

# 地下水排水と土壤水分の効果を考慮した分布型地域水循環モデルの開発

## Development of Distributed Watershed Model with Soil Moisture Model Considering Effects of Groundwater Drainage

○竹内 潤一郎・河地 利彦  
○Junichiro Takeuchi and Toshihiko Kawachi

### 1 はじめに

近年、地域の水環境や生態系に対して農業用水が果たす役割が再評価されている。水環境保全対策を計画、実施する上で、水循環における地表水、地下水の量的、質的な動態を明らかにすることは基礎的かつ重要なことである。本研究は、滋賀県北西部の今津町を対象として、気象・地下水観測とモデルによるシミュレーションを通じて、地表水、地下水による水循環を明らかにすることを目的としている。本地域内には排水路によって地下水排水が行われている低平地が存在するため、その効果もモデル化する必要があると考える。ここでは、土壤水分 (Soil Moisture, SM) モデルと浅層地下水モデルを用いた地域水循環モデルを示す。

### 2 地域水循環モデル

#### 2-1 モデルの構成

対象地域は、100 m四方の正方形セルで分割される。各セルに対して、地表水タンクモデルと SM モデルを採用する。これらにより、地表水の水平移動と鉛直下方への浸透・地下水涵養をモデル化し、土地利用に応じたモデルパラメータを与える。浸透水は難透水層の上に存在する浅層不圧地下水へ到達し、その不圧地下水流动は数理モデルを用いて表現する。

#### 2-2 土壤水分モデル

ここで用いる SM モデルは、SMAR (Soil Moisture Accounting and Routing) 法と呼ばれる集中型流出解析法で用いられていたモデルであり、表層土壤を圃場容水量まで水分を保持できる層の積み重なったものとしてモデル化を行う<sup>[1]</sup>。このモデルは、ある深さまでの表層土壤に保持されている水分量に応じて、蒸発散や浸透などの水文過程を動的に扱うものである。

#### 2-3 地表水分布型タンクモデル

地表水の地表面貯留と水平移動に関して、各セルにタンクを配した分布型タンクモデルを用いる。圃場以外のセルについては、あらかじめ標高データに基づいて流出先のセルを決定しておく。圃場については、圃場間の水平移動は発生しないものとし、流出は隣接する排水路、または用排兼用水路に排出さ

れるとする。タンクモデルの流出孔の高さが畦と水尻の堰の高さに対応し、地表面での貯留可能量となる。また、湛水や中干などの水管理に対応して流出孔の高さを変化させる。灌漑期間においては、水田は湛水され、水深がある一定値以下になった場合に用水が補給されるものとする<sup>[2]</sup>。

#### 2-4 浅層不圧地下水モデル

等方性の不圧地下水の流动を表すには、水平2次元の座標系 ( $\mathbf{x} = (x, y)$ ) のもとで、次の Dupuit の準一樣流の式を用いる<sup>[3]</sup>。

$$n^E \frac{\partial h_g}{\partial t} = \nabla \cdot (T \nabla h_g) + r_g(t - t_p) - L \quad (1)$$

$$T = (h_g - z_b)K \quad (2)$$

ここに、 $n^E$  は有効間隙率、 $h_g$  は地下水位、 $t$  は時間、 $T$  は透水量係数、 $r_g$  は SM モデルを用いて算出される降下浸透量、 $z_b$  は難透水層の基準面からの高さ、 $K$  は飽和透水係数、 $t_p$  は降下浸透水が地下水面上に達するまでのタイムラグ、 $L$  は漏出量である。対象領域  $\Omega$  において、初期条件および境界条件を以下のように定める。

$$h_g(\mathbf{x}, 0) = h_g^0(\mathbf{x}) \quad \text{in } \Omega \quad (3)$$

$$h_g(\mathbf{x}, t) = h_g^*(\mathbf{x}, t) \quad \text{on } \Gamma^D \quad (4)$$

$$-T \frac{\partial h_g}{\partial \boldsymbol{\nu}} = q_g(\mathbf{x}, t) \quad \text{on } \Gamma^N \quad (5)$$

ここに、 $\Gamma^D$  は Dirichlet 境界、 $\Gamma^N$  は Neumann 境界を表し、 $h_g^0$ 、 $h_g^*$  は既知の関数、 $\boldsymbol{\nu}$  は境界面の外向き単位法線ベクトル、 $q_g$  はフラックスである。これらの初期・境界条件に加え、排水路による地下水排水（明渠排水）をモデル化するため、領域内に以下の条件付き内部境界条件を設定する。

$$h_g(\mathbf{x}, t) = z_D \quad \text{if } h_g > z_D \text{ on } \Omega_d \quad (6)$$

ここで、 $z_D$  は排水路底の標高、 $\Omega_d$  は排水路が存在する領域である。排水された地下水は速やかに領域外に排出されるものとし、排水路内の水深については考慮しない。また、地下水位が排水路底より低い

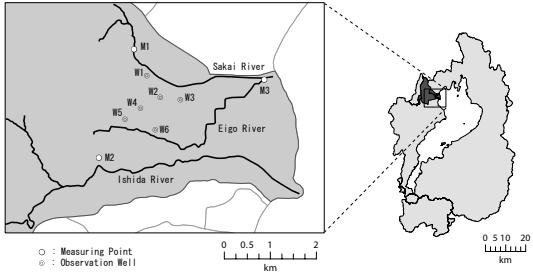


図 1：対象地域  
Fig.1: Objective area

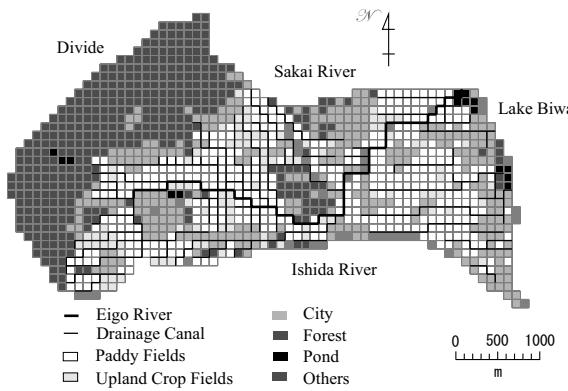


図 2：計算領域  
Fig.2: Computational domain

ときは地下水は排水されず、この内部境界は適用されない。

この支配式の空間方向の離散化には有限体積法を用い、時間方向については陰解法を用いて数値モデルを作成する。

### 3 適用例

#### 3-1 対象地の概要

上述の地域水循環モデルを、図 1 に示すように、滋賀県北西部の今津町の一部の地域に適用する。ここは野坂山地の西南部に位置し、東側に琵琶湖が広がる地形的变化に富んだ地域である。この地域の田園地帯の中心部に上郷川が流れしており、平成 7 年からの排水対策事業により浚渫され、常時水位を下げるにより湿田が乾田化された。

2005 年 7 月より本地域の 3 地点において気象観測を開始しており、さらに 2006 年 8 月から 6 地点において地下水位の観測を開始した（図 1）。

#### 3-2 データの準備

各観測地点における蒸発量をそれぞれの気象データより Penman 法で算出する。3 地点での降雨量と蒸発量から IDW (Inverse Distance Weighting) 法を用いて、各セルにおける降雨量と蒸発量を推定する。

計算領域の境界は、境界条件として設定できる必要がある。そのため、図 2 に示すように領域の北側は境川、東側は琵琶湖、南側は石田川の Dirichlet 境界とし、西側の山地では分水界をフラックスゼロの

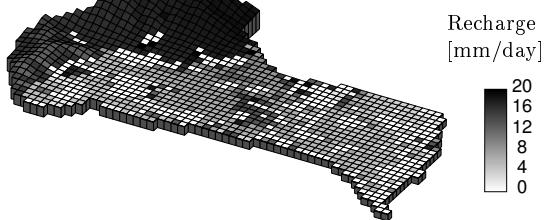


図 3：地下水涵養量  
Fig.3: Groundwater recharge

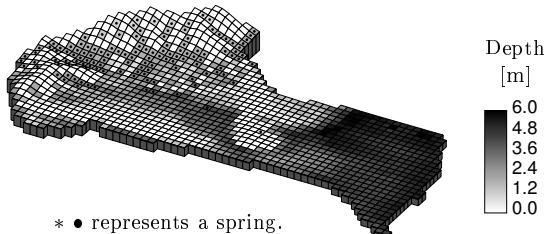


図 4：地下水の水深  
Fig.4: Groundwater depth

Neumann 境界とする。分水界は地形図を用いて特定する。

地質図に基づいて領域をゾーンに分け、現場透水試験や室内試験、文献などから各ゾーンごとに透水係数や有効間隙率などのパラメータの値を設定する。

#### 3-3 シミュレーション

地域水循環モデルに対し、2005 年 8 月 1 日から 2006 年 9 月 30 日までの気象データを用いてシミュレーションを行う。水田の湛水期間は 4 月 15 日から 7 月 31 日までとする。

図 3、4 にシミュレーションで得られた 2005 年 10 月 24 日の地下水涵養量、地下水深を示す。2 日前の 22 日の午前 11 時ごろから 24 日午前 2 時ごろまでの断続的に弱い降雨がつづき、約 30mm の累積降雨となった後の状態である。山地では流下した先のセルで多くの地下水涵養が生じているのに対し、農地ではほぼ均一に涵養が生じていることが示されている。

#### 4 まとめ

蒸発散や浸透などの水文要素を動的に扱うことのできる SM モデルと地下水排水を考慮した浅層地下水モデルを用いて地域水循環モデルを構築した。河川や排水路における 1 次元開水路流れもモデル化することが課題である。

参考文献 [1] Tan, B. Q. and O'Connor, K. M. (1996) : Application of an empirical infiltration equation in the SMAR conceptual model. *J. Hydrol.*, 185, 275-295. [2] Kim, S. J., Chae, H. S., Yoo, C. S. and Shin, S. C. (2003) : Stream discharge prediction via a grid based soil water routing with paddy fields. *JAWRA*, 39(5), 1143-1156. [3] Huyakorn, P. S. and Pinder, G. F. (1983) : *Computational methods in subsurface flow*, Academic Press, 473.