

霧ヶ峰八島ヶ原湿原の湿原群落の泥炭水位と水質 (pH)

松田 行雄*・浅田 太郎**

Peat water level and water pH in plant communities in Yashimagahara Mire,
Kirigamine Plateau, Japan

Yukio Matsuda and Taro Asada

要旨

長野県霧ヶ峰高原に成立する八島ヶ原湿原の高層湿原代表群落とその周辺植生で、植物社会学的手法による植生調査を実施した。また、各群落での泥炭水位、泥炭水の pH を、1986 年から 1987 年にかけて継続的に計測し、群落と水位、pH との関係を検討した。高層湿原のブルテ、シュレンケ群落の分布、また高層湿原群落以外のマント群落、低層湿原群落、中間湿原群落の分布には、水位が大きく関与していた。pH は、高層湿原内の群落の違いの説明には寄与しなかったが、高層湿原植生を含む他の植生間での比較では、pH のデータがある事で、より詳しく植生毎の違いを説明出来た。また、一回の測定値だけでは群落毎の違いの全てを説明することは出来ず、継続的な計測が重要であることが分かった。更に、継続的なデータが存在しても、平均値や標準偏差といった統計値だけでは不十分であり、時系列に沿った変動の追跡も重要である事が示唆された。

キーワード： 八島ヶ原湿原、高層湿原、水位、pH、植物群落

Abstract

Phytosociological survey on the representative bog communities and their surrounding vegetation was conducted in Yashimagahara Mire, Kirigamine Plateau, Nagano, Japan. Peat water level and its pH in each community were measured continuously from 1986 to 1987, and the relationships between communities, water level, and pH were examined. Peat water level explained the distribution of hummock and hollow communities in the bog, and it also explained the distribution of bog, mantle, fen, and marsh communities. Peat water pH did not contribute to explain the differences among bog communities, but it supported the explanation for the differences among bog, mantle, fen, and marsh communities. Single measurement was not sufficient to explain all the site differences among communities. Even with continuous data, statistical values such as mean and standard deviation were not sufficient, and the temporal changes are suggested to be examined.

Keywords: Yashimagahara Mire, bog, water level, pH, plant community

1. はじめに

長野県、霧ヶ峰高原に成立する八島ヶ原湿原は、ドーム状に発達した国内有数の高層湿原であり、世界的に見ても良く発達した Raised Bog の好例と評価されている (Gimingham 1984)。八島ヶ原湿原に関する報告は古く、中野治房 (中野 1919)、河野齡蔵 (河野 1934)、本田正次・飛田廣 (本田・飛田 1941) が良く知られている。しかし内容はいずれも景観的な記述と植物相の記載であったため、

国内外の湿原との比較は難しかった。その後、宮脇昭が尾瀬ヶ原 (宮脇・藤原 1970)、矢野悟道が霧ヶ峰 (矢野・布施・鬼頭 1971) で、Braun-Blanquet による植物社会学的手法による植生調査を行なったことなどから、国内の湿原植生を国内外で比較する事が可能になってきた。筆者の一人である松田は、両先生と鈴木兵二先生に植物社会学的調査の指導を受け、八島ヶ原湿原の東西ドームに带状区と永久方形区を設置し、過去 49 年間に渡りその群落変化を追ってきた (鈴木 1977、鈴木ら 1981、松田・田中 1999、田中ら 2016)。その結果、ブルトやシュレンケを含む多様な群落が、時間の経過とともに変

* 松田 行雄 〒 390-0802 長野県松本市旭 1-9-13

** 浅田 太郎 〒 400-0106 山梨県甲斐市岩森 997-5

遷している様子を確認する事が出来、より長期的な群落の変遷についても、泥炭層中の植物遺体を分析する事で推察した(松田・波田 2000)。しかしながら、時間の流れのある一時期に注目した時、この八島ヶ原湿原の群落が何に規定されて存在しているのか、その要因はまだ明らかにすることが出来ていなかった。

松田は、1986 年、1987 年の 2 か年、八島ヶ原の高層湿原植生を代表する主要な群落で、泥炭水位、泥炭水の pH を継続的に計測する機会を得た(松田 2020/ 未発表)。湿原群落の分布を説明する要因として、水位、水質が重要であるとする多くの研究例は国内(e.g., 矢部 1989、永井ら 2012、Asada 2002b)、国外(e.g., Glaser et al. 1990)共に、多くの湿原で報告されている。八島ヶ原湿原においてもこれらの環境要因で群落の分布が説明できるのか、ひいてはこれらの要因は長期的な群落消長の解析を進めるための基礎と成り得るのか、検討する。

2. 調査地

霧ヶ峰高原は、八ヶ岳中信高原国定公園の長野県エリアに位置する。標高 1,925m の車山を主峰として、その周囲の斜面に緩やかな大草原が広がっている。調査地である八島ヶ原湿原は、その霧ヶ峰高原の北西部(北緯 $36^{\circ} 6' 50'' - 36^{\circ} 7' 30''$ 、東経 $138^{\circ} 9' 30'' - 138^{\circ} 10' 20''$)、海拔約 1,630 m に位置しており、発達した典型的なチャミズゴケ型の高層湿原としては国内の南限に位置し、その貴重さから、隣接する車山湿原と踊場湿原と共に、1939 年に国の天然記念物に指定されている。存在するミズゴケ数は 21 種に上り、これは一湿原内に存在するミズゴケの数として国内有数である(松田 2002)とともに、イトミズゴケ(*Sphagnum guwassanense* Warnst. subsp. *takedae* (S. Okam.) Suzuki)のように八島ヶ原湿原と富山の立山 2 か所しか確認されていない貴重な種も存在する(松田 2012)。シナノミズゴケ(*Sphagnum jensenii* H. Lindb.)も、大雪の浮島湿原と霧ヶ峰のみでしか確認されていないミズゴケだが、現在も八島ヶ原湿原に分布するかどうかは不明である(松田 1984、2012)。松田(2017)は、イトミズゴケとシナノミズゴケの両種を、その生育する湿原数の少なさから絶滅危惧 I 類としている。近接する八ヶ岳地区とミズゴケ相を比較すると、霧ヶ峰地区では森林性のミズゴケ種に欠けることが特徴の一つである(鈴木・

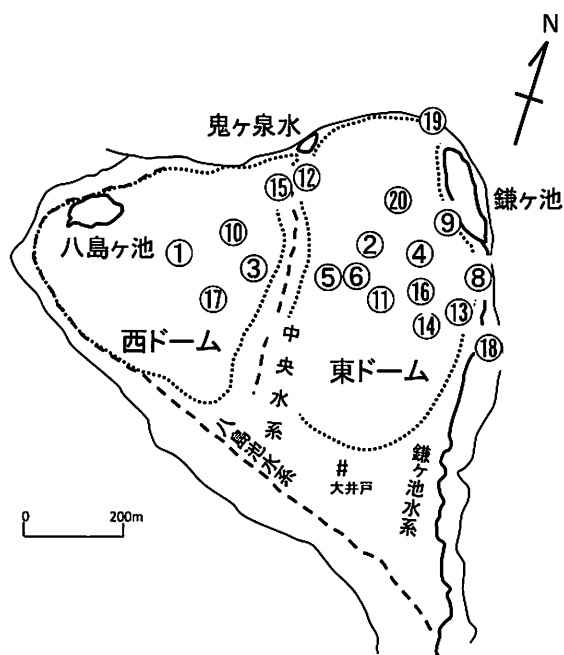


Fig. 1. 調査地の地図。

図中の数字は調査地点番号を示す (Table 1 参照)。

Fig. 1. Map of the study site.

The numbers in the map indicate the studied plots (see Table 1).

松田 1962)。

湿原の大きさは、東西約 800m、南北約 1km で、南東方向を頂点とする約 43.2ha の二等辺三角形に近い形状の中に、東西二つのドームの複合体が形成されている (Fig. 1)。角閃石安山岩の溶岩による盆地の地形上に発達した泥炭地であり、約 12,000 年をかけて堆積したと推定される泥炭層は 8m に達する(鈴木ら 1981)。八島ヶ原湿原西縁に位置する鷺ヶ峰ヒュッテの 1985 年から 2007 年の気象データによると、年平均気温 5.9℃、最も暖かい 8 月の平均気温 18.3℃、最も寒い 1 月の平均気温 -6.5℃、積雪量も加味して推定される年降水量は約 1,650mm である(細田・田口 2009)。また、八島ヶ原湿原では霧による水の涵養の重要性も示唆されている(田中 2020/ 準備中)。八島ヶ原湿原を含めた霧ヶ峰地区の湿原の植生の現状と課題については、霧ヶ峰湿原植物群落調査研究委員会(1998)にまとめられている。

3. 調査方法

調査地点は、西ドーム、東ドームの代表的な高層湿原群落がカバーできるように決定した。植生調査は Braun-Blanquet 法で行った。調査面積の決定のために、隣接する群落の標徴種の有無や生育環境を

観察し、相観的に均質な範囲を判定した。決定した面積の中で、被度と群度を記録した。植生調査後、群落の中心部に泥炭水位の測定のために長さ 1m、直径 6~9cm の塩化ビニールパイプ（側面にドリルで径 6mm の穴を多数開け、底側は閉じて）を垂直に挿入した。泥炭水位は、「湿原表面に対する管内に溜まった水の表面の相対的位置」と定義し、湿原表面に対して高い水位を+、低い水位を-とした。毎回の計測では、泥炭水位測定後に溜まった水を汲みだし、電極式 pH メーターを用いてその場で pH を測定した。水位と pH の測定は、1986 年 7 月 20 日から 1987 年 11 月 23 日まで、冬季を除いてほぼ 2 週間おきに計 27 回行った。

種組成の調査地点間の近似性を解析するため、植生調査の被度データを用いて座標付け (Ordination) の一種である Detrended Correspondence Analysis(DCA) を実施した。DCA は、Correspondence Analysis (CA) と同様に仮想環境に対する種の応答モデルが山型 (unimodal) を前提とし、かつ環境要因による制約が無い手法であり、CA で問題となるアーチ効果を第一軸を均等区分して第二軸の平均スコアが 0 となるように再配置することで回避している。植生データの解析では一般に広く用いられている手法である。本研究では、DCA 実施の際の植生調査の+は、数字の 0.5 に置き換えて解析した。被度データは対数変換して解析した。ソフトウェアは、Canoco for Windows ver.4.53 (ter Braak and Smilauer 1998) を使用した。

4. 結果

4.1 植物群落区分

植生調査データは、湿原調査と草原調査に分け、湿原調査資料は高層湿原のツルコケモモミズゴケクラスと低層湿原ヨシクラスの標徴種で分類した。それぞれの群落の標徴種を元に表操作を繰り返した結果、5 群集、5 群落に区分された (Table 1)。なお、本論文で、「群集」は特定の種組成・生育条件および相観をもつ植物社会学的群落分類における基本単位としての名称、「群落」は群集として認められないが優占種によって区分される植生の集合一般を示すものと定義する。

4.1.1 クロイヌノヒゲモドキ群集 (*Eriocaulum atroides* H. Suzuki, N. Yano, Y. Matsuda et Y. Hada 1981)

クロイヌノヒゲモドキを標徴種・区分種とする高

層湿原シュレンケ植生。本群集は西ドーム上底部の小凹地で、ミカヅキグサ、ヤチスギランが散生している。本群集が発達している凹地は、ミカヅキグサ群落発達地に比べ乾燥しやすく、夏の乾燥期には地表が亀甲状に剥離し、降雨時には泥土状になる。群集基盤の泥炭層は、地表面から -10cm 近くまで泥炭の分解が進み緻密で硬く締まり、泥炭からは堆積した植物を識別することは困難である。それより深い -10cm から -25cm までは、泥炭の分解度が低くなり、チャミズゴケの遺体が緩く締まる泥炭層となる。

4.1.2 ハナゴケ群落 (*Cladonia* community)

ハナゴケ一種とミカヅキグサを標徴種・区分種とする高層湿原退行群落植生。群落退行前のホロムイスゲ、ヌマガヤ、ミカヅキグサが散生する。西ドーム上底部の小凹地の植生で、裸地にハナゴケ類が高さ 5cm 程度で密生している。群落基盤の泥炭層は、ハナゴケの下から -25cm までは分解が進み、緻密で堆積した植物が識別できない。それより深い部分の -35cm からは、堆積するチャミズゴケ、イボミズゴケ、ムラサキミズゴケが識別できる泥炭層となる。

4.1.3 ミカヅキグサ群落 (*Rhynchospora alba* community)

ミカヅキグサ、藻類の一種、ヤチスギランを標徴種・区分種とする高層湿原シュレンケ植生。西ドーム上底部の小凹地に草丈 10cm 程度のミカヅキグサが優占する群落で、地表は湿潤で藻が全面を覆っている。根の浅いヤチスギラン、モウセンゴケ、イワショウブが生育する。泥炭層の解析はしていないが、地表近くでは泥炭の分解が進み緻密である。降雨があると、本群落は湛水しやすい。本群落は、長野県内では苗場山、志賀高原田の原湿原などにも分布している (松田 1979)。

4.1.4 イトミズゴケ群集 (*Sphagnetum takedae* H. Suzuki, N. Yano, Y. Matsuda et Y. Hada 1981)

イトミズゴケ、ウキヤバネゴケを標徴種とし、ミカヅキグサ、ヤチスギラン、イワショウブを区分種とする高層湿原シュレンケ植生。高層湿原標徴種であるツルコケモモ、ヒメシャクナゲ、モウセンゴケが生育する。イトミズゴケの分布は非常に局所的であり、長野県内では霧ヶ峰のみ (松田 2012)、県外でも富山県立山浄土平のみである (鈴木 1978)。

東西ドーム上底部の小凹地に成立し、草丈 13~20cm 程度のヌマガヤ、イワショウブ、コバギボウシ等を伴い、草本・木本が地表を 25~30% 程度覆っている。コケ層はイトミズゴケ、ウキヤバネゴケが地表を 70~90% 程度覆っている。泥炭中から

Table 1. 調査地点の植生組成表。

表中の数字は被度及び群度を示す。

Table 1. Floristic composition of the studied plots.

Values denote cover and abundance in phytosociological survey.

調査地点番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳
群落名	クロイヌノヒゲモドキ群落	ハナゴケ群落	ミカヅキグサ群落	イトミズゴケ群落			ヌマガヤイボミズゴケ群落				ヌマガヤヤーチャミズゴケ群落				ホロムイスイゲ・ヌマガヤ群落	ノリウツギ・ホソバオウギ・ヌマスゲ群落	キリガミネヒオウギ・アヤメ群落	ヤマドリゼンマイ群落
調査面積 (m×m)	0.5 ×	0.5 ×	1 ×	1 ×	1 ×	1 ×	2 ×	1 ×	2 ×	2 ×	0.3 ×	1 ×	2 ×	0.5 ×	1 ×	1 ×	2 ×	2 ×
草丈 (cm)	0.5 5	0.5 15	2 10	0.5 15	0.5 13	0.5 20	2 40	2 30	2 20	2 30	0.5 10	1 30	2 30	0.5 15	1 30	2 80	2 100	2 120
草本層被率 (%)	20	5	40	30	30	25	20	20	25	25	30	40	25	20	80	70	95	95
コケ層被率 (%)	—	99	(95)	70	90	80	99	99	99	99	99	99	99	99	0	60	5	0
出現種数	3	6	6	11	11	9	12	10	13	11	9	15	11	10	6	8	8	8
群落区分種																		
クロイヌノヒゲモドキ	2・3	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
ハナゴケの一種	・	5・5	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	2・3
藻類の一種	・	・	5・5	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
ミカヅキグサ	+	+	3・4	3・4	2・3	2・3	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・
イトミズゴケ	・	・	・	4・4	5・5	4・4	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
ヤチスギラン	+	・	+	1・2	+	2・2	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
ウキヤバナゴケ	・	・	・	2・3	1・2	1・2	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
イボミズゴケ	・	・	・	+2	・	・	5・5	5・5	5・5	5・5	+	+2	1・2	+2	・	・	・	・
ムラサキミズゴケ	・	・	・	・	・	・	・	1・2	1・2	1・2	・	・	1・2	・	・	・	・	・
チャミズゴケ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	5・5	5・5	5・5	5・5	・	・	・	・
ヒメツルコケモモ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+2	+	・	・	・	・	・	・
ノリウツギ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	2・2	・	・
オオヒモゴケ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	4・3	・	・
エゾリンドウ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	2・3	+	+
ホソバオウギ・ヌマスゲ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	・	2・2	・	1・2?
キリガミネヒオウギ・アヤメ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	5・5	・
コアナミズゴケ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	1・2	・
コバイケイソウ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	1・3	+
ヤマドリゼンマイ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	5・5	5・5
ヌマガヤ	・	1・2	+	+	+	+	+	+2	1・2	+	+	+	+	1・3	5・5	+	+	+
ホロムイスイゲ	・	+	・	・	・	・	2・2	1・2	1・2	2・3	・	1・2	2・3	・	+	・	・	・
ツルコケモモ・ミズゴケクラスの種																		
ツルコケモモ	・	・	・	+	+	・	+	2・2	+	+	2・3	+	+	+	・	・	+	・
ヒメジャクナゲ	・	・	・	+	+	+	+	・	+2	+	+	+2	1・2	+2	+	・	・	・
モウセンゴケ	・	・	+	+	+	+	+	・	+	+	・	+	・	・	・	・	・	・
マンネンシギ	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	+	・	・	・	・	・	・
ワタスゲ	・	・	・	・	・	・	・	+2	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・
随伴種																		
ナガボノアカワレモコウ	・	+	・	・	+	・	+	・	+	+	・	+	+	・	・	+	+	+
コバギボウシ	・	+	・	+	+	+	+	・	+	+	+2	+	+2	・	・	・	・	・
キリガミネアキノキリンソウ	・	・	・	・	・	・	+	+	+	+	・	+	・	+2	・	・	・	・
イワショウブ	・	・	+	+	+	+	+	・	+	・	・	・	・	+	・	+	・	・
ミツバオウレン	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	+	+	・	+	・	・	・	・
トキソウ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・	+	・	+	・	・	・
ヒメシダ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	+
ミタケスゲ	・	・	・	・	・	・	+2	・	+	+	・	・	・	・	・	・	・	・
キリガミネアサヒラン	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	+	+	・	・	・	・
レンゲツツジ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+	・	・
コバノトシソウ	・	・	・	・	+	・	・	+	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
エゾシロネ	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	+2	+

各植物の生育状況は被度・群度で表す。

出現一回の種: ⑧イワノガリヤス+2、ヤマヌカボ+、ゴウソ+。⑪ショウジョウバカマ+。⑭キリガミネアサヒラン+。⑰ウメバチソウ+。

植生調査日: ①⑦は1987.9.13、他は1986.7.21。

調査地点番号②、ヤマドリゼンマイ群落でホソバオウギ・ヌマスゲ(1・2)として記録している種は、ホロムイスイゲ(1・2)である可能性あり。

はミズゴケ類の遺体が確認される。

4.1.5 ヌマガヤーイボミズゴケ群集 (*Moliniopsis-Sphagnetum papillosum* Tx. Miyawaki et K. Fujiwara 1970)

イボミズゴケを標徴種、ムラサキミズゴケ、ツルコケモモ、ヒメシャクナゲ、モウセンゴケ、マンネンズギ、ワタスゲを区分種とする高層湿原植生。群落構成種は、成立場所の違いにより、区分種その他、トクソウ、ホロムイスゲ、ヌマガヤ、キリガミネアキノキリンソウが異なった被度で分布している。

長野県内では高層湿原で広くイボミズゴケが分布しており (松田 1979)、56 か所で生育が確認されている (松田 2012)。

4.1.6 ヌマガヤーチャミズゴケ群集 (*Moliniopsis-Sphagnetum fuscum* H. Suzuki, N. Yano, Y. Matsuda et Y. Hada 1981)

チャミズゴケ、ヒメツルコケモモを標徴種や下位区分種とし、イボミズゴケ、ムラサキミズゴケ、ツルコケモモ、ヒメシャクナゲ、モウセンゴケ、マンネンズギ、ワタスゲを区分種とする高層湿原植生。その他、ホロムイスゲ、ミツバオウレン、キリガミネアキノキリンソウ、キリガミネアサヒランが異なった被度で分布している。チャミズゴケは長野県内では 20 か所で確認されている (松田 2012)。よく発達した高層湿原に成立する群落として、本州における本群集の分布については松田ら (1986) が詳細に検討している。長野県内においては 10 群落確認されており、その中でも本湿原の群落は典型的なものであると言える (松田 1979)。

4.1.7 ホロムイスゲーヌマガヤ群集 (*Carici-Moliniopsietum japonicae* Miyawaki, Itow et Okuda 1967)

ヌマガヤ、ホロムイスゲを標徴種・区分種とする高層湿原ブルト植生の退行群落。群集成立地は、東西ドーム上底部のミズゴケを伴わない乾燥泥炭地で、ヌマガヤが優占する小隆起植生の退行群落である。退行前の群落の面影を残すホロムイスゲ、ミカヅキグサ、ヒメシャクナゲが僅かに散生する。— 30cm ~ 80cm の泥炭層からは、チャミズゴケ、ムラサキミズゴケがほとんど分解されずに完全に近い状態で確認できる。ホロムイスゲーヌマガヤ群集は、八島ヶ原湿原の他は、長野県内では踊場湿原、車山湿原で確認されたのみである (松田 1979)。

4.1.8 ノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落 (*Hydrangea paniculata* - *Carex nemurensis* community)

ノリウツギ、レンゲツツジ、ヌマガヤ、エゾリンドウ、ヒメシダ、ナガボノアカワレモコウを区分種とし、鎌ヶ池流沿いに成立する湿原マント植生。コケ層では、オオヒモゴケが 60% 程度地表面を覆っている。調査前日に降雨があった 9 日の内、7 日で鎌ヶ池流が溢れ、群落の植生下部が水没した。

4.1.9 キリガミネヒオウギアヤメ群落 (*Iris setosa* var. *hondoensis* community)

キリガミネヒオウギアヤメ、コバイケイソウ、コアナミズゴケを区分種とする低層湿原群落。本群落は鎌ヶ池流沿いの低層湿原域に成立し、キリガミネヒオウギアヤメを中心に草丈 1m 前後の草本が被度約 95% で生育し、草本の株周辺にはコアナミズゴケが湿潤な立地を反映して生育している。調査前日に降雨があった 9 日の内 4 日は、株が水没した。

4.1.10 ヤマドリゼンマイ群落 (*Osmunda cinnamomea* community)

ヤマドリゼンマイを区分種とする中間湿原、草原性植生。ナガボノアカワレモコウ、ヒメシダ、エゾシロネ等が散生する。ドーム斜面である調査地点 20 では、ハナゴケ類、ホソバオゼヌマスゲ (ホロムイスゲである可能性もあり) の被度が、流水域と草原にまたがる調査地点 19 より大きい。この違いにより、両調査地点は群落の下位単位に区分できることが出来るため、本論文の図表では 19 と 20 を区分して扱う。

4.2 DCA による調査地点の近似性解析

DCA の第一軸と第二軸で、種データの全分散の 25.2% を反映しており、植生データとしてはこの二軸で凡その説明が出来ていると考えられる (Fig. 2)。DCA の座標空間において、調査地点の軸に対する絶対位置に意味は無く、軸は単に統計的距離を表現したものであるため、各調査地点の相対的な距離に基づいて議論を進める。今回の解析で得られた二軸の平面上では、高層湿原ドーム上のブルテ群落とシュレンケ群落、中間湿原群落、低層湿原群落、マント群落、中間湿原群落が、それぞれ分かれて配置された。これは、それぞれのグループ内では種構成が近似しているが、グループ間では離れていることを示唆する。より分散の値が大きい第一軸上で、高層湿原のブルテ群落、シュレンケ群落、その他の群落が明らかに距離を置いて配置されており、これらのグループ間では種構成の違いが明らかであることが示唆される。従って DCA による座標付けの結果は、植生調査後の表操作による群落区分の妥当性

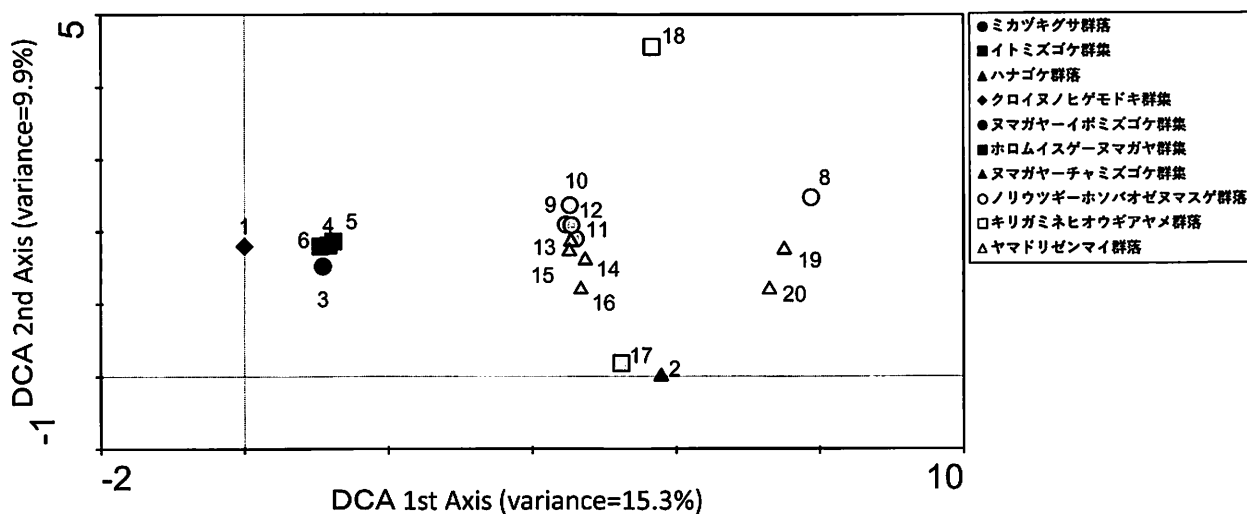


Fig. 2. Detrended Correspondence Analysis (DCA) による調査地点の座標付け。
図中の数字は調査地点番号を示す (Table 1 参照)。

Fig. 2. Ordination of the studied plots by Detrended Correspondence Analysis (DCA).
Numbers identify studied plots (see Table 1).

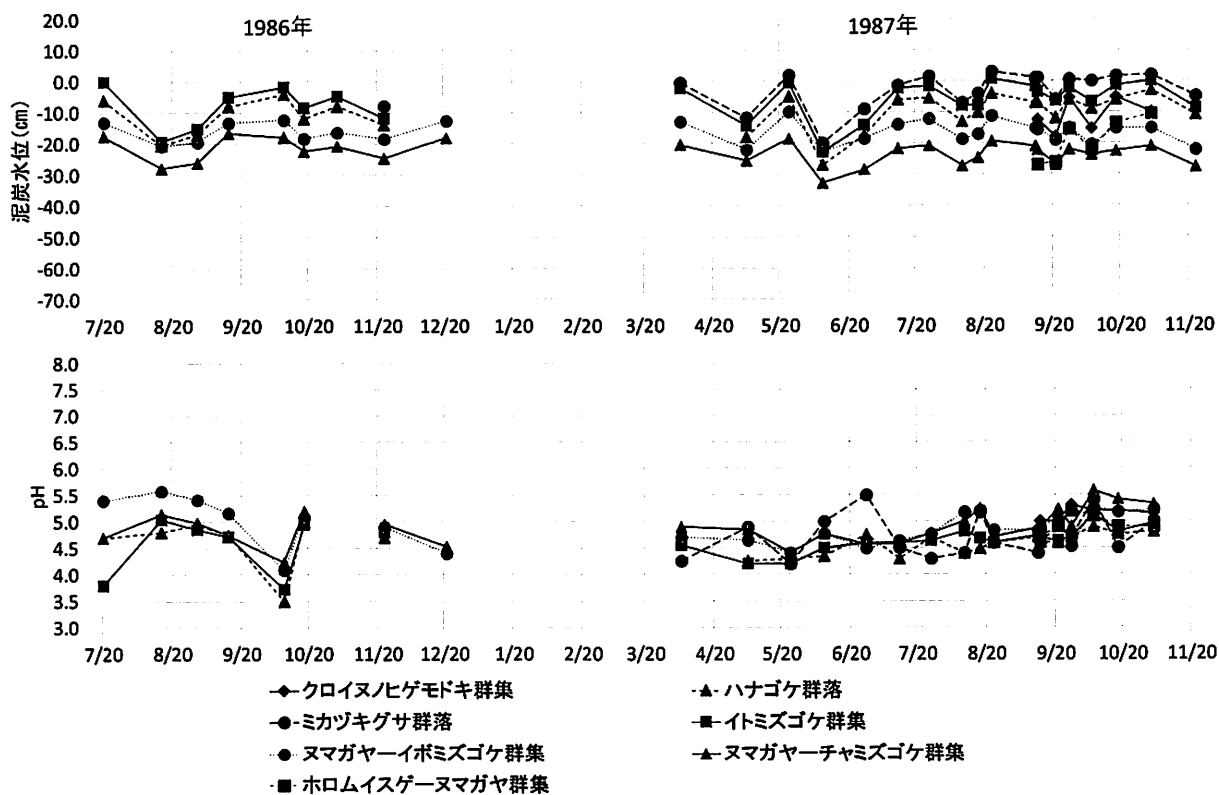


Fig. 3. 1986 年、1987 年の高層湿原ドーム上群落での泥炭水位と pH の平均値の変動
(測定値は Appendix 1 参照)。

Fig. 3. Changes in peat water level and pH in the bog communities in 1986 and 1987
(see Appendix 1 for original data).

を裏付けるものである (Table 1)。ただし、ハナゴケ群落だけは、シュレンケ植生であるもののブルテ植生近くに配置されており、これはハナゴケ群落の種構成がブルテ群落の植生と近似性がある事を意味する。特にホロムイスゲヌマガヤ群落集がハナゴケ群落の近くに配置されているが、これはハナゴケ群落でのヌマガヤ、ホロムイスゲの存在が影響していると推察される (Table 1)。

4.3 泥炭水位と pH の変動

Fig. 3 に、1986 年と 1987 年の高層湿原ドーム上の各群落毎の泥炭水位と pH の平均値をプロットした。高層湿原群落以外の植生 (マント群落、低層湿原群落、中間湿原群落) では、1986 年に十分な水位・pH データを収集していないため、Fig. 4 として、1987 年の各調査地点での泥炭水位と pH

をプロットした。

全体的な傾向として、水位が低いと pH が上がり、水位が高いと pH が下がる傾向があるように見える。これは、マント群落 (ノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落) やヤマドリゼンマイ群落の調査地点 19 で特に顕著で (Fig. 4)、ドーム上の高層湿原群落でも、1986 年はこの傾向が確認できた (Fig. 3)。

ドーム上の高層湿原群落では、泥炭水位勾配に沿った群落分布が見られる。水位の平均値が高い (より湿った) 群落から最も低いものまで、ミカヅキグサ群落→イトミズゴケ群落→ハナゴケ群落→ (クロイヌノヒゲモドキ群落) →ヌマガヤイボミズゴケ群落→ (ホロムイスゲヌマガヤ群落) →ヌマガヤチャミズゴケ群落、の順である (Fig. 5)。Fig. 5 では標準偏差が大きく重なっており、群落毎の差は

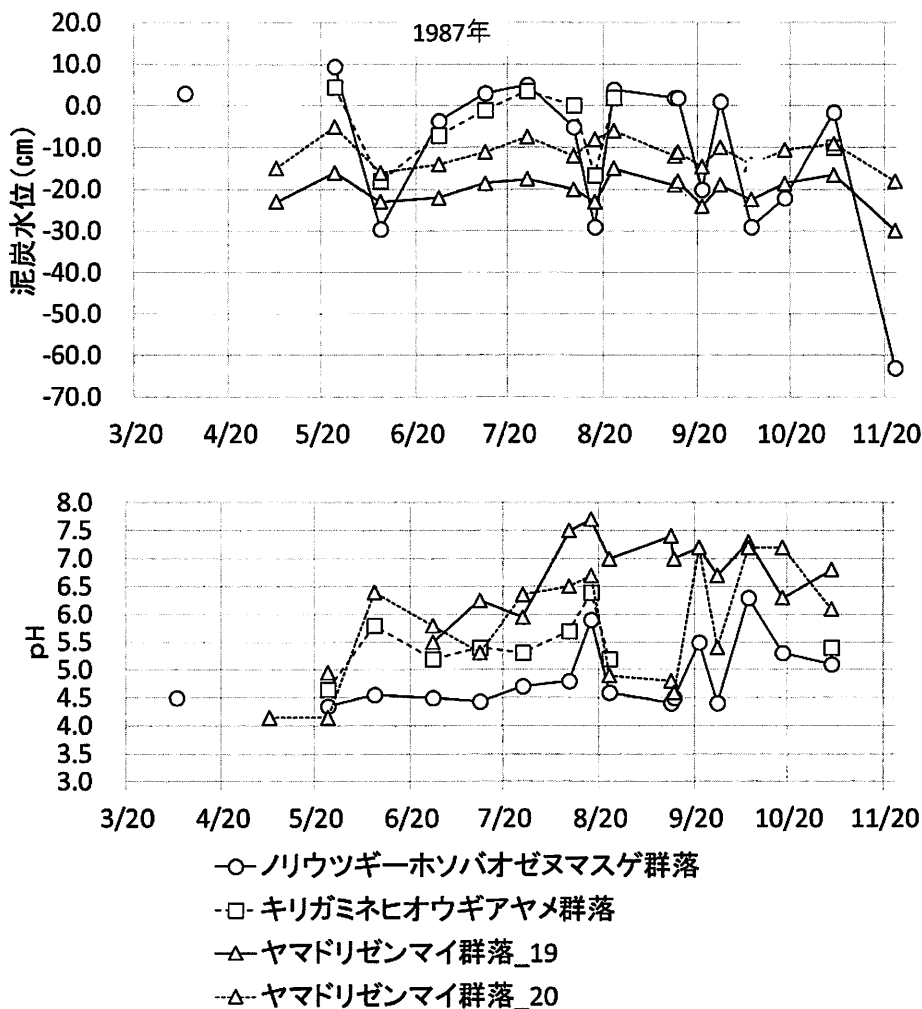


Fig. 4. 1987 年のマント群落、低層湿原群落、中間湿原群落での泥炭水位と pH の変動 (測定値は Appendix 1 参照)。

Fig. 4. Changes in peat water level and pH in mantle, marsh, and fen communities in 1987 (see Appendix 1 for original data).

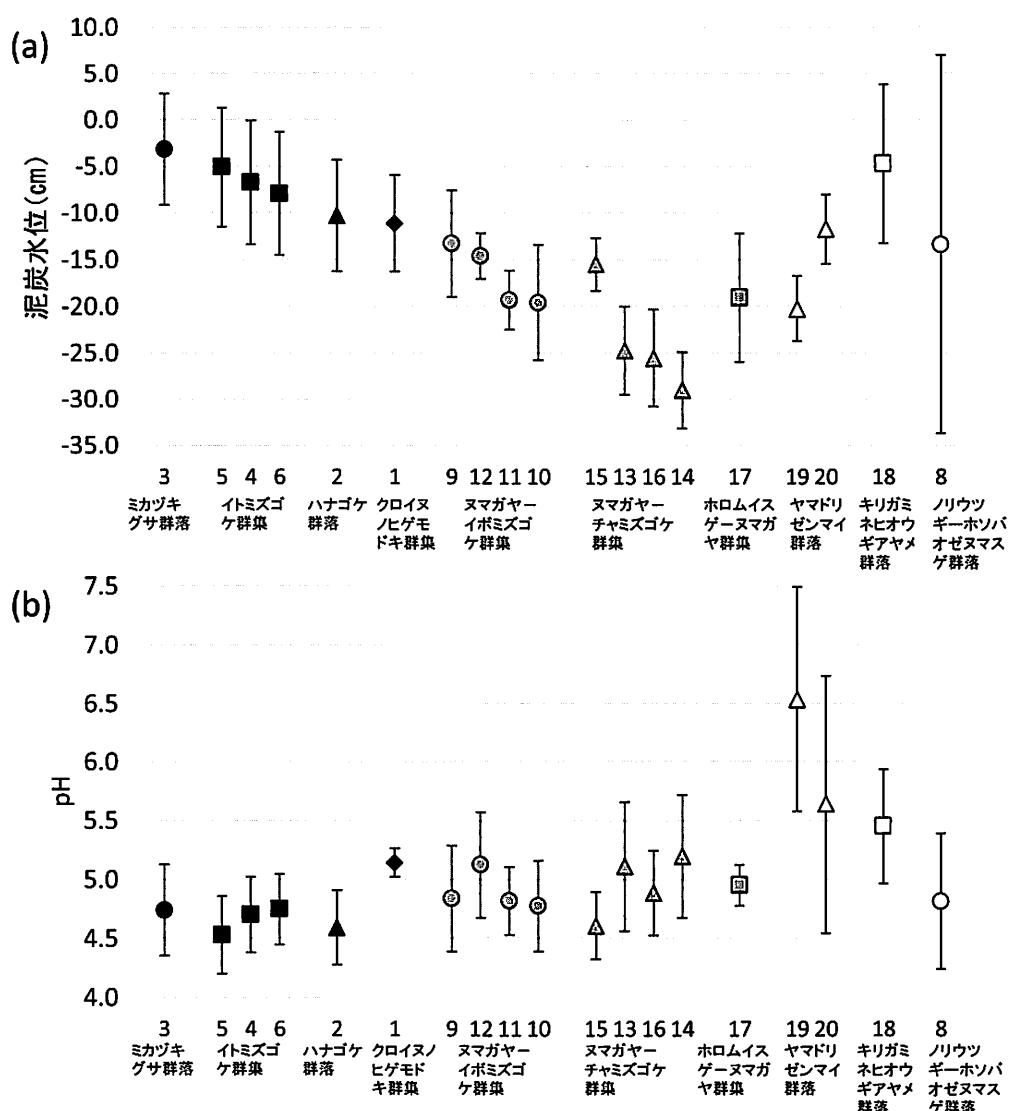


Fig. 5. 各調査地点の泥炭水位 (a) 及び pH (b)。

1986 年から 1987 年にかけて 6 回から 27 回測定されたデータの平均値 ± 標準偏差を示す (測定値は Appendix 1 参照)。

Fig. 5. Peat water level (a) and pH (b) at the studied plots.

Means ± SD obtained from 6 to 27 measurements between 1986 and 1987 are shown (see Appendix 1 for original data).

一見有意でないように見えるが、平均値の差は調査期間を通じて維持されていることから (Fig. 3)、水位差がある事は明らかである。なお、上記でクロイヌノヒゲモドキ群落とホロムイスメンマイ群落は、データの収集期間が他と比べて短く、信頼性が劣るため、○書きとしている (Fig. 3)。

高層湿原群落での pH については、水位程の明瞭な勾配があるようには見えない (Fig. 5)。1986 年には、ヌマガヤイボミズゴケ群落での pH が他の群落より高い傾向があったが、1987 年にはこの傾向は無く、平均値で見ても全ての群落が 4.5 から 5.2 の狭い範囲に集約される (Fig. 3、5)。

高層湿原群落以外の群落間でも、泥炭水位に差が

見られる。キリガミネヒオウギアヤメ群落、ノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落は水位変動が非常に大きく、ヤマドリゼンマイ群落はノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落の変動の間にほぼ入っているため (Fig. 5)、高層湿原群落のように単に平均値だけで群落間の比較をして勾配を示唆することは出来ない。これらの群落間の泥炭水位の順位は水位が高い時期に一定で、ノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落、キリガミネヒオウギアヤメ群落の順に水位が高く、湛水状態となるのに対し、ヤマドリゼンマイ群落では -10 から -20cm 程度の低い水位となる。また、ヤマドリゼンマイ群落の中では、ハナゴケやホソバオゼヌマスゲの存在で特徴づけられる調査地

点 20 の方が、調査地点 19 よりも水位が高い (Fig. 4)。

泥炭水位に関しては、ノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落とキリガミネヒオウギアヤメ群落では、変動の範囲が被ってしまい差が分かりにくかったが、pH については、キリガミネヒオウギアヤメ群落の方が常に高い傾向が見られた (Fig. 4)。また、ヤマドリゼンマイ群落の中では、調査地点 19 の方が pH が高い傾向があり、8 月から 9 月にかけてはその差が 2 を超えるほど大きい時もあった (Fig. 4)。

5. 考察

5.1 高層湿原植生と他の植生の環境条件の違い

高層湿原群落、マント群落、中間湿原群落、低層湿原群落のそれぞれの立地の違いは、泥炭水位と pH の湿潤な時期と渇水期の様子を比較することで、より詳しく説明することが出来る。湿潤な時期の典型例として 1987 年 5 月 24 日、渇水期の例として同年 8 月 17 日を例として考察したい (Fig. 6)。湿潤な時期 (5 月 24 日) は、水位が高い方から低い方に向かって、マント群落 (ノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落) → 低層湿原群落 (キリガミネヒオウギアヤメ群落) → 高層湿原群落 (ブルテ・シュレンケ群落) 及び中間湿原群落 (ヤマドリゼンマイ群落) の勾配がある。pH に関しては、全ての群落で 4 から 5 の狭い範囲にあり、ここでは高層湿原群落と中間湿原群落の差が見られない。ところが、渇水期 (8 月 17 日) になると、中間湿原群落では、明らかに pH の値が高層湿原群落より大きくなることで、両者ははっきりと区別できる。また、渇水期 (8 月 17 日) には全ての群落において水位は下がるが、その水位差は、高層湿原群落やヤマドリゼンマイ群落ではおおよそ 5cm 前後とさほど大きくないが、低層湿原群落のキリガミネヒオウギアヤメ群落では 20cm、マント群落のノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落では 40cm 弱と非常に大きいという差も明瞭である。また、水位が低い時期に pH が高くなる傾向は、ヤマドリゼンマイ群落が一番強い。

ヤマドリゼンマイ群落は、湿原と草原の境からヌマガヤイボミズゴケ群集の隣まで、幅広い範囲で成立しており、これが、pH の幅広さと、低層湿原に比べて低い泥炭水位を説明すると考えられる。一方キリガミネヒオウギアヤメ群落は、鎌ヶ池流の

影響を常に受ける湿潤地で、水位が常に高く湿っている環境であることで、ヤマドリゼンマイ群落とは異なっている。

マント群落であるノリウツギーホソバオゼヌマスゲ群落は、pH、水位ともに、高層湿原のブルテとシュレンケ群落全てをカバーする範囲で変動している (Fig. 4、5)。つまり、pH が低い環境での大きな水位の変動に強い群落であるといえる。この群落は、鎌ヶ池流に沿って成立しており、降水や融雪による厳しい水位変化に適応した群落であることが分かる。

5.2 高層湿原 (ブルテ、シュレンケ) の群落分布と環境条件

pH が低いという高層湿原の環境の中で、泥炭水位が低い場所にブルテ植生、高い場所にシュレンケ植生が分布する (Fig. 6)。そして、個々の群落の分布は、泥炭水位の微妙な差に規定される。平均泥炭水位が最も高いミカヅキグサ群落とその次に高いイトミズゴケ群集を比べると、その平均水位の差は非常に小さい (Fig. 5)。しかしながら、この数 cm の微妙な差は、年間を通じて維持されており、これが群落の分布地を規定しているのではないかと考えられる (Fig. 3)。イトミズゴケ群集とハナゴケ群落の間でも、数 cm という差が年間を通じて維持されている (Fig. 3)。ブルテ植生でも、年間を通じたデータを得たヌマガヤイボミズゴケ群集とヌマガヤチャミズゴケ群集を比較すると、10cm 程度ヌマガヤチャミズゴケ群集の方が低いという差は、ほぼ年間を通じて維持されている (Fig. 3)。

平均水位で比較すると、クロイヌノヒゲモドキ群集とハナゴケ群落はほぼ同じに見えるが (Fig. 5)、これは、クロイヌノヒゲモドキ群集のデータ数が少ないことに起因すると思われる。Fig. 3 の泥炭水位のグラフを見ると、クロイヌノヒゲモドキ群集の水位データは 9 月から 11 月に限られているが、この間、ハナゴケ群落より水位は低い傾向にある。それ以外のクロイヌノヒゲモドキ群集では水位が計測されなかった期間は、ハナゴケ群落の水位が低い傾向にあったため、平均で比較すると、同じ値となるという事になったと推測される。ハナゴケ群落との水位の差が年間ほぼ維持されているとすると仮定すると、クロイヌノヒゲモドキ群集で、夏場に地表が非常に乾燥し、亀甲状に剥離する現象がみられるという観察の事実を説明することが出来る。そう考えると、シュレンケ植生では、泥炭水位の高い→低い

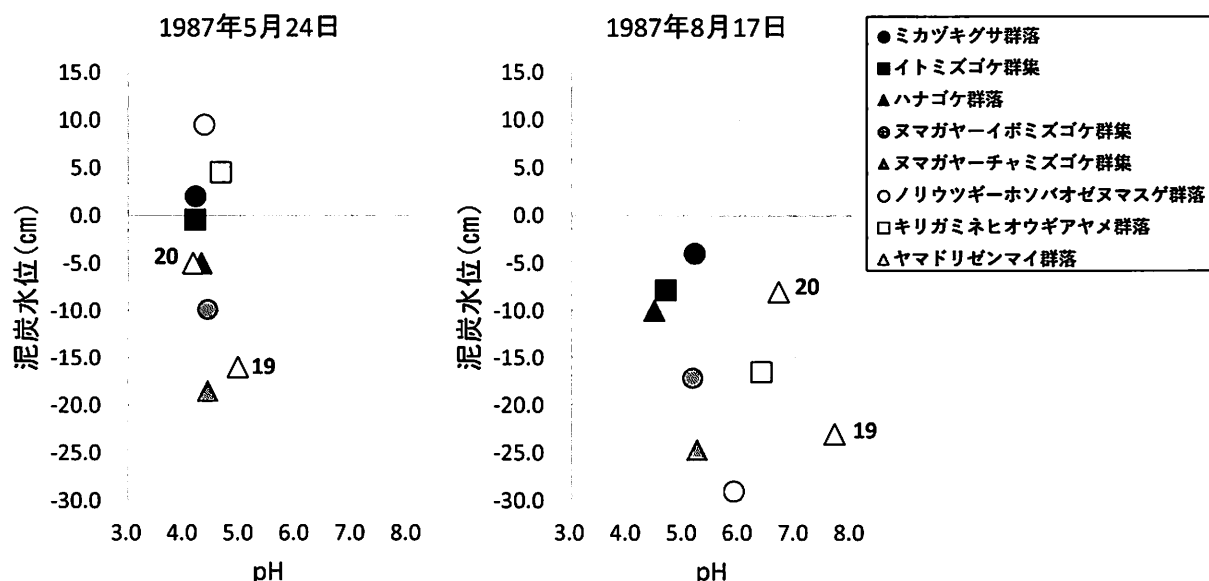


Fig. 6. 湿潤時（1987 年 5 月 24 日）と渇水時（1987 年 8 月 17 日）の各群落での泥炭水位と pH。
 図中の数字 19 と 20 は、ヤマドリゼンマイ群落での調査地点番号を示す。それ以外の群落は、複数の調査地点のデータの平均値。

Fig. 6. Peat water level and pH in each community in wet (May 24, 1987) and dry (August 17, 1987) conditions.
 The numbers 19 and 20 in the figure indicate the studied plot numbers in the *Osmunda cinnamomea* community. Means obtained from multiple plots are shown for the other communities.

勾配に対して、ミカヅキグサ群落→イトミズゴケ群落→ハナゴケ群落→クロイヌノヒゲモドキ群落の系列があると推測できる。

今回の研究では、各群落の成立環境の違いを泥炭水位と pH のような変動性のある要因で説明する際には、一時的な計測値のみで説明しようとしたり、例え継続的な測定をしてもそれを統計の平均値と変動にまとめてしまった数値で説明しようとする、と不十分な検討となってしまう恐れがあることが、幾つかの例で示された。計測期間が揃っていない場合はなおさらである。環境要因の変動に対して植物がどのように応答し、群落として成立しているのかは、慎重な考察が必要である。連続データから群落間の差を見出すための検討の手法として、永井ら（2012）が示したように、一定量以上の降雨イベントで区切る、など、植生分布に影響を与えるであろう要因をより効果的に抽出するような操作も有効かもしれない。

5.3 八島ヶ原湿原の高層湿原群落が成立する泥炭水位

八島ヶ原湿原の群落が成立している環境は、他の湿原の同質の群落と比べて普遍的なものなのだろうか。泥炭水の pH については、水サンプルの採取方法が異なると値が異なるため、過去の文献との比較が難しい（ボーリング直後の染み出し水、塩ビパ

イプの一定期間放置後の溜水、塩ビパイプの深さの違い）。そこでここでは泥炭水位について検討したい。宝月ら（1954）は尾瀬ヶ原の湿原植物について地下水位と生産量の関係を解析している。ヌマガヤについては、尾瀬ヶ原では最適水位が -8~-12cm 程度であるのに対し、本研究でヌマガヤの被度が最も高いホロムイスゲ→ヌマガヤ群落で平均値が -19cm と、多少低い傾向にあるものの、ミカヅキグサは尾瀬ヶ原で -3~-5cm に対し、八島ヶ原湿原のミカヅキグサ群落の平均値もほぼ -3cm、ヤマドリゼンマイは尾瀬ヶ原で約 -20cm に対して、八島ヶ原湿原のヤマドリゼンマイ群落は平均値 -16cm と、ほぼ近い値を示している。ミカヅキグサについては、カナダ、ブリティッシュコロンビア州北部の泥炭地に成立するミカヅキグサ群落でも、春から秋にかけて 2 年間週 1 回計測した泥炭水位の平均値が -2.9cm という記録があり（Asada 2002a）、本研究の結果と一致している。また、ミズゴケについては、八島ヶ原湿原と同様、Raised bog の形状を呈した、北海道の別寒辺牛湿原の高層湿原部で、5 月から 10 月まで泥炭水位を 10 回測定して種毎の生育地の平均値を算出した結果と比べると（浅田 1994）、別寒辺牛湿原のチャミズゴケで -29cm、イボミズゴケで -16cm に対し、八島ヶ原湿原のヌマガヤチャミズゴケ群落で -26cm、ヌマガヤイボミズゴケ群落の -16cm と、非常に近い値を示している。矢部ら

(2001)は北海道の歌才湿原において、イボミズゴケ生育地の水位平均値を-10.6cmとしており、これは本研究のヌマガヤーイボミズゴケ群集の-16cmよりは高いものの、最高水位-最低水位の幅で比較すると、歌才湿原で-3.2cmから-26.5cmに対し、八島ヶ原湿原で-9.1cmから-26.0cmと、歌才湿原での範囲内に収まっている。これらの結果は、湿原に生育する植物種の泥炭水位に対する分布の範囲は本質的には普遍的である、という仮説を裏付けるものと思われる。

5.4 泥炭水位・pHの勾配と高層湿原（ブルテ、シュレンケ）での群落の消長

霧ヶ峰湿原植生における遷移系列については、鈴木ら(1981)が、群落構成種の詳細な解析を中心に、地形、水量、水質、泥炭タイプ等の検討も加え、遷移系列を推定しており、本論文の結果もその説を支持している。泥炭水位・pHといった環境要因と、群落の成立は対応していることが推測されるが、その変遷のメカニズムは複雑であろう。環境の勾配の順序と、遷移の順序は、突然の攪乱や急激な環境変化などがあり得るため、必ずしも一致しないだろうし、泥炭水位やpHといった環境変化は外的に引き起こされるだけでなく、植生の変化に伴う微地形の変化や、植物そのものの物理性・化学性から内生的に引き起こされることもあり得る。さらに、遷移の方向は双方向があり得るため、これらを総合的に考察することが必要となる。

例えば、ハナゴケ群落の泥炭層を見ると、生きた植物直下の泥炭の下には、チャミズゴケ、イボミズゴケ、ムラサキミズゴケ等、ブルテを構成するミズゴケ種の堆積が確認されている。また、今回のDCAの結果では、種構成的はシュレンケ植生よりもブルテ植生に近い。これらの結果は、このハナゴケ群落はブルテ植生の退行群落である可能性を示唆する。つまり、再生複合体の繰り返しの中で、ブルテの隆起が増し、ブルテ上部の乾燥・酸化的分解が進んでブルテの成長が限界となった状況で、菌類との共生により藻類が守られることにより乾燥条件にも強いハナゴケが侵入、ブルテの分解を更に促すことで高さが減少し、相対的に水位が上がり、より湿ったシュレンケ植生の水位の系列に位置づけられたのではないか。

ホロムイスゲヌマガヤ群集も、発達したブルテからの退行した群落である可能性がある。種構成的にはヒメシャクナゲなど発達したブルテを特徴づけ

る種の名残が見られ、DCAでは同様に退行群落と思われるハナゴケ群落のごく近傍に配置されている。泥炭層からもほぼ未分解のチャミズゴケ、ムラサキミズゴケが判別でき、比較的近い過去に発達したブルテ植生であったことが分かる。しかしながら、環境の微妙なバランスによっては、一旦退行した群落が、シュレンケ植生まで退行せず、またブルテに戻る過程であるという可能性も否定はできない。

シュレンケからブルテの成長が始まるきっかけは何であろうか？鍵の一つにはミズゴケの存在が考えられる。ブルテからハナゴケ群落を経てシュレンケ植生に退行し、その時々水位の微妙な差によって様々なシュレンケ植生が一時的に成立する。ある時点でそれぞれの水位に応じたミズゴケが侵入する(胞子あるいは配偶体断片の発芽)。水位が高い立地であれば、侵入するミズゴケはイトミズゴケのような種であろう。ミズゴケは分解が遅く密度を増しながら縦方向に成長するため、相対的な水位が徐々に低くなる。すると、イボミズゴケなど水位が低い場所に適応したミズゴケに種が変遷していく。イボミズゴケが成長して更に相対的高度を増し、より水位が低い場所に適応したチャミズゴケが侵入する(イボミズゴケとチャミズゴケの本数を調べたところ、5cm×5cm当たり75本と265本であった。このチャミズゴケの高密度が毛管現象による水の吸い上げと保持に貢献している事が推察される)。つまり、典型的には、ミズゴケの侵入・成長と種の変遷(イトミズゴケ→イボミズゴケ→チャミズゴケ)→相対的水位低下→ブルテの盛り上がり→泥炭水位より上部の酸化層の厚み増加→微地形的極相到達(ヌマガヤーチャミズゴケ群集)→酸化的分解の促進+乾燥→ハナゴケの侵入→分解促進→相対的水位の上昇・湿潤化→シュレンケ植生の侵入→ミズゴケの侵入、という流れが推測される。そしてそこにその時々「様々な条件」が付加され、一方向的ではない、複雑な方向性を持って、再生複合体が維持されているのであろう。「様々な条件」には、遷移の方向が進行か退行による泥炭の分解度の違いに起因する栄養条件や基盤の緻密性の違い、胞子の発芽の確率的な差、動物・昆虫などによるミズゴケ断片の拡散、動物の糞による栄養分の供給と分解の促進、大型動物の踏みつけによる相対的泥炭水位上昇と基盤の緻密化、その時期の気象条件、など考えられる。分解に関しては、泥炭層を解析したところ、幾つかの群落において分解が進んだ層で線虫が活発に活動している様子が確認できたことは興味深い

Table 2. 八島ヶ原湿原の鬼が泉水、鎌ヶ池、八島ヶ池の p H の変遷。
Table 2. Historical changes in pH of the Onigasensui, Kamagaike, and Yashimagaike ponds in Yashimagahara Mire.

調査年	鬼が泉水	鎌ヶ池	八島ヶ池	出典
1929	-	-	5.28	信濃生物会（1967）
1931	-	-	5.5	
1933	4.7	4.2	5.1	
1937	4.6	4.5~5.2	4.5~5.3	
1939	-	4.2-4.8	5.0-5.2	
1947	4.7	5.2	5.2	
1948	5.2-5.7	5.2-5.6	-	
1949	3.8-4.2	4.2-4.4	4.2-4.4	
1957	5.0	5.0	5.0	
1980	5.1~5.5	5.5~6.3	4.3~5.3	鈴木ら（1981）
1986-1987	4.2-6.5、平均値 5.7（24 回測定）	4.3-6.0、平均値 5.3（19 回測定）	-	松田（未発表）

（松田・波田 2000）。高層湿原のドーム全体としては、Wickman（1951）が提唱するように泥炭地のサイズや降水量に制限されながら何千年という長い時間軸で成長するのであろうが、その表面ではそれよりずっと短いスパンで再生複合体の群落が生まれては消え、次の群落にバトンを渡していく。そしてその再生複合体の消長の長年の積み重ねが、泥炭地全体の成長に繋がる。しかし、この再生複合体の消長は、泥炭地の発達期と発達が限界を迎えた停滞期とでは、その群落構成や割合が異なることが想像できる。八島ヶ原湿原周辺部の池の p H を過去の文献から比較すると、鬼が泉池では酸性度が弱まりつつあるようも見える（Table 2）。これは泥炭地の発達が終盤を迎えて泥炭の生成と分解のバランスが変わってきていることを示唆するのか、それとも地球の温暖化や湿原周囲への入り込み等人為の影響によるのか。ドーム上、特に西ドームには多くの亀裂が見られるという事実は、Wickman の言うところの成長の限界を既に迎えているという証拠なのか。今後の八島ヶ原湿原では、どのような群落の消長が見られるのだろうか、興味は尽きない。泥炭地は生きている。

引用文献

浅田太郎（1994）湿原における植物の分布に関する研究．北海道大学大学院農学研究科，修士課程論文．

Asada T (2002a) Ecological characteristics of production and decomposition in a hypermaritime peatland-forest complex near Prince Rupert, British Columbia. PhD thesis, University of Waterloo, Waterloo, Canada.
Asada T (2002b) Vegetation gradients in relation to temporal fluctuation of environmental factors in Bekanbeushi peatland, Hokkaido, Japan. Ecological Research, 17, 505-18.
Gimingham CH (1984) Some mire systems in Japan. Transactions and Proceedings Botanical Society of Edinburgh, 44, 169-176.
Glaser PH, Janssens JA, and Siegel DI (1990) The Response of Vegetation to Chemical and Hydrological Gradients in the Lost River Peatland, Northern Minnesota. Journal of Ecology, 78, 1021-1048.
本田正次・飛田廣（1941）霧ヶ峰の植物．296pp, 厚生閣．
細田浩・田口信（2009）長野県霧ヶ峰八島ヶ原湿原周辺の気候学的特性．法政地理, 41, 3-20.
宝月欣二・市村俊英・堀正一・大島康行・笠永博美・小野和・高田和男（1954）尾瀬ヶ原湿原の植物生態学的研究．尾瀬ヶ原総合学術調査団研究報告, 313-400.
霧ヶ峰湿原植物群落調査研究委員会（1998）霧ヶ峰湿原植物群落調査研究報告書．223pp, 諏訪市教育委員会．

- 河野齡蔵 (1934) 霧ヶ峰高層湿原. 史跡名勝天然記念物調査報告 (長野県), 15, 108-120.
- 松田行雄 (1979) 長野県の湿原植生, 長野県の現存植生—長野県土の環境保全、環境創造の将来計画に対する植物社会学的、生態学的提案一別冊.
- 松田行雄 (1984) 八島ヶ原湿原. 霧ヶ峰研究, 3, 2-9.
- 松田行雄 (2002) ミズゴケ類の分布と湿原植生. 植物地理・分類研究, 50, 1-13.
- 松田行雄 (2012) ミズゴケ類の国内分布—長野県産ミズゴケ類の分布から. 73pp, 株式会社プラルト (印刷), 松本.
- 松田行雄 (2017) ミズゴケ類 Sphagnaceae の絶滅危惧種の指定について. 長野県植物研究会誌, 50, 101-112.
- 松田行雄 (2020/ 未発表) 八島湿原ドームと周辺群落を支える泥炭水. 湿原研究Ⅱ
- 松田行雄・波田善夫 (2000) 湿原の発達と群落の消長 2—泥炭解析による群落遷移と定置枠内の群落変化. 長野県植物研究会誌, 33, 1-16.
- 松田行雄・波田善夫・竹中則夫 (1986) ヌマガヤ—チャミズゴケ群集について. 植物地理・分類研究, 34, 95-103.
- 松田行雄・田中茂 (1999) 湿原の発達と群落の消長—霧ヶ峰八島ヶ原湿原 36 年間の動態. 長野県植物研究会誌, 32, 1-19.
- 宮脇昭・藤原一絵 (1970) 尾瀬ヶ原の植生. 国立公園協会.
- 永井 雄基・矢部 和夫・矢崎 友嗣 (2012) 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. 札幌市立大学研究論文集, 6, 71-79.
- 中野治房 (1919) 八島湿原の植物生態. 史跡名勝天然記念物, 3(9).
- 信濃生物会 (代表山崎林治) (1967) 信濃の自然シリーズ 3 霧ヶ峰. 44-47.
- 鈴木兵二 (1977) 霧ヶ峰湿原植生の今昔. 長野県植物研究会誌, 10, 30-35.
- 鈴木兵二 (1978) 所産ミズゴケ類 2 種以上の湿地湿原目録. 吉岡邦二博士追悼生態論集, 東北植物生体談話会, 仙台.
- 鈴木兵二・松田行雄 (1962) 諏訪地方のミズゴケ相と湿原の比較. 植物分類地理, 20, 228-233.
- 鈴木兵二・矢野悟道・松田行雄・波田善夫・中川重年・坂東忠司・竹中則夫 (1981) 霧ヶ峰の植物、第一部 霧ヶ峰の植生. 246p, 諏訪市教育委員会.
- 田中茂 (2020/ 準備中) 霧ヶ峰八島ヶ原湿原における霧の大きな役割—降水量・湿度とミズゴケの重量変化 2015~2017, (投稿準備中).
- 田中茂・松田貴子・藤森祥平 (2016) 霧ヶ峰八島ヶ原湿原 49 年間の動態—2. 定置枠調査から見えてくるもの. 長野県植物研究会誌, 49, 9-15.
- ter Braak CJF and Smilauer P (1998) CANOCO reference manual and user's guide to CANOCO for Windows: software for canonical community ordination (version 4). Microcomputer Power, Ithaca, N.Y.
- Wickman FE (1951) The maximum height of raised bog and a note on the motion of water in soligenous mires. Geol. Förhandl, 73, 413-422.
- 矢部和夫 (1989) 低地湿原の比較生態学的研究: 暖温帯と冷温帯低地湿原の比較. 北海道大学大学院環境科学研究科邦文紀要, 4, 1-49.
- 矢部和夫・中村隆俊・河内邦夫 (2001) 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. ランドスケープ研究, 64, 549-552.
- 矢野悟道・布施みち子・鬼頭英子 (1971) 霧ヶ峰の植物. 60pp, 諏訪市教育委員会.

Appendix 1. 八島ヶ原湿原の調査地点の泥炭水位と pH 測定データ。

Appendix 1. Peat water level and pH at the studied plots in Yashimagahara Mire.

泥炭水位 (cm)		調査地 点番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	
群落名		クロイ スノヒゲ モドキ 群集	ハナゴ ケ群集	ミカツ ギグサ 群集	イトミズゴケ群集			ノリウツ ギ・ホン バオゼ ヌマス ゴ群集	ヌマガヤ・イトミズゴケ群集				ヌマガヤ・チャミズゴケ群集				ホロム イスゲ ヌマガ ヤ群集	キリガミ ネヒオ ウギヤ ヤ群集	ヤマドリゼンマイ 群集	鎌ヶ池 流の状 態と水 深			
1966年	7月20日 ●小雨	—	-6.0	—	—	0.0	—	—	—	-14.0	—	-12.0	—	—	—	-13.0	-22.0	—	—	—	—	—	
	8月15日 晴	—	-20.5	—	—	-15.5	-23.0	—	-22.0	-27.0	—	-13.0	-32.0	—	—	-17.5	-34.0	—	—	—	—	—	
	8月31日 晴	—	-17.0	—	—	-12.5	-18.0	—	-23.0	-22.0	—	-13.0	-30.0	—	—	-16.0	-32.0	—	—	—	—	—	
	9月14日 ▼晴	—	-8.0	—	—	-3.5	-6.5	—	-13.0	-13.5	—	-13.0	-14.0	—	—	-14.0	-21.5	—	—	—	—	—	
	10月9日 ▼-	—	-4.0	—	—	-1.0	-2.5	—	-12.0	-14.0	—	-11.0	-21.5	—	—	-12.0	-20.0	—	—	—	—	—	
	10月18日 -	—	-12.0	—	—	-8.0	-9.0	—	-15.0	-23.0	—	-17.0	-24.0	—	—	-16.0	-27.0	—	—	—	—	—	
	11月2日 -	—	-8.0	—	—	-4.0	-5.5	—	-13.0	-16.0	—	-20.0	-22.0	—	—	-17.0	-23.5	—	—	—	—	水無	
	11月23日 -	—	-14.0	-8.0	—	-11.0	-12.5	-40.0	-8.5	-29.5	—	-17.5	-28.5	—	—	-16.5	-29.0	—	—	-20.0	-18.0	水無	
	12月21日 -	—	氷	氷	—	氷	氷	-40.0	氷	-11.4	—	-14.0	-21.3	—	—	-12.0	-21.0	—	—	-19.5	-11.0	水無	
	3月1日 吹雪	—	積雪	積雪	—	積雪	積雪	積雪	積雪	積雪	—	積雪	積雪	—	積雪	積雪	—	—	積雪	積雪	氷	—	—
4月5日 快晴	—	氷	-0.5	—	-1.0	-3.5	3.0	氷	-13.0	—	氷	-20.5	—	氷	氷	—	—	氷	氷	氷	—	—	
1967年	5月5日 晴	—	-18.0	-11.8	-15.0	-13.0	-15.0	—	-14.5	-34.0	—	-17.5	-28.0	—	—	-17.5	-31.0	—	—	-23.0	-15.0	満水	—
	5月24日 ▼●雨	—	-5.0	2.0	—	1.0	-2.0	9.5	-2.0	-12.0	-16.5	-9.0	-18.5	-28.5	-8.5	-18.5	—	4.5	-16.0	-5.0	満水	—	
	6月8日 晴	—	-27.0	-20.0	-23.0	-23.0	-22.0	-29.5	-25.0	-27.5	-23.0	-15.0	-34.5	-37.5	-19.0	-40.0	—	-18.0	-23.0	-16.0	6cm	—	
	6月27日 晴	—	-17.5	-9.0	-13.5	-12.0	-17.0	-3.5	-17.0	-20.5	-22.5	-14.0	-29.5	-36.0	-15.0	-33.0	—	-7.0	-22.0	-14.0	満水	—	
	7月12日 ▼●霧雨	—	-6.0	-1.5	-2.0	-0.5	-4.5	3.0	-11.0	-14.0	-17.5	-13.0	-23.0	-28.5	-13.0	-22.5	—	-1.0	-18.5	-11.0	満水	—	
	7月26日 ▼快晴	—	-5.5	1~2	-2.5	0~1	-3.0	5.0	-6.5	-13.5	-17.0	-12.0	-21.5	-29.0	-11.0	-21.5	—	3~4	-17.5	-7.5	満水	—	
	8月10日 晴	—	-13.0	-7.0	-10.5	-8.5	-5.0	-5.0	-14.5	-22.5	-25.0	-13.0	-29.0	-34.0	-18.0	-28.0	—	0.0	-20.0	-12.0	満水	—	
	8月17日 ●朝雨	—	-10.0	-4.0	-9.0	-4.5	-10.0	-29.0	-13.0	-18.0	-20.0	-17.5	-27.0	-29.0	-18.5	-24.0	—	-16.5	-23.0	-8.0	13cm	—	
	8月23日 曇	—	-4.0	3.0	0.0	2.0	0.0	4.0	-5.5	-13.0	-14.0	-13.0	-19.0	-23.5	-13.5	-21.5	—	2.0	-15.0	-6.0	30cm	—	
	9月12日 霧*	—	-7.0	1.1	-2.5	0.0	-3.0	2.0	-8.0	-21.0	-18.0	-14.0	-21.5	-26.0	-14.0	-22.5	—	—	-19.0	-12.0	1cm	—	
	9月13日 ▼*霧	-12.5	-7.0	1.1	-1.5	0.5	-9.5	2.0	-9.5	-19.5	-18.0	-15.5	-25.5	-26.0	-15.0	-22.5	-27.0	—	-18.0	-11.0	28cm	—	
	9月21日 晴	-18.0	-12.0	-6.0	-10.0	-7.5	-1.5	-20.0	-19.5	-19.0	-22.0	-15.5	-30.0	-30.5	-19.0	-28.0	-26.0	—	-24.0	-14.5	14cm	—	
	9月27日 晴	-5.5	-6.0	0~1	-3.0	0~1	-4.0	1.0	-10.0	-18.0	-18.0	-14.5	-24.5	-25.0	-15.5	-23.0	-15.5	—	-19.0	-10.0	28cm	—	
10月7日 快晴	-15.3	-9.0	0.0	-6.5	-5.5	-8.0	-29.0	-17.0	-25.5	-22.0	-17.5	-22.5	-28.5	-18.0	-26.0	-22.0	—	-22.5	-14.0	16cm	—		
10月18日 快晴	-5.3	-6.0	1~2	-2.0	0~1	-3.0	-22.0	-9.0	-19.0	-18.0	-15.0	-24.0	-26.0	-18.0	-22.0	-13.5	—	-18.5	-10.5	16cm	—		
11月3日 ▼●小雨	-10.0	-3.0	2.0	-0.5	1.0	-1~0	-1.5	-11.5	-19.0	-15.0	-15.5	-23.5	-24.0	-15.5	-21.0	-10.5	-10.0	-16.5	-9.0	21cm	—		
11月23日 晴	—	-11.0	-5.0	—	-7.5	-10.0	-63.0	-19.0	-30.0	-22.5	-17.0	-28.5	-32.5	-20.0	-30.0	—	—	-30.0	-18.0	—	—	—	
測定回数		6	25	19	15	26	25	19	24	27	16	26	26	16	26	26	6	9	19	19	—	—	
平均値		-11.1	-10.3	-3.2	-6.8	-5.1	-7.9	-13.4	-13.3	-19.6	-19.3	-14.6	-24.8	-29.0	-15.5	-25.6	-19.1	-4.7	-20.3	-11.7	—	—	
最大値		-5.3	-3.0	3.0	0.0	2.0	0.0	9.5	-2.0	-11.4	-14.0	-9.0	-14.0	-23.5	-8.5	-18.5	-10.5	4.5	-15.0	-5.0	—	—	
最小値		-18.0	-27.0	-20.0	-23.0	-23.0	-23.0	-63.0	-25.0	-34.0	-25.0	-20.0	-34.5	-37.5	-20.0	-40.0	-27.0	-18.0	-30.0	-18.0	—	—	
標準偏差		5.2	6.0	6.0	6.6	6.4	6.6	20.4	5.7	6.2	3.2	2.5	4.7	4.2	2.8	5.3	6.9	8.5	3.5	3.7	—	—	
幅		12.7	24.0	23.0	23.0	25.0	23.0	72.5	23.0	22.6	11.0	11.0	20.5	14.0	11.5	21.5	16.5	22.5	15.0	13.0	—	—	

pH	調査地点 番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒
		クロイ スノヒゲ モドキ 群集	ハナゴ ケ群集	ミカツ ギグサ 群集	イトミズゴケ群集			ノリウツ ギ・ホン バオゼ ヌマス ゴ群集	ヌマガヤ・イトミズゴケ群集			ヌマガヤ・チャミズゴケ群集			ホロム イスゲ ヌマガ ヤ群集	キリガミ ネヒオ ウギヤ ヤ群集	ヤマドリゼンマイ 群集	鬼ヶ泉 池	鎌ヶ池 流出口			
1986年	7月20日 ●小雨	—	4.70	—	—	3.80	—	—	—	—	—	5.40	—	—	4.90	4.50	—	—	—	—	6.30	—
	8月15日 晴	—	4.80	—	—	4.98	5.10	—	5.90	5.56	—	5.29	5.02	—	4.90	5.50	—	—	—	—	—	—
	8月31日 晴	—	4.95	—	—	4.75	4.95	—	5.50	5.35	—	5.40	4.95	—	4.55	5.45	—	—	—	—	6.55	—
	9月14日 ▼晴	—	4.75	—	—	4.65	4.80	—	5.40	4.75	—	5.35	4.75	—	4.70	4.80	—	—	—	—	5.99	5.45
	10月9日 ▼-	—	3.50	—	—	3.70	3.75	—	3.85	4.45	—	3.95	4.30	—	3.90	4.50	—	—	—	—	4.25	4.30
	10月18日 -	—	5.00	—	—	4.90	5.00	—	4.85	5.00	—	5.40	4.95	—	5.10	5.55	—	—	—	—	6.45	5.50
	11月2日 -	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	11月23日 -	—	4.70	4.90	—	4.80	4.80	4.40	4.70	4.80	—	5.20	—	—	4.70	5.20	—	—	—	4.40	5.50	—
	12月21日 -	—	氷	氷	—	氷	氷	4.40	氷	4.30	—	4.50	4.70	—	4.10	4.80	—	—	4.50	4.40	4.80	—
	3月1日 吹雪	—	積雪	積雪	—	積雪	積雪	積雪	積雪	積雪	—	積雪	積雪	—	積雪	積雪	—	—	積雪	積雪	氷	氷
1987年	4月5日 快晴	—	氷	4.25	—	4.45	4.65	4.50	氷	4.70	—	氷	4.90	—	氷	氷	—	—	氷	氷	5.70	5.40
	5月5日 晴	—	4.25	4.90	4.10	4.05	4.45	—	4.65	4.65	—	4.65	4.95	—	4.25	5.35	—	—	—	4.15	5.15	4.50
	5月24日 ▼●雨	—	4.30	4.20	—	4.20	4.20	4.35	4.40	4.10	4.40	4.75	4.25	4.50	4.55	4.35	—	4.65	4.95	4.15	—	4.50
	6月8日 晴	—	4.35	5.00	4.35	4.35	4.80	4.55	4.65	4.50	—	5.15	4.85	—	4.75	4.70	—	5.80	—	6.40	5.60	6.05
	6月27日 晴	—	4.75	5.50	4.60	4.60	4.60	4.50	4.50	4.30	4.40	4.75	4.80	—	4.30	4.60	—	5.20	5.50	5.80	5.30	5.05
	7月12日 ▼●霧雨	—	4.30	4.50	4.50	4.50	4.80	4.44	4.65	4.50	4.70	4.70	4.80	4.75	4.45	4.30	—	5.40	6.25	5.30	5.80	5.70
	7月26日 ▼快晴	—	4.70	4.30	4.70	4.50	4.70	4.70	4.75	4.70	4.80	4.80	5.30	4.50	4.60	4.70	—	5.30	5.95	6.35	5.20	5.80
	8月10日 晴	—	4.40	4.40	5.20	4.40	4.85	4.80	5.50	4.70	4.80	5.70	5.70	5.10	4.60	4.60	—	5.70	7.50	6.50	6.20	5.70
	8月17日 ●朝雨	—	4.48	5.20	4.85	4.50	4.70	5.90	5.20	5.00	5.10	5.35	5.65	6.00	4.60	4.70	—	6.40	7.70	6.70	5.90	6.40
	8月23日 曇	—	4.60	4.60	4.60	4.50	4.70	4.60	4.65	4.60	4.70	5.40	4.90	4.70	4.60	4.60	—	5.20	7.00	4.90	5.90	5.20
	9月12日 霧*	—	4.70	4.40	4.50	4.70	5.00	4.40	4.50	4.50	4.70	5.60	4.80	4.90	4.80	5.00	—	—	7.40	4.80	5.60	—
	9月13日 ▼*霧	5.00	4.60	4.60	4.60	4.50	4.90	4.50	4.80	4.60	4.95	5.05	4.80	5.40	4.50	4.80	4.70	—	7.00	4.60	5.50	4.80
	9月21日 晴	5.00	4.60	4.90	4.70	4.50	4.70	5.50	5.00	5.10	5.00	5.20	5.30	5.90	4.70	5.00	4.90	—	7.20	7.20	5.80	5.40
	9月27日 晴	5.30	4.70	4.70	4.60	4.80	4.70	4.40	4.40	4.50	4.60	4.60	5.30	5.10	4.30	4.90	5.20	—	6.70	5.40	4.90	4.70
	10月7日 快晴	5.20	4.90	5.40	5.40	4.90	5.10	6.30	4.90	5.10	5.50	5.50	6.40	5.80	4.80	5.30	5.10	—	7.30	7.20	5.90	5.50
10月18日 快晴	5.20	4.75	4.50	4.80	4.70	4.90	5.30	4.80	5.40	5.00	5.50	6.15	5.60	4.90	5.00	4.90	—	6.30	7.20	5.50	5.40	
11月3日 ▼●小雨	5.15	4.80	5.00	5.00	4.90	5.00	5.10	4.90	5.40	4.80	5.80	6.00	5.30	5.00	5.00	4.90	5.40	6.80	6.10	6.30	5.60	
11月23日 晴	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.90	—
測定回数	6	23	18	15	24	23	18	22	24	14	24	23	13	24	24	—	6	9	15	18	24	19
平均値	5.14	4.59	4.74	4.70	4.53	4.75	4.81	4.84	4.77	4.82	5.12	5.11	5.20	4.61	4.88	4.95	5.45	6.54	5.64	5.71	5.31	—
最大値	5.30	5.00	5.50	5.40	4.98	5.10	6.30	5.90	5.56	5.50	5.80	6.40	6.00	5.10	5.55	5.20	6.40	7.70	7.20	6.90	6.40	—
最小値	5.00	3.50	4.20	4.10	3.70	3.75	4.35	3.85	4.10	4.40	3.95	4.25	4.50	3.90	4.30	4.70	4.65	4.50	4.15	4.25	4.30	—
標準偏差	0.12	0.32	0.39	0.32	0.33	0.30	0.58	0.45	0.39	0.29	0.45	0.55	0.52	0.29	0.36	0.18	0.48	0.96	1.10	0.60	0.55	—
幅	0.30	1.50	1.30	1.30	1.28	1.35	1.95	2.05	1.46	1.10	1.85	2.15	1.50	1.20	1.25	0.50	1.75	3.20	3.05	2.65	2.10	—