

森と水の関わり (I)

—森林から流出する水のお話—

佐藤 弘 和

ある日の出来事 (H氏の体験)

ある日のこと。ふとテレビのスイッチを入れるとショッキングな映像が飛び込んでくる。「大雨の影響で川からあふれ出た濁水が車や家を押し流しています!」。レポーターの必死の叫びも風雨の音にかき消されていく。この光景を見て思った。「ここ最近、毎年どこかの場所で川が氾濫してるな。自分が住んでる近くの川だっていつ氾濫するか……。ちょっと不安」。

またある日のこと。たまたま歩いていると異様な臭いが漂ってくる。「どこの臭いだろう」。臭いのもとをたどると近くの川からだった。山に行ったときに見るきれいな川に比べ、その川のなんと汚いこと!。「こんな場所で水遊びをするのはいやだな」。至極もつともな意見……。

とある日のこと。市民参加の水質調査が開催されるので現地指導員として参加した。そのとき見たものは、コンクリート製の橋から垂れ下がる乳白色の真夏のつらら。「もしかしてこれって酸性つらら?」。

H氏はある時こう思った。「今、水環境が危ない!!」

H氏の体験を受けて……

Rさん：「私もHさんと同じような体験をしたことがあるわ」

S職員：「そういう人が多いからというわけではありませんが、最近では、洪水が起きたり、水質汚濁が目に見えるようになってきていることから、森林の公益的機能のひとつである水源涵養機能が注目されています。森林の多い北海道を含め、全国的にこの機能による水環境の保全や改善に対して高い期待が寄せられているのです」

Rさん：「道立林業試験場では水源涵養機能について調べているの?」

S職員：「もちろん、こうした期待に道立林業試験場も黙ってはいられません。『それなら水源涵養機能の評価に関する研究をやりましょう!』ということになりました。これから述べることは、『森林と水の関わり、森林が有する水源涵養機能とは何か?』ということです。ここでは、川の水量や水質の測り方、川の水の出方である流出特性、雨が川水になって流れ出るまでにpHと窒素がどのように変化するかについてお話していきます」

Rさん：「楽しみね」

何はともあれ測定

Rさん：「まずは水源涵養機能ってどうやって調べるのか教えて」

S職員：「それには、川や雨の水量や水質を調べなくては始まりません。美唄市光珠内実験林に設けた試験流域での例をもとに解説しましょう。まずこうした調査を行う場合、最初に流域を決定します」

Rさん：「流域って？」

S職員：「流域とは降雨が川として流出する範囲のことで、分水界とよばれる線で囲まれた部分です。分水界の決め方は、流量を測定する地点を基点として、地図上の尾根状地形を示す場所に線を引きます。図-1に、分水界に囲まれた試験流域を示しました」

Rさん：「確かに、分水界の内側に降った雨は、川に集まるようになるわね」

S職員：「実際には、流域に降った雨のすべてが川に流れ込むわけではありません。しかし、流域を便宜的に決定するほうが、流出解析などを行う際に便利なのです。さて、次に分水界に囲まれた範囲の面積、流域面積を求めます。ちなみにこの試験流域の場合、流域面積は9.2haとなります」

Rさん：「どうやって面積を測るの？」

S職員：「その方法として、方眼紙を使った、複雑な形の面積が測定できる機器があります。最近では、図形の面積を計算してくれるパソコンソフトがあります」

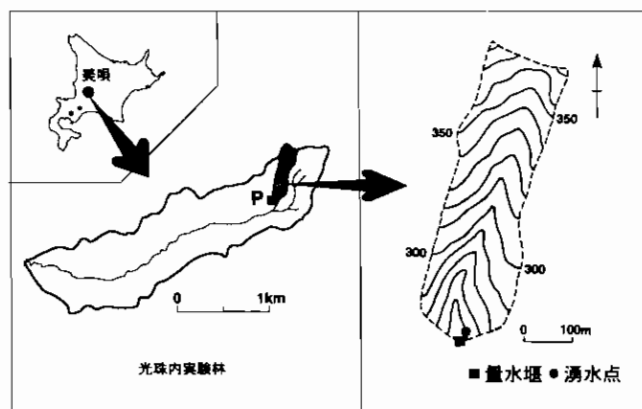


図-1 試験流域，図中P点は降雨量測定地点を示す

Rさん：「とっても便利ね」

S職員：「ええ。次に流域内の地質や植生などについて、現地で調べたり文献を見たりして調べます」

Rさん：「いろいろ調べるんだ。結果はどうだったの？」

S職員：「この試験流域では、地質は古第三紀のうち380～550万年前に堆積した砂岩・泥岩互層、植生はイタヤカエデ・ミズナラ・ホオノキなどの広葉樹林に覆われてました」

Rさん：「流域が決まった後はどうするの？」

S職員：「今度は、実際に雨の量や川の流量を測定します。その方法について、説明しましょう。図-2に、試験流域で行った測定方法の概念図を載せました」

Rさん：「そういえば、テレビの天気予報で雨量何ミリってよく聴くけど、どうやって調べているのかわからないわ」

S職員：「雨の量は、転倒マス型雨量計と呼ばれる専用の機器で測定します。ただし、この機器は周りに雨を遮るものがないところに設置しなければなりません」

Rさん：「そうなんだ。それじゃ川の流量はどうやって測るの？」

S職員：「その方法にはいくつかあります。ここでは、量水堰を用いた方法を説明しましょう」

Rさん：「量水堰って言葉、あまり聞き慣れないけど・・・」

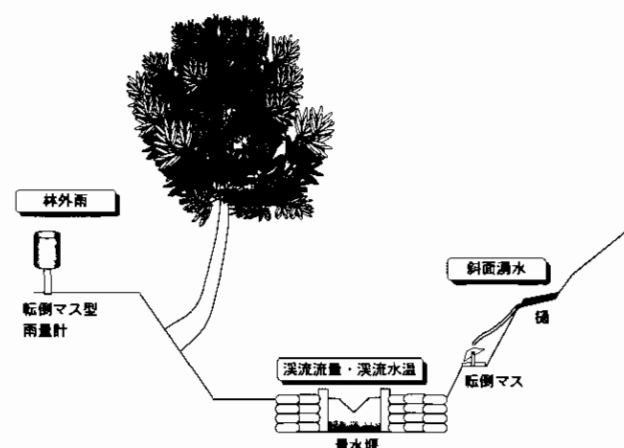


図-2 観測方法の概要

S職員：「森林を流れる川では、礫や川の中に倒れ込んだ倒流木によって流速や水深が大きく変わり、流れが乱れている所がたくさんあります。こうした場所で流量を正確に測定するのに、量水堰は有効な方法です。堰は矩形の箱になっており、その前面は直角三角形の切り欠きが付けられています。渓流水はこの部分を流れます」

Rさん：「ねえ、この切り欠きは直角三角形と決まってるの？」

S職員：「そんなことはありません。対象とする川の流量の大きさによって、この角度が30°, 45°, 60°, 120° の値を取る場合もありますし、切り欠きが台形や四角形になる場合もあります。ちなみに、量水堰の形状は日本工業規格に従った寸法になっています。ただし、あまりにも流量が多い場所、例えば大きな川の下流部では、量水堰は不向きです」

Rさん：「状況に合わせてどれを使うか選ぶってわけね」

S職員：「そうです」

Rさん：「他に何か調べたことがあったら教えて」

S職員：「流域内の斜面から水が流れ出ている場所を見つけたので、この水を樋で集めた後にホースを通して転倒マスに導き、水量を測りました。ここでは、この水を湧水と呼ぶことにします。それと言い忘れましたが、雨量、あとで流量に変換する水位、湧水量はすべて自動記録計で連続観測しています」

Rさん：「便利そうな機械があるのね」

S職員：「ええ、流量などを長期観測するには必要な機器です。こうして得られた流量や降水量などの記録から、森林がもつ水源涵養機能について検討するわけです。それでは結果を見ていきましょう」

Rさん：「どんな結果だったのかしら」

川の流量から何がわかるのか？

Rさん：「ねえ、この棒グラフを逆さまにしたものに折れ線グラフがあわさった図は何なの？」

S職員：「図-3ですね。こうした図はハイドログラフと呼ばれています。上の棒グラフは1日に降った雨の量を、下の折れ線グラフは1日あたりに流出した量である日流量を表しています。この図は、長期間に川の流量がどのように変動したかを見るために4年間の結果を示しています」

Rさん：「この図を見ると、日流量って大きく変化してるわね」

S職員：「いいところに気がきましたね。特に、雨が多く降った日には日流量が大きく増えていることがわかります。ところが、1997年を除いて、1年間で日流量が最も高い値を示すのは、融雪が起きている3～4月の期間です」

Rさん：「雨の時ばかりじゃないんだ」

S職員：「雪の降る北海道では、年間を通じて、この融雪流出期に相当する3～5月に流量が多いことはよく知られ

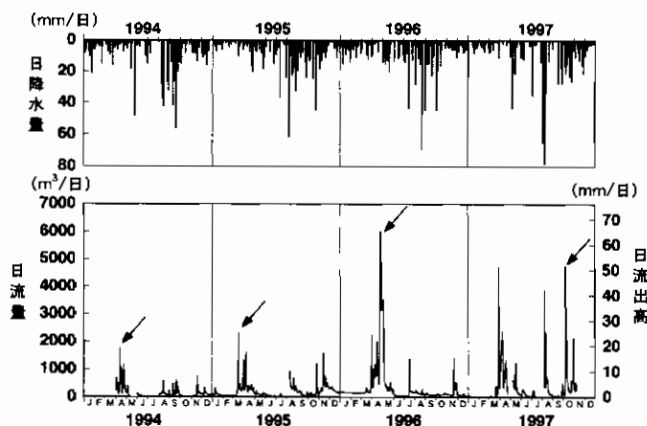


図-3 1994～1997年の溪流流出ハイドログラフ
矢印は年最大日流量を表す

ています。試験流域での1996年の例ですが、3～5月の3ヶ月間の合計流出量は1年間の総流出量に対して71%と高い比率を占めています」

Rさん：「わずか3ヶ月間で71%が流出しているの？ そんなに多いとは思わなかった」

S職員：「空梅雨の時に深刻な水不足に悩まされる本州以南の地域に比べ、北海道では梅雨がないにも関わらず水不足になることはまれです。これは、雪の恩恵によるところです。ですが、融雪による洪水の危険性も同時にはらんでいます」

Rさん：「そういう意味では、雪って諸刃の剣になることがあるのね。ところで、長期間の流量変動についてはわかったけど、短期間ではどんな変動をするのかも教えてよ」

S職員：「わかりました。図-4に、溪流流量と湧水量のハイドログラフをあわせて示しました。ただし、溪流流量と湧水量の単位は異なっています。溪流流量は雨に対応して増水し、尖った形の流量ピークが明瞭に現れています。ここでは、便宜的に第1流量ピークと呼びますが、その量は毎秒5ℓです。この流量ピークが現れた時刻以降になると流量は急激に減少するのですが、今度は2つ目の小さなピーク、第2流量ピークが現れ、それ以降は第3流量ピークを挟んだ緩やかな増水と減水が認められます」

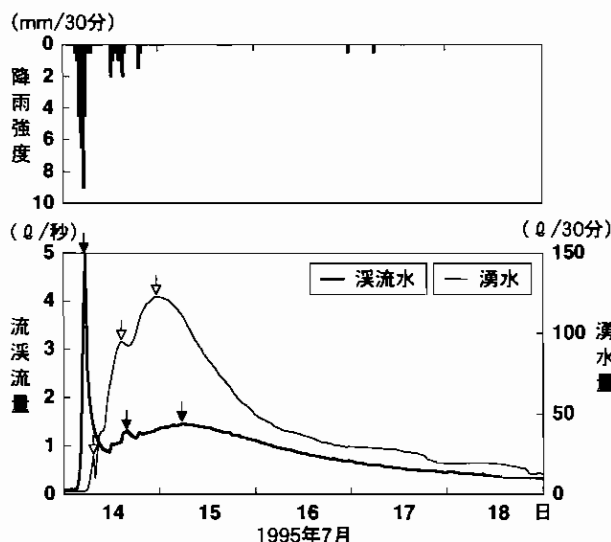


図-4 降雨時における溪流流量および湧水量の時間変化(1995年7月14日～18日)。黒い矢印は流量のピークを、白抜き矢印は湧水量のピークを表す

Rさん：「第1流量ピークだけ？このピークを見ていると、雨に対する溪流流量の反応がすぐ現れているけど・・・」

S職員：「確かにそうですね。しかし、斜面から出ている湧水量の変化を見てみますと、第1流量ピーク時には、小さな第1湧水量ピークはあるものの流量ピークほど明瞭ではありません。第1湧水量ピーク以降には、いったん減水した湧水量はまた徐々に増えていきます。そして、第2湧水量ピークが現れます。それから、第3湧水量ピークが現れるまで増水し、ピーク後は緩やかに減水しています」

Rさん：「流量と湧水量のピークの数と同じだけど、流量と湧水量の変化は全然違うように見えるわ。どうしてなの？」

S職員：「その問いに答えるには、土壌の効果を考えなければなりません。森林土壌の浸透性が良いことは、よく知られています。私も、ある流域で林地と畑地の浸透能を調べました。浸透能とは、土壌が吸収することができる単位時間あたり、単位面積断面を通過する水の流量です。林地では1時間に1000mm以上の雨を浸透させるのに対して、畑地ではトラクターなどの踏圧を受けた部分では、1時間に1mmの雨しか浸透させることができないことがわかりました。畑地では1時間に1mmを超える雨が降ると地表面に水が流れる地表流が発生することになります。ところが、畑地などに比べて森林流域に降った雨は、樹冠に遮断されて土壌表面に達しない量を

除いて、高い浸透能のおかげでそのほとんどが森林土壌に浸透します。このため、森林土壌の表面に地表流が発生することは非常にまれです」

Rさん：「そういえば、アスファルト舗装も雨が降ると表面に水が流れているのをよく見るけど、あれも地表流ってことよね」

S職員：「確かに地表流です。アスファルトは、浸透能が極端に低い例です。さて、森林土壌が高い浸透能を示すことを考えると、湧水は雨が森林土壌に浸透し、地中を流れた後に再び地表に現れた水、つまり地中流と呼ばれるものに相当します。地中流は、土の中を通るためにゆっくり時間をかけて流れます。したがって、雨が降ってもすぐに大量の湧水が出るわけではありません。これが湧水量が緩やかに増加し、そのピークが不明瞭な理由です」

Rさん：「なるほど。でもそうすると、第1流量ピークがはっきりしている理由がわからないわ」

S職員：「第1流量ピークが明瞭な理由は、おそらく川近くの場所に降った雨が短時間に川に流れ込んだものと思われます。また、第2、第3流量ピーク時刻前に対応した湧水量のピークがそれぞれ現れることから、湧水は緩やかな第2、第3流量ピークの形成に寄与していると考えられます」

Rさん：「納得！ となると、今度は地中を流れてくる水の量が川の流量に対してどれくらいの割合を占めているのか知りたくなるわね」

S職員：「そう言われると、溪流流出に対して地中流出の割合がどれくらいであったかを推定しました。図-5は、融雪期のハイドログラフを使って、溪流流量を地中流出成分の量と地表流出成分の量に分離したものです」

Rさん：「ハイドログラフを分離したっていうけど、そんな方法があるの？」

S職員：「融雪流出では、だいたい13~17時ころに流量ピークが現れます。この時、地表流出成分に相当する0℃の融雪水が川に流れ込むため、溪流水温が低下します。この現象を利用して、水温の値から溪流流量を地表流出成分と地中流出成分に分離する方法を考えました人がいます」

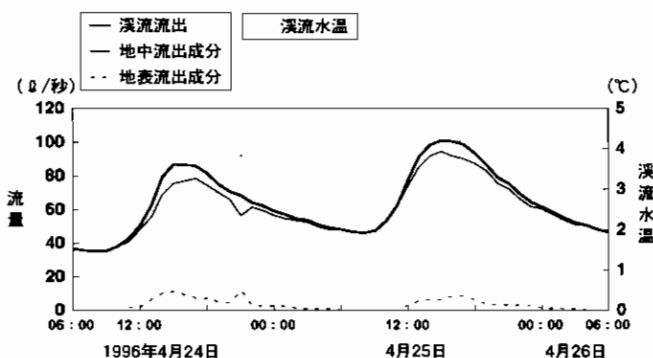


図-5 溪流水温を用いた融雪流出ハイドログラフの分離

Rさん：「ふーん、なるほどね」

S職員：「結果を見てもみますと、融雪流出では90%以上が地中流出成分で占められていて、溪流流量ピーク前後の時でも80%近くが地中流出成分だったことが推定できました。この結果は、融雪水の大部分が地中に浸透していることを示しています。そして、川の上や斜面を覆う積雪から川に直接供給された融雪水が、地表流出成分になっていると考えられます」

Rさん：「こうしてみると、川の流出を考える上で地中流出成分って重要なんだ」

S職員：「そのとおりです」

Rさん：「こうなったら、雨が降ってない場合の流量ってどんな変化をするのかも教えてもらおうかな」

S職員：「それでは、雨の降っていないときの流量変化について述べます。図-6に、1995年と1996年の冬期と夏期における溪流流量変化をそれぞれ示しました。冬期の場合、両年ともに激しく流

量が変化することなく、緩やかに減水していることが読みとれます。一方、夏期の場合、両年ともに雨が降っていないのに流量が1日ごとに増減を繰り返していることがわかります。特に、1日の中で13～14時頃に流量が最小となります。また冬期に比べ夏期では、流量の減水が大きくなっています」

Rさん：「季節によって流量の変化は違うのね。こうした現象が起こる理由ってやっぱりあるの？」

S職員：「実は、夏期における無降雨時のこ

うした変化は、植生や土壌からの蒸発散の影響を受けているのです。蒸発散とは、水蒸気が水面や土壌面、葉の表面から大気中に運ばれる現象です。夏期には日中に蒸発散が盛んになります。蒸発散で失われた量は、川や地下水となって流域外に流れ出すことはありません。そのため、日中の流量は最低になるわけです。また、冬期とは異なり、全体的に流量の減水が大きい理由も蒸発散の影響です」

Rさん：「冬の場合は？」

S職員：「冬期では、川面や斜面が雪で覆われているため、地表面からの蒸発が極めて少ないこと、気温が0℃を下回る日が多いため融雪水が川に供給されにくいこと、樹木をはじめとする植物の蒸発散が顕著でないことが、流量の日変動が見られず、かつ緩やかな減水を生み出している理由です」

Rさん：「なるほどね。じゃあ、次に水質についても教えてもらおうかな？」

S職員：「とりあえず、ここで一息いれましょう。水質の話と森林がもつ水源涵養機能については、後編で説明したいと思います」

Rさん：「ちょっと残念だけど、頭を休めるにはいいかもね。また面白い話が聞けるかな？」

S職員：「もちろんです」

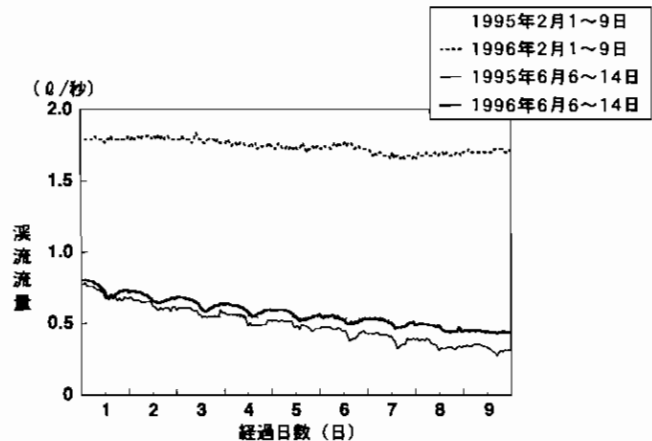


図-6 冬期と夏期における湧水流量の比較