

水田流域の窒素動態推定に向けた SWAT-PADDY の改良 Improved SWAT-PADDY for estimating nitrogen dynamics in rice paddy watershed

○荻野亮介*・当真要**
○Ryosuke Ogino*・Yo Toma**

1. はじめに

河川流域は地形に沿った自然な境界であり、行政単位として採用されている。この範囲は生産・意思決定といった人間活動の場であるとともに、水の移動を捉えるのに適している。Soil and Water Assessment Tool (SWAT) は農業流域での水管理の検討に世界的に使用されている水文モデルだが、水田流域における再現性の低さが指摘されている。この課題に対応するため、日本では SWAT-PADDY が開発され、水管理の再現が試みられてきた。しかし、表面排水や土壤水分移動における水田特有の水環境の再現性は依然として不十分な状態にある。日本の河川流域の多くには水田が存在するため、流域規模のモデル構築や評価には水田モジュールの開発は重要な課題となっている。本研究では、水田土壤の水動態に着目して SWAT-PADDY を改良し、推定値を検証した。

2. 方法

(1) SWAT 概要 SWAT は準分布型水文モデルであり、気象・営農データから日単位で河川流域の水動態を予測できる。本研究では、SWAT2012 rev692 に SWAT-FSP[Mihara et al., 2024]と SWAT-PADDY[Tsuchiya et al., 2018]を導入して、2000~2022 年の北海道三笠市を流れる幾春別川流域の水動態を予測した。

(2) SWAT-PADDY の改良(図 1)

a. 土壤水分 従来は最大容水量を超えた水が下層の水分状態や透水係数に関係なく下方へ浸透していたため、最大容水量を超えて下層に浸透しないように修正した。また、地下水位の上昇による水供給を土壤最下層に適切に加算されるように修正した。

b. 水田環境 すき床層の形成に伴う部分的な透水性低下による湛水状態を再現するため、代掻きの耕起深で土壤層を分割し、すき床層の透水係数を低下させた。また、棚田による部分的な平坦地の形成を反映させ、1 日の灌漑水量・排水量に上限値を設定した。

(3) 精度評価 改良版 SWAT-PADDY で最下流地点の実測値との精度評価値(R^2 ・NSE・PBIAS)が Moriasi et al. (2015)の基準を満たすパラメータセットを 58 個作成した。これらをオリジナルと改良版 SWAT-PADDY に適用し、流量の精度評価値を比較した。また、水田(疑似グライ土、平坦)地点における 2022 年の湛水深、浸透水量、灌漑水量、土壤水分状態、水収支を比較するとともに、文献値との比較で妥当性を検証した。

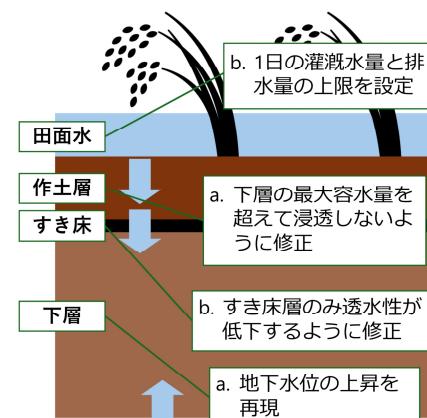


図 1 SWAT-PADDY の改良点

Fig 1 Improvements in SWAT-PADDY

* 北海道大学大学院農学院 Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

** 北海道大学大学院農学研究院 Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University

キーワード：水田、SWAT-PADDY、土壤

3. 結果と考察

(1) 流域評価

改良によって R^2 と NSE が増加し、PBIAS の絶対値も増加する傾向が見られた(図 2)。モデルの改良により精度評価値に若干の改善が見られたものの、流域全体への影響は限定的であった。これは、水田の土地利用割合が 3%と小さく、水田での変化が流域全体に与える影響が限られているためと考えられる。

(2) 水田の水動態

オリジナルモデルでは、湛水期間中に地下浸透が継続的に発生したため、稲の生育段階に応じた適切な湛水深の調整を再現できなかった(図 3)。一方、改良版では地下浸透を適切に抑制し、表面排水の調整により、目標とする湛水深の再現が可能となった。さらに、オリジナルでモデルは湛水期間中の表面排水がほとんどなかったが、改良版では水が地下浸透と表面排水に適切に分配された。

(3) 土壤中の水分状態

改良版では、オリジナルと比較してすき床層の上下における WFPS の差が顕著になった(図 4)。これは水田土壤において、すき床層を境界として水分状態が大きく変化するという実態をより正確に再現できるようになったことを示している。

(4) 水田の水収支

表面排水と地下浸透水量について、北村ら(2010)や加藤ら(2016)では湛水期間中の表面排水が地下浸透より大きいと報告しており、改良によりこれらの報告値に近い水収支が得られた(図 5)。これは土壤水分移動とすき床層の形成により、水田の湛水状態を適切に再現できたためと考えられる。灌漑水量については、宇土ら(2000)は水田の年間灌漑水量を 478.2 ~909.8mm と報告しており、改良版の推定値が実際より小さい可能性がある。

4. 今後の展望

水田 HRU での水収支については再現性が向上したが、流域では水田の占有率が低く影響が限定的であったため、今後は水田が多い流域での適用検証が必要である。

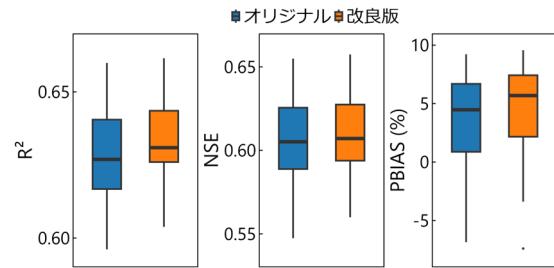


図 2 精度評価値
Fig 2 Evaluation values

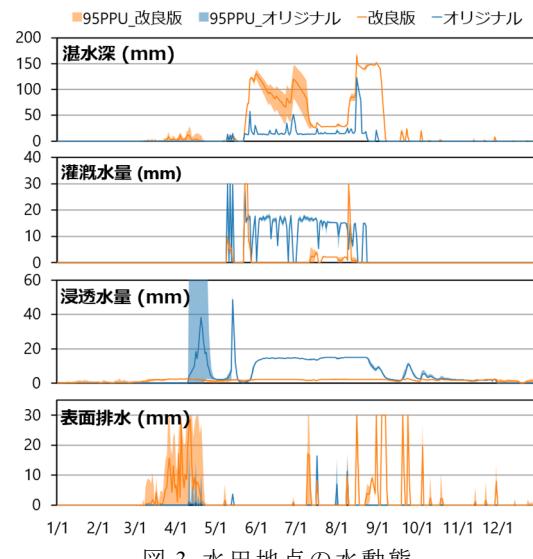


図 3 水田地点の水動態
Fig 3 Water flow in paddy point

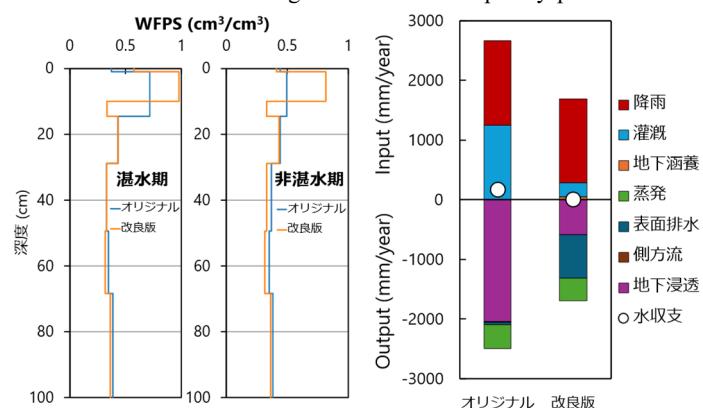


図 4 水田地点の WFPS
Fig 4 WFPS in paddy point

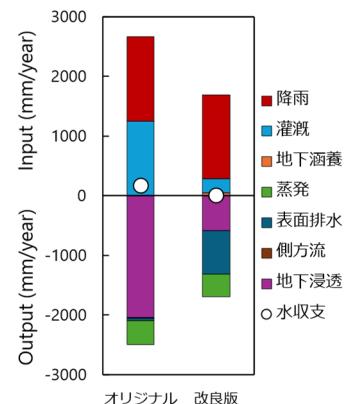


図 5 水田地点の年間水収支
Fig 5 Annual water budget in paddy point