

報告されている。その結果、湿原面積の減少、環境及び生態系の急激な変化が問題となっている。土地利用の変

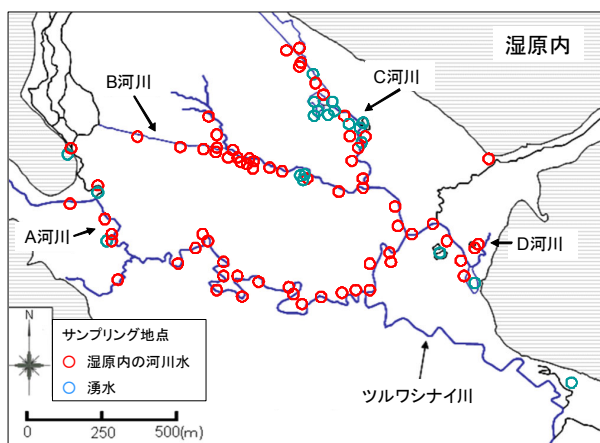


図-2 湿原内の調査対象地域

化等により湧水地点の水質が悪化している箇所も見られる。また、湿原の遊水地域にもたらされる降雨・融雪の大部分が地下水として涵養されていることが報告されている⁴⁾。このように地下水は湿原全体を涵養しており、湿原の乾燥化や植生の変化に直接的に影響するため、湿原の保全を行う上で重要な要素である。

これまでの研究では、釧路湿原内における狭域での水循環や地下水解析はなされてきた⁴⁾。しかしながら湧水の起源はその流出地点よりも上流域にあると考えられるので、湧水の流出地点（湿原）で保全を行うには、供給源を含めた広域な水循環の把握が必要である。そこで本研究では、蒸発や凝結作用を受けない限り、水分子を構成する安定同位体比は変動しないことから、水のトレーサとして用いることができる酸素・水素安定同位体比を用いて湧水の起源を推定し、釧路湿原から屈斜路湖における広域な水循環を把握することを目的とする。

2. 調査地概要

調査対象地域は、北海道東部に位置する釧路湿原と釧路湿原から屈斜路湖に至るまでの釧路湿原に流入する根釧原野の河川流域と、地下水の涵養域と考えられる地域である（図-1参照）。釧路湿原は標茶町、鶴居村、釧路町、釧路市にまたがり、南北約36km、東西約25kmの範囲で分布し、総面積189.2km²の日本最大の湿原であり、1980年にラムサール条約に登録された。また、1987年には国立公園に指定された重要な湿原である。

湿原は標高が3～10mと低く、表面に1～4mの泥炭が敷き詰められている。釧路湿原全体の8割が低層湿原（ヨシを代表とする植生が見られ、主に地下水と表層水によって涵養されている湿原）で、残りの部分に高層湿原（ミズゴケを代表とする植生が見られ、主に雨水によって涵養されている湿原）や、低層湿原と高層湿原の中間の状態である中間湿原がある。

釧路湿原は屈斜路湖（標高121m）を水源とする釧路川

を中心に発達している。釧路川は流域面積2510km²、幹川流路延長154km、流域内人口177,000人の大河川である。釧路川が湿原内に流入、蛇行しながら流下する過程で、オゾベツ川・ムマオロ川・久著呂川・雪裡川・幌呂川・仁々志別川などの主要支川と合流しながら太平洋に注いでいる。

釧路湿原の地質は、丘陵地域の前面に溺れ谷を埋める形で形成された海岸平野であり、つまり沖積平野で構成されている⁵⁾。釧路湿原の沖積層は、臨海地帯の砂丘砂・後背湿地を構成する泥炭ならびに河川流域の砂礫とシルトなどで構成されている。また、鶴居丘陵地域（阿寒川と釧路川にはさまれた丘陵地域）には、洪積世の堆積物である釧路層と、それを覆う阿寒・屈斜路両火山に由来する火山砕屑物などが広く分布している。この地域に分布する釧路層は、塘路層と達古武層に分けられ、これらはいずれも砂礫相の卓越する地層であって、地下下では優秀な容水地盤を形成している。

3. 研究方法

(1) 現地調査

調査は2005年6月13日から18日（185地点）と、2005年10月7日から8日（35地点）にかけて2回行い、湿原内とその周辺河川において河川水、湧水及び地下水を採水した。サンプリング地点を図-1に示す。また、湿原内のサンプリング地点を図-2に示す。河川水は広域に採水し、湿原内では、湿原北部に位置するツルワシナイ川流域のA、B、C、河川において湧水と河川水を集中的に採水した。サンプルは現地調査にて、水温、電気伝導度（EC）、pH、酸化還元電位（ORP）を、携帯用水質測定器（D-24、堀場製作所製）を用いて測定した。

(2) 室内分析

サンプルは採水した後、速やかに実験室に持ち帰り5℃以下の冷暗所で保存後、孔径0.45 μmの親水性PTFEメンブレンフィルター（MILLIPORE社製）でろ過し、主要溶存成分（Li⁺、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Mg²⁺、Ca²⁺、F⁻、Cl⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₄²⁻）をイオンクロマトグラフィー（DIONEX社製）で測定した。重炭酸イオン（HCO₃⁻）は0.02規定の硫酸を用いて硫酸滴定法によって定量した。また、酸素・水素の同位体比は平衡法によって処理されたH₂ガス、CO₂ガスを質量分析計（Finnigan MAT DELTA Plus）で測定した。

4. 水質結果

(1) 水質結果

サンプルの大まかな水質組成を把握するために、多試

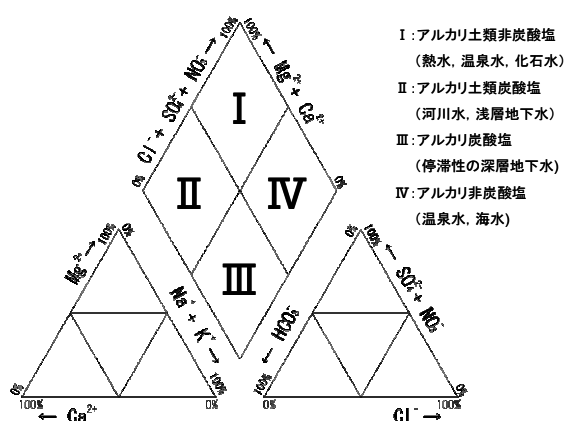


図-3 トリリニアダイアグラム概略図

料の組成を表現することのできるトリリニアダイアグラムを用いた。トリリニアダイアグラムは、地下水の主要溶存成分である Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- の8つのイオンを、図-3のように陽・陰イオンそれぞれの当量を相対値(%)で一つの菱形と二つの三角形中にプロットされる。試料はキーダイアグラムのプロット的位置によって大きくIからIVの4つグループに分類されている。

水質の結果を図-4にトリリニアダイアグラムで示す。トリリニアダイアグラムでは、サンプルを湿原内の河川水、湧水、湿原外の河川水(最終的に湿原に流入する)の3つに分類している。

まず、2005年6月における湿原内の河川水は、主にアルカリ土類炭酸塩型(河川、浅層地下水)に属する。しかし、この中でもトリリニアダイアグラムの中心付近に分布するもの(図中のグループA)とアルカリ炭酸塩型(停滞性の深層地下水)に近いグループ(図中のグループB)の2つに2分されている。湿原外の河川水は、湿原内の河川水と同様に主にアルカリ土類炭酸塩型に属する。

また、アルカリ炭酸塩型、アルカリ非炭酸塩型(温泉水、海水)の水も少ないが見られ、バラつきがみられる。アルカリ非炭酸塩型の河川水(図中のグループC)は塘路湖、達古武沼やシラルトロ沼周辺の水である。 Cl^- 濃度が 50mg/l 、 Na^+ 濃度が 30mg/l と高い値を示し NaCl 型の水質組成となっている。これは、この流域が海跡湖であったことが起因していると考えられる⁵⁾。湧水は、湿原内の河川水と同様に、主にアルカリ土類炭酸塩型に属する。3地点(図中のグループD)で、アルカリ炭酸塩型の水質もあるが湧水のバラつきは小さい。

次に、2005年10月の湿原外の河川水、湧水の水質は、共に6月と同様の結果がみられた。しかし、湿原内の河川水は、主にアルカリ土類炭酸塩型に属し、特にトリリニアダイアグラムの中心付近(図中のグループA)のみに分布している。これは、 HCO_3^- 濃度が6月に比べ減少したためと考えられる。

湿原内の河川水は、6月で2つのグループに2分されたが、10月では図中の中心付近(図中のグループA)のみに分布し、季節変化が見られた。これは、6月の HCO_3^- 濃度が10月に比べ高いことから6月の湿原内の河川水には雪解け水が混入している可能性が考えられる。また、6月ではグループBに湿原内の河川水と湧水が見られるが、10月ではグループA・Bに分かれているため、湿原内の河川水と湧水は異なった水質組成であると言える。さらに、湧水では河川水のような季節変化は見られなかった。この流域では水質の成分的には大きな違いが見られない。河川水、湧水の水質の特徴を濃度や成分量について溶存成分ごとに見ていく必要がある。

(2) 湧水の水質

ここで、河川水と湧水の水質の特徴を考察する。ECと HCO_3^- 濃度の関係を図-5に示す。図は上段に2005年6月、

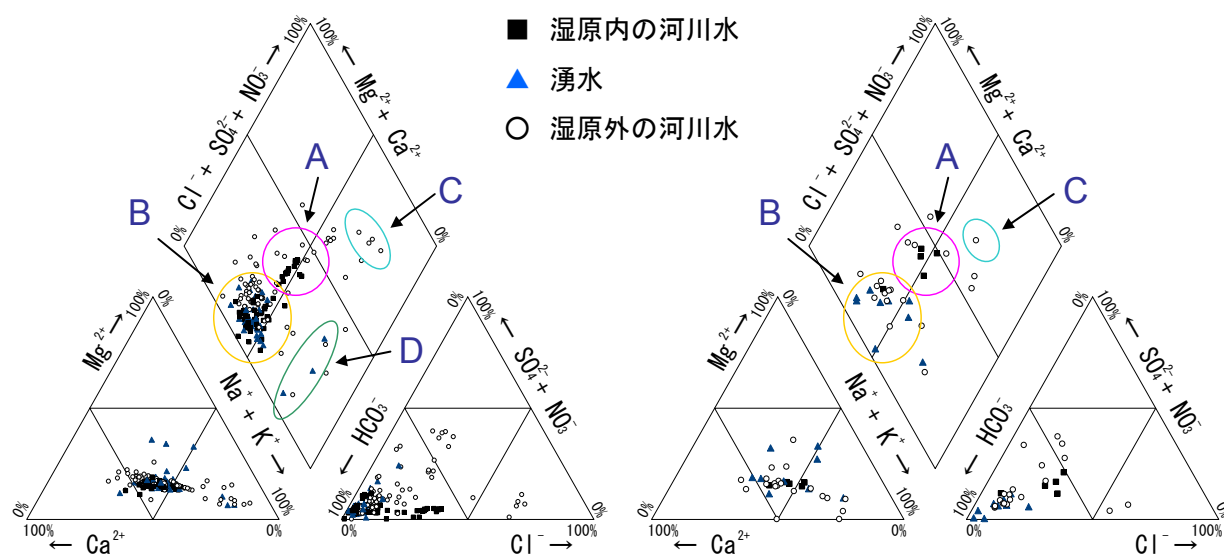


図-4 トリリニアダイアグラム(左側: 2005年6月, 右側: 2005年10月)

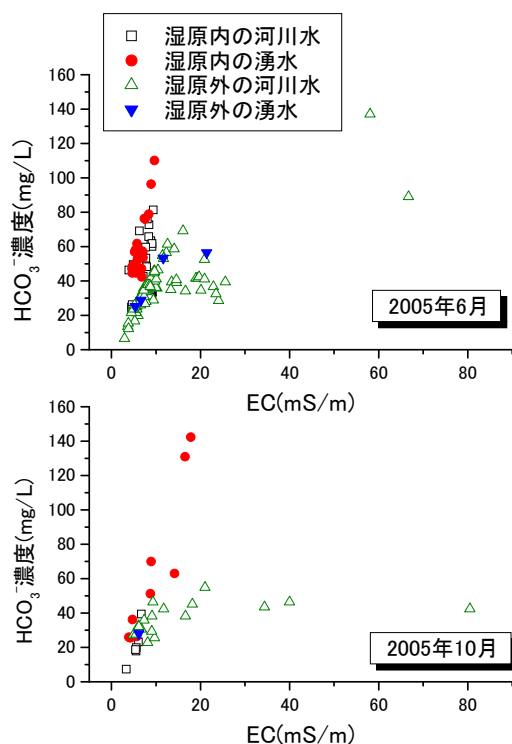


図-5 ECとHCO₃⁻濃度の関係
(上段：2005年6月，下段：2005年10月)

下段に2005年10月の結果を示している。ECの6月の平均値は湿原内の河川水で7mS/m，湿原内の湧水で6mS/m，湿原外の河川水で11mS/m，湿原外の湧水で13mS/mを示した。同様に，10月ではそれぞれ5mS/m，9mS/m，16mS/m，6mS/mを示した。また6月のHCO₃⁻濃度の平均値は湿原内の河川水で45mg/l，湿原内の湧水で60mg/l，湿原外の河川水で40mg/l，湿原外の湧水で73mg/lを示した。同様に，10月ではそれぞれ21mg/l，64mg/l，36mg/l，28mg/lを示した。6月に比べ10月では，湿原内外の河川水のHCO₃⁻濃度は減少し季節変化が見られるが，湿原内の湧水では変化せず季節変化は見られなかった。

6月のトリリニアダイアグラムの中央付近に分布にする河川水は，アルカリ土類炭酸塩型の湧水よりもCl濃度が高い水質である。また，湧水は河川水に比べHCO₃⁻濃度が高い傾向があると言える。

5. 同位体結果

(1) 酸素同位体比と水素同位体比の関係

同位体比は海水（V-SMOW）を基準とした時の同位体比の比率を表しており，地表水は海水からの蒸発後の雨水起源であるため負の値をとる。このことから，同位体比が大きい場合は重く，小さい場合は軽い水である。酸素・水素安定同位体比は，各元素について標準物質を定め，標準物質の同位体比から試料の同位体比の線分偏

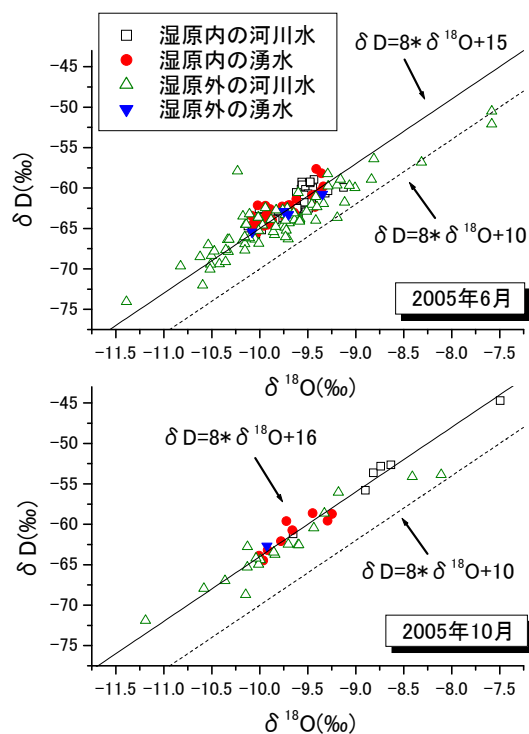


図-6 酸素同位体比と水素同位体比の関係
(上段：2005年6月，下段：2005年10月)

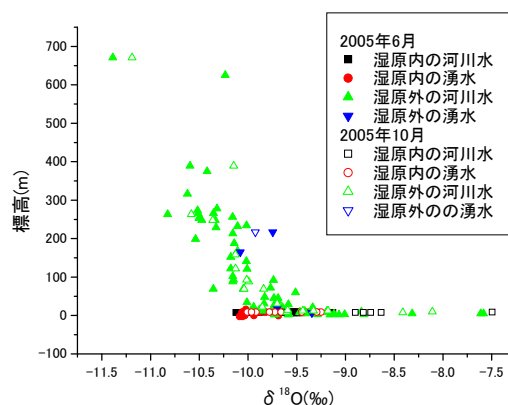


図-7 酸素同位体比と標高の関係

差で示したもので，次の式（1）で表す⁶⁾。

$$\delta = (R_X / R_{ST} - 1) \times 1000 (\text{‰}) \quad (1)$$

このとき δ はD/H, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, R_X は試料Xの同位体比, R_{ST} はSMOW（標準平均海水の同位体比）を表す。

天水における酸素同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）と水素同位体比（ δD ）の関係はCraig（1961）によって求められた，天水線（ $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+10$ ）上に分布する。また，関係式の切片d値は，降水をもたらす水蒸気が生成する場の湿度（蒸発速度）と関係する。主な水蒸気源である海洋で，乾燥した（蒸発速度の速い）所で生成した水蒸気のd値は大きく，湿潤な所で生成する水蒸気のd値は小さい。

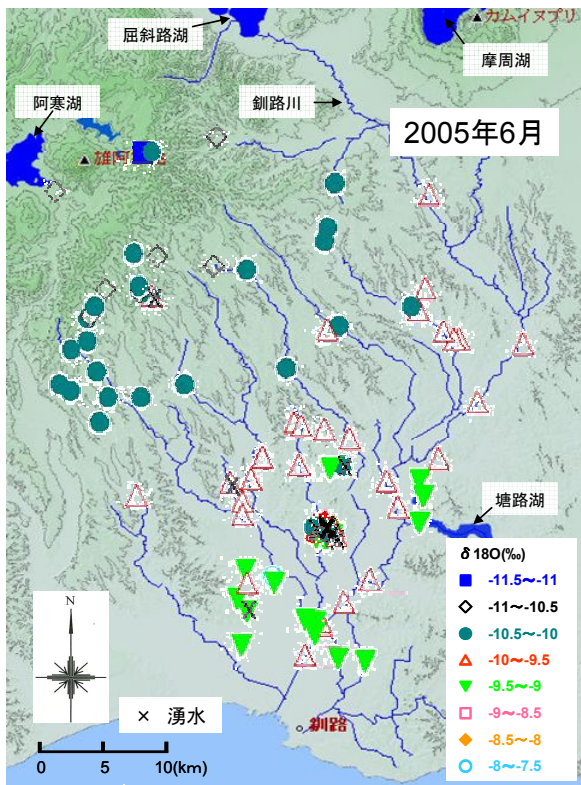


図-8 酸素同位体比の広域平面分布(2005年6月)

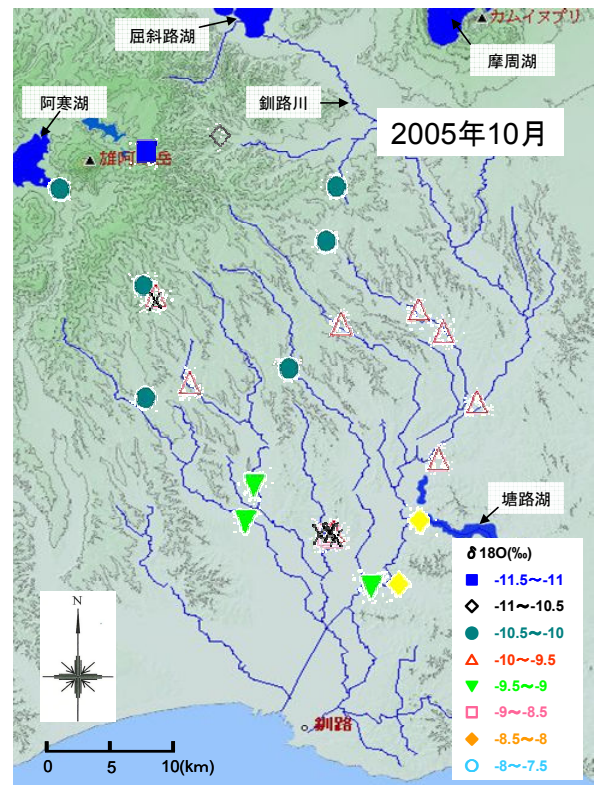


図-10 酸素同位体比の広域平面分布(2005年10月)

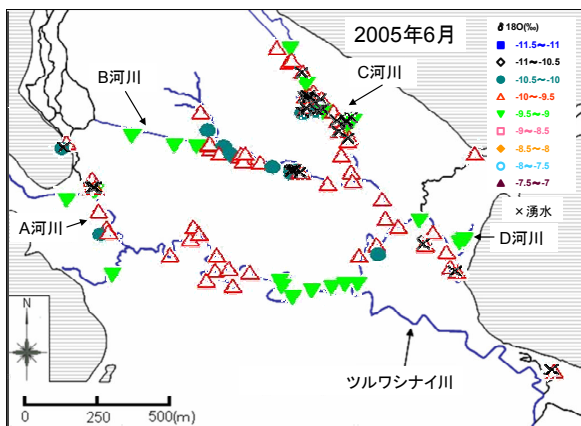


図-9 酸素同位体比の湿原内平面分布(2005年6月)

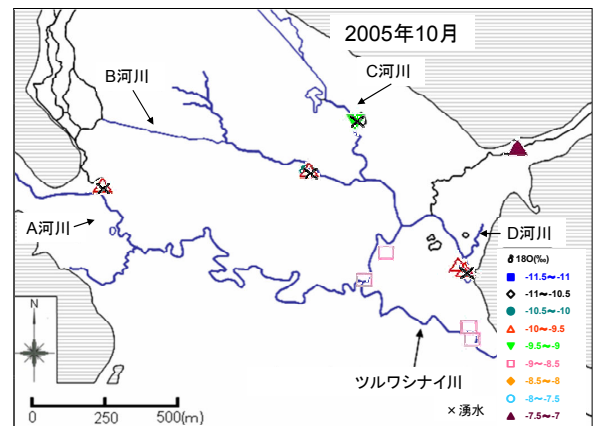


図-11 酸素同位体比の湿原内平面分布(2005年10月)

水蒸気の凝縮過程ではd値は変わらないため、降水のd値は降水をもたらす水蒸気団の由来の指標となる。

$\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係を図-6に示す。図は横軸に $\delta^{18}\text{O}$ 、縦軸に δD をとっている。またサンプルを湿原内の河川水、湿原内の湧水、湿原外の河川水、湿原外の湧水の4つに分類している。まず、2005年6月の図より、サンプルは $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+15$ 線上に分布した。 $\delta^{18}\text{O}$ の範囲はそれぞれ、湿原内の河川水で-10から-9‰、湿原内の湧水で-10から-9.3‰、湿原外の河川水で-11.5から-7.5‰、湿原外の湧水で-10から-9.3‰の値を示した。次に、2005年10月の図より、サンプルは $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+16$ 線上に分布した。 $\delta^{18}\text{O}$ の範囲はそれぞれ、湿原内の河川水で-9.7から-7.5‰、湿原内の湧水で-10から-9.2‰、湿原外の河川水で-11.2から-8.1

‰の値を示し、湿原外の湧水は-10‰の値を示した。

6月と10月の結果より、湿原内の河川水は、湿原外の河川水に比べ同位体比が高く、その範囲も狭い。湿原内の湧水、湿原外の湧水はその中間の値を示している。また、湿原内において湧水の $\delta^{18}\text{O}$ は河川水よりも低い値であることがわかった。しかし、6月では湿原内の河川水でも湧水と同様な低い値を示す水も存在し、狭い範囲でバラつきが見られた。これらのことから、湧水の起源は湿原内の河川水ではないこと、湿原内の河川水には湿原外の河川水の流入のほか、 $\delta^{18}\text{O}$ の低い湧水が混入していることが考えられる。さらに、6月と10月では湧水の季節変化は見られなかったが、湿原内の河川水では6月に比べ10月で $\delta^{18}\text{O}$ が高く季節変化が見られた。しかし $\delta^{18}\text{O}$

と δD の関係からは具体的にどの流域に起源があるのかは特定することが難しいと考えられる。

(2) 同位体比と標高の関係

酸素同位体比 ($\delta^{18}O$) と標高の関係を図-7に示す。図は横軸に $\delta^{18}O$ 、縦軸に標高をとっている。最大標高は650mあり、湿原では8mほどである。図より、上流から下流にかけて $\delta^{18}O$ が-11.5から-7.5‰まで高くなっている。つまり標高が高くなるほど同位体比が小さくなる、同位体高度効果がみられた。 δD も $\delta^{18}O$ と同様に、上流から下流にかけて高くなる傾向がみられた。

(3) 同位体分布

酸素同位体比 ($\delta^{18}O$) と水素同位体比 (δD) の関係からは、具体的に湧水の起源は推定することはできなかったことから、酸素・水素安定同位体分布よりその起源を考察していく。

2005年6月の $\delta^{18}O$ の平面分布を図-8、また、このときの湿原内における $\delta^{18}O$ の平面分布を図-9に示す。図は、 $\delta^{18}O$ を0.5‰ごとに分類し、湧水地点を別に表示している。図-8の広域平面分布の $\delta^{18}O$ は上流で-11.5‰と最も低い値を示し、下流に行くにつれ同位体比は高くなり、下流部では最大-7.5‰となる。図-7と同様に、調査地全域で見ると、標高が高くなると同位体比が小さくなる同位体高度効果がみられた。図-9より、湿原内の河川水の $\delta^{18}O$ は-10から-9.3‰、平均-9.8‰の値を示した。湿原内では、標高があまり変わらず、また約2.0×1.5kmの狭い範囲にある河川であるにもかかわらず $\delta^{18}O$ が異なる。これは、湿原内の河川には湿原外の河川水の流入のほか、湧水と河川水の採水地点が近いことから $\delta^{18}O$ の低い湧水が混入していることが考えられる。また、湿原に近い河川の $\delta^{18}O$ は-10から-9.5‰の値を示しているが、湿原内の湧水において-10‰以下の低い値を示しているところも見られる。さらに、湿原よりもさらに上流の河川水では-10‰以下の値を示している。このことから湧水の起源は、湿原に近い河川ではなく、湿原よりさらに少なくとも10km以上も上流の河川流域にあると考えられる。

2005年10月の $\delta^{18}O$ の平面分布を図-10、また、このときの湿原内における $\delta^{18}O$ の平面分布を図-11に示す。図-10、図-11は、図-8、図-9と同様に、 $\delta^{18}O$ を0.5‰ごとに分類し、湧水地点を別に表示している。2005年10月も6月と同様の結果を示した。最上流の阿寒湖周辺で $\delta^{18}O$ は-11‰と最も低い値を示し、下流に行くにつれ高くなり、塘路湖周辺で最大-8‰の値を示した。湿原内においては、湧水 (平均-9.7‰) は河川水 (平均-8.7‰) よりも低い値を示し、湿原内の河川水と湧水の供給源の違いを示唆した。また、湿原内の河川水の $\delta^{18}O$ は、6月 (平均-9.6‰) よりも高い値を示し、河川水では季節変化が見られた。湧水の $\delta^{18}O$ は湿原の周辺河川よりも低い値を示

したが、6月の湧水 (平均-9.8‰) と同様の値を示した上流の河川流域よりも下流域の河川水に近い値であった。

6. 結論

本研究では、釧路湿原及び釧路湿原に流入する河川において酸素・水素安定同位体比を用いて湧水の起源を推定し、釧路湿原から屈斜路湖における広域な水循環を把握することを目的とし、2005年6月と10月の調査結果をまとめた。その結果、湿原外の河川水の水質は、主にアルカリ土類炭酸塩型に属するが、アルカリ炭酸塩型やアルカリ非炭酸塩型の水も少ないが見られ、バラつきがみられた。湧水の水質は、主にアルカリ土類炭酸塩型、湿原内の河川水は、主にアルカリ土類炭酸塩型に属する。湿原内の河川水と湧水は異なった水質組成であり、湿原内の河川水は季節変化が見られたが、湧水では季節変化が見られなかった。

酸素・水素安定同位体分布より、釧路湿原とその周辺河川流域の広域では、上流から下流にかけて同位体比が高くなり、同位体高度効果がみられた。湿原内の湧水は湿原の河川水やその周辺河川水よりも同位体比が低く、湿原よりもさらに上流の河川流域に見られるような同位体比を示した。このことから、湿原の湧水の起源は、湿原よりさらに少なくとも10km以上も上流の河川流域にあると考えられる。

湧水の起源の可能性は示唆されたが、推定にはまだ至っておらず、今後の課題としてさらに考察をし、起源の推定を行う。また、調査地を根釧原野の東へ広げ、釧路湿原から風蓮湖に至る根釧原野全域における水循環について検討していく。

参考文献

- 1) 釧路湿原自然再生プロジェクト湿原データセンターホームページ: <http://www.kushiro.env.gr.jp/saisei/>
- 2) 新庄久志: 釧路湿原のハンノキ林, (財) 前田一歩園財団創立20周年記念論文集, 北海道の湿原, pp.17-33, 2002.
- 3) 橘治国・中村信哉・中川亮: 釧路湿原温根内地区の地下水質と土壌, (財) 前田一歩園財団創立20周年記念論文集, 北海道の湿原, pp.9-15, 2002.
- 4) 工藤啓介・中津川誠: 釧路湿原の水循環と動向について, 北海道開発土木研究所月報報文, No.626, pp.25-47, 2005.
- 5) 小原常弘ほか: 北海道水理地質図幅説明書, 北海道立地下資源調査所, 昭和48年
- 6) 多賀光彦・那須淑子: 地球の化学と環境 (第2版), 三共出版, pp.132-133, 2001.

(2006. 9. 30受付)