

多波長センサーによるアラル海流域における灌漑実態の広域モニタリング Satellite Remote Sensing of Irrigation in the Aral Sea Basin using Multi-Spectral Sensors

○峠嘉哉・Mbugua Jacqueline MUTHONI・田中賢治・Temur KHUJANAZAROV

○Yoshiya TOUGE, Mbugua Jacqueline MUTHONI, Kenji TANAKA, Temur KHUJANAZAROV

In the Aral Sea basin, millions of people are affected by severe drought and farm land salinization. As a result, land use in this region are annually changing due to lack of water and local adaptation against salinization. However, these dynamical changes have not been recorded in national statistics.

Therefore in this research, satellite remote sensing was conducted to detect actually irrigated area in farms, irrigation water, crop types. Validation data was in situ measured soil moisture and 2000 scenes of GPS photo and driver recorder video with GPS information taken from car in author's past investigation. As the result, irrigation water was partially detected by NDWI and actual irrigated area was detected by diurnal difference in temperature.

1. はじめに

アラル海流域では、「20 世紀最大の環境問題」と言われる深刻な渇水が数百万人に影響している。渇水年では下流域の多くで灌漑ができない被害が報告され、近年深刻な農地塩害の影響では耕作放棄地や輪作が増加し、灌漑地の有無や作付作物が年ごとに動的に変化する。このような土地利用情報は流域水管理上重要であるが、現実には利用可能なデータが限られ、現地機関も把握していない実態がある(Micklin, 2000, Khujanazarov et al. 2012)。そこで本研究では、様々な時空間解像度・波長による衛星解析と現地調査の双方により、灌漑の実態をモニタリングする手法の開発を行った。

2. 衛星解析手法

① 正規化水指数 NDWI

NDWI は水体域の抽出として一般的な手法であり、下式のように計算される。

$$NDWI = \frac{Red - SWIR}{Red + SWIR}$$

ここに *Red* は赤波長、*SWIR* は中間赤外波長である。MODIS による NDWI データは日ごと・250m 解像度であるため、農地内の水操作が抽出できる期待がある。一般的には水田のように水面がある場合に明瞭な変化が見られるが、乾燥域では灌漑による乾湿の差が大きいため、本研究では綿花や小麦農場における土壌水分量の上昇の抽出を試みる。

② 地表面温度日格差 (周辺気候)

$$\Delta ST = \frac{ST_{day} - ST_{night}}{ST_{day} + ST_{night}}$$

ここに ST_{day} と ST_{night} はそれぞれ昼・夜に観測された地表面温度であり、 \overline{ST} は周辺の地表面温度の平均値であることを示す。乾燥域であるウズベキスタンでは灌漑の有無による水分量の差が大きく、水分量は地表面熱容量に影響するため灌漑地で地表面温度の日格差が小さくなることを利用している。温度変化は気温等の気象要素にも影響されることから、分母で周辺気候の平均的な日格差を考慮することで、灌漑地のみで相対的に小さいことを示す。MODIS による熱画像は 1km 解像度であるため、本研究では地域・農地全体における渇水の影響評価や灌漑・非灌漑の抽出に用いる。

③ 地表面温度日格差 (陸面過程)

$$\Delta ST = \frac{ST_{day} - ST_{night}}{SM^{LSM}_{day} - SM^{LSM}_{night}}$$

ここに、 SM^{LSM} は陸面過程モデルで計算された地表面温度である。上記の方法は周辺地域の取り方に依存し、山岳域等の地形変化が大きい地域では標高差による地表面温度差が灌漑地として抽出される恐れがある。そのため、灌漑スキームを外した陸面過程モデルによって鉛直一次元で解析された地表面温度差を分母とすることで、気候条件から決定される地表面温度格差を推定する。

3. 現地調査・検証データ

申請者らはウズベキスタン国内 3 点の試験農場で 2012 年より定点観測を行ってきた (図 1)。今回の対象は半乾燥地の Bayavut 試験農場であり、2012~2013 年で観測した (Touge et al. 2015)。

加えて、2017 年より二度現地調査を行った。現



図1 定点観測点分布

地農家への聞き取り調査では、アムダリア川下流域のカラカルパクスタンにおいては、塩害対策のための輪作が広くとられており、特に水を多く消費する綿花や小麦は連作しないよう指導されていた。塩害地においても灌漑排水路の間隔は十分でなく、排水不良による塩類集積の悪化が考えられるため、今後は暗渠の導入などの対策も必要と考えられる。

衛星解析用の土地被覆検証には、筆者らがウズベキスタン・カザフスタン・タジキスタンでの調査時に移動中の車内から継続的に記録してきた土地被覆情報を用いる。2012年から2014年まではGPSカメラを用いて車外を等間隔ごとに撮影し、約2000枚の写真データになっている。2015年以降はGPS付きドライブレコーダーを用いた撮影を行っている。図2は、記録した情報の中で、実際に灌漑をしている地点の位置を示している。ウズベキスタン国内では、フェルガナ、ザラフシャン、ブハラ、カラカルパクスタンで記録している。

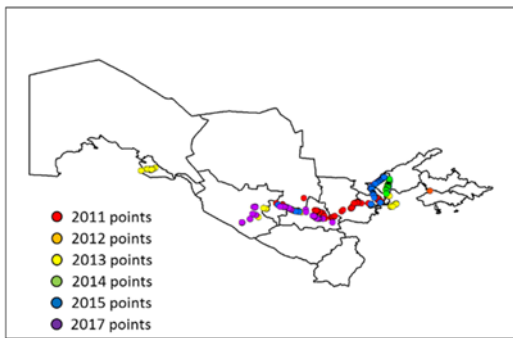


図2 土地被覆調査地点

4. 解析結果

まず Bayavut 試験農場において、NDWI による灌漑操作の衛星解析を行った。図3は土壌水分量観測値と NDWI の時系列変化である。NDWI は土壌水分量に反応して増減していることが分かった。しかし、時期がずれる場合等もあり、浸透時間やセンサー設置点について詳細に検討する必要がある。

図4はフェルガナ地域における地表面温度の日

格差を示す。図の南側・中央から南西はシルダリア川・チルチク川流域の灌漑区であり、地表面温度日格差が低いことが分かる。これより、地表面温度の日格差は灌漑地の抽出や渇水影響地域の推定に利用できると考えられる。今後は地形変化が大きい地域での推定精度向上が必要であると共に、作物収量等の統計データとの比較が必要である。

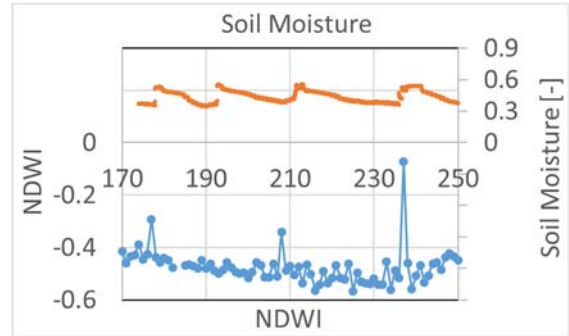


図3 Bayavut 試験農場における NDWI 時系列

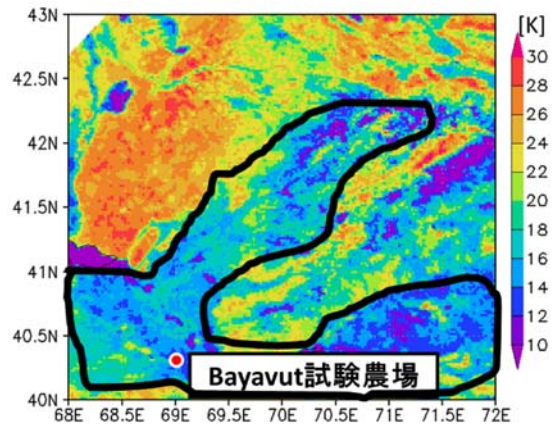


図4 地表面温度日格差(MODIS)

謝辞：本研究は京都大学防災研究所共同研究（平成29年度一般共同研究29G-11）の成果による。ここに謝意を示す。

参考文献

- Khujanazarov, T., Ichikawa, Y., Magome, J., & Oishi, S. (2012). DEVELOPMENT OF WEB-BASED, MAP-ORIENTED WORKSPACE PLATFORM FOR STORING AND SHARING HYDROLOGICAL DATA. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, 68(4), I_151-I_156.
- Micklin, P. (2000). *Managing Water in Central Asia*. Royal Institute of International Affairs.
- Touge, Y., Tanaka, K., Khujanazarov, T., Toderich, K., Kozan, O., & Nakakita, E. (2015). Developing a Water Circulation Model in the Aral Sea Basin Based on in situ Measurements on Irrigated Farms. *Journal of Arid Land Studies*, 25(3), 133-136.