

蒸発における水の酸素・水素同位体比の変化について

和歌山大学大学院システム工学研究科 学生会員 ○宮原 啓
和歌山大学システム工学部 正会員 井伊博行
和歌山大学大学院システム工学研究科 学生会員 宮路和葉

1 はじめに

近年，人間による乱雑な水使用により水不足の問題が起こっており，今後，計画的に水を使用していくことが求められる¹⁾．水資源管理を行う上でダムや貯水池の水の漏水量を把握することは重要である．一つの方法として蒸発パンを利用した蒸発量の推定が行われている．しかし，蒸発パンは実際の池と蒸発面積が異なるため，スケール効果により正確な蒸発量を測定することは困難である．また池の滞留時間が長い場合，現地での長期間の観測が必要となる．

同位体比を用いた蒸発に関する研究はAllison et al.²⁾，Gibson et al.³⁾などによって以前からなされており，蒸発量を求める方法も少なくはない．しかし，同位体比を用いた蒸発に関する式には様々なパラメータを含んでおり，値が分からないパラメータもあるので，実用化されていない．

そこで，本研究では気温といった全てのパラメータを考慮して計算するのではなく，湿度と同位体比を用いて蒸発に関する式を簡略化することを目的とした．ここでの蒸発率とは，蒸発量を蒸発する前の水量で割ったものである．

2 研究方法

蒸発実験は，低温恒温器と和歌山大学システム工学部B棟の屋上の常に日光が当たる場所に屋外簡易蒸発装置を設置し行った．蒸発実験は全部で 18 回行った．蒸発実験に使用した水は，和歌山大学の水道から採水したもので，その水を容量 5Lのポリビンと容量 2Lのポリビンに入れた．水を蒸発させている期間中，数日おきに質量を測定し，残量水の採水を行った．実験期間中の低温恒温器内の温度と湿度は，1 時間おきに記憶計により記憶し，そのデータを使用した．実験期間中の屋上の温度と湿度は，気象庁の気象統計情報の気象データを使用した⁴⁾．酸素同位体比・水素同位体比の測定は，水素・炭酸ガス平衡法によって前処理を行った後，同位体比測定用質量分析装置(Finnigan Mat Delta Plus) で測定した．

3 蒸発実験による水の同位体比の変化

水の同位体比は，空気中の水蒸気の同位体比と湿度

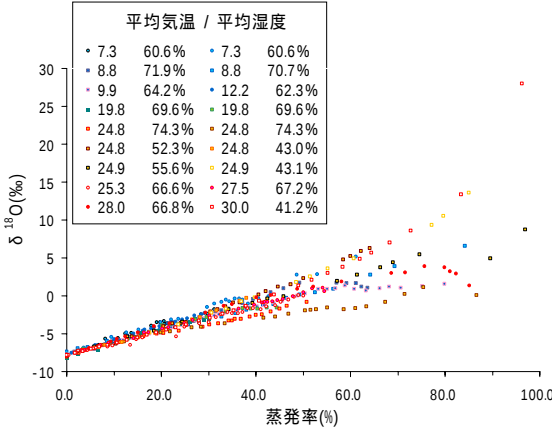


図 1 蒸発率とδ¹⁸Oの関係

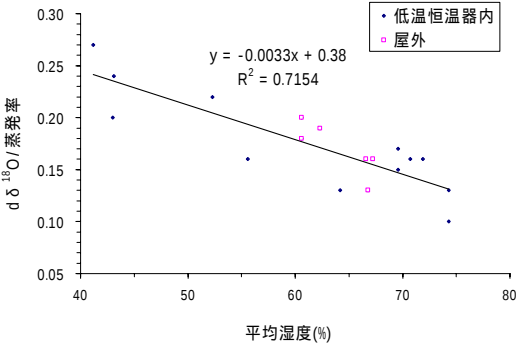


図 2 湿度とδ¹⁸O / 蒸発率の関係

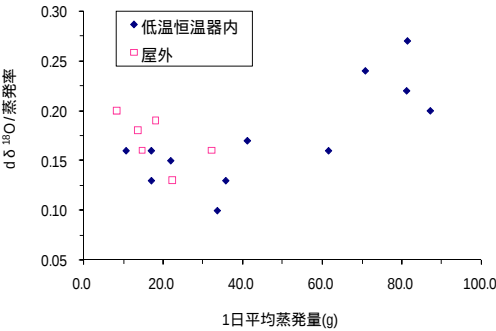


図 3 1日平均蒸発量とδ¹⁸O / 蒸発率の関係

によって支配されることが知られているので，湿度に着目し蒸発実験を行った．図 1 に蒸発率とδ¹⁸Oの関係を示す．どのサンプルも蒸発率が高くなるにつれて，酸素同位体比の値も大きくなっている．蒸発率が 0~40%まではおおそ同じような値をとっているが，蒸発率が 40%を超えると同じ蒸発率に対する酸素同位体比の値にばらつきがあった．蒸発に伴い水の同位体

キーワード 蒸発 同位体分別 水収支 湿度 天水
連絡先 〒640-8510 和歌山市栄谷 930 番地 和歌山大学システム工学部 TEL 073-457-8376

比の値が大きくなり、蒸発の仕方に変化が生じたと考えられる。図2に湿度と酸素同位体比の変化量($\delta^{18}\text{O}$)/蒸発率の関係を示す。これらには負の相関関係があり、その関係式は $y = -0.0033x + 0.38$ (x : 平均湿度, y : 酸素同位体比の変化量)であった。低温恒温器内と屋外で蒸発実験を行ったが、ほぼ同じ湿度と酸素同位体比の変化量/蒸発率の関係式上にプロットされた。

この関係式を用いて蒸発率を算出する。平均湿度が70.0%、酸素同位体比の値が蒸発により1‰変化したときの湖(滞留時間5年、面積100km²、体積3km³と仮定する)の場合、湖に水が流入してから流出する間(滞留時間5年)に6.7%蒸発したことになり、年間蒸発量は約400mmとなる。年間蒸発量は湖の体積に蒸発率をかけ、面積で割り、滞留時間で割って算出した。

4 蒸発速度

図3に1日平均蒸発量と $\delta^{18}\text{O}$ /蒸発率の関係を示す。1日平均蒸発量が少ない(蒸発速度が遅い)ほど、 $\delta^{18}\text{O}$ /蒸発率の値が小さい傾向がある。つまり、蒸発量が同じでも一定量の水が蒸発する時間が異なれば蒸発率1%に対する $\delta^{18}\text{O}$ の値は異なる。これは、 H_2^{18}O の蒸気圧は H_2^{16}O の蒸気圧より低いから、蒸発によって水の酸素同位体比は大きくなる。実験中の水の蒸気圧が実験前の水の蒸気圧よりも小さくなり、蒸発に関わる大気圧(水蒸気分圧+乾燥空気分圧)に対して小さくなり蒸発しにくくなる。しかし、気温が高い環境では飽和水蒸気圧は高い。よって気温が高い場合、同位体比が大きくなることによる蒸気圧の低下が蒸発に与える影響は小さいと考えられる。そのため、同じ蒸発率に対する酸素同位体比の値にはばらつきがあったと考えられる。

5 蒸発における $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係

図4に蒸発における $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係を示す。蒸発中の平均気温が高いほど天水線から離れる傾向がある。また図5に平均気温と $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$ の関係を示す。これらに負の相関がみられ、その関係式は $y = -0.0991x + 7.816$ (x : 平均気温, y : $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$)であった。この関係式より、 $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$ の値が8(= 天水線の傾き)のとき、平均気温はおよそ-1.9である。つまり、天水は過冷却であった水滴から生成されていることがわかる。

6 まとめ

蒸発速度が異なれば蒸発率1%に対する $\delta^{18}\text{O}$ の値は異なっていた。そのため同じ蒸発率に対する酸素同位体比の値にはばらつきがあったと考えられる。

湖水を用いた低温恒温器内での蒸発実験により、蒸発率と同位体比の関係を導き出すことで、湖や池の平均湿度と蒸発による同位体比の変化量から、蒸発率を推定することが可能である。また $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$ の値と気温の間に

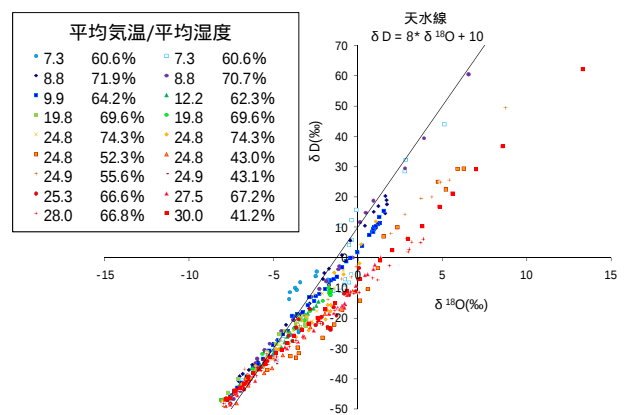


図4 蒸発における $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係

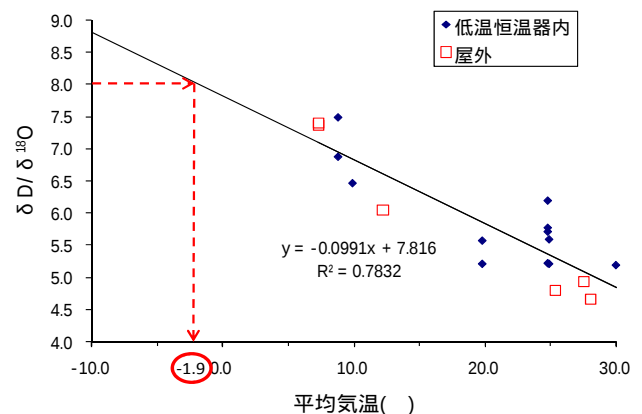


図5 平均気温と $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$ の関係

負の相関がみられた。この関係より、天水は過冷却であった水滴から生成されていることがわかる。

参考文献:

- 1) 宮路和葉・岡田啓・井伊博行・長林久夫: 酸素同位体比を利用した猪苗代湖における蒸発率の簡易測定法の提案, 水工学論文集, 第52巻, pp.289-294, 2008.
- 2) Allison, G.B., Brown, R.M. and Fritz, P.: Estimation of the isotopic composition of lake evaporate., Jour. of Hydrol., 42, pp.109-127, 1979.
- 3) Gibson, J.J., Edwards, T.W.D., Bursey, G.G. and Prowse, T.D.: Estimating evaporation using stable isotopes: quantitative results and sensitivity analysis for two catchments in northern Canada, 24, pp.79-94, 1993.
- 4) 気象庁のホームページ: 過去の気象データ:
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>