

## ミュオグラフィ展実施報告

大 倉 宏\*

### 概 要

宇宙線ミュオンを利用し火山など巨大なものの内部を探るミュオグラフィと呼ばれる技術が注目を浴びている。東京大学地震研究所の協力を得て、2016年9月6日～10月2日の期間でミュオグラフィの展示を中心とした企画展「見えないものを見る挑戦～ミュオグラフィ～」を開催したので報告する。

#### 1. はじめに

1895年、レントゲンによるX線の発見は、驚きを持って迎えられた。生きた手の手の中の骨が写真に写っていたからである。今日ではレントゲン写真やCTスキャンは当たり前のようにになっているが、これが見えないものを見る挑戦の始まりだったと言える。

ヒトサイズであれば、X線が使えるが、火山のような巨大なものの内部はX線では知ることができない。人体を貫くX線でも山の中を通り抜けることはできないからである。

数百メートル～数キロメートル規模の巨大な物体の内部を視るには、ミュオンが利用される。ミュオンは素粒子のひとつで、質量が電子の200倍ほどであることを除けば、基本的には電子と同じ性質の粒子である。電子と陽電子があるように、プラス電荷をもったミュオンとマイナス電荷をもったミュオンがある。ミュオンは電子の200倍の質量をもつため、大雑把には電子に比べ40000倍も貫通力が高い。中には巨大な山体を突き抜けてしまうものもある。

このミュオンを利用して火山など巨大なものの内部を可視化する技術がミュオグラフィである。ミュオンによる巨大物の内部探査の歴史は50～60年もあるのだが、火山内部を可視化できたのは、今世紀に入ってからである。最初に成功したのは2006年の浅間山であり、日本が世界にリードしている分野でもある。

この研究の第一人者である田中幸宏教授の東京大学地震研究所他の協力を得て、本企画展は開催することができた。

#### 2. 展示内容

本企画展は、4つのパートに分かれていた。最初のパートは『1. 見えないものを見る～挑戦の始まり～』とした。

1895年、レントゲンによるX線の発見は驚きを持って迎えられた。手の中の骨がレントゲン写真に写っていたからであった。これが見えないものを見る挑戦の始まりであった。今日、X線を発生させる装置は、ベッドに横たわる人間の周りをらせん状に動き撮影し、画像はコンピュータで処理されて断層写真として見ることができ

ここでは、当館所蔵のCTスキャン用回転陽極X線管を3台展示した。これは、20年前のレントゲン展の際に日立製作所(当時は日立メディコ)から寄贈いただいたもので、日立製作所には、パネル製作にもご協力をいただいた。



写真1：展示された3台のX線管

次のパートは、『2 地球の内部を見る挑戦～ミュオグラフィ～』である。X線は、数百mといった巨大なもの

大阪市立科学館学芸員、中之島科学研究所研究員  
\*ohkura@sci-museum.jp

は通り抜けることができない。そのような巨大なものを見るためにはもっと透過力の強い素粒子が必要である。

それがミュオンであり、ビルや山でも通り抜け、その内部をレントゲン写真のように映し出してくれる。ミュオンは加速器で作ることも可能だが、火山の内部を捉えるミュオグラフィには、一次宇宙線が大気と反応してできた宇宙線起源のミュオンが用いられる。

ミュオンを利用した巨大なもの内部探査の歴史は、50年以上あり、これを火山内部の研究に用いようという発想は古くからあった。しかし、火山という厳しい環境がこれを容易としなかった。

これが初めて成功したのは、2006年の浅間山であり、当時は原子核乾板が使われた。原子核乾板は電源を必要としないが、「現像」「解析」という処理をリアルタイムに行うことはできない。

シンチレータとPMT(光電子増倍管)を組み合わせた第2世代のミュオグラフィ装置は、リアルタイム観測の可能性を開いた。本企画展では浅間山での初観測に成功したこの分野の第一人者である田中幸宏東京大学地震研究所教授の全面的なご協力をいただいて、世界初という3台のミュオグラフィを並列に運用する観測展示が実現できた。



写真 2: 3 台並列運転したミュオグラフィ装置。奥の青い装置 2 台と黒い装置 1 台がミュオグラフィ装置で、手前のモニターは解説 DVD を流した。

第2世代のミュオグラフィ装置は、細長いシンチレータを縦横に配置することでミュオンの通過した位置を検出する。この縦横の組み合わせが2つあれば、点と点を結び、ミュオンの飛来した方向が分かる。ミュオグラフィは、ミュオンの飛来方向とその数を計測し、コンピュータ処理をして、画像として写し出す装置である。

本企画展では、世界初となる3台のミュオグラフィ装置を展示場で稼働し、展示場からは直接見えない壁の外の中之島のビル群の姿を映し出すことに挑戦した。装置の置かれた展示場(科学館)の北東方向には、背

の高いビル群が重なり合っていて、展示場からその様子を映し出すのに成功した。

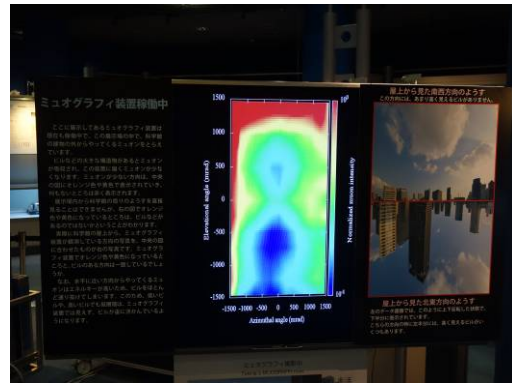


写真 3: 中央の大型モニターにミュオグラフィ像が写し出されている。下半分にビルのある東北側が写し出され、上半分にビルの少ない南西側が上下反転して写し出された。その右には、屋上から写した対応する風景写真を掲げた。

会場では、ミュオグラフィ装置の説明として田中教授作成のDVD(10分ほど)を音声なしで流した。また、展示ケースにシンチレータとPMT(光電子増倍管)を展示した。

ミュオンがシンチレータを貫くと、シンチレータが発光し、その光をPMTが増幅して信号として記録される。PMTを作動させるには、高電圧が必要であるが、それにはコッククロフト回路が使われた。

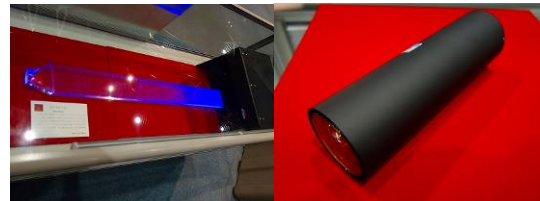


写真 4: シンチレータとPMT(光電子増倍管)

また、次世代(第3世代)のミュオグラフィ装置として、MWPC(ワイヤーチェンバー)も展示した。MWPCは多数の細い芯線(ワイヤー)が張られた箱(チェンバー)である。ガスを封じ込めた箱の中を通過するミュオンはガスの電子を弾き飛ばし、イオンと自由な電子を作る。ワイヤーには電圧がかかっているため電子が加速し、ガスと衝突することで電子がなだらかに数を増しワイヤーに到達し、電気信号として検出される。シンチレータ+PMTとの組み合わせより軽量化が可能なので、次世代のミュオグラフィ装置の部品として期待されている。

展示したMWPC(9月13日より展示)は、前面に表示用LEDのついたもので、装置をミュオンが貫くとその飛跡がLEDで表示される。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の厚意で会期後も展

示場 4 階で引き続き展示することになった。

またミュオグラフィ装置も 3 台のうち外装を工業デザイナーの喜多俊之氏がデザインしたモデル 1 台を引き続き展示することとなった。



写真 5: MWPC (ワイヤーチェンバー) (左) とワイヤーチェンバーの模型 (一層) (右)

企画展を開始してから、実際どのような火山でミュオグラフィ観測が行われたのか、またどのような画像が得られているのか、という質問を良く受けたので、下記のパネルを追加した。

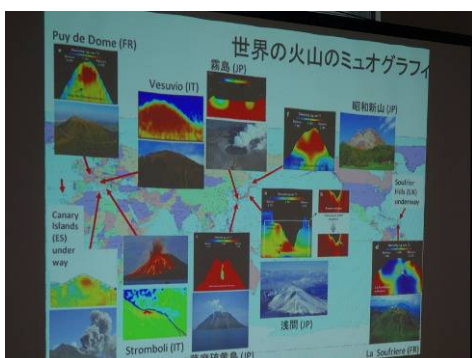


写真 6: ミュオグラフィ観測例パネル

3 番目のコーナーは、『3 いろいろな見えないものを見る挑戦』であった。ここでは、中性子ラジオグラフィとレーザー干渉計を展示した。

X 線は、電子によって散乱されるため、電子数の多い原子番号の大きな元素ほど散乱されやすい。これが、レントゲン撮影で、体の中の骨が写る理由である。逆に水分の多いものや炭素の多いものなどの撮影は不得手だと言える。

中性子線は水素や炭素など軽い元素の方が突き抜けにくいので、機械の中を移動する油や生物体内の水分の移動を見ることもできる。

パネルだけの展示になってしまったが、日本原子力研究機構の物質科学研究センターと J-PARC センターの協力を得て、カブトムシと水仙の中性子ラジオグラフィ像を掲示して、X 線と中性子線の違いについて紹介した。

また東京大学地震研究所からレーザー干渉計の鏡 (レプリカ) と実演用装置 (マイケルソン干渉計) を提供していただき、展示した。

レーザー干渉計は地面の歪みを高精度に測る装置で、岐阜県神岡鉱山内に建設中のものである。同じ場所には、重力波検出器 (KAGURA) も建設されている。ともにレーザー干渉計を用いて地下と宇宙に向けた新たな観測が始まるということで紹介した。

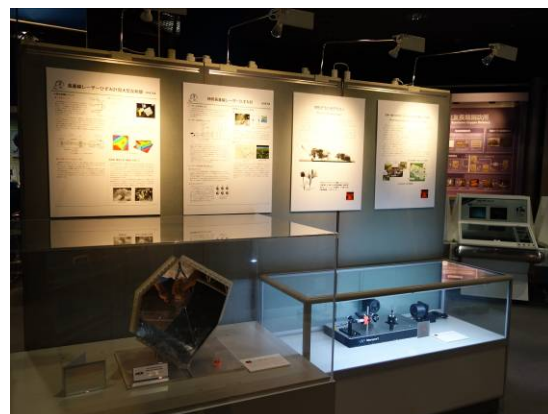


写真 7: レーザー干渉計の鏡 (レプリカ) (左) と実演用装置 (マイケルソン干渉計) (右)。右のパネル 2 枚が中性子ラジオグラフィを紹介したパネル

最後のコーナーは『4 関連展示』であった。大阪市立科学館は、日本で最初に加速器を建設した大阪大学の跡地に建っている。その日本初の加速器であるコッククロフト・ウォルトン型加速器を初め、ウィルソン型霧箱、拡散型霧箱、K2K 実験、自発的対称性の破れの展示など宇宙線や素粒子に関連した展示が多数ある。このうちのスパークチェンバーとスーパーカミオカンデの PMT (光電子増倍管) を関連展示とした。

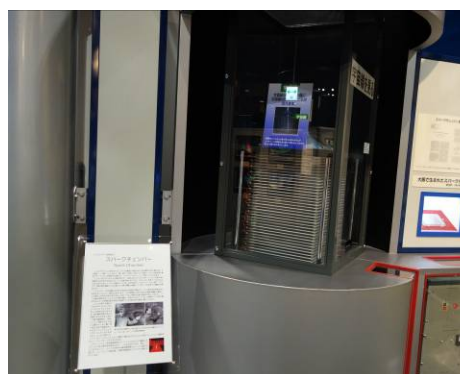


写真 8: スパークチェンバー

スパークチェンバー (放電箱) は、福井崇時と当館元館長の宮本重徳が開発したいわゆる飛跡検出器である。宇宙から飛来するミュオンが通過すると、その通り道に電離した正イオンと電子を生成する。装置の上下

には、シンチレータとPMTがあり、同時検出すると箱に高い電圧がかかるようになっている。正イオンと電子のできたところを通り道に放電が起こるので、ミュオンの通り道が分かるのである。

スパークチェンバーは会場からやや離れたところに常設展示されているため、ミュオグラフィ展のロゴ入りの解説パネルを新たに1つ追加した。

また当館では、カミオカンデで使われた光電子増倍管とスーパーカミオカンデで使われた光電子増倍管をそれぞれ1本ずつ常設展示している。本企画展では、これも関連展示ということでスパークチェンバー同様解説パネルを追加した。



写真9：カミオカンデ(左)とスーパーカミオカンデ(右)のPMT。手前が追加した

### 3. まとめ

ミュオグラフィという聞きなれない技術を展示する挑戦的な企画展であった。テレビにも取り上げられたので、見に来られたという大人のかたがいらっしゃったのは嬉しかった。一方、こんなすごいことを実現した日本人がいる、ということをごどもにもアピールしたかった。素通りされることが多かったのは企画者の力量不足であった。

このような企画展はゼロから開催することは難しい。この企画展が実現できたのは、当館はコッククロフト、スパークチェンバー、光電子増倍管といった素粒子・宇宙線関連の展示が豊富にあるという恵まれた土壌

があったからである。

大阪市立科学館は、日本で最初の加速器を建造した大阪帝国大学理学部の跡地に建ち、まさにその加速器を常設展示している。本企画展後も引き続き、ミュオグラフィ装置、MWPC(ワイヤーチェンバー)が展示されることとなった。

MWPC は、日本とハンガリーの学術連携成果のひとつであり、それを展示しているということで、今年に入つてすぐにハンガリー大使が展示を見学に来館されるということもあった。

当館はさまざまな特色を持ち、他館に真似のできない展示が多くある。素粒子・宇宙線分野もそのひとつで、展示、資料が充実し、日本有数であると思われる。ミュオグラフィ装置、MWPC の展示に引き続き、この伝統を更に発展させて行きたい。

### 謝辞

本企画展は、大阪市立科学館と東京大学地震研究所との共同主催であった。また、共催団体として、東京大学総合研究博物館、イタリア国立原子核物理学研究所、イタリア国立地球物理学火山学研究所、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になっていた。いただいた。

在日イタリア大使館、在日ハンガリー大使館、在大阪イタリア総領事館、在大阪ハンガリー名誉総領事館、イタリア文化会館-大阪、関西ハンガリー交流協会、駒澤大学に後援をいただき、J-PARC センター(大強度陽子加速器施設)、日立製作所にご協力いただきました。本紙面を借りて改めてお礼申し上げます。