

水田地域における降水・地表水・地下水の水素・酸素安定同位体比
及び ^{17}O -excess の分布特性
Distributions of hydrogen and oxygen isotopic compositions and ^{17}O -excess of rainwater,
surface water and groundwater in paddy area

○土原健雄*, 吉本周平*, 白旗克志*, 石田 聡*

TSUCHIHARA Takeo, YOSHIMOTO Shuhei, SHIRAHATA Katsushi, ISHIDA Satoshi

1. はじめに

水田地域における地下水の流れを評価するためには、降水、河川水の浸透に加えてかんがいによって湛水された田面からの浸透等の複数の涵養源を考慮する必要がある。地下水流動を知るための手段の一つとして水質等の指標が環境トレーサーとして適用され、中でも水の安定同位体比 (δD , $\delta^{18}\text{O}$) はその空間的・時間的な分布特性が広く活用されている。一方で、もう一つの酸素安定同位体である ^{17}O については、 $\delta^{17}\text{O}$ と $\delta^{18}\text{O}$ の関係からのズレ; ^{17}O -excess が見出され、同位体分別を分類する指標としての活用の可能性が期待されてきている。しかし、測定法の制約等から国内の天水の ^{17}O -excess の測定例は皆無に等しく、水田地域の複数の涵養源、蒸発を受けた田面水についても ^{17}O -excess 分布は明らかとはなっていない。ここでは、茨城県つくば市・稲敷市において、降水、河川水、地下水及びかんがい用水、田面水について $\delta^{17}\text{O}$, ^{17}O -excess の分析を行い、その分布特性、変動特性を明らかにするとともに、他の同位体との関係、指標性についての検討を行った。

2. 調査地概要及び研究方法

調査地は、茨城県つくば市及び稲敷市であり、県中央部から西部に広がる洪積台地に位置する。同位体分析用の試料水は、つくば市において降水、河川水 (谷田川)、田面水、地下水、稲敷市において田面水、かんがい用水を 2014 年 4 月～2015 年 3 月にかけて採取した。採水頻度は 1 週間に 1 度であり、降水については 1 ヶ月に 1 度とした。なお、田面水、かんがい用水についてはかんがい期間 (5～9 月) のみ採取を行った。地下水は、深度 32m、オールストレーナの観測孔から、水面直下及び地表から 15m の深度において井戸用採水器により採取した。地下水面は更新統の砂質土中にあり、降水に応答して地下水水位が変化する。試料

水の δD , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$ は、波長スキャンキャビティリングダウン分光法を用いる Piccaro 社製 L2140-i により測定を行った。 δD , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$ のそれぞれの測定誤差は 0.5‰, 0.05‰, 0.05‰以下であった。

^{17}O -excess は傾き 0.528 の天水線からのズレとして次式のように表される¹⁾。

$$^{17}\text{O}\text{-excess} = \delta^{17}\text{O} - 0.528 \times \delta^{18}\text{O} \quad (1)$$

ここで、 $\delta^*\text{O} = \ln(\delta^*\text{O} + 1)$ である (*は 17, 18 を表す)。 ^{17}O -excess を求める際には、正規化した $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{17}\text{O}$ を用いた^{2),3)}。また、自然界の ^{17}O -excess の変動は小さいため、per mil (‰, 10^{-3}) ではなく、per meg (10^{-6}) で表記を行う。

3. 結果及び考察

Fig.1 に $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係を示す。降水はおおむねつくば市の天水線⁴⁾に沿って分布しており、かんがい用水 (霞ヶ浦湖水)、地下水の $\delta^{18}\text{O}$, δD は、降水よりやや高い値を示す。また、田面水の $\delta^{18}\text{O}$, δD は天水線の傾き 8 からずれて分布しており、蒸発の影響が見られる。

Fig.2 に $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{17}\text{O}$ の関係を示す。サンプルが示す傾きは、平衡分別と動的分別の両方の過程を

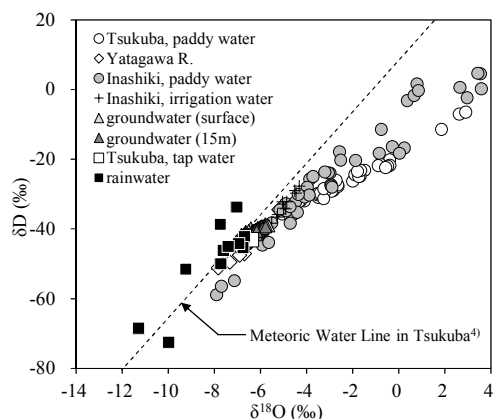


Fig.1 : 降水、地表水、地下水の $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係
 $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD of rainwater, surface water and groundwater

* 農研機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering

キーワード：水素・酸素安定同位体比, $\delta^{17}\text{O}$, ^{17}O -excess, 降水, 地下水, 田面水

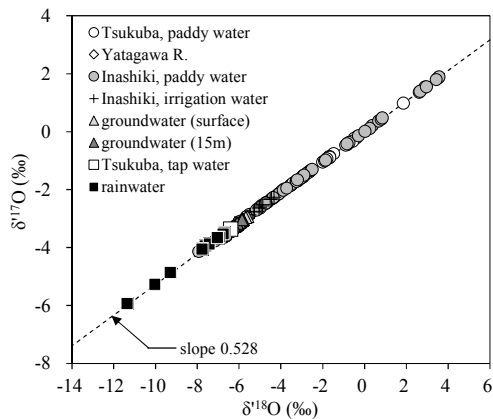


Fig.2: 降水, 地表水, 地下水の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{17}\text{O}$ の関係
 $\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^{17}\text{O}$ of rainwater, surface water and groundwater

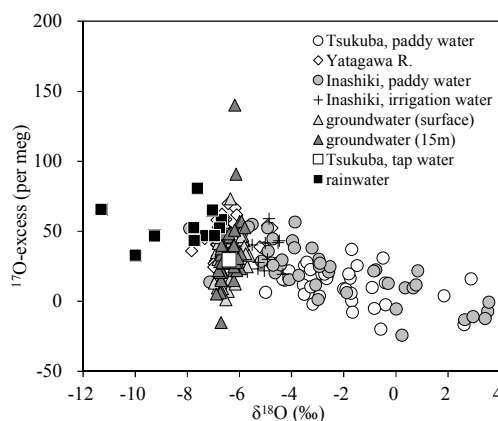


Fig.3: 降水, 地表水, 地下水の $\delta^{18}\text{O}$ と ^{17}O -excess の関係
 $\delta^{18}\text{O}$ vs. ^{17}O -excess of rainwater, surface water and groundwater

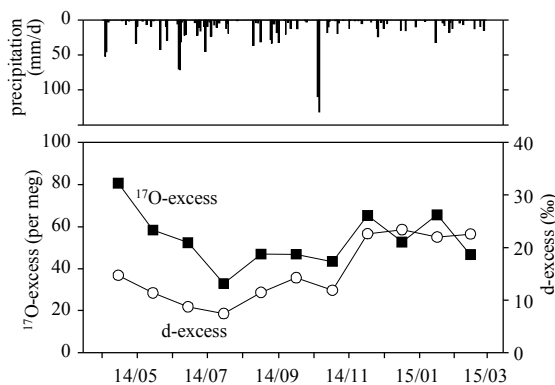


Fig.4: 降水の ^{17}O -excess, d-excess の変動
 Variations of ^{17}O -excess and d-excess of rainwater

反映した結果として表れる。天然水中の平衡分別と動的分別が混合した状態の傾きが 0.528⁵⁾であり、降水の傾き 0.529 はこれに近い値を示す。一方で、水田で採取した田面水の傾きは、つくば市: 0.525, 稲敷市: 0.523 と小さく、蒸発による動的分別 (傾き 0.518^{1),6)} の影響が大きいと推察され

る (ここでの決定係数 R^2 はいずれも 0.999)。

Fig.3 に $\delta^{18}\text{O}$ と ^{17}O -excess の関係を示す。降水の ^{17}O -excess は 33~81 per meg を示し、降水量加重平均は 51 per meg であった。これは各地の天水の平均値の 37 per meg⁷⁾, カナダの積雪の 43 per meg⁸⁾ と同程度である。一方、蒸発の影響を受けた田面水は、 $\delta^{18}\text{O}$ が増加し、 ^{17}O -excess は減少する傾向がみられた。これは、蒸発した水蒸気の ^{17}O -excess は動的分別の影響により増加するが、残留する田面水の ^{17}O -excess が減少するためと考えられ、湛水中の ^{17}O -excess の変化が示された。

Fig.4 に降水の ^{17}O -excess と d-excess (= $\delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$) の変動を示す。図中の降水の日付は降水採取期間 (平均 30 日間) の中間日としている。 ^{17}O -excess は春から夏にかけて減少し、秋から冬にかけてやや高い値を示す傾向にある。 ^{17}O -excess は温度にあまり依存せず湿度に依存して変化することから¹⁾, 降水が生成された地域を反映していると考えられる⁹⁾。乾燥した大気が日本海上で急速に水蒸気を含んで生成される冬季の降水は ^{17}O -excess が大きくなり、逆に夏季の湿潤な太平洋側で生成された降水は ^{17}O -excess が小さくなることが考えられる。生成された降水の場所の違いが ^{17}O -excess の差として現れている可能性がある。

4. おわりに

^{17}O -excess は、水循環における水の起源を知る指標として、季節変化を表す d-excess の追加的な情報として用いることができると考えられる。また、涵養源の一つである田面水については、蒸発に伴う ^{17}O -excess の変化が観測されており、蒸発による損失量を知るための指標としての活用の可能性がある。今後は茨城県での観測を継続するとともに、降水パターンや立地の異なる他地域の観測を追加し、データの蓄積を行う予定である。

引用文献

- 1) Barkan, E., Luz, B. (2007), *Rapid Commun. Mass Spec.*, 21, 2999–3005,
- 2) Schoenemann, S.W. et al. (2013), *Rapid Commun. Mass Spec.*, 27, 582–590,
- 3) Steig, E.J. et al. (2014), *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 2421–2435,
- 4) 藪崎志穂, 田瀬則雄 (2005), 水文・水資源学会誌, 18(5), 592–602,
- 5) Meijer, H.A., Li, W.J. (1998), *Isotop. Environ. Health Stud.*, 34, 349–369,
- 6) Young, E.D. et al. (2002), *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 66, 1095–1104,
- 7) Luz, B., Barkan, E. (2010), *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 74, 6267–6286,
- 8) Lin, Y. et al. (2013), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 110(39), 15608–15613,
- 9) Li, S. et al. (2011), *AGU Fall meeting abstracts*, PP21A-1765.