

環境同位体を用いた地下水循環プロセスの研究

嶋田 純 (熊本大学大学院自然科学研究科・教授)

e-mail: jshimada@sci.kumamoto-u.ac.jp

太陽系の第3惑星である地球には水が存在し、しかもそれらが地球表面において三態（気体、液体、固体）で存在できるような理想的な温度・大気圧状態になっているために、太陽からの熱エネルギーと地球の重力によって水の循環が発生し、それによって地球全体の温度分布の平滑化が図られている。このような水循環の中で淡水の占める割合は僅か2.5%程度に過ぎないが、我々人間の生活に極めて密接に係わる重要な要素である。

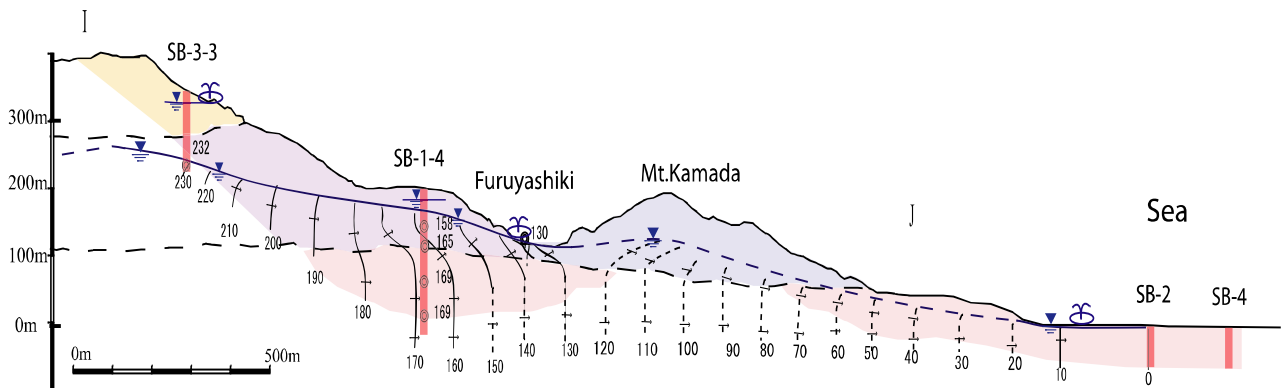
このような水循環の実態把握を行う学問分野を水文学（すいもんがくと読む）と言い、広い意味での地球科学に属しているが、水は人間生活と密接に関係していることから実学との関係も極めて深い学際領域の学問である。水循環に係わるプロセスは、物理的・化学的側面から究明することが可能である。降水量や河川の流量のように目に見える水の流れに関しては雨量計や河川断面計測と流速測定等の物理的な方法によって測定が可能であるが、蒸発散量（地表面からの蒸発と植物体を通しての蒸散の両方を足し合わせた概念）や、土壌浸透量、地下水流動等になると、目に見えない水の流れを如何に把握するかという手法開発がその成果と密接に関係してくる。

ご存知のように水は水素2原子と酸素1原子が結合した分子であり、この水素と酸素の中に含まれる微量の同位元素（原子番号は同じであるが質量数の異なる元素で、化学的に安定な安定同位体と放射壊変して他の元素に変わる放射性同位体がある）を利用することで、水循環そのものの追跡が可能である。水素・酸素の安定同位体の存在量は、温度によって変化する性質があるためその水の起源（降水の場合は雲の基となる水蒸気がどこから来たのか？ 地下水の場合は、その地下水がどこの場所から涵養されたのか？）の情報をもたらす。一方、水素の放射性同位元素であるトリチウム（半減期12.43年でヘリウム3に変わる）や炭素14（水の中の溶存炭素として存在）は、水の年齢（ある場所の地下水が涵養されてから何年経過したのか？ 土壌水の場合は、地表面から浸透してからその深度にいたるまでに何年経過したのか？）の情報を持っている。これらの同位元素（環境に自然に存在するという意味で環境同位体と称す）をうまく利用することで目に見えない地下水や土壌水の流れを間接的に抑えることが可能となる。

我が国のように地形起伏が大きく温帯湿潤気候条件下に属するため水循環のフラックスが大きい地域では、相対的に低い透水性の山体基盤岩中においても、渇水比流量程度の涵養量をもつ地下水の存在が予想されるが、従来この山体基盤岩地下水資源を科学的調査に基づいて評価した例は、我が国においては皆無である。私共の研究室では、熊本市の南方、宇土半島の付け根にある稜線部から海岸までの流域面積約4.5km²の火山岩を帯水層とする豊富な地下水をもつ流域において、環境同位体を用いた詳細な地下水流動の研究を行ない、我が国で初めての流域末端の海水面下まで含めた極めてユニークな広域地下水流動の存在を明らかにした。

図-1は、流域中央部を源流域から海岸部までを含むように縦断断面でとらえた側線上の地下水ポテンシャル分布を示す。この断面には4箇所の地下水観測井戸があり、それらの井戸中の地下水の深度別水圧を測定することで、図に示すようなポテンシャル分布とそれに基づく矢印で示

したような地下水流れを把握することが可能となる。この図より、研究地域の火山岩には広域的に連続した地下水帯が存在し、地域の湧水地帯と整合するような流動系を形成していることが明らかになった。

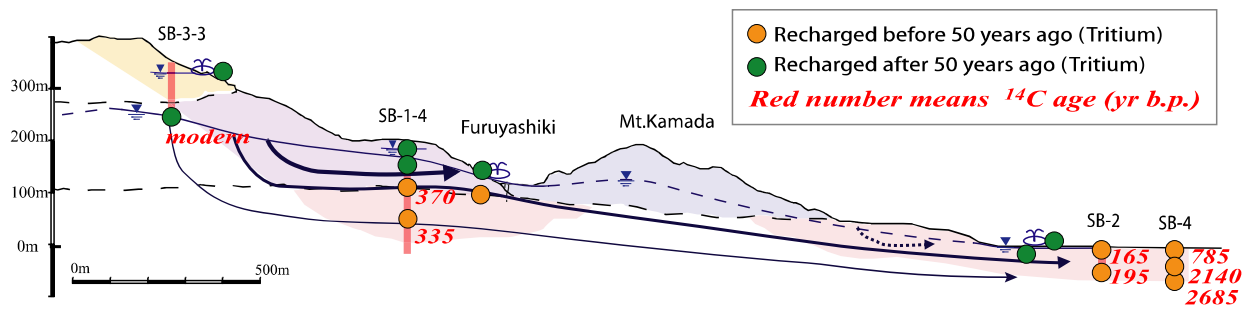


図一 1. 研究流域における断面 2 次元地下水ポテンシャル分布と地下水流動

このような流動場を持つ地下水を対象として、前述した環境同位体を用いてその流動特性の詳細な把握を試みた。水分子を構成する水素・酸素の安定同位体比の測定結果からは、安定同位体比がもつ高度依存性（降水中の安定同位体比が採水標高と共に変化する特性）を反映して、図一1に示された地下水の流線に沿うような特定標高から涵養された地下水が特定地点に流出していることを支持する結果が得られた。また、放射性同位体のトリチウム及び炭素 14 の測定結果からは、図一2に示すように、一つの地下水流域の中に様々な年齢を持つ水体が存在していることが明らかにされた。降水中のトリチウムは、大気上層の成層圏において銀河宇宙線によって形成されるが、1960年代にはこの天然起源のトリチウムに加えて、大気中でおこなわれた核実験によって生成されたトリチウム（天然の数百～数千倍）が加わった。その後大気中の核実験禁止に伴って、その濃度は現在では再び天然レベルまで戻っているが、地下水中にはこの過去の1960年代のトリチウムが残存している場合もあり、測定されたトリチウム濃度に基づいて図一2に示したように1960年以前に涵養されたものと、1960年以降に涵養されたものの識別が可能である。研究地域の地下水では、この最近50年間に涵養された若い地下水が流域源流—中流部の表層付近および流域末端の海岸部湧水に見られる。一方流域中央部の深層ボーリングによる深部の地下水や沿岸部に掘削された観測ボーリング孔の地下水は、1960年以前に涵養されたものと判断され、それらについて炭素 14による放射年代測定を行なったところ、図一2に赤字で示したような極めて古い年代の地下水が存在していることが示された。ここで注目されるのは、図中最も右端の海面下に掘削されたSB-4観測ボーリング孔の地下水年代である。これらは、海底下であるにも拘らず淡水で、しかもその年齢が2000年以上と他に比べて桁外れに古い。このような海底下地下水に関する年齢データはこれまで発表された事例がないため現在検討中であるが、我々はこの海底下の古い淡水は現在の気候下で循環している地下水ではなく、かつて海水準が低かった氷河時代に循環

していた地下水が、その後の海水準の上昇と共に封じ込められた結果であると考えている。

このように、水の中の環境同位体は、現在の水循環だけではなく、過去までも見通したツールとして利用できる可能性を秘めた有用な道具である。



図一 2 トリチウム濃度及び炭素 14 濃度を基にした研究地域地下水の年齢分布概念図

参考文献： 山体基盤岩地下水流動の実態解明とその水資源的評価. 平成 14-17 年度科学研究費補助金(基盤 A、代表：嶋田 純)研究成果報告書. 227 p