

地域の水循環に田んぼが果たす役割の評価

中 桐 貴 生

（大阪府立大学大学院生命環境科学研究科）

1. 水田における水利用

もし「日本の原風景とは？」と聞かれたら、皆さんはどういう光景をイメージされるでしょうか？ 日本で長く生活している人であれば、里山に水田が広がる光景、いわゆる田園風景を思い浮かべる人も少なくないと思います。日本では、古来より、各地で水田農業が広く営まれてきました。

ご存じの方も多いと思いますが、水田で稲を育てるためにはたくさんの水が必要となります。日本でのお米の収穫は基本的に年1回で、地域によって多少のずれがあるものの、3月下旬頃から田植えの準備が始められ、4月～5月に田植えを行い、9月下旬頃に稲刈りを行うというのが標準的で、このおよそ半年の間に必要とされる水の量は、降雨量と同じように水深で表すと、およそ2,000 mmに相当します。

日本で1年間に降る雨の量は、地域によってかなり大きなばらつきがありますが、全国で平均するとおよそ1,700～1,800 mmとされ、これは世界全体での平均年降雨量の約2倍にも相当します。水田の稲作には、半年でそれをも上回る量の水が必要とされるわけですから、その量がいかに多いかということがおわかり頂けると思います。そして、当然のことながら、これだけの量の水を天水、すなわち空から田面に降り注ぐ雨だけでまかなうことは困難です。このような場合、天水以外の水を水田に供給すること、すなわち“かんがい”が必要となり、日本のほとんどの水田にはそのための施設として水路や排水路などが設けられています。かんがいの用水源には、河川の水が利用されるケースがほとんどであり、河川から取水した水を、取水地点から分岐を繰り返しながら

各水田圃場まで繋がっている用水路に流すことによって各圃場へと水が供給される仕組みとなっています。水田が面積的に大きく広がった地域では、時には、河川の水がなくなりそうなほど取水されてしまうこともあります。

2. 水田に取り入れられた水のゆくえ

さて、それでは、水田に取り入れられたたくさんの水は、その後どうなるのか、皆さんご存じでしょうか？ 稲からの蒸散や、光合成による植物体内への吸収、あるいは田面に溜まっている間に生じる蒸発によってなくなってしまうと思われる人も少なくないかもしれませんが、実はそれらの量は割合的にはそれほど多くはなく、水田に入れられた水のほとんどは、排水路へと流れ出るか、底の土の中へ浸透していくかによって水田から出て行き、その後、下流にある河川へと流入したり、地下水の一構成成分となったりしています。

そして、水田から河川や地下水へと流出した水が、それより下流にある水田で再びかんがい用水として利用される例も少なくありません。これを専門用語で「反復利用」と言います。これは、少し極端な言い方をすれば、上流の水田が下流の水田の水源としての役割も果たしているとも言えます。

3. 水田農業と地域における水循環の関係

水田にはたくさんの水が取り入れられる一方で、それとあまり変わらない量の水がそこから出ていくのであれば、地域内に水田があろうがなかろうが、その地域における水の水循環過程、すなわち降雨として地表に到達した水が、河川や地下水へと流入し、最終的には海洋へと流出していく過

程において、さほど影響が無いように思えるかもしれませんが、しかし、トータルの量でみると水田への流入量と水田からの流出量に大きな差が無いにしても、水田に水が取り入れられるタイミングと、それが出て行くタイミングに差があるため、地域の水循環過程には少なからず影響を及ぼしている可能性があると考えられています。

わかりやすい例をあげると、たとえば大雨が降った時、水田は水が貯まりやすい構造になっているため、水田があれば、降った雨の一部がそこに貯まってしばらくの間留まり、直接流れ去るよりは長い時間をかけて水田の外へと流出していくこととなります。しかし、もしそこが水田でなければ、そのような一時的な水の貯留や流出の時間遅れは生じないため、河川に到達するまでの時間がより短くなり、水田がある場合に比べ、河川への流入が集中的となり河川流量が増大しやすくなります。近年、水田によるこうした機能が注目され、水田におけるこの特性を積極的に利用することで、大雨時の洪水を抑制しようとする取り組みが各地で実際に行われています。

また、水田に入れられた水には、砂時計から落ちる砂のように、時間をかけて少しずつ水田からしみ出ていくものがあり、しばらく降雨が無い時には、こうした水が河川の流量維持の役割を果たすことになるとも考えられます。

つまり、地域内に水田があるかないかによって、河川における流量の変化の仕方が異なってくると考えられます。

4. 水田農業による地域水循環への定量評価

水田が地域における水の水循環過程に何かしらの影響を及ぼしうることは、ある程度認知されてきましたが、実際にそれがどの程度であるかについては、実はまだ明らかにはなっていません。このことを明らかにするためには、河川を流れる水や地下水の中に、水田から出てきた水がどれだけ含まれているかを知る必要がありますが、それはとても困難だからです。複数の色の絵の具をそれぞ

れ別に溶かした水のある割合で混ぜ合わせ、その混ざった状態の水だけから、ある色の水がどういう割合で混ぜられたかを特定するのは難しいというのと似ています。

ところで、ご存じの方も多いかもかもしれませんが、近年、日本ではとくに都市圏を中心に農地の宅地化が進み、また、山間部においても農業従事者の高齢化や担い手不足などによって耕作放棄が進んでおり、農地面積が年々減少の一途をたどっています。農地の減少によって、地域の水循環過程にも変化が生じる可能性があります。こういった変化がどの程度生じうるかはまだ不明のままです。しかし、農地の減少に伴って、たとえば河川流量が洪水時には増大しやすくなり、逆に渇水時には低下しやすくなるといった、水循環過程への悪影響が及ぶ可能性もあり、農地がなくなってしまってからでは対策が困難となるということもあり得ますので、今のうちに、こうした評価ができるようになることはとても重要な課題といえます。そして、河川水や地下水の中に含まれる水田から出てきた水の割合を定量評価できるようになることは、その課題解決に向けての大きな第一歩となります。

5. 水の酸素・水素安定同位体比を用いた定量評価

こうした中、地表水における酸素・水素安定同位体比の特性の違いを利用することによって、今まで困難とされてきたその定量評価の可能性が見出され、現在、検討を行っています。図1は、兵庫県西部にある千種川上流域において、2019年4月～11月にかけて、本流および支流の源流部および各地点の河川水と、流域内にある水田の田面水を採取し、酸素および水素の安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$)を分析した結果を $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ 座標上にプロットしたものです。プロットは、おおよそ直線状に散らばっており、田面水、源流水、河川水にグループ分けすると、分布の左端の両 δ 値とも小さい側（水の軽い側）に源流水のみが分布する比較的小さな領域があり、一方、右端の両 δ 値

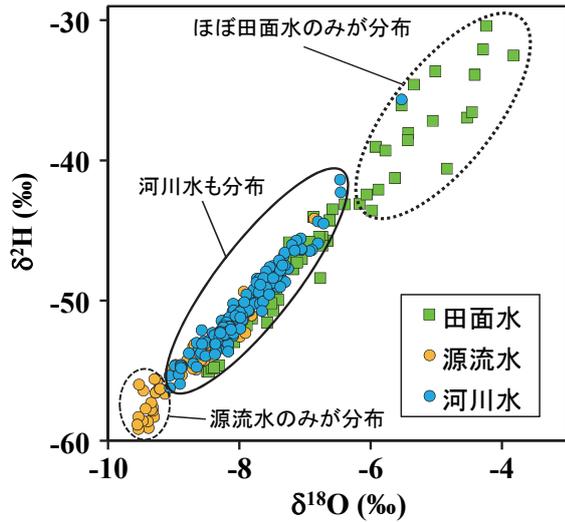


図1. 源流水、河川水、田面水の同位体比

とも大きい側（水の重い側）にはほぼ田面水のみが分布する領域があり、河川水は、それら2つの領域にちょうど挟まれる領域に分布するという興味深い結果が得られました。

水における $\delta^{18}\text{O}$ および $\delta^2\text{H}$ の値は、地表において蒸発作用（動的分別作用）を受けなければ、ほぼ変化することはない、一方、蒸発作用を受けると、酸素、水素それぞれ、質量数が相対的に小さく軽い ^{16}O および H が水中から優先的に蒸発し、その結果、地表に留まった水の中の ^{18}O および ^2H の割合が増えて、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ とともに値が大きくなり、わずかながら水が重くなる側に変化することが知られています。つまり、この流域の水田では、かんがい用水として基本的には河川の水が利用されていますが、水田に入れられた水が田面に貯留されている間に蒸発作用を受けることによって、田面水の $\delta^{18}\text{O}$ および $\delta^2\text{H}$ が $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ 座標上で源流水や河川水とは明確に区別できる程度まで値の大きな重い水へと変化することが図1からうかがわれます。ただし、田面水については、河川から取り入れたばかりの水の割合が多い時もあるため、プロットのちらばりが大きく、河川水の分布領域と重複しているものも見受けられます。

水は河川を流れている間にも蒸発作用を受ける

ため、 δ 値はある程度変化しますが、日本の河川は基本的に短く、最上流部から河口まで流達するのにせいぜい1～2日程度であり、その間における δ 値の変化量は、夏季に水田内で変化する大きさに比べると小さいといえます。また、今回調査を行った千種川上流域では、河川水は図1で示された源流水の δ 特性をもつ支流からの流入と、水田から還元してきた水によって主に構成されることが現地調査を通じて確認されています。そこで、河川水における δ 値は、もともと源流水の δ 特性を有していた水が、河川への流入後、流下中の蒸発によってわずかながら変化するとともに、田面でより多くの蒸発作用を受けて重くなった水が河川へと還元し混合されることによって形成されたと考え、流域内で大きな支流にある調査地点を対象に、いくつかの前提条件の下で、調査を行った日における河川水に占める水田から還元してきた水の割合を試算したところ、図2に示すような結果が得られました。この河川地点における流域面積に対する水田面積の割合はたった0.7%に過ぎないにもかかわらず、かんがい期においては、河川水中に占める水田還元水の割合がその20倍以上となる16%にもなることがあり、非かんがい期になるとその割合はやはり小さくなるという傾向がみられました。まだデータ数が少なく、示された数値がどの程度の代表性をもっているかについては検討の余地がありますが、他の河川地点で試算を行ってもやはり同様の結果が得られてお

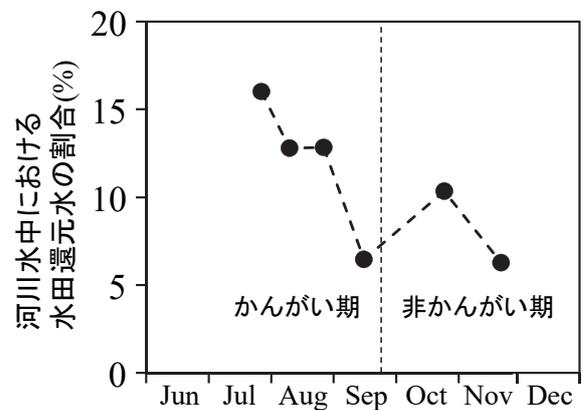


図2. 河川水における水田還元水の混合割合の試算結果

り、とくにかんがい期においては水田が河川流量に対して少なからぬ影響を及ぼしていることはやはり間違いなさそうです。今後、同様の調査を継続し、試算方法や推定結果の妥当性について引き続き検討を行いながら、水田が地域の水循環にどの程度寄与しているのかについて定量的に評価できるようにするところまで究めていきたいと考えています。

文献

中桐貴生、松本武志、大串健一、吉岡有美、堀野治彦、藪崎志穂、陀安一郎、櫻井伸治（2020）

「水の安定同位体比を用いた水田農業による河川流況への影響評価」2020年度（第69回）農業農村工学会大会講演会要旨集、農業農村工学会、pp. 469-470

著者情報



中桐貴生（大阪府立大学大学院生命環境科学研究科准教授）1995年京都大学大学院農学研究科修了、博士（農学）。1997年大阪府立大学農学部助手、2008年より現職。

（2021年3月31日掲載）