

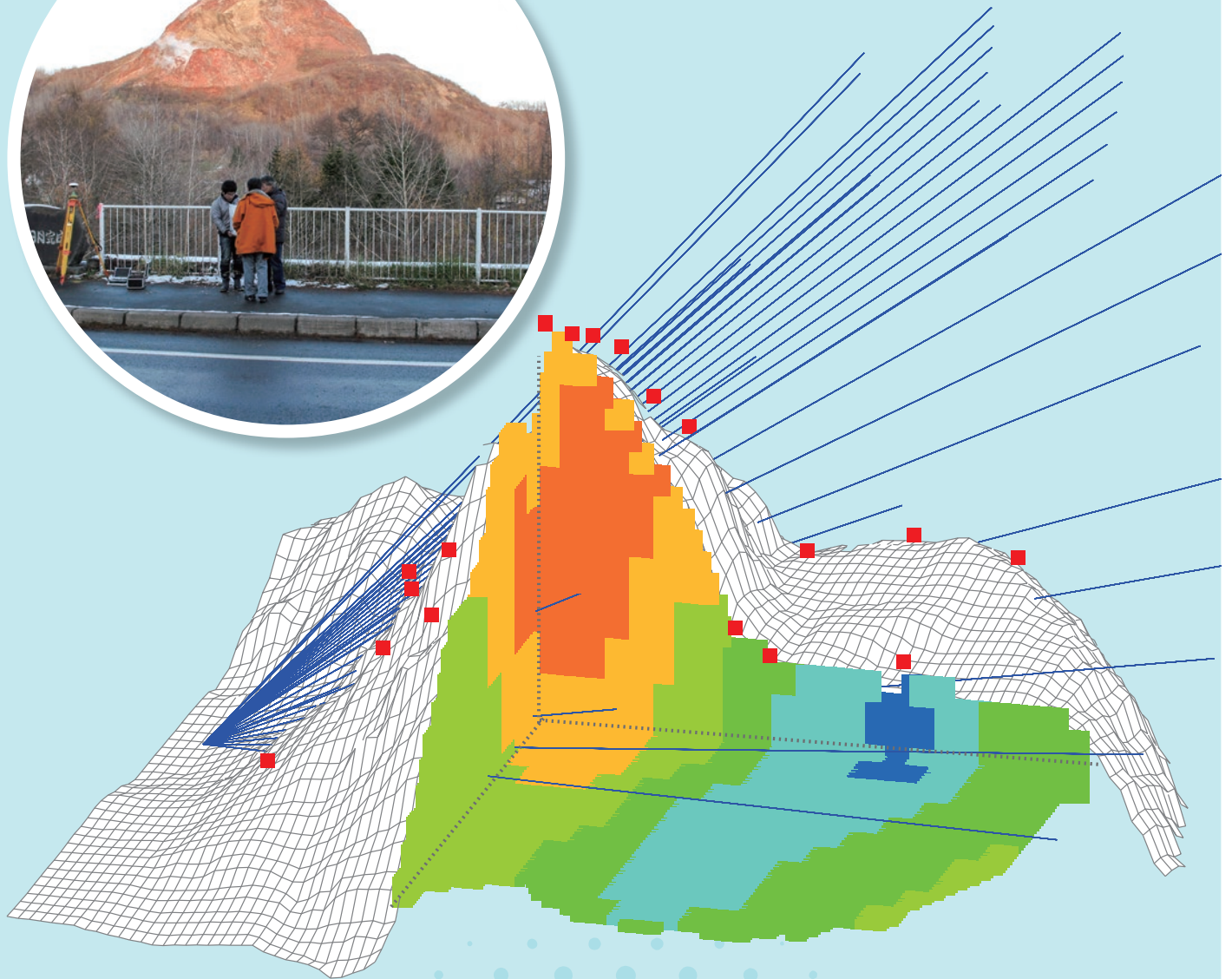
CHEERnews

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. 7



特集

ミュオグラフィの
高精度化に向けた
大学院5年間

ミュオグラフィの高精度化にかけた 大学院5年間

高エネルギー素粒子
地球物理学研究センター
特任研究員
西山竜一

『CHEER news』第2号(2012年12月発行)では、「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」と題して、大久保修平センター長と当時大学院博士課程1年だった西山竜一特任研究員(以下、研究員)の研究を紹介した。その後、西山研究員はミュオグラフィにおける長年の問題であったノイズを軽減する観測方法の研究開発に取り組み、2015年3月に博士号を取得。4月からは地震研究所 高エネルギー素粒子地球物理学研究センター(CHEER)特任研究員に着任した。大学院での研究生活、その中での苦悩、そして今後の展望を、西山研究員に聞いた。

修士課程ではヒントをつなげて

CHEERの大学院生第1号である西山研究員は、修士課程において、北海道にある昭和新山の内部構造を三次元的に明らかにすることに取り組んだ。昭和新山については、2007年にCHEERの田中宏幸 教授(当時、地震研特任助教)が、素粒子の一種であるミュオンを用いたミュオグラフィによって内部構造を調べている。「ミュオンは透過力が高いのですが、それでも物質の密度が高いところや厚いところを通過すると吸収されて数が減ります。ミュオグラフィは、ミュオンの数を観測することで、それが飛来してきた方向にある物体の平均密度を知ることができる画期的な手法です。しかし、三次元構造までは分かりません。そこで、重力探査と組み合わせることを考えました」と西山研究員。

地球の重力は1Gだが、密度の大きいものの上ではわずかに大きく、密度の小さいものの上ではわずかに小さくなることから、重力探査によって火山の密度分布を知ることができる。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、火山の内部構

造を三次元的に明らかにしようというのだ。

2011年、昭和新山の30地点で重力探査を実施。2007年のミュオグラフィのデータと組み合わせて解析し、昭和新山の三次元構造を世界で初めて描き出すことに成功。西山研究員はその成果を修士論文にまとめ、博士課程に進んだ。「論文では、自分一人で重力探査に着眼し、調査を計画して実施したように書いていますが、実際はそうではありません。修士課程では多くの場合、指導教官がヒントを用意しておいてくれ、それをつなげていって研究らしい形に仕上げていきます。しかし博士課程では、自分で問題を設定して解いていかなければなりません。何をしたいのか分からず、途方に暮れました」

鉛積層型検出器で 昭和新山を観測

博士課程での研究テーマを決めかねていたとき、頭に浮かんだのは、「まずは昭和新山のミュオグラフィをやってみよう」ということだった。2007年とは違う場所からのデータを加えることで、より詳細な三次元構造が得られ

ると考えたのだ。

早速、宮本成悟助教と共に観測を実施。2007年の観測と同じ、4枚の原子核乾板を重ねた検出器を設置した。原子核乾板は写真フィルムのようなもので、ミュオンの飛跡を記録できる。「原子核乾板20枚と、運搬時に原子核乾板を保護する鉛板が何枚か余っていました。そこで、原子核乾板の間に鉛板を挟んだ検出器を即席でつくり、同時に観測してみようということになりました」と西山研究員(図1)。万力やL字金具は、現地のホームセンターで調達した。なぜ、鉛板を挟んだのだろうか。「ミュオグラフィでは、ミュオン以外の粒子によるノイズが問題になっていました。ノイズの多くは電子だと考えられています。ミュオンはエネルギーが高いため鉛板も真っすぐ通り抜けますが、電子はエネルギーが低い

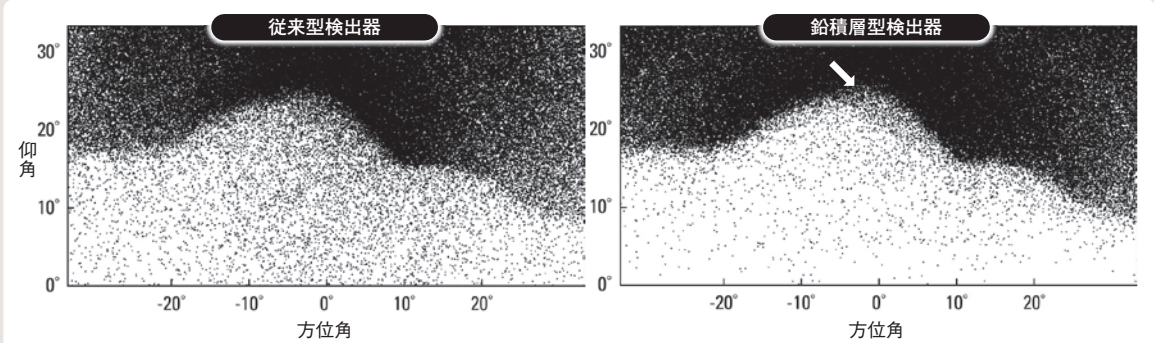
ため鉛板で進路が曲げられます。その違いからノイズを取り除けると考えたのです」168日間観測した後、原子核乾板を現像して自動飛跡読取装置で読み取り、コンピュータでミュオンの飛跡を再構成して解析。「原子核乾板の現像も、読み取りも初めてでした。宮本さんに手取り足取り教えていただきながら作業しました。現像しているときに光が少しでも入ったら、それまでの苦労がすべて消えてしまいます。緊張しましたね」

ノイズの低減と 密度決定精度の向上

西山研究員らによる昭和新山のミュオグラフィの結果が図2である。原子核乾板が捉えた粒子がどの方向から来たかを点で表している。遮るものがない空からは多くのミュオンが飛来し、昭和新山を通過してくるミュオンの数は減る。「一見して、新しい鉛積層型の検出器の方が山を通過してきた点が少ないことが分かるでしょう。そして、溶岩ドームの縁(図2矢印)を見てください」と西山研究員。「鉛積層型では、溶岩ドームの縁の一部で点が増えています。実際の地形を見ると、その部分は薄いのです。これを見て、鉛積層型ではノイズが軽減されていることを確信しました」。その日の実験ノートには、興奮したような

図2 昭和新山のミュオグラフィの結果

原子核乾板が捉えた粒子がどの方向から来たかを点で表している。従来型は、ミュオンのほかに電子などが含まれているため、ノイズが取り除かれている鉛積層型より点の数が多し。鉛積層型では、溶岩ドームの縁の厚さの違いも、ミュオンの数の違いとして捉えられている(矢印)。



字で「なんかすごい!」と記されているという。

次に、ミュオンの数を平均密度に換算。従来型では溶岩ドームの密度が1g/cm³以下、つまり水よりも小さくなってしまった。鉛積層型では1.98~2.39g/cm³と算出された。溶岩ドームから採取された試料の密度の実測値は2.32g/cm³だから、妥当な値だ。「余った材料でつくった検出器でしたが、ノイズの低減を実証し、密度決定の精度が向上するという思わぬ結果になりました。ようやく博士論文への道筋が見えてきました」

昭和新山の三次元内部構造

次に西山研究員が取り組んだのは、シミュレーションである。「鉛積層型検出器では本当にミュオンだけを観測できているのかを確認するためです。また、ノイズ除去に効果的な鉛板の枚数が分かれば、ミュオグラフィの高精度化が期待できます」

コンピュータの中に山と検出器を配置し、一次宇宙線が大気中の原子核と衝突して発生した二次宇宙線のうち、どの粒子がどれだけ検出器に入るかをシミュレーションした。「実際の昭和新山の形状と検出器の位置を再現すると、計算に100年もかかってしまうことが分かりました。それでは博士論文に間に合いません。試行錯誤した結果、山を回転対称形にして周囲に検出器を置くことで、計算時間を大幅に短縮することに成功しました」。シミュレーションの結果、ミュオグラフィの背景ノイズは1GeV(ギガ電子ボルト)よりエネルギーの低い陽子や電子が最大の要素であること、鉛積層型検出器はそれらを効果的に排除できていることが明らかになった。

そして鉛積層型検出器によるミュオグラフィと重力探査のデータを組み合わせ

て昭和新山の三次元構造を求めた(表紙)。溶岩ドームの真下に、密度が高いマグマが詰まった直径300mほどの火道が垂直に伸びている。これは、地球磁場の観測から求めた溶岩の位置や幅とも、見事に一致している。

西山研究員は、これらの結果を「原子核乾板の背景ノイズ低減による火山の高精度ミュオグラフィの実現」として博士論文にまとめ、無事審査を通過して博士号を取得した。「大学院に入ったばかりのときは、5年間あればいくつもの研究ができと思っていた。しかし実際は、昭和新山だけで終わってしまいました。研究というのは甘くはないですね」

ミュオグラフィの裾野を広げたい

4月から特任研究員となった。今後は、どのような研究を計画しているのだろうか。「北海道の樽前山でミュオグラフィを行いたい。すでに重力探査は2013年に行っているの

で、そのデータと組み合わせて三次元内部構造を明らかにします。もちろん世界初です」しかし、その前にやらなければいけないことがある。「原子核乾板は現在、市販されていないので、自分たちでつくらないといけないのです」。西山研究員は大学院時代、原子核乾板による素粒子物理学研究の世界的中心である名古屋大学の理学研究科基本粒子研究室に3ヶ月ほど滞在し、乾板乳剤の製造や塗布の技術を学んだ。「まさか原子核乾板づくりからやるとは……。手先が器用な方ではないんですね」と笑う。「でも私たちが成果を出していくことで原子核乾板を用いたミュオグラフィの有用性が認められ、火山観測以外にも用途が広がってほしい、と思いながら取り組んでいます。原子核乾板の需要

図3 観測の様子

上は、カナリア諸島ラパルマ島で鉛積層型検出器を回収する西山研究員(左)と宮本助教。下は、樽前山での重力探査の様子。「実は、体力がないので、火山での観測は今でも苦手です」と西山研究員。

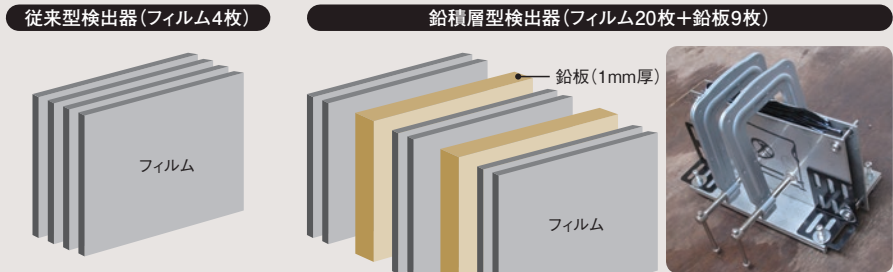


が増えれば、その製造に企業が参入してくれるかもしれないという淡い期待も抱きながら」

大学院進学を検討している学部生にメッセージを。「CHEERでは修士課程から、国内外での観測(図3)、海外研究者との共同研究、学会での発表など、活発な研究活動ができます。また教員数に対して大学院生が少ないため、手厚い指導が受けられます。一方で、院生の興味や発想を大切に、自由にやらせてくれる。そのバランスが、とてもいい。ミュオグラフィは地球科学や物理学の枠にとらわれない新しい研究テーマの宝庫です。ぜひ多くの人にきていただきたいと思います」

図1 従来型検出器と鉛積層型検出器

ノイズとなる電子はエネルギーが低いため、鉛板を通過するときに進行方向が曲げられる。ミュオンは鉛板を直進するため識別が可能で、電子の飛跡を取り除いてノイズを軽減できる。



「宇宙線ミュー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。

CHEER news 第7号

2015年7月発行

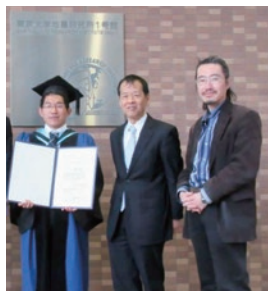
発行者
東京大学地震研究所
高エネルギー素粒子
地球物理学研究センター
制作協力
フォトンクリエイト
(デザイン：酒井デザイン室)

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

博士号取得者第1号の誕生

2015年3月に、CHEER出身者としては初めての博士の学位取得者が誕生しました。CHEERが2010年4月に発足すると同時に大学院に入学した西山竜一氏が、所定の5年の年限で博士課程を修了したものです。博士論文のタイトルは、「Accurate muographic imaging of volcanoes by background noise reduction with nuclear emulsions(原子核乾板の背景ノイズ低減による火山の高精度ミュオグラフィの実現)」です。論文の内容は特集で紹介されていますが、東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻内での評価も極めて高いものでした。

▶左から西山竜一氏、大久保修平センター長、田中宏幸教授。



日本学術会議の大型研究計画に関する「マスタープラン2014」フォローアップワークショップ開催

日本学術会議の大型研究計画に関する「マスタープラン2014」に採択された各研究課題の進捗状況について、同会議地球惑星科学委員会主催の公開のワークショップが、2014年12月27日に東京大学地震研究所で開催されました。CHEERの提案する「極低雑音・大口径ミューオン検出器リニアアレイによる、火山ダイナミクス統合研究計画」については、14課題中の上位3位に入る高い評価を頂きました。

大学院進学への進路相談

地震研究所CHEERの研究室・研究設備を用いて、東京大学の大学院生として高エネルギー素粒子地球物理学の研究を行うことができます。CHEERの教員は理学系研究科の大学院指導教員として、指導に当たります。

研究室の見学、およびCHEER在籍の大学院生との面談も可能です。本ページ左下に記載されている広報担当まで、メールで申し込んでください。夏休みの一般公開(2015年8月5日)、オープンキャンパス(高校生対象、2015年8月6日)などの時期もご利用ください。

CHEERは、伸び盛りのあなたを待っています！

国際シンポジウム「MUOGRAPHERS 2015」開催

2015年6月9～10日に東京プリンスホテルで国際シンポジウム「MUOGRAPHERS 2015:素粒子、光がもたらす未来の技術は地球の可視化に革命をもたらすか？」を開催しました。9日に行われたNature Publishing Group主催の国際パネルディスカッションでは、日英ハンガリーからの7名のパネリストによる活発な議論が行われました。

それに先立つ6月8日には、駐日ハンガリー大使館で開催シンポジウムを開催し、ハンガリー科学技術政策室による欧州科学技術基本計画「Horizon 2020」に関する基調講演などが行われました。シンポジウムの最後には、駐日ハンガリー大使、外務省の桂誠科学技術協力担当大使ご臨席のもと、東京大学地震研究所とハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センターとの学術交流協定が締結されました。同日午後のセッションでは第12回ハンガリー・日本科学技術政府間協議が行われ、両国の共同研究の状況や地球科学などの新たな分野における協力の可能性について確認しました。



▲Nature主催の国際パネルディスカッションの様子



▲学術交流協定を締結する小原一成地震研究所長と Peter Josef Levai ハンガリー科学アカデミーウィグナー物理学研究センター長

INFORMATION

人事

- 西山竜一 採用 特任研究員(2015年4月1日)
- 山崎勝也 受入 日本学術振興会特別研究員(2015年4月1日)

科研費採択情報

平成27年度に代表者として新規に採択された課題のみ掲載

- 田中宏幸「マグマ動態の透視撮影を目指した並列低雑音ミュオグラフィテレスコープの開発」基盤研究(A)
- 宮本成悟「宇宙線ミューオンを用いたカナリア諸島地滑り断層面の調査」若手研究(B)

COVER

原子核乾板を用いた鉛積層型検出器によるミュオグラフィの結果と、重力探査データを組み合わせることによって得られた昭和新山の三次元内部構造の断面図。赤が高密度領域、青が低密度領域の存在を示している。青い線はミューオンの飛来経路で、青い線が集まっている所が検出器の設置点。赤い四角は、重力の測定点を示す。写真は断面図とはほぼ同じ方向から撮影した昭和新山。