

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 5 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04996

研究課題名(和文) アフリカ乾燥地域における洪水灌漑の性能評価と効率改善に関する水文学的研究

研究課題名(英文) Hydrological study on performance evaluation and efficiency improvement of spate irrigation in arid regions of Africa

研究代表者

田中丸 治哉 (Tanakamaru, Haruya)

神戸大学・農学研究科・教授

研究者番号：80171809

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スーダン東部の半乾燥地域に位置するガッシュデルタ洪水灌漑地区を対象として、洪水灌漑の運用実態とソルガム圃場での水供給の状況を現地調査と衛星リモートセンシングによって明らかにした後、灌漑効率を評価し、効率改善の方策を提示する。とくに水文学的な解析手法を活用した洪水灌漑の性能評価と効率改善の方策を確立し、乾燥地域での水資源の有効利用に資することが本研究の目的である。具体的には以下の3課題について検討する。(1) ガッシュデルタにおける土地利用と作付けパターンの実態解析、(2) 水供給の信頼性・脆弱性の評価と最適な耕作ローテーションの検討、(3) 水供給の空間的な不均一性とその原因に関する検討

研究成果の学術的意義や社会的意義

ガッシュデルタ洪水灌漑地区では、3年ローテーション(耕作1年、休耕2年)が採用されてきたが、農地面積の拡大を目的とした2年ローテーション(耕作1年、休耕1年)も検討されている。しかしながら、現状では2年ローテーションの適用可能性が明らかになっていない。本研究では、現地調査と衛星リモートセンシングによってローテーションの実態を明らかにするとともに、水文学的な解析手法を活用して、水供給と純利益の観点から耕作ローテーションの評価を実施し、最適灌漑面積を提示している。これらの成果は、灌漑性能の評価に関する学術的意義を有するとともに、最適な耕作ローテーションの決定に資する点で社会的な意義も有している。

研究成果の概要(英文)：In this study, the Gash Delta Spate Irrigation System (GDSIS) located in the semi-arid region of eastern Sudan is targeted, and after clarifying the actual state of spate irrigation operation and the state of water supply in the Sorghum field by field survey and satellite remote sensing, the irrigation efficiency in the GDSIS is evaluated and measures for improving efficiency are presented. In particular, the purpose of this study is to establish measures for performance evaluation and efficiency improvement of spate irrigation using hydrological analysis methods, and to contribute to the effective use of water resources in arid areas. Specifically, the following three topics are studied. (1) Analysis of the actual conditions of land use and cultivation patterns in the GDSIS, (2) Evaluation of reliability and vulnerability of water supply and examination of optimal cultivation rotation, (3) Examination of spatial non-uniformity of water supply and its causes

研究分野：水文学

キーワード：農業工学 洪水灌漑 スーダン ガッシュデルタ リモートセンシング 蒸発散量 土地利用 DEM

1. 研究開始当初の背景

(1) 洪水灌漑と対象地区の概要

洪水灌漑 (spate irrigation) は、季節性河川における雨季の洪水を堰と水路によって圃場に導水する技術であり、中東、北アフリカ、東アフリカ、西アジア、南アメリカの乾燥・半乾燥地域で利用されてきた。伝統的な洪水灌漑では、簡易的な堰と水路を築いて農地近くの河川の洪水を圃場に導水する小規模なものが多いが、建設に要するコストが小さいことから、ウォーター・ハーベスティング (water harvesting) と並ぶ、水資源有効利用の一手法として注目されており、大規模で近代的な洪水灌漑プロジェクトも立ち上げられている。

研究対象地区とするガッシュデルタは、スーダン東部のカッサラ州に位置しており、北緯 15°15' から 16°15'、東経 36°5' から 36°30' の範囲にあり (図 1)、エチオピア及びエリトリアを源流とするガッシュ川沿いのカッサラを扇頂とし、約 1/1000 の下り勾配で北北西に向かって広がっている (図 2)。平均年降水量は 260mm、雨季は 5~10 月で、その大半は 6~9 月に集中している。ガッシュデルタの耕作域は 1,680km² であるが、そのうち灌漑域は 1,050km² で、毎年その 3 分の 1 の 336km² が耕作される。ガッシュデルタは図 2 に示す 6 つの灌漑ブロックから構成されており、雨季に発生する洪水がガッシュ川に設けられた取水堰とそれに続く幹線水路によって各ブロックに導水される。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 (圃場) に細分されているが、ある年の耕作ミスガは全体の 3 分の 1 のみであり、残りのミスガは休耕となる。幹線水路の水は、耕作ミスガの上端から取り入れられ、ミスガ長辺に沿う方向に薄層流でミスガ下端まで流下する。現在の主な作物はソルガムで、その栽培期間は 11 月から翌年 1 月の 3 ヶ月間である。

(2) これまでの研究

研究代表者らは、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 (①Bastiaanssen ら) を適用して、蒸発散量の空間分布を推定した。蒸発散量の推定結果によると、ミスガ毎に蒸発散量がばらつき、一つのミスガ内でも場所により蒸発散量が大きく変動することが分かっている (Khalid ら, 2016; 田中丸ら, 2016)。

一方、ガッシュデルタでは、上述した通り 3 年ローテーション (耕作 1 年, 休耕 2 年) が採用されてきたが、スーダン政府は農地面積の拡大を目的として、毎年 5 万 ha で耕作を行う 2 年ローテーション (耕作 1 年, 休耕 1 年) を導入するための施設改良を行った。しかしながら、農地への供給水量の年変動を考慮した検討がなされておらず、現状では 2 年ローテーションの適用可能性が明らかになっていない。さらに各ブロックにおける現時点でのローテーションの実態についても不明確である。このため、ガッシュデルタにおける耕作ローテーションの実態を把握するとともに、2 年ローテーションの適用可能性を検討する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、スーダン東部の半乾燥地域に位置するガッシュデルタ洪水灌漑地区を対



図 1 ガッシュデルタの位置

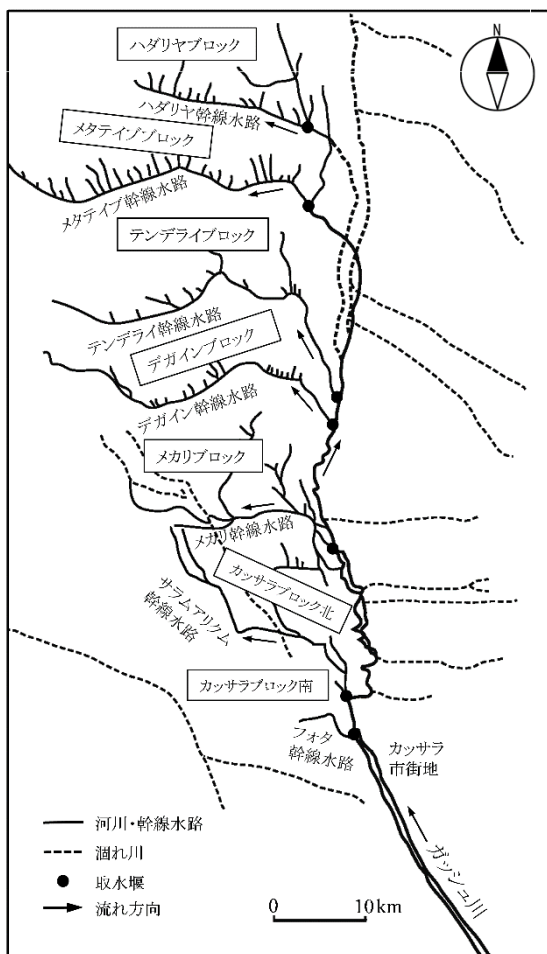


図 2 ガッシュデルタ洪水灌漑システム

象として、洪水灌漑の運用実態とソルガム圃場での水供給の状況を現地調査と衛星リモートセンシングによって明らかにした後、灌漑効率を評価し、効率改善の方策を提示する。とくに水文学的な解析手法を活用した洪水灌漑の性能評価と効率改善の方策を確立し、乾燥地域での水資源の有効利用に資することが本研究の目的である。具体的には以下の3課題について検討する。

- (1) ガッシュデルタにおける土地利用と作付けパターンの実態解析
- (2) 水供給の信頼性・脆弱性の評価と最適な耕作ローテーションの検討
- (3) 水供給の空間的な不均一性とその原因に関する検討

3. 研究の方法

- (1) ガッシュデルタにおける土地利用と作付けパターンの実態解析

①衛星リモートセンシングに基づく耕作地マッピング手法の開発

対象地区の耕作ミスガでは、圃場面の均平化やメスキート等の植生除去から成る準備作業が実施された後、圃場内に灌漑用水を流下させる。その結果、準備作業が行き届き十分に水が供給された部分のみが耕作地となる。Landsat-7による衛星画像を用い、疑似カラー画像と植生指標NDVI、水指標MNDWIを参照して、裸地、森林、耕作地のサンプル50点ずつを抽出し、耕作期間中の平均温度と平均植生指標の関係を図示した後、同図に基づいて平均温度、平均植生指標の上限値と下限値から耕作地を抽出するアルゴリズムを提示した(Ghebreamlakら, 2018b)。

②現地調査と衛星リモートセンシングに基づく作付けパターンの実態解析

ガッシュデルタの作付けパターンの実態を明らかにするため、現地調査と衛星リモートセンシングを組み合わせることで土地利用分類を行うとともに作付けパターンを分析する。2016年12月に現地調査を行い、土地利用及び作付け状況のランドトゥールズデータを収集し、5つの土地利用(耕作地、非耕作地、灌漑地、水体、湿地)のそれぞれに30地点のトレーニングデータを得た。衛星画像にはLandsat-8を利用した。2013~2016年のデータを全てダウンロードし、デジタルナンバーを地表面反射率に変換した後、植生に関する3つの指標(NDVIなど)、水に関する6つの指標(NDWIなど)を計算した。各指標から得られる統計量(年平均値、年最小値、年最大値など)を説明変数、5つの土地利用を目的変数とする決定木を2016年のデータについて構築した後、2013~2015年についても土地利用分類を実施した。その結果に基づいて、6つの灌漑ブロック毎に耕作面積の年変動、耕作ローテーションについて分析した(Fujiharaら, 2020)。

- (2) 水供給の信頼性・脆弱性の評価と最適な耕作ローテーションの検討

①水供給の信頼性・脆弱性の評価

モンテカルロ法に基づいて、ガッシュ川の年流量データを長期間に渡って模擬発生させた上で、灌漑水量の信頼性と脆弱性を検討する。まず、カッサラ地点における107年分の年流量データに、正規分布、対数正規分布、ガンマ分布、ワイブル分布など6種類の確率分布を当てはめ、2変数のワイブル分布が最もよく適合することを示した。さらに、年流量の時系列データについてコレログラムを作成し、自己相関性がほとんど認められないことを示した。そこで、自己相関性を考慮せずにワイブル分布に従う100年分の年流量データを模擬発生させ、これに堰での取水率IR(intake ratio)と灌漑効率IE(irrigation efficiency)を乗じたものを供給水量とし、これが必要水量を上回る頻度から信頼度を、必要水量を下回ったときの平均不足水量の必要水量に対する比として脆弱性の深刻度を計算し、これを5,000回繰り返して両指標の平均と範囲を求めた。これらの指標に基づいて、水供給の観点から2年、3年の耕作ローテーションを採用した場合の信頼性・脆弱性を評価した(Ghebreamlakら, 2018a)。

②最適な耕作ローテーションの検討

ガッシュデルタ洪水灌漑システムにおける最適灌漑面積を決定するためのシミュレーションモデルを提示し、地域全体の純利益の観点から最適な耕作ローテーションを決定する。このモデルは、ガッシュ川の年流量から灌漑用水の供給量を求めるサブモデル、土壌水分量の空間分布を表現するサブモデル、土壌水分量から作物収量を推定するサブモデル、作物収量から純利益を推定するサブモデルから構成されている。まずガッシュ川の年流量に取水率IRと輸送効率CE(conveyance efficiency)を乗じて灌漑用水の供給量を求め、これを灌漑面積で除して平均浸透深を求め、土壌水分分布として正規分布を仮定し、灌漑用水が不足している領域と灌漑用水が過剰な領域の面積をそれぞれ計算する。その際、Pereira(②)によって提案されたパラメータDU(distribution uniformity)を導入して、浸透深の均一性の度合いを表現できるようにしている。作物収量は、用水不足域と用水過剰域のそれぞれに対する収量推定式から計算する。最後に、単位面積当たりの作物収量から生産コストを差し引いたものに灌漑面積を乗じて地域全体の純利益を計算する。まず、8年分の観測年流量に基づいて単収を推定しているが、各年の単収の推定値は実績値と概ね合致していた。次いで、模擬発生させた長期の年流量データに基づいて、パラメータ(IR, CE, DU)の様々な組み合わせに対し、このシミュレーションモデルを適用し、それぞれ純利益の期待値が最大となる最適灌漑面積を計算した(Ghebreamlakら, 2018d)。

- (3) 水供給の空間的な不均一性とその原因に関する検討

①衛星リモートセンシングに基づく土壌水分分布の推定

これまでの研究では、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が適用され、蒸発散量の空間分布が推定されている。一方、SEBALの適用に際して得られる蒸発比から土壌水分量(飽和度)を推定する式が提案されている(③Scottら)。そこで、本研究では、SEBALの適用結果と飽和度の推定式によりガッシュデルタの土壌水分分布を

推定した。ただし、SEBAL の運用の煩雑さを考えれば、衛星画像からより簡便に土壌水分分布が推定できれば実用的である。そこで、先に推定した土壌水分分布を参照値として、より単純な Landsat-7 の Band-5 画像（中赤外域 MIR）と Band-2（可視域 Green）と Band-5 から計算できる水指標 MNDWI の代用可能性を検討した（Ghebreamlak ら、2018c）。

②水供給の空間的な不均一性の原因に関する検討

これまでの研究では、水供給の空間的な不均一性の評価に ASTER GDEM（空間分解能 30m）を用いていたが、この DEM にはノイズが多く実際の地形とかなり異なるとの指摘がある（④内田）。そこで、ガッシュデルタ南部のカッサラブロックにおける空間分解能 5m の DEM（AW3D）を入手して精密な地形解析を実施し、水供給の空間的な不均一性の原因について検討した。

4. 研究成果

(1) ガッシュデルタにおける土地利用と作付けパターンの実態解析

①衛星リモートセンシングに基づく耕作地マッピング手法の開発

平均温度、平均植生指標の上限値と下限値から耕作地を抽出するアルゴリズムをガッシュデルタの 2009–2010 年、2004–2005 年の灌漑期に適用した。その結果、2009–2010 年では耕作地は $30 < \text{平均温度} (\text{°C}) < 35$ かつ $0.2 < \text{平均 NDVI} < 0.4$ として判別でき、2004–2005 年では耕作地は $30 < \text{平均温度} (\text{°C}) < 34$ かつ $0.2 < \text{平均 NDVI} < 0.35$ として判別できること、ブロック別の耕作面積の推定誤差は、前者で $-5 \sim 12\%$ 、後者で $-25 \sim 20\%$ となり、概ね良好な精度で耕作地が抽出できることが示された（Ghebreamlak ら、2018b）。

②現地調査と衛星リモートセンシングに基づく作付けパターンの実態解析

植生指標 3 種、水指標 6 種の組み合わせでは、NDVI と NDWI_{GS1} が最良であった。2013–2016 年のデータに基づいてガッシュデルタの土地利用状況をこれら指標による決定木で判別したところ、灌漑ブロック別、ガッシュデルタ全体の耕作面積として図 3 を得た。同図には水源となるガッシュ川流域を含む領域の年降水量を併記している。これによると降水量が大きい年は全体の耕作面積が大きく、耕作面積の変動は年降水量の多寡と対応しており、ブロック別に見ても同様である。図 4 に各年の土地利用状況から判別された耕作ローテーションのパターン分類の結果を示す。これより上流側のブロックでは 2 年ローテーションが、下流側のブロックでは 3 年ローテーションが主流となっていることが分かる（Fujihara ら、2020）。本研究では、Google Earth Engine（GEE）によって同様の解析が効率的に行えることも示している（藤原ら、2020）。

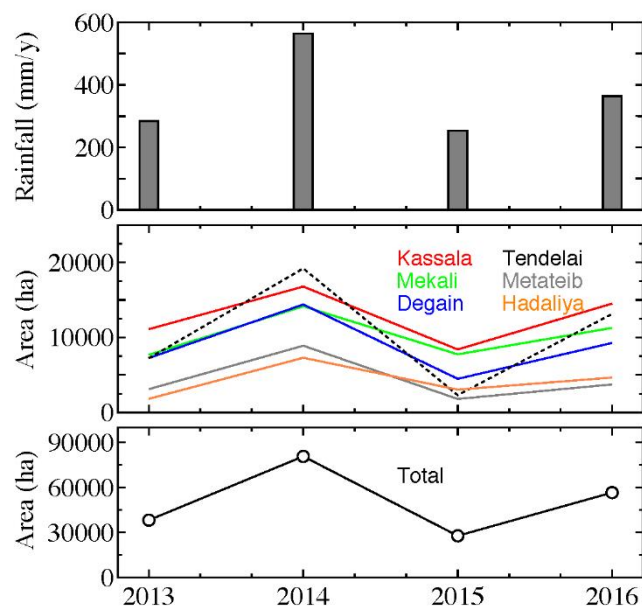


図 3 ブロック別、デルタ全体の耕作面積

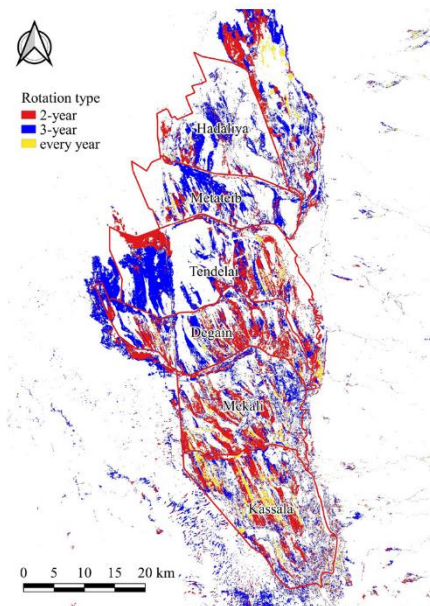


図 4 耕作ローテーションの分布

(2) 水供給の信頼性・脆弱性の評価と最適な耕作ローテーションの検討

①水供給の信頼性・脆弱性の評価

取水率 IR を 20–50%、灌漑効率 IE を 30–70% としたときの信頼度と深刻度を計算した。対象地区で典型的な $\text{IR} = 40\%$ 、 $\text{IE} = 50\%$ とし、3 年及び 2 年ローテーションを採用したケースを比較したところ、信頼度は 3 年のとき平均 54%、2 年のとき平均 18%、深刻度は 3 年のとき平均 31%、2 年のとき平均 38% で、2 年ローテーションは 3 年ローテーションに比べて明らかに信頼度が低く、深刻度が高くなることが示された。信頼度、深刻度に対する IR、IE の感度についても検討しており、IR、IE を大きくすると信頼度が明確に増大することが示された。以上の結果によれば、水供給の観点では、2 年ローテーションよりも従来の 3 年ローテーションの方が優れている（Ghebreamlak ら、2018a）。

②最適な耕作ローテーションの検討

取水率 IR を 30, 40, 50%, 輸送効率 CE を 40, 50, 60%, パラメータ DU を 40, 50, 60%としたときの全ての組み合わせに対してシミュレーションモデルを適用し、純利益の期待値が最大となる最適灌漑面積を計算した。対象地区において典型的なパラメータ値 (IR=40%, CE=50%, DU=50%) のケースでは、最適灌漑面積は 4 万 4 千 ha となった。また、取水施設の改良や圃場面の均平化などの準備作業を十分に行うことで、これらのパラメータ値を大きくすることができれば、最適灌漑面積を拡大できることが示唆された (Ghebreamlak ら, 2018d)。

水供給の信頼性・脆弱性の検討結果によれば、2 年ローテーションよりも 3 年ローテーションの方が優れているという結果が示されたが、この検討だけでは生産量が考慮されていないため不十分である。上述の検討結果として示された最適灌漑面積 4 万 4 千 ha は、3 年ローテーション (3 万 3 千 ha) よりも大きく、2 年ローテーション (5 万 ha) よりもやや小さい。

先に示した作付けパターンの実態解析の結果によれば、2 年と 3 年のローテーションを採用しているブロックがそれぞれ存在している。この現状を考えれば、ここで提示された最適灌漑面積は概ね実態に合ったものと考えられる。

(3) 水供給の空間的な不均一性とその原因に関する検討

①衛星リモートセンシングに基づく土壌水分分布の推定

図 5 (a) に SEBAL の適用結果と飽和度の推定式によりガッシュデルタ・デガインブロックの土壌水分分布を推定した結果を示す。図 5 (b) には Landsat-7 の Band-5 のデジタルナンバー分布を示しており、図 5 (c) には水指標 MNDWI の分布を示している。これらの結果によれば、SEBAL による土壌水分分布と Band-5, MNDWI ともに対応関係が認められるが、最も単純な Band-5 画像にとくに良好な対応関係が見られ、耕作ミスガにおいて十分に水が供給された部分の特定に Band-5 画像が利用可能であることが示唆された (Ghebreamlak ら, 2018c)。

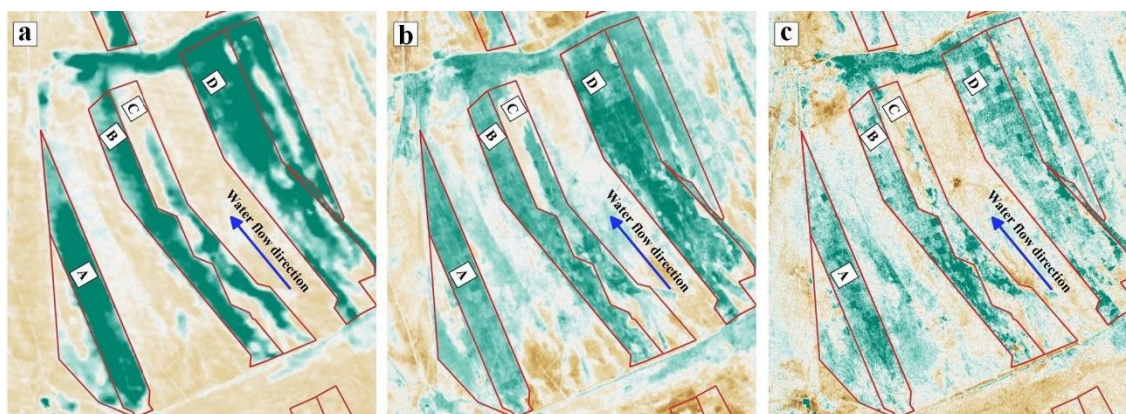


図 5 土壌水分分布の推定結果 (デガインブロック), (a) SEBAL, (b) Band-5, (c) MNDWI

②水供給の空間的な不均一性の原因に関する検討

カッサラブロックを対象として、ASTER GDEM (空間分解能 30m) に代えて AW3D (空間分解能 5m) に基づいて、ミスガ内の起伏の大きさを移動平均標高からの偏差の大きさで表現する地形指標 TI (Terrain Index) を計算し、ミスガ内の蒸発散量の標準偏差との関係を調べた。その結果、AW3D によると、TI と蒸発散量の標準偏差との間に相関関係は認められないことが分かった。このため、ミスガ内の蒸発散量の不均一性 (=水供給の不均一性) を TI のようなマクロな統計的指標で説明することは困難と判断された。

そこで、カッサラブロックの 2013-2014 年~2018-2019 年の 6 シーズンにおける Sentinel-2 及び Landsat-8 の衛星画像から GEE で水指標 MNDWI と植生指標 NDVI を計算し、これらの指標で灌漑性能 (水が届いているか否か) を評価した。その結果、主灌漑水路の末端に当たる西側のミスガほど水供給が少ないことが分かった。さらに、水供給が不十分な箇所は、ミスガ下流で農地がない箇所、圃場勾配が大きいミスガの最上流部、ミスガ境界・水路と圃場の主傾斜方向のなす角が大きくミスガの幅が狭い箇所、ミスガの下流側で圃場の主傾斜方向が変わる箇所、ミスガ中央にある尾根から構成されていることが分かった。これらの結果から、主灌漑水路に対する圃場の配置とともに、圃場内の細かい地形が水供給の多寡に関係していることが示された。

<引用文献>

- ① Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. and Holtslag, A.A.M.: A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation, Journal of Hydrology, No.212-213, 1998, 198-212
- ② Pereira, L.S.: Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: a discussion, Agricultural Water Management, Vol.40, 1999, 153-169
- ③ Scott, C.A., Bastiaanssen, W.G. and Ahmad, M.: Mapping root zone soil moisture using remotely sensed optical imagery. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol.129, No.5, 2003, 326-335
- ④ 内田 諭: 農業立地分析のための ALOS 全世界デジタル 3D 地形データ利用優位性の検討, 写真測量とリモートセンシング, Vol.54, No.4, 2015, 189-193

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ahmed Adam Bashir M., Tanakamaru Haruya, Tada Akio, Hassan A.E., Eltaib Elamin Khalid A., Sirelkhatim, H.A.	4. 巻 17
2. 論文標題 Forecasting rainfed sorghum yield using satellite-derived vegetation indices with limited ground-based information in Gadarif region, eastern Sudan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Gezira Journal of Agricultural Science	6. 最初と最後の頁 211 ~ 228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Fujihara Yoichi, Tanakamaru Haruya, Tada Akio, Ahmed Adam Bashir M., Eltaib Elamin Khalid A.	4. 巻 173
2. 論文標題 Analysis of cropping patterns in Sudan's Gash Spate Irrigation System using Landsat 8 images	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Arid Environments	6. 最初と最後の頁 104044 ~ 104044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jaridenv.2019.104044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 藤原洋一, 田中丸治哉, 多田明夫	4. 巻 88
2. 論文標題 Google Earth Engineによるスーダン・洪水灌漑地区の土地利用解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 水土の知 (農業農村工学会誌)	6. 最初と最後の頁 7 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Araya Zeray Ghebreamlak, Tanakamaru Haruya, Tada Akio, Bashir Mohammed Ahmed Adam, Khalid Ali Eltaib Elamin	4. 巻 376
2. 論文標題 Performance assessment of the Gash Delta Spate Irrigation System, Sudan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences	6. 最初と最後の頁 69 ~ 75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/piahs-376-69-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Araya Zeray Ghebreamlak, Tanakamaru Haruya, Tada Akio, Bashir Mohammed Ahmed Adam, Khalid Ali Eltaib Elamin	4. 巻 10
2. 論文標題 Satellite-Based Mapping of Cultivated Area in Gash Delta Spate Irrigation System, Sudan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 186 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs10020186	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Araya Zeray Ghebreamlak, Haruya Tanakamaru, Khalid Ali Eltaib Elamin, Akio Tada and Bashir Mohammed Ahmed Adam	4. 巻 74
2. 論文標題 Study on soil moisture distribution of the Gash Delta Spate Irrigation System, Sudan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Japanese Society of Civil Engineering, B1	6. 最初と最後の頁 I_817 ~ I_822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Araya Zeray Ghebreamlak, Tanakamaru Haruya, Tada Akio, Bashir Mohammed Ahmed Adam, Khalid Ali Eltaib Elamin	4. 巻 30
2. 論文標題 Simulation model to estimate the optimum irrigation area of Gash Delta Spate Irrigation System, Sudan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 応用水文 (論文編)	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 藤原洋一, 田中健二, 田中丸治哉, 多田明夫, Bashir Mohammed Ahmed Adam, Khalid Ali Eltaib Elamin	4. 巻 30
2. 論文標題 スーダン・ガッシュデルタにおける作付けパターンの分析: Landsat-8画像を利用して	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 応用水文 (部会報告編)	6. 最初と最後の頁 93 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Khalid, A.E., Tanakamaru, H., Tada, A., Torii, K., Bashir, M.A. and Ghebreamlak, A.Z.	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance evaluation of spate irrigation using remote sensing and DEM	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the 7th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER2016)	6. 最初と最後の頁 g02-08-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 田中丸治哉, Khalid, A.E., 多田明夫, 鳥井清司, Bashir, M.A., Ghebreamlak, A.Z.	4. 巻 84
2. 論文標題 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	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 水土の知 (農業農村工学会誌)	6. 最初と最後の頁 781~784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 アラヤ ゼライ ゲブラムラク, 田中丸治哉, カリド アリ エルタイプ エラミン, 多田明夫, パシル モハメド アハメド アダム
2. 発表標題 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
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原洋一, 田中丸治哉, 多田明夫, Bashir M.A. Adam, Khalid A.E. Elamin
2. 発表標題 スーダン・ガッシュデルタ洪水灌漑地区における作付けパターンについて
3. 学会等名 平成30年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原洋一, 田中丸治哉, 多田明夫, Bashir M.A. Adam, Khalid A.E. Elamin
2. 発表標題 スーダン・ガッシュデルタ洪水灌漑地区における作付けパターンの分析
3. 学会等名 水文・水資源学会2018年度研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中丸治哉, Khalid Ali Eltaib Elamin, 多田明夫, 鳥井清司
2. 発表標題 スーダン・ガッシュデルタの洪水灌漑圃場における水供給の不均一性評価
3. 学会等名 水文・水資源学会2017年総会・研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Araya Zeray Ghebreamlak, Tanakamaru Haruya, Tada Akio, Bashir Mohammed Ahmed Adam, Khalid Ali Eltaib Elamin
2. 発表標題 Simulation model to estimate the optimum irrigation area of Gash Delta Spate Irrigation System, Sudan
3. 学会等名 第30回水文・水環境研究部会シンポジウム（農業農村工学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原洋一, 田中健二, 田中丸治哉, 多田明夫, Bashir Mohammed Ahmed Adam, Khalid Ali Eltaib Elamin
2. 発表標題 スーダン・ガッシュデルタにおける作付けパターンの分析：Landsat-8画像を利用して
3. 学会等名 第30回水文・水環境研究部会シンポジウム（農業農村工学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中丸治哉, Khalid, A.E., 多田明夫, 鳥井清司
2. 発表標題 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
3. 学会等名 平成28年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 土木学会水工学委員会水理公式集編集小委員会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 土木学会; 丸善出版(発売)	5. 総ページ数 927
3. 書名 水理公式集 2018年版(担当箇所: 第1編3.5.7 パラメータ同定, 第4編1.4 貯水池操作)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	多田 明夫 (Tada Akio) (00263400)	神戸大学・農学研究科・准教授 (14501)	
研究分担者	藤原 洋一 (Fujihara Yoichi) (10414038)	石川県立大学・生物資源環境学部・准教授 (23303)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	バシール モハメド アハメド アダム (Bashir Mohammed Ahmed Adam)	スーダン農業研究機構・農業工学研究プログラム・ナショナルコーディネータ	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	カリド アリ エルタイプ エラミン (Khalid Ali Eltaib Elamin)	スーダン農業研究機構・研究員	
研究協力者	アラヤ ゼライ ゲブラムラク (Araya Zeray Ghebreamlak)	エリトリア工科大学・工学部・講師	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 アフリカ乾燥地域における洪水灌漑の評価と改善に関するワークショップ	開催年 2019年～2019年
---	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
スーダン	農業研究機構			