

稲作とイネ花粉

中村 純*

「わが国の稲作は“いつ”、“どこで”で開始され、それは“どのような経路”で各地に広がったか」という問題は考古学では最も関心をもたれた問題の一つである。これは花粉分析学的にも関心のある問題には違いないが、これに正面から取組むためには、その前に解決しなければならない問題が数多く残されている。

以下筆者の研究室で取組んできた、それらの問題について述べる。

1. 稲花粉の問題について

1937年Firbas¹⁾は欧州産イネ科花粉の粒径を比較して、栽培型は野生型より大きいことを唱えた。これが唯一の穀類の栽培史の解明の手がかりであった。ところがこれには稲花粉については何らふれていなかった。そこで筆者²⁾らは日本産イネ科花粉の粒径測定に取組み、稲花粉はFirbasのいう栽培型と野生型の間中型であり、大粒径のものは大麦に、小粒径の品種では野生型、例えばヒエ、ヨシ、マコモなど多数の種類と粒径がoverlapし、正確な区別は粒径のみでは無理なことがわかった。しかし堆積物の下層から上層へ、含まれるイネ科花粉の粒径を測定すると、ある層位から上層へ40 μ 以上の大粒花粉が多くなることが認められ、これは穀類、恐らく稲作の開始を示す可能性が大きいと考えた³⁾。しかし、これはあくまでも推理の域を出ず、稲作史の解明に取組むにはほど遠い状態であった。いづれにしても稲花粉が正確に識別されることが先決であった。

他方、イネ科花粉の研究に電子顕微鏡や位相差顕微鏡の使用がこころみられ、花粉表層の微細構造が次第に明らかにされてきた⁴⁻⁹⁾。しかし、稲花粉については全く不明であった。わが国では筆者¹⁰⁾の研究室で1970～1971年の間レプリカ法で49属68種のイネ科花粉の表層の微細構造の観察が行われた。これには稲花粉も勿論のこと含まれていた。その結果を要約すると次のようである。

1) 花粉外膜表層部には単独突起(Single spinule)または2本以上の突起が集合した島状突起(Spinule clump)がみられる。

2) Spinule数(4 μ^2 当り)は7～47個で種類により異なる。

3) Spinuleの大きさは高さ0.09～0.32、直径0.07～0.4 μ である。

4) 単独突起や島状突起は微小なchannel(小孔)で取巻かれており、channelの径は0.04～0.1

* 高知大学理学部, 高知市朝倉 1000

μ である。channelの分布状態によって単独、島状両突起は区別できる。

またこれら突起の分布状態には次の3型がある。

第Ⅰ型 単独突起のみがほぼ等間隔に分布するもの。

第Ⅱ型 単独突起と小形の島状突起(2~3個の単独突起が集合したもの)が混在するもの。

第Ⅲ型 島状突起(3個以上の単独突起が集合したもの)のみよりなるもの。

稲花粉は第Ⅱ型にはいる。

以上の諸性質は種類を識別する重要な要素であるが、光学顕微鏡を使用する花粉分析に際してはそのまま利用することはできない。光学顕微鏡の解像力の限界は約 0.3μ であり、電子顕微鏡ではそれをはるかに上回るからである。第1表は主要な種類の突起の直径、突起間隔を示したものである。トウモロコシ(*Zea mays*), ヨシ(*Phragmites communis*)では突起の直径、間隔ともに解像限界以上であり、突起はすべて別々に識別される。これに対して稲は突起間隔が、コムギ、(*Triticum*), カモジグサ(*Agropyron*), ネザサ(*Arundinaria*)では突起の直径、間隔が時に解像限界以下で、それぞれの突起が別々に識別される部分と隣接する突起が融合した形で認められる部分とが混在することを示している。このような解像限界前後の微細な凹凸は普通の光学像では識別な困難な場合が多く、位相差顕微鏡による観察の方が容易である。位相差像では微細な表面の凹凸を黒白の明暗像として見ることができる。

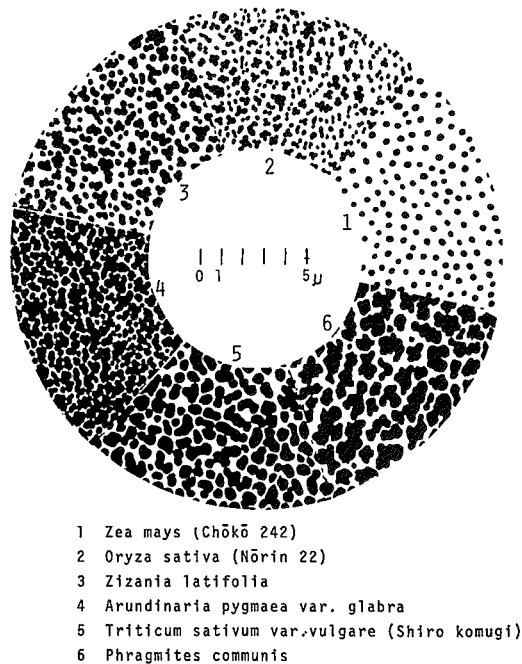
このように電顕像を位相差像におき代えて観察すると上の三型はそれぞれ異った位相差像を示す。第Ⅰ型の突起は点状(Punctate) 第Ⅲ型は網目状(negative reticulate), 第Ⅱ型は前二型の中間型で微細な網目と点状模様が混在する。このような黒白の明暗像は各型内でも粗大なものから微

第1表 主要イネ科花粉の突起、島状突起、突起間隙の大きさ。

Dimension of spinule or spinule clump and interspinule space of the main species.

	Spinule or clump diameter (μ)	Interspinule space (μ)
<i>Zea mays</i> (chōkō 242)	0.35—0.50	0.40—0.90
<i>Hordeum sativum</i> var. <i>vulgare</i> f. <i>coeleste</i> (Kochi wase-hadaka)	0.25—0.60	0.30—0.45
<i>Triticum aestivum</i> (Norin 20)	0.20—0.75	0.20—0.50
<i>Oryza sativa</i> (Norin 22)	0.35—0.75	0.25—0.50
<i>Arundinaria pygmaea</i> var. <i>glabra</i>	0.25—0.85	0.15—0.35
<i>Agropyron ciliare</i> var. <i>minus</i>	0.25—1.00	0.20—0.80
<i>Phragmites communis</i>	0.50—1.25	0.35—0.60

細なものへと連続した変異があり、イネ科花粉の種類に応じて粗密の程度はほぼ一定している。したがってこの粗密の程度は種類の同定の際には重要な要素となりうる。またこの粗密の程度の判定には標準となる明暗像を各型内に設定して、これと比較対照して粗密の程度を判定すれば客観的に種類の同定をすることができる。このような目的から謂ゆる micro-pattern meter を考案した。ここで標準となる明暗像は第 I 型ではトウモロコシ (*Zea mays*), 第 II 型では水稲 (農林 22 号) (*Oryza sativa*), 第 III 型では便宜的にマコモ (*Zizania latifolia*), ネザサ (*Arundinaria pygmaea* var. *glabra*), コムギ (*Triticum aestivum*) (白コムギ), ヨシ (*Phragmites communis*) の 4 種を選定した。これら 6 種類の花粉の電顕レプリカ写真 ($\times 10,000$) により, その突起部を黒く塗りわけける。この写真の $1/100$ 縮小写真をとり, 第 1 図のようにガラス円盤に焼きつける。これを接眼鏡 ($\times 10$) 内に挿入すると検鏡の時レプリカ写真の $1/10$ 即ち実物を 1,000 倍に拡大した明暗像を視野内にみることになる。この円盤の中央部の調べようとするイネ科花粉の位相差像 ($\times 1,000$) をおけば, 同一視野内の標準明暗像と粗密の程度を直接比較することができる。ここで, micro-pattern meter の番号 (1~6) で 1 は第 I 型, 2 は第 II 型, 3~6 は第 III 型の標準明暗像である。また < 1 は第 I 型の標準像よりも微細なことを, > 1 は粗大な点状模様であることを示している。 < 2 , > 2 も第 I 型に準ずる。第 III 型に属する種類は最も多く, 明暗像も比較的大形で, 粗密の程



第 1 図 イネ科花粉のマイクロパターンメーター。

度も前二型に比べて判定しやすいため多くの段階（3—6）に分けてある。いまこのような方法で主要なイネ科花粉を観察すると第2表のように grouping することができる。またわが国在来の水稲 249 品種（いずれも第 II 型）についてみると標準的なもの（=2）61%，微細なもの（<2）29%，粗大なもの（>2）10%となるし，Indica type 水稲（10 品種）ではいずれも微細なもの（<2）に属することがわかった。これらの結果は稲全体についていえることか否か，さらに検討の要がある。また稲花粉化石についても検討中である。このような方法は他の多くの種類の花粉についても適用されるべきであろう。

第2表 マイクロパターンメーターによるイネ科花粉の分類。

Grouping of the surface patterns of some grass pollen by Micro-pattern meter.

Spinule type	Scale of MPM	Genus name
I	<1	<i>Bromus, Leersia</i>
	1	<i>Zea, Coix, Hordeum, Avena</i>
	>1	<i>Glyceria, Elymus, Agropyron, Festuca</i>
II	<2	<i>Oryza</i>
	2	<i>Oryza</i>
	>2	<i>Oryza, Melica</i>
III	3	<i>Poa, Zizania, Trisetum, Alopecurus, Sporobolus, Lolium, Triticum</i>
	3-4	<i>Miscanthus, Poa, Polypogon, Sasamorphia, Chimonobambusa</i>
	4	<i>Phalaris, Setaria, Elagrostis</i>
	4-5	<i>Sasa, Digitaria, Arundo, Muhlenbergia</i>
	5	<i>Triticum, Echinochloa, Imperata, Isachne</i>
	5-6	<i>Beckmannia, Briza, Cynodon</i>
	6	<i>Setaria, Sorghum, Phragmites</i>

2. 水田の花粉分析について

稲作史の解明には水田堆積物を対象とすることが多い。陸稲の栽培地は花粉の保存が最も悪いし、自然の湿原や湖底堆積物では付近に稲作が行われて、稲花粉が運搬堆積される場合のみに対象となるが、水田に比べて稲花粉量が少ないため、分析結果も不正確となる恐れがある。しかし水田という人工的な特殊な湿原は自然湿原に比べて特異な環境下に堆積が行われるのであるから、それなりの注意が必要である。たとえば栽培にともなう水田上層土の攪拌、それにとまう花粉の分解、流失、花粉の水平、垂直移動等々花粉分析結果の解釈にはそれまでに解決しなければならない難問が多い。このような水田に関する知見は皆無に近いのが現状である。

以下筆者の研究室でえられたこれらの基礎的知見について述べたい。

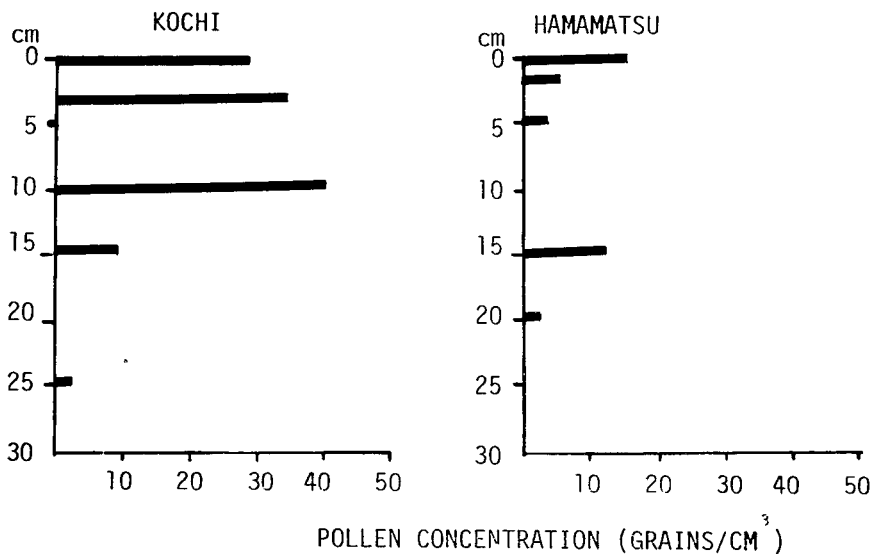
1) 稲花粉の生産量

稲花粉は一花当たり約 8,000 個生産される。このなか約 2,000 個は花内に残留し、他は花外に散布

される。現代の水田の栽培様式からみて 1m^2 当り約4億個が散布される勘定になる。

2) 花粉の残留量

散布された花粉のうち、どの位水田に残留するであろうか。田植前の水田に外来花粉としてアメリカフウ (*Liquidambar americana*) の花粉を 1m^2 当り3.8億個散布し、稲収穫後(花粉散布の6ヶ月後)この水田土壌中のこの花粉の残留量を調査した。第2図は高知市内、浜松市近郊の水田で得られた結果を示したもので花粉量は各深度の水田土 1cm^2 当りのアメリカフウ花粉の絶対量である。これは普通の稲作を1回行った後の花粉の下層への移動量を示しているが他の数地点で行った同様な実験結果も含めて花粉の下層への移動は深度30cmを超えることはなく、この深度は耕運機の攪拌深度と略々一致する。また同一水田で 1cm^2 、深さ30cmの土柱内のアメリカフウ花粉の花粉総量は465個であった。この実験では 1cm^2 当り38,000個の花を散布したから、その残留率は1.223%となる。これらの調査は実測例も少なく、断定的なことは云えないが、下層への移動は認められるが、その量はきわめて少ないこと、わずか6ヶ月後にはそこに残留する量もきわめてわずかであることは確かであろう。また稲とアメリカフウの花はその大きさや花粉膜の分解に対する抵抗など大差はないとみなされるから、稲花粉についても以上のことがほぼ当てはまるものと考えられる。



第2図 水田中のフウ花粉の下方移動量。
Downwash of *Liquidambar* Pollen in the paddy field.

3) 水田表土におけるイネ残留花粉の分布図について

花粉分析で同一時代の堆積物とみなして使用する試料は普通は数年～数十年にわたって堆積したものを一括混合したものである。また水田土壌のように攪拌が常に予想され、かつ堆積物の分解速度が自然湿原に比べて大きい場合は堆積速度も低いと考えられる。自然湿原の堆積速度は普通年間1mm前後とみなされている。したがって水田では5mm厚さの試料にしても少くとも5年以上の期間にわたって残留した花粉を同一時代とみなしている。さらに前述のように水田では年間の残留量がきわめて少ないから、謂ゆる水田表層土として sampling する試料にイネ花粉はどれ位残留しているかは花粉分析結果の考察に重要な資料となる。

高知市近郊の水田地帯35ha(年一回稲作は行われる)をえらび、均等に75地点の表層土の稲花粉と全イネ科花粉との比率を求めた。(稲花粉の絶対量を求めるのが理想であるが、長時間を要するため便宜的に行なったものであり、上の比率に関する論議はここでは省略する)。次に同地域の地図上に50m間隔のgridを画き、grid method¹¹⁾によって、さきに求めた75地点の数値をもとに、各grid上の数値を推計した。これらの値を9階級に分類して地図上に画いた。この調査は田植前と収穫後の2回行った。それらの結果は第3図に示した。田植前の分布図(左図)は階級3以下



第3図 高知市近郊の水田におけるイネ花粉の分布図。

Distributional maps of rice pollen from the paddy field in Kochi.

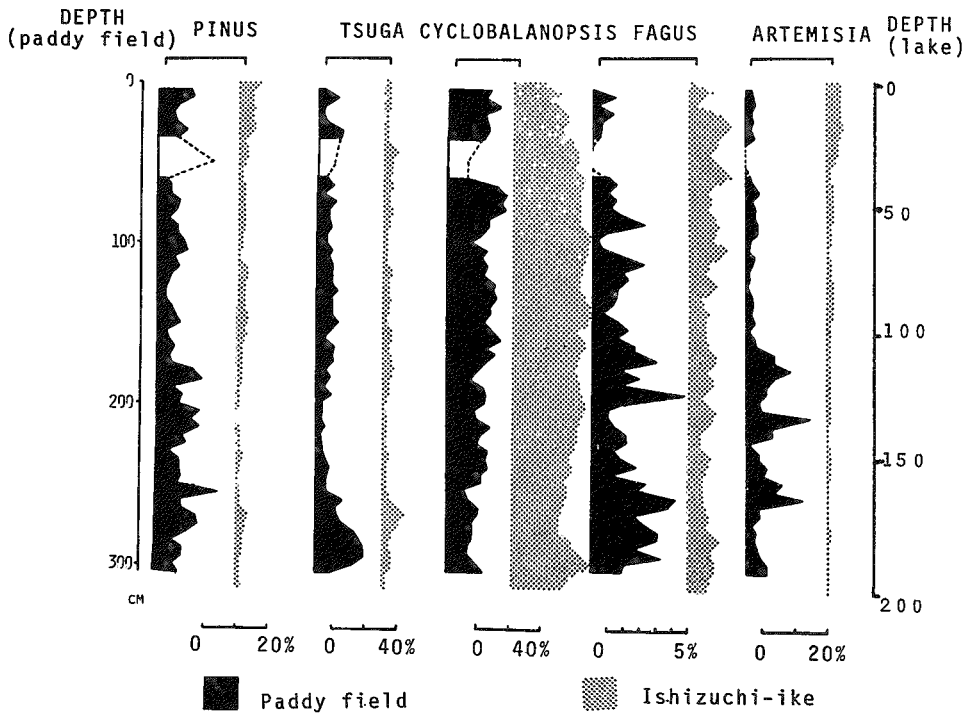
の低比率を示す地区は全面積の7%にすぎない。大部分は階級4以上である。また収穫後の分布図(右図)ではいずれの地区も階級7以上である。このような季節による違いは稲が開花してから翌年の田植季節までの間に一部の稲花粉は分解・流出したり、春季に水田特有なイネ科雑草が増加することが原因である。また秋季に水田中央部と縁辺部での比率を調べると5%の危険率をみて中央部は $53.6 \pm 5.0\%$ 、縁辺部で $36.09 \pm 5.1\%$ であった。以上の結果から年間を通じて30%以上の比率を現代の水田では示すものとみなされよう。またこの値は相当期間稲作が行われた後で到達する値であって、いかに集約栽培が行われても、第一年目からこのような値はえられないことは既に述べたことから理解されるであろう。したがって花粉分析の結果、稲花粉が出現しはじめる時代はその比率が低いのは当然のことであり、稲作がそこで相当な年月繰返されて残留花粉が累積してくるにつれて、その比率も高くなるわけである。このような事実は開田時代の新しい水田と古いそれとを比較することによって立証されるはずで目下調査中である。

4) 水田と沼堆積物の分析結果の比較

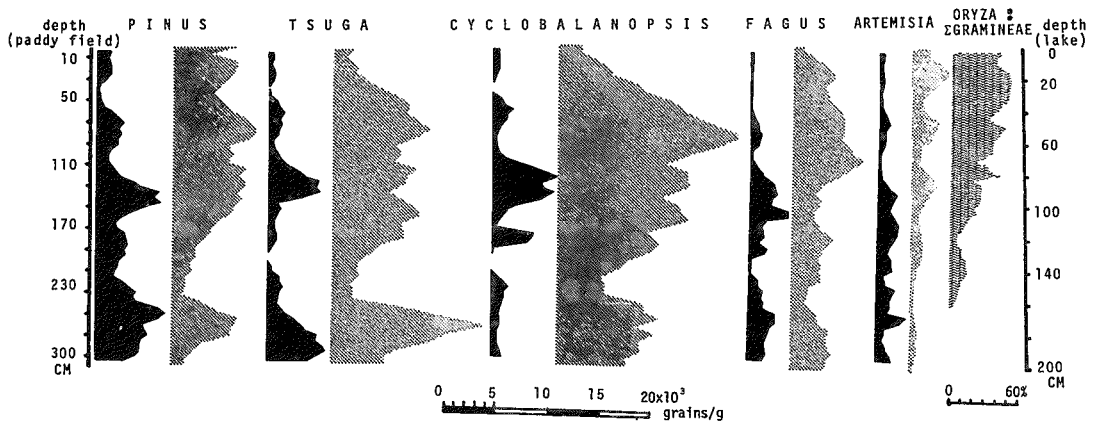
水田という人工的な湿原と水深の大きな、しかも閉鎖型の沼の堆積物との分析結果にはどの程度の類似性があるかを検討するために次の二地点の分析を行った。高知市近郊の水田地帯にある石土池とそれに隣接した水田で両地点の間は約150 m離れているにすぎない。石土池は水深10 m以上あり、池への流入、流出ともに少ない閉鎖型の沼でその堆積物も攪拌されることはきわめて少ないと考えられる。なお石土池の分析結果は1969年に発表したものを利用した¹²⁾。

前述のように両地点は比較的接近しているが局地的植生の影響をできるだけ除くために風媒花粉のみを選び、これらの下層よりの消長を比較した。風媒花として両地点の周辺に広く分布するマツ(*Pinus*)、常緑カシ(*Cyclobalanopsis*)、四国山地より遠距離飛来するツガ(*Tsuga*)、ブナ(*Fagus*) それに草本として ヨモギを選び、これらの出現頻度(%)と絶対花粉量(g当り)を求めた。それらの分析結果は第4図・第5図に示した。この場合水田では深度250 cm、石土池では170 cm以下でともにマツ、ツガの増加期が認められる。この時代は約2,800年前に西日本各地の分析結果に認められる一時的な植生破壊期に対比され、両地点の示すこの深度は同時代とみなされる。したがって水田では池の約1.5倍の堆積速度を示していると考え、補正して図では同一レベルはほぼ同時代の頻度を示すよう作図してある。第4図によると各木本類の示す消長は両地点で相反する時代もないが、必ずしも一致した変化を示しているともいい難い。ヨモギ(*Artemisia*)に関してはむしろ逆の消長を示している。また各種類の示す頻度は池の方が低い傾向がある。これは頻度計算の際の基本数が大きいほど各種類の変動量は低く表現されるからである。

第5図はg当りの絶対量の消長と水田の稲花粉と全イネ科花粉の比率を示してある。図から明らかなように絶対量は池の方が多し。しかも中層以上ではその差が大きい。とくに稲花粉比率が30%のレベルに到達した時期以後はとくに著しい。つまり稲作の規模がほぼ現在なみになった時代



第4図 石土池および隣接水田における風媒花粉の頻度分布図。
 Pollen diagram from Ishizuchi-ike lake and the paddy field expressed as % of anemophilous pollen sum.



第5図 石土池および隣接水田における風媒花粉の絶対量。
 APF diagram from Ishizuchi-ike lake and the paddy field.

がこの深度に相当し、その後も現在まで水田として使用されたため、花粉の分解が池に比べて大きくなった結果とみなすことができる。しかし詳細に見ると各種類の増減の時期に両地点間で互いに対応させることができる。例えば、水田化のための花粉絶対量が急減した後も、池での増加期にはそれに対応する増加期が水田でも認められる。またヨモギは絶対量の消長も両地点で異っている。これは風媒花といえども草本類では局地的影響が大きいことを示している。このように風媒花粉の増減が両地で対応できることは水田における堆積物の攪乱は短い時間尺度でみると十分にありうることであるが、尺度を適当に長くとると認められない。いいかえれば水田では sampling interval を余り細くしても無意味であるが、適当な interval であれば自然湿原と同様に花粉分析の対象となりうると考えられる。

ただし慣行的に行われてきた組成比(%)による分析結果に加えて絶対量についても考慮する必要がある。同時に絶対量の測定には堆積物の粒度組成が大きく影響することにも考慮を払う必要がある。以上のような調査は開始されてからまだ日も浅く、今後さらに多くの data が蓄積されてはじめて稲作史の解明も深まるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) F. Firbas (1937) Der pollenanalytische Nachweis des Getreidebaus. *Z. Bot.*, **31**: 447-478.
- 2) J. Nakamura (1957) Pollenanalyses from two swamps of the Amami Islands. *Rep. Usa Marine Biol. St.* **4**: 1-12.
- 3) J. Nakamura (1975) Changes in vegetation induced by human impact — Palynological evidences. *JIBP Synthesis*, **8**: 127-130.
- 4) G. Erdtman (1956) Current trends in palynological research work. *Grana Palynol.*, **1**: 127-139.
- 5) U. Grohne (1957) Die Bedeutung des Phasenkontrastverfahrens für die Pollenanalyse dargelegt am beispiel der Gramineenpollen vom Getreidtyp. *Photogr. Forsch.*, **7**: 237-248.
- 6) J. R. Rowley, K. Muhlethaler and A. Frey Wyssling (1959) A route for the transfer of materials through the pollen grain wall. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, **6**: 437-538.
- 7) J. R. Rowley (1960) The exine structure of cereal and wide type grass pollen. *Grana Palynol.*, **2**: 9-15.
- 8) M. Tsukada and J. R. Rowley (1964) Identification of modern and fossil maize pollen. *Grana Palynol.*, **5**: 406-412.
- 9) C. A. Grant (1972) A scanning electron microscopy survey of some Maydeae pollen. *Grana Palynol.*, **12**: 177-184.

- 10) 中村純(1974) イネ科花粉について, とくにイネ(*Oryza sativa*)を中心として, 第4紀研究 13, 4:187—193.
- 11) J. C. Davis (1973) *Statistic and data analysis in geology*. John Wiley & Sons, Inc. pp. 298-411.
- 12) J. Nakamura (1969) Palynological evidence for recent destruction of natural vegetation II. Ishizuchi-ike. Ann. Rep. JIBP-CT(P) of the Fiscal year 1969, pp. 102-107.

Some Palynological Aspects of Rice Cultivation

Jun NAKAMŪRA

Department of Biology, Faculty of Science, Kochi University

Some fundamental problems related to the palynological study of the history of rice cultivation have been examined by the author and his associates. This paper discussed the following results:

1. Identification of rice pollen can be done successfully with phase contrast microscopy using a micro-pattern meter.

2. The distributional patterns of the exotic pollen (*Liquidambar americana*) sprayed on a paddy field were investigated after 6 months. It was found that the depth of down-wash of the pollen was less than 30 cm and the residual pollen ratio was only 1.223%.

3. The distributional patterns of rice pollen on a 35-hectare paddy field were calculated based on a grid system. The ratio of rice to all other gramineous pollen in the area of intensive cultivation of rice were more than 30% in all grids. This fact suggests the ratio may be indicative of changing to intensive cultivation of rice.

4. Pollen analytical results from the paddy field were compared with those from the sediments of a nearby lake. Fluctuations in pollen frequency expressed as a % of the number counted were not always comparable between the paddy field and the lake. The dissimilarities in the results may be due to the lower absolute pollen frequency (APF) value of the paddy field. However, the APF curves of the paddy field and the lake sediment are similar throughout, though the APF of the paddy field decreases after the beginning of intensive rice cultivation.