

野外に設置した水槽における酸素・水素安定同位体比の変動特性 Simulating the daily change in stable isotopic ratios of water stored in an open tank placed outside

○中桐貴生* 尾住さやか** 堀野治彦* 櫻井伸治*

○Takao NAKAGIRI*, Sayaka OZUMI**, Haruhiko HORINO*, Shinji SAKURAI*

1.はじめに 陸域における水の酸素・水素安定同位体比(以下,水同位体比)は流水経路や存在形態によって,明確な差異が生じることが知られており,この特性から流域における水循環過程を追跡できる有力なツールとして期待され,実践的な研究が進められている。

一方で,地表水における水同位体比の差異は,降水起源の水が地表到達後に受けた分別作用(特に蒸発による濃縮)の違いによるものであることは知られているものの,たとえば田面水が降水と蒸発を交互に受け続ける中で,同位体組成が具体的にどのように変化していくのかなどについては明らかではない。本研究では,蒸発濃縮プロセスに Gonfiantini 式¹⁾を適用し,野外に水槽を設置して計測された水同位体比の時系列データの再現結果から,その精度検証を行うとともに,自然環境下における水同位体比の長期的な変動特性についても考察した。

2.研究方法 (1)モデル式及び δ_a 値の推定 大気と接する水の同位体組成は,気相と液相間の相変化の際に生じる平衡分別と,蒸発が起きる際に生じる動的分別に左右される。この両分別を考慮した Gonfiantini 式は(1)式で示される。この式の適用には,大気中の水蒸気における酸素,水素それぞれの同位体組成 δ_a が必要となる。ここでは2015年6月9日~同年11月21日に大学学舎屋上(堺市)で貯留された12降水イベントの雨水とその後の蒸発過程を経験した貯水体の数時間毎の水量,水温,水同位体比及び,その時刻での湿度のデータを用いて, δ_a 値を逆推定し検討を行った。なお,計算に必要なパラメータ値は文献値²⁾を使用した。

$$\left. \begin{aligned} \delta_l &= \left[\left(10^{-3} \delta_{l0} - \frac{A}{B} \right) f_l^B + \frac{A}{B} \right] \times 10^3 \\ A &= \frac{h \cdot 10^{-3} \delta_a + 10^{-3} \Delta \varepsilon + 1 - \alpha^*}{1 - h + 10^{-3} \Delta \varepsilon} = \frac{h \cdot 10^{-3} \delta_a + 10^{-3} \varepsilon}{1 - h + 10^{-3} \Delta \varepsilon} \\ B &= \frac{h - 10^{-3} \Delta \varepsilon - (1 - \alpha^*)}{1 - h + 10^{-3} \Delta \varepsilon} = \frac{h - 10^{-3} \varepsilon}{1 - h + 10^{-3} \Delta \varepsilon} \end{aligned} \right\} (1)$$

δ_l : 液相の δ 値	ε : 有効同位体濃縮係数
δ_{l0} : 液相の初期 δ 値	$\Delta \varepsilon$: 動的同位体濃縮係数
δ_a : 大気水蒸気の δ 値	α^* : 平衡分別係数 α の逆数
f_l : 液相残存率	
h : 相対湿度	

(2) δ_l 値の追跡計算 別途,2017年5月10日~同年9月22日の間,大学学舎屋上に設置した水槽(縦49.5 cm×横33.5 cm×深さ30.5 cm)に貯められた水における,降水及び蒸発による同位体組成(δ_l 値)の変動追跡計算を日単位で行い,実測値と比較した。入力データ項目は降水量,気温,湿度,蒸発量である。降水量は設置した水槽近傍での実測データを用い,各降水の同位体比については過去に計測された31イベント分の雨水における水同位体比の変動範囲内の値をランダムに当てはめた。気温,湿度は気象庁の大阪市におけるデータを用い,蒸発量は同データからペンマン式で算出した値に係数 C_e を乗じたものを使用した。また,水槽の初期水深 H_0 は未計測だったため, C_e と併せてExcelのソルバー機能を利用し, δ_l 値の実測値と計算値のRMSEが最小となるように最適同定した。さらに,大阪市の気象データを用いて,2011年1月1日~2020年12月31日

* 大阪公立大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Osaka Metropolitan University

** 株式会社タクマ TAKUMA Co., Ltd.

キーワード:水の酸素・水素安定同位体比, Gonfiantini 式, 追跡計算, 長期的変動

の10年間における追跡計算を日単位で行い、 δ_l 値の長期的な変動特性を考察した。

3.結果および考察 (1) δ_a 値の推定 イベント別に行った雨水蒸発過程の測定結果に(1)式を適用し、各測定時における δ_a 値を逆推定した結果として、 ^{18}O の例を **Fig.1** に示す。水素、酸素それぞれの平均値 $\bar{\delta}_a \text{ } ^2\text{H} = -123 \text{ ‰}$ 、 $\bar{\delta}_a \text{ } ^{18}\text{O} = -19 \text{ ‰}$ に対し、標準偏差はそれぞれ $\sigma_a \text{ } ^2\text{H} = 42 \text{ ‰}$ 、 $\sigma_a \text{ } ^{18}\text{O} = 11 \text{ ‰}$ と相対的に大きく、**Fig.1** にも示されるように、 δ_a 値は1イベント内でも安定せず、明確な代表値は求められなかった。

(2) δ_l 値の再現性 **Fig.2** は、(1)式の δ_a に上で求めた $\bar{\delta}_a$ を一定値として与えて、 C_e 及び H_0 を最適同定した時の δ_l 値の再現結果を ^{18}O について実測値とともに例示したものである。また、 δ_a 値の変動による計算値への影響を考察するため、パラメータ値は変えずに δ_a を $\pm\sigma_a$ だけ変化させたときの計算結果も示している。 ^2H 、 ^{18}O のいずれも、**Fig.2** に示されるように、降水直後の δ_l 値が小さいところでは比較的精度良く再現されたものの、蒸発を受けて δ_l 値が大きくなるに従い、実測値からの乖離が大きくなった。また、 δ_a 値が標準偏差分ずれただけでも δ_l 値は比較的大きく異なり、 δ_a 値の適切な推定が δ_l 値の推定精度に大きく関わってくることを示唆された。

(3)長期的変動特性 δ_a 値として大胆ではあるが上記の $\bar{\delta}_a$ を与え、 H_0 は0.5~10 m、 δ_{i0} は ^2H について-110~130 ‰、 ^{18}O では-15~15 ‰の範囲内

での様々な組み合わせで10年分の追跡計算を行った。**Fig.3** は、このうち ^2H 、 ^{18}O それぞれについて、図中に示す3パターンの組み合わせでの結果を例示したものである。各初期値の与え方によって、初期における変動傾向は明らかに異なるものの、最終的には初期値によらず $\delta_l \text{ } ^2\text{H} = -22 \text{ ‰}$ 及び $\delta_l \text{ } ^{18}\text{O} = -2.2 \text{ ‰}$ に収束していく傾向がみられた。また、 H_0 すなわち貯水体の存在体積に応じて降水による影響度は変化すると想定され、 δ_l 値の降水に対する応答は、 H_0 が小さいほど敏感で、大きいほど鈍化する傾向にあった。

4.おわりに 適切な δ_a 値さえ求められれば、Gonfiantini 式を適用することで、野外の水における同位体組成の変動を実用的な精度で追跡できると思われた。ただし、 δ_a 値の推定あるいは代表値の決定方法については更なる検討が求められる。また、地表水は降水と蒸発を受け続けることで、地域に固有の同位体組成が形成されると推察された。

引用:1) Gonfiantini R. (1986):CHAPTER3, ENVIRONMENTAL ISOTOPES IN LAKE STUDIES., Handbook of Environmental Isotope Geochemistry 2, 2) 山中勤 (2020):環境同位体による水環境トレーシング (共立出版)

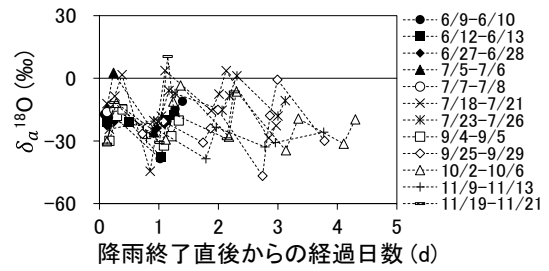


Fig.1 Results of inverse estimation of δ_a values for ^{18}O

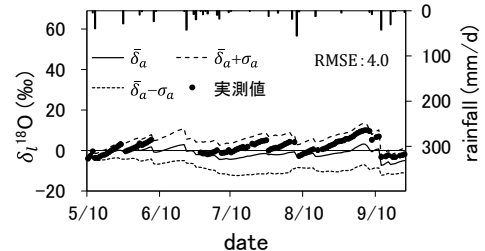


Fig.2 Calculation result of δ_l values of water in the tank

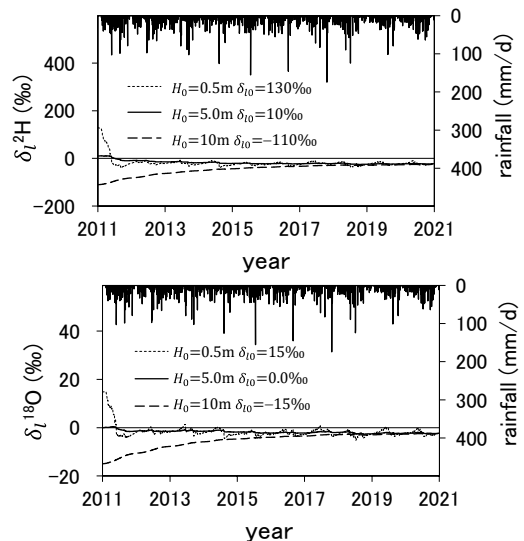


Fig.3 Long-term change in δ_l values