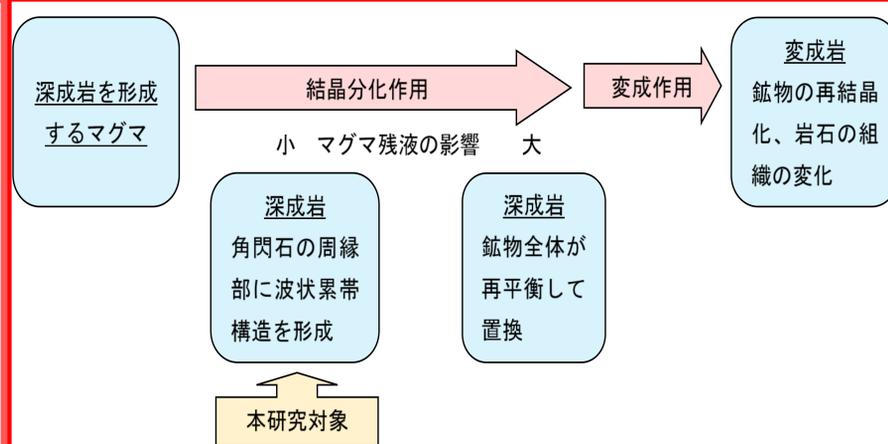


# 兵庫県南部姫路市-加古川市の播磨花崗閃緑岩の角閃石から波状累帯構造を発見 -六甲花崗閃緑岩と対比して得たマグマ残液循環の証拠-

兵庫県立姫路東高等学校 科学部  
高瀬健斗 赤瀬彩香 岩本澤治 奥見啓史

**キーワード** 波状累帯構造：多くの場合鉱物のへき開面に沿って組成が交互に繰り返す、幅数 $\mu\text{m}$ 程度の細い縞模様の構造。二次的に形成されたものと結晶の成長過程で形成される場合がある。  
マグマ残液：本源マグマが次第に冷却していく過程で、その凝固点に応じて数々の鉱物を結晶化させ、最後に残った、主に $\text{H}_2\text{O}$ からなる熱水。

**本研究の意義** 一口に深成岩といっても、岩石が固化する前に、部分的に鉱物が再平衡して他の鉱物に変わったり、鉱物の一部が再平衡したりすることが知られている。また、マグマの成分も、異なるマグマや周囲の岩石を溶かし込んで変化する。教科書にあるように、一定の環境の下で徐々に冷却するわけではない。さまざまな経験を経て、現在われわれが目にする岩石が形成されている。  
筆者らは、現在目にする鉱物がどのような経験を経て形成されたのかを明らかにしたいと考えた。これは変成作用とは異なる。変成作用は、既に形成された岩石あるいは鉱物が、二次的に高温や高圧の条件で、化学反応に伴って鉱物が再結晶化したり岩石の組織が変化するをいう。変成岩を構成する角閃石の組成累帯構造は、マグマから角閃石が結晶化し岩石が形成された後、変成作用で二次的に形成されたと考えられており、発達の程度は変成作用の条件を示している。深成岩の結晶過程についても多くの研究が行われているが、火成作用と変成作用の間をつなぐ、マグマ残液に関する研究は少ない。



**研究の方法** 兵庫県南部の姫路市-加古川市と神戸市に分布する花崗岩類の露頭調査を行い、採取した試料の角閃石を偏光顕微鏡を用いて観察し、微細構造の有無と特徴からマグマ分化過程末期の環境の推定を試みた。



**考察** ① マグマの冷却過程で、角閃石が結晶化した後に再び溶融したり再平衡することが知られている (富田, 1976・沢田, 1978・山口, 1985・(寅丸, 2019))。この原因として、一律に温度や圧力が低下しないことや、既に結晶化した鉱物にマグマ残液が反応することなどが指摘されている。  
② 波状累帯構造の発達の程度は、熱水残液の循環の程度を反映しており、その形状は、熱水残液が循環した回数や置換を受けた方向を記録している。

- 姫路市や加古川市の播磨花崗岩類の角閃石は自形で、周囲に共存している鉱物に関係なく波状累帯構造がみられる。角閃石の結晶化後に、マグマ残液によって二次的にイオン置換が行われたことを示す。
- クロスラミナに似た波状累帯構造の形状は、マグマ残液の循環が方向を変えて何度も繰り返し起こったことを示す。
- 山陰帯の花崗岩類の角閃石に波状累帯構造が著しく発達しているのは、マグマ残液が激しく循環したことを示す (Kawakatsu and Yamaguchi, 1987a)。
- 播磨花崗岩類の角閃石の波状累帯構造が微弱なのは、岩体の周縁部であっても残液の循環が激しくはなかったことを、また六甲花崗岩類では波状累帯構造がみられないのは、岩体の中央部では残液の循環がほとんどなかった可能性を示す (図1)。

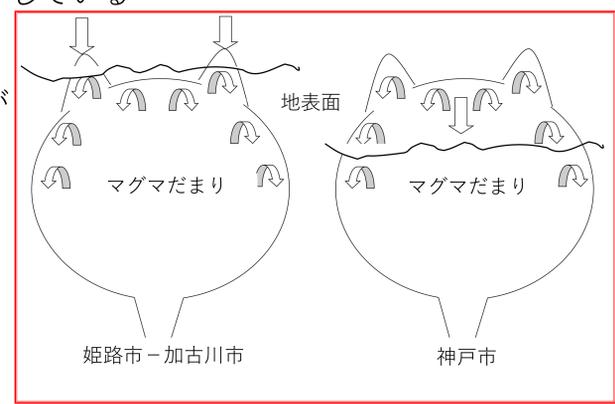


図1 マグマ残液の循環のモデル図 (矢印は熱水の循環を示す)

**引用文献** 兵庫県都市住宅部土地政策局企画室 (1992) 土地分類基本調査-播州赤穂・姫路・坊勢島・寒霞溪 (兵庫県)  
兵庫県都市住宅部土地政策局企画室 (1997) 土地分類基本調査-神戸 (兵庫県)  
岸田孝哉・弘原海清 (1967) 姫路深成岩類の火山層序-近畿の後期中生代火成岩類の研究 (I) (柴田秀賢教授退官記念論文集, 241-255)  
Kawakatsu, K. and Yamaguchi, Y. (1987a) Successive zoning of amphiboles during progressive oxidation in the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, southwest Japan. (Geochimica et Cosmochimica Acta, 51, 3, 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. (島根大学地質学報告, 6, 175-183)  
川勝和哉・山口佳昭 (1987) 大東-横田地域の石英閃緑岩のFe-Ti酸化鉱物および珪酸塩鉱物の再平衡 (日本地質学会学術大会講演要旨, 457)  
川勝和哉・山口佳昭 (1990) 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 (島根大学地質学報告, 9, 5-8)  
桑谷立 (2003) 丹沢変成岩中の角閃石の組成累帯構造 (日本地質学会第110年学術大会講演要旨集, 292)  
小野晟 (1976) 中部地方北部の中央構造線付近の変成岩について (地質学雑誌, 83, 4, 207-212)  
尾崎正紀・栗本史雄・原山智 (1995) 地域地質研究報告-北条地域の地質 (地質調査所)  
沢田順弘 (1978) 島根県掛合陥没体に伴われる貫入複合岩体-非アルカリ岩のマグマ型と岩石系列に関する2, 3の問題- (地質学雑誌, 84, 4, 177-200)  
寅丸敦志 (2019) マグマの発泡と結晶化-火山噴火過程の基礎 (東京大学出版会)  
田結庄良昭 (1987) 日本の地質6-近畿地方 (共立出版株式会社, p58)  
富田克敏 (1976) 輝石・角閃石の離溶組織 (岩石鉱物鉱床学会誌特別号, 1, 93-104)  
和田肇・山口佳昭・原山智・木村純一 (2004) 黒部川花崗岩体の希土類元素分布と副成分鉱物-珪長質マグマ溜まりにおける結晶分化作用 (日本岩石鉱物鉱床学会講演要旨集, 39)  
山口佳昭 (1982) カンラン岩における単斜輝石の再平衡と微細組織 (地球科学, 36, 2, 62-68)  
山口佳昭 (1984) 浅所貫入深成岩のCa角閃石の累帯構造 (地球科学, 38, 5, 346-351)  
山口佳昭 (1985) 深成岩中のアクチノ閃石-ホルンブレンド連晶とその再平衡 (島根大学地質学報告, 4, 27-31)  
Yamaguchi, Y. and Tomita, K. (1985) On the structure of Clinohypersthene Derived as a Host Phase from Parental Pigeonite by Exsolution (島根大学理学部紀要, 19, 151-157)  
山元孝広・栗本史雄・吉岡敏和 (2000) 地域地質研究報告-龍野地域の地質 (地質調査所)

**今後の課題** 今回の研究では、花崗閃緑岩体と周囲の凝灰岩の関係を露頭で確認し、さらに先行研究からその形成時期や特徴が類似していることを確認した。採取した岩石試料から作成した薄片を丁寧に観察し、神戸市の花崗閃緑岩から波状累帯構造を発見することはできなかったが、本当に神戸市の六甲花崗岩類にはないという確証を得たわけではない。今後、六甲花崗岩類の観察を続ける中で波状累帯構造が発見されれば、本研究の考察を修正する必要が生じることになる。  
マグマ分化末期の環境についてはまだよくわかっていない。角閃石の波状累帯構造部分の成分をEPMAを用いて分析することで、マグマ分化末期にどのようなイオン置換が起こっているのかを明らかにしていきたい。

**謝辞** 本研究では本校科学部顧問の川勝和哉先生には、始終有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

(1) 播磨花崗岩類 (姫路市)

- 姫路市南西部の飾西付近の南北4 km × 東西3 kmの中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩の小岩体(図2)。白亜紀後期に、火砕流堆積物に貫入したもの(岸田・弘原海, 1967)。
- 花崗閃緑岩は等粒状で、斜長石、石英、カリ長石、角閃石、黒雲母からなり、風化変質をほとんど受けていない(図3)。部分的に、有色鉱物が集合している。本岩体の詳しい研究はまだおこなわれていない(兵庫県都市住宅部土地政策局企画室, 1992)。
- 火砕流堆積物は、石英の斑晶に富む黒雲母流紋岩質火山礫凝灰岩で、30mm程度の同質岩片を含み、貫入の際の熱によって強溶結している。このことは、地下に岩体が大きく広がっていることを示している。

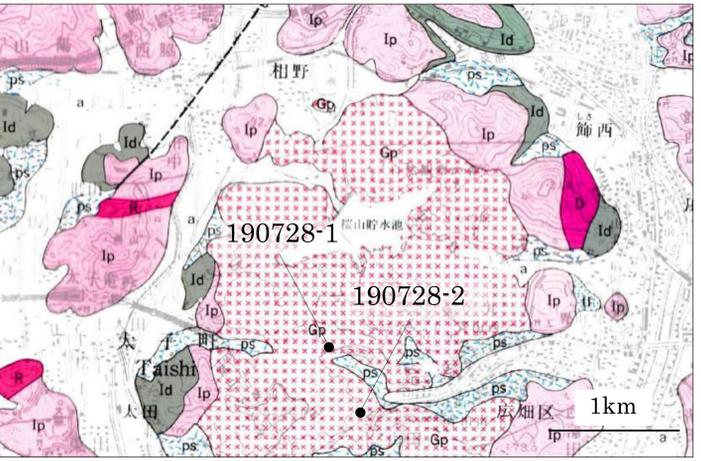


図2 中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩の試料採取地点(山元ほか, 2000に加筆)

Ps: 礫・砂  
Gp: 角閃石黒雲母花崗閃緑岩  
R: 花崗閃緑斑岩-花崗斑岩  
Ip: 流紋岩火山礫凝灰岩  
Id: 角礫岩  
(Psは第四紀、Gp~Idは白亜紀後期)

露頭調査範囲  
南北5km × 東西5km

- 角閃石は自形~半自形で、偏光顕微鏡下では淡緑色~淡褐色である。へき開に沿って、一部に緑泥石が晶出している。
- 自形結晶のへき開に沿って、鉱物の輪郭に平行に、幅1 μm程度の帯からなる微弱な波状累帯構造がみられる(図8)。波状累帯構造は、角閃石と共存する鉱物が斜長石でも黒雲母でも関係なく形成されている。

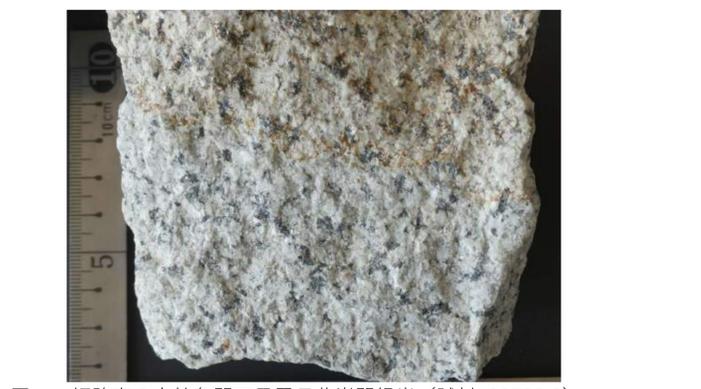


図3 姫路市の中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩(試料190728-2)

- 山陰帯の磁鉄鉱系花崗岩類から報告されている角閃石の波状累帯構造は、角閃石全体に発達している(Kawakatsu and Yamaguchi, 1987a)がこれに比べて発達の程度は極めて微弱。

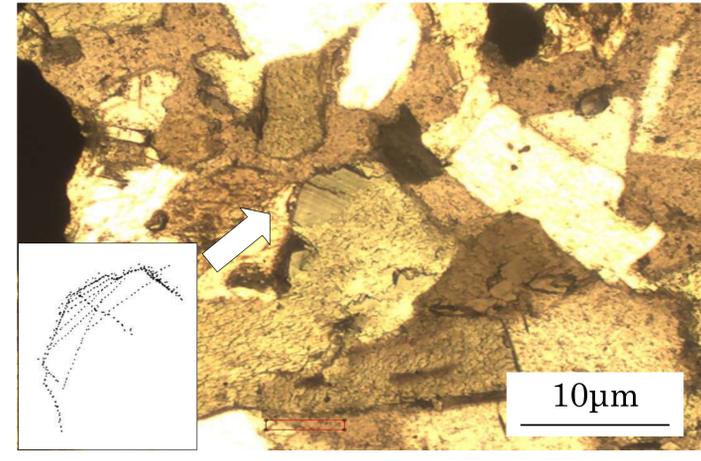


図8 姫路市の花崗閃緑岩の角閃石の波状累帯構造の偏光顕微鏡写真(試料試料190728-2/オープンニコル×100)

(2) 播磨花崗岩類 (加古川市)

- 加古川市志方町の南北4 km × 東西4 kmの中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩の小岩体(図4)。これは姫路市の花崗閃緑岩と一連のものである(尾崎ほか, 1995・山元ほか, 2000)。
- 花崗閃緑岩は等粒状で、斜長石、石英、カリ長石、角閃石、黒雲母からなり、一部に鱗灰石もみられる。部分的に、10mm程度に有色鉱物が集合している(図5)。風化変質の程度は低い。本岩体の詳しい研究はまだおこなわれていない(尾崎ほか, 1995)。
- 流紋岩質凝灰岩は、数10mの規模で貫入による熱によって溶結している。

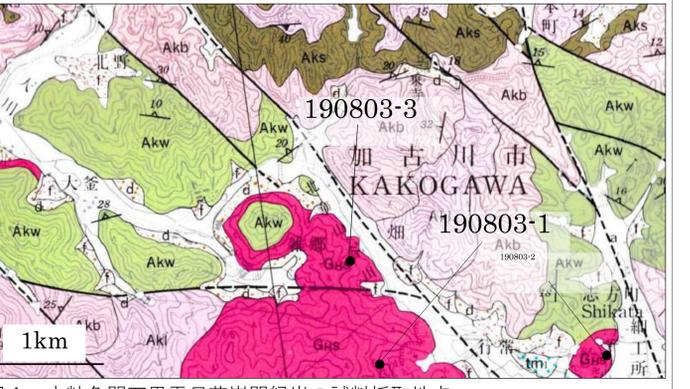


図4 中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩の試料採取地点(尾崎ほか, 1995に加筆)

GHS: 角閃石黒雲母花崗岩・花崗閃緑岩  
Akw: 流紋岩強溶結ガラス質凝灰岩  
Akl: 流紋岩溶岩  
Akb: 流紋岩火山礫凝灰岩  
Aks: 成層凝灰岩・礫岩  
(GHSは白亜紀後期、Akw~Aksは白亜紀中期)

露頭調査範囲  
南北5km × 東西6km



図5 加古川市の中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩(試料190803-1/190803-2)

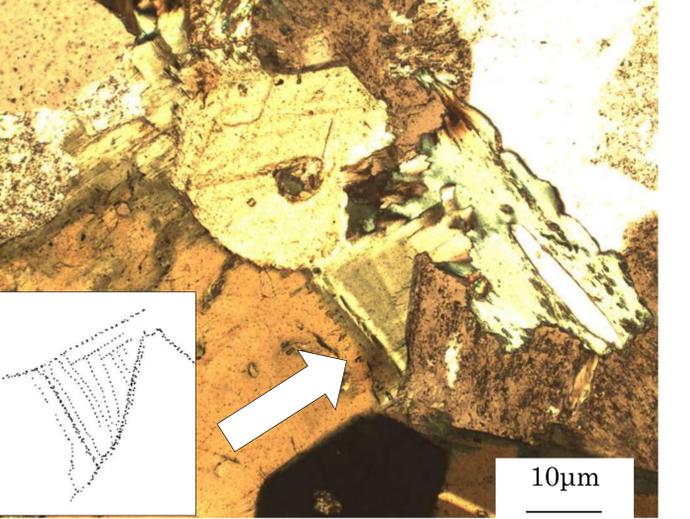


図9 加古川市の花崗閃緑岩の角閃石の波状累帯構造の偏光顕微鏡写真(試料試料190803-2/オープンニコル×100)

(3) 六甲花崗岩類 (神戸市)

- JR新神戸駅北側には、広く中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩の露頭が東西方向に広がっている(図6)。
- 花崗閃緑岩は、斜長石、ピンク色化したカリ長石、石英、角閃石、黒雲母からなり、一部に鱗灰石、スフェーン、ジルコンを含む。まれに、有色鉱物の集合体が見られる。多くは風化変質によってマサ化が進んでいる(図7)。
- 周囲の流紋岩質凝灰岩は、斜長石、カリ長石、黒雲母の斑晶からなり、貫入の熱で溶結してガラス質になり、一部はホルンフェルス化している(兵庫県都市住宅部土地政策局企画室, 1997)。

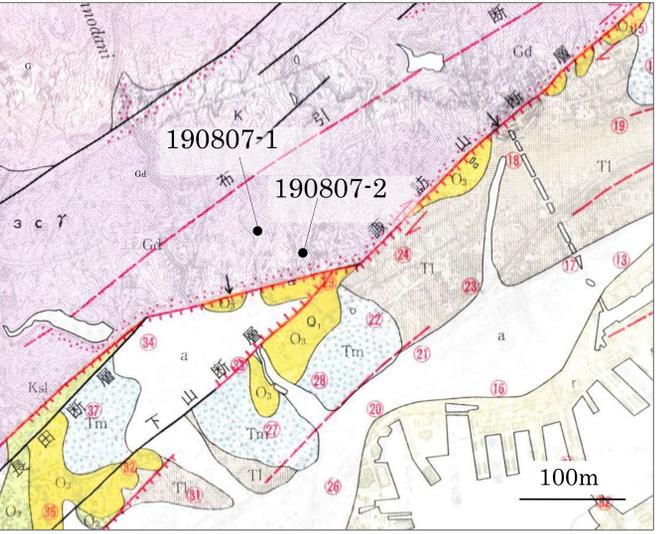


図6 中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩の試料採取地点(兵庫県都市住宅部土地政策局企画室, 1997に加筆)

Tl・Tm: 礫・砂  
O2・O3: 流紋岩質火山灰  
Gd: 角閃石黒雲母花崗閃緑岩  
G: 黒雲母花崗岩  
(Tl~O3は第四紀、GdとGは白亜紀後期)

露頭調査範囲  
南北2km × 東西3km



図7 神戸市の中粒角閃石黒雲母花崗閃緑岩(試料190807-1/190807-2)

今回は、神戸市の花崗岩類からは、波状累帯構造を発見することはできなかった。

- 角閃石は自形~半自形で、淡緑色~淡褐色である。へき開に沿って一部に緑泥石が晶出している。角閃石のへき開は60度に交わる2方向に発達しているが、一方のへき開に平行な方向に形成されている累帯構造を、他方のへき開に平行な方向の累帯構造が切っているようすが多く観察できる(図9・図10)。
- 波状累帯構造は角閃石と共存する鉱物に関わらず形成されている。

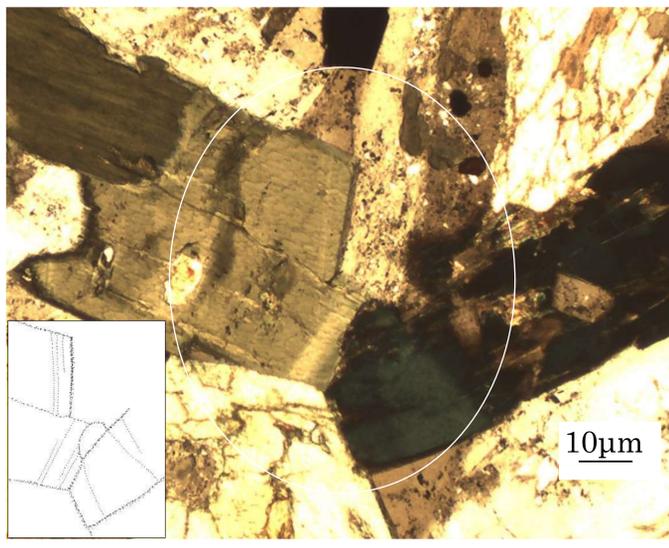


図10 加古川市の花崗閃緑岩の角閃石の波状累帯構造の偏光顕微鏡写真(試料試料190803-3/オープンニコル×100)