

**Assessment of groundwater environment
in a paddy-dominated alluvial fan
- Case study of Tedoru River alluvial fan, Japan -**

水田を主体とする扇状地における地下水環境評価に関する研究

-手取川扇状地を事例として-

2014

Yumi IWASAKI

岩崎有美

第1章 緒論

第1章では、地下水のもつ水資源としての意義をはじめに示し、日本をはじめとして実施されている地下水涵養源として重要である水田灌漑を取り巻く状況を整理するとともに、都市化や転作の実施による水田面積率の減少が水田からの地下水涵養量に与える影響の定量的評価の必要性について述べた。また、持続的な地下水資源利用のためには、気候変動が地下水環境に与える評価が重要となることについて述べた。水田を主体とする扇状地における地下水環境評価において、数値解析手法を適用する時、解決すべき問題点を整理した。地下水体を減衰あるいは増強させる自然的、人為的な影響が見込まれる地域として、石川県手取川扇状地を選定することを示し、水文観測、定常・非定常の数値解析、水質観測による複合的な研究アプローチによる地下水環境(涵養、流動、貯留)評価を行うために必要な具体的な目的を示した。最後に、論文の構成を示し、各章における目的及び研究手法について概説した。

第2章 文献レビュー

第2章では、まず水田の有する地下水涵養機能について、日本の各地で行われた先行研究に基づいて整理した。また、扇状地帯で生じる地下水と河川との伏没還元現象について述べ、地下水流動モデルに伏没還元現象を組み込む際の一般的な手法を紹介した。次に、気候変動が及ぼす地下水環境への影響評価に関する先行研究を概観した。涵養量の推定方法について、モデル化手法及び水田特有の土壌構造や各種水管理等の涵養量に影響する要素を整理した。また、環境同位体を用いた地下水環境評価について言及した。地下水流動モデルに関して、汎用モデルの展開を述べ、1次元不飽和浸透流解析との練成解析の有用性を先行研究と併せて述べた。

第3章 水文観測

第3章では、はじめに手取川扇状地の地形、地質、水文気象等について概説した。地下水位の長期観測、地下水位の分布及び地下水流動を把握するための地下水位一斉観測、手取川における伏没還元現象を把握するための手取川同時流量観測という複数の水文観測結果から地下水環境の現況、過去から現在までの変遷を明らかにした。経時的な地下水位や地下水位分布の観測から、地下水位は水田地帯特有の季節変動を示し、灌漑期には非灌漑期と比較して扇頂から扇央にかけて地下水位分布が約5 m高くなることから、水田灌漑が地下水位に与える影響が大きいことを示した。非灌漑期において扇頂から扇央部の地下水位分布が1993~2009年の期間で約5 m低下したことが明らかになった。手取川の下流域で還元、それより上流域で伏没が生じており、手取川からの伏没水が流動に影響することを示した。

第4章 空間解析

観測井周辺の土地利用変化が地下水位に与える影響を GIS を用いた空間解析により評価した。水田灌漑に起因する灌漑期初期の地下水位上昇量と、0.2 km から 2.0 km まで 0.2 km ごとに異なる半径をもつ観測井を中心としたバッファ領域内の水田面積率との関係を 13 の観測井、5 カ年のデータについて検討した。その結果、揚水量が比較的多く、河川からの伏没水の影響を受ける観測井を除き、地下水位上昇量と水田面積率には高い正の相関関係が認められた。バッファ半径ごとの相関関係を検討した結果、観測井から 1.0 km 以上の水田面積の変化も地下水位変化に影響することを示した。また、1 次元の線形回帰式の傾きの違いから、扇状地内の扇央部において、その上流域の地下水涵養域が限定的となるために、扇端部と比較して、単位面積当たりの水田面積の変化が地下水位変化に対して、より大きな影響を与えることを明らかにした。

第5章 定常解析

水文観測結果に基づいて帯水層定数、境界条件を同定し、3 次元地下水流動モデルを構築した。灌漑期定常地下水流動解析により、まず灌漑期水収支を明らかにした。扇状地内でも扇頂部及び手取川に近い扇央部での水田面積、揚水量の変化が該当領域とその周辺の地下水位に大きく影響すること、これらの領域での水田面積の保全、揚水規制が効果的な地下水保全策となる可能性が高いことを示した。水田面積が減少した場合に、現況の地下水位を維持するための揚水規制を検討し、同面積率が 30 % 以上減少すると揚水規制では地下水位の維持が困難であることを示した。最後に、手取川の河川水位が地下水位に与える影響を定量的に明らかにした。

第6章 非定常解析

1 次元不飽和浸透流解析によって涵養量を推定し、3 次元地下水流動モデルとの練成により非定常解析を実施した。1 次元不飽和浸透流解析では、1 次元プロファイルを作土、心土に分割し、代かき、中干し、間断灌漑、落水といった水田水管理及び水利権水量を考慮して灌漑水量を設定した。扇状地内の土地利用分布を考慮するために、地下水流動モデルの 400 m メッシュの各セルに対応する 1 次元不飽和浸透流の計算領域は、各年のモデルセル内の農地面積率、領域全体の農地面積率及び転作率に基づき水稲作付水田、転作田、畑地、非涵養域に分類した。灌漑期灌漑水量、降雨、降雪期の融雪水量、蒸発散量、根群域からの吸水を考慮した大気境界条件を上端境界として設定し、下端境界として自由排水境界を設定した。1975 年から 2009 年までを計算期間として、地下水位の再現計算を実施した。その結果、年間涵養量は、水田面積減少、転作率の増加、降水・降雪量の減少の影響を受けて 34 年間で 6 割程度減少したことが示唆された。転作を実施することで、年間涵養量が 0.8~1.0 倍となる可能性が示された。

第7章 非定常解析による将来予測

気候変動による気象要素の変化が及ぼす地下水位への影響を把握するため、複数のGCM、温室効果ガス排出シナリオに基づいた38ケースの気象ジェネレーターの日別の気象予測値を用いて、2010年から2090年までを計算期間として将来予測を実施した。まず、研究対象地で予見される80年間における気候変動を整理すると、気温上昇量は2.0℃から3.9℃、年間降水量は平均で135mm増加する結果となった。経年的な変化傾向としては、上昇傾向と比較して低下傾向が多くみられた。最大の地下水位低下量は、1.0m程度であり、地下水位変化は非灌漑期の降水量変化と比較的高い相関がみられるが、高い降水強度の降水日数変化が地下水位に与える影響は小さいことを明らかにした。

第8章 水質観測

地下水涵養、流動を評価するため、灌漑期に採取した地下水、湧水、河川水、田面水を対象として、主要溶存イオン、微量元素、酸素・水素安定同位体比、ストロンチウム安定同位体比の分析を行った。酸素・水素安定同位体分布から、水田を主体とする扇状地においても、蒸発の影響を受けた田面水と比べて、河川水及び降水による寄与が大きいことが示され、河川水の伏没水に加えて、農地から降水、灌漑水として取水される手取川の河川水が蒸発の影響をほとんど受けず浸透していることが示唆された。浅層地下水の多くの溶存イオン、微量元素、酸素・水素及びストロンチウム安定同位体比は、手取川の周辺で低濃度、手取川から遠い領域では高濃度となる分布特性、あるいは手取川周辺で低濃度、農地面積率が高い扇状地中央で高濃度となる分布特性を示し、これらより手取川からの伏没水による希釈、農業活動による影響が示唆された。農業活動による影響は、シュレティフダイアグラムの地下水、河川水、田面水の特徴からも示された。ストロンチウム安定同位体比からは、手取川中流から伏没した水が扇状地中央へと流下する流動経路、犀川上流域からの伏没を明らかにした。マルチトレーサーを用いた水質観測結果が、水文観測、定常・非定常の数値解析結果と整合的であることを示した。

第9章 結論

終章である第9章では、以上で得られた知見を要約・整理した。本研究では、河川水の伏没水と河川水起源の水田からの灌漑水および農地からの降水が地下水位の維持に重要であることが示された。したがって、地下水位を維持していくためには、将来的な気候変動に伴う河川流量の変化、社会的要因による水田農業の変化などを踏まえて、河川流量を農地への灌漑水と流下水にどのように配分するかが鍵となることを示し、本研究内容がこの配分の検討に生かされる可能性を示した。