

火山灰斜面における土壌水分および加速度のモニタリング

Monitoring of Soil Moisture and Acceleration Components on Tephra-Covered Hillslope

○中島綾美*・生野慎太郎*・平嶋雄太**・中村真也***・宮本英揮**

NAKASHIMA Ayami*, SHONO Shintaro*, HIRASHIMA Yuta**, NAKAMURA Shinya***, MIYAMOTO Hideki**

1. はじめに

斜面崩壊の前兆検知技術として、土壌水分や地盤変位のモニタリングが利用されている¹⁾。しかし、両者のモニタリングに適したセンサとそれを接続して利用するIoTシステムの活用方法に関する知見は少ない。本研究では、本研究グループが開発した統合型IoTシステムを活用した斜面崩壊の前兆検知技術を確立するための前段として、三軸加速度センサを搭載した土壌水分センサ、すなわち、土壌水分・加速度センサ「WD-5(株式会社A・R・P)」と雨量計を火山灰斜面に設置し、土壌水分と加速度の変動および降水量データを連続測定した。火山灰斜面および南阿蘇観測所の降水量に基づき、土砂災害警戒情報の指標となる土壌雨量指数(SWI)を算出し、センサによる出力値と比較した。

2. 実験方法

火山灰斜面(南阿蘇村)の所定の位置の深度10 cmに2つのWD-5(#1, #2)および1つのTDTセンサ(Acclima)を設置し、各センサおよび併設した雨量計を統合型IoTシステム²⁾に接続した。WD-5を用いて x , y , z 軸方向の加速度(α_x , α_y , α_z)および体積含水率(θ)、TDTセンサを用いて見かけの誘電率(ϵ_a)、雨量計を用いて降水量をそれぞれ10分間隔で測定したうえで、降水量の1時間積算値からSWIを算出した。WD-5やTDTセンサを用いて火山灰の θ を正確に求めるには両者を補正する必要があるため、既往の報告³⁾に倣って補正した。WD-5による加速度に基づき、地盤の角度(ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z)を算定した。2019年3月29日(DOY87)~2019年12月26日(DOY360)を解析対象とした。

3. 結果と考察

斜面における降水量に基づくSWI(SWI_{IoT})は、降水量と連動した変化を示した(Fig.1)。斜面における降水量(P_{IoT})には、通信機器のエラーや通信環境の悪化に起因する欠測が一部期間に認められたため、約3.5 km離れた南阿蘇観測所におけるそれ(P_0)との線形近似式に基づき、欠測分を補間した(図は割愛)。そのうえで、 P_{IoT} と P_0 の変化パターンを比較した結果、両者の中長期的な変動傾向の類似性の中にも、DOY97~100やDOY251のような部分的な相違点が認められた(Fig.1)。このことは、斜面における降水量は観測所のそれと厳密には一致しないことを示唆する。南阿蘇観測所の降水量データに基づき土壌雨量指数(SWI_0)を計算し、 SWI_{IoT} と比較したところ、降水量の比較結果と同様に、 SWI_{IoT} と SWI_0 との部分的な差異が認められた。気象庁が発表した大雨警報(土砂災害)発令期間(DOY180.22~182.43)において、 SWI_{IoT} と SWI_0 はともに急増し、注意報の発令基準値($SWI=128$)を超えたものの、 SWI_{IoT} は警報の発令基準値($SWI=186$)を超えなかった。この結果から、より正確に斜面のSWIを求める必要がある場合は、別途、雨量計を設置したうえで、得られた降水量からSWIを計算することが望ましいと考える。

WD-5による測定データには、地震や θ の増加に伴う地盤の異常な兆候を認められなかった(Fig.2)。

*佐賀大学大学院農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Saga University, **佐賀大学農学部, Faculty of Agriculture, Saga University, ***琉球大学農学部, Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus

キーワード: 体積含水率, 加速度, 土壌雨量指数

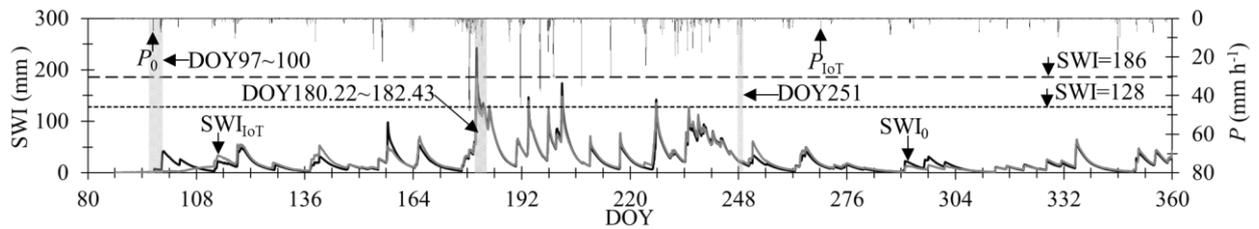


Fig.1 土壌雨量指数(SWI)と降水量の変化
Changes in soil water index (SWI) and precipitation

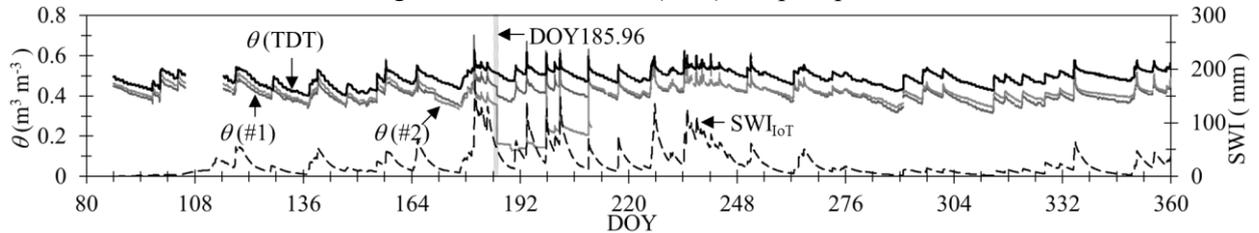


Fig.2 体積含水率(θ)と土壌雨量指数(SWI)の変化
Changes in volumetric water content (θ) and soil water index (SWI)

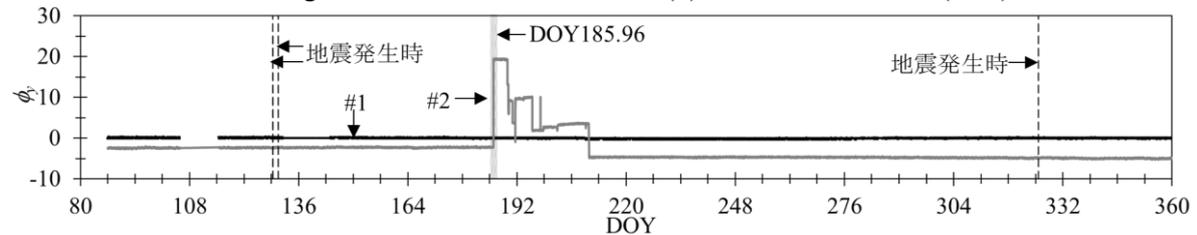


Fig.3 加速度センサによって計測された角度(ϕ)の変化
Changes in angle (ϕ) measured by a three-axis acceleration sensor

植物根の伸長やサンプリング体積内の土の充填環境の差異等による土壌の不均一性が原因で、2つのWD-5による θ (#1, #2)は、TDT センサによるそれ(TDT)より約7%小さかったものの、両者は類似した変動傾向を示した(Fig.2)。また、SWIと同様、 θ も降雨と連動した変動を示した。DOY185.96に#2の θ が急減したのと同時に(Fig.2)、加速度から求めた ϕ は約20°急変した(Fig.3)。類似した角度の急変は、 ϕ_x および ϕ_z にも認められた(図は割愛)。#2の埋設場所の直上付近一帯に、大型動物の足跡と推察される円形の陥没が複数認められたことから、偶発的な土壌の踏圧による θ および ϕ の変化であったと考える。こうした例外を除けば、観測期間中に発生した計4回(DOY129.32, 129.37, 130.75, 325.75)の最大震度3以下の地震発生時や、降雨に伴う θ の変化条件において、加速度センサから求めた角度(ϕ_x , ϕ_y , ϕ_z)の顕著な変化は認められなかった。以上の測定結果から、本観測期間には、斜面崩壊に繋がり得る異常な兆候は認められなかったと判断した。

4. おわりに

火山灰斜面に設置した土壌水分・加速度センサ(WD-5)と雨量計の測定データに基づき、斜面の不安定化につながる異常な数値の変動の有無を解析した結果、本観測期間内には、異常な兆候は認められなかった。今後は、WD-5を増設して土壌水分・加速度センサネットワークを構築し、斜面崩壊の前兆検知技術の長期実証試験を行い、その実用化を目指す予定である。

謝辞：株式会社 A・R・P、熊本県、南阿蘇村と鹿児島大学大学院連合農学研究科先進的研究推進事業の支援を受けて本研究を実施した。ここに記して謝意を表す。

引用文献：1)酒井(2016):計測と制御, 55(2), 145-150., 2)宮本ら(2019):土壌物理学会大会講演要旨集, 18-19., 3)中島ら(2019):土壌物理学会大会講演要旨集, 110-11.