

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26660191

研究課題名(和文)COSMOSを活用した土砂災害警報イノベーション

研究課題名(英文)Innovative landslide warning system using COSMOS

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：高速中性子数()の測定に基づくCOSMOS(COSmic-ray Soil Moisture Observing System)を活用した革新的な土砂災害警報システムを検討した。測定領域の不均一性および植物群落内水分量の推定が困難だったことが原因で、COSMOSによる 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、集中豪雨および連続乾天期間中の土壌雨量指数(SWI)または に対する の負の応答は認められた。よって、斜面上の植物群落の成長を考慮した土壌水分評価モデルを構築できれば、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なる。

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 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 in plant communities at sensing slope area, response of to soil water index (SWI) and/or was observed during the heavy rainfall and continuous drought period. We believe that the COSMOS presented here would be an unique method to monitor near surface soil moisture content of whole slope area if compatible soil moisture model considering the growth of plant communities are proposed.

研究分野：土壌物理学

キーワード：COSMOS 高速中性子 体積含水率 モニタリング

1. 研究開始当初の背景

表層土壌は、地球表層における水循環を支配する最重要領域である。この領域を介する蒸発散現象が、地域水資源の増減に加え、局所的な降雨や突風などの事象に関与することが明らかになったのを契機に、その量的変化に対する関心が集まっている。米国では、National Science Foundation から 550 万ドル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、宇宙線中性子を利用した表層土壌水分観測網を米国全土に構築し、大きな研究成果を挙げようとしている。

国土の大半を山地が占め、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も、土壌水分観測の重要性が認識されている。局地的集中豪雨に伴う土砂災害対策として、2007 年より、気象庁は土砂災害の危険性を示す土壌雨量指数(SWI)を気象予報に導入した。アメダス解析雨量データをもとに算出されるこの指数は、土砂災害警戒情報・大雨警報の発令および避難準備の指標として活用されている。

しかし、指標値の算出に用いられる雨量データのメッシュ間隔(5km 間隔)は、複雑な地形を有する我が国の傾斜地の空間スケールより大きく、傾斜地の危険度判定に適した空間分解能を有していない。また、SWI はマサ土が堆積していると仮定したうえで、3 段タンクモデルから算出した推定値であるため、指標値として取り扱うことの是非については繰り返し議論されているところである。ワイヤー方式の地すべり検知器や加速度センサー等が設置された傾斜地もあるが、これらは地盤の動きを検知できても、その前兆を捉えることはできない。そのため、警報・避難勧告の発令基準の安全率を大きく設定せざるを得ず、このことが避難対象地域の広域化や避難期間の長時間化の一因となっている。以上の理由から、土砂災害の前兆を正確かつ早期に把握でき、且つ斜面の空間スケールに適合した実測値に基づくリアルタイム土砂災害警報システムの構築が切望されている。

2. 研究の目的

斜面崩壊は、降雨による土壌水分量の増加と地下水面上昇に因るものである。そのため、斜面全体を網羅するリアルタイムの土壌水分観測を行うことにより、土砂災害警戒情報にまつわる先述の課題を克服できる可能性が高い。

本研究では、広範な領域の表層土壌水分量を測定できる技術として、近年、国内外で脚光を浴びる COSMOS に着眼した。COSMOS とは、深さ約 50 cm、半径 350 m の領域全体の平均土壌水分量を測定する技術であり、水文学分野において世界的に利用拡大が進んでいる。本研究では、マイクロ波を活用した時間領域透過法(TDT)による土壌水分センサーと、この COSMOS とを統合したリアルタイム土砂災害警報システムを構築するとともに、斜面の土壌水分観測に対する同システムの有効性について検討した。

3. 研究の方法

2016 年 2 月 18 日(DOY49)に、盛土斜面(佐賀県唐津市浜玉町)の中央(Photo1)に観測装置(Fig.1)を設置した。高速中性子検出器を Q-DL-2100 データロガー(Hydroinnova)に接続し、それを C ポートを通じて CR-1000 データロガー(Campbell Scientific)に接続した。また、同一地点の 3 深度(-10、-30、-50 cm)に水平に埋設した TDT センサー(Acclima)と、高度 1.5 m に設置した雨量計も CR-1000 データロガーに接続した。RS-232 を介して、CR-1000 データロガーを web カメラ搭載型フィールドルータ(X-ability)に接続した。2016 年 3 月 24 日(DOY84)から 2017 年 1 月 10 日(DOY10)の高速中性子数(ϕ)、体積含水率(θ)、雨量をそれぞれ 10 分間隔で、画像に基づく植物群落高(Z)(Fig.2)を 1 日間隔で測定した。



Photo1 盛土斜面の観測サイト

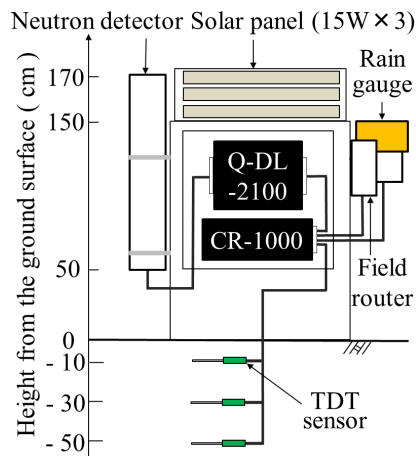


Fig.1 観測装置の模式図

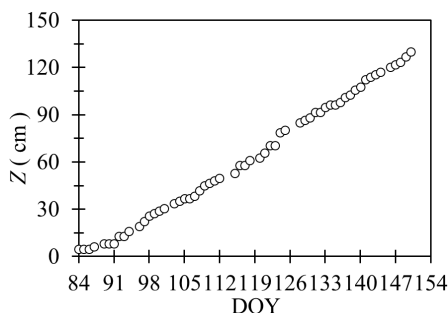


Fig.2 植物群落高(Z)の変化

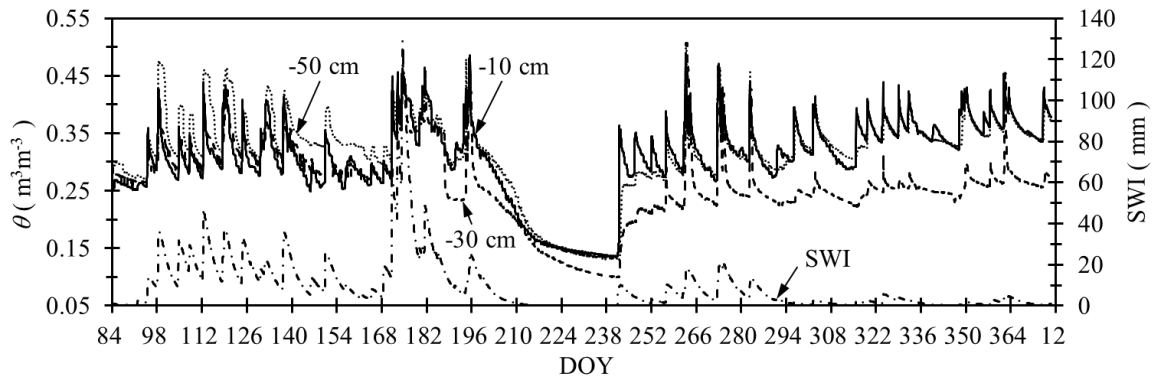


Fig.3 体積含水率(θ)および土壌雨量指数(SWI)の経時変化

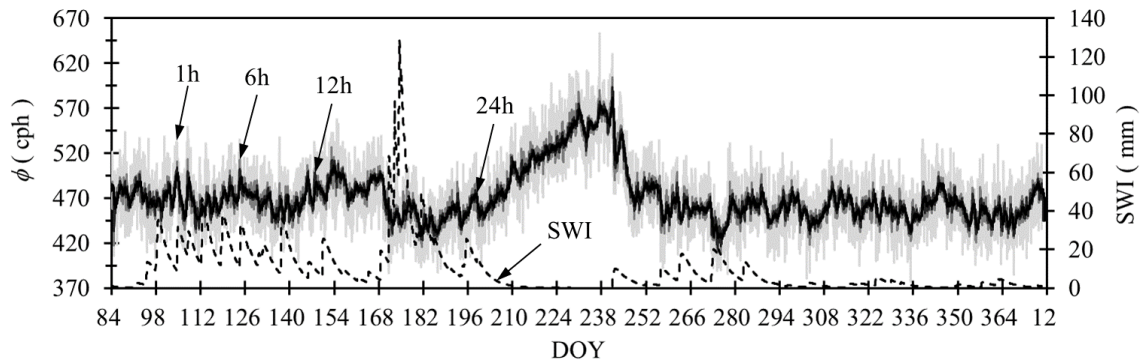


Fig.4 高速中性子数の1時間積算値, 各時間(6, 12, 24 h)の移動平均値(ϕ)および土壌雨量指数(SWI)の経時変化

4. 研究成果

雨量計の測定値から算出した SWI は、体積含水率(θ)と連動した変化を示した(Fig.3)。地表面に近い-10 cm の θ 値は、SWI の増減に対して素早い応答を示した(Fig.3)。特に集中豪雨に見舞われ、土砂災害警戒情報が発表された DOY172(注意報: SWI = 97)および DOY174(警報: SWI = 122)では、SWI と連動して全深度の θ 値が急増した。また、降雨が認められなかった DOY196~240 では両者が急減し、著しい土壌の乾燥の兆候が認められた(Fig.3)。

極端な乾燥および湿潤条件下において、高速中性子数と SWI との間に負の相関が認められた(Fig.4)。高速中性子数の1時間積算値はばらつきが大きかったため、6, 12, 24 h の移動平均値(ϕ)を求め、それらと SWI とを比較したところ、土砂災害警戒情報が発表された期間(DOY172, 174)に加え、先述の乾燥期間(DOY196~240)に限り、SWI に対する ϕ の負の応答が認められた(Fig.4)。

一方、上述の極端な乾湿条件を除いた他の観測期間では、 ϕ と SWI との明確な相関は認められなかった(Fig.4)。観測開始直後の盛土斜面は被覆植生のない、いわば裸地に近い状態であったものの、時間の経過とともに植物群落高が増大して 130 cm に達し、web カメラを植物群落が遮った DOY150 以降は観測できなかった(Fig.2)。土壌中の水分に加え、地表面における植物群落の成長から枯死に到るまでの植物体内の水分総量の変動も、COSMOS による観測

領域内の水分変動として観測され得る。また、半径 350 m の観測領域内に、民家や道路などの構造物が存在するなど、観測領域は必ずしも面的に均一ではなかった。現時点では、植物群落内水分量の増減や観測領域の面的不均一性が ϕ 値に及ぼす効果を明らかにしたうえで、正確に斜面の土壌水分量を評価することは難しいものの、極端な気象条件において ϕ の季節変動を捉えることが出来たことは、COSMOS を用いて土砂災害の前兆となる斜面全体の土壌水分量の変化を把握できる可能性を示唆する。

今後は、表層土壌水分量を正確に評価するために、面的均一性の高い野外において植物群落内の水分量が ϕ に及ぼす影響を定量的に評価したうえで、COSMOS による表層土壌水分量の評価モデルを構築する予定である。さらに、構築したモデルに基づき、気象情報を含む斜面観測を実施し、COSMOS 観測データと SWI との比較や、既存の土砂災害警戒への COSMOS の活用を試みる予定である。

謝辞: 本研究は、国土交通省九州地方整備局佐賀国道事務所の助力を得て実施した。ここに記して謝意を表す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

(1)宮本英揮, 上村将彰, 平嶋雄太, デジタル TDT センサーを用いた土壌の水分・電気伝導度の同時計測, 地下水学会誌, 59(1):

- 11-19, 2017. (査読有り)
- (2)上村将彰, 吉田莉恵, 宮本英揮, 重粘土の含水比・間隙比の同時計測に対する時間領域透過法の適用, 佐賀大学農学部彙報, 101: 13-23, 2016. (査読無し)
- (3)上村将彰, 宮本英揮, 見かけの誘電率および電気伝導度計測法としての SDI-12 型時間領域透過法(TDT)センサーの性能評価, 佐賀大学農学部彙報, 100: 43-53, 2015. 1. (査読無し)
- [学会発表] (計 26 件)
- (1)牧野弘樹, 平嶋雄太, 末次大輔, 宮本英揮, 宇宙線中性子観測に基づく盛土斜面の土壤水分観測, 土壤物理学会, 京都市, 2016. 10. 29.
- (2)平嶋雄太, 牧野弘樹, 弓削こずえ, 宮本英揮, TDT センサーを用いた諫早湾干拓土中の塩分モニタリング, 土壤物理学会, 京都市, 2016. 10. 29.
- (3)藏座隆寛, 上村将彰, 宮本英揮, TDT および TDR センサーを利用した水位・電気伝導度の測定, 土壤物理学会, 京都市, 2016. 10. 29.
- (4)丹野真衣, 平嶋雄太, 宮本英揮, TDR-315 センサーを用いた土壤水分量およびバルク電気伝導度計測, 土壤物理学会, 京都市, 2016. 10. 29.
- (5)上村将彰, 岡本幸大, 中川 啓, 宮本英揮, 誘電分光法で測定した不飽和豊浦砂の誘電スペクトル, 土壤物理学会, 京都市, 2016. 10. 29.
- (6)上村将彰, 岡本幸大, 中川 啓, 宮本英揮, Maxwell-DeLor モデルで推定した不飽和砂の誘電スペクトル, 土壤物理学会, 京都市, 2016. 10. 29.
- (7)宮本英揮: デジタル TDT センサーを用いた土壤の水分・電気伝導度の同時計測, 地下水学会 2016 年秋季講演会, 長崎市, 2016. 10. 20 - 2016. 10. 22.
- (8)牧野弘樹, 平嶋雄太, 宮本英揮, 末次大輔, COSMOS を用いた斜面における面的水分量のモニタリング, 農業農村工学会九州支部講演会, 鹿児島市, 2016. 10. 20 - 2016. 10. 21.
- (9)上村将彰, 登尾浩助, 宮本英揮, 時間領域透過法を利用した豊浦砂の水分計測, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.
- (10)上村将彰, 登尾浩助, 宮本英揮, 時間領域透過法を利用した豊浦砂の電気伝導度計測, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.
- (11)平嶋雄太, 牧野弘樹, 宮本英揮, COSMOS を利用した粘質土の土壤水分観測, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.
- (12)國崎恒成, 近藤一輝, 大塩悠貴, 野口卓朗, 中島正寛, 荻島真澄, 堀田孝之, 徳本家康, 宮本英揮, 石川洋平, Arduino と XBee を用いた土壤水分センサーネットワークの検討, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.
- (13)松本 薫, 平嶋雄太, 伊藤祐二, 宮本英揮, サーモジュールを利用した実蒸発散量の

- 推定, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.
- (14)徳本家康, 宮本英揮, 千葉克己, 宮城県の津波被災農地の潮受け水路による除塩シミュレーション, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.
- (15)宮本英揮, 実践 TDT 活用法, 土壤物理学会, 佐賀市, 2015. 10. 24.
- (16)上村将彰, 吉田莉恵, 宮本英揮, 重粘土の土壤水分モニタリングに対する時間領域透過法の適用, 日本生物環境工学会, 宮崎市, 2015. 9. 9.
- (17)松本 薫, 牧野弘樹, 平嶋雄太, 宮本英揮, デジタル TDT センサーを用いた土中溶液の EC 計測, 日本生物環境工学会, 宮崎市, 2015. 9. 9.
- (18)平嶋雄太, 松本 薫, 宮本英揮, サーモジュールを利用した地中熱フラックスの測定, 日本生物環境工学会, 宮崎市, 2015. 9. 9.
- (19)Yuta Hirashima, Hideki Miyamoto, Markus Tuller, Ty P.A. Ferre, Time Domain Transmissiometry for Measurement of Soil Moisture and Bulk Electrical Conductivity, ASA meeting, Long Beach, 2014.11.2 - 2014.11.5.
- (20)Masaaki Uemura, Hideki Miyamoto, Markus Tuller, Ty P.A. Ferre, Application of Coated Time Domain Transmission (TDT) Sensors for Measurement of Moisture Content in Dielectrically Lossy Clay Slurries, ASA meeting, Long Beach, 2014.11.2 - 2014. 11.5.
- (21)Masaaki Uemura, Hideki Miyamoto, Markus Tuller, Application of Time Domain Transmissiometry for Measurement of Moisture Content and Void Ratio in a Heavy Paddy Clay Soil, ASA meeting, Long Beach, 2014.11.2 - 2014.11.5.
- (22)平嶋雄太, 松本 薫, 上村将彰, Ty P. A. Ferre, Markus Tuller, 宮本英揮, デジタル TDT センサーを用いた不飽和土壤の電気伝導度計測, 土壤物理学会, 仙台市, 2014. 10. 25.
- (23)吉田莉恵, 渡邊真子, 平嶋雄太, 宮本英揮, 重粘土水田における土壤水分モニタリング, 土壤物理学会, 仙台市, 2014. 10. 25.
- (24)高木恭平, 田口明伸, 宮本英揮, NaCl 溶液の飽和浸透に伴うベントナイトの透水性変化, 土壤物理学会, 仙台市, 2014. 10. 25.
- (25)上村将彰, Ty P. A. Ferre, Markus Tuller, 畑本珠実, 宮本英揮, 粘土スラリーの含水比計測に対する被覆型 TDT センサーの適用, 土壤物理学会, 仙台市, 2014. 10. 25.
- (26)上村将彰, 宮本英揮, 登尾浩助, 土壤水分計測法としての TDR と TDT の比較, 土壤物理学会, 仙台市, 2014. 10. 25.

[その他]
なし

6. 研究組織
(1)研究代表者

宮本 英揮 (Hideki Miyamoto)
佐賀大学・農学部・准教授
研究者番号：10423584

(2) 研究分担者

徳本 家康 (Ieyasu Tokumoto)
佐賀大学・農学部・助教
研究者番号：80445858

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし