

北海道内底質から検出された多環芳香族炭化水素についての考察

田原るり子 尾原 裕昌 棗 庄輔 中嶋 敏秋

要 約

多環芳香族炭化水素（PAHs）は、変異原性や発ガン性が指摘されている物質でベンゼン環が2つ以上縮合した物質とその類縁物質の総称である。多環芳香族炭化水素は環境中に広く存在し、発生原因によって組成が異なることが知られている。ここでは、北海道内の底質試料中から検出された多環芳香族炭化水素の組成を比較・検討した結果、多くの地点で植物色素のバイオマーカーとして用いられることもあるペリレンが検出された。また、工業活動が盛んな地点において多くの種類のPAHsが検出され、また、検出濃度が高かった。また、これらのPAHsが化石燃料の不完全燃焼あるいは原油関連製品の流出に由来しているのか、おおよその推定を行うことができた。

Key Words: 多環芳香族炭化水素、高圧流体抽出法、GC/MS法、主成分分析

1 はじめに

発ガン性などが指摘されている多環芳香族炭化水素（以下「PAHs」と略す。）は環境中に広く存在している物質で、主に自動車、工場あるいは家庭等における化石燃料の不完全燃焼やオイル漏れ等の日常的な人為活動のほか、森林火災や火山活動などの自然災害からも環境中に放出されている¹⁾。また、底質は環境中に放出された、水への溶解度が低く粒子に吸着しやすい有機化合物が最終的にたどり着く媒体で²⁾、底質試料から人為活動が及ぼす水環境への影響についての情報を引き出すことができる。

PAHsはベンゼン環が2つ以上縮合した物質とその類縁物質から成っており、発生要因により各物質の組成比が異なることが知られている^{1), 2), 3)}。発生要因とPAHsの組成についての知見を元に、底質中のPAHsの組成からその地点におけるPAHsの発生要因を推定した例が報告されている^{2), 3)}。ここでは、北海道内の底質試料から検出されたPAHsについて調査を行い、得られた知見について報告する。

2 調査内容

2.1 調査地点及び対象物質

調査は平成15年度北海道環境ホルモン調査の調査対象地点を中心とした河川、港内及び湖沼の表層の底質を採取した。調査地点を図1に示す10地点で、対象物質は表1に示す38種のPAHsとした。

2.2 分析方法

底質試料は風乾・粉碎した後、高圧流体抽出装置(Dionex ASE300)を用いトルエンを抽出溶媒として対象物質の抽出を行った。

抽出条件は、圧力1500psi、温度150℃、静置時間15分、フラッシュ150%とした⁴⁾。

抽出後の試料はシリカゲルカラムでクリーンアップを行い⁵⁾、内標準物質(ナフタレン-d₈, アセナフテン-d₁₀, フェナンスレン-d₁₀, クリセン-d₁₂, ペリレン-d₁₂)を添加後、GC/MS(Varian GC/MS Saturn 2000)を用いて定量を行った。

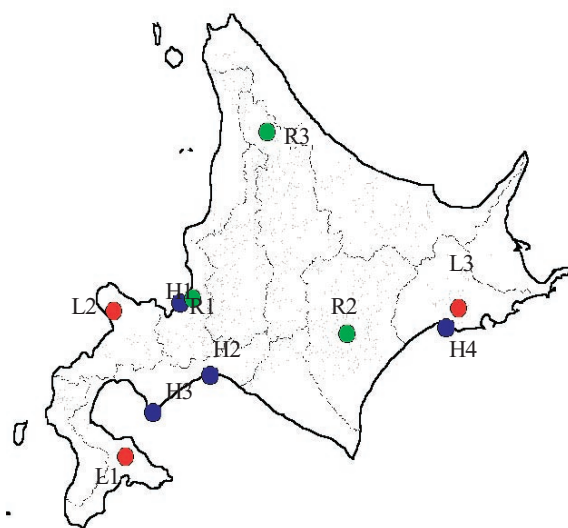


図1 調査地点

R1:石狩川河口橋、R2:十勝川すずらん大橋、R3:天塩川恩根内大橋、H1:石狩港内、H2:苫小牧港内、H3:室蘭港内、H4:釧路港内、L1:大沼、L2:当丸沼、L3:達古武沼

表 1 対象物質

2、3員環	Naphthalene (Na), Acenaphthylene (Acl), Acenaphthene (Act), Biphenyl (BiP), Fluorene (Fl), Phenanthrene (Ph), Anthracene (An)
4員環	Fluoranthene (Flt), Pyrene (Py), 11-Benzo(b)fluorene (11B(b)F), Benzo(c)phenanthrene (B(c)P), Benz(a)anthracene (B(a)A), Chrysene (Ch)
5員環	Benzo(b)fluoranthene + Benzo(j)fluoranthene + Benzo(k)fluoranthene (BF), Benzo(a)pyrene (B(a)P), Benzo(e)pyrene (B(e)P), Perylene (Per)
6員環	Indeno(1,2,3-cd)pyrene (InP), Benzo(ghi)perylene (BPer), Dibenzo(a,h)anthracene (DBA)
アルキル置換体	1-Methylnaphthalene (1MNa), 2-Methylnaphthalene (2MNa), 2,3-Dimethylnaphthalene (2,3DMNa), 2,6-Dimethylnaphthalene (2,6DMNa), 2-Ethylnaphthalene (2ENa), 1-Methylphenanthrene (1MPh), 3,6-Dimethylphenanthrene (3,6DMPh), 1-Methylanthracene (1MAn), 2,3-Dimethylanthracene (2,3DMAn), Retene (Ret), 1-Methylpyrene (1MPy), 7,12-Dimethylbenz(a)anthracene (7,12DMB(a)A), 3-Methylcholanthrene (3MCho)

() 内は略称

3 結果と考察

表 2 に各地点におけるPAHs濃度及び総PAHs濃度の結果を示す。近傍に焼結炉等の大規模工場が存在する室蘭港(H3)では、他の地点と比べてほとんどのPAHs濃度が高く検出された。また、総PAHs濃度でみると室蘭港(H3)では10 μ g/g-dry、その他の地点では0.074 μ g/g-dry～1.8 μ g/g-dryの範囲でPAHsが検出され、人為活動の活発な都市部や工業地域で高い濃度を示した。対象物質の中では、Phe、Flt及びPyが多く、かつ高い組成比を示し、都市部や工業地域でより高い濃度を示す傾向が見られた。また、RetやPerは人為活動の多少に関わらず、多くの地点で検出された。

3.1 他都府県との比較

B(a)Pについては、環境省による平成14年度化学物質環境汚染実態調査において全国調査が行われた⁶⁾。環境省及び本調査結果のB(a)P濃度の比較を図2に示す。

河川底質については、図2.1より、石狩川河口橋(R1)では首都圏を流れる荒川及び多摩川の河口底質と同程度の濃度を示し、十勝川すずらん大橋(R2)及び天塩川恩根内大橋(R3)では他県の広瀬川(仙台市内)及び荒川(甲府市内)で採取された底質試料と同程度のB(a)P濃度を示した。

港内底質については、図2.2より、室蘭港(H3)でいずれの港内底質と比べて高いB(a)P濃度を示し、全国的にみても室蘭港(H3)におけるB(a)Pが高濃度であった。また、石狩港(H1)、苫小牧港(H2)及び釧路港(H4)については那覇港を除いた他の港内底質と比べ高濃度のB(a)Pは示さなかった。

湖沼底質についても、図2.3に示すとおり、大沼(L1)で琵琶湖と同程度のB(a)P濃度を示した。一方、当丸沼(L2)及び達古武沼(L3)においてはB(a)Pは検出されなかった。

3.2 PAHsの由来推定

環境試料から検出されるPAHsの組成比を用いて、その周辺がどのような活動の影響を受けているか推定する報告がある。大気中のPAHsについては、いくつかの物質の濃度比(Isomer ratio)からその地点に影響を及ぼしている要因を推察する方法が広く利用されている⁷⁾。しかしながら、底質中のPAHsについては、大気中とはPAHsの存在形態が必ずしも同じではないことや、Isomer ratioでは考慮されない物質からも知見を得られる可能性があること、底質試料中のPAHsについて主成分分析を用いてその発生源を推定した報告があることから⁸⁾、ここでは、各地点から検出されたPAHsについて、その組成比を主成分分析により解析し、PAHsの分布傾向について検討を行い、PAHsの由来の推定を行った。主成分分析に用いた変数は、各地点から検出されたPAHsのうち、いずれかの地点で3%以上の組成比を示した物質を選択し、各地点における組成比を変数として用いた。各物質の寄与率を表3に各地点の主成分スコアを表4に示す。PC1についてはPerが大きな負の値をとり、その他の物質はゼロに近い値或いは正の値をとった。PC2についてはアルキル置換体及びNaが負の値をとり、アルキル基を持っていないParent PAHs (以下「P-PAHs」と略す。)のうち3員環及び4員環の物質が正の値をとる傾向がみられた。これらの結果から推定されるPAHsの由来について、次項以降で詳しく考察する。

3.2.1 人為的活動由来か自然由来か

前述のとおりPC1は、Perのみが大きな負の値をとり、その他の物質はゼロに近い或いは正の値をとった。Perは他のPAHs同様に、不完全燃焼などの人為活動により生成するほか、植物色素が常温付近で溶解・沈殿等によって構造が変化していく過程の初期段階で生じることもあり、しばしばクロロフィルaのような植物色素の地球化学的なバイオマーカーとなっている⁹⁾。また、人為的活動によっ

表2 各地点におけるPAHs濃度

Compound	単位: $\mu\text{g/g-dry}$												
	R1	R2	R3	H1	H2	H3	H4	L1	L2	L3			
Na	0.14	0	0.00025	0.098	0.0079	0.34	0	0	0	0			
AcI	0.02	0	0	0.013	0	0.11	0	0	0	0			
Act	0.007	0	0	0	0	0.096	0	0	0	0			
BiP	0.012	0.00027	0.0022	0.0071	0.006	0.098	0.00051	0	0	0.0047			
Fl	0.02	0	0	0.017	0.0091	0.14	0	0	0.0074	0.026			
Ph	0.13	0.0024	0.0032	0.076	0.044	0.65	0.0018	0.0027	0.28	0.015			
An	0.019	0	0	0.011	0.011	0.28	0	0	0	0			
Flt	0.11	0	0.0066	0.1	0.079	1.1	0.032	0	0.054	0.024			
Py	0.12	0	0.00025	0.12	0.055	1.1	0.0025	0.0015	0.016	0.012			
11B(b)F	0.0023	0	0	0.0011	0.0058	0.11	0	0	0	0			
B(c)P	0	0	0	0.0011	0.0026	0.055	0	0	0.0048	0			
B(a)A	0.021	0	0	0.017	0.03	0.63	0.0036	0	0.01	0.0035			
Ch	0.05	0	0.0054	0.027	0.046	0.91	0.0061	0	0.072	0.015			
BF	0.029	0	0	0.039	0.063	1.5	0	0.0072	0.025	0.057			
B(a)P	0.06	0	0.0022	0.029	0.041	0.62	0	0.017	0	0			
B(e)P	0.008	0	0	0.015	0.012	0.47	0	0	0	0			
Per	0.27	0.07	0.1	0.094	0.053	0.17	0.037	0.39	0	0.42			
InP	0	0	0	0.012	0.023	0.5	0	0	0	0			
BPer	0.034	0	0	0.041	0.014	0.51	0	0	0	0			
DBA	0	0	0	0	0	0.086	0	0	0	0			
1MNa	0.073	0	0	0.036	0.0086	0.084	0	0	0	0			
2MNa	0.068	0	0	0.043	0.015	0.17	0	0	0	0			
2,3DMNa	0.04	0	0	0.023	0.0091	0.031	0	0	0	0			
2,6DMNa	0.064	0	0.0042	0.042	0.03	0.11	0.0099	0.0027	0.046	0.031			
2ENa	0.018	0	0	0.011	0.0037	0.03	0	0	0	0.18			
1MPH	0.11	0	0	0.063	0.03	0.13	0	0	0	0			
3,6DMPh	0	0	0	0.0037	0.0033	0.0091	0	0	0	0			
1MAAn	0.031	0	0	0.016	0.0091	0.049	0	0	0	0			
2,3DMAAn	0.015	0	0	0	0	0.066	0	0	0	0			
Ret	0.35	0.0016	0.072	0.23	0.086	0.08	0.027	0	0.00037	0.0012			
1MPy	0.009	0	0.0029	0.0058	0.0058	0.025	0	0	0.0048	0			
7,12DMB(a)A	0.0083	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
3MCho	0	0	0	0	0	0.023	0	0	0	0			
total PAHs	1.8	0.074	0.20	1.2	0.70	10	0.12	0.42	0.52	0.79			
Water content(%)	51.3	41.1	41.7	46.6	35.7	35.3	48.1	82.6	82.7	76.5			
Ignition loss (%)	8.9	5.3	6.7	7.8	6.6	11.1	8.5	8.5	23.8	21.2			

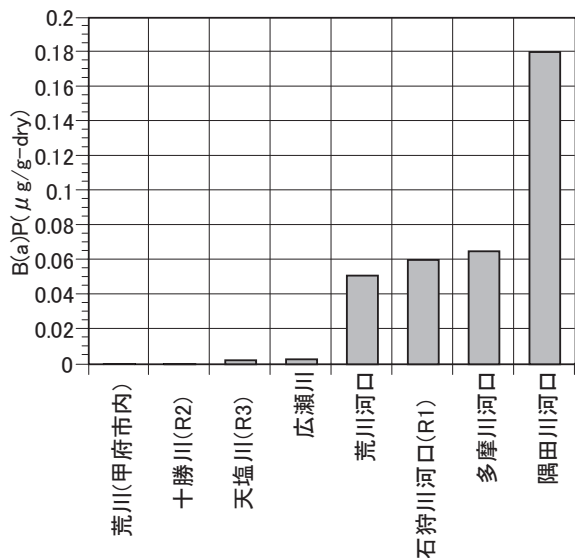


図2.1 B(a)P濃度

他地点との比較 (河川底質)
参考文献6より作成

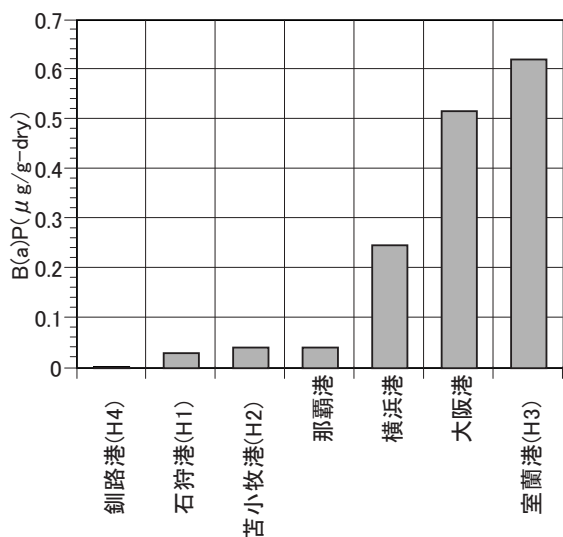


図2.2 B(a)P濃度

他地点との比較 (港内底質)
参考文献6より作成

てPerのみが生成することは考えにくいことから、PC1は植物色素由来の、すなわち自然由来のPAHsとそれ以外のPAHsを区別する成分と考えられる。このため表4中、PC1の値が負の値をとっている十勝川すずらん大橋 (R2)、天塩川恩根内大橋(R3)、釧路港 (H4)、大沼 (L1)、当丸沼 (L2) 及び達古武沼 (L3) は、植物の影響を大きく受けている地点、それ以外は人為的活動により生成したPAHsの影響を受けている地点と考えられる。

3.2.2 不完全燃焼か石油関連製品由来か

PAHsの環境への人為的放出要因は主に不完全燃焼と原

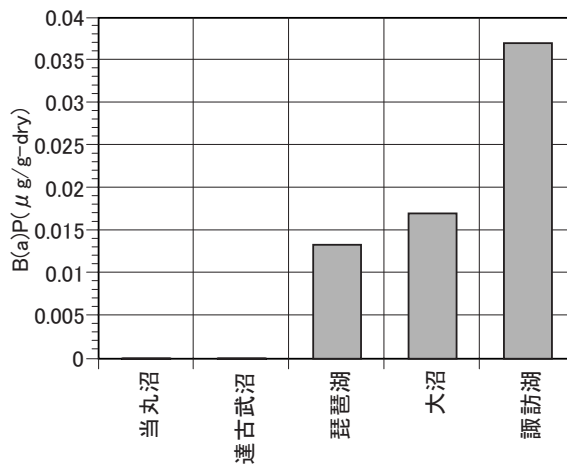


図2.3 B(a)P濃度

他地点との比較 (湖沼底質)
参考文献6より作成

油をはじめとする石油関連製品の流出が挙げられる。一般的に不完全燃焼からは分子量の大きいP-PAHsが発生し、石油関連製品はNaなどの低分子量のPAHsが多く、更に、P-PAHsに比べ多くのアルキル置換体を含むといわれている¹⁾。

表3より、これらのアルキル置換体は負のPC2の値をとる傾向がみられ、一方で、不完全燃焼によって発生するといわれている高分子量のP-PAHsは正のPC2の値をとる傾向がみられた。

このことから、表4において正のPC2の値を持つ地点は不完全燃焼由来のPAHs、負のPC2の値を持つ地点は石油関連製品由来のPAHsの影響を受けていると考えられる。

つまり、苫小牧港 (H2)、室蘭港 (H3)、釧路港 (H4)、当丸沼 (L2) 及び達古武沼 (L3) では不完全燃焼由来の、石狩川河口橋 (R1)、十勝川すずらん大橋 (R2)、天塩川恩根内大橋 (R3)、石狩港 (H1) 及び大沼 (L1) では石油関連製品由来のPAHsの影響を受けていると考えられる。

一方、不完全燃焼由来といわれている5員環及び6員環のPAHsのうちPerを除いた物質は表4において示したPC1からPC4全てにおいてほぼ同じような主成分スコアを示した。PC3及びPC4がどのような事柄を示しているのか、一般的な知見から推察することは困難ではあるものの、今回検討した範囲では、Perを除いた5員環及び6員環の分子量の大きい物質は、発生由来及び環境中での挙動がほぼ同じであると推察できる。

本検討においては、不完全燃焼由来といわれているPAHsの全てが同じような主成分スコアを示したわけではなかった。このことは、各物質の発生条件の違い⁹⁾や環境中での挙動の違い^{1),2)}が、主成分分析の結果に反映していると考えられる。

3.2.3 その他の指標物質

主成分分析の結果からは各地点がどのような由来のPAHsの影響を受けているかを推察することができ、植物色素の指標物質であるPerの影響が主成分分析の結果に反映された。その一方で、Retは主成分分析の結果には反映されなかったが、製紙工場の指標物質として利用されることがある⁸⁾。石狩川河口橋(R1)及び天塩川恩根内大橋(R3)の上流には製紙工場が存在し、この両地点では他の地点と比べRetの存在比が高かった。Retは製紙工場からの排水などに含まれる木材関連の物質が変換して生成する物質であることから、個々の製紙工場排水の河川への影響範囲や木材関連物質のRetへの変換条件など様々な因子が影響し、その結果、ここではRetの組成比が主成分分析の結果に反映されなかったと考えられる。

3.2.4 各地点におけるPAHsの由来推定のまとめ

主成分分析の結果から、各地点におけるPAHsの由来について、次のとおりまとめることができる。

石狩川河口橋(R1)及び石狩港(H1)では、PC2の絶対値が大きく、かつ負の値をとっていることから、石油関連製品の流出によるPAHsの影響を受けていると考えられた。両地点の周辺には石油精製所などの石油製品関連施設は存在しない一方で、家庭用などの小規模の暖房からはこれらの分子量の小さいPAHsが多く発生するという報告もあり¹⁾、PAHsの発生源について更なる知見を必要とする。

苫小牧港(H2)及び室蘭港(H3)では、PC1及びPC2が正の値をとっていることから、これらの地域では、主に自動車や工業施設などによる不完全燃焼の影響を受けていると推察できた。

十勝川すずらん大橋(R2)、天塩川恩根内大橋(R3)、大沼(L1)、及び達古武沼(L3)の郊外地域では、PC1の値が大きな負の値をとっていることから、植物由来のPerの影響を大きく受けていることがわかった。

釧路港(H4)ではPC1とPC2の絶対値がほぼ同じで、PC1が負、PC2が正の値をとっていることから、Perの影響とほぼ同程度の不完全燃焼由来のPAHsの影響を受けていると考えられた。

一方、当丸沼(L2)でも同様にPerの影響を受けているものの、PC2の絶対値がPC1のものよりも大きく、かつ正の値をとっていることから、不完全燃焼由来のPAHsの影響をより強く受けていると示唆された。当丸沼の周辺は人為的活動が活発要因が特に存在しないことから、周辺地域以外の人為的活動の影響を受けている可能性が考えられる。

以上、主成分分析を用いたPAHsの由来の推定については、付近の状況からも推定が可能ではあるが、このような統計的な方法を用いることで、より客観的な推定を行うことができる。

表3 各物質の寄与率

主成分 寄与率	PC1	PC2	PC3	PC4
Na	45.0	-36.8	7.3	4.0
Fl	10.4	6.9	1.0	78.0
Ph	0.1	33.9	23.5	3.9
Flt	7.8	18.0	29.6	-11.1
Py	96.8	-0.3	0.2	0.3
B(a)A	61.6	24.4	-0.6	-7.7
Ch	15.7	62.2	13.1	-0.1
BF	50.5	24.1	-20.3	4.1
B(a)P	55.6	1.6	-16.6	-6.6
B(e)P	71.6	4.1	-16.7	-3.5
Per	-62.4	-8.5	-24.8	-1.1
InP	66.3	7.8	-17.9	-5.1
BPer	89.0	-1.0	-3.8	-0.3
1MNa	39.3	-41.6	11.5	4.7
2MNa	60.4	-30.3	5.6	2.4
2,6DMNa	0.0	27.8	64.3	1.7
2ENa	-4.3	1.7	-7.5	68.0
1MPh	47.5	-33.3	9.2	3.0
Ret	0.0	-20.2	25.0	-13.2

単位；%

表4 各地点の主成分スコア

地点	PC1	PC2	PC3	PC4
R1	1.846	-2.938	1.607	0.817
R2	-3.066	-0.938	-1.393	-0.583
R3	-2.464	-0.919	0.187	-1.291
H1	2.726	-2.336	1.179	0.742
H2	2.794	0.612	-0.319	-0.485
H3	4.863	1.837	-2.384	-0.901
H4	-1.489	1.228	2.093	-1.664
L1	-2.493	-0.907	-1.863	-0.779
L2	-0.769	3.450	2.300	0.755
L3	-1.948	0.911	-1.407	3.388

4 結 言

北海道内で採取された底質試料から検出されたPAHsの組成について、主成分分析を用いて解析を行った。その結果、分子量の小さいP-PAHsとそのアルキル置換体が同様の挙動を示し、分子量の大きいP-PAHsがそれぞれ同様の挙動を示すという、他の報告例^{2), 3)}で見られる傾向がここでも示された。また、Perは他のPAHsとは異なる主成分スコアを示したことから、今回調査対象とした地点の多くでPerは植物色素由来と推察できた。製紙工場の指標物質といわれているRetについては、主成分分析の結果には反映されなかったものの、指標物質と統計的手法を用いて環境中のPAHsの由来についてより正確に推定できると思われる。そのためには、今後も更に多くの環境試料と発生源試料について検討を行う必要がある。

5 参考文献

- 1) Irwin R. J. and National Park Service; ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS ENCYCLOPEDIA PAHS ENTRY, National Park Service, Colorado, 1997
<http://www.nature.nps.gov/hazardssafety/toxic/pahs.pdf>
- 2) Mai B. X., Fu J. M., Sheng G. Y., Kang Y. H. Lin Z., Zhang G., Min Y. S. and Zeng E. Y.; Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China, Environ. Pollut., 117, pp 457-474, 2002, Mai B., Qi S., Zeng E. Y., Yang Q., Zhang G., Peng P. and Wang Z.; Environ. Sci. Technol., 37, pp 4855 - 4863, 2003
- 3) Li A. Jang J. K. and Scheff P. A.; Application of EPA CMB8.2 Model for Source Apportionment of Sediment PAHs in Lake Calumet, Chicago, Environ. Sci. Technol., 37, pp 2958-2965, 2003, Bzdusek P. A., Christensen E. R., Li A. and Zou Q.; Source Apportionment of Sediment PAHs in Lake Calumet, Chicago: Application of Factor Analysis with Nonnegative Constraints, Environ. Sci. Technol, 38, pp 97-103, 2004
- 4) Dionex Corporation; Dionex Application Note 323, "Extraction of polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans from Environmental Samples Using Accelerated Solvent Extraction (ASE[®])"
- 5) 環境庁環境保健部環境安全課, 「平成10年度化学物質分析法開発調査 (その2)」 pp 1, 平成12年1月
- 6) 環境省総合環境政策局環境保健部環境安全課, 「平成15年度(2003年度)版 化学物質と環境」, 平成16年3月
- 7) 小田淳子, 西川雅高, 黄業茹, 全浩; 中国3都市における大気中の多環芳香族炭化水素類の汚染特性, 環境化学, Vol. 13, pp 653-671, 2003
- 8) Canton L. and Grimalt J. O.; Gas chromatographic-mass spectrometric characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in polluted coastal sediments, J. Chromatogr., 607, pp 279-286, 1992
- 9) Zimmerman R., Heger H. J., Kettrup A. and Boesl U.; A Mobile Resonance-enhanced Multiphoton Ionization Time-of-flight Mass Spectrometry Device for On-line Analysis of Aromatic Pollutants in Waste Incinerator Flue Gases: First Results, Rapid Commun. Mass Spectrom., 11, pp 1095-1102, 1997, Zimmerman R., Blumenstock M., Heger H.J., Schramm K. -W. and Kettrup A.; Emission of Nonchlorinated and Chlorinated Aromatics in the Flue Gas of Incineration Plants during and after Transient Disturbances of Combustion Conditions: Delayed Emission Effects, Environ. Sci. Technol. 2001, 35, 1019-1030

Consideration on PAHs detected in sediment samples in Hokkaido.

Ruriko TAHARA, Hiroaki OHARA,
Shosuke NATSUME and Toshiaki NAKAJIMA

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment samples were determined by GC/MS. The concentrations and composition of PAHs depended on points where the sediment samples were collected. Many kinds and high-concentration PAHs were detected in sediment samples collected near industrial areas and urban areas. On the other hand, high concentration of perylene was detected in rural areas. We tried to analyze PAHs compositions of these samples by principal analysis method to obtain knowledge about all samples. As a result, the followings were clarified: (1) perylene detected in rural sediment samples would originate from plant pigment, (2) retene, which is said to be a marker of paper mills, was detected in high concentration from sediment samples collected at down stream points of a paper mill, but it did not effect on the result of principal analysis, and (3) PAHs except for perylene were divided into two groups, one consisted of high-molecular-weight PAHs and was detected at industrial areas, and the other consisted of low-molecular-weight PAHs and their alkyl homologues and was detected at urban area. This tendency agreed with those reported in many papers. Then we were able to presume roughly where PAHs originate from at individual sampling points.

気温による森林地域のNDVI推定モデルの開発

野口 泉 布和敖斯尔 高田 雅之 濱原 和広 高橋 英明 玉田 克巳

互互互互互約

衛星画像解析などで植物の状態を把握するためによく用いられる正規化植生指数（NDVI）について、森林地域を対象に気温と緯度経度などの位置情報からその値を推定するモデルを開発した。モデル作成に用いたNDVI観測値は、2003年のSPOT4/VEGETATIONによる10日間最大値データである。推定に用いた気温データは、森林地域に分類される2003年AMeDAS局173地点のデータである。モデル入力値としては、NDVI観測値に対応する10日間移動平均気温の中から、相関が高かった地点が最も多かった10日前から前日までの平均気温のデータセットを選択した。モデル作成に当たっては、雲の影響などにより、NDVIが低い値となった異常観測値を除外し、さらに植生の影響を考慮し、湿量指数による5区分で検討した。NDVI値は、夏期及び冬期に、定値を示す限界点があることから、この限界点を気温で推定し、これを超えた場合は一定温度を入力値とし、その間は最小二乗法により直線近似を行うモデルを用いた。モデルの検証の結果、NDVI推定値と観測値の相関係数は0.968、また全地点の推定値と観測値の差の平均は0.087と、高い精度の地点モデルが得られた。さらに各地点モデルを推定する地域モデルの開発を行った。推定に用いた要素は、緯度、経度、標高、平均気温及び湿量指数である。地域モデルにより得られたNDVI推定値と観測値との相関係数は0.923と高く、全地点の差の平均は0.131であり、高い精度でNDVIを推定できた。

Key Words: NDVI、森林、モデル、気温

混互購港濠行

地表面の植物、土壌、水域、岩石、雪などは太陽光に対して、それぞれの反射特性または放射特性をもっている。この地表面から反射や放射によって発せられる電磁波（可視光～マイクロ波）を、人工衛星や航空機などに搭載された光学センサーは、一定の周波数帯（チャンネル）ごとに観測している。その中で、植物の葉の中に含まれるクロロフィルは、赤色の光を吸収する一方で、近赤外領域の波長は強く反射する特性があるため、光学センサーで得られたデータのうち可視赤色（R）と近赤外（NIR）の反射強度の差や比を用いた以下の数式で、植物のバイオマスや活性度を推定することができる。この値は植生指数と呼ばれ、以下の数式で得られる正規化植生指数（以下NDVI：Normalized Difference Vegetation Index）が、地表面を覆う植物量の大小、あるいはその活性度を推定する指標として広く用いられている。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

ここで、Rは赤色（SPOT4/VEGETATIONの場合Band2:610-680nm）、NIRは近赤外（SPOT4/VEGETATIONの場合Band3:780-890nm）で得られる反射率である。なお、NDVIには単位はなく、通常-1～1までの数値で表される。

NDVIは植生状況調査、森林面積などの経年的変化、土地被覆分類、農作物の生育状況の把握などに用いられているが、近年はさらに森林の活動状況の指標としても用いられ、それに対応する二酸化炭素の吸収量評価などにも用いられている^{1~5)}。同様に、今後は植物による大気汚染物質の取り込み（大気浄化作用とも呼ばれ、大気汚染物質の沈着過程の一形態）の量に関する評価にも、その応用が期待されることである。このため、NDVIの時系列変化や空間的分布情報は極めて有用な情報となる。しかし、NDVIは衛星や航空機からの光学センサーの目によって捉えた情報を数値化したものであり、雲の存在、あるいは樹木の隙間から覗く地表面の状態（融雪や降水直後の濡れた状態）などにより、その値はしばしば大きな誤差を含むこととなる。特に観測距離の大きい衛星から得られたNDVIは解像度が低くなるため、近隣の土地利用の割合（市街地の中の緑など）にも影響を受ける。このようなことから、NDVI観測値が含む誤差を評価し、誤差が大きい場合には推定値を用いるなどの対応を迫られる場合も少なくない。

雲の影響などを補正する方法としては、最大値合成画像やBISE (Best index slope extraction) 法が用いられる^{6~7)}。しかし、これらの方法は、衛星通過時に連続して雲がある場合には期間内の十分な値が得ることができない。

また、モデルによる推定値を用いる方法としては、気象

データを用いたモデルが提唱されている。石原ら (2004) は平均気温の積算値が最もNDVIの推定に有効であることを報告し、地点ごとのモデルを作成している⁸⁾。しかし、地点ごとのモデルの場合、新たな地点のNDVIを推定するには、衛星画像情報を基に新しくモデルを作成する必要がある。

また池などを含むメッシュデータの場合や融雪時期などの毎年繰り返される現象時には森林を対象としたNDVI値に誤差が必ず含まれることとなり、この誤差が無視できない場合は地点モデルだけでは植物の状況を把握することが困難となる。

これらのことから、本研究では、森林地域のNDVIを対象に、地点情報 (緯度、経度、標高など) と気象データ (気温など) から日本全国の任意の地点、任意の日付におけるNDVIを推定するためのモデル開発を試みた。

琬互妻察座詐再宰沸砒る訝首

NDVIは気象、植生・生態系、土壌、水文などの要素と密接な関係がある。石原ら (2004) は、気象データによるNDVIの推定モデルの開発を行い、降水量、日射量などについても検討したが、降水量が比較的多く、乾季のない日本では主に平均気温が最も精度よく推定できる要素であることを報告している⁸⁾。

これらのことを踏まえ、本報ではデータセットとして以下のNDVI観測値、気温データを用いた。

(1) NDVI観測値

2003年SPOT4/VEGETATIONの10日間最大値データ (地上分解能: 約1km) を用いた。データは、各月1日、11日、21日を測定開始日とし、その後の10日間で得られた期間内の最大NDVI観測値であり、月に3個のメッシュデータが得られる。なお、データはVlaamse Instelling voor Technologisch OnderzoekのWeb上からダウンロードした⁹⁾。

(2) 気温データ

2003年度の気温データが得られるAMeDAS局 (1447地点) の内、3次メッシュ (1kmメッシュ) として森林の土地利用割合が最大の地点を抽出した¹⁰⁾。また、水面が全体の15%以上の場合にはNDVI観測値に誤差を生じる可能性が高いと考え除外した。さらに、得られた気温データに1日以上欠測がないこと、温量指数算出のための月平均気温の平年値、あるいは過去5年以上の月平均気温が得られることを条件に、173地点を抽出し、解析対象とした。解析対象地点を表1に示す。

解析に際しては、リモートセンシング専門ソフトERDAS-ImagineとGISソフトであるArc View 8.3を用い、さらに、グリッドデータ解析プログラム [雲底標高評価プ

ログラム (製作: GIS北海道株式会社)] などを用いた。

琬互る訝結詬沸砒考弭

本研究におけるNDVI推定モデルの開発は、(1) 入力する気温データの抽出、(2) 個々の地点にのみ対応する地点モデルの開発、(3) 地域内の地点モデルを位置情報 (緯度、経度、標高など) などにより推定する地域モデルの開発の手順で行った。

3.1 渡陪鳩繫妻察座

植物の活性度は、当日の気温より何日か前の気温などの影響を受けている。この時間的ずれをここではタイムラグと呼ぶこととし、入力値である気温について、NDVI値の推定に最も適したタイムラグ日数を求めた。

石原ら (2004) は次式に示すように地点ごとに平均気温の積算値を入力値としてNDVIを推定した。

$$NDVI = F(\sum Temp.) \quad (F: \text{関数、Temp.: 気温})$$

その結果、種々の土地利用の地点を対象としたときに最も相関が高かったのは、NDVI観測日の28日前からの積算気温であったことを報告している。

本報では、NDVI観測値が10日間毎であることから、気温の10日間の平均気温データグループ (10日間移動平均気温) から、適正なタイムラグ日数を求めた。雲の誤差などを含むすべてのNDVI観測値と10日間の平均気温の相関を解析した結果、図1に示すように、相関係数の平均が0.6以上のグループ (159地点) において、相関係数が最大となったタイムラグ日数が最も多かったのは10日であった。このことから、すべての地点においてタイムラグ日数10日の場合の10日間平均気温 (以下「入力気温データ」と呼ぶ) を入力値としてNDVI推定モデルを作成した。なお、このことは、SPOT/VEGETATIONによるNDVI観測値が各月1日、11日、21日区切りの期間内最大の観測値であることから、入力値として1旬前の旬ごとの気象データを近似値として用いることが可能であり、入手しやすさ、及びデータの整理においても極めて有効な結果となった。

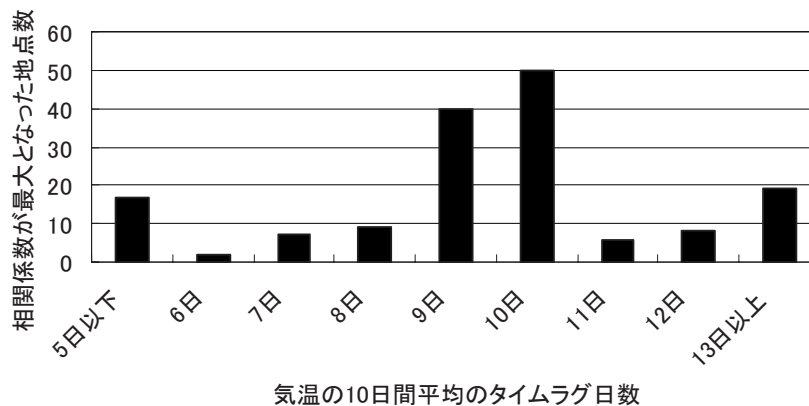
3.2 卬 阪妻作貢梅

地点モデルの開発にあたっては、植生の違いによる影響を考慮すべく、温量指数 (WI) による区分ごとに解析を行った。温量指数は2000年度の月平均気温の平年値 (平年値がない場合は、過去5年以上の月平均気温) を用いて算出している。

WIは、吉良ら (1949) が提案した指標であり、植生区分と適合することが良く知られている。WIは以下に示すように、各月の平均気温から5℃を差し引いた値 (ただし、5℃以下の場合には0とする) の年積算値である。本指標は

互換する観測 測

Prefecture	Station No.	Station Name	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Altitude (m)	Warm Index	Prefecture	Station No.	Station Name	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Altitude (m)	Warm Index
北海道	11121	沼川	45.248	141.852	31.0	48.7	愛知	51281	蒲郡	34.845	137.217	61.5	129.7
北海道	12746	占冠	42.978	142.395	338.5	51.4	愛知	52041	白河	36.305	137.100	480.4	82.9
北海道	15041	朱鞠	44.282	142.162	263.0	49.1	愛知	52081	合川	36.273	136.897	487.4	84.9
北海道	15231	空知	43.595	141.732	108.0	59.3	愛知	52111	尾	36.248	137.505	773.4	75.6
北海道	15442	野	43.038	141.957	304.5	56.4	愛知	52181	六	36.060	137.033	1023.0	59.9
北海道	16026	張	43.272	140.563	83.0	61.0	愛知	52196	宮	36.015	137.388	939.4	67.9
北海道	16286	美	42.793	140.948	272.0	54.6	愛知	52331	之	35.758	136.980	256.8	97.6
北海道	17076	喜	44.470	143.108	14.5	49.5	愛知	52346	八	35.767	137.287	429.4	93.6
北海道	18256	興	43.383	145.115	29.5	48.1	愛知	52381	宮	35.638	136.603	197.5	98.9
北海道	18311	厚	43.230	145.255	36.5	44.8	愛知	52482	樽	35.598	137.318	526.4	95.6
北海道	19076	寒	43.433	144.087	438.5	44.7	愛知	53091	黒	34.870	136.452	76.5	116.5
北海道	19451	阿	42.937	144.735	155.5	43.1	愛知	53401	熊	33.932	136.140	29.4	141.3
北海道	20186	知	43.367	143.192	546.5	44.0	愛知	55166	野	36.670	137.422	302.5	91.4
北海道	21161	糠	42.670	141.078	398.0	50.9	愛知	55206	上	36.578	137.132	97.5	104.2
北海道	21171	大	42.627	141.255	156.5	54.4	愛知	56286	八	36.362	136.613	186.5	99.2
北海道	22036	森	42.877	142.442	286.5	55.0	愛知	56301	鳥	36.225	136.358	132.5	101.7
北海道	22156	日	42.543	142.333	66.5	59.7	愛知	57001	山	36.237	136.142	89.3	107.5
北海道	22291	新	42.245	142.662	16.5	56.8	愛知	57206	三	35.767	136.200	134.5	100.8
北海道	23206	三	41.905	140.970	31.5	63.1	愛知	60102	今	35.383	136.343	153.5	103.5
北海道	23326	南	41.687	140.445	15.4	65.7	愛知	60226	山	34.913	136.080	271.5	94.0
青森	31201	蟹	41.045	140.633	12.9	71.9	愛知	61111	信	35.450	135.317	43.4	114.1
青森	31366	鯉	40.777	140.205	46.5	79.3	愛知	61206	舞	35.275	135.550	208.1	99.8
青森	31482	ケ	40.648	140.848	900.5	48.0	愛知	61326	美	34.810	135.772	56.5	117.5
青森	32206	酸	40.120	140.838	242.5	72.7	愛知	62081	京	34.675	135.677	639.0	90.6
秋田	32266	湯	40.013	140.802	584.5	58.3	愛知	63051	生	35.535	134.822	15.9	112.4
秋田	32311	八	39.992	140.405	126.5	78.0	愛知	63076	豊	35.467	134.598	226.5	97.1
秋田	32466	幡	39.603	140.557	62.5	85.0	愛知	63201	村	35.167	134.795	334.2	101.5
秋田	32496	仁	39.527	140.233	26.5	82.2	愛知	63251	生	35.098	134.583	201.5	105.5
秋田	32771	正	38.960	140.528	341.5	75.3	愛知	64206	一	34.137	136.005	340.5	100.2
山形	35116	金	38.878	140.332	176.5	78.9	愛知	65061	上	34.222	135.590	801.5	83.0
山形	35216	肘	38.607	140.163	338.5	68.7	愛知	65121	高	34.087	135.425	246.5	106.6
山形	35246	鼠	38.555	139.555	13.5	92.5	愛知	65162	清	33.945	135.557	416.5	115.1
山形	35361	ケ	38.390	139.993	448.5	67.7	愛知	65201	龍	33.893	135.217	93.4	132.5
山形	35541	井	37.998	139.957	258.5	79.0	愛知	65256	川	33.792	135.513	166.5	113.2
山形	54421	大	37.672	139.447	108.0	92.1	愛知	65276	栖	33.687	135.970	27.4	140.5
新潟	54566	津	37.357	139.072	246.7	87.8	愛知	65306	新	33.637	135.710	156.5	113.7
新潟	33006	入	40.403	141.700	76.5	70.3	愛知	65356	西	33.450	135.760	88.1	144.0
岩手	33026	軽	40.318	141.470	159.5	71.4	愛知	66091	千	35.103	133.435	531.5	82.6
岩手	33136	山	40.148	141.570	296.5	66.7	愛知	66136	古	35.118	134.327	246.5	101.7
岩手	33186	葛	40.038	141.437	396.5	69.0	愛知	66221	新	34.942	133.518	399.5	93.5
岩手	33206	普	40.003	141.883	13.5	72.1	愛知	66296	福	34.867	133.903	70.9	109.6
岩手	33326	岩	39.842	141.797	118.5	77.2	愛知	66306	和	34.815	134.183	41.5	108.6
岩手	33371	藪	39.783	141.328	686.5	53.9	愛知	67016	高	35.033	132.902	576.5	81.9
岩手	33526	川	39.598	141.682	198.5	78.8	愛知	67116	島	34.860	133.023	315.4	95.7
岩手	33616	山	39.450	141.957	30.5	76.3	愛知	67151	島	34.767	132.465	391.5	89.8
岩手	34012	駒	38.913	140.828	531.5	65.3	愛知	67191	庄	34.763	133.278	516.5	85.1
岩手	34186	ノ	38.678	141.450	44.5	82.7	愛知	67292	大	34.545	132.530	76.4	120.1
岩手	34311	志	38.303	140.635	270.5	77.2	愛知	67326	油	34.583	133.237	106.5	113.7
岩手	34331	新	38.338	141.013	111.5	86.6	愛知	67496	三	34.222	132.220	26.1	125.6
岩手	36056	塩	37.892	140.437	206.5	86.6	愛知	68091	府	35.520	133.022	11.5	112.1
福島	36196	茂	37.668	140.260	1226.5	48.5	愛知	68261	大	35.198	132.817	222.9	100.0
福島	36341	倉	37.452	139.525	330.5	82.3	愛知	68306	鹿	35.002	132.712	450.5	89.4
福島	36501	金	37.335	140.808	416.5	78.4	愛知	68351	赤	34.977	132.492	138.5	103.8
福島	36562	川	37.277	140.063	646.5	70.5	愛知	68431					



芳琨 鳩繁貢10荳侮 罰霸于单膏NDVI貢 欄

5℃以下の場合には植物がほぼ休眠状態となることを利用している。

$$WI = \sum \{ \text{Max} (\text{Temp}_{\text{月平均}} - 5, 0) \}$$

温量指数 (WI) による区分は、以下の理由により55以下、 $55 < WI \leq 70$ 、 $70 < WI \leq 85$ 、 $85 < WI \leq 100$ 、 $WI > 100$ の5区分とした。

- (1) 日本は暖かさの指数で10から230の範囲を占める¹²⁾。
- (2) WI85の区分は吉良ら(1949)により冷温帯と温暖帯に分けられる区分であり、広く用いられている¹¹⁾。
- (3) WI85及び55の区分は、環境省による生物多様性保全のための国土区分において、それぞれ常緑広葉樹と落葉広葉樹の分布を境界付ける85と北海道の亜寒帯(北方針葉樹林帯)と冷温帯(夏緑樹林帯)の区分の境となる55が用いられている¹³⁾。
- (4) WI100の区分は、ブナ林とスダジイ林がほぼ完全に分離している区分と報告されている¹²⁾。
- (5) WI70の区分はWI85及び55の中間値である。

NDVI観測値は図2に示すように雲の影響などを受け、前後の値に比べ、大きく減少する異常値がしばしば見られる。また、WIが小さい地域と他の地域の最高値の差はないが、最低値に差がみられ、WIが小さい地域は年間の変動が大きいことが分かる。このとき、WIが小さい地域などでは冬期のNDVI観測値は低く横ばいを示し、低温の場合、一定温度以下はNDVIが変動しない低温限界温度があることが分かる。また、夏期のNDVI観測値が頭打ちになる場合も多くみられ、いわゆる森林密度が高い地域で観測されるNDVI値の飽和現象がみられる。このことから、低温と共に高温の場合も限界があると考えられた。ただし、低温の場合と異なり、実際の抑制要素は日射(光合成の光飽和など)などが考えられ、高温限界は見かけ上得られる値と考えられた。

石原ら(2004)はこれらの低温及び高温限界温度にて一

定の値をとるNDVI推定モデルとして、ロジスティック回帰モデル及び二重指数回帰モデルを検討し、温度上昇による立ち上がり部分がより急激なカーブとなる二重指数回帰モデルがより適当であるとの結論を得ている。我々は、簡易なモデルとして、低温(高温)限界温度以下(以上)は入力気温データを限界温度とし、その間を直線回帰とする方法を選択した。なお、低温及び高温限界温度は、前述のWIによる区分毎に検討を行った。

低温及び高温限界温度は、WI区分ごとに入力気温データとNDVI観測値の相関を解析し、決定した。すなわち、低温の場合は、1℃刻みでその温度以下の場合はその温度が入力値となるように設定し(高温の場合はその温度以上の場合はその温度を入力値とした)、算出した相関係数が最も高くなった時の温度を限界温度とした。その結果、表2に示すようにWI区分ごとの低温及び高温限界温度が得られた。なお、解析にあたっては、低温側は入力気温データの中央値以下を用い、高温側を評価するに当たっては、入力気温データの中央値以上を用いて解析を行っている。

以下に地点モデルの式を示す。

$$\text{NDVI地点モデル値} = a \times \text{Temp}_{\text{cal}} + b$$

Temp_{cal}: 入力気温データ。ただしWI区分ごとの低温(高温)限界温度以下(以上)は限界温度を入力値とする。

ここで、a及びbは地点ごとの回帰分析で得られる係数である。

またモデル作成にあたっては、雲の影響などを受けたNDVIの異常値を除去する必要があるため、以下に示すように、段階的にモデルを補正した。なお、異常値の検定に用いた値の差0.15は、ノイズ値や雲・大気の影響によるエラー値が0.1-0.2程度であるとの既存の報告から決定した¹⁴⁻¹⁶⁾。

- (1) NDVI観測値に対し、1回目のモデル値を作成。
- (2) 1回目のモデルで判定されたNDVI異常値(観測値

が0.15以上、下回る値)の代わりに1回目のモデル値を用い、2回目のモデル値を作成。

- (3) 2回目のモデルで判定されたNDVI異常値の代わりに2回目のモデル値を用い、3回目の地点モデルを作成し、得られた要素を用いて地点モデルとした。

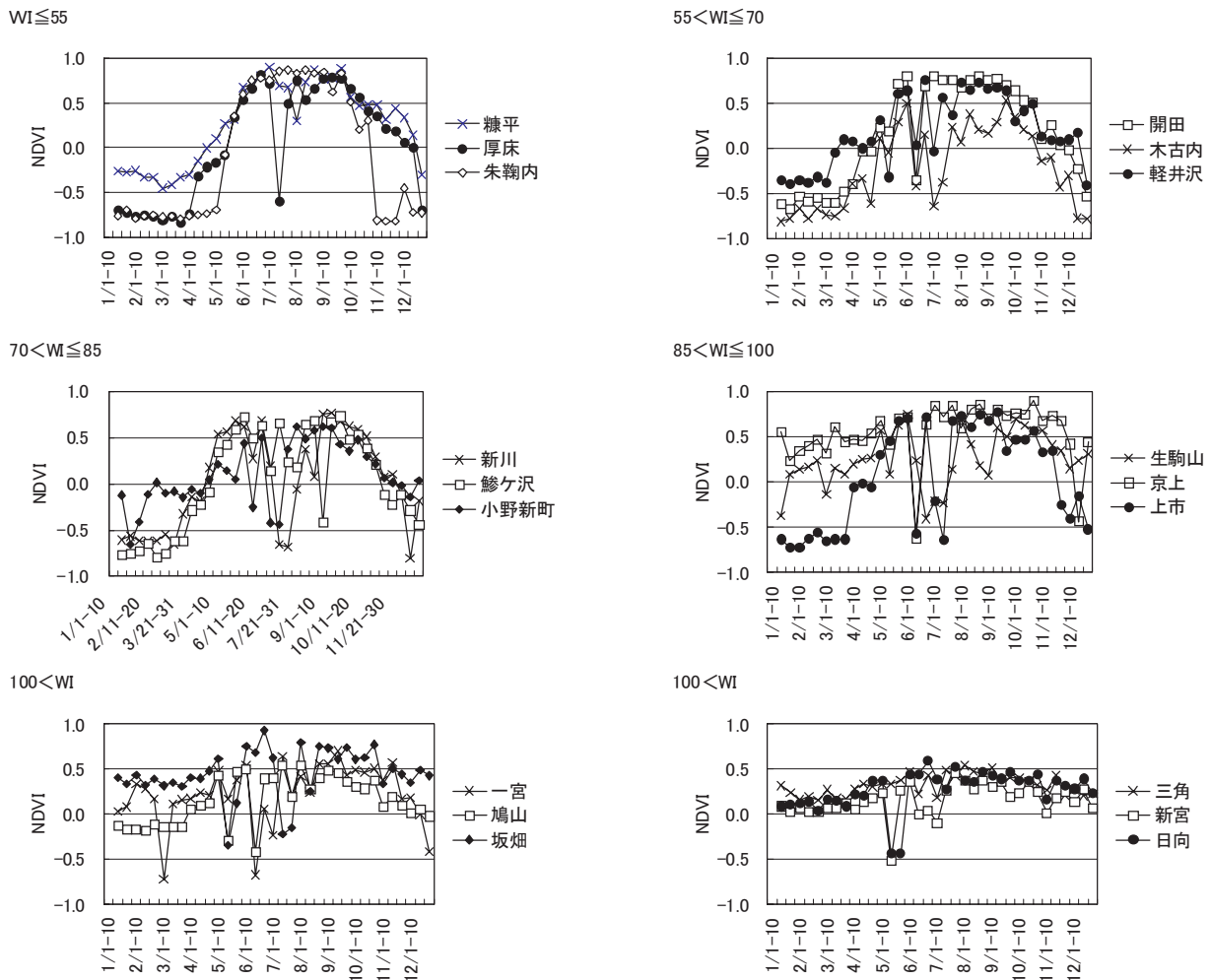
3.3 Ⅱ 阪妻作貢遅火

地点モデルの要素を表3に、またモデルで得られたNDVI値と異常値を削除したNDVI観測値の比較を図3及び4に示す。

全地点の差(絶対値)の平均は0.087と小さく、高い精度で推定されていた。また、図5に示すように両値の相関はかなり高く、相関係数は0.968を示した。なお、相関図は雲の影響などを除外するため、異常値を削除したことによ

り、予測値より大きく低い値が削除された分布となった。

ここで、雲の影響と異常値の検出結果の比較を示す。気象官署144局における2003年度の10時及び12時の雲量観測データを用い、時間の重み付けによりSPOT通過時間に近い10:30の雲量データを推定すると共に、GISソフトであるArc View 8.3により、対象期間の最小雲量による全国のコンターマップを作成した。さらに、NDVI観測値を得たAMeDAS局の173地点におけるメッシュ値(1Km×1Km)を抽出し、NDVI異常値との比較を行った。その結果、図6に示すように、5-10月の暖候期は梅雨の時期など、雲量が多い場合に異常値が出現しており、類似したパターンが得られた。しかしながら、WIの小さい地域(北あるいは高地)では、雲量が少ない場合でNDVI観測値が異常値と判断されるケースが特に融雪時期にみられ、より寒冷



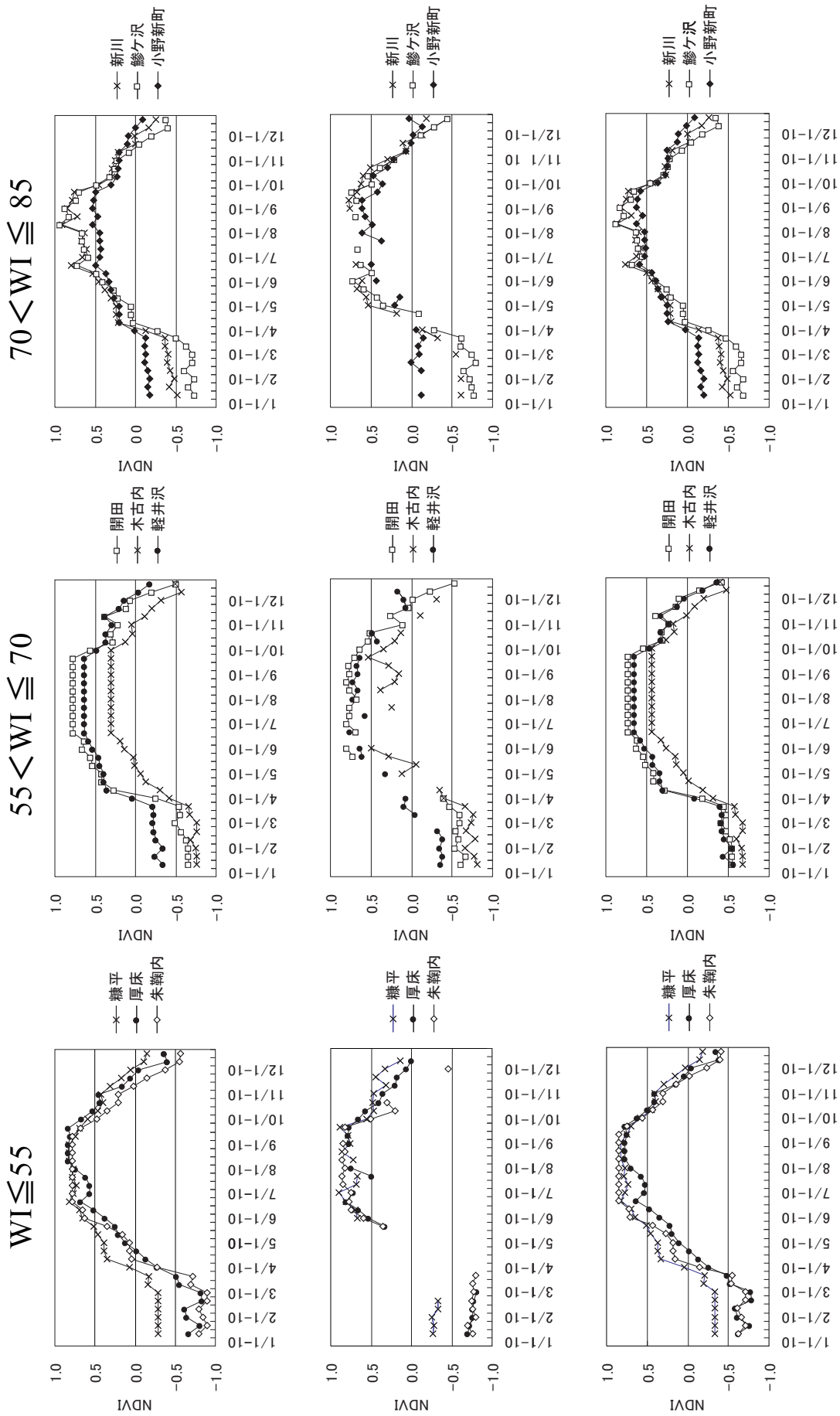
勞琬 NDVIに際単貢哇罰征憎

工琬互WI彦雜鯨行抗杭鵠僧繫沸磁已繫像鈐單

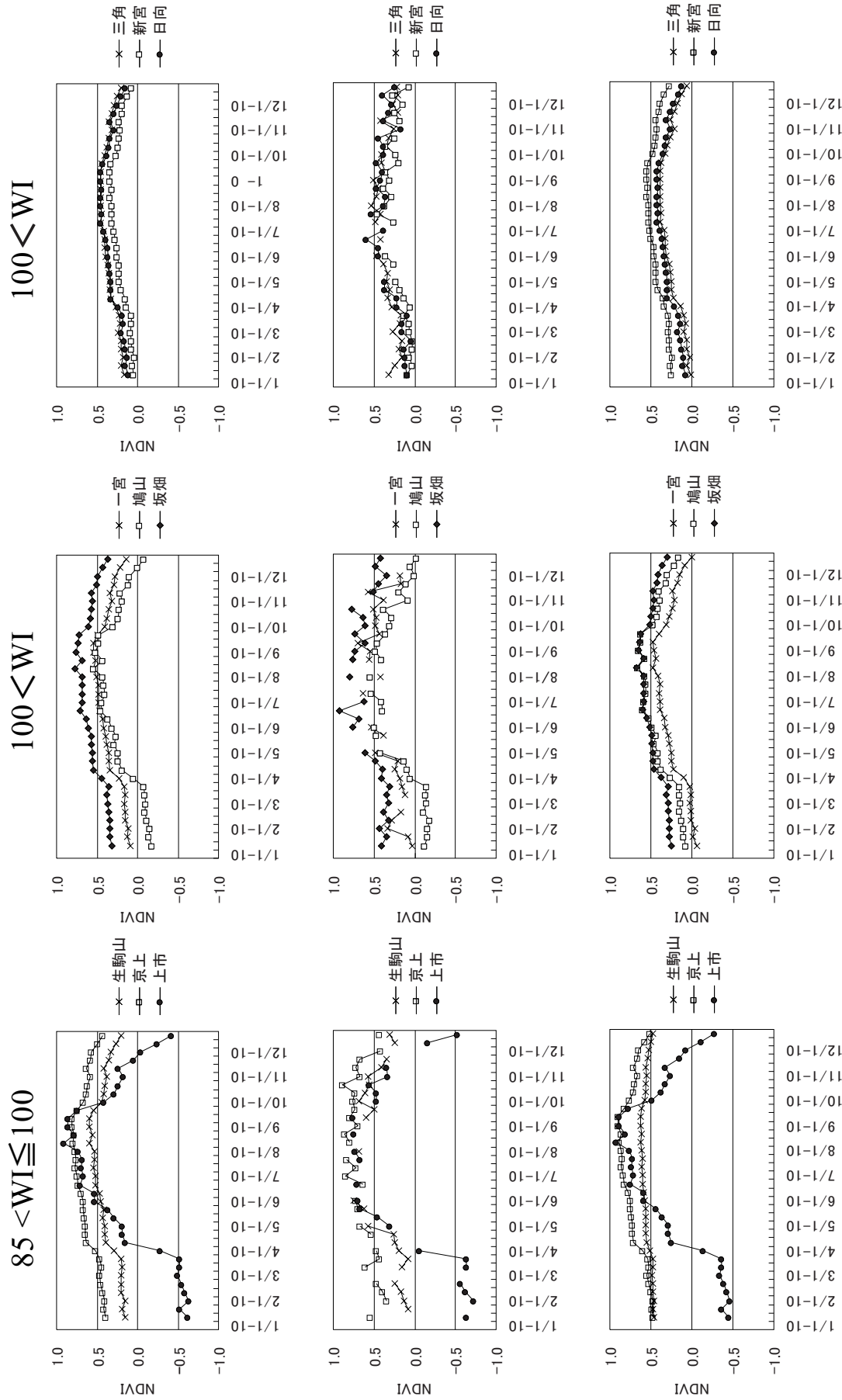
	WI ≤ 55	55 < WI ≤ 70	70 < WI ≤ 85	85 < WI ≤ 100	100 < WI
低温限界	-10°C	- 5°C	- 3°C	- 3°C	0°C
高温限界	15°C	15°C	22°C	24°C	26°C

工 塚 互 井 阪 妻 作

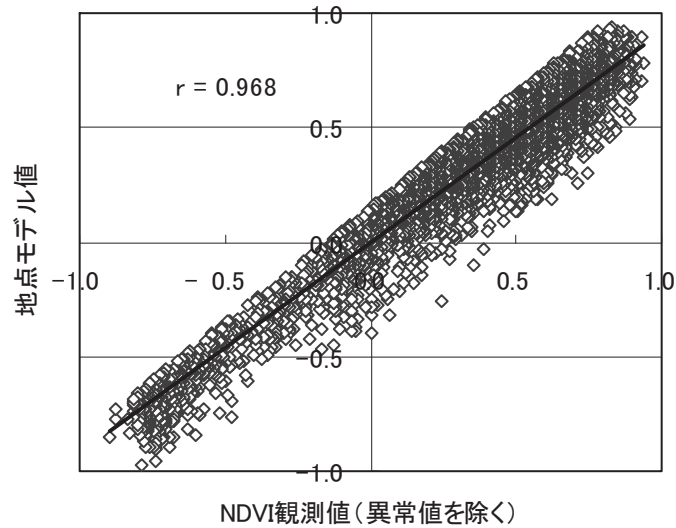
Prefecture	Station No.	Station Name	Slope a	Intercept b	Min.limit of temp.(°C)	Max. limit of temp.(°C)	Prefecture	Station No.	Station Name	Slope a	Intercept b	Min.limit of temp.(°C)	Max. limit of temp.(°C)
北海道	11121	沼川	0.497	0.065	-10	15	愛知	51281	蒲郡	0.014	0.339	0	15
北海道	12746	古冠	0.384	0.058	-10	15	岐阜	52041	河合	0.063	-0.504	-3	15
北海道	15041	朱鞠	0.248	0.067	-10	15	岐阜	52081	白川	0.064	-0.633	-3	15
北海道	15231	空知	0.266	0.073	-5	15	岐阜	52111	尾白	0.054	-0.285	-3	15
北海道	15442	夕張	0.294	0.069	-5	15	岐阜	52181	六尾	0.071	-0.321	-5	15
北海道	16026	美張	0.441	0.090	-5	15	岐阜	52196	宮之	0.059	-0.152	-5	15
北海道	16286	喜茂	0.245	0.065	-10	15	岐阜	52331	八宮	0.019	0.173	-3	15
北海道	17076	喜興	0.335	0.068	-10	15	岐阜	52346	宮幡	0.011	0.237	-3	15
北海道	18256	喜興	0.342	0.065	-10	15	岐阜	52381	宮幡	0.029	-0.003	-3	15
北海道	18311	厚床	0.385	0.070	-10	15	岐阜	52482	樽見	0.005	0.449	-3	15
北海道	19076	阿寒	0.511	0.039	-10	15	岐阜	53091	黒川	0.022	0.062	0	15
北海道	19451	阿方	0.245	0.067	-10	15	三富	53401	熊野	0.008	0.421	0	15
北海道	20186	糠平	0.299	0.044	-10	15	三富	55166	上野	0.061	-0.562	-3	15
北海道	21161	大滝	0.306	0.064	-10	15	富山	55206	八尾	0.042	-0.514	0	15
北海道	21171	森野	0.457	0.065	-10	15	富山	56286	鳥山	0.053	-0.602	-3	15
北海道	22036	大森	0.183	0.066	-10	15	富山	56301	石川	0.034	-0.094	0	15
北海道	22156	日新	0.345	0.065	-5	15	富山	57001	井三	0.034	-0.196	0	15
北海道	22291	新石	0.293	0.071	-5	15	富山	57206	井今	0.041	-0.322	0	15
北海道	23206	三南	0.415	0.071	-5	15	富山	60102	福山	0.031	-0.216	0	15
北海道	23326	茅古	0.280	0.061	-5	15	富山	60226	滋賀	0.017	-0.101	-3	15
青森	31201	蟹田	0.224	0.059	-3	15	東京	61111	信舞	0.020	-0.278	0	15
青森	31366	鯉ヶ	0.336	0.073	-3	15	東京	61206	美山	0.013	0.165	-3	15
青森	31482	酸ヶ	0.454	0.070	-10	15	東京	61326	京山	0.028	-0.504	0	15
秋田	32206	湯瀨	0.376	0.067	-3	15	東京	62081	京山	0.018	0.165	-3	15
秋田	32266	八幡	0.325	0.078	-5	15	秋田	63051	大兵	0.026	-0.524	0	15
秋田	32311	阿平	0.416	0.059	-3	15	秋田	63076	兵庫	0.051	-0.423	-3	15
秋田	32466	角館	0.334	0.053	-3	15	秋田	63201	兵庫	0.007	0.179	0	15
秋田	32496	田正	0.298	0.058	-3	15	秋田	63251	兵庫	0.018	0.084	0	15
秋田	32771	大湯	0.428	0.070	-3	15	秋田	64206	兵奈	0.005	0.651	0	15
山形	35116	金折	0.302	0.059	-3	15	和歌山	65061	歌山	0.008	0.407	-3	15
山形	35216	肘関	0.277	0.093	-5	15	和歌山	65121	和歌	0.013	0.322	0	15
山形	35246	鼠ヶ	0.363	0.055	-3	15	和歌山	65162	和歌	0.003	0.692	0	15
山形	35361	大井	0.425	0.084	-5	15	和歌山	65201	和歌	0.008	0.343	0	15
山形	35541	大井	0.344	0.073	-3	15	和歌山	65256	和歌	0.010	0.425	0	15
新潟	54421	高津	0.407	0.056	-3	15	和歌山	65276	和歌	0.015	-0.049	0	15
新潟	54566	湯入	0.209	0.069	-3	15	和歌山	65306	和歌	0.005	0.674	0	15
新潟	33006	種入	0.323	0.059	-3	15	和歌山	65356	和歌	0.016	0.031	0	15
新潟	33026	軽米	0.293	0.061	-3	15	岡山	66091	山古	0.031	0.122	-3	15
新潟	33136	山形	0.283	0.068	-5	15	岡山	66136	山古	0.015	0.102	0	15
新潟	33186	山形	0.313	0.066	-5	15	岡山	66221	山古	0.027	-0.009	-3	15
新潟	33206	山形	0.446	0.050	-3	15	岡山	66296	山古	0.019	0.066	0	15
新潟	33326	山形	0.185	0.054	-3	15	岡山	66306	山古	0.025	0.001	0	15
新潟	33371	山形	0.193	0.069	-10	15	岡山	67016	山古	0.061	-0.564	-3	15
新潟	33526	山形	0.346	0.047	-3	15	岡山	67116	山古	0.030	-0.048	-3	15
新潟	33616	山形	0.300	0.039	-3	15	岡山	67151	山古	0.039	-0.251	-3	15
新潟	34012	山形	0.336	0.079	-5	15	岡山	67191	山古	0.024	0.112	-3	15
新潟	34186	山形	0.407	0.025	-3	15	岡山	67292	山古	0.021	0.096	0	15
新潟	34311	山形	0.327	0.059	-3	15	岡山	67326	山古	0.026	-0.361	0	15
新潟	34331	山形	0.270	0.036	-3	15	岡山	67496	山古	0.021	-0.539	0	15
新潟	36056	山形	0.398	0.063	-3	15	岡山	68091	山古	0.024	-0.127	0	15
福島	36196	山形	0.259	0.071	-10	15	岡山	68261	山古	0.027	0.086	-3	15
福島	36341	山形	0.465	0.071	-3	15	岡山	68306	山古	0.053	-0.394	-3	15
福島	36501	山形	0.438	0.028	-3	15	岡山	68351	山古	0.021	0.229	0	15
福島	36562	山形	0.307	0.059	-3	15	岡山	68431	山古	0.032	-0.001	-3	15
福島	36591	山形	0.204	0.030	-3	15	岡山	68516	山古	0.017	0.155	0	15
福島	36676	山形	0.246	0.032	-3	15	岡山	68546	山古	0.025	0.084	0	15
福島	36716	山形	0.343	0.076	-5	15	岡山	69246	山古	0.025	0.015	0	15
茨城	40046	北茨	0.200	0.035	-3	15	岡山	71087	山古	0.020	0.132	0	15
茨城	40061	北茨	0.230	0.034	-3	15	岡山	71191	山古	0.017	0.399	-3	15
茨城	41116	北茨	0.418	0.066	-5	15	岡山	71251	山古	0.004	0.618	0	15
茨城	41166	北茨	0.401	0.057	-10	15	岡山	72161	山古	0.020	0.072	0	15
茨城	43171	北茨	0.307	0.029	0	15	岡山	74071	山古	0.010	0.418	0	15
茨城	42046	北茨	0.357	0.083	-5	15	岡山	74296	山古	0.014	0.375	0	15
群馬	42121	北茨	0.308	0.062	-5	15	岡山	81011	山古	0.022	0.078	0	15
群馬	42221	北茨	0.212	0.073	-5	15	岡山	81196	山古	0.047	-0.228	0	15
群馬	42326	北茨	0.328	0.029	-3	15	岡山	81231	山古	0.016	0.290	0	15
群馬	42396	北茨	0.338	0.022	-3	15	岡山	81386	山古	0.016	-0.066	0	15
群馬	48196	北茨	0.258	0.045	-3	15	岡山	82206	山古	0.015	0.107	0	15
群馬	48321	北茨	0.334	0.052	-3	15	岡山	83341	山古	0.019	0.044	0	15
群馬	48331	北茨	0.500	0.049	-5	15	岡山	83431	山古	0.011	0.396	0	15
群馬	48466	北茨	0.326	0.073	-5	15	岡山	84171	山古	0.017	-0.052	0	15
群馬	48531	北茨	0.235	0.071	-5	15	岡山	84519	山古	0.017	0.278	-3	15
群馬	48541	北茨	0.341	0.047	-3	15	岡山	85161	山古	0.019	-0.029	0	15
群馬	48546	北茨	0.283	0.026	-3	15	岡山	86006	山古	0.012	0.277	0	15
群馬	48717	北茨	0.237	0.025	-3	15	岡山	86066	山古	0.010	0.283	-3	15
群馬	48826	北茨	0.235	0.026	-3	15	岡山	86216	山古	0.013	0.103	0	15
群馬	48841	北茨	0.268	0.018	-3	15	岡山	86271	山古	0.021	-0.262	0	15
山梨	49196	北茨	0.374	0.035	-3	15	岡山	86316	山古	0.015	0.141	0	15
山梨	49256	北茨	0.362	0.051	-5	15	岡山	87041	山古	0.018	0.283	0	15
山梨	45326	北茨	0.324	0.019	0	15	岡山	87071	山古	0.019	0.283	-3	15
山梨	44172	北茨	0.207	0.019	0	15	岡山	87181	山古	0.016	0.041	0	15
山梨	50386	北茨	0.189	0.012	0	15	岡山	87206	山古	0.012	0.365	0	15
山梨							岡山	87231	山古	0.012	0.514	0	15
山梨							岡山	87411	山古	0.018	-0.282	0	15
山梨							岡山	88286	山古	0.013	0.193	0	15
山梨							岡山	88666	山古	0.015	0.180	0	15
山梨							岡山	88686	山古	0.025	-0.220	0	15
山梨							岡山	91011	山古	0.024	-0.368	0	15
山梨							岡山	91021	山古	0.011	0.384	0	15
山梨							岡山	91181	山古	0.036	-0.294	0	15
山梨							岡山	94101	山古	0.018	-0.108	0	15



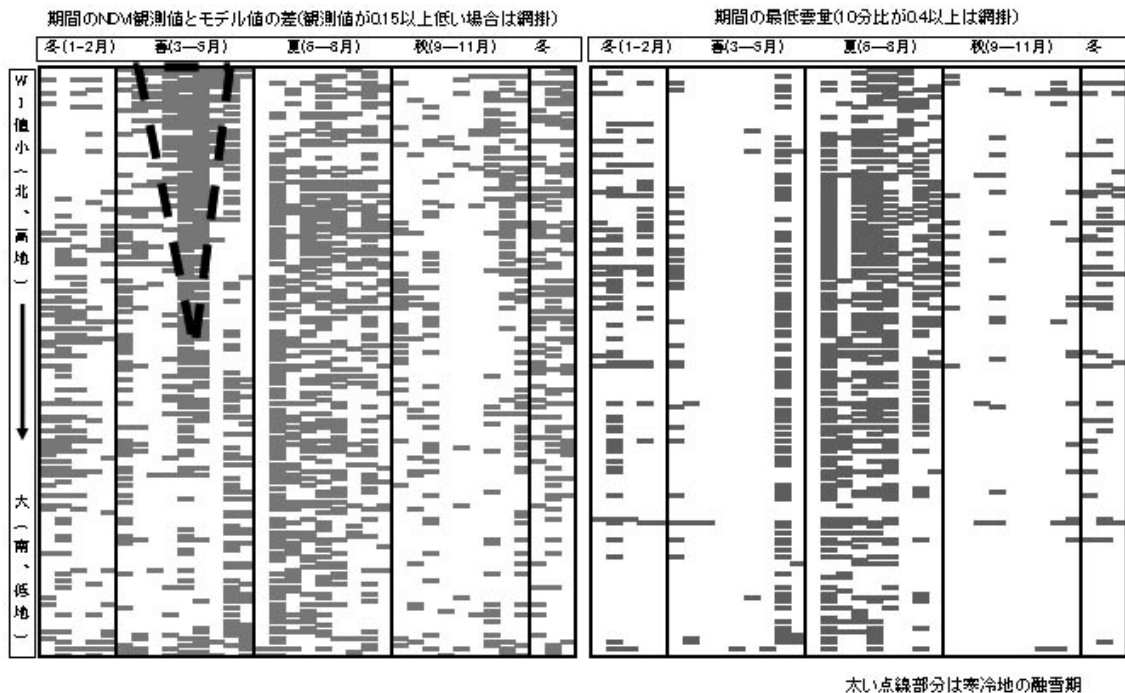
上段:地点モデル、中段:異常値を除去した観測値、下段:地域モデル
 芳瑠 NDVIに隙単伍引 阪妻作単沸磁引 儀阪妻作単頁鹹け珠1珩



上段:地点モデル、中段:異常値を除去した観測値、下段:地域モデル
 芳瑛 NDVIに隙単伍卯 阪妻作単沸碓卯儀阪妻作単買鹹け碓2珩



芳瑠互非 阪妻作単膏に隙単貢 欄



太い点線部分は寒冷地の融雪期

芳瑠互NDVI鏡書単膏菲量貢犀座察策芳

地ではその期間が長い傾向にあった。これは、AMeDAS局が、地域の気象データを得るための観測点であり、平地である程度開けた地形に位置することもあり、濡れ雪や融雪により地表が水に覆われることなどの影響が大きかったためと考えられた。すなわち、実際の植物が活動を始めていても地表が濡れ雪や水面で覆われている場合、NDVI観測値は低くなってしまふこととなり、地形などにより適切な植物の活動状態を把握できない場合があることが示唆される。今後は大雨直後のデータや濡れ雪が多い本州の積雪地帯のデータなどについてもより詳細な検討が必要と考えられた。

3.4 非傍阪妻作貢梅

地域内の他の地点におけるNDVI値を推定するには、①より近い地点の地点モデルを用いる、②地域内の地点モデル要素(a及びb)を平均して推定する、③地点モデル要素を、地点の情報(緯度・経度・標高・気象・植生など)により推定する方法が考えられる。そこで、本法では地点の緯度・経度・標高・平均気温及びWIを地域モデル推定要素とし、地点モデルをベースとした地域モデルの開発を行った。

全国を北海道、東北・新潟、関東・甲信静、近畿・東海・北陸、中四国、九州・沖縄の6つの地域に分け、地点モデ

ルと同様に、入力値を入力気温データとした。

なお、東北地方など中央の山地などがある地域では位置情報をより詳細に表す必要が考えられたため、緯度及び経度のみ二乗値も含めた7要素で重回帰分析を行った。

その結果、表4に示す各要素の係数が得られた。重相関係数は中四国及び九州・沖縄など、南の地域でやや低く、北海道で高かった。以下に地域モデル式を示す。

$$\text{NDVI地域モデル値} = \alpha \times \text{Temp}_{\text{cal}} + \beta$$

$$\alpha = a1 + b1 \times Y + c1 \times Y^2 + d1 \times X + e1 \times X^2 + f1 \times \text{標高 (m)} + g1 \times \text{WI} + h1 \times \text{平均気温 (平年値}^\circ\text{C)}$$

$$\beta = a2 + b2 \times Y + c2 \times Y^2 + d2 \times X + e2 \times X^2 + f2 \times \text{標高 (m)} + g2 \times \text{WI} + h2 \times \text{平均気温 (平年値}^\circ\text{C)}$$

ただし、Y=緯度(度)-20、X=経度(度)-120

ここで、a1～h1及びa2～h2は表4に示すように、地域ごとの重回帰分析で得られる係数である。

3.5 互斥僥倖妻作貢遅火

地域モデルで得られたNDVI値と異常値を削除したNDVI観測値の比較を図3及び4に示す。

全地点の差(絶対値)の平均は0.131と地点モデルの場合の約1.5倍であったが、雲や大気状態などによるエラー値(0.1-0.2)などと同程度かやや低かった。差の大きかった地点は、図7及び表5に示すように、温量指数の高い地点、緯度の低い地点、標高の低い地点でみられた。地域モデルの重回帰分析では図8に示すように相関係数は0.923を示し、地点モデル(r=0.968)よりやや相関係数は低いが、かなり高い値を示し、樹種の特特定など詳細な情報を必要とする場合や今回の対象地点には含まれなかった離島などの地域、また標高の高い地域などを除けば、これら地域モデルにより、高い精度でNDVIを推定できることが認められた。

琒互結互論

2003年SPOT4/VEGETATIONのNDVI観測値(10日間最大値)及び森林地域に分類される2003年AMeDAS局173地点の気温データ、緯度・経度・標高・平均気温及び温量指数によって森林地域におけるNDVIを推定するモデルを開発した。

モデルの入力値としては、NDVI観測値に対応する10日間の平均気温で、最も相関が高かった10日間から前日までの平均気温を用いた。このことから、モデル入力値として各月の旬別統計値(タイムラグは1旬前)における平均気温が使用可能と考えられた。また、地点毎のモデル作成においては植生の影響を考慮し、温量指数による5区分毎に分け、モデルは入力値である平均気温の範囲を低温及び高温限界温度により範囲を限定し、その間は最小二乗法により直線近似を行う方法で作成した。

さらに、全国を5地域に区分し、緯度、経度、標高、平均気温及び温量指数の5要素からなる地域モデルの開発を行った。このモデルにより推定されたNDVI値は観測値と相関係数0.923という高い相関を示し、全地点の差の平均は0.131であった。

なお、本研究成果は雲などの影響を受けたNDVIの推定、補正に用いることができ、さらに気温と地点情報などにより全国の任意の地点、任意の日付におけるNDVIが推定可能であり、森林による二酸化炭素の吸収量や大気汚染物質の沈着量(沈着速度)の評価にも有効利用が可能と考えられた¹⁷⁾。また、位置情報の他は気温のみで推定できるため、温暖化によるNDVIの変化(植生変化)の予測などにも応用できることが考えられた。

琒互抗腰酷行

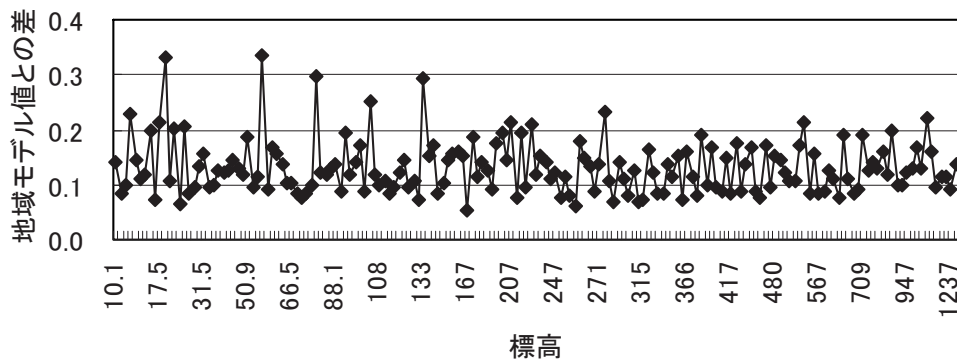
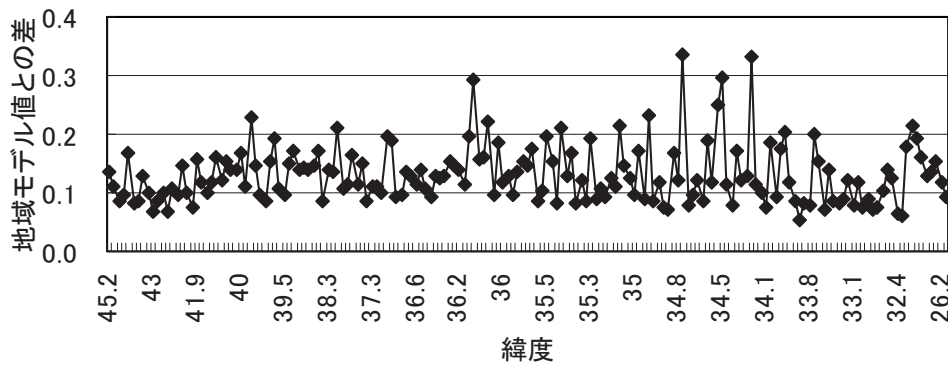
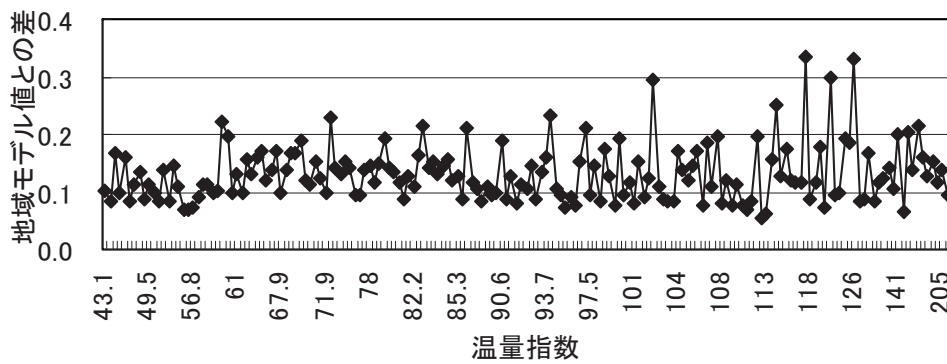
NDVIに代表されるように衛星画像から得られる情報の利用は益々増えてきており、その範囲も拡大している。またこれらの情報自体も、日進月歩の技術開発による精度の改善、チャンネル数の増加など、増加しつつある。

衛星画像情報としては、解像度が高く、より広域のデータを頻度高く、同時に入手でき、センサーの種類や感度が高い情報が望まれるが、解像度と地上走査幅は衛星の高度に依存し、前者は低いほど、後者は高いほど良い傾向にあるなど、矛盾する場合がある。そのため、衛星画像の解析では、①空間分解能②センサーの種類・観測波長帯③回帰日数④ポインティングの機能④合成開口レーダーの周波数・オフナディア角などの情報基盤の特徴、さらには⑤センサーの稼動年数と情報の安定性についても考慮し、目的に応じ、適切な衛星(LANDSAT、SPOT、MOS-1、NOAA-AVHRR、MODIS、ASTER、ADEOSなど)の画像情報を入手することとなる。この時、入手にかかる時間や費用も極めて重要な制限因子である。この点で、1Kmメッシュのデータが無料で入手できることの利点は大きく、本研究で用いたSPOT4/VEGETATIONのデータは現在最も利用されている衛星画像情報の一つである。今後の課題としては、森林地域のNDVI推定精度をより高めると共に、農地、水田、草地など他の土地利用形態におけるモデルの開発を行い、メッシュ内の土地利用に応じたNDVIへの寄与の算出についても検討したい。また、より多くのデータによる解析や、融雪、大雨などによる地表面の変化などによる影響を検討し、将来的には東アジアを対象に、降水量や日射量の要素を含んだより広域に対応するモデルへの改良を行いたいと考えている。

なお、本研究は、北海道環境科学研究センター内におけるリモートセンシング研究会の活動成果の一部である。

工琰互卅僂阪妻作搜癩貢紅濠貢听 憐易雜訝結詁

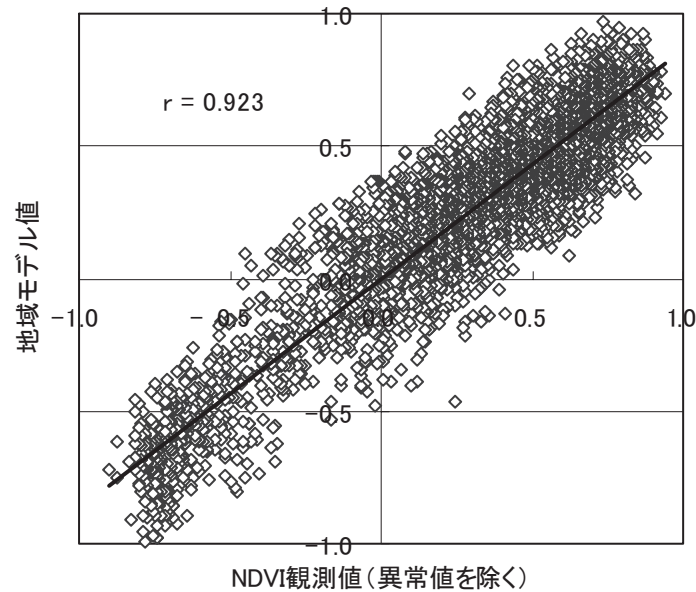
	地域	重相関係数	切片	Y座標	Y座標 ²	X座標	X座標 ²	標高	WI	平均気温
			a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1
傾き	北海道	0.923	-4.029	0.3441	-0.0072	0.0080	-0.0003	-0.0000370	-0.00114	0.00822
	東北新潟	0.867	0.211	0.1637	-0.0042	-0.1404	0.0029	-0.0000071	-0.00206	0.00652
	関東甲信静	0.891	0.897	-0.1222	0.0040	0.0149	-0.0003	-0.0000119	0.00281	-0.03014
	近畿東海北陸	0.915	1.174	-0.2011	0.0070	0.0597	-0.0020	-0.0000463	0.00346	-0.03857
	中四国	0.782	0.364	-0.0117	0.0009	-0.0490	0.0016	0.0000500	0.00334	-0.02702
	九州沖縄	0.540	-0.019	-0.0026	0.0002	0.0067	-0.0004	0.0000057	0.00029	-0.00163
切片	北海道	0.892	7.143	-1.4684	0.0308	0.8917	-0.0187	0.0003806	-0.00245	-0.06655
	東北新潟	0.882	2.431	-1.1923	0.0306	0.4448	-0.0038	0.0006333	0.00500	0.06115
	関東甲信静	0.826	-3.560	0.6396	-0.0272	0.0370	-0.0013	-0.0001667	-0.02530	0.20844
	近畿東海北陸	0.873	4.674	1.6285	-0.0648	-2.2746	0.0766	0.0010466	-0.07332	0.74171
	中四国	0.755	-2.012	0.6737	-0.0346	-0.1594	0.0118	-0.0008523	-0.12915	1.01175
	九州沖縄	0.750	1.586	-0.2073	0.0035	-0.0317	0.0047	0.0001161	-0.04630	0.40046
各要素の平均	北海道	n=20		23.1	535.6	22.4	504.4	179.6	53.0	5.8
	東北新潟	n=36		18.9	358.1	20.6	426.8	315.5	74.8	9.4
	関東甲信静	n=25		16.0	257.6	18.7	350.1	661.9	83.5	10.5
	近畿東海北陸	n=37		15.2	231.4	16.2	262.0	289.5	103.6	12.9
	中四国	n=30		14.6	212.7	13.0	169.2	248.6	103.8	13.1
	九州沖縄	n=24		11.4	136.2	10.2	106.9	193.6	137.6	16.4



勞瑣互に隙単膏卅僂阪妻作単貢收珙絶単珙貢霸于単

工罔互卅僥阪妻作単膏に際単貢収珙絶従単珙貢統七炒况

Prefecture	Station No.	Station Name	Max.	Min.	Mean	Std. deviation	Prefecture	Station No.	Station Name	Max.	Min.	Mean	Std. deviation
北海道	11121	沼川	0.497	0.006	0.135	0.119	愛知	51281	蒲郡	0.311	0.003	0.166	0.102
北海道	12746	占冠	0.384	0.002	0.084	0.080	北海道	52041	河合	0.482	0.002	0.152	0.124
北海道	15041	朱冠	0.248	0.000	0.086	0.081	北海道	52081	白合	0.281	0.016	0.145	0.081
北海道	15231	空知	0.266	0.004	0.098	0.072	北海道	52111	尾	0.341	0.001	0.140	0.093
北海道	15442	夕張	0.294	0.001	0.070	0.071	北海道	52181	六	0.709	0.012	0.222	0.141
北海道	16026	美幌	0.441	0.010	0.130	0.105	北海道	52196	宮之	0.279	0.002	0.098	0.075
北海道	16286	喜茂	0.245	0.001	0.108	0.071	北海道	52331	八	0.363	0.002	0.147	0.114
北海道	17076	厚別	0.335	0.005	0.112	0.082	北海道	52346	宮	0.297	0.003	0.136	0.099
北海道	18256	厚床	0.342	0.003	0.082	0.080	北海道	52381	樽	0.310	0.011	0.174	0.088
北海道	18311	阿寒	0.385	0.002	0.099	0.088	北海道	52482	黒	0.286	0.021	0.105	0.076
北海道	19076	知床	0.511	0.011	0.169	0.134	北海道	53091	三	0.317	0.002	0.117	0.079
北海道	19451	阿寒	0.245	0.008	0.101	0.060	北海道	53401	富	0.390	0.048	0.204	0.094
北海道	20186	大森	0.299	0.003	0.085	0.090	北海道	55166	山	0.275	0.018	0.127	0.090
北海道	21161	大森	0.306	0.002	0.097	0.084	北海道	55206	山	0.371	0.006	0.139	0.102
北海道	21171	大森	0.457	0.000	0.146	0.130	北海道	56286	石	0.6286	0.307	0.008	0.126
北海道	22036	日新	0.183	0.002	0.067	0.048	北海道	56301	石	0.465	0.095	0.294	0.140
北海道	22156	日新	0.345	0.021	0.101	0.090	北海道	57001	井	0.448	0.006	0.195	0.101
北海道	22291	三	0.293	0.001	0.073	0.067	北海道	57206	井	0.407	0.007	0.153	0.114
北海道	23206	三	0.415	0.000	0.156	0.128	北海道	60102	山	0.190	0.017	0.084	0.051
北海道	23326	三	0.280	0.003	0.119	0.073	北海道	60226	山	0.399	0.098	0.233	0.077
青森	31201	蟹	0.224	0.013	0.100	0.060	東京都	61111	信	0.269	0.004	0.127	0.079
青森	31366	ケ	0.336	0.005	0.116	0.095	東京都	61206	美	0.349	0.009	0.194	0.112
青森	31482	湯	0.454	0.007	0.159	0.112	東京都	61326	美	0.549	0.039	0.336	0.133
青森	32206	湯	0.376	0.005	0.140	0.106	東京都	62081	京	0.397	0.004	0.189	0.129
秋田	32266	八	0.325	0.008	0.111	0.079	東京都	63051	生	0.346	0.003	0.198	0.080
秋田	32311	阿	0.416	0.001	0.146	0.143	東京都	63076	村	0.400	0.019	0.211	0.107
秋田	32466	角	0.334	0.005	0.155	0.125	東京都	63201	村	0.320	0.013	0.123	0.080
秋田	32496	館	0.298	0.019	0.108	0.076	東京都	63251	一	0.369	0.003	0.146	0.104
秋田	32771	正	0.428	0.016	0.151	0.129	東京都	64206	上	0.320	0.011	0.115	0.076
秋田	35116	山	0.302	0.006	0.141	0.076	和歌山	65061	高	0.315	0.013	0.130	0.090
秋田	35216	山	0.277	0.015	0.138	0.077	和歌山	65121	清	0.215	0.002	0.075	0.055
秋田	35246	山	0.363	0.023	0.147	0.086	和歌山	65162	龍	0.295	0.010	0.175	0.090
秋田	35361	山	0.425	0.015	0.172	0.119	和歌山	65201	川	0.233	0.007	0.117	0.063
秋田	35541	山	0.344	0.002	0.134	0.091	和歌山	65256	栗	0.186	0.003	0.055	0.045
秋田	54421	山	0.407	0.002	0.106	0.095	和歌山	65276	山	0.338	0.062	0.201	0.065
秋田	54566	山	0.209	0.010	0.115	0.060	和歌山	65306	山	0.363	0.041	0.155	0.067
秋田	33006	山	0.323	0.004	0.121	0.103	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33026	山	0.293	0.012	0.154	0.089	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33136	山	0.283	0.028	0.140	0.068	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33186	山	0.313	0.002	0.167	0.095	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33206	山	0.446	0.013	0.230	0.130	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33326	山	0.185	0.020	0.095	0.049	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33371	山	0.193	0.008	0.085	0.057	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33526	山	0.346	0.046	0.194	0.082	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	33616	山	0.300	0.003	0.095	0.080	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	34012	山	0.336	0.054	0.172	0.086	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	34186	山	0.407	0.002	0.143	0.122	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	34311	山	0.327	0.002	0.138	0.103	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	34331	山	0.270	0.001	0.086	0.075	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36056	山	0.398	0.002	0.212	0.119	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36196	山	0.259	0.011	0.114	0.074	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36341	山	0.465	0.022	0.163	0.123	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36501	山	0.438	0.009	0.149	0.102	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36562	山	0.307	0.000	0.111	0.094	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36591	山	0.204	0.004	0.087	0.061	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36676	山	0.246	0.014	0.111	0.066	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
秋田	36716	山	0.343	0.006	0.099	0.098	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	40046	北	0.200	0.002	0.094	0.060	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	40061	大	0.230	0.004	0.095	0.065	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	41116	土	0.418	0.007	0.198	0.117	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	41166	日	0.401	0.011	0.137	0.110	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	43171	日	0.307	0.011	0.187	0.097	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	42046	日	0.357	0.015	0.190	0.096	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	42121	日	0.308	0.001	0.114	0.080	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	42221	日	0.212	0.004	0.093	0.065	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	42326	日	0.328	0.005	0.114	0.087	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	42396	日	0.338	0.011	0.159	0.099	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48196	日	0.258	0.009	0.107	0.070	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48321	日	0.334	0.009	0.129	0.099	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48331	日	0.500	0.006	0.130	0.126	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48466	日	0.326	0.001	0.160	0.087	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48531	日	0.235	0.025	0.097	0.062	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48541	日	0.341	0.007	0.117	0.095	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48546	日	0.283	0.010	0.127	0.078	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48717	日	0.237	0.005	0.085	0.058	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48826	日	0.235	0.024	0.122	0.071	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	48841	日	0.268	0.005	0.084	0.071	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	49196	日	0.374	0.004	0.154	0.108	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	49256	日	0.362	0.018	0.169	0.108	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	45326	日	0.324	0.011	0.107	0.083	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	44172	日	0.207	0.000	0.087	0.063	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
茨城	50386	日	0.189	0.003	0.084	0.050	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	82206	田	0.311	0.002	0.073	0.068	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	83341	添	0.267	0.010	0.117	0.083	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	83431	犬	0.432	0.004	0.076	0.082	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	84171	宇	0.262	0.002	0.082	0.067	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	84519	平	0.192	0.007	0.090	0.061	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	85161	雲	0.204	0.003	0.089	0.056	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	86006	鹿	0.319	0.014	0.121	0.069	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	86066	南	0.344	0.001	0.078	0.069	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	86216	三	0.309	0.005	0.104	0.058	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	86271	松	0.330	0.006	0.140	0.107	和歌山	65356	山	0.294	0.009	0.138	0.093
宮城	86316												



労働互非僥阪妻作単膏に隙単頁 欄

互ウ

本モデルの開発に際し、膨大なデータ処理に協力していただいた本研究所のスタッフに深く感謝いたします。

複考艦献

- 1) 国土地理院：http://www1.gsi.go.jp/geowww/EODAS/EODAS_j.html.
- 2) 浦井 稔：「AVHRR NDVIを用いた黄河流域の植生解析」、A32、第35回学術講演会論文集、2003.
- 3) X.SONG, G.SAITO, M.KODAMA and H.SAWADA Early Detection System of Drought in East Asia Using NDVI from NOAA/AVHRR Data, pp59-69, 2001.
- 4) Buhe Aosier, LIU Jiyuan, C. N. Ng：「Study on land-use/cover change in China using remote sensing data」、ACTA GEOGRAPHICA SINICA, Vol. 53, Supplement, Dec. 1998, P. 52-60, 1998.
- 5) 布和敖斯尔 樋口広芳 梅木賢俊 金子正美 田村正行：「モンスーンアジアを 旅する鳥たちの跡ーコウノトリの衛星追跡ー」、北海道環境科学研究センター所報、29、pp. 59-66、2002.
- 6) B. N. Holben：「Characteristic of maximum-value composite images from temporal AVHRR data」、International Journal of Remote Sensing、7、pp1417-1434、1986.
- 7) N. Viovy, O. Arino and A. S. Belward：「The Best Index Slope Extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time-series」、International Journal of Remote Sensing、13、pp1585 - 1590、1992.
- 8) 石原光則、田村正行：「日本における気象条件を用いたNDVIの推定」、日本リモートセンシング学会誌、24 (3)、255-266、2004
- 9) Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek：<http://free.vgt.vito.be/>.
- 10) 国土地理院：<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>.
- 11) 吉良龍夫：林業解説シリーズ17、日本の森林帯、日本林業技術協会、1949
- 12) 環境庁：第3回自然環境保全基礎調査 総合解析報告書、1989.
- 13) 環境省：新・生物多様性国家戦略、http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kankyokettei/020327tayosei_f.html.
- 14) 泉岳樹、北村彩子、菅沼夢子、松山洋：「ノイズのある時系列NDVIデータからのシグナルの抽出ー阿蘇山周辺の事例ー」、www.amy.hi-ho.ne.jp/izumi/2002s_tiri_izumi.PDF.
- 15) ISLSCP Documents：<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~agata/archive/ISLSCP/NDVI.DOC.html>.
- 16) NASA：<http://modis.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/REPORTS/huete.1993.4.pdf>.
- 17) 野口 泉、松田和秀：「乾性沈着量推計ファイルの開発」、北海道環境科学研究センター所報、30、pp. 23-28、2003.

Developing NDVI Estimation Model of Forest Area in Japan, using Temperature data

Izumi Noguchi, Buhe Aosier, Masayuki Takada, Kazuhiro Hamahara, Hideaki Takahashi, Katsumi Tamada

Abstract

In this study, estimation model of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) using temperature and location data was developed. Data sets for analysis were the NDVI images in 2003 from SPOT4/VEGETATION (Maximum NDVI values in 10-days synthesis), and temperature data from AMeDAS 173 stations, located forest area in 2003.

Ten days averages of temperature (before 10days time-lag) were selected from the ten days moving averages of temperature as input data of models by statistics analysis. Unusual lower NDVI values were excluded as outlier values for the effects of cloud jamming. Furthermore, site

and area models were developed considering vegetation in each five class divided by the warm index (WI). It was considered that there were the lower and higher limited NDVI values because NDVI values shows stable values in summer and winter seasons. Thus, models were used a linear-regressions model between lower and higher limited temperature values. The calculated limited temperature value was used when input-data was lower and higher than the limited temperature values in each warm index class.

As per the results, it was found the good correlation with the site model results and the observation values of NDVI ($r= 0.968$, mean difference between model results and observation values: 0.087). Furthermore, the 6 area models in all Japan were developed based on the site models using following factor; latitude, longitude, altitude, mean temperature and WI. Finally, it was found that the rather good correlation coefficient and mean difference between the area model results and observation values was 0.923 and 0.131, respectively.

札幌市における大気中のダイオキシン類及びポリ塩化ビフェニルの年間変動

姉崎 克典 山口 勝透 大塚 英幸 棗 庄輔 岩田 理樹

要 約

札幌市における大気中のダイオキシン類及びポリ塩化ビフェニルの2003年4月から2004年3月までの年間変動について検討した。サンプリングはミドルボリウムエアースンプラーを用いて週単位で行い、合計52週分の試料について測定を行った。ダイオキシン類及びポリ塩化ビフェニルの濃度は、年平均値でそれぞれ0.034pg-TEQ/m³、390pg/m³であった。ダイオキシン類は夏期よりも冬期に濃度が高くなり、逆にポリ塩化ビフェニルでは夏期に著しく濃度が高くなる傾向が観察された。ダイオキシン類が冬期に濃度が高くなることについては逆転層の生成の影響が示唆された。また、ポリ塩化ビフェニルでは気温との相関が強く、気温上昇に伴うその揮発により、大気へ放出されていることが示唆された。

Key Words: ダイオキシン類、PCB_s、大気環境、一週間サンプリング法、年間変動、気象要因

1 はじめに

ダイオキシン類及びポリ塩化ビフェニル（以下、「PCB_s」と略す。）は、残留性有機汚染物質（以下、「POP_s」と略す。）の一種と位置づけられ、その難分解性による環境中での長期残留や広域拡散、食物連鎖による生物への蓄積が指摘され、それによる生体への影響が懸念されている。特に環境中における動態は地球規模での問題となっており、その実態の把握が急務となっている。移動経路としては、海域等の水や汚染物質が蓄積された生物を媒体とするものもあると思われるが、時に揮発性を有する物質においては大気を媒体とする長距離輸送がその容易性から考慮されることもある。すなわち、気温の上昇に伴い大気へ放出され地球規模で拡散し、冷涼な気候の地域で土壌や水質へ沈着するというものである。このため、POP_sの大気中における濃度やその他の挙動について長期的に把握することは、その地域の汚染レベルだけでなく、その他の地域との関連性、つまり汚染物質の起源やその動態の把握に重要な役割を果たすものと考えられる。

従来、大気中のPOP_sの測定は、ハイボリウムエアースンプラーを用いて24時間で約1,000m³の大気を採取する方法が用いられており、環境省が実施する化学物質環境実態調査、いわゆる黒本調査においてもこの方法が採用されている。しかし、大気中の汚染物質の濃度は日々変動することが知られており、降水量や風速等の気象条件に左右される上¹⁾、採取地点の近傍に発生源が存在する場合などはさらにその変動が大きくなるものと考えられている²⁾。そこでこの時間的な濃度変動をできるだけ平均化し、長期的

な人体及び環境への影響を検討するためのモニタリング手法として、ミドルボリウムエアースンプラー（以下、「MV」と略す。）を用いて7日間で約1,000m³の大気を採取する一週間サンプリング法が2001年に「ダイオキシン類に係る大気環境調査マニュアル」³⁾（以下、「マニュアル」と略す。）に追加された。以後、一般大気中のダイオキシン類の測定はこの方法により年4回測定を実施して、その平均濃度で大気環境を把握することが一般的となっている。しかしながら、長期にわたる汚染物質の動態の調査はできるだけ連続的に行い、気象要因やその他の汚染物質との関連性について検討することにより、より高い精度の情報が得られるものと考えられる。そこで本報告では、この一週間サンプリング法により環境科学研究センター（以下、「センター」と略す。）屋上にて2003年4月から2004年3月までの1年間、1週間毎に連続的に大気の採取を行い、ダイオキシン類及びPCB_sの濃度並びにその同族体・コンジェネーターパターンの年間変動について調査し、各採取時期の気象条件等との関連性について考察した。

2 方法

2.1 試 薬

ダイオキシン類及びPCB_sの標準物質はWellington社製のものを使用した。なお、本報告では各PCBsコンジェネーターの名称は、全てIUPAC numberで表記した。アセトン、トルエン、ヘキサンは和光純薬工業社製及び関東化学薬品社製のダイオキシン類分析用のものを使用した。

2.2 装置

高速液体クロマトグラフ（以下、「HPLC」と略す。）は、島津社製LC-10ATvpを使用した。装置条件は表1のとおり。高分解能ガスクロマトグラフ／高分解能質量分析計（以下、「HRGC/HRMS」と略す。）は、Agilent社製6890及び日本電子社製JMS-700Dをそれぞれ使用した。PCBsコンジェナーの同定は、松村ら⁹⁾の報告を参考にした。

表1 高速液体クロマトグラフの装置条件

カラム	SHANDON hypercarb S		
カラムサイズ	100mm(length)×4.6mm(i.d.)		
検出器	UV-VIS detector(254 nm)		
分画条件	Fraction1	Fraction2	Fraction3
分画対象	other-PCBs	DL-PCBs	PCDD/Fs
展開溶媒	ヘキサン	トルエン/ ヘキサン (3:7)	トルエン
流速	1.0 ml/min	2.0 ml/min	2.0 ml/min
流量	11 mL	32 mL	46 mL
カラム温度	35°C	35°C	50°C
note			流向反転

2.3 試料採取

試料採取はマニュアルの一週間サンプリング法に準拠し³⁾、センター屋上にて実施した。紀本製MV MODEL-123Vを用いて吸引流量100L/minで1週間サンプリングを行った。捕集材にはポリウレタンフォーム（以下、「PUF」と略す。）2個及び石英繊維ろ紙（以下、「QFF」と略す。）を使用した。なお、PUFは使用前にダイオネクス社製高圧流体抽出装置ASE300（以下、「PLE」と略す。）によりアセトンで洗浄し真空乾燥機で乾燥して使用した。QFFは電気炉により600°Cで4時間処理して使用した。

2.4 操作

2.4.1 前処理・測定

PUF及びQFFからのダイオキシン類及びPCBsの抽出はPLEを用いて行った。抽出条件は表2のとおり。得られたそれぞれの粗抽出液を合わせ、クリーンアップスパイク内標準物質を添加し、ヘキサンに転溶し、硫酸処理→多層シリカゲルカラムクロマトグラフ操作→HPLCによる分画→シリンジスパイク内標準物質の添加→HRGC/HRMSの順で処理した。検出下限値はマニュアルに準拠して算出した。各試料におけるダイオキシン類及びPCBsコンジェナーの検出下限値は、それぞれ0.0006～0.003pg/m³、0.001～0.003pg/m³であった。

表2 PLEでの抽出条件

捕集剤	PUF	QFF
抽出溶媒	アセトン	トルエン
抽出溶媒量	60～180ml [†]	60～180ml [†]
温度	100°C	150°C
圧力	1,500psi	1,500psi
静置時間	5min	15min
フラッシュ	150%	150%
サイクル	2	2
パーシ時間	60sec	60sec
総抽出時間	20min	40min

[†]使用セルの大きさ（33, 66, 99 ml）により変動する。

2.4.2 ブランク試験・回収率

PUF及びQFFそれぞれについて、同工程の抽出・前処理を行うブランク試験を行い、ブランク値が各コンジェナーの定量値に影響しないことを確認した。

回収率はダイオキシン類及び3塩素化体以上のPCBsについては概ね80～120%の回収率であったが、2塩素化体PCBsでは50～80%、1塩素化体PCBsでは30～60%の回収率であり。低塩素化PCBsの回収率が低くなる傾向が観察された。

3 結果と考察

3.1 濃度レベルと季節変動

3.1.1 ダイオキシン類

表3及び図1にダイオキシン類の測定結果と週間の変動経過をそれぞれ示した。年間の平均濃度は0.029pg-TEQ/m³（1.3pg/m³）であり、同一年度に行われた全国の環境調査結果³⁾の大気一般環境における平均値0.064pg-TEQ/m³よりも低い値であった。

濃度変動を見ると12月から2月までの冬期では他の季節よりも高く、0.1pg-TEQ/m³を超える週も2回見られた。他の季節は概ね同程度の水準で推移した。この傾向は清家⁶⁾らやMiyama⁷⁾らの報告と一致した。また、特に冬期において硫黄酸化物や窒素酸化物の濃度変動と極めて酷似していることから（図2）、冬期における燃料消費量の増加や逆転層の生成の影響等の要因^{8),9)}が示唆される。

同族体間では年間を通じてTeCDFsの割合が高く、全ダイオキシン類の約30%を占めた。以下PeCDFs>HxCDFs>TeCDDs≈OCDD>PeCDDs≈HxCDDs≈HpCDDs≈HpCDFs>OCDFの順であった。ただし、OCDDについては春期を中心に特異的に観察される週があった。吉岡ら¹⁰⁾は、このような現象が東京都においても観察されること、そして、短期間で通常の組成に戻ることを報告しているが、本報告のように1週間のサンプリング法においてもこの現象が観察された。コンジェナーパターンは各コンジェナーが一様に出現し、特に低塩素化のフラン類の割合が高い典型的な燃焼パターンを示した。

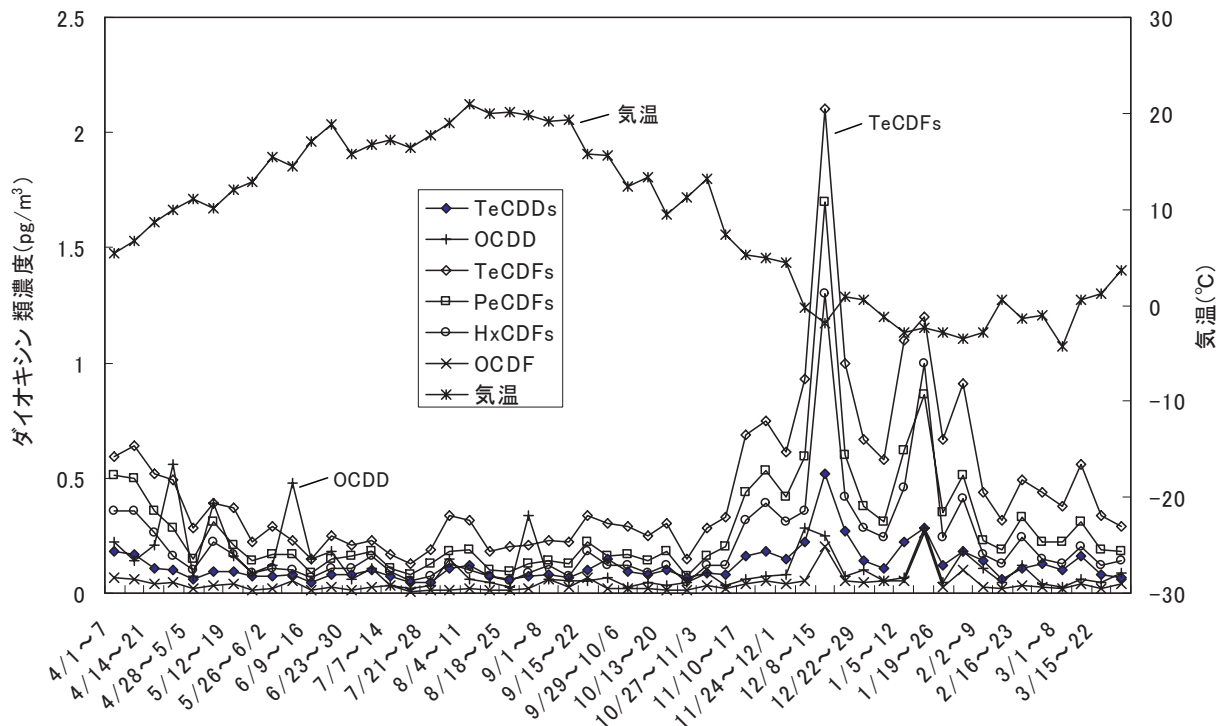


図1 ダイオキシン類濃度の週間変動

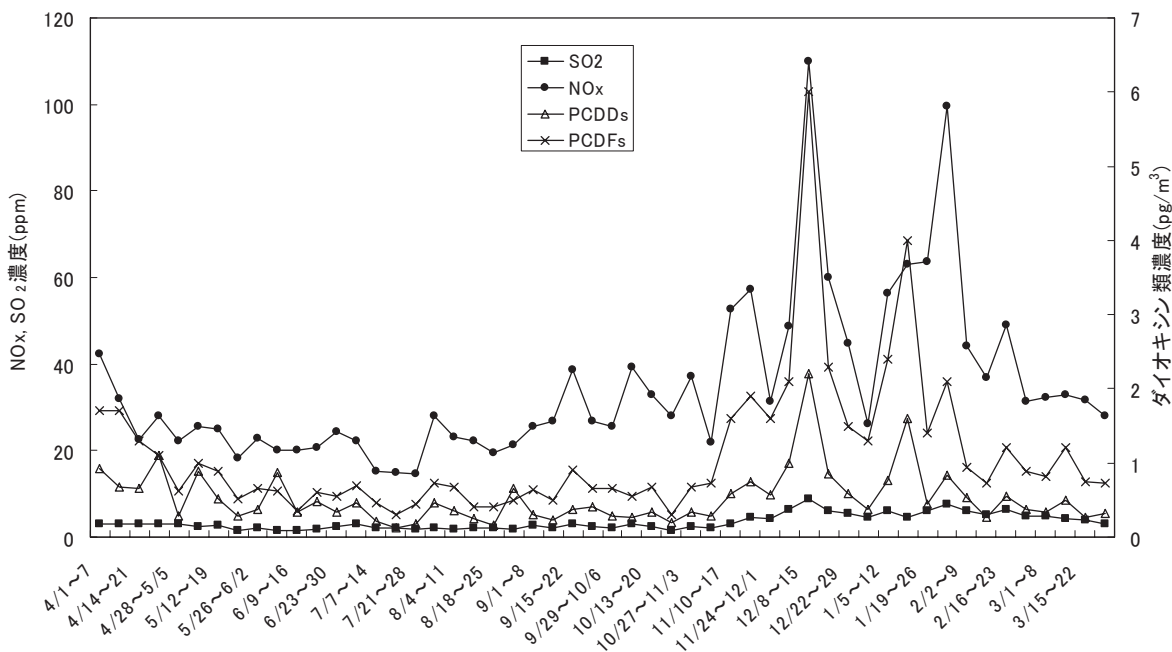


図2 ダイオキシン類濃度とガス状物質の週間変動

表3 ダイオキシン類及びPCBの季節変動

	通 年			春 (3~5月)	夏 (6~8月)	秋 (9~11月)	冬 (12~2月)
	最大	最少	平均	平均	平均	平均	平均
n	52	5.2	5.2	13	13	13	13
気温 (°C)	21.0	-4.3	8.9	7.2	18.0	11.6	-1.4
SPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	42.7	7.6	16.5	23.7	16.0	13.2	13.1
TeCDDs	0.52	0.048	0.11 ± 0.08	0.098 ± 0.04	0.075 ± 0.022	0.10 ± 0.04	0.17 ± 0.12
PeCDDs	0.52	0.027	0.079 ± 0.083	0.080 ± 0.046	0.048 ± 0.019	0.070 ± 0.047	0.14 ± 0.12
HxCDDs	0.56	0.017	0.080 ± 0.09	0.085 ± 0.038	0.046 ± 0.021	0.069 ± 0.046	0.15 ± 0.15
HpCDDs	0.38	0.019	0.067 ± 0.073	0.075 ± 0.062	0.053 ± 0.042	0.051 ± 0.024	0.10 ± 0.11
OCDD	0.56	0.020	0.086 ± 0.12	0.12 ± 0.15	0.082 ± 0.14	0.053 ± 0.019	0.10 ± 0.09
PCDDs	2.2	0.13	0.44 ± 0.37	0.49 ± 0.28	0.32 ± 0.21	0.35 ± 0.16	0.67 ± 0.55
TeCDFs	2.1	0.13	0.37 ± 0.35	0.39 ± 0.13	0.21 ± 0.06	0.33 ± 0.19	0.74 ± 0.47
PeCDFs	1.7	0.073	0.23 ± 0.26	0.25 ± 0.12	0.13 ± 0.04	0.20 ± 0.14	0.44 ± 0.40
HxCDFs	1.3	0.049	0.16 ± 0.22	0.17 ± 0.09	0.089 ± 0.030	0.14 ± 0.11	0.33 ± 0.35
HpCDFs	0.76	0.027	0.082 ± 0.13	0.084 ± 0.042	0.049 ± 0.019	0.077 ± 0.052	0.15 ± 0.22
OCDF	0.26	0.0098	0.030 ± 0.043	0.031 ± 0.017	0.018 ± 0.012	0.028 ± 0.019	0.053 ± 0.073
PCDFs	6.0	0.30	0.89 ± 1.0	0.93 ± 0.4	0.50 ± 0.14	0.77 ± 0.49	1.7 ± 1.5
Total TEQ	0.17	0.0093	0.029 ± 0.026	0.028 ± 0.012	0.023 ± 0.005	0.025 ± 0.013	0.043 ± 0.044
MoCBs	23	0.37	2.8 ± 4.4	3.8 ± 2.4	0.85 ± 0.50	2.1 ± 1.2	9.2 ± 4.7
DiCBs	43	12	24 ± 5.8	27 ± 6	26 ± 3.4	24 ± 5.3	20 ± 5.9
TrCBs	120	22	56 ± 25	51 ± 18	83 ± 19	65 ± 23	37 ± 12
TeCBs	240	24	84 ± 60	72 ± 27	160 ± 41	100 ± 56	41 ± 12
PeCBs	360	24	93 ± 90	79 ± 39	220 ± 66	110 ± 87	38 ± 10
HxCBs	200	10	41 ± 50	34 ± 22	110 ± 42	46 ± 48	16 ± 4.7
HpCBs	64	2.5	11 ± 16	7.5 ± 7.4	33 ± 14	12 ± 16	4.2 ± 1.6
OcCBs	5.1	0.29	1.0 ± 1.2	0.67 ± 0.66	2.5 ± 1.2	1.1 ± 1.2	0.58 ± 0.30
NoCBs	0.19	0.028	0.063 ± 0.036	0.050 ± 0.040	0.093 ± 0.023	0.056 ± 0.025	0.059 ± 0.043
DeCB	0.077	0.0065	0.020 ± 0.014	0.019 ± 0.010	0.018 ± 0.012	0.016 ± 0.007	0.031 ± 0.018
Total PCBs	990	100	330 ± 240	280 ± 110	640 ± 170	370 ± 230	170 ± 48

Total TEQの単位はpg-TEQ/m³、その他はpg/m³

3.1.2 PCBs

表3及び図3にPCBsの測定結果と週間の変動経過をそれぞれ示した。

年間の平均濃度は330pg/m³であった。同一年度に行われた化学物質環境実態調査¹¹⁾では、温暖期では最小36 pg/m³最大2,600pg/m³で平均260pg/m³、寒冷期では最小17 pg/m³最大630pg/m³で平均110pg/m³であり、センター屋上の夏期(640pg/m³)および冬期(170pg/m³)のいずれも全国の中では比較的高い濃度で観察された。ただし、この化学物質環境実態調査においても最大値と最小値に大きな隔たりがあり、地域によって濃度差はかなりあるものと考えられる。季節変動は冬期に低く夏期に高くなる傾向が見られ、ダイオキシン類とは逆のパターンであった。

同族体分布にも季節的な変動が見られ、夏期ではPeCBs>TeCBs>HxCBs>TrCBs、冬期ではTeCBs=PeCBs>TrCBs>HxCBsの順であった。また、TeCBsからOcCBsといった中塩素化PCBsは夏期に濃度が上昇し、冬期に低下する傾向にあったがDiCBsやNoCBs、DeCBは年間を通じてほぼ一定濃度であり、MoCBsでは逆に夏期の方が濃度が低くなった。これらの傾向は気温との関連性が強く示唆される(後述)。

図4に一部のPCBsコンジェナーの濃度の週間変動を示した。年平均濃度が高い順に#59/#69、#93/#95/#98、#101、#110といったカネクロール等のPCBs製品に由来する^{12),13)}コンジェナーが中心に検出された。

また、季節変動は中塩素化の同族体と同様に夏期に高く冬期に低い傾向を示した。一方、#126、#169、#189といったPCBs製品にはほとんど見られず、燃焼由来と考えられ

るコンジェナー¹²⁾についても、濃度が低い(<0.1 pg/m³)ものの年間を通して夏期高くなる傾向が見られたが(ただし、#169は夏期はほとんど検出されていない)、冬期においてはダイオキシン類が突出して高く観察される週では、同様にこれらの燃焼由来のコンジェナーが高濃度で観察されるなど、ダイオキシン類と同様の変動が観察された。

3.2 気象条件との関係

3.2.1 気温

POPsは一般的に揮発性が比較的高い、いわゆる半揮発性で、大気・水・土壌の媒体間で揮発/吸着又は吸収の分配によって移動することが知られており、その現象は気温に左右されるものと考えられている^{14),15),16),17)}。ダイオキシン類はPOPsの中では例外的に揮発性が極めて乏しく、気温との関連性を指摘する報告はあまり見られないが、PCBsは多くの研究者によって検討されている。

本報告においても、ダイオキシン類濃度は気温の低い冬期に高濃度を示すことが見て取れる(図1)が、これは前述のとおり燃料消費量の増加や大気安定度に影響されているもので、気温との直接的な関連性は低いものと考えられる。

一方、PCBs濃度は気温の変動に鋭敏に左右されている様子が窺える(図3、4)。そこで、週平均気温とPCBs濃度の関係を図5に示した。PCBs濃度は気温の上昇に従い指数関数的に増加する様子が観察された。一般に大気中においてPOPsのような半揮発性物質の濃度あるいはその分圧(p_A)は、その大気の絶対温度の逆数(1/T)と次式のような負の直線関係を持つと言われており、その直線の傾

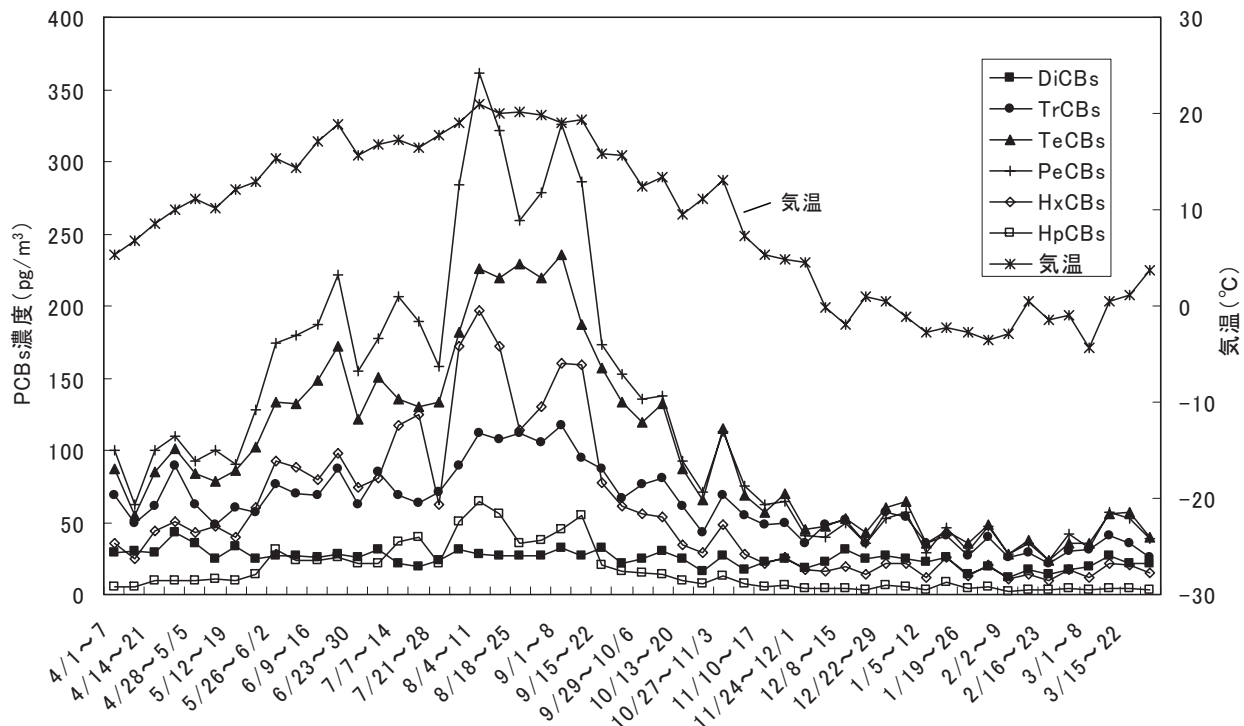


図3 PCBs濃度の週間変動

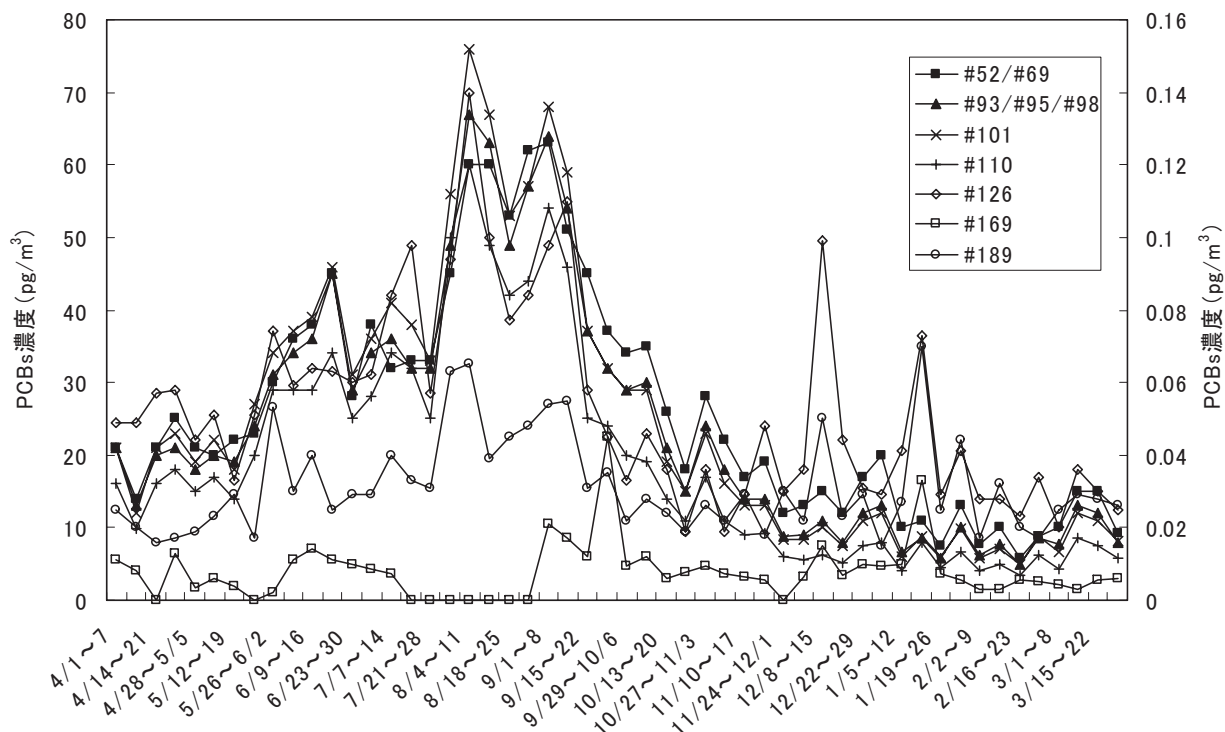


図4 各PCBsコンジェナー濃度の週間変動

(左軸：#28, #52/#69, #70, #93/#95/#98, #101, #110 右軸：#126, #169, #189, #206, #209)

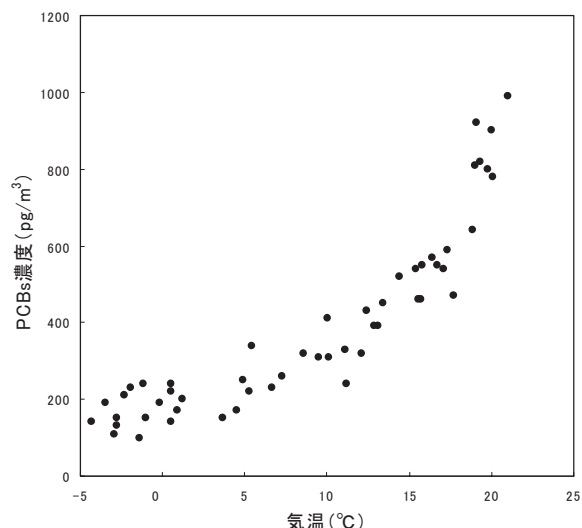


図5 PCBs濃度と気温の関係

き (m) が大きいほど揮散の影響が大きく、近傍に発生源が存在する可能性が示唆される¹⁵⁾。

$$\ln(p_A) = \frac{m}{T} + b$$

bは切片である。この関係を用いて、大気中のPCBsコンジェナーの挙動について検討を行った。10種の同族体及びPCBs製品に特異的に含有されるmajor PCBs¹³⁾とダイオキシン様PCBs (以下、「DL-PCBs」と略す。)の44種について、 p_A と1/Tの関係及びmと相関係数 (以下、「r」と略す。)を図6及び表4にそれぞれ示す (図6には一部のコンジェナーと各同族体についてのみ表記)。

概ね中塩素化体に属するmajor PCBsのコンジェナーの傾きが大きく、特に塩素化数が多いほどmが負の大きな値となる傾向が認められた。このmの大きさは、その物質の

大気への揮散の大きさについて説明しているものと解釈される^{15), 16), 17)}ことから、これらのmajor PCBsが気温の上昇に伴って大気中の濃度が高まりやすい、つまり夏期において土壌やその他の媒体から大気中へ放出され、冬期にはその揮散が小さくなり、大気中のPCBsが再び土壌等へ吸着していることが示唆された。大気中のPCBsは、PCB製品が使用されているトランスやコンデンサー、建造物等からのものであることが指摘されており^{18), 19)}、地域によってその濃度差が大きいことは、測定地点周辺の状況が大きく影響しているものと考えられる。

一方、1～2塩素化体や9塩素化体以上のPCBs、また中塩素化体でも#126や#169といったコンジェナーでは、傾きが緩やかであったり、正の直線関係であることが認められた。特にMoCBsでは気温が上昇するほどその濃度が減少していることから、その蒸気圧の高さのため捕集材に完全に捕集されていないものと考えられる。高菅ら²⁰⁾は低塩素化体のPCBsがQFFとPUFでは捕集しきれないことを報告しており、これらの完全な捕集には活性炭繊維ろ紙・フェルトの併用が不可欠であると考えられる^{20), 21)}。高塩素化体や#126、#169については、ダイオキシン類同様その揮発性の低さから気温による影響が大きくなかったり¹⁷⁾、PCB製品にほとんど含まれていないためと推測された。

3.2.2 浮遊粒子状物質

浮遊粒子状物質 (以下、「SPM」と略す。)とダイオキシン類及びPCBs濃度との相関係数を表5に示す。OCDDとDiCBsでそれぞれrが0.36、0.47、有意水準 (以下、「p」と略す。)が0.1%未満、1%未満で正の相関が認められたものの、これらを含め大きな相関関係は認め難かった。ダイオキシン類や高塩素化PCBsは蒸気圧が低いために、大

表4 各PCBsコンジェナーにおける気温の逆数と分圧の関係

コンジェナー	m	r	p ^{c)}	コンジェナー	m	r	p ^{c)}	コンジェナー	m	r	p ^{c)}	
<i>DiCBs</i>				105 ^{a)b)}	-8.04	-0.95	***	#189 ^{b)}	-1.71	-0.44	**	
	#5/#8 ^{a)}	0.93	-0.33	*	#118 ^{a)b)}	-7.97	-0.95	***	<i>OcCBs</i>			
<i>TrCBs</i>				#114 ^{b)}	-7.52	-0.95	***	#199 ^{a)}	-6.63	-0.85	***	
	#18 ^{a)}	-2.65	-0.77	***	#123 ^{b)}	-7.64	-0.95	***	#194 ^{a)}	-4.27	-0.72	***
	#31 ^{a)}	-4.29	-0.89	***	#126 ^{b)}	-3.34	-0.67	***	#196/#203 ^{a)}	-6.64	-0.86	***
	#28 ^{a)}	-4.18	-0.89	***	<i>HxCBs</i>							
	#20/#33 ^{a)}	-4.43	-0.87	***	#138 ^{a)}	-8.23	-0.94	***	同族体			
<i>TeCBs</i>				#139/#149 ^{a)}	-8.17	-0.95	***	MoCBs	8.88	0.92	***	
	#52/#69 ^{a)}	-5.84	-0.93	***	#153 ^{a)}	-8.44	-0.94	***	DiCBs	-1.45	-0.56	***
	#44 ^{a)}	-5.79	-0.94	***	#156 ^{b)}	-7.25	-0.91	***	TrCBs	-3.86	-0.88	***
	#66 ^{a)}	-6.92	-0.96	***	#157 ^{b)}	-6.30	-0.89	***	TeCBs	-6.00	-0.95	***
	#70 ^{a)}	-6.71	-0.96	***	#167 ^{b)}	-7.45	-0.92	***	PeCBs	-7.38	-0.96	***
	#81 ^{b)}	-5.48	-0.86	***	#169 ^{b)}	-2.22	-0.35	*	HxCBs	-8.16	-0.95	***
	#77 ^{b)}	-7.54	-0.96	***	<i>HpCBs</i>				HpCBs	-8.78	-0.94	***
<i>PeCBs</i>				#170 ^{a)b)}	-7.38	-0.89	***	OcCBs	-6.68	-0.86	***	
	#93/#95/#98 ^{a)}	-6.87	-0.95	***	#174 ^{a)}	-9.05	-0.93	***	NoCBs	-2.44	-0.53	***
	#101 ^{a)}	-7.39	-0.96	***	#180 ^{a)b)}	-8.24	-0.91	***	DeCB(#209)	1.98	0.40	**
	#110 ^{a)}	-7.83	-0.96	***	#182/#187 ^{a)}	-9.07	-0.94	***				

a) major PCBs b) DL-PCBs c) 有意水準(***: < 0.001, **: < 0.01, *: < 0.05)

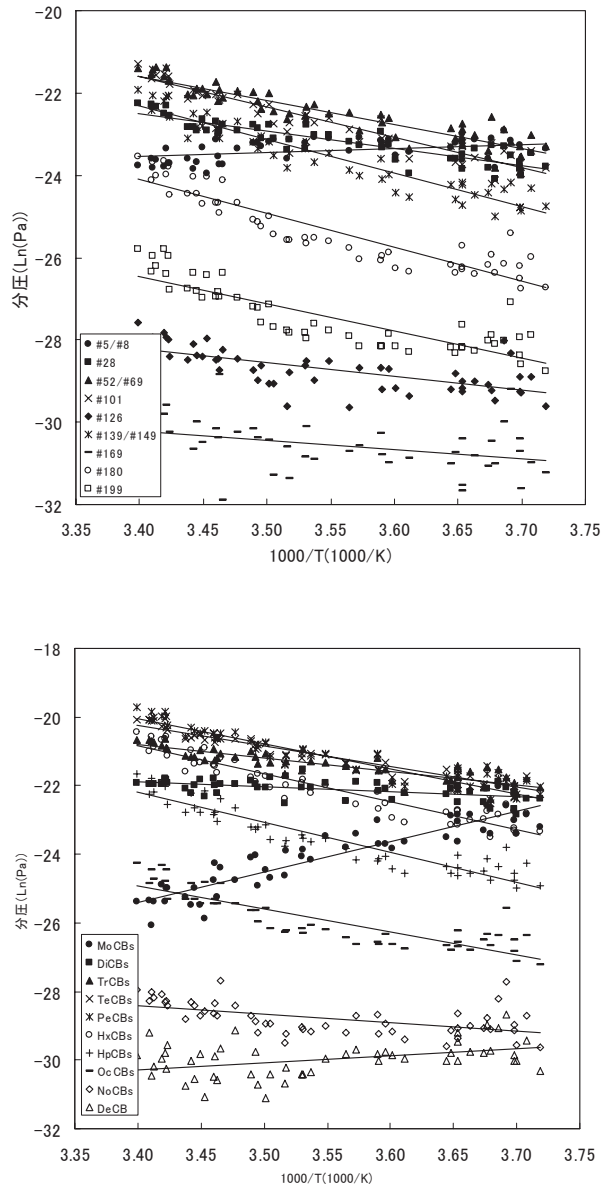


図6 気温の逆数と分圧の関係
(上段：コンジェナー、下段：同族体)

気中では粒子状物質に吸着していると考えられることから、これらとの関連性を指摘する報告もあるが²²⁾、今回の検討ではそのような傾向は見られなかった。ただし、図7のとおり#38ではrが0.62、pが0.1%未満で相関が得られた。SPMは概ね春期に濃度が高くなり、突出して観測されることもあるが、#38はこの変動と類似していた。この事象については今後の検討課題とする。

3.2.3 降水・降雪量

降水量及び降雪量（降雪の深さ）とダイオキシン類及びPCBs濃度との相関係数を表5に示す。降雪量については、降雪期である12月から3月までの16週について対象とした。降水量及び降雪量ともに全ての同族体でrの絶対値が0.42以下であり、pが5%未満となったものは認められなかった。24時間サンプリング法などの短期間の採取法の場合には、降水量との関連性を指摘される場合もある^{21), 23)}が、今回の一週間サンプリング法ではこのようなファクターが平均化されたものと考えられる。

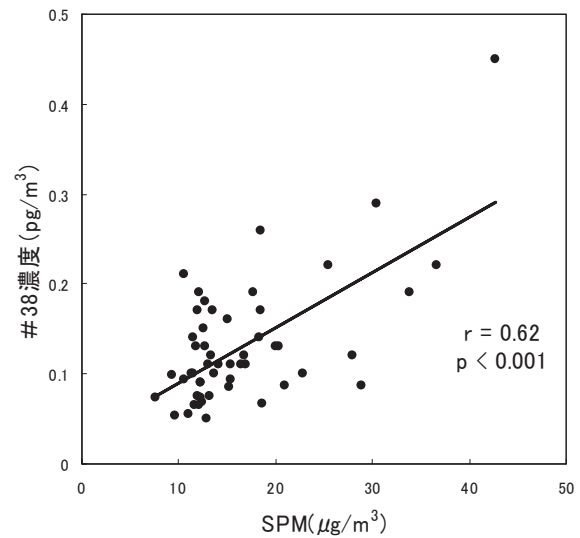


図7 SPMと#38濃度の関係

表5 各位同族体濃度と気象条件との相関係数

同族体	SPM	降水量	降雪量 ^{a)}	風速	同族体	SPM	降水量	降雪量 ^{a)}	風速
TeCDDs	-0.04	0.15	-0.01	-0.28*	MoCBs	-0.10	0.10	-0.08	-0.18
PeCDDs	0.04	0.13	0.04	-0.23	DiCBs	0.47**	-0.24	-0.21	-0.09
HxCDDs	0.04	0.16	0.05	-0.19	TriCBs	0.15	-0.16	-0.22	-0.15
HpCDDs	0.16	0.12	0.04	-0.10	TeCBs	0.10	-0.17	-0.41	-0.08
OCDD	0.36***	-0.02	0.13	0.02	PeCBs	0.10	-0.12	-0.42	-0.03
TeCDFs	-0.04	0.16	0.06	-0.27	HxCBs	0.10	-0.09	-0.28	0.01
PeCDFs	0.02	0.11	<0.01	-0.24	HpCBs	0.05	-0.05	-0.10	0.02
HxCDFs	<0.01	0.16	0.05	-0.18	OcCBs	0.01	0.03	0.03	0.01
HpCDFs	<0.01	0.14	<0.01	-0.14	NoCBs	0.12	0.14	0.09	0.06
OCDF	0.01	0.17	0.07	-0.09	DeCB	-0.03	0.13	-0.01	0.02

a) n=16, ***) p<0.001, **) p<0.01, *) p<0.05

3.2.4 風速

風速とダイオキシン類及びPCBs濃度との相関係数を表5に示す。TeCDDsでpが5%未満で有意な負の相関が得られた ($m = -0.040$) もの、相関係数はいずれも小さく相関関係は認め難かった。一般に風速が強くなると、その希釈効果により汚染物質濃度は低下するものとされている^{6), 21), 22)}が、今回の検討では明確ではなかった。これも前述のとおり一週間サンプリング法によりその影響が平均化されたためと考えられる。

4 まとめ

札幌市における大気環境中のダイオキシン類及びPCBsの年間変動について、一週間サンプリング法を用いて2003年4月から2004年3月までの一年間連続的に測定を行った。ダイオキシン類濃度は夏期よりも冬期に高くなる傾向にあり、逆転層の生成による影響等が示唆された。

一方、PCBs濃度は夏期に指数関数的に上昇することが観察され、気温上昇に伴いその揮発により大気中に放出されていることが示唆された。

SPMや降水・降雨量、風速による影響は特に観察されず、一週間サンプリング法によりこれらの要因が平均化されたものと考えられた。すなわち、大気中におけるダイオキシン類及びPCBsの濃度変動は、逆転層の生成や気温のような気象要因に強く依存し、これらのパラメーターによりある程度予想可能であることが示唆され、年4回観測を行うに場合における観測週の設定や、異常値の原因説明等にこれらの側面からアプローチすることが可能であると考えられる。

5 参考文献

- 1) 東條俊樹, 神浦俊一, 藤田忠雄, 森義明, 清家伸康: 大気中ダイオキシン類の日間変動, 第11回環境化学討論会講演要旨集, pp376-377, 2002
- 2) 村山等, 森田昌敏: 環境大気中のダイオキシン流濃度の測定, 大気環境学会誌, Vol. 37, No. 3, ppA13-A26, 2002
- 3) 環境省「ダイオキシン類に係る大気環境調査マニュアル」, 2001
- 4) 松村千里, 鶴川正寛, 中野武, 江崎達哉, 大橋眞: キャピラリーカラム (HT8-PCB) によるPCB全209異性体の溶出順位, 環境化学, Vol. 12, pp. 855-865, 2002
- 5) 環境省「平成15年度ダイオキシン類に係る環境調査結果」, 2004
- 6) 清家伸康, 吉田雅司, 松田宗明, 河野公栄, 脇本忠明: 大気環境におけるダイオキシン類の季節変動, 環境化学, Vol. 11, pp. 455-465, 2001
- 7) H. Miyama, S. Takamitsu, N. Iwata, T. Nakao, O. Aozasa, S. Ohta.: Investigation on assessment of air pollution by dioxin analogues using Japanese blank pine needle as an indicator, Organohalogen Compounds, 46, pp373-376, 2000
- 8) 川中洋平, 王寧, 尹順子, 坂本和彦: 大気浮遊粒子中の1-ニトロピレンおよび多感芳香族炭化水素の粒径分布および季節変動, 環境化学, Vol. 12, pp. 599-607, 2002
- 9) 松本寛, 中島敏秋, 酒井茂克, 野口泉, 秋山雅之: 寒冷地における都市大気浮遊粉じんの変位源活性の季節変動, 日本化学会誌, Vol. 6, pp837-844, 1991
- 10) 吉岡秀俊, 佐々木裕子: 環境大気中のダイオキシン類1-ハイポリウムおよびローポリウムサンプラーによる測定事例一, 第44回大気環境学会年会講演要旨集, pp633, 2003
- 11) 環境省「平成16年度版化学物質環境実態調査-化学物質と環境-」, 2005
- 12) Kim, K. S., Hirai, Y., Kato, M., Urano, K., Masunaga, S.: Detailed PCB congener patterns in incinerator flue gas and commercial PCB formulations (Kanechlor), Chemosphere, 55, pp.539-553, 2004.
- 13) T. Takasuga, K. Senthilkumar, T. Matsumura, K. Shiozaki S. Sakai: Isotope dilution analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oil and global commercial PCB formulations by high resolution gas chromatography?high resolution mass spectrometry, Chemosphere, 62, pp.469-484, 2006
- 14) 安原昭夫: POPsなどの難分解性有機汚染物質に関する最近の動向, 日本分析化学会第260回ガスクロマトグラフィー研究会特別講演会要旨集, pp1-12, 2003
- 15) Wania, F., Haugen, J.-E., Lei, Y. D., Macky, D.: Tracking the distribution of persistent organic pollutant, Environ. Sci. Technol., 30, pp390A-396A, 1998
- 16) H. Murayama, Y. Takase, H. Mitobe, H. Mukai, T. Ohzeki, K. Shimizu, Y. Kitayama: Seasonal change of persistent pollution concentrations in air at Niigata area, Japan, Chemosphere, 52, pp.683-694, 2003.
- 17) I. Ogura, S. Masunaga, J. Nakanishi: Quantitative Source Identification of Dioxin-like PCBs in Yokohama, Japan, by Temperature Dependence of Their Atmospheric Concentrations, Environ. Sci. Technol., 38, pp3279-3285, 2004
- 18) 平井祐介, 増永茂樹, 中西準子, 尾張真則: PCB保管庫における汚染の現状, 第11回環境化学討論会講演要旨集, pp484-485, 2002

- 19) 藤原英隆, 鶴川正寛, 松村千里, 森口祐三, 中野武: PCB含有シーリング材迅速判定法の検討, 環境化学, Vol. 13, pp. 69-76, 2003
- 20) 高菅卓三, 山下道子, 嶽盛公昭, 高澤嘉一, 柴田康行: POPsモニタリングにおける大気採取法の検討, 第14回環境化学討論会講演要旨集, pp82-83, 2005
- 21) 村山等, 水戸部英子, 鈴木貴博, 渋谷信雄, 高瀬雄也, 清水研一, 北山淑江: 大気中有機塩素系農薬濃度の日間変動とその要因について, 環境化学, Vol. 13, pp. 143-153, 2003
- 22) 西村貴司, 多々野秀二, 鎌田暁義, 服部幸和, 牧定雄: 環境大気中のダイオキシン類の挙動, 環境化学, Vol. 8, pp. 759-767, 1998
- 23) 東條俊樹, 神浦俊一, 藤田忠雄, 森義明, 清家伸康: 大気中ダイオキシン類の日間変動~大都市の場合~, 第11回環境化学討論会講演要旨集, pp376-377, 2002

Annual Variation of Concentration and Constituent of Dioxins and PCBs in Ambient Air in Sapporo City

Katsunori ANEZAKI, Katsuyuki YAMAGUCHI,
Hideyuki OTSUKA, Shosuke NATSUME,
Riki IWATA

Abstract

The annual variation of dioxins and polychlorinated biphenyls (PCBs) in the ambient air in Sapporo City during from April 2003 to March 2004 was studied. The samples of 52 weeks were collected using a Middle-volume Air Sampler. The annual mean of dioxins and PCBs were 0.034 pg-TEQ/m³ and 390 pg/m³, respectively. It was observed that the concentration of dioxins was higher in the winter than in the summer, and conversely the concentration of PCBs was remarkably higher in the summer. The concentration of dioxins showed effect of inversion layer at the sampling site, and the concentration of PCBs showed a strong correlation with air temperature; mainly it was recognized that PCBs vaporize according to the increase in air temperature.

LC/MS法による医薬品類の一斉分析法の開発に関する検討

永洞 真一郎

要 約

近年、内分泌かく乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）などの、生体に対して生理活性を有する化学物質による水環境汚染が懸念され始めている。特にPPCPs（Pharmaceuticals and Personal Care Products）と総称されるヒトあるいは畜産用医薬品、保健用製品に含まれている化学物質は、低濃度でも特異的な生理活性を有している。PPCPsによる水環境の汚染は、水循環によるヒトへの暴露による健康影響や、薬剤耐性菌の発生などの問題を引き起こす可能性がある。このことから、水環境におけるPPCPsの汚染実態調査が急務と考え、LC/MS法による医薬品類の一斉分析法の開発に関する検討を行った。その結果、10種類の人用医薬品と1種類の家畜用医薬品について最適な測定条件を求めた。また、良好な分離条件が求められ一斉分析が可能であることが示唆された。

Key Words: PPCPs, LC/MS法

1 はじめに

現在、我々の身の回りでは様々な化学物質が使用されている。その中で、医薬品や石鹸などのボディケア用品はPPCPs（Pharmaceuticals and Personal Care Products）と総称され、これらの化学物質による生態系への影響が懸念されている。これらの物質は、製品が廃棄されたり、摂取した生体から排泄されることによって環境中に放出される。また、製品に添加されている濃度としては微量であっても、広範囲で使用されることや、影響が特異的かつ選択的であることから、低濃度であっても生物に対して影響を及ぼす可能性が考えられる。これまではこうした化学物質の分析は困難であったが、高速液体クロマトグラフィー/質量分析装置（LC/MS）の普及に伴って、欧米を中心にしたわが国でも、河川水中から医薬品の報告例が相次いでいる^{1)~8)}。また、水環境中における薬剤耐性菌の存在も報告されている⁹⁾。しかしこうした医薬品類の一斉分析法の構築に関する報告例はほとんどなく、本道の水環境における水質調査の報告事例は全くない。このことから、当センターの高速液体クロマトグラフィー/質量分析装置（LC/MS）を用いて、わが国で使用される医薬品類の一斉分析法の開発を試みた。

2 方法

2.1 対象とする医薬品の選定

国内外の文献から、ヒト用として使用量の多いとされる

医薬品や、水環境において検出報告のある医薬品をピックアップした。また、本道は畜産業も盛んであることから、検出報告のある家畜用医薬品もピックアップした。その結果、表1に示す11種類の医薬品（解熱鎮痛剤6種、抗ヒスタミン剤2種、家畜用抗菌剤1種及び抗てんかん薬、鎮痒剤各1種）に関してLC/MS法による一斉分析法の開発を試み、分析条件の検討を行った。これらの医薬品の化学構造を図1に示す。

表1 医薬品名とその用途

薬品名	用途	備考
イブプロフェン	解熱鎮痛剤	
ケトプロフェン	解熱鎮痛剤	
ナプロキセン	解熱鎮痛剤	
ジクロフェナクナトリウム	解熱鎮痛剤	
エトドラク	解熱鎮痛剤	
インドメタシン	解熱鎮痛剤	
ジフェンヒドラミン塩酸塩	抗ヒスタミン剤	
マレイン酸クロルフェニラミン	抗ヒスタミン剤	
スルファメトキサゾール	抗菌剤	家畜用
カルバマゼピン	抗てんかん薬	
クロタミトン	鎮痒剤	

2.2 試薬

医薬品類の標準品として、イブプロフェン(Ibuprofen)、ケトプロフェン(Ketoprofen)、ナプロキセン(Naproxen)、ジクロフェナクナトリウム(Diclofenac sodium salt)、エト

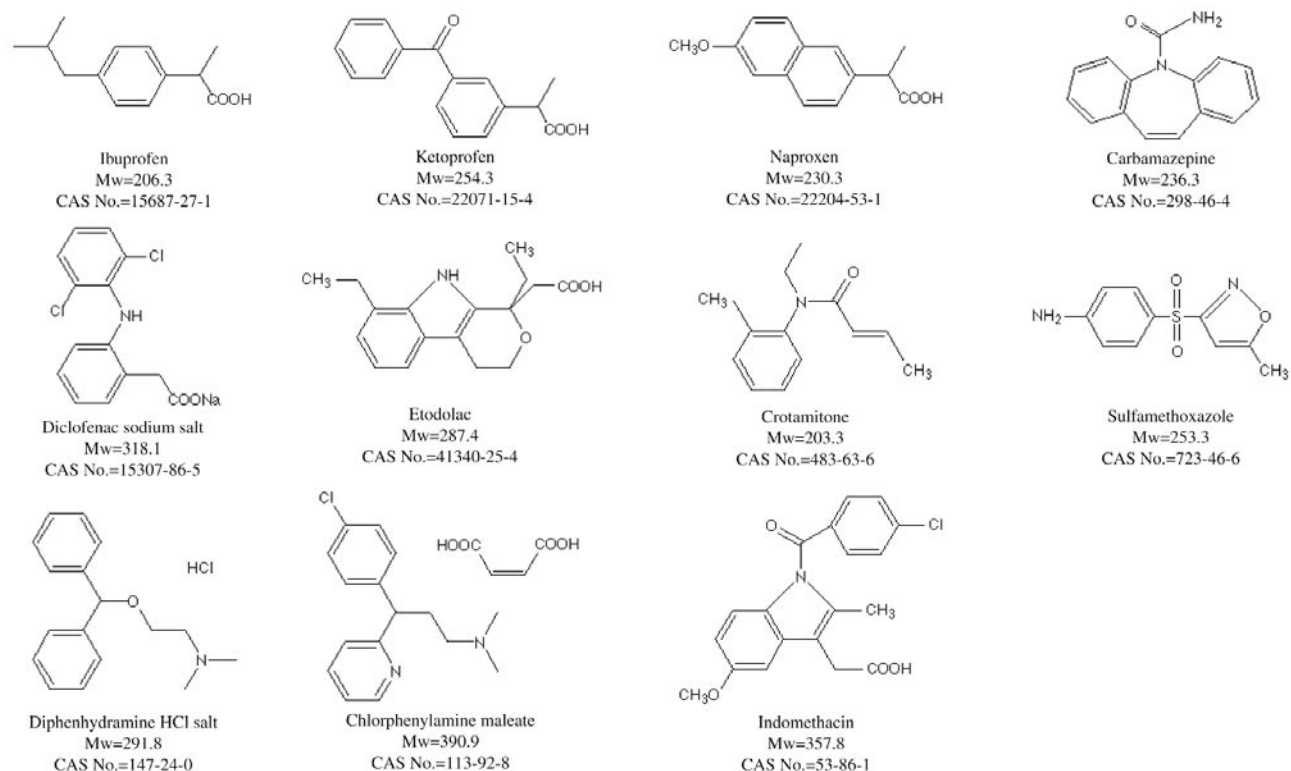


図1 医薬品11種類の化学構造、分子量(Mw)とCAS番号

ドラク(Etodolac)、インドメタシン(Indomethacin)、ジフェンヒドラミン塩酸塩(Diphenhydramine hydrochloride)、マレイン酸クロルフェニラミン(Chlorphenylamine maleate)、スルファメトキサゾール(Sulfamethoxazole)、カルバマゼピン(Carbamazepine)は和光純薬工業株式会社製、クロタミトン(Crotamitone)はSigma-Aldrich Inc.製を使用した。これらの標準品は、メタノールに1000 μ g/mLとなるように溶解した標準溶液を調製し、これを適宜希釈して使用した。試薬の溶解に用いたメタノールは関東化学株式会社製の残留農薬試験用グレードを使用した。溶離液に使用したギ酸は和光純薬工業株式会社製の特級グレードを、酢酸アンモニウムは関東化学株式会社製の特級グレードを使用した。溶離液の調製には、Milli-Q水を使用し、調製後にアドバンテック東洋株式会社製PTFEメンブランフィルター(孔径0.1 μ m)を用いてろ過した後使用した。

2.3 装置

本研究には、Waters社製Alliance 2690 高速液体クロマトグラフィー装置にMicromass社製Platform LCZ質量分析装置を接続して使用した。分離カラムにはWaters社製Xterra MS C18(5 μ m, 2.1mm ϕ ×150mm)を使用した。また、ガードカラムとして住化分析センター株式会社製SUMIPAX Filter PG-OH(セミマイクロ用)を用いた。各物質のマススペクトルの測定には50mM酢酸アンモニウム水溶液(0.2%ギ酸):メタノール=10:90を溶離液とし、ア

イソクラティックで流量は0.2mL/分とした。11医薬品の一斉分析には50mM酢酸アンモニウム水溶液(0.2%ギ酸):メタノール=40:60を溶離液とし、アイソクラティックで流量は0.2mL/分とした。また、試料のインジェクト量は10 μ Lとした。また、質量分析装置におけるイオン化モードはESIモードとした。

3 結果と考察

3.1 マススペクトルの確認とコーン電圧の検討

LC/MS法は、MS検出装置におけるイオン化の成否が重要である。イオン化の成否には溶離液の組成が大きく影響することから、溶離液を一定とするアイソクラティックモードにて検討を行った。溶離液は、ポジティブイオンを生成しやすくするため、ギ酸の濃度を0.2%とし、酢酸アンモニウム濃度も50mMとした。そして、各医薬品におけるリテンションタイム(保持時間)及びマススペクトルの確認を行った。また、コーン電圧の変化によりマススペクトルのパターンやピーク強度が変動することから、ポジティブ、ネガティブの両モードにおいてコーン電圧を ± 10 Vから ± 60 V(一部 ± 1 Vから ± 60 V)まで10Vごとに変化させ、ピークアバンドンスの変化を求めた。この結果を図2に示す。この図から、コーン電圧を変化させることによりフラグメントイオンのピーク強度が大きく変動することが明らかとなった。またこの図から、ピーク強度が最大級になる

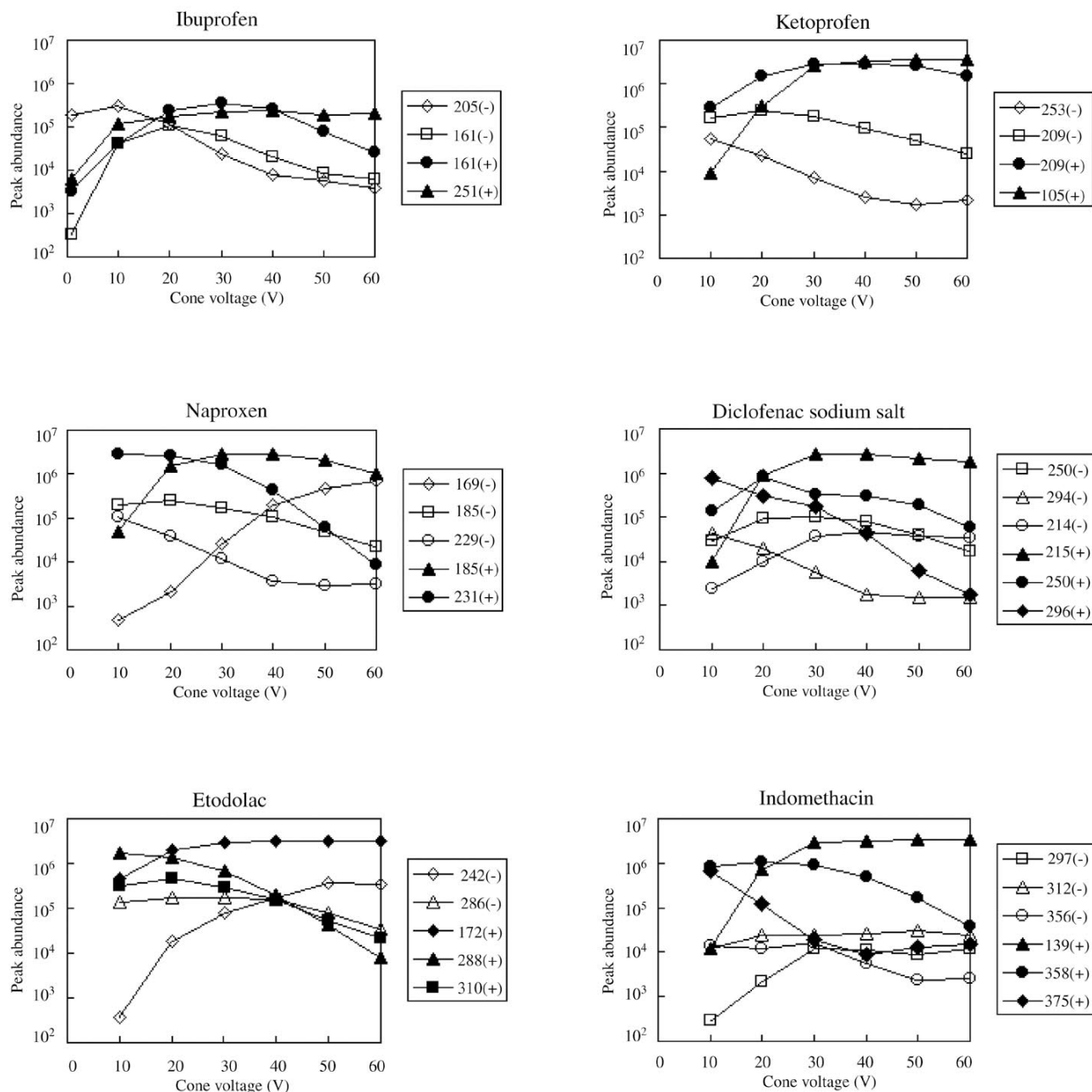


図2 コーン電圧の変化に伴う各質量数におけるピークアバンドンスの変動

フラグメントイオン及びコーン電圧を選択し、そのフラグメントイオンの生成反応を推測した。その結果を表2に示す。

3.2 一斉分析法の検討

各医薬品に関して得られた情報をもとに、一斉分析法の検討を行った。検出方法は、各物質について1種類のフラグメントイオンのクロマトグラムを測定するSIR(Single Ion Resolution)モードとした。また、各物質のフラグメントイオンの選定及びコーン電圧の選定は、図2から最大級のピーク強度が得られる条件、すなわち表2に示した条件とした。各物質の濃度を5 µg/mLとした混合溶液を測定

表2 一斉分析に採用した各物質のフラグメントイオンの質量数

薬品名	コーン電圧	m/z	推定されるフラグメント構造
イブプロフェン	30	161	脱COOH
ケトプロフェン	30	209	脱COOH
ナプロキセン	30	185	脱COOH
ジクロフェナクナトリウム	30	215	脱COONaおよび脱HC 1
エトドラク	30	172	脱γ-オキシ吉草酸およびH ⁺ 付加?
インドメタシン	30	139	クロロフェニルカルボニル残基?
ジフェンヒドラミン塩酸塩	30	167	ジフェニルメチレン残基
マレイン酸クロルフェニラミン	30	230	脱マレイン酸および脱ジメチルアミン残基
スルファメトキサゾール	30	254	H ⁺ 付加
カルバマゼピン	30	237	H ⁺ 付加
クロタミトン	30	204	H ⁺ 付加

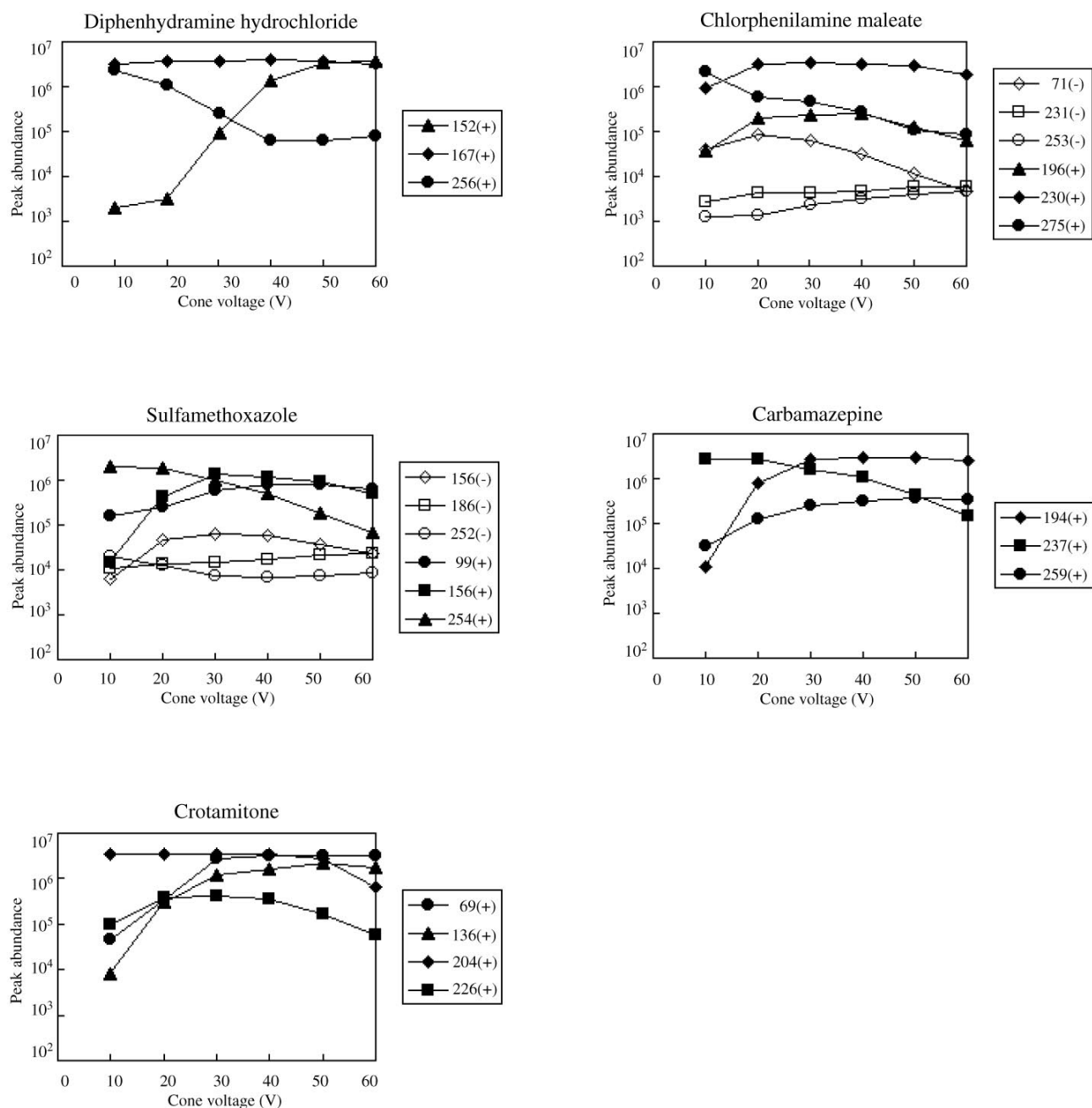


図2 コーン電圧の変化に伴う各質量数におけるピークアバンドンスの変動 (続き)

したマスフラグメントグラムを図3に示す。溶離液の組成を前述のとおり50mM酢酸アンモニウム水溶液(0.2%ギ酸):メタノール=40:60とすることにより、良好な分離が得られた。このことから、今回選定した11種類の医薬品に関して、LC/MS法により一斉分析が可能であることが示された。今後は、環境試料への応用に関する検討を行い、北海道の水環境における医薬品類汚染の実態把握を目指したいと考えている。

4 まとめ

今回、検出報告事例のあった医薬品を中心にLC/MS法による一斉分析法の開発に関する検討を行い、標準試料において11種類の医薬品類を一斉分析できる分析条件を構築した。しかし、この手法を環境試料に応用する場合、水質試料中からの医薬品の抽出法の検討、環境試料中に共存するマトリックスの影響の検討など、越えなければならないハードルはいくつも残されている。今後はこの手法に検討を加え、上記のような問題点をクリアするとともに、さらなる高感度化をめざしている。さらに、本道で多く使用さ

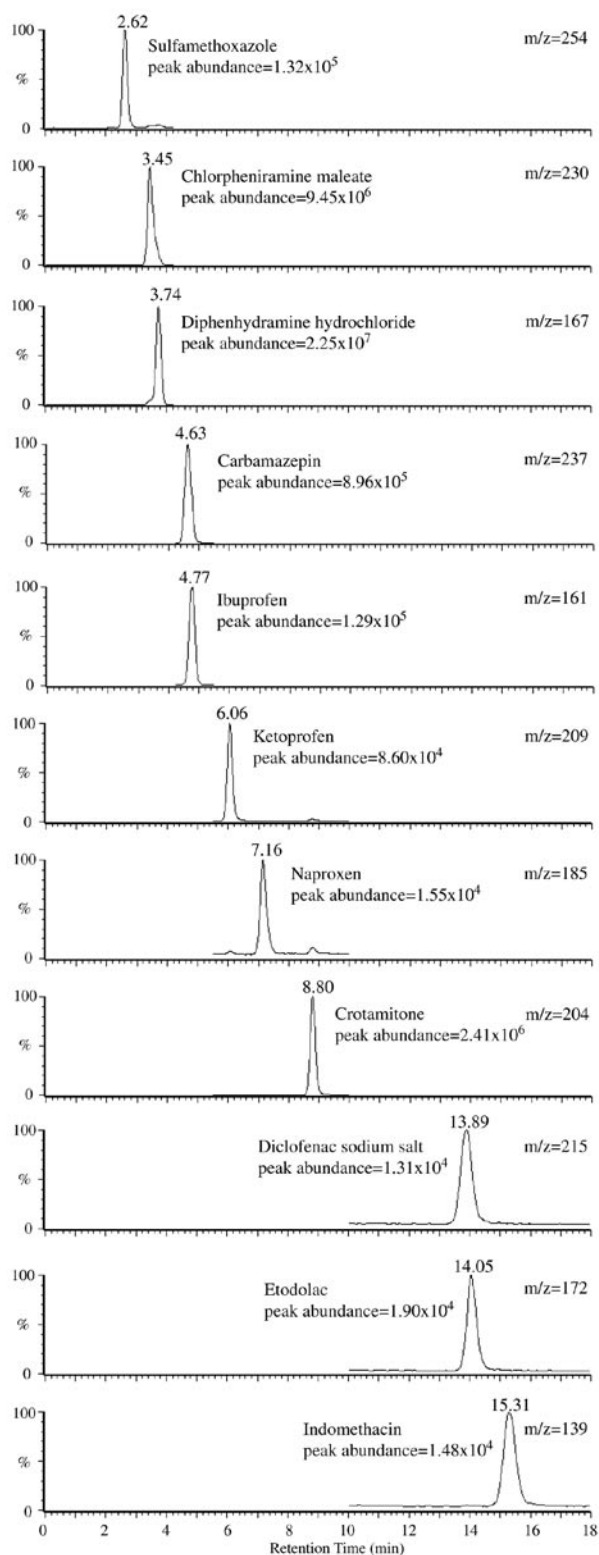


図3 各医薬品類のマスフラグメントグラム

れている医薬品や、分解を受けにくく環境中で検出されやすい医薬品についての知見は現時点ではまだ得られていない。今後はこうした情報の入手を試みるとともに、今回報告した手法を応用して本道の水環境における医薬品類の存在実態調査を行いたいと考えている。

5 参考文献

- 1) 谷島利勝, 高田秀重; , 下水処理放流水中の医薬品起源化学物質の分析. 第11回環境化学討論会講演要旨集, pp. 130-131 (2002)
- 2) 篠塚達雄; , 医薬品の一斉分析法の開発. The Chemical Times No. 2, 6-10 (2004)
- 3) G.R.Boyd, J.M.Palmeri, S.Zhang and D.A.Grimm; , Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine disrupting chemicals (EDCs) in stormwater canals and Bayou St. John in New Orleans, Louisiana, USA. Science of the Total Environment vol.333 137-148(2004)
- 4) 鈴木俊也, 宇佐美美穂子, 安田和男; , 河川水中の解熱鎮痛消炎剤のモニタリング. 第38回日本水環境学会年会講演集, pp288 (2004)
- 5) 久保田領志, 田原麻衣子, 清水久美子, 徳永祐司, 西村哲司; , 都市域における下水処理場流入水および放流水中医薬品の存在・実態第14回環境化学討論会講演要旨集, pp. 240-241 (2005)
- 6) 清野敦子, 益永茂樹, 古荘早苗; , わが国の水環境中における人用・動物用医薬品の存在. 水環境学会誌 Vol. 27 685-691 (2004)
- 7) D.Ashton, M.Hilton and K.V.Thomas; , Investigating the environmental transport of human pharmaceuticals to stream in the United Kingdom. Science of the total environment vol.333 167-184(2004)
- 8) B.Gross, J.M.Brown, A.Naumann and M.Reinhard; , Occurrence and fate of pharmaceuticals and alkylphenol ethoxylate metabolites in an effluent-dominated river and wetland. Environmental toxicology and chemistry vol.23 2074-2083(2004)
- 9) 清野敦子, 長谷川泰子, 古荘早苗; , 金目川, 鶴見川, 多摩川における薬剤耐性大腸菌の分布. 水環境学会誌 Vol. 27 693-698 (2004)

Study on development of simultaneous analytical method for 11 pharmaceuticals by LC/MS method.

Shinichiro NAGAHORA

Abstract

In recent years, the aquatic contamination caused by biologically active chemicals such as endocrine disrupting chemicals have a great concern. Especially, pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) have much attention in wastewater system. It is afraid that the influence of exposure by PPCPs to our health or the generation of pharmaceuticals resistant bacterium by water contamination by PPCPs. There is no data about the occurrence of PPCPs in water systems in Hokkaido. Thus I tried to establish the manner for analyze PPCPs. An optimum condition of simultaneous detection of 11 pharmaceuticals by LC/MS was found.

石狩浜砂丘植物群落における開花フェノロジー、訪花昆虫、結実率の関係

西川 洋子 内藤 華子*

要 約

北海道石狩浜砂丘植物群落の虫媒花植物について、種レベルおよび群落レベルの繁殖特性を明らかにするために、開花フェノロジー、訪花昆虫相および結実特性を調査した。砂丘植物群落の開花期は4月下旬から10月下旬までの約6ヶ月間であり、6月に開花種数が急激に増加し、7月には最も多くの植物が開花した。種レベルの開花期間は、開花のピークが5～6月の植物は短く、7月以降に開花のピークを持つ植物は長い傾向があった。訪花昆虫は34種が観察され、甲虫目が種数、個体数ともに最も多く、次いで膜翅目のコハナバチの仲間が多かった。訪花昆虫の出現種数は6月に最多となった。結実率は、種によって大きく異なり、多くの植物が、花粉不足により結実が制限されている可能性が高い。結実率が比較的高い植物では、多くの訪花昆虫が観察されたほか、自家受粉により花粉不足を補っている可能性がある。また、種子の食害が多く植物で観察され、種子生産に大きく影響していると考えられる。石狩浜砂丘植物群落の種子繁殖において、それぞれの植物の開花特性と訪花昆虫や食害昆虫との間には密接な関係がみられた。

Key Words: 石狩浜、開花フェノロジー、訪花昆虫、結実率、食害

1 はじめに

海浜地域は、地形の変化に応じた多様な植物群落が発達し、海浜地域特有の植物や希少植物の生育地であると同時に、様々な動物の生息場所となるなど、生物多様性の高い生態系である。近年、海浜植生の衰退が全国的に進行しているが、これらの保全あるいは復元を行うためには、海浜植物について、種レベルの生育特性を把握するとともに、群落レベルのフェノロジー（生物季節学）や訪花昆虫等動物との相互関係を明らかにする必要がある。特に、種子繁殖は、植物集団の存続に直接影響を与える重要な過程であり、対象となる植物の種レベル及び群落レベルにおける繁殖特性を把握することは、植生の保全上不可欠である。しかし、海浜植物の群落レベルにおける繁殖特性については、主要な植物の開花フェノロジーと訪花昆虫の出現頻度との関係を調査した事例はあるが非常に少ない^{1,2)}。

本研究では、石狩浜砂丘植物群落における種及び群落レベルの繁殖特性を明らかにするために、群落を構成する主要な虫媒花植物について、開花フェノロジー、訪花昆虫相および結実特性の調査を行った。

2 調査地域

* 石狩市石狩浜海浜植物保護センター

石狩浜は、石狩平野の北部に位置し、石狩湾に沿って発達した全長約30kmにおよぶ砂丘海岸である³⁾。現地調査は、石狩浜の石狩湾新港より北東側の地域において行った（図1）。この地域は、海岸に平行して海側に標高6m程度の第一砂丘、内陸側に標高10m程度の第二砂丘が存在する³⁾。これらの地形の変化に沿って、海岸側からテンキグサ群落、ハマナスーススキ群落が発達し、第二砂丘の内陸側にはカシワ林が成立している⁴⁾。

3 調査方法

(1) 開花フェノロジー

石狩浜砂丘に生育する植物のうち、37種の虫媒花植物に



図1 調査地域

国土地理院発行 5万分の1地形図「石狩」を使用。

ついて開花期間および開花期間内の開花量の変化を調査した(表1)。対象種のうち、10種は外来種である(表1)。これらの植物の生育地に、3m×3mあるいは1m×5mの固定調査区を合計11カ所設定し、各調査区内に生育する調査対象種について、開花個体数、花序当たりの開花数あるいは開花割合を調査した。また、ヒロハクサフジおよび木本9種(ハマナス、ナワシロイチゴ、ヤマブドウ、ツルウメモドキ、アキグミ、マユミ、コマユミ、キンギンボク、イボタノキ)については、調査個体を5個体ずつ選定し、それぞれ1枝を観察の対象として、枝あたりのすべての花序について開花数、花序当たりの開花数あるいは開花割合を調査した。また、調査区外でも、開花が確認された種については、種名の記録を行った。

調査対象種のうち、出現頻度の高い11種については、個体毎の開花期間及び開花数の変化を調査した。調査個体は、石狩浜海浜植物保護センターの見本園の栽培個体あるいはその周辺の自生個体を用いた。調査個体数は種によって異なるが、4～11個体について調査を行った。

現地調査は、2003年4月から10月までの期間、原則として週1回実施した。

(2) 訪花昆虫相

固定調査区内とマーキングを行った開花フェノロジー調査対象植物、ならびにその周辺で観察された昆虫を全て記録した。調査は開花フェノロジー調査と同時に行い、1回の調査時間は約3時間で、調査区あたり10分程度の観察を行った。原則として、各種1頭以上捕獲し、標本作製して同定を行った後、訪花性の昆虫とそれ以外に分類した。

(3) 結実特性

調査対象種として、在来の虫媒花植物を15種選定した(表1)。自然条件下における結実状況を把握するため、各対象植物の開花時期に20～40個体あるいは花序のマーキングを行い、あらかじめ花の数を記録した。結実時期に、果序のサンプリングを行い、胚珠数、果実数、種子数、食害数を調べて、花序あたりの結実率および食害率を算出した。開花期間が長いハマエンドウ・ナミキソウ・ヒロハクサフジ・ハマナスについては、2～4回のサンプリングを行った。

また、受粉における訪花昆虫への依存の程度や自動自家受粉の可能性を調べるため、20～40個体あるいは花序にネットをかけて訪花昆虫を遮断する袋掛け実験を行った。

さらに、10種については受粉実験を行った(表1)。訪花昆虫の不足による花粉制限の程度を調べるための人工他家受粉処理、自家不和合性の程度を調べるための人工自家受粉後に袋掛けを行う処理を、それぞれ20花序について行った。これらについても、結実時期に、果序のサンプリ

ングを行い、胚珠数、果実数、種子数を求めて、花序あたりの結実率を算出した。

ハマボウフウの花は、雄性期と雌性期をもつ雌雄異熟性であるが、通常最も大きい第1花序の一部の小花序の花のみが両性花として機能し、それ以外の小花序の花は雌性期への転換が見られず、雄花としてのみ機能する。そのため、両性花からなる小花序を選んで各処理を行い、結実率および食害率を求めた。

現地調査は2004年7月～9月および2005年5月～9月に行い、袋掛け実験および受粉実験は2005年に実施した。

各処理を行った場合の結実率とコントロールの結実率は、Mann-WhitneyのU検定によって比較した。

表1 調査対象種一覧

群落	植生別調査対象種
テンキグサ群落	イソスミレ*・ハマハタザオ*・ハマエンドウ*・ハマヒルガオ*・ハマニガナ・ハマボウフウ*・ウンラン
ハマナス・ススキ群落	ヒメイズイ*・オオヤマフスマ・エゾスカシユリ*・ナミキソウ・エゾカワラマツバ・コウゾリナ・エゾカワラナデシコ*・ノコギリソウ・ヒロハクサフジ・エゾヨモギギク・コガネギク・ハマナス*・ナワシロイチゴ・ヤマブドウ・ツルウメモドキ・アキグミ
カシワ林	(外来種) セイヨウタンポポ・シロツメクサ・タンポポモドキ・ムラサキツメクサ・ヒメジョオン・シナガワハギ・シロバナシナガワハギ・ノランジン・メマツヨイグサ・オオアワダチソウ・マユミ・コマユミ・キンギンボク・イボタノキ*

下線は結実特性調査対象種を示す。

*: 結実状況調査対象種のうち受粉実験を行った種を示す。

4 結果

(1) 開花フェノロジー

石狩浜砂丘に成立する植物群落の開花シーズンは、4月下旬から10月下旬までの約6ヶ月間であり、その間連続的に様々な植物が開花した(付図1)。調査対象種のうち開花が最も早い植物は4月下旬のイソスミレで、次いで5月にはいるとハマハタザオが開花した。開花種数は、6月に急激に増加し、7月には最多の27種となった(図2)。また、集団レベルにおいて開花数が最も多い時期(集団レベルの開花のピーク)が6月であった種は13種で、他の月に比べて多かった(表2)。草本種の他、ハマナスや、カシワ林に近い内陸側にみられるキンギンボク、ツルウメモドキなど多くの木本種も、6月に開花のピークを迎えた。8月以降開花種数は減少し、9月以降に新たに開花する種はみられなかった。しかし、10月でもウンランやコガネギクなど13種が開花していた。

開花のピークが5月および6月の植物は、開花期間が短

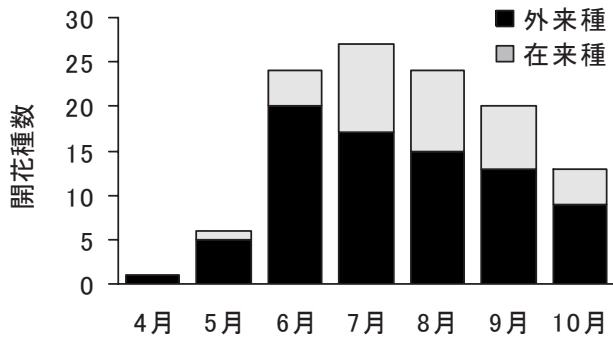


図2 石狩浜砂丘植物群落の開花シーズンにおける虫媒花植物の開花種数の変化 (2003年)

い傾向があった (表2)。6月から7月上旬に開花のピークとなるコマユミ、キンギンボクなどハマナスを除く木本種は、いずれも開花期間が短く、一斉に開花した。一方、6月に開花のピークを持つ植物のなかでも、ハマエンドウやハマヒルガオなど5種は開花期間が長く、9月あるいは石狩浜の開花シーズンが終了する10月まで開花が続いた。ハマエンドウとハマナスは、開花ピーク直後から多くの葉や花芽がドクガの幼虫による食害を受けたため、7月にはほとんど開花がみられなくなったが、8月以降再び開花が観察された。7月以降に開花のピークを持つ植物は、開花期間が長い傾向があった。長い開花期間を持つ植物の多くは、開花開始後まもなくピークを迎え、その後開花数が減少した。逆に、ウンランは、7月に開花を開始し、開花のピークが9月であった。集団レベルで長い開花期間を持つ植物であっても、個体レベルの開花期間は9~27日間と短く、集団のピークから大きくはずれて開花する個体もみられ、個体間で開花時期の変異が大きかった。しかし、ナミキソウは集団レベルでも個体レベルでも開花期間が長かった。

外来種の集団レベルの開花のピークは7月~8月で、開花期間は長い傾向がみられた (表2)。

(2) 訪花昆虫相

観察された昆虫のうち、訪花昆虫と考えられる種は、甲虫目:17種、双翅目:4種、半翅目:3種、膜翅目:9種、鱗翅目:1種の合計34種であった (付図2)。

訪花昆虫は、5月下旬からみられたが、6月には調査期間中に記録された種の約60%にあたる20種が確認され、その後減少し、9~10月は7種であった (図3)。開花シーズンのほぼ全期間を通じて観察された訪花昆虫は、甲虫目のケシキスイの仲間、膜翅目のコハナバチの仲間およびセイヨウミツバチであった。また、5月~7月にかけては、モモトカミキリモドキ、クロフナガタハナノミなど甲虫目の種が多く確認された (図3)。

訪花昆虫が最も多く確認された植物はハマナスで、21種57個体が記録され、次いで、13種21個体が記録されたハマ

表2 石狩浜砂丘植物群落における虫媒花植物の開花パターン (2003年)

集団の開花ピーク	種名	集団の開花期間	個体の平均開花期間
5月	イソスミレ	42	17 (n=5)
	ハマハタザオ	49	27 (n=5)
6月	ヒメイズイ	21	—
	エゾスカシユリ	28	—
	コマユミ	35	—
	キンギンボク	28	—
	アキグミ	28	—
	マユミ	28	—
	ヤマブドウ	21	—
	ツルウメモドキ	35	—
	ハマエンドウ	140	9 (n=6)
	オオヤマフスマ	126	—
	ハマニガナ	133	—
ハマヒルガオ	126	—	
ハマナス	147	12 (n=4)	
7月	ナワシロイチゴ	28	—
	イボタノキ	42	—
	ハマボウフウ	56	22 (n=11)
	コウゾリナ	63	—
	ノコギリソウ	77	22 (n=7)
	エゾカワラナデシコ	119	20 (n=7)
	エゾノカワラマツバ	126	21 (n=5)
	シナガワハギ*	77	—
	ムラサキツメクサ*	84	—
	タンポポモドキ*	140	—
シロバナシナガワハギ*	119	—	
8月	エゾヨモギギク	35	—
	ヒロハクサフジ	70	—
	ナミキソウ	91	66 (n=7)
	ノランジン*	63	—
	オオアワダチソウ*	63	—
9月	コガネギク	77	27 (n=5)
	ウンラン	105	11 (n=6)

*: 外来種

ボウフウ、8種が記録されたハマヒルガオとコガネギクであった (図4)。これらの植物の訪花昆虫は、甲虫目の占める割合が高く、また、コハナバチの仲間も多く観察された。その他の植物の訪花昆虫は、種数が少なく、個体数も5個体以下と少なかった。

(3) 結実特性

① 自然状態における結実率

自然状態における結実率は、種によって大きく異なっていた (図5)。ハマハタザオ、ハマボウフウ、ハマヒルガオは花序あたりの結実率が50%を超えた。一方、草本種のヒロハクサフジ、ウンラン、ハマエンドウ、ナミキソウ、ヒメイズイや、木本種のイボタノキ、マユミ、キンギンボク、ハマナスは20%以下の低い結実率を示した。

マユミ、キンギンボク、ヒロハクサフジ、ウンラン、ハマエンドウ、ナミキソウ、エゾカワラナデシコでは、果実の中で種子を食害するガヤゾウムシなどの幼虫が観察され

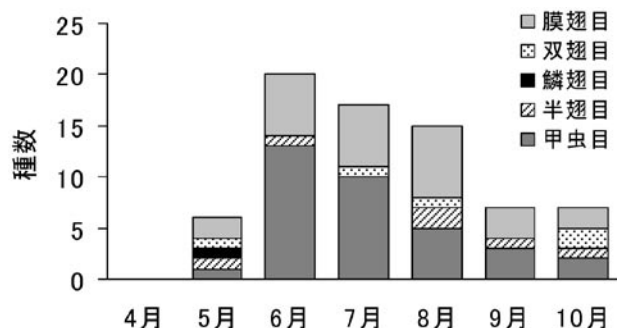


図3 石狩浜の海浜植物における訪花昆虫の出現種数の変化

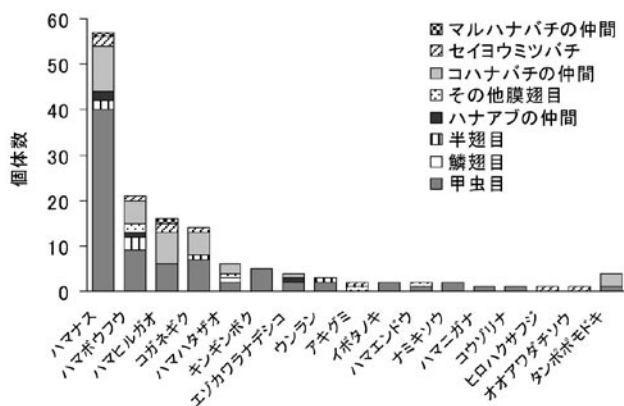


図4 石狩浜の海浜植物で確認された訪花昆虫の個体数

た。果実の食害率は、ウンランで46.7% (2005年) と非常に高く、ヒロハクサフジ、ナミキソウ、エゾカワラナデシコ、ハマエンドウ、マユミでも10%を超える高い値を示した (図6)。また、エゾスカシユリは、2005年に、成熟前のほぼ全ての果実が食害を受けて消失したが、植食者は不明である。

② 交配様式

エゾスカシユリおよびイボタノキ (処理花序のみ) は果実の食害により、また、ハマヒルガオはコントロールの結実が得られなかったため、袋掛け実験および受粉実験の結果を比較することができなかった。

袋掛け実験の結果、ナミキソウおよびハマボウフウは、自然状態の結実率と同程度の高い結実率を示した (それぞれ $p=0.585$, $p=0.181$; 図7)。その他の植物については、コントロールの結実率との有意な差が認められた (マユミ: $p<0.05$, その他: $p<0.01$)。エゾカワラナデシコ、ハマハタザオは、コントロールの50%近い結実率を示したが、他の8種は、袋掛けによって結実率が著しく低下するか、全く結実しなかった。ハマヒルガオ、エゾスカシユリについても、袋掛けを行った花は、結実しなかった。

受粉実験の結果、自家不和合性が認められたのは、7

種のうちハマエンドウのみであった (図8)。しかし、ハマナスについては、自家受粉処理を行わなかったが、花に自家受粉を避ける機構がみられないにもかかわらず、袋掛けによって結実しなかったことから、自家不和合であることが考えられる。ハマヒルガオ、エゾスカシユリについても、自家受粉処理を行った花はほとんど結実しなかったことから、自家不和合であると考えられる。また、ハマハタザオおよびエゾカワラナデシコについては、人工自家受粉によって結実するものの、結実率は有意に低下した ($p<0.05$)。一方、他家受粉処理によって結実率がコントロールより明らかに高くなった植物は、エゾカワラナデシコのみであった ($p<0.01$)。

5 考察

石狩浜砂丘植物群落では、4月下旬から10月下旬までの開花シーズンの間、とぎれることなく様々な植物の開花がみられた。集団レベルで開花のピークを迎える植物は、6月が最も多く、その後減少したが、この傾向は、訪花昆虫の出現種数の季節的变化と一致していた。一方、集団レベルあるいは個体レベルの開花フェノロジーは種間で大きく異なった。

5~6月に多かった比較的短い開花期間をもつ植物は、一斉開花することにより、効率的に訪花昆虫を獲得することができると考えられる。訪花昆虫の少ない4月に開花するイソスミレは、自家和合性があるものの受粉には昆虫の働きを必要とするため、結実率は高くないが、開放花の結実後に閉鎖花をつける。また、イソスミレに次いで開花が早いハマハタザオは袋掛けを行っても結実率が高く、高い自家和合性を示した。従って、両種とも訪花昆虫の不足を自家受粉で補っていると考えられる。

集団レベルの開花期間が長い植物は、ナミキソウを除き、個体レベルの開花期間が短かった。これらの植物のうち、ハマボウフウ、ハマヒルガオ、エゾカワラナデシコは比較的結実率が高かった。ハマボウフウとハマヒルガオでは、いずれも多く訪花昆虫が観察された。また、ハマボウフウとエゾカワラナデシコは、袋掛けを行っても結実率は比較的高く、自家受粉の割合が高いと考えられ、花粉不足を自家受粉によって補っている可能性がある。

ナミキソウは、個体レベルの開花期間を長くすることで、訪花昆虫による受粉のチャンスを大きくしていると考えられる。また、袋掛けを行っても、自然状態の結実率との差がなく、自動的自家受粉を行っていることが示されたが、いずれも結実率は低いという結果が得られた。

一方、他の植物はいずれも自然状態での結実率が低かった。これらの植物は、袋掛けによってさらに著しく結実率が低下したことから、受粉をもつばら訪花昆虫の働きに頼

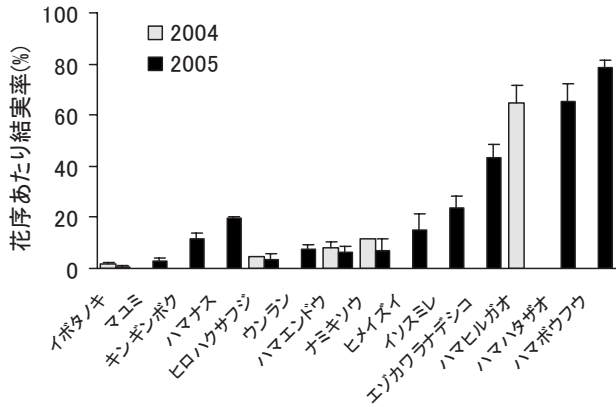


図5 石狩浜海浜植物14種の花序あたり結実率

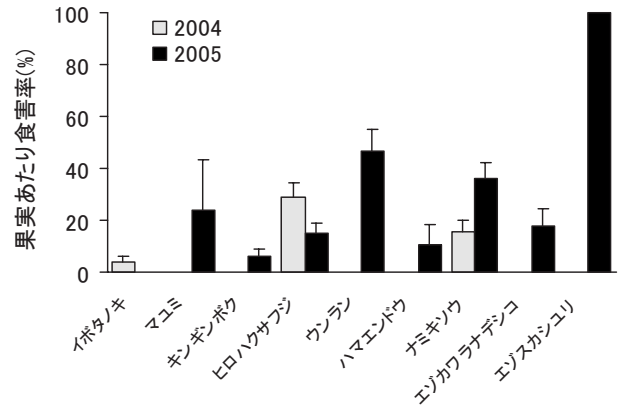


図6 石狩浜海浜植物10種の果実あたり食害率

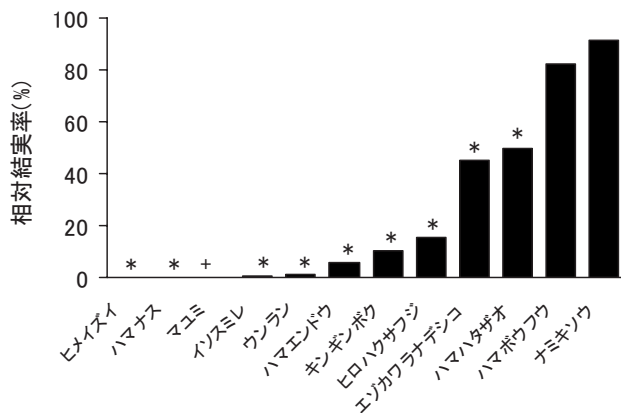


図7 石狩浜海浜植物12種についての袋掛け実験の結果

自然結実率を100としたときの相対結実率を示す。
+、*は、コントロールに対して有意水準 $p < 0.05$ 及び $p < 0.01$ で差があることを示す。

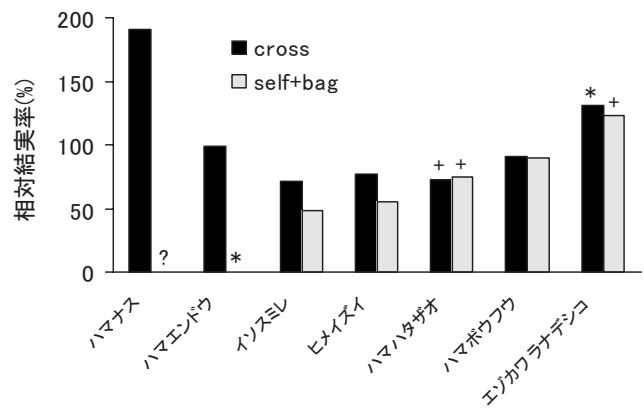


図8 石狩浜海浜植物7種についての受粉実験の結果

cross：人工他家受粉、self+bag：人工自家受粉処理後袋掛け。自然結実率を100としたときの相対結実率を示す。
ハマナスは自家受粉を行っていない。+、*は、コントロールに対して有意水準 $p < 0.05$ 及び $p < 0.01$ で差があることを示す。

り、他家受粉の割合が高いと考えられる。しかし、確認された訪花昆虫の数はいずれも少なかった。人工他家受粉で結実率の上昇が認められた植物は、エゾカワラナデシコのみであったが、多くの植物が、花粉不足により結実が制限されている可能性も高いと考えられる。

石狩浜の訪花昆虫相は、種数、個体数ともに甲虫目が最も多く確認された。また、植物毎の訪花昆虫の種構成においても、甲虫類の占める割合が高い植物が多かった。石狩浜の植物にとって、甲虫類は重要な訪花昆虫と考えられる。一方、島根県大社砂丘における訪花昆虫相の調査では、膜翅目が種数、個体数ともに圧倒的に多いが、ハナバチ相は貧弱で、また、甲虫類も種数、個体数ともに少なかった²⁾。大社砂丘では、石狩浜には生育していない、ツチバチ科が多く訪花する植物が主要な群落構成種となっているほか、海浜生態系の破壊が進んでいることも指摘されており、これらの要因が、訪花昆虫相の違いにも反映していると考えられる。

石狩浜では、受粉効率が高いとされるハナバチ類のなか

では、コハナバチの仲間が多く観察され、マルハナバチの仲間の観察数は非常に少なかった。北海道浜小清水におけるハナバチ相の調査においては、コハナバチの仲間が最も優占し、次いでマルハナバチの仲間が多く観察されている¹⁾。マルハナバチは、ハナバチ類のなかでも学習能力が高く、特に受粉効率が高い訪花昆虫である⁵⁾。ヒメイズメ、ハマエンドウ、ヒロハクサフジ、コガネギク³⁾、ハマヒルガオ⁶⁾、コウゾリナ¹⁾は、マルハナバチが訪花する植物とされているが、いずれも石狩浜では比較的出現頻度の高い植物である。調査区外では、これらの花を訪れるマルハナバチの仲間が観察されている。また、他のハナバチ類についても、ナミキソウ、ウンラン、ヒロハクサフジでは、調査区外において、コハナバチの仲間やセイヨウミツバチの訪花が観察された。ハナバチ類は行動が天候に左右されるため、週に1度の移動しながらの調査では、ハナバチ媒花植物の開花状況を十分反映した訪花頻度の定量的なデータは得られなかったと考えられる。

ハマナスやハマボウフウでは、他の植物と比較し、種数、

個体数ともに多くの訪花昆虫が観察された。このような傾向は、他の海浜地域でも報告されている^{1,2)}。ハマナスは、花のサイズが大きく花弁が筒状に開いているため、花を訪れる昆虫の形態や大きさが制限されないことや、蜜と花粉を多量に供給できること、開花期間が長いことなどの理由によって、多くの訪花昆虫を集めたと考えられる。大型の花を長期にわたって次々と開花するハマヒルガオでも比較的多くの訪花昆虫が観察された。また、ハマボウフウは、小花が密生して大きな花序を作るため、昆虫にとっては効率よく花粉や蜜を集めることができる。ハマボウフウの訪花昆虫として、コモンツチバチが観察されたが、ツチバチ科はハマボウフウの送粉者であることが、皆木らによって報告されている²⁾。また、ハマハタザオとコガネギクの2種は、群落全体の開花シーズンの始めあるいは終わりに大量の花を咲かせるため、訪花昆虫にとっては、他の植物の開花が少ない時期の貴重な蜜源、花粉源となっていると考えられる。

調査を行った15種の植物のうち、9種で種子の食害がみられた(図6)。エゾスカシユリは、2005年の結実直前にほとんどの果実を食害された。また、2003年には、ハマエンドウとハマナスがドクガの食害によって、7月にほとんど開花がみられなかった。集団レベルの開花期間が長い植物の多くは、個体レベルでは開花期間が短く、多くの個体が開花している時期から大きくはずれて開花する個体もみられた。このような個体は、食害による壊滅的な被害を避けることができるのではないかと考えられる。また、イソスミレやハマハタザオにみられる他家受粉に不利な早い時期の開花は、気温の上昇と共に増加する花や果実の食害昆虫を避けるためと考えられる⁷⁾。

石狩浜砂丘植物群落における種子繁殖は、様々な開花特性を持つ構成種と多様な昆虫との密接な関わりによって成立していることが明らかになった。海浜地域の植生を維持するためには、地域全体を海浜生態系としてとらえ、保全する必要がある。

6 謝 辞

開花フェノロジーの現地調査は、多くのボランティアの方々とともに実施した。石狩浜海浜植物保護センターの職員の方々には、開花フェノロジーの詳細調査にご協力いただいた。また、訪花昆虫については、現地調査、標本作製、同定に至るまで、小林英男氏にご協力いただいた。当センター主査 柏崎 昭氏及び北海道大学院農学研究科昆虫大系学教室 研究生 杉島一広氏には、食害昆虫についてご教示いただいた。当センター臨時研究補助員 助野実樹郎氏、同 鈴木有氏、同 村上智子氏には、現地調査及びデータの整理にご協力いただいた。記して、深く感謝申し上げます。

7 引用文献

- 1) 福田弘己, 坂上昭一, 山内克典, 松村雄: 東北海道, 浜小清水におけるハナバチ相の生態的調査. 日本生態学会誌, 23, 160-170, 1973.
- 2) 皆木宏明, 前田泰生, 北村憲二: 海浜における送粉生態系の保全に関する研究. 1. 大社砂丘における訪花昆虫の種類とそれらの季節消長. ホシザキグリーン財団研究報告, 4, 139-160, 2000.
- 3) 石狩海浜植物保護センター(編): 石狩浜自然観察ハンドブック. 石狩市, 2003.
- 4) 石狩町・日本データサービス(株): 石狩海浜地区植生調査委託業務. 石狩町, 1989.
- 5) 鷲谷いづみ, 鈴木和雄, 加藤真, 小野正人: マルハナバチ・ハンドブック. 文一総合出版, 東京, 1997.
- 6) 丑丸敦史: 花の性: 両性花植物における自家和合性と自動的自家受粉の進化. 種生物学会(編) 花生態学の最前線~美しさの進化的背景を探る~. pp. 75-95, 文一総合出版, 東京, 2000.
- 7) 矢原徹一: 花の性 その進化を探る. pp. 183-201, 東京大学出版会, 東京, 1995.

Relationship among flowering phenology, insect visitors and seed-set in a sand dune plant community of Ishikari beech

Yoko NISHIKAWA

and

Hanako NAITOU

(Ishikari-hama Seasideplants Conservation Center, Ishikari city)

Abstract

Surveys on flowering phenology, seasonality of pollinator insects and seed production of insect-pollinated plants were conducted in a sand dune plant community of Ishikari beech, Hokkaido, northern Japan. The purpose of this study is to clarify the reproductive features of sand dune plants in both species and community level. Flowering season of this community lasts about six months from the end of April to the end of October. The number of flowering species rapidly increased in June, and reached the maximum in July. Species which has

flowering peak during May to June generally had a short flowering period, while species whose flowering peak in later season tended to show a longer flowering period. In total, 34 species of flower visiting insects were identified. In these insects, Coleopteran insects were most common, and Halictine bees were second. The species number of pollinator insects reached the maximum in July. Seed-sets highly varied among plant species. Seed production of many species seemed to be restricted by pollen limitation in some extent. Some species having higher seed-set had frequent pollinator visits or were assured by self pollination. Seed predation by insects was a serious problem in many plants. The seed production in this community was strongly influenced by the interaction among flowering phenology, pollinator availability and predation activity.

Key words: Ishikari beech, Flowering phenology, pollinator insects, seed-set, seed predation

付図1 石狩浜砂丘植物群落における虫媒花植物の開花期間(2003年)

科	種	外来種	5			6			7			8			9			10		
			上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
スミレ	イソスミレ <i>Viola grayi</i>		—▼—																	
アブラナ	ハマハタザオ <i>Arabis stelleri</i> var. <i>japonica</i>		—▼—																	
キク	セイヨウタンポポ <i>Taraxacum officinale</i>	●	—			—			—			—			—			—		
マメ	ハマエンドウ <i>Lathyrus japonicus</i> subsp. <i>japonicus</i>		—			—			—			—			—			—		
ユリ	ヒメイズイ <i>Polygonatum humile</i>		—																	
ニシキギ	コマユミ <i>Euonymus alatus</i> forma <i>striatus</i>		—			—▼—														
スイカズラ	キンギンボク <i>Lonicera morrowii</i>			—▼—																
グミ	アキグミ <i>Elaeagnus umbellata</i>			—▼—																
ナデシコ	オオヤマフスマ <i>Moehringia lateriflora</i>			—▼—		—			—			—			—					
バラ	ハマナス <i>Rosa rugosa</i>			—▼—		—			—			—			—					
ブドウ	ヤマブドウ <i>Vitis coignetiae</i>			—		—▼—														
ニシキギ	ツルウメモドキ <i>Celastrus orbiculatus</i>			—		—▼—														
ユリ	エゾスカシユリ <i>Lilium maculatum</i> subsp. <i>dauricum</i>			—		—▼—														
ニシキギ	マユミ <i>Euonymus sieboldianus</i>			—		—▼—														
バラ	ナワシロイチゴ <i>Rubus parvifolius</i>			—		—▼—														
マメ	シロツメクサ <i>Trifolium repens</i>	●		—		—			—											
キク	ハマニガナ <i>Ixeris repens</i>			—		—▼—			—			—			—					
ヒルガオ	ハマヒルガオ <i>Calystegia soldanella</i>			—		—▼—			—			—			—					
キク	ブタナ <i>Hypochoeris radicata</i>	●		—		—▼—			—			—			—					
マメ	ムラサキツメクサ <i>Trifolium pratense</i>	●		—		—			—▼—			—			—					
モクセイ	イボタノキ <i>Ligustrum obtusifolium</i>			—		—▼—			—											
セリ	ハマボウフウ <i>Glehnia littoralis</i>			—		—▼—			—											
シソ	ナミキソウ <i>Scutellaria strigillosa</i>			—		—			—▼—			—								
アカネ	エゾノカワラマツバ <i>Galium verum</i> var. <i>trachycarpum</i>			—		—			—▼—			—			—					
マメ	シナガワハギ <i>Melilotus officinalis</i> subsp. <i>suaveolens</i>	●		—		—			—▼—			—			—					
キク	コウゾリナ <i>Picris hieracioides</i> subsp. <i>japonica</i>			—		—			—▼—			—								
キク	ヒメジョオン <i>Erigeron annuus</i>	●		—		—			—▼—			—								
ナデシコ	エゾカワラナデシコ <i>Dianthus superbus</i> var. <i>superbus</i>			—		—			—▼—			—			—					
マメ	シロバナシナガワハギ <i>Melilotus officinalis</i> subsp. <i>albus</i>	●		—		—			—▼—			—			—					
キク	ノコギリソウ <i>Achillea alpina</i>			—		—			—▼—			—			—					
ゴマノハグサ	ウンラン <i>Linaria japonica</i>			—		—			—			—▼—			—					
セリ	ノラニンジン <i>Daucus carota</i>	●		—		—			—▼—			—								
アカバナ	メマツヨイゲサ <i>Oenothera biennis</i>	●		—		—			—▼—			—								
マメ	ヒロハクサフジ <i>Vicia japonica</i>			—		—			—▼—			—								
キク	オオアワダチソウ <i>Solidago gigantea</i> var. <i>leiophylla</i>	●		—		—			—▼—			—								
キク	エゾモギギク <i>Tanacetum vulgare</i>			—		—			—▼—			—								
キク	コガネギク <i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>leiocarp</i> forma <i>japonalpestris</i>			—		—			—			—▼—			—					

破線は、数は少ないが、開花が見られることを示す。
▼：集団レベルの開花ピーク。

付図2 石狩浜砂丘植物群落で観察された訪花昆虫とその出現時期（2003年）

目	科以上	種	5			6			7			8			9			10		
			上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
甲虫	カミキリモドキ	モモトカミキリモドキ			■	■	■	■	■	■										
	コメツクムシ	コガタクシコメツク				■	■	■	■	■										
	ハナノミ	オオクロフナガタハナノミ				■	■	■	■	■										
	ハナノミ	クロハナノミ				■	■	■	■	■										
	ハナノミ	クロフナガタハナノミ				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ケシキスイ	クロハナケシキスイ				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ケシキスイ	キペリチビケシキスイ				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	コメツクムシ	コガタクシコメツク				■	■	■	■	■	■									
	ジョウカイモドキ	ツマキアオジョウカイモドキ				■	■	■	■	■										
	コガネムシ	カタモンコガネ				■	■	■	■	■										
	キスイモドキ	キスイモドキ				■	■	■	■	■										
	カミキリムシ	エグリトラカミキリ				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ジョウカイモドキ	クロキオビジョウカイモドキ				■	■	■	■	■										
	コメツクムシ	クロコハナコメツク				■	■	■	■	■										
	コガネムシ	ツヤコガネ							■	■										
	コメツクムシ	アカアシコハナコメツク							■	■										
ヒメハナムシ	ヒメハナムシの一種										■	■	■	■	■	■	■	■	■	
双翅	ハエ	ハエの仲間			■															
	ハナアブ	ヒラタアブの仲間1																		
	ハナアブ	ヒラタアブの仲間2																		
	ハナアブ	ハナアブの仲間																		
半翅	ハナカメムシ	ハナカメムシの一種			■															
	カメムシ	ブチヒゲカメムシ																		
	ナガカメムシ	コバネナガカメムシの仲間																		
膜翅	アリ	アリの仲間			■															
	コハナバチ	コハナバチの仲間1			■															
	コハナバチ	コハナバチの仲間2				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	コハナバチ	コハナバチの仲間3				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ミツバチ	セイヨウミツバチ				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ジガバチ	ジガバチの仲間				■	■	■	■	■										
	ミツバチ	ハイロマルハナバチ																		
	コハナバチ	コハナバチの仲間4																		
	ツチバチ	コモンツチバチ																		
鱗翅	シロチョウ	オオモンシロチョウ			■															

鉍滓から流出した六価クロム濃度の追跡調査結果

石川 靖

要 約

2000年から2003年にかけて融雪期と降雨後における六価クロム (Cr⁶⁺) の流出挙動を明らかにする目的で、北海道栗山町内において、クロム鉍滓大規模埋立地由来の浸出水4地点とCr⁶⁺流入後の3河川で調査を行った。その結果、融雪期の浸出水中のCr⁶⁺濃度は過去の平均値と比較してやや高い傾向を示したが、降雨後については降雨量と関係も含め一定の傾向は認められなかった。また、過去の報告値と比較するため主要16地点を対象として行った2003年の経過調査では、2地点で過去の5年(1995~1999年)変動幅を超過したが、ほとんどの地点ではそのような傾向はなかったことから、概ねの埋立地では環境変化の兆候はないと判断した。

Key word: 六価クロム (Cr⁶⁺)、降雨時、融雪時、長期変動

1 はじめに

北海道栗山町においては、過去にクロム工場から発生したクロム鉍滓が工場敷地、町内外各所に埋立てられた。これらの埋立地由来の浸出水により、付近住民の居住地域や公共用水域が汚染されるなどの環境問題が懸念された。工場が操業停止したのち、1971年から1999年までの29年間、浸出水や周辺の下水、河川水中のクロム濃度について5月から11月の間に年2回の頻度で晴天時に調査が行われた¹⁾。この結果、調査初期に比して近年はほとんどの地点で六価クロム (Cr⁶⁺) 濃度が低下したことや不検出 (0.02mg/L未満) になっていたことを報告した^{1), 2)}。

河川へ流入する栄養塩や懸濁物質の負荷は、融雪時期や降雨時に高いことが多数報告^{3), 4)}されているものの、クロムに関する当町での調査研究事例はほとんどない⁵⁾。

筆者は、融雪時期と降雨後にクロム鉍滓からもたらされるCr⁶⁺の流出挙動を明らかにする目的で同町内の埋立地由来の浸出水4地点と流入後の3河川で2000年から2003年までCr⁶⁺濃度の調査を行った。また、2003年には2000年以降

調査を行っていない地点や1999年までの結果と比較する目的で、過去の主な地点を対象としてCr⁶⁺濃度の経過調査も行った。

2 調査概要

調査地点と方法、分析法等は既報^{1), 2)}に準じて行った。

融雪時期 (以下融雪期調査) と降雨後 (以下降雨後調査) のCr⁶⁺濃度調査は、2000年から2003年まで、年に各1回ずつ行った。調査を行う気象条件として、融雪期調査は4

表2 経過調査地点

河川名	調査地点名	地点番号
雨煙別川	雨煙別橋	3
支流・その他	↓←	ごみ捨場の沢
"	↓←	角田幹線
"	↓←	古川埋立地、下水
"	↓←	中央橋50m上流、下水
雨煙別川	中央橋	5
支流・その他	↓←	万年橋上流、下水
"	↓←	万年橋下流、下水
"	↓←	山本埋立地、下水
"	↓←	公園橋上流、下水
雨煙別川	公園橋一左	9
雨煙別川	雨煙別川末流	13
富士川支流	↓←	新下水
	↓←	鉄道構内排水
富士川	富士川末流	30
夕張川	栗丘頭首工	28

* ←: 支流から本流への流入、
↓: 上流から下流への流れをそれぞれ示している

表1 融雪期・降雨後調査地点

河川名	地点名	地点番号	備考
雨煙別川支流	山本埋立地、下水	21	浸出水
雨煙別川	公園橋一左	9	—
錦川支流	錦川上流・下水	25	浸出水
錦川	末流	24	—
富士川末流	新下水	32	浸出水
富士川支流	工場排水	34	浸出水
富士川	末流	30	—

月中に晴天が3日程度続いた時、降雨時調査は8月から10月において3日間の先行降雨の雨量が10mm以上に達した時点を目処とした。これらの試料採取は、現地に近い空知支庁環境保全係が担当し、試料が当センターに到着後、直ちに分析を行った。調査は表1に示した7地点で行った。表1の浸出水(備考欄)は、1999年までの調査でCr⁶⁺濃度が1mg/L以上¹⁾を示したものであり、河川は浸出水が流入した後の地点とした。

また、1999年までに行った調査地点^{1), 2)}を対象にCr⁶⁺濃度の調査(以下経過調査)を2003年8月に行った。調査地点名と番号を表2に示す。表1、2に示した各調査地点の位置関係を現したものを図1に示す。

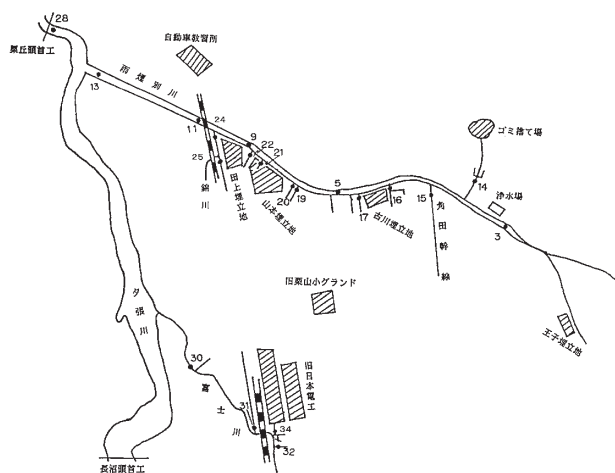


図1 調査地点と鉾津大規模埋立地(白黒ラインはJR線)

3 結果

3.1 融雪期調査

表3に調査結果に加えて比較のため過去5年間(1995~1999年)の平均濃度(以下5年平均)を示す。2002年は5月下旬に調査を行ったために融雪期とは言い難いことから検討の対象としなかった。地点24と25は調査機関の変更に伴い、測定値がないため1991~1995年のデータを使用した。地点9は灌漑水の流入の影響を受ける地点なので灌漑期(5~8月)と非灌漑期(5~8月以外、括弧内の濃度)に分けて示した。

浸出水の地点21、32及び34の3年平均のCr⁶⁺濃度は、5年平均より高かったものの、ここ数年の変動幅内^{1), 2)}にとどまっていた。このうち地点21と32の浸出水は、埋立地下方に位置するパイプから排出されており、原水は地下水と考えられている。これらの地域では地下水が1.4~3.7m、鉾津が0.3~4.7m程度の深さにあることが確認⁵⁾されている。鉾山排水では、融雪に伴う地下水面の上昇により水質が悪化することが報告⁶⁾されている。地下水位データは本

調査で得られていないが、この濃度上昇は融雪水による地下水面の上昇によって鉾津と地下水の接触面積(または時間)の増加現象が生じ、その結果としてCr⁶⁺濃度が高くなったものと思われる。

一方、地点25は鉾津封じ込めに使用されたアスファルトマット亀裂からの漏水である。この水は家庭排水が地下を經由して鉾津に接触後に地表面に出現したもの⁷⁾とされている。この地点で融雪期の濃度が低いのは、融雪水の排水経路への流入によって希釈されたためと考えられる。地点32は、工場埋立地に近接した地点である。汚染源の鉾津との位置関係が明らかにされていないことから変動原因は明らかに出来なかった。

河川についてみると、地点9の平均濃度は非灌漑期の濃度より低く、融雪水流入はCr⁶⁺濃度に関しては希釈作用としての寄与の方が大きいことが認められた。一方で1994年以降の灌漑期の濃度は、地点21の濃度低下の影響²⁾もありNDと報告されている。雨煙別川の水量増加は、4月(融雪期)と灌漑期を比較すると後者の期間の方が大きいと考えられる。地点30は常に未検出を示す場所であることからこのような影響の有無は不明である。地点24も低い傾向が示されたものの地点25に比して平均値では低下していない¹⁾。

表3 2000~2003年の融雪期におけるCr⁶⁺濃度(単位:mg/L)

地点\年.月.日	00.04.26	01.04.19	03.04.16	3年平均	5年平均
21	12.2	11.0	9.75	11.0	9.57
9	0.03	0.02	0.02	0.02	0.08(ND)
25	0.03	3.40	2.03	1.82	6.04
24	2.44	2.41	0.73	1.86	2.68
32	1.63	1.71	1.45	1.60	1.00
34	—	9.24	4.46	6.85	3.43
30	ND	0.03	ND	ND(参考0.01)	ND

検出限界値:0.02mg/L、ND:検出限界値未満、括弧内:灌漑期間、太字:浸出水

3.2 降雨後調査

栗山周辺に位置するアメダスの観測地点の長沼、栗沢、夕張いずれも調査日の3日間先行降雨は2002年を除くと10mm以上観測されており、調査当日も日量1~18mm程度の降雨があった。2000年は3日間の先行降雨31~74mm、当日17~18mm、2003年は前日に30mm程度の降雨があった。2002年は条件に合致していなかったことからデータの検討は行わなかった。結果は3.1と同様に比較のために5年平均濃度も表4に示す。5年平均濃度は調査の日時がすべて非灌漑期であったため同時期に相当する月日の値によった。

濃度と累積や最大降雨量等について比較検討したものの一定の傾向は認められなかった。

表4 2000～2003年の降雨時におけるCr⁶⁺濃度(単位:mg/L)

地点年.月.日	00.08.28	01.10.03	03.09.26	3年平均	5年平均
21	4.86	8.20	11.3	8.13	10.2
9	0.02	0.02	ND	ND	0.08
25	ND	0.04	0.48	0.17	6.75
24	2.53	0.94	0.05	1.17	3.84
32	0.40	1.36	1.42	1.06	1.10
34	—	7.52	1.81	4.66	3.86
30	ND	ND	ND	ND	ND

検出限界値:0.02mg/L、ND:検出限界値未満、太字:浸出水

3.3 経過調査

表5に結果を示す。当日の天候は快晴であったが、町内の夕張川、雨煙別川、富士川はいずれも白濁しており、透視度は5cm以下であった。また、過去の調査と比較して、概ね調査地点の環境変化はほとんどなかったものの、雨煙別川の河川改修が上流方向に進み当年度は公園橋の架け替え作業が行われていた。仮設橋設置に伴い地点22の位置や排水口構造が変化していた。

3河川に設定した地点3、5、9、13、28、30、古川埋立地を起源とした地点16と17、小規模埋立地に係る地点14、15、31では、いずれも1999年と同様にCr⁶⁺は検出されなかった。

表5 経過調査におけるCr⁶⁺濃度(単位:mg/L)

調査地点	地点番号	03.8.25	5年平均	5年変動幅
万年橋下流、下水	20	1.19	ND(参考:0.01)	ND～0.04
山本埋立地、下水	21	7.86	9.57	2.78～17.8
公園橋上流、下水	22	0.78	0.27	ND～0.92
新下水	32	2.30	1.00	ND～2.08

他地点はND(0.02mg/L未満)につき省略した。

山本埋立地を起源とした地点21は7.86mg/Lであったが、この値は5年平均より低い。

万年橋を挟むように位置している側溝のうち、地点19では不検出であったものの、地点20の濃度は1.19mg/Lと5年平均と比して高かった。今回測定を行っていないが、全クロム(T-Cr)の5年変動幅は0.07～0.36mg/Lであり、その最大値より高い。この地点の浸出水中のCrは、一般家庭¹⁾に埋め立てられた鉍滓由来である。

地点22の濃度は、0.78mg/Lと高い濃度を示したが変動幅内に収まっている。これまでの調査ではコンクリート製U字管であったが、今回はヒューム管となっていた。工場跡地付近に位置する地点32は、2.3mg/Lとやや高い濃度を示した。当地点の過去T-Crは、ND～2.18mg/Lであり、今回はその最大値を上回っていた。この地点については、パイプの後背地に鉍滓埋立地がない場所であり、この原因については不明である。地点20と32は、この値が一時的なものか、環境変化に伴う影響を反映したものかは、今後の継

続的な調査で明らかにする必要があると思われる。

4 まとめ

融雪期の浸出水中のCr⁶⁺濃度の変化を過去の結果と比較したところ、一部の地点で平均値と比較してこれまでより高い濃度を示した。また、この時期の河川水量の増大は灌漑期同様に、河川中のCr⁶⁺濃度への希釈効果はあるものの、表3の地点9の傾向では灌漑期に最もその効果が大きいことが示唆された。

降雨時の調査を行ったものの、調査年度毎の濃度と降雨量との間に一定の傾向は認められなかった。過去の調査⁵⁾では、地点9、24、34の浸出水量は、当日のみの降雨では影響を受けなかったことが報告されている。今後このような調査を行う場合には連続的な観測と共に地下水の水位変動も同時に把握し表流水と地下水の関係を考慮した解析が求められる。

経過調査では、1999年と比較²⁾して濃度変化は認められなかったが、一部の地点では5年変動幅の濃度を上回ったものもあった。概ね埋立地の環境は変化していないと判断されるが、今後もさらなる検討のためのデータ蓄積が必要である。

本調査では、浸出水量に影響する地下水位の変動や流量を十分に把握していなかったことや、降雨時の濃度を経時的に追跡していないため、詳細な検討が出来なかった。今後、このような点も含めた調査が必要である。また、これまでに埋立処理に伴うCr⁶⁺流出の濃度変化に関してはデータの蓄積がされてきたが、河川に放出された後のCr⁶⁺の環境中の挙動に関する調査は実施されていない。Cr⁶⁺の還元には、有機態炭素が関与していること^{8),9)}が報告されている。今後、河川中の溶存有機態炭素(DOC)等の関係を解明し、さらなる環境保全の一助とすることが望まれる。

謝辞

採水に関しましては、空知支庁地域政策部環境生活課環境保全係の方にご協力いただきました。

引用文献

- 1) 北海道栗山町におけるクロム汚染対策調査報告書(2000年)北海道環境科学研究センター編。
- 2) 石川靖、斉藤修、沼辺明博(2004)汚染対策後の公共用水域等における六価クロム濃度の長期変動評価、水環境学会誌、Vol. 27、423-429。
- 3) 国松ら、(1989)河川汚濁のモデル解析、技報堂出版。
- 4) 水文・水資源学会編集出版委員会編(1998)積雪寒冷地

- の水文・水資源. 信山社サイテック社.
- 5) 栗山町公共下水道計画クロム対策検討会議のまとめ (1982)栗山町公共下水道クロム対策検討会議編. 1-47.
 - 6) H10年度 精進川鉍山鉍害対策調査報告書(1999)北海道立地下資源調査所編.
 - 7) 栗山町クロム汚染対策効果確認調査報告書 昭和61年度(1986)北海道立工業試験場
 - 8) Nakayasu, K.,Fukushima, M., Sasaki, K., Tanaka,S. and Nakamura,H.(1999)Comparative studies of the reduction behavior of chromium(VI) by humic substances and their precursors, Environ. Toxicol. Chem., 18, 1085-1090.
 - 9) 荒川裕史, 岩崎正行, 渡辺紀元(2003)粉砕及び木酢液におけるポリフェノール類の存在と6価クロム還元への寄与, 水環境学会誌, 26, 203-207.

The follow up survey of the hexavalent chromium in the sewage of the ore dregs

Yasushi ISHIKAWA

Abstract

In the snow melting and the rainfall time from 2000 to 2003, the concentration of the hexavalent chromium (Cr^{6+}) in river and drainage water was researched in the Kuriyama town, Hokkaido, Japan where the reclamations of chrome slug. The result indicated that that the concentration of Cr^{6+} in the leachate of the 3 points at the reclaimed land in snow melting season was higher than those of the survey result in a the past. There was no correlation between chromium concentration and amount of rainfall. In 2003, we investigated 16 investigation points (the river research is 7 point, the drainage is 9 point) as the sampling points 1999 to the purpose of grasp the environmental change in Cr^{6+} land full. Since the Cr^{6+} concentration in the leachate were seldom difference in 1999 and 4times average values, we were concluded that the chrome slug reclamations have stabilized in environment.

北海道チミケップ湖周辺の哺乳類相

車田 利夫 近藤 憲久* 平川 浩文** 佐々木尚子*** 河合久仁子****

要 約

2005年に北海道チミケップ湖周辺の哺乳類相調査を行った結果、9科23種が確認された。多くの在来種が生息する一方で外来種の確認は1種にとどまったことから、チミケップ湖周辺の中大型哺乳類相及びネズミ類相の多様性は維持されていると言える。コウモリ類7種のうち6種は環境省の定める絶滅危惧種であった。多様性を維持し、かつ希少種を多く含む哺乳類の生息環境を保全するため、早急にチミケップ湖周辺を法令等に基づく保全地域に指定すべきである。また、今後も、この地域の哺乳類相の変化、特に外来種の侵入をモニタリングし続けることが重要である。

Key word: チミケップ湖 哺乳類相 中大型哺乳類 ネズミ類 コウモリ類 絶滅危惧種 保全地域 外来種

はじめに

北海道は、「北海道自然環境保全指針」により、原始性、希少性、学術性、景観美等において本道の他の地域より比較的秀でて自然の地域を「すぐれた自然地域」と位置付け、その保護と利用に当たっては、特に適切な措置や慎重な配慮が必要としている¹⁾。

網走支庁管内津別町の西南部に所在するチミケップ湖は、網走川水系チミケップ川上流部に位置し、周囲を標高400m程度の山に囲まれた、湖面標高290m、周囲長7.5km、貧～中栄養の堰止湖である²⁾。チミケップ湖及びその周辺に広がる自然度の高いすぐれた天然林を含めた一帯は、同指針において「すぐれた自然地域」として抽出されているが、現在、当該地域は自然環境関係の法令等に基づく保全地域には指定されていない。保全地域指定の検討に当たっては、対象地域における自然環境の正確な現状認識が不可欠であるが、チミケップ湖周辺の自然環境及び生物相については、地形・地質、植物、鳥類及び昆虫類に関する調査は過去に実施されているものの³⁾、哺乳類の調査は実施されていなかった。

本調査は、道環境生活部環境室自然環境課による「環境保全対策推進事業」の一環として、今後の当該地域の自然環境関係法令等による保全地域指定を進める上で必要とされる哺乳類相に関する知見を得ることを目的に実施したものである。

調査は対象動物群により中大型哺乳類、ネズミ類及びトガリネズミ類、コウモリ類に3区分して実施し、本報も対象動物群ごとに分割した形式とした。それぞれの調査実施者及び執筆者は各文末に記載した。

なお、本調査の実施に当たって、網走東部森づくりセンターの渡辺一裕主査をはじめとする関係職員の皆様には、入林手続きや各種資料の提供に便宜を図っていただいた。

また、京都大学総合博物館のKyle Armstrong博士には、英文要約の全てについて校閲していただいた。ここに記して厚く感謝申し上げる。

(車田 利夫)

引用文献

- 1) 北海道：北海道自然環境保全指針，178pp，1988.
- 2) 北海道環境科学研究センター：北海道の湖沼 改訂版，314pp，2005.
- 3) 北海道環境科学研究センター：チミケップ湖，「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書 道東圏域（山岳部）12地域，pp.187-227，1996.

1 中大型哺乳類相

【要 約】

2005年6月、8月及び10月に北海道津別町所在のチミケップ湖周辺において中大型哺乳類相の調査を行った。9種（エゾリス、エゾシマリス、エゾモモンガ、エゾヒグマ、エゾタヌキ、キタキツネ、エゾクロテン、アメリカミンク、

*根室市歴史と自然の資料館

**独立行政法人森林総合研究所北海道支所

***北海道教育大学釧路校

****北海道大学低温科学研究所

エゾシカ)が自動撮影で確認されたほか、エゾユキウサギの糞が発見された。エゾシカ、キタキツネ及びエゾタヌキの3種は調査地全域に生息していた。エゾシカは撮影頻度が他と比較して極めて高く、優占種であった。多くの在来種が生息する一方で、外来種はアメリカミンクのみであったことから、チミケップ湖周辺の中大型哺乳類相の多様性は維持されていると言える。今後も、この地域の哺乳類相の変化、特に外来種の侵入をモニタリングし続けることが重要である。

1.1 はじめに

自動撮影は、比較的少ない労力で実施でき、また、対象が実写された撮影データの保存が可能で再現性が高いことから、中大型哺乳類の優れたインベントリ手法としての可能性を有している。林道を利用した自動撮影による中大型哺乳類生息調査手法については、それを体系的に実施するためのマニュアル素案が作成され、公開されている^{1),2)}。本調査は、チミケップ湖周辺の中大型哺乳類相の把握を目的とし、基本的にそのマニュアルに従い実施した。

1.2 調査地及び方法

調査は2005年の6月から10月にかけて道有林内で実施した。チミケップ湖を取り囲む8つの林班内にそれぞれ1ないし2箇所の調査地点を合計10箇所設定し、各1台の自動撮影装置を設置した(図1-1の①~⑩の位置)。通行車両や人間を撮影することによるフィルムの消費を避けるため、各調査地点は道が管理するゲートを開錠しなければ自動車でのアクセスができないところに設定した。自動撮影装置は、林道又は施業道沿いの立木に約120~150cmの高さで、写真の中心がほぼ道路の中心にくるように角度を付け、道に平行に設置した。調査は3回行い、それぞれ装置を設置してから約1週間後に設置箇所を巡回し、必要に応じてフィルムの交換等を行い、さらにその約1~2週間後に装置を回収することにより、2~3週間を1回の調査サイクル(撮影期間)とした。10月調査(後述)のみ153及び155林班内の湖岸にそれぞれ1箇所の調査地点を追加した(図1-1の⑪及び⑫の位置)。各調査回の日程は次のとおりであった。6月調査;6/7設置・6/15巡視・6/21回収、8月調査;8/19設置・8/25巡視・9/6回収、10月調査;10/6設置、10/14巡視、11/1回収。フィルムはリバーサルフィルムを用い、現像後のフィルムを直接ルーペで確認し、撮影された動物の種を判別したが、写真が暗いことなどから肉眼での確認が困難な場合は、フィルムスキャナでコンピュータに取り込み、画像編集ソフトを用いて補正することにより動物撮影の有無や種の判別を行った。

また、調査地を訪れた際に目視や痕跡により確認した中大型哺乳類に関する情報も補足的に用いた。

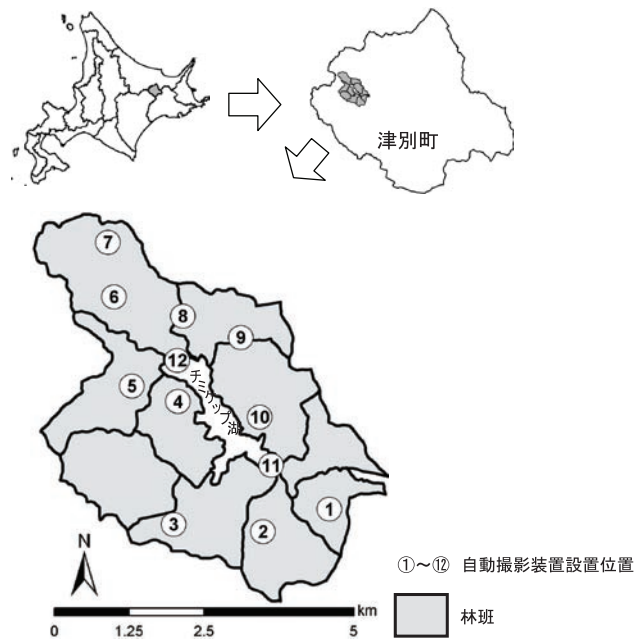


図1-1 調査地

1.3 結果

1.3.1 自動撮影

自動撮影調査結果の概要を表1-1に示す。林道沿いの10箇所における3回の調査の有効稼働日数は6月調査106日、8月調査171日、10月調査217日であり、哺乳類の撮影枚数はそれぞれ99枚、177枚、244枚であった。それら調査で生息が確認された陸生哺乳類(コウモリ類及びネコを除く)は、エゾヒグマ(*Ursus arctos yezoensis*)、エゾシカ(*Cervus nippon yezoensis*)、キタキツネ(*Vulpes vulpes shrencki*)、エゾタヌキ(*Nyctereutes*

表1-1 自動撮影調査の結果概要

設置位置 (箇所数)	6月調査		8月調査		10月調査	
	林道沿い (10箇所)	林道沿い (10箇所)	林道沿い (10箇所)	湖岸 (2箇所)	湖岸 (2箇所)	湖岸 (2箇所)
有効稼働日数*	105.7	171.1	217.2	39.9	39.9	39.9
鳥獣撮影枚数	101	187	262	6	6	6
哺乳類	99	177	244	6	6	6
エゾヒグマ	1	4	2	0	0	0
エゾシカ	70	70	128	2	2	2
キタキツネ	7	44	42	0	0	0
エゾタヌキ	8	37	25	0	0	0
エゾクロテン	3	2	7	0	0	0
アメリカミンク	0	0	0	1	1	1
エゾリス	5	13	28	1	1	1
エゾシマリス	1	2	7	0	0	0
エゾモモンガ	1	1	4	0	0	0
コウモリ類	3	4	1	0	0	0
ネコ	0	0	0	2	2	2
鳥類	2	10	18	0	0	0

*有効稼働日数: 装置が正常に稼働し、かつフィルムの撮りきりなどによるデータの欠測がない状態の時間

procyonoides albus)、エゾクロテン (*Martes zibellina brachyura*)、エゾリス (*Sciurus vulgaris orientis*)、エゾシマリス (*Tamias sibiricus lineatus*) 及びエゾモモンガ (*Pteromys volans orii*) の8種であった。また、10月調査でのみ2箇所で行った湖岸での調査では、林道沿いの調査では確認されなかったアメリカミンク (*Mustela vison*) が1回撮影された。

林道沿い調査における種別の撮影箇所数を図1-2に、全12箇所における種別の撮影位置を図1-3に示す。

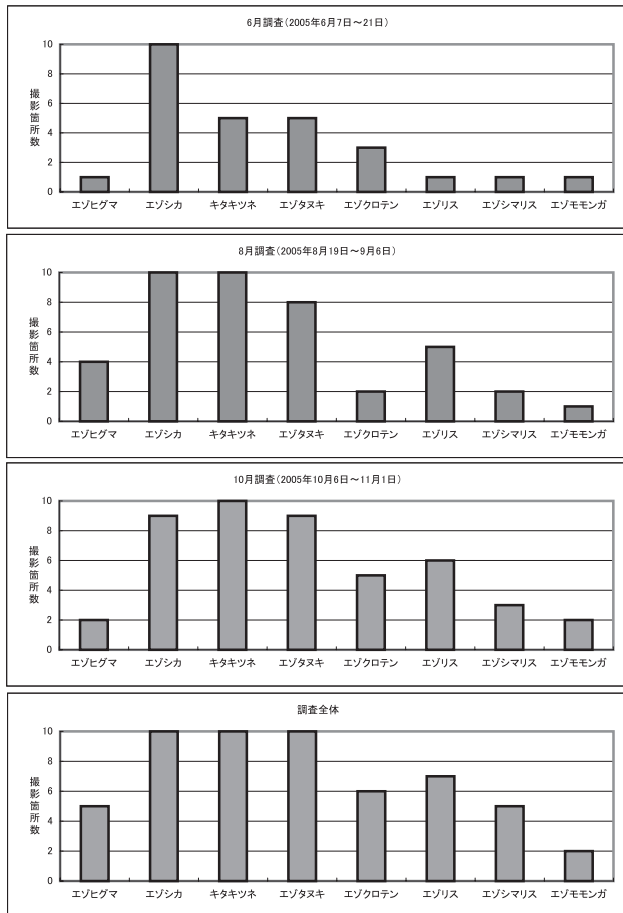


図1-2 林道沿い調査における中大型哺乳類の種別の撮影箇所数

エゾヒグマはいずれも湖の北及び西側に位置する5箇所にて撮影された。エゾシカは10月調査を除く2回の調査で林道沿いの10箇所全てで撮影されたほか、湖岸の2箇所でも撮影され、唯一全ての調査地点で撮影された。キタキツネ及びエゾタヌキも調査全体を通じ林道沿い10箇所全てで撮影された。それらに次いで撮影箇所数が多かったのはエゾリス、エゾクロテン、エゾシマリスで、いずれも半数以上の箇所にて撮影され、撮影箇所の分布には顕著な偏りはなかった。エゾモモンガは林道沿いの2箇所にて撮影されたが、いずれの写真も林道上を歩行しているのではなく、自動撮影装置の方に向かって滑空しているか、装置を架設した立

木に到達した瞬間と思われる状態で撮影されていた。アメリカミンクは林道沿いでは全く撮影されなかったが、10月の湖岸調査において、南岸で1回のみ撮影された。

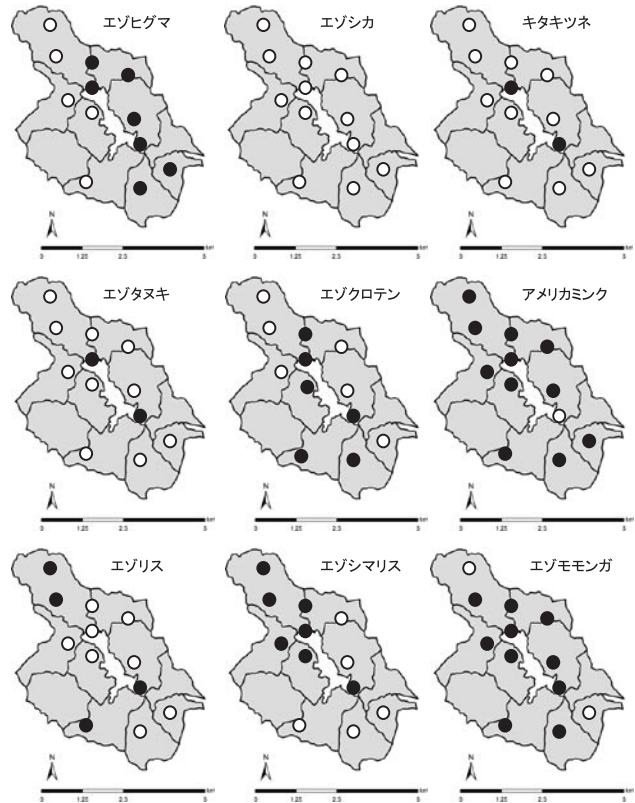


図1-3 種別の撮影された位置

○が撮影された地点、●が撮影されなかった地点
湖岸の2箇所(図1の11及び12)は10月調査のみの結果、それ以外の10箇所は3回の調査を通じた結果

林道沿い調査における1有効稼動日当たりの撮影枚数を撮影頻度の指標として算出した(図1-4)。撮影頻度はエゾシカがいずれの調査回でも最も高く、特に6月と10月調査では突出しており、調査全体の平均は0.5枚/日を超えていた。キタキツネとエゾタヌキの撮影頻度の季節変化には同調性があり、6月が最も低く、8月には最も高くなり、10月は若干下がるというもので、調査全体では2種ともに0.1枚/日台であった。エゾリスの場合は調査回が進むにつれて撮影頻度が高まる傾向が見られ、10月調査では0.1枚/日を超えた。他の4種の撮影頻度はいずれも低く、調査全体の平均は0.02枚/日以下であった。

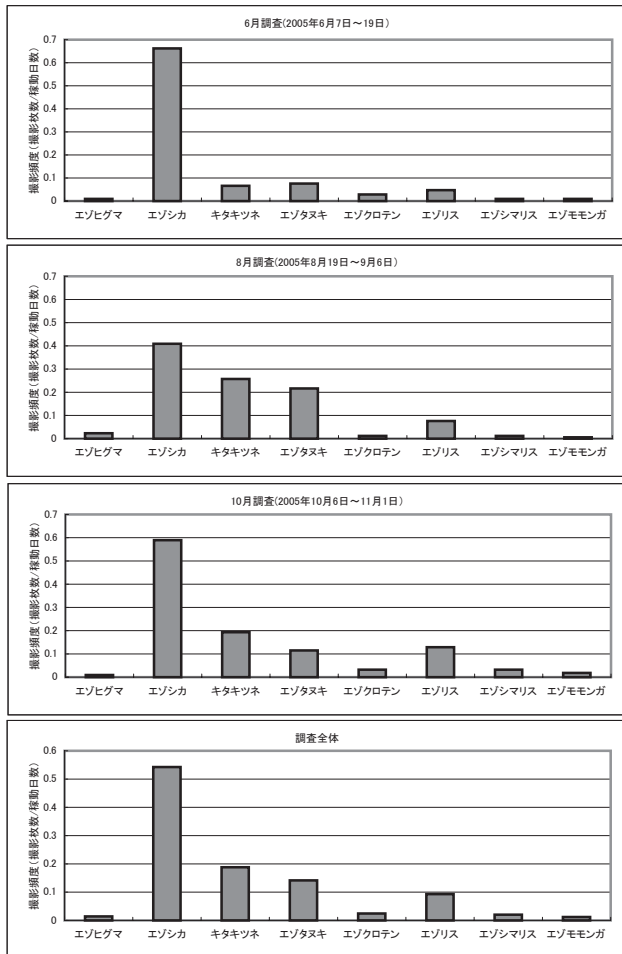


図1-4 林道沿い調査における中大型哺乳類の種別の撮影頻度

1.3.2 目視及び痕跡調査

調査期間中において得られた目視や痕跡による生息情報は30件となり、それによって生息が確認された中大型哺乳類は7種であった(表1-2)。

そのうち、1箇所では糞が発見されたエゾユキウサギ(*Lepus timidus ainu*)は唯一自動撮影では確認されなかった種であった。目視又は痕跡によって生息が確認された種の林班単位の位置を図1-5に示す。前述のエゾユキウサギを除く、目視や痕跡による情報が自動撮影による林班単位での種の生息確認を補足した事例(撮影されなかった林班内で目視や痕跡により確認されたり、自動撮影装置が設置されていない林班内で確認されたりした事例)は3種の計5件となった(150、158及び161林班のエゾタヌキ、155林班のエゾシマリス、163林班のエゾヒグマ)。

1.4 考察

チミケップ湖周辺における自動撮影及び目視・痕跡調査の結果、北海道に生息する16種の陸生哺乳類(コウモリ類、ネズミ類、トガリネズミ類及び地域限定の外来種を除く)³⁾のうち、10種の中大型哺乳類の生息が確認された。

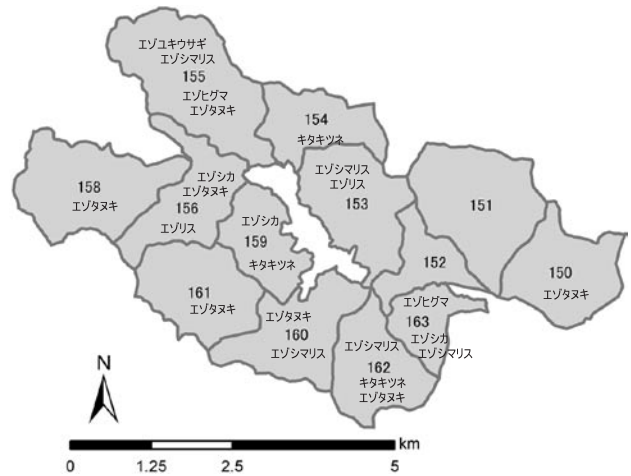


図1-5 各林班において目視又は痕跡によって生息が確認された中大型哺乳類

エゾシカはその撮影地点の分布及び撮影頻度から、チミケップ湖周辺において最も一般的な中大型哺乳類であり、春から秋にかけては安定的に高い密度水準で生息していると言える。エゾシカに次ぐ頻度で撮影されたキタキツネとエゾタヌキも比較的高い密度水準で広範囲に生息していると考えられる。

エゾヒグマの撮影地点はチミケップ湖の北及び西側に偏っていたが、南側でも食痕が確認されており、少なくとも東側を除く広範囲を利用していることが確認された。湖の東岸にはホテルやキャンプ場があり、東岸沿いにこの周辺では比較的交通量が多い道道が通っていることから、人間活動の活発な東側の地域をエゾヒグマが忌避していた可能性もある。また、10月に発見されたエゾヒグマの糞の内容物はほぼ100%がコーン類であったことは、当該個体が調査地と周辺農地との両方を短い期間内に共に利用していたことを示す。

エゾリスとエゾシマリスはともに秋に撮影頻度が高くなる傾向を示したが、貯食のための採餌行動の活発化が林道の利用頻度の増加に繋がったのかもしれない。エゾモモンガは2箇所でのみ撮影されたが、写真からは自動撮影装置を架設した立木を利用した(若しくは利用しようとした)際に偶然的に撮影されたものと推察された。本調査は林道を利用する動物の撮影を目的としており、地表の歩行移動をほとんど行わないエゾモモンガについては、撮影結果が示すよりも広範囲でかつ高い密度水準で生息している可能性がある。以上で述べた8種は3回の調査全てで撮影されており、春から秋にかけては継続して調査地周辺に生息しているものと思われる。

湖岸調査でのみ撮影されたアメリカミンクは、水辺への依存度が非常に高いため、林道沿いの調査では検出されなかったものと考えられる。水辺に設置した自動撮影装置がアメリカミンクの検出に有効であることは既に知られてい

表 1-2 調査地付近において目視や痕跡により得られた中大型哺乳類の生息に関する情報

種	目視痕跡の種類	月日	林班	備考
エゾヒグマ	糞	5/11	155	植物繊維、未消化の両生類（カエル？）の卵塊
	食痕	6/7	163	フキ
	糞	10/14	155	コーン類
エゾシカ	目視	8/26	153	3頭の群れ
	目視	9/6	156	成獣メス及び仔各1頭
	目視	10/14	159	成獣メス及び仔各1頭
	目視	11/1	163	成獣オス
	目視	11/1	156	1歳オス
キタキツネ	目視	6/15	162	
	目視	9/6	159	
	目視	9/6	154	仔
エゾタヌキ	目視	6/7	150	
	目視	6/21	155	
	糞	8/19	156	
	目視	8/25	155	
	目視	9/6	162	
	糞	10/14	160	ヤマブドウ果実、獣毛（ウサギ？）
	糞	10/14	161	ヤマブドウ及びコクワ果実、獣毛（ウサギ？）
	目視	11/1	158	2頭
エゾユキウサギ	糞	6/7	155	
エゾリス	目視	8/27	153	
	目視	11/1	156	
エゾシマリス	目視	8/25	160	
	目視	8/25	155	
	目視	8/25	155	
	目視	8/25	155	
	目視	8/25	155	2頭
	目視	8/27	153	
	目視	11/1	163	
	目視	11/1	162	

ることから⁴⁾、本調査地でも水辺での設置箇所を増やし、また他の季節でも実施していれば、より多くの生息情報が得られた可能性がある。

エゾユキウサギは糞が確認されたものの、自動撮影調査では撮影されなかった。エゾユキウサギは林道をあまり利用しない可能性があることが指摘されており⁵⁾、本調査の結果が低い生息密度を反映しているものか、それとも調査手法とエゾユキウサギの習性との適合性に起因しているものなのかは不明である。

本調査と同じデザインで実施された他の地域での自動撮影調査結果^{1), 3)}と比較すると、同じ道東の阿寒や知床とは、エゾシカの突出した撮影頻度の高さや、キタキツネ及びエゾタヌキがそれに次ぐ水準にあるという点で一致した一方、道北の中川や石狩の奥定山溪ではエゾシカの撮影頻度は低いなどの点で、本調査地とは明らかに異なっていた。つまり、本調査結果は道東地域における中大型哺乳類の生息状況の一般的な特徴を反映したものであったと考えられる。

道内に生息する中大型哺乳類のうち、今回の調査で確

認されなかった種はアライグマ (*Procyon lotor*)、ホンドテン (*Martes melampus melampus*)、ホンドイタチ (*Mustela itatsi itatsi*)、エゾオコジョ (*M. erminea orientalis*)、ニホンイイズナ (*M. nivalis namiyei*)、エゾナキウサギ (*Ochotona hyperborea yesoensis*) の6種である。このうち生息環境が特異なエゾナキウサギは調査地付近に生息する可能性は低い。外来種であるアライグマ、ホンドテン、ホンドイタチは仮に調査地付近に生息していたとすれば、他の同様の調査^{1), 4), 5)}で示されるように自動撮影で検出された可能性は高く、生息していないか、若しくは生息していてもかなり低密度であると考えられる。エゾオコジョは自動撮影での検出の可能性に関する情報はなく、今回の調査結果からは生息の有無についての判断はできない。ニホンイイズナについては、生息が確認されている地域での自動撮影調査でも検出されなかったことから、あまり林道に出現しないことや出現しても体が小さいために検知撮影されない可能性が指摘されている⁵⁾。そのため、本調査結果だけではニホンイイズナが生息していないとは判断できない。

以上のように、道内に生息する在来種の多くが確認された一方、外来種としては唯一アメリカミンクが湖岸で確認されたのみにとどまったことから、チミケップ湖周辺の中大型哺乳類相の多様性は現時点では概ね維持されていると言える。しかし、現在道内で急激に分布域を拡大しつつあるアライグマは、調査地に近い美幌町でも確認されており、近い将来の本調査地への侵入も懸念される。本調査地周辺ではともに国及び道のレッドリストで絶滅のおそれがあるとされるミサゴ (*Pandion haliaetus*) とクマゲラ (*Dryocopus martius*) の生息が確認されており⁶⁾、当該地域の生態系に大きな影響を及ぼす可能性のある外来種の侵入に対しては継続したモニタリングが必要である。

1.5 引用文献

- 1) 平川浩文：自動撮影装置を用いたインベントリ調査手法の確立，第6回自然環境保全基礎調査 生物多様性調査 種の多様性調査（北海道），pp. 48-60，環境省自然環境局生物多様性センター，2004.
- 2) 平川浩文：自動撮影装置を用いたインベントリ調査手法の確立－H15自然環境基礎調査F Sに基づく調査マニュアル案，第6回自然環境保全基礎調査 生物多様性調査 種の多様性調査（北海道），pp. 61-68，環境省自然環境局生物多様性センター，2004.
- 3) 近藤憲久：哺乳類相とその分布，（東正剛・阿部永・辻井達一編：生態学からみた北海道），pp. 171-183，北海道大学図書刊行会，札幌，1993.
- 4) 車田利夫：自動撮影を用いた外来種ミンクの検出，第6回自然環境保全基礎調査 生物多様性調査 種の多様性調査（北海道）報告書，pp. 36-49，環境省自然環境局生物多様性センター，2005.
- 5) 平川浩文：中川研究林における中大型哺乳類及びコウモリ類の生息状況，中川研究林における自然環境調査－2001-2002年度報告書，pp. 3-11，北海道大学北方生物圏フィールド科学センター中川研究林，2004.
- 6) 富沢昌章、島田明英：鳥類，チミケップ湖，「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書 道東圏域（山岳部）12地域，pp. 201-203，北海道環境科学研究センター，1996.

Sub title

1. Faunal survey of medium-sized and large mammals

Toshio KURUMADA
Hirofumi HIRAKAWA

Abstract

A survey of medium-sized and large mammals was conducted in the forest around Lake Chimikeppu, eastern Hokkaido in June, August and October, 2005. Nine species (Eurasian red squirrel *Sciurus vulgaris orientis*, Siberian chipmunk *Tamias sibiricus lineatus*, Eurasian flying squirrel *Pteromys volans orii*, brown bear *Ursus arctos yezoensis*, raccoon dog *Nyctereutes procyonoides albus*, red fox *Vulpes vulpes shrencki*, sable *Martes zibellina brachyura*, American mink *Mustela vison*, sika deer *Cervus nippon yezoensis*) were photographed using automated camera-trap surveys. In addition, the mountain hare *Lepus timidus ainu* was detected from observations of their faeces. Deer, foxes and raccoon dogs were present throughout the study area. The very high relatively frequency of deer photographs taken indicated that this was the most common species. We suggest that the diversity of medium-sized and large mammals around Lake Chimikeppu will be maintained because of the presence of a diverse mammal assemblage, and the only one representation of invasive species. We also suggest that it will be important to monitor the change of fauna in this area in the future, especially the invasion of alien species.

（車田 利夫 平川 浩文）

2 ネズミ類及びトガリネズミ類相

【要 約】

2005年8月に北海道津別町所在のチミケップ湖周辺においてネズミ類及びトガリネズミ類相の調査を行った。捕獲によりネズミ科の3種（エゾヤチネズミ、エゾアカネズミ及びヒメネズミ）の生息が確認された。また、北海道が実施した野ねずみ発生予察調査の結果から、ミカドネズミとカラフトアカネズミの生息も確認された。トガリネズミ類については、オオアシトガリネズミ1種の捕獲にとどまったため、今後の補足調査の実施が望まれる。

2.1 はじめに

本調査は、第一にチミケップ湖周辺のネズミ科動物相の把握を、第二に同じくトガリネズミ科動物相の把握を目的に実施された。

なお、網走東部森づくりセンター森林整備第二係の小野恭嗣主任には野ねずみ発生予察調査に関する情報を提供いただいた。北海道立林業試験場企画指導部森林情報室情報管理科の斉藤逸郎主任には、同予察調査結果のデータベース利用に便宜を図っていただいた。美幌博物館の鬼丸和幸

学芸員及び山鹿百合子学芸員にはワナを貸与いただいた。ここに記して厚く感謝申し上げます。

2.2 調査地及び方法

調査は2005年8月26日から28日まで行った。チミケップ湖に隣接する3つの林班（153林班、154林班及び160林班）にそれぞれ1又は2箇所の調査区を合計4区（A区～D区）を設定した（図2-1）。各調査区において20個のワナを10m間隔で2列10行の格子状に設置し、翌日に確認する作業を2回繰り返し、2日間の採集を行った。ワナはA区とC区ではシャーマントラップ（生け捕りワナ）を、B区とD区ではパンチュートラップ（捕殺ワナ）をそれぞれ使用し、餌はシャーマントラップにはヒマワリの種子や麦類が混合されたペットフードを、パンチュートラップには生落花生を用いた。捕獲したネズミは外部計測及び種の同定を行った後、生きていたネズミはその場で放逐し、死んでいた場合は持ち帰って処分した。

なお、ムクゲネズミ (*Clethrionomys rex*) とエゾヤチネズミ (*C. rufocanus bedfordiae*) は外見上非常によく似ており、両種を判別するには標準化した上で上下の第3臼歯の形状を確認する必要がある¹⁾。しかし、これまで大雪山系より東の地域では多くのネズミ類相調査が行われているにもかかわらずムクゲネズミは確認されていないこと²⁾から、本調査地にはムクゲネズミは生息していないものと仮定し、ハタネズミ科の捕獲があった場合は、後足長からエゾヤチネズミ又はミカドネズミ (*C. rutilus mikado*) の2種に区分することとした。

各調査区の環境は次のとおりである。

A区：標高約300m。トドマツ (*Abies sachalinensis*)、エゾマツ (*Picea jezoensis*)、カツラ (*Cercidiphyllum japonicum*)、ヤチダモ (*Fraxinus mandshurica*)、ダケカンバ (*Betula ermanii*)、ケヤマハンノキ (*Alnus hirsuta*) などを主体とする、広葉樹の割合が高い針広混交林で、林冠被度は60%。林床はクマイザサ (*Sasa senanensis*) 及びエゾイラクサ (*Urtica platyphylla*) がほぼ同割合で優占し、被度は100%。地面は湿地状の部分が多く、区域内には流水のある幅数10cmの沢が通っているほか、水溜りも点在する。

B区：標高約350m。トドマツの人工林だが、一部（面積割合20%程度）ではオオバボダイジュ (*Tilia maximowicziana*) やイタヤカエデ (*Acer mono var. marmoratum*) の小径木が優占している。林冠被度はトドマツ林では90%、広葉樹部分では80%。トドマツ人工林内の林床はフッキソウ (*Pachysandra terminalis*) やシダ類 (*Filicales*) がまばらに生え、被度は30%程度だが、広葉樹部分の林床はクマイザサに全面覆われている。

C区：標高約350m。針葉樹の割合が高い針広混交林

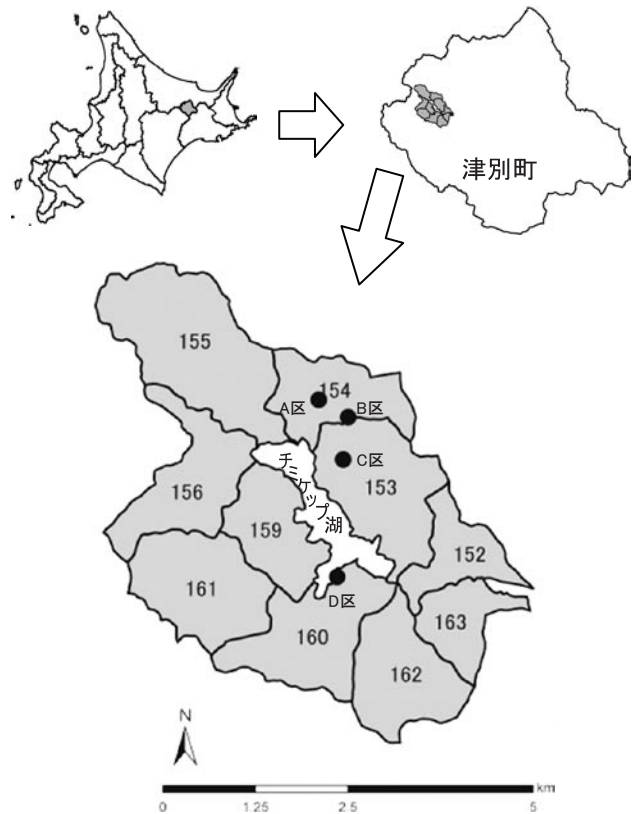


図2-1 調査地

●は調査区、数字は道有林網走東部管理区の林班名

で、エゾマツ及びトドマツの大径木が優占し、オヒョウ (*Ulmus laciniata*)、カツラ、オオバボダイジュ及びイタヤカエデなどの広葉樹もみられる。林冠被度は80%。林床はクマイザサに覆われ、被度は100%。

D区：標高約300m。エゾマツ及びトドマツの大径木が優占する針葉樹の割合が高い針広混交林で、オニグルミ (*Juglans mandshurica var. sachalinensis*)、ナナカマド (*Sorbus commixta*) 及びイタヤカエデなどの広葉樹もみられる。林冠被度は80%、林床の被度は90%で、クマイザサ、フッキソウ及びシダ類の順で優占する。

なお、道有林では野ネズミ発生予察を目的とした捕獲調査が長年実施されており、これは通常1箇所につき連続3日間延べ150ワナの調査を年3回（6月、8月、10月）行うものである。同湖周辺においても調査時期及び期間はさまざまであるが多くの林班で実施されており、1970年以降の調査結果は北海道立林業試験場においてデータベース化されている。データにはエゾヤチネズミ、ミカドネズミ、エゾアカネズミ (*Apodemus speciosus ainu*)、ヒメネズミ (*A. argenteus*) の種別捕獲数が含まれ、1992年以降はカラフトアカネズミ (*A. peninsulae giliacus*) も対象種に追加されている。本調査では、チミケップ湖から5km以内の距離に位置する林班での1970年から2005年8月における調査結果を補足資料として用いた。

2.3 結果及び考察

2.3.1 ネズミ類

本調査により2属3種のネズミ類が合計101頭捕獲された(表2-1)。ネズミ類3種については、各調査区におけるネズミ類の種別優占度(各種の捕獲数/全ネズミ類捕獲数)を算出した(図2-2)。

エゾヤチネズミは全ての調査区において、合計61頭が捕獲された。C区及びD区ではともに80%以上の優占度を本種が占め、また、トドマツ人工林(B区)でもヒメネズミと同割合で優占種であった。A区では、エゾアカネズミに次いで優占し、その割合は32%であった。

エゾアカネズミはC区を除く3区で捕獲された。捕獲数はエゾヤチネズミに次ぐ24頭であった。20頭が捕獲されたA区での優占度は59%を占め、そこでの最優占種であったが、B区では5%、D区では20%と、その他の調査区での優占度は低かった。

ヒメネズミはD区を除く3区で捕獲され、捕獲数は3種中で最も少ない16頭であった。B区での捕獲数はエゾヤチネズミと同数の9頭で、両種の優占度は47%であった。

野ネズミ類の分布と生息環境との関連については、これ

までにある程度明らかにされてきている。低木層と草本層の被度、密度及び落葉層の厚さとネズミ類のすみ場所選択との関係を調べた結果、エゾヤチネズミは例えばササ類の密生区などの低木層や草本層の被度及び密度の高いところで多く捕獲されたことが報告されている³⁾。一方、ヒメネズミは低木層以下の被度には制約されないが、林床の草本層密度の低いところで最も多く捕獲されたこと、エゾアカネズミの生息場所は草本層密度とあまり関係がないことも指摘されている³⁾。ヒメネズミとエゾアカネズミの2種を比較すると、ヒメネズミは針葉樹林や広葉樹2次林において優勢、エゾアカネズミは特に広葉樹林で優勢であるとされている⁴⁾。また、エゾヤチネズミは北海道の全ての型の森林に必ずみられるが、ササ類の存在と深い関係にあり、林冠の閉鎖度が高く、ササ類が分布していないかまたはその被度の少ないところでは個体数が少ないことも指摘されている⁵⁾。

本調査において、エゾヤチネズミは全ての調査区で捕獲され、かつ林床の被度が高くクマイザサが優占するC区とD区で優占度が非常に高かったこと、林床植生の被度が最も低いB区でヒメネズミの優占度が高かったこと、広葉樹の割合が高い針広混交林であるA区でエゾアカネズミが優占していたことは、これらの報告を支持するものであり、本調査地の野ネズミ相は、種固有の生息環境選択性に基づく、北海道における一般的な野ネズミ類の分布様式を反映したものであると考えられる。

1970年以降、チミケップ湖から5km以内の距離に位置する道有林の林班のうち、1回以上の野ねずみ予察捕獲調査が実施された林班は26林班あったが、その多くで前述の3種が捕獲されていたのに加え、本調査では捕獲されなかった種のうち、ミカドネズミが9つの林班で、カラフトアカネズミが1つの林班でそれぞれ捕獲されていた(図2-3)。1970年から2005年8月までに予察調査で捕獲されたネズミ類のうち、種別の捕獲数が記録されているものの総数は7,056頭であったが、それに占めるミカドネズミの割合は0.5%(35頭)と非常に低かった(表2-2)。カラフトアカネズミが予察調査における捕獲数の記録対象となった1992年以降の同様のカラフトアカネズミの捕獲数割合も0.4%(3,103頭のうち13頭)と非常に低かった(表2-2)。

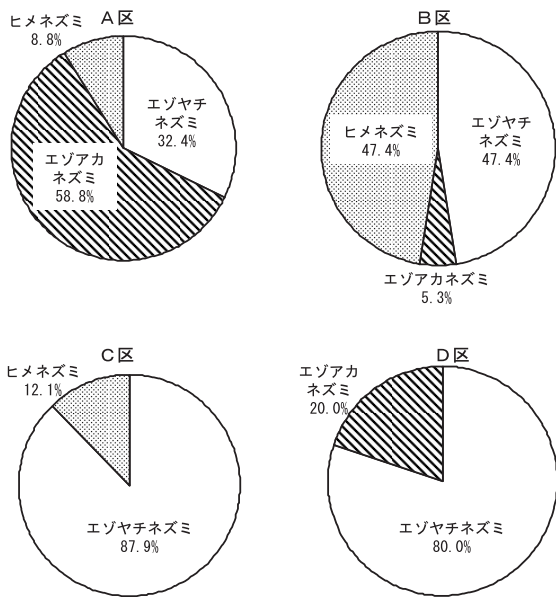


図2-2 各調査区において捕獲されたネズミ類の種別優占度

表2-1 ネズミ類及びトガリネズミ類の捕獲結果。()内は100トラップナイト当りに換算した捕獲数

調査区	ワナの種別	捕獲数								合計	有効ワナ数
		エゾヤチネズミ	エゾアカネズミ	ヒメネズミ	オオアシトガリネズミ						
A区	シャーマン	11 (30.6)	20 (55.6)	3 (8.3)	1 (2.8)					35 (97.2)	36
B区	パンチュー	9 (23.1)	1 (2.6)	9 (23.1)	1 (2.6)					20 (51.3)	39
C区	シャーマン	29 (82.9)	-	4 (11.4)	1 (2.9)					34 (97.1)	35
D区	パンチュー	12 (30.8)	3 (7.7)	-	3 (7.7)					18 (46.2)	39
合計		61 (40.9)	24 (16.1)	16 (10.7)	6 (4.0)					107 (71.8)	149

表 2-2 野ねずみ発生予察調査によってチミケップ湖周辺で捕獲されたネズミ類の種別頭数及び割合

調査期間		エゾヤチネズミ	ミカドネズミ	エゾアカネズミ	カラフトアカネズミ	ヒメネズミ	合計
1970～2005	頭数	3,788	35	989	13	2,231	7,056
	割合	53.7%	0.5%	14.0%	0.2%	31.6%	100%
1992～2005	頭数	1,215	1	540	13	1,334	3,103
	割合	39.2%	0.0%	17.4%	0.4%	43.0%	100%

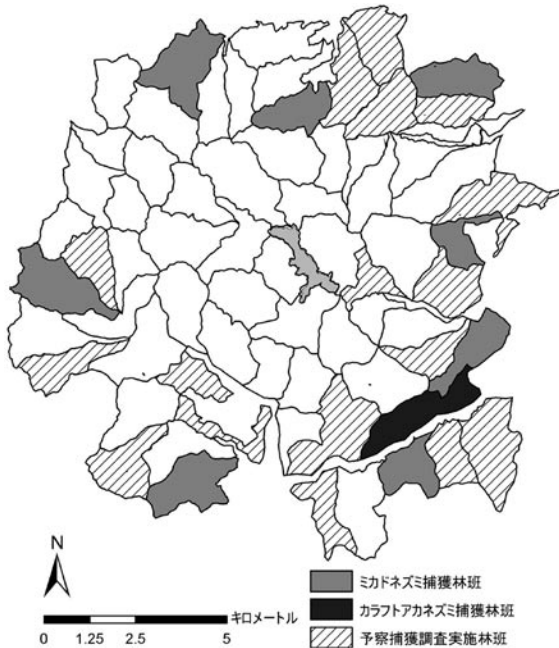


図 2-3 チミケップ湖から 5 km 以内の距離にある林班における、1970 年以降の野ねずみ発生予察捕獲調査の結果

ミカドネズミはエゾヤチネズミとは排他的競争関係にあり、通常はエゾヤチネズミが優勢であるとされている⁵⁾。本調査や予察調査での捕獲の結果からは、当該地域におけるエゾヤチネズミの優占度が非常に高いことが明らかにされており、ミカドネズミはその影響を受けて低密度に抑えられている可能性がある。カラフトアカネズミは植林地（特にカラマツ (*Larix kaempferi*) 林）、海岸草原や灌木林に生息する草原性のネズミであるとされている⁶⁾。チミケップ湖にごく近い地域では林道を通りながら見た限りではそのような環境はほとんど見当たらないが、少し離れた林班では生息が確認されているように、広範囲にみれば好適環境が存在しているものと思われる。以上のとおり、本調査及び補足資料によって、北海道全域に生息していると考えられている 2 属 5 種の野ネズミ類⁷⁾の全てがチミケップ湖周辺に生息していることが確認された。北海道にはその 5 種及び当該地域には生息しないと仮定したムクゲネズミのほかに 2 属 3 種のネズミ類（ドブネズミ (*Rattus norvegicus*)、クマネズミ (*R. rattus*) 及びハツカネズミ (*Mus musculus*)) が生息している¹⁾。外来種であるこれらは主に人間の生活圏に近い場所に生息する種である。チミケップ湖畔には 1 軒のホテルと 2 箇所のキャンプ場があ

り、その周辺での生息の可能性は否定できないが、湖畔から最も近い集落（津別町二又）までは約 5 km の距離があり、生息していても密度はかなり低いものと考えられる。

2.3.2 トガリネズミ類

本調査では、食虫目のトガリネズミ類の捕獲を目的とした調査手法を用いた積極的なトガリネズミ類の捕獲は行っておらず、ネズミ類の捕獲の際に副次的に捕獲されたものであることから、ここでは簡単な記述にとどめる。

本調査の結果、オオアシトガリネズミ (*Sorex unguiculatus*) 1 種が合計 6 頭捕獲された（表 2-1）。4 つの調査区全てで捕獲されたことから、本種は本調査地付近では様々な環境の下に広く分布するものと推察される。本種は道内の多くの地域で優占する種であることが報告されており^{7), 8), 9)}、知床半島ではトガリネズミ類の全捕獲数の約 75% を本種が占めていた¹⁰⁾。これらのことから、本調査地において同種しか捕獲されなかったことは、本調査地でも同種の優占度が高いことを示唆しているのかもしれない。北海道には、同種のほかにエゾトガリネズミ (*S. caecutiens saevus*)、ヒメトガリネズミ (*S. gracillimus*)、トウキョウトガリネズミ (*S. minutissimus hawkeri*) 及びニホンジネズミ (*Crocidura dsinezumi*) の 4 種が生息する¹⁾。限られた地域からごく少数の捕獲記録しか得られていないトウキョウトガリネズミ及びジネズミを除く 2 種は道内に広く分布しており、本調査地においても両種が生息している可能性がある。

以上のように、トガリネズミ類は 1 種の確認にとどまったため、今後の補足調査の実施が望まれる。

2.4 引用文献

- 1) 阿部永, 石井信夫, 金子之史, 前田喜四雄, 三浦慎悟, 米田正明: 日本の哺乳類, 東海大学出版会, 東京, 195pp, 1994.
- 2) Nakata, K.: Distribution and habitat of the dark red-backed vole *Clethrionomys rex* in Japan. *Mammal Study*, 25, pp.87-94, 2000.
- 3) 太田嘉四夫, 阿部永: すみ場所と巣, (太田嘉四夫編著: 北海道産野ネズミ類の研究), pp. 139-158, 北海道大学図書刊行会, 北海道, 1984.
- 4) 近藤憲久: 日本の哺乳類相 - 種の生態・古環境及び津軽海峡の影響について, *哺乳類科学*, pp. 43-44,

131-143, 1982.

- 5) 太田嘉四夫：生態的分布，(太田嘉四夫編著：北海道産野ネズミ類の研究)，pp. 313-354, 北海道大学図書刊行会，北海道，1984.
- 6) 近藤憲久：哺乳類相とその分布，(東正剛・阿部永・辻井達一編：生態学からみた北海道)，pp. 171-183, 北海道大学図書刊行会，札幌，1993.
- 7) 近藤憲久：哺乳類・両生・爬虫類. 釧路湿原保全対策調査報告書，pp. 97-112, 北海道生活環境部自然保護課，1983.
- 8) 近藤憲久：哺乳類，道立自然公園総合調査(厚岸道立自然公園)報告書，pp.129-141, 社団法人北海道自然保護協会，1986.
- 9) 近藤憲久，阿部永：哺乳類，「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書 別寒辺牛湿原 別当賀川下流域，pp. 34-45, 北海道保健環境部自然保護課，1992.
- 10) 前川光司：知床半島のトガリネズミ類の分布，知床半島自然生態系総合調査報告書(動物篇)，pp. 98-104, 北海道生活環境部自然保護課，1981.

Sub title

2. Faunal survey of Muridae and Soricidae

Toshio KURUMADA
 Kuniko KAWAI
 Hirofumi HIRAKAWA
 Naoko SASAKI
 Norihisa KONDO

Abstract

A survey of the Muridae and Soricidae was conducted in the forest around Lake Chimikeppu, eastern Hokkaido in August, 2005. Three species of Muridae were captured: gray red-backed vole *Clethrionomys rufocanus bedfordiae*, large Japanese field mouse *Apodemus speciosus ainu*, small Japanese field mouse *A. argenteus*. The presence of the northern red-backed vole *C. rutilus mikado* and Korean field mouse *A. peninsulae giliacus* in this area were confirmed previously from capture data from a population census carried out by the Hokkaido government. It is recommended that future surveys target this group because only one species of soricid was captured (long-clawed shrew *Sorex unguiculatus*).

(車田 利夫 河合久仁子 平川 浩文
 佐々木尚子 近藤 憲久)

3 コウモリ相

【要 約】

2005年8月25日から29日まで、北海道チミケップ湖周辺においてコウモリ類の調査を行った。7種86個体を捕獲し、金属のコウモリ用バンドをつけて放獣した。森林内では、ヒメホオヒゲコウモリ、チチブコウモリ、ウサギコウモリ、コテングコウモリが優占種で、水面上では、モモジロコウモリが優占種であった。また、ドーベントンコウモリとテングコウモリが各1個体ずつ捕獲された。7種のうち6種は、環境省の定める絶滅危惧種ⅠB類とⅡ類に選定されている。

3.1 はじめに

これまで、チミケップ湖を中心として半径50km以内のコウモリ相については、6件の報告があり、7属12種が確認されている^{1), 2), 3), 4), 5), 6)}。しかし、同地域でコウモリ相の調査がおこなわれたとの報告はこれまでにない。今回は、同地域の法令等に基づく保全地域指定に向けた基礎資料を収集するため、コウモリ相の調査を実施したものである。その結果、新たな知見を得たので報告する。

なお、作図でお世話になった根室市歴史と自然の資料館の森利博氏には感謝の意を表したい。

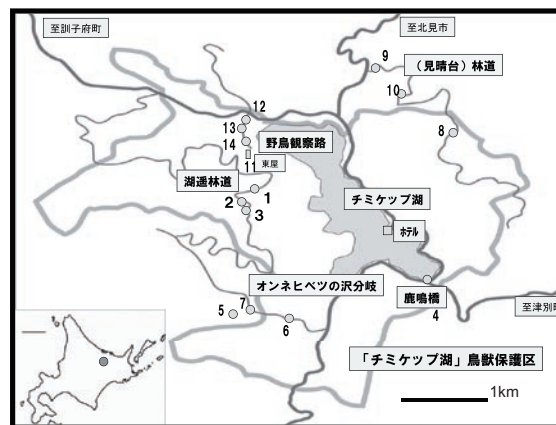


図3-1 チミケップ湖周辺の略図と捕獲地点
 Fig. 3-1. Survey site (numbers correspond to those in Table 3-2)

3.2 調査地の概要および調査方法

「チミケップ湖」鳥獣保護区は、網走管内津別町にあり、北見市から車で40分ほどの距離にある。位置は、北緯43度37分-43度39分、東経143度51分-143度54分の範囲にあり、チミケップ湖面(海拔290m)も含む(図3-1)。周辺には、ホテル1軒、キャンプ場施設が2ヶ所あり、湖の周囲は広大な針広混交林が続いている。また、ヤマメの沢川などの流入河川と流出河川として網走川の支流チミケップ川がある。周辺の針広混交林を構成する樹種は、針葉樹；トドマツ (*Abies sachalinensis*)、エゾマ

ツ (*Picea jezoensis*)、イチイ (*Taxus cuspidata*)、広葉樹:ダケカンバ (*Betula ermanii*)、ヤチダモ (*Fraxinus mandshurica*)、ハルニレ (*Ulmus davidiana*)、オオバボダイジュ (*Tilia maximowicziana*)、ケヤマハンノキ (*Alnus hirsuta*)、アカイタヤ (*Acer mono*)、シウリザクラ (*Prunus ssiiori*)などである。林床は、ササ (*Sasa* sp.) およびシダ類 (Filicales)、河川沿いにはイネ科 (Gramine)、カヤツリグサ科 (Cyperaceae) などの湿原性草本がある。捕獲調査地点付近の植生については、25m×25mのコードラートを一地区2ヶ所設定し、その中に含まれる樹木の本数(胸高直径15cm以上)と「樹洞」、「裂け目・くぼみ」、「樹皮剥げ」、「枯れ木(一部含むものも含む)」の故損木数を記録した。また、コードラート内の最大樹高はほぼ一定していることから、任意に一本の大径木を抽出し、樹高を記録した(表3-1)。

カスミ網による調査は、2005年8月25日から8月29日までの4日間、4地域12地点で行われた。用いたカスミ網は、高さ350cm、幅540cmまたは900cmで、総数は39枚で

あった。カスミ網による調査は、18時半(照度3Lx前後; SLX-1332, 三商(株))から2時間もしくは3時間行われた。12地点の調査地は、「チミケップ湖」鳥獣保護区域内の8ヶ所と区域外の林道上4ヶ所であった。コウモリは林内よりも水域および林道で行動する⁷⁾とされることから、カスミ網は、林道もしくは歩道に設置した。また、コウモリの飛翔を確認するためバットディテクター(Ultra Sound Advice社 MINI-3型)を使用した。

カスミ網設置場所の環境省3次メッシュコードは、「湖遥林道(a)、(b)、(c)」が(6543-36-69、海拔約340-360m)、「オンネヒベツの沢分岐(a)、(b)、(c)」が(6543-36-49、海拔約300-320m)、「(見晴台)林道(a)、(b)、(c)」が(6543-37-70、-71、-80、海拔約340-460m)、「野鳥観察路(a)、(b)、(c)」が(6543-36-69、-79、海拔約290-300m)、「鹿鳴橋」が(6543-37-51、海拔約295m)、「野鳥観察路四阿」が(6543-36-69、海拔約300m)であった。

捕獲された個体については、種の同定、前腕長、体重、翼開長の測定、性別、幼獣の識別および繁殖状態が

表3-1 捕獲調査地点の植生
Table 3-1. Vegetation of the survey locations

	湖遥林道A	湖遥林道B	わ社へツ分岐A	わ社へツ分岐B	(見晴台)林道A	(見晴台)林道B	野鳥観察路A	野鳥観察路B
林層	伐木林	伐木林	原生林	伐木林	伐木林	伐木林	原生林	原生林
林床	ササsp.	ササsp.	湿地性草本・ササsp.	湿地性草本	ササsp.	ササsp.	ササsp.	湿地性草本・ササsp.
樹木本数	23本	21本	44本	28本	24本	27本	29本	46本
樹高	20m (ダケカンバ)	23.5m (イヅマツ)	29m (ヤチダモ)	23m (ヤチダモ)	25m (トクマツ)	22.5m (ハルニレ)	25m (ハルニレ)	28m (イヅマツ)
最大胸高直径	44cm (イヅマツ)	55cm (シウリザクラ)	62cm (ヤチダモ)	60cm (ヤチダモ)	82cm ((イヅマツ))	88cm (ハルニレ)	132cm (ハルニレ)	83cm (イヅマツ)
大径木(50cm以上)	0本	2本	4本	1本	6本	2本	6本	5本
平均胸高直径	28.78cm	28.43cm	33.32cm	24.07cm	39.08cm	33.78cm	36.21cm	34.74cm
針葉樹比率	56.52%	14.86%	52.27%	3.27%	58.33%	25.93%	24.14%	75.56%
故損木総数	5本		21本		20本		24本	
緯度(植生調査地点)	43° 38' 20"	43° 38' 22"	43° 37' 27"	43° 37' 34"	43° 38' 38"	43° 39' 05"	43° 38' 48"	43° 38' 35"
経度(植生調査地点)	143° 51' 53"	143° 51' 55"	143° 52' 10"	143° 51' 51"	143° 52' 46"	143° 52' 31"	143° 51' 44"	143° 51' 48"

* 植生調査: 25m×25m方形区; 樹木本数: 胸高直径15cm以上のみ、一株から複数数出ている樹木は一番大きいもののみ使用、つる性は考慮に入れなかった、; 大径木: 胸高直径50cm以上; 平均胸高直径: 「樹木本数」に使用した樹木のみ使用

表3-2 チミケップ湖周辺の捕獲総数
Table3-2. The number of captured bats around Lake Chimikeppu.

番号 Number	場所 Location	調査月日 Date	調査時間 Time	網枚数 Net	モモジロ <i>M.macroductylus</i>	ドーベントン <i>M.daubentonii</i>	ヒメホオヒゲ <i>Mikonnikovi</i>	チチブ <i>Bleucomelas</i>	ウサギ <i>Pauritus</i>	テング <i>M.hilgendorfi</i>	コテング <i>Mussuriensis</i>	総数 Total	
1	湖遥林道(a)	50825	3	3			2(♂A1,♀A1)	2(♀A2)			2(♂J1,♀A1)	6	
2	湖遥林道(b)	50825	3	3				1(♂A1)	1(♀A1)		2(♂A1,♀J1)	4	
3	湖遥林道(c)	50825	3	3			1(♂J1)	2(♀A1,♂J1)			2(♂A2)	5	
4	鹿鳴橋	50826	0	30	30(♂A18J2,♀A9J1)							30	
5	わ社へツの沢分岐(a)	50827	3	4							2(♂J1,♀J1)	2	
6	わ社へツの沢分岐(b)	50827	3	3			1(♂J1)	3(♂A1J1,♀A1)				4	
7	わ社へツの沢分岐(c)	50827	3	4			4(♂A3J1)				2(♂A1J1)	6	
8	(見晴台)林道(a)	50828	2	3							1(♀J1)	1	
9	(見晴台)林道(b)	50828	2	3							1(♀A1)	1	
10	(見晴台)林道(c)	50828	2	4			1(♀A1)	3(♀A2J1)				4	
11	野鳥観察路四阿	50829		0				1(♂A1)				1	
12	野鳥観察路(a)	50829	2	3	1(♀A1)				2(♀A1J1)		2(♀A1J1)	5	
13	野鳥観察路(b)	50829	2	3			1(♂A1)	3(♂J1,♀A1J1)	3(♀A3)	1(♀J1)	1(♀J1)	9	
14	野鳥観察路(c)	50829	2	3		1(♂A1)	3(♂A1J1,♀A1)	2(♀A1J1)	1(♂J1)		1(♀J1)	8	
合計 (Total)					39	31(♂18♀10J3)	1(♂A1)	13 (♂A6J4♀A3)	17(♂A3J3♀A8J3)	7(♂J1♀A5J1)	1 (♀J1)	16(♂A4J3♀A3J6)	86

* A: 成獣; J: 幼獣、番号はFig1の捕獲調査場所に対応している。

調べられた後、標識翼帯（コウモリ用リング：Porzana Ltd. 2.4mm径もしくは2.9mm径）が装着され、同日同所で放獣された。幼獣の判定は、Hutson and Racey (1999)の基準に従い、指骨の骨化状態が不完全な個体は幼獣とし、それ以外は成獣とした⁸⁾。種の同定は、前田 (1994)⁹⁾ およびKondo・Sasaki (2005)¹⁰⁾ に従い、学名は、前田 (2005)¹¹⁾、和名は、前田 (1997)¹²⁾ を参考にした。なお、鳥獣捕獲許可証は、環境省1-177 (近藤)、第1-180号 (佐々木)、北海道庁第734号 (近藤)、第735号 (佐々木) によった。

捕獲数の各地域の比較には尤度比検定 (G検定)、チチブコウモリの成獣の性比の比較には2項検定を用いた。

3.3 結果

3.3.1 捕獲結果

カスミ網調査によって、4地域12ヶ所で、4属7種55個体が捕獲された。内訳は、モモジロコウモリ (*Myotis macrodactylus*) 1個体、ドーベントンコウモリ (*Myotis daubentonii*) 1個体、ヒメホオヒゲコウモリ (*Myotis ikonnikovi*) 13個体、ウサギコウモリ (*Plecotus auritus*) 7個体、チチブコウモリ (*Barbastella leucomelas*) 16個体、コテングコウモリ (*Murina ussuriensis*) 16個体、テングコウモリ (*Murina hilgendorfi*) 1個体であった (表3-2)。また、鹿鳴橋の下のコンクリートの縁をねぐらとしていたモモジロコウモリ30個体を捕虫網で捕獲したほか、「野鳥観察路四阿 (図3-2)」をねぐらとしていたチチブコウモリ1個体を、手捕りで捕獲した。捕獲された種のうちモモジロコウモリを除く6種は、絶滅危惧種I B類またはII類に選定されている¹³⁾。また、周波数25kHz付近にエコロケーション音のピークを持つ種が、チミケップ湖畔のホテルの街灯の周りで数個体飛翔しているのが確認された。これは、これまで街灯で採餌するコウモリとして報告がある種、例えばキタクビワコウモリ (*Eptesicus nilssonii*)^{14), 15), 16)} など

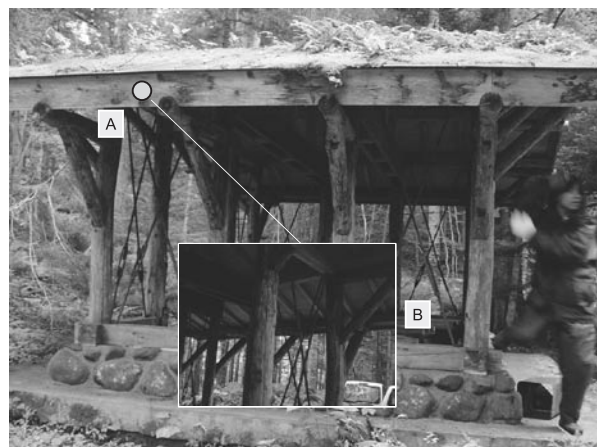


図3-2 「野鳥観察路」の四阿 (Aの裏側、Bの隙間)
Fig. 3-2. The arbor in the “Bird-watch’s path”

と考えられるが、捕獲がおこなわれなかったことおよび飛翔の確認に用いたバットディテクター Mini3では音声による種の同定ができないことから、種の確認には至らなかった。

3.3.2 捕獲個体数の性、年齢構成

捕獲された7種のうち、ドーベントンコウモリを除く6種から幼獣が捕獲され、同保護区内で繁殖しているものと見なした (表3-3)。また、チチブコウモリの成獣について述べると、雌の比率が幾分か高かった (72.7%; n=11, $p > 0.05$)。

表3-3 捕獲個体の性、年齢構成

Table 3-3. The sex and age of captured bats.

種別	雄		雌		総数
	成獣	幼獣	成獣	幼獣	
チチブ	3	3	8	3	17
ウサギ	0	1	5	1	7
ヒメホオヒゲ	6	4	3	0	13
ドーベントン	1	0	0	0	1
モモジロ	18	2	10	1	31
テング	0	0	0	1	1
コテング	4	3	3	6	16
総数	32	13	29	12	86

3.3.3 捕獲地周辺の環境とコウモリ類

捕獲調査を行った4地域において捕獲努力が一致していないため、捕獲個体数を1時間1枚に換算して比較した (表3-4)。その結果、「野鳥観察路」で捕獲数が高かった ($G < 0.01$)。また、捕獲地周辺の環境を評価する方法として、植生調査を行い、故損木の総数を比較した (表3-1)。それによると「湖遙林道」が5本、「オンネヒバツの沢分岐」が21本、「(見晴台) 林道」が20本、「野鳥観察路」が24本となった。

表3-4 各調査地におけるかすみ網一枚、一時間あたりの捕獲頭数

Table 3-4. Captured bats per an hour and a mist net in each survey sites.

調査区	調査時間 (時間)	総網数 (枚)	総捕獲頭数 (頭)	捕獲頭数/網/時間
湖遙林道	3	9	15	0.556
オンネヒバツの沢分岐	3	11	12	0.364
(見晴台) 林道	2	10	6	0.300
野鳥観察路	2	9	22	1.222

3.4 考察

本調査において、4属7種が捕獲され、全ての種が、これまで道東 (網走・十勝・根室・釧路管内) から報告のある種 (13種⁹⁾) に含まれた。道東から報告のある13種のうち、本調査で捕獲されなかったのは、ホオヒゲコウモリ (*Myotis gracilis*)、カグヤコウモリ (*Myotis frater*)、ノレンコウモリ (*Myotis nattereri*)、キタクビワコウモリ、ヤマコウモリ (*Nyctalus aviator*)、ヒナコウモリ

(*Vespertilio sinensis*) である。赤坂ほか (2004) は、モモジロコウモリ、ヒメホオヒゲコウモリ、チチブコウモリ、ウサギコウモリ、コテングコウモリの5種は、北海道中央部から東部にかけて、森林での代表的な翼手類であると述べていて¹⁷⁾、本調査でもこの5種はすべて捕獲されかつ本調査地は湖や河川の周りは針広混交林であったことから、これを支持する結果となった。

本調査で捕獲されなかったカグヤコウモリは、これまでチミケップ湖周辺半径50km以内から9個体しか報告されていない^{1), 4)}。しかし、最近になって、本調査地より半径50km以内の阿寒横断道路で3個体捕獲され (近藤・佐々木、準備中)、本調査地と同様な環境である針広混交林の霧多布湿原周辺では優占種だったとの報告がある¹⁶⁾。このため、今後本調査地からも捕獲される可能性がある。また、ホオヒゲコウモリは、本調査地より半径50km以内の十勝三股で6個体¹⁸⁾、置戸国有林で7個体²⁾及び3個体 (河合・近藤、未発表) が捕獲されていることから、カグヤコウモリと同様に、今後森林内でも捕獲される可能性がある種である。

本調査で捕獲されたチチブコウモリは、成獣11個体のうち雌が8個体で72.7%を占めた (表3-3)。また、幼獣が6個体捕獲された。これまでの報告から、捕獲される個体には雄が多く性比に有意差があることが知られている¹⁹⁾が、本調査で雌が多かったこと、幼獣も多く捕獲されたことから、本調査地周辺はチチブコウモリの主要な繁殖地の一つと見て良いだろう。なお、チチブコウモリのねぐらを、野鳥観察路の四阿で発見した (図3-2)。ねぐらとしてチチブコウモリが家屋を使用していたという例は、近藤ほか (2003) にも報告がある²⁰⁾。

モモジロコウモリとドーベントンコウモリは、水面上で採餌するコウモリとして知られている (モモジロコウモリ²¹⁾、ドーベントンコウモリ^{22), 23)})。なお、分子系統学的研究では、ヨーロッパのドーベントンコウモリと日本のドーベントンコウモリは、大きく分化しているのがわかったが²⁴⁾、ここでは同一種として扱う。

モモジロコウモリは、チミケップ湖の流れ口の「鹿鳴橋」の下を100個体程度がねぐらとして利用していた。カスミ網調査では、1個体が森林の中を流れるヤマメの沢川の橋の下から飛び出て、川沿いに張ったカスミ網に掛ったのが確認された。北海道の内陸部のモモジロコウモリのねぐらの記録は、道東の糠平湖がある^{1), 3), 25)}。また、カスミ網に

よる調査によって、阿寒オンネトーや阿寒湖では、モモジロコウモリのみが捕獲されている (近藤・佐々木、準備中)。一方、ドーベントンコウモリの捕獲記録は、海岸地帯に近い湖や河川からの報告が多く^{16), 20), 26)}、これまで内陸の山岳地帯で捕獲された記録は、糠平湖・然別湖の23個体のみである³⁾。このことから、本調査地では、モモジロコウモリが多いこと予想されるが、同じように水面上で採餌するとされている2種が同所的にかつ内陸地帯で捕獲されたことは、生態学的にも興味を持たれる。

捕獲地点周辺の生息環境の選択と捕獲されたコウモリの関係について述べたい。コウモリ類の環境を制限する要因は大きく分けて2つあると考えられる。1つはねぐらとの関係、もう一つは餌資源との関係である。

温帯の森林で捕獲されるコウモリのねぐらとして、樹洞、樹皮下、樹の裂け目、枝の密集しているところ、つる性植物と樹の間などが知られている²⁷⁾。日本ではこれまで森林性のコウモリのねぐらとしての詳しい調査はあまりされてこなかったが、Yasui et al. (2004) は、栃木県日光のヒメホオヒゲコウモリの主なねぐらが樹皮下であることを報告している²⁸⁾。前田 (1996) は、これまでの捕獲状況から日本のコウモリは16種が大径木の樹洞を利用し、大径木が少なくなった今コウモリの個体数も少なくなったのではないかと、予想している²⁹⁾。本調査では、「野鳥観察路」の捕獲個体数および種数が一番多く (表3-5)、捕獲地周辺の植生調査でも大径木がやや多い傾向がみられた (胸高直径50cm以上が2ヶ所で11本、表3-1)。しかし、根室市で行ったチチブコウモリのテレメトリー調査では、胸高直径25cmの枯れたトドマツの枯れて浮き上がった樹皮の下をねぐらとしていたとの報告もあり (近藤ほか、準備中)、本調査地内の植生とねぐら大径木及び捕獲されたコウモリの種構成や捕獲個体数の関係について明らかにすることはできなく、種ごとに調査・研究が必要であると考えられる。

また、本調査では、昆虫の定量的調査は行っておらず、捕獲された種の餌動物についても明らかになっていないため、食性との関係についても考察はできない。しかし、コウモリの捕獲数が最も多かった「野鳥観察路」では、捕獲調査した付近にヤマメの沢川があり、加えてチミケップ湖への流入付近にあることから、これまでコウモリの餌動物として報告のあるユスリカ科 (Chironomidae)^{30), 31)}の現存量が多いことが予想される。このため、本調査地の植生

表3-5 捕獲個体数および種数

Table 3-5. The number of captured bat species in each survey sites.

	モジロ	ドーベントン	ヒメホオヒゲ	チチブ	ウサギ	テング	コテング	捕獲種数	捕獲総数
湖遥林道	0	0	3	5	1	0	6	4	15
オンネヒベツの沢分岐 (見晴台) 林道	0	0	5	3	0	0	4	3	12
野鳥観察路	1	1	4	5	6	1	4	7	22

等の環境とコウモリの選択する食性との関連性についても今後の課題であると考えられる。

3.5 引用文献

- 1) 服部睦作：北海道産翼手目に関する研究，第1報 北海道産翼手目に関する研究史、生息地、および生息種，北海道立衛生研究所報，21，pp. 68-100，1971.
- 2) 太田嘉四夫，阿部永，小林恒明，大泰司紀之，前田喜四雄：J I B P 補充調査地、置戸地域の動物相調査報告-I，北海道北見置戸地区における鳥類および哺乳類群集調査報告，陸上生態系における動物群集の調査と自然保護の研究（国際生物学事業計画），昭和47年度研究報告，pp. 208-235，1973.
- 3) 前田喜四雄：日本産翼手目の採集記録（I），哺乳類科学，49，pp. 55-78，1984.
- 4) 前田喜四雄：常呂町のコウモリ類，常呂町百年史，pp. 85-87，1989.
- 5) 前田喜四雄，宇野裕之：北海道美幌町におけるコウモリ類の分布に関する研究(1)，美幌博物館研究報告，4，pp. 33-40，1996.
- 6) 山鹿百合子，斉藤理，八巻正宜：北海道美幌町におけるコウモリ類の分布に関する研究（3），美幌博物館研究報告，7，pp. 61-70，1999.
- 7) Krusic,R.A., M.Yamasaki, C.D.Neefus and P.J.Pekins : Bat habitat use in White Mountain National Forest. Journal of Wildlife Management, 60, pp.625-631, 1996.
- 8) Hutson,A.M. and P.A.Racey: Examining bats. In : Bat Workers' Manual, 2nd ed. (Mitchell-Jones,A.J. and A.P.McLeish eds.), pp.39-45. Joint Nature Conservation Committee. 1999.
- 9) 前田喜四雄：コウモリ目，（阿部永，石井信夫，金子之史，前田喜四雄，三浦慎悟，米田正明：日本の哺乳類），pp. 37-70，pp. 159-167，東海大学出版会，東京，1994.
- 10) Kondo,N. and N.Sasaki : An external taxonomic character suitable for separating *Myotis ikonnikovi* and *M. mystacinus*, Mammal Study, 30, pp.29-32, 2005.
- 11) 前田喜四雄：翼手目（阿部永監修：日本の哺乳類），pp. 25-64，東海大学出版会，東京，2005.
- 12) 前田喜四雄：日本産翼手目（コウモリ類）の和名再検討，哺乳類科学，36，(2)，pp. 237-256，1997.
- 13) 環境省（編）：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—1哺乳類，環境省自然環境局野生生物課，pp. 177，2002.
- 14) Rydell J.: Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden, Functional Ecology, 6, pp.744-750, 1992.
- 15) 佐藤雅彦，前田喜四雄，福井大，近藤憲久，柴田諭，井関健一，坂本里恵，宮本誠一郎：道北北部の街灯に飛来する種不明コウモリの確認について，利尻研究，(21)，pp. 65-73，2002.
- 16) 近藤憲久，芹澤裕二，佐々木尚子：北海道浜中町のコウモリ相，東洋蝙蝠研究所紀要，(4)，pp. 1-6，2005.
- 17) 赤坂卓美，柳川久，佐々木康治，矢野幹也，山口裕司：北海道十勝・日高地方の翼手類相(2)足寄町芽登における捕獲記録，森林野生動物研究会誌，30，pp. 9-14，2004.
- 18) 出羽寛，赤坂卓美，河合久仁子，近藤憲久，佐々木尚子，佐藤雅彦，平川浩文，福井大：十勝三股のコウモリ類，ひがし大雪博物館研究報告，27，pp. 21-26，2005.
- 19) 近藤憲久，佐々木尚子：北海道東部のチチブコウモリの生態(1)，日本哺乳類学会2004度（厚木）大会プログラム・講演要旨集，56，2004.
- 20) 近藤憲久，宇野裕之，芹澤裕二，アンドレイ・クラスネンコ，濱裕人：厚岸町のコウモリ相，東洋蝙蝠研究所紀要，3，pp. 1-9，2003.
- 21) Wallin,L. : The Japanese Bat Fauna, Zool. Bidrag Fran Uppsala, 37, pp.223-440, 1969.
- 22) Boonman, A.M, M.Boonman, F.Bretshneider and W.A.van de Grind: Prey detection in trawling insectivorous bats: duckweed affects hunting behaviour in Daubenton' s bat, *Myotis daubentonii*, Behavioral Ecology Sociobiology, 44, pp.99-107, 1998.
- 23) Kalko,E.K.V. and H.-V.Schnitzler: The echolocation and hunting behavior of Daubenton' s bat, *Myotis daubentonii*, Behavioral Ecology Sociobiology, 24, pp.225-238. 1989.
- 24) Kawai, K., M. Nikaido, M. Harada, S. Matsumura, L-K. Lin, Y. Wu, M. Hasegawa and N. Okada: The status of the Japanese and east Asian bats of the genus *Myotis* (Vespertilionidae) based on mitochondrial sequences, Molecular Phylogenetics and Evolution, 28, pp.297-307, 2003.
- 25) 河合久仁子：糠平周辺におけるコウモリ相，ひがし大雪博物館研究報告，22，pp. 1-4，2000.
- 26) 根室市教育委員会：根室半島コウモリ類調査報告書，根室市教育委員会，pp. 52，2001.
- 27) Kunz,T.H. and M.B.Fenton : Bat Ecology, The University of Chicago, USA, pp.779, 2003.
- 28) Yasui,S., T.Kamijo, A.Mikasa, M.Shigeta and I.Tsuyama: Day roosts and roost-site of selection of *Ikonnikov's* whiskered bat, *Myotis ikonnikovi*, in Nikko, Japan, Mammal Study, 29, pp.155-161, 2004.

- 29) 前田喜四雄：樹洞性コウモリ，(川道武男，編：日本動物大百科，第1巻，哺乳類I)，pp. 48-50，平凡社，東京，1996。
- 30) Swift S.M. and P.A.Racey: Resource partitioning in two species of vespertilionid bats (Chiroptera) occupying the same roost, *J.Zool., Lond.*, 200, pp.249-259, 1983.
- 31) Beck A.: Fecal analyses of European bat species. *Myotis*, 32-33, pp.109-119, 1995.

Sub title

3. Bat survey

Norihisa KONDO
Naoko SASAKI
Kuniko KAWAI
Toshio KURUMADA
Hirofumi HIRAKAWA

Abstract

A faunal survey targeting bats was undertaken in the forest around Lake Chimikeppu in Hokkaido between 25th to 29th August, 2005. Eighty six individual bats belonged to seven species were captured and marked with a metal bat ring before their release. *Myotis ikonnikovi*, *Barbastella leucomelas*, *Plecotus auritus* and *Murina ussuriensis* were the most common species in the forest and *Myotis macrodactylus* was the most common species near water bodies. One individual each of *Myotis daubentonii* and *Murina hilgendorfi* were captured in mist nets. Six of the seven species captured are listed as “Threatened” or “Endangered” by the Ministry of the Environment.

(近藤 憲久 佐々木尚子 河合久仁子
車田 利夫 平川 浩文)

まとめ

今回の調査によって、9科23種の哺乳類の生息が確認され、はじめてチミケップ湖周辺の詳細な哺乳類相が明らかになった(付表1)。ネズミ類及び中大型哺乳類に関しては、北海道の森林における一般的な哺乳類相であるが、外来種が1種のみという点で比較的健全であると言える。確認されたコウモリ類7種のうち6種が環境省のレッドデータブックにおいて絶滅のおそれがあるものとして選定されており¹⁾、また北海道版レッドデータブックでも絶滅危急種の1種のほか、4種が希少種として選定されている²⁾。さらに、環境省選定の6種のうち5種がこの付近で繁殖し

ていることが確認されたことは非常に意義深い。

外来種としては唯一アメリカミンクがチミケップ湖の湖岸で確認されたのみにとどまった。しかし、現在道内で急激に分布域を拡大しつつあるアライグマは調査地に近い美幌町でも確認されており、近い将来の本調査地への侵入も懸念される。本調査地周辺ではともに国及び道のレッドリストで絶滅のおそれがあるとされるミサゴとクマガラの生息が確認されており³⁾、当該地域の生態系に大きな影響を及ぼす可能性のある外来種の侵入に対しては継続したモニタリングが必要である。

また、今回の調査では積極的な調査ができなかった食虫目に関しては、今後の補足調査の実施も検討されるべきであろう。

以上のことから、チミケップ湖周辺の哺乳類相は多様性が概ね維持されており、かつ希少種が多く生息していることから、それらの生息環境保全の観点からも、早急に自然環境関係法令等に基づく保全地域指定がなされるべきである。また、今後もモニタリングを継続することにより、外来種の侵入も含めた哺乳類相の変化を監視すべきであると考える。

引用文献

- 1) 環境省(編)：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—1哺乳類，環境省自然環境局野生生物課，pp. 177, 2002.
- 2) 北海道：北海道の希少野生生物—北海道レッドデータブック2001—，北海道環境生活部環境室自然環境課，pp. 309, 2001.
- 3) 富沢昌章，島田明英：鳥類，チミケップ湖，「すぐれた自然地域」自然環境調査報告書 道東圏域(山岳部)12地域，pp. 201-203, 1996.

Title

Mammal survey in forest habitat around Lake Chimikeppu, Hokkaido

Toshio KURUMADA
Norihisa KONDO
Hirofumi HIRAKAWA
Naoko SASAKI
Kuniko KAWAI

Abstract

A mammal survey was conducted in the forest around Lake Chimikeppu, Hokkaido in June, August and October, 2005. A total of 23 species in nine families was confirmed.

We suggest that the diversity of the Muridae, medium-sized and large mammals around Lake Chimikeppu will be maintained because there is only one alien species, with the native species being well represented. Six of the seven bat species captured are listed as “Threatened” or “Endangered” by the Ministry of the Environment. We recommend that the area surrounding Lake Chimikeppu be designated as a conservation area that is protected under

law as soon as possible to conserve the habitat of the diverse mammal fauna, which includes many rare species. Moreover, it is important to conduct long term monitoring studies of the mammal fauna to assess changes in the population sizes of native species and detect the extent of invasion of alien species.

(車田 利夫)

付表1 チミケップ湖周辺哺乳類目録

番号	和名	学名	本調査				既存資料	RDB	
			目視	捕獲	自動撮影	痕跡		国	道
	食虫目	INSECTIVOLA							
	トガリネズミ科	SORICIDAE							
1	オオアシトガリネズミ	<i>Sorex unguiculatus</i>		○					
	翼手目	CHIROPTERA							
	ヒナコウモリ科	VESPERTILIONIDAE							
2	モモジロコウモリ	<i>Myotis macrodactylus</i>		○					
3	ドーベントンコウモリ	<i>M. daubentonii</i>		○				VU	R
4	ヒメホオヒゲコウモリ	<i>M. ikonnikovi</i>		○				EN	Vu
5	チチブコウモリ	<i>Barbastella leucomelas</i>		○				VU	R
6	ウサギコウモリ	<i>Plecotus auritus</i>		○				VU	
7	テングコウモリ	<i>Murina hilgendorfi</i>		○				VU	R
8	コテングコウモリ	<i>M. ussuriensis</i>		○				VU	R
	ウサギ目	LAGOMORPHA							
	ウサギ科	LEPORIDAE							
9	エゾユキウサギ	<i>Lepus timidus ainu</i>							糞
	齧歯目	RODENTIA							
	リス科	SCIURIDAE							
10	エゾリス	<i>Sciurus vulgaris orientis</i>	○		○				
11	エゾシマリス	<i>Tamias sibiricus lineatus</i>	○		○				
12	エゾモモンガ	<i>Pteromys volans orii</i>			○				
	ネズミ科	MURIDAE							
13	エゾヤチネズミ	<i>Clethrionomys rufocanus bedfordiae</i>		○				○	
14	ミカドネズミ	<i>C. rutilus mikado</i>						○	
15	ヒメネズミ	<i>Apodemus argenteus</i>		○				○	
16	エゾアカネズミ	<i>A. speciosus ainu</i>		○				○	
17	カラフトアカネズミ	<i>A. peninsulae giliacus</i>						○	N
	食肉目	CARNIVORA							
	クマ科	URSIDAE							
18	エゾヒグマ	<i>Ursus arctos yezoensis</i>			○				食痕、糞
	イヌ科	CANIDAE							
19	エゾタヌキ	<i>Nyctereutes procyonoides albus</i>	○		○				糞
20	キタキツネ	<i>Vulpes vulpes shrencki</i>	○		○				
	イタチ科	MUSTELIDAE							
21	エゾクロテン	<i>Martes zibellina brachyura</i>			○				DD
22	アメリカミンク	<i>Mustela vison</i>			○				
	偶蹄目	ARTIODACTYLA							
	シカ科	CERVIDAE							
23	エゾシカ	<i>Cervus nippon yezoensis</i>	○		○				

既存資料：北海道水産林務部による野ねずみ発生予察調査の結果（野ネズミ類群集モニタリングデータベース）
 RDB国：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物—レッドデータブック—1哺乳類、EN：絶滅危惧ⅠB類、VU：絶滅危惧Ⅱ類、DD：情報不足
 RDB道：北海道の希少野生生物 北海道レッドデータブック2001、Vu：絶滅危急種、R：希少種、N：留意種

置戸山地中山「春日風穴」付近における エゾナキウサギの生息数及び環境利用

車田 利夫

要 約

2004年6月及び11月に、網走管内置戸町中山所在の通称「春日風穴」付近のエゾナキウサギ生息地において、生息数及び環境利用を調査した。少なくとも6頭（オス5頭、性別不明1頭）のナキウサギ成体及び1頭の当歳個体が、調査地内にある唯一の露岩部（約1,400㎡）を利用していることが確認され、性比を考慮すると調査地全体では10頭を超えるエゾナキウサギ成体が生息していると推定された。露岩部におけるエゾナキウサギ成体の活動の中心は林縁付近であり、その理由として、エゾナキウサギの生存に不可欠な空隙と餌資源の両方を効率よく入手できる場所であることが考えられる。エゾナキウサギは、露岩部周囲の、地表に空隙のある森林内でも活動していたことから、生息地の保全に当たっては、露岩部周辺における空隙の分布を慎重に調査した上で、保全すべきエリアを判断する必要がある。

Key word: 置戸 春日風穴 エゾナキウサギ 生息数 環境利用 露岩部 空隙

1 はじめに

北海道東部網走管内置戸町に位置する置戸山地は、北海道自然環境保全指針において「すぐれた自然地域」に抽出されており、その理由としてエゾナキウサギ（以下、ナキウサギ）(*Ochotona hyperborea yesoensis*)の繁殖地であることが挙げられている¹⁾。しかしながら、当該地域は、これまで法令等に基づく保全地域には指定されていなかったため、その保全方策が検討されているところである。

本調査は、今後の保全方策を検討するため、道環境生活部環境室自然環境課の「環境保全対策推進事業」の一環として、通称「春日風穴」として知られる風穴付近の生息地におけるナキウサギの生息実態を明らかにすることを目的に実施された。

2 調査地

調査は、置戸山地中山の南東斜面、標高600m程度の道有林網走東部管理区5林班4小班内の「春日風穴」付近で行った（図1）。調査地には高低方向長約70m、最大幅約40m、面積約1,400㎡の露出した岩石堆積地（以下、「露岩部」）が存在しており（写真1）、ナキウサギが生息していることが知られていた。露岩部の周辺は、岩石の堆積が厚いマット状に発達したコケ類に覆われ、その上にトドマツ（*Abies sachalinensis*）、アカエゾマツ（*Picea glehnii*）、

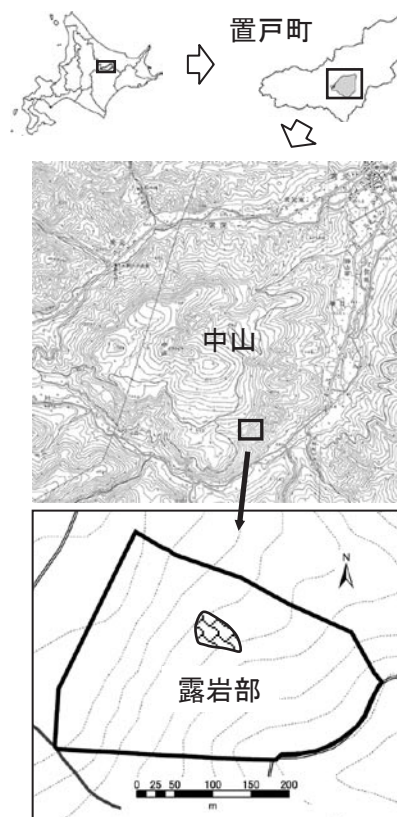


図1 調査地
（道有林網走東部管理区5林班4小班付近）。

ミズナラ (*Quercus crispula*)、イタヤカエデ (*Acer mono var. marmoratum*) 等で構成される針広混交林や

アカエゾマツやトドマツの針葉樹林が成立している。

3 調査方法

調査に当たっては、露岩部を5m×5mの方形区に区切り、目印として方形区番号を記入した幅2cm×長さ約5cmの黄色の蛍光テープを格子の交点付近の岩石に接着剤で貼り付けた。林縁部分等で適当な岩石がない場合は、同様に方形区番号を記入したピンクテープを立木に結んだ。これらテープ類は調査終了後に全て回収した。

生息数の推定及び露岩部内外の環境利用把握のための直接観察調査を2004年6月16～18日及び同22～25日に行った。総観察時間は約40時間であった。露岩部のほぼ全域を目視できるように露岩部内に2箇所の観察定点を設定し、調査員をそれぞれ1名ずつ配置して直接観察を行った。観察中にナキウサギを目視した場合、図面上に位置を記録し、各方形区内の目視回数を求めた。ナキウサギが1回の出現中に複数の方形区で活動した場合は、各方形区でそれぞれ1回目視されたものと数えた。さらに、換毛による模様や耳の形状等の特徴を記録及び確認することにより、個体識別に努めた。また、観察中に鳴声を聞いた場合は、連続音か単音かに区別して記録した。

露岩部内外の環境利用把握のための露岩部及び周辺林縁部における痕跡調査を2004年11月8～9日に実施した。調査地内の岩の隙間をくまなく覗き込み、ナキウサギの糞及び貯食物を探した。1箇所に10粒以上の糞が堆積していた場合は1つの糞塊として数えた。貯食物の場合は、その量にかかわらず、貯食物が堆積していた場所を1箇所の貯食場として数えた。糞塊は、新（まだ表面が乾燥していない、乾燥しているが排出時の形状を維持している）又は旧（乾燥し、崩れたり小さくなったりなどの分解によると思われる形状の変化がみられる）の2つに区分した。貯食場は貯食物の状態により、新（みずみずしく緑色が鮮やかであり生きた状態に近いもの、乾燥しているが形状が維持され分解は確認できないもの）又は旧（分解が進んでいる、カビが生えている等）の2つに区分した。糞塊及び貯食場とも、新旧が混じっている場合は新に区分した。

2004年6月23日に露岩部の周囲のナキウサギ生息適地の面的な広がりを確認するための探索を行った。露岩部の斜面上方から水平方向に移動しながら空隙のある岩石堆積地の有無を確認し、そのような地形が無くなった地点から斜面下方向に30m程度下がり、逆の水平方向に移動することを繰り返し、携帯GPS機に記録された移動の軌跡を基におよそのナキウサギ生息適地の規模及び形状を確認した。

4 結果

4.1 生息数

直接観察による計150回を超えるナキウサギの目視確認の結果、7頭を個体識別することができた（表1）。うち5頭（A（写真2）～E）については連続音の鳴声が確認されたことから、オスと判断した²⁾。個体g（写真3）は比較的高い頻度で長時間観察することができたが、他の個体に比べて容姿が幼い印象を受け、かつ明らかに体サイズが小さいこと、他個体とは異なる行動上の特徴（移動時の速度が遅い、警戒心が非常に弱く観察者の2m以内にまで不用意に近づくなど）が見られたことなどから、当歳個体であると判断した。

表1 識別個体

個体	目視回数	連続音の発声	備考
A	20	有	成体のオスと判断。
B	9	有	成体のオスと判断。
C	12	有	成体のオスと判断。
D	3	有	成体のオスと判断。
E	4	有	成体のオスと判断。
F	4	無	成体と判断。性不明。
g	12	無	当歳と判断。

4.2 生息環境利用

各方形区内における、個体g以外の識別個体を含むナキウサギの目視回数を図2に示す。ナキウサギが全く目視で

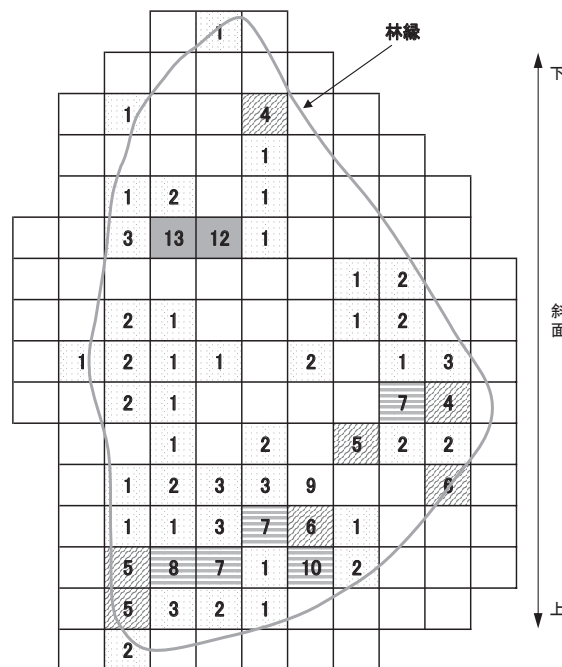


図2 直接観察による各方形区内（5×5m）のナキウサギ（個体gを除く）の目視回数。

きなかった方形区がある一方、多いところでは目視回数が10回以上に達するなど、目視頻度には位置的な偏りがみられた。具体的には、露岩部斜面下方、下に向かって左側に特に目視回数の多い方形区が局所的にあったほか、露岩部斜面上方の林縁に近い方形区での目視頻度が高い傾向がみられた。露岩部の中心付近では、比較的目的回数は少なかった。

各識別個体の目視位置及び目視された方形区を包含する楕円形として推定した調査期間中の行動圏（一つの方形区内でのみ目視された個体Dを除く）を図3に示す。成体の行動圏はいずれも林縁に近い場所にあったが、当歳個体gの活動は露岩部の中心付近、斜面上下方向に長い範囲で観察された。

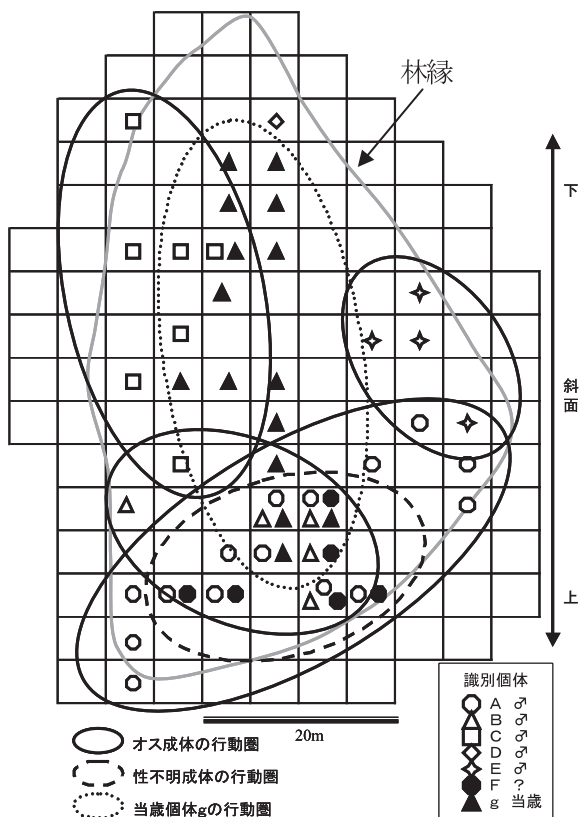


図3 識別個体の目視位置及び推定行動圏。方形区は5×5m.

各方形区内で発見された糞塊（新旧区分が旧のものを除く）の数を図4に示す。前述した目視回数と同様に、林縁付近に多い傾向が見られた。方形区当たりの糞塊数は6割以上が1個で、最も多い方形区で3個（1カ所）であった。また、貯食場（新旧区分が旧のものを除く）の多くも、目視や糞塊と同様に林縁付近の方形区内にあったが、その集中はより顕著であった（図5）。

露岩部周囲の踏査の結果、空隙のある岩石堆積地が、露岩部の北東方向を除き森林内の広範囲に分布していることが確認された（図6、写真4）。ただし、生息適地内の環

境は一樣ではなく、岩の間の空隙の多寡や岩の上に堆積した土壌やコケ類の厚さなどには、かなりの差がみられた。また、空隙のある岩石堆積地は完全に連続しているのではなく、断続的に続いている部分もあった。主に踏査中に、

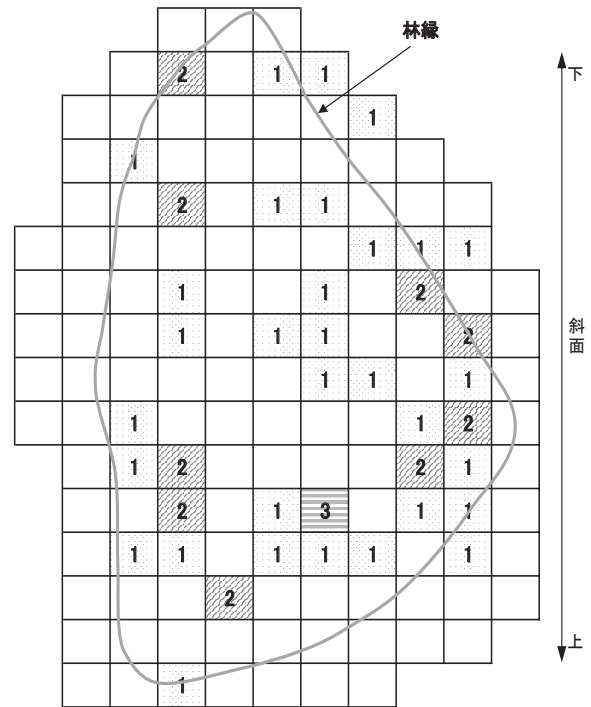


図4 各方形区（5×5m）の糞塊の出現頻度。

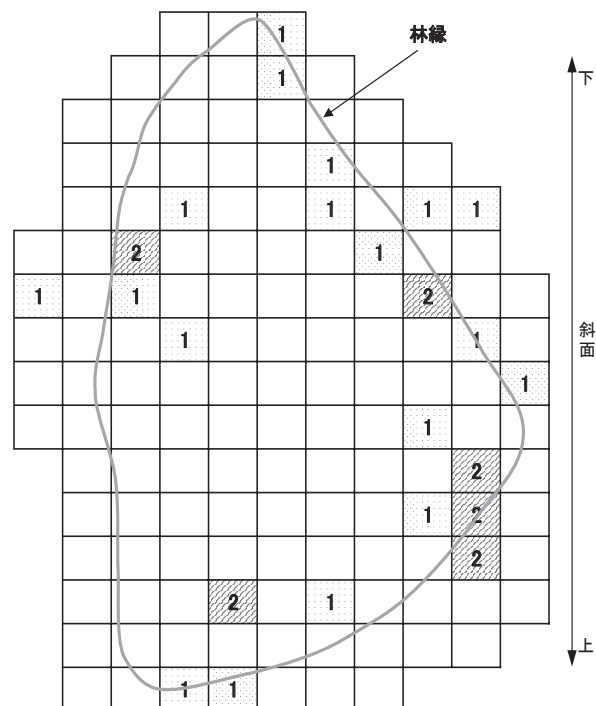


図5 各方形区（5×5m）の貯食場の出現頻度。

この範囲内で4回の鳴声（全て連続音）を確認したほか、古い貯食物を4箇所、古い糞を2箇所それぞれ発見した（図6）。

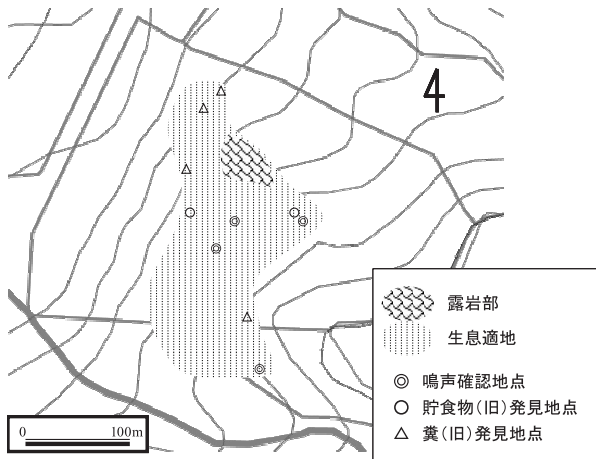


図6 露岩部周辺の生息適地の広がりや鳴声や痕跡の確認位置。

5 考察

5.1 推定生息数

ナキウサギの出産時期については明らかではないが、6月上旬から7月上旬にかけて分娩間近のナキウサギが捕獲されたことから³⁾、この期間がほぼ出産期に相当すると考えられる。また、ナキウサギは生後40～45日で成体形（体重約120g）になることが報告されており³⁾、それに従えば当歳仔が成体形になるのは7月中旬以降となる。従って、本調査地の露岩部を利用して識別個体のうち、個体gを除く、似たような体サイズであった6個体はいずれも成体であった可能性が高い。さらに、ナキウサギはオスとメスのつがいが同じエリアを占有することから²⁾、オスと判断した5頭が例外なくつがいを形成していたとすれば、露岩部を利用して成体数は5つがい10頭と推定される。

本調査地において露岩部から最も遠い位置で確認された鳴声は露岩部の端から約170m離れていたが、これまでに報告されているナキウサギの行動圏サイズ^{3), 4), 5)}から推測すると、その鳴声は露岩部を利用していた個体とは別の個体のものである可能性がある。その場合、露岩部利用のナキウサギと合わせて、本調査地全体の推定生息数は10頭より多いことになる。

ナキウサギでは、その年生まれた仔が親の行動圏から分散し始める時期は7月下旬であることから⁴⁾、6月下旬に露岩部で目視された当歳個体は主調査地内で生まれたことになり、調査年における当該地でのナキウサギの繁殖が確認された。ナキウサギの繁殖については未だ不明な点が多い。出産回数は通常年1回、一腹産仔数は2～4であると

されているが⁶⁾、飼育下のナキウサギはわずかな刺激で流産したという報告⁷⁾や野外観察の結果から出産率はかなり低いと指摘する報告もある⁸⁾。本調査地において、5つがいが露岩部を利用していただ可能性があるにもかかわらず、当歳は1頭しか確認できなかったことも、この種の繁殖率が低いことを示唆するものであった。

5.2 生息環境利用

ナキウサギの生息を制限する最大の要因は、低温環境や生活空間を提供する岩石堆積地の有無と考えられている^{3), 9)}。しかし、露岩部では空隙は多いが、岩石の上に表土やコケ類が発達しておらず植物が生育しにくいことから、餌資源は乏しくなる。露岩部と森林の境界付近は、ナキウサギの生息に不可欠な空隙環境と餌資源である植物質の両方を効率的に入手できる好適な環境であることから、本調査地でのナキウサギの活動は林縁付近に集中していたものと考えられる。個体gだけは露岩部の中心部分で活動していたが、まだ自分の排他的な行動圏を確保していない当歳による特異な事例だと考えられる。また、林縁を一樣に利用するのではなく、利用度合いには位置的な偏りがあり、特定の方形区に目視、貯食場及び糞塊の位置が集中する傾向がみられたことから、ナキウサギは少なくとも地下活動を除いては、行動圏内の特定の場所を好んで利用していたと思われる。これは、ナキウサギの瞑想、採食、鳴声といった行動は数mの狭い範囲（セット）内に限定され、貯食場や糞塊もセット内にあり、行動圏はセット内での日常生活と、セットを結ぶ移動の組合せから成っているとされた他の報告²⁾を支持するものであった。

Kawamichi (1970) は、本調査地の南西約5kmに位置する他の生息地でのナキウサギによる露岩部の利用状況について報告している²⁾。そこでは、約16haの斜面にモザイク上に大小の露岩部が分布していたが、原則として雌雄のつがい1組が、本調査地の露岩部とほぼ同じ規模かそれより小さいパッチ状の露岩部については周囲の森林も含めて取り囲むように占有し、本調査地の露岩部より規模が大きい連続した露岩部では、複数のつがいが互いに重複することなく、縦横それぞれ50m程度の範囲を占有しながら分け合っていた。これは、複数のオス（それぞれつがいを形成していた可能性もある）が、本調査地の露岩部の主に林縁付近を分け合っていた状況とは異なっていた。本調査地の露岩部は比較的規模が小さく（最大幅で縦70m×横40m）、最も近い他の露岩部（同20×10m）までの距離は約150mであり、同規模の露岩部に限ると約1km離れているなど、孤立していた。このことは、露岩部の規模や分布密度が、ナキウサギによるその利用の仕方や種内関係にも影響を及ぼしている可能性を示唆するものである。しかし、露岩部と利用するナキウサギの数に関する報告は他に例がなく、

両者の関係を明らかにするには、今後、状況の異なる他の生息地での調査が必要である。

一方、本調査で用いた直接観察という手法では、森林内でのナキウサギの活動を把握することはできない。小野山ほか（1991）は、ラジオテレメトリー調査の結果、ナキウサギは露岩部と森林にまたがった広い行動圏を持ち、1日の間においてもその間を往復していたことから、露岩部とともに森林がナキウサギにとって重要な生活の場となっている可能性を指摘している³⁾。本調査地においても、露岩部の周辺の森林部、特に南側にはナキウサギの生息に適した空隙のある岩石堆積地が広がっており、鳴声によりナキウサギがそのエリアを広く利用していることが確認された。踏査の際は、空隙の一つ一つをくまなく確認するような綿密な調査は行っていないが、古いものではあるが野食物や糞も確認され、調査を行った時期の一時的な利用ではなかった可能性が高い。本調査地の露岩部周辺に広がる、岩石堆積地の上に成立した森林部分では表土やコケに覆われているため露岩部と比較し岩石間の空隙は少ないが、空隙が残されていることでナキウサギの生息地として重要な役割を果たしているものと思われる。一般にナキウサギの生息地と言えば、露岩部のみがクローズアップされる傾向があるが、ナキウサギ生息地の保全に当たっては、露岩部周辺の空隙のある環境の広がりを含めて調査し、その上で保全すべきエリアを慎重に判断することが重要である。

5.3 学術自然保護地区の指定

本調査を実施した「春日風穴」近くの露岩部はナキウサギの生息地として広く知られており、中山のナキウサギ生息地と言えば一般的にこの場所を指すことが多い。しかし、本調査と同時期に実施した広域調査の結果、中山の南斜面には本調査地以外にもナキウサギの生息適地と考えられる多くの場所が存在しており、その過半数で実際に生息が確認されている（車田、未発表）。これらの調査結果を基に、北海道は、本調査地を含む中山の南斜面の広範囲にわたる地域を2005年12月2日に北海道自然環境等保全条例第22条第1項の規定に基づく学術自然保護地区に指定した。約486haにわたる指定区域は、確認されたナキウサギの生息適地を全て含んでおり、この指定はその生息地保全のために有効と考えられることから、大いに評価できる。

6 謝辞

本調査を行うに当たり、多くの方々にご協力をいただきました。網走東部森づくりセンター森林整備課の小田切博之課長、渡辺一裕主査並びに新谷剛技師（現渡島東部森づくりセンター）には、事前の調査地の案内、各種資料及び情報の提供をいただいたほか、平成16年9月の台風によっ

て風倒木が発生した際は、業務多忙な中、本調査に使用する林道・施業道を優先して処理いただくなど、多大なご支援を賜りました。網走支庁地域政策部環境生活課の中島浩之主任（現日高支庁環境生活課）並びに村越正浩主任、環境生活部環境室自然環境課の筒渕美幸技師には現地調査のお手伝いをいただきました。ここに記して、厚くお礼申し上げます。

7 引用文献

- 1) 北海道：「北海道自然環境保全指針」，178pp，1989.
- 2) Kawamichi, T : Social pattern of the Japanese pika, *Ochotona hyperborea yesoensis*, preliminary report. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser., VI, Zool., 17, pp.462-473, 1970.
- 3) Haga, R. : Observations on the ecology of the Japanese pika. J. Mammalogy, 41, (2), pp.200-212, 1960.
- 4) Kawamichi, T : Annual cycle of behaviour and social pattern of the Japanese pika, *Ochotona hyperborea yesoensis*. J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser., VI, Zool., 18, pp.173-185, 1971.
- 5) 小野山敬一，車田利夫，大見謝仲二：行動圏。「野生動物分布等実態調査報告書 - ナキウサギ生態等調査報告書 -」，北海道保健環境部自然保護課，pp. 66-94, 1991.
- 6) 小野山敬一：エゾナキウサギの生活，「動物と私たち」，北海道自然保護協会，札幌，pp. 97-118, 1991.
- 7) 芳賀良一：ナキウサギの実験動物化に関する生態学的研究，実験動物，7，pp. 69-80, 1958.
- 8) 川道武男：ナキウサギ社会への探検（2），自然，1971/2，pp. 98-104, 1971.
- 9) 高橋彰子：然別周辺のナキウサギの生態 I，生息環境と分布について．郷土十勝，15，pp. 17-25, 1980.

Title

The number and habitat use of the Japanese pika in a habitat near “KASUGA FUKETSU” in Oketo, Hokkaido.

Toshio KURUMADA

Abstract

The number and habitat use of the Japanese pika (*Ochotona hyperborea yesoensis*) were surveyed in a habitat near the cool spots area called “KASUGA FUKETSU” at Nakayama in Oketo mountainous region in June and November, 2004. At least six adults and one yearling identified were using

the exposed slide rock area (approximately 1,400m²) in the study area. It was suggested that the pika number in the entire study area exceeded ten considering pair formation. The activities of adults in the slide rock area concentrated on parts near the edge of forest. This fact suggests that pikas can efficiently obtain both the crevices and food resources, which are indispensable to survive there. Pika was also acting in the surrounding forest where crevices exist under the forest. For the proper conservation of the pika's habitat, it is necessary to designate the area that should be reserved after careful investigations of crevice distribution around the slide rock area.



写真3 ナキウサギの当歳個体（識別個体g）。



写真1 露岩部（魚眼レンズ使用）。



写真4 露岩部周囲の森林。岩石堆積地の上に表土やコケが発達し、森林が形成されているが、空隙は残されている。



写真2 ナキウサギの成体（識別個体A）。