

# 斜長石の風化初期における微形態

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2021-07-26 キーワード: 作成者: 田崎, 和江, Tazaki, Kazue メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00061680">https://doi.org/10.24517/00061680</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



## 斜長石の風化初期における微形態

田 崎 和 江\*

## I ま え が き

斜長石は、岩石および土壌中に広く、多量に存在し、他の一次鉱物にくらべ、一般に、風化を受けやすい鉱物である。斜長石は、風化および変質により、カオリン鉱物、モンモリロナイト、ハロイサイト、ギブサイト、ペーサイト、セリサイトなどの二次鉱物を生成することが知られている (BATES, 1962; STEPHEN, 1963; 加藤, 1965; SNETSINGER, 1967; GUILBERT and SLOANE, 1968; PARHAM, 1969; 清水, 1971; BREWER, 1973; IGLESIA and GALAN, 1975; TAZAKI 1976; 都築, 1976)。

また、これらの二次鉱物を生成する場合、人工風化実験では、一般に、非晶質の状態を経ることが、GUILBERT and SLOANE (1968), IGLESIA and GALAN (1975) らによってみとめられている。しかし、これらの二次鉱物が、自然界において、どのような過程で生成するのかは、詳しく研究されていない。

筆者は、火山灰土中の斜長石を、走査型電子顕微鏡によって形態学的にしらべ、天然の風化過程を追跡した。その結果、大山および三瓶山降下堆積物中の斜長石は、風化により、さまざまな形態変化をしめしながら、アロフェン、イモゴライト、ギブサイト、ハロイサイト、雲母様鉱物を生成していくことが明らかになった。斜長石表面におけるイモゴライトの生成については、田崎(1977)と TAZAKI (1978 a)、ギブサイトについては、TAZAKI (1976)、ハロイサイトおよび雲母様鉱物については、TAZAKI (1978 b) にそれぞれ報告した。ここでは、主として、風化初期における斜長石表面の変化についてのべる。

## II 試 料

試料は、鳥取県、大山降下堆積物および島根県、三瓶山降下堆積物の軽石層、粘土層、火砕流中の斜長石を用いた。試料採集地は、鳥取県倉吉市駄経寺、大河内、上大立、秋喜、岡、大山町本宮；岡山県蒜山原 (明連、富掛田、塩釜、花園)；島根県浮布池、横見の各地であり、新旧、種々の層準から採集した。

新鮮な斜長石 3 個の化学組成は、An 35~39 で ande-

sine である (第 1 表)。また、試料斜長石の 20 (131)---20 (131) の値は、ほとんどが 1.90 であり、高温型である。

比較のために、斜長石の周囲にあるガラス質部分も観察した。

第 1 表 斜長石の化学成分

Sample	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	59.50	57.67	58.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.12	28.04	27.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.12	0.10
CaO	6.82	7.37	7.40
Na <sub>2</sub> O	7.01	6.26	6.37
K <sub>2</sub> O	0.23	0.23	0.25
Total Wt %	99.81	99.69	99.99

## III 実 験 方 法

火山灰土中の斜長石は、ピンセットで単層あたり数 10 個選り出し、蒸留水で洗い、風乾する。風化が進み、もろくなった斜長石は、水洗しないで、軽く砕いた後、新たにあらわれた面を観察する。塊状試料を真ちゅう試料台の上に導伝性塗料または両面接着テープで固定し、カーボンと金の二重蒸着をする。観察は、日本電子 K. K. 製 J S M-50 A 走査型電子顕微鏡を使用し、加速電圧 15kV でおこなった。鉱物の同定は、X線回折の他、透過型電子顕微鏡および分析電子顕微鏡、X線マイクロアナライザーを用いた。

## IV 観 察 結 果

新鮮な斜長石の表面は、一般に平滑であり、その平滑な面に対して垂直方向に、規則正しい織目模様がみとめられる (図版 I-1)。この織目模様は、離溶ラメラと推定されるものである。

X線回折で風化生成物質が認められない斜長石でも、走査型電子顕微鏡により観察すると、風化の初期段階と思われる種々の形態がみとめられる。斜長石の粉末 X線回折では、変化はみとめられないが、形態的には変化がみとめられる段階を、ここでは風化初期 I 期とよび、X

\* 山陰支部、岡山大学温泉研究所

線回折による斜長石の反射が弱まり、形態的にも、斜長石自体の形態が残り少なくなっている段階を、ここでは風化初期Ⅱ期とよぶ。風化初期Ⅰ期、風化初期Ⅱ期の次の段階を、二次鉱物生成期とよぶ。

**風化初期Ⅰ期：**風化が始まると、まず、食刻されたようなだ円の穴(田崎, 1976), ロート状くぼみ(TAZAKI, 1976)または、正方形のくぼみ(図版Ⅰ-4)が生じる。三者はそれぞれ単独でみとめられ、食刻穴の直径は1~40 $\mu\text{m}$ , ロート状くぼみの直径は0.5~3 $\mu\text{m}$ , 正方形のくぼみは、一辺が2 $\mu\text{m}$ と一定している。食刻穴とロート状くぼみは、大きさが不ぞろいで散在しているのに対し、正方形のくぼみは、一部重なりながらも、方向性をもって並んでいる。

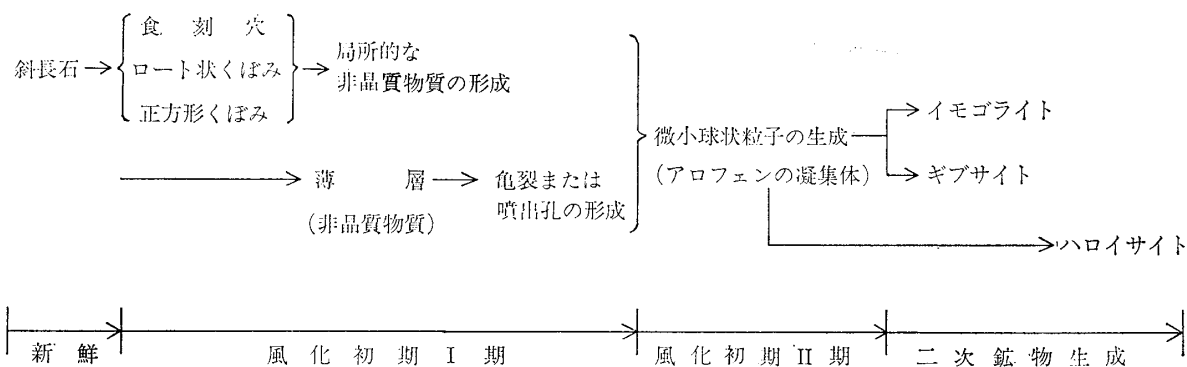
一方、ラメラ様表面には、ラメラ様の層に平行した食刻が生ずる(図版Ⅰ-2)。この食刻にひきつづいて、0.5 $\mu\text{m}$ 内外の厚さをもつ薄層が形成される。薄層には、亀裂が入り、この割目は徐々にひろがる。図版Ⅰ-3の左下の亀裂の隙間はせまく、中央では広い。隙間の広がった薄層のふちからは、イモゴライトの突起が生成する(田崎, 1977)。薄層の下には、ラメラ様の表面がみとめられる。この段階では、薄層の表面が比較的平滑である。薄層の小片は、しばしば、はがれかけたり、脱落したりする。

**風化初期Ⅱ期：**風化が進むと、各々の穴、くぼみや薄層に変化があらわれる。比較的なめらかな正方形のくぼみの中には、0.1~0.3 $\mu\text{m}$ の微小球状粒子が生成されてくる。図版Ⅰ-4の左上すみは、比較的風化の進んでいない部分であり、右中央は、微小球状粒子が多量に生成し、正方形のりんかくがうすれている。食刻穴の内側も同様に、風化が進むにつれて、なめらかさを失い、凹凸を生じながら微小球状粒子を生成する(図版Ⅱ-5)。その微小球状粒子は、数を増し、穴いっぱいになりながら、部分的に隣接する穴のふちを越えて広がる(図版Ⅱ-6)。図版Ⅱ-6左下には、食刻穴のふちが残っており、穴の内側も平滑である。一方、薄層の表面も、なめらかさを失い、凹凸を生じてコブ状となる。図版Ⅱ-7は、薄層に亀裂が入らずに、ガス等が噴出したと考えられる、直径10 $\mu\text{m}$ 内外の孔があく場合をしめした。左上から右下にかけて、あたかもふくれた餅が、つぶれて穴があくような一連の様子が観察できる。高倍率で観察すると、噴出孔の内部には、直径0.2~0.3 $\mu\text{m}$ の微小球状粒子が、密に生成している。その微小球状粒子が、数を増し、広範囲にひろがり、ついには、斜長石表面の大部分をおおい、亀裂のこん跡をとどめるにすぎなくなる。微小球状粒子は、直径0.2~0.3 $\mu\text{m}$ で比較的均一な

大きさである(図版Ⅱ-8)。この微小球状粒子は、アロフェンの微細粒子が凝集した形態(ESWARAN, 1972)とよく似ている。

**二次鉱物生成：**さらに風化が進むと、高感度のX線回折によれば、微弱ながら風化による二次生成物の存在がみとめられるようになる。図版Ⅲ-9は、薄層からイモゴライトの繊維が生成していることを示した。繊維は、くもの糸のようにはりめぐらされている。左下には、亀裂を生じた薄層が残存している。この薄層を高倍率で観察すると凹凸を生じてコブ状となったり、レプリカ法により透過型電子顕微鏡で観察すると、表面全体に、イモゴライトの繊維がはりめぐらされている(TAZAKI, 1978 a)。写真の上方には、方形のくぼみがみとめられる。図版Ⅲ-10は、薄層から、アロフェンをへてギブサイトを生成していることをしめした。すなわち、ラメラ様表面(左上)に薄層が生じて、亀裂が入り、薄層の表面にアロフェンの凝集体が生成してコブ状となり(下半分)、短柱状のギブサイトの結晶を生じている(右上)。また、図版Ⅲ-11, 12には、結晶度の低いハロイサイトが生成した場合をしめした。すなわち、ラメラ様の織目模様を残しながら表面全体は、起伏に富み(図版Ⅲ-12の下半分)、食刻穴や噴出孔のまわりや内部に、しわのよった波形の結晶ができてくる(図版Ⅲ-12, 上半分)(田崎, 1976, 1977)。しわのよった波形結晶は、直径0.1~0.3 $\mu\text{m}$ の短管状結晶に成長する(図版Ⅲ-11)。この短管状結晶は、ハロイサイトであり、しばしば、このような球形または、回転だ円体形の集合体を作る。短管状結晶は、成長して長管状結晶となり、菊花状の集合体をしばしば作る(TAZAKI, 1978 b)。

**火山ガラス質部分：**斜長石をとりまく火山ガラス質部分を観察した結果、斜長石の場合と似た形態がみとめられた。しかし、火山ガラス質部分の方が、斜長石より、一段階先に風化が進んでいる。すなわち、まったく新鮮な斜長石をとりまく火山ガラス質部分には、すでに、アロフェンが生成し、表面がアロフェン質になった斜長石をとりまく火山ガラス質部分には、すでにイモゴライトが生成している。図版Ⅳ-13は、火山ガラスが冷えかたまる時にできたと考えられる、発泡によるガスや水分の抜け出した噴出孔である。その噴出孔のまわりや壁には、直径約0.2 $\mu\text{m}$ の微小球状粒子が生成し、全体がコブ状となっている。X線回折や示差熱分析によれば、これらの部分はあきらかにアロフェンの性質をしめす。図版Ⅳ-14は、表面がコブ状の火山ガラス質部分のふちに生成したイモゴライトの突起である。イモゴライトは、まだ繊維状にはなっていない。図版Ⅳ-15は、かなり風化の



第1図 斜長石の風化過程

進んだ火山ガラス質部分に生成した、直径  $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$  の管状のハロイサイトである。強く風化された地層においては、斜長石も火山ガラス質部分も、共に、ハロイサイトの形態をしめす場合が多い。

## V 考 察

斜長石の風化初期の種々の形態をまとめると、第1図のようになる。

新鮮な斜長石が風化をうけると、食刻穴、ロート状くぼみ、正方形くぼみなどが平滑面に生じ、ラメラ様表面には、主として非晶質の薄層が生成する。その薄層には、亀裂が入ったり、噴出孔ができたりする。以上の段階は、X線回折によっては、まったく変化がみとめられない（風化初期I期）。次の段階で、アロフェンの凝集体である微小球状粒子が生ずる（風化初期II期）。この微小球状粒子を透過型電子顕微鏡で観察すると、球粒体の内部は、アロフェンの微細粒子からなっていることがわかる。この風化初期II期の試料は、X線回折による斜長石の反射が弱まっている。次の段階では、X線回折や示差熱分析により、はっきりと二次鉱物の生成がみとめられる。

風化初期I期の薄層は、超音波処理により、はぎとることができ、そのX線回折をおこなうと、非晶質物質の性質をしめす。CORRENS and von ENGELHARDT (1938) は、酸性溶液中で長石粒を分解させる実験で、長石粒のまわりに、非晶質の薄層が形成されると推定した。TCHOUBAR (1965) は、曹長石の加水分解実験において、その初期に、割れ目の表面に非晶質薄膜がよく形成されることを、電子顕微鏡であきらかにした。また、GUILBERT and SLOANE (1968) は、斜長石の熱変質実験をおこない、その形態変化をレプリカ法による透過型電子顕微鏡で観察した。それによれば、変質の初期段階において、アロフェンと思われる“びょうくぎ構造”が

みとめられたことを報告している。都築(1976)は、長石類が変質する場合、長石類と粘土鉱物とでは、両者の結晶構造が異なるので、溶液あるいはコロイドから、もとの長石類の構造とは無関係に変質鉱物ができるとのべている。これらの実験結果は、筆者の観察結果とも一致し、天然においても、斜長石は、粘土化する過程で、非晶質な段階を経ることが明らかになった。WILSON (1975) によれば、風化環境中の長石類は、結晶格子のひずみや応力をうけた表面から選択的に分解がはじまる。風化初期I期において、食刻穴、ロート状くぼみ、正方形のくぼみは、主に、斜長石の平滑面上のこのような部分に形成されるのかも知れない。

この研究を遂行するにあたり、筑波大学地球科学系の下田右博士には、有益な助言をいただき、鳥取大学教育学部の赤木三郎博士および鳥取県倉吉市立明倫小学校の佐治孝弑氏には、試料採集にあたり、産状および火山灰層の層序学的位置づけ等についてご指導いただいた。以上の方々に厚く感謝申しあげる。本稿提出後に発表された論文 (BERNER and HOLDEN, 1977) の花崗岩中の斜長石の走査型電子顕微鏡観察の結果とも、今回の結果は、一致している。

## 文 献

- BATES, T. F. (1962) Halloysite and gibbsite formation in Hawaii. *Clays Clay Miner.*, **9**, 315-328.  
 BREWER, R. (1973) Micromorphology. A discipline at the chemistry-mineralogy interface. *Soil Sci.*, **115**, 261-267.  
 CORRENS, C. W. and von ENGELHARDT (1938) Neue untersuchungen über die verwitterung des Kalifeldspated. *Chemie d. Erde*, **12**, 1-22.  
 ESWARAN, H. (1972) Morphology of allophane, imogolite and halloysite. *Clay Miner.*, **9**, 281-285.  
 GUILBERT, J. M. and SLOANE, R. L. (1968) Electron-

- optical study of hydrothermal fringe alteration of plagioclase in quartz monzonite, butte district, MONTANA. *Clays Clay Miner.*, **16**, 215-221.
- IGLESIA, A. LA. and GALAN, E. (1975) Halloysite-kaolinite transformation at room temperature. *Clays Clay Miner.*, **23**, 109-113.
- 加藤芳朗 (1965) 花コウ岩の風化 (特に一次鉱物の風化過程). 粘土科学の進歩, **5**, 125-136.
- PARHAM, W. E. (1969) Formation of halloysite from feldspar: Low temperature, artificial weathering versus natural weathering. *Clays Clay Miner.*, **17**, 13-22.
- 清水 洋 (1971) 風化および続成過程における粘土鉱物の変化. 地団研専報, **17**, 65-78.
- SNETSINGER, K. G. (1967) High-alumina allophane as a weathering product of plagioclase. *Am. Mineral.*, **52**, 254-262.
- STEPHEN, I. (1963) Bauxite weathering at Mount Zamba, Nyasaland. *Clay Miner. Bull.*, **5**, 203-208.
- TAZAKI, K. (1976) Scanning electron microscopic study of formation of gibbsite from plagioclase —The clay minerals in the Daisen loam and Sambesan loam, Part 8—. *Pap. Inst. Thermal Spr. Res. Okayama Univ.*, **45**, 11-24.
- 田崎和江 (1976) 斜長石の粘土化を追跡する. 地球科学, **30**, 1-2.
- (1977) 斜長石の粘土化の2, 3の例. 鉱物雑, **13**, 172-177.
- TAZAKI, K. (1977 a) Scanning electron microscopic study of imogolite produced from plagioclase. (in preparation).
- (1978 b) Scanning electron microscopic study of halloysite produced from plagioclase in volcanic ashes with regard to weathering process. (in preparation)
- TCHOUBAR, C. (1965) Formation de la kaolinite à partir d'albite altérée par leau à 200 °C. Etude en microscope et diffraction electroniques. *Bull. Soc. franc. Mineral. Crist.*, **88**, 483-518.
- 都築芳郎 (1976) 造岩鉱物の風化, 熱水変質過程. 岩鉱, 特別号, **1**, 341-352.
- WILSON, M. J. (1975) Chemical weathering of some primary rock-forming minerals. *Soil Sci.*, **119**, 349-355.
- BERNER, R. A. and HOLDREN, G. R. Jr. (1977) Mechanism of feldspar weathering: Some observational evidence. *Geology*, **5**, 369-372.

### Micromorphology of Plagioclase Surface at Incipient Stage of Weathering

by

Kazue TAZAKI

(Abstract)

The surface of fresh plagioclase usually shows smooth plane and has a weaving texture which suggests cryptic unmixing at vertical section (plate I-1). At the incipient stage of weathering, various features caused by chemical erosion appear on the plagioclase such as etch pits (plate II-5), conical hollows and square holes (plate I-4). Amorphous thin layer of which thickness is less than 0.5  $\mu\text{m}$  occurs successively or simultaneously on the surface (plate I-3). Occurrence of the thin layer suggests transitional state from frame work silicate to clay minerals. The knobby substance, aggregate of fine and rounded spherules which is morphologically identified as spheroidal allophane occurs subsequently in the thin layer (plate II-7, 8).

In the next stage of weathering, the following

changes are observed;

- 1) Formation of imogolite (plate III-9) and gibbsite (plate III-10).
- 2) Formation of halloysite (plate III-11, 12).

Imogolite occurs first as tiny bumps from the edges of the amorphous thin layer. Coexistence of gibbsite and imogolite is common in the same grain of weathered plagioclase.

Gibbsite crystal shows short prismatic or tabular form (plate III-10 right upper).

Observation of glassy matrix in the volcanic ash indicates that weathering should advance more easily in glassy material than in coexisting plagioclase (plate IV)

(1977年9月10日受付, 1977年10月14日受理)

## 図 版 説 明

- 図 版 I** 斜長石の走査型電子顕微鏡写真  
 1: 新鮮な表面  
 2: ラメラ様表面に生じたくぼみ  
 3: ラメラ様表面に生じた薄層  
 4: 平滑面に生じた正方形のくぼみ  
 1~4のスケールは  $10\mu\text{m}$
- 図 版 II** 斜長石の走査型電子顕微鏡写真  
 5: 平滑面に生じた食刻穴  
 6: 食刻穴に生じた小粒状結晶  
 7: 噴出孔周囲の薄層  
 8: 微小球状粒子のアロフェン凝集体  
 5~7のスケールは  $10\mu\text{m}$ , 8のスケールは  $1\mu\text{m}$
- 図 版 III** 斜長石の走査型電子顕微鏡写真  
 9: 薄層に生じたイモゴライト繊維  
 10: ラメラ様表面に生じた薄層とギブサイト結晶  
 11: 結晶度のひくいハロイサイト  
 12: 凹凸の生じたラメラ様表面と結晶度のひくいハロイサイト  
 9, 10, 12のスケールは  $10\mu\text{m}$ , 11のスケールは  $1\mu\text{m}$
- 図 版 IV** 火山ガラス質部分の走査型電子顕微鏡写真  
 13: 噴出孔の壁に生じた微小球状粒子のアロフェン凝集体  
 14: 亀裂のふちに生じたイモゴライト突起  
 15: 短管状ハロイサイト  
 13~15のスケールは  $1\mu\text{m}$

