博士（理学） 志 村 俊 昭

学 位 論 文 題 名

Genesis and crystallization of the lower crustal S - type granitic magma

（下部地殻におけるSタイプ花崗岩質マグマの成因と結晶作用）

学位論文内容の要旨

ほとんどのパーアルミナス花崗岩質岩・火山岩は、アルミナスな砂泥質岩類のアナテクシスによりもたらされたと理解されており、これらはSタイプ花崗岩質岩(Chappell and White, 1974) とよばれている。多くのSタイプ火成岩類は石英、長石類、黒雲母の他に白雲母、ザクロ石、菫青石、アルミノ珪酸塩鉱物、電気石、スピネルなどを含むが、斜方輝石を伴うものは少ない。一方、実験岩石学的研究からは、砂泥質岩類の部分溶融によってプルトンを形成するに十分な量のマグマを生ずるには、黒雲母の分解温度に到達することが必要であることが知られている。この条件では液から前述の鉱物以外の相として斜方輝石を晶出する。よって、アナテクシスによるSタイプマグマの発生においては、斜方輝石を伴うSタイプ火成岩がより重要である。

マグマから晶出した相として斜方輝石を含む天然のSタイプ火成岩体は少ないが、南東オーストラリア、西南日本、そして日高変成帯に見られる。これらの含斜方輝石Sタイプ火成岩類は、Opx±Grt±Crd+Bt+Pl±Kfs+Qtzの鉱物組合せで特徴づけられ、斜方輝石を含まない岩石に比べより未分化な組成を示す。またこれらの火成岩体は岩石学的検討から、5～7kb、800°C以上の条件から結晶作用を行ったとされている。これらの条件はグラニュライト相の条件であり、高い地温勾配を持つ島弧・大陸性地殻下部の条件に相当する。しかしながら、前述のほとんどの岩体は火山岩体あるいは地殻浅部迸入体であり下部地殻の条件で固結したものではない。これに対し日高変成帯の斜方輝石-ザクロ石トーナル岩（最下部トーナル岩）はグラニュライト相の変成岩に迸入し、グラニュライト相の条件で結晶作用を行っている。

日高変成帯は島弧地殻上部～下部に至る衝上断片である（Komatsu *et al.*, 1983; Osanai *et al.*, 1991）。地殻変成岩層は砂泥質・塩基性変成岩により構成され、その変成度は東側（構造的上位）から西側（下位）へ上昇しグラニュライト相に至る。またはんれい岩類、花崗岩類などの火成岩類がこの地殻層序の様々なレベルに迸入している。これらの花崗岩質岩類はその構成鉱物、全岩化学組成からSタイプとIタイプに2分できる。そして各々のSr同位体初生値は各々の起源物質が斜方輝石角閃岩と砂泥質変成岩であることを示しており、主帯の主変成作用期に最下部地殻のアナテクシスにより生成し、その直後に地殻の各深度に迸入したとされている。花崗岩質岩類は地殻層序への迸入深度によって4分された。このうちグラニュライトに迸入している最下部Sタイプトーナル岩は、Opx＋Grt±Crd＋Bt＋Pl±Kfs＋Qtzの組合せを示し、Sタイプの岩石の中では世界で最も未分化な組成を示す。

新冠川上流地域には最下部～中部トーナル岩が連続して分布している。構成鉱物や全岩化学組成は最下部～中部トーナル岩へ漸移的に変化する。また壁岩への接触変成作用には地殻層序への迸入位置により$P-T$条件に系統的な違いが認められる。これらのことはこの岩体が下部地殻～中部地殻に至る花崗岩迸入体の断面であることを示している。

最下部トーナル岩体は壁岩のグラニュライトにアグマタイト状に迸入し、これらを多量に包有して非常に不均質な岩相を示す。変成岩包有物周囲にはトーナル岩マグマとの反応（同化作用）によって特異な岩石が形成されているが、同化作用の影響をまぬがれた岩石は均質な岩相を示し、構成鉱物の組成累帯構造は全て単純な温度降下を示している。鉱物の包有関係と組成累帯構造から解析された構成鉱物の晶出順序はザクロ石-斜長石-斜方輝石-黒雲母-石英-堇青石-カリ長石である。新冠川上流の岩体では結晶作用の初期条件として6kb、940°Cが見積られる。

下部地殻における初性的なSタイプマグマの生成条件と結晶作用を解明するために、内熱式高温高圧実験装置により溶融実験を行った。出発物質には最下部Sタイプトーナル岩の粉末を用いた。6kbでの実験結果と天然の晶出順序とを比較すると、結晶作用はH_2Oが3～4wt.%の非常に狭い範囲で、かつ900°C以上の温度からスタートしていることがわかる。この温度は砂泥質グラニュライトが黒雲母の分解温度を越えて高度に溶融する条件として妥当である。低いH_2O含有量はアナテクシスがH_2Oに不

飽和な条件で起こったことを示している。

日高変成帯では中部・上部の花崗岩質岩類はごく稀にしか斜方輝石を持たない。これに対し下部・最下部トーナル岩は斜方輝石を含むが黒雲母-石英のシンプレクタイトが見られ、斜方輝石の仮像を形成している。このことから斜方輝石の分解反応として次の反応が示される。

$$3(Mg,Fe)SiO_3 + KAlSi_3O_8 + H_2O = K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH_2) + 3SiO_2$$

この反応は温度の低下により右辺へ進行する。またこの反応では斜方輝石の安定領域は$X H_2O$と$a\ KAlSi_3O_8$にコントロールされる。この場合$X H_2O$は低いから、$a\ KAlSi_3O_8$がより重要である。

斜方輝石の安定領域に対する aKAlSi3O8 の効果を検証するために、出発物質に$KAlSi_3O_8$のゲルをノルムor=15、20、25 になるように加えた別の実験を行った。この結果は斜方輝石の晶出限界がマグマのノルムorの増加にともない高温側にシフトすることを示している。最下部トーナル岩のノルムorの最大値は15.6%、一方中部トーナル岩では24.2%で、地殻浅部迸入体ほどノルムorに富んでいる。この組成変化はマグマ自身の分化による。即ち、Sタイプ花崗岩質岩に斜方輝石が含まれるかどうかはマグマ自身の結晶作用による組成変化と温度低下に支配されている。

地殻の各深度におけるSタイプマグマの発生とその結晶作用は本研究によって初めて具体的に明らかにされた。最下部地殻（日高変成帯の場合、約8.5kb 950°C）で発生した含斜方輝石Sタイプマグマは、まずメルトとレスタイトとの分離を行う。この過程は下部地殻においてほとんど完了する。すなわち、いわゆる"restite model"は下部地殻でしか成り立たない。次にこの初生的マグマは地殻物質と反応を行いながら、分化しつつ地殻内を上昇し、斜方輝石を欠く火成岩体を形成してゆく。日高変成帯の場合、マグマはduplexのrampに沿ってsyn-tectonic に迸入するが、この過程も他の島弧・体陸性地殻に共通する可能性が大きい。

砂泥質変成岩のアナテクシスによってプルトンを形成し得るだけの体積のSタイプマグマを生ずるには高い地温勾配を持つ島弧・大陸性地殻下部の条件が必要である。プルトンを形成する多くのSタイプ花崗岩質岩は初生的には下部地殻で発生した斜方輝石-ザクロ石花崗岩質マグマが分化したものであると考えられる。

学位論文審査の要旨

主　査　教　授　荒　牧　重　雄
副　査　教　授　針　谷　　宥
副　査　教　授　中　村　耕　二
副　査　助教授　渡　辺　暉　夫

学位論文題名

Genesis and Crystallization of the lower crustal S-type granitic magma
（下部地殻におけるSタイプ花崗岩質マグマの成因と結晶作用）

花崗岩質岩類の中でもSタイプ花崗岩質岩類（Chappell and White, 1974）は詳細に研究されている岩石の一つであるが、実際の地殻内でのマグマの結晶作用や壁岩との反応については未解決の部分が多かった。

申請者は天然の地殻断面（日高変成帯）において、Sタイプ花崗岩質岩類の生成・結晶作用の過程を地質学的・岩石学的手法によって明らかにし、その温度・圧力条件を見積り、溶融実験による研究へと発展させた。

ほとんどのSタイプ花崗岩質岩類は斜方輝石を伴わないが、溶融実験によれば砂泥質岩類の部分溶融によってプルトンの形成に十分な量のマグマを生ずるには、黒雲母の分解温度に到達しなければならず、このこのときの液から斜方輝石を晶出することが知られていた。日高変成帯の斜方輝石を伴う岩体では、鉱物の包有関係と組成累帯構造から解析された構成鉱物の晶出順序はザクロ石-斜長石-斜方輝石-黒雲母-石英-菫青石-カリ長石である。さらに申請者は溶融実験を行ない、この晶出順序は6kbではH_2Oが3～4wt.%の非常に狭い範囲で、かつ900°C以上の温度から結晶作用がスタートしてい

なければならないという結論を得た。このことはSタイプマグマの生成条件がH_2Oに不飽和な条件であることを示している。

さらに申請者は斜方輝石を伴わない岩体が斜方輝石を伴うマグマ（ザクロ石-斜方輝石花崗岩質マグマ）の分化によって形成されることを証明した。斜方輝石の安定領域は温度・圧力条件に加えX_{H_2O}と$a_{KAlSi_2O_6}$にコントロールされれており、斜方輝石の晶出限界がマグマのノルムOrの増加にともない高温側にシフトし、このためマグマ自身の分化と温度低下によって斜方輝石が消滅する。

申請者は、以下のようなマグマの発生から迸入に至る過程を明らかにした。最下部地殻（日高変成帯の場合、約8.5kb 950°C）で発生した含斜方輝石Sタイプマグマは、まずメルトとレスタイトとの分離を行う。この過程は下部地殻においてほとんど完了している。すなわち、いわゆる"restite model"は下部地殻でしか成り立たない。次にこの初生的マグマは地殻物質と反応を行いながら、分化しつつ地殻内を上昇し、斜方輝石を欠く火成岩体を形成してゆく。日高変成帯の場合、マグマはduplexのrampに沿ってsyn-tectonic に迸入するが、この過程も他の島弧・大陸性地殻に共通する可能性が大きいと申請者は指摘している。この包括的で明快な論理と正確な実験・調査はこれまでのSタイプ花崗岩質マグマの研究が、実際の岩体の構成鉱物（Opx-free）と要求される条件（アナテクシスによる大量のメルトの発生（Opx-bearing））との間に整合性が見られなかった事を見事に説明するものとなっている。申請者の地質学・構造地質学・岩石学・実験岩石学の手法を駆使したこの研究は、今後地殻の運動とマグマの迸入機構との関係を本格的に論ずる重要な契機を作り出すものである。審査員一同はこれらの成果を高く評価し、申請者が博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有すると認めた。