

寒冷積雪地域の水・化学物質循環の解明を目指す研究

地圏環境科学専攻 地球雪氷学講座

博士課程3年 山崎 学(指導教官:大畑 哲夫・石井 吉之)

課題1: 森林による降雪の遮断蒸発

林内積雪の酸素同位体比に関する研究

1. はじめに

常緑針葉樹林における林内の積雪水量は開地の積雪水量より少なく、積雪水量差の大部分が遮断蒸発量によることが知られている。このため、林内積雪に関する研究は積雪地域における水循環や森林が気候に与える影響を考える上で重要である。また、酸素同位体比(^{18}O)は地球上のさまざまな水循環を調べる研究で数多く使われているが、林内積雪の ^{18}O を調べた研究例は多くない。

そこで本研究では、厳冬期のある一定期間、開地と林内に降り積もった積雪量とその雪の ^{18}O を測定し、林内積雪における ^{18}O の特徴及び遮断蒸発量と ^{18}O の関係を調べた。

2. 観測概要

観測は北海道北部にある母子里試験流域(図1)内のSiteA(開地と林内)、SiteB(林内のみ)で行った。SiteAとSiteBはそれぞれ標高が290mと320m、植生がドイツウヒ(樹高8m)とトドマツ(樹高8m)である。林内は空が直接見えない程度に密に枝葉で覆われている。林内の平均気温(1/23~2/26)はSiteAで -11.7 、SiteBで -9.7 であった。

観測方法は、2003/1/23に雪面上にシートを敷き、その後、2/26にシート上に積もった積雪をスノーサンプラで採取すると共に積雪量を測った。SiteA開地ではシート上の降雪深が一定であったため、

サンプルを2個採取した。SiteA林内ではシート上を

40cm四方の小
区画(3×6=18区画)に分け、小区画の中央で積雪量の測定とサンプリングを行った。SiteB林内ではシート上を50cm四方の小区画(4×6=24区画)に分け、同様の観測を行った。また、2/26にSiteAにおいて樹冠上の樹冠雪を採取した(樹冠上0-4m, 10個; 4-8m, 3個)。

採取した雪の化学分析項目は、電気伝導度、pH、主要無機イオン濃度、酸素同位体比である。

3. 観測結果と考察

SiteAにおいて林内は開地に比べて積雪量が67mm少なく、 ^{18}O は1.51‰重かった(表1)。林内の ^{18}O は15個のサンプルが $-13.01 \sim -12.52$ ‰のあいだを示したのに対し、3つのサンプルがとびぬけて重い値を示した。これら3つのサンプルはシート上の隣り合った区画で採取されていた。また、林内の積雪量のばらつきと ^{18}O に相関は見られなかった(図2)。

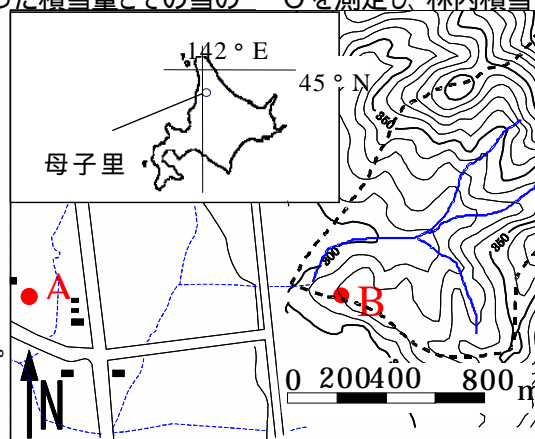


図1 母子里試験流域

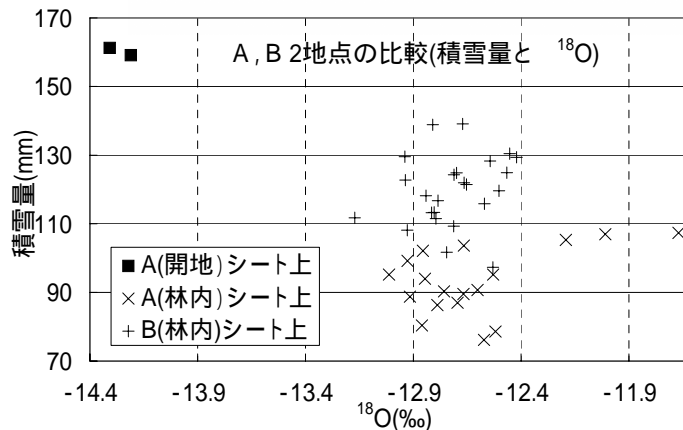


図2 開地と林内の積雪量と ^{18}O

表1 シート上の積雪量、 ^{18}O 、Cl濃度

	積雪量 (mm)	^{18}O (‰)	Cl ($\mu\text{eq/L}$)
A(開地)シート上平均値	160.2	-14.26	149.7
A(林内)シート上平均値	90.5	-12.75	226.7
B(林内)シート上平均値	119.7	-12.71	167.7

次に SiteA のシート上の雪と 2/26 に採取した樹冠雪の比較を図3に示す。図の縦軸は Cl 濃度である。樹冠雪の ^{18}O は他と比べて明らかに重く、Cl 濃度も非常に高かった。この結果は樹冠雪が樹冠上で非常に長い間滞留しつづけたことを示唆する。これら滞留時間の長い雪が林床に落ちることでシート上の積雪は局所的に ^{18}O が重くなると考えられる。すなわち、樹冠雪には比較的短い滞留時間で林床に落ちるタイプと、長期間樹冠上に滞留するタイプに分けられると推測される。

SiteB 林内の平均値は積雪量 119.7mm、 ^{18}O -12.75‰で、開地と比べて積雪量が 40.5mm 少なく、 ^{18}O は 1.55‰重かった(表1)。SiteA 林内と比べると積雪量は約 30mm 多いが ^{18}O は同じような値を示した(図2)、シート上の積雪量と Cl 濃度の関係を図4に示す。図中の曲線は開地の積雪量が昇華蒸発によって減少し、Cl 濃度が濃縮した場合の曲線を表す。林内の積雪は積雪量の減少と共に Cl 濃度が上昇しており、またその上昇も上記の曲線と似た変化を示している。このことは遮断蒸発による化学物質の濃縮が起こったことを示唆する。すなわち、SiteA 林内と SiteB 林内の積雪量差 30mm は 2 地点における遮断蒸発量の違いを表していると考えられる。図2と図4の結果より、SiteA と SiteB で遮断蒸発量が 30mm 異なるにもかかわらず酸素同位体比は同じような値を示したことになる。このことは同一期間、同一地域で観測された林内積雪であっても遮断蒸発量と酸素同位体比変化には関係が見出せないことを示唆している。今後、林内

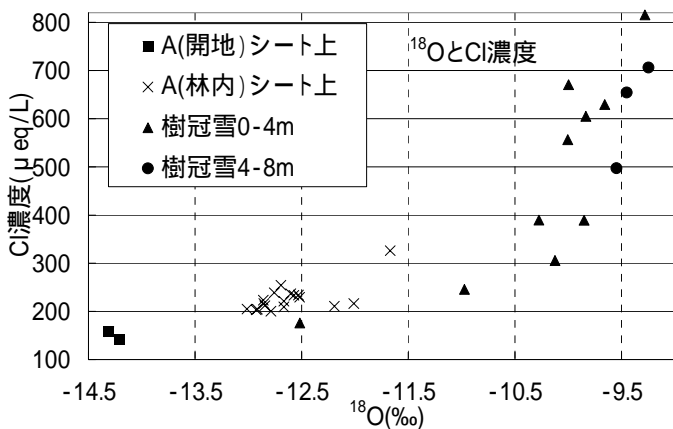


図3 SiteA シート上の積雪と樹冠雪(2/26)の比較

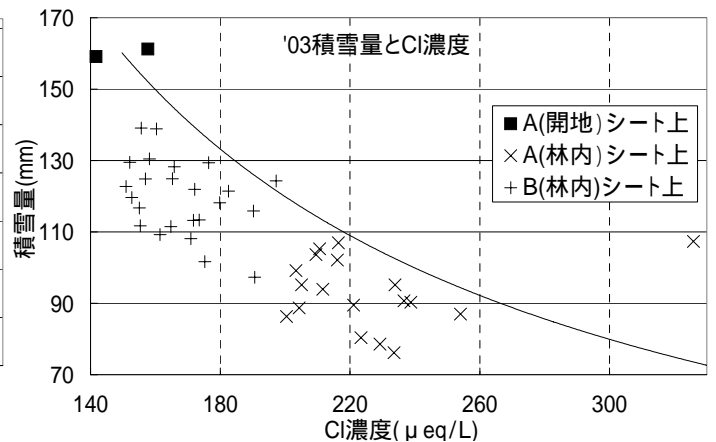


図4 開地と林内の積雪量と Cl 濃度

積雪の ^{18}O がどのようにして決まるかを明らかにするために遮断蒸発量以外の要素を考える必要がある。

課題 2: 積雪下面融雪水の水質変化

積雪下面融雪水の溶存成分濃度の再上昇

1. はじめに

寒冷積雪地域において、積雪下面から流出する融雪水(以下、積雪下面融雪水と呼ぶ)の溶存化学成分濃度は融雪初期に高濃度になり、その後低下していくことが知られている。この現象は積雪中の溶存化学成分が融雪水によって洗い流されやすいことに起因する。

2. 観測概要

観測は北海道大学雨龍研究林内の母子里で行った。観測露場(285m)に設置された大型積雪ライシメータ(3.6m × 3.6m)を用い、積雪下面融雪水の流出高、電気伝導度(EC)の連続観測ならびに積雪下面融雪水の採水を行った。また、毎月一回積雪断面観測を行って、層構造(雪質・粒径)・雪温・密度の鉛直プロファイル調べ、層ごとの積雪サンプリングを行った。この時、積雪表面に

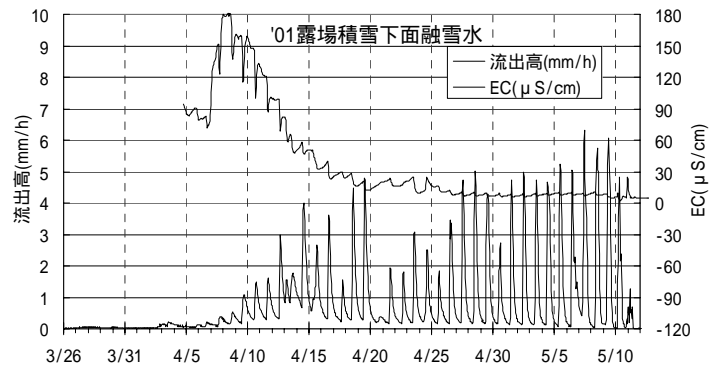


図1 '01年 積雪下面融雪水の流出高と EC(電気伝導度)

テープを伸ばして置くことで、毎月の積雪断面観測における層構造の対応をとりやすくした。雪を持ち帰って室温で溶かして得た試水や採水した融雪水の分析項目は、電気伝導度(EC)、pH、主要無機イオン濃度、酸素同位体比である。

3. 観測結果と考察

母子里においても、融雪初期に積雪下面融雪水の化学成分濃度が高くなる結果が観測されている(図 1)。しかし、2002年融雪期では積雪下面融雪水中の溶存成分濃度は融雪初期だけでなく融雪期半ばにおいても上昇した(図 2)。このような現象が起きた原因として、積雪層構造や積雪深変化、積雪や積雪下面融雪水の化学成分濃度の結果から以下のような仮説を立てられた。例年と異なり暖冬であったため、融雪期前の積雪内にしまり雪だけでなくザラメ雪の層が多数入った。そのため、融雪期に融雪水が積雪内を浸透する時、しまり雪とザラメ雪の層境界において、融雪水の浸透に不均一が生じた(水みち流下の発生)。層境界より下では、水みち流下が生じている部分の積雪は融雪水と共に化学物質が洗い流され、水みち流下が起こっていない部分の積雪は積雪中に化学物質が保存され続けた。その後、積雪深が低下することでザラメ層がなくなり、それと同時に水みち流下の外側の積雪においても融雪水の浸透が生じ、保存され続けていた化学物質が洗い流され始めた(図 3)。

暖冬だった 01- 02年の冬と比較するために 02- 03年の冬においても同様の観測を行った。2003年融雪期における積雪下面融雪水の流出高と EC を図 4 に示す。EC は融雪初期に高くなりその後低下したが、4/30と5/3-5/10頃に2002年ほどではないが EC が再上昇した。このうち 4/30 は高濃度の降水が原因であった。5/3からの再上昇の原因は 02年12月と03年3月の積雪層構造(図 5)と5/3にちょうど積雪深が48cmまで低下していたことから、11月に積もった雪が12月上旬までにザラメ雪に変わって融雪期まで残り、しまり雪との層境界を造った。この層境界が2002年融雪期の層境界と同様の現象を引き起こしたと考えられる。

2002年の観測から得た仮説は2003年の観測結果からも支持されたといえる。

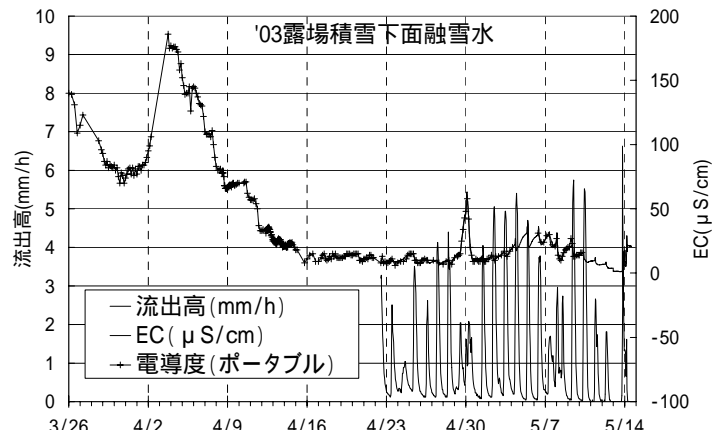


図 4 '03年 積雪下面融雪水の流出高と EC

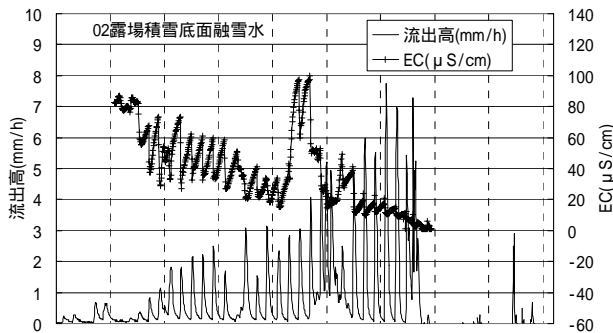


図 2 '02年 積雪下面融雪水の流出高と EC

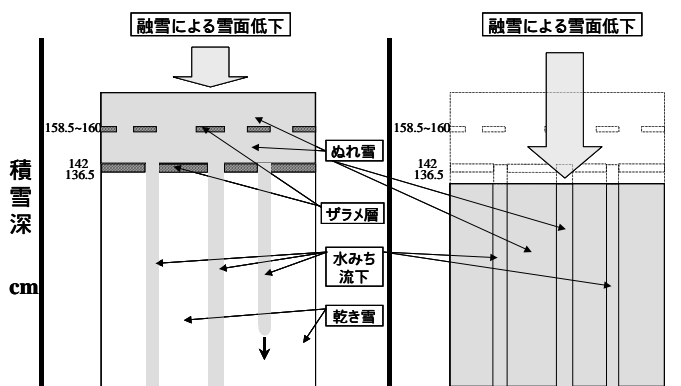


図 3 '02年における融雪水浸透の概念図

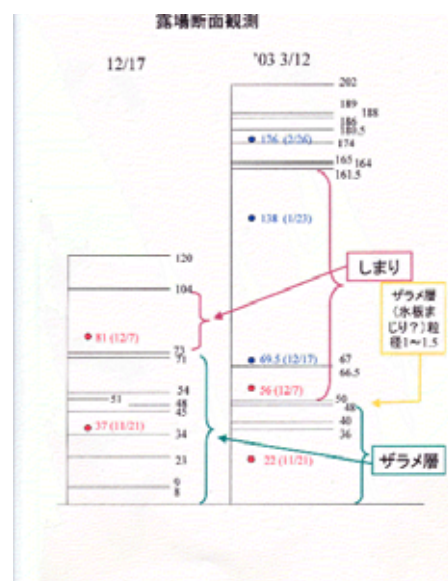


図 5 '02 12/17 と'03 3/12 における積雪層構造

多雪山地流域の山腹斜面における地中水の挙動

1. はじめに

北海道北部の多雪山地流域における融雪期の地中水流出過程を調べるために、これまで河川水中の化学成分の濃度変化を使ってきた。この化学的観測手法に物理的観測手法を加えることで、地中水流出過程に関するより深い知見が得られると予想される。そこで、今回新たに流域内の山腹斜面にテンシオメータを設置した。本研究では、テンシオメータを使って融雪期から夏場にかけての土壤中の圧

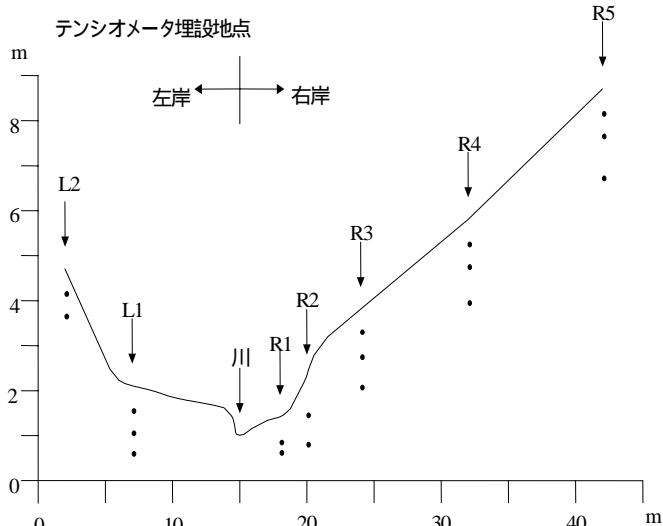


図1 横断面地形とテンシオメータ埋設地点

力水頭変化を観測し、融雪出水や降雨出水における土壤中の水の移動に関する特徴を明らかにすることである。

2. 観測概要

北海道大学雨龍研究林内母子里試験流域の1支流において、河道に対して垂直に横断面を取り、図1のように横断面上の斜面にテンシオメータを埋設した。そのうち、地点R1~R4では圧力センサ式テンシオメータを用いることで1時間インターバルの連続観測を行った。観測は2002年4月7日から開始した。なお便宜的にR1、R2地点を河川近傍、R3、R4地点を斜面と呼ぶ。

3. 観測結果

R1、50cm深 R2、165cm深 R4、50cm深 R4、180cm深の圧力水頭の観測結果を図2に示す(日平均値で表す)。河川近傍では常に圧力水頭が正の値をとっており、地下水位が安定的に存在することを示す。4つのテンシオメータとも融雪期(4月)に圧力水頭が最も高い値を示した。斜面では5月から7月上旬にかけての少雨時期に圧力水頭が低下し、土壤中が乾燥していく傾向を示す。この低下は50cm深のテンシオメータにおいて顕著である。7月以降は比較的降水があったため、圧力水頭は高い値を示している。

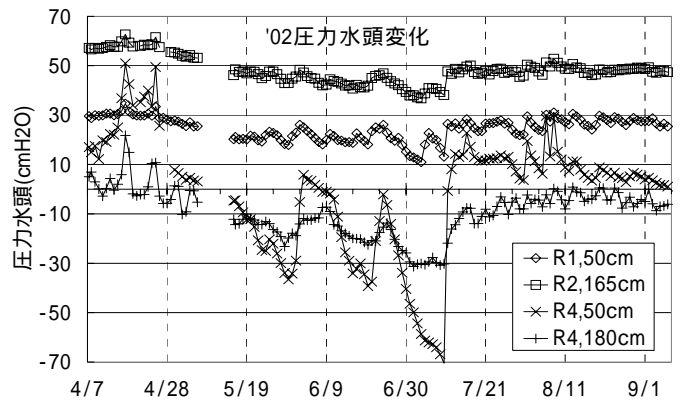


図2 4/7-9/8 圧力水頭変化

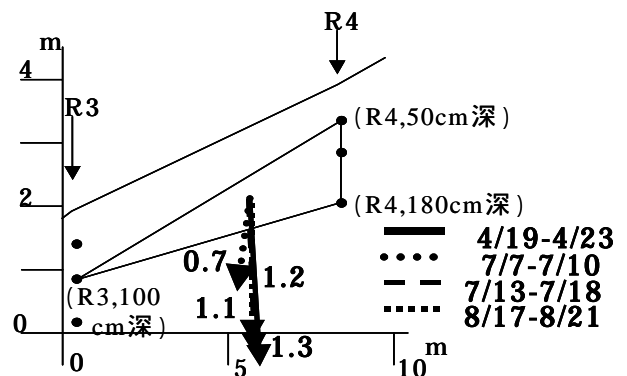


図3 斜面における地中水の動水勾配と流動方向のベクトル図

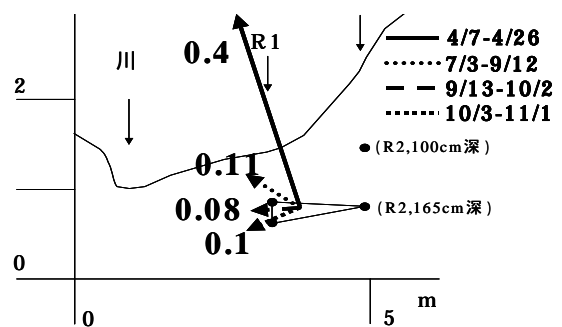


図4 河川近傍における地中水の動水勾配と流動方向のベクトル図

下の図はベクトルで表した。

長期間良いデータの取れた圧力水頭を河川近傍と斜面においてそれぞれ3つずつ選び、3点の重心点における地中水の動水勾配(cmH₂O/cm)と流動方向()を計算した。斜面では地中水の流動方向は常に下向きであり、動水勾配は最も乾燥した7/7-7/10に0.7まで下がり、融雪イベント・降水イベント時には1.1~1.3と同程度の動水勾配を示した(図3)。一方、河川近傍では斜面と異なり、融雪イベントにおける動水勾配は夏から秋にかけての動水勾配に比べ約4倍の値を示し、流動方向は融雪期に鉛直上向きの成分が強くなった(図4)。融雪期に地中深くから浅い方向への地中水の流動が見られたことは、融雪期の河川流出量に占める地下水の割合が高い、という従来の化学的アプローチによる研究結果を裏付けている。

今後、融雪期前から消雪後にかけてのテンシオメータを使った地中水の連続観測と、融雪水から河川水までの水量・水質観測を同時に行い両者の関係について考察する予定である。

発表リスト

1) 森林による降雪の遮断蒸発 林内降雪の酸素同位体比に関する研究・2003 年度 日本雪氷学会北海道支部研究発表会

- ・名大地球水循環研究センター平成 15 年度計画研究・研究発表会
「マルチスケールの水循環過程に対する水の安定同位体の応用」

2) 融雪水の流出過程

- ・2003 年度日本雪氷学会全国大会
- ・陸水物理研究会・日本陸水学会北海道支部会 2003 年度札幌合同大会

3) 積雪下面融雪水の水質変化

- ・IUGG2003 Snow Processes
- ・生物地球化学研究会 第2回シンポジウム
- ・2004 年雪氷化学分科会「雪合宿」講演会