

川の濁りはどうして起こるのか？

- 胆振地方貫気別川流域での事例から -

佐藤 弘和

川の濁りについて私が思うこと...

『この原稿を書いている 4 月下旬の時期。私が住む美唄も、雪が消え春の訪れを迎える。そして帰宅がてら近くを流れる美唄川を見ると、ゴォーという音とともに茶色く濁った水が流れている。美唄川だけではない。今、調査をしている当別町を流れる当別川、その支流の一番川、さらにその支流である村田の沢川、すべてが濁っている。そして、ここで紹介しようとする貫気別川でもそうだった。そして、雪解けが起きている日、大雨が降ったときや雨のない日では、川の濁り具合は異なっている。では、いったい川の濁りをもたらしているものはどこからくるのか。そしてどれだけ流れているのか...』

川の中に含まれるものの濃度や量は どうやって調べるのか？

誰しも濁った川を見て、著者と同じように「どこから濁るのか。どれだけ濁っているのか」を一度は考えたことがあるのではないのでしょうか。そこで、その疑問に答えるべく、これから川の濁りについてお話ししようと思います。その前に、濁った川に含まれているものを調べる方法に触れなければなりません。

ある川で、雨の日、雨のない日、そして融雪が起きている日に川の水を汲み、その川水を適量（濁り具合によって 0.1~1ℓ）とって、0.1mm メッシュのふるいを通した後、ガラス繊維濾紙を使った吸引濾過（アスピレーターという機器を使って吸引します）を行うと、濾紙には茶色いものが多かれ少なかれ残ります。これが、濁りを引き起こすものの正体、浮遊土砂です。（懸濁態物質とか浮遊性物質ともいわれますが、ここでは浮遊土砂と呼びます）なお、0.1mm メッシュのふるいを使う理由は、流水中に粒子が浮かんで流れる粒径が 0.1mm 以下といわれているからです。この濾紙を乾燥機を使って 80℃ で 48 時間乾燥し、吸引濾過後の濾紙の重量から吸引濾過前の濾紙の重量を引いた値を濾過した水の水量で割ると、この浮遊土砂の濃度（1ℓ あたり何グラムかを表すもので、単位は mg/ℓ）が求められます。この濃度は、濁りと深い関わりがあります。例えば、1g の土砂に 1ℓ の水と 10ℓ の水をそれぞれ入れて攪拌すると、当然のように水が濁ります。そして、明らかに 1ℓ の水の方が 10ℓ の水より濁って見えます（前者の濃度は 1,000mg/ℓ、後者は 100mg/ℓ）。このように、浮遊土砂の濃度は、濁りを表す大事な指標の一つといえるでしょう。

濃度以外に浮遊土砂に関する重要な指標として、負荷量というのがあります。負荷量は濃度に流量を掛けたもので、単位は g/秒や kg/秒、トン/年などとなります。負荷量は、単位時間あたりに流れ出る浮遊土砂の量を直接表すこととなります。

川の水の中に含まれるものとは、どんなものか？

川の水の中には、浮遊土砂が含まれていると述べましたが、この浮遊土砂も詳しく見ると様々なものに区分されます。例えば、浮遊土砂はまず有機成分と無機成分に大きく分けられます。有機成分には、葉っぱや枝が細くなったものや、藻類、水生昆虫などの糞、土壌など主に生物由来のものが多く含まれます。一方、無機成分には、主に細かい砂、シルト、粘土などが含まれます。浮遊土砂以外にも、川の

水には水に溶け込んだ酸素や二酸化炭素といった気体、マグネシウムやカルシウムといったイオン、鉄やマンガンといった微量重金属などが含まれています。これらの成分も、過剰に含まれていたり極端に少ないと、川に棲む生き物や私たちの生活にとってゆゆしき事態になることがあるのですが、私たちに
 にとって川の濁りは目に見える現象ですから、浮遊土砂は河川の濁水化として特に社会問題になりやすい
 のです。では、浮遊土砂はどのようなときに川から流出するのでしょうか。

浮遊土砂はどのようなときに川からでてくるのか？

これ以降、貫気別流域での事例についてお話しします。貫気別川は洞爺湖西部に位置し噴火湾に流れ込む川で、流域面積が237,6km²、畑地と森林が混在した土地利用状況になっています(図-1左の地図)。貫気別川における浮遊土砂濃度と流量の季節変化を見てもみますと(図

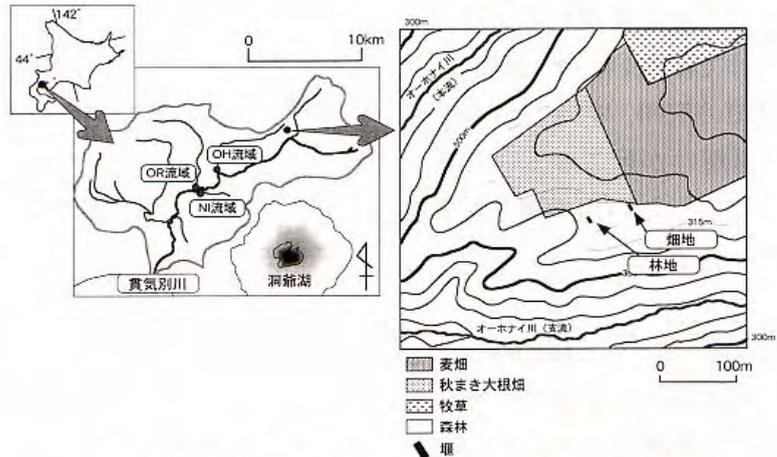


図-1 調査地域(貫気別川流域)の概要図

2) 浮遊土砂濃度は、雨のない日では数 mg/l 程度ですが、融雪や雨によって流量が増加したときには数百 mg/l、ときには1,000mg/l を越えています。このように融雪や降雨によって流量が増加し、浮遊土砂濃度が高くなることは、他の河川でも多数報告されています。このように浮遊性(懸濁態と呼ぶこともある)の物質は、流量が増加するとともに、濃度が上がるという特徴があります。

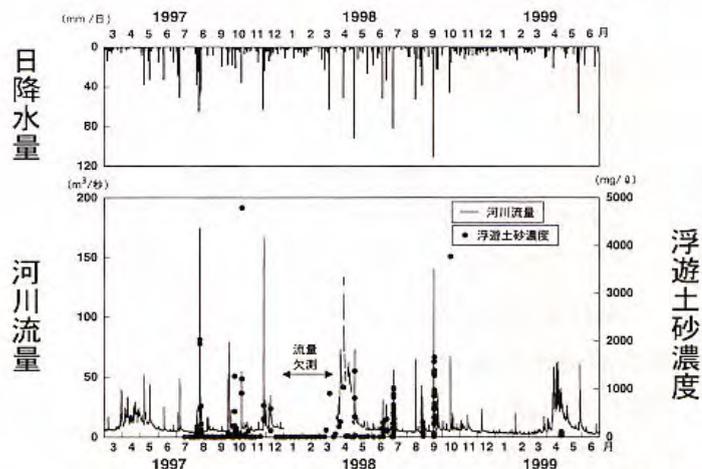


図-2 貫気別川河口における流量、浮遊土砂濃度の長期変化

浮遊土砂の量は1年間でどれだけ出るのか？

貫気別川流域について、1年間に川を通じて海に流れ出る浮遊土砂量を計算しました。その方法ですが、まず、採水時の負荷量とそのとき観測された流量のデータを使って以下の回帰式を求めます。

$$L = aQ^b$$

ここで、L は負荷量、Q は流量、a と b はこの式が最もよく当てはまるように決めた係数です。この回帰式から、数年間観測を続けている流量を負荷量の値に変換し、その値1年間分を足しあわせることで年間浮遊土砂流量が求められます。

結果として、貫気別川流域では1年間に約26,900トンもの土砂が海に流れ出していました。この値がピンと来ない人のために、例え話をしましょう。お相撲さんだった曙の体重を仮に200kg とすると、貫気別川流域の年間浮遊土砂流出量は曙134,500人分が海に流れ出ることになります(本当にこんな事

が起こったら、かなり怖いですが...)。貫気別川流域の支流で測定した浮遊土砂の密度はだいたい 2.4g/cm^3 でしたので、これを当てはめると、1年間に流出した浮遊土砂の総体積は約 $11,200\text{m}^3$ となります。縦、横、高さがすべて 1m の長さの箱に浮遊土砂を詰めて縦に積み重ねますと、その高さは、エベレストの標高を遙かに超え、成層圏に達します。土の粒子は 0.1mm 以下と小さくても、たくさん集まると大変な量になります。まさに、「塵も積もれば山となる」です。

川によって浮遊土砂の濃度は、どのように異なるのか？

今度は、貫気別川流域の支流に着目して見ましょう。土地利用が異なる3つの支流域(図1左の地図)について、雨が降ったときの浮遊土砂濃度と比流量(流量を流域面積で割った値)の変化を図3

に示しました。これらの支流域は、流域面積に対する畑地面積の割合が異なります。NI流域(流域面積が 12km^2)は畑地面積率が79%、OH流域(流域面積が 22km^2)は42%、OR流域(流域面積が 22km^2)は9%の流域です。このことを念頭において、特に浮遊土砂濃度が最も高くなる値(ピーク)を比較してみますと、畑地面積の割合が最も大きいNI流域の浮遊土砂濃度のピークは最も高く、2番目に畑地面積率が高いOH流域の濃度

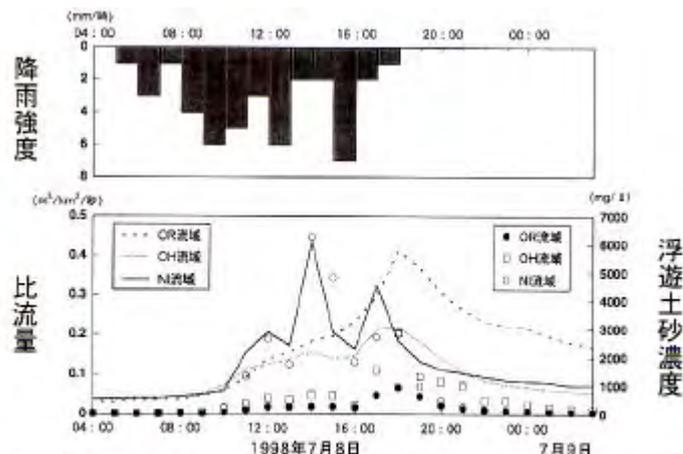


図-3 降雨時における貫気別川各支流域の流量、浮遊土砂濃度の時間変化(1998年7月8~9日)
ラインは比流量を、シンボルは浮遊土砂濃度を表す

ピークが次ぎに続き、畑地面積率が最も小さいOR流域の濃度ピークは最も低くなっています。このように、貫気別川流域では、畑地の面積と浮遊土砂濃度の間に何か関係がありそうに見えます。

浮遊土砂はどこからくるのか？

「畑地と浮遊土砂濃度には関係がありそうだ」ということが、畑地面積率の違う支流域の浮遊土砂濃度を比較することでわかってきました。そこで、実際に畑地から出てくる浮遊土砂濃度をOH流域内で

測定しました(なぜなら、OH流域は他の支流域に比べ良好なデータが得られたからです)。図-4は、降雨時における畑地から流れ出した濁水中の浮遊土砂濃度ならびに流量(図-1右の地図で畑地と描かれた堰での値)と、広葉樹林とササで構成された林地(同図で林地と描かれた堰での値)を通過したときの浮遊土砂濃度と流量をあわせ

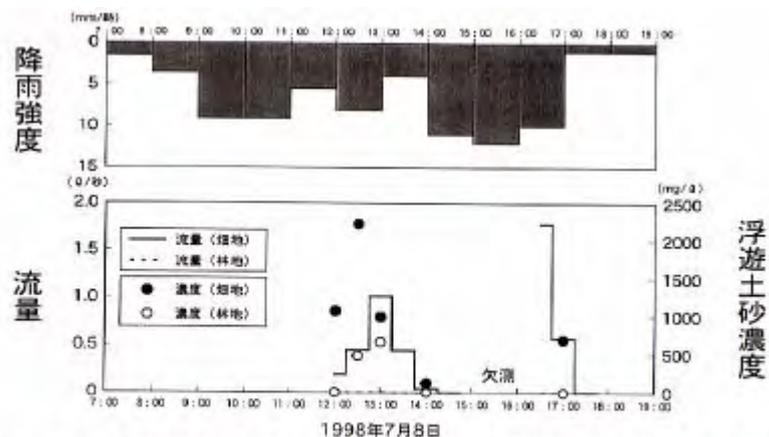


図-4 降雨時における畑地と林地の浮遊土砂濃度と流量

て示しています。なお、畑地と林地の堰に挟まれた部分は、傾斜 10°、長さ 67m で、普段は流れていない谷底斜面です。図 4 を見ると、畑地の浮遊土砂濃度は、1000mg/l を越える値でした（それに比べて、林地の浮遊土砂濃度は、1000mg/l 以下でした）。このように、畑地では、降雨時に高濃度の浮遊土砂を含んだ濁水が発生していることがわかりました。

では、実際に河川の水に含まれている浮遊土砂は、畑地からのものなのでしょうか？ OH 流域で、畑地や川の周りに堆積していた土壌と雨の時に河川水に含まれていた浮遊土砂の鉱物組成について、X線回析と呼ばれる方法でそれぞれ調べてみました。その結果、畑地土壌にしか含まれていないクリストバライトと呼ばれる鉱物が、河川水の浮遊土砂に含まれていました。少なくとも、雨の時に河川が運ぶ浮遊土砂には、畑地由来のものが混入していたのです。

次に、「なぜ、畑地で高濃度の濁水が生じるのか？」という疑問が起こります。これについて、畑地では農作業で使うトラクターが走ることによって、地面が踏み固められてしまうことで、雨が土の中にしみ込まず、地表を流れる地表流が発生することが考えられます。そして、この地表流が地面の土を削り取り濁水化するのです。そこで、畑地（麦畑、大根畑の畝と畝間）と林地の基準浸入能を測ってみました。（図 - 5）。基準浸入能とは、地面の浸透性の善し悪しを示す指標で、値が高いほど浸透性が良いと判断できます。さて、図を見

てみますと、林地の値に比べて、麦畑や大根畑の基準浸入能の値は低くなっています。特に、トラクターの車輪が何度も往復する畝間の基準浸入能は、かなり低い値でした。実際に、雨の日では畝間の濁水が発生していました。このことから、畑地で発生した浮遊土砂は、農作業と深く関わっているといえるでしょう。

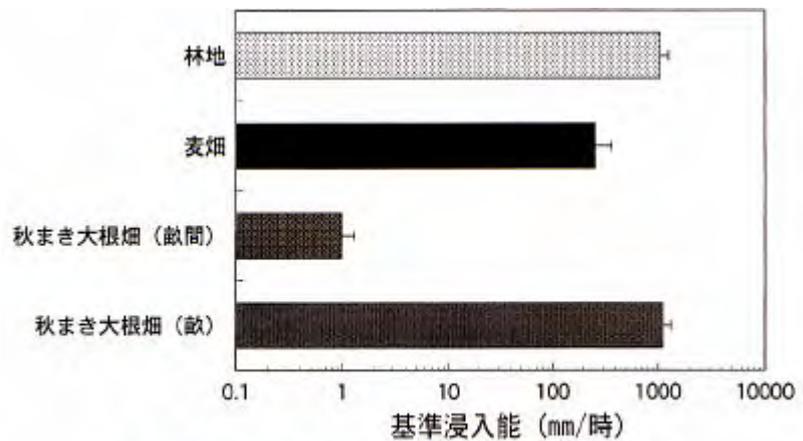


図-5 畑地と林地における水の浸透性の違い

森林は浮遊土砂の流出をくい止められるのか

図 - 4 では、林地における浮遊土砂濃度が畑地での濃度に比べて低くなっていました。このことは、

林地によって浮遊土砂の流出をくい止めることを期待させます。そこで、浮遊土砂負荷量の値から、林地によって捕捉される浮遊土砂の割合（捕捉率）と畑地での流量に対する林地での流量の比（流量比）を図 - 6 にまとめてみました。ちなみに、流量比は、林地に浸透する水の量が多いほど、値が小さくなります。

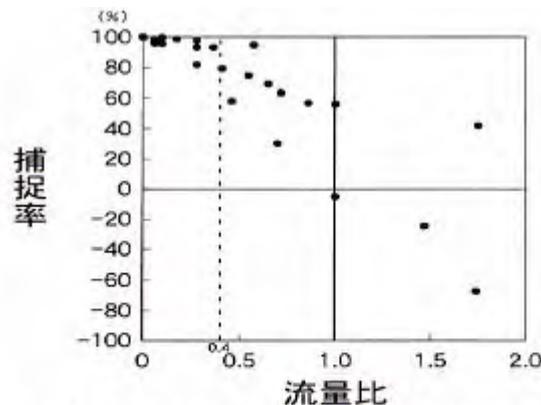


図-6 林地による浮遊土砂の捕捉率と流量比（＝林地での流量/畑地での流量）の関係

図 - 6 では、流量比が小さいほど捕捉率が高い値を示しています。特に、流量比が 0.4 以下では、捕捉率は 80%以上となっています。捕捉率が 100%近い値のときに林地の状況を見てみますと、畑地からの濁水のすべてが林地の途中で浸透していました。このように土壌に水がしみ込むことで土砂が捕捉される濾過作用を内部濾過（濾材濾過）といいます。また、流量比が 1.0（畑地と林地の流量は同じ）で捕捉率が 56%と相対的に低い値を示したときには、畑地と林地の間には地表流が途切れることなく流れていました。このとき、畑地と隣地の捕捉率が違う原因は、流量は畑地と林地で同じですから、畑地より林地の浮遊土砂濃度が低かったことによるものです。このように、土壌中を通過せずに草や灌木などによって土壌表面に土砂が堆積し、水だけが排出される濾過作用を外表面濾過（ケーキ濾過）といいます。なお、畑地の堰付近で地中に浸透した水は、いずれ下流側の堰に到達しますが、その速さは地表を流れる場合に比べて遅くなります。図 - 6 では捕捉率が負の値を示す場合がありますが、これは林地表面に溜まった浮遊土砂が洗い出されるなどしたことが理由として考えられます。

今回調べた林地では、両方の濾過作用が確認され、程度の差はあるものの、林地によって浮遊土砂は捕捉されていたことがわかりました。つまり、森林によって浮遊土砂流出を抑制することが期待できます。ただし、林地の傾斜が 35°以上になると、捕捉効果が効かなくなるとの報告もありますし、内部濾過にしても、過剰に濁水が浸透すると目詰まりを起こして浸透性が落ちることも予想されます。したがって、河川の濁水化をくい止めるには畑地周辺の林地を保全（ときには造成）することが大事ですが、濁水すべてを林地のみで濾過できると期待しすぎないことです。また、農業サイドでは、侵食防止剤を入れたり、畝間からの排水に対する流末処理、牧草帯導入などの畑地からの土砂流出を抑制する方策がそれぞれ検討されています。このように、畑地周辺の林地を保全、造成するとともに、浮遊土砂の供給源に対して土砂が発生しない対策もあわせて行うことも、川の濁りを防ぐ上で重要です。

浮遊土砂の実態を把握することは大事なこと！

川が濁る原因には、今回取り上げた流量や土地利用などのほかに、地質や降水量、地形などが複雑に絡んでいます。ここでは、貫気別川流域のように森林と畑地が混在する場所での事例を述べましたが、森林だけの流域でも浮遊土砂は量が少ないものの流れ出しています。ですから、川が濁ったとしても、自然状態で起こったことなのか、何か人為的な影響など特殊なことが起きたのかを考える必要があります。そして、こうした判断をするためにも、浮遊土砂濃度を測定する必要があります。

いずれにせよ、浮遊土砂による河川の濁水化を防止する有効な対策を考えるには、浮遊土砂がどれだけ流出しているかを実際に測定することで把握し、浮遊土砂が発生する供給源を解明することが重要なのです。

道立林業試験場では、平成 13 年度から道内 3 箇所の道有林管理センターの協力のもと、今度は農地を対象とするのではなく、森林内の伐採施業予定地における施業前後の濁水状況を濁度計で簡易測定することで実際の川の濁りを数値化し、水環境に配慮した施業方法の指針や基準を作成する予定です（この結果については、いずれ報告します）。こうした試みによって、河川の濁りに対して漠然とした議論ではなく、数値に基づく具体的な議論ができるようになるでしょう。

（流域保全科）