

水田流出過程を考慮した SWAT モデルの改良 Improvement of SWAT model based on discharge process in paddy fields

○土屋遼太*, 加藤亮**

Ryota Tsuchiya*, Tasuku Kato**

1. はじめに

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) モデルは、米国農務省 Agricultural Research Service と Texas A&M Agrilife を中心に開発され、流域管理計画案の評価を目的として世界的に利用されている水質水文モデルである。アジア地域においても、持続的な水資源・流域管理の必要性は大きく、モデルを用いた管理計画の評価が求められる。しかし、SWAT では水田での複雑な水循環をモデル化できていないという問題点がある。そのため、これまでに東アジアの研究者を中心に水田での流出プロセスに着目したモデルの改良が行われてきた^{1),2),3)}。また近年では、SWAT モデルに実装された窪地オプションの水田域への利用が提案され、これを基本としたモデル改良がなされてきた^{2),3)}。しかし、この窪地オプションはアメリカのコーンベルト地帯に特徴的な窪地地形を対象としているため、水田地帯での適用には適していない。また、これまでの研究で水文プロセスのモデル化は進んでいるが、栄養塩類の動態を考慮した水田モデルは未だに開発されていない。以上から、水文・水質流出特性を考慮した水田サブモデルの構築を目的とした。本研究では、SWAT の最新バージョン (SWAT2012) を対象とする。

2. 水田での利用に向けた SWAT の改良

2-1. 水田湛水モデルの開発

本研究において、水田での湛水状況を Fig.1 のような概念に基づきモデル化した。図の DEP_{irr} は灌漑水深 (mm), R_{day} は降水量 (mm), Q_{surf} は地表排水量 (mm), EV_{flood} は水面からの蒸発量 (mm), $SEEP_{day}$ は土壌への浸透量 (mm) である。図 1 は水収支式を用いて次式のように表現される。

$$\Delta DEP_{flood} = DEP_{irr} + R_{day} - Q_{surf} - EV_{flood} - SEEP_{day}$$

ここで、 ΔDEP_{flood} は湛水深の変化 (mm) である。 Q_{surf} は湛水深と許容最大水深との差、 $SEEP_{day}$ には土壌の性質などを加味して決定される日最大浸透量を利用し、 EV_{flood} は作物の葉面積指数を考慮した Sakaguchi *et al.* (2014)³⁾ の水面蒸発モデルにより計算した。許容最大水深は営農データ内で定義される値であり、湛水深がこの値より大きくなった場合にのみ地表排水量 Q_{surf} が計算される。なお、実際の農家は水稻の生育段階にあわせて湛水深を変化させるため、SWAT の Scheduled management 機能を用いることで時期ごとに許容最大水深の値を変化できるようにした。

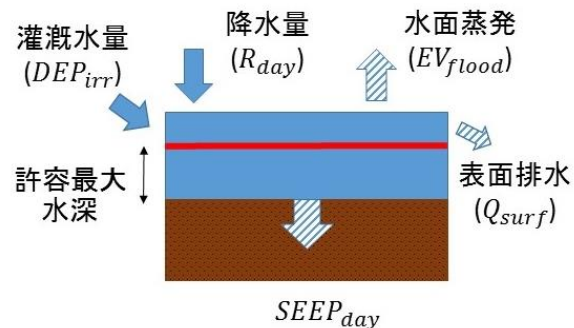


図 1. 水田湛水モデルの概要

Fig. 1. The concept of paddy flooding model

*東京農工大学大学院農学府 Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

**東京農工大学農学研究院 Institute of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

キーワード：水田，水質水文モデル，長期流出

2-2. 土中浸透モデルの改良

SWAT では、土壌は複数の層から構成されており、各層において圃場容水量を超過した土壌水分が速やかに下層に移動するモデルとなっている。そのため、灌漑期の水田土壌のように恒常的に水分が供給される環境においても、土壌は飽和状態になりにくい。また、SWAT において土壌の水分状態は、脱室が生じる際のトリガーとなっているため、水田での水質浄化プロセスのモデル化という側面でもこの点は改良されるべきである。本研究では、灌漑期の水田において各層からの下層への浸透量が、湛水から表層土への浸透量 $SEEP_{day}$ 以下の値をとるものと仮定した。

2-3. 水田水質モデルの開発

水田水質モデルでは、湛水中の SS と栄養塩類（窒素、リン）を対象にその動態を計算する。栄養塩類については、懸濁態、溶存態を区別し、それぞれ湛水中では安定とした。このとき、湛水中の各汚濁物質の減少は、地表排水によるものと沈降（SS、懸濁態栄養塩類）、もしくは土中への浸透（溶存態栄養塩類）によるものとに区別できる。地表排水による汚濁物質の流出、および土中への浸透はそれぞれ水田湛水モデルで計算される Q_{surf} 、 $SEEP_{day}$ に湛水中の物質濃度を乗じることで計算される。また、SS の沈降については、砂、シルト、粘土の各成分について、それぞれ固有の沈降速度に従い沈降するものとし、懸濁態栄養塩類の沈降は粘土の沈降に比例するものとした。なお、湛水中の各水質成分の増加要因としては、雨水に含まれる硝酸態窒素、施肥、および後節において述べる灌漑による物質輸送と代掻きの 4 点を考慮した。

2-4. 水田での利用に向けた灌漑・耕耘モデルの改良

水田における農作業を考慮し、SWAT の灌漑・耕耘モデルを改良した。灌漑モデルについては、既往研究に従い、自動灌漑モデルのトリガーを土壌水分から湛水深に変更し、水田での農家の水位管理を再現できるように改良を行った²⁾。なお、現行の SWAT における灌漑は、水需要の大きい水田地帯での複数水源からの取水や灌漑に伴う物質の輸送を考慮していないため、これらを灌漑モデルに新たに組み込んだ。また、代掻き期の排水が河川水質に与える影響を考慮するため、SWAT の耕耘モデルを改良した。SWAT の耕耘モデルでは、耕耘深度内の各土層に存在する栄養塩を総計し、各土層に均等に再分配するアルゴリズムが採用されているが、湛水状態での耕耘（代掻きに該当する）に対応するため、このアルゴリズムを改良し湛水中の栄養塩に対応し、代掻き後の湛水中の SS 濃度は営農データにおいて定義するものとした。

3. 今後の展望

以上のモデル改良はあくまで圃場単位の水田を想定したものである。しかし、SWAT では水田地帯において特徴的な排水路内でのプロセスや河川水位と水田地下水位の間の相互作用を再現することがモデルの構造上難しくなっている。そのため、これらのプロセスがシミュレーションにどのような影響を与えるか注意する必要がある。今後は、改良版 SWAT を実際の河川流域に適用し、感度分析・不確実性分析などの手法を通じて流域レベルでのシミュレーションにおけるモデルの動作を確認していく。

参考文献

- 1) Kang, M.S. *et al.*, 2006. *Agricultural Water Management* 79, 72-92.
- 2) Xie, X. and Cui, Y., 2011. *Journal of Hydrology* 396, 61-71.
- 3) Sakaguchi, A. *et al.*, 2014. *Agricultural Water Management* 137, 116-122.