

釧路湿原保全のためのシナリオ誘導型流域形成のあり方

Scenario-driven type of watershed environment management
for the purpose of conservation of Kushiro Mire

渡辺正孝*, 村上正吾*, 林 誠二*, 王 勤学*, 中山忠暢*, 亀山 哲*, 岡寺智大*

Masataka WATANABE, Shogo MURAKAMI, Seiji HAYASHI, Qinxue WANG,

Tadanobu NAKAYAMA, Satoshi KAMEYAMA, Tomohiro OKADERA

ABSTRACT : Kushiro Mire has been gradually shrinking due to land reclamation by drainage, farmland development and urbanization. Such watershed development has caused lowering of groundwater level and introduction of sediments with nutrients to wetland, which resulted in gradual succession of vegetation from *Alnus japonica* to willow trees. In this study we revealed the influence of increase in food production to historical degradation of multi-functions of wetland, especially stable water storage, purification of pollutant load, flood control, species diversity and amenity. In order to make a plan for achieving sustainable development of Kushiro river watershed we have to make most of multi-functions of mire. For this reason approach and framework of Millennium Ecosystem Assessment was applied to form scenario-driven type of watershed environment management.

Key Words ; Kushiro Mire, Landscape change, Ecosystem-assessment approach, Scenario-driven type of watershed environment management

1. まえがき

著者釧路湿原は表面に1-4mの泥炭に覆われており、地下水位が高く常に植生の基盤が冠水しておりヨシ・スゲを中心とする低層湿原を形成している。屈斜路湖を水源とする釧路川を中心に久著呂川、雪裡川などを合流しつつ釧路湿原に流入している。1960年代以降宅地開発・農地開発が進行し、排水路の造成は水位低下・乾燥化と表層泥炭の分解をもたらした。また河川の直線化により河床低下と河岸崩壊、河畔林喪失と河岸侵食が拡大し、湿原域への土砂・栄養塩の流入が増加した。これらに伴い湿原植生もヨシ・スゲ群落からハンノキ林やヤナギなどの樹林相へと遷移しつつある。国土交通省によれば1947-1996年の50年間で湿原面積は約2万5千haから1万9千haへと2割以上減少し、

ハンノキ林面積は約2千haから約7千haと3.5倍に増加した。

釧路湿原が持つ多様な生態系機能の中で、食料生産機能の増加圧力と保水機能・浄化機能・洪水調整機能・生物多様性維持機能・アメニティ機能等の低下という過去の変遷に鑑み、新たに自然と共生した持続可能な流域圏へと変換・再生させるための科学的知見の取得・体系化並びに技術システムの開発が強く求められている。ここでは自然科学的アプローチと社会科学的アプローチの融合により（Millennium Ecosystem Assessment (MA): UNEP）、湿原が持つそれら相互に競合する生態系機能の現況・将来シナリオ及び釧路湿原保全の為に政策オプションとその評価手法の構築を試みた。

* 独立行政法人国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

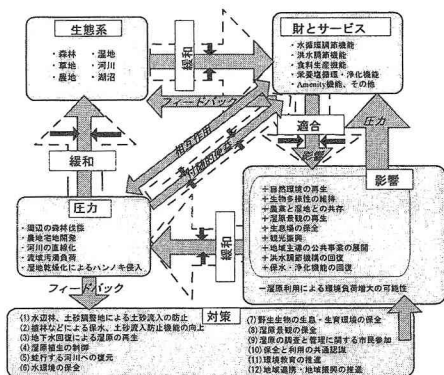


図-1 釧路湿原に適用される
MAのフレームワーク

2. 釧路湿原の景観変化を生む外的環境圧力の推定

2.1 土地利用の変化

過去3時点（「明治・大正期」：1900年頃、「昭和中期」：1950年頃、「現代」：1985年頃）における日本全国の土地利用データは、氷見山らによって、文部省重点領域研究「近代化による環境変化の地理情報システム」の一部として作成されたものである^{1), 2)}。この土地利用の情報が、2kmメッシュ単位で数値データファイル化され、国立環境研究所GRID-つくばオリジナルデータベースの1項目として公開された。このデータを用いれば、各年代における土地利用状況とその変遷が把握できる。

このデータを用いて、釧路流域における土地利用の

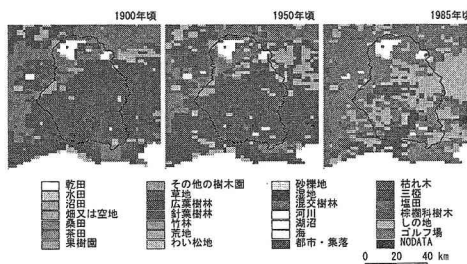


図-2 釧路流域の土地利用変化

変遷を解析した。その結果、釧路流域は、近世まで開発が進まず、広葉樹林が多く残された地域と考えられる。しかし、戦後、流域の土地利用が大きく変遷した。主に、流域開発のため森林が伐採され、広葉樹林の面積が急速に減少した。一方、さらに湿地の農地化により畑地や牧草地が増加し、開発に伴いさらに市街地が増加した。こうした流域の開発により釧路湿原の面積も縮小した（図-2）。

2.2 社会経済的变化

釧路湿原の集水域は、釧路市、釧路町、標茶町、弟子屈町、鶴居村の5市町村にまたがる。これら5市町村（以下、釧路湿原の周辺も含めた集水域を釧路湿原と呼ぶことにする）の人口の推移を図-3に示す。釧路湿原の人口は戦後は8万3千人であったが、その後順調に増加し、1985年にピークを迎え、2000年現在、25万人弱の人口を抱える。また釧路支庁に占める釧路湿原の割合も増加しており、釧路湿原周辺への人口の集中が進んでいる

また釧路の産業は17世紀から入植者による農地開発が始まり、農畜産業を中心とする産業が進展していった。しかし、図-4に見られるように、1960年代以降、農林水産業への就業人口の割合は減少しており、65年は全就業人口の約20%を縮めていたが、2000年では約8%となっている。その一方で、釧路湿原をはじめとす

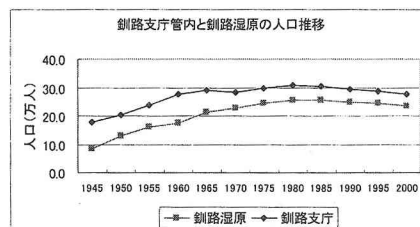


図-3 釧路湿原の人口の推移

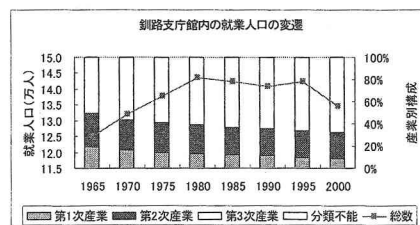


図-4 釧路支庁の産業別就業人口の推移

る豊富な観光資源及び観光政策を背景に、サービス産業へと就業人口が集中しており、2000年には全就業人口の7割弱をサービス産業が占めている。

2.3 流域開発に伴う土砂生産変化について

釧路湿原に流入する釧路川本川と支川の久著呂川、幌呂川、雪裡川で1960年代後半から70年代前半にかけて、周辺の農業開発の必要性から河道改修、農業排水路等の水系網の整備が進められた。一方、農地拡大と森林域の減少とが相俟って増大した流出土砂は疎通能力の向上した河川を通じて湿原内に流入し氾濫堆積した。流出土壌に含まれる栄養塩は氾濫域での植生の成長を促進、これがさらに土砂堆積を促進し、植生域が拡大するという相互作用系を形成することで湿原の陸地化が進み、湿原生態系の変化に繋がる問題となっている⁶⁾。しかしながら、上流から下流への河道特性変化、流域斜面と河道の土砂生産機構上の役割分担(比率)、人為的開発行為の影響という3要素の相互関係に立脚した土砂動態の解明には至っていない^{7,8,9)}。

本川が湿原に流入する直前の標茶観測点、および3支川が合流後の岩保木観測点におけるSSと平水流量より推定される年間のSSフラックスの経年変化に基づく、湿原への流入土砂の80%は3支川からで¹⁰⁾、急勾配河道である3支川の土地利用変化と河道改修の影響が強いと推測され、ハンノキ林の繁茂領域もこの下流域に顕著となっている。流域開発の影響指標の一つである裸地面積は、1940年代後半の3支川合計は約3haであったものが、1970年代後半以降は110~140ha(40~50倍)に増加している(図-5)。一方、河道の短絡化により、河床勾配の急増が認められる(図-6)。

土砂生産源、その輸送形態等についての観測事例は数少ないが、例えば、久著呂川での観測によると湿原に流入するwash loadの2~3割程度が農地由来^{11,12)}とされ、その他の供給源としては溪岸侵食・崩壊の割合が多いと推定されている。また、この川における河道構造物による局所洗掘と河床低下についての測量結果¹³⁾に基づいて1983~1998年における年平均の河道侵食量を推定すると約6000トン程度になり、河床低下の影響は無視しえないと判断される。

観測データが乏しいため、ここでは開発・河道改修による土砂生産の潜在的能力の変化についてマクロ的

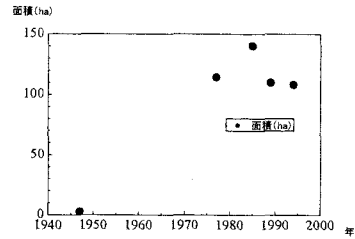


図-5 裸地面積の変化
(久著呂・雪裡・幌呂川の合計)

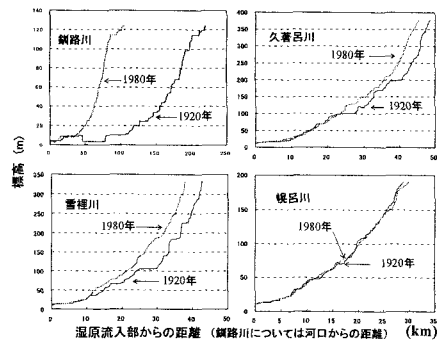


図-6 蛇行河道の短絡化による河床勾配変化
(釧路川・久著呂・雪裡・幌呂川)

な検討に留める。一般的な土砂の供給源は流域斜面、河川側岸部、河床とされる。一方、主要輸送外力は降雨量 r 、斜面勾配 I_s 、斜面単位幅流量 q_s 、河道勾配 I_r 、河川単位幅流量 q_r で表示され、矩形近似された流域斜面での輸送量は $Q_{sy} = F_1 \cdot \Xi \cdot \Gamma \cdot B \cdot (q_s I_s)^{5/3}$ 、河床での輸送量は $Q_B = F_2 (q_r I_r)^{5/3}$ と、河岸部での輸送量は Q_B にslope factorを乗じて表示できる^{7,8,9)}。ここで、 F_1, F_2 =定数、 Ξ =植生被覆効果、 Γ =侵食対策効果、 B =斜面幅である。

従って、土地利用変化に伴う流域斜面での生産量変化は、 $Q_{sy}/Q_{sy0} = [\Xi/\Xi_0] \cdot [\Gamma/\Gamma_0] \cdot [B/B_0] \cdot [q_s/q_{s0}]^{5/3}$ と書ける(下付き添字0は改変前を示す)。今、土地利用変化として森林($\Xi_0=0.01$)から裸地($\Xi=1$)への変化を考えると、同一面積の矩形流域への同一降雨量を対象とし、土地利用変化に伴い流出率が1/4になると仮定($q_s/q_{s0}=4$)すると、 $Q_{sy}/Q_{sy0}=10^3$ となり、裸地化に伴う土砂生産量の増加は非常に大きくなることがわかる。

釧路流域の開発における河道改修においては、まず

蛇行河川が短絡化された。ここでは短絡化に伴う河床勾配の変化にのみに着目して、河川の輸送強度の変化を1次元解析的に行う。短絡化による河道勾配と流出率変化に伴う流砂量の変化率は $q_B/q_{B0}=[q_0 I_0/(q_0 I_0)]^{5/3}$ と書ける。今、蛇行法線形状についての情報が無いため、ここでは次のような仮定を行う。自然の蛇行河川の形状は、 $\phi=\phi_0 \cdot \sin(2\pi s/L)$ で表示される sine-generated curve で多くの場合近似可能なことが知られている¹⁴⁾。ここで、 ϕ = 蛇行角、 ϕ_0 = 最大蛇行角、 s = 流路に沿う距離、 L = 蛇行波長である。例えば、 $\phi_0=40^\circ$ である蛇行河道を短絡化すると、河床勾配は $I_0/I_0=1.13$ と13%の勾配増加となり、同一流量に対する流砂量は $q_B/q_{B0}=1.23$ と約23%の増加となり、さらに側岸の侵食量も増加することになる。 $\phi_0=60^\circ$ である場合には $q_B/q_{B0}=1.62$ と約60%の増加となる。さらに、これに土地利用変化に伴ってピーク流量が1.25倍になると仮定すると、 $\phi_0=40^\circ$ では $q_B/q_{B0}=1.78$ 、 $\phi_0=60^\circ$ では $q_B/q_{B0}=2.34$ と2倍程度の増加となることが分かる。いわゆる再蛇行化の場合は、1次元解析的にはこの逆の傾向となり、土砂輸送能力の低減による河床堆積傾向を回避するため、流域面からの過剰な土砂供給を抑止する対策が必要となる。

2.4 流域からの汚濁負荷供給の変化

釧路川の栄養塩濃度の推移を図-7、8に示す。釧路川は流域面積2510km²、河川延長558.6kmの釧路湿原を下流に擁する河川である。過去20年間、釧路川の栄養塩は窒素、リンともに上流から下流に向かうにつれて、栄養塩濃度が高くなる傾向にあり、釧路川下流の釧路湿原に栄養塩が集中する構造にあるといえる¹⁰⁾。釧路川の上中下流での経年変化を考察すると、上流の栄養塩は過去20年、ほぼ横ばいである。中流では1980年に窒素濃度が急増したのをピークに減少傾向にあり、その後0.5~0.7mg/lの間で推移し、現在に至っている。一方、リン濃度は1977年から減少し、1980年を境に0.05mg/l未満で推移している。下流では70年代後半から80年代は増加する傾向にあったが、87年を境に減少傾向にあり、2000年には70年代後半の水準に回復している。またリン濃度は70年代後半から急速に減少し、80年代前半から90年代前半にかけて、0.1~0.15mg/lで推移した後、現在にいたるまでわずかに減少傾向にある。

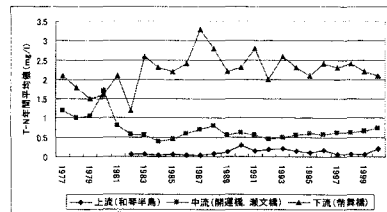


図-7 釧路川の栄養塩濃度の推移 (T-N)

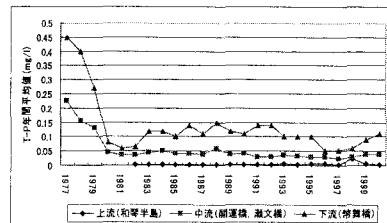


図-8 釧路川の栄養塩濃度の推移 (T-P)

3. モデルと影響評価

3.1 流域水循環モデルの概要

グリッド型の河川流出モデル・衛星データを同化した陸面過程モデル・土壌水分方程式へのRichards式の導入による不飽和領域の鉛直方向へのメッシュの細分化(根による吸収などを考慮)、及び3次元地下水モデルから構成される、地上から地下までの全ての領域での水・熱・物質移動の再現可能なプロセスベースの統合型数値モデルである、NICEモデル(NIES Integrated Catchment-based Eco-hydrology model)¹⁵⁾の開発及び改良を行った(図-9)。それぞれのサブモデルは、土壌層内からの水蒸気輸送・降下浸透・復帰流・地下水流出など、

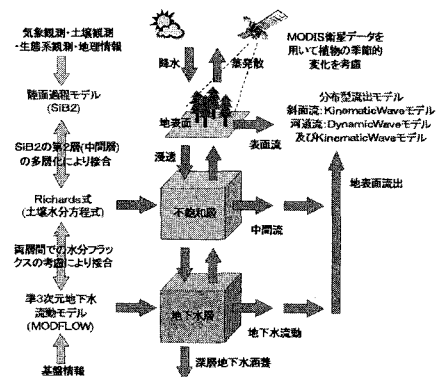


図-9 プロセスベースの統合型数値モデル (NICEモデル¹⁵⁾) の概念図

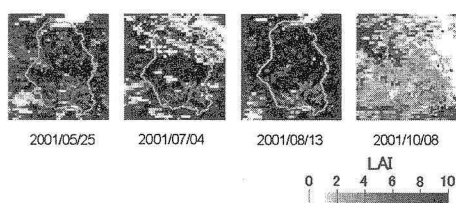


図-10 MODIS-LAI 画像の季節変化

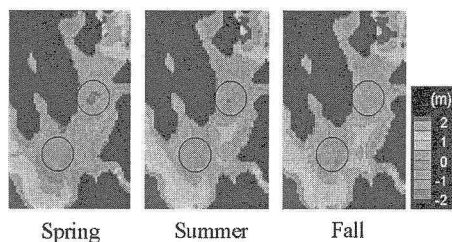


図-11 モデル計算による釧路湿原域での地下水分布の季節変化 (2001 年)

フラックスの連続性を考慮することによって互いに接続されている。特に、地中温度・土壌水分量・涵養量などの値は土地被覆及び植生変化に大きく依存するためにこれらを陽に表現するモデルが必要であり、本モデルでは葉面積指数(LAI)及び光合成有効放射率(FPAR)のMODIS衛星データから植生状態の時間的・空間的变化を考慮した。釧路川全流域に渡ってMODIS衛星データ(8日周期, 1kmメッシュ)を利用して植生の季節的变化を考慮し、年間レベルでの釧路川全流域でのシミュレーションを行うための、境界条件とした。図-10は2001年の釧路川流域における、4シーンでのLAIのMODIS衛星画像である。釧路川流域でのMODIS画像領域は、N 43° 00' ~ N 43° 45', E144° 00' ~ E144° 45', とした。図より、植生の繁茂に伴って初夏から初秋にかけて値が大きくなっている(緑色)様子が見られる¹⁵⁾。

以上で説明したNICEモデルを用いて、国立環境研究所のスーパーコンピュータ(NEC, SX-6)を用いた大規模モデルシミュレーションを行った。計算領域は釧路湿原及び釧路川全流域(釧路市他4町1村、流域面積: 2204.7km²)を含む東西50km及び南北80kmの領域で、東西100×南北160×鉛直20のメッシュに分割した。また、河道は約320個の河道区分に分割した。計算ステップは、土壌水分量及び地下水位の推定の際には1時間、河川流量の推定の際には計算が安定にな

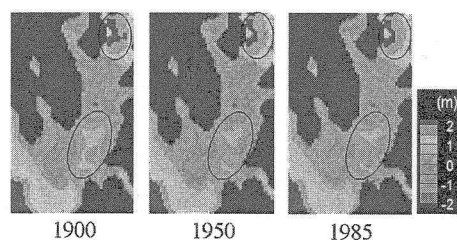


図-12 モデル計算による土地利用変化に伴う釧路湿原域での地下水分布の経年変化

るように必要に応じて8~30秒に随時変化させた。モデル計算結果はこれらの現地観測データと良好に一致し(地中温度・土壌水分量・地下水位・河川流量など)、NICEモデルは土地被覆・土壌構造、及び植生分布の時間的・空間的变化とそれに伴う流域での水・熱収支の相互作用を考慮した非常に精度の高いものであることが明らかになった(Nakayama *et al.*, 2003¹⁵⁾)。釧路湿原域における2001年の地下水位分布の季節変化(地表面からの相対値)を図-11に示す。同図より、湿原域における地下水位は空間的にも季節的にも大きく変動しており、特に、2001年9月10日前後の台風の影響を大きく受けていることがわかる。また、地下水位の低い領域は、航空写真から観察される洪水期における濁水の濁りの大きな領域と大きく関連しており(図中の丸線で囲んだ領域)、洪水期における湿原周辺河川からの土砂流入・沈降・堆積、及び、それに伴う長期レベルでの湿原域における地下水位の低下及び乾燥化と大きく関連しているものと予想される。

3.2 土地利用変化が湿原地下水位に及ぼす影響

図-2で示した過去から現在までの土地利用データを利用してNICEモデルによるシミュレーションを行い、湿原の乾燥化が顕著な夏季における湿原域での再現計算を行った(図-12)。3通りのシミュレーションには全て同一のforcingデータ、土壌データ、地質データを使用し、土地利用のみを変化させた。図-2では湿原内におけるヨシ・スゲ群落等の湿原固有種と近年侵入が著しいハンノキ群落との区別が明確でなく、ともに湿地という土地利用で分類されているため、湿原域での正確なシミュレーションは不可能であるが、流域の土地利用変化に伴う湿原への大まかな影響評価を行うことは可能であると考えられる。同図より、流域における

森林伐採や農地化によって涵養量が減少し、その背後の湿原内部でも微小ではあるが地下水位が低下することになる(図-12 中の丸線で囲んだ領域)。

また、農地化された湿原の再湿地化や河道の再蛇行化によって地下水位は上昇し、水の滞留時間の増大による洪水遅延・下流への洪水被害の軽減、土砂捕捉による水質浄化が促進されると考えられている。今後、NICE モデルのような精緻な数値モデルと様々な政策シナリオとを融合させることによって、短期的及び長期的時間スケールでの湿原生態系の回復手段の提示を行うことが非常に重要になってくると考えられる。

4. 今後の課題

釧路湿原保全への速やかな対応という観点から、釧路湿原をラムサール条約登録時(1980)の姿に戻すことを長期の保全管理目標として、12の施策が提言されている¹⁶⁾。こうした提言を受け、本研究では釧路川全流域から湿原への長期間わたる主要な環境圧力の変化を把握、その影響について考察した。

本研究では、主に土地利用という人為的改変に伴う地下水水位、土砂生産・供給といった物理的な影響とともに、人間活動特に社会変化(産業政策変化)に伴う環境負荷の変化といった社会経済的な影響も合わせて取り上げた。その結果、今後の課題として、釧路川流域づくりと釧路湿原保全に当っては、地域経済活性化の方策の一つである観光振興との関係について更なる検討が必要であると考えられた。

湿原の存在自体が貴重であることに鑑み、保全すべき姿を明確化した上で、その姿を出来るだけ保全することによって生じる amenity 機能の強化に重点を置くことで、観光振興という地域社会の活性化につながるものと期待される。さらに、保全することで、自ずと生物多様性維持機能も保持され可能性が高くなるものと考えられる。

こうした観点も合わせて、流域固有資源としての釧路湿原の機能を最大限に活かすシナリオ作成と評価法の検討が今後の検討課題と考えられる。

参考文献

1) 日本の近代化と土地利用変化「近代化による環境変化の地理情報システム」平成 2-4 年度文部省重点領域研究成果総括報告書(代表：氷見山幸夫)，1993。

- 2) 氷見山編：アトラス - 日本列島の環境変化，朝倉書店，1995。
- 3) 北海道釧路支庁，平成 14 年度釧路の統計，p11，2003.3
- 4) 環境省自然環境局 環境省釧路湿原自然再生事業資料集，pp60-63，2003.6
- 5) 北海道釧路支庁，平成 14 年度釧路の統計，p20，2003.3
- 6) 環境庁自然保護局：湿原生態系保全のためのモニタリング手法の確立に関する研究，1993。
- 7) 村上正吾・林誠二・渡辺正孝：降雨による農地斜面からの土壌流出モデルに関する基礎的検討，水工学論文集第 44 巻，pp.699-704，2000。
- 8) 村上正吾・林誠二・亀山哲・渡辺正孝：河川流域内農林地域における土砂動態モデルに関する基礎的検討，水工学論文集第 45 巻，pp.799-804，2001。
- 9) 村上正吾・林誠二・亀山哲・渡辺正孝：凍結融解現象を考慮した積雪寒冷地における土砂動態のモデル化，水工学論文集，第 46 巻，pp.653-658，2002。
- 10) 北海道開発局，釧路川流域委員会第 2 回委員会資料，2003.1。
- 11) 宮地直道・草場敬・小田認：釧路湿原流入土砂中の農耕地由来土砂の割合，土壌肥科学会講演要旨集，42，pp.210，1996。
- 12) 斉田綾・中村太士：釧路湿原周辺の土地利用変化に伴う土砂流入と湿原植生の変化，文部省科学研究費基盤研究(B)研究成果報告書(代表：中村太士)，pp.119-130，1998。
- 13) 水垣滋：放射性物質を用いた流域細粒土砂の堆積履歴の解析に関する研究，北海道大学農学研究科学学位論文，2003。
- 14) 高山茂美：河川地形，共立出版，pp.232-237，1974。
- 15) Nakayama,T., M.Watanabe, S.Hayashi, Q.Wang, and S.Murakami, Simulation of drying phenomena associated with increased sediment load due to river channelization and invasion of a deciduous tree (*Alnus japonica*) in Kushiro Mire, *Water Resour. Res.*, 2003 (submitted).
- 16) 釧路湿原の河川環境保全に関する検討委員会：釧路湿原の河川環境保全に関する提言，2001。