

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870149

研究課題名(和文) 宇宙線電磁成分を用いた土中水分量測定

研究課題名(英文) Horological observation using electro-magnetic component of air shower

研究代表者

武多 昭道 (Taketa, Akimichi)

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：30589271

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：地表に降り注ぐ宇宙線には、電子、陽電子、ガンマ線から成る電磁成分が含まれており、これらは厚さ数十m程度の比較的薄い構造物の透視に適している。本研究において、私はこの宇宙線電磁成分を用いた土壌水分量の測定手法及び検出器を開発し、鹿児島県桜島において土壌水分量の測定を行った。測定の結果、降雨に伴う土壌水分量の時間変動を測定することに成功した。加えて、観測を行った土壌の水分保持量は通常の無機土壌と比較して小さいことが分かった。この知見は桜島火山の噴火予知を目的とした重力観測、傾斜観測の補正に有用である。

研究成果の概要(英文)：Cosmic ray includes electron, positron, and gamma ray. These component is called as electro-magnetic(EM) component. EM component is suitable to observe several 10 m objects. In this research, I developed the detector to measure the soil moisture measurement using EM component, and measured the soil moisture at the foot of Mt Sakurajima volcano. We succeed to measure the time variation of ground water level and found there is the maximum value of water retention amount.

研究分野：応用宇宙線物理学

キーワード：宇宙線 斜面水文 土中水分量

1. 研究開始当初の背景

土中水分量の時空間変動は、これまで地下水位、誘電率、地震波速度、放射線等を用いて、間接的ないし局所的に測定されてきた。これは地表からある深さまでの地下水の総量に感度を持つ非破壊的測定の手法が存在しなかったためである。申請者は、宇宙線ミュオンによるラジオグラフィー手法を応用して、断層破碎帯中を流れる地下水の可視化に成功していた。

ラジオグラフィーによって測定される量は、密度長(密度×長さ)である。密度長の変化を測定することは、測定期間中に地盤の密度変化が無い限り、水分量の時空間変動を測定することと同義である。従って、ラジオグラフィーは土中水分量測定の有効な手法であると言える。

ラジオグラフィーには、現在主に3つの手法があり、対象の大きさが数cmから数mではX線が、数十mから数kmではミュオンが、数千kmでは宇宙線ニュートリノが用いられている。しかし、上記3つの手法では、あらゆる測定対象をカバーすることはできない。特に、数mから数十mの大きさの物体は、X線、ミュオンどちらを用いたとしても、ラジオグラフィーを行うことは困難である。X線では透過能力が低すぎるため、ミュオンでは透過能力が高すぎるためである。

ミュオンによるラジオグラフィーは、水の総量に感度を持つという点で有効ではあるものの、測定対象の大きさが数十m以上、かつ及び密度長の変化が水換算で数m以上でなくてはならないという問題がある。そこで申請者は、宇宙線電磁成分に着目した。地表に降り注ぐ宇宙線には、ミュオンとニュートリノ以外にも、電子、陽電子、ガンマ線から成る電磁成分が含まれている。電磁成分は減衰が早いので、火山などの巨大構造物の透視には適さないが、逆に言えば数十m以下の薄い構造物の透視に適している。しかし、電磁成分によるラジオグラフィーを行うためには、他の成分、特にミュオンとの弁別が必要である。申請者は電磁成分を用いて、ミュオンやX線では透視できない大きさの構造体(数mから数十m)の透視するための手法を開発していた。

2. 研究の目的

(1)電磁成分に特化した高感度検出器の製作

既存の検出器では、水換算で10cmの密度長の変化を検出するために丸1日を要し、リアルタイムでの土中水分量測定ができない。これを解決するため、現在の5倍の感度を持つ

検出器を製作し、水換算で10cmの密度長の変化を6時間以内に検出できるようにする。また、これにより、複数の地点からの土中水分量観測と、それによる地下水流動モデルの検証が可能となる。

(2)火山地帯における斜面水文モデリングの高度化

現在桜島等の火山において、マグマ運動測定のために絶対重力計が、火道内部のガス圧測定のために傾斜計やひずみ計が用いられているが、絶対重力計は降雨による検出器近傍の質量の増大によって、傾斜計やひずみ計は降雨や地下水流動による地盤変動によって擾乱を受ける。これらを補正するためには、土中水分量の測定が有効であるが、火山地帯などの軽石が多く含まれる無機土壌では、水分率計やその他の方法による水分量測定が困難である。申請者は桜島での観測坑道にて、複数の観測点から電磁成分を用いて土中水分量を測定し、既存の水文モデリング計算の検証を行う。

3. 研究の方法

(1)電磁成分に特化した高感度検出器の製作

既存の検出器は、水換算で10cmの密度長の変化を検出するために丸1日を要し、リアルタイムでの土中水分量測定ができない。これを解決するため、現在の5倍の感度を持つ検出器を製作し、水換算で10cmの密度長の変化を6時間以内に検出できるようにする。

(2)火山地帯における斜面水文モデリングの高度化

現在桜島等の火山において、マグマ運動測定のために絶対重力計が、火道内部のガス圧測定のために傾斜計やひずみ計が用いられているが、絶対重力計は降雨による検出器近傍の質量の増大によって、傾斜計やひずみ計は降雨や地下水流動による地盤変動によって擾乱を受ける。これらを補正するためには、土中水分量の測定が有効であるが、火山地帯などの軽石が多く含まれる無機土壌では、水分率計やその他の方法による水分量測定が困難である。申請者は桜島での観測坑道にて、複数の観測点から電磁成分を用いて土中水分量を測定し、既存の水文モデリング計算の検証及び高度化を行う。

4. 研究成果

土中水分量測定のための電磁成分検出器を作成し、鹿児島県桜島において観測を継続中である(図1)。観測結果の解析から、これまでに得られた知見は以下の通りである。

(1) 検出器の上部に水槽を設置し、水分量と電磁成分強度との関係を調べ、校正値を得た。同時に、測定精度について調べた。検出器の校正から、地下水位の測定精度

は、3時間の測定で10cmとなることが分かった。これは目標としていた6時間の倍となっており、十分な値とである。これにより、地滑りの予測など、降雨に伴う土砂災害予測に貢献するための道筋が得られた。

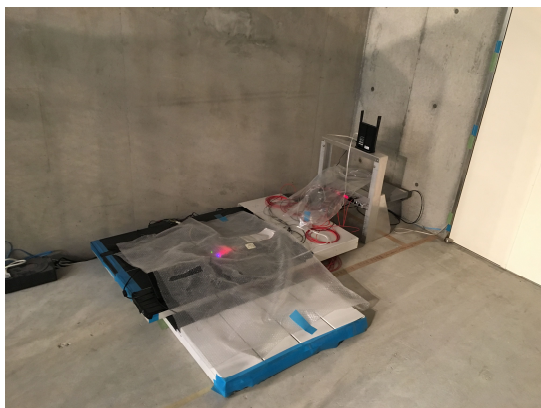


図 1：本研究で新規開発した検出器。鹿児島県桜島有村観測坑にて観測を行っている。

- (2) 降雨に伴う地下水位の上昇は、必ずしも降雨量と比例しないことが分かった。降雨量が増加しても、地下水位の上昇は30cmまでであり、それ以上は増加しない。これは、測定対象とする斜面が保持できる水分量に上限があることを意味している。本研究で得られた上限値は通常の斜面と比較して極端に小さく、既存の水文モデリング計算では再現が難しい。観測対象の斜面は、軽石と火山灰からなる無機土壌であり、そのような土壌の情報が、既存の水文モデリング計算には盛り込まれていないことが一因と考えられる。本研究結果を、水文モデリング計算にフィードバックし、水文モデリング計算の高度化を行うことが可能である。これらの知見は、絶対重力系への降雨の影響を補正するために重要である。
- (3) 降雨開始から地下水位が上昇して最大となるまでの時間は2時間、降雨終了から地下水位が低下して定常状態となるまでの時間は5時間と見積もられ、通常の無機土壌と比較して極端に短いことが分かった。この時間スケールは、傾斜計への降雨の影響を補正するために重要である。
- (4) 本研究の副産物として、非常に広範囲の研究に応用可能な、汎用電子機器を開発することに成功した。これは、8チャンネルの100MHz FADCを搭載した、小型、低消費電力の電子機器であり、LAN、USB、SATAなど、多様な手法で接続が可能である。16cm x 8cmと小型ながら、Linux OSを搭載し、利用者に負担なく導入が可能である。すでに本研究で開発した電子機

器と同型のものが40台製作されており、様々な研究機関で利用されている。

現在残っている課題は、大気圧や気温の補正に伴う系統誤差の見積もりおよび、現状大部分が手作業で行われているデータ解析の自動化である。補正に伴う系統誤差の見積もりは、長期間のデータの蓄積ないし複数地点での観測によって可能となる。データ解析の自動化は本技術を敷衍するために不可欠なものであるため、できるだけ早い時期に解決する必要がある。

本研究によって、構造物に含まれる水量測定の新手法が開発された。その応用結果として、桜島火山の噴火予知のために重要なデータを得ることができ、今後の予知計画に貢献すると期待される。本研究の成果の一部は、2015年1月1日東京新聞の朝刊に取り上げられ、社会からも注目、期待されている。今後は本研究結果の高度化、実用化を進め、同時に、本研究成果についても、論文などを通じて社会に発信していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/CHEER/>
広報誌
http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/CHEER/pdf/cheernews_No4_web.pdf
新聞発表
東京新聞(2015年1月1日朝刊)

6. 研究組織

(1) 研究代表者
武多 昭道 (TAKETA, Akimichi)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：30589271

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし

(4) 研究協力者

大久保 修平 (OKUBO, Shuhei)
東京大学・地震研究所・教授

井口 正人 (IGUCHI, Masato)
京都大学・防災研究所・教授

山本 圭吾 (YAMAMOTO, Keigo)
京都大学・防災研究所・助教

風間 卓仁 (KAZAMA, Takuhito)
京都大学・防災研究所・研究員

山崎 勝也 (YAMAZAKI, Katsuya)
東京大学・地震研究所・研究員