

農業用排水路の非定常開水路流を組み込んだ地域水循環モデルの開発

Hydro-environmental watershed model with unsteady open channel flow submodel for drainage canals

○今川 智絵・竹内 潤一郎・河地 利彦
○Chie Imagawa, Junichiro Takeuchi, and Toshihiko Kawachi

1 はじめに

持続的な農業・農村を指向していくためには、農地と農業水利システムにおける水と物質の移動過程を解明し、適正な水利用のあり方を評価する技術の開発が必要である。Takeuchi *et al.* (2010) が示した分布型水循環モデルは、山地-扇状地-低平地からなる水田農業地域を対象としたもので、河川や排水路内の地表水と地下水との交流を考慮した点で特徴的である。本研究では、Takeuchi *et al.* (2010) では省略されていた農業用排水路内の流れを、非定常1次元開水路流として計算できるように改良を加える。

2 地域水循環モデル

2-1 モデルの概要

モデルの概要を図1に示す。計算領域は、土地利用境界、農業用排水路、耕区に沿って三角形セルで分割される。表層には地表水タンクモデルと土壌水分モデルを各セルに配し、表層土壌中の水分量に応じて蒸発散量や浸透量を動的に算出する。地表流出水は、圃場では隣接する排水路に排出するものとし、森林や市街地では標高の低い方向へ流下するものとする。表層からの浸透水は、浅層不圧地下水に到達するものし、その地下水位の変動を浅層地下水流モデルで表す。農業用排水路内の流れは、1次元開水路流モデルで表す。さらに、排水路・地下水間の流

入・流出量をその水位差に基づいて計算する。

2-2 浅層地下水流モデル

難透水層上の不圧帯水層において地下水流動の等方性を仮定し、水平2次元の座標系 $\mathbf{x} = (x, y)$ の下で Dupuit の準一様流の式を用いて地下水流動を表す (Huyakorn and Pinder, 1983)。

$$n_e \frac{\partial h_g}{\partial t} = -\nabla \cdot \{-(h_g - z_b)K \nabla h_g\} + r_g - l \quad (1)$$

ここに、 n_e は有効間隙率、 h_g は地下水位、 z_b は難透水層の標高、 K は飽和透水係数、 r_g は表層からの鉛直浸透量、 l は漏水量、 t は時間である。初期条件と外部境界条件の他に、農業用排水路に沿って内部境界条件を以下のように設定する。

$$-(h_g - z_b)K \frac{\partial h_g}{\partial \nu^{DC}} = q_{wg}^{DC}(\mathbf{x}, t) \quad \text{on } \Gamma^{DC} \quad (2)$$

$$-(h_g - z_b)K \frac{\partial h_g}{\partial \nu^{LIC}} = 0 \quad \text{on } \Gamma^{LIC} \quad (3)$$

ここに、 q_{wg}^{DC} は非ライニング排水路境界 Γ^{DC} における単位幅流入量、 Γ^{LIC} はライニング排水路境界、 ν^{DC} 、 ν^{LIC} はそれぞれ境界 Γ^{DC} 、 Γ^{LIC} の外向き単位法線ベクトルである。式 (1) から空間方向には有限体積法を、時間方向には差分法を用いて、数値モデルを作成する。フラックスの評価には上流側の透水係数を用いる完全風上スキームを、非線形に対しては Picard 法を用いる。

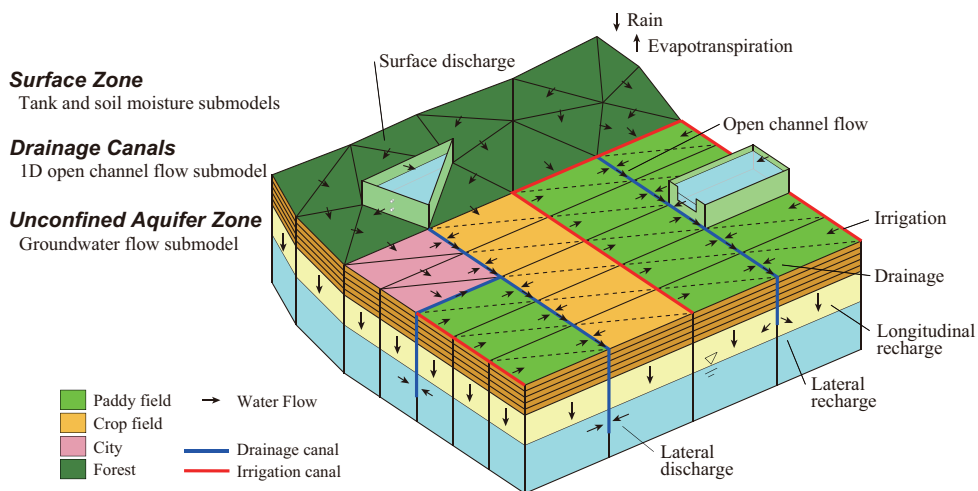


図 1: モデルの構成
Fig.1: Schematic of hydro-environmental watershed model

2-3 非定常開水路モデル

圃場からの排水が排水路を通じて流出することを考慮して、排水路内の地表流を非定常1次元開水路流として扱う。1次元開水路領域 Ω_r における非定常流は、以下の連続式と運動方程式で表される (Cunge *et al.*, 1980)。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial l} = q_{in} \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) = gA \frac{\partial}{\partial l} (h_r + z_r) - gA \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} \quad (5)$$

ここに、 A は断面積、 Q は流量、 q_{in} は単位幅横流入量、 β は Boussinesq 係数、 h_r は水深 ($h_r \geq 0$)、 g は重力加速度、 z_r は水路底の標高、 n はマンニングの粗度係数、 R は径深、 l は水路底に沿う座標軸である。初期条件と外部境界条件の他に、取水堰と落差工で内部境界条件を定める (Islam *et al.*, 2008)。

排水路への横流入出として、水路の合流、灌漑用水の取水、圃場からの地表排水、非ライニング排水路における地下水との交流を考える。これらは流れに直角に流入するものとして、運動量の横流入は考えない。地表排水量は、地表水タンク・土壌水分サブモデルによって計算される。地下水との流入・流出量は、図2に示す2つの場合に分けて、地下水位と排水路内の水位との差により以下のように計算される。この量は、式(2)における地下水流モデルの境界値としても用いる。

$$q_{in}^g = -q_{wg}^{DC} = \begin{cases} -\frac{b_r}{2} C_{g1} K \frac{((h_r + z_r) - h_g)}{L} & \text{if } h_g \geq z_r \\ -\frac{b_r}{2} C_{g2} K \left(\frac{h_r}{z_r - h_g} + 1 \right) & \text{if } h_g < z_r, h_r > 0 \\ 0 & \text{if } h_g < z_r, h_r = 0 \end{cases} \quad (6)$$

ここに、 q_{in}^g は地下水から非ライニング排水路への単位長さ流入量、 b_r は水路底の幅、 L は水路から地下水流モデルのセル中心までの距離、 C_{g1} 、 C_{g2} はパラメータである。

式(4)、(5)から、差分法を用いて数値モデルを

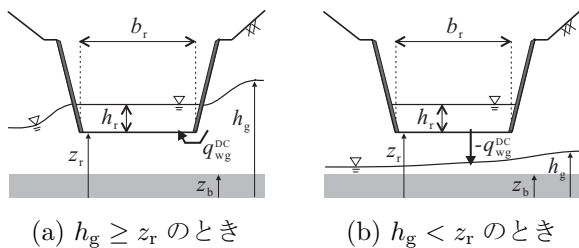


図2: 地下水と排水路の交流
Fig.2: Lateral discharge from groundwater

作成する。計算領域の分割には、浅層地下水流モデルと共通の節点を使用する。

3 適用例

3-1 対象地の概要

上述の地域水循環モデルを、滋賀県高島市今津町の一部の地域に適用する。本地域は、北西部の山地から扇状地と河岸段丘を経て沖積層の低平地が琵琶湖岸まで続く、地形的変化に富んだ地域である。主な土地利用は森林が33%、水田が33%、畑地(転作田を含む)が11%である。地域の中央部を流れる幹線排水路には、農業排水の他に山地や扇状地からの湧水が流入し、その下流域では農業用水の取水も行われている。

3-2 浅層地下水流、開水路流モデルの境界条件

浅層地下水流モデルに対して、河床標高と琵琶湖水位の Dirichlet 境界、およびフラックスゼロの Neumann 境界によって外部境界条件を設定する。また、農業用排水路を内部境界とし、上述のように流入・流出量を設定する。

開水路流モデルに対しては、境界条件を以下のように定める。恒常的に流水のある排水路には上流端に基底流量を与え、それ以外の排水路は圃場からの排水流入のある最上流の地点を上流端として流量が一定量以上ある期間だけ計算を行う。下流端は、限界水深、接続する水路内の水深、琵琶湖水位などから水位を設定する。また、取水堰と落差工を内部境界とし、堰高、限界水深などから水位を設定する。

4 まとめ

水田農業地域における水環境の形成機構を推定することを目的として、農業用排水路内の流れを非定常1次元開水路流として計算できるように、分布型水循環モデル (Takeuchi *et al.*, 2010) を改良した。これにより、灌漑期や降雨時、堰の操作時における排水路内の水位変動が考慮され、地表水・地下水間の流入・流出量をより合理的に推定できるようになる。

参考文献

- [1] Takeuchi, J., Imagawa, C., Kawachi, T., Unami, K., Maeda, S., Izumi, T. (2010): A refined hydro-environmental watershed model with field-plot-scale resolution. *Paddy Water Environ.* (in press)
- [2] Huyakorn, P. S. and Pinder, G. F. (1983): Computational methods in subsurface flow, Academic Press.
- [3] Cunge, J. A., Holly, F. M., Jr., Verwey, A. (1980): Practical aspects of computational river hydraulics, Pitman, London.
- [4] Islam, A., Raghuwanshi, N. S., Singh, R. (2008): Development and application of hydraulic simulation model for irrigation canal network. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 134(1), 49-59