



水循環機構解明のための酸素と水素の 同位体比測定

Measurement of the isotope ratio of water
for the investigation of hydrologic cycles.

東京大学生産技術研究所

虫明・沖 研究室

1. はじめに

同じ元素に属する原子の中に、中性子数の違いから質量数の異なる原子（同位体）が存在する。水を構成する水素と酸素の中にも同位体（水素： ^1H 、 ^2H 、 ^3H 酸素： ^{16}O 、 ^{17}O 、 ^{18}O ）が存在する。これら同位体の中で質量2の ^2H はジウム（D）と呼ばれ、質量18の ^{18}O とともに $^1\text{HD}^{16}\text{O}$ 、 $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ 等の水の分子を作る。一般の水（ $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ ）に比べその存在比は少ないが、全ての天然水の中にある割合で含まれている。そのため、天然水に含まれる水素の同位体比 δD ($=\text{D}/\text{H}$) と酸素の同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ ($=^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) を測定することにより地球上の水循環を解釈する手がかりになると考えている。当研究室では、駒場キャンパスの水文環境実験室に同位体比測定の平衡装置 (EQ) と質量分析装置 (MASS) を導入し、身近に存在する天然水の δD と $\delta^{18}\text{O}$ を国際的に比較が可能な数値として算定することができるようになった。

2. 安定同位体比測定手順

平衡装置：24個のガラスベッセル内に白金触媒と水試料 (1ml) を入れ、水温 18°C の定温水槽に設置する。平衡ガス（酸素同位体比測定の場合は CO_2 ガス）を導入し攪拌しながら放置すると、やがて個々の容器内の CO_2 と H_2O の間で酸素同位体交換が行われ平衡に達する。平衡に達する時間は9時間程度である。水素同位体比測定の場合は、平衡ガスとして H_2 ガスを使用する。平衡に達する時間は約1時間である。

質量分析装置：平衡装置によって水試料と平衡になった CO_2 ガスは、電子ビームでイオン化され、電磁石によって加速され、さらに磁界によって偏向されて、最適にイオンソースをチューニングした計測装置に導入される。イオンの偏向量は質量と速度によってきまり、イオンの質量または速度が大きいほど偏向量が少ないことから質量の異なる同位体毎に測定できることになる。ここでは、水試料と平衡に達したガス (CO_2) の同位体比 (R_{samp}) とOZTガス (CO_2) の同位体比 (R_{ozt}) を交互に自動測定することで水試料の同位体比： $\delta^{18}\text{O}_{\text{samp}}/\text{ozt}$ (%) を以下の式から算出することができる。

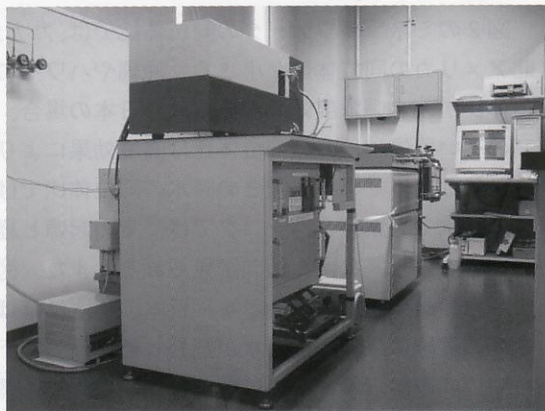


図1 安定同位体比測定装置

24個の水試料の測定時間は9時間である。

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{amp}/\text{ozt}} (\%) = (\text{R}_{\text{amp}}/\text{R}_{\text{ozt}} - 1) \times 1000$$

算出される同位体比($\delta^{18}\text{O}_{\text{amp}/\text{ozt}}$)はOZTガスに対する値であり、国際的に比較可能な数値(SMOW表示: $\delta^{18}\text{O}_{\text{amp}/\text{smow}}$)に変換しなければならない。そのため、世界共通の基準水:VSMOW(Vienna Standard Mean Ocean Water)、SLAP(Standard Light Antractic Precipitation)、GISP(Greenland Ice Sheet Precipitation)と、3種類の第二基準水が必要になる。当研究室では、第二基準水として同位体比の重い四国土佐沖の海水(KW)、同位体比の軽い南極昭和基地の水(AW)、中間的値の生研構内の水道水(SW)を用意して毎回の測定に使用している。また、測定誤差を取り除くために、VSMOW、SLAPの δD と $\delta^{18}\text{O}$ の測定値が公称値と一致するように係数によって補正することになる。

3. 初期的な安定同位体比測定結果

海洋を起源とした水は、降水となって陸域に運ばれ、その途中の経歴(温度効果、蒸発効果、緯度効果、高度効果、降水効果)を反映し様々な状態で存在している。その同位体比は、広い範囲にわたって変化するにもかかわらず、2つの同位体比 δD と $\delta^{18}\text{O}$ の間には一定の関係がある。その関係は、 $\delta\text{D}=8\delta\text{O}+d$ という直線で表される。今回の測定結果からもそのことが見て取れる。初期的な測定結果を図2から図4に示す。

図2のミネラルウォーターの同位体比では、カナダ、北アメリカの同位体比が小さく、沖縄やハワイの同位体比が大きい緯度効果が見られ、日本の場合、標高の高い甲信越地方の同位体比は高度効果により小さい値となっている。図3の降水の同位体比では、同じ降水でも東京とバンコクでは、その起源と経歴の相違により異なった傾向が見られる。また、図4に降水の蒸発効果の例を示す。日本の降水はほぼ傾き8の直線に載るが、降水が蒸発し続けると左下から右上の方向(傾き5)に同位体比が移行する蒸発効果がみられる。はじめて間もない研究であるが、いろいろと興味ある結果が得られつつある。

今後は、降水イベント、降水パターンにも注目して、さらに気象要素を取り入れ、蒸発時における運動学的効果の度合いを現わす切片(d値)の意味を理解することで水蒸気の生成起源や経過等、大気中の水循環機構を知る手がかりにすること、および、湧水、土壌水、河川水についても水質に加えて水循環経路を知る手がかりにすることを期待して研究を進めていく。

(執筆責任者:小池雅洋・芳村 圭・沖 大幹・虫明 功臣)

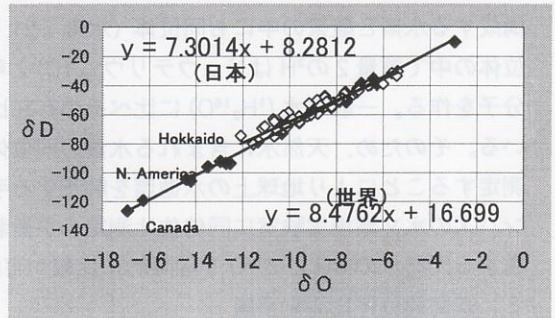


図2 ミネラルウォーターの同位体比

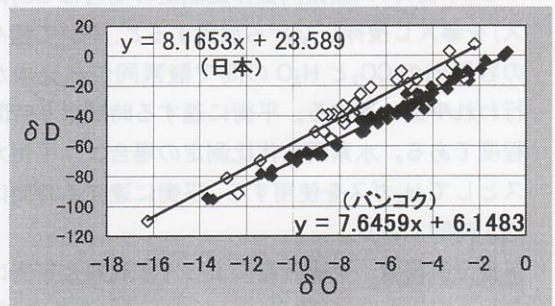


図3 降水の同位体比

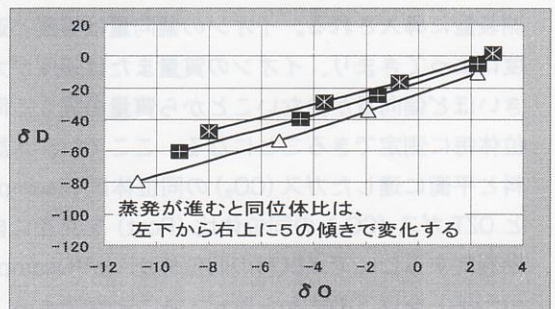


図4 降水の蒸発効果