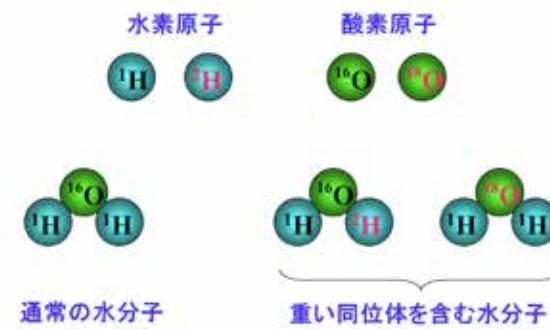




Interview:02

水の循環から世界を探る

生命環境系 山中勤 准教授

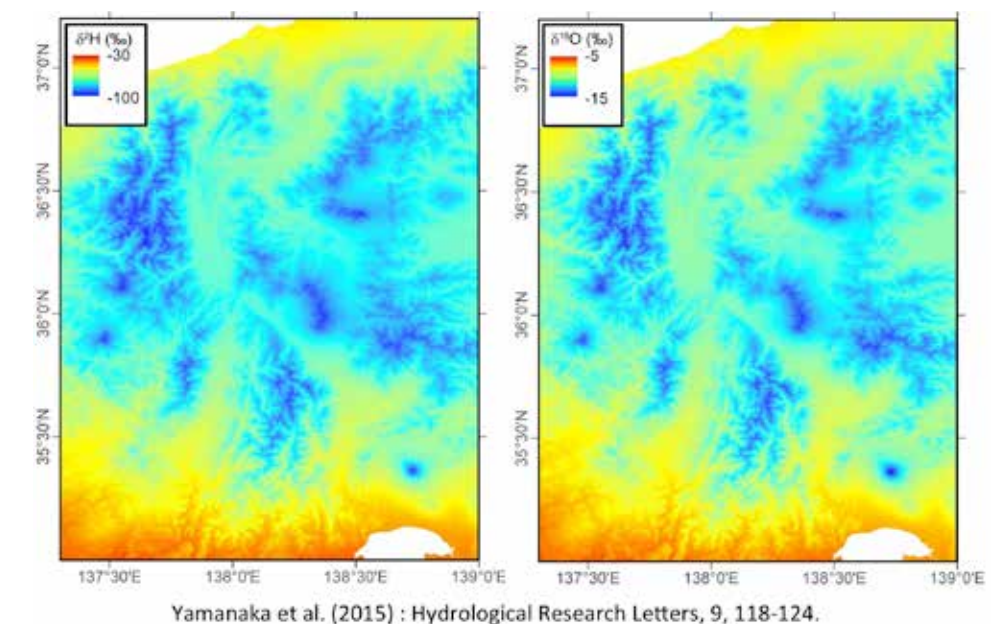


同位体トレーサー

ものより重い酸素原子や水素原子を含んだ水分子があります。これらを水の同位体と呼ぶのですが、同位体を目印にすると、水がどこからどうやって流れて来たかわかります。例えば、標高が高いところで降った雨は重い同位体の量が少なく、低いところで降った雨には多く含まれています。そのため、あるところで地下水をくみ上げて、含まれている同位体の量を調べれば、どのような高さに降った雨が地下水になったかわかります。同位体を調べることで、地下水はもとより大気中の水や川の水なども分析することができるので、水の循環を途切れることなく（シームレスに）可視化して研究できるというわけです。

渡り鳥がどこから来たか

同位体を使った興味深い研究があるので紹介しましょう。アメリカ大陸で降った雨に含まれている同位体を調べて、地域ごとのデータを「同位体マップ」と呼ばれる地図にしたというものです。この地図を使うと、川の流れなどの水循環だけでなく、カリブ海で越冬する渡り鳥が夏にどこで過ごしていたかな



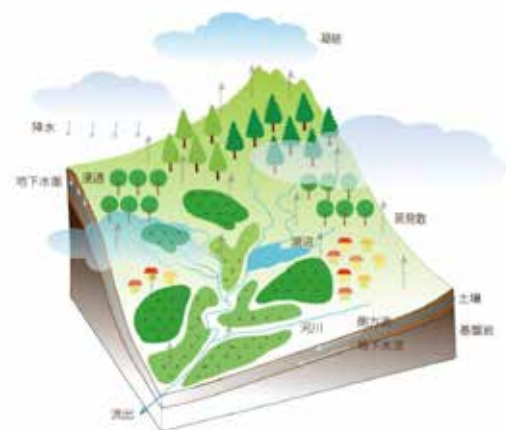
Yamanaka et al. (2015) : Hydrological Research Letters, 9, 118-124.

同位体マップ

水に関する研究を扱う「水文学」

私は水の循環について研究しています。天に関わる現象を扱う学問を天文学と呼ぶように、水に関する現象を扱う学問を水文学と呼びますが、その中でも理学系の「水文科学」が専門の分野になります。水に関する現象といっても、ダムの管理や水の値段など研究者によって扱う内容は多岐に渡るので、水文科学というようにしています。

水は、大気中にある水蒸気が姿を変えて、流れる川となり、地下水になり、また植物に吸われるなどしながらあらゆる場所に存在しており、それぞれについて農業土木、林学、河川工学などの専門家がいる、研究を行っています。それらの個別領域的な研究も大変重要なのですが、多くの場合、個別の現象としてだけでなく水の循環として捉える必要があり



水循環模式図

ます。例えば、地下水を例にして考えてみましょう。

地下水は使いすぎると枯渇するため、環境省の地盤環境を専門的に扱う部署が主に所管していますが、地下水は川として流れる水や遠く離れた山で降った雨などが地下にしみ込んでつくられるので、今そこにある地下水だけをみていては、適正かどうかは判断できません。そこで、水循環の考えが必要になってきます。

地球は水の惑星とも呼ばれるほど水が豊富に存在しますが、そのほとんどは海水で、塩分を含んでいるため、淡水化しなければ水資源としての価値はありません。にもかかわらず、私たちがたくさんの水資源を利用できているのは、水が循環しているためです。いわば天然の蒸留水ともいえる大気中の水は、海水などが蒸発して常に作られていて、雨として降った後、下流に流れて私たちに使われます。しかし、使って汚れてしまい利用価値が下がっても、自然界の水循環によって再び利用することができるようになります。このように、水は循環性の資源であるため、包括的に考える必要があるというわけです。

水を可視化する

水の循環を考えるうえで、同位体トレーサーを用いる方法があります。水分子は酸素原子と水素原子でできていますが、中には、中性子が多くて普通の

ども調べることが出来ます。簡単に言うと、渡り鳥が夏に過ごした場所で飲んだ水に含まれている同位体の情報が渡り鳥の羽毛に転写されるのを利用したもので、ほかにも水の同位体を利用した研究には以下のようなものがあります。

ハンバーガーショップが使っている肉がどこで生産されたものなのか。身元不明の死体がどこで暮らしていたのか。これらも含まれる同位体の量がどの地域でみられるものなのかを考えると、推定ができます。例えば、身元不明の死体の場合、渡り鳥と同じように、飲んだ水の同位体の情報が髪の毛に残されているため、亡くなる前にいた場所が推定できるというわけです。これ以外にも麻薬の生産地を特定したり、食品の産地偽装を見抜いたりなどにも寄与できます。

日本にも同位体マップを

このような研究は今とても盛んで、アメリカから始まり地球規模で研究が行われています。そんな中で、7年ほど前に筑波大学など3大学が共同で中部山岳プロジェクトを始め、そこで同位体マップを作ることになりました。

懸念もありました。日本は山がちなので、ひょっとすると作成がうまくいかないのではないかとことです。標高の変化で同位体の量が変わるということはわかっているので、水平方向の距離が離れていなくても標高の変化が激しいとなると、地図に示すのは大変になるのではないかと予想されたからです。

ダメ元でもやってみようということで、私たちは

千曲川・富士川流域周辺の雨を5年間に渡って集めて、地図を作りました。他の研究者が調べたデータと比較しても、かなり精度のいいものになっていて、誤差が大きくなるはずの山頂の値などもわりと正確に推定できるなど有効に機能しています。

同位体分析で分かる山のありがたさ

いまはようやくベースが出来たので、様々なものに応用しようと考えています。まず第一に、水道水がどのくらいの高さで涵養（地下に浸透）されているのか調べました。長野県と山梨県の合わせて約60の上水道事業者に水道水を送ってもらい、同位体分析をして地図と比較したところ、このようなことがわかりました。

長野県と山梨県は、だいたい面積の半分が1000メートル以上で、残りの半分が1000メートル以下になります。それに対して人口の約98%は1000メートル以下に住んでいます。ところが、水道水が涵養されている高さは90%以上が1000メートル以上の場所だということが調べた結果明らかになりました。これは、人が住んでいる場所と水が涵養されている場所が離れているということです。山岳地域は今どんどん過疎化や高齢化が進んでいて、とうとう集落到誰も住まなくなってしまう地区も出始めました。山に人が住まなくなると、自然を破壊したり水を汚したりする人がいなくなるので、自然が豊かになると考える人もいるのですが、人の目が届かなくなると悪さをする人が出てくるという面もあります。

たとえば、産業廃棄物が不法投棄されるだとか、あるいは放射性廃棄物の処分場になってしまうこともあります。人の目に触れないため私たちは都市生活を快適に楽しめる半面、知らないところで山は汚されてしまっていくという危険性があります。そうして汚されてしまった山で涵養された水を飲むことが健康に害を及ぼさない保証はありません。こうしたことが、知らず知らずのうちに進んでしまう可能性があるからこそ、水循環から見た山のありがたさや価値を科学的な根拠に基づいてアピールしていければと思います。

研究のきっかけ

子どものころは釣りが好きで、川や山によく行っていました。この川はどこから流れてきたのだろう

と、川を上流に遡っていった経験は、今思えば研究に繋がっているのかも知れません。しかし、筑波大の自然学類（現・地球学類）に入学した当時は、水文学を研究しようと考えていたわけではなく、高校の時に好きだった地理や自然のことをやりたいと漠然と考えていました。

そのような状態で授業を受けていく中で、水に関する研究に一番興味をひかれました。水は素直な性質を持っていて、基本的には高いところから低いところへと流れます。その一方、捉えどころがない側面もあります。水は器によって形が変わりますし、流れる場所の特性によって、流れる速度などが変わっていき、分岐や合流なども複雑です。そのような水の流れを扱い、地下水などの見えない部分を可視化していくのが楽しかったことがいまの研究のきっかけになります。知的好奇心を満たしてくれるだけでなく、社会の役にも立つということも大きな魅力でした。

筑波大学はもともと水文学の先駆けで、戦後ユネスコが水文学を普及させようと「国際水文学10年」を定めた際に、筑波大学の前身である東京教育大学に水収支論講座というものを作って、研究教育を始めたということにルーツを持ちます。

当時、水文学を研究している大学はあまりなく、同時期に京都大学や東京大学などでも研究が始められましたが、その中でも理学系の水文学に関しては筑波大学がパイオニア的な存在であったと言っていいでしょう。その先導的な役割をしていた榎根勇先生に師事して、私は卒業研究を書きあげました。

当時私は、乾燥地域に興味があって、土の中で水がどう動くかを研究テーマにしました。「さまよえる湖」と呼ばれるロプノールに関心を持ったことがきっかけで、その後オーストラリアの砂漠や鳥取砂丘などで土の中の水の動きについて調べました。時には、土の中に湿度センサーを埋め込んだり、部屋の中で空気を循環させる風洞実験装置を使ったりしながら研究を続ける中で、同位体を使った研究を重視するようになり、現在の研究に移っていきました。

好きなことにのめりこむ

自分の学生時代と比べてみると、教員も忙しいとは思いますが、学生も忙しくなっていると感じます。なんでもきちんと評価しないといけないために、レポート課題やテストが多くなったというのもあるでしょうし、SNSの普及でプライベートの時



出前授業（谷田部中学校）

間を多く割かないといけないというのものもあるかもしれません。そのため、学生は一つのことに没頭する時間が少なくなっていると感じます。私が学生の頃は、先輩が授業とは別に読書会を開いてくれていて、英語のテキストを読みながら、研究の話をしていました。そういった経験は後になって生きてくると思いますし、自分自身がそうでした。自分は研究者になりましたが、そうでなくても、あることに没頭した経験は社会に出た時に生きるのではないのでしょうか。

教員になってからも、そういった読書会を主宰していたのですが、年々就職活動などで学生が忙しくなっていることを実感します。他人からの評価に関係なく自由に好きなことにのめりこむ時間がなくなっていくことには無力感を感じます。

研究の還元としての環境教育

今、既存学問領域を超えて新しい何かを生み出す必要があると世界で叫ばれています。地球科学や人文社会科学などの研究を合わせた「フューチャーアース」というプロジェクトがあるのですが、そこでは研究者だけでなく一般市民や、マスコミ・行政などが共同で研究を進めていく重要性が指摘されています。今までは、研究者が提案をして認められたものに研究費がつけられるのが一般的でしたが、研究成果はすべて世の中に役立つとは限りませんでした。これからは、役立つ成果が出るような研究を行い、生まれた研究成果を還元しなくてはならないということで、計画段階から研究者が市民などと共同で研究を行う必要が生じてきたわけです。

私個人としてはこれまでに、水問題で困っている途上国への高等教育協力や、つくば市で環境問題



出前授業（吾妻中学校）

を扱っているつくば3Eフォーラムの立ち上げに関わったりしました。

現在は研究成果の還元の一つとして、つくば市の環境教育に携わっています。学内に次世代環境教育ワーキンググループというものを立ち上げて、教育学や地球科学、体育や芸術などの専門家と一緒に小中学校でどう環境教育を進めれば良いか議論をして、カリキュラムと教材をつくりました。それらは現在、つくば市内の小中学校で使われています。

つくば市は教育特区として、他の学校の「総合的な学習の時間」に相当する「つくばスタイル科」という独自の教科を持っているのですが、その中で温暖化やゴミの問題、水の問題などを扱っています。年に5・6回ほど、出前授業として実際に学校で講義を行うこともあります。出前授業をしていると、子どもたちは活発に意見を返してくれます。地球温暖化について講義を行ったときには、地球科学の学生でもなかなかできないような発想が小学生から出てきて驚きました。

今後は、大人の社会にも直接還元する一方で、子どもたちの意識を変えていければと思います。私たちの意見を教え込むということではなくて、子どもたちが自分の意志で自分たちの望ましい未来を作り上げるための手助けをするのが私たちの責任ではないかと考えています。大人の都合で、温暖化対策を急ピッチに進めなくてはならないだとか、対策を進めると不利益を被るから反対する人がいるだとか、色々な事情がありますが、そういう動きに振り回されず、自分たちがしっかりとした価値観を持って物事の本質を把握できるようなお手伝いをしたいなと思います。