

釧路湿原チルワツナイ川水文環境に河床湧水が及ぼす影響解明

土原健雄*・中矢哲郎**・石田 聡*・今泉眞之*

目 次			
緒 言	121	2 湧水観察	126
調査地域概要	122	3 水質分析結果	128
1 地形	122	4 ラドン濃度測定結果	131
2 地質	122	考察	132
3 水理地質	124	1 各支流河川水と湧水型の地球化学的意義 ...	132
調査方法	124	2 陥没穴型湧水の意義と形成メカニズム	134
1 流量測定	124	3 湿原の水循環における湧水の意義	134
2 水質分析	125	結 言	135
3 ラドン濃度測定	125	参考文献	135
調査結果	125	Summary	136
1 各支流河川の特徴	125		

緒 言

釧路湿原は、北海道東部釧路市の北部に広がる日本最大の湿原である。1980年、既に国の天然記念物、鳥獣保護区になっていた釧路湿原の中央部5,012haを第一号指定地としてラムサール条約に登録した。また1987年には釧路湿原国立公園が、国内最後の国立公園として発足し、湿原の生態系的豊かさと特異な自然景観を作り出している。ラムサール条約では、第3条1項に「締約国は登録簿に掲げられている湿地の保全を促進し及びその領域内の湿地をできる限り適正に利用することを促進するため、計画を作成し、実施する」と定め、環境保全及び賢明な利用の促進のための計画を作成し実施すべきであるとしている（山下，1993）。賢明な利用（wise-use）については、第3回ラムサール条約締約国会議であるレジャイナ会議の勧告付属書において「生態系の自然特性を変化させないような方法で人間のために湿地を持続的に利用することである」（一部抜粋）と規定されている。1960年代以前の日本では、湿原や干潟の自然環境と調和した形での利用、つまり賢明な利用が実践されてきたといえるが、近年の開発や汚染、その他人為的干渉の結果、多くの湿原においてその価値は損なわれており、釧路湿原もまた例外ではない。

2002年3月に地球環境保全に関する関係閣僚会議において決定された「新生物多様性国家戦略」の中で、今後政府が目指すべき3つの施策の方向性の1つとして「自然再生」が「保全の強化」及び「持続可能な利用」とともに掲げられた。また2002年12月の「自然再生推進法」成立（翌年1月施行）により、自然再生の基本理念が明確化されるとともに、事業推進における科学的知見及び科学的評価の必要性が明文化された（自然再生推進法第3条）。

環境省、農林水産省、国土交通省が連携して着手した釧路湿原における自然再生事業は、今後の自然再生事業の方向を示す重要なモデル事業であり、その取組みは自然再生釧路方式と呼ばれている。中村（2003）は、釧路湿原、標津川の再生事業に携わる過程より得られた自然再生の考え方について述べており、「残存する貴重な生態系の保護」と「現存する生態系を復元の手本とすること」を重要項目として挙げている。いくら細心の注意を払い、高度技術を駆使したとしても人間が創る自然はもともとそこにあった自然と比べれば必ず劣るため、再生事業を実施する前に現存する生態系を保全することを優先すべきであり、またそれら現存する自然環境はこれからの再生事業の標準地（リファレンスサイト）として重要となる（中村，2003）。

釧路湿原で顕在化している問題として、湿原への土砂流入、湿原の乾燥化、ハンノキ林の拡大がある。林ら（2003）、名久井ら（2003）は氾濫解析を行い、河川氾濫時の浮遊砂堆積と湿原の乾燥化の関連性について述べている。また水垣・中村（1999）は、放射性同位体

* 地域資源部地下水資源研究室

** 水工部河海工水理研究室

平成17年2月9日受理

キーワード：釧路湿原，地下水流動，河床湧水，水質

(Cs-137)を用いて釧路湿原の土砂堆積厚を推定し、流域の土地利用変化や河川改修工事が流入土砂量を増加させていることを示している。

畜産由来の窒素の流入による汚染拡大も問題の一つである。田淵ら(1995)は北海道の林地と畑草地の集水域において硝酸態窒素と土地利用が密接な関係にあるとしており、釧路湿原流域の土地利用の変化による窒素負荷量の問題が懸念されている。また駒田ら(1998)は植物体の $d^{15}N$ 値を用いて窒素流入の影響評価を行い、厩肥、尿汚水、放牧地糞尿による窒素負荷量が無視できない地区もあることを明らかにした。一方で、湿原の持つ窒素浄化能についての研究も進んでおり(例えば、細見・須藤(1991), Gersberg *et al.*(1983)), 湿地を利用した水質浄化技術が欧米で注目されている。

湧水と生態系の関係について、本間・蛭田(1998)は、釧路湿原温根内地区では、ニホンザリガニが台地地の下からしみ出る湧水が作る小さな流れや池に生息しており、冬期は湧水口などの暖かい地下水供給場所に生息していると述べている。またタンチョウヅルがこういった湧水による未凍結水路でニホンザリガニを捕食している姿が観測されている。このように釧路湿原内の湧水は、寒侯期の降雪・積雪・結氷といった特異な自然環境における生態系保持に大きく影響しており、現存する環境を保全していく上で地下水(特に湧水)の流動状況を把握することは欠くことができない。

本稿では、釧路湿原において最も原始的な自然環境が残されているといわれるキラコタン岬・宮島岬周辺の河川及びその周辺の湧水について、現地踏査、環境同位体、水質を指標とした諸調査の結果及びこれらの結果から地下水流動、特に河床湧水が水文環境に与える影響について考察した結果を報告する。

本研究は、環境省の地球環境保全等試験研究費として2003年度から2007年度にかけて農林水産省と環境省の関係研究機関が合同で行う「自然と人の共存のための湿原生態系保全及び湿原からの農用地までの総合的管理手法の確立に関する研究」の一環として行われたものである。環境省東北海道地区自然保護事務所の関係各位には、現地調査を行うに当たり便宜を図っていただいた。プロジェクト事務局の北海道農業研究センター生産環境部土壌特性研究室の竹中眞前室長、加藤邦彦主任研究官には、釧路湿原についてご教授を授かるとともに現地調査でお世話になった。ここに記し感謝申し上げる。

調査地域概要

1 地形

調査地位置図をFig.1に示す。釧路湿原は北海道東南部に位置し、南は太平洋に面している。地形は単調で、低地と台地からなる。低地は本地域の大部分を占め、中央一体から南北に幅広く発達する低湿平坦な沖積地で、

釧路平原といわれる。釧路平原は海岸沿いに狭長で低位に発達する砂丘地と、その北部に広大な面積を持つ本平原主体の泥炭地(原野)からなる(岡崎ら, 1966)。台地は洪積層から成り、湿原の入江を成す部分を取りまいたり、湿原内に半島状に突き出し、全体として湿原を取り囲むように分布する。台地は、西方を起点として平原を取り囲む根室面(標高120m内外)と平原南東部及び大楽毛西方にみられる釧路面(60m未満)の2つの海成面に分けられ、平原には急な斜面で接している。湿原の標高は20m以下、その主体は2-5mと低く、表面に厚さ1-4mの泥炭が分布する泥炭地である。湿原の東側には海跡の三湖沼であるシラルト口沼、塘路湖、達古武沼がある。また湿原内には河川が蛇行し、大小さまざまな沼や池が点在している。幌呂川、雪裡川、チルワツナイ川、久著呂川、ケネチャラシベツ川、釧路川、ヌマオ口川、旧オシベツ川といった河川が湿原内を貫流し、いずれも釧路川(下流部は新釧路川)に合流し、太平洋へと南下する。

釧路湿原は国立公園として管理上、その重要度から五段階のランクに分けられている。特別保護地区が最も保護規制が厳しく、いかなる試料の採取であっても環境省の許可が必要であり、湿原中央部を中心に全体の24%が含まれる。次いで、第一種特別地域、第二種特別地域、第三種特別地域と順に規制が緩やかになり、普通地域が最も保護規制が緩和されている。本調査地域は、特別保護地区に含まれる。

釧路湿原の水文環境は阿寒の山々と東部台地を水源とした中小河川と、周囲の台地から湧き出す湧水によって構成されている。台地の一つであるキラコタン岬の周辺にも多くの湧水が確認されており、台地の真下に湧水による川や池が作られている。上流域にはパイカモが繁茂するなど川本来の生態系が保たれた川の見本といえる。1890年を最後に絶滅したと思われていたタンチョウヅルが1924年に発見されたのもこの地域である。

キラコタン岬・宮島岬周辺域では、三月上旬になると、特別天然記念物であるタンチョウヅルは越冬地から湿原の営巣地に戻り、縄張りを作る。三月下旬には巣を作り始めるが、凍結部の残るこの時期、エサが取れる場所は、湧水地と湧水を集める小川しかなく、タンチョウヅルの営巣、繁殖にとって湧水は欠くことのできない条件でもある(本多編, 1993)。実際、チルワツナイ川は冬期であっても凍結しないといわれており、地下水による水温維持機能がこの地域の生態系維持に大きく影響していると考えられる。

2 地質

調査地域の地質は、中生代白亜紀の根室層群を基盤とし、古第三系の浦幌層群が重なり、その上に釧路層群が被覆している。さらにその上に段丘堆積物、沖積層が分布している。Table 1に釧路湿原の地質層序、Fig.2に

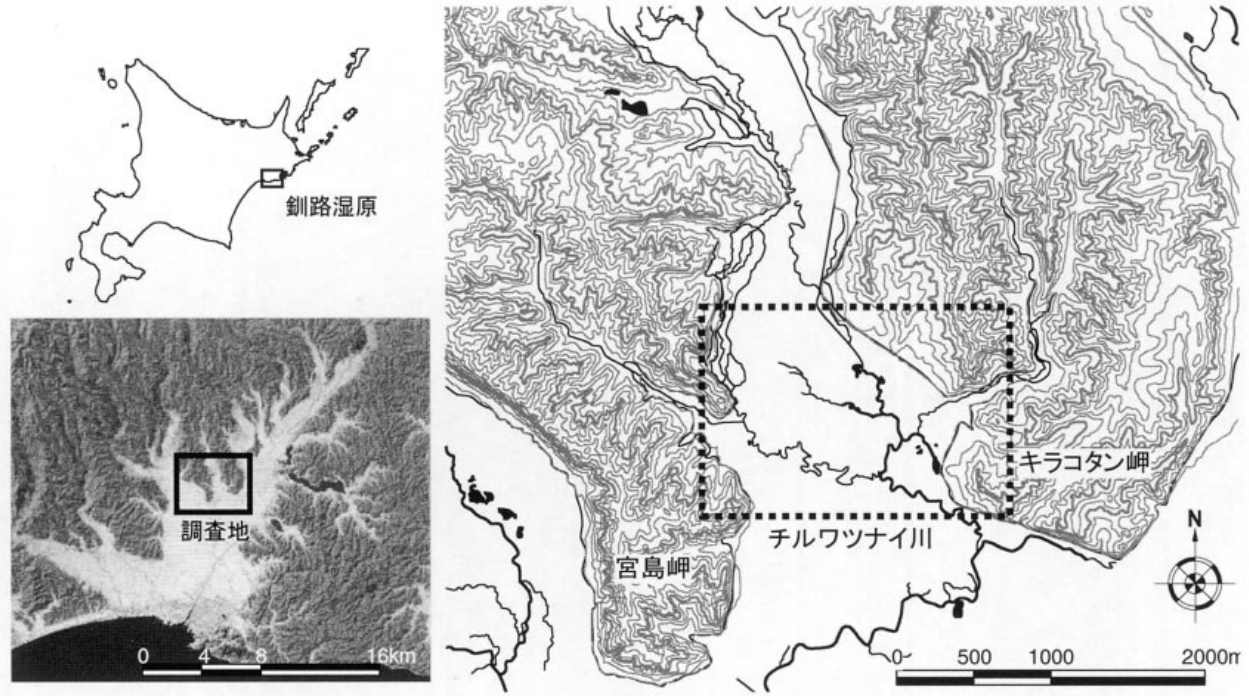


Fig.1 調査地位置図

Investigation site of Kushiro wetland

Table 1 釧路湿原の地質層序 (佐藤博之・佐藤茂 (1976) を一部改変)

Geological stratigraphy of Kushiro wetland

時代		地層		
現世	↑	氾濫原堆積物	摩周火山灰層	
		湿原堆積物		
第四紀	更新世	雄阿寒火山灰層	クチヨロ火山灰層	
		低位河岸段丘堆積物		
		高位河岸段丘堆積物		
		宮島累層		
		阿寒火山碎屑物		上部阿寒軽石流堆積物
				阿寒溶結凝灰岩
		釧路層群		下部阿寒軽石流堆積物
				降下火山碎屑物
塘路累層	上部層			
	下部層			
		達古武累層		



Fig.2 地質平面図 (岡崎ら (1966), 佐藤博之・佐藤茂 (1976) より作成)

Geological plan

調査地であるチルワツナイ川流域の地質平面図を示す。

釧路層群は釧路湿原の周囲の台地に広く発達して、ほとんど水平に近く横たわる。しかし、地表における各累層の分布とその高度や地表下の基底の深度から判断すると、南西部から平原を北東方向に斜めに横切る盆状のゆ

るい撓下構造が認められる。すなわち、地表における釧路層群は、最上位の塘路累層上部が北部の宮島岬、キラコタン岬に露出し、塘路累層下部が大楽毛西方と温根内南方の台地に露出している (岡崎ら, 1966)。

沖積層は、主として釧路平原に広く発達し、地表面を

作る地層は、臨海地が砂丘砂、内陸地は泥炭からなるが、河川沿いには砂泥の氾濫堆積物が帯状にみられる。平原下に行われたボーリング資料によれば、その厚さ(深さ)は最大80m余りである。広く発達した沖積層が、中央部の沖積地、すなわち釧路湿原を構成している。湿原の形成に最も関係する地層である沖積層は現在も地表で泥炭や泥、砂を堆積しており、主として釧路層群の侵食起伏面を埋めている(岡崎ら, 1966)。ただし、釧路市工業地帯に近い釧路湿原南部はボーリング調査や電気探査、弾性波探査が多数行われているが、北方ほど資料が乏しく、その地質は推定にとどまる。

3 水理地質

最も有力な帯水層である釧路層群は泥炭地の中央部に向かっておおむね1/200程度の傾斜を示しており、帯水層も同様に傾斜し、深度が増すに従って被圧度も高くなると予想される。新釧路川河口付近には、釧路層群から採水している多数の工業用井戸があり、それらの井戸の比湧水量は200~300m³/d/mである。一方、湿原中央部の釧路層群に掘削した北海道開発局の試験井での比湧水量は100~200m³/d/mとやや小さい(農業用地下水研究グループ, 1986)。調査地域内の湧水は釧路層群の塘路累層を通過する地下水である。

調査方法

Fig.3にチルワツナイ川における調査ポイント及び河川中の湧水形態を示す。チルワツナイ川を支流ごとに西からそれぞれA~D河川とした。またB河川とC河川が合流した後をBC河川、さらにD河川が合流した後はBCD河川とし、それぞれの地点名とした。各調査地点では、ラドン濃度、水温、電気伝導度(EC)を測定し、水質分析用に採水を行った。A18, B17, C24, D9, BC1, BCD4の各地点において流量を測定した。また、湧水地点では、湧水の湧出状況の観察を行った。

調査は2003年10月と2004年6月に行い、合計調査地点数は77点である。A4・5, 7~19, BC1~3, BCD1・3・4, D1~2・D5・7は2003年10月の調査地点であり、A1~3, A6, B1~17, C1~24, D3~4, D6, D8~9は2004年6月に調査地点である。調査地点は、河川においておよそ100m間隔で、湧水点が見られるところは都度調査を行った。

1 流量測定

各調査点において、川幅に応じて右岸側から4~7点、河川を横断するように流速及び水深を測定した。流速はマーシュマックバーニー社製電磁流速計モデル2000に

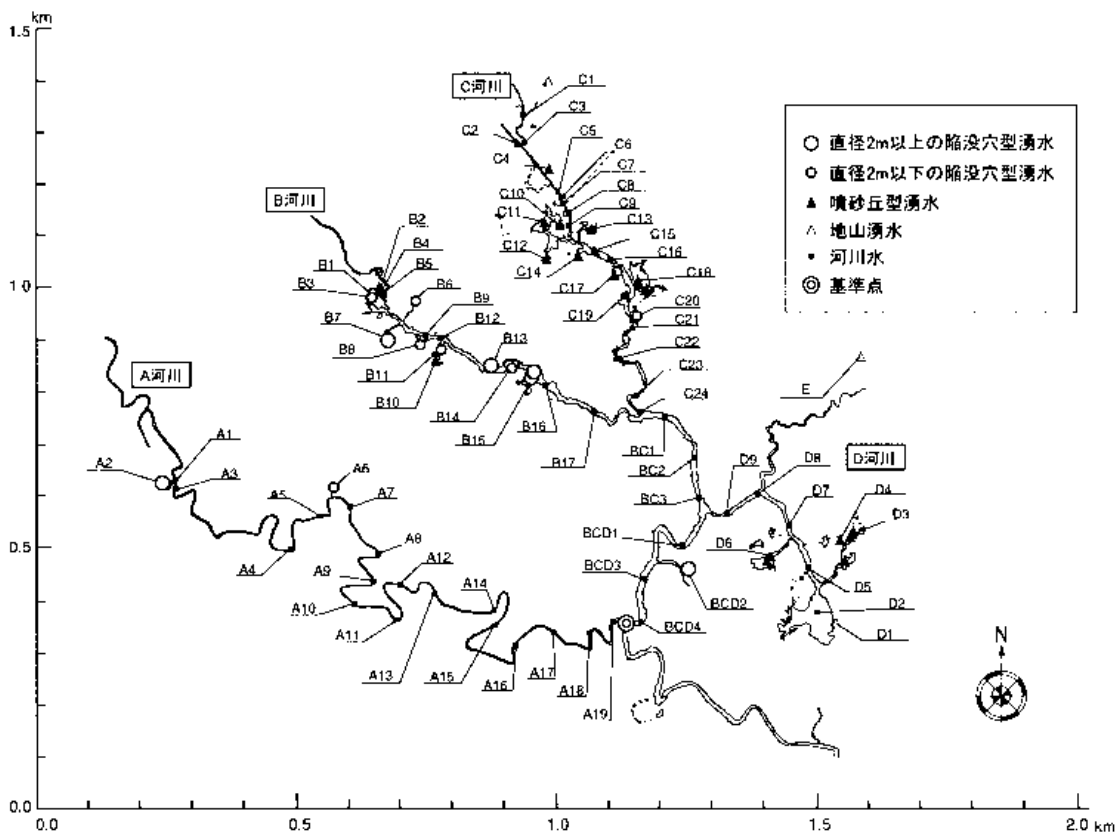


Fig.3 チルワツナイ川における調査点及び湧水形態
Observation points and types of springs in Chiruwatunai River

より計測した。測定方法は建設省河川砂防技術基準(案)同解説(日本河川協会, 1997)に従った。側岸部の流速, 水深を0とし, 通水断面積を計算する。各ブロックの通水断面積と流速を求め, それぞれを乗じて各ブロック流量を求め, その合計をその地点の流量とした。

2 水質分析

分析項目は, 水温, 電気伝導度(EC), Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- である。水温, 電気伝導度については現地にて採水直後に横河電機社製導電率計で計測を行い, HCO_3^- 以外のイオンについては採水試料を研究室に持ち帰り, イオンクロマトグラフィー(東亜D K K社製ICA2000)により測定を行った。 HCO_3^- はアルカリ度とし, アルカリ度(pH4.8酸消費量)はMR-BCG混合溶液指示薬で硫酸標準溶液による滴定法により求めた(日本規格協会, 1998)。

3 ラドン濃度測定

ラドン(^{222}Rn)は帯水層を構成する土粒子に含まれるラジウム(^{226}Ra)の崩壊により生成される水溶性の放射性ガスである。ただし, 半減期が3.8日と非常に短く, また揮発性であることから, 供給源のない地表水にはほとんど含まれず, 地下水中に地表水よりも2~3オーダー高濃度で存在する。従って, 河川等でラドンが高濃度で検出された場合, 地下水の地表水への漏出の指標とすることが可能である(Ellins *et al.*, 1990)。各調査地点においてラドン濃度の測定を行った。ラドン濃度の測定にはトルエン抽出法を採用した(濱田ら, 1997)。この方法はラドンが水よりもトルエンに溶けやすい性質を利用したものである。現場にて試料を500ml採水し, その試料にシンチレータを溶解させたトルエンを加え, 攪拌後, 静置し, 分離したトルエン相のみを抽出する。抽出した試料は, 研究室にて液体シンチレーションカウンター(パッカード社製2250CA)で測定した。検出限界は約0.1Bq/l, 測定誤差は今回の調査では約4.5%であった。

調査結果

1 各支流河川の特徴

チルワツナイ川は自然状態の残された自然河川であり, 多くの蛇行や分岐が見受けられるが, 本稿では支流河川のつながりの判読に阿寒郡鶴居村の5000分の1地形図を用いた。Fig.4に各支流河川の流域面積区分, Table 2に地形図から読み取った流域面積を示す。流域面積は今回の調査範囲であるFig.3中の基準点より上流域について求めた。流域面積はA河川が最も大きく, 次にC, D, B河川の順である。

A河川は他の支流河川とは交差せず, 宮島岬側, キラ

コタン岬側の流域から集水し河川を形成している。A18地点での川幅と水深は, $6.9\text{m} \times 0.54\text{m}$, 流速は 0.290m/s である。河床堆積物は, 灰色の中粒の砂で, 人が立ち上がった後も陥没しないほど締まっている。

B河川は, 地形図よりその上流側が他の河川に接続しておらず, 湿原内に流れの端を発している。そのため流域面積は, 地形図上では平坦な湿原内の極微小な部分に限られる。B17地点の川幅と水深は, $7.0\text{m} \times 0.27\text{m}$, 流速は 0.161m/s である。河床堆積物は, 暗褐色のシルトから粘土サイズの有機物と浮泥からなる。非常に軟弱で, 人が立ち入ると胸まで水没する。

C河川は上流域に河川改修に伴う河道の直線化が見られ, これは上流域の農地あるいは牧草地の排水を目的としたものと考えられる。またC河川は上流部でA河川とは接続せず, 異なる流域を持つ。C24地点の川幅と水深は, $3.3\text{m} \times 0.53\text{m}$, 流速は 0.100m/s である。河床堆積

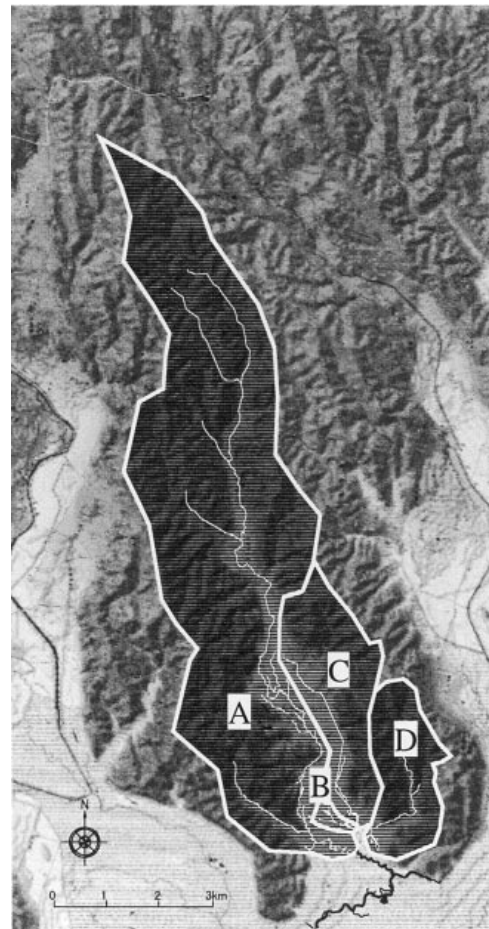


Fig.4 各支流河川流域面積
Catchment area of each branch

Table 2 各支流河川の流域面積
Catchment area of each branch

支流河川	A	B	C	D
流域面積 (km^2)	30.19	0.30	6.58	4.01

物は、B河川と同様、暗褐色のシルトから粘土サイズの有機物と浮泥からなる。非常に軟弱で、人が立ち入ると胸まで水没する。

D河川はキラコタン岬側の台地からの流れにより構成されており、他の支流河川と異なる流域を持つ。D9地点の川幅と水深は、7.7m×0.35m、流速は0.084m/sである。河床堆積物は、B、C河川と同様で、暗褐色のシルトから粘土サイズの有機物と浮泥からなる。非常に軟弱で、人が立ち入ると胸まで水没する。ただし、D河川最上流の地山湧水(D1)付近の湧水池の底質は細粒分質砂である。

流量測定地点における流量、平均流速、川幅、通水断面面積、河床底質をFig.5に示す。特にA河川は、流量、

平均流速が大きく、底質もC～D河川とは異なる。

2 湧水観察

a 湧出形態による湧水の分類

調査地域の湧水は、湧出形態から陥没穴型湧水、噴砂丘型湧水、地山湧水の3タイプに区分できる。地山湧水と噴砂丘型湧水は、これまで文献等で報告されている湧水であるが、陥没穴型湧水については著者が知る限り報告されていない新しい型の湧水である。Fig.6に釧路湿原における各湧水形態の特徴を図示する。各タイプの分布はFig.3に示している。図中 印が陥没穴型湧水で、印の大きさによりその径が2m以上か2m未満を示している。また 印が噴砂丘型湧水、 印が地山湧水、 印が河川水を示している。Table 3にチルワツナイ川

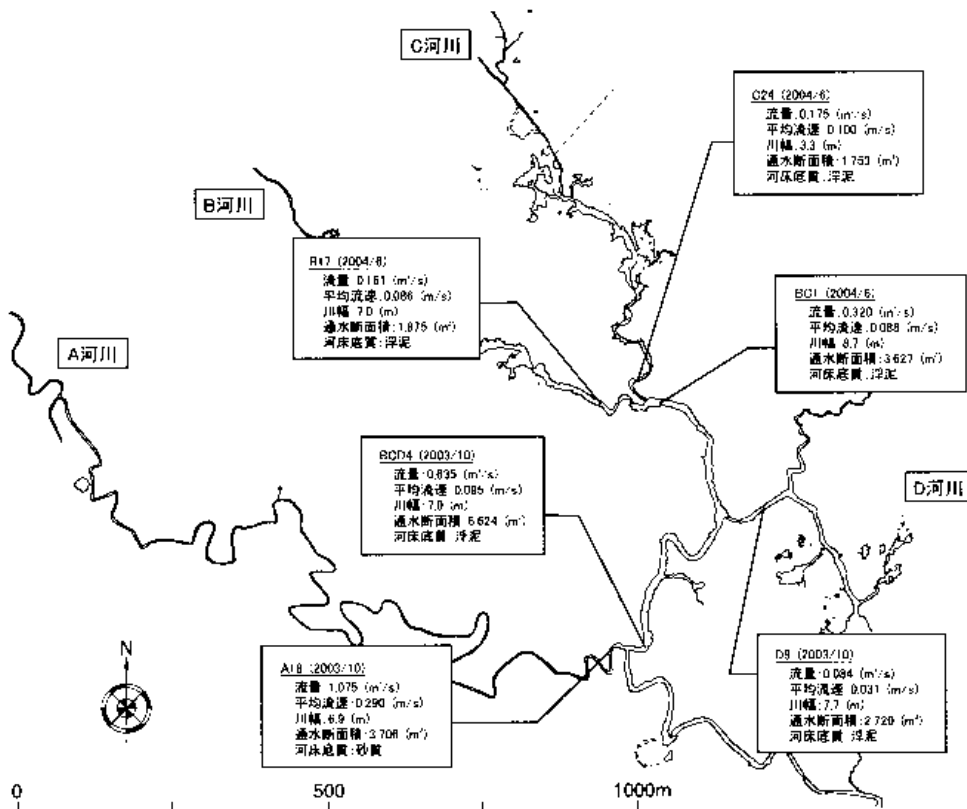


Fig.5 各支流河川の流量、流速、川幅、通水断面積、河床底質

Flow rate, flow velocity, river width, cross-sectional area of flow and riverbed sediment in each branch

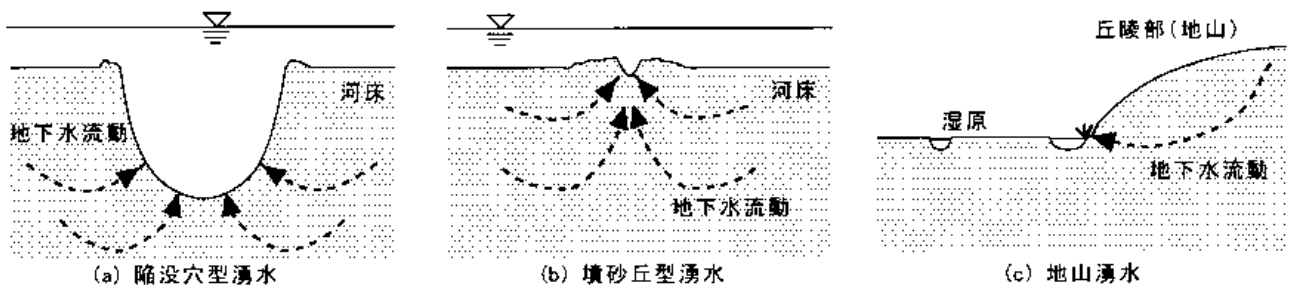
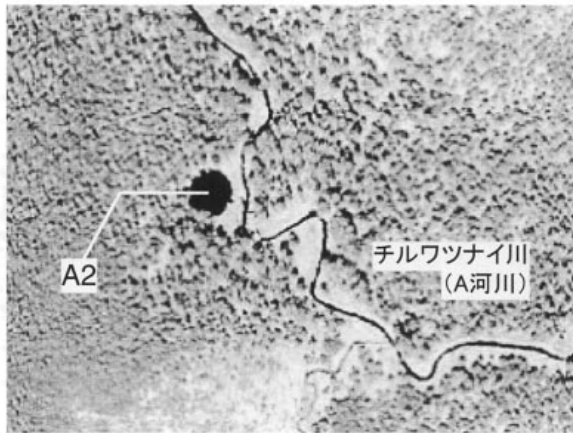


Fig.6 釧路湿原における地下水湧出形態の分類

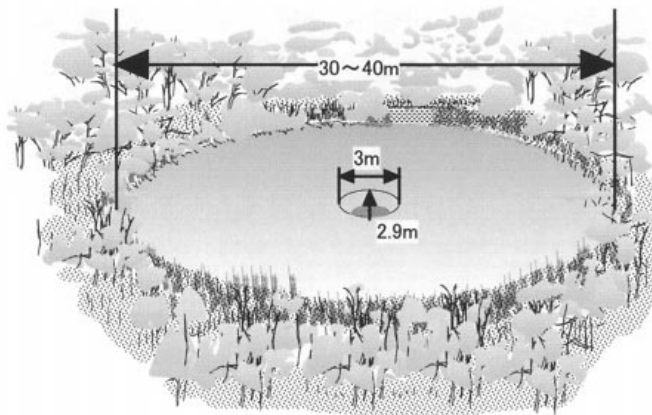
Schematic diagram of spring in Kushiro wetland



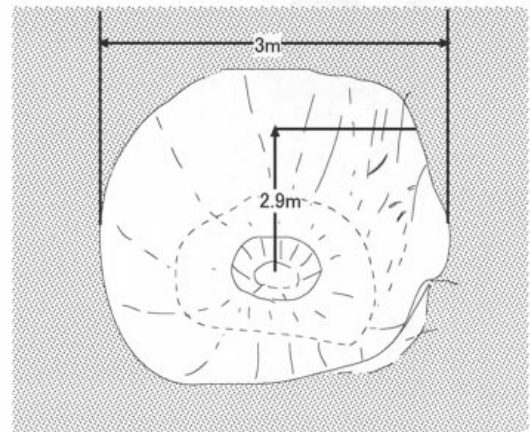
(a) 位置図



(b) 陥没穴型湧水による湧水池

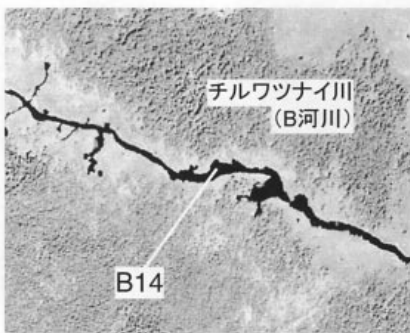


(c) 全体図



(d) 陥没穴型湧水形状

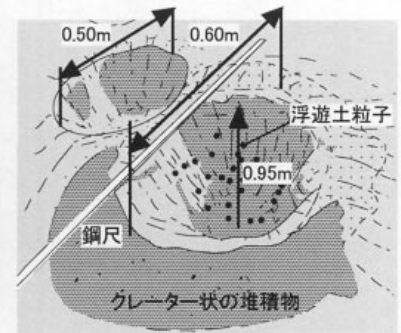
Fig.7 陥没穴型湧水 (A2)
Spring of subsidence hole type at A2



(a) 位置図



(b) 陥没穴型湧水



(c) 陥没穴型湧水形状

Fig.8 陥没穴型湧水 (B14)
Spring of subsidence hole type at B14

各支流河川 (A~D) ごとの陥没穴型湧水, 噴砂丘型湧水の地点数を示す。陥没穴型湧水はB河川に集中しており, A, C, D河川ではほとんど見られない。一方, 噴砂丘型湧水はC, D河川に集中しており, A, B河川ではほとんど見られないという特徴を持っている。以下に, 各タイプの特徴を記載する。

b 陥没穴型湧水

陥没穴型湧水の例としてA2地点及びB14地点の写真,

位置図, 全体図等をそれぞれFig.7, Fig.8に示す。陥没穴型湧水は, 図に示すように河床に陥没状の穴が開いている湧水である。穴は, 直径0.3m~3m, 深さは0.3m~4mで, 円錐状の形態をしている。河川の端, あるいは河川から数m~20m離れた円形の湧水地の中心に分布する。例えば, Fig.5の陥没穴型湧水はA河川上流部で確認され, 直径3m, 深さ2.9mの陥没穴が形成されている。またその穴を中心に直径30m以上の湧

水池が形成されている。Fig.6のB14地点では、河道端に複数の陥没穴型湧水が見られたが、陥没穴の大きさはA2地点のものよりは小さかった。ここでは、陥没穴周辺に高さ5 cm程度の噴砂丘が形成されて、クレーター形状を呈していた。同じようなクレーター形状は、BCD2でも観察された。これらのクレーターに流速計を挿入してみたが、鉛直方向上部へ向かうような流れは確認されなかった。しかし、陥没穴内のシルトサイズの粒子が、浮遊していることから極微小な流速で湧出していると判断できる (Fig.8 (c))。Fig.9に、A2, B15地点の陥没穴の中心部で測定した水温、EC、pHと水深の関係を示す。水温、pHは水深が深くなるほど小さくなり、ECは水深が深くなるほど大きくなる傾向を示している。

c 噴砂丘型湧水

噴砂丘型湧水は陥没穴型とは異なり、河床からの地下水湧出によりその周辺に堆積物が薄く円錐状に堆積している。Fig.10にD6地点の噴砂丘型湧水の位置図、全体図、拡大写真を示す。円錐状の噴砂丘は、直径が10~20cmで、高さが3~5 cmで、地下水湧出口は直径0.5~1 cmである。図に示すように、湧出ポイントは複数見られ、湧出した地下水は湧水池を形成し、D河川に流れ込んでいる。C河川のC11やC18も同じように噴砂丘型湧水群を形成している。

d 地山湧水

地山湧水は、釧路湿原に張り出す台地 (キラコタン岬や宮島岬など) と湿原の境界部分に流出する湧水で、湿原内の台地部下端に多く見られる。湧水は、台地を形成する塘路累層の中粒砂に挟在する凝灰岩薄層の上部から、また台地から河床への地形変換点から湧出している。地山湧水の分布については、今回の調査で明らかにできなかったが、北海道立地質研究所の調査によると多数分布しており、湿原内への水供給に大きな役割を果たしている (北海道立地質研究所, 2003)。

3 水質分析結果

Table 4に水質分析結果を示す。表中の記号 , , , は調査地点の分類を示しており、それぞれ陥没穴

型湧水、噴砂丘型湧水、地山湧水、河川水に相当する。また基準点からの距離はFig.2中の 印から各調査点までの距離を示しており、各支流とも上流に行くほど距離が大きくなる。以下より、個別の項目について結果を示す。

調査は2003年10月と2004年6月と2回に渡って行っているが、10月と6月では水温が大きく異なるため、Fig.11では2004年6月に行った54地点の水温データのみを示す。2004年6月におけるA~D各支流河川の平均水温はそれぞれ15.2, 12.3, 14.9, 15.9 であり、陥没穴型湧水が集中するB河川が他の河川に比べて3ほど低い水温であった。また噴砂丘型湧水が集中するC

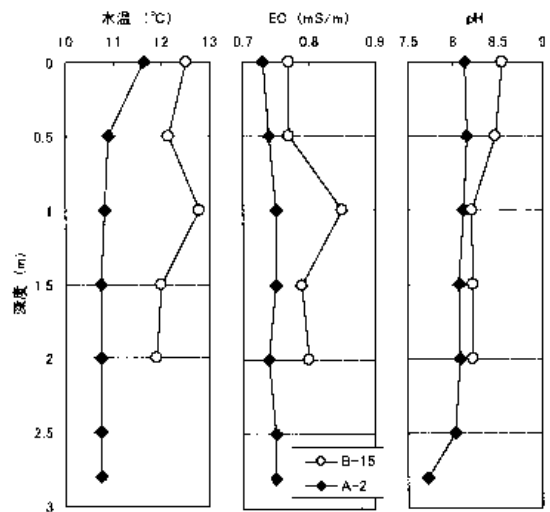


Fig.9 陥没穴型湧水内の深度別水温・EC・pH分布
Distribution of water temperature, EC and pH in springs of subsidence hole type in direction of depth

Table 3 支流河川ごとの湧水点数
Number of springs in each branch of the river

支流	A	B	C	D	BC	BCD
陥没穴型	2	12	2	0	0	1
噴砂丘型	0	2	13	6	0	0

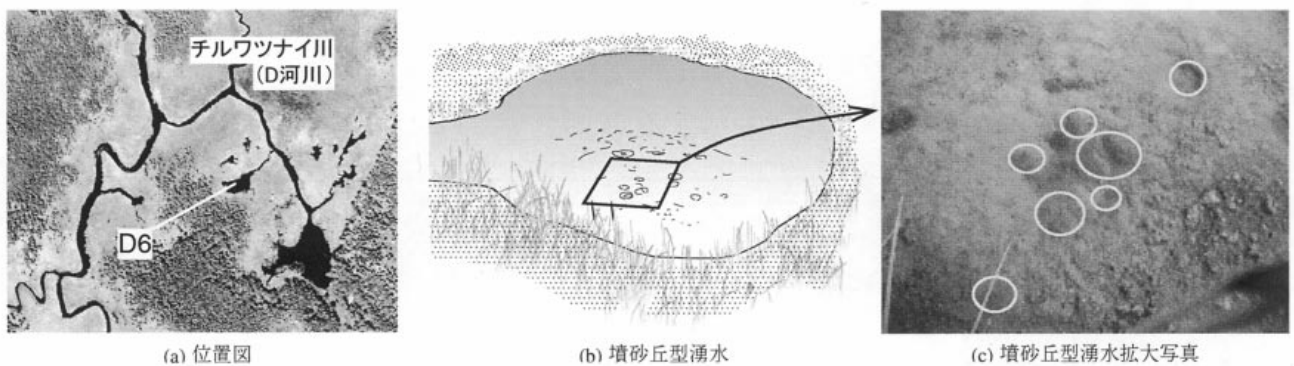


Fig.10 噴砂丘型湧水 (D6)
Spring of boiling sand type at D6

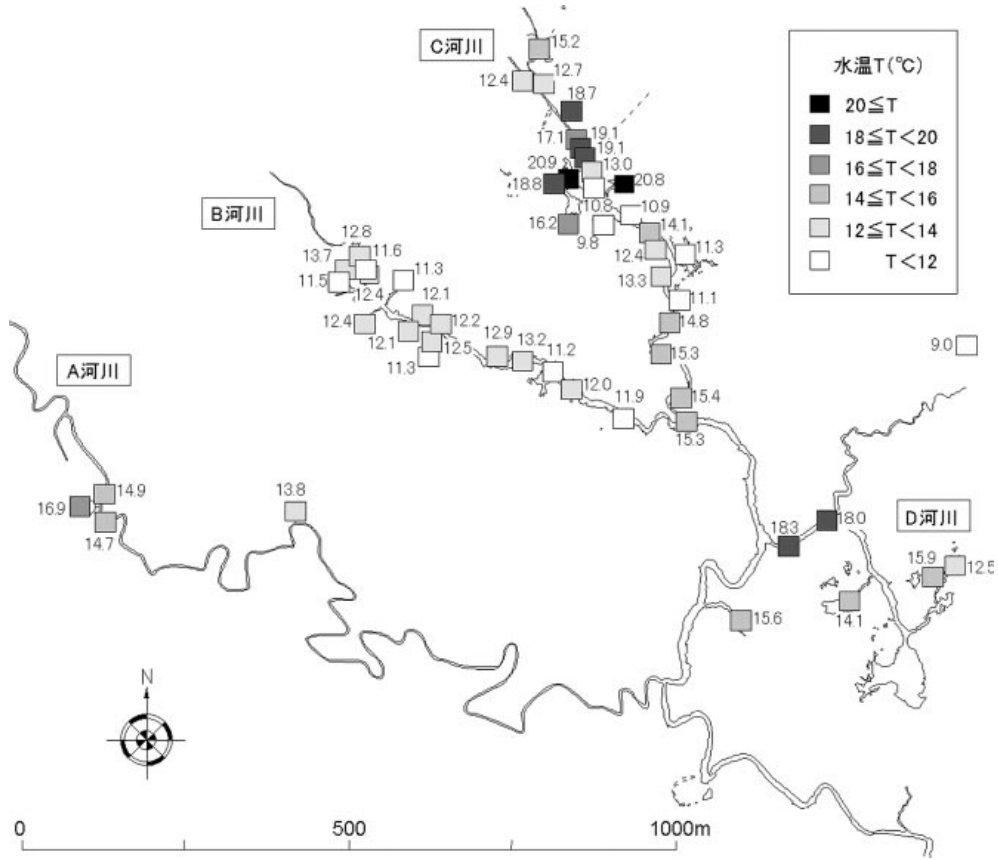


Fig.11 チルワツナイ川水温分布 (2004.6)
Distribution of water temperature in Chiruwatsunai River

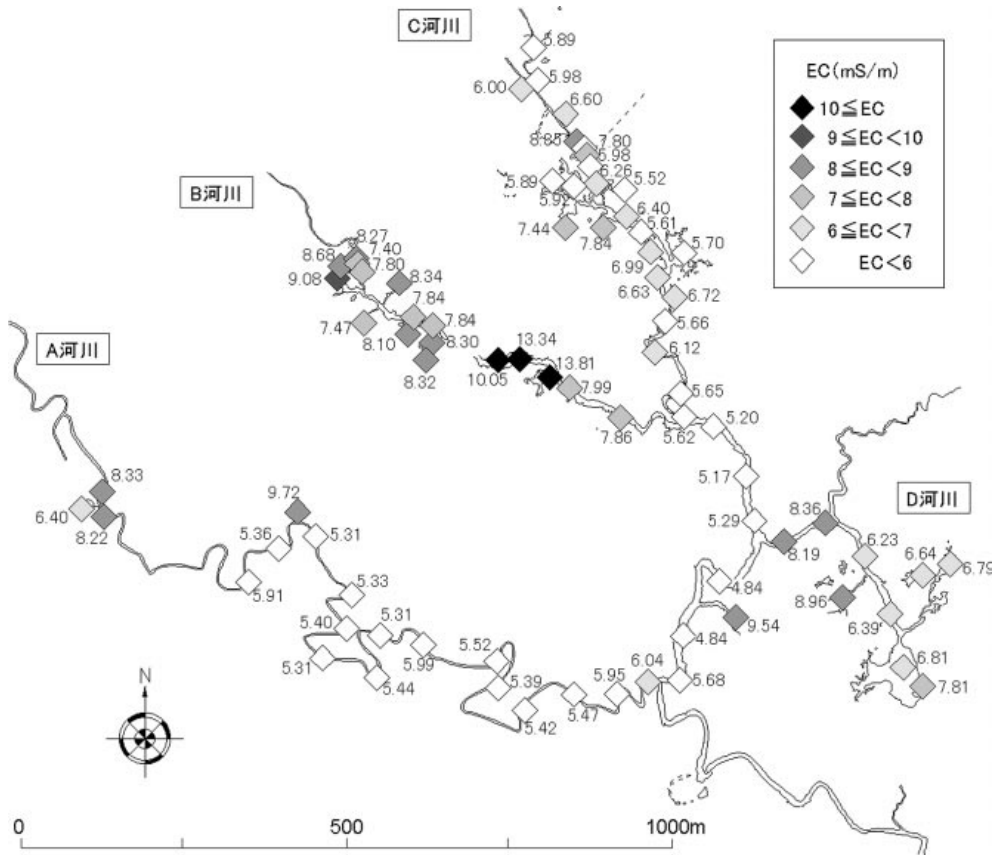


Fig.12 チルワツナイ川EC分布
Distribution of EC in Chiruwatsunai River

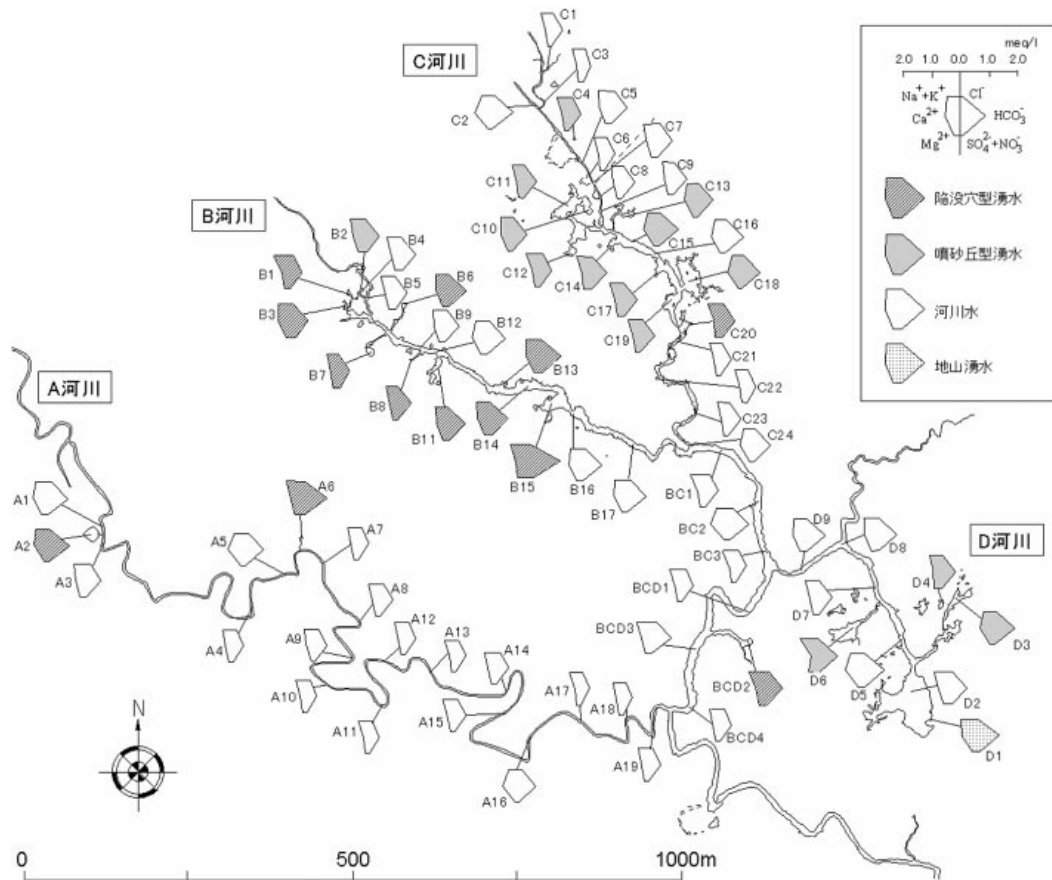


Fig.13 ヘキサダイアグラム分布
Distribution of hexa-diagram

図中のヘキサダイアグラムは陥没穴型湧水，噴砂丘型湧水，地山湧水，河川水に分類している。全体的な傾向としては，河川水は溶存成分が少なくヘキサダイアグラムが小さく，一方湧水は溶存成分が多くヘキサダイアグラムは大きい傾向にある。特に湧水がほとんど見られないA河川は全体的にヘキサダイアグラムが小さい。一方，B，C，D河川では，湧水が多く見られ，そのヘキサダイアグラムは大きくなる。しかし，多くの湧水は河床に存在し，そこから流出した地下水は河川水と混合する。そのため，河川水であっても湧水と類似した傾向を示す地点が多く見られた。例えばB河川では，B12，B16，B17地点等が湧水との混合が予想される地点である。

各調査地点について，基準点（Fig.3中の印）からの距離と Na^+ ， K^+ ， $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ ， Cl^- ， HCO_3^- ， SO_4^{2-} 濃度の関係をFig.14の(a)～(f)にそれぞれ示す。x軸に基準点からの距離，y軸に各溶存成分の濃度を示している。Fig.14より，各溶存成分において，上流から下流にかけてその濃度が上昇する明確な傾向は見られない。

各支流河川ごとにもみると，A河川は Cl^- イオンを除けば全体的に各溶存成分の濃度が低く，B，C，D河川が相対的に高い。A河川の Cl^- は，平均5.93mg/lで，湧水の分布する所で3.38mg/l（A2），4.23mg/l（A6）と

低くなっている。一方， HCO_3^- ， $\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ は湧水地点で顕著に高くなっている。B，C，D河川についてみると，B河川の各溶存イオン濃度が比較的高く，特に Na^+ ， HCO_3^- ， SO_4^{2-} は他の支流河川よりも濃度が高い。

また，各支流河川の硝酸態窒素（ $\text{NO}_3^- \text{N}$ ）については，A河川の複数の調査地点において検出され，B，C，D河川からは一部の調査地点を除きほとんど検出されなかった。しかし，A河川で検出された硝酸態窒素（ $\text{NO}_3^- \text{N}$ ）濃度は環境基準である10mg/lに比べて極微量であり，また Na^+ と Cl^- は1対1の関係になく，A河川中の硝酸態窒素（ $\text{NO}_3^- \text{N}$ ）は糞尿起源ではないことがわかる。A河川中の硝酸態窒素は腐食土によるものと考えられ，チルワツナイ川上流（A河川上流）に位置し，牛や馬の放牧を行う村営鶴居牧野（Fig.15）の影響ではないといえる。

4 ラドン濃度測定結果

チルワツナイ川各調査点にて計測されたラドン濃度分布をFig.16に示す。また各調査点におけるラドン濃度は他の水質分析結果と併せてTable 4に示す。A河川では，陥没穴型湧水であるA2，A6地点以外はラドン濃度は0.5Bq/l未満であり，地下水の湧出はなく，A2，A6からの地下水の供給を除けば河川水は地表水により構成さ

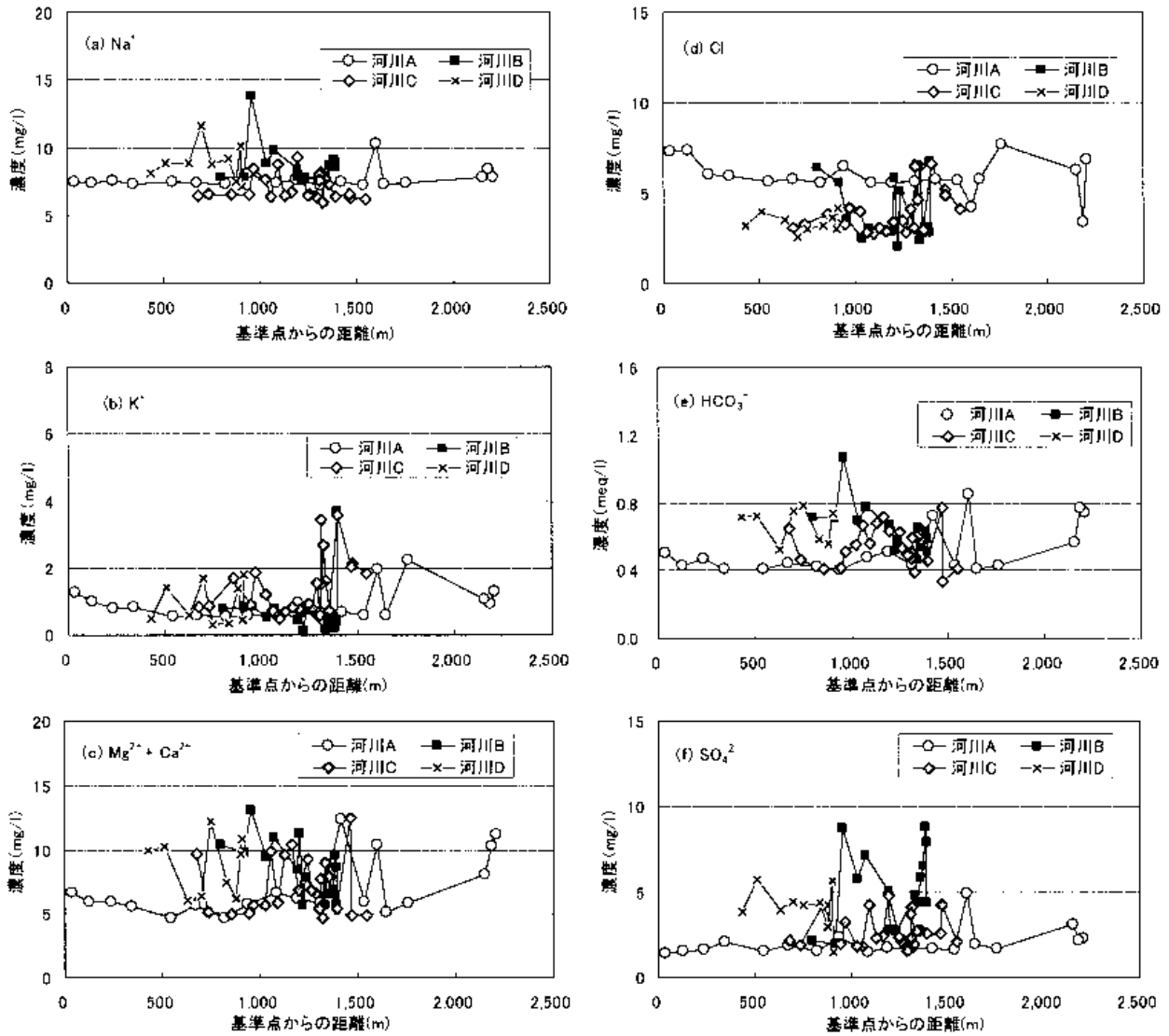


Fig.14 基準点からの距離と各溶存成分 (Na⁺, K⁺, Mg²⁺+Ca²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻) の関係

Relation between distance from standard point and dissolved components; Na⁺, K⁺, Mg²⁺+Ca²⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻



Fig.15 村営鶴居牧野位置図
Location of village-run Tsurui ranch

れているといえる。しかし、B、C、D河川では高いラドン濃度が検出された。特に陥没穴型湧水が集中するB河川はラドン濃度が他の支流河川よりも高い傾向にある。一方、噴砂丘型湧水が集中するC河川は、B河川と比較するとラドン濃度は低い、1.0Bq/l以上を示す地点が多数見られた。D河川は台地（キラコタン岬）と湿原の境界部分にその流れの端を発しており、その境界部分からしみ出す湧水（D1地点）が湧水池（D2地点）を形成しており、それらの地点で高いラドン濃度を示した。D河川には噴砂丘型湧水（D3・4・6地点）も見られるが、河川水として採水したD8、D9地点でもラドン濃度は1.30、1.34Bq/lと高い値を示している。

考察

1 各支流河川水と湧水型の地球化学的意義

Table 5に調査結果より各支流河川を特徴づける項目

について整理する。表中の「高」「中」「低」は各支流河川間の相対的な評価である。また括弧内の数字は支流河川における平均値を示す。ただし、水温については調査時期の違いによる影響を考慮し、調査時期が異なるA河川については平均値のみを示した。

A河川はラドン濃度が低く、湧水も陥没穴型湧水が2ヶ所で確認されただけであり、河川水のほとんどが地表水により構成されるといえる。一方、B、C、D河川は

ラドン濃度が高い地点が多数確認され、特にB河川は陥没穴型湧水からの地下水の湧出と考えられる。C河川は平均値としてのラドン濃度はB河川よりも低い、1.0Bq/l以上を示す地点が多数存在し、これらは噴砂丘型湧水からの地下水の供給と考えられる。D河川には、最上流部(D1)である台地と湿原との境界部分からの湧水(地山湧水)と、噴砂丘型湧水が存在し、C河川よりも高いラドン濃度を示す。地山湧水は高いラドン濃度

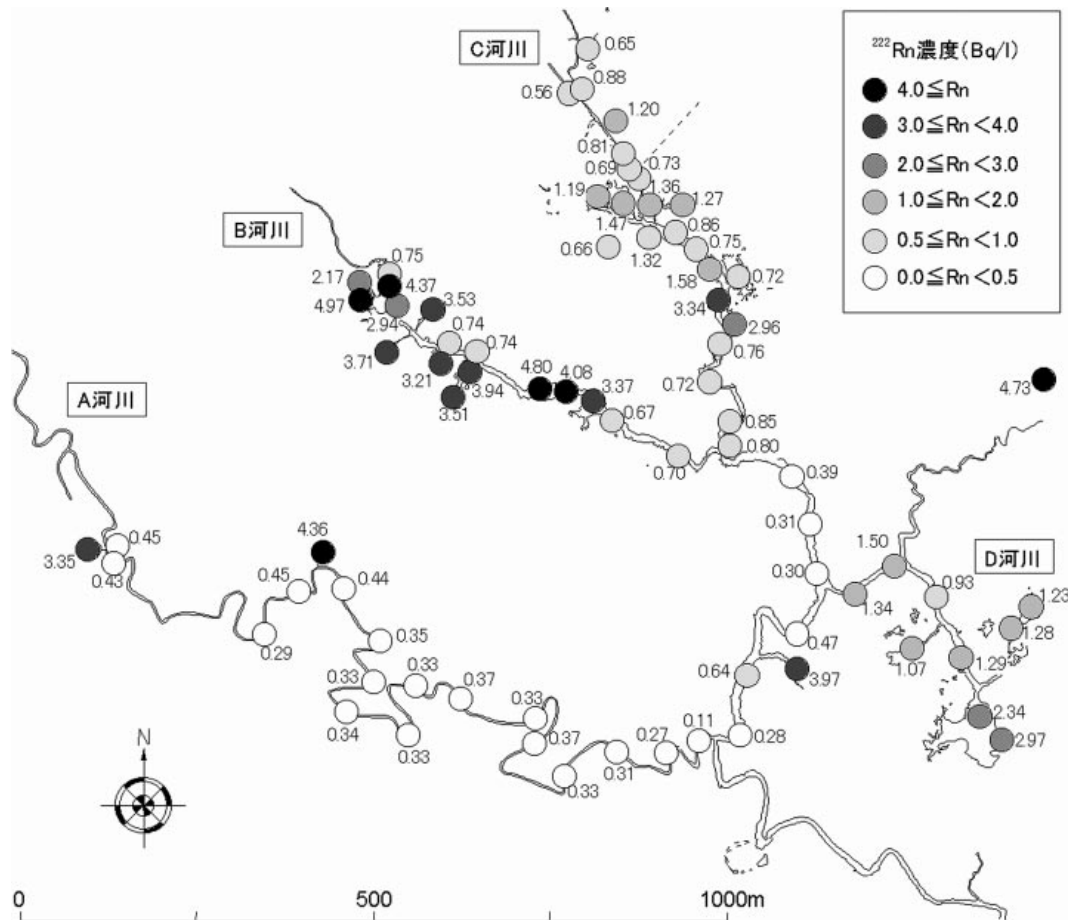


Fig.16 チルワツナイ川²²²Rn濃度分布
Distribution of ²²²Rn in Chiruwatsunai River

Table 5 各支流河川の特徴
Feature of each branch

項目	参照	A河川	B河川	C河川	D河川
陥没穴型湧水	Fig.2, Table 4	2ヶ所	12ヶ所	2ヶ所	0ヶ所
噴砂丘型湧水	Fig.2, Table 4	0ヶ所	2ヶ所	13ヶ所	6ヶ所
水温 ()	Fig.9, Table 4	- (10.29)	低 (12.25)	高 (14.93)	高 (14.22)
EC (mS/ m)	Fig.10, Table 4	低 (6.10)	高 (8.85)	低 (6.37)	中 (7.35)
ラドン濃度 (Bq/l)	Fig.14, Table 4	低 (0.71)	高 (2.83)	中 (1.14)	中 (1.55)
硬度 (Mg ²⁺ +Ca ²⁺)(mg/l)	Table 4	低 (6.98)	高 (8.65)	低 (7.03)	高 (8.77)
HCO ₃ ⁻ (m g/l)	Table 4	低 (31.63)	高 (39.24)	低 (33.10)	高 (41.48)
Cl ⁻ (mg/l)	Table 4	高 (5.93)	低 (3.63)	中 (4.08)	低 (3.38)
NO3-N (m g/l)	Table 4	検出あり (0.05)	検出あり (0.01)	検出あり (0.02)	検出なし (0.00)
河床底質	Fig.3	砂	浮泥	浮泥	浮泥

1：括弧内の数字は平均値

2：水温については、A河川は2003年10月、B～D河川は2004年6月のデータ

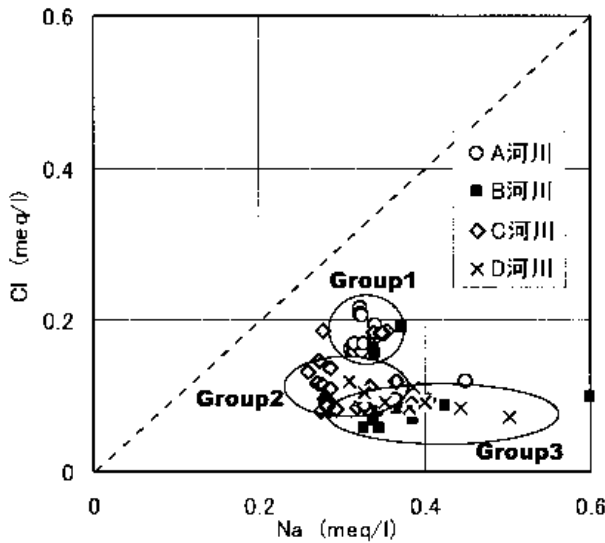


Fig.17 支流河川ごとのNa⁺とCl⁻の関係
Relation between Na⁺ and Cl⁻ in each branch

(2.97Bq/l)を示すが、湿原内部であるB河川における陥没穴型湧水のラドン濃度の方がさらに高い値を示している。ラドンは地下水の流動時間よりもはるかに短い約3週間で放射平衡に達する。これより、ラドン濃度の違いは通過してきた流動層のラジウム含有量の違いであるといえ、陥没穴型湧水と噴砂丘型湧水では流動経路が異なることを示している。

各支流河川の差異は他の項目にもみられる。ECについてはB河川が高く、A、C河川は低い。また6月時の水温はC、D河川は高く、B河川が低い。これより噴砂丘型湧水、地山湧水よりも、陥没穴型湧水は水温が低く、電気伝導度が高くなる傾向にある。水質においては、硬度(Mg²⁺+Ca²⁺)、HCO₃⁻はB、D河川で高く、A、C河川で低い。Cl⁻はA河川で高い値を示すが、他の支流河川では低い値を示す。これより、B河川が最も溶存成分が豊富であり、地下水の影響が顕著に現れている。次いで地下水の影響が大きいのがD河川、C河川であり、最も影響が少ないのがA河川といえる。

Fig.17にNa⁺とCl⁻の関係を示す。Na⁺とCl⁻は1対1の関係になく、これより風送塩に伴う海水の混入あるいは糞尿によるNaClの混入はないといえる。さらに、濃度分布により分類を行うと、Cl⁻成分の多いGroup1、Na⁺成分の多いGroup3、その中間に位置するGroup2に分けられる。Group1にはA河川、Group2にはC河川、Group3にはB、D河川の多くが含まれる。

陰イオンのパイパーダイアグラムをFig.18に示す。HCO₃⁻成分が多くSO₄²⁻成分が少ないGroup1、Cl⁻成分が少なくSO₄²⁻成分が多いGroup3、さらにその中間に位置するGroup2に分類でき、Fig.17のNa⁺とCl⁻の関係による分類と同じ結果となった。Group1にはA河川、Group2にはC河川、Group3にはB、D河川の多くが含まれることから、Group1は地表水成分の特徴、

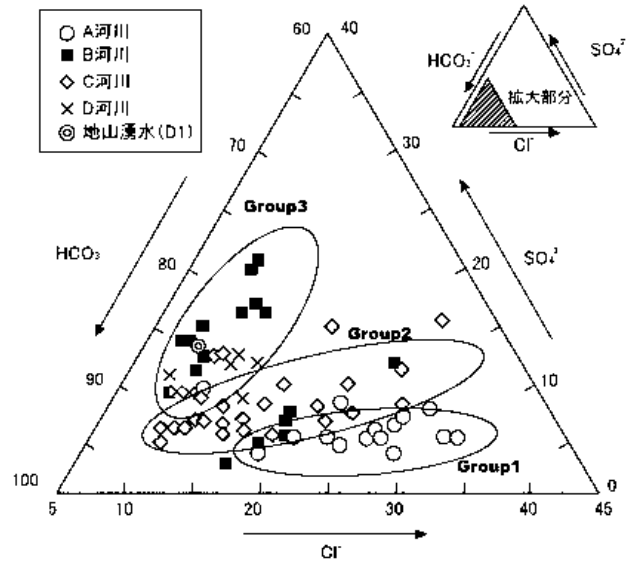


Fig.18 陰イオンパイパーダイアグラム
Piper diagram of anions

Group3は地下水成分の特徴を強く表しており、Group2は地表水と地下水の混合により形成される。Group1を地表水単成分、Group3を地下水単成分とした場合、Group2は地表水と地下水がおよそ7:3の割合で混合していると計算できる。

2 陥没穴型湧水の意義と形成メカニズム

陥没穴は河川の流心からそれて、河川の端、あるいは河川から数m~20m離れた円形の湧水地の中心に分布する。このことは、豪雨時の増水によっても流速や水温、水質が一定に保たれていて、魚類の格好の住みかを提供していることになり、実際に今回の調査でも陥没穴に多数の魚影が観察された。

Fig.9より陥没穴底部より非常に弱い地下水の湧出が推定できるが、陥没穴から多量の地下水が湧出する現象は観察できなかった。しかし、浮泥堆積物河床に形成された巨大な陥没穴が、このような低湧出量で維持されていることは考えにくく、また陥没穴周囲にクレーター形状の噴砂があることから、陥没穴型湧水では、その穴を維持できるような大きな湧出が間欠的に起こっていると考えられる。この仮説を証明するためには、陥没穴の継続的な湧水の観測が必要であり、今後の課題である。

3 湿原の水循環における湧水の意義

河床の底質を比較すると、A河川は砂質で上流からの土砂の流入の影響が見られるが、B、C、D河川は浮泥である。水垣・中村(1999)はCs-137を指標とし、チルワツナイ川の土砂堆積厚は1963年以降30~40cmと推定している。土砂流入量は少ないとはいえ、年間を通して1cm程度の土砂の堆積があるが、B、C、D河川にその影響は見られない。このことからA河川では地表水の影響が大きく、その他支流河川では地表水の影響が

Table 6 各支流河川の流量（2003.10）と流域面積の関係
Relation between flow rate and catchment area of each branch

支流河川	A	B	C	D	計
流量 (m ³ /s)	1.08 (62.9%)	0.26 (15.4%)	0.29 (16.5%)	0.08 (4.9%)	1.71 (100.0%)
流域面積 (km ²)	30.19 (73.5%)	0.30 (0.7%)	6.58 (16.0%)	4.01 (9.8%)	41.01 (100.0%)

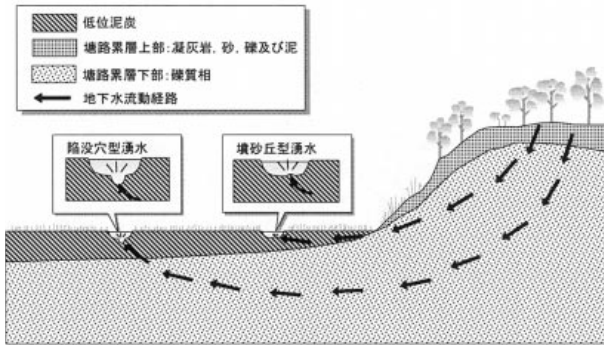


Fig.19 推定地下水流動経路
Estimated flow path of groundwater

小さいと判断できる。

さらに2003年10月調査時の流量から各支流河川の流量を計算し、Table 6に示す。A河川はA18地点、D河川はD9地点の流量を用いた。B、C河川の流量は、BCD4地点の流量からD9地点の流量を減じ、さらにB17、C24地点の流量の比（0.161：0.175 (m/s), 2004年6月計測）により分配した。表中の括弧内は全体に占める割合を表す。流量はA河川が最も大きく、D河川が最も小さい。B、C河川はほぼ同じである。ほぼ地下水のみで構成されるB河川及び地下水の影響の大きいC、D河川の流量を考慮すると、2003年10月時点のチルワツナイ川全体に占める地下水の流量割合は20～30%程度と推定される。

流量と流域面積の関係をみると、C河川の流量は流域面積の大きさから妥当であるが、A、D河川は流量が少なく、極微少な流域しか流域を持たないB河川に大きな流量が生じている。これは宮島岬側台地とキラコタン岬側台地からの水が地下水として浸透し、両台地のほぼ中央部に位置するB河川に流出しているものと考えられる。Fig.19は2つの湧水の異なる流動経路を模式的に示した図である。主な流動経路は釧路層群の塘路累層であり、湿原内に湧出する際に泥炭層を通過する。Fig.19に示すような流動経路の違いが、各支流河川のラドン濃度の違いや水質の違いを生じさせていると考えられる。

結言

2003年10月、2004年6月の2回の調査結果から、釧路湿原チルワツナイ川の水文環境における地下水流動、特に河床湧水の影響を明らかにした。

調査範囲内のチルワツナイ川をA～Dの4つの支流河川に分類した場合、最西側のA河川はほぼ地表水のみで

構成され、他の3つの支流河川には地下水の影響が見られた。

釧路湿原に影響を与える地下水は湿原と台地の境界付近の湧水から湿原内部へ流れ込む地下水だけでなく、湿原内にも地下水が2つの形態（陥没穴型・噴砂丘型）で湧出していることが明らかとなった。特に宮島岬側、キラコタン岬側両台地の中央部に位置する支流河川（B河川）において多数の陥没穴型湧水が確認され、他の支流河川との水質の差異が明らかとなった。これは両台地からの地下水の湧出によるものと予想される。

流量測定により、2003年10月時点のチルワツナイ川全体に占める地下水の割合は20～30%程度と推定され、チルワツナイ川の水文環境に大きな影響を与えていることが明らかとなり、地下水による水温・水質維持機能はチルワツナイ川周辺域に生息する動植物にも大きな影響を与えていると考えられる。

今回の調査範囲のさらに上流部の水質や流量データ、地山あるいは流域内の井戸の水質データの取得、水位・水温の連続観測、湿原下の地下構造の把握等により、チルワツナイ川に占める地下水の割合をより正確に推定し、年間を通しての地下水流動の変化を解明することが今後の課題である。

参考文献

- 1) Ellins, K. K., Roman-Mas, A. and Lee, R. (1990) : Using ²²²Rn to Examine Groundwater/Surface Discharge Interaction in the rio Grande De Manati, Puerto Rico, J. Hydrol., 115, pp.319-341
- 2) Gersberg, R. M., Elkins, B. V. and Goldman, C. R. (1983) : Nitrogen Removal in Artificial Wetlands, Water Res., 17 (9), pp.1009-1014
- 3) 濱田浩正・今泉眞之・小前隆美 (1997) : ラドン濃度を指標とした地下水調査・解析法, 農業工学研究所報告, 36, pp.17-50
- 4) 林誠二・村上正吾・亀山哲・渡辺正孝 (2003) : 釧路湿原における水・土砂動態に対する二次元洪水氾濫解析の適用, 水工学論文集, 47, pp.913-918
- 5) 北海道立地質研究所 (2004) : 水理地質解析, 地球環境保全等試験研究 (公害防止) 平成15年度研究推進会議資料, pp.6-9
- 6) 本多勝一編 (1993) : 釧路湿原, 朝日文庫, p.382.
- 7) 本間昌喜・蛭田真一 (1998) : 釧路湿原温根内地区

- のニホンザリガニは夏はどこにいるのか? , 環境教育研究, 1, pp.161-163
- 8) 細見正明・須藤隆一 (1991): 湿地による生活排水の浄化, 水質汚濁研究, 14 (10), pp.674-681
- 9) 駒田充生・君和田健二・早川嘉彦・室示戸雅之 (1998): 釧路湿原に生育する植物体のd15N値による河川水中窒素の影響評価の可能性, 日本土壌肥料学雑誌, 69 (2), pp.185-189
- 10) 水垣滋・中村太士 (1999): 放射性降下物 (Cs-137) を用いた釧路湿原河川流入部における土砂堆積厚の推定, 地形, 20 (2), pp.97-112
- 11) 中村太士 (2003): 自然再生の考え方 - その原則と適用 -, 環境技術, 32 (12), pp.968-975.
- 12) 名久井孝史・清水康行・藤田隆保 (2003): 釧路湿原における河川氾濫に伴う土砂堆積と乾燥化現象の関連性に関する研究, 水工学論文集, 47, pp.907-912
- 13) 日本河川協会 (1997): 建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説 調査編, 山海堂, p.591
- 14) 日本規格協会 (1998): 日本工業用水試験方法JIS-K0101, p.318
- 15) 農業用地下水研究グループ (1986): 日本の地下水, 地球社, p.1043
- 16) 岡崎由夫・佐藤茂・長浜春夫 (1966): 5万分の1地質図幅説明書「大楽毛」, 北海道開発庁, p.90
- 17) 佐藤博之・佐藤茂 (1976): 5万分の1地質図幅説明書「鶴居」, 地質調査所, p.24
- 18) 田淵俊雄・吉野邦彦・志村とも子・黒田清一郎・石川雅也・山路永司 (1995): 農林地からの流出水の硝酸態窒素濃度と土地利用の関係, 農業土木学会論文集, 178, pp.129-135
- 19) 山下弘文 (1993): ラムサール条約と日本の湿地 - 湿地の保護と共生への提言 -, 信山社サイテック, p.203.

Effect of Springs in Riverbed on Hydrological Environment of Chiruwatsunai River in Kushiro Wetland

TSUCHIHARA Takeo, NAKAYA Tetsuo, ISHIDA Satoshi and IMAIZUMI Masayuki

Summary

The effect of spring water around Kirakotan cape and Miyajima cape where a virgin environment is left in Kushiro wetland on the hydrological environment is evaluated by the results of explorations and water quality surveys. Chiruwatsunai River that flows in the investigation area is composed of four branch rivers, which are named A to D-rivers. Investigation results reveal that the westernmost branch river, A-river, is almost composed of surface water, and other three branch rivers are under the influence of groundwater. Groundwater that has an impact on hydrological environment of Kushiro wetland is not only spring water flowing into a wetland area from the boundary between a wetland and a hill but also spring waters inside of a wetland area, which have two types; one is a spring of subsidence hole type and the other is a spring of boiling sand type. Especially, a lot of springs of subsidence hole type are confirmed in B-river that is located in the central part between Kirakotan cape hill and Miyajima cape hill, and show the difference of water quality with other three branch rivers. These springs are probably due to the discharge of groundwater from both hills. The ratio of groundwater included in the Chiruwatsunai River is estimated to be 20 to 30 % from the results of flow rate measurement. These results indicate that the spring water in the riverbed of Chiruwatsunai River has a large effect on hydrological environment of this river.

Keywords : kushiro wetland, groundwater flow, spring in riverbed, water quality