



Title	尾瀬ヶ原湿原の「動きの田代（ゆるぎのたしろ）」の地形的特徴について
Author(s)	永坂, 正夫; 福原, 晴夫; 高野, 典礼; 野原, 精一
Citation	低温科学, 80, 61-78
Issue Date	2022-03-31
DOI	10.14943/lowtemsci.80.61
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/85014
Type	bulletin (article)
File Information	04_p061-078_LT80.pdf



[Instructions for use](#)

尾瀬ヶ原湿原の「動きの田代（ゆるぎのたしろ）」の 地形的特徴について

永坂 正夫¹⁾, 福原 晴夫²⁾, 高野 典礼³⁾, 野原 精一⁴⁾

2022年1月23日受付, 2022年3月7日受理

尾瀬ヶ原湿原には、歩くと足元が揺れて地下に水体の存在が知覚される「動きの田代（ゆるぎのたしろ）」と呼ばれる地形がある。2019-2020年に上田代の2地点、中田代の1地点で、地下水、周辺池澮および地表水の採取と水質分析、地下の構造を把握する各種調査を実施した。3地点の動きの田代は、共通して地表面の泥炭層の下部に水体の層があり、面的な広がりを持つことが推定された。また、動きの田代は、中田代の「竜宮」に似た構造の地下水の湧き出す小池澮や、地表流の吸込み口となっている小池澮を伴っていた。動きの田代の成因解明には、「竜宮」に似た構造相互が泥炭層内でどのようにつながっているのか明らかにしてゆくことが必要である。

The geographical features of a quaking bog “Yuruginotashiro” in the Ozegahara mire.

Masao Nagasaka¹, Haruo Fukuhara², Morihiko Takano³, Seiichi Nohara⁴

A quaking bog “Yuruginotashiro” is a micro topography in the Ozegahara mire, which quakes and shakes when someone walks on it. Physicochemical properties of ground water, pond water and surface water from three quaking bogs were analyzed in 2019-2020 and the soil explorations were carried out to document the geographical features of “Yuruginotashiro”. The survey revealed that large water bodies existed under the ground of “Yuruginotashiro”. “Yuruginotashiro” had a spring-fed pond and an inlet pond to the underground that was similar to the soil pipe structure of “Ryugu” in Nakatashiro area of the Ozegahara mire. To clarify the cause of “Yuruginotashiro”, it is necessary to investigate how the underground structures are connected in the peat layer.

キーワード：泥炭, 地下構造, 池澮, 水みち, 竜宮
peat, underground structure, bog pool, soil pipe, Ryugu

責任著者

永坂正夫

連絡先

〒920-8620 石川県金沢市御所町丑10番地1

金沢星稜大学

Tel : 076-253-3946

e-mail : nagasaka@seiryu-u.ac.jp

1) 金沢星稜大学

2) 河北潟湖沼研究所

3) 国立石川高等専門学校

4) 国立環境研究所

1 Kanazawa Seiryu University, 10-1 Ushi, Goshomachi, Kanazawa, Ishikawa 920-8620, Japan.

2 Kahokugata Lake Institute, Na9-9, Kitachujo, Tsubata, Ishikawa 929-0342, Japan.

3 National Institute of Technology, Ishikawa College, Kitachujo, Tsubata, Ishikawa 929-0392, Japan.

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

1. はじめに

尾瀬ヶ原湿原は群馬県, 福島県, 新潟県の県境にまたがり, 至仏山や燧ヶ岳など標高 2,000 m 級の山々に囲まれた標高約 1,400 m の盆地状の地形にある (図 1). その広さは東西 6 km, 南北 2 km, 面積 7.6 km² に及ぶ本州最大の高層泥炭湿原となっている (Sakaguchi, 2005). 尾瀬ヶ原湿原には様々な大きさや形状を持つ池澁があり, その大半の 1,800 を超える池澁に固有番号が割り振られ, 長期モニタリングが可能となっている (Kanai, 1982; 金井, 1999). 一方, 池澁のように湛水してはいないが, 歩くと上下に揺れ動き, ズブズブとぬかって危険を感じる場所が尾瀬ヶ原には数多くみられ, このような場所を地元では「ゆるぎのたしろ」と呼んできた.

この「ゆるぎのたしろ」という呼称について, 武田 (1930) は尾瀬踏査の記録の中で「歩毎にこの水蘚の床が動揺する. いはゆる「動ぎの田代」の本體はかかるものをいふ」と述べ, 末野 (1933) は「原の各部には古名を「動ぎの田代」と呼ぶ處ありて, 歩めば蔓橋を行くが

如く, 水に浮かべるものなるを知る」と述べている. 川崎 (1953) も「動ぎの田代」を使っている. 阪口 (1989) は「ゆるぎの田代」, 「動ぎの田代」の両表記を用いている. 尾瀬ヶ原以外では, 阪口 (1978) は釧路泥炭地の記述で「ゆるぎの田代」を用い, スコットランドの牛の埋没を述べる際に「揺るぎの田代」を用いた. 岡田 (2012) はダートムーアの解説で「揺るぎの田代」を用い, 国内の高位泥炭地の例として青森県八甲田山の高田谷地湿原を挙げている. このように「ゆるぎのたしろ」の漢字表記は定まっていない. 本研究は尾瀬ヶ原における地形的特徴を述べる事から, 尾瀬ヶ原に限定した場合は「動ぎの田代」を, 一般的な名称として用いる場合は「揺るぎの田代」を用いることとした. 該当する外国での名称もまた quaking moss (阪口 1978), Schwinggrasen (阪口, 1989), feather bed, quaker, quagmire, shaking bog (岡田, 2012) など多種あり, 構造や成因の多様性を反映しているものと思われる.

尾瀬ヶ原における動ぎの田代の分布は明らかではない. 武田 (1930) は「上の大堀を渡って上田代に入る前

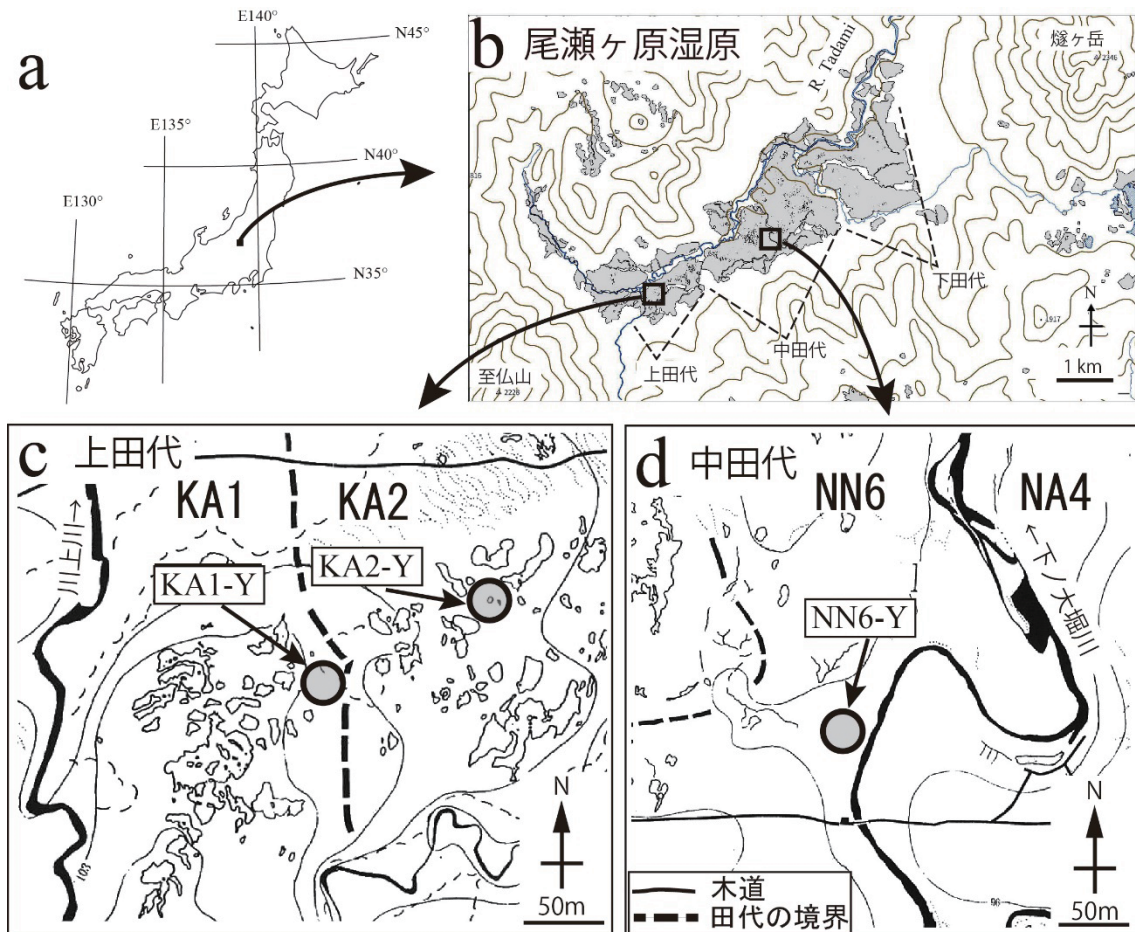


図 1: 調査地点. a) 尾瀬ヶ原湿原の位置, b) 上田代地区と中田代地区の位置, c) 上田代地区での「動ぎの田代」の調査地 KA1-Y と KA2-Y, d) 中田代地区での「動ぎの田代」の調査地 NN6-Y の位置. 国土地理院地図および Kanai (1982) の池澁図を一部改変して作成した.

後」と記し、川崎（1953）は動ぎの田代の例として、中田代から上田代に入る前後を挙げている。武田（1951）は「中田代を西にゆくに従って、一步ごとに振動を感じるほど」と述べ、中田代を挙げている。中田代に多いことはうかがえるが場所は明記されていない。これまでの3回の総合学術調査においても調査例は無く、踏査に極めて危険が伴うためと思われる。本研究においても中田代で2ヶ所（1ヶ所は本報告のNN6）、上田代で2ヶ所（KA1, KA2）を認めたが、全域調査は断念した。岡田（2012）は高位泥炭地の高田谷地湿原の揺るぎの田代を「ミズゴケでできた風船が水でパンパンに膨らんでいて針でつければ破裂する直前という感触」と例えたように、泥炭の下部に水が豊富に存在することを推測しているが、田代の範囲や泥炭の深さ、下部に推測される水の深さなどの構造、底質の性状や水質については報告されていない。尾瀬ヶ原湿原においてもこれまで構造などに関する報告はなく、また、動ぎの田代の「揺れの程度」は、これまで極めて感覚的であり、揺れの程度を数値化する試みも行われてはいない。本研究は、尾瀬ヶ原湿原の動ぎの田代の構造と水質に関する地形的特徴を述べる最初の報告である。

2. 方法

2.1 調査地の選定

2019年9月20日に上田代のKA1地区とKA2地区を広く踏査することにより、立ち入った際に足元が極めて不安定で揺れを感じる2地点（図1c, KA1-Y, KA2-Y）を「動ぎの田代」の調査地とした。2020年8月25日に中田代のNN6地区とNA4地区を踏査し、同じく足元が不安定で揺れを感じる1地点（図1d, NN6-Y）を調査地に加えた。踏査に当たっては、安全に留意し必要に応じて救命具を着用した。上田代や中田代ではこれらの地点以外にも足元が不安定で揺れを感じる地点が複数あったが、詳細な地形調査はこの3地点で実施した。

2.2 調査地の概要

KA1-Yの地形の概略を図2aに示した。この動ぎの田代は北側で小さな拋水林に接しており、地表面はその拋水林の手前で低くなっている（図2a, 図3b）。この地表面が低くなった部分にはヒツジグサ (*Nymphaea tetragona* Georgi) やミズバショウ (*Lysichiton camtschatcensis* (L.) Schott) の生育する長径2 m, 短径1 mで水深0.5 mの小池塘P5（図2a, 図3c）があり、ここから地表流が生じて、拋水林の中を流れて直径1.0

mで水深155 cmの小池塘P6（図2a, 図3d）へ流入していた。この小池塘P6は、中田代の「竜宮」（阪口, 1989）と呼ばれる池塘と同様に、地表流が地下へと流れ込む流入口となっていた。なお、P6より地下へ流れ込んだ地表水の行き先は不明である。図2aの破線の範囲には直径1 mに満たないが水深155 cmの小池塘P4があり（図3e）、他にもヒツジグサの生育する直径0.8 mで水深138 cmの小池塘があった。

KA2-Yの地形の概略を図2bに示した。図2bの破線の範囲にはオゼコウホネ (*Nuphar pumila* (Timm) DC. var. *ozeensis* H. Hara) の生育する縦横2 m, 水深135 cmの小池塘KA2-56（図3f; 以下池塘番号は金井, 1999）があった。地表面は北東方向が低く、染み出した水が水深40 cmの小池塘KA2-57（図3g）の手前から地表流となり、縦横3.5 mで水深138 cmの池塘KA2-58（図3h）へ流入していた。KA2-58は地表流が地下へ流れ込む流入口となっており、流れ込んだ地表水の行く先は不明である。

NN6-Yの地形の概略を図2cに示した。このNN6-Yの東端には長径2.6 m, 短径1.9 mの小池塘P10があり（図3j）、ここから地表流が生じて幅0.8 mの流れとなって下ノ大堀川まで流下していた（図3k）。このNN6-Yの西側の上流方向には、ドローン撮影画像により湿地溝（リュレ Rülle）と見られる地形が確認されている（図3l）。

2.3 調査項目とその方法

各調査地（KA1-Y, KA2-Y, NN6-Y）では、まず始めに「動ぎの田代」に相当する範囲の特定をおこなった。この「動ぎの田代」の範囲を厳密に特定することは難しく、そのため簡便な方法であるが付近を注意深く踏査し、明らかに揺れを知覚する範囲をGPSで記録し調査範囲とした（図2a, 2b, 2cの破線の範囲, 図3a）。調査範囲内に生育する植物種を記録した。

動ぎの田代に立ち入った際の足元の不安定さは、地表の沈み込みと揺れの2つの要素が合わさっていると考えられるが、軟弱な地盤に力を加えた際の揺れを測定することは難しく、本研究では簡便に測定できる地表面の沈み込み量の測定を試みた。足元の不安定さを感じる範囲を縦断するように、KA1-YではラインAB, KA2-YではラインCD, およびNN6-YではラインEFのトランセクトラインを設定した（図2）。トランセクトラインでは、レーザーレベル（RL-H5A, トプコン）と水平に張った水糸を併用し、荷重のない状態で地表面の高さを測定した後、ラインに接して成人男性（体重65 kg）

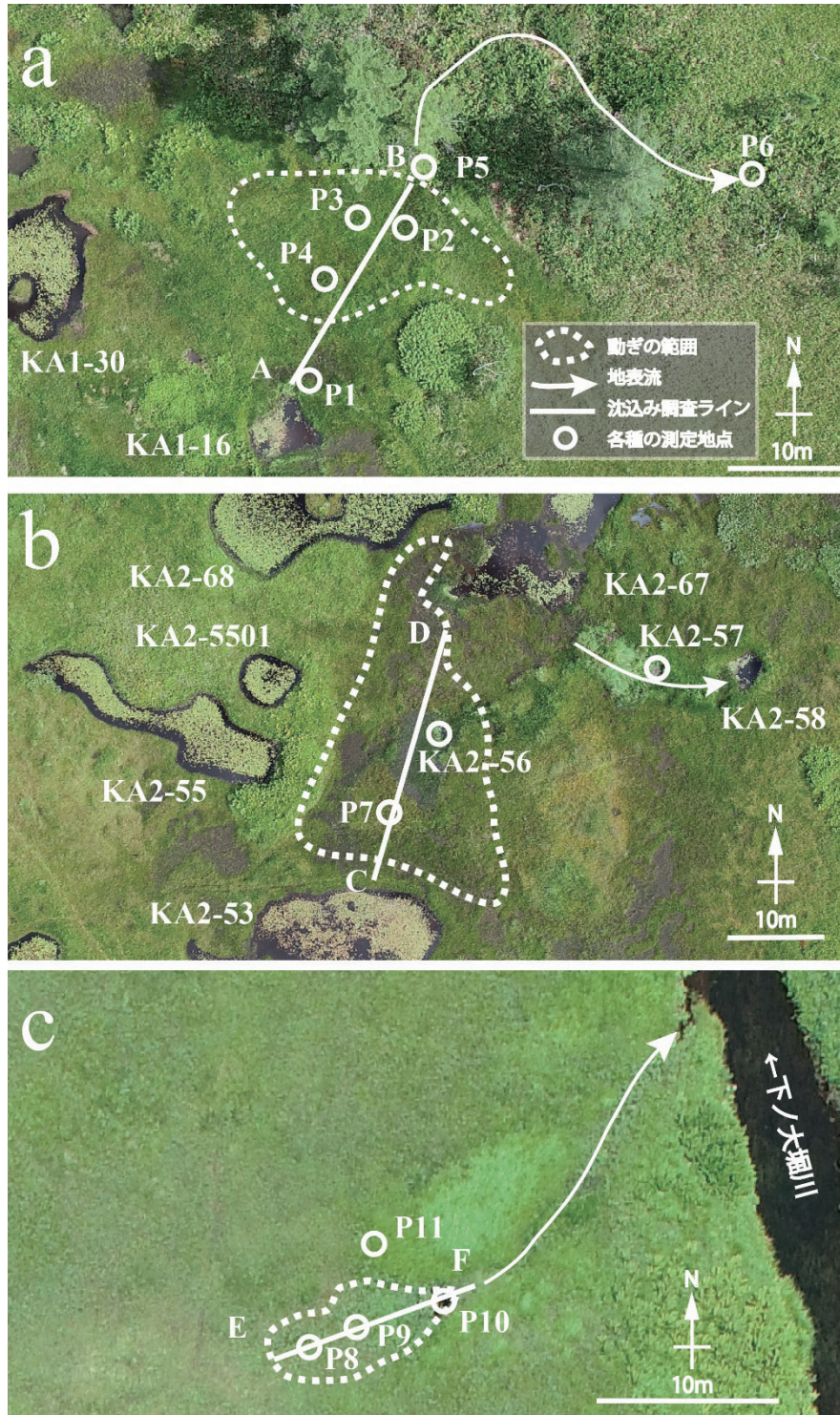


図2: 調査地の概略と各種調査の実施地点. a) KA1-Y, b) KA2-Y, c) NN6-Y. ドローン撮影画像は(株)ドキュメンタリーチャンネル, 藤原英史氏の提供による.

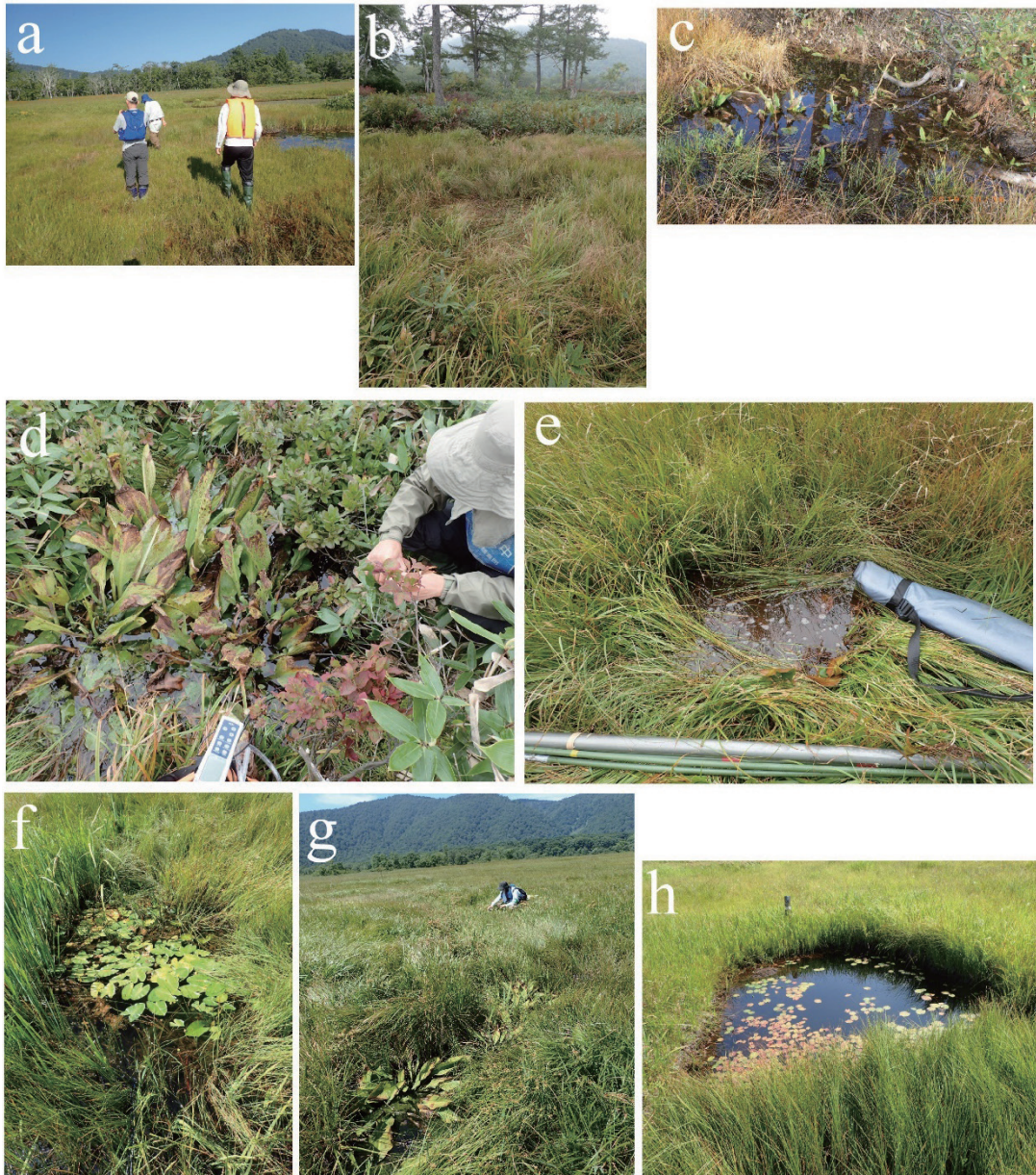


図3：調査地と調査機材。a) 動ぎの範囲を歩いて特定, b) KA1-Yとそれに接する抛水林, c) KA1-Yの小池澁P5, d) KA1-Yの小池澁P6, e) KA1-Yの小池澁P4, f) KA2-Yの小池澁KA2-56, g) KA2-Yの小池澁KA2-57, h) KA2-Yの吸込み口となっている小池澁KA2-58, i) NN6-Yの全景, j) NN6-Yの小池澁P10, k) P10から流れ出る流路, l) NN6-Yの左側(西方)に湿地溝が見える(画像は(株)ドキュメンタリーチャンネル, 藤原英史氏提供), m) NN6-YのラインEFでの計測, n) 簡易貫入試験機, o) ピートサンプラー, p) パイプを押し込んで作成した井戸, q) 水深計を設置したNN-6Yの井戸P9.

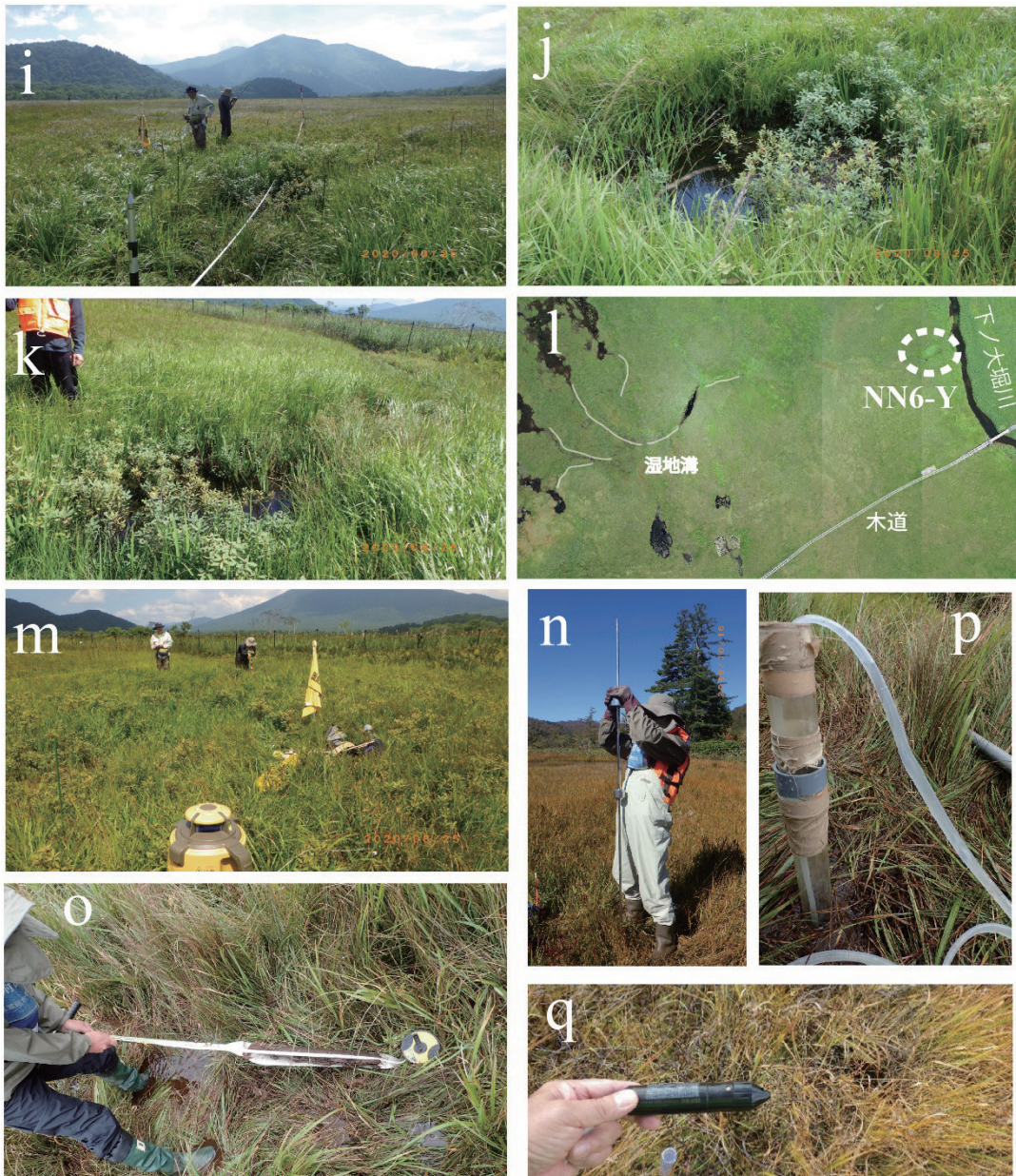


図3の続き

が直立し、その地表面が沈み込んだ深さを測定した(図3m)。

KA1-Yにおいては、簡易貫入試験機(地盤工学会基準 JGS 1433に準拠)を使用して、動ぎの田代の地下構造の探索を実施した。これは質量5 kgのハンマーを50 cmの高さから落下させ、その打撃によって先端に直径25 mmのコーンをついたロッドが10 cm貫入するのに要する打撃回数(Nd値)により土層の状態、すなわち硬さを把握するものである(図3n)。この簡易貫入試験は、足元の不安定さを感じない地点P1と明らかに不安定さを感じる地点P2の2地点(図2a)で実施した。これら地形に関する調査は、KA1-Yでは2019年10月16日、KA2-Yでは2019年10月17日、NN6-Yでは2020年8月25日に実施した。

KA1-YのP3(図2a)、KA2-YのP7(図2b)、NN6-YのP9(図2c)の地点で、次の手順で動ぎの田代の下に存在していると思われる地下の水体からの採水と水質測定をおこなった。まず、ピートサンプラー(DIK-105A, 大起理化工業)を用いてほぼ水体に達するまで地表面に穴を掘削し(図3o)、そこから直径4 cmのアクリルパイプを挿入し、固くて挿入できない深度まで手で押し込むことで採水用の井戸とした(図3p)。別日の測定と採水には、同様の手順で旧井戸の付近に新たな井戸を掘って採水した。

水温(°C)、pH、電気伝導度(EC, mS m⁻¹)、溶存酸素量(DO, mg l⁻¹)は、アクリルパイプを静かに目的の深度まで引き上げた状態で電気伝導率・pH計(WM-22EP, DKK-TOA)と溶存酸素計(ProODO, YSI)のプロブを井戸内に挿入するか、各深度まで塩化ビニールホースを挿入し、ハンドポンプを用いて採取した地下水をジョッキに溜めて計測した。分析用の試水は現地でガラスフィルター(GF/C, Whatman)を用いて濾過した後、冷蔵して持ち帰り分析まで凍結保存した。ガラスフィルター上の残渣は、105°Cで24時間以上乾燥させた後に秤量し、懸濁物質(SS, mg l⁻¹)とした。試水中のイオン成分についてイオンクロマトグラフ(PIA-1000, 島津)を用いて測定した。

これらの水質測定と採水は、KA1-Yでは2019年9月21日、10月16日、KA2-Yでは2019年10月17日、2020年8月26日に、NN6-Yでは2020年8月25日、10月12日に実施した。なお、KA1-Y、KA2-Y、NN6-Yの調査範囲内の地表水、周囲にある池澮や地表水についても同様の水質測定と分析を実施した。

2020年9月12日から10月12日の1ヶ月間、NN6-YのP8とP9にパイプを埋め込んだ井戸を準備し、小池

澮P10を加えた3地点に自記記録水深・水温計(HOBOU20, Onset)を設置し、水位と水温の連続測定を実施した(図3q)。水深・水温計は地表面から同じ深度に設置することができず、井戸P8では約1 m、井戸P9では約2 m、小池澮P10では約1.5 mとそれぞれ異なった深度に設置した。

また、2020年10月13日に、井戸P9と小池澮P10の内部構造を把握するため、ファイバースコープカメラ(DS450, DEPSTECH社)を用いて直接観察した。また、P11でハンディジオスライサー(口径5 cm × 5 cm、長さ2 m、国立環境研究所の自作)を用いて地表の土壌断面の観察を実施した。

2.4 中田代竜宮付近の踏査

尾瀬ヶ原の微地形の一つである中田代の典型的な「竜宮」(阪口, 1989)の周囲において、2020年8月25日に「動ぎの田代」に相当する地形が存在するか踏査した。

3. 結果

3.1 KA1-Yの構造

KA1-Yに設定したラインABにおける地表面の起伏、沈み込み量および地下水の採水をおこなった井戸P3の断面を図4に示した。ラインABにおける地表面の起伏は、P3の地表面を基準として示している。

P3における泥炭層の厚さは、ピートサンプラーによる掘削から推定した深度であり、地表から70 cmまでの上部は植物根が多いがその下部には泥炭が出現した(図5abc)。泥炭の下の深度112-244 cmの範囲は水体の層となっており、その底は硬くパイプを押し込むことができない状態だった。

ラインABにおける沈み込み量は、足元の不安定さを感じられない0.0-5.0 m付近の地点も、不安定さを感じる6.0 m以降も5 cm前後で顕著な違いは認められなかったが、標高の低い17.0 m地点で16 cm、18.0 m地点で9 cm、19.0 m地点で9 cmと沈み込み量は大きくなった。

足元の不安定さを感じられない地点P1と明らかに不安定さを感じる地点P2において実施した簡易貫入試験の結果を図6に示した。P1でのNd値は深度に応じて漸増し、地表面から深度70 cmで3.0を越えた。一方、P2では深度100 cmまでのNd値は1.0を下回り、1回の打撃でコーンが10 cm以上貫入する軟弱な層となっていた。P2のNd値が3.0を超えるのは深度220 cmより深い層からであった。この深度より急速にNd値は増

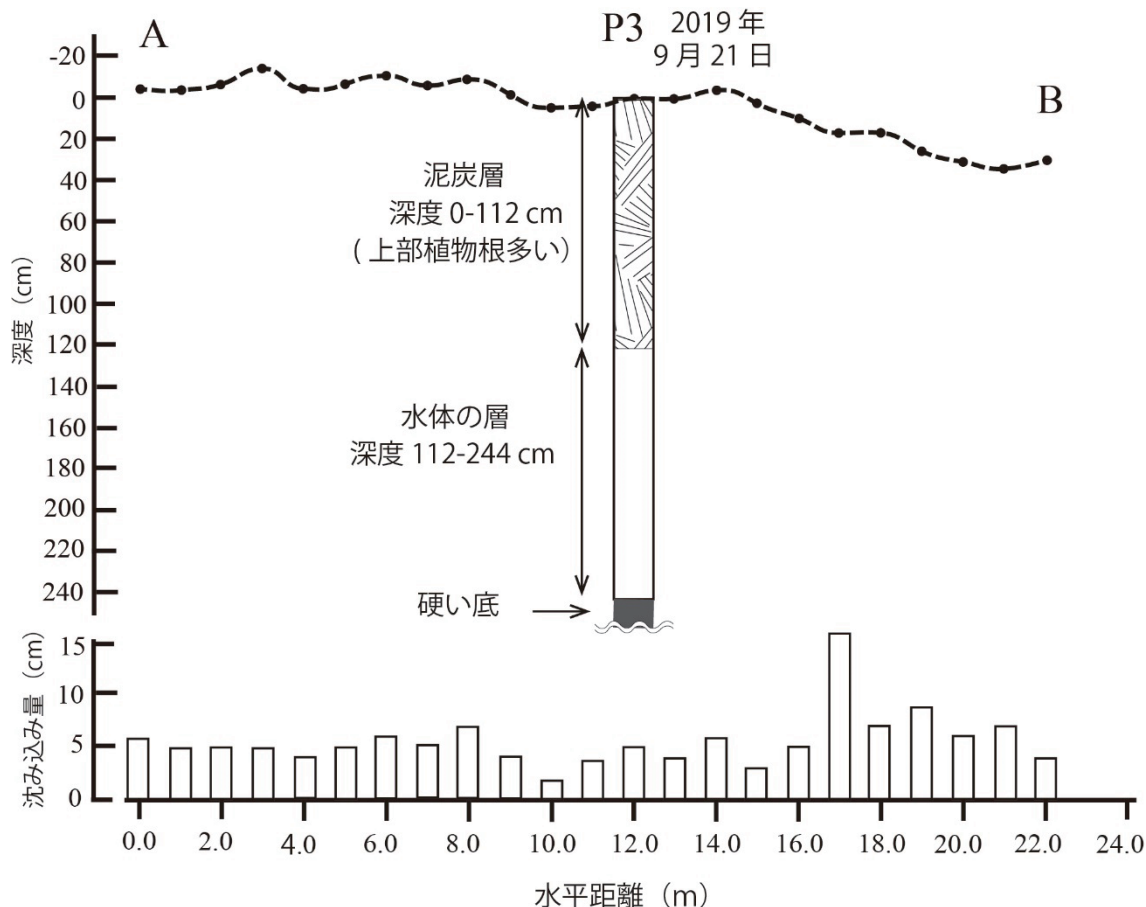


図4：KA1-Yのライン ABにおける地表面の起伏、沈み込み量および井戸 P3 の断面図。

加し、深度 250 cm 以深の Nd 値は 10.0 となり、おおむねその深度は井戸 P3 の底の深さ 244 cm と一致した。

井戸 P3、小池塘 P5、および P5 から流れ出した地表流が吸い込まれる小池塘 P6 の水質測定結果を表 1 に示した。井戸 P3 ではプローブを挿入して各種測定を実施した後、ハンドポンプを使って採水したところ、はじめ黒色に濁った水が出てきたが次第に透明な水に置き換わっていった。井戸 P3 の深度 100 cm より浅い部分の測定を除き、地下水は 2019 年 9 月 21 日、10 月 16 日の両日ともに無酸素状態であった。井戸 P3 の地下水の電気伝導度は $9.94\text{--}10.72\text{ mS m}^{-1}$ であり、参考値として 9 月 21 日に測定した KA1-Y より標高の高い地点にある池塘 KA1-04、KA1-05 の電気伝導度 $0.72\text{--}0.75\text{ mS m}^{-1}$ と比べて高い値を示した。地下水の Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 濃度はいずれも 1.0 mg l^{-1} 以上の値であり、同じく KA1-04、KA1-05 のそれらの濃度が 1.0 mg l^{-1} 以下であったのと比べて高い値であった。小池塘 P5、地表流となって流れ込む小池塘 P6 の電気伝導度は $1.63\text{--}3.42\text{ mS m}^{-1}$ であり、KA1-04、KA1-05 の電気伝導度 $0.72\text{--}0.75\text{ mS m}^{-1}$ よりも高い値を示した。小池塘 P5、P6 のカチオン濃度は K^+ を除いて 1.0 mg l^{-1} 以上の値を示した。

KA1-Y の破線の範囲に生育する主な植物種を表 2 に示した。ミズゴケ類以外の植物としてはヌマガヤ (*Moliniopsis japonica* (Hack.) Hayata)、ミタケスゲ (*Carex michauxiana* Boeck. subsp. *asiatica* Hultén)、ミヤマイヌノハナヒゲ (*Rhynchospora yasudana* Makino) が優占種であった。

3.2 KA2-Y の構造

KA2-Y に設定したライン CD における地表面の起伏、沈み込み量および地下水の採水をおこなった井戸 P7 の断面を図 7 に示した。ライン CD における地表面の起伏は、P7 の地表面を基準として示している。ライン CD における沈み込み量は、足元の不安定さを感じない 3.0 m 地点までは 5.0 cm 以下であったが、ラインの中央部にある池塘 KA2-56 に向かって沈み込み量は大きくなり、池塘の岸際では 17-22 cm となった。標高が若干高くなっている 20.0 m 地点付近では沈み込み量は 5 cm 以下と小さく、その後 D 地点まで標高が低くなるとともに再び沈み込み量は大きくなった。井戸 P7 における泥炭層の厚さは、ピートサンプラーによる掘削から推定した深度であり、全体に植物根が多かった。泥炭下の深

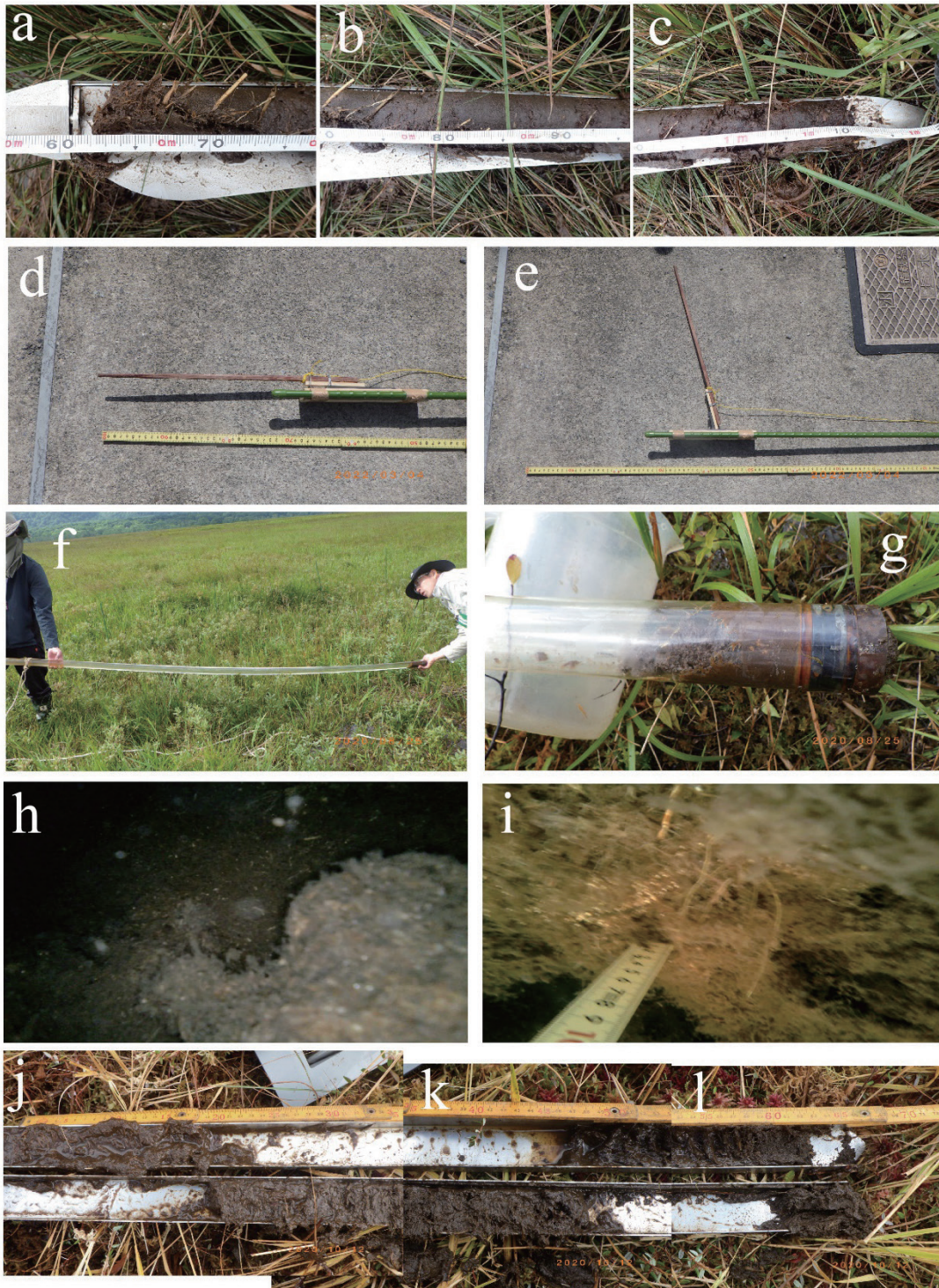


図5：地下構造の調査時の写真。a, b, c) KA1-Y の P3 におけるピートサンプラーの掘り取り断面、d) 泥炭層の厚さ測定に用いた自作器具、e) 自作器具を開いたところ、f) NN6-Y の井戸 P9 のパイプ（全長 3 m）を静かに引き上げたところ底まで透明の水が採取される、g) NN6-Y の井戸 P9 のパイプの底に採取された底泥、軽石が見える、h) P9 の底のファイバースコープ映像、軽石が白く映っている、i) NN6-Y の小池塘 P10 の流出点側の壁面に軽石が見える、jkl) NN6-Y の P11 における地表面断面。

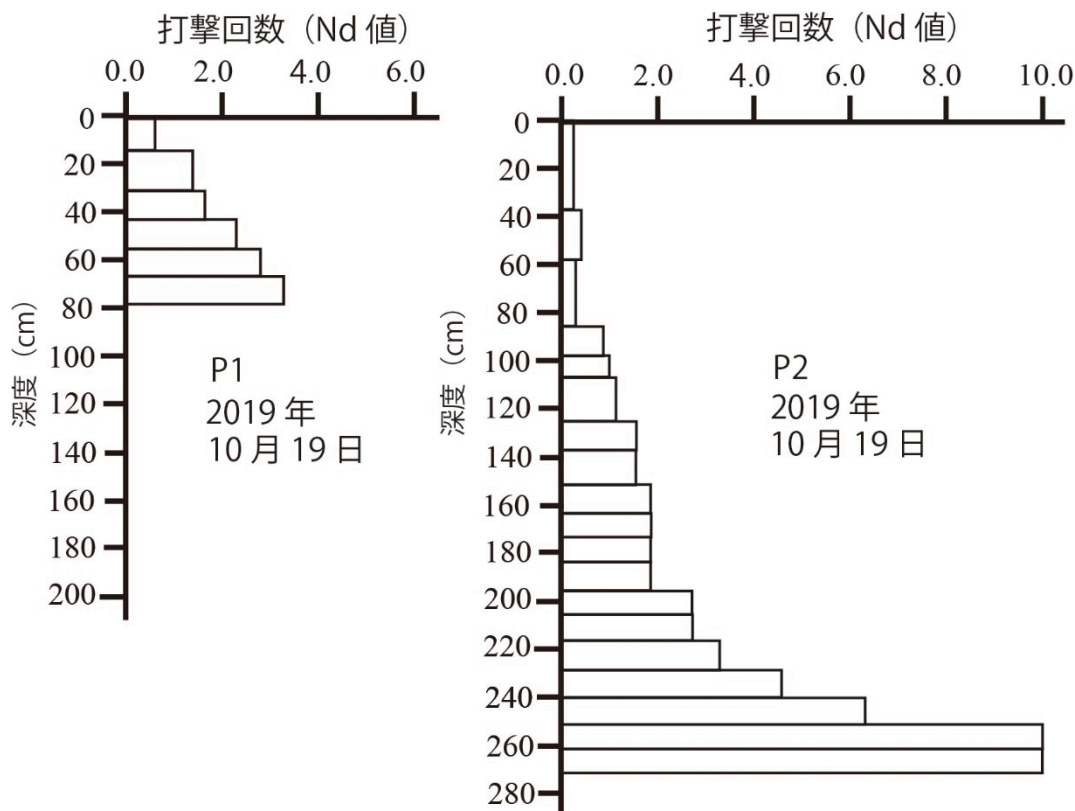


図6: KA1-YのP1(左)とP2(右)における簡易貫入試験結果。

度 87-124 cm は水体の層となっていた。なお、井戸を作成した際にアクリルパイプを引き抜いたところ、井戸から水が1分間ほど自噴したことから、地下の水体は被圧状態にあったと思われる。

井戸 P7 および周辺の池澮の水質測定結果を表1に示した。P7 から採取した地下水の2019年10月17日の電気伝導度は 2.65 mS m^{-1} 、2020年8月26日は 1.88 mS m^{-1} であった。2019年10月17日の溶存酸素量は 2.97 mg l^{-1} であったが、2020年8月26日は無酸素状態であった。このKA2-Yにおいて標高の高い側にある池澮 KA2-53, KA2-55, KA2-5501 の2020年8月26日の表層水の測定では電気伝導度は $0.74\text{-}0.93 \text{ mS m}^{-1}$ と低く、溶存酸素量も $2.83\text{-}4.35 \text{ mg l}^{-1}$ あり、井戸 P7 の地下水とは明らかに異なる水質を示した。しかし、CD ラインの中央付近にある KA2-56 の電気伝導度は表層で 1.47 mS m^{-1} 、水深 120 cm で 2.01 mS m^{-1} と井戸 P7 の地下水に近い値を示し、また無酸素状態であった。KA2-67 付近で染み出している地表水、それらが地表水となって流入する KA2-57, KA2-58 の電気伝導度も $2.10\text{-}4.00 \text{ mS m}^{-1}$ と標高の高い側にある池澮 KA2-53, KA2-55, KA2-5501 の表層水より高い値であり、井戸 P7 の地下水に近い値であった。

KA2-Y の破線の範囲に生育する主な植物種を表2に示した。ミズゴケ類以外の植物としてはヤチスゲ(*Carex*

limosa L.), ミカヅキグサ (*Rhynchospora alba* (L.) Vahl), ホロムイソウ (*Scheuchzeria palustris* L.) が優占種となっていた。

3.3 NN6-Y の構造

NN6-Y に設定したライン EF における地表面の起伏、沈み込み量および地下の水体から採水をおこなった井戸 P9 の断面を図8に示した。ライン EF における地表面の起伏は、P9 の地表面を基準点として示している。ライン EF における沈み込み量は、井戸 P9 の手前の 2.0-4.0 m 地点で 7-8 cm とやや大きかったが、その他の地点の沈み込み量は小さかった。

P9 における泥炭層の厚さは、傘の骨状の自作器具 (図 5d, 5e) を井戸に挿入して得た実測値である。泥炭層の下には、厚さ 250 cm に及ぶ水体の層があった (図 5f)。アクリルパイプの挿入により、井戸の底からは白色の軽石を含む泥炭コアが 10 cm 採取された (図 5g)。この井戸の底をファイバースコープで観察したところ、軽石と見られる多数の粒子が確認された (図 5h)。

小池澮 P10 はライン方向の径が 1.9 m、直角方向の径が 2.6 m の楕円形をしており、湖底は井戸 P9 側で水深 225 cm と深く、流出点側に向かって浅くなり、流出点付近は水深 50 cm の棚状の形状をしていた (図 8)。この流出点側の壁面は固く、ファイバースコープで観察し

表1：KA1-Y, KA2-Y および NN6-Y における水質測定結果

調査地	地点 (最大水深・深度)	年月日	測定位置 (測定法)	水温 ℃	pH	EC mS m ⁻¹	DO mg l ⁻¹	SS mg l ⁻¹	Na ⁺ mg l ⁻¹	K ⁺ mg l ⁻¹	Mg ²⁺ mg l ⁻¹	Ca ²⁺ mg l ⁻¹	Cl ⁻ mg l ⁻¹	
KA1-Y	井戸 P3 (深度 224 cm)	2019年9月21日	深度 73 cm (プロロープ挿入)	14.1	-	-	7.37	-	-	-	-	-	-	
			深度 173 cm (プロロープ挿入)	13.4	-	-	0.48	-	-	-	-	-	-	
			深度 223 cm (プロロープ挿入)	12.5	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	
			深度 94 cm (ハンドポンプ採水)	11.9	6.12	9.94	1.33	-	5.0	1.0	7.7	5.3	2.2	
	井戸 P3 (深度 229 cm)	2019年10月16日	深度 165 cm (ハンドポンプ採水, DOは挿入)	14.7	5.90	10.72	0.33	0.7	8.3	1.8	6.6	3.5	5.4	
	小池塘 P5 (水深 0.5 m)	2019年10月16日	表層	14.8	6.72	2.02	4.56	-	-	-	-	-	-	
KA2-Y	井戸 P7 (深度 138 cm)	2019年10月17日	深度 50 cm (ハンドポンプ採水, DOは挿入)	15.2	5.47	2.65	2.97	2.4	2.9	0.6	1.6	1.6	3.1	
			2020年8月26日	深度 50 cm (ハンドポンプ採水)	17.6	4.97	1.88	0.06	30.5*	-	-	-	-	-
	井戸 P7 付近の地表水	2020年8月26日	地表	27.0	4.89	1.81	4.54	-	-	-	-	-	-	
	KA2-53	2020年8月26日	表層	21.3	4.90	0.93	2.83	1.0	-	-	-	-	-	
	KA2-55	2020年8月26日	表層	22.2	5.49	0.86	4.35	0.0	-	-	-	-	-	
	KA2-5501	2020年8月26日	表層	22.9	4.91	0.74	3.82	0.0	-	-	-	-	-	
NN6-Y	井戸 P9 (深度 291 cm)	2020年8月25日	水深 120 cm	17.9	4.84	2.01	0.07	-	-	-	-	-	-	
			KA2-67	2020年8月26日	表層	21.7	6.36	1.28	3.92	2.5	-	-	-	-
			KA2-67 付近の地表水	2020年8月26日	地表	20.2	4.93	3.18	1.23	-	-	-	-	-
	KA2-57 (水深 40cm)	2020年8月26日	表層	21.2	5.68	4.00	1.03	-	-	-	-	-		
	KA2-58 (水深 138 cm)	2020年8月26日	表層	20.7	5.07	2.10	0.67	-	-	-	-	-		
	2020年8月26日	水深 120 cm	19.6	5.23	2.95	0.05	-	-	-	-	-	-		
参考	井戸 P9 (深度 270 cm)	2020年10月12日	深度 50 cm	20.8	4.53	1.83	1.51	29.0*	-	-	-	-	-	
			深度 150 cm	17.8	5.35	2.18	0.16	3.5	-	-	-	-	-	
			深度 290 cm	15.9	5.34	1.96	0.12	2.5	-	-	-	-	-	
	小池塘 P10 (水深 225 cm)	2020年8月25日	深度 50 cm	13.5	5.06	1.09	-	-	-	-	-	-	-	
			深度 150 cm	13.2	4.49	1.03	-	-	-	-	-	-	-	
			深度 225 cm	12.0	4.99	1.06	-	-	-	-	-	-	-	
下ノ大堀川	2020年10月12日	表層	19.4	5.32	2.02	1.56	-	-	-	-	-	-		
		水深 180 cm	17.6	5.43	2.42	0.18	-	-	-	-	-	-		
		表層	12.9	3.78	1.03	-	-	-	-	-	-	-		
NA5-06	2019年9月19日	表層	12.9	4.29	1.03	-	-	-	-	-	-			
NA5-08	2019年9月19日	表層	12.3	5.25	3.45	-	-	-	-	-	-			
KA1-04	2019年9月21日	表層	18.4	5.71	0.72	-	-	0.8	0.2	0.4	0.9	1.0		
KA1-05	2019年9月21日	表層	17.2	5.88	0.75	-	-	0.2	0.1	0.4	0.7	0.0		
KA4-02	2019年9月19日	表層	20.3	6.47	0.46	-	-	0.3	0.1	0.4	0.6	0.3		
NA5-06	2019年9月19日	表層	19.7	6.04	0.85	-	-	0.4	0.1	0.2	1.6	1.0		
NA5-08	2019年9月19日	表層	19.4	5.09	1.08	-	-	0.6	0.1	0.4	1.0	1.2		

* ピートサンプラーによる表土掘削の影響を受けた可能性あり。表中の「-」は未測定を示す。

表 2: KA1-Y, KA2-Y および NN6-Y に生育する植物

科名	種名	出現種*		
		KA1-Y	KA2-Y	NN6-Y
スイレン科	<i>Nymphaea tetragona</i> Georgi ヒツジゲサ	1		
	<i>Nuphar pumila</i> (Timm) DC. var. <i>ozeensis</i> H. Hara オゼコウホネ		1	
サトイモ科	<i>Lysichiton camtschatcensis</i> (L.) Schott ミズバショウ	1		
ホロムイソウ科	<i>Scheuchzeria palustris</i> L. ホロムイソウ	1	1	1
アヤメ科	<i>Iris laevigata</i> Fisch. カキツバタ			1
ホシクサ科	<i>Eriocaulon decemflorum</i> Maxim. イトイヌノヒゲ	1		
カヤツリグサ科	<i>Carex limosa</i> L. ヤチスゲ		1	
	<i>Carex middendorffii</i> F. Schmidt トマリスゲ (ホロムイスゲ)			1
	<i>Carex michauxiana</i> Boeck. subsp. <i>asiatica</i> Hultén ミタケスゲ	1		
	<i>Schoenoplectiella hondoensis</i> (Ohwi) Hayas. ミヤマホタルイ	1		
	<i>Rhynchospora alba</i> (L.) Vahl ミカヅキグサ	1	1	1
	<i>Rhynchospora yasudana</i> Makino ミヤマイヌノハナヒゲ	1	1	1
イネ科	<i>Moliniopsis japonica</i> (Hack.) Hayata スマガヤ	1	1	1
バラ科	<i>Sanguisorba longifolia</i> Bertol. ミヤマワレモコウ	1		1
ヤマモモ科	<i>Myrica gale</i> var. <i>tomentosa</i> C. DC. ヤチヤナギ			1
オトギリソウ科	<i>Hypericum crassifolium</i> (Blume) Nakai ミズオトギリ			1
ツツジ科	<i>Vaccinium oxycoccos</i> L. ツルコケモモ	1		
	<i>Andromeda polifolia</i> L. ヒメシヤクナゲ	1		
ヒカゲノカズラ科	<i>Lycopodiella inundata</i> (L.) Holub ヤチスギラン		1	
ミスゴケ科	<i>Sphagnum</i> spp. ミズゴケ属複数種	1	1	1

* 数字は出現の確認された種

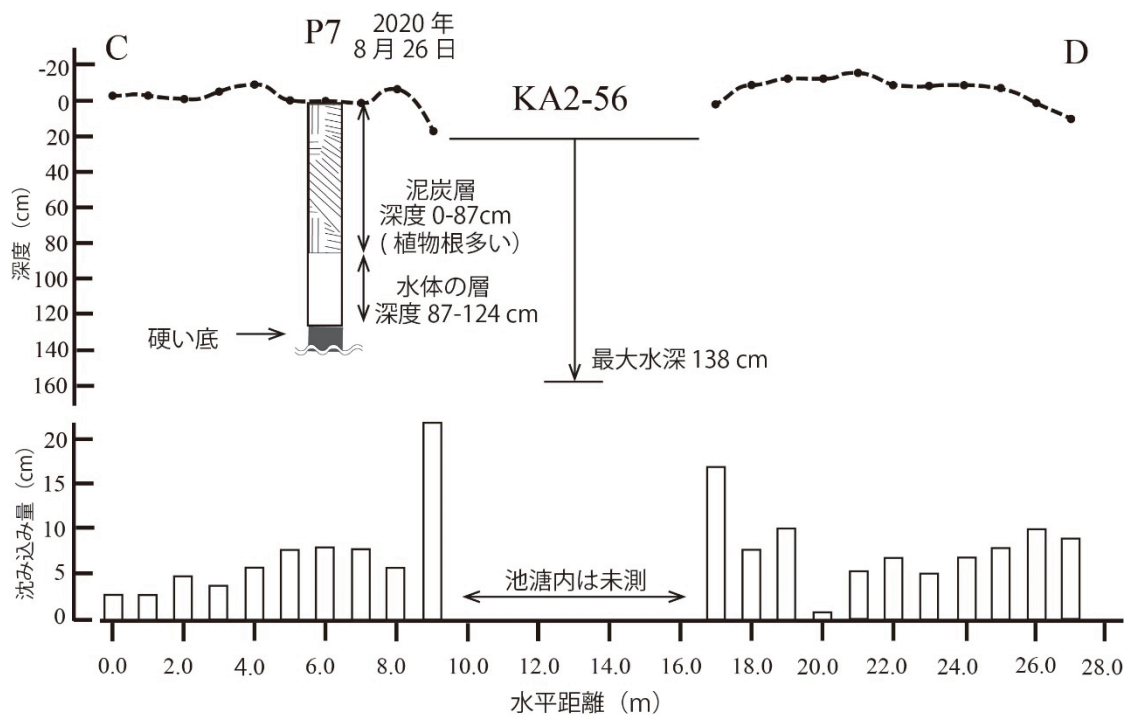


図 7: KA2-Y のライン CD における地表面の起伏, 沈み込み量および井戸 P7 の断面図。

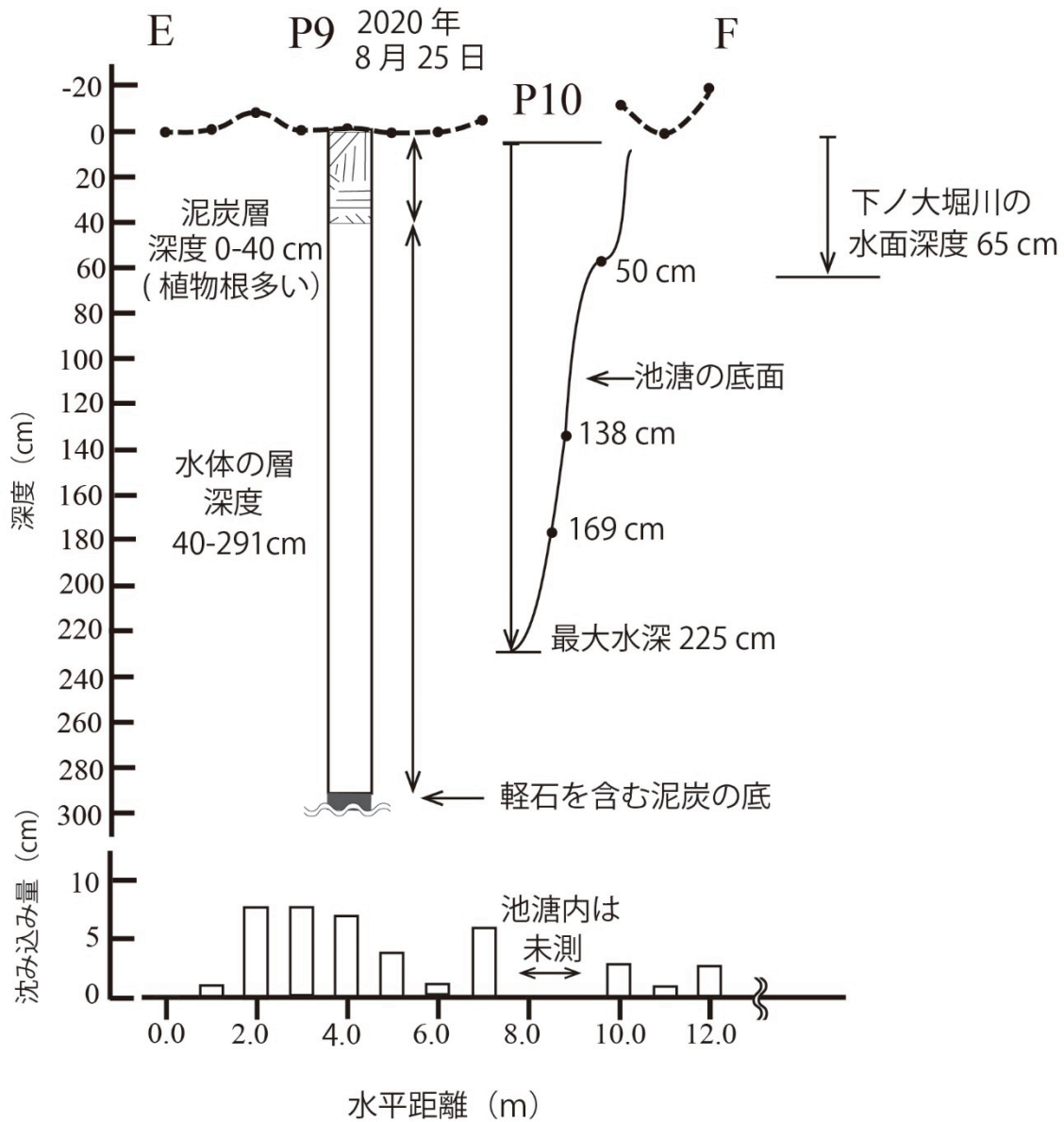


図8：NN6-YのラインEFにおける地表面の起伏、沈み込み量および井戸P9の断面図。

たところ軽石を多く含んでいることが確認された（図5i）。足元の不安定さが感じられる範囲から離れた地点P11においてジオスライサーにより地表断面を観察したところ、全体に渡って軽石の存在は認められなかった、（図5jkl）。

井戸P9、小池澮P10および下ノ大堀川の水質測定結果を表1に示した。2020年8月25日の井戸P9から採水した地下水の電気伝導度は1.83-2.18 mS m^{-1} を示し、小池澮P10は2.02-2.42 mS m^{-1} とほぼ同じ値を示した。どちらも表層には酸素が存在していたが、下層は無酸素状態であった。10月12日の測定では井戸P9から採水した水の電気伝導度は1.03-1.09 mS m^{-1} 、小池澮P10は1.03 mS m^{-1} とほぼ同じ値を示した

図9に2020年9月12日から1ヶ月間測定した井戸

P8、井戸P9、小池澮P10の水位変化（9月12日を基準水位とする）、水温（各ロガーの設置された深度の水温）、および鳩待峠雨量観測所の日降水量（国土交通省、2021）を示した。井戸P9と小池澮P10では、降雨イベントのあった当日中（時間雨量のピークから数時間以内）に水位上昇が見られ、水温変化もほぼ同期していた。一方、井戸P8では水位変動は同期していたが、水温変化には同期が認められなかった。NN6-Yの破線の範囲に生育する主な植物種を表2に示した。ミズゴケ類以外の植物としてはミカヅキグサ、ミヤマイヌノハナヒゲ、トマリスゲ（*Carex middendorffii* F. Schmidt）、ヤチヤナギ（*Myrica gale* var. *tomentosa* C. DC.）が優占種となっていた。

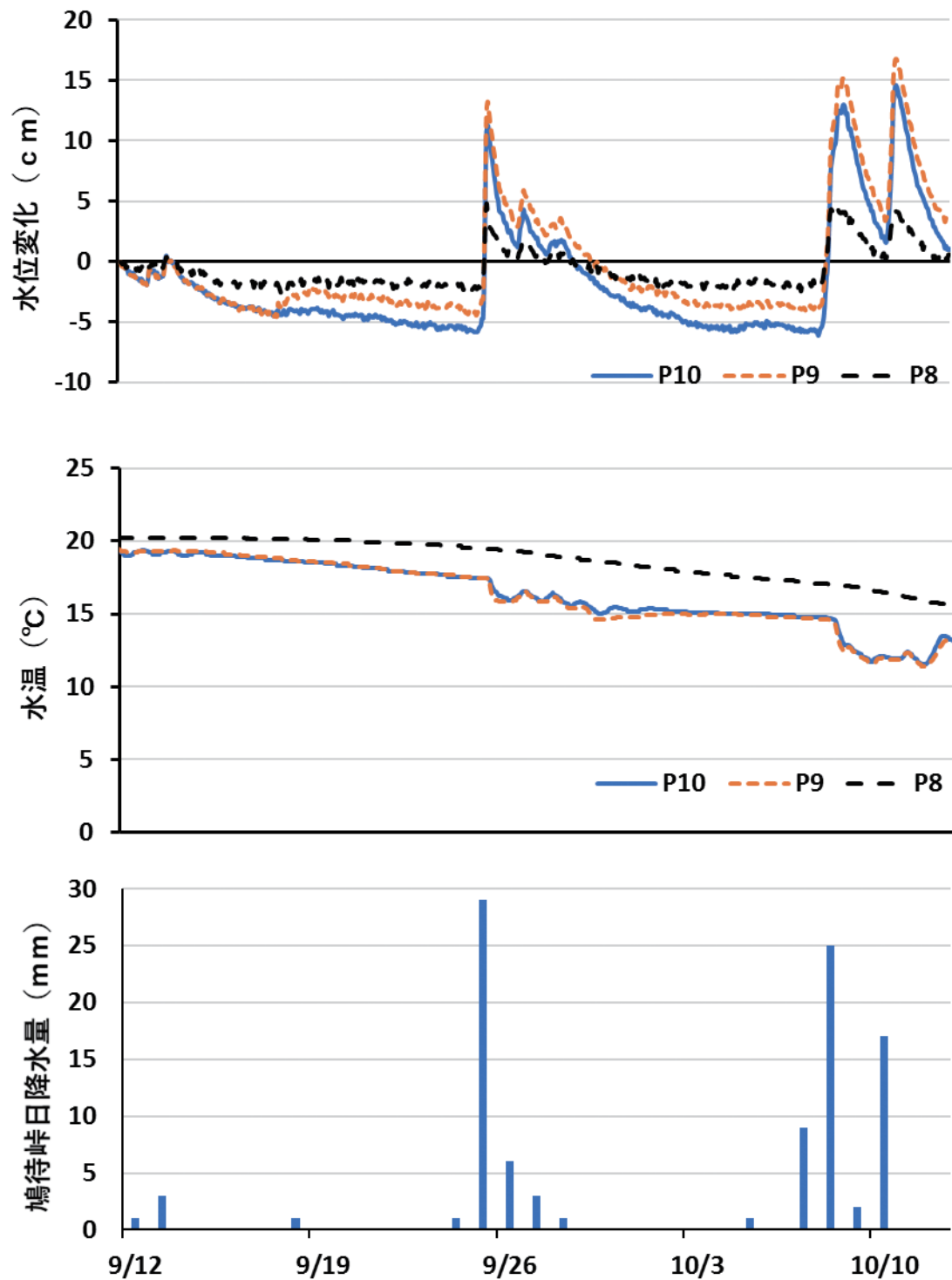


図9：NN6-Yの井戸P8，井戸P9，小池塘P10のa) 水位変化，b) 水深・水温計を設置した深度の水温，およびc) 鳩待峠雨量観測所の日降水量（国土交通省，2021）。

3. 4 中田代竜宮付近の踏査

木道の東側の竜宮の流入口、西側の流出口の周囲、推定される流路の周囲を踏査したが、動ぎの田代と判断される地形は確認されなかった。

4. 考察

4. 1 「動ぎの田代」の構造

調査をおこなった3ヶ所の動ぎの田代では、KA1-Yではヌマガヤやミタケスゲ、KA2-Yはヤチスゲやミカヅキグサ、NN6-Yではミカヅキグサ、ミヤマイヌノハナヒゲ、ヤチヤナギが優占種となっており、それぞれ植生に違いは認められるものの、足元の不安定さを感じる範囲の内外でそれぞれ優占種が異なることはなく、動ぎの田代の範囲を景観から特定することはできなかった。ただし、NN6-Yでは動ぎの範囲を外れると、ミカヅキグサ、ヤチヤナギよりも地下水位が低く、やや乾燥した場所に生育する傾向のあるミヤマワレモコウ (*Sanguisorba longifolia* Bertol.) や、地下水位や土壌水分について広い条件下で生育できるヌマガヤ (岩熊ら, 1999) が増加し、動ぎの内外で地下水位や表層の土壌水分が異なっている可能性が示唆された。

動ぎの程度を簡易に把握する方法として採用した沈み込み量と、地下の水体を覆う泥炭層の厚さがどの程度の相関を示すのかは、泥炭層の厚さを把握した地点が井戸を作成した3地点 (P3, P7, P9) に限られることから、明らかにできなかった。トランセクトライン (ライン AB, ライン CD, ライン EF) において、標高の低い地点 (ライン AB の 17.0-19.0 m 地点, 図 4; ライン CD の 24.0-27.0 m 地点, 図 7) や、池澮に近い地点 (ライン CD の 9.0-19.0 m 地点, 図 7; ライン EF の 2.0-7.0 m 地点, 図 8) で沈み込み量は大きく、地表面の泥炭層の軟弱さを反映していると考えられる。動ぎの田代の分布や規模を迅速に把握するためには、さらに調査手法の検討が必要である。

KA1-Y, KA2-Y および NN6-Y の動ぎの田代に共通する地形的構造として、次の2点が挙げられる。まず、地表面の泥炭層 (厚さ 40-112 cm) の下部には、軟弱な泥炭などではなく、共通して水体の層 (厚さ 37-251 cm) が存在していた点である。KA1-Y で井戸を作成した地点 P3 から 5 m ほど離れた地点 P2 でおこなった簡易貫入試験結果は、地下の水体の層の存在を示唆しており (図 6)、水体は水平方向にも広がりを持っていることが推定される。KA1-Y の水体の層は厚さ 132 cm, NN6-Y は厚さ 251 cm と、地下で洞窟ともいえる構造を呈してい

ると推定されるのに対して、KA2-Y の水体の層は厚さ 37 cm にとどまっていた。KA1-Y は小規模な抛水林に (図 2a), NN6-Y は下ノ大堀川 (図 2c) に接しており、自然堤防により排水の妨げられる後背湿地にあたる位置にあるのに対し、KA2-Y (図 2b) には自然堤防を形成する地形は見当たらない。地下空洞の規模の違いには、地下水の貯留されやすい地形であるかが関係しているものと考えられた。

次に、共通する構造として、動ぎの田代からみて標高の低い側に湧出点としての小池澮があり、そこから地表流が生じているという、一連の水の流れがあることが挙げられる。KA1-Y では小池澮 P5, NN6-Y では小池澮 P10 があり、そこから地表流が流れ出していた。KA2-Y では、KA2-56 および KA2-67 から染み出した水が地表流となっていた。

KA1-Y の小池澮 P5 や吸込み口となっている小池澮 P6 の電気伝導度やカチオン類の濃度は井戸 P3 の地下水と類似しており、また KA2-Y で染み出した水の集まる KA2-67 付近の地表水や KA2-57 および吸込口となっている KA2-58 の電気伝導度は井戸 P7 の地下水と類似しており、これらの地表水は動ぎの田代の地下水体からの湧水に由来すると推定される。NN6-Y の井戸 P9 と小池澮 P10 は、電気伝導度や溶存酸素量がほぼ同じ値を示したことから (表 1)、地下で連通した状態にあると考えられる。また井戸 P9 と小池澮 P10 の水位変化はほぼ同期しており、降雨イベントのあった当日中 (時間雨量のピークから数時間以内) に水位上昇が見られ、水温変化もほぼ同期していることもまた (図 9)、井戸 P9 の水体と小池澮 P10 は地下で連通した一体の水体であることを示している。KA2-Y の動ぎの中央に位置する KA2-56 は、井戸 P7 の深度 124 cm と最大水深 135 cm が類似すること (図 7)、電気伝導度や溶存酸素量 (表 1) の類似を考えると、同じく地下で連通した状態にあると推定される。

さらに、KA1-Y には小池澮 P6, KA2-Y には KA2-58 という、地表流の吸込み口となっている地形を共通して有していた。このような湧水の湧き出し口や地表流の吸込み口を尾瀬ヶ原では「竜宮」と呼んでおり (小谷, 1954)、本研究の3ヶ所の動ぎの田代は尾瀬ヶ原の微地形の一つである竜宮の一種と言える構造を伴っていた。しかし、中田代にある典型的な竜宮は出水口に地下空間をもたないパイプ状の地下流路となっており (野原ほか, 2022)、踏査によっても周囲に動ぎの田代に相当する地形は存在しなかった。

野原ほか (2021) は上田代の KA4 地区の地下構造を

電磁探査することで、表層から深度1 mほどの泥炭層中に高電気伝導度を示す部分があることを明らかにしている。井戸P3の地下水が高伝導度を示すことは、電磁探査で高伝導度を示した地層の存在と関連しているものと考えられる。近年は泥炭湿原を地中レーダーで探査することで詳細な地下構造を把握することも可能となっており (Comas et al., 2005; Holden, 2005; Christopher et al., 2009), 今後、こうした新たな手法を適用することで、動きの田代の地下空洞が水平方向にどの程度広がっているか、尾瀬ヶ原湿原の複雑な地下構造を明らかにすることができるものと考えられる。

北海道の湿原で知られる微地形の一つに「谷地マナコ、谷地眼 (やちまなこ)」がある (辻井, 1987)。開口部は下部が広く深さは1.5-2 m程度と記載があるが、正確な構造についての記述は見当たらない。動きの田代と同様に危険な場所であるために調査例がないと思われる。開口部が円形であることや冬季になかなか凍結しないことから湧水の噴出口の可能性があるとみられており (辻井, 1987)、この点は本研究の動きの田代に類似するものである。また、岡田 (2014, 2017) は低層湿原の水域が埋積してゆく過程で植物の生育により閉塞していくことで形成されるとしており、詳しい構造や水質の調査報告が待たれる。

4.2 成因について

動きの田代の成因として、川崎 (1953) は「古尾瀬湖」(尾瀬ヶ原の元となった燧ヶ岳の噴出溶岩により只見川河谷がせき止められて出来た仮説の湖) の名残りの湖水に泥炭層が浮かんでできたとする「古尾瀬湖残存説」と言うべき説を提唱した。「古尾瀬湖」の存在は、第1次尾瀬総合調査 (1950-1952) の仮説であったが、多くの箇所での泥炭コアの分析から湖であった証拠は得られず、現在では否定されている (阪口, 1982, 1989)。

阪口 (1989) は池澗の岸辺の棚が成長して広がり、池澗の水が閉じ込められたとする「池澗閉塞説」を成因とした。この説は、野反湖湿原でミズスギナ群落が揺るぎの田代を形成しているとの説 (Hori, 1958; 堀, 1961, 1973) を想起したものと推定される。岡田 (2012) はイギリスのダートムーアの中のフォックストアマイアの揺るぎの田代の発達段階として、水面にミズゴケが浮遊して増殖する浮遊期から蓋水期、結合期を経て固結期 (地中にある程度の量の水塊を残してミズゴケが固結) を想定している。尾瀬ヶ原湿原では、池澗内でミズゴケ類が浮遊したり、イネ科植物などが匍匐枝を伸ばして生育す

る状況や報告例はない。水面に浮漂する植物の成長は、池澗水が貧栄養であること (Sakamoto, 1982; 林ら, 1999) から困難と思われる。また、池澗の岸辺が棚状に突出している例は多く観察されるが、ある程度突出すると切断又は切断途中となる場合が多く、岸辺の棚の形成は岸辺植物の成長の結果ではなく、むしろ岸辺の泥炭の侵食の結果と推定されている (福原ら, 2022)。

尾瀬ヶ原では通常30 ~ 150 cmの深度に肉眼的に容易に認められる径2-4 mmの榛名山二ツ岳からの噴出物 (軽石) のテフラが存在している (Sakaguchi et al., 1982)。NN6-Yの井戸P9の底や池澗P10の岸には軽石が堆積していたが (図5h, 5i)、これらの軽石は地下の泥炭が侵食される過程で運搬堆積されたものではないかと筆者らは推測している。現段階では植物の成長の検討が不十分なことから「池澗閉塞説」は否定できないが、今後、NN6-YやKA1-Y, KA2-Yの動きの田代の内外をテフラを指標に泥炭層位を精査することにより、水体上部が閉塞されることで動きの田代の地下空洞が形成されたのか、地下の泥炭層が失われたことで形成されたのかを検証可能と考えている。

中田代にある竜宮は泥炭内に形成された地下流路である。地表水の吸込み口となっているKA1-Yの小池澗P6やKA2-Yの池澗KA2-58、地下水の湧き出し口となっているNN6-Yの池澗P10もまた地下流路の一部を構成していると考えられる。梅田・清水 (1985) はサロベツ泥炭地の湿地溝形態を調べ、場所によって地表が閉塞した地下流路となっていること、またそれらが泥炭の層構造に沿って侵食されることで生じることを推測している。その後、岡田 (2009) は、サロベツ泥炭地の湿地溝が地表流の侵食ではなく、主に過湿条件で植物の成長速度が低下し、泥炭の堆積が妨げられることで形成されることをシミュレーションモデルにより示したが、泥炭層中に透水係数が大きい箇所が存在すると、泥炭中を浸透する地下水が特定の場所に集中すると述べている。

本研究で取り上げた動きの田代は、抛水林の旧河道や河川の自然堤防付近の低地に水が集まり、長年の間に地下の泥炭層に地下流路が形成されることで生じるのではないかと筆者らは推測している。今後、動きの田代の成因を明らかにするには、動きの田代に付随する竜宮に似た地表水を吸い込む池澗、地下水の湧き出す池澗が地下の泥炭層内で相互にどのようにつながっているのか明らかにしてゆくことが必要である。

謝辞

本研究で使用したドローン撮影画像は、(株)ドキュメンタリーチャンネルの藤原英史氏によって撮影されたものを使用させて頂いた。国立環境学研究所の村田智吉博士には、現地調査において数多くのご助力とご助言を頂いた。また本報告の作成にあたり、査読者からは建設的な議論と多くの有用な情報をご教示頂いた。現地調査では宮寺 毅さん(北海道大学大学院)をはじめ多くの方々のご助力を頂いた。また、(公財)尾瀬保護財団、東京パワーテクノロジー(株)と至仏山荘の皆様には調査の便宜を計って頂いた。本研究は2017年より始まった第4次尾瀬総合学術調査の重点研究部会における研究の一部として実施しており、関係各位に深く御礼申し上げます。

引用文献

- Christopher S. L., D. Fratta, and M. P. Anderson (2009) Ground penetrating radar and spring formation in a groundwater dominated peat wetland. *J. Hydrol.*, **373**, 68-79.
- Comas F. A., L. Slater, and A. Reeve (2005) Stratigraphic controls on pool formation in a domed bog inferred from ground penetrating radar (GPR). *J. Hydrol.*, **315**, 40-51.
- 福原晴夫, 永坂正夫, 藤原英史, 野原精一 (2022) 尾瀬ヶ原における池澮の拡大とその拡大速度の測定. *低温科学*, **80**, 79-93.
- 林 秀剛, 味沢伸輔, 季鎬慶, 河村一孝, 村上雅文, 酒井周, 村上哲生, 平林公男, 野原精一 (1999) 尾瀬ヶ原池澮の水質と藻類. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団編): 831-843. 尾瀬総合学術調査団, 前橋市.
- Holden, J. (2005) Controls of soil pipe frequency in upland blanket peat. *J. Geophys. Res.*, **110**, F01002, doi:10.1029/2004JF000143.
- Hori, S. (1958) Ekologiaj studoj pri la plantunuigoj en la torfokampoj de Meza Japanujo. *Science Reports of Gunma Univ.*, **7**, 1-41.
- 堀 正一 (1961) 湿原の形成過程について. *地球科学*, **55**, 17-22.
- 堀 正一 (1973) 尾瀬の湿原をさぐる - そのおいたちと植物 -. 築地書館, 東京.
- 岩熊俊夫, 野原精一, 竹原明秀, 安類智仁, 加藤秀男 (1999) 尾瀬ヶ原中田代の土壤環境と植生. 尾瀬の総合研究, (尾瀬総合学術調査団編): 258-273. 尾瀬総合学術調査団, 前橋市.
- Kanai, H. (1982) Pools catalog and aquatic plant distribution in the Ozegahara moor. In: Hara H. et al., (eds.) *Ozegahara, Scientific Researches of the Highmoor in Central Japan*: 47-73. Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo.
- 金井弘夫 (1999) 尾瀬ヶ原池澮カタログ, 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, 前橋市.
- 川崎隆章 (1953) 田代の研究. 尾瀬, (平野長英, 川崎隆章 編): 220-272. 福村書店, 東京.
- 国土交通省 (2021) 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>
- 小谷 昌 (1954) 尾瀬ヶ原中田代の微地形. 尾瀬ヶ原, (尾瀬ヶ原総合学術調査団編): 30-40. 日本学術振興会, 東京.
- 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, 千賀有希子 (2021) 尾瀬ヶ原における湿原地形と河川・池澮環境の変遷. *陸水学雑誌*, **82**, 151-169.
- 岡田 操 (2009) サロベツ湿原における湿地溝の形成: カレックスモデルを用いた検証. *地形*, **30**, 95-111.
- 岡田 操 (2012) ダートムーアの泥炭湿地 - 名探偵シャーロックホームズが見た底なし沼 -. *湿地研究*, **2**, 43-52.
- 岡田 操 (2014) 湿地の地形学. *湿地の博物誌*, (高田雅之 編): 26-33. 北海道大学出版会, 札幌.
- 岡田 操 (2017) 微地形という不思議 - 泥炭地がつくるかたち -. *日本の湿地* (日本湿地学会 監修): 126-129. 朝倉書店, 東京.
- 阪口 豊 (1978) 泥炭地の地学 - 環境の変化を探る -. 東京大学出版会, 東京.
- 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. 中公新書, 東京.
- Sakaguchi, Y. (2005) *The Ozegahara mire, The striking features and genesis of a natural historical heritage of Japan*. Self publishing, Tokyo.
- Sakaguchi, Y., F. Arai and H. Soma (1982) On deposits of the Ozegahara basin - a contribution to late Quaternary evolution of the largest bog in Japan and its paleoenvironments. In H. Hara et al., (eds.) *Ozegahara: Scientific Research on the Highmoor in Central Japan*: 1-29. Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo.
- Sakamoto, M. (1982) The chemical composition of pool waters on the Ozegahara moor and its ecological significance. In H. Hara et al., (eds.) *Ozegahara, Scientific Research on the Highmoor in Central Japan*: 243-261. Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo.
- 末野悌六 (1933) 尾瀬地方の地質. 尾瀬天然記念物調査報告: 1-18. 文部省, 東京.
- 武田久吉 (1930) 尾瀬と鬼怒沼. 梓書房, 東京.
- 武田久吉 (監修) (1951) 尾瀬. 岩波写真文庫, 岩波書店,

東京.
辻井達一 (1987) 湿原 成長する大地. 中公新書, 東京.
梅田安治, 清水雅男 (1985) サロベツ泥炭地湿地帯の形

態 泥炭地の形態的研究 (I). 北海道大学農学部邦文
紀要, **14**, 281-293.