# 

CHEER

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. **5** 



特集

ーデジタル全盛の中で光るアナC 写真フィルムで

## 写真フィルムでミ

## デジタル全盛の中で光るアナログ

デジタルカメラに押され、すっかり影を潜めている写真フィルム。その写真フィルムが、ミュオグラフィで活躍しているという。 このデジタル全盛の時代に、なぜアナログの写真フィルムなのか。写真フィルムの利点とは? そして、イタリアのストロンボリ火山やカナリア諸島のラ・パルマ島での観測を紹介する。

#### 写真フィルムで ミューオンを捉える

「私は、これで宇宙線に含まれるミューオンという素粒子を捉えて、火山などの内部構造を見ようとしています」。宮本成悟助教が手に持っているのは、はがき大のフィルムだ(図1)。「原子核乾板と呼ばれる写真フィルムの一種です。通常の写真フィルムより高感度で、ミューオンのように電気を帯びた高エネルギー素粒子の飛跡1本1本を捉えることができます。ミューオンを観測することで物体を透視するミュオグラフィは広まりつつありますが、写真フィルムを使ったミュオグラフィは少なく、私たち高エネルギー素粒子地球物理学研究センター(CHEER)の特徴の一つです」

写真フィルムは、薄いプラスチック板の両面に、臭化銀の粒子をたくさん含む乳剤が塗られている。ミューオンなどの荷電粒子が乳剤の中の臭化銀に当たると銀イオンとなって集まり、それを現像すると直径1μmほどの銀粒子の黒い点が現れるのだ。銀粒子の黒い点はたくさんあるが、その中で直線的な並びがミューオンの飛跡である(図2)。

ミューオンは透過力が強いが、密度が大きい所を通過すると数が減る。写真フィルムに記録された飛跡からミューオンが飛来した方向と数を調べることで、そのミューオンが通過

してきた場所の平均密度が分かる。

ではなぜ、ミュオグラフィに写真フィルムがあまり用いられていないのだろうか。「写真フィルムは、1960年代、宇宙線に含まれる粒子の観測や、新しい素粒子を発見するために使用されていました。そこでは、飛んできた素粒子が写真フィルムに残す飛跡を、普通の光学顕微鏡を使って肉眼で読み取っていました。それは大変な作業で、時間もかかります。そのため、写真フィルムは廃れ、デジタル検出器に取って代わられたのです」と宮本助教は解説する。

しかし、写真フィルムは消え去ったわけではなかった。「名古屋大学の丹羽公雄先生と中村光廣先生が中心となり、写真フィルムの高速読取装置を開発しました。撮像には最先端のデジタルカメラを用いています。デジタルとアナログのいいとこ取りですね。また、コンピュータの性能向上によって画像処理速度も飛躍的に上がりました。写真フィルムから多数の飛跡を高速に読み取り、解析することが可能になったのです」

CHEERの田中宏幸教授は、その高速読取装置にいち早く注目。名古屋大学と共同で写真フィルムを用いて浅間山の観測を行い、高速読取装置で解析し、火口の透視に成功した。世界初の快挙は、写真フィルムを

用いて行われたのである。しかし、写真フィルムはデジタル検出器が全盛の今の時代にはマイナーであること、特殊な高速読取装置が必要なことから、ミュオグラフィに写真フィルムを用いる研究者は少ないのが現状だ。

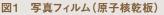
#### | 写真フィルムと | シンチレータを比較

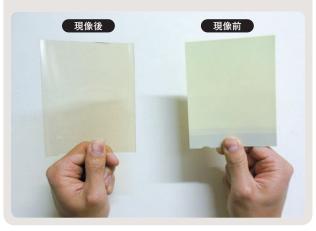
ミュオグラフィでよく使われるのが、シンチレータである。シンチレータは、ミューオンなどの 荷電粒子が通過すると蛍光を発する。その 光を光電子増倍管によって電気信号に変 換して検出する。「シンチレータは、電気が必要です。火山周辺の環境は非常に厳しく、電源の確保は難しい上に装置が大型のため、設置できる場所は限られます。一方、写真フィルムは、電気が不要で軽いため、さまざまな 場所に設置できます」。また写真フィルムは、空間分解能がシンチレータより約10倍高いという利点もある。

写真フィルムにもデメリットはある。シンチレータはリアルタイム観測が可能だが、写真フィルムは回収・現像した後に画像解析をしなければならないため、結果が分かるまでに時間がかかる。

「CHEERでは、写真フィルムとシンチレータという特性の違う検出器を使ってミュオグラ

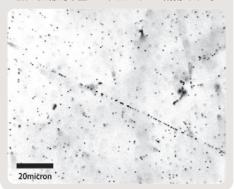
フィを行っています。それに よって、より多様な対象・現 象を観測できるのです」と宮 本助教。





#### 図2 ミューオンの飛跡

写真フィルムを光学顕微鏡で拡大したもの。銀粒子の点の直線的な並びが、ミューオンの飛跡である。



#### | ECCで | ノイズを除去する

宮本助教は、名古屋大学の丹羽研究室の出身だ。「修得してきた写真フィルムの技術が役立つことをしたいと思い、2010年4月、この世界に飛び込みました」と宮本助教。「素粒子

## ユーオンを捉える

### 検出器

高エネルギー素粒子地球物理学研究センター 助教 宮本成悟

#### 図3 ストロンボリ火山での観測の準備作業

写真フィルムを置くフレームを設置している。2011年10月。



図4 高速読取装置の調整をする宮本助教



物理学が専門だったので、 地球科学は門外漢。分から ないことばかりですが、少し ずつ勉強しているところで す」と笑う。

宮本助教は、最初の観 測対象に長崎県にある雲 仙普賢岳の溶岩ドームを選

んだ。内部構造を調べることで、溶岩ドームの形成メカニズムを明らかにすることを目指した。「九州大学の皆さんと大いに期待して取り組みました。しかし、予期していなかったノイズに埋もれ、必要な情報がまだ取り出せていません」と宮本助教。そこで宮本助教は、ノイズを減らす方法を模索した。「ノイズの多くはエネルギーの低い電子だと考えられていました。そこで、昔からあるECC (Emulsion Cloud Chamber)を使うことを思い付きました」

ECCとは、写真フィルムと鉛の板を交互に重ねたものである。エネルギーの高いミューオンは鉛の板も真っすぐ突き抜けるが、電子などエネルギーの低い粒子は、鉛の板を通過するときに曲がる。その違いから、電子などのノイズを除去することができると考えたのだ。

早速、ミュオグラフィの実績がある北海道の昭和新山にECCを設置して試験を行った。その結果、ノイズの原因は主に低エネルギーの粒子であること、そしてECCによってノイズを90%以上除去できることが確かめられた。

#### ストロンボリ火山の火道と ラ・パルマ島の地割れ

ちょうどそのころ、イタリアの研究者から声が掛かった。世界有数の活火山であるストロンボリ火山の火道の形状をミュオグラフィで見たい、と言うのだ。マグマの通り道である火道の形状が分かると、噴火のメカニズムの理解が進む。ストロンボリ火山の火道は10mほどと細いと予測され、空間分解能が高い写真フィルムに白羽の矢が立ったのだ。

宮本助教は、写真フィルムの設置場所を 決める予備調査に参加。「イタリア側が予定 していた場所は適切ではなかったので変更 しました。設置場所は観測の成否を左右しま す。周りの地形も考慮しながら設置場所を決 めることができたのは、私たちにミュオグラフィ の経験が豊富にあったからかもしれません」

ストロンボリ火山には2011年10月に写真フィルムを設置し、約4ヶ月間観測(図3)。 写真フィルムを回収・現像し、現在解析中である。

また、スペインのカナリア諸島にあるラ・パルマ島の観測を、スペイン、イタリアと共同で実施している。ラ・パルマ島では1949年に数kmにわたって地割れが発生した。しかし、なぜ地割れが発生したのか、地割れの下にも断層が続いているのかどうかは、分かっていない。もし地割れが発達して大規模な地滑りが起きた場合、巨大津波が発生して南北アメリカの東海岸を襲うと危惧されている。ラ・パルマ島の地割れの下がどうなっているかは、世界の関心事である。

地下の様子を調べるには、地震波や電磁場を用いる方法がある。しかし、ラ・パルマ島の地割れの下に断層があったとしても幅1mほどと予測されるため、それらの方法では空間分解能が足らない。そこで、写真フィルムを用いたミュオグラフィができるCHEERに声が掛かったのだが、きっかけは一つの新聞記事だった。ある日本人女性が、糸魚川一静岡構造線の断層の透視に田中教授が成功したという新聞記事を目にし、面白い研究があると夫に伝えた。その夫というのが、共同研究

を申し入れてきたスペイン側の研究者の一人なのだ。2014年1月に写真フィルムを設置。4ヶ月観測を行い、回収する計画だ。

#### ▮広視野化と軽量化

宮本助教の研究室を訪れると、高速読取装置が稼働しており、自動で写真フィルムに記録された飛跡を読み取っていく(表紙、図4)。「写真フィルムを用いたミュオグラフィにはいくつか課題があり、その一つが読み取り速度の向上です。一度に読み取ることができる範囲を200μm四方から600μm四方へと広視野化することと、高性能GPUを用いた画像処理の高速化で、読み取り速度を10倍にしようとしています」

もう一つの課題が、軽量化だ。「ストロンボリ火山の経験から、軽量化の必要性を痛感しました。写真フィルムはほかの検出器に比べて軽量ですが、フィルムを設置するフレームは数十kgあります。それを担いで山を登っていくと、体力を奪われ、思考も鈍ってきます。特に、野外観測の経験が浅い私には、とてもつらいものでした。軽量化によって、設置場所の自由度も増すでしょう」

宮本助教は、「写真フィルムを用いたミュオグラフィを、自分たちだけしか使えない技術で終わらせたくない」と言う。「例えば火山研究者は、地震計や傾斜計、重力計を使って観測しています。同じように、写真フィルムを用いたミュオグラフィを、火山研究者が手軽に研究に使えるようにしたい。それが、私の一つの目標です」

(取材·執筆:鈴木志乃)

# 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火山などの巨大物体の透視」という革新的技術を核に、「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局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

#### CHEER news 第5号

2014年5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:洒井デザイン室)

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 **TOPICS** 

#### 教科書刊行

2014年5月8日に東京大学 出版会より、『素粒子で地球 を視る一高エネルギー地球 科学入門』(田中宏幸・竹 内薫 著)が出版されました。 高校生から大学院生までの



読者を想定し、丁寧に解説しています。帯に書かれたキャッチコピーは「宇宙が作り出すミュオンやニュートリノが地球を観測する新しい窓を開く」。ぜひ、ご一読ください。

#### シンポジウム

田中宏幸教授が、2014年4月28日~5月2日開催の日本 地球惑星科学連合(JPGU)連合大会において、国際セッ ション「Particle Geophysics」のコンビーナーを務めまし た。

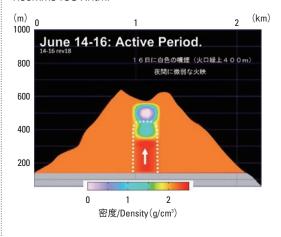
#### 大学院進学の進路相談

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。夏休みのオープンキャンパス・一般公開(2014年8月6~7日)などの時期もご活用ください。CHEERは、伸び盛りのあなたを待っています!

#### 論文掲載

田中宏幸教授らの論文「噴火中の火山内部のマグマの動きを透視する(原題:Radiographic visualization of magma dynamics in an erupting volcano)」が、『Nature Communications』誌に掲載されました。噴火を続ける薩摩硫黄島火山の内部を3日ごとに透視し、マグマの昇降・対流の様子を目に見える形で示しました。なお、同誌は『Nature』の姉妹誌ですが、冊子体のないオンラインジャーナルです。次のWEBサイトから、どなたでもお読みになれます。http://www.nature.com/ncomms/2014/140310/ncomms4381/full/ncomms4381.html



#### 大学院生の論文掲載

「ミューオン透視と重力観測を統合して、火山内部の3D画像を得る(原題:Integrated processing of muon radiography and gravity anomaly data toward the realization of high-resolution 3-D density

structural analysis of volcanoes)」が、『Journal of Geophysical Research』 誌 (119巻1号、699-710 頁、2014年)に掲載されました。筆頭著者は大学院生の西山竜一です(CHEER news No.2で紹介)。

