



Title	尾瀬ヶ原における河川と池澮の水文地形学
Author(s)	野原, 精一; Nohara, Seiichi; 村田, 智吉 他
Citation	低温科学, 80, 95-122
Issue Date	2022-03-31
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/lowtemsci.80.95">https://doi.org/10.14943/lowtemsci.80.95</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/85009">https://hdl.handle.net/2115/85009</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	06_p095-122_LT80.pdf



# 尾瀬ヶ原における河川と池澮の水文地形学

野原 精一<sup>1)</sup>, 村田 智吉<sup>1)</sup>, 藤原 英史<sup>2)</sup>, 福原 晴夫<sup>3)</sup>,  
萩原 富司<sup>4)</sup>, 千賀 有希子<sup>5)</sup>

2021年12月20日受付, 2022年2月11日受理

尾瀬ヶ原は面積約7.6 km<sup>2</sup>の本州最大の泥炭地・山岳湿原である。気候変動の湿原への影響を探るため湿原における洪水の影響を明らかにすることを目的に研究を実施した。2019年5月に融雪による洪水が発生し、上田代の池澮は滝のような流れを受け、池澮底質の洗掘や湿原への流出が観察された。洪水前後に粒度分析を行った結果、洪水後の池澮には数 $\mu$  mの非常に小さな球形無機粒子や無機粒子があり、水深約1 mより深い池澮はしばらく濁った。直後にUAVの空撮によって詳細な濁りの分布が明らかになった。研究見本園の表層から約1 m深に無機成分の多い層が見られ、過去約1,300年前の洪水履歴とみられた。

## Hydrogeological studies of rivers and bog pools in Ozegahara mire ecosystems

Seiichi Nohara<sup>1</sup>, Tomoyoshi Murata<sup>1</sup>, Eiji Fujiwara<sup>2</sup>, Haruo Fukuhara<sup>3</sup>,  
Tomiji Hagiwara<sup>4</sup>, Yukiko Senga<sup>5</sup>

Ozegahara mire is the largest peatland (7.6 km<sup>2</sup>) in the mainland of Japan. The mire is located on the amphitheater-shaped basin surrounded by high mountains of 2,000 m. The heavy snow flooding in torrents was happened in May 2019 at Kamitashiro area. The turbidity of bog pools in Kamitashiro increased in May 2019, by surface water and ground water inflow. After the flooding, distribution of the muddy water in bog pool was taken by air photography of UAV. The high content of inorganic particle was detected from peatland sediment of about 1 m depth layer and estimated by historical flooding about 1,300 years ago. The bog pool KA1-04 had early snowmelt by ground water inflow from middle bog pool.

キーワード：泥炭地湿原, 河川, 尾瀬ヶ原, 水文地形学, 池澮  
bog pools, environmental change, hydrogeomorphology, Ozegahara mire, rivers

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, 責任著者

2) (株) ドキュメンタリーチャンネル

3) 河北潟湖沼研究所

4) (財) 地球人間環境フォーラム

5) 東邦大学理学部

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

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

3 Kahokugata Lake Institute, Kitanakajyouna 9-9,  
Tubannmachi, Ishikawa 929-0342, Japan

4 GlobalEnvironmental Forum, 8'h floor Kuramae  
Intelligent Bldg., 3-17-3 Kuramae, Taito-ku, Tokyo, 111-  
0051, Japan

5 Toho University, Faculty of Sciences, 2-2-1 Miyama,  
Funabashi, Chiba 274-8510, Japan

### 1. はじめに

尾瀬地域は福島県, 群馬県, 新潟県の3県に位置し, 標高2,000 m級の山々に囲まれた盆地を形成している(図1)。尾瀬とその周辺地域は国立公園の特別保護地区, 国の特別天然記念物で, 有数の美しい景観の貴重な自然を有する(原, 1980; Hara and Mizushima, 1954; 群馬県尾瀬保護専門委員会, 2008; 福島県, 2007, 2008)。その中にある尾瀬ヶ原は東西6 km, 南北2 km, 面積約7.6 km<sup>2</sup>の日本有数の山岳湿原である。

北東にそびえる尾瀬最高峰の成層火山である燧ヶ岳(約15万年前~現在に噴火した安山岩・玄武岩の火山)の北山麓にはいくつかの湿原が分布している(産総研地質調査総合センター, 2021)。古生代の蛇紋岩からなる至仏山, 尾瀬ヶ原の北には景鶴山, 東に与作岳, 西に大白沢山を連ね, 西南面に古生代の海成層泥岩の八海山がある(図2)。南東方向に伸びる尾根は鳩待峠, 横田代, 傾斜の緩い楕状火山のアヤメ平, 富士見峠, 白尾山, 皿伏山, 三平峠と続き, この尾根は太平洋側と日本海側の分水嶺となっている。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へ流れてきた猫又川と上田代で川上川と合流し, 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, 三条ノ滝を経て日本海に流れる(図3)。

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, 抛水林とよばれる湿地林を作る。新生代第四紀の更新世にススケ峰火山の噴火があり, 続いてアヤメ平, 皿伏山, 荷鞍山の火山が噴火した。これらの溶岩や火山噴出物は, 古只見川の上流部まで多量に堆積しそのほとんどが侵食され, 尾瀬ヶ原, 尾瀬沼の盆地の原形ができた。燧ヶ岳は何度も噴火を繰り返し, 溶岩や火山灰を大量に噴出して現在の成層火山に成長した。噴火の始まりは更新世の末期で, 今から500年程度前にも噴火があった。湿原堆積物である泥炭の堆積時期は, 約9,000年前~6,000年前から始まり, 尾瀬ヶ原では, 泥炭の厚さは最大で5 mに達している(阪口, 相馬, 1998)。尾瀬ヶ原のドーム状高まりや緩やかに傾く田代はすべて泥炭層基底の地形を反映し, ブランケット泥炭地に類似の泥炭地である(阪口, 1983, 1985, 1989)。約6,000年前から河川堆積物の上にミズコケや維管束植物が生育し始め, 枯れた植物が長年堆積して泥炭地の湿原が形成された(阪口, 1989; 相馬, 阪口, 1998)。湿原の下には, 河川から運ばれた砂礫層が約5 mのところがあり, まずヨシが生育してやがてミズゴケの湿原に変化し, 約2,000年前からはイネ科のヌマガヤの植生になっていた。泥炭の成長は年間約0.6~0.7 mmである(阪口, 1989)。

阪口, 相馬(1998)は, 第3次尾瀬総合学術調査の調査中に洪水を体験し, その後の尾瀬ヶ原における河川由

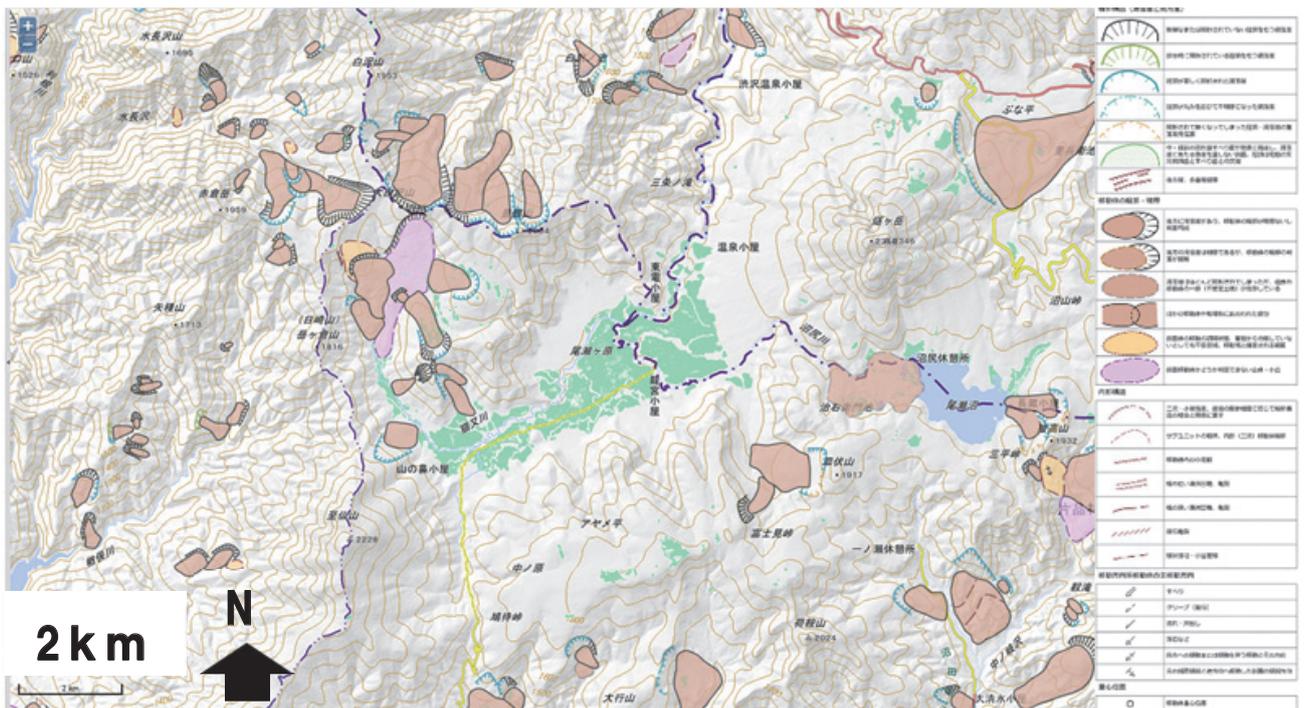


図1: 尾瀬地区の地すべり地形図。(https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#13,36.93423,139.23096 から作図)。黄緑: 湿原地域, 水色: 開水面。

来の堆積物粒子を詳細に観測し、洪水による氾濫水運搬微粒子を湿原内の泥炭から抽出して、氾濫水の及んだ範囲を示し、懸濁物質の湿原への沈積による富栄養化や新たな生物（魚類）の侵入による生態系の変化の可能性を指摘している。過去に高地・寒冷地の尾瀬ヶ原ではダム化事業計画のために水位、流量観測が観測されたことがあった（尾瀬地区水文気象調査総合報告 1953～1957 年第 1 部）がこれまで水位観測は稀である（浅田, 1957; 野原ほか, 2021）。またこれまで尾瀬ヶ原の池澮の水位連続観測データは殆ど例が無く、池澮への洪水の程度や頻度についてほとんど不明であった（野原ほか, 2021）。

尾瀬ヶ原では近年洪水の頻度が増し池澮に氾濫水が流入する状況が起こっている（福原ほか, 2021; 野原ほか, 2021）。そこで、尾瀬ヶ原上田代の池澮において岸辺水生無脊椎動物の時間単位採集を行い洪水の影響を検討した（福原ほか, 2021）。各分類群の平均採集個体数は洪水池澮で少なく、総採集個体数とハエ目採集個体数で有意に少なく、ササラダニ類も洪水池澮で少ない傾向を示した。ハエ目の中ではユスリカ科モンユスリカ亜科の採集個体数が洪水池澮で少なく、洪水はこの亜科に大きな影響を与えたと推定された。また洪水によって池澮に侵入した魚類の捕食圧の増加も個体数の低下を引き起こしている可能性があった。

第 4 回尾瀬総合学術調査として引き続き尾瀬湿原への

気候変動の影響を探るため池澮水位・水質などの水文環境情報と地形・地質情報から尾瀬ヶ原の池澮における洪水の水質・水文影響を明らかにすることにした。特に 2011 年 7 月末の新潟福島集中豪雨と 2019 年 5 月中旬の融雪時の洪水後に池澮水に白濁が見られたことについて原因解明を目的に研究を実施した。

## 2. 方法

### 2.1 調査地点

尾瀬ヶ原は、標高 1,400 m の盆地にある面積 7.6 km<sup>2</sup> の湿原で、その形成過程としてはブランケット型の本州最大の山岳湿原（高位泥炭地）である（阪口, 1982; Sakaguchi, 2005）。約 1,800 の池澮が分布し、識別番号が付され継続的研究が可能となっている（金井, 1998）。尾瀬の水系図を公開されているレーザープロファイラーのデータによる立体地図とシームレス地質図（産総研地質調査総合センター, 2021）の表記を行った（図 2）。

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は約 6 m である（国土地理院, 2021）。北に猫又川が流れ、西の川上川が猫又川に流入し、南から上ノ大堀川が東でヨッピー川に流入する（図 3）。

尾瀬地域で定点気象観測を長年、継続的にデータを蓄

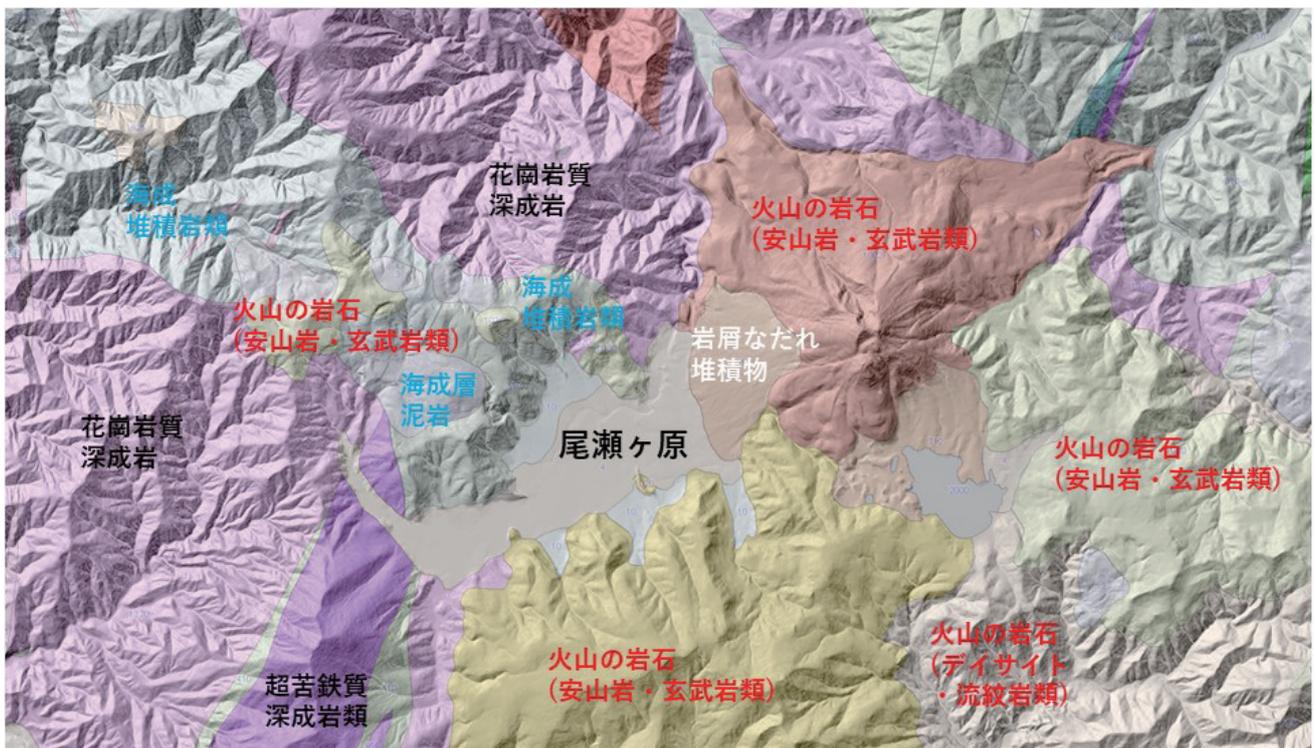


図 2：尾瀬の地質。シームレス地質図（2021）から作図。

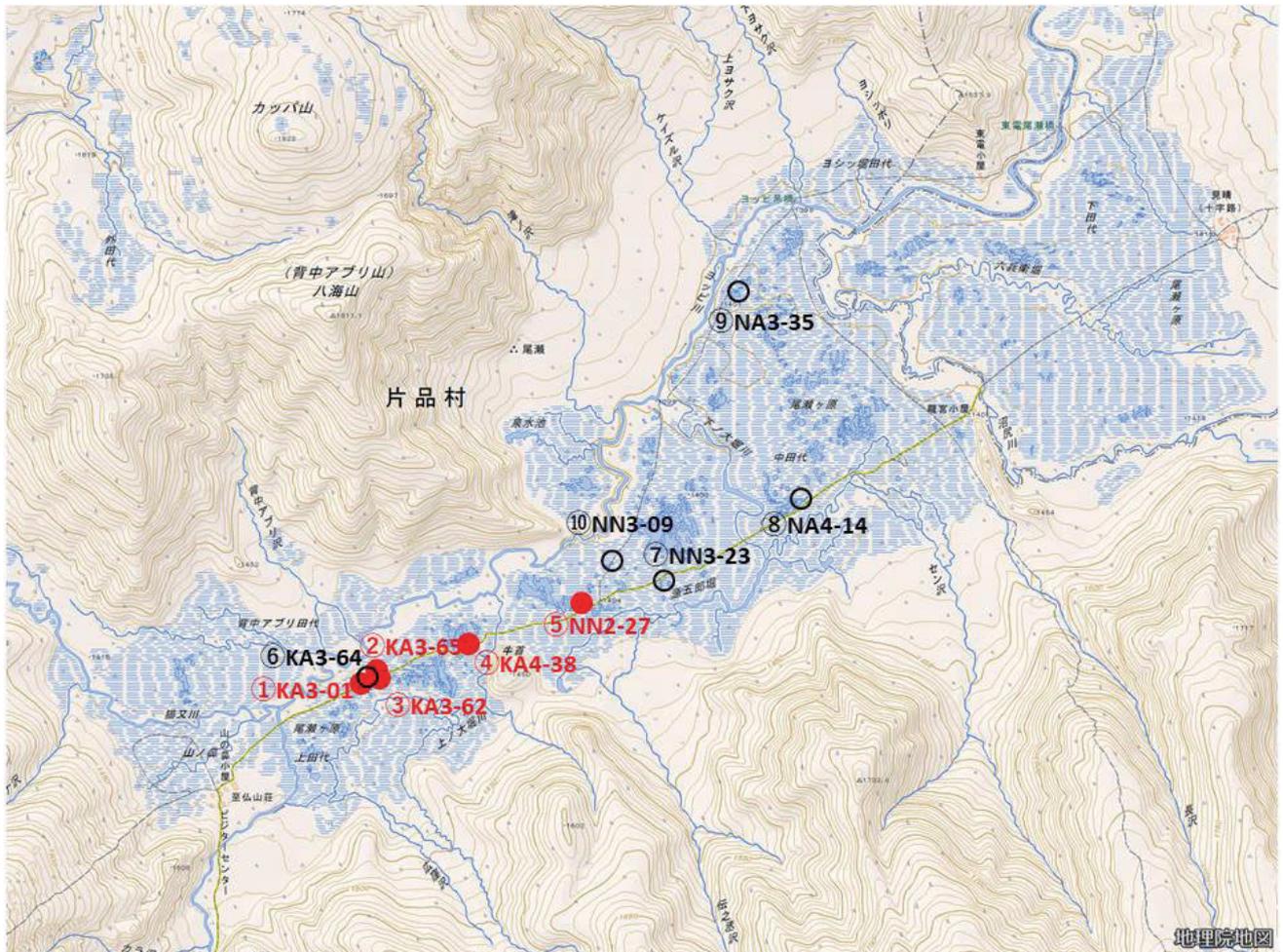


図3：観測地点図。  
 (KA3-01, 62, 64, 65, KA4-38, NN2-27, NN3-23, NA4-14, NA3-35, NN3-09). 白濁した池澮の水位と湿原地下水位 (赤●), きれいな池澮の水位と湿原地下水位 (黒○) 地理院地図に作図.

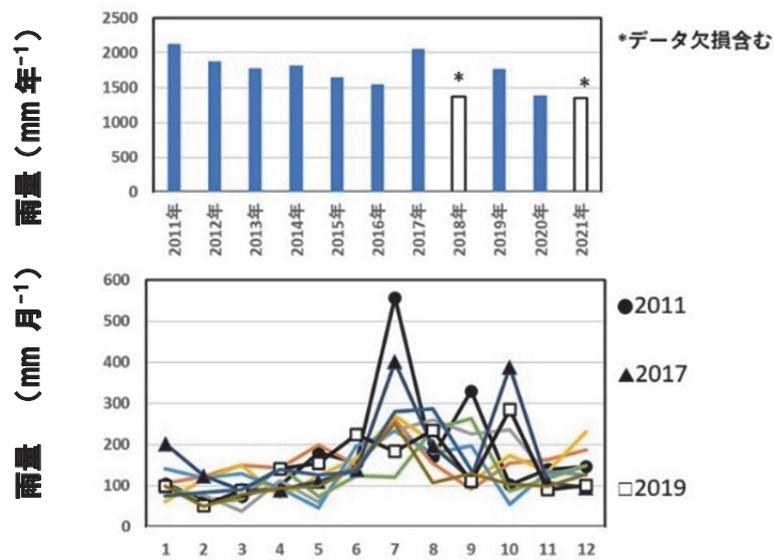


図4：鳩待峠観測所における降水量の年変化と月変化 (2011～2020年).  
 \*: データ欠損. 国土交通省 鳩待峠の河川水文データ (2020) から作図.

積している所は3箇所（尾瀬沼，温泉小屋，山の鼻ビジターセンター）あり，更に1982年から檜枝岐村にアメダス気象観測所が設置されている．また国土交通省（2021）の河川データベースの雨量測定が鳩待峠で行なわれている（図4）．尾瀬ヶ原の水位のデータは最も近い鳩待峠の降水量と最もよく連動しており，尾瀬ヶ原の降水量として扱った．

## 2.2 現地調査

野原，安類らは環境省モニタリング1000（環境省，2021）の調査時の2011年7月の新潟福島集中豪雨に尾瀬ヶ原で遭遇し，これまでにない湿原の大洪水を体験した．その後の8月には環境学習のために尾瀬ヶ原の池澮の水質調査を実施し，特定の池澮水が白濁していることを観察した．野原，福原らはその後年の尾瀬ヶ原に調査に入っていた2019年5月20日夜半から21日かけて，融雪時に洪水が発生し，川上川とヨッピー川が氾濫して湿原内を濁流が流れ，数多くの池澮に河川水が流入する事態に遭遇した．調査地域に最も近い鳩待峠観測所での累加雨量（図5）は，84 mmであった（国土交通省，2021）．22日，23日に踏査し池澮の状態を観察し池澮水や河川水を採取した．

湿原と池澮において地下水位及び池澮水位の連続測定を行った．さらに，洪水区，非洪水区を含む尾瀬ヶ原上田代の池澮40箇所（図6）を選び池澮生態系の地形や

環境測定，水温・水位観測を連続的に行った（図3）．微地形と河川水位・泥炭地地下水位，植生変化予測や池澮の環境変遷の解明を目指した．UAV（無人航空機，ドローン）による航空写真データ等から湿原地形のより詳細な地図を作製し池澮水位，泥炭地の地下水位の変動を調査した．

池澮環境を一般化するため，気候水文と関連する池澮水位，泥炭地の地下水位の変動パターンを明らかにした．特に2011年7月の大洪水における河川由来の粘土鉱物等の堆積物について特徴を把握した．洪水時における冠水場所，流路の把握を行い10 cm間隔の詳細な流路の検証を行うため，2017年初夏と2018年，2019年融雪時にUAVで撮影した．上田代と中田代では詳細な地形図を作成した．地形の詳細なデータセットを用いて降雨流出時の木道の冠水状況を把握するため，雨量計，積雪圧計を設置し現地観測も実施した．また，自動撮影カメラでいくつかの池澮の状態を定期的に撮影し，降水イベントを観察できるようにインターバル撮影を行った．木道によって遮られた水路，新たにできた流路などの地形情報を整備した．

## 2.3 分析法

EM (electromagnetic- method) 探査は，電流と磁気との相互作用を利用した電気探査法で大地内の電流によって生ずる磁場または電磁場を観測する（野原ほか，

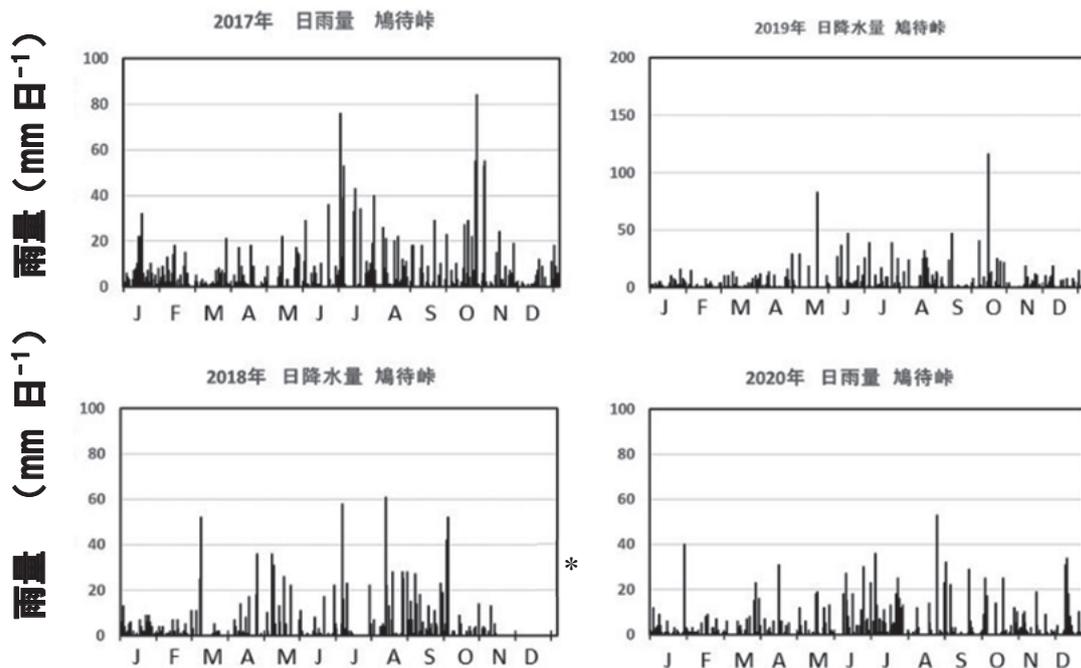


図5：鳩待峠観測所における降水量の日変化（2017～2020年）．

\*: データ欠損．国土交通省 鳩待峠の河川水文データ（2020年）から作図．

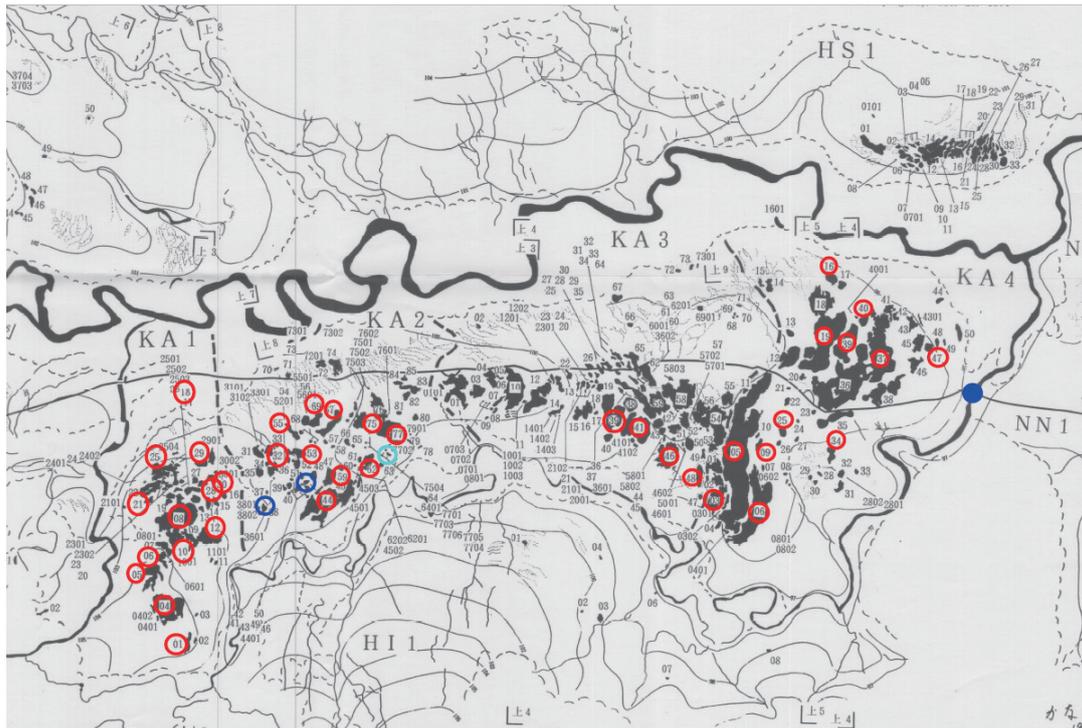


図6：尾瀬ヶ原上田代の調査地点図。

40 池澮 (KA1-01, 04, 05, 06, 08, 10, 12, 18, 21, 25, 29, 30, KA-32, 44, 53, 54, 55, 62, 69, 67, 75, 77, KA3-39, 41, 46, 48, KA4-03, 05, 06, 09, 16, 19, 25, 34, 39, 37, 40, 47), 噴水池澮 (青○), 群大井戸 (水色○) 河川水 (青●), 金井 (1998) の池澮地図をもとに作図。

2021). 山ノ鼻地区の研究見本園において, アオモリトドマツ立木を基点として川に直交する調査ライン 300 m を設定して, 大小 3 種類のコイルを用いてスリングラム式 EM 探査を積雪上から 2011 年夏季の大洪水の翌年の 2012 年 5 月に実施し, 非破壊で泥炭地の地下構造を観測した。

水深, 水温, 電気伝導度は CTD 計測器 (Cast Away, YSI ナノテック社, USA) で測定した。水面と湿原との高さは比較的平坦な湿原面に水平に置いた 2 m の測深ポールから垂直に伸ばしたメジャーで測定した。池澮水は表層から 2 L のポリエチレン製の給油ジャーで採水して懸濁物質質量, 粒度分析を行った。粒度はレーザー回折の原理を基に水中における懸濁物質の粒径スペクトルの観測を可能にした粒径・粒度分布計 (LISST-100x, Sequoia Scientific 社, USA) で粒径分布を小アングル前方散乱 (ベース: Mie Theory) 法で観測した。池澮水と河川水は GF/F フィルターでろ過後の栄養塩 (亜硝酸, 硝酸, アンモニア, リン酸態リン) を比色分析 (TRAACS2000, ブラン・ルーベ) で分析した。濁度は携帯式濁度計 (TN-100, Eutech Instruments) にて, 原水および GF/F フィルターでろ過したろ過水を測定し, 差し引きして懸濁態濁度を計算した。GF/F フィルター上の懸濁粒子を乾燥後, 炭素でコーティングした後, 走

査型電子顕微鏡 (JSM-6510LA, 日本電子 (株)) で観察を行なった。EDS 装置 (JED-2300, 日本電子 (株)) によって微小な領域に含まれる元素の定性及びその元素の存在比を計測した。

池澮の水温・水位は池澮の底に沈めた水位センサーにより連続測定した。地下水位計は塩ビパイプ (内径 26 mm, 長さ 150 cm) を両端開放したピエゾメータにして地表から 1 m の地下水位を水位計データロガー ( $\pm 0.5$  cm 精度, Onset 社) で 1 時間間隔の測定を行った。雨量は尾瀬ヶ原に最も近い鳩待峠 (国土交通省, 2021) の観測値を参照した。

現地の標高は国土地理院地図基盤地図情報数値標高モデル (DEM5A) から地形特徴点の位置と標高を読み取り使用した (国土地理院, 2021)。詳細な微地形はローテティングレーザー (RL-H5A, トプコン社) を設置し水平にレーザーを発射し, レベルセンサでレーザー光を受光した。ポール高によりローテティングレーザーとの高低差を求め, その場の高度を測定した。さらに, 水平距離はレーザー距離計で測定した。

航空写真は主に UAV (Phantom 4 Pro V2.0, DJI JAPAN 社) を活用して 2019 年 8 月中旬に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 % オーバーラップで撮影した。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。また高度50mからの詳細な画像から池澮の濁度分布等の詳細な把握を可能にした。

上田代 KA1-04の池澮について、GPS付き魚群探知機(Hook Reveal 5, Lowrance社, USA)を用いて測深し、Reef master v.2.0のソフトを用いて水深図を作成した。

### 3. 結果

#### 3.1 降水量の年変化と季節変化

尾瀬ヶ原の気候解析(尾瀬山ノ鼻)は西村, 吉弘(2008)により、2006年までの30年間について、変動傾向も含めて詳しく行われて、夏期平均気温の上昇、年降水量の増加、1時間降水量の年最大値の増加、最深積雪深の増加が挙げられ、気温、降水量ともに近年の傾向(気象庁, 2020)に一致する。

鳩待峠の河川水文データ(国土交通省, 2020)から作図した鳩待峠観測所における降水量の年変化と月変化(2011~2020年)を示した(図4)。一部の時期はデータ欠損(\*)している。2011年は7月末に新潟・福島集中豪雨があり、記録的な雨量となった。国土交通省 鳩待峠の河川水文データ(2021)から鳩待峠観測所における降水量の日変化(2017~2020年)を作図した(図5)。一部の時期はデータ欠損(\*)している。

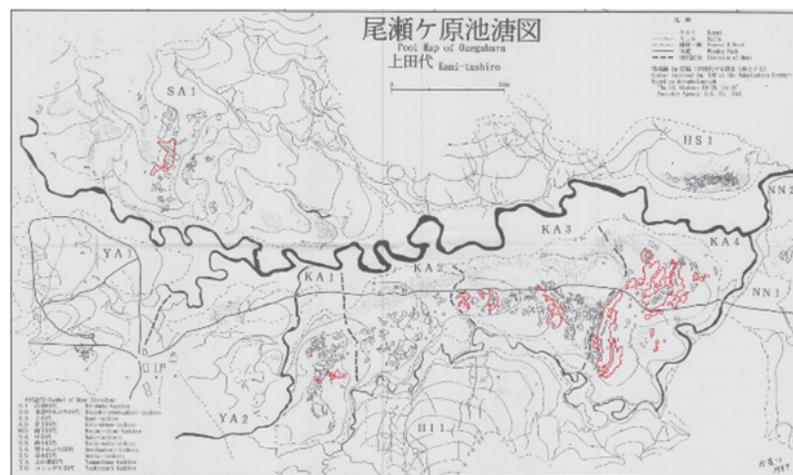
#### 3.2 2011年新潟福島集中豪雨による大洪水

筆者らは2011年7月の新潟福島集中豪雨に尾瀬ヶ原で遭遇し、これまでにない湿原の大洪水を体験した。洪水後約2週間してモータパラグライダーで観察した富士見小屋の方が撮影したGoProの空中写真(図7)から2011年8月の上田代の洪水後の尾瀬ヶ原全体での池澮の白茶色の濁度程度を図化した(図8)。赤線で囲まれた池澮は2011年8月中旬にも濁っていたことを示し、金井(1998)の池澮図に追加して作図した。白茶

の濁りは猫又川、上ノ大堀川やヨッピ川近辺に白茶色の地域が限定され、沼尻川の周辺には白茶に濁った池澮は



図7：2011年8月の上田代の洪水後の空中写真。



A



B

図8：2011年8月の上田代(A)と中田代(B)；洪水後の池澮の白濁状況。赤線で囲まれた池澮は2011年8月に濁っていたことを示す。金井(1998)の池澮図に追加して作図。

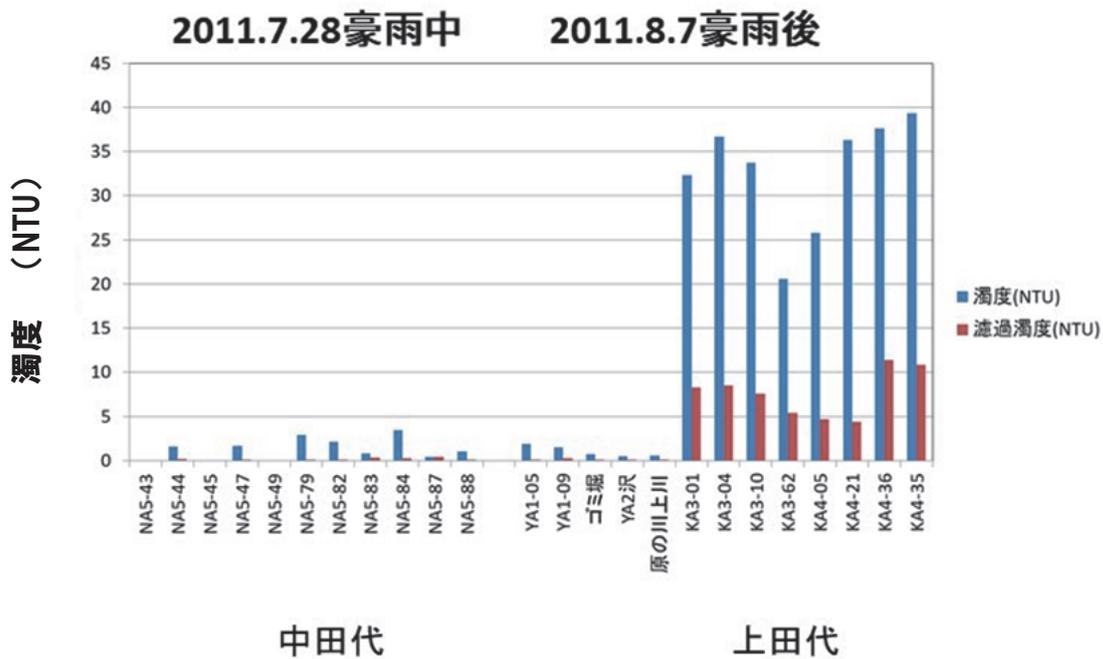


図9：2011年7,8月の上田代と中田代の洪水中, 後の池澇水と河川水の濁度とろ過濁度.

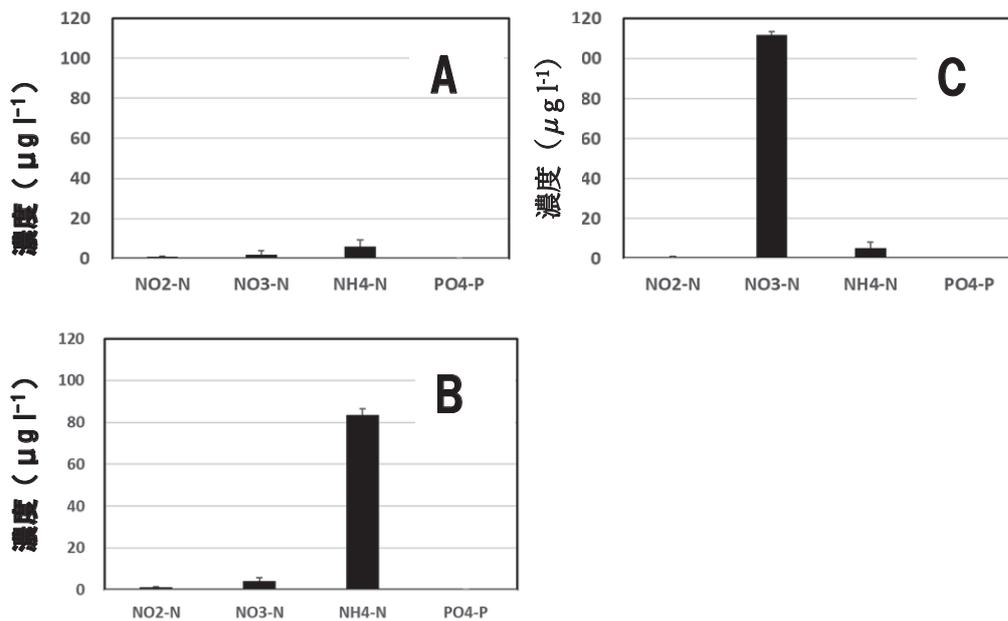


図10:40池澇 (A), 水位低下した池澇 (B: KA3-48, 49, 50) と河川水 (C) の栄養塩類 (2018年9月13日).

見られなかった.

その後, 千葉県国府台高校の生徒の環境学習の際に木道に沿って洪水中と洪水直後に採水した. 2011年7,8月の上田代と中田代の洪水中, 後の池澇水と河川水の濁度とろ過濁度を示した(図9). 環境省モニタリング1000事業(環境省, 2021)の調査の際に洪水になった集中豪雨(約200 mm 日<sup>-1</sup>)のさなか中田代で採取した池澇水はほとんど濁っておらず, 濁度は5 NTUより小さかった. 洪水後に採取した研究見本園の池澇水や河川

水もほとんど濁っておらず, 濁度は5 NTUより小さかった. 一方で洪水に見舞われた池澇の濁度は20 NTUを超えていた. その池澇水をGF/Fフィルターでろ過後に測定した濁度も普通より高く, 5~10 NTUと高くなっていた. 2018年9月には上田代40箇所の池澇と河川で採水し栄養塩の分析を行った. 池澇水には窒素やリンは極わずかしが含まれておらず貧栄養であったが, 河川水には硝酸態窒素が110 µg l<sup>-1</sup>程度含まれていた(図10). 湿原からの水位が低い3つの池澇(KA3-48, 49,

50) では、アンモニア態窒素が比較的高かった。

### 3.3 研究見本園の泥炭地下構造

新潟・福島集中豪雨のあった翌年の2012年5月にEM電磁探査による推定した尾瀬ヶ原研究見本園の300m調査ライン（図11，上図）と地下構造解釈図（図11，下図）を示した（野原ほか，2022）。上の図は，UAVで撮影した2018年の航空写真，下図が電磁探査の結果の解釈の図である。特に中央部や湿原の斜面の1.5mには強い反応があり高電気構造，良導電帯が観測された。当時約1mの積雪の下には，約4mの泥炭層があり，更にその下には，砂交じりの泥炭層があった。10mより深い層には砂や砂礫層が14mの深さまで存在していた。

### 3.4 40池澮の濁度と水深

洪水の影響のない時期に池澮の水質の変化をモニタリ

ングした。2017～2018年に上田代KA1～KA4の40箇所の池澮（図6）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わたり実施した。図12には原水の濁度（2017年8月13日と29日）ろ過濁度と水深の関係や懸濁態濁度と水深の関係を示した。8月13日と29日の原水の濁度は一定の傾向が見られ，きれいな池澮はいつも澄んでいる傾向にあった。懸濁態濁度もろ過濁度も池澮の水深とは特に関係は無かった。

池澮の水深と地表からの水位差の関係や2017年8月と9月の水深の関係を示した（図13）。水位は0.9m下がったものから湿原面とほぼ同じ水位のものがあつた。水深の深い池澮は水位が比較的安定していたが，浅い水深の池澮は水位（湿原面と池澮水面との差）の低下の著しいものがあつた。2018年6～7月は暑く降水量の少ない時期が長く続いたため，水位の低下が目立った。2018年8～10月には大型の台風が来襲して洪水をもた

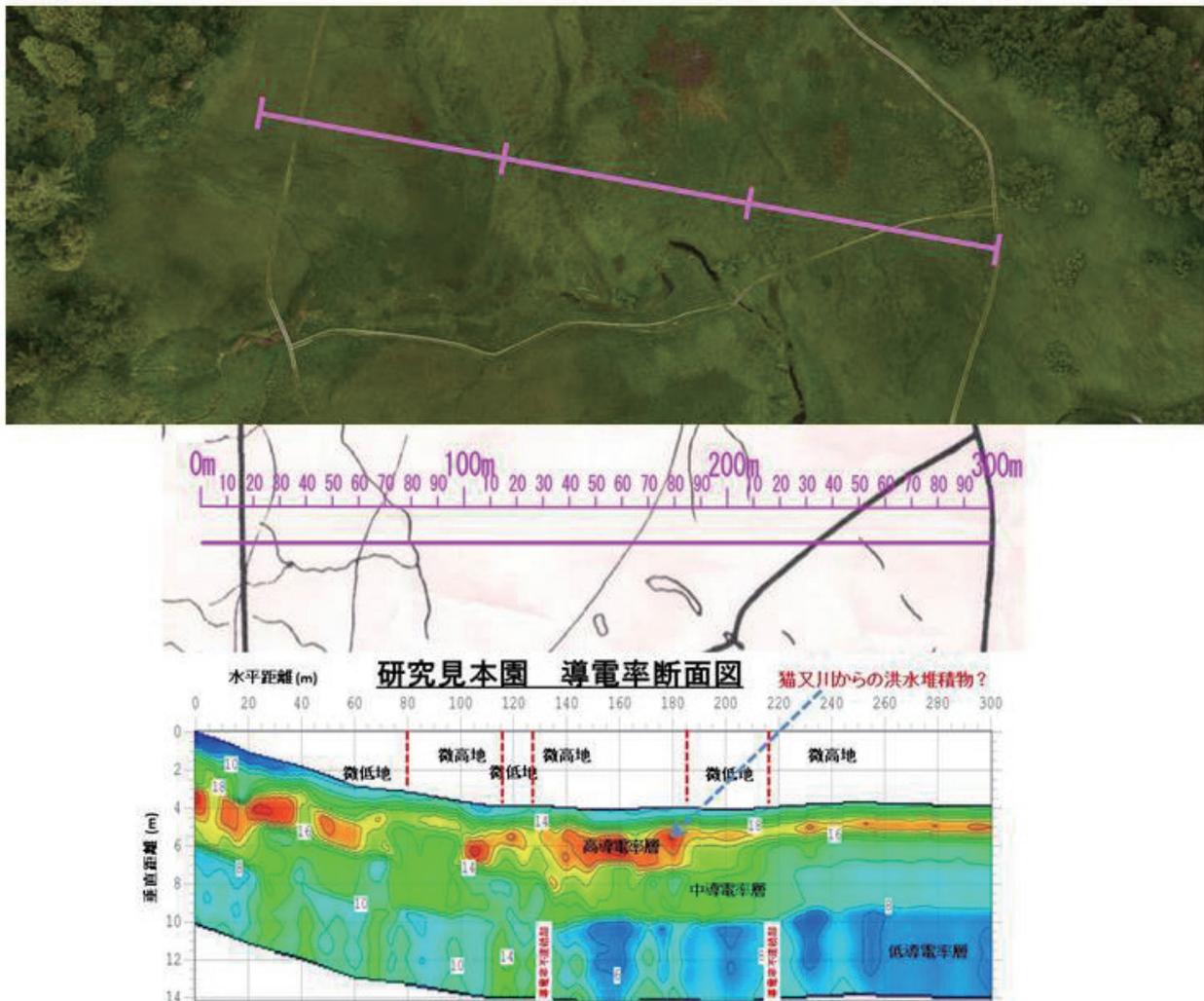


図11：尾瀬ヶ原研究見本園の2017年6月のUAV画像（上図）と電磁探査による推定した地下構造解釈図（下図）。  
上図：ピンク色ラインは観測線。野原ほか（2022）より引用。

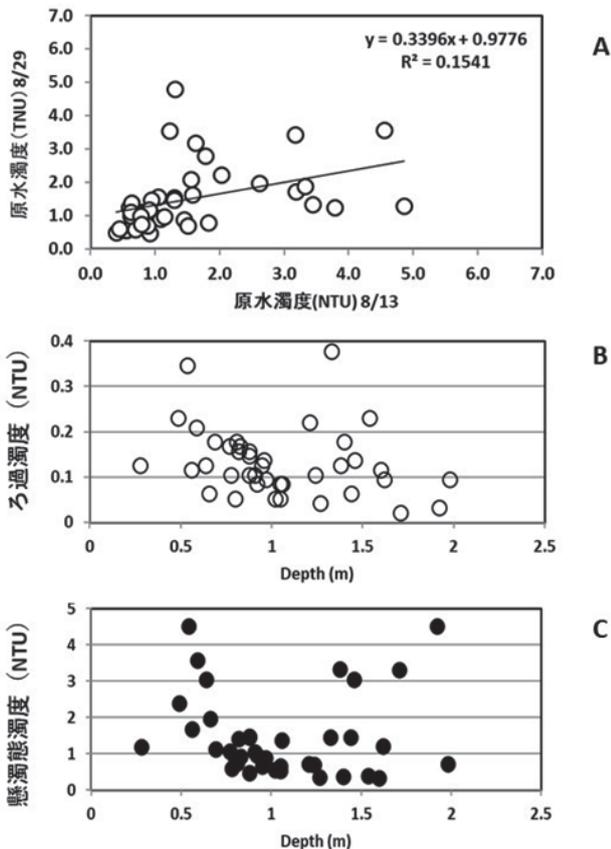


図 12: (A) 原水の濁度, (B) ろ過濁度と水深の関係, (C) 懸濁態濁度と水深の関係 (2017年8月13日と29日).

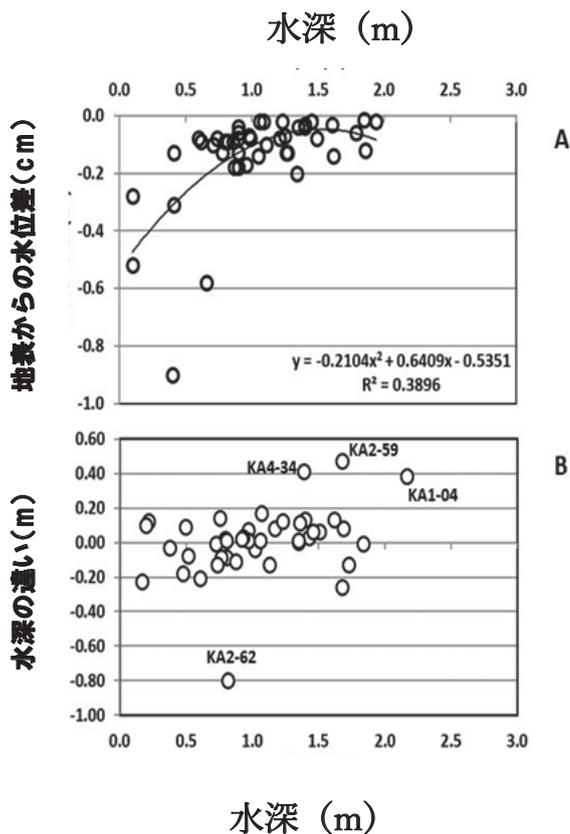


図 13: (A) 池澁の水深と地表からの水位差の関係, (B) 2017年8月と9月の水深の関係.

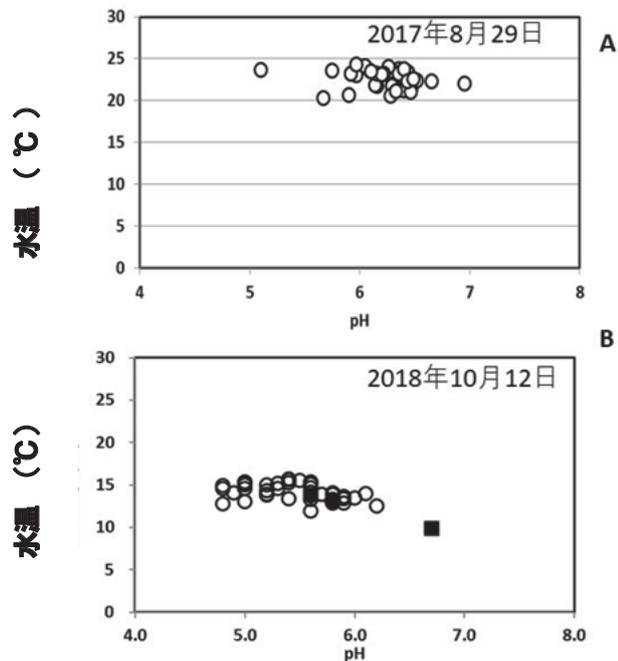


図 14: 水温と pH との関係 (A: 2017年8月と B: 2018年10月). ○: 池澁水, ■: 川上川河水.

らし, その後水位は回復した.

図 14 には水温と pH との関係 (2017年8月と2018

年10月)を示した. 平均 pH は, 2017年8月14日 (pH 6.02), 8月29日 (pH 6.38) であり弱酸性傾向にあったものが, 2018年8月1日 (pH 5.28), 8月18日 (pH 5.39) と更に酸性に傾いたが, 9月13日には (pH 6.98) とほぼ中性へ変化した. 電気伝導度は変化が少ないが, 乾燥や降水によって池澁の pH は変化した (野原ほか, 2022).

### 3.5 2019年5月融雪洪水

筆者ほか調査に入った2019年5月21日には雪解け時に大雨になり融雪洪水が起こり, 上田代の池澁は滝のような流れを生じ, 池澁底質の洗掘や湿原への流出が調査中に観察された. 図 15 には2019年5月23日の洪水後の UAV による空中写真を示した. 洪水後に濁った池澁 (赤色の池澁番号, 緑○) きれいな池澁 (白色の池澁番号) の上田代の分布図で示した. (A) KA1, (B) KA1, (C) KA2, (D) KA3の池澁の濁りには緑の丸を付けた. これらの池澁の標高にはほとんど違いが無く, 隣り合う池澁でも濁度は明らかに異なっていた. KA3-62, 65は白濁したが, 隣接の KA3-64は変化があまり無かった. 特に上田代には1箇月以上に白濁した池澁が見られ

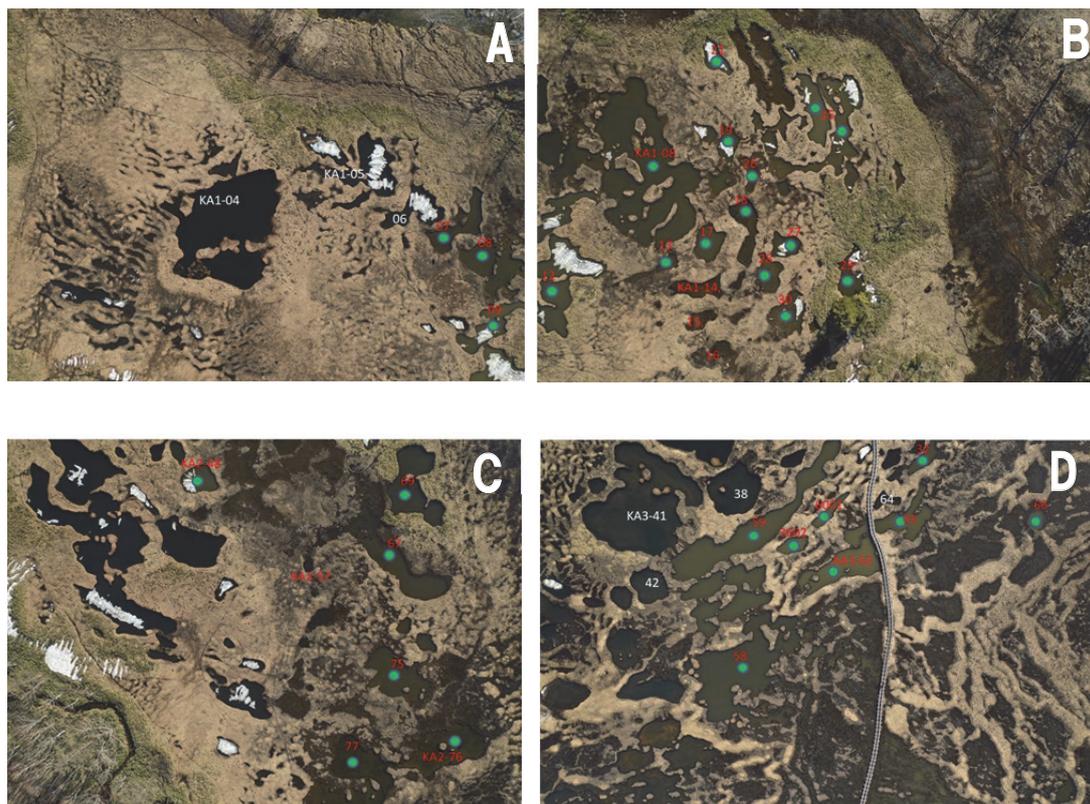


図 15：2019 年 5 月 23 日の洪水後の UAV による空中写真。  
洪水後に濁った池澮（赤色の池澮番号，緑○）ときれいな池澮（白色の池澮番号）の上田代の分布図。（A）KA1, (B) KA1, (C) KA2, (D) KA3.

た（松場氏観察）。

融雪洪水の雨上がり後の 5 月 22 日にはモニタリングしていた 40 箇所の池澮水と河川水を表層採水して懸濁物質量測定、粒度分析を行った。粒度はレーザー回折の原理を基に水中における懸濁物質の粒径スペクトルの観測を可能にした粒径・粒度分布計（LISST-100x）で粒径分布を観測した（図 16）。洪水前後の支流の川上川の河川水や湿原表層水は、洪水後には数  $\mu\text{m}$  の非常に小さな粒子が河川と湿原泥炭を通過する途中でも生成され、池澮の水深 1 m より深い池澮はしばらく濁った。これらの濁りは平水時の池澮の濁りより白く色調が異なっていた。図 17 には上田代 KA1 地区の 16 池澮の洪水後の 2019 年 5 月 22 日の池澮水の懸濁粒子の体積濃度（ $\mu\text{ l}^{-1}$ ）を示した。特に白濁している池澮水には、微細な粒子（1  $\mu\text{m}$  程度）が検出され、洪水後にも白濁していない池澮水にはその微細な粒子は含まれていなかった。注目したのは 1  $\mu\text{m}$  程度の小さなサイズの粒子の分布である。現地調査から比較的濁っているのは小さなサイズの粒子の分布する池澮と一致していた。そこで、UAV の航空写真の色調と採水によって分析した微細な粒子の有無から白濁したと判定する池澮を類型化した（表 1）。航空写真の色調判断には個人差が出る可能性が

あるため 3 名の試験者による判断で決定した。また微細な粒子の有無や現場の池澮水の色調から 4 段階に類型化した。それらの類型化した結果を洪水後に濁った池澮（赤丸）ときれいな池澮（青丸）の上田代の分布図を示した（図 18）。洪水後に濁った池澮（赤丸）は特に猫又由来の河川水が強く影響するヨッピー川の近くに集中して分布していた。一方きれいな池澮はそれらよりもやや高い地形に位置しているか、ヨッピー川から離れている特徴があった。

上田代の池澮の洪水後の 2019 年 5 月 22 日の池澮水の平均粒度と懸濁物の体積濃度を示した（図 19）。原ノ川上川の河川水は、洪水前には合計の懸濁粒子体積濃度は小さかったが、洪水後には大きくなっていった。一方、洪水前（5 月 20 日）には平均粒径は大きかったが、洪水後（5 月 21 日）には小さくなっていった。池澮水は洪水後には、懸濁粒子の体積合計は大きく、平均粒径は小さかった。

図 20 には上田代の 40 池澮の洪水後の 2019 年 5 月 22 日の池澮水の水温（ $^{\circ}\text{C}$ ）と電気伝導度（ $\text{m S m}^{-1}$ ）の関係を示した。1  $\mu\text{m}$  の粒子と現地濁度の関係を 4 つ（A～D）と河川（E）にまとめそれを類型化して 40 池澮の各値、その類型化したクラスの水温と電気伝導度と

表 1: 上田代 40 池澮における水質 (2017 年 8 月 13-14 日) と洪水後の濁り状況 (2019 年 5 月 22 日) .

池澮番号	電気伝導度	水温	水深	原水の濁度	UAV 画像による判定	4 段階	魚類侵入	総合有無判定
	(mSm <sup>-1</sup> )	(°C)	(cm)	(NTU)	○:濁りあり ×:濁りなし -:画像外	現地観察 (22-23日)	2019年7月8日 -:未調査	○:濁りあり (26) ×:濁り無し (14)
KA1-01	8.1	25.7	83	1.09	×	1	-	×
KA1-04	6.0	25.4	198	0.82	×	1	無	×
KA1-05	6.2	25.2	133	1.83	×	1	無	×
KA1-06	8.3	24.5	92	1.05	×	1	無	×
KA1-08	10.2	22.0	97	0.97	○	3	アブラハヤ	○
KA1-10	13.4	24.7	69	1.30	×	3	-	○
KA1-12	4.6	25.7	106	1.45	○	3	無	○
KA1-18	10.7	23.1	77	1.23	○	4	-	○
KA1-21	4.8	25.2	81	0.92	○	4	無	○
KA1-25	4.3	25.0	66	2.03	○	4	ドジョウ	○
KA1-28	4.9	26.4	64	3.18	○	4	-	○
KA1-29	-	-	49	2.62	-	3	-	○
KA1-30	4.78	25.1	59	3.78	○	4	無	○
KA2-32	6.14	26.4	102	0.61	×	1	無	×
KA2-44	6.56	26.2	121	0.94	×	1	無	×
KA2-53	5.86	24.9	56	1.79	×	3	ギンブナ、アブラハヤ	○
KA2-55	5.49	24.0	78	0.70	○	3	-	○
KA2-59	8.20	25.0	162	1.30	×	1	-	×
KA2-62	6.06	26.2	96	0.89	×	1	-	×
KA2-67	-	-	82	1.58	○	3	-	○
KA2-69	5.07	24.1	91	1.15	○	3	ドジョウ	○
KA2-75	6.41	24.5	88	1.56	○	3	無	○
KA2-77	7.04	25.1	88	1.63	×	3	ギンブナ	○
KA3-39	5.90	24.0	140	0.55	×	1	無	×
KA3-41	3.37	24.4	144	1.52	×	1	フナ群れ	○
KA3-46	3.78	23.4	80	0.91	×	1	-	×
KA3-48	-	-	28	1.31	×	1	-	×
KA4-02	-	-	-	-	○うす濁り	-	-	○
KA4-03	4.43	24.2	105	0.63	○うす濁り	2	-	○
KA4-05	4.83	24.2	138	3.45	○うす濁り	2	跳ね上がり観察(福原)	○
KA4-06	3.13	24.6	146	3.19	○うす濁り	2	フナ群れ	○
KA4-09	4.61	23.0	88	0.64	×	1	-	×
KA4-16	3.72	24.0	124	0.79	○	3	-	○
KA4-19	3.10	24.3	171	3.32	○	3	-	○
KA4-25	5.85	23.1	154	0.63	×	1	-	×
KA4-34	4.97	23.4	95	0.78	×	1	-	×
KA4-37	4.04	24.2	127	0.40	○	3	フナ群れ	○
KA4-39	4.08	24.4	192	4.56	○	3	無	○
KA4-40	4.41	24.7	160	0.45	○	3	無	○
KA4-47	4.85	24.4	105	0.70	○	3	無	○



図 16：上田代の 40 池澮の洪水後の 2019 年 5 月 22 日の池澮水の粒度分布。  
 各図の左の縦軸は体積濃度 ( $\mu\text{l}^{-1}$ ), 横軸は粒径 ( $\mu\text{m}$ ), 右の縦軸は累計の体積濃度 ( $\mu\text{l}^{-1}$ ), 横軸は粒径 ( $\mu\text{m}$ ).  
 各図の赤字 (日付, 池澮番号) は白濁した池澮を示す。

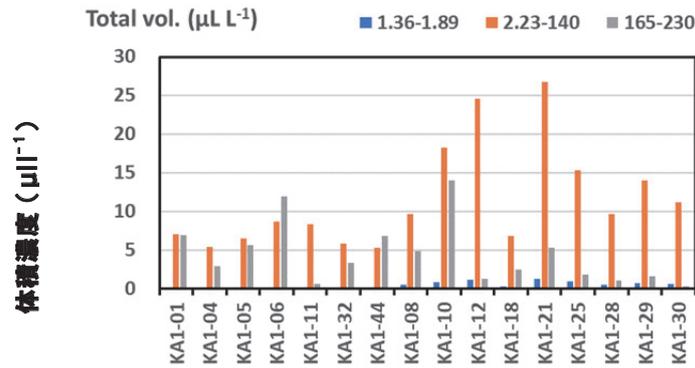
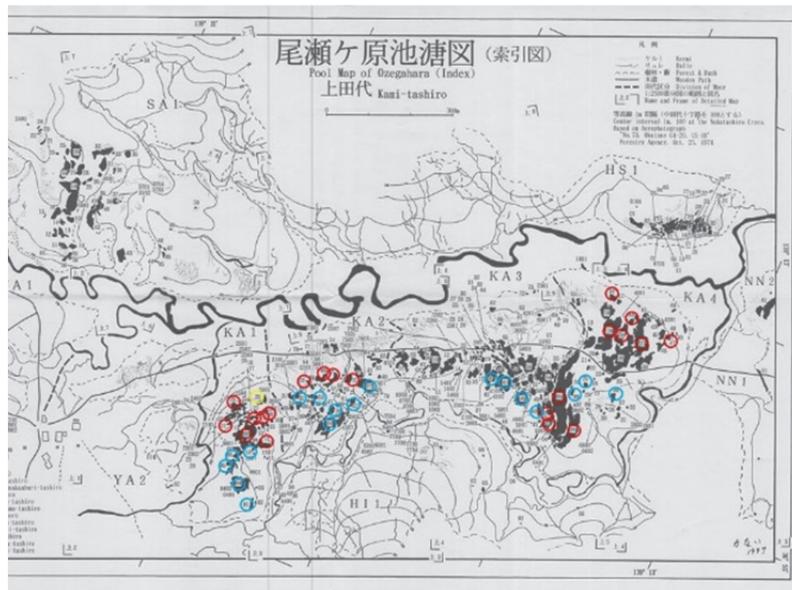
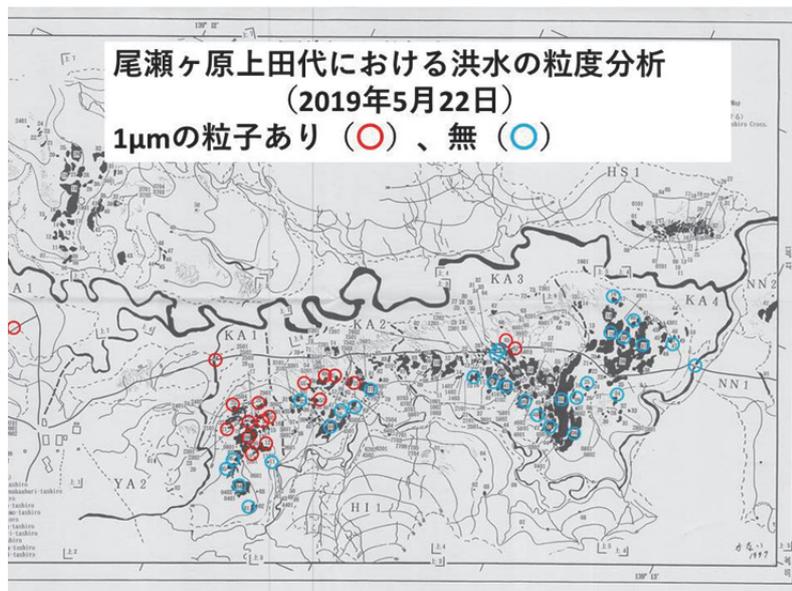


図 17: 上田代 16 池塘 (40 池塘のうち) の洪水後 (2019 年 5 月 22 日) の池塘水の懸濁粒子の濃度 ( $\mu l l^{-1}$ )。横軸は調査した池塘番号。懸濁物質粒径を 3 つのクラス毎にまとめた。



A



B

図 18: (A) 洪水後に濁った池塘 (赤丸) ときれいな池塘 (青丸) の上田代の分布図, (B) 洪水後に 1 μ m 粒子のある池塘 (赤丸) と無い池塘 (青丸) の上田代の分布図。

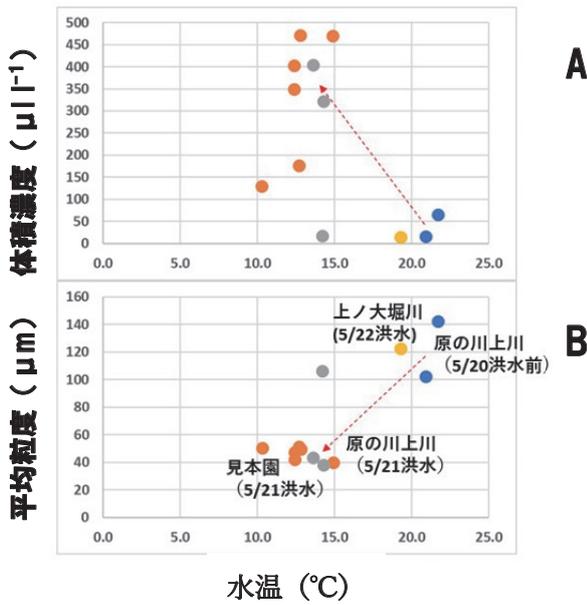


図 19：上田代の池澇の洪水後の池澇水の平均粒度と懸濁物の体積濃度。2019年5月22日。図(A)の縦軸は体積濃度 ( $\mu\text{l l}^{-1}$ )，横軸は粒径 ( $\mu\text{m}$ )，図(B)の縦軸は平均粒径 ( $\mu\text{m}$ )。

表 2：調査池澇の濁度と  $1\ \mu\text{m}$  粒子の有無によるクラス分けと水深。

クラス	水深 (m)	濁りの様子	$1\ \mu\text{m}$ 粒子の有無
a	1.40	きれい	無し
b	1.22	きれい	有り
c	1.16	やや濁り	有り
d	1.26	青白い	有り
e	1.33	濁り	無し
f	1.09	濁り	有り
g	0.69	濁り大	有り

られた。池澇タイプBは水温の影響はないが、洪水で濁った。池澇タイプCの水温は上昇したが、濁りは無かった。

表 2 には調査池澇の濁度と  $1\ \mu\text{m}$  粒子の有無（白濁した原因）によった7つ (a ~ g) の池澇クラス分けと水深との関係を示した。濁りがなくきれい、やや濁り、濁り、濁り大、青白い濁りに、粒子の有無を加えて7つにした。洪水の影響の程度は河川の距離や高低差によって段階的に影響があった。表 2 で類型化したクラスの水温と pH との関係を示した (図 21)。洪水の影響を受けない a タイプに比べると水温や電気伝導度が上昇した g タイプのように洪水の影響を受けると pH はやや上昇していた。また池澇 d タイプの濁りは青白かった。

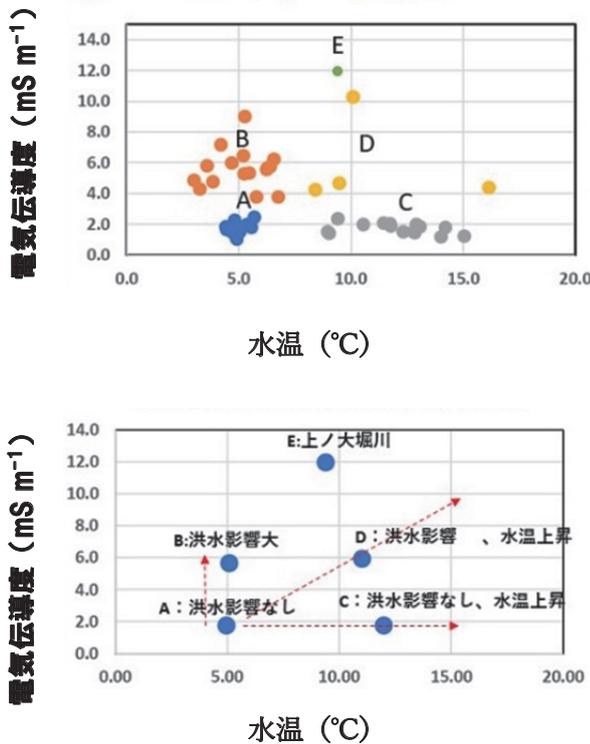


図 20：上田代 40 池澇の洪水後の池澇水の水温 ( $^{\circ}\text{C}$ ) と電気伝導度 ( $\text{mS m}^{-1}$ ) の関係。2019年5月22日。(上図) 40 池澇の各値，(下図) 類型化したクラスの水温と電気伝導度との関係。

の関係を表した。洪水の影響を受けない池澇 A タイプから水温と電気伝導度が上昇した池澇 D タイプに分け

### 3. 6 ピエゾメータ地下水位と池澇水位

上田代と中田代 9 箇所の池澇（白濁した池澇ときれいな池澇を含む）で水位観測を行った (図 22)。観測地点は (KA3-01, 62, 64, 65, KA4-38, NN2-27, NN3-23, NA4-14, NA3-35) である。白濁した池澇の水位と湿原地下水位、きれいな池澇の水位と湿原地下水位を連続観測した。図 23 に尾瀬ヶ原の池澇近辺におけるピエゾメータ地下水位と水温の季節変化 (48 日間；2020年8月26日～10月13日) を示した。速やかに地下水位が上昇した透水性の高い池澇 (NN3-23, KA3-62, NN2-27, KA3-65) はその後に降水量に合わせて地下水位が上昇した。一方透水性の悪い池澇 (NA3-35, NA4-14, KA3-01, KA4-38) はゆっくり水位上昇して、降水量の変化に影響をほとんど受けなかった。また NN3-09 は速やかに水位上昇し、降水量に左右されず常に一定であった。深度 1 m の地下水温は池澇によって約  $5\ ^{\circ}\text{C}$  の違いがあった。

尾瀬ヶ原上田代と中田代の観測池澇の水位と水温の季節変化を示した (図 24)。NN3-09 は地下水位と同様に常に一定であった。他の池澇は皆降水量の変化に反応して水位が上昇した。多くの池澇では水温に日変化を示したが、NN3-09 は降水量の変化に反応していた。

池澇 10 箇所 (KA3-01, KA3-62, KA3-64, KA3-65, KA4-38, NN2-27, NN3-23, NA4-14, NA3-35, NN3-09) について池澇水位、池澇底の水温、周辺のピエゾメータ地

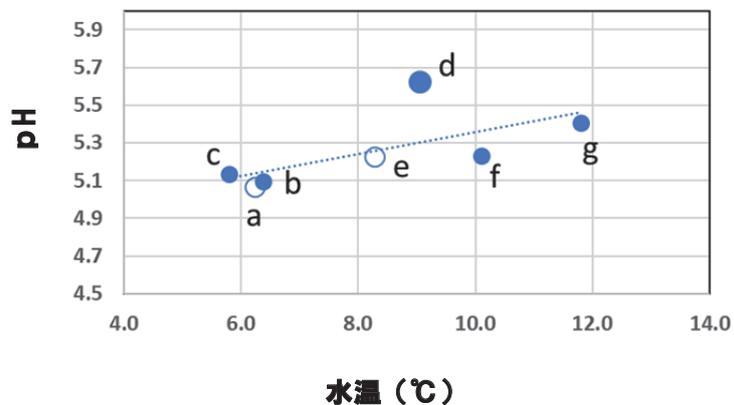


図 21：類型化したクラスの水温と pH との関係。  
濁りの程度（きれい、やや濁り、青白い、濁り、濁り大）と  $1\ \mu\text{m}$  粒子の有無によって類型化した。表 2 参照。

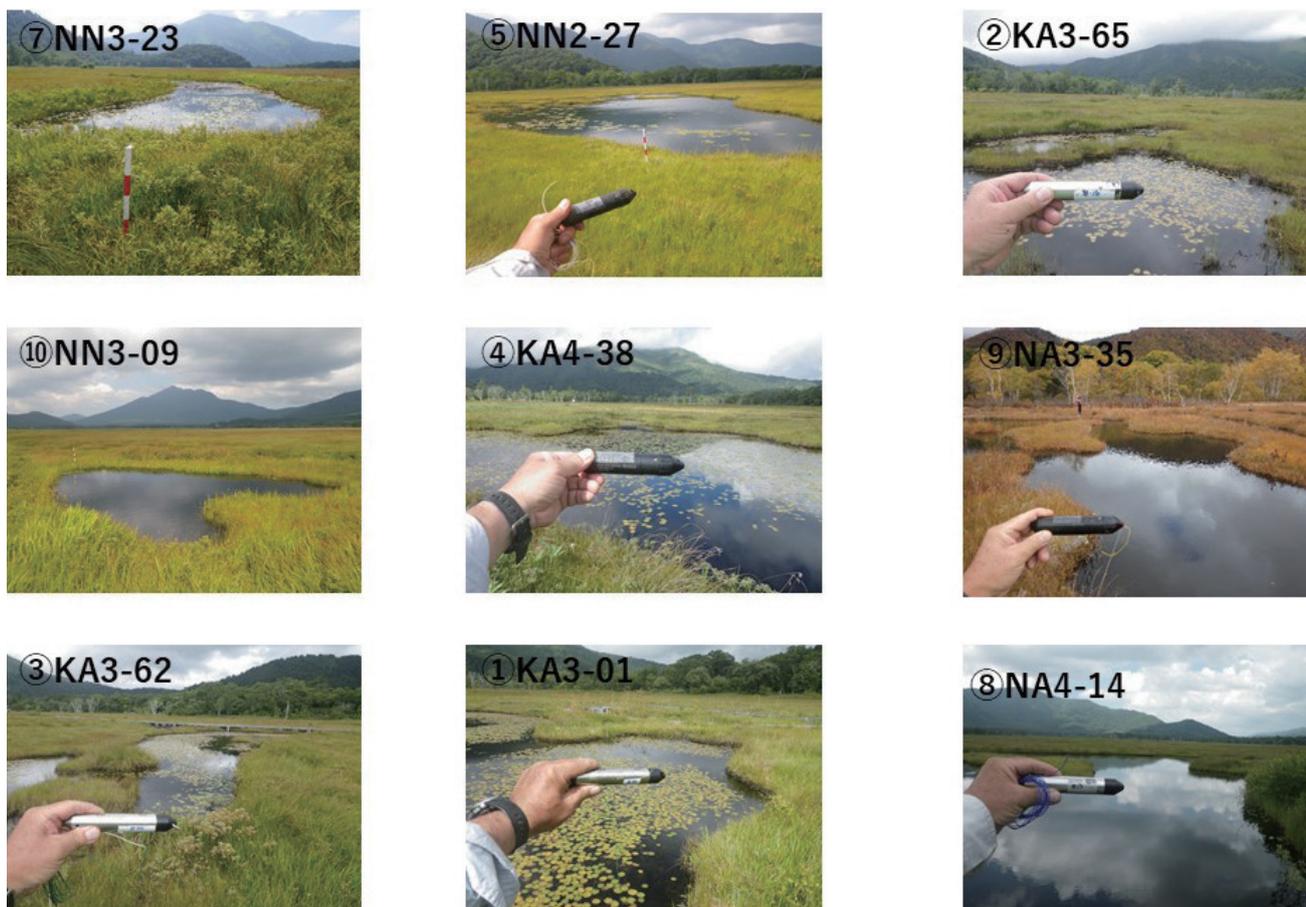


図 22：尾瀬ヶ原の池澮近辺におけるピエゾメータ地下水位計、池澮水位計の設置の様子（2020年8月26日及び10月13日）。2019年5月に濁った池澮は KA3-01, KA3-65, KA3-62, KA4-38, NN2-27。2019年5月にきれいな池澮は KA3-64, NN3-23, NA4-14, NA3-35, NN3-09。

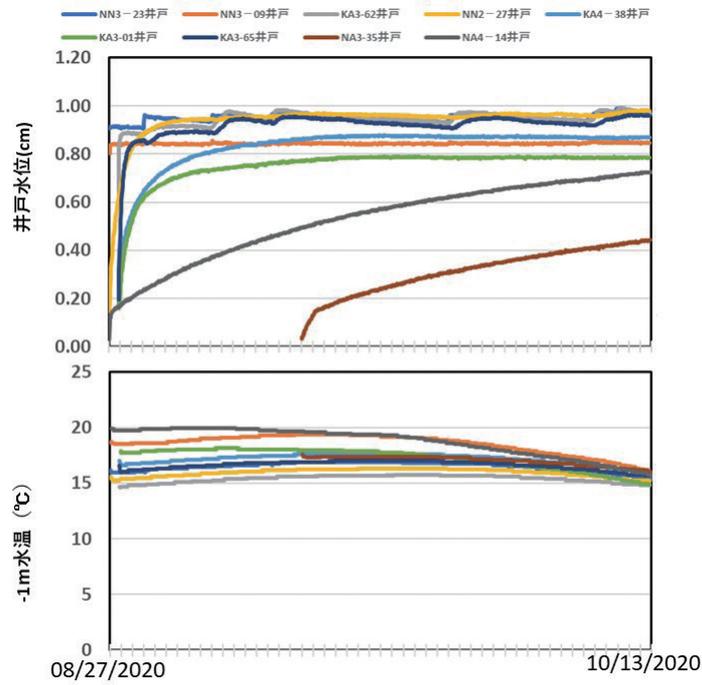


図 23：尾瀬ヶ原の池澮近辺におけるピエゾメータ地下水位と水温の季節変化。  
48日間：2020年8月26日～10月13日。

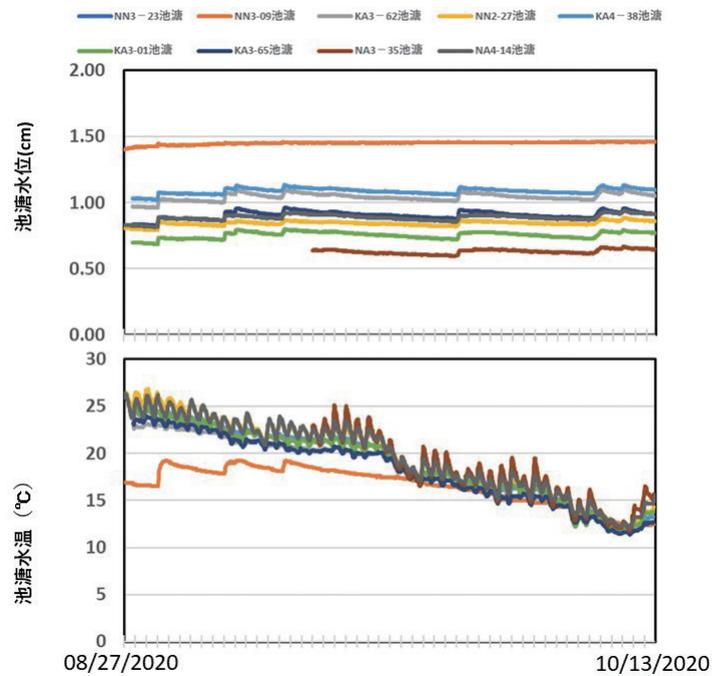


図 24：尾瀬ヶ原上田代と中田代の観測池澮の水位と水温の季節変化。

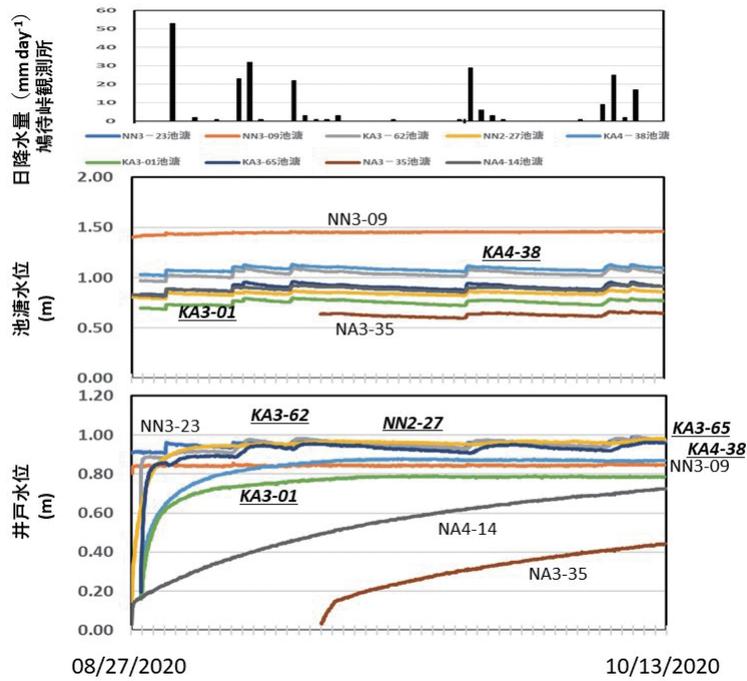


図 25：尾瀬ヶ原上田代と中田代の観測池澮の水位と近傍湿原の井戸水位の季節変化。  
 2019年5月に濁った池澮（アンダーライン）はKA3-01, KA3-65, KA3-62, KA4-38, NN2-27。2019年5月にきれいな池澮はKA3-64, NN3-23, NA4-14, NA3-35, NN3-09。

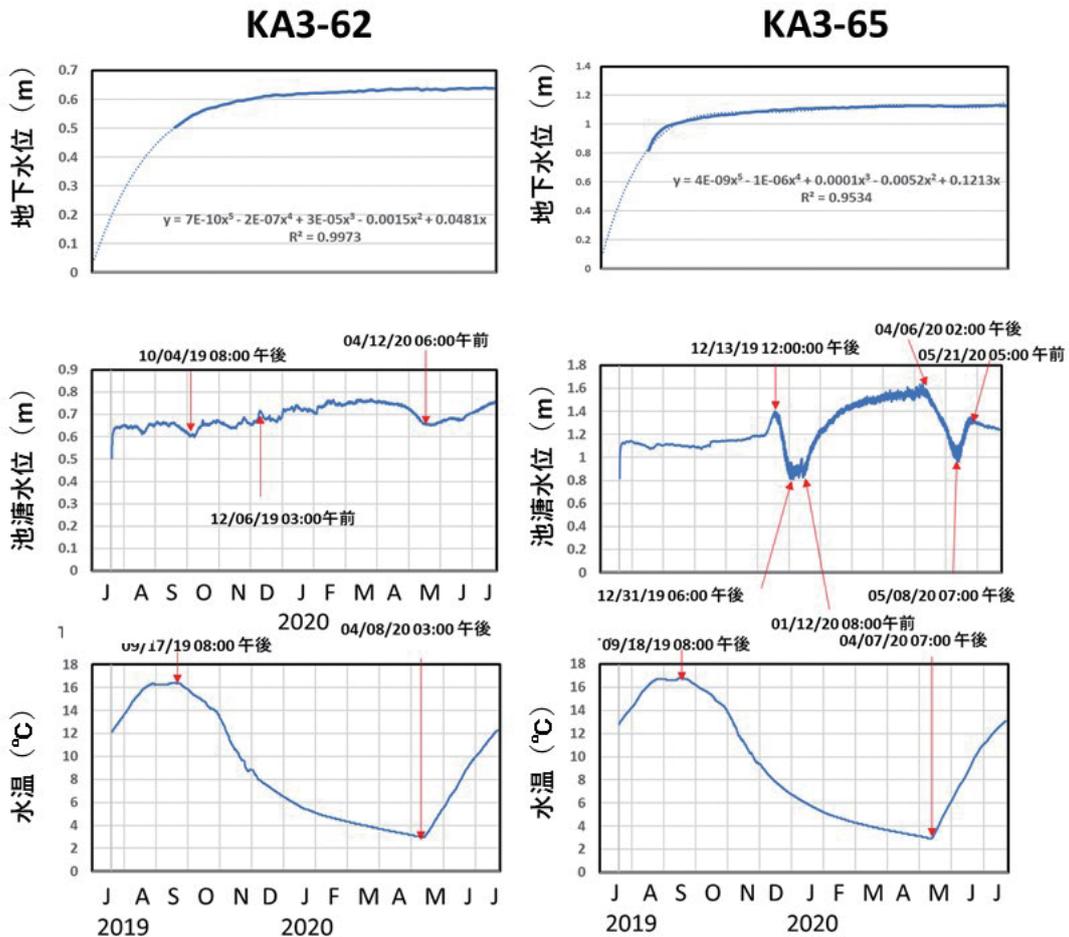


図 26：上田代 KA3-62 と 65 の池澮水温，池澮水位，地下水位の季節変化（2019～2020年）。

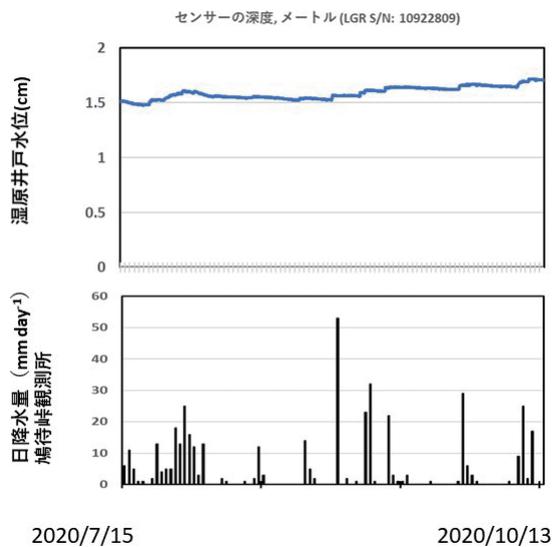


図 27：尾瀬ヶ原上田代の湿原の井戸水位と鳩待峠観測所の日降水量の季節変化。

下水位（1 m 深）、1 m 地下水温を連続測定し、降水量（鳩待峠観測所）との関係を示した（図 25）。予想に反し白濁した池澮と地下水位や池澮水位の関連性は特に見られなかった。

KA3-62 と 65 の濁った池澮に水位計、近傍に地下水計を設置して 2020 年の融雪期にモニタリングを行った（図 26）。2 つの池澮ともに地下水位は設置後に緩やかに上昇して透水性は比較的高かった。1 m 地下水温は 9 月 17 日にピークに達し 4 月 8 日に最低になった。一方池澮水位は隣り合う 2 つの池澮で変動が異なっていた。

図 27 に尾瀬ヶ原上田代（KA4 地区）の湿原の井戸水位と鳩待峠観測所の日降水量の季節変化を示した。日降

水量に連動して湿原地下水位は速やかに上昇し透水性が高い場所であった。この地点は EM 探査した場所で特に地下に電気伝導度が高い場所であった（野原ほか、2022）。

### 3.7 池澮 KA1-04 の構造と湧水

魚探による測量調査によって、池澮北西部には円形のくぼみが見られた。そのくぼみは NHK テレビのダイバーが水中カメラで撮影（E テレ、サイエンス ZERO 放送）した無植生の円形部と場所がほぼ一致した（図 28）。自記式水温計を湖底に設置して秋から春先の水温変化をライン上にモニタリングした。円形中央部（T3, T5, T6）は常に水温が約 0.5 °C 程度高く、融雪時には温度の日周変化が岸付近（T1, T7）より早く出現した（図 29）。この池澮は常に湧水で涵養され融雪が早く起こることが示された。

### 3.8 採水調査と顕微鏡観察

白濁の正体を探るため、粒度分析、電子顕微鏡等の観察を行なった（図 30）。その結果、数  $\mu$  m の球形粒子が多く浮遊していることが判明した。完全な球形のものから生物的な模様を示したものまで多様であった。電子顕微鏡の EDS 分析により主成分は酸素とケイ素と推定された。割れた粒子の画像から判断するとその粒子の中は空洞であったと考えられた。またその他にも珪藻の殻や微細な鉱物、土砂粒子などやサイズの大きな懸濁粒子も含まれていた。

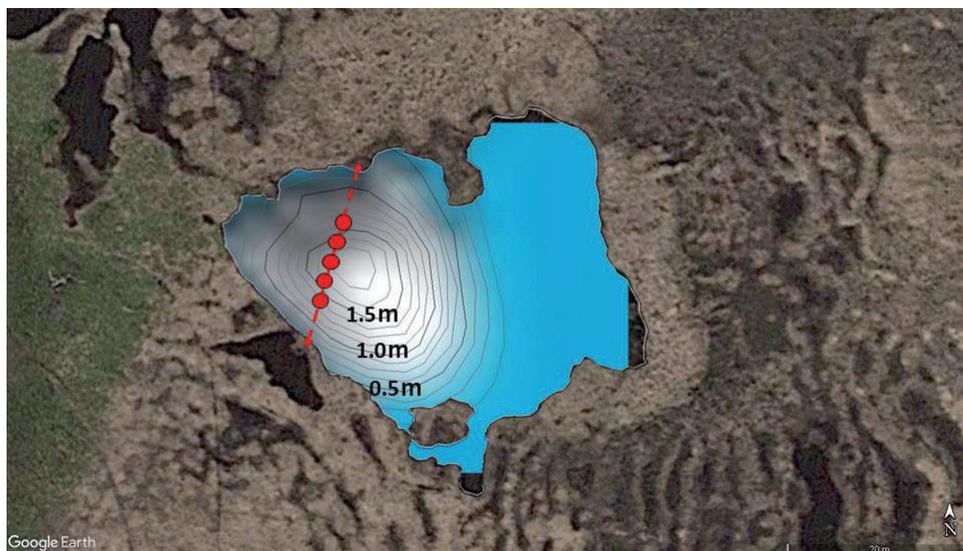


図 28：上田代の池澮 KA1-04 の水深図。赤丸は池澮底の水温計。野原ほか（2022）より引用。

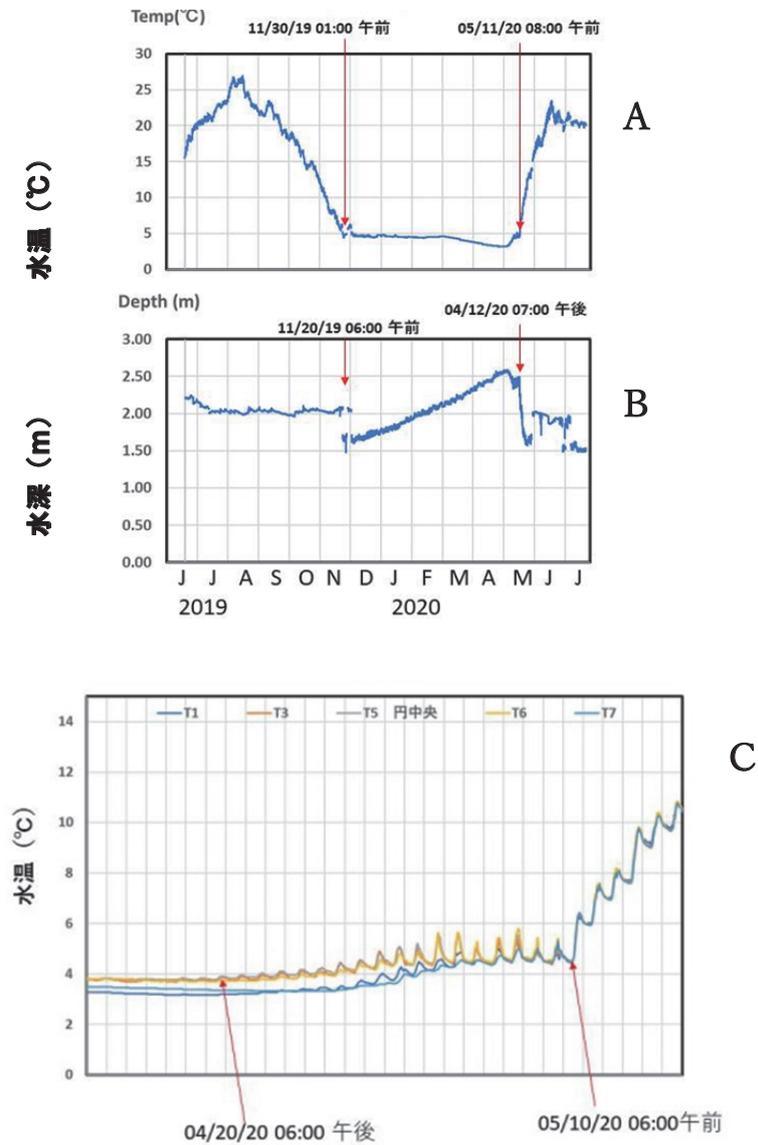


図 29：上田代の池塘 KA1-04 の水温 (A)，水位 (B) 変化と池塘底最深部の水温変化 (C)。

A, B の赤矢印は積雪に完全に覆われた時期 (2019 年 11 月 30 日) と融解した時期 (2020 年 5 月 11 日) を示す。T1, 3, 5, 6, 7 は 2 m 毎に離れた水温計, T5 は円形くぼ地に最も近い場所に設置した。

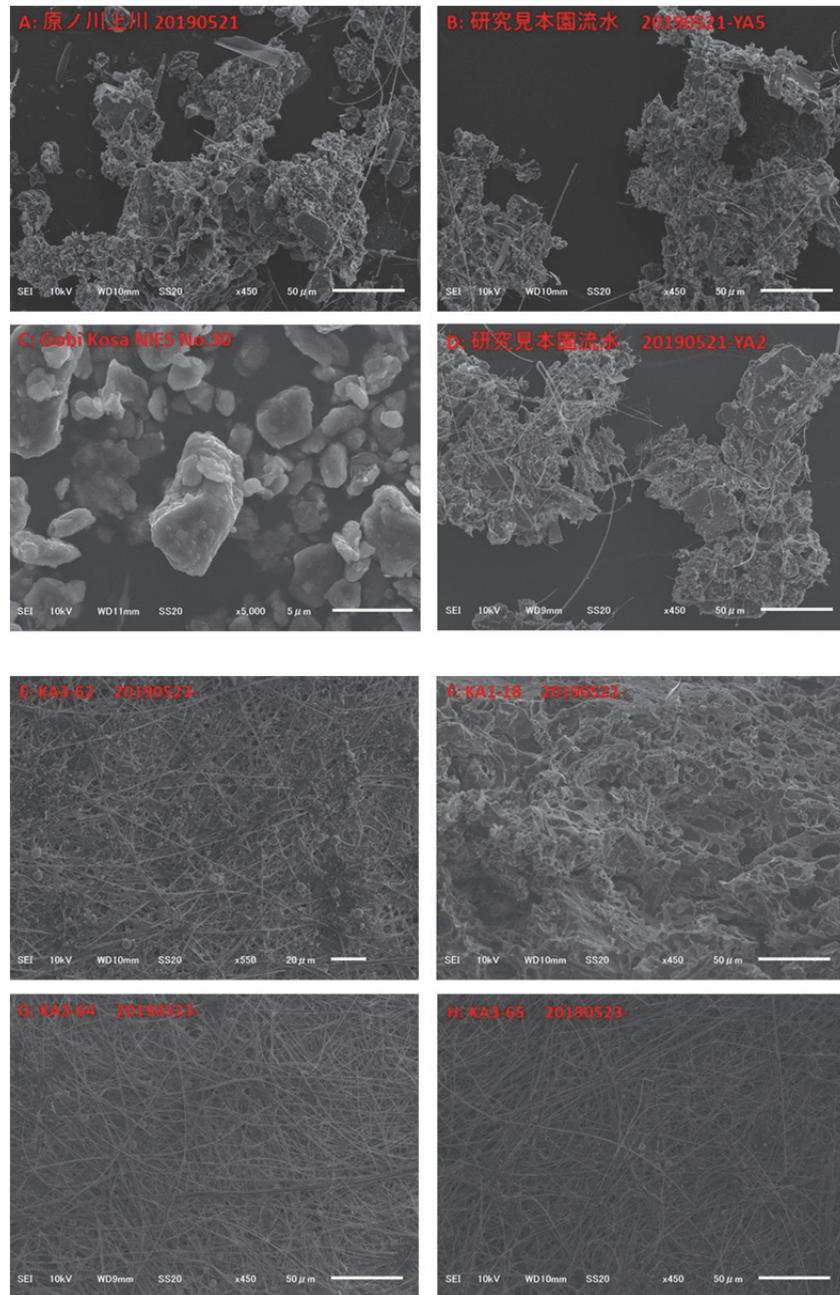


図 30(1) : 河川及び池澮水の GF/F ろ過フィルター上の粒子の走査電子顕微鏡写真.

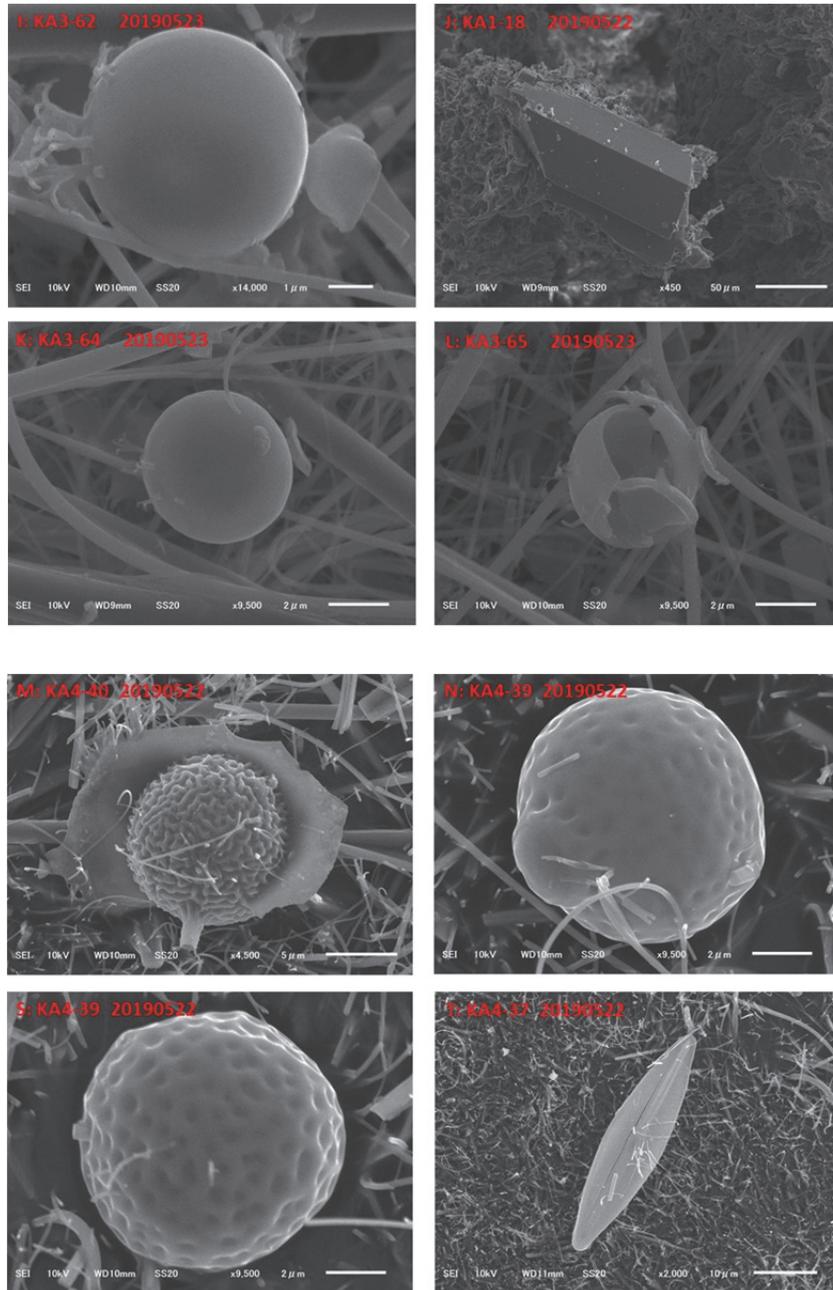


図 30(2) : 河川及び池澮水の GF/F ろ過フィルター上の粒子の走査電子顕微鏡写真.

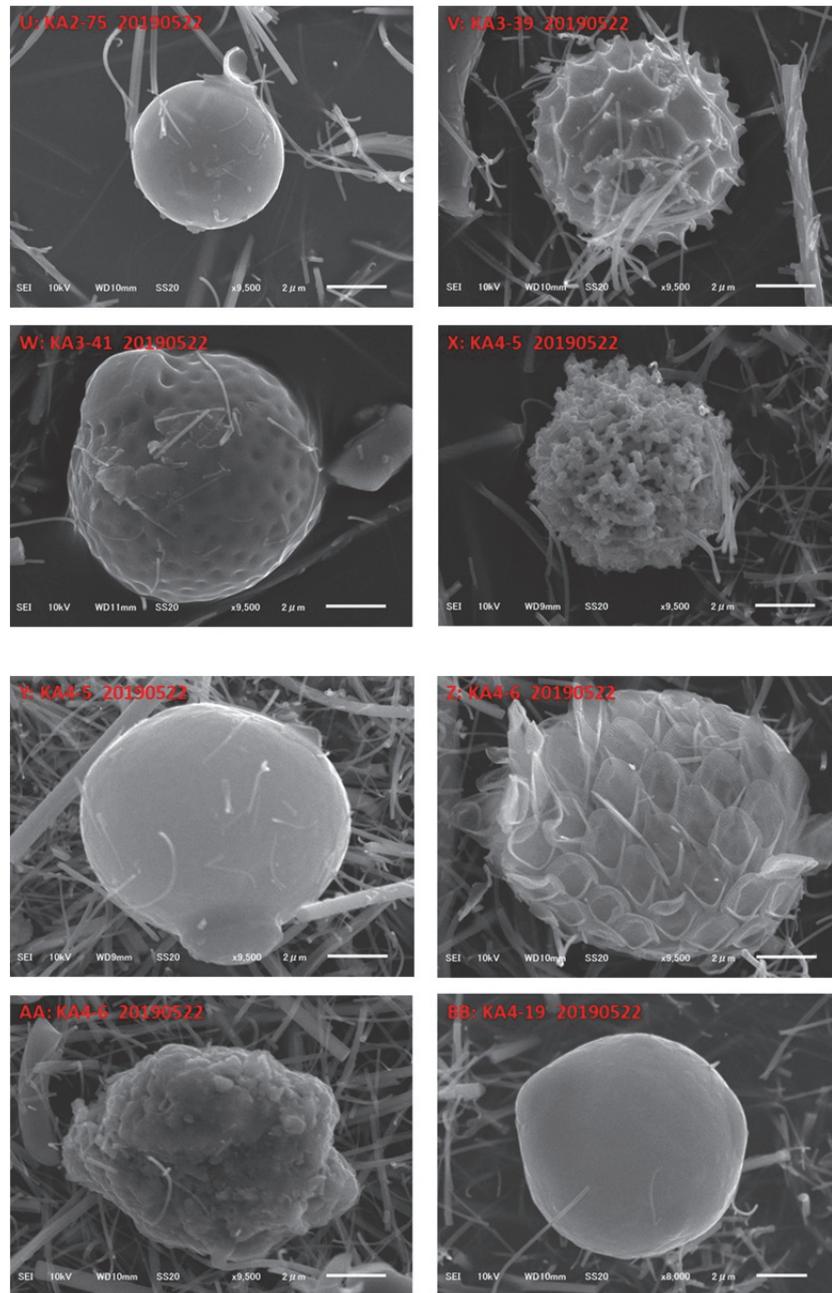


図 30(3) : 河川及び池澮水の GF/F ろ過フィルター上の粒子の走査電子顕微鏡写真.

### 3.9 魚類の池塘への侵入

2018年7,8月の捕獲調査(対象は29池塘,2河川)で,KA1-48,KA1-53,KA2-77,KA3-41,KA4-6,KA4-37でギンブナ(*Carassius* sp.)の侵入が確認された(図31).同年8月に福原ほか(2021)はKA4-05において魚のとび跳ねを観察している. KA1-04,KA1-05,KA2-32,KA2-44,KA1-12,KA1-21,KA4-39,KA4-47では魚類は捕獲できなかった. もんどり法と釣りにより魚類の確認された池塘を示した(図31). 魚類は白濁の分布には限定されず比較的大きな池塘で広範囲に生息が確認され,アブラハヤ(*Phoxinus lagowskii steindachneri* Sauvage),ギンブナ,ドジョウ(*Misgurnus anguillicaudatus* Cantor)が生息していたが,イワナ(*Salvelinus leucomaeni* Pallas)は河川のみが生息していた.

## 4. 考察

### 4.1 泥炭地質

今回2012年のEM探査で山ノ鼻地区の研究見本園に高電気構造,良導電帯が観測された.含水比の高い粘性土層が地表層から約1m付近にあり,堆積速度を仮に年間0.7mmとすると約1,300年前の降水量の増大に起因した猫又川の河川堆積物の無機質層である可能性が高い.上田代でも湿原表層から約1m程度の場所に特に無機成分の多い層がみられた(野原ほか,2021)ことは,同じく過去約1,300年前の土砂流入の履歴と考えられる.相馬,阪口(1998)は竜宮南や背中アブリの等高線方向の測線沿いでテフラ浅間B降下以降の1240年の土砂流入によって泥炭地が拡大したと判断している.同様に山ノ鼻地区の研究見本園にも土砂流入があったのではないかと考えられる.この時期の斜面の不安定化は北関東のかなり広い範囲で発生したとみられた(相馬,阪口,1998).尾瀬ヶ原の基盤の一部は礫質堆積物であり扇状地末端部もしくは蛇行河川の堆積物である(瀬川ほか,1998).今回のEM探査は,深い地層の砂礫の状態が,ライン下で非破壊的に,比較的短期間に,面的に観測し,解析できた優れた調査手法であった.

2011年7月末の大洪水後に発生した高濁度水の原因の一つはこの広域に発生した土砂の流入による堆積物と同様のものであろうと考えられる.2019年5月の融雪洪水には再び池塘の水が長く濁った.今回の調査で濁水の主因は数 $\mu$ mの球形の無機物粒子や放散虫の微化石様粒子(Armstrong and Brasier, 1980)が多く含まれていること判明したが,種の同定やその起源についての

詳細はまだ不明である.

### 4.2 尾瀬の気象

平均年間降水量(1990~1997年)は,尾瀬沼で1,485.9mm,山ノ鼻で1,781.1mmと山ノ鼻の方が尾瀬沼より300mm近く多い.季節的には,夏(6~9月)と冬(12~2月)に多く,春(4~5月)と秋(11月)には少ない.一方,檜枝岐での年平均降雨量(1990~1997年)は,尾瀬沼の年平均降雨量とほぼ同じ1,426mmで,季節的にも尾瀬地域と同じ傾向を示す.鳩待峠観測所における月別降水量の年変化(2011~2020年)を見ると,新潟・福島集中豪雨の2011年7月の降水量は異常に高く,平均の約2倍もあった.2011年7月27~30日にかけての新潟・福島集中豪雨に遭遇し,極めて貴重な記録を残した吉井ほか(2014)は,1977~2011年の降水量等を解析し,猫又川や川上川が氾濫し,尾瀬ヶ原が冠水する頻度は特定の場所では高いと推定している.どの程度の降水量で尾瀬ヶ原のどの部分が冠水しているかの特定は不明であるが,野原ほか(2021)による河川水位観測とUAVによる微地形解析からの推定は有効な方法であろう.河川の氾濫により,尾瀬ヶ原の特定地域が冠水し,池塘生態系の水質等にも大きな影響を与えていることが予想された.

尾瀬ヶ原山ノ鼻地区の気象データから1982~2007年度の25年間の平均的な積雪量を解析したところ,積雪は11月から始まり最大の積雪深に達するのは3月中旬で,平均の雪解け日は5月25日であった(野原ほか,2012).

### 4.3 湿原の積雪

湿原は台地状の平坦地や池沼の周囲など排水条件の悪い場所に来る.地下水涵養型湿原は平坦な地形や火山性の不透水層,そして周囲の斜面から供給される豊富な融雪水によって,高い地下水位が維持されるために湿性草原となった場所である.このタイプには尾瀬ヶ原のように大面積のものも多く,中には中央部のミズゴケ泥炭がドーム状に盛り上がった高層湿原が発達する場合もある(大丸,安田,2009).この尾瀬ヶ原のような地下水涵養型の湿原は温暖化の影響を受けにくいと予想されているが,本当に変化は見られないのかなど湿原の変動について様々な角度から検証していく必要がある(大丸,安田,2009).積雪圧は地下水の挙動にも影響する.積雪の多い多雪年(2014~2015年)には雪の圧力のために地下水位が冬季に上昇し,積雪の少ない小雪年(2015~2016年)には冬季に地下水は上昇していない(野原ら,

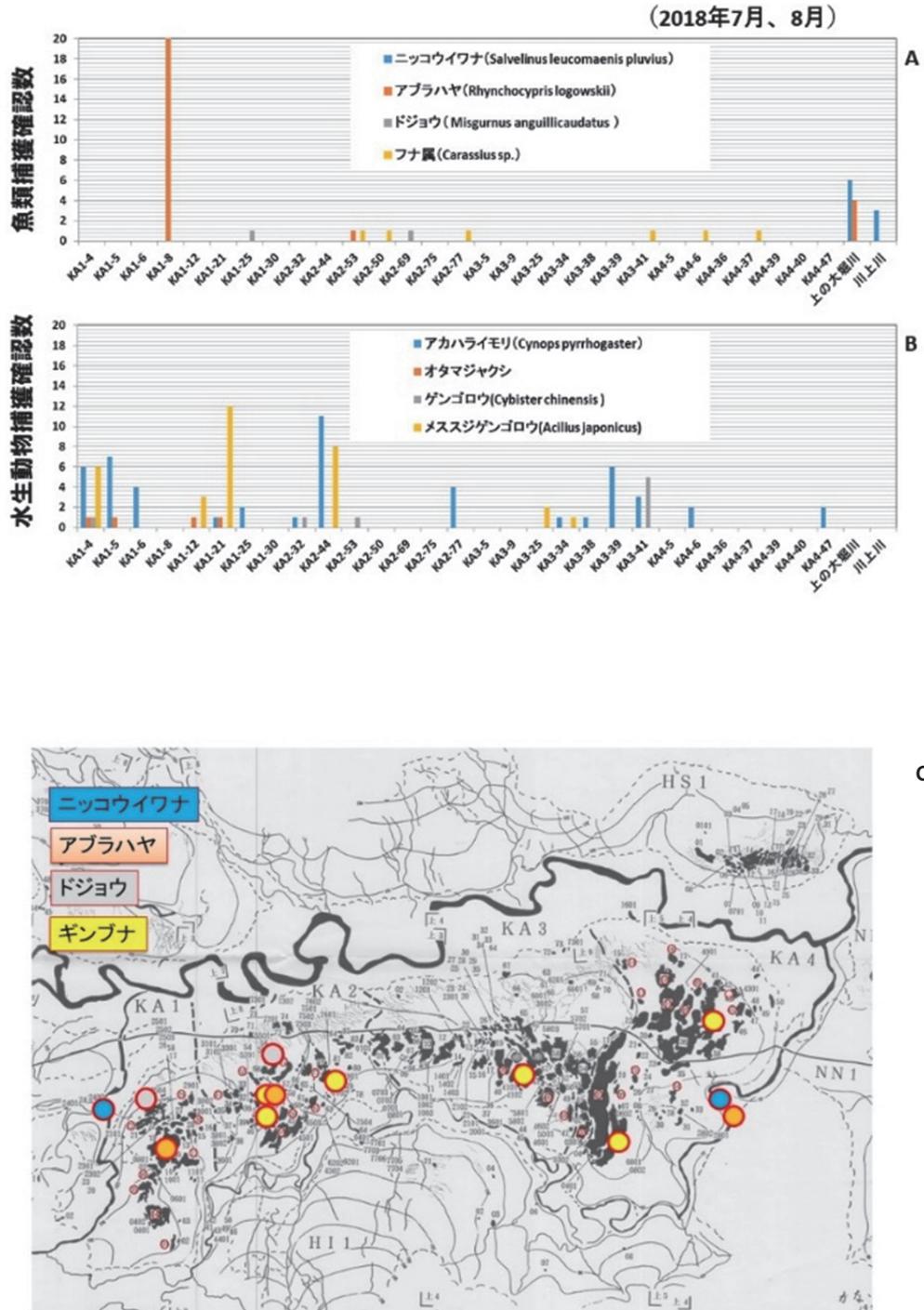


図 31 : (A) 魚類捕獲数 (B) 水生動物捕獲数 (C) もんどり法と釣りにより魚類の確認された池澮と河川 (調査対象 29 池澮, 2 河川) . 金井 (1998) に追加して作図.

2021). 積雪深計の測定範囲以上の積雪がありながら、測定値としては測定範囲上限値しか記録できなかった年もあることから、平年値等はこれらよりも大きな値になると考えられる(西村, 吉弘, 2008).

第4次尾瀬総合学術調査では、20年に一度程度の大量洪水について河川の水位や湿原地下水、池澮水などがどう反応したかを解明するため水文環境の連続モニタリングを実施した。その結果、尾瀬ヶ原の河川は、融雪時に頻繁に上昇する(野原ら, 2021)。猫又川, 下ノ大堀川, 只見川(尾瀬東電橋)では、真冬にかかわらず水位の上昇があった。特に下ノ大堀川では、秋の大雨で水位が3.5や7 mにまで上昇した(野原ら, 2021)。

#### 4.4 泥炭地下水位

研究見本園では冬に他より泥炭が低温になった。上田代より中田代では1.0 m地温が約3℃高かった。春先には、中田代で早く雪解けがおこるのはその地温が高いためであろうと考えられた(野原ほか, 2021)。今後ピエゾメータの変化から現場の透水係数を計算し、湿原全体の地下水流動をモデル化することも必要である。融雪時の大雨で、地下水ポテンシャルが大きくなった。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た。そのことから赤雪(アカシボ)の発生など、地下水の上昇が起こって、高濃度の二価鉄や溶存有機炭素が表層で検出されている可能性がある(野原ほか, 2012)。また一方、NN3-23の池澮は降水があっても池澮水位がほとんど変動しない水位の安定した池澮であることも観察された。降水後にすみやかに地下水水位が上昇し、透水性が比較的高く、地下水の流動が大きい池澮も存在することが明らかになった。

#### 4.5 多様な池澮水位

池澮 KA1-08は常時水温が低く地下水の流入が予想された。尾瀬ヶ原の池澮 KA1-08, KA2-62は、融雪期の大雨で急激な水位上昇をした。一方で、その他の池澮は安定した水位を維持していた。池澮 KA1-08では夏季の大雨による地下水の流入増加と考えられる水温の低下が認められた。深い池澮 KA4-40は、積雪が底に到達するまで日数がかかった。池澮によって水位変化が異なるものがあつた。常に水位が他より低い、いわゆる排水池澮、洪水時に水が噴出するいわゆる噴出池澮があつた。その噴出池澮は、融雪期や大雨の洪水時に急激な水位増加がおこつた。地下水の流出により水温は上昇する。いわゆる自然排水池澮は、時期によって排水溝が詰まり水位が一定になることがあることも水位観測で観察された。池

澮によっては、地下水を経由した水の流れがあり、洪水時に特に顕著になった。水深の深い池澮は水位が比較的安定していたが、列を成して窪んで分布している浅い水深の池澮では水位低下の著しかった。この池澮水のアンモニア態窒素は比較的高い濃度(図10)であつたことから他の池澮とは性質が異なる可能性がある。その池澮の地下に亀裂や水路があり池澮水位が低下して酸化分解が進みつつあるなどの可能性も推定される。9~10月には大型台風が多く洪水をもたらした。低下した池澮の水位は回復した。

#### 4.6 池澮の懸濁粒子

河川の洪水時には、河川由来の懸濁粒子が池澮に流れ込み濁水となつた。上流域の無機粒子と泥炭にあつた無機成分がともに洪水によって押し出され微粒子を形成したと考えられた。約1 mより浅い池澮(KA2-64)では洪水後に濁りは無くなつたことから、約1 m付近の底泥堆積物からの濁り成分の再懸濁も原因の一つとして想定された。また、猫又川上流には中生代の付加体の泥岩地層があり土砂崩れを起こしている(図1)。池澮水の粒子の成分組成や走査電子顕微鏡の観察による解析を行った結果、その土砂が浸食されたと考えられる微小成分、放散虫(Armstrong and Brasier, 1980)様の微化石様粒子も多く含まれていた。中生代の付加体の泥岩地層にある放散虫微化石と推定される微化石(*Striatojaponocapsa conexa*)に似ているものも存在する(松岡, 八尾, 2011)。含水非晶質シリカからなる珪藻殻の圧力誘起結晶化の研究で球形の微粒子にした実験例(Kyono et al., 2017)もあることから、古生代の海成層泥岩の隆起の過程で景鶴山の火山の貫入で泥岩の一部が高温高压の熱変成を受け泥岩中のシリカの微化石が球形の微粒子になつたとも推定される。また250~450℃の高温の地下環境を再現し花崗岩を溶かした水のフラッシング実験で高温高压の流体が大気圧まで一気に減圧すると水が蒸気化し100 nm~5 μmのアモルファスシリカ粒子が大量に生成する(Amagai et al., 2019)。このように生成したシリカ粒子は地殻環境では準安定で高温流体の存在する環境下に保持すると安定な石英の微結晶に変化するという。このように生成されたシリカであるかどうか今後検討する余地がある。

この2019年5月の濁りは2011年7月に起こつた尾瀬ヶ原全域に起こつた特異的な池澮の白茶色の濁りと類似していた。大気中の雲のように数~数10 μmの粒子が起こすミー散乱では波長依存性が低下して可視領域の光はほぼ同程度の強度で散乱されるため白く見える。この数

$\mu\text{m}$  の微化石様粒子によって洪水後の池澮が白濁したと考えられる。今回、直後に UAV による空撮によって詳細な濁り池澮の分布が明らかになったことから地形、地質、洪水の相互の関係が個々の池澮の濁りには重要であると考えられる。また洪水池澮の堆積物の微化石様粒子を詳細に調べることにより過去 1,300 年程度の洪水履歴が判明すると期待される。今後、微化石様粒子の物理化学的生成メカニズムと地質、テフラとの関係について解析が重要である。

#### 4.7 魚類の侵入

魚類は白濁の分布には限定されず比較的大きな池澮で広範囲に生息が確認され、アブラハヤ、ギンプナが生息していた。大洪水によって魚類は河川と池澮間を移動できたものと考えられた。池澮は河川と直接には連結していないため、魚類の確認は確実に洪水の影響を受けている池澮と判断可能である。一時的な魚類の拡散は底生動物に影響があると考えられる(福原ほか, 2021)。しかし、雨水涵養型の高層湿原では栄養塩類に乏しく(図 10)、藻類は少なく一次生産は低く、魚類が長期に生存しているのは KA4-05, 37 に限られていたとみられる。今後洪水頻度が高まり、藻類の一次生産や底生動物が増加した場合には魚類の生息域(斎藤, 1993)も増加する事も予想される。

## 5. まとめ

2012 年 5 月初めの EM 探査で研究見本園に高電気構造、良導電帯が観測された。含水比の高い粘性土層が地表層から約 1 m 付近にあり、約 1,300 年前の降水量の増大に起因した猫又川の河川堆積物である無機質層である可能性が高い。KA1-04 では中央部に早い融雪が見られ、池澮によっては地下水の流入が大きいものがあると考えられた。2019 年 5 月にも融雪による洪水が発生し、上田代の池澮は滝のような流れを受け、池澮底質の洗掘や湿原への流出が観察された。洪水前後に支流の川上川の河川水や湿原表層水の粒度分析を行った。その結果、洪水後には数  $\mu\text{m}$  の非常に小さな球形無機粒子や微化石様の粒子が見いだされ、約 1 m より浅い池澮では洪水後に濁りは無くなったことから、約 1 m 付近の底泥堆積物からの濁り成分の出現も原因の一つとして推定された。また、猫又川上流には中生代の付加体泥岩の地層があり土砂くずれを起こしている。そこからの浸食された土砂の中の微小成分、微化石様粒子が含まれていた。この濁りは 2011 年 7 月に起こった洪水後に尾瀬ヶ原全域

に局在した池澮の茶色の濁りと類似していた。

## 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)を用いて行われた。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。また山の鼻ビジターセンター、公益財団法人尾瀬保護財団、東京パワーテクノロジー(株)の皆さま(土岐智子氏、志斎益男氏、松場加奈氏)から調査の協力をいただいた。また画像の判定に永坂正夫氏の協力を頂いた。現地の 8K 水中映像や洪水後のモータパラグライダーの GoPro 画像については NHK および制作会社の協力を頂いた。この場でお礼申し上げる。

## 引用文献

- 浅田暢彦(1957) 尾瀬原湿原の河川流出に対する影響。雪氷, **19**, 9-11.
- Amagai, T., A. Okamoto, T. Niibe, N. Hirano, K. Motomiya and N. Tsuchiya (2019) Silica nanoparticles produced by explosive flash vaporization during earthquakes. *Scientific Reports.*, **9** (1) 9738.
- Armstrong, H. A. and M. D. Brasier (1980) *Microfossils*. Blackwell Publishing. 2<sup>nd</sup> Edition. 296pp. Oxford, UK.
- 大丸裕武, 安田正次(2009) 地球温暖化と山地湿原. 地球環境, **14**, 175-182.
- 福島県(2007) 自然環境の概要. 尾瀬の保護と復元(特別号), 1-9.
- 福島県(2008) 尾瀬地域自然環境調査業務報告書. 51pp.
- 福原晴夫, 木村直哉, 永坂正夫, 野原精一(2021) 尾瀬ヶ原上田代池澮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.
- 群馬県尾瀬保護専門委員会(2008) 尾瀬の自然保護 - 30 年間の取り組み - (尾瀬国立公園誕生記念号) 201pp.
- 原 寛(1980) 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. and M. Mizushima (1954) List of vascular of the Ozegahara moor and its surrounding districts. 尾瀬ヶ原, (尾瀬ヶ原総合学術調査団編): 428-479. 日本学術振興会, 東京.
- 金井弘夫(1998) 尾瀬ヶ原の池澮地図と水生植物 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.

- 環境省 (2021) 環境省モニタリング1000事業, <https://www.biodic.go.jp/monil000/wetlands.html>  
[http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/reports/pdf/FY2009-2017\\_Inland\\_Waters\\_Survey.pdf](http://www.biodic.go.jp/monil000/findings/reports/pdf/FY2009-2017_Inland_Waters_Survey.pdf)
- 気象庁 (2020) 気候変動監視レポート2019. 気象庁, 東京.
- 国土地理院 (2021) GSI Map. <https://www.gsi.go.jp/> (2021年10月30日時点).
- 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日時点).
- Kyono, A., M. Yokooji, T. Chiba, T. Tamura, and A. Tuji (2017) Pressure-induced crystallization of biogenic hydrous amorphous silica. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **112**, 324-335.
- 松岡喜久次, 八尾 昭 (2011) 関東山地東部の秩父帯北帯の上吉田ユニット -*Striatofaponopusa conexa* 帯の確認とその意義-. *地球科学*, **65**, 219-229.
- 西村 満, 吉弘雅士 (2008) 尾瀬山ノ鼻地区の気象30年. 1977~2006年の気象観測結果による平年値と変動傾向の算出, 群馬県尾瀬保護専門委員会編, 尾瀬の自然保護-30年間の取り組み-(尾瀬国立公園誕生記念号), 187-199.
- 野原精一 (2012) 尾瀬の自然環境の概要. *低温科学*, **70**, 9-20.
- 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・池塘環境の変遷. *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的研究. *低温科学*, **80**, 43-60.
- 斎藤 晋 (1993) 尾瀬ヶ原の魚類相とギンブナ個体群. 尾瀬の自然保護, **16**, 1-4.
- 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 (1983) 湿原とは何か. *北海道自然保護協会誌*, **22**, 2-8.
- 阪口 豊 (1985) 泥炭地の地学的諸問題. *地形*, **6**, 333-350.
- 阪口 豊 (1989) 尾瀬ヶ原の自然史. 229p. 中央公論社.
- Sakaguchi, Y. (2005) *The Ozegahara mire - The striking features and genesis of a natural historical heritage of Japan*. Self-publishing, Tokyo.
- 阪口 豊, 相馬秀慶 (1998) 尾瀬ヶ原の地学的諸問題. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団編): 85-106. 尾瀬総合調査団, 東京, 前橋.
- 産総研地質調査総合センター (2021) シームレス地質図. <https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#14.36.96287.139.15680>
- 瀬川朋和, 福島和夫, 公文富士夫 (1998) 尾瀬ヶ原・下田代堆積物の柱状試料について. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団編): 41-48. 尾瀬総合調査団, 東京, 前橋.
- 相馬秀慶, 阪口 豊 (1998) 泥炭地-森林・非泥炭地境界付近の変化. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団編): 29-40. 尾瀬総合調査団, 東京, 前橋.
- 吉井広始, 鈴木伸一, 片野光一, 大森威宏 (2014) 2011年7月豪雨とケルミーシユレンケ複合体について. 尾瀬の自然保護, **36**, 1-14.