

キタホウネンエビ *Eubbranchipus uchidai* Kikuchi (CRUSTACEA, ANOSTRACA) の生息する融雪プールの水質

五十嵐聖貴 三上 英敏

要 約

キタホウネンエビ *Eubbranchipus uchidai* の生息する石狩湾岸地域の融雪プールにおいて、プールの規模、水温、pH、電気伝導度、アルカリ度、溶存酸素、溶存有機炭素 (DOC)、 SiO_2 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、全窒素 (TN)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、全リン (TP)、クロロフィル-a (Chl-a) の変化を調査した。融雪プールの水は弱酸性で溶存酸素は少なかった。プールあたりの DOC・TN・TP 総量はプール形成初期に増加してその後はほとんど変化しないが、水体の体積減少に伴って濃縮され、濃度は次第に上昇した。Chl-a 量は指数関数的に増加しており、植物プランクトンの一次生産力の高さが示唆された。

Key words: 鰓脚類、無甲葉脚類、一時的な水体、融雪水、栄養塩類

1 はじめに

キタホウネンエビ *Eubbranchipus uchidai* Kikuchi は成体の体長が 1.5~2.0 cm 程度の淡水性甲殻類である。分類学的には節足動物門 (ARTHROPODA) 甲殻綱 (CRUSTACEA) 鰓脚亜綱 (BRANCHIOPODA) 無甲葉脚目 (ANOSTRACA) ホウネンエビ科 (CHIROCEPHALIDAE) に属している。無甲葉脚目は甲殻類でありながら甲殻を持たず、甲殻類の祖先的な形態を残したグループである。11 対の鰓脚を波状に連続的に動かし、背面を下にしてゆったりと遊泳する。キタホウネンエビが新種として記載されたのは 1957 年のことで、小樽市銭函のカシワ林内でのオスの生息が報告された¹⁾。その後、Moriya²⁾ によって石狩湾岸地域からメスについても報告されている。キタホウネンエビの生態に関しては守屋^{3) 4)} にまとめられている。なお、国内には近縁種である、ホウネンエビ *Branchinella kugenumaensis* Ishikawa が本州の水田に出現することが知られている⁵⁾。名前の由来は「豊年」であり、ホウネンエビが大量発生した年は豊作になるという言い伝えからその名が付いたといわれている。

キタホウネンエビは現在までのところ、世界でも北海道の石狩市と小樽市にまたがる石狩湾岸地域の防風保安林内、および青森県下北半島の山中⁶⁾ でしか見つかっていない。守屋³⁾ は、石狩湾岸地域の生息地を 7ヶ所と報告しているが、筆者がそれらとは別に多数の生息プールを発見しており (未発表)、規模的には石狩湾岸地域のほうが圧倒的に大きいことがあきらかになりつつある。

キタホウネンエビが生息するのは春に雪融け水が窪地に溜まって形成される一時的な水体 (以下、「融雪プール」)

である。融雪プールは初夏には乾燥してしまうが、その短い期間に藻類、ミジンコ、ケンミジンコ、ワムシ、ミズダニ、イトミミズ、昆虫類、オタマジャクシなどの生息を確認できる。石狩地域の融雪プールにおける水質と動物プランクトンについては守屋⁷⁾ の報告がある。

キタホウネンエビの分布や生態に関しては未だに解明されていない点が多い。本種を保全していくためには生態学的特徴や生息環境の条件などについて知見を蓄積していくことが重要である。そこで著者らはキタホウネンエビの生息する融雪プールの水質の変化について基礎的調査をおこなった。

2 方 法

調査は 1998 年 4~6 月、石狩市新港東 3 丁目に形成されるキタホウネンエビの生息プールでおこなった。調査回数は 12 回である。本プールは守屋³⁾ の "Pool-4" と同一地点である。

融雪プールにおける調査項目と方法は以下のとおりである。プールのサイズ (長径・短径・深さ) はメジャー・巻尺によって測定した。融雪プールの体積は、プールの形状を逆楕円錐型と仮定して計算した。気温および水温はデジタル温度計で測定した。pH は HORIBA D-22、電気伝導度 (EC) は HORIBA ES-12、溶存酸素 (DO) は YSI model 85 で、いずれも現場で測定した。アルカリ度は、N/100 硫酸の滴定により、pH 4.8 アルカリ度として求めた。硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニウム態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) および珪酸 (SiO_2) はあらかじめ 450°C で加熱処理したワットマン

GF/Fフィルターにてろ過したろ液を用いて、ブラウンルーベAACS-IIを用いて分析した。溶存有機炭素(DOC)は、上記のろ液を島津製作所製TOC-5000にて酸性暴気法を併用して求めた。全窒素(TN)は、アルカリ性過硫酸カリウムによる分解の後、NO₃-Nの定量と同様な方法で分析した。全リン(TP)は過硫酸カリウムによる分解の後、PO₄-Pと同様の方法で分析した。クロロフィル-a(Chl-a)量は植物プランクトンをワットマンGF/Fフィルター上に捕集し、ターナーデザイン社10-AUを用いてメタノール抽出-塩酸化化-蛍光光度法によって測定した。

3 結果と考察

Table 1 に融雪プールの形状と水質の変化を示した。プールの長径は最大で22.0m、短径は最大で9.3mであった。1998年は冬季の雪が少なかったため、水深は最深でも13cmにしかならなかった。水位は低下と上昇を繰り返しながら徐々に低下していった。水位の上昇は降雨などの影響によるものと考えられる。水位が著しく低下したときには小さな水たまりが散在した状態になった。キタホウネンエビの生息環境として重要なことは本種が成熟して産卵するまでプールが乾燥しないことである。その意味では融雪プールは広いことよりも深いことのほうが重要であり、冬季の積雪量が重要な意味を持つ。本プールのキタホウネンエビは4月11日の調査開始時点ですでに孵化しており、体長は2~3mmであった。5月1日には体長が12~13mmで、雌個体は抱卵していた。しかしながら5日後の5月6日にはキタホウネンエビは見られなかった。おそらく、その間に一度水が干上がってしまい、すべて死滅してしまったものと考えられる。他のプールの状況から見てキタホウネンエビが成熟するまでには4~5週間、寿命は7~8週間と考えられることから1998年の本プールはキタホウネンエビの生息環境としては規模が小さかったといえる。

融雪プールの水の色は赤褐色で、日が経つにつれて徐々に褐色度が強くなった。また、pHは6.3~6.6で常に弱酸性であった。これらは泥炭地特有の腐植有機酸の影響だと考えられる。DO飽和度は11.5~70.4%であったが、DOが最も少ない11.5%のときでもキタホウネンエビの遊泳行動に異常はみられなかった、キタホウネンエビは比較的貧酸素環境に強いものと考えられるが、どの程度の貧酸素までの耐久性をもつかは不明である。

Table 2 は融雪プール中のDOC、SiO₂、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、TN、PO₄-P、TP、Chl-aの濃度およびプールあたりの全量を示したものである。DOC濃度は4月24日まで次第に高くなり、5月1日には低下した。プールあたりの総量は、4月11日から17日までに増加しており、その後は比較的一定だった。DOCはプール形成初期に一定量が水に溶け

込み、その後プールの体積減少に伴って濃縮されていると考えられる。融雪プールにおけるDOCの起源として重要なものに、夏季に繁茂した一年生草本植物の遺骸や周辺樹木の落ち葉などが挙げられる。特に石狩湾岸地域ではカシワ *Quercus dentata* が優占樹種であるが、カシワの落ち葉1gあたりからは約50mgのDOCが溶出することが確かめられており(三上, 私信)、プールの状況によってはカシワ起源のDOCがプールにおけるDOCの大部分を占める可能性も考えられる。

TNおよびTPの濃度は常に増加していたが、総量で見ると4月11日から17日までの増加が大きく、その後は比較的一定していた。つまり、TNとTPもDOCと同様に初期に増加し、プール体積の減少に伴って濃縮されていると考えられる。TNの中に占める無機態の窒素(NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N)は多いときでも約2%とわずかなものであった。PO₄-P濃度は、4月24日から5月1日までの間に著しく高くなっていった。他の成分では5月1日に濃度が低下するものが多かった中で、このPO₄-P濃度の上昇は特徴的である。4月のPO₄-PはTPの約1割を占め、5月1日には約36%を占めていた。一般に湖沼などの恒常的水体の生態系では窒素やリンの挙動が重要視されている。しかしながら期間の短い融雪プールの生態系において窒素とリンがどの程度の重要性をもっているかは不明であり、その点を今後明らかにしてゆく必要がある。

プールあたりのChl-a量は指数関数的に増加していた。今回調査した融雪プールは栄養塩類が豊富なこともあり、植物プランクトンの一次生産力は非常に高いことが予想される。なお、融雪プールの一次生産者には植物プランクトンのほかにも付着性の藻類や水生植物などが考えられ、それらの生産力も比較的高いものと考えられる。また、夏季に繁茂する草本植物や周辺樹木の影響も無視できない。融雪プールの生態系には池沼などの恒常的水体とは異なった複雑性があるが、キタホウネンエビの環境収容力を推定するためには融雪プールの生産力とその特徴を把握していく必要がある。

4 おわりに

融雪プールは北海道などの積雪地域に特有の水環境であるが、融雪プールを舞台とした研究例は非常に少ない。これは、融雪プールが人目につきにくい森林の奥深くや山中に出現することが多いこと、また、たとえ大規模な水体でも地図には載らないこと、水体の出現期間が限られることから調査をする上での制限が多いことなどが理由として考えられる。融雪プールにはキタホウネンエビのほかにも両生類や昆虫類などの希少種が生息している可能性があるが、現状はまったくといっていいほど把握されていない。融雪プールは微妙なバランスの上に成り

Date	Time	Weather	Pool size				AT °C	WT °C	pH	EC mS/cm	Alkalinity meq/l	DO %	<i>E. uchidai</i>	
			long axis (m)	short axis (m)	depth (m)	volume (m ³)								
1998/4/11	14:40	cloudy	19.5	8.5	0.10	4.3	26.2	17.2	6.3	0.072	0.196	57.9	○	
1998/4/17	11:00	fine	19.0	7.5	0.12	4.5	22.1	19.1	6.4	0.196	0.391	60.2	○	
1998/4/21	10:45	fine	18.9	9.3	0.10	4.6	28.4	21.5	6.4	0.409	0.493	25.6	○	
1998/4/24	11:53	rain	18.8	7.7	0.07	2.7	16.0	15.7	6.6	0.267	0.623	11.5	○	
1998/4/25	11:42	cloudy	15.7	6.6	0.08	2.2	7.6	10.4	6.4	0.159	0.804	—	○	
1998/5/1	11:10	fine	separate small pools										○	
1998/5/6	10:37	fine	11.8	8.0	0.11	2.7	23.5	22.2	6.3	0.177	—	—	×	
1998/5/8	12:58	cloudy	22.0	7.7	0.13	5.8	11.2	10.5	6.4	0.238	—	70.4	×	
1998/5/13	13:30	cloudy	separate small pools					15.4	15.1	6.4	0.178	—	35.0	×
1998/5/15	13:10	fine	separate small pools										×	
1998/5/29	11:50	cloudy	10.0	5.0	0.04	0.52	15.8	—	—	—	—	—	×	
1998/6/5			pool disappeared											

Table 1

Table 1. Changes in pool size and water properties of a vernal pool in Ishikari coastal area. Presence or absence of *Eubranchipus uchidai* are also shown. AT = air temp.; WT = water temp.; EC = electric conductivity (at 25°C); DO = dissolved oxygen.

Date	DOC		SiO ₂		NO ₃ -N		NO ₂ -N		NH ₄ -N		TN		PO ₄ -P		TP		Chl- <i>a</i>	
	mg/l	g/pool	mg/l	g/pool	mg/l	g/pool	mg/l	g/pool	mg/l	g/pool	mg/l	g/pool	mg/l	g/pool	mg/l	g/pool	μg/l	mg/pool
1998/4/11	21.8	94	2.0	8.6	ND	—	0.001	0.0043	ND	—	1.37	5.9	0.017	0.07	0.147	0.63	1.84	7.9
1998/4/17	49.9	230	2.4	11	ND	—	0.012	0.05	0.04	0.18	3.06	14	0.017	0.08	0.249	1.1	3.23	15
1998/4/21	63.6	290	4.7	22	ND	—	0.029	0.13	0.05	0.23	3.64	17	0.036	0.17	0.364	1.7	5.57	26
1998/4/24	72.4	200	5.8	16	0.01	0.027	0.024	0.06	0.05	0.14	5.41	15	0.060	0.16	0.581	1.6	24.95	67
1998/5/1	26.0	—	10.5	—	ND	—	0.004	—	0.04	—	5.41	—	0.209	—	0.581	—	0.47	—

Table 2

Table 2. Changes in concentration and total amounts of dissolved organic carbon (DOC), SiO₂, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, total nitrogen (TN), PO₄-P, total phosphorus (TP) and chlorophyll-*a* (Chl-*a*) in a vernal pool in Ishikari coastal area. ND = not detected.

立っており、その生態系は非常に脆いものであることが予想されることから、積極的に融雪プールの保全に努めてゆく必要があると考える。

5 謝 辞

調査をおこなうにあたり、北海道札幌平岸高等学校の守屋開教諭、元北海道経済部企業立地推進室の水戸部博志主査の協力をいただきました。記して感謝いたします。

6 参考文献

- 1) Kikuchi, H.: Occurrence of a new fairy shrimp, *Chirocephalopsis uchidai* sp. nov., from Hokkaido, Japan (Chirocephalidae, Anostraca). Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VI, Zool. 13: 59-62, 1957
- 2) Moriya, H.: Notes on a fairy shrimp, *Eubranchipus uchidai* (Kikuchi) (Anostraca), from Japan. Hydrobiologia, 120: 97-101, 1985.
- 3) 守屋 開: キタホウネンエビ (*Eubranchipus uchidai*) の生息環境に関する研究. 昭和63年度 北海道科学研究費による研究報告. (昭和63年度北海道科学研究費による研究報告(概要). 北海道企画振興部, 44-46.), 1988
- 4) 守屋 開: 環境の変化と陸水プランクトン. 「展望 21 世紀の人と環境」(北大環境科学研究会編), pp. 41-51. 三共出版, 1994
- 5) Ishikawa, C.: Phyllopod Crustacea of Japan. Zool. Mag., 7: 98-102, 1895
- 6) 大八木 昭: キタホウネンエビ *Eubranchipus uchidai* Kikuchi の新生息地と生態., 青森自然誌研究. 1: 25-29, 1996 (Ooyagi, A.: First records of a fairy shrimp, *Eubranchipus uchidai* Kikuchi (Anostraca), in Honshu, Japan, with some notes on its ecology. J. Nat. Hist. Aomori, 1: 25-29, 1996)
- 7) 守屋 開: 融雪プールの動物プランクトン —石狩砂丘地帯を例として—. 環境科学 (北海道大学). 2: 23-38,

1979 (Moriya, H.: Zooplanktons in temporary pools fed by snow-melt water on the Ishikari coastal area, Hokkaido. *Envir. Sci. Hokkaido*, 2: 23-38, 1979)

Water environment of a vernal pool in Ishikari coastal area: Habitat characteristics of fairy shrimp in northern part of Japan, *Eubbranchipus uchidai* Kikuchi (CRUSTACEA, ANOSTRACA).

Seiki Igarashi and Hidetoshi Mikami

Abstract

We examined water quality of a vernal pool that appears annually in Ishikari coastal area, Hokkaido. The pool is a habitat of fairy shrimp, *Eubbranchipus uchidai*. We measured the followings in the pool; pool size, water temperature, pH, electric conductivity, alkalinity, dissolved oxygen (DO), dissolved organic carbon (DOC), SiO₂, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, total nitrogen (TN), PO₄-P, total phosphorus (TP), and chlorophyll-*a* (Chl-*a*). As a result, the water was weak acid, and the lowest DO content was 11.5%. Amounts of DOC, TN, and TP increased in early stage of the vernal pool, and were relatively constant in mid stage. Their concentrations increased continuously with decrease of water volume. As an origin of DOC, fallen leaves of oak tree, *Quercus dentata*, may be important. Total amount of Chl-*a* increased exponentially. It may suggest that productivity of phytoplankton in the vernal pool is quite high.

Key words: Branchiopoda, temporary body of water, snowmelt, nutrients

屈斜路湖の物質収支について

福山 龍次 濱原 和広 齊藤 修 有末 二郎 知北 和久*

要 約

酸性湖から中性湖へ移行した屈斜路湖において1998～1999年の2カ年間（計7回）、栄養塩類やpH変動の主な要因である各種イオンの物質収支に関する調査を実施し、次の特徴が確認された。

- ① 冬期に積雪として流域や湖面に蓄積された淡水は春季以降流出し、降雨による局時的流量増はあるもの秋期の湖水流出率はほぼ一定で約0.01km³/月を示した。
- ② 知地を貫流する河川からは降雨時(125mm)に晴天時の25倍の栄養塩類の供給が観察された。
- ③ 湖水への陰イオン供給は湖盆からの未知の供給を除くと大半は湯川からで、供給量は降雨時、晴天時ともさほど大きな変化は認められなかった。
- ④ 今回のデータを基に10年後の湖水のイオン濃度予測を行うとCl=27mg/l、SO₄=63mg/l となり、現在の値（Cl=30mg/l、SO₄=65mg/l）と大きな差はみられず、pHはほぼ現在の値で推移すると考えられる。

Key Words: Acid lake, water budget

1 はじめに

道東に位置する屈斜路湖は10数万年前から3万年前に屈斜路カルデラが冠水して誕生し、その後、湖水のpH変動が幾度かくり返され現在に至っている（黒萩ら）。pH変動の要因については諸説があるが、地震等の地殻変動によって流域や湖盆から供給されるイオン量変動していることが大きな要因と考えられる。特に、1987年からのpH上昇は顕著で、それまで酸性湖であった本湖が1991年には中性を示し、これに伴って、水質のみならず魚類や水生植物等、湖内の生態系も大きく変動し、これまでの“死の湖”のイメージを変えつつある。

本研究は、pH変動や水質に最も影響を及ぼすと考えられる流域からの供給物質の収支について調査を行ない、物質収支の特性、pH変動予測及び栄養塩濃度予測を行うための基礎的知見を得たので報告する。

2 調査概要

湖内及び流域の水質調査を基に、各項目の湖内濃度分布及び流入負荷量について解析を行い、これらの結果から、湖の物質収支を概算し、汚濁の将来予測を行った。主な調査は下記のとおりである。

2.1 湖流域の土地利用状況調査

流域の土地利用現況から流出負荷特性を考察した。

* 北海道大学大学院理学研究科

2.2 湖内の水質調査

図1に示した湖内10地点において、項目毎の濃度に関する水平分布及び鉛直分布を作成し、躍層や季節変動等に関する考察を行った。また、湖水位調査、流出河川流量継続調査及び気象データからの蒸発量算出を行った。

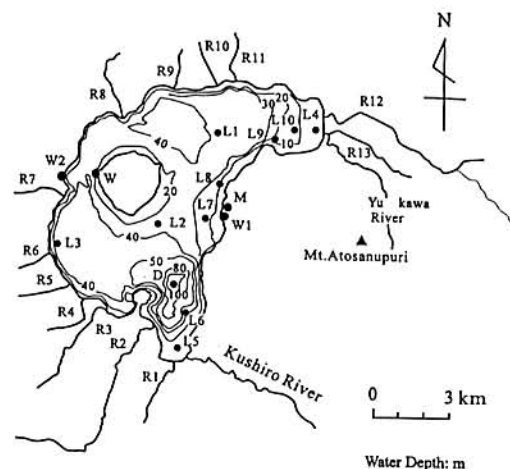


図1 調査地点図

2.3 流域の水質調査

図1に示した14河川について負荷量調査を実施し、融雪期、降雨時及び晴天時の栄養塩類、有機物及びイオンの流入負荷量に関する解析を行った。

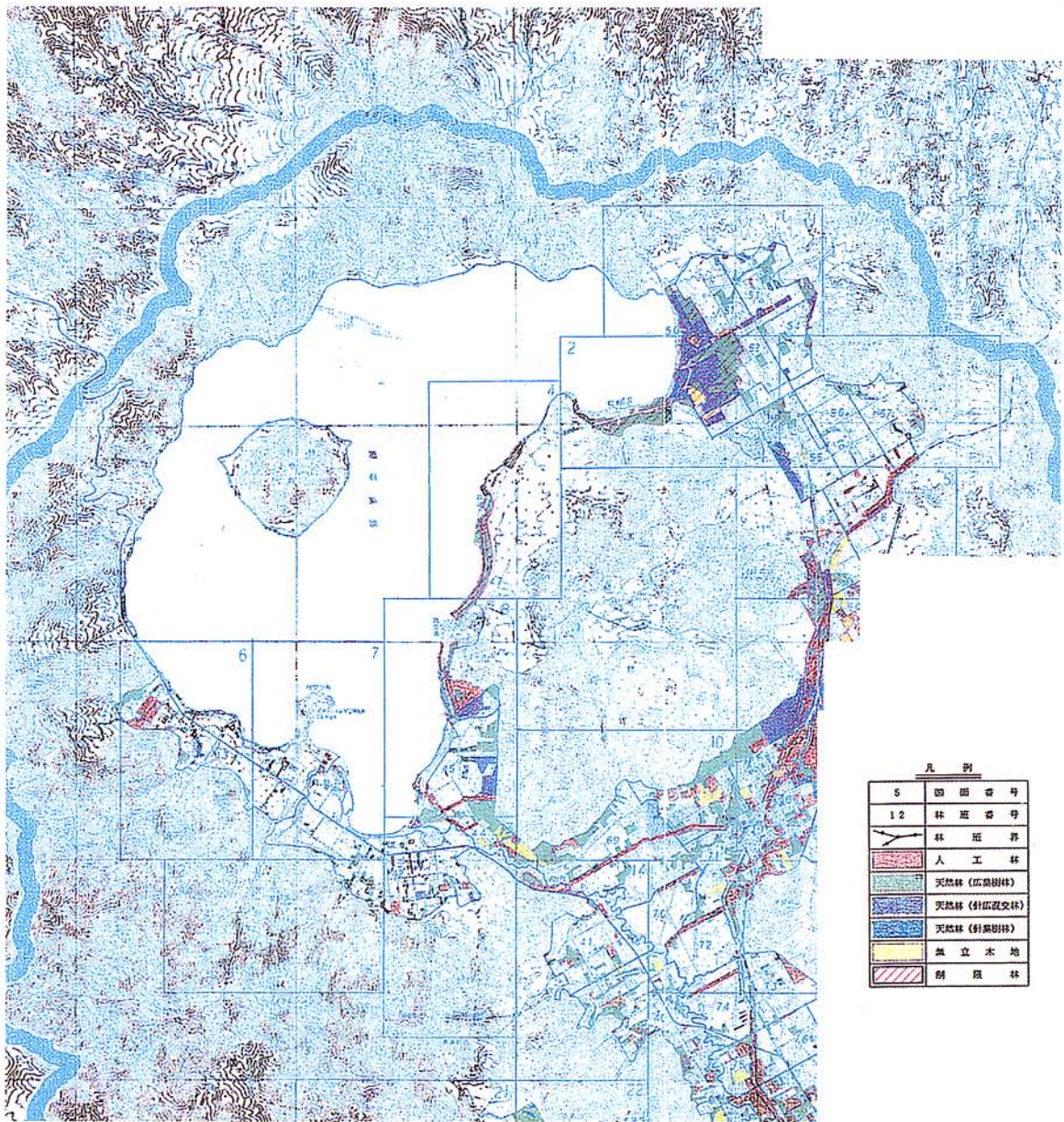


図2 流域の土地利用図

3 調査結果

3.1 流域の土地利用状況

湖流域の土地利用状況を図2でみると湖北東部には北海道でも有数の温泉保養地である川湯温泉が有り、ここから流出する温泉は強酸性泉で湯川を経て湖に流入している。また、市街地や畑地が多いため有機物や栄養塩類の高負荷が予測される。

西部は屈斜路カルデラの外輪山で、大半を森林が占め、多くの流入小河川があるがここからの有機物、栄養塩類の供給は少ないものと考えられる。南部には畑地が開けており、ここを貫流する河川により栄養塩類の高負荷が

予測される。東部にはほとんど流入河川はないが、周辺地質が通水性のある火山性礫で大半が地下水と考えられる。これらの地下水は硫黄山等の温泉を有する山地を流下するため、鉱物を含む温泉となって湖岸及び湖底から湧出している。しかし、これらの泉質はそれぞれ異なっており南側ほどアルカリ重曹泉の傾向が強い。流出河川は南西部の釧路川のみで釧路湿原国立公園を流下して大平洋に注いでいる。従って、流入河川を湯川(R13で支流の御園川、跡佐川を含む)、畑地系(R1~R4及びR12)、森林系(R5~R11)及び流出河川である釧路川に分類した。

3.2 湖内の水質

3.2.1 経年変化

湖水の水質(pH、COD、T-N及びT-P)の経年変化を図3に示した。これを見ると、1987年頃からpH上昇傾向を示し、1990年にはpH6.5になり、以降ほぼ一定の値で推移している。これに伴ってCOD、T-N及びT-P濃度も高い値が観察されるようになってきている。

3.2.2 水質の水平分布

1999年6月の項目別水平分布を図4に示した。この月は他の月と比べて各項目ともやや高い値を示しているが、全体的には大きな季節変動は認められず、地点間の変動も湯川河口部のL4が各項目共にやや高い値を示す以外はほぼ一定の値であった。

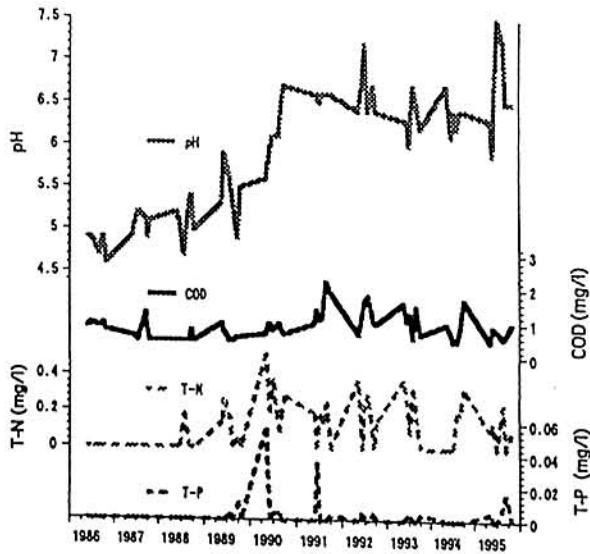


図3 水質の経年変化(1986~1996年)

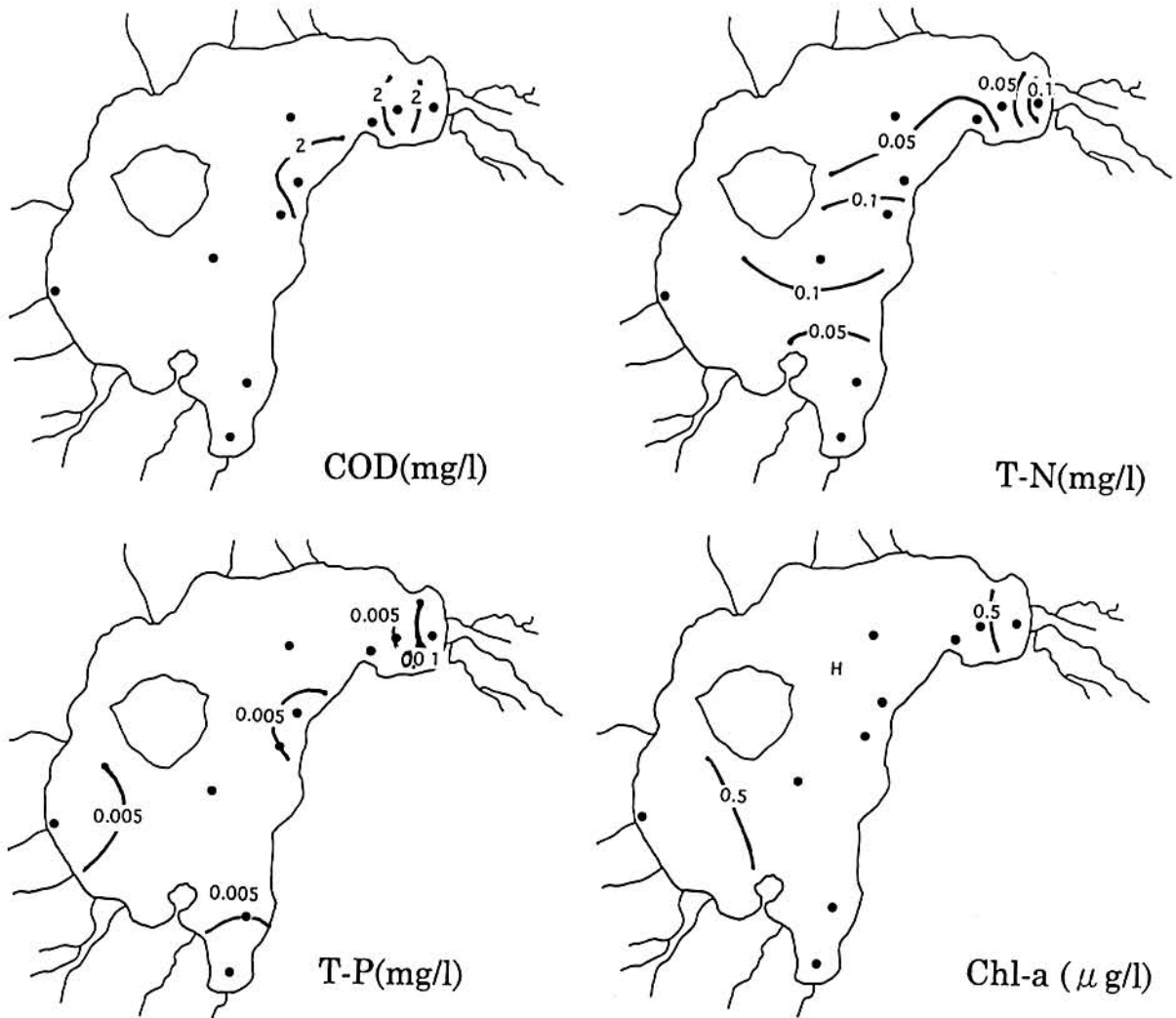


図4 項目別水平分布(1999年6月)

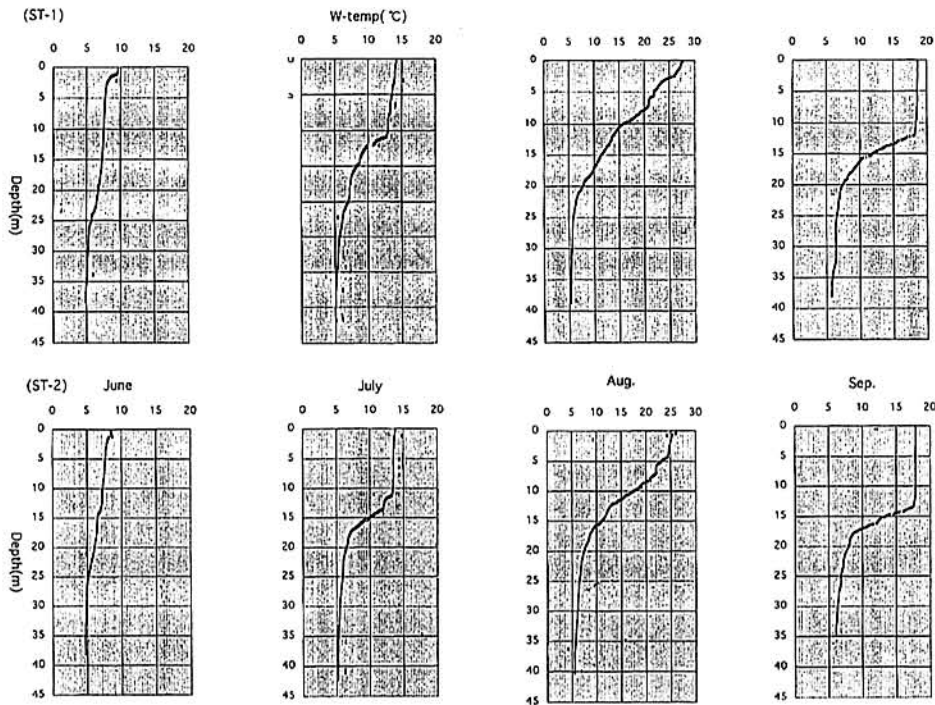


図5 水温の月別鉛直分布 (1999年)

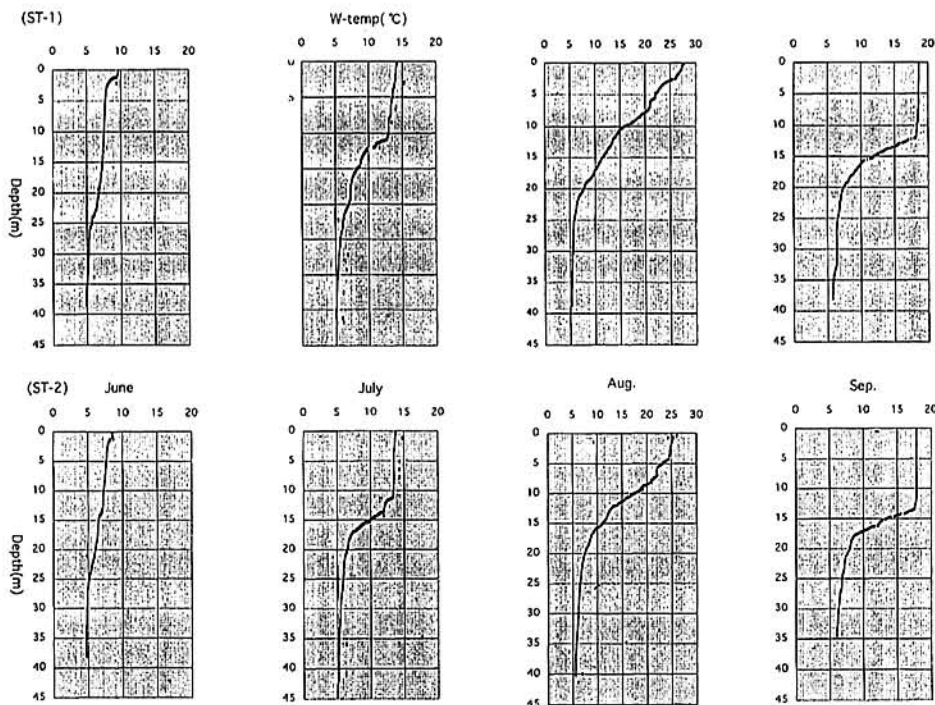


図6 クロロフィルaの鉛直分布

3.2.3水質の垂直分布

1999年の各月毎の水温鉛直分布を図5に示した。これを見ると湖心部のL1及びL2とも6月頃から成層しはじめ、9月には水深15mの所までほぼ一定の値を示し、上層での混合が開始されていることが観察された。また、水深20m以深では各月とも7～8℃以下でほぼ一定の値を示した。

同様にクロロフィルaの鉛直分布を図6でみると最も高い値はL1で7月の25～30m層、L2で6月の20～25m層であった。9月は上下層とも濃度変化が少なく、2～4 $\mu\text{g/l}$ であるのに対し、6、7、8月は10、15m層以深に濃度増加が認められた。特に6月はL1、L2とも顕著な濃度増加が認められL1、L2とも水深20m前後に6 $\mu\text{g/l}$ 強の最大値を示した。

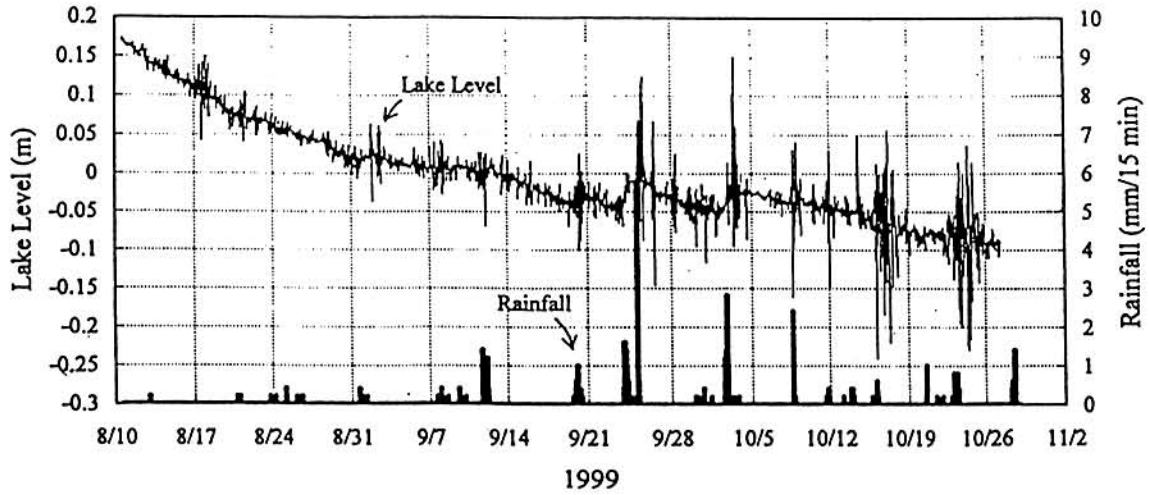


図7 湖水位変化 (W1地点) と降雨量

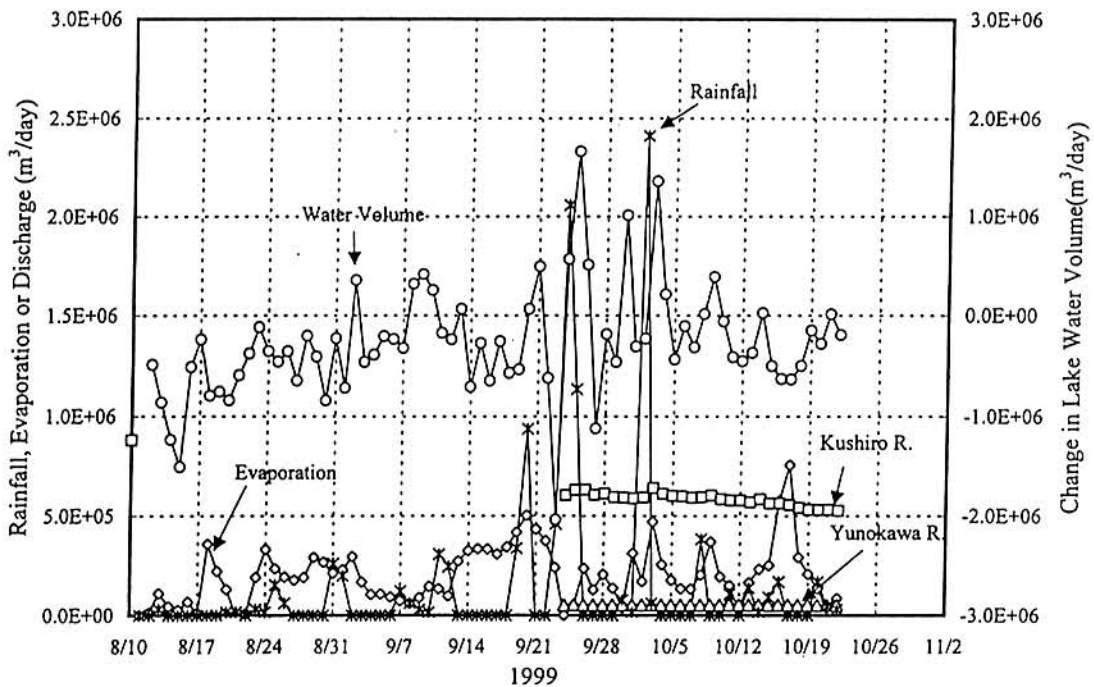


図8 全雨量、湖水量、全湖面蒸発量及び釧路川・湯川の日流量変化

また、L1は25~30m層に8月まで最大値を示す層が残っていることが特徴的であった。

3.3 湖水位及び流入出負荷量

3.3.1 湖水位

湖水位観測を砂湯及び対岸の2箇所で1999年8月から10月まで実施し、降雨量データと共に図7に示した。全体的には8月~10月まで水位低下(0.25m/月)が見られるが降雨に伴う水位上昇が確認された。この水位上昇は、降雨強度に比例し、9月24日(47mm)の降雨後の反応時間はいずれも約6時間程度であり、水位持続時間は4~6日程度であった。また、降雨による湖面上昇は降雨量

が50mm程度であれば5日程度で元の湖水位に回復し、その後再び0.25m/月の水位低下が起っていた。

湖水位を基に水収支を概算すると期間中の水位差による湖水流出量は約 $3.8\text{m}^3/\text{sec}$ で、実測の流入流出差は $4.8\text{m}^3/\text{sec}$ となり、蒸発量が多いことを示している。このことは、図8に示した気象データや湖水量変化からも確認できる。蒸発量をみると、気象条件によって差が認められるが、高いときは釧路川流量以上の値を示した。期間中の流出量 = (期間中(2ヶ月)の水位差 \approx 25cm) \times (湖面積 \approx 80km^2) \div (2ヶ月間のsec) \approx $3.8\text{m}^3/\text{sec}$

8月、9月の全流入河川流量平均値= $2.4\text{m}^3/\text{sec}$
 釧路川の流出量平均値= $7.2\text{m}^3/\text{sec}$

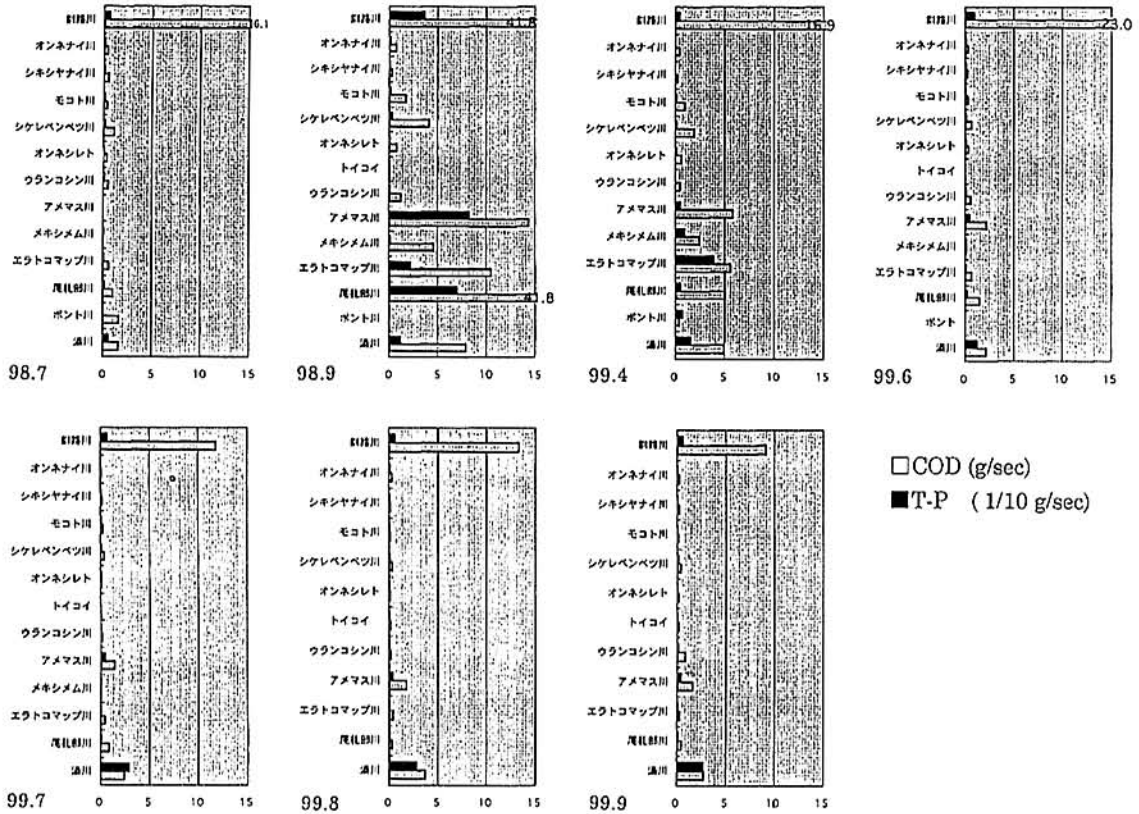


図9 流入出河川の月別 (COD,T-P) 負荷量

3.3.2 COD及び栄養塩類の負荷量

各流入出河川のCOD及びT-Pの月別流入負荷量を図9に示した。

CODはいずれも流出河川の鉦路川が最も高い。流入河川のうち、98年9月と99年4月の畑地貫流河川が高い値を示している。特に、98年9月の降雨時には尻札部川の値が一時的にせよ流出河川と同程度の負荷量を示した。

T-Pは、CODと同様に98年9月と99年4月の降雨と融雪時に畑地からの流出負荷が高い。その他の晴天時は湯川の負荷量が最も高い。

次に、負荷量バランスを晴天時(98年7月、99年6月、7月、8月及び9月の平均値)と降雨時(98年9月)及び融雪時(99年4月)に区分し、土地利用ごとに図10に示した。晴天時のCODは流入量合計7.1g/secに対し、流出量は14.0g/secで流出量が流入量の約2倍であった。T-Nは流入量1.56g/secに対し、流出量が0.97g/sec、T-Pは流入量0.29g/secに対し、流出量が0.06g/secと約1/5の負荷量しか流出していない。1998年9月の降雨は台風による豪雨で降雨量も125mmであった。このときのCODは流入量88g/secに対し流出量41g/secであった。T-Nは流入量31.2g/secに対し流出量4.3g/sec、T-Pは流入量2.23g/secに対し、流出量0.35g/secといずれも流入量が流出量の約7倍の負荷量で、局時的に多量の有機物が湖内に供給されたことになる。融雪時のCOD流入量は29g/secで流出量16g/secに対し約1/2、T-Nは流入量6.2g/secに対し、

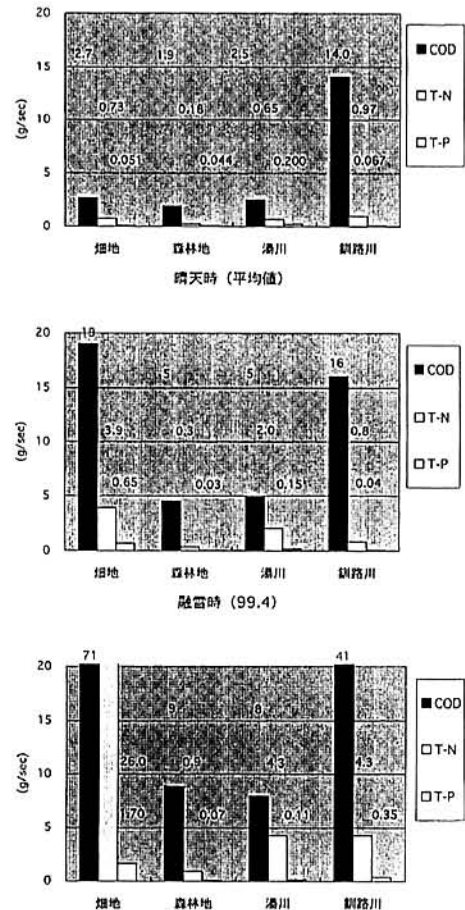


図10 土地利用及び気象区別流入出負荷量

流出量0.8g/sec、T-Pは流入量0.83g/secに対し流出量0.04g/secであった。

晴天時を除いては、いずれも畑地を貫流する河川からの負荷量が著しく高く、全流入負荷量に占める割合は、CODが降雨時80%、融雪時65%、T-Nが降雨時83%、融

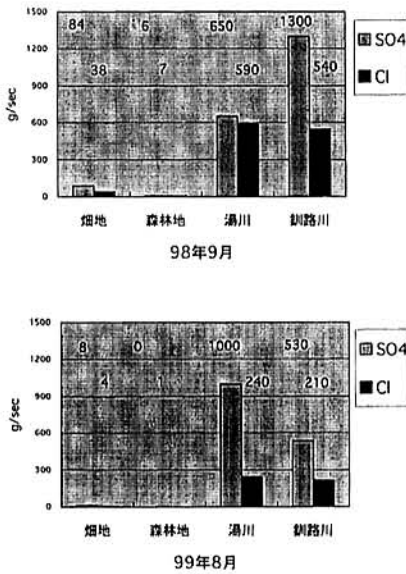


図11 硫酸イオン及び塩素イオン流入出負荷量

雪時62%、T-Pが降雨時90%、融雪時78%といずれも60%以上の値であった。晴天時はCOD、T-Nとも湯川と畑地からの負荷量はほぼ同じであるが、T-Pは湯川からの負荷量が畑地や森林地の約4倍であった。

3.3.3 硫酸イオン(SO₄²⁻)及び塩素イオン(Cl⁻)

本湖の重要なpH決定因子と考えられるSO₄²⁻及びCl⁻の流入出負荷量を図11に示した。Cl⁻はSO₄²⁻と湯川の高い寄与率が示された。ただし、今回の調査では降雨時と湯水期の非定常状態での値であるため年間の湯川の正確な負荷流入総量は不明であるが、SO₄²⁻とCl⁻の大半が湯川起源であることは示唆された。湖底や湖岸からの温泉の供給は確認されているものの、流入量に関する詳細なデータは不足している。

4 湖水のpH変動予測

陰イオン流入出負荷量や蒸発散量等を基に滞留年数とイオン濃度の予測を行った。

ただし、仮定として、硫酸及び塩素イオンの供給量は湯川からのみとし、流量は実測の鉦路川平均流出量を用いた。また、結氷期(約4ヶ月)の流量減少と降雨期の流量増加を考慮して、鉦路川平均値の360日分として算出する。蒸発量は鉦路川流量の40%(図8から算出)とする。

算出結果は下記のとおりである。

湖水の滞留時間は公式には18年程度となっているが、これは年間降水量と流域面積から単純計算したもので解析上は用い得ないため、2カ年間の鉦路川平均流出量、蒸発量を基に計算すると、下記のとおりとなる。

湖水の滞留時間： $3,330 \times 106 \text{m}^3$ (湖容積)/ $864,000 \text{m}^3/\text{日} \times 365$ 日(年間流出量) = 10.5年

ただし、 $864,000 \text{m}^3/\text{日} = (8.9$ 月の平均流量 $7.15 \text{m}^3/\text{sec}$ に平均蒸発量：鉦路川流量の40%を加えたもの)

となり、この滞留時間と湯川からの供給量を基に1991年及び1998年の湖内の各イオン濃度を算出すると

1991年：Cl⁻ = 51,920t/10.5年となる。この値から湖水濃度を算出すると $51,920 \text{t} / 3,330,000,000 \text{m}^3 = 15.5 \text{mg/l}$ となる。この値は湖内の実測47mg/lと比較すると小さい値である。同様に98年のCl⁻濃度は25,700t/10.5年で7.7mg/lとなる。

同様にSO₄²⁻を計算すると湖内計算値は1991年は47.1mg/l 1998年は28.8mg/lとなる。

1991年の流入出バランスをみると流出河川である鉦路川からのCl⁻流出負荷量は(Cl⁻:360g/sec、SO₄²⁻:960g/sec)は湯川(Cl⁻:160g/sec、SO₄²⁻:500g/sec)の2.25倍、SO₄²⁻は1.9倍で、湖内からの供給が考えられるためこの値を一定として計算すると1991年の計算値はCl⁻=34.8mg/l、SO₄²⁻=89.4mg/lとなる。

1998年の各濃度をみると、鉦路川(Cl⁻:270g/sec、SO₄²⁻:680g/sec)、湯川(Cl⁻:77g/sec、SO₄²⁻:300g/sec)で、Cl⁻は3.5倍、SO₄²⁻は2.2倍である。これらの結果を基に湖内のイオン濃度を算出すると1998年の計算値はCl⁻=27mg/l、SO₄²⁻=63.3mg/lとなる。

1991年の実測値から10.5年後の湖水の予測値を算出すると、Cl⁻=34.8mg/l SO₄²⁻=89.4mg/l となり、7年後の1998年の実測値(Cl⁻=30mg/l SO₄²⁻=65mg/l)と比較するとやや高い値となる。しかし、実際には、湯川の濃度が減少しているため、湖水の値は低くなっており、計算結果はほぼ満足する値となった。さらに、1998年から10.5年後の水質予測を行うとCl⁻=27mg/l、SO₄²⁻=63mg/lでほぼ現状と同じ値となる。

従って、今後湯川からの供給量に大きな変化がない限り、屈斜路湖のpHは、ほぼ現状の濃度を維持するものと考えられる。

5 考 察

屈斜路湖への有機物及び栄養塩類の流入負荷量をみると晴天時では湯川などの負荷量が各項目とも20~50%程度を占めているが、降雨時には市街地や畑地からの供給が急増している。このことは降雨時のノンポイントソースからの年間流入負荷が湖への負荷の大半を占めていることを示唆している。このため、年間流入出負荷総量を算出するためには、降雨強度別の流入負荷量と融雪期の

累加流入負荷量の算出が不可欠で、さらにこれらの栄養塩や有機物の湖内での推移や生物生産への利用、系外への流出等の詳細についての解析も必要となってくる。

湖内のpH上昇はプランクトンのみならず大形の挺水植物など生物生産を急激に増加させており、生物の至適pHへの変化が供給される栄養塩や有機物の生態系への消費をもたらしている。しかし、クロロフィルa濃度や水温の鉛直分布から現状の一次生産は主に水温躍層より以深にほぼ限定されているため、今後、種の同定も含め一次生産と至適水温層との関係も観察していく必要がある。

湖内の生態系に最も影響を及ぼすPH変動はイオン供給量に強く依存しているが、現状では湯川が晴天時及び降雨時とも9湖以上の寄与率を占めている。しかし、負荷バランスから湖内湧水からの流入も確認されており、湖の収支を把握するためにも湖底を含めた年間の流入出負荷量の精査が今後の課題である。

6 結 語

今回の調査によって、屈斜路湖の物質収支についてその概要を把握し、汚濁物質の流入する様相が示された。これらの物質の一部は系外へ流出し、その大半は堆積物や生物生産に利用されていると考えられる。特に、堆積物として蓄積された有機物や栄養塩類は、今後、底層で好気分解から嫌気分解の過程を経て湖水中に再溶解し、湖の富栄養化を誘発する恐れを持っている。このため、今後も調査を継続し、湖水の変化を監視すると共に水質保全対策を検討していく必要がある。

7 参 考 文 献

- 1) 福山龍次：pH変動に伴う湖水質の変動
北海道環境科学研究センター所報 第21号29～33。
(1996)
- 2) J.V.Sutcliffe, Y.P.Parks: The hydrology of the Nile.
(1999)
- 3) 北海道地下資源調査所：北海道の地熱・温泉、(D)
北海道東部 (1981)
- 4) 北海道公害防止研究所編：北海道の湖沼、屈斜路湖
(1990)
- 5) 黒萩 尚：理科年表読本“空からみる日本の湖沼”
p38～41、丸善 (1991)
- 6) 奥田 節夫、半田 彦 監訳：湖沼の科学 (1984)
- 7) 坂田 康一：北海道湖沼堆積物の化学成分、地質学
論文集、第39号、p75～88
- 8) 倉持 寛太：“草地酪農地域の水質への草地負荷寄
与率の推定”第15回上・水研究会資料、農業環境技術
研究所 (1998)

- 9) 知北 和久：火山性湖沼における水質の形成と変動
の機構に関する研究、平成10～11年度科学研究費補助
金研究成果報告書 (2000)

Chemical mass budget in Lake Kussharo

Ryuji Fukuyama, Kazuhiro Hamahara
Osamu Saitoh, Jiro Arisue
Kazuhiisa Chikita*

Abstract

Water budget was calculated in Lake Kussharo from 1998 to 1999.

This paper documents the budget, with particular emphasis on the ions and the nutrient. An early fundamental water balance of the lake basins is given by R.Fukuyama(1991).

Calculated budgets were characterized as follows.

Accumulated water as snow in the ice-covered season was discharged constantly at the rate of $0.01\text{km}^3/\text{month}$ from outlet during the ice break term, irrespective of the supplemental rainfall.

A great amount of nutrient was discharged by rivers through farms into the lake and formed the lacustrine deposits.

Even in flood, Yunokawa River dominates the ion flux, and the difference under condition of rainfall and fine weather was not observed.

Lake pH values after one decade were predicted as $\text{Cl}^- = 30\text{mg/l}$ and $\text{SO}_4^{2-} = 65\text{mg/l}$.

This hypothesis means that pH values will not be changed soon.

* Hokkaido Univ.

豊似湖の陸水学的特徴

三上 英敏 阿賀 裕英 坂田 康一
藤田 隆男 五十嵐 聖貴 永洞 真一郎

要 約

我々は、かつてほとんど調査報告の無い豊似湖において、水質の基礎データを得るため1998年に7回の調査を実施した。その結果、6月から10月まで安定した水温成層がみられた。途中に記録的な豪雨があったものの、下層には嫌気層が徐々に発達していった。豊似湖は、極端に大きな降雨がなければ透明度が高く光が下層までとどき、時には底部（約20m）まで到達することがわかった。また、上層が清澄であっても中～下層における植物プランクトン現存量が多く有機物生産量が比較的大きいことが示唆され、夏期から秋期までの嫌気層発達の一要因となっていると思われる。

Key words: 豊似湖、貧栄養湖、嫌気層の発達

1 はじめに

豊似湖は日高山脈最南端・えりも町に位置し、周囲を森林が生い茂る小高い山に囲まれたきれいな淡水湖である。湖周囲には大きな岩が多く、ナキウサギ等の貴重な動物が生息している。その豊似湖の位置と諸元をそれぞれ図1と表1に示した。豊似湖は湖面積0.03km²、湖容積347,000m³、最大水深18.6m、集水域面積0.98km²の、ハート形をした小さな湖である。この湖の形が馬の蹄にも似ていることから、馬蹄湖とも呼ばれている。流入河川

は無いが、融雪期や大雨の時は谷間に小河川を生ずる。通常は、集水域の水は地下水となって湖に流入しているものと推察される。また、流出河川も無いが、湖からの流出水の一部は湖から少し離れたところから猿留川の支流の湧水となっている。

この豊似湖に船を出して調査をするためには、数百メートルの山道を機材をもって歩く必要があり、既存の調査研究結果がきわめてすくない原因の一つと考えられる。

豊似湖に関する最初の調査結果は、羽田・楠木¹⁾による今から64年前の1936年9月12日の結果にさかのぼる。その結果を表2に示した。それによると、湖水は比較的清澄で貧～中栄養湖にあることがわかる。しかし、上層湖水は比較的清澄にあるにもかかわらず、わずか15m以深の下層に嫌気層が存在しており、嫌気層特有のアンモニア、リン酸、鉄の溶出が認められている。

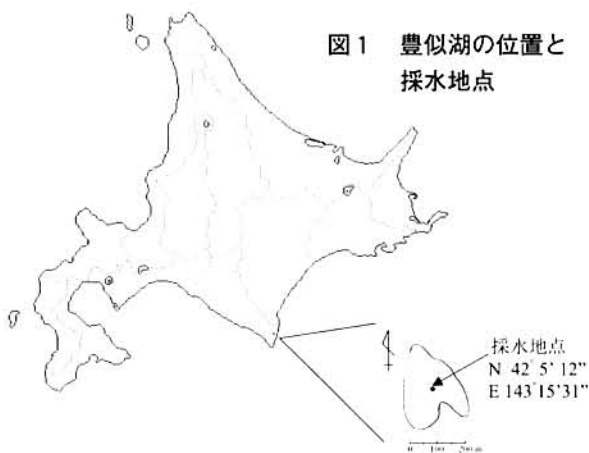


表1 豊似湖の緒元

湖面積	0.03 km ²
容積	347,000 m ³
最大水深	18.6 m
平均水深	11.6 m
集水域面積	0.98 km ²

表2 1936年における豊似湖水質調査結果
(羽田・楠木,1938)

水深 m	水温	pH	DO mg/L	PO ₄ -P mg/L	NH ₄ -N mg/L	Fe mg/L
0.0	19.3	6.85	6.82	0.002	0.00	0.03
1.0	17.2					
2.0	15.8	7.25	8.37			
3.0	14.7					
4.0	13.0					
5.0	11.1	6.70	8.95	0.005	0.00	0.03
10.0	8.7	6.00	8.22	0.005	0.00	0.04
13.0	7.4	5.65	1.38			
15.0	7.2	5.70	0.31	0.006	0.15	0.42
16.5	7.0	5.85	0.07			
18.0	5.9	5.90	0.00	0.022	0.71	2.41

1936 9/12

最大水深 18.6 m, 透明度 5.5 m

北海道立水産孵化場の長内・江口²⁾は、1962年7月11日に実施した調査結果に関して報告している。それによると、そのときは強風のため、残念ながら湖心での調査ができず水深10m地点において調査を行っている。そのため、下層に嫌気層が存在していたかどうかはわからない。ただし、上層の水質やプランクトン類に関して調査されており、その結果、豊似湖は貧栄養湖であると結論づけている。

北海道環境科学研究センターの前身である、北海道公害防止研究所³⁾は、1986年6月30日に調査を実施しており、その結果では、透明度が平均値で16.9mときわめて清澄であった。しかし、このときは鉛直的調査をしておらず水質の鉛直分布に関しては不明である。

近年、酸性雨の陸水影響問題が取りざたされて、各方面での研究も進展している。この豊似湖を含む日高山脈一帯は風化の進行しにくい花崗岩類地帯であり、このあたりの水系における各種イオン濃度は低く、電気伝導度も低いのが特徴である。豊似湖もそれらの水系の一部であり、1997年11月の湖岸調査データでは、電気伝導度 $38.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ 、アルカリ度 $0.132 \text{ meq}/\text{l}$ と、ともに低かった。一般的にアルカリ度 $0.2 \text{ meq}/\text{l}$ 以下の水系は、酸性雨に対する緩衝能が弱いとされていることから、豊似湖は酸性雨モニタリング湖沼としての調査研究対象として考えられている。

このような既存の調査結果から、豊似湖の性状について、①水質は清澄で中～貧栄養湖でありどちらかといえば貧栄養湖に近く、②各種溶存物質が少なくアルカリ度も低いが、③下層には嫌気層が発達し比較的大きな酸素消費がある、という興味深い特徴をもっている。

本研究の目的は、季節的なデータの全く無い豊似湖の

季節変動を明らかにすること、および嫌気層の出現が季節的なものなのかどうかをたしかめることである。さらに、上層は清澄であるにも関わらず、下層で嫌気層が出現することに関して考えられる理由として、下層の有機物生産・分解が活発に行われているという可能性が示唆され、調査のもう一つの目的は植物プランクトンが下層に多く存在しているかを確認することである。

2 調査・分析の方法

調査地点は図1に示した通り、最大水深の地点 (N 42° 56' 12", E 143° 15' 31") である。採水は1998年6月17日、7月8日、8月6日、8月26日、9月18日、10月22日、11月25日の全部で7回実施した。採水は、リゴ採水器を用いて、表層から3mおきに採水を実施した。水温と溶存酸素はDOメータ (YSIモデル58) を用いて、1～2m間隔で鉛直直接測定を実施した。透明度はセッキ板を用いて測定し、一部の採水では、相対光強度の鉛直分布を得るため光量子計を用いて光の透過状態も調査した。

クロロフィルaの定量のため、サンプルを採水後できるだけ速やかにワットマンGF/Fで濾過をし、凍結してもちかえり分析まで冷凍庫にて保管した。分析は、そのフィルターをメタノールにて一晚抽出したのち、蛍光光度計 (ターナデザイン、10-AU) を用いて行った。

3 結 果

3.1 気象状況

アメダスのデータを参考にして、湖の環境に影響を与える気温および降水量に関して検討した。降水量に関して

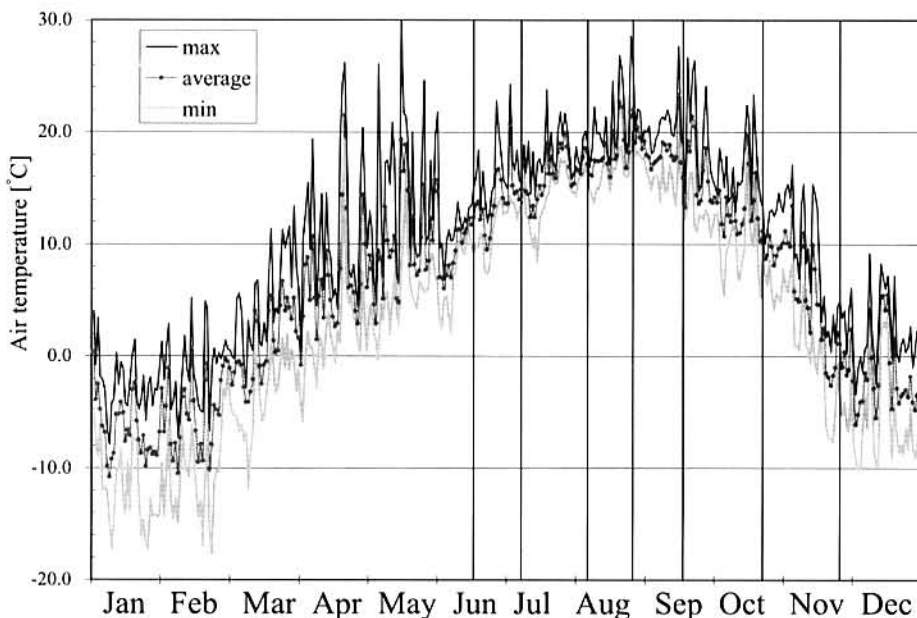


図2 アメダス広尾観測所の気温の日変化
図中の縦線は調査日を示している

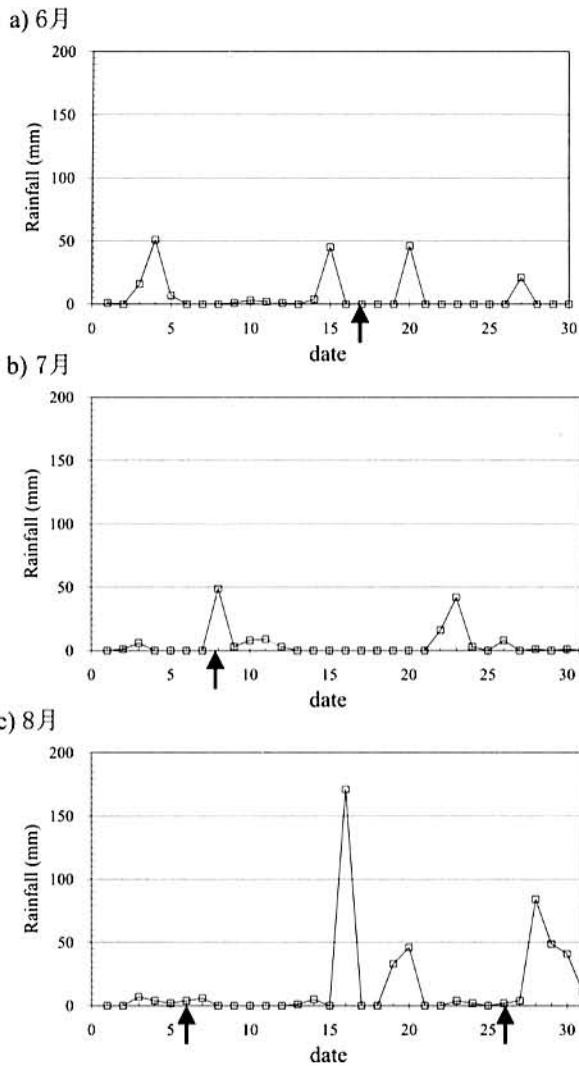


図3 a 1998年6～8月の目黒観測所における降水量の日変化 (↑:調査日)

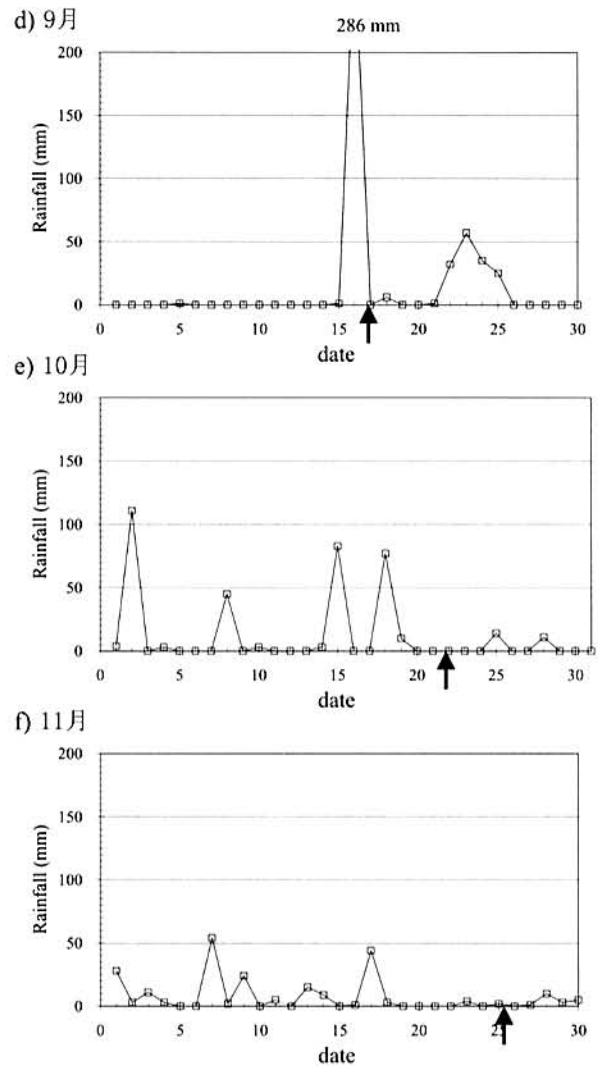


図3 b 1998年9～11月の目黒観測所における降水量の日変化 (↑:調査日)

は、豊似湖に最も近い目黒観測所のデータを参考にした。気温に関しては、目黒観測所にデータが無いので最も類似していると思われる広尾観測所のデータを参考にした。

図2に1998年の広尾観測所の気温の日変化に関して示した。上から日最高気温、日平均気温、日最低気温を示しており、図中の縦線は調査日を示している。現実的な豊似湖の気温は、少し山間部にはいることからこれより若干低い可能性があるが、概略把握可能である。一般的に湖沼の循環期は、表面水温が4℃付近になる時期であり、外気温も4℃付近になる時期と考慮すると1998年の豊似湖の循環期、4月と11月あたりであると推定される。

次に湖の水の動きや水質に直接的な影響を与える集水域の降水量について、参考として目黒観測所における1998年6月～11月の日降水量変化を図3aおよび3bに示した。なお、横軸の矢印は現地調査日を示しており、それぞれの調査が降雨状況からどの位置づけにあるかわ

かる。豊似湖周辺の目黒地域は道内でも有数の豪雨地域である。1998年においても、日降水量が50mmを越えるような大きな降雨がかなりあった。なかでも特に目立つのは8月16日の171mmと9月16日の286mmという記録的な豪雨である。これらの豪雨により、8月26日および9月17日の調査においては、量的・質的な水環境にとって大きな影響を受けていると考えられる。

3.2 全水深、透明度、相対光強度

表3に各調査の全水深および透明度を示した。6月17日から8月6日までは、全水深は18.5～19.0mで推移し、羽田・楯木¹⁾の最大水深18.6mとほぼ一致していた。しかし、8月16日、9月16日の豪雨や10月も100mm前後の降雨が3回あったためか、8月26日から10月22日まで最大水深は21.0～22.8mと増加しており、一部の陸上植物は浸水していた。その後11月25日には19.0mという通常値

に戻っていた。

透明度に関して、めだった降雨がなかった6月17日から8月6日までは、7.6~9.6mと高い値を示した。しかし、豪雨後の8月26日および9月17日調査時においては、3.5および3.3mと大幅に減少し、それは、豪雨による集水域からの懸濁物質の流入や栄養塩類負荷にともなう上層での植物プランクトン類の増加に起因すると考えられる。その後10月22日においては、6.8mと回復している。

表3 最大水深透明度

調査日	最大水深[m]	透明度[m]
1998年6月17日	19.0	9.0
7月8日	18.5	7.6
8月6日	18.8	9.6
8月26日	22.8	3.5
9月17日	22.0	3.3
10月22日	21.0	6.8
11月25日	19.0	4.3

図4に8月26日、10月22日、11月25日における、光量子計による表層を100%としたときの相対光強度の鉛直分布に関して示した。この相対光強度の鉛直分布は透明度と大きな関係がある。この3回の調査のうち、6.8mと最も透明度の高かった10月22日の19m層には、表層の0.3%の光が届いていた。6月17日の最大水深は19.0mで、透明度は9.0mと10月22日のときより高いことから、底まで光が届いていたと推定される。すなわち、豊似湖は条件さえよければ、底近くの水域でも植物プランクトン類が光合成可能であることがわかった。

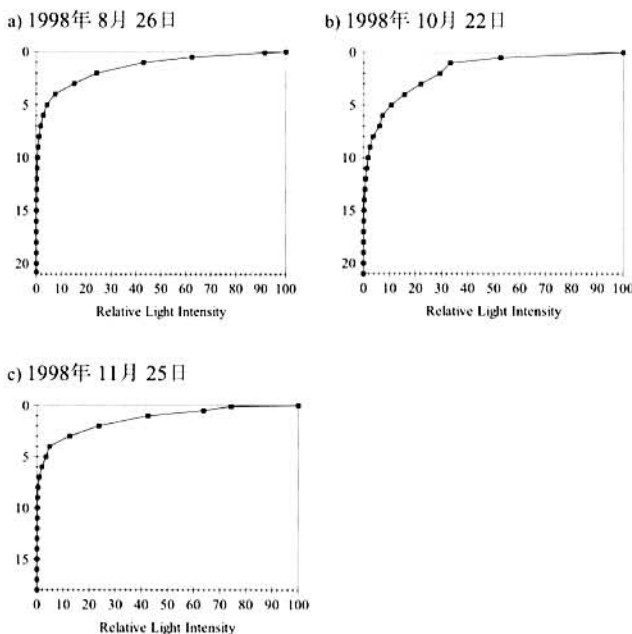


図4 豊似湖における相対光強度の鉛直分布

3.3 水温、溶存酸素

図5に水温と溶存酸素濃度およびその飽和度についての鉛直分布を示した。

6月17日は既に春の循環期を過ぎ、水温成層が見られ始めていた。水温は表層から徐々に下がりはじめ、6m層から急激に低下し始める。溶存酸素濃度は表層で高いが9m層から12m層で極大を示し、それ以深で徐々に低下し始める。しかし、最深部ではまだ完全な嫌気状態に達していない。

7月8日になると、表層の水温は気温の上昇にともなって約18℃まで上昇しているが、10m層以深の水温は6月17日とほとんど変わっていない。すなわち、表層から比較的急激に温度が低下している。溶存酸素に関しては、9m層に極大層がみられた。

8月6日の水温の鉛直分布は、10m以深においても上昇をしいられ、表層から15m層までほぼ直線的に低下していた。溶存酸素に関しても、表層で最も高いが、深層に向かって徐々に低下し始め、9m層で若干の極大層が見られたが、7月8日のそれより大幅に低下していた。また下層にははっきりとした嫌気層が形成していた。

171mmの豪雨10日後の8月26日において、水温は表層から2m層にかけて急激に減少したが、その後10m層まで同様な温度で分布しており、豪雨影響で10m以浅で大きく混合があり、その後表層から再び水温成層が形成されはじめたと考えられる。しかし、10mから15mにおよんで顕著な水温躍層が認められ、かつ下層の嫌気層の厚さは8月6日よりさらに増しており、豪雨影響は下層には及んでいないといえる。

さらに、286mmという記録的な豪雨の翌日9月18日は、10m層までの水温変化が小さくなっていた。この理由については、豪雨の影響による原因と外気温の低下による原因とが考えられる。しかし、8月26日と同様に、10m~15m層におよんで顕著な水温躍層ができており、嫌気層の厚さもさらに増加していた。

調査の3週間前から100mm前後の降雨が3回あった10月22日において、水温は10m層までほぼ同様に混合状態と思われた。しかし、8月26日、9月17日の時と同様に10mから15m層にかけて顕著な水温躍層がみられ、溶存酸素濃度は水温躍層において急激に低下していた。嫌気層の厚さもさらに増しており、この時点では約5mにもおよんでいた。

11月25日は、水温、溶存酸素ともに、表層から深部までほぼ一律な値をしめしており、嫌気層は消滅していた。図2による気温の日変化図からも予測できたように、豊似湖の秋の循環期は11月であると思われる。

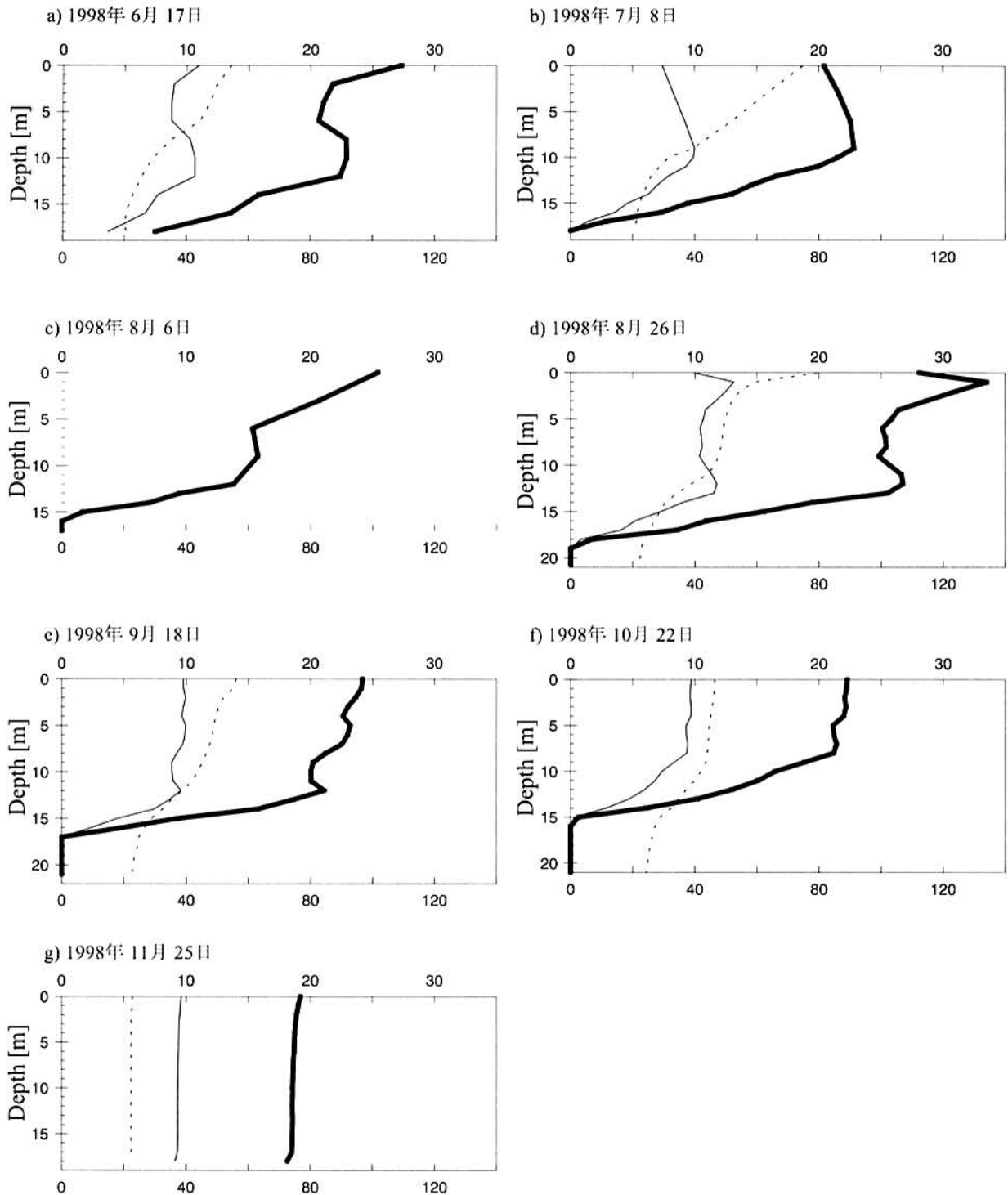


図5 豊似湖における水温 (WT) および溶存酸素濃度・飽和度 (DO) の鉛直分布 (1998年)
(上横軸：……WT(°C), —— DO(mg/l), 下横軸：—— DO(%))

3.4 クロロフィル a

図6、クロロフィル (Chl-a) の鉛直分布を透明度とともに示した。

6月17日は、0～6m層において1 μ g/l前後と低く、上層の植物プランクトン現存量が低いことがわかった。しかし9m層から増加し始め最深部の17m層では6 μ g/lを越えており、最下層で植物プランクトンの増殖が認められた。

7月8日においては0～6m層は2 μ g/l前後であるが9m層から急激に増加しはじめ、12m層では16 μ g/lという極大を示した。15m層以深は再び急激に減少していた。

8月6日は、0～3m層は2 μ g/l前後であり6m層で3.5 μ g/lと少し上昇したが9～12m層では再び2～3 μ g/lという比較的低濃度であった。しかし、15m層で12 μ g/lという極大をしめし、植物プランクトンは嫌気層の

すぐ上部で増殖していたことが示された。

豪雨10日後の8月26日は、これまでと一転して、0 m層は2 $\mu\text{g/l}$ という比較的低濃度であるものの、3~6 m層にて6 $\mu\text{g/l}$ の極大をしめしており、それより下層に向かうにつれて急激に低下し12m層以深では極めて低濃度であり植物プランクトン現存量が低いことが示された。

豪雨翌日の9月18日において、Chl-aは8月26日の鉛直分布とよく類似していた。豪雨により、周囲から栄養塩が流入することによって上層で増殖の極大が出現することが示された。

10月22日は、9月18日のなごりの6 m層の極大が残っているが12m層にも弱い極大層が認められていた。

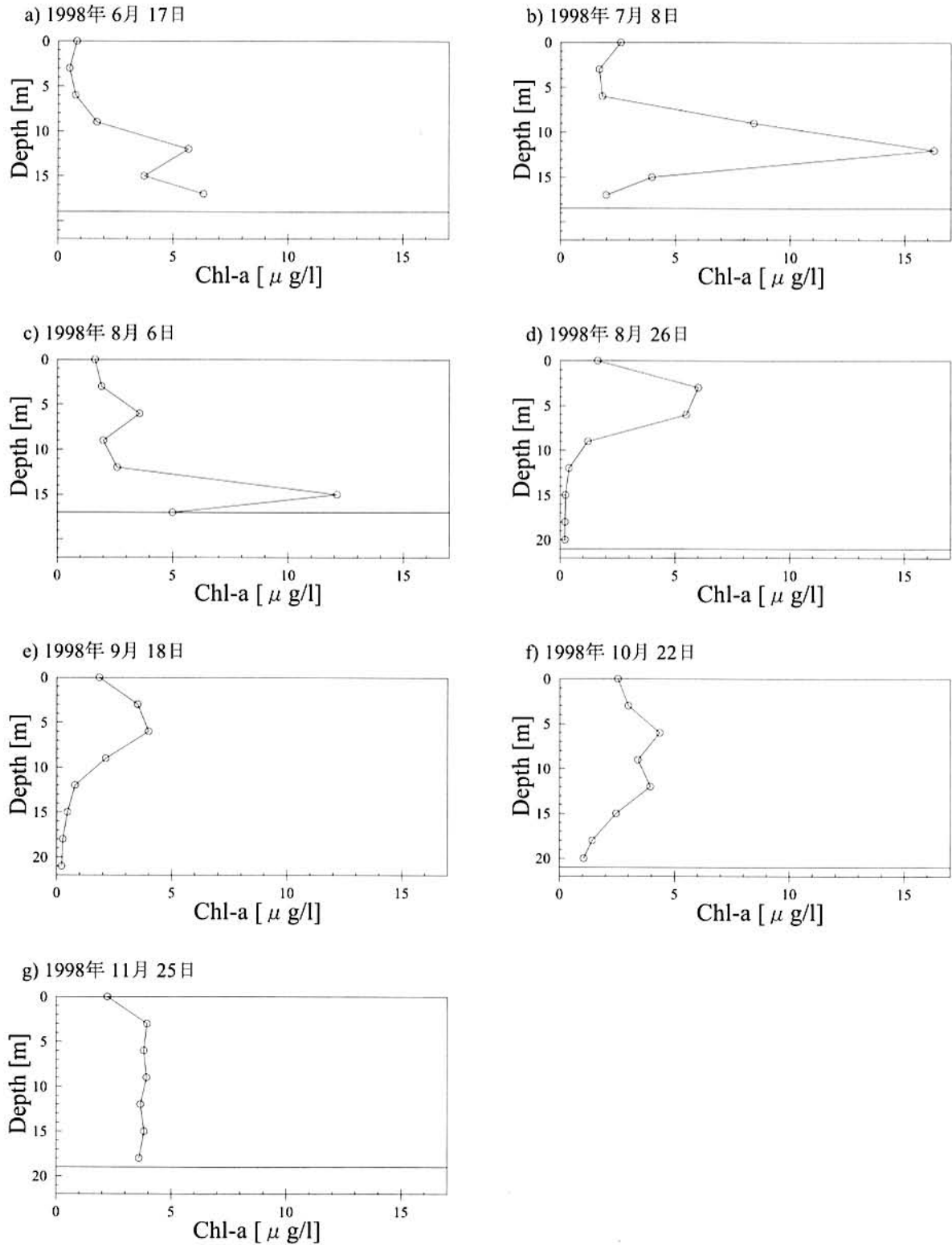


図6 豊似湖におけるクロロフィル a の鉛直分布 (1998年)
 図中の横線は、透明度と最大水深を示す。

11月25日は、0 m層が若干 $2\mu\text{g/l}$ と低いものの、3 m以深は $3\sim 4\mu\text{g/l}$ でほぼ一様であり、循環期であるから、鉛直混合しているものと考えられる。

全体的に、上部の植物プランクトン現存量が低かった、6月17日、7月8日、8月6日は透明度が高かったが、豪雨影響のあった8月26日や9月17日は、3~6 m層の植物プランクトン現存量が高く、透明度が低かった。

4 考 察

豊似湖は、一般的な湖沼と同様に春の循環期の後、徐々に水温成層が形成されるが、上層の水温変化が直線的減少で、表層から安定的な水温成層を形成しはじめる。その原因の一つとして、周囲が森林の生い茂った小高い山に囲まれており風による混合影響が受けにくい環境であることがあげられる。150mmを越える豪雨があったときは、その表層からの直線的な水温減少変化はくずれ、集水域からの大量水の供給による影響を大きく受けていた。

豊似湖の下層は徐々に酸素濃度が低下し始め、夏期には嫌気層が出現し徐々にその厚さを増していく。豊似湖は豪雨がなければ上層の植物プランクトン現存量が低い状態が維持され、透明度が高くなる。しかし、嫌気層が発達することは、下層の酸素消費量の大きいことを示している。豪雨影響を受けていないときは、植物プランクトンの増殖は中層から下層で顕著に高く有機物の生産層が下部に存在していることが明らかとなった。特に、6月17日は底まで光が到達していると考えられ、最深部で植物プランクトン現存量が最も多かった要因の一つといえる。その後、嫌気層が発達しはじめると、その植物プランクトン現存量は好気層の下端に極大が出現しやすくなっている。それは、一つの仮説として、植物プランクトン類の成長に必要な栄養は底泥からの供給による寄与が大きい可能性がある。また、嫌気層が発達すると、ますます植物プランクトン類が最も利用しやすい、無機態の窒素やリンが回帰しやすく、光が到達する好気層下端で植物プランクトンの成長を促進する要因の一つと推察される。

豪雨があった時、上層は混合の痕跡が認められたが、下層は安定的で嫌気層が薄くなるどころかさらに厚さを増していった。これは、豊似湖は18mという比較的水深が浅い湖沼であるにもかかわらず、全層にわたっての循環は記録的な豪雨があったとしても起こらないことがわかった。しかし、そのような豪雨が生じたときは、栄養塩類が外部から大量に供給されると考えられ、3~6 m層という浅い層に植物プランクトンの増殖層が出現し、透明度を低下させることがわかった。

豊似湖は、記録的な豪雨が無い限り水温による成層が強く形成され、非常に鉛直的に安定な湖であるといえる。豊似湖は成層期においては、中層から下層で有機物生

産・分解が繰り返され、記録的な豪雨が無い限り、上層は比較的清澈な水質環境が維持されるという、鉛直的に非常に安定した湖沼であるといえる。

5 謝 辞

濾過等のサンプル処理にあたり、帯広保健所広尾支所の皆様に大変お世話になりました。また、当環境科学研究センターの運転技術員坂本孝氏におきましては、フィールド調査に関しまして、機材の運搬、ボートや道具類の調整等にあたり、大変お世話になりました。この場をかりてお礼申し上げます。

6 参 考 文 献

- 1) 羽田良禾, 楠木義明: 豊似湖の水質と生物, 陸水学雑誌, Vol.8, NO.1, pp.53-67, 1938
- 2) 長内稔, 江口弘: 最近に於ける豊似湖の湖沼条件について, 北海道立水産孵化場研究報告, Vol.19, pp.105-109, 1964
- 3) 北海道公害防止研究所: 「北海道の湖沼」, p247-249, 1990

Limnological characteristics of Lake Toyoni

Hidetoshi Mikami, Hirohide Aga,
Koichi Sakata, Takao Fujita,
Seiki Igarashi, Shinichiro Nagahora

Abstract

In 1998, we carried out 7 investigations for Lake Toyoni that has not been reported much, in order to understand fundamental data of its water quality. Then, it was clarified that stable stratification by water temperature appeared from June to October in 1998. Though there were extreme rainfalls in the middle of the term, anaerobic layer became developing infallibly in deep layer. And, transparency of the lake was high and sun light reached deep layer without extreme rainfall, sometimes reached the bottom (about 20 meters). Though water of surface layer was clear, water of middle and deep layer included much biomass of phytoplankton and production of organic matter was high in the layer. It was thought that this matter was one factor for development of anaerobic layer.

Key Words : Lake Toyoni, oligotrophic lake, development of anaerobic layer

融雪期における貯水池の水質変化

阿賀 裕英 野口 泉 坂田 康一

要 約

多雪地域では融雪初期に積雪中の酸性沈着物を含む溶存成分の大半が溶出するため、陸水の一時的な酸性化が懸念される。このような現象はsnowmelt acidic shockと呼ばれている。そこで1999年の融雪期に北海道の日本海側の多雪地域に位置する貯水池において水質調査を行ったところ、一時的に僅かな酸性化が認められた。同時に溶存態アルミニウム(D-Al)の増加も観測された。その濃度変化が溶存態有機炭素(DOC)の濃度変化と類似していることや、アルミニウムイオンは種々の有機酸と有機錯体を形成する性質が知られていることから、このD-Alは有機錯体のものが主であると考えられる。

Key words : 酸性沈着物、snowmelt acidic shock、酸性化、溶存態アルミニウム、溶存態有機炭素

1 はじめに

冬期の日本海側においては、季節風により大陸方面から大気汚染物質が越境してくるため降雪のpHが低くなっていることはよく知られている^{1,2)}。実際、北海道の日本海側の積雪はpHが低く、量も多い^{3,4)}。また、積雪中の酸性沈着物などの溶存成分は融雪初期にその大半が溶出するため、緩衝能の低い陸水が一時的に酸性化するいわゆるsnowmelt acidic shockという現象⁵⁾が知られている。北海道のように寒冷で、厳冬期の積雪が解けずに春先までそのまま蓄積される地域では、そのような現象が特に懸念される。そこで、北海道の日本海側の多雪地域に位置し、池水のアルカリ度が0.2meq/l前後とやや低めで体積も47万m³と大きくはなく、酸性雨(雪)に対する緩衝能が比較的低いと思われる貯水池において、1999年の融雪期に重点的にモニタリング調査を行った。本報告ではそこで得られた特徴ある融雪期の水質変化について報告する。

2 方 法

調査期間は1999年2月22日から5月31日までとし、4月までは週1~2回、5月は月に2回のサンプリングを行った。

採水は貯水池より導水された緩速濾過池の表層水について行い、水温、EC、pHは現地測定した。持ち帰った試料について、pH4.8アルカリ度を硫酸滴定法(HIRANUMA, COMTITE-101)、Cl⁻, SO₄²⁻を濾過(ADVANTEC, DISMIC-25cs 0.20μm)後にイオンクロマトグラフィー(DIONEX, DX-100)により測定した。現地で採水直後に濾過(Whatman, GF/F)しておいた試料について、

Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺を原子吸光法(varian, SpectrAA-30)、D-AlをICP-MS(Seiko Instruments Inc., SPQ9000)、NO₃⁻, SiO₂をそれぞれカドミウム-銅カラム法、モリブデン青法(ともにBRAN LUEBBE, AACS-II)、DOCを全有機体炭素計(SHIMADZU, TOC-5000A)により測定した。

積雪成分の経時変化についても併せて調査を行い、周囲に障害物のない貯水池近くの芝生上で採取したコアサンプルを室温で融解し、pH, EC測定のほか、Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻を濾過(ADVANTEC, DISMIC-25cs 0.20μm)後にイオンクロマトグラフィー(DIONEX, DX-500)により測定した。

3 結果と考察

図1に貯水池に近接した町の気温・積雪データを示す。3月14日から18日にかけてと24日から26日にかけては最低気温もプラスになるほどの暖かい日が続き、積雪が顕著に減少していることから融雪が進行していると推測される。4月8日以降は急激に暖かさが増したため、融雪は急速に進んで残っていた大半の積雪は4月下旬までに融けきっている。気温や積雪の変化から、3月14日から4月8日までを融雪初期、4月8日以降を融雪後期として議論する。

図2に積雪成分濃度の経時変化を示す。全成分とも経時的な減少傾向を示している。特に初期融雪が顕著に進んだ直後の3月19日と3月30日に、ほぼ全成分の濃度が大きく減少していることは明らかで、水量としては僅かと思われる初期融雪水中に、溶存成分がかなり濃縮されて流去していることが分かる。

図3(a), (b)に貯水池の水質経時変化を示す。ECは融雪初期に増大しており、溶存成分が濃縮された初期融雪

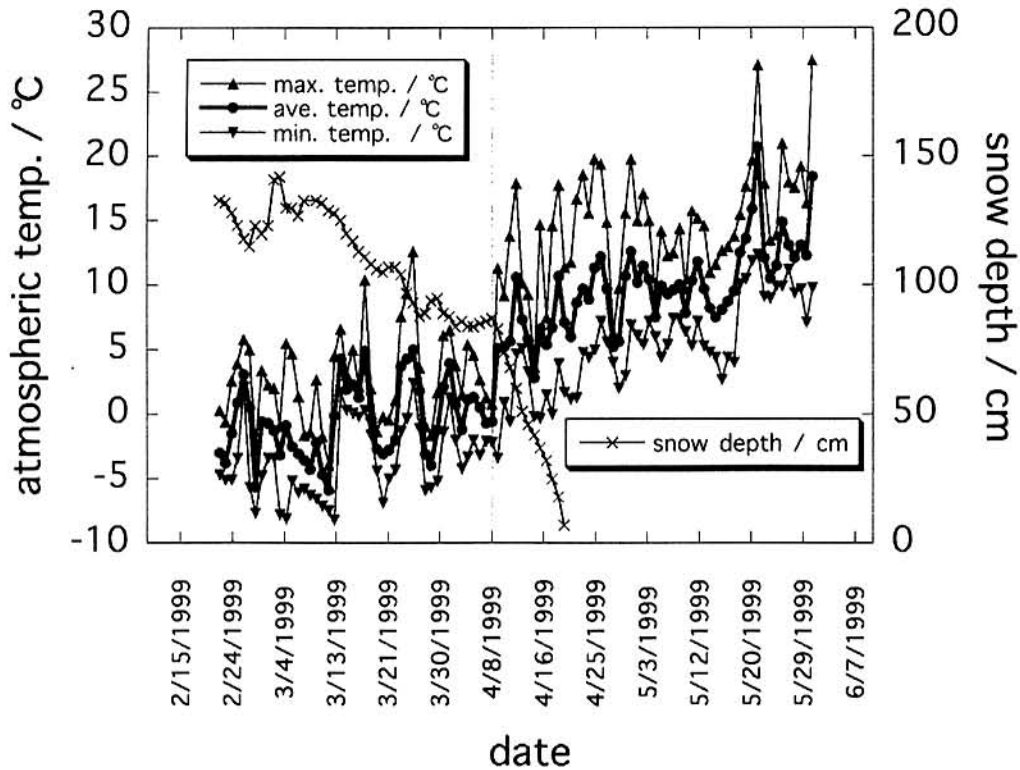


図1 貯水池に近接した町の気温・積雪データ

- 2、3月：北海道の気象 第43巻 第2号、第3号
日本気象協会北海道本部
4、5月：北海道気象月報 平成11年4月、5月
札幌管区気象台

水の影響が顕著に現れている。pHやアルカリ度はECの増加から一週間ほど遅れて僅かに低下した。変化が少し遅れたのは、初期融雪水の最初の部分は土壤による中和作用を十分に受けていたためと考えられる。Na⁺、Cl⁻、NO₃⁻、Ca²⁺は融雪初期に濃度が顕著に増加している。このうちNa⁺、Cl⁻、NO₃⁻については積雪中濃度が池水中濃度に匹敵するため、溶存成分が濃縮された初期融雪水の影響が大きく現れたと考えられる。一方、Ca²⁺については積雪中濃度が池水中濃度に比べて著しく低いことから、土壤中に豊富な交換性カルシウムの流出が主因と考えられる。SO₄²⁻は融雪初期においても池水中濃度が減少している。これは、SO₄²⁻の積雪中濃度が池水中濃度に比べてかなり低い。うえ、SO₄²⁻は土壤の吸着中和作用を受けやすい^{6,7)}ことが原因と考えられる。しかし融雪初期と融雪後期の境界前後は若干濃度が増加しており、土壤の吸着中和作用をそれまでより十分に受けられなかったと思われる。この時期は池水中NO₃⁻濃度のピークにもなっており、これがpHやアルカリ度の低下と概ね一致していることから、この時の僅かな酸性化にはNO₃⁻のほか、土壤の吸着中和作用を受けきれなかったSO₄²⁻が寄与していたと考えられる。

融雪後期には池水のECは大幅に低下し、D-AlとDOCを除く全溶存成分において顕著な濃度低下が認められ

た。これは、溶存成分濃度の低い大量の後期融雪水による大きな希釈効果とみなされる。SiO₂は降水にはほとんど含まれず、集水域の基盤岩や土壤中の造岩鉱物の風化というその遅い生成反応のために、その濃度変化は、降水負荷量の良い指標となるが、融雪初期に比べて融雪後期のその大幅な低下からも初期融雪水量に比べて後期融雪水量がかなり多いことが推察できる。pHは5月以降、徐々に上昇回復する兆しが認められた。

土壤が酸性化すると溶出して魚類への毒性が指摘されているD-Al^{8,9)}は、DOCとともに融雪初期に池水中濃度が上昇したが、ピークは融雪後期に認められた。いずれも積雪中にはほとんど存在せず土壤由来とみなされるが、前述したCa²⁺の土壤からの流入が融雪初期に集中している点が異なる。この違いは土壤の酸性化も含めた土壤からの流出条件の違いによるものと推測される。また、D-AlとDOCは良く似た濃度変化を示しており、アルミニウムイオンは有機酸などのDOC成分と有機錯体を形成する性質が知られている^{8,10)}ことから、貯水池に流入してくるD-Alは有機錯体のものが主である可能性が高い。D-Al濃度は最高で0.08mg/lと通常の陸水としては若干高い値を示したが、その毒性はイオン性のものに比べ有機錯体の毒性は弱いと言われている⁸⁾。

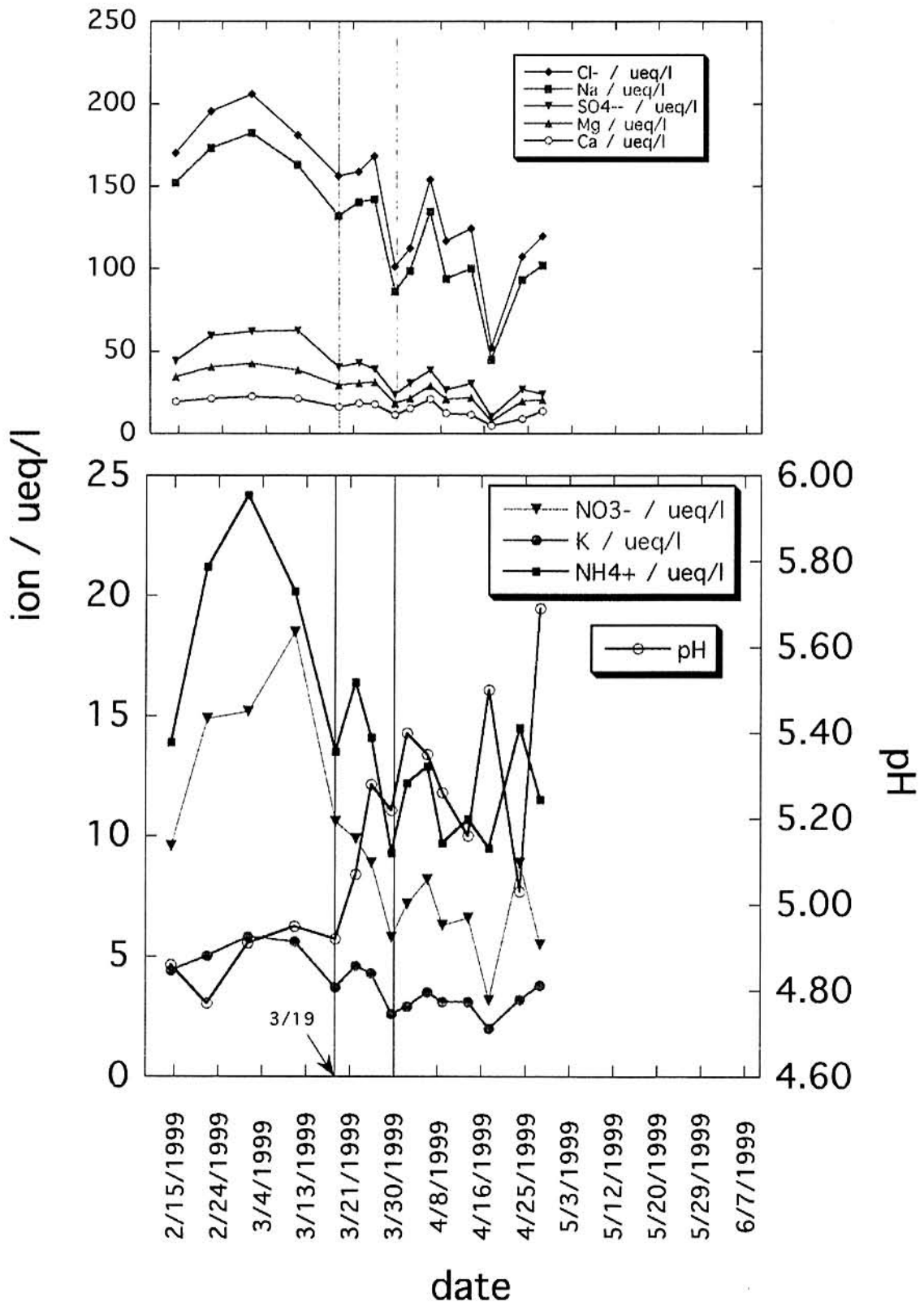


図2 積雪成分濃度の経時変化

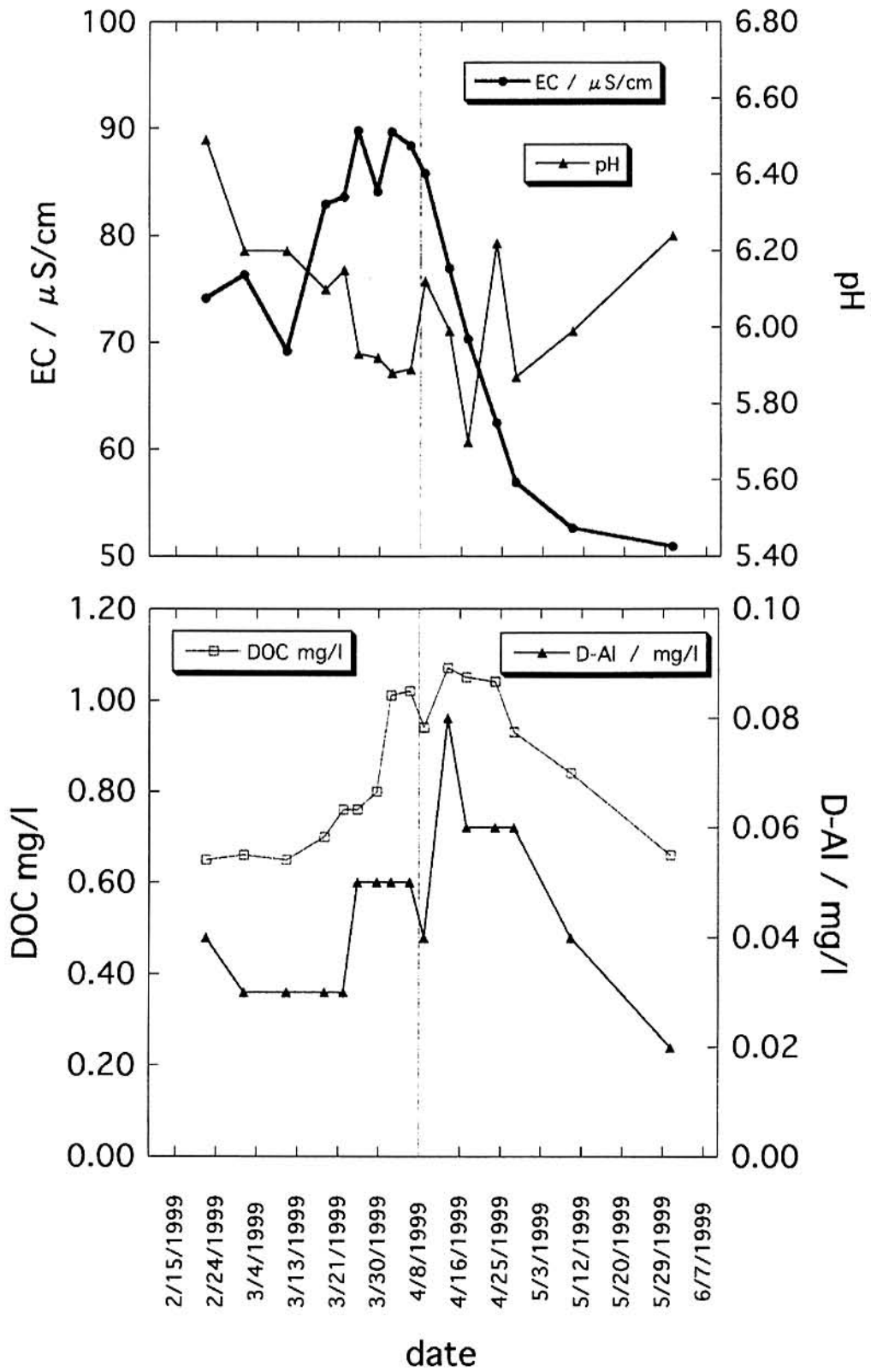


図 3 (a) 貯水池の水質経時変化 (1)

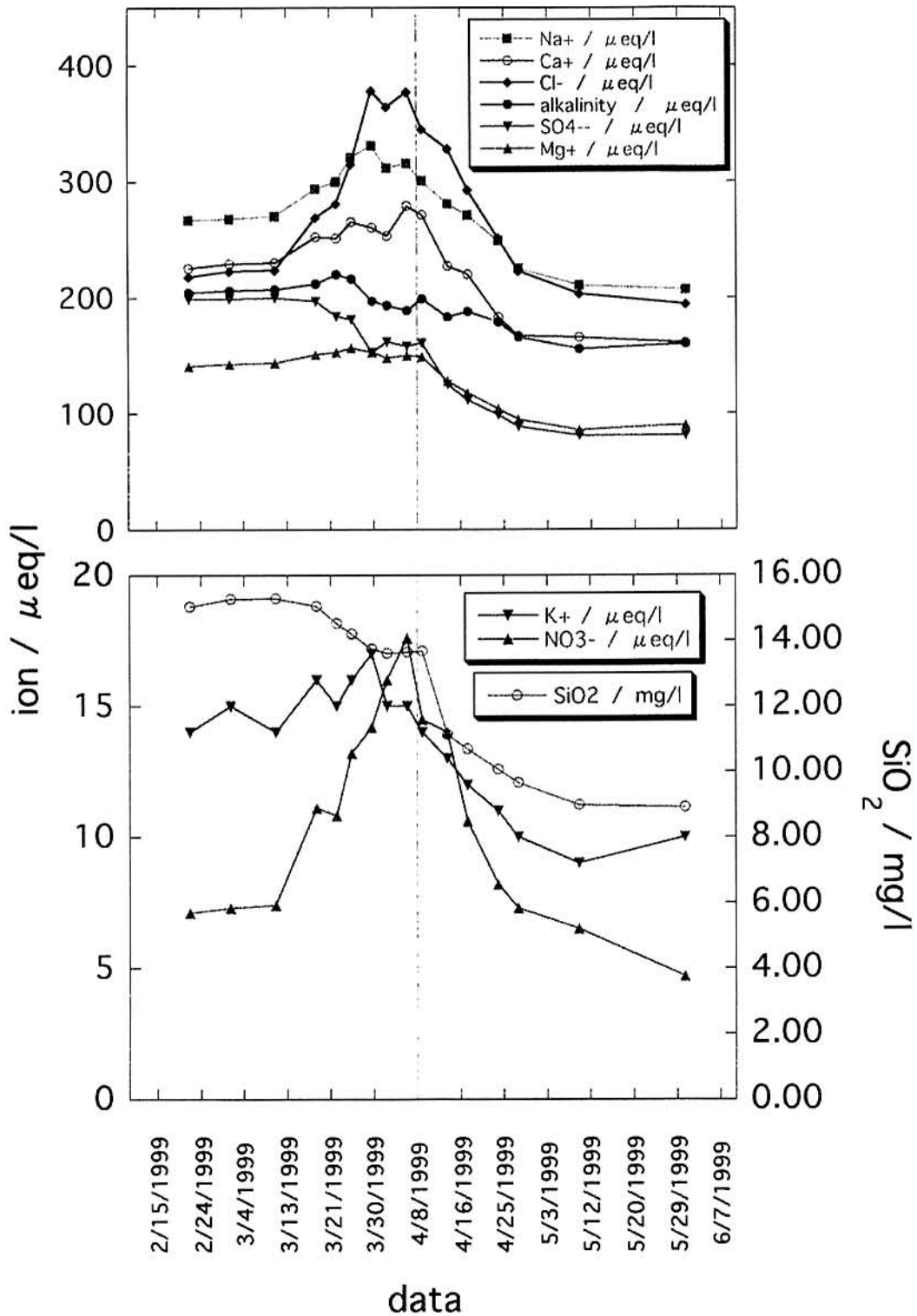


図 3 (b) 貯水池の水質経時変化 (2)

4 ま と め

1999年の融雪期調査により、本貯水池で一時的にpHが6.0を若干下回る僅かな酸性化が認められた。pHやアルカリ度の低下は初期融雪水の初期の影響より一週間ほど遅れて現れていることから、初期融雪水の最初の部分は土壤による中和作用を十分受けていたと考えられる。その後の一時的で僅かな酸性化には、ピーク濃度を示したNO₃や土壤の吸着中和作用を受けきれなかったSO₄²⁻が寄与していたと考えられる。

D-AlとDOCは融雪後期にピーク濃度を示した。Ca²⁺の土壤からの流入が、融雪初期に集中していることとの違いは、土壤の酸性化も含めた土壤からの流出条件の違いによるものと推測される。また、D-AlとDOCは良く似た濃度変化を示しており、アルミニウムイオンは有機酸などのDOC成分と有機錯体を形成する性質が知られていることから、貯水池に土壤から流入してくるD-Alは有機錯体のものが主である可能性が高い。D-Al濃度は最高で0.08mg/lと通常の陸水としては若干高い値を示したが、その毒性はイオン性のものに比べ有機錯体の毒性は弱いと言われている。D-AlとDOCの関連、およびそれらの土壤からの流出条件についての詳しい検討は今後の課題である。

酸性雨(雪)の陸水への影響は徐々に悪化する可能性を持っており、酸性雨(雪)の程度が悪化するほどその可能性は大きくなる。大陸方面の国々の経済成長に伴う化石燃料、とりわけ石炭の消費量増加が今後見込まれることから、本貯水池の融雪期の僅かな酸性化は、将来より顕著になる可能性があり、今後も調査を継続して監視していく必要がある。

5 謝 辞

2、3月の雪深く、寒さの厳しい条件下でのフィールド調査においては、当センターの永洞真一郎研究員、五十嵐聖貴研究員の協力を得てサンプリングを行うことができました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

6 参 考 文 献

- 1) 全国公害研協議会・酸性雨調査研究部会：全国公害研誌.23(1998)186.
- 2) 村野健太郎：環境技術27(1998)771.
- 3) Izumi Noguchi et al.:Proceedings of the International Congress on Acid Snow and Rain, Niigata, Japan (1997) pp108-113.
- 4) 全国公害研協議会北海道・東北支部酸性雨調査研究専門部会：北海道・東北ブロック積雪成分合同調査結

果報告書(平成9年度)

- 5) 大喜多敏一監修：新版 酸性雨—複合作用と生態系に与える影響—(博友社,1996) p190.
- 6) 大喜多敏一監修：新版 酸性雨—複合作用と生態系に与える影響—(博友社,1996) p206.
- 7) 佐藤一男、大岸弘：環境科学会誌3(1990)37.
- 8) 高津章子、角田欣一、吉村悦郎：ぶんせき10(1998)772.
- 9) 生田和正：水環境学会誌22(1999)181.
- 10) 佐藤一男：水環境学会誌22(1999)177.

A variation in aquatic chemistry in a reservoir during thaw season.

Hirohide Aga, Izumi Noguchi, and Kouichi Sakata.

Abstract

Episodic acidification of terrestrial aquatic system is apprehended in snowy area because much of dissolved components containing acidic deposition in snow cover elutes at the primary term of thaw season. Such a phenomenon is called snowmelt acidic shock. So the aquatic chemistry in a reservoir which locates in snowy area on the Japan Sea side of Hokkaido was investigated during the thaw season of 1999. As our result slight and brief acidification was observed slightly. In addition, dissolved aluminum increased at the same time. Since the variation in its concentration was similar to that of dissolved organic carbon and aluminum ion is known to form organic complexes with various organic acids, it is supposed that dissolved aluminum in this reservoir was mainly in organic complex forms.

北方圏極東アジアにおける酸性沈着

野口 泉

要 約

北方圏各国の地方政府で構成される北方圏フォーラムでは、酸性沈着共同モニタリング調査を行っており、本報告はその調査結果の一部から極東アジアにおける酸性沈着について解析を行ったものである。対象地域は北海道（札幌及び利尻）、サハリン州（ユジノサハリンスク及びポロナイスク）、サハ共和国（ヤクーツク）、黒竜江省（ハルビン）、モンゴル（ウランバートル及びテレジ）である。その結果、 nssSO_4^{2-} 年沈着量はハルビン及びウランバートルで多く、 NO_3^- の年沈着量は札幌、利尻及びハルビンで多かった。これらの値はいずれも世界気象機構の報告によるアジアの50%値よりやや少ない程度であった。また北海道以外では都市域と田園地域の nssSO_4^{2-} 及び NO_3^- 沈着量の差が大きく、都市域の大気汚染の影響を強く受けていると考えられた。時間的変動では、極東ロシアで大規模な森林火災が発生した時期にユジノサハリンスクなどで $\text{NO}_3^-/\text{nssSO}_4^{2-}$ 比の上昇が観測された。また本調査結果及び文献などから得られた nssSO_4^{2-} 及び NO_3^- 沈着量について、欧州、北米及び東アジアの分布を比べると東アジアは SO_4^{2-} (nssSO_4^{2-}) 沈着量が多い傾向にあり、東アジア内では、南または東に位置する国で NO_3^- 沈着量が多く、北または西に位置する国では NO_3^- 沈着量が少ない傾向にあり、これは SO_2 及び NO_x 排出量の違いが原因と考えられた。

Key words: 酸性沈着、極東アジア、北方圏

1 はじめに

北方圏地域の地方政府で構成される国際組織である北方圏フォーラムは、共通する経済、環境、政治及び文化の諸課題に協力して取り組むことが目的である。この北方圏フォーラムでは、優先プロジェクトのひとつとして酸性沈着共同モニタリング調査を行っている。

酸性沈着共同モニタリング調査参加機関は北海道（日本）、サハリン州、サハ共和国（以上ロシア）、黒竜江省（中国）、モンゴル及びアラスカ州（U.S.A.）の5つの地方自治体と1つの国である。これらの地域は主に極東アジアの北部であり、国際的にも酸性沈着に関する報告はまだ少ない。さらに統一的な調査方法による結果の比較は皆無である。これらのことから、本報告では酸性沈着の地域的特性に関する知見を得ることを目的として酸性沈着共同モニタリング調査結果の検討を行った。



図1 調査地点

2 調査方法

2.1 調査地点及び調査期間

調査地点の位置を図1、調査期間等を表1に示す。

調査は1996年または1997年に開始され、アラスカ州を除いては1998年または1999年まで行われた。その結果、札幌、利尻、ユジノサハリンスク、ポロナイスク、ヤクーツク及びハルビンでは1997年及び1998年（いずれも1～12月）の年間値が得られた。モンゴルのウランバートル及びテレジでは1997年9月から1998年8月までの1年を年間値とした。アラスカ州のアンカレッジ及びアンカレッジ郊外のイーグルリバーについては、調査期間が短く、年間値が得られていないため、本解析からは除外した。なお、各地域において都市部と田園地域の代表地点をそれぞれ1地点ずつ設置する予定であったが、サハ共和国及び黒竜江省では都市部の結果のみとなった。

調査地点	区分	地域	調査開始	データ確定期間	得られた年間値	有効データの割合
札幌	都市部	北海道	1996年7月	1999年3月まで	1997及び1998年	100%
利尻	田園地域	北海道	1996年6月	1999年3月まで	1997及び1998年	100%
ユジノサハリンスク	都市部	サハリン州	1997年1月	1999年1月まで	1997及び1998年	100%
ポロナイスク	田園地域	サハリン州	1997年1月	1998年12月まで	1997及び1998年	100%
ヤクーツク	都市部	サハ共和国	1996年8月	1998年12月まで	1997及び1998年	97-0%(Cond.)
ハルビン	都市部	黒竜江省	1997年1月	1998年12月まで	1997及び1998年	96-0%(NH ₄ ⁺)
ウランバートル	都市部	モンゴル	1997年8月	1998年9月まで	1997年9月～1998年8月	100-0%(Na ⁺ , Ca ²⁺ , nssCa ²⁺)
テレジ	田園地域	モンゴル	1997年8月	1998年10月まで	1997年9月～1998年8月	100-0%(Na ⁺ , Ca ²⁺ , nssCa ²⁺)
アンカレッジ	都市部	アラスカ州	1996年5月	1998年11月まで	なし	100%
イーグルリバー	田園地域	アラスカ州	1996年5月	1998年11月まで	なし	100%

表1 調査地点及び調査期間

2.2 試料採取方法

試料の採取は図2に示すような常時開放型試料採取装置を用い、原則として1月単位で行った。試料回収時には分析可能な試料量を確保すること、装置内部に付着した乾性沈着成分を回収することを目的として純水300mlで洗浄することとしたが、冬期の場合は洗浄水が凍結する恐れがあるため、必ずしも実施されていない場合がある。その結果、試料量に含まれる洗浄水の有無が明確でない場合がみられた。成分沈着量は洗浄水の有無によって値が変わらないが、成分濃度は洗浄水の有無によって値が変わることから、本報告では沈着量を中心に検討を行った。

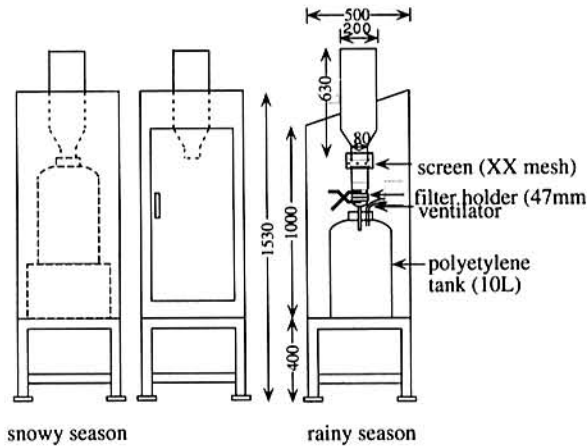


図2 採取装置

2.3 測定項目

測定項目及び定量下限を表2に示す。原則として測定項目はpH、電気伝導率(Cond.)、 SO_4^{2-} (nss SO_4^{2-})、 NO_3^- 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 Na^+ 及び Ca^{2+} (nss Ca^{2+})である。しかし、ヤクーツクのCond.、ハルビンの NH_4^+ 、ウランバートル及びテレジの Na^+ 、 Ca^{2+} (nss Ca^{2+})など、現地の状況等により未測定的项目がある。またサハリン及びアラスカの試料については、北海道で測定、分析を行っている。これらの試料は、ろ過は行われているが、常温で送付されている。また Mg^{2+} 及び K^+ 濃度も得られている場合は補足項目として測定結果に含んでいる。

非海塩由来成分であるnss SO_4^{2-} 及びnss Ca^{2+} の算出は、 Na^+ は全て海塩由来と仮定して海塩組成比を用いて算出しているが、 Na^+ 濃度が得られていないモンゴルの場合には Cl^- 濃度を用いて算出している。

なお、北海道、黒龍江省及びモンゴルでは解析データの精度を確認するため、模擬試料を用いた分析精度管理調査を行っている。その結果、計算値とのばらつきは概ね5%以下であったが、モンゴルにおけるCond.及び NH_4^+ 、黒龍江省におけるCond.、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- 、及び Ca^{2+} ではよりばらつきが大きいことが認められた。

表2 調査項目および定量下限

	Analytical Method	Hokkaido, Sakhalin, Alaska -1997.4	Hokkaido, Sakhalin, Alaska 1997.4-	Heilongjiang Province	Mongolia	Sakha
pH	Glass Electrode Method	0.1	0.1	0.01	0.05	
	Ionometry					0.01
Cond.	Conductivity Meter	0.1	0.1	0.05	1.9	
	Glass Electrode Method					
SO_4^{2-}	Ion Chromatography	0.06	0.02	0.1	0.1	
	Barium chloride turbidimetry					1.0
NO_3^-	Ion Chromatography	0.05	0.04	0.1	0.05	
	Colorimetry					0.05
Cl^-	Ion Chromatography	0.01	0.01	0.04	0.1	
	Mercury Thiocyanate					0.5
Na^+	Ion Chromatography		0.01			
	Atomic Absorption Spectrophotometry	0.01		0.008		
	Flame Photometry					0.05
Ca^{2+}	Ion Chromatography		0.01			
	Atomic Absorption Spectrophotometry	0.01		0.02		
	Flame Photometry					0.5
NH_4^+	Ion Chromatography		0.02			
	Automated Colorimetry	0.02				
	Colorimetry					0.1
	Nelson Reagent Spectrophotometry			0.02		
K^+	Spectrophotometry				0.05	
	Ion Chromatography		0.02			
Mg^{2+}	Atomic Absorption Spectrophotometry	0.02				
	Ion Chromatography		0.01			
	Atomic Absorption Spectrophotometry	0.01				

Unit: Cond., $\mu\text{S}/\text{cm}$, SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , K^+ and Mg^{2+} ; mg/L .

3 結果及び考察

本調査で得られた年間値を表3に示す。

北海道の札幌及び利尻を除いてはH⁺年沈着量は少なかったが、nssSO₄²⁻及びNO₃⁻年沈着量はH⁺年沈着量が少ない地点でも多い場合が観測された。nssSO₄²⁻及びNO₃⁻はそれぞれSO₂及びNO_xなどに由来する場合が多く、酸性沈着成分として重要な指標である。またこれらのデータは、いずれの地点でも測定結果が得られている。これらのことから、本研究ではnssSO₄²⁻及びNO₃⁻の沈着量を中心に検討を行った。

3.1 nssSO₄²⁻及びNO₃⁻年沈着量

SO₄²⁻ (nssSO₄²⁻) 及びNO₃⁻年沈着量に関して、本調査

結果と世界気象機構の報告をはじめとする他の文献から得られた値¹¹⁾との比較を図3に示す。

(1) nssSO₄²⁻年沈着量

本調査結果で年沈着量の多かったハルビン及びウランバートルはアジアの50%値よりやや少なく、年沈着量の多い地域である中国と比べるとその中位以下であった。ユジノサハリンスク、ポロナイスク及びヤクーツクはロシアの50%値と同程度であった。札幌及び利尻は環境庁の酸性雨対策調査の50%値と同程度であり、本調査結果で年沈着量の最も少なかったテレジはアジアの10%値よりも少なかった。

(2) NO₃⁻年沈着量

本調査結果で年沈着量が多かった札幌、利尻及びハルピンは、それぞれアジアの50%値及び環境庁の酸性雨対

表3 年沈着量

Site, Term	Sampling	H ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	nssSO ₄ ²⁻	nssCa ²⁺
	days	meq/m ² /year										
Sapporo 1997	356	12.6	55.7	17.8	109.2	28.3	90.0	36.2	21.0	3.6	44.9	32.2
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Sapporo 1998	364	16.9	60.0	16.9	149.2	30.6	116.1	30.6	28.1	4.4	46.0	25.5
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Rishiri 1997	365	21.6	74.6	22.8	241.7	28.2	226.8	20.1	48.7	6.6	47.3	10.1
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Rishiri 1998	378	12.8	54.3	14.4	207.8	16.9	181.0	20.9	41.9	5.6	32.5	12.9
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Yuzhno-Sakhalinsk 1997	365	1.2	46.5	9.8	55.2	36.2	49.6	24.0	12.2	8.4	40.5	21.8
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Yuzhno-Sakhalinsk 1998	364	0.6	38.7	8.2	34.3	28.5	29.7	19.0	8.6	2.7	35.1	17.7
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Poronausk 1997	369	0.6	25.7	5.4	47.9	12.8	41.5	17.8	10.6	4.1	20.7	16.0
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Poronausk 1998	365	0.3	28.9	5.8	62.5	15.2	51.9	25.4	12.3	18.0	22.6	23.1
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Yakutsk 1997	364	0.0	42.8	2.6	11.6	27.3	5.8	44.6			41.8	44.4
%PCL	100.0	100.0	42.6	67.3	67.3	75.0	67.3	58.0			42.6	58.0
%TP	---	100.0	76.2	88.1	88.5	92.1	88.5	83.8			76.2	83.8
Yakutsk 1998	336	0.0	20.7	3.2	11.5	6.7	3.4	36.2			20.3	36.1
%PCL	92	92.3	56.3	92.3	84.6	92.3	75.0	76.9			56.3	76.9
%TP	---	100.0	81.8	100.0	98.2	100.0	90.8	95.1			81.8	95.1
Harbin 1997	365	0.3	61.4	16.8	27.4		4.3	20.4			60.9	20.2
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0			100.0	100.0
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0			100.0	100.0
Harbin 1998	335	0.1	86.6	15.3	17.6		7.9	258.0			85.6	257.7
%PCL	94.9	94.9	94.9	94.9	94.9		94.9	94.9			94.9	94.9
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0		100.0	100.0			100.0	100.0
Ulan Bator 1997.9-98.8	396	0.0	63.0	9.0	9.5	12.2					61.7	
%PCL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0					100.0	
%TP	---	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0					100.0	
Terelji 1997.9-98.8	394	0.5	4.8	2.8	1.1	5.7					4.6	
%PCL	100.0	92.9	100.0	92.9	100.0	92.9					100.0	
%TP	---	97.1	100.0	97.1	100.0	97.1					100.0	

%PCL (percent precipitation coverage length) %TP (percent total precipitation)
 Italic: non-sea salt sulfate calculated by chloride concentration using sea salt composition

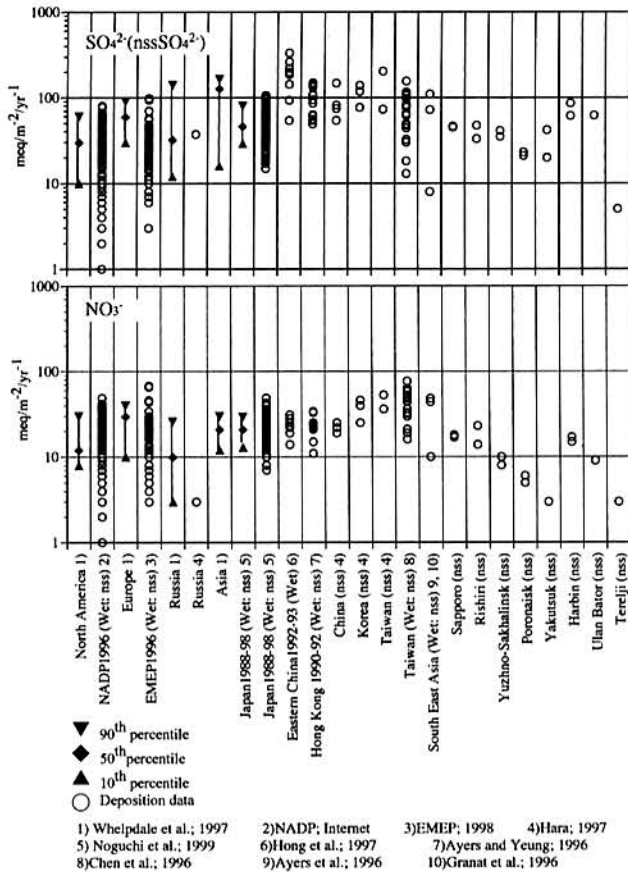


図3 硫酸（非海塩由来硫酸）イオン及び硝酸イオン年沈着量の比較

策調査の50%値よりやや少ない程度であった。他の地点はアジアの10%値より少なく、ユジノサハリンスク及びウランバートルはロシアの50%値と同程度、ポロナイスクはそれよりやや少なかった。本調査結果で年沈着量の少なかったヤクーツク及びテレジはロシアの10%値と同程度であった。

3.2 月沈着量の変動

nssSO₄²⁻及びNO₃月沈着量の変動をそれぞれ図4及び図5に示す。

(1) nssSO₄²⁻月沈着量

札幌及び利尻における月沈着量の変動では、概ね9-3月に多く、6-8月に少ない傾向があった。1997年はしばしば利尻の沈着量が札幌のそれを上回る場合があり、最大値は1997年10月の利尻で観測され、両地点の沈着量はほぼ同程度であった。

ユジノサハリンスク及びポロナイスクにおける月沈着量は良く似た変動を示し、3-4月及び9月前後に沈着量が多い傾向を示した。概ね都市部であるユジノサハリンスクの沈着量が多かった。

ヤクーツクでは降水量の少ない1-4月及びその前後の測定値が欠落しており、データが連続していないため、明確な月沈着量の変動は不明である。最大値は1997年6月に観測された。

ハルビンにおける月沈着量の変動は降水量が非常に多くなる8-10月にのみ多い傾向がみられ、この時期の沈着量は年沈着量の90%程度を占めていた。

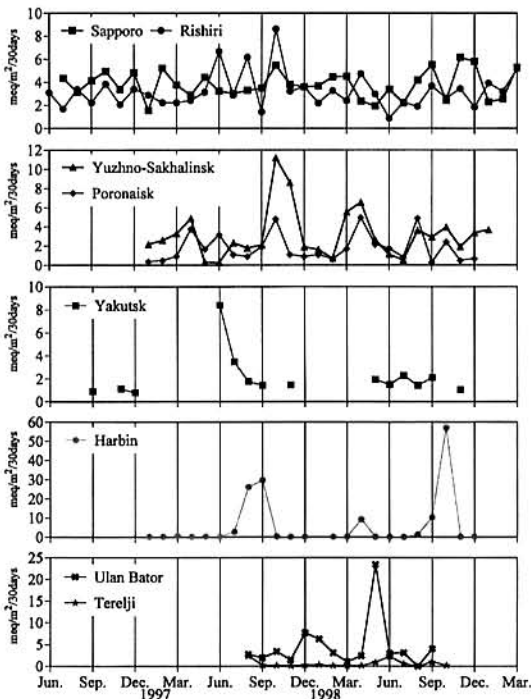


図4 nssSO₄²⁻月沈着量の変動

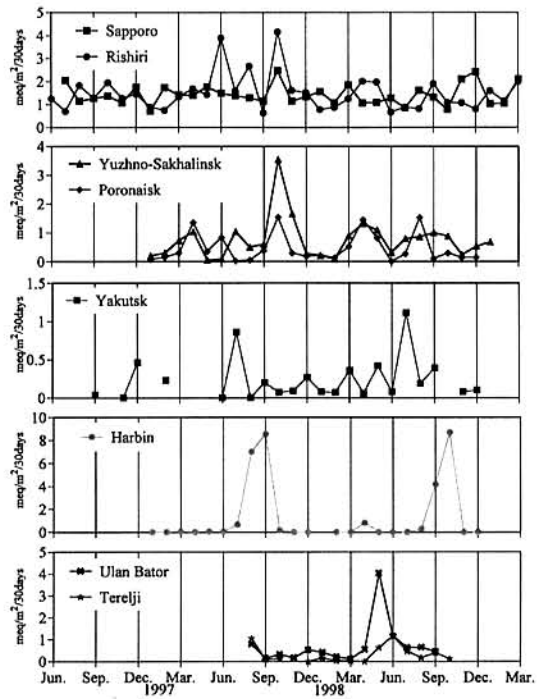


図5 硝酸イオン月沈着量の変動

ウランバートル及びテレジにおける月沈着量の変動は5-6月に多いことなど比較的似ていたが、ウランバートルでは12及び1月の厳冬期にも沈着量が多かった。両地点の比較ではいずれの月も都市部であるウランバートルの沈着量が多かった。

(2) NO₃月沈着量

札幌及び利尻における月沈着量の変動はnssSO₄²⁻のそれと同様の傾向を示し、両地点の沈着量は同程度であった。

ユジノサハリンスク及びポロナイスクにおける月沈着量の変動はnssSO₄²⁻のそれと同様の傾向を示し、概ね都市部であるユジノサハリンスクの沈着量が多かった。

ヤクーツクにおける月沈着量の変動は1997及び1998年とも7月に最大を示したが、他の地点と比べ、沈着量は非常に少なかった。

ハルピンにおける月沈着量の変動はnssSO₄²⁻のそれと同様の傾向を示し、8-10月に多い傾向がみられ、この時期の沈着量は年沈着量の90%以上を占めていた。

ウランバートル及びテレジにおける月沈着量の変動はnssSO₄²⁻のそれと同様の傾向を示し、両地点の比較では都市部であるウランバートルの沈着量が多かった。

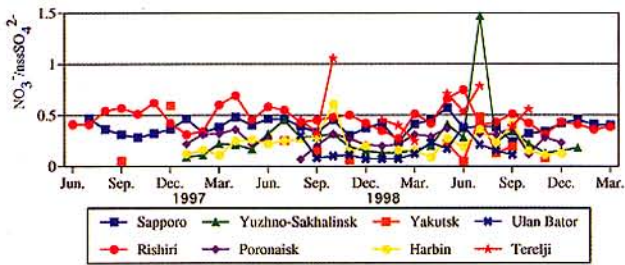


図6 NO₃/nssSO₄²⁻比の変動

(3) NO₃/nssSO₄²⁻比

NO₃/nssSO₄²⁻比 (N/S比) の経月変動を図6に示す。1997年10月にテレジ及びハルピンで、1998年6-7月に利尻、ユジノサハリンスク、ヤクーツク及びテレジでN/S比が最高値あるいは高値を示した。またポロナイスクでは1998年6月だけで年沈着量の60%に相当するK⁺沈着量が観測されている。1998年6-7月はロシア極東地域における大規模な森林火災が発生した時期であり、これらの地域では春から秋にかけて毎年森林火災が発生する状況にある。この森林火災の直接的あるいは間接的影響を詳細に検討するためには、月単位で得られる本調査結果だけでなく、時間分解能の高いデータと気象についての解析が必要である。そのため、利尻において測定されている環境庁または東大による自動測定機を用いた1時間毎の大気汚染物質濃度 (NO_x, CO, O_xなど)、また当センターで測定を行っているエアロゾル成分解析結果及び空気塊の流れを解析するトラジェクトリーの結果などによって、さらに検討するつもりである。

3.3 都市部と田園地域の比較

同地域の都市部と田園地域の比較では、nssSO₄²⁻及びNO₃の年沈着量及び月沈着量、いずれにおいてもウランバートルとテレジの差は明らかであり、モンゴルの2地点に比べて差は比較的小さいがユジノサハリンスクとポロナイスクの関係においても都市部におけるnssSO₄²⁻及びNO₃沈着量が多い傾向がみられた。また参考値の濃度についての情報のみであるが、ハルピンもチチハル (Xuら:1997による) に比べてnssSO₄²⁻及びNO₃濃度がかなり高かった。これは、都市部の降水成分に対する都市大気汚染の寄与が大きいと考えられた。一方、札幌及び利尻の場合はnssSO₄²⁻及びNO₃沈着量とも同程度であった。これは、北海道においては他の地域から輸送されてくる大気汚染物質の寄与が大きいと考えられた。

(5) 北米、欧州との比較

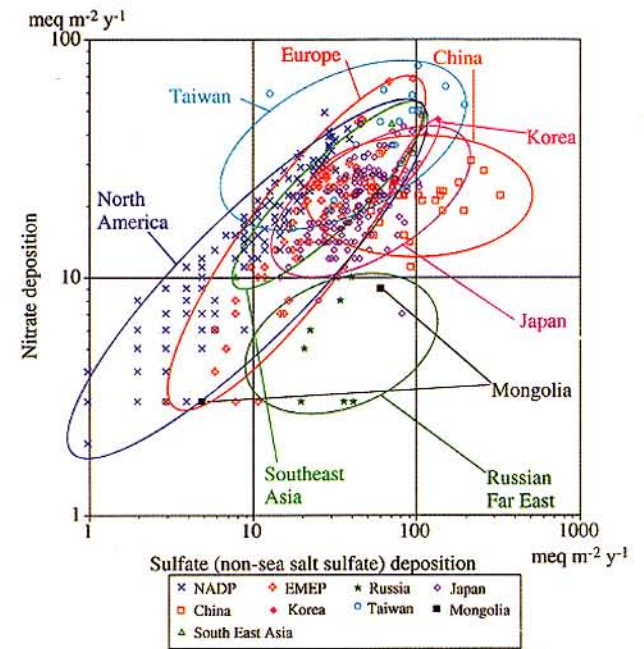


図7 硫酸 (非海塩由来硫酸) イオン及び硝酸イオン年沈着量の関係

本調査結果及び文献から得られたSO₄²⁻ (nssSO₄²⁻) 及びNO₃年沈着量について東アジア各国と北米及び欧州の比較を図7に示す。

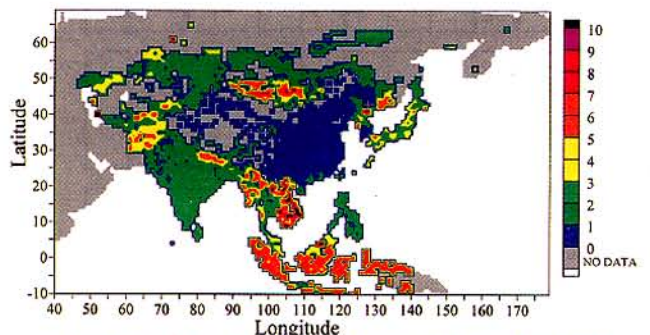


図8 NO_x/SO₂排出量比の分布(モル比:1°×1°メッシュ)
Akimotoら:1994¹⁷⁾によるNO_x及びSO₂排出量の推計から算出。SO₂排出量が0.1mmol/m²/yr未満の場合は半額の0.05mmol/m²/yrを用いている。

東アジア各国は北米及び欧州と比べ SO_4^{2-} (nss SO_4^{2-})年沈着量が多い傾向にある。これらは、降水量や SO_2 及び NO_x 排出量の違いなどに起因すると考えられた。

東アジアでは、南及び東に位置する国で NO_3^- 沈着量が多く、北及び西に位置する国で NO_3^- 沈着量が少ない傾向がみられた。これはこれらの地域に影響を与える発生源における SO_2 及び NO_x 排出量の違いが原因のひとつと考えられた。このことは、Akimotoら(1994)¹²⁾が推計した SO_2 及び NO_x のインベントリーから作成した図8において、東アジア南部で NO_x/SO_2 排出量比が大きいこととも合致している。

4 おわりに

本調査結果によって、国際的にも酸性沈着に関する報告はまだ少ない北方圏、極東アジア地域における沈着成分についていくつかの知見が得られ、さらに東アジア全体の降水科学についての知見も得られた。しかしながら、本調査では試料の採取から分析終了まで半年以上経過した場合もあり、精度の高い試料採取及び分析、また完全度の高い科学的データをさらに収集する必要がある、2000年から本格的に稼動する「東アジア酸性沈着モニタリングネットワーク (EANET)」の成果が期待される。

5 参考文献

- 1) D. M. Whelpdale, K. S. Kaiser: Report of the Global Acid Deposition Assessment, *WMO, GAW, publications, Report No.106*, 193, 1997.
- 2) NADP: *Inter net home pag* (<http://nadp.sws.uiuc.edu>)
- 3) EMEP: Data Report 1996, *EMEP/CCC-Report 2/98*, 1998.
- 4) 原 宏: 日本の降水科学、*日本化学会誌*1997, 733-748, 1997.
- 5) I. Noguchi, T. Ohizumi, S. Seto, O. Oishi, T. Tabata, M. Kitamura, A. Mori, S. Iitoyo and H. Hara: Temporal trends of non-sea salt sulfate and nitrate in precipitation in Japan during 1988-1998, *Proceeding of the 16th International Seminar on Environmental Acidification*, 1999.
- 6) S. Hong, W. Wang, N. Liu, M. Wang, and J. Li.: Regional characters of acidic deposition in China, *Proceeding of International Congress of Acid Snow and Rain 1997, Niigata, Japan*, 43-55, 1997.
- 7) G. P. Ayers and K. K. Yeung: Acid deposition in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, 30, 1581-1587, 1996.
- 8) C. S. Chen, N. H. Lin, C. M. Peng, and F. T. Jeng: Acidic deposition on Taiwan and associated precipitation

systems, *Proceeding of International Conference on Acid Deposition in East Asia, Taipei, Taiwan*, 124-132, 1996.

- 9) G. P. Ayers, R. W. Gillett, P. W. Sellech, J. C. Marshall, H. Granek, L. Peng, L. S. Fook, H. Harjanto, T. Mhw and D. Parry: Acid deposition in South East Asia, *Proceeding of International Conference on Acid Deposition in East Asia, Taipei, Taiwan*, 1-21, 1996.
- 10) L. Granat, K. Suksomsankh, S. Simachaya, M. Tabucanon and H. Rodhe: Regional background acidity and chemical composition of precipitation in Thailand", *Atmospheric Environment*, 30, 1589-1596, 1996.
- 11) K. Q. Xu, W. Wang and R. Sudo.: Formation characteristics of acid rain in China, *Proceeding of International Congress of Acid Snow and Rain 1997, Niigata, Japan*, 68-73, 1997.
- 12) H. Akimoto and H. Narita: Distribution of SO_2 , NO_x and CO_2 emissions from fuel combustion and industrial activities in Asia with $1^\circ \times 1^\circ$ resolution, *Atmospheric Environment*, 28, 213-225, 1994.

Acidic Deposition in the Northern Far East

Izumi Noguchi

Abstract

Acid deposition survey is carried out by the Northern Forum, an international organization composed of regional governments of northern countries. Participating in this survey are the governments of Hokkaido (Japan), Sakhalin (Russia), Sakha Republic (Russia), Heilongjiang (China), Mongolia, and Alaska (USA).

The annual depositions of non-sea salt SO_4^{2-} (nss SO_4^{2-}) in Harbin and Ulan Bator were large. The annual depositions of NO_3^- in Sapporo, Rishiri and Harbin were large. These annual depositions were slightly less than the 50th percentile for Asia reported by World Meteorological Organization.

The nss SO_4^{2-} and NO_3^- depositions at urban sites were large comparable with these depositions at rural except for data of Sapporo and Rishiri. It was considered that the contribution of urban air pollution for the precipitation component is large in these regions. For the temporal trend, the $\text{NO}_3^-/\text{nssSO}_4^{2-}$ ratios were large at Yuzhno-Sakhalinsk, Yakutsk and Terelji in July 1998. At this time, major forest fires in the Russian Far East occurred. The annual SO_4^{2-} (nss SO_4^{2-}) depositions on East Asia were

larger than those on Europe and North America. Within East Asia, the annual NO_3^- depositions on the eastern and southern countries were larger than those on western and northern countries. It was considered that these spacial trends were caused by the difference of the SO_2 and NO_x emissions.

歌才・檜山・大釜谷鳥獣保護区の鳥類リストについて

富沢 昌章

要 約

北海道南西部の3か所の鳥獣保護区で1998年（平成10年）5月から1999年（平成11年）4月までに鳥類のセンサスを実施し、鳥類リストを作成した。歌才鳥獣保護区では留鳥18種、夏鳥21種、旅鳥4種、冬鳥5種、合計48種が、檜山鳥獣保護区では留鳥22種、夏鳥21種、旅鳥2種、冬鳥4種、合計49種が観察された。大釜谷鳥獣保護区では留鳥18種、夏鳥15種、旅鳥1種、冬鳥4種、合計38種と前述の両鳥獣保護区に比べて少なく、特に夏鳥が6種少なかった。

歌才鳥獣保護区はブナを中心にした広葉樹林で、繁殖期にはセンダイムシクイ、ヤブサメ、シジュウカラ、コルリなどが優占し、北海道中央部の広葉樹林で繁殖期に優占する種と共通していた。また、3か所の鳥獣保護区ともヤブサメ、キビタキ、センダイムシクイ、シジュウカラ、ヒヨドリ、ヤマガラなどは共通して観察され、北海道中央部の広葉樹林と共通する種が多かった。檜山鳥獣保護区は主に針葉樹林であるため、針葉樹林に生息するヒガラ、キクイタダキが他の2か所の保護区に比べ多く観察された。大釜谷鳥獣保護区では、溪流沿いに生息するオオルリ、ミソサザイが優占し、キセキレイ、カワガラスも観察された。一方で、当保護区に樹洞の存在する大径木が少なく、広葉樹林で繁殖期に優占する樹洞営巣性のシジュウカラ、ハシブトガラや同じく樹洞営巣性のアカゲラ、ゴジュウカラなどが繁殖期にほとんど観察されなかった。

1 はじめに

北海道の森林における鳥類の生息状況については、岩見沢、札幌、苫小牧などの北海道中央部や十勝地方を中心とした北海道東部では比較的多くの報告がなされている。しかし、北海道南西部では報告例が少ないのが現状である^{1), 2)}。今回、北海道南西部に位置する3か所の鳥獣保護区で調査を実施したので報告する。

2 調査地

歌才鳥獣保護区は黒松内町の国有林黒松内事業区に所在し（5 kmメッシュ：6340724、図1）、面積92haである。当地域は歌才ブナ自生北限地帯として、天然記念物に指定されているとともに、植物群落保護林にも指定されている。当保護区は北東斜面に位置し、標高は最低30mから最高210mと低標高ではあるが、傾斜地となっている。北東方向に3か所の沢が入り込み、保護区の北東側に隣接して朱太川が流れている。植生は大径木のブナを中心にミズナラ、シナノキ等も含む広葉樹天然林であり、林床はクマイザサが優占している。周囲には牧草地、市街地、国道などがあり、当保護区から南西側には若干の森林が連なっているが、周辺の森林とは分断されている。

檜山鳥獣保護区は厚沢部町の国有林檜山事業区に所在し（5 kmメッシュ：6240614、図1）、面積413haである。当保護区は北斜面に位置し、標高は最低10mから最高

300mと急斜面で、多くの沢が入り組んで複雑な地形となっている。植生はヒノキアスナロを中心にした針葉樹林であるが、沢沿いなどの一部にブナをはじめとする広葉樹林が存在し、スギ、トドマツ、カラマツ人工林も点在する。北側には市街地や国道、西側には畑が広がっているが、南から東にかけては同様の森林が連続的に広がっている。大釜谷鳥獣保護区は木古内町の民有林に所在し（5 kmメッシュ：6240541、図1）、面積172haである。当保護区は北東斜面に位置し、標高は最低50mから最高390mと低標高の傾斜地で、北側を大釜谷川が流れてい



図1 各鳥獣保護区の位置

る。植生はブナやミズナラやシナノキの広葉樹二次林にスギ人工林が存在する。周辺も広葉樹二次林に、各種樹齢のスギ、トドマツ、カラマツ人工林が入り混じる森林である。

3 調査方法

調査は鳥獣保護区内を通る歩道に2.0kmの調査路を設け、線センサス法を実施した。調査路を時速1.5~2.0km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を姿または鳴き声により確認し、種類と個体数を記録した。なお、調査範囲外に出現した鳥類についても、種類を記録した。歌才鳥獣保護区では1998年(平成10年)5月、6月、10月、11月、12月、1999年(平成11年)4月の各月1回、計6回調査を実施した。檜山鳥獣保護区では1998年(平成10年)5月から1999年(平成11年)4月までの各月1回、計12回調査を実施した。大釜谷鳥獣保護区では1998年(平成10年)5月、6月、10月、11月、12月、1999年(平成11年)4月の各月1回、計6回調査を実施した

4 調査結果及び考察

観察された鳥類は留鳥が23種、夏鳥が28種、旅鳥が4種、冬鳥が7種、合計62種であった(表1)。このうち半数を超える32種は3か所すべての鳥獣保護区で、9種は2か所で観察されたが、21種は1か所のみで観察されただけであった。

留鳥は観察回数が多く、3か所の鳥獣保護区で実施した24回の調査のすべてでいずれかの種類が観察され、なかでもヒガラ(24回)、コゲラ(23回)、シジュウカラ(22回)、ゴジュウカラ(22回)、ハシブトガラ(20回)の5種の観察回数が多かった(表1)。夏鳥は4~11月に観察され、カワラヒワ(15回)、ウグイス(14回)、アオジ(10回)の3種の観察回数が多かった。一方、旅鳥と冬鳥は観察された所も回数も少なく、ほとんどは1、2か所で観察回数も5回以下であった。その中では旅鳥のルリビタキが3か所で3回、冬鳥のウソが3か所で6回、カケスは3か所で13回観察された。

各鳥獣保護区ごとに観察された種数を見ると(表1)、歌才鳥獣保護区では留鳥が18種、夏鳥が21種、旅鳥が4種、冬鳥が5種、合計48種であった。檜山鳥獣保護区では留鳥が22種、夏鳥が21種、旅鳥が2種、冬鳥が4種、合計49種であった。大釜谷鳥獣保護区では留鳥が18種、夏鳥が15種、旅鳥が1種、冬鳥が4種、合計38種と前述の両鳥獣保護区に比べて少なく、特に夏鳥が6種少なかった。

歌才鳥獣保護区でも6月に最大の31種が、5月にも24

種が観察されたが、これは檜山と同様に留鳥はあまり変わらず夏鳥が14種と20種と多く観察されたためである(図2、表2)。観察数も6月に最大の39.5羽/kmで観察され、夏鳥の観察数は最大の32.0羽/kmであった(図2)。ついで5月に29.0羽/km、10月に27.0羽/kmで、5月は6月と同様夏鳥の観察数が多く、10月には留鳥の観察数が最大であった。

繁殖期の6月について見ると(表2)、センダイムシクイ(24.1%)、ヤブサメ(13.9%)、シジュウカラ(8.9%)、コルリ(7.6%)、ウグイス(6.3%)、アオジ(6.3%)、エゾムシクイ(5.1%)、キビタキ(5.1%)の8種が優占していた(表1)。このうち、ウグイスはササを好む種類であり^{3),4)}、林床にクマイザサが優占していたため、エゾムシクイは崖地を好む種類であり^{5),6)}、調査地が傾斜地であったため優占度が高くなったと考えられる。北海道中央部の広葉樹林ではヤブサメ、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が知られている^{7),8),9)}。当保護区でもヤブサメ、センダイムシクイ、キビタキ、ハシブトガラ、シジュウカラの5種は共通して優占していた。ヤブサメ、キビタキは3か所の鳥獣保護区とも優占しており、センダイムシクイ、シジュウカラ、ヒヨドリ、ヒガラ、ヤマガラ、カワラヒワなども3か所で共通して観察され(表2, 3, 4)、北海道中央部の広葉樹林と共通する種が多かった。

10月から12月にはヒヨドリ、エナガ、ハシブトガラ、シジュウカラなどの留鳥が多数観察されたほかに、10月には旅鳥のマミチャジナイ(優占度14.8%)が観察され、11月には冬鳥のツグミ(優占度34.5%)が、12月にはヒレンジャク(優占度27.9%)も多数観察された。

檜山鳥獣保護区では6月に最大の29種が、5月と7月も27種、25種が観察され、留鳥の種数は他の月とあまり変わらないが、夏鳥が13~17種と多く観察された(図3、表3)。観察数は10月が最大の61.0羽/kmであったが、これは留鳥が最大の43.5羽/km観察されたためであり、夏鳥も17.5羽/kmと多く観察されたことも一因となっている(図3)。9月と11月にも他の月と比べ留鳥の観察数は多かった。これらの月に次いで観察数が多かったのは6月であるが、6月には夏鳥が22.0羽/kmと多く観察され、5月と7月にも夏鳥は多く観察された。

繁殖期の6月について見ると(表3)、ヤブサメ(優占度18.2%)、キビタキ(優占度15.6%)、キクイタダキ(優占度9.1%)、ヒガラ(優占度9.1%)、ヤマガラ(優占度9.1%)、ヒヨドリ(優占度5.2%)、メボソムシクイ(優占度5.2%)、カワラヒワ(優占度5.2%)の8種が優占していた。北海道の針広混交林では、繁殖期にコルリ、ヤブサメ、センダイムシクイ、キクイタダキ、キビタキ、ハシブトガラ、ヒガラ、シジュウカラ、アオジなどが優占していることが

報告されている^{10),11),12)}。当保護区でもヤブサメ、キクイタダキ、キビタキ、ヒガラの4種は共通して優占していたが、一方でヤマガラ、ヒヨドリは北部や東部では希な種類であり^{6),10),13),14),15),16)}、この2種が優占していることは異なる点であった。また、キクイタダキ、ヒガラは針葉樹林に優占する種類であり^{3),4)}、当保護区が主に針葉樹林であるため他の2か所の保護区に比べ特に当保護区で多く観察された。

9月以降には、コゲラ、キクイタダキ、エナガ、ハシブトガラ、コガラ、ヒガラ、ヤマガラ、シジュウカラの8種の留鳥が多数観察された。このほかに、10月にカワラヒワ(優占度13.9%)、イカル(優占度9.8%)の2種の夏鳥が多数観察され、11月に旅鳥のルリビタキ(優占度4.3%)、冬鳥のカケス(優占度5.4%)やウソ(優占度2.2%)が観察された。

大釜谷鳥獣保護区でも6月に最大の22種が観察されたが(図4,表4)、5月には12種が観察されただけであった。6月には夏鳥は15種が観察されたが、留鳥は7種と他の月が12~14種観察されたのと比べて少なく、5月にも留鳥は5種、夏鳥は6種が観察されただけであった。観察数は10月に最大の38.5羽/kmが観察され、留鳥の観察数が最大の30.5羽/kmであった(図4)。ついで11月が28.0羽/km、6月は26.0羽/kmが観察されたが、11月は10月と同様留鳥の観察数が多く、6月は夏鳥が最大の17.0羽/km観察された。

繁殖期の6月について見ると(表4)、ヤブサメ(12.0%)、オオルリ(12.0%)、センダイムシクイ(10.0%)、カワラヒワ(8.0%)、ヒヨドリ(6.0%)、ミソサザイ(6.0%)、キビタキ(6.0%)、ヒガラ(6.0%)、ヤマガラ(6.0%)、イカル(6.0%)の10種が優占していた(表4)。北海道中央部の広葉樹林ではヤブサメ、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、ニューナイスズメなどが優占していることが知られている^{7),8),9)}。当保護区でもヤブサメ、センダイムシクイ、キビタキは優占している点は共通していたが、ヒガラは針葉樹林に優占する種類で^{3),4)}、スギ人工林で多く観察された。また、オオルリ、ミソサザイは溪流沿いに生息する種類であり^{5),6),17),18)}、調査路に沿って大釜谷川が流れているため優占度が高くなったと考えられる。同様に溪流沿いに生息する種類としてはキセキレイ、カワガラスも観察された。広葉樹林で優占する種類としては、シジュウカラ、ハシブトガラも上げられるが、シジュウカラは優占度4.0%と低く、ハシブトガラは観察されなかった。このほかにも広葉樹林に生息するアカゲラ、ゴジュウカラも観察されなかった。これらの鳥類の営巣習性は樹洞営巣性あることから、当保護区に樹洞の存在する大径木が少なかったことが影響していると考えられる。

10月から12月には、ヒヨドリ、ミソサザイ、エナガ、ヒガラ、シジュウカラの5種の留鳥が多数観察されたの

ほかに、10月には夏鳥のアオジ(優占度14.3%)が、11月には冬鳥のマヒワ(優占度17.9%)が多数観察された(表4)。

5 おわりに

今回は北海道南西部の3か所の鳥獣保護区で調査を実施し、鳥類リストを作成した。3か所の保護区で観察された鳥類は共通する種が多く、さらに北海道中央部で観察される鳥類とも共通する種も多かった。一方で、林相や地形などの違いにより、数種の鳥類は1か所の保護区のみで観察されたり、他の保護区と比較して1か所で多数観察された。

今後、さらに多くの鳥獣保護区で調査を実施し、北海道の他の地域と比較して、南西部に生息する鳥類相の共通点と相違点を明らかにしていく必要がある。

6 参考文献

- 1) 鈴木祥悟・由井正敏・伊達功, 北限地帯ブナ林の繁殖期の鳥類群集, *Strix* 10: 213-218 (1991)
- 2) 鈴木祥悟・由井正敏・伊達功・高橋和規, 奥尻島の鳥類, *北方林業* 42: 197-201 (1990)
- 3) 富沢昌章・島田明英, イソサンプリの鳥類, 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(道北圏域道央圏域), 北海道環境科学研究センター: 6-7 (1994)
- 4) 富沢昌章・島田明英, 北大天塩・中川演習林の鳥類, 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(道北圏域道央圏域), 北海道環境科学研究センター: 165-168 (1994)
- 5) 富沢昌章・島田明英, ポロスプリ周辺の鳥類, 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(道北圏域道央圏域), 北海道環境科学研究センター: 177-179 (1994)
- 6) 富沢昌章・島田明英, 留真の鳥類, 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(大雪山・日勝圏域), 北海道環境科学研究センター: 92-96 (1995)
- 7) 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 29: 43-54 (1972)
- 8) Yuzo Fujimaki, Breeding Bird Community in deciduous Forest in Southern Hokkaido, Japan, *Jap.J.Ornithol.* 35: 15-23 (1986)
- 9) 鈴木悌司・斉藤新一郎・斉藤満, 岩見沢地方の天然生落葉広葉樹林における繁殖期の鳥類群集, 北海道林業試験場報告 21: 95-103 (1983)
- 10) 阿部永・小林恒明・石城謙吉・太田嘉四夫, 北大中川地方演習林鳥類調査報告 その1 北海道大学農学部

演習林研究報告 27 : 69-77 (1972).

- 11) 藤巻裕蔵, 北海道中央部における天然林と人工林の鳥相の比較. 北海道林業試験場報告 8 : 41-51 (1970)
- 12) Yuzo Fujimaki and Muneo Hikawa, Bird Community in a Natural Mixed Forest in Central Hokkaido during Breeding Season. J.Yamashina Inst.Ornith. 14 : 206-213 (1982)
- 13) 富沢昌章・島田明英, 岩尾内湖周辺の鳥類. 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(道北圏域道央圏域). 北海道環境科学研究センター : 14-18 (1994)
- 14) 富沢昌章・島田明英, 函岳周辺の鳥類. 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(道北圏域道央圏域). 北海道環境科学研究センター : 131-134 (1994)
- 15) 藤巻裕蔵, 北海道十勝地方の鳥類 1 新得山とその付近の鳥類. 山階鳥類研究所研究報告 12 : 40-51 (1970)
- 16) 富沢昌章・島田明英, 富川・富岡の鳥類. 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(大雪山・日勝圏域). 北海道環境科学研究センター : 109-113 (1995)
- 17) 島田明英・富沢昌章, 平山周辺の鳥類. 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(大雪山・日勝圏域). 北海道環境科学研究センター : 251-253 (1995)
- 18) 富沢昌章, 漁川の鳥類. 「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書(道南圏域道央圏域). 北海道環境科学研究センター : 83-87 (1993)

Phylloscopus tenellipes, *Cettia squameiceps*, *Parus major*, *Erithacus cyanurus* were dominant in Utasai consisted of the broad-leaved trees and also dominant in broad-leaved forest at Central Hokkaido. *P. tenellipes*, *C. squameiceps*, *P. major*, *Ficedula narcissina*, *Hypsipetes amaurotis*, *Parus varius* were observed common in the three Wild life Protected Area and also in common broad-leaved forest at Central Hokkaido. Hiyama consisted of the needle-leaved trees, were more abundant in *Parus ater* and *Regulus regulus*. In Ohkamaya *Cyanoptila cyanomelana* and *Troglodytes troglodytes* which inhabited near the stream, were dominant and *Motacilla cinerea* and *Cinclus pallasi* were observed. On the other hand, it was little observed cavity-nester species such as *Parus major*, *Parus palustris* that were dominant in broad-leaved forest, *Dendrocopos major* and *Sitta europaea* in breeding season because large trees that had natural cavity, were absent in this area.

Birds List in Utasai, Hiyama and Ohkamaya Wild Life Protected Area

Masaaki Tomisawa

Abstract

Survey on birds were carried out in three Wild life Protected Area in Southern Hokkaido, from May 1998 to April 1999, drawn up the Birds List. Forty-Eight species of birds including 18 residents, 21 summer visitors, 4 transients and 5 winter visitors were recorded in Utasai Wild Life Protected Area and recorded forty-nine species of birds including 22 residents, 21 summer visitors, 2 transients and 4 winter visitors in Hiyama Wild Life Protected Area. Thirty-Eight species of birds including 18 residents, 15 summer visitors, 1 transients and 4 winter visitors recorded in Ohkamaya Wild Life Protected Area were fewer than other two Areas and 6 species of summer visitors were particularly fewer.

表1 歌才、桧山、大釜谷鳥獣保護区で観察された鳥類の観察回数・箇所数

No.	種名	移動習性	歌才	桧山	大釜谷	観察回数	観察箇所数
1	トビ	<i>Milvus migrans</i>	R	○	○	7	3
2	ノスリ	<i>Buteo buteo</i>	W		○	1	1
3	エゾライチョウ	<i>Tetrastes bonasia</i>	R	○	○	3	2
4	キンノボト	<i>Streptopelia orientalis</i>	S	○	○	9	3
5	アオノボト	<i>Sphenurus sieboldii</i>	S	○	○	3	3
6	カクコウ	<i>C. canorus</i>	S	○		1	1
7	ツツトリ	<i>C. saturatus</i>	S	○	○	5	3
8	アサヨウビシ	<i>Halcyon coromanda</i>	S	○		2	1
9	ヤマゲラ	<i>Picus canus</i>	R	○		5	2
10	クマゲラ	<i>Dryocopus martius</i>	R	○		4	1
11	アサゲラ	<i>Dendrocopos major</i>	R	○	○	17	3
12	オオアサゲラ	<i>D. leucotos</i>	R	○		2	1
13	コゲラ	<i>D. kizuki</i>	R	○	○	23	3
14	イワツバメ	<i>Delichon urbica</i>	S	○		1	1
15	キセキレイ	<i>Motacilla cinerea</i>	S	○	○	5	3
16	ビンズイ	<i>Anthus hodgsoni</i>	S	○		1	1
17	ヒヨドリ	<i>Hypsipetes amaurotis</i>	R	○	○	18	3
18	ヒレンシヤク	<i>Bombycilla japonica</i>	W	○		1	1
19	カリカラス	<i>Cinclus pallasii</i>	R	○	○	2	1
20	シロサシイ	<i>Troglodytes troglodytes</i>	R	○	○	9	3
21	コトリ	<i>Erithacus cyanurus</i>	S	○	○	2	2
22	ルビシタキ	<i>Tarsiger cyanurus</i>	T	○	○	3	3
23	トラツグミ	<i>Turdus dauma</i>	S	○	○	3	2
24	クロツグミ	<i>T. cardis</i>	S	○	○	8	3
25	アカハラ	<i>T. chrysolaus</i>	S	○	○	7	2
26	マシキアシナシ	<i>T. obscurus</i>	T	○		1	1
27	ツグミ	<i>T. naumanni</i>	W	○	○	3	2
28	ヤブサメ	<i>Cettia squameiceps</i>	S	○	○	9	3
29	ウグイス	<i>C. diphone</i>	S	○	○	14	3
30	エゾセンユウ	<i>Locustella fasciolata</i>	S	○		1	1
31	ホソシムシクイ	<i>Phylloscopus borealis</i>	T	○	○	2	2
32	エゾムシクイ	<i>P. tenellipes</i>	S	○		2	1
33	センガイムシクイ	<i>P. coronatus</i>	S	○	○	5	3
34	キタイタキ	<i>Regulus regulus</i>	R	○	○	18	3
35	キビシタキ	<i>Ficedula nareissina</i>	S	○	○	8	3
36	オオルリ	<i>Cyanoptila cyanomelana</i>	S	○	○	8	3
37	コサビシタキ	<i>M. latirostris</i>	S	○		1	1
38	エナガ	<i>Aegithalos caudatus</i>	R	○	○	14	3
39	ハシブトカハラ	<i>Parus palustris</i>	R	○	○	20	3
40	コカハラ	<i>P. montana</i>	R	○	○	11	3
41	ヒカハラ	<i>P. ater</i>	R	○	○	24	3
42	ヤマカハラ	<i>P. major</i>	R	○	○	19	3
43	シシユウカハラ	<i>P. varius</i>	R	○	○	22	3
44	ゴシユウカハラ	<i>Sitta europaea</i>	R	○	○	22	3
45	キバシ	<i>Certhia familiaris</i>	R	○	○	8	3
46	ホオシロ	<i>Emberiza cioides</i>	S	○		2	1
47	アオシ	<i>E. spodocephala</i>	S	○	○	10	3
48	クロシ	<i>E. variabilis</i>	T	○		1	1
49	アトリ	<i>Fringilla montifringilla</i>	W	○		1	1
50	カララヒ	<i>Carduelis sinica</i>	S	○	○	15	3
51	マヒ	<i>C. spinus</i>	W	○	○	4	2
52	ベニマシ	<i>Uragus sibiricus</i>	S		○	1	1
53	ウグ	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	W	○	○	6	3
54	イカル	<i>Eophana personata</i>	S	○	○	9	3
55	シメ	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	R	○	○	3	2
56	ニウナイスメ	<i>Passer rutilans</i>	S	○		1	1
57	スズメ	<i>P. montanus</i>	R		○	1	1
58	コムクドリ	<i>Sturnus philippensis</i>	S	○		1	1
59	ムクドリ	<i>S. cineraceus</i>	S		○	2	1
60	カケス	<i>Garrulus glandarius</i>	W	○	○	12	3
61	ハシホノカハラ	<i>Corvus corone</i>	R	○	○	7	3
62	ハシブトカハラ	<i>C. macrorhynchos</i>	R	○	○	17	3
種類数		合計	48	49	38	62	
		留鳥	18	22	18	23	
		夏鳥	21	21	15	28	
		旅鳥	4	2	1	47	
		冬鳥	5	4	4	7	

移動習性 R:留鳥 S:夏鳥 T:旅鳥 W:冬鳥

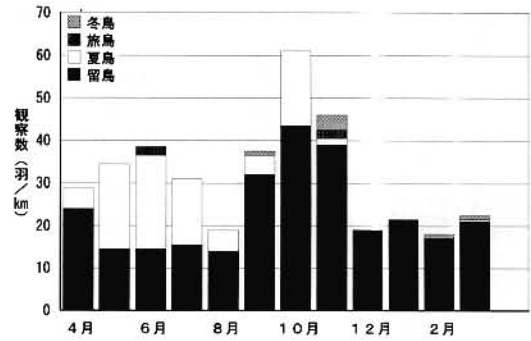
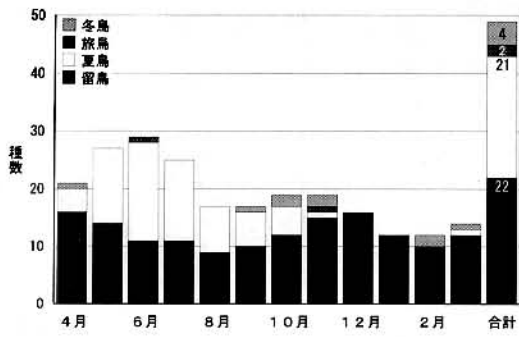


図2 檜山鳥獣保護区で観察された鳥類の種数・観察数

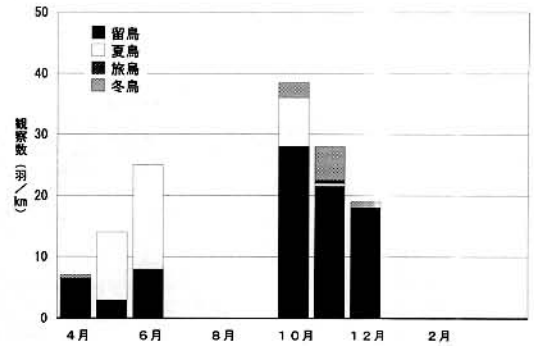
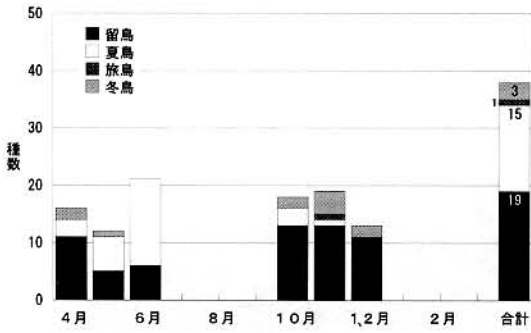


図3 歌才鳥獣保護区で観察された鳥類の種数・観察数

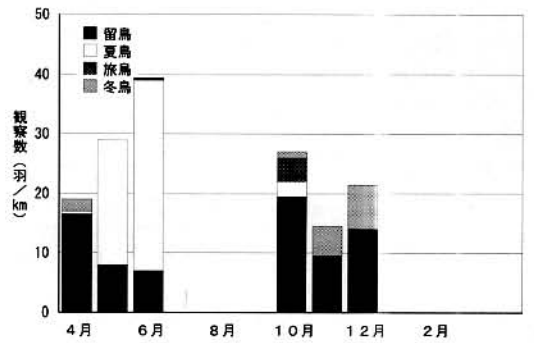
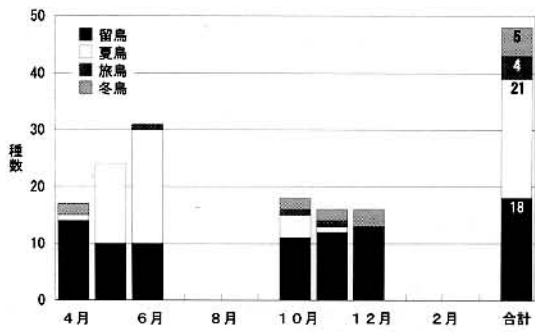


図4 大釜谷鳥獣保護区で観察された鳥類の種数・観察数

表2 歌才鳥獣保護区で観察された鳥類

No.	種名	月日 移動 習性	4月 4.9		5月 5.4		6月 6.13		10月 10.12		11月 11.8		12月 12.5	
			観察数 (羽)	優占度 (%)	観察数 (羽)	優占度 (%)	観察数 (羽)	優占度 (%)	観察数 (羽)	優占度 (%)	観察数 (羽)	優占度 (%)	観察数 (羽)	優占度 (%)
1	トビ	R	+						+				+	
2	キンバト	S					1	(1.3%)						
3	アオバト	S					+							
4	カウコウ	S					+							
5	ツツトリ	S			+		+							
6	ヤマガラ	R	+						1	(1.9%)			2	(4.7%)
7	アカガラ	R	1	(2.6%)			1	(1.3%)	1	(1.9%)	1	(3.4%)	2	(4.7%)
8	コガラ	R	2	(5.3%)	+		1	(1.3%)	2	(3.7%)	2	(6.9%)	1	(2.3%)
9	キセキレイ	S					+							
10	ヒメソウイ	S			1	(1.7%)								
11	ヒヨドリ	R			+		+		5	(9.3%)	1	(3.4%)	8	(18.6%)
12	ヒレンジヤク	W											12	(27.9%)
13	ミソサザイ	R											1	(2.3%)
14	コルリ	S					6	(7.6%)						
15	ルビクキ	T									1	(3.4%)		
16	クロツグミ	S			+		2	(2.5%)						
17	アカハラ	S			1	(1.7%)	1	(1.3%)						
18	マミヤシナイ	T							8	(14.8%)				
19	ツグミ	W									10	(34.5%)		
20	ヤブサメ	S			6	(10.3%)	11	(13.9%)						
21	ウグイス	S			3	(5.2%)	5	(6.3%)	4	(7.4%)	+			
22	エゾムシクイ	S			6	(10.3%)	4	(5.1%)						
23	ホソソムシクイ	T					1	(1.3%)						
24	センダングサ	S			13	(22.4%)	19	(24.1%)						
25	キイタカキ	R	3	(7.9%)			+				1	(3.4%)	3	(7.0%)
26	キビタキ	S			+		4	(5.1%)						
27	オオホリ	S			1	(1.7%)	1	(1.3%)						
28	コササビ	S					1	(1.3%)						
29	エナガ	R	6	(15.8%)	+		+		6	(11.1%)				
30	ハシブトガラ	R	7	(18.4%)	+		1	(1.3%)	11	(20.4%)	2	(6.9%)	3	(7.0%)
31	コガラ	R	1	(2.6%)									2	(4.7%)
32	ヒガラ	R	2	(5.3%)	5	(8.6%)	1	(1.3%)	+		1	(3.4%)	4	(9.3%)
33	ヤマガラ	R			+						1	(3.4%)		
34	シジュウカラ	R	4	(10.5%)	5	(8.6%)	7	(8.9%)	6	(11.1%)	1	(3.4%)		
35	ゴシユウカラ	R	5	(13.2%)	3	(5.2%)	3	(3.8%)	4	(7.4%)	2	(6.9%)	2	(4.7%)
36	キハシ	R	2	(5.3%)	3	(5.2%)					1	(3.4%)		
37	アオシ	S			8	(13.8%)	5	(6.3%)	+					
38	クロシ	S			1	(1.7%)								
39	カラビロ	S	1	(2.6%)	+		+		+					
40	マヒワ	W	4	(10.5%)					+				1	(2.3%)
41	ウツ	W									+		2	(4.7%)
42	イカル	S			2	(3.4%)	2	(2.5%)	1	(1.9%)				
43	シメ	S			+				3	(5.6%)				
44	ニューナイスズメ	S					1	(1.3%)						
45	コムクドリ	S					1	(1.3%)						
46	カラス	W	+						2	(3.7%)				
47	ハシホソガラ	R	+								2	(6.9%)	+	
48	ハシブトガラ	R	+				+				3	(10.3%)	+	
生息数(羽/km)			38		58		79		54		29		43	
種類数			合計	17	24		31		18		16		16	
			留鳥	14	10		10		11		12		13	
			夏鳥	1	14		20		4		1		0	
			旅鳥	0	0		1		1		1		0	
			冬鳥	2	0		0		2		2		3	

移動習性 R:留鳥 S:夏鳥 T:旅鳥 W:冬鳥

表4 大釜谷鳥獣保護区で観察された鳥類

No.	種名	月日 移動 習性	4月		5月		6月		10月		11月		12月	
			4.12 観察数 (羽)	優占度 (%)	5.5 観察数 (羽)	優占度 (%)	6.7 観察数 (羽)	優占度 (%)	10.12 観察数 (羽)	優占度 (%)	11.15 観察数 (羽)	優占度 (%)	12.13 観察数 (羽)	優占度 (%)
1	トビ	R									+			
2	ノスリ	W	+											
3	エゾライチョウ	R	1	(6.7%)										
4	キジハト	S	+				1	(2.0%)						
5	アオハト	S					+							
6	ツツトリ	S			+		+							
7	アカゲラ	R							1	(1.3%)	1	(1.8%)		
8	コゲラ	R	1	(6.7%)	+		2	(4.0%)	3	(3.9%)	2	(3.6%)	2	(5.3%)
9	キセキレイ	S	+				1	(2.0%)						
10	ヒヨドリ	R			+		3	(6.0%)	9	(11.7%)			1	(2.6%)
11	カラカラス	R	1	(6.7%)					1	(1.3%)				
12	ミソサザイ	R	2	(13.3%)	2	(14.3%)	3	(6.0%)			8	(14.3%)	2	(5.3%)
13	コルリ	S					1	(2.0%)						
14	ルビータキ	T									1	(1.8%)		
15	トラツグミ	S					+							
16	クロツグミ	S					1	(2.0%)						
17	ヤブサメ	S			2	(14.3%)	6	(12.0%)						
18	ウグイス	S			2	(14.3%)	1	(2.0%)	4	(5.2%)	1	(1.8%)		
19	センダングサ	S					5	(10.0%)						
20	キタイタダキ	R	2	(13.3%)					2	(2.6%)	1	(1.8%)		
21	キビタキ	S			2	(14.3%)	3	(6.0%)						
22	オオルリ	S			2	(14.3%)	6	(12.0%)						
23	エナガ	R	1	(6.7%)					6	(7.8%)			10	(26.3%)
24	ハシブトガラ	R							+		2	(3.6%)	2	(5.3%)
25	コガラ	R	1	(6.7%)					1	(1.3%)	2	(3.6%)		
26	ヒガラ	R	3	(20.0%)	1	(7.1%)	3	(6.0%)	20	(26.0%)	15	(26.8%)	11	(28.9%)
27	ヤマガラ	R	2	(13.3%)			3	(6.0%)	2	(2.6%)	5	(8.9%)	4	(10.5%)
28	シジュウカラ	R			+		2	(4.0%)	10	(13.0%)	3	(5.4%)	1	(2.6%)
29	コシユウカラ	R	+						1	(1.3%)	2	(3.6%)	3	(7.9%)
30	キハシリ	R							+					
31	アオジ	S			3	(21.4%)	2	(4.0%)	11	(14.3%)				
32	カララヒ	S	+				4	(8.0%)	1	(1.3%)				
33	マヒワ	W									10	(17.9%)		
34	ウソ	W							+		+		2	(5.3%)
35	イカル	S					3	(6.0%)						
36	カケス	W	1	(6.7%)	+				5	(6.5%)	1	(1.8%)	+	
37	ハシホソガラ	R									+		+	
38	ハシブトガラ	R	+								2	(3.6%)	+	
	観察数		15		14		50		77		56		38	
	種類数	合計	16		12		21		18		18		13	
		留鳥	11		5		6		13		13		11	
		夏鳥	3		6		15		3		1		0	
		旅鳥	0		0		0		0		1		0	
		冬鳥	2		1		0		2		4		2	

移動習性 R:留鳥 S:夏鳥 T:旅鳥 W:冬鳥

インターネットとGISを活用した 自然環境保全サポートシステムの構築

金子 正美 菅原 修* 古川 泰人* 島田 沢彦**

要 約

北海道環境科学研究センターにおいて1993年から開発を進めている自然環境保全サポートシステムについて、ハードウェア、ソフトウェア、データの整備状況及びインターネット、GISを活用した情報提供の方向を紹介した。今後の環境問題の解決には、住民、事業者、行政の合意形成が重要であることを指摘し、システムの構築に当たっては、住民が理解しやすいGISをベースとした情報の表示や、インターネットを活用した情報の提供手法の確立が必要であることを述べた。

Key words:環境情報、インターネット、WEBGIS、合意形成

1 はじめに

北海道環境科学研究センターでは、北海道の自然環境を総合的に解析するため、1993年4月に自然環境保全科を新設し、1994年1月に地理情報システム(GIS)を導入した。以来、野生動植物の分布情報、環境モニタリング情報、人工衛星情報等をデータベース化し、GISを活用して自然環境の調査研究や行政施策を情報面からサポートする「自然環境保全サポートシステム」(以下サポートシステム)の開発を進めている(金子ら1996)。GISは、様々なデータをコンピュータで一元的に管理し、ビジュアルに表現できる強力な意思決定支援のツールである。当センターでは、サポートシステムを単にコンピュータを活用したデータ処理システムではなく、北海道の自然環境の現状を的確にとらえ、具体的な政策立案や政策評価が可能となる意思決定支援システムと位置付けている(小野ら1995)。

本報告では、1999年1月に更新したシステムに関し、機器、ソフトウェア、データの概要について紹介し、インターネットとGISを活用した新たな取り組みについて述べる。

2 システムの目的

サポートシステム開発の目的は、主として本道の自然環境の解析であるが、蓄積された情報や手法は、北海道の環境行政や研究支援のみならず、市町村の行政計画の策定支援や地球規模の環境問題への貢献、住民、事業者への情報提供など、様々な場面で活用が期待されてい

る。自然環境保全サポートシステムの具体的な目的は、①空間データを活用した生態系管理、野生生物保護管理のための調査研究サポート、②北海道や市町村の環境計画などの行政計画、各種環境施策の立案・推進サポート、③地域の環境問題に対する住民、事業者、行政の合意形成サポート、④アジア地域を中心とした国際的な環境保全への貢献の4点である。この目的を達成するためには、幅広いデータの収集、データベース化、総合的な環境評価手法の確立、情報公開とネットワーク化が重要である。このため、以下に示す検討を行い、システム設計、機器整備を進めた。

3 機器、ソフトウェア、データの種類

3.1 システム構築の考え方

1994年に導入した第1期システムは、UNIXをOSとしたワークステーションサーバー(EWS)を中心としたシステムであった。このシステムは、高性能ではあったが保守、操作が難しいという問題があった。また、当時は、インターネットが普及し始めた時期で、インターネットを用いた情報提供手法を模索している段階であった。一方、ここ数年のコンピュータと通信技術の進歩は、想像を超えるものがあり、この技術進歩に対応するため、5年前のシステム設計の考え方を根本的に見直すことが必要となった。このため、今回のサポートシステムの構築に当たっては、次の5点をポイントとして検討を行った。第1点は、「情報の共有化とネットワーク」である。これは、インターネットを活用したクリアリングハウス、メタデータベースの構築が可能であり、また、ブラウザによるGIS、いわゆるWEBGISが構築できることを条件とし

* 北海道大学大学院農学研究科

** 北海道大学大学院地球環境科学研究科

た。第2点は、「空中写真、高解像度衛星への対応」である。市町村の地図を表示する時のスケールは、概ね2500分の1から5万分1であり、この時の背景図情報としては、空中写真が最適である。また、昨年、解像度1mといった高解像度衛星アイコンが打ち上げられ、今後、この衛星の利用が進むと考えられることから、システムの要件として、空中写真の補正など高度な画像処理が可能であること、また、データ量が膨大なものとなるため、大容量データを蓄積できる機器と画像データをコンパクトに圧縮できるソフトウェアを検討した。第3点として、「自然環境の解析・予測ツールの充実」である。総合的な自然環境の解析には、GISデータを解析できるツールが必要である。野生動物の生息地の評価など専門性の高い解析ツールは、日本に比べ欧米において、はるかに進んでおり、また、これらのツールの一部は、インターネットを通じて無料で公開されている。このため、欧米、特にアメリカで開発されたソフトウェアを利用できる環境を整えることを検討した。第4点は、「わかりやすくビジュアルな表現が可能」なことである。近年、環境問題をめぐって、行政、事業者、住民の合意形成が重要な課題となっているが、合意形成を推進するためには、科学的でわかりやすい資料による情報提供が必要である。このための資料は、文字や数値の羅列といったものではなく、一般の人が視覚的直感的に理解しやすいように情報に加工する必要がある。このため、鳥瞰図などをビジュアルな地図を容易に作成することにできるシステムを検討した。最後の第5点目は、「保守管理、操作の容易さ」である。これまでのシステムで使用してきたワークステーション(EWS)とUNIXは、一部の専門性を有する職員のみが操作できるものであった。このため、システムの操作、保守管理をより一

般化、効率化するために、ハードウェアをワークステーションから一般的なパーソナルコンピュータへ移行し、また、OSもUNIXからWINDOWSへの変更を検討した。以上、5点のポイントを考慮し、サポートシステムの設計を行い、次に示す機器、ソフトウェアを選定した。

3.2 機器構成

サポートシステムの機器構成を図1に示した。システムは、データベースを構築するファイルサーバー、インターネット用のWEBサーバー、画像解析及び地理情報処理を行うクライアントPC、プリンター、スキャナーなどの入出力機器で構成され、これらをLAN(100baseのスイッチングハブ)で連結し、ソフトウェア、データ、周辺機器の共有化を図っている。また、外部とは専用回線でインターネットに接続されているほか、3本のアナログ・デジタル回線を設置し、北海道環境生活部環境室との情報交換や、システムの遠隔管理に利用している。

主な機器の概要は、表1に示すとおりである。ファイルサーバーは富士通社のGRANPOWER280にデータダイレクト・ネットワークス社のEV-200のディスクアレイ装置を接続し、データ蓄積能力は160GBとなっている。また、図書検索用サーバー、インターネットGIS用のサーバー、wwwサーバー等を設置している。解析用PCは、3次元グラフィック処理を高速で行うことのできる富士通社のFMV-PRO 8450T1 3Dモデル(CPU:Pentium2Xeon450MHz)を1台導入したほか、高性能CPUを搭載した解析用PCを5台設置した。周辺機器は、記憶装置として、ディスクアレイハードディスクのほか、バックアップ装置として、ヒューレッドパッカー社のDLTライブラリー装置C6280Fを導入した。また、入力装置としては、地図データを入力するために

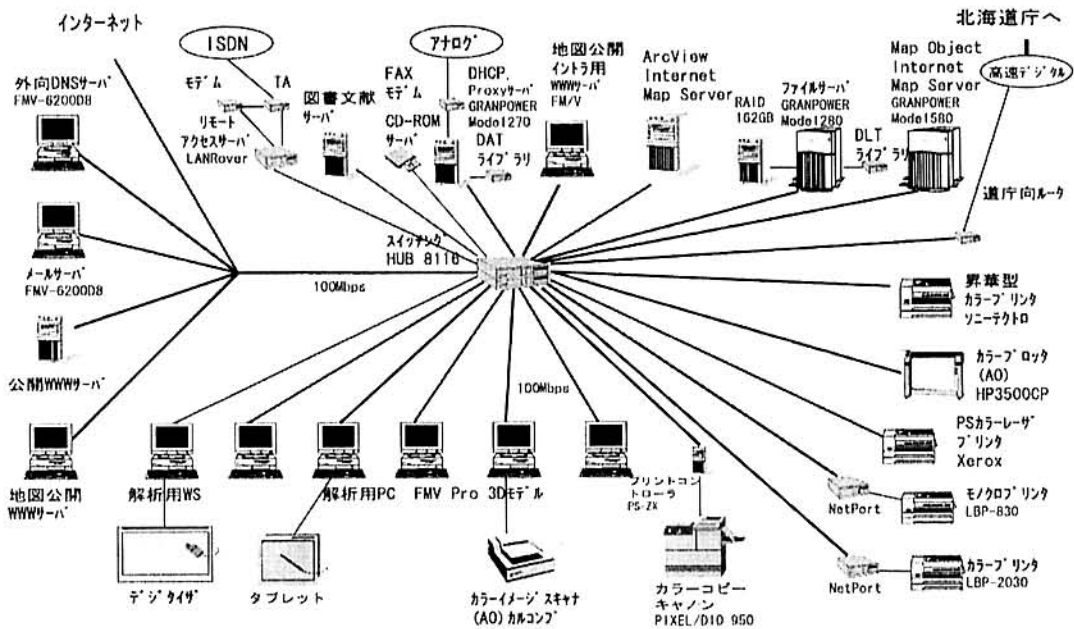


図1 サポートシステムの機器構成

種類		製品名	概要
サーバー	ファイルサーバー	富士通GRANPOWER280	PU:Pentium2*1(400MHz) MEM:256MB HD:8.6GB MS-WIN NT4.0
	インターネットGISサーバー	富士通GRANPOWER580 他4台	CPU:Pentium2Xeon*2(400MHz) MEM:384MB HD:36.4GB(18.2*3) MS-WIN NT4.0
クライアントPC	画像解析、GIS用PC	富士通FMV-PRO 8450T1 3Dモデリング他3台	PU:Pentium2Xeon(450MHz) MEM:340MB HD:22GB MS-NT4.0
記憶装置	フハードディスク(ディスクアレイ)	データレイト・ネットワークスEV-200	HD:160GB
	バックアップ(DLTライブラリー)	HPC6280F	40GB×7本
出力装置	プロッター	HP DesignJet3500CP	A0版プロッター MEM68MB
	プリンター	富士ゼロックス Color Laser Wind 3320PS ソニーテクトロニクスPhaser 480XJS	A3版カラーレーザープリンター A3版昇華型プリンター
	カラーコピー	キャノンPIXCEL-DIO	A3版カラーコピー兼レーザー プリンター
入力装置	カラスキャナー	エヌエスカルコンプScanPlus III 810C	A0版スキャナー 解像度800DPI
	タブレット	エヌエスカルコンプ	A2版

表1 サポートシステムの機器の概要

エヌエスカルコンプ社のタブレット、地図や空中写真等の画像を入力するためにエヌエスカルコンプ社のA0サイズのカラスキャナー、出力装置としては、A0サイズの地図を印刷するカラープロッター等を導入した。

3.3 ソフトウェア構成

サポートシステムのソフトウェアを表2に示す。各種の情報を管理するためのデータベースソフトとしてOracle(オラクル)、SQLサーバー、パソコン用データベースソフトとしてAccess(アクセス)を利用している。地理情報処理及び画像解析については、高度な解析にはWINDOWS NT版のArcInfo(アークインフォ：地理情報処理)、Erdas Imagine(アードスイマジン：画像処理)を利用し、単純な加工や表示はパソコン版のArcView(アークビュー)、Photoshop(フォトショップ)を利用している。また、3次元画像の作成にはAVSを用いている。画像処理については、

表2 ソフトウェアの構成

種類	ソフト名
データベース	Oracle, SQL Server, MS Access
地理情報	ArcInfo, ArcView
画像処理	Erdas Imagine, AVS, Photoshop MrSID
統計解析	S-Plus
インターネット	Map object internet server, ArcView internet server

これまで一般的であったLANDSATやSPOTといった人工衛星画像の処理だけではなく、空中写真のゆがみを補正したオルソフォトが作成できるERDAS社のOrtho Baseを導入し、正確な緑地の抽出や、他の地理情報の背景図として活用している。近年、コンピュータの処理能力の向上に伴い、GISで利用で利用できるファイルの大きさは巨大化しつつあり、つなぎ合わせた空中写真や、高解像度衛星の画像ファイルは、一市町村で数GBを超えることも珍しくない。このため、ファイルを100分の1までの圧縮できるソフトMrSIDを導入し、大容量高精度の画像ファイルへの対応を図った。統計解析には、統計ソフトS-Plusを導入したが、空間統計を行うため、S-PlusのオプションであるSpatial StatとS-Plus for ArcViewを追加し、ArcView上で統計解析を可能にした。さらに、様々な情報や解析結果をインターネットを通じて公開するために、Map Object Internet ServerとArcView Internet Serverを導入し、これらのソフトウェアをベースにインターネットGISの開発を行っている。

3.4 情報の種類

これまで、サポートシステムに蓄積している情報の種類を表3に示す。情報は、道路、河川、行政界などGISに不可欠な基盤情報、野生動植物の分布や鳥獣捕獲統計などの自然環境情報、自然環境の解析を行う上で必要な経済、土地利用、人口などの地域社会情報の3分野に区分し収集管理している。基盤情報としては、国土庁の国

土数値情報と(株)パスコの簡易地図を利用している。また、自然環境情報については、環境庁自然環境GIS情報、国土数値情報、メッシュ気候値など、主に国が提供するメッシュデータやポリゴンデータを整備しているほか、自然環境に係る現地調査、環境アセスメント報告書、学術論文、博物館標本目録等から野生生物の分布情報を独自に入力し蓄積している。同様に、地域社会情報についても、国土数値情報、数値地図、国勢調査結果など国において整備された情報を加工し、蓄積している。

また、画像情報としては、国土地理院の数値地図200000や数値地図25000を幾何補正し、上記データの背景図として利用しているほか、アメリカのLANDSAT

(ランドサット)衛星、アメリカの気象衛星NOAA(ノア)、フランスのSPOT(スポット)衛星などの人工衛星画像及び空中写真を事業に応じ活用している。

これらの情報は、全てArcInfo、ArcViewが扱えるファイルタイプに変換し、地図の投影法もUTM(ユニバーサル横メルカトル)54帯に変換しデータベース化を行っているため、全ての情報を簡単に重ね合わせたり、解析することが可能である。

4 インターネットによる情報提供

北海道環境科学研究センターでは、環境情報を地図化し

表3 サポートシステムのデータ種類

分野	ファイル名称	ファイルタイプ	資料年度	内容	原資料	ファイル作成機関
基盤	道路	L	H7	位置、管理区分	地形図、都道府県資料	国土庁(国土数値情報)
	鉄道	L	H7	位置、管理区分、駅	地形図、鉄道要覧	国土庁(国土数値情報)
	行政区・海岸線	Pl,L	H2	市区町村の境界線、海岸線	地形図、全国市町村要覧	国土庁(国土数値情報)
	道路密度・道路延長メッシュ	M	53	メッシュを横切る道路の本数	地形図、道路データ	国土庁(国土数値情報)
	河川	L	H7	名称、位置	河川管内図	国土庁(国土数値情報) 簡易地図(株)パスコ
	湖沼	Pl	57	短辺100m以上の湖沼の位置、面積	地形図	国土庁(国土数値情報)
	地形図	R		20万分の1地形図、5万分の1地形図、2万5千分の1地形図の画像データ	地形図	国土地理院
	人工衛星画像	R		衛星画像から得られる土地被覆情報、植生指数、温度等	LANDSAT、SPOT、NOAA、IKONOS	宇宙開発事業団ほか
	空中写真	R		空中写真から得られる土地被覆情報、植生指数、温度等	各種空中写真	国土地理院ほか
自然	動植物分布	M	H11	北海道の動植物分布	各種調査、文献資料	北海道環境科学研究センター
	自然公園、鳥獣保護区、湿原位置	Pl	H6	北海道の自然公園、鳥獣保護区、湿原位置、名称	地形図、空中写真	北海道環境科学研究センター
	鳥獣捕獲統計	M	H10	狩猟鳥獣、有害捕獲鳥獣統計	北海道環境生活部自然環境課集計結果	北海道環境生活部自然環境課
	湿原変遷	P		大正時代と昭和後期の湿原面積の比較	5万分の1地形図	国土地理院
	自然環境GIS	V		植生、動植物分布等、自然環境保全基礎調査	5万分の1植生図等	環境庁
	自然地形メッシュ	M	56	標高・傾斜度・山岳・谷密度・地形・地質・土壌	国土地理院2万5千分の1地形図	国土庁(国土数値情報)
	気候値メッシュ	M	28~57	降水量・気温・積雪	気象庁資料、建設省河川局資料	気象庁
	標高	Po,R		50mメッシュ標高、傾斜、斜面方位	2万5千分の1地形図	国土地理院
地域社会	指定地域	Pl	60、H2	5地域・鳥獣保護区	都市計画図、自然環境保全地域位置図、自然公園計画図、土地利用基本計画図、国立公園資料図、鳥獣保護区一覧	国土庁(国土数値情報)
	土地利用メッシュ	Po,R	51、62	100mメッシュで、田、畑、果樹園、森林、建物、水などに分類している。	2万5千分の1地形図、	国土庁(国土数値情報)
	道有林民有林	M	H9	樹種、法規制、標高等、(道有林50mメッシュ、民有林200mメッシュ)	森林簿	北海道水産林務部
	農業センサスメッシュ	M,Pl	50	人口、耕地面積、使用機械、家畜頭数	農業センサス	農水省
	農地	Pl	H3	農地位置、種類	農水省調査	農水省
	地域メッシュ統計	M,Pl	50-H7	総人口、就業者人口等	国勢調査結果	総理府統計局

ファイルタイプ：M;メッシュ、L;ライン、Po;ポイント、Pl;ポリゴン、R;ラスター

インターネットで提供する試みを行っている。図2は、(財)日本野鳥の会と共同で開発を進めているアジアの貴重な野鳥生息地のWEBGISである。現在、試験的にフィリピンの例を公開している(HYPERLINK <http://gis.hokkaido-ies> <http://gis.hokkaido-ies.go.jp/map/philij.html>)。今後、アジア全域の野鳥の生息地情報を地理情報とともに公開していく予定である。図3は、北海道の野生生物の分布情報及び文献情報を検索するためのWEBGIS(現在試験中)である。地域や種を指定することにより、これまでにその地域で確認された種のリストや文献情報、全道的な分布図などを表示することができる。このシステムにより、開発事業などを計画する際に、該当地域での過去の調査結果や、希少種の有無などを確認することができ、より科学的効率的な環境アセスメントの実施が期待される。しかし、一方で、希少種の分布情報を公開することにより、盗掘などの危険性も高くなることから、情報をどのレベルで公開するかについては十分な検討が必要である。これまで、北海道の環境情報については、表3に示したとおり様々な情報が蓄積されてきている。現在、これらの情報を組み合わせ、北海道の自然を評価しようとする取り組みが行われている。図4に示したのは、その一つ、北海道の生物多様性を保全するためのプログラム、Hokkaido Gap Analysis Program (HGAP) のホームページである(<http://member.nifty.ne.jp/gap>)。Gap分析とは、近年、アメリカで盛んに行われているGISを用いた生物多様性の保全のための分析手法で、国立公園など自然保護区の地図と貴重な動植物の生息地地図などを重ね合わせ、そのずれ(Gap)を検出し、将来の保全地域及び対策を検討するものである。

北海道では、1999年9月に、行政担当者、大学等の研究者、民間コンサルタント、NGOなどからなるHGAP研究会が発足し、サポートシステムを活用した北海道全体のGap分析が開始されたところである。また、地域のレベルでは、航空写真を利用したピオトープマップづくりが進めている。ピオトープとは、生物の生息場所を意味するドイツ語で、ドイツでは、このピオトープの位置や種類を地図化したピオトープマップを市や州単位で作成し、都市計画を立てる際の基礎情報として活用している。現在、札幌のNGO団体「さっぽろピオトープコミュニティ」の協力を得て、ピオトープマップのWEBGISのページを開発中である(<http://member.nifty.ne.jp/gap/bio/bio.htm>) (図5)。

このシステムでは、全てのデータをGIS上で扱うため、道路、河川、土地利用、人口など様々なGISデータの重ね合わせや、拡大縮小といった加工も容易である。また、航空写真のゆがみを補正したオルソフォトを作成し、これをつなぎ合わせピオトープの背景図として利用することにより、地域の自然環境を正確に表現することが可能

となっている。

今後、地域の自然環境の保全方策の決定に当たっては、それが都市計画であれ、開発事業であれ、住民・事業者・行政の間の合意形成が最も重要な課題となると考えられる。正確でわかりやすい環境情報の共有化は、合意形成を進める上での基本であり、インターネットとGISの技術は、そのための必須のツールとなるであろう。将来的には、これらの手法を活用して、北海道の地域の環境情報や解析結果を、住民、NGO、事業者、行政機関、研究機関に公開し、情報のネットワーク化を図ることにより、パートナーシップの形成を推進していきたいと考えている。

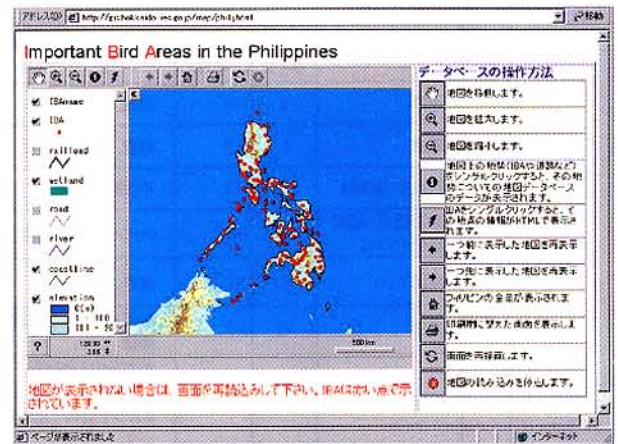


図2 フィリピンの貴重な野鳥生息地のWEBGIS

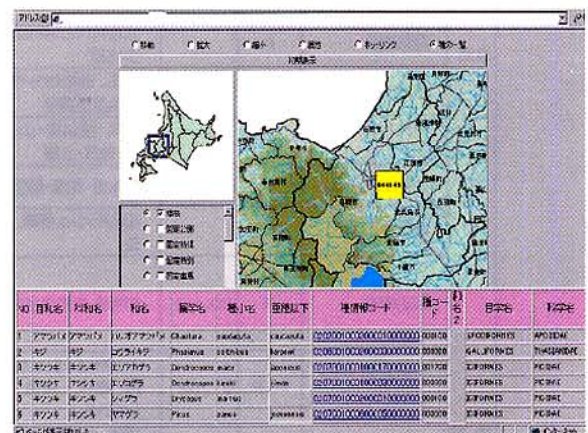


図3 北海道の野生生物探索WEBGIS

所、兵庫県人と自然の博物館、(財)自然環境研究センター、富士通エフ・アイ・ピー株式会社及び株式会社パソコの皆様には、機器の選定、情報の共有化について貴重なご助言をいただいた。ビオトープマップのWEBGISの開発に当たっては、さっぽろビオトープコミュニティの皆様にごデータの作成を協力いただいた。ここに厚く謝意を表明します。

6 参考文献

- 1) 小野 理、金子 正美、村野 紀雄：自然環境保全サポートシステムの検討設計—自然環境情報と知識のデザイナー、北海道環境科学研究センター所報、22：44-54(1995)
- 2) Scott, J.M., H.Anderson, B.Butterfield, S.Caicco, B.Csuti, F.Davis, F.D'erchia, T.C.Edwards, C.Groves, R.Noss, Jr., J.Ulliman & R.G.Wright：Gap analysis：A geographic approach to protection of biological diversity. Wildlife Monographs, 123:1-41(1993)
- 3) 金子 正美、小野 理、村野 紀雄、東野 裕：GISを活用した自然環境保全サポートシステムの構築、北海道環境科学研究センター所報、23：48-57(1996)

Decision Support System for Nature Conservation using Internet and GIS

Masami Kaneko

Abstract

Hokkaido Institute of Environmental Sciences established the Natural Environment Conservation Section, within the Nature Conservation Department, in April 1993. In January 1994, the center introduced GIS for conducting integrated analysis of information on natural environment and started to establish "Decision Support System for conservation".

In this paper, hardware, software and data set which are equipped in the system are introduced in 1999.

The main system consists of PCs for database, GIS and internet. Peripherals include input devices, such as a digitizer and scanner, and output devices, such as color plotter and color copying machine.

Software for analysis include the database software "Oracle", "Erdas Imagine," for image-analysis, "ArcInfo" and "ArcView" for GIS.

To take effective policies, it is important to develop a comprehensive method for the evaluation of the natural environment and to establish the system based on GIS with GUI.

It is suggested that establishment of the system and information network can help draft and evaluate effects of conservation policies from the view of data management.

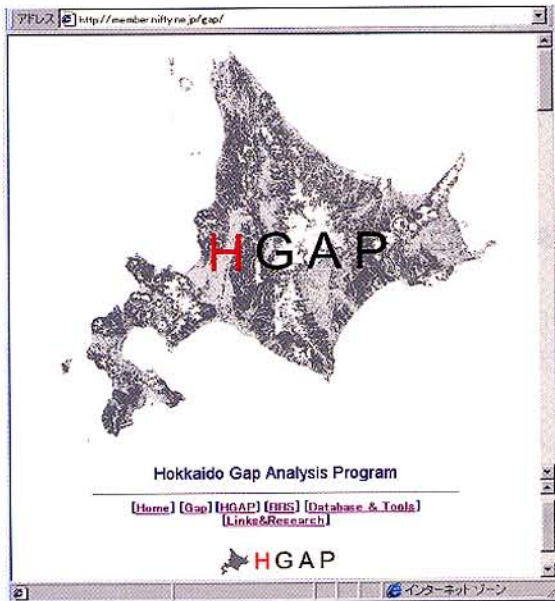


図4 HGAPホームページ

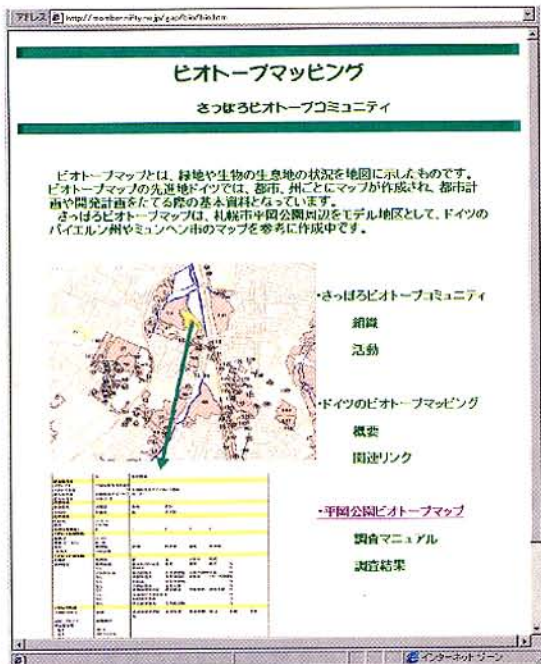


図5 ビオトープマップホームページ

5 謝辞

サポートシステムの開発に当たり、東京情報大学原慶太郎教授、酪農学園大学村野紀雄教授、中国リモートセンシング研究所布和教斯爾助教授には、システムの基本設計についてご指導いただいた。(財)日本野鳥の会国際センターの神山和夫氏には、アジアの鳥類生息地のWEBGISの開発に当たり、データの提供、システム基本設計について貴重なご助言をいただいた。また、環境庁生物多様性センター、国立環境研究所、山梨県環境研究所、長野県自然保護研究

石狩海岸における海浜植生の復元試験

宮木 雅美 西川 洋子

要 約

車両等の乗り入れによって海浜植生が破壊された石狩海岸の砂丘地域において、海浜植物の植栽試験と乗り入れ禁止後の植生回復過程の観察を行った。植栽2年後のテンキグサ、コウボウムギ及びハマナスの新条数は、植栽株数と同等かそれより多かった。植生回復区では、テンキグサ、ハマヒルガオ、ハマニガナ、ハマエンドウ及びコウボウムギが周辺から地下茎または地上茎の伸長によって侵入した。周辺植生の優占種であるテンキグサの密度が最も高く、乗り入れ禁止3年後に頭打ちとなった。海浜植物の実生個体は、4年間で12㎡にハマボウフウ1個体のみが確認された。また3年後に、ススキとカモガヤの実生個体が定着した。

Key words :石狩海岸、海浜植生、復元、テンキグサ、コウボウムギ、ハマナス

1 はじめに

海岸は、海域に起因する様々な災害から市民の生命や財産を守る働きを持つとともに、人々の憩いの場やすぐれた自然景観などを提供し、多様な生物の生息場となるなど、多くの機能を持っている。一方、海岸は陸域と海域の推移帯であるため、陸域、海域双方の影響を受けやすい敏感な空間であり、海岸地域の保全には十分な配慮が求められる。

石狩川河口に発達した石狩海岸地域は、北海道自然環境保全指針の「すぐれた自然地域」に指定されており、海浜植物をはじめとして約170種の多様な植物が生育している^{2),3),4)}。また、IUCNのレッドデータブックに記載されているエゾアカヤマアリのスーパーコロニーが存在し⁴⁾、我が国固有の希少種であるキタホウネンエビがカシワ林に生息する⁵⁾など、学術的にも貴重な生態系である。

また、この地域は、都市部に隣接するため、海水浴や

キャンプ、釣り、自然観察、散策など、多くの市民が憩う場ともなっている。しかし、海岸砂丘へのRV車、オートバイ、バギー車等の乗り入れによって海浜植物の破壊が進行しており、早急な対策が必要となっている。そのため、1995年に、関連する行政機関からなる「石狩湾新港地域海岸保全連絡会」が結成された。この活動の一環として、植生復元試験地を設定し、海浜植物の植栽や自然放置による植生回復の経過を調べることとなった。ここでは、試験設定後3年間の変化について報告する。

2 調査地域及び方法

石狩海岸は札幌市の北方に位置し、石狩湾に沿った弧状の砂丘列からなり、延長30kmにわたっている。植生は、海岸の砂丘は海岸草原、内陸側の砂丘はカシワ主体の海岸林である。海岸草原では、汀線からオカヒジキ群落、コウボウムギ群落、テンキグサ群落、ハマナス群落、ススキ群落およびチマキザサ群落が認められる⁴⁾。

試験地は、1995年3月、石狩川河口の左岸5.5kmの砂丘に設定した。試験地の30m×30mの区域をロープで囲って車両の乗り入れを禁止し、この中に植栽試験区と植生回復試験区を設けた(図1)。試験地周辺の砂丘には、テンキグサ群落やハマナス群落が発達する。試験地はテンキグサが優占し、ハマヒルガオ、ハマニガナ、コウボウムギ、ハマエンドウなどが散在するテンキグサ群落で、一部に株状のススキがみられる。試験地内には、海岸線に平行して、幅約3mの車両の通路跡が2本走っている。

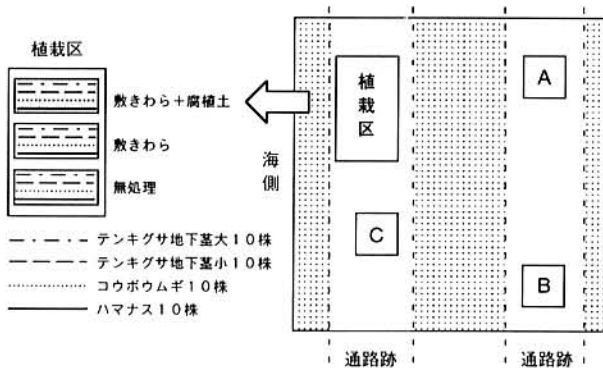


図1 試験区配置図

2.1 植栽試験

通路跡の裸地に、2m×2mの「無処理区」、「敷きわら区」、「敷きわら+腐植土区」の3プロットの植栽試験区

を設定した。各プロットに、テンキグサ、コウボウムギ及びハマナスの苗を植栽した。これらの苗は近隣から採取したもので、テンキグサは地下茎の長さ約10cmの苗10本と地下茎の長さ約30cmの苗10本、コウボウムギは20cm程度の地下茎を残した苗10本、及び30cm以上の地下茎を残したハマナスの苗10本を、それぞれ列状に植栽した。「無処理区」では砂の中に苗をそのまま植え、「敷きわら区」では砂の移動や乾燥を防ぐため地表にわらを敷いた。「敷きわら+腐植土区」では保水性を高めるために植穴に腐植土を混入させ、さらに表面に敷きわらを敷いた(図1)。植栽は1995年10月17日に行い、定着状況の調査は1996年7月15日と1997年9月19日に行った。

2.2 植生回復試験

裸地上に2m×2mのプロットを3ヶ所設定し(A, B, C)、周辺の群落からの地下茎の伸長による侵入・定着及び実生の定着による植生回復過程を観察した(図1)。プロット内を25cm×25cmの小区画にわけた。小区画ごとに、テンキグサ及びコウボウムギは本数を、ハマヒルガオ、ハマニガナ、ハマエンドウ、ススキ及びカモガヤは分布の有無を記録した。試験地設定後の経過を、1996年7月15日、1997年9月19日、1998年8月25日及び1999年8月24日に観察した。

3 調査結果

3.1 植栽試験

表1に、植栽試験区における各処理の新条数を示す。このデータをもとにして、経時測定モデルの2元配置分散分析を行った。その結果、植栽方法による成長の差は認められなかった($F=1.83$, $p=0.24$)。

植物の種類間では新条数に大きな差が見られた($F=198.31$,

$p=0.000002$)。植栽1年後の新条数は、コウボウムギでは10本で植栽本数と等しく、テンキグサは20本前後で植栽本数の約2倍、ハマナスは47.3本で植栽本数の約5倍となった。テンキグサの新条数は、地下茎の長さによっては差が認められなかった($F=0.80$, $p=0.47$)。

調査年度間でも差が認められ($F=28.96$, $p=0.002$)、1997年に新条数が減少する傾向があった。とくにテンキグサの減少が著しかったが、新条数は10本前後で植栽時とほぼ同数となった。コウボウムギとハマナスは、年度間で大きな変化はみられなかった。

3.2 植生回復試験

図2に、植生回復区に出現した植物の分布の変化を示す。C区では、1997年から1998年にかけて車両が侵入し、地表を攪乱したため植物の生長が阻害された。3区の砂の平均堆積量は、1.42cm/年であった。

周囲の群落から、テンキグサ、コウボウムギ、ハマヒルガオ、ハマニガナ及びハマエンドウが侵入した。これらはすべて地下茎または地上茎の伸長によるものであった。1998年からススキとカモガヤが出現した。この2種は、すべて実生であった。

テンキグサは、周辺部から最も早く侵入した。A区とB区では毎年新条数が増加し、試験開始後3年目の1998年以降200本/4m²前後となった。最大時の出現区画数は、A区で64区画中62区画(97%)、B区で60区画(94%)であった。

ハマヒルガオの出現区画は、3区のうちA区で最も多く、49区画(77%)を占めた。C区でも、車両の侵入を再び防止した1999年に、急速に拡大した。B区ではハマヒルガオの出現区画が少なかった。ハマニガナはA区とB区で同じ傾向をたどり、1998年に56区(88%)及び53区(83%)と最も拡大した後、1999年に減少した。

表1 植栽試験区の新条数(植栽10株あたり)

植栽方法	年	テンキグサ		コウボウムギ	ハマナス
		長地下茎	短地下茎		
覆土+敷きわら	1996	15	21	11	52
	1997	13	12	12	41
敷きわら	1996	25	18	12	47
	1997	9	12	5	45
無処理	1996	16	23	7	43
	1997	7	10	11	40
平均	1996	18.7	20.7	10.0	47.3
	1997	9.7	11.3	9.3	42.0

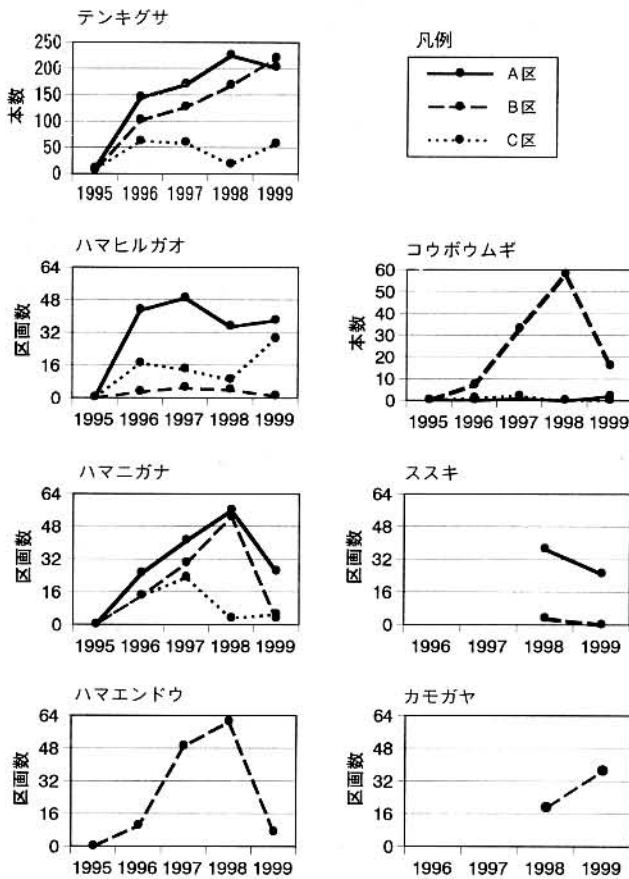


図2 植生回復区における出現植物の分布の変化

ハマエンドウは、B区のみ出現し、ハマニガナと同様な変化を示した。1998年には、61区画(95%)まで拡大したが、1999年には7区画(11%)に減少した。

コウボウムギは、B区でハマエンドウと同様な傾向を示し、1998年には58本(20区画)まで拡大した後1999年には16区画(25%)まで減少した。A区及びC区では多いときでも2区画にしかみられなかった。ススキは1998年以降、A区とB区に出現した。特にA区では1998年には37区画(58%)に出現した。カモガヤは1998年以降、B区のみ出現し、1999年には37区画(58%)に増加した。

また、C区では1999年にハマボウフウの当年生実生1本が確認された。

4 考察

4.1 植栽試験

植栽試験を行った場所は、第1砂丘の頂部から内陸側にあり、海側と比較すると飛砂の移出入が少なく、砂が堆積する傾向にあった。そのため、敷きわりによる飛砂防止の効果や、腐植土の混入による土砂の乾燥の防止効果が顕著に現れず、植栽方法による生長の差が認められなかったと考えられる。

植栽2年後の新条数は、テンキグサとコウボウムギで

は植栽本数とほぼ等しく、ハマナスでは約4倍であった。したがって現在の段階では、3種とも順調に定着しているといえる。試験地と同様な環境条件で、裸地が広く、周囲からの侵入が期待できないところでは、周辺地域から採取した苗を植栽することによって優占種の定着を助けることは可能であると考えられる。

4.2 植生回復試験

植生回復試験区では、テンキグサが、隣接する群落から最も早く侵入し、本数密度も最も高かった。テンキグサは、堆砂が起こると地下茎と不定根を発生し、茎を上へ伸ばして生育する特性があり、堆砂地に適応しながら生活している⁶⁾。一般にテンキグサは砂丘地域の優占種であり、テンキグサを指標にして、海浜植生の初期の回復度を評価することができる。

ハマニガナは3区とも同様に出現したが、ハマヒルガオ、ハマエンドウ及びコウボウムギは調査区間でばらつきがあり、とくにハマエンドウはB区のみ出現した。これらの侵入は、砂の安定度、試験地から各植物までの距離、群落における植物の密度や生長様式などによって変化すると考えられる。

1999年に、ハマニガナ、ハマエンドウ及びコウボウムギの出現頻度が激減した。この理由は明らかではないが、人為的な攪乱によるものではなく、気象条件や自然状態の個体群でみられる生理的・生態的要因によるものと考えられる。

ススキとカモガヤの実生個体が、1998年以降確認された。とくに、ススキの株が付近にみられたA区で、ススキの出現頻度が高かった。ススキは山地から平地までの陽地にふつうにみられ⁷⁾、カモガヤはヨーロッパ原産の牧草である⁸⁾。このような内陸性の植物の侵入がみられるようになったのは、テンキグサなどの海浜植物の密度が増し、砂の移動量の減少等、生育環境が緩和したためと考えられる。

5 まとめ

試験地では、車両乗り入れの禁止後およそ3年で、テンキグサをはじめとした主な海浜植物が定着した。裸地が3m程度の幅であれば、多くの場所では、周囲の群落からの地下茎の伸張によって3年程度で群落を回復させることができる。したがって、石狩市が実施している車両乗り入れ禁止柵は、当面の対策として極めて効果的であるといえることができる。

また、周囲からの侵入が望めない場所では、近隣から採取した個体を植栽することによって早期に群落を定着させることができよう。しかし、ハマボウフウ、ハマハタザオ、カワラマツバなど、主に種子の散布によって分

布を拡大する植物の定着は困難で、植生回復試験地では4年目でもハマボウフウ1個体の発芽しか確認されていない。本来の砂丘植物群落を復元するにはさらに長期間が必要となる。

また、車両の乗り入れによって裸地となった海浜地域には、強風による砂の移動でさらに裸地の部分が深くえぐれ、砂丘自身が変形・消滅している部分が少なからずみられる。このような場所では、基盤である砂丘自体の保全対策が必要である。石狩湾の海岸線は近年後退傾向にあり⁹⁾、砂丘形成への影響が懸念されるので、海岸地域における土砂量の動態を明らかにする必要がある。さらに、多様性の高い海浜植生の復元を行うには、海浜植物の繁殖生態を明らかにして、砂の移動量と海浜植物の種特性に応じた植生の復元手法を開発することが必要である。

6 参考文献

- 1) 北海道：「北海道自然環境保全指針」 p.39, 1989
- 2) 石狩町：「石狩川河口地域植物調査報告書」 pp.1-50, 1989
- 3) 石狩町：「石狩川河口地域植物調査追加報告書」 pp.1-5, 1990
- 4) 北海道環境科学研究センター：「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書 第2節 石狩海岸, pp.89-118, 1993
- 5) 北海道環境科学研究センター：「平成10年度石狩湾新港地域 浮遊生物(キタホウネンエビ)調査報告書」 pp.1-29, 1998
- 6) 小林佐保里, 東 三郎：海岸砂丘地における堆砂とハマニンニクの生育, 日本林学会北海道支部論文集, 第4号, pp.172-174, 1985
- 7) 大井次三郎：「日本の野生植物」(佐竹善輔, 大井次三郎 他編) I 草本 単子葉類, p.95, 平凡社, 1982
- 8) 大井次三郎：「日本の野生植物」(佐竹善輔, 大井次三郎 他編) I 草本 単子葉類, p.115, 平凡社, 1982
- 9) 浜田誠一：石狩湾奥砂浜に見られる近年の海岸線変化, 地下資源調査所報告, 第69号, pp.29-42, 1998

Restoration of sand dune vegetation in Ishikari shore region

Masami Miyaki and Yoko Nishikawa

Abstract

In the sand dune of Ishikari shore region in which vegetation was disturbed by automobiles, the planting test

and the process of invasion of plants in the enclosures were surveyed. Numbers of shoots of *Elymus mollis*, *Carex kobomugi* and *Rosa rugosa* after 2 years of planting were same as those of individuals that were planted or more than them. In enclosures, *E. mollis*, *Calystegia soldanella*, *Ixeris repens*, *Lathyrus japonicus* and *C. kobomugi*, which extend their distribution by rhizome and stolon, were recorded. Among sand dune plants which reproduce mainly by seeds, only one seedling of *Glehnia littoralis* were found in enclosures of 12 m² for 4 years.

Seedlings of *Miscanthus sinensis* and *Dactylis glomerata* were established after 3 years in enclosures.

《総説》

北海道における腐植物質研究の重要性

永洞 真一郎

要 約

腐植物質は自然界にきわめて多く存在する有機物質であるが、その化学的構造や由来物質、生成過程は明らかにされていない。しかし近年、腐植物質が自然環境中でいろいろな化学反応に関与している事が示唆されている。北海道には腐植物質を多く含む泥炭質土壌地域、腐植物質の溶存した湖沼や河川が多く存在するため、北海道の自然環境を理解する上で腐植物質に関する知見を深めることは非常に重要であると考えられる。今回、筆者は自身の研究結果をふまえ、腐植物質の研究の意義について最近の研究報告をまじえて概説する。

Key words : 腐植物質、フミン酸、フルボ酸

1 はじめに

腐植物質 (humic substances) とは、「土壌中に含まれる有機物のなかで、暗褐色ないし黒色を呈し、酸性、無定形高分子、微生物的に安定である性質を持つ部分のこと」¹⁾ である。すなわち、動植物の遺体が自然環境中

で分解された残りかすのような物質であり、泥炭質土壌に多く含まれている。腐植物質の化学的な性質はおおまかには定められているが、元素組成や化学構造もはっきりと定まっているわけではない。この腐植物質は、樹木の構成成分であるリグニンと並び地球上に最も多く存在する有機物であるといわれている。腐植物質はその化学的な性質からさらに3つに分類されている。すなわち、アルカリ溶液に対しても不溶性である分画をヒューミン (humins)、アルカリ溶液に対しては溶解するがpH 2以下の酸性溶液に対して不溶性である分画をフミン酸 (humic acid)、アルカリ溶液に対しても、pH 2以下の酸性溶液に対しても溶解する分画をフルボ酸 (fulvic acid) と呼んでいる。この中でフミン酸とフルボ酸に関しては土壌や泥炭などから抽出することが可能であり、その方法は国際腐植物質学会 (IHSS) (ホームページアドレス <http://www.ihss.gatech.edu>) で図1のようにまとめられている。

腐植物質は世界中の天然水中や土壌中に広く存在している。そのため自然界における化学反応や化学物質の挙動に大きな影響を及ぼしていると考えられており、古くから世界中で様々な分野において多くの研究がなされている。北海道に関して見ると、泥炭質土壌が占める地域が比較的広く存在し、ゆえに腐植物質の溶存した湖沼あるいは河川が点在している²⁾。その特徴は水が黄色ないし褐色を帯びている (いわゆる谷地水) ため容易に確認することができる。しかしながら、北海道における腐植物質に関する研究報告はそう多くはない。

これらのことをふまえ、腐植物質の環境化学的な分野の研究について、自らの研究結果もふまえていくつかのテーマに分けて紹介するとともに、北海道における腐植物質研究の意義についても概説する。

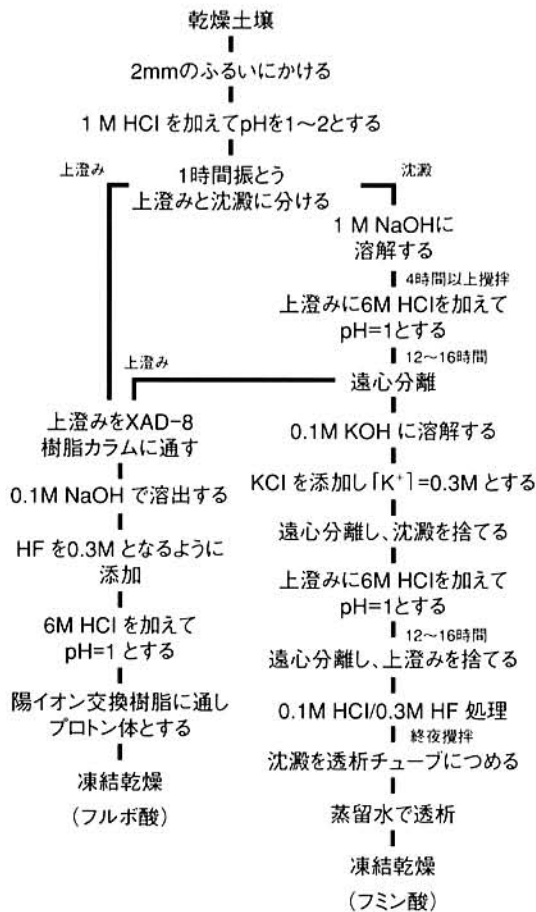
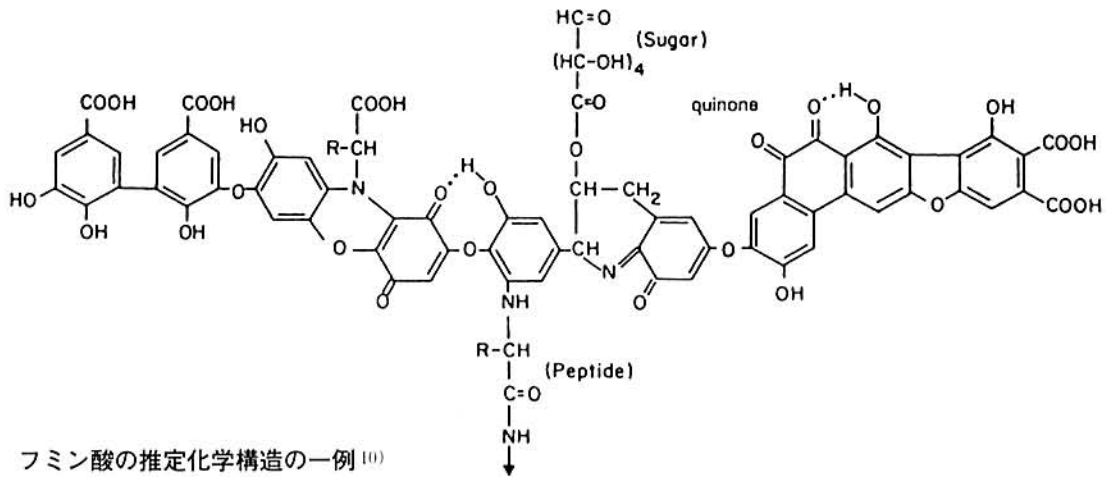


図1 土壌からのフミン酸およびフルボ酸の抽出法

図2 フミン酸の推定化学構造の一例¹⁰⁾

2 腐植物質の構造の解明

腐植物質の構造に関する研究は歴史が長く、古くは1930年の貴志（当時満州鉄道中央試験所撫順炭鋳研究所研究員）の報告や1931年のFuchs（当時カイザーウィルヘルム石炭研究所研究員）の報告にまで遡るとされている³⁾。現在の構造解析において基本となるのは元素分析や滴定による官能基含量^{1), 5)}、赤外線分光法による化学構造解析⁶⁾、ゲル浸透クロマトグラフィーや限外ろ過法による分子量の推定⁷⁾、¹Hや¹³Cの核磁気共鳴分析(NMR)^{8), 9)}であり、これらの分析結果について多くの研究が報告され、これらの結果からフミン酸およびフルボ酸の化学構造が推定され、いくつものモデルが提唱されている（図2および図3）。北海道においても泥炭地の腐植物質に関する研究が帯広畜産大の筒木らによって発表されているが¹²⁾、筆者も風蓮川流域および風蓮湖の土壌や底質、表層水からフミン酸とフルボ酸をIHSSの方法に準じて抽出し、元素組成や官能基含量について分析してみたところ、過去の文献¹⁰⁾に照らしておよそ妥当な結果を得た（表1）。

3 腐植物質の由来

腐植物質は決まった化学構造を持たず、その由来物質も多様であると考えられているが、基本的には植物の基本骨格であるリグニン由来と考えられている。そして、腐植物質の特徴である暗色は、複雑な化学反応の結果と思われるが、たんばく質の構成要素であるアミノ酸とリグニンやセルロースの構成要素である炭水化物の縮合反応であるMaillard反応（メラノイジン反応とも呼ばれるが、食品の分野では褐変反応あるいはアミノカルボニル反応とも呼ばれる）が関与していると考えられている¹⁾。現実的には、腐植物質を分解し、それによって生成した分解産物（腐植物質の構成要素）の分析によって、腐植物質の起源を推察する研究が報告されている。分解法としては、熱分解法（パイロリシス）^{13), 14)}や酸化分解法^{15), 16)}が多く採用されており、こういった分析により、腐植物質には芳香環に水酸基やカルボキシル基が結合したものが多く含まれるという結果が得られている。そしてこの手法により、腐植物質の主な起源となる植物が被子植物か裸子植物か、草本であるか木本である

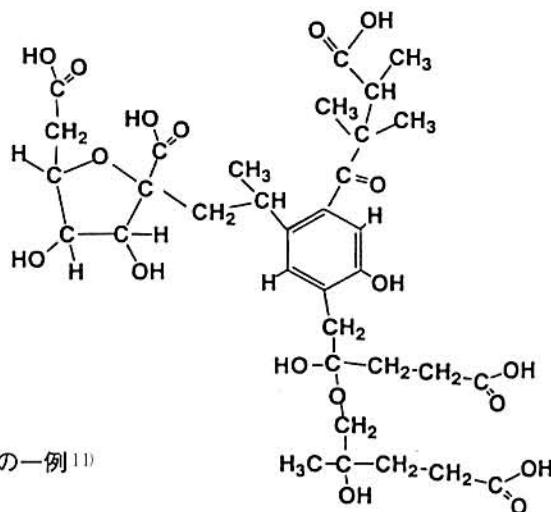
図3 フルボ酸の推定化学構造の一例¹¹⁾

表1 風蓮湖および風蓮川流域から採取した土壌、底質、表層水から抽出したフミン酸、フルボ酸の定性結果

	風蓮川上流 土壌HA	風蓮川下流 泥炭HA	風蓮湖 底質HA	風蓮川上流 土壌FA	風蓮川下流 泥炭FA	風蓮湖 表層水FA	Humic Acids 文献値	Fulvic Acids 文献値
%C	51.70	53.80	49.35	47.65	41.36	47.37	53.8~58.7	40.7~50.6
%H	3.69	5.76	5.63	3.81	3.87	4.63	3.2~6.2	3.8~7.0
%N	3.63	4.40	4.89	1.35	1.75	1.49	0.8~4.3	0.9~3.3
%S	0.42	2.15	1.86	0.49	6.56	2.61	0.1~1.5	0.1~3.6
%O	10.56	33.89	38.27	46.70	46.46	43.90	32.8~38.3	39.7~49.8
不飽和度 (%)	83.40	61.58	60.11	78.42	74.69	68.04		
[C] / [H] (%)	117.93	78.61	73.79	105.28	89.95	86.13		
[O] / [C] (%)	58.84	47.25	58.16	73.51	84.25	69.50		
[N] / [C] (%)	6.01	7.00	8.49	2.42	3.63	2.68		
[S] / [C] (%)	0.30	1.49	1.41	0.38	5.95	2.05		
[O+S+N] / [C] (%)	65.16	55.74	68.05	76.30	93.82	74.24		
Δlog K	0.544	0.856	0.781	0.573	0.520	0.586		
RF	147.3	23.9	38.7	-----	-----	-----		
全酸度	5.90m eq/g	4.29m eq/g	4.20m eq/g	-----	-----	-----		
カルボキシル基含量	3.23m eq/g	2.11m eq/g	1.93m eq/g	-----	-----	-----		
フェノール性水酸基含量	2.67m eq/g	2.18m eq/g	2.27m eq/g	-----	-----	-----		

$$\Delta \log K = \log K_{400} - \log K_{600}$$

$$RF = K_{600} \times 1000 / (\text{腐植酸溶液}30\text{mlあたりの}0.1\text{M KMnO}_4\text{消費量ml})$$

$$\text{不飽和度} = | (C\%) - 6 (H\%) + 0.429 (N\%) + 12 | \times 100 / (C\%)$$

かといった事が推察できる¹⁷⁾。また、炭素の安定同位体である¹³Cの存在比をGC/IRMS法によって測定した結果からも起源となる植物の種類を推定できる¹⁸⁾。こういった手法によって、湾などの底質が河川を通じてどの地域からの有機物であるか特定できる¹⁹⁾、炭素の放射性同位体である¹⁴Cの残存量から年代を推定することによって過去の植物環境をも推定できる⁸⁾。

4 有害化学物質との相互作用

腐植物質はいろいろな化学物質と吸着や結合などの相互作用を起こす事が知られている。特に土壌中や地下水において、化学物質の移動や分解に大きな影響を及ぼしていると考えられている。例えば、地表あるいは地下に廃棄された有害化学物質が、予想よりも速い速度で広範囲に移動拡散するという現象が報告されており²⁰⁾、地下に浸透し移動する水中に存在する溶存有機物質あるいはコロイド状物質のはたらきが注目されている。フミン酸やフルボ酸は基本的に酸性物質であり、カルボキシル基やフェノール性水酸基を多く有している^{4), 5)}。そのため金属カチオンに対して錯形成能を有しており²¹⁾、土壌中において地中に埋没された放射性核種の拡散を助長する可能性が示唆されている²²⁾。

一方、六価クロムのような毒性の強い金属カチオンを毒性の弱い三価のカチオンに還元し毒性を減ずるといった報告もなされている²³⁾。腐植物質によってはその構造中

に硫黄原子を多く含むものがあり、そういった腐植物質は水銀のような硫黄原子と強い親和性をもつ有害化学種と強い相互作用を起こすことが予想される。実際、腐植物質による環境中の水銀の取り込みに関する報告がなされている²⁴⁾。

また、農薬や多環芳香族炭化水素のような疎水性の有害化学物質と相互作用を起こすことが知られている^{25), 26)}。化学物質の疎水性の度合いを示す尺度としてKow (オクタノール/水分配係数) が用いられているが、多くの化学物質に関してKoc (有機炭素吸着平衡定数) という概念も広く認知されており、その数値が報告されている²⁷⁾。この数値は、化学物質の環境中における移動性などを評価する際に重要な意味を持つためKowからKocを評価する試みも発表されている²⁸⁾。

水中に溶存する疎水性有害化学物質が、水中の腐植物質など有機炭素の存在によって、生物への有害性が弱められるという効果についても多くの報告がなされている^{29), 30)}。これは、有害化学物質が水中の腐植物質と相互作用を起こす事によって生物体内へのとりこみを弱めているか、有害化学物質を変性させていると考えられている。

一方、この相互作用は現在実施している環境中の農薬の分析にも影響を及ぼすことが報告されている^{31), 32)}。つまり、試料水中の腐植物質の存在により農薬の「みかけの水溶解度」が上昇し、試料水からの農薬の回収率を下げる (つまり実際の濃度より低い分析結果が出てしま

う)とされている。このことから、腐植物質を多く含む土壌からの農薬の流出を測定する場合には腐植物質の影響を考慮すべきかも知れない。

5 腐植物質に由来する化学物質の影響

腐植物質は基本的には自然環境中で安定であるが、土水における塩素処理によってトリハロメタンのみならず、強い変異原活性を持つ有機塩素化合物MX (3-クロロ4-(ジクロロメチル)5-ヒドロキシ2(5H)フランオン) (図4)

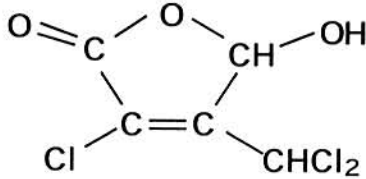


図4 MX(3-chloro 4-(dichloromethyl)5-hydroxy 2(5H) furanone)の化学構造

の生成が指摘されている^{33), 34)}。また、この塩素処理によって弱いながらもエストロゲン活性(いわゆる環境ホルモン活性)を持つ物質の生成を示唆する報告もなされている³⁵⁾。一方、腐植物質が水中に溶けている農薬の分解を促進するという研究が報告されている³⁶⁾。特に鉄イオンが共存するとき、紫外線を受けたときにヒドロキシラジカルが生成し(光Fenton反応)、このヒドロキシラジカルが環境中の有害化学物質の酸化分解を促進するという報告も発表されている³⁷⁾。筆者も殺虫剤フェンチオン(MPP)を溶解した緩衝溶液に蛍光灯の光を照射し、農薬の減少および農薬代謝物の生成を測定する実験を試みたところ、腐植物質の存在によって農薬濃度の減少および代謝物(MPPスルホキシド)の生成が促進されることを示唆する結果が得られた(図5)。

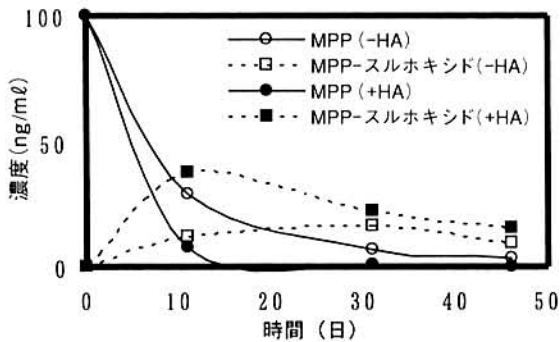


図5 腐植物質存在下における殺虫剤MPPとその代謝物MPPスルホキシドの濃度変化 (+HA: フミン酸濃度を20 $\mu\text{g}/\text{ml}$ となるように添加) (実験温度: $25 \pm 1^\circ\text{C}$)

また、前述の有害化学物質との相互作用を利用して、化学物質で汚染された地域の環境修復 (Environmental

Remediation)についても多くの研究が発表されている³⁸⁾。

6 腐植物質の環境中における役割

地球上において、腐植物質は土壌のみならず天然水中、底質中など幅広く存在しており、炭素総量としては生物体の $7 \times 10^{11}\text{t}$ をはるかに上回る $60 \times 10^{11}\text{t}$ と見積もられている¹⁰⁾。すなわち、炭素を固定化しておくカーボンプールとしての役割を果たしている。また、前述したとおり腐植物質は金属と錯体を形成する。特に鉄などの水溶性の低い金属と強力な錯体を形成し可溶化することが知られており、この腐植物質-鉄錯体がプランクトンの増殖を促進するという研究結果が報告されている^{39), 40)}。北海道大学水産学部の松永らは森林や湿原などから河川を通して腐植物質の鉄錯体が海に運ばれ、この鉄分を利用してプランクトンが増殖し、このプランクトンをエサとして魚が増殖すると指摘している⁴¹⁾。すなわち、陸上の、特に森林に由来する腐植物質が水産業の漁業資源を支えていると考えられている^{42), 43)}。実際、腐植物質が多く溶け込んでいる河川の河口域では石灰分が海底を被って海藻が全滅してしまう磯やけがおこりにくいとされている⁴²⁾。

また、環境中に腐植物質が多く存在する場合、河川や湖沼の汚染を調査する上で、CODやTOCの値のどの程度が人為的なもので、どの程度が非人為的な(つまり腐植物質などの天然に存在する有機物質)のものなのかを知る必要があるのだが、腐植物質がある決まった構造を持つ化学物質ではないために困難が伴う。これについてはいくつかのアイデアが報告されている⁴⁴⁾ものの明確な解答は得られていない。

さらに、北海道においても休廃止鉱山からの酸性廃水が問題となっているが、フルボ酸などの有機酸が鉱山廃水の酸性化を抑制するという研究報告も小樽商大の笹木によって発表されている⁴⁵⁾。

7 まとめ

腐植物質は我々人間にとって有益な化学反応にも関与するし、有害な化学反応にも関与する物質であると言える。よって、有益な化学反応をおおいに利用し、有害な化学反応はできるだけ抑えるという知恵が必要となる。このために腐植湖沼などが点在する北海道においては、腐植物質に関して、多角的な基礎的研究の推進が重要といえるだろう。

8 参考文献

- 1) 熊田 恭一(1977): 土壌有機物の化学, 学会出版センター

- 2) 北海道公害防止研究所 (1990): 北海道の湖沼
- 3) 山口 達明 (1999): 腐植酸の分子モデル提案に関する化学史的発掘～貴志二郎(1930)とW.Fuchs(1931). 第15回日本腐植物質研究会講演要旨集
- 4) K.Tsutsuki, S.Kuwatsuka(1978): Chemical Studies on Soil Humic Acids II. Composition of Oxygen-Containing Functional Groups of Humic Acids. *Soil Science and Plant Nutrition* 24 547-560
- 5) K.Yonebayashi, T.Hattori(1988): Chemical and Biological Studies on Environmental Humic Acids I. Composition of Elemental and Functional Groups of Humic Acids. *Soil Science Plant Nutrition* 34 571-584
- 6) M.Fukushima, S.Tanaka, H.Nakamura, S.Ito(1996): Acid-Base Characterization of Molecular Weight Fractionated Humic Acid. *Talanta* 43 383-390
- 7) I.V.Perminova, F.H.Frimmel, D.V.Kovalevskii, G.Abbt-Braun, A.V.Kudryavtsev, S.Hesse(1998): Development of a Predictive Model for Calculation of Molecular Weight of Humic Substances. *Water Research* 32 872-881
- 8) R.L.Malcolm(1990): The Uniqueness of Humic Substances in each of Soil, Stream and Marine Environment. *Analytica Chimica Acta* 232 19-30(1995)
- 9) J.A.Leenheer, R.L.Wershaw, M.M.Reddy (1995): Strong-Acid, Carboxyl-Group Structures in Fulvic Acid from the Suwannee River, Georgia. 1. Minor Structures. *Environmental Science and Technology* 29 393-398
- 10) F.J.Stevenson(1994): *Humus Chemistry* (2nd edition) ~Genesis, Composition, Reactions~. John Wiley & Sons, Inc
- 11) 米林 甲陽, 児玉 宏樹: 琵琶湖湖水中のフルボ酸の平均化学構造モデル. 第15回日本腐植物質研究会講演要旨集
- 12) 谷 昌幸, 近藤 鍊三, 筒木 潔(1999): 十勝太平洋沿岸泥炭地における湖沼・河川の水質特性. *水環境学会誌* 22 232-237
- 13) F.Gadel, A.Bruchet(1985): Application of Pyrolysis-Gas Chromatography-Mass Spectrometry to the Characterization of Humic Substances Resulting from Decay of Aquatic Plants in Sediments and Waters. *Water Research* 21 1195-1206
- 14) H-R.Schulten, G.Abbt-Braun, F.H.Frimmel(1987): Time-Resolved Pyrolysis Field Ionization Mass Spectrometry of Humic Material Isolated from Freshwater. *Environmental Science and Technology* 21 349-357
- 15) 松原 英隆, 中山 貞治(1990): フミン質構成因子としての芳香族ヒドロキシ化合物類および芳香族カルボン酸化合物類のメチル化方法に関する検討. *水環境学会誌* 13 827-833
- 16) 松原 英隆, 浦野 紘平(1994): フミン質を構成する芳香族成分の分析方法の検討. *水環境学会誌* 17 50-59
- 17) J.I.Hedges, D.C.Mann(1979) : The Lignin Geochemistry of Marine Sediments from the Southern Washington Coast. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43 1809-1818
- 18) 安藤 喬志, 和田 英太郎(1985): 沈黙の同位体は何を語るか. *化学* 40 633-639
- 19) M.A.Goni, K.C.Ruttenberg, T.I.Eglinton(1998): A Reassessment of the Sources and Importance of Land-Derived Organic Matter in Surface Sediments from the Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62 3055-3075
- 20) J.F.McCarthy, J.M.Zachara(1989): Subsurface Transport of Contaminants. *Environmental Science and Technology* 23 496-502
- 21) 宮島 徹, 森 めぐみ(1996): 腐植物質の溶液内錯平衡. *分析化学* 45 369-399
- 22) D.M.Nelson, W.R.Penrose, J.O.Karttunen, P.Mehlhoff (1985): Effects of Dissolved Organic Carbon on the Adsorption Properties of Plutonium in Natural Waters. *Environmental Science and Technology* 19 127-131
- 23) M.S.Elovitz, W.Fish(1995): Redox Interaction of Cr(VI) and Substituted Phenols: Products and Mechanism. *Environmental Science and Technology* 29 1933-1943
- 24) K.Xia, U.L.Skylberg, W.F.Bleam, P.R.Bloom, E.A.Nater, P.A.Helmke(1999): X-ray Absorption Spectroscopic Evidence for the Complexation of Hg(II) by Reduced Sulfur in Soil Humic Substances. *Environmental Science and Technology* 33 257-261
- 25) J-M.Bollag, C.J.Myers, R.D.Minard(1992): Biological and Chemical Interactions of Pesticides with Soil Organic Matter. *The Science of the Total Environment* 123/124 205-217
- 26) M.A.Schlautman, J.J.Morgan(1993): Effects of Aqueous Chemistry on the Binding of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Dissolved Humic Materials. *Environmental Science and Technology* 27 961-969
- 27) F.Xu, X.M.Liang, F.Su, Q.Zhang, B.C.Lin, W.Z.Wu, A.Yediler, A.Kettrup(1999): A Column Method for Determination of Soil Organic Partition Coefficients of Eight Pesticides. *Chemosphere* 39 787-794
- 28) R.Seth, D.Mackay, J.Muncke(1999): Estimating the Organic Carbon Partition Coefficient and Its Variability for Hydrophobic Chemicals. *Environmental Science and Technology* 33 2390-2394

- 29) S.K.Lee, D.Freitag, C.Steinberg, A.Kettrup, Y.H.Kim (1993): Effects of Dissolved Humic Materials on Acute Toxicity of Some Organic Chemicals to Aquatic Organisms. *Water Research* 27 199-204
- 30) M.L.Bao, S.G.Dai, F.Pantani (1997): Effect of Dissolved Humic Material on the Toxicity of Tributyltin Chloride and Triphenyltin Chloride to *Daphnia magna*. *Bulletin of the Environmental Contamination and Toxicology* 59 671-676
- 31) W.E.Johnson, N.J.Fendinger, J.R.Plimmer (1991): Solid-Phase Extraction of Pesticides from Water: Possible Interferences from Dissolved Organic Material. *Analytical Chemistry* 63 1510-1513
- 32) S.A.Senseman, T.L.Lavy, J.D.Mattice, E.E.Gbur (1995): Influence of Dissolved Humic Acid and Ca-Montmorillonite Clay on Pesticide Extraction Efficiency from Water Using Solid-Phase Extraction Disks. *Environmental Science and Technology* 29 2647-2653
- 33) V.Langvik, B.Holmbom (1994): Formation of Mutagenic Organic By-Products and AOX by Chlorination of Fractions of Humic Water. *Water Research* 28 553-557
- 34) F.Bernacchi, I.Ponzanelli, R.Barale, N.Loprieno (1996): Mutagenic Activity of Some Coal-Derived Humic Compounds Evaluated by the Ames Test. *Mutation Research* 369 107-112
- 35) 伊藤 禎彦, 植田 洋行 (1998): 水中フミン物質の女性ホルモン様作用のレポーター遺伝子試験による検出. 第1回日本内分泌攪乱化学物質学会要旨集
- 36) U.Jensen-Korte, C.Anderson, M.Spiteller (1987): Photodegradation of Pesticides in the Presence of Humic Substances. *The Science of the Total Environment* 62 335-340
- 37) P.L.Huston, J.J.Pignatello (1999): Degradation of Selected Pesticide Active Ingredients and Commercial Formulations in Water by the Photo-Assisted Fenton Reaction. *Water Research* 33 1238-1246
- 38) M.Rebhun, F.De Smedt, J.Rwetabula (1996): Dissolved Humic Substances for Remediation of Sites Contaminated by Organic Pollutants. Binding-Desorption Model Predictions. *Water Research* 30 2027-2038
- 39) M.A.Anderson, F.M.Morel (1982): The Influence of Aqueous Iron Chemistry on the Uptake of Iron by the Coastal Diatom *Thalassiosira weissflogii*. *Limnology and Oceanography* 27 789-813
- 40) 富田 重行 (1993): フミン物質と植物プランクトンの増殖(I) 瀬田川および琵琶湖南湖水中のフミン物質濃度の動態. *日本陸水学会誌* 54 97-108
- 41) K.Matsunaga, J.Nishioka, K.Kuma, K.Toya, Y.Suzuki (1998): Riverine Input of Bioavailable Iron Supporting Phytoplankton Growth in Kesenuma Bay. *Water Research* 32 3436-3442
- 42) 松永 勝彦 (1993): 森が消えれば海も死ぬ. 講談社ブルーバックス
- 43) 柳沼 武彦 (1999): 森はすべて魚つき林. 北斗出版
- 44) M.Susic, K.G.Boto, (1989): High-Performance Liquid Chromatographic Determination of Humic Acid in Environmental Samples at the Nanogram Level Using Fluorescence Detection. *Journal of Chromatography* 482 175-187
- 45) 笹木 圭子 (1998): 黄鉄鉱の常温酸化溶解に関する実験地球化学的研究. *鉱物学雑誌* 27 93-103

The significance of comprehensive study on humic substances in Hokkaido

Shinichiro NAGAHORA

Abstract

Humic substances play important roles in the environment, but its generation, chemical structure and reaction still have not been elucidated. Recently, many researchers suggested that humic acid and fulvic acid is involved in various reactions in the environment. In Hokkaido, it is important to study the humic chemistry since there are some peat bog and humic lakes around us. Therefore the author introduces some investigations about humic substances in diverse fields and points out the significance of comprehensive research on humus.