

# 水稻減収評価に対する気象・水文・圃場スケール水需給渇水指標の適用性比較検証 Comparative Assessment of Meteorological, Hydrological, and Field-Scale Water Supply-Demand Drought Indices for Evaluating Paddy Rice Yield Losses

○渡邊諒聖・堀智晴・山田真史

○Ryosei WATANABE・Tomoharu HORI・Masafumi YAMADA

Water scarcity has repeatedly affected paddy-rice production in Japan, and water stress around heading can elevate yield-loss risk through irreversible spikelet sterility. Effective countermeasures therefore require early prediction of drought-related yield losses before impacts become evident. This study tested the hypothesis that, beyond meteorological and hydrological drought conditions, field-scale supply-demand imbalance provides additional explanatory power for early identification of yield-loss years. We extracted 104 irrigated areas nationwide from attribute-rich GIS data and grouped them by regional setting and system characteristics. After quality control, daily drought indices were computed from the Agro-Meteorological Grid Square Data, dam releases, and streamflow observations. In parallel, an integrated crop-growth framework incorporating rice irrigation operations and conveyance from intake to fields estimated daily water demand and supply, from which water-balance indices were derived. Daily series were then aggregated into growth-stage-based annual drought scores and evaluated against annual yield metrics using PR-AUC and ROC-AUC (148 words).

## 1. 背景・目的

わが国では、水不足に関連する事象が水稻生産に影響を及ぼしてきた。全国を対象とした農林水産省の被害調査によれば、2000年から2016年において干害による減収は毎年発生しており、被害減収量は平均4.0千tが記録されている。最近年も、新潟県(2023)、北海道北斗市・上磯ダム灌漑域(2024)、宮城県鳴瀬川流域(2025)等において、水不足への対応を迫られる事例が発生している。水稻は出穂期に水ストレスに対して脆弱であり、この時期の水不足は不可逆な不稔を引き起こして減収リスクを高め得る(Yang et al., 2019)<sup>1)</sup>。したがって、水不足の影響が顕在化する前に対策を講じるためには、水稻の減収リスクを高める渇水の早期予測が重要である。しかし、水稻の減収リスクを渇水の影響によるものと仮定し、その早期予測性を検証した研究は、少なくとも日本では限定的である。

本研究では、渇水は多面的に発現するため、Wilhite & Glantz (1985)<sup>2)</sup>が提案した渇水4分類に基づいた気象学的渇水および水文学的渇水に加え、圃場スケールにおける水需給の不均衡も水稻減収の早期予測に有用な説明情報になり得るとの仮説を置き、その性能を比較検証した。農業基盤情報基礎調査による全国の基幹水利施設ならびに

受益用水地の属性付きGISデータ(2020年度版)を用いて条件に合致する用水地域を104個抽出した。次に、地方区分、地形条件、気象条件、投資度、水利網発展度といった分類軸に基づいて用水地域を分類し、その中で渇水の指標群を説明変数、収量指標であるStandardized Yield Residual Series (SYRS; Mohammed et al., 2022)<sup>3)</sup>を目的変数として、減収年の識別性能をPR-AUCおよびROC-AUCにより評価した。

## 2. データ

本研究では、各種渇水指標を算出するための入力データとして、農研機構が提供するメッシュ農業気象データ、ダム諸量データベースに収録されるダム放流量データ、水文水質データベースに収録される流量データ等を使用した。気象メッシュの格子点およびダム・流量観測所の位置情報は、用水地域の構築・紐づけに用いた。

用水地域は、受益用水地、農地界、取水点を含む水利施設群の複合体として構築することを想定し、農業基盤情報基礎調査による基幹水利施設ならびに受益用水地の属性付きGISデータ(2020年度版)を用いた。構築した用水地域の内、(i)単一の水源(取水点)により圃場が水供給を受けるとみなせること、(ii)主な農用地の用途が水田であ

ること、の条件を満たす用水地域を抽出した。加えて、日本域表面流向マップ J-FlwDir (山崎ら, 2018)<sup>4)</sup>に基づいて 5 秒解像度にアップスケールされた日本全域 RRI 地形データから、流向ラスタおよび上流セル数ラスタデータを用い、用水地域の水源点と、河道網上で近傍に位置する流量観測所を用水地域と紐づけた。

### 3. 手法

気象学的渇水指標として Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993)<sup>5)</sup> および Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vicente-Serrano et al., 2010)<sup>6)</sup>を、水文学的渇水指標として Standardized Streamflow Index (SSI) (Modarres, 2007)<sup>7)</sup>を採用し、von Matt et al. (2024)が示す季節性を考慮した確率分布推定における DOY プーリング手法<sup>8)</sup>に基づいて、各指標を日次で算出した。加えて、圃場スケールの水需給状態を表現するため、FAO が提供する AquaCrop (作物の水ストレスに対する収量応答を組み込んだ作物成長モデル) に、農事歴に基づく灌漑過程と取水口からの圃場への流入過程を組み込んだ複合モデルを構築して、日次需要・供給量を推定した。

次に、用水地域ごとに得られた日次 SPI・SPEI・SSI と圃場での水需給量等を、AquaCrop 複合モデルが推定した用水地域別・年別の水稻成長段階に沿って渇水度合いを表す年次スコアへ集約した。集約期間は、水稻が水ストレスに対して脆弱とされる出穂期を基準として定義される複数の成長段階（出穂前、出穂前後、出穂後、ならびに生育期間）とした。まず、SPI・SPEI・SSI については、各期間内で固定の閾値により渇水日を定義し、渇水平均強度、渇水期間、渇水連続期間、5%分位点を指標軸として年次スコアを算出した。一方、水需給系については、同一期間内における需要未充足の発生日割合に加え、圃場での水需給量から導出した需給充足度を算出し、年次スコアとして整理した。最後に、作成した各年次スコアを説明変数として、収量指標 SYRS の年次値を目的変数として、PR-AUC・ROC-AUC 分析を実施した。結果および考察は講演会にて報告する。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 23K13415 の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

### References

- 1) Yang, X., Wang, B., Chen, L., Li, P., & Cao, C. (2019). The different influences of drought stress at the flowering stage on rice physiological traits, grain yield, and quality. *Scientific Reports*, 9(1), 3742.
- 2) Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10(3), 111-120.
- 3) Mohammed, S., Alsafadi, K., Enaruvbe, G. O., Bashir, B., Elbeltagi, A., Széles, A., Alsalman, A., & Harsanyi, E. (2022). Assessing the impacts of agricultural drought (SPI/SPEI) on maize and wheat yields across Hungary. *Scientific Reports*, 12(1), 8838.
- 4) 山崎大, 富樫冨佳, 竹島滉, & 佐山敬洋. (2018). 日本全域高解像度の表面流向データ整備. 土木学会論文集 B1 (水工学), 74(5), I\_163-I\_168.
- 5) McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179-183.
- 6) Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718.
- 7) Modarres, R. (2007). Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21(3), 223-233.
- 8) von Matt, C. N., Muelchi, R., Gudmundsson, L., & Martius, O. (2024). Compound droughts under climate change in Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(6), 1975-2001.