

日本産アカウキクサ属 (*Azolla*) 化石の発見と現生種についての知見*

瀬戸 剛・那須 孝悌

大阪市立自然史博物館

Discovery of Fossil *Azolla* Massulae from Japan
and Some Notes on Recent Japanese Species

Ko SETO and Takayoshi NASU

Osaka Museum of Natural History

During the pollenanalytical works on the Quaternary sediments of Japan, fossil massulae of *Azolla* have been discovered. These are the first fossil record from Japan. The one from the early Pleistocene belongs to Sect. *Azolla* and much resembles to *A. japonica* FR. et SAV. extant species of Japan, but morphological characters of glochidia are different. The other from the Holocene is identifiable with *A. imbricata* (ROXB.) NAKAI, which belongs to Sect. *Rhizosperma*, also extant in Japan.

On the living plants, details of massulae of two Japanese species are described. Patterns of stomata and distribution in Japan are discussed.

I. まえがき

日本の現生アカウキクサ属 *Azolla* はオオアカウキクサ *A. japonica* FR. et SAV. とアカウキクサ *A. imbricata* (ROXB.) NAKAI の2種が報告されている。これらはおもに葉の表面の突起、根毛の状態など栄養器官の形質によって識別されており、この類の最も重要な分類形質であるマスラ、グロキディウム、大孢子などフルーティング・キャラクターについての日本産の植物による報告はほとんど行われていない。

今回那須は花粉分析の研究中、京都西山の大阪層群の地層と、山口県菊川町岸本遺跡の弥生時代の試料から、アカウキクサ属のマスラを検出した。これらの同定にあたって瀬戸は現生アカウキクサ属2種のマスラを観察し、また気孔、日本での分布などについて若干の知見を得たので、あわせてここに報告する。

日本産アカウキクサ属2種の学名については疑問が多いが、現段階では一応日本での慣用に従っておく。大孢子をはじめフルーティング・キャラクターの十分な比較と文献の検討をまって再考したい。

日頃懇切な御指導をいただき、特に孢子嚢果をつけたアカウキクサのよい標本をいただいた京都大学田川基二名誉教授に厚く御礼を申し上げる。標本と文献閲覧の便宜を与えられた京都大学岩槻邦男教授、国立科学博物館中池敏之博士、東京大学総合資料館大場秀章氏、培養中の孢子嚢果をつけたアカウキクサを下さった真砂久哉氏をはじめ標本を提供して下さった多くの方々、および岸本遺跡について研究の機会を与えて下さった山口県教育庁文化課の皆さん、研究に御協力をいただいた当館館長をはじめ館員各位に深謝する。

* 大阪市立自然史博物館業績 第188号。

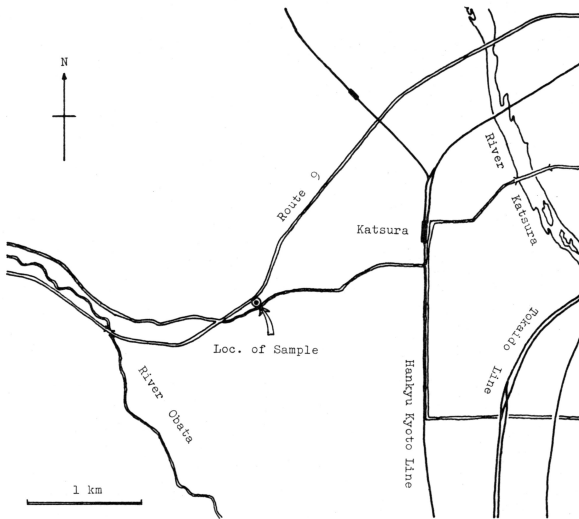


Fig.1 Map showing the locality of *Azolla* sp. from the upper part of the Osaka group.

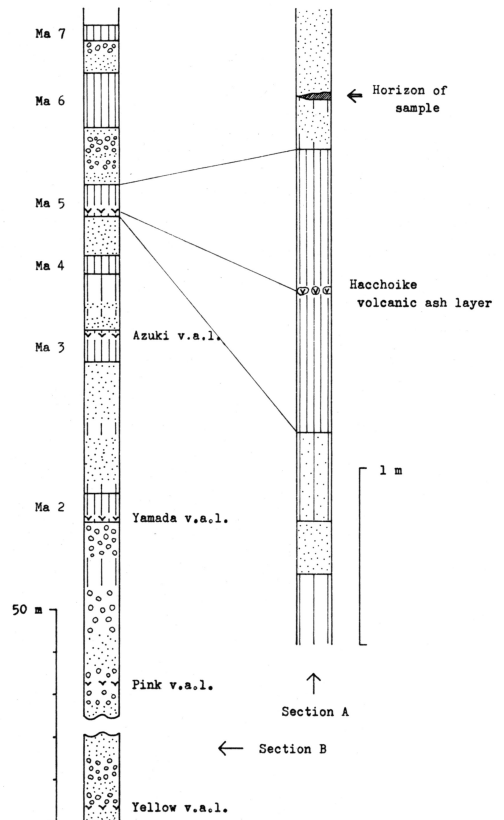


Fig.2 Geological columnar section showing the horizon of *Azolla* sp. (Section A), and a summarized section of the Osaka group distributed in the surrounding area (Section B).

II. 第四紀層より発見したマスの化石について

1) アカウキクサ属の化石について

日本ではアカウキクサ属 (*Azolla*) の化石に関する報告はいまだ例をみないが、外国では、胞子体・大胞子およびマスの化石が数多く報告されている。最も古い化石はアメリカ合衆国北部およびカナダ南部の白亜紀層から産出したもので、*A. gigantea* (BERGAD & HALL, 1971), *A. simplex* (HALL, 1969) など8種が化石種として報告されており、アカウキクサ科に属する化石属 *Azollopsis* (HALL, 1968) および *Parazolla* (HALL, 1969) も記載されている。いままでに記載された化石種は30種を越すが、その多くは第三紀層からのものである。なかには三射条溝を有する小型の胞子をアカウキクサ属と同定している例 (ROUSE, 1962) もあるが、マスラから遊離した小胞子のみでアカウキクサ属と同定するのはきわめて困難である。

今までに知られているアカウキクサ属の化石について、その時代と産出部分をTab. 1 に示した。第四紀層から報告された確かな化石種 (変種などは除く) は *Azolla tegeliensis* (FLORSCHÜTZ, 1935*) と *A. pyrenaica* (FLORSCHÜTZ & MENÉNDEZ, 1960) のみであるが、その他に現生種およびその変種の化石が鮮新世以後の地層から報告されている。化石種または現生種のいずれの場合でも、アカウキクサ属が現在分布していないヨーロッパやシベリアの第三紀層および第四紀層から数多くの化石が報

* 原論文に接することができなかったので FLORSCHÜTZ (1938) による。

EXTINCT SPECIES	UP. C	RET.	E	M	P	
	PALEOC.	O	LIGOC.	P	LILOC.	H
<i>A. barbata</i> SNEAD 1969		♀ ♂				
<i>A. circinata</i> OLTZ & HALL ex HALL 1968		♂				
<i>A. cretacea</i> STANLEY 1965		♂				
<i>A. distincta</i> SNEAD 1969		♀ ♂				
<i>A. geneseana</i> HILLS & WEINER 1965		♂ ♀				
<i>A. gigantea</i> BERGAD & HALL 1971		♂				
<i>A. montana</i> HALL ex HALL & SWANSON 1968		♀				
<i>A. simplex</i> HALL 1969		♀ ♂				
<i>A. schopfi</i> DIJKSTRA 1961			♀			
<i>A. teschiana</i> FLORSCHÜTZ 1945			♀			
<i>A. intertrappea</i> SAHNI & RAO 1934			♂ V			
<i>A. berryi</i> BROWN 1934			V			
<i>A. primaeva</i> (PENHALLOW) ARNOLD 1955			- V ♀ ♂ Sp			
<i>A. antiqua</i> DOROFEEV 1959			--	♀		
<i>A. nana</i> DOROFEEV 1959			--	♀ ♂		
<i>A. sibirica</i> DOROFEEV 1959			--	♀		
<i>A. turgaica</i> DOROFEEV 1959			--	♀ ♂		
<i>A. prisca</i> REID & CHANDLER 1926			--	V ♀ ♂		
<i>A. tertiaria</i> BERRY 1927			--	V		
<i>A. parapinnata</i> DOROFEEV 1963			--			
<i>A. tunganensis</i> DOROFEEV 1963			--			
<i>A. ventricosa</i> NIKITIN 1955			--	♀		
<i>A. aspera</i> DOROFEEV 1963			--	♀		
<i>A. glabra</i> NIKITIN ex KRYSHTOFOVICH 1934			--			
<i>A. nikitinii</i> DOROFEEV 1955			--	♀		
<i>A. tomentosa</i> NIKITIN ex KRYSHTOFOVICH 1934			--	♀ ♂		
<i>A. pseudopinnata</i> NIKITIN 1948			--	♀		
<i>A. vera</i> KRISHTOFOVICH 1953				TERTIARY. V		
<i>A. pyrenaica</i> FLORSCHÜTZ & MENENDEZ AMOR 1960					♀ ♂	
<i>A. tegeliensis</i> FLORSCHÜTZ 1935						♀

Table 1. List of extinct and extant species of *Azolla* and their geological range ; data from REED (1954, 1965), HALL & SWANSON (1968), FLORSCHÜTZ & MENENDEZ AMOR (1960) and others (omitted from literature), ♀=megaspore and its appendage ; ♂=massula ; V=vegetative remain ; Sp=microspore.
 *1=list of extant species after REED (1954, 1965)
 *2=including *A. interglacialica* NIKITIN 1957
 *3=*A. pinnata* sensu NIKITIN (1928)
 *4=data from the present work

EXTANT SPECIES *1

SECTION <i>Azolla</i>	UP. C	RET.	E	M	P	
<i>A. filiculoides</i> LAM. 1783 *2					V ♂ ♀	
<i>A. caroliniana</i> WILLD. 1810						♀ ♂
<i>A. microphylla</i> KAULF. 1824						V ♂ ♀
<i>A. mexicana</i> SCHLECHT. & CHAM. 1830 ex PRESL 1845						V ♂ ♀
<i>A. japonica</i> FR. & SAV. 1876						
<i>A. rubra</i> R. BR. 1810						
SECTION <i>Rhizosperma</i>						
<i>A. pinnata</i> R. BR. 1810					*3 ♀ ♂ V	
<i>A. africana</i> DESV. 1827						
<i>A. imbricata</i> (ROXB. 1844) NAKAI 1925						♂ *4
<i>A. nilotica</i> DECNA. ex METT. 1867						V ♂ ♀

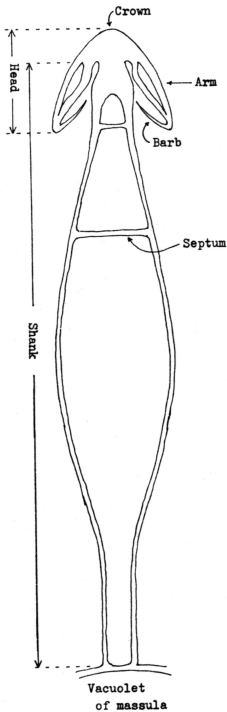


Fig. 3 Partial terms of a glochidium of Sect. *Azolla*. Crown=頂端, Head=頭部, Arm=腕部, Barb=折返り部分, Shank=柄部, Septum=隔壁, Vacuole=小泡

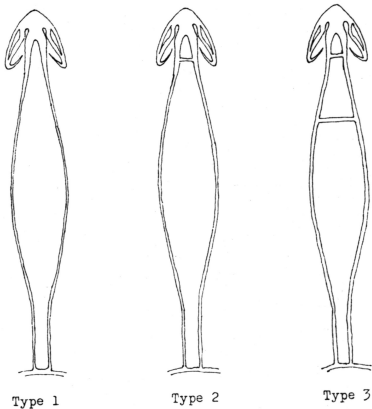


Fig. 4 Morphological types of glochidia of *Azolla* sp.

告されていることは興味深いことである。

2) 化石の処理法

この論文で報告するアカウキクサ属のマスラの化石は、筆者が従来すすめてきた日本の第四系に関する一連の花粉層序学的研究の過程で得られたものである。従って化石の検出方法および保存方法は、第四紀の粘土質または砂質堆積物を対象とする花粉分離法と同じである。すなわち、10% KOH (室温; 24-28時間) → 水洗 → 塩酸・硝酸・水の等量混液による処理 (湯煎; 3分) → 水洗 → 蒸発皿による palynomorphs の濃集 → 重液分離 (塩化亜鉛; 800~1000rpm; 90分) → 水洗 → HF (室温; 48時間) → 水洗 → アセトリシス処理 (湯煎; 3分) → 水洗の順に処理し、グリセリンゼリーで封入した。ただし、山口県豊浦郡菊川町岸本遺跡から得た試料の場合は、塩酸・硝酸・水の等量混液による処理はほどこしていない。

3) 化石の記載その他

A 京都市右京区壱原 (Fig. 1)

地層および層準: 大阪層群上部, 第5海成粘土層 (Ma 5) 直上の植物遺体を多く含む淡水成砂質シルト層 (Fig. 2)

時代: 第四紀最新世前期

記載 (多数のグロキディウムを有するマスラ 1個; Pl. 4, Figs. 1-4): マスラは径 271μ で, 多くの小泡*1 から成る。マスラの表層部を構成する小泡は小さく, 径 $6-14\mu$ であるが, マスラ内部の小泡は大きく, 径 $32-41\mu$ で各小泡の間はきわめて細かな小泡群で充填される。

マスラの表面には59個の錠形グロキディウムが散在する。グロキディウムは長さ約 93μ で頂端はややとがる。柄部*2のうちもっとも太い部位は中心よりやや頂端よりにあり, ほとんどのものでは径 18μ 以下であるが, まれに 20.5μ に達するものもある。頭部は長さ約 15μ で, 腕部には明瞭な空隙がみられる。腕部の先には長さ約 6.4μ の細い折り返しがあり, その屈曲部はやや鋭くとがる。柄部は中空であるが, 隔壁の有無または数によって3つの型に分けられる (Fig. 4)。ただし, なかには完全な隔壁の形態を示さず, 光学断面では柄部の内側壁面に疣のような突起となって見えるものもある。第1型は隔壁の全く無いもので, 59本のグロキディウムのうち26本 (44%) がこの型に属す。第2型は柄部の先端近くに1つの隔壁を有する型で, 12

*1 マスラを構成する小さな泡状の部分について SWEET & HILLS (1971) や KONAR & KAPOOR (1974) は vacuoles という語を用いているが, マスラの発生を考えるとあまり適当な用語法とは思えない。細胞学でいう液胞 (vacuole) という語と区別するため, この論文では小泡 (vacuole) という語を用いる。

*2 グロキディウムの部分名称については用語が定まっておらず, 特に日本語の名称が無いので, この論文では Fig. 3 に示すような名称を用いた。

本(20%)がこの型に属す。第3型は柄部の先端近くに2つの隔壁を有するもので、11本(19%)がこれに属す。なお、59本のうち10本はグロキディウムがマスの本体と重なっていたり、収縮変形したりしているため、上記のいずれの型に属するものか明らかでない。

マスには12粒の小胞子が入っている。小胞子は球状四面体型で、赤道径は24—27 μ 。胞子膜は厚く3.0 μ で表面模様はスカプレート。

分類：上記の特徴は *Azolla* 節に属する種のマスの特徴であり、特に日本に現生するオオアカウキクサ (*A. japonica*) のそれと良く似ている。しかし、グロキディウムの頂端はオオアカウキクサに較べて鋭くとがる傾向が強く、腕部先端も鋭くとがり、腕部外側の曲線はよりなめらかである。隔壁の出現傾向も多少異なるため、オオアカウキクサと全く同じ種とは断定しがたい。なお、新大陸に現生し、良く似たグロキディウムを有する *A. filiculoides* (Pl. 6, Figs. 15—16) とくらべると、オオアカウキクサの場合と同様な相違点があるとともに小泡の大きさおよび数にいちじるしい相違がみられる。

付記：上記のマスの他に2つの異なる型のマスが同一試料中に存在する。その1つ (Pl. 4, Fig. 5) は大きさ273.0×254.7 μ のマスでグロキディウムは無いが、小泡の大きさおよび分布状態、小胞子(9粒)の形態は上記のものと良く似ている。他のもの(多数のマスが得られている; Pl. 4, Fig. 6) は236—285 μ のマスで、グロキディウムは無い。マスの表面には17.5 μ 前後の小泡が散在し、その間を4.8 μ 前後およびそれより小さな小泡群が埋めている。マスの内部構造は小泡群が密なことと小胞子が多数(50粒以上)密に存在するため明らかではない。小胞子は径33 μ 前後の球状四面体型で胞子膜は薄く、表面はほとんど平滑(プシレート型)である。

前者はサンショウモ目 (Salviniales) に属する種のマスのと思われるが、属および種は明らかでない。後者は日本に現生するサンショウモ (*Salvinia natans* (L.) ALL.) のマスの形態的特徴と一致する。

同一試料に含まれる他の植物化石：大型植物遺体として *Abies* sp. (葉), *Tsuga* sp. (葉), *Chamaecyparis pisifera* (枝葉), *Alnus japonica* (球果), *Fagus crenata* (穀斗, 果実), *F. microcarpa* (穀斗, 果実), *Acer* sp. (果実), *Quercus* sp. (穀斗), *Rosa* sp. (刺, 枝), *Carex* sp. (果実) を産した。花粉は *Fagus* (27.5%) と *Alnus* (21.7%) が最

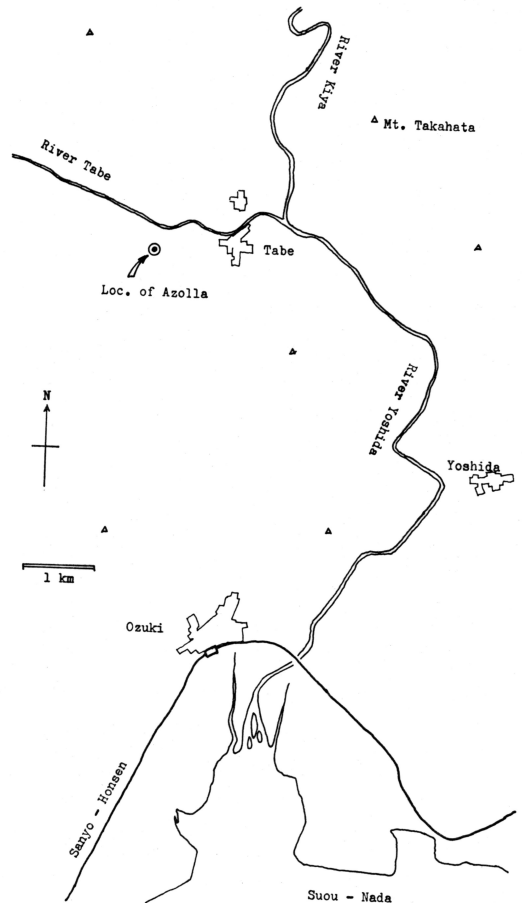


Fig. 5 Map showing the locality of *Azolla imbricata* from the Holocene alluvial deposit.

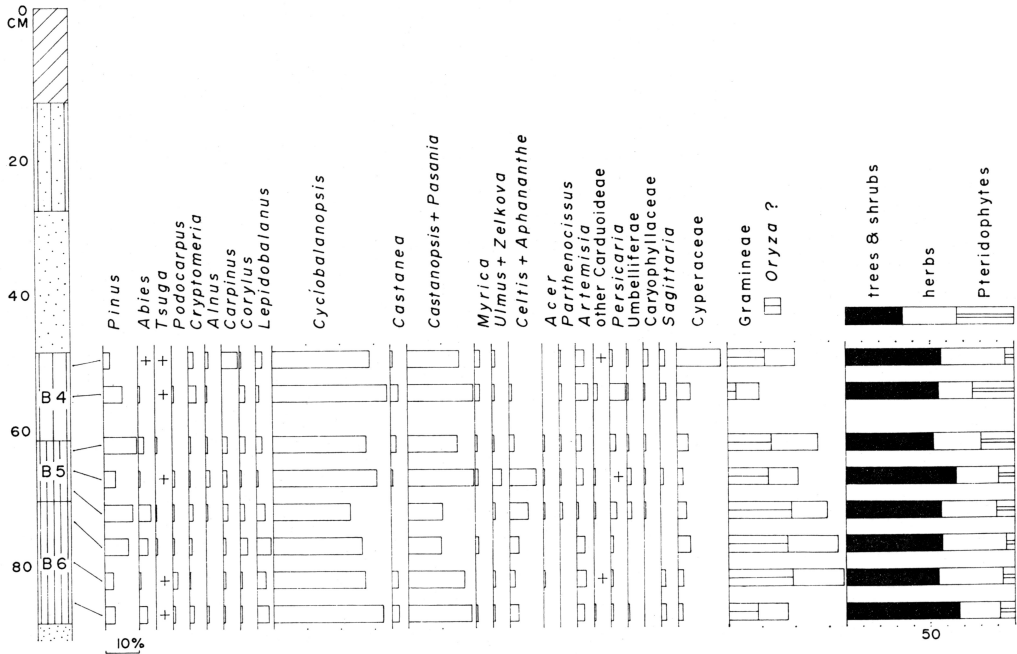


Fig.6 Geological columnar section and pollen diagram from Kishimoto, Yamaguchi Prefecture. The horizon of *Azolla imbricata* is the middle part of the B5 bed.

も多く、*Quercus* (9.2%), *Ulmus* (5.8%), *Pinus* (4.2%) などがこれに次ぐ。その他に *Picea*, *Abies*, *Tsuga*, *Sciadopitys*, *Cunninghamia*?, Cupressaceae, *Castanea*, *Juglans*, *Acer*, *Tilia* なども伴なわれ、草本花粉としては Gramineae, Cyperaceae, *Persicaria* などがある。なお、緑藻類のプランクトン *Pediastrum boryanum* (TURPIN) MENEGHINI も検出された。

B 山口県豊浦郡菊川町岸本 (Fig. 5)

地層：沖積層，暗青灰色粘土 (Fig. 6)

時代：弥生時代前期末 (当時の水田耕土と考えられる；山口県教育委員会，1974)

記載 (針形のグロキディウムを有するマスラが多数得られた；Pl. 5, Figs. 7—11)：マスラは偏平な形をしておりやや不定形。小さなものは径 214μ ，大きなものは径 382μ で， 250μ 前後のものが多い。マスラは径 $16-24\mu$ の密な小泡群によって構成され，各小泡の間およびマスラの表層部は非常に細かな小泡群によって充填される。

マスラの表面にはグロキディウムが存在するが，片側の面の中央部近くに偏在する。グロキディウムの数は1本から13本まで変化するが，3本から6本までのものが多い。グロキディウムは頂端に向かってしだいに細くなり，頂端は鋭く尖る。まれに中央部より少し頂端よりの部分が最も太くなるものもあり，その直径は 13.2μ から 19.8μ に達する場合がある。グロキディウムの基部はしだいに太くなり，マスラ本体との境は不明瞭。ほとんどのものは分岐しないが，ごくまれに先端が2本に分岐している例がある。長さは変化に富み，短くてほとんど疣状に見えるものから，長いものは 190.5μ に達する。グロキディウムの内部は大小の小泡からなり，定まった形の隔壁構造を示さない。特に基部は多数のやや小さな小泡群から成り，マスラ本体の小泡群に連続する。

マスラに内包される小孢子数は4粒から22粒までであるが，6粒から13粒までのものが多い。小胞

子は球状四面体型で、径 25—28 μ 。孢子膜は薄く、表面はほとんど平滑（プシレート型）。

分類：上記の特徴は *Rhizosperma* 節に属し、日本に現生するアカウキクサ (*Azolla imbricata*) のマスラの特徴と良く一致する。

同一試料に含まれる他の花粉：*Cyclobalanopsis* (30.8%) が最も多く、*Gramineae* (20.8%)、*Castanopsis* (19.6%)、*Celtis-Aphananthe* (8.0%) がこれに次ぐ。その他に *Diploxylon*、*Podocarpus*、*Myrica*、*Alnus*、*Albizzia*、*Umbelliferae*、*Sagittaria*、*Cyperaceae* など含まれる。

Ⅲ. 日本産アカウキクサ属の現生種について

1) マスラについて

オオアカウキクサ *A. japonica* FR. et SAV. (Figs. 7, 8)

小孢子嚢果は腊葉標本では直径 1.0—1.3mm。内部に20—30の小孢子嚢をゆるく包んでいる。小孢子嚢は球形で直径 90—130 μ 、2列の細胞からなる長い柄がある。1個の小孢子嚢内には4—6個のマスラを密におさめている。マスラはやや扁平な球形ないし楕円形で90×90 μ ないし147×115 μ 。1個のマスラ中の小孢子数は8—12。周囲には放射状に出た多数のグロキディウムがある。グロキディウムは扁平ないかり状。柄はやや紡錘形にふくらみ最も幅の広い部分は基部から $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ のところにある。長さは通常90—140 μ 、最も長いものでは173 μ に達する。幅は最も広い部分で9—16 μ 、頭部下端で4.5—5.8 μ 。通常頭部下端よりやや基部よりに隔壁がある。それより下部にさらに1個、ときに2個の隔壁があることが多いが、隔壁を欠くことも、3—4隔壁をもつこともある。グロキディアムの頂端は円頭、柄の先端が腕部につながる部分には小さいくびれがある。両腕部は下方に向かって次第に細まり、先端は内側に折れ曲っている。両腕には空所がある。頭部（両腕間）の幅は15—17 μ である。柄の形と大きさは変異が大きい、頭部の形と大きさは柄の長短、ふくらみの広狭にかかわらずほぼ一定である。

小孢子は球状四面体型で赤道径は23—28 μ 。表面はスカブレート。

以上の記載はつぎの1点の腊葉標本によったものである。

千葉県長生郡長生村 (29, V, 1962 田川基二 8683 OSA, KYO, TNS, TI) —— なおこの標本は下記エキシカタにおさめられている。Pteridophyta of Japan distributed by M. Tagawa and K. Iwatsuki Ser. 11, No.550)

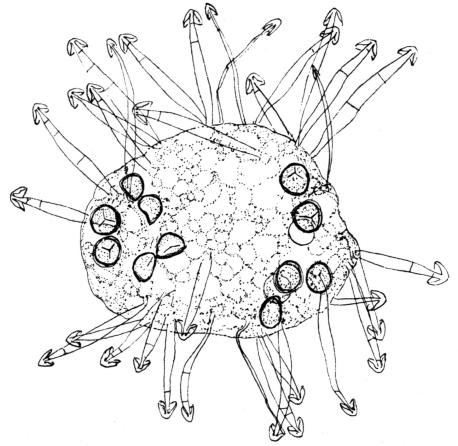


Fig.7 Massula of *Azolla japonica* FR. et SAV. (M. Tagawa 8683) ca.×300

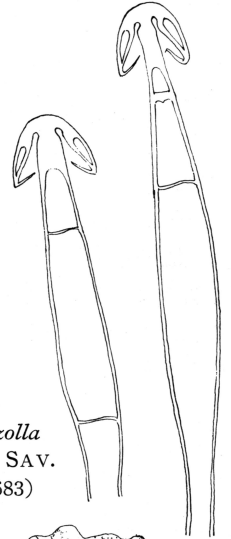


Fig.8
Glochidia of *Azolla japonica* FR. et SAV. (M. Tagawa 8683) ca.×600

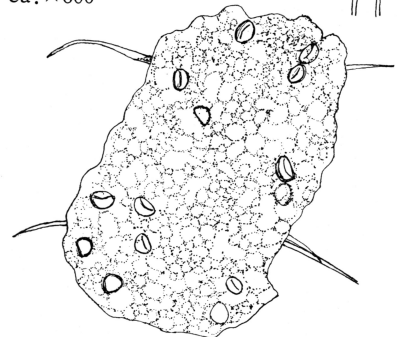


Fig.9 Massula of *Azolla imbricata* (ROXB.) NAKAI (K. Seto 21481) ca.×300

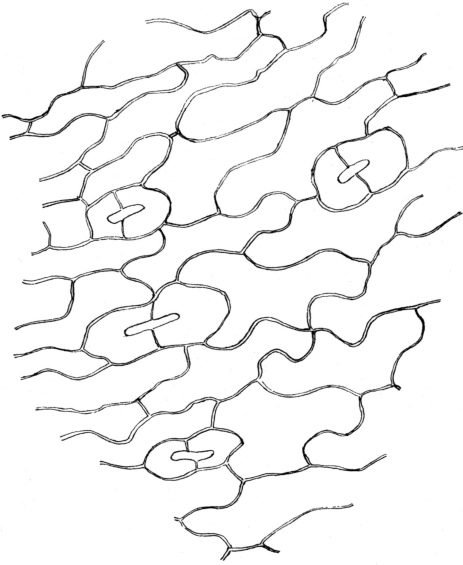


Fig.10 Stomata of *Azolla japonica* FR. et SAV.
ca. $\times 300$

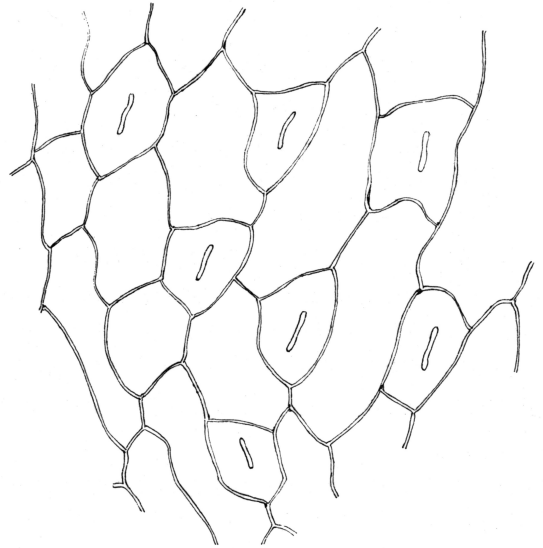


Fig.11 Stomata of *Azolla imbricata* (ROXB.)
NAKAI ca. $\times 600$

アカウキクサ *A. imbricata* (ROXB.) NAKAI (Fig.9)

小孢子嚢果は直径約1mmの球形ないしタマネギ状の扁球形で、先端は乳頭状に突出する。内部に15—25個の小孢子嚢をゆるく包んでいる。小孢子嚢は直径250—300 μ の球形で、2例の細胞からなる長い柄がある。1個の小孢子嚢内には4—8個のマスをを密におさめている。マスは長径100—250 μ 、短径70—80 μ のやや扁平な楕円体、ないしアサガオの種子を背腹に扁平にしたような形態をとる。1個のマ斯拉中の小孢子数は4—20。グロキディウムはマ斯拉の側側(プロキシマル・サイド)に限られ、1—12本、針状で長さ30—100 μ 稀に180 μ に達する。基部で直径2—20 μ 、通常3.5—6 μ のものが多く、末端はしだいに細まり先端はとがる。*A. pinnata*のグロキディウムについて KONAR & KAPOOR (1974) や SUD (1934) が図示しているような分枝は通常ないが、ごく稀に先端が2又したものがみられる。オオアカウキクサにみるような明瞭な隔壁構造はみられない。

小孢子は球状四面体型で赤道径23—28 μ 。表面はほとんど平滑であるが、ごく微細な突起がある。

以上の記載は真砂久哉氏が和歌山県すさみ町江須之川で採集し、田辺市の自宅で培養中のものを1974年7月26日アルコール浸とした標本 K. Seto No.21481 (OSA) による。

2) 気孔について

オオアカウキクサの気孔は気孔間隙が2個の口辺細胞にまたがっている (Fig.10)。

これは *A. filiculoides* についての STRASBURGERの図 (CAMPBELL 1895 による) と同じパターンである。

アカウキクサでは気孔間隙は口辺細胞の中央に遊離して存在し、まわりが完全に1個の口辺細胞でとりかまれている (Fig.11)。これはSUD (1934) が図示した *A. pinnata*のものと同様でない。

3) 国内での分布について (Fig.12)

オオアカウキクサは山形・宮城県以南の本州、四国、九州に分布し、アカウキクサは静岡県以西の本州太平洋側、四国、九州に分布している。東日本ではオオアカウキクサのみを産し、西日本ではアカウキクサが圧倒的に多い。静岡県(遠江南部)や近畿地方には両種が分布している。

志村(1966)は遠江南部でアカウキクサの分布を詳細に調査し、冬期の高温を保障する湧水のある水田に限って分布していることを報告している。杉野(1975)は栄養増殖のピークがアカウキクサでは 25°C 、オオアカウキクサでは 20°C 前後にあるとしている。大阪では春から6月までは両種とも容易に培養できるが、夏季はアカウキクサの培養は容易であるのにオオアカウキクサは困難である。近畿地方でのオオアカウキクサの生育地はほとんど湧水のある場所に限られている。水温の測定を行っていないがこれは湧水が夏季の低温を保障することに役立っていると考えられる。

4) 孢子嚢果の成熟時期について

日本産アカウキクサ属2種の孢子嚢果形成成熟時期については観察例も標本も少なく、よくわかっていない。

オオアカウキクサについては瀬戸の検し得た孢子嚢果をつけた標本はつぎのとおりである。

千葉県長生郡長生村 (29, V, 1962 田川基二8683 OSA, KYO, TI, TNS); 千葉県佐倉町大佐倉 (3, VII, 1962 行方沼東 OSA); 埼玉県戸田ヶ原 (V, 1906 小泉源一 KYO); 滋賀県湖北町津ノ里 (23, VI, 1965 瀬戸 15005 OSA); 京都市宝ヶ池 (19, VII, 1951 田川 3844 KYO); 京都市松ヶ崎 (19, VII, 1951 田川 3839 KYO); 京都市淀 (15, VII, 1926 三木茂 KYO); 岡山県高松町 (10, VI, 1930 K. Tsuboi KYO).

また矢部・保井(1913)は戸田ヶ原(VI, 1892)と東京小石川(12, V, 1897), 市川(V, 1897)をあげている。これらの例によってオオアカウキクサの孢子嚢果の成熟時期は5月から7月と考えられる。

アカウキクサでは前述の田辺市の栽培品が7月26日に成熟した孢子嚢果をつけている。また1974年12月-1月に京都市深泥池で未熟の孢子嚢果をつけているのを観察したが、この年は未熟のまま2月中に枯死し、水底に沈んでしまった。きわめて僅かの例であるが、夏から冬にかけて孢子嚢果をつける模様で、これは本種が熱帯性の植物であることと考えあわせるとうなずけることである。



Fig.12 Distribution map of *Azolla japonica* FR. et SAV. and *A. imbricata* (ROXB.) NAKAI
Solid marks (●) show the localities which were verified by examining specimens. Open marks (○) are those taken from reliable literatures.

参考文献

- BAKER, J.G. 1887. Handbook of the fern-allies. London.
BERGAD, R.D. & J.W. HALL, 1971. A Cretaceous *Azolla* Massula with large glochidia. Bot. Gaz. 132 : 237-239.
CAMPBELL, D.H. 1895. The structure & development of the mosses & ferns. Macmillan. London & New York.

- EAMES, A.J. 1936. Morphology of vascular plants. Lower groups. McGraw-Hill, New York & London.
- FLORSCHÜTZ, F. 1935. Over *Azolla* en de Ouderdomsbepaling van Interglaciale Zoetwaterafzettingen in Nederland. Geol. en Mijnb 14 : 12-13.
- 1938. Die beiden *Azolla*-arten des niederländischen Pleistozäns. Rec. Trav. Bot. Neerlandais 35 : 932-945.
- FLORSCHÜTZ, F. & J. MENÉNDEZ AMOR 1960. Une *Azolla* fossile dans les Pyrénées-Orientales. Pollen et Spores, 2 : 285-292.
- HALL, J.W. 1968. A new genus of Salviniaceae and a new species of *Azolla* from the late Cretaceous. Amer. Fern Jour. 58 : 77-88.
- 1969. Studies on fossil *Azolla* : Primitive types of megaspores and massulae from the Cretaceous. Amer. Jour. Bot. 56 : 1173-1180.
- HALL, J.W. & N.P. SWANSON, 1968. Studies on fossil *Azolla* : *Azolla montana*, A Cretaceous megaspore with many small floats. Amer. Jour. Bot. 55 : 1055-1061.
- 池野成一郎 1906. 植物系統学 裳華房 東京.
- KONAR, R.N. & R.K. KAPOOR. 1974. Embryology of *Azolla pinnata*. Phytomorph. 24 : 228-261
- NAKAI, T. 1925. Notes on Japanese ferns. II. Bot. Mag. Tokyo 39 : 183-185.
- NAKAIKE, T. 1975. Enumeratio Pteridophytarum Japonicarum, Filicales. Univ. Tokyo Press.
- 大井次三郎 1957. 日本植物誌 シダ篇. 至文堂, 東京.
- REED, C.F. 1954. Index Marsileata et Salviniata. Bol. Soc. Brot., 2a sér. 28 : 5-61.
- 1965. Index Marsileata et Salviniata, Supplement. Bol. Soc. Brot., 2a sér. 39 : 259-302.
- ROUSE, G.E. 1962. Plant microfossils from the Burrard formation of western British Columbia. Micro-paleontology, 8 : 187-218.
- SADEBECK, R. 1900. Salviniaceae in Engler u. Prantl: Pflanzen-Fam. Leipzig.
- SHEN, E.Y. 1961. Concerning *Azolla imbricata*. Amer. Fern Jour. 51 : 151-155.
- 志村義雄 1966. オオアカウキクサとアカウキクサにおける形態的相異点についての総説. 静岡大学教育学部研究報告 自然科学篇 17 : 40-45.
- 1966. 遠江南部地帯におけるアカウキクサの分布と生態. 植物研究雑誌 41 : 237-244.
- 杉野孝雄 1975. アカウキクサ線の提唱. 日本シダの会会報 2 (22) : 349-350.
- STRASBURGER, E. 1873. Über *Azolla*. Jena. (not seen)
- SVENSON, H.K. 1944. The new world species of *Azolla*. Amer. Fern Jour. 34 : 69-84.
- SWEET, A. & L.V. HILLS. 1971. A study of *Azolla pinnata* R. Brown. Amer. Fern Jour. 71 : 1-13.
- 田川基二 1962. 原色日本羊歯植物図鑑. 保育社, 大阪.
- 矢部吉禎・保井コノ 1913. 邦産あかうきくさ (*Azolla*) 属ニ就テ (予報). 植物学雑誌 27 : (379)-(381).
- 山口県教育委員会 1974. 菊川町岸本遺跡. 山口県埋蔵文化財調査報告 第31集.

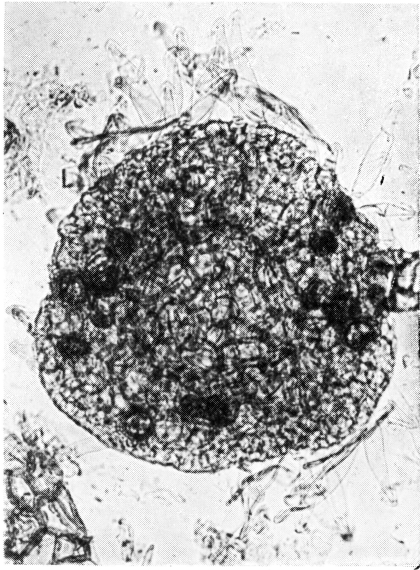
Explanation of Plate 4

Figs. 1-4 : *Azolla* sp. from the Upper Part of the Osaka Group (Early Pleistocene); West of Katagihara, southwest of Kyoto City; Preparete No. Nishiyama-I-9z-1 T. NASU.

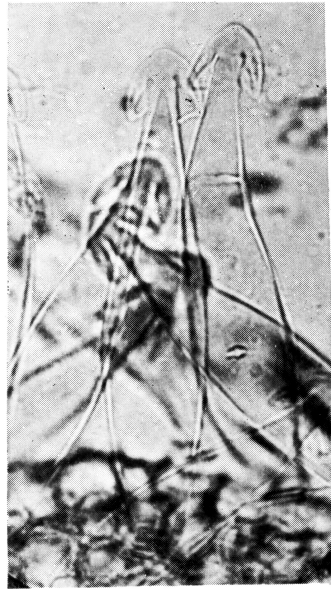
1 : Massula with glochidia ; $\times 175$. 2 & 3 : Glochidia ; $\times 700$. 4a : Surface of massula ; $\times 700$. 4b : Central part of massula ; $\times 700$.

Fig. 5 : Massula of Salviniaceae (gen. et sp. indet.) ; ditto ; Pre. No. Nishiyama-I-9z-1 T. NASU ; $\times 175$.

Fig. 6 : Massula of *Salvinia natans* (L.) ALL. ; ditto ; Pre. No. Nishiyama-I-9z-1 ; $\times 175$.

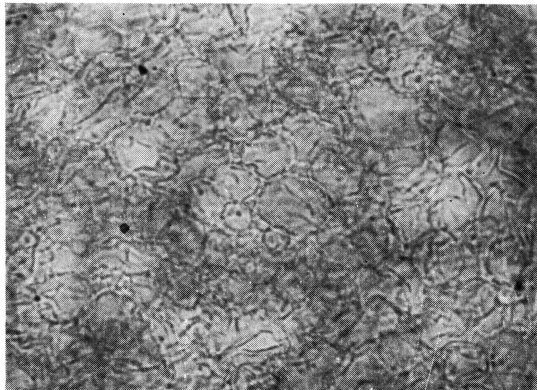


1

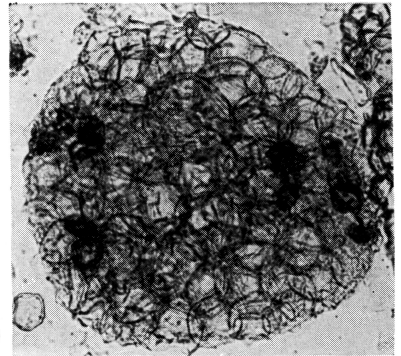


3

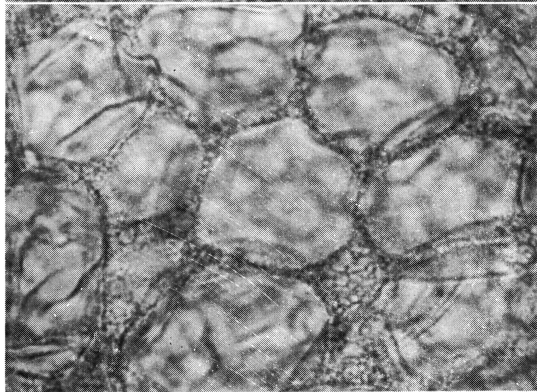
2



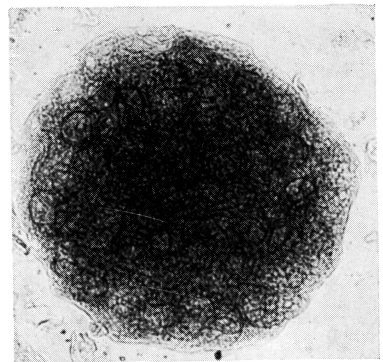
4A



5



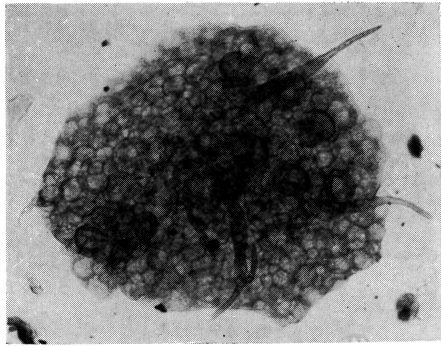
4B



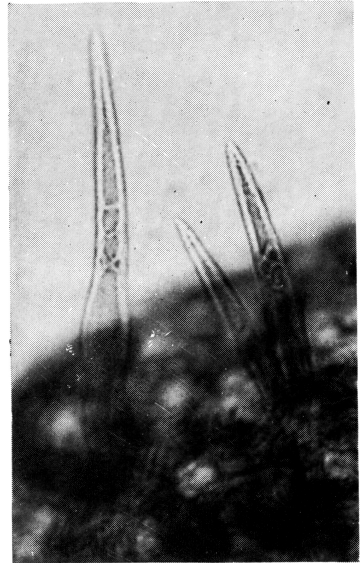
6

Explanation of Plate 5

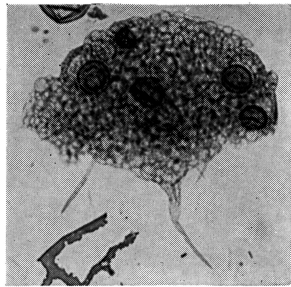
- Figs. 7-11 : *Azolla imbricata* (ROXB.) NAKAI from the Holocene alluvial deposit at Kishimoto, Kikukawa-cho, Yamaguchi Prefecture ; Pre. No. Kishimoto-B5-mid T. NASU.
- 7 & 8 : Massulae ; $\times 175$.
- 9 & 10 : Glochidia ; $\times 700$.
- 11a : Surface of massula ; $\times 700$.
- 11b : Microspore within a vacuole constricted in the middle ; $\times 700$.



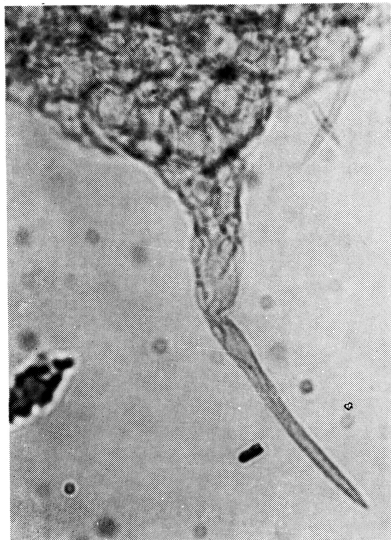
7



10

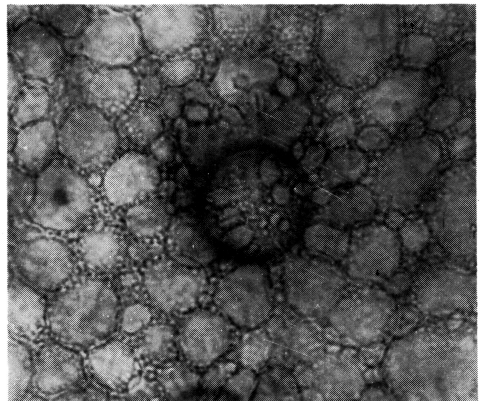


8

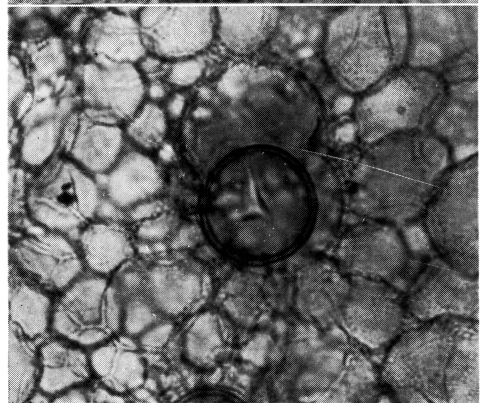


9

11A

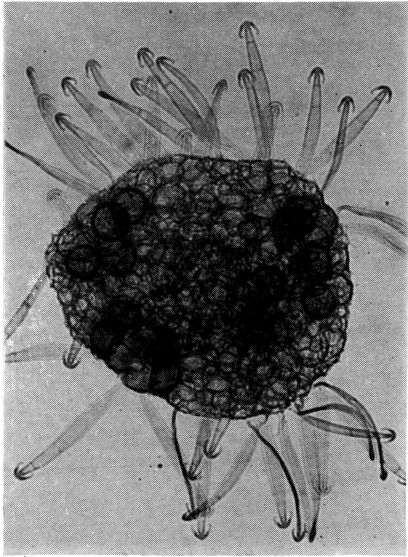


11B

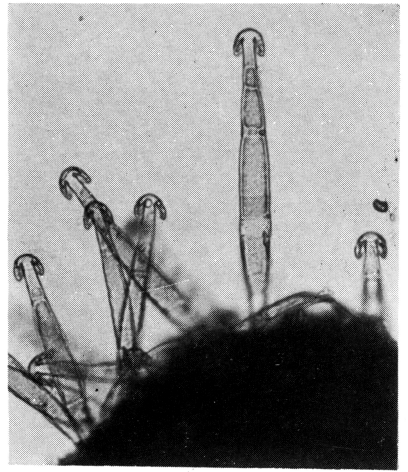


Explanation of Plate 6

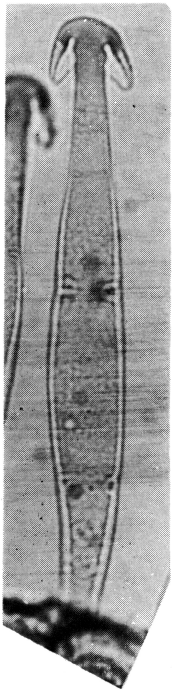
- Figs. 12—14 : Living specimens of ; *Azolla japonica* FR. et SAV. ; Chosei-mura, Chosei-gun, Chiba Prefecture ; May 29, 1962 ; M. TAGAWA No. 8683 in OSA & KYO (Pteridophyta of Japan distributed by M. TAGAWA & K. IWATSUKI, Ser. 11, No. 550).
- 12 : Massula ; Pre. No. PAz-1 T. NASU ; \times 175.
13 : Glochidia ; Pre. No. PAz-2 in OSA ; \times 350.
14 : Glochidium ; Pre. No. PAz-1 T. NASU ; \times 700.
- Figs. 15—16 : Living specimens of *A. filiculoides* LAM. ; Dune Lakes Gun Club, ca. 3 miles south of Oceano, San Luis Obispo County, California, U.S.A. (on mud) ; June 22, 1949 ; M.A. NOBS & S. G. SMITH No. 830 in KYO ; Pre. No. PAz-4 in OSA.
- 15 : Massula ; \times 175.
16 : Glochidia ; \times 700.



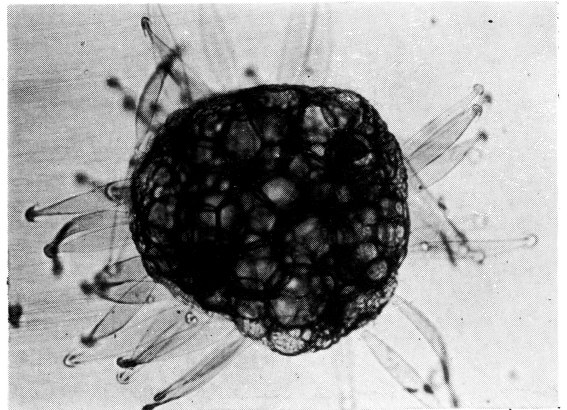
12



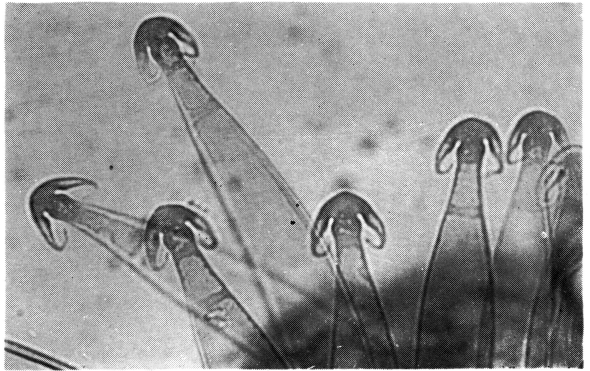
13



14



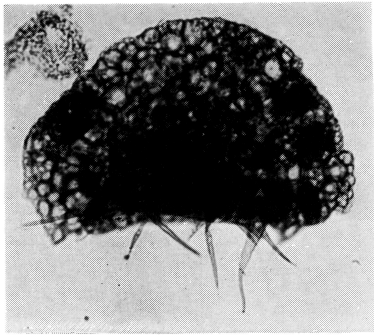
15



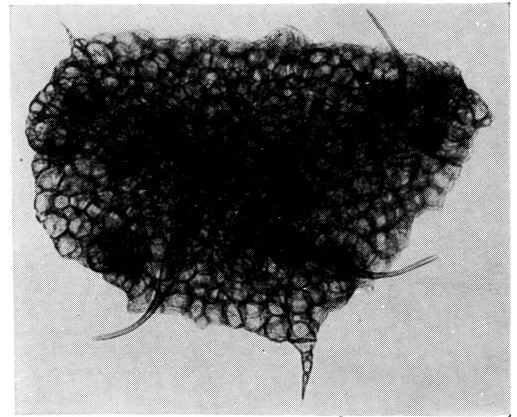
16

Explanation of Plate 7

- Figs. 17—23 : Living specimens of *Azolla imbricata* (ROXB.) NAKAI
- 17 & 18 : Massulae ; Tanabe City, Wakayama Prefecture, cult. by H. MANAGO (transplanted from Esunokawa, Susami-cho, Wakayama Prefecture) ; July 26, 1974 ; K. SETO No. 21481 in OSA ; Pre. No. PAz-3 T.NASU ; $\times 175$.
- 19 : Glochidium ; ditto ; Pre. No. PAz-3 T.NASU ; $\times 700$.
- 20 : Megaspore ; Mizoroga-ike, Kyoto City ; Jan. 11, 1975 ; K. SETO No. 21000 in OSA ; Pre. No. PAz-6 T.NASU ; $\times 175$.
- 21 : Microspore ; ditto ; Pre. No. PAz-6 in OSA ; $\times 700$.
- 22 & 23 : Megaspore ; ditto ; with an apical cap, floats, columella and perispore ; ditto ; $\times 70$.

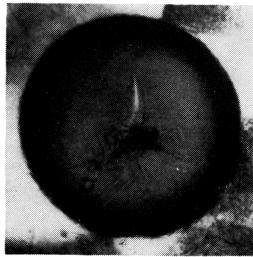


17

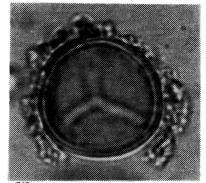


18

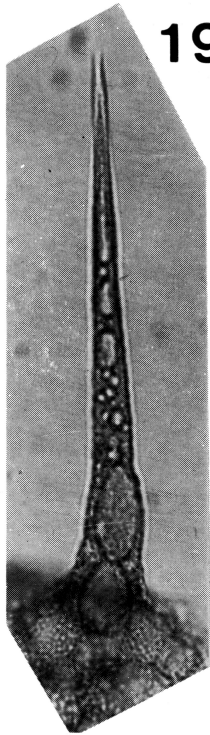
20



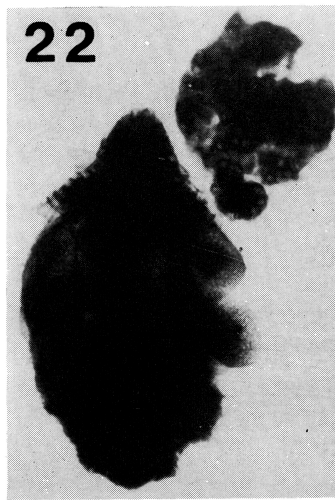
21



19



22



23

