

水位及び、表層水の酸性度と電気伝導度の季節変動を考慮した フェンの分布に対する影響の評価

永井雄基¹⁾ 矢部和夫²⁾ 矢崎友嗣³⁾

¹⁾札幌市立大学大学院デザイン研究科修士課程, ²⁾札幌市立大学大学院デザイン研究科, ³⁾北海道農業研究センター

抄録: 苫小牧市東部に位置するウトナイ湖周辺において、群落景観が異なる氾濫原フェンと谷フェンで、水位、EC と pH の連続自動観測、および植生調査、標高調査、アルカリ度測定と各種イオン分析を行った。

氾濫原フェンはツルスゲ、イワノガリヤス、オオアゼスゲとミズオトギリの被度が高く、谷フェンはヤチスゲとハンノキの被度が高く、氾濫原フェンでは見られなかったエゾノヒツジグサとミツガシワが出現した。

得られた水位、EC と pH の全連続データについて、51 日 (データを 3 分割)、1 ヶ月、17 日 (データを 9 分割) と 1 週間の期間で任意にデータを区切り、水位、EC と pH について区切りデータごとに最大値、最小値、変動幅、平均値と標準偏差を抽出した。また、5 mm 以上の降雨イベントでも同様にデータを区切り、前述の統計量を抽出した。次に、それらの全期間の平均値について、谷フェンと氾濫原フェンの間の差を t 検定で求めた。

雨区切りデータを使用した場合に、最も多くの項目で二つのフェンの間に有意差が検出されたため、雨区切りが、連続データの区切り方としては最も適切であると判断された。

フェンの変異に対して重要な季節は、t 検定による有意差から、乾燥期の盛夏 (7 月 12~7 月 27 日) と集中豪雨の起こった晩夏 (8 月 12~8 月 24 日) であると判断された。特に氾濫原フェンにおいて盛夏は、水位が低下し、EC や pH の上昇が見られた。フェンの pH は Ca^{2+} と Mg^{2+} の濃度で決まるアルカリ度の違いによって規定されていたので、盛夏では蒸発による水位低下と無機塩の濃縮 (EC の上昇) による pH の上昇が起こったものと思われる。晩夏は洪水イベントによる水位上昇が起こり、pH や EC が複雑に変動した。これはアルカリ度の低い雨水による希釈、アルカリ度の高い湖水の流入、およびその後の蒸発濃縮によって EC と pH が変動したためと思われる。

健全な氾濫原フェンは、激しく変化する水文学環境によって維持されていることが明らかとなった。氾濫原フェンの水位、EC と pH の大きな変動は降雨による雨水希釈、湖水の流入や、その後の蒸発濃縮の影響を強く受けたためと考えられる。健全な谷フェンは、安定した水位、EC と pH によって維持されていることが明らかとなった。谷フェンの群落が傾斜地に分布しているため、湿原の表層水は流下する地表水によって常に置換されている。このことで、水位が安定し、EC と pH は雨希釈と蒸発濃縮の影響を受けずに安定していると考えられる。

キーワード：水位、EC、pH、フェン群落、データ区切り、t 検定

I. 緒言

近年、地域の環境保全において生物多様性保全が重要視され、各地域で自然再生やビオトープ造成などの事業が行われている。この研究は、豊かな生物多様性を持つ湿原群落の保全・再生の目標となるレファレンスサイトの水文学環境の指標を明らかにするための取り組みである。

北海道の低地に広がる泥炭湿原の主な群落景観は、ヨシやスゲが優占するフェン (fen) とミズゴケ属が優占す

るボグ (bog) の 2 つに大別されている¹⁾。フェンは塩類が豊富で中性なため富栄養で高生産的な環境であり、ボグは塩類が乏しく強酸性なため貧栄養で低生産的な環境である。また、フェンは地形の違いにより群落種組成が異なっており、河川下流部に発達し、洪水の影響を受ける氾濫原フェンや、河川上流部の傾斜地に発達し、降水の流出が起こる谷フェンなどが見られる²⁾。

本研究はフェンを対象にしている。このような地形の違いによるフェンの種組成の変異は、水位、及び栄養塩濃度、無機塩濃度や pH のような水質の違いによって説

明される²⁾。ヨーロッパ北西部の研究では、pH、窒素とリンの供給量によって決められる栄養状態と水位が、湿原群落の分布の規定する環境傾度として最も重要視されている³⁾。泥炭水の pH 値はフェン-ポグ傾度を調節する最も重要な指標であり、EC 値と強い相関を示す²⁾。これは pH を調節するアルカリ度 (HCO_3^- 濃度) が陽イオンである Ca^{2+} や Mg^{2+} の濃度に主に支配されているためである。水位は、水および酸素の利用可能性が、生物の生育を制限する直接的な要因になることや、土壌の化学性の変化が冠水による還元状態によって引き起こされることなどから、水文環境変量の中でも特に植生分布に対する重要性が指摘されている^{4),5)}。また、その中で平均水位ばかりではなく、水位変動の重要性についても多くの指摘がある²⁾。

しかしながら、これらの水文化学変量は、降雨、蒸発散、流入出などの水収支や温度の変動による微生物や湿生植物の活動の違いなどにより常に変動しているため、多くの先行研究で扱っている一時的な観測値では、これらの変動を捉えることができず、群落種組成に対する影響評価を十分に検証できない。

そこで本研究では、健全な氾濫原フェンと谷フェンで、水文化学変量の重要な指標となる生育期間中の水位、EC と pH について、水位は 10 分間隔で、EC と pH は 1 時間間隔でそれぞれ連続自動観測を行った。短い間隔での連続自動観測は、一時的な観測値では捉えられない細かな変動を抽出することが可能であった。特に pH と EC の連続データと湿原の群落種組成の変異の関係を調べた研究は、新しい取り組みである。

本研究では各変量の連続データを、任意の日数と降雨イベントによって区切り、得られた各統計量の群落間有意差から最も適切な区切り方を検討する。次に、どの季節がフェンの変異に重要なのかについて各統計量の季節ごとの群落間有意差から検証し、水位、pH と EC が氾濫原フェンと谷フェンの分布に対してどのように影響を与えるのかについて、降雨、湖水流入や蒸発濃縮との関係から考察する。

II. 調査地

ウトナイ湖は北海道を代表する工業都市である苫小牧市の東部に位置する周囲 9 km、面積 275 ha、平均水深 0.6 m の淡水湖である(図 1)。1982 年にはウトナイ湖全域とその周囲、面積約 510 ha が国指定鳥獣保護区特別地区に定められた。さらに、1991 年には特に水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約(ラムサール条約)に登録された。



図 1 調査地概要図

ウトナイ湖周辺では、群落景観が異なる湿原が近接していて、ウトナイ湖東岸では氾濫原フェン、トキサタマップ川では谷フェンが見られる。調査地域となる湿原は湖の周辺に 2ヶ所設定した(図 1)。

1. ウトナイ東岸 (U, 氾濫原フェン)

イワノガリヤスが優占する「イネ科群落」や、匍匐性のスゲであるツルスゲやムジナスゲが優占する「ツルスゲ群落」からなる²⁾。

調査地の全長は 600 m (600 m 地点は湖岸線) である。自動観測プロットを 3ヶ所設置した。

2. トキサタマップ (T, 谷フェン)

ヤチスゲの優占する「小形スゲ群落」(群落高 30 cm) と、ムジナスゲの優占する「中形スゲ群落」からなる谷フェンである²⁾。

この群落はウトナイ湖に流入している支流のトキサタマップ川流域に発達している。調査地は全長 100 m の地域である。自動観測プロットを 2ヶ所設置した。

III. 調査方法

III-1 群落種組成調査

各観測地点の周りで、100 cm×100 cm の方形区を 5 か所設置し、その枠内に出現しているコケ及び維管束植物種を記録し、それぞれの被度を目測した。方形区の枠外に生えていても、枠内に植物体の一部が入っている場合は、枠内に投影されている被度を測定した。

III-2 標高調査

氾濫原フェン、谷フェンで標高測量を行った (TC407S, Leica, Schweiz)。氾濫原フェンは、ウトナイ湖と調査プロットの標高差を求め、ウトナイ湖の水位標高から調査プロットの標高を求めた。谷フェンは、トキサタマップ川と調査プロットの相対標高を求めた。

III-3 環境変量の観測

pH計 (H M-21P, DKK-TOA, 東京) と EC計 (C M-21P, DKK-TOA, 東京)の電圧データを、電圧ロガー (FAST-V2, M. C. S, 札幌) を用いて1時間間隔で記録した (図2)。pH計とEC計のセンサーはフロート台に差し込んで固定し、水位変化に対応して上下するように設置した。水位自動観測は、圧力センサー (HTV-020KP, 株式会社, 東京)の電圧データを、拡張ユニット (VR-00P1, 日本シンテック株式会社, 大阪) を付属した電圧ロガー (VR-71, 日本シンテック株式会社, 大阪) を用いて10分間隔で記録した。観測の期間は5月1日から9月30日とした。電圧ロガーは雨や風に触れないように、台の上に紐で固定した箱の中へ入れ、月に一度ロガーに記録されたデータを回収した。データ回収に合わせて調査プロットの周辺で水サンプルを回収し、ポータブルpH計 (Twin pH 212, HORIBA, 京都) とポータブルEC計 (Twin COND, HORIBA, 京都) でpHとECを測定した。更にオートビューレット (FA-2103BURET25S, イワキ, 東京) を用いてアルカリ度を測定し、イオンクロマトグラフィー (IA300, TOA, 東京) によって各種イオン量を測定した。

III-4 解析

5調査プロットの水位、ECとpHの合計15の連続データを、5月1日を起点として、51日(データを3分割)、1ヶ月、17日(データを9分割)と1週間の4通りの任意の期間で区切りデータを作成した。また、降雨後に水位、ECとpHがともに変動を開始したため、任意区切りデータの他に1時間5mm以上の雨イベントで区切りデータを作成した(室蘭土木現業所; 雨量月報)。5mm以上の雨が短期間に集中した場合は、データ数が極端に少なくなったので、次の区間と融合し、区切った1区間のデータが7日を下回らないように配慮した。降雨区切りにより、データは7分割された。

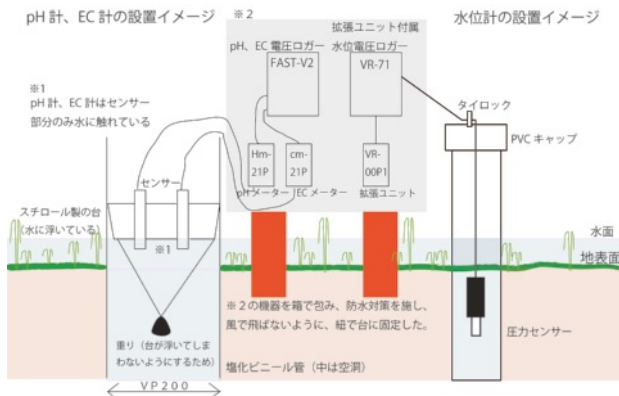


図2 自動観測システム模式図

それぞれの区切りデータから最大値、最小値、変動幅、平均値と標準偏差の統計量を求めた。どの区切りが、フェンの種組成分化を効果的に説明するかを検証するために、観測プロットごとに観測期間中の区切りデータの各統計量を平均して、それぞれの平均統計量ごとに氾濫原フェン(3プロット: U150, U350, U550)と谷フェン(2プロット: T25, T75)間のt検定を行った。

季節変動が群落種分化にどのように影響するか検証するために、最も検出力の高かった区切りデータを用いて、各区切り期間ごとにt検定を行い、有意差の季節変化を調べた。

t検定に使用した統計パッケージはSPSS Statistics Version 19 (IBM, USA, 2010)である。

表1 調査プロットの群落種組成。各観測点で5地点の平均被度(%)を示した。

	氾濫原フェン				谷フェン		
	U150	U350	U550	平均	T25	T75	平均
ヒメシダ	0.40	15.00	38.00	17.80	30.00	0.40	15.20
ムジナスゲ	25.00	18.60	36.00	26.53	43.00	36.00	39.50
ヨシ	6.20	31.00	0.20	12.47	34.00	37.00	35.50
イワノガリヤス	1.02	2.80	7.80	3.87	0.00	0.00	0.00
オオアゼスゲ	6.00	16.00	1.00	7.67	0.00	0.00	0.00
ツルスゲ	11.00	8.00	22.60	13.87	0.00	0.00	0.00
ミスオトギリ	6.40	14.40	9.80	10.20	2.80	0.20	1.50
ヤチスゲ	0.20	0.00	0.00	0.07	24.40	20.00	22.20
ハンノキ	0.20	0.00	0.00	0.07	13.00	2.00	7.50
ミツガシワ	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60	0.00	3.30
エノハヒツジグサ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.10	3.05

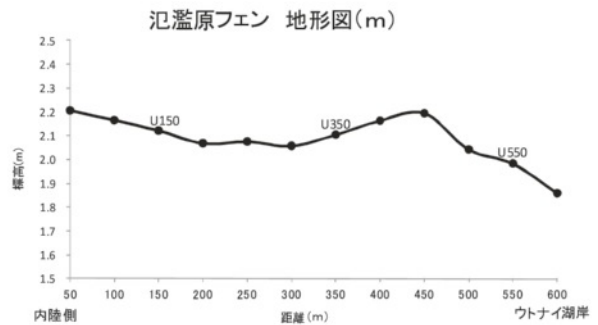


図3 氾濫原フェンの地形図

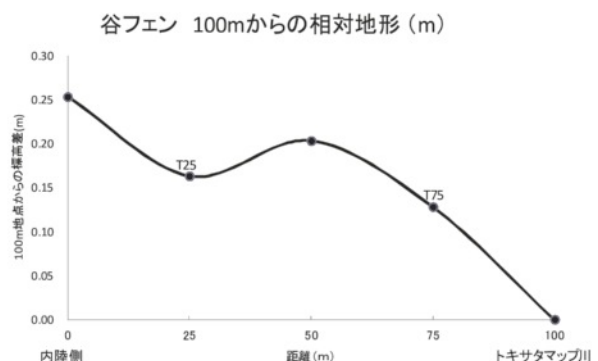


図4 谷フェンの地形

表2 水位 (cm), EC (mS/m⁻¹) と pH の各区切りデータから得られた各統計量の氾濫原フェンと谷フェンの全期間の平均値 (最少-最大). * は t 検定による有意差を示す; *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001, ****: p<0.0001. 全区切りデータにおいて, 標本数は 3 (氾濫原フェン), 2 (谷フェン)

		51日区切り				月区切り			
		氾濫原フェン		谷フェン		氾濫原フェン		谷フェン	
		平均値	(Min-Max)	平均値	(Min-Max)	平均値	(Min-Max)	平均値	(Min-Max)
水位	最大	22.60	15.5-26.5	15.25	6.8-23.7	14.92	3.1-12.1	13.84	3.0-20.0
	最小	-11.83	-19.8--7.2	-4.34	-15.0--4.7	-8.78	-14.3--1.8	4.87	-3.2-14.2
	変動幅	34.42	33.0-35.1	19.59	11.2-28.0	23.71	15.7-18.7	8.97	6.66-6.79 **
	平均値	-0.03	-7.0-4.0	-1.55	-1.6-16.0	-0.09	-6.4-4.2	7.22	-1.52-15.87
	標準偏差	8.25	7.8-8.7	1.73	1.68-1.73	6.30	4.5-5.4	1.73	1.38-1.44 *
EC	最大	13.46	12.2-15.1	13.89	13.33-14.46	12.89	10.4-13.1	13.70	12.71-13.44
	最小	3.60	3.2-3.9	7.29	5.5-9.1	4.24	4.5-6.0	7.76	7.70-9.71
	変動幅	9.86	9.0-11.1	6.61	4.3-9.0	8.65	6.2-7.9	5.94	2.5-5.5
	平均値	8.46	7.7-10.0	11.10	10.8-11.4	8.42	7.8-10.2	11.04	10.80-11.33
	標準偏差	1.90	1.5-2.1	1.46	0.8-2.1	1.74	1.4-1.8	1.35	0.55-1.45
pH	最大	6.40	6.3-6.5	6.37	6.1-6.7	6.33	6.1-6.4	6.35	6.04-6.58
	最小	5.38	5.1-5.7	6.00	5.7-6.3	5.49	5.32-5.80	6.01	5.75-6.36
	変動幅	1.02	0.8-1.3	0.37	0.37-0.38	0.85	0.51-0.67	0.34	0.25-0.28 *
	平均値	5.90	5.8-6.2	6.18	5.9-6.5	5.90	5.79-6.11	6.18	5.82-6.46
	標準偏差	0.21	0.19-0.23	0.08	0.08-0.07	0.16	0.14-0.18	0.07	0.05-0.07 *

		17日区切り				雨区切り			
		氾濫原フェン		谷フェン		氾濫原フェン		谷フェン	
		平均値	(Min-Max)	平均値	(Min-Max)	平均値	(Min-Max)	平均値	(Min-Max)
水位	最大	9.58	3.4-12.9	11.96	3.4-20.6	12.98	8.21-15.47	13.38	4.79-22.00
	最小	-7.59	-15.3--2.8	5.25	-3.3-13.8	-6.87	-14.17--2.65	5.61	-3.01-14.23
	変動幅	17.17	15.7-18.7	6.71	6.66-6.76	19.85	18.12-22.38	7.77	7.74-7.80 **
	平均値	-0.04	-6.9-4.0	7.22	-1.55-15.99	1.43	-5.6-5.40	7.59	-1.20-16.38
	標準偏差	4.97	4.5-5.4	1.41	1.38-1.44	5.73	5.28-6.14	1.58	1.57-1.58 ***
EC	最大	12.16	11.4-13.5	13.07	12.7-13.44	12.50	11.39-14.3	13.83	13.11-14.56
	最小	5.13	4.5-6.1	8.71	7.73-9.7	5.03	4.29-5.93	8.60	7.65-9.55 *
	変動幅	7.03	6.8-7.4	4.35	3.0-5.7	7.48	6.96-8.36	5.23	3.55-6.90
	平均値	8.46	7.7-10.0	11.10	10.82-11.39	9.02	8.27-10.43	11.51	11.43-11.60
	標準偏差	1.61	1.4-1.8	1.07	0.64-1.51	1.63	1.37-2.00	1.37	0.81-1.93
pH	最大	6.25	6.1-6.4	6.31	6.04-6.58	6.24	6.15-6.37	6.31	6.08-6.52
	最小	5.55	5.36-5.85	6.05	5.78-6.32	5.50	5.28-5.80	6.00	5.76-6.24
	変動幅	0.70	0.56-0.69	0.26	0.25-0.26	0.75	0.57-0.92	0.31	0.29-0.33 *
	平均値	5.90	5.76-6.15	6.18	5.92-6.45	5.91	5.78-5.87	6.16	5.94-6.39
	標準偏差	0.16	0.14-0.17	0.05	0.05-0.06	0.15	0.12-0.17	0.06	0.056-0.071 *

		7日区切り			
		氾濫原フェン		谷フェン	
		平均値	(Min-Max)	平均値	(Min-Max)
水位	最大	6.79	0.72-10.19	9.90	1.05-18.76
	最小	-4.63	-12.18--0.03	5.76	-2.94-18.76
	変動幅	11.43	10.22-12.9	4.14	3.99-4.30
	平均値	0.04	-7.04-2.96	7.11	-1.67-15.89
	標準偏差	3.60	3.16-4.09	1.11	1.08-1.14
EC	最大	10.75	9.86-12.28	12.62	12.4-12.8
	最小	6.47	5.65-7.96	9.63	8.9-10.3
	変動幅	4.29	4.20-4.33	2.98	2.1-3.87
	平均値	8.45	7.64-10.02	11.19	10.95-11.44
	標準偏差	1.13	1.07-1.22	0.77	0.51-1.03
pH	最大	6.28	6.01-6-31	6.12	6.0-6.55
	最小	6.09	5.48-5.97	5.66	5.83-6.36
	変動幅	0.19	0.34-0.56	0.46	0.18-0.19
	平均値	6.19	5.75-6.14	5.90	5.93-6.45
	標準偏差	0.04	0.08-0.13	0.11	0.04-0.04

IV. 結果

IV-1 群落種組成調査

ヒメシダ, ムジナスゲとヨシは, すべての調査プロットに分布しており, ヒメシダは氾濫原フェンの被度が高く, ムジナスゲとヨシは谷フェンの被度が高かった (表

1). イワノガリヤス, オオアゼスゲとツルスゲは氾濫原フェンのみに分布しており, ミズオトギリは, 谷フェンにも出現したが, 氾濫原フェンで高い被度を示した. 谷フェンではヤチスゲ, ハンノキ, ミツガシワとエゾノヒツジグサが主に分布しており, 特にヤチスゲが高い被度を示した.

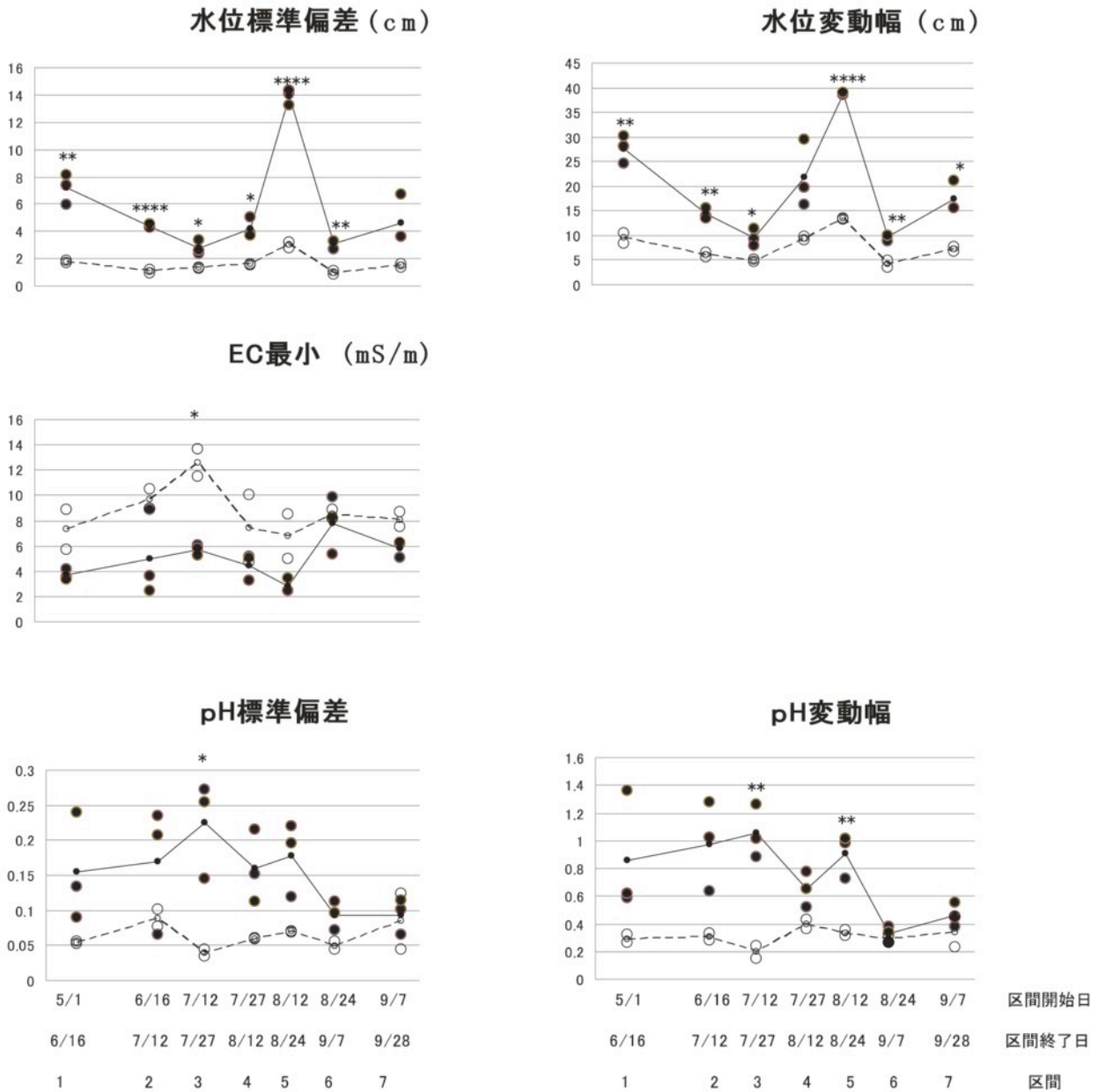


図5 雨区切りデータのうち、全期間で有意差を示した統計量の区間ごとの値。黒丸は氾濫原フェン（線でつないでいるのは3プロットの平均値）、白丸は谷フェン（破線でつないでいるのは2プロットの平均値）。*はt検定による有意差を示す；* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$, *** : $p < 0.001$, **** : $p < 0.0001$

IV-2 標高調査

氾濫原フェンの観測点の周りの地形は、湖岸の標高が1.86 mであった。U 550の調査地標高は、湖岸より0.12 m高く、1.98 mであった。U 150とU 350の調査地の標高はほぼ同一で、U 550より0.12 m高い2.10 mであった(図3)。このことから、氾濫原フェンでは湖面の水位が1.98 mを超えるとU 550に湖水が流入できると考えられる。また、U 450の標高は2.2 mであるが、洪水時は厚さ30 cmほどの泥炭が浮き上がり、湖水が泥炭の下を流れたので、U 450の隆起は湖面水位が2.10 m以上でU 150及びU 350に流入する際の障害にならなかった。

谷フェンは、トキサタマップ川岸の標高に比べて、

T 75では0.13 m、T 25では0.17 mほど標高が高かった(図4)。

IV-3 氾濫原フェンと谷フェンにおける水文化学変量の各統計量の値

任意に1ヶ月で区切った場合は水位の変動幅と標準偏差、pHの変動幅と標準偏差に有意差が見られた(表2)。51日で区切った場合は、1か月区切りで有意差が見られた統計量のうち、水位の変動幅では有意差が出なかったが、標準偏差ではより明瞭な有意差が見られた($p < 0.0001$)。17日で区切った場合は、1ヶ月区切りで有意差が見られた統計量に加えて、ECの最小値でも有意差が

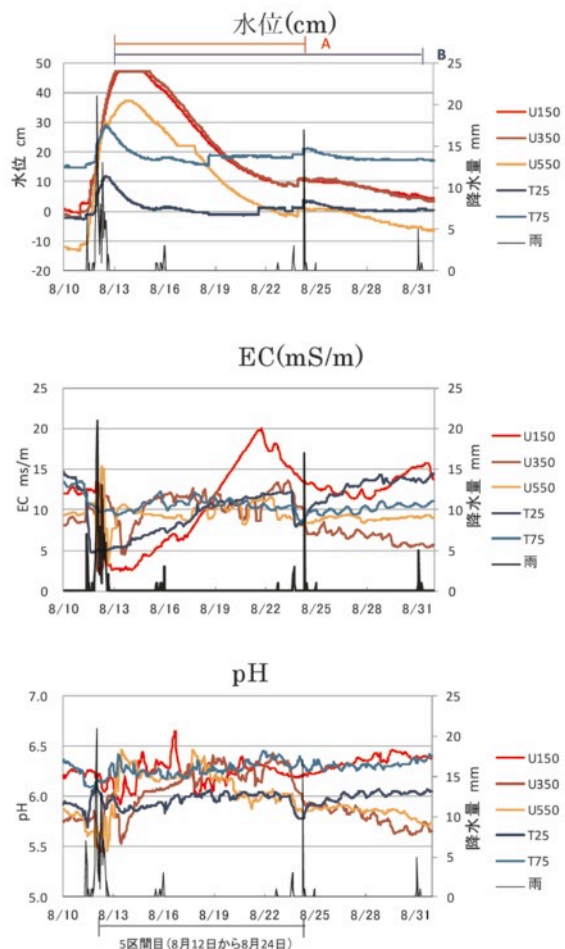


図6 各調査プロットにおける降水量及び水位、ECとpHの盛夏（8月12日から8月24日）の変動
 A：U 150, U 350 への湖水流入可能期間
 B：U 550 への湖水流入可能期間

見られた。7日で区切った場合は、1ヶ月区切りと同様の有意差が見られたが、水位の変動幅の有意差は1ヶ月区切りより不明瞭であった ($p \leq 0.05$)。5 mm以上の雨で区切った場合は、水位の変動幅、標準偏差、ECの最小値、pH変動幅と標準偏差の統計量で有意差を示し、特に水位の変動幅と標準偏差は他の区切りよりも明瞭な有意差が見られた (それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.001$)。したがって、雨区切りが最も効率良く氾濫原フェンと谷フェンの群落組成を規定する統計量を抽出する区切り方法であることが判明した。

IV-4 水文化学変量の季節変動（春～秋）

雨区切りデータのうち、氾濫原フェンと谷フェンの間で有意差を示した統計量について、5月1日から9月30日までの区間ごとの値を示した (図5)。1区間が春 (5月1日～6月16日)、2区間から5区間が夏 (6月16日～8月24日)、6区間から7区間が秋 (8月24日～9月28日) に当てはまる。水位の変動幅は、4区間以外で全て有意差が見られたが、3区間と7区間では有意差が不

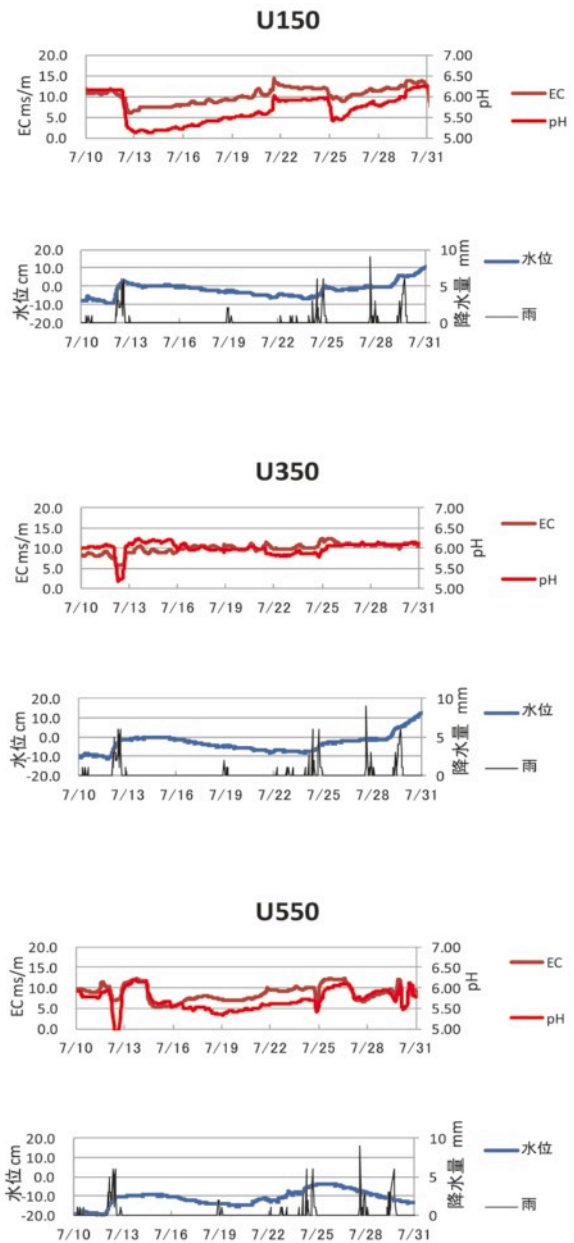


図7-1 氾濫原フェンプロットにおける降水量及び水位、ECとpHの晩夏（7月12日から7月27日）の変動。上図：U 150の変動、中図：U 350の変動、下図：U 550の変動

明瞭であった ($p < 0.05$)。1区間、2区間と6区間は有意差が明瞭であり ($p < 0.01$)、特に5区間はずっとも明瞭な有意差が見られた ($p < 0.0001$)。水位の標準偏差は、7区間以外のすべてで有意差が見られた。3区間と4区間は有意差が不明瞭で ($p < 0.05$)、2区間と5区間は非常に大きい有の変動幅と標準偏差は、の間の有意差はもっとも明瞭であった ($p < 0.0001$)。したがって、水位の変動幅と標準偏差は、ともに5区間の差が最大であった。

ECの最小値は、3区間で有意差を示し、pHの標準偏差も、3区間で有意差を示した。pHの変動幅は、3区間

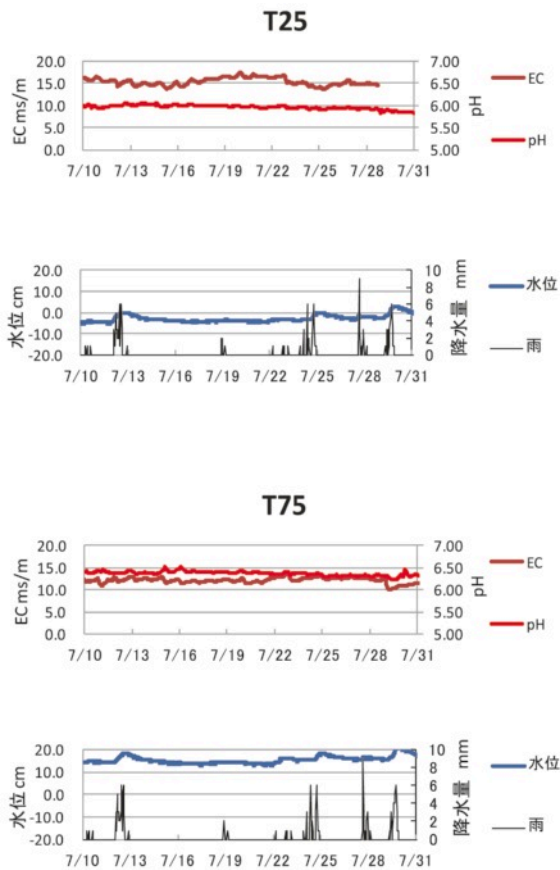


図 7-2 谷フェンプロットにおける降水量及び水位、EC と pH の晩夏（7 月 12 日から 7 月 27 日）の変動。上図：T 25 の変動，下図：T 75 の変動

と 5 区間で有意差を示した。したがって、EC と pH のフェン間の差は、3 区間で最も顕著であった。

IV-5 5 区間（晩夏；8 月 12 日～8 月 24 日）の水位、pH と EC の変動

調査地において、晩夏は熱帯低気圧による集中豪雨の起きやすい時期である。水位は 8 月 12 日の雨によって全てのプロットで上昇しており、谷フェンに比べて氾濫原フェンの上昇の方が大きかった（図 6）。

EC は、U 150 が降雨後大きく上昇するという特殊な動きをした。pH は、谷フェンでの変動が小さいのに対し、氾濫原フェンでは、雨の直後に低下し、その後上昇した。

氾濫原フェンのうち、U 150 と U 350 で湖水の流入が可能であった 8 月 12 日（湖面水位 2.10 m 以上）以降、EC と pH はともに上昇して、湖水流入が不可能になった 8 月 23 日から大きく低下した（室蘭土木現業所；時刻水位月報）。9 月 1 日まで湖水の流入が可能であった U 550 では、流入開始の 8 月 12 日から上昇傾向になったが、8 月 24 日以降も横ばいの変動を続けた。8 月 24 日の降水では、水位の増加及び、EC と pH の低下が起きたが、それらの変動幅は小さかった。

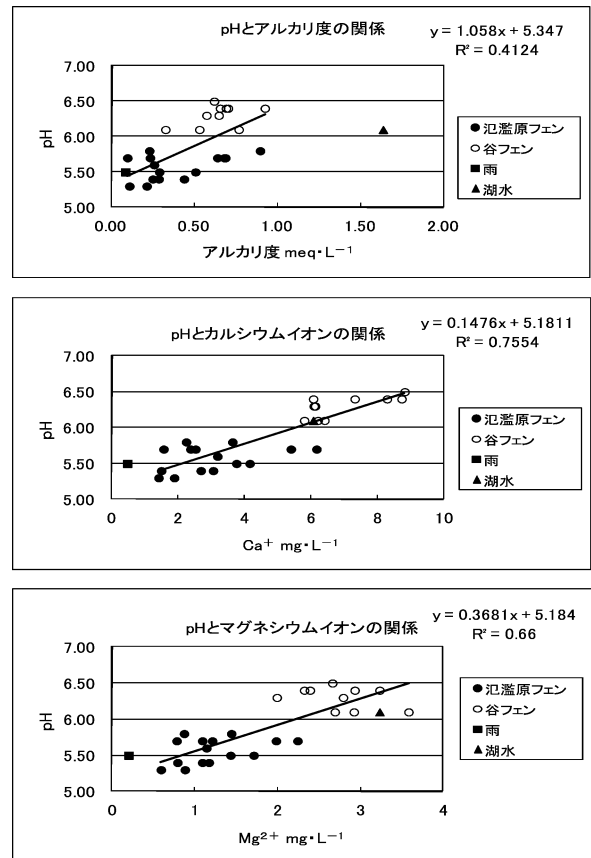


図 8 pH とアルカリ度、 Ca^{2+} 及び、 Mg^{2+} の関係

IV-6 3 区間（盛夏；7 月 12 日～7 月 27 日）の水位、pH と EC の変動

調査地において、盛夏は降雨が少なく、水位が低下し湯水となりやすい時期である。EC と pH は、氾濫原フェンでは降水によって下降したが、谷フェンでは、降雨前後の変化はほとんど見られなかった（図 7-1, 7-2）。pH は、氾濫原フェンでは 7 月 11 日に全てのプロットで 5.0 近くまで低下しているが、谷フェンではほとんど低下せず、6.0 前後の値を示した。EC は、谷フェンでは T 25 で常に 15 mS m^{-1} 以上の高い値を示し、T 75 でも 12 mS m^{-1} 前後を示した。これに対して、氾濫原フェンではどのプロットでも 10 mS m^{-1} 程度で推移していた。このように、氾濫原フェンの EC と pH では、3 調査プロットとも共通して 7 月 12 日の水位上昇後に低下し、その後同調して回復した。

IV-7 水位、pH と EC とアルカリ度、 Ca^{2+} と Mg^{2+} の関係

水位、pH と EC の通年の連続データでは、3 者間で水位、pH と EC の間には互いに相関が見られた。水位は EC と pH に対してそれぞれ負相関を示し ($r = -0.478$, $p < 0.01$ および $r = -0.383$, $p < 0.05$)、EC と pH は正相関を示した ($r = 0.642$, $p < 0.01$)。また、盛夏において

も同様に、水位は EC と pH に対して負相関を示し ($r = -0.534$, $p < 0.01$ および $r = -0.456$, $p < 0.01$), EC と pH は正相関を示した ($r = 0.766$, $p < 0.001$).

7月24日に採水された表層水中の各種イオン量と pH の相関解析を行った結果, pH は Ca^{2+} と Mg^{2+} に対し, それぞれ $r = 0.869$ ($p < 0.001$) と $r = 0.862$ ($p < 0.001$) という最も強い正相関を示した (図 8). また, pH とアルカリ度は, 正の相関 ($r = 0.642$, $p < 0.01$) を示した.

雨水は, pH が 5.5, アルカリ度が 0.08 meq L^{-1} であり, アルカリ度, Ca^{2+} と Mg^{2+} は氾濫原プロットと谷プロットよりも低かった (図 8). 湖水は, pH が 6.1, アルカリ度が 1.64 meq L^{-1} であり, pH, アルカリ度, Ca^{2+} と Mg^{2+} は氾濫原プロットよりも高かった.

V. 考察

水文学変量の連続観測データからフェンの群落間差を検出するために最も効果的な区切り方, フェンの変異に対して重要な季節, および健全な氾濫原フェンと谷フェンの群落変異を説明する環境要因の測定値について考察した.

V-1 フェンの群落間差を検出するために最も効果的な連続データの区切り方

5 mm 以上の雨イベントで区切りデータを作成した場合に, 氾濫原フェンと谷フェンの群落種組成を規定する水文学変量の統計量の数が最も多く抽出され, その有意差確率も高いという結果になった. このことから, 水文学変量の連続データから群落間差を検出するためには, 一定量の降雨イベントで区切ることが最も効果的であるといえる. これは, 雨水希釈と蒸発濃縮に伴うアルカリ度の変動が, 降雨イベントによって開始され, それが植生分布に影響を及ぼしているからであると考えられる.

V-2 フェンの変異に対して重要な季節

乾燥期の盛夏では, 群落間有意差が顕著に見られた. 集中豪雨の多い晩夏では, 水位の変動性に明瞭な群落間有意差が見られた.

盛夏では, 水位, pH と EC の変動が同調していることが確認でき, これらの環境要因には有意な相関があった. これは Ca^{2+} と Mg^{2+} の濃度がアルカリ度の違いになって泥炭水の pH を支配しているためである⁹⁾.

雨水は陽イオン濃度が著しく低く, アルカリ度が低いので, フェンの水に雨水が供給されれば陽イオンが希釈されるため, pH は低下する. 一方, ウトナイ湖の湖水は

氾濫原フェンの泥炭水よりも, はるかに陽イオン濃度が高く, アルカリ度が高いので, 湖水の氾濫は泥炭水を中性にする. また泥炭水の蒸発濃縮は陽イオンの濃度を上昇させるために, アルカリ度が高くなり pH が上昇する.

盛夏では EC の最小値と pH の変動に群落間有意差がみられた. 氾濫原フェンでの pH と EC の変動をみると, 内陸側で湖水の到達しにくい U 150 では降雨後, pH と EC は急低下しその後ゆっくりと上昇した. これは雨水希釈とその後の蒸発濃縮が原因となっていると思われる. 一方, 湖岸側の U 550 では降雨後 EC と pH は急低下するが, その後一転して急上昇した後, いったん低下して, ゆっくりと上昇した. これは雨水希釈, 湖水の流入, 蒸発濃縮という複雑な過程を反映していると思われる.

谷フェンでは pH と EC は降雨と無関係に一定であった. 谷フェンの表層水はアルカリ度が高く, EC が一定であることから常に高濃度の陽イオンが存在していることが推察される. 谷フェンの水位は常に地表面付近かそれ以上で安定しており, 表層水は谷地形に沿ってゆるやかに流下している. 陽イオンが多く, アルカリ度の高い表層水が常に入れ替わっていることで, 雨水希釈と蒸発濃縮の影響を受けずに安定した EC と pH を保っているものと思われる.

晩夏では, EC に群落間有意差がみられなかった. この区間の初めの降水量は多く, 同時にウトナイ湖水は, 最内陸側の U 150 にまで到達可能であった. このため, 雨水と湖水の流入が同時に起きて, 比較的高い EC が維持され続けたことが, EC の高い谷フェンと氾濫原フェンの群落間有意差がみられなかった理由と思われる.

集中豪雨の時期は, 氾濫水の流入で泥炭水の化学性が変化するとともに, 冠水の直接的な影響として湿生植物に水没ストレスが働く. 水没ストレスに対する耐性の種間差は, 氾濫原フェンと谷フェンの種組成の違いの主原因の一つであり, 氾濫適応型のツルスゲは氾濫原湿原にだけ生育している⁷⁾.

V-3 健全な氾濫原フェンと谷フェンの群落変異を説明する環境要因の測定値

本湿原の健全な氾濫原フェンと谷フェン間の群落変異を説明する環境要因は水位の変動幅と標準偏差によって代表される水位変動, EC の最小値, および pH の変動幅と標準偏差によって代表される pH 変動であった. 北海道東部の別寒辺牛湿原では, ボッグとフェンの群落勾配を規定する統計量のひとつとして, EC の最小値が有効であった⁸⁾. EC の最小値はフェンとボッグの勾配を規定する統計量であるとともに, フェン群落間の群落変異を説明することが示唆された.

表2 氾濫原フェン及び谷フェンにおける、有意差を示した統計量の盛夏及び晩夏の平均値±標準偏差

	氾濫原フェン		谷フェン	
	盛夏	晩夏	盛夏	晩夏
水位変動幅(cm)	9.54±1.44	38.67±0.16	4.85±0.26	13.41±0.14
EC最小(mS/m)	5.68±0.33	-	12.56±0.91	-
pH変動幅	1.05±0.16	0.91±0.13	0.21±0.05	0.33±0.02

平均水位はフェン内の群落分布の規定要因の一つであり、氾濫原フェンと谷フェンのそれぞれの内部の群落変異を規定するものであるが、フェン間の群落変異を規定する要因ではないことが判明した。

レファレンスサイトの指標として水文化学環境の盛夏と晩夏の有意差を示した統計量の観測値を表2に示す。表2は各環境要因の変動性については変動幅のみで表示し、晩夏のEC最小値は有意差を示さなかったので表示しなかった。

氾濫原フェンの水位変動幅の平均値は、谷フェンに比べて盛夏では約2倍の9.54 cm、晩夏では約3倍の38.67 cmと大きかった。pH変動幅の平均値も、氾濫原フェンが谷フェンより大きな値を示したが、氾濫原フェンは盛夏の値が大きいのに対して(盛夏1.05 晩夏0.91)、谷フェンは晩夏の値のほうが大きい(盛夏0.21 晩夏0.33)。ECの最小値の平均は谷フェンのほうが大きく、盛夏では氾濫原フェンの2倍を超える12.56 mS m⁻¹であった。

謝辞

本研究は一部北海道環境科学研究センター共同研究「北海道生物多様性保全モニタリングに関する研究」及び、文部科学省科学研究費補助金(21510242)の支援を受けて行われた。本研究に際し、札幌市立大学4年・松田岳士氏の現地調査活動の補助を受けた。また、アルカリ度の測定に際して、北海学園大学工学部教授・余湖典昭氏にご指導していただいた。また観測機器のメンテナ

ンスやトラブルの対応に当たっては(有)エンドウ理化、遠藤孝章氏に全面的な支援を頂いた。ここに記して謝意を表す。

文献

- 1) 石川統・黒岩常祥・塩見正衛・松本忠夫・守隆夫・八杉貞雄・山本正幸編：生物学辞典，東京：東京化学同人，2010
- 2) 矢部和夫：なぜ冷温帯の氾濫原フェンと谷フェンでは湿生草原やハンノキ林の景観が異なるのか？—美々湿原の事例から—。水野一晴，植生環境学—植物の生育環境の謎を解く— 東京：古今書院，pp 139-141，2001
- 3) Wheeler B. D. and Proctor M. C. F.: Ecological gradients, subdivisions and terminology of north-west European mires, *Journal of Ecology*, 88: 187-203, 2000
- 4) 藤村善安・富士田裕子・加藤邦彦・竹中眞・柳谷修自：湿原における植生—立地環境の関係解析のための水位環境指標値—，*応用生態工学* 9: 129-140, 2006
- 5) Nakamura T, Uemura S and Yabe K: Hydrochemical regime of fens and bogs in north Japanese mires as influence on habitat and above-ground biomass of *Carex* species, *Journal of Ecology*, 90: 1017-1023, 2002
- 6) Little Waves: pH, アルカリ度, CO₂, Ca の関係, 2012 <http://www.littlewaves.info/marine/waterquality.htm>
- 7) Yabe K, Onimaru K: Key variables controlling the vegetation of cool-temperate mire of northern Japan, *Journal of Vegetation Science*, 8: 26-36, 1997
- 8) Asada T: Vegetation gradients in relation to temporal fluctuation of environmental factors in Bekanbeushi peatland, Hokkaido, Japan, *Ecological Research*, 17: 505-518, 2002
- 9) 北海道室蘭土木現業所：時刻水位月報，雨量月報，2010