

田面水の酸素・水素安定同位体比の非定常モデリング

Transient simulation of oxygen and hydrogen stable isotope ratios of paddy ponding water

○中村公人*, 錦ありさ*, 吉岡有美**, 瀧本裕士***

Kimihiro Nakamura, Arisa Nishiki, Yumi Yoshioka, Hiroshi Takimoto

1. はじめに 水の酸素・水素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) は同位体分別作用によって変化するために、環境中の降水、河川水、田面水などがそれぞれ異なる値を有し、また $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の関係である δ ダイアグラム上においても異なる特徴を示す。これを利用することにより、たとえば複数の地下水涵養源の寄与を推定できる。田面水の同位体比は一般に蒸発の影響を受けて降水や河川水よりも高いが、用排水管理や降水の影響を受けて時間的に変化する。しかし、これを考慮した解析を行っている例は少ない。本報告では、物質収支に基づいて、田面水の同位体比の経時変化を表現するモデルを構築することを目的とした。

2. 調査方法 石川県野々市市に位置する石川県立大学農場内の水田 2 圃場 (A 圃場: 1,200m², B 圃場: 3,100m²) において調査を行った。2018 年 5 月 23 日～8 月末にかけて田面水各圃場 2 か所、用水 1 か所、降水 1 か所から採水を行った。田面水と用水は、水がないときを除き月・水・金曜日午前に採水した。降水はボトルにおよそ 1 か月貯留された水を分析した。分析項目は、現地にて水温、電気伝導率、pH、溶存酸素、室内にて $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ である。また、田面には水位計を設置し、5 分間隔で湛水深を測定するとともに、採水時の取水・排水状況を記録した。なお、隣接する場所での気象観測データを利用した。

3. 田面水の安定同位体比のモデル化 時間間隔を 1 日とし、0 時の湛水深 (mm) を H_1 、1 日後の値を H_2 とする。降水量を R 、取水量を I 、地表排水量を D 、浸透量を P 、蒸発量を E とする (単位は mm/d)。地表面より上の水体について水収支式は以下で表される。

$$H_1 + R + I - D - P - E = H_2 \quad (1)$$

E はペンマン式から求めた蒸発散位から葉面積指数を用いて推定した (桜谷・堀江, 1985)。式(1)からは $I-D$ が算出される。ここでは、 $I-D$ が正のときは取水のみ、負の時は排水のみが生じていると仮定した。 P には夜間の減水深を参考に中干し前と中干し後でそれぞれ一定値を与えた。

田面水と降水と用水の混合、地表排水と浸透による流出、動的同位体分別を表すレイリ一過程に基づく蒸発を考慮して次式より田面水の同位体質量存在比 C_p が表されるとした。

$$C_p = \frac{H_1 C_0 + R C_R + I C_I - \frac{H_1 C_0 + R C_R + I C_I (D+P)}{H_1 + R + I} \left(\frac{V-E}{V}\right)^{\alpha-1}}{H_1 + R + I - D - P} \quad (2) \quad V = \frac{(H_1 + R + I - D - P) + H_2}{2} \quad (3)$$

ここで、 C は質量存在比 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ あるいは $^2\text{H}/^1\text{H}$ 、添字 0, R , I はそれぞれ前日の田面水、降水、用水を表す。 C_R は採水間隔期間で一定として取り扱った。 α は蒸発の影響の程度を表す動的同位体分別係数、 V は蒸発の影響を受ける平均的水量を表す。酸素と水素についてそれぞれ C_p を標準物質の質量存在比との差異を表す同位体比 (δ 表現) に換算した。計算値と実測値の差の二乗和が最小になるように α を求めることができる。

*京都大学農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University, **島根大学学術研究院 Academic Assembly, Shimane University, ***石川県立大学生物資源環境学部 Faculty of Bioresources and Environmental Sciences, Ishikawa Prefectural University

キーワード: 水田, 物質収支, 動的同位体分別

4. 結果と考察

(1) 水田水収支と安定同位体比 ここでは圃場 B の結果を示す. 水収支成分と湛水深および田面水, 用水, 降水の $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ の経時変化をそれぞれ Fig.1, Fig.2 に示す. 湛水深が低下する過程で同位体比が上昇し, 取水時や降雨時, また湛水深が高く維持されている期間に同位体比が低いことが確認できる. 田面水の同位体比は, 蒸発の影響により, 用水と降水のそれよりも高い. 2 か所の田面水の同位体比を比較すると, 取水口に近い地点よりも排水口に近い地点で高い.

(2) 田面水の安定同位体比の再現性 実測された 2 か所の田面水の同位体比の平均値に計算値が適合するように, 酸素と水素それぞれの α を同定した. 実測値と計算値の比較を Fig.3 に示す. 再現性は良好で, RMSE は酸素, 水素でそれぞれ 2.22‰, 13.84‰であった. 同定された α は酸素 0.951, 水素 0.787 となった. これらの値を用いると, δ ダイアグラム上での田面水の傾き (蒸発線の傾き) は 4.35 となる. この値は, 吉岡ら (2018) が示した手取川扇状地内の田面水の蒸発線の傾き 3.91 (6月), 5.38 (8月) と大きく矛盾しない. 本計算では, 取水と地表排水が同時に生じている可能性を無視している. 実際は 8月 5 日以降に掛流し灌漑が行われたと推測されるが, この時期の再現性の低下はみられなかった.

再現性はとくに 7月 4~7 日の計 204mm の降雨時に低下した. 計算では約 1 か月の降雨の平均値を与えたが, 実際の降雨の同位体比は雨量効果により, 降雨量の増加とともに低下するためである.

5. おわりに 雨量効果のモデルへの組み込みにより精度の向上を見込むことができる.

謝辞: 石川県立大学の学生諸氏には多大な協力を頂いた. また, 総合地球環境学研究所同位体環境学共同研究, 河川財団河川基金, 前田記念工学振興財団研究助成, JSPS 科研費 (16K18771, 19K06316), 統合的気候モデル高度化研究プログラムの支援を受けた. ここに記して感謝申し上げる.

参考文献: 1) 桜谷・堀江 (1985): 農業気象 41(1), 45-55. 2) 吉岡ら (2018): 地下水学会誌 60(2), 205-221.

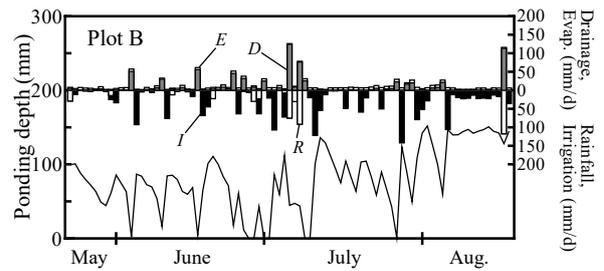


Fig.1 圃場 B の水収支成分と湛水深の経時変化 Temporal changes in water balance components and ponding depth.

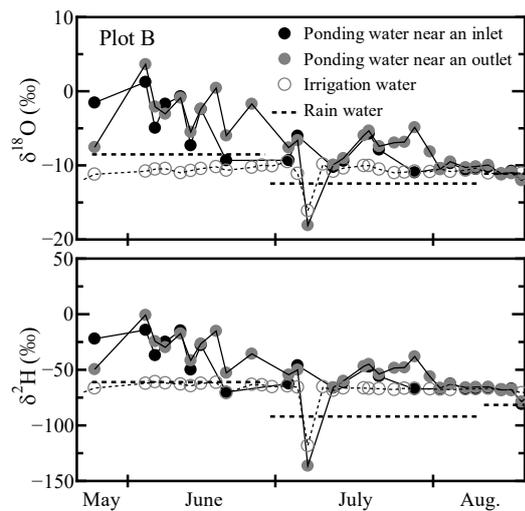


Fig.2 圃場 B の田面水, 用水, 降水の安定同位体比の経時変化 Temporal changes in $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of ponding, irrigation and rain water.

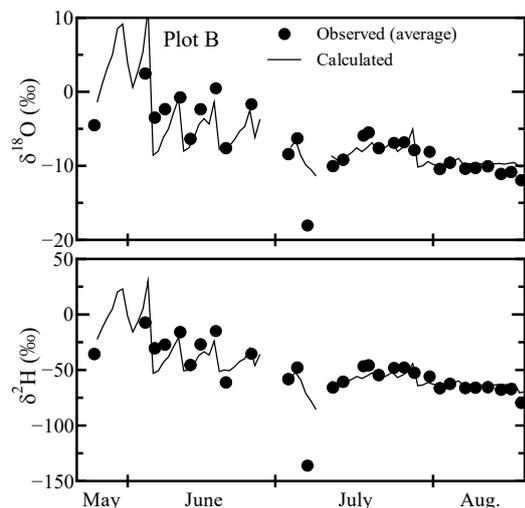


Fig.3 圃場 B の田面水の安定同位体比の実測値と計算値 Observed and calculated $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of ponding water.