

発芽時の水分ストレス評価のための水収支式に基づく簡易な土壌水分計算

Calculation of soil water content by using water-budget method

for evaluation of water stress at germination stage

○山崎琢平 濱本昌一郎 西村拓

Takuhei YAMASAKI, Shoichiro HAMAMOTO, Taku NISHIMURA

1. はじめに

水稻栽培では春先に代掻き、育苗、移植と作業量が多く、大規模化を目指す上でのボトルネックとなっている。これらの作業を余裕のある時期に移すために、積雪地域において冬季に直播を行い積雪下で冬越しさせ、春に発芽させる初冬播き乾田直播技術の検討が進められている¹⁾。この栽培法においては融雪後の土壌において発芽が進行するが、苗立ちするまで乾田状態で生育するため、気象条件によっては土壌に乾燥ストレスが生じて初期生育の阻害等を招く可能性がある。灌水等の乾燥対策を講じるためには、気象予報値を用いた播種深度の土壌水分予測が重要である。

土壌水分計算は Richards 式をベースとする物理モデルが研究者に広く利用されているものの、計算コストが高く専門知識も必要であるため、現場作業者が迅速に予測を行う場合には、より簡易な計算モデルが望ましい。そこで本研究は、土壌表層における土壌水分変動を水収支式を用いてモデル化することを試み、その端緒として実気象データを用いて物理モデルで計算された土壌水分変動を再現することを試みた。

2. 方法

水収支モデルを構築するための土壌水分変動データの作成には HYDRUS-1D²⁾を用いた。土壌は100 cm厚とし、地表面は裸地で大気境界条件を与え、下端は自由排水とした。土壌の保水性・水移動パラメータはプリセットの Loam 土壌とした。気象データは AMeDAS 東京の日データ(2017-2021年)を用い、可能蒸発量は FAO-Penman Montith 式で計算した。出力された土壌水分及び日実蒸発量を水収支モデルの作成及び検証に用いた。

水収支式の計算対象は播種深度 3 cm を想定し、表層 5 cm までの土壌とした。考慮した水収支プロセスは地表面における①降水及び②蒸発、下端における③降雨後の浸透と④蒸発に伴う供給であり、土壌水分量の変動 ΔS は以下の式で表される。

$$\Delta S = R_{\text{①}} - ET_{\text{②}} - \text{Flux}_{\text{③}} + \text{Flux}_{\text{④}}$$

下端の水フラックスを直接計算するためにはポテンシャル勾配を導入する必要があり、計算が複雑になる。そのため、本手法では降雨及び蒸発を表層とそれ以深の土壌に分配する形で下端の水移動を表現した。降雨時の深部への分配は、降水量の一定割合が常に下方に浸透するものとし、降雨日以外の下向きフラックスは無視した。蒸発時の深部からの供給は、乾燥に伴って蒸発のうち深部から供給される割合が増加するとして、飽和度のべき関数で表現した。

$$R - \text{Flux}_{\text{③}} = R_{\text{tot}} \times A$$

$$ET - \text{Flux}_{\text{④}} = ET_{\text{tot}} \times Se^B$$

R_{tot} 及び ET_{tot} は降水量・蒸発量の全量、 Se は飽和度、 A 、 B は配分を決める経験パラメータである。

蒸発は地表面フラックスを計算する代わりに、乾燥に伴う蒸発減少を土壌水分の関数として示す必要がある。土壌が乾燥すると透水性低下により蒸発面に供給できる水量が減少し、可能蒸発量が維持できなくなると蒸発量が減少する。そこで地表面への最大供給量を土壌水分の関数として求め、この値と可能蒸発量の小さい方に実蒸発量が律速されるものとして蒸発をモデル化した。具体的には、HYDRUS で計算した当日 0 時時点の飽和度と同日の日蒸発量をプロットし、蒸発比が 0.9 以上または当日に降雨があった日の点を除いて蒸発が制限された日のみを抽出し、飽和度と最大供給

量の関係式を求めた。

水収支モデルのパラメータは、HYDRUS で計算した表層土壌の飽和度を対象に、二乗誤差和が最小となるよう Excel の Solver を用いて決定した。また、Nash-Sutcliffe 係数を用いて適合度を評価した。その後、モデル検証として AMeDAS 秋田の実気象データを用いた計算も行った。

3. 結果と考察

図 1 に HYDRUS で計算された表層 5 cm 土壌の飽和度(深度 3 cm の観測値で代表)と実蒸発量の関係を示す。蒸発が抑制されていた日のみを抽出するとほぼ一本の曲線上にプロットされ、低水分時はべき関数で、高水分時は直線で表現できた。この曲線が土壌水分量で決まる地表面への最大供給量を意味する。この関係性は異なる土壌の水移動特性を用いて計算しても現れ、透水性が高い土壌ほど最大供給量は大きくなった。なお、最大供給量曲線の右側の点は蒸発比が 0.9 以上の日、左側は当日に降雨があり実際には蒸発が抑制されなかった日である。

図 2 に水収支モデルと HYDRUS で計算された飽和度及び日実蒸発量をそれぞれ示す。表層 5 cm の飽和度はシンプルな水収支モデルで十分表現され、5 年計算の Nash-Sutcliffe 係数は 0.91 であり非常に高い精度となった。日蒸発量についても概ね再現でき、年平均蒸発量は水収支モデルで 770 mm、HYDRUS の計算値が 818 mm であった。

得られた経験パラメータを用いて、AMeDAS 秋田の気象データを用いて計算したところ、冬季(12~2月)の水分量は過大評価したが、それ以外の期間については高い再現性を得た(図 3)。

今後は、実測の気象、蒸発散、及び土壌水分データを用いてモデルの適合性を検証する必要がある。併せて経験パラメータと土壌の水移動特性の関係性についても検討を行う。

参考文献

- 1) 鈴木ら. 2022. 日作紀. 91(4) (受理済み)
- 2) Šimůnek et al. 2013. Vadose Zone Journal. 15(7): 25

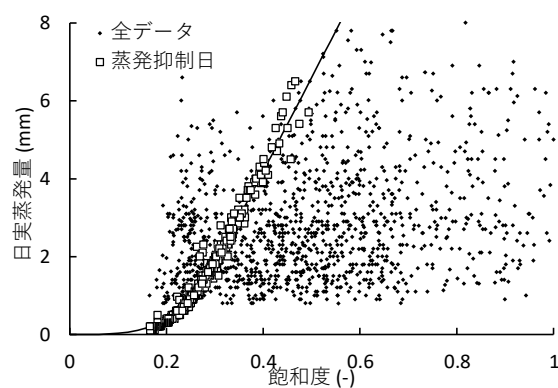


Fig. 1 Soil saturation-Evaporation relation

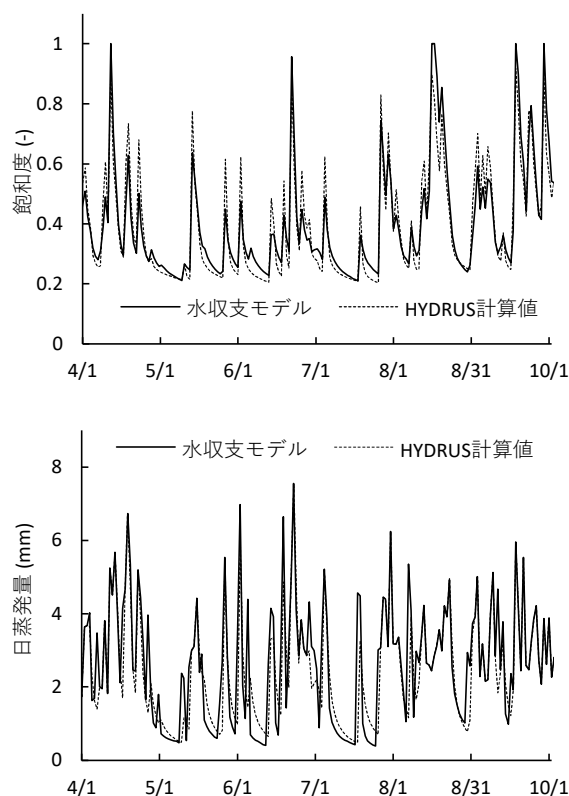


Fig. 2 Calibration calculation results
(Tokyo Weather data)

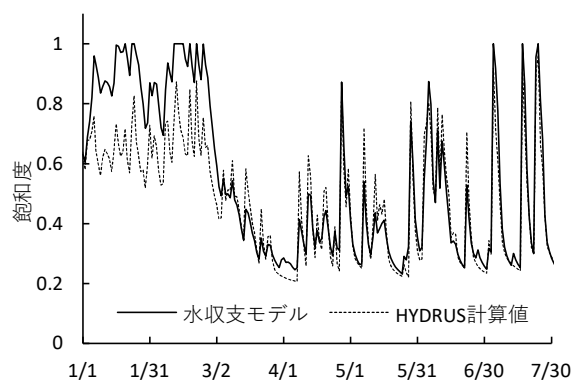


Fig. 3 Verification result (Akita weather)