冷温帯・歌才湿原におけるイボミズゴケの生育する水文化学環境

Hydrochemical Variables Controlling a *Sphagnum*-dominating Community in Cool-temperate Utasai Mire

矢部 和夫* 中村 隆俊** 河内 邦夫***
Kazuo YABE Takatoshi NAKAMURA Kunio KAWAUCHI

摘要：北海道南部の歌才湿原にはイボミズゴケ群落分布している。イボミズゴケの生育環境を推定するために、水文化学変量と群落分布の関係を ANOVA によって明らかにし、環境要因間の関係を因子分析によって明らかにした。群落分布は、1) 水位、2) pH と塩類濃度、および 3) 栄養塩と鉄の濃度といった要因群によって規定されており、これらの要因群はそれぞれ最高水位、pH と総窒素濃度によって代表される。各要因のイボミズゴケに対する最適範囲は $-10.5 \sim 0.0$ cm (最高水位)、 $4.44 \sim 4.67$ (pH) および $0.938 \sim 1.156$ mg/L (総窒素) であった。イボミズゴケはこれらの条件が同時に満たされた場合にだけ優占する。

1. はじめに

北海道南部の歌才湿原はミズゴケ群落が発達しやすい多雪低地湿原帯(矢部 1993⁷⁾)に分布する湿原である。道南地方では、この湿原帯に属する湿原が、すでに開拓によって消失しているため、歌才湿原に現存するイボミズゴケ優占群落は、非常に貴重な存在となっている。黒松内町ではこの湿原の保全と活用をはかる計画を持っているが(黒松内町企画調整課 1995⁸⁾)、その一方で、湿原内の国道や排水路網が湿原生態系に悪影響を与えており(矢部他 1999⁹⁾)、その適正な保全と活用について検討する必要性に迫られている。このような現状の中で、本研究はイボミズゴケの分布を規定する水文化学的な環境を明らかにして、イボミズゴケ群落の適切な保全に貢献することを目的としている。

2. 調査地と方法

(1) 調査地

歌才湿原(42° 38' N, 140° 21' E)は黒松内町の国道 5 号線沿いの湿原である。アメダス黒松内観測所(湿原から 6km 北西)の気候統計によると、年平均気温 7.1℃で月別平均気温は -5.1 ℃(1月)~ 20.7 ℃(8月)の範囲である。年降水量は 1616mm であり、最大積雪深は 300cm に達する。

調査地域は、南北 250m、東西 200m 程度の広がりを持ち、その面積は 4.5ha 程であり、ドーム状の隆起泥炭地構造を有している(矢部他 1999⁹⁾)。湿原の内部はヌマガヤやホロムイスケが優占する草原であり、ドームの頂部一帯にはイボミズゴケがつくるハンモックが点在している。周辺部は林床がオオバザサやミズバショウで被われたハンノキ湿地林となっている。

(2) 方法

調査地の中央に南北方向と東西方向に 2 本のラインを引き(S-N ライン、E-W ライン)、各ライン上に 10~20m 間隔で調査定点を設定した(図 1)。定点名は湿原内の区域(N, E, W, S)と端からの距離(m)で示した。ライン上の総定点数は 29 地点であり、2 本のラインは定点 N60 で直角に交叉している。これらのライン上の定点以外に E ラインの周辺にランダムに 10 定点を加えた。1997 年 6 月~10 月の間に各定点で水位と水質を測定し、群落調査を実施した。

(i) 群落種組成

定点を中心とする 4 × 4 m² の方形区を設置し、区内に出現した

すべての種の被度(%)を測定した。この際、方形区外に生えているが、方形区内に樹冠を投影している樹木についてもその被度を測定した。

(ii) 水位

各定点に直径 4 cm、長さ 1 m で側面に 10cm 間隔で小穴を開けた塩ビ管を、一端を管口から 10cm 残して垂直に埋めた。管内の水位は 6 月 7 日~10 月 16 日の間、8 回測定した。水位は地表面位置の水位を 0 cm とし、地表面より上方を+、下方を-とした。

(iii) 水質

水質測定用の試水は水位測定管から採水した。6 月 25 日~10 月 16 日の間 4 回、pH と電気伝導度(EC)をポータブル水質計

図-1 調査定点の位置とその群落型
→は水路内の流れの方向 E ライン周辺の定点名の無い定点はランダムに設定した。

*札幌市立高等専門学校インダストリアルデザイン学科 **北海道大学農学部環境資源・北方森林保全学講座 ***室蘭工業大学工学部材料物性工学科

表ー１ 群落型別環境変量（平均±S.D.） 値の下同じアルファベットは有意差がないことを示す（ $p<0.05$, Tukey 検定）。()内は標本数

	周辺部		内部				F比	p値
	ハンノキ-ミズバショウ群落 (4)	エゾノヒツジグサ群落 (3)	ホロムイスゲ-ヌマガヤ群落 (11)	イボミズゴケ群落 (8)	ホロムイスゲ-コバノギボウシ群落 (8)	ハイイヌツゲ群落 (5)		
水位変量								
平均水位 (cm)	-2.6±5.8 ab	1.3±4.9 a	-9.3±5.7 ab	-10.6±4.6 ab	-12.7±2.2 b	-14.9±5.3 b	6.711	0.000
最高水位 (cm)	5.3±5.9 ab	10.6±7.8 a	-1.7±5.4 ab	-3.2±4.6 ab	-4.7±1.6 b	-6.8±4.9 b	7.290	0.000
最低水位 (cm)	-18.0±10.4 ab	-11.5±5.4 a	-25.7±7.4 ab	-26.5±4.6 ab	-31.1±4.3 b	-30.3±5.6 b	5.866	0.001

水質指標変量								
EC (mS/m)	9.42±3.33 a	6.73±1.51 ab	5.90±1.61 b	4.80±0.26 b	4.92±0.32 b	4.91±0.39 b	7.389	0.000
pH	5.39±0.24 a	5.34±0.42 ab	4.89±0.38 abc	4.55±0.09 bc	4.48±0.12 c	4.54±0.10 bc	12.292	0.000

栄養塩変量								
総窒素 (mg/L)	0.773±0.393 ab	0.908±0.215 ab	1.310±0.652 a	1.133±0.144 ab	0.663±0.121 b	0.788±0.269 ab	3.152	0.020
総磷 (mg/L)	0.007±0.005 a	0.006±0.006 a	0.016±0.025 a	0.011±0.006 a	0.008±0.006 a	0.008±0.009 a	0.460	0.803

無機塩変量								
K (mg/L)	0.571±0.352 a	0.458±0.272 a	0.377±0.200 a	0.384±0.143 a	0.318±0.140 a	0.288±0.055 a	1.296	0.289
Na (mg/L)	7.415±0.881 a	6.554±1.465 ab	5.381±1.158 ab	4.384±0.828 b	4.739±0.866 ab	5.028±0.974 ab	6.288	0.000
Ca (mg/L)	1.853±0.628 a	1.877±1.148 a	2.164±2.403 a	1.037±0.089 a	0.801±0.182 a	0.975±0.235 a	1.346	0.270
Mg (mg/L)	1.257±0.187 a	1.148±0.475 ab	0.923±0.405 ab	0.766±0.100 ab	0.613±0.152 b	0.699±0.109 b	4.285	0.004
Fe (mg/L)	0.748±0.645 ab	0.754±0.369 ab	1.306±0.553 a	1.042±0.252 ab	0.563±0.266 b	0.641±0.163 ab	3.948	0.006

(TOA HM-12P と CM-14P) で測定した。次に、測定された EC 値から pH に由来する EC を差し引いた (Sjörs, H. 1952⁴¹⁾)。

水の化学分析は 8 月 14 日に各定点から採水して行った。この際、採水の前日に管内の水をすべて排水した後、新たに溜まった水を用いた。また、測定シーズン直前の 5 月と各採水時についても、管内の水はすべて排水し、管内の清掃を行い、開口部に蓋をした。分析項目と分析方法 (日本分析化学会北海道支部 1994²¹⁾) は以下の通りである；総窒素 (T-N)：アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外線吸光光度法、総磷 (T-P) ペルオキシ二硫酸カリウム分解法、カチオン (K,Na,Ca,Mg,Fe)：原子吸光法(島津製作所 model AA-625-11)。

(iv) 統計解析

出現回数が 3 回以上の種すべてをもとに、 χ^2 統計量に基づく平均連結法 (Sokal and Michener 1958⁵¹⁾) を用いたクラスタリングによって、群落分類を行った。得られた各群落型間で、環境変量ごとに分散分析 (ANOVA) と Tukey 検定による多重比較 (SPSS Inc. 1996⁶¹⁾) を行った。各定点の 8 個の水位データから、その平均値、最高値と最低値を求めた。また、各定点の EC と pH についても、その平均値を使用した。次に、ANOVA で有意差が認められた変量群すべてを対象として、固有値 1 以上の主成分軸に対して、バリマックス回転 (SPSS Inc. 1996⁶¹⁾) による因子分析を行った。

3. 結果

(1) 群落種組成

クラスタリングの結果、湿原周辺部 (排水路とその外側) から 2 群落が抽出され、排水路よりも内側の湿原域からは 4 群落が抽出された。

(i) 湿原周辺部

ハンノキ-ミズバショウ群落：ハンノキが優占する湿地林であり、林床にはミズバショウとヨシが優占した。この群落の一部では、林床にハイイヌツゲやオオバザサが比較的高い被度で出現した。

エゾノヒツジグサ群落：エゾノヒツジグサが優占する水生群落であり、ホロムイスゲ、ヨシやミツガシワも多く見られた。

(ii) 湿原内部

ホロムイスゲ-ヌマガヤ群落：ホロムイスゲとヌマガヤが優占し、コバノギボウシとハイイヌツゲが高頻度で出現した。イボミズゴケはわずかに出現した (平均被度 2.5%)。

イボミズゴケ群落：ホロムイスゲとヌマガヤが優占し、イボミズゴケ (平均被度 21.8%)、ウメバチソウ、コガネグク、コツマトリソウ、コバノギボウシ、ツルコケモモ、ハイイヌツゲ、ホロムイリンドウ、モウセンゴケとワタスゲが高頻度で出現した。

ホロムイスゲ-コバノギボウシ群落：ホロムイスゲとコバノギボウシが優占し、エゾカンゾウ、コガネグク、ススキ、ツルコケモモとヌマガヤが高頻度で出現した。イボミズゴケの平均被度は 4.1%程度であった。

ハイイヌツゲ群落：ハイイヌツゲが優占する灌木林であり、エゾカンゾウ、ツルコケモモ、ヌマガヤ、ホロムイスゲ、ホロムイリンドウとヤマドリゼンマイが高頻度で出現した。

各群落型の分布を見ると (図ー1)、ハンノキ-ミズバショウ群落は、この湿原の外縁部を占有しており、エゾノヒツジグサ群落は、排水路内にだけ見られた。湿原内部では、イボミズゴケ群落がラインの交点の周辺に分布したが、この部分は泥炭ドームの頂点付近である (矢部他 1999⁸¹⁾)。この西側と南側には、ホロムイスゲ-ヌマガヤ群落が分布しており、東側と北側には、ホロム

表－2 環境変量の因子負荷量
絶対値 0.4 以下の因子負荷量は省略した。

	第一因子	第二因子	第三因子
平均水位	0.947	—	—
最高水位	0.921	—	—
最低水位	0.954	—	—
EC	—	0.910	—
pH	0.503	0.792	—
Na	—	0.784	—
Mg	—	0.851	—
総窒素	—	—	0.934
Fe	—	—	0.941
固有値	3.122	3.044	1.864
全分散に対する寄与率(%)	34.684	33.818	20.706

イスゲ-コバノギボウシ群落 が分布していた。ハイイヌツゲ群落 は大排水路の周辺でみられた。

(2) 群落と環境変量

平均水位、最高水位と最低水位は、ホロムイスゲ-コバノギボウシ群落とハイイヌツゲ群落でエゾノヒツジグサ群落よりも有意に低かった(表－1)。水質指標変量のうち、EC は、いずれも湿原内部の 4 つの群落で、ハンノキ-ミズバショウ群落よりも有意に低かったが、pH は、ホロムイスゲ-ヌマガヤ群落を除く湿原内部の群落で、ハンノキ-ミズバショウ群落よりも有意に低かった。

総窒素濃度と Fe 濃度は、ホロムイスゲ-コバノギボウシ群落で、ホロムイスゲ-ヌマガヤ群落よりも有意に低かった。また、Na と Mg の濃度も群落間有意差を示した。Na 濃度はイボミズゴケ群落で低く、ハンノキ-ミズバショウ群落で高かった。一方、Mg 濃度は、ホロムイスゲ-コバノギボウシ群落とハイイヌツゲ群落で、ハンノキ-ミズバショウ群落より低かった。総リン濃度、K 濃度と Ca 濃度は、群落間で有意差が認められなかった。

ANOVA により群落間で有意差が認められた環境変量を因子分析した結果、互いに独立な 3 つの因子(変量群)が抽出された(表－2)。第一因子は 3 つの水位環境変量で構成されており、このうち最高水位の F 比がもっとも高かった。第二因子は、塩類である Na、Mg とこれらの指標である EC、および pH で構成されていた。この中で pH の F 比は最も高かった。pH は第一因子に対しても比較的高い負荷量を示したが、イボミズゴケが出現する定点だけをみると(表－3)、最高水位に対して無相関(r＝0.157)であった。第三因子は総窒素と Fe で構成されていた。総窒素と Fe 間にあらわれた正相関は、豊富な窒素が微生物活性を高めることによる土壌の還元化が、還元態である二価鉄の溶出を促した可能性を示しており、このことから総窒素がより重要である

表－3 イボミズゴケの被度と最高水位、pH と総窒素濃度の関係
out：各要因の最適範囲外 群落型；A:ハンノキ-ミズバショウ群落、B:エゾノヒツジグサ群落、C:ホロムイスゲ-ヌマガヤ群落、D:イボミズゴケ群落、E:ホロムイスゲ-コバノギボウシ群落、F:ハイイヌツゲ群落

イボミズゴケ被度(%)	最高水位(cm)	pH	総窒素(mg/L)	群落型	位置
0	3.6 out	5.52 out	0.331 out	A	湿原辺縁部
0	0.5 out	5.11 out	0.767 out	A	湿原辺縁部
0	14.0 out	5.29 out	0.706 out	A	小排水路
0	3.2 out	5.65 out	1.286 out	A	湿原辺縁部
0	4.7 out	4.88 out	1.081	B	小排水路
0	7.7 out	5.46 out	0.667 out	B	大排水路
0	19.5 out	5.68 out	0.977	B	大排水路
0	-1.5	5.40 out	2.882 out	C	国道縁
0	-0.7	4.82 out	1.753 out	C	国道近傍
0	-5.8	4.37 out	0.881 out	C	湿原内部
0	10.5 out	5.17 out	0.606 out	C	小排水路
0	0.4 out	5.61 out	1.435 out	C	国道縁
0	2.0 out	5.01 out	0.885 out	C	湿原内部
0	-5.5	4.52	0.807 out	E	湿原内部
0	-2.9	4.49	0.706 out	E	湿原内部
0	-3.5	4.67	0.589 out	E	湿原内部
0	-15.0 out	4.52	1.195 out	F	国道近傍
0	-3.7	4.48	0.781 out	F	湿原内部
0	-7.8	4.72 out	0.467 out	F	湿原内部
0	-3.8	4.49	0.846 out	F	湿原内部
0	-3.5	4.52	0.654 out	F	湿原内部
1	-0.6	4.93 out	1.866 out	C	湿原内部
2	-4.4	4.50	1.033	C	湿原内部
3	-8.0	4.40 out	0.510 out	E	湿原内部
4	-3.3	4.52	0.815 out	E	湿原内部
5	-0.6	4.60	1.169 out	D	湿原内部
5	-5.1	4.57	0.667 out	E	湿原内部
6	-2.5	4.68 out	1.121	C	湿原内部
6	-4.3	4.29 out	0.711 out	E	湿原内部
8	-5.6	4.66	0.802 out	C	湿原内部
9	1.5 out	4.52	1.251 out	D	湿原内部
10	-10.9 out	4.69 out	1.142	C	湿原内部
10	-1.6	4.46	1.395 out	D	湿原内部
15	-4.9	4.37 out	0.501 out	E	湿原内部
20	-3.3	4.65	1.060	D	湿原内部
30	-10.5	4.55	1.073	D	湿原内部
30	-10.2	4.47	0.938	D	湿原内部
30	-0.8	4.67	1.020	D	湿原内部
40	0.0	4.44	1.156	D	湿原内部

表－4 湿原内各部分の酸性度と塩類濃度 (平均±S.D.)
湿原辺縁部は排水路の外側

	湿原内部	国道近傍(S20, N20)	国道縁(S0, N0)	湿原辺縁部	小排水路	大排水路上流(E127)	大排水路下流(S29)
EC (mS/m)	4.91±0.37	5.18±0.58	8.98±0.53	9.32±3.46	5.54±0.69	7.61	7.59
pH	4.57±0.16	4.67±0.21	5.51±0.15	5.16±0.58	5.11±0.21	5.46	5.68
総窒素 (mg/L)	0.927±0.337	1.502±0.355	2.158±1.024	0.816±0.393	0.798±0.251	0.667	0.977
Na (mg/L)	4.404±1.252	3.942±0.339	6.923±0.420	6.693±1.367	6.617±1.165	5.285	8.157
Mg (mg/L)	0.657±0.188	0.760±0.101	1.671±0.336	1.077±0.381	0.967±0.290	1.005	1.679
Fe (mg/L)	0.865±0.367	1.649±0.978	1.833±0.554	0.940±0.562	0.777±0.454	0.739	0.392

と思われる。

(3) イボミズゴケの被度と環境変量

ANOVA で抽出された変量群の作用は最高水位、pH と総窒素の3つの独立した変量によって代表される。イボミズゴケの優占する最適範囲は最高水位が $-10.5\sim 0.0\text{cm}$ であり、pH が $4.44\sim 4.67$ であった(表-3)。また、総窒素濃度は $0.938\sim 1.156\text{mg/L}$ に限定されていた。ミズゴケがわずかに出現する定点では、1 定点を除くと1~2の変量が最適範囲を外れていた。一方、ミズゴケの全くない定点ではその4割が3変量とも最適範囲を外れていた。

(4) 各水質変量の分布

湿原の中で特に塩類濃度が高かったのは湿原辺縁部と国道縁であった(表-4)。総窒素、Fe、Mg の各濃度は国道縁だけで特に高かったが、EC 値、pH 値とNa 濃度は国道縁と湿原辺縁部の両方で高かった。一方、国道の近傍や湿原内部ではこれらの値は低く、湿原内部への塩類供給は起こっていなかった。湿原内部と辺縁部との境界に位置している小排水路(図-1を参照)では、EC 値とMg、Naの各濃度が湿原内部と辺縁部の中間的な値を示した。大排水路の水質については、国道より下流側であるS29(図-1を参照)における総窒素、Na とMg の濃度が上流(E127)よりも高いことから、国道から大排水路内への塩類流出が推測された。

4. 考察

歌才湿原内部の群落分布は、水位、pH と塩類濃度、および栄養塩と鉄の濃度といった互いに独立した3つの要因群によって規定されており、これらの要因群はそれぞれ最高水位、pH と総窒素濃度によって最もよく代表される。

水位については、特に最高水位の重要性が示されており、イボミズゴケが優占する最高水位は $-10.5\sim 0.0\text{cm}$ の範囲であった。このことは、ミズゴケは、過湿条件を保ちながらも水位上昇時に植物体が水没しないという条件が重要であること(Daniels and Eddy 1990¹⁾)を示している。

イボミズゴケの生育環境は典型的な降水涵養(ombrotrophic)ではなく、弱鉱質涵養(weakly minerotrophic)であるために、極端に塩類が乏しく強酸性な水質では他のミズゴケが優占する(Daniels and Eddy 1990¹⁾)。本湿原でもイボミズゴケの優占するpH は $4.44\sim 4.67$ の範囲であり、総窒素は $0.938\sim 1.156\text{mg/L}$ となっている。

イボミズゴケはこれらの3つの要因がすべて最適範囲内という条件で優占し、それら3要因の中で1要因でもその最適範囲を外れた場合は、優占度の低下や消失がおこっている。このように、極めて限定された水質環境でしか生育できないイボミズゴケは、この湿原における非常に脆弱な存在であると考えられ、環境変化がわずかであっても消失することが予想される。北海道内の各地の低地湿原が人為的攪乱を受けてその大半が消失した中で、現存するイボミズゴケ群落を保全することの意義は大きい。

この湿原は、中央部が最も隆起したドーム状の地形を持っているが、国道の設置によって、その地形が大きく歪められている(矢部他 1999⁸⁾)。Na、Ca やMg の濃度分布から判断すると、国道や湿原辺縁部から流出する塩類は、直接排水路に流出しており、湿原内部には侵入していない。この結果、湿原内部は塩類濃度が低く強酸性の水質を維持している。これは、湿原内部の標高が国道縁や排水路より高いために(矢部他 1999⁸⁾)、内部に供給される水は、塩類に乏しい降水が主体の水質になっているためである。この中でイボミズゴケは、本湿原のなかで最も降水に近い水質を維持しているドーム地形の頂点付近だけで見られる。

もし、内部を分断する国道を移動できれば、塩類汚染が解消されるために、もっと広範囲にわたって塩類が乏しく強酸性の環境ができると考えられる。この結果、イボミズゴケの生育可能範囲を現在よりも拡大することが可能であり、一部で降水涵養性の群落が成立することも可能になると思われる。

謝辞

この調査研究の一部は文部省科学研究費補助金(No. 12680584)と黒松内町教育委員会の委託調査費によって行われた。

文献

1) Daniels, R. E. and Eddy, A. (1990): Handbook of European <i>Sphagna</i> . Institute of Terrestrial Ecology: HMSO, 263pp	between vegetation and electrolytes in Swedish mire waters: Oikos 2, 241-258	7) 矢部和夫(1993):北海道の湿原「生態学からみた北海道」(東正剛・阿部永・辻井達一編):北海道大学図書刊行会, 40-52
2) 日本分析化学会北海道支部(1994):水の分析:化学同人	5) Sokal, R. R. and Michener, C. D. (1958): A statistical method for evaluating systematic relationships: University of Kansas Science Bulletin 38, 1409-1438	8) 矢部和夫・中村隆俊・河内邦夫・高橋興世(1999):排水路と国道がミズゴケ湿原に与えた影響:ランドスケープ研究 62(5), 557-560
3) 黒松内町企画調整課(1995):第2次黒松内町総合計画	6) SPSS Inc. (1996): SYSTAT 6.0 for Windows: Statistics, 751pp	
4) Sjörs, H. (1952): On the relation		

Summary : There is a mire community dominated by *Sphagnum papillosum* Lindb. in Utsai mire located in southern Hokkaido Island ($42^{\circ} 38' \text{ N}$, $140^{\circ} 21' \text{ E}$, 95m in altitude). Hydrochemical variables affecting the distribution of the communities were examined using an ANOVA, and correlations among these variables were examined by a Factor Analysis. Variables controlling the communities were grouped into three; (1) water levels, (2) pH and concentration of minerals, and (3) concentration of total nitrogen and iron. High water level, pH and total nitrogen were considered to be most significant in each group, respectively. Optimal conditions showing the predominant coverage of *Sph. papillosum* were $-10.5\sim 0.0\text{m}$ (high water level), $4.44\sim 4.67$ (pH) and $0.938\sim 1.156 \text{ mg/L}$ (total nitrogen). *Sph. papillosum* was dominating only in the central part of a peat dome, where all three variables were in the optimal conditions. Total nitrogen, Na, Mg and Fe discharged from a roadside, and disturbed a part of the habitat. Accordingly, removal of the road is one of the effective measures to conserve *Sph. papillosum*.