

地下水水文過程を考慮した地下水流動 - 作物生長結合モデルの構築 Development of ground water flow – crop model considering the ground water hydrological process

○田中健二*, 矢口洪一**, 吉田貢士**, 前田滋哉**, 黒田久雄**

○Kenji TANAKA, Koichi YAGUCHI, Koshi YOSHIDA, Shigeya MAEDA and Hisao KURODA

1. はじめに

ラオス人民民主共和国（以下、ラオス国）は近年、経済発展や人口増加が著しい。食糧自給のためには人口増加に見合った食糧増産が必要であるが、水田灌漑率は 14%（2009 年）にとどまっている。灌漑水田面積を増大させるためには当該地域の気象・水文・土壌条件等に応じて、どの程度の灌漑水量を供給すべきかを把握することが重要である。作物生長モデルを用いて灌漑取水量を推定する取り組みは、メコン川流域全体を対象にコメ生産量の統計値を基にした解析（Somura et al., 2008）や、ラオス国の灌漑地区を対象に現地観測を基にした解析（丸山ら, 2011）が挙げられる。さらに地下水水文過程に関して鈴木ら（2001）は、降雨量が多い雨季や乾季の灌漑水田地域では上流の水田から涵養された水が地下水層を経由して下流域に供給され、低位部の水田では地下水位が浅くなり下方浸透量が抑制されると言及した。そこで本研究では従来の根圏水収支のみを考慮した作物生長モデルに地下水位変動モデルを結合することにより、地域の水循環変動と食糧生産の相互作用が解析可能なモデルの構築を行った。

2. 研究対象地概要

本研究では、首都ビエンチャン近郊に位置する KM6 灌漑地区（以下、KM6）を対象とした（Fig.1）。KM6 では雨季作（5 月～11 月）は完全降水依存の天水田で約 1,200ha を栽培するのに対して、乾季作（1 月～4 月）はナムグム川からポンプ取水し、約 550ha を灌漑

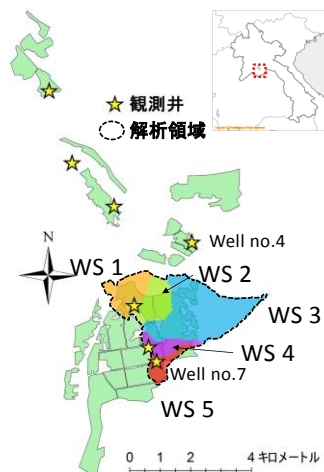


Fig.1 研究対象地と解析領域

し栽培する。モデルの解析領域は KM6 の南側排水河川に隣する小流域とし、等高線データを基に 5 つの集水域（WS1～WS5）に分割した。現地調査では、水文気象および地下水位データを通年計測し、稲の生育・収量調査および乾季作の流量観測を適時実施した。それらデータはモデルの境界条件の設定、およびモデル計算値の検証に用いた。

3. モデルの概要

構築したモデルは作物生長と作物根圏の水分状態、地下水流動を表す 3 つのモデルからなる。本研究が用いた作物生長モデルは Montieth(1964)が提案した炭素同化モデルである。作物生長モデルは作物の生育度合を熱量の累積関数で、植物生理学的な生長プロセスをバイオマス積算量で表現し、単位収穫量を計算する。水・温度ストレス項はバイオマス潜在量に乘じられ、潜在収穫量からの減

[所属] *東京農工大学大学院 United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology **茨城大学農学部 Ibaraki University

[キーワード] コメ収穫量, 水ストレス, 灌漑取水量

収を表現する．水ストレスは FAO (1998)の根層水収支計算により，作物生長と土壌の水分状態に応じて計算される．さらに，既往の文献で挙げられた地下水の水文過程を表現するため，根圏水収支モデルに，ダルシー則を支配方程式とした地下水層の水収支計算を結合した地下水流動モデルを構築した (Fig.2)．根圏水収支モデルと地下水位変動モデルは下方浸透量を共通の項として結合されている．地下水位変動モデルは集水域ごとに根圏の水収支と地下水層の水収支の2段タンクの構造である．基礎式を以下に示す．

$$\Delta Dr = ET_i + Pp_i - R_i - I_r_i \quad (1)$$

$$WL_i = WL_{i-1} + (Pp_i + Pnp_i) + Tfu_i - Tfd_i \quad (2)$$

$$Tf_i = To \cdot dl_i \cdot Af \cdot \frac{1}{A_{ws}} \cdot \frac{1}{n} \quad (3)$$

ここで， ΔDr ： i 時点での根圏水分不足量， Pp_i ：水田下方浸透量， ET_i ：蒸発散量， R_i ：降水量， I_r_i ：灌漑取水量，単位は mm/day である．雨季作適用時 I_r_i は天水田栽培の為ゼロであり，乾季作適用時 I_r_i は収穫量からの逆推定値である． WL_i ：地表面からの地下水位， Pp_i ：水田下方浸透量， Pnp_i ：水田以外の土地利用からの下方浸透量， Tf_i ：側方浸透量，単位は m/day であり，添え字の u は水収支を考慮する当該地下水層タンクから見て上流側の

地下水層タンク， d は下流側の地下水層タンクとした． To ：透水量係数[m/day]， dl_i ：隣接するタンク間の動水勾配[－]， Af ：隣接する地下水層タンク間における通水断面積[m²]， A_{ws} ：当該集水域の面積[m²]， n ：土壌間隙率[－]である．

4. 結果・考察

本研究では既存の根圏水収支を考慮した作物生長モデルに，地下水の水文過程を表現可能なモデルを加えた新たな地下水流動－作物生長結合モデルを構築した．また，構築したモデルを使用して乾季作における灌漑取水量の逆推定を試みた．本研究において得られた成果を以下に示す．

(1) WS1 における根圏・地下水層の水収支の結果を Table1 に，地下水位変動を Fig.3 に示す．雨季・乾季共に根圏および地下水層の水収支が 10%未満の誤差となり，高精度で成り立った．地下水位変動は 4，5 月において推定値が過小評価されたが，作期間においては実測地下水位を良く再現した．

(2) 乾季作にモデルを適用し，灌漑取水量を解析領域において加重平均した結果，モデル推定値が 5.4mm/day，現地観測値が 12.5mm/day であり，推定精度に課題が残った．そのため，水ストレスがより作用するよう修正する必要がある．

Table1 根圏・地下水層の水収支

WS1	Root zone water balance (mm)						Ground water balance (m)				
	P	ET	Pp	Iri	ΔDr	Error (%)	Pp	Pnp	Tfu	Tfd	Error (%)
Rainy	1,282	351	869	—	-24	3.3	1.1	0.9	17.9	20.1	1.1
Dry	94	338	1,053	1,413	-1	8.3	1.4	0.1	17.2	18.8	0.2

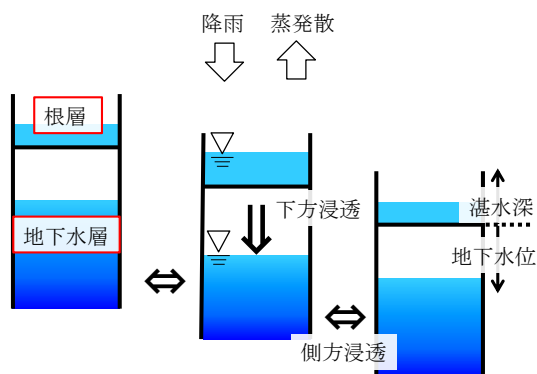


Fig.2 地下水流動モデル概要

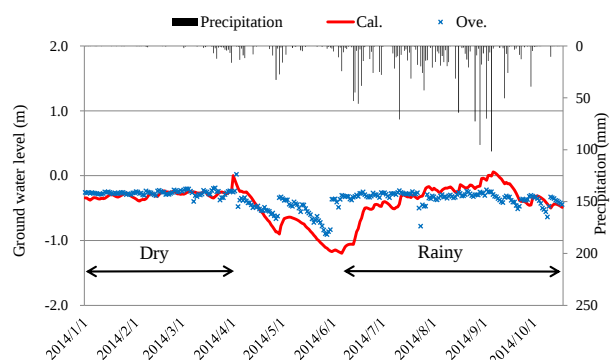


Fig.3 WS1 における地下水位変動