

小特集 施設起源トリチウムの移行モデルと環境トリチウム分布

3. トリチウムの環境移行モデル

3.3 水の移行解析に役立つトリチウム濃度以外のパラメータ

天野 光

日本分析センター

(原稿受付：2009年6月8日)

河川や地下水における水移行をモデル化するとき役立つトリチウム濃度以外のパラメータ、すなわちトリチウムの安定同位体である重水素の他、酸素18、炭素13、窒素15などや、放射性核種である炭素14、セシウム137、ラドン222などについて概説する。

Keywords:

analysis of water movement, stable isotopes, radioisotopes except for tritium

3.3.1 水循環

地球上の水はその大部分が海洋に存在し、海洋表層から蒸発した水が、大気・陸域表層・河川・地下水などを経て再び海洋に戻るという循環を繰り返している。このうち我々に身近な河川については河川水文学で（例えば[1]）、地下水については地下水水文学で（例えば[2]）、表層土壌については「環境地水学」で（例えば[3]）扱われている。こうした伝統的な手法に加えて、安定同位体を用いた手法も発達してきている（例えば[4]）。水と水蒸気との相変化の際に水を構成する水素と酸素の安定同位体比は変化する。端的に言ってしまうと、同じ元素でも軽い成分はより早く反応するので、時間の経過・反応の蓄積とともに、同じ元素でも同位体比が異なってくる。このことにより重水素や酸素の安定同位体比により水の移行を解析するのである。

3.3.2 水循環に伴う物質負荷や流出

水循環に伴う物質負荷や流出という課題に対しては、負荷された窒素やリンなど負荷物質の流出挙動[4,5]や土壌流出といった解析課題があり、水の動きと大いに関係している。土壌流出に関しては地表土壌に蓄積し土壌粒子に吸着している放射性核種である Be-7^{*11} や Cs-137 、 Pb-210 などを用いた観測や解析が行われ、粒子状のみならず土壌から雨水により溶出する溶存形態についても降雨等との関連で解析が行われている（例えば[6,7]）。

3.3.3 安定同位体を用いた水移行の解析

(1) 表記法

自然界での安定同位体の変動は小さく、%表記ではわか

りにくいので、それらの表記はある標準物質の安定同位体比に対する千分率偏差（‰，パーミル）で表す決まりになっており、これを δ （デルタ）記法といて、質量数の大きい方の同位体に δ を付けて表す。例えば水素であれば $\delta^2\text{H}$ となり、酸素であれば $\delta^{18}\text{O}$ となる。

$$\delta^m X = (R_{\text{sample}}/R_{\text{ref}} - 1) \cdot 1000 \text{ [‰]}$$

ここで R_{sample} ：試料中元素Xの同位体比， R_{ref} ：標準物質中元素Xの同位体比

水素や酸素の国際標準物質として、VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) と呼ばれる標準海水が用いられている。したがって標準海水の $\delta^2\text{H}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ の値は零である。

(2) 水素および酸素安定同位体利用

図1は地球上の降水に係わる水素同位体比の変動を概念的に表した図である。酸素同位体比についても同様である。水の蒸発や水蒸気の凝縮のような相変化を起こす際、水の水素及び酸素同位体比は変化する。蒸発や凝縮のよう

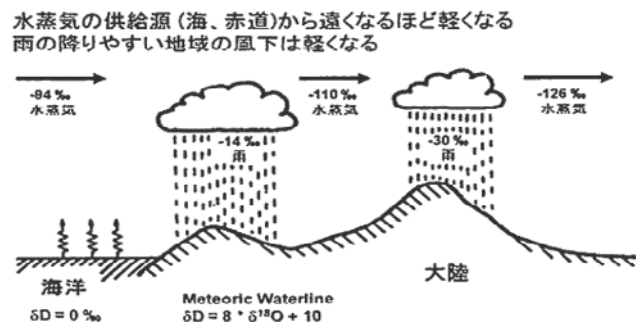


図1 地球上の降水に係わる水素同位体比の変動[8].

3.3 Parameters Useful for the Analysis of Water Movement Except for Tritium

AMANO Hikaru

*11 用語集参照

author's e-mail: h-amano@jacac.or.jp

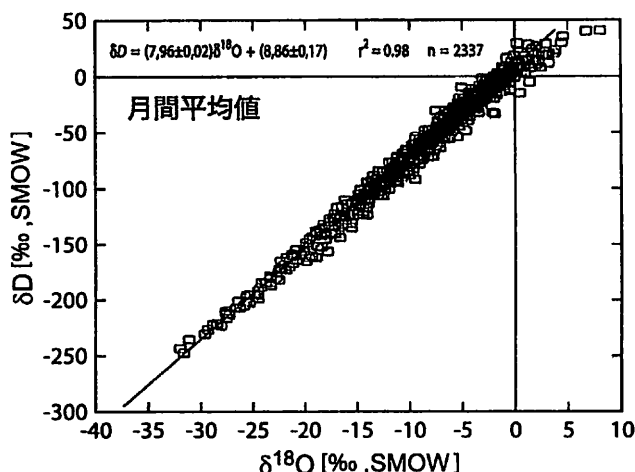


図2 IAEA グローバルネットワークのすべての観測地点から得られた降水の月平均の δD と $\delta^{18}O$ の関係、実線は天水線(MWL)を示す[9, 10]。 r^2 は相関係数、 n はデータ数。

な相変化が繰り返し起こるとその変化の度合いは最初の値より大きくなっていく。

図2はIAEA(国際原子力機関)グローバルネットワークから得られた降水の δ^2H 、 $\delta^{18}O$ 値である[9, 10]。 δ^2H 、 $\delta^{18}O$ の値が小さい水は寒冷地や高緯度地で見られ、大きな値の水は赤道付近や温暖な地域で見られる。

流域においては水がどこから来てどこに行くかを評価することは重要である。水の水素・酸素安定同位体比は、水蒸気や雨滴形成時の場所や条件等を反映するので、これらを指標として利用することで、流域環境中の水の起源や流出経路等を評価することが可能となる。実際、河川水における降水と地下水の寄与率の評価や渓流水の起源、樹木の利用している水の起源推定、地下水の滞留時間の推定などが行われている[4]。

(3) 炭素および窒素安定同位体利用

河川や湖沼における溶存無機および有機炭素や水中粒子状有機物の起源推定に炭素安定同位体比測定が行われている(例えば[4])。安定同位体比に加えて放射性炭素(^{14}C)の情報が加われば、経過時間等の解析も可能となる。1960年代に行われた大気圏内核実験により地表に蓄積した放射性炭素(^{14}C)の量は、天然起源のほぼ2倍となった。このことを利用し、地表有機物の流出解析等が行われている(例えば[11])。また地下水の年代測定に放射性炭素等が用いられている(例えば[12])。

窒素について、河川水の硝酸イオン濃度は、上流の森林集水域からの負荷に加えて、農地からの流入が加わり、さらに生活排水の流入が加わる中下流に向かって濃度が上昇する一方で、窒素安定同位体比は人為的な起源を持つ硝酸

イオンの負荷が増えるに従って上昇する。硝酸イオン中の窒素安定同位体比と酸素安定同位体比を同時に測定することで、降水の硝酸イオン中 $\delta^{18}O$ 値が高い値を示すので、降水、土壌水、地下水を区別することができる[4]。

(4) 水質解析による集水域での水移行の解析

集水域の土地利用形態と河川水質とが密接に関係していることから窒素やリン等の環境負荷物質等の移行と水質との関連が解析されている(例えば[13])。こうした解析手法も水の水質解析に役立つと思われる。ところでリンには1種類しか安定同位体がないので、安定同位体比を用いた解析はできないが、環境中で酸化物として存在することが多いので、リン化合物中の酸素同位体比を用いた解析は可能である[4]。

3.3.4 水文トレーサとしての環境放射能

放射性核種であるH-3やBe-7、C-14、Cs-137、Pb-210の他にも、水文トレーサとしていくつかの環境放射能が利用されている(例えば[14])。Rn-222はウラン系列の放射性希ガスであるが、地下水に多く含まれ、地表水にはほとんど含まれないことから、地表水の地下への侵出割合の評価等に用いられている(例えば[15])。

参考文献

- [1] 高橋 裕編：河川水文学(共立出版, 1978)。
- [2] 山本壯毅：地下水水文学(共立出版, 1992)。
- [3] 宮崎 毅：環境地水学(東京大学出版会, 2000)。
- [4] 永田 俊, 宮島利宏 編：流域環境評価と安定同位体—水循環から生態系まで(京都大学学術出版会, 2008)。
- [5] 和田彦彦：ノンポイント汚染源のモデル解析(技報堂出版, 1990)。
- [6] T. Matsunaga, H. Amano, T. Ueno, N. Yanase and Y. Kobayashi, *J. Environ. Radioactivity* **26**, 3 (1995)。
- [7] T. Matsunaga, H. Amano and N. Yanase, *Applied Geochem.* **6**, 159 (1991)。
- [8] 秋山賢一郎：食品機械装置 **1**, 56 (2009)。
- [9] K. Rozanski, L. Araguas-Araguas and R. Gonfiantini, *Geophys. Monogr* **78**, 1 (1993)。
- [10] J. ヘフス著, 和田秀樹, 服部陽子 訳：同位体地球化学の基礎(シュプリンガー・ジャパン, 2007)。
- [11] Md. J. Alam, S. Nagao, T. Aramaki, Y. Shibata and M. Yoneda, *Nucl. Instrum. Methods* **B259**, 513 (2007)。
- [12] M.A. Geyh, *Radiocarbon* **42**, 99 (2000)。
- [13] 石井裕一：水環境学会誌 **32**, 139 (2009)。
- [14] 福井正美：RADIOISOTOPES **49**, 431 (2000)。
- [15] M. Schubert, K. Knoeller, H.-C. Treutler, H. Weiss and J. Dehnert, in *Radioactivity in the Environment*, Vol. 8, edited by P. P. Povinec and J. A. Sanchez-Cabeza, Elsevier (2006) p326。