

南洋材の柔細胞中の結晶およびシリカの 走査電子顕微鏡による観察

平田友信・佐伯 浩・原田 浩

Observation of Crystals and Silica Inclusions in Parenchyma Cells of
Certain Tropical Woods by Scanning Electron Microscope

Tomonobu HIRATA, Hiroshi SAIKI and Hiroshi HARADA

目 次

要 旨	194	3-2 シュウ酸カルシウムの結晶に ついて	
1. はじめに	194	3-3 その他の内容物について あとがき	199
2. 実験材料および方法	195	引用文献	199
2-1 材料		Résumé	199
2-2 方法			
3. 結果および考察	195		
3-1 シリカについて			

要 旨

南洋材には柔細胞中にシュウ酸カルシウムの結晶あるいはシリカを含むものがある。これらの形態を SEM によって観察を行なった。

結果は以下のとおり

1. シリカは $10\sim 20\mu$ の塊状で存在するものが多い。その表面はおおむね小粒子が付着し、融合した状況を示すが、樹種によって多少の差があるように思われる。シリカには sac はない。
2. シリカのかたまりの切断面は均一な状態で特別の構造は認められない。
3. 結晶はほとんどが CHATTAWAY の分類による rhomboidal, square or diamond-shaped のタイプであった。
4. 結晶をおおっている sac が認められ、塩酸処理によって結晶を溶解させた時、sac はそのまま残る。しかし、これは 1% 水酸化ナトリウム (80°C) で溶解する。

1. は じ め に

近年、我国では木材輸入が増加の一途をたどり、木材使用量の半ばを越すに至った。その輸入木材の中でもとりわけ、東南アジアからのいわゆる南洋材と呼ばれる木材の占める割合が大きい。それも、かつてはフィリピン産のラワンを中心としたものであったが、現在はインドネシアやニューギニアなどの広い地域から多数の樹種が輸入されているのが現況である。

ところで、これらの南洋材については本邦産材と違ったいくつかの特徴が指摘されている。^{1,2)}

細胞の内容物にシリカを含む樹種がみられることもその一つである。結晶（シュウ酸カルシウム）は本邦産材にもみられるが、南洋材中には束晶、砂晶、針晶など特異な形を示す樹種があるとされている。¹⁾結晶やシリカの存在および存在場所は樹種識別上有意義と考えられ、多数の樹種について調査がなされ、^{3,4,5)}さらにそれらの形態について結晶では報告されている。

これらの調査はどちらも光学顕微鏡観察によるものである。結晶の形態観察にX線顕微鏡が用いられ、有効であると報告されている。⁶⁾走査電子顕微鏡 (SEM) は視野が深く分解能がすぐれているので、結晶やシリカの詳細な形態の立体的観察を可能とする。それはこれらの内容物についての知識をより確実なものにするとともに樹種識別に役立つことも期待できよう。我々はごく限られた材料について観察を試みたにすぎないが、ここに結果を示し SEM 観察の問題点について論議をすすめたい。

試料作製、観察の実施に当って種々御援助下さった木材構造学研究室、古川郁夫氏ほか研究室の各位に心から感謝いたします。

2. 実験材料および方法

2.1 材 料

観察の材料として外国産主要木材 100 種（日本木材加工技術協会）の標本を用い、これまでの報告よりシリカおよび結晶の存在が知られている樹種など次の 9 科 15 属 18 種の材について観察を行なった (Table 1)。

2.2 方 法

標本より気乾状態で約 $6 \times 6 \times 1$ mm のまさ目のブロックを片刃カミソリで切り出し、SEM の試料台に導電性塗料で張り付け、回転傾斜装置でカーボンと金をむらなく coating し、加速電圧 10kv で観察した。

柔細胞中にはシリカや結晶の他に種々の内容物が存在している。したがって、切片あるいはブロックについてシリカや結晶の確認、¹⁾デンプン粒の検出などの顕微化学反応ならびに種々の抽出処理を行なって光学顕微鏡観察するとともに処理前後の変化を SEM で観察した。

すなわち、シリカを含むパロサピス、マンガシノロ、結晶を含むアルモンについて、2%塩酸、18%塩酸、2%酢酸、55%フッ化水素酸の処理、水酸化ナトリウム、熱水 (100°C)、エタノール・ベンゼン (3:7)、99.5%エタノールなどの抽出処理を行なって観察した。なお、これらの処理中にシリカおよび結晶の損落を防止するため、できるかぎり注意を払って処理を行なわなければならない。また SEM 利用の試みの一つとしてアルミニウム蒸着を行なって SEM 観察した後、0.2%水酸化ナトリウムに 10 分ほど試片を浸してアルミニウム蒸着膜を溶解させ、結晶の溶解処理や抽出処理を行なった後、カーボンと金蒸着をして処理後の形態を観察した。これにより、同一試片の同一場所の処理前後の形態の比較を観察することができる。

3. 結果および考察

18種の樹種について SEM で気乾状態の試片を観察し、結晶とシリカの存在を調べた結果は Table 1 のようであった。

シリカは放射柔細胞中にかたまりとして存在する場合は比較的容易に確認された。特にマンガシノロでは、Fig. 1 のように試片作製中にこぼれ落ちたことを考慮すれば、ほとんどすべての放

Table 1. Crystals and silica inclusions found in woods examined.

Species	Vernacular name	Inclusions	Distribution	
			Ray p.	Axial p.
<i>Anacardiaceae</i>				
<i>Mangifera</i> sp.	Mango			
<i>Burseraceae</i>				
<i>Canarium</i> sp.	Canary wood			
<i>Combretaceae</i>				
<i>Terminalia</i> sp.	Terminalia			
<i>Dipterocarpaceae</i>				
<i>Anisoptera</i> sp.	Palosapis	Si.	○	
<i>Anisoptera glabra</i>	Phdiek	Si.	○	
<i>Dipterocarpus</i> sp.	Apitong	Si.	○	○
<i>Drybalanops</i> sp.	Kapur	Si.	○	
<i>Parashorea malaanonan</i>	Bagtikan	Ca.		○
<i>Pentacme contorta</i>	White lauan	Ca.	○	○
<i>Shorea almon</i>	Almon	Ca.	○	○
<i>Shorea</i> sp.	Manggasinoro	Si.	○	
<i>Shorea</i> sp.	White meranti	Si.	○	
<i>Gonyotylaceae</i>				
<i>Gonystylus bancanus</i>	Ramin	Ca.	○	
<i>Leguminosae</i>				
<i>Cassia siamea</i>	Tagayasan			
<i>Samanea saman</i>	Monkey pod	Ca.		○
<i>Meliaceae</i>				
<i>Amoora</i> sp.	Amoora			
<i>Rubiaceae</i>				
<i>Anthocephalus cadamba</i>	Kalampayang			
<i>Sterculiaceae</i>				
<i>Pterocymbium beccarii</i>	Amberoi			

Si.: Silica

p.: parenchyma cell

Ca.: Calcium oxalate

射柔細胞にシリカが存在していたと思われるほど多く観察された。それに反してシュウ酸カルシウムの結晶は軸方向柔細胞中に異形細胞を形成して存在している場合が多くみられた (Fig. 2)。しかもその量が他の細胞構成要素にくらべて非常に少ないものであり、観察下のブロックの約 6 mm 平方の表面に結晶が現われていなければ、SEM は表面だけの観察であるから内部に含まれている結晶を検出することはできない。結晶あるいはシリカの有無の確認に関しては、切片を透過して観察する光学顕微鏡の方が優れていると言えよう。Table 1 で結晶等の確認できなかった樹種については、観察の量の如何によっては結晶等を確認できるかもしれない。これらについては何回か観察を繰り返したが、その範囲内では認められなかった。

アメリカ産の *Abise* 属の結晶について KENNEDY⁷⁾ らは、幹内の部位により結晶の分布状態に違いがあることを報告している。この実験では試料として市販の標本を用いたことから幹のどの部分であるかが不明な点、結晶の分布が少ないか、全くなかった部分の標本を使用した可能性をも考慮すれば、結晶およびシリカの存在の有無を断定することはできない。

3.1 シリカについて

シリカ (Silica) は、二酸化ケイ素の通称である。ケイ酸塩工業、鉱物学、岩石学、地球化学などケイ酸塩を扱う分野では、この二酸化ケイ素という正式名を使わず、むしろシリカと称する場合が多い。また純粋な化合物としての二酸化ケイ素をさす場合のほか、ケイ素の存在状態にかか

わらず試料中に含まれる全ケイ素分（ケイ酸塩，ケイ酸，二酸化ケイ素など）を総括したものをさす場合がある。木材中のシリカと呼ばれているものは，二酸化ケイ素のみからなっているものか，あるいは他の成分との混合物であるのかはわからない。今回の観察はシリカの形態を SEM で追求するものであり，この問題は取り扱わない。

シリカの形には2通りあり最も一般的には，表面の凹凸した塊状を示すものであり，他はシリカを持つ細胞の膜壁を裏張りしたように沈積しているもの，あるいは細胞内腔を完全に充填しているものがあるとされている。

観察した結果，シリカを含む6種の樹種のすべてにおいて大きさは約 $10\sim 20\mu$ で表面の凹凸した塊状の形で放射柔細胞中に存在していた (Fig. 3)。中には，シリカが塊状にならずに小粒子がいくつも手をつないだように結合した状態にある場合もあり (Fig. 4)，アピトンの軸方向柔細胞中にみられるものは塊状と粒子状との中間の形であった (Fig. 5)。

柔細胞中には種々の大きさの粒状の内容物が多く見られ（後述），粒子状シリカと識別できない。しかし，シリカ以外の内容物粒子は1%水酸化ナトリウム 80°C 処理によってほとんど溶解消失する。シリカの塊状の形でも樹種によってそれぞれ多少の違いがあり，その表面はおおむね小粒子が付着し，融合した状況を示す。

マンガシノロでは， $0.1\sim 1\mu$ ほどの小粒子が集まってかたまりとなっている (Fig. 3)。しかし，カプールでは大きなかたまりが融合し，その表面に小さな粒子が付着しているようにみえる (Fig. 6)。その他の樹種のシリカは，マンガシノロとカプールのその間の中間的な大きさのかたまりが集合しているようである (Fig. 7)。

柔細胞中では，内腔に遊離した状態で存在し，後述するシュウ酸カルシウムの結晶のように何等かの物質で内腔面に糊着された例は観察されなかった。試片作製中に切断したと思われるシリカの断面が観察されたが，Fig. 8 のように内部は様な構造となっている。

シリカを含む6種の中で，マンガシノロとパロサビスについて薬品処理に対する挙動を観察した結果，55%フッ化水素酸10分処理に対してはほとんどすべて消失していた。他の処理に対してはシリカはほとんど変化がみられなかった。

3.2 シュウ酸カルシウムの結晶について

シュウ酸カルシウムには，次のような結晶系があるとされている。⁸⁾

$\text{CaC}_2\text{O}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ ——単斜晶系型 (monoclinic crystal system)

$\text{CaC}_2\text{O}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ ——正方晶系型 (tetragonal crystal system)

観察した結果，結晶は単純な結晶系型を示すものではなく，CHATTAWAY³⁾ が示した rhomboidal, square or diamond-shaped のタイプに属し，それ以上に詳細に分けることは困難であった。さらに分類しようとするならば，結晶学的に分析せねばならないであろう。特に生物体である樹木中での結晶成長過程は，純粹の溶液からの結晶形成とは異なるであろうし，他の不純物も混ざることとも予想される。

観察された結晶の典型的な形態は，Fig. 9 の stereo view の写真から立体的にみることができる。結晶の大きさは各樹種を通じておおよそ一辺が $20\sim 30\mu$ のものであった。

アルモンでは明確に他の細胞よりも大きく丸みをおびた異形細胞を形成して，その中に結晶が存在している (Fig. 2)。⁵⁾ シュウ酸カルシウムの結晶が存在していた4種の樹種の中で最も結晶が多く存在し，また結晶には JONGBLOED⁵⁾ らが「Crystal sac」と呼んだ厚い膜層でおおわれていた (Fig. 10) ので重点的に観察した。

まず結晶の塩酸に対する反応を見るため2~18%の塩酸に24時間浸した切片を光顕下で観察

した結果、すべての処理に対して結晶は消失していた。また2%酢酸24時間、1%水酸化ナトリウム1時間処理に対しては結晶は変化しなかった。この結果から結晶はシュウ酸カルシウムであることが確認された。

次に SEM による観察のため、試片を2%塩酸5分、18%塩酸12時間、1%水酸化ナトリウム1時間、1%水酸化ナトリウム80°C 1時間処理を行なって sac に対する影響と合わせて観察した。Fig. 10A は無処理でアルミニウム coating で観察したもので、結晶をおおっている sac の状況がよくわかる。Fig. 10B はアルミニウム蒸着膜を0.2%水酸化ナトリウムで溶解した後2%の塩酸で処理し、カーボンと金の coating を行ない、Fig. 10A と同じ細胞を観察したものである。結晶が溶解し始めており、sac が押しつぶされた状況を示している。

18%塩酸で12時間処理すると、Fig. 11 のように結晶は溶解して sac だけがきれいに残っている。これらの写真からもわかるように、sac は結晶を包み、これが細胞内壁にべったりと沈着している層と連続している。次にアルカリ処理した場合、1%水酸化ナトリウム1時間処理ではわずかであったが、80°C 1時間処理すると sac が完全に溶解することがはっきりした (Fig. 12)。すなわち sac に関しては、酸に対して反応せず、アルカリには溶解するということから細胞膜を形成しているセルロースではないことはあきらかで、ポリフェノール類などのアルカリ可溶物から成り立っているものと思われる。また sac が細胞内壁に沈着している物質と連続していることから、原形質残さが sac の形成に関与していることも考えられる。また、JONGEBLOED⁶⁾らは東晶を包む粘着層があることを報告しているが、結晶細胞特有の物質が結晶形成中に結晶物質と同時に生成され、それが成長しつつある結晶を外側から包んだものかも知れない。

しかし、この sac はすべての樹種の結晶に存在しているものではない。シュウ酸カルシウムの結晶が存在していた4種についてみると、ラミンに関しては明瞭ではないが薄い sac を持っている。しかし、Fig. 13 のように全く sac を持っていないものも観察された。バクチカン、モンキーポッドにおいては、多室柔細胞を形成して結晶が存在しており、sac を形成すると言うより細胞中に充満したと言う形で結晶が存在している (Fig 14)。これは細胞内腔に空間を形成するようになると sac の状態になるようである。

ホワイトラワンでは、結晶は軸方向および放射柔細胞に含まれているが、これは明瞭な異形細胞を形成しておらず、柔細胞中に細胞の形を変形せずにシュウ酸カルシウムが結晶化したようである。特に放射柔細胞中では一つの細胞が分室化され、その間に薄い膜を形成している (Fig. 9)。この膜に結晶の多くが付着している。しかし、この境界膜と sac とは同一物質ではないらしい。

3.3 その他の内容物について

Fig. 7 のパロサピスの放射柔細胞中にシリカとともに球形の物体がみられる。SEM では凹凸のみが観察できるので、顕微化学でよく行なわれる呈色反応は用いることができない。しかし、この物体はヨウ素ヨウ化カリウム試薬に染色せずデンプンではなく、エタノール、エタノール・ベンゼン、1%水酸化ナトリウムなどに溶解した。

その他にも種々の形態の内容物がみられた。Fig. 15 にアルモンの放射柔細胞の例を示す。大小さまざまな粒子があり、ドーナツ状のものもみられる。これを18%塩酸、温水、エタノール・ベンゼン、1%水酸化ナトリウムなどで処理した場合の状況を Fig. 16 に示す。1%水酸化ナトリウムによる抽出処理で内容物はほとんど溶けさり、細胞内壁がきれいに洗われる。

あ と が き

以上述べたように SEM 観察によってシリカの表面の形態や内部の構造、シュウ酸カルシウムの結晶にしばしば認められる sac について知見を得ることができた。これは SEM の視野が深く分解能にすぐれた特徴によるものである。一方、透過光による光学顕微鏡に較べて、これら結晶などの検出については能率が劣ることが痛感された。これらの内容物の観察において、SEM 観察では試料作製に煮沸その他の軟化処理を必要としないで、無処理の状態での形態観察が可能である。しかし、それら物質を検索する際の顕微化学上の呈色反応は用いることができない。したがって SEM を用いて顕微化学的検討を行なうためには、形態に特徴的な変化を生ぜしめるような処理法を開発する必要がある。

引 用 文 献

- 1) 須藤彰司：南洋材，地球出版，東京，(1970)
- 2) 須藤彰司：熱帯材の組織の特徴，熱帯林業，No. 23, 3-24, (1972)
- 3) CHATTAWAY, M. M.: Crystals in Woody Tissues; Part I, Tropical Woods, **102**, 55-74, (1955)
- 4) CHATTAWAY, M. M.: Crystals in Woody Tissues; Part II, Tropical Woods, **104**, 100-124, (1956)
- 5) 須藤彰司，飯高和美，山根又光，岩見 優：南洋材中のシリカの存在，林試研報，No. 200, 43-55, (1967)
- 6) JONGEBLOED, W. L. and JUTTE, C. M.: X-Ray Projection Microscopy of Crystals in Tropical Heartwood, Holzforschung, **19**, 36-42, (1965)
- 7) KENNEDY, R. W., SASTRY, C. B. R., BARTON, G. M. and ELLIS, E. L.: Crystals in the wood of the genus *Abies* indigenous to Canada and the United States, Canadian Journal of Botany, **46**, 1221-1228, (1968)
- 8) 山林 遷：木材組織学，森林出版，東京，(1964)

Résumé

Tropical woods often contain crystals of calcium oxalate or silica inclusions in parenchyma cells. Those inclusions have been observed by a scanning electron microscope.

The results obtained are as follows:

1. Silica was mostly found in the form of spherical lumps about 10-20 μ in diameter. The granular surface of the lump seems to indicate a fusion of silica grains adhering on it. A slight difference of granular appearance was observed among different species.
2. The silica lump did not have a sac and its section showed a smooth face, indicating a homogenous structure of the inner part.
3. Crystals of calcium oxalate were mostly rhomboidal, square or diamond-shaped in Chattaway's classification.
4. Sacs surrounding crystals were observed. Even in case when crystals were dissolved with hydrochloric acid, the sacs still remained. But the latter were dissolved with 1% sodium hydroxide at 80°C.

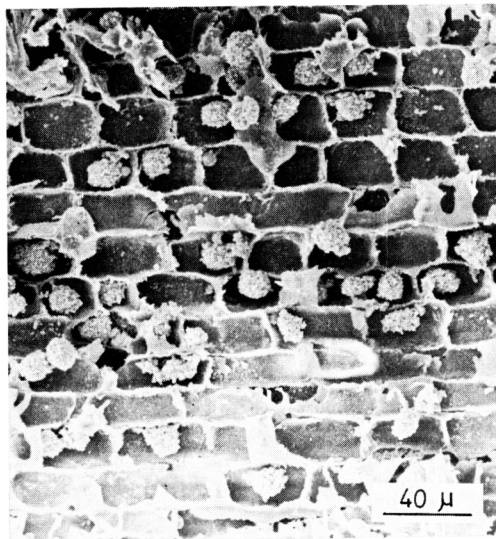


Fig. 1. Lumps of silica of ray cells in Manggasinoro (*Shorea* sp.).

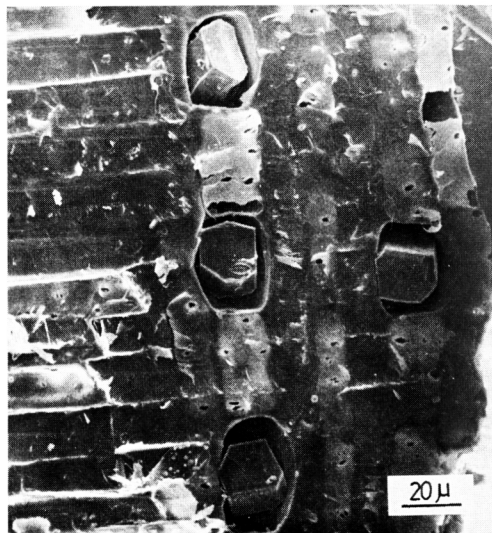


Fig. 2. Crystals of calcium oxalate in idioblasts of axial parenchyma in Almon (*Shorea almon*).

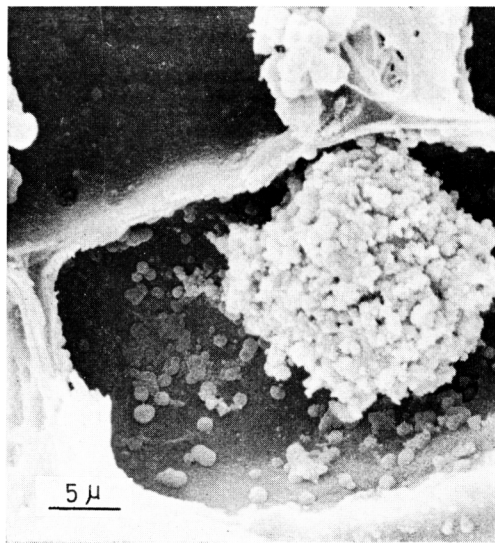


Fig. 3. A lump of silica in Manggasinoro (*Shorea* sp.).

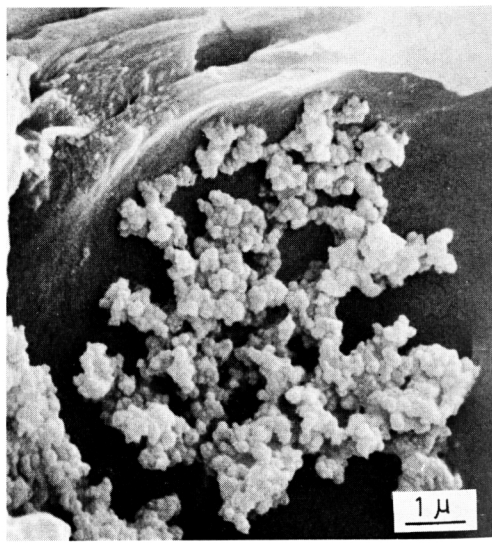


Fig. 4. Granules of silica in Manggasinoro (*Shorea* sp.), treated with 1 % sodium hydroxide for 1 hour.

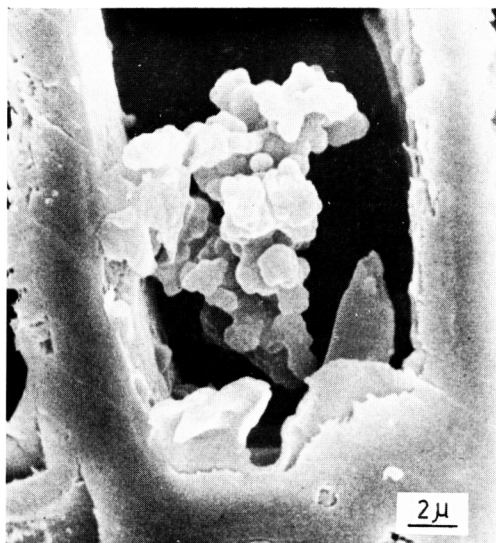


Fig. 5. A lump of silica in axial parenchyma cell in Apitong (*Dipterocarpus* sp.).

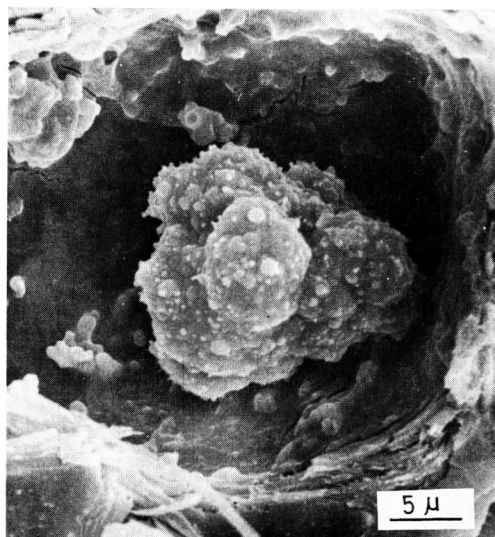


Fig. 6. A lump of silica in Kapur (*Dryobalanops* sp.). The surface of this lump evidently differs from those in Manggasinoro shown in Figs. 1. and 3.

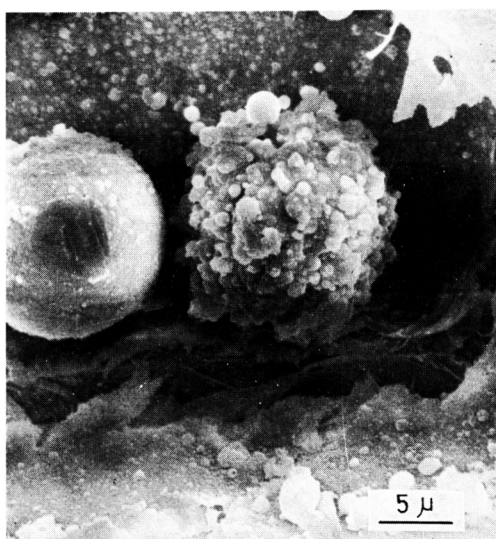


Fig. 7. A lump of silica and a spherical body in Palosapis (*Anisoptera* sp.).

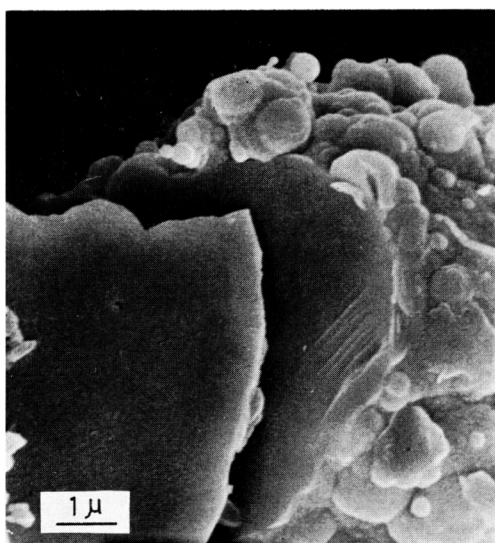


Fig. 8. A section of silica lump in Palosapis (*Anisoptera* sp.), indicating a homogeneous structure of the inner part.

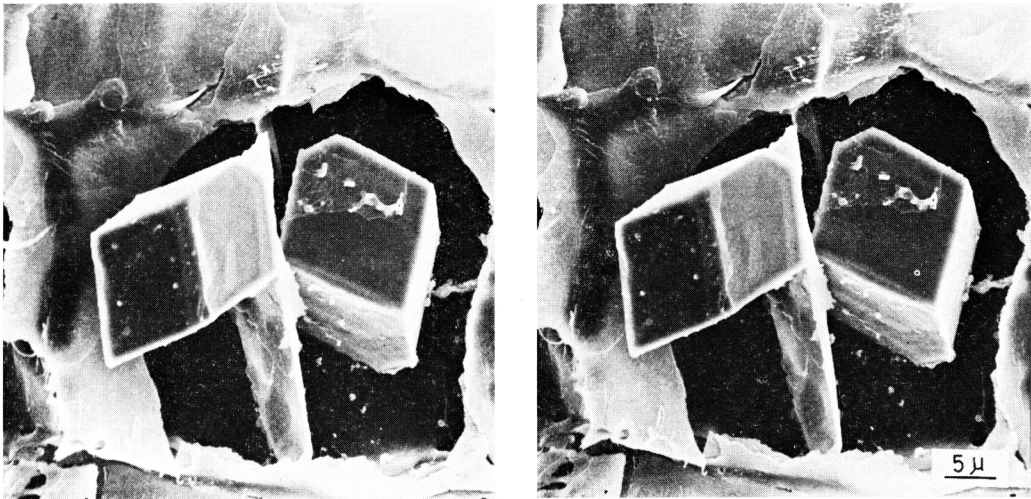


Fig. 9. Stereo view of crystals in White lauau (*Pentacme contorta*).

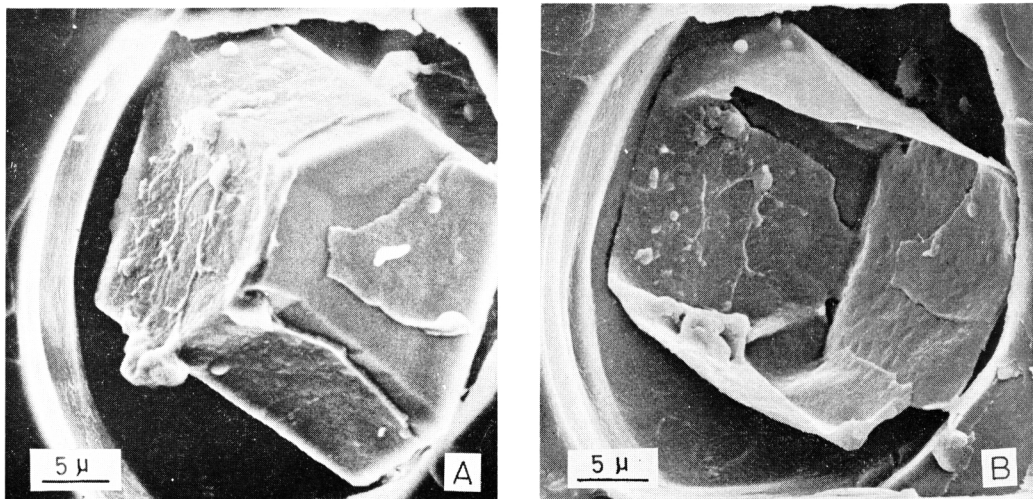


Fig. 10. Change of a crystal due to treatment with hydrochloric acid in Almon (*Shorea almon*).

A: a crystal in sac before treatment.

B: the same portion as A, the crystal is partially dissolved in sac by treatment.

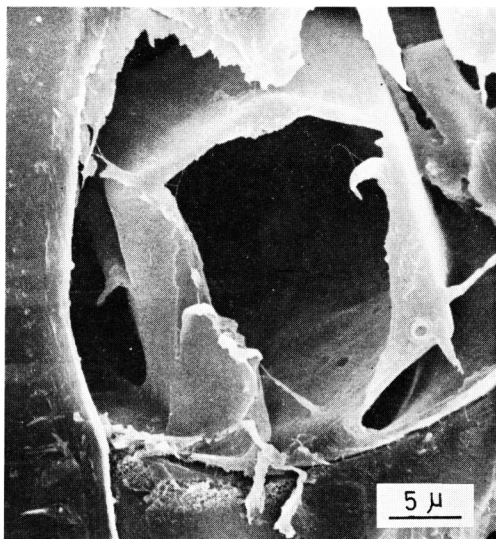


Fig. 11. A crystal sac in Almon (*Shorea almon*), treated with 18% hydrochloric acid for 12 hours. The crystal contained was completely dissolved.

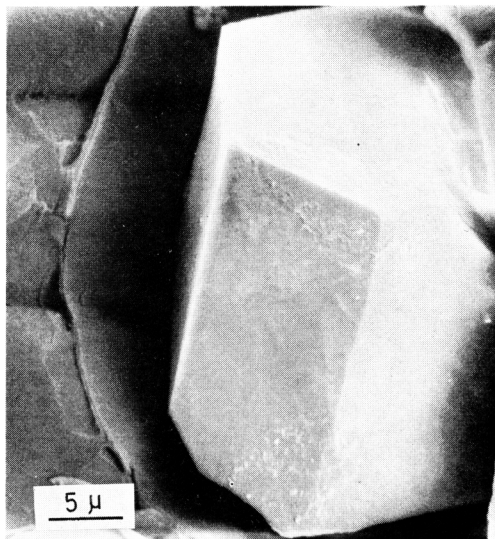


Fig. 12. A crystal treated with 1% sodium hydroxide at 80°C for 1 hour in Almon (*Shorea almon*). The crystal sac was evidently dissolved.

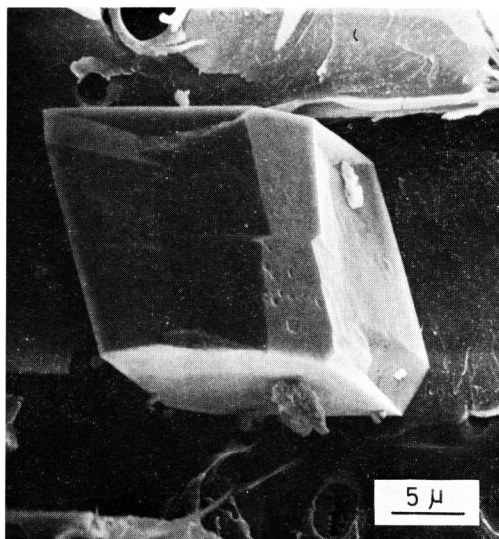


Fig. 13. A crystal without sac in Ramin (*Gonystylus bancanus*).

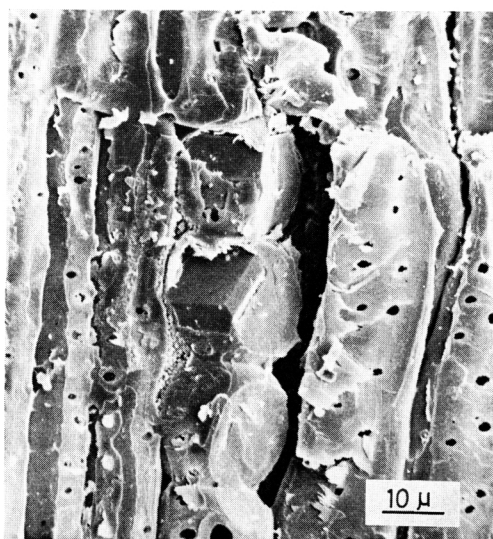


Fig. 14. The crystals of chambered parenchyma cells in Bagtikan (*Parashorea malaanonan*).

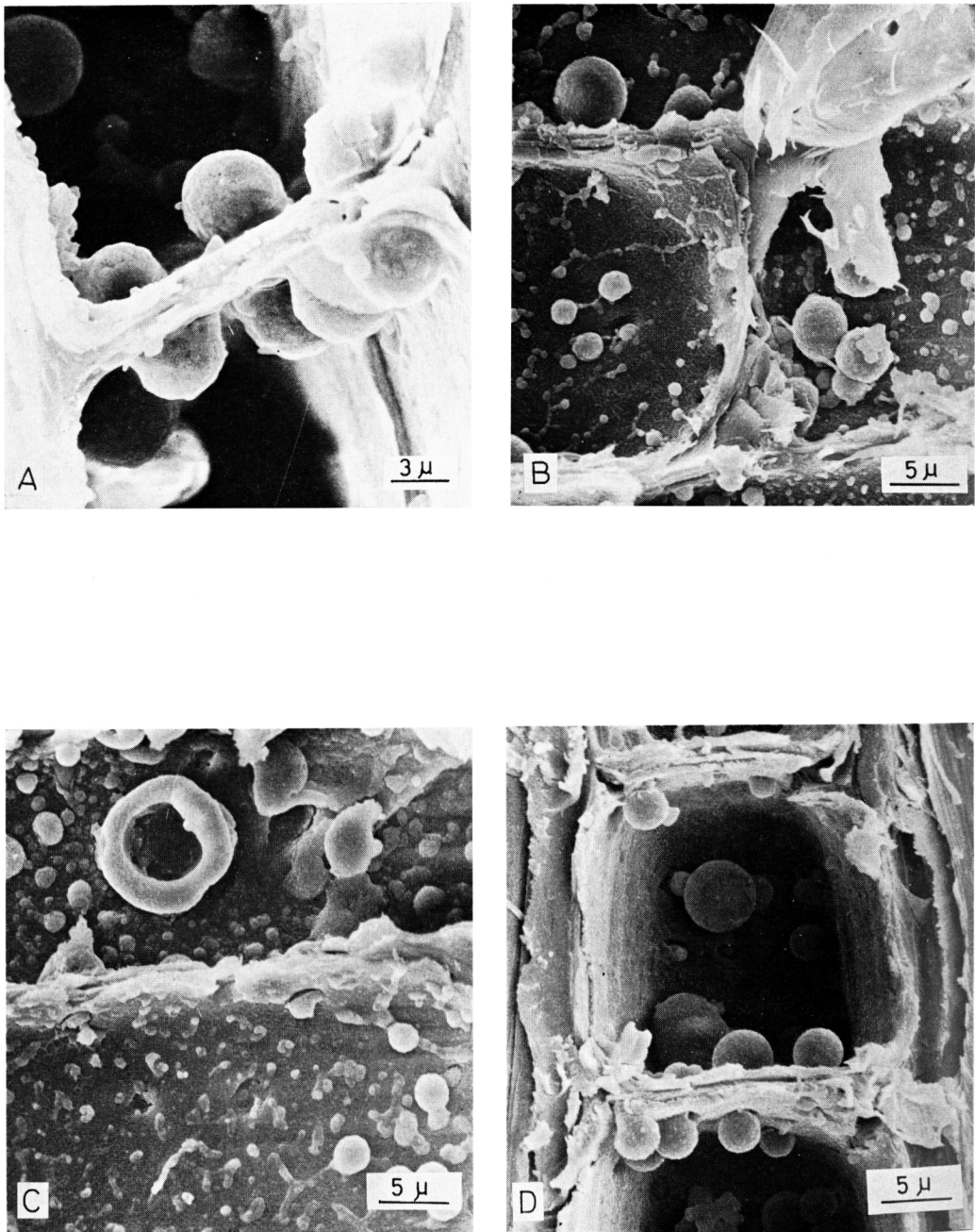


Fig. 15. Various inclusions of ray parenchyma cells in Almon (*Shorea almon*).

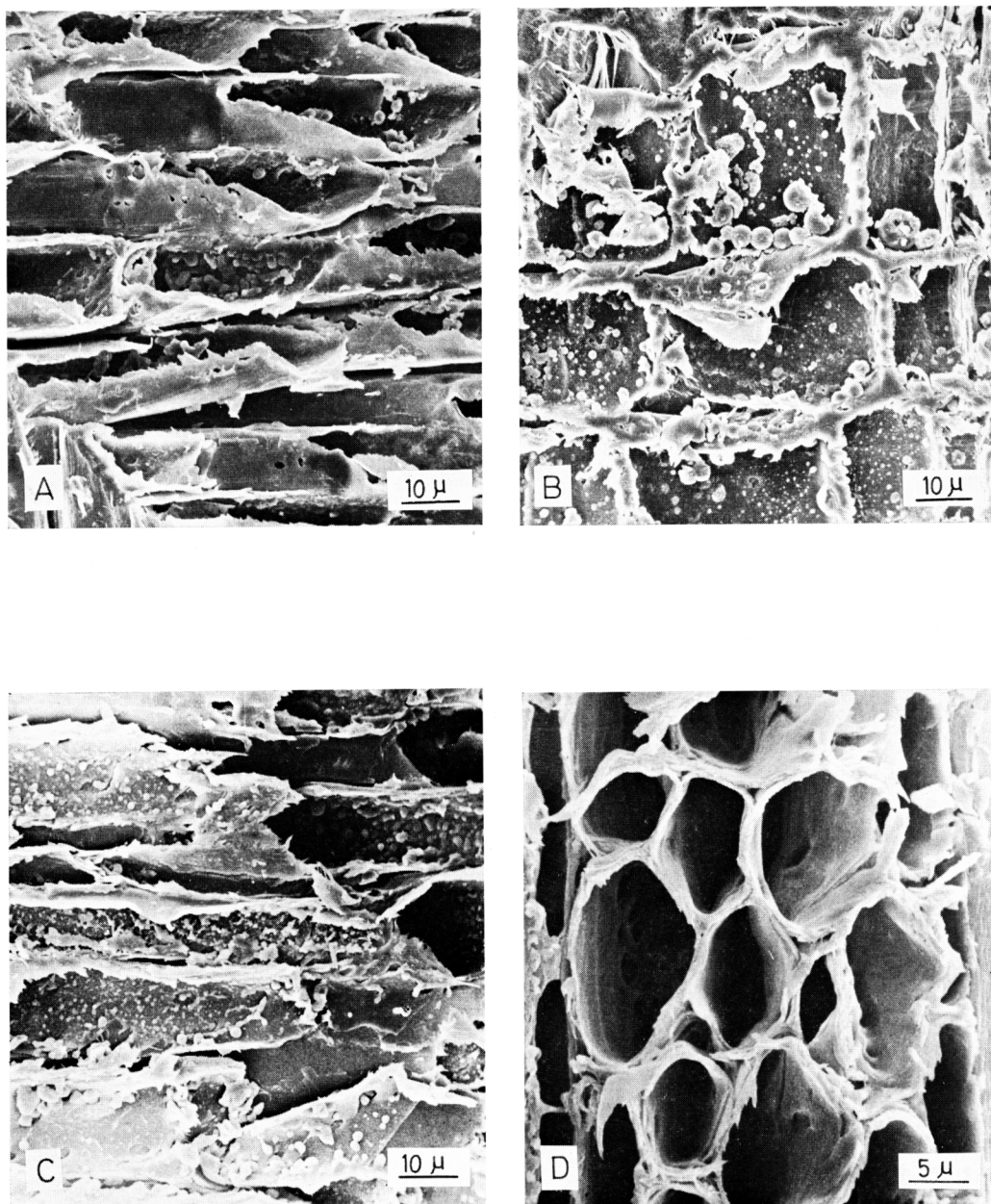


Fig. 16. Change of inclusions of ray parenchyma cells in Almon (*Shorea almon*), treated with 18% hydrochloric acid (A), hot water (B), ethylalcohol-benzene (C) and 1% sodium hydroxide (D).