

# 地上観測土壌水分における温度効果の SMOS 土壌水分への影響に関する研究

地球環境工学研究室 HO QUANG TRI

指導教員 陸旻皎

## 1. はじめに

土壌水分データは気象学、水文学、農学・林業及び食料安全保障と地域気候変動に関する問題のような多くの分野で重要である。ただし、高山地域、発展途上国、サバンナなどの設備が整っていない地域では、土壌水分データは非常に限られている。過去 10 年間に、現場および宇宙からの土壌水分測定技術が進歩した。専用の衛星ミッションである土壌水分および海洋塩分 (SMOS) の開始により、多くの新しい地上観測土壌水分ネットワークが確立され、リモートセンシングされる土壌水分の較正と検証のために既存の水分モニタリングに追加された。ほとんどの地上観測土壌水分ネットワークは温度に敏感な電磁センサー (電磁センサーが地上観測土壌水分ネットワークで土壌水分を測定するための重要な設備である) を使用する。土壌水分を測定する電磁センサーに関する多くの研究により、日中の温度変動に関連する電磁センサーのエラーがあることも発見した。このエラーは土壌水分情報が不正確になる。したがって、温度効果補正法はいろいろな気候および土壌タイプの条件で、アメリカに (Walnut Gulch, Little Washita, Little River, Reynolds Creek) 4 箇所の土壌水分に対する温度の影響を除去するために適用され、自動化一般的な温度補正の結果に対する温度効果除去の影響を評価した

## 2. データの説明

表 - 1 本研究に用いた地上観測土壌水分の情報

ネットワーク名及び国	サイト名	経度	緯度	気候	土壌タイプ
SCAN-アメリカ	Walnut Gulch	-110.05	31.733	半乾燥	砂質ローム
	Reynolds Creek	-117.01	42.95	半乾燥	ローム/砂質ローム
	Little River	-83.55	31.5	湿潤	砂質ローム
ARS-アメリカ	Little Washita	-98.13	34.85	半湿潤	シルト、ローム/砂

本研究では用いたデータは Soil Climxate Analysis Network (SCAN) のネットワークから (Walnut Gulch, Little River, Reynolds Creek) 3 つのサイトと Agricultural Research Service (ARS) Micronet のネットワークからダウンロードされる Little Washita サイトを含む。すべてのサイトが (2016 年) 1 年間に評価された。さらに、SMOS 土壌水分データも各サイトに対応する同じ座標及び分析期間でダウンロードされた。SMOS は、0 ~ 5 cm の深さの平均土壌水分を得られる可能性があるため、4 つのサイトのすべてのデータを 5cm の深さで測定し、温度効果の影響を明確に評価する。表層は地面に近く、最も強い温度効果を得られる場所である。

SMOS 土壌水分: すべてのサイトが (2016 年) 1 年間に評価された。さらに、SMOS 土壌水分データも各サイトに対応する同じ座標及び分析期間でダウンロードされた。1-3 日 (revisit time) で地球全体の土壌水分を観測している。1 ピクセルは 35-50km であり、測定精度は 4% (体積水分量) を目指している。

## 3. 温度補正法

3 つの補正式 (式(1)-(3)) が定式化され、以下に記述されている。補正土壌水分の相関係数の無限できる差異は、3 つの温度補正アルゴリズムがほぼ等しく温度効果を除去できることを示唆した。

$$\theta_{ref} = \theta \frac{1}{1 + \alpha(T - T_{ref})} \quad (1)$$

$$\theta_{ref} = \theta \frac{1 - \alpha(T - T_{ref})/2}{1 + \alpha(T - T_{ref})/2} \quad (2)$$

$$\theta_{ref} = \theta (1 - \alpha(T - T_{ref})) \quad (3)$$

ここで、 $\theta$  と  $\theta_{ref}$  はそれぞれの  $T$  と  $T_{ref}$  での実際と参照土壌水分量の表現、 $T$  は実際の土壌温度、 $T_{ref}$  は検量線が作成された温度、 $\alpha$  は温度補正係数である。

本研究では、式(1)がそれぞれの相応の測定と基準温度で実際と参照土壌水分量の関係を示すために用いられた。同時に、式(4)は測定土壌水分量と温度データの相関を分析することにより、測定土壌水分に対する温度の影響を表す。また、式(1)の係数 $\alpha$ は式(4)から得られる。

$$A_{\theta} = \alpha \theta_a A_T \quad (4)$$

ここで、 $A_{\theta}$ と $A_T$ は、それぞれの土壌水分量と温度の毎日の振幅の表示、 $\theta_a$  毎日の平均土壌水分量、 $\alpha$ は温度補正係数である。

他に、水が凍るとき、マイナス土壌温度による日は土のバルク誘電率の急激な変化から影響を除去するために分析から除外される。降水連続日とともに降水量が 0.1mm より日も雨のイベントによる土壌水分振幅の突然の増大を避けるために取り除かれる。

## 4. 結果と考察

### 4.1 SMOS 衛星土壌水分と地上観測土壌水分の相関性

表 - 2、表 - 3 に示すように、温度補正法の効率は温度効果影響除去の後に明らかに向上した。小さな相関にも関わらず、補正後に NS の効率と相関係数の変化よくなった。これらの結果は、温度効果の有意な影響があることを示している。

Reynolds Creek サイトでは、土壌水分データには多くのゼロ値があるため、Nash-Sutcliffe 効率を推定することは SMOS 衛星土壌水分と地上観測土壌水分には大きな差があると考えられる。しかし、温度効果影響除去の後に明らかに向上した。Nash-Sutcliffe 効率がマイナスになることはこの地域の乾燥気候で、土壌水分センサーは広い地域に基づいて補間されているため、正確なデータを得られないと考える。このため、相関の推定もよくならないと考える。

各サイトでの相関係数の変化率が増加し、温度補正係数  $\alpha$  値が高いほど、土壌水分量の温度効果の影響が強くなる。以上の結果により、温度効果の除去を通じて地上観測土壌水分データからの土壌水分の推定が改善されたことがわかる。しかし、Walnuts Gulchs と Reynolds Creek サイトでは、補正後相関係数が下がった。

表 - 2 土壌水分の温度効果を除去した後 Nash-Sutcliffe 係数の結果

サイト名	$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$	Nash-Sutcliffe (NS)			
		補正前 ascending	補正後 ascending	補正前 descending	補正後 descending
Walnut Gulch	0.0144	-0.0094	0.1942	0.242	0.31
Reynolds Creek	0.014	-4.5987	-2.95	-5.9	-2.138
Little River	0.011	-0.234	0.033	0.2178	0.2434
Little Washita	0.0084	0.3265	0.4401	0.0816	0.1958

表 - 3 土壌水分の温度効果を除去した後相関係数の結果

サイト名	$\alpha(^{\circ}\text{C}^{-1})$	相関係数			
		補正前 ascending	補正後 ascending	補正前 descending	補正後 descending
Walnut Gulch	0.0144	0.153	0.361	0.3352	0.2736
Reynolds Creek	0.014	0.479	0.5017	0.4126	0.4092
Little River	0.011	0.2718	0.4199	0.3068	0.3755
Little Washita	0.0084	0.7514	0.7614	0.5917	0.6171

### 4.2 温度効果除去の結果

図 - 1 により、乾燥期間に温度効果の影響を除去した後、土壌水分の変動が大幅に減少した。補正される前、温度効果の影響により、土壌水分の変動は非常に大きく、昼と夜に格差が見える。補正した後の土壌水分はその変動振幅に戻る傾向があり、わずかな変動になっている。温度効果の除去は、Walnut Gulch と Little River サイトで高レベル、Reynolds Creek と Little Washita サイトで低レベルに行われる。

Reynolds Creek サイトでは、温度効果補正できないところがある。これらのところの変動がまだ大きく、振幅に戻ることができない。このエラーは、Reynolds Creek サイトのデータでは温度線がほかのサイトを比べると不安定で、一日中にアブノーマルな変動が出た。そこで、このサイトのデータに関するエラーがあと考える。

## 5. 結論

前のセクションで述べられたように、温度効果の影響が検出された。SMOS 衛星土壌水分と地上観測土壌水分の相関の推定値は温度除去法を適用してから上がる。これらの知見は、土壌水分データを必須入力として使用するモデルで温

度効果除去方を理解する上で重要な意味を持つ。

衛星データの輝度温度効果があり、図 - 1 に出ていると分かる。そして温度効果を除く必要がある。除去すると、Nash-Sutcliffe 効率係数と相関係数が上がる。

温度補正法が気候条件及び土壌タイプで土壌水分データから温度効果を除くことができる。

温度効果の強度はセンサーで測定する土壌水分の変動を与える重要な要素である。温度効果の強度が大きいほど、振動が大きくなる。

## 6. 参考文献

Lu M, Kapilaratne J and Kaihotsu I 2015 A data-driven method to remove temperature effects in TDR-measured soil water content at a Mongolian site Hydrol. Res. Lett. 9 8-13

Kapilaratne J and Lu M 2017 Automated general temperature correction method for dielectric soil moisture sensors J. Hydrol. 551 203-16

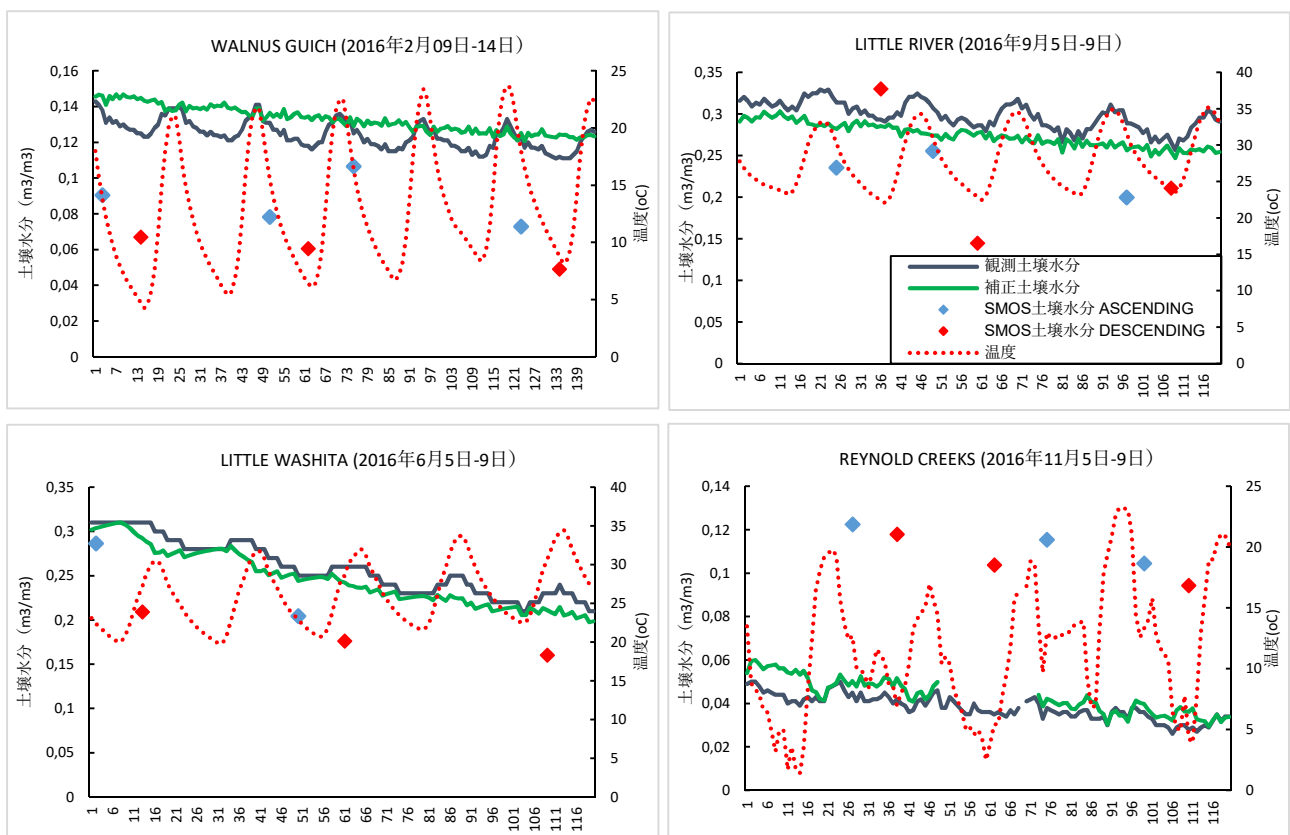


図-1 温度効果補正の結果