

宇宙線中性子観測に基づく積雪環境下の土壌水分観測

Soil moisture monitoring in snow-covered environments with cosmic-ray neutron sensing

○平嶋雄太*・徳本家康*・藤巻晴行**・宮本英揮*

Yuta Hirashima, Ieyasu Tokumoto, Haruyuki Fujimaki, Hideki Miyamoto

1. はじめに

積雪環境下における土壌水分観測は、融雪期に発生する斜面災害や浸食のリスクを評価するうえで重要である¹⁾。宇宙線土壌水分観測システム(COSMOS)は、水素原子に対して負の応答を示す熱外中性子数を観測することで、半径 330 m 以内の土壌水分量を非接触に観測する技術である²⁾。積雪期間に観測される熱外中性子数は、土壌水分量に加え、積雪水量にも強く依存するものの³⁾、積雪水量の影響を除外できる土壌水分観測法は確立されていない。本研究では、降雪の認められる鳥取砂丘に COSMOS を設置し、積雪深データを活用した校正法を検討して、積雪環境下における土壌水分量の観測精度の向上を試みた。

2. 実験方法

2023 年 6 月 14 日に、鳥取大学乾燥地研究センター内の砂丘に、熱外中性子検出器および中性子検出器専用データロガー (Hydroinnova)、温湿度および大気圧センサー (スマートロジック) から成る COSMOS 一式を設置した。中性子検出器近傍の 2 か所の深さ 5 cm, 15 cm, 30 cm および 50 cm に、TDT センサー (Acclima) を水平に埋設した。各種センサーにより、熱外中性子数 (N_H)、大気圧 (P_{atm})、気温 (T)、相対湿度 (RH)、見かけの誘電率 (ϵ) をそれぞれ 1 時間間隔で観測した。得られた ϵ の深度別平均値を、Topp 式⁴⁾に基づき体積含水率 (θ_{TDT}) に変換した。鳥取地方気象台から降水量および積雪深のデータを 1 時間間隔で取得した。Hawdon ら⁵⁾に倣って、スイスにおけるバックグラウンドの中性子数および地磁気強

度から鳥取砂丘におけるバックグラウンドの中性子数 (N_B) を推定した。なお、Zreda ら²⁾に倣って、 P_{atm} , T , RH および N_B に基づき N_H を補正し、補正された熱外中性子数 (N) を算定した。

3. 結果と考察

N は、 θ_{TDT} に対して負の応答を示した。TDT センサーにより観測された全深度の θ_{TDT} は、降水時に急増して無降水時に漸減した (Fig.1 (a), (b))。1 時間間隔で観測した全深度の θ_{TDT} に連動した変化が認められたのは (Fig.1 (b))、鳥取砂丘砂の水分移動特性に因る。 N は降水時に急減して、無降水時に漸増した。 θ_{TDT} に対する N の負の応答は、既往の報告²⁾と同様である。

積雪期間における $\theta - N$ のデータセットに対する N に基づく θ の推定式の適合性は低かった。 N を θ に変換する前段として、TDT センサーによる平均体積含水率 (θ_{Avg}) と N のデータセット (Fig.2 の青丸と赤三角) を (1) 式 (Fig.2) に当てはめて N_0 を推定した結果、(1) 式の R^2 は 0.46 となった (図は割愛)。無積雪期間の $\theta_{Avg} - N$ のデータセットに基づき、前述の手順で N_0 を算定したところ (Fig.2 の赤三角)、 $\theta_{Avg} - N$ のデータセットに対する (1) 式の R^2 は 0.62 に向上した (Fig.3 の赤三角)。一方、積雪期間の場合、同一 θ_{Avg} に対する N のバラつきが大きく (Fig.2 の青丸)、 R^2 は 0.05 と低かった (Fig.3 の青丸)。 N は積雪水量と負の相関を示す³⁾。積雪深の増減 (Fig.1 (a)) に伴う、積雪水量の変動が同一の θ_{Avg} に対する N のバラつきの原因であると推察する。

*佐賀大学農学部, Faculty of Agriculture, Saga University

**鳥取大学乾燥地研究センター, Arid Land Research Center, Tottori University

キーワード: COSMOS (COsmic-ray Soil Moisture Observing System), 熱外中性子, 土壌水分

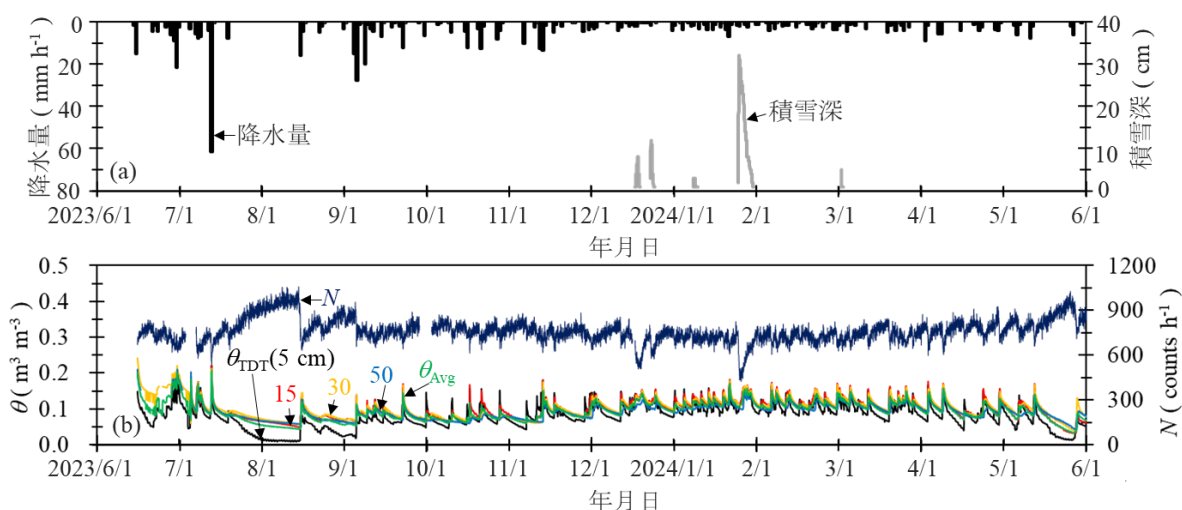


Fig.1 (a)降水量と積雪深, (b)TDT センサーによる体積含水率 (θ_{TDT}), 平均体積含水率 (θ_{Avg}) および補正された熱外中性子数 (N) の経時変化

Variations in (a) precipitation and/or snow depth, (b) volumetric water content (θ_{TDT}) observed using TDT sensor, mean volumetric water content (θ_{Avg}) and count rate of corrected epithermal neutron (N)

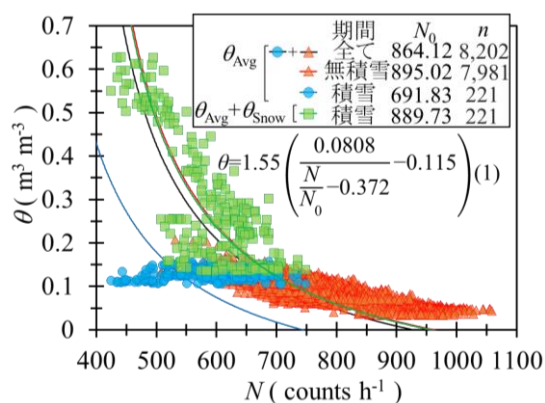


Fig.2 体積含水率 (θ) と補正された熱外中性子数 (N) との関係

Relationship between the volumetric water content (θ) and the count rate of corrected epithermal neutron (N)

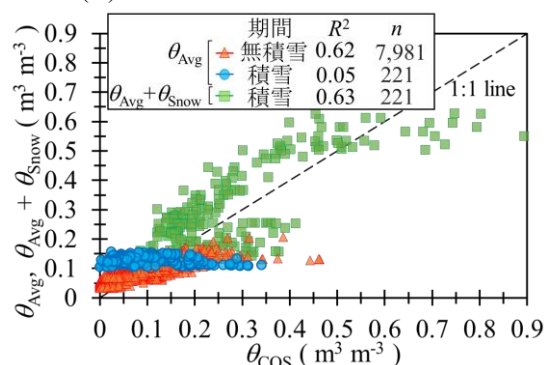


Fig.3 平均体積含水率 (θ_{Avg}) および θ_{Avg} に積雪水を加算した値 ($\theta_{Avg} + \theta_{Snow}$) と COSMOS による体積含水率 (θ_{Cos}) との関係

Relationship between the mean volumetric water content (θ_{Avg}) and/or snow water content was added to θ_{Avg} ($\theta_{Avg} + \theta_{Snow}$) and the volumetric water content estimated by COSMOS (θ_{Cos})

積雪水量を考慮した校正法を検討した結果、積雪期間の $\theta - N$ のデータセットに対する (1) 式の適合性が向上した。本研究では、積雪深と積雪密度から求めた水分量が深さ 0 ~ 50 cm の土壤に均一に浸透すると仮定して、その場合の積雪水量を θ_{Snow} とした。そのうえで、観測領域内の土壤水分量と積雪水量を合算 ($\theta_{Avg} + \theta_{Snow}$) して求めた θ と N のデータセット (Fig.2 の緑四角) を (1) 式に当てはめて N_0 を推定した。最適化した (1) 式の R^2 は 0.63 となり (Fig.3 の緑四角)、積雪期間の $\theta_{Avg} - N$ のデータセットに対する R^2 ($= 0.05$) (Fig.3 の青丸) に比べて向上した。COSMOS を活用して積雪水量と土壤水分量の合算値を観測できる可能性が示唆された。

4. おわりに

積雪水量と土壤水分量とを合算して求めた体積含水率に対する COSMOS によるその相関性を見出した。今後は、積雪期間におけるデータを蓄積し、同モデルの有効性を検証する予定である。

謝辞: 鳥取大学大学院連合農学研究科の小松大騎氏の助力を受けて実施した。ここに記して謝意を示す。

引用文献: 1) Usutani et al. (2017): 水文・水資源学会誌, 30(2), 89-101., 2) Zreda et al. (2012): Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 4079-4099., 3) Desilets et al. (2010): Water Resour. Res., 46(11), W11505., 4) Topp et al. (1980): Water Resour. Res., 16, 574-582., 5) Hawdon et al. (2014): Water Resour. Res., 50(6), 5029-5043.