

偏光顕微鏡活用例：斜長石双晶

高橋裕平¹⁾

1. まえがき

偏光顕微鏡ではじめて岩石薄片を観察すると、斜長石に双晶が発達していることに気がつく。そのことが斜長石同定のひとつの決め手ともなる。さらに多くの岩石薄片を観察するようになると、斜長石双晶にはさまざまなものがあることがわかる。斜長石双晶は結晶学的に、どんな面で接しているかとかどんな回転をしたかなどで、その形式を定義でき、偏光顕微鏡のもとでの見え方にも違いが出るのである。そこで、小論では斜長石双晶をどのように決めたらよいか、その結果からどんなことが言えるかを述べる。

小論のかなりの部分は、偏光顕微鏡の基礎的なことがらを一通り学んでいて、かつそれが身に付いていることを前提に記述してある。したがって偏光顕微鏡に縁遠くなっている方には小論の大部分が冗長である。そのような方は、以下の多くを省略して、3の斜長石双晶形式と6のまとめだけを読んでいただきたい。

2. 最近の偏光顕微鏡に合わせた観察法

かつての地質系学生実験の「偏光顕微鏡による岩石薄片の観察・上級編」では、自在回転台(ユニバーサルステージ)を利用して結晶軸の方位を求めことや、光軸角の測定を行うことがあった。しかし、最近では、岩石学や鉱物学を専攻する場合でも、結晶光学や顕微鏡の使用法の学習にあてられる時間は減少し、自在回転台を利用する機会はまれである。最近の顕微鏡が自在回転台利用の仕様になっていないこと、ほとんどのメーカーが自在回転台の製作をやめてしまったことなどから、自在回転台の使用を前提とした観察法の解説は現実的ではなくなっている。

しかしながら、結晶の方位を求めことや双晶形式

を決定することは、結晶光学の理解に役立つとともに、顕微鏡観察の幅を広げる。

そこで現状に合わせ、自在回転台を使わずに斜長石双晶形式を決定する方法を紹介する。半世紀以上も前に、Gorai (1951)が自在回転台を使わない通常の観察で、双晶を分類する方法を提案し、当時の岩石学的な議論に大いに貢献した。その分類は、鏡下での形状に基づき2つのグループにわけることがあったが、今回は結晶学的な定義に基づく双晶の分類を行う。

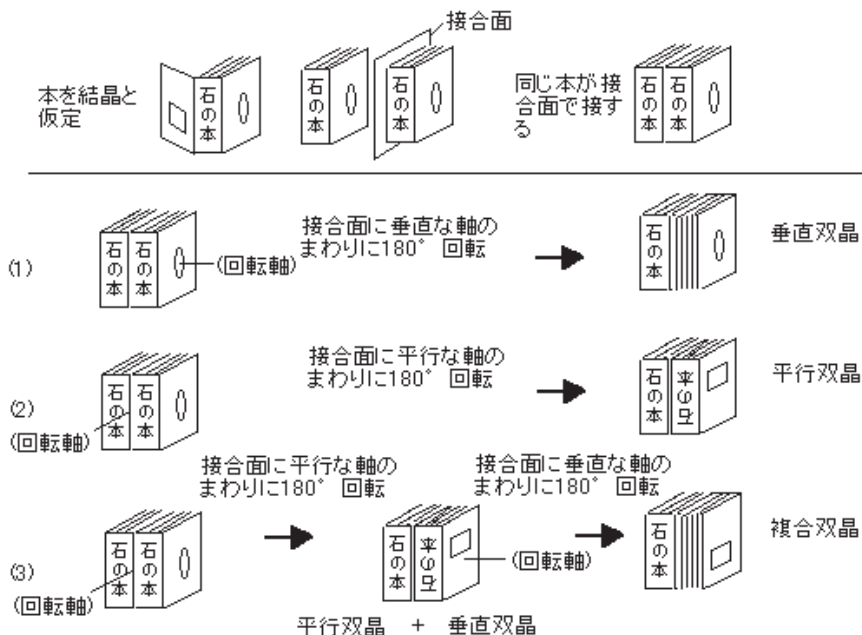
3. 斜長石双晶形式

双晶形式は、両双晶片が接している接合面と双晶片同士の方角関係から定義できる。そのことをわかりやすいように同じ2冊の本でたどってみる。第1図の上段のように2冊の本を同じ向きにならべてみる。接している面が接合面に相当する。図中の(1)で、接している面(接合面)に垂直な軸(双晶軸)を考え、右側の本を180°回転(半回転)すると右側のように一方の本が逆さ後ろ向きになって接する。これが垂直双晶である。(2)では接している面上のある軸のまわりに右側の本を180°回転してみると、右のような関係になって接する。これが平行双晶である。(3)では(1)と(2)の動作を組み合わせる。すなわち、まず接している面の軸のまわりに右側の本を回転し、平行双晶の関係にする。次に垂直な軸のまわりに180°回転すると右側のような関係になる。これが複合双晶である。平行双晶と垂直双晶の動作の順番を変えても同じ結果になる。

ある接合面について垂直双晶が1つ考えられる。平行双晶の回転軸(双晶軸)は複数考えられるので、複合双晶も複数考えられる。第1図では2冊の本は横に並べた関係なので、接している面(接合面)は表紙

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：斜長石、双晶、偏光顕微鏡、花崗岩、変成岩



第1図 双晶の概念を2冊の本にとえた解説。(1),(2),(3)の動作を本文中で説明してある。

であるが、このほか、例えば一方の本を上重ねる接し方なども可能である。すなわち接合面も複数考えられる。このように考えると、理屈上多くの双晶形式を想定できる。しかしながら、天然に産出する斜長石双晶の形式はそれほど多くない。接合面になりやすい結晶面や双晶軸になりやすい結晶軸は限られるのである。

筆者が特に扱ってきた花崗岩類や砂岩泥岩起源石英長石質変成岩類に含まれる斜長石は、An成分が10ないし50モル%である。ここでAn成分が30-50モル%の低温型斜長石を例にすると、第1表に示した7つの双晶形式が実際に産出するものである。

4. 斜長石双晶形式の決定法

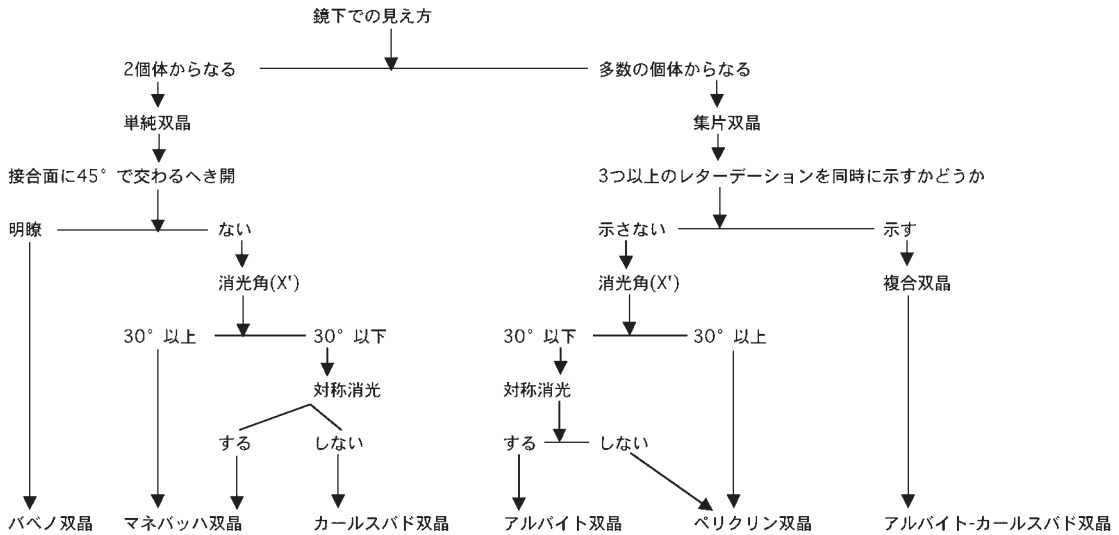
自在回転台を用いる場合、視野の縦方向に双晶の接合面が垂直になるようにして、横方向の軸を回転して、両双晶片の消光の状況を見ながら双晶形式を決定する方法が、迅速で簡便である(Suwa et al., 1974; Takahashi, 2002)。自在回転台を使わない場合には、接合面が薄片に垂直になっている(なるべく垂直に近い)斜長石を選ぶようにする。既にTobi (1961)は、接合面が薄片に垂直な斜長石について双晶形式を決めることを提案しているが、ここでは主にレターデーションの違いを利用して今回の方法と異なる。

第1表 An組成が30-50モル%の低温型斜長石で産出する双晶形式。

双晶の種類	垂直双晶		平行双晶		複合双晶
	単純双晶	集片双晶	単純双晶	集片双晶	複合双晶
鏡下での見え方					
接合面					
(010) (へき開)		アルバイト	カールスバド (双晶軸:c軸)		アルバイト-カールスバド (双晶軸:(010)面上でc軸に垂直な軸)
(001) (へき開)	マネパッパ			アクライン* (双晶軸:b軸)	
菱形断面 (b軸を含む面)				ペリクリン* (双晶軸:b軸)	
(021)または(02̄1) (へき開に斜交)	バベノ				

*: An組成が30-50モル%の斜長石では光学的に区別できない

太字: 普通に産出する双晶



第2図 An組成が30-50モル%の低温型斜長石で接合面が薄片に垂直な場合の双晶形式決定法。

接合面が薄片に垂直な場合、鏡下では双晶の境界面がごく細い線になっている。顕微鏡の焦点をずらしても、その線は横方向に動かない。

鏡下での見え方から、(1)まず、2個体からなる単純双晶と、幅のせまい多数の個体からなる集片双晶とに分ける。(2)集片双晶の中で、さらに3つ以上のレターデーションを同時に示す複合双晶を識別する。(3)それからは、単純双晶、集片双晶、複合双晶それぞれについて消光角の違いや対称消光の有無などで順に双晶形式を決定する。そのまとめを第2図に示す。

以下、単純双晶、集片双晶、複合双晶それぞれにどんな双晶形式があるかを述べ、その決定法を順にまとめる。ここでの消光角は、接合面の方向とX'の角度である。X'は、消光の位置から、検板のX'の方向と同じになるように45°回転して検板を挿入すると相加的になる(青色を呈する)。

4.1 単純双晶

バベノ双晶：接合面を(021)または(0 $\bar{2}$ 1)とする垂直双晶である。鏡下では、双晶の境界(接合面)に45°前後で交わるへき開が明瞭である(写真1)。この接合面に斜交するへき開は(010)及び(001)面である。斜長石では産出はまれである。

カールスバド双晶：接合面を(010)面、双晶軸をc軸とする平行双晶である。鏡下では、対称消光(両双晶片が左右対称に消光)を示さない(写真2)。An組

成30モル%の低温型斜長石では、消光角は最大16°、50モル%では27°である。斜長石ではあまり多くない。

マネバツハ双晶：接合面を(001)面とする垂直双晶である。鏡下では、接合面が薄片に垂直であれば、いつも対称消光(両双晶片が左右対称に消光)を示す。消光角はAn組成が30-50モル%の斜長石では最大70°程度になる。消光角が30°(An組成が30モル%なら16°であるが、簡単のため大きめの角度をとってある。以下同様)を超えるならば、前述のカールスバド双晶とただちに区別でき、マネバツハ双晶としてよい。それ以下の場合、対称消光を示すことでカールスバド双晶と区別する。産出は多くない。

以上、単純双晶についてまとめると、第2図左側のようになる。すなわち、接合面に45°位で交わるへき開が明瞭な場合はバベノ双晶と直ちに決まる。そのほかの場合、消光角が30°以上ならマネバツハ双晶である。消光角が30°以下の場合、対称消光すればマネバツハ双晶、そうでなければカールスバド双晶と決めることができる。

4.2 集片双晶

アルバイト双晶：接合面を(010)面とする垂直双晶である。鏡下では、接合面が薄片に垂直であれば対称消光する(写真3)。An組成30モル%の低温型斜長石では、消光角は最大16°、50モル%では27°である。

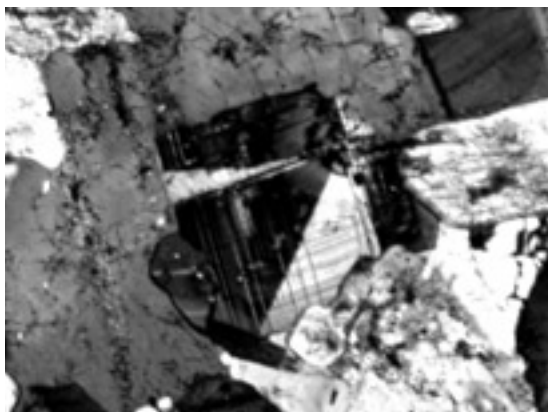


写真1 バベノ双晶。写真中央の矩形の斜長石がバベノ双晶形式を示す。矩形の対角線を境に左上半分が消光しているが、その境が双晶の接合面である。接合面に2方向のへき開が斜交していることからバベノ双晶と同定できる。岩石は普通角閃石閃緑岩(5万分の1地質図幅京都東部の仰木複合岩)。比叡山山頂北約4.5km。写真の横の長さは約1mm。直交ニコル。

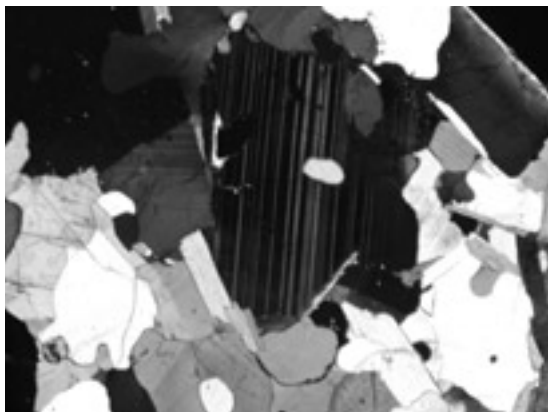


写真3 アルバイト双晶。集片双晶で対称消光をする。岩石は黒雲母片麻岩。東南極セールロンダーネ山地クラッケン。写真の横の長さは約2mm。直交ニコル。

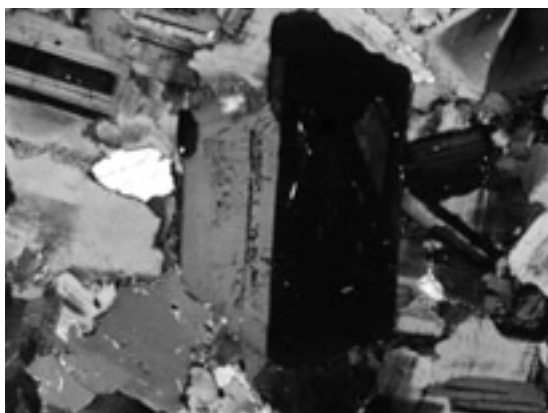


写真2 カールスバド双晶。単純双晶で対称消光をしない。岩石は普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩(5万分の1地質図幅上野の荒木花崗閃緑岩, GSJR63462)。三重県伊賀市上荒木。写真の横の長さは約2mm。直交ニコル。

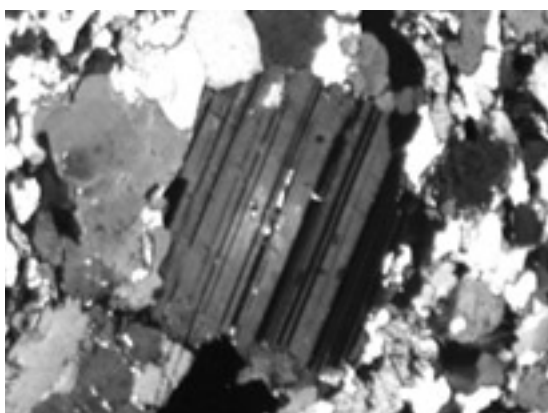


写真4 ペリクリン双晶。一見するとアルバイト双晶のようだが、消光している双晶片を対角位まで回転して検板で検すると、伸長性からアルバイト双晶でないことがわかる。圧砕普通角閃石黒雲母片麻岩。東南極セールロンダーネ山地ビキングヘクタ。写真の横の長さは約1mm。直交ニコル。

ごく普通に出現する。

ペリクリン双晶：接合面を菱形断面(結晶軸b軸を含む平面)、双晶軸をb軸とする平行双晶である。鏡下では、ペリクリン双晶は消光角が最大70°くらいになるので、もし集片双晶で消光角が30°を超えるならばペリクリン双晶である。写真4ではアルバイト双晶とよく似ているが、ペリクリン双晶である。消光している

双晶片のたて方向はZ'で、X'に関する消光角は大きい。切断方向によってはX'に関する消光角が小さいことがあるが、対称消光をしないことでアルバイト双晶と区別がつく。鏡下で接合面が(001)面と斜交することを確認できれば、それもペリクリン双晶であるという決定に使える。ただし、An組成が30-50モル%の低温型斜長石では、菱形断面と(001)面はほとんど

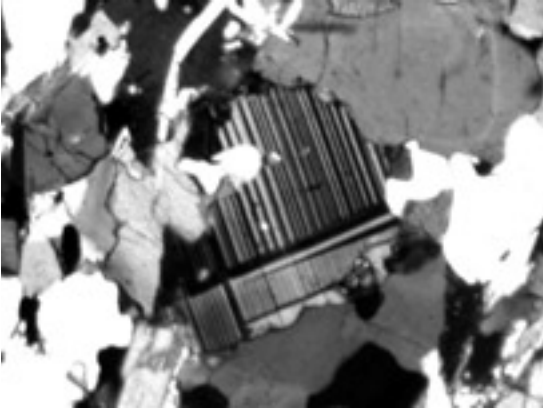


写真5 アルバイト双晶とペリクリン双晶。左上から右下に発達しているのがアルバイト双晶，右上から左下に発達しているのがペリクリン双晶。岩石は白雲母黒雲母片麻岩（20万分の1地質図幅夕張岳の日高深成岩類中部不均質トーナル岩の片麻岩部）。芽室町美生川上流。写真の横の長さは約1mm。直交ニコル。

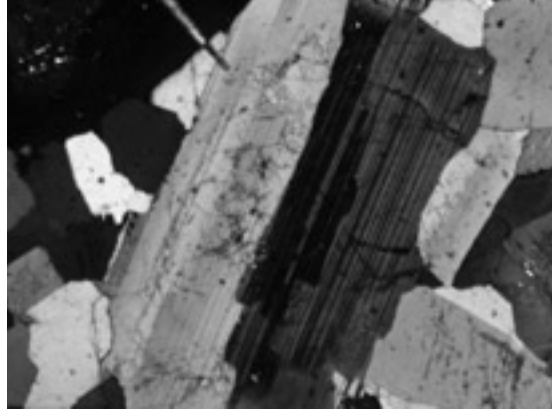


写真6 アルバイト-カールスバッド双晶。アルバイト双晶を呈する二つの結晶がカールスバッド双晶形式で接した複合双晶。岩石は普通角閃石黒雲母花崗岩（5万分の1地質図幅広島市の広島花崗岩，GSJR45671）。広島市八幡川中流。写真の横の長さは約2mm。直交ニコル。

ど一致する。(001)面が接合面で双晶軸をb軸とする平行双晶は、アクライン双晶である。接合面が一致して、ペリクリン双晶とアクライン双晶の区別がつかない場合、ここではそのことを理解の上、ペリクリン双晶とする。ペリクリン双晶はごく普通に産出する。変成岩ではアルバイト双晶よりも多く出現することがある。

以上、集片双晶についてまとめると、第2図右側のようになる。すなわち、消光角が 30° 以上ならペリクリン双晶、消光角が 30° 以下の場合、対称消光すればアルバイト双晶、そうでなければペリクリン双晶である。

アルバイト双晶とペリクリン双晶が一つの結晶に出現することがよくある。写真5のように両者の接合面がともに薄片に垂直な場合は限られる。そこで、例えば、(010)面が薄片に垂直でアルバイト双晶と同定できるものに、ほぼ直交する幅のせまい短冊状の双晶があれば、仮に接合面が細い線として見えなくても、菱形断面が薄片に斜めであると解してそれをペリクリン双晶とする。

4.3 複合双晶

アルバイト-カールスバッド双晶：接合面を(010)面として、アルバイト双晶とカールスバッド双晶の形式を組み合わせた双晶である。鏡下では、複合双晶は同時

に3つないし4つのレターデーションを観察できる。An組成が30-50モル%における複合双晶は、アルバイト-カールスバッド双晶である(写真6)。火成岩、ことに火山岩によく産出する。

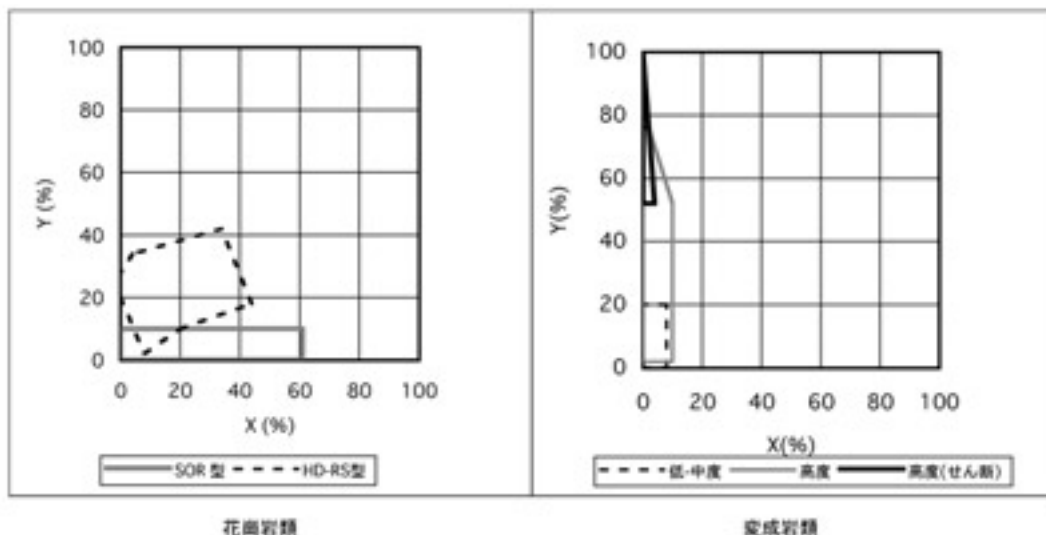
4.4 光学手法上の問題と定向配列する岩石の扱い

4.2で述べたペリクリン双晶とアクライン双晶のように、組成の違いで光学的に識別できたりできなかったりする双晶形式がある。別の例としてアルバイト-アラ双晶という複合双晶は、An組成が30モル%前後の斜長石ではアルバイト双晶と区別できない。このような光学手法上の問題は、日本語では黒田・諏訪(1983)で解説している。

薄片に垂直な接合面の双晶を選ぶ方法を使うと、斜長石が定向配列する岩石では、特定の接合面を多めに選択する可能性がある。そこで定向配列が予想される岩石では、異なる方向の薄片を2, 3用意するほうがよい。

5. 斜長石双晶形式に基づく地質学的議論

斜長石双晶形式の出現頻度は、岩石の形成条件と深く関わっている。1950年代、火成岩と変成岩で斜長石双晶に違いがあることを、何人かの研究者が独立に明らかにした。このうち、Gorai (1951)は、自在回



第3図 斜長石双晶形式頻度に基づく識別図. 横軸(X)はアルバイト-カールスバド双晶, カールスバド双晶, マネバツハ双晶, バベノ双晶の頻度(%), 縦軸(Y)はペリクリン双晶の頻度(%).

転台を使わない通常の偏光顕微鏡観察で, 斜長石双晶を形状からA双晶とC双晶に分けた. A双晶とは集片双晶(主にアルバイト双晶とペリクリン双晶), C双晶とはそれら以外の双晶で, 単純双晶や複合(複雑)双晶, それに双晶が互いに突きささったような形態の透入双晶である. これらに無双晶(U)を加え, A, C, Uの量比を計測して三角図上で変成岩と火成岩の領域を示した. Suwa (1956)は斜長石双晶形式を自在回転台で決定して, Gorai (1951)とは異なる双晶形式のグループ分けを提案した. その後, Tobi (1962)や諏訪(1968)が接合面の違いに着目し, さらに4.4で述べたようにSuwa *et al.* (1974)やTobi (1987)が光学的手法上の問題点を整理した. これらの記載岩石学的な研究に加えて双晶形成実験なども行われた. このような研究史については, 高橋(1995)と高橋(2004)で解説している.

先達による半世紀にわたる蓄積を踏まえ, 高橋(2004)は, 新たな斜長石双晶に基づく岩石識別図を提案した(第3図). それは横軸(X)にアルバイト-カールスバド双晶, カールスバド双晶, マネバツハ双晶, バベノ双晶の頻度を, 縦軸(Y)にペリクリン双晶の頻度をとったものである. XはGorai (1951)のC双晶にほぼ相当する. Yのペリクリン双晶には, 単独のペリクリン双晶のほか, 他の双晶形式に重なって産出するものも含めた.

この図を用いると, 花崗岩類はXの増加とともにYも増加するグループ(HD-RS型)と, XのいかんによらずYの値が小さいグループ(SOR型)に二分できる. 前者は日高変成帯の花崗岩類と近畿地方の領家-山陽帯の花崗岩類がその代表である. 後者は東南極セールロンダーネ山地の花崗岩類を典型とする. これらのグループの違いは, 花崗岩マグマ生成場のテクトニクスの違いを反映していて, 活動的な大陸縁辺部や島弧縁辺部であるか, 大陸内部の後造山性であるかという違いに帰することができる(高橋, 2004).

石英長石質(砂質-泥質)変成岩類において, 緑色片岩-低度角閃岩相ではYの値は小さい. 高度角閃岩-グラニュライト相ではYの値はしばしば大きく, 特にせん断作用を受けた岩石で大きい(高橋, 2004).

6. まとめ

斜長石の光学的な方位関係を駆使することにより, 双晶の接合面を決定ができ, さらに垂直双晶か平行双晶あるいは複合双晶かを判断して, 双晶形式を同定できる. 顕微鏡下での観察でどのように順に決定していくかを第2図にまとめた.

花崗岩類や変成岩類中の斜長石双晶の形式の出現頻度に基づく新たな図を提案した(第3図). この図を用いると, 花崗岩類の形成場を活動的な大陸や島

弧縁辺部か、大陸内部の後造山性のテクトニクスの場合であるかという違いが双晶の形式に現れる。変成岩については、変成度の違いやせん断作用を受けたかどうかの識別に使える。

この図に一般性があるかどうか、さらに他の地域の花崗岩や変成岩について追試を行うとともに、堆積岩中の碎屑性の斜長石について、後背地推定に使えるかどうかの検討も意義があると思われる。

謝辞：小論を草するにあたり、諏訪兼位先生には粗稿を読んでいただき、有益なご助言と原稿の改良点をご指摘していただきました。須藤定久氏からは、本誌の読者層を考慮した文章の構成についてご助言をいただきました。ここに謝意を表します。

文 献

- Gorai, M. (1951) : Petrological studies on plagioclase twins. *Amer. Mineral.*, 36, 884-901.
- 黒田吉益・諏訪兼位 (1983) : 偏光顕微鏡と岩石鉱物 (第2版). 共立出版, 343p.
- Suwa, K. (1956) : Plagioclase twinning in Ryoke metamorphic rocks from the Mitsue-mura area, Kii peninsula, central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, 4, 91-122.
- 諏訪兼位 (1968) : 斜長石ノートとくに斜長石双晶について. *地球科学*, 22, 156-163.
- Suwa, K., Mizutani, S. and Tsuzuki, Y. (1974) : Proposed optical method of determining the twinning laws of plagioclase. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no.11, 167-250.
- 高橋裕平 (1995) : 斜長石双晶法の再検討とその地質学的応用. *地質調査所月報*, 46, 527-536.
- Takahashi, Y. (2002) : Practical method of determining plagioclase twinning laws under the microscope. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 53, 795-800.
- 高橋裕平 (2004) : 斜長石双晶法再考-特にペリクリン双晶の重要性. *地質調査研報*, 55, 39-48.
- Tobi, A.C. (1961) : The recognition of plagioclase twins in sections normal to the composition plane. *Amer. Mineral.*, 46, 1470-1488.
- Tobi, A.C. (1962) : Characteristic patterns of plagioclase twinning. *Norsk geol. Tridssr.*, 42, 262-271.
- Tobi, A.C. (1987) : A guide to plagioclase twinning, and an urge to further research on its petrological significance. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 67, 127-136.
- TAKAHASHI Yuhei (2005) : Advanced polarization-microscopic observation: Plagioclase twinning laws.

<受付：2005年2月2日>