

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	古環境復原に向けた植物珪酸体分析法の確立と応用に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	杉山真二
Author(English)	
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第4925号, 授与年月日:2001年9月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第4925号, Conferred date:2001/9/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

古環境復原に向けた植物珪酸体分析法の
確立と応用に関する研究

2001年（平成13年）9月

東京工業大学大学院総合理工学研究科
環境理工学創造専攻

杉山 真二
(98D52201)

古環境復原に向けた植物珪酸体分析法の確立と応用に関する研究

目次

第1章 序論

1.1 はじめに	1
1.2 植物珪酸体に関する既往研究	1
1.3 本研究の目的と意義	3
1.4 本論文の構成	4

第2章 植物珪酸体分析の方法と原理

2.1 はじめに	5
2.2 植物珪酸体標本の作成と形態観察	7
2.3 植物珪酸体の形態記載	12
2.4 土壌からの植物珪酸体抽出法	41
2.5 植物珪酸体の定量分析法と植物体生産量の推定法	44
2.6 土器からの植物珪酸体抽出法	46
2.7 植物珪酸体分析の応用例	47
2.8 結語	61

第3章 植物珪酸体分析による古気候の推定

3.1 はじめに	62
3.2 タケ亜科の分類群と気候との関係	62
3.3 最終氷期以降におけるタケ亜科の植生変遷と気候変動	67
3.4 過去約60万年間におけるタケ亜科の植生変遷と気候変動	73
3.5 クマザサ属の植生変遷と積雪量の変動	80
3.6 結語	85

第4章 最終氷期以降の九州南部における照葉樹林発達史

4.1 はじめに	86
----------	----

4.2 照葉樹林化の開始時期について	95
4.3 植物珪酸体の出現状況と植生復原	97
4.4 最終氷期以降の九州南部における照葉樹林発達史	111
4.5 鬼界カルデラの巨大噴火が植生に及ぼした影響	116
4.6 結語	117
第5章 総括	118
謝辞	120
引用文献	121
Abstract	131
本論文に関する発表論文	134

図表一覧

図

- 図2.1 イネ葉身の断面
- 図2.2 イネ葉身の灰像
- 図2.3 機動細胞珪酸体の各部の名称
- 図2.4 植物珪酸体の顕微鏡写真
- 図2.5 実験室における分析処理状況
- 図2.6 青森県田舎館村垂柳遺跡における試料採取状況
- 図2.7 垂柳遺跡における水田跡の探查結果と水田遺構の出土状況
- 図2.8 垂柳遺跡における水田跡の出土状況
- 図2.9 イネの成長にともなう機動細胞珪酸体の形状変化
- 図2.10 鹿児島大学構内遺跡郡元団地L-11・12区11トレンチにおける植物珪酸体分析結果
- 図2.11 宮城県須木村下九瀬の山地におけるイネの植物珪酸体の出現状況
- 図2.12 宮城県須木村下九瀬の山地におけるキビ族の植物珪酸体の出現状況
- 図3.1 ネザサ節とミヤコザサ節の生育状況
- 図3.2 関東北西部における調査地点の位置
- 図3.3 群馬県赤城山南麓（表土）における植物珪酸体分析結果
- 図3.4 群馬県前橋市頭無遺跡における植物珪酸体分析結果
- 図3.5 関東地方北西部の各地点におけるメダケ率の変遷
- 図3.6 九州南部における調査地点の位置
- 図3.7 九州南部の各地点におけるメダケ率の変遷
- 図3.8 宮城県築館丘陵の位置
- 図3.9 宮城県築館町上高森の土層断面
- 図3.10 宮城県築館丘陵の火山灰土におけるメダケ率の変遷
- 図3.11 ミヤコザサ線と最大積雪50cmの等深線との関係および調査地点の位置
- 図3.12 ミヤコザサ線周辺におけるタケ亜科植物の植生変遷

- 図4.1 日本列島の植生図
- 図4.2 宮崎県綾町の照葉樹林
- 図4.3 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の等層厚線図
- 図4.4 九州南部における調査地点の位置
- 図4.5 九州南部における調査地点の土層断面
- 図4.6 鹿児島県南種子町島間における植物珪酸体分析結果
- 図4.7 九州南部における照葉樹起源の植物珪酸体の出現状況
- 図4.8 鹿児島県大根占町厚ヶ瀬における植物珪酸体分析結果
- 図4.9 指宿市水迫遺跡南壁における植物珪酸体分析結果
- 図4.10 鹿児島県国分市上野原遺跡における植物珪酸体分析結果
- 図4.11 宮崎県宮崎市上の原遺跡における植物珪酸体分析結果
- 図4.12 九州における黒ボク土の分布図
- 図4.13 最終氷期以降の九州南部におけるイネ科植生の変遷
- 図4.14 九州南部の各層準における各植物の検出量と黒ボク土型の判定率との関係

表

- 表2.1 植物珪酸体分析と花粉分析の特性比較
- 表2.2 本論文で植物珪酸体の形態を記載した植物
- 表2.3 タケ亜科植物の系統分類
- 表2.4 機動細胞珪酸体の形態によるタケ亜科植物の分類基準
- 表2.5 おもなイネ科植物の換算係数
- 表2.6 考古学分野における植物珪酸体分析の応用例
- 表4.1 九州南部に分布するテフラ一覧
- 表4.2 九州南部における調査地点一覧
- 表4.3 おもな照葉樹の植物珪酸体密度

第1章 序論

1.1 はじめに

イネ、ヨシ、ススキ、竹笹類などのイネ科植物は、根から水分を吸い上げる際に珪酸 (SiO_2) を多く吸収する性質を持っている。植物体内に吸収された珪酸は、おもに葉の表皮細胞や機動細胞などに蓄積され、植物珪酸体 (Phytolith, ファイトリス) とよばれる微少なガラス質細胞が形成される。植物珪酸体は、宝石のオパールとほぼ同じ化学組成であり、植物珪酸体をもつ植物が枯れて分解されたあとも、土壤構成物質の一種となって半永久的に土壤中に残存している。この微化石は、植物が作ったオパールという意味でプラント・オパール (Plant opal) とよばれている。

土壤中には、植物珪酸体をはじめ、花粉・孢子、珪藻、有孔虫、寄生虫卵、海綿骨針、植物炭化物など多種多様な生物遺体 (生物化石) が含まれており、土壤が形成された当時の植生や環境について、多くの重要な情報を保持している。このうち、植物珪酸体は最も保存性が高く、多様な環境下で半永久的に残存している。植物珪酸体分析は、花粉分析や珪藻分析などと比較すると研究発展の段階といえるが、本論で示すように多くの特徴や利点があり、将来的にも大きな可能性を秘めている。

1.2 植物珪酸体に関する既往研究

イネ科植物などの表皮細胞に植物珪酸体が形成されることは、19世紀前半にドイツの研究者によって発見されており (近藤, 1995)、1943年にはロシア (旧ソ連) の土壤学者 Oosov が土壤中に植物起源の粒子が含まれていることを報告した (Oosov, 1943)。1956年には英国の F. Smithson がネイチャー誌に "Plant opal in soil" を発表し (F. Smithson, 1956)、植物珪酸体 (プラント・オパール) に関する研究が本格化するきっかけとなった。

米国の Twiss らは、イネ科植物の植物珪酸体を、Festucoid Class (ウシノケグサ型)、Chloridoid Class (ヒゲシバ型)、Panicoid Class (キビ型)、Elongate Class (棒状型) の四つに分類し、植物分類群との関係を明らかにした (Twiss et al, 1969)。この分類は、当時としては画期的なものであり、欧米では現在

でもこの分類を使用している研究者が少なくない。

この分類を日本国内に適用するにあたって、近藤（1974）および佐瀬・近藤（1974）は、新たに機動細胞に由来する植物珪酸体（ファン型）と表皮毛（剛毛）に由来する植物珪酸体（ポイント型）、および竹笹類の短細胞に由来する植物珪酸体（タケ型）を追加した。さらに、Panicoid Class からイネ族を独立させるなど、イネ科植物の植物珪酸体について分類の細分化を進めた（近藤，1983；近藤・佐瀬，1986）。

また、イネ科以外にも樹木の植物珪酸体に関する研究が進められ（近藤，1975）、裸子植物と単子葉被子植物の樹木葉の植物珪酸体（近藤・隅田，1978）、および双子葉被子植物の樹木葉の植物珪酸体（近藤・ピアスン，1981）に関する検討が行われた。

これらの基礎研究は、おもに土壌生成に関する研究分野に応用され、腐植（黒土）層中の植物珪酸体の多くがイネ科草本に由来するものであること（菅野・有村，1958；加藤，1960）、その植物はおもにタケ亜科（ササ属、メダケ属）、キビ亜科（ススキ属、チガヤ族など）が中心であり（佐瀬・加藤，1976；近藤，1982など）、北海道ではイチゴツナギ亜科（ウシノケグサ属、ノガリヤス属など）も関与していること（佐瀬・近藤，1974；佐瀬ほか，1987）が明らかになるなど、これまでに多くの成果が得られている（近藤・佐瀬，1986；近藤，1995；細野ほか，1992；佐瀬・細野，1995；細野ほか，1995など）。

これらの研究は、Twissらの分類を基本として、おもに短細胞に由来する植物珪酸体の分類にもとづいたものであるが、分類群のうちキビ型はキビ亜科に特有なものではなく、ダンチク亜科やスズメガヤ亜科の一部にも含まれるなど、植物分類群との対応関係が必ずしも一致していないという問題がある（杉山，1987a）。

藤原（1976）は、農学（農耕史）の立場から植物珪酸体分析に着目し、機動細胞珪酸体に由来する植物珪酸体の形態から、イネ（*Oryza sativa* L.）とその近縁種が互いに識別されることを示した。また、機動細胞珪酸体の表面側と裏面側の比率など微細な形態の違いから、日本稲と外国稲が互いに区別されることが見いだされた（藤原・佐々木，1978）。

また、植物体中の植物珪酸体密度や土壌中の植物珪酸体密度を計測するため、

ガラスビーズを用いた定量分析法が開発された。同法を用いて植物体中の植物珪酸体密度および各植物の換算係数が求められ、古代水田で栽培されていたイネ籾の生産量が推定された（藤原，1979）。

これらの研究は、水田跡の検証および探査に応用され（藤原，1982；藤原ほか，1984；藤原・杉山，1984など）、日本国内をはじめ中国大陆における稲作農耕史解明の研究に大きく貢献している（藤原，1998）。同様の研究はキビ族などについても行われ、焼畑史や畑作史の解明に役立てられている（藤原ほか，1984；杉山ほか，1988；藤原ほか，1990）。

最近、他分野との学際的な共同研究が積極的に行われるようになり、植物珪酸体分析の結果と土壌緑色腐植酸Pgの吸収発現強度の特性とを検討した研究（渡邊ほか，1993；Watanabe et al, 1994）、植物珪酸体分析から推定された植生と土壌の安定同位体比との対応を検討した研究（井上ほか，2001）、植物体と植物珪酸体内部の炭素の安定同位体比の対応を検討した研究（近藤ほか，2001）、さらに植物珪酸体内部からDNAを取り出す研究（高橋・佐藤，2001）などが進められている。

以上のように、植物珪酸体に関する既往研究をみてきたが、この分野の研究者は極めて少なく、しかも研究者間の交流が少ないのが現状である。また、植物珪酸体の分類や用語が不統一であることも、研究の発展の障害となっていることが指摘されている（杉山，1987a）。

1.3 本研究の目的と意義

植物珪酸体に関する研究は、これまでおもに土壌学や農学の研究者によって進められており、古気候や古環境の推定を目的とした研究はあまり行われていない。また、植物珪酸体の形態や分析法、原理に関する総合的な解説書やカタログも整備されていない。

このような研究の状況をふまえ、植物珪酸体分析に関する基礎研究の進展と、各分野への応用に関する手法の確立が重要な課題となっている。本研究は、植物珪酸体分析を用いて土壌から植生・環境情報を収集する手法を確立し、古植生や古気候などの古環境復原に応用することを目的としている。

1.4 本論文の構成

第1章では、植物珪酸体に関する既往研究について概観し、研究の現状と問題点を明らかにした上で、本研究の意義と目的を述べる。第2章では、植物珪酸体分析の方法と原理を論述し、おもな分類群の植物珪酸体の形態を記載する。また、遺跡調査を中心とした植物珪酸体分析の応用例を示す。第3章では、タケ亜科の植生変遷と気候変動（氷期－間氷期サイクル）との関係について、火山灰編年が確立している関東北西部と九州南部の最終氷期以降の結果をもとに検討した上で、宮城県築館丘陵の約60万年間に及ぶデータについて考察する。また、最終氷期以降におけるクマザサ属の植生変遷と積雪量の変動について検討する。第4章では、日本文化の基層とされる照葉樹林の分布拡大の様相について、照葉樹林が最終氷期以降最も早くから拡大した九州南部を対象として検討する。また、鬼界カルデラの巨大噴火が当時の植生に及ぼした影響について考察する。第6章では、以上を総括して今後の研究の方向性を示す。

第2章 植物珪酸体分析の方法と原理

2.1 はじめに

植物珪酸体は、イネ科植物をはじめ、カヤツリグサ科、シダ類、トクサ類などの草本類、さらにブナ科、クスノキ科、モクレン科、ヤシ科などの木本類でも形成される。植物珪酸体は、植物の種類によって形や大きさ、密度が異なることから、土の中から取りだして調べることで、当時そこに生育していた植物の種類や量を知ることができる。このように、植物珪酸体を土壌などから抽出して、当時の植生や環境、農耕の推定などに利用する方法を、植物珪酸体分析とよんでいる。

花粉分析や種実分析は、遺体の保存上の問題から対象が水成堆積物に限定されることが多いが、植物珪酸体分析はローム層や黒ボク土などの台地上の堆積物にも適用され、焼土や灰化物さらに土器（胎土）でも分析ができるという利点がある。また、花粉がかなり広範囲に飛散するのに対して植物珪酸体は現地性が高いことから、調査地点周辺の比較的限られた範囲の植生を把握することができる。表2.1に、植物珪酸体分析と花粉分析の特性比較をまとめた。

表2.1 植物珪酸体分析と花粉分析の特性比較 () 内は問題点など

項目	植物珪酸体分析	花粉分析
対象試料	あらゆる堆積物 焼土、灰、土器胎土も可	おもに水成堆積物に限定 (花粉は乾燥・紫外線に弱い)
残存性	半永久的に残存 (堆積条件により風化)	弱い花粉は早く分解・消失 (解釈を誤る危険性)
復原対象範囲	現地性が高い (多くの地点の分析が必要)	風媒花はかなり広域 虫媒花は比較的至近
対象植物群	植物珪酸体が形成される植物 クスノキ科も可 照葉樹は花粉分析に匹敵	花が咲くほとんどの植物 (クスノキ科は花粉が残らない) (竹笹類は開花周期が数十年)
同定精度	属、節レベル イネは種、品種レベル	科、属、亜属レベル (イネ科の細分困難)
栽培植物関係	イネ、ムギ、キビなど多数	ソバ、アブラナ科、クリなど
定量分析	可能 植物体生産量の推定可能	困難 (解釈を誤る危険性)

2.2 植物珪酸体標本の作成と形態観察

(1) 植物葉の灰化

植物体内から植物珪酸体を取り出すためには、周囲の有機物を灰化処理して植物珪酸体と分離させる必要がある。灰化処理の方法としては、電気マッフル炉による高温灰化法、高周波酸素プラズマによる低温灰化法、過酸化水素水などの化学薬品による湿式灰化法などがある。

電気マッフル炉（550℃で6時間）による高温灰化法は、最も簡単で効率的であるが、温度を急激に上昇させると植物組織が破壊されたり黒く炭化して灰化が進まない場合もある。このような場合は、30分に100℃の割合で徐々に温度を上昇させることで、良好な灰化試料を得ることができる。また、灰化させる前に植物試料を十分に乾燥させておくこと（できれば絶乾状態）、植物試料を入れる磁皿は底の浅いものにする、植物試料の量を必要最小限にすることも、良い灰化試料を得るための注意点としてあげられる。

低温灰化法や湿式灰化法は、植物組織の変形や収縮が少ないことから植物組織中における植物珪酸体の配列や分布状況を調べるのに適しているが、植物珪酸体を単体で分離するのにはやや手間がかかる。なお、植物珪酸体からDNAを抽出する場合は、熱を加えないこれらの方法で行う必要がある。

(2) 植物珪酸体標本の作成

植物珪酸体標本の作成は、藤原（1976）をもとに、次の方法で行った。灰化した試料を葉包紙やアルミホイルで包み、指で丁寧に潰して細粒化したものをサンプル瓶に入れる。これを超音波水中照射（300W・42KHz・10分間）によって破壊・分散し、沈底法で直径20 μ m未満の微細粒子を除去する。

沈底法は、水中における粒子の沈降速度が粒径や比重によって異なることを利用した分離法であり、直径20 μ mの植物珪酸体粒子が1cm沈降する時間は、水温20℃の場合約1分間である。

沈底法を上澄み液が透き通るまで5～6回繰り返し、選別された粒子を乾燥させると、白い粉末状の植物珪酸体標本が得られる。

(3) 植物珪酸体の形態観察と同定

植物珪酸体は、給源細胞の形態を反映して立体的で多様な形態をしていることから、一面的な観察で全体像を把握するのは困難である。このため、植物珪酸体の基礎的な形態観察には、焦点深度が深く試料を自由な角度から詳細に観察できる走査型電子顕微鏡の利用が不可欠である。また、実際の同定には、植物珪酸体の形態に加えて透過率（透明感）や屈折率、色なども手がかりとなることから、光学顕微鏡（偏光顕微鏡）による観察も併用して行う必要がある。観察は通常400倍の倍率で行うが、植物珪酸体の微細な構造や小型の植物珪酸体の観察を行う場合には、さらに倍率をあげる必要がある。

光学顕微鏡用のプレパラートは、オイキットで封入し、プレパラートが完全に固定されないうちに観察する。この状態でカバーガラスの表面を針などで軽くつつくと、植物珪酸体が回転して各断面の形態観察を行うことができる。プレパラートは約1週間程度で完全に固定されるので、プレパラートボックスに移して保管する。再び観察を行う場合は、オイキットの溶剤（キシレン）を入れたデシケータにプレパラートを入れておくと、固定されない状態にもどすことができる。

植物珪酸体の形態は、同一の植物細胞に由来するものであっても、部位や個体によって比較的大きな変異が認められる。また、異なる分類群の間で類似した植物珪酸体が認められる場合もある。このような難しさもあって、植物珪酸体に関するまとまったカタログや解説書は現在のところ作成されていない。

イネ科植物の場合、植物珪酸体が形成されるのは機動細胞、短細胞（葉脈上の表皮細胞）、結合組織細胞（維管束部）、表皮毛細胞などである。このうち、機動細胞に由来する植物珪酸体は、大きさが約40~60 μ m前後と大型であり、植物や土壌からの抽出および植物珪酸体の形態観察や同定が比較的容易である。機動細胞珪酸体に着目することで、花粉分析では細分が難しいイネ科については属あるいは節レベルで同定が可能であり、イネについては亜種レベルの同定も可能となっている（藤原・佐々木, 1978 ; 藤原ほか, 1990）。

なお、機動細胞珪酸体はイネ科植物のすべての分類群で形成されるわけではなく、オオムギ族やイチゴツナギ亜科のように珪酸体の発達が悪いものもある。一方、短細胞に由来する植物珪酸体はイネ科植物のほとんどの分類群で形成さ

れるが、大きさが約20 μm 前後と小型であることから取り扱いに注意が必要である。結合組織細胞や表皮毛細胞に由来する植物珪酸体は、異なる分類群の間で類似したものが多く、同定の決め手になりにくい。

葉身の断面の切片（図2.1）を見ると、機動細胞珪酸体は葉の表面側に扇形の頂点があり、葉の厚みの1/2～2/3程度のところに弧の部分がある。このような存在形態により、葉の水分が減少して葉肉が収縮すると、葉を表面側（内側）に巻き込む作用をおこす。機動細胞という名称は、このような作用に由来している。また、植物珪酸体は骨格として葉身を直立型に保って群落内部への光の通りを良くしたり、葉身内部への光の透過度を高めて光合成効率を高めているという説もある（高橋，1987）。

機動細胞珪酸体は、葉身の葉脈（維管束）にそって背骨状に整然と並んでおり、基本的には一列でつながっているが（図2.2）、不規則に欠如している場合や、中央の左右に変形した小型のものが縦列している場合もある。

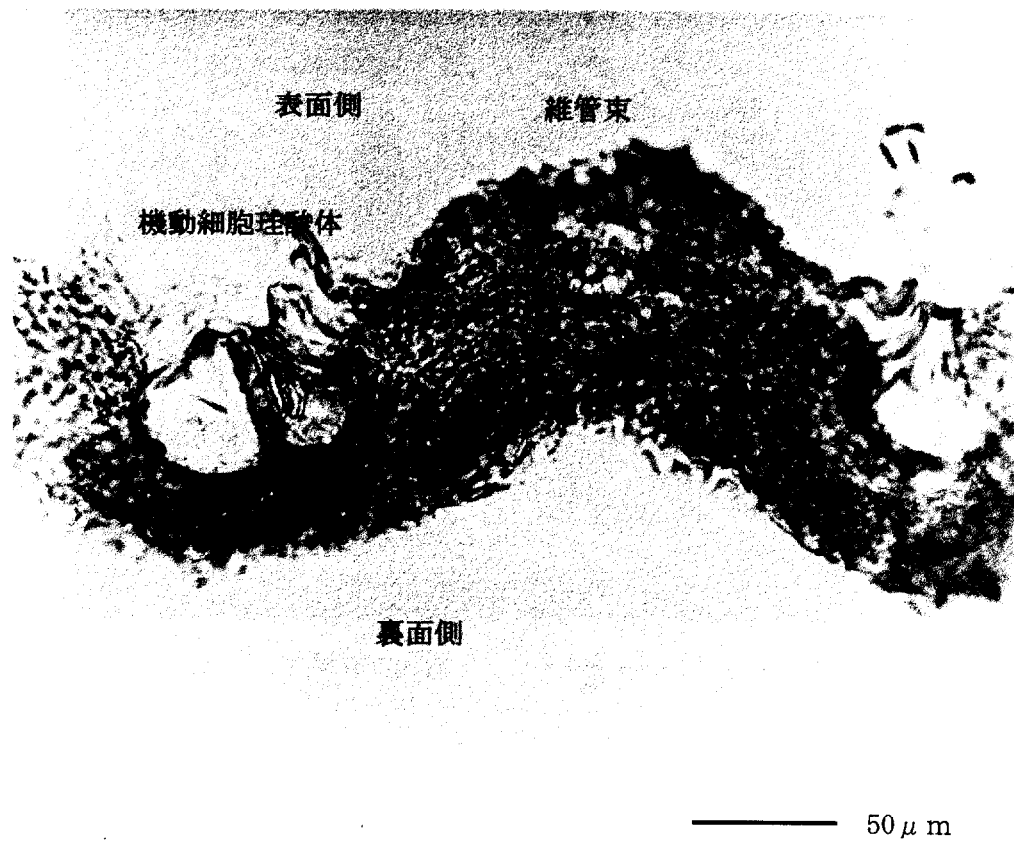


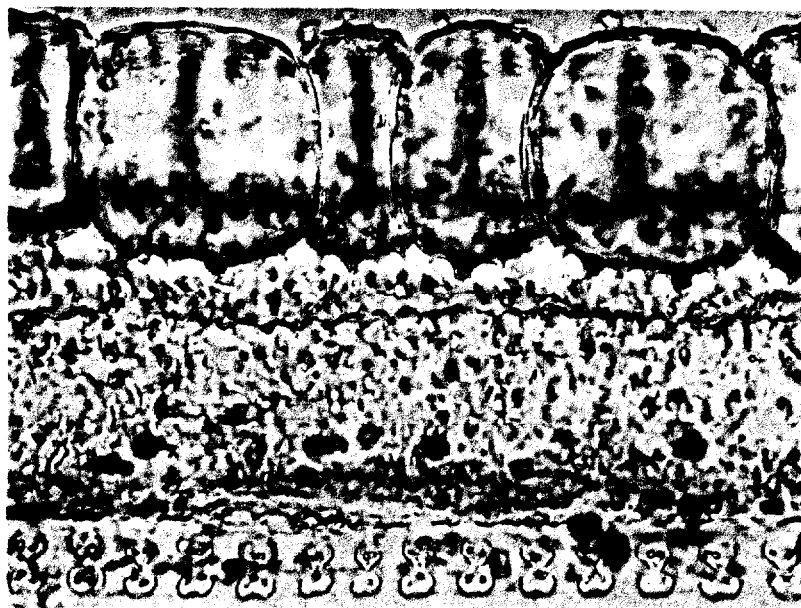
図2.1 イネ葉身の断面



機動細胞珪酸体

葉脈（維管束）

a イネ葉身の灰像 100 μ m



機動細胞珪酸体

短細胞珪酸体

b イネ葉身の灰像 50 μ m

図2.2 イネ葉身の灰像

2.3 植物珪酸体の形態記載

日本国内で一般的に見られる植物群のうち、比較的明瞭な植物珪酸体を形成するイネ科、タケ亜科、カヤツリグサ科および樹木について、おもな分類群の植物珪酸体の形態を記載する。表2.2に、ここで取り上げた植物のリストを示す。なお、現時点では植物珪酸体標本の整備や検討が十分ではないため、以下の記載は今後の研究によって追加や訂正がなされる余地を残している。

植物珪酸体の顕微鏡写真は、その分類群に特徴的と思われる形態のものを選んだが、植物珪酸体は同一葉内においても大きさや形態の変異が比較的大きいことから（図2.2b参照）、土壤中から検出されたものを同定する際には、標本のプレパラートを数多く観察して変異の幅を理解しておく必要がある。

I. 草本類 Nonarboreal

(1) イネ科 Family Gramineae

イネ科については、おもに機動細胞 (motor cell, bulliform cell) に由来する植物珪酸体を対象とした。植物分類と学名および記載の順番は、イネ科植物図鑑 (長田, 1993) に従った。この図鑑では、属 (Genus) の上位階級にあたる族 (Trib) を連とよぶことを提唱しており、本論文でもこれに従った。

イネ科植物の機動細胞珪酸体の断面形状は、扇形をしたものが多い。機動細胞珪酸体は、植物体中では扇形の尖った部分が表側に、弧の部分が葉身の裏側に向いていることから、前者を表面部、後者を裏面部とよんでいる。また、葉身の縦断面方向から見た面を断面、横断面方向から見た面を側面とよんでいる。図2.3に機動細胞珪酸体の各部の名称を示す。なお、機動細胞珪酸体の分類基準となる特徴は裏面側に現れることが多いことから、顕微鏡写真では裏面部を上にして示した。図2.4 (写真No.1 ~ No.63) におもな分類群の顕微鏡写真を示す。

1) イネ連 Trib. Oryzeae

イネ属イネ *Oryza sativa* No.1 ~ No.6

断面の形状は扇形もしくはイチヨウの葉形である。縦長は45 μ m前後。裏面部には亀甲状もしくはゴルフボール表面状の整然とした凹凸模様があり、側面突

表2.2a 本論文で植物珪酸体の形態を記載した植物

草本類 Nonarboreal

イネ科 Family Gramineae

イネ連 Trib. Oryzeae

イネ属イネ *Oryza sativa*

サヤヌカグサ属サヤヌカグサ *Leersia oryzoides*

サヤヌカグサ属アシカキ *Leersia japonica*

マコモ属マコモ *Zizania latifolia*

カラスムギ連 Trib. Aveneae

クサヨシ属クサヨシ *Phalaris Arundinacea*

コムギ連 Trib. Triticeae

コムギ属コムギ *Triticum aestivum*

オオムギ属オオムギ *Hordeum vulgare*

ダンチク連 Trib. Arundineae

ヨシ属ヨシ *Phragmites australis*

ヨシ属ツルヨシ *Phragmites japonica*

ダンチク属ダンチク *Arundo donax*

ヌマガヤ属 *Molinia*

スズメガヤ連 Trib. Eragrostideae

オヒシバ属シコクビエ *Eleusine coracana*

シバ属シバ *Zoisia japonica*

キビ連 Trib. Paniceae

キビ属キビ *Panicum miliaceum*

ヒエ属ヒエ *Echinochloa utilis*

ヒエ属イヌビエ *Echinochloa crus-galli*

エノコログサ属アワ *Setaria itarica*

エノコログサ属エノコログサ *Setaria viridis*

トダシバ連 Trib. Arundinalleae

トダシバ属トダシバ *Arundinella hirta*

ヒメアブラススキ連 Trib. Andropogoneae

ススキ属ススキ *Miscanthus sinensis*

チガヤ属チガヤ *Imperata cylindrica*

サトウキビ属サトウキビ *Saccharum sinense*

モロコシ属モロコシ *Sorghum bicolor*

ジュズダマ属ジュズダマ *Coix lacryma-jobi*

ジュズダマ属ハトムギ *Coix lacryma-jobi* var. *ma-yuen*

トウモロコシ属トウモロコシ *Zea mays*

表2.2b 本論文で植物珪酸体の形態を記載した植物

イネ科タケ亜科 Gramineae Subfam. Bambusoideae

クマザサ属チマキザサ節 *Sasa* Sect. *Sasa*

チマキザサ *Sasa paniculata*

クマザサ属チシマザサ節 *Sasa* Sect. *Macrochlamys*

チシマザサ・ネマガリダケ *Sasa kurilensis*

クマザサ属ミヤコザサ節 *Sasa* Sect. *Crassinodi*

ミヤコザサ *Sasa nipponica*

エゾミヤコザサ *Sasa apoensis*

メダケ属ネザサ節 *Pleiochloa* Sect. *Nezasa*

アズマネザサ *Pleiochloa chino*

メダケ属メダケ節 *Pleiochloa* Sect. *Medake*

メダケ *Pleiochloa simoni*

メダケ属リュウキュウチク節 *Pleiochloa* Sect. *Pleiochloa*

アズマザサ属 *Sasaella*

ヤダケ属ヤダケ *Pseudosasa japonica*

カンチク属 *Chimonobambusa*

ホウライチク属ホウオウチク *Bambusa glaucescens*

マダケ属マダケ *Phyllostachys bambusoides*

シホウチク属シホウチク属 *Tetragonocalamus*

ナリヒラダケ属 *Semiarundinaria*

トウチク属トウチク属 *Sinobambusa*

オカメザサ属オカメザサ属 *Shibataea*

インヨウチク属 *Hibanobambusa*

カヤツリグサ科 Family Cyperaceae

スゲ属 *Carex*

樹木 Arboreal

ブナ科 Family Fagaceae

シイ属スダジイ *Castanopsis sieboldii*

コナラ属アカガシ亜属 *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis*

コナラ属アカガシ *Quercus acuta*

ブナ属 *Fagus*

コナラ属コナラ亜属 *Quercus* subgen. *Lepidobalanopsis*

クスノキ科 Family Lauraceae

ハマビワ属バリバリノキ *Litsea acuminata*

タブノキ属タブノキ *Machilus thunbergii*

マンサク科 Family Hamamelidaceae

イスノキ属イスノキ *Distylium rasemosum*

モクレン科 Family Magnoliaceae

モクレン属ハクモクレン *Magnolia denudata*

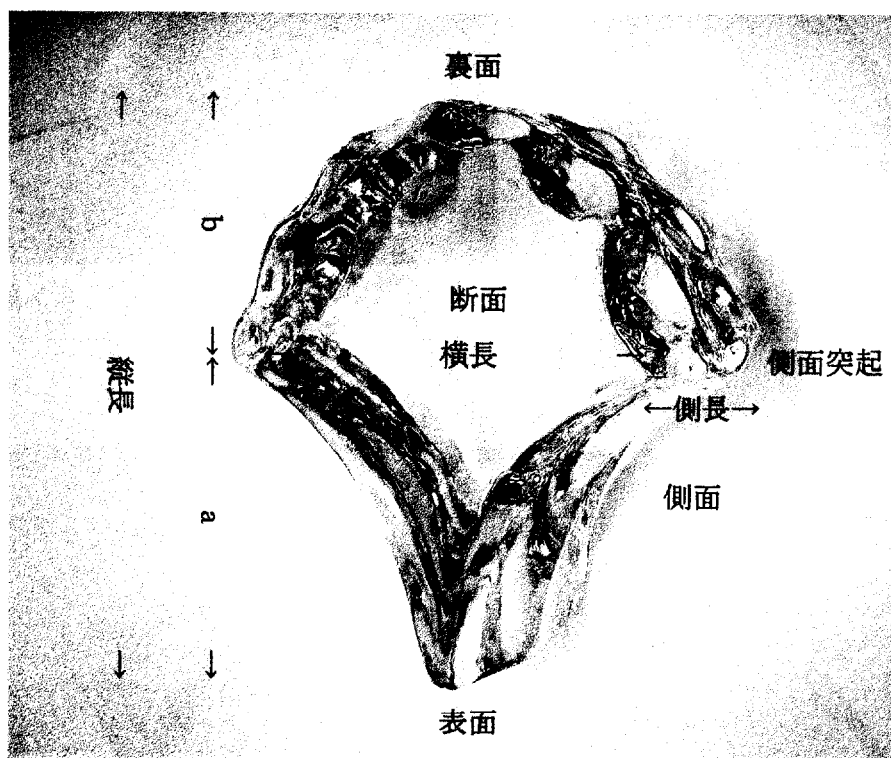
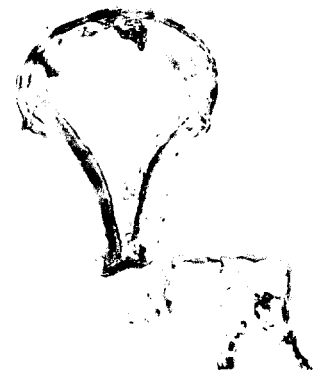


図2.3 機動細胞珪酸体の各部の名称



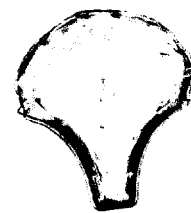
1 イネ属イネ



2 イネ属イネ



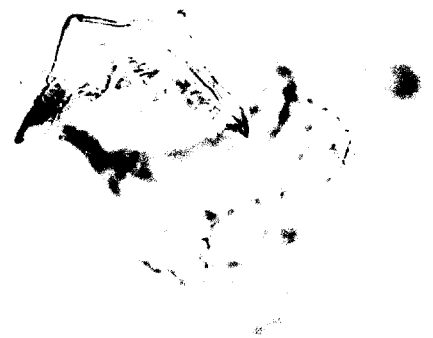
3 イネ属イネ



4 イネ属イネ



5 イネ苗 (生育初期)



6 イネ初 (穎) の表皮細胞

図2.4a 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

起が比較的明瞭で、表面先端部には溝状のわずかな窪みがある。機動細胞珪酸体の表面側と裏面側との比率 (b/a) など微細な形態の違いから、亜種レベル (ジャポニカ、インディカなど) の同定も可能である (藤原・佐々木, 1978 ; 藤原ほか, 1990)。

生育初期 (苗の段階) の葉身に含まれる機動細胞珪酸体 (No.5) は、縦長が $30\mu\text{m}$ 前後と明らかに小型であり、形状が未熟なものや縦長に対する横長の比率が大きいものが多く含まれている。これらの形態的特徴から、生育中後期 (分けつ開始期以降) のもの (No.1~No.4) とは明瞭に識別される (杉山, 1998)。

イネの籾殻 (穎 husk) の表皮細胞 (No.6) には、2細胞性の特徴的な乳様突起があり、その裏側 (基部) は丸く凹んでいる。大きさは $50\mu\text{m}$ 前後。

サヤヌカグサ属サヤヌカグサ *Leersia oryzoides* No.7

イネに類似しているが、表面側の先端部が丸みを帯びており溝状の凹みが見られないことや、側面突起が不明瞭であることなどからイネと識別される。裏面部の亀甲状の凹凸模様は比較的浅くなめらかである。

サヤヌカグサ属アシカキ *Leersia japonica* No.8

イネに類似しているが、側面突起や表面突起が発達しており、裏面部の凹凸模様が荒いことなどからイネと識別される。

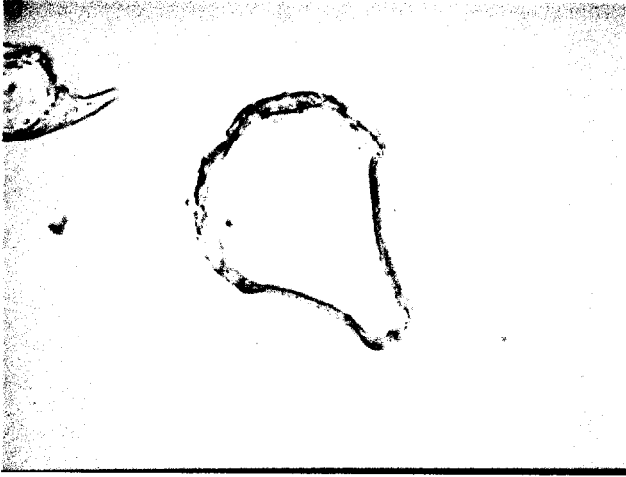
マコモ属マコモ *Zizania latifolia* No.9

ヨシ属 (No.12~No.14) に類似しているが、裏面部が先端に向けて尖り気味である。縦長は $40\sim 50\mu\text{m}$ 程度で、ヨシ属よりも小さい。

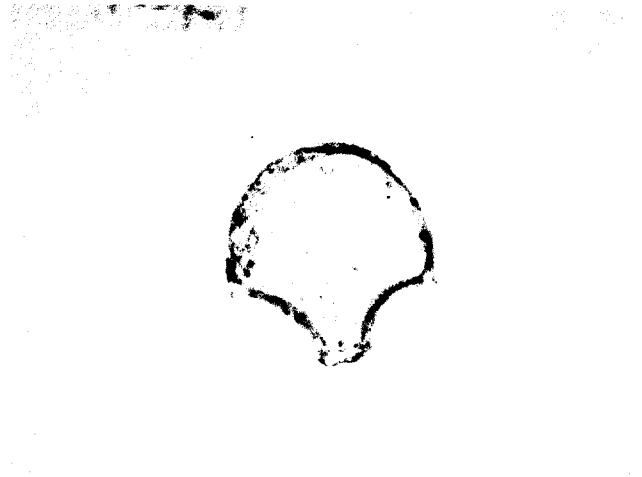
2) カラスムギ連 Trib. Aveneae

クサヨシ属クサヨシ *Phalaris Arundinacea* No.10, No.11

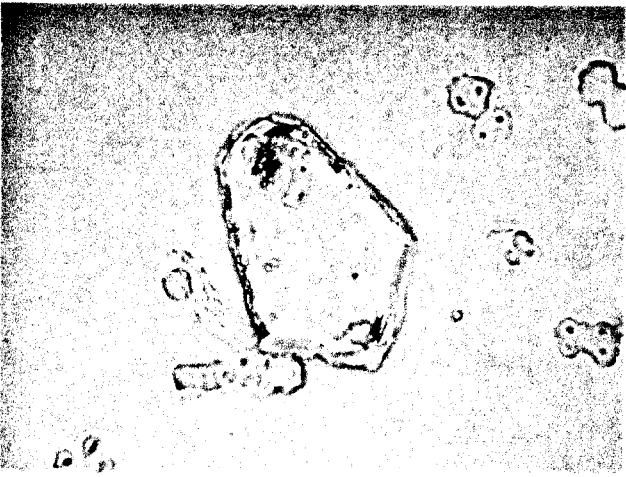
キビ属 (No.19~No.21) に類似しているが、裏面部の凹凸模様がキビ属よりも明瞭で細かい。



7 サヤヌカグサ属サヤヌカグサ



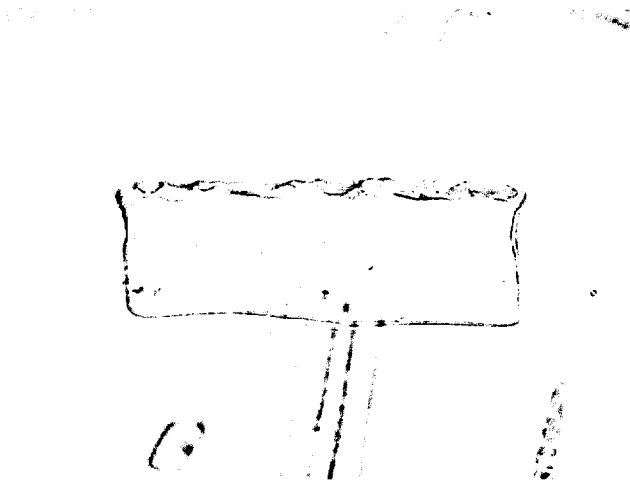
8 サヤヌカグサ属アシカキ



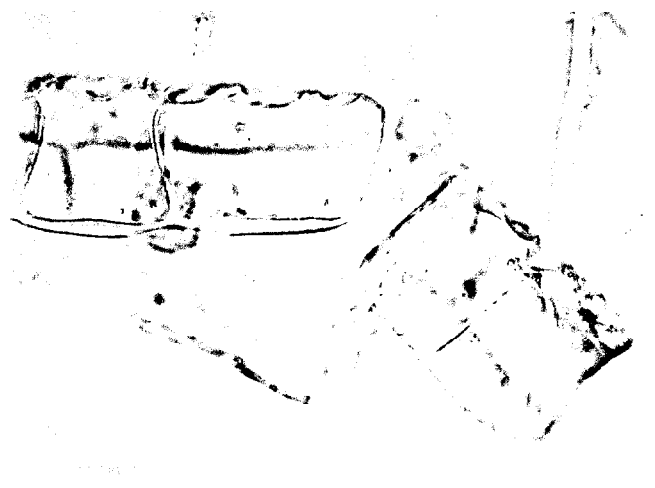
9 マコモ属マコモ

図2.4b 植物珪酸体の顕微鏡写真

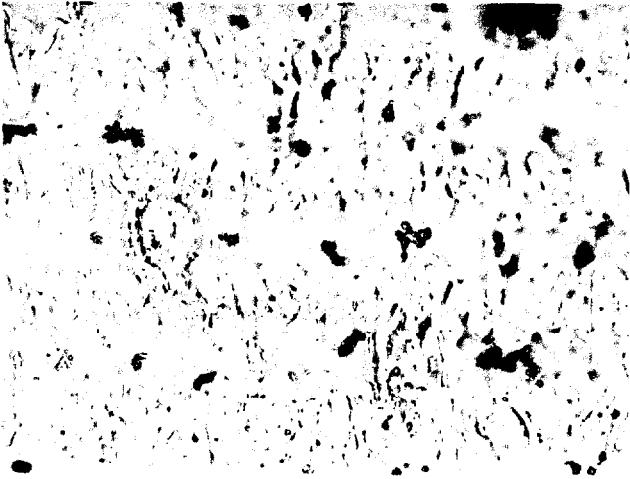
————— 50 μ m



10 クサヨシ属クサヨシ



11 クサヨシ属クサヨシ



12 コムギ属コムギ (穎の表皮細胞)



13 オオムギ属オオムギ (穎の表皮細胞)

図2.4c 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

3) コムギ連 Trib. Triticeae

機動細胞珪酸体の発達が悪く密度も低い。コムギ属やオオムギ属では、穎の表皮細胞（長細胞）に明瞭な植物珪酸体が形成される。

コムギ属コムギ *Triticum aestivum* No.12

穎の表皮細胞に由来する植物珪酸体は、長軸40~50 μ m程度、幅10 μ m程度であり、長軸の縁部には特徴的な鋸歯状の突起がある。

オオムギ属オオムギ *Hordeum vulgare* No.13

穎の表皮細胞に由来する植物珪酸体は、コムギと類似しているが、コムギよりも全体的に小型で細く、鋸歯状の突起も小さい。

4) ダンチク連 Trib. Arundineae

ヨシ属ヨシ *Phragmites australis* No.14, No.15

裏面部の比率が非常に大きく、断面の形状は小判のように見える。縦長は80 μ m前後と大型であるが、側長は30 μ m程度であり、断面部が皿状に凹んでいるものが多い。裏面部の縁はなめらかで、表面部の先端は丸みを帯びている。

ヨシ属ツルヨシ *Phragmites japonica* No.16

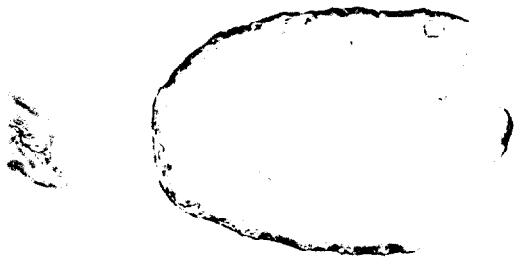
ヨシに類似しているが、縦長は50 μ m程度と比較的小型で、裏面部の縁に細かな複数の窪みが認められる。

ダンチク属ダンチク *Arundo donax* No.17

ヨシ属に類似しているが、裏面部の比率はヨシ属よりも小さく、裏面部の中央部付近に1つないし2つの大きな窪みがある。側面部に微細な凹凸模様が認められる。

ヌマガヤ属 *Molinia* No.18

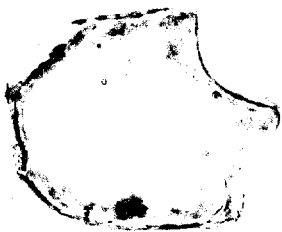
断面の形状はイチヨウの葉形であり、表面部は丸みを帯びている。縦長は35~55 μ m、側長は40~50 μ m程度で、裏面に浅く微細な凹凸模様が認められる。



14 ヨシ属ヨシ



15 ヨシ属ヨシ



16 ヨシ属ツルヨシ



17 ダンチク属ダンチク



18 ヌマガヤ属

図2.4d 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

5) スズメガヤ連 Trib. Eragrostideae

オヒシバ属オヒシバ *Eleusine indica*

断面の形状はシコクビエに類似しているが、縦長は30~40 μm 程度と小型である。相対的に側長が長く、円柱状に見えるものが多い。

オヒシバ属シコクビエ *Eleusine coracana* No.19

断面の形状は、弧の部分が円に近いイチヨウの葉形で、裏面部の中央に大きな凹みがあるものが多い。縦長は40~50 μm 、側長は35~50 μm 程度で、裏面部~側面部には明瞭な凹凸模様がある。相対的に側長が長く、円柱状に見えるものがある。

シバ属シバ *Zoisia japonica* No.20

断面の形状は、弧の中央部が大きく窪んだイチヨウの葉形であり、表面側の先端部は丸みを帯びている。縦長は40 μm 程度とやや小型。

6) キビ連 Trib. Paniceae

基本的には丸みを帯びた直方体（食パン状もしくは芋虫状）で、裏面部に亀甲状の凹凸模様がある。断面の形状や裏面部の凹凸模様の大小などから、典型的な形態のものについては属レベルでの同定が可能である（杉山ほか, 1988）。

キビ属キビ *Panicum miliaceum* No.21~No.23

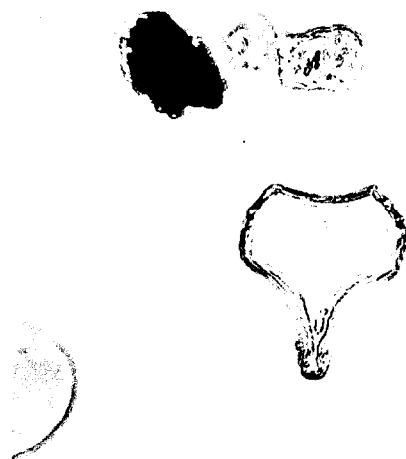
断面の形状は扇形もしくはイチヨウの葉形のものが多く、側面の稜線が明瞭である。裏面部の凹凸模様はヒエ属よりも彫りが深く明瞭である。縦長は40 μm 、横長は30 μm 、側長は65~75 μm 程度。

ヒエ属ヒエ *Echinochloa utilis* No.24, No.25

断面の形状は丸みを帯びた扇形や卵形のものが多く、側面突起は不明瞭である。裏面部の凹凸模様は比較的大きく明瞭である。縦長は35~45 μm 、横長は25~40 μm 、側長は60~80 μm 程度で、キビ連の中では比較的大型である。



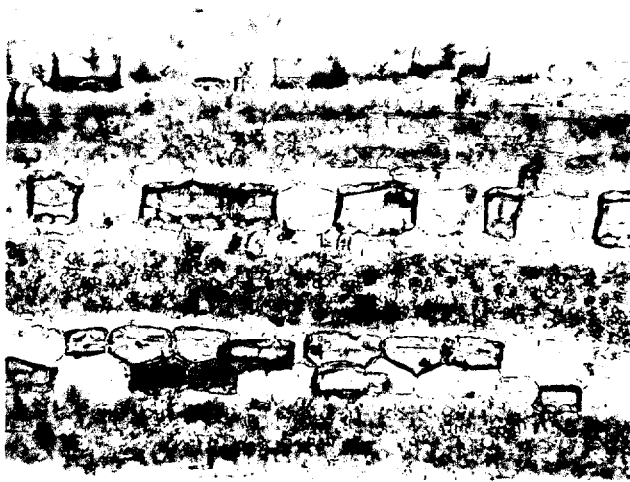
19 オヒシバ属シコクビエ



20 シバ属シバ属

図2.4e 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m



21 キビ属キビの葉身の灰像



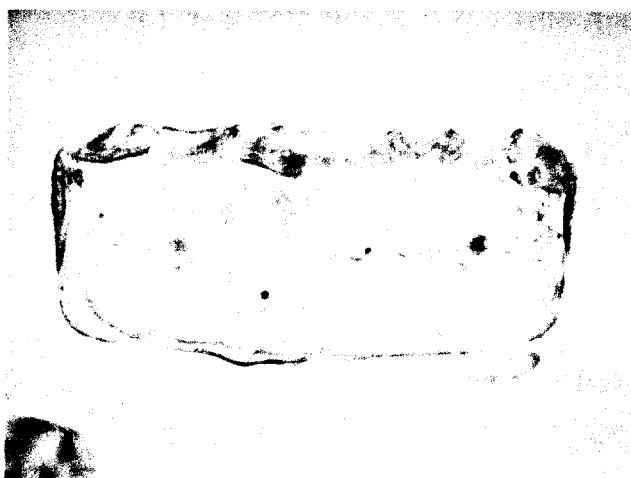
22 キビ属キビ



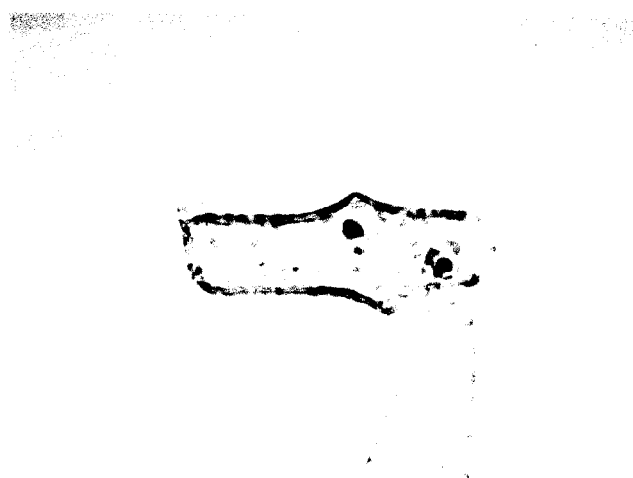
23 キビ属キビ



24 ヒエ属ヒエ



25 ヒエ属ヒエ



26 エノコログサ属アワ

図2.4f 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

ヒエ属イヌビエ *Echinochloa crus-galli*

ヒエと極めて類似しているが、ヒエよりも横長がやや小さい傾向が認められる。ヒエの野生種と考えられており（坂本，1988）、両者の識別は困難である。

エノコログサ属アワ *Setaria itarica* No.26

キビ属やヒエ属と比較して断面形状が小さく、縦長/側長が約2.0以上で相対的に細長く見える。裏面部の模様は輪郭がなめらかで不明瞭である。縦長は30 μm 、横長は25~30 μm 、側長は50~70 μm 程度である。

エノコログサ属エノコログサ *Setaria viridis*

アワと極めて類似しているが、アワよりも側長が長い傾向が認められる。アワの野生種と考えられており（坂本，1988）、両者の識別は困難である。

7) トダシバ連 Trib. Arundinalleae

トダシバ属トダシバ *Arundinella hirta* No.27, No.28

断面の形状は弧の部分が短い扇形であり、表面部の先端は丸みを帯びている。裏面部の凹凸模様はやや不明瞭である。縦長は60 μm 、横長は50 μm 、側長は30 μm 程度。

8) ヒメアブラススキ連 Trib. Andropogoneae

ススキ属ススキ *Miscanthus sinensis* No.29, No.30

断面の形状は、丸みを帯びた扇型および卵形などがあり変異が大きい。縦長は45 μm 、横長は40 μm 、側長は40 μm 程度であるが、側長が60 μm 以上でヒエ属のように見えるものもある。

チガヤ属チガヤ *Imperata cylindrica* No.31

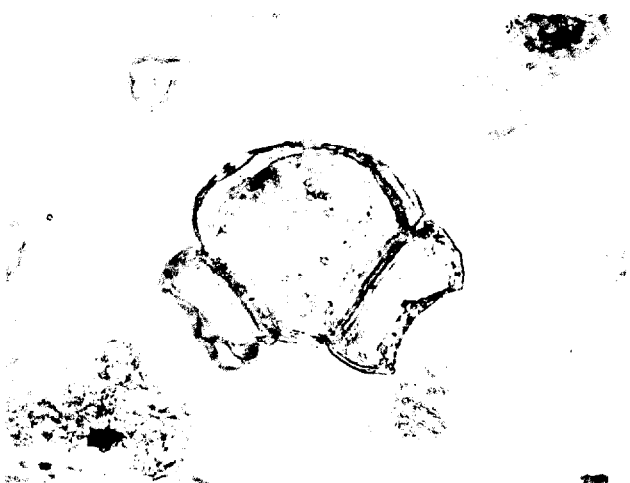
断面の形状は、丸みを帯びた扇型およびその胴部の片方がくびれたものなど変異が大きい。裏面部に浅い窪みがあるものが多い。縦長は45 μm 前後であるが、60 μm 以上のものも含まれる。



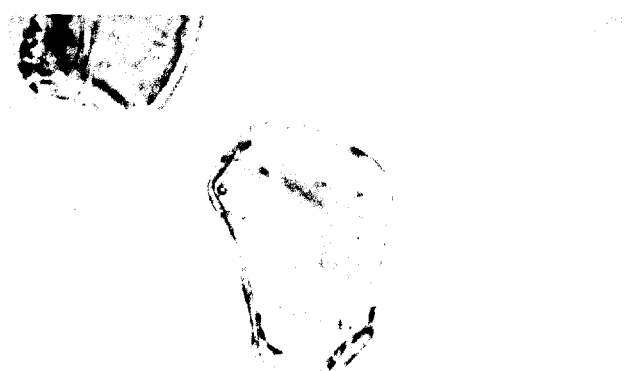
27 トダシバ属トダシバ



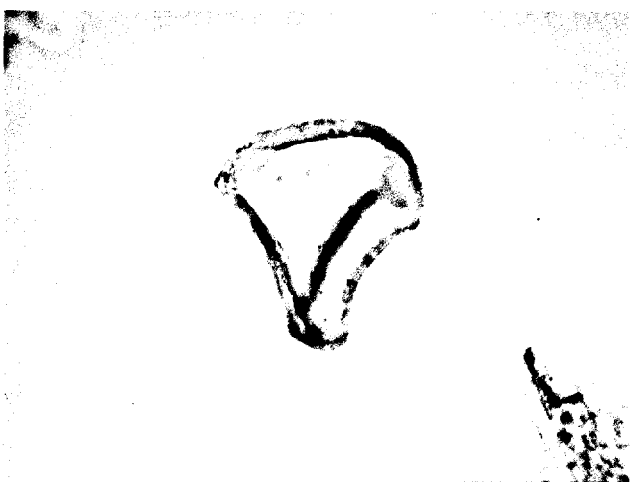
28 トダシバ属トダシバ



29 ススキ属ススキ



30 ススキ属ススキ



31 チガヤ属チガヤ

図2.4g 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

サトウキビ属サトウキビ *Saccharum sinense*

断面の形状はチガヤ属に類似しているが、縦長は $80\mu\text{m}$ 前後とかなり大型である。裏面部に比較的明瞭な凹凸模様がある。

モロコシ属モロコシ *Sorghum bicolor* No.32, No.33

断面の形状はジュズダマ属に類似しており、側面突起が明瞭である。裏面部に比較的明瞭な凹凸模様がある。縦長は $30\mu\text{m}$ 、横長は $30\mu\text{m}$ 、側長は $30\sim 40\mu\text{m}$ 程度で、ジュズダマ属よりもやや小型である。

ジュズダマ属ジュズダマ *Coix lacryma-jobi* No.34

断面は、表面部が広く偏平な独特の形状で、側面突起が比較的明瞭である。裏面部に明瞭な凹凸模様がある。縦長は $40\mu\text{m}$ 、横長は $45\mu\text{m}$ 、側長は $30\sim 40\mu\text{m}$ 程度。

ジュズダマ属ハトムギ *Coix lacryma-jobi* var. *ma-yuen* No.35

ジュズダマに類似しているが、ジュズダマよりもやや大型のものが多い。ジュズダマの栽培種と考えられており、両者の識別は困難である。

トウモロコシ属トウモロコシ *Zea mays* No.36, No.37

断面の形状は、丸みを帯びた楔型のものが多く、縦長は $80\mu\text{m}$ 前後と大型である。トウモロコシは、短細胞に由来する大型の十字形珪酸体や、特徴的な気孔間細胞 (No.37) でも同定が可能である (塚田, 1980)。



32 モロコシ属モロコシ



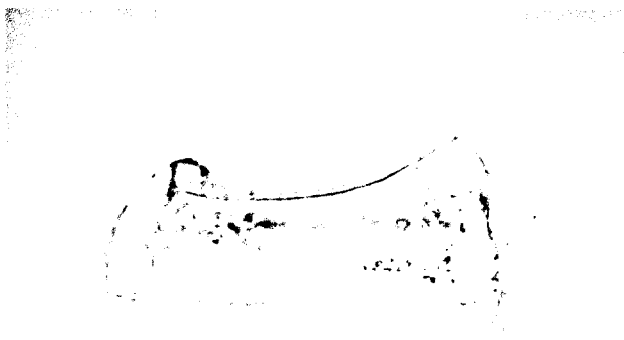
33 モロコシ属モロコシ



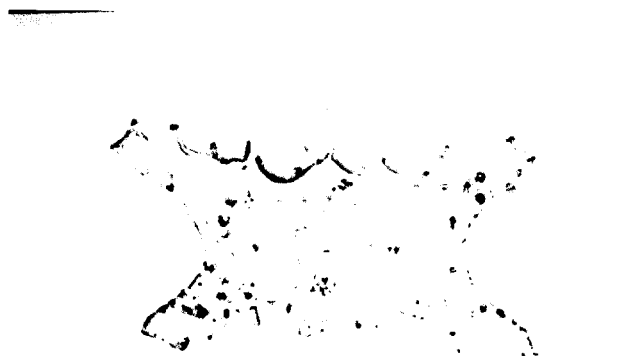
34 ジュズダマ属ジュズダマ



35 ジュズダマ属ハトムギ



36 トウモロコシ属トウモロコシ



37 トウモロコシ属トウモロコシ

図2.4h 植物珪酸体の顕微鏡写真

50 μ m

(2) イネ科タケ亜科 Gramineae Subfam. Bambusoideae

タケ亜科植物（竹笹類）は、気候条件などの環境要因の違いによって棲み分けをしており、過去の気候環境を研究する上で極めて重要な植物群である。しかし、タケ亜科植物の分類は、研究者によって分類基準が異なるなど不明確な部分がある。その原因として、竹笹類の開花周期は数十年に一度であり花の構造を基本としている現在の植物分類学では研究が進めにくいこと、花の形態が異種間でほとんど同じであり種の分類を栄養器官に頼っていること、栄養器官は生育環境によって変化がおりやすく季節的な変化や個体変異が著しいこと（鈴木, 1978）、およびタケ亜科には属間雑種が存在している（柏木, 1991）ことなどがあげられる。タケ亜科植物は、植物珪酸体の形態から属（Genus）さらに節（Section）レベルで同定されるが（杉山, 1985；杉山・藤原, 1986；杉山, 1987b）、植物分類の側にこのような問題があることを考慮しておく必要がある。本研究では、室井（1960）の分類に柏木（1991）の研究成果を取り入れた富士竹笹植物園の分類（表2.3）に従った。

タケ亜科の機動細胞珪酸体は、その形態から大きくAタイプとBタイプに分けられる。前者は立体的であり比較的小型で裏面部に明瞭な稜線があるもの、後者は平面的であり比較的大型で裏面部の稜線が不明瞭なものである。

Aタイプは、断面の形状などからさらにA1, A2, A3の3つに細分できる。すなわち、A1タイプは裏面部が丸みを帯びているもの、A2タイプは裏面部が尖り気味のもの、A3は裏面部に亀甲状の凹凸模様があるものである。A1タイプのうちA1aタイプは、側長が35 μ m前後と大きく裏面部の稜線が特に明瞭なことで他と区別される。A1aタイプにはメダケ属ネザサ節とシホウチク属、A2タイプにはマダケ属とホウライチク属が含まれる。

Bタイプは、断面の形状などからさらにB1, B2, B3の3つに細分される。すなわち、B1タイプは断面の形状がヨシ属に類似したものおよび表面側が大きく開いた特殊な形態のもの、B2タイプは断面の形状がやや細長い扇型のものである。B1aタイプにはクマザサ属（ミヤコザサ節以外）、B1bタイプにはクマザサ属ミヤコザサ節、B2タイプにはメダケ属メダケ節、メダケ属リュウキュウチク節、ヤダケ属が含まれる。

表2.4に、機動細胞珪酸体の形態によるタケ亜科植物の分類基準を示す。なお、

これらの記号による分類基準は感覚的に理解しにくいため、通常はA1aタイプをネザサ節型、A2タイプをマダケ属型、B1aタイプをクマザサ属型、B1bタイプをミヤコザサ節型、B2タイプをメダケ節型とよんでいる。表中の a/b は、機動細胞珪酸体の側面突起を境として計測した表面側（a）と裏面側（b）との比率であり、断面形状の特徴を表している（図2.3参照）。

表2.3 タケ亜科植物の系統分類（柏木，1991）

竹類
マダケ属
トウチク属
シカクダケ属
オカメザサ属

笹類
カンチク属
メダケ属
ヤダケ属
クマザサ属
インドカラムス属

バンブー類
ホウライチク属
マチク属

属間雑種
ナリヒラダケ属（マダケ属＋メダケ属）
インヨウチク属（マダケ属＋クマザサ属）
アズマザサ属（メダケ属＋クマザサ属）

表2.4 機動細胞珪酸体の形態によるタケ亜科植物の分類（杉山，1987を改変）

Aタイプ（竹類、パンブー類、笹類の一部）

小型で立体的。裏面の稜線が明瞭。縦長/側長が2.0より小さい。a/bが1.0以上。

1. 裏面側が丸みを帯びている。

- a. メダケ属ネザサ節 *Pleioblastus* sect. *Nezasa*（アズマネザサ *Pleioblastus chino*） No.40, No.41

側長が35 μ m前後とタケ亜科の中で最大。裏面の稜線の間隔は7~8 μ mとやや狭い。

シホウチク属 *Tetragonocalamus*

側長は25 μ m、裏面の稜線の間隔は10 μ m程度。裏面の頂が平坦なものが多い。

- b. トウチク属 *Sinobambusa*

表面突起が発達している。縁部に突起が多い。

- c. オカメザサ属 *Shibataea*

表面の幅が広いものが多く、独特な形状。

- d. カンチク属 *Chimonobambusa*

縦長が30 μ m程度とタケ亜科で最小。裏面の頂が平坦もしくは窪んでいる。

2. 裏面側が尖り気味。

マダケ属 *Phyllostachys*（マダケ *Phyllostachys bambusoides*） No.48

表面側の曲線が滑らかで、断面が細長く見える。側面突起が発達している。

ホウライチク属 *Bambusa*（ホウオウチク *Bambusa glaucescens*） No.49

マダケ属よりもやや大型で、裏面側が尖りが明瞭である。

3. 裏面側に凹凸模様がある。

Sinarundinaria

Arundinaria

Bタイプ（笹類）

大型で平面的。裏面の稜線が不明瞭。縦長/側長が2.0より大きい。a/bが0.2未満のものが多い。

1. a/bが小さく特異な断面形状。

- a. クマザサ属チシマザサ節 *Sasa*（チシマザサ・ネマガリダケ *Sasa kurilensis*） No.42, No.43

縁部が荒い。側長が12 μ mと小さく、縦長/側長が4.7程度と特に大きい。a/bが0.2未満の割合が90%。

クマザサ属チマキザサ節 *Sasa*（チマキザサ *Sasa paniculata*） No.44

縁部は比較的滑らか。a/bが0.2未満の割合が80%。

クマザサ属スズタケ節 *Sasa*

- b. クマザサ属ミヤコザサ節 *Sasa* sect. *Miyakozasa* No.45, No.46

（ミヤコザサ *Sasa nipponica* / エゾミヤコザサ *Sasa apoiensis*）

縦長が34 μ m程度と小さい。縦長/側長が2.0前後と小さい。

2. 断面の形状が扇形。縦長が50 μ mと大きい。

- a. メダケ属メダケ節 *Pleioblastus* sect. *Medake*（メダケ *Pleioblastus simoni*） No.38, No.39

側長が25 μ m前後と比較的大きい。裏面の稜線が比較的明瞭。

- b. メダケ属リュウキュウチク節 *Pleioblastus*

側長が14 μ m前後と小さい。

ヤダケ属 *Pseudosasa*（ヤダケ *Pseudosasa japonica*） No.47

縁部に波状に突起がある。長方形の中央部がくびれた断面形状のものが含まれる。

ABタイプ（竹類、笹類）

同一葉中にAタイプとBタイプが混在する。

ナリヒラダケ属 *Semiarundinaria*

AタイプとB2タイプ（やや小型）が混在する。裏面の火炎状の突起を持つものがある。

インヨウチク属 *Hibanobambusa*

A2タイプが主でBタイプを少量含む。

アズマザサ属アズマザサ節 *Sasaella*

種間差が大きく不斉一。

アズマザサ属ハコネメダケ節 *Sasaella*

A1タイプが主でB2タイプを少量含む。



38 メダケ属メダケ



39 メダケ属メダケ



40 メダケ属アズマネザサ



41 メダケ属アズマネザサ



42 クマザサ属チシマザサ



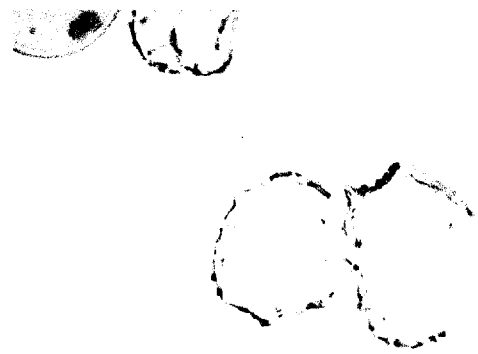
43 クマザサ属チシマザサ

図2.4i 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m



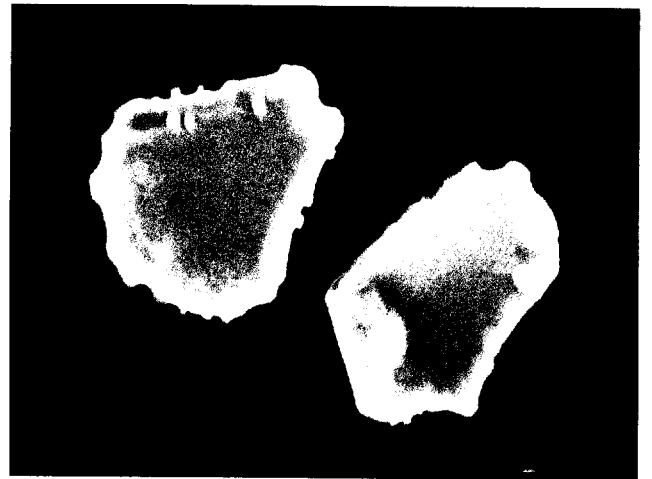
44 クマザサ属チマキザサ



45 クマザサ属ミヤコザサ



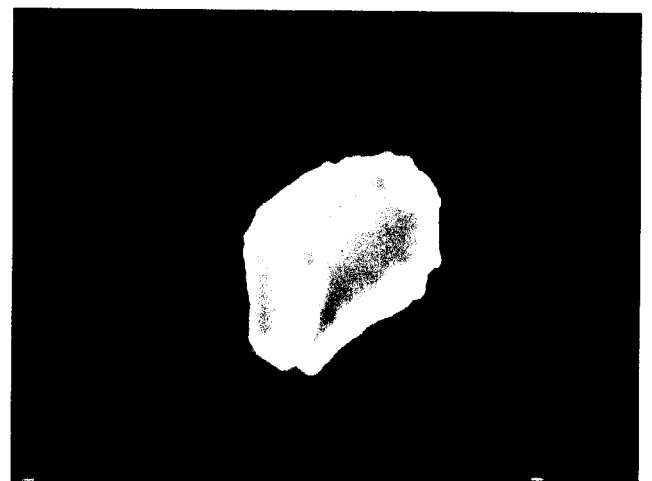
46 クマザサ属エゾミヤコザサ



47 ヤダケ属ヤダケ



48 マダケ属マダケ



49 ホウライチク属ホウオウチク

図2.4j 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

(3) カヤツリグサ科 Family Cyperaceae

カヤツリグサ科には23属が含まれるが、植物珪酸体の発達が良い分類群は限られており、植物珪酸体標本の検討はあまり行われていない。ここでは、土壌中から一般的に検出されるスゲ属について記載する。

スゲ属 Carex No.53

断面の形状は、側面が内側に湾曲した食パン状である。表面部は横長と同程度に大きく開いており、やや内側に湾曲している。裏面部に凹凸模様が認められるが不明瞭である。縦長は $45\mu\text{m}$ 、横長は $40\mu\text{m}$ 、側長は $70\mu\text{m}$ 程度と大型である。イネ科のヒエ属に類似した形態のものがあるが、スゲ属は表面部が比較的広く、内側に湾曲していることなどで識別される。

(4) その他 Others

表皮毛起源 Husk hair origin No.50

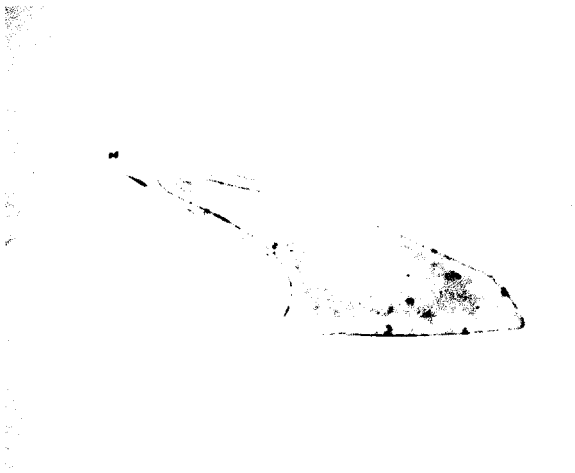
とげ状またはくちばし状。イネ科をはじめ多くの植物の表皮毛細胞で形成される。イネの穎の剛毛に由来するものは特に大型であり、ニレ科やクワ科などの樹木葉でも特徴的な表皮毛起源の植物珪酸体が形成される(杉山, 1987a)。

棒状珪酸体 Rod-shaped No.51

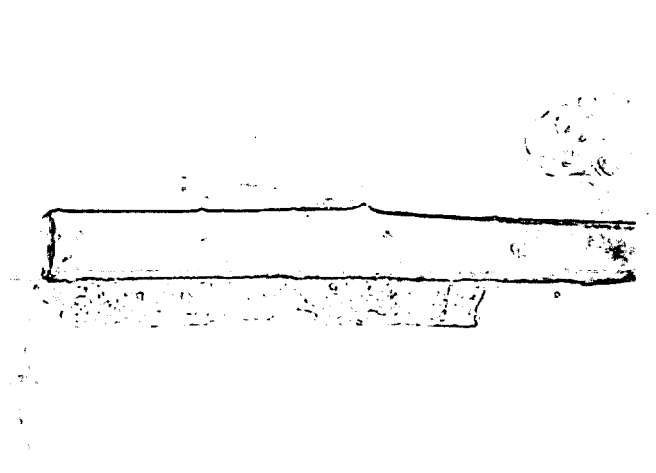
イネ科の結合組織細胞や維管束細胞などで形成される棒状の植物珪酸体。径の太さや断面の形、側面突起の有無などからいくつかのタイプに分類できる。イネ籾の芒に由来するものは、とくに大型で長い。

茎部起源 Stem origin No.52

偏平な板かまぼこ状で、長軸方向に2～3本の棟をもつ。長軸方向の長さは $80\mu\text{m}$ 以上と大型である。ヨシなどの葉鞘や茎部で形成される。



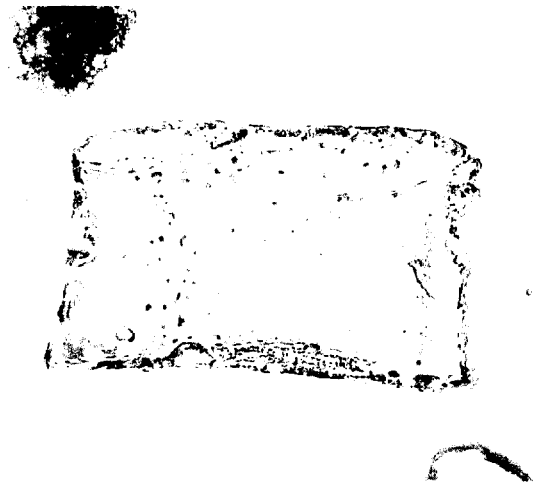
50 表皮毛起源



51 イネ粕の芒



52 ヨシ属の茎部起源



53 カヤツリグサ科スゲ属

図2.4k 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

II. 樹木起源 Arboreal

樹木起源の植物珪酸体は、維管束細胞、表皮細胞、表皮毛細胞などで形成され、各分類群に特徴的な形態を持っている（近藤，1975；近藤・隅田，1978；近藤・ピアスン，1981）。ここでは、本論文に関係した主要な分類群について形態記載を行う。

（5）ブナ科 Family Fagaceae

シイ属スダジイ *Castanopsis sieboldii* No.54

塊状もしくは紡錘状で、全面にスプーンで欠いたような多数の凹みがあり、網目状の棟を形成している。大きさは70~80 μ m前後。

コナラ属アカガシ亜属 *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis*（アカガシ *Quercus acuta*） No.55

葉脈を構成する「へ」の字状もしくは枝分かれした細い棒状（撚りひも状）の植物珪酸体で、主に片面に波状の凹凸がある。長さは70 μ m以上。

ブナ属 *Fagus* No.56

葉の表皮細胞で形成される、はめ絵パズル状（Jigsaw puzzle shaped）の植物珪酸体。

コナラ属コナラ亜属 *Quercus* subgen. *Lepidobalanopsis* No.57

葉の表皮細胞で形成される、多角形板状（Polygonal plate shaped）の植物珪酸体。

（6）クスノキ科 Family Lauraceae

ハマビワ属バリバリノキ *Litsea acuminata* No.58

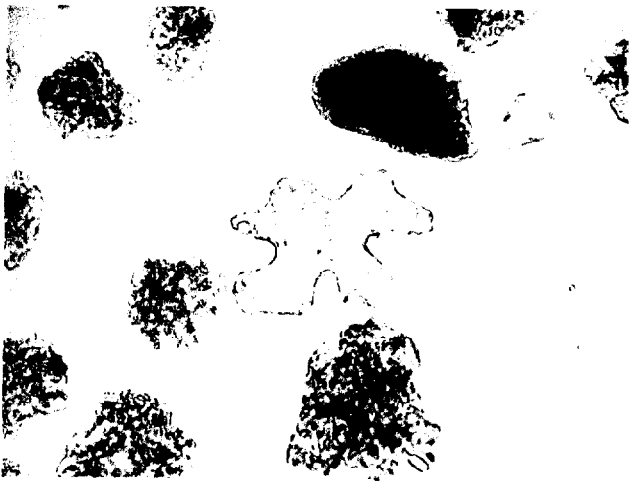
葉脈を構成する「へ」の字状もしくはブーメラン状の植物珪酸体で、弧の内側にスプーンで欠いたような多数の大きな窪みがある。長さは100 μ m以上と大型である。



54 シイ属スダジイ



55 コナラ属アカガシ亜属アカガシ



56 ブナ属



57 コナラ属



58 ハマビワ属バリバリノキ



59 タブノキ属タブノキ

図2.41 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

タブノキ属タブノキ *Machilus thunbergii* No.59

ハマビワ属に類似しているが、紡錘状のものが多い。長さは100 μ m程度。

(7) マンサク科 Family Hamamelidaceae

イスノキ属イスノキ *Distylium racemosum* No.60, No.61

葉脈を構成する円柱状もしくは枝分かれした太い棒状の植物珪酸体で、表面は平滑である。長さは100 μ m以上と大型のものが多い。

(8) モクレン科 Family Magnoliaceae

モクレン属ハクモクレン *Magnolia denudata* No.62

紡錘状で、全面にスプーンで欠いたような多数の窪みがあり、網目状の棟を形成している。シイ属に類似しているが、全体の形が扁平であり網目状の棟が細く鋭いことで識別される。

III. 海綿骨針 Opal Sponge Spicules No.63

海綿骨針は、ある種の海綿動物の骨格に由来する珪酸質化石である。動物珪酸体 (Animal Opal) の範疇であるが、土壤中から検出されることが多いことから取り上げた。写真に示したのは、尋常海綿に由来する2軸型 (diaxon type) のものである (宇津川ほか, 1979; 宇津川・上条, 1980a,b)。海綿骨針については、堆積環境との関係で未解明な部分が多い。遺跡調査では、住居跡の床面から海綿骨針が多量に検出される場合があり、クッションやスポンジなどの用途で古くから利用されていたようである。



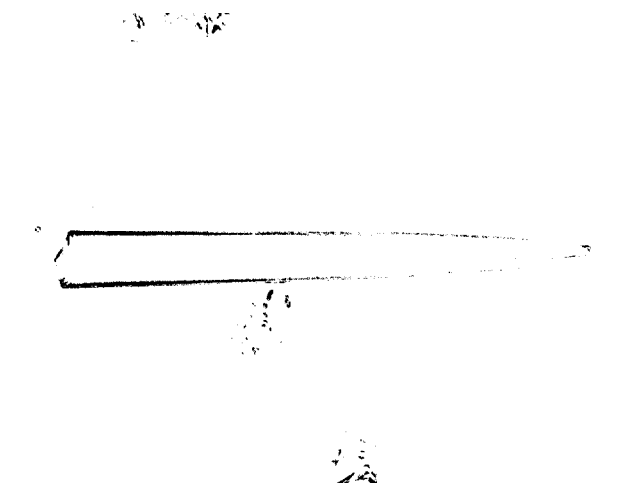
60 イスノキ属イスノキ



61 イスノキ属イスノキ



62 モクレン属ハクモクレン



63 海綿骨針

図2.4m 植物珪酸体の顕微鏡写真

————— 50 μ m

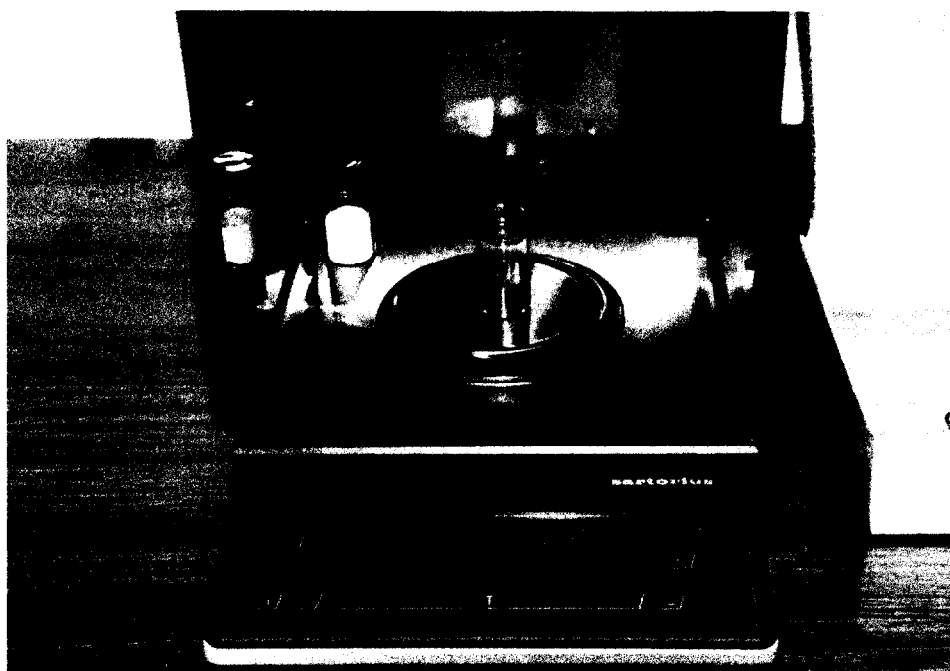
2.4 土壌からの植物珪酸体抽出法

土壌から植物珪酸体を抽出する方法には、研究対象とする植物珪酸体の種類や研究目的によっていくつかの方法があるが、本研究では機動細胞珪酸体に着目して開発されたプラント・オパール定量分析法（藤原，1976）に基づいて処理を行った。図2.5に、実験室における分析処理状況の写真を示す。

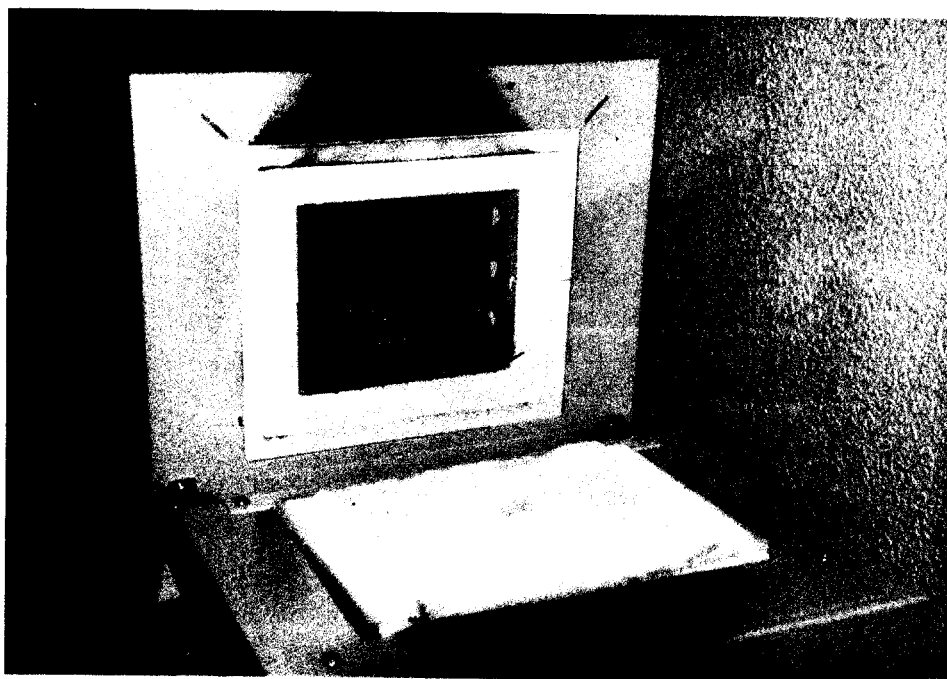
- 1) 定温乾燥機で試料を乾燥（110℃，24時間）
- 2) 採土管（容量50cm³）で採取した試料について仮比重測定
- 3) サンプル瓶に試料約1 g（0.1mgの精度で秤量）を入れる
- 4) 試料1 gに対してガラスビーズ（直径約40μm）を30mg（約30万個）添加
- 5) 電気マッフル炉（550℃で6時間）による脱有機物処理
- 6) 超音波水中照射（300W・42KHz・10分間）による分散
- 7) 沈底法による20μm以下の微粒子除去
- 8) 乾燥してプレパラート作成（オイキットで封入）
- 9) 検鏡・計数

処理済みの試料中には、直径20μm以上の植物珪酸体粒子とともに鉱物や火山ガラスが多く含まれている。石英などの鉱物は、遠心分離器を用いた重液分離で除去することができるが、比重が植物珪酸体に近い火山ガラスをこの方法で取り除くのは困難であり、処理の際に植物珪酸体の一部が失われる危険性もある。火山ガラスの屈折率は1.49～1.54であり、植物珪酸体の1.41～1.48と比較して明らかに高い。そこで、プレパラートの封入剤に屈折率が火山ガラスとほぼ同様のオイキットを使うことで、火山ガラスをマスキングする（見えなくする）ことができる。また、結晶鉱物は偏光顕微鏡で観察すると色が美しく変化するので、非晶質で無色透明な植物珪酸体とは容易に識別できる。

ガラスビーズは、化学組成や比重が植物珪酸体と近似しており、粒径も機動細胞珪酸体の平均的な粒径である約40μmに揃えたものを使用している。このため、植物珪酸体とガラスビーズは、サンプル瓶の中で同様の挙動をすると考えられ、仮に分析処理の途中で試料の一部が失われても、両者の比率は一定に保たれていることになる。植物珪酸体の同定と計数は、同時にカウントするガラスビーズの個数が400～600個以上になるまで行う。これはほぼプレパラート1枚分の精査に相当する。

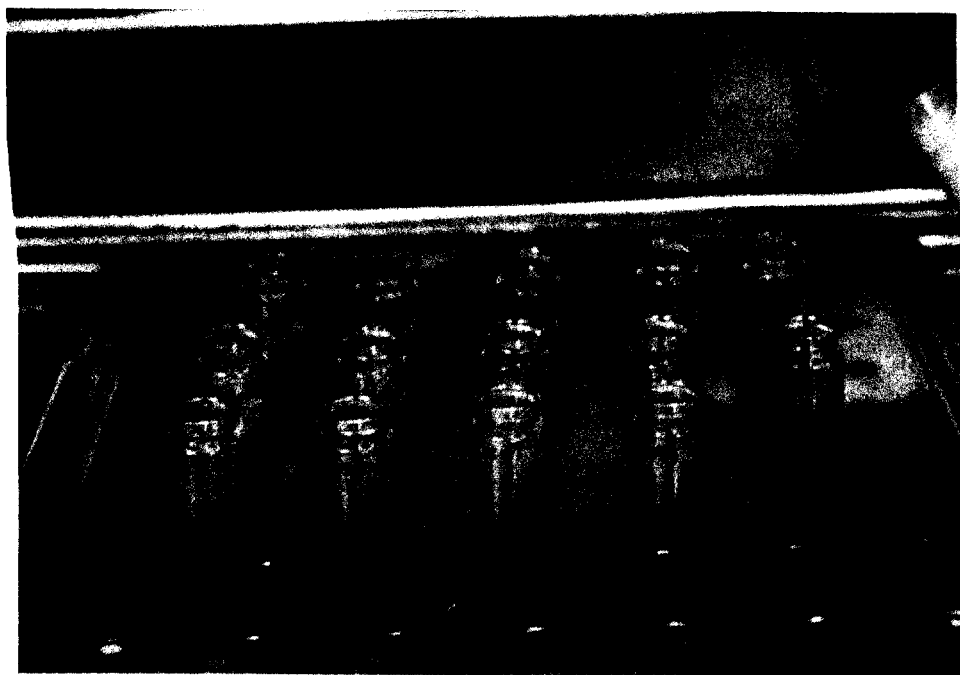


試料の秤量（左奥はガラスビーズ）

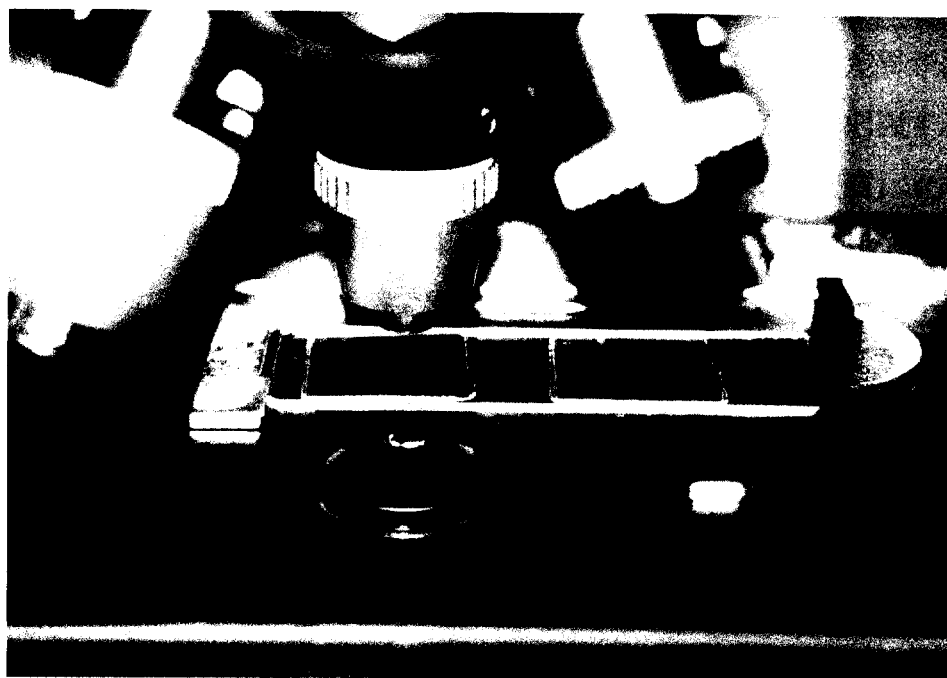


電気マッフル炉による脱有機物処理

図2.5a 実験室における分析処理状況



沈底法による微粒子除去



プレパラートの状況

図2.5b 実験室における分析処理状況

なお、プレパレートに試料を展開する際に植物珪酸体の粒径による分布の偏りが生じる可能性も想定されるが、試料を十分に攪拌することや、プレパレート全面を精査することでこの問題は回避される。

2.5 植物珪酸体の定量分析法と植物体生産量の推定法

試料 1 gあたりに添加されたガラスビーズ個数（約30万個）に、計数された植物珪酸体個数とガラスビーズ個数の比率をかけることで、以下のように植物珪酸体密度（試料 1 g中に含まれる植物珪酸体個数、個/g）が求められる。たとえば、イネの植物珪酸体とガラスビーズが 1 : 2 の比率でカウントされた場合は、試料 1 g 中に約15万個のイネの植物珪酸体が含まれていることになる。

$$\text{植物珪酸体密度 (個/g)} = N \times (P / G)$$

N : 試料に添加されたガラスビーズ個数 (個/g)

P : カウントされた植物珪酸体個数 (個)

G : カウントされたガラスビーズ個数 (個)

植物体内に含まれる植物珪酸体の密度は分類群によって大きな差異があり、土壌から検出された植物珪酸体の密度から実際の植生を定量的に把握するのは困難である。そこで、植物珪酸体の密度に試料の仮比重（乾燥密度， g/cm^3 ）と各植物の換算係数（機動細胞珪酸体 1 個あたりの植物体乾重， $\times 10^{-5} \text{g}$ ）をかけることで、以下のように一定面積で層厚 1 cmの堆積期間にそこで生産された植物の乾燥重量（ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ または $\text{t}/10\text{a} \cdot \text{cm}$ ）が推定される。これにより、各植物の繁茂状況や植物間の占有割合などを具体的にとらえることができる。

$$\text{植物体生産量 (kg/m}^2 \cdot \text{cm)} = N \times B \times C$$

N : 植物珪酸体密度 (個/g)

B : 試料の仮比重 (g/cm^3)

C : 各植物の換算係数 ($\times 10^{-5} \text{g}$)

植物体内に含まれる植物珪酸体の密度は、前述のガラスビーズ法を用いて求

められており、イネの葉身 1 g 中には約20万個の機動細胞珪酸体が含まれている。この値を逆算すると、機動細胞珪酸体 1 個あたりの葉身重は 5×10^{-6} g となり、これに葉身重と全体重（種実重）の比率をかけて換算係数が求められる。

おもな分類群の換算係数（ $\times 10^{-5}$ g）を表2.5に示す。なお、これらの値は各分類群における平均値であり、個体間や生育環境によってある程度の変動が認められる。

表2.5 おもなイネ科植物の換算係数（杉山，2000）

分類群	換算係数 ($\times 10^{-5}$ g)
イネ	2.94
イネ種実	1.03
ヒエ属（ヒエ）	8.40
ヨシ属（ヨシ）	6.31
ススキ属（ススキ）	1.24
メダケ属メダケ節	1.16
メダケ属ネザサ節	0.48
クマザサ属（チシマザサ節・チマキザサ節）	0.75
クマザサ属（ミヤコザサ節）	0.30

2.6 土器からの植物珪酸体抽出法

植物珪酸体は800℃程度の熱でも溶けることがなく、短時間であれば1000℃程度の高熱にも耐えられる。このため、縄文土器や弥生土器、土師器なども植物珪酸体分析の対象となる。土器片から植物珪酸体を抽出する際には、周囲からの混入や汚染に注意する必要がある。このため、まず土器の表面部分を削って中心部分（コア）を取り出し、超音波で良く洗浄する。つぎに、土器を柔らかくするために数日間水に浸し、水分を十分に吸収させる。この際に、煮沸したり真空状態にするとより効果的である。比較的柔らかな土器の場合は、超音波水中照射（300W・42KHz・10～30分間）のみで細粒化する（土に戻す）ことができる。比較的堅い土器の場合でも、メノウ乳鉢を用いて押しつぶすと比較的容易に細粒化することができる。あとは、土壌と同様の手順で定量分析を行うことが可能である。

2.7 植物珪酸体分析の応用例

植物珪酸体分析は、これまでおもに土壌学や農学の研究者によって応用されてきたが、最近では考古学、植物学、動物学、地質学、古環境学などの学際的な分野で広く応用されるようになってきた。表2.6に、考古学分野における植物珪酸体分析の応用例を示し、それぞれの原理とおもな実例について論述する。

表2.6 考古学分野における植物珪酸体分析の応用例

-
1. 水田跡や畑跡の確認・探査
 2. 水田跡におけるイネ籾生産量の推定
 3. イネ苗の植物珪酸体と遺構埋没の季節推定
 4. 稲作開始時期の検討
 5. 土器胎土分析によるイネの存在の確認
 6. 土器胎土の供給源（産地）の推定
 7. イネ以外の栽培植物の検討
 8. 焼畑の実証・探査
 9. 灰化物や焼土の給源植物の推定
-

（1）水田跡（稲作跡）の確認と探査

発掘調査によって古代の水田跡が検出された場合、その土壌を分析するとイネの植物珪酸体（機動細胞由来）が5,000個/g以上と多量に検出されるのが通例である。土層の堆積速度にもよるが、イネの植物珪酸体密度が5,000個/g以上の場合は、少なくとも数十年間にわたってそこで稲作が行われていたと考えることができる。これらのことから、一般にイネの植物珪酸体が5,000個/g以上の密度で検出された場合に、そこで稲作が行われていた可能性が高いと判断している。また、目的とする層準にイネの密度のピークが認められれば、上層から後代のものが混入した危険性は考えにくくなり、その層で稲作が行われていた可能性はより確実なものとなる。

イネの収穫法が穂刈りから株刈りに変わったと考えられる弥生時代後期～古墳時代以降には、水田跡におけるイネの植物珪酸体密度が減少する傾向があり、密度が3,000個/g程度でも水田跡が検出される場合がある。これは、株刈りの普及によって稲わらの利用が促進され、稲わらが水田土壌に還元されなくなったためと考えられる（杉山・松田，1999）。

なお、水田跡の試料からイネの植物珪酸体がほとんど検出されない場合もある。イネの密度が低い原因としては、稲作が行われていた期間が短かったこと、土層の堆積速度が速かったこと、洪水などによって耕作土が流出したこと、イネの生産性が低かったこと、採取地点が畦畔など耕作面以外であったこと、イネ藁の大部分が水田外に持ち出されていたことなどが考えられる。

青森県田舎館村の垂柳遺跡では、発掘調査以前の試掘調査の段階で、植物珪酸体（プラント・オパール）分析による水田跡の探査が行われた（図2.6）。その結果、田舎館式土器（弥生時代中期）包含層の第Ⅵ層からイネの植物珪酸体が9,800個/gと高い密度で検出され、同層に水田跡が埋蔵されている可能性が高いと判断された。次に20mメッシュ交点の50地点についてボーリング棒による試料採取が行われ、第Ⅵ層水田跡の分布域の探査が行われた。その結果、分析によって推定されたⅥ層水田跡の分布域は、その後の発掘調査によって得られた考古学所見と良く符合することが確かめられ（図2.7，図2.8）、同調査法が水田跡の探査に有効であることが実証された（藤原・杉山，1984）。

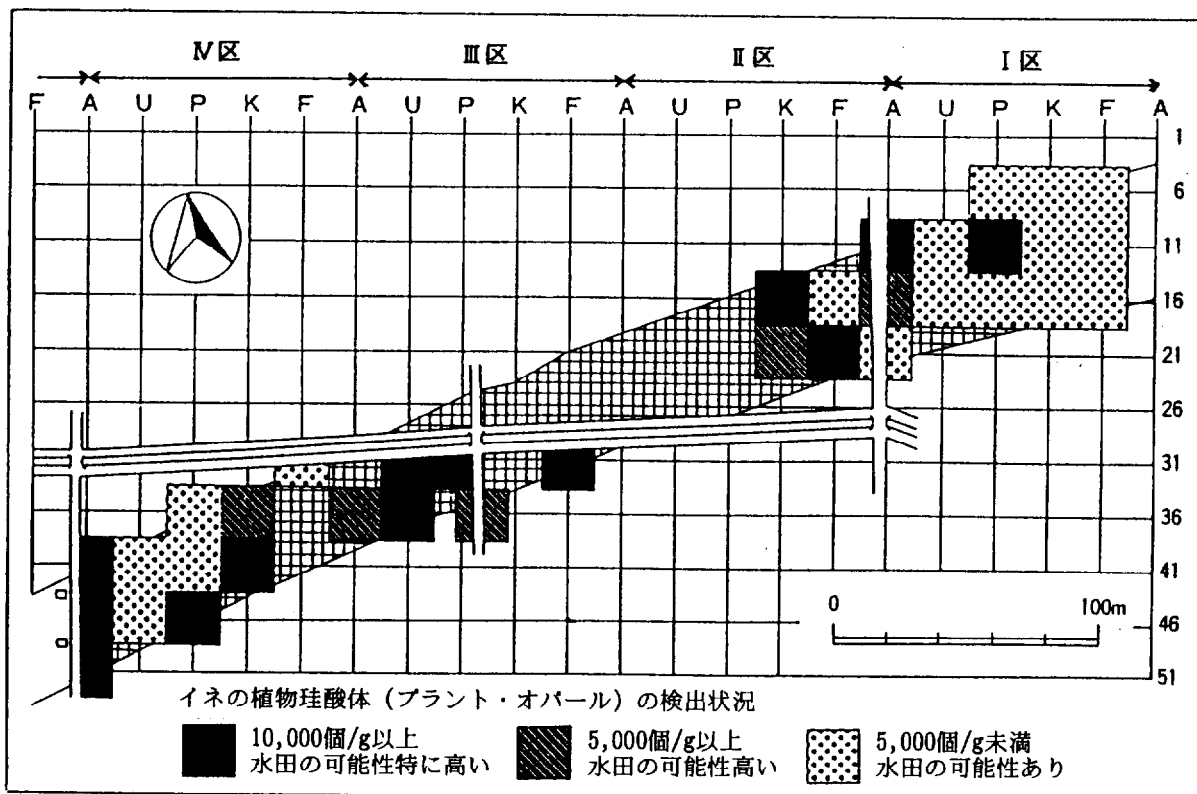
このように、発掘調査の前に埋蔵水田跡の層位と分布範囲を探査することで、発掘調査（本調査）を計画的・効率的に行うことが可能となった。また、発掘の精度向上はもとより、発掘期間の短縮さらに発掘費用の削減にも貢献している。このような水田調査法は、これまでに全国で1000以上の遺跡に適用され、古代農耕の解明に大きな成果を上げている（杉山，2000）。

（2）水田跡におけるイネ籾生産量の推定

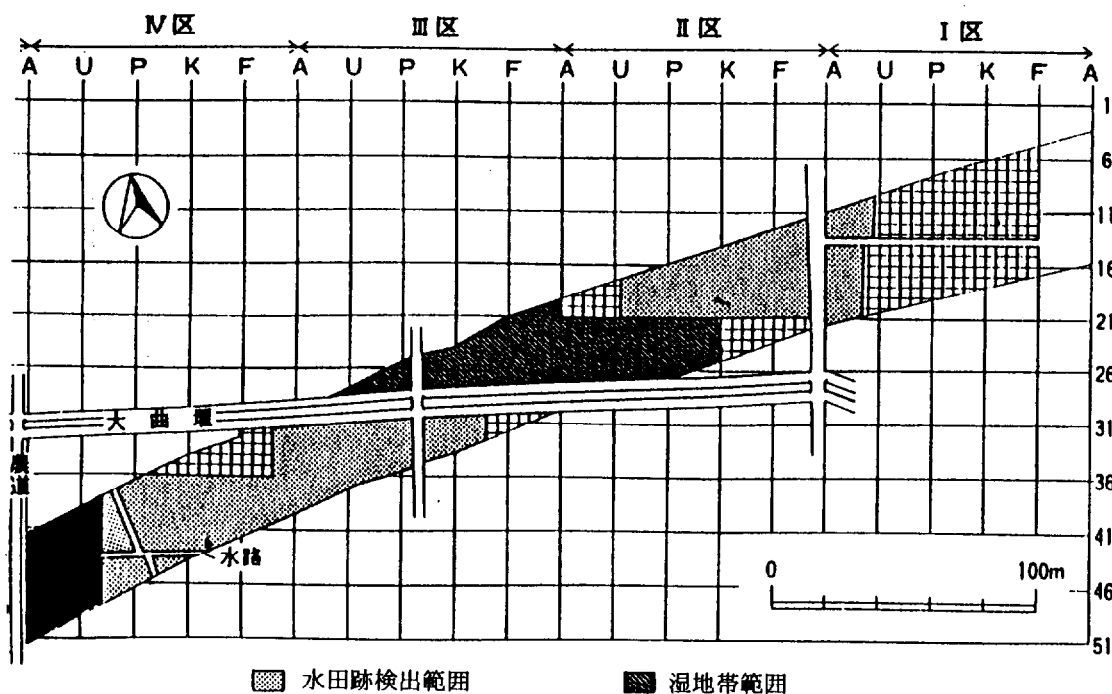
水田跡から検出されたイネの植物珪酸体密度から、そこで生産されたイネ（籾）の量を推定することができる。垂柳遺跡Ⅲ区の第Ⅵ層水田層（弥生時代中期）から検出されたイネの植物珪酸体密度は、平均14,000個/gである。これに土壌の仮比重（平均0.83 g/cm³）と稲籾（種実）の換算係数（ 1.03×10^{-5} g）



図2.6 青森県田舎館村垂柳遺跡における試料採取状況

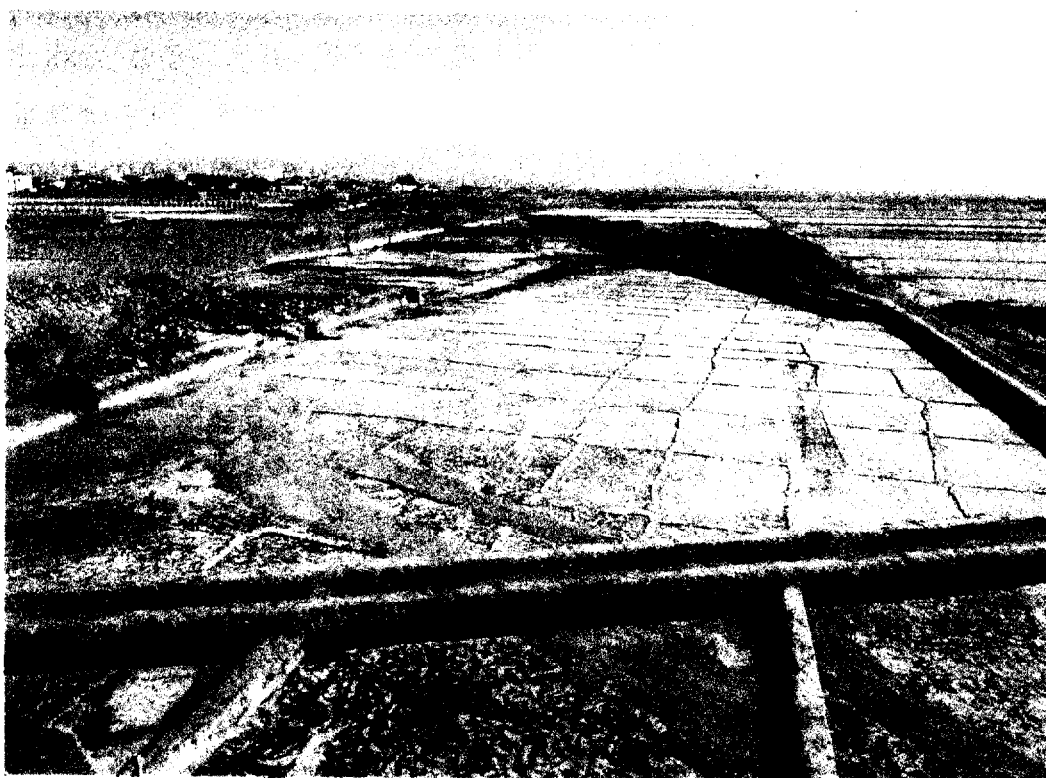


垂柳遺跡におけるVI層水田跡の探查結果



発掘調査区域グリッド配置・全体図（青森県埋蔵文化財調査報告書第78号より）

図2.7 垂柳遺跡における水田跡の探查結果と水田遺構の出土状況
（藤原・杉山，1984）



Ⅳ区 水田跡（西→東）



Ⅶ区 水田跡（東→西）

図2.8 垂柳遺跡における水田跡の出土状況
（青森県埋蔵文化財調査報告書第88集）

をかけると、面積 1 m^2 あたりで層厚 1 cm の堆積期間に生産されたイネ籾の量は約 1.2 kg となる。これに第Ⅵ層の層厚 15 cm をかけて、面積 10 a ($1,000 \text{ m}^2$) あたりに換算すると、弥生時代中期の第Ⅵ層水田層で生産されたイネ籾の総量は、約 $18,000 \text{ kg}/10 \text{ a}$ と推定される。

当時のイネ籾の年間収量を $100 \text{ kg}/10 \text{ a}$ と仮定すると（安藤，1993）、第Ⅵ層ではおよそ180年間と比較的長期間にわたって水田稲作が営まれていたことになる。ただし、これらの値は、稲わらがすべて水田内に還元されたと仮定して算出しているため、稲わらが水田から持ち出されていた場合は、その割合に応じて修正する必要がある。

（3）イネ苗の植物珪酸体と遺構埋没の季節推定

生育初期（苗の段階）のイネ葉に含まれる機動細胞珪酸体は、縦長が $30 \mu \text{m}$ 前後と明らかに小型であり、形状が未熟なものや縦長に対する横長の比率が大きいものも多く含まれている（図2.9）。これらの形態的特徴から、生育中後期（分けつ開始期以降）のものとは明瞭に識別される（杉山，1998）。水田土壤に含まれるイネの植物珪酸体は、そのほとんどが出穂期以降のものであり、イネ苗に由来するものの出現率は通常数%未満とわずかである。

群馬県子持村の黒井峯遺跡では、榛名二ツ岳伊香保テフラ（Hr-FP，6世紀中葉）直下から” 小区画の畠” が検出された。この遺構面からはイネの植物珪酸体が多量に検出されたが、その90%以上がイネ苗に由来するものであり、同遺構が陸苗代であることが明らかとなった（能登ほか，1989）。また、周辺の遺跡から検出された同テフラ直下の水田面でも、イネ苗に由来するものの出現率が30～40%前後に達するところがあることから、これらの遺構がHr-FPによって埋没された季節は田植え前後の初夏と推定された（杉山，1998）。同様の研究は、ススキやチガヤなどについても応用できる可能性が考えられる。

（4）稲作開始時期の検討

鹿児島大学構内遺跡（郡元団地L-11・12区）の発掘調査では、縄文時代中期（放射性炭素年代測定値で約4,400～4,800年前）に形成されたと考えられる泥炭層が確認され、植物珪酸体分析や花粉分析などの結果、泥炭層の形成当時は

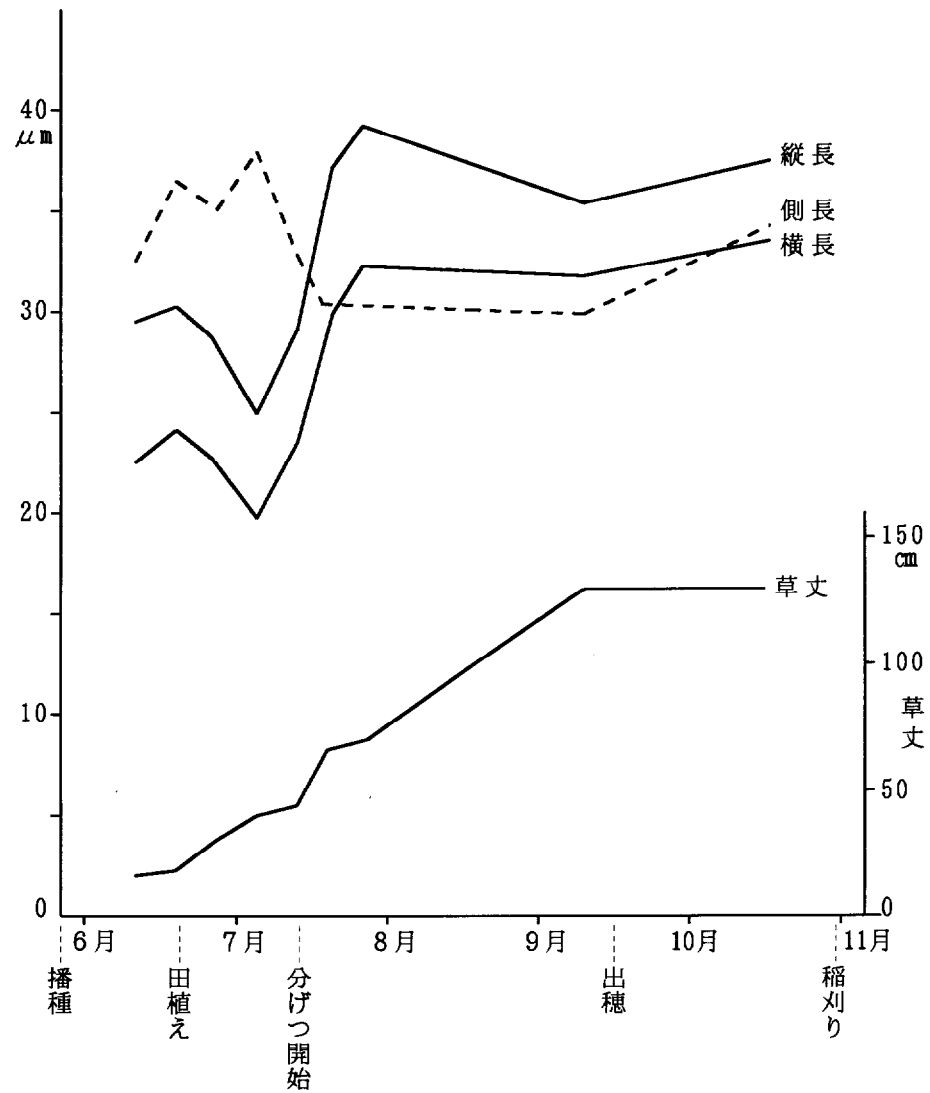


図2.9 イネの成長にともなう機動細胞珪酸体の形状変化（杉山，1998）
各成長段階において上位から3～4葉までをサンプルとした。

ヨシ属やカヤツリグサ科などが繁茂する湿地の環境であったと推定された。泥炭層上部ではこれらの植物の減少に伴ってイネの植物珪酸体が出現しており（図2.10）、イネ属型の花粉や水田雑草の種実も検出された。このことから、泥炭層上部の時期には、ヨシ属などが生育する湿地を利用して、調査地点もしくはその周辺で稲作が開始されていたと推定された（古環境研究所，1994；杉山，1997）。この泥炭層については追試が行われ、イネの存在が確認されている（藤原，1994）。

縄文時代中期の地層からイネの植物珪酸体が発見される事例は、この他にも岡山県備前市の長縄手遺跡などで報告されている。最近、岡山市津島東の朝寝鼻貝塚（岡山理科大学調査）で、縄文時代前期（約6,000年前）の地層からイネの植物珪酸体が発見されたとする報告があり（高橋，1997；高橋，2000）、稲作の起源がさらに遡る可能性が指摘されている。今後は、これらの試料についても追試を行い、データの信頼性を確認する必要がある。

（5）土器胎土の植物珪酸体分析

土壌や堆積物を分析の対象とした場合、植物珪酸体が他所から混入した可能性が全く無いとは言い切れず、土層の時期決定が問題となる場合もある。異物の混入がほとんど考えられない土器胎土そのものからイネの植物珪酸体が発見されれば、その時期にイネが存在したことが確定的となる。

岡山県美甘村の姫笹原遺跡では、縄文時代中期（約4,500年前）とされる船元式土器の胎土からイネの植物珪酸体が発見された（高橋，1997）。縄文時代中期～後期の土器胎土からイネが確認される事例は、岡山県総社市の南溝手遺跡（縄文時代後期）など、岡山県を中心にすでに6例が報告されており、この時期にイネが存在していたことが確実視されるようになった。ただし、この場合でも土器が出土した遺跡と土器胎土の原産地や土器焼成地とが必ずしも一致しない可能性があり、イネが栽培されていた場所を特定できないという問題がある。

（6）土器胎土の供給源（産地）の推定

土器胎土の植物珪酸体分析結果から、土器に用いられた粘土素材の供給源を

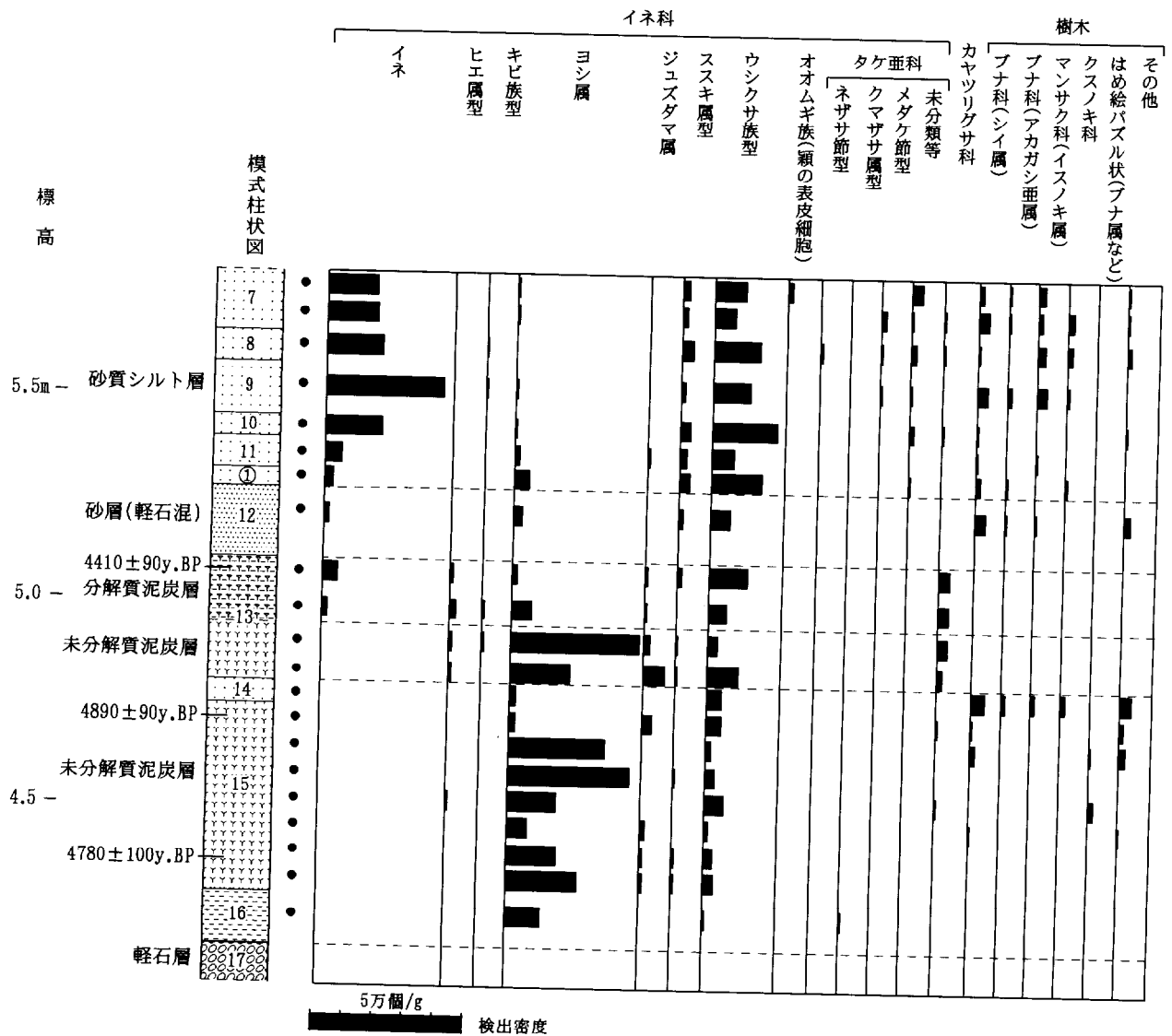


図2.10 鹿児島大学構内遺跡郡元団地L-11・12区11トレンチにおける植物珪酸体分析結果（主な分類群）（杉山，1997）

推定する試みも行われている。愛媛県松山市の祝谷アイリ遺跡では、弥生時代後期前半とされる土器と、その素材となったと考えられる粘土層について植物珪酸体分析が行われた（杉山，1992）。その結果、粘土層の方が土器胎土よりも明らかに植物珪酸体の種類や量が多いことが分かり、土器の素材としてこの粘土層が利用された可能性は否定された。土器の素材としては、ヨシ属が生育するような湿地の粘土、あるいはシイノキ属などが生育する森林土壌が使われていたと考えられ、水田土壌が使われていた可能性は認められなかった。なお、土器胎土にイネ科植物などの茎葉やその灰が人為的に混和されていた場合は、その植物の珪酸体密度が極端に高くなることから判断することが可能である。

（7）イネ以外の栽培植物の検討

植物珪酸体分析で同定される分類群のうち、栽培植物が含まれるものにはイネ以外にもムギ類（オオムギ・コムギ）、ヒエ属（ヒエが含まれる）、エノコログサ属（アワが含まれる）、キビ属（キビが含まれる）、ジュズダマ属（ハトムギが含まれる）、オヒシバ属（シコクビエが含まれる）、モロコシ属（モロコシが含まれる）、トウモロコシ属（トウモロコシが含まれる）などがある。

ムギ類（オオムギ・コムギ）は、穎（籾殻）の表皮細胞に由来する植物珪酸体に形態的特徴があり、植物組織が残存していればオオムギとコムギの識別も可能である。ヒエ属には栽培種のヒエが含まれるが、イヌビエなどの野生種との識別は困難である。これは、植物分類上でも両者の差異が不明確なためである。その他の分類群についても、現在のところ栽培種と野生種とを完全に識別するには至っていない。

青森県青森市の三内丸山遺跡では、縄文時代前期の堆積層からヒエ属（イヌビエ）が多量に検出され、食糧として利用されていた可能性が指摘された（藤原，1997）。また、鹿児島県国分市の上野原遺跡（第4工区）では、桜島13テフラ（約9,500年前）直下層からヒエ属、エノコログサ属、ジュズダマ属、オヒシバ属が揃って検出され（図4.10）、日本最古の定住集落跡との関係で注目されている（杉山，1997）。これらの可食植物の利用については、当時の生業や文化を考えるうえで極めて重要な問題であり、今後とも慎重に検討していく必要がある。

（８）焼畑の実証

焼畑は施設や農具をほとんど必要としないため、考古学的に遺構や遺物が検出される可能性は極めて小さい。このため、焼畑跡の存在を実証するためには、そこで栽培された作物を確認することと、火入れが定期的に繰り返し行われたことを証明する必要がある。

宮崎県須木村下九瀬の山地は、標高400～650mで傾斜が急であり、過去に常畑として利用された履歴は認められない。ここに南北約2km、東西約1kmの範囲で100mメッシュを設定し、高度、傾斜度、斜面の方位などを考慮した95区画の119地点について試料を採取した。分析の結果、全体の42%の地点からイネが検出され（図2.11）、傾斜40度以上の急傾斜地を含む92%の地点から、ヒエ、アワ、キビなどの焼畑作物が含まれるキビ族が検出された（図2.12）。

また、これらの試料からは、カシ、シイ、イスノキなどの照葉樹起源とともに、ススキ属の植物珪酸体が多量に検出された。ススキは森林が開かれな限り出現することはないので、ススキの推定生産量から焼畑サイクルの回数を算出することが可能である。その結果、調査対象の山地では、表土が5cm堆積する期間に少なくとも11回以上の焼畑サイクルが繰り返されたことが推定された。この期間に栽培されたイネの生産量は約16年分、キビ族（ヒエ）は約20年分に相当する。また、イネとススキ属の植物珪酸体密度には、明らかな正の相関関係が認められた（杉山，1983）。

以上の結果から、この山地では広範囲にわたって焼畑が行われ、そこでヒエやアワなどの雑穀とともにイネが栽培されていたことが実証された（藤原・杉山，1983；藤原ほか，1984；杉山ほか，1988）。この研究では、現表土における比較的最近の焼畑の存在と分布域が確認されたが、同様の方法を用いて埋没した焼畑跡の探査や検証も可能と考えられる。

（９）灰化物や焼土の給源植物の推定

群馬県子持村の黒井峯遺跡では、榛名二ツ岳伊香保テフラ（6世紀中葉）直下の遺構内などから粉状の灰化物が確認された。分析の結果、高床倉庫の脇の試料からはイネの籾殻（穎の表皮細胞）や芒に由来する植物珪酸体が多量に検

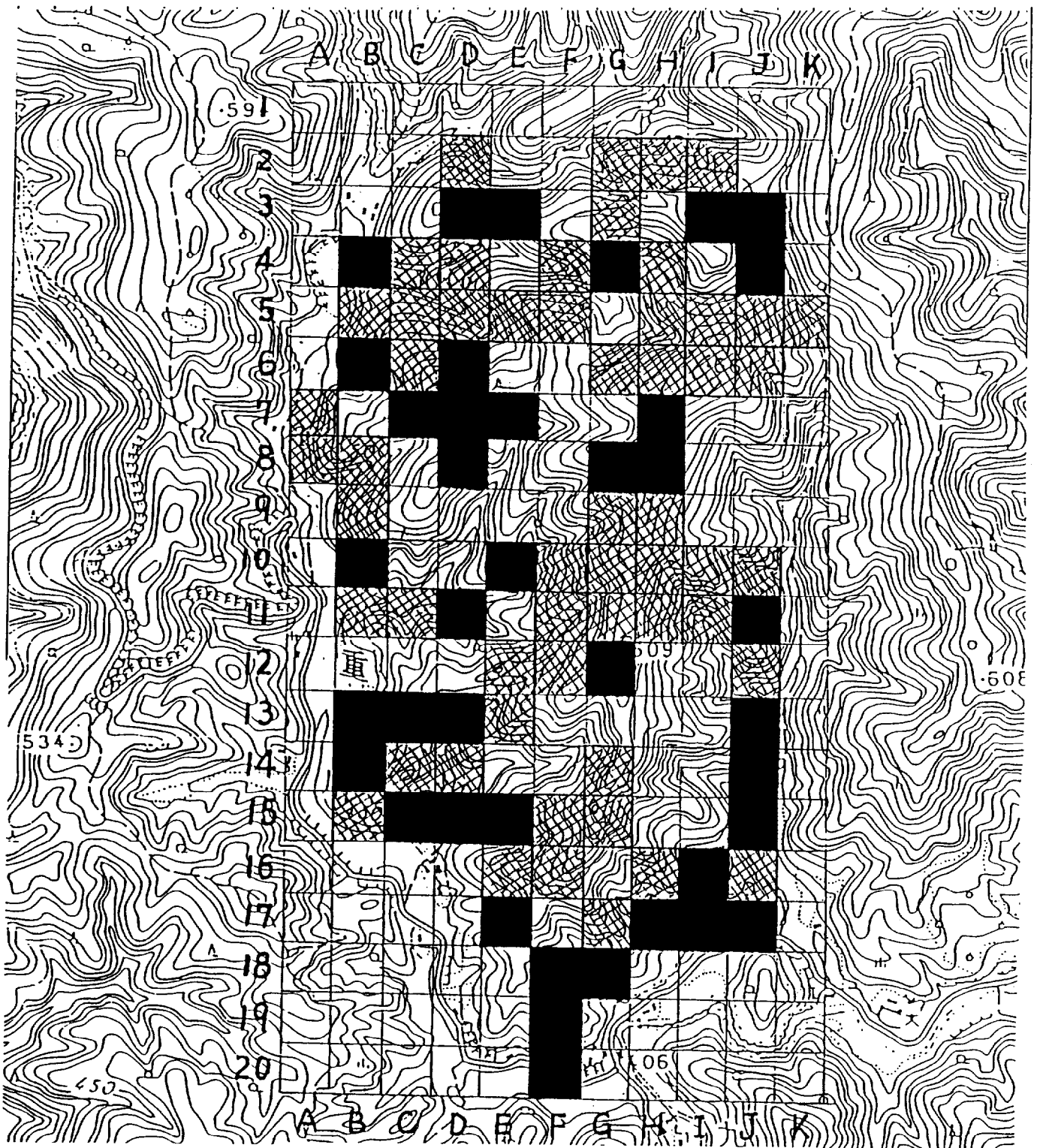


図2.11 宮崎県須木村下九瀬の山地におけるイネの植物珪酸体の出現状況
(藤原・杉山, 1983)

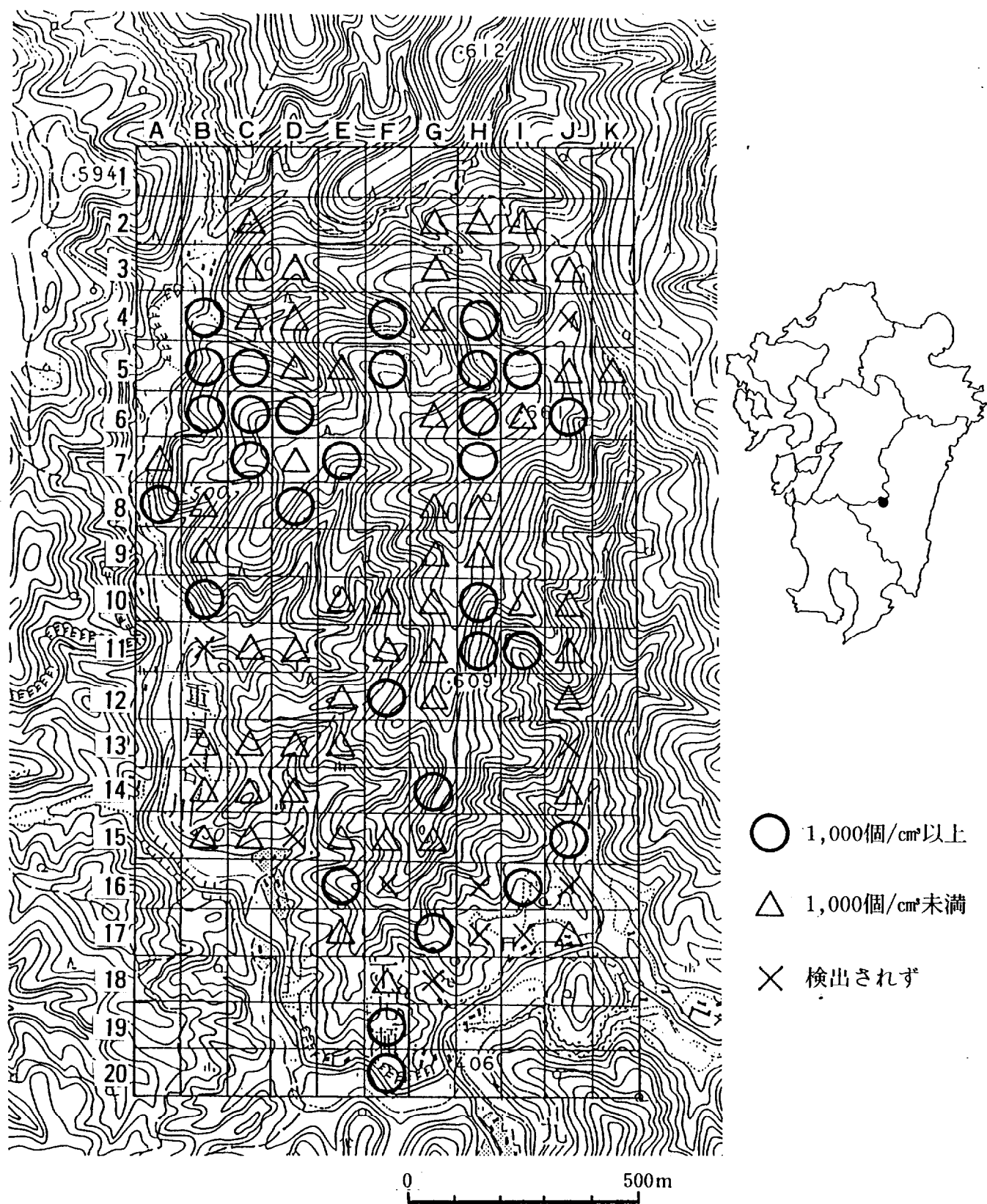


図2.12 宮崎県須木村下九瀬の山地におけるキビ族の植物珪酸体の出現状況
(杉山ほか, 1988)

出され、脱穀後の粃殻が集められていたことが明らかとなった。高床倉庫の床面からはムギ類の穎の表皮細胞に由来する植物珪酸体が多量に検出され、この高床倉庫にムギが貯蔵されていたことが分かった。また、飼葉桶とみられる遺構の試料からはイネの機動細胞珪酸体が多量に検出され、イネ藁が飼料として利用されていたことが明らかとなった。さらに、建物の屋根材はススキ属の茎葉、柴垣（防風囲い）はブナ科（シラカシ？）と推定された（杉山・石井，1989）。

2.8 結語

本章では、植物珪酸体分析の方法と原理を詳細に論述し、主要な分類群の植物珪酸体の顕微鏡写真を示すとともに、その形態を記載した。内容的には十分なものとは言えないが、これまで植物珪酸体についてこのようなアトラスが存在しなかったことを考えると、今後の研究進展のための基礎資料としての意義は大きいといえる。

植物珪酸体分析の応用例では、遺跡調査を中心とした実例を紹介し、その実績と有効性を示した。植物珪酸体（プラント・オパール）分析は、水田跡や畑跡の検証・探査などを行うための手法として高く評価されており、古代農耕史の解明に大きく貢献している。

ただし、このことにばかり関心が集まり、その他の分野への応用、とくに古気候や古環境復原に植物珪酸体分析を応用する手法については、これまであまり検討されてこなかったのが現状といえよう。

第3章 植物珪酸体分析による古気候の推定

3.1 はじめに

過去の植生や気候環境を推定する方法としては、花粉分析、種実分析、木材分析などがあるが、これらの分析は遺体の保存上の問題から対象がおもに湖成層や泥炭層などの水成堆積物に限られており、連続したデータが得られにくい。一方、植物珪酸体分析は、火山灰土などの風成堆積物にも適用され、人類のおもな生活の場であった乾陸上の植生を、直接的にしかも連続的に推定することが可能である。

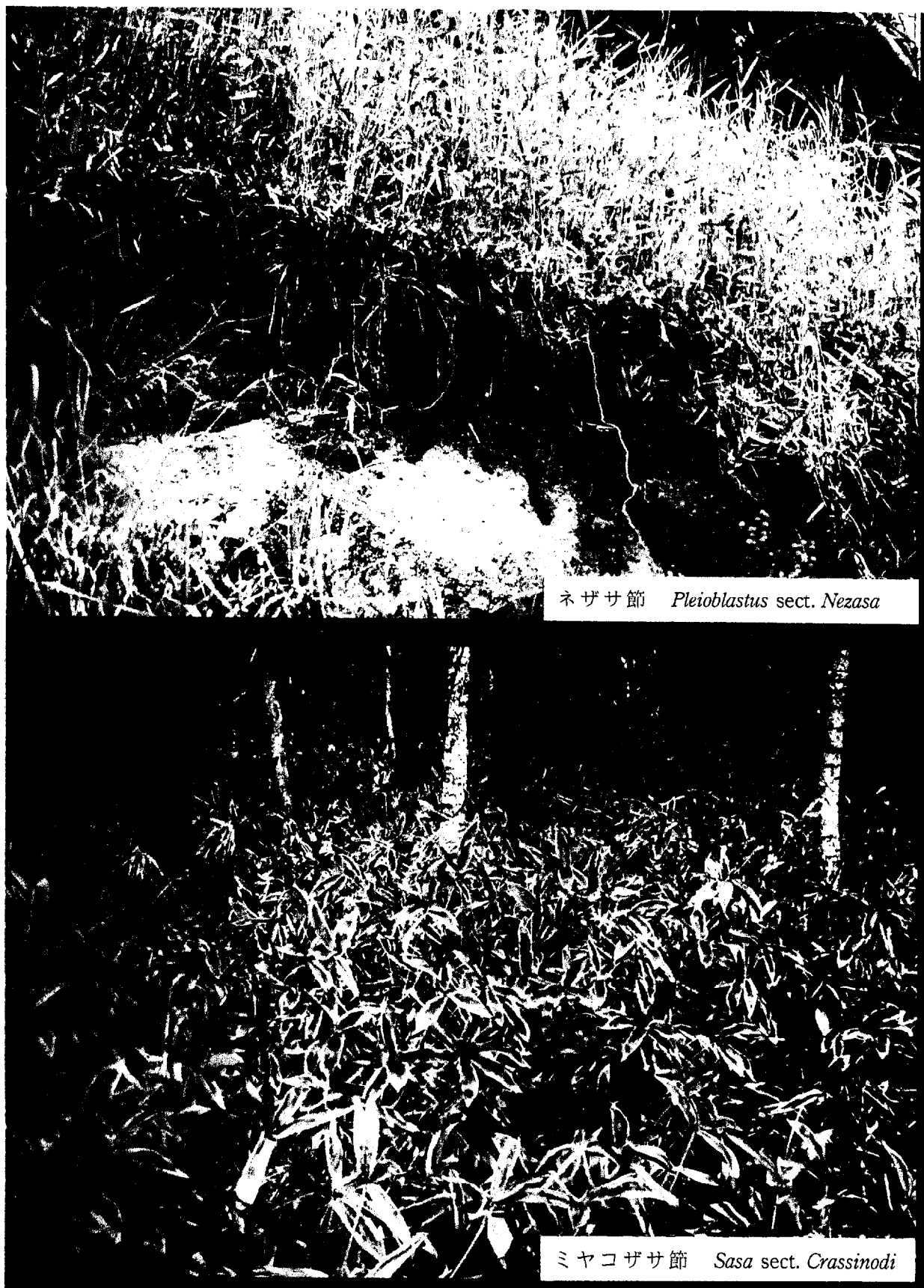
植物珪酸体分析で過去の気候を推定する試みは、1970年代から行われており、おもに北海道の調査事例からウシノケグサ型（イチゴツナギ亜科の短細胞起源）の植物珪酸体が寒冷な気候の指標となることが指摘されている（佐瀬・近藤，1974；佐瀬ほか，1987）。しかし、ウシノケグサ型の植物珪酸体を形成する植物は寒冷地に分布するものだけではなく、カモジグサ、カラスムギ、スズメノテッポウ、カズノコグサなどのように、南九州の温暖地にまで分布するものもある。また、ウシノケグサ型（短細胞起源）の植物珪酸体は、機動細胞珪酸体と比較して風化抵抗性が低く、定量的な検討が難しいという問題もある。

3.2 タケ亜科の分類群と気候との関係

タケ亜科植物（竹笹類）は、日本全国の山野や人里に普遍的に分布している（図3.1）。このうち、クマザサ属は比較的寒冷な地域、メダケ属（ネザサ節やメダケ節など）は比較的温暖な地域に分布しており（室井，1960）、標高の比較的高いところにはクマザサ属、低いところにはメダケ属が分布している。

関東北西部に位置する赤城山（図3.2）の南麓では、標高と竹笹類の分布に明瞭な関係が認められ、標高900mより低いところではメダケ属ネザサ節が優勢であるが、それより高いところではミズナラやブナ林の林床植生などとしてクマザサ属が卓越している。また、表層土に含まれるタケ亜科の植物珪酸体組成も、これと同じ傾向を示している（渡邊ほか，1993，図3.3）。

ここでは両者の出現傾向をより明確にするために、以下のようにメダケ率（メダケ属とクマザサ属の合計に対するメダケ属の割合）の値を算出した。メダケ率の



ネザサ節 *Pleioblastus* sect. *Nezasa*

ミヤコザサ節 *Sasa* sect. *Crassinodi*

図3.1 ネザサ節とミヤコザサ節の生育状況

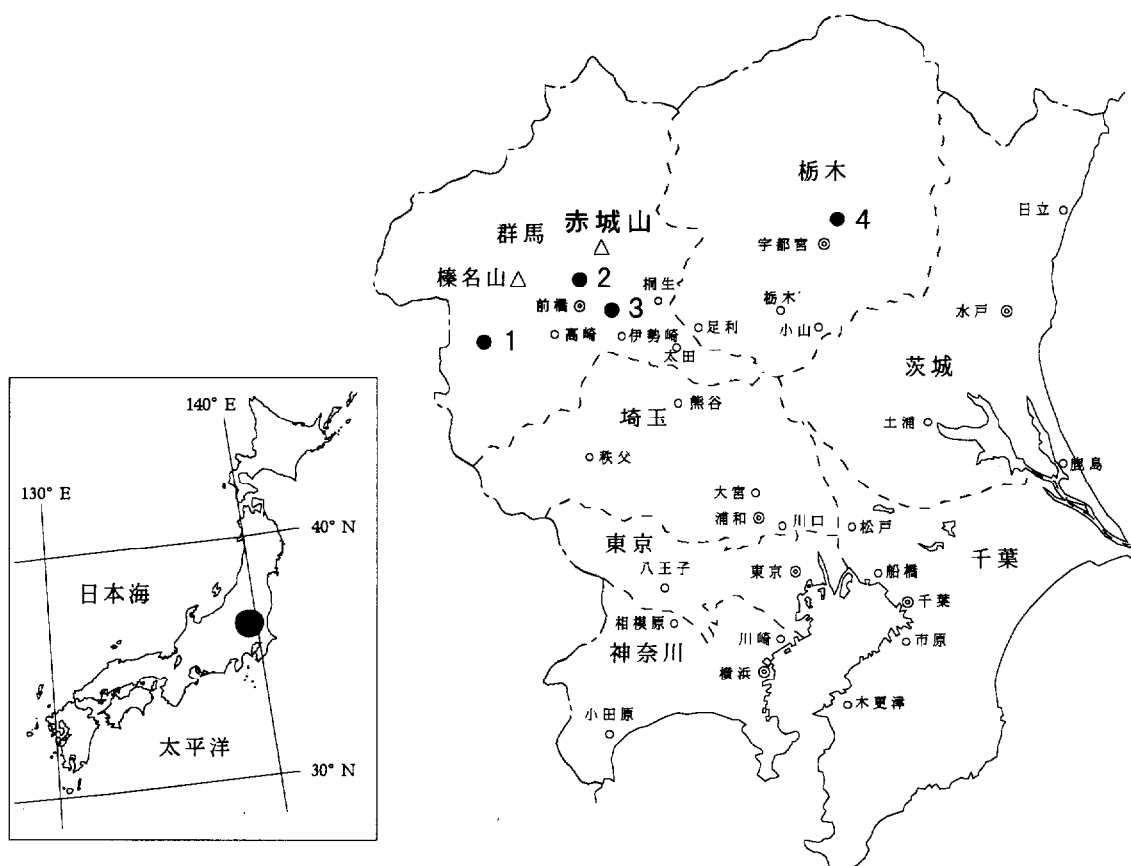


図3.2 関東北西部における調査地点の位置

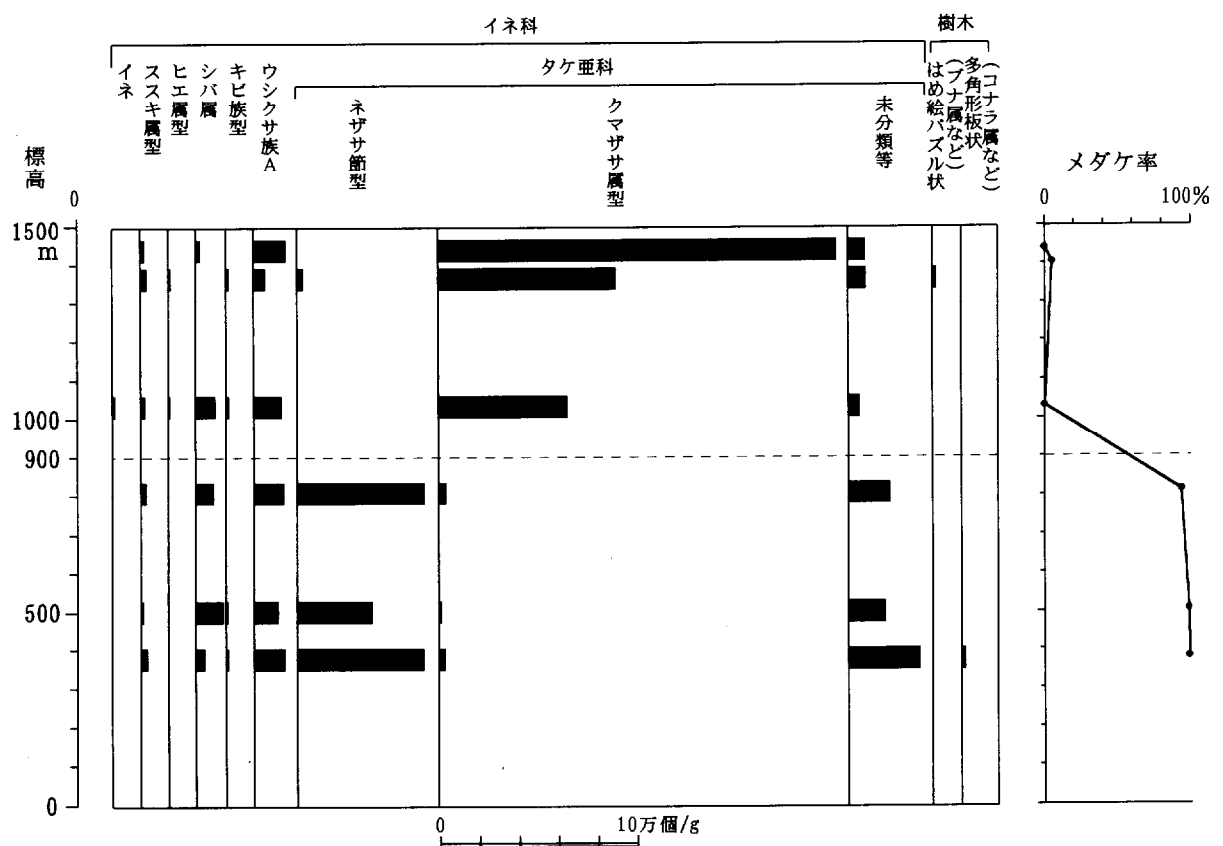


図3.3 群馬県赤城山南麓（表土）における植物珪酸体分析結果（主な分類群）
渡邊ほか（1993）を加筆改変

値が100%に近ければメダケ属が主体、0%に近ければクマザサ属が主体であることを示しており、気候環境（寒暖）を推定するための指標になると考えられる。

$$\text{メダケ率 (\%)} = A / (A + B) \times 100$$

A：メダケ属の植物体生産量の推定値 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{cm}$)

B：クマザサ属の植物体生産量の推定値 ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{cm}$)

メダケ属にはネザサ節やメダケ節などが含まれ、関東地方以北におけるメダケ属の主体はネザサ節である。このため、従来はネザサ節に着目して上記の比率をネザサ率と呼称していた（杉山・早田，1996；早田，1997a）。しかし、西日本の各地ではメダケ節の占める割合がネザサ節を上回る場合があり、南九州ではメダケ節が優占していることから、本研究では両者を含むメダケ属の比率という意味でメダケ率の名称を使用する。

3.3 最終氷期以降におけるタケ亜科の植生変遷と気候変動

(1) 群馬県前橋市頭無遺跡の事例

群馬県前橋市頭無遺跡では、浅間C軽石(As-C, 4世紀中葉)直下層から榛名八崎軽石(Hr-HP, 約4.1~4.4万年前)直下層までの層準について植物珪酸体分析を行った(図3.4)。その結果、浅間板鼻黄色軽石(As-YP, 約1.3~1.4万年前)より下位のローム層ではクマザサ属が優勢であり、とくにAs-YP直下から始良Tn火山灰(AT, 約2.45万年前)直上層にかけてはクマザサ属が卓越していることが分かった。また、As-YPより上位の黒ボク土(約1万年前以降)ではクマザサ属が大幅に減少し、かわってネザサ節やススキ属が優勢となっている。メダケ率の変遷(図3.4の右)を見ると、Hr-HP直上層からAs-YP直下層にかけては約10%前後と低い値で推移しているが、As-YP直上層(約1万年前)を境にして急激に上昇しており、As-C直下層では90%に達している。このような植生変化は、完新世における急激な温暖化に対応したものと考えられる(杉山ほか, 1992)。

(2) 関東北西部

関東北西部は、浅間山や榛名山、赤城山などを起源とする多数のテフラが分布しており、テフクロノロジーによる詳細な層序学的検討が行われている。ここでは、関東北西部に位置する4地点について、前述の頭無遺跡と同様にメダケ率の変遷について検討を行った。

その結果、メダケ率は各地点とも約2万年前頃が最も低くなっており、その後およそ1万年前を境に急激に上昇していることが明らかになった。また、栃木県河内町では約3万年前から約4万年前頃にかけてメダケ率のピークが認められ、その他の地点でもこの時期にメダケ率が高くなる傾向が認められた(図3.5)。

このようなメダケ率の変化は、花粉分析の結果(Sakaguchi, 1978など)から推定されている、約2万年前の最終氷期最寒冷期(亜氷期)、約1万年前の急激な温暖化、および約3万年前の比較的温暖な時期(亜間氷期)に対応していると考えられる。

また、これらのメダケ率の変遷は、世界的な気候変動の基準となっている酸

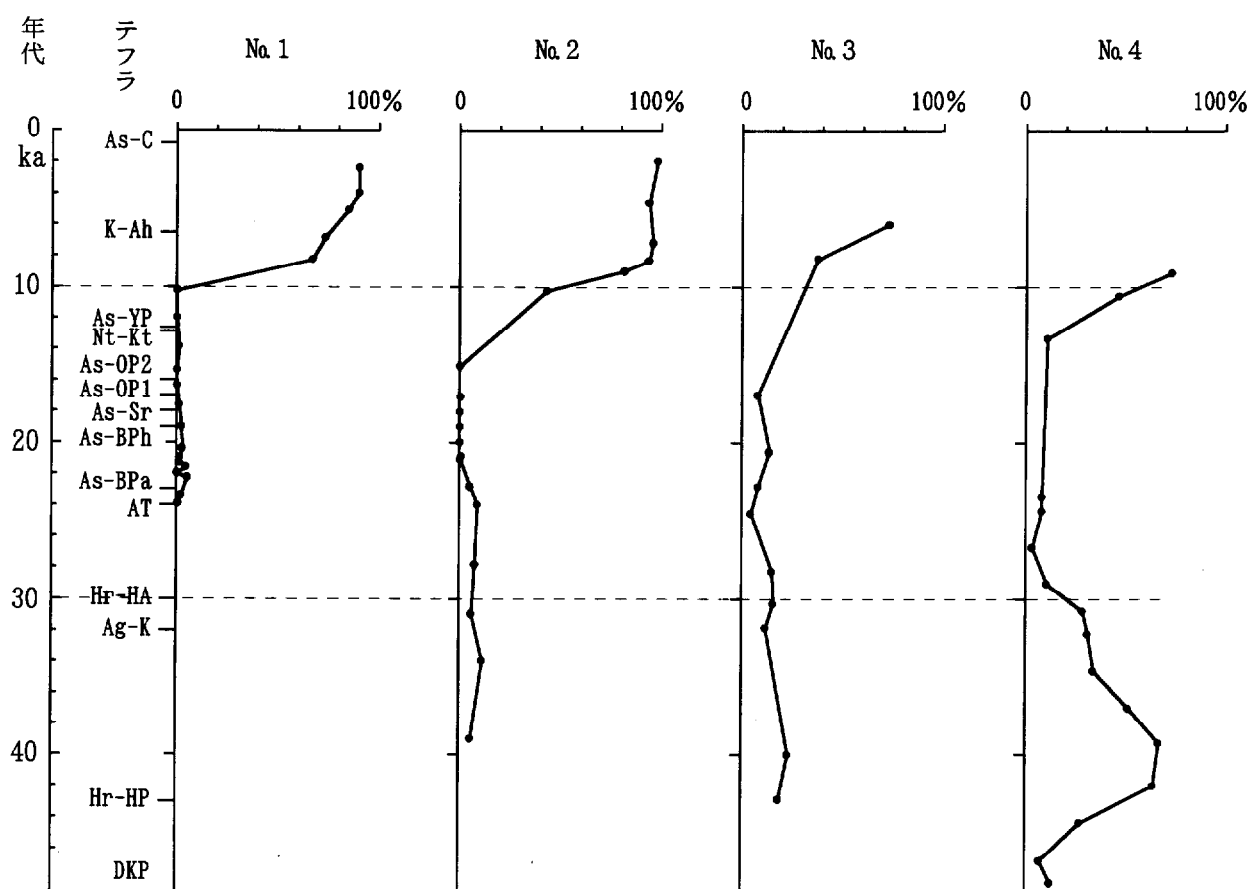


図3.5 関東北西部の各地点におけるメダケ率の変遷

杉山・早田（1996）を加筆改変

No. 1：群馬県安中市中野谷，No. 2：群馬県富士見村坂上，

No. 3：群馬県前橋市柳久保，No. 4：栃木県河内町

素同位体比曲線（Shackleton, 1987など）で明らかになっている、酸素同位体ステージ2の寒冷期、ステージ2からステージ1への急激な変化、およびステージ3の温暖期に対応していると考えられる。

（3）九州南部

九州南部は、鬼界カルデラ、姶良カルデラ、桜島、霧島火山などを起源とする多数のテフラが分布しており、テフロクロノロジーによる詳細な層序学的検討が行われている。ここでは、九州南部に位置する3地点（図3.6）についてメダケ率の変遷について検討を行った。また、第4章で扱う九州南部の101地点のデータについてもメダケ率の検討を行い、その平均値を示した。

その結果、メダケ率は各地点とも約2万年前が最も低くなっており、その後およそ1万年前を境に急激に上昇していることが明らかとなった。また、宮崎県川南町後牟田では約3万年前から約4万年前頃にかけてメダケ率の明瞭なピークが認められ、その他の地点でもこの時期にメダケ率が高くなる傾向が認められた（図3.7）。

これらのメダケ率の変遷は、酸素同位体ステージ2の寒冷期、ステージ2からステージ1への急激な変化、およびステージ3の温暖期に対応していると考えられる。

（4）メダケ率と気候変動の関係

以上のように、関東北西部および九州南部の各地で、メダケ率の変遷が世界的な気候変動に対応していることが確かめられた。このことから、メダケ率を用いて気候変動を解明する研究は、タケ亜科が分布している全国各地の広い範囲に適用されることが考えられる。

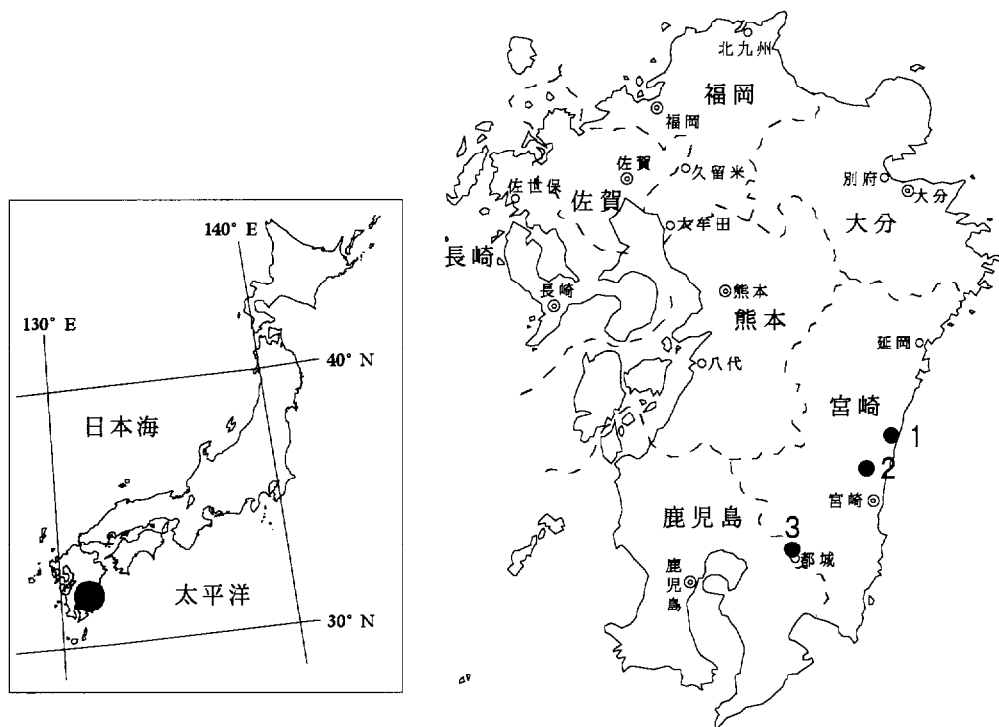


図3.6 九州南部における調査地点の位置

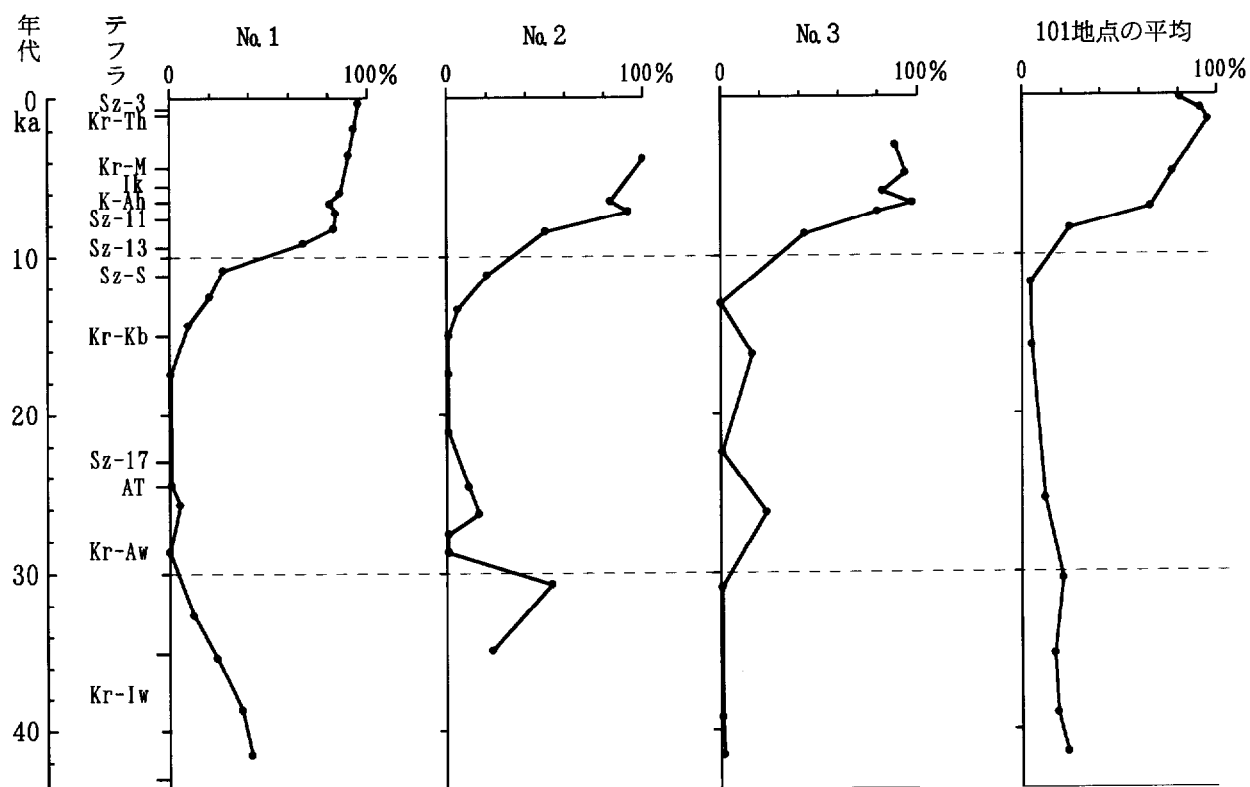


図3.7 九州南部の各地点におけるメダケ率の変遷

No. 1 : 宮崎県川南町後牟田, No. 2 : 宮崎県宮崎市上ノ原,

No. 3 : 宮崎県都城市堂山

3.4 過去約60万年間におけるタケ亜科の植生変遷と気候変動

宮城県築館丘陵（図3.8）は、広域テフラをはじめ多数のテフラが分布しており、テフクロノロジーによる詳細な層序学的検討が行われている（早田，1989；早田・八木，1991）。古地磁気年代測定では、築館町上高森（図3.9）の土層断面の最下位付近に位置する倉ノ沢第1テフラ（Ks-1）は約56万年前の Big Lost Subchron に、その下位の礫層中のエクスカージョンは約62万年前の Delta Event に対比されている（広岡，1999）。また、電子スピン共鳴法（ESR 法）によると、Ks-1では約59万年前の年代値が得られている（豊田ほか，2000）。これらの測定結果から、Ks-1の年代は約60万年前と推定されている。

ここでは、Ks-1をはじめ高森第1テフラ（Tm-1）やその上位の多数のテフラを時間の指標として、植物珪酸体分析による検討を行った（杉山・早田，1996；SUGIYAMA and SODA，1999など）。分析の結果、植物珪酸体の保存状態は各層準とも比較的良好で、ほとんどの層準からタケ亜科植物などの植物珪酸体が多量に検出された。メダケ率は層準によって大きく変動しており、その変遷には明らかな周期性が認められた（図3.10a）。

メダケ率で示された顕著な温暖・寒冷のピークについて、上位よりA～Yの記号をつけた。このようにして推定された気候の傾向は、断片的に認められる水成堆積物について行われた花粉分析の結果（竹内，1991など）と整合している。図の右側には、海洋酸素同位体比曲線（Shackleton et al, 1990）を示した。この曲線の時間軸は、天文学的な要因から計算された周期（ミランコビッチ時計）によって調律されており、世界的な気候変動（氷期－間氷期）サイクルを示している。酸素同位体比曲線のピークに付けられた番号は、酸素同位体ステージ（以下、ステージと略す）を示している。

広域テフラの中には、始良Tn火山灰（AT，ステージ2/3，約2.7-2.8万年前）、阿蘇4テフラ（Aso-4，ステージ5a/5b，約8.4-8.9万年前）、御岳第1テフラ（On-Pm1，ステージ5b/5c，約9.5-10万年前）、洞爺テフラ（Toya，ステージ5d，約11.5万年前）のように、噴出年代・ステージが明らかになっているものがある（町田，2000）。これらの広域テフラとの層位関係などから、メダケ率のピークGは最終間氷期にあたるステージ5eに対比される。宮城県古川市の馬場壇A遺跡では、一迫軽石（IcP）の直上（19層）と直下（20層）から石器が検出

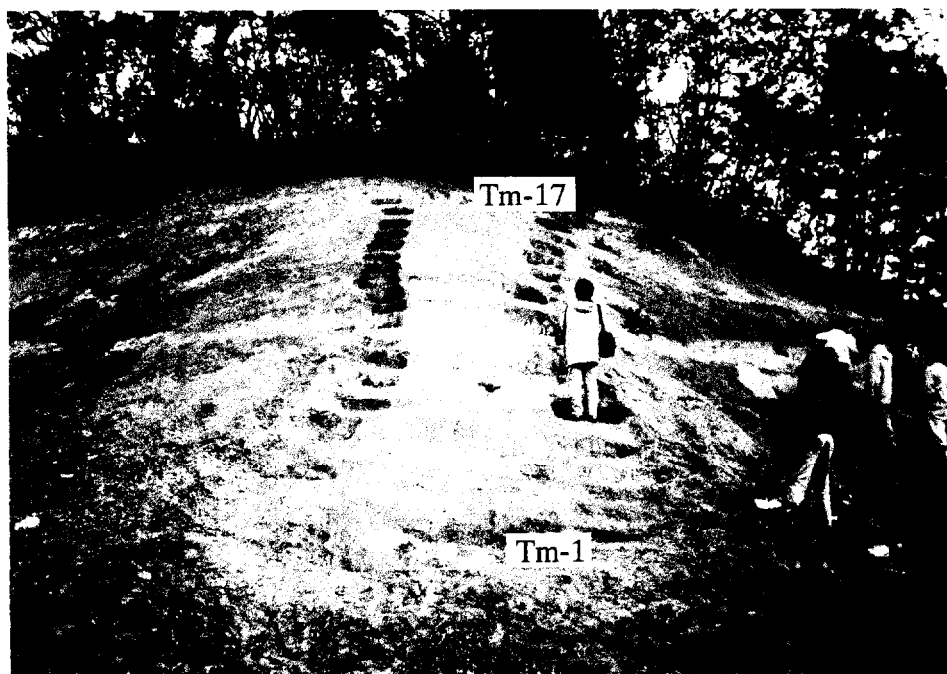


図3.9 宮城県築館町上高森の土層断面

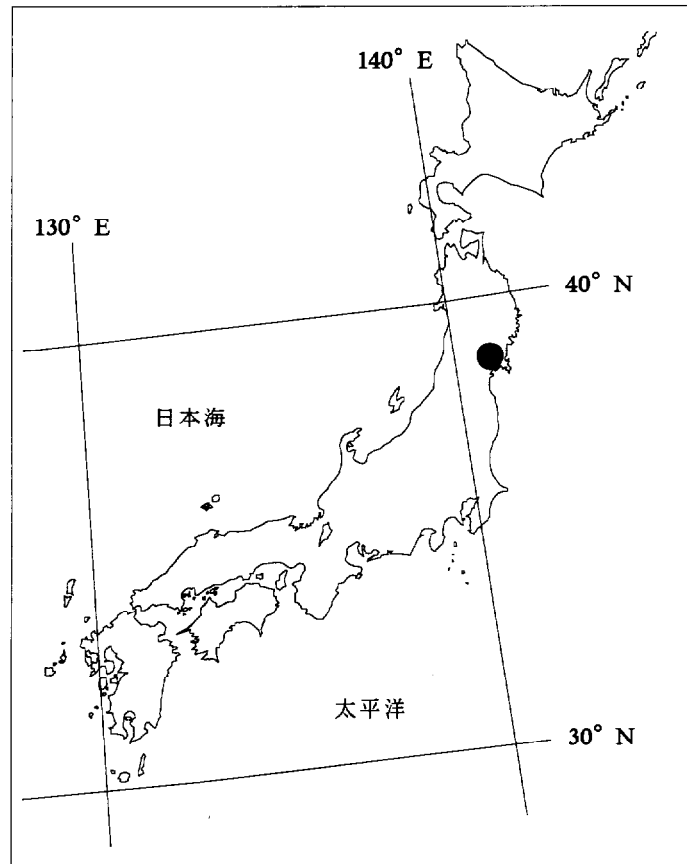


図3.8 宮城県築館丘陵の位置

されている。これらの石器包含層は、ステージ5eの間氷期に対比され、現在と同様の温暖な気候環境であったと推定される。

ステージ5eより以降については、最終間氷期の期間が短いことやAso-4の層位がやや上位にあるなど若干の差異はあるものの、2度の亜氷期が存在することや約1万年前以降の急激な温暖化が認められるなど、メダケ率曲線と酸素同位体比曲線は良好な対応関係を示している。したがって、東北地方の宮城県築館丘陵においても、メダケ率曲線は気候変動を示していると考えられる。

ピークGよりも下位について、メダケ率曲線と酸素同位体比曲線を比較していくと、ピークIはステージ7、ピークOはステージ9、ピークQはステージ11、ピークSはステージ13に対比される。なお、ピークRについてはテフラの層位が不確定である。

Tm-1直上層からKs-1直下層にかけてはメダケ率が90～100%を示しており（ピークY）、Tm-1付近ではメダケ属メダケ節（現在は福島県以南に分布している）も検出された。このことから、当時は現在と同様かそれより温暖な間氷期の気候環境であったと推定される。酸素同位体比曲線との比較から、ピークYの間氷期はステージ15（約58万年前）に対比される（杉山，2001）。これは、Ks-1が約60万年前とする古地磁気法や電子スピン共鳴法の結果とも整合しており、メダケ率の変遷から気候変動のみならず年代推定ができる可能性も認められた。

図3.10bは、メダケ率曲線のピークを酸素同位体比曲線のピークに合わせて補正したものである。この補正が正しいとするならば、時間軸が酸素同位体比曲線に調律されたことになり、各テフラの噴出年代・ステージ番号が推定できることになる。なお、間氷期は比較的短期間であり、約1万年間程度である場合が多い（鎮西，1987）。このことから、メダケ率の変遷から間氷期と推定された場合は、およそ1万年の誤差の範囲で年代が確定されることになる。

メダケ率曲線と酸素同位体比曲線の変動には、ピークの振幅の位置や幅などに若干の差異が認められるが、メダケ率曲線はタケ亜科植物の分類群の消長を示したものであり、気候変動に完全に追従しているとは限らない。また、優占種が置き換わるまでのタイムラグも考慮しなければならない。局所的には地形条件や日照条件、土壤水分条件なども影響していると考えられる。

約60万年前の土層から検出されたタケ亜科の植物珪酸体は、やや風化を受けてはいるものの、属・節レベルでの同定が可能である。このことから、タケ亜科植物については、過去約60万年間に分類群の枠を超えるような形態変化は起きていないと考えられる。

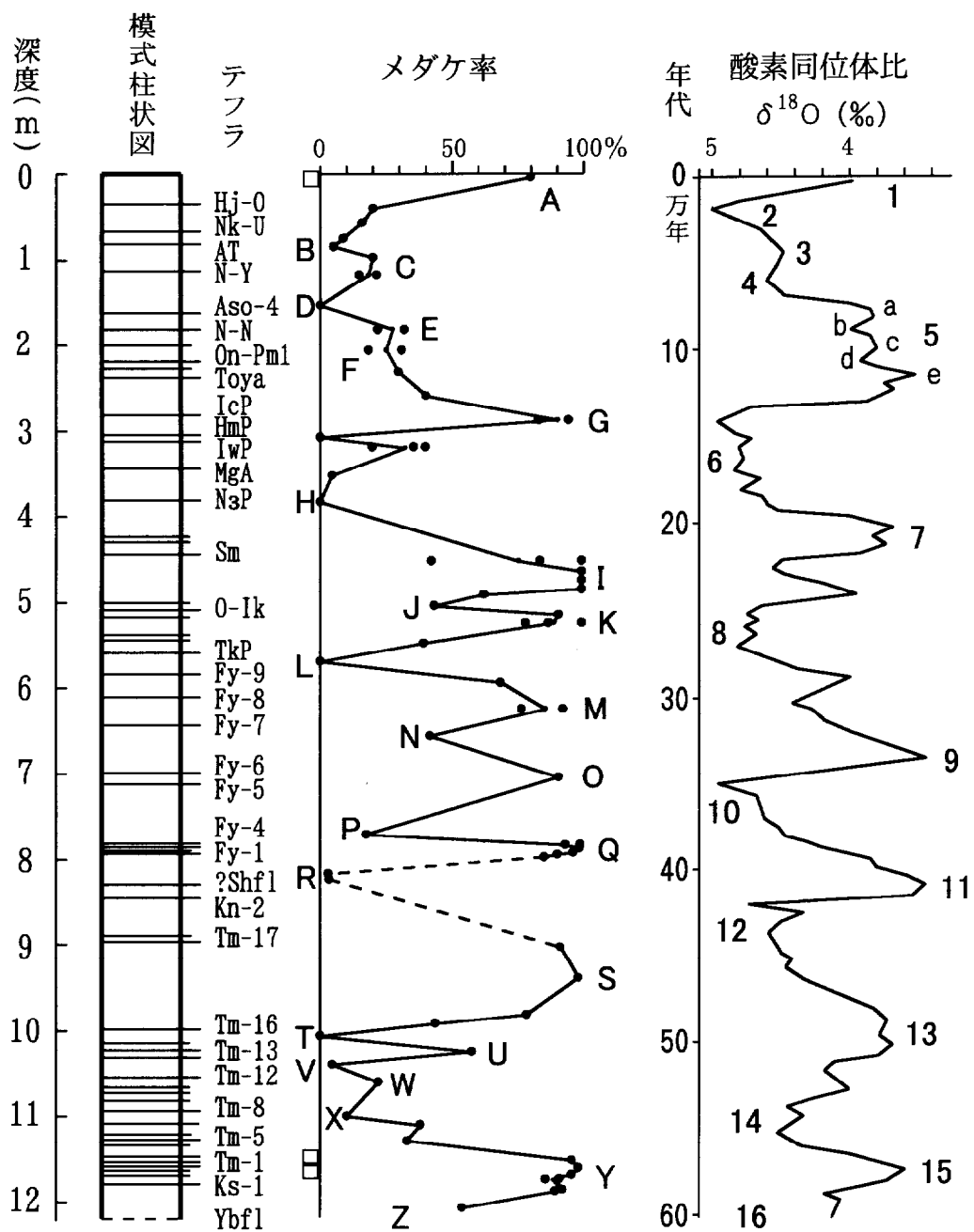


図3.10a 宮城県築館丘陵の火山灰土におけるメダケ率の変遷

右図は深海底コアの酸素同位体比曲線 (ODP Site 677, Shackleton et al.,1990)

□ : メダケ節検出 Sugiyama and Soda(1999)を加筆改変

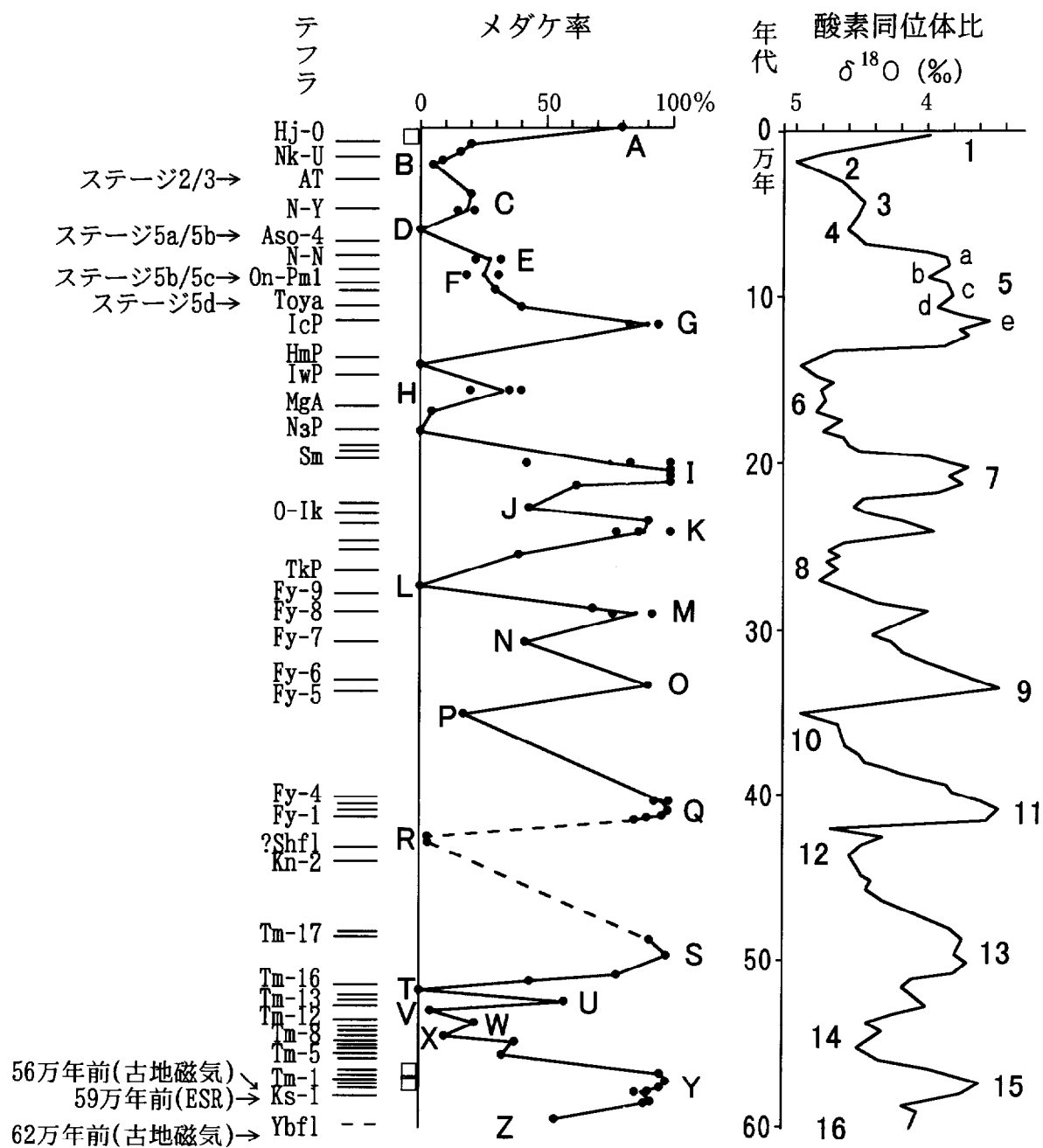


図3.10b 宮城県築館丘陵の火山灰土におけるメダケ率の変遷

酸素同位体比曲線 (ODP Site 677, Shackleton et al.,1990)により補正

Sugiyama and Soda(1999)を加筆改変, テフラの酸素同位体ステージは

町田(2000), 古地磁気年代は広岡(1999), ESR年代は豊田ほか(2000)

3.5 クマザサ属の植生変遷と積雪量の変動

(1) 積雪量とミヤコザサ線

人類の活動に影響を及ぼす環境要因としては、気温とともに降水量（積雪量）の変動も重要であり、多くの植物にとっては気温の変動以上に降水量（積雪量）の影響が大きい。花粉分析では、ブナ属の花粉の出現状況から晩氷期における積雪量の変動を推定する試みが行われているが（安田，1992）、花粉分析法による研究は、花粉の保存性の問題から研究対象が主に低湿地に限定されるため、それ以外の地域について検討を行うのは困難であった。

クマザサ属のうち、チシマザサ節やチマキザサ節は現在でも日本海側の寒冷地などに広く分布しており、積雪に対する適応性が高い（室井，1960）。一方、ミヤコザサ節は太平洋側の積雪の少ないところに分布しており、両者は最大積雪約50cmを境として棲み分けを行っている（図3.11）。この分布境界線は、ミヤコザサ線とよばれている（鈴木，1978）。以上のことに着目して、クマザサ属の植生変遷から過去における積雪量変遷の推定を試みた。

(2) 関東北部周辺におけるクマザサ属の植生変遷と積雪量変動

関東北部周辺には、始良Tn火山灰（AT，約2.45万年前）などの広域テフラをはじめ浅間山などを起源とする多数のテフラが分布している。これらのテフラを時間軸として、ミヤコザサ線周辺の5地点を対象に、クマザサ属の植生変遷と積雪量変動との関係について検討を行った（図3.12）。

1) 最終氷期

AT（約2.45万年前）直上層～As-YP（約1.3-1.4万年前）直下層では、各地点ともクマザサ属が圧倒的に卓越している。このうち、比較的標高の高いNo.3地点とNo.4地点ではチシマザサ節やチマキザサ節が優勢であるが、ミヤコザサ線よりも日本海側のNo.1地点やNo.2地点では現在は分布していないミヤコザサ節型が優勢である。また、太平洋側のNo.5地点のAs-BP（約1.8-2.1万年前）～As-YPでも同様の結果である。このことから、当時は積雪量の少ない比較的乾燥した寒冷な環境であったと考えられ、ミヤコザサ線は日本海側に大きく移動していたと推定される。

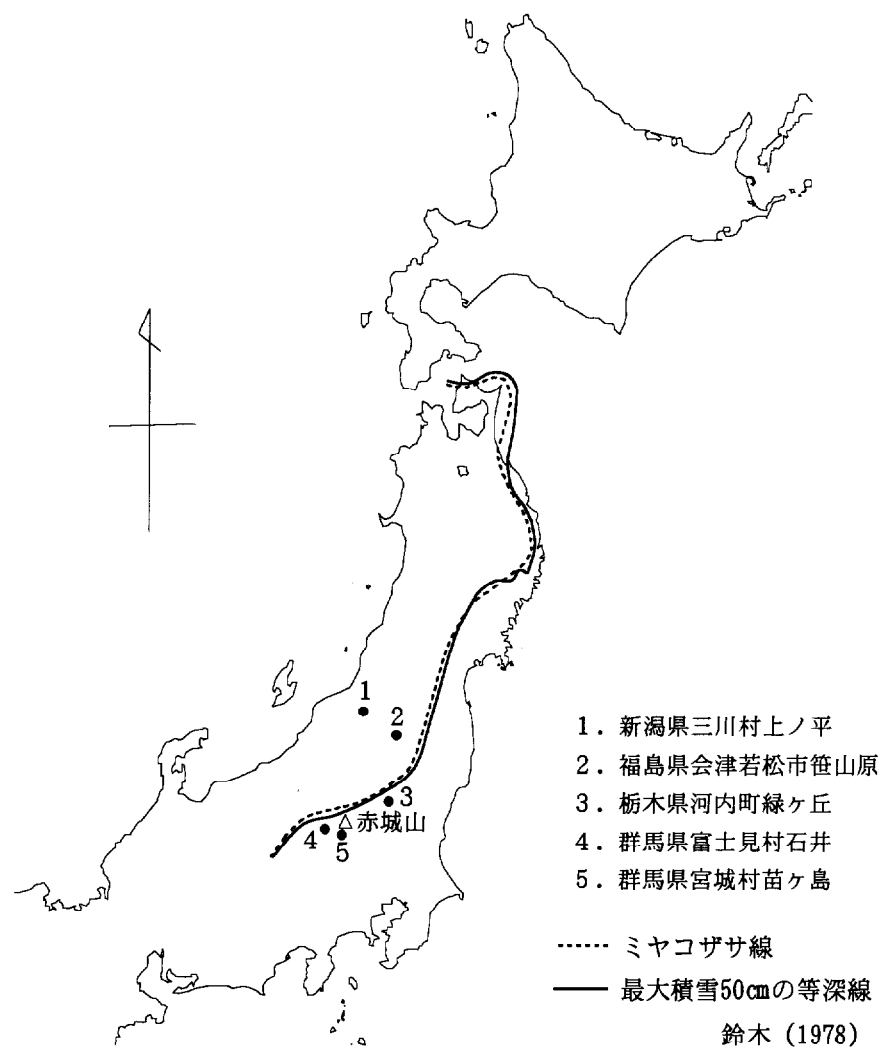


図3.11 ミヤコザサ線と最大積雪50cmの等深線との関係
 および調査地点の位置

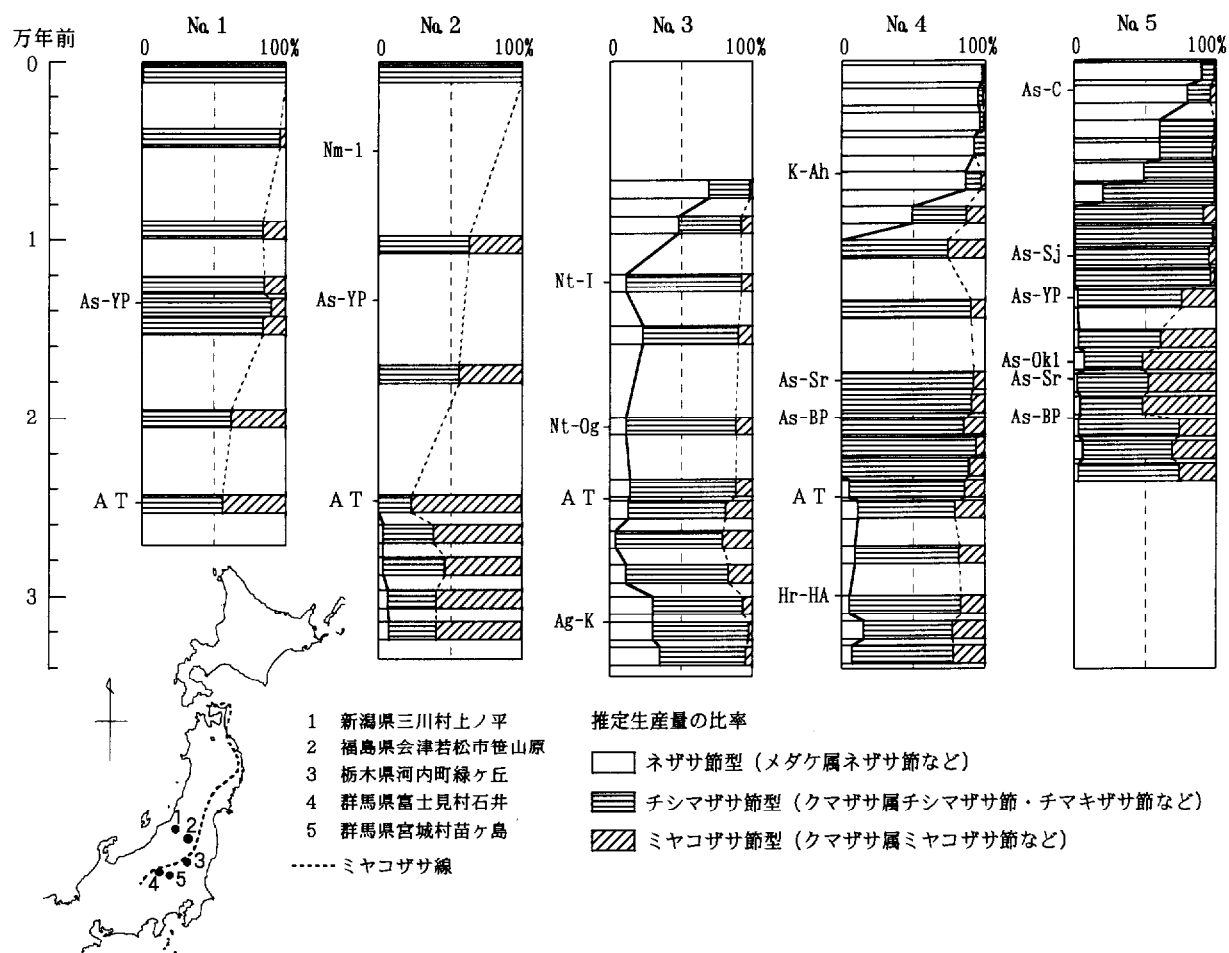


図3.12 ミヤコザサ線周辺におけるタケ亜科植物の植生変遷
杉山・早田 (1997) を改変

2) 晩氷期

As-YP (約1.3-1.4万年前) より上位では、チシマザサ節型の比率が大幅に増加しており、とくにNo. 5のAs-Sj (約1.1万年前) 前後では100%近くに達している。花粉分析によると、約1.2万年前頃からブナ属の増加が認められ、日本海側を中心に多雪化したことが指摘されている(安田, 1992)。今回の結果もこのような多雪化に対応したものと考えられ、積雪量の増加に伴ってチシマザサ節やチマキザサ節が優占種となったと推定される。これらことから、当時は積雪量の多い比較的湿潤な環境であったと考えられ、ミヤコザサ線は太平洋側に大きく移動していたと推定される。

3) 後氷期

約1万年前以降では、No. 3～No. 5でネザサ節型の比率が大幅に増加しており、現表土では100%近くに達している。この植生変化は、後氷期における気候温暖化に対応したものと考えられる。一方、日本海側のNo. 1とNo. 2ではチシマザサ節型の比率がさらに増加し、ミヤコザサ節型は見られなくなっている。これらことから、当時は急激な温暖化に伴って太平洋側では積雪量が減少したと考えられ、ミヤコザサ線は現在とほぼ同じところに移動したと推定される。

(3) まとめ

最終氷期(約1.3万年以前)は、積雪量の少ない比較的乾燥した寒冷な環境であったと考えられ、ミヤコザサ線は日本海側に大きく移動していたと推定される。なお、比較的標高の高いところでは、最終氷期最寒冷期でも積雪量が多かった可能性が考えられ、山岳氷河の発達との関連で興味深い。

晩氷期(約1.3～1万年前)は、積雪量の多い比較的湿潤な環境であったと考えられ、ミヤコザサ線は太平洋側に大きく移動していたと推定される。後氷期(約1万年前以降)には、温暖化に伴って太平洋側では積雪量が減少したと考えられ、ミヤコザサ線は現在とほぼ同じところに移動したと推定される。

このように、晩氷期以降の多雪化とその後の温暖化によって、ミヤコザサ線を境界とする現在のササ類の分布が成立したと推定される(杉山・早田, 1997)

a;杉山, 1999a)。なお、後氷期以降に太平洋側の全域で積雪量が減少したとは必ずしも限らないが、現段階ではデータが不足しており、これ以上の考察は困難である。

群馬県の赤城山は、ミヤコザサ線よりも太平洋側のミヤコザサ帯に位置しているが、山頂付近にはチマキザサ節が生育している。また、阿武隈山地や四国、九州にも、このような飛地が存在している。これらの事実から、鈴木（1978）は、「昔は今より積雪量が多く、そのためチシマザサ帯は今より広く、東は太平洋岸にまでも広がっていたのではないかと想像する。そして年月の経過とともに積雪量がしだいに少なくなり、その結果、チマキザサ節の分布域の東の縁が西へ、すなわち内陸へ後退したのであろう。雪の多い山頂に生育していたもの、または少雪のためにおきる寒さと乾燥に対して十分耐えられたものは残されたのだろう。一方、ミヤコザサ帯は西方、すなわち内陸へ張り出し、チマキザサ節が生育できる山頂を孤立させたのであろう。」と述べている。今後、地点数や試料数を増やすなどさらに詳細な検討を行うことで、これまで困難であったこのような仮説の証明や検証が可能になると考えられる。

3.6 結語

タケ亜科の植生変遷と気候変動との関係について検討を行った。その結果、メダケ率（メダケ属とクマザサ属の推定生産量の比率）の変遷は、約10万年周期の世界的な気候変動曲線（氷期－間氷期サイクル）と良好な対応関係にあることが明らかになった。複数の方法で年代測定が行われている倉ノ沢第1テフラ（Ks-1）の直下層は、酸素同位体ステージ15（約58万年前）の間氷期に対比され、現在と同様かそれより温暖な気候が推定された。これは、Ks-1の年代が約60万年前とする古地磁気法や電子スピン共鳴法の結果とも整合しており、この方法の有効性が実証された。

また、クマザサ属のうちチシマザサ節・チマキザサ節（積雪に対する適応性が高い）とミヤコザサ節（冬季の乾燥に適応）の植生変遷から、過去の積雪量の変動を試みた。その結果、日本海側を中心とした多雪化は、約1.3万年前頃に始まり、その後も継続されて現在に至っていることが推定された。これは、花粉分析から導かれた結果とも整合しており、この方法が積雪量変動の推定に有効であることが確かめられた。

第4章 最終氷期以降の九州南部における照葉樹林発達史

4.1 はじめに

カシ、シイ、クスノキ、イスノキなどを主体とした照葉樹林（常緑広葉樹林）は、西日本一帯に分布しており（図4.1, 図4.2）、雲南アッサム地方、東南アジア北部から中国の江南・河南地方にも広く分布している。照葉樹林の分布域では、水さらしによるアク抜き技法、茶の利用、ウルシの利用など多くの文化的要素が共通していることから、照葉樹林文化が提唱されている（中尾, 1966）。ここでは、日本文化の基層とされる照葉樹林の分布拡大の様相について、照葉樹林が最終氷期以降に最も早くから拡大したと考えられる九州南部を対象として検討する。

完新世における照葉樹林の発達史については、これまで主に花粉分析の結果から検討が行われており（Hatanaka, 1985；野井ほか, 1990；岩内ほか, 1992；畑中ほか, 1998など）、九州南部では約8,500年前にはすでにシイ林を主体とした照葉樹林が成立していたことが推定されている（松下, 1992）。しかし、花粉分析法による研究は、花粉の保存性の問題から研究対象が主に低湿地に限定されるため、台地上の植生を直接的に推定するのは困難であった。また、照葉樹林の主要構成要素であるクスノキ科については、花粉壁が完全には保存されないことから、花粉分析法では把握されないという問題もある。

九州南部には、約2.45万年前に始良カルデラから噴出したAT、約1.1万年前に桜島火山付近から噴出したSz-S、約7,500年前に桜島火山から噴出したSz-11、約6,300年前に鬼界カルデラから噴出したK-Ah（図4.3）、約4,200年前に霧島火山から噴出したKr-Mなど多数のテフラが分布している（早田, 1997bなど）。本論に関係するテフラの名称、記号、噴出年代、噴出源、文献を表4.1に示す。ここでは、これらのテフラを時間の指標として、九州南部における照葉樹林の分布拡大の様相について検討を行った。

調査地点は、九州南部の台地上を中心とした105地点である（図4.4）。各地点の所在地、緯度、経度、標高を表4.2に示す。試料は、各テフラの直下層を中心に、各層準ごとに1～5 cm間隔で採取した。図4.5に、代表的な4地点の土層断面の写真を示す。

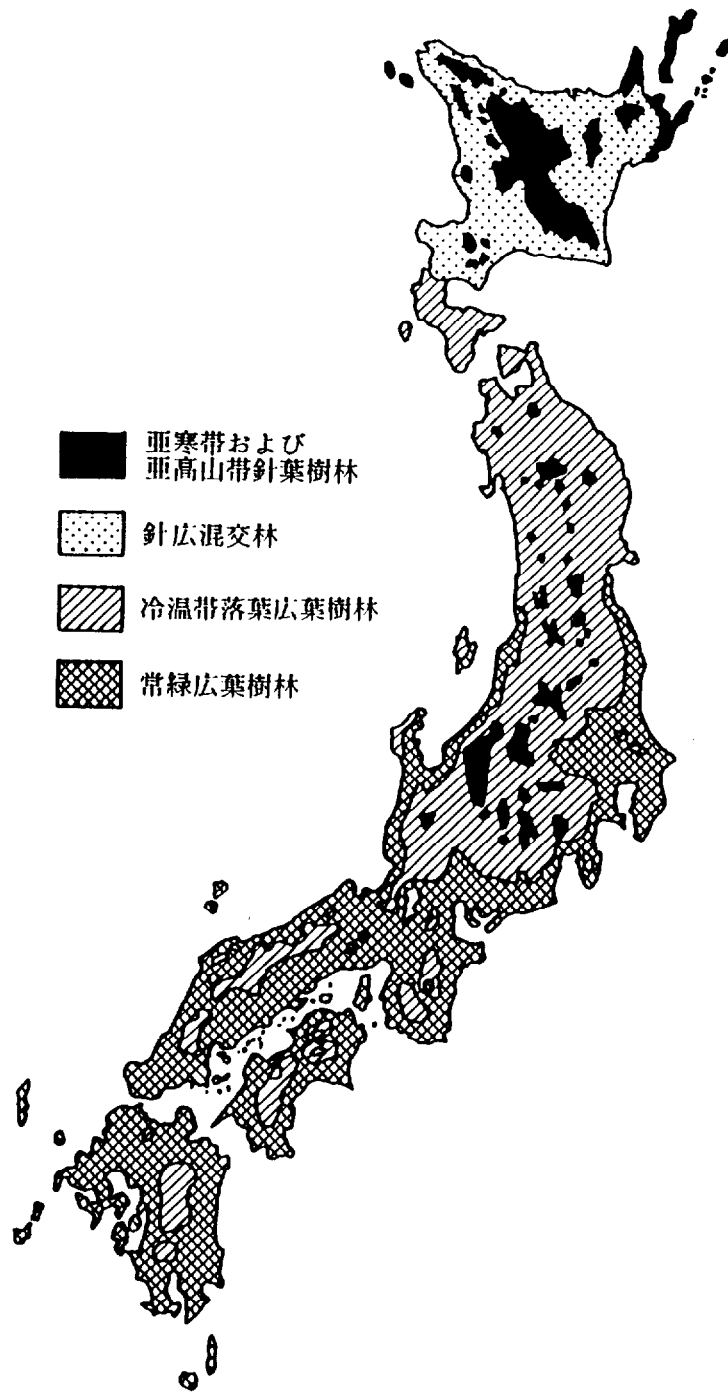


図4.1 日本列島の植生図 (吉岡, 1973)



図4.2 宮崎県綾町の照葉樹林

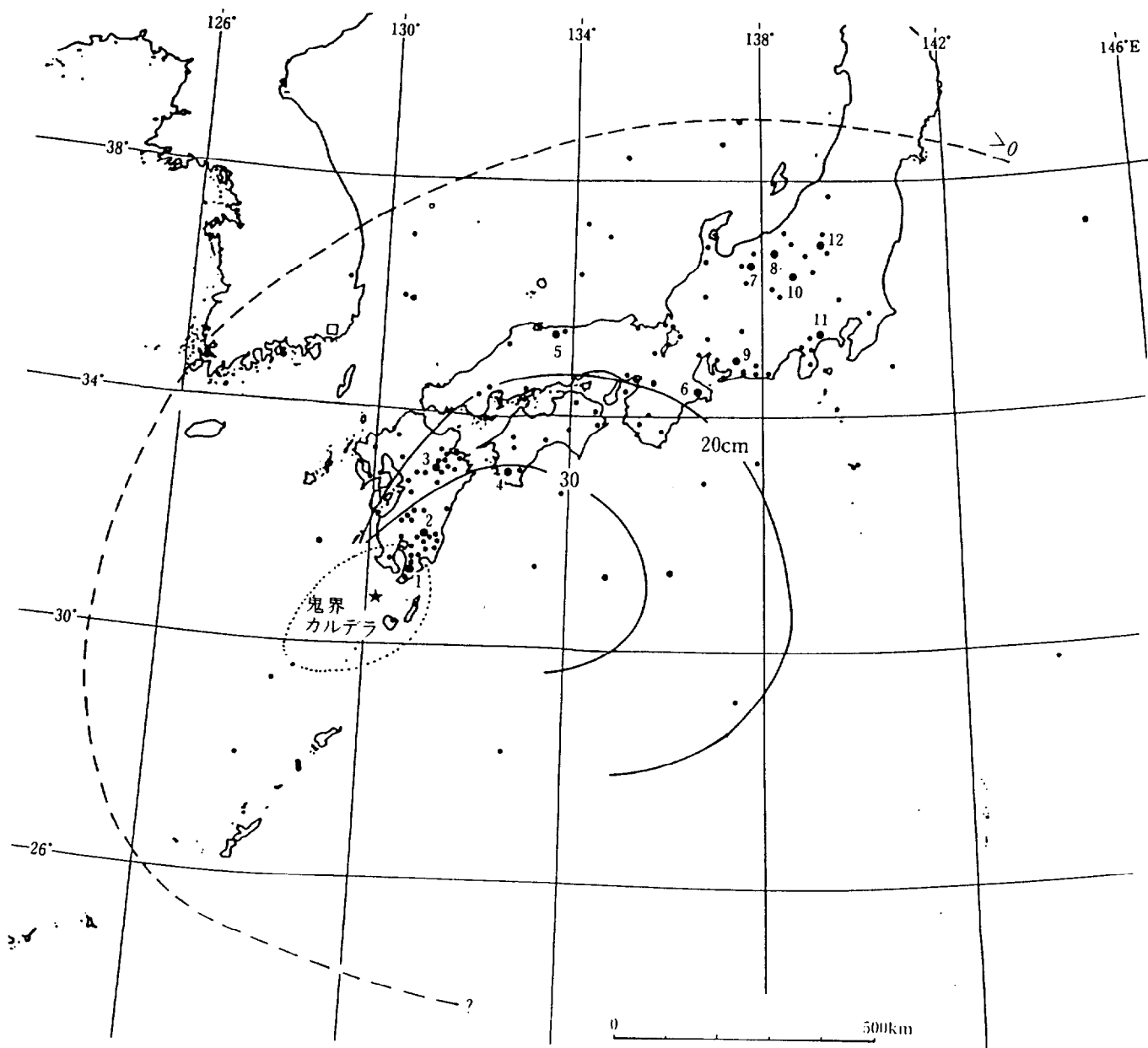


図4.3 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の等層厚線図 (町田・新井, 1992)

表4.1 九州南部に分布するテフラ一覧（本論文に關係するもの）

記号	テフラ名	年代	噴出源	文献
Sz-3	桜島文明軽石	AD1471年	桜島火山	小林（1986），町田・新井（1992） 早田（1997）
Kr-Th	霧島高原スコリア	AD1235年	霧島火山	井ノ上（1988），早田（1997） 奥野（1998）
Kr-M	霧島御池軽石	4.2ka	霧島火山	町田・新井（1992），奥野（1996）
Ik	池田湖テフラ	5.7ka	池田湖	成尾・小林（1984）
K-Ah	鬼界アカホヤ火山灰	6.3ka	鬼界カルデラ	町田・新井（1978）
K-Ky	幸屋火砕流	6.3ka	鬼界カルデラ	町田・新井（1978），宇井（1973）
Sz-11	桜島11テフラ	7.5ka	桜島火山	町田・新井（1992），小林（1986） Okuno et al.（1996）
Sz-13	桜島13テフラ	9.5ka	桜島火山	町田・新井（1992），小林（1986） Okuno et al.（1996）
Sz-S	桜島薩摩テフラ	11.0ka	桜島火山付近	町田・新井（1992）
Kr-Kb	霧島小林軽石	15.0ka	霧島火山	町田・新井（1992），早田（1997）
AT	始良Tn火山灰	24.5ka	始良カルデラ	町田・新井（1976），松本ほか（1987） 池田ほか（1995）
A-Ito	入戸火砕流	24.5ka	始良カルデラ	町田・新井（1976，1992）
A-0s	大隅降下軽石	24.5ka	始良カルデラ	町田・新井（1992）
TaneIV	種IVテフラ	35.0ka	阿多カルデラ付近	奥野・小林（1994）

※kaは1,000年前。年代値は放射性炭素年代測定値に基づくものであり、暦年代値ではない。

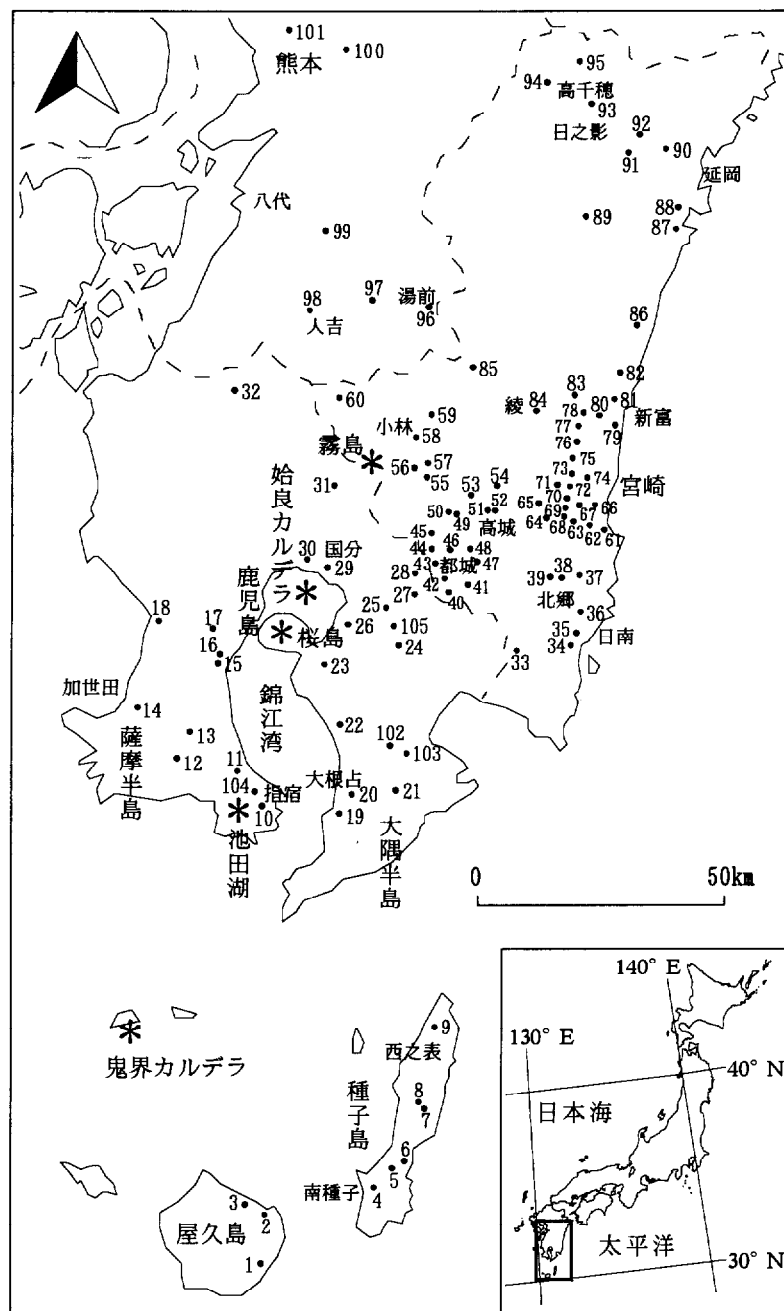


図4.4 九州南部における調査地点の位置

表4.2 九州南部における調査地点一覧

No	調査地点	緯度(N)	経度(E)	標高(m)	No	調査地点	緯度(N)	経度(E)	標高(m)
鹿児島県					49	都城市松ヶ迫	31°49'	131°06'	150
1	屋久町安房	30°19'	130°39'	100	50	都城市堂山	31°49'	131°05'	175
2	上屋久町長峰	30°22'	130°40'	200	51	高城町城ヶ尾	31°49'	131°08'	148
3	上屋久町宮之浦	30°24'	130°34'	200	52	高城町野中	31°49'	131°09'	160
4	南種子町島間	30°26'	130°52'	140	53	高城町上原遺跡	31°51'	131°08'	150
5	中種子町立切	30°28'	130°56'	160	54	高城町平八重	31°56'	131°11'	120
6	中種子町油久	30°29'	130°57'	80	55	高原町大鹿倉	31°55'	130°59'	250
7	中種子町三角山	30°36'	130°60'	250	56	小林市前ノ原	31°57'	130°58'	260
8	西之表市十六番	30°37'	130°59'	240	57	高原町広原	32°00'	131°00'	170
9	西之表市国上	30°47'	131°02'	200	58	小林市内屋敷	32°00'	130°58'	260
10	指宿市丈六	31°13'	130°38'	100	59	小林市猫坂	32°02'	131°02'	300
11	喜入町帖地	31°18'	130°33'	70	60	えびの市野久首遺跡	32°04'	130°48'	300
12	知覧町西垂水遺跡	31°19'	130°24'	165	61	宮崎市松添	31°48'	131°28'	10
13	知覧町堤之原遺跡	31°21'	130°27'	200	62	清武町下原	31°50'	131°25'	10
14	加世田市椿ノ原遺跡	31°25'	130°20'	38	63	清武町三角堀	31°50'	131°23'	40
15	鹿児島市谷山北麓	31°31'	130°31'	80	64	田野町元野	31°49'	131°17'	180
16	鹿児島市掃除山	31°31'	130°30'	80	65	田野町高野原	31°51'	131°15'	200
17	松元町仁田尾	31°36'	130°28'	100	66	宮崎市市位遺跡	31°51'	131°25'	20
18	東市来町市ノ原	31°40'	130°20'	100	67	清武町下中野	31°51'	131°24'	30
19	根占町前田	31°13'	130°48'	100	68	清武町下星野	31°51'	131°22'	65
20	大根占町厚ヶ瀬	31°15'	130°50'	160	69	清武町竹ノ内	31°52'	131°22'	90
21	吾平町廣牧	31°17'	130°55'	100	70	清武町権現原	31°52'	131°21'	60
22	垂水市新城	31°26'	130°45'	10	71	宮崎市椎屋形遺跡	31°53'	131°21'	90
23	垂水市高峠	31°31'	130°46'	530	72	宮崎市上ノ原遺跡	31°53'	131°22'	90
24	大隅町炭床遺跡	31°34'	130°58'	200	73	宮崎市白ヶ野	31°53'	131°22'	90
25	大隅町西原段Ⅱ遺跡	31°39'	130°56'	300	74	宮崎市浮田	31°55'	131°22'	15
26	福山町藤兵衛坂段遺跡	31°38'	130°52'	350	75	国富町木脇	31°59'	131°22'	40
27	末吉町桐木	31°40'	130°58'	200	76	国富町松元	31°60'	131°22'	50
28	末吉町小倉前	31°42'	130°58'	200	77	西都市長園原	32°01'	131°23'	80
29	国分市上野原遺跡	31°42'	130°48'	220	78	佐土原町上ノ原	32°02'	131°24'	80
30	隼人町小田	31°44'	130°43'	50	79	佐土原町伊賀給	32°00'	131°29'	10
31	霧島町泉水	31°52'	130°53'	600	80	佐土原町南学原	32°02'	131°25'	80
32	大口市小原野	32°05'	130°30'	610	81	新富町柳原遺跡	32°04'	131°30'	20
102	吾平町原口岡	31°20'	130°55'	50	82	高鍋町牛牧	32°07'	131°29'	8
103	高山町長珠庵	32°05'	130°30'	50	83	西都市西都原	32°07'	131°23'	61
104	指宿市水迫遺跡	31°15'	130°36'	120	84	綾町南俣	31°59'	131°14'	230
105	大隅町菅牟田	31°36'	130°57'	160	85	須木村田代ヶ八重遺跡	32°09'	131°06'	400
宮崎県					86	川南町後牟田	32°12'	131°32'	50
33	串間市三幸ヶ野	31°33'	131°13'	85	87	日向市寺ノ上遺跡	32°26'	131°38'	20
34	日南市坂ノ上	31°36'	131°19'	120	88	門川町南町遺跡	32°28'	131°39'	10
35	日南市川辺ヶ野	31°37'	131°20'	80	89	西郷村キシヨ原遺跡	32°26'	131°26'	120
36	北郷町大藤	31°39'	131°23'	30	90	延岡市黒土田	32°33'	131°35'	43
37	北郷町大原遺跡	31°42'	131°22'	250	91	北方町速日峰	32°33'	131°28'	120
38	北郷町柿ヶ迫遺跡	31°42'	131°20'	160	92	北方町矢野原	32°34'	131°31'	116
39	北郷町池ノ上遺跡	31°44'	131°21'	160	93	日之影町平谷遺跡	32°39'	131°22'	200
40	都城市笹ヶ崎	31°41'	131°03'	150	94	高千穂町中ノ原	32°42'	131°16'	400
41	都城市上ノ園	31°42'	131°05'	100	95	高千穂町岩戸五ヶ村	32°43'	131°21'	400
42	都城市岩立	31°42'	131°02'	150	熊本県				
43	都城市西原遺跡	31°43'	131°02'	170	96	湯前町潮	32°16'	131°00'	300
44	都城市牧ノ原	31°45'	131°01'	180	97	深田村灰塚	32°15'	130°54'	180
45	都城市金石城	31°46'	131°01'	200	98	人吉市沖松	32°14'	130°45'	150
46	都城市田谷尻枝遺跡	31°45'	131°02'	160	99	五木村頭地	32°24'	130°50'	330
47	都城市池ノ友	31°44'	131°06'	60	100	熊本市石の本	32°50'	130°48'	80
48	都城市永増	31°44'	131°04'	60	101	植木町ヲスギ	32°53'	130°40'	80



鹿児島県大根占町



鹿児島県吾平町

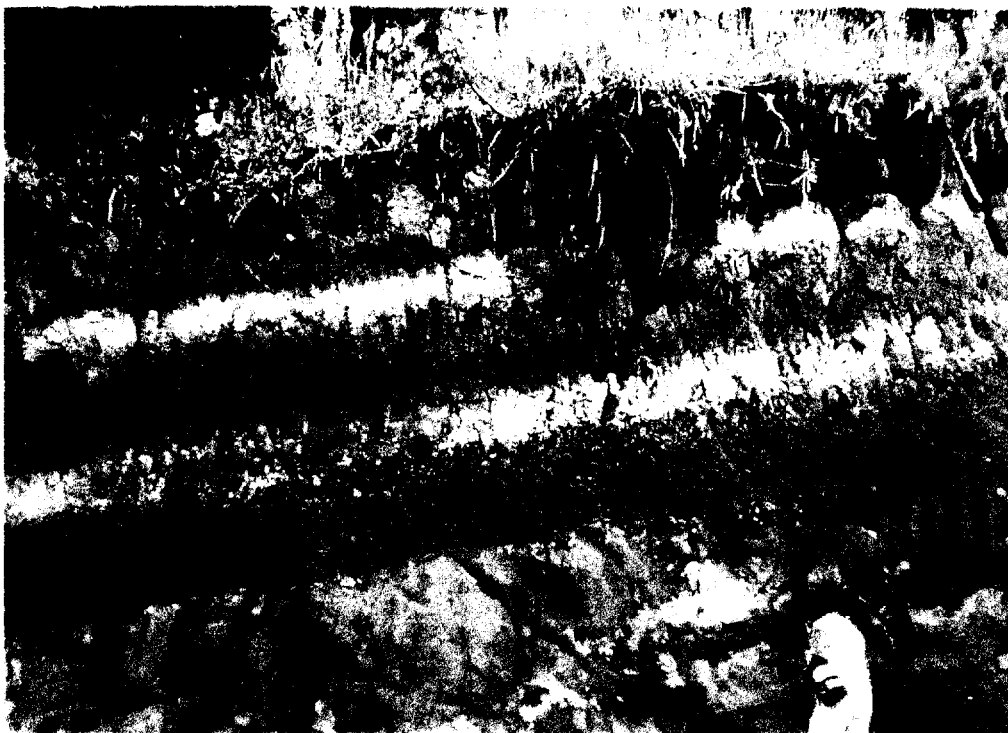
図4.5a 九州南部における調査地点の土層断面



K-Ah

Sz-S

鹿児島県国分市



K-Ah

Kr-Kb

AT

Kr-Aw

宮崎県綾町

図4.5b 九州南部における調査地点の土層断面

4.2 照葉樹林化の開始時期

照葉樹の葉中に含まれる植物珪酸体の密度（絶乾した1gの葉に含まれる植物珪酸体の個数）を、ガラスビーズ法（藤原，1976）を用いて測定した。その結果を表4.3に示す。

表4.3 おもな照葉樹の植物珪酸体密度（杉山，1999b）

分類群	密度 (個/g)
ブナ科	
アカガシ	40,000
イチイガシ	41,000
シラカシ	71,000
マテバシイ	28,000
スタジイ	23,000
ツブラジイ	41,000
クスノキ科	
バリバリノキ	58,000
マンサク科	
イスノキ	199,000

照葉樹の植物珪酸体の密度は、南九州のイネ科植生を代表するメダケ属ネザサ節の機動細胞珪酸体密度（約208,000個/g）と比較して、10～30%程度とかなり低い値である。このように、樹木は一般に植物珪酸体の生産量が低いことから、植物珪酸体分析の結果から古植生を復原する際には、イネ科草本類と比較してかなり過大に評価する必要がある。

また、植物珪酸体は移動性が比較的小さいことから、ごく少量が検出された場合でも、調査地点付近にその樹木が生育していたとみなすことができる。さ

らに、照葉樹起源の植物珪酸体の垂直方向の検出状況をみると、出現当初は低密度であっても上位に向かって増加傾向を示す場合がほとんどであり、テフラ降灰の影響が大きい場合などを除いて、一度出現したものが消滅したり減少することは少ない。

以上のことから、ここでは照葉樹起源の植物珪酸体が初めて出現した層準をもって、照葉樹林化の開始と判断した。

4.3 植物珪酸体の出現状況と植生復原

(1) 種Ⅰテフラ～種Ⅳテフラ (TaneⅠ～種Ⅳ) の直下層

鹿児島県種子島には、約6.5万年前とされるTaneⅠ、TaneⅡ、約4.5万年前とされるTaneⅢ、約3.5万年前とされるTaneⅣが分布している。種子島の西之表市 (No.9) では、TaneⅠとTaneⅡの下層について分析を行った。その結果、これらのテフラの上下層からシイ属が検出された。また、南種子町 (No.4) ではTaneⅢとTaneⅣの下層について分析を行ったところ、TaneⅢの下層からシイ属、TaneⅣの下層からシイ属とイスノキ属が検出された (図4.6)。以上のことから、種子島では最終氷期の約6.5万年前から約3.5万年前にかけて、シイ属などが生育する照葉樹林が継続して存在していたと推定される。

(2) 始良Tn火山灰 (AT) ～始良入戸火砕流堆積物 (A-Ito) の直下層

約2.45万年前に始良カルデラから噴出した入戸火砕流堆積物 (A-Ito) は南九州全域に及んでおり、この噴火に伴うATは日本列島のほぼ全域に分布している (町田・新井, 1976)。これらのテフラの直下層では、34地点について分析を行った (図4.7-1)。その結果、鹿児島県屋久島 (No.3) と種子島 (No.4, 9) の合計3地点から照葉樹起源の植物珪酸体が検出された。照葉樹の分類群は、No.3ではクスノキ科とイスノキ属、No.4ではシイ属、クスノキ科、イスノキ属、No.9ではシイ属である。以上のことから、種子島や屋久島では最終氷期の約24,500年前にシイ属やクスノキ科などの照葉樹林が存在していたと推定される。

(3) 霧島小林軽石 (Kr-Kb) の直下層

約1.5万年前に霧島火山から噴出したKr-Kbは、宮崎県中部一帯に分布している。同テフラの直下層では12地点について分析を行った (図4.7-2)。その結果、照葉樹起源の植物珪酸体はいずれの地点からも検出されなかった。

(4) 桜島薩摩テフラ (Sz-S) の直下層

約1.1万年前に桜島火山付近から噴出したSz-Sは、南九州一帯に分布している。同テフラ直下層では、29地点について分析を行った (図4.7-3)。その結果、種子島 (No.7) と薩摩半島 (No.14, 15, 18, 104) の合計5地点から照葉樹起源の

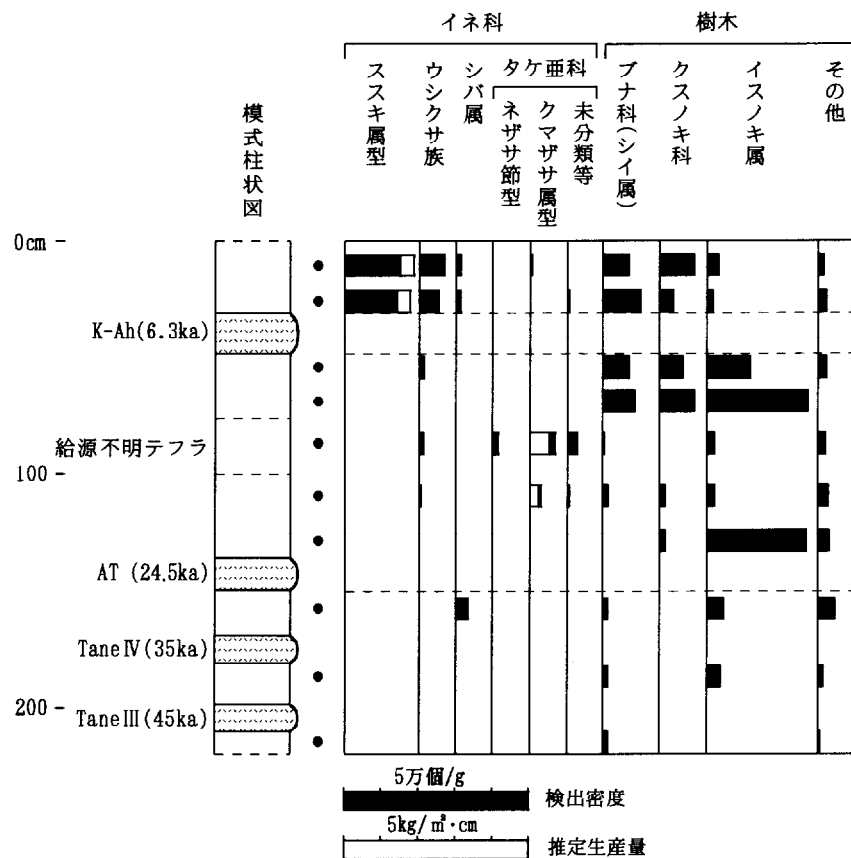
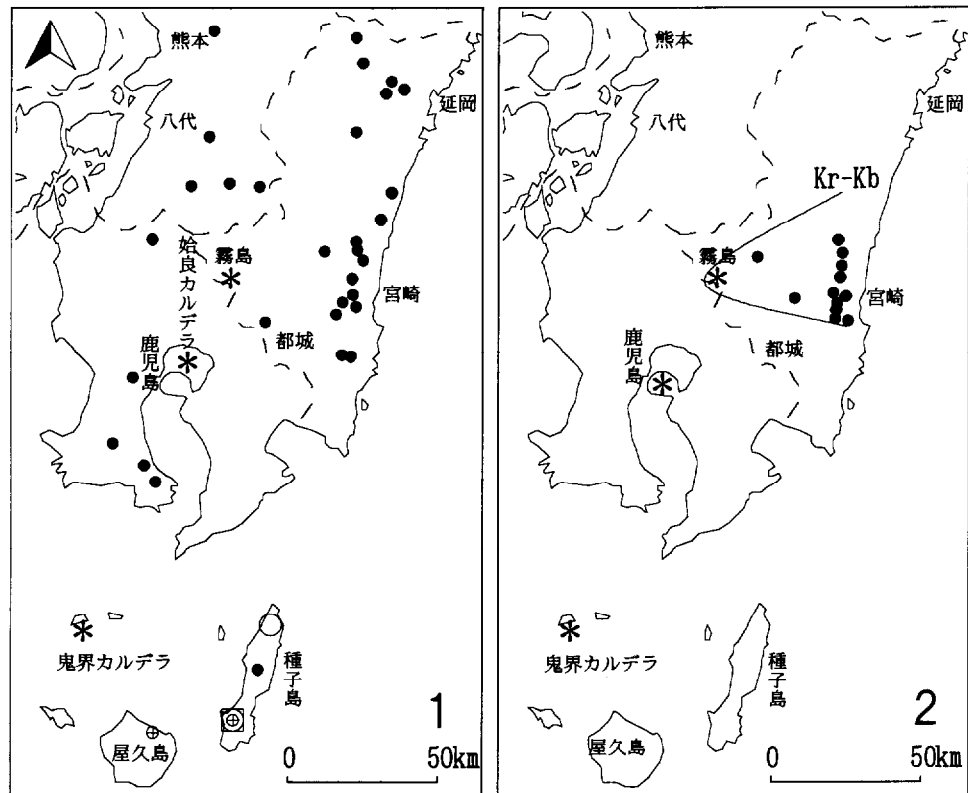


図4.6 鹿児島県南種子町島間における植物珪酸体分析結果（主な分類群）
杉山（1999）



AT・A-Ito直下層 (約24.5ka)

Kr-Kb直下層 (15ka)

記号： ○シイ属 ○クスノキ科 □アカガシ亜属 +イスノキ属 ●照葉樹未検出

図4.7a 九州南部における照葉樹起源の植物珪酸体の出現状況

杉山 (1999) に加筆

植物珪酸体が検出された。照葉樹の分類群は、No.7ではシイ属とクスノキ科、No.14, 15, 18, 104ではクスノキ科である。以上のことから、約1.1万年前には薩摩半島の沿岸部などでクスノキ科の分布拡大が開始されていたと推定される。

(5) 霧島蒲牟田スコリア (Kr-KMS) ・桜島11テフラ (Sz-11) の直下層

約7,400～8,300年前に古高千穂火山から噴出したKr-KMSは、宮崎県南西部一帯に分布している。同テフラの直下層では、No.49, 50, 51, 53, 54, 58の6地点について分析を行ったが、照葉樹起源の植物珪酸体はいずれの地点からも検出されなかった。

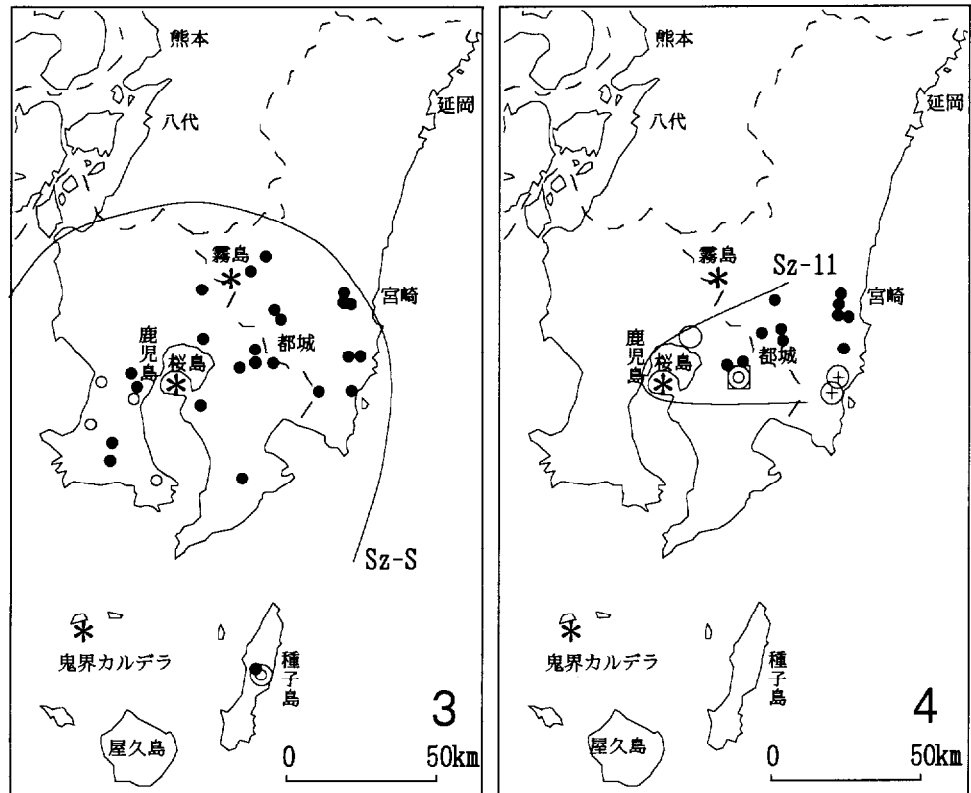
約7,500年前に桜島火山から噴出したSz-11は、大隅半島北部から宮崎県南部にかけて分布している。同テフラの直下層では、15地点について分析を行った(図4.7-4)。その結果、鹿児島県国分市 (No.29) と大隅町 (No.105) および宮崎県日南市 (No.34, 35) の合計4地点から照葉樹起源の植物珪酸体が検出された。照葉樹の分類群は、各地点とも共通してシイ属が見られ、No.34と35ではイスノキ属、No.105ではクスノキ科とアカガシ亜属も見られた。

なお、照葉樹起源の植物珪酸体が検出されなかった宮崎県南部の内陸部などでは、Sz-11層準を境にメダケ属ネザサ節やメダケ属メダケ節などのタケ亜科が優勢となっており、ススキ属やチガヤ属などのイネ科も増加している。

以上のことから、約7,500年前には錦江湾沿岸部や宮崎県南部沿岸部などでシイ属を主体とした照葉樹林が出現していたと推定される。また、この頃には宮崎県南部の内陸部などで、ネザサ節やメダケ節などのタケ亜科を主体としてススキ属やチガヤ属なども見られる草原植生が成立したと推定される。

(6) 幸屋火砕流 (K-Ky) ・鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の直下層

約6,300年前に鬼界カルデラから噴出した幸屋火砕流 (K-Ky) は、薩摩半島南部や大隅半島南部にまで及んでおり、この噴火に伴うK-Ahは東北地方南部にまで分布している(町田・新井, 1992)。これらのテフラの直下層では、75地点について分析を行った(図4.7-5)。その結果、種子島と屋久島のすべての地点、薩摩半島と大隅半島、宮崎県南部沿岸部のほとんどの地点、および宮崎県や熊本県の内陸部を含む合計41地点から照葉樹起源の植物珪酸体が検出された。照



Sz-S直下層 (11ka)

Sz-11直下層 (7.5ka)

記号： ○シイ属 ○クスノキ科 □アカガシ亜属 +イスノキ属 ●照葉樹未検出

図4.7b 九州南部における照葉樹起源の植物珪酸体の出現状況

葉樹の分類群は、基本的にはシイ属とクスノキ科であり、種子島、屋久島、薩摩半島南部、宮崎県南西部などの9地点ではイスノキ属、錦江湾周辺や宮崎県南部の内陸部などの10地点ではアカガシ亜属が伴われる。

なお、宮崎県南西部の内陸部から霧島火山東麓にかけての一带などでは、照葉樹起源の植物珪酸体が検出されない地点がまとまって認められた。これらの地点ではメダケ属ネザサ節などのタケ亜科が卓越しており、ススキ属やチガヤ属などのイネ科も普遍的に検出された。

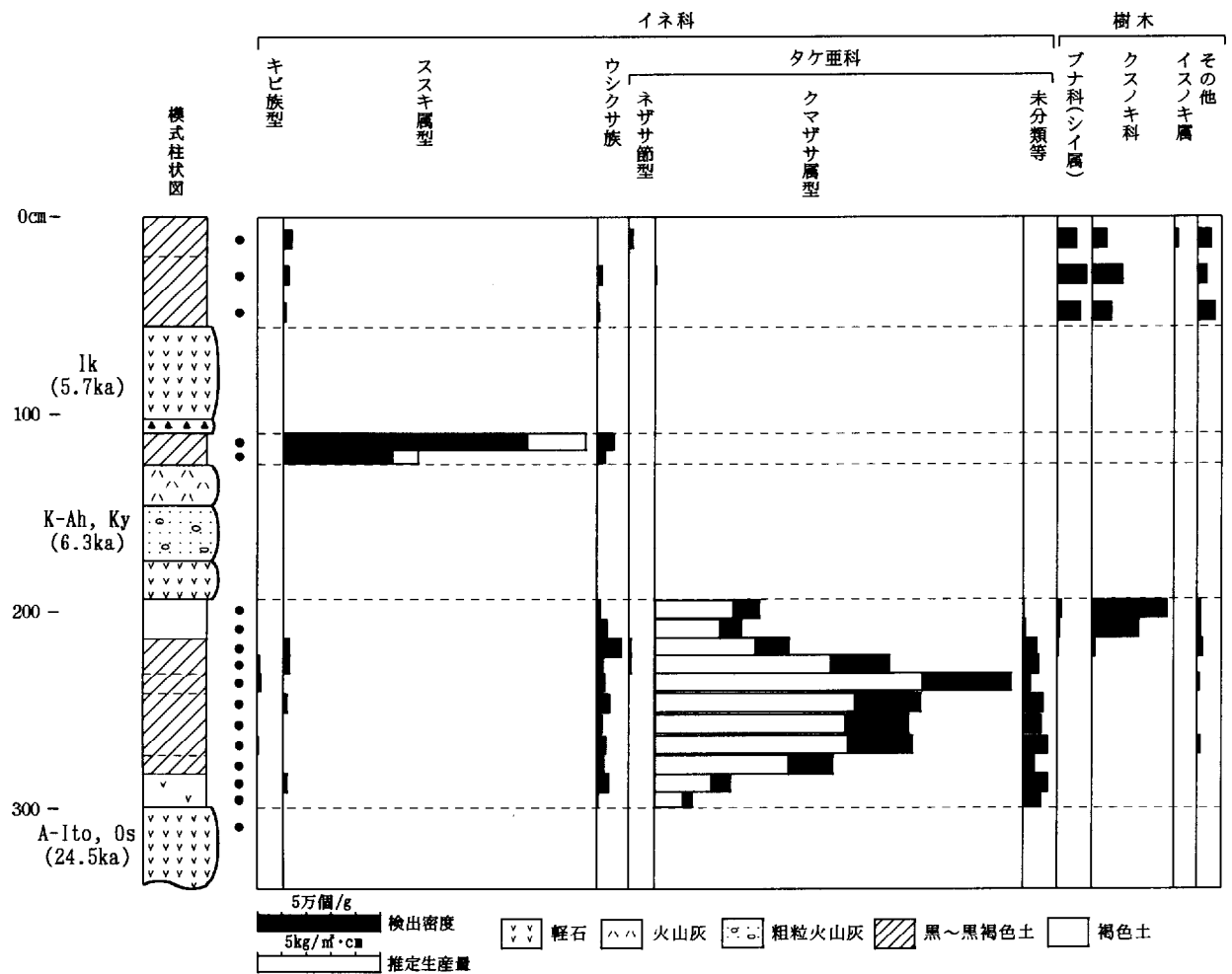
以上のことから、約6,300年前までにはシイ属やクスノキ科を主体とした照葉樹林が南九州の沿岸部をはじめ九州の内陸部にまで拡大していたと推定される。一方、宮崎県南西部の内陸部から霧島火山東麓にかけての一带などでは、ネザサ節などのタケ亜科を主体としてススキ属やチガヤ属なども見られるイネ科主体の草原植生が継続されていたと推定される。

(7) 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の直上層

K-Ah直上層では、71地点について分析を行った。その結果、38地点から照葉樹起源の植物珪酸体が検出された(図4.7-6)。これらの地点の分布状況は、K-Kyが及んだ薩摩半島南部と大隅半島南部を除いて、K-Ahの下層とおおむね同様である。

K-Kyが及んだ大隅半島南部の大根占町 (No.20) では、それまで増加傾向を示していた照葉樹起源の植物珪酸体がまったく見られなくなり、かわってススキ属が多量に検出された(図4.8)。約5,700年前に池田湖から噴出したIkの直下にかけてもススキ属が継続して多量に検出され、照葉樹起源の植物珪酸体はまったく認められなかった。K-Kyが及んだ薩摩半島南部 (No.10、12、13、104) と大隅半島南部 (No.20、21、103) の7地点でも同様の結果である。

このうち、大根占町 (No.20) と指宿市 (No.104) について、K-Ah直上からIk直下の堆積期間の間に生産されたススキの生産量を推定した。その結果、前者では約130kg/m²、後者では約126kg/m²と算出された。これをススキ草原(採草地)におけるススキの年間生産量の0.22g/m²(吉田, 1976)で割ると、前者では約570年間、後者では約590年間となる。このように、これらの地点ではK-Ah直上からIk直下までの約600年間を通してススキ草原が継続されていたと推定さ



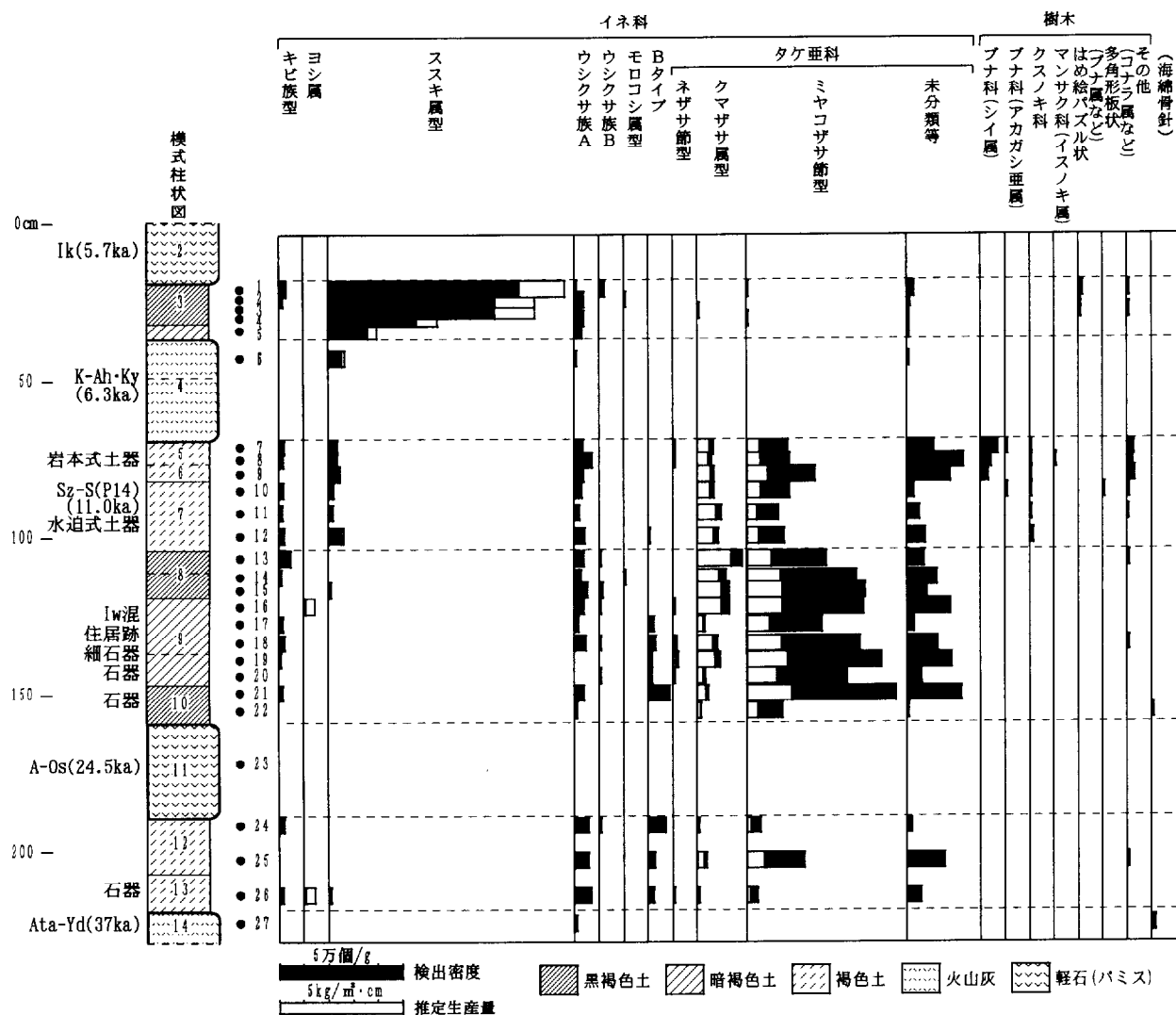
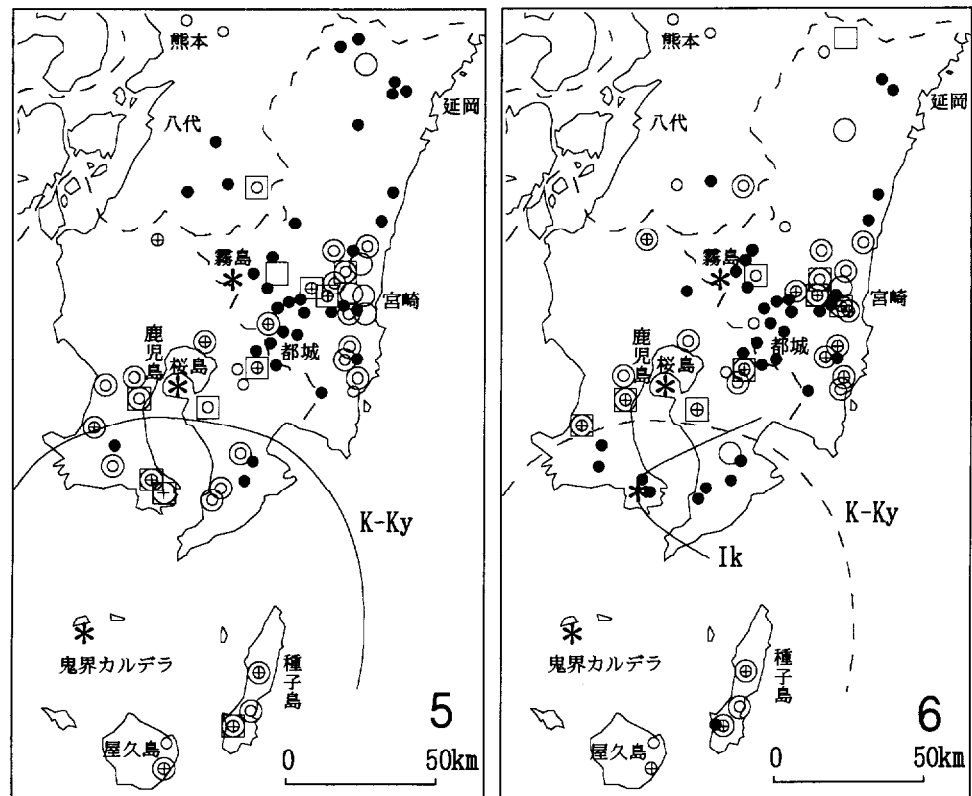


図4.9 指宿市水迫遺跡南壁における植物珪酸体分析結果（主な分類群）
杉山（2001）を改変



K-Ah・K-Ky直下層 (6.3ka)

K-Ah・K-Ky直上～Ik直下層 (5.7ka)

記号： ○シイ属 ○クスノキ科 □アカガシ亜属 +イスノキ属 ●照葉樹未検出

図4.7c 九州南部における照葉樹起源の植物珪酸体の出現状況

れる。

なお、K-Kyの到達範囲の縁辺部にあたる吾平町原口岡 (No.102) および薩摩半島南部の指宿市水迫 (No.104) では、K-Ky直上でススキ属の大幅な増加は認められたものの、Ikとの間の土壌では前者でシイ属が検出され (図4.9)、後者ではブナ属などの落葉樹起源の植物珪酸体が検出された。

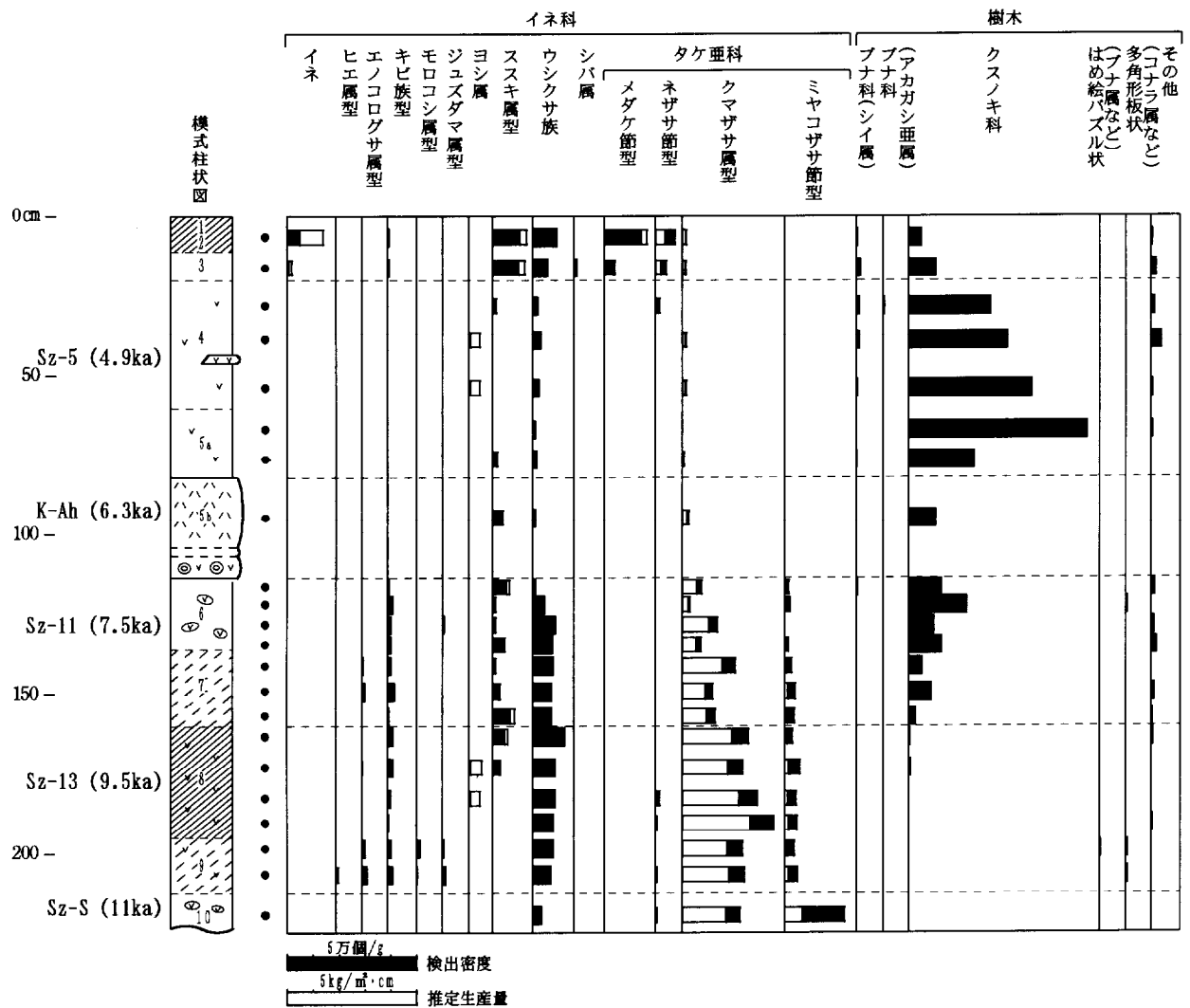
一方、K-Kyが及ばなかった鹿児島県中部以北では、K-Ah直上で照葉樹起源の植物珪酸体が見られなくなるような大きな変化は認められず、ススキ属の増加も認められなかった。鹿児島県中部 (No.15、23) や宮崎県南東部 (No.35、37、39) などでは新たにイスノキ属が伴われ、内陸部を中心とした6地点 (No.27、85、89、94、95、98) では新たにクスノキ科などが出現している。また、鹿児島県国分市 (No.29) では、K-Ah直上でクスノキ科が大幅に増加していることが確かめられた (図4.10)。宮崎市 (No.72) でもK-Ah直上でシイ属が大幅に増加しており、アカガシ亜属やイスノキ属、クスノキ科も出現している (図4.11)。このように、K-Kyが及ばなかった鹿児島県中部以北では、K-Ah直上で照葉樹起源の植物珪酸体の種類や量が増加する傾向が認められた。

以上のことから、薩摩半島南部と大隅半島南部では、K-Kyによってそれまで分布していた照葉樹林が絶えて、ススキ属などが繁茂する草原植生に移行したと推定される。このような草原植生は約5,700年前とされるIkの直下層まで継続していることから、これらの地域の大部分では少なくとも約600年間は照葉樹林が回復しなかったと推定される。ただし、K-Kyの到達域の縁辺部では部分的に照葉樹林が回復しつつあったと考えられ (Machida and Sugiyama, 印刷中)、K-Kyの到達域内でも部分的にブナ属などの落葉樹林が見られるようになっていたと推定される。

K-Kyが及ばなかった鹿児島県中部以北では、照葉樹林の回復がかなり早かったと考えられ、K-Ahの堆積によって照葉樹林の分布拡大が促進された可能性も認められた。

(8) 霧島御池軽石 (Kr-M) の直下層

約4,200年前に霧島火山から噴出したKr-Mは、宮崎県南部一帯に分布している。同テフラの直下層では22地点について分析を行った (図4.7-7)。その結果、1



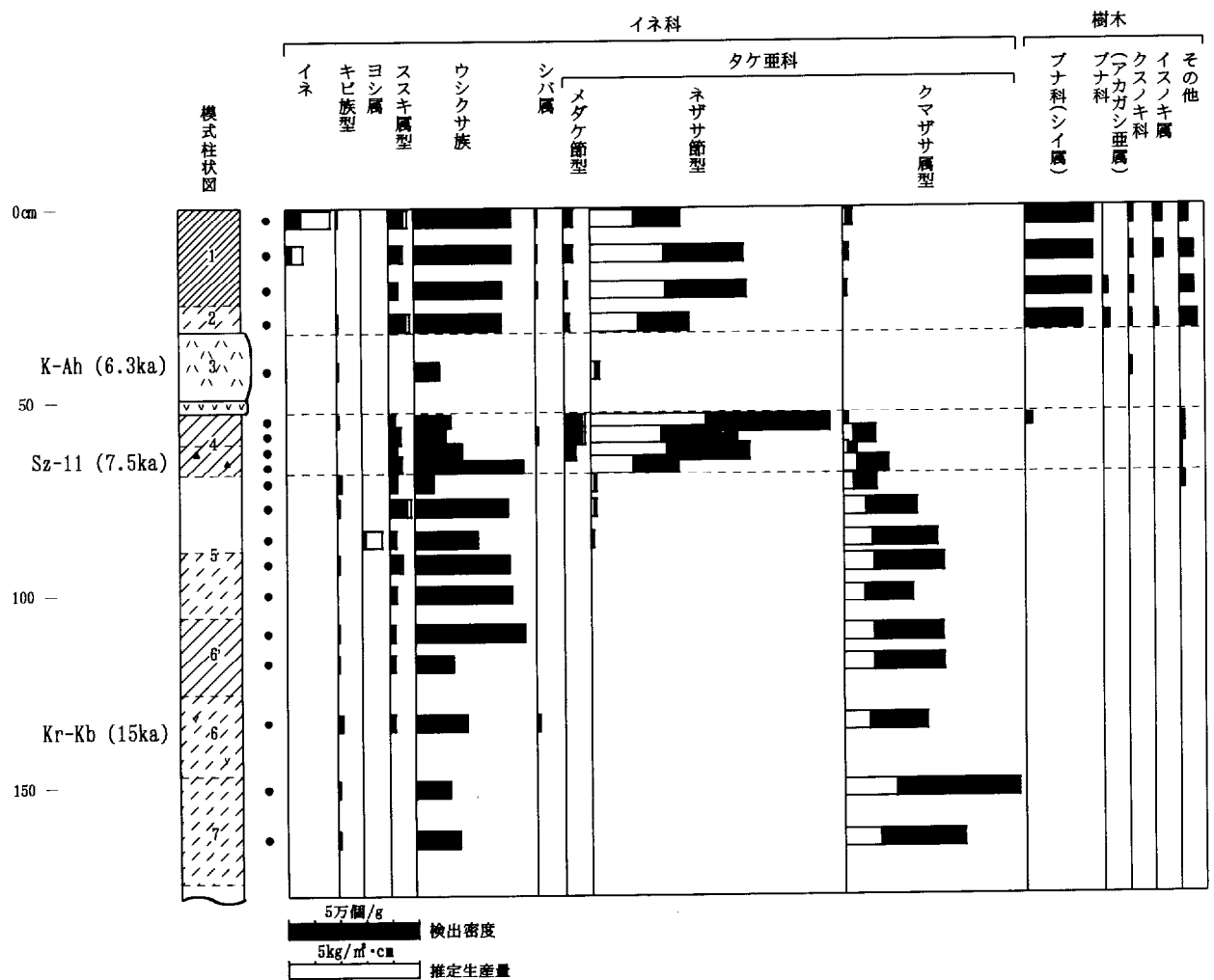
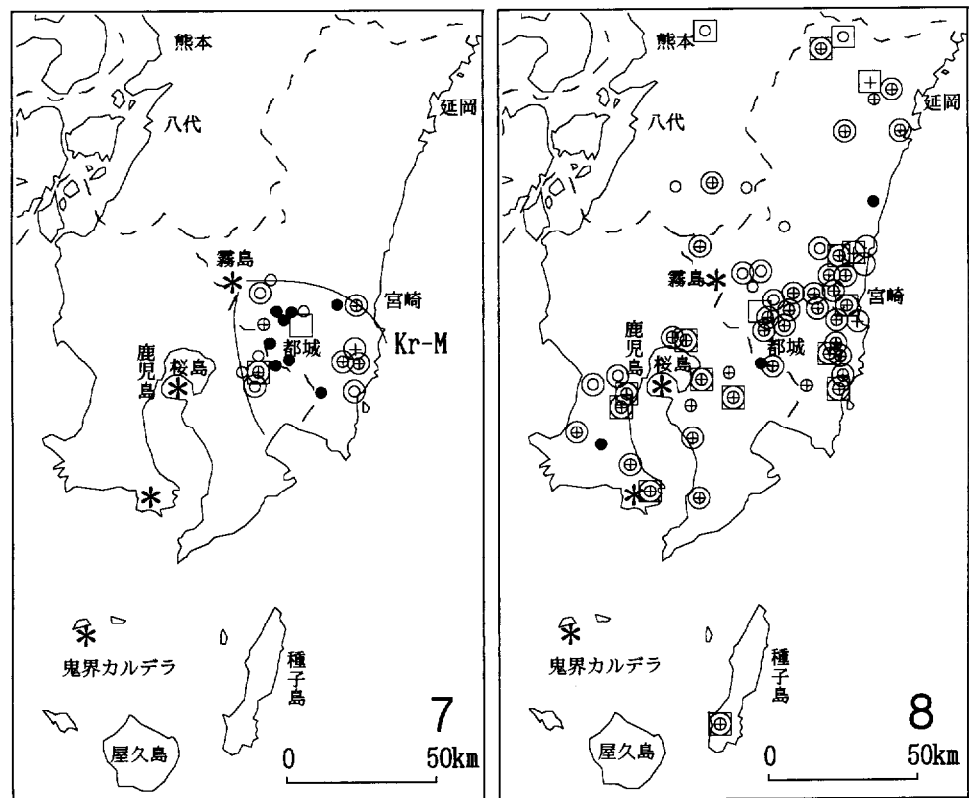


図4.11 宮崎県宮崎市上原遺跡における植物珪酸体分析結果（主な分類群）
杉山（1999）



Kr-M直下層 (4.2ka)

現表土層

記号： ○シイ属 ○クスノキ科 □アカガシ亜属 +イスノキ属 ●照葉樹未検出

図4.7d 九州南部における照葉樹起源の植物珪酸体の出現状況

4地点から照葉樹起源の植物珪酸体が検出された。照葉樹の分類群は、宮崎県南東部ではシイ属、クスノキ科、イスノキ属であり、内陸部ではクスノキ科が主体である。

一方、内陸部の都城市周辺では、照葉樹起源の植物珪酸体が検出されないところがまとまって認められた。前述のように、宮崎県南西部の内陸部から霧島火山東麓にかけての一带などでは、K-Ahの下層から継続して照葉樹起源の植物珪酸体が検出されていない。これらの地点は黒ボク土の分布域とおおむね一致しているようである。

(9) 現表土

現表土では62地点について分析を行った(図4.7-8)。その結果、全体の95%にあたる59地点から照葉樹起源の植物珪酸体が検出された。この中には、Kr-Mの下層まで照葉樹起源の植物珪酸体が検出されなかった宮崎県南西部の内陸部や、現在は照葉樹がまったく見られない植林地や水田、畑地なども含まれている。以上のことから、九州南部のほぼ全域に照葉樹林が拡大したのは約4,200年前以降と考えられ、各地点の周辺には比較的最近まで照葉樹林が分布していたと推定される。なお、水田や畑地については照葉樹の葉が肥料などとして投入されていた可能性も考えられる。

4.4 最終氷期以降の九州南部における照葉樹林発達史

(1) 最終氷期

種子島では、約6.5万年前のTane I とTane II、約4.5万年前のTane III、約3.5万年前のTane IV、および約24,500年前のATの上下層からシイ属やイスノキ属などの照葉樹起源の植物珪酸体が検出され、約6.5万年前以降の最終氷期にシイ属を主体とした照葉樹林が継続して存在していたことが確かめられた。また、屋久島でもAT直下層の時期にクスノキ科やイスノキ属などの照葉樹林が存在していたことが確かめられた。

九州本島では、現在のところ最終氷期の堆積層から照葉樹起源の植物珪酸体は検出されていないが、東シナ海東部・男女海盆における海底ボーリング試料の花粉分析では、ATを挟む層からアカガシ亜属やマキ属が数%から10%以上の割合で検出されており（松岡，1994）、宮崎市における花粉分析でも最終氷期の堆積層から少量ながらアカガシ亜属が検出されている（外山，1982）。これらのことから、現在は海底になっている当時の沿岸部などに照葉樹林が分布していた可能性が考えられる。

(2) 約1.1万年前～約7,500年前

その後、約1.1万年前のSz-Sの直下層の時期には、薩摩半島の沿岸部などでクスノキ科の分布拡大が開始されていたと推定される。花粉分析によると9,000～8,800年前には鹿児島市でシイカシ林が成立していたと推定されているが（岩内ほか，1992）、これよりも前にクスノキ科の拡大が開始されていた可能性が考えられる。クスノキ科の種実にはシイ属やアカガシ亜属と比較して小型であり、鳥類によって散布されることから、晩氷期における急激な温暖化に伴ってクスノキ科が先駆的に分布を拡大したと推定される。

約7,500年前のSz-11の下層の時期には、錦江湾沿岸部や宮崎県南部沿岸部などで、シイ属を主体とした照葉樹林が出現していたと推定される。花粉分析によると7,500年前には宮崎県佐土原町でシイ林が成立していたと推定されており（松下，1992）、今回の植物珪酸体分析の結果はこれとよく一致している。なお、宮崎県南部の内陸部などでは、この頃にメダケ属ネザサ節などのタケ亜科を主体としてススキ属なども見られる草原植生が成立したと推定される。

（３）約6,300年前以降

約6,300年前のK-Ahの下層の時期には、シイ属やクスノキ科を主体とした照葉樹林が、南九州の沿岸部をはじめ九州の内陸部にまで拡大していたと推定される。

ただし、黒ボク土が広く分布する宮崎県南部の内陸部などでは（図4.12）、比較的最近まで、メダケ属ネザサ節などのタケ亜科を主体としてススキ属やチガヤ属なども見られるイネ科主体の草原植生が継続されていたと推定される（杉山・早田，1997b，図4.13）。

また、図4.14のように、メダケ属ネザサ節やススキ属の植物珪酸体の密度が高いほど黒ボク土型の判定率が高くなり、照葉樹起源の植物珪酸体の密度が高いほど非黒ボク土の割合が高くなることから、黒ボク土はメダケ属ネザサ節やススキ属などの草原植生下で生成され、照葉樹林下では生成されないと考えられる（杉山ほか，投稿中）。

メダケ属ネザサ節やススキ属などのイネ科植物は、日当たりの悪い林床では生育が困難であり、ススキ属やチガヤ属の草原植生が維持されるためには定期的な刈り取りや火入れ（焼き払い）が必要である（堀田，1991；近藤，1995；佐瀬，1995など）。このことから、人間による植生干渉や火入れ、もしくは山火事の頻発などによって、照葉樹林の分布拡大が妨げられた可能性が考えられる。

照葉樹林の分布拡大が遅れた原因として火山活動の影響も想定されるが、Kr-Mの噴火以前に霧島火山の目立った活動が認められないこと、宮崎県北部など火山から離れた地域でも同様の現象が認められることから、その影響はあまり大きくなかったと考えられる。

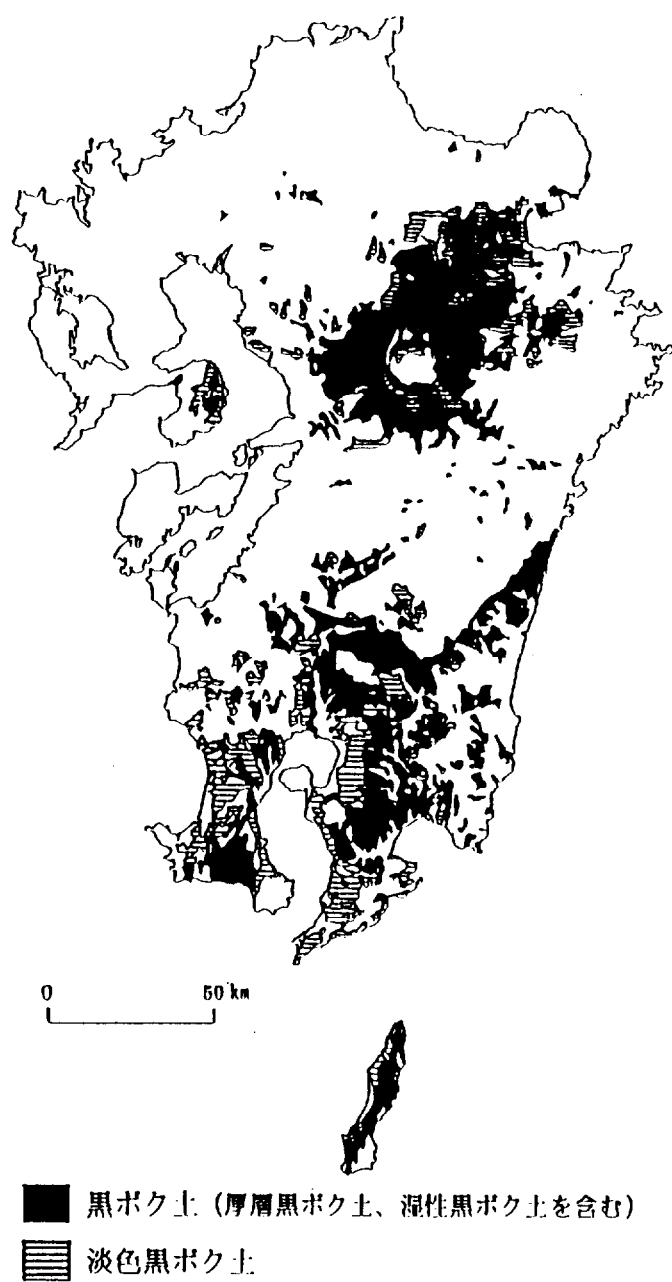


図4.12 九州における黒ボク土の分布図
 (ペドロジスト懇談会, 1990より作成)

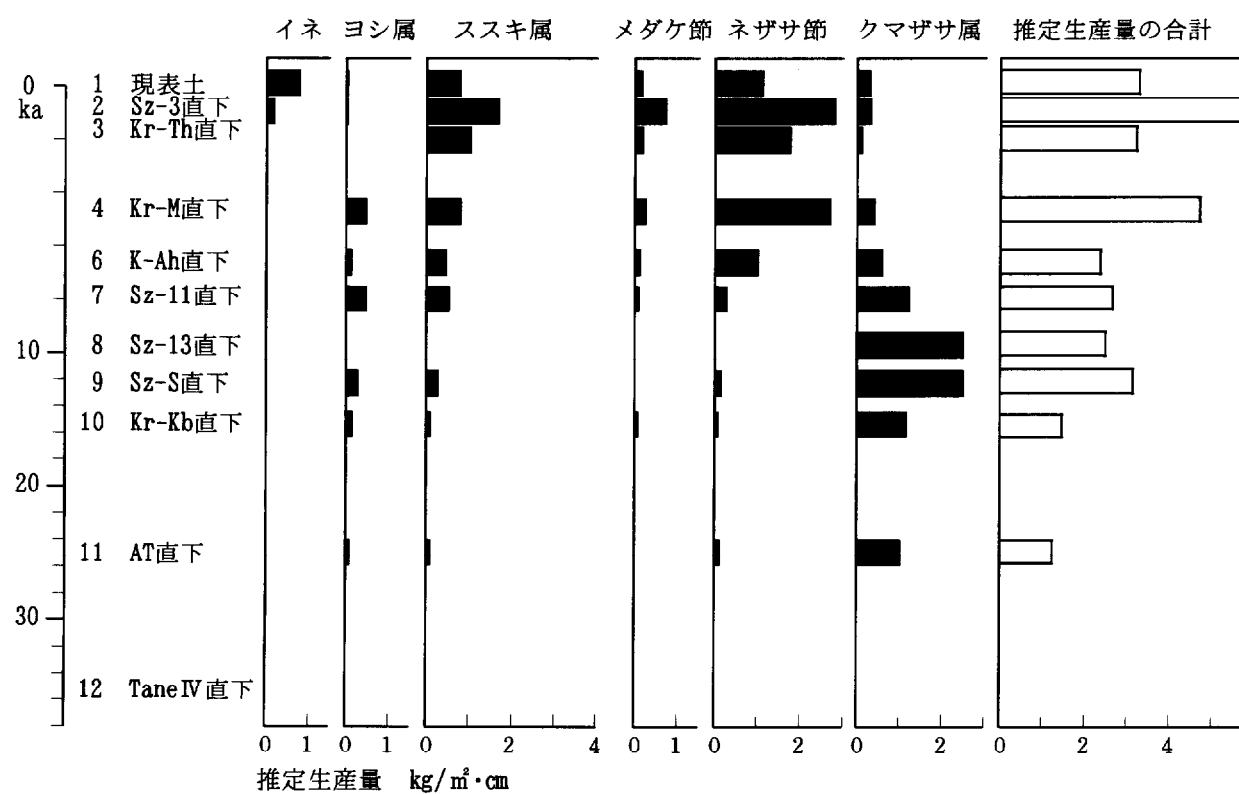


図4.13 最終氷期以降の九州南部におけるイネ科植生の変遷（101地点の平均）
杉山ほか（2001）

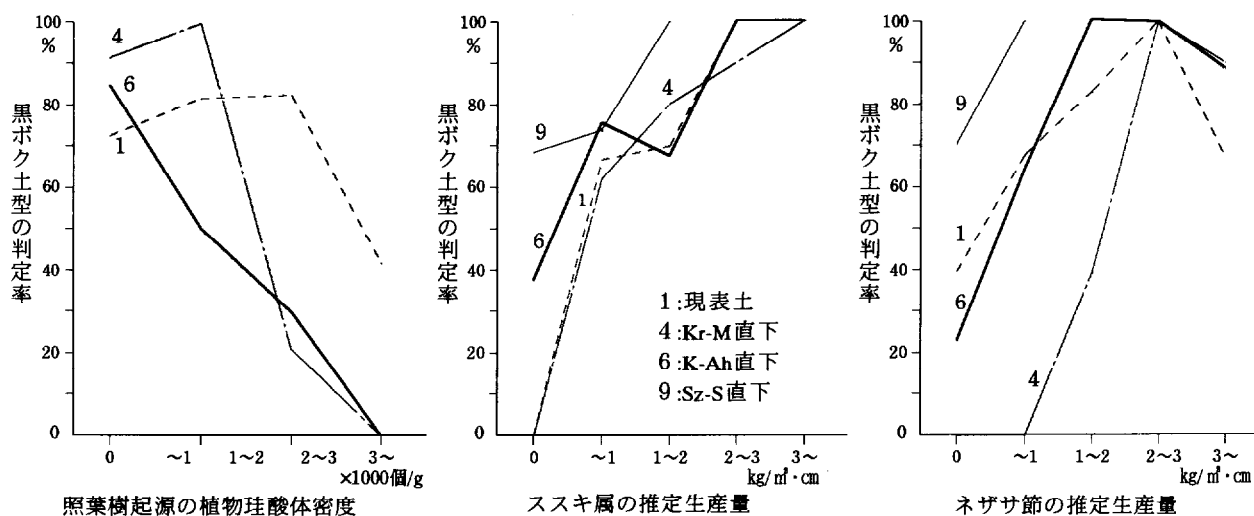


図4.14 九州南部の各層準における各植物の検出量と黒ボク土型の判定率との関係（101地点の平均） 杉山ほか（投稿中）

黒ボク土型の判定率：101地点の対象層位中に占める黒ボク土型と判定された層位の割合（％）。ここでは火山灰質・腐植質である典型黒ボク土を想定した黒ボク土の判定基準のために、土壤分析によって把握しうる埋没土の性状に対して、ペドロジスト懇談会(1990)による日本統一分類案、農耕地土壌分類第3次案(1995)、世界土壤科学会議・国際土壌照合情報センター・国際連合食料農業機関編(2000)にもとづくWBR世界土壌分類照合基準に準じて次の基準を設定した。

フッ化ナトリウムpH>9.4：土壌における高いリン酸吸着に関与する活性アルミニウムの検出をもってリン酸吸収係数の代用基準として採用。腐植酸MI (Melanic Index)<1.7：本名・山本(1992)によるA型腐植酸判定のための簡便法を採用。層厚>20cm

4.5 鬼界カルデラの巨大噴火が植生に及ぼした影響

約6,300年前に鬼界カルデラから噴出した幸屋火砕流（K-Ky）が及んだ大隅半島南部や薩摩半島南部では、それまで分布していた照葉樹林が絶えて、ススキ属などが繁茂する草原植生に移行したことが確かめられた。これらの地域では少なくとも600年間は照葉樹林が回復しなかったと推定される。ただし、K-Kyの到達域の縁辺部では部分的に照葉樹林が回復しつつあったと考えられ、K-Kyの到達域内でも部分的にブナ属などの落葉樹林が見られるようになっていたと推定される。

K-Kyが及ばなかった宮崎県中部の新富町鬼付女川下流域では、K-Ahの水中二次堆積物中からアラカシの葉や種子などが多量に検出されており（長岡ほか，1991）、この地域でもK-Ah降灰およびこれに伴う泥流などによって森林植生が一時的に大きな影響を受けたことが示唆される。ただし、これは樹下にたまっていた落ち葉が泥流によって流されたという解釈も成り立つ。また、鬼界アカホヤ火山灰は粘着性が低いため葉に付着することはなく、樹木を枯らすことはなかったのではないかという見解もある（鹿児島大学小林哲夫教授談，2001）。

K-Kyが及ばなかった地域では、K-Ah直上で照葉樹起源の植物珪酸体の種類や量が増加する傾向が認められ、ススキ属などの草原植生に移行した形跡も認められないことから、照葉樹林の回復はかなり早かったと推定される。また、泥流などの2次的災害を比較的受けにくい台地上などでは、K-Ah直上で照葉樹林が拡大したところも見られたと推定される。このような照葉樹林の回復と拡大には、現在よりも平均気温が約2℃前後高かったとされる当時の高温・多湿な気候環境が大きく影響したと考えられる。

花粉分析の結果では、静岡県の沿岸域などでK-Ah降灰を契機として照葉樹林要素が拡大していることが確認され（Matsushita and Sanukida, 1988；松下，1989）、「テフラ降灰が生態系の秩序を攪乱し、社会的非平衡をもたらし、生態的順位の交代を誘発することによって生態系変化の方向性を促進する（辻，1993）」という仮説が提示されている。このように、テフラ降灰が生態系の秩序を攪乱し、結果的に照葉樹林の拡大を促した可能性も考えられる。

4.6 結語

植物珪酸体分析法を用いて九州南部の照葉樹林発達史について検討を試みた。その結果、種子島および屋久島では、最終氷期を通してシイ属、アカガシ亜属、クスノキ科、イスノキ属などの照葉樹林が存在していたことが確かめられた。その後、約1.1万年前には鹿児島県南部でクスノキ科などの照葉樹林の拡大が開始され、約7,500年前頃までには南九州のほぼ全域に照葉樹林が分布拡大していたと推定される。ただし、黒ボク土が広く分布する南九州の内陸部などでは、その後もメダケ属ネザサ節やススキ属などの草原植生が継続されていたと考えられる。

鬼界アカホヤ火山灰の噴火に伴う大規模な火砕流（幸屋火砕流）が及んだ鹿児島県南部では、火砕流によって照葉樹林が破壊されてススキ属などの草原植生に移行し、この地域の大部分では少なくとも600年間は照葉樹林が回復しなかったと推定される。一方、火砕流が及ばなかった地域では、照葉樹林が絶えるほどの壊滅的なダメージを受けなかった可能性が考えられる。

第5章 総括

植物珪酸体は、土壤中に半永久的に残存しており、土壤生成時の植生や環境について多くの重要な情報を保存している。本論文では、植物珪酸体分析を用いて土壌から植生・環境情報を収集する手法を確立し、古環境復原に応用することを目的として研究を行った。

第2章では、植物珪酸体分析の方法と原理を詳細に論述し、主要な分類群の植物珪酸体の顕微鏡写真を示すとともに、その形態を記載した。これまで植物珪酸体についてこのようなアトラスが存在しなかったことを考えると、今後の研究進展のための基礎資料としての意義は大きい。また、同章では遺跡調査を中心とした植物珪酸体分析の応用例を紹介し、その実績と有効性を示した。

第3章では、タケ亜科の植生変遷と気候変動との関係について検討を行った。その結果、メダケ率（メダケ属とクマザサ属の推定生産量の比率）の変遷は、約10万年周期の世界的な気候変動曲線（氷期－間氷期サイクル）と良好な対応関係にあることが明らかになった。メダケ率の変遷と気候変動曲線の比較から、宮城県築館丘陵の最下位付近のテフラ（Ks-1）の年代は酸素同位体ステージ15（約58万年前）に対比された。これは、古地磁気法や電子スピン共鳴法による年代測定結果とも整合しており、この方法の有効性が確かめられた。

また、同章ではクマザサ属の植生変遷と積雪量の変動との関係について検討を行った。その結果、クマザサ属のうちチシマザサ節・チマキザサ節（積雪に対する適応性が高い）とミヤコザサ節（冬季の乾燥に適応）の植生変遷から、日本海側を中心とした多雪化は約1.3万年前頃に始まり、その後も継続されて現在に至っていることが推定された。これは、花粉分析から導かれた結果とも整合しており、この方法が積雪量変動の推定に有効であることが確かめられた。今後、宮城県築館丘陵のデータを解析することにより、過去約60万年間の積雪量変動史が解明される可能性がある。

第4章では、日本文化の基層とされる照葉樹林の分布拡大の様相について、照葉樹林が最も早くから拡大した九州南部を対象として検討を行った。その結果、種子島および屋久島では最終氷期を通してシイ属、アカガシ亜属、クスノキ科、イスノキ属などの照葉樹林が存在していたことが確かめられた。その後、約1.1万年前には鹿児島県南部でクスノキ科などの照葉樹林の拡大が開始され、

約7,500年前頃までには南九州のほぼ全域に照葉樹林が分布拡大していたと推定される。ただし、黒ボク土が広く分布する南九州の内陸部などでは、その後もメダケ属ネザサ節やススキ属などの草原植生が継続されていたと考えられる。植物珪酸体分析は、照葉樹林を構成する樹種については花粉分析に匹敵するかそれを上回る解析精度を持っており、この方法を用いた最終氷期以前および他の地域を対象とした研究の広がりが期待される。

また、同章では約6,300年前の鬼界カルデラの巨大噴火（鬼界アカホヤ火山灰）が当時の植生に及ぼした影響と回復過程について検討を行った。その結果、大規模な火砕流（幸屋火砕流）が及んだ鹿児島県南部では、火砕流によって照葉樹林が破壊されてススキ属などの草原植生に移行し、この地域の大部分では少なくとも600年間は照葉樹林が回復しなかったと推定された。一方、火砕流が及ばなかった地域では、照葉樹林が絶えるほどの壊滅的なダメージを受けなかった可能性が考えられた。

植物珪酸体を用いた古環境の解析法は、陸上の風成堆積物について連続的に植生や環境情報を収集できるという点で、これまでにない画期的な方法である。花粉分析のデータが得られにくい火山灰土などでは、植物珪酸体分析はとくに有効性を発揮すると考えられる。

今後の研究の進展によって、植物珪酸体分析で同定される分類群の増加、同定精度の向上、解析法の進展が期待されるが、そこから得られる情報は自然生態系の一部に過ぎないことを忘れてはならない。植物珪酸体分析とともに、花粉分析などの微化石分析、および土壌学、火山灰編年学、年代測定学、考古学などの成果を総合的に検討することで、過去の植生や環境の実体が解明されると考えられる。

また、そこから得られた正確な知見をもとに、環境変化の将来予測につなげる研究を開始する必要がある。現在、地球温暖化による環境への影響が危惧されているが、今よりも温暖であった縄文海進期や最終間氷期における古環境（植生、気候、積雪量、降水量など）を把握することで、将来の環境変化の予測に応用できると考えられる。また、火山噴火による植生破壊とその回復過程を知ることで、火山災害における将来予測の研究に貢献できると考えられる。

謝辞

指導教官の渡邊真紀子助教授には論文全般について、東京都立大学町田洋名誉教授にはテフラと火山災害について、古環境研究所の早田勉博士にはテフラ層序と現地調査について、有益な助言と指導を賜りました。また、東京工業大学の吉田尚弘教授、石川忠晴教授、衣笠善博教授、亀井宏行助教授、東京都立大学の小野昭教授には、論文作成にあたり有益な助言と指導を賜りました。以上の各氏に深く感謝いたします。

引用文献

A

安藤広道 (1993) 弥生時代の水田から米はどれだけとれたか．新視点日本の歴史．新人物往来社，第1巻原始編：196-201.

F

Frank Smithson. (1956) Plant opal in soil. *Nature*, 178 : 107.

藤原宏志 (1976) プラント・オパール分析法の基礎的研究(1)－数種イネ科栽培植物の珪酸体標本と定量分析法－．考古学と自然科学，9 : 15-29.

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)－イネ (*Oryza*) 属植物における機動細胞珪酸体の形状．考古学と自然科学，11:9-20.

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，12:29-41.

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・杉山真二 (1983) プラント・オパール分析による焼畑山地の調査．民博通信No.20 : 52-60.

藤原宏志・杉山真二 (1984) 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 (1984) 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，第18号 : 111-125.

藤原宏志・松田隆二・杉山真二 (1990) 青森垂柳遺跡における水田域の推定とその変遷に関する実証的考察．考古学と自然科学，22 : 29-41.

藤原宏志・佐藤洋一郎・甲斐玉浩明・宇田津哲朗 (1990) プラント・オパール分析 (形状解析法) によるイネ系統の歴史的変遷に関する研究，考古学雑誌，75 : 93-384.

藤原宏志 (1994) 鹿児島大学稲盛会館予定地におけるプラント・オパール定量分析結果について．鹿児島大学稲盛会館建設に伴う埋蔵文化財調査報告書．鹿児島大学埋蔵文化財調査室，p.77-78.

藤原宏志 (1997) わが国における稲作の起源と伝搬．宮崎県史通史編「原始・古代」：767-783.

藤原宏志 (1998) 稲作の起源を探る．岩波新書．

H

Hatanaka, K. (1985) Palynological studies on the vegetational succession since the Wurm glacial Age in Kyushu and adjacent areas. *Journal of the Faculty of Literature, Kitakyusyu University(Series B)*,18:29-71.

畑中健一・野井英明・岩内明子 (1998) 九州地方の植生史．図説日本列島植生史．朝倉書店：151-161.

広岡公夫 (1999) 古地磁気法・考古地磁気法．考古学のための年代測定学入門．古今書院：38-57.

細野 衛・佐瀬 隆・青木潔行 (1992) 指標テフラによる黒ボク土の生成開始時期の推定—十和田火山テフラ分布域湯ノ台地区を例にして—．地球科学，46：121-132.

細野 衛・佐瀬 隆・木村 準 (1995) 植物珪酸体分析からみた阿蘇4火山灰直下の埋没土壌の植生—北海道斜里平野を事例にして—．第四紀，27：17-27.

堀田 満 (1991) 日本列島の植物．カラー自然ガイドII，保育社：68-69

本名俊正・山本定博 (1992) 腐植の簡易分析法．日本土壌肥料学会編，土壌構成成分分析法，博友社：7-36.

I

池田晃子・奥野 充・中村俊夫・小林哲夫 (1995) 南九州，始良カルデラ起源の大隅降下軽石と入戸火砕流中の炭化樹木の加速器¹⁴C年代．第四紀研究，34：377-379.

井上弦・米山忠克・杉山真二・岡田英樹・長友由隆 (2001) 都城盆地の累積性黒ボク土における炭素・窒素安定同位体自然存在比の変遷—植物珪酸体による

植生変遷との対応－．第四紀研究，40：（印刷中）．

岩内明子・横田修一郎・岩松 暉（1992）鹿児島市沖積層の花粉分析．日本地質学会西日本支部第125回例会講演要旨：1-2．

K

柏木治次（1991）タケ類－その特性と用途(1)－．タケ類の見分け方．日本植物園協会誌，No.25：107-117．

加藤芳朗（1960）「黒ボク土」土壤中の植物起源粒子について（予報），土肥誌，30：549-552．

小林哲夫（1986）桜島火山の形成史と火砕流．文部省科研費自然災害特別研究「火山噴火に伴う乾燥粉体流（火砕流等）の特質と災害」：137-163．

近藤鍊三（1974）Opal phytolith－植物珪酸体の形態的特徴とイネ科植物分類群との関連－ペドロジスト，18：1-10．

近藤鍊三（1975）樹木起源の珪酸体について，ペドロジスト，20：174-190．

近藤鍊三・隅田友子（1978）樹木葉のケイ酸体に関する研究(第1報)－裸子植物および単子葉被子植物樹木葉の植物ケイ酸体について－．土肥誌，49:138-144．

近藤鍊三・ピアスン友子（1981）樹木葉のケイ酸体に関する研究(第2報)－双子葉被子植物樹木葉の植物ケイ酸体について－．帯広畜産大学研究報，12：217-229．

近藤鍊三（1982）九州の埋没火山灰土壌腐植層中の植物珪酸体について．土肥要旨集，28：146．

近藤鍊三（1983）植物珪酸体（プラント・オパール）分析の農学および理学への応用．十勝農学談話会誌，24：66-83．

近藤鍊三・佐瀬隆（1986）植物珪酸体，その特性と応用．第四紀研究，25：31-63．

近藤鍊三（1995）日本における植物珪酸体研究とその応用．近藤祐弘教授退官記念論文集刊行会：31-56．

近藤鍊三・岡田英樹・米山忠克（2001）日本におけるイネ科植物由来の植物珪酸体の有機炭素量および¹³C自然存在比．第四紀研究，40：185-192．

古環境研究所（1994）鹿児島大学構内遺跡，郡元団地J・K-10・11区における自然

科学分析．鹿児島大学稲盛会館建設に伴う埋蔵文化財調査報告書．鹿児島大学埋蔵文化財調査室，p.79-109.

古環境研究所（1996）上の原遺跡における植物珪酸体分析．県営農地保全整備事業時屋地区に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書，宮崎市教育委員会：173-181.

古環境研究所（1997）上野原遺跡における植物珪酸体分析．鹿児島県埋蔵文化財センター発掘調査報告書，鹿児島県埋蔵文化財センター，23：70-72.

M

町田 洋・新井房夫（1976）広域に分布するテフラ－始良Tn火山灰の発見とその意義．科学，46：339-347.

町田 洋・新井房夫（1978）南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ－鬼界アカホヤ火山灰．第四紀研究，17：243-263.

町田 洋・新井房夫（1992）火山灰アトラス．東京大学出版会．

町田 洋（2000）中期更新世における日本列島周辺の陸橋形成史に有用な火山灰編年．文部省科学研究費特定領域研究「日本人および日本文化の起源に関する学際的研究」日本人と日本文化，14：5.

Machida H. and Sugiyama S. (2001) The impact of the Kikai-Akahoya explosive eruptions on natural environment and human societies in the prehistory of Japan.

WAC Book.(印刷中)

松本英二・前田保夫・竹村恵二・西田史朗（1987）始良Tn火山灰（AT）の¹⁴C年代．第四紀研究，26：79-83.

松岡數充（1994）最終氷期最盛期頃の照葉樹林－東シナ海東部・男女海盆から得た柱状試料中の約24,000年前の花粉群集－．日本花粉学会会誌，40：13-24.

Matsushita, M. and Sanukida, S. (1988) Holocene vegetation history around Lake Hamana of the Pacific coast of central Japan. The Quaternary Research, 26:393-399.

松下まり子（1989）御前崎榛原町周辺の後氷期における植生変遷史．日本生態学会誌，39：183-188.

松下まり子（1992）日本列島太平洋岸における完新世の照葉樹林発達史．第四紀研究，31：375-387.

室井綽（1960）竹笹の生態を中心とした分布．富士竹類植物園報告，5:103-121.

N

長岡信治・前杵英明・松島義章 (1991) 宮崎平野の完新世地形発達史. 第四紀研究, 30 : 59-78.

成尾英仁・小林哲夫 (1984) 池田カルデラ形成時の降下堆積物 (要旨). 火山, 29 : 148.

野井英明・佐藤喜男・畑中健一 (1990) 宮崎市浮田地域における沖積層の花粉分析と古環境変遷. 北九州大学文学部紀要 (B系列), 22 : 73-80.

農耕地土壌分類委員会編 (1995) 農耕地土壌分類第3次改訂版. 農業環境技術研究所資料第17号, 1-79.

能登健・内田憲治・石井克己・杉山真二 (1989) 古墳時代の陸苗代—群馬県子持村黒井峯・西組遺跡の発掘調査から—. 農耕文化研究振興会. 農耕の技術, 第12号:21-47.

中尾佐助 (1966) 栽培植物と農耕の起源. 岩波新書. 岩波書店.

O

奥野 充・小林哲夫 (1994) 種子島に分布する後期更新世テフラ. 第四紀研究, 33 : 113-117.

奥野 充 (1996) 南九州の第四紀末の加速器¹⁴C年代 (予報). 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, 7 : 89-109.

Okuno, M., Nakamura, T., Moriwaki, H. and Kobayashi, T (1996)

Radiocarbon-chronology of Sakurajima volcano, southern Kyushu, Japan. Abstracts Todai International Symposium on Cosmochronology and Isotope Geoscience 1996 : 190-193.

Oosov, N. I. (1943) Biological accumulation of silica in soils, Pochvovdenie, No.9-10 : 30-36.

長田武正 (1993) 増補日本イネ科植物図鑑. 平凡社

P

ベドロジスト懇談会・土壌分類命名委員会編 (1990) 1/100万日本土壌図解説書

S

Sakaguchi, Y. (1978) Climatic changes in central Japan since 38, 400y.B.P. Bull.

Dept. Geogr. Univ. Tokyo, 10 : 1-10.

坂本 寧男 (1988) 雑穀のきた道—ユーラシア民族植物誌から. N H K ブックス.

佐瀬 隆・近藤鍊三 (1974) 北海道の埋没火山灰土壌腐植層中の植物珪酸体について, 帯広畜産大研報, 8 : 147-183.

佐瀬 隆・加藤芳朗 (1976) 現世ならびに埋没火山灰土壌腐植層中の植物起源粒子、とくに植物珪酸体に関する研究 (第 I 報) —給源植生の推定に関する問題—, 第四紀研究, 15 : 21-33.

佐瀬 隆・細野 衛・宇津川徹・加藤定男・駒村正治 (1987) 武蔵野台地成増における関東ローム層の植物珪酸体分析. 第四紀研究, 26 : 1-11.

佐瀬 隆・細野衛 (1995) 1 万年前の環境変動は火山灰土壌の生成にどのような影響を与えたか? —黒ボク土生成試論—. 近藤祐弘教授退官記念論文集 : 57-64.

世界土壌科学会議・国際土壌照合情報センター・国際連合食糧農業機関 (2000) 世界の食糧・農林水産業データファイル No. 7, 資料第 385 号, 世界の土壌資源—照合基準—, 国際食糧農業協会 : 32-34.

Shackleton, N. J. (1987) Oxygen isotopes, Ice volume and sea level. Quat. Sci. Rev., 6 : 183-190.

Shackleton, N. J., Berger, A. and Peltier, W. R. (1990) An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677. Trans. Royal. Soc. Edinburgh, Earth Science. 81 : 251-261.

早田 勉 (1989) テフロクロノロジーによる前期旧石器時代遺物包含層の検討. 第四紀研究, 28 : 269-282.

早田 勉・八木浩司 (1991) 東北地方の第四紀テフラ研究. 第四紀研究, 30 : 369-378.

早田 勉 (1997a) テフラ層序とタケ亜科植物珪酸体の組成変化からみた宮城県高森遺跡の年代. 富士竹類植物園報告, 41 : 78-97.

早田 勉 (1997b) 火山灰と土壌の形成. 宮崎県史通史編. 原始・古代 : 33-77.

- 早田 勉 (1999) 日本の前期・中期旧石器時代のテフクロロジー研究. 芹沢長介先生傘寿記念国際シンポジウム予稿集 : 53-61.
- 菅野一郎・有村玄洋 (1958) 土壤中の植物蛋白石 (Plant opal) について. ペドロジスト, 2 : 78-85.
- 杉山真二 (1983) プラント・オパール分析による古代水田址および焼畑山地の実証的研究. 宮崎大学大学院農学研究科修士論文.
- 杉山真二 (1985) プラント・オパール分析による古環境の推定 (第1報). 機動細胞珪酸体の形状によるタケ亜科植物の分類. 日本第四紀学会講演要旨集, 15 : 126-127.
- 杉山真二・藤原宏志 (1986) 機動細胞珪酸体の形態によるタケ亜科植物の同定ー古環境推定の基礎資料としてー. 考古学と自然科学, 19 : 69-84.
- 杉山真二 (1987a) 遺跡調査におけるプラント・オパール分析の現状と問題点. 植生史研究, 第2号 : 27-37.
- 杉山真二 (1987b) タケ亜科植物の機動細胞珪酸体. 富士竹類植物園報告, 第31号 : 70-83.
- 杉山真二・松田隆二・藤原宏志 (1988) 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ー古代農耕追究のための基礎資料としてー. 考古学と自然科学, 20 : 81-92.
- 杉山真二・石井克己 (1989) 群馬県子持村、F P直下から検出された灰化物の植物珪酸体 (プラント・オパール) 分析. 日本第四紀学会要旨集, 19 : 94-95.
- 杉山真二・前原豊・大工原豊 (1992) 植物珪酸体 (プラント・オパール) 分析による遺跡周辺の古環境推定. 日本文化財科学会第9回大会要旨集 : 14-15.
- 杉山真二 (1992) 松山市祝谷アイリ遺跡の自然科学分析, 松山市文化財調査報告書, 25 : 83-100.
- 杉山真二・早田勉 (1996) 植物珪酸体分析による宮城県高森遺跡とその周辺の古環境推定ー中期更新世以降の氷期ー間氷期サイクルの検討ー. 日本第四紀学会講演要旨集, 26 : 68-69.
- 杉山真二 (1997) 人類をとりまく植生と環境. 宮崎県史通史編「原始・古代」 : 150-172.
- 杉山真二・早田勉 (1997a) 植物珪酸体分析による古環境推定ーササ類の植生変

- 遷と積雪量の変動－. 日本第四紀学会講演要旨集, 27 : 134-135.
- 杉山真二・早田勉 (1997b) 南九州の植生と環境－植物珪酸体分析による検討－. 月刊地球, 19 : 252-257.
- 四紀学会講演要旨集, 27 : 134-135.
- 杉山真二 (1998) イネ苗の植物珪酸体とその応用－水田埋没の季節推定－. 日本文化財科学会第15回大会研究発表要旨集 : 92-93.
- 杉山真二・松田隆二 (1999) 植物珪酸体分析による農耕跡の検証と探査, 東日本の水田跡を考える会資料集, : 13-15.
- 杉山真二 (1999a) 過去約3万年間におけるササ類の植生変遷と積雪量の変動－植物珪酸体分析からみた過去のミヤコザサ線－. 日本植生史学会大会発表要旨集 : 29-30.
- 杉山真二 (1999b) 植物珪酸体分析からみた九州南部の照葉樹林発達史. 第四紀研究. 38(2) : 109-123.
- SUGIYAMA S. and SODA T. (1999) Phytological study of the Middle Pleistocene Kamitakamori Site (Japan): the Correlation between the Frequency of Bambusoideae and the Glacial-interglacial Cycle. Abstracts of the 64th Annual Meeting, Society for American Archaeology, 279.
- 杉山真二 (2000) 植物珪酸体 (プラント・オパール). 考古学と植物学. 同成社 : 189-213.
- 杉山真二 (2001) 植生と環境. 季刊考古学第74号. 雄山閣出版 : 14-18.
- 杉山真二・渡邊眞紀子・山元希里 (投稿中) 最終氷期以降の九州南部における黒ボク土発達史. 第四紀研究.
- 鈴木貞雄 (1978) タケ科植物の概説. 日本タケ科植物総目録. 学習研究社 : 25-45.

T

- 高橋英一 (1987) ケイ酸植物と石灰植物－作物の個性をさぐる. 自然と科学技術シリーズ. 農文協.
- 高橋 護 (1997) 縄文時代中期稲作の探求. 堅田直先生古希記念論文集 : 1-21.
- 高橋 護 (2000) 縄文文化における農耕. 日本中国考古学会報 第10号:101-113.

高橋光子・佐藤洋一郎 (2001) 出土プラント・オパールにDNAが含まれる可能性. 日本文化財科学会研究発表要旨集 : 82-83.

垂柳遺跡 (1985) 青森県埋蔵文化財調査報告書第88集. 青森県教育委員会.

鎮西清高 (1987) 第四紀の気候変動からみた将来の気候変動. 百年・千年・万年後の日本の自然と人類. 第四紀研究にもとづく将来予測. 日本第四紀学会編. 古今書院 : 20-37.

竹内貞子・川村敬子 (1991) 宮城県鬼首盆地における更新統の花粉分析(1). 中川久夫教授退官記念地質学論文集:291-295.

外山秀一 (1982) 大淀川下流域における古環境の復原. 立命館文学, 446-447 : 190-219.

豊田 新・多田弘樹・早田 勉・中本篤志 (2000) 高森遺跡関連のテフラのESR年代測定(2). 日本地球化学会講演要旨集 : 304-305.

塚田松雄 (1980) 植物珪酸体. 軽石学雑誌第 6 号 : 51-63.

辻 誠一郎 (1993) 火山噴火が生態系に及ぼす影響. 火山灰考古学, 新井房夫編, 古今書院 : 225-246.

Twiss, P.C., Suess, E. and R.M. Smith (1969). Morphology classification of grass phytoliths. Amer. Soc. Soil Sci., Proc., 33 (1):109-115.

U

宇井忠英 (1973) 幸屋火砕流一極めて薄く拡がり堆積した火砕流の発見. 火山, 18 : 153-168.

宇津川徹・細野衛・杉原重夫 (1979) テフラ中の動物珪酸体 ” Opal Sponge Spicules ” について. ペドロジスト, 23 : 134-144.

宇津川徹・上条朝宏 (1980a) 土器胎土中の動物珪酸体について(1). 考古学ジャーナル. 181 : 22-25.

宇津川徹・上条朝宏 (1980b) 土器胎土中の動物珪酸体について(2). 考古学ジャーナル. 184 : 14-17.

W

渡邊 眞紀子・板上寛一・杉山真二・青木久美子 (1993) 火山灰土壌の腐植酸P

g吸収発現強度の特性とその規定要因－環境指標としての土壌色素発現強度の有効性の検討－. 地学雑誌, 102 : 583-593.

Watanabe, M., K. Sakagami, K. Aoki and S. Sugiyama (1994): Altitudinal Distribution of Humus Properties of Andisols in Japan. Geographical Review of Japan. Vol.67, No.1: 36-49.

Y

安田喜憲 (1992) 気候と文明の盛衰. 朝倉書店.

吉田重吉 (1976) ススキの研究. 平吉功先生退官記念事業会 : 45-68.

吉岡邦二 (1973) 植物地理学. 共立出版. 84p.

The study on the establishment and application of phytolith
analysis for paleoenvironment reconstruction

SUGIYAMA Shinji

Abstract

Phytoliths exist semipermanently in soil and preserve much important information on paleoenvironment. This study aims to establish the method to collect paleo-environmental information from soil by using phytolith analysis, and apply the method to reconstruct past climate and vegetation.

In chapter 2, the method and principle of phytolith analysis were introduced with precise descriptions on the structure of phytoliths. Since such kind of atlas regarding phytoliths has not been provided, the fundamental data compiled in this study will contribute for future development of phytolith studies. In addition, the achievement and validity of phytolith analysis in archaeological excavation works were introduced.

In Chapter 3, the vegetation change of Bambusoideae was examined with relation of climate variation in volcanic ash soils in Japan. As a result, a good correspondence was clarified between the variation of "Medake ratio", the ratio of the estimated yield amount of *Pleioblastus* and *Sasa*, and global climate variation curve (glacial-interglacial cycle). By comparing the Medake ratio curve and the global climatic variation curve supported by marine oxygen isotope data, the age of Ks-1 Tephra (Kuranosawa-1 Tephra) that consists the bottom of the Tsukidate hill in Miyagi Prefecture was contrasted to oxygen isotope stage 15 (ca. 580,000 years ago). As the result corresponded with the datings obtained from the proxys of paleomagnetic dating and ESR(electron spin resonance), the Medake ratio was confirmed as a valuable indicator for estimating past climatic change. Furthermore, the variation of snowfall in Japan was studied by examining the composition ratio of *Sasa* sect. *Crassinodi*, grass vegetation that adapts to cold and dry condition and *Sasa*

sect. *Macrochlamys*, grass vegetation that adapts to heavy snow condition. Analytical results indicated that the heavy snow area along the coastal area of the Sea of Japan appeared approximately 13,000 years ago and continues to the present. From the fact that these results harmonize with results given by pollen analysis, the method proposed in this study proved effective to estimate snowfall fluctuation. The snowfall fluctuation for the whole past 600,000 years can be clarified by future analysis of the data from Tsukidate hill in the Miyagi Prefecture, northern Japan.

In Chapter 4, the development of lucidophyllous forests in South Kyushu since the Last Glacial Age was examined by using phytolith analysis. Abundant arboreal phytoliths in volcanic ash soils were used as reliable indicators of past forest vegetation, which was supported by dating information taken from the identified tephra layers in profiles. In the first stage of the Last Glacial Age, equivalent to 65,000 years ago, lucidophyllous forests composed of evergreen trees such as *Castanopsis* occurred exclusively in the island of Tanegashima, 100km off from the southern coast of Kyushu mainland. Then lucidophyllous forests composed of *Lauraceae* appeared in Satsuma Peninsula ca. 11,000 years BP. Almost whole coastal area of South Kyushu and inland area were occupied by lucidophyllous forest by ca. 6,300 years BP.

Grassland vegetation composed of *Pleioblastus* sect. *Nezasa* and *Miscanthus* however, occurred in the inland area where humic volcanic ash soil, Kuroboku, was formed. Occupation of lucidophyllous forests in the whole South Kyushu, as it is presently seen, had completed about 4,200 years ago.

The great explosive eruption of ca 6,300 years BP from Kikai Caldera caused spectacular volcanic disaster in Kyushu and adjacent areas. A significant change in phytolith assemblages beneath and above the Koya pyroclastic flow suggests that this hazardous pyroclastic flow changed the vegetation from evergreen forest to grassland represented by *Miscanthus* in southern Osumi and Satsuma Peninsula. The recovery of lucidophyllous forests followed about 600 years after the volcanic event. As for the other areas of South Kyushu, not affected by pyroclastic flows but by thick ash fall deposit, the volcanic affect on lucidophyllous forests was suggested to

be relatively small.

Consequently, it was proved in this study that phytolith analysis is an epoch-making method for paleoenvironment interpretation. The advantage of phytolith analysis exists in its wide application for all terrestrial materials and is enhanced by producing high resolution and chronosequential data from tephra soil sequences.

本論文に関する発表論文および口頭発表

1. 審査付き学術論文

- 1) 杉山真二・藤原宏志 (1986) 機動細胞珪酸体の形態によるタケ亜科植物の同定ー古環境推定の基礎資料としてー. 考古学と自然科学, 19 : 69-84.
- 2) 杉山真二 (1987) 遺跡調査におけるプラント・オパール分析の現状と問題点. 植生史研究, 2 : 27-37.
- 3) 杉山真二・松田隆二・藤原宏志 (1988) 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ー古代農耕追究のための基礎資料としてー. 考古学と自然科学, 20 : 81-92.
- 4) 杉山真二 (1999) 植物珪酸体分析からみた九州南部の照葉樹林発達史. 第四紀研究, 38 : 109-123. ※2000年度日本第四紀学会論文賞受賞
- 5) 杉山真二・渡邊真紀子・山元希里 (投稿中) 最終氷期以降の九州南部における黒ボ土の分布とその変遷. 第四紀研究.
- 6) 杉山真二 (投稿準備中) 植物珪酸体分析から推定されるタケ亜科の植生変遷と気候変動 (氷期ー間氷期サイクル) との関係. 地学雑誌.

2. 国際会議発表

- 1) Shinji SUGIYAMA, Tsutomu SODA (1998) Phytological study on the Early Paleolithic culture in Takamori site, Northeast Japan.-The relation between the change of Bambusoideae and the Glacial-interglacial cycle-. Abstracts of the Second International Meeting on Phytolith Research, Aix-en-Provence. p.26.
- 2) Shinji SUGIYAMA (1998) Phytolith studies on lucidophyllous forest development since the Last Glacial in south Kyushu, Japan. Abstracts of the Second International Meeting on Phytolith Research, Aix-en-Provence. p.35.
- 3) Shinji SUGIYAMA, Tsutomu SODA (1999) Phytological study of the Middle Pleistocene Kamitakamori Site (Japan): the Correlation between the Frequency of Bambusoideae and the Glacial-interglacial Cycle. Abstracts of the 64th Annual Meeting, Society for American Archaeology, Chicago.p-279.