

松茸水晶の成因に関する研究

高橋 泰 山梨県立宝石美術専門学校

1. はじめに

六角柱状の水晶の結晶の頂部に柱部よりも大きく成長した傘部をもつ結晶形態を示す水晶はセプタークォーツ (Scepter Quartz: 王笏状水晶) と呼ばれ、世界のいたるところに産出する。和名では松茸水晶、冠水晶とも俗称されている。今回、この水晶を紹介するに際し、イメージしやすい「松茸水晶」の名称を使うことにする。

普遍的な産出にもかかわらず、この種の結晶形態がどのように形成されたかを説明した文献は、Frondel [1]、Rykart [2]、O'Donoghue [3]、Kostov&Kostov [4] など、水晶あるいは鉱物の結晶の結晶形態を取り扱っているものの本にもみいだせない。Rakovan et al [5] が、幹部と傘部の差について調べたのがほとんど唯一の論文である。彼らは、大きく成長した傘部 (アメシスト) と幹部 (ミルキークォーツ) との間に流体包有物中の水素酸素同位体比やCL像に違いがみられ、それぞれ成長環境が異なっていたことを示した。しかしこの論文の中で形成機構は論じられていない。最近の文献 [6、7] 中には、成長機構が論じられているが、これらは本論文の学会発表をもとにしたものである。このユニークな結晶形態のできかたを解明するため、本研究では、まず、産状、晶癖、表面マイクロトポグラフ、内部組織をしらべ、松茸水晶が幹部、傘部一連の単結晶であり、傘部は両錐面を持っていること、および幹部、傘部で成長条件が大幅に異なったことを確認した。大きく成長した傘部では、インクルージョンの量や表面マイクロトポグラフで幹部とは明らかな違いがあること、幹部表面が異種鉱物でカバーされていることから、幹部の成長が異種鉱物の沈殿で中断し、その後あとから供給された熱水溶液中からマスクされなかった部分でのエピタキシャル成長が始まり、それを出発点として幹部と同方位をもった被覆成長が起きた結果として傘部がつくられたと考えられた。この形成機構はマスクした種子結晶を使って行った実験で確認された。

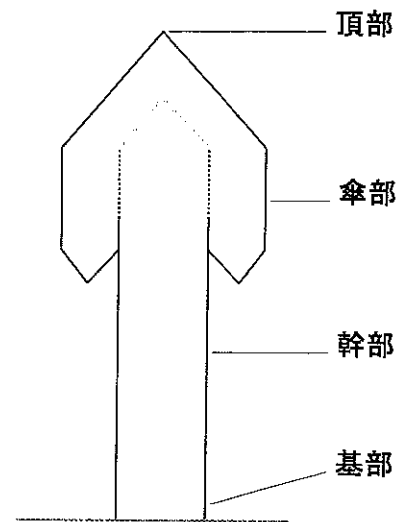


図1：松茸水晶模式図

2. 結晶形態

便宜上、松茸水晶の部位を図1の様に傘部、幹部に区別する。傘部が幹部より大きく発達していることと、傘部ではc軸の上下の $r(10\bar{1}1)$ 、 $z(01\bar{1}1)$ 面があらわれ、両錐状をとることが結晶形態の特徴である。また、両錐状の傘部が幹部柱面の稜にそって発達していることもある。Cathedral Quartz (大聖堂型水晶) と呼ばれているものも、基本的には松茸水晶と同じで、複数の傘部が幹部を覆いつくした場合に相当する。

3. 産状

松茸水晶は熱水脈、スカルン、ペグマタイト等様々な環境で産出する。熱水鉱脈中でできた松茸水晶では、傘部には包有物が少なく、幹部には包有物が多いのに対して、ペグマタイト産の結晶では、傘部がアメシストあるいはスモーキーとなっている場合が多く、傘部の方が包有物が多い。母岩のタイプを問わず、大抵の

場合群晶として産出するが、一つの晶洞中の全ての結晶に傘部が見られるわけではない。突出した結晶ほど傘部を伴う場合が多い傾向がある。また、松茸水晶の産状に時々観察されるのは、晶洞が多量の粘土で充填されていることである。これは全タイプの松茸水晶に共通している。

4. 松茸水晶のタイプ分け

著者保有のサンプル及び文献記載の松茸水晶を調べてみると、松茸水晶には以下にまとめるようなⅠ-①、②とⅡ-①、②の4つのタイプがある。

Ⅰ 幹部傘部の完全性は全てのタイプで異なっているが、傘部の方が完全性の高いものと、逆に幹部の方が完全性の高いものの2種類があり、この差は産状と密接に関係している。

Ⅰ-①

傘部の方が完全性の高いものの例としては、以下のものがある。

図2は長野県川上村甲武信鉱山産のサンプルである。傘部が幹部の頂部に形成されている。幹部結晶の中心部分のみに濃緑色～褐色のインクルージョンが多量に包有された不透明な部分が見られ、頂部付近は傘部と同様クリアーである。



図2：長野県川上村甲武信鉱山産の松茸水晶
スケールは1cm。

Ⅰ-②

一方、幹部の方が完全性の高いものの例としては、以下のものがある。

図3はマダガスカル人のペグマタイト産松茸水晶である。幹部は外縁部の0.1mm前後のみミルクークォーツで、他の部分はクリアーなロッククリスタルである。一方、傘部はアメシストで、 c 軸に垂直な一方向に偏って成長しているのがわかる。この松茸水晶は、幹部と傘部の隙間に粘土状物質が残存している。



図3：マダガスカル人のペグマタイト産松茸水晶

世界中のペグマタイト産の松茸水晶では、ほとんどが幹部の方が傘部よりも完全性が高い形態をとっているのに対し、熱水鉱床産の松茸水晶では、逆に傘部の完全性が高いのが一般的な傾向である。

Ⅱ 傘部の位置と発達程度により、いろいろなバラエティーが生まれる。この視点で見るといわゆる、cathedral quartzは基本的にはセプターと同じだとわかる。

図4は岐阜県神岡町神岡鉱山産のサンプルで、これは幹部全体が傘部で覆われている。特に頂部や柱面間の稜に選択的に大きく成長した傘部が見られる（白矢印）。この産地のサンプルは、幹部は多量のインクルージョンにより褐色や緑色の不透明結晶であるが、傘部はインクルージョンの少ないミルクークォーツであり、さらにほとんど柱面が発達していないという共通点が見られる。松茸水晶の晶癖としては比較的珍しいタイプである。

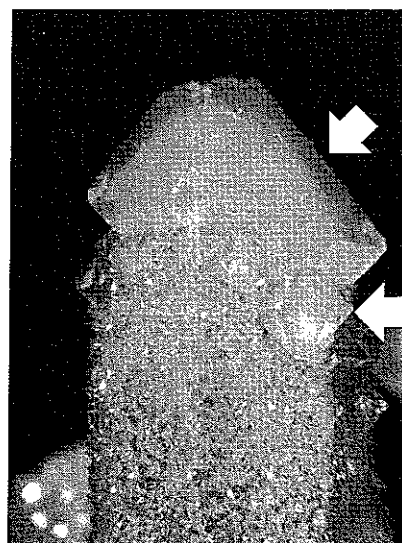


図4：岐阜県神岡町神岡鉱山産の松茸水晶

図5はブラジル ミナスジェライス州Virgem da Lapa産の水晶でこの様な晶癖は一般にcathedral（大聖堂型）と呼ばれている。この晶癖も松茸水晶の一種で、図4の傘部が多数発達していると見なすことができる。傘部が幹部を覆い尽くしている点では図4と同じである。

II-①

図2～3に示した松茸水晶は単一の傘部で幹部の一端が覆われている。

II-②

一方、図4～5に示した松茸水晶は単数あるいは複数の傘部が幹部先端のみならず柱面の稜に沿って形成され、ときに幹部全体を覆ったcathedral型の形態をもっている。見かけは違いますが、これらは全て松茸水晶と同じと見なすことができる。

上述のように、松茸水晶には傘部と幹部の完全性に2つのタイプがあり、産状に密接に関係していること、また、幹部結晶のどこで傘部が成長したかでいろいろなバラエティーが生まれ、セプターからcathedralまで、全て同じ形成機構でできていることがわかる。核形成が最も一般的に起こっているのは、幹部の頂点の隅、ついでr、z面間、あるいはm面間の稜で、結晶面上ではない。

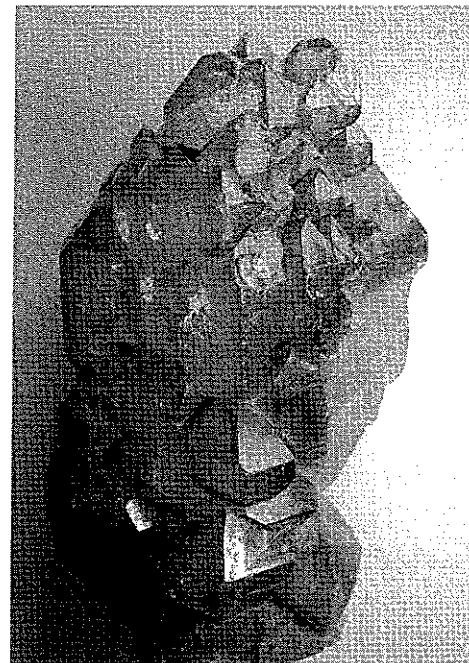


図5：ブラジル ミナスジェライス州Virgem da Lapa産のCathedral Quartz（大聖堂型水晶）

5. 内部組織

c軸に平行な断面

図6はマダガスカル産セプター・クォーツの断面写真で、傘部はアメシストである。r面成長分域（右側）にはインクルージョンが比較的少なく、厚さ0.1mm前後の色帯が幾重にもみられる。z面成長分域（左側）はレピドクロサイトのインクルージョンが錐面に対し垂直に密生し、アメシストの色帯はr面ほど明瞭ではない。傘部ではz面成長分域とその下方に続くm面成長分域が最もインクルージョンが多く、ついでr面下方のm面成長分域に多く、r面成長分域では最も少なくなっている。レピドクロサイトのインクルージョンがz面成長分域の下に続くm面成長分域において柱面に対し垂直に密生している（黒矢印）ことは、傘部成長時において柱面の成長分域の占める割合が比較的大きかったことを示している。つまり傘部成長の一時期において、m面の成長速度が大幅に増大したことを示唆する。傘部は紫色透明、無色透明、白色半透明であったりと成長条件がめまぐるしく変化した様子がうかがえる。このサンプルでは、傘部のみでも、肉眼による観察で色相やインクルージョン等が異なる54の成長縞が確認出来た。つまり傘部形成の間に、54回以上の成長条件の変動が生じている。

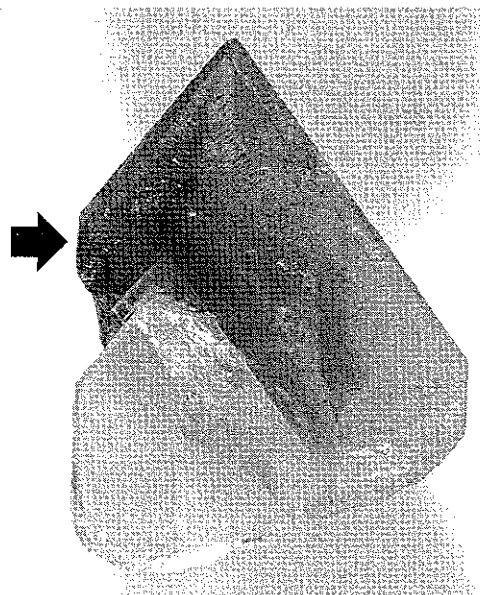


図6：マダガスカル産松茸水晶（図3）の断面写真
黒矢印は傘部柱面の成長分域。

図7は長野県麻績村産松茸水晶の偏光顕微鏡写真である。幹部と傘部との間には消光位のずれなどの光学異常は特に観察されなかった。幹部にはグロースバンドが幾重にも観察され、r面およびz面領域の錐面成長の軌跡が識別できるが、傘部にはこの種の軌跡をたどることができない。幹部に見られるブラジル双晶ラメラの一部(黒矢印)は傘部にまで連続している。この観察は幹部と傘部双方の光軸方向が一致していることを証明しており、幹部の結晶方位を傘部が引き継いで成長し、松茸水晶が幹部、傘部を通じて単結晶であることを示している。傘部では、c軸方向正負両端で錐面成長し、両錐状のモルフォロジーを示す。

c軸に垂直な断面

図8は長野県川上村甲武信鉦山産松茸水晶のc軸に垂直な薄片を僅かに光軸から傾けて撮影した偏光顕微鏡写真で、ブラジル双晶ラメラと異種鉱物の分布が明瞭に識別できる。太い白抜き矢印は幹部と傘部の境界に相当する微細なインクルージョンの配列である。この微細な結晶は雲母類の一種と思われ、配列した結晶は幹部の柱面(あるいは錐面)から外側にかけてランダムに伸びた短冊状の結晶である。偏光下で見られるラメラ状の組織はブラジル双晶境界で、幹部と傘部の境界である微結晶の配列を境にラメラが幹部と傘部で不連続に方位を変えているのが普通であるが、六角形の隅では幹部から傘部へと連続している(太い黒矢印)。また、傘部の領域中でもラメラ組織の不連続がみられる(細長の黒矢印)。この不連続部分は傘部における錐面成長分域と柱面成長分域の境界に相当する。これら傘部の領域中におけるラメラ組織の連続および不連続のパターンは、傘部の発生がある特定のサイトで生じ、最初は錐面成長が支配的であるが、成長の一時期には主として柱面成長により形成されたことを示唆する。このことは前述の図6のマダガスカル産松茸水晶のc軸に平行な断面における観察結果とも一致する。

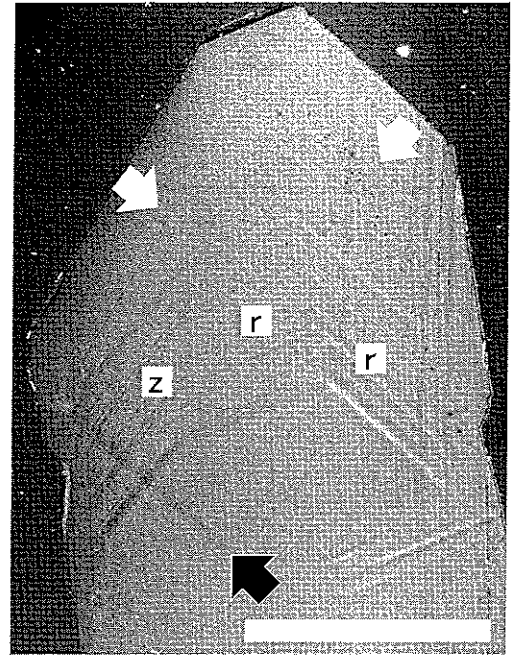


図7：長野県麻績村産松茸水晶のc軸に平行な薄片の偏光顕微鏡写真
r、zの文字は各面の成長領域を示す。白矢印は幹部と傘部の境界、黒矢印はブラジル双晶のラメラ。スケールは1mm。

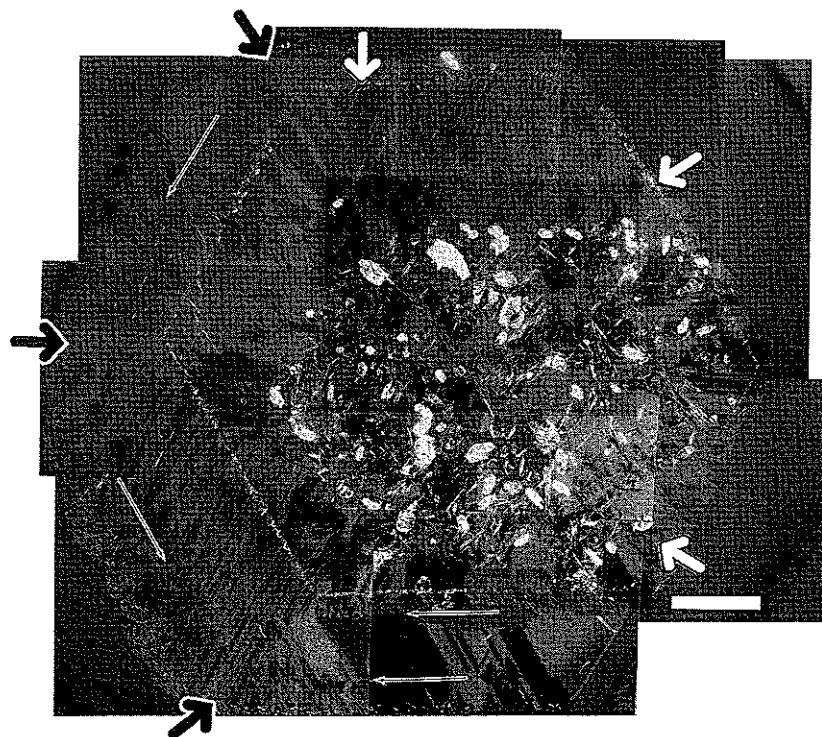


図8：長野県川上村甲武信鉦山産松茸水晶のc軸に垂直な薄片の偏光顕微鏡写真
スケールは1mm。太い白矢印は幹部と傘部の境界における微細なインクルージョンの配列。太い黒矢印は六角形の隅で見られる幹部から傘部へ連続成長しているラメラ。細い黒矢印は傘部領域中に見られる不連続のラメラ。

6. 天然松茸水晶の特徴（まとめ）

以上の観察結果は、次のようにまとめることができる。

- ① 松茸水晶は幹部、傘部よりなる単結晶で、幹部の一端に幹部よりサイズの大きな傘部がある。傘部の結晶では上下の錐面が発達し、両錐状をとっている。また、傘部では成長過程の一時期に柱面方向への成長が顕著になっている。
- ② 幹部と傘部とは、同じ結晶面の表面マイクロトポグラフが異なり、また、インクルージョンの量が大幅に変化して結晶成長の条件が大幅に異なったことを示している。著しい場合、幹部表面が異種鉱物で被覆されているか、傘部と幹部の間隙に粘土状物質が充填されている。
- ③ 同一晶洞中の群晶には傘部を伴うものと伴わないものが共存する。一般に大きく発達した結晶が傘部をもち、サイズの小さな結晶は傘部をもたない。
- ④ ペグマタイト産の松茸水晶では、幹部よりも傘部の方に不純物やインクルージョンを多く取り込んでいるが、熱水鉱床産の松茸水晶では幹部の方にインクルージョンを多く取り込んでいる。
- ⑤ m面の表面マイクロトポグラフから判断すると、熱水鉱床、ペグマタイトいずれでも、傘部の方が幹部よりも小さな駆動力下で成長している。
- ⑥ 傘部の発生部位や個数により多様な結晶形態が生まれる。cathedral（大聖堂型）は幹部全体を複数の傘部が覆ったものであり、skeleton（骸晶）も幹部柱面の稜でできた松茸水晶傘部の成長が途中で停止したものと認識できる。

7. 天然松茸水晶の形成機構

上のまとめから明らか
なように、幹部結晶では
成長の最終段階で異種
鉱物の沈殿が起こり、
自形結晶の表面がマス
クされた。その後、新
しく供給された溶液か
ら傘部が被覆成長した。
幹部、傘部が同じ方位
の一連の単結晶である
ことから、傘部の成長
は幹部の構造に律せら
れていたこと、すなわ
ち両者はエピタキシー
関係にあると結論でき
る。エピタキシー関係
をもち、かつ幹部より
も大きく成長した傘部
が形成されるためには、
幹部結晶の表面を被覆
した異種鉱物の層に、
マスクされていない部
分があり、かつここか
ら成長した結晶が異種
鉱物の被覆上で成長す
ることが必要である。異
種物質でカバーされた
マスクの被覆層中に意
図的につくった非被覆
層部から始まったエピ
タキシー層がマスクさ
れた被覆層上にエピタ
キシー関係を維持した
まま二次元的に広がり、
単結晶薄膜をつくる方
法はEpitaxial Lateral
Overgrowth (ELO)*と
して知られ、液相エピ
タキシー (LPE) で使
われている [8, 9]。転
位密度の高い部分をマ
スクし、低転位密度部
を露出してELOを行
うことにより、転位密
度を制御した結晶の育
成

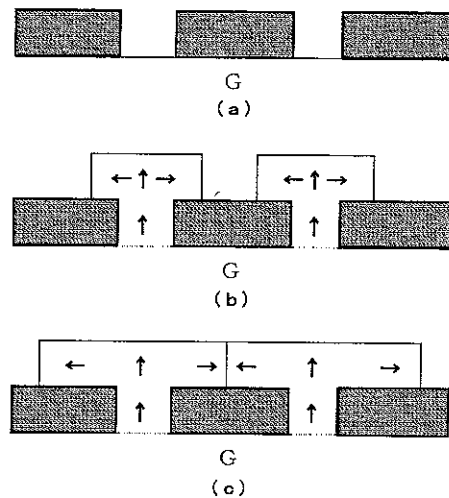


図9-a, b, c: ELO模式図
基盤となる結晶がマスクされた
状態 (a) とマスクの無いところ
からのエピタキシャル成長とマス
ク面に沿って広がりながら成長す
る ELO (b)、(c)。

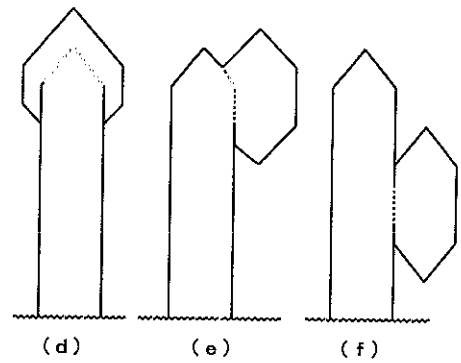


図9-d, e, f:
ELOによる松茸水晶傘部
発生の様式図
ELO発生部位別に、頂
部または錐面間の稜の場合
(d)、錐面と柱面間の隅ま
たは稜の場合 (e)、柱面
の稜の場合 (f)。

成長した傘部が形成されるためには、幹部結晶の表面を被覆した異種鉱物の層に、マスクされていない部分があり、かつここから成長した結晶が異種鉱物の被覆上で成長することが必要である。異種物質でカバーされたマスクの被覆層中に意図的につくった非被覆層部から始まったエピタキシー層がマスクされた被覆層上にエピタキシー関係を維持したまま二次元的に広がり、単結晶薄膜をつくる方法は Epitaxial Lateral Overgrowth (ELO)* として知られ、液相エピタキシー (LPE) で使われている [8, 9]。転位密度の高い部分をマスクし、低転位密度部を露出して ELO を行うことにより、転位密度を制御した結晶の育成

が実現できる。図9にE L Oの模式図を示す。したがって、松茸水晶は、天然で起こったE L Oと考えて良い。E L Oが起きるためには、幹部の表面で異種鉱物による被覆がされていない露出部が存在するか、あるいは細いチャンネルを通して連続できるサイトがあることが必要である。その種の可能性が最も高いところは、多面体結晶では面上よりも隅、稜である。これらのサイトは面中央に比べるとマスクがはがれやすく、また面よりも核形成サイトとしてはるかに有利である〔6〕。幹部の頂部で傘部が形成されていること、幹部の柱面の稜でも小さい傘部ができてることなどはこの結果である。また、一つの晶洞中で晶洞壁近くに頂部をもつ小型結晶が傘部をもたず、壁よりも離れたところに頂部をもつ大型結晶が松茸水晶になっているのは、被覆層の厚さの差による。図10にこの模式図を示す。幹部の結晶が両錐状をとらないのに対して、傘部の結晶がc軸の両端でr, z錐面が現れ、両錐状の結晶形態をとるのは、前者が基盤上で、後者が自由空間中で成長したためである。

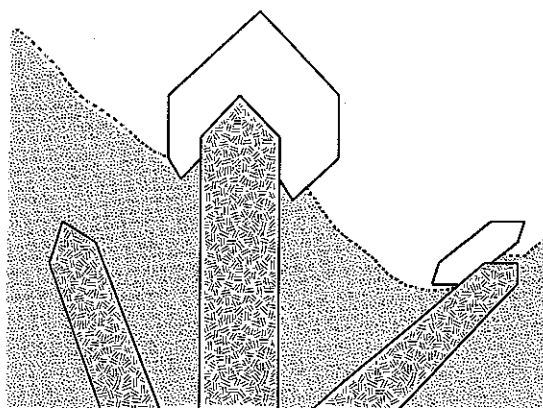


図10：松茸水晶の群晶の模式図
マスクの比較的薄い突出した部分にE L Oが生じ、傘部の発生をみる。厚いマスク部分はセプターにはならない。

上述を基本モデルとして現実の松茸水晶を整理してみよう。松茸水晶の幹部表面は異種鉱物でマスクされ、マスクされていない幹部の頂点や稜を通してエピタキシー成長し、マスク部を覆って傘部の成長が広がって傘部がつくられている。傘部の成長は幹部に接するところ以外では自由空間中で進行するので両錐状の結晶形態をとる一方、頂部や稜部がエピタキシー層の成長サイトとして面中心よりも優れているため、通常の松茸水晶の他に幹部柱面の稜に沿ってもセプターができる。この目でみると、いわゆる大聖堂型の水晶も松茸水晶のタイプであることが判る。

松茸水晶の幹部と傘部では、成長条件に明瞭な差があったことは、インクルージョンの取り込み量、成長縞の顕著さにみられる差、着色原因となったAl, Feなどの不純物元素の含有量の差、および幹部表面での異種鉱物層の存在で明らかである。幹部、傘部での成長条件の差には、2つの差が区別できる。

比較的低温の熱水溶液中でできた結晶では、幹部はインクルージョンがあり、成長縞が明瞭であるのに対して、傘部はインクルージョンはほとんど含まれておらず、クリアーで、明瞭な成長縞も検知できない。幹部が不純物を含む熱水溶液中で成長し、最終段階で不純物を異種鉱物として沈殿し、結晶表面をマスクした。その後供給されたより純粋な熱水溶液からE L Oで傘部が成長したものと判断される。

一方、より高温のペグマタイト中では、幹部の方がクリアーで傘部が不純物のAl, Feなどにより、煙色、紫色になり、かつ結晶中の縞模様も顕著である。最初に形成された幹部の成長が、表面がマスクされたことによって成長を一旦停止し、その後から供給されたより低温で不純物を含む熱水溶液から傘部がE L Oで成長したものと考えられる。この範囲内で成長条件の変動があったため、傘部に成長縞がより顕著に検知できるのであろう。ペグマタイトの形成機構を考えると超臨界の水蒸気中での生成から、はるかに低温の熱水まで石英の結晶ができる。この変化がペグマタイト産の松茸水晶の特徴を生んだ原因であらう。

* Micro Channel Epitaxyとも呼ばれている。

8. 松茸水晶の合成

E L Oによって松茸水晶ができるとする上の解釈を実証するために水熱法による合成実験を行った。全ての実験を通してNaOH水溶液1Nを用い、温度は320~360度の範囲で20~30度の温度勾配をつけた。オートクレーブは内径14mm、高さ165mm、容積40mlで、溶液の充填率70%である。次の実験1~3を行った。

合成実験 1

(天然松茸水晶を種子結晶とする実験)

長野県麻績村産の松茸水晶を種子結晶とし、マスキングを一切施さずに成長させた。成長時間は21日間である。図11-aは実験前の種結晶、図11-bは実験後の結晶である。成長により普通の六角柱状となり、傘部と幹部の間のくびれが消失している。

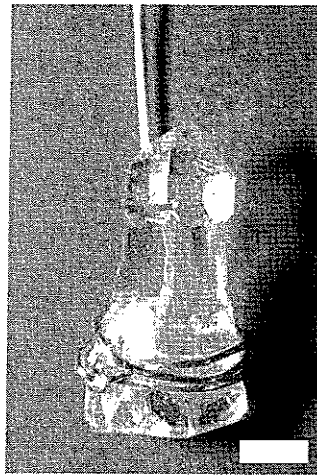


図11-a :
合成実験前の種子結晶
(長野県麻績村産の松茸水晶)
スケールは 2 mm

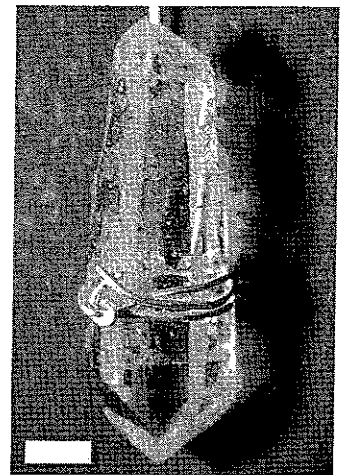
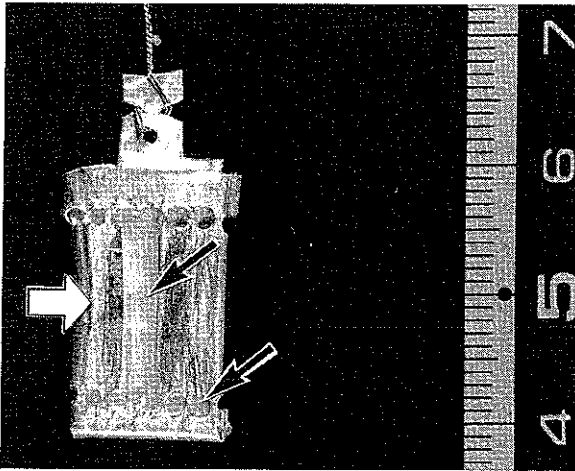


図11-b :
合成実験後の成長した種子結晶
スケールは 2 mm

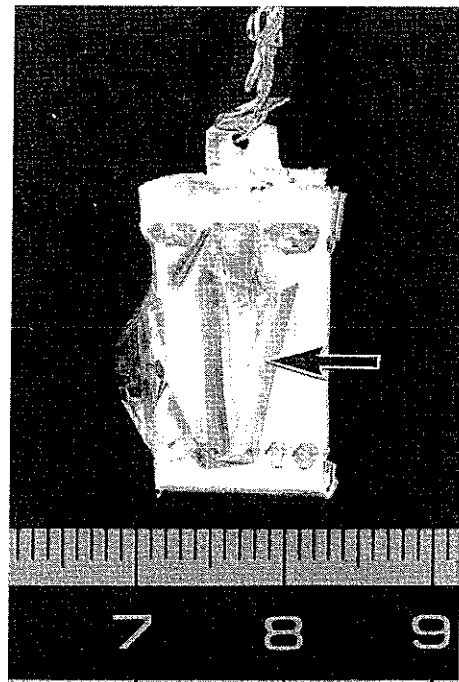
合成実験 2

(マスクした合成水晶を種子結晶にした実験)

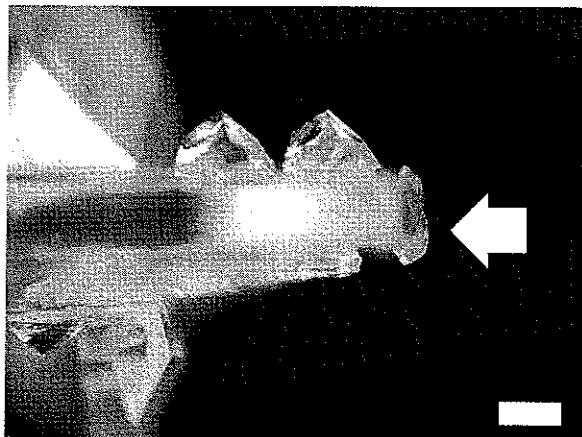
図12-aは、c軸に垂直に切り出した板状の種結晶で、全面を純銀の板(白矢印)で覆い、純銀の板にはc軸に対し垂直方向と平行方向に大小の穴(黒矢印)をあけておいた。この種結晶を14日間成長させた結果が図12-bである。孔から新しく成長した部分がマスク孔の面積よりも大きく成長していることが判る(黒矢印)。図12-cは同じ結晶の拡大写真で、柱面に当たる部分にも両錐の傘部(白矢印)ができており、図4に示した天然松茸水晶の結晶形態と同じ傘部が形成されている。



▲ 図12-a :
純銀の板(白矢印)で被覆した合成水晶の種
黒矢印は板にあけた穴。



▲ 図12-b :
図12-aのマスクの隙間から発生したE L Oによる傘部
(黒矢印)



◀ 図12-c :
図12-aのマスクの隙間から発生したE L Oによる傘部(白矢印)
スケールは 1 mm

図13はc軸方向に長く切り出した四角柱状の合成水晶を種にし、先端のみマスキングを施さずに23日間成長させた結果である。幹部のマスキング材として使用したのは純銀粘土で、これを覆うように傘部が成長して、幹部と傘部の間には、間隙が生じ、純銀粘土や溶液中の不純物が傘の裏側に残存している。これもまた、天然の松茸水晶にみられる形態と同じである。

合成実験3（マスクした天然水晶を種子結晶にした実験）

セプターではない天然水晶を種子結晶とし、合成水晶の傘部を発生させる実験を行った。長野県川上村甲武信鉱山産の水晶を種子結晶として用い、純銀の板で柱面をマスクし、14日間育成した。その結果が図14で、白矢印が合成の傘部を、黒矢印が種子結晶の幹部を示す。傘として成長した量は少ないが、種子結晶の天然水晶が緑色～褐色のインクルージョンを多量に含むため合成の傘部とは明瞭に区別できる。幹部の表面には水溶液中の不純物が付着し純銀の板と幹部の隙間を充填しマスクしていることが判る。

8. まとめ

種々の産状の松茸水晶の結晶形態、インクルージョンの分布、成長縞を幹部と傘部に分けて調べた。その結果から、六角柱状の幹部結晶頂部の隅や柱面の稜は異種鉱物によるマスクが不十分なサイトで、松茸水晶は幹部の成長が異種鉱物の沈殿で一旦停止し、表面がマスクされたあと、新たなより純粋な溶液からE.L.O.によって形成されたと結論された。傘部の成長はここでの幹部を基盤とするエピタキシー成長で始まる。こうして発生した傘部はマスクされた表面に沿ってE.L.O.機構で成長し、自由空間で成長するため、c軸両側のr、z面が発達する。同一晶洞中でもマスクが完全な場合には、松茸水晶にはならないので、傘をもつものともたないものが共存する。エピタキシー成長の発生数やその後の成長量、成長方向、種子結晶上の部位等により様々な形態の松茸水晶が生まれる。松茸水晶に成るか成らないかは、これらの条件が揃い且つ傘部が発生する前の段階で幹部の成長が停止していたか否かによる。松茸水晶が生じて、その後マスキング効果が減少すれば通常的水晶の結晶形態に戻る事もあり得る。骸晶状や大聖堂状の結晶形態も同様なメカニズムで説明できる。しかし、天然の松茸水晶には幹部の直径に対し傘部が異様に太い形状、つまりc軸に垂直方向の極端な成長がみられることがある。傘部成長条件下で、r、z面の成長速度 R_r 、 R_z とm面の R_m が、幹部成長とは異なった結果であろう。 R_m は成長の晩期あるいは、低温条件下で増加することが知られている。



図13：
四角柱状の合成水晶の先端に発生した傘部
スケールは2mm

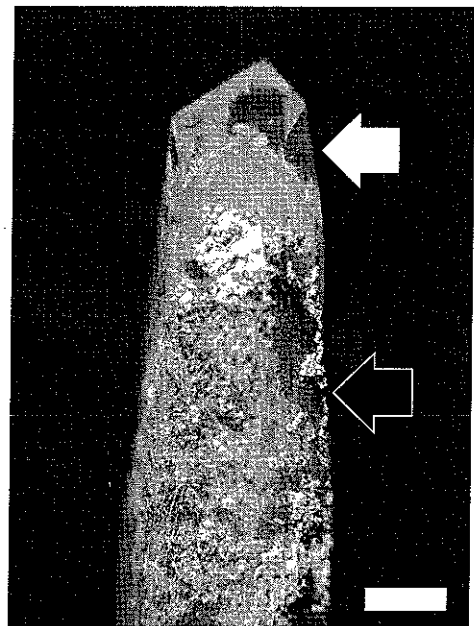


図14：松茸水晶ではない長野県川上村甲武信鉱山産水晶を幹部（黒矢印）とし、その先端に発生した合成水晶の傘部（白矢印）
スケールは2mm

謝 辞

本研究を行うに当たり成分分析には富山大学所有のEPMA XJ-733を使用させていただいた。CL像の撮影には榊中央宝石研究所のルミノスコープと撮影機材を使用させていただいた。また、共同研究者の砂川一郎先生（東北大学名誉教授）には丁寧にご指導いただき、保坂正博先生には合成実験についてアドバイスを、今井裕之、川崎雅之両氏には貴重な試料を提供していただきました。この場をお借りしてお礼を申し上げます。

引用文献

- [1] C.Frondel (1962) : Dana's System of Mineralogy, 7th Ed Volume III, Silica Minerals, John Wiley and Sons, New York
- [2] R.Rykart (1971) : Berg kristall Form und Schönheit alpiner Quartz, Ott Verlag Thun und Munchen pp227
- [3] M.O'Donoghne (1987) : Quartz, Butterworths. London
- [4] I.Kostov and R.I.Kostov (1999) : Crystal Habits of Minerals. Pensoft
- [5] Jhon.Rakvan, D.B.Mitcheltree, L.D.Benton S.Avella. (1995) : Amethyst on milky quartz from Hopkinton, Rhode Island Mineralogical Record, Volume 26 83-89
- [6] 砂川一郎 (2003) : 結晶-成長、形、完全性、共立出版
- [7] H.L.Dibble (2002) : Quartz, An Introduction to Crystalline Quartz, Dibble Trust Fund Ltd. NY
- [8] T.Nishinaga, T.Nakano and S.Zhang (1988) : Epitaxial lateral growth of GaAs by LPE, Japan J Appl Phys, 27, L 964-967,
- [9] T.Nishinaga (2002) : Microchannel epitaxy. An overview, J Crystal Growth, 237-239. 1410-1417