

## Progress report

### 宇宙線電磁成分を用いた構造物透視法 (桜島有村観測坑における土壌水分量観測)

A radiography method using electromagnetic component of air shower  
(Observation of soil water content in Arimura observation vault on Mt. Sakurajima)

武多 昭道\* 大久保 修平\* 田中 宏幸\* 井口 正人\*\* 風間 卓人\*\*  
TAKETA Akimichi OKUBO Shuhei TANAKA Hiroyuki IGUCHI Masato KAZAMA Takahito

**Abstract** Air shower produced by a primary cosmic ray consists of electromagnetic (EM) component and muon. Muon has strong penetration power, so radiography using muon has been performed in several volcanoes and seismic faults. However, because of its penetration power, muon is not suitable for small scale structure thinner than  $2 \text{ kg/cm}^2$  equivalent to 20m thick water, like buildings and small hills.

On the other hand, EM component is suitable for small scale structure, but it requires particle identification. Here, particles identification means distinguishing muon and EM component. Particle identification can be done by using strong magnet and dense detectors, but it is hard to use that kind of detector for radiography because of their weight and cost. We established a cheap and effective method to distinguish EM component and muon statistically. We also performed measurements of EM component in Arimura observation vault of Mt Sakurajima, Japan.

Our observation shows anti-correlation between rainfall and flux of EM component. Flux of EM component will decrease if integral density increases, which implies the density variation caused by rainfall can be detected by using EM component.

This method can be applied for quantitative compensation of the measurements like absolute gravity measurement and tilt measurement which are susceptible to the rainfall disturbance.

**Keywords:** radiography, hydrology, cosmic ray, air shower, electromagnetic

#### 1. 序 論

放射線を用いたラジオグラフィーには、現在3つの手法があり、観測対象によって使い分けられている。数十 cm の物体に対してはX線が、数百 m の物体に対してはミュオンが[1]、数千 km の物体に対してはニュートリノがもちいられている。しかし、上記3つの手法では、全てのスケールをカバーすることができない (図1参照)。

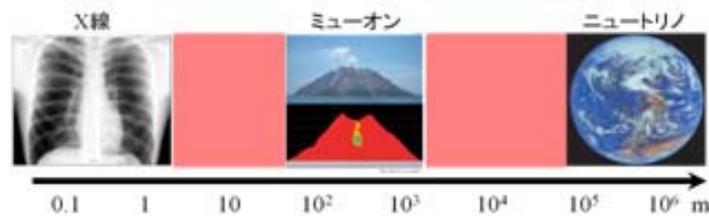


図 1 : 各々の放射線でラジオグラフィー可能な構造物の大きさ。赤で囲まれた部分は現在ラジオグラフィーを行う方法がない。

\* 東京大学地震研究所 〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1

TEL: (03)5841-5892 FAX: (03)5689-0811 E-mail: [taketa@eri.u-tokyo.ac.jp](mailto:taketa@eri.u-tokyo.ac.jp)

\*\* 京都大学

我々はミューオン観測の高度化に向けた研究のなかで、ミューオン観測の主たるノイズ源である宇宙線電磁成分の定量化を行った。その結果、ももとはノイズとみなされていた宇宙線電磁成分を用いると、ミューオンや X 線では透視できない大きさの構造体（数 m から数十 m）の透視が可能であることを発見した。

## 2. 電磁成分の分離

電磁成分はミューオンと比較して小規模な構造物の透視に適しているが、ラジオグラフィーに用いるためには、他の成分、特にミューオンとの分離が必要となる。電磁成分は、加速器実験などで用いられている強力な電磁石と、稠密な粒子検出器を用いることで分離が可能であるが、そのような検出器はその重量と大きさの観点から、ラジオグラフィーには適していない。我々は、軽量、安価かつ効率的な電磁成分の分離手法を開発した。本手法は、電磁成分の横方向分布と、それ以外の成分の横方向分布が異なるという性質を利用したものである。近傍に、同時に入射した粒子のみを選択することで、統計的に電磁成分を分離することができる。図 2 に、本手法によって達成される電磁成分の分離性能を示す。この計算から、本手法を用いると、入射粒子の 90% 以上が電磁成分となることが分かった。

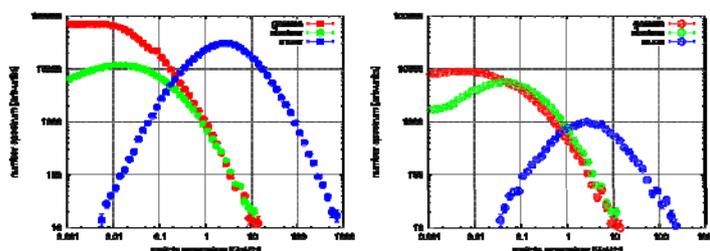


図 2：左図は、計算により求めた、宇宙線に含まれるガンマ線（赤）、ベータ線（緑）、ミューオン（青）の数スペクトルであり、右図は、本手法を用いて電磁成分を分離した後の数スペクトルである。

## 3. 電磁成分検出器

検出器は主に、プラスチックシンチレータ、光電子増倍管(PMT)、電子回路から成る。検出器の構成は、ミューオン観測で用いられているものとはほぼ同じであるが、各 PMT 間の増倍率を補正するため、減衰器を用いている。この減衰器により、各 PMT 間の増倍率は 10% 以内に調整されている。図 3 に、検出器の写真、配置図を示す。

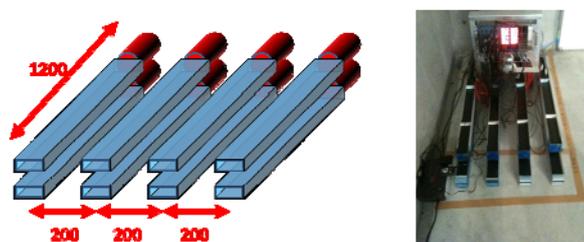


図 3：検出器の配置図及び写真

検出器は上下層のシンチレータが、4 組等間隔(20cm 間隔)に配置された較正になっている。上下 2 枚のシンチレータを用いる理由は、環境ガンマ線や PMT の暗電流に起因するバックグラウンドを除外するためである。これら 4 組のうち、2 組が同時(100ns 以内)に反応した場合に、それを信号とみなす。

#### 4. 有村観測坑における実証実験

我々は電磁成分を用いたラジオグラフィーの実証のため、鹿児島県桜島有村観測坑に於いて、宇宙線電磁成分の強度観測を行った。有村観測坑では、桜島火山の観測のため、絶対重力計や傾斜計、ひずみ計等が設置されている。絶対重力計は、降雨による山体質量の増大に伴って擾乱を受ける。また、傾斜計やひずみ計は、前述の山体質量増大に加え、地下水流動によっても擾乱をうける。本観測によって観測坑上部での地下水量を定量的に抑えることができれば、上記の測定の定量的な補正が可能となると期待される。

降雨によって土中水分量が増加すると、電磁成分の減衰量が増える、つまり電磁成分の強度が減少すると予想される。2011年9月から、2011年12月までの観測データの解析結果から、降雨と電磁成分の強度に有意な逆相関が見られた。結果を図4に示す。

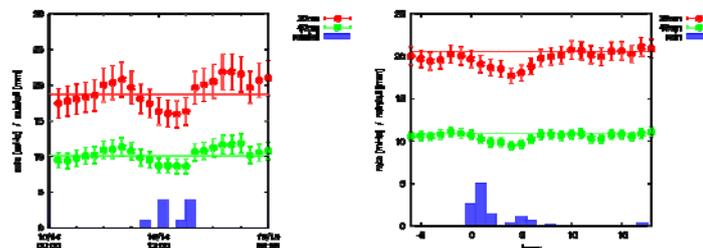


図4：左は2011年10月14日の観測結果である。降水量を青、電磁成分強度を赤及び緑で示してある。右は全観測期間中の、5回の降雨の平均をとったものである。ただし、平均をとる際には、降雨開始時を時刻の原点とした。

測定結果から、1回の降雨では十分な議論ができないものの、複数回の降雨の平均をとることで、降雨と電磁成分強度との間に有意な逆相関を得ることができた。宇宙線の流量は降雨開始後4時間後に最少となり、さらに4時間後にはほぼ回復している。また、流量が最少となる時間での減少率は20%程度であった。この減少率は、水に換算すると40cmの厚みと計算された。これらの結果から、有村観測坑上部では、一旦飽和体を形成した後、有村川まで流れ落ちることが言える。有村観測坑上部は、溶岩の不透水層上部に、軽石と火山灰が堆積した地質となっている。本観測結果は、このような地質中での地下水流動の予測と親和的である。

#### 5. 結論と展望

我々は宇宙線電磁成分を用いたラジオグラフィーの新技术を開発し、土中水分量の測定を行った。本研究は構造物に含まれる水量測定の新技术を与えるものであり、その結果として、地殻変動測定、火山観測、土砂災害防止に貢献する。本研究によって、横坑周辺の土壌水分の時空間変動が押さえられれば、土質力学に基づいて、降雨に伴う地盤擾乱（ダイラタンシー等）や重力測定、傾斜測定等、降雨によって擾乱を受けやすい測定データの定量的な補正が可能となる。これまで取扱が難しかった横坑での地殻変動測定の高精度化や、火山内部のマグマ運動の推定精度向上につながると期待される。また、地滑り面周辺の土壌水分の時空間変動の測定等、土砂災害防止のための基礎データの提供が可能となる。

今後は、宇宙線電磁成分を用いたラジオグラフィーの定量化・誤差要因の解明などの研究を行い、同手法を確立する。さらに、地下水量の2次元的可視化を行い、さらにその時間変化を測定するための検出器開発を行っていく。

#### 参考文献

- [1] Tanaka, H.K.M., Uchida, T., Tanaka, M., Shinohara, H. and Taira, H., Cosmic-ray muon imaging of magma

in a conduit: Degassing process of Satsuma-Iwojima Volcano, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 36, L01304 (2009).