

## 火山を透視する

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  
准教授 田中 宏幸

今から100年以上も前、1895年にレントゲンによりX線が発見されました。レントゲンはX線が辞典のような分厚い本や軽い金属は通り抜けるが、鉛にはさえぎられることに注目して、現在のレントゲン写真と比べても遜色ないレベルでX線写真撮影の実演を行いました。光は磁石では曲がりません。レントゲンはX線も磁石では曲がらないことからX線が光の一種であることを確信しました。このころになるとニュートンの時代以来、長年信じられていた光の性質に疑問が投げられ、それに伴い微視的世界に新しい性質が次々と発見されるようになります。光も電子も他の小さな粒子も皆、量子という言葉で表わされる放射線の一種であることが分かってきました。量子という物理量を取り巻く全く新しい物理学が開花こうとしていた時代です。

そのような時代の潮流の中で1912年、ビクター・フランツ・ヘスは気球に放射線検出器を積み込み、地球外から飛来する放射線を発見しました。その後、瞬く間に100を超える数々の新粒子が発見されました。そのほとんどはX線を大きく越えるような貫通力はないと考えられていたので、実験室を地下に作ることで、宇宙線に含まれる様々な粒子を地中に吸収させて、粒子の選別が出来ると考えられました。しかし、実験室の深度が地下100mになっても、通り抜けてくる粒子がありました。その粒子は宇宙線ミュオンと名づけられました。X線の透過力をはるかに超える新グループの発見です。

宇宙線ミュオンは様々な透過力を持つミュオンが異なった割合で混じっているため、ある物質で

完全に遮蔽されるということはありません。その代わり、密度×厚さの関数で透過できるミュオンの数が減っていきます。この性質に注目して、巨大構造物の「レントゲン写真」(ミュオグラフィ)撮影を試みたのがアメリカの物理学者ルイ・アルバレです。当時はまだ、隠された部屋があるかもしれないと考えられていたので、この新しいレントゲン撮影法に多くの人が注目しました。

アルバレは素粒子物理学が専門ですが、他の分野にも深く興味を持っていたことで有名です。例えば、地質学者である息子のウォルターと白亜紀から第三期の粘土層に含まれるイリジウムの濃度が高いことから巨大隕石衝突説を考え出しました。このようなアルバレのグループですが1967年、エジプトのピラミッド内部にミュオン粒子検出器と解析装置を持ち込んで、ピラミッド内部を透過してくるミュオンの数を測定しました。残念ながら、ピラミッド内部に新しい部屋を発見することは出来ませんでした。彼らはピラミッドを作っている岩の厚さを2%以下という驚異的な精度で決めていました。アルバレは1968年素粒子物理学への貢献によりノーベル賞を受賞していますが、これは異分野間をつなぐ力が新しい発想を生み出した一例と考えられます。

アルバレの時代には重厚長大な処理装置をピラミッドのすでに発見されている小部屋に持ち込む必要がありました。しかし、火山の中にはそのような小部屋はありません。このような厳しい環境下でアルバレ型装置を動かすことはほとんど不可能です。アルバレの実験から40年、21世紀に入り、コンピュータの性能が処理速度、大きさ共に加速度的に向上しています。これにより、今まで出来なかったこと、あるいは非現実的であったことが可能になってきました。コンピュータの性能が上がるということは処理チップの消費電力を下げることや、機器をコンパクト化することにつながります。アルバレ型装置にこのような技術革新を加えることで火山観測が始めて可能になります。そして2006年初めて、ミュオンにより火山の内部構造を映し出すことに成功しました。これは未知

の構造をミュオンで探り当てた初めての成果です。図1には浅間山の火口底に固結した溶岩の下にマグマの通り道となる空洞が見つかった様子が示されています。

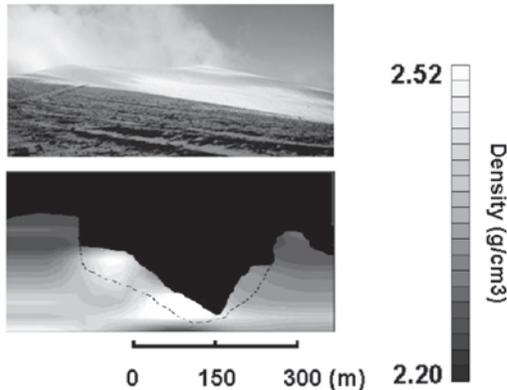


図1 浅間山のミュオン透過像

一方、有珠山の場合にはマグマの通り道はマグマで満たされています。図2の白い部分が密度の高いところでマグマと考えられる部分で、黒い部分が密度の低いところで、例えば空隙に相当します。

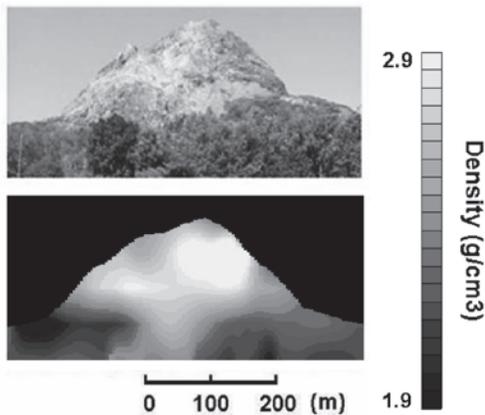


図2 有珠昭和火山溶岩ドームのミュオン透過像

宇宙線ミュオンは火山噴火のメカニズムの理解にも役立ちます。火山噴火は、マグマに含まれるガスの振る舞いによって大きく変化します。例えばマグマがやわらかくガスが簡単に逃げてしまえば、ハワイ島の火山の噴火のように静かに溶岩流が流れ続けますが、マグマがかたく、ガスが逃げない場合には浅間山や桜島のような爆発的な噴火になります。また、マグマがかたくても何らかの

理由でマグマが地表に出るまでにガスが失われてしまう場合には昭和火山の噴火のように、大きな爆発や溶岩流出はなく溶岩ドームが形成されます。つまり、マグマの中のガスの振る舞いを可視化することが出来れば、火山噴火のメカニズムの理解が深まり、火山噴火予知にもつながります。これまでは、火山の中のマグマの状態は表に出てきたガスの物理的、化学的性質を調べて推測することしか出来ませんでした。マグマの中に含まれるガスの量はマグマの密度という形で現れます。つまり、ミュオンを用いて火山の中のマグマの密度を直接調べられれば、マグマ中のガスの割合を直接観測することが可能で火山噴火のメカニズムの新しい鍵を手にすることが出来ます。

図3には薩摩硫黄島のマグマが浅い場所で大量の火山ガスを放出している様子を活写した様子が示されています。

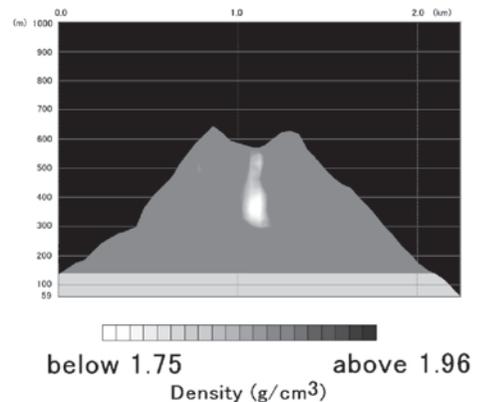


図3 薩摩硫黄島のミュオン透過像

火山内部のイメージングはこれまで他のいかなる手法でも難しかったのですが、素粒子物理学という全く異なる分野を結びつけることで、初めて可能になりました。理科という科目は科目間のつながりが重要であるにもかかわらず、受験に必要な科目以外はどうしても軽視されがちです。しかし、歴史的に見ても異分野間を結びつけることが全く新しい発想につながることは明らかです。是非、生徒の皆さんにも受験に必要な科目も勉強していただき、出来る限り広く知識を吸収して欲しいと思います。