

## スーダン・ガッシュデルタ洪水灌漑地区における土壌水分分布の推定 Estimation of soil moisture distribution in spate irrigation area of Gash Delta, Sudan

アラヤ ゼライ ゲブラムラク<sup>1</sup>, ○田中丸治哉<sup>2</sup>, カリド アリ エルタイプ エラミン<sup>3</sup>,  
多田明夫<sup>2</sup>, バシール モハメド アハメド アダム<sup>3</sup>

Araya Zeray GHEBREAMLAK<sup>1</sup>, ○Haruya TANAKAMARU<sup>2</sup>, Khalid Ali Eltaib ELAMIN<sup>3</sup>,  
Akio TADA<sup>2</sup> and Bashir Mohammed AHMED ADAM<sup>3</sup>

**1. はじめに** スーダン東部に位置するガッシュデルタは約 10 万 ha の農地を有し、毎年 3～5 万 ha の耕作農地で洪水灌漑が実施され、主にソルガムが栽培されている。この農地は 6 つの灌漑ブロックとそれを細分した多数のミスガ (Misga) と呼ばれる圃場 (幅: 0.7～1km, 長さ: 約 10km) から構成され、各ミスガでは 2 年ないし 3 年周期のローテーションで耕作と休耕を繰り返している。本研究では、洪水灌漑の実施後、ミスガ内で十分な土壌水分量を蓄えており作物栽培に適した領域を簡便に抽出する方法について検討した。

**2. 研究目的** 耕作年に当たるミスガには、ガッシュ川から取水された洪水期 (7～9 月) の水が 7 つの幹線水路を経て導水され、その水は薄層流となって長辺方向に流下する。その際、ミスガ内で水が届いた灌漑域のうち、事前の樹木伐採や地表面の均平化を含む準備作業が実施され、かつ十分な土壌水分を蓄えた領域のみが最終的な耕作域となり、概ね 10 月から翌年 2 月までソルガムが栽培される。すなわち、通常は 圃場面積 ≧ 灌漑面積 ≧ 耕作面積 となる。このため、播種の前に十分な土壌水分を蓄えた領域を簡便に特定することができれば、営農上有用である。本研究では、衛星リモートセンシングによって土壌水分量が多い領域を簡便に推定する方法を検討する。

**3. 検討方法** 本来は現地では土壌水分量を計測し、それを推定する方法を検討すべきであるが、現時点では土壌水分量のデータがない。一方、著者等 (Eltaib 他, 2012; 田中丸他, 2016) は、これまで衛星リモートセンシングに基づくエネルギー収支法である SEBAL をガッシュデルタに適用し、蒸発散量の空間的分布について検討してきた。そこで次善の策として、この SEBAL の適用結果から土壌水分量を推定した後、これを土壌水分量の参照データとみなして、これを灌漑期の衛星画像から簡便に推定する方法を検討した。

まず Scott ら (2003) の方法で土壌水分分布を求めた。この方法は、SEBAL による蒸発散量の計算過程で求められる蒸発比 (evaporative fraction) から指数型の経験式で表層土壌の飽和度を推定するもので、ここでは栽培期の初期に当たる 2009 年 11 月 9 日の Landsat-5 画像への SEBAL の適用結果 (田中丸他, 2016) から土壌水分分布図を作成した。

次いで、灌漑期の末期に当たる同年 9 月 30 日の Landsat-7 画像を入手し、湛水域の抽出に利用できる Band-5 (中赤外域 MIR) の分布図、さらに Band-2 (可視域 Green) と先の Band-5 から計算される Xu (2006) の水域指標  $MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$  の分布図を作成し、前述の土壌水分分布図との対応関係を調べた。

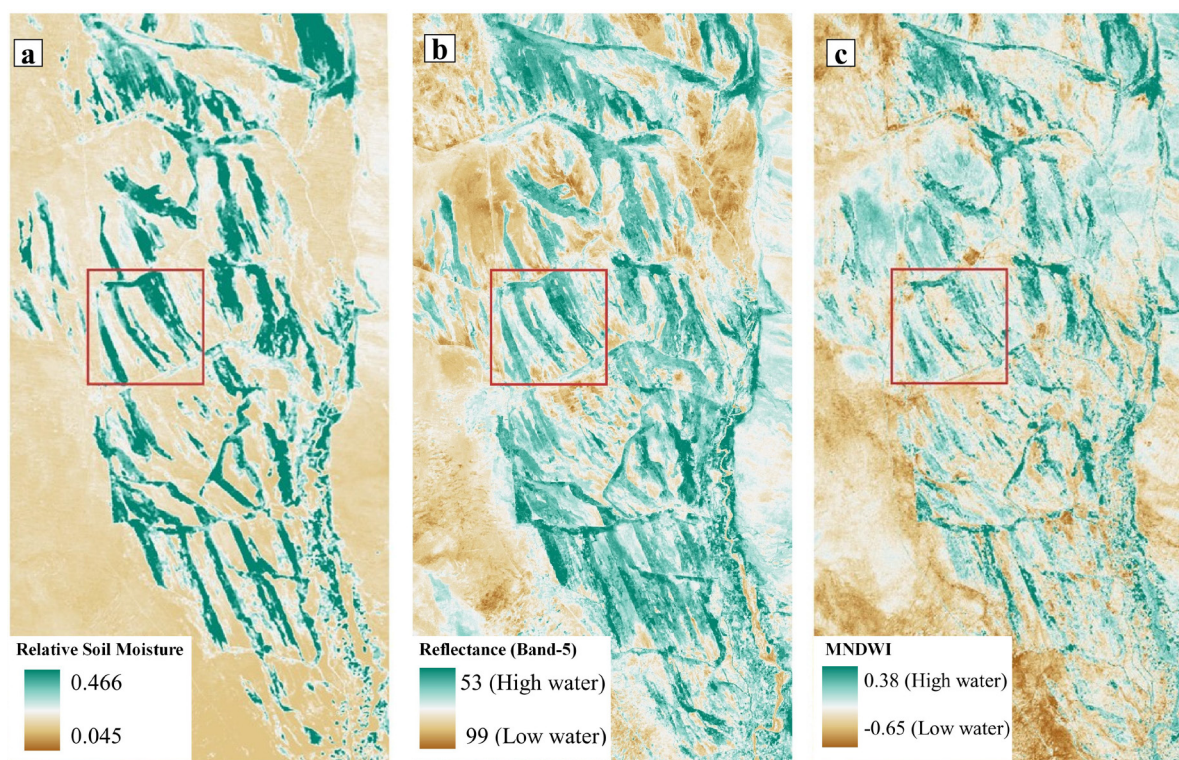
1 ハメルマロ農業大学 (エリトリア), Hamelmalo Agricultural College, Eritrea

2 神戸大学大学院農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

3 スーダン農業研究機構, Agricultural Research Corporation, Sudan

キーワード: 洪水灌漑, ガッシュデルタ, 土壌水分, リモートセンシング

**4. 検討結果** SEBAL の適用結果に基づく土壌水分分布図を **Fig.1 (a)** に、Band-5 の反射率 DN の分布図を **Fig.1 (b)** に、水域指標 (MNDWI) の分布図を **Fig.1 (c)** に示す。これらの図は、ガッシュデルタ全体が概ね収まる約 80km×約 40km の範囲である。(a) では、緑色が濃い箇所は表層土壌の飽和度が高いことを、茶色が濃い箇所は表層土壌の飽和度が低いことを表している。(b) では Band-5 の反射率 DN が小さい程、(c) では MNDWI が大きい程、ガッシュ川から導水された洪水で十分に湛水していることを表している。これら分布図を比較すると、十分に湛水している領域は、表層土壌の飽和度が高い領域と概ね対応しており、この結果は、湛水状況を表す灌漑期の衛星画像から、十分な土壌水分を蓄えた領域を特定しうることを示唆している。なお、Band-5 と MNDWI を比較すると、前者の方が SEBAL による土壌水分分布図との対応が取れている。実際、赤枠の領域から抽出した地点について、飽和度と Band-5 の反射率 DN との相関、飽和度と MNDWI との相関を調べると、決定係数  $R^2$  は前者で 0.59、後方で 0.34 であり、前者の方がより相関が高いことが分かった。これらの分布図において、物理モデルである SEBAL の適用結果は最も信頼できるが、コード作成や運用にそれなりの労力がかかることを考えれば、Band-5 による分布図は簡単に作成できることから、同図の利用は実用上の価値が高いと思われる。



**Fig.1** (a) SEBAL による土壌水分分布図、(b) Band-5 の反射率 DN の分布図、(c) 水域指標 MNDWI の分布図の比較 Comparison of spatial distribution maps of (a) relative soil moisture by SEBAL, (b) Band-5 in digital number of reflectance and (c) MNDWI

**引用文献** Eltaib, K.A. *et al.* (2012): Estimation of actual evapotranspiration in Gash Delta, Sudan using a satellite-based energy balance model, *International Water Technology Journal*, 2(1), pp.47-56. Scott, C.A. *et al.* (2003): Mapping root zone soil moisture using remotely sensed optical imagery, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(5), pp.326-335. 田中丸治哉他 (2016): 衛星リモートセンシングを利用した洪水灌漑圃場における水供給の不均一性評価, *水土の知*, 84(9), pp.781-784. Xu, H. (2006): Modification of normalized difference water index to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), pp.3025-3033.