

# CHEER news

素粒子で地球を覗く



東京大学地震研究所 高エネルギー素粒子地球物理学研究センター  
Center for High Energy gEophysics Research

No.2



特集

ミュオグラフィと重力から  
昭和新山の三次元内部構造  
を描き出す

# ミュオグラフィと重力が三次元内部構造を描き

宇宙線を使って、火山の内部を透視することができる先端技術のミュオグラフィ。

それに、古典的な重力探査を組み合わせることで、

火山の内部構造を三次元的に描き出そうという研究が進んでいる。

高エネルギー素粒子地球物理学研究センター(CHEER)の大久保修平センター長と大学院生の西山竜一さんは、昭和火山の内部構造を三次元的に描き出すことに成功。噴火のメカニズムを理解する上でも重要な成果として注目されている。

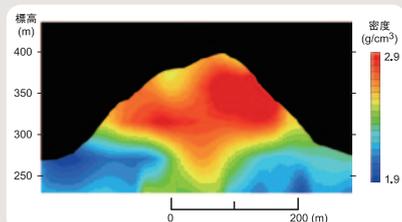
2011年4月13日から17日にかけて、北海道の昭和火山で重力探査が実施された。「昭和火山の内部構造を三次元的に明らかにするためです」と西山竜一さん。探査には、大久保修平センター長や北海道大学有珠火山観測所の研究者も参加した。表紙の写真は、そのときのものだ。

昭和火山は、有珠山の1943～45年の噴火によって隆起してできた、有珠山の側火山である。昭和火山の溶岩ドームが成長していく様子は、地元の郵便局長であった三松正夫さんによって詳細な記録が残されている。その後も昭和火山についてさまざまな観測調査が行われ、2007年には特に注目すべき成果がCHEERの田中宏幸 准教授(当時、地震研特任助教)によって発表された。

それは、ミュオンを用いた透過像である

図1 ミュオグラフィによる昭和火山の透過像

上は観測点から見た昭和火山の外観。下はミュオグラフィによって明らかになった平均密度の分布。赤は密度が大きく、青は密度が小さい。中央下に周囲より密度が高い部分があり、そこが火道ではないかと考えられている。



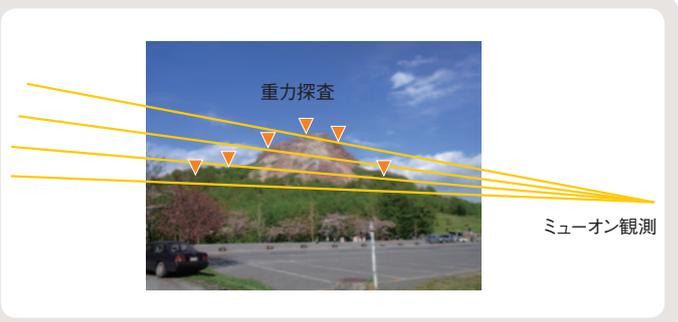
(図1)。ミュオンは、宇宙から飛んでくる宇宙線が大気中の原子と衝突して発生する素粒子の一種で、物質を通り抜けて直進する性質を持っている。透過力が強いが、それでも物質の密度が高いところや厚いところを通ると数が減る。ミュオンの数がどのくらい減ったか、その割合を観測することで、飛来してきた方向の平均密度が分かるのだ。この手法を「ミュオグラフィ」と呼ぶ。

## ミュオグラフィと重力探査の合わせ技

西山さんは学部4年生のときに田中准教授の研究について知り、「素粒子で火山の内部構造が分かるなんて面白い」と、大学院でミュオグラフィを研究しようと思ったという。ミュオグラフィは火山の内部構造を見る画期的な手法として注目を集めている。しかし、分かるのはミュオンの飛来してきた方向の平均密度である。「昭和火山の透過像では、マグマの通り道である火道のようなものが見えています。しかし、火道が溶岩ドームの中央にあるのか、向こう側や手前側に寄っているのかまでは、分かりません。火山の内部構造を三次元的に明らかにしたい。それを修士論文のテーマに決めました」と西山さんは言う。

図2 ミュオグラフィと重力探査

ミュオグラフィは火山を横から、重力探査は火山を上から見ることになる。両者を組み合わせることで、火山の内部構造を三次元的に描き出す。



そこで注目したのが、重力である。地球の重力は1Gだが、密度の大きいものの上では大きく、逆に密度の小さいものの上では小さくなる。この原理を用いる重力探査は、火山の内部構造を知るための方法として古くから用いられてきた。「火山を横から見るミュオグラフィと、上から見る重力探査を組み合わせることで、火山の中身を三次元的に知ることができるはずだと考えました」と西山さん(図2)。大久保センター長は、「ミュオグラフィも重力も密度に敏感だから、両者を組み合わせるというのは自然な流れです。しかし、誰もやっていませんでした。西山君はそれに挑戦したのです」と言う。

## 重い装置を担いで急斜面を登る

2011年4月、昭和火山で重力探査を実施。溶岩ドームの上と周囲の合計30点で重力を測定した(図3)。昭和火山の調査ができる時期は限られている。夏から秋は木が茂り過ぎて観測点の位置決定が困難となり、冬は積雪があるため、調査に適さない。調査できるのは、4～5月の限られた時期だけだ。

「写真で見ると簡単に登れそうだと思うかもしれませんが、とんでもない」と大久保センター長。昭和火山は、麓の森を抜けると、突然切り立った溶岩ドームになる。整備された登山道などない。この土地の所有者で、三松正夫記念館館長の三松三朗さんに道案内をしてもらわなければ、安全に登ることはできない。「40度近い斜面もあり、はいつくばるようになって登っていきます。しかも土がさらさらなので、足を踏み出すと崩れてしまう。まるで地獄のようなところを、10数kgもある重力

# ら昭和新山の 出す

高エネルギー素粒子地球物理学研究センター

大久保修平 センター長

西山竜一 大学院博士課程1年

計や測量機器を担いで登るのです」

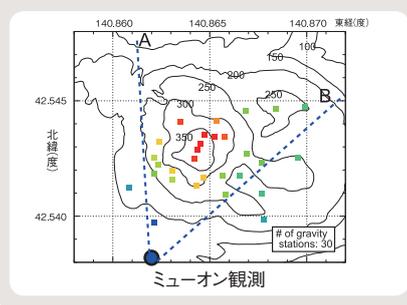
予定していた観測地点に到着すると、まずGPSで位置を計測する。そして、重力を測定し記録。重力は1億分の1Gほどの精度で測定する。西山さんは調査を振り返って、「とにかく苦しかった」とつぶやく。「山登りも大変でしたが、私は重力計を担いだまま転んでしまったのです」。重力探査では、正確さを期すため同じ場所で1日2回測定する。西山さんが転んだのは、1日の計測が間もなく終わろうとしているときだった。「丁寧に調整済みの、非常に精巧な装置に大きな衝撃が加わってしまったため、再調整が必要です。条件が変わってしまうためその日の計測データは使えず、次の日にすべてやり直し。十分気を付けていたつもりだったのですが、もう少しで1日が終わると気が緩んだのかもしれない。大久保センター長たちは、私が転んだのを見て“あっ”と声を発した後、しばらく沈黙していました。体も心も痛かったです」

叱責されたことだろう。ところが、大久保センター長は言う。「怒っても仕方ありません。命に関わるなど取り返しのつかない失敗でない限り、失敗させた方がいいのです。痛い目に遭わないと分からないこともあるでしょう。そうやって育っていくのです」

野外調査は大変だが、小さな楽しみもある。「1年前の事前調査のときは、スチームクッキングをしました」と西山さん。卵やソーセージを中腹の噴気孔に置いておくと、頂上を回って戻ってきたころには、食べ頃になっている。

### 図3 重力の観測点

A・Bと青丸を結んだ部分がミュオグラフィで観測した領域。溶岩ドーム上とその周囲の合計30点(四角)で重力探査を行った。



大久保センター長は野外調査の魅力をこう語る。「決められた時間内に、決められたミッションを達成する。そのためにはあらかじめ綿密な計画を立て、その通りに遂行していく必要があります。でも、アクシデントもあります。それをどう乗り越えるか。それが面白いのです」

### 昭和新山の三次元密度構造が見えた

西山さんは重力の測定データから密度を求めるプログラムを開発し、解析を進めていった。2011年10月には、日本測地学会で途中段階の成果を発表し、「学生による講演会優秀発表」に選ばれた。「学会での口頭発表は、そのときが初めてでした。緊張しましたね。質問が怖いのです」と西山さん。それに対して大久保センター長は、「次々と来る質問をユーモアを交えながらばっさばっさと切っていくときほど気持ちがいいことはありません。そう思えるようになるには、場数を踏むことが必要ですね」

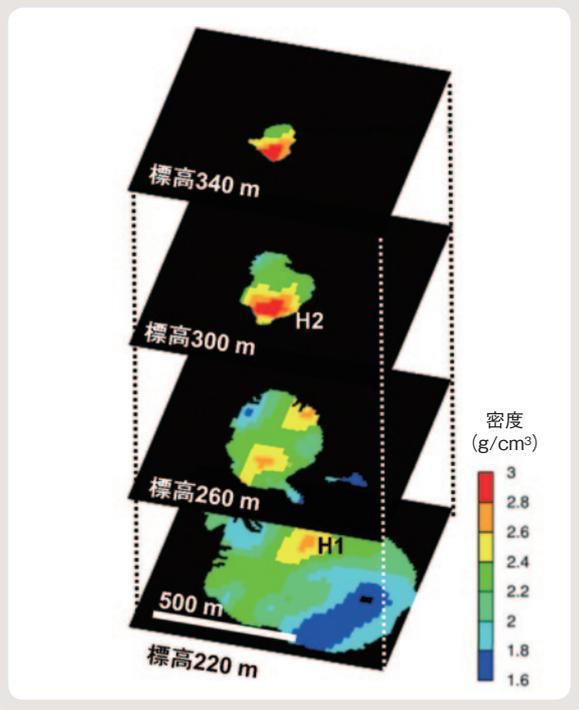
西山さんはその後も解析を進め、ミュオグラフィと重力の情報を組み合わせて昭和新山の内部構造を三次元的に描き出すことに、世界で初めて成功(図4)。「火道が山体の中央ではなく、北側に寄っていることも分かりました。火山の内部構造が分かると、溶岩がどのように上がってきたかなど、噴火メカニズムなどの理解に大きく貢献します」と西山さんは解説する。「今後は、2007年のときとは違う場所でミュオグラフィの観測を行うことを計画しています。それによって、より詳細な三次元構造が明らかになるでしょう。そして、別の火山でもミュオグラフィと重力の情報を組み合わせて内部構造を三次元的に明らかにしたいですね」

### 自ら問題を設定して自ら解く

西山さんは現在、博士課程1年である。博士論文のテーマは決まったかを聞くと、「今探しているところです」という答えが返ってきた。

図4 ミュオグラフィと重力探査による昭和新山の三次元構造の推定

溶岩ドームの最下部(標高220m)に、溶岩の通り道と思われる密度の高い領域が発見された。火道は中央より北側に寄っている。溶岩ドームの頂上付近(標高340m)まで密度の高い領域が延びている。



大久保センター長は「修士課程では多くの場合、指導教官から学生に研究テーマを与えます。しかし、博士課程ともなればもう研究者として半人前以上ですから、自分で研究テーマを見つける必要があります。博士課程の1年目は自由にいろいろなことをして、自分が解くべき問題を見つけさせるようにしています。東大の学生は、問題を解くのは得意だけれども、問題を見つけるのは不得意ですね」と言う。

西山さんが今関心を持っていることのひとつが、ミュオグラフィの観測装置の小型化である。現在の装置は数mの大きさがあり、大きな電力も必要のため、観測装置を室内に設置して観測している。「検出器に半導体を使うことで、コンパクトで省電力の装置を開発しようとしています。実現すれば屋外でも観測ができるようになるので、火山のいろいろな方向から内部構造を調べることが可能になります」

「観測装置の小型化は、博士論文で取り組むにはいい問題です」と大久保センター長。「解けるかどうか分からない大きな問題に、不安と戦いながら取り組んでいく。そして、その問題を解けたとき、“自分は天才だ!”と思うのです。でも、それも15秒くらい。すぐに、“どうしてこんな簡単な問題が解けなかったのか”と自己嫌悪に陥る。研究というのは、その繰り返しです」。西山さんは「私には、まだその経験がありません。頑張ります」と気を引き締める。若手研究者の育成——それもCHEERの重要なミッションの一つである。

# TOPICS

## 7層式カロリメーターが試験観測に成功

『CHEER news』1号で紹介した4層式を、ノイズを大幅に低減できる7層式に改造し、北海道有珠地域での試験観測に成功しました。



## 国際共同研究

スペインとの共同研究のため、宮本成悟研究員がスペイン・カナリア諸島で原子核乾板の設置を行いました。目的は、山体崩壊によって大津波を起こす恐れのある火山の破碎帯をミュオンで透視することです。

## 『CHEER news』バックナンバー公開

WEB上で公開中。<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/CHEER/newsletter.html>

## 文部科学省リーディング大学院

文部科学省「博士課程教育リーディングプログラム」事業で、東京大学は数物フロンティア・リーディング大学院に採択され、多数の応募者の中から本センターの大学院生(西山竜一)が、そのコース生に選抜されました。

高エネルギー素粒子地球物理学研究センター(CHEER)のミッション

「宇宙線ミュオンやニュートリノ等の高エネルギー素粒子を用いた、火山などの巨大物体の透視」という革新的技術を核に、組織的・有機的な理工学の研究開発及び若手研究者の育成を進める。

# INFORMATION

## 招待講演

S. OKUBO et al., Three dimensional tomography of a volcano with unprecedented resolution - Joint inversion of gravity and muon-radiography data (中国地球物理学会、北京、2012年10月19日)

## 最近の主な刊行論文

- Okubo & Tanaka (2012), Measurement Science and Technology, Vol. 23, No. 4.
- Shinohara & Tanaka (2012), Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 349-350, pp87-97.

## 人事

- 大久保修平 気象庁・地震防災対策強化地域判定会委員(2012年12月1日)

# COVER

昭和新山(北海道有珠郡壮瞥町)は、国の特別天然記念物。噴火前は麦畑だった場所から粘り気の強い溶岩が突き出した溶岩円頂丘で、現在も100°Cほどの噴気活動がある。新山形成時の様子を記録した、故三松正夫氏作成の図は、ミマツ・ダイアグラムとして世界中の火山学者に知られている。

表紙は、2011年に実施した昭和新山のドーム頂上における重力探査の様子(北海道大学 前川徳光氏 撮影)。三脚に立てたGPSアンテナで位置情報を取得し、重力計(白い箱状のもの)で重力を測定する。

下は、2010年の予備調査のときの写真。右から、昭和新山所有者の三松三朗氏(三松正夫記念館館長)、1人置いて大久保センター長、西山大学院生。

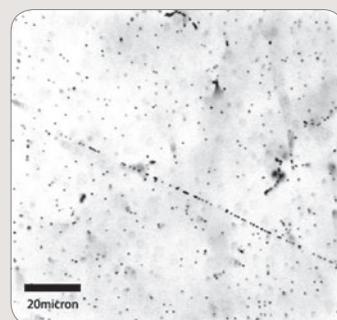


## CHEER 豆事典 ②

### 宇宙線ミュオン、どうやって捉える？ 原子核乾板の巻

宇宙線の中のミュオンは、絶え間なく地上に降り注いでいます(1号掲載の豆事典①)。このミュオンを使って火山内部などを透視する原理は、人体の内部をX線で透視するのに似ています。X線撮影と同様に、ミュオンによる透視撮像用にも特別なフィルムが用いられ、原子核乾板と呼ばれています。火山などを通り抜けてきたミュオンが、フィルム面に当たると、フィルムに塗布していた乳剤(臭化銀:AgBr)と反応します。現像液で処理すると、反応した箇所に0.6ミクロン(1ミクロンは1000分の1mm)の銀粒子の並びが、黒い飛跡として浮かび上がります(写真)。

ミュオンを記録する方式として電気的な別の方法もありますが、原子核乾板は電気の使えない場所などでの観測に適しており、本号で紹介した昭和新山の透視にも用いられました。



## CHEER news 第2号

2012年12月発行

発行者  
東京大学地震研究所  
高エネルギー素粒子  
地球物理学研究センター

制作協力  
フォトンクリエイト  
(デザイン: 酒井デザイン室)

問い合わせ先  
〒113-0032  
東京都文京区弥生1-1-1  
東京大学地震研究所  
高エネルギー素粒子  
地球物理学研究センター  
広報担当  
Eメール  
Koho-cheer@eri.u-tokyo.ac.jp  
ホームページ  
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/CHEER>