微斜長石-正長石パーサイトの電子顕微鏡による研究

ELECTRON-MICROSCOPIC INVESTIGATION OF MICROCLINE- ORTHOCLASE PERTHITE

秋 月 瑞 彦 (Mizuhiko Akizuki)*

Microscopic structures which are considered to represent a transitional state from orthoclase to microcline were observed in microcline-orthoclase perthite by means of the optical and electron microscopes. Due to the cross-hatching of the orthoclase, strain existing around perthitic albite in the orthoclase is stretched in the direction parallel or perpendicular to the b-axis. This results in the formation of microcline band structures, which can cross each other because of the cross-hatching in the bands. Further, along one direction of the cross-hatchings, albite or pericline twinning of microcline take place with increase of triclinic nature, while other lamellae normal to the twins remain in its original state. Orientation of the local stress around the perthitic albite in orthoclase determines the final product, albite type or pericline twinnings. Since the crystal lattice within one individual stress band in orthoclase has the same orientation, the maximum microcline formed by the later recrystallization will have the same orientation. Exsolved albite shows fine albite twinnings under the electron microscope.

1. はじめに

カリ長石は Al/Si の秩序度によって単斜晶系から三斜晶系へと変化する。Goldsmith and Laves (1954) は X 線で玻璃長石と最大微斜長石との間の中間鉱物の構造を研究した。彼等は三斜度と双晶分域の大きさに関して論じ、正長石は大へん小さな分域からなり、秩序度と共にその幅が変化すると考えた。単斜晶系から三斜晶系へ相転移を始めた正長石にはアルバイト式双晶及びペリクリン双晶方位の細かい格子状分域構造が電子顕微鏡下に見られる (Nissen, 1967)。一方この相転移を経験していないカリ長石は電子顕微鏡的に全く均質であろうと推定される。

筆者は電子顕微鏡を用いて微斜長石の双晶の成因を研究した (秋月 1971; Akizuki 1972)。光学的に細かい交叉双晶をもつ微斜長石では、アルバイト式双晶が極めて良く発達している。またペリクリン双晶方位の細かい縞模様は電子線回折で調べたところでは、まだ双晶とは言えず、相転移の初期状態を示すものであろう。従って、正長石の格子状縞模様の 1 つがアルバイト式双晶になり、他の方位のものは変化していないことがわかる。光学的に荒いアルバイト式双晶からなる微斜長石では消光

は鋭く、電子顕微鏡下においても均質である。これは結晶成長後の再結晶で作られたものであろう。正長石及び微斜長石はこのように電子顕微鏡的に詳細な研究が行なわれているが、正長石から微斜長石への相転移の途中の状態については、まだ十分に観察がなされていない。

超顕微鏡的なパーサイトについては Fleet and Ribbe (1963), McConnell (1969), Akizuki and Sugawara (1970) 及び Willaime and Gandais (1972) によって電子顕微鏡下でくわしく観察され、正長石と曹長石の薄板が規則正しく交互に繰り返しているのが見出されている。両者の接合面は正長石に対して (601) で、同一結晶内でも薄板の厚さはいろいろ変化するが、たいていは数千 Å 以内である。

曹長石薄板には (010) に平行な細かいアルバイト双晶が存在する。Barth (1929) は Norway のペグマタイト産逆パーサイトを研究し、光学的に単斜晶系である曹長石は X 線的には超顕微鏡的なアルバイト双晶で構成されていることを見出している。

筆者は微斜長石を含む正長石パーサイトを電子顕微鏡下で観察し、正長石の微斜長石への変化及び曹長石のアルバイト双晶について研究したのでここに報告する。

* 東北大学理学部岩石鉱物地質学教室

Fig. 1. Polarized optical micrographs of perthite. Photo. A shows finely twinned albite (Ab) on (801) exsolution planes (Specimen A). Photo B and C show optical microclinal textures of orthoclase (Or) around albite veins in (001) thin section of specimen A and B respectively. Photo D shows microclines consisting of lens-like form. Small scale photograph of the same place is shown on right corner (Specimen D).

第3-C, D 図を除いて、本論文の中のすべての図は説明上 b 軸及び b^* 軸を左右軸としている。

本研究にあたり、終始御懇篤な御指導を賜わり、また原稿を読み、多数の問題点を御指摘された東北大学理学部、砂川一郎教授に深謝の意を表します。大阪大学、森本信男教授からも多数の問題点の御指摘を受けました。ここに御礼申し上げます。

2. 試料

ここに使用した主な試料は福島県石川地方のペグマタイト産パーサイト(試料A及びB)、朝鮮江原道平康郡化岩里の閃長岩ペグマタイト産の逆パーサイト(試料C)、マダガスカル産アマゾン石(試料D)であるが、その他数ヶ所のパーサイトも参考として観察を行った。

正長石と呼ばれる鉱物は偏光顕微鏡下に不均質な光学性を有し、また電子顕微鏡下にも細かい格子模様を示し、決して結晶学的に均質ではない。このように正長石という鉱物は三斜晶系から変化しかかっている状態のもので、McConnell (1965) はこれを *perturbed transitional state structure* を呼んでいる。過去の多くの議論においても、正長石の定義でしばしば混乱があるが、この論文では、正長石とは単斜晶系から三斜晶系へ向って転移しつつある単斜晶系又はそれに近いカリ長石を意味することにする。

正長石の(001)及び(601)に平行な薄片の偏光顕微鏡下の観察結果及び化学組成は次の通りである。

石川産パーサイト(試料A及びB)

このパーサイトは化学組成と組織とでAとBの2つの型に分けられる。

a) 試料A: 曹長石は平板状で厚さは0.1~0.5 mmである。曹長石のアルバイト双晶は荒いものから極めて細かいものまであり、双晶の幅は漸移的に変化するものから、急に変るものまでである(第1-A図)。(001)薄片においては、曹長石との接触面附近の正長石は明瞭な微斜長石の組織を示し、曹長石から離れるに従って微斜長石の組織は弱くなる(第1-B図)。この試料を加熱し、均質にして、格子間隔 d_{201} より化学組成を調べると、は $\text{Or}_{65} \text{Ab}_{35}$ であった。

b) 試料B: 弱い光学異状を有する正長石と細かい脈状曹長石を核とする微斜長石とからなる。微斜長石の組織は曹長石から離れるにつれ弱くなり、しだいに正長石へと変化する(第1-C図)。加熱試料の化学組成はは $\text{Or}_{90} \text{Ab}_{10}$ である。

朝鮮産逆パーサイト(試料C)

曹長石は試料Aと良く似ており、極めて細かいアルバ

イト双晶をもっている。カリ長石は光学的にはほとんど微斜長石組織をもつ。化学組成はは $\text{Or}_{40} \text{Ab}_{60}$ である。

マダガスカル産アマゾン石(試料D)

荒いアルバイト式双晶を有する微斜長石は試料の細かい割れ目から正長石の中に発達している。割れ目近くでは、微斜長石は光学的に均質で、その消光は鋭い。割れ目から離れるに従い、アルバイト式双晶の関係にある多数の小さなレンズ状分域に分かれる。この小さな分域の消光もまた鋭い(第1-D図)。

正長石は光学的な単斜晶系として微斜長石中に散在しているが、両者の境界は顕微鏡下には不明瞭である。この正長石中にもレンズ状微斜長石がしばしば見出される。曹長石は細く且つ短かく、その周囲に多数のレンズ状微斜長石をもっている。平均の化学組成は $\text{Or}_{92} \text{Ab}_{18}$ である。

ここに用いた試料のすべてをプリセクションX線カメラで検討したところ、正長石の回折点は b^* 軸と平行な方位に強く伸びており、一方 b^* 軸と直角な方位にはその伸びは弱い。しばしば回折点の b^* 軸と平行な伸びの両端に最大微斜長石の回折点が見られる。

次に劈開面レプリカ法(Akizuki, 1972)で、パーサイトの(001)薄膜を作り、100 kV の電子顕微鏡下で観察した。

3. 電子顕微鏡観察

電子回折により得られた正長石と曹長石の方位関係を第2-A図に示す。曹長石は双晶しており、その回折点は鋭く、一方正長石の回折点は b^* 軸方向に強く伸びているが、 b^* 軸に垂直な方向への伸びは弱い。両者の b^* 軸は互いに平行になっている。これは離溶により生じた曹長石の正長石に対する方位は混晶時代の単斜晶系の対称性に支配されていることを意味する(くわしくは Laves, 1952; Laves and Soldatos, 1963; Aberdam *et al.*, 1964)。電子顕微鏡下の観察結果は次の通りである。

正長石—微斜長石

試料A: 正長石は細かい格子模様を示し、回折点には顕著な伸びが見られる。典型的な微斜長石は見られない。

試料B: 細かい格子模様からなる正長石が最も多く存在する。 b 軸と直角な方向の縞に沿って、鋭く短かい直線的な“線”又は“帯”が見られるが、これは微斜長石の構造をもっている(第2-B図)。正長石が格子模様の1つに沿って微斜長石に転移しつつあることを示している。光学顕微鏡下には微斜長石の組織が顕著であるが、電子顕微鏡下には典型的な微斜長石は少ない。

試料C: 試料A, Bと同じく、細かい格子模様をも

Fig. 2. Electron micrographs and electron diffraction pattern of perthite.

Photo. A. shows diffraction pattern of albite (Ab) and orthoclase (Or). Albite shows sharp spots of albite twinnings, whereas orthoclase has diffuse streaks parallel or perpendicular to b^* . The b^* -axes of both minerals are parallel to each other (Specimen A). Photo. B shows fine microcline lamellae in orthoclase with cross-hatchings (Specimen B). Photo C shows orthoclase with banded structures (Specimen C). Photo D shows small stressed domains in orthoclase with cross-hatchings (Specimen C).

つ正長石が多い。その中に b 軸に平行又は垂直な方向に伸びた格子歪を示す幅広い帯状分域が見える。その帯状分域自体も格子模様をもっている (第 2-C 図)。この分域の幅はさまざま、曹長石のような結晶を核としてそこから伸びており、しだいに消えていく。しばしばこの分域は大へん細かいこともあり、その核は転位などの格子欠陥かもしれない (第 2-D 図)。この分域は互いに直角に交叉しているが、交叉するところで、その幅はやゝ狭くなる。時には無双晶で均質な微斜長石からなる帯状分域がアルバイト式双晶及びペリクリン双晶の方位に

伸びていることもある (第 3-A, B 図)。この分域と正長石との境は鋭い。大へん複雑な線状又は帯状の模様が見られることがあり、その電子回折像はアルバイト式双晶及びペリクリン双晶からなる微斜長石である (第 3-C, D 図)。

試料 D : 無双晶で均質な微斜長石と格子模様からなる正長石とが、互いに第 2-A 図に示されているのと同じ方位関係で見出される。正長石からの転移で生じた細かい組織を示す微斜長石 (Akizuki, 1972) は全く存在し

Fig. 3. Electron micrographs and electron diffraction patterns of perthite. Photo A and B show untwinned microcline bands and orthoclase with cross-hatchings (Specimen C). Photo C and D show microcline consisting of complex textures (Specimen C).

Fig. 4 Electron micrographs and electron diffraction pattern of perthite.

Photo A shows homogeneous microcline and orthoclase with cross-hatchings (Specimen D). Photo B shows microcline with weak lamellae and cross-hatchings of orthoclase (Specimen D). Photo C and D show transitional albite twinnings (Specimen B).

ない。微斜長石の端は鋭い直線であることが多く、(001) 薄片上でのその方位から考えて、微斜長石は (010) 及び (110) で囲まれているものと思われる (第 4-A 図)。

Bøggild (1911) はペグマタイトから産した三斜晶系の形態をもつ微斜長石を記載しているが、これは初めから微斜長石として結晶成長したと考えられている。Baskin (1956) は自生 (authigenic) の微斜長石を記載している。Bøggild の微斜長石のあるものは (100), (010) 及び (001) 面よりなり、Baskin の自生微斜長石は (010), (201), (101) 及び (001) よりなる特異な形からなる。両長石において、共に (110) 面の発達が悪いが、又は全く見出し得ない。一方現在の研究で観察された微斜長石では (010), (110) 共に良く発達している。

微斜長石の多くは転位などを除けば、全く均質であるが、中にはこの微斜長石に正長石の格子模様が残っていることもあり (第 4-B 図)、あるいは格子模様からなる正長石へと漸移していることがある。微斜長石に見られるアルバイト式双晶は荒く、chess-board-albite に良く似た組織を示している。

曹長石

試料 A, B 及び C の曹長石の多くは極めて細かく繰り返したアルバイト双晶からなる (第 4-C, D 図)。アルバイト双晶の繰り返しの間隔は急に変ることもあれば、漸移的に変ることもあり、特に規則性はない。数 μ の間、比較的等間隔で繰り返えされている細かい双晶の間隔は平均 350 Å 程度である。最も細かいものでは平均 290 Å というのが観察された。これらの曹長石はすでに述べた通り、平板状で、その厚さは光学顕微鏡的な大きさである。一方試料 D の曹長石には上記のような細かい葉片双晶は見られない。

4. 考 察

正長石—微斜長石

単斜晶系のカリ長石から三斜晶系のものへ“変化”するとき、その初めと終りとだけに注目すれば、相が転移しているので相転移と呼ばれることになる。しかし、その過程を見ると、2つの経路がある。1つは結晶格子の骨格の中で、ゆっくりと Al, Si の原子移動が起り、細かい転移双晶が生ずる。この変化のみを結晶学的に相転移 (phase transition) と呼ぶべきだと考える。他の1つは再結晶 (recrystallization), 即ち金属学や結晶学で言う grain growth で固体内での結晶成長である。この再結晶のとき、“原料”は時には微斜長石のこともあれば、正長石のこともある。微斜長石の安定領域で細かく双晶した微斜長石が再結晶すれば、転移双晶のない最大微斜

長石になる。正長石が再結晶で微斜長石に変るとき、三斜度が“0”の正長石から、中間の状態を通過せずに、直接三斜度が“1”で無双晶の最大微斜長石に変化するのである。これは結晶成長そのものである。このように結晶成長による相変化は相転移と呼ばずに、再結晶などの言葉を用いて区別した方がよい。

さて、正長石において、転移で Si/Al の秩序度が増加するにつれ、格子模様が現われる。この格子模様の1本1本がそれぞれ細かい微斜長石へと変化しており、格子模様のうち、この微斜長石と直角方位にある縞模様は元のままで残っている (第 2-B 図、並びに Akizuki, 1972, 第 2, 3 図参照)。これが相転移でできた微斜長石の組織である。その後、再結晶すると、細かいアルバイト式双晶及びペリクリン双晶は荒くなり、それと直角な縞模様は消える。これが再結晶で生じた微斜長石の組織である (Akizuki, 1972)。三斜度を比較すると、前者の相転移のみでできた微斜長石よりも、後者の再結晶作用を受けたものの方が高い。

微斜長石の双晶は電子顕微鏡下で見なければわからないほど細かくは交叉していない。微斜長石への“連続的”な Si/Al 秩序化の初期でのみ正長石になぜ格子模様が現われるのだろうか。相転移だけでは、三斜度は 0.9 程度以上にはならない。このときまだ格子模様の一方の方位のものが残っており、これが真の最大微斜長石 (三斜度 1) になるのを妨げているのであろう。

曹長石と微斜長石とは、その格子定数がかなり異なっているので、Ramberg (1961) は離溶で生じた曹長石の周囲に光学的な乱れ、歪が生じると考えた。Schermerhorn (1961) は内部に発生した歪、または外部の影響で生じた歪は微斜長石の双晶の発生に対し、重要な働きをすると述べている。格子模様のない均質な玻璃長石では、異種結晶 (曹長石のことが多い) との格子定数の違いや冷却による収縮率の違いなどで、この歪が発生する。このとき、歪は、異種結晶の周囲の狭い範囲にとじ込められ、異種結晶を中心に十字形の光学異状を作る。格子模様のある正長石では、この“格子模様”に沿って歪が拡散し、長い歪縞が生じる (第 2-C 図)。理由は明らかでないが、正長石の格子模様はたわみ易い性質をもっているであろう。(001) 薄膜では格子模様はアルバイト式双晶及びペリクリン双晶の方位の縞の交叉からなっている。また歪縞の伸び方向はこの両双晶に沿った方向であるから、格子模様の発生と共に伸びてきた歪縞は他の方位の歪縞と出合うことになる。歪縞自体も格子模様をもっているの、歪縞は容易に交叉することができる。電子回折像では、歪縞の部分はそれと直角方向に回折点がやゝ強く伸びているが、単斜晶系からのずれは小

さく、まだ微斜長石とは言わない方がよい。しかし、この歪縞は偏光顕微鏡下には微斜長石様の組織に見える。

正長石から微斜長石への相転移は曹長石の周囲の歪んだ所より始まる。歪エネルギーを開放するには、その格子変形に見合う構造になるよう Al/Si が秩序化する必要がある。そのため、相転移はまず自由エネルギーの高い歪んだ所より始まるであろう。またこのことは、歪縞の転移は歪の方位を引き継ぐことを意味する。従って相転移によって生じる微斜長石がアルバイト式双晶になるかペリクリン双晶になるかは、相転移前の正長石の歪の方位によって決る。即ち、正長石中の歪がb軸と直角方向に加わっておれば、その後の微斜長石においては、アルバイト式双晶が顕著になる。

電子線回折で求められた微斜長石の右双晶と左双晶の体積比は、同一試料内でもかなり変動がある。これは次のように説明される。たいていの結晶は相転移が生じて、電子顕微鏡の大ききの双晶ができることにより、その結晶の形は元のままに保たれる。これと同じく、正長石の歪縞の結晶格子の傾きは巨視的には相転移後も元のままである。従って、正長石の歪のない所では、その後生じる微斜長石の右と左の双晶は共に同じ体積比で作られるが、歪縞内では歪の大きさによって、双晶の右と左の体積比は異なる。歪縞が右双晶の方向に歪んでおれば、相転移後の微斜長石でも右双晶が左双晶より多くなる。電子顕微鏡の大ききの聚片双晶の右と左の体積比が変化するところで、微斜長石特有な光学的双晶が生じる。

光学顕微鏡下で観察した微斜長石は消光が波状に変化するものと、消光が鋭くて均質なものと2種類に分けられる。電子顕微鏡下には前者は細かく双晶しており、後者は無双晶で均質である。この無双晶な微斜長石の成因として、Akizuki (1972) は次の2つの可能性を与えた。1) 微斜長石の安定領域内で、正長石の1部分が再結晶し始める。異種結晶周辺の格子の歪んだ所が再結晶の核となるのであろう。そのときの微斜長石の方位は元の正長石に支配され、相転移によって生じた微斜長石の方位と同じになる。この微斜長石が核となり、周囲の正長石を原料として、しだいに大きな微斜長石に成長する。正長石の他の部分は転移して、細かい双晶になることがある。2) まず初めに、すべての正長石が相転移し、細かい双晶からなる微斜長石に変化する。その後再結晶し、無双晶の微斜長石になる。その再結晶が局部的に起ると、細かく双晶した微斜長石中に無双晶の微斜長石が生じることになる。試料 C 及び D の観察から、1) も起り得ることがわかる。即ち、正長石中の歪縞に相当するところは全く無双晶の微斜長石であり (第3-A 図)、

正長石からの直接の再結晶で生じたと考えられる。歪縞内では、格子は同一方位に歪んでいるので、再結晶で生じる微斜長石の核もすべて同じ方向を向くことになり、無双晶になる。

歪縞が曹長石の核から離れるにつれ、歪も弱くなり、再結晶で生じる微斜長石の右双晶と左双晶は同じ比率で生じるであろう。かくして、試料 D のようにレンズ状微斜長石が生じる (第1-D 図)。正長石からの再結晶が不完全だと、正長石の格子模様が残るであろう (第4-B 図)。再結晶を起させ易くしているのは熱水溶液だと考えられている (Goldsmith and Laves, 1954)。2) については、すでに述べた (Akizuki, 1972)。

曹長石

電子線回折像において、曹長石の双晶関係にある2つの回折点は1本の線で結ばれている。微斜長石にも同様な現象が見られる。Laves (1950) はこれとともに、微斜長石の双晶は転移で生じたと論じた。離溶と共に、曹長石側の長石の骨格 AlSi_3O_8 は単斜晶系から三斜晶系へと相転移しなければならない。このとき、転移双晶が生じる。パーサイト中の曹長石と正長石との接触面附近には両者の格子定数の不一致による歪が発生する。曹長石の層が極めて薄いと、歪の影響は曹長石全体におよぶ。この歪を解消するため、曹長石の転移双晶は一層細かくなる。曹長石の単位格子が4つ並んだ程度の間隔のものまでである (Fleet, *et al.*, 1963)。最近 Willaime と Gandais (1972) は曹長石の厚さと双晶の間隔について、歪エネルギーから半理論的に論じている。曹長石の厚さが 0.1μ 程度だと、双晶の間隔は $200\text{\AA}$ 、厚さが 0.2μ だと $300\text{\AA}$ の間隔になる。彼らの示した図では、曹長石が厚くなるに従い、双晶の間隔も広がっている。しかし、今回の研究では、曹長石の厚さが 1mm 程度でも、双晶の間隔は $350\text{\AA}$ 程度である。Willaime らは曹長石と正長石との接触面の歪のみに着目しており、この歪と無関係に起る転移双晶のことは全く無視しているから、曹長石が厚くなるに従い、双晶の間隔も広がってしまったのである。曹長石が十分厚く、正長石と曹長石の接合部附近の歪の影響を無視できるとき、そこに起る双晶は純粋な転移双晶であろう。このとき、双晶の繰返し間隔は平均 $350\text{\AA}$ になるのであろう。曹長石が再結晶作用を受けると、双晶の間隔は広がる。

5. おわりに

光学顕微鏡下で微斜長石の組織が観察できても、直に結晶構造的にも微斜長石であるとは言えないことがわかる。正長石が歪むことにより、回折像はまだ単斜晶系に

近くても、光学的には微斜長石様組織ができるからである。微斜長石において、アルバイト式双晶と直角に交叉する縞模様は正長石中の格子模様の1つに相当する。この縞模様は相転移のみでは消えなく、再結晶作用で初めて消滅し、それと共に真の最大微斜長石へと近づく。相転移の初期現象として生じた正長石中の格子模様は、相転移の初期ではこの相転移を促進させる働きを持つ。しかし、相転移の最後の段階では、逆に真の最大微斜長石になることを妨げる結果となる。

1972年に筆者が報告した微斜長石の研究と、本研究とを合せることにより、正長石から微斜長石までの変化をたどり得る。

引用文献

- Aberdam, D., R. Kern, P. Leymarie and M. Pierrot (1964) Etude cristallographique détaillée d'une orthose cryptoperthitique. *Compt. Rend.* **258**, 1268.
- Akizuki, M. and H. Sugawara (1970) The lamellar structure in moonstone and anorthoclase from Korea. *Contr. Mineral. and Petrol.* **29**, 28-32.
- 秋月瑞彦 (1971) 微斜長石の電子顕微鏡による研究, 鉱物学雑誌 **10**, 特別号 **2**, 10-21.
- Akizuki, M. (1972) Electron-microscopic investigation of microcline twinning. *Amer. Mineral.* **57**, 797-808.
- Barth, T.F.W. (1929) Über den monoklinen Natronfeldspat. *Z. Kristallogr.* **69**, 476-481.
- Baskin, Y. (1956) A study of authigenic feldsaps. *J. Geol.*, 132-155.
- Böggild, O.B. (1911) Über die Krystallform des Mikroklin. *Z. Krystallogr. Mineral.* **48**, 466-472.
- Fleet, S.G. and Ribbe, P.H. (1963) An electron-microscope investigation of moonstone. *Phil. Mag.*, **8**, 1179.
- Goldsmith, J.R. and Laves, F. (1954) Potassium feldsaps structurally intermediate between microcline and sanidine. *Geochem. Cosmochim. Acta*, **6**, 100-118.
- Laves, F. (1950) The lattice and twinning of microcline and other potash feldsaps. *J. Geol.*, **58**, 548-571.
- (1952) Phase relations of the alkali feldsaps. *I. J. Geol.* **60**, 436-450.
- and K. Soldatos (1963) Die Albit/Mikroclin-Orientierungs-Beziehungen in Mikrolinperthiten und deren genetische Deutung. *Z. Kristallogr.* **118**, 69-102.
- McConnell, J.D.C. (1965) Electron optical study of effects associated with partial inversion in a silica phase. *Phil. Mag.* **11**, 1289-1301.
- (1969) Electron optical study of incipient exsolution and inversion phenomena in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 . *Phil. Mag.* **19**, 221-229.
- Nissen, H.-U. (1967) Direct electron-microscopic proof of domain texture in orthoclase (KAlSi_3O_8). *Contrib. Mineral. Petrology*, **16**, 354-360.
- Ramberg, H. (1961) Artificial and natural photoelastic effects in quartz and feldsaps. *Amer. Mineral.* **46**, 934-951.
- Schermerhorn, L.J.G. (1961) Orthoclase, microcline and albite in granites. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* **41**, 13-36.
- Willaime, C. and M. Gandais (1972) Study of exsolution in alkali feldsaps: Calculation of elastic stresses inducing periodic twins. *Phys. Stat. Sol. (a)* **9**, 529-539.