

分散染色法による骨材中のシリカおよび 非晶質鉱物の光学的同定

OPTICAL IDENTIFICATION OF SILICA AND AMORPHOUS MINERALS IN AGGREGATES BY DISPERSION STAINING METHOD

宇野泰章*・佐々木孝彦**・立松英信***

by Yasuaki UNO, Takahiko SASAKI and Hidenobu TATEMATSU

1. はじめに

コンクリートの劣化現象として問題にされているアルカリ骨材反応は、セメント中のアルカリと骨材中のシリカが反応し、吸水性のあるゲルを形成するものである。通常の骨材中に含まれるシリカ鉱物には石英、クリストバライト、トリディマイトなどがあり、その鉱物種に応じてアルカリとの反応性の度合いに差異が認められる。したがって骨材中に存在するこれらのシリカ鉱物の種類を同定し、その含有量を見積もることは、骨材評価のためには重要な課題である。骨材のように無機化合物よりなる素材中の構成物質の同定にはX線回折法が最も広く用いられているが、この方法では2~3%程度以下の微量成分の検出は困難であり、またとくにクリストバライトのX線回折パターンのも強線である(101)面の回折線(4.04Å)は普通の骨材中に普遍的に含まれている斜長石の回折線と重複し、単独で識別し難い。さらに火山ガラスのように、明瞭な回折線を生じない非晶質物質に対しては、この分析法は適用できない。これらの問題点への対策として、偏光顕微鏡による光学的な観察・同定法を合わせて用いることが必要である。本稿において著者らは先に宇野¹⁾が試作した分散染色型対物レンズを用いた偏光顕微鏡観察法により、微量のクリストバライトをはじめとするシリカ鉱物や非晶質鉱物を光学的に同定し、その存在量を見積もると共に、X線回折データや化学法に基づくアルカリ反応性試験の結果と対比させ、それらの関連性について検討を行った。

2. 分散染色法の原理

光学顕微鏡を用いて多成分よりなる固体試料を観察する場合に、目的の物質種のみを何らかの方法で発色させることができるなら、その物質を他の共存成分から識別し、さらに試料全体に対する目的物質の量比を求めることが極めて容易になる。分散染色法はこのような目的のために考案されたものである。一般に顕微鏡観察用の試

料を染色するには色素を吸着させるなどの方法が用いられるが、このような化学的染色法に対して分散染色法はいわば「物理的染色法」ということができる。この方法は細胞組織等の有機物を対象とする染色の技法として、Crossmon²⁾、Cherkasov³⁾らが開発したもので、Brown and McCrone⁴⁾、McCrone and Delly⁵⁾、McCrone⁶⁾らはさらにこれを無機物質の染色に応用した。この方法はまたBloss⁷⁾、Wilcox⁸⁾らにより鉱物の屈折率の測定法に採用されている。宇野¹⁾はリング型の遮蔽板を有する対物レンズを試作し、これと顕微測光装置および温度変化ステージを組み合わせた測定システムを用いて、素材中の微量成分を光学的に同定する方法を考案した。

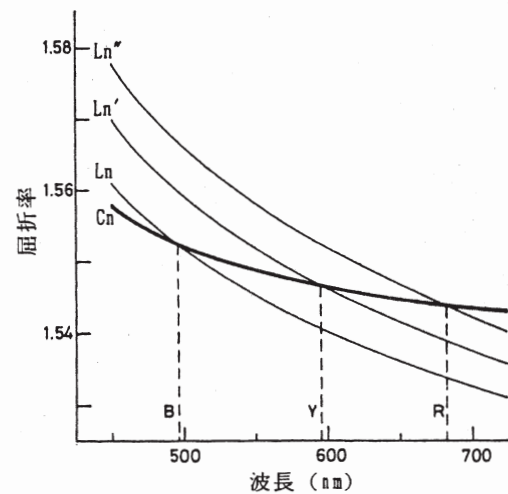


図1 光の波長と屈折率の関係

Ln ; 浸液の屈折率, Cn ; 固体の屈折率

鉱物などの固体試料をこれと屈折率がほぼ等しい浸液中に浸して顕微鏡により観察する場合、顕微鏡の対物レンズの後焦点面に遮蔽板を挿入して直接光をカットし、屈折光のみを用いて試料の像を結ばせれば、一定の条件の下で試料が発色する。この場合の発色は浸液と鉱物の間の屈折率の分散の違いにより生ずる。物質の屈折率 n と光の波長 λ の間にはHartmannの分散式

$$n = c / (\lambda - \lambda_0) + n_0$$

が成り立つ。ここで c , n_0 , λ_0 は物質により固有の定数である。一般に液体の屈折率の方が固体のそれよりも大きな分散を示す(図1)。従って浸液と鉱物の屈折率が

* 名古屋工業大学地学教室 教授
(〒466 名古屋市昭和区御器所町)

** 鉄道総合技術研究所材料技術開発推進部 技師
(〒185 国分寺市光町2-8-38)

*** 同 基礎研究部長

青色光(B)について一致しているとき、黄色光(Y)や赤色光(R)については鉱物の屈折率は浸液のそれよりも大きい。逆に両者の屈折率が赤色光について一致するとき青色光や黄色光については浸液の屈折率が鉱物のそれよりも大きくなる。図2に示すように浸液中に浸した固体試料を顕微鏡で観察するとき、屈折率に差異があれば試料に入射する光は浸液と鉱物の境界面で屈折するが、両者の屈折率が等しい場合は光は屈折せず直進し、対物レンズを通過後その焦点面の中心に収束する。上記のように浸液と鉱物は分散能が異なるため、浸液と鉱物の屈折率はある特定の波長領域の光についてのみ一致し、それ以外の波長範囲の光については差異を生ずる。したがって対物レンズを通過後の光の収束位置は波長により異なる。そこでレンズの後焦点面の中心に遮蔽板を入れると試料中を直進した光(すなわち鉱物と浸液の屈折率が一致する波長の光)がカットされ、背景は暗黒になる。一方、浸液と鉱物の境界で屈折する光は後焦点面の中心部以外において収束するため、遮蔽板で遮られることなく通過する。このため結晶の辺縁部には着色した輪郭が現れる。この色は遮蔽板により除かれた光波に対する補色である。たとえば青色光について浸液と鉱物の屈折率が一致している場合には入射光から青色が除かれ、鉱物は赤に着色し、逆に赤色光について浸液と鉱物の屈折率が一致する場合は入射光から赤色光がカットされ、青に着

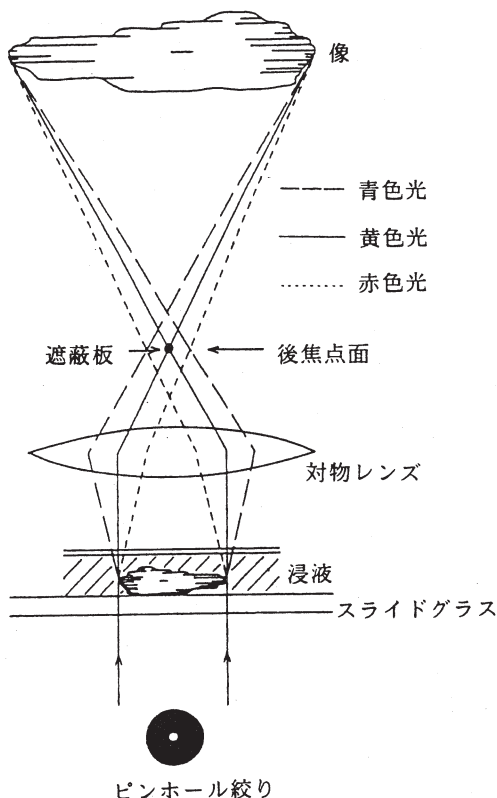


図2 分散染色における顕微鏡の光学系

色することになる。一般に物質の屈折率は D線 (589.3 μm) についての値を標準とするが、上記の関係から明らかのように、青に発色している場合は D線 (黄色) については浸液の屈折率が鉱物のそれよりも高く、赤に発色する場合は逆に鉱物の方が浸液より D線に対する屈折率が高いことが直ちに判定できる。このように屈折率のわずかの差異がそれに応じた特有の色調として観察されるので、直径1 μm 程度の細かいシリカ鉱物等を観察する場合にもその存在を確認し、さらに試料全体に対する目的の鉱物の存在比を知ることができる。なお、浸液と鉱物の屈折率の差が大きく、いずれの波長の光についても屈折率が一致しない場合(一般にはそのような場合が多い)には試料は明るく輝いた白色の輪郭を示す。

図2の説明では光源はピンホール状であり、対物レンズの遮蔽板も中心に置くものとしているが、この方式では微小結晶を観察する場合に光量が不足し、発色が不鮮明である。本稿では絞りをリング状にし、遮蔽板もリング状にした対物レンズを用いている。これは宇野¹⁾の考案によるもので、発色の原理は上記と全く同じであり、しかもピンホール型対物レンズの10倍以上の光量が得られるため、微小試料の観察には極めて有利である。

3. 試料および実験法

ここでは次の4種の火山岩試料、長野県和田村産の石英安山岩(試料A)、長野県長門町産の安山岩(試料B)、長野県望月町産の安山岩(試料C)、静岡県熱海市産の安山岩(試料D)を検討の対象として取り上げた。

試料Aはdaciteであり石基にガラスが多く、石英斑晶を全く含まず、シリカ鉱物として石英の代わりにクリストバライトを含有している。daciteの記載法には種々の問題があり、石英の斑晶を含むものを石英デイサイト、含まないものを単に「デイサイト」と呼ぶ方式もあるがここでは慣行に従い「石英安山岩」と表記した。ここに挙げた試料はいずれも偏光顕微鏡観察およびX線回折法によりシリカ鉱物の存在が認められるものである。試料Aは現在骨材として使用されているものではないが、クリストバライトを含む火山岩の例としてここに取り上げた。試料B~Dはいずれも骨材として利用されているものである。なお以上の他にクリストバライトの標準的な試料の発色状態を確認するため、静岡県伊東市富戸産の複輝石安山岩中に肉眼的スケールの結晶として産出するクリストバライトを採取し、光学的観察に供した。

これらの試料につき、次の方法により観察・測定を行った。各試料の顕微鏡薄片を作成し、偏光顕微鏡観察により試料中の造岩鉱物を判定し、その組織の特徴を調べた。クリストバライトの屈折率は $\omega = 1.486 \sim 1.488$, $\varepsilon = 1.482 \sim 1.484$ であり、トリディマイトのそれは $\alpha = 1.469 \sim 1.479$, $\beta = 1.470 \sim 1.480$, $\gamma = 1.473 \sim$

1.483 で値が近似しており⁹⁾、鏡下の観察のみではこの両者は区別し難い。そこでX線粉末法による分析結果と合わせて各試料の鉱物組成を決定した。X線回折試験は理学電機製X線回折装置RAD-2型を用いて行った。

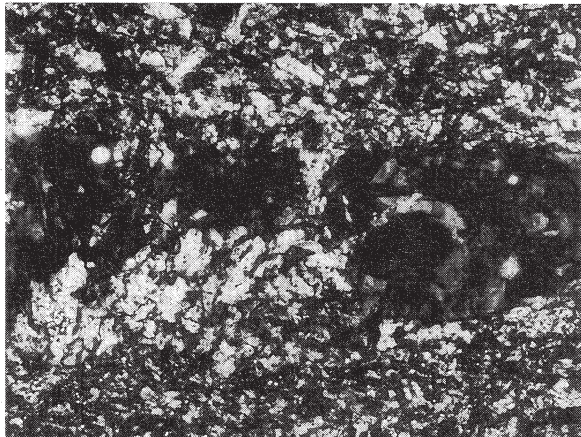
骨材試料のアルカリ反応性試験は通常の化学法¹⁰⁾に従い、1規定水酸化ナトリウム溶液中で試料を80°Cに24時間保持し、溶解シリカ量(Sc)およびアルカリ濃度減少量(Rc)を求めると共に、立松らの改良化学法¹¹⁾により試料を6時間~48時間処理し、Rc⁰を求めた。またアルカリとの反応に伴う試料中のシリカ鉱物の含有量の変化を調べるため、1規定水酸化ナトリウム溶液中で試料を80°Cに24時間保持したものについて再度X線回折試験を行い、シリカ鉱物の示す回折ピーク強度を反応前のそれと比較した。

分散染色観察用の試料は上記X線回折用の試料とは別に300メッシュ以下に粉碎したものを調整した。前記のように分散による発色は鉱物試料と浸液の分散能の差に大きく依存し、浸液の n_{F-C} (スペクトルのC線とF線間の分散で、部分分散と呼ばれる)が大きい程明瞭に発色する。一般に1.50前後の屈折率を有する鉱物の測定

にしばしば使用されるシダー油などは n_{F-C} が小さく、発色が不鮮明であり、分散染色に用いるのは不適當である。ここでは表1に示すトリアセチン、丁字油、桂皮油を混合して1.480、1.490、1.500、1.510、1.520、1.545、1.555の屈折率を有する液を作成し、試料の観察に用いた。上記の浸液を用いた場合、屈折率1.48~1.52の範囲では、浸液と鉱物のD線に対する屈折率の差が0.01程度であれば明瞭に発色する。屈折率1.54~1.56の近傍では浸液の分散が大きくなるので、屈折率差が0.02程度でも発色する。また結晶の屈折率は試料により微妙な差異があるので、それに対応して浸液の屈折率を適当に変化させれば観察に便利である。固体の屈折率は温度によりほとんど変化しないが、液体のそれは顕著に変化するの

表1 分散染色用浸液の屈折率

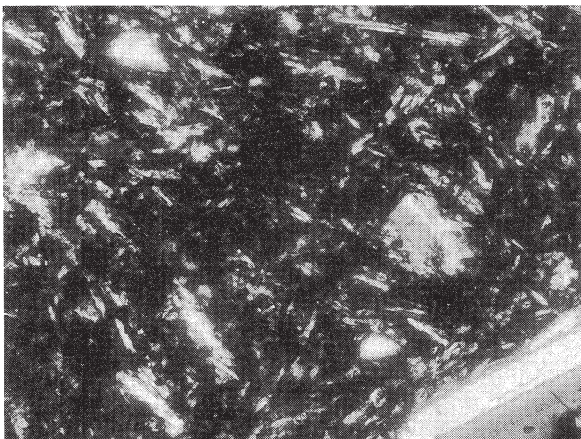
浸液	n_D	n_{F-C}	$-dn/dt$
トリアセチン	1.426	0.007	0.00051
丁字油	1.534	0.018	0.00049
桂皮油	1.622	0.042	0.00053



(1)



(2)



(3)



(4)

図3 岩石試料の偏光顕微鏡写真 スケールは 100 μ m

- (1) 試料A (石英安山岩)
- (2) 試料B (複輝石安山岩)
- (3) 試料C (複輝石安山岩)
- (4) 試料D (複輝石安山岩)

浸液の温度を変化させることにより屈折率の値を適当に調節することができる。表1の $-dn/dt$ は温度変化に対する屈折率変化の値を示している。浸液の温度調節には北里サプライ製のマイクロウォームプレートを用いた。これにより、室温から50℃までの温度範囲を ± 0.2 ℃の精度で調節することができる。浸液の温度を室温以下に下げることがある場合は、エアポンプによりアイスボックスを通じた冷風を吹きつけて冷却する。作成した浸液は予めアッペ屈折計に温水・冷水を通じて、種々の温度で屈折率を測定しておく。以上の方法により鉱物試料の浸液中における分散染色を顕微鏡下で観察し、また写真撮影を行った。

4. 実験結果

各試料の鉱物組成を表2に示す。試料Aは図3の顕微鏡写真(1)に示すように細粒の斜長石、雲母を含み石基部には非晶質物質が多い。鏡下の観察では、岩石中の空隙を埋める状態で低屈折率かつ低複屈折率の結晶が密集している。この試料のX線回折パターンにはクリストバライトの(101)面の反射に相当する、著しく強い回折線(4.04Å)が現れている。またこの他にクリストバライトの(200)面に相当する2.48Åの回折線等が認められるなど、X線回折データのみからもクリストバライトの存在が確認できる。試料Bおよび試料Cはいずれも複輝石安山岩であり、斜長石、シソ輝石、普通輝石の斑晶を含む石基部は細粒の斜長石が主で非晶質物質は少ない。非常に細粒の、低屈折率かつ複屈折率の小さな鉱物が認められるが、その量は少ない。試料B、CのX線回折パターンにも4.04Åの強い回折線が現れるが、その強度は試料Aよりは小さい。試料Dは複輝石安山岩であり、斑晶として斜長石、シソ輝石、普通輝石を含む。石基部には細粒の斜長石、石英の他に屈折率および複屈折率の低い無色鉱物を含む。この試料のX線回折像には石英の示す3.34Å、4.21Åの回折線、トリディマイトの示す4.10Å、4.32Å、3.82Åの回折線が認められる。

表3に各試料のアルカリ反応性試験結果を示す。試料

表2 岩石試料の鉱物組成

試料		A	B	C	D
鉱物組成	石英	tr	-	-	++
	クリストバライト	++	+	+	tr
	トリディマイト	-	-	-	+
	斜長石	++	+++	+++	+++
	黒雲母	+	-	-	-
	シソ輝石	-	++	+	++
	普通輝石	-	++	++	++
	火山ガラス	+++	+	+	+

+++ ; 多い, ++ ; 中位, + ; 少ない, tr ; 僅か

表3 アルカリ反応性試験結果

試料	化学法 (mmol/l)		改良化学法 (mmol/l)		
	Sc	Rc	Rc ⁰	Sc ²⁴	Sc ⁴⁸
A	850	155	30±5	850	1020
B	624	136	30±5	624	851
C	389	96	40±5	389	634
D	45	58	40±5	45	85

A, B, CはRcの値と比較してScの値が大きく、図4の判定結果では「無害でない」領域にプロットされる。試料DはScが小さく、無害領域にはいる。

80℃において1規定の水酸化ナトリウムに24時間浸した試料のX線回折ピークの強度を反応前のそれと比較した結果を図5に示す。試料A, B, Cの未処理試料はいずれも4.04Åに強い回折線を有するが、反応後にはこの回折ピーク強度が顕著に減少している。試料Dにおいては4.04Åの回折線強度は反応の前後でほとんど変化していない。一方トリディマイトの回折線に相当する4.10Å、4.32Åおよび3.82Åのピーク強度はアルカリ溶液との反応により顕著に減少している。これに対して石英の回折線に相当する3.34Åおよび4.21Åのピーク強度はアルカリ反応の前後で大きな変化を示さない。

各試料の分散染色写真を図6に示す。(1)は標準的なクリストバライト(静岡県伊東市富戸産)の分散染色の例である。屈折率1.490の浸液に浸して分散染色型対物レンズを用いて観察すると、青に発色する様子が明瞭に認められる。同写真中の明るく輝いた粒子は斜長石など共存する他の鉱物である。このクリストバライト試料は屈折率1.500以上の浸液中では発色しない。同図(2)に示す

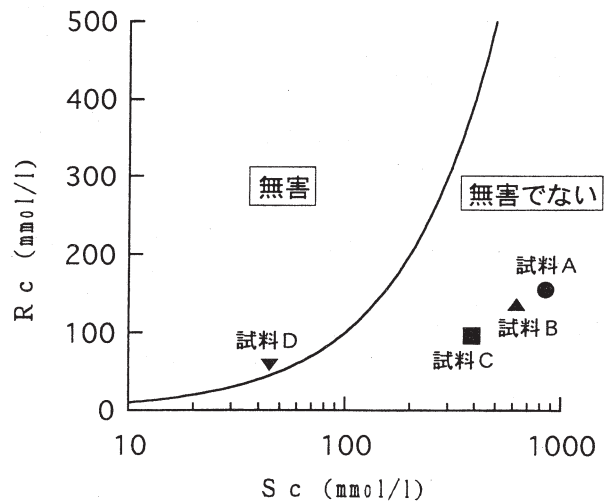


図4 化学法の判定図

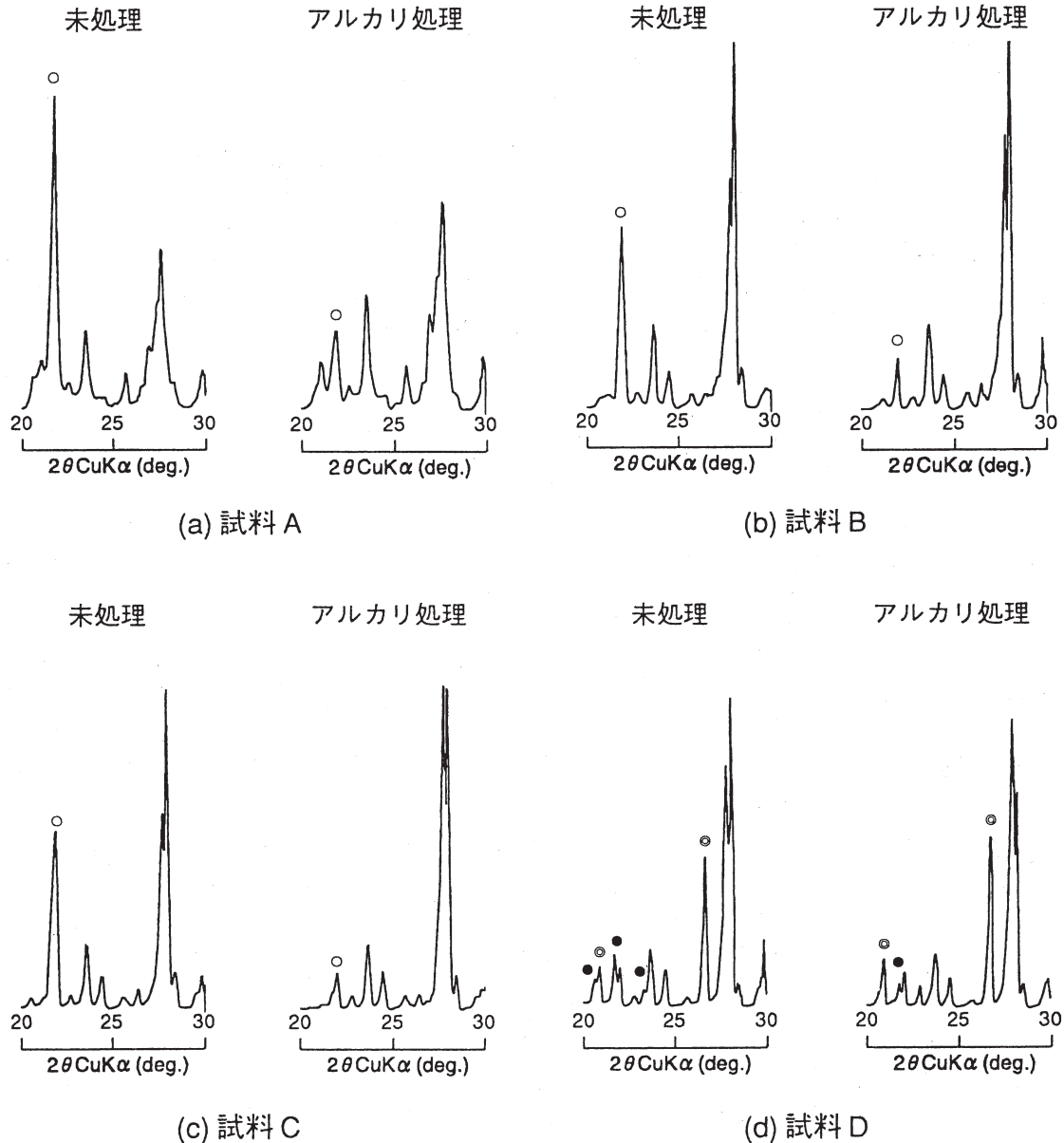


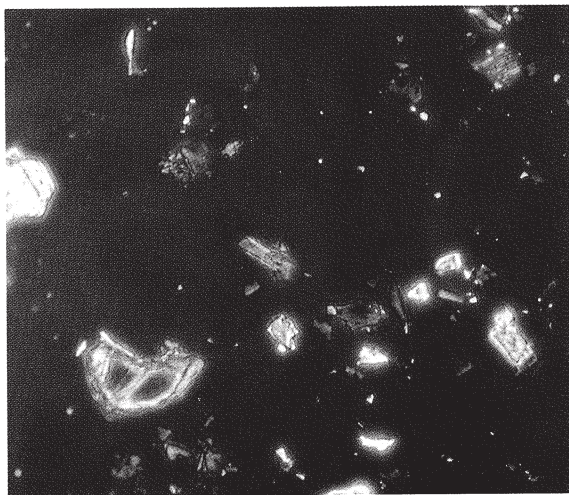
図5 アルカリ処理によるX線回折像の変化

◎石英 ○クリストバライト

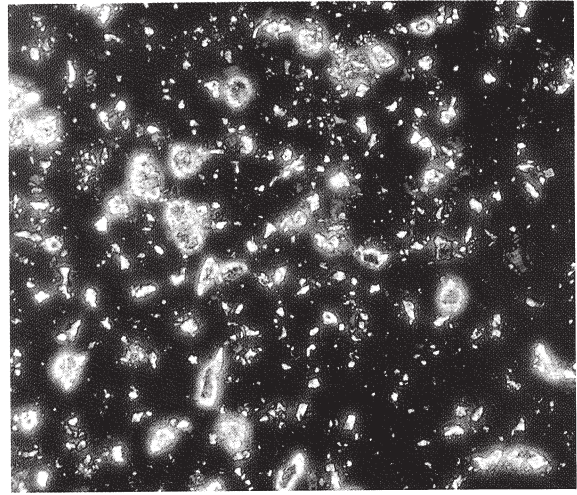
● トリディマイト

写真(試料A)には(1)と同様に屈折率1.490の浸液中で青に発色する粒子が多数認められる。これらの粒子は直交ニコルの下では微弱な複屈折を示す。またこの試料は屈折率1.500, 1.510および1.520の浸液中で発色する多数の粒子を含む。直交ニコル下の観察では、これらの粒子は等方性ないし極めて微弱な複屈折を示す。また1.555の浸液中で青に発色する、極めて細かい粒子が認められる。同図(3)および(4)(試料Bおよび試料C)にはそれぞれ屈折率1.490の浸液中で青に発色する粒子が含まれているが、その量は試料Aと比較して少ない。またこれらの試料には屈折率1.500, 1.510および1.520の浸液により発色する粒子が少数ながら存在する。これらの粒子も試料Aと同様に光学的等方性ないし低複屈折率の物質で

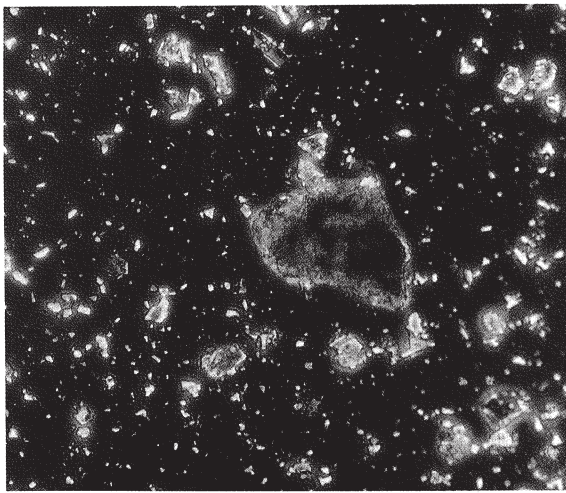
ある。同図(5)は試料Dを屈折率1.490の浸液に浸したもので、青に発色する極めて細かい粒子が認められる。この試料も屈折率1.500, 1.510, 1.520の浸液中で発色する等方性または低複屈折率の粒子を含んでいる。屈折率1.490の浸液中で青に発色する粒子の概略の割合は、試料Aについては10~15%, BおよびCについては2~3%, Dについては1%以下と見積もられる。前記のように試料DについてはX線回折法により石英が検出されているので、この試料については屈折率1.545および1.555の浸液を用いて観察したところ、屈折率1.545の浸液中で赤に発色する粒子が多数認められ、1.555の浸液中では同図(6)に見られるように青に発色する粒子と赤に発色する粒子(共に比較的大きな粒子が多い)が多数存在するこ



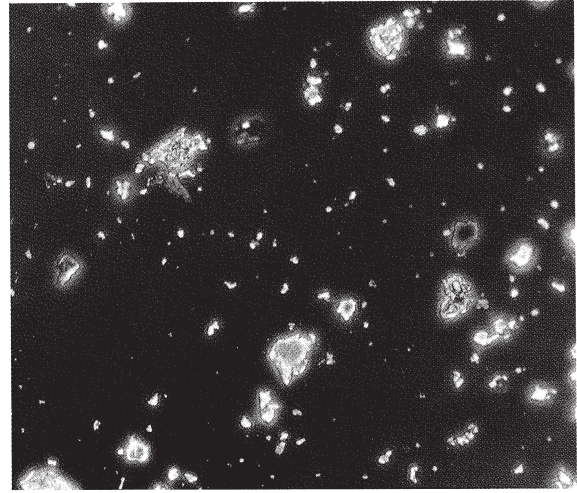
(1) _____



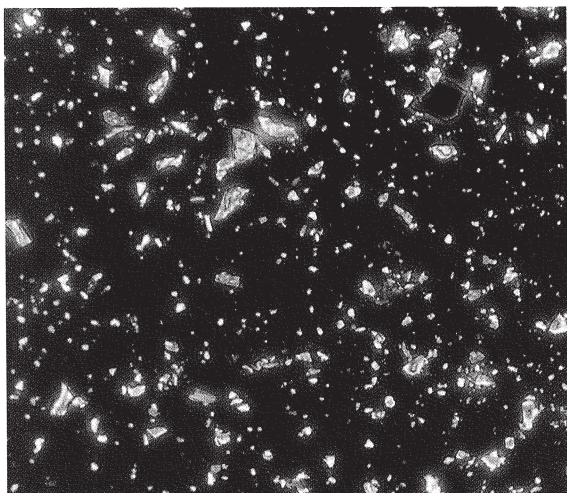
(2) _____



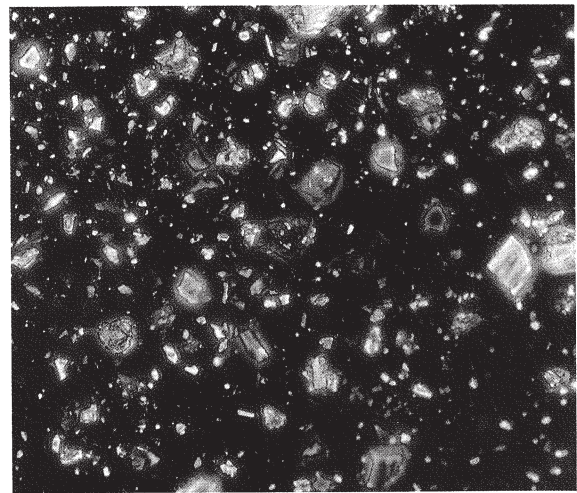
(3) _____



(4) _____



(5) _____



(6) _____

図6 分散染色法による鉱物の発色スケールは10 μ m

- (1) 静岡県富戸産安山岩：クリストバライトが青に発色 (2) 試料A：クリストバライトが青に発色
 (3) 試料B：クリストバライトが青に発色 (4) 試料C：クリストバライトが青に発色
 (5) 試料D：トリディマイトが青に発色 (6) 試料D：石英が青、斜長石が赤に発色

とがわかった。直交ニコルの下ではこれらはいずれも明瞭な複屈折を示し、青に発色するのは石英、赤に発色するのは斜長石と判定される。

5. 考 察

骨材中の鉱物成分の同定・定量法としては、X線粉末法および試料薄片の偏光顕微鏡観察による方法が最も一般的である。これらの分析法が鉱物を判別するために極めて有効な方法であることについては問題はない。しかしながらシリカ鉱物とX線回折ピークが重複する斜長石などの鉱物が多量に共存する場合や、シリカ鉱物の含有率が低く、しかも細粒の結晶が石基部の非晶質物質と混在するようなケースでは、これらの判定法のみでは必ずしも充分とはいえない場合も多い。このような場合に分散染色法を用いることの意義については、以下のように考えられる。

試料A, B, CのX線回折データより、これらの試料にクリストバライトが含まれていることが推定されるが、前記のようにクリストバライトの最強線(4.04Å)は長石の回折線と重複するので、その同定・定量には注意が必要である。試料Aの示すX線回折像においては4.04Åの回折線の強度が極めて強い。この回折線はクリストバライトの(101)面の反射に相当すると同時に、斜長石の(201)面の反射にも一致している。一般に斜長石においては3.12~3.18Å付近に最強の回折線があり、これと比較して4.04Åの回折線強度は数分の一程度である。しかし試料Aの場合はむしろ4.04Åのピーク強度の方が大きい。アルカリとの反応によりこのピーク強度は反応前の約四分の一に減少する。一方、斜長石に起因すると思われる他の回折ピーク強度は、多少の差異はあるものの、大幅には変化しない。斜長石の回折線強度は結晶の晶癖や試料の配向性等によりかなり変化するが、4.04Åの回折線強度のみがこのように極端に変化する事実は、この回折線が斜長石のみによるものとしては説明が困難である。この試料の場合クリストバライトの回折線と斜長石のそれが重複しており、アルカリ溶液との反応によりクリストバライトが溶解し、存在量が減少したと考えるのが妥当である。試料B, 試料Cについても同様にアルカリ溶液中での反応により4.04Åの回折線強度が顕著に減少することから、これらの試料にはクリストバライトが含まれていると考えられる。

このようにX線回折法によるクリストバライトの同定は煩雑な手順を必要とし、しかもこの方法はクリストバライトの量が少ない場合には適用できない。しかしながら分散染色法によれば前記の結果から明らかなように、粉末試料を屈折率1.490の浸液中に浸して顕微鏡下で発色の状態を観察するのみでクリストバライトの存在が直ちに確認できる。また試料Aには雲母が含まれているが、

3.34Åに現れる微弱な回折線が雲母のみによるものか、石英の共存を示すのかが不明確である。分散染色法により、屈折率1.555の浸液中で青に発色する粒子が認められることから、この試料には石英が含まれていることが確認できる。

トリディマイトについてはX線による主な回折ピークが他の造岩鉱物のそれと重なることがないのでX線回折データのみからも同定は可能であるが、分散染色法は検出感度においてX線回折法に勝っている。ただしクリストバライトとトリディマイトはしばしば微量のFe, Al, Ca, Naなどを固溶し屈折率の値も一定の範囲内で変化する¹²⁾。またこの両者は屈折率が近似しており、複屈折率が小さい点でも共通しているので、分散染色によりこの両者を区別するのは難しい。試料Dについては4.04Åの回折線は試料A~Cと比較して強度が小さく、またアルカリ処理によりほとんど変化しないが、トリディマイトの回折線に相当する4.10, 4.32, 3.82Åのピーク強度は顕著に減少している。したがってトリディマイトについてもクリストバライトと同様にアルカリ溶液中での処理により溶解し、含有率が減少することがX線回折データから裏付けられる。一方、3.34Åおよび4.21Åのピーク強度がほとんど変化しないことから、石英のアルカリ溶液中での溶解度は小さく、クリストバライトやトリディマイトとはその反応性に差異があることを表している。以上のようにこの試料ではX線回折法のみでもシリカ鉱物の同定は可能であるが、分散染色法でもそれぞれの鉱物に応じた屈折率の浸液中で特有の発色を示す。屈折率1.555の浸液中での発色により、石英(青に発色)と斜長石(赤に発色)を識別するのも容易である。

化学法によるシリカの溶解量と、分散染色法により同定されるシリカ鉱物の相対的な含有量の間には明らかに相関関係が認められる。ここで検討した試料のうち、Aはクリストバライトの含有量が最も多く、これに対応して溶解シリカ量(Sc)が非常に大きい。一方試料B, Cは分散染色により検出されるクリストバライトの量は試料Aよりは少なく、Sc値も試料Aに比べて小さい。また試料D中のトリディマイトの量は少なく、Scの値も他の試料と比べて極めて小さい。このように定性的には対応関係が明らかであるが、分散染色によるシリカ鉱物の見積もり量と化学法による溶解シリカ量は厳密には対応していない。とくに試料B, Cは試料Aと比較して分散染色法による観察ではクリストバライト量に相当の差異があるが、溶解シリカ量についてはそれ程顕著な差異はない。この不一致については次のような理由が考えられる。

①顕微鏡下で観察する領域は試料全体のごく一部分にすぎないので、粒子数の計測(モード分析)による量比の算出には大きなばらつきがある。②シリカ鉱物以外に、非結晶質ないし低結晶質物質が溶解シリカ量に関与して

いる可能性がある。③石田¹³⁾が指摘しているように、岩石の空隙、細孔径分布など組織の特徴が、アルカリとの反応性の差異を生ずる要因として働いている。

これらの理由のうちいずれが最も大きく作用しているか、その詳細については現在の段階では明確でないが、今後さらに検討を加えたいと考えている。

分散染色法は他の分析法の場合のように、薄片の研磨やアルカリ溶液との反応などの煩雑な処理を必要とすることなく、迅速・簡便に鉱物組成を判定できる点に特徴がある。また一般に火山岩においては非晶質物質が「脱ガラス作用」により低結晶質シリカを経てクリストバライト等のシリカ鉱物に変化していく場合が多く、その変化の度合いに応じて屈折率も変化する。このような低結晶質物質の存在は、浸液の屈折率を連続的に変化させながら、鏡下でその発色の状態を観察することにより確認できる。ここで検討した試料A～Dにはいずれも非晶質ないし低結晶質物質の存在が認められ、それらは同じ岩石中で屈折率の値が少しずつ異なる広い範囲にわたって存在している。これらの物質においては結晶度および化学組成等も漸移的に少しずつ異なるものと思われる。通常の試料薄片の顕微鏡観察ではこれらの中間的物質の屈折率をそれぞれ個別に測定することは不可能であり、それは分散染色法によってはじめて可能になる。従来のX線回折法や薄片による偏光顕微鏡観察法と合わせて分散染色法を活用することにより、骨材中の鉱物組成の一層精度良い分析が可能になるものと期待される。

6. ま と め

①分散染色法により骨材中のシリカ鉱物を同定し、その結果をX線回折法、偏光顕微鏡による薄片観察やアルカリ反応性試験結果と対比した。

②X線回折法では、クリストバライトの主な回折線である4.04Åのピークは斜長石と重複し、石英の3.34Åのピークが雲母と重複する。これらの鉱物の存在量が少ない場合にはX線回折のみによる同定は困難であるが、分散染色法ではきわめて感度よくこれらの鉱物を同定できることが明らかになった。

③共存物が如何に多様であっても、所定の屈折率を有する鉱物のみが発色するので、通常の薄片による顕微鏡観察より目的の物質の検出が容易である。

④X線など他の方法と比較して、分散染色法は試料の前処理にほとんど時間を要しないという利点がある。

⑤化学法および改良化学法によるシリカの溶出量と分散染色法により得られるシリカ鉱物の含有量は、厳密には対応しない。その理由についてはより精密な検討が必要である。

⑥非結晶質ないし低結晶質物質のように屈折率の値が一定の範囲内であればつる場合に、浸液の屈折率を変化させながら試料の発色を観察すれば、個々の粒子の屈折率の差異を詳細に識別できることが明らかになった。

参 考 文 献

- 1) 宇野泰章, (1992) 粘土科学, 32, 42-52.
- 2) Crossmon, G. C. (1949) Stain Technology 24, 61-65.
- 3) Cherkasov, Y. A. (1960) Intern. Geol. Rev. 2, 218-235.
- 4) Brown, K. M. and McCrone, W. C. (1963) Microscope Cryst. Front, 13, 311-322.
- 5) McCrone, W. C. and Delly (1973) Particle Atlas (2nd ed.), pp.97-114. Ann Arbor Science Pub., Ann Arbor.
- 6) McCrone, W. C. (1974) Environmental Health Perspectives 9, 57-61.
- 7) Bloss, F. D. (1981) Spindle Stage, pp. 172-180. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- 8) Wilcox, R. E. (1983) Amer. Miner. 68, 1226-1236.
- 9) Winchell, A. N. and Winchell, H. (1967) Elements of Optical Mineralogy, pp. 249-251, John Wiley, New York.
- 10) JIS A 5308 付属書7 「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法 (化学法)」
- 11) 立松英信・佐々木孝彦・水野清 (1991), 建設用原材料 1, 7-13.
- 12) Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1963) Rock Forming Minerals, 4, pp.191-211, Longmans, London.
- 13) 石田良二 (1991), 建設用原材料 1, 24-30.

(1996年8月23日受付 9月27日受理)