

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06316

研究課題名（和文）起源ごとの地下水涵養量の時間変動解析に向けた水の安定同位体比モデリング

研究課題名（英文）Simulations of paddy water and soil water isotope (oxygen and hydrogen) transport in paddy field

研究代表者

吉岡 有美 (Yoshioka, Yumi)

島根大学・学術研究院環境システム科学系・助教

研究者番号：40753885

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：酸素・水素の安定同位体比は蒸発によって値が変化する特徴をもつトレーサーである。水田では湛水と非湛水が断続的に生じるため湛水時の水面、非湛水時の土壌内からの蒸発作用が生じる。水田灌漑水が浸透後地下水面に到達するまでの同位体輸送過程を把握するために、大気水蒸気、降水、灌漑水、田面水、土壌水、地下水までを対象として網羅的な採水およびモデリングのための水文観測を複数年実施した。これら観測値に基づいて、田面水および水田土壌水での同位体比変動のモデリング手法の検討を行うとともに、同位体比の時間的変動特性について考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地下水涵養源を評価することは、流域水循環の理解にとって重要である。水田は主要な涵養源となることがあるが、その灌漑用水供給は河川が担っていることが多い。酸素・水素の同位体比を用いれば河川水と水田からの地下水涵養を見分けることができるとされているが、本研究は現地観測に基づいたモデリング手法によって、水田水管理を考慮しながら水田や土壌内での同位体比変化について検討した。田面水や土壌水の同位体比を再現することができれば、蒸発散の分離やイネからの吸水源、さらには水田域の大気-陸面系の水循環（例えば、大気-水田-地下水）への利用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Oxygen and hydrogen stable isotopes are key hydrological tracers for identifying groundwater flow paths, groundwater recharge sources, and related hydrogeological processes. The isotope isotopic composition of water is mainly affected by kinetic fractionation process occurring during evaporation process. In Japanese paddy field irrigation system, evaporation is occurred at water surface and soil surface. In this research, we evaluated the temporal variations in paddy water and the spatiotemporal variations in the paddy soil water through the comprehensive water sampling and modeling for the isotope-balance in the paddy water and the isotope transport in the soil.

研究分野：水文学

キーワード：酸素・水素安定同位体比 地下水涵養 水田 扇状地 トレーサー 移流分散方程式

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

河川と水田といった複数の地下水涵養源が存在する場合に、地下水涵養を時空間的に明らかにする一つの方法として数理モデルによる解析がある。しかしながら、河川周辺の井戸で観測された地下水位が精度良く再現されたとしても、これは地下水涵養量のタイミングや総量が再現されているにすぎず、必ずしも各地表水体からの地下水涵養過程を適切に表現できたという保証にはならない。水文トレーサー(追跡子)を用いれば、異なる種類の地表水(河川水と水田水)を見分けながら地下水面までの到達過程を的確に表現することができる可能性がある。

水分子に含まれる酸素・水素の安定同位体比は、水分子そのものというわかりやすさがあり、他のトレーサーとは異なり液相に加えて気相(水蒸気)としても輸送される。水の同位体比の変動には2つの反応系がある。1つ目は、質量数の違いに起因して、液相-気相間で平衡反応が生じるとき同位体比が高い水分子が液相に偏在する反応(平衡同位体分別作用)である。水蒸気が凝結して降水ができるときに影響し降水の同位体比を決定するが、地表水への影響は小さい。2つ目は、気相の移動時に同位体比が高い水分子が液相に偏在する反応(動的同位体分別作用)である。地表上での同位体比変動に強く影響する。温度、風速、相対湿度、土壌水分を説明変数としてモデル化する試みがあるが、水田土壌への適用可能性の知見が欠けている。動的同位体分別作用を考慮したモデルとしては、安定的に数 m 以上の湛水状態にある湖水を対象にしたもの(Gibson et al., 2016)、非湛水で乾燥した土壌を対象としたものの研究が個別に進められている(Sprenger et al., 2015; 2016)。しかしながら、灌漑期間において中干しや間断灌漑といった灌漑排水操作によって数十 cm の浅い湛水と非湛水が短時間で繰り返し発生する水田における湛水および土壌水の同位体変動を一貫して記述できるモデルの構築に着手した研究は存在していない。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、地表面での同位体比変化に加えて、非湛水時の土壌内で蒸発作用や、浸透後地下水面に到達するまでの同位体輸送過程を把握するために、地表水から地下水までを対象として網羅的かつ高頻度の現地観測を行い、同位体比の時間的変動特性を明らかにする。現地観測に基づいて同位体比の変動を再現できるモデル化の検討を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 現地観測

水田の灌漑水源や灌漑方式や地下水位などの違いによる影響を考慮するため、2019年度は石川県内の3圃場、2020年度は石川・滋賀・島根県の3圃場、2021年度は石川県の1圃場を対象として、降水、灌漑水(用水路内の水)、田面水、5~100cm深度の土壌水、暗渠排水、地下水について高頻度で採水を行った。採水項目は圃場や年度によって若干異なる。降水については約1ヶ月間の降った降水を蒸発防止を施したボトルに貯めて回収した。土壌水については各圃場の排水口近くに、先端がポーラスカップでできた土壌水採取器を田面下5~100cmの範囲で最大7深度に設置した。-60 kPaで減圧吸引して土壌水をフラスコに集水し、24時間以内に回収した。2021年度には、1圃場で水田直上の0.3m、2.0m、10mの複数高度で大気水蒸気を捕集し、コールドトラップを用いてサンプルを得た。また、各高度において温湿度の計測を行った。

水田で湛水深、水温、気温、土壌水分量、地温を5~10分間隔で連続観測した。土壌サンプリングも行い透水係数などの土壌物理性試験を行った。隣接する気象データを収集した。

水試料の $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ は、水同位体比アナライザーで分析した。測定誤差は $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ それぞれ0.03‰、0.05‰である。

#### (2) モデル化

同位体比とは各同位体の存在割合(モル比)であり、酸素の場合は $R=^{18}\text{O}/^{16}\text{O}=[^1\text{H}_2^{18}\text{O}]/[^1\text{H}_2^{16}\text{O}]$ 、水素の場合は $R=^2\text{H}/^1\text{H}=[^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}]/[^1\text{H}_2^{16}\text{O}]$ となる。同位体比 $R$ は通常 $10^{-3}\sim 10^{-4}$ と極めて小さいため(1)式のように標準試料の同位体比 $R_{std}$ からの千分偏差によって表現される( $\delta$ 表現)。また、一般的な溶質と同じように濃度で表現する場合は(2)式となる。

$$\delta_i = \frac{R_i - R_{std}}{R_{std}} \times 1000 \quad (1) \quad C_i = R_i \frac{M_i}{M_w} \rho \quad (2)$$

ここで、 $M_i$ と $M_w$ はそれぞれ重い水分子(同位体を含む水)、軽い水分子(同位体を含まない水)のモル質量 $[\text{mol M}^{-1}]$ 、 $\rho$ は密度 $[\text{ML}^{-3}]$ である。

##### (i) 田面水の同位体変動モデル

降水および灌漑水の同位体比、水田湛水深のデータを用いて、日単位の水田内の水収支と同位体収支に基づき田面水の同位体変動表現するモデルを作成した。水田への灌漑や水田からの排水の時間等を正確に把握するのは困難であること、気象要素も日単位データがもっとも入手が要因であることを考慮して、計算時間間隔は1日とした。日単位のモデルで田面水の観測値をどこまで再現することができるかを検討した。

水田内の水収支と同位体収支はそれぞれ以下の式で表される。

$$\frac{dH}{dt} = R + I - D - P - E \quad (3) \quad , \quad \frac{dHC_L}{dt} = RC_R + IC_I - DC_D - PC_P - EC_E \quad (4)$$

ここで、 $H$ は水田湛水深、 $R$ は降水量[L T<sup>-1</sup>]、 $I$ は灌漑取水量[L T<sup>-1</sup>]、 $D$ は地表面排水量[L T<sup>-1</sup>]、 $P$ は浸透量[L T<sup>-1</sup>]、 $E$ は蒸発量[L T<sup>-1</sup>]、 $C_L$ 、 $C_R$ 、 $C_I$ 、 $C_D$ 、 $C_P$ 、および $C_E$ はそれぞれ田面水、降水、灌漑水、排水、浸透水、蒸発する水蒸気の同位体濃度[ML<sup>-3</sup>]である。水田内で完全混合を仮定すれば $C_L = C_D = C_P$ となる。 $C_R$ および $C_I$ は観測値、 $C_E$ は蒸発によって生じる水蒸気同位体比 $R_E$ を(5)式のCraig-Gordonモデルを用いて推定し、(2)と $\rho_w$ を用いて液相内の同位体濃度 $C_E$ に変換して与えた。 $R$ は観測値、 $P$ の夜間の減水深から推定値、 $I$ と $D$ は(3)式から推定した。

$$R_E = \frac{1}{\alpha_{ik}} \frac{R_L - hR_A}{1-h} \quad (5) \quad \alpha^+ = \frac{R_i^l}{R_i^v} > 1 \quad (6) \quad \text{例えば} \alpha_{ik} = \left( \frac{D_i^v}{D_i^l} \right)^n > 1 \quad (7)$$

ここで、 $h$ は水温に対して基準化された相対湿度、 $R_A$ は大気水蒸気同位体比、 $\alpha^+$ は平衡分別係数とよばれ液相 $R_i^l$ と気相 $R_i^v$ の間での重い水分子の配分比率である。同位体平衡にあるとき重い(同位体比の高い)水分子は液相に偏在することを表現しており、これによる同位体比変化を平衡同位体分別作用という。 $\alpha_{ik}$ は動的同位体分別係数とよばれ軽い水分子、重い水分子の水蒸気の静止大気中の分子拡散係数(それぞれ $D_i^v$ 、 $D_i^l$ )の比を用い(7)式のようにいくつか提案されている。水面から蒸発するとき重い水分子より軽い水分子が速やかに輸送され重い水分子は液相に凝縮される。これによる同位体比変化を動的同位体分別作用という。(5)式には $R_L$ が含まれるため蒸発の影響を受ける前の田面水の同位体濃度 $C_{Lnf}$ を設定し、これを $R_L$ に変換して(5)に与えた。また、 $R_A$ を水田直上0.3mでの大気水蒸気同位体比の観測値を与える(Case 1)、降水観測値と同位体平衡にあると仮定した推定値 $R_A = R_R/\alpha^+$ を与える(Case 2)で計算を行った。

時間間隔を1日とし、0時の湛水深 $H_1$ と田面水の同位体濃度 $C_{L1}$ 、1日後の湛水深 $H_2$ と田面水の同位体濃度 $C_{L2}$ とする。 $C_{Lnf}$ は水田内での同位体濃度の異なる水の混合によって決まり① $R$ と $I$ の流入( $C_{L1}$ から $C_{Lnf}$ 、(8)式)、② $D$ と $P$ の流出( $C_{Lnf}$ のまま)、そして③ $E$ が生じる( $C_{Lnf}$ が $C_{L2}$ )、と仮定して(9)式によって田面水の同位体濃度 $C_L$ を計算した。降水や灌漑のタイミングによっては蒸発後に混合が生じることや、混合・蒸発が同時に生じることも想定されるが、上記の計算過程で、田面水がどの程度の精度で再現されるか検証した。

$$C_{Lnf} = \frac{H_1 C_{L1} + RC_R + IC_I}{H_1 + R + I} \quad (8) \quad C_{L2} = \frac{(H_1 + R + I - D - P) \frac{H_1 C_{L1} + RC_R + IC_I}{H_1 + R + I} - EC_E}{H_2} \quad (9)$$

## (ii) 鉛直1次元同位体輸送モデル

Braud et al.(2005)およびZhou et al. (2021)の先行研究を参考にして、イネによる吸水を考慮して鉛直1次元の土壌内の同位体輸送を次式で与えた。

$$\frac{\partial(\theta C_i^l + (n-\theta)C_i^v)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} [q_i^l + q_i^v] - SC_i^l \quad (10)$$

ここで、 $\theta$ は体積含水率[L<sup>3</sup>L<sup>-3</sup>]、 $n$ は間隙率[L<sup>3</sup>L<sup>-3</sup>]、 $t$ は時間[T]、 $z$ は深さ[L]、 $S$ は植物根による吸収などの吸い込み[T<sup>-1</sup>]、 $C_i^l$ は液相の同位体濃度[ML<sup>-3</sup>]、 $C_i^v$ は気相の同位体濃度[ML<sup>-3</sup>]、 $q_i^l$ は液相の同位体フラックス[MT<sup>-1</sup>]、 $q_i^v$ は気相の同位体フラックス[MT<sup>-1</sup>]である。土壌内の気相内の

水蒸気と液相内の水が同位体平衡にあると仮定し、 $C_i^v = \beta_i^* C_i^l$ 、 $\beta_i^* = \frac{1}{\alpha^+} \frac{\rho_v}{\rho_w}$ となる係数を用い同位体フラックスを移流分散方程式で表すと次式となる。

$$\frac{\partial \left[ \left[ \theta + (n-\theta)\beta_i^* \right] C_i^l \right]}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left[ q_i^l C_i^l - D_i^{l*} \frac{\partial C_i^l}{\partial z} + \beta_i^* q_i^v C_i^l - D_i^{v*} \frac{\partial \beta_i^* C_i^l}{\partial z} \right] - SC_i^l = -\frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( q_i^l + \beta_i^* q_i^v - D_i^{v*} \frac{\partial \beta_i^*}{\partial z} \right) C_i^l - (D_i^{l*} + D_i^{v*} \beta_i^*) \frac{\partial C_i^l}{\partial z} \right] - SC_i^l \quad (11)$$

ここで、 $q_i^l$ は水フラックス[L T<sup>-1</sup>]、 $q_i^v$ は水蒸気フラックス[L T<sup>-1</sup>]、 $D_i^{l*}$ は重い水の液相内の拡散係数[L<sup>2</sup> T<sup>-1</sup>]、 $D_i^{v*}$ は重い水蒸気の気相内の拡散係数[L<sup>2</sup> T<sup>-1</sup>]である。 $\Theta_i = \theta + (n-\theta)\beta_i^*$ 、

$Q_i^{l*} = q_i^l + \beta_i^* q_i^v - D_i^{v*} \frac{\partial \beta_i^*}{\partial z}$ 、 $D_i^{l**} = D_i^{l*} + D_i^{v*} \beta_i^*$ とおくと、(12)式のように書き換えることができる。

$$\frac{\partial [\Theta_i C_i^l]}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left[ Q_i^{l*} C_i^l - D_i^{l**} \frac{\partial C_i^l}{\partial z} \right] - SC_i^l \quad (12)$$

HYDRUS-1 (Šimůnek et al., 2013) を用いて鉛直 1 次元の水・水蒸気・熱の移動解析を行い、水・水蒸気フラックスや体積含水率  $\theta$  などの計算結果を同位体輸送モデルの入力値とした。Craig-Gordon モデルの  $R_E$  を考慮して上端境界条件を設定した。

#### 4. 研究成果

複数圃場で観測を実施したが、唯一複数年の観測値が得られた石川県立大学内の圃場での結果を以下にまとめる。

##### (1) 現地観測

地表水と田面水のバイオリン図を図 1 に示す。降水加重平均値は  $-8.7\text{‰}$  であり、降水量効果等の影響を受けて大きく変動する。一方、変動量がもっとも少ないのは河川水となる。流域標高が高い手取川がもっとも低く降水量効果により降水の  $\delta^{18}\text{O}$  が低くなる夏季の一部時期を除いて地表水の  $\delta^{18}\text{O}$  の大小は、田面水 > 降水 > 河川水  $\approx$  灌漑水という傾向を示す。田面水の同位体比は 5 月が  $-5\text{‰}$  程度ともっとも高く、その後 6 月、7 月、8 月の順に値が小さくなる傾向を示す。イネの生長による日射の遮断、中干しによる透水性の増加（水田内の滞留時間の減少）などの影響があると考えられる。9 月以降は稲刈り後に採水したサンプルが含まれ、7・8 月より同位体比が高い。地下水涵養源の評価のための指標には涵養源間で値に大きい差異を有することが望ましい。灌漑水と水田における同位体比の差異は、中央値と比較して 5 月に  $\delta^{18}\text{O}$  で  $5\text{‰}$  以上あるといえる。一方で、8 月は非常に小さくとどまることがわかった。

図 2 に大気水蒸気と土壌水の鉛直プロファイルを示す。水田土壌水の  $\delta^{18}\text{O}$  は、20 cm 深さまでの土壌水の同位体比が高くかつ同位体比の変動量が大きいことがわかる。中干し前後では 5~20 cm の土壌水はより深い深度の土壌水より  $\delta^{18}\text{O}$  が高くなる傾向がある。2021 年の観測値は深度 50 cm 以深の土壌水は  $\delta^{18}\text{O}$  がおよそ  $-8\text{‰}$  の値に収束しており、9 時点における  $\delta^{18}\text{O}$  の変化量は  $1\text{‰}$  以下となっている。これは、土壌水が浸透過程で移流分散の働きを受けて均質化していくことを示唆している。しかしながら、2019 年~2021 年の 3 灌漑期に行った観測より浸透過程の均質化の程度が異なることがわかった。

水田直上で採取した大気水蒸気については、重い同位体は液相に、軽い同位体は気相に偏在するため、田面水などのいずれの液相と比較して  $\delta^{18}\text{O}$  は低い。大気水蒸気はバックグラウンド水蒸気に地表面からの蒸発（あるいは蒸発散）によるローカル水蒸気の混合によって決まる。そのため、一般的には地表面付近ではローカル水蒸気の影響が大きく、水面から鉛直方向に離れるほどバックグラウンド水蒸気の影響が大きくなる。Keeling plot とよばれる気体濃度（水蒸気の場合、混合比や絶対湿度）の逆数を横軸、その気体の  $\delta$  値を縦軸としたダ

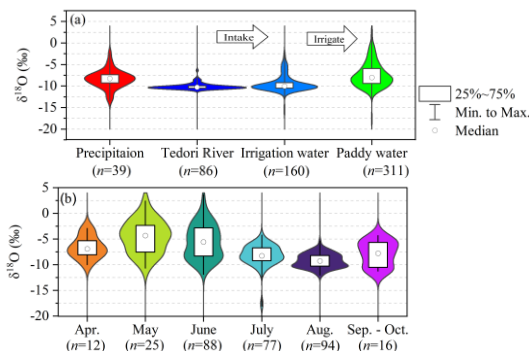


図 1 地表水の箱ひげ図とバイオリン図（田面水以外：2016~2020 年，田面水：2018~2020 年）

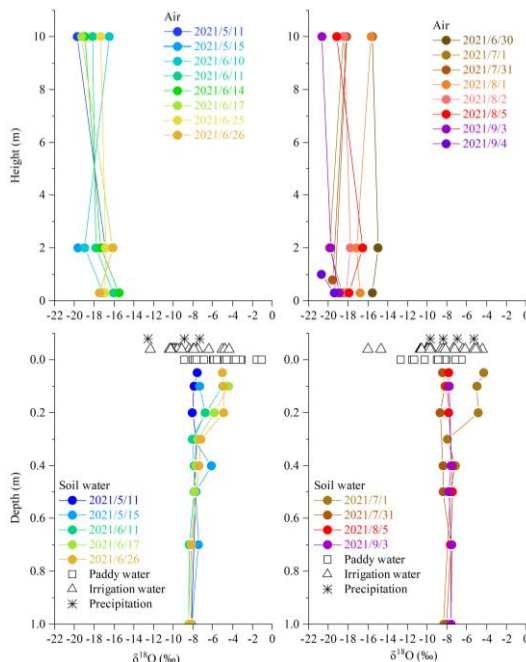


図 2 大気、土壌水の同位体比の鉛直プロファイル (2021 年)

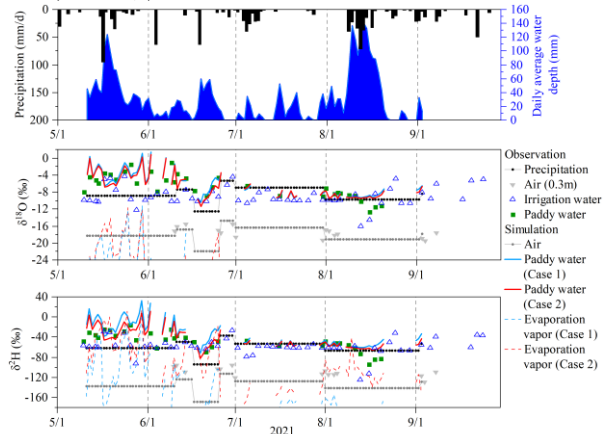


図 3 降水および湛水深の経時変化，同位体比の観測値と計算値の経時変化 (2021 年)

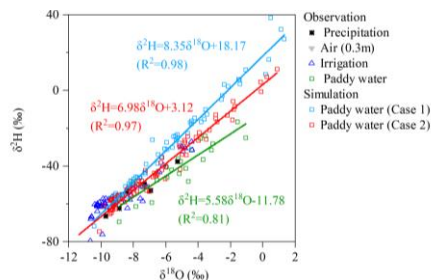


図 4  $\delta$  ダイアグラム (2021 年)

イアグラムを用いて、ローカル水蒸気を推定する方法がある（山中，2020）．しかしながら，今回測定した0.3～10 m 高度間の比較では大気水蒸気に大きな差異は認められず，バックグラウンド水蒸気およびローカル水蒸気の同位体比を定量化することはできなかった．

降水，大気水蒸気，田面水，灌漑水の同位体比の経時変化を図3に示す．図1に示したように中干し前の5月，6月には田面水は灌漑水より高く，8月は田面水と灌漑水の差異は小さい．大気水蒸気については， $\delta^{18}\text{O}$ は観測値と降水と同位体平衡を仮定した推定値がおよそ一致していたが， $\delta^2\text{H}$ は観測値が推定値より高くなることがわかった．Craig-Gordonモデルで推定した蒸発による水蒸気同位体比については $\delta^{18}\text{O}$ では降水より低いが， $\delta^2\text{H}$ では降水と同程度と高くなる時期もあり，これが $\delta^2\text{H}$ の大気水蒸気が観測値と推定値で異なった要因であると考えられる．

## （2）同位体変動および輸送モデル

### （i）田面水の同位体変動モデル

日単位の水・同位体収支モデルの計算結果を図3に示す．大気水蒸気の観測値を用いたCase 1では $\delta^2\text{H}$ の計算値は観測値に対して過大推定する結果となった．Case 2では，比較的良好に田面水の同位体比が再現されているといえる．図4に $\delta$ ダイアグラムを示す． $\delta$ ダイアグラム上の回帰直線（蒸発線）の傾きは，平衡同位体分別作用を受けるときは傾きが8，動的同位体分別作用を受けるときは8より小さくなることが知られている．傾きについては，観測値は5.58，Case 1は8.35，Case 2は6.98であった．Case 1よりもCase 2で酸素と水素の同位体の関係が再現されているものの，傾きが観測値よりも過大に再現されたため，大気水蒸気同位体比の与え方を検討していく必要がある．今回は水収支成分の $R$ や $P$ は観測値で与えたが，これら水収支成分が田面水の同位体変動に与える影響を感度解析により明らかにすることが重要である．

### （ii）鉛直1次元同位体輸送モデル

同位体移動モデルにおいて地表面からの深度が大きくなるほど土壌水の同位体濃度の均質化される傾向は再現されたものの，地表付近の土壌水の同位体濃度の再現性の向上が課題となった．土壌の不飽和浸透解析では浸潤前線の前後で水フラックスが大きく変化するとき，移流によって同位体濃度も大きく変化した．また，取出ら（2006）が指摘するように水田特有の土壌構造である作土，粘土の耕盤層，下層土の成層土を考慮すると体積含水率 $\theta$ や分散長が境界面で不連続に変化するため濃度も境界面で不連続となった．今回モデル化では現地採取した土壌サンプルと土壌物理性試験から土壌水分特性パラメータを推定して用いた．Sprenger et al.（2015）は，土壌水分特性パラメータと分散長を複数の逆同定プログラムを用いて推定している．したがって，土壌水の同位体濃度が再現されるような各種パラメータの同定，およびパラメータの感度解析が今後の課題である．

## 5. 今後の研究展開

高頻度に水田周辺で水と水蒸気同位体観測および水文観測値に基づいて水田の地表面および土壌内のモデル化を検討した．当初，大気水蒸気を文献値で与えていたが，計算誤差が大きくなったことから，最終年度に大気水蒸気の観測を追加して行うことになった．アイソスケープモデルを用いて同位体比の変動が比較的大きい降水や大気水蒸気などの同位体比の精度の良い推定値を得ることができれば，観測労力を減らした上で同位体モデリングによる水田域の大気-陸面系の水循環（例えば，大気-水田-地下水）の評価が可能となる．

### <引用文献>

- Gibson et al. (2016) Stable isotope balance of lakes: a contemporary perspective, *Quaternary Science Reviews* 131, 316-328.
- Sprenger et al. (2016). Illuminating hydrological processes at the soil-vegetation-atmosphere interface with water stable isotopes, *Reviews of Geophysics* 54, 674-704.
- Zhou et al. (2021) Adapting HYDRUS-1D to simulate the transport of soil water isotopes with evaporation fractionation, *Environmental Modelling & Software*, 143, 105118.
- Braud et al. (2005) SiSPAT-Isotope, a coupled heat, water and stable isotope (HDO and H218O) transport model for bare soil. Part I. Model description and first verifications, *Journal of Hydrology*, 309(1-4), 277-300.
- Šimůnek et al. (2013) The Hydrus-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.17, HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California
- 山中（2020）環境同位体による水循環トレーシング，共立出版，p.258
- 取出ら（2006）土中の溶質移流分散モデルにおける境界条件，土壌の物理性，104, pp.75-84.
- Sprenger et al. (2015) Estimating flow and transport parameters in the unsaturated zone with pore water stable isotopes, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, pp. 2617-2635,
- Stumpp et al. (2012) Spatial and temporal dynamics of water flow and solute transport in a heterogeneous glacial till: The application of high resolution profiles of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  in pore waters, *Journal of Hydrology*, 438-439, pp.203-214.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yumi Yoshioka, Hidekazu Yoshioka	4. 巻 16(1)
2. 論文標題 Spatiotemporal variability of hydrogen stable isotopes at a local scale in shallow groundwater during the warm season in Tottori Prefecture, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Hydrological Research Letters	6. 最初と最後の頁 25-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3178/hrll.16.25	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村公人, 堀野治彦, 松澤拓海, 吉岡有美, 濱武英	4. 巻 63(3)
2. 論文標題 扇状地水田地域における補助水源としての地下水利用の実態 愛知川扇状地を事例として	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本地下水学会誌	6. 最初と最後の頁 105-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshioka Yumi, Nakamura Kimihito, Takimoto Hiroshi, Sakurai Shinji, Nakagiri Takao, Horino Haruhiko, Tsuchihara Takeo	4. 巻 34
2. 論文標題 Multiple indicator study of the response of groundwater recharge sources to highly turbid river water after a landslide in the Tedoru River alluvial fan, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Hydrological Processes	6. 最初と最後の頁 3539 ~ 3554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/hyp.13796	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉岡有美, 吉岡秀和, 中村公人, 中桐貴生, 櫻井伸治, 堀野治彦, 瀧本裕士
2. 発表標題 酸素・水素安定同位体比による水田主体扇状地の地下水涵養源評価の可能性
3. 学会等名 水文・水資源学会 / 日本水文科学会2021年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡有美, 吉岡秀和, 中村公人, 中桐貴生, 櫻井伸治, 堀野治彦, 瀧本裕士
2. 発表標題 酸素・水素安定同位体比による水田主体扇状地の地下水涵養源評価の可能性
3. 学会等名 水文・水資源学会 / 日本水文科学会2021年度研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡有美, 増本隆夫, 辻本久美子, 伊藤祐二
2. 発表標題 乾季におけるトンレサップ湖周辺における地表水および地下水の酸素・水素安定同位体比特性について
3. 学会等名 JpGU-AGU Join Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中桐貴生, 松本武志, 堀野治彦, 大串健一, 藪崎志穂, 陀安一郎, 吉岡有美, 櫻井伸治
2. 発表標題 安定同位体比を用いた水田農業が河川流況に及ぼす影響の定量評価
3. 学会等名 JpGU-AGU Join Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉岡有美, 中村公人, 瀧本裕士, 中桐貴生, 櫻井伸治, 堀野治彦, 吉岡秀和
2. 発表標題 田面水と土壌水の酸素安定同位体比の経時変化
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中桐貴生, 松本武志, 大串健一, 吉岡有美, 堀野治彦, 藪崎志穂, 陀安一郎, 櫻井伸治
2. 発表標題 水の安定同位体比を用いた水田農業による河川流況への影響評価
3. 学会等名 2020年度農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川勝大誠, 堀野治彦, 中桐貴生, 櫻井伸司, 吉岡有美
2. 発表標題 水質成分構成をもとにした手取川扇状地における地下水涵養源の分類
3. 学会等名 第77回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯田真基, 飯塚天嶺, 吉岡有美
2. 発表標題 宍道湖西岸農地地区における地下水の水質・水文特性
3. 学会等名 第75回農業農村工学会中国四国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉岡有美, 中村公人, 瀧本裕士, 櫻井伸治, 中桐貴生, 堀野治彦, 土原健雄
2. 発表標題 斜面崩壊前後の手取川扇状地における8月の地下水涵養機構に関する評価
3. 学会等名 2019年度(第68回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 中村公人, 錦 ありさ, 吉岡有美, 瀧本裕士
2. 発表標題 田面水の酸素・水素安定同位体比の非正常モデリング
3. 学会等名 2019年度(第68回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡有美, 中村公人, 瀧本裕士, 櫻井伸治, 中桐貴生, 堀野治彦, 土原健雄
2. 発表標題 酸素・水素安定同位体比と微量元素による水田主体扇状地の地下水涵養源評価の可能性
3. 学会等名 日本地下水学会2019年秋季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相間美菜子, 中村公人, 吉岡有美, 瀧本裕士, 中桐貴生, 櫻井伸治, 堀野治彦
2. 発表標題 水田土壌水の酸素・水素安定同位体比の鉛直分布
3. 学会等名 第9回同位体環境学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬口恋妙, 中村公人, 吉岡有美, 瀧本裕士, 中桐貴生, 櫻井伸治, 堀野治彦
2. 発表標題 田面水の酸素・水素安定同位体比の経時変化と灌漑排水管理
3. 学会等名 第9回同位体環境学シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計5件

1. 著者名 陀安一郎, 申基澈, 鷹野真也編、吉岡有美分担執筆	4. 発行年 2022年
2. 出版社 総合地球環境学研究所	5. 総ページ数 248
3. 書名 同位体環境学がえがく世界：2022年版	

1. 著者名 陀安一郎, 申基澈, 鷹野真也編、中桐貴生分担執筆	4. 発行年 2022年
2. 出版社 総合地球環境学研究所	5. 総ページ数 248
3. 書名 同位体環境学がえがく世界：2022年版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中村 公人  (Nakamura Kimihito)  (30293921)	京都大学・農学研究科・教授   (14301)	
研究分担者	中桐 貴生  (Nakagiri Takao)  (80301430)	大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教授   (24403)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------