

論文の内容の要旨

論文題目 Petrology of the Tottabetsu plutonic complex, north Japan:
a sub-vertical section of the time-integrated magma chamber
(トッタベツ深成岩体の岩石学的研究：
化石マグマ溜りの鉛直断面)

氏名 神山 裕幸

1. はじめに

深成岩体の形成は、地殻の形成・発達を担う重要なプロセスである。深成岩体は、マグマ溜りが固化したものであり、マグマ溜りで起こったプロセスの積分情報を持っていると考えられる。火山噴出物は、“活動的”マグマ溜りに由来するものであり、マグマ溜り内部におけるプロセスについての情報をスナップショット的に提供してくれる。一方、そのような“活動的”マグマ溜り本体における物質の運動（対流、固液の分離、マグマ注入、ゼノリスの沈降など）の時間スケールはマグマ溜りの固結の時間スケールに比べて圧倒的に短い。そのため、“活動的”マグマ溜り本体におけるプロセスが凍結して保存され得るのは、マグマ溜りの周縁部ないし底部のマッシュ状部分のみであると考えられる。特に、重力場に支配されたマグマプロセスの記録は、底部のマッシュ状部分とマグマ溜り本体との界面において順次保存されてゆくことになると予想される。苦鉄質層状貫入岩体 (e.g. Wager, 1960) や mafic-silicic layered intrusion (e.g. Wiebe 1993) からの知見は、この可能性を支持している。

マグマプロセスが重力場に支配されて起こっていることから、深成岩体の鉛直（重力）方向のできる限りの大きい断面は、深成岩体の形成プロセスを理解する上で重要である。これまでにも、鉛直方向断面を露出した深成岩体の報告はあるが、いずれも厚さがせい

ぜい数 km 程度で露出が不十分であり、深成岩体の形成プロセスの全体像を把握するには不十分であった。

本研究でケーススタディの対象とした中期中新世に活動した日高変成帯トッタベツ深成岩体は、厚さ約 10km に及ぶ、ほぼ完全なマグマ溜り化石の鉛直断面を露出しており (Fig. 1)、深成岩体の形成プロセスを理解する上で格好のフィールドであるといえる。このような岩体は世界的にみても希であり、そこから得られる知見は、他の露出が不十分な深成岩体の形成史を理解する上にも重要である。このため、本研究では、トッタベツ岩体の内部構造と岩石学的・地球化学的特徴を記載し、そこにおける深成岩体の形成史を解明することを目的とした。

2. トッタベツ岩体の構成

日高変成帯は衝上して露出した下部～上部大陸地殻断面であると考えられている。トッタベツ岩体が位置するのは、この地殻断面の中部～上部に相当する部分であり、岩体は周囲の砂泥質母岩に接触変成作用を与えている。トッタベツ岩体は、層状構造をなしており、最上部の花崗岩体 (Zone III: 厚さ約 1.5km) とその下位の主に閃緑岩類からなる Zone II (厚さ約 1.5km)、さらに下位の主に斑れい岩類からなる Zone I (厚さ約 7km) に区分される (Fig. 1)。Zone I・Zone II では、結晶作用の進行していたマグマ溜りへの高温高密度マグマ注入を示唆する産状が観察される。一方、Zone III は露頭スケールで均質であり、岩体の天井部の母岩との接触部付近に周縁急冷相が存在することを除けば岩相変化に乏しい。また、Zone I, II では、数十 m 規模の砂泥質ブロックが多量に含まれるのに対して、Zone III には含まれない。このことは、Zone I, II の形成プロセスでは、繰り返しストーピングが起こったのに対し、Zone III の固結プロセスではストーピングが起こらなかったことを意味する。

3. トッタベツ岩体の形成史

Zone I の形成プロセスにおいて、結晶作用の進行していたマグマ溜りに苦鉄質マグマが繰り返し注入されたことが、野外の産状から示唆される。すなわち、下位のユニットに対してのみ急冷縁を有する macrorhythmic unit (Fig. 2, section 1) や細粒の苦鉄質シートと中粒の優白質閃緑岩質キュムレートの薄層との互層 (Fig. 2, section 2) が観察される。注入された苦鉄質マグマは、急冷岩の Sr 同位体組成および主成分・微量成分元素の特徴から、N-MORB 組成をもったマンタル由来マグマから、より深部のマグマ溜りで地殻物質の同化作用を伴う分別結晶 (AFC) を経て生じたものと推測される。各 macrorhythmic unit とも、マグマの分化を記録しており、これらが、繰り返し起こった苦鉄質マグマ注入と結晶の集積によってマグマ溜りの底部において逐次形成されてい

たことを示している。苦鉄質シートは枝別れや重複貫入など、シルとして貫入した証拠を示さないことから、繰り返し注入された苦鉄質マグマが、その都度マグマ溜りの底部に定置し、急速に冷却・結晶化したものであると考えられる。優白質閃緑岩質キュムレートは Zone I 上部で観察される。これら優白質閃緑岩と斑れい岩質のキュムレートは、各主成分・微量成分元素組成について、連続的な組成変化を示すことから、これらの岩石が、注入された苦鉄質マグマからの一連の分別結晶作用（±同化作用）のプロセスで生じたものと解釈される。優白質閃緑岩質キュムレートは Al_2O_3 (<22wt%), Na_2O (<5%), Zr (<1400ppm) に富み、また、強い正の Eu 異常と重希土類に enrich した REE パターンで特徴付けられる。これらの特徴は、Ab 成分に富む斜長石とジルコンの集積を反映しており、優白質閃緑岩質キュムレートがジルコンに飽和した珪長質マグマから生じたものであることを示唆する。すなわち、Zone I の形成プロセスの後期には、マグマ溜り内にジルコンに飽和した珪長質マグマが存在していたものと推測される。

Zone II は、中間組成の岩石が卓越することで特徴づけられる。Zone II の中～下部は、露頭スケールでは岩相変化に乏しい中粒の閃緑岩質のキュムレートからなり、それらは上位のものほどより分化の進んだ組成を示す。これら閃緑岩質のキュムレートは、ジルコンの集積の証拠を欠くことから、Zone I の形成プロセスでマグマ溜り内に存在していた珪長質マグマから晶出したのではなく、新たに注入された、ジルコンに不飽和なマグマから晶出したものであると推測される。すなわち、新たに注入された高密度中間組成マグマが、既存の珪長質マグマを押し上げ、マグマ溜りの底部定置し、閃緑岩質のキュムレートを晶出したものと推測される。Zone II 上部では、厚さ 3 m 以下の細粒の閃緑岩質のシートと中粒の優白質閃緑岩質キュムレートの薄層との互層が観察される。Zone II の形成プロセスの後期には、少量の中間組成マグマが、結晶作用の進行していたマグマ溜りに繰り返し注入され、その都度マグマ溜りの底部において急速に冷却・結晶化したことが示唆される。これら閃緑岩類の Sr 同位体組成および主成分・微量成分元素組成から、Zone II で注入された中間組成マグマは、N-MORB 組成をもったマントル由来マグマから、より深部のマグマ溜りにおいて、地殻物質の同化作用とその後の分別結晶作用を経て生じたものと推測される。

Zone III は、最終的にマグマ溜り内に存在していた珪長質マグマが、高温高密度マグマの注入による熱供給が止んだ後で、冷却・固化した部分であると考えられる。Zone III の花崗岩の地球化学的特徴は、それらが、Zone I のキュムレートを作った分化液と Zone II の閃緑岩質キュムレートを作った分化液との混合物であると考え、合理的に説明される。すなわち、Zone III の花崗岩は、一つのマグマ溜りの進化プロセスの異なるステージで生成された珪長質マグマの混合物であると考えられることができる。

4. まとめ

トッタベツ岩体を構成する3つのゾーン (Zone I, II, III) は、一つのマグマ溜りの進化プロセスの異なるステージで形成されたことが明らかとなった。すなわち、Zone I・Zone II は開放系マグマ溜りの底部において、高温高密度マグマ注入、ストーピング、キュムレート (沈積物) の堆積によって下位から逐次形成されていった部分であるのに対し、Zone III は、Zone I, II のキュムレートを作ったマグマの分化液が、高温高密度マグマ注入やストーピングが止んだ後で最終的に冷却・固化した部分である。Zone I・Zone II で注入されたマグマは、N-MORB マントルに由来し、より深部のマグマ溜りで、地殻物質の同化作用と分別結晶作用を経て生じたと考えられる。

このように、トッタベツ深成岩体は、いわゆる花崗岩体 (Zone III) の底とさらにその深部の情報を提供してくれる。花崗岩体そのものは均質であるが、その深部の情報から、花崗岩体の形成史において複雑な開放系マグマプロセスが起こっており、また、花崗岩が上部マントル-地殻系の分化プロセスの最終産物であることが明らかとなった。多くの花崗岩体が主に形成時の水平方向断面に相当し、深部の露出を欠くことから、トッタベツ深成岩体から得られた知見は、他の花崗岩体の形成史にも適用できる可能性がある。すなわち、一見均質に見える花崗岩体も、開放系マグマ溜りにおける複雑なマグマプロセスを経て形成された可能性を指摘できる。

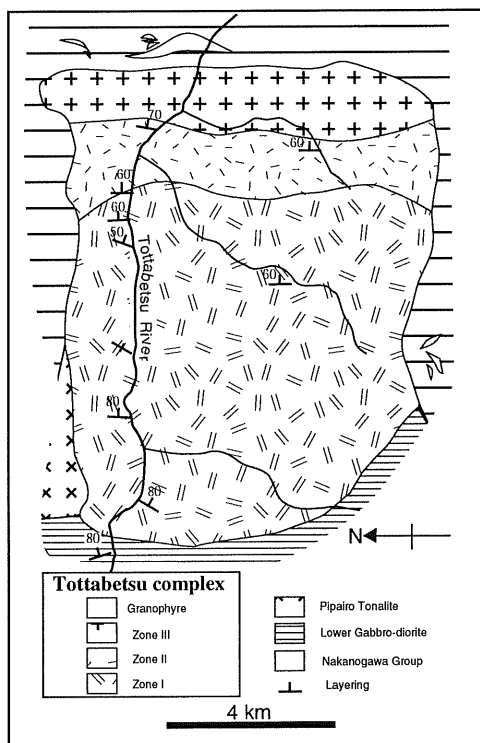


Fig. 1. Geologic map of the Tottabetsu plutonic complex.

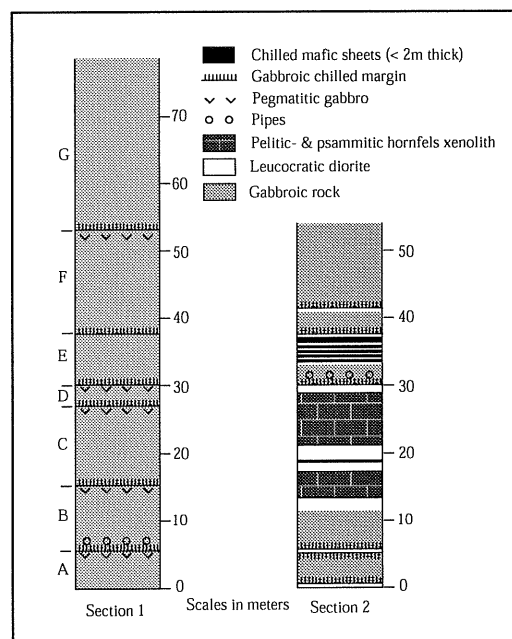


Fig. 2. Stratigraphic sections from characteristic parts of Zone I.