

State of the Arc (SOTA) 2003 参加報告

佐野 貴 司*

Report of State of the Arc (SOTA) 2003

Takashi SANO*

1. 概 要

State of the Arc (SOTA) とは島弧マグマに関する研究交流会であり、3年に1度の割合で開催されている。第1回は1997年にオーストラリアのアデレード、第2回は2000年にニュージーランドのルアペフ火山麓で行われた(木村, 2000)。今回は第3回であり、2003年8月16~20日にアメリカ合衆国オレゴン州、Mt. Hood 南側中腹の Timberline Lodge (図1) で開催された。主催者はアメリカ人の Bill Leeman (Rice Univ.), Jon Davidson (Durham Univ.), Tobias Fischer (Univ. New Mexico), Anita Grunder (Oregon State Univ.), Mark Reagan (Univ. Iowa), Martin Streck (Portland State Univ.) であり、アメリカ、イギリス、オーストラリア、ニュージーランドを主とする世界中から約90人が参加して行われた。日本からは吉田武義(東北大)、木村純一(島根大)、田村芳彦(海洋科学技術セ)、佐野貴司(富士常葉大)の4名が参加した。

SOTA 2003 のテーマは 'Energy and Mass Fluxes in Volcanic Arcs' であり、5つのセッション(後術)が企画された。各セッションは2つのサブセッションから構成され、各サブセッションでは1人の招待講演者が30分間のキーノートスピーチを行った後、司会者の進行によりセッションのテーマについて60分間の議論が行われた。議論中は誰もがスライド2~3枚を使用した飛び入り研究発表をすることが許されており、日本人の研究者も精力的に発表していた。ほとんどの招待講演者はキーノートスピーチとしてセッションに関連する研究のレビューを行っていた。1つのセッションには午前または

午後の半日(3時間)が費やされ、夜はビールを飲みながらの全員参加のポスターセッションが行われた。また最終日の午後には Future directions and research objectives として以下の9つの問題が用意され、全ての参加者はどれか1つの問題を選択し、各問題について少人数での議論が行われた。

1. How can we better quantify thermal structure of subduction zones (SZs) ?
2. What are the mass and energy fluxes in arcs, and how do they influence arc structure?
3. How do we differentiate steady state processes from transient events in SZs, and how are these related to tectonic forcing functions?
4. What is the composition of the mantle wedge, how does it melt, and what does it produce?
5. What are the effects of the 'crustal filter' in modifying mantle magmatic inputs and/or in producing the observed compositional spectrum of arc magmas?
6. How does the slab impart its signal (chemical/physical) to arc systems?
7. How can we reconcile the disparate time scales across the compositional spectrum from U-Th radiotopes?
8. How can we better constrain the systematics and effects of degassing in the crust?
9. What drives crystallization and degassing in magmas?

なお SOTA 2003 ではアメリカ地質調査所の人々が企画した地質巡検が充実しており、pre-conference trip として8月16日に Mt. St Helens を、mid-conference trip として8月19日に Mt. Hood を、post-conference trip として8月21~23日に Oregon Cascade volcanoes を巡ることができた。

* 〒417-0801 富士市大淵 325
富士常葉大学環境防災学部
College of Environment and Disaster Research, Fuji
Tokoha University, 325 Ohbuchi, Fuji 417-0801, Japan.
e-mail: sano@fuji-tokoha-u.ac.jp



図 1. SOTA2003 が開催された Timberline Lodge.

2. 研究交流会

研究交流会は 8 月 17, 18, 20 日の 3 日間開催された。一部を除くと激しい討論は少なく、和やかな雰囲気の中セッションは進行した。以下では各セッションで行われたキーノートスピーチと議論を簡単に紹介する。

Session #1: Thermal structures of SZs.

Glenn Gaetani が petological constraints, Chris Kincaid が geophysical constraints についてキーノートスピーチを行った。Gaetani は主に H_2O や CO_2 に飽和な系でのカンラン岩溶融実験を紹介し、複数の実験者が報告しているソリダス温度の見積値には大きな差があることを指摘した。Kincaid はスラブおよびマントルウェッジの熱構造を知るために行われた数値計算をいくつか紹介した。彼はモデルが異なると熱構造の見積値は大きく変化すると述べていた。議論では島弧マグマソースにスラブ起源物質はどの程度関与しているのか、マグマはどのように生産されるのか (flux melting vs. decompression melting) 等についての話題が上がった。また従来 of 2 次元熱構造モデルでは実際よりも推定温度が低い可能性があり、今後は 3 次元での実験を行う必要性があると指摘された。

Session #2: Sources, processes, and rates of mass fluxes originating below the Moho

John Eiler が島弧マグマのソースマントルに関する岩石・地球化学的な研究をレビューし、Simon Turner が島弧下マントルでのマグマや流体の移動速度に関する研究を紹介した。島弧下のマントルが沈み込んだスラブ起源の物質の影響を受けていることは地球化学データから示唆されているが、もう一步踏み込んだ研究の必要性が確認された (例: スラブからマントルへの物質移動状況の推定, マントルウェッジ中のスラブ起源流体の定量的見積もり, 等々)。Simon Turner はスラブ起源流体の U-Th 系列年代の見積値は 1 万年以下と短い、放射性同

位体元素毎に計算した値には違いがあることを示した。この年代の違いはスラブからマントルへの流体の移動機構やマグマの生産機構の違いを反映しているのかもしれないと議論になった。このセッションは最も飛び入り発表が多く、Bill Leeman, Julie Morris 等が自分の研究を紹介していた。日本人研究者の 1 人も東北日本火山の Sr 同位体比を基にしたマグマ生成モデルを情熱的に紹介していた。彼は他のセッションにおいても島弧のソレアイト系列とカルク・アルカリ系列マグマを 1 つのダイアピルによって生産するモデル等を紹介していた。私の記憶では彼が参加者の中で最も多くの飛び入り発表を行っていた。

Session #3: Chronologies and rates, mass contributions, and impacts of crustal level processes that influence arc magmatism

まず若手研究者である Georg Zellmer が島弧火山岩の U-Th-Ra 系列年代についてのコンパイルを行った。彼は U-Th-Ra 系列の鉱物アイソクロンと捕獲結晶の累帯構造から推定される拡散年代の比較から、地殻内でのマグマ停滞時間や斑晶鉱物が晶出してから噴火するまでの時間を推定できると主張した。議論では地殻の混染、マグマ混合、熱水変質等による見積時間の変化等が指摘された。次に Mike Dungan および Jon Davidson が鉱物累帯レベルでの微量成分量や同位体比のデータをいくつか紹介し、マグマ分化の際には地殻の混染やマグマ混合が複雑に絡み合っていることと指摘した。全岩の微量成分や同位体比とあわせて斑晶鉱物の累帯構造を説明するためには、開放系での結晶分化、地殻混染、結晶の再溶融等について考慮が必要であると議論された。セッションの最後には George Bergantz が島弧地殻の形成に関する実験岩石学および物理モデルについての研究を紹介した。

Session #4: Energetics and dynamics of magma feeder systems

前半は Kelly Russell がマグマ組成変化を議論する際に必要な熱力学的制約についてのレビューを行い、議論された。後半は Jon Blundy の発表であったが、これはレビューではなかった。彼は Mt. St Helens のマグマ成因に関する独自の見解を発表した。彼の発表に対する議論が研究交流会の中で最も白熱したので、ここでは少し詳しく記述する。彼の主張は以下の通りである。(1) 島弧下のマントルウェッジで生成したマグマは必ず Moho に溜まるだろう。何故なら Moho は密度差が大きく、上部に存在する地殻は剛体のためマグマの上昇を妨げるからである。(2) Moho に溜まったマグマを熱源にして Moho の上部に存在する地殻: ガプロ ($H_2O \sim 2 \text{ wt}\%$) は

溶融するだろう。ガブロの部分溶融マグマは H_2O を 10 wt% 程度含むはずであり、これは粘性率がとても低い。(3) 部分溶融マグマは地殻に僅かな割れ目が存在すれば、そこを急上昇つまり断熱上昇するであろう。何故ならばマグマの粘性率はとても低いからである。(4) 2~300 MPa (深さ 6~9 km) まで断熱上昇するとマグマは H_2O を保持することができなくなり、これを吐き出す。つまり H_2O は揮発する。これと同時に多量の結晶が晶出し、マグマは安山岩~デイサイト質に分化するはずである。(5) 上記のモデルに従ってマグマ組成を計算すると、主および微量成分組成は Mt. St Helens のデイサイト組成となる。私は彼の説得力のある話し方および主張の虜になったが、納得のいかない研究者が多数いるようだった。従って様々なコメントが出された(例えば、Mt. St Helens の玄武岩組成を説明できない、同位対比に関する議論がない、等々)。最も長時間に渡ってコメントしたのが Tim Grove であった。彼は数 100 MPa~数 GPa のような圧力では H_2O 入りマグマは数%の H_2O を含むマグマと数%のマグマを含む H_2O に分離することを説明し、 H_2O の飽和含有量は単純に決まらないと強調していた。

Session #5: Origins, budgets, and influences of magmatic volatiles

まず Bernard Marty が希ガス同位体を基にした島弧マグマ中ガス成分の起源を調べた研究をレビューした。島弧マグマの He 同位対比は中央海嶺玄武岩の比と同じであり、He ソースは上部マントルであると考えられている。一部 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が低い島弧火山岩が存在し、これは地殻の混染の影響によると解釈されているが、スラブ堆積物の影響を見ている可能性もあるとの議論になった。希ガスに関しては脱ガスの際の同位体変化、スラブの同位対比等、未知のデータが多くあるので、今後は精力的に研究されていくことが望まれた。次に Paul Wallace がマグマ中のガス成分 (H_2O , CO_2 , SO_2 , Cl) の分析方法と分析結果に関するコンパイル成果を発表した。彼は岩石学的に推定された硫黄含有量はリモートセンシングから推定された含有量に比べて少ないことを取り上げ、熱水循環等によるガス成分の運搬の必要性を強調していた。

3. 火山巡検

前述のように SOTA2003 では3つの火山巡検が企画されていた。私はこのうち2つの巡検 (Mt. St Helens, Mt. Hoot) に参加したので、これらについて報告する。

3-1 Mt. St Helens 巡検

Mt. St Helens 巡検に参加する研究者は研究交流会の2日前(8月15日)にポートランド空港脇のホテルに集合

することになっていた。各研究者はツインの部屋に相部屋で宿泊した。私と同部屋は H_2O 飽和系での岩石溶融実験を精力的に行っている Malcolm Rutherford であった。彼と同部屋になったおかげで岩石溶融実験のテクニックに関する多数の情報を聞くことができ、私にとって有意義な日となった。

巡検当日朝7時、巡検参加者は3台のバンに分乗し、Mt. St Helens の北側斜面を目指した。バンはオレゴン州立大等から提供され、女学生が運転をしていた。最後部に乗った私の隣には、イギリスに留学中というフランス人学生が座っていた。3時間以上のドライブを経て、Mt. St Helens 北東側の Stop 1 に到着した。ここは1980年の山体崩壊(火山性岩なだれ)の際に連続写真が撮影された名所である。残念なことに、この時は雲に遮られ、山体を見ることができなかった。Stop 2 では過去12,000年間に Mt. St Helens から噴出したテフラ層序および西暦1980年の blast deposit が観察できた(図2)。Mt. St



図2. 過去12,000年間に Mt. St Helens から噴出したテフラ層序。手前で用紙を見ているのは案内者の John Pallister。



図3. カルデラの脇から撮影した Mt. St Helens。

Helens は噴火毎に異なった組成（玄武岩質～デイサイト質）や特徴（粒径，発砲度，構成鉱物）のテフラを噴出しているため，各テフラの見分けがつきやすく，詳細な層序が確立されていると感じた。Stop 2 から Stop 3 に向かう途中，岩なだれの爆風によって丘全体の木々がなぎ倒された地点を通過した。崩壊後間もない頃の映像によると丘全体が灰色一色であったが，現在は所々に緑があり，高い木は 2m を越していた。巡検のクライマックスは崩壊した馬蹄形カルデラ内部を巡る Stop 3 であった。灰や砂が靴の中に入ってくるのに我慢しながら，流山の間をぬってカルデラ内部に入った。カルデラ内部からは Mt. St Helens 本体を目前に見ることができた（図 3）。

3-2 Mt. Hood 巡検

研究交流会の合間の 8 月 19 日は Mt. Hood の現地見学会が企画された。まず Stop 1, 2 へは Timberline Lodge から徒歩にて移動した。Stop 1 では 145,000 年前（K-Ar 年代）の安山岩質溶岩の見学および採取（図 4），Stop 2 では氷河に削られた谷とサージ堆積物の見学を行った。Stop 3 以降は 9 台のバンに分乗し（図 5），Mt. Hood の麓～中腹に分布する溶岩流を主に見学した。いずれの溶岩流も K-Ar 年代は数万～10 数万年前であったが，日本の同年代の溶岩に比べると新鮮であった。これは植生が乏しいことに起因するのであろう。巡検の最後は山の北側中腹へ登り，山頂に存在する複数の溶岩円頂丘や氷河地形の観察を行った。

4. おわりに

SOTA 2003 の報告は <http://www.ruf.rice.edu/~leeman/SOTA2003/info.html> にて読むことができるので，詳しい内容はそちらを参照頂きたい。次回の SOTA 2006 は南米のチリで行われる予定である。



図 4. Mt. Hood の安山岩質溶岩を見学する巡検参加者。

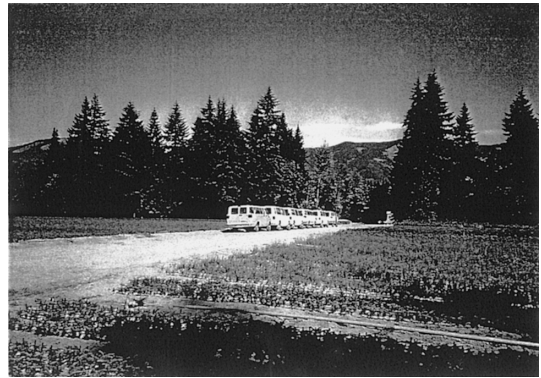


図 5. Mt. Hood 巡検に使用されたバン。この付近の畑は日本人入植者によって開墾されたようである。

引用文献

- 木村純一 (2000) State of the Arc (SOTA) 2003 (Ruapehu, New Zealand) 参加報告. 火山, 45, 119-122.