

酸素と水素同位体比による水田が主体な扇状地の 地下水涵養源評価の可能性

吉岡有美
(島根大学学術研究院)

1. 地下水とは？ 地下水は何の水か？

利用可能な淡水資源として、イメージされるものは、湖やダム、河川の水ではないでしょうか。しかし、淡水資源の98%を占めるのは、地面の下にある地下水なのです。地下水は、砂漠などの乾燥した地域では唯一の水資源であることも珍しくありません。将来的に、気候変動により洪水や渇水といった雨や河川の状況が不安定になれば、豊富な水量があり、安定的に利用できる地下水への需要が高まる可能性もあります。地下水は、管理や保全するのが困難なときもあります。3つの理由によるものです。1つ目はその流れや貯留されている様子が目に見えないこと、2つ目はときには数百や数千 km² のように広域に存在することです。3つ目は地下水の上、つまり地面にある雨や河川、田んぼの中に溜まった水などのいろいろな水が地面に浸透して、地下水となっていること（これを地下水涵養と呼びます）です。

扇状地は河川により運ばれた土砂が扇状に堆積した地形で、日本の低地の約半分がこの地形となっています。扇状地内を流れる河川の水を利用した水田農業が行われています。ある扇状地内の地下水を対象に、河川の水か、水田の水のどちらの水によってできているかを、酸素と水素の同位体によって調べることができるのではないかと考え、研究に取り組んでいます。

2. 重さの違いで水を見分ける？

水分子を形成している酸素と水素の同位体には、蒸発すると同位体の値（同位体比）が高くなる特徴があります。同位体比が高いとは、質量数

の大きい同位元素が多いことを意味しており、「重い水」という表現を使って表現されることもあります。同位体比を体重に置き換えて、「軽い水」が水面から蒸発しやすいため、残った水は「重い水」になると考えると捉えやすいかもしれません。稲の栽培のため水を溜める水田では、日中盛んに蒸発が生じています。したがって、地下水が水田の水でできている場合は、地下水は「重い水」になります。一方で、山から海へと短ければ数日で流れる河川の水は蒸発の影響が小さいため「軽い水」です。したがって、地下水が河川からの水でできている場合は、地下水は「軽い水」になります。地下水が水田と河川の水の半量ずつでできている場合は、「軽くも、重くもない水」となることができるでしょう。

3. 調査の目的と概要

2015年5月に河川上流の山地で大きな斜面崩壊が発生して、土砂が河川内に大量に堆積しました。その結果、河川の水に土砂が混ざり長期間、茶色く濁る問題が発生しました。河川からの浸透や、水田からの浸透、つまり地下水涵養の減少が懸念される事態となりました。そこで、同位体比を使った地下水涵養源の調査は、1回や数回のみ行われるのが一般的ですが、濁水が地下水涵養に影響しているのか、影響するならどのように、いつまで影響するのかなどを調べるために、同位体比の定期モニタリングを2016年4月より開始しました。

調査は、図2に示す石川県のほぼ中央に位置する手取川扇状地全域（約190 km²）の約35箇所

の井戸から地下水、そして地下水になる前の水、つまり涵養水源となりうる、3つの河川の水や水田の水（以下、田面水と呼びます）、雨などを定期的に採取しました。同じ地点の水について時期を変えて20回以上測定し、酸素・水素同位体比の変化を調べました。

この研究は、石川県立大学生物資源科学部瀧本裕士先生、京都大学農学研究科中村公人先生、大阪府立大学生命環境科学研究科中桐貴生先生および櫻井伸治先生と共同で行っています。

4. モニタリング結果

同位体比は海水の中に含まれる同位元素の数を基準としていますので、海水の同位体比は0となります。また、%（百分率）と似た‰（千分率）という単位を使用します。日本のように中緯度の地域では、蒸発が進んだ水以外はマイナスの値となります。-5‰と-10‰の同位体比を比較するとき、-5‰の水を重いといいます。

図1は5月から8月までの河川水、田面水、地下水の酸素の同位体比の変化を示しています。石川県では4月下旬から5月中旬ごろが田植えの季節です。モニタリングをはじめた5月から6月にかけては緑線の田面水の同位体比は、青線の河川の水より4%以上高い（重い）日が多くなっています。田植えから約1カ月後の6月5日に2‰ともっとも重くなり、河川水との差は12.5‰にもなります。河川水を水田に入れる（灌漑する）と、

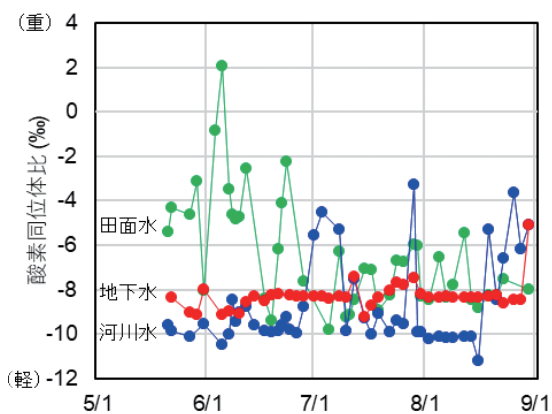


図1. 河川水（用水路で採取）、田面水、地下水の酸素同位体比の変化（2019年）

河川水と田面水に大きな違いが生まれることがわかります。6月以降は成長した稲に日射が一部遮断されて、蒸発が弱くなるため、徐々に田面水の同位体比は低下していきます。それでもほとんどの期間で河川水よりも2‰は重くなっています。つぎに、赤線の地下水は-8‰より少し小さい値となっており、重い田面水と軽い河川水の間にあります。井戸は河川より5kmほど離れていますが（図2の●地点）、上に述べたように田面水の値が重くなる時期においても、地下水の値は河川水より2‰ほどしか重くならないことから、河川水の影響も及んでいることがわかります。

図2は、扇状地全体の地下水の酸素同位体比のマップです。点在している井戸で採取した地下水の同位体比の値から、平面上のデータを持たない点の値を補間して作成しました。すべての図で共通している特徴は、扇状地の北、中央、南に3つの河川が流れていますが、このうち中央の河川（手取川）に沿ったエリアの地下水の同位体比がとく

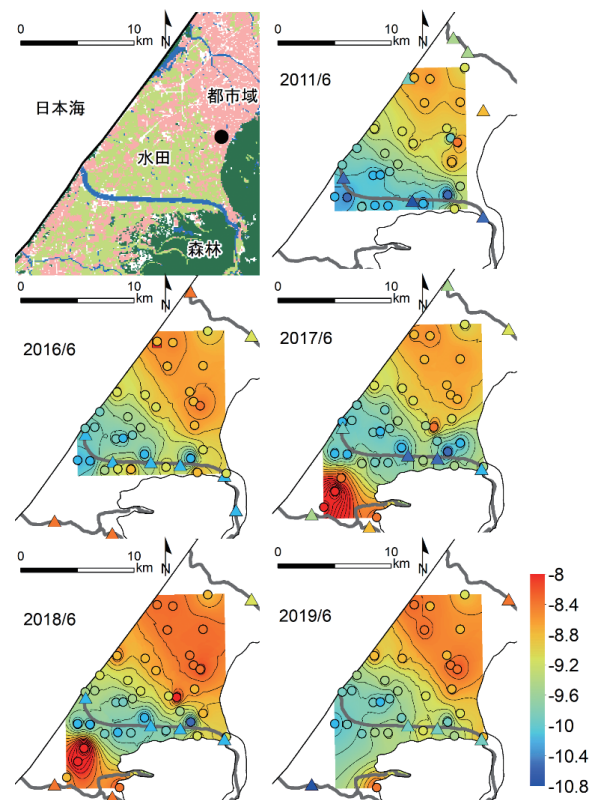


図2. 扇状地の土地利用と地下水の酸素同位体比
○地下水、△河川水
(赤：重い水、青：軽い水)

に低くなっています。中央の河川から南部へ、あるいは北部へと距離が離れるにしたがって、軽い同位体比を示す青色から重い同位体比を示す赤色へと変化するグラデーションがみてとれます。このような特徴は、4年間のモニタリング期間から6～10月の地下水でみられることがわかっています。図1に示したように同位体比の値は、河川水と田面水が区分できる程度に異なっていることから、河川に近い地下水の同位体比が小さくなるのは、この地点の地下水が同じ扇状地内の他の地下水と比較して、起源の多くが河川水であることを示しています。

斜面崩壊前の2011年6月のマップと比較すると、扇状地全体においては地下水の同位体比には顕著な変化はみられません。しかし、より小さいエリアの同位体比の変化について注目すると、2016年6月は河川の左岸域のごく河川に近い数地点の地下水の同位体比が上昇していることがわかりました。濁水の影響によって、河川水の影響が小さくなったために、水田水の影響が大きくなったことを示していると考えられます。さらに、モニタリングを継続すると、2017年以降は2011年と同じような値に戻っており、

長期的な濁水の影響はなかったこともわかってきました。

現在は、水田内や地面に浸透した後に地下水に到達するまでに同位体比がどのように変化するのかを、追加で検討しています。検討結果も踏まえて、図2に示した地下水の同位体比から地下水涵養源をより、正確に診断できるようなツールの開発に取り組む予定です。

文献

吉岡有美、伊藤真帆、中村公人、瀧本裕士、土原健雄 (2018) 酸素・水素安定同位体比からみた手取川扇状地の河川水-地下水の交流現象と地下水涵養源、地下水学会誌、60 (2) : 205-221

著者情報



吉岡有美 (島根大学学術研究院環境システム科学系助教) 2014年京都大学大学院農学研究科修了、博士 (農学)。鳥取大学農学部助教などを経て2019年より現職。

(2020年3月31日掲載)