

## スーダン・ガッシュデルタの洪水灌漑地区における水供給の不均一性について Non-uniformity of water supply in spate irrigation area of Gash Delta, Sudan

○田中丸治哉<sup>1</sup>, カリド・アリ・エルタイブ・エラミン<sup>2</sup>, 多田明夫<sup>1</sup>, 鳥井清司<sup>3</sup>  
○Haruya TANAKAMARU, Khalid Ali Eltaib ELAMIN, Akio TADA, Kiyoshi TORII

**1. はじめに** 洪水灌漑 (spate irrigation) は、季節性河川における雨季の洪水を水路によって圃場に導水する灌漑方法であり、中東やアフリカなどの乾燥・半乾燥地域で利用されてきた。筆者らは、大規模な洪水灌漑プロジェクトが実施されているスーダン・ガッシュデルタを対象として、衛星リモートセンシングに基づくエネルギー収支法を利用した蒸発散量分布の把握に取り組んできた。本報告では、ガッシュデルタの洪水灌漑システムについて説明した後、蒸発散量分布の解析と DEM による地形解析によって明らかになった水供給の不均一性と圃場の微地形との関係について述べる。

**2. ガッシュデルタの洪水灌漑** ガッシュデルタは、スーダン東部のカッサラ州に位置しており、エリトリアからスーダンに流入する内陸河川であるガッシュ川を水源とした洪水灌漑が実施され、主にソルガムが栽培されている (Fig.1)。平均年降水量は 260mm で、その大半は 6~9 月に集中している。同デルタには 6 つの灌漑ブロックがあり、ガッシュ川に設けられた堰と幹線水路で各ブロックに導水されている。各ブロックはミスガ (Misga) と呼ばれる幅 0.7~1.0km、長さ約 10km の灌漑単位に細分されているが、毎年 3 分の 1 のミスガで耕作が行われ、残り 3 分の 2 のミスガは休耕となる。用水路から取り入れた水はミスガの長辺を流下方向としたボーダー灌漑によって作物に供給されている。ソルガムの栽培期間は 11 月から翌年 1 月の 3 ヶ月間である。Fig.2 にガッシュデルタ南部に位置するカッサラブロック (北側) の灌漑システムを例示する。



Fig.1 スーダン・ガッシュデルタの位置  
Location of Gash Delta, Sudan

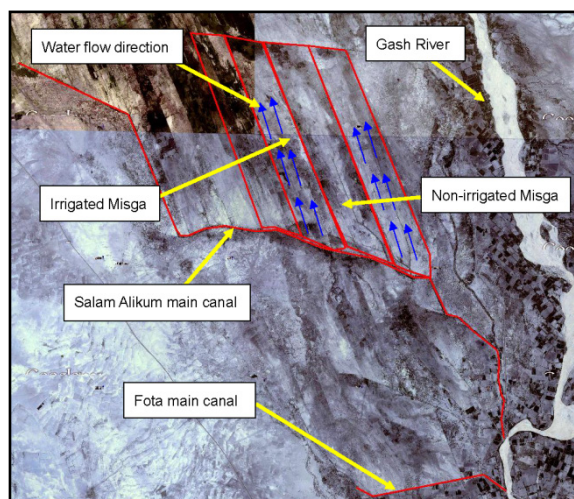


Fig.2 カッサラブロック (北側) の灌漑システム  
Irrigation system of Kassala Block (north part)

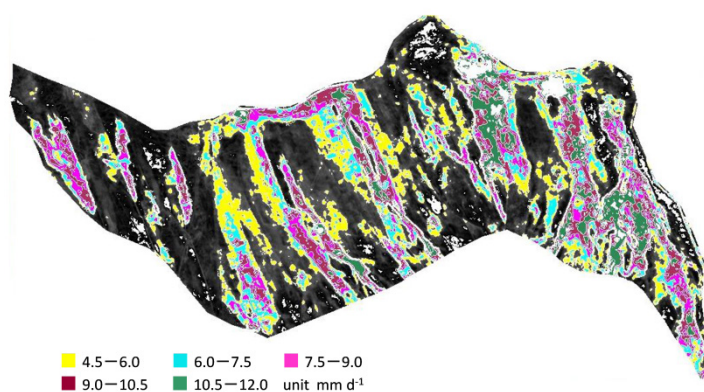
1 神戸大学大学院農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

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

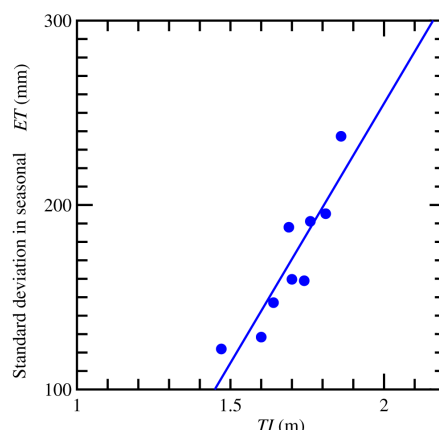
3 京都大学東南アジア研究所, Center for Southeast Asian Studies, Kyoto University

キーワード: 洪水灌漑, ガッシュデルタ, 蒸発散, リモートセンシング, DEM

**3. 蒸発散量分布の推定結果** ガッシュデルタに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 (Surface Energy Balance Algorithm for Land, Bastiaanssen *et al.*<sup>1)</sup>) を適用した。同法によれば、植生指標 (NDVI)、アルベド、地表面温度、純放射量とともに、実蒸発散量の分布を計算できる。2009年11月9日、同12月11日、2010年1月12日の Landsat-5 TM 画像(空間解像度 30m)とカッサラ地点の気象データに基づいて、SEBAL で画像取得日の日蒸発散量の空間分布を得た後、FAO Penman-Monteith 式を援用して灌漑期(11月～翌年1月)の総蒸発散量の空間分布を推定した。その結果、蒸発散量と植生指標に基づいて47箇所の耕作ミスガを特定できた。**Fig.3**にデガインブロックにおける実蒸発散量の分布(12月11日)を例示する(Khalid *et al.*<sup>2)</sup>)。耕作ミスガが高い蒸発散量を示すこと、また同じ耕作ミスガ内でも蒸発散量のばらつきがかなり大きいことが分かる。



**Fig.3** デガインブロックの実蒸発散量(2009年12月11日)  
Actual ET on 11th December, 2009 in Degain Block (Khalid *et al.*<sup>2)</sup>)



**Fig.4** 蒸発散量の標準偏差と地形指標  
SD of seasonal ET and terrain index

**4. 水供給の不均一性と圃場の微地形との関係** 耕作ミスガ内で蒸発散量に大きな差が生じる原因は、圃場表面の微地形(凹凸)のために灌漑水が多く集まる箇所とそうでない箇所が生じるためではないかと考えた。そこで、ピクセル毎に求めた灌漑期の総蒸発散量の平均、標準偏差、変動係数を耕作ミスガ毎に集計するとともに、空間解像度 30m の DEM を用いて耕作ミスガ表面の凹凸の程度を評価した。ここでは、7×7グリッドの移動平均標高とグリッド標高との差が地表の凹凸を表すとし、その標準偏差を地形指標 *TI* (terrain index) と呼ぶことにした。地形指標 *TI* が小さければ地表は均平に近く、これが大きければ地表の凹凸が激しいことを意味する。**Fig.4**はデガインブロック内の9つの耕作ミスガについて、地形指標 *TI* と蒸発散量の標準偏差の関係をプロットしたものである。これによると両者は正の相関 ( $R^2=0.77$ ) を示しており、他のブロックでも同様であったことから、地表の凹凸が激しい程、蒸発散量の空間的なばらつきが大きくなると言える。よって、洪水灌漑では地表の凹凸が水供給の不均一性の主因であると考えられ、地表の均平化で灌漑水を均等に行き渡らせることができると思われる。今後はガッシュデルタの現地調査を実施し、水供給の不均一性と圃場の微地形との関係を実証する予定である。

引用文献 1) Bastiaanssen, W.G.M. *et al.*, A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation, *J. Hydrol.*, 212-213, pp.198-212, 1998. 2) Khaid, A.E. *et al.*, Investigation on Flood Irrigation System in Gash Delta, East Sudan Using Satellite Image, *Proc. of the 33rd Asian Conference on Remote Sensing*, Pattaya, Thailand, pp.1-9 (CD-ROM), 2012.