

気候変動が水田を主体とする扇状地地下水に及ぼす影響に関する数値計算 Numerical assessments of the climate change impacts on regional groundwater system in a paddy-dominated alluvial fan

○岩崎有美*, 中村公人*, 堀野治彦**, 川島茂人*

IWASAKI Yumi, NAKAMURA Kimihito, HORINO Haruhiko, and KAWASHIMA Shigeto

1. はじめに 石川県手取川扇状地には豊富な地下水が存在しており、この地下水資源の持続的な利用・保全のためには、気候変動が地下水位に与える影響について検討することが重要である。本報告では、複数の GHG 排出シナリオ、GCM による予測値に基づき、気候変動による直接的な変化のみに着目し、2090 年までの地下水位の変化予測を行うとともに、地下水位に与える影響の大きい気象要素の変化を明らかにすることを目的とした。

2. 対象地概要及び研究方法

(1) 対象地概要 石川県手取川扇状地のうち、手取川、犀川および伏見川、日本海、白山山地で囲まれた面積約 140 km² の右岸側領域を解析対象とした (Fig.1)。2009 年の水田面積率は 45%であり、水田の 25%において大豆・大麦による転作が実施されている。1980 年から 2010 年までの 30 年間の日平均気温、降水量、積雪深の平均値は、それぞれ 14.6 °C、2,399 mm、281 cm であった。

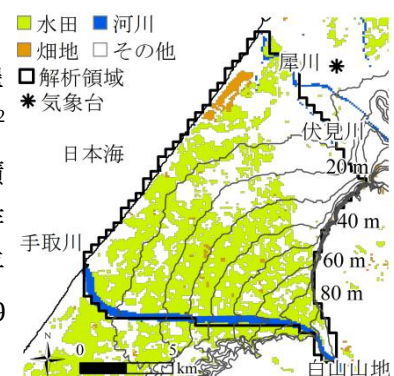


Fig.1 手取川扇状地の概要
Outline of the study site.

(2) 気候変動 気候変動下における気象変化については、Iizumi et al (2012) が提供する EPLS-JP データセットを利用した。各 GHG 排出シナリオ、GCM に対し、気象ジェネレーターによる日平均気温、降水量、相対湿度、全天日射量等の日別の予測値が 50 ケース提供されている。9 つの GCM、3 つの排出シナリオ (A2, A1B, B2)、50 のジェネレーター予測値の計 1,350 ケースの中から、様々な気温、降水量の変化量が得られるように、3 つの排出シナリオ、3 つの GCM に基づいて 38 ケースを選定した。

(3) 地下水流動解析 本地域を対象として構築された 1 次元不飽和浸透流解析 (HYDRUS-1D, Šimůnek et al. 2005) と 3 次元流動解析 (MODFLOW, Harbaugh 2005) を用いた練成解析 (Iwasaki et al., under review) により地下水位の変化予測を行った。400 m × 400 m の地下水モデルの各セルに対して、1 次元不飽和浸透流の解析領域を設定し、各セル内の土地利用種別の面積率、領域全体の転作率に応じて水稻作付水田、転作田、畑地、非涵養領域に分類することで土地利用分布を表現した。不飽和浸透流解析の上端境界は、大気境界条件とし、ペンマン式による蒸発散位、水利権及び減水深調査に基づいた代掻きや中干し等の水田灌漑、Degree-day 法による融雪量を考慮した。下端境界は、地下水面が深いことから自由排水境界とした。水田面積率、月別揚水量、地下水モデルの境界条件に用いる平均海水面標高、犀川・伏見川での地下水位、手取川河川水位の変化については考慮せず、転作田の配置のみ毎年ランダムに変更した。HYDRUS-1D で計算されるプロファ

* 京都大学農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** 大阪府立大学生命環境科学研究科 Graduate School of Life and Environmental Sciences, Osaka Prefecture University

Keywords : 地下水, 気候変動, HYDRUS-1D

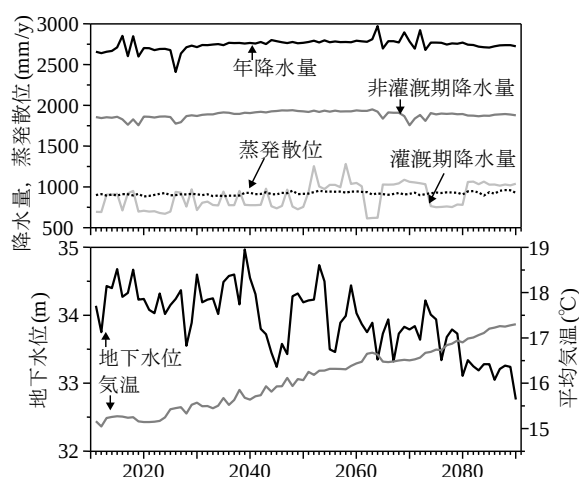


Fig.2 降水量，蒸発散，平均気温，地下水位の経年変化
Simulated annual changes in groundwater level, mean temperature, precipitation, and potential evapotranspiration.

イル下端での水分フラックスを旬平均し，地下水モデルの涵養量とした．1 年間の予備計算期間を設定し，計算期間は 2011 年から 2090 年までの 80 年とした．

3. 結果と考察 気象要素と計算された扇頂部の地下水位の経年変化の一例を **Fig.2** に示す．各排出シナリオにおける 2090 年までの 80 年間における気温の上昇量は， $2.0^{\circ}\text{C}\sim 3.9^{\circ}\text{C}$ となった．年降水量の変化量は，平均 135 mm の増加であった．気温はすべてのケースにおいて上昇傾向，降水量，蒸発散位，地下水位は増加，減少いずれの傾向もみられた．扇状地を等面積に 6 分割し，各領域内の平均地下水位の変化について整理すると，水田面積率が高く，上流域の涵養面積が限定的となる扇頂部及び手取川に近い扇央部において，経年的な地下水位変化量の絶対値が相対的に大きくなった．80 年後の地下水位最大低下量は，扇頂部において 1.0 m 程度となることが明らかになった．

どのような気象要素の変化が生じた場合に，地下水位に与える影響が大きくなるのかを評価するために，年間，非灌漑期，灌漑期の降水量変化速度，非灌漑期の所定の範囲の降水強度である降水日数の変化速度について年平均地下水位変化速度との関係性を調べた (**Table 1**)．地下水位変化速度と非灌漑期降水量変化速度において最も高い正の相関関係となった．非灌漑期の降水強度の弱い (10 mm/d 未満) 降水日数の変化速度の間には比較的高い負の相関関係がみられた．これは，非灌漑期降水量変化速度と 10 mm/d 未満の降水日数変化速度に負の相関 ($R=0.83$) が存在するためである．一方， 10 mm/d 以上の降水強度の降水日数変化速度と非灌漑期降水量変化速度には明確な関係性は確認されず，よって，**Table 1** に示した地下水位変化速度との相関係数が小さくなったものと考えられる．したがって，高強度の雨の降り方の変化による地下水位への影響は小さいことが明らかになった．

4. おわりに 水田灌漑の取水源となる手取川流量自体への気候変動の影響による水田灌漑可能面積の変化については今後の検討課題である．

謝辞 石川県及び石川県立大学の調査ご協力に感謝申し上げます．

引用文献 1)Harbaugh (2005) MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model - the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16. 2)Iizumi et al. (2012) ELPIS-JP: a dataset of local-scale daily climate change scenarios for Japan. PhilTrans R Soc A 370:1121-1139. 3)Iwasaki et al. (under review) Assessment of factors influencing groundwater level change with groundwater flow simulation considering vertical infiltration from both rice-planted and crop-rotated paddy fields. Hydrogeol J. 4)Šimůnek et al.(2005) The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Series.

Table 1 地下水位と気象要素の変化速度の相関
Correlation coefficients between change rates of groundwater level and each meteorological element.

気温変化速度 ($^{\circ}\text{C}/\text{y}$)		0.19
降水量 変化速度	年間 ($\text{mm}/\text{y}/\text{y}$)	0.61
	非灌漑期($\text{mm}/\text{duration of non-irrigation}/\text{y}$)	0.69
	灌漑期($\text{mm}/\text{duration of irrigation}/\text{y}$)	-0.13
	平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)	
非灌漑期 降水日数 変化速度	$< 10\text{ mm/d}$	-0.61
	$10\text{--}20\text{ mm/d}$	0.18
	$20\text{--}30\text{ mm/d}$	0.36
	$30\text{--}40\text{ mm/d}$	0.17
(d/duration of non-irrigation /y)		0.23
$40\text{ mm/d} \leq$		