

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月11日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19311

研究課題名(和文) 減災科学の新展開を目指した革新的斜面崩壊予測システムの開発と実証

研究課題名(英文) Innovative Landslide Warning System for New Evolution of Disaster Mitigation Science

研究代表者

宮本 英揮 (MIYAMOTO, HIDEKI)

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：10423584

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：COSMOSを活用した土砂災害警報システムを構築するために、火山灰土急斜面において高速中性子数および土壌水分量を連続測定した。被覆植生の成長や地形の空間的不均一性が原因で、COSMOSによる測定値に基づき斜面の表層土壌水分量を正確に推定することはできなかったが、土壌雨量指数(SWI)または土壌水分センサ網による体積含水率に対する高速中性子数の明確な負の応答が認められた。観測斜面内の土壌水分センサ網を増設したうえで、被覆植生や地形を考慮した面的土壌水分評価モデルを構築すれば、COSMOSは斜面の表層土壌水分量を連続測定できる唯一の方法として有望であろう。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高速中性子数()の測定に基づくCOSMOSを活用した新しい土砂災害警報システムを構築するために、火山灰土急斜面において、5地点×3深度の土壌水分量を連続測定し、それらのデータとCOSMOSによる 値と経験的關係を見出した。COSMOSの実用化のためには、被覆植生や地形を考慮した校正に関する検討が必要であるものの、斜面の表層土壌水分量を連続測定できる唯一の方法として、COSMOSが有望であることを確認し、今後の土砂災害警報システム構築のための基礎的知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Cosmic-ray soil moisture observing system (COSMOS), a method of measuring cosmic-ray neutrons () near soil surface, was installed on a volcanic ash soil slope and examined to establish an innovative landslide warning system. Although the determination of near-surface soil moisture content () based on -value was difficult due to the heterogeneity and uncertainty of water balance within sensing slope area, response of to soil water index (SWI) and/or was observed during the rainy season. We believe that the COSMOS presented here would be a unique method to monitor near surface soil moisture content of whole slope area if compatible soil moisture model considering the growth of plant communities and 3-dimensional topographic data are proposed.

研究分野：農業農村工学，土壌物理学

キーワード：土壌水分 COSMOS 高速中性子 モニタリング

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

50 万箇所を越える膨大な土砂災害危険箇所を有する我が国では、集中豪雨に伴う斜面崩壊が多発し、国民の生命・財産が失われている。被害軽減のための土砂災害警戒情報は、土壌雨量指数に基づき発令される。しかし、指数計算の基礎となるアメダス解析雨量データのメッシュ間隔は、実際の斜面の空間スケールよりはるかに大きいゆえに、全国一律でマサ土パラメータを計算に与えるため、指数値の取扱いの是非や不確実性が繰り返し議論されてきた。土砂災害警戒情報の発令基準の安全率を大きく設定せざるを得ないため、避難対象地域の広域化、避難生活の長期化、的中精度の低さ等が、住民の大きな負担となっている。

一方、自然災害の激化とそれを受ける社会の脆弱化を受け、我が国では、自然災害に対する強靱な社会の実現を目指して、「レジリエント(被害を最小限に留め、災害からいち早く立ち直ることが出来る強靱さ)な防災・減災機能の強化」を推進する「科学技術イノベーション総合戦略 2016、平成 28 年 5 月」が閣議決定された。なかでも、先端科学技術を活用した「観測に基づく予測力の向上(早い察知)」は、我が国が推進すべき重点課題に位置づけられており、その実現のための斜面防災・減災技術の創造と早期実用化は、土砂災害大国・日本の長年の悲願である。

我が国の斜面崩壊の約 9 割は表層崩壊、すなわち表土の崩壊現象である。この事象は、雨水が土壌中に浸透し、土壌の自重が増加することによるものである。ワイヤーセンサ、振動センサ、GNSS 測量等の既存の斜面監視技術を活用することにより、ゆっくりとした地盤変位を検知することは可能であるが、その前兆を捉えることは原理的に不可能である。ゆえに、観測に基づく予測力の向上(早い察知)に資する監視技術の抜本的転換が求められている。

一方、米国では、米国科学財団(NSF)から多額の研究助成を受けたアリゾナ大学 COSMOS (COsmic-ray Soil Moisture Observing System)プロジェクトが 2010 年に始動し、宇宙線中性子観測に基づく広域表層土壌水分観測網を米国全土に構築し、水資源および広域水文循環研究において大きな成果を挙げようとしている。1 つの観測器で斜面全体を網羅できる宇宙線土壌水分観測システム(COSMOS)は、表層崩壊を引き起こす斜面の土壌水分量の空間代表値を得ることができる唯一の手法であるため、これを活用すれば、これまで出来なかった斜面スケールの崩壊の前兆検知を、実現できる可能性が高い。

2. 研究の目的

COSMOS は、地表面近傍の高速中性子数に基づき、それと負の相関を示す半径 300m 以内の広域土壌水分量(水素原子の総数(H プール))を測定する技術である。表層崩壊は、雨水の地下浸透に伴う土壌の自重の増加に因ることから、崩壊のきっかけとなる斜面全体の土壌水分の変動を検知できれば、観測に基づく予測力の向上(早い察知)を実現できる可能性が高い。そのためには、次の 2 課題を克服する必要がある。

(1) 被覆植生の成長(植物体内の H プールの増加)が、地表面の高速中性子数に影響を及ぼすため、それらの影響を考慮した斜面水分評価モデルを構築する必要がある。

(2) 熊本県阿蘇地方をはじめ、我が国には高い間隙率を示す火山灰土が堆積した斜面が多い。こうした特殊土壌への COSMOS の適用事例はないため、比較的均一な火山灰土斜面において、高速中性子検出器の校正を行う必要がある。

以上の課題を踏まえ、本研究では、COSMOS を核とした革新的な斜面崩壊予測システムを開発し、その有効性を明らかにすることを目的として、①同システムの実用化の障害になる技術的課題の解決、②熊本地震(平成 28 年 4 月)で崩壊した火山灰土斜面への適用、③気象観測データと連動した効果的なシステムの実証等について、段階的に検討した。

3. 研究の方法

2016 年の熊本地震に伴う大規模斜面崩壊によって主要道路網が寸断された熊本県南阿蘇村の Y 山の南西斜面を本研究の観測対象斜面と定めた。斜面を含む阿蘇地域一帯の表層には火山灰土が堆積している。その斜面の山頂に COSMOS(写真 1)および雨量計を設置した。web カメラを搭載したフィールドルータを COSMOS に接続することにより、COSMOS による高速中性子数と降水量の測定データを遠隔地から閲覧できるようにし、また観測現場周辺の被覆植生の成長を 1 日に 1 回、画像データとして記録した。

COSMOS 設置点と、地震によって Y 山南西斜面に形成された地割れの周辺部の 4 地点を加えた計 5 地点×



写真 1 観測現場(熊本県南阿蘇村)

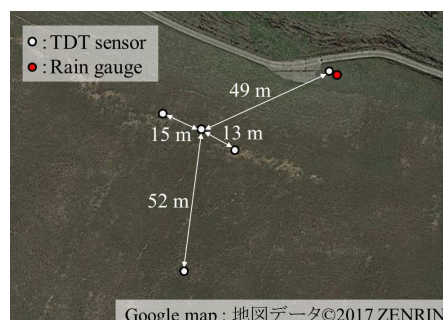


写真 2 雨量計と TDT センサの設置場所

3深度(-10, -30, -50 cm)に(写真2), SDI-12型 TDT 土壌水分センサ(Acclima)を埋設し, ソーラー発電システムを実装したデータロガーに接続した。

以上の観測機器を用いて, COSMOS による高速中性子数(ϕ_m), TDT センサ網による見かけの誘電率(ϵ_{TDT}), 雨量計による降水量を1時間間隔で測定した。観測した降水量(P)および気象庁・雨量計設置地点の降水量(P_0)に基づいて三段タンクモデルにより土壌雨量指数(SWI)を算出し, TDT センサ網による観測結果と比較した。また, COSMOS による ϕ 値については, 別途, 測定された大気圧, 湿度, 中性子強度等に基づき, 補正を行った。

4. 研究成果

2017年5月27日(DOY147)から同年11月23日(DOY327)までの観測結果に基づき, 以下に成果を要約する

(1) 降雨特性について

観測現場と気象庁の雨量計設置地点とでは, 降雨特性の差異が認められた(Fig.1)。約2ヶ月の観測期間内の通算降雨日は計28日で, その間の現場の P 値は, 約2km離れた場所における P_0 値を 10 mm h^{-1} 以上超える時間帯(Fig.1の●印およびFig.2・Fig.3の灰色の時間帯)が計13回認められ, P に対する P_0 の二乗平均平方根誤差(RMSE)は 0.0792 mm であった。降雨特性の差異はSWI値の信頼性に直結するため, 斜面崩壊の発生が危惧される斜面においては, 斜面上で降水量を観測することが望ましいと考える。

(2) 土壌水分量について

観測現場のSWIおよびTDTセンサ網による ϵ_{TDT} の平均値は, 降雨と連動した変化を示した(Fig.2)。

豪雨に見舞われ, 土砂災害警戒情報が発表されたDOY187および189(警戒の基準は $\text{SWI} = 123.9 \text{ mm}$)では, SWI値が急増した(Fig.3)。一方, 各深度(-10, -30, -50 cm)の ϵ_{TDT} 値も降雨と連動し, 地表面に近い位置ほど降雨に対する応答は早かった(Fig.3)。豪雨に伴う土砂災害警戒情報が発表されたDOY187と189では全深度の ϵ_{TDT} 値が急増した(Fig.3)。

観測現場のSWI値と ϵ_{TDT} 値は, 部分的に異なる変化傾向を示した。土砂災害警戒情報が発表されたDOY187では, SWI値が最大となり, ϵ_{TDT} 値も高い値を示す両者の共通性が認められた(Fig.2, Fig.3)。しかし, P 値が最大となったDOY185では, SWI値のピークは 83.5 mm であり, DOY187のそれより小さかったのに対して, ϵ_{TDT} 値は最大値を示した。両

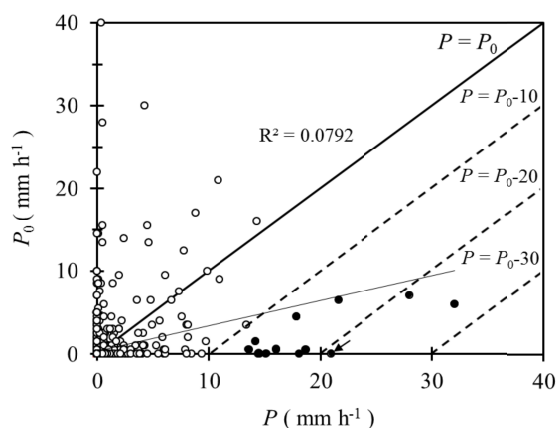


Fig.1 観測現場の降水量(P)と気象庁の雨量計設置地点の降水量(P_0)との関係

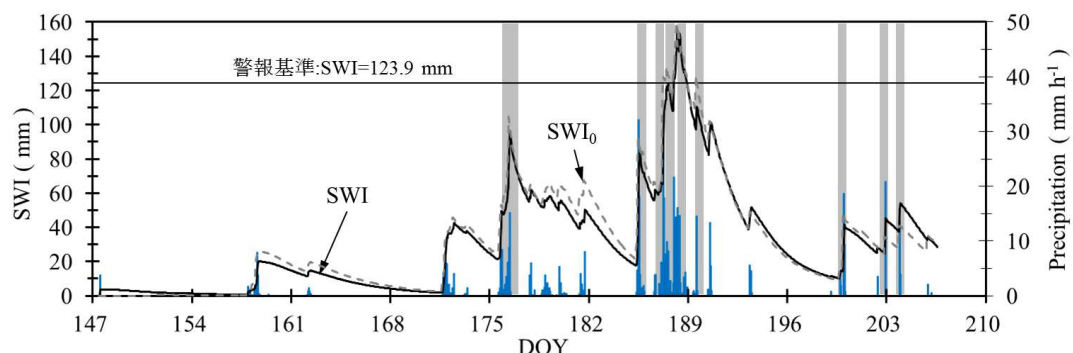


Fig.2 観測現場の土壌雨量指数(SWI)および気象庁の雨量計設置地点の土壌雨量指数(SWI_0)の経日変化

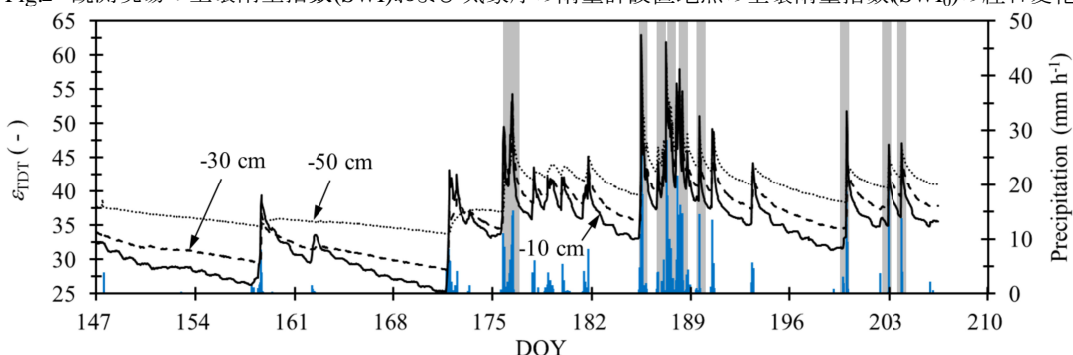


Fig.3 5地点の-10, -30, -50 cmの見かけの誘電率(ϵ_{TDT})の平均値の経日変化

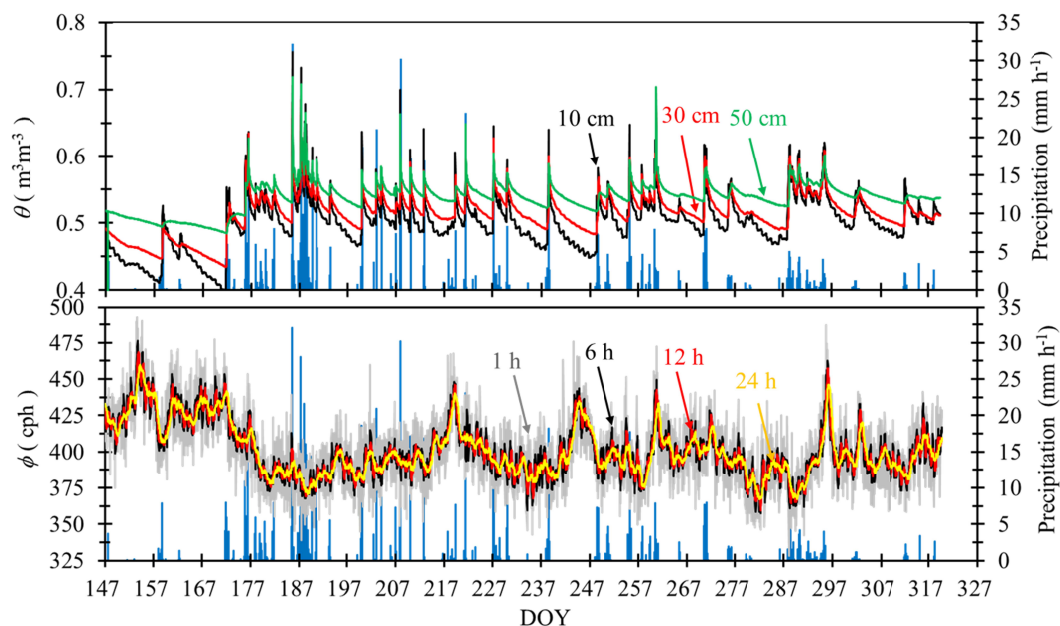


Fig.4 各深度の体積含水率(θ)と高速中性子数(ϕ)の1時間積算値および移動平均値(6, 12, 24h)の経日変化

者の差異は、積算雨量に基づくSWI値と、リアルタイムの土壌水分量を示す ϵ_{TDT} 値の性質の差異に因るものである。指標値としての両者の特性を鑑みると、短時間で多量の降雨が発生するゲリラ豪雨や、地表面近傍での斜面崩壊が予測される局面では、現地のP値に基づく従来のSWI値に加え、TDTセンサ等の土壌水分センサを併設して ϵ_{TDT} 値を連続測定することにより、効果的な危険度予測を実現できる可能性があろう。

(3) 高速中性子について

本研究においては、フィールドルータの故障が原因で、斜面における被覆植生の成長に関する十分なデータ得ることができず、 ϕ 値に及ぼす植生の影響を十分に評価することができなかったものの、TDTセンサで測定した5地点の各深度の体積含水率(θ)の平均値とCOSMOSによる ϕ 値との間には、一定の負の相関が認められた(Fig.4)。 θ 値は、降雨と連動した増減を繰り返し、特に梅雨の期間において高い水準を維持した。一方、 ϕ 値およびその移動平均値は増減を繰り返したものの、梅雨の期間において、 θ 値に対する明確な負の応答を見出すことが出来た。

θ 値に対する ϕ 値の応答が小さかった原因として、COSMOSの半径300mある観測領域全体をTDTセンサで網羅できていないこと、また、山頂の平地に設置したCOSMOSに対して斜面方向から飛来する高速中性子が測定値にどのような影響を与えるか明らかでないこと等が挙げられる。よって、十分なデータを得ることができなかった被覆植生の効果に加え、地形を考慮したCOSMOSの校正法を検討したうえで、より正確な斜面水分量の評価モデルを構築する必要があると考える。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計5件)

- ①牧野弘樹, 平嶋雄太, 末次大輔, 宮本英揮, 盛土斜面における宇宙線中性子数の季節変動, 農業農村工学会大会講演会, 2017.
- ②上村将彰, 生野慎太郎, 中川 啓, 宮本英揮, VNAによる不飽和土壌の複素誘電スペクトル計測, 土壤物理学会, 2017.
- ③牧野弘樹, 平嶋雄太, 中村真也, 宮本英揮, 火山灰土斜面の土壌水分および土壌雨量指数, 土壤物理学会, 2017.
- ④藏座隆寛, 牧野弘樹, 原口智和, 宮本英揮, 超音波距離センサを利用した植物草高マッピング, 土壤物理学会, 2017.
- ⑤藏座隆寛, 原口智和, 宮本英揮, 牧野弘樹, 草高分布の非接触測定に対する超音波距離センサの応用, 農業農村工学会九州支部講演会, 2017.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：中村 真也

ローマ字氏名：(NAKAMURA, shinya)

所属研究機関名：琉球大学

部局名：農学部

職名：教授

研究者番号：30336359

(2)研究分担者

研究分担者氏名：石川 洋平

ローマ字氏名：(ISHIKAWA, yohei)

所属研究機関名：有明工業高等専門学校

校 部局名：創造工学科

職名：准教授

研究者番号：50435476

(2)研究協力者

なし