

飛騨山脈・太郎兵衛平湿原池溆群(富山県)の陸水学的性状

誌名	陸水学雑誌
ISSN	00215104
著者名	村上, 哲生 久野, 良治 岡田, 真衣 上野, 薫 南, 基泰
発行元	日本陸水學會
巻/号	80巻1号
掲載ページ	p. 1-11
発行年月	2019年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



短 報 [Note]

飛騨山脈・太郎兵衛平湿原池溇群（富山県）の陸水学的性状

村上哲生^{1,*}・久野良治¹⁾・岡田真衣¹⁾・上野 薫¹⁾・南 基泰¹⁾

**Limnological features of small pools in the Tarobe-daira Wetland,
Hida mountain range, Toyama Prefecture, Japan**

Tetsuo MURAKAMI^{1,*}, Ryoji KUNO¹⁾, Mai OKADA¹⁾, Kaoru UENO¹⁾ and Motoyasu MINAMI¹⁾

Abstract

The morphological, chemical and biological features of small pools located in the high mountain region of the Hida Mountains in Toyama Prefecture, Japan, were redescribed for the first time in 50 years. Although these pools are in an interesting limnetic environment and they are noteworthy monitoring sites for long-term changes in regional temperature and precipitations, there is limited limnological information. The pools are called 'Ta (paddy fields)' or 'Gaki-ta (paddy fields for hungry ghosts)' in Japanese based on their resemblance to subdivided paddy fields. The pools were classified into two types based on morphology and topography: irregular-shaped pools on steep slopes and isolated round-shaped pools on gentle slopes or flat ground. Although both pool types are fed by snowmelt, the former develops through erosion along the temporal current to form irregular basins, while the shores of the latter are eroded by wind and develop into round basins.

The pH in the water of the six pools was around 4.5, irrespective of the shape and size of the pool: the pH was about 0.7 lower than 50 years ago, perhaps due to recent acidic precipitation. Dissolved oxygen was undersaturated at midday in pools without submerged vegetation due to oxygen consumption of the sediment mud. Conversely, dissolved oxygen was oversaturated at midday in the pools with submerged *Sphagnum*. The rate of oxygen production by *Sphagnum* is dependent on water temperature; for example, at 17°C it is $0.26 \pm 0.13 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ and at 27°C it is $0.72 \pm 0.29 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Filamentous *Tribonema affinis* (Xanthophyceae) and members of the acidophilous taxon of Diatomaceae, such as *Frustulia rhomboides* and *Pinnularia* spp. were dominant in the epipellic algal communities of the pools that were studied.

Key words: acidification, highland moor, Japan Alps, *Sphagnum*

¹⁾ 中部大学大学院応用生物学研究科 〒487-8501 愛知県春日井市松本町1200 Graduate School of Bioscience and Biotechnology, Chubu University, 1200 Matsumoto-cho Kasugai City, Aichi 487-8501, Japan

*¹⁾ 連絡先: 村上哲生 Corresponding author: Tetsuo MURAKAMI, E-mail: tetsumurakami@isc.chubu.ac.jp

摘要

飛騨山脈の高山域に分布する池澮の形状、水質、生物について報告する。高山の池澮は特異な陸水環境であり、また近年は気温や降雪の経年変化の監視のための適地として注目されているものの、この地域の池澮群については半世紀来、調査活動が行われていない。このような山地の池澮群は、細かく畦で区分された田圃と形状が似ているため、「田」、「餓鬼田」と呼ばれてきた。池澮はその形態と位置により二つの型に区別できる。急斜面にある不規則な形の池澮と、平地か緩斜面にある孤立した丸い形の池澮である。二つの型の池澮とも雪融け水により涵養されるものであるが、前者は一時的な水の流れに沿って斜面が侵食され不規則な形となり、後者の孤立した型は風により岸を均等に侵食し円形の湖盆を成したものである。

調査した6箇所の池澮の水のpHは池澮の大きさや形状の違いには関係なく4.5前後であったが、この値は50年前の観測値と比べると0.7程低くなっている。恐らく近年の酸性化した降水による変化であろう。水中に植生が見られない池澮では堆積した泥の酸素消費により、真昼の時間帯になっても酸素濃度は不飽和のままであった。一方、ミズゴケが水中に進入している池澮では、真昼に酸素過飽和が観測された。ミズゴケの酸素生産速度は温度に依存する。現地での17℃の水温では生産速度は $0.26 \pm 0.13 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ と推定されたが、27℃では $0.72 \pm 0.29 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ に増加した。

調査した池澮の底泥では糸状の黄緑色藻綱の*Tribonema affinis*と好酸性の珪藻綱、例えば*Frustulia rhomboides*や*Pinnularia* spp. が優占していた。

キー・ワード：酸性化、高地湿原、日本アルプス、ミズゴケ

(2018年6月14日受付：2018年10月5日受理)

はじめに

高山域の斜面に見られる湿原は、地形的な観点からは「傾斜地泥炭地」(小泉, 1982)、また湿原を涵養する水の起源からは「雪田草原型山地湿原」(大丸・安田, 2009)、さらに生物生産面からは「山地貧養泥炭地」(小泉, 1982)と呼ばれている。標高2,960 mの薬師岳(富山県富山市)から南西に伸びる尾根の薬師峠(2,294 m)より太郎山(2,373 m)にかけての約1 kmの北斜面(太郎兵衛平)に発達する湿原もこの類型に属する。

傾斜地の湿原には数多くの池澮が見られ、畦で細かく区画された水田の様な景観であることから俗に「田」、「餓鬼田」と呼ばれている(吉井・林, 1935)。江戸時代に鈴木牧之(岡田校訂, 1936)により記された「北越雪譜」にも苗場山(新潟県)の池澮が「峻嶽の頂に苗田ある事甚奇なり」と紹介されている。田と形容されるように水深は浅く、尾瀬ヶ原(福島・群馬・新潟県)などの平坦な高層湿原に見られる大型で深い池澮(栗田・峰村, 1999)とは異なるものである。

太郎兵衛平の湿原の池澮の陸水学的研究は本多(1963, 1965)に始まる。彼は池澮の形状や植生、また池澮水の

水質等を記載し、その発達と消滅の過程を論じている。吉井・林(1935)の八幡平(青森県)や根来・牛山(1938)の霧ヶ峰(長野県)の湿原研究と共に先駆的なものであった。しかし、当地は観測機材を担って接近することが困難な位置にあることから、それ以降の調査は絶えている。池澮では長期にわたる遷移の過程で形態や水質、及び生物相が変貌するとともに、気象の異変や人為的な干渉により、比較的短い期間に劇的な環境変化を遂げることもある。短期間の変化についてはMets(1982)等の報告があり、また、我国の尾瀬ヶ原でも十数年の時代を経て再度総合調査が企画された例があるものの(Hara et al., 1982; 尾瀬総合学術調査団, 1998)未だ報告の件数は少ない。池澮は高山域に発達する特異な陸水域であり、様々な環境条件が変化した約半世紀後の現状を記述することには陸水学的な意義があると考えられる。高山の斜面に発達する湿原の分布は豪雪域に限定される(Sakaguchi, 1979)。そこに生じる池澮は凍結・溶解後の地面の裂けや雪蝕により湖盆が形成され(本多, 1965)、融雪水により涵養されるため、近年、過去の降雪や気温の状況を知るための手段としても着目されるようになった(小泉, 1982; 大丸・安田, 2009)。本多(1963, 1965)の観測結

果と現状を比較することにより、近年の変化を明らかにし、その原因を検討することができるかもしれない。また、将来の変化の監視のために、この時点での観測記録を残しておくことも必要であろう。本報告は、太郎兵衛平の池塘群の陸水学的性状を再記述し、本多（1963, 1965）の記録では詳しく触れられていなかった池塘水質の日変化や一次生産者の情報も加えて報告するものである。

観測地域と方法

調査場所

池塘群は薬師峠から太郎山にかけての北斜面、また太郎山から北ノ俣岳（2,661 m）に向かう南方向の尾根道の東西斜面に見られる。本調査では、太郎山から太郎平

小屋にかけての北斜面に分布する太郎兵衛平池塘群を主として調査した（Fig. 1）。調査は2017年9月8日から10日にかけて実施した。

本多（1963）は池塘の面積や水深により植生が異なることを記しているため、同一斜面に位置する近接した池塘の中から面積や植生の異なる6箇所の池塘を観測対象として選んだ（P1～P6; Fig. 2, Table1）。P1池塘は面積100 m²近くの大型のものである。この大きさに達するものは調査場所では稀である。形態から二つの湖盆が拡大し融合したものであると思われる。池塘の縁や水深の浅い場所では *Nephrophyllidium crista-galli* (Menzies ex Hook.) Gilg subsp. japonicum (Franch.) Yonek. et H. Ohashi (イワイチョウ) や *Juncus filiformis* L. (エゾホソイ) が進入している。P2, P3池塘は10 m²程度の大きさである。

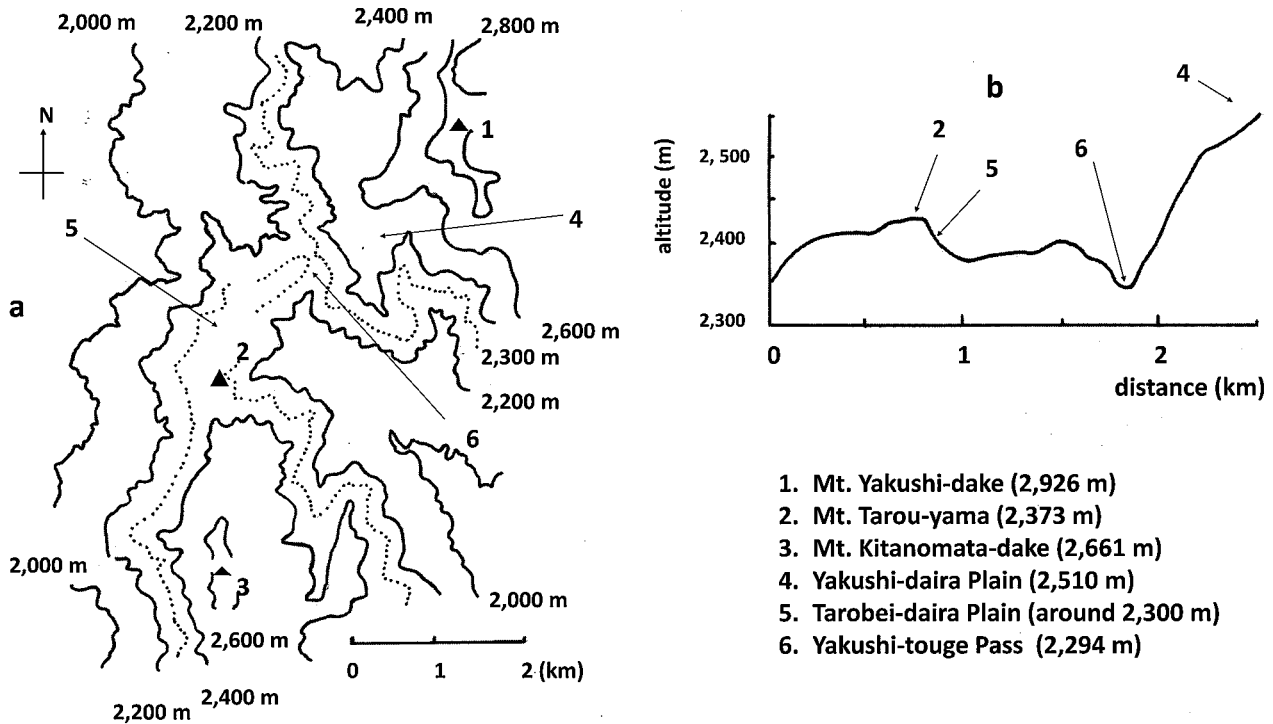


Fig. 1. Map of the study area

a; Contour map redrawn from the national base-map of Yakushi-dake (Geospatial Information Authority of Japan) at a scale of 1:25,000, solid contour lines are drawn at 200 m intervals. At 2,300 m, where many pools are found, a contour line (dashed line) is added.

b; Height profile from Mt. Tarou-yama (2,373 m) to the Yakushi-daira Plain (2,510 m) through a pass.

Pools in this study are distributed between Mt. Tarou-yama (indicated by a '2') and Tarou-goya Cottage on Tarou-daira Plain (indicated by a '5').

図1. 調査地付近の地図

a; 調査地付近の等高線図、国土地理院1/25,000地形図・薬師岳を基に作成。等高線は200 m毎（実線）池塘の分布が集中する2,300 mの等高線も補助的に描き入れた（破線）。

b; 太郎山から薬師平に至る登山道に沿った地形の高低図

研究対象とした池塘群は太郎山（図中の“2”）から太郎小屋がある太郎兵衛平（図中の“5”）の間に分布している。

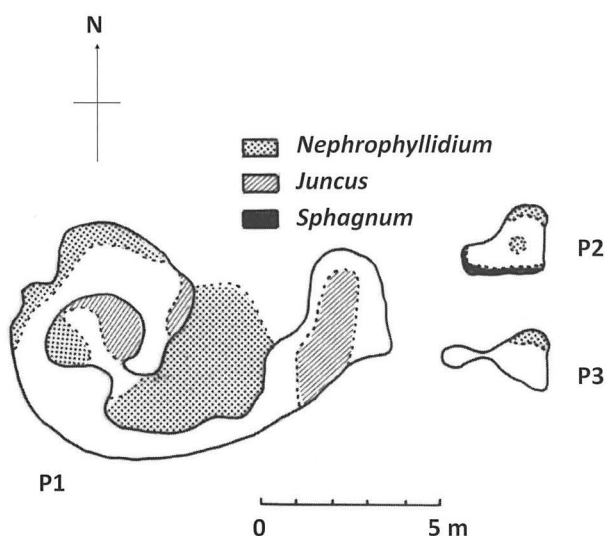


Fig. 2. Morphology and vegetation of studied pools

Pool P1 is the largest and is located on the north slope of Mt. Tarou-yama, having an area of 91 m² and depth of 13 cm. The pool is fringed by *Nephrophyllidium crista-galli*, and *Juncus filiformis* is present in the shallow areas of the pool. Pool P2 is 15 m² in area, and *Sphagnum* sp. growth was observed at both the edge and bottom of the pool near the shore. Pool P3 is similar in size to P2, but it lacks *Sphagnum*. P4, P5 and P6 are small with areas of 0.1, 1.6 and 0.6 m², respectively. Additional information about pond morphology is shown in Table 1.

図2. 池澮の形態と植生

P1池澮は太郎山斜面で最大規模のもの。面積は91 m²、深さは13 cm。池澮は*Nephrophyllidium crista-galli*（イワイチョウ）に縁どられ、*Juncus filiformis*（エゾホソイ）が池の浅い部分に進入している。P2池澮の面積は15 m²。池の縁と岸辺に近い底には*Sphagnum* sp.（ミズゴケ属）が繁茂している。P3池澮の大きさはP2とほぼ同じようなものであるがミズゴケを欠く。P4, 5, 6池澮は小さく、面積はそれぞれ0.1 m²、1.6 m²、0.6 m²。池澮の形態については、Table 1も参照のこと。

両池澮ともイワイチョウに縁どられているが、P2では*Sphagnum* sp.（ミズゴケ属の1種、種不明、以下「ミズゴケ」と略記）が水中に進入している。P4, P5, P6池澮は極小型のもので、面積は1 m²前後である。P5, P6にはそれぞれ糸状の藻類とミズゴケが僅かに底泥上に認められた。

現地観測の方法

形態が異なる池澮を選び、斜面傾斜との関連を調べた。また6箇所（P1～P6）の形態や植生が異なる池澮では、水温や水質、及びそれらに関する気温や日照の経時変化を観測した。

1) 地形

池澮が発達した斜面傾斜を0.2 mごとに勾配定規で測定し、勾配に沿う池澮の配置を明らかにした。また、池澮の三角測量により外形を描いた。水深は池澮の中心部に近い位置で測定した。さらに、金属製の物差しを底に差し込み、抵抗なく貫入する深さを堆積物厚として記録した。

2) 気象の観測

気温は、Onset Computer社製のTidbitT v2型の温度ロガーを地面から1.2 mの高さの樹上に吊りし、30分毎に記録した。特別な遮光の工夫はしていない。水温も同型のロガーをP1池澮の水中に置き測定した。

光量子束密度は、LiCor1400（LI-COR社）を用い、日の出から日の入りの間30分間隔で観測した。本器の受光部は平面形状で、受光部を傾斜のない地面に水平に置いた位置で測光した。紫外線強度はFUSO社製のUV340型ライト・メーターを用い、これも受光部を地面に水平に置き30分毎に測定した。カタログ・データによれば、本器では290～340 nmの波長の紫外線強度を測定できる。

3) 池澮環境の現場観測

6箇所の池澮で、日の出から日の入りまで1時間ごとに水温とpH、電気伝導度の変化を測定した。測定にはポータブル型pHメーターD-71型（堀場製作所）を用いた。また、電気伝導度は井内盛栄堂社製Model CON100により測定した。

P2及びP3の池澮ではPME社製の溶存酸素データ・ロガー（蛍光式）を底泥より離れた位置の水中に設置し、10分毎に水温と溶存酸素濃度を測定した。酸素濃度を酸素飽和度に換算する際の高度補正は西條（1966）の方法に従った。

水質分析、一次生産者の同定、及び一次生産速度の測定

1) 水質、底質分析

水質分析のための試料は9月9日午後に採水した。試料の一部は直ちにガラス・フィルター（Whatman, GF/C）で濾過し、無処理の水試料と共に濾紙及び濾水を冷蔵して持ち帰り化学的酸素要求量（COD）、硬度は9月16日に、またクロロフィル測定用の濾紙と窒素・リン濃度用の試料は凍結して保存し、それぞれ9月16日、11月27日に分析した。

硬度はEDTA滴定法、化学的酸素要求量（COD）は上水試験法、窒素・リン濃度はJIS K102、クロロフィルaはLorenzen（1967）の方法により定量した。CODと小倉（1969）に基づく懸濁物を除いた池澮水の紫外外部吸収（250

nm)との関係は、2016年10月の同地域での観測値（久野、未発表）を引用した。

底泥厚は10 cm未満と薄いため、池塘の中央部で堆積物の全層を採集し良く混ぜたものを堆積物分析のための試料とした。冷蔵して持ち帰った試料は9月17日に100°Cで乾燥した後、400°Cで焼き、易燃焼性の有機物含有量を測定した（今川他、2011）。

2) 一次生産者の採集と同定

肉眼で確認できる底生の藻類は、ピンセット及びピペットを用い採集し、検鏡まで冷蔵保存した。また珪藻遺骸の種類組成を観察するために、堆積物分析用に採集した試料の一定量を水に懸濁させ、カバーガラス上で乾燥させ、プルーラックス（マウントメディア・和光純薬）で封入し、珪藻殻を生死を問わず200殻計数した。藻類の種名表記は、珪藻類はKrammer and Lange-Bertalot（1986, 1991）、珪藻類以外はPrescott（1951）、廣瀬・山岸（1977）に従った。

3) 酸素生産・消費速度

池塘水の酸素生産・消費速度は100 mL容量のフラン

瓶を用い、明暗瓶法で測定した。またミズゴケの酸素生産を測定するために、同様なフラン瓶にミズゴケ（湿重量0.06～0.12 g）を池塘水と共に入れ、酸素濃度の増減を記録した。測定に利用したミズゴケは軽く水を切り冷蔵して持ち帰り、現地観測の2日後、平地の河川水を用い、現場よりも高い水温条件で、酸素の生産と消費を測定した。底泥の酸素消費は、一瓶当り0.075 gの泥を、池塘水を詰めた瓶に混入することにより測定した。各観測の明暗瓶はそれぞれ3本とし、その平均値を代表値とした。

調査結果及び考察

太郎兵衛平北斜面の池塘の分布と形態

1/25,000地形図から計算される太郎山山頂から太郎平小屋がある鞍部までの平均傾斜は13 m/100 mであるが（Fig. 1b）、山頂付近の傾斜が急な斜面には池塘は見られず、傾斜が緩い鞍部の底に近い斜面に多い。斜面は*Carex blepharicarpa* Franch.（ショウジョウスゲ）に覆われている。

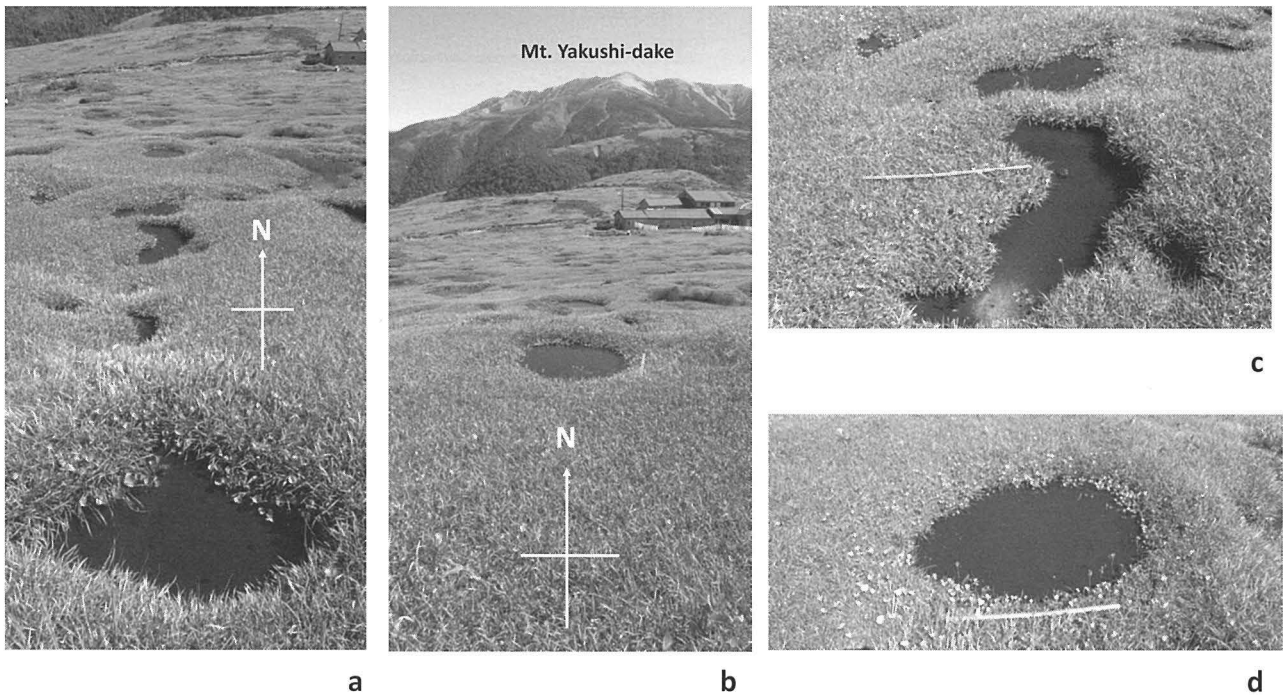


Fig. 3. The two types of the pools
 a, c; Irregular-shaped pools on steep slopes
 b, d; isolated round pools on gentle slopes or flat ground
 Rulers in photos c and d have a length of 1 m.

図3. 二つの型の池塘
 a, c; 比較的急な斜面に沿って分布する不規則な形の池塘群。
 b, d; 緩い斜面、または平らな地形に見られる真円に近い形の池塘。
 c, dに置かれたスケールは1 m。

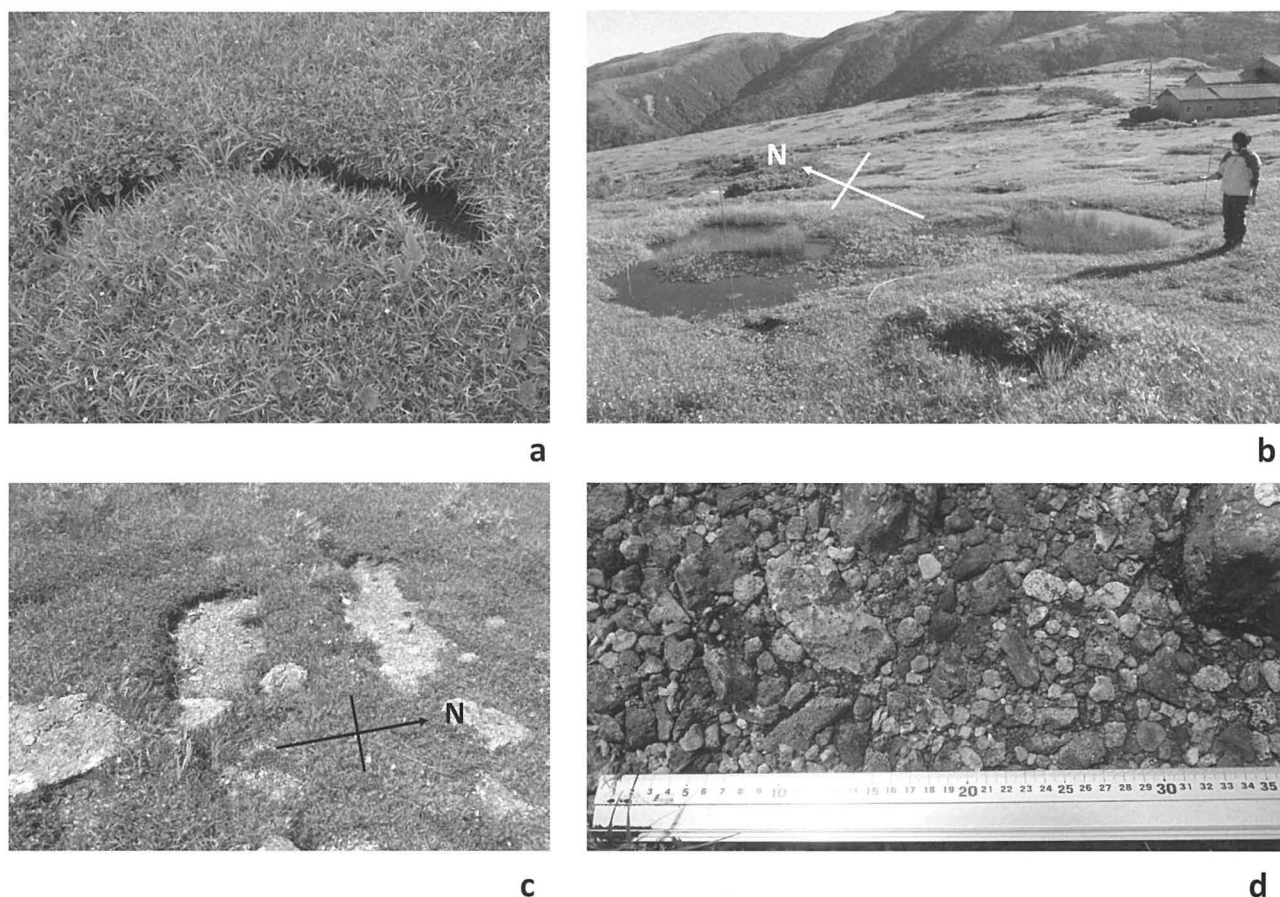


Fig. 4. Hypothesized development process of the pools

- a; A crack forms in the ground, and the small pools P4, P5 and P6 take the shape and size of the cracks.
- b; Pool P1: two well-developed basins joined and formed a large pool.
- c, d; Dried up pools; may have formed by changes in the channel that drains snowmelt. The pool bottoms are comprised of coarse sand and gravel.

図4. 想定される池澁の発達過程

- a; 地面の亀裂，P3，P4，P5池澁の形と大きさによく似ている。
- b; P1池澁，良く発達した湖盆は融合し一つの大きな池澁になる。
- c, d; 干上がった池澁跡，雪解け水を流す水路が変更されたためと思われる。池澁の底は粗い砂粒と礫から成る。

池澁は真円に近い形から、不規則な形まで様々な形態をとる。開放水面の面積は大型のものでも 100 m^2 を超えることはなく、 $10 \sim 20 \text{ m}^2$ のものが多い。水深は 10 cm を超えるものは稀であり、全く涸れているものもあった (Figs. 3, 4, Table 1)。

池澁の縁は、南側、つまり斜面の高い側では垂直に近く切り立っているか、さらに表面の植物遺骸の層を残し挟り込まれた形となっている。一方、北側の縁はほぼ水面と同じ高さで、そこから水が浸み出すか、僅かに水面より高い堤となっている (Figs. 3, 5)。

各池澁の北側の縁の形態の違いは、池澁の発達過程を考える際、重要な要素となるように思える。斜面の傾斜

の方向にいくつか並んでいる池澁は、北側の岸が低く水が浸み出す型であり、流出水は下の池澁に流れ込む。これらの池澁の連続は、融雪時、または多量の降水の時期の水の流れに沿ったものであると考えられる。池澁の形は円形ではなく、斜面の方向に延びた屈曲のある形である。軟らかい堆積物層は概ね薄く、水が流入する南側ではそれを全く欠くこともある (Figs. 3a, 3c, 5A)。一方、北側の縁が幅 80 cm ほどの堤となり約 10 cm 盛り上がる型の池澁は、傾斜が緩い斜面、または平坦地に見られ、独立したものであることが多い。池の形は円形であり、堆積物の層は 10 cm 程度である (Figs. 3b, 3d, 5B, 5C)。本多 (1965) も二つの形の池澁に着目しており、

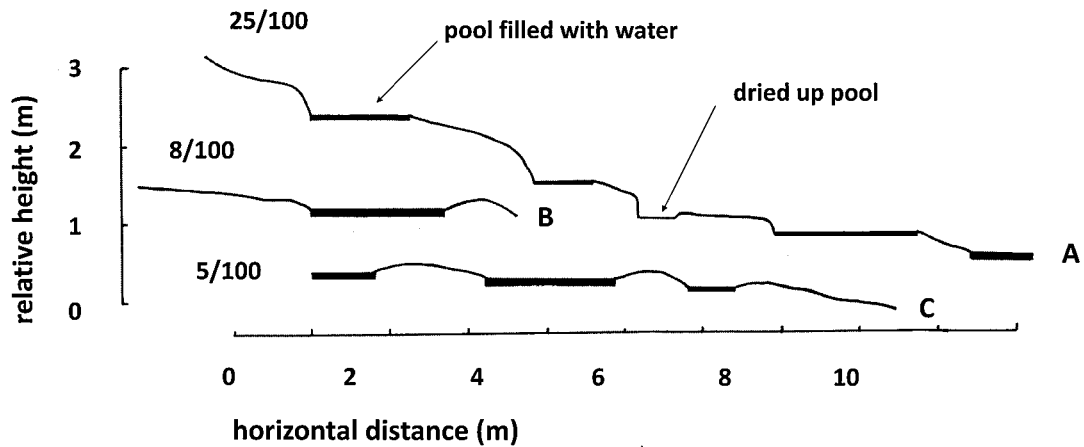


Fig. 5. Profiles of the pools along steep and gentle gradient slopes

The thickness of the black horizontal band shows pools and is represented in proportion to water depth.

Profile A has irregular-shaped pools along a steep slope (25/100), and the lower margins of the pools do not rise. See photographs in Fig. 3a and 3c

Profile B and C have round pools along a gentle slope (under 10/100), with lower margins that rise about 10 cm and form ridges. For photographs along profile C, see Fig. 3b and 3d.

図5. 斜面上の池塘の分布

池塘を示す水平な黒帯は、観測した水深に比例した厚みで描かれている。

A; 急な斜面 (25/100) に不定形の池塘が連続する型、斜面の下方方向の縁はほとんど盛り上がることはない。図3a, 3cも参照。

B, C; 緩い斜面 (10/100以下) に見られる真円に近い形の池塘、斜面の下方方向の縁は10 cm程盛り上がり堤状になる。傾斜図Cについては図3b, 3dも参照。

平坦部では丸型、緩斜面では半月型の池塘が多いと記している。吉井・林 (1935) は八甲田山湿原において、縁が盛り上がる池塘が「平坦又は緩傾斜の地が急に傾く地点に見られる」としている。この記述は太郎兵衛平の円型の池塘が見られる地形の特徴と一致する。「急に傾く」のは縁の盛り上がりにより、頂から本来の斜面までの高さの差が生じていることを指しているものと思われる。急な傾きは池塘が出来上がった以降に生じたものであり、本来の地盤の傾斜ではない。阪口 (1974) も吉井・林 (1935) の言う急傾斜は池塘形成の結果であり、成因ではないと解釈している。

二つの型の池塘はいずれも凍結や融解時に生じた地面の亀裂が起源であり、そこに融雪水が流れ込み発生したものであろう。稀ではあるが、水が溜まっていない亀裂も斜面に見られる (Fig. 4a)。面積が1 m²前後の小型のP4～P6池塘は湛水初期のものであろう。急傾斜の斜面に並ぶ不規則な形の池塘は、湖盆の形成後、雪融け時の一時的な流れが斜面を侵食し、流路に沿って並ぶ一連の池塘群に発達したと考えられる。北側、つまり低い側の堤が盛り上がらないのは、流れにより定期的に侵食を受けるためであろう (Fig. 5A)。一方、孤立した円形の池塘は流路の一部とはならず、波浪により均等に護岸が

侵食され、円形の池塘を形成したものと考えられる。池塘のあるものは拡大し、ついには隣接する池塘と融合する。P1池塘がその例である (Fig. 4b)。水深の浅い池塘は、流路の変更により涸れる (Fig. 4c)。干上がった池塘底では堆積物は見られず、直径1～10 cmの大きさの礫を含む砂礫層が露出する (Fig. 4d)。

光と気温、水温条件

調査地の気温は、日の出 (6:00) 以後、太陽の高度が上がるとともに急激に上昇し、正午には28℃以上に達した。気温の日較差は20℃であった。気温は測定時刻の天候に敏感に反応し、午後に一時的な雲がかかると直ちに約10℃の気温の低下が見られた。P1池塘の水温も気温と連動し日の出以降上昇したが、その速度は気温に比べて緩やかであり、雲の発生の影響は顕著ではなく、日没後の水温低下も緩やかであった。水温の日較差は14℃であった (Fig. 6)。池塘の水温上昇傾向と池塘の形態とは明瞭な相関が認められなかった。正午の水温と池塘面積には有意な関係は認められなかった ($r^2 = 0.07$, $n = 6$, $p > 0.01$)、同じく池塘水深との相関も有意ではなかった ($r^2 = 0.59$, $n = 6$, $p > 0.01$)。後方で決定係数が比較的大きい値をとるのは1例の極端に浅い池塘 (P4) を

含むためである。

光量子束密度は、正午には $1,600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ に達した。光量子束計の受光部に池水を僅かに被せた状態での光量子束密度は、空気中でのその $50 \sim 90\%$ の値であり、太陽高度が低い時間帯程、減少率が大きくなる傾向が認められた。紫外線強度は、光量子束密度と同様に正午頃最大となり、 $3,000 \mu\text{W cm}^{-2}$ を超えた。紫外線強度/光量子束密度の比は、時間帯により一定ではなく、早朝や夕刻ではその比は小さく、南中時刻前後に大きな値となった (Fig. 7)。

池水水質の特徴

池水に湛えられた水は茶色味を帯びていた。pHは測定した6箇所の池水では、測定時間を問わず5未満の酸

性であった。日の出後 (7:30)、正午頃、日没前 (16:30) の6箇所の池水のpHはそれぞれ、 4.79 ± 0.12 , 4.69 ± 0.13 , 4.67 ± 0.12 で時間的な変動もほとんどなかった。CODはいずれの池水でも 10 mg L^{-1} 以上で、 250 nm の波長の吸収と相関が認められ ($r^2 = 0.77$, $n = 23$, $p < 0.01$)、溶解態の有機物が多いことが確認できた (小倉, 1969)。水の硬度はいずれの池水でも $\text{CaCO}_3 \text{ } 0 \text{ mg L}^{-1}$ であった (Table 1)。

本多 (1963) は、pHが5.4であるものが測定した太郎兵衛平池水群の93%を占めるとしている。本多 (1963) の観測の測定法や測定時間、対象とした池水の数不明であり、ガラス電極法による測定では、池水等の溶解有機物濃度が大きい水域では測定値と真のpH値に不一致が見られる傾向があることを考慮しなければならないが (Herczeg and Hesslein, 1984)、我々の調査と比較すれば0.7程高い値であったことになる。

ショウジョウスゲが優占する池水周辺の植生や、登山者用の宿泊施設などの人の利用も本多 (1963, 1965) の時代とさほど変化しているとは考えられない。またミズゴケの繁茂はミズゴケ酸の分泌により生育環境のpHの低下を招くが (原口, 2010)、ミズゴケが進入した池水のみが特にpHが低下しているわけではない (Table 1)。

近年、富山地方の降水のpHは市街地よりも山岳域で低くなる傾向があり、酸性雨基準のpH5.6を下回る降水頻度は前者で73%であるのに対して、後者では90%に達する (安田他, 1991)。降水のpHの低下に加え、山岳域のイオン濃度の低い止水域の水質の特徴もpH低下の一因となる (Wright and Henriksen, 1978)。川上 (1993) は乗鞍山頂付近の鶴ヶ池 (岐阜県) で1985年から1993年にかけてpHが6.3から5.5まで0.8低下していることを観測し、酸性雨の影響がpH緩衝能力に乏しい高山湖に顕著に表れると報告している。本調査が対象とした池水群も硬度が著しく低いことに留意する必要がある (Table 1)。2000年代初期の中部山岳地域の陸水のpHは6.6~7.6であり、30年前と比較すれば0.3~0.7低下していると推定されている (栗田・植田, 2006)。本調査で記録されたpH低下も近年の酸性の降水とそれを受け入れる池水の緩衝能に乏しい水質的な特徴によるものと考えられる。

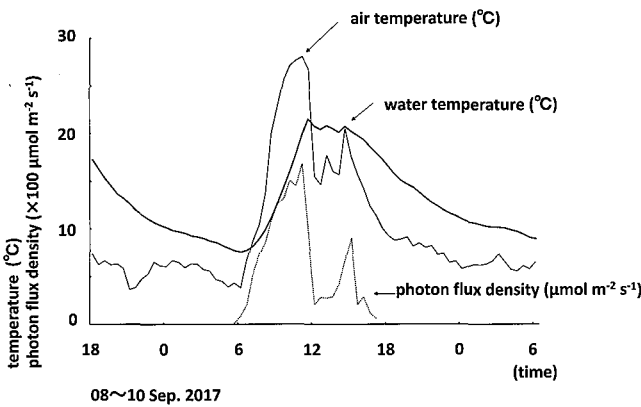


Fig. 6. Diurnal fluctuations in photon flux density, air temperature and water temperature
Water temperature was measured in pool P1.

図6. 光量子束密度, 気温, 水温の日変動
水温はP1池水で測定したもの。

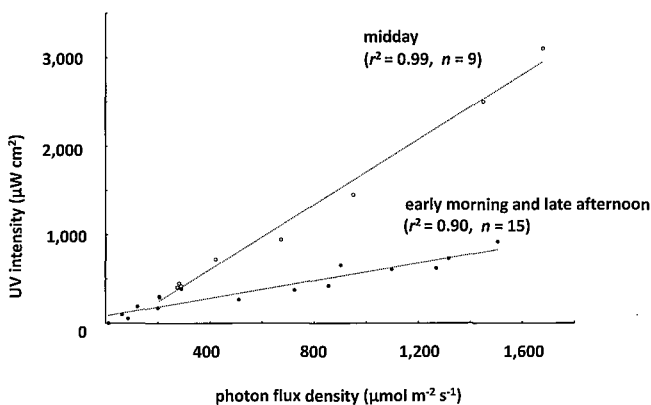


Fig. 7. Relationships between UV intensity and photon flux density
図7. 光量子束密度と紫外線強度との関係。

池水の一次生産者と生産速度

肉眼的に認められる池水の一次生産者としては、*Sphagnum* sp. (ミズゴケ属) と *Tribonema* 属 (Xanthophyceae: 黄緑色藻綱) の糸状藻類が幾つかの池水水中で見られた。

本多（1963）は太郎兵衛平湿原で6種のミズゴケを記録しているが、今回採集された種類の同定はできていない。後者の形態は、Prescott（1951）、秋山・山岸（1977）が記述しているそれぞれ5種の *Tribonema* 属の中では、*T. affine* G. S. West に最も近い。根来（1938）は日光兎島湿原で、本属の発生を記録している。また、Sheath et al.（1986）は、極地の腐植質に富む流水域で *T. affine* が優占することを報告している。Pandit（1999）も黄緑色藻綱がカシミール地方の標高1,600 m付近に位置する湿地の浮遊、付着藻類群集の構成種であることを記述している。これらの報告から *T. affine* は腐植質に富む寒冷地の指標藻類と考えてよいであろう。

池塘の底泥中では珪藻類が最も頻繁に見られ、調査した6池塘で *Eunotia* spp., *Frustulia rhomboids* (Ehrenberg) De Toni, *Navicula subtilissima* Cleve, *Neidium* spp., *Pinnularia* spp. の総計が珪藻群集の殻の97~100% ($n = 200$) を占めた。福島・中村（1972）は日本の腐植栄養型湖沼では *Eunotia* 属の種類が多いことをその特徴として挙げているが、太郎兵衛平湿原の池塘群では、本属の種類数は少なく、群集中に占める割合も0~22% ($n = 200$) と小さいものであった。標高2,000 mに位置する湿原の池塘に生育する珪藻の種類組成を調査したKato

（1991）は、池塘が小さい程 *Eunotia* 属の割合が減少し、替わって *F. rhomboids* が増加することを報告し、池塘サイズによって異なる水温を種類組成を決定する重要な要因と結論付けている。本研究においても、*F. rhomboids* の優占は見られるものの（6~71%, $n = 200$ ）池塘面積との関連は認められず、また水温と池塘サイズとの相関もないことは先に示した通りである。

藍藻類では *Chroococcus turgidas* (Kützing) Nägeli が、緑藻類では *Euastrum cuneatum* Jenner が目立った。両種とも水野（1964）が月山弥陀ヶ原（山形県）の高層湿原の代表的な植物プランクトンとして紹介している。

池塘の溶存酸素濃度の日変化は、池塘内の沈水植物の繁茂状態により異なっていた（Fig. 8）。P2池塘は池の縁に分布するミズゴケが池塘内にも進入しており、生産された酸素のために、日中過飽和の酸素状態が維持されていた。晴天下の紫外線強度の強い時間帯にも強光阻害による酸素濃度の低下は観測されなかった。一方、P3池塘では沈水植物や肉眼で認められる大きさの浮遊藻類の発生は認められず、終日酸素不飽和のままであった。同様に、ミズゴケの進入が認められないP1, P4池塘でも、正午頃の観測では、酸素飽和状態にはならなかった。

現場で池塘水を詰めた酸素瓶中の酸素濃度は $8.76 \pm$

Table 1. Limnological features of the six studied pools.

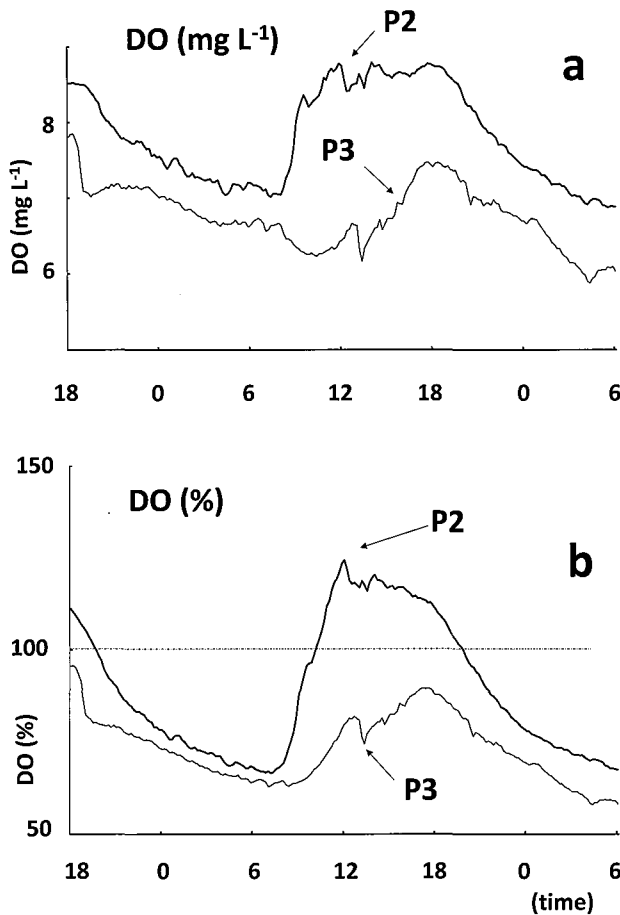
Water temperature, pH, conductivity and DO values are measured near noon. 'ND' in the TP column shows the values under 0.01 mg L^{-1} , DO in P5 and P6 are not measured.

表1. 調査した6箇所の池塘の陸水学的な性状

水温, pH, 電気伝導度, 及び溶存酸素は正午頃の測定値。

TP欄の"ND"は 0.01 mg L^{-1} の測定値であることを示す。P5とP6の溶存酸素は測定していない。

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
north latitude	36° 26' 56"	36° 26' 57"	36° 26' 55"	36° 26' 56"	36° 26' 55"	36° 26' 55"
east longitude	137° 30' 29"	137° 30' 56"	137° 30' 55"	137° 30' 55"	137° 30' 55"	137° 30' 55"
area (m ²)	91.5	15.5	12.5	0.1	1.6	0.6
water depth (cm)	13	9	10	2	9	10
sediment depth (cm)	3	8	4	8	2	4
submerged vegetation	not find	<i>Sphagnum</i>	not find	not find	<i>Tribonema</i>	<i>Sphagnum</i>
water temperature (°C)	21.0	17.7	21.3	16.5	21.7	20.6
conductivity (mS m ⁻¹)	1.0	0.8	0.9	2.0	0.9	1.1
pH	4.8	4.8	4.6	4.4	4.7	4.6
CaCO ₃ hardness (mg L ⁻¹)	0	0	0	0	0	0
DO (mg L ⁻¹)	3.58	7.75	5.45	5.82	-	-
DO (%)	55	111	84	82	-	-
COD (mg L ⁻¹)	12.4	11.9	13.6	17.2	13.1	12.8
TN (mg L ⁻¹)	0.95	0.67	0.78	0.60	0.52	0.46
TP (mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
chlorophyll a (µg L ⁻¹)	2.1	4.3	2.1	4.3	8.5	1.1
I. L. (%)	11	36	68	42	44	43



08~10 Sep. 2017

Fig. 8. Diurnal fluctuation in dissolved oxygen concentration (mg L^{-1} , a) and saturation (%), b) in pools P2 and P3.

Pool P2; With *Sphagnum*

Pool P3; Without *Sphagnum*

図 8. P2, P3 池澮の溶存酸素の日変化 (a; 濃度 (mg L^{-1}), b; 飽和度 (%))

P2 池澮; ミズゴケ有

P3 池澮; ミズゴケ無

$0.16 \text{ mg-O}_2 \text{ L}^{-1}$ ($n=3$) であった。水温 $17.6 \sim 17.7^\circ\text{C}$, 光量子束密度 $210 \sim 290 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の条件で 1.5 時間水中に置いた明瓶, 暗瓶の酸素濃度は, それぞれ $8.50 \pm 0.08 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ ($n=3$), $8.61 \pm 0.03 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ ($n=3$) で酸素の生産や消費を推定する規模の濃度変動を検出することはできなかった。一方ミズゴケ片を入れた明暗瓶の酸素濃度は, 同条件でそれぞれ $9.03 \pm 0.07 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ ($n=3$), $8.67 \pm 0.21 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ ($n=3$) の増減が認められた。これはミズゴケ湿重量 1 g 当りの酸素生産速度と消費速度に換算すればそれぞれ $0.26 \pm 0.13 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($n=3$), $0.04 \pm 0.12 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($n=3$) となる。一方, この観測に用いたミズゴケを冷蔵し持ち帰り, 平地の水温条件で測

定した酸素生産速度と消費速度は, それぞれ $0.72 \pm 0.29 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($n=3$), $0.10 \pm 0.12 \text{ mgO}_2 \text{ wet g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($n=3$) (水温; $26.2 \sim 28.5^\circ\text{C}$, 光; $91 \sim 130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) であり, 光量子束密度が $1/2$ 弱の条件でありながら, 3 倍弱の酸素生産と消費が観測された。ミズゴケ類の酸素生産と消費には温度依存性があり, $30 \sim 35^\circ\text{C}$ で光合成速度が最大値を示す (原口, 2010, 2015)。盛夏の日中の一次生産は, 今回, 現場で測定した値よりもはるかに大きくなる可能性がある。

池澮底泥の酸素消費速度は乾泥 1 g 当り, $1.05 \pm 0.05 \text{ mgO}_2 \text{ dry g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ($n=3$) であった。これらの観測のみでは池澮全体の酸素収支の推定はできないが, 池澮にミズゴケが進入していない場合, 底泥の酸素消費が大きく, 終日不飽和の状態が続くものと考えられる。

謝 辞

現地への立ち入り調査は富山森林管理署・入林許可申請書 29 富管第 389 号の許可を受けて行ったものである。

引用文献

- 秋山優・山岸高旺 (1977): 黄緑色藻綱. 廣瀬弘幸・山岸高旺 (編) 日本淡水藻類図鑑, pp. 197-217. 内田老鶴園新社, 東京.
- 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.
- 福島博・中村澄夫 (1972): 日本の湖沼のケイ藻植生. 横浜市立大学論叢自然科学系列, 23: 1-24.
- Hara, H., Asahina, S., Sakaguchi, Y., Hogetsu, K. and Yamagata, N. (eds.) (1982): Ozegahara; Scientific research of the highmoor in central Japan. Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo.
- 原口昭 (2010): ミズゴケ類の光合成速度の環境応答とその生態的意義. 光合成研究, 20: 23-28.
- 原口昭 (2015): ミズゴケ類の光合成に及ぼす温度, pH, 塩濃度の効果. 低温科学, 73: 31-40.
- Herczeg, A. L. and Hesslein, R. H. (1984): Determination of hydrogen ion concentration in softwater lakes using carbon dioxide equilibria. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 48: 837-845.
- 廣瀬弘幸・山岸高旺 (編) (1977): 日本淡水藻類図鑑. 内田老鶴園新社, 東京.
- 本多啓七 (1963): 奥黒部のガキ田の生態. 自然と社会,

- 29・30: 10-15.
- 本多啓七 (1965) : 日本北アルプスにおけるガキ田の生態. 富山大学学術調査団 (編) 北アルプスの自然, pp. 173-185. 古今書店, 東京.
- 今川昌孝・Touch Narong・中下慎也・日比野忠史 (2011) : 海底堆積有機泥に含まれる有機物の燃焼特性. 土木学会論文集B2 (海岸工学), 67: 1156-1160.
- Katoh, K. (1991): Diatom assemblages in a high moor: an observed correlation between species composition and pool size. *Japanese Journal of Phycology (Sôru)*, 39: 363-368.
- 川上智規 (1993) : 乗鞍岳山岳湖沼群の水質に対する降雨の影響. 環境工学研究論文集, 30: 73-80.
- 小泉武栄 (1982) : 化石周氷斜面, 雪食凹地ならびに山地貧養泥炭地の形成から見た晩氷期以降の多雪化について. 第四紀研究, 21: 245-253.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986): *Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae*. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1991): *Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. Gustav Fischer, Stuttgart.
- 栗田秀實・植田洋匡 (2006) : 中部山岳地域上流域における陸水pHの長期低下—過去30年間のpH低下と酸性雨の状況—. 大気環境学会誌, 41: 45-64.
- 栗田秀男・峰村宏 (1999) : 尾瀬ヶ原池塘における生物生産の研究1. 水質と一次生産 第1報. 尾瀬の自然保護, (22): 68-78.
- Lorenzen, C. J. (1967): A note on the estimation of chlorophyll a in freshwater algal communities. *Limnology and Oceanography*, 12: 340-346.
- Mets, L. (1982): Temporal changes in peatland ecosystem; Changes in a bog pool complex during an observation period of 17 years. *Estonia Contributions to the International Biological Program*, (9): 128-134.
- 水野寿彦 (1964) : 月山弥陀ヶ原 (山形県) 高層湿原 (1). 水野寿彦 (著) 日本淡水プランクトン図鑑, p. 6. 保育社, 東京.
- 根来健一郎 (1938) : 日光兔島ミズゴケ湿原の藻類. 陸水学雑誌, 8: 9-13.
- 根来健一郎・牛山正雄 (1938) : 霧ヶ峰高層湿原に於ける水の反応について. 陸水学雑誌, 8: 77-43.
- 小倉紀雄 (1969) : 天然水中の紫外吸光物質. 日本化学雑誌, 90: 601-611.
- 尾瀬総合学術調査団 (1998) : 尾瀬の総合研究. 尾瀬総合学術調査団, 前橋.
- Pandit, A. K. (1999): *Wetland ecosystems of Kashmir*. Pandit, A. K. *Freshwater ecosystems of the Himalaya*, pp. 7-60. Parthenon Publishing, New York.
- Prescott, G. W. (1951): *Algae of the western great lakes area*. Cranbrook Institute of Science, Bloomfield Hills. (reprinted by Otto Koeltz, 1982)
- 西條八東 (1966) : 湖沼調査法 増補改訂6版. 古今書院, 東京. (初版, 1957)
- 阪口豊 (1974) : プレンケ. 阪口豊 (著) 泥炭地の地学. pp. 250-260. 東京大学出版会, 東京.
- Sakaguchi, Y. (1979): Distribution and genesis of Japanese peatlands. *Bulletin of the Department of Geography, University of Tokyo*, 11: 17-42.
- Sheath, R. B., Morison, M. O., Korch, J. E., Kaczmarczyk, D. and Cole, K. M. (1986): Distribution of stream macroalgae in south-central Alaska. *Hydrobiologia*, 135: 259-269.
- 鈴木牧之 (岡田武松校訂) (1936) : 北越雪譜. 岩波書店, 東京.
- Wright, R. F. and Henriksen, A. (1978): Chemistry of small Norwegian lakes, with special reference to acid precipitation. *Limnology and Oceanography*, 23: 487-499.
- 安田洋・藤井國博・岡本玲子 (1991) : 富山県における降水中の酸性物質の特徴. 森林立地, 33: 59-64.
- 吉井義次・林信夫 (1935) : 八甲田山湿原の成因と“田”の研究. 生態学研究, 1: 1-13, 140-148.