

大東—横田地域の石英閃緑岩中の累帯構造を示す角閃石のFおよびCl組成変化

川勝 和哉*・山口 佳昭**

Compositional variation of F and Cl in zoned amphiboles from quartz diorites in the Daito-Yokota area, San-in belt, Southwest Japan

Kazuya KAWAKATSU, and Yoshiaki YAMAGUCHI

1. はじめに

山陰帯の大東—横田地域に分布する白亜紀—古第三紀の花崗岩類は、磁鉄鉱を多量に含み帯磁率が高く、マグネタイトシリーズ(石原, 1977)の花崗岩類の典型として知られている(津末・石原, 1974; CZAMANSKE *et al.*, 1981)。このうち、早期に貫入した閃緑岩中の角閃石は、マグマ作用時からサブソリダス過程に至る累進的酸化過程を反映する、著しい累帯構造を示す(KAWAKATSU and YAMAGUCHI, 1987a)。この過程で、角閃石のFe含有量が著しく低下することに関連して、多量の磁鉄鉱が生じた(山口・川勝, 1987)。この閃緑岩中のハロゲンを含む造岩鉱物のうち、リン灰石に関して報告した(山口・川勝, 1988)。

角閃石のハロゲン含有量については、海洋底変成作用を受けたマフィック岩類(ITO and ANDERSON, 1983; VANKO, 1986; 中村, 1986; 山口, 1989)や、変成岩(SUWA *et al.*, 1987)について、研究されている。花崗岩類中のF含有量について、蟹沢ほかによる多くの研究がされた(KANISAWA, 1983)。しかし、花崗岩類中の角閃石のFおよびCl含有量が共に分析され比較された例は少ない。FとClは、マグマ作用の末期には互いに違った挙動をすること、また角閃石の構造中でも固溶体置換の上で異なった特徴を示すと考えられる(ITO and ANDERSON, 1983; SUWA *et al.*, 1987)。この報告では、マグマ作用時からサブソリダス条件下に至る過程で生じた角閃石の、累帯構造に沿うFおよびCl含有量の変化について検討する。そして、それがマグマ作用の過程をどのように反映するかを、角閃石の固溶体置換上の特徴をふまえて検討する。

2. 角閃石の産状と累帯構造

大東—横田地域の、最も早期に貫入した閃緑岩類は、古第三紀の花崗岩類に貫入されて、現在ブロック状に散在している(石原, 1971)。これらの閃緑岩類は、斑れい岩に近いものから石英閃緑岩まで岩相変化する。石英閃緑岩は、斑状石英閃緑岩と等粒状石英閃緑岩とに区分される(KAWAKATSU and YAMAGUCHI, 1987a; 川勝, 1988)。

斑状石英閃緑岩は、中粒の斜長石を含み、角閃石は細粒の自形—半自形で、中心部は褐色のホルンブレンドで周縁部は淡緑色のホルンブレンドの累帯構造を示す。不透明鉱物(モード組成, 4.6%)はチタン鉄鉱と磁鉄鉱からなり(チタン鉄鉱>磁鉄鉱)、一部に黄鉄鉱が生じている。チタン鉄鉱と磁鉄鉱は接合していることがある。チタン鉄鉱はその周囲が磁鉄鉱に変わっていることが多い。この場合、スフィーンに接して、Ti含有量がきわめて低い二次的な磁鉄鉱が生じていることが普通である。このことは、チタン鉄鉱+磁鉄鉱→磁鉄鉱+スフィーンへの累進的酸化過程(CZAMANSKE and MIHALIK, 1972)を示している。

等粒状石英閃緑岩は、主に中粒—細粒の斜長石と角閃石からなり、角閃石は斜長石に対して他形—半自形を示す。角閃石は強い累帯構造を示し、コアからリムへ向かって、次のような5つのゾーンに区分される。

- 1) 淡褐色ホルンブレンド(C): magnesio hornblende-magnesio hastingsitic hornblende-edenitic hornblende
- 2) 淡緑色ホルンブレンド(PG): magnesio hornblende
- 3) 緑色 oscillatoryゾーン(O): magnesio hornblende-actinolite

* 兵庫県立西脇高等学校

** 信州大学理学部地質学教室

4) 緑色 uniform ゾーン (U) : actinolite

5) 濃緑色ゾーン (DG) : magnesio hornblende actinolite

この累帯構造は同心状には発達せず、一般に、ほぼ C 軸に対して垂直方向に発達している。先の、斑状石英閃緑岩中の角閃石のコアとリムは、その化学組成と光学的性質が、この5つのゾーンのうちの1) (C) と 2) (PG) に、それぞれよく似ている。この累帯構造においては、1) → 4) に向けて、 Al^{IV} と Na in A-site が系統的に減少し、 $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ が 0.4 から 0.24 まで低下する。角閃石の形成過程で、ホルンブレンドからアクチノ閃石まで組成変化するにつれて、 Fe^{2+} が著しく低下した。しかし、5) (DG) だけは $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ が比較的高い (4.0-4.5)。これは、4) (U) に対して、ホルンブレンド-アクチノ閃石間の不混和ギャップ (YAMAGUCHI, 1985) を示していると考えられる。すなわち、角閃石形成の最終段階で Fe に富むホルンブレンドがアクチノ閃石に対して overgrowth した。

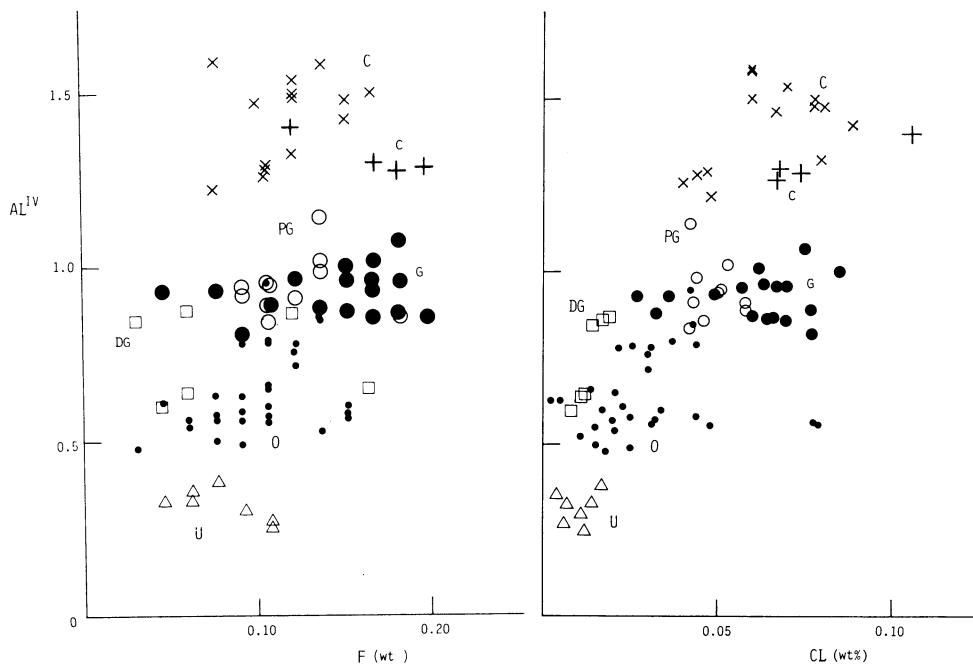
角閃石および斜長石のリムにはカリ長石が生じていることがあり、斜長石のリムは最平衡していて $An_{27}-An_{33}$ を示す。リムの二長石が示す平衡温度は非常に

低い (390-425°C)。角閃石のリムは、こうした低温条件下で流体相による交代作用によって形成された。角閃石のリムには多量の磁鉄鉱が生じている。磁鉄鉱はコアの淡褐色ホルンブレンドに包ままたは接触することはない。磁鉄鉱はたいていの場合にスフィーンと接合して共生している。こうした事実から、角閃石の 2) (PG) 以後のリムが形成された時期には、マグマ残液またはサブソリダス流体の酸化が進行して、磁鉄鉱+スフィーンが生じることと対応して、角閃石の Fe^{2+} 含有量が低下したと考えられる。

3. 角閃石の F および Cl 含有量

角閃石の F および Cl は、JXA-733 マイクロアナライザーを用いて、加速電圧 15Kv、試料電流 0.4×10^{-7} A の条件下で、それぞれ、合成 F 金雲母と NaCl 結晶を標準試料として用いて分析した。この場合、検出限界は、F で 0.04 wt %、Cl では、0.01 wt % 以下である。その他の、主成分元素の分析方法と分析結果は、すでに報告した (KAWAKATSU and YAMAGUCHI, 1987 b)。

第一図に、角閃石の累帯構造に沿って分析した F および Cl 含有量を示す。ここでは、 $Si \rightleftharpoons Al^{IV}$ 置換とハロ



第1図 角閃石の F および Cl 含有量。十字：淡褐色コア (C)，黒丸：淡緑色ホルンブレンド (PG) (以上、斑状石英閃緑岩)。斜十字：淡褐色コア (C)，白丸：淡緑色ホルンブレンド (PG)，小黒丸：緑色 oscillatory ゾーン (O)，三角：緑色 uniform ゾーン (U)，白四角：濃緑色ゾーン (DG) (以上、等粒状石英閃緑岩)。

ゲン含有量の関係を示す。F含有量は、1) (C) から5) (DG) まで、4) (U) で少し小さい値を示す以外には、あまり系統的な違いを示さない。これに対して、Cl含有量は系統的に1) (C) から4) (U) へと減少する。ホルンブレンドからアクチノ閃石に向かって $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ が減少するので (KAWAKATSU and YAMAGUCHI, 1987a), Cl含有量と $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ の間には系統的な正の相関がある。

4. 討 論

角閃石のFおよびCl含有量は、1) 角閃石を晶出したマグマまたは流体へのハロゲンの濃集または逸脱の程度、および、2) 角閃石の陽イオン置換による組成の違い、に依存すると考えられる。マグマまたは流体へのハロゲンの濃集の程度は、角閃石以外に黒雲母やリン灰石などハロゲンを固溶する鉱物がハロゲンをどの程度に分別するかにも依っている。KANISAWA (1979) は、花崗岩中では(黒雲母のF/Cl)の値はほぼ1に近いことを示した。角閃石に対する黒雲母やリン灰石のハロゲンに関する分配については、これ以上にあまり分かっていない。花崗岩中のリン灰石は一般にFを多く含む。大東—横田の石英閃緑岩中のリン灰石では、Cl含有量がきわめて低く $Cl/(OH+F+Cl) = 0.01-0.05$ であるが、F含有量は非常に高く、 $F/(OH+F+Cl) = 0.5-0.9$ である (山口・川勝, 1988)。等粒状石英閃緑岩中では、リン灰石は角閃石のコアには包有されず、リン灰石は角閃石のリム形成時に晶出しはじめた。F含有量は、第1図に示すように、リムでは少し低く、4) (U) と5) (DG) で少し減少する傾向を示している。これは、角閃石のリムの形成時にリン灰石が晶出してFを分別したためと考えてよいだろう。しかし、角閃石の5つのゾーンを比較すると、F含有量は、Clにおいて見られるような、系統的な減少傾向を示さない。ホルンブレンドからアクチノ閃石にむかって $Si \rightarrow Al^IV$ の置換の程度が小さくなっても、また、 $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ が減少しても、角閃石の結晶構造自体がFをとり入れにくくなるという傾向は特にみられない。

一方、Cl含有量に関しては、第1図が示すように、コアからリムへ向かって系統的に著しく低下している。角閃石が Al^IV を減らして、ホルンブレンドからアクチノ閃石へ組成変化するにつれてCl含有量を系統的に減少させることは、ソロモン島ガダルカナルのポーフィリー—銅—鉛—鋳床をもたらせた花崗岩類から

報告されている (CHIVAS, 1981)。CHIVAS は、マグマ作用末期に脱ガスによってマグマからClが失われる条件下でアクチノ閃石が生じたためにアクチノ閃石でClが低下した、と説明した。しかし、 Al^IV が減少するとClが低下する傾向は、条件に依らずに一般的であり、変成岩においても見られる (後藤, 1987; 山口, 1989)。ITO and ANDERSON (1983) と SUWA *et al.* (1987) は、Clはイオン半径が大きいので、角閃石の(OH)サイトをClが置換するためには、陽イオンの各サイトにイオン半径が相対的に大きな元素が置換して単位胞を増大する必要があることを示した。この等粒状石英閃緑岩では、コアからリムへ向かって、 Al^IV が減り、それに伴って $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ が著しく低下している。こうした陽イオン置換による結晶構造上の制限がはたらいて、リムのアクチノ閃石に向かってClが低下したと考えるべきである。

角閃石が固溶するClの量はその陽イオン組成に依存するとしても、これは許容限界を決めるものである。だから、マグマや流体に含まれるCl濃度の大小に依って、その限界内で増減する。第1図に示したように、角閃石の最外殻リム5) (DG) では、 Al^IV が比較的高く、 $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ が大きな値を示すにもかかわらず、Cl含有量は4) (U) ゾーンの角閃石と同様に低い。これは、角閃石のリムが形成された時期に、脱ガスによってClが逸脱する過程が進行した結果と考えられる。マグマが揮発性成分に飽和して脱ガスすると、Clは気相中に強く分配されることが知られている (KILLINC and BURNHAM, 1972)。

この石英閃緑岩の角閃石では、F含有量はCl含有量よりも高い。このことは、大東—横田地域の深成岩全般に共通している (川勝, 1987)。CZAMANSKE *et al.* (1981) による、中部および西南日本の白亜紀—古第三紀の深成岩中の角閃石分析値30個は、全て $F > Cl$ であり、Fは0.09—0.58 wt % (平均0.29 wt %)、Clは0.00—0.14 wt % (平均0.06 wt %)である。陸上の火山岩の角閃石でも一般に $F > Cl$ であると考えられている (中村, 1986)。一方で、海水起源の熱水がはたらく海洋底変成作用を受けて生じた角閃石には、 $F > Cl$ のものがある (VANKO, 1986; 中村, 1986; 山口, 1989)。しかし、この影響を受けずにマグマ過程で生じた角閃石では大抵 $F > Cl$ である。これは、地殻 (海洋性地殻は除外) の元素存在度では、Fが高く (625 ppm)、Clが低い (130 ppm) ことを反映していると考えられる。

文 献

- CHIVAS, A. R. (1981) : Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 78, 389-403.
- CZAMANSKE, G. K. and MIHALIK, P. (1972) : Oxidation during magmatic differentiation, Finnmark complex, Oslo area, Norway : Part 1, The opaque oxides. *J. Petrol.*, 13, 3, 493-509.
- CZAMANSKE, G. K., ISHIHARA, S. and ATKIN, S. A. (1981) : Chemistry of rock-forming minerals of the Cretaceous-Paleocene batholith in Southwestern Japan and implications for magma genesis. *J. Geophys. Res.*, 86, B11, 10431-10469.
- 後藤 篤 (1978) : 肉淵谷グラニュライトの加水作用で生じた角閃石の組成. 三波川帯総研 *NEWS LETTER*, 1, 14-15.
- ISHIHARA, S. (1971) : Modal and chemical composition of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the inner zone of Southwest Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 77, 441-452.
- ISHIHARA, S. (1977) : The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Min. Geol. Tokyo.*, 27, 293-305.
- ITO E. and ANDERSON, Jr. A. T. (1983) : Submarine metamorphism of gabbros from the Mid-Cayman Rise. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 82, 371-388.
- KANISAWA, S., TANAKA, H. and NAKAI, Y. (1979) : Behaviour of fluorine in granitic rocks from the Abukuma plateau, the Ryoke zone, and the San-in zone, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 85, 123-134.
- KANISAWA, S. (1983) : Chemical characteristics of biotites and hornblendes of late Mesozoic to early Tertiary granitic rocks in Japan. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 159, 129-134.
- KILLINC, I. A. and BURNHAM, C. W. (1972) : Partitioning of chloride between a silicate melt and coexisting aqueous phase from 2 to 8 kilobars. *Econ. Geol.*, 67, 231-235.
- KAWAKATSU, K. and YAMAGUCHI, Y. (1987a) : Successive zoning of amphiboles during progressive oxidation in the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, Southwest Japan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 535-540.
- KAWAKATSU, K. and YAMAGUCHI, Y. (1987b) : Microprobe analyses of zoned amphiboles from quartz diorites in the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, Southwest Japan. *Geol. Rep. Shimane Univ.*, 6, 175-183.
- 川勝和哉 (1988) 島根県東部大東-横田地域のカコウ岩類における造岩鉱物の累進的酸化条件下での晶出および再平衡. 島根大学理修士論文 (手記).
- 津末昭生・石原舜三 (1974) : 西南日本における花崗岩質岩石中の Fe-Ti 酸化鉱物. 鉱山地質, 24, 13-30.
- 中村保夫 (1986) : 海山の内部の岩石. 月刊地球, 8, 485-488.
- SUWA, K., ENAMI, M. and HORIUCHI, T. (1987) : Chlorine-rich potassium hastingsite from West Ongul Island, Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Mineral. Mag.*, 51, 709-714.
- VANKO, D. A. (1986) : High-chlorine amphiboles from oceanic rocks : product of highly-saline hydrothermal fluids?. *Amer. Mineral.*, 71, 51-59.
- YAMAGUCHI, Y. (1985) : Hornblende-cummingtonite and hornblende-actinolite intergrowths from the Koyama calc-alkaline intrusion, Susa, Southwest Japan. *Amer. Mineral.*, 70, 980-986.
- 山口佳昭・川勝和哉 (1987) : 大東-横田地域の石英閃緑岩類中の Fe-Ti 酸化物の産状と化学組成. 山陰地域研究 (自然環境), 3, 157-165.
- 山口佳昭・川勝和哉 (1988) : 大東-横田地域の石英閃緑岩類中のリン灰石の F および Cl 含量. 山陰地域研究 (自然環境), 4, 93-97.
- 山口佳昭 (1989) : 三群帯足立地域の変ハンレイ岩中のホルンブレンド-アクチノ閃石の F および Cl 含量. 地質学論集, 33, 81-88.