

〈論文〉

## 麻類を主とした植物繊維の生体鉱物による鑑別

石川莉英, 伊藤美香, 小原奈津子

Using the Crystals and Silica of Ashed Specimens to  
Identify Their Vegetable Fibers

Rie ISHIKAWA, Mika ITO, Natsuko KOHARA

The present study was conducted to identify differences between hemp, ramie, flax, jute, kenaf, manila hemp and abaca fibers by microscopic observation of crystals and silica contained in ashed specimens of vegetable fibers. Examination of these differences was carried out with a view towards developing a method for identifying old vegetable fibers. Significant differences were noted between characteristics of the crystals, especially in ashed abaca and manila hemp fibers, and may be useful markers for identifying these fibers. On the other hand, methyl red staining revealed variations in silica shape in specimens of fibers of same species. Further studies focusing on silica shape may identify more indicators of differentiation between vegetable fibers. This study not only demonstrates that microscopic observation of cross sections, crystals and whole ashed specimens of fibers could differentiate between seven species of vegetable fibers, but also suggests that this method may be useful in identifying old vegetable fibers.

### 1. 緒 言

植物繊維は、動物繊維とともに古くから衣服素材等として人々の生活の中で利用されてきた材料である。有機物である繊維は、金属や石等の無機物と比較して劣化しやすいために出土物等の遺物として残存することは少ないが、繊維製品はその時代の技術や文化を示すものとして貴重な考古試料となる。植物繊維の主成分がセルロースであるのに対して動物繊維の主成分はタンパク質であることから、両者を赤外吸収スペクトルで識別する

ことは可能である。また、綿と麻類では繊維の形態から概ね区別が可能である。日本で主に用いられてきた麻類として大麻と苧麻がある。前者の繊維断面は丸みを帯びた多角形であり、後者は鋭角な多角形または楕円形で、両者は繊維幅もやや異なる（大麻：6~50 μm, 苧麻：10~80 μm）とされている<sup>1)</sup>、しかし、これらの繊維製品が実際に発掘される場合、長期にわたる経年劣化あるいは押しつぶされるなどの周囲からの加圧により繊維が変形していることが多く、これらを鑑別することは

容易ではない。また、大麻と苧麻、亜麻などの麻類とそれに近い植物繊維の形態は類似していることが多く、それらを識別することはかなり難しく、顕微鏡<sup>2)</sup>やフーリエ変換赤外分光法 (FTIR)<sup>3,4)</sup>によってこれらの麻類を含む植物繊維を鑑別する手法が研究されている。

他方、植物内には、生育期間中に土壌等から吸収され、蓄積された生体鉱物 (ファイトリス) が存在する。この生体鉱物には非晶質の植物ケイ酸体と結晶質のシュウ酸カルシウムがある。植物形態学分野では、植物ケイ酸体をシリカ、シュウ酸カルシウムをクリスタルとよんでいる<sup>5)</sup>。常法として、これらの生体鉱物は加熱灰化した植物中に顕微鏡観察等で観察することができる。シリカは細胞の鋳型といわれ、植物分類学ではこのシリカの形を植物分類の根拠として利用している<sup>5,6)</sup>。これらの生体鉱物は劣化で変形することがないため、植物分類学のみならず考古学の分野でも一部応用が試みられている<sup>7,8)</sup>。そこで本研究では、日本で古くから生活の中で使用されてきた繊維材料である麻類および類似の植物繊維を区別するための鑑別手法の確立を最終目的として、これらの植物繊維の加熱灰化物およびそれに含まれるクリスタルやシリカを顕微鏡観察し、これらの特徴が繊維鑑別の有効な根拠となるか否かを検討した。

## 2. 試料・実験方法

### 2-1. 試料

大麻 (*Cannabis sativa* L.) は市販のハンガリー産繊維の紡績糸 (メルヘンアート (株)) を購入し、苧麻 (*Boehmeria nivea*, 精練および未精練の糸)、黄麻 (*Corchorus capsularis*, 未精練の縄糸)、亜麻 (*Linum usitatissimum*, 未精練の糸)、洋麻 (*Hibiscus cannabinus*, 未精練, 紡績前)、芭蕉 (*Musa liukiuensis*, 未精練, 紡績前の糸芭蕉)、マニラ麻 (*Musa textilis*, 未精練の縄) は、昭和女子大学の学習教材用試料を繊維状にほぐして使用した。こ

れらの教材用植物繊維の産地は不明である。

### 2-2. 実験方法

#### (1) 繊維の側面および断面形態の電子顕微鏡 (SEM) 観察

メタルプラズマコーター (AT-ET, ATA 製) を使用して、予め金を蒸着させた各繊維試料を走査型電子顕微鏡 (SEM, JSM-6010LA, JEOL 製) を用いて 10 kV の加速電圧で観察した。

#### (2) 繊維試料の灰化

近藤らの方法<sup>5)</sup>を参考に、試料約 1~3 g を入れたるつぼを加熱炉 (エコノミー電気炉 ROP-001 As-one 製) 中で、炉の温度を 100°C で 10 分間、150°C で 5 分間、200°C で 10 分間と徐々に上げ、最後に 600°C で 6 時間加熱し、得られた加熱灰化物を顕微鏡観察に供した。

#### (3) 生体鉱物の観察

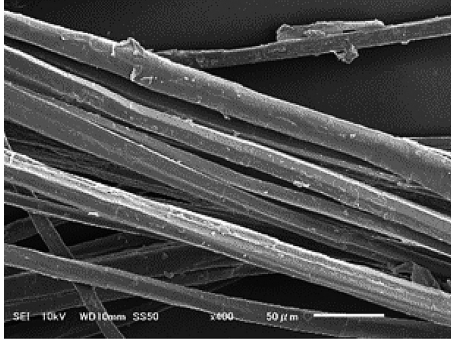
植物繊維試料の灰化物中のクリスタルは直交ニコル下で観察した。同じく灰化物をメチルレッド/四塩化炭素飽和溶液中に浸漬してシリカのみを赤く染色した後、四塩化炭素で数回洗浄し、灰化物中に含まれるシリカを光学顕微鏡で観察した。クリスタルおよびシリカは偏光顕微鏡もしくは光学顕微鏡に取り付けた USB カメラ (HDCE-50B2, 松電舎製) で撮影した。

## 3. 結果と考察

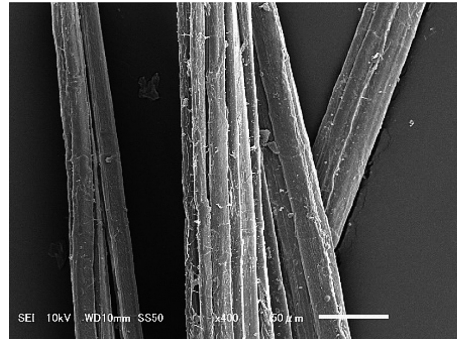
### 3-1. 繊維形態

SEM で観察した繊維側面および断面の形態を写真 1 および 2 に示す。大麻は紡績糸として販売されている試料であり、繊維が単繊維として観察できた。しかし、糸からほぐした繊維の場合も含めて他のほとんどの試料は互いに膠着し、繊維間の境界もしばしば不明確であった。他方、全ての繊維で空孔は観察された。以下に各繊維の SEM 像における形態の特徴を述べる。

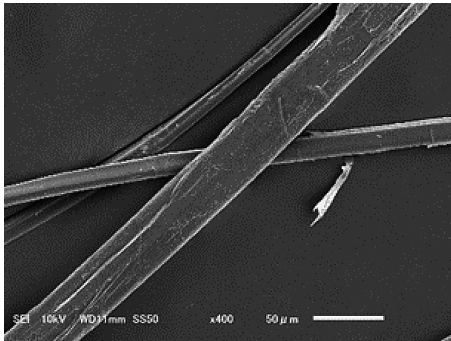
大麻：断面は丸みを帯びた多角形で繊維側面に



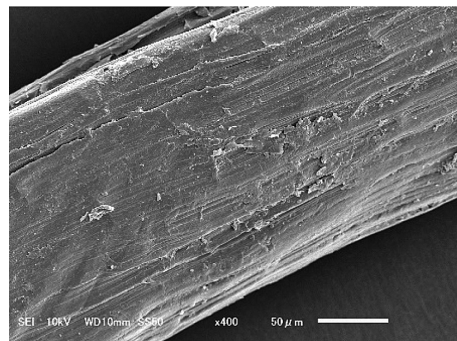
(1) 大麻



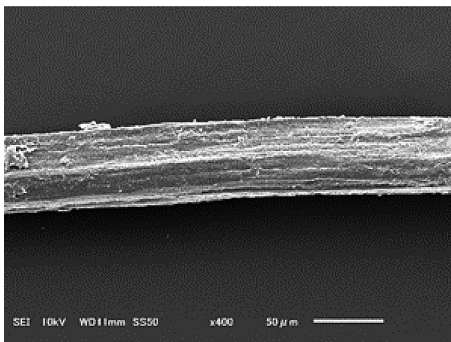
(2) 苧麻 (未精鍊)



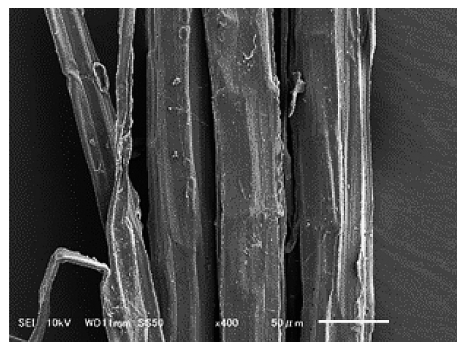
(3) 苧麻 (精鍊)



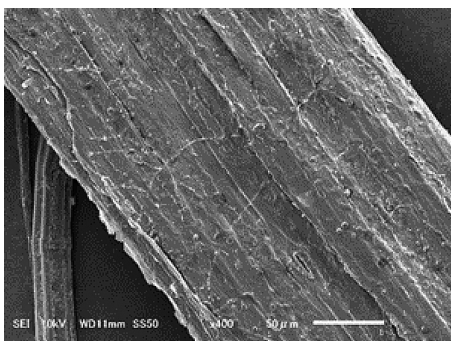
(4) 沱麻



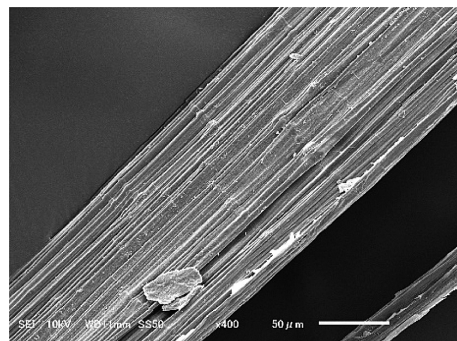
(5) 黄麻



(6) 洋麻



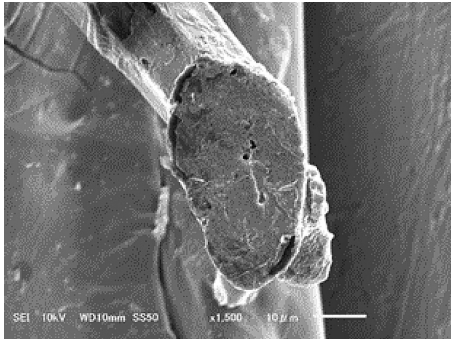
(7) マニラ麻



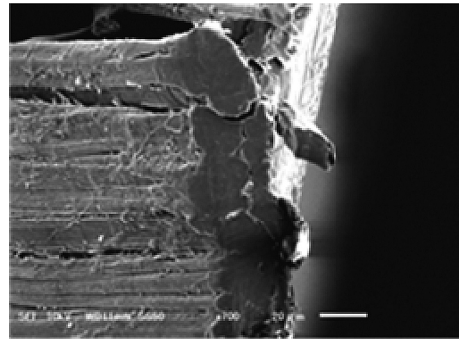
(8) 芭蕉

写真1. 植物繊維側面のSEM像(400倍)

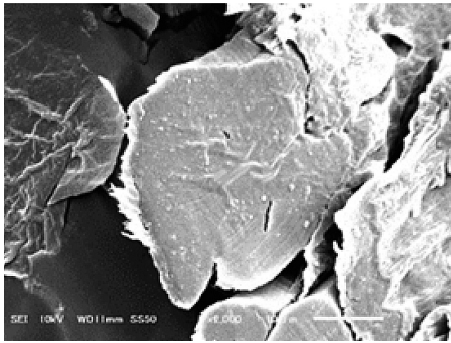




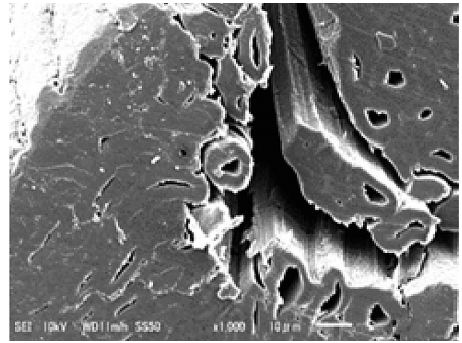
(1) 大麻 ×1500



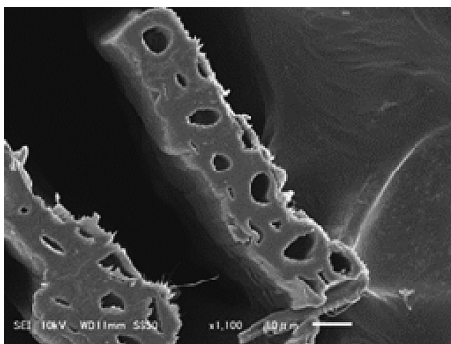
(2) 苧麻 (未精鍊) ×1000



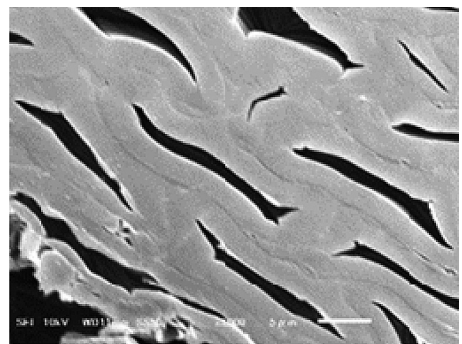
(3) 苧麻 ×2000



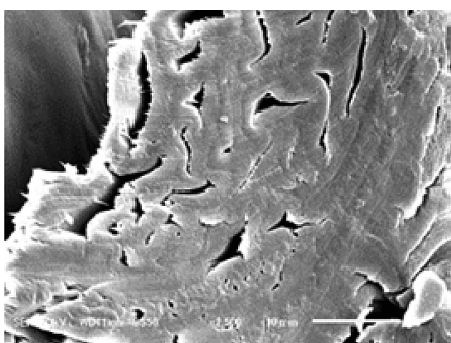
(4) 黄麻 ×1000



(5) 洋麻 ×1000



(6) マニラ麻 ×3000



(7) 芭蕉 ×2500

写真 2. 植物繊維断面の SEM 像



は節および線条が観察された。

苧麻：精練繊維の表面は未精練に比べやや滑らかであったが、精練、未精練ともに側面に線条および節が見られ、断面は楕円もしくは多角形であった。

亜麻：繊維側面には線条が見られ、断面は丸みを帯びたやや扁平な多角形であった。

黄麻：繊維側面の線条が明確であり、断面は円形ないしは扁平であるが、空孔が大きかった。

洋麻：繊維側面には線条と節がある。断面写真は複数の繊維が膠着した状態であるが、各繊維断面はやや円形に近く、空孔がつぶれることなく大きく開口しているものが多かった。

マニラ麻：繊維側面には細い線条が見られた。断面は特に扁平で空孔が長径方向に広く開口していた。

芭蕉：繊維側面には線条が多く、節も観察された。断面は丸みを帯びていた。

以上のようにこれらの繊維の各側面や断面は種類ごとに若干異なっているが、類似しているものが多かった。このため、文化財あるいは出土物中での繊維種の鑑別は、たとえ形態が維持されていても難しいことが予想される。繊維断面はほとんどが扁平であったため、断面の大きさを長径と短径に分けて測定した。表1にSEM像から測定した繊維断面の短径および長径を示す。同一種の繊維でも産地によっては有意差があったが<sup>9)</sup>、SEM像で観察した範囲内(2~5か所)でも同じ種類の繊維の太さにばらつきがある。表中に測定できた繊維の最大数値と最小数値を示しているが、マニラ麻については測定できた2本の繊維の短径が共に6 $\mu\text{m}$ であった。苧麻の未精練試料は繊維どうしが膠着しており、精練試料の1本の繊維についてのみ太さを測定できた。測定値から、大麻は比較的太い繊維であり、マニラ麻の短径と長径の差は大きかった。

表1. 植物繊維の断面の大きさ

繊維	繊維断面*1 ( $\mu\text{m}$ )	
	短径	長径
大麻	18-26	38-45
苧麻*2	11	34
亜麻	6-13	11-19
黄麻	9-14	14-23
洋麻	5-10	11-16
マニラ麻	6	26-27
芭蕉	3-6	8-17

\*1 SEM 写真像からの測定した値。

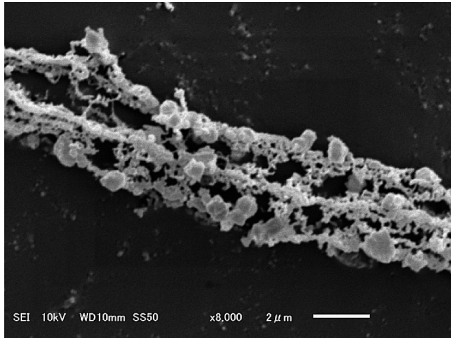
\*2 精練試料、この他はすべて未精練。

### 3-2. 繊維の灰化物

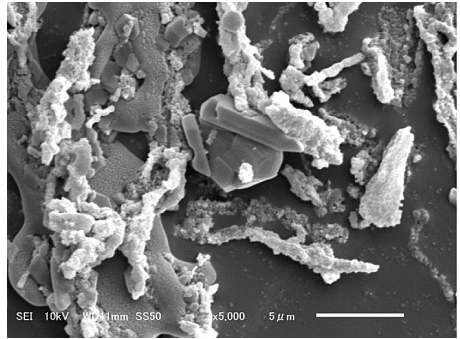
植物の生体鉱物を観察する方法として、植物を加熱灰化後超音波処理し、沈定法で5 $\mu\text{m}$ 以下の粒子を除去してから観察する方法も報告されている<sup>5)</sup>。しかし本研究では灰化物を超音波で処理すると灰化物が崩れて生体鉱物の観察が難しかったため、灰化物を処理せずにそのまま観察した。写真3に各植物繊維試料の加熱灰化物のSEM像を示す。

大麻の灰化物には微小な鉱物もしくは無機塩様の物質が連なっていた。大麻、亜麻、黄麻および洋麻の灰化物は、それぞれ様相は異なるが、連鎖状となっている部分が多かった。未精練および精練した苧麻の灰化物は大麻および亜麻とは異なっていた。苧麻および亜麻の灰化物には多くの鉱物もしくは無機塩様の物質が観察された。この物質は大麻より大きく、しばしば方形であった。マニラ麻の灰化物中には比較的大きい鉱物もしくは無機塩様の物質が観察された。芭蕉は針状結晶状もしくは成長段階の結晶が顕著に見られ、非常に特徴的である。

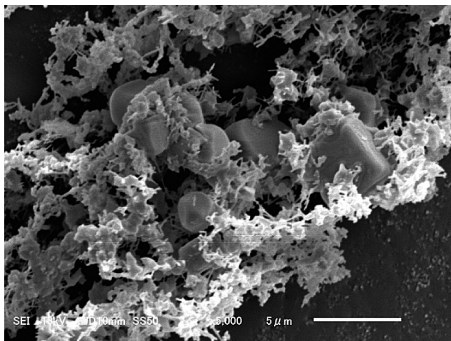
後述の生体鉱物の結晶は偏光顕微鏡観察で、シリカは染色後光学顕微鏡で観察することにより他の物質と識別できるが、SEM観察では無機塩、シリカ、結晶の識別はできない。従って、SEMで観察された灰化物中の鉱物様もし



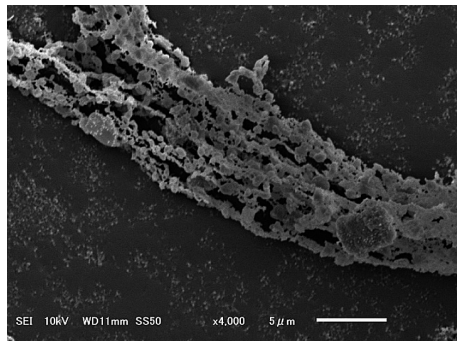
(1) 大麻 ×8000



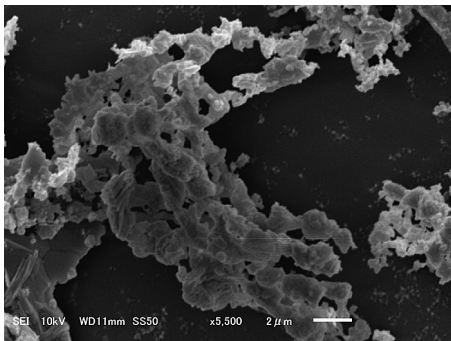
(2) 苧麻 (未精鍊) ×5000



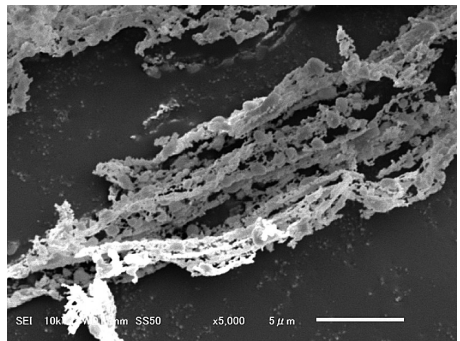
(3) 苧麻 (精鍊) ×5000



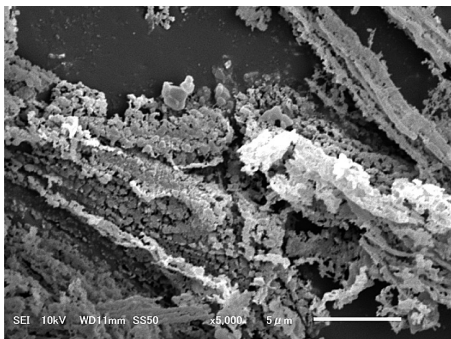
(4) 亜麻 ×4000



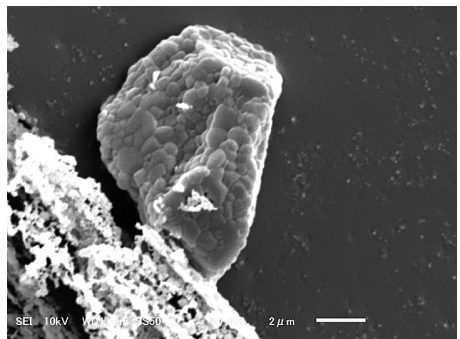
(5) 黄麻 ×5000



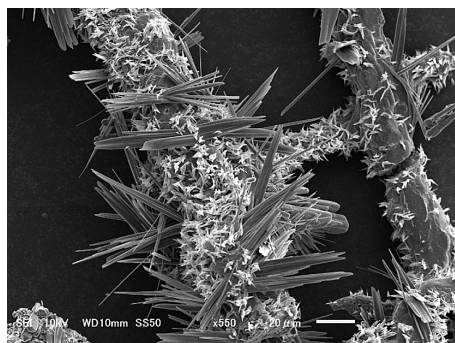
(6) 洋麻 ×5000



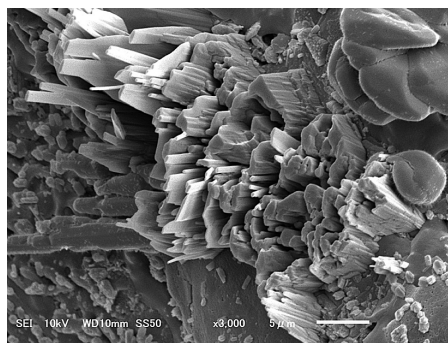
(7) マニラ麻 ×5000



(8) マニラ麻 ×7000



(9) 芭蕉 ×550



(10) 芭蕉 ×3000

写真3. 灰化した植物繊維のSEM像

くは無機塩様の物質の多くは生体鉱物の可能性はあるが、他の無機塩である可能性も否定できない。

### 3-3. 灰化した繊維中の生体鉱物

植物内の生体鉱物には非晶質のシリカと結晶質のクリスタルがある。シリカは非晶質の含水ケイ酸 ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) からなり、土壌にある可溶性ケイ酸が植物に吸収され、細胞に沈積し植物の細胞を鋳型として形成される。他方、クリスタルはその呼称の通りに個々の結晶の形をした結晶砂と呼ばれる生成物（シュウ酸カルシウム、 $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ）であり、シリカとともに植物中に存在する。偏光顕微鏡の直交ニコル下ではシリカは非晶質であるため暗黒になるが、クリスタルは等方性であり暗黒にはならないため観察することができる。そこで、偏光顕微鏡を用いて、直交ニコル下で灰化した繊維中のクリスタルを観察した。写真4に単ニコル下で観察した顕微鏡像および直交ニコル下で観察した顕微鏡像を並べて示す。直交ニコル下の灰化試料の顕微鏡像のなかで、特に苧麻、マニラ麻および芭蕉の灰化物中のクリスタルの形やクリスタルの塊（クラスター）およびそれらの集合状態には顕著な特徴が認められた。また、大麻、洋麻、亜麻で数  $\mu\text{m}$  以下の微小なクリスタル（明るい部分）が分散していた。以下に各繊維のクリスタルの形状を述べる。

大麻：微小なクリスタルもしくはクラスターが分散、複数のクリスタルが連鎖状に連なったクラスターも観察された。

苧麻：未精錬および精錬間でのクリスタルの形状に明確な違いは認められなかった。クリスタルの連鎖、単独のクラスター、連鎖状および方形（棒状）のクラスターが見られた。

亜麻：Catling と Grayson<sup>10)</sup>によれば、亜麻のクリスタルの存在の報告はこれまではなかったとされている。しかし、本研究の試料では他の繊維と比べて非常に微小ではあるが、棒状あるいは連鎖状に集合しているクリスタルが観察された。視野によっては、微小なクリスタルのみがごまばらに見えた。

黄麻：単独および連鎖状のクラスター、方形のクラスターがあった。

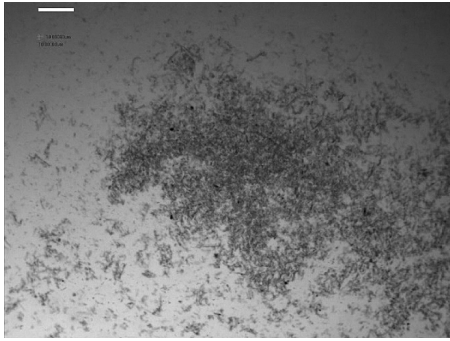
洋麻：亜麻と同様に非常に微小なクリスタルがまばらに分散していた。

マニラ麻：他の繊維と比較して大きい直方体クリスタルもしくはクラスターが複数集合していた。

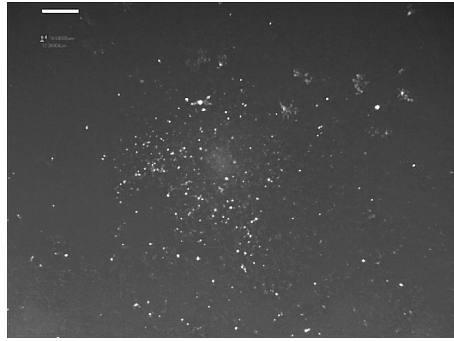
芭蕉：針状のクリスタルが見られた。これは灰化物のSEM像の針状結晶様のものに対応していた。

メチルレッドはシリカの  $\text{SiOH}$  と結合するため、植物灰化物を染色するとシリカのみが選択的に赤く染色される。これを利用してシリカを観察する

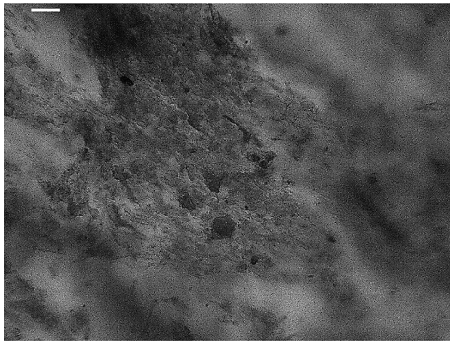




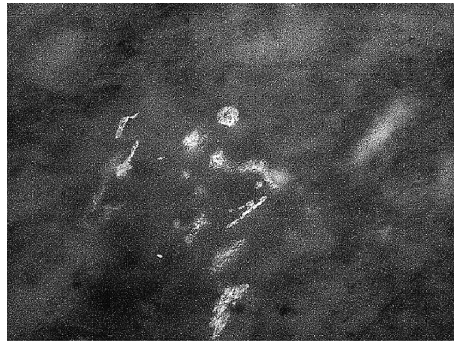
(1) 大麻 (単ニコル)



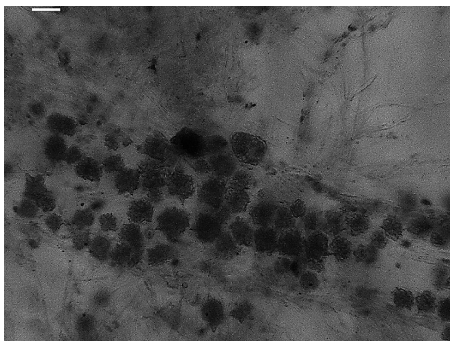
(直交ニコル)



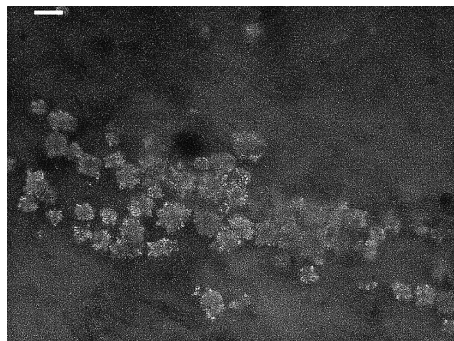
(2) 苧麻 (未精鍊, 単ニコル)



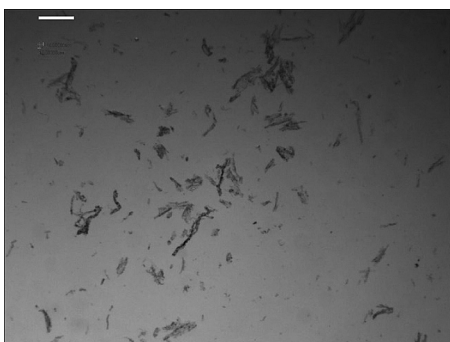
(直交ニコル)



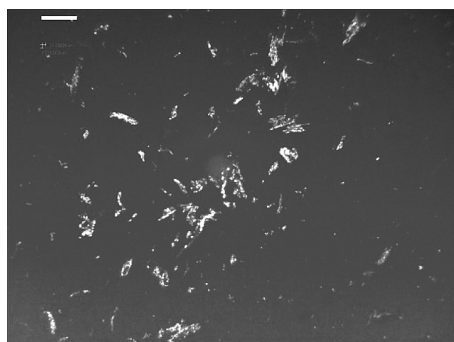
(3) 苧麻 (精鍊, 単ニコル)



(直交ニコル)



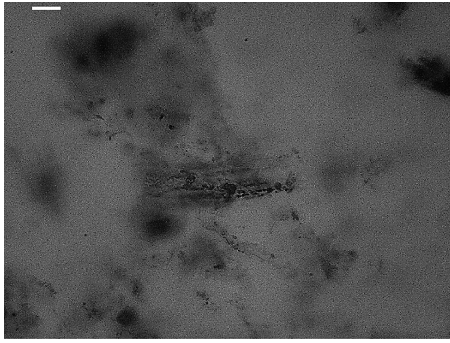
(4) 亜麻 (単ニコル)



(直交ニコル)

写真4. 灰化した植物繊維およびクリスタル\*1 \*1 左上のスケールバーは100 μmを示す。各植物

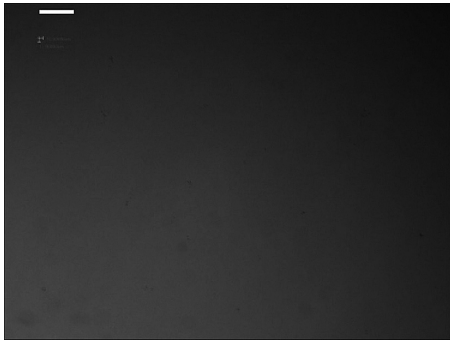
麻類を主とした植物繊維の生体鉱物による鑑別



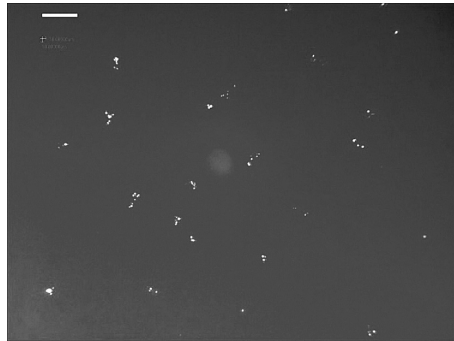
(5) 黄麻 (単ニコル)



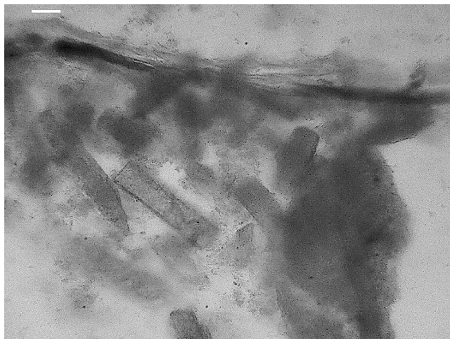
(直交ニコル)



(6) 洋麻 (単ニコル)



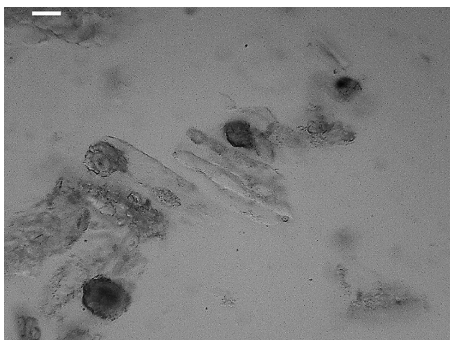
(直交ニコル)



(7) マニラ麻 (単ニコル)



(直交ニコル)



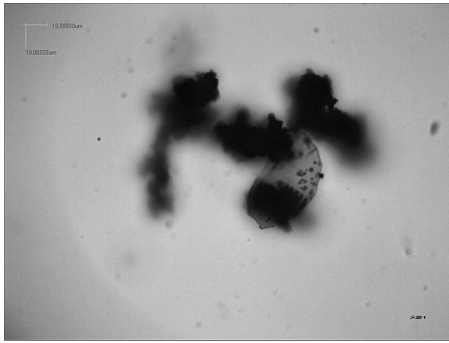
(8) 芭蕉 (単ニコル)



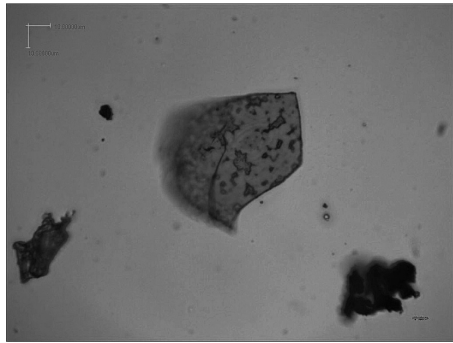
(直交ニコル)

繊維 (単ニコル下) およびクリスタル (直交ニコル下) の像は同一視野である。

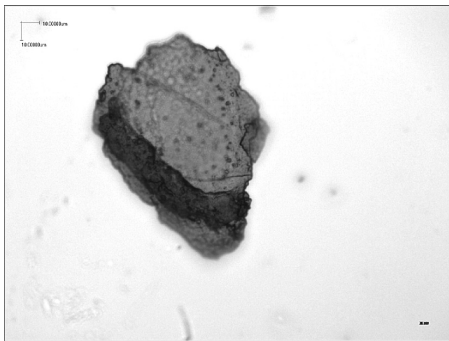




(1) 大麻



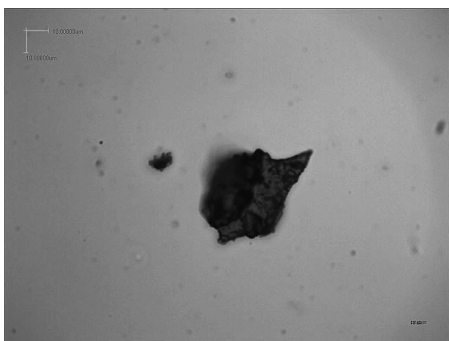
(2) 苧麻 (未精錬)



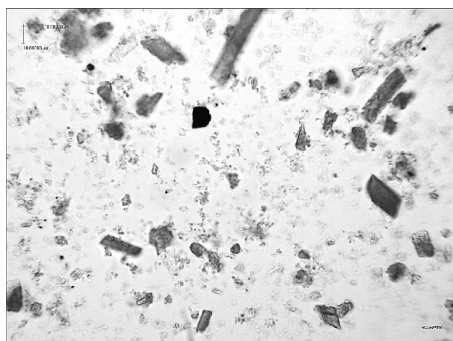
(3) 亜麻



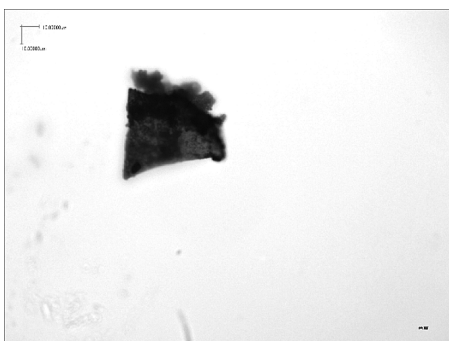
(4) 黄麻



(5) 洋麻



(6) マニラ麻

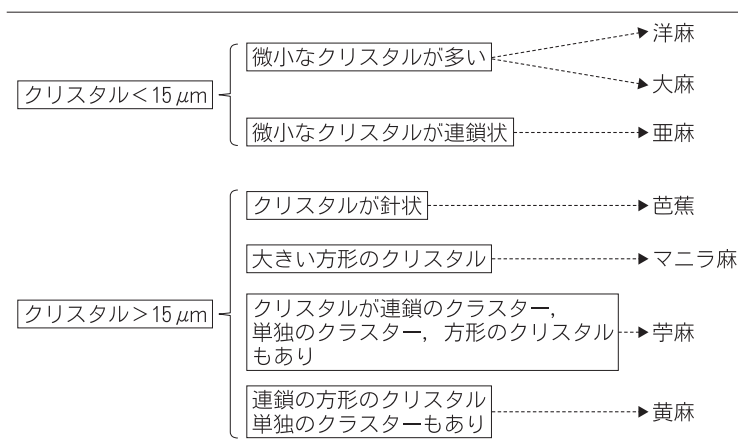


(7) 芭蕉

写真5. 灰化し染色した植物繊維中のシリカ<sup>\*1</sup> <sup>\*1</sup> 左上のスケールバーは10 μmを示す。



表 2. 植物繊維灰化物のクリスタルの特徴



ことができる。Dayanandan の方法<sup>6)</sup>を参考にして、灰化した植物繊維をメチルレッドで染色し、赤褐色ないしは褐色に染色されたシリカの光学顕微鏡による観察を試みた。写真 5 に顕微鏡で明確に観察できたシリカの写真を示す。観察した試料中、同一種の繊維にも複数の形のシリカが観察されたものもあった。先述のようにシリカは細胞の鑄型と言われているが、単一の繊維中にも複数種類の細胞が含まれているため、一種類の繊維には複数種の形のシリカが含まれていると考えられる。従ってシリカの形態を繊維鑑別に利用するためには、さらに体系的かつ多くのデータの蓄積が必要であると考えられる。

### 3-4. 結論

表 2 に 7 種の植物繊維のクリスタルの形状および集合状態における特徴を示す。表 2 のように、灰化した芭蕉、マニラ麻および苧麻のクリスタルの形状は顕著な特徴があり、鑑別の有力な根拠となる。大麻と洋麻は共に微小なクリスタルであり、クリスタルのみでは両者の識別はできないが、これらの繊維の断面形態は大きく異なるため、繊維の SEM 像も合わせて観察すると両者の識別は可能と考える。結論として、今回用いた麻類を主とする 7 種の植物繊維の鑑別において、繊維形態の

SEM 観察に加え、灰化物および灰化物中のクリスタルの観察を併行して行うことにより類似した繊維間での差異が明らかになり、この方法が有用な鑑別手段となると考える。但し、植物繊維のクリスタルの含有量は繊維全体に対して少量であるため、この観察には少なくとも数百 mg～数 g の試料を必要とする点がこの方法の短所である。発掘物にはごく微量の繊維が付着していることが時々あるが、このような微量の繊維の鑑別に、クリスタルの観察を適用させることは現時点ではまだ難しいと考える。

### 引用文献

- 1) 中村力也. 文化財の有機材質分析における最近の成果. 考古学と自然科学. 2015, **60**, 25-47.
- 2) Haugan, E., Holst, B. Flax Look-alikes: Pitfalls of Ancient Plant Fibre identification. *Archaeometry*. 2014, **56**(6), 951-960.
- 3) Garside, P., Wyeth, P. Identification of Cellulosic Fibers by FTIR Spectroscopy: Thread and Single Fibre Analysis by Attenuated Total Reflectance. *Studies in Conservation*. 2003, **48**(4), 269-275.
- 4) 奥山誠義, 佐藤昌憲, 赤田昌倫. 偏光顕微鏡 FT-IR 法による出土植物性繊維製品の材質調査の基礎的研究 (II) —現代産苧麻における赤外偏光

- 特性について一. 繊維学会誌. 2014, 70(1), 14-18.
- 5) 近藤錬三. プラント・オパール図譜. 北海道大学出版会, 2010, 200.
- 6) Dayanandan, P. Localization of silica and Calcium Carbonate in Plants. *Scanning Electron Microscopy*. 1983, 111, 1519-1524.
- 7) Jarman, C. G., Kirby, R. H. The Differentiation of Jute and Some Jute Substitute Fibres Based on The Type of Crystals Present in The Ash. *Colonial Plant and Products*. 1955, 5, 281-287.
- 8) Bergfjord, C., Holst, B. A Procedure for Identifying Textile Bast Fobers using Microscopy: Flax, Nettle/Ramie, Hemp and Jute. *Ultramicroscopy*. 2010, 110, 1192-1197.
- 9) 伊藤美香, 小原奈津子. 繊維遺物鑑別のための基礎研究—国内各産地の大麻繊維の未処理・人工炭化・人工劣化の比較—. 文化財科学会第33回大会. 2016, 150-151.
- 10) Catling, D., Grayson, J. Identification of Vegetable Fibers. London, Archetype Publications, 2004, 3.

(いしかわ りえ 環境デザイン学科卒業生)

(いとう みか 研究支援機器センター助教)

(こはら なつこ 生活機構学専攻 教授)

受理年月日 平成 28 年 9 月 30 日

審査終了日 平成 28 年 12 月 15 日