

( 1 ) 実施機関名：

東京工業大学

( 2 ) 研究課題(または観測項目)名：

水蒸気爆発発生場における火山性流体の化学組成と比抵抗構造のモニタリング

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山噴火に至る準備過程

( 2-2 ) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

( 4 ) その他関連する建議の項目：

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本計画の目標は火口湖の湖水及び噴気ガスの組成・放出量を繰り返し観測し、電磁気学的観測と併せて水蒸気爆発場の流体・ガスのダイナミクスを明らかにすることにある。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度 湯釜湖水と噴気ガスの組成・放出量の観測手法の検討と電磁気の繰り返し観測システムの構築準備

平成 22 年度 湯釜湖水と噴気ガスの組成・放出量の観測、湯釜近傍における電磁気の繰り返し観測システムの構築

平成 23 年度 湯釜湖水と噴気ガスの組成・放出量の観測、湯釜近傍における電磁気の繰り返し観測システムの運用

平成 24 年度 湯釜湖水と噴気ガスの組成・放出量の観測、湯釜近傍における電磁気の繰り返し観測システムの運用

平成 25 年度 湯釜湖水と噴気ガスの組成・放出量の観測、湯釜近傍における電磁気の繰り返し観測システムの運用

( 7 ) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

水蒸気爆発発生場のモデルフィールドである草津白根山において、火山性流体の組成変動の観測と地磁気連続観測を実施した。

熱水系の発達した草津白根山の山頂には火口湖「湯釜」が存在する。その湖底からは火山性の熱水が供給されており、湖水は強酸性(pH=約 1.2)で、塩化物イオンや硫酸イオンなどの火山ガス起源の陰イオン成分が溶存する。火口湖や温泉はこれらの火山ガス起源の成分に対してコンデンサーの役割を果たすため、その濃度や組成は地下深部から供給される火山ガスの性質を反映している。

各イオンの濃度は降水などの外的要因や火山活動によって変動するが、塩化物イオンは数千 mg/l 含まれており、火山ガスの化学組成の特徴を考慮すると、相当の高温の火山ガスがこの熱水系に関与していることは明らかである。更に、高温の火山ガスの関与している熱水にはフッ化物イオンが含まれていることは古くから知られているが、これまで湯釜湖水中のフッ化物イオンのデータは存在しない。

今年度、過去に採取された湯釜湖水試料のフッ化物イオン濃度を定量し、その変化と火山活動との関連を検討した(図1)

1982年10月から1983年12月の間、湯釜火口を中心とした草津白根山山頂で5回の水蒸気爆発が生じた。フッ化物イオン濃度は噴火期間中に大きく上昇したのに対して、塩化物イオン濃度はあまり大きく変化しなかった。その結果、濃度比(F/Cl 重量比)は噴火期間中に上昇し、噴火期直後に採取された湖水試料は最大のF/Cl比を示した。その後、噴火活動が徐々に静穏化するとF/Cl比、フッ素濃度は低下した。このことから、噴火期間中、湯釜湖水には塩化物イオンに比べてフッ化物イオンに相当富んだ熱水が供給されていたことが示唆される。その後、1989年10月から地震活動が活発化し、同時期に塩素濃度が、その半年後にはフッ素濃度が上昇し始めた。この活発な地震活動は1992年9月まで続いたが、顕著な表面現象は見られず、F/Cl比はこの期間中は下降し続けた。この期間中に湯釜へのフッ素・塩素の供給は増えていると考えられるが、塩化物イオン濃度の変化がフッ化物イオン濃度の変化に比べてかなり大きかったために、F/Cl比は低下を続けたものと考えられる。F/Cl比が1982、83年の噴火期と異なり上昇しなかったことは、火山活動に関与した火山ガスの組成が大きく異なることを示唆するもので、注目に値する。この地震群発の後、F/Cl比は徐々に上昇している。2007年にはフッ化物イオンの急上昇に伴うF/Cl比の上昇があり、翌年8月には湯釜火口内北東部に噴気帯が出現した。湯釜火口内に噴気帯が現れるのは1982-1983年噴火以降初めてのことであり、火山活動の活発化を示唆する物であったと考えられる。従って、F/Cl比の変化は、2007年頃から湯釜火口下の熱水系に対して高温の火山ガスが供給され続けていることを示唆しており、水蒸気爆破場における火山活動のモニタリング指標になりうる。このように、熱水系に対する深部マグマ起源の高温の火山ガスの pulse 的供給は、安定した火山熱水系を不安定化させる要因となる可能性が高く、今後の火山活動には注視する必要がある。一方で、熱水中のフッ化物イオンはケイ酸塩との反応性が非常に高いことが考えられ、その挙動を正しく評価するためには母岩との反応について明らかにする必要がある、今後の研究が待たれる。

2008年7月に湯釜火口北東に噴気帯が現れて以来、その近傍における1m深地温の連続観測を継続している。観測開始から半年後にはこの標高における沸点に達している。降雨の影響等を受けて一時的に低下するが、ほぼ沸点を保っていた2012年以降、徐々にそれが低下している。一方、水釜火口内の地温の連続観測地点は湯釜火口内の熱異常領域の近くにありながら殆ど変化していない。この結果は、湯釜に対して火山性流体が spot 的に供給されていることを示しており、cap rock などの地下浅部の局所的構造に規制されている可能性が高い。噴気の組成は殆ど変化していないが、噴気量は明らかに減っており、この温度変化はこのエリアに対する火山性流体の供給が低下していることを示唆する可能性もある。但し、この観測点は一点であり、面的にカバー出来ておらず、地下浅部で熱の上昇ルートが若干移動していることも考えられる。地温観測は火山性流体の移動を捉えているが、その移動や消長を捉えるためには面的に測定することが必要である(図2)

土壌拡散放出ガスの放出量をモニターする方法を2か年かけて開発し、今年度、この手法で、1902年(明治)火口において、拡散ガスの観測を行った。その結果、現在は熱異常のない火口周辺において微量の拡散放出CO<sub>2</sub>の放出量を求める事ができた。この結果は、地下浅部の熱水系からCO<sub>2</sub>が漏れだしている path があることを示している可能性があり、火山体の弱線など、構造に起因するものである可能性がある。今、更に面的な調査を実施することで、顕在化していない構造を捉えられる可能性がある。

マグマ噴火と異なり、水蒸気爆発場は規模が小さいために、地震学やGPSなどの力学的な観測手段で監視することが困難である。水蒸気爆発場の典型である草津白根山の山頂火口周辺については、ガスをトラップする低透水性の粘土キャップ(Smectite)が火口付近に釣り鐘状に存在していること、その中に火山ガスがトラップされていること、キャップの断裂部が地表の噴気地に対応することが分かって来ている。この粘土キャップは、低透水性を示すと同時に低比抵抗を示すために、その形状の時間変化について電磁誘導を用いてモニターが可能である。Smectiteは、200以下でのみ存在できるので、火口直下に高温のガスが流入してくると薄くなることが期待されている。そこで火口直下の比抵

抗構造を精密に観測する手法の必要性があり、Volcano-Loop という人工電流場を用いる観測法が提案された。これは、直径数十メートルの電流ループに矩形信号を流して、その過渡応答を同じ大きさの受信ループで計測することで地下構造を観測する手法である。本研究では、このハードウェアが完成したので、それを草津白根山において試験観測を行った。

このシステムでは送信電流ループと受信電位ループを同一地点に置き、送信ループにステップ電流信号を流し、電流遮断後の受信電位を測定することによって、観測点直下の構造を高精度に決定するため、将来的には火口直下の比抵抗構造をモニターすることができると考えられる。送信機は、カーバッテリーで駆動でき、最大 10A を送信することができる(図3)。受信電位については電流遮断後の 0.1ms から 30ms にわたる電位過渡波形を計測しする。測定された電位波形について、モデルのスムーズネスを構想条件とする Occam インバージョンも作成した。草津白根山 KSE 観測点における約 20 分間の試験観測から、深度 400m 程度まで高精度に比抵抗を決定できることが分かった(図4)。

地磁気観測は、地表面の温度観測からは分からない火山体内部の熱的状态の推移がモニタリングできる。地磁気連続観測点のみから熱的状态が把握できるようにすることを目的として、2010 年度にプロトン磁力計による連続観測点を 4ヶ所に設置した(図5)。これまでの気象庁地磁気観測所の繰り返し観測によって、地磁気変動の変動源は水釜火口南の深さ約 600 m に推定されている。日本で観測する場合、地磁気全磁力が最も大きく変動する場所は、変動中心の南側(熱消磁型変動の場合、全磁力減少)と北側(全磁力増加)に位置する。そこで、水釜火口周辺に磁気源が生じた際に期待される全磁力変動分布を基に、周囲の状況やノイズ環境、メンテナンスの容易さを考慮し、湯釜・水釜の北側に 2か所、南側に 2か所を選定した。観測は 2010 年 11 月にスタートし、2010 年度の冬期は凍上等の影響で良好なデータが取得できなかったが、2011 年 5 月からは 2 分間隔の全磁力データを取得している。各観測点における全磁力データと東京大学地震研究所八ヶ岳地球電磁気観測所(YAT)との単純差を取ると、湯釜・水釜の北側の観測点(KN1, KN2)において減少、南側の観測点(KS1, KS2)において増加の傾向が観測されている。これは、地下浅部の熱的状态が冷却過程にある場合に観測される変化である。ただし、北側の観測点では 2013 年度はほとんど変化していないように見える(図6)。変化源の位置は、より北側に位置する KN2 の変動量が KN1 より大きいことから、観測網より西側に変化源(帯磁源)があるか、または、KN1 極近傍にローカルな消磁源がある可能性がある。地磁気変化源として単一の磁気双極子を仮定し、約 2.5 年間の各観測点の変化量から変化源の位置を求めると、湯釜北西縁の直下の標高 1250m 付近(深さ約 750m)に推定された。磁気モーメントの大きさは  $5.52 \times 10^7 \text{Am}^2$  であり、平均獲得磁化強度を 1.0A/m とした場合、半径 236m の球状領域が完全に帯磁することと等価である。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京工業大学火山流体研究センター 野上健治 小川康雄 神田径  
他機関との共同研究の有無 : 無

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京工業大学火山流体研究センター  
電話 : 03-5734-2515  
e-mail : knogami@ksvo.titech.ac.jp  
URL : <http://www.ksvo.titech.ac.jp/>

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名 : 野上健治  
所属 : 東京工業大学火山流体研究センター

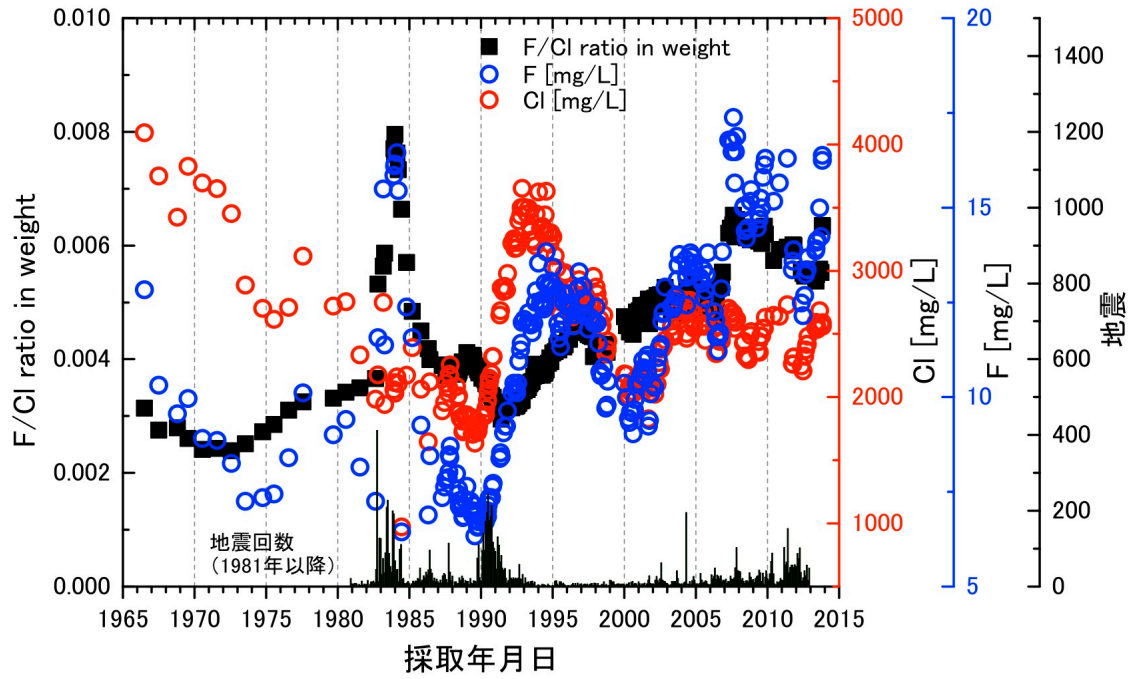


図1 湯釜火口湖水中の塩化物イオン及びフッ化物イオン濃度の時間変化

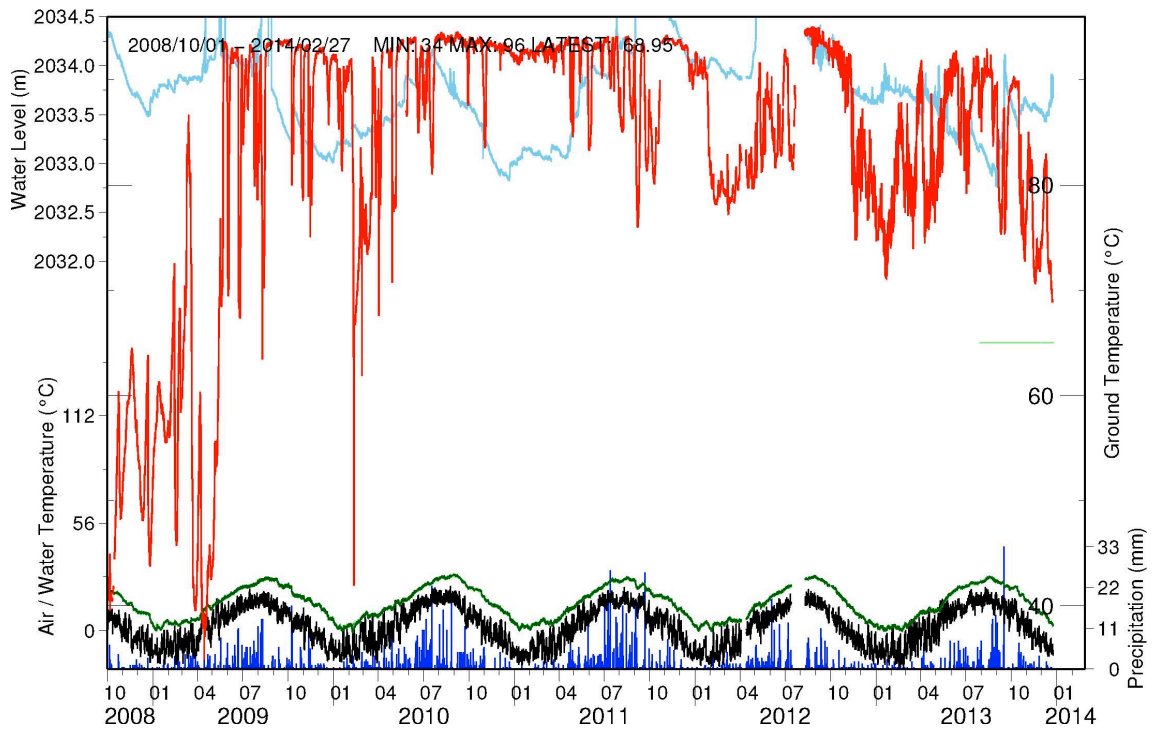


図2 湯釜火口北東噴気帯の地温と湯釜火口の水温及び気温の時間変化

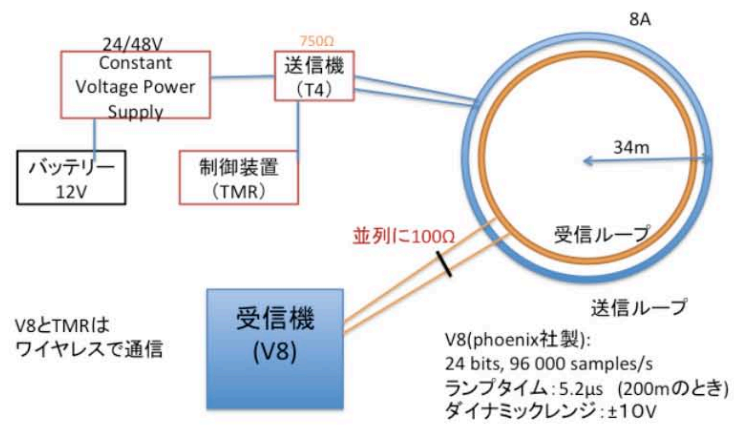


図3 Volcano Loop system の機器配置

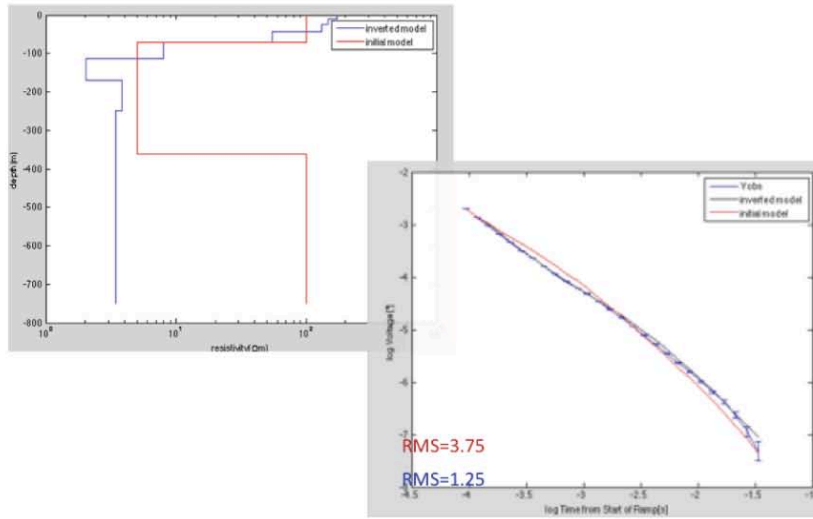


図4 インバージョンモデルとそれに対応する観測データ

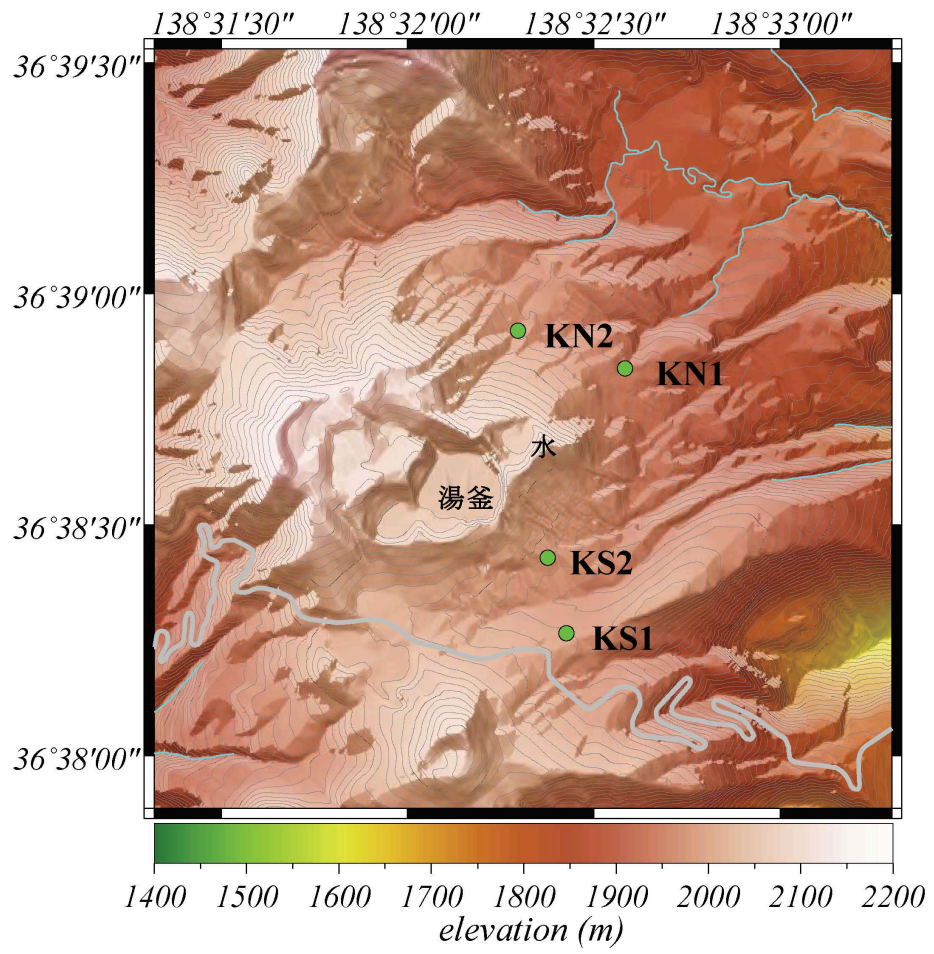


図5 プロトン磁力計連続観測点配置図

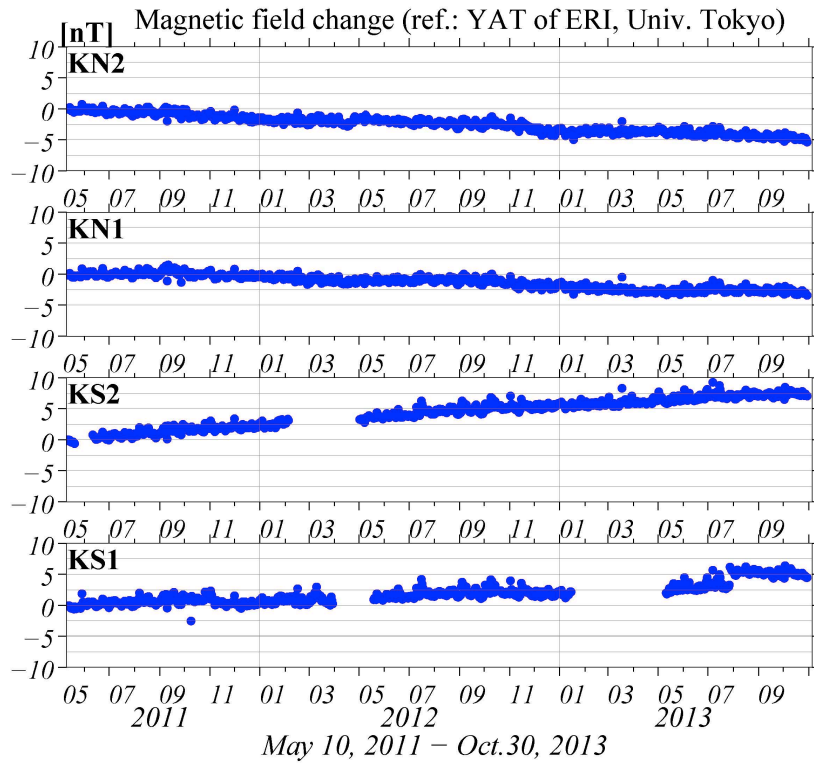


図6 全磁力の経年変化