

講演

「活発化する火山列島・日本 ～東工大の取り組み～」

第33回蔵前科学技術セミナー報告および講演録

2015.10.24 くらまえホール

蔵前工業会主催、東京工業大学ならびに東京工業大学火山流体研究センター共催による「活発化する火山列島・日本～東工大の取り組み～」と題する第33回蔵前科学技術セミナーを10月24日（土）の午後くらまえホールにて開催しました。

蔵前工業会の石田理事長と東京工業大学三島学長の挨拶に引き続き、東京工業大学火山流体研究センターの小川康雄教授、野上健治教授、神田径准教授、寺田暁彦講師、および東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻高橋栄一教授の講演があり、参加者276名が熱心に聴講しました。今回はプレス関係8社の参加があり、終了後に講師全員との記者会見が行われました。

東京工業大学が取り組んできた火山観測研究の歩みと成果を紹介いただき、活発化する火山列島・日本の現状を把握する有意義な機会となりました。

東京工業大学	火山流体研究センター	草津白根火山観測所長・教授	小川	康雄
東京工業大学	火山流体研究センター	教授	野上	健治
東京工業大学	火山流体研究センター	准教授	神田	径
東京工業大学	火山流体研究センター	講師	寺田	暁彦
東京工業大学	大学院理工学研究科	地球惑星科学専攻教授	高橋	栄一

講演 1

「活発化する火山列島序論」

東京工業大学
火山流体研究センター
草津白根火山観測所長
小川 康雄 教授



1. プレートテクトニクスと 日本列島の火山

日本列島に沈み込む太平洋プレートは、10000km 遠方の東太平洋海膨におけるマントル上昇流で生成されたもので、年間数cmの速さで水平に移動し日本海溝からマントル内に沈んでいます。冷たく厚いプレートが沈み込んでいるにも関わらず、その深部でマグマが発生し地上に火山ができるのは不思議なことで

す。沈み込むプレートは深度100kmに到達すると含水鉱物から水が放出され、その水によって周囲のマントルの融点が下がってマグマが発生するのです。このような深部のマグマの分布は地震波や電磁波の観測から明らかにされています。マグマは深度100kmから地殻に向かって浮力で上昇し、マントルと地殻の境界付近の深度にたまりま。さらに火山直下ではマグマは数km深度にマグマだまりを形成します。

2. 噴火の様式

2.1 マグマ噴火

2.1.1 山体噴火

マグマの粘性によって種々の噴火様式を示します。マグマの粘性はシリカが多いほど大きくなります。ハ



ワイの溶岩のように玄武岩マグマは粘性が低く、マグマ中のガスが効率よく排出されていくのでマグマの噴出様式は流動的です。一方、桜島のような安山岩質のマグマは粘性が高く、マグマ中のガスが抜けきらずに噴出するために、マグマ中のガスが地表付近で急激に膨張するため爆発的な噴火をします。火山灰や火山弾を飛ばし、火砕流を発生することもあります。

2.1.2 カルデラ噴火

地表に数10kmスケールのカルデラ地形を形成する噴火もあります。これは、地殻深部で大量の玄武岩質マグマが停留して、効率よく流紋岩質マグマが分化・分離して浮力で上昇して、地表に亀裂を作りながら噴出し、大きな陥没地形を作ります。日本では、南九州や北海道で発生しており、噴火の頻度は1万年に1回程度です。

2.2 水蒸気噴火

2014年9月の御嶽火山の噴火や、2015年6月の箱根火山大涌谷の小規模噴火が水蒸気爆発で、最近特に注目を集めています。東京工業大学の観測

所のある草津白根火山も1976年、1982-83年に水蒸気噴火をしています。水蒸気噴火は比較的小規模で、地表付近の浅い現象ですが、前兆が捉えにくいです。火山流体研究センターでは、草津白根山を模式地として水蒸気爆発場の研究を推進しています。

具体的には火山ガスや火口湖湖水の化学分析、微小地震、精密地殻変動、地磁気の観測を行っています（図表1-1）。2014年3月から、火山活動が活発化し、ガス組成が変わり、地震数が急増し、山体の膨張や山体の高温化が観測されました。地表の火山現象を理解するには、その地下構造を理解することが重要であることが認識されました。

講演2

「わが国における火山研究と東工大の果たしてきた役割」

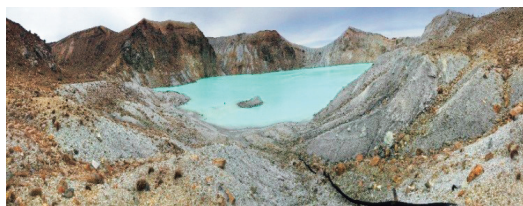
東京工業大学

火山流体研究センター

野上 健治 教授

1. わが国における火山観測研究

日本列島とその周辺海域



図表 1-1 草津白根火山湯釜火口（2015年10月10日小川教授撮影）

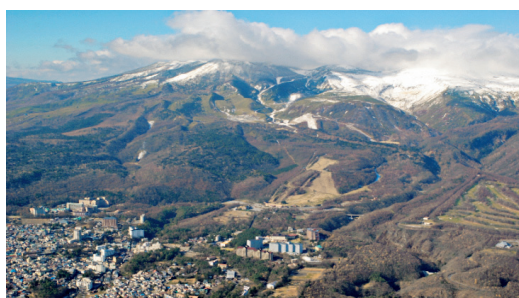
には活火山が110座あり、これは全世界の活火山の約7%に相当します。これらは国立公園・国定公園内にあるため観光地化しているところも多く、小規模噴火でも大きな災害になる可能性が高くなります。大規模な噴火が発生すれば高速鉄道・道路・航空網はその影響を避けられず、市民生活に与えるインパクトは甚大です。従って、火山活動の継続的な観測・研究は、国民の生命・財産を火山災害から守る為に極めて重要です。

2. 東工大における火山観測の歴史

本学での火山研究は、1950年代の理学部化学科分析化学教室での火山発散物の研究をもって嚆矢とします。その後、理学部化学科地球化学教室、工学部無機材料工学科地質鉱物学教室で独自に地球化学的手法による観測研究・実験的研究が行われ、本学は火山化学の世界的な研究拠点の一つとなっていました。

火口周辺の噴気口から放出される火山ガスについては1950年代半ばまでは採取方法さえも確立していませんでした。当時分析化学教室におられた小澤竹二郎先生（埼玉大学名誉教授）によって難問だった火山ガスの採取・分析法が世界で初めて確立されました。その後、全国各地の火山で火山ガス観測が行われ、膨大なガス組成のデータが蓄積されています。

草津白根山は熱水形が発達した活火山です。この山頂には水釜・湯釜・涸釜の火口湖があり、山麓には高温・強酸性の温泉水が大量に湧出している草津温泉があります（図表2-1）。地質鉱物学教室におられた小坂丈予先生（本学名誉教授）のグループによって、1968年から草津白根山の火山ガスや温泉水、岩石の変質現象や粘土鉱物など総合的な地球化学的研究観測が行なわれていました。1976年草津白根山水釜噴火に際しては、その数年前から火山ガス組成の変化等を把握し、前年には水釜での水蒸気爆発の可能性を公表しています。これが化学的手法による水蒸気爆発予知の世界初の成功例となりました。これに続く1982～1983年に湯釜が噴火し、水蒸気爆発予知研究の重要性が認識されるようになりました。1985年に本学に草津白根火山観測所が設立され、2000年には地球電磁気学を加えた火山流体研究センターへと改組し、現在に至っています。



図表 2-1 草津白根山撮影図（野上教授撮影）

3. 東工大の果たしてきた役割と今後の展望

火山活動の“変化”を捉え、噴火を予測するためには静穏期のデータが非常に重要で、地道な観測が不可欠です。本学でのこれまでの研究によって、火山活動の化学的観測の重要性・有効性が示されてきました。先人の努力でできた草津白根火山観測所・火山流体研究センターは非力学的手法による火山観測所として世界的にユニークな存在であり、火山観測研究のみならず、人材育成の拠点としてより一層の貢献が社会から求められています。

講演 3

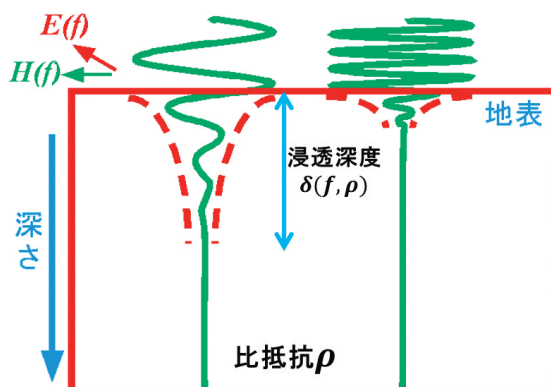
「電磁場から探る火山の内部」

東京工業大学
火山流体研究センター
神田 径 准教授

1. 火山の内部を探る手段としての比抵抗



火山のどこにマグマや地下水があり、どのような形で存在しているのかを知ることは、火山噴火を理解する上で非常に重要です。地球を構成している物質には電気を流す性質があるため、地球内部には様々な原因による微弱な電流が流れています。どのくらいの電流が流れるかは、比抵抗（あるいはその逆数である電気伝導度）という物性値によって決まります。乾燥した岩石は電気をほとんど流しませんが、電解質を含んだ水や溶融した高温のマグマがあれば、電気は良く流れるようになります。



図表3-1: MT法の原理

地中に侵入した電磁場は下方へ減衰しながら伝播し、浸透深度（ δ ）程度まで到達します。地表での電場と磁場の比が浸透深度（電磁場の周波数の関数）までの平均的な比抵抗（ ρ_a ）の情報を持ちます。

ます。従って、比抵抗の分布、つまり地下構造を知ることができれば、火山内部の物質の違いや状態を間接的に知ることができます。

2. MT法とは

物理探査法は電気探査と電磁探査に大別できますが、火山の調査では、自然信号を用いる電磁探査が大きな探査深度が得られるため頻繁に使われます。最も普及しているMT法（magnetotellurics）では、太陽風と地球磁場との相互作用により生じる磁気擾乱や、電離圏における雷活動など、地球外に起源を持つ電磁場変動を信号源として利用します。電磁場が地球内部に浸透すると、大地の中に誘導電流が生じます。誘導電流の大きさは比抵抗に依存するため、電流が作る電場と磁場を測定することで、大地の比抵抗が求められます。電磁場の周波数によって浸透深度が異なるので、複数の周波数の電場と磁場を観測することで、深度方向の情報が得られます（図表3-1）。

3. 火山噴火の発生場とキャップ構造

水蒸気爆発が発生する場をMT法活用により調べることで、未だ良くわかっていない発生機構の解明に繋がたいと考えています。水蒸気爆発の噴出物には、地下浅部で変質を受けた熱水変質鉱物が多く含まれることから、その発生場は火山体浅部に発達する熱水系であると考えられています。粘土に代表される

熱水変質鉱物は、透水率が小さいため、キャップ構造を作ります。キャップ構造とは、熱水変質鉱物の持つ低透水性により、流体の上昇通路を妨げるような構造で、その下部で温度・圧力が高まりガス溜りを形成することから水蒸気爆発が誘発しやすい環境が形成されていると考えられます。水蒸気爆発を典型的な噴火形態とするいくつかの火山の比抵抗構造を調べた結果、表層付近の熱水変質した領域（低比抵抗かつ低透水性のキャップ）が、様々な異常現象の発現、ひいては噴火の鍵を握っている可能性が高いことがわかってきました。キャップ構造をより詳細に調べるには、比抵抗の値から物質を特定することはできないので、色々な手法を組み合わせた総合的な研究が必要になります。

講演 4

「空中と地中から探る火山の内部 ～御嶽山噴火・草津白根山の活発化」

東京工業大学
火山流体研究センター
寺田 暁彦 講師

1. 草津白根火山 観測所の観測網

本学は、草津白根火山の活動火口から半径1km以内にほとんどの火山観測



装置を集中配置するという、大変ユニークな火山観測網を運用しています。その目的は、火口にできる限り接近してデータを取得することで、いまだ未明な水蒸気噴火の準備過程と、その発生過程を観測的に明らかにすることにあります。

2014年春、これら観測網が整備されてから初めてとなる本格的な火山活動の変化がみられました。今回の火山活動に対して特に有効に機能したのが、3箇所に埋設された本学のポアホール型傾斜計です。本装置は地面の傾きを感度 $10^{-8}\mu\text{rad}$ で精密に測定するものです。傾斜変動の空間分布は、地下浅部におけるマグマや熱水の位置や量の変化ばかりでなく、その形状についての情報も有しています。火口の至近距離に複数の観測点を展開することで、これらの情報を最大限に引き出すことが可能となりました。現在の草津白根山の火山活動は、水蒸気噴火の準備過程であると考えています。実際に噴火が発生する場において、噴火前にどのような現象が進行しているのか？ 本学では、観測点維持のコストや、噴火による被災リスクを冒し、あえて火口超近接観測網を展開していたことで、火口浅部における熱水蓄積の過程を詳らかにしつつあります。本学の観測網は、研究、教育設備として世界的にも希にみる貴重な存在であるばかりでなく、気象庁にもリアルタイムでデータ伝送することで、火山監視、地域防災の一翼を担っています。

2. 火山観測の新展開

ドローンと呼ばれるバッテリー駆動式マルチコプターは、GPSを用いることで火山ガス観測のための道具としても大変優れています。無人であることから、人体に危険が及びかねない火口周辺でも自由に活動できます。また、エンジン機では困難な、空気密度の小さい海拔3000m前後の高高度でも安定飛行が



図表4-1 火山ガス観測のために離陸する火山観測ドローン
噴火直後の御嶽山において2014年11月21日撮影
(長野県王滝村・田の原天然公園)

可能です。火山灰など微粒子が存在する空域でも飛行可能であり、我が国のほとんどの活火山における、さまざまな場面で運用が可能です。御嶽火山2014年噴火においては、急遽、複数の大学からなる研究グループを組織して、火口から標高差800m、水平距離で約3km離れた安全地域から、火口へ向けてドローンを飛行させました(図表4-1)。搭載した各種センサにより、マグマの関与や熱水温度を反映する火山ガス組成比や放出量、火口温度などを測定することに成功しました。これらのデータは、従来は火山学者が火口まで出掛けなければ得られなかった情報です。ドローンを用いれば、計測ばかりでなく、ガス採取や火口湖の採水なども可能です。航続距離や法規制などのハードルがありますが、そう遠くない将来、ドローンが火山学者ロボットとして活躍する時代が訪れるかも知れません。

講演 5

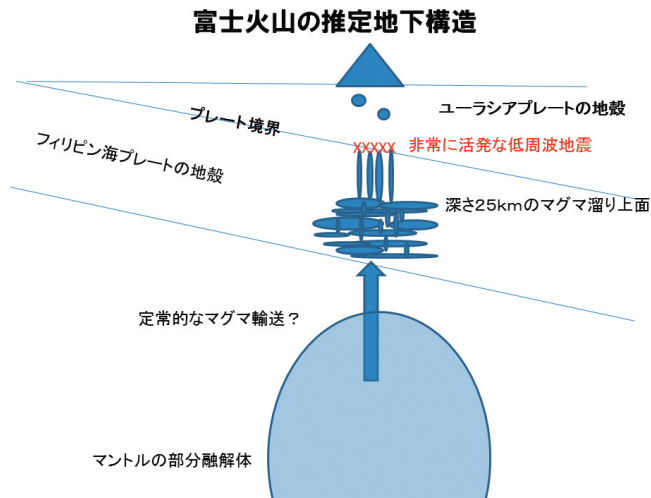
「富士山は噴火するか」

東京工業大学大学院
理工学研究科
地球惑星科学専攻
高橋 栄一 教授



1. 17世紀の巨大地震と 北海道の火山活動活発化

地震により火山活動が活発化するというシナリオは多くの火山で提起されています。しかしこれまでの研究例では地震と火山活動の時間間隔は数時間、数日、数か月がほとんどでした。これに対して17世紀の北海道では1611年に起きた巨大地震と駒ヶ岳・有珠・樽前の火山活動開始が30～50年の時を隔てています。このような長い時間を隔てた地震と火



図表5-1 富士火山の推定地下構造

山活動の相互作用についてはこれまで考えられて来ませんでした。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により日本列島の応力場に大きな変化があったことが知られています。1611年に千島海溝で起きた巨大地震の結果、北海道もこのような広域応力場の激変を受けてマンツルから地殻への玄武岩マグマの供給が増大した可能性があります。その場合、巨大地震と火山活動の開始までの数十年の時間間隔こそが玄武岩マグマの注入により休眠中で半固結状態にあるマグマ溜りが加熱されて火山活動を再開するまでに必要な時間と考えることができます。樽前、有珠、北海道駒ヶ岳の火山はいずれも3000年以上の休止期間を持っていたから、マグマ溜りや火道の固結が進んでおり、マグマ供給レートが増加してから火山噴火に至るまでに数十年が必要であったのでしょう。貞観地震の2年後に鳥海火山が玄武岩溶岩噴火したことで、46年後に十和田火山がプリニー式噴火したこともマンツルからのマグマ注入に対するマグマ供給系の異なる時間応答なのかもしれません。

2. 日本列島の今後の火山活動 (富士火山を例として)

2011年3月11日に起きた巨大地震の影響で日本列島の火山の多くが活動を再開する準備段階にあると推察されます。比較的速やかに活動を開始する玄武岩質火山がある一方、数十年かけてマグマ溜りの

温度を上げ大規模な噴火を起こす珪長質マグマの火山もあるでしょう。来るべき火山活動の活性化過程を読み解くためには我々は火山の深部構造とそのダイナミクスに関する理解をそれぞれの火山について高めることが何より重要であると考えます。東工大高橋研究室では、内熱式ガス圧装置を用いて富士火山宝永火口から1707年に噴火したマグマの溶融実験を高温高压で行い、玄武岩マグマが深さ25kmのマグマだまりから噴出したことを明らかにしました。また同じく地球惑星科学専攻の中島淳一は地震波トモグラフィーの手法で富士火山および周辺の火山の地下構造を地下100kmまで解明しました(図表5-1)。富士火山の過去1万年間の活動史、地震トモグラフィーから推定される地下深部の構造、高温高压実験から推定されるマグマ溜りの熱的状态などの情報を総合し、富士火山の今後の活動予測について検討しました。

