

# 砂丘砂の体積含水率の変動に対する宇宙線中性子数の応答

## Response of cosmic-ray neutron counts to variations in volumetric water content in sand

佐藤麻樹<sup>1</sup>・平嶋雄太<sup>2</sup>・藤巻晴行<sup>3</sup>・徳本家康<sup>2</sup>・宮本英揮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>佐賀大学大学院農学研究科・<sup>2</sup>佐賀大学農学部・<sup>3</sup>鳥取大学乾燥地研究センター

### 要旨(Abstract):

宇宙線土壌水分観測システム(COSMOS)を用いて、砂丘砂の体積含水率の変化に対する熱外中性子数の応答を解析した。その結果、積雪期間に熱外中性子数が著しく低下すること、また、積雪期間を除けば、COSMOSによる体積含水率は、TDTセンサーにより観測された体積含水率と概ね類似した変動を示すことなどが明らかになった。

キーワード: COSMOS, 体積含水率, 熱外中性子

Key words: COSMOS, Volumetric water content, Epithermal neutron

### 1. はじめに

半径約 330m 以内の土壌水分量を測定する技術として、宇宙線土壌水分観測システム(COSMOS)が活用されている。COSMOS は地表近傍の熱外中性子数( $N_H$ )を観測することにより、それと負の相関を示す土壌水分量を観測する技術である。しかし、実際には、土壌水分だけでなく、大気、植物および雪等に含まれる水分量の増減によっても、 $N_H$ は変化する<sup>1)</sup>。国土の約 7 割を山地が占め、降雪を含めた年間降水量が比較的多い我が国で COSMOS を活用する場合には、それらの水分量が  $N_H$  の観測、すなわち COSMOS により観測される土壌水分観測に与える影響を考慮する必要がある。本研究では、降雪が認められる鳥取砂丘に COSMOS を設置し、土壌水分量の変化に対する熱外中性子数の応答を解析した。

### 2. 方法

2023 年 6 月 14 日に、鳥取大学乾燥地研究センター内砂丘に、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)、温湿度センサー(スマートロジック)、大気圧センサー(スマートロジック)、積雪深( $D$ )測定用の標尺およびカメラ等を設置した。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、 $N_H$ 、大気圧( $P_{atm}$ )、気温( $T$ )、相対湿

度( $RH$ )、見かけの誘電率( $\epsilon$ )をそれぞれ 1 時間間隔で測定し、 $\epsilon$ を Topp 式<sup>2)</sup>に基づき体積含水率( $\theta$ )に変換した。また、乾燥地研究センター内圃場に設置されたヒーター付き雨量計により観測された降水量のデータを 1 時間間隔で取得した。Zreda ら(2012)<sup>1)</sup>に倣って、 $P_{atm}$ ,  $T$ ,  $RH$  に基づき、 $P_{atm}$  および絶対湿度に基づく  $N_H$  の補正係数( $f_p$ ,  $f_h$ )を算出した。また、バックグラウンドの中性子数( $N_B$ )が増減すると、 $N_H$ も増減する。スイスにおける  $N_B$  のデータを流用した Hawdon ら(2014)<sup>3)</sup>に倣って、 $N_B$ に基づく  $N_H$  の補正係数( $f_i$ )を算出するとともに、 $f_p$ ,  $f_h$ ,  $f_i$  により  $N_H$  を補正して熱外中性子数( $N$ )を算定した。同一の深さに埋設した TDT センサーによる $\theta$ は類似した変化傾向を示したことから、深さ別に $\theta$ の平均値( $\theta_{Avg}$ )を算定した。

### 3. 結果と考察

$N$  は、土壌水分量に対して負の応答を示した。各深さの $\theta_{Avg}$ は、降水時に急増し、無降水時に漸減した(Fig.1(a),(b))。COSMOS の深さ方向の観測領域、すなわち有効観測深さは、観測領域内の土壌水分量によって変化する<sup>4)</sup>。また、中性子検出器に近いほど、すなわち浅いほど、土壌水分量が  $N$  の観測に与える影響は大きい<sup>4)</sup>。Heidbüchel ら(2016)<sup>5)</sup>に倣って有効深さを浅い $\theta_{Avg}$ に基づいて求めた加重平均体積含水率( $\theta_w$ )は、降水時に急増し、無降水時に漸減した(Fig.1(a),(b))。一方、

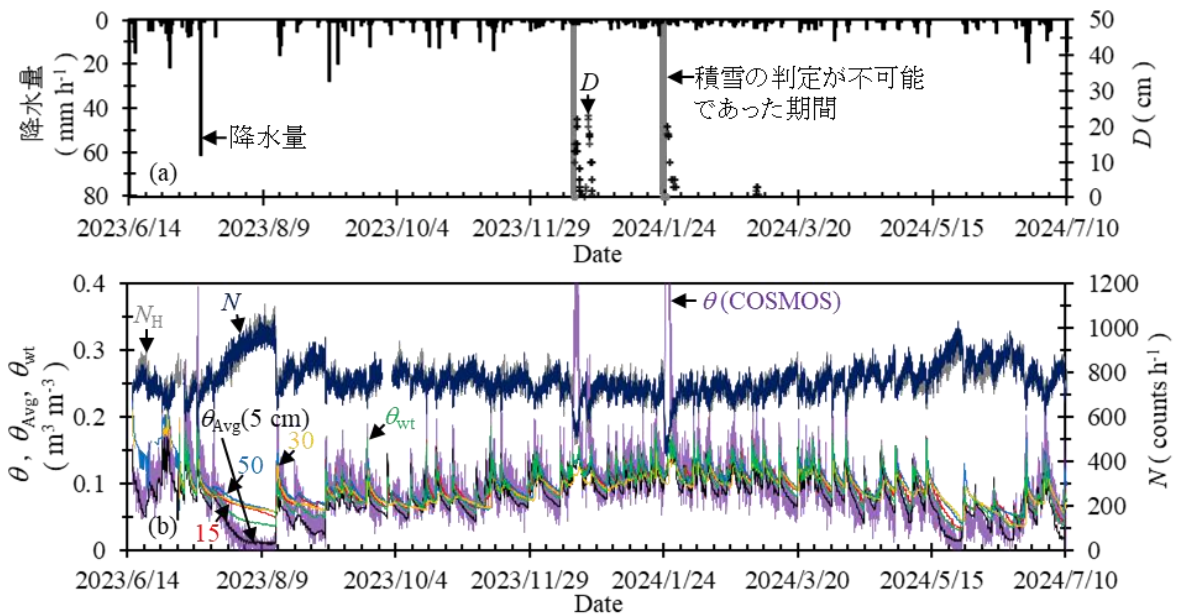


Fig.1 (a) 降水量および積雪深(D), (b) TDT センサーによる体積含水率の平均値( $\theta_{\text{Avg}}$ ), COSMOS による体積含水率( $\theta$ ), 加重平均体積含水率( $\theta_{\text{wt}}$ ), 熱外中性子数( $N_{\text{H}}$ )および補正した熱外中性子数( $N$ )の経時変化

$N$  は降水時に急減して無降水時に漸増し,  $\theta_{\text{wt}}$  に対する負の応答が認められた(Fig.1(b)).

積雪期間を除けば, COSMOS による  $\theta$  は  $\theta_{\text{wt}}$  と概ね類似した変化を示した.  $N$  を  $\theta$  に変換する前段として,  $\theta_{\text{wt}} - N$  関係のデータセットを(1)式に当てはめて  $N_0$  を算定した結果, (1)式(Fig.2 の灰色線)の  $R^2$  値は 0.48 となった. 積雪が無い期間のデータは(1)式の近傍に分布したものの(Fig.2), 画像から積雪の有無の判定が不可能であった期間と積雪を判別できた期間のデータは(1)式の左側に分布するケースが多く認められた. これは, Desilets ら (2010)<sup>6)</sup>の報告と同様に, 積雪が大気中の中性子を, 熱外中性子検出器により検出可能なエネルギー以下にまで減速させたためであろう. 積雪の影響を排除して,  $N$  を  $\theta$  に変換するために, 積雪無し期間の  $\theta_{\text{wt}} - N$  関係のデータセットのみを抽出して, (1)式中の  $N_0$  を再計算したところ, (1)式(Fig.2 の黒色線)の  $R^2$  値は 0.70 となり, 全期間のデータに基づき  $N_0$  を算定した場合と比べて, (1)式の適合性が向上した. (1)式(Fig.2 の黒色線)に  $N$  を代入して, 推定した COSMOS による  $\theta$ (Fig.1(b)の紫色線)は前述の積雪有りの期間に  $\theta_{\text{wt}}$  (Fig.1(b)の緑色線)を大きく超過し, 1 を超える場合が認められ, この点を改善する必要性が認め

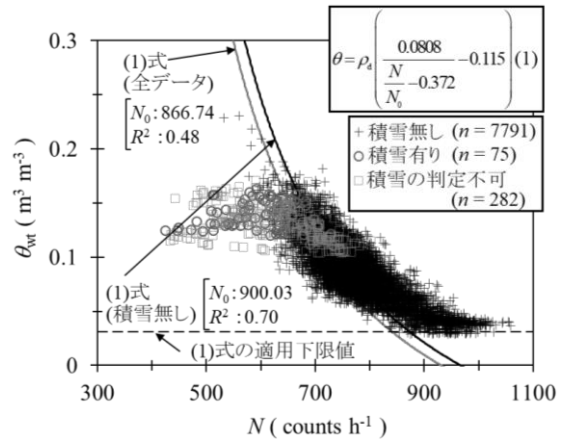


Fig.2 加重平均体積含水率( $\theta_{\text{wt}}$ )と補正した熱外中性子数( $N$ )との関係

られたものの, その期間を除けば, COSMOS による  $\theta$  の変化は  $\theta_{\text{wt}}$  の変化と概ね類似した.

#### 4. おわりに

鳥取砂丘において土壌水分量に対する  $N$  の応答を解析した結果,  $N$  は土壌水分量に対して負の応答を示し, 積雪期間を除けば  $N$  に基づく  $\theta$  が  $\theta_{\text{wt}}$  の変化と概ね類似することを確認した. 今後は, 積雪が COSMOS による  $\theta$  に与える影響の補正方法を検討する予定である.

謝辞: 本研究は鳥取大学乾燥地研究センター博士課程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.  
参考文献: 1) Zreda et al. (2012): Water Resour. Res., 48(8), W08515., 2) Topp et al. (1980): Water Resour. Res., 16, 574-582., 3) Hawdon et al. (2014): Water Resour. Res., 50(6), 5029-5043., 4) Franz et al. (2012): Vadose Zone J., 11(4), 5) Heidbüchel et al. (2016): Hydrol. Earth Syst. Sci., 20, 1269-1288., 6) Desilets et al. (2010): Water Resour. Res., 46(11), W11505.