



Title	尾瀬ヶ原の池澮における大型水生植物の分布と長期変化
Author(s)	野原, 精一; Nohara, Seiichi; 藤原, 英史 他
Description	電子資料追加
Citation	低温科学, 80, 309-327
Issue Date	2022-03-31
DOI	https://doi.org/10.14943/lowtemsci.80.309
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/84984
Type	departmental bulletin paper
File Information	20_p309-327_LT80.pdf, 本文



尾瀬ヶ原の池澮における 大型水生植物の分布と長期変化

野原 精一¹⁾, 藤原 英史²⁾, 安類 智仁³⁾

2021年12月21日受付, 2022年2月10日受理

本州最大の泥炭地・山岳湿原である尾瀬ヶ原における池澮1,639箇所にて詳細に地形と大型水生植物の有無の把握を2017～2019年に行った。現地調査の結果, 1998年の池澮リストと比べて池澮が80箇所(4.9%)消失し, 浅い池澮において渇水のため水が減って乾いたことが主な要因と考えられた。前回1998年の調査と比較して大型水生植物の割合は, 上田代ではヒツジグサは増加, オゼコウホネは減少し, 中田代ではヒツジグサは増加し, オゼコウホネはやや増加した。上田代はヒツジグサ, 背中アブリ田代はミツガシワとオゼコウホネ, 西中田代と中田代や泉水田代はヒツジグサとミツガシワが特徴的に多く分布していた。田代によってヒツジグサとオゼコウホネは増減が異なりその原因の一つは気候変動による洪水の多少が関係していると考えられた。

Long term limnological studies of aquatic vascular plants in bog pool of Ozegahara mire ecosystems

Seiichi Nohara¹, Eiji Fujiwara², Tomohito Anrui³

Ozegahara mire is the largest peatland (7.6 km²) and located on the amphitheater-shaped basin surrounded by high mountains of 2,000 m in Japan. We conclude that vegetation surveys using UAV are possible and are capable of a highly precise community division in places where field reconnaissance is difficult. The eighty (4.9%) of 1,639 of the bog pools in Ozegahara mire from 2017-2019 were disappear compared with the pool list of surveys in 1998. The reason of degreased phenomenon was expected because of the drought at dry year and the shallow depth of bog pools. *Nymphaea tetragona* was increased at Kamitashiro area, *Nuphar pumila* var. *ozeensis* was decreased at Kamitashiro area compared with the vegetation in 1998. *Nymphaea tetragona* was small increased at Nakatashiro area, *Nuphar pumila* var. *ozeensis* was increased at Nakatashiro area at the same time. Kamitashiro area was characteristic of dominant species of *Nymphaea tetragona*. Senakaaburitashiro area was characteristic of dominant species of *Menyanthes trifoliata* and *Nuphar pumila* var. *ozeensis*. Nishinakatashiro, Nakatashiro and Sensuitashiro area was characteristic of dominant species of *Menyanthes trifoliata* and *Nymphaea tetragona*.

キーワード：大型水生植物, 尾瀬ヶ原湿原, 環境変化, 池澮
aquatic vascular plants, bog pools, environmental change, Ozegahara mire

責任著者

野原 精一

連絡先

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

国立環境研究所

e-mail: snohara@nies.go.jp

1) 国立環境研究所

2) (株)ドキュメンタリーチャンネル

3) NPO 法人 片品・山と森の学校

1 National Institute for Environmental Studies, Onogawa
16-2, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

2 Documentary channel, Tsurugaoka 851-1,
Tsurugashima, Saitama 350-2204, JAPAN

3 NPO Katashina mountain and forest school, Katashina
9-1, Gunma 378-0413, JAPAN

1. はじめに

尾瀬国立公園は、我が国を代表する典型的な山地湿原・山岳湿地で本州最大の面積を有する尾瀬ヶ原 (849 ha) と、火山堰止湖である尾瀬沼 (180 ha) を中心に、大江湿原、アヤマ平等の成因及び規模の異なる湿原を、燧ヶ岳 (2,356 m) や至仏山 (2,228 m) 等の 2,000 m 級の山々を取り囲み、盆地地形を形成している (環境省, 2021)。また、尾瀬沼及び尾瀬ヶ原一帯を源とした只見川は、平滑ノ滝、三条ノ滝等の瀑布景観を形成している。尾瀬ヶ原は湖から発達した泥炭湿原ではなく河川の後背湿地から発達した泥炭湿原である (阪口, 1974, 1982)。尾瀬ヶ原は「生きている泥炭地」で (阪口, 1989)、尾瀬ヶ原の形成過程としてはブランケット型の本州最大の高層湿原 (高位泥炭地) である (阪口, 1982; Sakaguchi, 2005)。尾瀬ヶ原には約 1,800 の池澮が分布し、識別番号が付され水生植物の分布や水質調査など池澮を定点とした継続的な研究がされている (金井, 1998a, b)。

尾瀬ヶ原には高層湿原から低層湿原まで多様な湿原植物群落形成され、北海道と共通の群落も含め、本州の冷温帯域の山地湿原群落のみられる (宮脇, 藤原, 1970; 橋, 2005)。もっとも大きな面積は中間湿原 (優占種: ヌマガヤ, ホロムイヌゲ) である (吉川ほか, 2021)。湿原の中央部には池澮の周囲などを中心に高層湿原 (優占種: ミズゴケ属) が発達し、沢が流入する場所では、ヨシの低層湿原が広がり、湿原内の細流沿いには流水辺の植物群落 (ミズバショウ) が発達する。河川沿いの自然堤防上には拋水林・河畔林 (ハルニレ, ヤチダモ, カラマツ) が形成されている。吉川ほか (2021) は、代表的な群集・群落について植生調査を行い、1960 年代に得られた同一の群集・群落の調査資料と種組成や生活形組成を比較した。種組成の差異は、高層湿原や中間湿原の群落よりも、低層湿原 (クロバナロウゲ・ホソバオゼヌマスゲ群集, ミズバショウ・リュウキンカ群集, ノダケ・ゴマナ群落) や林縁低木林および河畔林の群落 (ノリウツギ・ウワミズザクラ群落, ハルニレ群集) で大きく、種組成の違いが大きかった群落は、大型の直立広葉草本を多く含む群落であった。群落間の種組成の類似度は、中間湿原と低層湿原の相互の群落間で 1960 年代よりも大きくなり、群落間の種組成が均質化する傾向が認められた。尾瀬ヶ原においてはとくに低層湿原と湿原周縁部の低木林や河畔林にシカの影響が強く表れていると述べている。

第 4 次尾瀬総合学術調査においては、リモートセンシング技術を活用した植生図作成 (平山ほか, 2018) も

試みられた。1 年間の衛星画像を用いて多量のグランドトゥールズを用いた機械学習により解析し、湿原生態系の特徴を表す分類クラスとして湿原低木, 湿原草地, 低木・草地の 3 クラスに分類できた。最近では、植生図のための更に効果的な図作成法や正確さの向上は重要な技術的なテーマになっており、UAV (無人飛行機) は特に原発事故など大災害の情報収集 (Kaneko and Nohara, 2014) に効果を発揮し、森林や農業分野でのリモートセンシングや川や堤防のモニタリング, 地盤調査や詳細な相観植生調査に有効である (Suzuki, et al., 2012; Salami, et al., 2014; Dunford et al., 2013; Nex and Remondino, 2013)。また、第 4 次尾瀬総合学術調査では、尾瀬ヶ原における UAV を用いた尾瀬ヶ原全体の植生図を作成している (鈴木ほか, 2022)。尾瀬ヶ原に近い平ヶ岳頂上部湿原では、1971 年からの 33 年間で湿原面積は 10% 縮小し、ハイマツが湿原へ先駆的に侵入し変化のきっかけとなり湿原面積の変化にはチシマザサが大きく寄与していた。その植生の変化は湿原の積雪量が減少したことが原因であると考えられた (安田ほか, 2007)。尾瀬ヶ原でも池澮の現地調査とドローン画像から池澮の開水面が広がってきた (福原ほか, 2021)。このような長期にわたる詳細な航空写真の解析で湿原の極わずかな変化もドローンによる画像解析が有効であった。

第 1 次尾瀬ヶ原総合学術調査は昭和 25 ~ 27 (1950 ~ 1952) 年度に行われ、その研究報告は「尾瀬ヶ原」841pp. (尾瀬ヶ原総合学術調査団編, 1954) として出版された。昭和 52 ~ 54 (1977 ~ 1979) 年度にわたって文部省科学研究費による第 2 回目の尾瀬ヶ原およびその周辺地域の総合的調査研究が行われた。原 (1980a) は、昭和 25 ~ 27 年 (1950 ~ 1952 年) の尾瀬ヶ原総合学術調査研究に参加してから 25 年ぶりに尾瀬ヶ原を調査して、一番驚いた変化は、オゼコウホネとヒツジグサと一緒に生えている池が数多く見られたことであると記している。昭和 41 ~ 43 年 (1966 ~ 1968 年) に調査した宮脇, 藤原 (1970) でも同じように報告されている。第 3 次尾瀬総合学術調査で金井 (1998a, b) は、尾瀬ヶ原でおこる出来事を確実に記録し、世代を超えて引き継ぐために、池澮地図を改定し、これに基づいてヒツジグサ, オゼコウホネ, フトヒルムシロ, ジュンサイ, ミツガシワの存否を調査し、第 2 次調査結果 (1982) と比較したところ、上田代におけるヒツジグサの進出とオゼコウホネの消失が著しいことがわかった。

そこで、第 4 次尾瀬総合学術調査でも第 3 次調査と同様に尾瀬ヶ原湿原の約 1,800 箇所の現地調査を実施して、池澮の大型水生植物の長期的変化を明らかにすることを

目的に研究を実施した。なかでも様々な分野で実績のある UAV を最大に活用してより詳細な地形図や、第 4 次の池溏リストを作成し尾瀬ヶ原の池溏の植生解析を行った。更に水質・水深などの調査項目を新たに増やして植生と水環境の関連を解析した。

2. 方法

2.1 調査地点

北東にそびえる尾瀬最高峰の燧ヶ岳は円錐形の成層火山である。岩屑なだれの発生により南東麓の尾瀬沼が形成され、16 世紀に洪水の記録の残る水蒸気噴火があり、この直前に山頂部の御池岳溶岩ドームが形成された（気象庁, 2021）。古生代の蛇紋岩からなる至仏山、西南面に古生代の海成層泥岩の八海山がある。これらの尾根に囲まれた地域に降った水は、大白沢山から新生代の地すべり堆積物のカッパ山地域から流れてきた猫又川が川上川と上田代で合流し、さらに上ノ大堀川と合流しヨッピー川となる。さらに尾瀬沼から流れてきた沼尻川と合流し只見川となる。その水は平滑滝、三条ノ滝を経て尾瀬地域から日本海に流れる（図 1）。尾瀬ヶ原には周囲の山から流れ出した河川が平坦な湿原に入ると蛇行して、拋水林・湿地林を作る。北から猫又川が流れ、西から川上川が猫又川に流入し、南の上ノ大堀川がヨッピー川に流入する。大雨による河川の氾濫により、尾瀬ヶ原の特定地域が冠水し、池溏生態系の水質等にも大きな影響を与えていた（野原ほか, 2022）。

尾瀬景観を把握するため第 3 次調査では 1996 年 6 月

にセスナ機を使って至仏山上空から 645 フィルムカメラで撮影し、同時に高度 2,500 m から尾瀬ヶ原の垂直航空写真を撮影しフィルムをスキャンして画像デジタル化した（図 2）調査研究に用いた。

2.2 現地調査

河川流路、自然堤防、池溏地形、融雪期積雪深等のデータを収集するため、第 4 次調査では UAV（ドローン）を活用した。撮影は 2014 年 4 月、6 月、2017 年 6 月、2018 年 8 月、2019 年 8 月、2020 年 8 月、2021 年 5 月、6 月、7 月、8 月、9 月、10 月に実施した。主に UAV（Phantom 4 Pro V2.0, DJI JAPAN 社）を活用して尾瀬ヶ原全域で高度約 150 m から 4K 画像（4096 × 2160 ピクセル）を 60 % オーバーラップでドローン航空写真を撮影した（2019 年 8 月中旬）。航空写真のデジタル画像の写真測量処理と 3D 空間データ生成は Photo Scan（Agisoft 社, Russia）を用いた。

国土地理院 1/25,000 地形図にドローン合成画像（2017 年 6 月撮影）を重ね最新の尾瀬ヶ原の地形図を作成した。2020 年 7 月にドローンによって高度 150 m から画像を撮り猫又川拋水林と上田代の状態を把握した。

尾瀬ヶ原の池溏約 1,800 箇所（金井, 1998a, b）のうち上田代・中田代・下田代の 1,639 箇所を選び池溏生態系の物理化学環境の測定やメジャーで水深の測定を行った。電気伝導度、pH はポータブル水質計（WM-22EP, 東亜 DKK）で池溏水を後日に実験室で測定した。現地で中央部の水深、水温、電気伝導度は CTD 計測器（Cast Away, YSI ナノテック社, USA）でも測定した。上田

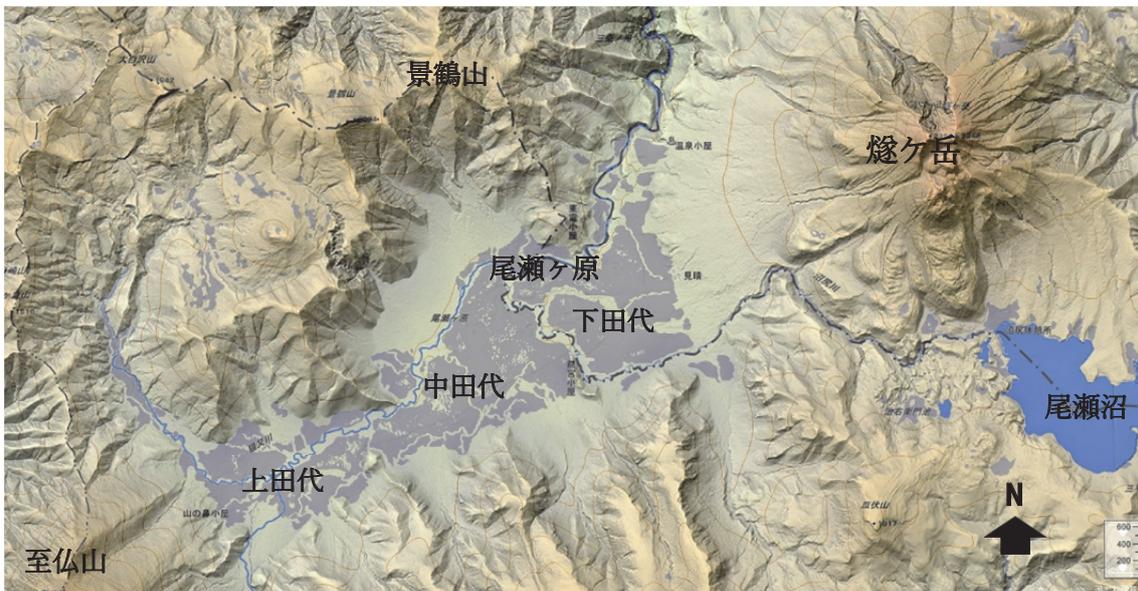


図 1：尾瀬地区の地形図（国土地理院 1/25,000 地形図から作図）。上田代、中田代、下田代、薄紫色：湿原地域、水色：開水面。

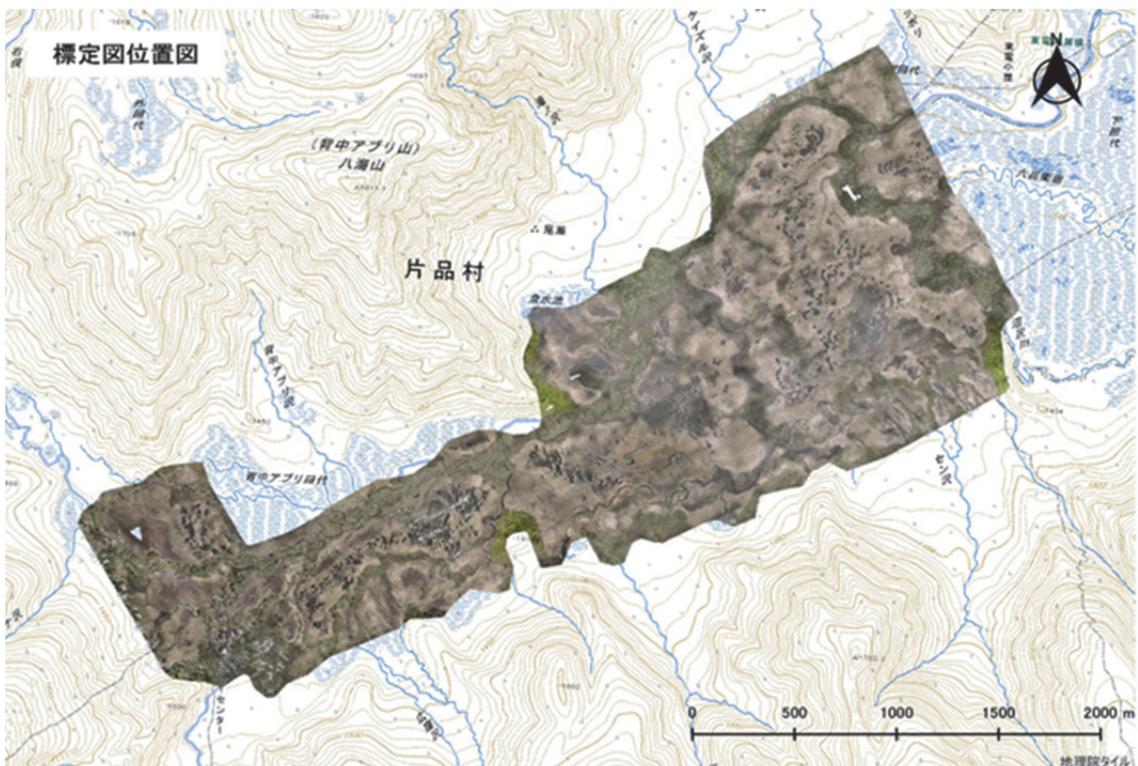


図2：尾瀬ヶ原の航空写真。
 上図：セスナ機で高度2,500 mから645カメラを使って1996年6月撮影。
 下図：ドローンによる合成画像（2017年6月撮影）
 （野原ほか, 2022より引用）。

代の池澮水を表層から採水して実験室に持ち帰りクロロフィルの分析を行った。池澮におけるヒツジグサ (*Nymphaea tetragona* George), オゼコウホネ (*Nuphar pumila* (Timm) DC. var. *ozeensis* H.Hara, フトヒルムシロ (*Potamogeton fryeri* A.Benn.), ジュンサイ (*Brasenia schreberi* J.F.Gmel.), ミツガシワ (*Menyanthes trifoliata* L.) の在不在を現地で目視で確認調査し, 第3次調査結果 (金井, 1998a, b) と比較した。雨量は鳩待峠 (国土交通省, 2021) の観測値を参照した。

3. 結果

3.1 航空写真による詳細な地形図

尾瀬ヶ原の地形図 (図1, 国土地理院 1/25,000 地形図) と1996年6月の尾瀬ヶ原の航空写真 (図2), を示した。上田代は尾瀬ヶ原の西南端に位置し標高1,402 ~ 1,408 m で, 西端から東端までの比高差は約6 m である。尾瀬ヶ原の地形図 (国土地理院 1/25,000) と池澮地域区分を図3に示した。山ノ鼻田代 (YA), 背中アブリ田代

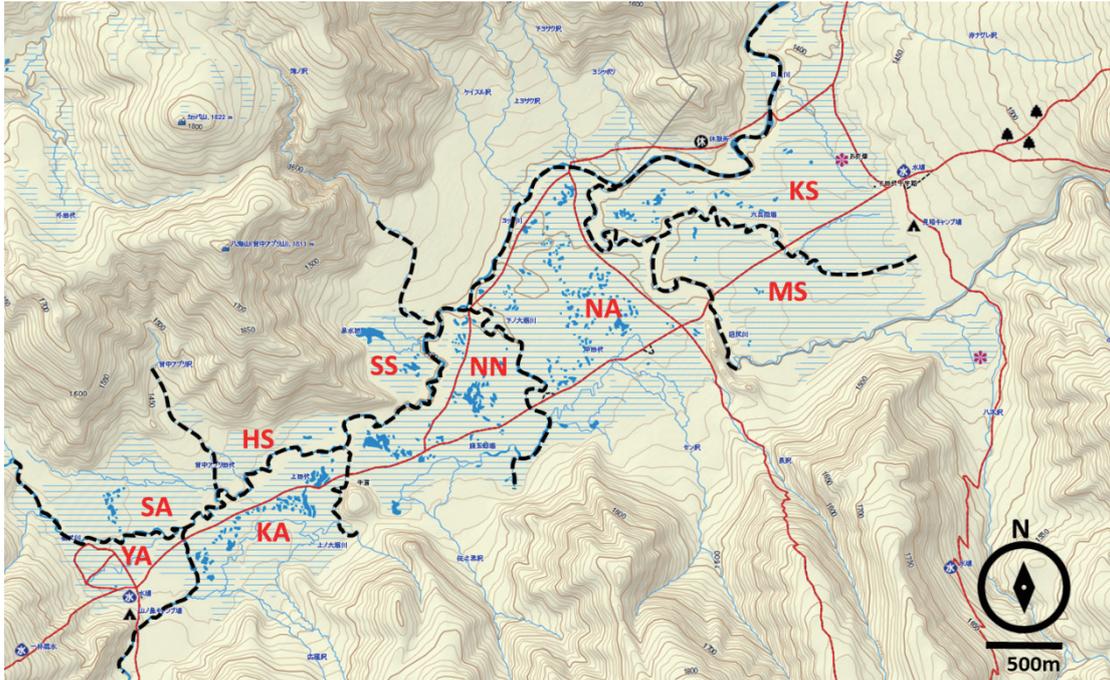


図3：尾瀬ヶ原の地形図（国土地理院 1/25,000）と池澁地域区分。
 YA: 山ノ鼻田代, SA: 背中アプリ田代, HS: 東背中アプリ田代, KA: 上田代, SS: 泉水田代, NN: 西中田代,
 NA: 中田代, KS: 北下田代, MS: 南下田代。

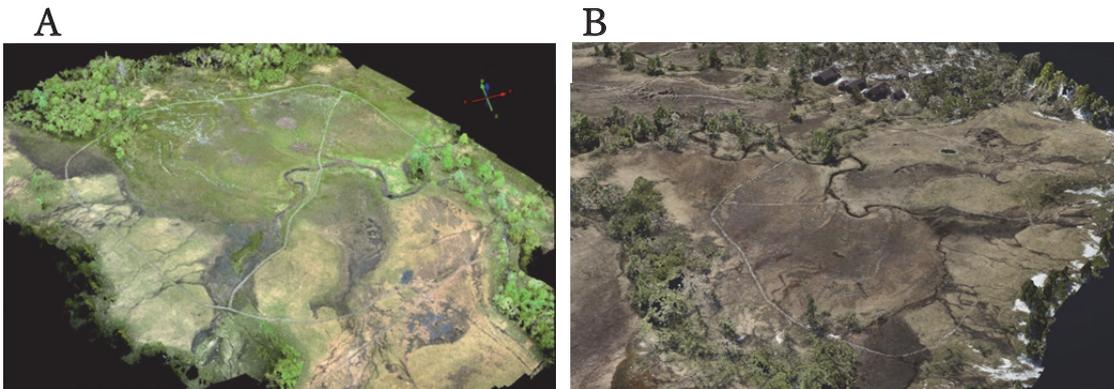


図4：ドローン画像から作成した研究見本園 3D 画像。
 A:2014年7月, B:2017年6月（野原ほか, 2022 から引用）。



図5：動画から抜粋した中田代の高電気伝導度の池澁（NA5-93）のドローン画像。

(SA), 東背中アブリ田代 (HS), 上田代 (KA), 泉水田代 (SS), 西中田代 (NN), 中田代 (NA), 北下田代 (KS), 南下田代 (MS) の9区分で調査結果を集計した。猫又川はより標高が高く, 徐々に上田代で標高が下がり, ヨッピー川に流れる。下田代も徐々に標高を下げて沼尻川からヨッピー川と合流して只見川になる。途中の中田代はやや標高が高いため, 下ノ大堀川周辺の低地以外は洪水にはならない位置関係にある。UAV(無人航空機, ドローン)による航空写真データ等から小流域図・湿原地形のより詳細な3D画像を作製しドローン合成画像(2017年6月)を示した(図4)。A:2014年7月, B:2017年6月(融雪直後)である。積雪によって押し固められ, 融雪後の6月には植物が十分成長していないため明瞭な目印が無い泥炭地でも詳細な地形を表現でき, 泥炭地の池澁形状, 水の有無の把握に適していた。

図5には中田代の池澁(NA5-93)のドローン斜め画像(2017年9月)を示した。前回の調査で消失したとされた池澁の現在の状況を確認し, これまでの航空写真より詳細に水の有無や植生状態が観察できた。図6には上田代のドローン合成画像(2017年6月)を示した。赤丸は高電気伝導度の地点を示した。特に, 流入河川の周辺付近にまとまって分布していた。図7には西中田代のドローン合成画像(2017年6月)を示した。現在は流れていない水路跡が明瞭に確認された。図8には中田代のドローン画像(2017年6月)を示した。

3.2 池澁の水質と水深

尾瀬ヶ原の調査した1,639池澁のうち下田代を除く約1,100箇所の池澁で2017~2018年に水深および現場の状況の写真撮影を行い, 採水して池澁水をPETボトルで持ち帰り実験室でpH, 電気伝導度の測定を行った(野原ほか, 2022)。高電気伝導度(平均値 0.86 mS m^{-1} の2倍以上)の池澁は約60箇所が認められ, 赤い丸で図示した(図6, 7, 8)。上田代ではKA1~2の地域に多く, 中田代では全体的にまばらに広がっていた。上田代及び中田代の池澁における電気伝導度とpH, 水深の関係を以下に示した。上田代及び中田代の全池澁における電気伝導度の値は $0.5 \sim 6.0 \text{ mS m}^{-1}$ にあり平均値は 0.86 mS m^{-1} , pHは4.5~8.0の範囲にありpHの平均値は6.1であった。池澁の水深は $0 \sim 4.1 \text{ m}$ の範囲にあり全体の平均値は 0.7 m であった(野原ほか, 2022)。尾瀬ヶ原の池澁の田代毎の平均電気伝導度とpHの関係を見た(野原ほか, 2021)。上田代, 背中アブリ田代, 西中田代, 泉水田代の平均電気伝導度はそれぞれ0.97, 0.65, 0.83, 0.85, 0.76 mS m^{-1} であった。比較的に上田代では電気伝

導度が高い傾向にあった。上田代, 背中アブリ田代, 西中田代, 泉水田代の平均pHはそれぞれ6.15, 5.91, 6.77, 5.76, 5.96であった。西中田代では平均してpHが高いものが多かった。

図9には尾瀬ヶ原の田代毎に(池澁数)を示し, 合計1,639箇所となった。山ノ鼻田代(16), 背中アブリ田代(51), 東背中アブリ田代(34), 上田代(251), 泉水田代(19), 西中田代(279), 中田代(470), 北下田代(356), 南下田代(163)である。

尾瀬ヶ原の1,639池澁, 水生植物無しの池澁, 消失した池澁の水深頻度(2017~2019年)を図10に示した。大型水生植物の無い池澁は673箇所(41%)でより浅い場所に集中し, 前回の調査(金井, 1998ab)にあったが今回消失した池澁は80箇所(4.9%)であった。消失した池澁はいずれも水深が 0.1 m より浅いものであった。

尾瀬ヶ原の田代毎の池澁の平均水深と最大水深の関係を示した(図11)。水深は $0 \sim 4.1 \text{ m}$ の範囲であるが多くの 2 m より浅い池澁が多くなっていた。一番深いのは人工的に調査時に掘られた群大井戸跡の池澁(KA2-7703, 4.1 m)であった。上田代では $0 \sim 2 \text{ m}$, 背中アブリ田代では $0 \sim 2 \text{ m}$, 西中田代では $0 \sim 2 \text{ m}$ の範囲に多く, 泉水田代では $0 \sim 1.4 \text{ m}$ の範囲に多かった。西中田代ではNN3-09が最も深く 3.4 m で深い池澁として新たに確認された。中田代の池澁には深いものがあり, 3 m を超える3箇所の池澁が見られた。最も深い池澁は, これまでに知られていた中田代のNA5-43であった。山ノ鼻田代, 背中アブリ田代, 東背中アブリ田代, 上田代, 泉水田代, 西中田代, 中田代, 北下田代, 南下田代の平均水深はそれぞれ $0.4, 0.6, 0.5, 0.7, 0.8, 0.6, 0.8, 0.4, 0.5 \text{ (m)}$ で山ノ鼻田代, 北下田代ではやや浅い池澁が多かった。最大水深は山ノ鼻田代, 背中アブリ田代, 東背中アブリ田代, 上田代, 泉水田代, 西中田代, 中田代, 北下田代, 南下田代でそれぞれ $1.0, 1.4, 2.1, 4.1$ (自然の池澁では 2.1 m), $1.3, 3.4, 3.4, 1.5, 1.0 \text{ (m)}$ であった。

3.3 池澁リスト1,639と大型水生植物

尾瀬ヶ原池澁の水深と大型水生植物の種数と水深の関係(2017~2019年)を図12に示した。4種が生育している池澁が最も高い種多様性を示した。水深と水生植物の種数に強い関係は見られないが, 種数が増えるに従い平均水深が深い傾向にあった。平均 1.2 m 水深の池澁に3種の水生測物が生育し, 深い池澁では無植生となっていた。

図13には尾瀬ヶ原池澁の水深と大型水生植物の存在

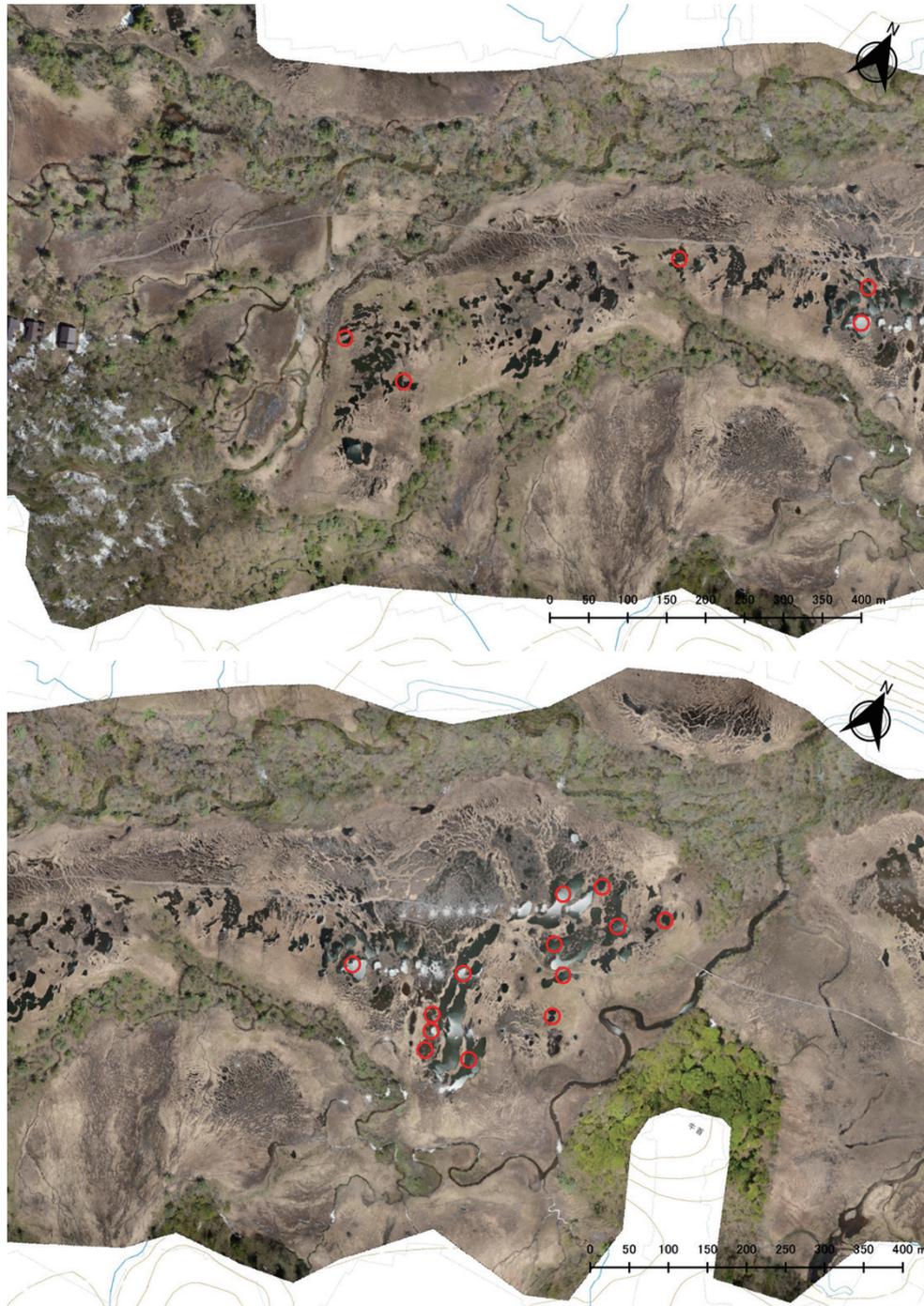


図6：尾瀬ヶ原上田代のドローン合成画像（2017年6月）。赤丸は高電気伝導度の地点。

頻度分布（2017～2019年）を示した。尾瀬ヶ原全体では200箇所の浅いものから徐々に池澮の数が少なくなり2 mを超えるものは極くわずかであった。ヒツジグサの分布は100箇所を超える0.5 mの水深の池澮に多く分布していた。オゼコウホネはヒツジグサに比べると数が少なく、やや深い1.5 m程度の池澮に最も多い。ミツガシワは0.6～0.8 m水深の100箇所を超える池澮に分布中心があり、水深2 mでも池澮ヘリに生育して水深分布パターンはヒツジグサに類似していた。フトヒルムシロ

やジュンサイも生育していた池澮の数は少なく、0.2～2 mの水深に分布していた。

図14に尾瀬ヶ原池澮の大型水生植物の存在と池澮水深の関係（2017～2019年）を示した。生育した池澮の最低水深は白抜きの棒で示した。2017～2019年の調査対象の水深を計測した1,639箇所の池澮でヒツジグサは659箇所、オゼコウホネは111箇所、フトヒルムシロは25箇所、ジュンサイは6箇所、ミツガシワは648箇所の池澮で存在を確認し、673箇所の池澮では無植生で



図7：尾瀬ヶ原西中田代のドローン合成画像（2017年6月）。赤丸は高電気伝導度の地点。

あった。生育していた大型水生植物の池澁の平均水深は、ヒツジグサで0.90 m、オゼコウホネで1.18 m、フトヒルムシロで0.93 m、ジュンサイで1.20 m、ミツガシワで0.66 m、無植生で0.42 mであった。生育していた大型水生植物の池澁の最大水深（最大水深に生育しているとは限らない）は、ヒツジグサで3.4 m、オゼコウホネで3.10 m、フトヒルムシロで1.80 m、ジュンサイで1.90 m、ミツガシワで3.40 m、無植生で3.40 mであった。

尾瀬ヶ原池澁の大型水生植物の在不在と池澁数とその地域に対する割合（2017～2019年）を図15に示した。調査した1,639池澁の水生植物の池澁数（池澁割合）は、ヒツジグサで659（40%）、オゼコウホネで111（7%）、フトヒルムシロで25（2%）、ジュンサイで6（0.3%）、ミツガシワで648（40%）、無植生で673（41%）であった。記録にあった池澁では80箇所の池澁が消失しておりその割合は4.9%になっていた（電子資料1表1）。

図16には尾瀬ヶ原の田代毎の大型水生植物の池澁数（2017～2019年）を示した。調査した合計池澁数（）は山ノ鼻田代（16）、背中アプリ田代（51）、東背中アプリ田代（34）、上田代（251）、泉水田代（19）、西中田代（279）、中田代（470）、北下田代（356）、南下田代（163）であった。

ヒツジグサの池澁数（割合）は山ノ鼻田代5箇所（31%）、背中アプリ田代2箇所（4%）、東背中アプリ田代2箇所（6%）、上田代194箇所（77%）、泉水田代17箇所（89%）、西中田代162箇所（58%）、中田代254箇

所（54%）、北下田代4箇所（1%）、南下田代19箇所（12%）であった。中田代にヒツジグサの数が多く、泉水田代では割合が高かった。

オゼコウホネの池澁数（割合）は山ノ鼻田代1箇所（6%）、背中アプリ田代14箇所（27%）、東背中アプリ田代3箇所（9%）、上田代28箇所（11%）、泉水田代0箇所（0%）、西中田代7箇所（3%）、中田代46箇所（10%）、北下田代11箇所（3%）、南下田代1箇所（1%）であった。オゼコウホネの池澁数は中田代に多く、背中アプリ田代では割合が高かった。

フトヒルムシロの池澁数（割合）は山ノ鼻田代0箇所（0%）、背中アプリ田代0箇所（0%）、東背中アプリ田代0箇所（0%）、上田代8箇所（3%）、泉水田代1箇所（5%）、西中田代3箇所（1%）、中田代8箇所（2%）、北下田代1箇所（0%）、南下田代4箇所（2%）であった。フトヒルムシロの池澁数は上田代と中田代に多く、割合は泉水田代では高かった。

ジュンサイの池澁数（割合）は山ノ鼻田代0箇所（0%）、背中アプリ田代0箇所（0%）、東背中アプリ田代0箇所（0%）、上田代0箇所（0%）、泉水田代0箇所（0%）、西中田代0箇所（0%）、中田代6箇所（1%）、北下田代0箇所（0%）、南下田代0箇所（0%）であった。ジュンサイの池澁数（割合）は中田代に限られていた。

ミツガシワの池澁数（割合）は山ノ鼻田代3箇所（19%）、背中アプリ田代20箇所（39%）、東背中アプリ田代3箇所（9%）、上田代50箇所（20%）、泉水田代

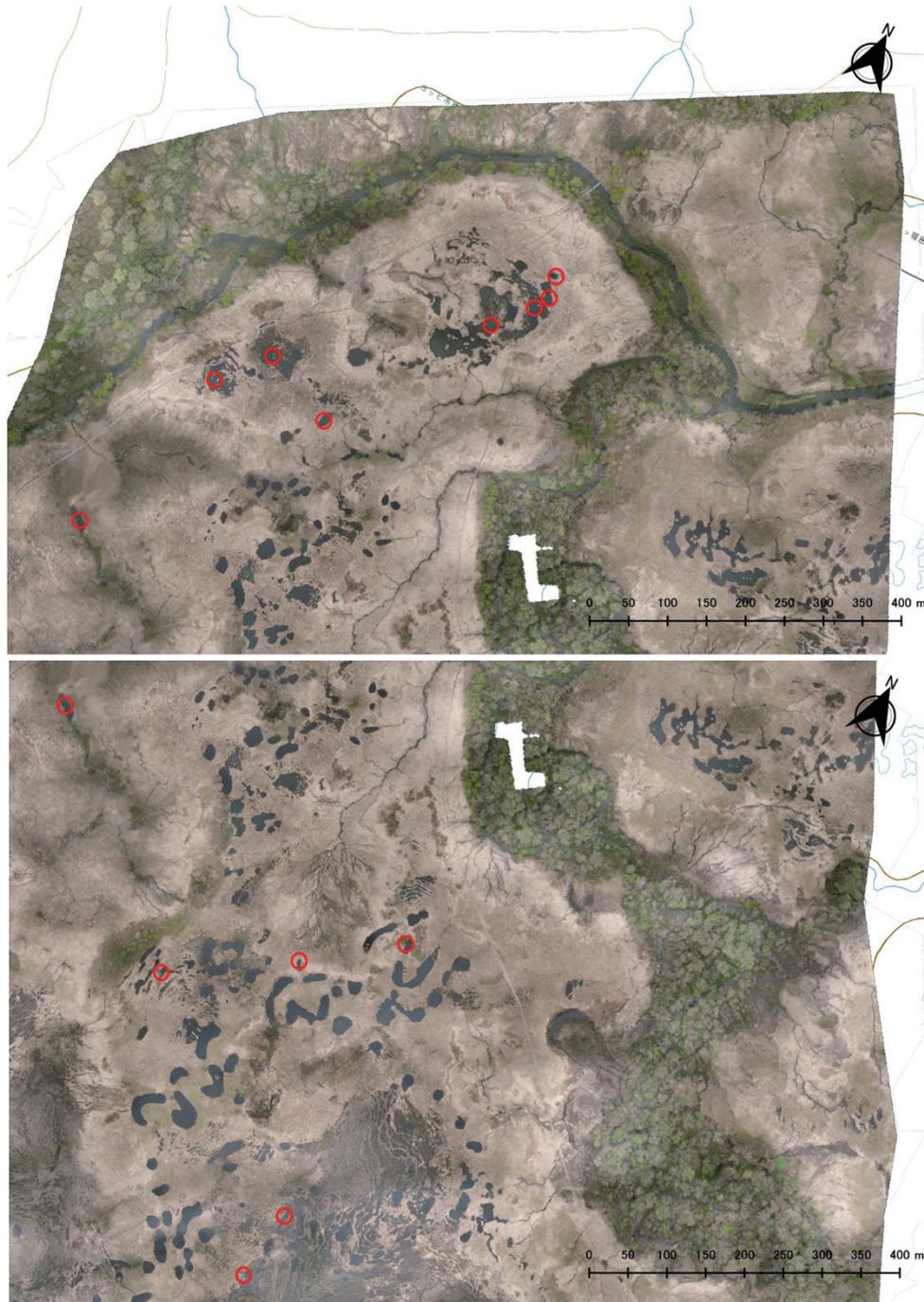


図8：尾瀬ヶ原中田代のドローン合成画像（2017年6月）。赤丸は高電気伝導度の地点。

10箇所（53%）、西中田代 163箇所（58%）、中田代 219箇所（47%）、北下田代 106箇所（30%）、南下田代 74箇所（45%）であった。ミツガシワの池澁数は中田代に多く、割合は西中田代では高かった。

3.4 池澁のクロロフィルa量とろ過濁度

2018年には上田代 KA1～KA4の約40箇所の池澁において採水を行い、現地で水温、電気伝導度、水位、水深の計測を複数回に実施した（野原ほか, 2022）。図17,

18に上田代40池澁ろ過濁度とクロロフィルaの関係を示した。ろ過濁度は少なく10 unit以下の池澁が殆どであり懸濁物の中に占める藻類が占める量は低い池澁がほとんどであった。極くわずかに藻類が発生している小さな池澁（KA2-4501, KA2-7202, KA3-1001, KA3-1002）もあった。

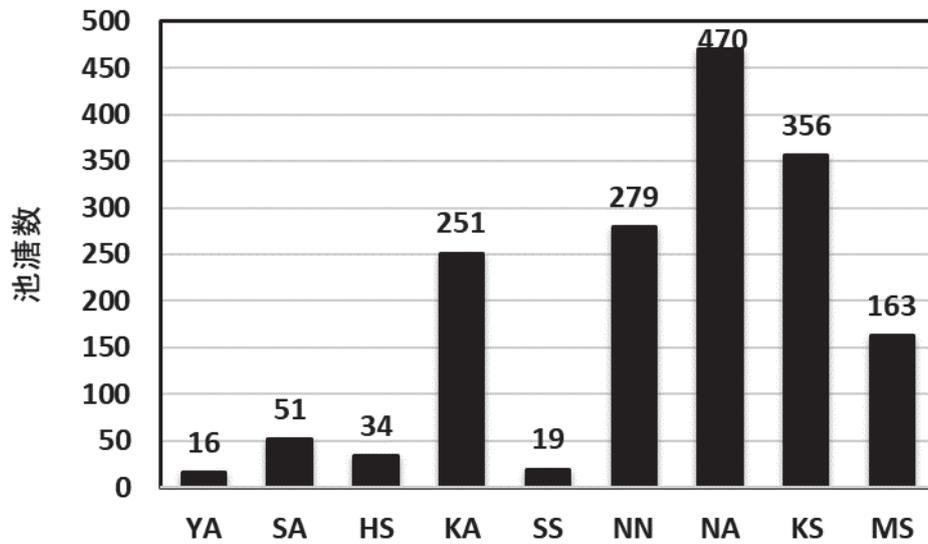


図9：尾瀬ヶ原の田代毎の池澁数（数字，合計1639）
 YA: 山ノ鼻田代, SA: 背中アプリ田代, HS: 東背中アプリ田代, KA: 上田代, SS: 泉水田代,
 NN: 西中田代, NA: 中田代, KS: 北下田代, MS: 南下田代.

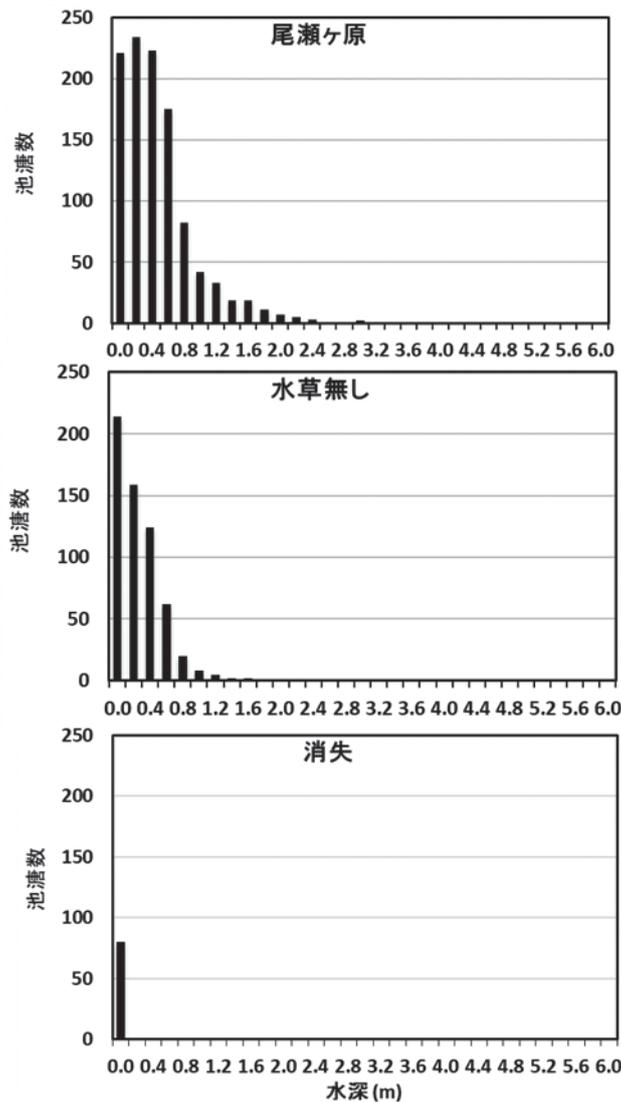


図10：尾瀬ヶ原池澁，水生植物無しの池澁，消失した池澁の水深頻度（2017～2019年）

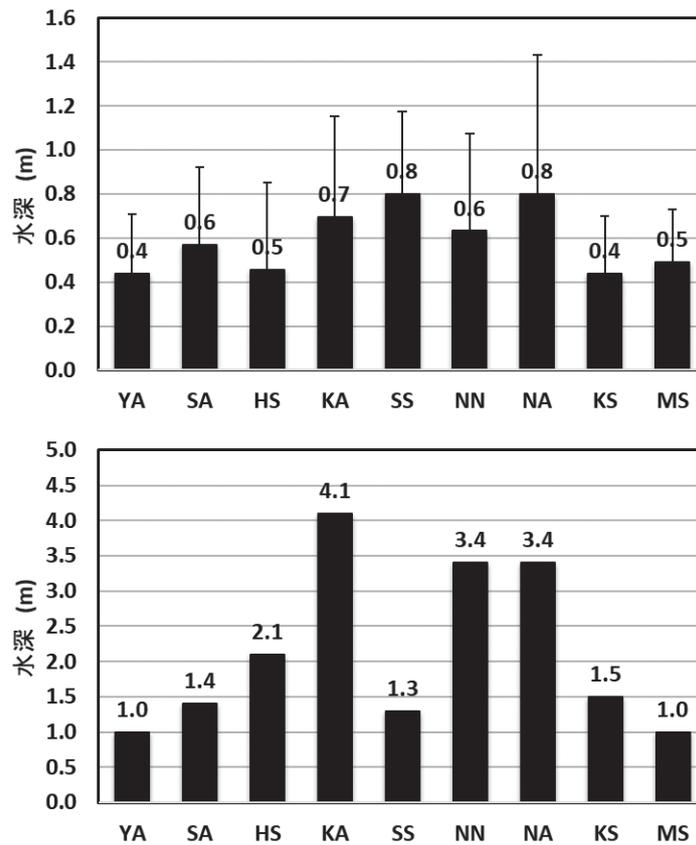


図 11：尾瀬ヶ原池澁の水生植物の分布と水深（2017～2019年）
 上図：平均水深（数字）と標準偏差，下図：最大水深（数字）．YA: 山ノ鼻田代，SA: 背中アプリ田代，HS: 東背中アプリ田代，KA: 上田代，SS: 泉水田代，NN: 西中田代，NA: 中田代，KS: 北下田代，MS: 南下田代．（野原ほか，2022）から引用．上田代の自然池澁の最大水深は 2.1 m.

4. 考察

4.1 泥炭地の水文環境と水生植物

尾瀬ヶ原は湖から発達した泥炭湿原ではなく河川の後背湿地から発達した泥炭湿原である（阪口，1974; 1982）. watery area, watery area と 'crack'-pool network を合わせたシステムの形態は曲流する河道を思わせ，これは泥炭層を通して泥炭層基底の旧河道が地表に表現されたものである（阪口，2007）. 池澁の水がどう維持されているかを水位変化，水温，電気伝導度で解析し，水温変化から水の動きが読み取れ，同じ池澁でも場所によって泥炭層の透水性が異なっていることが分かった（野原ほか，2022）. 中田代の池澁（NA4-09, NA9-05, NA9-04）の 1 m 泥炭層では地温の日周変化が大きく比較的表層の温度を反映し，池澁（NA6-5701, NA5-80, KA2-57）の 1 m 泥炭層では比較的地温の日周変化が小さく流入が無いが地下水が水源と推定された. 同じ高電気伝導度の池澁でも供給されている旧河道の程度が異なると推定された（野原ほか，2022）.

研究見本園では冬に他より泥炭が低温になる．上田代

より中田代では 1.0 m 地温が約 3 °C 高い（野原ほか，2021）. 春先には，中田代は早く雪解けがおこるのは地温が高いことに一因があると考えられた．融雪時の大雨で，地下水ポテンシャルが大きくなり研究見本園の地下水ポテンシャルは融雪前に他より早く上昇し赤雪（アカシボ）の発生など，地下水圧の上昇が起こって高濃度の二価鉄や溶存有機炭素が地表で検出されている可能性がある（野原ほか，2012）. 今後泥炭湿原の調査の際には泥炭層のしまり具合や泥炭の植物組成，分解度（分解度が小さいほど水分含量，透水係数は大）なども尾瀬ヶ原の将来を考えるとときに留意する必要がある（阪口，2007）.

4.2 山岳湿地の種類と池澁の消長

山岳湿地の種類には，火口湖，構造湖，雪田，氷河湖，地すべりを含む重力変形性地形による湿地などがあり，積雪量の多い北アルプスには湖沼が多く，火山地形と重力変形地形が主な形成場となる（Takaoka, 2015）, 八幡平火山群では，湿地が主に火山原面上と地すべり地内にある（Sasaki and Sugai, 2015）. 山岳湿地のうち特に泥

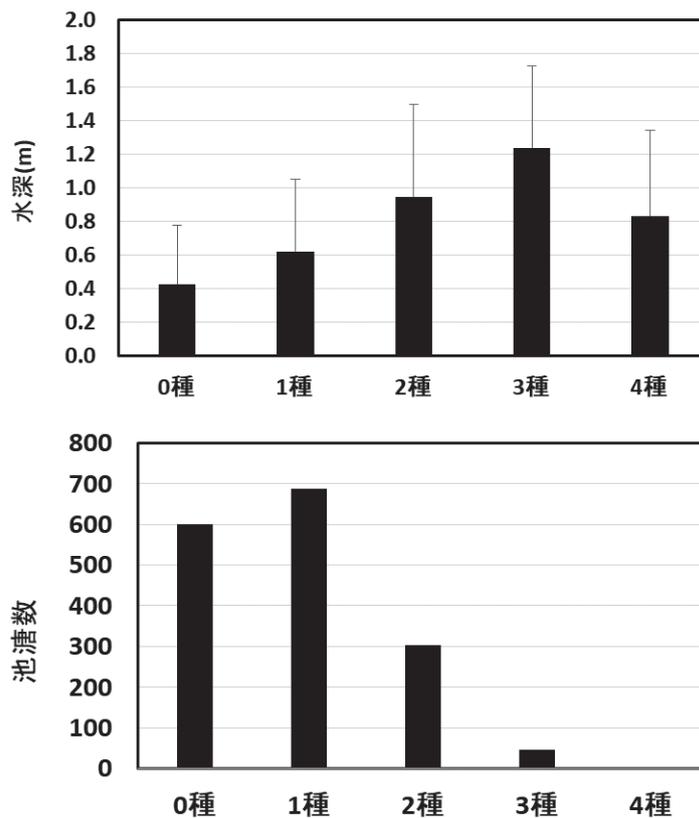


図 12：(上図) 尾瀬ヶ原池澁の水生植物の種数と水深の関係 (2017～2019 年), 平均と標準偏差を示す, (下図) 水生植物の種数と池澁数の関係.

炭地は、中部から東北の多雪地域の第四紀火山に多く分布し (Sakaguchi, 1979), 東北地方の新期火山に雪田が多い理由について緩斜面が広く残存しているためと指摘された (下川, 1988). 雪田型湿地は数千～百年スケールの気候変動に対応して出現と消滅を繰り返し, 現在の湿地は気候温暖期に成立した. 涵養源は主に融雪水と降水であり, 周辺からの融雪水の供給が 6 月下旬まで継続することが湿潤環境の維持に大きく寄与していた (佐々木, 2019). 地すべり性湿地の形成と消滅には, 地形変化の影響を大きく受け, 湿地の立地によって涵養パターンは異なり, 気候応答性にも影響している (佐々木, 2019). 近世の尾瀬でも大きな地滑りがあり, 地滑り地形が猫又川上流域のカッパ山周辺でも見られる (野原ほか, 2022). 今回の調査で記録にあった池澁では 80 箇所の池澁が消失しておりその割合は 4.9% になっていた (附表 1). 浅い池澁が渇水のため水が減って乾いたことが主な要因と考えられた. 近年の気候変動に対する山岳湿地を含む生態系の動態予測には, 気候のみならず湿地周辺の地形や水文環境も含めた検討が必要である (佐々木, 2019). 高標高域に位置する山岳湿地として湿地周辺の地形や水文環境に注目した研究は少なく, 立地の違いで

涵養パターンが異なり, 気候応答性にも差異がある.

「KA04-44 (上田代東端北部), NA01-05 (中田代北部) の池澁は 1979～1981 年の調査以降に消失していることがわかった. KA04-44 は前回調査ですでに水位の低下がみとめられ, 水は全くたまっていない. NA01-05 は水路に約 80 m にわたって水がたまったものだが, 現在では植生に被われて水面は見られない」と金井 (1998a) は述べていたが, 今回詳細にドローン画像を確認したところ, KA04-44 は池澁に十分な水が存在して水生植物も復活してきていた. NA01-05 の池澁は背の高いヨシが繁茂していて地上からは水面が見えないほどであったが, 踏査の結果高電気伝導度の池澁として確認された. 金井 (1998a) が述べたように, 年度の異なる空中写真の比較と現地での観察によって, 湿原の変遷を跡付ける資料が得られた. この点からも記録共有のための池澁番号の必要性が再確認できた. 第 4 次尾瀬学術総合調査の中で, 第 3 次尾瀬学術総合調査の池澁リストと比べて池澁が 80 箇所 (4.9%) 消失した (図 13). その原因は詳細な地形調査などしないと断定しにくいだが, 現場での水深等の観察から浅い池澁が調査時に渇水期で水が減って乾いたことが主な要因と考えられた.

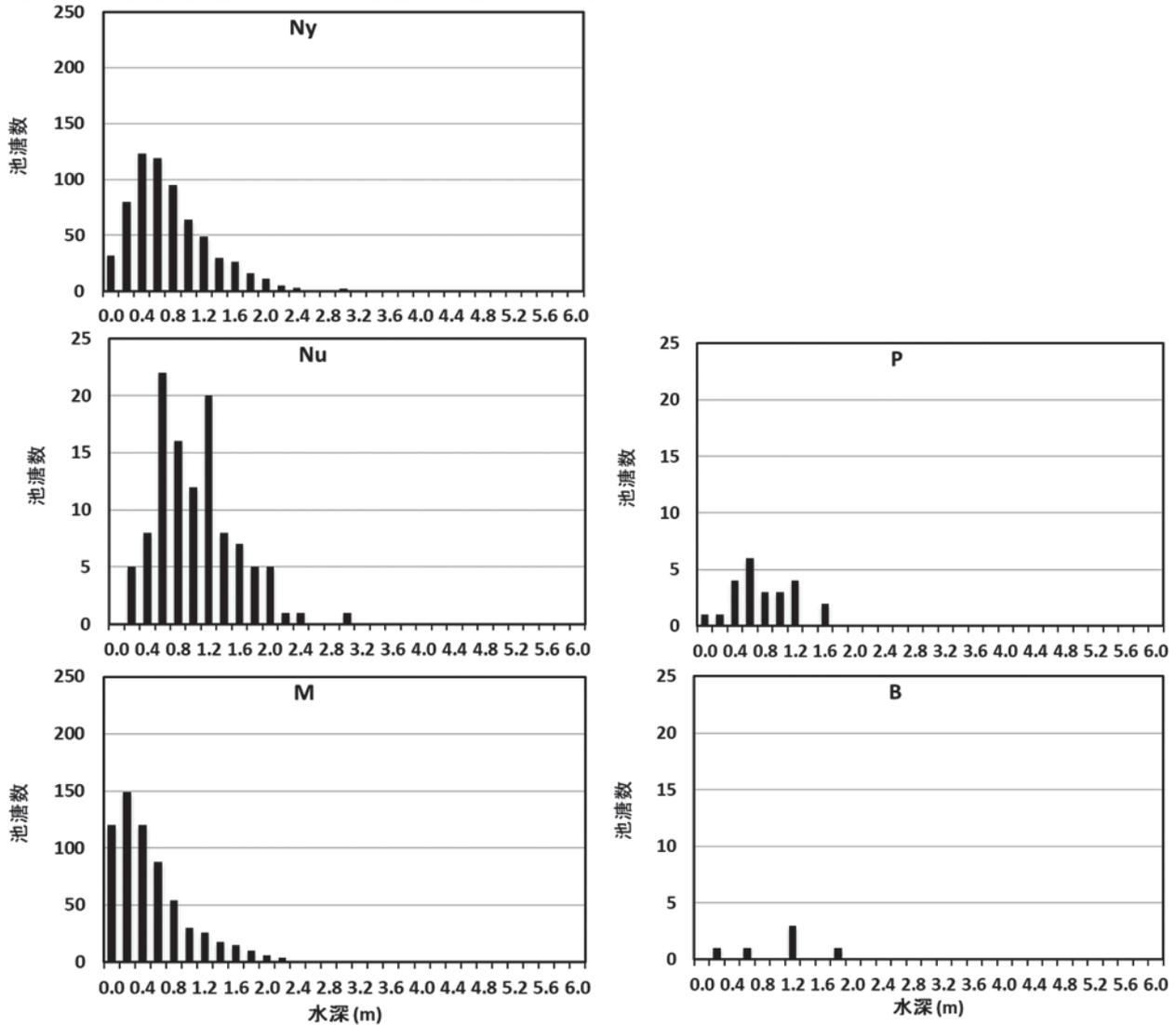


図 13：尾瀬ヶ原池澁の水生植物の種数と水深の関係。(上図) (2017～2019年)，(下図) 水生植物の種数と池澁数の関係。

Pearsall (1923) がスコットランド北端で見たものは、傾斜湿原の末端部に残る陥没状の凹地形で、連合した池の下の泥炭層に亀裂が入って水が抜けて干上がった跡と考え、「self-drained pool」と呼んだ。また、阪口 (1989) は北下田代の等高線方向に細長く伸びる通常の微地形を斜めに横切る 4 つの池を発見し、泥炭層に亀裂が入り、それに水が溜まったものと考え、「割れ目池澁」と呼んだ。1990 年に北下田代の奥まったところの池澁とその周辺にも荒廃したところが見つかり問題となった(樫村ほか, 1990)。樫村ほか (2007) は下田代で 1992 年に再び調査をして、「自然排水池澁」について考察している。尾瀬ヶ原北下田代に割れ目池澁があり付近に多少とも水の抜けた自然排水池澁があり、それらの形態、植生、水深等を計測した。それらには池底がすっかり干上がってヌマガヤなどの陸生の植生に変わったもの、水位が大きく低下したものの安定していてイボミズゴケの豊かなカーベッ

トなど泥炭プラトーの一般的陸生植生に変わったもの、さらに多少水位が下がっただけでミヤマホタルイが健全に生育するものまで、水位低下とその安定性によってさまざまな池底植生が見られた。

金井 (2006) は 6 年をへだてる尾瀬ヶ原池澁の航空写真の水面反射を比較し、その差異をつかみ異常な水面反射が認められた池澁の数と、それぞれの田代の全池澁数に対する比率を示し異常率は平時の約 3 倍で、平時に起こっている池底の浮上・露出が、地震によって一層促進・多発したものと考えた。水生植物が記録されていない池澁でも異常な水面反射が認められ、池底にある深いひび割れから、泥土が噴出した可能性があるとした。高高度の航空写真からの観察だけでは誤同定も多分に含まれていることもあるので、地震の影響評価にはより詳細なドローン画像による解析が必要である。水位の低い自然排水池澁の池底で陸化の傾向が見られたが、自然排水池澁

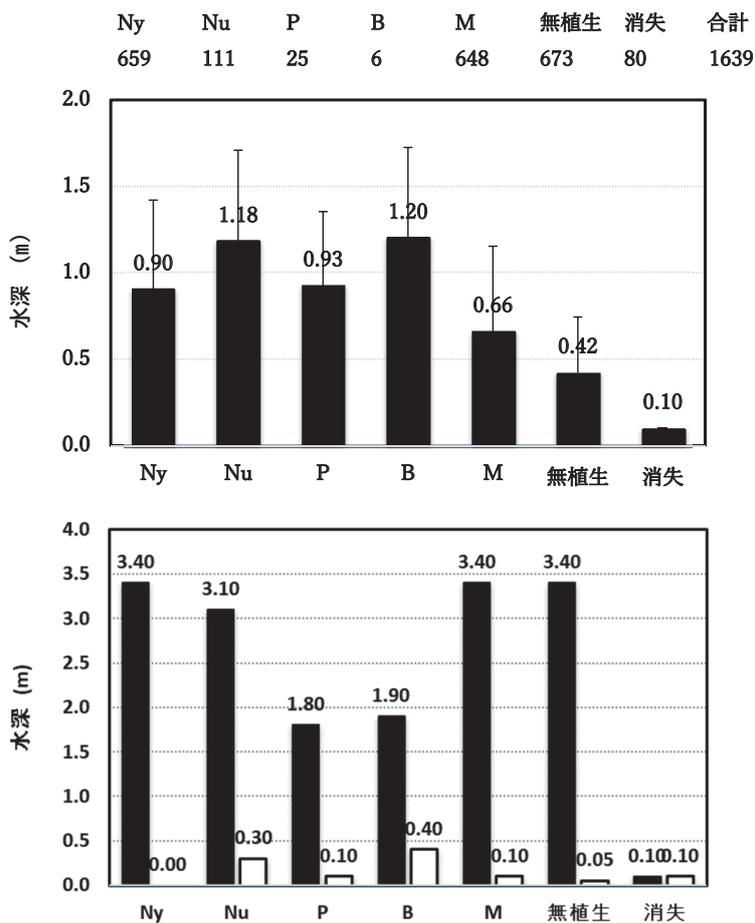


図 14：尾瀬ヶ原池澁の水生植物の存在の池澁水深の関係（2017～2019年）。上図：平均水深と標準偏差，上の数字は各植生の池澁数，下図：最大水深と最低水深。Ny: ヒツジグサ，Nu: オゼコウホネ，M: ミツガシワ，P: フトヒルムシロ，B: ジュンサイ。

の植生変化についてはさらに長いタイムスパンで観察してゆくことが望まれる（櫻村ほか，2007）。今後，将来の気候変動に対する池澁の大型水生植物の長期的変化を評価するために現地での池澁の微地形・水文観測とドローンによる高解像度の撮影の継続が重要であろう。

4.3 植生解析

吉川ほか（2021）によれば，尾瀬ヶ原の群落間の種組成の類似度は，中間湿原と低層湿原の相互の群落間で1960年代よりも大きくなり，群落間の種組成が均質化する傾向が認められた。第4次尾瀬総合学術調査においては，UAV技術を利用した上田代の池澁の大型水生植物の植生分布や底質について調査や解析が行われた（永坂ほか，2022；福原ほか，2022）。福原ほか（2022）によると，中田代のいくつかの池澁の開水面が1954年報告より大きくなり極わずかな変化が長期的に検出できたことで，第4次尾瀬総合学術調査が意義深いものとなった。同じ池澁を長期にわたってモニタリングし比較

することにより尾瀬ヶ原湿原の変化が検出できた。

4.4 池澁の大型水生植物の増減

「尾瀬ヶ原」（1954）に明記されているように，当時ヒツジグサとオゼコウホネの両種は住み分けしているように見え，同じ池に両種が生えているとはきわめて稀で例外的と考えられていた。金井（1982）は，尾瀬ヶ原調査に先立つ打合せ会で原寛東大名誉教授が「25年前とくらべて目立った違いの一つとして，ヒツジグサとオゼコウホネの分布パターンの相違であった。また当時は上田代にはヒツジグサは稀であった」という。そこで年代比較を可能にするためには，池の一つ一つを特定できるように名前か番号を与える必要があり，まずすべての池澁に識別番号を付けることにしたと述べている。

第3次尾瀬学術総合調査の中でも金井（1998a, b）は，尾瀬ヶ原でおこる出来事を確実に記録し，世代を超えて引き継ぐために，池澁地図を改定し，これに基づいてヒツジグサ，オゼコウホネ，フトヒルムシロ，ジュンサイ，

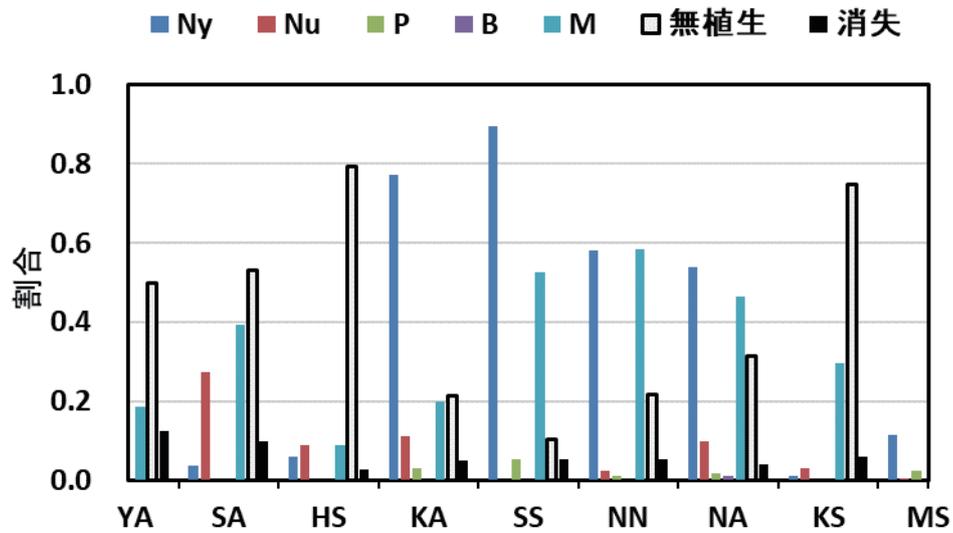


図 15：尾瀬ヶ原田代毎の水生植物の存在不在の池澁割合（2017～2019年）。
 YA: 山ノ鼻田代, SA: 背中アプリ田代, HS: 東背中アプリ田代, KA: 上田代, SS: 泉水田代,
 NN: 西中田代, NA: 中田代, KS: 北下田代, MS: 南下田代。Ny: ヒツジグサ, Nu: オゼコウホネ,
 M: ミツガシワ, P: フトヒルムシロ, B: ジュンサイ。

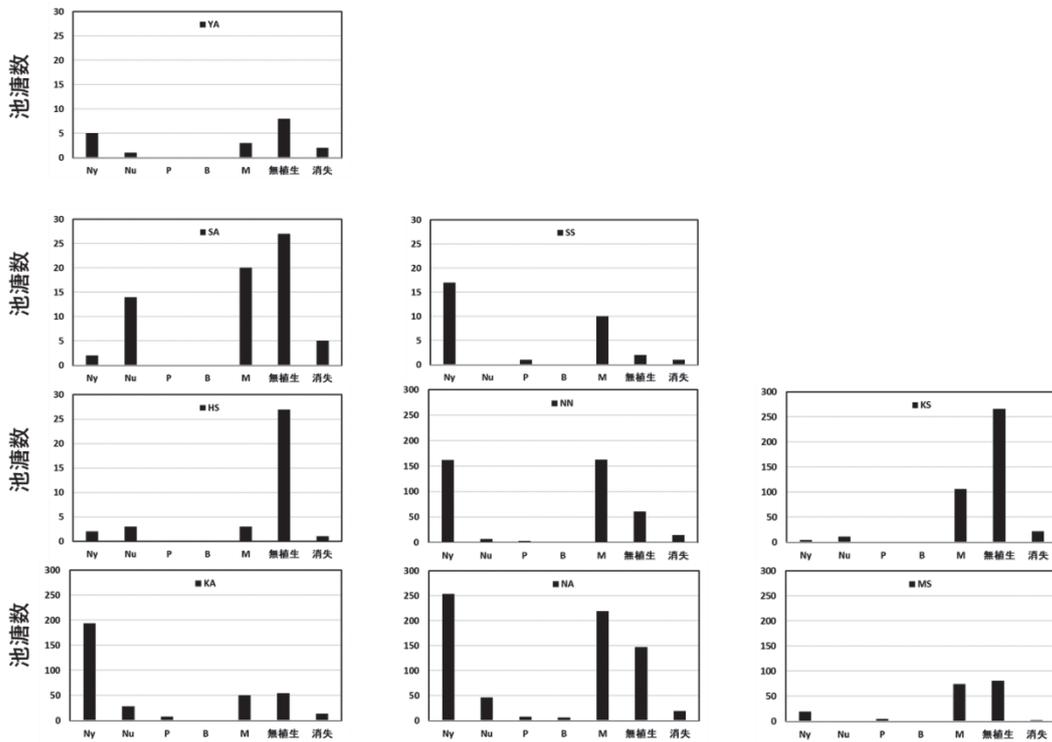


図 16：尾瀬ヶ原田代毎の水生植物の池澁数（2017～2019年）。
 YA: 山ノ鼻田代, SA: 背中アプリ田代, HS: 東背中アプリ田代, KA: 上田代, SS: 泉水田代, NN: 西中田代,
 NA: 中田代, KS: 北下田代, MS: 南下田代。Ny: ヒツジグサ, Nu: オゼコウホネ, M: ミツガシワ, P: フトヒルムシロ, B: ジュンサイ。

ミツガシワの存在不在を調査し、第2次調査結果（1982）と比較したところ、上田代におけるヒツジグサの進出とオゼコウホネの消失が著しいことがわかった。

第4次調査では大型水生植物の中でもヒツジグサが最も多く（659箇所）分布していた（図14）。金井（1998a, b）の第3次の調査報告では、上田代のヒツジグサは

60.4%、オゼコウホネは15.0%であった。今回ヒツジグサの池澁数（割合）は上田代で最も多く194箇所（77%）でかなり増加していた。オゼコウホネの池澁数（割合）は上田代で28箇所（11%）であったので、減少していた。第3～4次調査で上田代ではヒツジグサは増加し、オゼコウホネは減少したことになる。

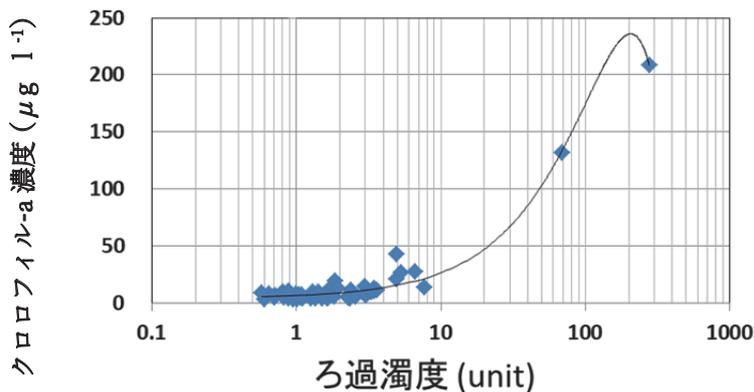


図 17：尾瀬ヶ原上田代の各池塘のろ過濁度とクロロフィル量の関係。

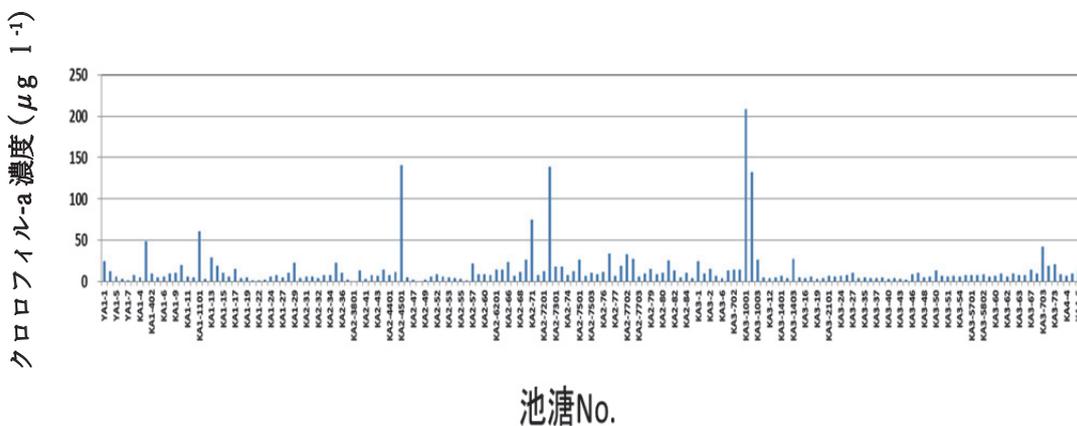


図 18：尾瀬ヶ原上田代の各池塘のクロロフィル量。

図 19 に第 1～4 次尾瀬総合学術調査の大型水生植物の尾瀬ヶ原の池塘数の変化を文献の(金井, 1998a, b)から読み取り図に示した。第 1 次調査では、広範囲に調査していないことやフトヒルムシロとジュンサイは調査されていない。金井(1998a, b)は第 2 次調査結果(1982)と第 3 時調査結果と比較したところ、上田代におけるヒツジグサの進出とオゼコウホネの消失が著しいことがわかった。その約 20 年後にも同様な傾向は続いていた。今回の第 4 次調査を含めると、ヒツジグサ、ミツガシワ、ジュンサイは第 3 次よりさらに増加が著しいかった。オゼコウホネは第 3 次よりやや増加していた。フトヒルムシロは第 3 次で減少したが、やや増加し持ちなおしていた。オゼコウホネはいったん減ったもののやや回復してきており、各大型水生植物の尾瀬ヶ原の池塘数は全体的に増加してきていると考えられた。

金井(1998a, b)の報告では、西中田代と中田代のヒツジグサは 49.2% で、西中田代と中田代のオゼコウホネは 6.4% であった。今回ヒツジグサの池塘数(割合)は西中田代で 162 箇所(58%), 中田代で 254 箇所(54%)であったので増加した。オゼコウホネの池塘数(割合)

は西中田代で 7 箇所(3%), 中田代で 46 箇所(10%)であったので、合わせて 7.0% となりやや増加したことになる。第 3～4 次調査で中田代ではヒツジグサは増加し、オゼコウホネはやや増加した。第 2～4 次尾瀬総合学術調査の大型水生植物の田代毎の池塘数の変化を図 20 に示した。中田代、上田代のヒツジグサは第 3 次から第 4 次増加が大きく、西中田代でヒツジグサは第 2～4 次増加していた。オゼコウホネは、上田代で減少が著しく、中田代ではやや増加していた。ミツガシワは西中田代と中田代で第 2～4 次増加していたが、他の田代では変化が見られなかった。南下田代ではミツガシワが第 3 次にはやや減少したが、第 4 次には第 2 次よりも増加していた。フトヒルムシロはあまり変化が無いが、上田代では第 3 次といったん減ったが、第 4 次にはやや回復してきた。各田代によってヒツジグサとオゼコウホネは増減が異なりその原因の一つは気候変動による洪水の多少も関係している事が考えられ、洪水に有利に分布するヒツジグサとやや不利なオゼコウホネの生態特性があるものと推測される。今後も環境変化と大型水生植物の田代毎に池塘数の変化を注意深く調べる必要がある。

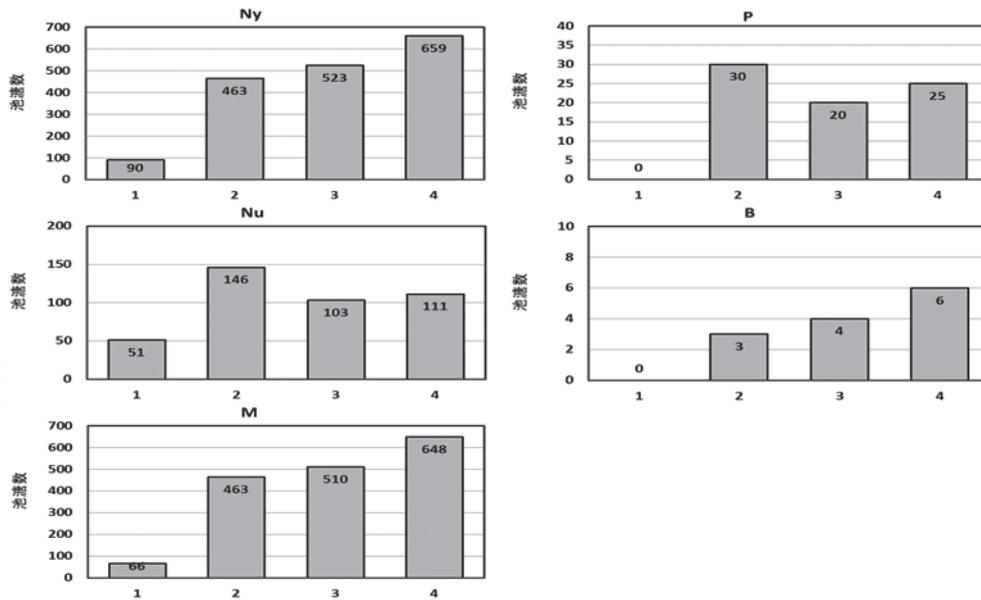


図 19：第 1～4 次尾瀬総合学術調査の大型水生植物の池澁数の変化。
 Nu：オゼコウホネ，M：ミツガシワ，P：フトヒルムシロ，B：ジュンサイ。
 1：第 1 次調査，金井（1998a, b）から引用，2：第 2 次調査，Hara（1982），3：第 3 次調査，金井（1998a, b），4：第 4 次調査，野原ほか（2022）本報告。

5. まとめ

写真測量と地理情報システムの進歩によってドローン（UAV）航空写真の作成が容易となり，尾瀬ヶ原における UAV を用いて詳細な地形図を作成し航空写真を用いた池澁の地形と植物種の変化の把握が可能となった。

前回の池澁リスト（金井，1998a, b）と比べて 1,639 池澁のうち大型水生植物の無い池澁は 673 箇所（41%）でより浅い場所に集中し，前回の調査にあったが今回消失した池澁は 80 箇所（4.9%）であった。消失した池澁はいずれも水深が 0.1 m より浅いものであった。

調査した 1,639 池澁の水生植物の池澁数（池澁割合）は，ヒツジグサで 659（40%），オゼコウホネで 111（7%），フトヒルムシロで 25（2%），ジュンサイで 6（0.3%），ミツガシワで 648（40%）であった。

上田代はヒツジグサ，背中アブリ田代はミツガシワとオゼコウホネ，西中田代と中田代や泉水田代はヒツジグサとミツガシワが特徴的に多く分布していた。上田代ではヒツジグサは増加し，オゼコウホネは減少した。中田代ではヒツジグサは増加し，オゼコウホネはやや増加した。田代によってヒツジグサとオゼコウホネは増減が異なりその原因の一つは気候変動による洪水の多少が関係している事が考えられ，洪水に有利に分布するヒツジグサと不利なオゼコウホネという生態的性質の違いが推測される。

謝辞

この調査研究は 第 4 次尾瀬総合学術調査の一環として行われ，科学研究費補助金（17H01889，研究代表者野原精一）を用い行われた。調査にあたって，環境省尾瀬管理官事務所，文化庁，林野庁，東京電力（株）から許認可を受けた。尾瀬山の鼻ビジターセンター，（公財）尾瀬保護財団，東京パワーテクノロジー（株），尾瀬ロッジの皆さまから調査の便宜を計っていただいた。観察や測深，採水等の現地作業は主に NPO 法人片品・山と森の学校の皆さまにより実施された。この場でお礼申し上げる。

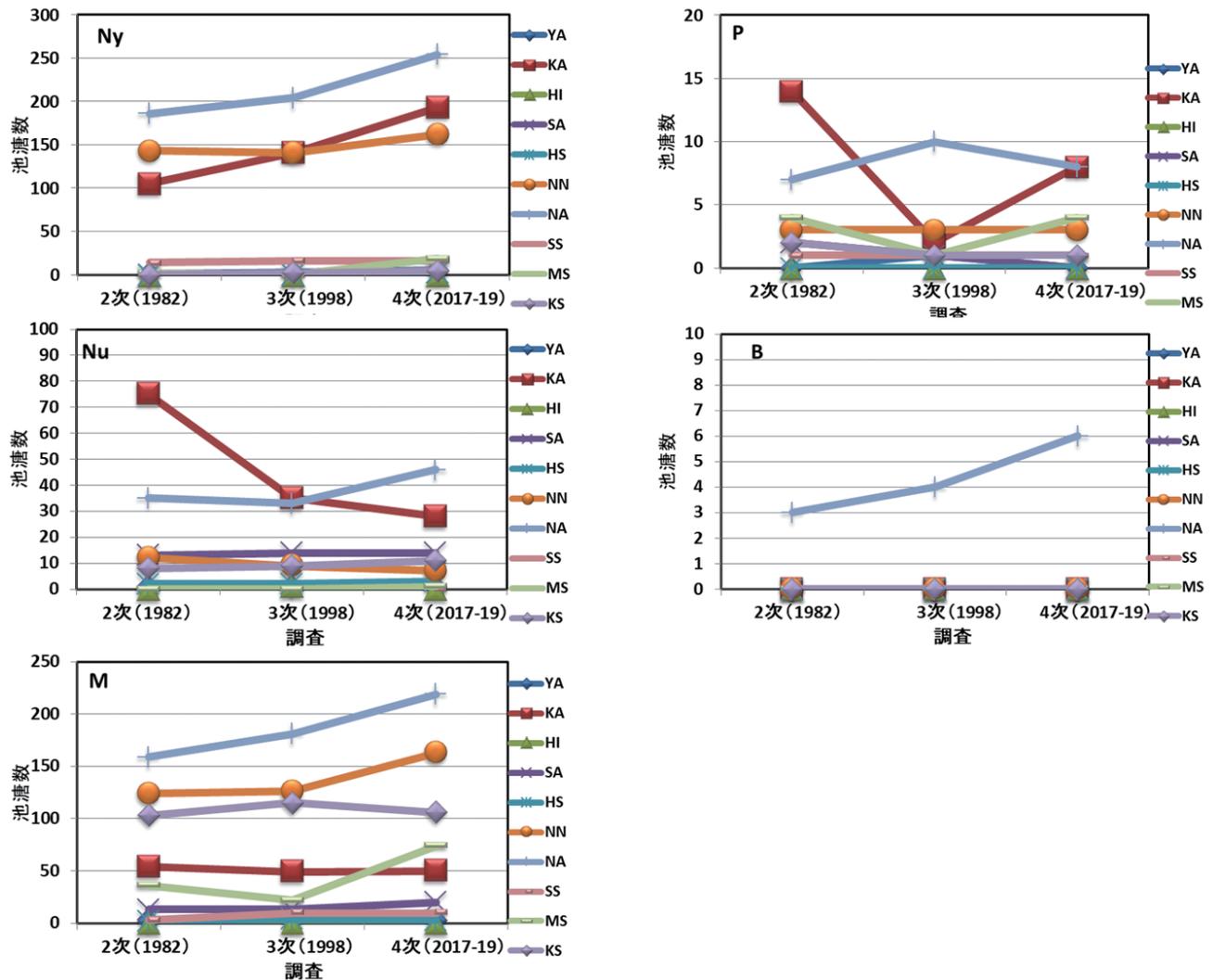


図 20：第 2～4 次尾瀬総合学術調査の大型水生植物の田代毎の池塘数の変化。

YA: 山ノ鼻田代, SA: 背中アプリ田代, HS: 東背中アプリ田代, KA: 上田代, SS: 泉水田代, NN: 西中田代, NA: 中田代, KS: 北下田代, MS: 南下田代.

Ny: ヒツジグサ, Nu: オゼコウホネ, M: ミツガシワ, P: フトヒルムシロ, B: ジュンサイ.

1: 第 1 次調査, 金井 (1998a, b) から引用, 2: 第 2 次調査, Hara (1982), 3: 第 3 次調査, 金井 (1998a, b), 4: 第 4 次調査, 野原ほか (2022) 本報告.

引用文献

- Dunford, R., K. Michel, M. Gagnage, H. Piégay and M.L. Trémelo (2013) Potential and constraints of unmanned aerial vehicle technology for the characterization of mediterranean riparian Forest. *International Journal of Remote Sensing*, **30**, 4915-4935. <http://dx.doi.org/10.1080/01431160903023025>
- 福原晴夫, 木村直哉, 永坂正夫, 野原精一 (2021) 尾瀬ヶ原上田代池塘群の岸辺水生無脊椎動物に与える洪水の影響. *陸水学雑誌*, **82**, 169-186.
- 福原晴夫, 永坂正夫, 高野典礼, 藤原英史 尾瀬ヶ原の上田代池塘群の底質に対する洪水の影響. *低温科学*, **80**, 25-42.
- 原 寛 (1980a) 尾瀬ヶ原及び周辺地域の総合的調査研究. 文部省科学研究費成果報告書, 総合研究 (A) 234066.

119pp.

- 原 寛 (1980b) 高等植物フローラの変化と追報. 尾瀬ヶ原及び周辺地域の総合的調査研究, 43-45, 文部省科学研究費成果報告書.
- Hara, H. (1982) *Ozegahara, scientific researches of the highmoor in central Japan*. 480pp. Japan society for the promotion of science 5-3-1, Kojimachi, Chiyoda-ku, Tokyo 102, JAPAN.
- 平山英毅, 富田瑞樹, 原慶太郎 (2018) 衛星リモートセンシングによる尾瀬植生図作成手法の検討. *東京情報大学研究論集*, **22**, 75-84.
- 環境省 (2021) 尾瀬国立公園指定書. 令和 3 年 4 月 9 日, 6p.
- 金井弘夫 (1982) 尾瀬ヶ原の池塘地図と水生植物の分布. *生物科学*, 175-178.
- 金井弘夫 (1998a) 尾瀬ヶ原の池塘地図と水生植物 5 種

- の分布消長. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団編): 377-417. 尾瀬総合学術調査団, 前橋.
- 金井弘夫 (1998b) 尾瀬ヶ原池漕カタログ, メモノート. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団編): 419-471. 尾瀬総合学術調査団, 前橋.
- 金井弘夫 (2006) 新潟県中越地震 (2004 年) の尾瀬ヶ原への影響 - 空中写真による予備観察 -. 植物研究雑誌, **81** (5), 307-316.
- Kaneko, K. and S. Nohara (2014) Review of effective vegetation mapping using the UAV (unmanned aerial vehicle) method. *Journal of Geographic Information System*, **6**, 733-742.
- 樫村利道, 伊藤忠男, 五十嵐徳三 (1990) 北下田代の自然排水池漕について. 尾瀬の保護と復元, **19**, 51- 54, 福島県.
- 樫村利道, 樋口利雄, 大須賀昭雄 (2007) 尾瀬ヶ原北下田代の自然排水池漕について. 尾瀬の保護と復元 (特別号), 127- 148, 福島県.
- 気象庁 (2021) 燧ヶ岳.
https://www.data.jma.go.jp/vois/data/sendai/216_Hiuchigatake/216_index.html
- 国土交通省 (2021) 水文水質データベース. <http://www1.river.go.jp/> (2021 年 10 月 30 日 480 時点).
- 国土地理院 (2021) GSI Map. <https://www.gsi.go.jp/> (2021 年 10 月 30 日時点).
- 宮脇 昭, 藤原一繪 (1970) 尾瀬ヶ原の植生. 国立公園協会, 東京, 152 p.
- 永坂正夫, 福原晴夫, 高野典礼, 藤原英史 (2022) 尾瀬ヶ原湿原における底泥環境に関連した水生植物の池漕内分布. 低温科学, **80**, 329-341.
- Nex, F., and F. Remondino (2013) UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, **6**, 1-15. <http://dx.doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- 野原精一, 福原晴夫, 山本鎔子, 落合正宏, 大高明史, 宇多川広勝 (2012) 尾瀬の彩雪の分布と積雪環境. 低温科学, **70**, 21-35.
- 野原精一, 村田智吉, 藤原英史, 福原晴夫, 千賀有希子 (2021) 尾瀬ヶ原における湿原地形と河川・池漕環境の変遷. 陸水学雑誌, **82**, 151-169.
- 野原精一, 村田智吉, 藤原英史, 安類智仁, 福原晴夫 (2022) 尾瀬ヶ原における湿原地下環境に関する水文地形学的研究. 低温科学, **80**, 43-60.
- 野原精一, 村田智吉, 藤原英史, 福原晴夫, 萩原富司, 千賀有希子 (2022) 尾瀬ヶ原における河川と池漕の水文地形学. 低温科学, **80**, 95-122.
- Pearsall, W. H. (1956) Two blanket-bogs in Sutherland. *J. Ecol.*, **46**, 493-516.
- 阪口 豊 (1974) 泥炭地の地学 - 環境の変化を探る -. 東京大学出版会, 1-329.
- Sakaguchi, Y. (1979) Distribution and genesis of Japanese peat lands. *Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo*, **11**, 17-42.
- 阪口 豊 (1982) 尾瀬ヶ原盆地の成因と湿原の発達. 生物科学, **34**, 36-43.
- 阪口 豊 (1989) 尾瀬ヶ原の自然史. 中央公論社, 229p.
- Sakaguchi, Y. (2005) *The Ozegahara mire - The striking features and genesis of a natural historical heritage of Japan*. Self-publishing, Tokyo, 95p.
- 阪口 豊 (2007) 尾瀬ヶ原の水分環境と泥炭湿原・ケルミーシュレンケ複合体の成因について - 特異な空中写真から読み解けたこと -. 尾瀬の自然保護. 群馬県特殊植物等保全事業調査報告書, **30**, 1-24.
- Salami, E., C. Barrado and E. Pastor (2014) UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetation area. *Remote Sensing*, **6**, 11051-11081. <http://dx.doi.org/10.3390/rs61111051>
- Sasaki, N., and T. Sugai (2015) Distribution and development processes of wetlands on landslides in the Hachimantai volcanic group, NE Japan. *Geographical Review of Japan Series B* **87**, 103-114.
- 佐々木夏来 (2019) 山岳湿地の立地と環境変動に関する研究. 公益財団法人国土地理協会, 第 18 回学術研究助成 (地理学および関連する分野の学術的調査・研究) 報告書, 1-22.
- Sasaki, N. and T. Sugai (2018) Holocene development of mountain wetlands within and outside of landslide in the Hachimantai volcanic group, northeastern Japan. *Quaternary International*, **471**, 345-358.
- 下川和夫 (1988) 多雪景観の分布からみた東北日本の自然領域区分. 札幌大学女子短期大学部紀要, **12**, 61-82.
- 鈴木邦雄, 浅川 順 (2022) 尾瀬パーチャルツアーのデジタルシステム開発. 低温科学, **80**, 529-535.
- Suzuki, T., T. Hashizume and S. Suzuki (2012) The easy building measurement by utilizing small autonomous flying robot (UAV). *Building Construction Planning*, **740**, 65-69.
- 橋 ヒサ子 (2005) 尾瀬ヶ原湿原. 「図説 日本の植生」(福岡司・岩瀬徹 編), 110-111, 朝倉書店, 東京.
- Takaoka, S. (2015) Origin and geographical characteristics of ponds in a high mountain region of central Japan. *Limnology*, **16**, 103-112.
- 安田正次, 大丸裕武, 沖津 進 (2007) オルソ化航空写真の年代間比較による山地湿原の植生変化の検出. 地理学評論, **80**, 842-856.
- 吉川正人, 星野義延, 大志万葉々子, 大橋春香 (2021) 尾瀬ヶ原の湿原植物群落に生じたシカ増加前後 50 年間の種組成変化. 植生学会誌, **38**, 95-117.

電子資料 1 表 1

電子資料は本文 pdf とともに北海道大学学術成果コレクション HUSCAP で閲覧可能.

(<https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/journals/index.php?jname=173>)