

# 茨戸川表層水における内分泌かく乱化学物質 （環境ホルモン）の調査

永洞真一郎 五十嵐聖貴 阿賀 裕英 芥川 智子  
沼辺 明博 村田 清康 坂田 康一

## 要 約

内分泌かく乱化学物質(いわゆる環境ホルモン)は、生体内の内分泌系、特に性ホルモンの作用をかく乱するとされている。これまでに我々は、女性ホルモン様作用を検出するために開発された酵母Two-Hybrid法と、誘導体化GC/MS法によって北海道の水環境中の女性ホルモン様物質の調査を実施してきた。今回、茨戸川表層水において、弱いながらも女性ホルモン様活性が認められたため、この結果に基づいて原因物質の解明を試みた。その結果、ビスフェノールA、p-ノニルフェノールの他に多環芳香族炭化水素(PAH)の1種のピレンの代謝物である1-ヒドロキシピレンが検出された。この物質は酵母Two-Hybrid法によって、女性ホルモン様活性を有することが判明した。

**Key words:** 内分泌かく乱化学物質、誘導体化GC/MS法、酵母Two-Hybrid法、  
多環芳香族炭化水素 (PAH)

## 1 はじめに

近年、生物の内分泌系の働きをかく乱する内分泌かく乱化学物質 (Endocrine Disrupting Chemicals: EDCs)、いわゆる環境ホルモン物質が問題となっている。1997年1月にワシントンで開催されたスミソニアン会議の定義によれば、環境ホルモン物質とは女性ホルモン、男性ホルモン、甲状腺ホルモンの働きをかく乱する物質とされているが、その中で特に注目されているのが女性ホルモン様物質である。これらの化学物質は、生体中の女性ホルモンレセプターに作用することによって性成熟がかく乱されたり、オスがメス化するとされている。しかし、どのような化学物質が女性ホルモン様作用を持つのか、またどの程度の強度で女性ホルモン様の作用を引き起こすのかという問題に関しては、調査研究を推進している段階である。1998年に環境庁（現在の環境省）が環境ホルモン戦略計画（いわゆるSPEED'98）の中で発表した「内分泌かく乱作用が疑われる化学物質」のリストに基づいた調査研究が全国で実施されているが、このリストの約70物質の中で内分泌かく乱作用を有すると断定されたのは、現時点でノニルフェノールとオクチルフェノールの2種類のみである。このことから、現時点における環境調査は、特定の化学物質の定量分析のみではなく女性ホルモン様作用をトータルで評価するバイオアッセイの手法も平行して実施することが重要と考えら

れる。女性ホルモン様作用を評価するバイオアッセイ法はいくつか開発され、実際のスクリーニングに応用されている。その中で昨年度我々は操作法が簡便でありながら比較的高感度である、大阪大学の西川らによって開発された酵母Two-Hybrid法<sup>1)</sup>を採用して、北海道内の水環境における女性ホルモン様活性の調査結果を報告した<sup>2)</sup>。その中で弱いながらも女性ホルモン様活性を検出した茨戸川に関して、酵母Two-Hybrid法による女性ホルモン様作用の季節変動調査を行った。そしてその結果をふまえて、化学分析の手法による原因物質の同定を試みた。

## 2 方法

### 2.1 試料水の採取、前処理

茨戸川表層水試料は、2002年4月26日、7月29日、9月25日に図1に示す地点において採水を行った。試料水のデータを表1に示す。採水にはテフロンライナー付きガラスビンを使用した。試料水は12時間以内にWhatman社製GF/Cガラスフィルター（保持粒径1.2 $\mu$ m）でろ過し、速やかに6N HClにてpHをおよそ3.5としてからエムポアディスクC18FFに1 $\ell$ 通水して固相抽出を行った。抽出したディスクはステンレスシャーレに入れて-20 $^{\circ}$ C以下で保存した。分析に供する際には37 $^{\circ}$ Cで2時間ほど乾燥した後、アセトン5mlで2回溶出したものを用いた。

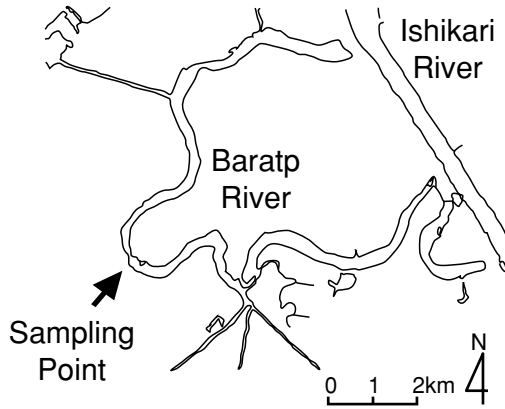


図1 採水地点図

表1 茨戸川表層水の水質測定結果

|               | 4月26日 | 7月29日 | 9月25日 |
|---------------|-------|-------|-------|
| 採水時刻          | 10:44 | 11:45 | 10:29 |
| 水温 (°C)       | 12.7  | 22.6  | 18.8  |
| pH            | 7.78  | 7.93  | 8.01  |
| 電気伝導度 (ms/cm) | 0.430 | 1.037 | 1.030 |
| 溶存酸素 (mg/l)   | 10.79 | 11.26 | 13.88 |
| 透視度           | 28    | >30   | 25    |

2.2 酵母Two-Hybrid法による女性ホルモン様活性の評価

酵母Two-Hybrid法の女性ホルモン様化学物質の検出メカニズムを図2、操作手順を図3に示す。操作手順は既報<sup>3)</sup>を参考にして96ウェルの黒色マイクロプレートを使用して行った。菌株はhER- $\alpha$ を導入した酵母菌を使用した。 $\beta$ -ガラクトシダーゼ活性の検出は、ICN社製AURORA™ GAL-XEキットを使用して発光量に変換し、ATTO社製ル

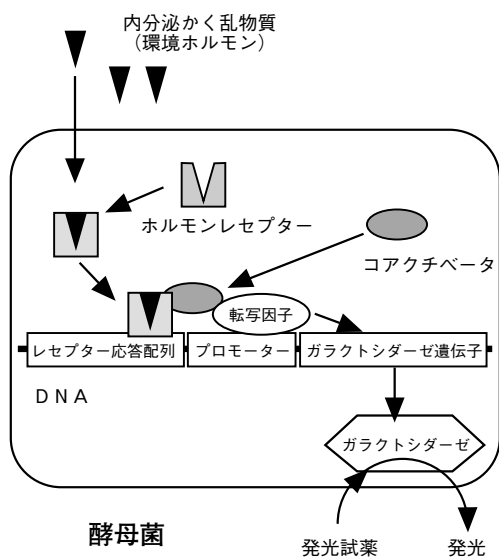


図2 酵母Two-Hybrid法による内分泌かく乱化学物質の検出メカニズム

ミネッセンサーAB-2100で測定した。環境試料は、表層水中に存在するフミン物質の影響を取り除くため、既報<sup>4)</sup>にしたがって前処理を行った。すなわちアセトンで溶出した後N<sub>2</sub>ガスでアセトンを留去し、pH=9.05のほう酸バッファ3 mlと酢酸エチル 2 mlで2回液々抽出した。酢酸エチル相を分取し、N<sub>2</sub>ガスパージし乾固後ただちにジメチルスルホキシド (DMSO) 溶液として試験に供した。また化学物質そのものの女性ホルモン様活性を評価する-S9試験の他に、生体内で代謝されて生成する物質の女性ホルモン様活性も評価するため、キッコーマンS9 mix (ラット肝ホモジネートの上清) を用いて+S9試験も実施した。さらに-S9試験においては試料の毒性を評価するため、発光細菌 (*Vibrio fischerii*) を用いた急性毒性試験も実施した。

2.3 TMS化GC/MS法による女性ホルモン様活性物質の分析

女性ホルモン様化学物質として、その活性が強いとされている化学物質の高感度定量法に関してはいくつかの分析法が報告されている<sup>5)</sup>。女性ホルモンもしくは女性ホルモン様活性を疑われる化学物質は構造中に水酸基を有するため、GC/MSによる高感度分析のためには複雑な誘導体化を必要とする<sup>6)</sup>。今回我々は既報<sup>7)</sup>に従ってTMS誘導体化による一斉分析法を採用した。対象とした化学物質は表1に示す17 $\beta$ エストラジオール (以下E2)、エストロン (以下E1)、エストリオール (以下E3)、ジエチルstilベ

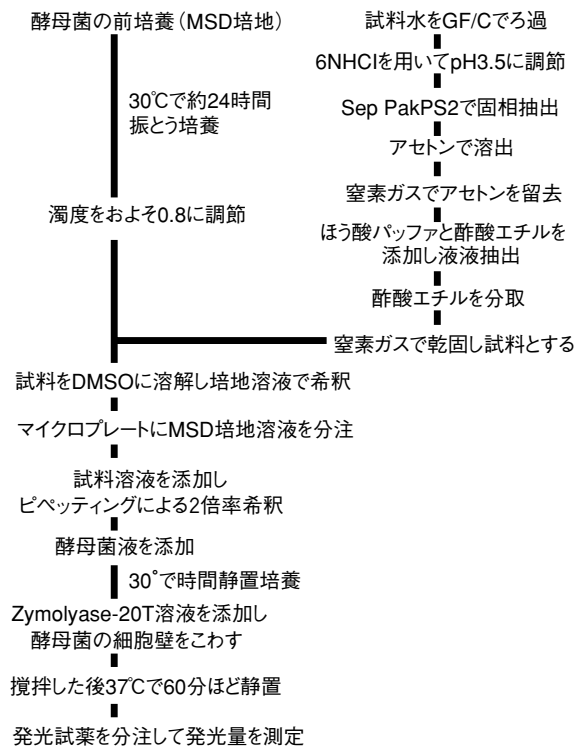
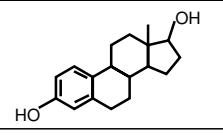
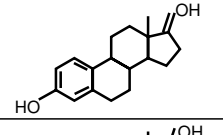
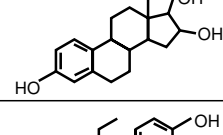
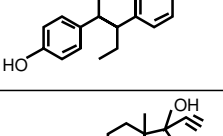
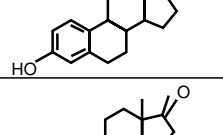
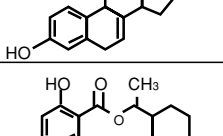
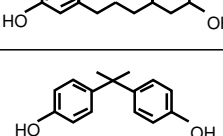
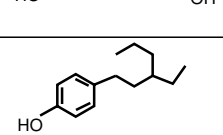
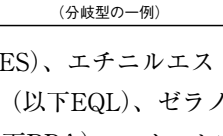


図3 酵母Two-Hybrid法による女性ホルモン様活性の測定手順

表2 対象化学物質の構造と酵母Two-Hybrid法による女性ホルモン様活性の強度比

| 物質名                           | 構造  | EC×10  | 活性強度    |
|-------------------------------|---|--------|---------|
| 17βエストラジオール<br>(E2)           |    | 70pM   | 1.0     |
| エストロン<br>(E1)                 |    | 930pM  | 1/18.8  |
| エストリオール<br>(E3)               |    | 60nM   | 1/718   |
| ジエチルスチル<br>ベルトロール (DES)       |    | 300pM  | 1/4.3   |
| エチニル<br>エストラジオール<br>(EE2)     |    | 130pM  | 1/2.1   |
| エキリン<br>(EQL)                 |   | 2.3nM  | 1/13.1  |
| ゼラノール<br>(ZNL)                |  | 11nM   | 1/63    |
| ビスフェノールA<br>(BPA)             |  | 3.2 μM | 1/72000 |
| p-ニルフェノール<br>(NP)<br>(分岐型の一例) |  | 170nM  | 1/2425  |

ストロール（以下DES）、エチニルエストラジオール（以下EE2）、エキリン（以下EQL）、ゼラノール（ZNL）、ビスフェノールA（以下BPA）、p-ニルフェノール（分岐型混合体、以下NP）の9種類とした。使用したTMS化試薬は、水酸基を完全にTMS化するため、3種類のTMS化剤の混合液であるSylon BTZ（BSA:TMCS:TMSI=3:2:3）を使用した。反応条件は、標準溶液にSylon BTZを100 μlほど添加し、約60℃で1時間ほど反応させた。室温で放冷後n-ヘキサンとMilli-Q水で液液抽出を行いクリンアップした後、n-ヘキサン相を分取し内部標準としてフルオランテン-d-10溶液を添加して試料とした。分析に使用した機器はHewlett-Packard社製GC-5890にキャピラリカラムとしてHewlett-Packard社製HP-5（内径0.25mm、膜厚0.25 μm、長さ30m）を装着し、四重極型質量分析装置として日本電子社製Automass-2を用いた。環境試料は、アセトン溶出溶液をN<sub>2</sub>ガスパーシジ乾固した後標準試料と同様に反応させた。その後の操作は標準物質と同様に調製を行った。

## 2.4 環境試料中の多環芳香族炭化水素（PAH）sの定量

環境試料中の多環芳香族炭化水素（PAH）の定量は、アセトン溶出溶液を濃縮後、n-ヘキサンに転溶してから内部標準物質としてフルオランテン-d-10を添加して分析に供した。分析機器はEDCsと同一のものを使用した。

## 3 結果

### 3.1 酵母Two-Hybrid法による環境中の女性ホルモン様活性（-S9）

酵母Two-Hybrid法による、-S9における陽性対照物質（ポジティブコントロール）として使用するE2のEC×10（ベースラインに比べて発光強度が10倍になる濃度）はおよそ70pMであった。酵母Two-Hybrid法による、-S9における各標準試料の女性ホルモン様作用の強度をEC×10として比較した結果を表2に示す。バイオアッセイの場合、ポジティブコントロールの応答にばらつきが生じるため、EC×10の比と活性強度が一致していない。しかしこの表から、女性ホルモン様活性物質には、その活性強度にかなりの差があることわかる。この表に示した値は、昨年我々が報告した値<sup>2)</sup>と若干異なっているものの同様の傾向を示していることから、今回はこの結果を用いて環境試料の評価を試みた。次に、茨戸川表層水の酵母Two-Hybrid法による評価の結果（-S9および+S9）と発光細菌を用いた急性毒性評価の結果（-S9のみ）を図4に示す。この図から、-S9条件下においては4月の試料が最も女性ホルモン様作用が強く、10倍の発光強度比を示していた。この結果から線形近似法により発光強度比が10倍の応答を示す濃縮倍率（EC×10）を求め、その値と陽性対照物質（ポジティブコントロール）として使用したE2の応答から4月の表層水中の女性ホルモン様活性物質総体のE2換算濃度を算出すると0.154ng/lであった。一方7月と9月の試料は応答が10倍に達しておらず定量下限値以下と判定した。しかし発光細菌を用いた急性毒性試験の結果を見ると、すべての試料において、最大濃縮倍率で発光強度がほぼ50%となっている。酵母菌と発光細菌では生物種が異なるため毒性の発現様式や用量応答が異なると考えられるが、毒性によって酵母菌に対するエストロゲン活性の応答も抑制されている可能性が示唆された。

### 3.2 酵母Two-Hybrid法による環境中の女性ホルモン様活性（+S9）

+S9条件下においては4月の試料は3倍以上の発光強度比を示し陽性と判定したが7月と9月の試料は陰性であった。S9 mixはラットの肝臓をホモジネートしたものであり、チトクロムP-450などの酵素が含まれている。この

- S 9

+ S 9

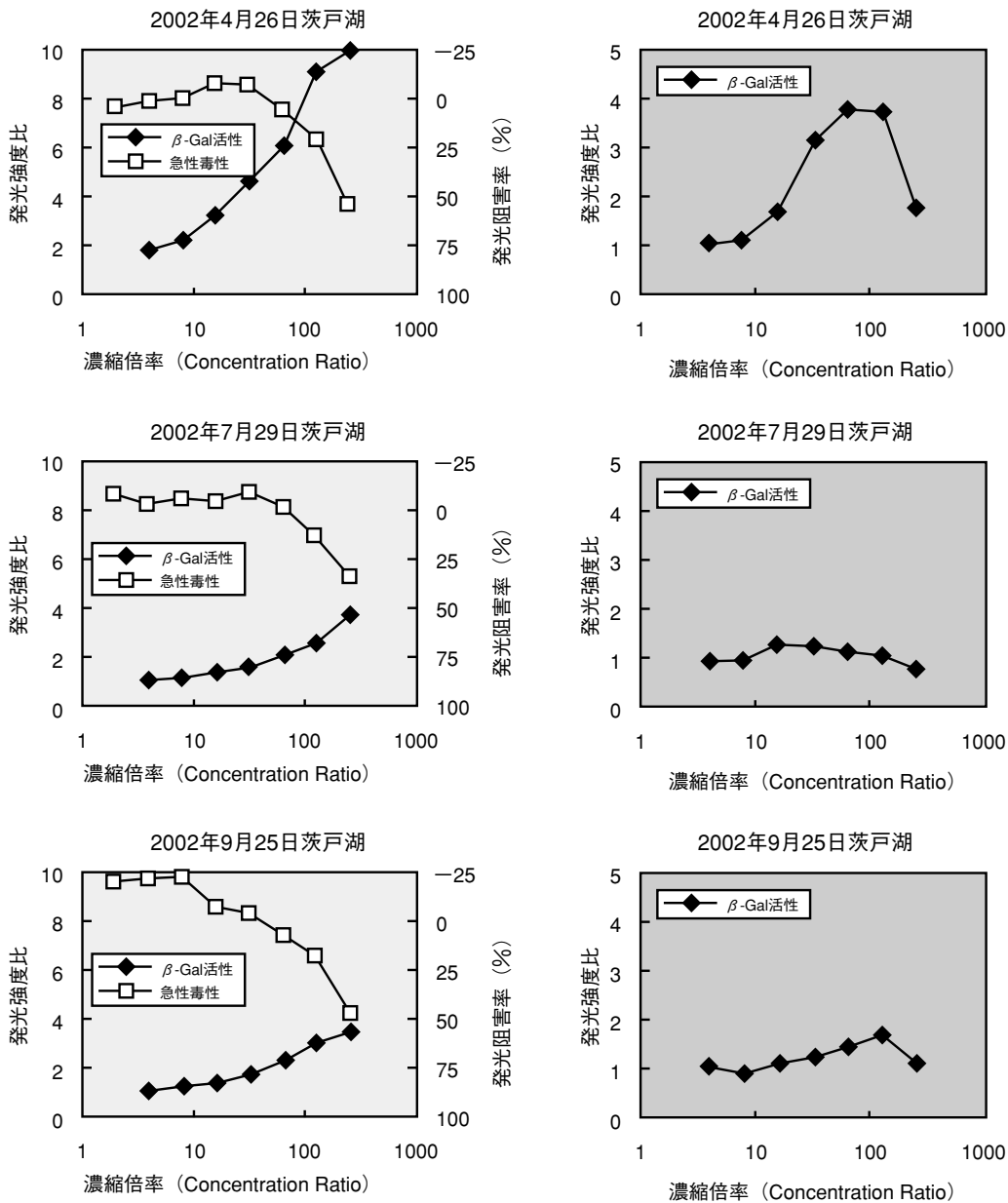


図4 酵母Two-Hybrid法によるエストロゲンアゴニスト活性評価の結果(左に-S9、右に+S9)と発光細菌による急性毒性評価の結果(-S9のみ)

酵素はモノオキシゲナーゼであり、体内に取り込まれた有害な化学物質の水溶性を高めて体外への排泄を促進するとされている<sup>8)</sup>。このため、表2に示した物質はS9 mixの働きによって女性ホルモン様活性を失うが、全く別の化学物質が女性ホルモン様活性を示すように変化してしまう可能性がある。こういった物質として多環芳香族炭化水素 (PAH) の1種であるベンゾ (a) ピレンが知られている<sup>9)</sup>。このS9 mixを反応させた実験において女性ホルモン様活性が検出されたことから、茨戸川表層水には、ベンゾ (a) ピレンのように生物代謝を受けることによって初めて女性ホルモン様活性を発現する化学物質が含まれていることが示唆された。

### 3.3 化学分析の手法と酵母Two-Hybrid法による環境中の女性ホルモン様活性物質の定性と定量

次に4月の試料の女性ホルモン様活性の原因物質の解明をTMS化GC/MS法により試みた。この結果を表3に示す。この結果、p-ニルフェノールとビスフェノールAが検出されたが、ここで検出された濃度をE2濃度に換算するとそれぞれ0.0418ng/l、0.000289ng/lとなり、合計しても酵母Two-Hybrid法から求められたE2換算濃度0.154ng/lに達せず、未検出の女性ホルモン様物質の存在が示唆された。次に、4月の表層水は+S9において陽性を示したことから、ベンゾ (a) ピレンを含む多環芳香族炭化水素 (PAH) 類の分析を試みた。多環芳香族炭化水素 (PAH) 類は、自動車やストーブなどの燃焼機関からの排出ガスや、自動

表3 TMS化GC/MS法による茨戸川表層水中のエストロゲンアゴニストの定量分析結果

| 4月26日茨戸川     |       |
|--------------|-------|
| エストロン        | <0.1  |
| β-エストラジオール   | <0.1  |
| エストリオール      | <0.1  |
| ジエチルスチルベストール | <0.1  |
| エチニルエストラジオール | <0.1  |
| エキリン         | <0.1  |
| ゼラノール        | <0.1  |
| ビスフェノールA     | 20.8  |
| p-ノニルフェノール   | 101.4 |

単位：ng/ℓ

表4 GC/MS法による表層水中の多環芳香族炭化水素(PAH)とその水酸化物の定量分析結果

| 4月26日茨戸川          |       |
|-------------------|-------|
| アセナフチレン           | 0.18  |
| アントラセン            | <0.05 |
| フェナンスレン           | 0.24  |
| フルオレン             | <0.05 |
| ピレン               | 0.79  |
| ベンゾ (a) アントラセン    | <0.05 |
| ベンゾ (a) ピレン       | 0.25  |
| ベンゾ (b+k) フルオランテン | 0.90  |
| 1-ヒドロキシピレン        | 0.52  |
| 9-フェナンスロール        | <0.1  |

単位：μg/ℓ

車のタイヤ粉塵等に含まれており、この化学物質の1つであるベンゾ (a) ピレンは変異原性を指摘されているほか、SPEED'98のリストにも掲載されており、環境ホルモン物質と危惧されている。この分析の結果、表4に示すとおりアセナフチレン、フェナンスレン、ピレン、ベンゾ (a) ピレン、ベンゾ (b) フルオランテンあるいはベンゾ (k) フルオランテンが検出された。この結果から、これらの物質によって+S9において陽性を示したものと推察された。さらに、茨戸川表層水には多環芳香族炭化水素 (PAH) 類が代謝されて生成する水酸化物の存在が予想されたため、入手可能であった水酸化物2種 (フェナンスレンの代謝物である9-フェナンスロール、ピレンの代謝物である1-ヒドロキシピレン) を購入し酵母Two-Hybrid法によってS9における女性ホルモン様活性の測定を行った。この結果を図5に示す。この図から、9-フェナンスロールは

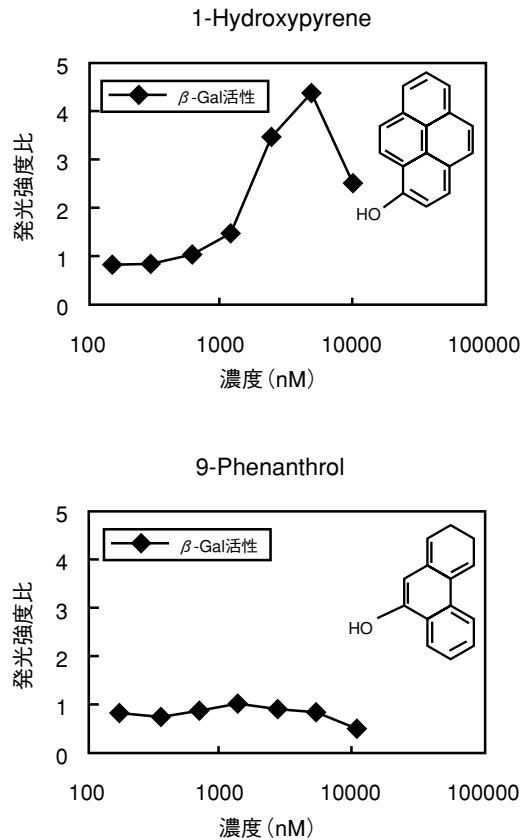


図5 酵母Two-Hybrid法による多環芳香族炭化水素(PAH)の水酸化物のエストロゲンアゴニスト活性

女性ホルモン様活性を有しないが、1-ヒドロキシピレンは女性ホルモン様活性を有することが示され、EC×10はおよそ6.7 μM、E2に対する比活性値は6万分の1程度と求められた。この結果をもとにして、TMS化GC/MS法により4月の茨戸湖表層水中の9-フェナンスロールと1-ヒドロキシピレンの濃度を分析した。この結果、表4に示すとおり茨戸川表層水から1-ヒドロキシピレンが検出された。求められた1-ヒドロキシピレンの濃度とE2に対する比活性値から、茨戸川表層水における女性ホルモン様活性への寄与率は5%程度であった。NP、BPAの寄与率を合算しても3分の1程度にとどまり、残りの3分の2は未知の環境ホルモン物質によるものである可能性が示唆された。

#### 4 まとめ

固相抽出-酵母Two-Hybrid法によって茨戸川表層水中の女性ホルモン様活性を評価し、誘導体化GC/MS法によってその原因物質の解明を試みた。その結果、

1. 茨戸川表層水には女性ホルモン様活性を示す物質が存在することが示され、その活性強度は、4月が最大であった。
2. 4月の表層水中の女性ホルモン様活性(S9)の原因物質と

して、p-ノニルフェノール、ビスフェノールA、1-ヒドロキシピレンが検出された。しかしこれらの物質の女性ホルモン様活性の強度と、表層水中の濃度を積算しても酵母Two-Hybrid法によって得られた結果の3分の1程度であり、残りの3分の2の活性は未知の女性ホルモン様活性物質によるものである可能性が示唆された。

3. 4月の表層水中の女性ホルモン様活性(+S9)の原因物質は不明であるが、化学分析においてベンゾ(a)ピレンが検出されたことから、この物質がS9mixによって代謝されて女性ホルモン様活性物質が生成した可能性が示唆された。

今回の結果が季節的なものであるかどうかを断定するには、更なる調査が必要と考えられた。

## 5 参考文献

- 1) J.Nishikawa, K.Saito, J.Goto, F.Dakeyama, M.Matsuo, and T.Nishihara: New screening methods for chemicals with hormonal activities using interaction of nuclear hormone receptor with coactivator. *Toxicol.Appl.Pharmacol.* vol.154, pp.76-83, 1999
- 2) 永洞真一郎, 阿賀裕英, 芥川智子, 沼辺明博, 村田清康, 坂田康一, 北海道環境科学研究センター所報, vol.28,37-41,2002
- 3) 白石不二雄, 白石寛明, 西川淳一, 西原力, 森田昌敏: 酵母Two-Hybrid Systemによる簡便なエストロゲンアッセイ系の開発. *環境化学*, vol.10, No.1, pp.57-64, 2000
- 4) 永洞真一郎, 阿賀裕英, 芥川智子, 沼辺明博, 村田清康, 坂田康一, 白石不二雄: 固相抽出-酵母Two-Hybrid法による環境試料中のエストロゲン活性物質アッセイにおけるフミン物質の影響. 第10回環境化学討論会講演要旨集, pp.324-325, 2001
- 5) S.A.Snyder, D.L.Villeneuve, E.M.Snyder, and J.P.Giesy: Identification and quantification of estrogen receptor agonists in wastewater effluents. *Environ.Sci.Technol.* vol.35, pp.3620-3625, 2001
- 6) 白石寛明, 白石不二雄, 永洞真一郎, 森田昌敏: 水中ステロイドホルモンのNCI-GC/MS分析法の開発とその応用. 第2回日本内分泌攪乱化学物質学会要旨集, pp.4,1999
- 7) 鳥貝真, 石井善昭, 尹順子, 橋場常雄: GC/MSによる下水処理場放流水及び河川水中のエストロゲンの分析. *環境化学*, vol.10, No.3, pp.595-600, 2000
- 8) 武森重樹, 小南思郎: チトクロムP-450. 東京大学出版会,1990
- 9) T.Nishihara, J.Nishikawa, T.Kanayama, F.Dakeyama, K.Saito, M.Imagawa, S.Takatori, Y.Kitagawa, S.Hori

and H.Utsumi: Estrogenic activities of 517 chemicals by Yeast Two-Hybrid assay. *J.Health.Sci.* vol.46, pp.282-298, 2000

The investigation on endocrine disrupting chemicals in the surface water of Barato River

Shinichiro NAGAHORA, Seiki IGARASHI,  
Hirohide AGA, Tomoko AKUTAGAWA,  
Akihiro NUMABE, Kiyoyasu MURATA,  
and Koichi SAKATA

### Abstract

Some chemicals called endocrine disrupting chemicals (EDCs) are suspected to affect human health by disrupting endocrine function, especially sex hormone system. We investigated the female hormone antagonist activity by Yeast Two-Hybrid assay system in the surface water of Barato River in April, July, and September. The results showed that the surface water in April had an estrogenicity at both -S9 and +S9 conditions. We could detect bisphenol-A, p-nonylphenol, and 1-hydroxypyrene as estrogenic chemicals by the trimethylsilyl derivatised GC/MS analysis method. The estrogenic activity of 1-hydroxypyrene was evaluated as  $6.7 \mu\text{M EC} \times 10$  by Yeast Two-Hybrid assay system.

# 道内3地域の大气中及び土壌中変異原活性

芥川 智子 酒井 茂克 松本 寛

## 要 約

北海道内の地域特性が異なる3地域（都市）において、春から初冬にかけて採取した大気浮遊粉じん及び土壌試料についてAmes試験による変異原性モニタリングを行った。併せて同地点での大気中揮発性有機化合物（VOC）のうち芳香族化合物5物質についてGC/MS分析を行い変異原活性との比較検討を行った。全ての大気浮遊粉じん試料はTA98、TA100株においてS9mix添加、無添加に関わらず変異原性陽性を示した。その結果は冬季に変異原性が高くなる北海道の季節的特徴や、地理的条件が反映されていた。VOCのうちベンゼン濃度と変異原活性のパターンは良く似ており、自動車走行による変異原活性への影響が示唆された。土壌試料についても全て変異原性陽性を示し、その汚染パターンには大気環境を反映した結果がみられた。

**Key words:** 変異原活性、大気浮遊粉じん、土壌、Ames test、VOC、ベンゼン

## 1 はじめに

私たちを取り巻く環境中には何百あるいは何千種類もの化学物質が幅広い濃度分布で残留し、その化学物質が引き起こす複合的な汚染が大きな社会問題となっている。このため、化学物質の存在形態や生体への影響を把握し、そのリスク評価・管理を行い、環境保全対策を講じることが急務となっている。化学物質のリスク管理として、従来から個別化学物質ごとの評価・規制システムが採用されてきたが、環境試料全体の健康影響を評価するには、個々の成分について分析を行うより、バイオアッセイ法を用いる方がより実証的なデータを提供してくれる。

本研究は、環境質の健康影響評価法の一環として、変異原性（生物の遺伝子に損傷を与え、突然変異を引き起こす性質）に着目し、その大きさ（変異原活性）を測定することで生活環境中の化学汚染物質による健康への影響度合いを把握することを目的とした。今回、周辺の地理的条件が異なる道内3都市で採取した大気浮遊粉じん、土壌試料について変異原性モニタリングを行った。また、揮発性有機化合物（VOC）のうち自動車排ガスや有機溶剤などに含まれる5種の芳香族化合物について濃度測定を行い、その濃度分布及び変異原活性との比較検討を行ったので報告する。

## 2 方法

### 2.1 試料の採取

大気浮遊粉じん試料の採取地点は網走市、北見市、北広島市の各一地点（網走市では住宅街、北見市では工業地域に隣接した地点、北広島市では片側2車線の幹線国道に面

した道路端）で、いずれも地上6～7m付近である。

大気浮遊粉じんの採取は、2001年5、7、9、11月に上記の3地点でハイボリウムエアサンプラーを用いて石英繊維フィルター上に24時間行った。

VOC試料は同地点で6リットルのキャニスターを用い減圧採取法により24時間採取した。

土壌試料は、2001年11月に、大気試料採取3地点及びそれらの四方約500m付近で一試料ずつ、計15試料を採取した。

### 2.2 試料の調製

石英繊維フィルター上に採取した浮遊粉じんから、ジクロロメタンを溶媒として超音波抽出法により有機成分を抽出し、ジメチルスルホキシド（DMSO）に転溶し変異原性試験溶液とした。

採取した土壌は乾燥後60メッシュのふるいにかけて、その15gを秤取して、メタノール200mLを抽出溶媒とする超音波抽出法により有機成分を抽出し、DMSOに転溶し変異原性試験溶液とした。

### 2.3 変異原性試験

変異原性試験は、Amesらの方法<sup>1,2)</sup>を一部改良したプレインキュベーション法により、S9mix添加・無添加の条件で行った。すなわち、DMSO溶液0.1mL、0.1Mリン酸緩衝液0.5mL（またはS9mix 0.5mL）、菌培養液0.1mLを混合し、37℃で20分間振盪培養した。その後、ソフトアガーを2mL加えて最小グルコース寒天培地（プレート）に播き、37℃で48時間培養し、プレート上に生じたヒスチジン非要求性の復帰変異コロニー数（revertant:rev）を測定した。

試験菌株には、*Salmonella typhimurium* TA98株、TA100株の2菌株を用いた。

量—反応関係をもとに、その最小自乗法による直線回帰から変異原活性を求めた。大気浮遊粉じん試料ではハイボリウムエア—サンプラー単位空気吸引量あたりの復帰変異コロニー数 (rev./m<sup>3</sup>, air)、土壌試料では60メッシュ以下の土壌重量あたりの復帰変異コロニー数 (rev./g, soil) として変異原活性を算出した。

2.4 揮発性有機化合物 (VOC) の分析

VOCは有害大気汚染物質測定方法マニュアル<sup>3)</sup> (平成9年2月：環境省) に従いGC/MS—SIM法により次に示す分析条件で定量した。ベンゼン、トルエン、(o-, m-, p-) キシレン、エチルベンゼン、スチレンの5種の化合物について測定した。

【分析条件】

|        |  |
|--------|--|
| 濃縮装置   | Entech-7000  |
| GC/MS  | Hewlett Packard 6890/5973                              |
| カラム    | HP-1<br>(長さ60m、内径0.32mm、膜厚1.0μm)                       |
| カラム温度  | 昇温：35℃(7min.)→5℃/min. →100℃→<br>15℃/min. → 220℃(6min.) |
| イオン化方式 | EI   |
| MS温度   | 250℃   |
| 検出法    | SIM法   |

表1 大気中変異原活性及びVOC濃度

|      | 採取日      | 変異原活性 (rev./m <sup>3</sup> , air) |         |          |          | VOC (μg/m <sup>3</sup> ) |      |      |         |       |
|------|----------|-----------------------------------|---------|----------|----------|--------------------------|------|------|---------|-------|
|      |          | TA98-S9                           | TA98+S9 | TA100-S9 | TA100+S9 | ベンゼン                     | トルエン | キシレン | エチルベンゼン | スチレン  |
| 網走市  | 01.05.28 | 2.8                               | 3.1     | 4.7      | 4.7      | 0.76                     | 5.2  | 2.2  | 1.8     | 0.35  |
|      | 01.07.10 | 1.8                               | 1.4     | 2.3      | 2.4      | 0.45                     | 4.0  | 0.86 | 0.51    | <0.06 |
|      | 01.09.10 | 1.0                               | 1.1     | 1.9      | 2.0      | 0.45                     | 3.1  | 0.97 | 0.40    | <0.06 |
|      | 01.11.19 | 5.6                               | 4.5     | 11       | 8.3      | 1.2                      | 3.0  | 1.1  | 0.50    | 0.30  |
|      | 平均       | 2.8                               | 2.5     | 5.0      | 4.4      | 0.72                     | 3.8  | 1.3  | 0.80    | 0.33  |
| 北見市  | 01.05.28 | 2.4                               | 2.4     | 3.8      | 3.4      | 0.48                     | 7.5  | 3.5  | 3.3     | 0.42  |
|      | 01.07.10 | 1.7                               | 1.6     | 3.5      | 3.1      | 0.38                     | 3.8  | 1.2  | 1.0     | 0.086 |
|      | 01.09.10 | 1.8                               | 1.4     | 2.6      | 2.3      | 0.52                     | 3.5  | 1.3  | 0.71    | 0.16  |
|      | 01.11.19 | 10                                | 8.3     | 22       | 16       | 1.8                      | 14   | 2.6  | 2.6     | 0.45  |
|      | 平均       | 4.1                               | 3.4     | 7.9      | 6.2      | 0.8                      | 7.2  | 2.1  | 1.9     | 0.28  |
| 北広島市 | 01.05.28 | 3.3                               | 4.6     | 8.8      | 7.6      | 0.89                     | 7.5  | 2.1  | 2.0     | 0.40  |
|      | 01.07.10 | 2.4                               | 2.3     | 5.4      | 5.5      | 0.76                     | 5.1  | 1.7  | 1.5     | 0.13  |
|      | 01.09.17 | 6.9                               | 7.5     | 15       | 13       | 1.5                      | 11   | 3.2  | 3.2     | 0.30  |
|      | 01.11.19 | 11                                | 10      | 19       | 14       | 1.8                      | 10   | 5.6  | 2.7     | 0.29  |
|      | 平均       | 5.8                               | 6.2     | 12       | 10       | 1.2                      | 8.4  | 3.2  | 2.4     | 0.28  |

3 結果

3.1 大気中変異原活性

表1、図1に3地点の大気浮遊粉じん試料の変異原性試験結果を示す。大気浮遊粉じん試料の変異原性は、菌株、S9mixの添加の有無に係わらず100%陽性を示した。変異原活性 (rev./m<sup>3</sup>, air) はTA98株S9mix無添加条件下では1.0~10.7、TA98株S9mix添加条件下では1.1~10.4、TA100株S9mix無添加条件下では1.9~21.8、TA100株S9mix添加条件下では2.0~16.1となり、測定場所や採取日によって差が見られた。季節間の差を比べてみると、3地点とも全ての試験条件で11月に最大となり、秋季から冬季にかけて変異原性が顕著に高くなる北海道の特徴があらわれていた。地点別平均値で比較すると、いずれの試験条件においても幹線道路端 (北広島市) >工場地域付近 (北見市) >住宅地 (網走市) となっており、採取地点の地理的条件が反映されていると考えられた。

松本ら<sup>4,5,6)</sup> が札幌市内の住宅地域において1975年から2000年まで長期的に調査を行ってきた結果との比較を図2に示す。今回の3地点はどの試験条件でも、札幌市の1975年あるいは2000年と比べていずれも変異原活性は低かつ

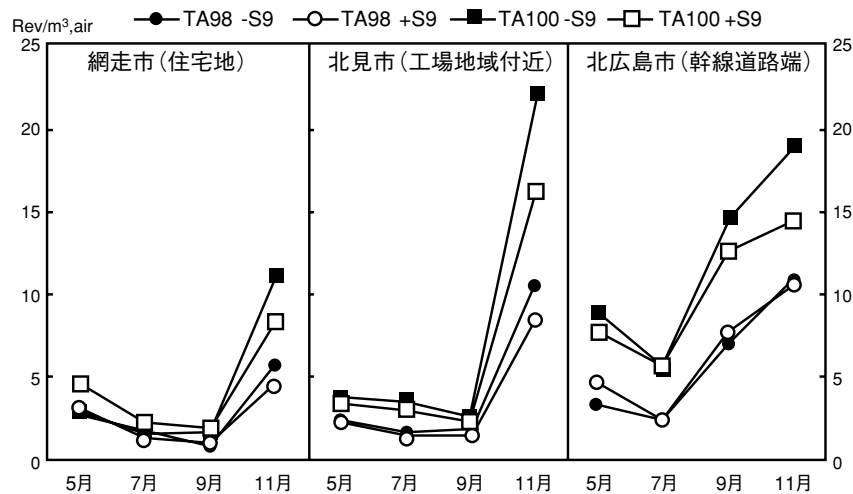


図1 大気中変異原活性



た。また、松本らは、1975年と比べて2000年では間接変異原と直接変異原の活性比（+S9/-S9比）が減少していることなどから25年間における札幌市の大気浮遊粉じんの質的变化を報告している。今回調査した3地点でも札幌の2000年の結果と同様に地理的背景に関わらず直接変異原の比率が高い傾向が見られ、札幌市と同様にディーゼル排ガスなどに含まれる芳香族ニトロ化合物などの直接変異原の重要性が示唆される。

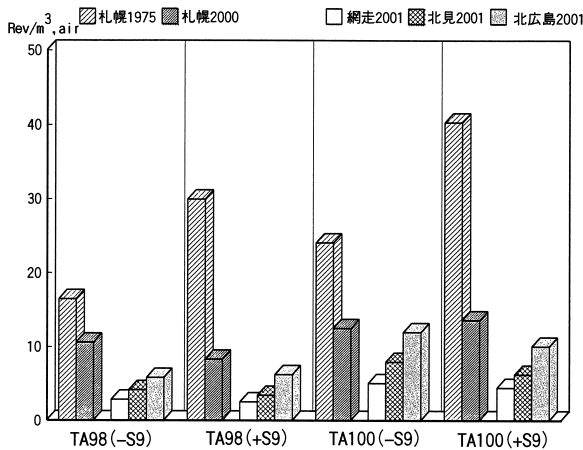


図2 大気中変異原活性の平均値の比較

### 3.2 大気中VOC濃度

表1に地点別VOC濃度の結果を、図3にベンゼンの濃度変化を示す。今回測定した5種の芳香族化合物（C6～C8）のうち、スチレンを除く4種の化合物が全ての試料で検出された。検出濃度範囲はベンゼンが $0.7\sim 1.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、トルエンが $3\sim 14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレン $0.86\sim 5.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼン $0.4\sim 3.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、スチレン $<0.06\sim 0.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、試料間でばらつきが見られた。各物質の平均値を比較すると、3地点ともトルエン>キシレン>エチルベンゼン>ベンゼン>スチレンの順であった。また、各物質の平均値を都市間で比べると、いずれの物質についても北広島市>北見市>網走市の順であり、変異原活性と同じ結果が得られた。また、ベンゼン濃度の変動は変異原活性のそれと類似した傾向が見られた。通常、一般環境のベンゼンの主要発生源は自動車であることから、変

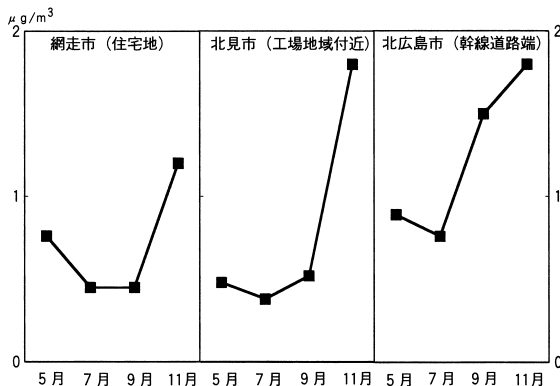


図3 大気中ベンゼン濃度

異原活性においても自動車から強い影響を受けていることが推察される。

### 3.3 土壌中変異原活性

図4に北海道地区の土壌試料の変異原性試験結果を示す。今回採取した土壌試料の変異原性は、菌株、S9mixの添加の有無に係わらず100%陽性を示した。変異原活性（rev./g, soil）はTA98株S9mix無添加条件下では38～1200、TA98株S9mix添加条件下では46～1100、TA100株S9mix無添加条件下では86～460、TA100株S9mix添加条件下では98～600であった。変異原活性は試料間でばらつきしており、TA100株と比べてTA98株でより広範囲に存在していた。各試験条件下で比較的高い活性を示した北広島市の南地点は、工場団地に隣接した地点であるため、その影響を受けているものと考えられた。

また、変異原性の大きさは大気浮遊粉じんの結果と同様、道路端（北広島市）>工場地域付近（北見市）>住宅地（網走市）の傾向が現れており、各地点の大気環境を反映した結果が得られた。

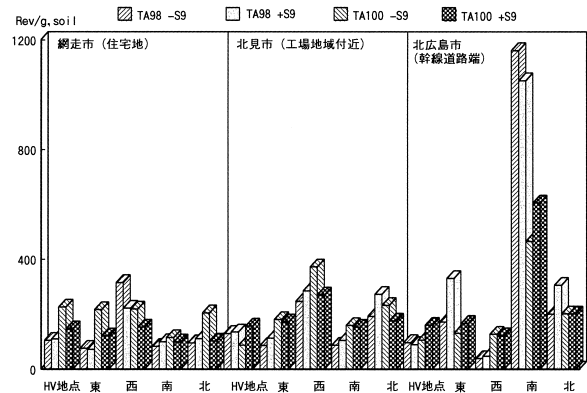


図4 土壌中変異原活性

## 4 まとめ

道内の大気浮遊粉じん、土壌について変異原性モニタリング調査を行った。大気浮遊粉じんについては、自動車走行の影響が大きい道路端で活性が高く、また、秋季から冬季に活性が高くなる北海道の季節的特徴が現れていた。大気中VOC濃度の結果からは大気中変異原活性への自動車走行による影響が示唆された。また、大気降下物の影響を受ける土壌試料については、各地点の大気環境を反映した結果が得られた。

今回の調査から、バイオアッセイは未知物質を含めた多種類の化学物質が存在する環境試料について総合的に健康影響を評価できる利点があり、本手法が環境質の地域比較評価においても有効であることが明らかとなった。今後、環境評価に関する手法の改良や主要変異原性物質の検索、汚染要因調査などを継続して検討していく必要がある。

## 謝 辞

本研究の一部は平成13年度有害大気汚染物質モニタリング調査によるものであり、試料採取は網走支庁地域政策部環境生活課環境保全係、及び石狩支庁地域政策部環境生活課環境保全係にご協力をいただいた。関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) Ames, B. N., McCann, J. and Yamasaki, E.: Mutagenicity test, methods for detecting carcinogens and mutagens with Salmonella/Mammalian - Microsome Mutagenicity test. *Mut. Res.*, 31, 347-364(1975)
- 2) Maron, D. M. and Ames, B. N.: Revised methods for the Salmonella mutagenicity test. *Mut. Res.*, 113, 173-215 (1983)
- 3) 有害大気汚染物質測定方法マニュアル (1997) : 環境省
- 4) Matsumoto, Y., S. Sakai, T. Kato, T. Nakajima and H. Satoh Long - Term Trends of Particulate Mutagenic Activity in the Atmosphere of Sapporo. I. Determination of Mutagenic Activity by the Conventional Tester Strains TA98 and TA100 during an 18 - Year Period (1974 - 1992). *Environ. Science and Technol.*, 32, 2665 - 2671. (1998)
- 5) Matsumoto, Y., S. Sakai, T. Akutagawa, T. Kato and H. Satoh Mutagenic activity of airborne particulates: A survey over nearly a quarter century (1974 - 1998) in Sapporo. A Monograph on Atmospheric Reactive Substances, German Chemical Society and German Bunsen - Society, Germany. (2000)
- 6) Yutaka Matsumoto, Shigekatsu Sakai, Tomoko Akutagawa, Takunori Kato, Masayuki Akiyama and Hiroshi Satoh : Mutagenic Activity of Airborne Particulates: A Survey over a Quarter Century (1974~2001) in Sapporo. *Abstract/ Mut. Res.* 483 S80 (2001)

Mutagenicity of airborne particle and soil in three areas in Hokkaido

Tomoko AKUTAGAWA  
Shigekatsu SAKAI,  
Yutaka MATHUMOTO

## Abstract

The mutagenicity of airborne particles and surface soils collected from three geographically different areas (cities) of Hokkaido were examined by Ames test. Five aromatic hydrocarbons of volatile organic compounds were analyzed by GC/MS and considered with the result of mutagenic activities. All organic extracts of airborne particles were mutagenic for TA98 and TA100 strains both in the presence and absence of S9 mix. The mutagenic activities were highest for November at three sites. Benzene concentration in the air showed the similar fluctuation to the result of mutagenic activity; this showed the influence of automobiles. All organic extracts of surface soils were mutagenic for both TA98 and TA100 strains with and without S9 mix. The mutagenicity of soil samples showed the similar trend to that of airborne particles.

# 清浄地域における大気エアロゾル中の金属成分

## －1997～2001年度における動向について－

大塚 英幸 加藤 拓紀 岩田 理樹 野口 泉 松本 寛  
酒井 茂克 秋山 雅行

### 要 約

清浄地域における大気エアロゾルおよび金属成分のモニタリングを'97～'01年度にわたり行った。その結果、大気中浮遊粒子状物質濃度の年最大値は上昇する傾向を示し、北海道に到達する黄砂の規模が大きくなってきていることがこの要因として考えられた。また、自然発生源起源元素は春季に、人為発生源起源元素は春季および秋季に濃度が上昇する傾向にあった。さらに、大気中浮遊粉じんの短期間採取試料による結果と流跡線および気象状況から、寒冷前線が通過する場合および移動性高気圧が南側を通過する場合に、大陸方面から汚染物質等を含む気塊が流入してエアロゾル濃度が上昇すると考えられた。

**Key words:** 清浄地域 元素 浮遊粒子状物質 大気中浮遊粉じん 長距離輸送

## 1 はじめに

北海道各地において2002年3月、4月に規模の大きい黄砂現象が観測され、根室など道東では史上初の黄砂観測となった。さらに同年11月12日には黄砂が全道15地点において観測された<sup>1)</sup>。秋に黄砂が観測されるのは全国的に例が少なく、北海道各地においてこれほど広く観測されるのは初めてのことであった。また、黄砂の観測延べ日数は80年代に比べ90年代には1.5倍以上に増加しており<sup>2)</sup>、北海道を取り巻く大気環境が変化しつつあることを感じさせる。

一方、有害大気汚染物質として大気中金属成分のモニタリングが全国的に進められているが、都市域におけるこれらのデータを評価するためには、近傍の発生源による影響を受けにくい地域における濃度（バックグラウンド濃度）を対照評価基準とすることが適当である。



本研究は、清浄地域における大気エアロゾルおよび含有成分の長期モニタリングによって、広域的な環境変動の動向および機構解明、濃度評価基準の設定等を目的として進められている。本報では、'97～'01年度における調査結果から金属成分の濃度変動および高濃度出現と気圧配置との関連性等について報告する。

## 2 試料採取地点

試料は、図1に示す利尻島仙法志、根室市落石、静内町春別、および対照都市域として札幌、釧路において採取を行った。

### 2-1 利尻町仙法志（国設利尻酸性雨離島局）

利尻島は日本の北端、稚内市の西側約30kmに位置し、周囲を日本海に囲まれている。島の形状はほぼ円形であり、中央には利尻山（海拔1721m）がそびえている。国設利尻酸性雨離島局は島の南端、仙法志の海岸から北側約1kmの地点に設置されている。周囲は原野であり、南側の海岸沿いに仙法志の集落および漁港が存在する。

### 2-2 根室市落石（地球環境モニタリングステーション）

根室市落石は根室市街地の南側約20kmに位置し、地球環境モニタリングステーションは太平洋に向かって南に突き出た落石岬の南端に設置されている。周囲は原野であり、北側約1.5kmに落石の集落および漁港が存在する。

### 2-3 静内町春別（春別ダム）

静内町春別は静内町市街地から北東の方向に約20km離れた山間部に位置している。標高はおよそ700mであり、周囲には森林が広がっている。

2-4 札幌（対照都市域）

試料採取は北海道環境科学研究センター屋上において行った。北海道環境科学研究センターは札幌駅の北西約2kmに位置し、周囲は住宅地域であり、西側約300mに交通量の多い幹線道路が走っている。

2-5 釧路（対照都市域）

試料採取は釧路支庁屋上において行った。釧路支庁は釧路駅の南約1.5kmに位置する。周囲は商業・住宅混在地域である。

3 試料採取

(1) 浮遊粒子状物質（SPM）：ローボリュームサンプラー（LV）を用いてメンブランろ紙上に吸引流量20 l/minで1試料につき1ヶ月間、通年採取した。採取期間は、清浄地域3地点においては'97~'01年度、都市域2地点は'99~'00年度である。

(2) 大気中浮遊粉じん（TSP）：ハイボリュームサンプラー（HV）を用いて、石英繊維ろ紙上に1300 l/minの流量で、週に1試料（'97、'98年度は48時間、'99からは24時間、0時-0時）通年採取した。

4 分析および解析条件

4-1 分析

SPMについてはHNO<sub>3</sub>、HF、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>による高圧分解を行い、TSPについてはろ紙を400℃で灰化後、HNO<sub>3</sub>、HF、HClO<sub>4</sub>により加熱分解した。その後、いずれも残さを少量の硝酸、水で溶解し、定容後ICP-AES、ICP-MS（検量線法）によって定量した。

4-2 流跡線解析

TSP高濃度時の起源等を解析するために、ヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）のデータを用いて流跡線解析を行った。利尻、落石、春別の上空1500mを出発点とし、等温位面に沿った後方流跡線をHayashida et al.の方法<sup>3)</sup>により計算した。

5 結果及び考察

5-1 SPM試料

図2に清浄地域3地点のSPM試料の結果より算出した濃縮係数

（Enrichment Factor, E.F.）を示す。プロットは平均値、バーは範囲である。濃縮係数は基準元素にAlを用いて次式により算出し、地殻の元素構成比は理科年表の値を用いた。

$$E.F. = [X/Al]_{SPM} / [X/Al]_{地殻}$$

Fe、Co、Caの濃縮係数は1に近い値であり、これらの元素は主に自然発生源起源であると思われる。一方、Zn、Pb、Bi、Sb等濃縮係数の高い元素は、主に人為発生源から排出されていることが推測される。

図3に'97~'01年度に採取したSPMおよび金属成分の大気中濃度年度平均値の推移を示す。なお、利尻のデータは'97、'98年度において欠測が多かったため、'99~'01年度のデータのみを示した。また、比較のため都市域2地点におけるデータを並べて示した。SPM濃度の年度平均値の推移をみると明確な上昇傾向は認められなかったが、調査を行った5年間では各地点ともに'01年度に最大値を示した。一方、年度最大値の推移を見ると'01年度に都市域の平均値レベルを超える高い濃度が観測されるなど、3地点ともに増加傾向が認められた。成分についてみると、自然発生源起源のAl、Fe等は各地点において'01年度に平均値、最大値ともに最も高く、次いで'98年度、'00年度の順であった。'02年3月、'01年4月、'98年4月には自然発生源起

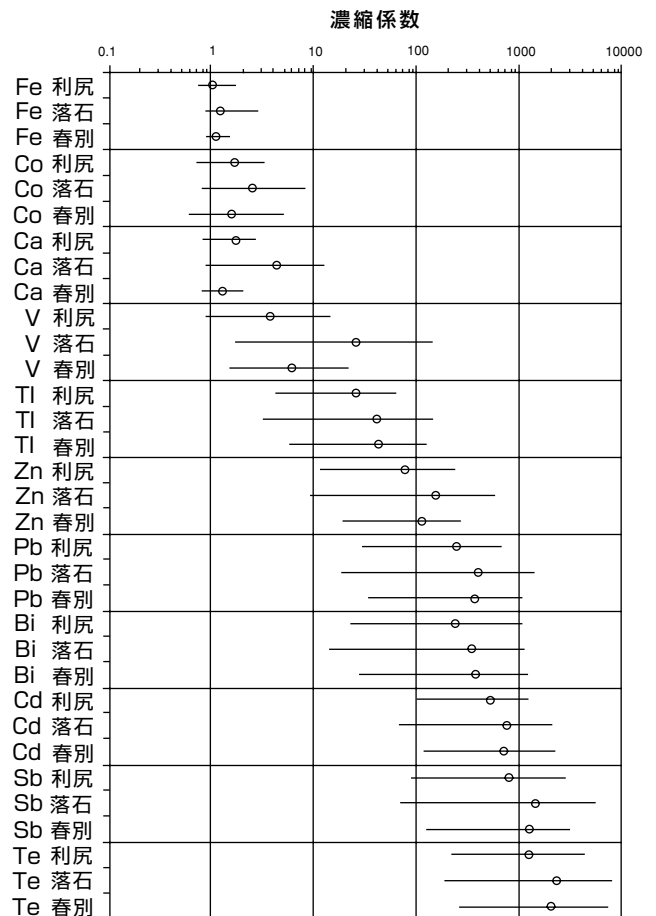


図2 濃縮係数（SPM試料）

源元素が3地点ともに高濃度となっており、これは土壌系粒子の影響を示すとともに、広域的な現象であることを示唆している。一方、人為発生源起源のSb、Pb、Bi等の経年変化をみると、平均値の推移はほぼ横ばいであった。したがって、SPM最大濃度の上昇傾向には、主に黄砂など長距離輸送により北海道へ春季に流入する土壌系粒子が寄与していると考えられる。

都市と清浄地域の同じ年度における濃度差についてみると、清浄地域のSPMと自然発生源起源元素のAl、Feなどは都市の1/2程度である。それに比べて人為発生源起源元素は都市、特に札幌との濃度差が大きく、その中でもZnとSbの濃度差は非常に大きくなっていった。Znは鋼板のめっき、合金、タイヤトレッドやエンジンオイルの添加剤

に用いられ<sup>4)~9)</sup>、Sbは主に難燃助剤としてプラスチック、繊維、ゴム、ブレーキウエアなどの添加剤として用いられており<sup>6)~11)</sup>、札幌においてこれらの元素の濃度が高い原因として自動車走行や廃棄物焼却等の影響が大きいと考えられる。

清浄地域3地点間の濃度差は都市-清浄地域間の差と比較するとVを除き小さく、周囲に汚染源の少ない地域における金属成分の濃度レベルを把握することができたと思われる。一方、札幌と釧路のデータからSPMの成分組成には都市域ごとの地域特性を有することも認められた。各都市域においてSPM問題への対応を計る際、単にSPM濃度を減少させることのみならず有害成分に着目した対策も必要である。こうした清浄地域で得られたバックグラウンドデー

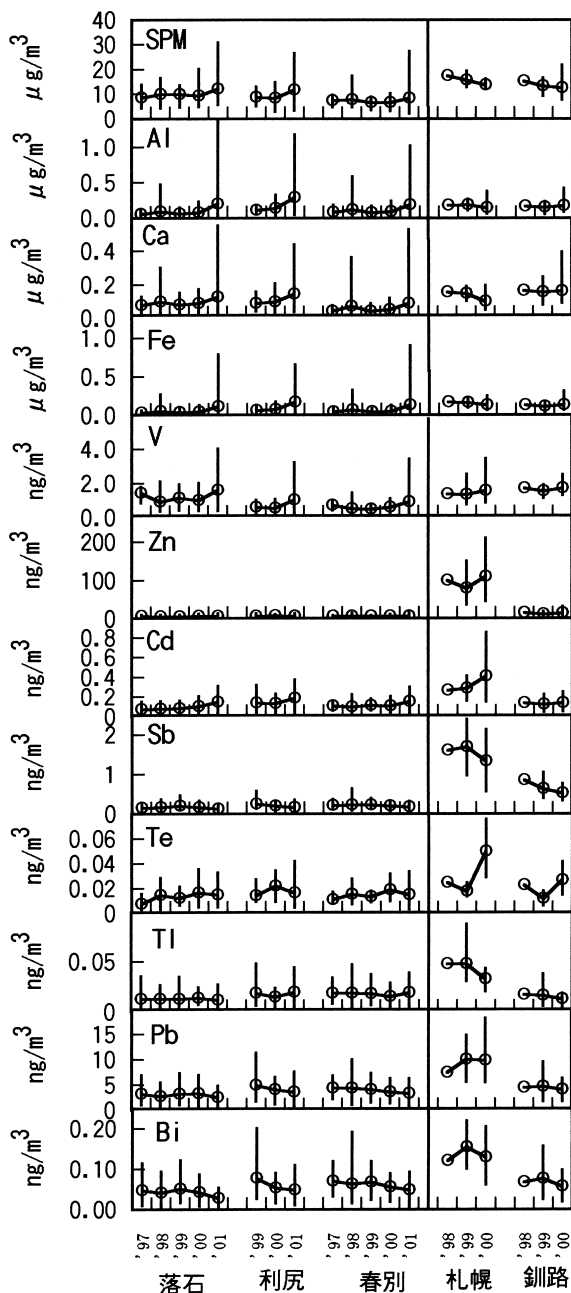


図3 SPMおよび金属成分濃度の経年変化

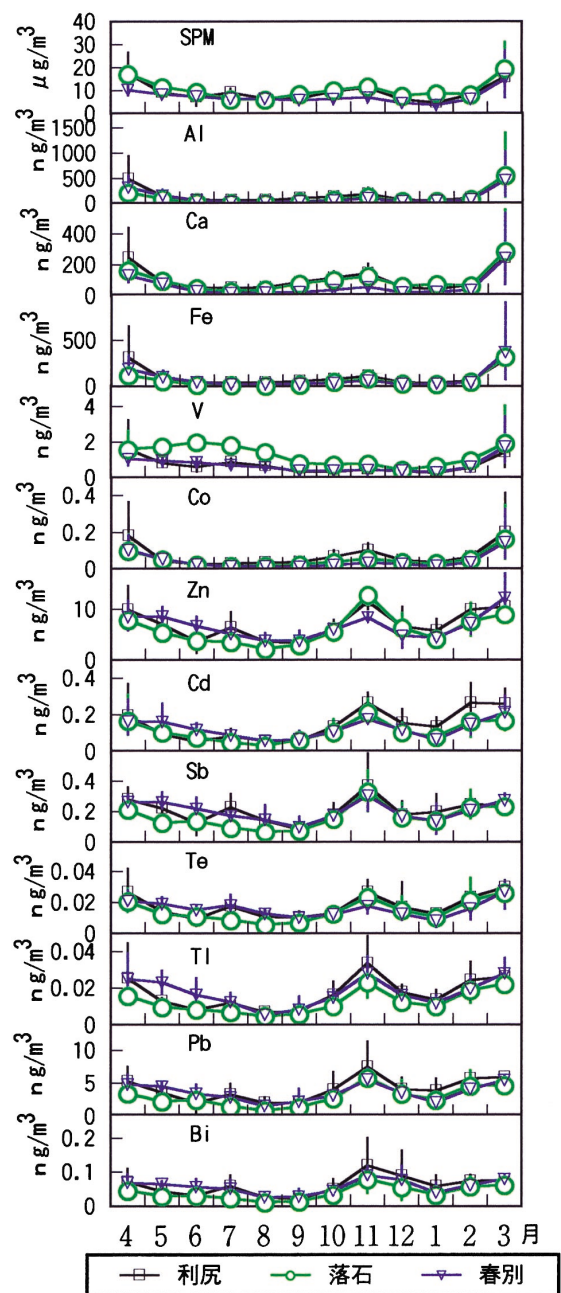


図4 SPMおよび金属成分濃度の月別平均値（'99~'01年度）

タを基準として考えることで、その地域に適合した対策の方向を示すことができ、またその効果について判断する際も評価基準として重要な役割を果たすものと思われる。

図4にSPMおよび金属成分の月別大気中平均濃度（'99～'01年度3年平均）を示す。SPMは春季および秋季に極大となっている。成分ごとにみると、Al、Fe等自然発生源起源元素の平均値は春季（3月、4月）に極大となっており、これは黄砂現象がおおむね春季に集中して観測されている<sup>11</sup>点と一致している。一方、Zn、Sb、Pb等人為発生源起源元素は11月に顕著な濃度上昇がみられるが、春季には若干の上昇傾向が見られるだけである。これらのことは春季と秋季とでは質の異なる気塊が長距離輸送により北海道に流入していることを示し、その質の差が自然発生源起源元素と人為発生源起源元素の季節変動の差異に反映したものと考えられる。

清浄地域3地点間の濃度差を見ると、多くの元素が落石において最も低い濃度を示す中で、Vは他の元素と異なった傾向を示していた。Vは年間を通じて落石で他地点より高く推移しており、特に5、6、7月にその傾向が顕著である。Vは重油燃焼の指標元素として知られており、釧路においてもSPM中の濃縮係数が他都市と比較して高い調査結果が得られている<sup>12)</sup>。これらのことは道東地区において5月から7月にかけて何らかの重油燃焼の影響を受けていることを示唆している。

5-2 TSP試料

SPM試料の結果から、年最大濃度の増加傾向に自然発生源起源元素の寄与が大きいことが示された。通常、SPM試料の採取は1ヶ月単位であり、黄砂などのイベント的な高濃度現象は平均化されてしまい、詳細な情報が得にくい。一方、短期採取であるTSP試料は、気象要素を含めた解析が容易なことから汚染気塊の移流経路把握など高濃度現象解明に適している。

図5に清浄地域3地点の大気中粉じんおよび金属成分濃度（TSP試料）を示す。TSP濃度変動の特徴としては、高濃度時と低濃度時の差が大きいこと、濃度上昇は多地点において多成分が同時に起きることが多いこと、濃度上昇は春季および秋季に多いことが挙げられる。これらの濃度上昇時試料に着目し、そのときの流跡線および気圧配置について調べ、その特徴について検討を行った。高濃度試料の中から自然発生源起源であるAl、Feの多地点高濃度試料（①2000年4月3日、②2000年10月30日、③2000年10月31日、④2001年3月20日、⑤2001年4月10日、⑥2001年4月16日、⑦2001年4月17日）および人為発生源起源のSb、Pb、Bi等の多地点高濃度試料（⑧1999年11月22日、⑨2000年10月17日、⑩2000年11月14日、⑪2001年3月20日）の10試料を選択した。それぞれの試料採取時における後方流跡

線（start time : 9:00, 21:00 (JST)、start height : 1500m）と天気図（9:00）を図6に示す。流跡線解析結果からは、いずれの場合も大陸方面（ロシア極東～モンゴル東部～中国東北部～朝鮮半島）からの気塊流入が示された。春期の自然発生源起源成分高濃度時における気象状況としては、寒冷前線を伴う低気圧が北海道の北を通過するケースが多く見られる。このような気象条件に加えて、春には大陸内陸部、特にモンゴル東南部～北京の西北一帯<sup>13)</sup>において、乾燥した土壌が低気圧によって巻き上げられて砂塵が発生し、これが、寒冷前線背面の冷たい気塊が比較的地表近くを西から東へ移動するのに伴って北海道まで運ばれて来たと考えられる。この際、1998年4月20日<sup>14)</sup>と2001年3月20日のように高濃度の人為汚染物質も同時に移流してくる現象も観測されている。また、10～11月の自然発生源および人為発生源起源成分の濃度上昇時には、特徴的に北海道の

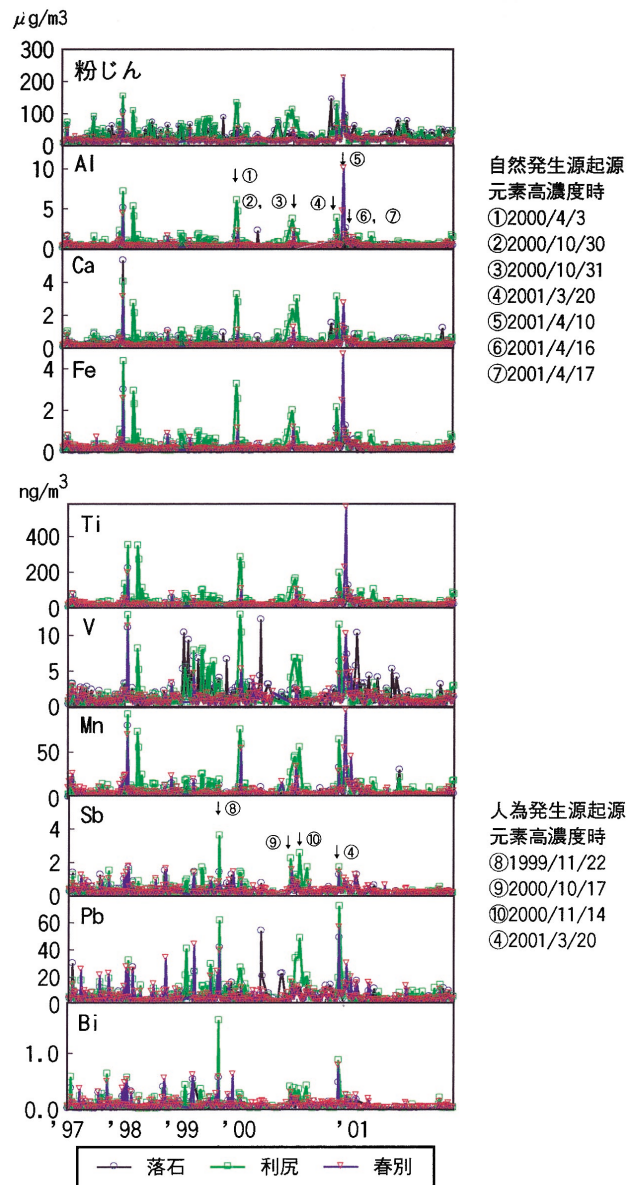


図5 大気中粉じんおよび金属成分濃度（TSP試料）

南側を移動性高気圧が通過していることが共通して見られる。このような条件下において、大陸に高濃度のエアロゾルを含む気塊が存在すると、これが移動性高気圧から吹き出される風とともに移流して来るものと考えられる。

SPMの項でも述べたように、清浄地域における地殻構成成分の年度最大濃度は'97~'01の5年間、上昇する傾向がみられた。この傾向が3地点に共通していることやTSP試料における流跡線解析の結果から、長距離輸送による大陸起源のエアロゾル、特に黄砂現象の規模の増大による影響が大きいと思われる。2002年3月および4月に道内各地において黄砂が観測され、中でも3月22日は濃度、観測範囲ともに規模の大きいものであった。このときの気象状況は、清浄地域において高濃度を示した場合と同様に北海道を寒冷前線が通過しており、大陸において低気圧により巻き上げられた黄砂が寒冷前線後面の寒気と共に北海道に到

達したと思われる。札幌において3月22日の黄砂飛来時およびその前後のTSP試料から、3月22日の前後においてはおよそ $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ またはそれ以下であったのに対し、22日にはその濃度は $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。このときの粉じん中Al濃度は過去の黄砂時（2001年4月10日）と同様に4~5%であった。一方、気象庁により黄砂が観測されていない清浄地域における自然発生源起源元素の多地点高濃度時（1998年4月20日、2000年4月3日など）の試料中にも同レベルのAlが検出されており、黄砂として目視で観測されていない場合においても、大陸から北海道に土壌系粒子が輸送されているケースが存在することが示唆された。人為発生源起源のいくつかの元素についても、SPM試料による最大値は都市域の平均値並みの濃度が観測されており、黄砂のような目立つ現象ではないが気象条件によっては清浄地域を含む北海道全域において、大陸由来の汚

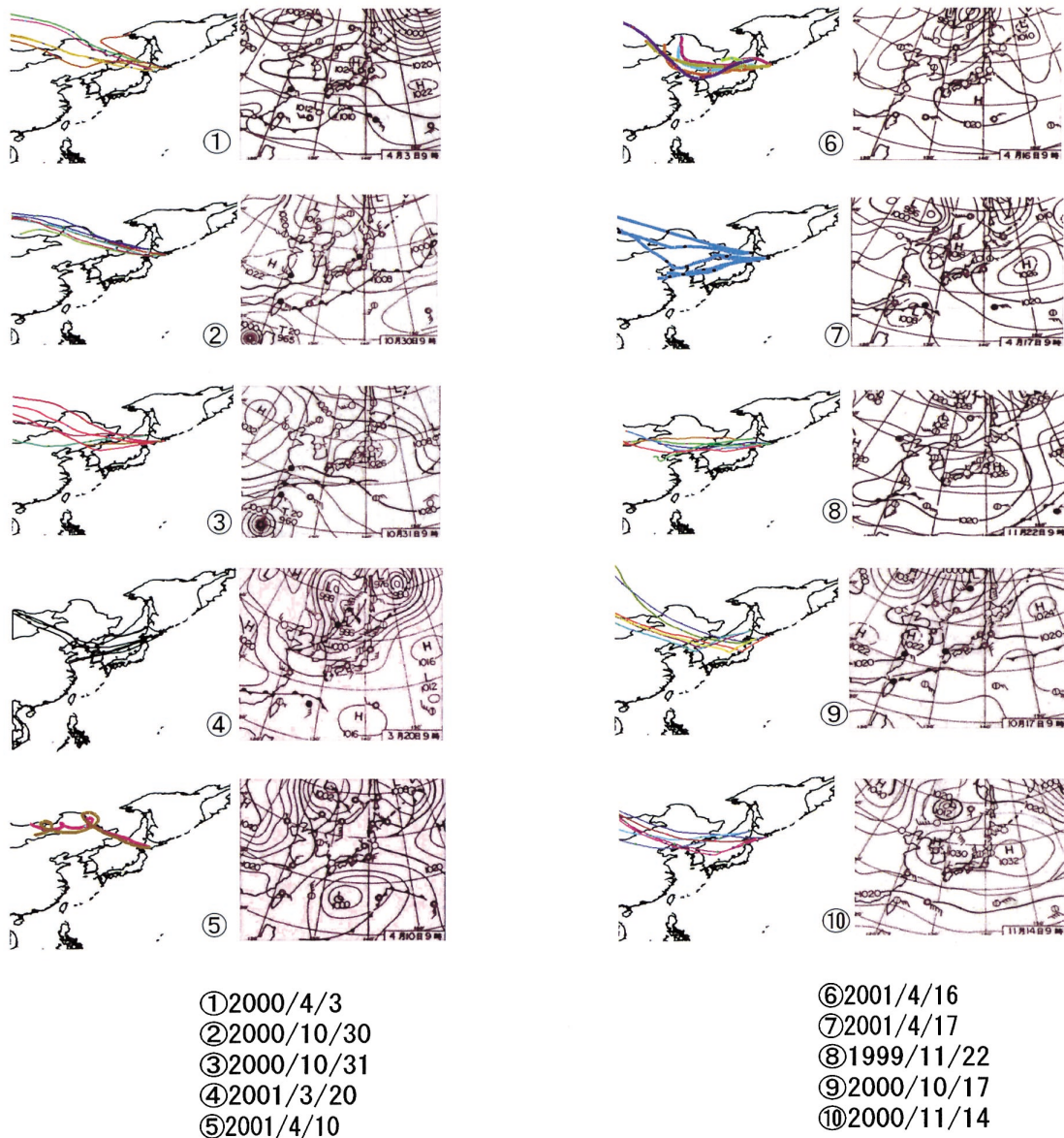


図6 TSP試料高濃度時の流跡線および天気図

染物質の影響を受けていると考えられる。

## 6 おわりに

SPM試料による結果から、清浄地域3地点において自然発生源由来元素濃度年最大値の増加傾向が見られ、また自然発生源由来元素のみならず多くの人為発生源起源元素の最高濃度は都市域の平均値レベルに達していることが分かった。

TSP試料の結果と流跡線解析より、金属元素濃度多地点同時上昇時には、ロシア極東～モンゴル東部～中国東北部～朝鮮半島方面からの気塊の流入が示され、北海道の大気環境に及ぼす大陸方面からの長距離輸送による影響が大きいことが示唆された。また、濃度上昇時の気圧配置は移動性高気圧が南側を通過する場合および寒冷前線を伴う低気圧が北側を通過する場合が認められた。

粒径の小さいSPMや有害元素の濃度変動動向を観測することは道民の健康を守るという観点からも非常に重要であり、さらにモニタリングを続ける必要がある。また、現状のTSP試料採取はスポット観測であって一部の事象しか観測されないため、今後は連続した短期採取による観測を取り入れる予定である。その上で濃度変動と気圧配置の関係について詳細に解析を行い、気圧配置と濃度レベルの分類を行うことにより出現濃度レベルの簡易予測が可能になると考えられる。

## 謝 辞

流跡線解析を行うにあたり、国立環境研究所地球環境研究センターの「対流圏モニタリングデータ評価のための気象データ解析システム（通称CGER-GMET）」を利用させていただきました。ご指導下さいました皆様に深謝いたします。

## 引用文献

(1) 報道発表資料, 平成14年11月12日, 気象庁  
 (2) 報道発表資料, 平成14年4月15日, 気象庁  
 (3) Hayashida, A.S., Sasano, Y. and Iikura, Y., Volcanic disturbances in the stratospheric aerosol layer over Tsukuba, Japan, observed by the National Institute for Environmental Studies lidar from 1982 through 1986, J. Geophys. Res., 96, p.15469, 1991  
 (4) 金属鉱業事業団資源情報センター, 鉱物資源マテリアルフロー, p.39, 2001  
 (5) 船坂邦弘, 大気浮遊粉じんと道路堆積粉じんとの関係についての再検討, 第43回大気環境学会講演要旨集,

p.520, 2002  
 (6) 溝畑朗, 道路沿道における大気浮遊粒子状物質の物理的・化学的特性, 大気環境学会誌, 35, p.77~102, 2000  
 (7) Xudong Huang, Ilhan Olmez and Namik K. Aras and Gren E. Gordon, Emissions of Trace Elements From Motor Vehicles: Potential Marker Elements and Source Composition Profile, Atmospheric Environment, Vol. 28, No.8, p.1385-1391, 1994  
 (8) Gerd Weckwerth, Verification of traffic emitted aerosol components in the ambient air of Cologne (Germany), Atmospheric Environment, Vol.35, p.5525-5536, 2001  
 (9) John Sternbeck, Ake Sjodin, Kenth Andreasson, Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension - results from two tunnel studies, Atmospheric Environment, vol.36, p.4735-4744, 2002  
 (10) Bhagwan D. Garg, Steven H. Cadle, Patricia A. Mulawa, and Peter J. Groblicki, Brake wear particulate matter emissions, Environmental S. and T., vol.34, No.21, 4463-4469, 2000  
 (11) 金属鉱業事業団資源情報センター, 鉱物資源マテリアルフロー, p.129, 2001  
 (12) 未発表データ  
 (13) 全浩, 中国における黄砂研究について, 第43回大気環境学会講演要旨集, p.68, 2002  
 (14) 大塚英幸, 加藤拓紀, 松本 寛, 秋山雅行, 第41回大気環境学会年会講演要旨集, p.482, 2000

## Trend of Elements In the Atmosphere over 1997~2001 at Background Area of Hokkaido, Japan

Hideyuki Otsuka, Takunori Kato, Riki Iwata  
Izumi Noguchi, Yutaka Matsumoto  
Shigekatsu Sakai, Masayuki Akiyama

### Abstract

Monitoring of aerosol and elements in the atmosphere were carried out over 1997~2001 fiscal year at three points in background area of Hokkaido, Japan. As the results, maximum SPM concentration at each fiscal year tend to increase, and this tendency is caused by increase of the number of times and the scale of the yellow sand that arrive at Hokkaido. Moreover, the concentration values of soil-origin element tend to rise in spring and the concentration values of anthropogenic element tend to rise in autumn, respectively. The results of back



trajectory and the weather conditions at the period during the short-term sampling of TSP are taken into consideration, it is suggested that when the cold front pass upon Hokkaido, and when a migratory anticyclone pass on the south, background aerosol concentration values would be risen by inflow of aerosol from Asian Continent.

# 三宅島の噴火に由来する汚染物質の挙動と その北海道への影響

野口 泉 秋山 雅行 恵花 孝昭\*

## 要 約

2000年の噴火により三宅島雄山は1日に2-3万トンものSO<sub>2</sub>を放出してきた。本報では、その影響について2000年9月中旬を中心に全国の大気中SO<sub>2</sub>濃度及び粒子状硫酸塩濃度、また北海道の降水成分沈着量などの検討を行った。その結果、関東、東海北陸及び近畿などで、大気中SO<sub>2</sub>濃度及び粒子状硫酸塩濃度に対する影響が観測され、SO<sub>2</sub>濃度は関東でのピークが、粒子状硫酸塩濃度は近畿でのピークが高かったことが認められた。一方、北海道東北では地表におけるSO<sub>2</sub>及び粒子状硫酸塩濃度への影響は認められなかったが、札幌市内において年間酸沈着量の16-20%を占める硫酸主体の降水が観測された。これは流跡線解析などから、三宅島噴火の影響によるものと考えられた。

**Key words:** 酸性雨、大気汚染物質、三宅島、火山、北海道

## 1 はじめに

三宅島雄山は2000年9月中旬以降、1日に2-3万トンのSO<sub>2</sub>を放出し続けている。<sup>1)</sup> この排出量は桜島の約10倍に達しており、国内のSO<sub>2</sub>排出量は3倍以上に増加した。この結果、関東及び東海地域だけでなく、9/13には400~500Km離れた近畿及び北陸地域でも火山ガスによる異臭騒ぎが発生し、他の地域でもその影響を受けたことが考えられた<sup>2,3)</sup>。本報では、2000年9月を対象に、全国のSO<sub>2</sub>及び粒子状硫酸塩(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)濃度の挙動<sup>4)</sup>を解析するとともに、北海道におけるSO<sub>2</sub>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度及び降水成分の挙動<sup>5)</sup>から、北海道への三宅島噴火の影響を検討したので報告する。

## 2. 解析データ

全国のSO<sub>2</sub>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は全国環境研協議会による第3次全国酸性雨調査結果(週単位のフィルターパック法)を用いた。また札幌のSO<sub>2</sub>及び浮遊粒子状物質(SPM)濃度は、札幌北の自動測定装置による1時間値データを用いた。

降水成分データは、常時開放型(バルク)による調査が札幌北(週単位)及び苫小牧(半月単位)の2地点で、降水時開放型(Wet only)による調査がいずれも週単位で札幌南、札幌中央、札幌東(札幌市による)及び札幌北(北海道による)の4地点で行われており、これらの調査結果を用いた。なお、降水試料交換日は札幌東及び北は月曜日、

札幌南及び中央は水曜日であり、分析項目は、降水量、pH、電気伝導率、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>及びK<sup>+</sup>濃度である。また非海塩由来成分(nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及びnss-Ca<sup>2+</sup>)はNa<sup>+</sup>を基準に海塩組成比から算出している。

## 3. 結果及び解析

### 3.1 全国のSO<sub>2</sub>及び粒子状硫酸塩濃度の挙動

フィルターパック法によって得られた2000年9月の地域ごとのSO<sub>2</sub>及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の変動を検討した。調査地域及び

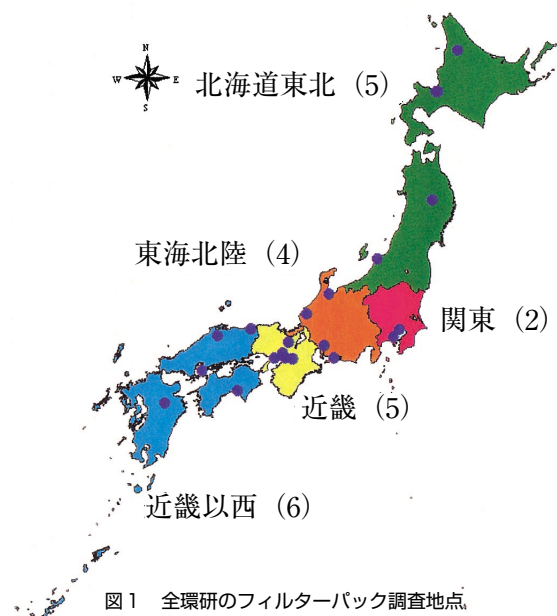


図1 全環研のフィルターパック調査地点

\* 札幌市衛生研究所

地点を図1に、地域別週平均SO<sub>2</sub>濃度及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の変動を図2に示す。なお、地域の週平均濃度の算出に際しては、2週単位以上で調査を行った地点の場合は、期間内は同一の濃度と仮定している。

SO<sub>2</sub>濃度は30~489nmol/m<sup>3</sup> (平均109 nmol/m<sup>3</sup>) で、北海道・東北及び近畿以西の地域においては特に高濃度現象は現れておらず、SO<sub>2</sub>としては、三宅島噴火の影響をあまり受けていないと考えられた。一方、関東、東海北陸及び近畿の地域では、順に第2週、第3週及び第4週にピークがみられた。この時期、大気塊(エアマス)の流れは北~北西~西北西に向かう流れに変化しており、ピークの時間的ずれはエアマスの流れを反映していた。関東の調査地点はいずれも都市部に位置しており、噴火前の前年度の結果でも、他地域の2~3倍の濃度を示すが、それを考慮しても関東におけるピークは極めて高かった。

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は15~96nmol/m<sup>3</sup> (平均44nmol/m<sup>3</sup>) で、いずれもSO<sub>2</sub>より濃度は低かった(比は13~99%)。北海道東北地域では明確な高濃度現象は観測されていないが、新潟では北陸地域と同様に第3~4週に濃度の上昇が観測された。また関東では全体的な濃度は高めであるが、明確なピークは認められなかった。一方、東海北陸及び近畿以西では第3~4週に、近畿では第4週にピークがみられ、近畿におけるピークが最も高かった。前年度の結果では、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は関東で最も高かったが、地域による大きな差はあまりなく、近畿におけるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度が特に高いという結果は得られていない。またSO<sub>2</sub>の場合のように通常は発生源から離れるに従って拡散などによる濃度低下が起きるが、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>では離れた地域である近畿でピークが高く、第1週の関東で高濃度が観測されなかった。これは、SO<sub>2</sub>がSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>に変換されるためには、時間が必要であり、近畿のように400~500km離れた地域に運ばれる間に粒子化が進んだものと考えられた。このことから、第4週に近畿におけるピークが高かったのは、三宅島噴火の影響を受けたためであり、前述したようにピークの時期の違いはエアマスの流れによるものと考えられた。なお、近畿以西で第3~4週にピークが見られたのは、いずれの地点も2週単位で3~4週に採取しているためである。これらのことから、エアマスの流れの速さにもよるが、三宅島に近い地域ではSO<sub>2</sub>としての寄与が極めて大きく、やや離れた地域ではSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>としての寄与も大きかったことが認められた。

### 3.2 北海道における降水成分の挙動

北海道における週単位のフィルターパックの調査結果では前述したようにSO<sub>2</sub>及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の上昇は観測されなかったが、2000年度の札幌における降水成分調査では、図3に示す通り、特異的に9月に酸沈着量(H<sup>+</sup>沈着量)の増大が見られた。このときの対応する陰イオンは非海塩由来

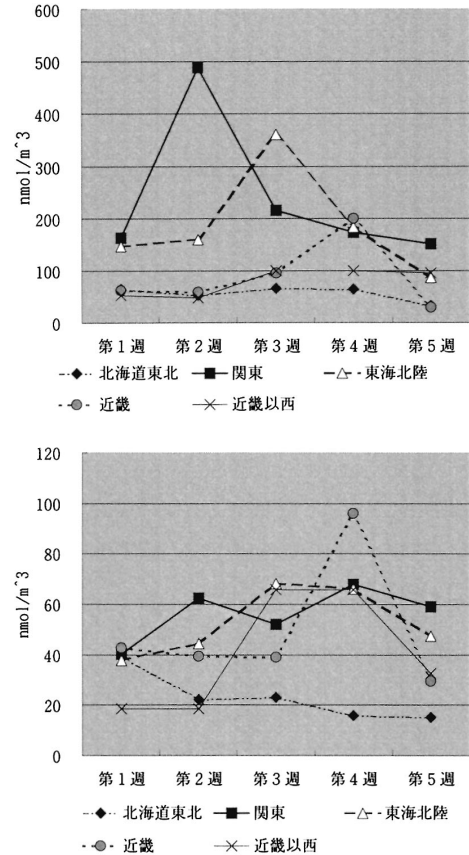


図2 9月の地域別SO<sub>2</sub> (上段) 及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度 (下段)

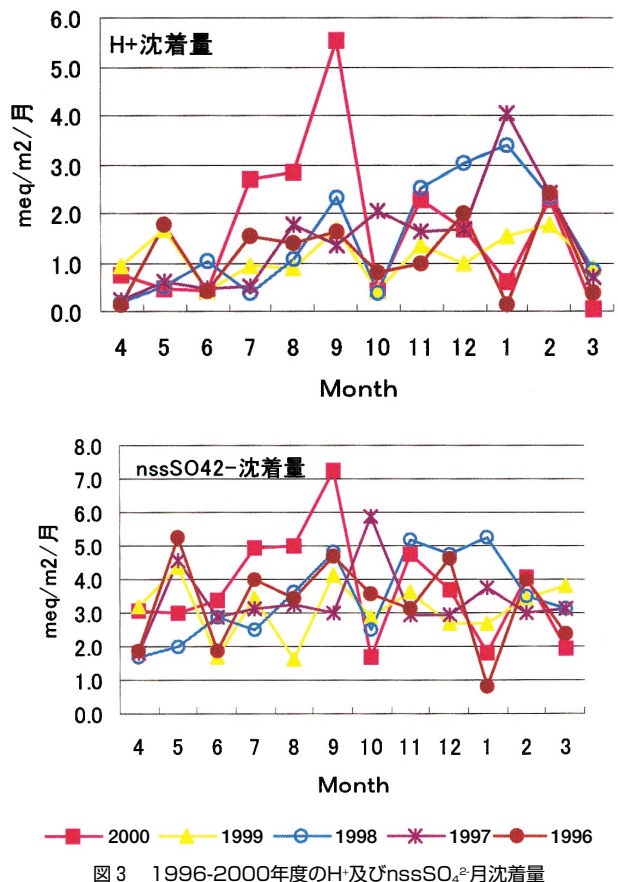


図3 1996-2000年度のH<sup>+</sup>及びnssSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>月沈着量

の硫酸イオン ( $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ) であった。札幌では週単位で採取を行っており、 $\text{H}^+$  及び  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  沈着量の変動では、いずれも9月の特に中旬に沈着量が多く、この時期を中心にさらに解析を行った。

札幌市が測定した市内3地点の降水データを含めた9月中旬の市内4地点、5試料の沈着量を図4に示す。2000年9月11-20日に札幌市内4地点において採取された降水試料は、降水量が30-50mm、pHが3.8-4.1と降水量の割にはpHが低く、その酸 ( $\text{H}^+$ ) の沈着量は、いずれも2000年度の $\text{H}^+$ 年沈着量の16-20%をも占めた。またいずれも $\text{SO}_4^{2-}$  (イオン総和の34-40%) 及び $\text{H}^+$  (同27-41%) が主成分であり、近隣のHClの影響を受けたと考えられる札幌南を除いてはその組成も極めて類似しており、硫酸としての影響が大きかったことが分かる。札幌南及び中央の試料は9/13-20に、札幌東、札幌北 (W: 国設札幌で採取されたWet only試料) 及び札幌北 (B: 本調査結果であるBulk試料) は9/11-18に採取された試料である。この期間の共通の降水は図5に示すように主に9/14-15の雨 (札幌北における降水量は25mm) であった。またこの期間における、地表の $\text{SO}_2$ 濃度、SPM濃度及びエアロゾルの $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度 (札幌北) は、前述したフィルターパックの調査結果と同様に、特に高濃度現象は観測されなかったことから、地表面ではなく、札幌上空に汚染物質が流入したことにより、多量の硫酸を含んだ降水が観測されたと考えられた。

そこで、札幌上空におけるエアロゾルの起源を検討するため後方流跡線解析を行った。解析はNOAAのFNL気象データを用い、Vertical Motion Methodによって流跡線 (等

温位) を描いた<sup>6)</sup>。また高度は流跡線解析に主に用いられる1500mと2000m及び2500mを用いた。これは9/14の道央部において最も雲量の多かった第2層の雲が主に1000-3000mに位置していたことから妥当な高度である。9/14の12:00における札幌上空のエアロゾルの流跡線を例として図6に示す。このように9/14-15にかけてのエアロゾルの流跡線は9/12-9/13の関東及び東海沖 (約800-1800m) を経由し、大平洋上まで遡る傾向にあった。9/13は東海などの幅広い地域で三宅島の火山ガスによる異臭騒ぎが発生しており、札幌上空に流入した硫酸を主成分とする汚染物質の起源として三宅島の火山ガスが考えられた。そこで、次に三宅島上空のエアロゾルの流れを検討するため後方流跡線と同様の条件で前方流跡線解析を行った。開始日時は前述の後方流跡線で三宅島付近に遡った日時を参考とした。例として9/12の0:00における流跡線を図7に示す。

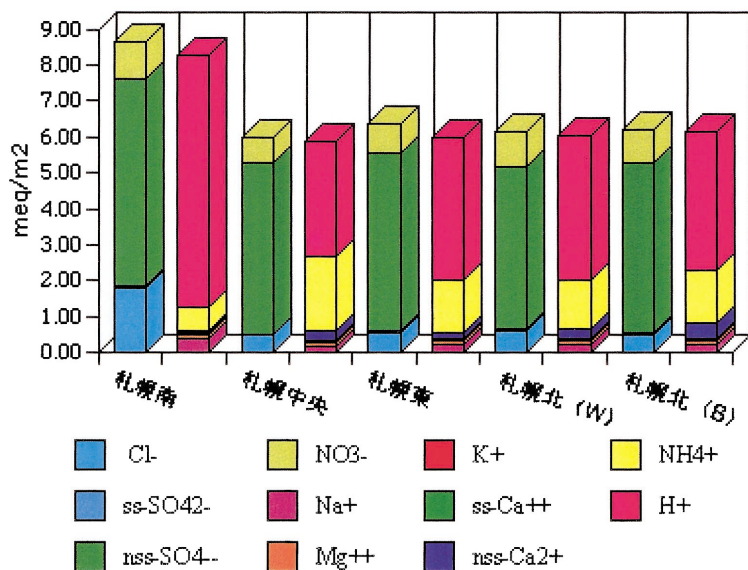


図4 9月中旬の降水成分組成

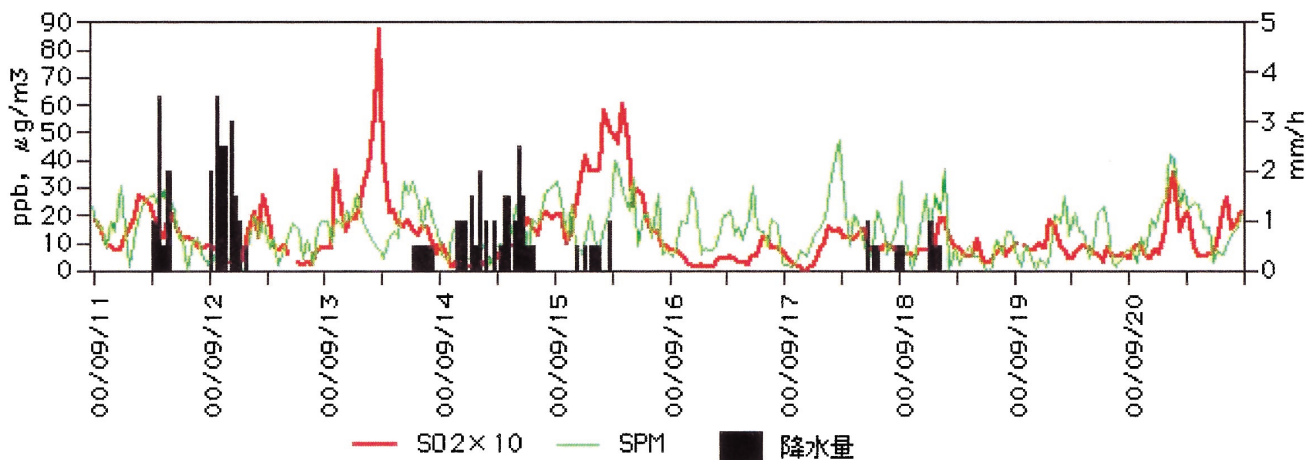


図5 9/11-20, 札幌北における $\text{SO}_2$ , SPM濃度及び降水量の挙動

なお、高度は噴火口が約700mであること、9/12の噴煙高さは火口より約1000mと報告されていることから、1000m、1500m及び2000mを用いた。その結果、北海道上空（約1200-3000m）を通過する流跡線が得られ、後方及び前方流跡線の双方による解析結果から本解析結果の精度は高いと判断され、三宅島の火山放出物を含んだエアマスが北海道上空に流入したものと考えられた。

9月は太平洋側からの暖かいエアマスの勢力と大陸からの冷たいエアマスの勢力が入れ替わる時期であり、図8に示すように北海道・東北地域を覆った冷たいエアマスの上部を三宅島からの汚染物質を含んだ太平洋側からの暖かいエアマスが北上した様子が伺える。このことはトラジェクトリーにおける高度の変化及び9/14-15の高層気象データにおける高度別温度の挙動からも確認できた。またこの時、北海道に降った降水は積丹-札幌-旭川-北見を結ぶラインを中心とした降水であり、9/14の午前4時におけるNOAAの衛星画像では流跡線と同様に北海道を斜に覆う筋状の雲が観測されている。すなわち、全道で札幌と同様の硫酸を含んだ降水が観測されたことが考えられた。実際に、時間分解能が低かったため解析が困難であった苫小牧及び苫小牧東部でも9月のH<sup>+</sup>沈着量はそれぞれ年沈着量の28%、33%を占め、この時の降水の影響が伺えた。

以上のことから、この期間に北海道で観測された降水は、三宅島雄山の噴火に伴って排出された硫酸化合物に由来する多量の硫酸がレインアウト（雲による取り込み）により取り込まれたものと推定された。札幌ではこのときの1降雨によるH<sup>+</sup>沈着量は年沈着量の約20%にも相当し、2000年のH<sup>+</sup>年沈着量は過去最大となった。また、今回の汚染物質の移流現象により、関東や近畿の工業地帯から排出される汚染物質による道内の降水成分への影響についても検討する必要があると思われる。

#### 4. 結論

2000年に噴火した三宅島雄山は世界最大のSO<sub>2</sub>発生源と考えられ、その影響は全国に及ぶが、三宅島に近い地域ではSO<sub>2</sub>としての影

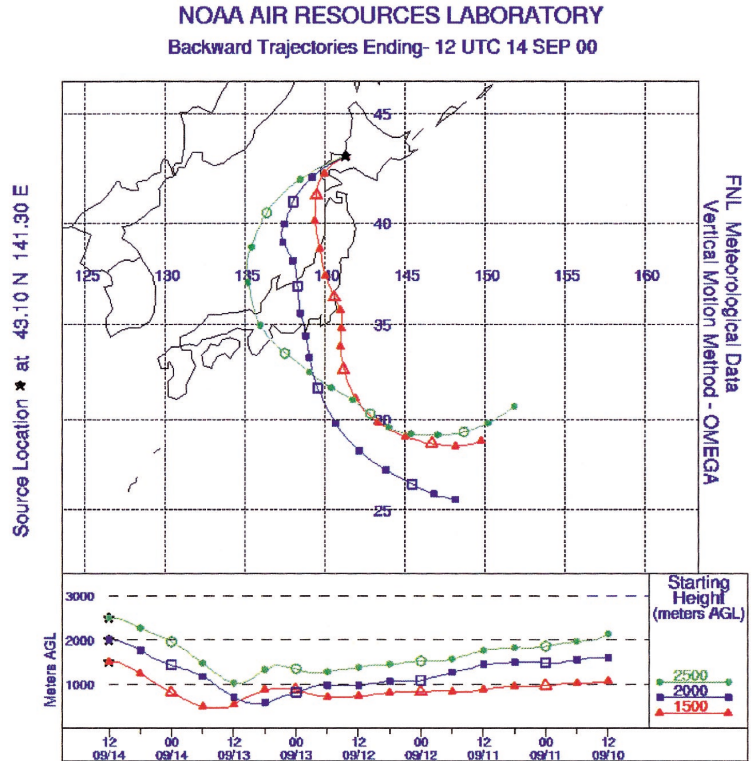


図6 札幌上空からの後方流跡線解析結果 (9/14 12:00, 1500, 2000及び2500m)

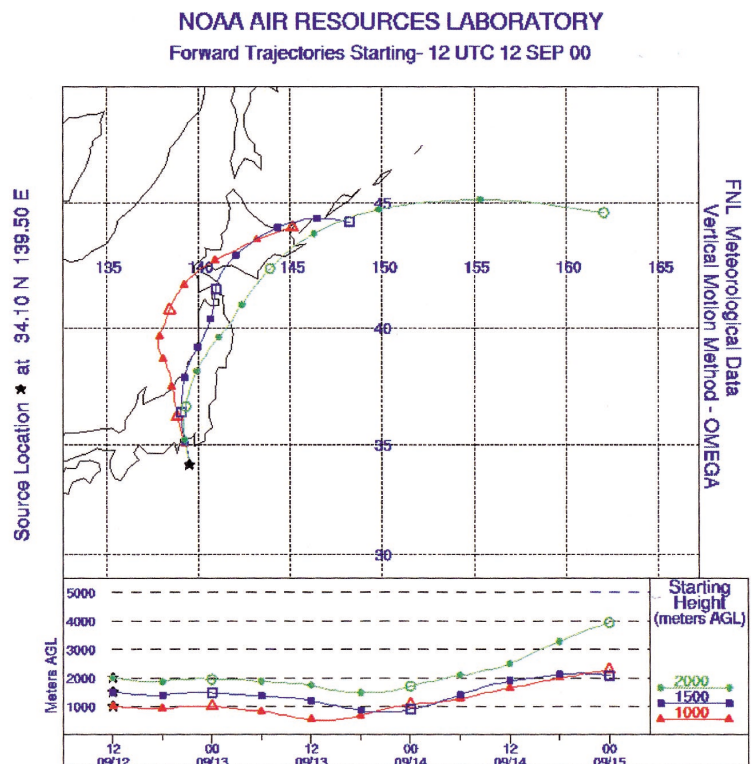


図7 三宅島からの前方流跡線解析結果 (9/12 12:00, 1000, 1500及び2000m)

響が大きく、離れた地域では輸送中に粒子化することによって、 $\text{SO}_4^{2-}$ としての影響も大きいことが分かった。また $\text{SO}_2$ 及び $\text{SO}_4^{2-}$ としてはその影響は確認できなかったが、北海道においても三宅島由来の硫酸により、年沈着量の約20%にも相当する酸を含んだ降水が観測された。このように、長距離輸送された汚染物質はガスや粒子としてだけではなく、降水成分として沈着する場合もあり、汚染物質の沈着形態を考慮したモニタリングが重要であることが分かった。

東アジアは現在、世界でも酸性化が最も懸念される地域であり、大気汚染物質沈着量の把握及び発生源寄与の評価などの目的で、ガス、エアロゾル及び降水成分などのモニタリングが積極的に進められ、北海道も全国最多の3地点の国設モニタリング局が設置されている。しかしながら、沈着する地域、季節、対象成分及び沈着形態により、汚染物質の大気中濃度及び沈着量は大きく変動する。また全国の20%もの面積をもつ北海道を3地点だけではカバーできず、地方自治体による精度の高いモニタリングへの期待は大きい。このため、地方自治体においても、地点代表性などを考慮し、効率的で精度の高いモニタリング体制を整備しなければならないものと考ええる。

なお、三宅島から輸送された大気汚染物質による植物被害などは、まだいずれの地域においても認められていないが、現在研究が進められており、今後の報告が注目される。

### 参考文献

- 1) 風早康平, 篠原宏志, 宇都浩三, 尾台正信, 森 博一, 中堀康弘, 飯野英樹, 平林順一: COSPECによる $\text{SO}_2$ 放出量測定, 第43回大気環境学会講演要旨集, pp120-123, 2002
- 2) 山川和彦, 山神真紀子: 三宅島噴火に伴う東海・近畿・北陸地域の硫黄酸化物高濃度事例, 全国環境研会誌, 25, pp243-248, 2001
- 3) 松本利恵, 唐牛聖文, 米持真一, 村野健太郎: 三宅島火山ガスの影響を受けた酸性雨の観測第42回大気環境学会講演要旨集, pp273, 2001
- 4) 全国環境研協議会, 酸性雨調査研究部会: 第3次酸性雨全国調査報告書 (平成12年度), 2001
- 5) 野口 泉, 秋山雅行, 恵花孝昭: 北海道の降水に対する三宅島噴火の影響, 第42回大気環境学会講演要旨集, pp432, 2001
- 6) NOAA web site: Hybrid Single-Particle Lagrangian

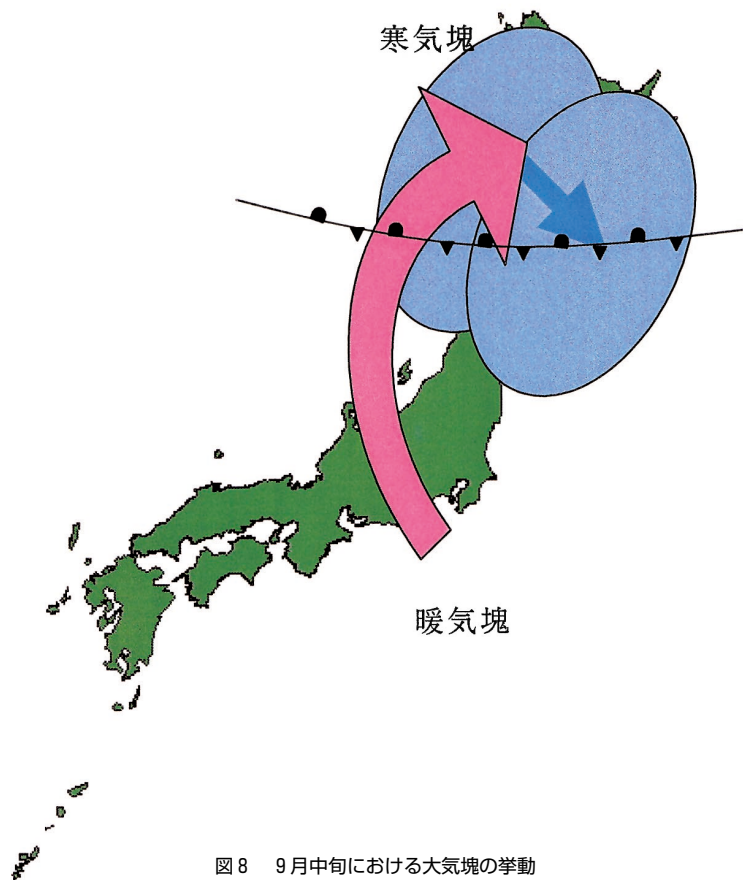


図8 9月中旬における大気塊の挙動

Integrated Trajectory Model Version Updated: 04 November 2002, <http://www.arl.noaa.gov/ss/models/hysplit.html>, 2002.

### Behavior of air pollutants from Miyakejima volcanic eruptions and this impacts for Hokkaido

Izumi Noguchi<sup>1</sup>, Masayuki Akiyama<sup>1</sup>  
and Takaaki Ebana<sup>2</sup>

(1: Hokkaido Institute of Environmental Sciences)

(2: Sapporo City Institute of Public Health)

### Abstract

In 2000, a volcano, Miyakejima, in the Pacific Ocean, about 100 km south of Tokyo began to erupt emitting a huge amount of sulfur dioxide into the atmosphere. A reliable estimation will be 20,000-30,000 tons of sulfur dioxide per day. In this study, this eruption effect was discussed about sulfur dioxide and sulfate all over Japan and also discussed precipitation chemistry in Hokkaido, Northern Japan, based on the survey results in September 2000. As the results, it is recognized that the highest concentration of  $\text{SO}_2$  was observed in Kanto, near the volcano, and that the highest concentration of sulfate

was observed in Kinki, about 400-500 km far from the volcano. On the other hands, the increase of acid in precipitation, mainly sulfuric acid, were observed in Sapporo in Hokkaido located about 800 km north of the volcano although the effects on SO<sub>2</sub> and sulfate on the surface were not detected in Hokkaido-Tohoku district. These acid depositions contributed 16-20% of annual deposition in 2000. The back and forward trajectory analysis suggested that the volcanic emissions were transported from Miyakejima.

# 常呂川・網走川流域の土地利用差に伴う一次支川水質の変動

石川 靖 齋藤 修 金子 正美\* 小林 正幸\*\* 木内 康之\*\*

## 要 約

常呂川、網走川に流入する一次支川を対象に、GISによりその土地利用状況を明らかにした。森林の割合が高い河川、農用地の割合が高い河川、両利用がほぼ等しい河川を常呂川から7河川、網走川から8河川選択して、晴天時（通常時）、降雨時、融雪時を対象に水質調査を行った。

その結果、土地利用により、栄養塩やアルカリ金属イオン等の濃度に違いが見られた。農用地利用が高い河川の水のTN、TP濃度は、森林比率が高い河川のものより高かった。TN変動は、主にNO<sub>3</sub>-N変動に左右される事も分かった。

通常時と降雨時の濃度を比較すると降雨時が高濃度で、比で見ると常呂川一次支川のSSが1.65～5.5、TNが1.27～1.87、TPが1.69～5.31、網走川一次支川は、SSが1.26～13.74、TNが1.23～3.05、TPが1.07～8.12であった。網走川一次支川は土地利用による河川水質の差は見られなかったが、常呂川一次支川では、農地利用率が高い河川のTN、SSが高かった。降雨時と融雪時の流出を比流出量比で検討すると、濃度比の中より比流出量の中の方が大きかった。

**Key words:** GIS、土地利用、一次支川、栄養塩濃度、アルカリ金属

## はじめに

常呂川と網走川は、その流域の農業振興や水道水源に寄与していると共に、オホーツク海に流れ出て漁業資源を育んでいる。また、常呂川上流の人工湖（おけと湖）や網走川下流の網走湖は、風光明媚な観光資源として多くの人を引きつけている。

しかし、近年、両河川及び網走湖は、水域の開発等による水質汚濁や富栄養化が進行し、その対策が急がれている。このため、地域住民や関係機関が一体となり、各水域の環境保全対策を行う必要性が増してきている。

筆者らは、環境保全対策事業を推進する際の基礎資料とするため、両河川の汚濁負荷と流域の現況を把握する目的で、1998年から2000年までの河川水質調査を実施した。1998年<sup>1)</sup>と1999年<sup>2)</sup>の結果から、一次支川流域における土地利用が河川水質へ大きく影響している事が示唆された。この結果を受けて、2000年はこれらの流域における土地利用状況をGIS (Geographic Information System) により明らかにし、森林または農用地の利用比率が高い流域を調査河川として選択した。このような特徴を持つ流域の一次支川を年3～4回調査した結果から河川間の栄養塩、アルカリ金属等の成分比較を行い、その特徴を明らかにする事を目的とした。

\* 酪農学園大学環境システム学部  
\*\* 網走支庁環境生活課

水系の流路を等級化する方法は、一般的には、Strahler方式が用いられる<sup>3)</sup>が、本報告では、北海道河川一覽で<sup>4)</sup>採用されているGravelius方式に準じる等級区分により本流に直接流入する河川を一次支川と表した。

## 2. 調査地点の選定と調査概要

### 2.1 調査地点の選定

常呂川、網走川に流入する一次支川から、常呂川は34河川、網走川は19河川を選択して、その土地利用状況を検討した。土地利用区分は、水田、畑、果樹園、その他の樹木、森林、荒地、建物用地1、建物用地2、幹線交通用地、その他の用地、湖沼、河川地a、河川地b、海浜、海水域の15に分類し、各面積を求めた<sup>5)</sup>。畑地や水田等の農用地あるいは森林の比率が高い（目安として8割以上）か、これらの比率が同等のものを本川との位置関係を考慮し、常呂川流域からは7河川、網走川流域からは8河川を選択した。表1に河川名、流域面積、主な土地利用を示す。図-1aと1bに調査対象河川を示す。表の上段から下段に向うに従い、本川の上流部に位置している。両一次支川とも、市街地を貫流している河川では、農用地の比率が40%以上の傾向がみられる。

### 2.2 調査日時と気象条件

両流域の河川調査は5月（調査日11日、以下同）に予備



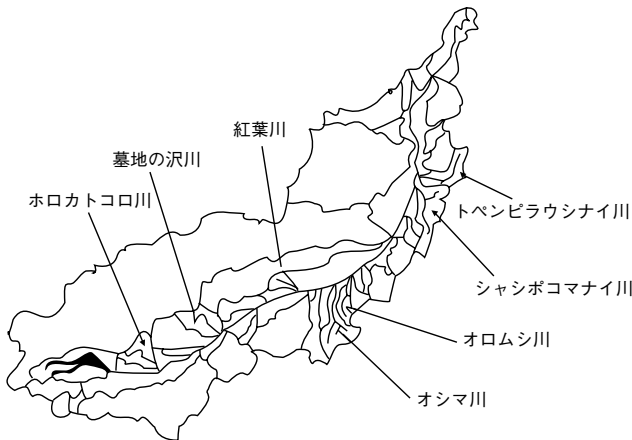


図-1a 常呂川の調査一次支川と主な一次支川流域界

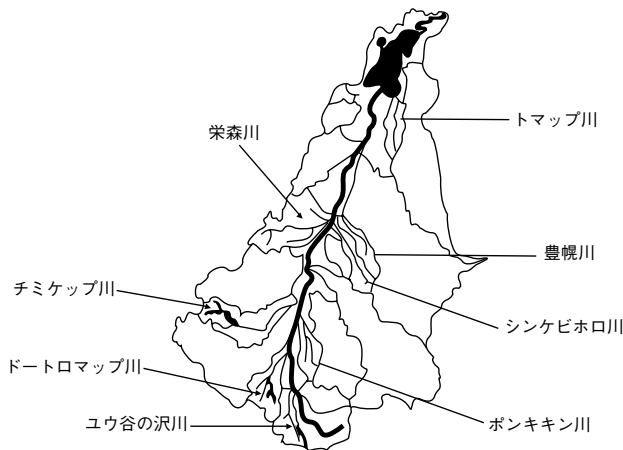


図-1b 網走川の調査一次支川と主な一次支川流域界

表-1 調査選定河川の流域面積と森林と農用地の比率

| 河川名 | 流域         | 森林比  | 農用地比 (括弧内は具体的な利用名) |      |      |       |     |
|-----|------------|------|--------------------|------|------|-------|-----|
|     |            |      | 計                  | (畑地) | (水田) | (果樹園) |     |
| 常呂川 | トベンピラウシナイ川 | 21.8 | 56.8               | 43.6 | 40.2 | 3.4   | 0.0 |
|     | チャシボコマナイ川  | 14.5 | 47.9               | 59.3 | 51.6 | 7.7   | 0.0 |
|     | オロムシ川      | 29.7 | 91.3               | 8.8  | 8.6  | 0.1   | 0.1 |
|     | オシマ川       | 8.9  | 60.4               | 43.5 | 39.2 | 4.3   | 0.0 |
|     | 紅葉川        | 18.3 | 7.0                | 81.9 | 81.7 | 0.2   | 0.0 |
|     | 墓地の沢川      | 22.5 | 90.6               | 9.4  | 9.4  | 0.0   | 0.0 |
|     | ホロカトコロ川    | 20.2 | 99.7               | 0.3  | 0.3  | 0.0   | 0.0 |
| 網走川 | トマップ川      | 18.3 | 7.0                | 81.9 | 81.7 | 0.2   | 0.0 |
|     | 豊幌川        | 15.9 | 55.6               | 43.8 | 43.7 | 0.1   | 0.0 |
|     | 栄森川        | 53.9 | 93.9               | 5.9  | 5.9  | 0.0   | 0.0 |
|     | シンケビホロ川    | 12.2 | 58.1               | 40.9 | 40.9 | 0.0   | 0.0 |
|     | チミケップ川     | 52.1 | 92.9               | 5.2  | 5.2  | 0.0   | 0.0 |
|     | ボンキキン川     | 20.5 | 88.2               | 11.8 | 10.6 | 1.2   | 0.0 |
|     | ドードロマップ川   | 29.8 | 99.9               | 0.1  | 0.1  | 0.0   | 0.0 |
| 川   | ユウ谷の沢川     | 22.3 | 100.0              | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0 |

\* 単位:流域はkm<sup>2</sup>、森林、農用地等は%

\*\* 合計が100%にならないのは他の利用があるため。

調査を行い、6月(7日)、8月(2日)、10月(3日と4日)と一部河川は、翌年3月に調査を行った。アメダス観測点である北見、境野、美幌、津別の日降雨観測結果は、5月は0mm、6月は1~8mm、8月は0mm、10月は3日が20~24mm、4日が0~5mmであった。5月、6月、

8月は前日3日間の総降雨量が5mm以下に止まっている事から、これらの月を通常時(晴天)のデータとし、10月は降雨の影響を受けたデータとして解析をする。

### 3. 調査分析方法

現地調査項目、分析法は既報告<sup>12)</sup>に準じて行った。現地調査後、SSとCODは試験室にて処理し、栄養塩、アルカリ金属等のサンプルは冷蔵保存して持ち帰り直に分析を行った。

カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、ナトリウム(Na)、カリウム(K)は、サンプル水量に対して、容量比1%になる量の塩酸を添加し1昼夜以上放置後、原子吸光法で分析した。塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)、硫酸イオン(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)は、0.45μmのメンブレンフィルターで濾過し、イオンクロマトグラフィーで分析を行った。

### 4. 結果と考察

#### 4.1 通常期の基礎環境

常呂川の各一次支川のpH平均値は7.6~8.5、網走川は7.5~8.5の範囲にあり、土地利用差による特徴は見られなかった。8月の調査では、オロムシ川(pH=8.7、以下同)オシマ川(9.0)、紅葉川(9.0)、栄森川(9.2)、ボンキキン川(8.9)と環境基準値<sup>6)</sup>より高い値を示した。常呂川本流では、7月や8月にpHが8.5を超える傾向は報告されている<sup>17)</sup>。これらの一次支川は、他の河川と比較して本流同様に生態系による炭酸消費が大きいと考えられる。

電気伝導度(以下EC)は、森林比9割以上の墓地の沢川、ホロカトコロ川、ドードロマップ川、ユウ谷の沢川において、10mS/m以下であったのに対して、農地比8割以上の紅葉川とトマップ川は24.5~44.6mS/mと高かった。

表-2に懸濁態濃度(以下SS)の平均値を示した。常呂川一次支川は、オシマ川を除くと農地比4割以上の河川は20mg/l以上、森林比9割以上の河川は7.7mg/l以下と、土地利用による濃度変動が見られた。網走川一次支川では、

表-2 調査期間中のSS値(単位mg/l)

| 常呂川(河川名)   | 濃度   | 網走川(河川名) | 濃度   |
|------------|------|----------|------|
| トベンピラウシナイ川 | 22.5 | トマップ川    | 5.6  |
| チャシボコマナイ川  | 20.3 | 豊幌川      | 6.6  |
| オロムシ川      | 3.3  | 栄森川      | 6.7  |
| オシマ川       | 6.8  | シンケビホロ川  | 16.9 |
| 紅葉川        | 31.6 | チミケップ川   | 4.3  |
| 墓地の沢川      | 6.0  | ボンキキン川   | 8.8  |
| オンネアンズ川    | 7.7  | ドードロマップ川 | 2.5  |
|            |      | ユウ谷の沢*   | 3.0  |

\* 調査回数2回、他は3回

シンケピホロ川を除くと、すべて10mg/l以下であり、常呂川のような土地利用による濃度変動は見られなかった。

#### 4.2 土地利用差による通常時の栄養塩環境

亜硝酸（以下NO<sub>2</sub>-N）は低濃度で、硝酸（以下NO<sub>3</sub>-N）に対しても、総窒素（以下TN）に対しても、1%以下であった。以下の図表においては、特に断らない限りは、両成分（NO<sub>2</sub>-N+NO<sub>3</sub>-N、以下文中でNO<sub>3</sub>-Nと記載）の合算値として示す。

図-2aと2bに窒素をNO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、TN-IN（懸濁態と溶存有機態の合計濃度）の三成分別に、5月から8月までの結果を平均したものを示した（-INはNO<sub>3</sub>-NとNH<sub>4</sub>-NをTNから減ずる意）。

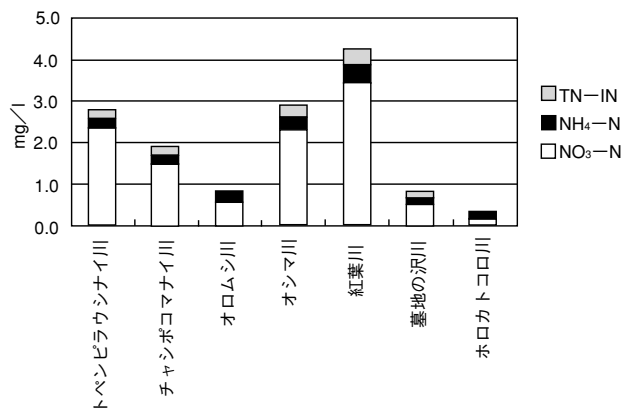


図-2a 常呂川一次支川における窒素系成分の濃度変動

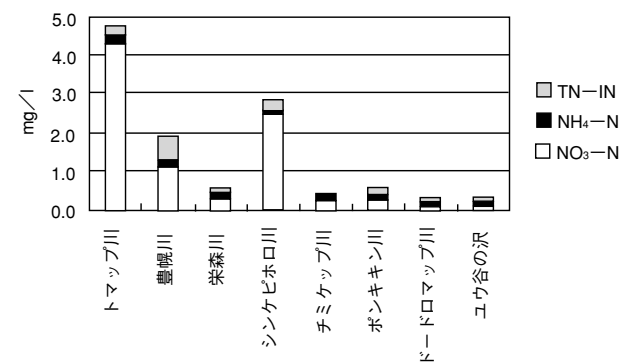


図-2b 網走川一次支川における窒素系成分の濃度変動

森林比8割以上の網走川一次支川と常呂川一次支川水中のTNは1mg/l未満である。一方、農地比4割以上の一次河川水のTNは1.9mg/l以上（濃度範囲1.9~4.7mg/l）を示し、明瞭な差があった。

各支川のTN平均値は、常呂川一次支川で森林比9割以上の河川水では0.66mg/l、農地比4割以上では2.95mg/l、網走川一次支川は、それぞれ0.42mg/l、3.18mg/lであり、網走川の方が濃度幅が広がった。

いずれの一次支川もN系成分中のNO<sub>3</sub>-Nの比率が高く、その変動がTN濃度に反映されていた。TN組成に対するNO<sub>3</sub>-Nは、調査毎の平均で常呂川一次支川50~86%、網走川一次支川36~92%であった。農用地4割以上の流域ではNO<sub>3</sub>-N濃度の比率は70%以上、NH<sub>4</sub>-Nは10%未満であった。NH<sub>4</sub>-NはNO<sub>3</sub>-Nより濃度変動も少ない事から、TN濃度には大きく影響していない。森林比9割以上の河川のNH<sub>4</sub>-N濃度比率は、10%を超え、農地比率の高い河川水との違いがあった。この傾向は常呂川、網走川の一次支川とも同様であった。

橘ら<sup>8)</sup>が千歳川の支流で行った結果では、無機態窒素の構成はNO<sub>3</sub>-Nが優占し、NO<sub>2</sub>-NやNH<sub>4</sub>-Nはほとんど存在しなかった。NO<sub>3</sub>-NやDON（溶存態有機窒素）は森林土壌由来のものが河川にもたらされたと報告している。今回は、DTN（溶存態全窒素）を調査していないのでDONを求める事は出来ないが、NO<sub>3</sub>-Nが優占するのは、同じ傾向である。

オロムシ川とオシマ川の農地割合は、8.8%と43.5%であるが面積では、3.8km<sup>2</sup>、2.6km<sup>2</sup>と大差はない。それにも関わらずオシマ川のTN濃度が、オロムシ川の3.6倍である。これは農業活動で排出されるTN負荷量が両河川流域で差がないと仮定すると、森林比の高い一次支川のTN濃度は1.0mg/lと低い傾向を示している事から、森林域由来のTN濃度の低い河川水の希釈効果が、オロムシ川の方で大きい事を表していると考えられる。これら河川の農用地からは窒素成分が森林より多く流出していることが考えられ、流域における農用地利用が高い流域の河川は、その負荷が大きい事が推測される。

森林域以外の負荷量を検討する。ホロカトコロ川の比流出負荷量（0.40kg/day/km<sup>2</sup>）を常呂川流域における森林負荷の基礎として、7河川流域が全て森林であった場合の負荷は54kg/dayとなり、1日当たり96kg/dayのTNが多く負荷されていることになる。網走川でも、ユウ谷の沢の比流出負荷量である0.25kg/day/km<sup>2</sup>を網走川流域の森林負荷の基礎として、同様の計算をすると8河川計で1日当たり75kgのTNが多く負荷されていることになる。

森林でのINの生成はおおよそ20~200kg/ha・yearと推定されている<sup>9,10)</sup>。森林域が9割以上の河川を対象に、1年間に1haから流出されるINを計算すると、常呂川一次支川は0.90~3.61kg/ha・year、網走川一次支川は、1.01~2.07kg/ha・yearとなる。平均値は、前者が2.13kg/ha・year、後者が1.50kg/ha・yearとなるが、今回の調査結果から見て、この平均値にほとんど差はない。また、この平均値からは、生成されたINの1%~10%前後が河川に流出していると考えられるが、降雨や地下水等による供給も無視できない事から、この比率はさらに低下すると思われる。この地域での森林中での無機態窒素の生成量とその成分構

成を明らかにして、供給量を求める必要がある。

図-3aと3bにリン(P)を $PO_4-P$ 、ノンリアクティブP(主に懸濁態と有機態のリンでここでは、TPと $PO_4-P$ の差以下NR-P)の二成分別に、5月から8月までの結果の平均値を示した。全リン(TP)の濃度は常呂川一次支川では流域の利用差がTN同様に反映されていた。森林比9割以上の河川のTPが、 $0.04mg/l$ 未満であったのに対して、農地比4割以上の流域面積の河川TPは $0.071mg/l$ 以上(濃度範囲 $0.071\sim 0.106mg/l$ )と明瞭な差があった。

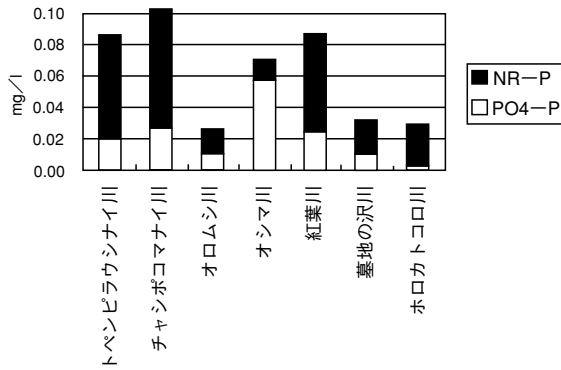


図-3a 常呂川一次支川におけるリン系成分の濃度変動

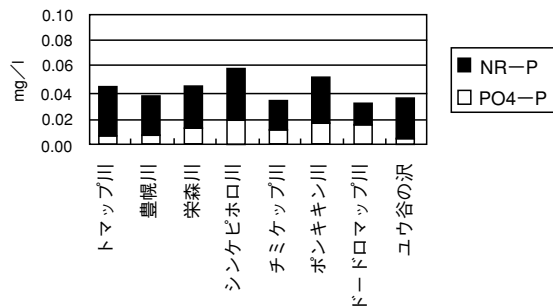


図-3b 網走川一次支川におけるリン系成分の濃度変動

一方で、網走川一次支川のTPは、ボンキン川のような高森林比河川のTPが、高農地比より高濃度な場合もあり、常呂川のような土地利用による特徴は見られなかった。

TPの構成は $PO_4-P$ が4割以下であった。NR-Pは、常呂川一次支川では、オシマ川を除くと、高農地比河川は $0.08mg/l$ 以上、高森林比河川は $0.05mg/l$ 以下と $0.03mg/l$ 程度の差があった。網走川一次河川も、NR-Pが半分以上を占めていたが、土地利用差による特徴は見られなかった。

### 4.3 土地利用差による比流出状況

TN、TPとSSで常呂川、網走川各一次支川で負荷量の変動を検討したが、前述の濃度の様な明確な差は見られな

かった。流域の面積差が流量に影響したためと考えられたので、比流出量で比較した。結果を表-3に示す。

表-3 比流出量の傾向(単位:kg/day・km<sup>2</sup>)

|    | 比流出量範囲        | 比流出量範囲 |
|----|---------------|--------|
| TN | 1.34 - 2.97   | 2.16   |
|    | 0.17 - 0.67   | 0.37   |
| TP | 0.016 - 0.087 | 0.036  |
|    | 0.004 - 0.024 | 0.013  |
| SS | 5.3 - 32.3    | 16.0   |
|    | 1.0 - 8.1     | 3.6    |

\*上段:農用地利用比が最も優占、下段:森林比が最も優占

平均値で比較するとTNは5.8、TPは2.8、SSは4.8倍、農用地比が優占的な河川で濃度が高くなる傾向が示された。

また、全15河川対して農用地比率とTN、TP、SSの各比流出量で相関を検討した図を示す(図-4)。農用地比率が増すに連れて、比流出量値が高くなる傾向が見られた。中でも、TNの相関が高く、相関係数は0.685であり、TPとSSの相関係数は0.5以下であった。この二成分は、農用地比率が80%以上になると逆にその値が低くなる傾向が見られた。TN濃度が $NO_3-N$ に影響されるので、 $NO_3-N$ の比流出量でも同様に検討した所、その相関係数は0.573とTNより若干低い値であった。

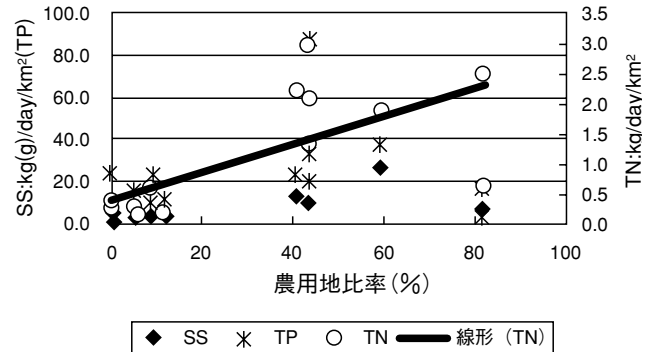


図-4 農用地比率の変動に伴う比流出量の変動

### 4.4 イオンバランスによる水質特性

Ca、Na、Mg、Na、Cl、 $SO_4$ のイオンバランスを3回の調査平均値で比較した(図-5)。これまでの結果を踏まえて、流域の土地利用のうち農用地の比率が高い(以下、高農地比)、森林比の比率が高い(以下、高森林比)、両者の比率が同等(以下、等分利用)の3種の河川毎に示した。その結果、イオンバランスのパターンは土地利用差でほぼ一致している傾向がみられた。

常呂川一次支川で“等分利用”の場合は、Ca、Na、 $SO_4$ の順に等量値が高く、Kが低かった。“高森林比”はオロムシ川を除けば、CaとNaが高く、Kが低い傾向が示され

た。“高農地比”の河川は、CaとSO<sub>4</sub>が高かった。

網走川一次支川で“等分利用”の場合は、Ca、Na、SO<sub>4</sub>の順に等量値が高く、“高森林比”の河川は榮森川を除くと、そのパターンは一致し、Ca、Naの順に等量値が高かった。“高農地比”の河川は、常呂川一次支川と同様の傾向を示した。各川河川ともKが他の5項目に比して低い等量値であった。また、農用地比が高い河川ではSO<sub>4</sub>が高い

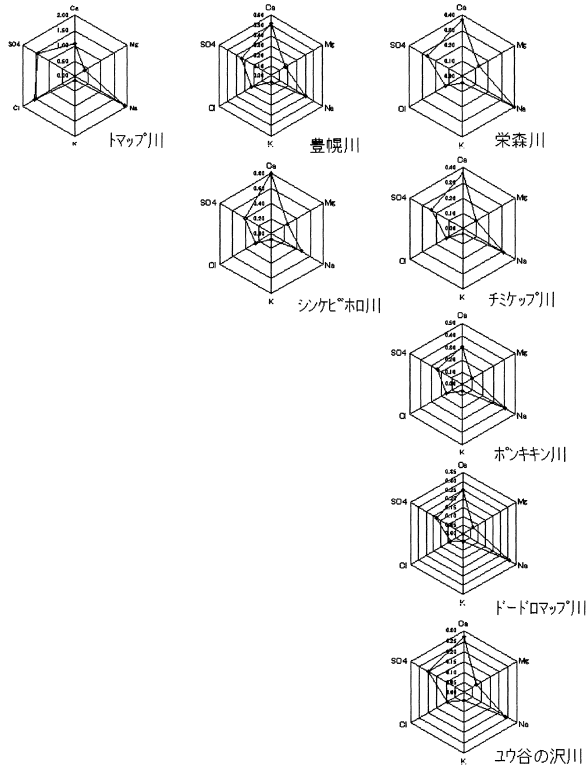


図-5a 常呂川一次支川におけるイオンバランス (左段:高農地比、中段:等分利用、右段:高森林比)

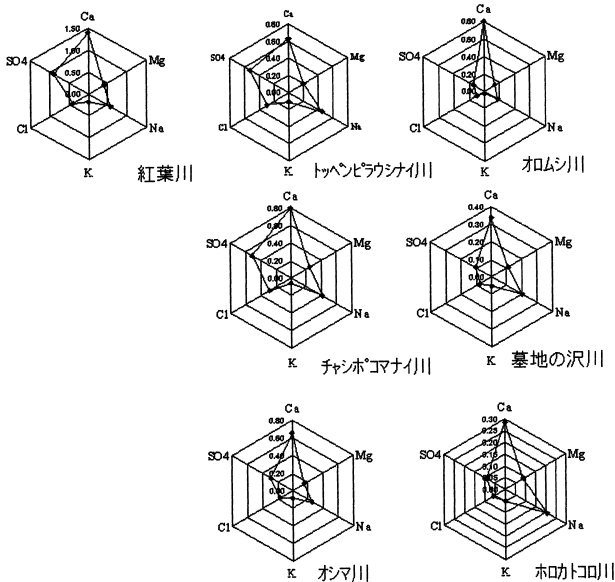


図-5b 網走川一次支川におけるイオンバランス (左段:高農地比、中段:等分利用、右段:高森林比)

傾向も示された。

小原らは<sup>11)</sup>、網走川の右岸域に位置する河川を調査したところ、主要イオン濃度は全て1meq/l以内であったと報告したが、本調査でもトマップ川を除く、右岸、左岸から流入する河川で同様であった。常呂川一次支川も、オシマ川、紅葉川以外は、1meq/l以内であった。

#### 4.5 降雨時、融雪時における水質特性と通常時との比較

10月は、降雨時として考えた。翌年3月にもトッペンピラウシナイ川、紅葉川、オンネアンズ川、ホロコトコロ川、トマップ川、豊幌川、ドードロマップ川、ユウ谷の沢川でも調査を行った。流域の積雪が融け出しているこの時期を融雪環境として、4.1と4.2で得られた結果と比較、検討を行う。表-4aと4bにSS、TN、TPについて通常時の濃度に対する降雨・融雪時の濃度の比を示す。表には降雨と融雪の両方行った河川を示す。

表-4a 常呂川一次支川の主成分の降雨・融雪と通常時の濃度比

| 河川名         | SS   |       | TN   |       | TP   |      |
|-------------|------|-------|------|-------|------|------|
|             | 降雨   | 融雪    | 降雨   | 融雪    | 降雨   | 融雪   |
| トッペンピラウシナイ川 | 3.50 | 2.66  | 1.53 | 2.38  | 1.95 | 1.60 |
| 紅葉川         | 1.27 | 10.52 | 1.13 | 4.69  | 3.02 | 6.95 |
| ホロコトコロ川     | 1.65 | 2.00  | 1.15 | 12.41 | 0.94 | 1.61 |

表-4b 網走川一次支川の主成分の降雨・融雪と通常時の濃度比

| 河川名      | SS   |      | TN   |      | TP   |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|
|          | 降雨   | 融雪   | 降雨   | 融雪   | 降雨   | 融雪   |
| トマップ川    | 1.26 | 5.75 | 0.97 | 1.88 | 0.90 | 2.73 |
| 豊幌川      | 4.75 | 6.62 | 1.75 | 3.93 | 3.34 | 4.40 |
| ドードロマップ川 | 0.84 | 0.56 | 1.59 | 2.63 | 1.07 | 0.98 |
| ユウ谷の沢    | 2.14 | 1.36 | 1.67 | 2.92 | 0.87 | 1.13 |

常呂川一次支川の降雨時と通常時の濃度比は、SSが1.65～5.5 (墓地の沢川は0.84)、TNが1.00～1.87、TPが1.69～5.31 (ホロコトコロ川は0.94) といずれも降雨時に濃度が高くなった。

土地利用により特徴が表れたのは、SSとTNであった。均等利用のトッペンピラウシナイ川、チンホコマナイ川、オロムシ川のSS比が3.5～5.5の一方、“高森林比”のホロコトコロ川とオロムシ川は1.65～2.82と低い値であった。TNはオロムシ川を除けば、“等分利用”の三河川が1.53～1.87、高森林比の二河川は1.00～1.15であった。“高農地比”の紅葉川は、いずれ項目でも他と比して特徴的な傾向は見られなかった。

常呂川一次支川では降雨時、TP濃度が3～20倍になり、そのほとんどが不溶性リンであったと伊藤は報告している<sup>12)</sup>。本調査では時期、河川を通して7倍弱にとどまっていた。

網走川一次支川の場合は、SSが1.26~13.74（チミケツ川は0.92、ドードロマップ川は0.84）、TNが1.23~3.05（トマップ川は0.97）、TPが1.07~8.12（トマップ川は0.90、ユウ谷の沢川は0.87）といずれも常呂川河川と比して、その変動範囲は大きかった。常呂川一次支川のような土地利用差による違いは見られなかった。

平時と降雨時、平時と融雪時で項目別の比流出負荷量 ( $t/day \cdot km^2$ ) を検討した結果を図-6aに示す。図では土地利用差を比較する目的で“等分利用”のトッペンピラウシナイ川、“高農地比”の紅葉川、“高森林比”のホロカトコロ川の三河川を例として示した。時期や項目を問わず通常時より著しく高い負荷比を紅葉川が示した。降雨時のTN負荷比34.5に対して $NO_3-N$ 、 $NH_4-N$ 共にそれ以下であるのに対して、 $PO_4-P$ はTP負荷比48.2より高く、PとNの各溶解成分の流出傾向に差があった。この傾向は融雪期でも同様であった。次に高い流出傾向を示したのは、トッペンピラウシナイ川であるが、紅葉川の負荷比に対して7%（降雨時TP）~44%（融雪時TN）程度であった。“等分利用”であるチャシボコマナイ川、オシマ川は、紅葉川はトッペンピラウシナイ川と同様に比率に収まっていた。また、成分の傾向は紅葉川のような傾向を示した。“高森

林比”のホロカトコロ川は通常時と同等（融雪時SS、TP）の1.0~7.1（融雪時TN）の範囲であった。“等分利用”であるオロムシ川、墓地の沢川においても同様の比率であった。

網走川も同様に、降雨時と融雪時に調査を行ったトマップ川、豊幌川、ドードロマップ川、ユウ谷の沢川の検討結果を図6bに示した。常呂川一次支川では、“高農地比”ほど、降雨、融雪時の比流出負荷量が通常より高くなる傾向が見られたが、網走川一次支川では、ほぼ“等分利用”の豊幌川が時期、項目を問わず高くなった。降雨時では“高農地比”のトマップ川の比流出負荷比が最も低かった。

ほとんどの河川のほとんどの項目で、融雪時の方が降雨時の濃度上昇より更に高い傾向があった。しかし、比流量は、濃度比による差と比較して小さく、ほぼ似たような比を示す河川や項目もあり、降雨時との流出機構の違いを反映していると考えられた。今回、降雨、融雪時の調査が1回のみであるので、さらに、この様な時期の調査の蓄積により濃度と流量の関係を明らかにする必要がある。

また、流域が森林地帯である溪流河川の水質を詳細に調査し、10mm以上の降雨時に、 $NO_3-N$ 濃度は増加、 $SiO_2$ とCl濃度は減少したとの報告<sup>13,14)</sup>がある。今回、森林比が8割上の河川と比較すると、網走川一次支川の5河川はすべて同様の傾向が示されたが、常呂川一次支川では、項目、河川によっては逆の傾向を示した河川もあった。

## 5. まとめ

伊藤<sup>12)</sup>は常呂川において、降雨時に増加する水質のTN、TPは、農業土壌由来であり、これらが通常時に河川底質の一部を形成する事を報告した。しかし、降雨強度とその流出機構の関係は明らかにされていない。両河川とも、流域に農用地や畜産地を抱える事から、このような機構等を明らかにし流域の利用の在り方の基礎資料を得るためにさらに調査研究が必要となる。

釧路管内では、林野流域（本調査の森林が優占する流域と同様と考えられる）は有機体-Nが高く、酪農流域では無機態-Nの割合が高く、その中でも $NO_3-N$ が支配的であると報告されている<sup>15)</sup>。本調査の分類における畑地には牧草、草地も含まれている<sup>5)</sup>ことから、同じ畑地でも流域により酪農からの由来による $NO_3-N$ であった事も考えられ、今後さらに詳細な分類と調査も必要である。

本調査研究の基礎となったエコ・リバー調査は、河川流域における森林機能の役割を見出すことが目的であったが、通常時、降雨時、融雪時とも、ほぼ森林比率が高い流域のTN濃度、TP濃度、SSが低い傾向が見られ、農用地等の人為的活動による河川流域の利用法が変化することで、これらの成分が流出しやすい事が明らかになった。

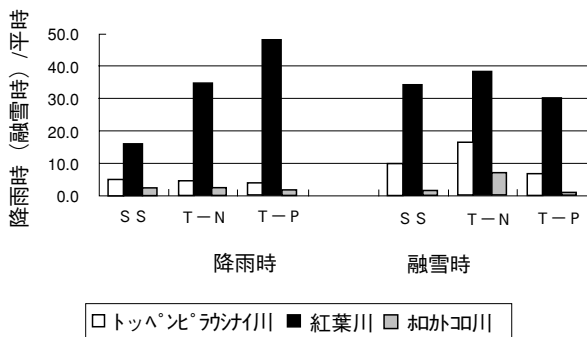


図-6a 常呂川一次支川の比流出負荷値による降雨・融雪と通常時の比

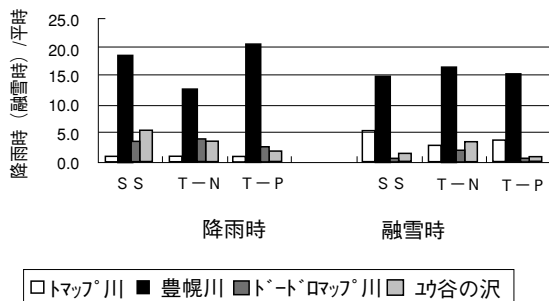


図-6b 網走川一次支川の比流出負荷値による降雨・融雪と通常時の比

## 謝 辞

現地調査に際しましては、網走支庁環境生活課環境保全係の皆様のご協力を得ました。現地での試料処理に関しましては、網走市下水処理場、北見市下水処理場の方々に多大なるご配慮を頂きました。以上、記して感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) 石川靖、斉藤修、三上英敏、今泉晴夫 (2002) 常呂川・網走川の河川水質汚染の特性 その1 - 全域調査結果、北海道環境研所報、28、63-79.
- 2) 石川靖 斉藤修 三上英敏 今泉晴夫 (2003) 常呂川・網走川の河川水質汚染の特性 その2 - 区域毎の流入負荷の特徴 -、北海道環境研所報、29.73-84.
- 3) 高山茂美 (1974) 河川地形、共立出版
- 4) 北海道河川一覽 河川番号編 (1995) (社) 北海道河川協会. 115-133.
- 5) 国土情報シリーズ8 国土数値情報 (改訂版) (1992) 国土庁計画・調整局、建設省国土地理院編、1-202.
- 6) 水質汚濁に係る環境基準 (環境庁告示) .
- 7) 平成11年度 常呂川水系環境保全協議会 常呂川水系水質調査報告書 (2000) 北見工業大学地域共同研究センター編、1-111.
- 8) 橋治国、山田俊郎 (2000) 森林河川の栄養塩流出負荷特性とその下流域生態系への影響、地球環境研究 47,9-22.
- 9) Ellenberg,V.H.(1977)Stickstoff als standortsfaktor, insbesondere fur mitteleuropaische pflanzen-gesellschaften, Ecol.Plant., 12(1):1-22.
- 10) 堤利夫(1987)The nitrogen cycling in a forest, Mem. Coll.Agr.Kyoto Univ., No.130:1-16.
- 11) 小原常弘、菅和哉(1989)網走川右岸流域における中小河川の流出特性と水質、道立地下資源調査書報告、61、109-137.
- 12) 水質基準としての窒素・リンとは何か - 畑地流出による負荷に着目して - (2002) 伊藤純一、ぶんせき、10、560-561.
- 13) 渓流水質から見た森林の浄化機能に関する研究 (第1報) 筑波山試験流域の概要と植生調査 (1986) 村岡浩爾、平田健正、国立公害研究所研究報告、95、21-35.
- 14) 渓流水質から見た森林の浄化機能に関する研究 (第2報) 水文流出と水質調査 (1986) 平田健正、村岡浩爾、国立公害研究所研究報告、95、37-55.
- 15) 大規模酪農地域における河川水質環境(1998)長澤徹明、

積雪寒冷地の水文・水資源 (水文・水資源学会編集委員会編) ,信山社サイテック社、299-310.

The fluctuation of the first river water quality with land use difference of Tokoro River and Abashiri River watershed.

Yasushi Ishikawa, Osamu Saitoh, Masami Kaneko, Masayuki Kobayashi and Yasuyuki Kiuchi

## Abstract

For the first river which flowed into Tokoro River and Abashiri River, the utilization classification was clarified by Geographic Information System (GIS) in respect of the land usage pattern. From the condition of river with the high proportion and the river in which both utilization is almost equal of farm land ratio and river in which the proportion of the forest ratio is high in the utilization of each river basin, by choosing 8 rivers from Tokoro River from 7 rivers and Abashiri River, the water quality survey was carried out for fair weather (generally time), rainfall time, in the snowmelt. As the result, there was a difference by place compared at the concentration and land use difference. The river of which the forest ratio was together high showed the value in which the farm land utilization is lower than the high river on the TN,TP concentration. The TN concentration was also proven on influencing in the  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration fluctuation. It regarded even in equivalent differences such as the alkali metal this land use difference. In the Tokoro River first river, anyway also showed that the concentration rose in the rainfall time, when the concentration in the ordinary time for rainfall time was examined at the ratio of the concentration. Abashiri River showed the tendency of which the fluctuation was bigger than the value of Tokoro River. However, in the ratio in rainfall time and snowmelt for ordinary time, there was no difference from ratio of concentration at ratio runoff rate.

# 湿原植生分類のためのリモートセンシング手法の研究

## ——北海道釧路湿原の場合——

布和教斯尔 金子 正美\* 高田 雅之 土屋 清\*\* 福間 博史\*\*\*

### 要 約

本研究では北海道釧路湿原を事例として、ランドサットETM+衛星データから湿原植生地域における正規化植生指数 (NDVI)、正規化土壌指数 (NDSI) 及び正規化水指数 (NDWI) を計算し、900m<sup>2</sup>内の水—土壌—植生のミックスピクセル (mixed pixel) 現象を考慮することにより、再現性のある湿原植生の分類を行うことができた。また、4種類の間解像度衛星のマルチセンサを用いて、植生判別の精度を比較検討し、湿原植生の分類には15~30mの分解能が必要であることがわかった。

**Key words:** 湿原植生分類、ETM+、NDVI、NDSI、NDWI

### 1 はじめに

ランドサットなどの中間分解能センサをもった衛星データを利用し、マルチバンド反射率データの組み合わせや、バンドの比率計算によって、広域スケールでの土地の植生被覆の状況や植生分類が可能である。

湿原地域は植生、土壌、水域が混在し、植生も草本と木本とがモザイク状に入り混じって分布している。したがってこれまで行われたように、緑色植物の太陽光に対する反射と吸収を利用した植生指数 (NDVI) だけを用いた植生分類 (Rouse, J.W. 1973, Tsuchiya, K., 2000) では、湿原地域を扱うには不十分であり、植生に加えて、土壌と水域の太陽光に対する反射と吸収も考えるべきである。

まず植生に関して、良好に生育している植物に当たった太陽光はクロロフィルにより可視域赤色光 (特に0.63~0.68 μm) で吸収され、近赤外光域 (特に0.74~1.16 μm) で強く反射されることから、この性質を利用することにより、マルチスペクトルセンサによる観測データから、植生に関する様々な情報の効果的な抽出が可能である。ランドサットに搭載された4バンドのマルチスペクトルセンサMSSによる取得画像データの利用が可能になった際に、Rouse (1973)、Rouse et al. (1974) はMSSのデータから植生に関する情報を抽出するために正規化植生指数NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (式 (1)) を導いた。

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad (\text{ランドサットTMの場合}) : NDVI_{TM} = (Band_4 - Band_3) / (Band_4 + Band_3) \quad (1)$$

ここで、NIRは近赤外スペクトル測定値で、VISは可視域スペクトル測定値である。計算に当たっては、MSSの赤色光域としてバンド5 (0.6~0.7 μm)、近赤外光域としてはバンド6 (0.7~0.8 μm)、またはバンド7 (0.8~1.1 μm) が使われた。

次に水域に関して、McFeeters (1996) とGao (1996) は開放水面を検出するために、ランドサットTMのバンド3とバンド5を使用した正規化水指数NDWI (Normalized Difference Water Index) を提案した (式 (2))。

$$NDWI_{TM} = (Band_3 - Band_5) / (Band_3 + Band_5) \quad (2)$$

また土壌に関して、植生と水域の変化は、空間スケール的には比較的狭い範囲で認められる特徴があるのに対して、土壌はより大きい範囲で変化する特徴をもっている (Gausman et al. 1975; Stoner and Baumgardner, 1981)。Faraklioti, M et al (2001) とRogers et al (2001) は沿岸域を対象とした研究において、各ピクセルで複数の様相が混じり合っているミックスピクセル (mixed pixel) 現象を考慮して、ランドサットTM短波赤外線バンド5 (1.55-1.75mm) と近赤外線バンド4 (0.75-0.90mm) を使って正規化土壌指数NDSI (Normalized Difference Soil Index) を計算した (式 (3))。

$$NDSI_{TM} = (Band_5 - Band_4) / (Band_5 + Band_4) \quad (3)$$

\* 酪農学園大学

\*\* (財) 広島地球環境情報センター

\*\*\* 日本データサービス株式会社

本研究の主な目的は、現地調査及び航空写真（またはIKONOSなどの高解像度衛星）から判別した実際の植生群落、ランドサットのような中間解像度の衛星データを使ってどの程度の精度で判別できるかを評価することである。そのため、本研究では、植生、土壌、水域が混在する釧路湿原で、NDVI、NDSI、NDWIを計算し、これらの相関関係について検討するとともに、ミックスピクセルを考慮して、これら3つの指数を合成することにより、湿原植生の分類図を作成することを試みた。

また、4種類の間解像度衛星のマルチセンサを用いて、植生判別の精度を比較検討した。

中間解像度衛星は、撮影頻度及び費用などの点から、植生の季節変動など時間スケールの研究に適したデータソースである (Tsuchiya, K., 2000, Buheasier et al 2001)。また、空間的にも広域をカバーする点で、今後その有用性が期待されている。

## 2 手法

### (1) 研究地域

研究地域として、湿原草本植生、ハンノキ林、牧草地、森林、水域が混在する北海道釧路湿原の堤防に沿った地域を選んだ (図 (a) ~ (c))。

### (2) 現地植生の把握

実際の植生と衛星データによる判読結果を比較するため、航空写真 (2000年7月7日撮影) に基づいて作成された、釧路湿原詳細植生図 (福間、未発表) 環境省の釧路湿原詳細植生調査における本地域の植生図 (金子 (2002), 未発表) と、堤防に沿って設定した6カ所の調査区 (K1~K6) における現地調査により、現地植生の確認を行った (図1 (c))。

各調査区の位置はGPS (Global Positioning System, POKE-NAVI (map21EX) with a resolution of 10m) を用いて確定した。

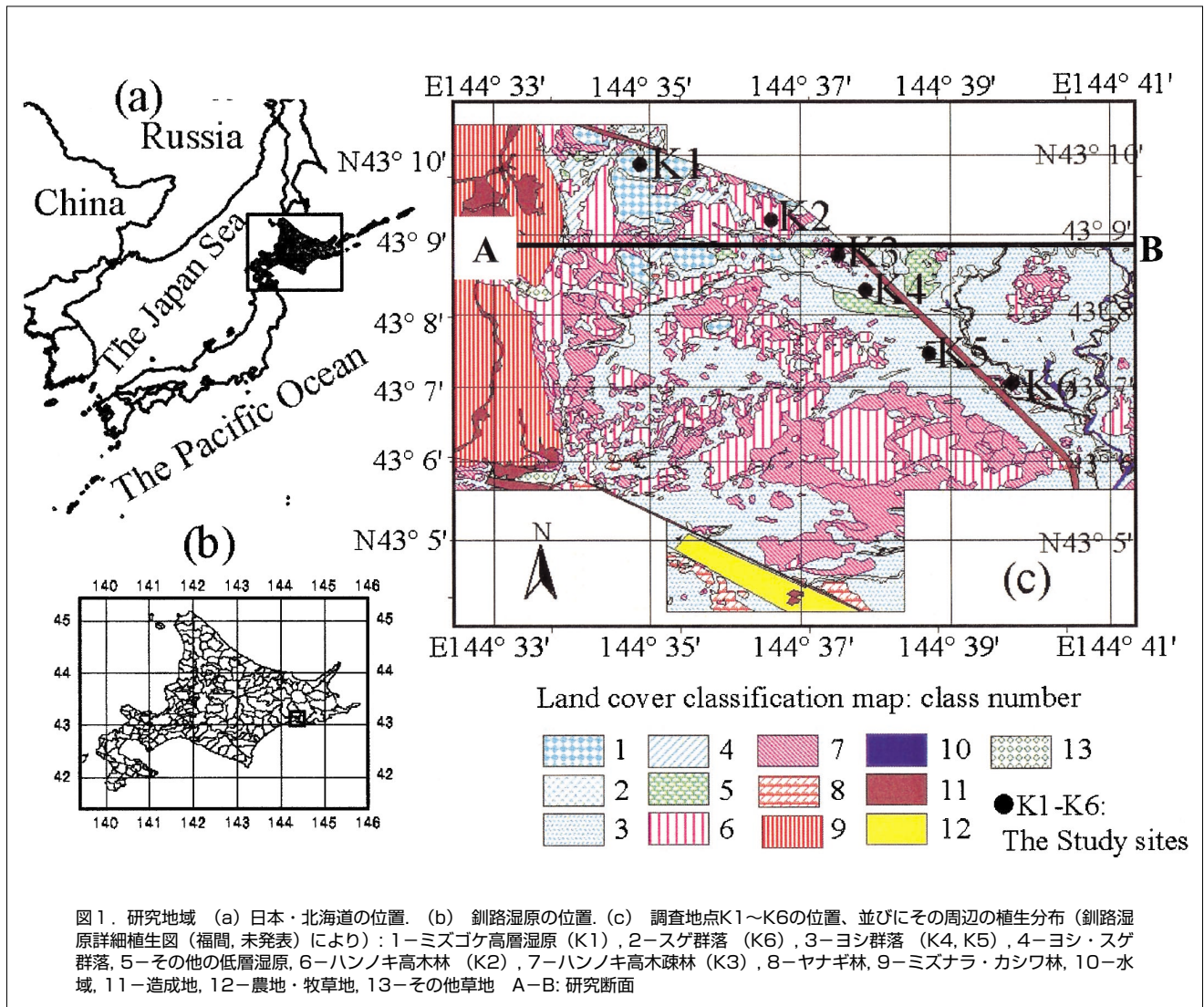


図1. 研究地域 (a) 日本・北海道の位置. (b) 釧路湿原の位置. (c) 調査地点K1~K6の位置、並びにその周辺の植生分布 (釧路湿原詳細植生図 (福間、未発表) により): 1-ミズゴケ高層湿原 (K1), 2-スゲ群落 (K6), 3-ヨシ群落 (K4, K5), 4-ヨシ・スゲ群落, 5-その他の低層湿原, 6-ハンノキ高木林 (K2), 7-ハンノキ高木疎林 (K3), 8-ヤナギ林, 9-ミズナラ・カシワ林, 10-水域, 11-造成地, 12-農地・牧草地, 13-その他草地 A-B: 研究断面



(3) 衛星データによる湿原植生分布図の作成

前述したように、緑色植物はクロロフィルによって可視光線赤光域をよく吸収し、近赤外線光域 (foliarの反射域) をよく反射する。また、土壌は可視光線 (Visible) と短波長赤外線光域 (液体吸収域) で強く反射し、水域はほとんど植生と逆で、吸収域では土壌とも逆の光学的特徴 (spectral characteristic) を示す。

ETM+センサマルチバンドのピクセルサイズは30m×30mの正方形であり、釧路湿原の場合、1ピクセルの範囲 (900m<sup>2</sup>) 内に木本と草本植生、あるいは木本と草本植生と水域が混在している。従って各ピクセルは、植生や水域といった単一の様相のみを反映するのではなく、複数の様相が混じり合った結果を反映している。これをミックスピクセルという。

植生、土壌、水域の反射率をそれぞれR<sub>v</sub>、R<sub>s</sub>、R<sub>w</sub>、ミックスピクセルの反射率をR<sub>mix</sub> (reflectance of mixed pixel) とすると、ETM+の1ピクセルに対して、  
 $R_v (\%) + R_s (\%) + R_w (\%) = R_{mix} (\%) = 1$   
 $R_{mix} (\%) \geq R_s (\%) \geq 0; R_{mix} (\%) \geq R_v (\%) \geq 0; R_{mix} (\%) \geq R_w (\%) \geq 0$   
 となる。

これらの関係を踏まえて、ランドサットETM+データを用いて、式 (1) ~ (3) によりNDVI、NDSI、NDWIを計算した。また、各指数に対し、それぞれ赤 (R)、緑 (G)、青 (B) にカラー設定し、湿原植生分布図を作成した。

(4) 中間解像度衛星データによる植生判別の比較

研究地域及びK1~K6の調査区を対象として、解像度がそれぞれ1km、250m、30m、15mである4つの中間解像度衛星、NOAA/AVHRR、MODIS、ランドサットETM+、ASTERの各データを用いて、植生判別を試みるとともに、調査区における判別精度の比較検討を行った。

なお、本研究では、ランドサットTM衛星データとして2001年9月26日に撮影したETM+センサの赤 (RED) (波長: 0.63-0.69mm)、近赤外 (NIR) (波長: 0.75-0.90mm)、短波長赤外 (SWIR) (波長: 1.55-1.75mm) の各データを、ASTERデータとして同じ2001年9月26日にTerra衛星が撮影したASTERセンサVNIRの緑 (Green) (波長: 0.52-0.60mm)、赤 (RED) (波長: 0.63-0.69mm)、近赤外 (NIR) (波長: 0.76-0.86mm) を使用し、MODISはASTERと同じ2001年9月26日にTerra衛星の撮影した250mのバンド1 (赤光域) とバンド2 (近赤外光域) を、NOAA/AVHRRデータは2001年9月20日~30日の平均NDVIを使用した。

3 結果及び考察

(1) 調査区における植生

研究地域内の主な湿原植物相はヨシ・スゲ群落、ミズゴケ高層湿原、ハンノキ高木林、並びにヤナギ林などである。調査区における植生は、K1はミズゴケ高層湿原、K2はハンノキ高木林、K3はハンノキ高木疎林、K4とK5はヨシ群落、そしてK6はスゲ群落であった。

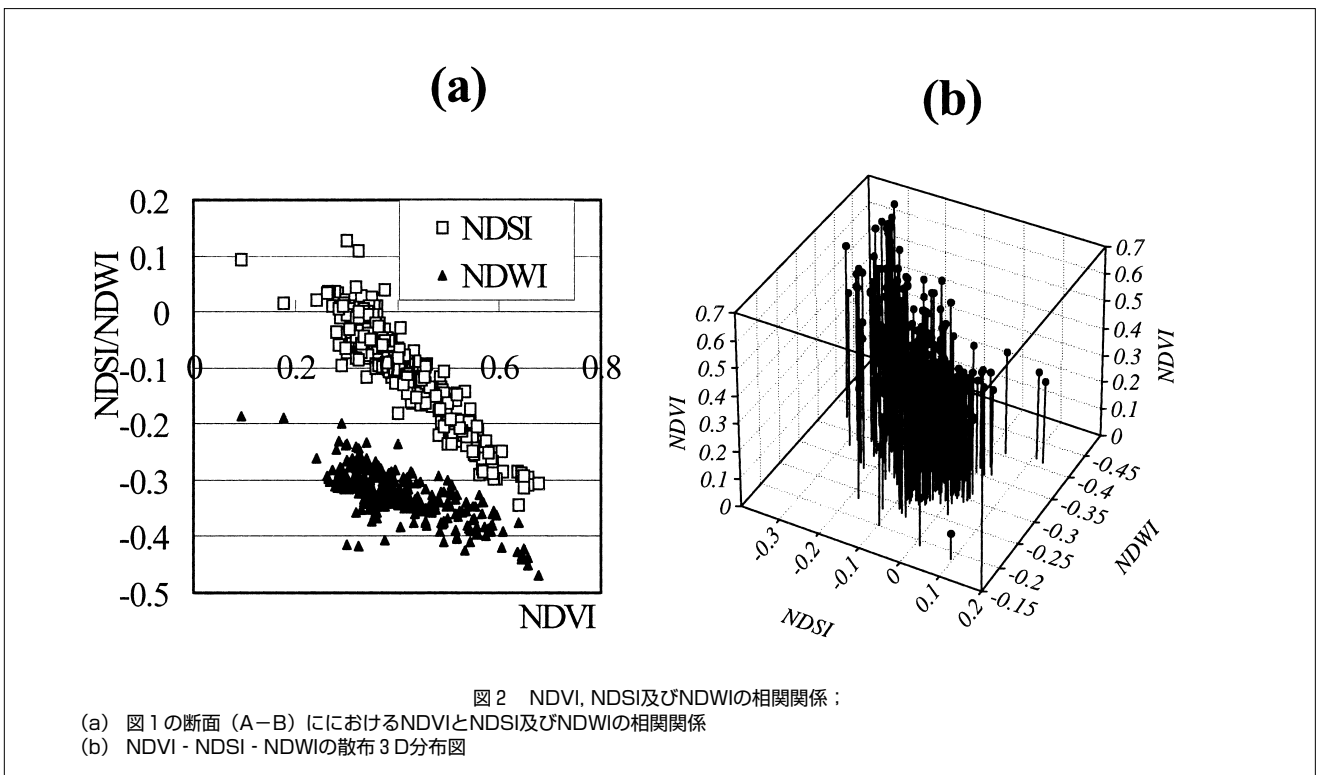
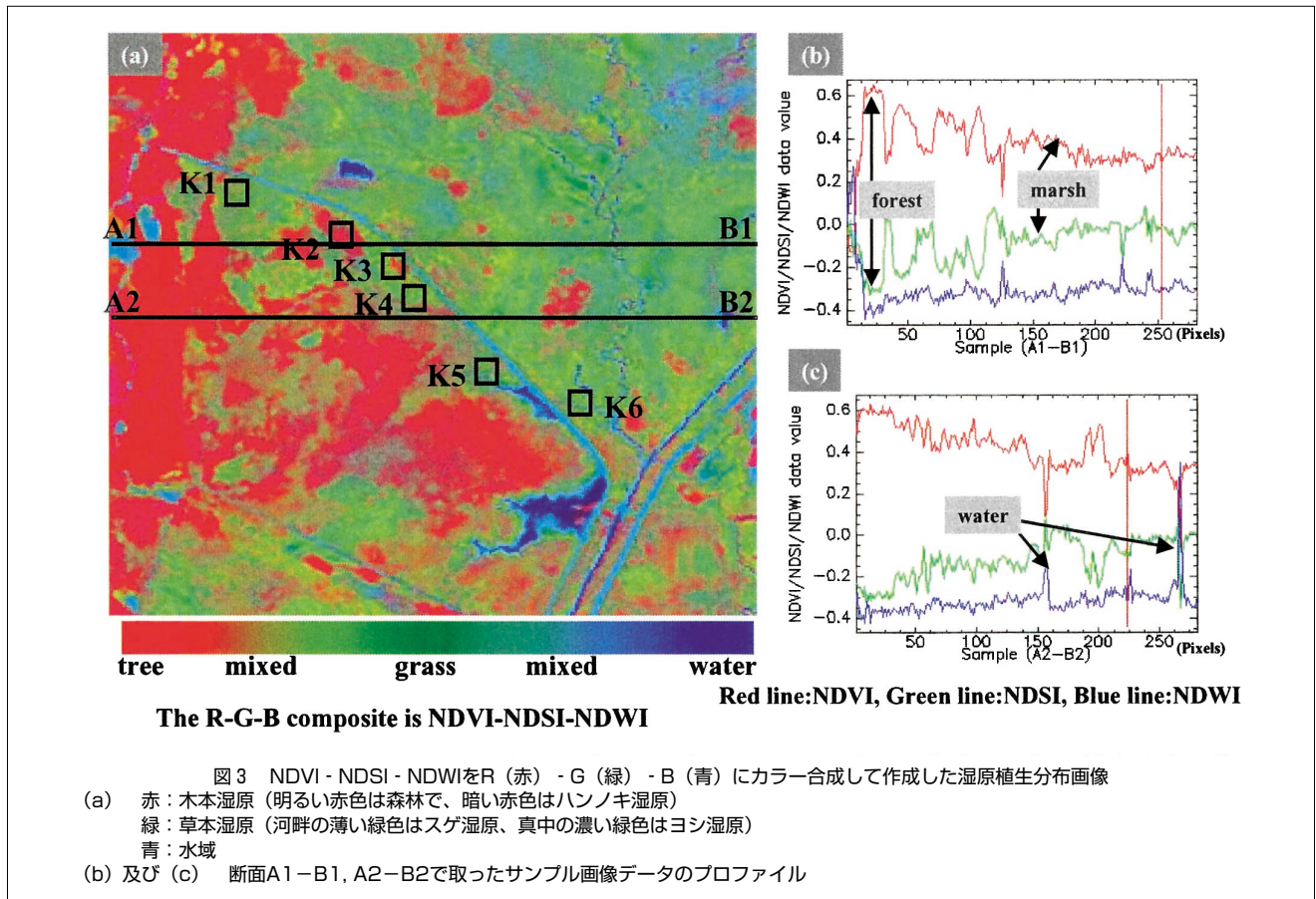


図2 NDVI, NDSI及びNDWIの相関関係:  
 (a) 図1の断面 (A-B) におけるNDVIとNDSI及びNDWIの相関関係  
 (b) NDVI - NDSI - NDWIの散布3D分布図



(2) NDVI, NDSI, NDWIの相関関係

研究地域の植生を代表するラインとして、図1に示した断面A-B (緯度N43.90付近) を設定した。このラインに沿って取ったサンプルデータを利用し、式(1)~(3)によって計算したNDVIとNDSI、NDWIとの相関関係を図2に示した。

NDVIはNDSI及びNDWIとそれぞれマイナスの相関係数を持っており ( $r_{NDVI-NDSI} = -0.93$ ,  $r_{NDVI-NDWI} = -0.738$ )、NDVI値 (縦軸 (Z軸) の高さ) はNDSI値 (X軸) 並びにNDWI値 (Y軸) の増加に伴い、徐々に低くなっていることが分かる。

また、NDVI値が集中している0.3~0.6分布域は、それぞれNDSI値0~-0.3、NDWI値-0.3~-0.4分布域に相当している。植生図では、断面A-Bに沿って大部分でハンノキ林や草本植生が分布し、水域や土壌の分布は少なくなっており、相関分析の結果を裏付けていた。

このように、植生が集中して分布しているところでは、水と土壌の分布密度が低く、開放水面域や、路面・堤防など土壌が露出しているところでは、植生の分布密度が低いという実態を裏付ける結果となった。

これらの指数を計算するには、衛星の赤バンドR、近赤外バンド (NIR)、短波長赤外バンド (SWIR) が必要であり、ほとんどの衛星はVNIRバンドとSWIRバンドを持っていることから、これらの指数を利用して植生を表すこと

ができる。なお、植生指数は比率計算によってもとめるため、センサシステムのノイズ等の影響や、大気中の水蒸気やエアロゾルなどによる影響を除くことができるものである。

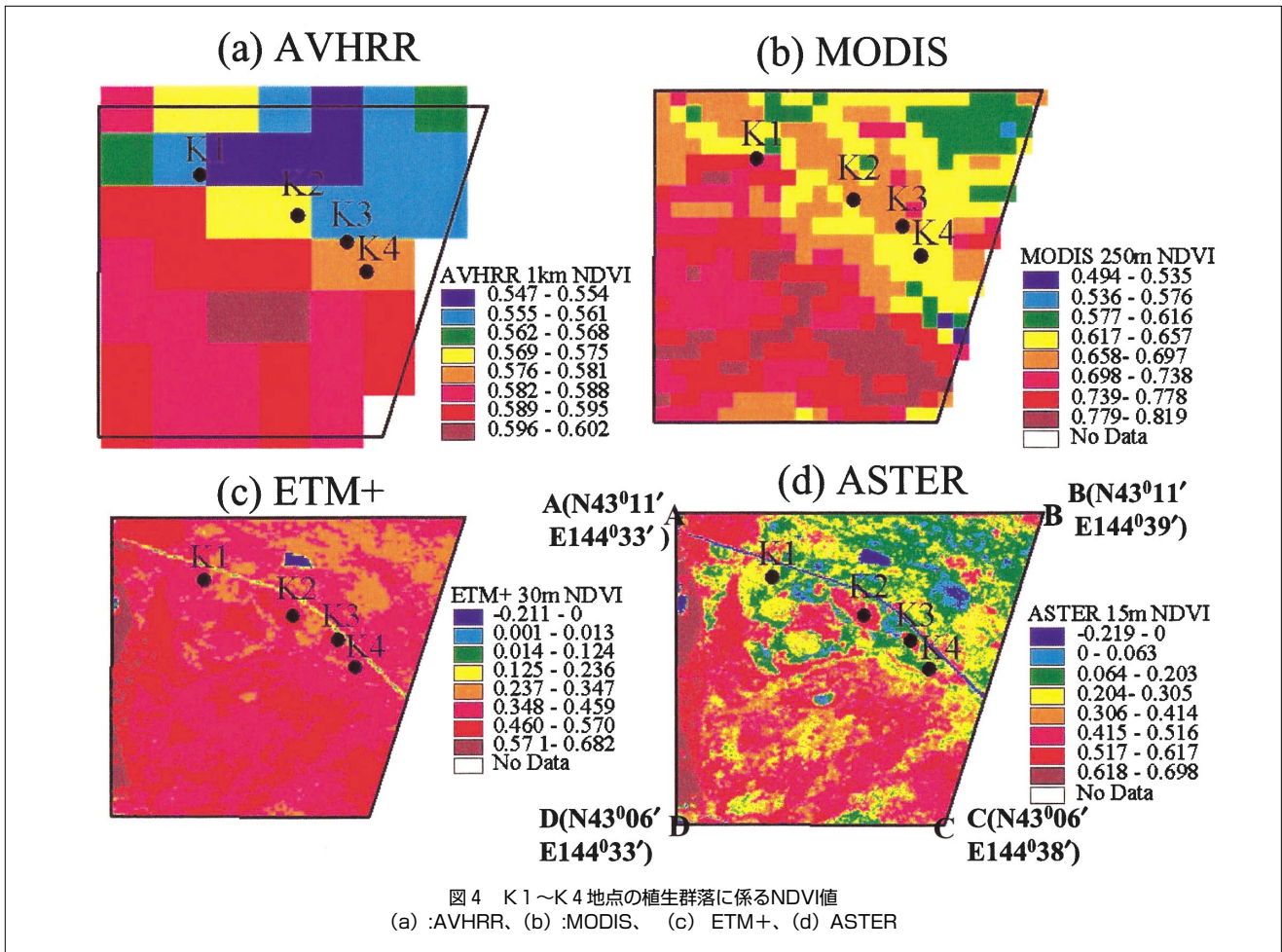
(3) カラー合成による湿原植生分布図の作成

次に、NDVI、NDSI、NDWIの値にそれぞれ赤、緑、青を設定してカラー合成による湿原植生分布図を作成した (図3 (a))。

その結果、カラー合成した画像色が、赤から緑に変わるのに伴い、湿原植生は木本から草本に徐々に変わっていく様子が再現できた。中間的な色は、木本と草本のミックスピクセルの色で、ハンノキ林に当たる。同様に、緑色から青色への変化に伴い、湿原植生も草本から水域に変わっていく。中間の色は草本湿原と水域のミックスピクセルで、主としてスゲ群落に当たることが植生図との照合で分かった。

このように、ランドサットETM+データを使って、ミックスピクセルの考え方でNDVI、NDSI、NDWI値をカラー合成することにより、複合的な植生を区分して図化することができた。

具体的には、赤色が森林 (或いは植生指数の高い値に相当する植生)、赤色から緑色に徐々に変わる混合色が森林から草本植生に徐々に変化している植生 (例えばハンノキ



林や他の灌木群落)、緑色が草本湿原植生(ヨシ群落)、緑色から青色に徐々に変化する混合色が草本植生から水性植生に変化している植生(スゲ群落及びミズゴケ群落)、青色が水域に当たる。

図3(b)(c)に、図3(a)に示した断面A1-B1及び断面A2-B2で取ったNDVI、NDSI、NDWIのサンプルデータのプロファイルを示した。その結果、森林の分布がNDVI値(赤線)の“山”の部分と一致し、湿原植生の分布がNDVI、NDSI、NDWI各値の平均値の部分と一致し、さらに、水域(河川)の分布がNDWI値(青線)の“山”の部分(NDVI値の“谷”)と一致する結果となり、サンプル内に河川と堤防が含まれていることも示された。この結果より、ミックスピクセルを構成する各指数の再現性を確認することができた。

(4) 中間解像度衛星データによる植生判別の比較

4つの衛星データを用いて、研究地域及び各調査区の正規化植生指数(NDVI)を計算した結果を、図4及び表1に示した。ただし、調査区のうちK5及びK6の2地点については、ASTERデータがないため計算から除いた。

各センサについて、調査区K1~K4の4つの植生を対象にした植生判別結果を比較すると、衛星データの空間解像

度が高い(細かい)ほど、ハンノキなどの木本植生と、ミズゴケやヨシといった草本植生のNDVIの差が大きかった。また、木本植生が草本植生より高い値を示す傾向が見られ、空間解像度が高いほど顕著であった。

さらに、ETM+やASTERのような空間解像度が30mや15mの衛星では、NDVI値によって湿原内の土地被覆を木本、草本、水域、堤防まで分類することが可能であることがわかった(図4(c)(d))。これは、群落ごとのNDVI値の差が大ききことによるものであり、今後、より細分化した群落レベルの植生分類に利用できる可能性を示唆して

表1 調査地点K1~K4の植生群落で空間解像度がそれぞれ1km(AVHRR)、250m(MODIS)、30m(ETM+)、15m(ASTER)の衛星データを用いてNDVIを計算した結果

| 調査地点         | AVHRR (1 km) | MODIS (250m) | ETM+ (30m) | ASTER (15m) |
|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| K1: ミズゴケ高層湿原 | 0.555        | 0.698        | 0.38       | 0.25        |
| K2: ハンノキ高木林  | 0.575        | 0.689        | 0.53       | 0.50        |
| K3: ハンノキ高木疎林 | 0.580        | 0.697        | 0.50       | 0.45        |
| K4: ヨシ群落     | 0.576        | 0.617        | 0.41       | 0.35        |

いるものと考える。

これに対して、解像度の粗い衛星データを使用した場合、植生タイプ間のNDVIの差が小さいため、例えば現地調査のデータがないなど、実際の植生に関する情報が不足している場合は、NDVIだけで植生群落レベルに分類することは難しいと思われる。

## 引用文献

- 1) Bannari, A., D. Moring, and D. C. He, A Review of Vegetation Indices. *Remote Sensing Review*, 13, 95-120, 1995.
- 2) Buheaosier, Ma Jianwen, Han X., Ma C, Study on Remote Sensing Model for Fragile Zones of Land Ecosystem, *China Journal Of Remote Sensing*, Vol. 06, No. 03, May, 2002
- 3) Faraklioti, M and M Petrou, Illumination invariant unmixing of sets of mixed pixels, *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 39:2227-2234,2001
- 4) Gao, B. C., NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space, *Remote Sensing Environ.*58: 257-266, 1996.
- 5) Gausman, H.W., W.A. Allen, V.I. Myers and R. Cardenas, Reflectance and internal structure of cotton leaves, *Gosypium hirsutum L. Agron. J.* 61:374-376. 1969.
- 6) Gausman, H.W. et al., Reflectance differences between crop residues and bare soils. *Soil Science Society Of American Proceeding*, 39: 752-755. 1975.
- 7) McFeeters, S. K., The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *Int. J. Remote Sensing*, 17:1425 - 1432, 1996.
- 8) Rogers, William E. and David C. Hartnett, "Vegetation responses to different spatial patterns of soil disturbance in burned and unburned tallgrass prairie," *Plant Ecology*, 155: 99-109. 2001.
- 9) Rogers, William E. and David C. Hartnett, "Temporal vegetation dynamics and recolonization mechanisms on different-sized soil disturbances in tallgrass prairie," *American Journal of Botany*, 88: 1634-1642. 2001.
- 10) Rouse, J.W., Monitoring the Vernal Advancement and Retro gradation of Natural Vegetation, NASA/GSFC TYPE II Report, BASA/GSF1973.
- 11) Rouse, J.W., R.W. Harrs, J.A. Schell, D.W. Deering, and J.C. Harlan, Monitoring the Vernal Advancement and Retro gradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation, NASA/GSFC Type III Report, NASA/GSF1974.
- 12) Shunlin, L. and A.H. Strahler (Editor), Proc. of Land Surface Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF); Recent Advancement and Future Prospect, *Remote Sensing Review*, 18, 83-551, Harwood Academic Publisher, Newark, NJ, USA, 2000.
- 13) Stoner, E.R., and Baumgardner, M.F., Characteristic variations in reflectance of surface soils, *Soil Sci. Am. J.* 45: 1161-1165, 1981.
- 14) Tsuchiya, K., Vegetation Indices Derived from Remotely Sensed Data from Satellites, *J. Arid Land Studies*, 10, 2, 137-145, 2000.
- 15) Verstraete, M.M. and B. Pinty (Editor), Proc. the Second Int. Workshop on Multiangular Measurements and Models (IWMMM-2), *Remote Sensing Review*, 19, 1-305, Harwood Academic Publisher, Newark, NJ, USA, 2000.

## THE CLASSIFICATION OF VEGETATION OF WETLAND BASED ON REMOTE SENSING METHODS, OVER KUSHIRO WETLAND HOKKAIDO JAPAN

BUHEAOSIER, M. KANEKO, M. TAKADA,  
K. TSUCHIYA

### Abstract

We proposed the method of the wetland vegetation classification using the Landsat ETM+ multi-band data. A land cover classification map of wetland vegetation in Kushiro mire, Hokkaido, Japan was produced from the calculated results of NDVI, NDSI and NDWI based on the data from Landsat ETM+. By the composition of NDVI, NDSI and NDWI value with different proportion in each pixel, the area can be distinctively separated into forest, grassland and water body, which exactly match the results of the land cover types from the field research.

Comparison of results from distinction of the vegetation types using 4 middle-resolution satellites data (NOAA/AVHRR, MODIS, LandsatETM+, ASTER) indicated that resolution of 15-30m was required for classification of wetland vegetation.

Key words: The classification of vegetation of wetland,

# モンスーンアジアを旅する鳥たちの跡—コウノトリの衛星追跡

布和敖斯尔 樋口 広芳\* 梅木 賢俊 金子 正美\*\* 田村 正行\*\*\*

## 要 約

アルゴスシステムは人工衛星を用いた生態や環境情報を収集するシステムである。1998, 1999, 2000年の三年にわたって、我々は7個体のコウノトリにアルゴスシステムの発信機 (PTT-100) を付けて、環境情報収集とデータ解析を行い、コウノトリのロケーション情報、渡りロード、生息環境、移動範囲を明らかにした。コウノトリの越冬地から繁殖地に移動 (北上) する期間は繁殖地から越冬地に戻る (南下する) 期間より一ヶ月ぐらい長い。Green movingの“山”がいつもコウノトリの移動方向の前に表れる。即ちGreen movingが始まり、NDVIの波動が始まってからコウノトリの移動が始まることが分かった。また、コウノトリは湿原、水域を中心に周辺の水田や畑、牧草地なども利用していた。

**Key words:** コウノトリ、Argos System、ポーヤン湖、三江平原、モンスーンアジア

## 1 はじめに

地球温暖化が自然環境の長期変動メカニズムの重要な原因となっている (IGBP, 2001)。東アジア地域においては、温暖化によって、夏のモンスーンの力 (大陸地表面温度と太平洋海水温の差) が弱くなり、モンスーンによって内陸に運ばれる降雨量が年々減少して、内陸の湿原の乾燥が進んでいる。さらに東アジアの湿原は、人間の農耕活動によって、湿原周辺が農地 (水田) に代わり湿原面積が著しく減少している (J. Liu, Buheaosier, 2000)。湿原の変動に伴い、湿原に生息している渡り性水鳥の索餌戦略にも大きな変動が見られている。例えば、中国黒龍江省三江平原に繁殖しているマナヅルの場合、昼間は湿原内より湿原周辺の水田をよく利用している (布和敖斯尔、樋口他, 2001)。

モンスーンアジアに渡っている水鳥の越冬地と繁殖地を結び付ける渡りロードは大きく言えば二つである。一つは、南北ロードで、もう一つは東西ロードである。例えば、マナヅルの渡りロードは東西ロードで、本研究で衛星追跡によって明らかにしたコウノトリの渡りロードは南北ロードである。

本研究では、モンスーンアジアの渡り性水鳥であるコウノトリの渡り経路と生息地における行動を明らかにするため、人工衛星によるアルゴス (Argos) システムを用いて、個体の行動追跡を行った。また、渡り性水鳥の生息に対す

る人間活動の影響を評価するため、NOAA/AVHRR NDVIデータとランドサットTMデータを活用して、生息地周辺の環境の変化、土地利用変化を解明した。

## 2 調査地と方法

### 調査地

東アジア沿海湿地に生息しているコウノトリ (*Ciconia boyciana*) の主な越冬地は中国長江 (Yangzi River) 流域ポーヤン湖 (鄱陽湖: 北緯29度, 東経116度) で、繁殖地は中国とロシア国境線に流れる黒龍江 (Heilongjiang, 北緯50度, 東経130度) である。コウノトリは毎年3月~5月の間に越冬地から北上移動をはじめ、中国江蘇省の塩城湿地 (Yancheng lake wetland, 北緯33度, 東経119度) 周辺、黄河 (Yellow River) 流域三角地 (北緯37度, 東経118度) や渤海湾 (Bohai Bay, 北緯38.70度, 東経117.60度)、遼寧省双台河口湿地 (Shuangtaihe River wetland, 北緯41度, 東経122度) で数日間休みながら、6月ごろ中国東北松花江-嫩江平原湿地 (Songhua-Nen River wetland, 北緯44-47度, 東経122-133度) を中継し、繁殖地に向かうことが知られている。黒龍江流域生息地の気候は太平洋モンスーン気候であり、寒温帯大陸性季節風気候である。年平均気温は2.2°C、最低気温は-34.8°C、最高気温は34.6°Cで、年平均降水量は622-640mmである。地形は海拔0-100mの沿岸平原地域や内陸河川、湖周辺の窪地である。

黒龍江流域生息地湿原の主な植生は、ヨシ (*Phragmites communis*)、ノガリヤス属の一種 (*Deyeuxia angustifolia*)、シュミットスゲ (*Corex*

\* 東京大学大学院 農学生命科学研究科

\*\* 酪農学園大環境システム学部

\*\*\* 独立行政法人国立環境研究所

schmidtii)、ヌマクロボスゲ (Carex meyeriana) とリュウキンカ (Caltha palustris) 等である。三江平原湿原を利用している主な渡り鳥はコウノトリの他、タンチョウ (Grus japonensis)、マナヅル (Grus vipio)、オオハクチヨウ (Cygnus cygnus)、サカツラガン (Anser cygnoides)、マガモ (Anas platyrhynchos)、ホウロクシギ (Numenius madagascariensis) などである。三江平原湿原では人間活動に伴い、湿原自然水系が人工水系に変化している。最近、三江平原湿原の面積が著しい速度で縮小し、繁殖地に渡る水鳥の数が年々減少していることが現地調査によって確認されている (黒龍江省農耕局環境保護所, 1999年)。湿原変動の主な原因は人工排水路と水田などの人間活動が考えられる。

## 調査方法

### (1) アルゴスシステムを用いた衛星追跡

人工衛星によるArgosシステムは三つのサブシステムから構成されている。即ち、(1) 衛星：鳥の上方に回るNOAA衛星は鳥の発信機 (PTT-100) からの位置情報などを受け取り記録する、(2) 地面受信システム：NOAA衛星の地上ステーションは衛星から受信した位置情報、環境情報などを収集してデータ選択システムDCS (Data Collection System) に送り、選択したデータを各ユーザーに配信する、(3) 分析システム：鳥の位置情報及び環境情報などを分析し鳥の生息地及び生態変動などとの関係を明らかにすることである。Argosシステムのロケーション情報はプラットフォームトランスミッション (platform transmissions) において、ドップラーシフト (Doppler shift) を測定することによって計算されている。Argosシステムの精度をTable 1に示した。データ解析にあたって、ロケーションポイント、渡り時期、トラッキングロードは、Arcviewのトラッキング・アナリスト (Tracking Analyst) を用いて解析した。

本研究ではNOAA画像の解像度が1kmであることと、

ArgosシステムPTT-100データの精度を考慮し、LC=3,2,1のPTT-100データのみを使用した。ArgosシステムデータからArcview GIS (SHAPE) のポイントファイルを作り、NOAA土地被覆データにオーバーレイした。

### (2) Green Moving

健康な植生に当たる太陽光は植生のクロロフィルにより可視光赤光域 (R) (波長帯: 0.63~0.68 μm) では吸収され、近赤外 (NIR) 光域 (特に波長帯: 0.74~1.16 μm) では強く反射される。この性質を利用するとマルチスペクトルセンサによる観測データから植生に関する様々な情報の効果的な抽出が可能である。本研究ではコウノトリの移動時期にあわせるため、毎日の観測が可能な気象衛星NOAA AVHRRを使い、その可視域 (0.58~0.68 μm) と近赤外域 (0.725~1.10 μm) のデータから計算された植生指数NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (式1) を利用した。

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

ここで、NIRは近赤外波長帯の反射率で、Rは可視光赤光波長帯反射率である。植生の季節変動を示す指数として、雲の影響を除くため月最大NDVI値を用いた。この分布図には同期のコウノトリの衛星追跡データをオーバーレイし、Green Movingとコウノトリの季節移動間の空間的関係を求めた。Green movingとは植生が季節によって南から北 (あるいは北から南) へ徐々に"緑"になる (あるいは枯れる) 前線の移動を指している。

## 3 結果と考察

### (1) コウノトリの渡りロード

Argosシステム衛星追跡によって、コウノトリ7個体のロケーション情報、渡り時期、経路を解析した。システムと電池、気象などの原因から7個体の往復の渡りについて

Table 1 Location error of the Argos System

| Location Classes (LC) | Estimated accuracy in latitude and longitude |
|-----------------------|--|
| 3*                    | ≤ 150 m                                      |
| 2*                    | 150 m < accuracy < 350 m                     |
| 1*                    | 350 m < accuracy < 1,000 m                   |
| 0                     | > 1000 m                                     |
| A                     | No estimate of location accuracy             |
| B                     | No estimate of location accuracy             |
| Z                     | (Invalid location)                           |

\* 本研究で採用したデータ

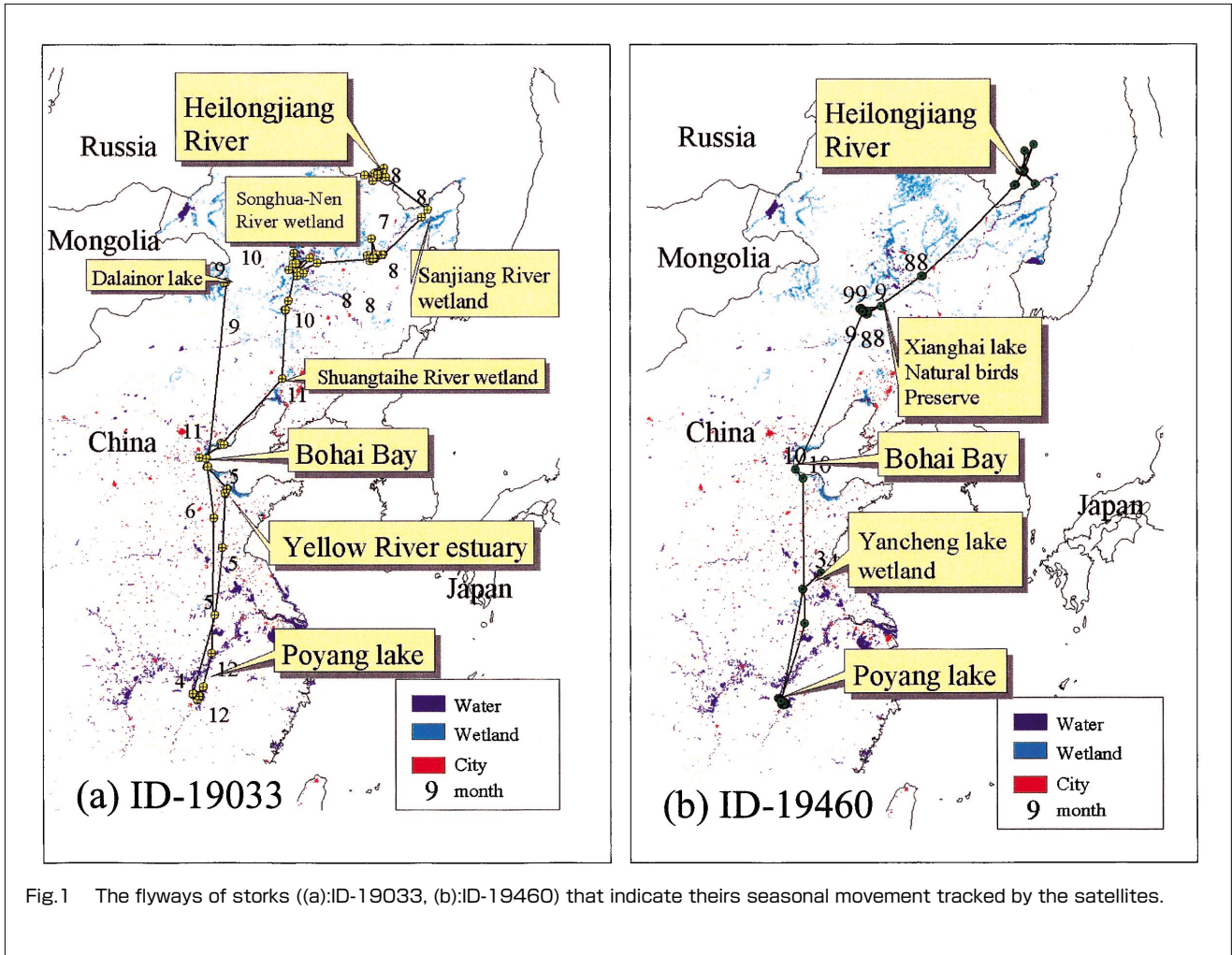


Fig.1 The flyways of storks ((a):ID-19033, (b):ID-19460) that indicate their seasonal movement tracked by the satellites.

完全な連続測定はできなかった。

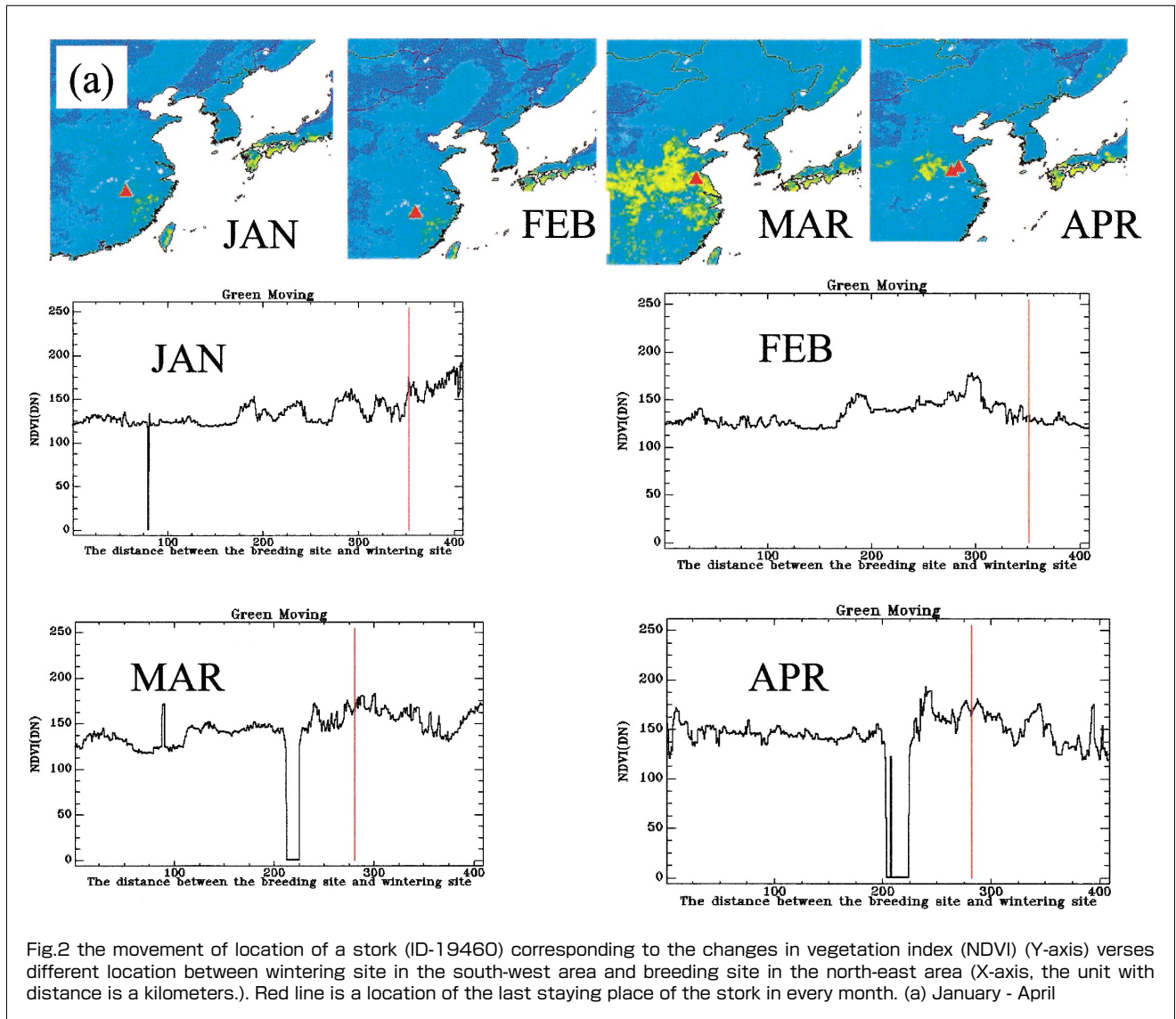
Fig.1 (a,b) にID-19033とID-19640の2個体に対する衛星追跡結果を示した。Fig.1では背景はNOAA/AVHRRデータの解析によって作った1kmメッシュラスタの中国東部地区水域、湿地と大都市の分布状況で、ラインデータは発信機(PTT-100)によって作られた2000年3月～2001年9月までのコウノトリの移動情報である。2000年の場合:ID-19033の個体は5月越冬地(中国長江流域のポーヤン湖)から北上し、塩城湿地と渤海湿地を経て、6月に繁殖地の黒龍江に到着した。また、8月下旬から徐々に南に移動をはじめ、中国東北の松花江-嫩江流域湿地を経て、11月渤海湾に到着し、12月越冬地の長江流域のポーヤン湖に戻ってきた。しかし、2001年の場合:繁殖地が変わって、渤海湾から内蒙古東にある達賚湖(Dalainor lake)に移動し繁殖した。ID-19460の個体は2000年3月から越冬地を離れ、7月繁殖地の黒龍江に到着した。8月下旬から南に移動をはじめ、11月越冬地に戻り、2001年3月北上し塩城湿地まで移動した。

南から北へコウノトリが移動の途中に利用した場所は:長江流域ポーヤン湖(滞在期間ID-19460:1月～2月、11月～12月;ID-19033:1月～4月、12月)-江蘇省塩

城湿地(滞在期間ID-19460:3月;ID-19033:5月)-黄河三角地(滞在期間ID-19460:4月;ID-19033:5月)-渤海湾(滞在期間ID-19460:10月のみ確定;ID-19033:5月～6月、11月)-遼寧省双台河口湿地(滞在期間ID-19460:未確定、;ID-19033:11月)-松花江-嫩江平原湿地(滞在期間ID-19460:八月～十月のみ確定;ID-19033:8月～10月)-内蒙古達賚湖(滞在期間ID-19460:9月)黒龍江流域(滞在期間ID-19460:7月のみ確定;ID-19033:6月～8月)である。

## (2) Green Movingとコウノトリの季節移動

北半球の大陸では春から夏にかけて、緑が南から北へ徐々に波動する。長江流域(華南平原)では2月からNDVI値が徐々に上昇し始め、6月にNDVIの“山”になる;その後徐々に下がり、11月から冬のパターンに入り、12月にはNDVIの“谷”になる。長江流域の秋と冬のNDVIは黄河流域(華北平原)や松花江流域(東北平原)より高い。黄河三角地及び渤海湾では毎年3月になるとNDVIの値がだんだん大きくなり、5月ははじめには“山”になる(冬小麦の成熟期);6月はじめに小さな“谷”を見



せ（冬小麦の収穫期）；その後上昇して、8月に“山”になる；その後徐々に下がり、冬の状態に戻る。東北平原では4月からNDVIが徐々に上昇し、7月にNDVIの“山”になり、その後徐々に下がり10月から冬のパターンに入る (Fig.2, Fig.3)。このように、長江流域—黄河流域—松花江流域の間で、Green Movingの“山”、即ち植生被覆率の増加が、南から北にかけて一ヶ月ずつ遅れて出現することが分かった。

Fig.2にコウノトリID-19460個体の季節移動とNDVIの季節変動間の空間分布を示した。平面図は各月NDVI値の空間分布で、図面上のポイント（▲）はID-19460個体の位置（ロケーション情報）をオーバーレイした結果である。グラフの曲線はID-19460個体の滞り場所と越冬地及び繁殖地を結ぶ直線上のNDVI値を示している。赤い縦線はID-19460個体が月の終わりに確認された位置である。NDVIは毎年3月から明確な波動をはじめ、NDVIの最大値が徐々に北上し、8月になると南北間の差が最小になり、9月から徐々に南に下がり（北のほうが枯れはじめ）、11

月になるとNDVI値の波動が安定して、11月、12月、1月及び2月は同じ値を示している。以上から、“Green Moving”とコウノトリの季節移動は一定の相関関係があることが分かった。また、Fig.2から次のようなことも分かる。

(1) コウノトリの越冬地から繁殖地に移動（北上）する期間は繁殖地から越冬地に戻る（南下する）期間より一ヶ月ぐらい長い。

(2) Green movingの“山”がいつもコウノトリの移動方向の前に表れる。即ちGreen movingが始まり、NDVIの波動が始まってからコウノトリの移動が始まる。

### (3) 土地利用とコウノトリの生息環境

Fig.3で示したように、越冬地の長江流域から繁殖地の黒龍江流域を毎年移動しているコウノトリは、渡りの途中、内陸の湿地、水田、湖、川や沿岸域の湿地などの場所で休みながら餌を採っていることが分かった。コウノトリの餌は昆虫、カエルや魚などである。越冬地である長江流域の



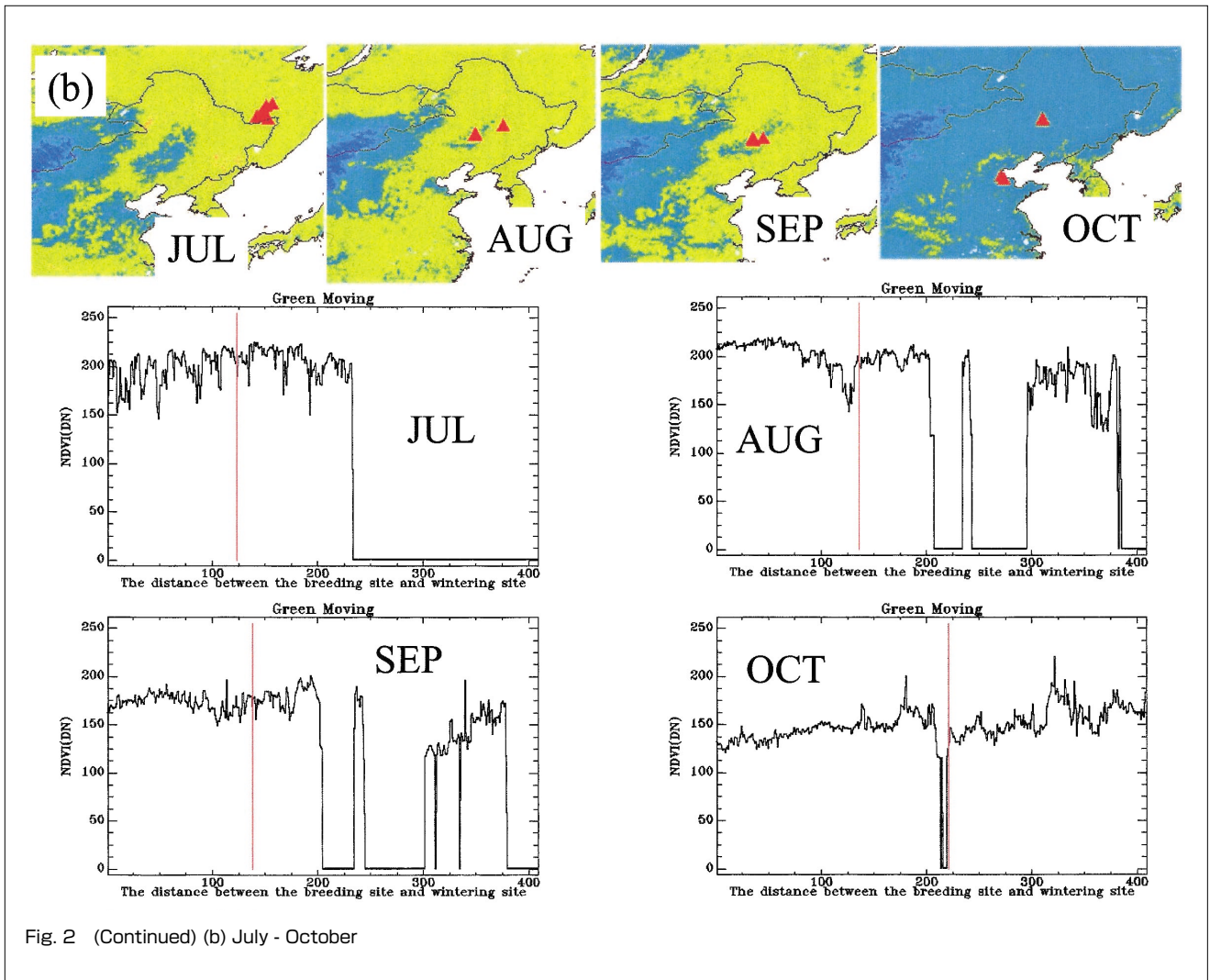


Fig. 2 (Continued) (b) July - October

ポーヤン湖は中国最大の淡水湖で、自然保護区は湖の北東に位置している。湖には二本の大きな川が流れ込み、周辺はいくつかの沼と湿地帯に囲まれている。保護区内には9つの小さな湖が存在し、長江の洪水をコントロールする役割を果たしている。過去40年間に行われた埋め立てにより、長江水系の湖沼の総面積は2万平方キロメートルから7千平方キロメートルに減少している。越冬しているコウノトリは1988年12月に539羽を確認した（(財)日本野鳥の会、2000年）。ポーヤン湖周辺の土地利用は農地（水田）である。渤海湾湿地は渡り鳥の重要な中継地でもあるし、越冬地でもある。渤海湾湿地でそのまま越冬しているものもある（Higuchi, H., et al. 1998）。コウノトリの繁殖地である黒龍江流域湿地は内陸河川でできた湿地で、周辺は低木が混ざる草原である。

Fig.3にポーヤン湖、渤海湾と黒龍江流域の土地利用と周辺の自然植生（月平均植生指数：NDVI）の季節変動を示した。ポーヤン湖（越冬地）、渤海湾（中継地）と黒龍江流域（繁殖地）の主な土地利用は水田や畑、牧草地などの農耕地である。ポーヤン湖では一年中農作物を作っている（中国では一年両熟地域と言われる）。それに対して、渤海

湾では秋まき小麦の成熟が可能で（二年三熟地域と言われる）、黒龍江流域では秋に成熟する農作物だけが作られる（一年一熟地域と言われる）。コウノトリがNDVIの"山"を追って移動する行動は、移動先の農作物の成熟時期とも一定の関係があることが考えられる。コウノトリは湿原、水域だけでなく水田や畑、牧草地も利用していた。コウノトリの餌であるカエル、魚、昆虫などは植物プランクトンを利用している。NDVIの季節変動（Green moving）は周辺環境の植物プランクトンの変動も示している。このように、Green movingとコウノトリの季節移動の間には、土地利用や餌の分布を通した何らかの相関があると考えられる。M. Tamura（2001）とH. Higuchi（1998, 2001）は、1998年から2000年の3年間にわたって、極東ロシアの黒龍江流域から中国南部の長江流域に渡るタンチョウとコウノトリの行動パターンと土地被覆・湿地環境特性との関連性について現地調査と解析をした。その結果、大部分の鳥の位置データは直径10～15km程度の範囲内に収まっており、コウノトリは繁殖地点では80%は自然湿地の中に滞在しており、繁殖地点は毎年異なっていることも分かった。また、大きな移動は気温などの気象条件によって引き起こされる

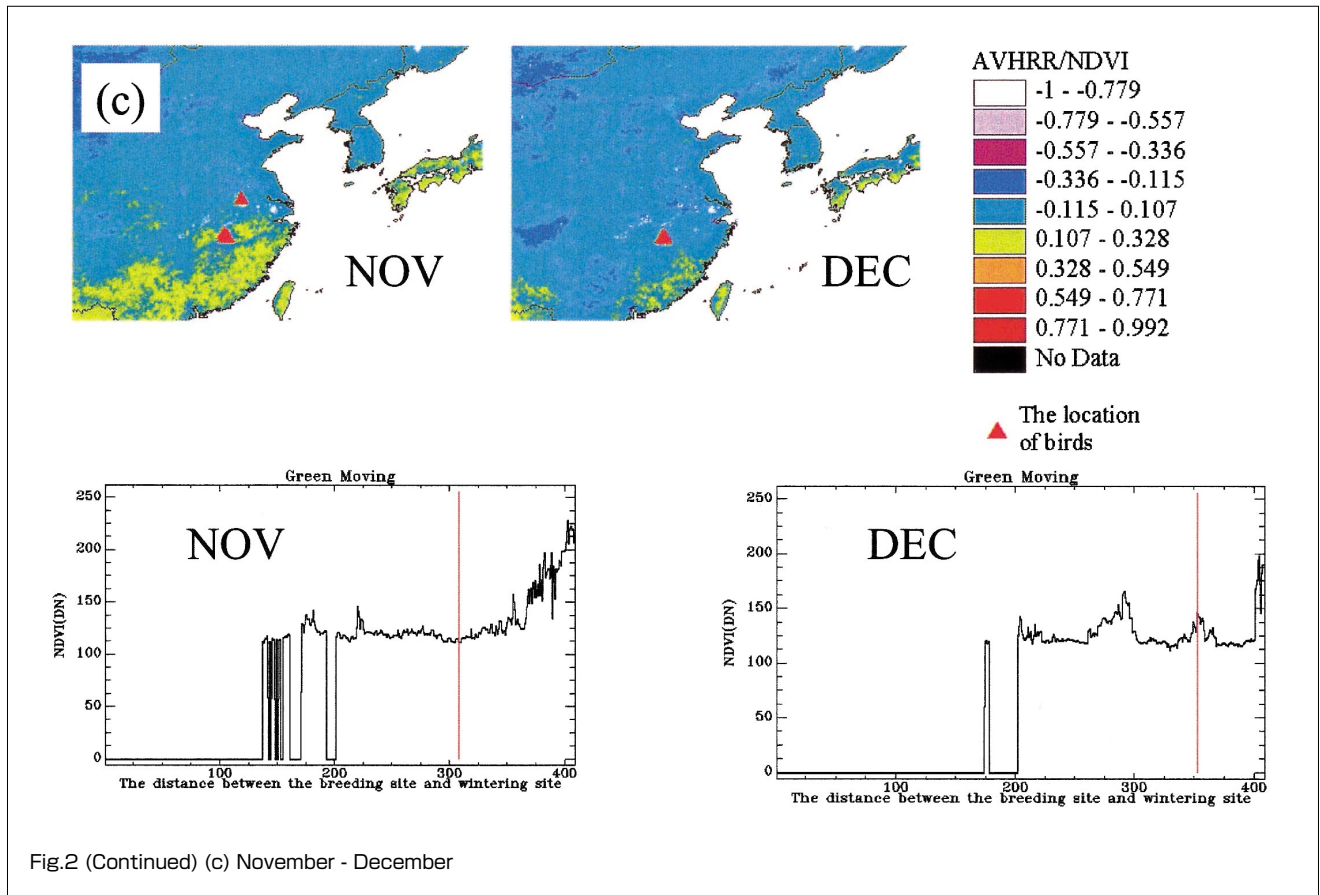


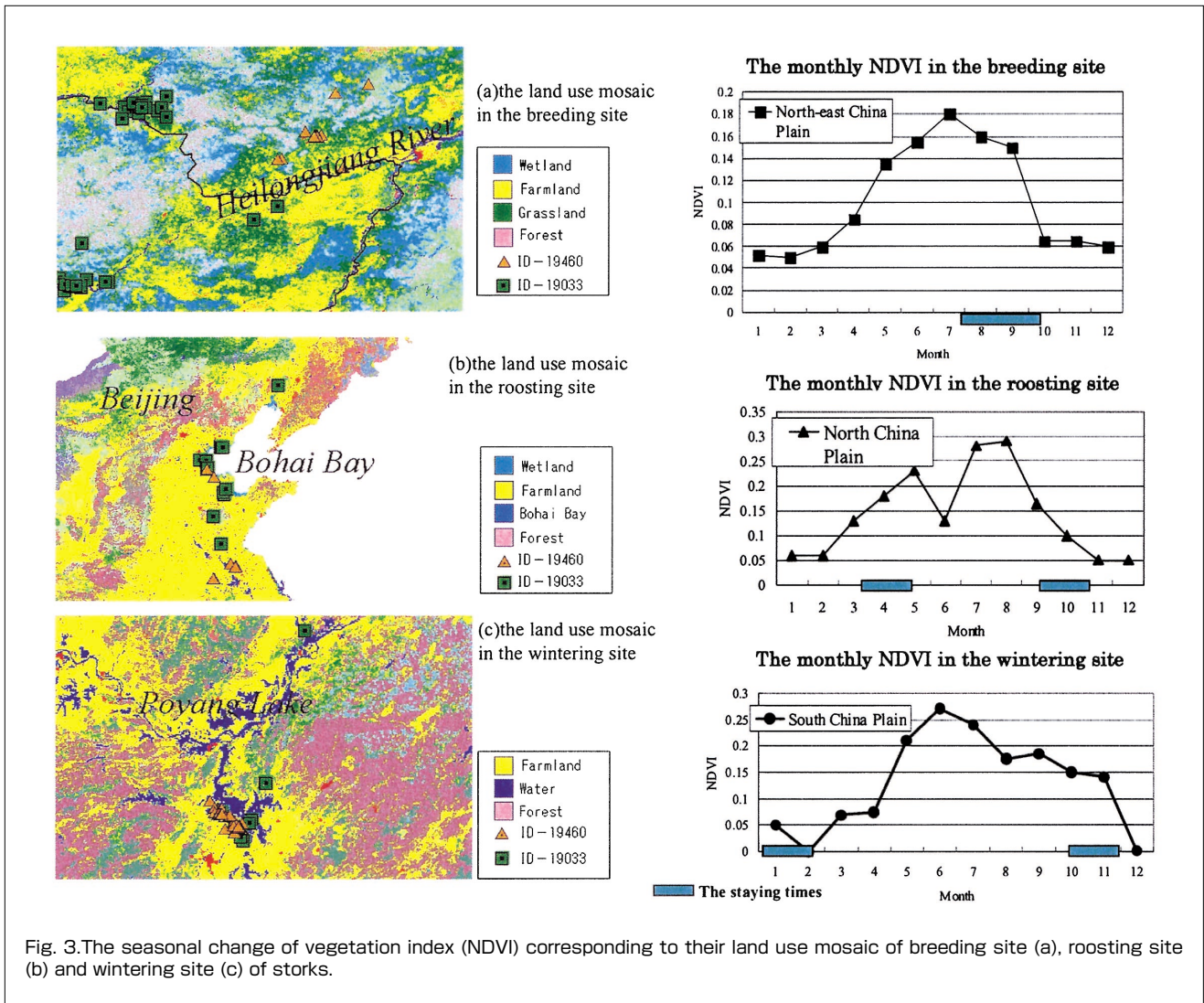
Fig.2 (Continued) (c) November - December

餌の状況の変化によるものではないかと予測していた。本研究で得られたGreen movingとコウノトリの季節移動の関係はコウノトリの季節的移動が周辺の“緑”環境の波動に引き起こされていることを証明した。また、樋口と布和(2001)は東アジアの渡りマナヅルの渡り経路、繁殖地点湿地環境変動についてArgosシステムによる衛星追跡、GPS計測とランドサットTMによる植生分類を行い、マナヅルは湿地の中央ではなく、湿地の周辺あるいは湿地と農地(水田)や湿地と牧草地のモザイク状の場所をよく利用していることがわかった。マナヅルとコウノトリなどの湿原渡り性水鳥にとって、索餌戦略の変化に伴い、繁殖地周辺の水田が生息地の一部分に組み込まれ、いわゆる“ギャップ”となり、農薬などが鳥に被害を及ぼす恐れがある。保護地と農耕地利用の間にバッファー(Buffer)を設置する必要があると思われる。

今後、さらにコウノトリやタンチョウの渡りロードに沿って、餌になる昆虫やカエル、魚の分布及び季節変化を分析して、餌の変化が渡り鳥の移動に及ぼす影響について解析する必要があると考えられる。

Reference

- 1) International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), Global Environmental Change Programmes, (2001). Global change and the Earth system: A planet under pressure. Edited by Will Steffen, Will and Peter Tyson., 32p. GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems). IGBP Science No.4. Stockholm.
- 2) H. Higuchi, M. Nagendran, Y. Darman, M. Tamura, V. Andronov, M. Parilov, H. Shimazaki, and E. Morishita, (2001) Migration and Habitat use of Oriental White Storks from Satellite Tracking Studies. Global Environment Research, Vol. 4, 169-182.
- 3) Willen Van den Bossche, Peter Berthold, Yuri Darman, Vladimir Andronov, Mikhail Parilov, Ulrich Querner, (2000) Satellite-tracking Helps to Discover Stopover Sites of the Threatened Oriental White Stork (A stork). Feature Article of Microwave Telemetry, Inc.
- 4) J. Ma, C. Ma, Chen, G., Buheasier, Xiaoxia, Huang (2000) The Analysis of Vector Angles in Remote Sensed data Field and Its Application, IGARSS 2000, IEEE 2000 Int. Geosciences and Remote Sensing Symposium, Hawaii USA.
- 5) Buheasier, Hiroyoshi HIGUCHI, Kazuaki KATO, Masami KANEKO, Jianwen MA, Chaofei MA (2001) A Study of the flyway and wetland habitat changes of East Asia migratory water birds using



ARCVIEW/Tracking Analyst. Paper and proceeding of the Geographic Information Systems Association of Japan, Vol. 10/2001. 393-399.

- 6) ARGOS, Inc. (1992). User Manual. Service Argos, Toulouse, France.
- 7) Buheasier, LIU Jiyuan, C. N. Ng (1998) Study on land-use/cover change in China using remote sensing data", ACTA GEOGRAPHICA SINICA, Vol. 53, Supplement, Dec. 1998, P. 52-60.
- 8) H. Higuchi, k. Ozaki, G. Fujita, J. Minton, M. Ueta, M. Soma and N. Mita (1996) Satellite tracking of white-naped crane migration and the importance of the Korean demilitarized zone, Conservation Biology, Vol. 10, 806-812.
- 9) H. Higuchi, V. Andronov, N. Mita, and Y. Kanai, (1998) Satellite tracking of the migration of the red-crowned crane (*Grus japonensis*). Ecological Research, Vol. 13, 273-282.
- 10) M. Tamura, H. Higuchi, H. Shimazaki, H. Oguma, Y.

Darman, V. Andronov, M. Nagendran, M. Parilov, (2001) Satellite observation of migration routes and habitat of cranes and storks in Russian Far East, Global Environment Research, Vol. 4, 207-217.

### The Flyway and Habitat Environment of Migration Oriental Stork (*Ciconia boyciana*) in Monsoon Asia Using Remotely Sensed Data

Buheasier, Higuchi H., Umeki M.  
Kaneko M., Tamura M.

#### Abstract

Argos system, a satellite-based device widely used to collect environmental data in a variety of application, was used to track the migratory storks. During the summers of 1998, 1999 and 2000, a total of seven storks (*Ciconia boyciana*) nestlings were banded with 35 grams solar powered microwave PTT-100 transmitters. The storks

migrated to about 3,000 km from the major birds wintering site in the Poyang Lake in China to the main breeding site in the Heilongjiang River basin in China and Russia. In this study we overlaid the location point data extracted from field equipment (PTTs) PTT-100 transmitters to the average monthly Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) raster data utilizing remote sensing and Geographic Information System (GIS). The analysis of 'green moving' is also conducted based on the information. It was discovered that there is significant correlation relation between the seasonal change of NDVI and seasonal movement of storks.

# 環境基準未達成原因説明調査報告

## - 厚岸湖 -

濱原 和広 福山 龍次 齊藤 修 藤田 隆男 有末 二郎

### 要 約

環境基準（COD）が未達成で、その原因が明らかでない厚岸湖とその流域を対象に、平成12、13年度の2年に渡り詳細な調査を行った。その結果を解析したところ、厚岸湖のCOD汚濁は次のような機構で引き起こされていると考えられる。1) 降雨時、河川水量は多く、湿原や山林から溶出したフミン物質を多く含むCODの高い水が流入し、厚岸湖全体に広がる。2) 平水時、河川のCODが下がっても、湖奥は水の交換が悪いため、降雨時に流入した高CODの河川水が停滞し環境基準を超過する。

降雨時に河川から負荷される有機物のほとんどは自然由来のものであると考えられるため、厚岸湖流域の人為的汚濁負荷削減を行っても、その効果は小さいと考えられる。

Key words: 水質汚濁機構 閉鎖性水域 環境基準

## 1 はじめに

河川・湖沼・海域の公共用水域の水質には、人の健康を保護し生活環境を保全する上で、維持されることが望ましい基準として環境基準が設定されており、公共用水域の測定計画に基づき水質の監視が行われている。平成13年度は、BOD・CODの環境基準は河川21水域、湖沼10水域、海域14水域で未達成である。これら環境基準が未達成の水域の内、特に湖沼や沿岸海域の水質汚濁は、流入河川の影響だけでなく、流れや生物生産によっても大きく影響され、汚濁の範囲や程度は季節的に変動する。

これらの水域の汚濁原因を明らかにし、水質改善を効果的に行うためには汚濁の主原因を見極める必要があり、環境監視点以外の測定点を設け、高頻度の調査を行っている。

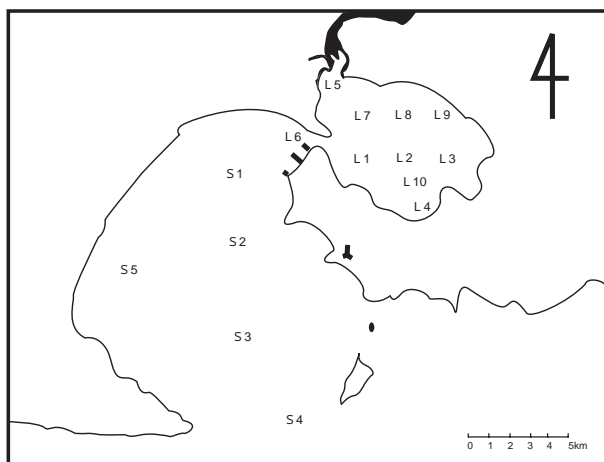


図1．厚岸湖・厚岸湾調査地点

平成12・13年度の2年間、環境基準未達成の水域の1つである厚岸湖について、流入河川と海水が流出する厚岸湾も含めて詳細な調査を実施した。その結果について解析し、厚岸湖のCOD汚濁機構について考察したので報告する。

## 2．厚岸湖と流域の概況

### 2.1 厚岸湖の概況

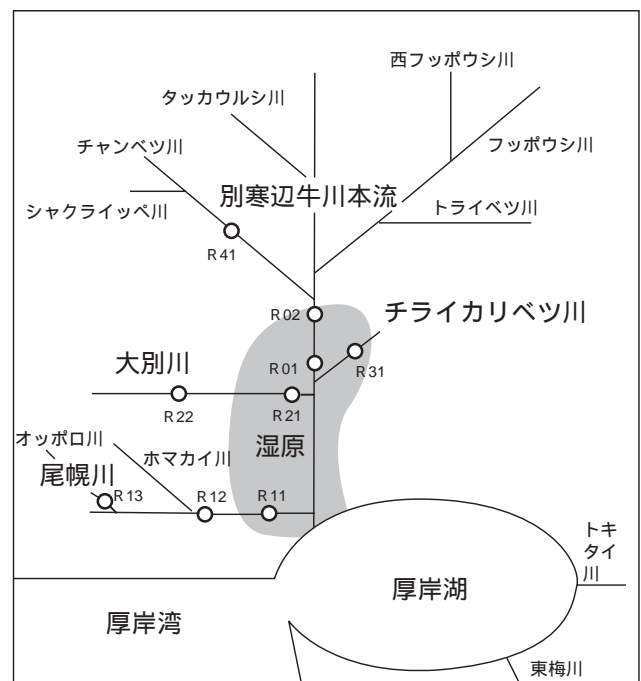


図2．厚岸湖流入河川模式図

厚岸湖は面積約32km<sup>2</sup>、数本の“滯筋”以外は浅く、平均水深約2mの汽水湖で、幅600m、水深約10mの峡水路によって厚岸湾とつながっている(図1)。厚岸湖周辺では牡蠣の養殖が盛んに行われ、その産地として有名である。最近では、湖口に近いところにある干潟域を利用してアサリの養殖も行われている。また、隣接する別寒辺牛湿原とともにラムサール条約に登録されている。別寒辺牛湿原ではタンチョウの営巣がみられ、厚岸湖はコハクチョウや多くのガン・カモ類の越冬地である。厚岸湖内には3点の環境基準点が設定されており、環境基準は海域B類型(3mg/l)が当てはめられている。

2.2 厚岸湖流域の概況

厚岸湖に流入する河川は主に3本あり、別寒辺牛川が北東から、トキタイ川が東から、東梅川が東南から流入する(図2)。このうち別寒辺牛川はその河口部が湿原となっており、そこに尾幌川、大別川、別寒辺牛川本流、チライカリベツ川の4河川が流入している。

流域の土地利用を表1に示す。山林が63%、“その他”が23%、牧場・草地在13%を占める。市街地は1%と非常に小さく、流域に田畑はない。“その他”の分類には、湿地や河川、鉄道、道路が含まれるが、そのうち鉄道、道路の面積は小さいため、“その他”の面積は湿原や河川の面積を示していると考えられる。このことから、厚岸湖流域のうち、86%が山林や湿地であると考えられ、人為的な汚濁負荷がある市街地や牧場・草地在14%と小さい。

表1. 厚岸湖流域の土地利用

|         |    |   |       |     |       |       |
|---------|----|---|-------|-----|-------|-------|
|         | 水田 | 畑 | 牧場・草地 | 市街地 | 山林    | その他   |
| 面積 (ha) | 0  | 0 | 9058  | 491 | 45320 | 16500 |
| 割合 (%)  | 0  | 0 | 12.7  | 0.7 | 63.5  | 23.1  |

3. 調査

3.1 調査内容

水質調査は厚岸湖内10地点、厚岸湾内5地点、流入河川10地点において、年6回の調査を行った(図1、図2)。

表2. 調査項目と分析法

| 項目             | 分析法                 |
|----------------|---------------------|
| 水深             | 音波式測深器              |
| 水温             | CTD (海域湖沼)、水温計 (河川) |
| 透明度 (海域・湖沼)    | セッキ板目視測定            |
| 流量 (河川)        | プロベラ式流速計            |
| pH             | ガラス電極法              |
| 電気伝導度          | 電気伝導度計              |
| SS             | CF/Cを用いたろ過法         |
| COD            | 過マンガン酸カリウム酸性法       |
| BOD(河川)        | 好気性微生物溶存酸素消費量       |
| DO             | ウインクラ法              |
| 塩分 (海域・湖沼)     | CTD                 |
| Chl-a (海域・湖沼)  | 蛍光光度法               |
| E254 (フミン物質指標) | 紫外吸光度法              |
| 大腸菌群数 (河川)     | BGLB最確数法            |
| T-N            | ペルオキシ二硫酸カリウム分解法     |
| T-P            | ペルオキシ二硫酸カリウム分解法     |
| NO3-N          | カドミウム還元ジアゾ化法        |
| NO2-N          | ジアゾ化法               |
| NH4-N          | インドフェノール青法          |
| PO4-P          | モリブデン青法             |
| SiO2           | モリブデン青法             |

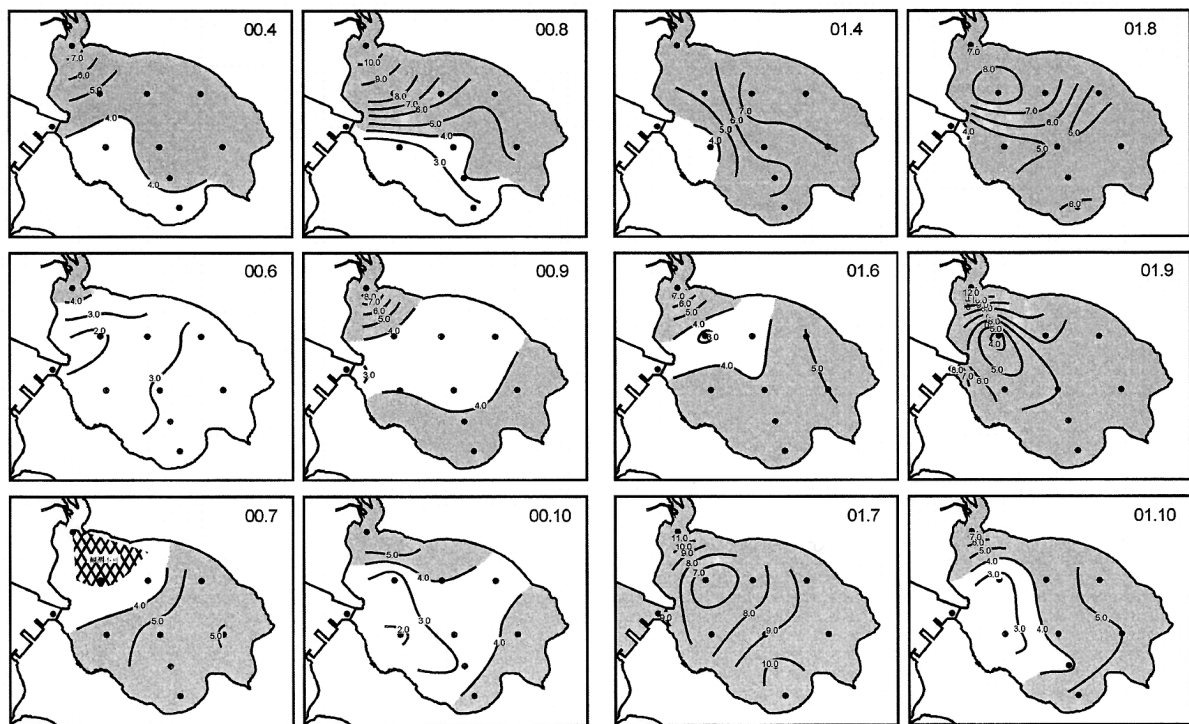


図3. 厚岸湖表層のCOD分布

表2にCOD・クロロフィル等の調査項目とその分析法を示した。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 厚岸湖のCOD季節変動

湖内表層のCOD分布を図3に示す。2000年は4月、7月、8月、2001年は4月、8月、9月が特に高く、湖のほぼ全体でCODが4mg/l以上であった。その分布は別寒辺牛川河口付近と湖の南側と南東側で高いことが多かった。とくに別寒辺牛川河口付近は、ほぼ全ての調査で高く、河川からの汚濁負荷が厚岸湖の水質に大きく影響していると考えられる。

##### 4.2 流入河川のCOD季節変動

別寒辺牛川は河口部が湿原となっており、名実ともに各支流が別寒辺牛川本流に合流しているとはいえない(図2)。ここでは、それぞれ湿原に合流する前、R11から上流を尾幌川、R21から上流を大別川、R31から上流をチャイカリベツ川、R01から上流を別寒辺牛川本流とし、全体を別寒辺牛川水系と表す。

流入河川のCODの季節変動を図4に示す。別寒辺牛川本流(R01)のCODは2000年7、8、9月、2001年9月が特に高かった。これらの月の調査前7日間の降雨量は積算で30mm以上であり、そのほかの月は積算で10mm以下と少ないことから、別寒辺牛川下流のCODは降雨の影響

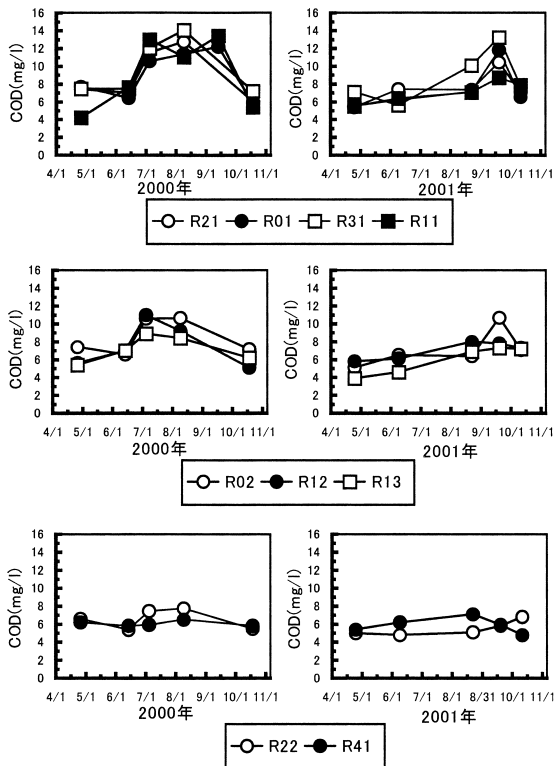


図4. 河川のCOD季節変動

表3. 調査前7日間の降雨状況 (mm)

| 調査日        | 当日 | 1日前 | 2日前 | 3日前 | 4日前 | 5日前 | 6日前 | 7日前 | 合計 |
|------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 2000/4/26  | 1  | 0   | 0   | 3   | 42  | 0   | 0   | 0   | 46 |
| 2000/6/14  | 2  | 1   | 0   | 0   | 0   | 2   | 1   | 1   | 7  |
| 2000/7/5   | 1  | 4   | 38  | 0   | 0   | 0   | 1   | 38  | 82 |
| 2000/8/9   | 0  | 9   | 1   | 9   | 12  | 4   | 0   | 0   | 35 |
| 2000/9/13  | 0  | 21  | 1   | 4   | 6   | 0   | 1   | 24  | 57 |
| 2000/10/18 | 3  | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 3   | 3   | 13 |
| 2001/4/25  | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 3  |
| 2001/6/9   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  |
| 2001/7/24  | 0  | 12  | 1   | 0   | 17  | 0   | 0   | 6   | 36 |
| 2001/8/22  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 2   | 3  |
| 2001/9/19  | 0  | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 91  | 94 |
| 2001/10/11 | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 2   | 3   | 0   | 5  |

で高くなると考えられる。

降雨時、河川のCODが高くなる原因としては、生活廃水の負荷、事業場排水の負荷、畜産系の負荷、土地利用形態別の面源負荷がある。流域の人為的汚濁源のうち市街地面積は非常に小さく、田畑は存在しない。畜産系の排水の負荷や牧草地からの流出負荷が一番大きな人為的汚濁源であるが、流域に牧場の多いチャンベツ川(R41)や大別川上流(R22)では、CODの変動が見られず、その濃度は別寒辺牛川水系の下流よりも低い。これらのことから、厚岸湖に流入する河川のCODを高くする原因は人為的な負荷ではなく、湿原や山林などから流出する自然系の面源負荷であると考えられる。

##### 4.3 厚岸湖の汚濁機構

閉鎖性水域のCOD上昇原因として、流入した汚濁物質が拡散・混合による汚濁(1次汚濁)と、流入した栄養塩類で増殖が活発になったプランクトンによって合成された有機物による汚濁(2次汚濁)がある。また、過去長期間にわたり水質が悪い状況であった水域では、底質の汚濁が進み、攪乱時の底質からの有機物の溶出も水質汚濁の原因となる(図5)。

このように、水質汚濁に寄与する有機物の起源は、1次汚濁が河川由来のもの海水由来のもの2種類、2次汚濁

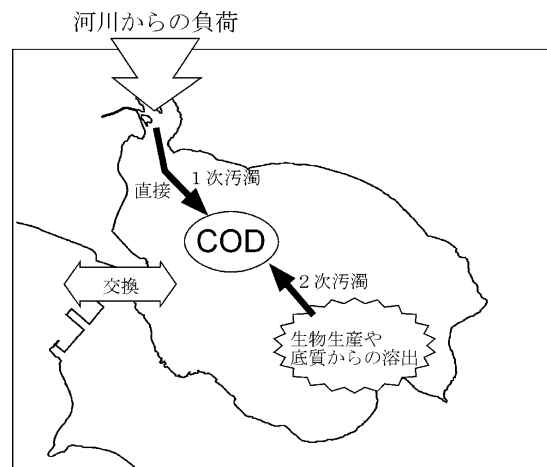


図5. 閉鎖性水域のCOD汚濁機構

が湖内の生物生産や底質によるものの計3種類である。厚岸湖の場合、別寒辺牛川流域には別寒辺牛湿原があり、湿原土壌からは腐植物質であるフミン物質が溶出してCODを上昇させる。そのため河川由来のものは、自然（フミン物質）由来のものと人為的（フミン物質以外）なものに分類する必要がある。ここでは、厚岸湖内のCODの起源を下の4つに分類し、考察を進める。

- ・河川：自然（フミン物質）由来のCOD (Cn)
- ・河川：人為（フミン物質以外）由来のCOD (Ca)
- ・海水由来のCOD (Cs)
- ・湖内の要因（その他）のCOD (Co)

#### 4.4 各分類の計算

##### 4.4.1 河川：自然（フミン物質）由来のCOD

フミン物質とは植物などが微生物により分解され生成した難分解性有機化合物である。フミン物質は混合物であるため、採取場所によってその構造・組成が異なり、1元的な解析は困難である。

フミン物質には不飽和結合が多く含まれている。不飽和結合は紫外線を吸収することから、今回の調査ではその濃度の指標として254nmの紫外線吸収量を測定した。

河川調査結果について、各月ごとのCODと紫外線吸収量（E254）の相関を図6に示す。2000年7月、8月、2001年9月に非常に高い正の相関がある。これらの月のCODは、降雨時の自然系負荷によって高くなっているため、その傾き、2000年7月；28.5、8月；24.0、2001年9月；29.1の平均値27.2を、フミン物質のCODと紫外線吸収量の比であると仮定し、湖水の254nm吸収量にこの比をかけることにより、フミン物質由来のCODを見積もった。

##### 4.4.2 河川：人為（フミン物質以外）由来のCOD

別寒辺牛川水系の最下流の測点（R21、R01、R31、R11）のCODから、上の方法で計算したフミン物質由来のCODを引くことにより、流入河川の河川水由来のCOD（フミン物質以外）を求める。これを流量比で加重平均し、各月の代表値とした。湖内各地点の塩分値から河川水の割合を求め、これに上述のように求めた流入河川の河川水由来のCOD（フミン物質以外）をかけることにより、その地点での河川由来のCOD（フミン物質以外）を見積もった。

##### 4.4.3 海水由来のCOD

湖内各地点の塩分値からそれぞれの点での海水の割合に、外海水のCOD値をかけることによりその寄与を見積もった。

##### 4.4.4 湖内の要因（その他）のCOD

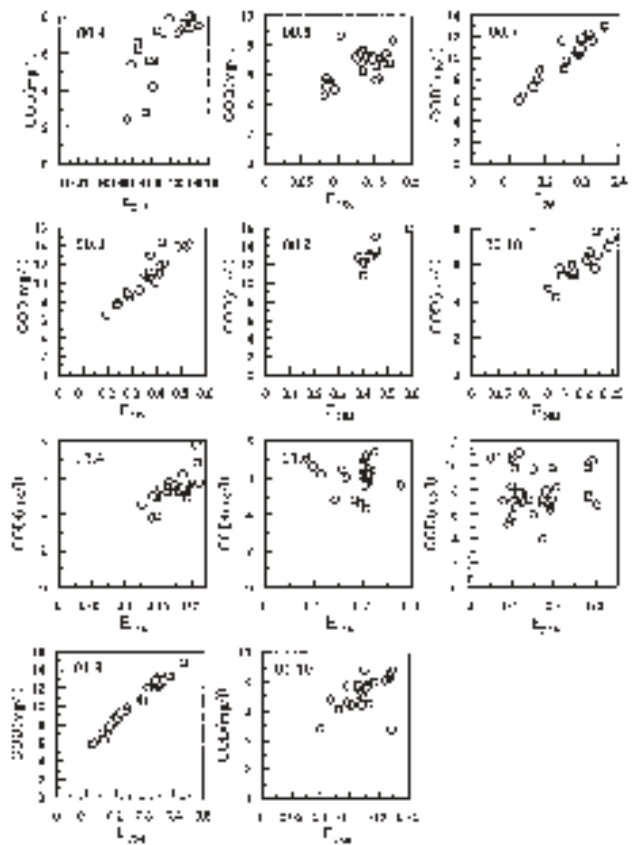


図6．河川におけるCODとE254の相関

湖内でCODが上昇する要因としては、内部生産と、底質の巻き上がりがあり、それぞれChl - a、SSが指標としてよく用いられるが、その係数はプランクトン種や底質の状態によって大きく変わるため見積もることが困難である。今回は、上記の3つで説明のつかない部分を湖内の要因によるCOD（その他のCOD）とした。

#### 4.5 厚岸湖内の汚濁原因

厚岸湖の塩分と紫外線吸収量の結果から、表4に示す計算をし、それぞれの割合を見積もった。厚岸湖のCOD起源を4つに分類した結果を図7に示す。

流入河川水のCODが高く湖内のCODも高かった、2000年8月、9月、2001年9月は、湖内の有機物の起源は、

表4．各分類の計算式

$$\begin{aligned}
 C_n &= 254\text{nm吸光度} \times 27.2 \text{ (河川水の254nm吸光度とCODの比)} \\
 C_a &= \{ \text{最下流の測点の (COD-C}_n \text{) の加重平均値} \\
 &\quad \times \{ (S_o - S_p) \div S_o \} \\
 C_s &= \text{外海のCOD} \times \{ S_p \div S_o \} \\
 C_o &= \text{その地点のCOD} - (C_n + C_a + C_s)
 \end{aligned}$$

(Sp:その地点の塩分・So:外海水の塩分)



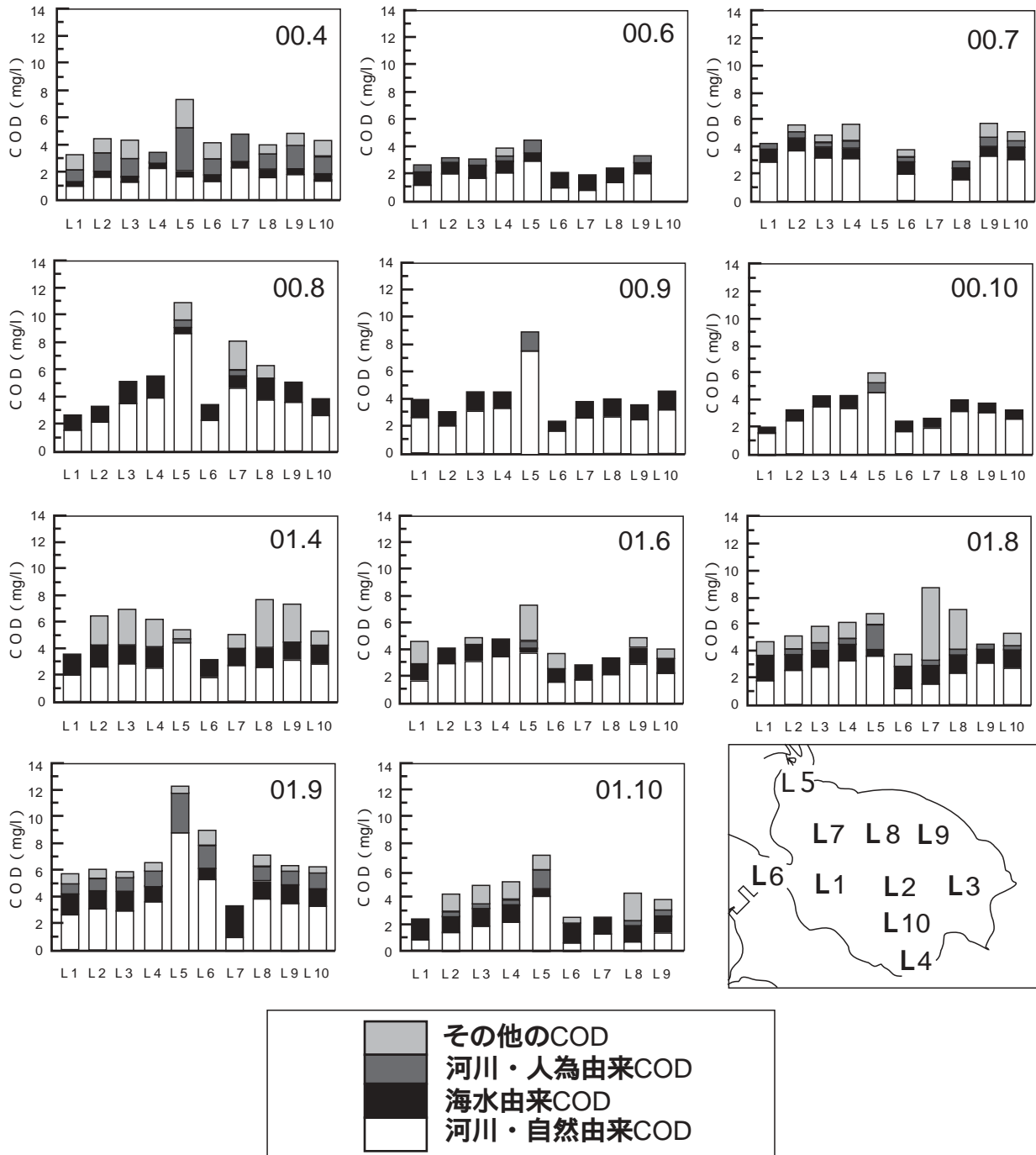


図7. 厚岸湖内各地点のCOD起源の見積もり

フミン物質由来COD"が高く、濃度も3mg/lを超えている地点が多い。これらの月のCOD汚濁は河川からのCOD負荷によるものであり、そのほとんどが自然由来のフミン物質によるものである。

流入河川水のCODは低い、湖内のCODが高かった2000年7月、10月、2001年8月も、湖内の有機物の起源は“フミン物質由来COD”が高く、有機物が河川から供給されたことを示している。湖の西側の地点について河川自然由来のCODが湖内に供給されたときの河川水中のCOD濃度を逆算すると、15mg/l前後であることが多いが、こ

の時の流入河川のCODは6~12mg/lであり、逆算した値より小さい。それに対し降雨後は12~14mg/lであり、逆算値はこの値に近い。このことから、湖の西側の地点は、調査時(平水時)のCODの低い河川水ではなく、降雨時に湖内に流入したCODの高い河川水の影響を受けていると考えられる。またこのことは平水時に流入した河川水が湖奥へ影響していないことを示している。

以上のことから厚岸湖の水質は、4月は融雪の影響が大きい、その他の月では、河川:自然(フミン物質)由来のCODが大きく影響していることがわかった。特に降雨

時には湖全体に自然系の汚濁が広がり、河川のCODが低い平水時においても、湖奥では降雨時に広がった汚濁の影響が残っていることがわかった。

### 5.まとめ

以上のことから、厚岸湖の水質汚濁は以下の機構で発生していると考えられる。(図8)

降雨時、河川水量は多く、湿原や山林から溶出したフミン物質を多く含むCODの高い水が流入し、厚岸湖全体に広がる。

河川流量が平水量に戻り河川のCODが下がっても、河川水は東側のみに影響し、湖奥は水の交換が悪いため降雨時に流入した高CODの河川水が停滞し、CODが下がらないため環境基準を超過する。

厚岸湖のCOD汚濁はほとんどが自然由来のものであり、流域からの人為的汚濁負荷を削減しても大きな効果が得られないと考えられる。湖奥に高CODの河川水が停滞するのが問題であるので、湖内の水循環を改善し、停滞しないようにすれば水質が改善されるかもしれないが、湖内の環境が大きく変化することになるため水産業への影響を考慮しなければならない。

The elucidation investigation report of a cause which has not attained environmental quality. - Lake Akkeshi -  
Kazuhiro Hamahara, Ryuji Fukuyama,  
Osamu Saitoh, Takao Fujita and Jiro Arisue

#### Abstract

The environmental quality (COD) concerning water pollution did not attain the lake Akkeshi, and the cause is not clear. Therefore, we conducted detailed investigation for the lake akkeshi and its valley over two years from 2000 to 2001.

The result of investigation, it is thought that COD corruption of the lake Akkeshi is caused by the following mechanisms.

- 1) At the time of rain, river flux increases and much fuming acid melt into river water. The river water with high COD flows in, and it spreads to the whole lake Akkeshi.
- 2) At the time of usual, river flux falls and COD of river water also falls. However, at back of a lake, since circulation is bad, the river water of high COD stagnates and environmental quality is exceeded.

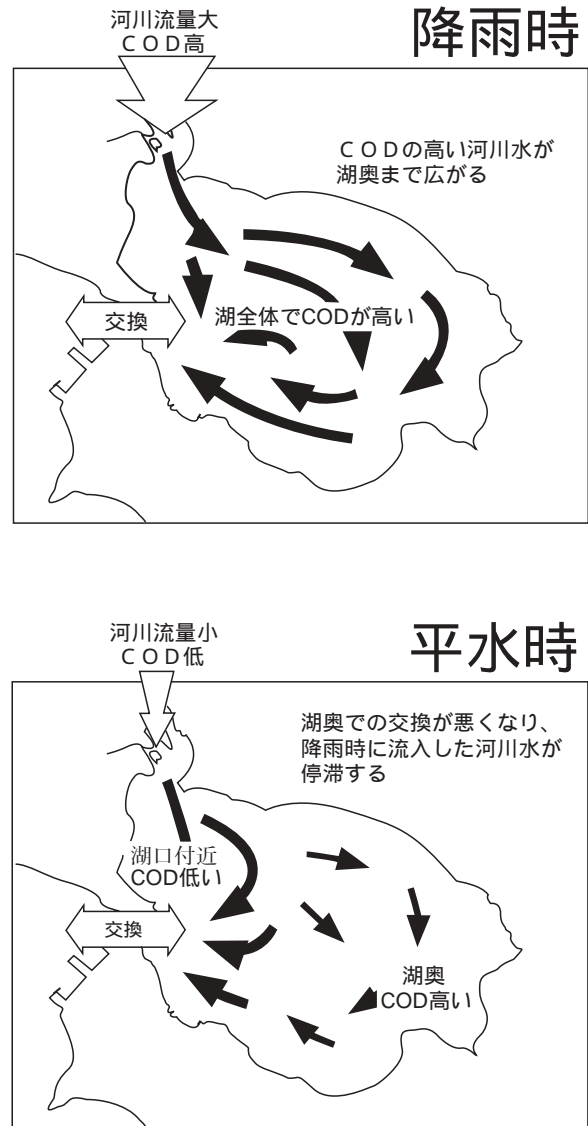


図8. 厚岸湖のCOD汚濁機構

Since most organic matters which flow in from a river at the time of rain are the things of the natural origin, it is thought that the effect is small even if it cuts down artificial corruption load to the lake Akkeshi.

# 常呂川・網走川の河川水質汚染の特性 その2

## - 区域毎の流入負荷の特徴 -

石川 靖 齊藤 修 三上 英敏 今泉 晴夫\*

### 要 約

常呂川、網走川流域の比流出量が多い区間において、その負荷構造を明らかにするために詳細な調査を行った。その結果、常呂川における日の出橋から蘭国橋間は、農業活動と製糖工場排水が大きな影響を示す可能性が知られ、第2観月橋から中央橋間は、北見市内からの生活排水と下水処理場の放流水の影響が大きく表れていた。網走川における活汲橋から共和橋間の負荷は、支流の寄与が大きく、大正橋から治水橋間は、流入河川、樋門、製糖工場の排水が大きい割合を占めている事が知られた。また、自動採水器で通日観測を行った常呂川の中央橋と網走川的美禽橋においてはCOD、 $PO_4 - P$ 、 $NH_4 - N$ 濃度が、生活活動に伴う排水負荷が増すと見られる時間帯に高くなる傾向があった。

Key words: 常呂川、網走川、区間負荷量、樋門、樋管、窒素負荷量、リン負荷量、COD負荷量

## 1 はじめに

常呂川と網走川は、その流域の農業振興や水道水源に寄与していると共に、オホーツク海に流れ出て漁業資源を育んでいる。また、常呂川上流の人工湖（おけと湖）や網走川下流の網走湖は、風光明媚な観光資源として多くの人を引きつけている。

しかし、近年、両河川及び網走湖は、水域の開発等による水質汚濁や富栄養化が進行し、その対策が急がれている。このため、地域住民や関係機関が一体となり、各水域の環境保全対策を行う必要性が大きくなっている。

筆者らは、環境保全対策事業を推進する際の基礎資料を得るため、両河川の汚濁負荷と流域の現況を把握する目的で、1998年から2000年までの河川水質調査を実施した。本報告は、1998年の結果<sup>1)</sup>から、比流出量の多い区間に流入する河川、樋門、樋管等の負荷量調査と2時間毎の通日観測の結果である。

## 2 調査地点の選定と調査の概要

### 2.1 調査地点の選定

常呂川ではCOD、TN、TP濃度が高い値を示した常呂7（日の出橋）～6（蘭国橋）間と常呂5（第2観月橋）～3（中央橋）間、網走川は網走7（共和橋）～5（活汲橋）間と網走4（大正橋）～2（治水橋）間の合計4区間

を調査対象とし、その間に流入する河川、管あるいは側溝を対象に1999年に調査を2回行った。

図-1に常呂7-6区間の本流と支流等の模式図を示す。矢印は水の流れである。この区間内の本流に架かっている2つの橋で、上からa～cの3区間に分けてその区間毎に結果を報告する。

図-2に常呂5-3区間の本流と支流等の模式図を示す。全域が北見市街と見なせる本区間の本流には3つの橋が架かっており、上からa～dの4区間に分け、その区間毎に結果を報告する。

図-3に網走7-5区間の本流と支流等の模式図を示す。この区間にはタッコブ川と津別川が流入しているものの、他区間と比較して単純であるので区間分けはしない。

図-4に網走4-2区間の本流と支流等の模式図を示す。この区間の本流に2つの橋が架かっており、上からa～cの3区間に分け、その区間毎に結果を報告する。

区間の境界上端である架橋位置も流入と見なして表中に数字の を与える。 を含め区間の下端までに流入する流量や各負荷及びその合計（以降、総和として表中に で示す）と、下端における実測負荷を（表中には下で示す）との比較検討を行う（速報値を用いた場合も含む）。

主な成分の時間濃度変動を明らかにするため、通日採水を行った。常呂川では上流の端野橋に比べて負荷量が著しく増える中央橋（常呂3）において11月24日から25日にかけて、網走川は8月16日から17日にかけて美幌市街の影響を見るため美禽橋で行った。それぞれ橋脚下部に自動採水機（ISCO社のmodel-3700）を設置し、2時間毎に11

\* 網走支庁環境生活課（所属当時）

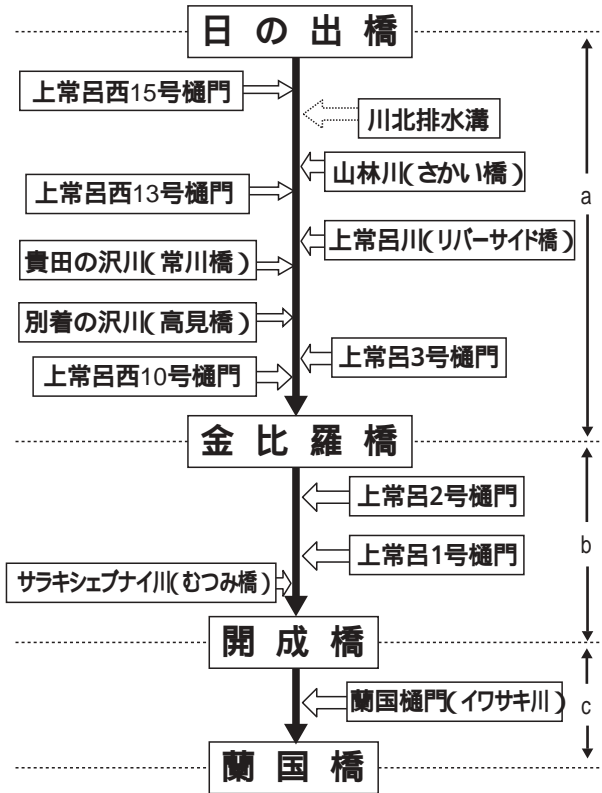


図 - 1 常呂 7 - 6 区間における流入点

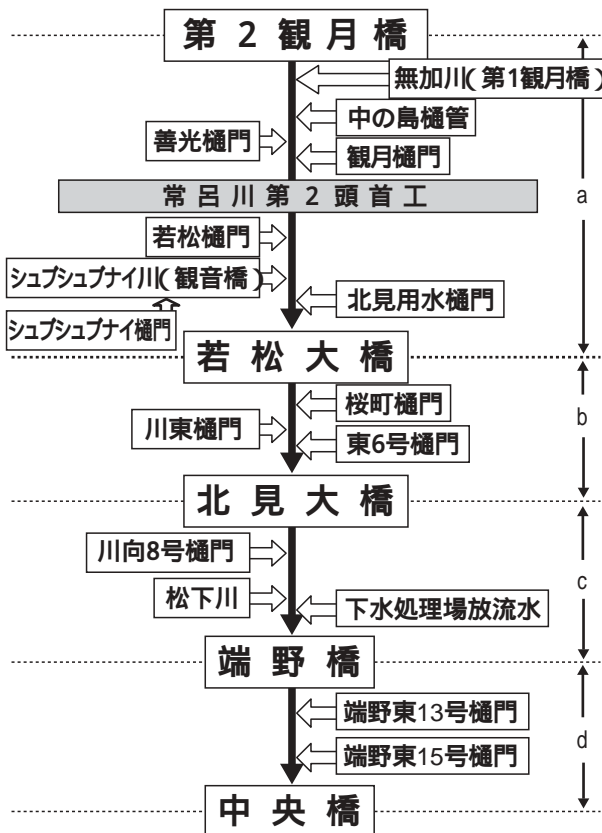


図 - 2 常呂 5 - 3 区間における流入点

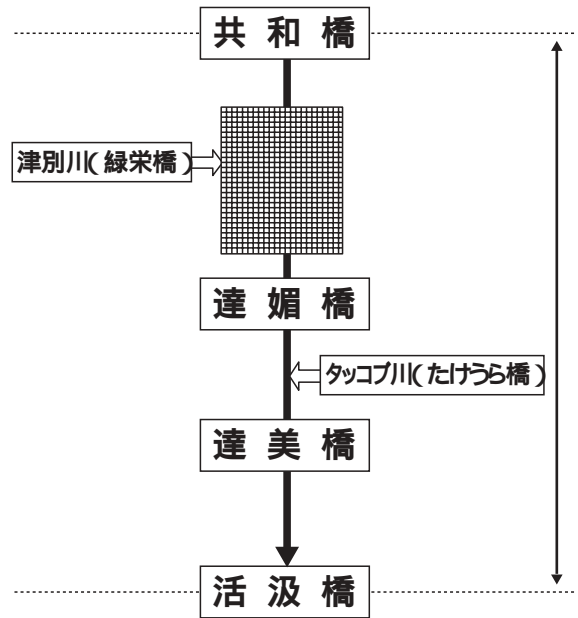


図 - 3 網走 7 - 5 区間における流入点 (ハッチングは津別市街)

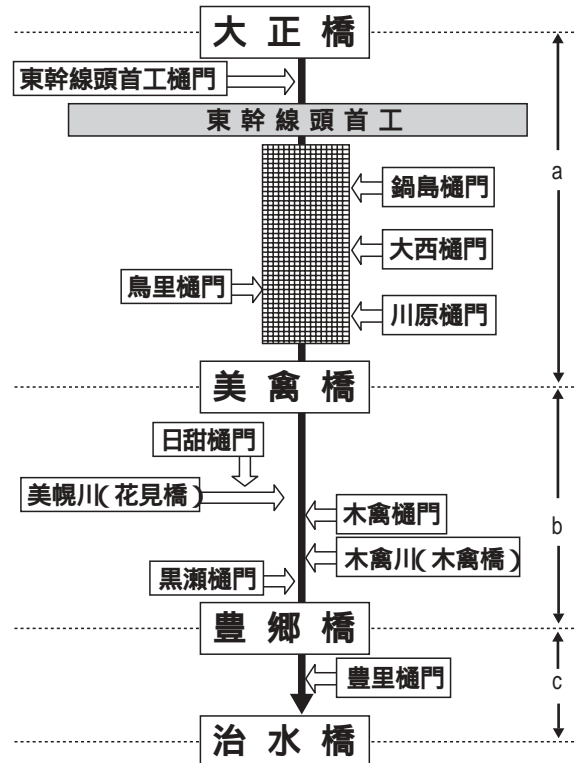


図 - 4 網走 4 - 2 区間における流入点 (ハッチングは美幌市街地)

(リットル) 採水して分析を行った

## 2.2 調査日時と気象条件

### 2.2.1 調査日と天候

常呂 7 - 6 区間は 8 月 18 日と 10 月 28 日、常呂 3 - 5 区間は 7 月 13 日と 10 月 28 日、網走 5 - 7 区間は 5 月 18 日と 7 月 12 日、網走 2 - 4 区間は 7 月 12 日と 10 月 20 日に延べ 8 回実施した。調査期間中の天候は、降雨のあった 10 月 28 日以外

は晴れであった。

### 3 調査分析方法

現地調査項目、分析法は既報告<sup>1)</sup>の通りである。現地調査後、SSとCODは調査地近接の下水処理場試験室にて処理し、栄養塩サンプルは冷蔵保存して持ち帰り直に分析を行った。

### 4 結果と考察

管あるいは側溝等の流入は、橋名か樋門名で（表中等では丸数字）表す。流量の収支を考察し、次にTN、TP、CODの負荷量収支を検討した。負荷量は日量で表した。

#### 4.1 常呂7 - 6 区間詳細調査

##### a) 日の出橋間 - 金比羅橋

表 - 1 に、日の出橋 - 金比羅橋間の各流入負荷量を示した。この区間には、4つの河川と4つの樋門が流入する。上常呂3号樋門は、2回の調査時とも水は流れていなかったため表 - 1には掲載していない。

流量バランスを見ると、8月調査時の金比羅橋流量と～の総和流量は、ほぼ等しいと考えられる。10月調査時は、金比羅橋が $1.1\text{m}^3/\text{sec}$ ほど高くなっている。当日は降雨があったことから、普段流水がないような所からの流入や浸出水等により増加したのか、あるいは、当月は近接の上常呂観測所の速報値を用いたことによる誤差と考えられる。

負荷量を見ると、8月のTNは金比羅橋と総和負荷量（ ）がほぼ一致しているのに対して、CODとTPの各負荷量は、 $1.24\text{t}/\text{day}$ 、 $0.01\text{t}/\text{day}$ と金比羅橋の方が高い値を示しており、その収支バランスがとれていない。

CODやTP濃度は、金比羅橋で高く、COD $6.8\text{mg}/\text{l}$ 、TP $0.059\text{mg}/\text{l}$ は日の出橋の約2倍であった。この時のTP

と $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度差（懸濁態が主成分と考えられる）は、日の出橋で $0.031\text{mg}/\text{l}$ 、金比羅橋で $0.051\text{mg}/\text{l}$ と下流側で増えている。SSも日の出橋で $5.5\text{mg}/\text{l}$ 、金比羅橋で $12\text{mg}/\text{l}$ であり下流側が高い。流量総和と金比羅橋流量がほぼ等しいことから、COD、TP（中でも懸濁態P）の増加原因は、区間内の流入負荷でなく、この区間中の河床や河岸等からもたらされた懸濁態が影響していると考えられた。

10月は、北見、留辺蘂、境野の観測点で朝6時から降雨が始まり、調査終了の16時まで16～22mmに達する量となった。CODとTPの負荷量は、総和と金比羅橋実測量が等しいが、TN負荷量は $0.11\text{t}/\text{day}$ ほど実測量が高い。TNの構成成分のうち、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が両橋間で大きな差を示した。日の出橋での濃度が $0.348\text{mg}/\text{l}$ に対して下流は、それより $0.2\text{mg}/\text{l}$ ほど高い値を示した。一般的に、降雨により流域から流入してくる懸濁物が河川に搬入されSS、COD、TP等の濃度が上昇することが知られている。しかし、これらの項目の両橋における濃度は、8月と比較するとほとんど差はない。この理由としては、調査時の降雨は、時間あたり1～3mmであり、流域から懸濁物を搬入するには降雨強度としては高くないことや、調査時間（午前10時から13時）が降雨初期にあった（降雨開始が早朝6時）事が影響したと考えられる。このような条件下では、溶存成分が初期に溶出した結果、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の上昇となったのかもしれない。流入があった6点のうち 以外の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、 $1.78\sim 10.9\text{mg}/\text{l}$ と河川濃度と比して高値であった。観測できていない小さな水路や暗渠から降雨により $\text{NO}_3\text{-N}$ が洗い出されTN負荷量を増加させたとも考えられる。

川北排水溝について、2000年の8月と10月に調査を行った。8月の流量は $0.408\text{m}^3/\text{sec}$ で表 - 1の総和に対して8%、負荷量はCODが $0.16\text{t}/\text{day}$ で10%、TNが $0.025\text{t}/\text{day}$ で7%、TPが $0.001\text{t}/\text{day}$ で7%であった。10月の調査で流量は測定できなかったが、8月と濃度を比較するとCODが2.5倍、TNが10倍、TPが9倍に増大していた。

表 - 1 日の出橋 - 金比羅橋の各地点における負荷量（上段8月17日、下段10月28日）

| 項目                                | 地点<br>金比羅橋<br>下 | ～     | 上常呂10号<br>樋門 | 高見橋   | 常川橋   | リバーサイドの<br>橋 | 上常呂西13<br>号樋門 | 上常呂西15<br>号樋門 | さかい橋  | 日の出橋  |
|-----------------------------------|-----------------|-------|--------------|-------|-------|--------------|---------------|---------------|-------|-------|
| 流量<br>( $\text{m}^3/\text{sec}$ ) | 4.88            | 5.16  | 0.01         | 0.01  | 0.03  | 0.23         | 0.02          | 0.01          | 0.09  | 4.76  |
|                                   | 6.97            | 5.85  | 流水なし         | 0.03  | 0.05  | 0.01         | 0.00          | 0.00          | 0.02  | 5.74  |
| COD<br>( $\text{t}/\text{day}$ )  | 2.88            | 1.64  | 0.00         | 0.00  | 0.01  | 0.14         | 0.01          | 0.00          | 0.04  | 1.44  |
|                                   | 1.88            | 1.76  | 流水なし         | 0.02  | 0.03  | 0.01         | 0.00          | 0.00          | 0.01  | 1.69  |
| TN<br>( $\text{t}/\text{day}$ )   | 0.354           | 0.341 | 0.001        | 0.001 | 0.002 | 0.039        | 0.003         | 0.005         | 0.011 | 0.280 |
|                                   | 0.434           | 0.324 | 流水なし         | 0.004 | 0.011 | 0.013        | 0.002         | 0.002         | 0.008 | 0.283 |
| TP<br>( $\text{t}/\text{day}$ )   | 0.025           | 0.015 | 0.000        | 0.000 | 0.000 | 0.001        | 0.000         | 0.000         | 0.000 | 0.013 |
|                                   | 0.013           | 0.012 | 流水なし         | 0.000 | 0.000 | 0.000        | 0.000         | 0.000         | 0.000 | 0.011 |

\*表中の合計値はCODで小数点3桁、TN、TPで小数点4桁まで含めて計算しているで合計値である とは一致しない場合がある。以下網走川まで同様である。

表 - 1 では収支がバランスしていない成分もある。例えば10月のTNの負荷量収支は、金比羅橋下より25%程低い。川北排水溝からその分に足りる様な流入があったとは言い難い。今後、同様の条件での比較、検討を行いデータの蓄積を図るとともに、確定値を基にした再計算により、負荷収支を考える必要がある。また、流域を細分化した詳細な調査も必要である。

今回の調査の総和に対する各流量は、概ね1%以下にあり、合計しても7月で7.9%、10月で2.0%に過ぎない。しかし、COD、TN、TP負荷は、いずれの月でも流量の寄与に対してほぼ2倍以上の寄与率を占めていた。7月は、リバーサイドの橋（上常呂川末流）がいずれの負荷量も8.7~11.4%を占め、さかい橋（山村川末流）が、2.1~3.2%の比率を示した。この2点で本流の上の区間以外の全流入の8~9割を占めることになる。この2点のNO<sub>3</sub>-N濃度は、1.52mg/l、1.08mg/lとTN構成成分の8割前後を占めている。目視では、橋から上流部に畑作地域が広がっており、施肥、表面土壌流出由来の可能性がありうる。10月は、常川橋（キダノサワ川）がいずれも優占して負荷比率が高かった。これらに対して、他の樋門、河川の負荷比率は流量こそ小さいものの、いずれも、NO<sub>3</sub>-Nが1.0mg/l、中には10mg/lという環境基準値を超過するような高濃度の値も検出されている。この区間においては、リバーサイドの橋とさかい橋の流域について、その環境保全を優先的に図ることが必要である。また、いずれの区間でもNO<sub>3</sub>-Nの起源を明らかにし、その適切な管理を行う必要がある。NO<sub>3</sub>-Nが農業起源であるとした場合、浸透により地下が汚染され、高濃度のNO<sub>3</sub>-Nが地下経由で常呂川に負荷されると考えられることから流域の地下水調査も必要である。

b) 金比羅橋 - 開成橋間

表 - 2 に金比羅橋 - 開成橋間の各流入負荷量を示した。この区間には、1つの河川と2つの樋門が流入し、期間操

業の製糖工場からの排水もある。開成橋の上流左岸にあり、この工場は10月から翌3月まで常呂川から取水し、ほぼ同量の排水を放流している（網走支庁内部資料）。排水口は、開成橋の上流約100mの左岸にあり、後述する下水処理場放流水と同様に流入負荷が左岸に偏流している可能性が高い。開成橋の流心には樋門からの流入は及んでいないとして、表中には記載しなかった。

流量バランスを見ると、8月調査時の開成橋流量と総和流量はほぼ等しいが、10月は開成橋で総和より約0.5m<sup>3</sup>/sec低い流量を示した。河川年鑑<sup>2)</sup>によると、若松橋の上流では上水、工水、農水の水利権が設定されているが、この区間に上水利用はなく農業もほぼ終期である。

金比羅橋の流量は、8月が実測値、10月が観測速報値であり、誤差を含んでいると考えられ、これらの流量をもとに考察する。

負荷量を検討すると、TNとTP負荷量は開成橋と総和では、8月と10月でほぼ等しい値を示した。流入する1河川、2樋門（管を含む。以下同）のTP負荷量の各々の比率は、総和に対して3.8~7.1%、TNの比率も0.3~4.9%と低い。開成橋に対する負荷量の90%以上は、本流の上の区間からもたらされている。しかし、今回調査した河川や樋門のTN濃度は0.93~21.0mg/l、TP濃度は0.077~0.245mg/lの範囲であり、特に2つの樋門では本流の橋より高濃度を示す傾向があったので、これらの2門に対して適切、効果的な濃度低減策を講じる必要がある。これらの成分と比較すると、COD負荷量は変動するが、その濃度は大きな差があるとは言えない。

c) 開成橋 - 蘭国橋間

表 - 3 に、開成橋 - 蘭国橋間の各流入負荷量を示した。この区間には、蘭国樋門のみが流入する。当樋門は、蘭国橋の上流約20mの左岸にあり、蘭国橋では流入負荷が左岸に偏流している可能性が高い。このような偏流は端野橋における下水処理場放流水についても同様の事が指摘されてい

表 - 2 開成橋 - 金比羅橋の各地点における負荷量（上段8月17日、下段10月28日）

| 項目 \ 地点                  | 開成橋下           | ~                      | むつみ橋           | 上常呂1号樋管        | 上常呂2号樋門        | 金比羅橋           |
|--------------------------|----------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 流量 (m <sup>3</sup> /sec) | 5.19<br>6.45   | 5.12<br>7.08<br>(7.40) | 0.01<br>0.07   | 0.02<br>0.00   | 0.21<br>0.04   | 4.88<br>6.97   |
| COD (t/day)              | 2.62<br>2.31   | 3.02<br>1.98           | 0.01<br>0.06   | 0.02<br>0.00   | 0.12<br>0.03   | 2.88<br>1.88   |
| TN (t/day)               | 0.372<br>0.434 | 0.380<br>0.456         | 0.001<br>0.012 | 0.006<br>0.002 | 0.019<br>0.010 | 0.354<br>0.434 |
| TP (t/day)               | 0.023<br>0.014 | 0.026<br>0.014         | 0.000<br>0.001 | 0.000<br>0.000 | 0.001<br>0.000 | 0.025<br>0.013 |

流量の括弧内は工場放流分を含む

る<sup>3)</sup>。従って、蘭国橋の流心には樋門からの流入は及んでいないとして、開成橋と蘭国橋の比較を行う。但し、蘭国橋の流量は偏流の影響がないので樋門分を合算し、総和として考察する。

8月の流量はバランスが取れているが、10月は約1m<sup>3</sup>/sec蘭国橋の方が小さい。

負荷量を検討すると、8月はTNがほぼ等しく、蘭国橋に対してCODは低下、TPは上昇と両成分で対照的な傾向を示した。この時のSSは、蘭国橋で14mg/l、開成橋で10mg/lと、蘭国橋の方が高い。TP濃度は0.067mg/l、0.051mg/lであり、その内のPO<sub>4</sub>-P濃度が、それぞれ0.009mg/l、0.012mg/lとなっている。PO<sub>4</sub>-PとTPの濃度差を懸濁態由来Pと考えると、SSとTPの濃度変動は矛盾していない。N成分ではNO<sub>3</sub>-N+NO<sub>2</sub>-Nの合算濃度が0.53mg/lと0.54mg/lとほとんど差がないものの、NH<sub>4</sub>-Nは検出限界と0.045mg/lであった。この時期、当区間では、河川中の生物等により、PO<sub>4</sub>-PやNH<sub>4</sub>-Nが消費される河川環境であるが、COD濃度の減少もこれに伴うものは、今後検討する必要がある。

10月の調査では、3項目の濃度・負荷ともに8月より上昇している。当日は降雨があり、目視では河川水中に綿状物質が浮かび、色相が淡灰色化していた。この物質は、製糖工場排水由来と考えられる。N系成分の濃度変動は大きく、蘭国橋と開成橋のTN濃度は1.37mg/lと0.78mg/lとなり差があった。NO<sub>3</sub>-N濃度は0.862mg/lと0.552mg/l、NH<sub>4</sub>-N濃度は0.232mg/lと0.039mg/lとなっており、8月に比していずれも著しい濃度上昇を示し、この成分の総和での上昇分にはほぼ等しい。TP濃度の増加は、PO<sub>4</sub>-P濃度がいずれも0.013mg/lであることから、無機溶存態以外のPが負荷量増加の要因となっていた。COD濃度も5.6mg/l、4.1mg/lと同様に増加しているが、いずれの成分も排水の影響比率は不明である。

10月の調査結果では、下流の蘭国橋でのTN負荷量が上流より51%と、8月と比べ増加が著しい。この要因は、工場排水が関与しているのは明らかであり、10月から翌年3月については、この工場排水の汚濁物質濃度を低下させる

ことが、この区間のTN低下へ重要である。

表 - 3 蘭国橋 - 開成橋の各地点における負荷量 (上段8月17日、下段10月28日)

| 項目 \ 地点                  | 蘭国橋下           | ~            | 蘭国樋門           | 開成橋            |
|--------------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|
| 流量 (m <sup>3</sup> /sec) | 5.46<br>5.57   | 5.81<br>6.50 | 0.62<br>0.06   | 5.19<br>6.45   |
| COD (t/day)              | 2.04<br>2.67   | -<br>-       | 0.30<br>0.06   | 2.62<br>2.31   |
| TN (t/day)               | 0.401<br>0.659 | -<br>-       | 0.084<br>0.039 | 0.372<br>0.434 |
| TP (t/day)               | 0.032<br>0.019 | -<br>-       | 0.003<br>0.001 | 0.023<br>0.014 |

#### 4.2 常呂5 - 3 区間詳細調査

##### a) 第2観月橋 - 若松大橋間

表 - 4に、第2観月橋 - 若松大橋間の各流入負荷量を示した。この区間には2つの河川と6つの樋門が流入する。シュブシュブナイ川樋門、善光樋門は2回の調査とも流量はなかったため表示していない。

流量バランスを見ると、2回とも北見観測所の速報値を用いた若松大橋の流量は、総和に対して7月は4.96m<sup>3</sup>/sec、10月は1.39m<sup>3</sup>/sec少ない。7月は、常呂川第2頭首工で1.60m<sup>3</sup>/secの取水を行っていたが、この分を差し引いてもさらに3.36m<sup>3</sup>/sec少ない。この差は、流量測定上の誤差か、若松大橋の速報流量値の誤差か頭首工が一時的な貯水機能を果たしたか等が考えられる。

頭首工により、懸濁分が除去されることが考えられたので、頭首工までの流入負荷の合計(表中: から )を示した。

この区間は、流量バランスが取れていないことや、頭首工が存在するため、若松大橋と統流入負荷を直接比較することは難しいと判断し、主な負荷と若松大橋とを比較し考察する。また、頭首工より上流の中の島樋管では、流量は少ないものの、NO<sub>3</sub>-N濃度は4.0mg/l、7.8mg/lと高濃度を示しており、この流域も環境改善を検討する必要がある。

表 - 4 若松大橋 - 第2観月の各地点における負荷量 (上段7月13日、下段10月28日)

| 項目 \ 地点                  | 若松大橋下          | ~              | 北見用水樋門         | 観音橋            | 若松樋門          | 頭首工前合算         | 観月樋門           | 中の島樋管          | 第1観月橋          | 第2観月橋          |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 流量 (m <sup>3</sup> /sec) | 11.87<br>13.41 | 16.83<br>14.80 | 0.01<br>0.46   | 0.27<br>0.13   | 0.01<br>流水なし  | 16.53<br>14.22 | 0.08<br>0.28   | 0.00<br>0.02   | 6.45<br>6.07   | 10.00<br>7.85  |
| COD (t/day)              | 5.46<br>8.82   | 8.35<br>10.03  | 0.00<br>0.82   | 0.03<br>0.16   | 0.00<br>流水なし  | 8.32<br>9.05   | 0.05<br>0.46   | 0.00<br>0.00   | 3.59<br>2.97   | 4.68<br>5.62   |
| TN (t/day)               | 1.220<br>1.483 | 1.715<br>1.269 | 0.003<br>0.128 | 0.008<br>0.029 | 0.003<br>流水なし | 1.702<br>1.111 | 0.010<br>0.035 | 0.001<br>0.010 | 0.569<br>0.530 | 1.123<br>0.536 |
| TP (t/day)               | 0.062<br>0.058 | 0.081<br>0.114 | 0.000<br>0.020 | 0.001<br>0.002 | 0.000<br>流水なし | 0.080<br>0.091 | 0.000<br>0.014 | 0.000<br>0.000 | 0.026<br>0.019 | 0.054<br>0.058 |

頭首工より下流には3樋門がある。若松樋門の流量や負荷量は1%に満たず、大きく影響することはない。観音橋(シュブシュブナイ川末流)は、7月は流量寄与率2.3%に対して、負荷量寄与率はいずれの項目も1%以下であったが、10月の流量寄与率は0.9%と少ないにも関わらず、負荷量寄与率が1.8~3.8%と2~3倍、大きかった。これは、当日の降雨により各成分が溶出したためと考えられた。北見用水樋門も、観音橋と同様に降雨時には負荷量が大きかった。この時のNH<sub>4</sub>-N濃度は1.51mg/lとTN濃度の半分弱を占めたのに対し、PO<sub>4</sub>-P濃度はTP濃度の5%しかなかった。TPに対してPO<sub>4</sub>-P以外の成分が多くなった原因として、生活由来のゴミが多く見られたことから、住宅地を経由する樋門からの影響と考えられた。晴天時に沈着分解されていた流入汚水が降雨時に洗い出しされると考えられ、この2流域の環境改善が必要となる。

この区間における頭首工の存在は、取水による流量低下をもたらすだけでなく、懸濁成分を除去する機能が見られた。今回の調査結果では、7月では流量、SSとも30%前後、10月では流量9%、SSでは68%も減少されることが明らかになった。

b) 若松大橋 - 北見大橋間

表 - 5 に、若松大橋 - 北見大橋間の各流入負荷量を示した。この区間には3つの樋門が流入する。

流量バランスを見ると、この区間に大きな取水は無いが、北見大橋の流量は総和より2.8~4.2m<sup>3</sup>/secほど小さくなっている。ここでは、北見大橋での測定値をもとに、3点の負荷量比率を考察する。

川東樋門は流量が少ないこともあり、2回の調査とも常呂川への影響はほとんどないと考えられる。東6号樋門(小石川末流)と桜町樋門は、7月調査時ではいずれの成分も1%程度か、それ以下の寄与率であった。しかし、降雨時(10月)と平時(7月)を比較すると、流量変動に対して成分は2倍(東6号樋門)、4~7倍(桜町樋門)と変動し、大きな負荷源となる。両樋門とも北見市内を経て常呂川に流入しているが、東6号樋門は自然河川の水を含

むのに対して、桜町樋門は、かつての家庭排水の集水路の流末と推測される。この樋門は、7月は流水が無く、通常での流入量はほとんどないと考えられた。しかし、樋門口には北見用水樋門口と同様にゴミが貯まっていた。これらの樋門に対しては、降雨時等においても常呂川に負荷を与えないような改善策が必要と考えられる。

北見大橋の7月と10月の流量を総和に近い12、14m<sup>3</sup>/secと仮定して負荷バランスを検討した場合、CODとTN負荷量は、総和負荷量と等しくなるが、TP負荷量はこのような傾向はなかった。また、SSが12mg/lと27mg/lと下流で高いので、TP濃度の変動は懸濁物の挙動に依拠しているかもしれない。

c) 北見大橋 - 端野橋間

表 - 6 に、北見大橋 - 端野橋間の各流入負荷量を示した。1つの樋門と1つの流入河川と下水処理場放流水が流入する。放流水の濃度と流量は、7月は処理場報告値、10月は現地測定値を使用した。

下水処理場放流水が端野橋の負荷量に及ぼす影響については、北見工大により既に報告されている<sup>3)</sup>。BODは、端野橋では左岸で高い濃度偏差がある事が指摘されているので、これまで同様に流量は放流水分を加算するが、負荷量は端野橋の下流で放流水の負荷が合流したとみなして、上部( ~ )までの合計値で負荷収支を検討する。

流量バランスを見ると他に大きな流入がないにも関わらず、端野橋の流量は7月で0.51m<sup>3</sup>/sec、10月で2.22m<sup>3</sup>/secと総和より多かった。

2回の調査の両流入は、端野橋に対して流量と負荷量ともに1%以下であり、大きな負荷源とはなっていないが、TN濃度が1.6~3.4mg/l、TP濃度が0.14~0.30mg/lと常呂川本流に比して高いことから、流域環境について把握する必要がある。

7月のCODとTN負荷量は、端野橋の実測と総和がバランスしていた。しかし、10月のTN、TPで負荷収支に違いがあるので、成分別に検討した。端野橋、北見大橋にお

表 - 5 若松大橋 - 北見大橋の各地点における負荷量(上段7月13日、下段10月28日)

| 項目 \ 地点                     | 北見大橋<br>下      | ~              | 東6号樋門          | 川東樋門           | 公共下水道<br>桜町樋門 | 若松大橋           |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| 流量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 9.15<br>9.58   | 11.94<br>13.77 | 0.07<br>0.24   | 0.00<br>0.02   | 流水なし<br>0.096 | 11.87<br>13.41 |
| COD<br>(t/day)              | 4.51<br>6.85   | 5.51<br>9.72   | 0.05<br>0.38   | 0.00<br>0.05   | 流水なし<br>0.470 | 5.46<br>8.82   |
| TN<br>(t/day)               | 1.170<br>0.985 | 1.242<br>1.570 | 0.021<br>0.046 | 0.000<br>0.003 | 流水なし<br>0.038 | 1.220<br>1.483 |
| TP<br>(t/day)               | 0.034<br>0.094 | 0.062<br>0.068 | 0.000<br>0.004 | 0.000<br>0.001 | 流水なし<br>0.005 | 0.062<br>0.058 |



表 - 6 北見大橋 - 端野橋の各地点における負荷量（上段7月13日、下段10月28日）

| 項目                          | 地点       |       |       | 下水処理場 | 松下川<br>下流 | 川向8号<br>樋門 | 北見大橋  |
|-----------------------------|----------|-------|-------|-------|-----------|------------|-------|
|                             | 端野橋<br>下 | +     | +     |       |           |            |       |
| 流量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 10.21    | -     | 9.72  | 0.54  | 0.03      | 0.002      | 9.15  |
|                             | 12.90    | -     | 10.67 | 1.08  | 0.01      | 0.003      | 9.58  |
| COD<br>(t/day)              | 4.62     | 4.52  |       | 1.03  | 0.02      | 0.00       | 4.51  |
|                             | 7.50     | 6.86  |       | 3.74  | 0.01      | 0.00       | 6.85  |
| TN<br>(t/day)               | 1.058    | 1.178 |       | 0.821 | 0.008     | 0.000      | 1.170 |
|                             | 1.939    | 0.991 |       | 2.333 | 0.005     | 0.001      | 0.985 |
| TP<br>(t/day)               | 0.050    | 0.034 |       | 0.085 | 0.000     | 0.000      | 0.034 |
|                             | 0.071    | 0.094 |       | 0.187 | 0.000     | 0.000      | 0.094 |

けるNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pの差は小さく、端野橋のSSは20mg/lと北見大橋より8mg/l低かった。TN、TPの濃度変動をもたらしているものは、溶存有機態成分と考えられ、処理場の放流水質が変動に寄与している。また、端野橋の流心における放流水の混合状況は変動しており、調査時の本流の水量、水位、流速に加えて処理場の排水量変動、濃度とその成分構成については、更にデータの蓄積が必要である。

## d) 端野橋 - 中央橋間

表 - 7 に、端野橋 - 中央橋の各流入負荷量を示した。この区間には2つの樋門が流入している。先に述べた様に、この区間で処理場から排水負荷の影響を検討する。

流量バランスを見ると、総和と比較して、7月の中央橋の流量は低く、10月は逆に高い傾向を示した。この原因は、測定時の断面の推定誤差等による見積もり差が出たと思われるが、いずれの地点も実測値であり、この値を用いて負荷収支を検討する。

両樋門の水質は本流と似ているため、負荷と流量の寄与はほぼ一致していた。例として、7月の東12号樋門は、流量寄与が3.8%に対して、CODが3.8%、TNは2.3%、TP2.1%であった。10月は、流量と成分が両樋門で1%以下の比率と低下していた。各樋門の流域には畑作地域が広がっていたことから、7月は、これらの成分は農業活動由来と考えられる。10月の流量は、7月に比較して20 - 25%

程度に低下していたことから、晴天時には樋門に水は流れていないと思われるが、農業活動時期には、これらの樋門の水質管理は重要である。

前述したように、この区間で下水処理場の負荷が加わったと見なす総和を示した。

7月は、中央橋の各成分とも総和に比べて低い負荷量を示しており、この時期には、自然の浄化機構が作用するかもしれない。下水処理場の排水はTNの大半がNH<sub>4</sub>-N態であり（10月調査時のデータより）、大気中へ気散したものとあると考えられる。しかし、中央橋におけるCOD以外のNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P濃度は端野橋より高い値を示していることから処理場排水の影響は無視できない。

10月については、中央橋のTN、TP負荷量は、総和に対して2.2倍、2.5倍と実測が大きかった。中央橋における溶存態の濃度は、端野橋に比してNO<sub>3</sub>-Nが5倍、PO<sub>4</sub>-Pが8倍になっているものの、NH<sub>4</sub>-Nはこれらより差は少なく、一方で、SSは中央橋で低くなっている。これらの時期、この区間に流入する大規模な事業所等はなく、区間内の生物分解由来とも考えられるが不明であり、さらにデータの蓄積が必要である。

## 4.3 網走7 - 5 区間詳細調査

表 - 8 に、共和橋 - 活汲橋間の各流入負荷量を示した。この区間には2本の河川が流入する。

表 - 7 端野橋 - 中央橋の各地点における負荷量（上段7月13日、下段10月28日）

| 項目                          | 地点       |       |       | 端野東15号<br>樋門 | 端野東12号<br>樋門 | 端野橋   |
|-----------------------------|----------|-------|-------|--------------|--------------|-------|
|                             | 中央橋<br>下 | +     | +     |              |              |       |
| 流量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 7.87     | -     | 11.17 | 0.66         | 0.30         | 10.2  |
|                             | 15.01    | -     | 13.06 | 0.09         | 0.07         | 12.9  |
| COD<br>(t/day)              | 3.51     | 6.16  | -     | 0.38         | 0.14         | 4.62  |
|                             | 10.00    | 11.40 | -     | 0.08         | 0.08         | 7.50  |
| TN<br>(t/day)               | 1.360    | 1.974 | -     | 0.063        | 0.031        | 1.058 |
|                             | 9.399    | 4.318 | -     | 0.023        | 0.022        | 1.939 |
| TP<br>(t/day)               | 0.067    | 0.140 | -     | 0.003        | 0.001        | 0.050 |
|                             | 0.647    | 0.260 | -     | 0.001        | 0.001        | 0.071 |

表 - 8 共和橋 - 活汲橋の各地点における負荷量（上段5月18日、下段7月12日）

| 地点<br>項目                    | 活汲橋<br>下       | + +            | 達美橋<br>(本流)  | たけうら橋          | 達媚橋<br>(本流)    | 達媚橋<br>(1/2)   | +              | 緑栄橋            | 共和橋            |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 流量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 17.80<br>8.80  | 18.36<br>7.27  | 測定不可<br>7.40 | 2.23<br>0.20   | 30.95<br>15.17 | 15.57<br>7.20  | 16.13<br>7.07  | 6.03<br>2.88   | 10.10<br>4.19  |
| COD<br>(t/day)              | 5.01<br>3.19   | 5.61<br>2.05   | -<br>2.66    | 1.10<br>0.07   | 8.69<br>4.74   | 4.35<br>2.37   | 4.51<br>1.98   | 1.38<br>0.61   | 3.13<br>1.37   |
| TN<br>(t/day)               | 1.210<br>0.259 | 0.981<br>0.244 | -<br>0.320   | 0.123<br>0.006 | 1.63<br>1.65   | 0.82<br>0.83   | 0.858<br>0.238 | 0.245<br>0.082 | 0.613<br>0.156 |
| TP<br>(t/day)               | 0.055<br>0.024 | 0.062<br>0.033 | -<br>0.022   | 0.014<br>0.000 | 0.080<br>0.085 | 0.040<br>0.043 | 0.048<br>0.032 | 0.016<br>0.006 | 0.032<br>0.026 |

流量バランスを見ると、活汲橋流量は総和とほぼ一致し、COD、TN、TP負荷量もほぼ一致した値を示している。たけうら橋（タッコブ川）の流域利用は、森林94%、畑5.4%、水田0.1%の比率と森林比率が高い。区間内面積（津別川流域を除いた）の79%を占めるタッコブ川流域の負荷量が活汲橋の負荷量の1～2割を含めていることが分かる。また、表 - 8において、区間内の収支が合致していることから、津別町市街の生活排水、規制対象外の事業所からの負荷量については、網走川への負荷は大きくないことが示唆された。また、河川年鑑<sup>2)</sup>によると津別町には下水処理場があり、処理水量1000m<sup>3</sup>/日、NH<sub>4</sub>-N濃度4.3mg/lが報告されている。この負荷は4.3kg/dayと算出され、活汲橋のTN負荷量に対して2%以下である。

本流に架かる達媚橋の流量(津別観測所の速報値を使用)は、5月、7月とも緑栄と共和の合計値の2倍近い値を示している。しかし、この区間に、この差をもたらす様な流入はないので、流量確定値が報告された段階で再検討が必要である。達媚橋の流量については、緑栄橋、共和橋の合計値( )と下流の達美橋が活汲橋の流量収支から見積もった値(1/2)を示した。

#### 4.4 網走4 - 2区間詳細調査

##### a) 大正橋 - 美禽橋間

表 - 9に大正橋 - 美禽橋間の流入負荷量を示した。この区間には、5つの樋門が流入する。東幹線頭首工樋門は、

2回の調査時とも水は流れていなかったのて表示していない。

流量バランスを見ると、美禽橋の7月の流量は、総和より2倍以上高く、10月は逆に2.5m<sup>3</sup>/secほど小さい。この原因は、美禽橋の流量値が速報値であることから、誤差を含んだものであることを考慮しなければならない。また、大正橋の直ぐ下流に東幹線頭首工があり、5～8月にかけて2m<sup>3</sup>/sec前後の取水を行っている。7月には、取水のためゲートが上がり大正橋より上流50～100m付近まで貯水池化して、ほとんど流れがない状態であり、流量測定の見誤差が大きい。このため、この区間は、単純に流量や負荷バランスを考察することは難しく、美禽橋の負荷量に対して、4つの樋門がどの程度の寄与を示すか考察する。

4つの樋門とも美禽橋の流量、負荷量に対し1%以下であることが多く、4つの合計値でも、流量では0.2～1.3%、負荷量でも0.3～3.7%と低く、これらの樋門は負荷源とはならないと判断された。また、東幹線頭首工は、常呂川のように懸濁態成分の除去に影響している傾向は、見られなかった。

この区間については、美禽橋の流量確定値による再計算や他の取水、放水口の有無について調査が必要であろう。

##### b) 美禽橋 - 豊郷橋間

表 - 10に、美禽橋 - 豊郷橋間の各流入負荷量を示した。この区間には、2つの河川と5つの樋門が流入する。新町

表 - 9 大正橋 - 美禽橋の各地点における負荷量（上段7月12日、下段10月20日）

| 地点<br>項目                    | 美禽橋<br>下       | ~              | 川原樋門           | 鳥里樋門           | 大西樋門           | 鍋島樋門          | 大正橋            | 大正橋仮定          |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 流量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 7.43<br>6.36   | 3.67<br>8.89   | 0.03<br>0.004  | 0.02<br>0.00   | 0.02<br>0.01   | 0.03<br>流水なし  | 3.57<br>8.88   | 7.33<br>6.35   |
| COD<br>(t/day)              | 2.95<br>1.79   | 1.50<br>1.90   | 0.02<br>0.00   | 0.02<br>0.00   | 0.01<br>0.00   | 0.02<br>流水なし  | 1.44<br>1.89   | 2.88<br>1.79   |
| TN<br>(t/day)               | 0.456<br>0.269 | 0.243<br>0.332 | 0.003<br>0.000 | 0.006<br>0.000 | 0.001<br>0.002 | 0.001<br>流水なし | 0.231<br>0.330 | 0.445<br>0.267 |
| TP<br>(t/day)               | 0.022<br>0.011 | 0.010<br>0.015 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>0.000 | 0.000<br>流水なし | 0.009<br>0.015 | 0.022<br>0.011 |

表 - 10 美禽橋 - 豊郷橋の各地点における負荷量（上段7月12日、下段10月20日）

| 項目                          | 地点    |       | 黒瀬樋門  | 木禽橋   | 美禽樋門  | 日甜樋門  | 花見橋   | 美禽橋   | +     | + |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
|                             | 豊郷橋   | 下     |       |       |       |       |       |       |       |   |
| 流量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 10.58 | 13.99 | 0.45  | 0.26  | 0.71  | 0.04  | 5.10  | 7.43  | 1.46  |   |
|                             | 10.00 | 9.96  | 0.16  | 0.20  | 流水なし  | 0.37  | 2.87  | 6.36  | 0.73  |   |
| COD<br>(t/day)              | 4.50  | 5.42  | 0.19  | 0.16  | 0.34  | 0.05  | 1.73  | 2.95  | 1.24  |   |
|                             | 2.86  | 2.94  | 0.07  | 0.09  | 流水なし  | 0.31  | 0.67  | 1.79  | 0.47  |   |
| TN<br>(t/day)               | 0.686 | 1.400 | 0.025 | 0.016 | 0.034 | 0.010 | 0.859 | 0.456 | 0.91  |   |
|                             | 1.253 | 0.988 | 0.020 | 0.035 | 流水なし  | 0.389 | 0.275 | 0.269 | 0.444 |   |
| TP<br>(t/day)               | 0.061 | 0.061 | 0.003 | 0.002 | 0.010 | 0.001 | 0.023 | 0.022 | 0.016 |   |
|                             | 0.045 | 0.041 | 0.001 | 0.001 | 流水なし  | 0.008 | 0.020 | 0.011 | 0.010 |   |

樋管は2回の調査時とも水は流れていなかったのて表示していない。豊郷橋は、10月調査時に流速計の不調があり測定出来なかったが、合計値である9.95m<sup>3</sup>/secを参考に約10m<sup>3</sup>/secと仮定して計算したものを示した。この区間の流量収支は、7月のみで考察する。

流量バランスでは、豊郷橋の流量は総和より3.4m<sup>3</sup>/secほど小さい値を示している。すべての区間で採水時に測定を行っており、誤差は少ないと考えられる。河川年鑑<sup>2)</sup>に記載されている治水橋上流で、工水0.424m<sup>3</sup>/sec、農水11.208m<sup>3</sup>/secの利水権の取水によるものかもしれない。

この区間では、季節操業を行う製糖工場が美幌川最下流橋の花見橋の、更に下で排水を放流しているのて、工場排水（日甜樋門）は網走川に直接流入しているとみなした。

美幌川花見橋の流量や負荷は、本流の美禽橋に匹敵している。その両者を除く4つの流入の合計流入比率は、10.4~7.3%と1割前後を占める。黒瀬樋門と木禽橋（木禽川）におけるCOD、TN及びTPの寄与率は、±1%内にほぼ収まっており、季節的に大きく変動しないことが示唆される。7月の美禽樋門は、TPが15.7%と4流入点の中で最も高い寄与率を示していたが、10月にはまったく流量がなかった。美禽樋門は、美幌町市街地の対岸である左岸にあり、生活排水系でなく、農業活動時に利用される水路（樋門）と考えられる。流量寄与率が6.7%に対し、TNの寄与率は2.4%、TPは16.4%であった。この樋門は、流水がある時は、流量も日甜を除く他の3流入より大きい事から、TPの負荷としては、無視出来ない。

10月から翌3月までの期間に稼働する製糖工場排水の日甜樋門は、10月に高い負荷量をもたらしていた。TN、TPの高い寄与率39%と20%は、4流入の中でも際だっていた。河川年鑑<sup>2)</sup>によると美幌町の下水処理場は、花見橋の約1km上流で美幌川に放流されている。処理水の水量5900m<sup>3</sup>/日、NH<sub>4</sub>-N濃度12.8mg/lが報告されている。これは日量としては75.5kg/dayと算出され、表-10の花見橋のTN負荷量に対して8.8%~27.5%となり、時期によっては負荷量として比率が高くなる事が考えられた。さらに詳細な調査が必要である。

時期的な変動はあるものの、4流入の流量合計値が、10%程度に対して、負荷は少ない項目でも15%以上を占め、これら4流入点の負荷削減は、美幌川の負荷削減と合わせて必要である。

7月の豊郷橋のTN値は、上部6点の合計値に対して、ほぼ半分である。不足流量に相当するTNを差し引いても約0.5t/day分が減っていることになる。この点については、この区間における自然浄化機構の影響によるものか興味を持たれるところである。

c) 豊郷橋 - 治水橋間

表-11に、豊郷橋 - 治水橋間の流入負荷量を示した。この区間に1つの樋門が流入する。10月調査時の豊郷橋の流量は、表-10と同様に仮定値を記載してある。

流量バランスを見ると、治水橋の流量は、この総和より2.5~3.4m<sup>3</sup>/secほど高い値を示している。この流量は、近接の本郷観測点の速報値を用いていることから、その測定誤差を若干含んでいると思われる。

この区間において、暗渠等による排水がなく、治水橋の流量を総和より若干高い11m<sup>3</sup>/secの流量と仮定し、得られた負荷量を治水補正として表に示している。流入する豊里樋門のCOD、TN、TPのいずれもが、治水橋、豊郷橋における負荷量に対して1%以下であることから、この樋門からの排水は、この区間の負荷を増加するものでないこ

表 - 11 治水橋 - 豊郷橋の各地点における負荷量（上段7月12日、下段10月20日）

| 項目                          | 地点    |       | 豊里樋門  | 豊郷橋   | 治水補正  |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                             | 治水橋   | +     |       |       |       |
| 流量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 13.16 | 10.64 | 0.06  | 10.58 | 11    |
|                             | 13.48 | 10.03 | 0.03  | 10.00 | 11    |
| COD<br>(t/day)              | 5.71  | 4.54  | 0.04  | 4.50  | 4.77  |
|                             | 4.98  | 2.88  | 0.02  | 2.86  | 4.06  |
| TN<br>(t/day)               | 1.069 | 0.688 | 0.003 | 0.686 | 0.893 |
|                             | 1.246 | 1.259 | 0.004 | 1.253 | 1.017 |
| TP<br>(t/day)               | 0.083 | 0.062 | 0.000 | 0.061 | 0.069 |
|                             | 0.118 | 0.045 | 0.000 | 0.045 | 0.096 |

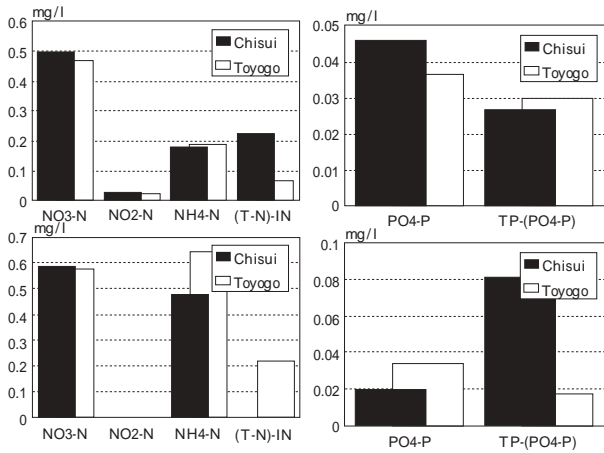


図 - 5 治水橋と豊郷橋の窒素、リンの濃度比較（上段7月、下段10月）とが分かった。治水補正と総和を比較すると、10月のTN以外は、いずれも補正前と同様に高い値を示し、負荷量バランスが取れていないことが分かる。治水橋と豊郷橋のN、P成分について構成成分の濃度比較を図 - 5 に示す。7月のTPの増加だけはPO<sub>4</sub>-Pと連動しているが、10月のTPと両月のTNは無機態溶存態とは連動していなかった。SS値を比較すると、7月、10月ともに治水橋の方が高い値であった。

また、治水橋における過剰分の流量2.5～3.4m<sup>3</sup>/secに相当する流入があると仮定するとその成分濃度は、CODで約5～7mg/l、TNで約1.7mg/l、TPで約0.1～0.24mg/lと両橋、樋門の濃度よりかなり高い事になる。

このような流量増加をもたらす要因を明らかにするのは、今後の課題である。

#### 4.5 通日観測調査

常呂川では、中央橋下流部に自動採水機を設置し、11月24日16：00から25日16：00まで、2時間毎に採水して観測した。図 - 6 にCOD、N系及びP系の主な成分の時間濃度変動を示す。

この地点は、前述のように、北見下水処理場の放流水の影響を大きく受けている地点である。COD、PO<sub>4</sub>-P（TPも含む）、NH<sub>4</sub>-Nは16：00または18：00より濃度上昇を始め、0：00から4：00に最大値となった。その後減少するが、10：00から再び上昇し始め、変動しつつも16：00に再び高い値を示した。これは北見市内からの生活、事業系活動により、処理場の排水変動と考える方が妥当である。これについては、処理場の検査結果等と比較検討する必要がある。

網走川では、美禽橋下流部に自動採水機を設置し、8月16日17：30から17日17：30まで、2時間毎に採水して観測した。図 - 7 に、COD、窒素系成分、リン系成分の2時間毎の変動を示す。

CODについては、全般的には19：30～9：30までの観測時間帯に概ね低い傾向が見られた。19：30～1：30までの

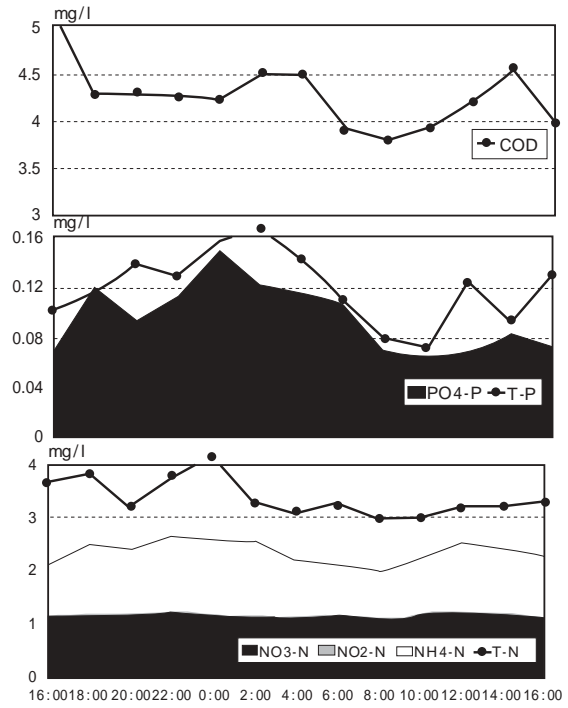


図2・厚岸湖流入河川模式図

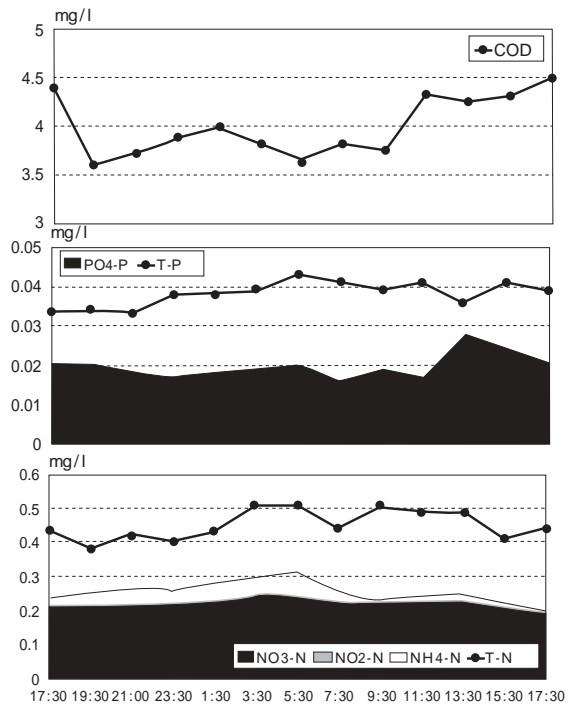


図2・厚岸湖流入河川模式図

濃度上昇は、生活排水系の影響かもしれない。9：30～17：30までの高い値は生活排水系よりも、農業、工業等の社会活動に対応したものかもしれない。N系成分ではNO<sub>3</sub>-Nが0.21±0.02mg/lの範囲にあった。NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-Nとも、ほぼ21：30～5：30に濃度上昇の傾向を示し、5：30に最大値を示した。全窒素は、これらの時間帯以外に、CODと同様に9：30～13：30の昼に高い傾向が見られた。この理由については不明である。また、夜間について、NH<sub>4</sub>-Nが変動していることから、この原因を検討する必

表 - 12 10月28日、9月9日の常呂川流域における時間別の降雨量(単位: mm、上段1999年、下段1998年)

| 時刻  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 0 - 16合計 | 日降雨量 (mm) |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|-----------|
| 北見  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1  | 1  | 1  | 2  | 1  | 2  | 2  | 3  | 1  | 17       | 45        |
|     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1  | 5  | 19 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 28       | 28        |
| 留辺蘂 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2  | 1  | 3  | 2  | 2  | 1  | 1  | 4  | 2  | 22       | 32        |
|     | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 | 3 | 4 | 12 | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 27       | 28        |
| 境野  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2  | 1  | 2  | 2  | 1  | 1  | 2  | 3  | 2  | 16       | 37        |
|     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4  | 11 | 2  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 19       | 19        |

\* 1は0 - 1時までの間、以下同様

要がある。P成分については、このような変動は見られなかった。

#### 4.6 降雨による懸濁物流出の差

今回、常呂川において降雨の状況により、本流と支流において懸濁物の流出傾向に差があることが分かった。表 - 12に1998年9月、1999年10月調査時の1時間値の降雨量を示す。

1999年の区間調査結果では、1時間に1mm程度の継続した降雨がある場合、支流や樋門からSS負荷量が増し、透視度の低下を招き、多くの地点が2.5 - 26cmの範囲にあった。しかし、本流は、北見大橋の29cmを除けば、いずれも30cm以上を示しており、この降雨状況は本流の透視度を低下させないことが明らかになった。9月9日は、降雨時間、日合計雨量も10月28日より小さいが、短時間であっても10mm以上の集中した雨量をもたらされたため、透視度は常呂川本流のほぼ全域で1 - 18cmと低下した。この時の流量は、前後の調査と比較してかなり大きかった事から、流域に広く降雨があったと考えられる。短期間でも10mm以上の降雨は、流域からの表面流出をもたらし、この濁水が常呂川の水質環境を著しく悪化させられる。

また、最大支流の無加川は、いずれの年も透視度が30cm以下となっていることから、降雨による影響を受けやすいと考えられる。第一観月橋の上流、約5km地点には無加川第2頭首工がある事から、この区間の流域は、表面流出による濁水をもたらしやすい環境である可能性がある。

## 5 まとめ

常呂川、網走川における区間毎の負荷量から得られた比流出量の値を基に、負荷が大きい4区間を対象に、詳細な負荷量調査を1999年に2回行った。その結果、常呂川中流の日の出橋から蘭国橋間においては、全窒素(TN)は農業活動由来、COD、TN、全リン(TP)は製糖工場の排水の影響が大きい割合を占めると考えられた。第2観月橋から中央橋間は、北見市内からの生活排水と下水処理場の放流水が大きい割合を占めている事が知られた。網走川中

流の活汲橋から共和橋間の負荷は、流入河川の負荷比率が高く、人為由来の負荷はほとんどないと考えられた。下流の大正橋から治水橋間では、流入河川、樋門、製糖工場の排水の影響が大きい割合を占めている事が知られた。これらの事から、常呂川は季節操業の工場排水、他に農畜用地の排水や生活排水、網走川は、季節操業の工場排水、農畜用地の排水の負荷を減少させることが水質保全上で重要である。

また、両河川で通日観測を行った。その結果は、常呂川は下水処理場排水が、網走川は生活排水がCOD、PO<sub>4</sub>-P、NH<sub>4</sub>-Nを高くする傾向が見られた。

両河川とも、調査区間内に頭首工が2つあるが、常呂川では、頭首工の存在が懸濁物の除去に寄与している可能性が示された。今回十分に検討できなかったがオーバーフローしてきた水量、水質を検討し、除去機構を明らかにすることで、河川の浄化に役立つ運用を提案できるかもしれない。

今回は、詳細調査が2回、通日調査が1回とデータ数が少なく、十分な考察は出来ないが、今後、さらにデータを蓄積し、負荷の流出機構を明らかにする必要がある。

## 謝辞

現地調査に際しましては、網走支庁環境生活課環境保全係の皆様のご協力を得ました。現地での試料処理に関しましては、網走市下水処理場、津別町下水処理場、北見市下水処理場の方々に多大なるご配慮を頂きました。上記して感謝申し上げます。さらに常呂川、網走川の流量データをいただいた網走開発建設部河川課のご厚意にお礼申し上げます。

なお、本報告は、平成10年度 常呂川・網走川水質調査報告書(みどり広がるエコ・リバー推進事業)、平成11年度 常呂川・網走川水質調査報告書(みどり広がるエコ・リバー推進事業)の調査結果を基に、加筆、修正を加えたものです。同報告書には、調査時のオリジナルデータが載っている事を付け加えます。

## 6 引用文献

- 1) 常呂川・網走川の河川水質汚染の特性 その1 - 全域調査結果 - (2002) 石川靖, 斉藤修, 三上英敏, 今泉晴夫.北海道環境研報Vol.28, p63 - 79.
- 2) 1997日本河川年間(2001) 社団法人日本河川協会編, 山海堂, p.125 - 136.
- 3) 平成10年度常呂川水系環境保全対策協議会常呂川水系水質調査報告書(1999) 北見工業大学地域共同研究センター編.

The characteristics of river water pollution in Tokoro River and Abashiri River. -The load feature of a closed interval of these rivers-

Yasushi Ishikawa, Osamu Saitoh  
Hidetoshi Mikami and Haruo Imaizumi

### Abstract

We were researched a detailed load survey in high loads per unit area in basin sites which we got results in 1998 research of river water pollution in Tokoro River and Abashiri River. In the middle Tokoro river basin, The loads of from Hinode to Rangoku bridge interval was caused that TN load was originated agricultural activity and COD, TN and TP loads were originated industrial activity. In the down Tokoro river basin, The loads of from Kangetsu-2nd to Chuo bridge interval was caused that COD, TN and TP loads were originated domestic waste water in Kitami City and the treated water of sewage disposal plants. In the middle Abashiri river basin, The loads of from Kakkumi to Kyowa bridge interval was caused that these loads were originated the inflow rivers(Tsubetsu and Takkobu rivers). In the down Abashiri river basin, The loads of from Taishou to Chisui bridge interval was caused that these loads were originated industrial activity, inflow river and other artificial small rivers. We were researched 2hour intervals water survey (24hr research) with one points in each river. These results were shown that the treated water of sewage disposal plants affected Tokoro river point and Abashiri river point was increased COD, PO<sub>4</sub>-P and NH<sub>4</sub>-N concentration with active times of human life.

# 2001年度野幌森林公園内の鳥類調査結果について

梅木 賢俊 武田 忠義\* 永安 芳江\*\*

## 要 約

北海道中央部に位置する野幌森林公園の森林地区と草原地区において、2001年（平成13年）5月から2002年（平成14年）3月に鳥類の調査を実施し、鳥類リストを作成した。森林地区では46種、草原地区では49種の鳥類が確認された。観察された種類や種数は、4月の調査が行われていないことから2000年度より減少しているものの、石狩地方の低標高地の成熟した落葉広葉樹林で確認される種類をほぼ網羅しており、森林性鳥類にとって良好な環境を維持していることがうかがわれる。調査を開始した1999年度から2001年度までの3年間の調査で確認された鳥類は77種となった。

Key words: 北海道中央部、野幌森林公園、道立自然公園、鳥類、リスト

## 1 はじめに

野幌森林公園は都市部近隣にあり、多くの道民が利用する身近な自然である。同時に、この公園は、石狩低地帯における開拓以前の姿を大規模にとどめる貴重な森林を有し、周辺地域の生物多様性を保持するために重要な存在である。一方、森林生態系の中で一次・二次消費者の位置にある鳥類は、生物多様性評価の指標ともなる。

そこで、野幌森林公園の鳥類相や鳥類の季節変動、長期的な変動を把握し、森林公園の保護と利用に資することを目的として、1999年度から鳥類調査を行っている。

今回は、2001年度に行った調査結果について報告する。

なお、調査は、現在のところ野幌森林公園の主要な利用拠点となっている北部地域において実施している。

## 2 調査地

野幌森林公園は、札幌市の中心部から東方約11～15kmに位置し、1968年（昭和43年）に北海道百年を記念して指定された面積約2,051haの道立自然公園である（図1）。

本調査地は標高が30m～90mと低く、全体としては傾斜の少ない緩やかな丘陵となっている。中央には南北方向にやや小高い分水嶺が走り、東側は千歳川、西側は豊平川の支流が深い沢となって入り込んでいるため、地形が複雑である。さらに、農業用の溜池などもあるため、変化に富んだ環境を有している。

森林植生は、温帯林から亜寒帯林への移行帯の要素が比

較的よく残されている。ミズナラ、カツラ、シナノキなどの温帯性の広葉樹林や、トドマツを主体とする亜寒帯性の針葉樹と広葉樹が入り交じった針広混交林からなる多様な林相が見られ、100種を超える自生の樹木が記録されている。ただし、公園面積の40%程度をトドマツ・カラマツなどの針葉樹人工林が占めている。本地域は多雪地帯であり、林床はクマイザサやチシマザサが優占するほか、エゾユズリハ、ハイイヌガヤ等の低木が茂っている。

また、公園の北西部に草原が分布する。ここは休養園地区とよばれ、耕作放棄時に表土が搬出されたと思われる状態で、堅く乾いた土壌である。そのため、草原は主にセイタカアワダチソウ、オオアワダチソウなどが優占する帰化植物群落からなっている。

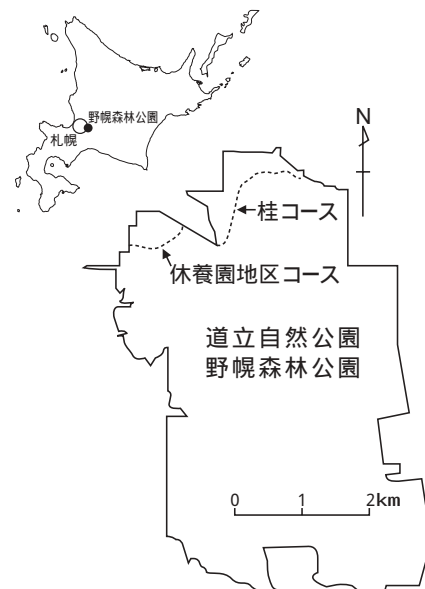


図1．野幌森林公園の位置及び調査路

\* 北海道環境生活部環境室自然環境課

\*\* 北海道野幌森林公園事務所公園利用課

### 3 調査方法

遊歩道等を利用して、森林地区（桂コース）に2km、草原地区（休養園地区コース）に1kmの調査路を設け、線センサ法を実施した。

桂コースはハルニレ、ミズナラの大径木を主体とし、トドマツを交えた針広混交林である。休養園地区コースはオオアワダチソウ等が優占する草原と沢沿いに残された天然性二次林である。沢沿いの天然性二次林は樹高10数mまでのミズナラ、ハルニレ、ヤナギ類を主体とし、林床はクマイザサが優占している。特に林縁部はクマイザサ群落及びヤマブドウなどのマント群落がみられる。

線センサ調査は、両コースで日の出後1時間前後を開始時刻とし、荒天日は避けて行った。調査路を時速1～2kmで歩きながら、調査路の両側それぞれ25m、計50mの範囲に出現する鳥類の種類と個体数を記録した。調査範囲外に出現した鳥類についても、種類を記録した。

本公園内においては、5年ごとに一度鳥類相及び季節変動を把握するために毎月調査を行う詳細調査年を、その間を各季節ごとの鳥類相を確認するだけの通常調査年に設定しており、2001年は通常調査年に該当している。

しかし、2001年度は秋冬期（10月～1月）に草原地区（休養園地区コース）で、園路工事を行うこととなったため、工事の影響をモニタリングする目的をかねて、冬期間に毎月調査を行うこととした。

調査は、両コースを同日に実施し、2001年5月、6月の各月2回及び2001年9月～2002年3月まで各月1回、計11回行った。

### 4 調査結果及び考察

森林地区の桂コースでは2001年度に46種（表1）が、草原地区の休養園地区コースで2001年度に49種（表2）が確認された。

両コースあわせて確認された種数は59種類であったが、このうち36種が両コースに共通して観察された。これは休養園地区コース沿いに天然性二次林が存在するため、桂コースと共通する森林性の鳥類が相当数観察されたためである。

一方、桂コースのみで確認された種類は、ハイタカ、ヤマシギ、フクロウ、ヒレンジャク、コルリ、ルリビタキ、トラツグミ、メボソムシクイ、キクイタダキ、エナガの10種であり、いずれも森林性の鳥類であった。また、アカゲラ、コゲラ、クロツグミ、ヤブサメ、センダイムシクイ、キビタキ、ハシブトガラ、シジュウカラ、ゴジュウカラ、アオジ、ウソ、イカル、ニューナイスズメも森林性鳥類であり、両コースに共通して観察されているが、休養園地区

コースに比べ本コースで観察数が多い傾向にあった。

また、休養園地区コースのみで確認された種類はアオサギ、キジ、ハクセキレイ、モズ、アカモズ、ノゴマ、アカハラ、メジロ、ホオジロ、ホオアカ、カシラダカ、ベニマシコ、スズメの13種類で、草原や耕作地などを好む種類が多くなっている。このほかにもシメ、オオジシギなどは草原や灌木林などの開けた環境を好む種類であり、両コースに共通して観察されているが、桂コースに比べ本コースでは観察数が多い傾向にあった。

コースごとに出現種類を見ると、桂コースでは、留鳥はヤマゲラ、アカゲラ、コゲラ、ヒヨドリ、ハシブトガラ、ヒガラ、ヤマガラ、シジュウカラ、ゴジュウカラなど、夏鳥はヤブサメ、アオジ、カワラヒワ、ニューナイスズメの観察数が多かった。繁殖期の5月、6月にかけてヤブサメ、センダイムシクイ、キビタキ、シジュウカラ、アオジ、カワラヒワ、ニューナイスズメが優占していた。

休養園地区コースでは、留鳥はヒヨドリ、ハシブトガラ、ヤマガラ、シジュウカラなど、夏鳥はセンダイムシクイ、アオジ、カワラヒワの観察数が多かった。繁殖期の5月、6月にかけてヒヨドリ、ヤブサメ、センダイムシクイ、キビタキ、ハシブトガラ、シジュウカラ、アオジ、カワラヒワ、イカルが優占していた。これらの種類の多くは森林性であり、草原や灌木林などの開けた環境を好む種類としてはアオジ、カワラヒワの2種類であった。平野部の灌木・草原を嗜好する代表的な種類としては、ヒバリ、ノゴマ、ノビタキ、コヨシキリ、ホオアカ、オオジュリンなどが報告されている<sup>1)2)</sup>。しかし、本コースでは現在までにヒバリ、コヨシキリは観察されておらず、2001年度はノゴマ、ホオアカがわずかに確認されただけであった。

なお、休養園地区コースにおける園路工事の影響をみるため、工事期間を含む10月から3月までの秋冬期に毎月調査をおこない、2000年度<sup>3)</sup>までの同月間の確認種を比較した。1999年度は27種、2000年度は22種であり、2001年度は24種であった。

この3年度の該当期間に、毎年高い頻度で出現した種は、アカゲラ、ヒヨドリ、ハシブトガラ、シジュウカラ、ゴジュウカラの5種であり、いずれも留鳥であるが、確認種数等に目立った変動はみられなかった。

これらの結果から、園路工事は、実際に工事が行われていて、機械が稼働しているような状況の場合を除き、鳥類の動向に大きな影響を及ぼしてはいないと考えられた。

2001年度の確認種数について2000年度<sup>3)</sup>と比較すると、両コースとも10種程度減少している。しかし、2000年度確認されていて2001年度確認されていない種類のほとんどは、一度確認されただけのもの、または4月から5月始めの早い時期に確認されたものであり、2001年度は4月中の調査が行われていないことを考えると特に鳥類相が変化し



ているとはいえない。石狩地方の低標高地の成熟した落葉広葉樹林で記録された種類<sup>4) 5)</sup>と比較した結果、繁殖期にはヤブサメ、センダイムシクイ、キビタキ、ハシブトガラ、シジュウカラ、ゴジュウカラ、ニュウナイスズメなどが優占していること、また、2000年度までの確認種数も加えると、石狩地方の低標高地の成熟した落葉広葉樹林で確認される種類をほぼ網羅したものとなっており、森林性鳥類にとって良好な環境を維持していることがうかがわれる。

2001年度に初めて記録された種類はカッコウ、アカモズ、ヒレンジャクの3種があり、1999年度から2001年度までの3年間で両コースにおいて総計77種が確認された(表3)。

## 5 おわりに

野幌森林公園内の鳥類相を長期的にモニタリングすることにより、鳥類の季節変動や鳥類相の変化等を把握することを目的として、1999年7月から鳥類調査を開始した。2001年度は、今後も長期的に調査を継続していくため、前年度までの結果を基にし、調査方法の検討を行った。

今後は、2000年度を基準の年とし、5年ごとに一度詳細な調査を行い、種ごとの個体数の変動を把握し、その他の年度については出現種数をモニタリングしていくこととした。このモニタリングでは、森林公園北部地域の代表的な生息地における鳥類相の資質とその変化について把握することが可能であると考えられる。

また、野幌森林公園は、ため池などの水辺環境や多様な林相など変化に富んだ環境を有しており、今後それぞれの生息環境に対応したモニタリングを進めることも必要である。

なお、この調査には多くの方々に協力をいただいた。特に調査に協力していただいた野幌森林公園事務所の阿部好数、瀧澤克昌、瀧下佳穂(現・上川支庁)、濱本真琴の各氏に対し、この場を借りて厚くお礼を申し上げる。

## 参考文献

- 1) 北海道自然保護協会, 石狩中、下流域における鳥類生息調査報告書. 17pp (1979)
- 2) 北海道自然保護協会, 石狩中、下流域における鳥類生息調査報告書. 13pp (1980)
- 3) 梅木賢俊・武田忠義・永安芳江: 野幌森林公園内の鳥類リストについて. 北海道環境科学研究センター所報. 28: 90 - 95 (2001)
- 4) 石城謙吉・松岡茂: 北海道大学苫小牧地方演習林の鳥類相その1 広葉樹天然林と針葉樹人工林における夏期の種構成と生息密度. 北海道大学農学部演習林研究報告. 21: 95 - 103 (1983)

- 5) 富沢昌章: 羊ヶ丘白旗山鳥獣保護区の鳥類リストについて. 北海道環境科学研究センター - 所報. 22: 61 - 68 (1995)

The Birds List of Nopporo Forest Park

Umeki Masatoshi,  
Takeda Tadayoshi,  
Nagayasu Yoshie.

## Abstract

The birds list of Nopporo Forest Park located in the middle of Hokkaido was made after the survey on this area from May 2001 to March 2002. Forty six species of birds was recorded in the forest area. In the grassland area, 49 species was recorded. Seventy seven species of birds were recorded from 1999 to 2001. Their composition and numbers were similar to those observed in the mature broad-leaved forests of the Ishikari lowland area.

表1. 2001年度に森林地区(桂コース)で観察された鳥類の確認羽数と優占度(%). 調査日の列の数字は、確認羽数.\*印はコース外でのみ確認された種

| 科名      | 種名       | 5/15 | 優占度 | 5/29 | 優占度  | 6/8 | 優占度  | 6/26 | 優占度  | 9/27 | 優占度  | 10/17 | 優占度  | 11/20 | 優占度  | 12/20 | 優占度  | 1/16 | 優占度  | 2/13 | 優占度  | 3/13 | 優占度  | 出現頻度  |
|---------|----------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| タカ科     | トビ       |      |     | 1    | 1.0  |     |      |      |      |      |      | 1     | 1.6  |       |      |       |      |      |      |      |      | 1    | 1.8  | 2/11  |
|         | ハイタカ     |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
| シギ科     | ヤマシギ     |      |     | 1    | 1.0  |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
|         | オオシギ     | *    |     |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
| ハト科     | キジバト     |      |     | 2    | 2.0  | 1   | 1.1  | 2    | 2.2  |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 3/11  |
|         | アオバト     |      |     | 1    | 1.0  | 1   | 1.1  | 1    | 1.1  | *    |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
| カッコウ科   | カッコウ     |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
|         | ツツドリ     | *    |     | *    |      | *   |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
| フクロウ科   | フクロウ     |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
|         | ヤマゲラ     | *    |     | 2    | 2.3  |     |      |      |      | 1    | 2.3  |       |      | *     |      | 1     | 3.0  | 1    | 6.3  |      |      | 1    | 1.8  | 7/11  |
| キツキ科    | クマゲラ     |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
|         | アカゲラ     |      |     | 1    | 1.1  | 1   | 1.0  | 2    | 2.2  | 3    | 3.3  | 1     | 2.3  | 2     | 3.2  | 3     | 8.6  | 1    | 3.0  | 2    | 7.4  | 1    | 1.8  | 11/11 |
| ヒヨドリ科   | オオアカゲラ   |      |     | 1    | 1.0  | 1   | 1.0  | 2    | 2.2  | 1    | 1.1  | 2     | 4.7  | 2     | 3.2  | 2     | 5.7  | 7    | 21.2 | 1    | 6.3  | 4    | 14.8 | 5/11  |
|         | コゲラ      |      |     | 2    | 2.3  | 6   | 5.9  | 3    | 3.4  | 2    | 2.2  | 4     | 9.3  | 2     | 3.2  | 2     | 5.7  | 7    | 21.2 | 1    | 6.3  | 4    | 10.9 | 11/11 |
| レンジャク科  | ヒヨドリ     |      |     | 6    | 6.9  | 5   | 4.9  | 6    | 6.7  | 9    | 9.8  | 2     | 4.7  | 3     | 4.8  | 8     | 22.9 | 1    | 3.0  | 1    | 6.3  | *    | 3    | 5.5   |
|         | レンジャク    |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      | 1     | 1.6  |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
| ツグミ科    | コルリ      |      |     | 1    | 1.0  |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
|         | ルリビタキ    |      |     | 1    | 1.1  |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
| ウグイス科   | トラツグミ    |      |     | 1    | 1.1  | 1   | 1.1  |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
|         | クロツグミ    |      |     | 1    | 1.1  | 5   | 4.9  | 2    | 2.2  | 1    | 1.1  |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
| ヒタキ科    | ツグミ      |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      | 4     | 6.5  | 1     | 2.9  | *     |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
|         | ヤブサメ     |      |     | 9    | 10.3 | 8   | 7.8  | 8    | 9.0  | 12   | 13.0 |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
| エナガ科    | ウグイス     |      |     | 3    | 3.4  | 3   | 2.9  | 1    | 1.1  | *    |      | 7     | 11.3 |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 5/11  |
|         | メボソムシクイ  |      |     |      |      | 1   | 1.1  |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
| シジュウカラ科 | センダイムシクイ |      |     | 4    | 4.6  | 7   | 6.9  | 7    | 7.9  | 8    | 8.7  | 1     | 2.3  |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 5/11  |
|         | キウイタキ    |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 3/11  |
| ヒタキ科    | キビタキ     |      |     | 4    | 4.6  | 9   | 8.8  | 7    | 7.9  | 7    | 7.6  |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
|         | オオルリ     |      |     | 5    | 5.7  | 3   | 2.9  | 1    | 1.1  | 3    | 3.3  |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
| シジュウカラ科 | エナガ      |      |     | 1    | 1.1  | 1   | 1.0  |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 6/11  |
|         | ハシブトガラ   |      |     | 2    | 2.3  | 4   | 3.9  | 4    | 4.3  | 3    | 7.0  | 10    | 16.1 | 6     | 17.1 | 6     | 18.2 | 4    | 25.0 | 1    | 6.3  | 2    | 3.6  | 6/11  |
| ヒタキ科    | コガラ      |      |     | 2    | 2.0  | 2   | 2.0  |      |      |      |      | 1     | 1.6  |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 3/11  |
|         | ヒガラ      |      |     | 3    | 3.4  | 3   | 2.9  |      |      |      |      | 5     | 8.1  | 1     | 2.9  | 1     | 3.0  | 1    | 6.3  | *    |      | 3    | 5.5  | 10/11 |
| コジュウカラ科 | ヤマゲラ     |      |     | 3    | 3.4  | 3   | 2.9  | *    |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 10/11 |
|         | シジュウカラ   |      |     | 9    | 10.3 | 5   | 4.9  | 7    | 7.9  | 2    | 2.2  | 8     | 18.6 | 2     | 3.2  | 4     | 11.4 | 1    | 3.0  | 2    | 12.5 | 1    | 3.7  | 6     |
| キバシリ科   | コジュウカラ   |      |     | 1    | 1.1  | 1   | 1.0  | 2    | 2.2  | 3    | 7.0  | 4     | 6.5  | 3     | 8.6  | 4     | 12.1 | *    |      |      |      |      |      | 4     |
|         | キバシリ     |      |     | 2    | 2.0  | 1   | 1.1  | 1    | 1.1  |      |      | 2     | 3.2  |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 7/11  |
| ホオジロ科   | アオジ      |      |     | 16   | 18.4 | 11  | 10.8 | 16   | 18.0 | 22   | 23.9 | 10    | 23.3 | 5     | 8.1  |       |      |      |      |      |      |      |      | 6/11  |
|         | カワラヒワ    |      |     | 6    | 6.9  | 6   | 5.9  | 2    | 2.2  | 1    | 1.1  |       |      | 3     | 4.8  | 1     | 2.9  |      |      |      |      |      |      | 6/11  |
| アトリ科    | マヒワ      |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      | *     |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 1/11  |
|         | ウリ       |      |     |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 2/11  |
| ハタオリドリ科 | イカル      |      |     | 2    | 2.3  | 3   | 2.9  | 4    | 4.5  | 4    | 4.3  |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 5/11  |
|         | シメ       |      |     | 2    | 2.3  |     |      |      |      |      |      | 1     | 1.6  |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 2/11  |
| カラス科    | ハタオリドリ   |      |     | 5    | 5.7  | 8   | 7.8  | 4    | 4.5  | 5    | 5.4  |       |      |       |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 4/11  |
|         | カケス      |      |     |      |      | 4   | 4.5  |      |      |      |      | 4     | 6.5  | 2     | 5.7  | 2     | 6.1  | 1    | 6.3  |      |      |      |      | 5/11  |
| 確認種数    | ハシボソガラス  |      |     |      |      | 1   | 1.1  | *    |      |      |      |       |      | *     |      |       |      |      |      |      |      |      |      | 3/11  |
|         | ハシブトガラス  |      |     | 2    | 2.3  |     |      | 6    | 6.7  | 1    | 1.1  | *     |      | 3     | 8.6  | 1     | 3.0  | 1    | 6.3  | 1    | 3.7  | 2    | 3.6  | 9/11  |
| 確認種数    | 46       |      | 26  | 29   | 25   | 24  | 16   | 16   | 20   | 15   | 12   | 15    | 15   | 12    | 15   | 15    | 15   |      |      |      |      |      |      |       |

表2. 2001年度に草原地区(休養園地区コース)で観察された鳥類の確認羽数と優占度(%)。調査日の列の数字は、確認羽数。\*印はコース外でのみ確認された種

| 科名                              | 種名       | 5/15 | 優占度  | 5/29 | 優占度  | 6/8 | 優占度  | 6/26 | 優占度  | 9/27 | 優占度  | 10/17 | 優占度  | 11/20 | 優占度 | 12/20 | 優占度  | 1/16 | 優占度  | 2/13 | 優占度  | 3/13 | 優占度  | 優占度 | 出現頻度  |
|---------------------------------|----------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| サギ科<br>タカ科<br>キジ科<br>シギ科<br>ハト科 | アオサギ     | *    |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
|                                 | トビ       |      |      |      |      |     |      | *    |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | キジ       | 1    | 1.4  | 1    | 3.0  | *   |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 3/11  |
|                                 | オオジギ     |      |      | *    |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
| カッコウ科<br>キツツキ科                  | キジハト     | *    |      | 3    | 9.1  | 1   | 3.0  | *    |      | 1    | 4.5  |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 5/11  |
|                                 | アオハト     | 1    | 1.4  |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | カッコウ     |      |      | 1    | 3.0  | *   |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
|                                 | ツツドリ     | 1    | 3.0  | *    |      |     |      | *    |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 3/11  |
|                                 | ヤマダラ     |      |      | 1    | 3.0  | *   |      |      |      | 1    | 4.5  |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
|                                 | クマダラ     |      |      | *    |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | アカガラ     |      |      | 1    | 3.0  |     |      |      |      | 2    | 9.1  | 3     | 11.1 |       |     |       |      |      |      |      |      | 1    | 9.1  |     | 4/11  |
|                                 | オオアカガラ   |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      | 1    | 10.0 |      |     | 1/11  |
|                                 | コガラ      | 2    | 2.9  | *    |      |     | 1    | 3.4  |      | 1    | 4.5  | 1     | 3.7  |       |     |       |      |      |      |      |      | *    |      |     | 8/11  |
|                                 | ハクセキレイ   |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     |       |
| ヤケイ科<br>ヒヨドリ科<br>モズ科            | ヒヨドリ     | 10   | 14.5 | 3    | 9.1  | 4   | 13.8 | *    |      |      | 3    | 11.1  |      | 2     | 8.7 | *     |      | 1    | 16.7 |      |      |      |      |     | 10/11 |
|                                 | モズ       | 3    | 4.3  | 2    | 6.1  | 2   | 6.9  | *    |      |      | *    |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 5/11  |
| ツグミ科                            | アカモズ     |      |      | 1    | 3.0  |     |      |      |      | 1    | 4.5  |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | ノゴマ      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | クロツグミ    | 3    | 4.3  | 1    | 3.0  | *   |      | 1    | 3.4  |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 4/11  |
|                                 | アカハラ     |      |      | *    |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | ツグミ      | 1    | 1.4  |      |      |     |      |      |      |      |      | 2     | 7.4  |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
|                                 | ヤブサメ     | 5    | 7.2  | 2    | 6.1  | 4   | 12.1 | 1    | 3.4  |      |      | 2     | 7.4  |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 5/11  |
|                                 | ウグイス     | 1    | 1.4  |      |      | 1   | 3.0  | 1    | 3.4  |      |      | 2     | 7.4  |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 5/11  |
|                                 | ウグイス     | 1    | 1.4  |      |      | 1   | 3.0  | 1    | 3.4  | *    |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 4/11  |
|                                 | センダイムシクイ | 4    | 5.8  | 5    | 15.2 | 2   | 6.1  | 6    | 20.7 |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 4/11  |
|                                 | キビタキ     | 5    | 7.2  | 3    | 9.1  | 2   | 6.1  | 1    | 3.4  |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 4/11  |
| シジュウカラ科                         | オオルリ     | 3    | 4.3  |      |      | 1   | 3.0  |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
|                                 | ハシブトガラ   | 1    | 1.4  |      |      | 1   | 3.0  |      |      | 3    | 13.6 | 2     | 7.4  |       |     | 7     | 30.4 | 2    | 40.0 | 4    | 40.0 | 3    | 27.3 |     | 8/11  |
|                                 | コガラ      |      |      | 1    | 3.0  |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       | 1    | 4.3  |      | 1    | 10.0 |      |      |     | 3/11  |
|                                 | ヒガラ      | 1    | 1.4  |      |      |     |      |      |      |      |      | 1     | 3.7  |       |     |       |      |      |      |      |      | *    |      |     | 5/11  |
|                                 | ヤマガラ     | 2    | 2.9  | 1    | 3.0  | 1   | 3.0  |      |      | *    |      | 2     | 8.7  |       |     | 2     | 8.7  | 1    | 20.0 | 3    | 30.0 | 2    | 18.2 |     | 10/11 |
|                                 | シジュウカラ   | 4    | 5.8  | 2    | 6.1  | 3   | 9.1  | 2    | 6.9  | 2    | 9.1  | 4     | 14.8 |       |     | 4     | 17.4 | 1    | 20.0 | 1    | 10.0 | 3    | 27.3 |     | 11/11 |
|                                 | コジュウカラ   | 1    | 1.4  | 3    | 9.1  | 3   | 9.1  | 2    | 6.9  | 2    | 9.1  |       |      |       |     | 2     | 8.7  | *    |      | 1    | 10.0 | *    |      |     | 6/11  |
|                                 | キハシリ     | 5    | 7.2  |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       | 1   | 4.3   |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | メジロ      |      |      |      |      |     |      |      |      | *    |      | 2     | 7.4  |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 3/11  |
|                                 | ホオジロ科    | ホオジロ |      |      |      |     | *    |      | 1    | 3.4  | 2    | 9.1   |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     |       |
| ホオアカ                            |          |      |      | 1    | 3.0  | 1   | 3.0  |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
| カシラダカ                           |          |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      | 1     | 3.7  |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
| アオジ                             |          | 7    | 10.1 | 2    | 6.1  | 3   | 9.1  | 4    | 13.8 | 4    | 18.2 | 2     | 7.4  |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 6/11  |
| カワラヒワ                           |          | 1    | 1.4  | 3    | 9.1  | 3   | 9.1  | 1    | 3.4  |      |      | 1     | 3.7  |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 5/11  |
| マヒワ                             |          |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       | 1   | 4.3   |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
| アトリ科                            | ベニマシコ    |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      | *     |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | ウリ       |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | イカル      | 2    | 2.9  |      |      | 1   | 3.0  | 3    | 10.3 |      |      |       |      |       |     | 1     | 20.0 |      |      |      |      |      |      |     | 3/11  |
|                                 | シメ       | 4    | 5.8  | 1    | 3.0  | 1   | 3.0  | 1    | 3.4  | 1    | 4.5  |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 5/11  |
|                                 | ニューナイスズメ | 2    | 2.9  |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
| カラス科                            | スズメ      |      |      |      |      |     |      |      |      | *    |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | カケス      |      |      |      |      | *   |      |      |      |      |      |       |      |       |     |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 2/11  |
|                                 | ハシボソガラス  | 1    | 1.4  |      |      |     |      |      |      |      |      |       |      | 2     | 8.7 |       |      |      |      |      |      |      |      |     | 1/11  |
|                                 | ハシブトガラス  |      |      | *    |      | *   |      | *    |      |      |      |       |      | *     |     | *     |      | *    |      | *    |      |      | 1    | 9.1 | 8/11  |
| 確認種数                            |          | 49   | 25   | 22   | 27   | 18  | 18   | 18   | 18   | 18   | 15   | 15    | 13   | 6     | 8   | 7     | 6    | 9    | 8    | 9    |      |      |      |     |       |

表3. 1999年度～2001年度に森林地区及び草原地区で確認された鳥類

| 科名      | 種名       | 森林地区(桂コース) |        |        | 草原地区(休養園地区コース) |        |        |
|---------|----------|------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
|         |          | 1999年度     | 2000年度 | 2001年度 | 1999年度         | 2000年度 | 2001年度 |
| サギ科     | アオサギ     |            | ○      |        |                | ○      | ○      |
| カモ科     | オンドリ     |            | ○      |        |                | ○      |        |
|         | マガモ      |            |        |        |                | ○      |        |
| タカ科     | トビ       |            | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | オオタカ     | ○          |        |        |                |        |        |
|         | ハイタカ     | ○          |        | ○      |                |        |        |
| キジ科     | キジ       |            |        |        |                | ○      | ○      |
| シギ科     | ヤマシギ     |            | ○      | ○      |                |        |        |
|         | オオジシギ    |            |        | ○      |                | ○      | ○      |
| ハト科     | キジバト     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | アオバト     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| カッコウ科   | カッコウ     |            |        | ○      |                |        | ○      |
|         | ツツドリ     | ○          | ○      | ○      |                | ○      | ○      |
| フクロウ科   | フクロウ     | ○          |        | ○      |                |        |        |
| キツツキ科   | アリスイ     |            |        |        |                | ○      |        |
|         | ヤマゲラ     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | クマゲラ     |            |        | ○      |                | ○      | ○      |
|         | アカゲラ     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | オオアカゲラ   | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | コゲラ      | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| ヒバリ科    | ヒバリ      | ○          | ○      |        |                |        |        |
| セキレイ科   | キセキレイ    | ○          | ○      |        |                |        |        |
|         | ハクセキレイ   |            |        |        | ○              | ○      | ○      |
|         | タヒバリ     |            |        |        | ○              |        |        |
| ヒヨドリ科   | ヒヨドリ     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| モズ科     | モズ       |            | ○      |        | ○              | ○      | ○      |
|         | アカモズ     |            |        |        |                |        | ○      |
| レンジャク科  | ヒレンジャク   |            |        | ○      |                |        |        |
| ミソサザイ科  | ミソサザイ    |            |        |        | ○              | ○      |        |
| ツグミ科    | コマドリ     |            | ○      |        |                |        |        |
|         | コルリ      | ○          | ○      | ○      |                | ○      |        |
|         | ルリビタキ    | ○          | ○      | ○      |                |        |        |
|         | ノビタキ     |            |        |        |                | ○      |        |
|         | トラツグミ    |            | ○      | ○      |                | ○      |        |
|         | ノゴマ      |            |        |        | ○              | ○      | ○      |
|         | クロツグミ    | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | アカハラ     | ○          | ○      |        | ○              | ○      | ○      |
|         | シロハラ     |            |        |        |                | ○      |        |
|         | ツグミ      | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| ウグイス科   | ヤブサメ     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | ウグイス     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | メボソムシクイ  |            | ○      | ○      |                |        |        |
|         | エゾセンニュウ  |            |        |        | ○              | ○      |        |
|         | エゾムシクイ   | ○          | ○      |        |                | ○      |        |
|         | センダイムシクイ | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | キクイタダキ   | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| ヒタキ科    | キビタキ     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | オオルリ     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | コサメビタキ   | ○          | ○      |        | ○              | ○      |        |
| エナガ科    | エナガ      | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      |        |
| シジュウカラ科 | ハシブトガラ   | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | コガラ      | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | ヒガラ      | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | ヤマガラ     | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | シジュウカラ   | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| ゴジュウカラ科 | ゴジュウカラ   | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| キバシリ科   | キバシリ     | ○          | ○      | ○      |                |        | ○      |
| メジロ科    | メジロ      | ○          | ○      |        | ○              | ○      | ○      |
| ホオジロ科   | ホオジロ     |            |        |        | ○              | ○      | ○      |
|         | ホオアカ     |            |        |        | ○              | ○      | ○      |
|         | カシラダカ    |            |        |        | ○              | ○      | ○      |
|         | アオジ      | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | アオジュリン   |            |        |        |                | ○      |        |
| アトリ科    | アトリ      |            | ○      |        |                |        |        |
|         | カワラヒワ    | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | ベニマシコ    | ○          |        |        | ○              | ○      | ○      |
|         | マヒワ      |            | ○      | ○      |                | ○      | ○      |
|         | ウソ       | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | イカル      | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | シメ       | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| ハタオリドリ科 | スズメ      | ○          |        |        | ○              | ○      | ○      |
|         | ニューナイスズメ |            | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| ムクドリ科   | ムクドリ     |            | ○      |        | ○              | ○      |        |
|         | コムクドリ    |            |        |        |                | ○      |        |
| カラス科    | カケス      | ○          | ○      | ○      |                |        | ○      |
|         | ハシボソガラス  |            | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
|         | ハシブトガラス  | ○          | ○      | ○      | ○              | ○      | ○      |
| 確認種数    | 77       | 43         | 52     | 46     | 43             | 60     | 49     |
|         |          | 62         |        |        | 67             |        |        |