

イオン組成から見た霧多布湿原内の水環境の特性と それに対する湧水の寄与

朴木 英治(富山市科学文化センター)・若菜 勇(阿寒湖エコミュージアムセンター)

1. はじめに

霧多布湿原は釧路湿原と並ぶ国内有数の湿原の一つとして知られており、水質データから水や物質の動き方を研究している著者にとって一度は行ってみたい場所でした。このたび、平成14年度の研究補助金をいただき、初めて霧多布湿原に足を踏み入れ、湿原や周辺の丘陵の水を調査する機会を得ました。調査に際して、最も関心を持って調べている、水の循環(移動)に伴う海塩輸送の観点からいくつかの予想(実験仮説)をたて、本当にそうなっているのかどうかを確かめようと試みました。その中で、数々のおもしろく、また、不思議な知見も得られました。以下に、霧多布湿原に存在する様々な水の水質や、水質をとおして見られる湿原内の水の動きなどについて報告いたします。

2. 調査の目的

この調査で知りたかったことは、大きく分けて2点ありました。一つは、丘陵地の谷に湧き出す湧水の水質がどのようにして形成されてくるのかということです。

もう一つは、湿原内を流れる川の水質がどの程度丘陵起源の水の影響を受けているのかということです。単純に考えれば、湿原内を流れる河川には、湿原内に降った雨が起源となる水と周辺の丘陵地に降った雨が起源となる水の2種類が混合しているわけで、その混合の様子が見えるのかどうなのかということでした。

これらを考えるとき、私の研究ではいつも海の塩分の主成分である塩化物イオンという成分を使っています。降ってくる雨や雪の中に溶けている成分のほとんどは河川や地下水の中にも溶けていますが、塩化物イオン以外の成分は雨が地下に浸透した後、濃縮や希釈といった物理的な作用以外の仕組み、例えば、植物による吸収や土からの溶出、さらに、イオン交換といって、水の中に溶けていた成分が土にくっつき、その代わり違う成分が土から溶けだしてきて、結果として、水に溶けているイオンの交代が起きる現象などによって濃度が増えたり減ったりします。これに対して、塩化物イオンは、温泉の流入や人間による汚染がない限り、その起源は降水中に含まれるものや、海から直接運ばれる風送塩によるもので、植物による蒸散や地表面からの水の蒸発による濃縮によって濃度が高くなることはあっても、地面の中で新たに供給されたり、除去されたりすることはありません。このため、水に溶けた塩化物イオン濃度の変化と他の成分の濃度変化との違いを追いかけることで、その成分が地面の中から溶けだしたり吸収されたりする様子も知ることができます。また、起源の異なる水の混合の程度を考えるための計算にも塩化物イオンは大変便利な成分です。さらに、降水や風送塩によって運ばれてくる海塩の量は、海から離れるにつれて少なくなるので、地下水や河川水の塩化物イオン濃度を調べ、比較することで、採水地点の上流側に広がる集水域が海から近いのか遠いのかということも考えることができる便利な成分です。

3. 調査の方法

調査は2回行いました。第1回目の調査は、平成14年7月2日～3日に行い、湿原内に咲くワタスゲやエゾカンゾウ、クシロハナシノブなどの花を見ながら、丘陵地の湧水や湿原内の河川、湖沼の水を見て回り、分析用の試料を採取しました(図1:採水地点)。ワタスゲは富山では標高1,800 m程の所にある立山の弥陀ヶ原にある湿原でよく見かける種類で、この花が海のすぐ近くで花を咲かせていることはちょっとした驚きでした。調査の際に、地温と谷水の水温を測定するための温度センサーを地中や水中にそれぞれセットし、これをデータロガーに接続して、30分に1回データを記録するようにしました(図2のStation 3の位置、以下StationはSt.と略して表記します)。センサーを地下に埋める作業ではブユの大群に悩まされました。本当に小さな虫なのに刺された後のかゆみのすごさは別格で、富山に帰った後も一週間ぐらいチクチクするようなかゆみが続きました。

第二回目の調査は10月4日～5日に行いました。ちょうど10月1日から2日頃にかけて台風が日本を縦断し、北海道を通過した直後で、台風を追いかけるように富山から霧多布に向かいました。この時の調査は降水量が比較的少なかった7月の調査とは対照的で、台風による雨で湿原内が文字通り水浸しになったような状況下での調査となりました。このときの4番沢川は川の水が湿原内に氾濫していましたが、水のごりは少なく、森林やその下の土壌がかなり安定しているようでした。

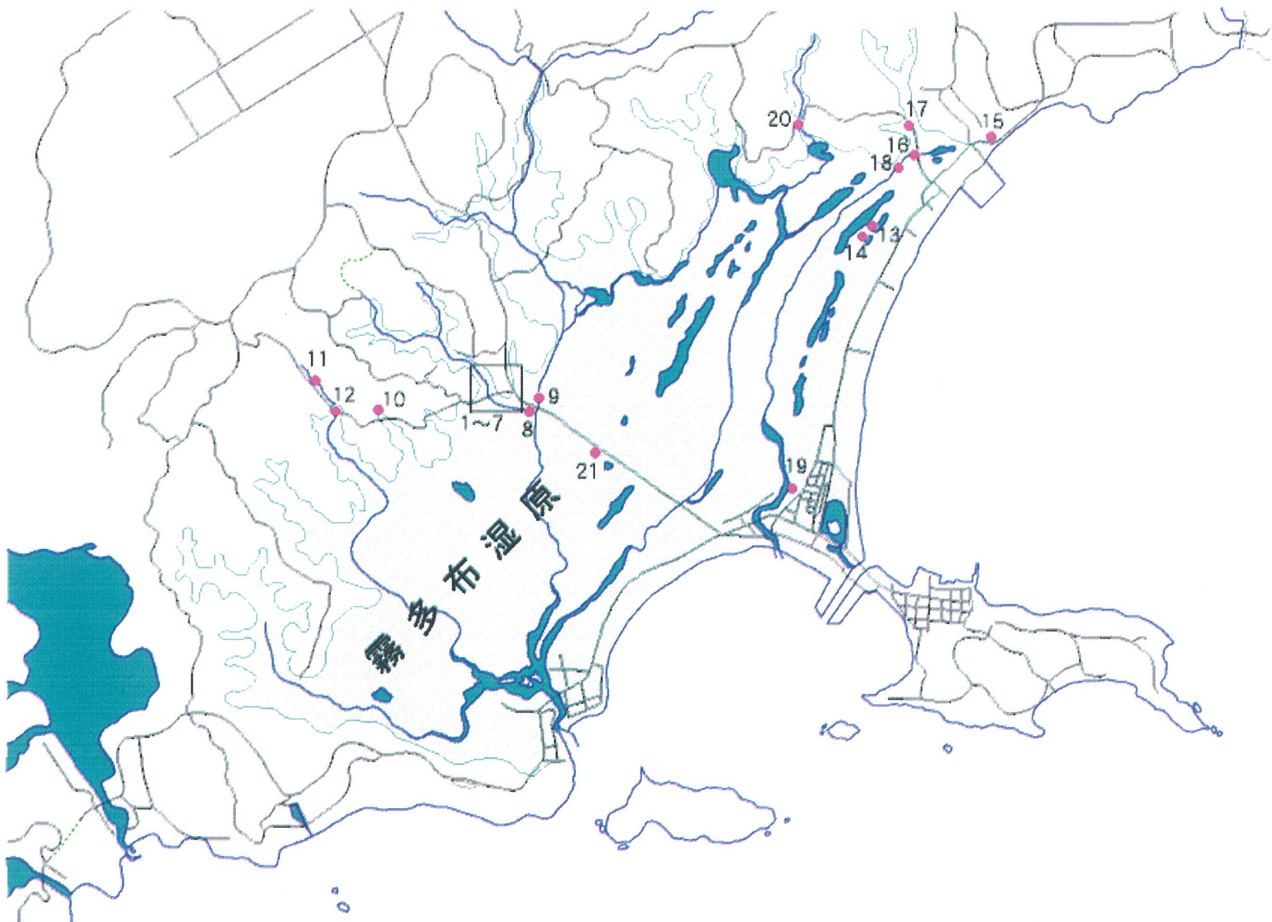


図1 霧多布湿原の水質調査地点 (2002年7月の調査)

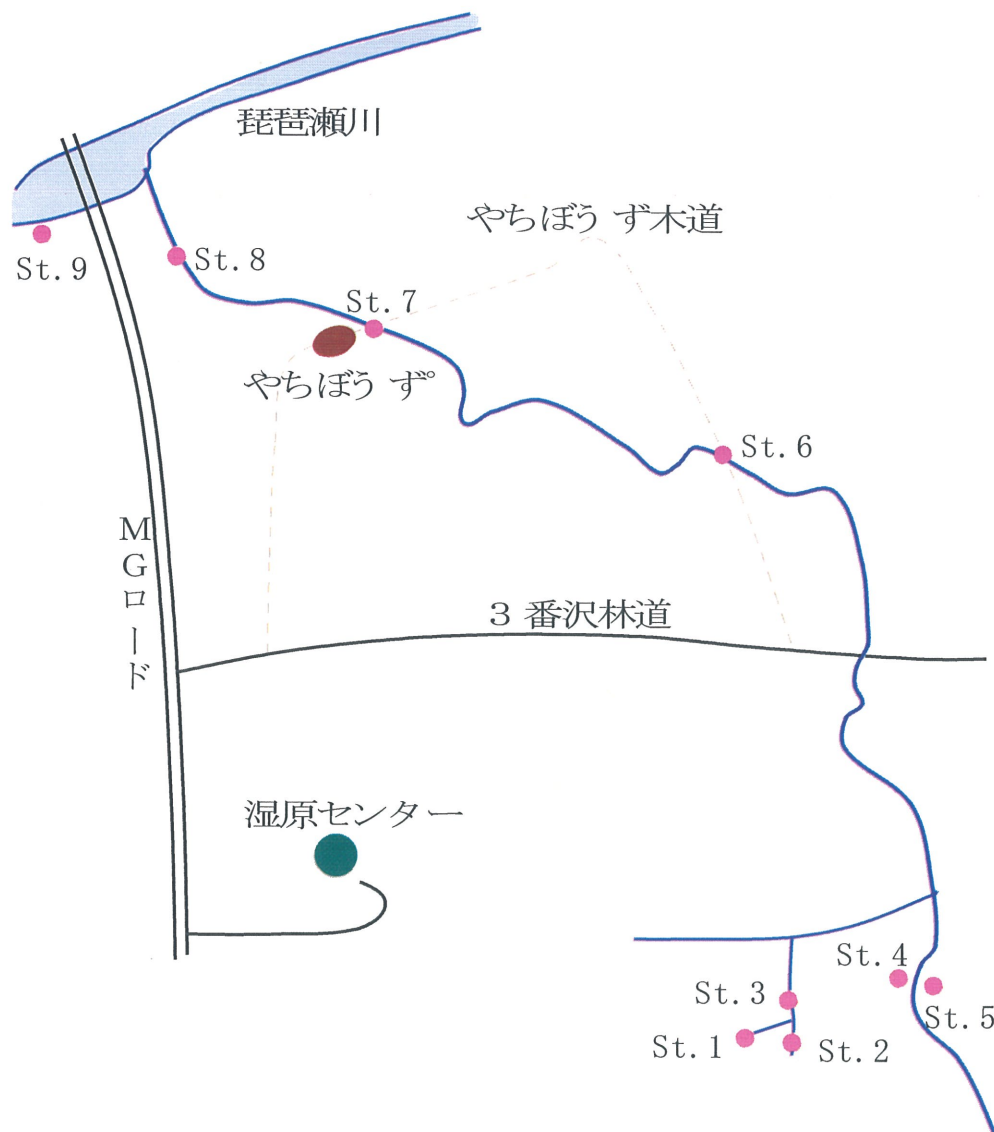


図2 4番沢川の調査地点位置（概略）（図1の□内の調査地点）

10月の調査では、湿原センターの近くを流れる4番沢川の水質変化をもう少し詳しく見る予定だったので、川の流量の減少によって水質がどう変化したのかということも調べることができました。

採取した試料は、湿原センターから富山に送っていただき、イオン成分をイオンクロマトグラフという分析機を使って分析しました。また、湿原センターの富沢さんをお願いして、定点とした沢の水や、雨水などの試料も時々採取して送っていただき、これも調査試料としました。

4. 調査結果

4.1 気温・水温・地温

4.1.1 地温と湧水の水温

水質の話の前に、地温と水温の調査データについて報告しておきます。

一般的には、地中の温度は地表付近ほど気温の変化の影響を受けやすく、地下深くなる

ほどその影響を受けにくくなります。地下水の水温の日変動や季節変動が少ないのは、変化の少ない地下の温度の影響を受けているためです。このため、地下水の水温と地下の温度とを比較することで、その地下水が地下のどのくらいの深さの所を流れてきたのかを推定できます。この方法で富山市内の丘陵地について調べたところ、湧水のもととなる地下水の流れていた深さは、浅いところでは1m以内、深くても1~2m程度の所という結果でした。

そこで、4番沢川支流の源流部の谷の斜面（図2のSt.3の位置）に、深さ30cm、60cm、90cmの穴をあけ、それぞれの穴の底に温度センサーをセットし、温度をデータロガーで記録しました。また、谷水の水温も同時に測定しました。水温の測定は湧水のわき出し口から10m程度下流の位置で行いました。

これとは別のデータロガーを用意し、4番沢川の川底から湧水が出ている所（図2のSt.4）で気温と川底の湧水の水温を測定しました。このデータロガーは水面から1.2mぐらいの高さの所の木の枝にぶら下げていたのですが、10月の調査の際に回収したときはデータロガーの内部にまで泥が入って電子部品を並べた基板の上にサビもでていました。最初は、出水で水没したのかと考えましたが、湿原センターの冨沢さんの話では、出水してもそんなに水位は上がらないとのことで、何かのアクシデントで川に落ちたあと、どなたかが元の位置に戻してくれたものようでした。幸運にも、富山に持ち帰ったデータロガーの基盤を蒸留水で洗い、サビや泥を落として乾燥し、電池を入れたところ無事に復活してデータを取り出すことができました。しかし、湧水の水温を測定するためのセンサーは設置の後、10日ほどで壊れていることがわかりました。水中に沈めるセンサーは防水のた

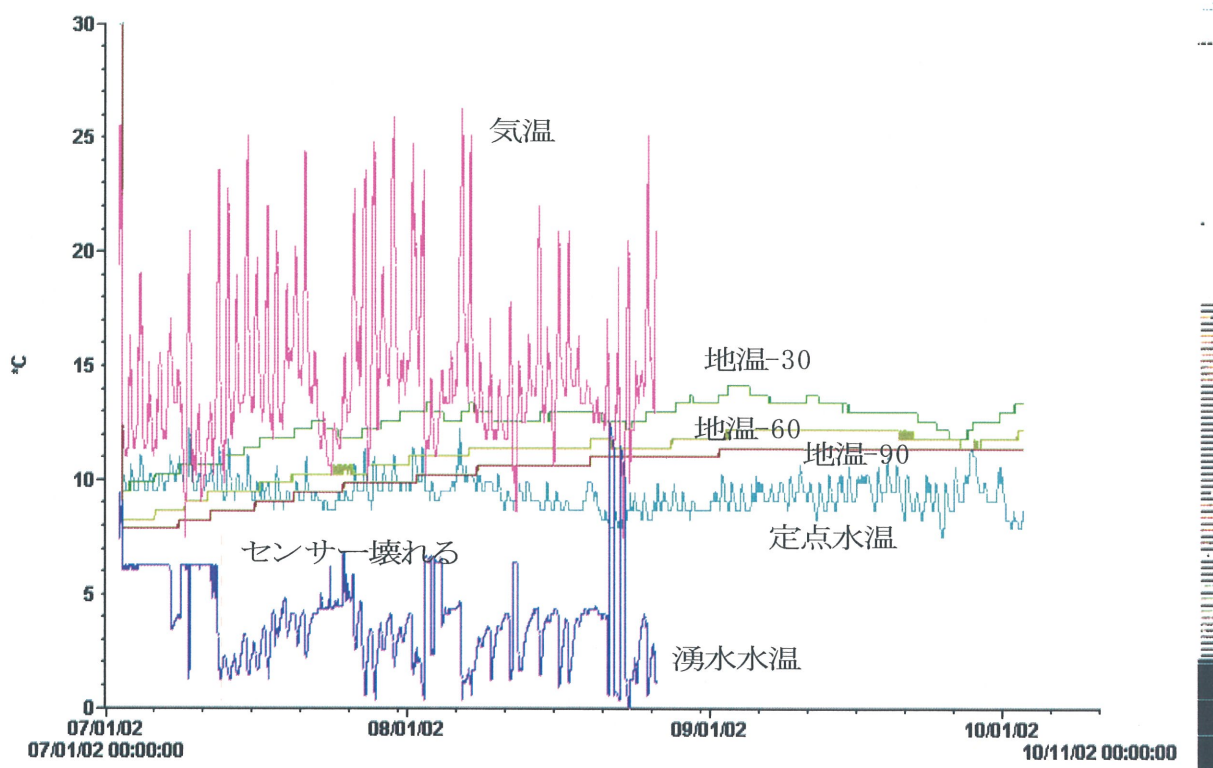


図3 気温、地温、谷水、湧水の水温（7月～10月）

めにシリコンコーキング材で固めておいたのですが、このコーキング材が水中に住む何者かによって食べられてしまい、センサー内部に水が入ったことが原因のようでした。4番沢川の調査定点 (St.4,5) のあたりだけは川底に小石が多く、他の場所とは全く異なった環境になっていて、甲殻類のヨコエビの一種が多く住んでいました。もしかしたら、これが犯人かなと思っています。

図3は温度測定を開始した7月2日から2回目の調査の10月4日までの地温と沢水 (St.3) の水温の様子を示したもので、8月下旬まで測定された気温と4番沢川川底の湧水 (St.4) の水温も合成してあります。

グラフの傾向から見ると、気温は8月上旬頃が最も高く、8月下旬に向けてやや低下していました。最低気温は10~15°C程度でしたが、お盆過ぎには7.4°Cまで低下した日もありました (最高気温の方は、温度センサーに直射日光が当たって実際より高めに出ていると思います)。

地温は地下30cmが最も高く、気温の変化の影響も見られました。また、地下60cm、90cmでは気温の変化の影響は少なく、地下90cmの地温が最も低くなっていました。気温と地温の変化とを比べると、気温のピークが8月上旬頃だったのに対し、地温のピークは地下30cmが9月上旬頃に14.1°C、地下60cmが9月上旬から中旬にかけて12.2°C、地下90cmが9月上旬から10月上旬頃にかけて11.4°Cでした。

測定された地温データから、地下の深さと温度との関係式を作ると、以下のようになりました。

$$\text{地温 } T1 = 10.19 \times \exp(-0.3081 \times L) \quad (R=0.97) \quad (1 : 7月2日のデータより)$$

$$\text{地温 } T2 = 14.35 \times \exp(-0.2623 \times L) \quad (R=0.99) \quad (2 : 10月4日のデータより)$$

ここで、Lは地下の深さcmです。

(1) (2) の式から深さを求める式に変形すると

$$\text{深さ } L1 = \ln(T1/10.19) / -0.3081 \quad (3 : 7月2日のデータより)$$

$$\text{深さ } L2 = \ln(T2/14.35) / -0.2623 \quad (4 : 10月4日のデータより)$$

となります。

(3) 式に調査で測定した湧水点 St.1 の7月3日の水温7.4°CをT1として代入すると、L1の値は1.0mとなりました。また、(4) 式に10月4日のSt.1の水温8.3°CをT2に代入するとL2は2.1mとなりました。また、10月4日に新たに見つけたもう一つの湧水点 (St.2) の水温7.5°Cを使って計算するとL2は2.5mとなりました。地下水の通り道は季節によって変わることはないと思いますので、現在のところ、調査定点とした谷の湧水は大雑把に見積もると地下1~3m ぐらいの所を流れているのだろうというのが結論でした。今回は温度センサーを90cmまでしか入れることができませんでしたが、2mぐらいまで入れるともう少し精度の高いデータが得られると思います。また、調査した谷の湧水点の一つ (St.2) には、4番沢川の川底から湧水が出ている場所と同じような角張った小レキがみられたので、地下水はこの小レキの層を流れている可能性があります。

秋から冬の地温と谷水の水温のデータ (図4) を見ると、10月上旬からどの深さの温度も下がっていきませんが、地表付近の地下30cmの温度の下がり方が最も大きく、次いで地下60cmの温度の下がり方が大きかったため、10月の下旬以降は、夏の期間とは逆の温度の関係となり、地下90cmの温度が最も高く、次いで地下60cmの温度が高く、地下30cm

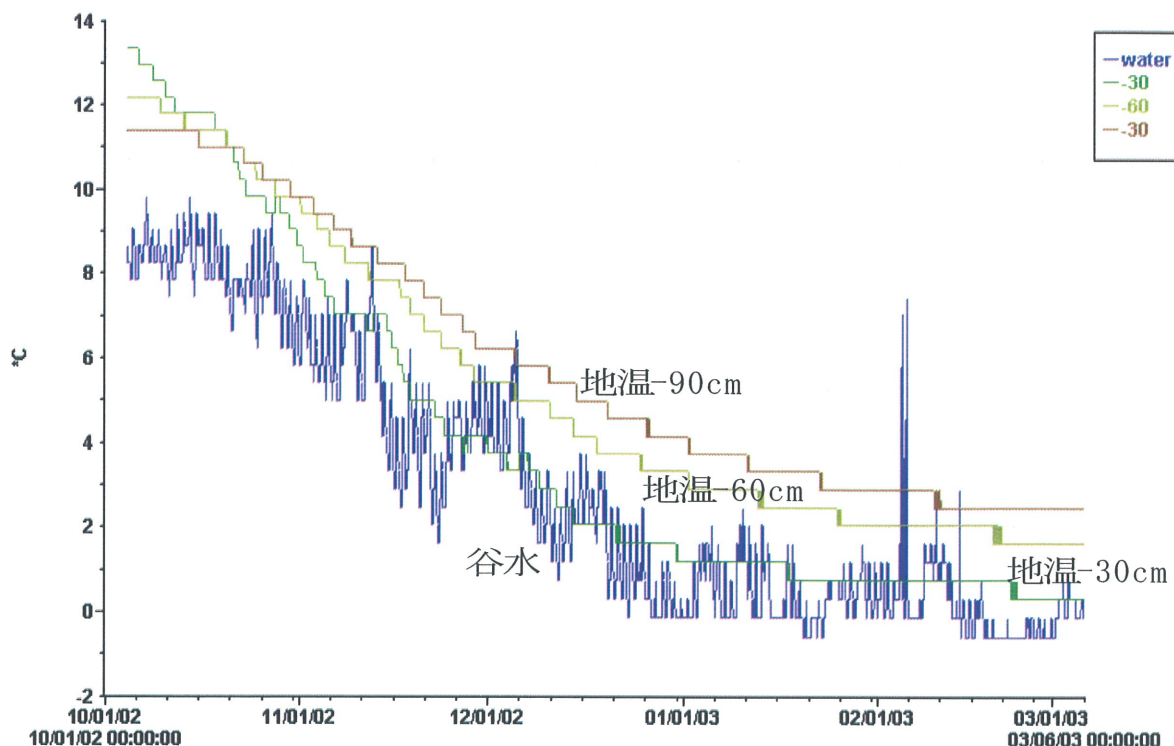


図4 地温と谷水の水温（2002年10月～2003年3月）

の温度は最も低くなりました。また、谷水（St.3）の水温もどんどん下がって行って、12月の下旬以降は0°C前後の温度を記録するようになりました。おそらく、湧き水が少なくなって、センサーが谷に積もった雪の温度を測っていたのかもしれない。

霧多布湿原では冬になると気温がかなり下がるということで、センサーは-20°Cまで測定できるものを準備していましたが、記録された値は富山と比べて驚くほど低いものではなく、谷水の水温センサーが記録した氷点下2°C程度の値が最も低い値でした。地温はどの深さでも氷点下になっていませんでした。富沢さんの話によれば、谷の中のSt.3の位置は、雪が比較的多く吹きだまる場所ということで、どうやら、この場所では、積雪が保温の役目をして地表面や地面の急激な温度低下を防いでいるようでした。

4.1.2 湧水の水温と湿原内の河川水の水温

調査で試料水を採取する際には水温も測定しましたが、そのデータを比較してみると、湿原を取り巻く丘陵地の谷に湧き出す湧水の水温は低く、たいていは7～8°C程度しかなかったのに対し、湿原内の河川水の水温は湧水と比べて高く10°C以上の温度がありました。

例えば、7月の調査では、4番沢川支流の源流の湧水（St.1）の水温は7.5°C、同じく4番沢川の川底の湧水（St.4）の水温が6.7°Cであったのに対し、4番沢川では、調査定点（St.5）で13.8°C、琵琶瀬川の合流点前で15.4°Cでした。また、3番沢川では、支流の源流の湧水（St.10）が11.0°Cで他の湧水と比べてやや高めでしたが、3番沢川の水（St.11,12）はさらに高い17.3°C～19.9°Cでした。湖沼では、一般に、夏は表面付近の水温が高くなります。調査した2カ所の湖沼（St.13.14）では表面付近の水温は18.7～18.9°Cでした。また、曹溪寺の湧水（St.15）（斜面の下から出ている湧水で、最近使っていないとのこと）

は 6.5°C でした。

10月の調査でも同様に、4番沢川支流の源流の湧水 (St.1,2) の水温は 7.5~8.3°C でしたが、4番沢川の水温は 10月4日午後には 14.1~14.2°C (St.6,7)、5日午前中は同じ場所で 12.6°C でした。10月5日の水温が4日と比べて 2°C 程度下がった原因として、気温の日変化の影響と、河川流量の減少によって、水温の低い丘陵の湧水の混合比率が大きくなった事が考えられました。また、4番沢川の調査定点 (St.5) では、湧き水が出てくる穴近くの川底付近の水温が 10°C 程度しかなく、川底のいろいろな場所から湧き水が出ている可能性も考えられました。

4.2 水質の特徴

4.2.1 丘陵地の湧水と湿原の水の水質

7月の調査、10月の調査で得られた試料の分析結果を表1に示します。

7月の調査結果 (表1) を見ると、丘陵地から湧き出す湧水に含まれるイオン成分のうち、海塩と土壌に起源を持つナトリウムイオンの濃度は、4番沢川支流の源流の湧水や谷水 (St.1, 3) で 10~11 mg/l (1リットル中に 10~11 mg 溶けている) 程度、3番沢川の支流の湧水 (St.10) で 14 mg/l 程度でした。また、4番沢川の川底の湧水 (St.4) や、新川の源流の丘陵地にも近い曹溪寺の湧水 (St.15) では 21~22 mg/l と高い値を示しました。これに対して、これらの湧水の下流側に位置する河川 (いずれも湿原部分で水を採取する) では、4番沢川の定点 (St.5) では 10 mg/l で4番沢川の源流の定点やその上流の湧水の濃度に近く、やちぼうずの木道と交差するあたり (St.7) では 16 mg/l と濃度が高くなっていました。3番沢川では、上流部 (St.11) では源流の濃度よりも少し低い 12 mg/l でしたが、その下流 (St.12) ではさらに低下して 11 mg/l でした。新川では、一つの支流 (St.16) では 16 mg/l 程度でしたが、もう一つの支流は、曹溪寺の手水水よりも高い 23~24 mg/l でした。

ナトリウムイオンと並ぶ主要な陽イオンのカルシウムイオンはミネラル成分の一つですが、主に土から溶けだす成分です。カルシウムイオン濃度は4番沢川支流の湧水 (St.1,2) で 9~10 mg/l 程度、3番沢川支流の源流 (St.10) で 6 mg/l 程度でした。これに対して、4番沢川川底の湧水 (St.4) では 8 mg/l、曹溪寺の湧水 (St.15) ではやや高い 13 mg/l でした。分析値から水のおいしさの指標の一つとなる総硬度を計算すると、4番沢川支流の湧水 (St.1) で 34度、3番沢川支流の源流 (St.10) で 22度、4番沢川川底の湧水 (St.4) は 33度、曹溪寺の湧水 (St.15) はやや高目の 53度でした (計算の方法は、カルシウムイオン濃度 (単位は mg/l) を 20.04 で割って当量濃度に換算し、この当量濃度の値を 0.02 で割ります。同じミネラル成分であるマグネシウムイオンも硬度に関係するので、マグネシウムイオン濃度を 12.15 で割って当量濃度を求め、同じように 0.02 で割ります。カルシウムイオンとマグネシウムイオンで求めた硬度の合計値が総硬度になります)。総硬度が 100度以下の水を軟水と呼びます。日本の水は軟水が多く、たいていの日本人は軟水を好むそうです。

湧水中のカルシウムイオン濃度に対して、河川水中のカルシウムイオン濃度を見ると、4番沢川の調査定点 (St.5) の濃度は 7 mg/l で、支流の源流の定点 (St.3) よりも低く、下流のやちぼうずの木道と交差する地点 (St.7) では 8 mg/l 程度とやや濃度が高くなり

ました。3番沢川 (St.11, 12) では 11 mg/l あり、その源流の湧水 (St.10) と比べて2倍近く高い値でした。新川 (St.17,18) では 8 mg/l で、曹溪寺の湧水 (St.15) と比べると半分ぐらいの濃度でした。

次に、陰イオン成分の代表として、塩化物イオン (海塩が起源) で見てみます。塩化物イオン濃度は4番沢支流の源流定点 (St.3) で 10 mg/l 程度、その上流 (St.1) の湧水が 15 mg/l 、4番沢川川底の湧水 (St.4) で 10 mg/l 程度ありましたが、4番沢川の調査定点 (St.5) で 6 mg/l 程度しかなく、その下流のやちぼうずの木道と交差する所 (St.7) では 14 mg/l でした。3番沢川では、支流の源流 (St.10) で 12 mg/l 程度ありましたが、川の上流部 (St.11) では 6 mg/l しかなく、その下流 (St.12) ではさらに低下して 4 mg/l しかありませんでした。曹溪寺の湧水 (St.15) ではやや高い 20 mg/l 程度で、新川では一つの支流 (St.16) が 16 mg/l 、もう一つの支流 (St.17,18) が $24\sim 25 \text{ mg/l}$ でした。

10月の調査結果から見た4番沢川の塩化物イオン濃度は、支流の源流 (St.3) では 10 mg/l で、その上流にある湧水 (St.1) では 16 mg/l でした。調査はそれぞれ7月の調査と同一の場所で行いましたが、台風の雨によって水量が増していたにもかかわらず、7月と比べて濃度の変化はあまりありませんでした。さらに、10月4日と5日に同じ場所で流量も測定して比較調査を行った結果。支流の源流の定点 (St.3) では、5日の流量が 1.3 l/s で、4日の流量 2.6 l/s の半分しかありませんでしたが、濃度は4%ほど高くなっただけでした。また、4番沢川がやちぼうずの木道と最初に交差する位置 (St.6) の5日午前の流量は 200 l/s で、4日午後の流量 310 l/s の $2/3$ 程度に減りましたが、塩化物イオン濃度は3%ほど高くなった程度で、ここでも、塩化物イオン濃度に変化はあまりありませんでした。川や谷水に溶けているイオン成分には増水すると濃度が若干低下するもの、逆に増加するもの、さらに、ほとんど変わらないものがあり、塩化物イオンは流量が増えても減っても濃度はあまり変わらない成分の一つです。しかも、季節変化もあまりないのが塩化物イオンの特徴で、これらの不思議な現象は、富山の丘陵地でも見られます。

4番沢川支流の源流 (St.3) の調査では、湧水点 (St.1) と調査定点との間がほんの 10m 程度しか離れていないにも関わらず、水質の違いが大きいことが気になっていたのですが、10月の調査でもう一つの湧水点 (St.2) があることに気づき、水質を調べてみました。その結果、4番沢川支流の源流の定点 (St.3) の水質はどうやら新たに見つけた湧水 (St.2) の水質の影響を大きく受けているようでした。

さて、河川水中の栄養塩成分としてアンモニウムイオンと硝酸イオンがあります。これらは主に酸性雨の原因成分の硝酸イオンとその中和成分であるアンモニウムイオンが起源で、アンモニウムイオンは土壌中で硝酸イオンに変化します。定点調査を行った4番沢川の本流 (St.5)、川底の湧水 (St.4)、支流の源流の谷 (St.3) の水の分析値を見ると、水中にアンモニウムイオンは全く検出されませんでした。アンモニウムイオンは土の中で硝酸イオンに変化することや、土の表面に吸着されやすい性質があるため、通常は、湧水や谷・川の水には出てきません。これに対して、硝酸イオンでは、4番沢川 (St.5) では、夏の間の濃度はほとんど 0 mg/l ですが、秋～冬になると濃度が高くなりました。支流の源流の谷 (St.3) も同様でした。川底の湧水 (St.4) では夏でも少量の硝酸イオンが溶けていましたが、秋から冬にかけては、他の定点と同様、濃度が高くなりました。これらのように湧水や谷・川水の硝酸イオンは夏に低く、冬に高くなる季節変化を見せていました

が、これは、夏は草や森林などによる吸収があり、草や木の活動が停止する秋から冬にかけては、使われなかった硝酸イオンが地下水に含まれるようになったものと考えられます。このような状態を窒素制限の状態といい、森林の窒素循環が健全な状態で維持されていることを示しています。森林で使い切れないほどの窒素分が雨などによって供給され続けると、湧水や谷水に夏でも硝酸イオンが出てくる場合があります、これを窒素飽和と呼んでいます。富山市の呉羽丘陵ではこの窒素飽和現象が見られます。

4.2.2 丘陵地の湧水のpHと酸性雨の影響

7月の調査で調べた丘陵地の湧水のpHはどこも7以上の弱アルカリ性を示していました。富沢さんをお願いして湿原センターで雨を時々採取していただきましたが、雨のpHは低いときには4.3程度もあって酸性雨としてはかなり強い場合もありました。これに対して、湧水のpHは7以上であるということは、少なくとも、調査した地域内では、まだ酸性雨の影響は出ていないと言えます。また、強い酸性雨が降った場合に、河川水のpHの急な低下を防ぐ働きをする総アルカリ度は、この値が低いところでも480マイクロ当量あるので（この値が100以下になると酸性雨による水の酸性化が起きやすくなります）、現在のところ、調査した丘陵地の湧水には酸性雨に対する抵抗力も十分あると思われる。

4.2.3 塩化物イオン濃度から見た霧多布湿原の水の特徴

調査の目的の所にも書きましたが、河川水や地下水などの淡水に溶けている塩化物イオンの起源は雨や雪に溶けている塩分（海の塩分が起源）で、霧多布湿原のように海に非常に近いところでは風によって運ばれてくる海水の飛沫もその起源となり得ます。

河川水や地下水中の塩化物イオン濃度は、その集水域の位置が海に近くなるほど高くなるのが一般的で、同じ湧水同士で比較してみると、曹溪寺（St.15）の湧水の集水域は3番沢川（St.10）や4番沢川の集水域（St1,2,3）と比べて海に近いので、塩化物イオン濃度は高くなっています。同様に、海から離れた湿原の北側を流れる3番沢川や4番沢川と海の近くを流れる新川とを比べると、やはり、海に近い新川の方が塩化物イオン濃度は高くなっています。これらの結果から見ると、海に近いほど塩分濃度は高いという法則は成り立っているようです。

ところが、4.2.1で紹介した塩化物イオンの濃度をもう一度見直してみると、おもしろい現象が見えてきます。例えば、4番沢川の7月の調査結果では、支流の源流の湧水（St.1,2）や川底の湧水（St.4）の塩化物イオン濃度が10~15 mg/l_{リットル}もあるのに対し、4番沢川の定点（St.5）では5 mg/l_{リットル}しかありませんでした。また、3番沢川では、支流の源流（St.10）→川の上流（St.11）→川の下流（St.12）の順に塩化物イオン濃度が低下していました。つまり、それぞれの川について塩化物イオンを見ると、海からより離れた上流・源流部の方が下流部よりも濃度が高くなるという、通常とは逆の現象も見られました。

さらに、湖沼でも似た様子が見られました。じゅんさい沼のあたりに点在する沼は、地図で見ると細長い沼が一方向に並んでおり、昔は新川のように連続して流れていた水路が植物によって分断されてできたものと考えられます。水の流れから考えれば北東側の丘陵側が上流側、南西側の海への出口側が下流にあたります。この昔の水路の上流側と下流側にあたる、2カ所の沼（St.13,14）で水を採取し塩化物イオン濃度を比較したところ、上

流側の沼 (St.13) が 15mg/l で、下流側の沼 (St.14) が 14mg/l となり、沼でも、上流側の方が下流側よりも塩化物イオン濃度が高いという現象が見られました。この2つの沼の場合、南東方向の海岸までの距離はどちらもほぼ同じなので、降水中の塩化物イオン濃度も風送塩の量も全く同じと考えられました。

これらの現象をうまく説明する理由として以下のようなことが考えられました。調査の目的の所でも書いたように、湿原内を流れる水の起源には2種類あり、その一つは丘陵地の湧水を起源とする水、もう一つは湿原内を起源とする水です。たぶん、丘陵地を起源とする水は塩化物イオン濃度が高く、湿原内を起源とする水は丘陵地を起源とする水よりも塩化物イオン濃度が低く、川が丘陵地から湿原内に流入した直後は、丘陵の湧水の塩化物イオン濃度を示しますが、湿原内を流れ下る間に塩化物イオン濃度の低い湿原起源の水がどんどん流れ込み、その結果、川が湿原内を流れ下るにつれて塩化物イオン濃度が低下するものと考えられました。

4.2.4 丘陵起源の水と湿原起源の水との混合比の試算

富沢さんに平成14年7月から15年2月まで、時々採取していただいた4番沢川の水 (St.5) の塩化物イオン濃度を見てみると、 6mg/l 程度から 14.6mg/l まで結構ばらついています。これに対して、支流の源流の定点 (St.3) の水の塩化物イオン濃度は、濃度の異なる2種類の湧水 (St.1,2) が混合しているにも関わらず 10mg/l ~ 11mg/l のほぼ一定の値を示しており、また、4番沢川の川底の湧水 (St.4) の塩化物イオン濃度も 10mg/l ~ 11mg/l のほぼ一定の値でした。湧き水や谷水の塩化物イオン濃度は、4.2.1 でも書いたように流量による変化が少なく、季節による変化も2002年7月から2003年2月までのデータを見てわかるようにほとんどありません。これに対して、4番沢川の調査定点 (St.5) での塩化物イオン濃度の変化の原因は、4.2.3 で書いたことと同様、丘陵から出てくる水と、湿原から出てくる水の混合比の変化によって説明できます。仮に、丘陵起源の水の塩化物イオン濃度を 10mg/l とし、湿原起源の水の塩化物イオン濃度を 4mg/l (7月の3番沢川での値) とすると、4番沢川の定点での塩化物イオン濃度が 5.5mg/l の場合 (7月2日) は、75%の水が湿原起源で25%が丘陵起源、 6.6mg/l の場合 (8月13日) は、57%が湿原起源で43%が丘陵起源、 8.2mg/l の場合 (10月4日) は30%が湿原起源で70%が丘陵起源、 8.4mg/l の場合 (10月5日) は27%が湿原起源で73%が丘陵起源という見積もりができました。

この4番沢川の調査定点 (St.5) の塩化物イオン濃度は、11月以降、 10mg/l 以上の値を示しました。これは、晩秋から冬季にかけては、湿原起源の水がほとんど入らなくなり、丘陵の湧水起源の水のみが流れていることを示していると考えられました。気温が低下する冬季は湿原の水は凍結して川に流出しにくくなるのかもしれない。これに対して、丘陵起源の湧水は冬でも温度があまり低下しないので、凍結しないで川に流出するものと考えられました。丘陵起源の水と湿原起源の水の混合の比率は、川によって異なり、さらに、一つの川でも調査する場所や季節によっても異なっていると考えられます。

4.2.5 森林が丘陵地の谷水の水質に与える影響

4.2.3 や 4.2.4 では、丘陵起源の水の塩化物イオン濃度は湿原起源の水の塩化物イオン濃

度よりも高いと考えて説明や計算を行いました（湿原起源の水の水質については今回は十分な調査ができませんでした）。どちらの水もその始まりは降ってきた雨や雪ですが、湿原内に降った雨や雪の中の塩化物イオン濃度が丘陵地に降った雨や雪の中の塩化物イオン濃度と比べて低いとは考えにくく、むしろ、湿原の方が丘陵よりも海に近い分、雨や雪の中の塩化物イオン濃度が高い可能性すらあります。

富沢さんをお願いして湿原センターで時々雨を採取してもらいましたが、雨の中の塩化物イオン濃度は8月末までが0.2~0.9 mg/l程度で、1試料だけ9 mg/l程度の高い値を示す物がありました。これに対して9月下旬~10月上旬の雨で3~5 mg/l、12月中旬の雪で5 mg/lでした。雨や雪の中の塩分濃度は、日本海側の地域の場合は冬型の気圧配置の雨や雪の場合に濃度が高まりますが（富山では夏の雨の塩化物イオン濃度は低く、冬の雨や雪で高く、冬の平均濃度は夏の平均濃度の10倍ぐらいになります）、太平洋側気候区の霧多布では、夏も冬も雨や雪が降る原因は低気圧や前線の活動によるものなので日本海側のような季節変化はあまり大きくないと思われます。むしろ、降水中の塩化物イオン濃度は、雨や雪が降っているときの風向が関係していて、陸から海に向かって風が吹くときは塩化物イオン濃度が低く、逆に、海から陸に向かって風が吹くとき高くなると考えられます（あくまでも推定で、実際に観測してみないと本当のことはわかりません）。

さて、湧水や河川水の塩化物イオン濃度は、降水中の年間平均濃度に蒸発や蒸散による濃縮を加味したものである程度説明することができます。霧多布湿原での降水の塩化物イオンの年平均濃度は現在のところ不明ですが、何回か採取していただいた降水試料のデータから類推して数 mg/l程度ではないかと思われます。もしそうだとした場合、丘陵地の湧水の塩化物イオン濃度は、4番沢川支流の源流の湧水の St.1 では塩化物イオン濃度が15~16 mg/lあり、隣り合った湧水の（St.2）では10 mg/lしかなく、また3番沢川の源流（St.10）でも10 mg/l程度でしたので、場所によって1.5~2倍ぐらいに濃縮されたという計算になります。これは、降った雨の1/3~1/2は蒸発・蒸散したということになるのですが、気温の高い富山でもせいぜい降水量の1/3程度が蒸発・蒸散する程度といわれているので、このようなことはなさそうです。また、蒸発・蒸散だけでは同じ谷の中に出ている湧水の塩化物イオン濃度の違いもうまく説明できません。

これをうまく説明できそうなものとして考えられるのは、丘陵地の森林と、夏に頻繁に発生する霧、海から強い風が吹き込むときに運ばれてくる風送塩です。

その考えられるメカニズムは以下のとおりです。

霧多布湿原では、夏には海で発生した霧が頻繁に内陸にやってきますが、この霧水が草や木の幹や葉に衝突するとそれらの表面を濡らします。葉の上に付着した霧はやがて水分が蒸発し、溶けていた成分が葉の上に残ります。また、草や木が根から吸い上げた成分の一部も葉の上に出てきて蓄積します。このような状態の時に雨が降ると、雨は葉や幹の上に付着していた物質を溶かし出し、地面に落ちます。このため、葉や幹を伝って落ちてきた雨は、そうでない雨よりも溶けている成分濃度が高くなることが想像できます。

木の枝や葉から落ちてきた雨水を林内雨、幹を伝って落ちてきた雨水を樹幹流と呼び、これらを、上の方に木の枝や葉が全く無い場所で採取した雨（林外雨：通常の酸性雨観測などで採取される雨）と区別します。

これを、富沢さんに採取してもらった、降水（林外雨）、林内雨、樹幹流の水質データか

ら塩化物イオン濃度だけに着目して見てみると次のようになります。例えば、9月15日の18:00~20:00の雨の塩化物イオン濃度は0.8 mg/lでしたが、林内雨は、トドマツではちょっと濃度が低下して0.6 mg/l、ケヤマハンノキは4倍ぐらい濃度が高くなって3.3 mg/lでした。また、樹幹流では、トドマツが4.5 mg/lで6倍程度、2本のケヤマハンノキは、それぞれ、2.2 mg/lと4.6 mg/lで、3~6倍ぐらい濃度が高くなっていました。また、9月16日から18日にかけての雨では塩化物イオン濃度が2.8 mg/lであったのに対し、林内雨では、トドマツがやや低い2.3 mg/l、ケヤマハンノキが4.4 mg/l、樹幹流では、2本のトドマツが、それぞれ、4.8 mg/l、7.8 mg/lあり、2本のケヤマハンノキでは、それぞれ、4.5 mg/l、6.4 mg/lで、トドマツの林内雨の塩化物イオン濃度が降水よりも若干低下した事（これも不思議といえば不思議な現象ですが…）を除けば、林内雨や樹幹流は雨よりも成分濃度が2~6倍程度高くなるので、降水中の塩化物イオンの年間平均濃度が仮に5 mg/l程度であったとしても、丘陵地の森林の下の地面に落ちたときにはもっと濃度が高くなっており、湧水中の塩化物イオン濃度10 mg/lは十分に説明できると思います。また、トドマツのような針葉樹とケヤマハンノキのような広葉樹では霧や風送塩を集める効果が異なってくると思われるので、集水域の中に広葉樹が多いのか針葉樹が多いのかで、その下の地下水の水質も異なってくる可能性があり、St.1とSt.2との塩化物イオン濃度の違いも説明できそうです。

ところで、湿原内は丘陵地と異なり、主に草で覆われていますが、草の場合は木と比べると、集めることのできる霧の量が木と比べると少ないのではないかと思います。また、新川では、3番沢川や4番沢川と比べて塩化物イオン濃度が高くなっていますが、この理由は、新川の方が海に近く、風送塩の量が多いためと考えられます。これらを確認するには、湿原内の海に近いところから丘陵までの間で、草の所とハンノキ林の所をそれぞれ数カ所ずつ選び、地面付近に落ちてくる雨を採取するか土壌溶液を採取して、海からの距離と塩化物イオン濃度とを対比してみるとわかると思います。これも今後の課題の一つとなりそうです。

これらから考えると、湿原や丘陵に生えている木や草が、霧多布湿原の名前の由来となっている霧を集め、さらに、海からの風送塩を集めることによって、地下水や河川水の水質に大きな影響を与えている可能性があります。

4.2.6 湿原を流れる河川への潮汐の影響

7月の調査では、4番沢川の下流部（St.8）やその本流の琵琶瀬川（St.9：MGロードと交差するあたり）、新川の下流部（St.19）で塩分濃度の高い水が見られ、海から来る海水の影響がかなり大きいことが見えました。琵琶瀬川の定点（St.9：琵琶瀬川にかかるMGロードの橋近く）を7月3日の午前9時40分頃と午後2時頃の2回調査しましたが、明らかに潮汐の影響を受けて、水位が上下している様子が観察できました。この日の釧路港の満潮は午前7時55分、干潮が午後2時35分だったので、午前の調査はほぼ満潮に、午後の調査はほぼ干潮に相当していました。川の水位はこの干満の差によって変動し、30~50cm程度の水位差があったように見えました。

7月3日午前の満潮にあたる琵琶瀬川（St.9）の塩化物イオン濃度は、表面付近で、260 mg/l、川底付近で12,310 mg/l、午後の干潮にあたる時には、表面付近で997 mg/l、

川底付近(水深 1m 程度)で 12,200 mg/l ありました。標準海水の塩化物イオン濃度は 35‰ (パーミル) の場合で 18,980 mg/l があるので、湿原センター近くの琵琶瀬川の川底 (St.9) には海水を 2/3 程度に希釈した塩分濃度の高い水が存在していたことがわかりました。しかも、干潮時でもその水は川底からなくならないでとどまっていました。午後 2 時に調べた水の電気伝導度 (水に溶けているイオンの総量を指標し、値が高いほど溶けているイオンの濃度の合計値が大きい) は、表面付近で 3.5ms/cm (ミリジーメンズ/cm)、水深 26cm で、5.8 ms/cm、水深 40cm では急に高くなって、25 ms/cm、水深 60cm で 29.6 ms/cm、川底が 34.4 ms/cm でした。川底の濃い水と、表面付近の薄い水との境目は水深 25~40cm にあったようです。琵琶瀬川の海水の影響を受けた水は、その支流の 4 番沢川の下流部にもおよんでおり、4 番沢川の末端 (St.8) の電気伝導度は 1.7 ms/cm で、塩化物イオン濃度は 420 mg/l ありました。ちなみに、4 番沢川の調査定点 (St.5) での電気伝導度は 0.1 ms/cm 弱でした。

また、新川でも海水は遡上しており、体育館横のあたりで 7 月 3 日の午後 1 時 40 分ぐらいに調べたところ、塩化物イオン濃度は 8,060 mg/l (標準海水を半分ぐらいに希釈した程度) もありました。

これに対して、10 月の調査では台風による大雨で湿原内は水がいたるところで溢れていましたが、この時の琵琶瀬川の調査定点 (St.9) の水は完全な淡水となっており、10 月 4 日の午後 4 時 30 分頃での表層の塩化物イオン濃度は 10 mg/l、10 月 5 日の 12 時 40 分の塩化物イオン濃度は 15 mg/l で、両日とも、水深 70~80cm の位置でも電気伝導度の値は表層とほとんど違いはありませんでした。また、4 番沢川の末端部 (St.8) での塩化物イオン濃度は 10 月 4 日が 9 mg/l、10 月 5 日が 10 mg/l で、ここも完全な淡水となっていました。

このように見ると、琵琶瀬川や琵琶瀬川に合流する 4 番沢川の末端部の水環境は、雨の降る量と海の潮汐によって極端に変動し、雨がしばらく降らないと海のような環境になり、大雨が降るとあっという間に淡水の環境に変化するため、水中の生き物にとってはかなり厳しい環境なのかもしれません。

おわりに

今回の調査は、広大な霧多布湿原のごく一部についてそのアウトラインを調べる程度しかできませんでしたが、霧多布湿原の水環境のいくつかの特徴を知ることができました。

まず、霧多布湿原の水環境を海塩輸送の観点から調べてみると、丘陵起源の水と湿原起源の水とでは、おそらく、塩分濃度が異なっており、その違いは、丘陵や湿原に生育する木や草が霧や風霜塩をどの程度集められるかによるものと思われました。この面では、霧多布湿原の名前の由来となっている霧が、湿原内の水の水質にも影響を与えていると言えるでしょう。

また、4 番沢川の定点 (St.5) では、夏は湿原から出てきた水がかなり寄与しているのに対し、晩秋から冬季にかけては、丘陵起源の水が主体となるということも見えてきました。これは、湿原の水は気温が低下する冬季には凍結するのに対し、丘陵の湧水は冬でも凍結しないことが原因と考えられました。

さらに、海と直接つながっている琵琶瀬川では、かなり上流部まで海水の影響を受けた

環境となり、しかも、まとまった雨が降ると、一気に淡水環境になってしまう現象も見られました。

上記のそれぞれについてもっと深く調査すれば、さらに不思議な現象、おもしろい現象が見えてくるように思われました。

謝辞

この調査費用の一部に霧多布湿原学術研究助成金を利用しました。また、調査に際して湿原センターの富沢日出夫氏をはじめ、職員の皆様の多大なるご協力を頂きました。また、7月に採取した丘陵の湧水の pH と総アルカリ度という項目については富山市科学文化センターのボランティア、友野眞也さんに分析していただきました。調査地点地図は富山市科学文化センターの高原佐代子さんに作成していただきました。ここにあつくお礼申し上げます。

表1. 1 水質分析結果 (7月2日~3日調査)

場所	調査日	調査地 点番号	調査時間 hh:mm	水温 [°C]	電導度 [μs/cm]	pH	総アール カリ度 [μeq/l]	Na+	NH4+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	NO2-	NO3-	SO42-	Br-	Cl/Na	調査位置	
四番沢川支流の源流湧水	07/02-1	1	09:55	7.5	125.4	7.53	526.4	11.0	0.0	0.5	2.3	9.7	14.9	0.0	0.1	4.1	1.35	43°05.242	145°03.444	
四番沢川支流 0702-01の下流	07/02-4	3	11:7	11.7	114.8	7.72	610.2	10.1	0.0	0.2	2.7	9.3	10.0	0.0	0.0	4.7	0.99			
四番沢川の湧水	07/02-2	4	6:7	6.7	166	7.52	584.4	21.8	0.0	0.9	3.2	8.0	10.5	0.0	0.1	13.0	0.48	43°05.228	145°03.382	
四番沢川本流 湧水の近く	07/02-3	5	13:8	13.8	99.4	7.76	729.1	10.1	0.0	0.4	2.3	7.0	5.5	0.0	0.0	5.0	0.55			
4番沢川琵琶瀬川合流前	0702-8	8	15:4	15.4	1675			244.5	0.0	7.8	30.3	22.9	420.9	0.0	0.0	64.2	1.55	43°05.114	145°03.901	
琵琶瀬川表層	0702-9	9	14:50	16	3140			504.2	0.0	16.4	59.8	30.8	891.5	0.0	1.5	123.1	3.14	43°05.145	145°03.963	
三番沢川支流の源流	07/02-5	10	11	11	100.5	7.6	619.5	13.7	0.0	0.8	1.5	6.3	11.9	0.0	0.0	5.6	0.87	43°04.778	145°02.888	
三番沢川上流	07/02-7	11	19:9	19.9	144	7.93	832.6	11.9	0.0	1.5	3.1	11.2	6.2	0.0	0.0	21.2	0.52	43°04.954	145°01.734	
三番沢川	07/02-6	12	17:3	17.3	129.5	7.9	940.5	10.7	0.0	0.9	3.5	11.4	4.3	0.0	0.0	8.9	0.40	43°04.704	145°02.270	
琵琶瀬川表層 橋上流	0703-1	9	09:43	14.8	2030			148.8	0.0	5.1	18.7	12.2	259.9	0.0	0.6	38.6	0.71	1.75		
琵琶瀬川表層	0703-10	9	14:00	15.1	3460			563.5	0.0	18.5	66.3	31.4	996.6	0.0	1.3	138.1	3.30	1.77		
琵琶瀬川底 橋上流	0703-2	9		17	34900			6936.0	0.0	230.1	807.1	297.1	12306.5	0.0	0.0	1726.9	43.38	1.77		
琵琶瀬川底 橋上流	0703-11	9		17.3	34400			6869.2	0.0	212.6	799.8	311.4	12195.9	0.0	0.0	1711.5	43.56	1.78		
四番沢川温原内のやや下流淡水域	07/03-3	7	13:4	13.4	106.2	7.69	568.8	16.3	0.0	0.6	3.0	7.6	14.3	0.0	0.0	6.6	0.05	0.88	43°05.103	145°03.668
ジュンサイ沼と思っていた沼	07/03-4	13	18:7	18.7	109.5			14.2	0.0	1.5	2.4	3.7	15.0	0.0	0.0	1.9	1.06	43°06.795	145°06.211	
無名沼 07/03-4 の海側	07/03/5	14	18:9	18.9	75.7			9.4	0.0	0.8	1.7	2.4	14.0	0.0	0.0	1.5	1.48	43°06.623	145°06.164	
新川 沼からの流出	07/03-5	16	14:2	14.2	137.9			17.2	0.0	0.9	2.8	7.8	15.6	0.0	0.0	1.4	0.08	0.91	43°07.435	145°06.428
新川 上流 別支流	07/03-6	17	10:5	10.5	190.3			23.7	0.0	2.9	2.7	7.8	24.8	0.0	0.5	14.0	0.11	1.04	43°07.588	145°06.210
新川ちよつと下流	07/03-8	18	11:7	11.7	182.6			23.4	0.0	2.7	2.7	7.7	24.0	0.0	0.6	13.5	0.07	1.03	43°07.444	145°06.353
新川体育館横	0703-12	19	19:6	19.6	23700			4565.3	0.0	157.5	527.7	216.1	8056.0	0.0	0.0	1132.6	27.28	1.76		
泥川	07/03-7	20	12:5	12.5	83.2			9.9	0.0	0.6	1.6	5.9	4.7	0.0	0.1	3.0	0.48	43°07.378	145°05.333	
曹溪寺の湧水	07/03-9	15	6:5	6.5	229	7.19	479.9	21.4	0.0	0.5	4.4	13.3	19.5	0.0	23.3	8.9	0.07	0.91	43°07.610	145°06.775

表1. 2 水質分析結果 (10月4日~5日調査)

場所	調査日	調査地 点番号	時間	採取量 g	水温 [°C]	電気電導 度 [μs/cm]	総アルカリ 度 [μeq/l]	Na+	NH4+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	NO2-	NO3-	SO42-	Br-	Cl/Na	調査位置	
	yy/mm/dd	hhmm	hhmm	g	[°C]	[μs/cm]	[μeq/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]		北緯	東経
4番沢川支流源流1	021004-1	2	13:53		7.5	111.4	9.9	0.0	0.5	2.7	8.7	10.3	0.0	0.1	0.1	4.2		1.04		
4番沢川支流源流2	021004-2	1			8.3	103.5	9.9	0.0	0.7	1.9	7.5	16.2	0.0	0.1	0.1	2.6		1.64		
4番沢川支流源流 定点	021004-3	3			8.3	108.6	9.7	0.0	0.6	2.5	8.8	10.9	0.0	0.2	0.2	3.9		1.13		
4番沢川湧水近く	021004-4	5	15:03		14.1	69.6	7.6	0.0	0.9	1.4	4.7	8.2	0.0	0.0	0.0	3.6		1.08		
4番沢川谷地坊主近く	021004-5	7	15:45		14.2	67.1	7.8	0.0	1.0	1.4	4.5	8.3	0.0	0.0	0.0	3.7		1.07		
4番沢川ウッドデッキ近く	021004-6	6	16:05		14.1	69.5	7.6	0.0	0.8	1.4	4.6	8.2	0.0	0.0	0.0	3.5		1.08	43°05.092	145°03.597
樹幹流 ケヤマハンノキ	021004-7			140			21.4	5.0	5.1	2.4	8.1	49.6	0.0	1.8	8.8			2.32		
樹幹流 トドマツ	021004-8			70			4.6	6.6	7.4	0.6	1.7	11.1	0.0	0.0	3.0			2.43		
林内雨 ケヤマハンノキ	021004-9			6170			2.9	0.0	2.4	0.9	2.8	5.6	0.0	0.0	1.8			1.93		
琵琶瀬川 定点 表層(流れあり)	021004-9	9	16:34		16	70.5	8.0	0.0	1.3	2.3	4.2	10.4	0.0	0.0	3.2			1.29		
4番沢川 琵琶瀬川の合流前	021004-10	8	16:28		14.2	71.2	8.0	0.0	0.8	1.4	4.7	8.7	0.0	0.0	3.8			1.10		
4番沢川支流源流1	021005-1	2	09:16		7.4	112.5	10.1	0.0	0.5	2.8	9.1	10.6	0.0	0.0	0.0	4.4		1.05		
4番沢川支流源流2	021005-2	1	09:21		8.9	115.4	10.1	0.0	0.5	1.9	8.0	17.0	0.0	0.0	0.0	2.7		1.69		
4番沢川支流源流 定点	021005-3	3	09:44		8.7	108.8	9.9	0.0	0.5	2.6	9.0	11.3	0.0	0.0	0.0	4.0		1.14		
4番沢川湧水近く	021005-4	5	09:57		10	73.6	8.0	0.0	0.7	1.5	5.1	8.4	0.0	0.0	0.0	3.6		1.06		
4番沢川ウッドデッキ近く	021005-5	6	11:20		12.4	73.6	8.0	0.0	0.9	1.5	4.9	8.5	0.0	0.0	0.0	3.6		1.06		
4番沢川谷地坊主近く	021005-6	7	11:40		12.6	74.2	8.1	0.0	1.0	1.6	5.2	8.5	0.0	0.0	0.0	3.8		1.05		
湿原内の水	021005-7	21			14.4	37.9	4.3	0.0	0.3	0.8	2.0	7.2	0.0	0.0	1.0			1.65	43°04.996	145°04.620
琵琶瀬川 定点	021005-8	9	12:40		14.8	86.8	10.7	0.0	1.4	1.8	3.8	14.9	0.0	0.2	3.0					
4番沢川 琵琶瀬川の合流前	021005-9	8	12:52		12.9	78.2	8.7	0.0	0.8	1.7	5.2	9.5	0.0	0.0	3.9			1.10		

表 1. 3 水質分析結果 (4 番沢川支流の源流 (St.3))

調査日	時間	水温	電気電導度	pH	総アルカリ度	Na+	NH4+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	NO2-	NO3-	SO42-	Br-	Cl/Na
Yy/mm/dd	hh:mm	[°C]	[μs/cm]		[μeq/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	
2002	07/15		61	6.88		5.1	0.0	0.2	1.5	6.5	4.9	0.0	0.00	2.5		0.97
	07/31		112.7	7.1		10.4	0.0	0.4	2.8	9.7	10.5	0.0	0.00	4.6		1.01
	08/13					9.6	0.0	0.5	2.6	8.7	9.9	0.0	0.05	4.1		1.03
	8/30															
	9/14															
	10/17					10.1	0.0	0.7	2.7	9.2	11.3	0.0	0.00	4.2		1.12
	11/1					9.9	0.0	0.6	2.6	9.0	10.8	0.0	0.00	4.3		1.10
	11/15					10.2	0.0	0.9	2.7	9.3	11.5	0.0	0.20	4.6		1.12
	11/28					9.4	0.0	0.8	2.4	8.4	10.8	0.0	0.15	4.2		1.15
	12/20					10.1	0.0	0.7	2.9	10.2	10.9	0.0	1.27	4.8		1.08
2003	1/10					10.2	0.0	0.6	2.9	10.0	11.5	0.0	0.35	5.1		1.13
	2/6					10.1	0.0	0.6	3.0	9.7	10.1	0.0	0.23	5.4		1.00

表 1. 4 水質分析結果 (4 番沢川の定点 (St.5))

調査日	時間	水温	電気電導度	pH	総アルカリ度	Na+	NH4+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	NO2-	NO3-	SO42-	Br-	Cl/Na
yy/mm/dd	hh:mm	[°C]	[μs/cm]		[μeq/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	
	07/15		25.2	6.88		1.4	0.0	0.1	0.4	2.5	1.0	0.0	0.00	0.9		0.72
	07/31		86	6.95		9.6	0.0	0.5	2.0	6.4	6.2	0.0	0.00	4.0		0.65
	08/13					8.2	0.0	0.5	1.5	5.0	6.6	0.0	0.08	3.8		0.81
	08/30															
	9/14															
	10/17					9.1	0.0	1.0	1.9	6.3	8.7	0.0	0.00	3.7		0.95
	11/1					9.2	0.0	1.0	1.7	5.4	9.7	0.0	0.00	4.4		1.06
	11/15					9.7	0.0	0.9	2.1	6.6	10.4	0.0	0.00	4.4		1.07
	11/28					8.7	0.0	0.9	1.4	4.3	11.4	0.0	0.00	4.8		1.31
	12/20					11.1	0.0	0.9	2.1	6.4	10.7	0.0	0.31	7.8		0.97
	1/10					13.5	0.0	1.0	2.9	8.4	13.3	0.0	0.53	9.4		0.06
2003	2/6					21.0	0.0	1.3	2.9	7.6	14.4	0.0	0.69	11.8		0.68

表1. 5 水質分析結果 (4番沢川川底の湧水 (St.4))

調査日	時間	水温	電気電導度	pH	総アルカリ度	Na+	NH4	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	NO2-	NO3-	SO42-	Br-	Cl/Na
yy/mm/dd	h:mm	[°C]	[μ s/cm]		[μ eq/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
2002	07/02-2					21.8	0.0	0.9	3.2	8.0	10.5	0.0	0.07	13.0		0.48
	07/15		153.9	7.33		21.9	0.0	0.7	3.1	8.3	10.7	0.0	0.21	12.5		0.49
	08/13		156.1	7.42		22.0	0.0	0.7	3.1	8.1	11.2	0.0	0.17	11.2		0.51
	8/30															
	9/14															
	10/17															
	11/1					22.7	0.0	0.8	3.1	7.9	11.1	0.0	0.06	11.3		0.49
	11/15					23.5	0.0	0.8	3.1	8.0	10.7	0.0	0.17	12.0		0.46
	12/20					22.1	0.0	0.9	3.1	8.0	10.6	0.0	0.31	12.2		0.48
2003	1/10					21.9	0.0	1.0	3.2	8.3	10.4	0.0	0.39	12.4		0.47
	2/6					22.0	0.0	0.9	3.1	8.4	10.3	0.0	0.40	12.3		0.47

表1. 6 水質分析結果 (降水試料)

採取期間	採水量	g	mm	電気電導度	pH	+										Br-	Cl/Na
						H+	Na+	NH4	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	NO2-	NO3-	SO42-		
2002	07/31 16:45-23:00	70.5	3.1	7.7	4.32	0.4	0.6	0.1	0.0	0.3	0.6	0.0	1.92	4.2	0.3	4.1	1.41
	08/05 15:00-06:00	499.28	22.1	28.8	4.45	0.6	0.7	0.1	0.1	0.2	0.9	0.0	1.66	4.0	0.2	3.8	1.65
	08/06 20:00-09:00	477.56	21.2	9.01	4.94	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.47	0.9	0.1	0.9	1.42
	08/10 22:00-11:50	250.22	11.1	7.17	4.91	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.38	0.8	0.1	0.7	1.92
	8/13 10:20-13 20:00																
	8/18 9:10-21 11:00	922.68	40.9			0.6	0.1	0.2	0.1	0.5	1.0	0.0	0.30	1.0	0.5	0.8	1.59
	8/24 11:00-25 6:00					5.3	0.0	3481.0	0.6	0.8	8.7	0.0	0.87	5.1	0.6	3.8	1.64
	09/28 17:10-29 12:00	1089	48.3														
	09/28 17:00-29 12:00	88.928				1.7	0.0	0.3	0.2	0.5	2.7	0.0	0.09	0.9	0.4	0.5	1.60
	10/6 16:00-10/7 13:00	556.1	24.7			2.8	0.7	0.4	0.3	0.5	5.0	0.0	1.34	5.6	0.4	4.9	1.79
雪	12/16夜-12/17 午後					3.0	1.4	1.8	0.3	0.9	4.8	0.0	0.59	1.8	0.8	1.0	1.59

表 1. 7 水質分析結果 (降水・林内雨・樹幹流の水質)

区分	樹種	採取期間		g	mm	電気電導度 [μ s/cm]	pH	H+	Na+	NH4+	K+	Mg2+	Ca2+	Cl-	NO2-	NO3-	SO42-
		始め	終わり														
樹幹流	トドマツA	9/15 7:00	9/15 12:00	80			2.7	1.0	8.9	0.7	1.6	6.0	0.6	0.8	5.9		
林内雨	トドマツ林下	9/15 7:00	9/15 12:00	350	5.7		3.5	0.0	4.2	0.9	5.4	7.5	2.3	1.6	5.1		
林内雨	ケヤマハンノキ下	9/15 7:00	9/15 12:00	350	6.2		1.5	1.8	18.8	1.5	4.8	7.5	0.0	0.0	3.4		
雨		9/15 18:00	9/15 20:00	238	10.6		0.6	0.1	0.1	0.1	0.4	0.8	0.0	0.63	1.2		
樹幹流	下のトドマツ	9/15 18:00	9/15 20:00	550			2.1	0.2	6.5	0.6	1.7	4.5	0.0	0.00	3.8		
林内雨	トドマツ林下	9/15 18:00	9/15 20:00				0.4	0.1	1.0	0.2	1.8	0.6	0.0	0.43	1.2		
樹幹流	下のケヤマハンノキ	9/15 18:00	9/15 20:00	300			0.8	0.1	3.1	0.2	1.1	2.2	0.0	0.07	1.1		
林内雨	ケヤマハンノキ	9/15 18:00	9/15 20:00	400	7.1		0.5	0.0	11.5	0.6	2.3	3.3	0.0	0.00	2.3		
樹幹流	上のケヤマハンノキ	9/15 18:00	9/15 20:00	25													
雨		9/16 6:00	9/18 12:00	449.43	19.9		1.7	0.1	0.1	0.2	0.5	2.8	0.0	0.66	1.2		
樹幹流	上のトドマツ	9/16 6:00	9/18 12:00	100			2.2	7.4	15.7	0.7	2.0	7.8	0.0	0.00	4.0		
樹幹流	トドマツ下の木	9/16 6:00	9/18 12:00	1400			2.0	0.0	5.6	0.5	1.3	4.8	0.0	0.00	2.2		
林内雨	トドマツ林下	9/16 6:00	9/18 12:00	1100	17.9		1.2	0.2	1.3	0.3	1.3	2.3	0.0	0.32	1.3		
樹幹流	上のケヤマハンノキ	9/16 6:00	9/18 12:00	950			1.4	0.0	7.2	0.5	2.5	4.5	0.0	0.00	0.9		
樹幹流	下のケヤマハンノキ	9/16 6:00	9/18 12:00	100			1.6	0.1	4.5	0.3	1.5	6.4	0.0	0.00	1.1		
林内雨	ケヤマハンノキ下	9/16 6:00	9/18 12:00	1050	18.6		1.0	0.4	11.7	0.5	1.9	4.4	0.0	0.00	1.3		
樹幹流	トドマツ	台風の日	021004-8	70			4.6	6.6	7.4	0.6	1.7	11.1	0.0	0.00	3.0		
樹幹流	ケヤマハンノキ	台風の日	021004-7	140			21.4	5.0	5.1	2.4	8.1	49.6	0.0	1.84	8.8		
林内雨	ケヤマハンノキ	台風の日	021004-9	6170	100.3		2.9	0.0	2.4	0.9	2.8	5.6	0.0	0.00	1.8		
林内雨	ケヤマハンノキ	11/26 4:00	11/27 2:00	1500	26.6		6.9	0.0	2.0	0.9	2.7	12.6	0.0	0.30	4.0		
林内雨	トドマツ	11/26 9:00	11/27 2:00	1500	24.4		9.1	0.0	4.4	1.2	2.7	16.6	0.03	0.00	5.0		