

蔵王火山基盤岩の新知見

山形大学理学部地球環境学科 加々島慎一・吉田 哲平

はじめに

東北日本のような沈み込み帯の火山帯では、マントルで発生したマグマが地殻を上昇する過程で、地殻構成岩石から化学的な影響（マグマ組成の変化）を受けることがある。火山を構成する岩石の化学分析値から、マグマの成因や進化過程を解明する上で、地殻構成岩石の影響を考慮することができれば、より真実に近づいた火成活動モデルを構築することができる。地殻深部の情報を得る手段の一つには、現在地表に露出している花崗岩類や変成岩類の地球化学的特徴から推定する方法がある。白亜紀には、沈み込み帯において花崗岩類を作るような珪長質マグマが大規模に形成されており、その多くは下部地殻構成岩石の部分熔融によって発生したマグマが地殻深所で集積・固結したものである。したがって花崗岩類を精査することにより、花崗岩類が形成されたマグマ溜ま

りの情報だけではなく、その元となった起源物質の推定も可能となる。

約100万年前から活動を開始した蔵王火山は、白亜紀に形成された花崗岩類と新生代中新世の苦鉄質火山岩類からなる基盤を被覆するように成長している（伴ほか、2015）。主要な地殻構成物質である基盤の花崗岩類が蔵王火山のマグマ進化に影響を与えているのか否かを検討するためにも、花崗岩類の地球化学的データが必要不可欠であるが、蔵王火山基盤岩の岩石学的な研究は行われていなかった。そのため、筆者の一人、吉田の卒業研究として、現地調査・岩石記載・全岩化学分析・Sr同位体比分析を行った。蔵王火山基盤岩の花崗岩類の地球化学的特徴が明らかになるとともに、蔵王火山基盤岩が属する阿武隈帯の下部地殻について新知見が得られたのでここに紹介する。

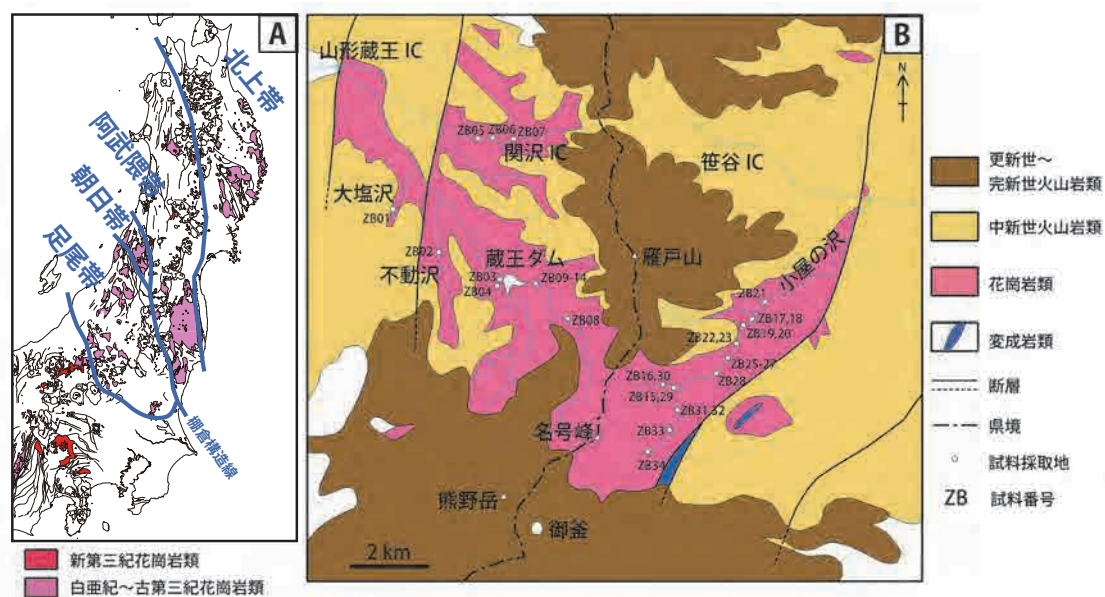


図1 A：東北日本の地帯構造区分，B：蔵王火山基盤岩の分布と試料採取位置．地質図は産総研シームレス地質図を元に作成．

地質概説、花崗岩類の分布と産状

東北日本の白亜紀～古第三紀の基盤岩類は主に、ユーラシア大陸縁辺に位置する沈み込み帯によって形成された珪長質深成岩類からなる。形成された時代や同じような特徴をもった変成岩類や深成岩類などの広域的な広がりによって、地質帯が定義されており、東北日本は、北上帯、阿武隈帯、足尾帯および朝日帯に区分されている（図1 A）。蔵王火山基盤岩は阿武隈帯に位置し、阿武隈帯の深成岩類は、約100Ma（Maは100万年の単位）の年代値をもつ花崗閃緑岩が主体となっている。

蔵王火山基盤岩は、蔵王火山中央部の北方に広く分布する（図1 B）。山形県側では蔵王ダム上流の八方沢・葉ノ木沢や関沢IC付近、宮城県側

では小屋の沢・濁川、および県境にある標高1490 mの名号峰にかけて広く露出している。これらの岩石学的研究は無く、先行研究として蔵王火山西麓に位置する上山市棚木と櫓下の地熱調査井の掘削コア試料の記載と全岩化学分析結果が報告されているのみである（金谷・笹田、1990）。それによると棚木の坑井では掘削深度196.6m以深に花崗岩類があり、トーナル岩、花崗閃緑岩、花崗岩に大別され、各岩相は断層で接するとしている。櫓下の坑井では掘削深度451.1m以深に花崗岩類があり、花崗閃緑岩とグラノファイアーからなり両者共に著しい変質がみられるとしている。また全岩化学組成の変化図から、花崗閃緑岩と花崗岩は一連のマグマ系列であり、トーナル岩は異なるマグマ系列の可能性を述べている。



図2 A：小屋の沢における調査風景，滝の右岸側（向かって左）を下降中の吉田，
B：小屋の沢，比較的新鮮な花崗閃緑岩の露頭写真．スケールは2kgクラックハンマー

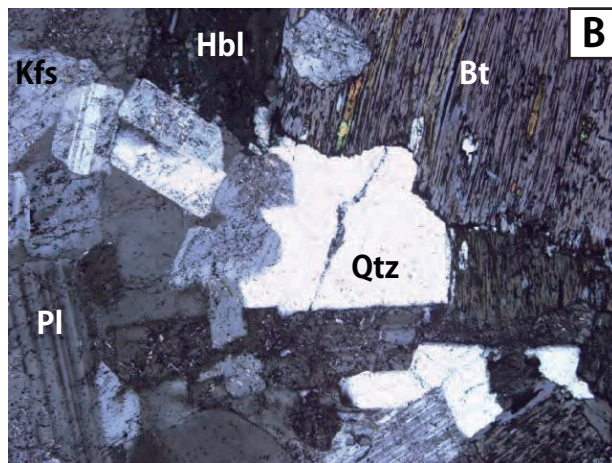


図3 代表的な花崗閃緑岩の岩石スラブ写真および薄片の顕微鏡写真（クロスニコル）．

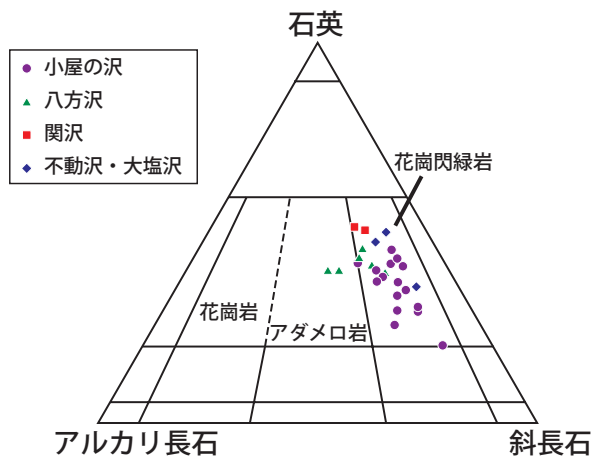


図4 蔵王火山基盤岩の石英－斜長石－カリ長石モード分類図。

本研究において、関沢IC付近、不動沢、大塩沢、八方沢、小屋の沢の現地調査を行った。花崗岩類の多くは黒雲母の緑泥石化が顕著で熱水変質を被っていると考えられるが、小屋の沢では露頭の連続性が良く、比較的他地域よりも変質作用を被っていないより新鮮な岩石が分布している（図2）。中粒塊状の花崗閃緑岩からなり、構成鉱物の量比に差異があるため流域全体では不均質な岩相となっている。

岩石記載と全岩化学組成

主成分鉱物は、角閃石、黒雲母、斜長石、カ

リ長石、石英からなり、副成分鉱物として、ジルコン、アパタイト、不透明鉱物、スフェーン、アラレ石、二次鉱物として緑泥石、緑れん石が認められる（図3）。角閃石は淡黄色～緑褐色、自形～半自形で粒径0.3–2.8mm（平均約0.7mm）、黒雲母は褐色～緑褐色、自形～他形で粒径0.2–2.5mm（平均約0.8mm）である。斜長石は半自形で粒径0.4–3.7mm（平均約1.5mm）、累帯構造が明瞭である。カリ長石は他形で粒径0.2–2.0mm（平均約0.5mm）、石英は他形で粒径0.1–3.2mm（平均約1.1mm）、他の鉱物粒間に充填状に存在する。石英－斜長石－アルカリ長石を用いた珪長質深成岩類の分類図では、八方沢の2試料がアダメロ岩、その他はすべて花崗閃緑岩である（図4）。

現地調査では肉眼観察で変質作用がみられない、もしくは変質の程度が低い岩石を採取している。これら2次的な変質の少ない29試料について、全岩主成分および微量成分化学分析を行った。粉碎には鉄製乳鉢とメノウ製ボールミルを使用した。分析は山形大学理学部の蛍光X線分析装置（RIX2000）を用いて行い、分析法は村田（1993）、山田ほか（1994）に従った。分析結果の一部を横軸にSiO₂wt.%, 縦軸に各元素をとった組成変化図で示す（図5）。蔵王火山基盤岩の花崗岩類は63–76wt.%のSiO₂組成を示し、SiO₂の

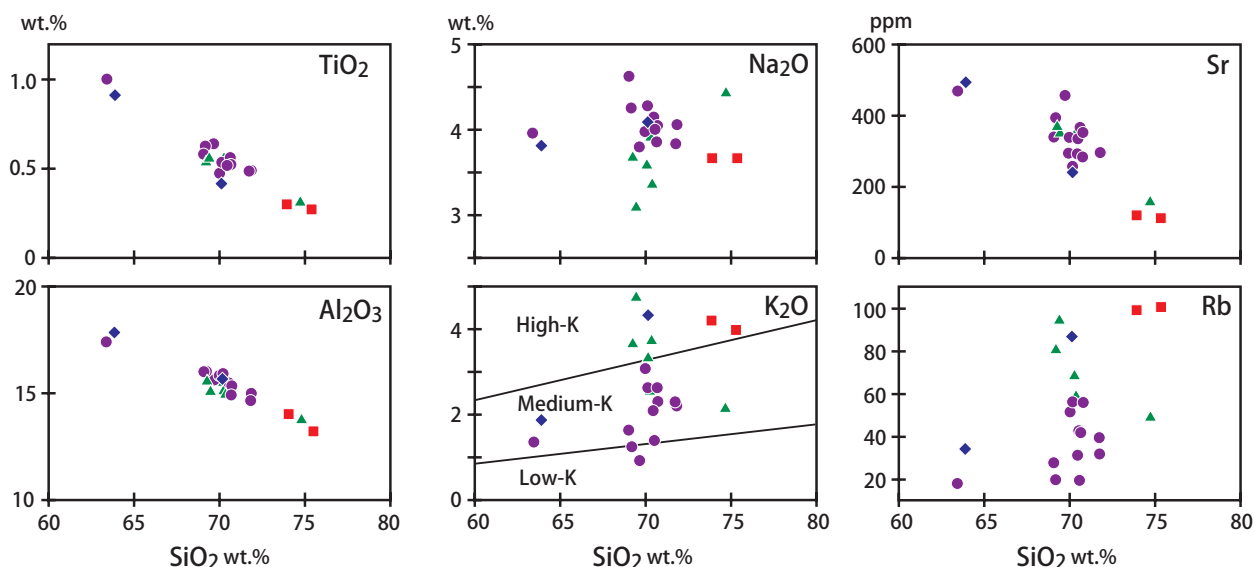


図5 全岩SiO₂ (wt.%) vs. TiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, Sr, Rb組成変化図。

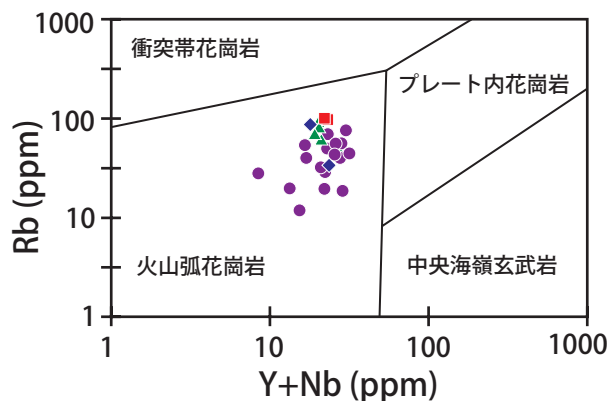
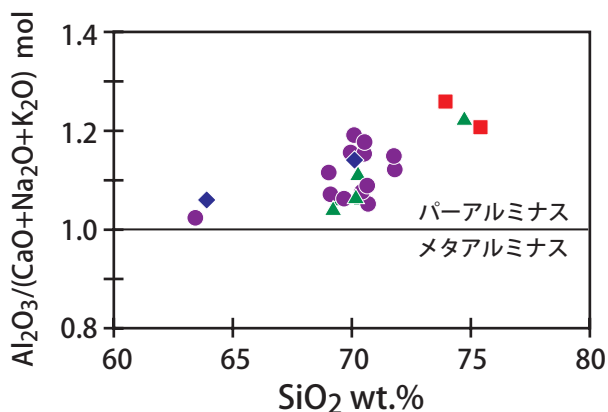


図6 アルミナ飽和度とPearce et al. (1984) による花崗岩の地球化学的判別図.

増加に伴って、 TiO_2 , Al_2O_3 , FeO^* , MnO , MgO , CaO , Sr , V , Zr は減少し、その他の元素は分散する傾向がみられる。アルミナ飽和度はすべての試料が1以上で、パーアルミナスな組成を示し、Pearce *et al.* (1984) による地球化学的判別図では、火山弧花崗岩の領域にプロットされる (図6)。

花崗岩類の組成変化について、組成変化トレンドが連続していることから、 SiO_2 が乏しく MgO や FeO^* に富む苦鉄質マグマから、 SiO_2 に富み MgO や FeO^* に乏しい珪長質マグマへのマグマの分化作用が考えられる (図7)。分化作用に伴う CaO の減少は、 CaO を多く含む斜長石と角閃石が分別することで説明できる。一方、 MgO の減少は角閃石と黒雲母の分別が考えられるが、黒雲母により分配される Rb がマグマの分化トレンドとは逆に増加していることから (図5)、黒雲母は分別相ではないことが示唆される。したがって、同源マグマからの角閃石と斜長石の分別結晶作用によって、岩相の多様性を生じたと考えられる。

Sr同位体比組成と形成年代

Srの抽出はHamamoto *et al.* (2000) に従って山形大学理学部で行い、同位体比の分析は新潟大学大学院自然科学研究科の表面電離型質量分析計 (MAT-262) を用いて行い、分析法はMiyazaki and Shuto (1998) に従った。アイソクロン年代および初生値は、特に変質の少ない8試料を用いて、York (1966) の方法により、 ^{87}Rb の崩壊定

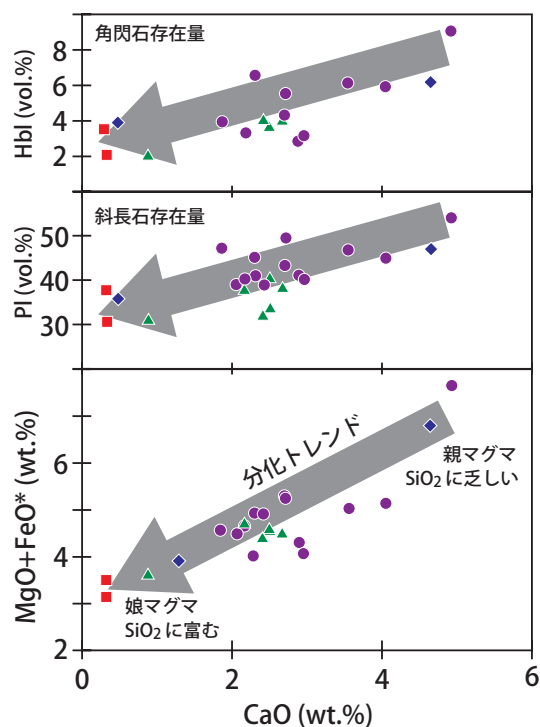


図7 $\text{MgO}+\text{FeO}^*$ vs. CaO 図および角閃石と斜長石の存在量による花崗閃緑岩の分化トレンドの検討.

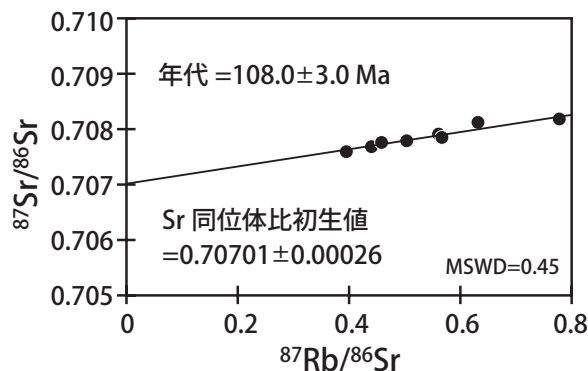


図8 蔵王火山基盤岩類のRb-Sr全岩アイソクロン図.

数 $1.42 \times 10^{-11}/\text{y}$ (Steiger and Jäger, 1977) を用いて計算した。その結果、 $108.0 \pm 3.0\text{Ma}$ のRb-Sr全岩アイソクロン年代が得られ、Sr同位体比初生値は 0.70701 ± 0.00026 である (図8)。Rb-Sr全岩アイソクロン法の閉鎖温度は約 700°C であり、得られる年代は花崗岩類の形成年代に近似される。阿武隈帯花崗岩類のRb-Sr全岩アイソクロン年代は、 $87 \sim 120\text{Ma}$ が報告されている (田中ほか、2002)。また閉鎖温度が約 500°C の角閃石K-Ar年代は $96 \sim 119\text{Ma}$ が報告されており (柴田・内海、1983)、蔵王火山基盤岩の 108Ma という年代値は、これらと一致する。

阿武隈帯下部地殻の多様性

花崗岩類のSr同位体比初生値は、花崗岩を作ったマグマを発生させた起源物質がその時に持っていた同位体比に依存する。阿武隈帯花崗岩類のSr同位体比初生値は、一般的に $0.705 \sim 0.706$ 程度と知られている。田中ほか (2002) より、阿武隈山地においては、南部から北部に向けて同位体比初生値が高くなる特徴が指摘されている。その後追加された新たなデータ (例えば、南陽市若松山岩体：滝口、2001MS；阿武隈山地丸森岩体：平原ほか、2015) をみても、その傾向が認められ、蔵王火山基盤岩のSr同位体比初生値が高い値を示すことと調和する。一方、平原ほか (2015) は、他地域の阿武隈帯花崗岩類のSr同位体比初生値も報告しており、阿武隈帯西部にあたる月山基盤岩は $0.7050 \sim 0.7053$ 、阿武隈帯北部にあたる白神山地と生保内地域の花崗岩類は $0.7049 \sim 0.7051$ 、脊梁山地の神室山の花崗岩類は $0.7048 \sim 0.7058$ となっており、一般的な阿武隈帯花崗岩のもつ同位体比と一致する。蔵王火山基盤岩が持つ 0.7070 の高いSr同位体比初生値は、阿武隈帯花崗岩類からは初めて得られた値である。阿武隈帯の花崗岩質マグマの起源となる下部地殻構成岩石は一樣ではなく、同位体比の高い物質の存在を新たに考えなければならない。

まとめ

岩石学的研究に未着手であった蔵王火山基盤岩

について、現地調査、岩石記載、全岩主成分・微量元素分析、Sr同位体比分析を行った。その結果、主要構成岩相は花崗閃緑岩で、同源マグマからの角閃石と斜長石の分別結晶作用による岩相の多様性が考えられること、Rb-Sr全岩アイソクロン年代は 108Ma が得られ、阿武隈帯花崗岩の活動年代と一致すること、一方で、Sr同位体比初生値は 0.7070 と一般的な阿武隈帯花崗岩のものよりも高く、阿武隈帯からは初めて得られた値であることが新たな知見である。

本研究結果は、蔵王火山基盤岩の地球化学的データを得ただけではなく、白亜紀のユーラシア大陸縁辺における地殻形成過程とその多様性について解明する一端となる。今後のNd同位体比分析やジルコンを用いたより詳細な年代論・成因論をすすめることが重要である。

参考文献

- 伴 雅雄、及川輝樹、山崎誠子、2015、火山地質図18「蔵王火山地質図」、産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- Hamamoto, T., Yuhara, M., Miyazaki, T., Fukase, M., Kondo, H., Ikawa, T., Ishioka, J., Kagami, H. and Shuto, K., 2000, Rb, Sr, Sm and Nd separation from rocks, minerals and natural water using ion-exchange resin. *Science Reports of Niigata University, Series E (Geology and mineralogy)*, 15, 49–58.
- 平原由香、仙田量子、高橋俊郎、土谷信高、加々島慎一、吉田武義、常 青、宮崎 隆、ボグダン ステファノフ ヴァグラロフ、木村純一、2015、東北日本弧に分布する白亜紀～古第三紀の花崗岩類のSr・Nd・Hf 同位体組成の空間分布。岩石鉱物科学、44、69–90。
- 金谷 弘、笹田政克、1990、蔵王地域の地熱調査井ZO-1・ZO-3の花崗岩類－元素分布から見た花崗岩類の不連続性と破碎帯－。地調月報、41、341–355。
- Miyazaki, T. and Shuto, K., 1998, Sr and Nd isotope of twelve GSJ rock reference samples using MAT262 mass spectrometer. *Geochem.*

- Jour.*, 32, 345–350.
- 村田 守、1993、蛍光X線分析法による韓国岩石標準試料の主成分および微量成分の分析。鳴門教育大学研究紀要（自然科学編），8，37–50。
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, 25, 956–983.
- 産業技術総合研究センター、20万分の1日本シェームレス地質図、<https://gbank.gsj.jp/seamless/>。
- 柴田 賢、内海 茂、1983、南部阿武隈山地花崗岩類の角閃石K-Ar年代。岩鉱、78、405–410。
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommittee on geochronology : convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Eart. Planet. Sci. Lett.*, 36, 359–362.
- 滝口 潤、2001MS、山形県南陽市周辺の花崗閃緑岩およびマイロナイト帯に関する地質学的・岩石学的研究。山形大学大学院理工学研究科修士論文。
- 田中久雄、柚原雅樹、加々美寛雄、滝口 潤（2002）阿武隈帯花崗岩類の放射年代とSr・Nd同位体組成。日本岩石鉱物鉱床学会 学術講演会 講演要旨集，246–246.
- 山田泰治郎、河野久征、村田 守、1994、低希釈率ガラスビード法による岩石の主成分と微量成分分析。X線分析の進歩、26、33–44。
- York, D., 1966, Least square fitting of a straight line. *Can. J. Phys.*, 44, 1079–1086.