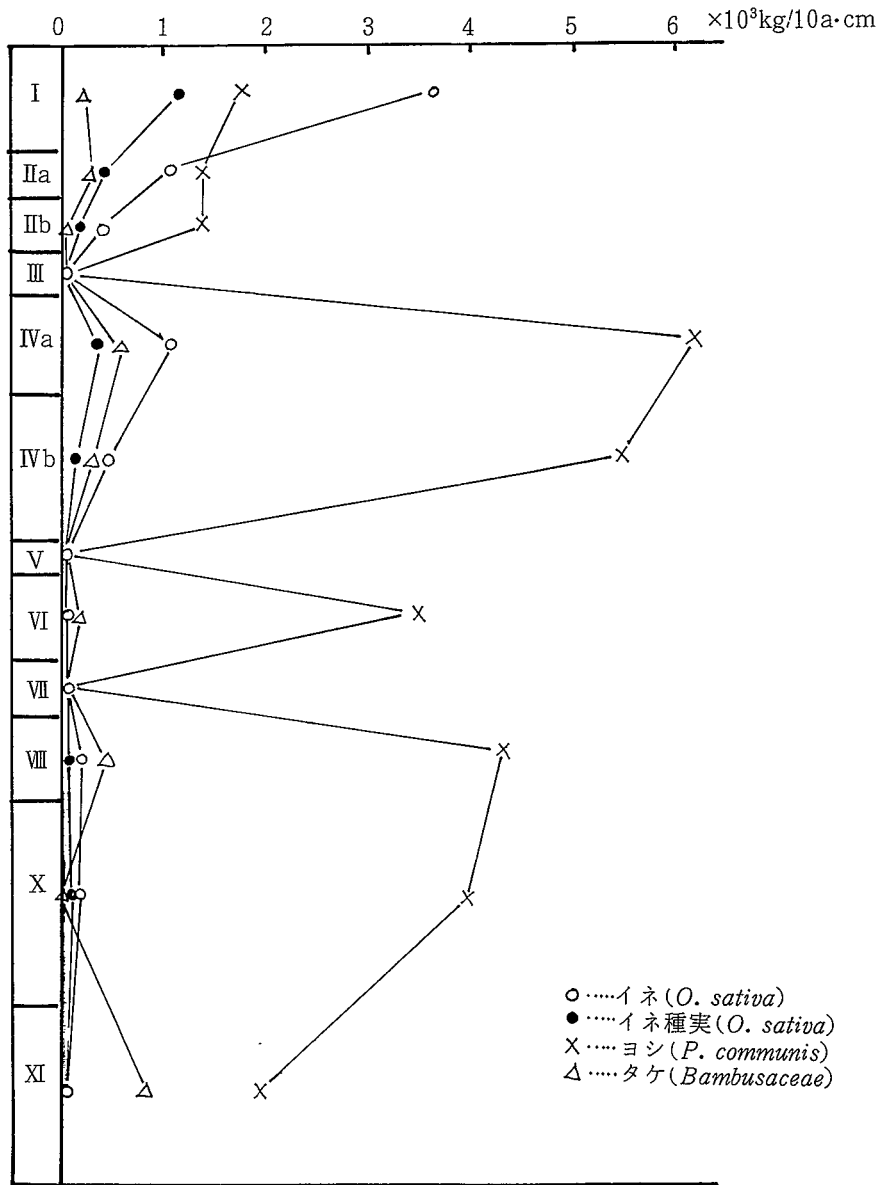
3. 第9・10図に両遺跡におけるイネの地上部乾物重(kg/10a・cm)および籾重(kg/10a・cm)の変





第9図 福岡：板付遺跡（縄文晩期水田）におけるイネおよびイネ科雑草の乾物量  
 The dry matter yield of rice (*O. sativa* L.) and other gramineae at the Itazuke site (G7a).

遷を示した。これらの数値は各土層におけるイネ機動細胞プラント・オバールの密度(個/10a·cm)と各土層の仮比重をもとに算出されたものであるが、次の二つの条件が前提になっている。一つはイネの全地上部乾重に対する籾重の比を0.466にとったことである。この値は1978年、本研究室で栽培した水稻品種ミズホにおける値である。ミズホは現在の栽培品種であり、高度に改良された優良品種である。古代におけるイネ品種はおそらく 籾/ワラ 比のより小さい原始的な品種であったと考えられる。しかし、その値を具体的に設定するにはもう少し検討の要があり、とりあえず現代品種の数値をもちいることにした。他の一つはいわゆる穂刈り—株刈りの収穫様式の問題である。ここではイネの地上部乾物重をすべて穂刈りの場合として計算し第12図に示してある。かりに、弥生時代以前の収穫様式を穂刈りとし、古墳時代以降を株刈りとすれば、古墳時代以降のイネ地上部乾物重は第11図に示した数値に27.8を乗じた値になる。しかし、たとえば、堆肥のようなかたち



第10図 群馬：日高遺跡（弥生後期水田）におけるイネおよびイネ科雑草の乾物重  
 The dry matter yield of rice (*O. sativa* L.) and other gramineae at Hidaka site (M-53).

で、イナワラが水田に還元された場合はその分だけ乗ずる係数を変える必要がある。いずれにせよ穂刈りから株刈りへの移行時期、堆肥その他のかたちで還元されたイナワラ量などに関する検討は別に行なわねばならないが、ここではとりあえず収穫は穂刈りで行なわれたものとして考えることにした。

以上の事項を前提として、両遺跡における各層の籾生産量を推定すると、たとえば、板付遺跡に

おけるX層夜臼期水田では170 kg/10 a・cm×9 cm = 1,530 kg, 日高遺跡におけるⅧ層弥生時代後期水田では90 kg/10 a・cm×16 cm = 1,440 kg という値がでてくる。この推定生産量は年間生産量ではなく、これらの水田が利用された全期間における総生産量である。

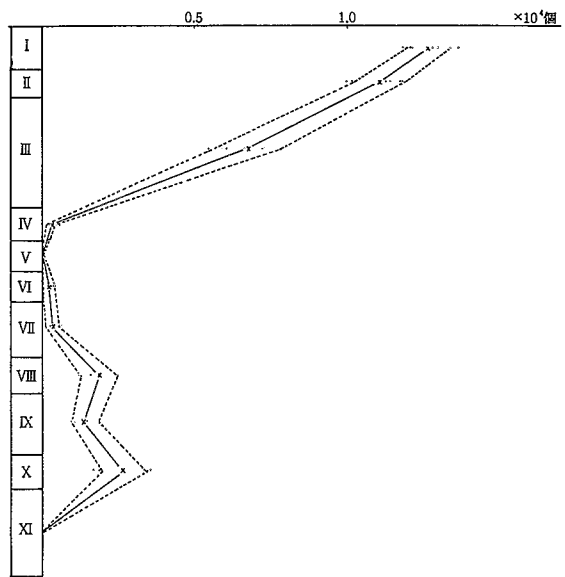
4. 土層中に含まれる機動細胞プラント・オパール（移動性植物・オパール）の密度から、各植物の生産量を推定する試みについて述べたが、この種の研究はまだ日が浅く多くの問題点を内包している。以下に当面する二・三の問題を挙げ検討を加えることにしたい。

① 採取分析資料の数はできるだけ多いほうが望ましい。今回の分析は両遺跡とも任意に設定された一地点における各層一試料について行なった。この分析はいわゆる重量法で行なったため、時間と労力を要し、多量の試料を扱うことができなかったが、次項で述べる定量分析法の改良などにより今後より多くの試料で誤差の減少に努める必要がある。

② 粒径が小さく（40～60μ），粒度の揃ったガラス・ビーズは比重もプラント・オパールに近く試料中での両者の挙動はきわめて近似したものになるはずである。このことに着目し、試料にあらかじめ一定量のガラス・ビーズを添加し、顕微鏡視野下における両者の比からプラント・オパール密度を計算する方法をガラス・ビーズ法と名付けている（詳細については前報を参照されたい）。

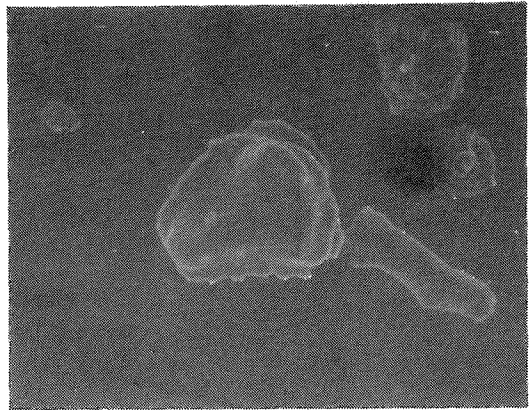
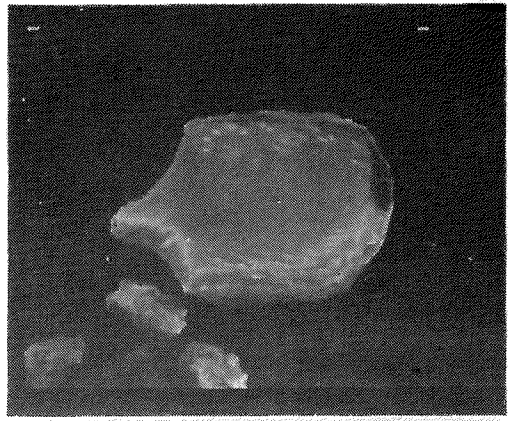
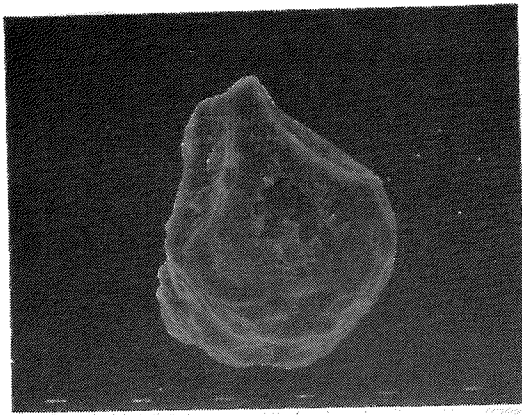
この方法によると、測定能率をかなり上げることができると同時に測定誤差をも改善できるはずである。従来、粒度の揃ったガラス・ビーズを得ることが難かしく、ガラス・ビーズ粒度のバラツキによる誤差が結果に影響するという問題があったが、最近、この粒度を揃えることに成功し実用化への見通しができた。

③ 両遺跡における籾生産量の推定を行なったが前述のとおりこの分析値は当然誤差を包含している。たとえば、板付遺跡X層における籾生産量のC. V.（変動係数）は約26%である。各層におけるS. D.（標準偏差）幅を第11図に示したので参照されたい。いうまでもなく、この誤差は試料に



第11図 板付遺跡における試料1 gあたりイネ機動細胞プラント・オパール（移動性植物・オパール）の標準偏差

The standard deviation on plant opals of rice (*O. sativa* L.) per the soil specimen (1.0 g) at the Itazuke site (G7a).



第12図 板付遺跡・日高遺跡試料から検出されたプラント・オパール

Plant opals detected from the Itazuke and the Hidaka site.

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. イネ機動細胞プラント・オパール<br>(板付X層, ×1500)   | 4. ヨシ機動細胞プラント・オパール<br>(板付X層, ×1000)     |
| 2. イネ機動細胞プラント・オパール<br>(板付X層, ×1000)   | 5. タケ機動細胞プラント・オパール<br>(日高VIII層, ×1000)  |
| 3. イネ機動細胞プラント・オパール<br>(日高VIII層, ×800) | 6. ススキ機動細胞プラント・オパール<br>(日高VIII層, ×1000) |

よるものではなく分析法（重量法）に起因するものである。日高遺跡の分析値の C. V. は板付遺跡のそれよりも小さくより好ましい結果であった。

なお、本研究の遂行にあたり住江忠久君の協力を得ました。ここに謝意を表します。

また、この研究に関する経費の一部は文部省科学研究費（特定研究 1）の援助を受けました。

#### 参考文献

- 1) 藤原宏志（1976） プラント・オパール分析法の基礎的研究（1）考古学と自然科学 9：15～29
- 2) 藤原宏志・佐々木章（1978） プラント・オパール分析法の基礎的研究（2）考古学と自然科学 11：9～20
- 3) 藤原宏志（1979） 古代稲作の探索 えとのす 12：50～55

### **Fundamental Studies in Plant Opal Analysis (3)** **—Estimation of the yield of rice in ancient paddy fields through quantitative analysis of plant opal—**

Hiroshi FUJIWARA

Faculty of Agriculture, Miyazaki University

In a previous paper (Fujiwara, 1976), the author proposed a method for the quantitative analysis of plant opal in order to estimate the yield of rice in ancient paddy fields which have been excavated recently in Japan. Among these ancient paddy fields, two were chosen for this research: a field at the Itazuke site in Kyushu, which is thought to be the oldest paddy field in Japan, and one at the Hidaka site, which is located in the Kanto district in eastern Japan. The following results have been obtained so far.

(1) Until the Heian period there were more reed plants than rice plants in the paddy fields. It is supposed from the data that rice plants were not yet ecologically dominant in the paddy fields during the ancient period.

(2) The total yield of rice in the ancient paddy fields was estimated as approximately

1530kg/10a for the Itazuke site (beginning Yayoi period, Yusu phase) and 1440kg/10a for the Hidaka site (Late Yayoi period), on the basis of the quantitative analysis of plant opal.

(3) The annual yield of rice in the ancient paddy fields cannot be estimated because the lengths of time during which the fields were used could not be determined.

The author is grateful to Mr. Tadahisa SUMIE for his assistance. This research was partially supported by the Scientific Reserch Fund of the Ministry of Education.