研 究 報 文

緑柱石及び水晶の破面の電子顕微鏡観察

Electron microscope observations on the crack
planes of beryl and quartz

秋 月 瑞 彦 (Mizuhiko Akizuki)*

Abstract : Parallel growth of minute crystal with $c(0001)$, $m(10\bar{1}0)$, $p(10\bar{1}1)$ and $s(11\bar{2}2)$ has been found on a mechanical crack of pale green colored subtransparent beryl from Ishikawa, Fukushima Prefecture by a replica method under the Hitachi electron microscope type HU II. Some liquid inclusions are also found in pale blue transparent beryl. Liquid inclusions found in quartz can be classified as (a) inclusion with prism and pyramid, (b) inclusion with etched pits on the above planes, and (c) inclusion with concaves of a bamboo-grass leaf like etched pattern. It is considered that the inclusions have changed to the order (c), (b) and (a) progressively.

1. 序 言

緑柱石の破面に現われた小さな平行連晶と包有物並びに水晶の破面上の包有物を電子顕微鏡下に観察した結果をここに報告する。使用した電子顕微鏡は日立製 HU-II 型で、加速電圧は 75kV を用い、2 段レプリカによつた。

大森及び横山 (1953) 並びに松田 (1963) は緑柱石の包有物の形と分布状態を記載し、又、Cameron, Rome 及び Weis (1953) は緑柱石と水晶について液体包有物の型を分類し、包有物中の気泡が加熱により消滅することから、緑柱石は地質温度計として用い得ることを述べた。さらに水晶の液体包有物の形と分布については神津及び大森 (1938 a, b) の研究があり、錐面上の成長丘については秋月 (1961) の記載がある。

以上は何れも偏光顕微鏡下の観察例であるが、次に電子顕微鏡下の観察例をあげると、岩生、赤堀、小泉及び湊 (1953) は珪石中の液体包有物の形と分布を述べ、秋月 (1965 a, b) は螢石と明礬の液体包有物を観察し、Monroe (1964) はメノウや頁岩などについて、又庄司 (1964) は石灰岩について述べている。

ここに本論文を発表するに当たり、終始御懇篤な御指導を賜わり、又緑柱石などの実験試料の一部を与えられた大森啓一教授に深謝の意を表する。

* 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

2. 緑柱石の偏光顕微鏡下の観察

本実験に用いた緑柱石は福島県石川ペグマタイト産の淡緑色半透明柱状結晶2個、及び淡青色透明柱状結晶1個である。前者を便宜上 I-a 及び I-b, 後者を II とする。

第 1 図 緑柱石の破面の電子顕微鏡写真
A～C : (1010) に平行な破面, D～F : (0001) に平行な破面

試料 I-a 及び I-b : (0001) 面の直径は I-a は 4cm, I-b は 15cm で、これより厚さ 1mm の (0001) 薄片を作り、これらを偏光顕微鏡下で観察したところ、包有物は見当らなかった。試料 II : (0001) 面の直径は 5cm で、これを破碎すると、(0001) 劈開面と貝殻状断口よりなる透明粒になった。これを偏光顕微鏡下で観察すると、針状液体

第 2 図 緑柱石の破面の電子顕微鏡写真

A~D : (10 $\bar{1}$ 0) に平行な破面, E, F : (0001) に平行な破面

包有物が見出された。これらは c 軸方向に並ぶものと a 軸方向に並ぶものとに分けられ、前者の方が多い。又これらは何れも初生包有物に属するものと考えられる (Cameron [et] [al. 1953])。

3. 緑柱石破面の電子顕微鏡下の観察

試料 I-a : c 軸から約 20° 傾いた破面を選び、これを2段階レプリカ法で観察したところ、表面に直径 $1\sim 20\mu$ の六角柱状結晶の平行連晶が見出された。この外観は第1図A, B及びCに示した様に岩石の柱状節理に似ている。この小柱状結晶は $m(10\bar{1}0)$, $p(10\bar{1}1)$, $s(11\bar{2}2)$ 及び $c(0001)$ より成り、これを1つの結晶にまとめると、第3図のようになる。又 (0001) 劈開面上には直径 $1\sim 20\mu$ の結晶より成る平行連晶が見出され、時に各結晶上に第1図D, E 及びFに示したような六角形状の成長丘がある。

試料 I-b : ($10\bar{1}0$)破面には直径 2μ の柱状平行連晶があり (第2図 A), 又直径 $0.5\sim 2\mu$ の粒状結晶の集合体 (第2図 B及びC) や、天然蝕像 (第2図D) が見出された。

(0001) 劈開面上には直径 2μ の結晶の平行連晶 (第2図E) や粒状結晶の集合体 (第2図F) が見出された。

試料 II : 本試料には平行連晶は見出されず、試料 I-a 及び I-b に見られなかつたところの包有物が見出された。即ち液体包有物の内壁が見出された。この形を分けると、 c 軸に平行な初生針状包有物 (第4図A), a 軸に平行な初生包有物 (第4図B), $m(10\bar{1}0)$, $c(0001)$ 及び $p(10\bar{1}1)$ よりなる包有物 (第4図C) 並びに $m(10\bar{1}0)$, $c(0001)$, $p(10\bar{1}1)$ 及び $s(11\bar{2}2)$ よりなる包有物 (第4図D) などである。特に (0001) 劈開面上では $c(0001)$ 及び $p(10\bar{1}1)$ よりなる盃状包有物 (第4図E) や、同心円状に発達した球状包有物 (第4図F) が見出された。

第 3 図
第1図A, B 及びCに見られる緑柱石の形態図

4. 水晶の偏光顕微鏡下の観察

本実験に用いた水晶は福島県吾妻鉱山、山梨県乙女鉱山、岐阜県苗木、秋田県尾去沢鉱山及び京都府鐘打鉱山産のもので、いずれも無色透明である。液体包有物のため、一部分が乳白色半透明になつているものもある。

吾妻鉱山及び鐘打鉱山産水晶の包有物は結晶成長後にできた2次液体包有物と考えられ、他の産地の包有物は結晶成長時にできた初生液体包有物と、上記2次液体包有物とである。これらの分布を見るために吾妻鉱山水晶の偏光顕微鏡下の写真を掲げる (第5図)。この (0001) 薄片には六角網状模様 (第5図A及びC) が見られ、これらは細かい液体包有物からできている (第5図B及びD)。又 ($10\bar{1}0$) 薄片では、 c 軸方向に伸びた六角網状模様 (第5図E) があり、これも液体包有物でできている (第5図F)。この様な六角網状包有物は他産地の水晶には見出されなかつた。

5. 水晶破面の電子顕微鏡下の観察

吾妻鉱山産水晶：柱面に平行な破面をレプリカ法で観察したところ、包有物は直径 20μ 以下で、柱面、鋸面及び $s(11\bar{2}2)$ 面より成るもの（第6図A）及び小さな凹みやいくつ

第 4 図 緑柱石の破面に現われた液体包有物内壁の電子顕微鏡写真
A~D : (1010) に平行な破面, E, F : (0001) に平行な破面

かの段より成る不規則形(第6図B)が見出された。

乙女鉱山産水晶：柱面に平行な破面を観察したところ、柱面、錐面及び $\beta(2979)$ 面より成る包有物(第6図C及びD)或は笹葉状凹像をもつた直径 $10\sim 100\mu$ の扁平な包有

第 5 図 吾妻鉱山産水晶の液体包有物の分布写真
A～D：(0001)に平行な薄片，E、F：(10 $\bar{1}$ 0)に平行な薄片

物(第6図E及びF)が見出された。この笹葉状凹像の伸びの方向はc軸に対し直角方向(第6図F)であるが、時にc軸に平行なものもある(第6図E)。

苗木産水晶：底面に近い破面を観察したところ、丸味のある凹面より成る包有物(第7

第6図 水晶の破面に現われた液体包有物内壁の電子顕微鏡写真
A, B : 吾妻鉾山産, (1010) に平行な破面, C~F, 乙女鉾山産,
(1010) に平行な破面

図A)が見出された。この面は錐面に相当するものであろう。時には(0001)面をもつ包有物(第7図B)や直径 $10\sim 30\mu$ の偏平な包有物があり、この面上には笹葉状凹像(第

第 6 図 水晶の破面に現われた液体包有物内壁の電子顕微鏡写真
A~D : 苗木産、(0001) に平行な破面 E : 尾去沢鉾山産、(10 $\bar{1}$ 0) に
平行な破面、F : 鐘打鉾山産、(10 $\bar{1}$ 0) に平行な破面

7図C) 及び小さな三角形のくぼみや折れ曲つた溝状のくぼみ(第7図D)が見出された。

尾去沢鉱山産水晶 : ほぼ錐面に平行な破面を観察したところ、直径 $10\sim 30\mu$ の扁平な包有物があり、この面上に笹葉状凹像が見出された。凹像の伸びの方位は一定でなかつた(第7図E)。

鐘打鉱山産水晶 : 柱面にほぼ平行な破面を観察したところ、柱面、錐面及び $\beta(2979)$ 面よりなる包有物があり、錐面上には小さな凹みが見出された(第7図F)。

以上の観察結果から、水晶の電子顕微鏡下の包有物を分類すると、3種類になる。即ち、柱面や錐面などで囲まれた包有物(第6図A, C, D 及び第7図A, B)、これらの面上に更に小さな凹みの存在する包有物(第6図B及び第7図F) 及び笹葉状凹像や小さな凹みのある扁平な包有物(第6図E, F 及び第7図C, D, E)である。

第 8 図 液体包有物の模式断面図

6. 考 察

緑柱石の試料 I は累帯構造的にできた小結晶の平行連晶であり、これらの集合体は単結晶の外観を呈する。

一般に初生液体包有物は結晶成長時にできたものと、更にその後これから小さな包有物に分裂したものとに分けられる。前者を初生非分裂液体包有物、後者を初生分裂液体包有物(例えば明礬に関する秋月(1965b)と名づけることにする。水晶の初生包有物の多くはこの非分裂包有物に属する。

2次液体包有物について述べると、まず結晶内の破れ目にあとから液体が入って扁平な包有物ができ、更にこれが分裂して分裂包有物ができる(秋月 1965a)。

第8図は筆者が明礬を観察した結果から考案した液体包有物の模式断面図である。包有物内壁の鎖線の部分は溶解し、逆に点線で示した狭い部分は成長する(秋月1965b)。従つて鎖線の部分には蝕像(第6図E, F 及び第7図C, D, E)が生ずる。更に溶解と成長が続くと、向いあつた点線部分はつながり、包有物は分裂するようになる。かくして蝕像と成長像(第6図B及び第7図F)を作りながら、柱面や錐面などからなる負結晶(第6図A, C, D 及び第7図A, B)に変化する。

これら各種の包有物が電子顕微鏡下で観察できるのは、鉍床内の鉍物の温度降下に伴ない包有物内の溶解度が減少し、包有物内壁がそれ以上変化しなくなつたためであろう。

吾妻、乙女及び苗木産の水晶と緑柱石は何れもペグマタイト産である。平行連晶のない透明な緑柱石には液体包有物が見出され、不透明な平行連晶のある緑柱石には包有物が見られなかつた。又水晶では何れも破面上に平行連晶は見られず、包有物が多くなるにつれて透明度は悪くなつてゐる。

引 用 文 献

- 秋月瑞彦 (1961) 水晶の錐面に見られる成長丘, 岩鉍, **46**, 11~16
- Akizuki, M. (1965a) Secondary inclusions in fluorite under electron microscope, Sci. Rept. Tohoku Univ., III, **9**, (No. 2) 347~369
- , (1965b) Splitting of liquid inclusions in potassium alum crystal., Sci. Rept. Tohoku Univ., III, **9**, (No. 2) 371~376
- Cameron, E. N., Rome, R. B. and Weis, P. L. (1953) Fluid inclusions in beryl and quartz from pegmatites of the middletown district, Connecticut., Am. Min., **38**, 218~262
- 岩生周一, 赤堀宏, 小泉光恵, 湊秀雄 (1953) 二三の珪石の電子顕微鏡写真, 特に流体包有物の存在状態に就いて, 岩鉍, **37**, 167~178.
- 神津敏祐, 大森啓一 (1938a) 苗木産長石と共生する石英の研究及び石川産同石英との比較, 岩鉍, **19**, 255~269.
- , —— (1938b) 苗木産後期石英の双晶に就いて, 岩鉍 **19**, 322~330.
- 松田俊治 (1963) リョクチュウ石の灼熱減量について (リョクチュウ石の鉍物化学的研究 IV) 鉍物誌, **6**, 53~59.
- Monroe, E. A. (1964) Electron optical observations of fine grained silicate minerals., Am. Min., **49**, 339~347.
- 大森啓一, 横山鼎 (1953) 福島県石川郡大森田村雨田ペグマタイト産緑柱石, 鉍物誌, **1**, 221~225.
- 庄司力偉 (1964) 石灰岩の電子顕微鏡的研究, 地質, **70** 154~169.