

森と水の関わり（ ）

森林がもつ水源涵養機能

佐藤 弘 和

水質の測り方

Rさん：「そういえば、前回流量の測り方を教えてもらったけど、水質の測り方については説明していなかったよね」

S職員：「そうでした。それでは水質の測定方法を簡単に説明しましょう。その前に、試験流域の地図と観測方法の概要図を図-1、図-2にそれぞれ示しておきます。水質分析には、まず水を採取する必要があります。試験流域では、雨水、特に林のないところに降る林外雨と樹冠を通過して林の中に降る林内雨、それと樹幹流と呼ばれる幹を伝わる水、湧水、渓流水をそれぞれ採水しました」

Rさん：「湧水や川水の採水って簡単そうだけど、雨とか樹幹流の採水ってピンとこないわ」

S職員：「確かに。湧水や渓流水は、直接ポリビンに汲みました。それと、林外雨と林内雨については、漏斗を使ってポリビンに集めました。採水が難しそうな樹幹流では、ゴムホースを縦割りしたものを樹幹に巻き付けて集めました」

Rさん：「へえ。面白いわね」

S職員：「こうして集めた水を実験室に持ち帰り、水質分析を行うわけです。pHは、専用のpHメータを使って計測しました。また窒素、ここではアンモニウムイオン、硝酸イオンと呼ばれるものをイオンクロマトグラフィーと呼ばれる専用の機器で測定しました。それでは結果を見ていきましょう」

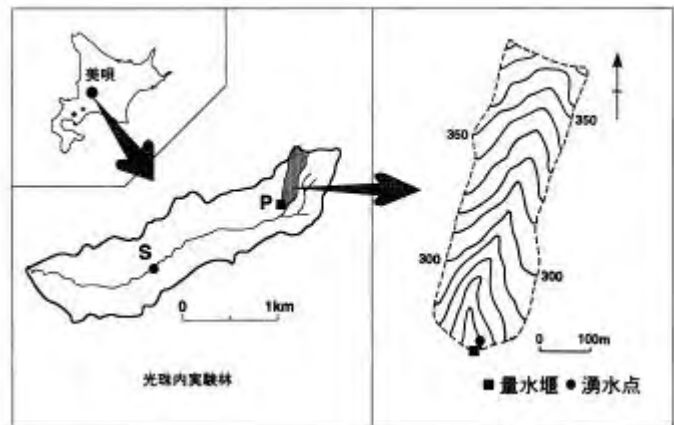


図-1 試験流域。图中S点は下流採水地点，P点は林外雨採水地点を示す

森林流域内で水質はどう変わるのか

Rさん：「そういえば話は変わるけど、テレビで酸性雨って言葉をときたま耳にするけど...」

S職員：「確かに、日本でも酸性雨が降っていることが報告されています。ここでは、雨から溪流に至るまでに水のpHがどのように変わるのかを見て

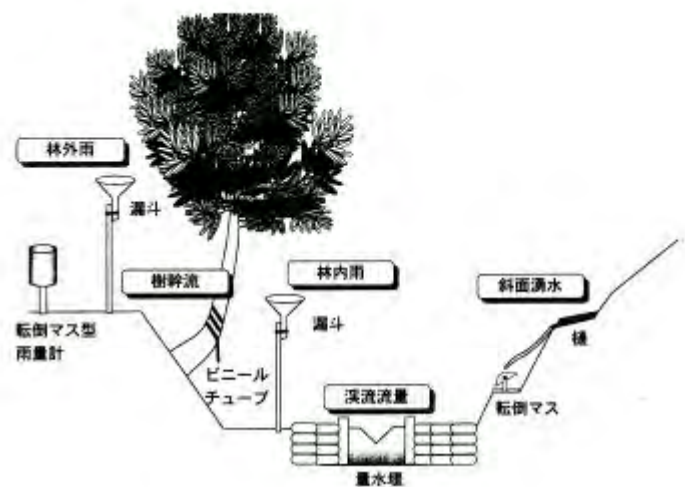


図-2 観測方法の概要

みましょう」

Rさん：「身近な問題だから、しっかり聞いておかなきゃ」

S職員：「図 - 3 は、林外雨と林内雨、樹幹流、湧水、渓流水、それと下流の渓流水の pH について平均値と範囲を示したものです。pH の測定期間は、1995 年 6 ~ 9 月です。なお、下流の渓流水を採水した地点は、試験流域から 1.4km 下流、図 - 1 の S 点です。酸性雨は人為的汚染によって引き起こされますが、汚染を受けていない雨の pH は 5.6 になることが知られています」

Rさん：「どうして？酸性じゃなかったら中性でしょ。だったら pH は 7.0 じゃない？」

S職員：「これは、大気中にある炭酸ガスが雨水に溶けるため、雨は弱酸性を示し、そのときの pH が 5.6 になるからです。ということで、酸性雨とは、pH が 5.6 より低い雨を指します。残念ながら、図 - 3 の林外雨の pH を見ると、試験流域に降る雨は酸性雨でした」

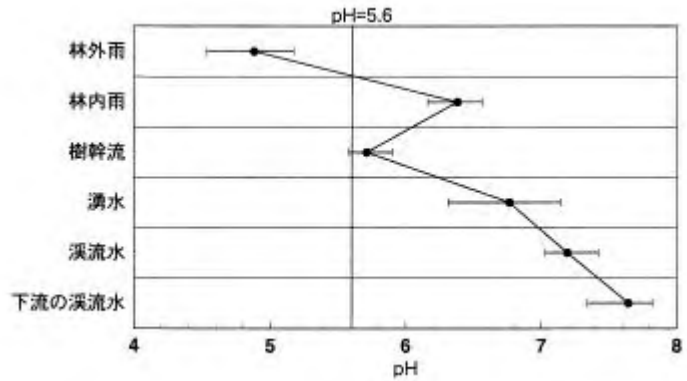


図 - 3 各採水項目の pH 平均値 (黒丸) と範囲 (バー)

Rさん：「酸性雨の魔の手が広がってるって感じね」

S職員：「ですが、林内雨や樹幹流の pH は、ほとんど 5.6 を超えています。そして湧水、渓流水、下流の渓流水となるにしたがって、pH は高くなります」

Rさん：「これって酸性雨が中和されてるってこと？」

S職員：「そのとおりです。酸性雨が溪流となって流出する間に、広葉樹林流域が酸性雨を中和していることがわかりました。特に、樹冠を通過することで pH が高くなる効果は重要です」

Rさん：「森林ってすごい！」

S職員：「pH が流域内で変化するという事は、水素イオン濃度が変化するという事です。この水素イオン濃度は、大気中や樹冠通過時に溶け込む硝酸イオンや硫酸イオンなどの酸の有無、土壌中の二酸化炭素やカルシウムイオンなどの影響、二酸化炭素の脱気の影響などによって変化することが報告されています」

Rさん：「ずいぶん複雑なのね」

S職員：「そうです。さて、pH の結果はここまでにして、次に窒素に着目しましょう。窒素やリンは、陸上植物だけでなく水中に生息する藻類や植物プランクトンにとって必須な栄養素です。しかし、窒素やリンが過剰に含まれた河川水が湖沼や内湾などの閉鎖水域に入りますと、藻類や植物プランクトンなどが大繁殖し、水中に溶け込んでる酸素量の低下などが引き起こされることで、魚などの水生動物を死滅させることがあります」

Rさん：「あっ、富栄養化と呼ばれてるものでしょう」

S職員：「よく勉強してますね。窒素やリンは、植物の生育にとって必要な元素であると同時に環境に対する汚濁物質にもなりうるわけです。では、森林流域内で水中の窒素はどのように変化するのでしょうか。図 - 4 に、図 - 3 と同じ採水項目の硝酸イオン濃度とアンモニウムイオン濃度の平均値と範囲をそれぞれ示しました」

Rさん：「さっき窒素って言ってたよね。
でも、図 - 4 にはアンモニウムイオンとか硝酸イオンってあるけど...」

S職員：「今まで窒素とひとまとめにしていましたが、実は、水中に溶け込んでいる窒素には、炭素が含まれている有機態窒素と炭素が含まれない無機態窒素があります。さらに、無機態窒素にはアンモニウムイオン、硝酸イオン、亜硝酸イオンがあります。これらの成分は、生物活動や化学反応、人為的影響などにより濃度が変化します」

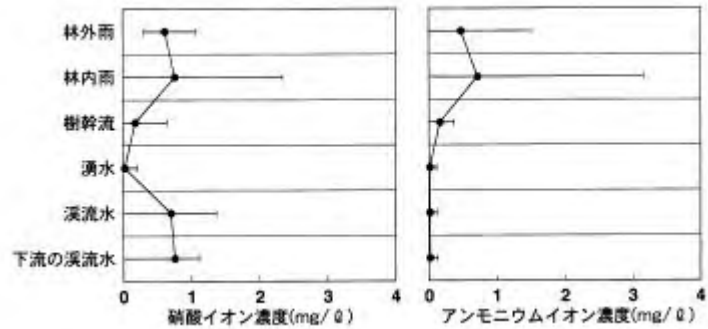


図 - 4 各採水項目の硝酸イオン濃度，アンモニウムイオン濃度の平均値（黒丸）と範囲（バー）

Rさん：「難しそう...」

S職員：「それでは、とりあえず簡単に結果を説明します。林外雨や林内雨、それに樹幹流のアンモニウムイオン濃度と硝酸イオン濃度の平均値は、それら以外の採水項目より高い値を示しています」

Rさん：「もしかしてこの原因って、よく騒がれてる自動車の排気ガスから出る...えっと何だっけ？」

S職員：「窒素酸化物または NO_x とか言われているものです。また、雨中に溶け込んだ窒素は、土壌から大気へのアンモニアの揮散によって供給される場合があります。いずれにしても、これらの現象が雨に含まれるアンモニウムイオンと硝酸イオンの濃度に影響していると考えられます。ところが、湧水のアンモニウムイオンと硝酸イオンは、雨や樹幹流に比べて濃度の平均値が減少しています」

Rさん：「前に湧水は土壌を通過してきた水って言ってたけど、土壌中には根があるわけだから、植物がアンモニウムイオンや硝酸イオンを利用して濃度が減少したのかもしれないわね」

S職員：「それも考えられます。他に、土壌中に窒素が蓄積されたり、土壌からのアンモニウム揮散や硝酸イオンと亜硝酸イオンが窒素ガスなどに変わり大気中に拡散される脱窒などの化学反応もイオン濃度を減少させた原因であると思われます」

Rさん：「本当に複雑ね。水質変化って意外と単純なものかと思っていたのに...」

S職員：「複雑なことは確かです。ところで、湧水ではほとんど検出されなかった硝酸イオン濃度を見てもみますと、渓流水や下流の渓流水でふたたび高い濃度を示しています」

Rさん：「これも不思議ね」

S職員：「残念ながら、はっきりとした原因はわかりません。ですが、地中水である湧水のアンモニウムイオンと硝酸イオンの濃度がほとんど 0mg/l であることを考えると、渓流水に硝酸イオンが新たに添加されていたこととなります。もしかすると、渓流水に硝酸イオンが供給された原因として、川に落ちた葉っぱに付着したバクテリアの活動によるものや、葉中の成分が水に溶けだしたという可能性があります」

Rさん：「葉っぱにも窒素が含まれてるってこと？」

S職員：「そうです。ただし、これはあくまで推測です。このように森林内の窒素循環はとても複雑ですが、最近では窒素の安定同位体を分析することで、流域内の窒素循環のメカニズムを解明しようとする研究があります」

Rさん：「まさに日進月歩ね」

水源涵養機能とは何か？

Rさん：「いろいろみてきたけど，結局，水源涵養機能ってどんなものなの？」

S職員：「水源涵養機能には，大きく分けて2つの機能があります。一つは流出の平準化，もう一つは水質保全機能です」

Rさん：「水質保全機能は何となくわかるけど，流出の平準化って言葉は聞いたことがないわ」

S職員：「流出の平準化は，洪水を緩和すると同時に渇水を起きにくくする機能のことです。こうした機能が発揮されている流域のハイドログラフは，融雪や降雨があっても急激な増水を示さず，流量ピーク後も緩やかに減水します。さらに，流量ピークの値もあまり高くなりません。言い換えれば，ハイドログラフがならされるわけです」

Rさん：「そういえば，湧水量の変化もそんな感じだったわ。でも緩やかな増水や減水，それにピーク流量が抑えられるなんて，まさに洪水緩和と渇水緩和ってわけね。とっても理想的だけど，なぜそうなるのか，いまいわからないわ」

S職員：「まずは，アスファルトに覆われた斜面や，トラクターなどによる踏圧を受けた傾斜畑に雨が降った場合を考えましょう。こうした斜面は浸透能が低いので，降った雨の大部分は地表流として流れます。ですが，この地表流はかなり速い流れですから，すぐ川に到達します。そのため，降雨によって短時間に大量の地表流が川に集中すると，川は急激に増水しピーク流量も大きくなるわけです。また雨が止むと，すぐに地表流の供給がなくなりますから，川の流量は急激に減少します」

Rさん：「じゃあ，森林の場合はどうなるの？」

S職員：「実は，森林流域内での水の動きは思ったより複雑なんです。ですから，ここでは概略的なお話をしましょう。森林の場合，大部分の降雨は土壤中に浸透します。そのとき，浸透した水の一部は斜面中を流れる地中流出成分となって川に向かいます。しかし，地中流出は土壤中を通過する流れなので，地中水の流速は遅くなります。つまり，森林流域に降った雨が川に到達するまでの時間は長くなります。そのため，降雨時には地中水がすぐ川に流れ込まないわけですから，渓流流出では緩やかな増水を示す結果になります。それと，降雨時に浸透した水のすべてが川に流出するのではなく，流域内に一時的に貯留される量があります。森林土壌ではこの貯留量が多いために，降雨時のピーク流量が抑えられるわけです。さらに，貯留された水は蒸発散で失われる量を除けば，時間をかけて徐々に川へ流出していきます。このおかげで，雨が降り終わった後にすぐ流量が減ることはなく，ハイドログラフは緩やかな減水を示すのです」

Rさん：「となると，地表流出成分より地中流出成分が多い方がいいわけね。」

S職員：「そうですね。森林流域では，ほとんどの場合，地中流出成分の割合が地表流出成分の割合を大きく上回っています。ところが，畑地やアスファルト舗装の多い都市部を流れる川では，地表流出成分の割合が多くなります。こうしてみると，地表流出成分と地中流出成分の配分には，地表面の浸透能が重要な要素になります。土地改変などで森林土壌を除去したり攪乱したりすると，浸透能が低下することがあります」

Rさん：「まるで浸透能の差は地中流出と地表流出を分けるフィルターのような感じがするわ。流域の地表面って重要なのね」

S職員：「重要なのは地表面の浸透能だけではありません。地中水の挙動，例えば土壤中に貯留される

量や地中流出成分が川に向かう経路などは、土壌の理学性や厚さ、土壌層の下位に堆積している岩の構造などにも影響されます。例えば、流域面積や分水界形状、気象条件、地質条件、林相、土壌の物理性がほぼ同じで隣り合った2つの流域で流量を測ったところ、溪流流出の形態がまったく異なっていました。これは、地下の土層厚分布の違いが反映していると考えられるケースです。この結果からも、水源涵養機能を考える場合には、流域内の地表面下の情報も重要であることがわかります。そして、流域ごとに水源涵養機能は異なるものだと認識する必要があります」

Rさん：「つまり、一見同じような流域でも水源涵養機能から見れば別々の顔があるってことね。言い換えれば、流域の固有性ってところかな」

S職員：「なかなかいい表現ですね」

Rさん：「流出の平準化についていろいろ聞いたけど、森林ってやっぱりすごいと思うわ」

S職員：「ところが、水資源の面から見て森林のマイナス効果というのがあります」

Rさん：「えっ？」

S職員：「実は無降雨時の流出で見たように、樹木を始めとする植物は根から水を吸収しますし、土壌などからも蒸発していきます。こうした蒸発散で流域外に逃げた水は、私たちには利用できません」

Rさん：「いいことばかりじゃないんだ...」

S職員：「ですが、豪雨災害が多く深刻な渇水が起こりうる我が国では、森林流域で見られる流出の平準化が重要な機能であることは間違いないでしょう」

Rさん：「そうだね。ところで、水質保全機能についてはどうなの？」

S職員：「水質保全と一口にいっても様々な効果があります。pHや窒素でみたように、森林には、酸性雨を中和することで河川の酸性化を抑える効果、アンモニウムイオンや硝酸イオンを吸収利用することで、これらの成分が川へ過剰流出することを防ぐ効果があります。このほかにも、川の濁りを引き起こす土砂の過剰流出を防ぐ働きがあります」

Rさん：「水質保全の面から考えると、森林があれば絶対安心って感じね」

S職員：「そういうわけにはいきません。森林は万能ではないのです。例えば、森林土壌に酸性雨が降り続けば中和機能が低下することを林業試験場の研究職員が実験的に解明していますし、あまりにもpHの低い雨が降ると植物が枯れてしまうとともに、川や湖が酸性化し水生生物が棲めなくなります。現に、こうした現象が起こっているヨーロッパでは、深刻な問題となっています。また、酪農地では川に流れ込む糞尿を林によって浄化しようとの期待が高まっていますが、やはり糞尿を川に直接流し込まないようにすることが一番重要です」

Rさん：「何事にも限度があるということね？」

S職員：「そういうことになります。森林が持つ水源涵養機能については、わかったこともあれば、まだ解明されていないこともあります。これからも水源涵養機能に関する研究を続けていかなければならないでしょう」

Rさん：「また何かわかったら教えてね。楽しみにしてるわ」

(流域保全科)