

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を用いた水田灌漑地帯における地下水湧出量の推定 Estimation of groundwater exfiltration with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in extensive irrigated paddy areas

○吉田武郎*・中野孝教**・申 基澈**, 土原健雄*, 宮津 進*, 久保田富次郎*

Yoshida Takeo, Nakano Takanori, Shin Ki-cheol, Tsuchihara Takeo, Miyazu Susumu, and Tomijiro Kubota

1. **はじめに** 農業用水は河川からの取水量が多く、その一部が河川に還元することから、灌漑期の河川流況を決定づける要素の一つである。農業用水の地中浸透量が多い扇状地河川においては、特に、一度地中に浸透した用水の河川への湧出量を定量化することが必要だが、その直接的かつ広域にわたる観測は難しく、扇状地河川における流域水収支には未解明な点が残されている。本研究では、ストロンチウム (Sr) および水素・酸素安定同位体 (以下、水安定同位体比) が水田灌漑の広く行われる扇状地を流下する際の変化特性を明らかにし、両同位体を用いて河川への地下水湧出量を定量化した結果を報告する。

2. **方法と対象地区** Sr 同位体比 (^{87}Sr , ^{86}Sr の存在比) には、時間的変化を無視でき、同位体分別効果が小さいという特徴がある。一方、降水中の水安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, δD) には自然的な変動があり、また、水田湛水中に蒸発に伴う同位体分別により変化する。

本研究では、鬼怒川の一支流である五行川を対象とする (図 1)。五行川は典型的な水田水利用がみられる扇状地河川で、その河川水は降水、鬼怒川から供給された灌漑用水および湧出した浅層地下水から構成される。灌漑期 (2016 年 6 月) に五行川の河川水 (約 500m 間隔で 23 地点)、井戸水 (浅層地下水 46 地点)、農業用水、土壌水、降水を採水し、Sr および水安定同位体比を分析した。また、水田圃場および排水路での採水を同 8 月に行い、水田に供給された水が流下する過程での Sr および水安定同位体比の変化を観察した。さらに、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -1/Sr および δ ダイアグラムにおける灌漑用水、浅層地下水の平均値をそれぞれ端成分とし、河川水中に含まれる両者の成分を定量化した。

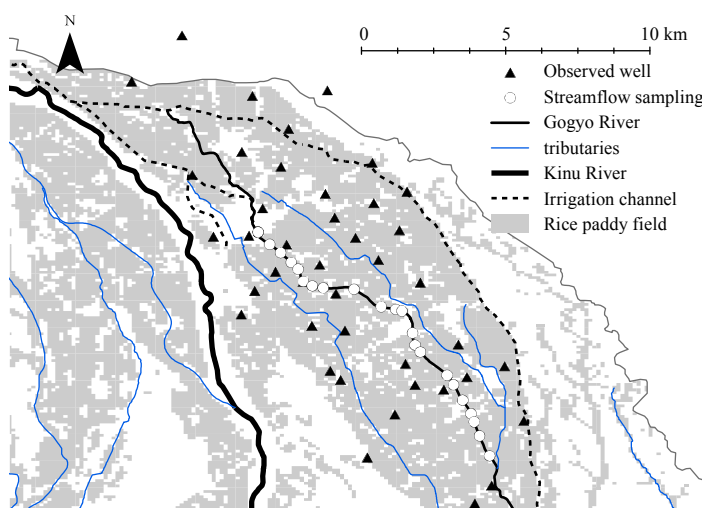


図 1 五行川の採水地点 (○), 井戸 (▲) の位置

灌漑期 (2016 年 6 月) に五行川の河川水 (約 500m 間隔で 23 地点)、井戸水 (浅層地下水 46 地点)、農業用水、土壌水、降水を採水し、Sr および水安定同位体比を分析した。また、水田圃場および排水路での採水を同 8 月に行い、水田に供給された水が流下する過程での Sr および水安定同位体比の変化を観察した。さらに、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -1/Sr および δ ダイアグラムにおける灌漑用水、浅層地下水の平均値をそれぞれ端成分とし、河川水中に含まれる両者の成分を定量化した。

3. **結果** 水田圃場および周辺の排水路で観測した Sr 同位体比および水同位体の変化を図 2 に示す。採水位置が深くなるにつれ土壌水の Sr 同位体比は低下し、Sr 濃度は上昇した。また、湧水池の水の Sr 同位体比は 1.5m 深の土壌水の Sr 同位体比と近く、水田・用水路および 0.5、1.0m 深の土壌水の Sr 同位体比とは異なっていた。浅層地下水との交流が少ない排水路の Sr 同位体比は灌漑水に近いが、交流がある排水路の Sr 同位体比は灌漑水と浅層地下水の混合した値となった。これらの結果から、灌漑期の水田周辺における Sr 同位体比の変化は以下のようにまとめられる。1) 水田からの地表排水過程では Sr 同位体比は大

* 農研機構, National Agriculture and Food Research Organization,

**総合地球環境学研究所, Research Institute for Humanity and Nature.

キーワード: ストロンチウム同位体, 水素・酸素安定同位体, 水田灌漑, 地表水-地下水交流.

大きく変化しない、2) 水田からの浸透過程で低い Sr 同位体比をもつ土壤水 Sr が付加され、地下水面に到達する前に周辺地下水と近い値に達する。

図 3 に水田周辺で採水した試料の δ ダイアグラムを示す。水田に供給された用水は、水田での湛水中に蒸発の影響を受け、蒸発の影響を受けた田面水は天水線 (LMWL) から外れた傾き 5.72 の線上 (Paddy) に分布する。同図中の Well は流域で採水した井戸の分布する線であり (傾き 6.10)、流域の浅層地下水が降水と水田での蒸発の影響を受けた水の混合であることを示す。土壤水の水安定同位体比は 1.5m 深においても田面の水同位体比に近い値を示し、近傍の湧水の値とは異なっていた。この結果は、水田からの浸透過程での水安定同位体比の変化は緩やかで、浅層地下水の水安定同位体比は田面から浸透した水安定同位体比の影響をより強く受けることを意味する。

灌漑用水・浅層地下水 (湧水) を端成分とした端成分分析により、流下に伴う浅層地下水率の変化を定量化した (図 4)。Sr 同位体比により推定した浅層地下水の混合率 (EMMA with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) は、水収支から推定した浅層地下水の成分 (同 Observed water balance) と、流下に伴う上昇傾向や局所的な増減などが整合する結果となった。ここで、水収支からの推定値における上流端の混合比は Sr 同位体比による混合比を与えている。一方、水安定同位体比により推定された混合比 (同 EMMA with $\delta^{18}\text{O}$) は、流下に伴う上昇傾向は上述の推定結果と整合するものの、やや過小であった。これは、観測時に湧出した浅層地下水に、田面での蒸発の影響の小さい水 (灌漑用水に近い水) が含まれていたためと考えられる。

4. おわりに Sr 同位体比は流出経路毎に異なる値を持ち、両者の混合比を定量化できる。Sr 同位体比から推定した地下水成分の混合比は水収支からの算定値とよく一致した。一方、地下水の水安定同位体比は水田灌漑の影響を受けて時間的に変化するため、端成分の定義が難しい。Sr 同位体比を用いれば、直接的な観測が困難であった地下水湧出量、特にその時間的な変化を定量化できる可能性がある。

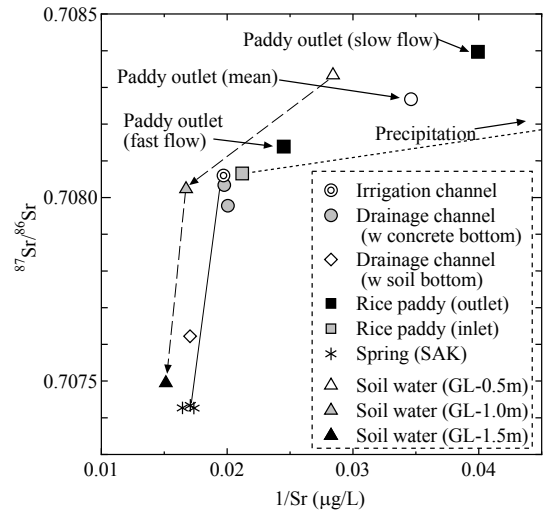


図 2 灌漑期の水田周辺での Sr 同位体比の変化

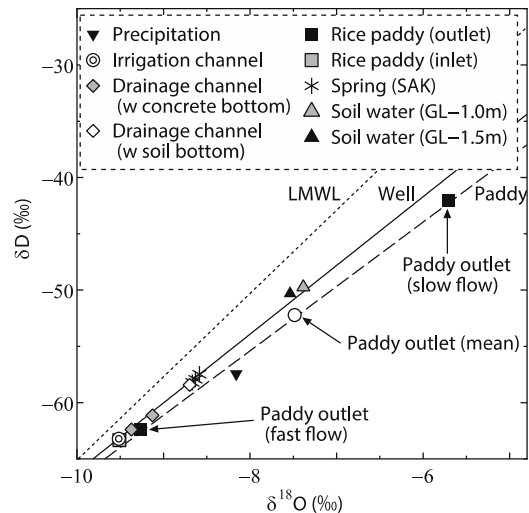


図 3 灌漑期の水田周辺での水同位体比の変化

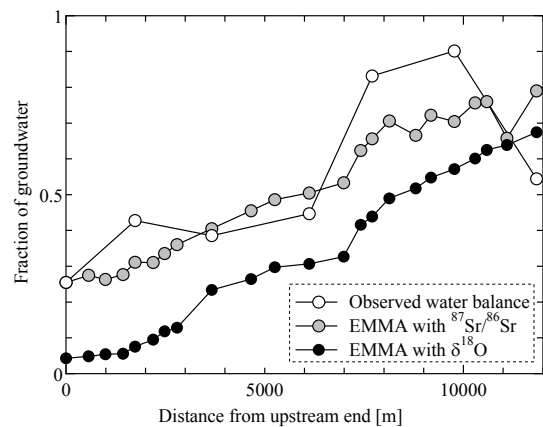


図 4 河川中の浅層地下水の混合比の推定値