

宮崎市教育委員会：曾井遺跡における自然科学分析

株式会社 古環境研究センター

Ⅰ．自然科学分析の概要

曾井遺跡から採取された試料について自然科学分析を行った。分析項目は、放射性炭素年代測定、テフラ分析、植物珪酸体分析である。以下に、各分析項目ごとに試料の詳細、分析方法、分析結果および考察・所見を記載する。

Ⅱ．放射性炭素年代測定

1．はじめに

放射性炭素年代測定は、光合成や食物摂取などにより生物体内に取り込まれた放射性炭素（ ^{14}C ）の濃度が放射性崩壊により時間とともに減少することを利用した年代測定法である。樹木や種実などの植物遺体、骨、貝殻、土器付着炭化物などが測定対象となり、約5万年前までの年代測定が可能である（中村，2003）。

2．試料と方法

次表に、測定試料の詳細と前処理・調整法および測定法を示す。

試料No.	試料の詳細	種類	前処理・調整法	測定法
No. 1	SE 2, 埋土内	炭化材	超音波洗浄, 酸-アルカリ-酸処理	AMS

3．測定結果

加速器質量分析法（AMS：Accelerator Mass Spectrometry）によって得られた ^{14}C 濃度について同位体分別効果の補正を行い、放射性炭素（ ^{14}C ）年代および暦年代（較正年代）を算出した。次表にこれらの結果を示し、図1に暦年較正結果（較正曲線）を示す。

試料No.	測定No. (PED-)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C 年代：年BP (暦年較正用)	暦年代（較正年代）：cal -	
				1 σ (68.2%確率)	2 σ (95.4%確率)
No. 1	36297	-25.27 ± 0.24	560 ± 20 (561 ± 20)	AD 1326 - 1343 (30.8%) AD 1395 - 1413 (37.4%)	AD 1316 - 1355 (47.4%) AD 1388 - 1421 (48.0%)

BP：Before Physics（Present）AD1950基点，cal：calibrated，AD：西暦

(1) $\delta^{13}\text{C}$ 測定値

試料の測定 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を補正するための炭素安定同位体比（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ）。この値は標準物質（PDB）の同位体比からの千分偏差（‰）で表す。試料の $\delta^{13}\text{C}$ 値を -25 （‰）に標準化することで同位体分別効果を補正している。

(2) 放射性炭素（ ^{14}C ）年代測定値

試料の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比から、現在（AD1950年基点）から何年前かを計算した値。 ^{14}C の半減期は5730年であるが、国際的慣例によりLibbyの5568年を用いている。統計誤差（±）は1 σ （シグマ）（68.2%確率）である。 ^{14}C 年代値は下1桁を丸めて表記するのが慣例であるが、暦年較正曲線が更新された場合のために下1桁を丸めない暦年較正用年代値も併記した。

(3) 暦年代（Calendar Years）

過去の宇宙線強度や地球磁場の変動による大気中 ^{14}C 濃度の変動および ^{14}C の半減期の違いを較正

することで、放射性炭素 (^{14}C) 年代をより実際の年代値に近づけることができる。暦年代較正には、年代既知の樹木年輪の詳細な ^{14}C 測定値およびサンゴのU/Th (ウラン/トリウム) 年代と ^{14}C 年代の比較により作成された較正曲線を使用した。較正曲線のデータはIntCal 13、較正プログラムはOxCal 4.3である。

暦年代 (較正年代) は、 ^{14}C 年代値の偏差の幅を較正曲線に投影した暦年代の幅で表し、OxCalの確率法により 1σ (68.2%確率) と 2σ (95.4%確率) で示した。較正曲線が不安定な年代では、複数の $1\sigma \cdot 2\sigma$ 値が表記される場合もある。() 内の%表示は、その範囲内に暦年代が入る確率を示す。グラフ中の縦軸上の曲線は ^{14}C 年代の確率分布、二重曲線は暦年較正曲線を示す。

4. 所 見

加速器質量分析法 (AMS) による放射性炭素年代測定の結果、No.1 の炭化材では 560 ± 20 年BP (2σ の暦年代でAD 1316 ~ 1355, 1388~1421年) の年代値が得られた。

なお、樹木 (炭化材) による年代測定結果は、樹木の伐採年もしくはそれより以前の年代を示しており、樹木の心材に近い部分や転用材が利用されていた場合は、遺構や土層の年代よりも古い年代値となることがある。

文 献

中村俊夫 (2000) 放射性炭素年代測定法の基礎. 日本先史時代の14C年代編集委員会編「日本先史時代の14C年代」. 日本第四紀学会, p.3-20.

中村俊夫 (2003) 放射性炭素年代測定法と暦年代較正. 環境考古学マニュアル. 同成社, p.301-322.

Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian Analysis of Radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

Paula J Reimer et al., (2013) IntCal 13 and Marine 13 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0-50,000 Years cal BP. Radiocarbon, 55, p.1869-1887.

Ⅲ. テフラ分析

1. はじめに

テフラ (火山灰) の岩石学的諸特性 (鉱物組成、火山ガラスの形態、火山ガラスと斜方輝石の屈折率など) を明らかにすることにより、指標テフラとの対比を試みた。なお、テフラの岩石学的諸特性や年代については新編火山灰アトラス (町田・新井, 2003) を参照した。

2. 試 料

分析試料は、SE 1 の埋土下部から採取されたNo.1 とNo.2、およびSC19の埋土から採取されたNo.3 の計3点である。

3. 分析方法

超音波洗浄機で試料を分散し、1φ (0.5mm)、2φ (0.25mm)、3φ (0.125mm)、4φ (0.063mm) の篩を重ねて湿式篩分けを行った。また、4φ篩残渣についてテトラブロムエタン (比重: 2.96) を用いて重液分離を行い、重鉱物と軽鉱物のフラクションに区分した。

重鉱物は、カナダバルサムで封入してプレパラートを作成し、偏光顕微鏡下で斜方輝石 (Opx)、単斜輝石 (Cpx)、角閃石 (Ho)、磁鉄鉱 (Mg) を同定・計数した。軽鉱物は、簡易プレパラートを作製し、軽鉱物組成と火山ガラスの形態分類を行った。

火山ガラスの形態は、町田・新井 (2003) の分類基準に従い、バブル型平板状火山ガラス (b1)、バブル型Y字状火山ガラス (b2)、軽石型繊維状火山ガラス (p1)、軽石型スポンジ状火山ガラス (p2)、急冷破碎型フレーク状火山ガラス (c1)、急冷破碎型塊状火山ガラス (c2) に分類した。

屈折率は、温度変化型屈折率測定装置（古澤地質製，MAIOT2000）を用いて、火山ガラスについて測定を行った（No.3は軽石についても測定）。なお、候補となるテフラには火山ガラスの屈折率のみでは識別が困難なものがあることから、斜方輝石についても屈折率を測定した。

4. 結 果

テフラ分析結果を表1および図2に示し、以下に各地点ごとに試料の特徴を記載する。なお、各試料とも始良Tnテフラ（AT，約2.9万年前）に由来するテフラ粒子が主体となっていることから、それ以外のテフラ粒子に着目して検討を行った。

（1）No.1

灰黄褐色の白色軽石（9mm）混じり砂粒質テフラで、1φ篩残渣中の軽石は発泡の良い繊維束状である（図版1-1a）。粒度組成は3φと4φ篩残渣が最も多い。重液分離では軽鉱物の割合が非常に高い。火山ガラスは、バブル型平板状ガラス（b1）とバブル型Y字状ガラス（b2）がとくに多く、軽石型スポンジ状ガラス（p2）などを伴う。4φ残渣中の火山ガラスの屈折率は1.5114-1.5143（平均1.5129）である。なお、上記の屈折率を示す火山ガラス30粒に対して、始良Tnテフラ（AT）起源の火山ガラスは632粒である。また、斜方輝石の屈折率は1.7107-1.7151（平均1.7129）である。

（2）No.2

黒褐色と白色軽石（2mm）混じり砂粒質テフラで、1φ篩残渣中の軽石は少ないものの発泡の良い繊維束状である（図版1-2a）。粒度組成は3φと4φ篩残渣が最も多い。重液分離では軽鉱物の割合が非常に高い。火山ガラスは、バブル型平板状ガラス（b1）とバブル型Y字状ガラス（b2）が特に多く、軽石型スポンジ状ガラス（p2）をやや多く伴う。4φ残渣中の火山ガラスの屈折率は1.5110-1.5149（平均1.5131）である。なお、上記の屈折率を示す火山ガラス30粒に対して、始良Tnテフラ（AT）起源の火山ガラスが415粒である。

（3）No.3

暗褐色と褐灰～灰黄褐色軽石（最大8mm）混じり砂礫質テフラで、1φ篩残渣中の軽石はやや発泡の良い軽石であり、黒色の火山岩片を伴う（図版1-3a）。粒度組成は1φ篩残渣が最も多い。重液分離では軽鉱物の割合が非常に高い。火山ガラスは、バブル型平板状ガラス（b1）とバブル型Y字状ガラス（b2）がとくに多く、軽石型スポンジ状ガラス（p2）などを伴う。4φ残渣中の火山ガラスの屈折率は、1.4981-1.4998（平均1.4994）、1φ篩中の軽石ガラスの屈折率は1.5111-1.5155（平均1.5135）である。また、斜方輝石の屈折率は1.7005-1.7085（平均1.7040）である。

5. 考 察

テフラの岩石学的諸特性（鉱物組成、火山ガラスの形態、火山ガラスと斜方輝石の屈折率）、顕微鏡観察の所見、および土層の堆積状況などから、指標テフラとの対比を試みた。

その結果、各試料とも始良Tnテフラ（AT，約2.9万年前）に由来するテフラ粒子が主体であるが、SE1の埋土下部（No.1、No.2）には桜島文明テフラ（Sz-3，1471年）、SC19の埋土（No.3）には霧島新燃享保テフラ（Kr-SmK，1717年）に由来するテフラ粒子が含まれていると考えられる。

桜島文明テフラは、1471年に桜島火山から噴出した降下軽石で、主な鉱物は斜方輝石（opx）と単斜輝石（cpx）であり、火山ガラスの屈折率（n）は1.510-1.515、斜方輝石の屈折率（ γ ）は1.710-1.715である。霧島新燃享保テフラは、1717年に霧島火山新燃岳から噴出した降下軽石で、主な鉱物は斜方輝石（opx）と単斜輝石（cpx）で、火山ガラスの屈折率（n）は1.511-1.515、斜方輝石の屈折率（ γ ）は1.689-1.708である。

文 献

- 町田洋・新井房夫（2003）新編火山灰アトラス－日本列島とその周辺－，東京大学出版会，336p.
 横山卓雄・檀原 徹・山下 透（1986）温度変化型屈折率測定装置による火山ガラスの屈折率測定，第四紀研究，25，p.21-30.
 横山卓雄・山下 透（1986）温度変化型屈折率測定装置（RIMS-86）による斜方輝石・角閃石の屈折率測定の試み，京都大学教養部報告（九十九地学），21，p.30-36.

Ⅳ. 植物珪酸体分析

1. はじめに

植物珪酸体は、植物の細胞内に珪酸（ SiO_2 ）が蓄積したもので、植物が枯れたあともガラス質の微化石（プラント・オパール）となって土壤中に半永久的に残っている。植物珪酸体分析は、この微化石を遺跡土壌などから検出して同定・定量する方法であり、イネをはじめとするイネ科栽培植物の同定および古植生・古環境の推定などに応用されている（杉山，2000，2009）。また、イネの消長を検討することで埋蔵水田跡の検証や探査も可能である（藤原・杉山，1984）。

2. 試 料

分析試料は、SE 1 と SE 2 の埋土から採取された計10点である。試料採取箇所を分析結果の土層断面写真に示す。

3. 分析法

植物珪酸体の抽出と定量は、ガラスビーズ法（藤原，1976）を用いて、次の手順で行った。

- 1) 試料を105℃で24時間乾燥（絶乾）
- 2) 試料約 1 g に対し直径約40 μm のガラスビーズを約0.02 g 添加（0.1mgの精度で秤量）
- 3) 電気炉灰化法（550℃・6時間）による脱有機物処理
- 4) 超音波水中照射（300W・42KHz・10分間）による分散
- 5) 沈底法による20 μm 以下の微粒子除去
- 6) 封入剤（オイキット）中に分散してプレパラート作成
- 7) 検鏡・計数

同定は、400倍の偏光顕微鏡下で、おもにイネ科植物の機動細胞に由来する植物珪酸体を対象として行った。計数は、ガラスビーズ個数が400以上になるまで行った。これはほぼプレパラート 1 枚分の精査に相当する。試料 1 gあたりのガラスビーズ個数に、計数された植物珪酸体とガラスビーズ個数の比率をかけて、試料 1 g中の植物珪酸体個数を求めた。

また、おもな分類群についてはこの値に試料の仮比重（1.0と仮定）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）をかけて、単位面積で層厚 1 cmあたりの植物体生産量を算出した。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（杉山，2000）。タケ亜科については、植物体生産量の推定値から各分類群の比率を求めた。

4. 分析結果

（1）分類群

検出された植物珪酸体の分類群は以下のとおりである。これらの分類群について定量を行い、その結果を表 2 および図 3 に示した。主要な分類群について顕微鏡写真を示す。

〔イネ科〕

イネ、イネ（穎の表皮細胞由来）、ムギ類（穎の表皮細胞）、ヨシ属、シバ属型、キビ族型、ススキ属型（お

もにススキ属)、ウシクサ族A (チガヤ属など)

〔イネ科－タケ亜科〕

メダケ節型 (メダケ属メダケ節・リュウキュウチク節、ヤダケ属)、ネザサ節型 (おもにメダケ属ネザサ節)、チマキザサ節型 (ササ属チマキザサ節・チシマザサ節など)、ミヤコザサ節型 (ササ属ミヤコザサ節など)、マダケ属型 (マダケ属、ホウライチク属)、未分類等

〔イネ科－その他〕

表皮毛起源、棒状珪酸体 (おもに結合組織細胞由来)、未分類等

〔樹木〕

ブナ科 (シイ属)、クスノキ科、マンサク科 (イスノキ属)、アワブキ科、その他

(2) 植物珪酸体の検出状況

SE 1 の埋土 (試料 4～10) では、イネ、ススキ属型、ウシクサ族A、メダケ節型、ネザサ節型、および樹木 (照葉樹) のブナ科 (シイ属)、クスノキ科、マンサク科 (イスノキ属) などが検出され、部分的にイネの籾殻 (穎の表皮細胞)、シバ属型、キビ族型なども認められたが、いずれも比較的少量である。イネの密度は、埋土上部 (試料 4) と埋土底部 (試料 10) ではいずれも 3,100 個/g と比較的高い値であり、その他の試料では 600～2,200 個/g と比較的低い値である。

SE 2 の埋土底部 (試料 3) でも、おおむね同様の分類群が検出されたが、ススキ属型、ウシクサ族A、ネザサ節型がやや増加している。イネの密度は 1,100 個/g と比較的低い値である。SE 2 の埋土下部 (試料 1、2) では、イネが大幅に増加し、ムギ類 (穎の表皮細胞)、マダケ属型が出現している。イネの密度は、試料 1 では 10,200 個/g、試料 2 では 5,900 個/g といずれも高い値である。ムギ類 (穎の表皮細胞) の密度は、いずれも 500 個/g と低い値である。

5. 植物珪酸体分析から推定される植生と環境

植物珪酸体分析の結果、SE 1 と SE 2 の埋土では、すべての試料からイネが検出された。このうち、SE 2 の埋土下部では密度が最大 10,200 個/g とかなり高い値であり、SE 1 の埋土上部や埋土底部でも 3,100 個/g と比較的高い値である。これらのことから、当時は周辺で稲作が行われており、そこから何らかの形で堀内にイネの植物珪酸体が混入したと考えられる。なお、いずれも堀の埋土であることから、ここで検出されたイネについては、何らかの形で利用された稲藁に由来する可能性も考えられる。稲藁の利用としては、藁製品 (俵、縄、ムシロ、草履など)、建物の屋根材や壁材、敷き藁、燃料など多様な用途が想定される。また、SE 2 の埋土下部では少量ながらムギ類 (穎の表皮細胞) が検出され、周辺でムギ類が栽培されていた可能性が認められた。

堀の埋土の堆積当時は、ススキ属、ウシクサ族、シバ属、メダケ属 (メダケ節やネザサ節) が生育する日当たりの良い乾燥した環境であったと考えられ、遺跡周辺にはシイ属、イスノキ属、クスノキ科などの照葉樹林が分布していたと推定される。

SE 2 の埋土下部では、タケ亜科のマダケ属が出現しているが、マダケ属にはマダケやモウソウチクなど有用なものが多く、建築材や生活用具、食用などとしての利用価値が高い。植物珪酸体分析でマダケ属が確認されるのはおおむね中世以降であり、一般的に見られるようになるのは近世以降である。

文 献

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－古環境推定の基礎資料として－. 考古学と自然科学, 19, p.69-84.

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(2), p.109-123.
 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, p.189-213.
 杉山真二 (2009) 植物珪酸体と古生態. 人と植物の関わりあい④. 大地と森の中で－縄文時代の古生態系－. 縄文の考古学Ⅲ. 小杉康ほか編. 同成社, p.105-114.
 藤原宏志 (1976) プラント・オパール分析法の基礎的研究(1)－数種イネ科植物の珪酸体標本と定量分析法－. 考古学と自然科学, 9, p.15-29.
 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, p.73-85.

表1 曽井遺跡におけるテフラ分析結果

分析 No.	処理 湿重 (g)	砂粒分の粒度組成 (重量g)					重液分離 (重量g)		石英 (Qu)	長石 (Pl)	不明 (Opq)	火山ガラス						ガラス 合計	軽鉱物 の合計	重鉱物					重鉱物 の合計
		1φ	2φ	3φ	4φ	≧4φ	軽鉱物	重鉱物				バブル(泡)型		軽石型		急冷破砕型				斜方輝石 (Opx)	単斜輝石 (Cpx)	角閃石 (Ho)	磁鉄鉱 (Mg)	不明 (Opq)	
												平板状 (b1)	Y字状 (b2)	繊維状 (p1)	スポンジ状 (p2)	フルーグ (c1)	塊状 (c2)								
1	9.30	0.2800	0.3700	0.9400	1.6800	3.2700	0.3484	0.0075	2	9	11	139	82	1	14	1		237	259	112	28	1	32	48	221
2	20.48	0.5700	1.0100	2.1300	3.3000	7.0100	0.2995	0.0079	3	10	28	121	88	5	30	1	4	249	290	90	33	3	25	54	205
3	23.02	7.0700	1.1400	1.4500	2.2300	11.8900	0.2070	0.0093	4	26	21	136	70	1	17	2	4	230	281	121	40		33	29	223

表2 曽井遺跡における植物珪酸体分析結果

分類群	学名	SE 2			SE 1						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
イネ科	Gramineae										
イネ	<i>Oryza sativa</i>	102	59	11	31	22	16	7	18	6	31
イネ穀殻(穎の表皮細胞)	<i>Oryza sativa</i> (husk Phytolith)	16	9				11		6		
ムギ類(穎の表皮細胞)	<i>Hordeum-Triticum</i> (husk Phytolith)	5	5								
ヨシ属	<i>Phragmites</i>			5						6	
シバ属型	<i>Zoysia</i> type	5	5	55	10	27	16				
キビ族型	Paniceae type	5			5		5				6
ススキ属型	<i>Miscanthus</i> type	27	9	87	16	16	16	7	18	18	25
ウシクサ族A	Andropogoneae A type	37	32	76	21	38	33	13	12	18	19
タケ亜科	Bambusoideae										
メダケ節型	<i>Pleioblastus</i> sect. Nipponocalamus	5	5	11	10	11	11	13	18	6	19
ネザサ節型	<i>Pleioblastus</i> sect. Nezasa	43	9	93	52	54	22	7	6	12	31
チマキザサ節型	<i>Sasa</i> sect. Sasa etc.					5	5		6		
ミヤコザサ節型	<i>Sasa</i> sect. Crassinodi					5					
マダケ属型	<i>Phyllostachys</i>	16	5								
未分類等	Others	32	32	66	16	59	38	7	6	6	12
その他のイネ科	Others										
表皮毛起源	Husk hair origin	11	9	5	16	5	22				6
棒状珪酸体	Rod-shaped	118	64	60	16	32	16		12	6	12
未分類等	Others	107	59	104	68	103	93		24	18	12
樹木起源	Arboreal										
ブナ科(シイ属)	<i>Castanopsis</i>	11	9			16	5		12	18	12
クスノキ科	Lauraceae						5	7		6	6
マンサク科(イスノキ属)	<i>Distylium</i>	11	18	5	10	32	11	13	12	42	31
アワブキ科	Sabiaceae					5					
その他	Others	27	23	11	5	27	11	20	24	48	19
(海綿骨針)	Sponge spicules				5						
植物珪酸体総数	Total	578	350	590	278	459	338	92	173	211	241

おもな分類群の推定生産量(単位:kg/㎡・cm):試料の仮比重を1.0と仮定して算出

イネ	<i>Oryza sativa</i>	2.99	1.74	0.32	0.92	0.64	0.48	0.19	0.53	0.18	0.91
ヨシ属	<i>Phragmites</i>			0.34						0.38	
ススキ属型	<i>Miscanthus</i> type	0.33	0.11	1.08	0.19	0.20	0.20	0.08	0.22	0.22	0.31
メダケ節型	<i>Pleioblastus</i> sect. Nipponocalamus	0.06	0.05	0.13	0.12	0.13	0.13	0.15	0.21	0.07	0.21
ネザサ節型	<i>Pleioblastus</i> sect. Nezasa	0.21	0.04	0.45	0.25	0.26	0.10	0.03	0.03	0.06	0.15
チマキザサ節型	<i>Sasa</i> sect. Sasa etc.					0.04	0.04		0.04		
ミヤコザサ節型	<i>Sasa</i> sect. Crassinodi					0.02					

タケ亜科の比率(%)

メダケ節型	<i>Pleioblastus</i> sect. Nipponocalamus	23	55	22	33	28	46	83	74	55	59
ネザサ節型	<i>Pleioblastus</i> sect. Nezasa	77	45	78	67	59	38	17	10	45	41
チマキザサ節型	<i>Sasa</i> sect. Sasa etc.					9	15		16		
ミヤコザサ節型	<i>Sasa</i> sect. Crassinodi					4					
メダケ率	Medake ratio	100	100	100	100	87	85	100	84	100	100

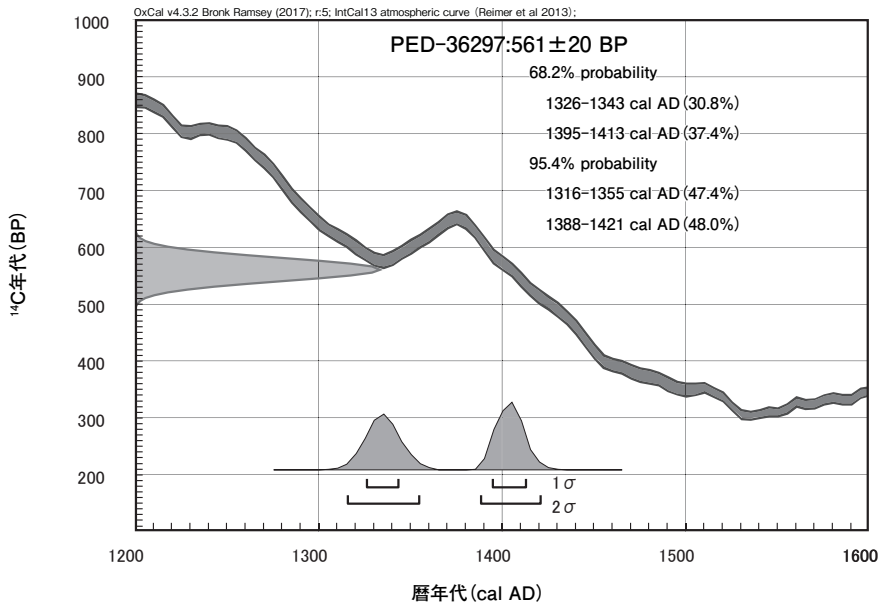


圖 1 曆年較正結果

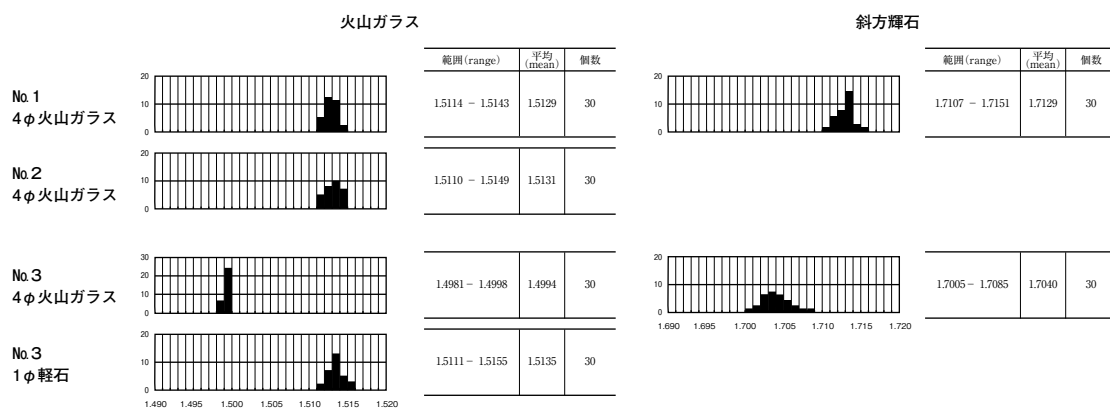


図2 曾井遺跡における屈折率測定結果

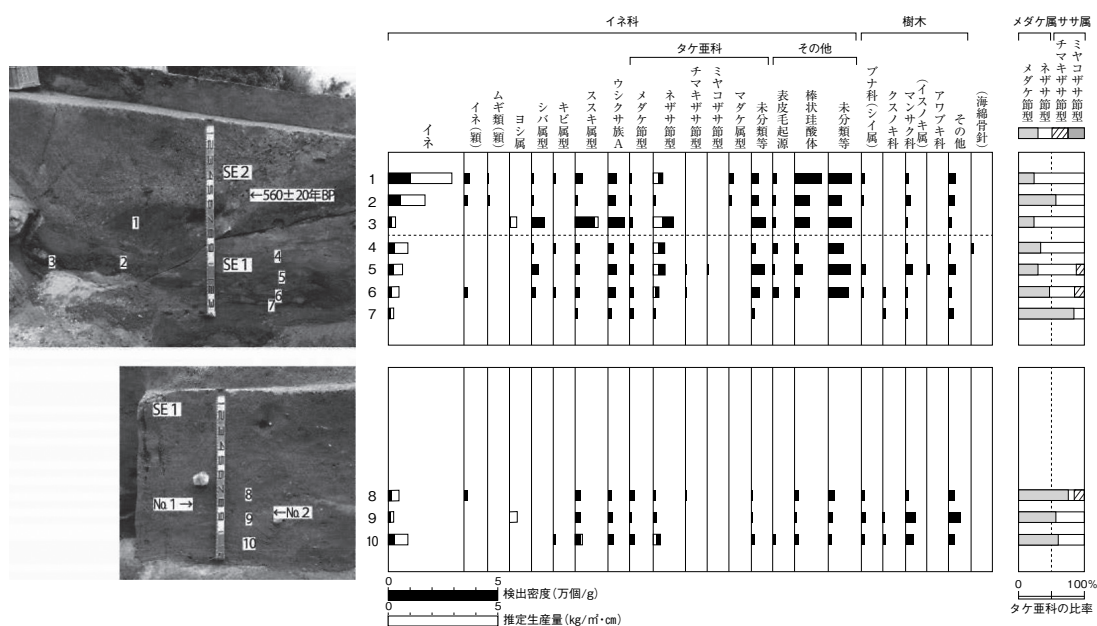


図3 曾井遺跡における植物珪酸体分析結果

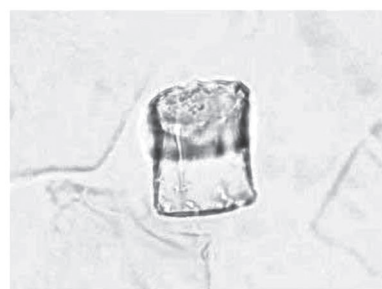
曽井遺跡の植物珪酸体（プラント・オパール）



イネ
試料 8



イネ
試料 1



イネ（側面）
試料 9



イネの籾殻（穎の表皮細胞）
試料 1



ムギ類（穎の表皮細胞）
試料 2



ヨシ属
試料 9



シバ属型
試料 2



キビ属型
試料 10



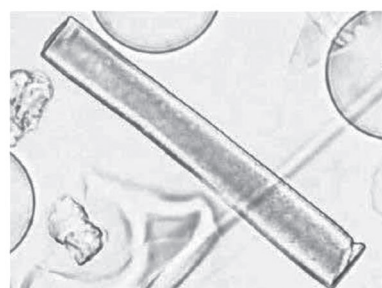
ススキ属型
試料 1



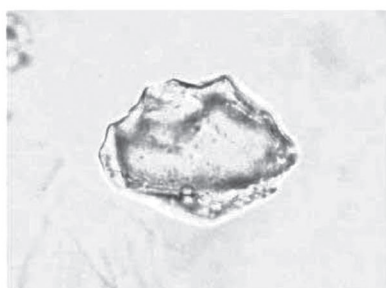
メダケ節型
試料 10



ネザサ節型
試料 3



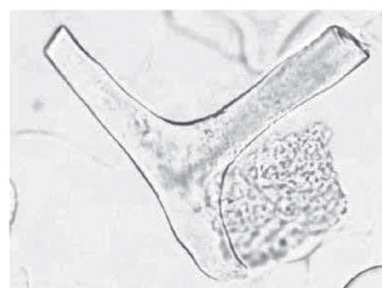
棒状珪酸体
試料 4



ブナ科（シイ属）
飼料 2

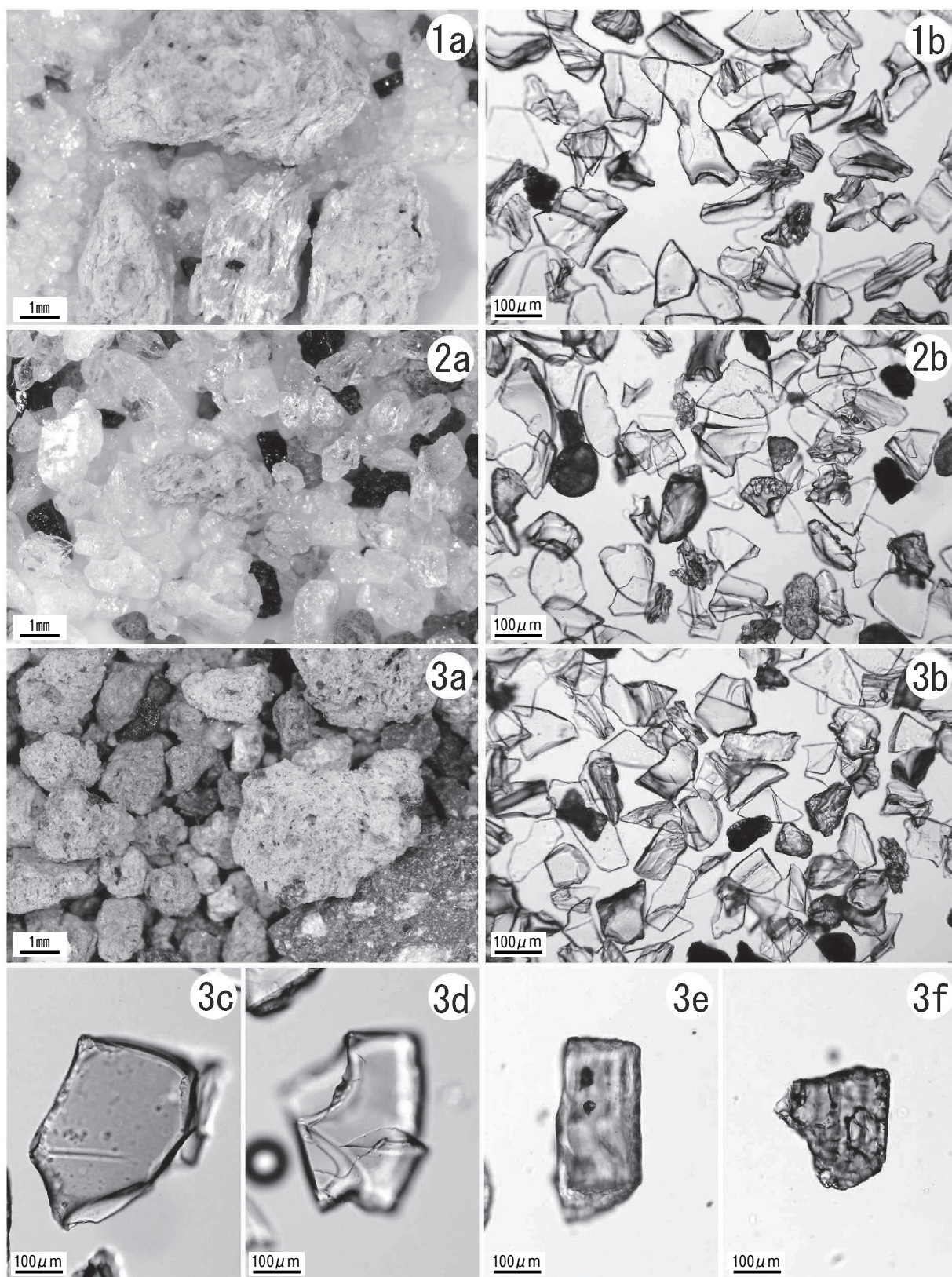


クスノキ科
試料 9



マンサク科（イスノキ属）
試料 2

50μm



図版 1 各テフラ試料の顕微鏡写真 (数字は分析No.に対応)

- 1a. 1φ 篩残渣の実体顕微鏡写真 1b. 4φ 軽鉱物の偏光顕微鏡写真
 2a. 1φ 篩残渣の実体顕微鏡写真 2b. 4φ 軽鉱物の偏光顕微鏡写真
 3a. 1φ 篩残渣の実体顕微鏡写真 3b. 4φ 軽鉱物の偏光顕微鏡写真
 3c. バブル型平板状ガラス 3d. バブル型 Y 字状ガラス 3e. 斜方輝石 3f. 単斜輝石