

水稻・畑輪作地帯における地下水位変動解析
 —カザフスタン共和国・イリ川下流域の灌漑地区を対象として—
 Analysis of groundwater level fluctuation in crop rotation area associated with rice-based
 agriculture—A case study of an irrigation district in the lower Ili River Basin, Kazakhstan-

○安西 俊彦*・清水 克之**・北村 義信**

Toshihiko ANZAI, Katsuyuki SHIMIZU, Yoshinobu KITAMURA

1. 緒言

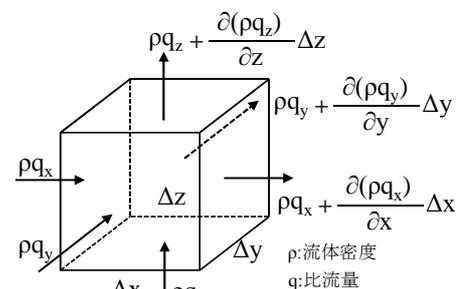
イリ川下流域の灌漑地区では、畑作物には生育初期を除き灌漑を行わず、水稻作圃場へのみ連続灌漑を行う。畑作物は、土水路および水稻作圃場からの浸透により畑作圃場の根群域まで上昇した地下水を、根系から吸水し生育している。水稻作圃場に対する圃場供給水量（現在約 2,000 mm）は全圃場で一律に設定されている。その結果、灌漑地区の場所によっては、過剰な地下水位上昇に起因する農地の湛水化や塩類集積が発生する。一方、様々な外的要因による取水量減少とそれに伴う地下水位低下が将来的に危惧されている。これらの問題に対し、カザフスタンの研究者により地下水流動モデルによるシミュレーションが行われている。しかし、モデルには地下水位に影響を与える農地・水利用の実態が考慮されていない。適切に地下水位を維持するための農地・水管理のあり方を提言するためには、実際の農地・水利用を組み込んだ地下水位変動モデルを構築し、シミュレーションにより最適解を求めることが効果的であると考えられる。本稿では、地下水位変動モデルを構築し、灌漑地区開発に伴う地下水位上昇過程の再現を試み、モデル導入の可能性を検討した。

2. 研究方法

2.1 研究対象地区の概要 対象地はアクダラ灌漑地区（約 3 万 ha）内の上流部（約 1.5 万 ha）である。年間降水量約 170 mm、灌漑期間である 5~8 月の月降水量は約 10 mm と少ない。主要作物は水稻、アルファルファ、麦で、約 100 ha の農区にて単作が行われている。そして 6~7 農区で 1 つの輪作ブロックが形成され、輪作ブロック内で水稻 3 年と畑作物 3~4 年の 6~7 年輪作が行われている。

2.2 モデル構築方法 地下水位変動モデルには、ブリガムヤング環境大学と米国陸軍工兵隊および米国原子力規制委員会が開発した GMS7.1（Groundwater Modeling System）を用いた。地下水流動

計算には内蔵された有限差分地下水流動解析プログラム MODFLOW を用いた。Fig.1 に MODFLOW の概念図を示す。地下水流動の支配方程式は、堆積層中の単位体積を通過する流体の質量保存の法則により導かれる連続式で表現される。モデル構築対象領域を Fig.2 に示す。標高データは、解像度 15 m の ASTER、DEM のデータをリサンプリングし、100 m メッシュとしモデルに用いた。対象領域が比較的単純な砂質堆積層であることから、計算帯水層は一層で地表面標高から 100 m とした。モデルパラメータは、現地測定した現場透水試験、水稻作圃場減水深調査および推定した蒸発散量を考



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{dh}{dt}$$

K: 透水係数 h: 全水頭 W: 揚水や注水 S_s: 比貯留係数

Fig.1 The conceptual diagram of the MODFLOW

* 鳥取大学大学院連合農学研究科、The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University

** 鳥取大学農学部、Faculty of Agriculture, Tottori University

【キーワード】 農業水利用、水稻・畑作輪作、地下水位変動解析、MODFLOW、乾燥地域

慮し、観測値と大きく離れない範囲で試行錯誤的に決定した (Table 1)。

3. 結果・考察

3.1 定常解析 定常解析は灌漑地区開発時を想定し、観測井 G の 1969 年 1 月の地下水位である 407.58 m (地表面から 7.78 m) を目標に構築を行った。灌漑地区開発時を想定するため、河川からの影響のみを考慮し、イリ川を指定水頭として水頭値を入力し構築した。水平方向透水係数は現場透水試験および農地・非農地を考慮し、対象領域を 5 つの領域に分割し (Fig.2 の丸数字)、それぞれに値を入力した。観測井 G の地下水位の計算値は 407.71 m となり観測値と概ね合致した。

3.2 非定常解析 非定常解析では、定常解析で計算された地下水位を初期水位とした。計算期間は、1969 年 1 月から 1980 年 12 月までとし、この期間の地下水位データがある観測井 A, G, K を計算結果の比較対象とした。この期間では、灌漑地区開発以降の地下水位の上昇が観測井 G において観測され、またその後の灌漑による地下水位変動が、観測井 A, K において見られるため、モデルの計算期間とした。農区および用水路に涵養量を 5 月から 8 月まで入力し計算を行った。計算期間の水稲作圃場の配置は不明であるため、輪作体系を考慮し、試行錯誤的に水稲作圃場の配置を決定した。また水路系統図より排水路をモデルに組み込み、排水路標高と排水路の通水能力を入力した。排水路標高および通水能力は灌漑期以降の地下水位の低下状況を考慮し入力した。涵養量に対して降水量は少ないため、本モデルでは、降雨による地下への涵養は考慮していない。非定常計算結果を Fig.3 に示す。その結果、観測井 G において、灌漑地区開発以降の地下水の上昇を再現し、また 3 つの観測井において、灌漑による地下水位上昇および地下水位の再現を行うことができた。観測井 G, A および K の平均二乗誤差 RMSE はそれぞれ、0.48 m、0.41 m および 0.49 m となり、灌漑地区の地下水位変動幅が約 1~2 m であることから、地下水位変動のシミュレーションにこのモデルを適用することが可能であると考えられる。

4. 総括

広域解析に適用される MODFLOW を用いて、灌漑地区の地下水位変動解析を行った。その結果、灌漑地区の農地・水利用状況を組み込むことが可能であり、農地・水利用による地下水位への影響を再現可能であることが示唆された。従って今後は、灌漑地区の全観測井において近年までの地下水位変動を再現する。そしてモデルを用いて、現在の過剰な地下水位の上昇を防ぐ、また将来的な取水量減少を想定したシミュレーションを行い、適切な農地・水管理を提言することを目指す。

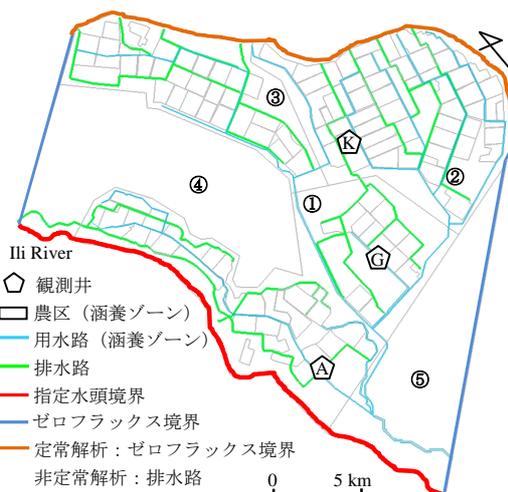


Fig.2 The coverage area of the model

Table 1 Model parameters

パラメータ/エリア	①	②	③	④	⑤
水平方向透水係数 (m/day)	2.5	1.5	2.5	2.0	
垂直異方性	10				
有効間隙率 (%)	30				
セルの大きさ (xxy)	100 m×100 m				
蒸発散消滅深 (m)	地表面から4m				
最大蒸発散量 (m/day)	0.01				

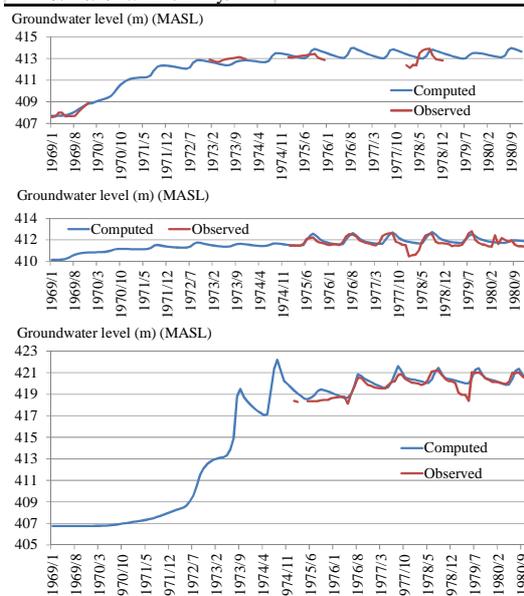


Fig.3 Comparison between observed and calculated groundwater levels (Upper: Well G, Middle: Well A, Lower: Well K)