



Title	尾瀬の彩雪の分布と積雪環境
Author(s)	野原, 精一; 福原, 晴夫; 山本, 鎔子 他
Citation	低温科学, 70, 21-35
Issue Date	2012-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49000
Type	departmental bulletin paper
File Information	LTS70_004.pdf



尾瀬の彩雪の分布と積雪環境

野原 精一¹⁾, 福原 晴夫²⁾, 山本 鎔子³⁾,
落合 正宏⁴⁾, 大高 明史⁵⁾, 宇多川広勝¹⁾

2012年1月16日受付, 2012年1月18日受理

尾瀬ヶ原と尾瀬沼における赤雪（アカシボ）の分布を航空写真の解析から明らかにした。2000年5月25日時点での積雪はアカシボの生じる見本園中央部で30 cm, 周辺で100 cmであった。積雪底のpHは5~7であり中央部で中性に近かったが, 積雪コアの融解水のpHは何処も5付近であった。SSは最大で200 g m⁻², アカシボSSの量子収率は著しく低く, 藻類はアカシボ初期には少ないと思われる。アカシボにはDOCも多い傾向にあり最大で400 mgC m⁻²であった。同じくNaイオン(600 mg m⁻²)もアカシボ発生付近で高くなっていった。雪の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)は周辺部分(-12‰)よりアカシボの中心で重くなっており(-10‰), 周辺部の雪解け水が一度泥炭層に潜り込み, 間隙水・地下水が上昇してきたと考えられる。本研究の現地調査と分析結果から積雪1 m程度になると湿原周囲の雪解け水が地下からわき上がり, 細かく分解された泥炭の一部や鉄が一時的に噴出して広がり酸化され, その後日射で周囲より早く解け窪地ができるものと思われる。その後, 藻類や底生生物の増殖・集合を伴いながら雪が解けて行くものと思われる。

Distribution of red snow phenomena and environments of snow cover at Ozegahara Mire and Lake Ozenuma in Oze District

Seiichi Nohara¹, Haruo Fukuhara², Yoko Yamamoto³,
Masahiro Ochiai⁴, Akifumi Ohtaka⁵, Hirokatsu Utagawa¹

The distribution of red snow "Akashibo" on Ozegahara and Lake Ozenuma using interpretation of an aerial photograph. The depth of red snow "Akashibo" was 30 cm in the center of Mihon-enn in Yamanohana disirict, and 100 cm around of Mihon-enn at 25 May, 2000. The pH on the bottom of center snow was around neutral (5~7), the pH of melting water of snow core was around pH 5. Suspended solid (SS) of snow core was 200 g m⁻² in maximum. The PAM yield of SS in red snow was remarkable low condition, because of few algae in early stage of red snow. The DOC of red snow core was high level of 400 mgC m⁻² in Maximum. The Na of red snow core was also high level as 600 mg m⁻². Stable isotope ratio of oxygen of water ($\delta^{18}\text{O}$) as (-10‰) was higher than (-12‰) of marginal area, because of melting water from ground and soil in the peatland with melting water from marginal mountain area. At the time of about 1 m of snow depth, melting water coming from mountain area will well up with peatland particles. And then the snow pocket of red snow with Fe and growth of algae and benthos was melting quickly by heart from solar insolation.

キーワード：アカシボ, 尾瀬ヶ原, 尾瀬沼, 赤雪, 積雪, 湿原

Akashibo, Ozegahara Mire, Lake Ozenuma, red snow, snow cover, wetland

1) 国立環境研究所生物・生態系環境研究センター；責任著者, 野原精一 E-mail: snohara@nies.go.jp

2) 新潟大学教育学部

3) 元明治大学農学部

4) 元徳島文理大学工学部

5) 弘前大学教育学部

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

² Faculty of Education, Niigata University, Igarashi, Niigata 950-2181, Japan.

³ 1-28-5 Higashi-Tamagawagakuen, Machida, Tokyo194-0042, Japan

⁴ 69-1-1401 Hamano-cho, Takamatsu, Kagawa 760-0011, Japan

⁵ Faculty of Education, Hirosaki University, Hirosaki 036-8560, Japan.

1. はじめに

世界の多雪国は北欧, ロシア北部, カナダなど低温であるが積雪は1 m程度とそれほど積雪は多くない. 日本は面積の半分以上が最大積雪深50 cmを超える多雪国である(小野1986). 積雪地域(2月の積雪の深さの最大値の累年平均が50 cm以上)は面積の全国比で53.7%, 豪雪地帯は全国市町村の55%にもなる(日本雪氷学会, 1990). 特に日本海側には積雪2 m以上になり, 新潟, 富山, 福井, 石川, 山形の各県における最大積雪深は4~5 mとなる. 特に尾瀬地域は豪雪地帯として知られ, 12月~5月の半年間は雪に覆われる.

尾瀬とその周辺地域は国立公園の特別保護地域であり, 我が国では有数の美しい景観を示し, 貴重な自然を残している. 尾瀬ヶ原は面積約8 km²の本州最大の泥炭地・高層湿原である. 尾瀬沼は面積1.67 km², 最深で9.5 mの深さの自然湖沼である. 尾瀬の積雪は3月に最大となり, 月別の平均積雪深は尾瀬沼では2.5 mを越え, 山の鼻地区では3 mを越える. 標高が250 mも低い山の鼻地区の方が0.5 mも多く積もるのは, 地形と風の影響によるものである. 一方, 檜枝岐での平均最大積雪深は2月の2.0 mで, 3月に入ると雪解けが始まる. なお, 最大積雪深は尾瀬沼で4.2 m(1984年), 山の鼻地区で4.2 m(1994年), 檜枝岐で3.1 m(1996年)を記録している(菊地, 2002). 3地点を比較すると, 最大積雪深が深い順に, 山の鼻地区, 尾瀬沼, 檜枝岐となる. それぞれ最大積雪深の平均は, 山の鼻地区が3.5 m(1983年~2007年), 尾瀬沼が3.0 m(1968年~2007年), 檜枝岐が2.1 m(1983年~2007年)である(福島県, 2008).

雪の表面に赤や緑や茶色などに着色する現象が広く知られている. これらは主に淡水産藻類で, 氷雪藻(snow algae)と総称されている. 氷雪藻は南極や北極などの極地だけでなく, スカンジナビア半島, ヨーロッパアルプス, ヒマラヤ, ロッキー山脈や日本の高山帯な

どの積雪の多い地域でも見ることができる. 日本の場合, 中部地方以北の高山に多いが, 中国地方の大山や四国の石鎚山からも報告されている(Fukushima, 1963).

一般には雪の表面が赤くなったものを赤雪(あかゆき, 紅雪)と呼んでいる. その赤雪は藻類などが雪面に繁殖し赤くなる場合や中国大陸の黄土地帯から舞い上がった黄砂の降下によって着色する場合がある(日本雪氷学会, 1990). 諸外国でも同様の現象が報告されている(Hoham and Dual, 2000). 彩雪の色についてはその原因物質・生物の種類によって様々な報告がされている. 福島(1963)によると色雪, 彩雪, 五色雪, 着色雪は赤・茶・青・緑・黄・黒色に類別されているという. 雪の中で生活史の一部を過す微生物はクリオプランクトン(cryoplankton)といいクリオフイト(cryophytes)の中の藻類, 菌類, バクテリアが含まれている.

彩雪現象の場合には色彩の記載に慣用色名が使われ標準化されていない. 色については色彩科学やJIS規格によって系統命名法として定められているが, 土壌調査のように記号化して彩雪を正確に表しているとはいえない. したがって, 赤・茶・青・緑・黄・黒色の基本色相は大きくは間違い無くとも, 実際の彩雪の色はその中間色相の場合になり基本色相のどれかに当てはめていることになる. 特に赤は人によって茶色を指すこともあり多少の混乱が含まれている可能性がある. 5月初めの融雪期に尾瀬ヶ原の湿原だけでなく池塘や尾瀬沼にみられる青色や赤色に変色する現象が古くから知られており, 尾瀬地方では赤シボ(アカシボ)と呼んでいる(五味, 1980).

これまで豪雪地帯である尾瀬ヶ原では, 戦後間もない頃, 第一次総合学術調査(1950~52年)が文部省科学研究助成を得て実施された(尾瀬ヶ原, 1954). 第二次は1977~79年に実施され「OZEGAHARA」として1982年に刊行された. 第三次は1994~96年に群馬・福

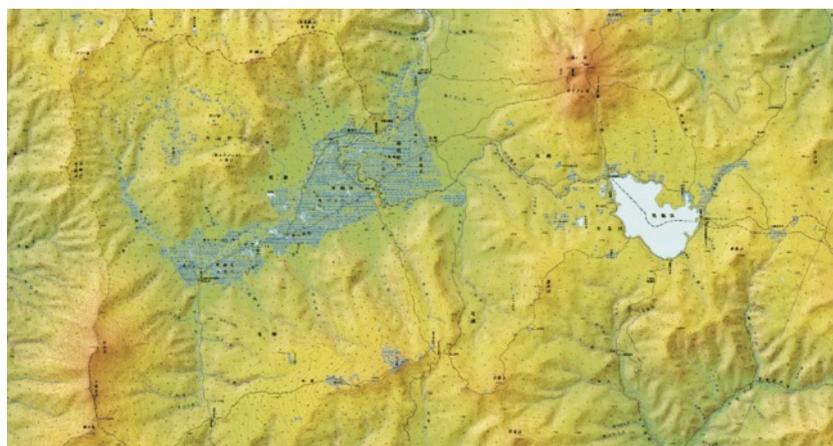


図1: 尾瀬地区の地形図

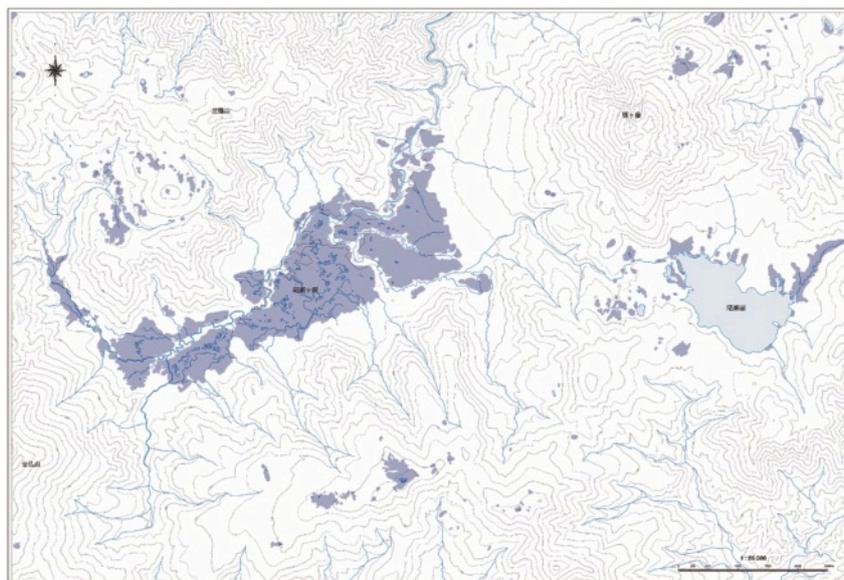


図2：尾瀬地区における湿原（泥炭地）の分布

島・新潟の3県の予算で実施された（尾瀬の総合研究，1998）．その第3回目の調査団に筆者らも参加し陸水学関係の調査を実施した．その折，融雪期に入山したメンバーが広範囲の赤い雪の中に多くの水生昆虫・底生動物類が生息していることを見出した．それがきっかけとなり，陸水学関係者が自然に参加し構成されたのが，「尾瀬アカシボ研究グループ」である．それまで，彩雪・赤雪現象は尾瀬の地元では「アカシボ」として良く知られていたが，計3回の総合学術調査でもアカシボの総合研究について計画されなかった．第2回の調査時に Kobayashi and Fukushima (1954) が尾瀬における氷雪植物相として分類学的な記載をしているだけである．その尾瀬ヶ原では毎年5～6月の融雪期に雪の赤褐色化（アカシボ現象）がおきる．この現象は緑藻の Phacotaceae 科 *Hemitoma* sp. を含む粒子が原因であり，この粒子の表面に付着した多量の酸化鉄のために雪が赤褐色に着色し，彩雪が著しい場合には，融雪水1 ml あたり約 10^6 個体の粒子が存在している (Fukuhara *et al.* 2002, 山本ら 2004)．

これまで尾瀬のアカシボ，赤雪の正体は大きく2つの仮説に大別されていた．一つはある種の藻類（雪氷藻）やバクテリアが増殖したという「藻類説」で，もう一つは無機質の鉱物が舞い上がったとする「鉱物説」である．黄砂による彩雪現象ならば尾瀬地方に広く分布すると予想されるが，地元の山小屋関係者などの話や予備調査から局所的に発生していると考えられており，アカシボの分布域についての研究報告例は無かった．

そこで，アカシボ研究グループでは尾瀬地方での赤雪の正体とその発生メカニズムを明らかにするため，様々な観点から現象の解明を試みた．本報告ではアカシボの水平分布やアカシボの色彩的特徴の明らかにする事を目的とした．まず，尾瀬の彩雪現象の分布を明らかにし，

尾瀬地方に現れる彩雪現象の色彩や景観からのタイプ分けを行い，航空写真の解析や現地調査による確認を通じて尾瀬地方のアカシボの分布と特徴について明らかにする．

2. 調査地点及び方法

2.1 航空写真の撮影及び解析

アカシボの発生分布を把握するため，セスナ機から中判カメラ（エアロタク4×5）とカラーフィルムを用いて航空写真の撮影を1998年5月1日，1999年4月30日，1999年5月13日，2000年5月25日に行った．高度約4,300 mから尾瀬ヶ原を8カット，高度約4,000 mから尾瀬沼を1～3カットを撮影した．撮影フィルムをフィルムスキャナーでデジタル化し（Pro Photo CD, KODAK），さらに簡易オルソ化して画像の作成を行った．2010年6月6日には同じくセスナ機からデジタルカメラ（Canonn EOS5D Mark II, EF 24-105 mm F4L IS USM レンズ）による航空写真の撮影を高度4,100 m及び3,300 mから行った．得られた画像は，画像解析ソフトに ENVI EX Ver.4.8 を用いてアカシボと思われる数箇所（図9．見本園中央タイプ；Rと見本園周辺タイプ；Pの2種）に分類してアカシボの教師データとして指定した．さらに誤判読を減らすために，水面，森林など数箇所を教師データとして指定し画像の分類を行った．その後，ArcGISで面積が小さい箇所（400 m² 未満）を削除，明らかに誤判読の部分を手動で削除し分類データとしアカシボ領域に番号を付け，領域毎に面積を算出しデータを整理した．1997年5月17～19日に尾瀬ヶ原（30ヶ所）及び1998年5月9日に尾瀬沼（6ヶ所）の木道からアカシボを確認し，地図化した．2001年5月18～19日には尾瀬沼湖面上にあるアカシボ

領域を確認し、地図化した。そのアカシボの場所と航空写真から自動判読し、アカシボ中心域及び周辺域の位置の正解率を割り出して判別精度を確認した。

2.2 積雪調査

尾瀬ヶ原山の鼻地区の気象データから1982～2007年度の26年間の平均的な積雪量を解析した(野原, 2012)。ここでは、実際に現地調査や航空写真を撮影した1996～2000年度の積雪深データを図化した。撮影した日とその時の山の鼻地区での積雪深はそれぞれ1998年5月1日(113 cm), 1999年4月30日(110 cm), 1999年5月13日(12 cm), 2000年5月25日(0 cm)であった。2010年6月6日には山地陰部を除いて雪は無く、平らな湿原域に積雪は無かった。

化学分析

1999年5月3～4日及び2000年5月24～26日に行った。アカシボ及び雪は直径40 mmコア(Hold tube, IMKO, ドイツ)によって採取し、ビニル袋で解凍融解の後サブサンプルを持ちかえた。同時に表層の定性サンプルを山菜取用ステンレスゴテで採取しチャック付きポリプロピレン袋で冷蔵して持ちかえた。水質の比較のために流入・流出のpH(D-13, 堀場), 電気伝導度(ES-14, 堀場)を測定し、ポリプロピレン容器で河川水を採取して、実験室に冷蔵して持ち帰った。分析項目は比重, 全炭酸(TIC), 溶存有機物量(DOC), クロロフィルa量, CN量, 栄養塩類(硝酸態窒素, 亜硝酸態窒素, アンモニア態窒素, リン酸態リン)等である。懸濁物中のクロロフィルa量はGF/Fフィルターでろ過後, メタノールで抽出し比色分析(663 nm)を行った。TIC及びDOCはTOC分析計(TOC-5000, 島津KK)で分析し, 栄養塩類はGF/Fガラスフィルターでろ過後, 比色分析(TRAACS 2000, ブランルーベKK)を行った。主要イオンはイオンクロマト(IC-100, 東亜電波KK)で分析した。鉄などの金属成分はサンプルを硝酸で分解し, 1%に希釈した後プラズマ発光分析装置(ICAP-750, Nippon Jarrell-Ash)で分析した。雪及び水の酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$ -VSMOW)は水素酸素安定同位対比平衡装置及びMAT-252(Finnigan MAT 米国)で分析した。アカシボ懸濁液はGF/Fガラスフィルターでろ過後湿った状態で, 20°C湿潤75 μm -2光量で2時間静置した後に蛍光測定器(Mini-PAM, WALZ, ドイツ)でクロロフィル-aの量子収率を測定した。その後直ちに湿った状態フィルターは日射下でデジタルカメラ(COOLPIX950, NIKON)による撮影を行った。

また, 自記水温計(OpticStowAway, Onset, 米国)を雪原の表層及び底に設置し, 雪解けの温度変化(測定精度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$, $-5\sim 37^\circ\text{C}$)を記録し場所による違いを比較した。

色彩分析

現地調査は青森・秋田・山形・新潟・群馬の東北地方及び関東地方北部山岳地域の積雪地域の積雪期・融雪期及び融雪後に彩雪現象の起こる地点でナチュラルカラー35 mmフィルム(SUPERIA 400, FUJIFILM)及びカメラ(ZOOM90WR, PENTAX)による色彩の記録を行った。

尾瀬ヶ原でのアカシボを確認するため, 1997年5月には木道から目視で彩雪位置を確認し, 尾瀬ヶ原の1/1000地図(金井, 1998)に記録した。

2.3 水質水文調査

現地調査は'99年5月3～4日及び2000年5月24～26日に行った。採取地点はハンディGPS(etrex, Garmin)によって決定し, 航空写真の位置と合わせるため木道等で補正して確定した。アカシボ及び雪は直径40 mmコア(Hold tube, IMKO, ドイツ)によって採取し, ビニル袋で解凍融解の後サブサンプルを持ちかえた。同時に表層の定性サンプルを山菜取ゴテで採取した。水質の比較のために流入・流出のpH(D-13, 堀場), 電気伝導度(ES-14, 堀場)を測定し, ポリプロピレン容器で河川水を採取して, 実験室に冷蔵して持ち帰った。

3. 結果

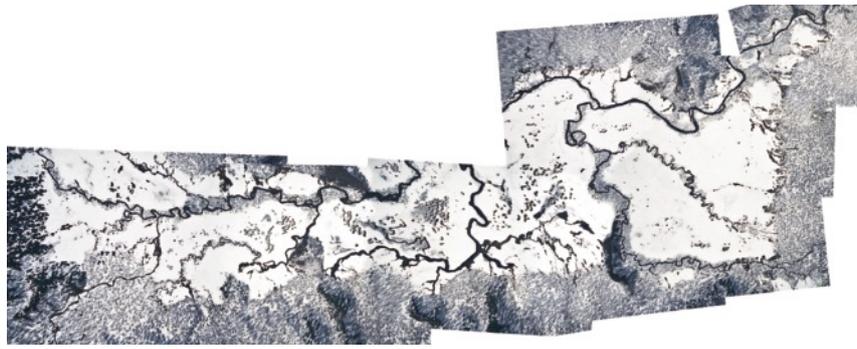
3.1 分布

山の鼻研究見本園におけるアカシボの分布

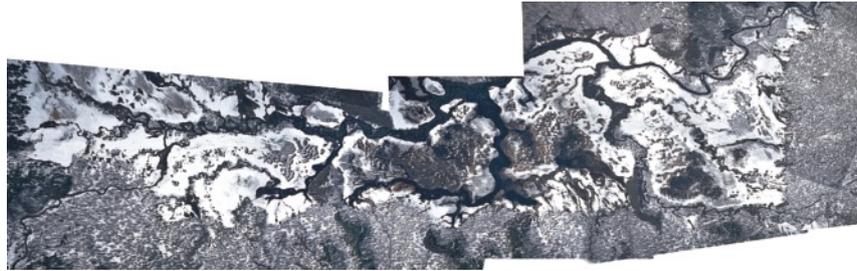
1998年5月1日には雪解けが早く, アカシボは湿原の色と明瞭には区別できなかったが, 雪解けの流路が把握できた。1999年4月30日には河川や大きな池塘以外は雪に覆われ, 上田代の見本園の一部(カラマツ近傍)にアカシボの分布が確認された(図5)。2000年は例年になく雪解けが遅く, 5月25日には研究見本園の木道に囲まれた中心部分(図6), 背中アブリ田代, 牛首の先, 源五郎堀(三叉路南), 竜宮付近, 見晴十字路付近にアカシボの分布が確認された(図10)。1999年5月13日には上田代の一部に雪を残すのみであったが, 見本園の中央から半分の雪が解けて残雪が赤茶色になっていた(図7)。流路にあたる部分には赤茶色の雪は見えず, 流路から離れた場所が際だっていた。アカシボの発生順に図5, 図6, 図7, 図8となり湿原のほぼ同じ場所である, 雪解け水の停滞する低地に例年多く発生することから, 地形的な要因が発生に寄与していると考えられた。植生としては, ヨシやミズバショウといった流水や低湿地に典型的なものが主で, ミズゴケやササの植生には見当たらない。

尾瀬ヶ原におけるアカシボの分布

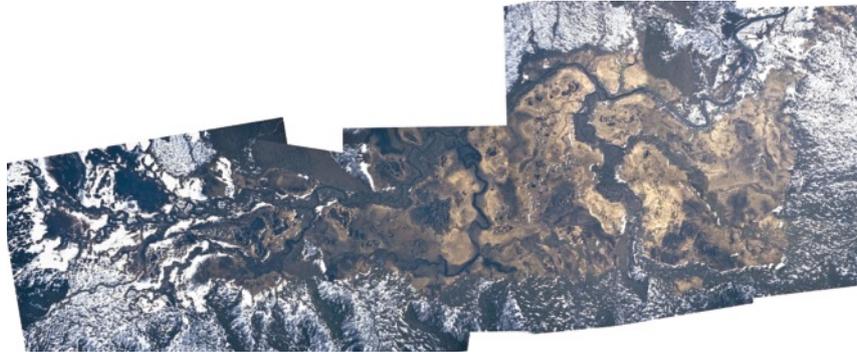
2010年6月6日の雪解け直後に撮影した航空写真(図11)から, 画像解析ソフトにENVI EX Ver.4.8を



1999年4月30日撮影



1999年5月13日撮影



2000年5月25日撮影

図3：尾瀬ヶ原における積雪の消失過程

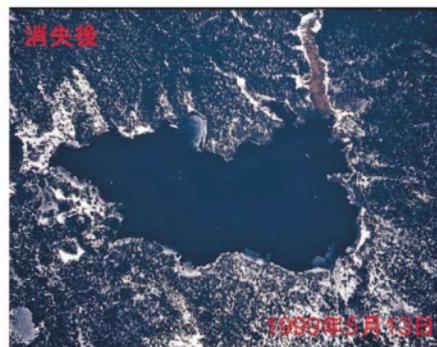
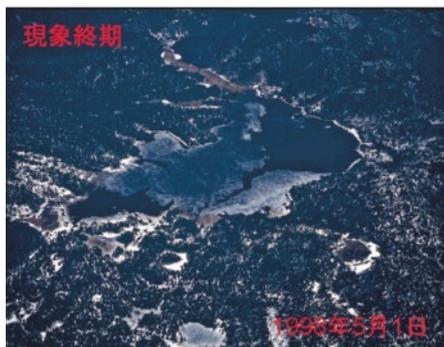
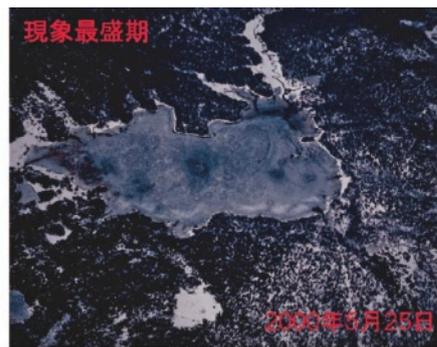
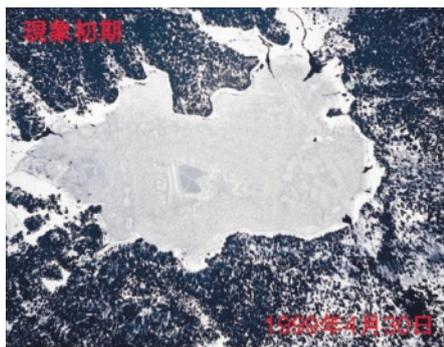


図4：尾瀬沼における積雪の消失過程

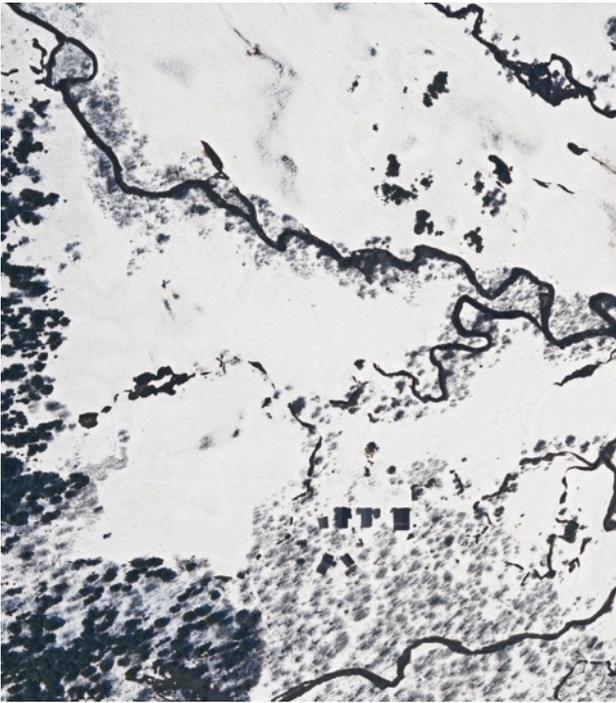


図5：1999年4月30日撮影の航空写真（山の鼻地区，研究見本園）



図7：1999年5月13日撮影の航空写真（山の鼻地区，研究見本園）

用いてアカシボと思われる数箇所（図9．見本園中央タイプ；Rと見本園周辺タイプ；Pの2種）に分類してアカシボの教師データとして指定し，水面，森林など数箇所を教師データとして指定し自動分類を行った．その結果，図12の様なアカシボ発生領域を抽出できた．見本園中央タイプ（R）の面積は合計39ha，見本園周辺タイプ（P）は合計179ha，合わせて218haと見積もら

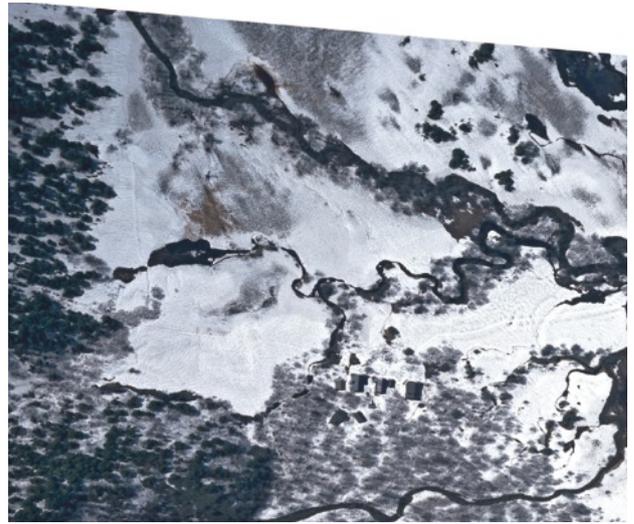


図6：2000年5月25日撮影の航空写真（山の鼻地区，研究見本園）



図8：2010年6月6日撮影の航空写真（山の鼻地区，研究見本園）

れた（表1）．現地観測から確実にアカシボと確認された30ヶ所を比べると正解率80%であった．尾瀬ヶ原の航空写真から自動判読したアカシボの発生地域は見本園中央タイプ（R）は合計189ヶ所，見本園周辺タイプ（P）は合計383ヶ所あった（図13）．

尾瀬沼におけるアカシボの分布

2010年6月6日の雪解け直後に撮影した航空写真（図14）から，画像解析ソフトを用いてアカシボと思われる数箇所（図9．見本園中央タイプ；Rと見本園周辺タイプ；Pの2種）を教師にして自動分類を行った．その結果，図15の様なアカシボ発生領域を抽出できた．



図9：地上から目視観察されたアカシボの発生地点（2010年6月6日撮影）
 (□：見本園中央タイプ；R，○：見本園周辺タイプ；P)

見本園中央タイプ (R) の面積は合計 2 ha、見本園周辺タイプ (P) は合計 60 ha、合わせて 62 ha と見積もられた。現地観測から確実にアカシボと確認された 30ヶ所を比べると正解率 100%であった。尾瀬沼の航空写真から自動判読したアカシボの発生地域では見本園中央タイプ (R) は合計 18ヶ所、見本園周辺タイプ (P) は合計 56ヶ所あった (図 16)。

2001年5月18～19日に現地を踏査して尾瀬沼湖面上にあるアカシボの分布を確認した (図 17)。

3.2 融雪期の雪温変化

図 35. に 1999 年の研究見本園 (図 20) における積雪上部と積雪底部における雪温の変化を示した。この年は図 6 のアカシボ発生区 (SB 1, 2, 3) とそれが生じない対照区 (CONT) における積雪表層と積雪底の温度を示した。0°Cであった雪温に両層ともに日周変化がみられるのは CONT (5月13日), SB 1 (5月10日), SB 2 (5月7日), SB 3 (5月5日) となっていた。研究見本園で雪解けが終了し、湿原が見え出すのが中心部 (SB 3) と周辺部 (CONT) でおおよそ一週間の時間的なずれがあり、アカシボの発生する場所が早く雪が解けて

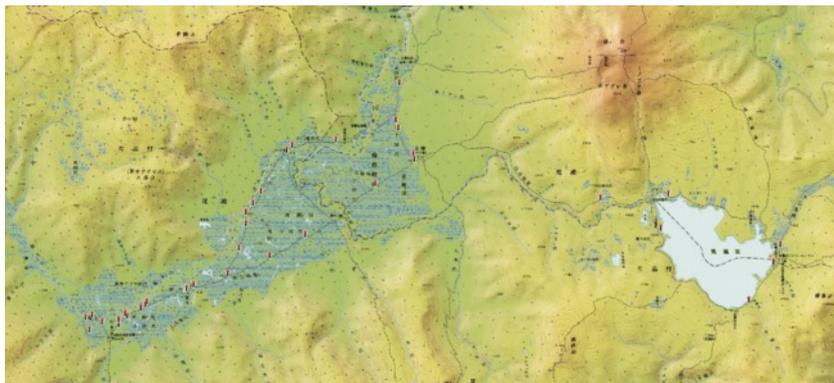


図 10：1997年5月17-19日（尾瀬ヶ原 30 地点）及び 1998年5月9日（尾瀬沼 6 地点）に地上から目視観察されたアカシボの発生地点

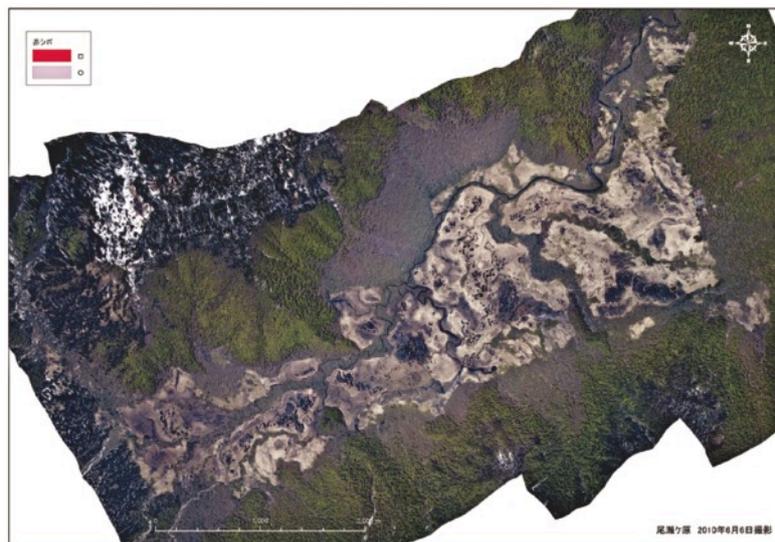


図 11：2010年6月6日撮影の尾瀬ヶ原の航空写真

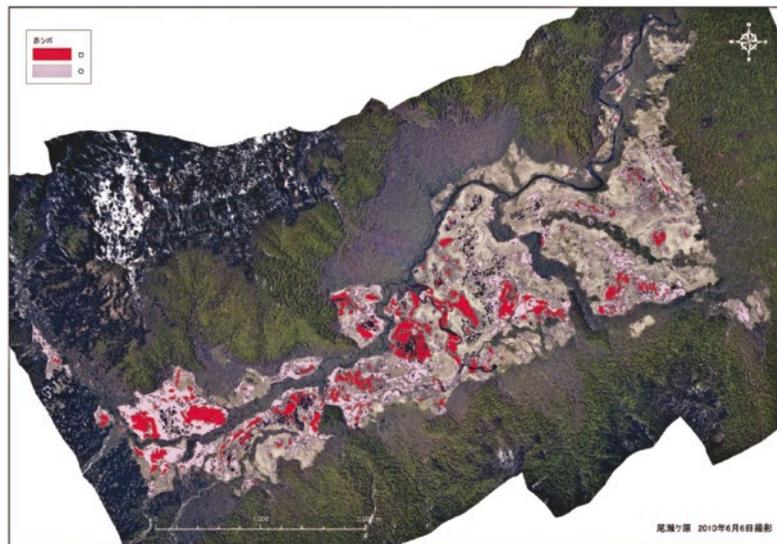


図 12：2010 年 6 月 6 日撮影の尾瀬ヶ原の航空写真から自動判読したアカシボの発生地域

赤色：□ 見本園中央タイプ，桃色：○ 見本園周辺タイプ

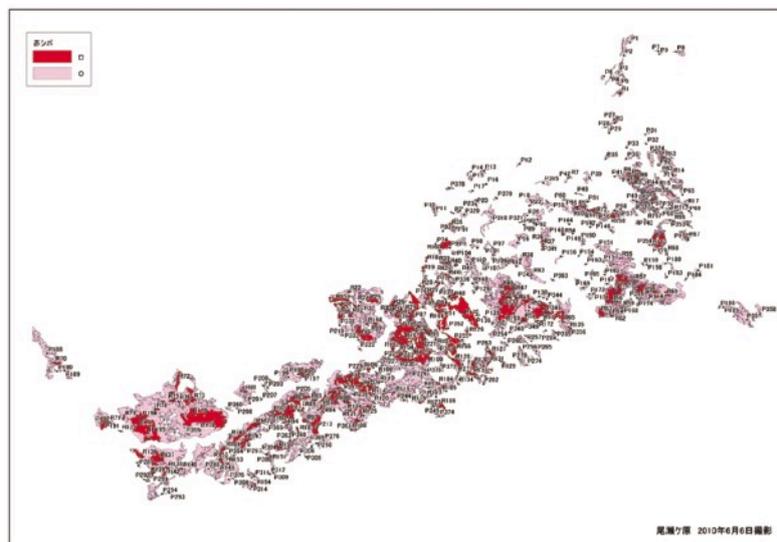


図 13：2010 年 6 月 6 日撮影の尾瀬ヶ原の航空写真から自動判読したアカシボの発生地域

赤色：□ 見本園中央タイプ (R)，桃色：○ 見本園周辺タイプ (P)



図 14：2010 年 6 月 6 日撮影の尾瀬沼の航空写真



図 15：2010 年 6 月 6 日撮影の尾瀬沼の航空写真から自動判読したアカシボの発生地帯
 赤色：□ 見本園中央タイプ，桃色：○ 見本園周辺タイプ

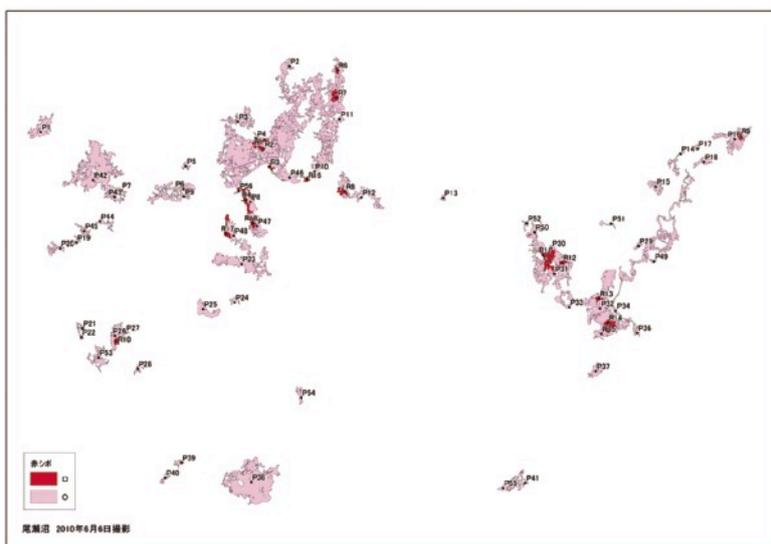


図 16：2010 年 6 月 6 日撮影の尾瀬沼の航空写真から自動判読したアカシボの発生地帯
 赤色：□ 見本園中央タイプ (R)，桃色：○ 見本園周辺タイプ (P)

表 1：アカシボ発生地帯の面積と自動判別による正解率

	面積(m ²) 見本園中央 タイプ(R)	面積(m ²) 見本園周辺 タイプ(P)	現地確認 地点数	正解率 (%)
尾瀬ヶ原	388,662	1,787,415	30	80
尾瀬沼	20,439	601,372	6	100
計	409,101	2,388,787	36	83

いる。雪解け直後には湿原表面では 20°C を超え、急激な温度変化が認められた。

3.3 アカシボ積雪の化学的特徴

2000 年 5 月 25 日の積雪はアカシボの生じる見本園中央部で 30 cm，周辺で 100 cm であった (図 21)。雪の底の pH は 5~7 であり中央部で中性に近かったが、コ

アの融雪水の pH は何処も 5 付近であった (図 23, 24)。雪の底の温度は何処も 0°C 付近であり，ORP は 300~500 mV で比較的好気状態にあった (図 25)。SS は最大で 200 g m⁻²，アカシボ SS の量子収率は著しく低く，藻類はアカシボ初期には少ないと思われる (図 28)。アカシボには DOC も多い傾向にあり最大で 400 mgC m⁻² であった (図 30)。同じく Na イオン (600 mg m⁻²) もアカシボ発生付近で高くなっていた (図 29)。一方 TIC は SS と DOC の高い地点とはやや異なった分布を示した (図 26)。

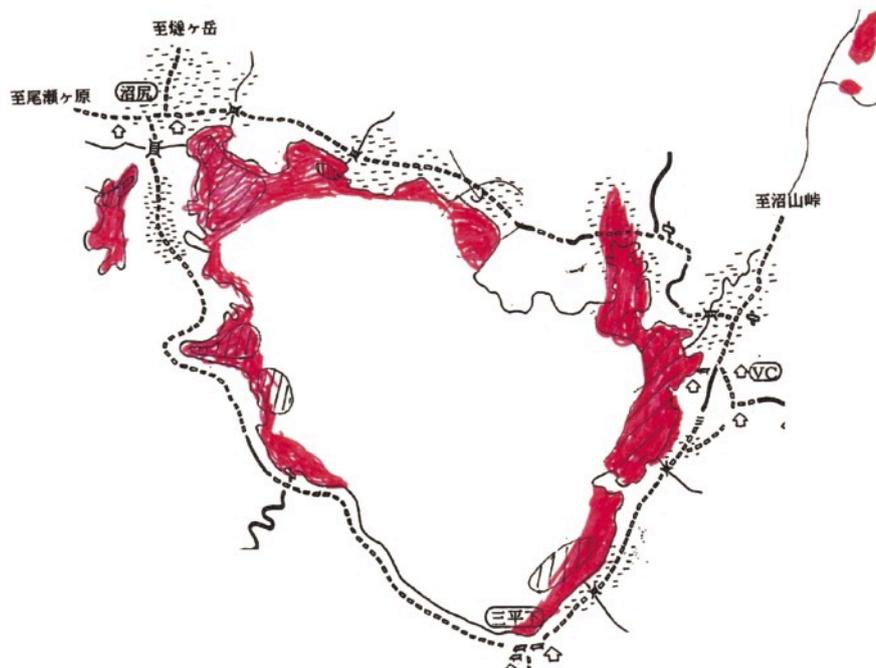


図 17：2001 年 5 月 18～19 日の尾瀬沼湖面上にあるアカシボの分布 (赤色：アカシボ, 斜線部分：初期～終期の部分)

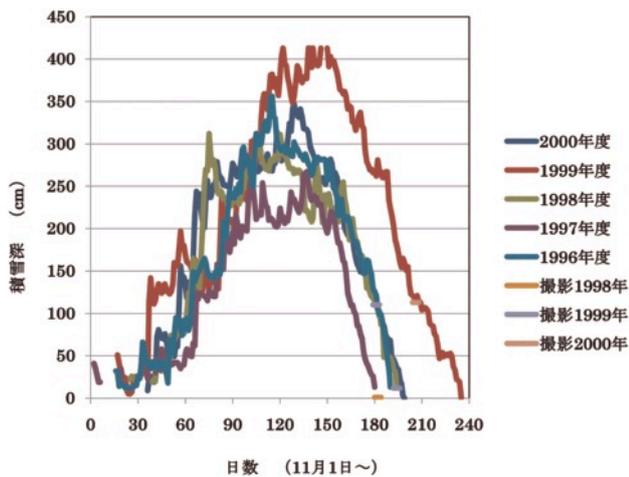


図 18：山の鼻における積雪深の変化 (1996～2000 年度群馬県報告書気象データから作図) と航空写真の撮影日 (1998 年 5 月 1 日, 1999 年 4 月 30 日, 1999 年 5 月 13 日, 2000 年 5 月 25 日)

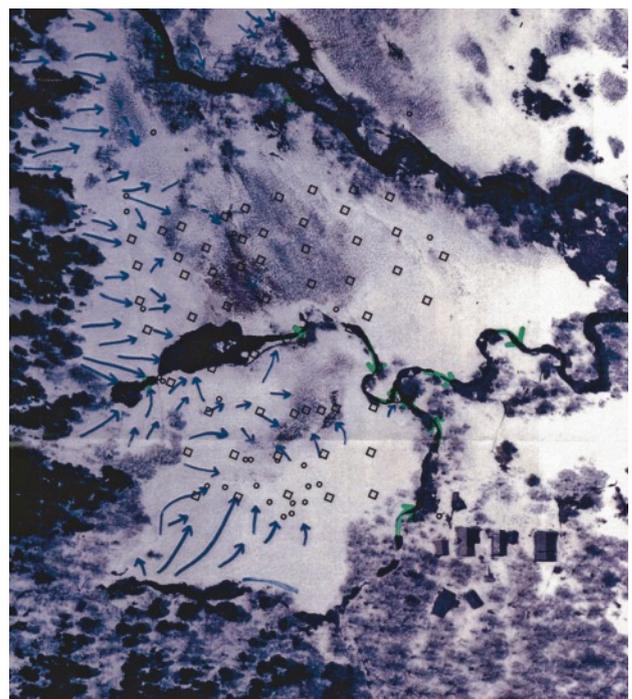


図 19：山の鼻見本園における積雪の分布と採取地点ライン (2000 年 5 月 25 日)
青矢印：積雪表層の水の流れ, 緑矢印：河川の流れ,
□：調査ライン (下から L1～L8), ○：採取地点

4. 考察

4.1 アカシボの分布

4.1.1 世界及び日本の彩雪現象

融雪時期における主要な物理・化学・生物学的過程を考える。乾性降下物としてエアロゾルやガスが積雪にも降り注ぎ、特に日本の融雪時期には黄砂が季節風に乗って多く降下する。これも地方によっては「赤雪」と呼ぶ。これは広範囲に薄く層状になることから降雪期には区別できるが、融雪期には融解して区別し難いが色彩や化学成分が異なるので区別できる。局所的降下物として近隣からの塵や樹皮などの植物遺体が降下するが小規模で色彩が異なる。様々な色彩を呈するのは雪氷藻など微

生物が増殖するものである。Fukushima (1963) は大きな面積を占める彩雪は赤と茶色に限定されていることを述べている。

4.1.2 尾瀬地方の彩雪現象

Kobayashi and Fukushima (1954) は尾瀬地域の 74 地点のアカシボを調べ、煤け色 D(6), 深緑 DG(1), 緑 G(15), 緑茶 GB(2), 黄緑 YG(1), 赤 R(4), 赤茶 RB(15)の



図 20：山の鼻見本園における 1999 年と 2000 年採取地点ライン (2010 年 6 月 6 日撮影)

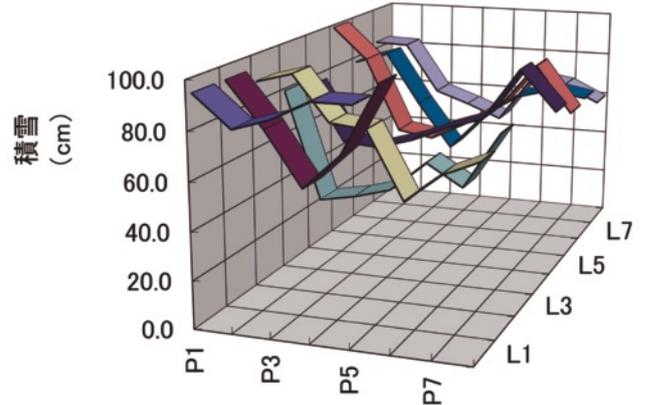


図 21：山の鼻見本園における積雪深の分布 (2000 年 5 月 25 日)

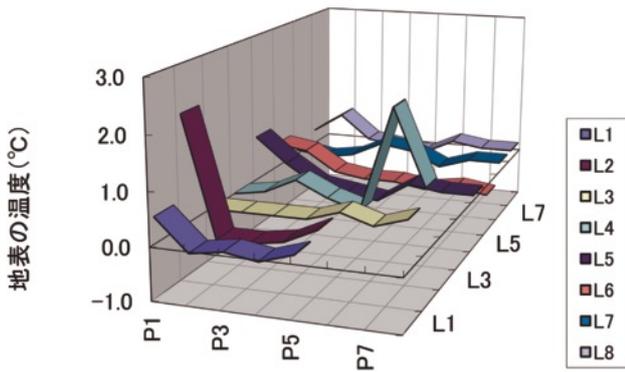


図 22：山の鼻見本園における地表地温の分布 (2000 年 5 月 25 日)

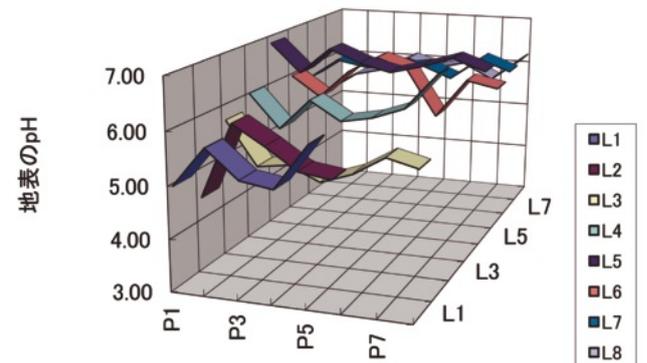


図 23：山の鼻見本園における地表 pH の分布 (2000 年 5 月 25 日)

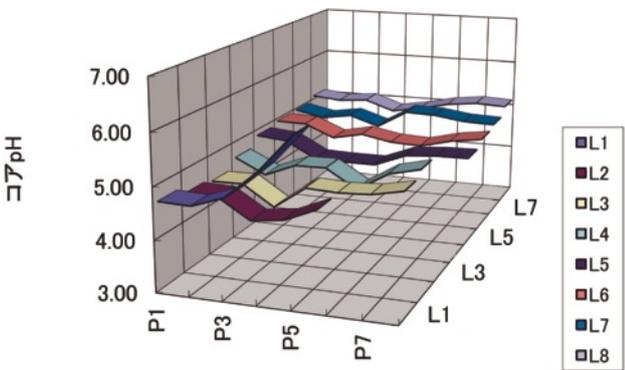


図 24：山の鼻見本園における積雪コアの pH の分布 (2000 年 5 月 25 日)

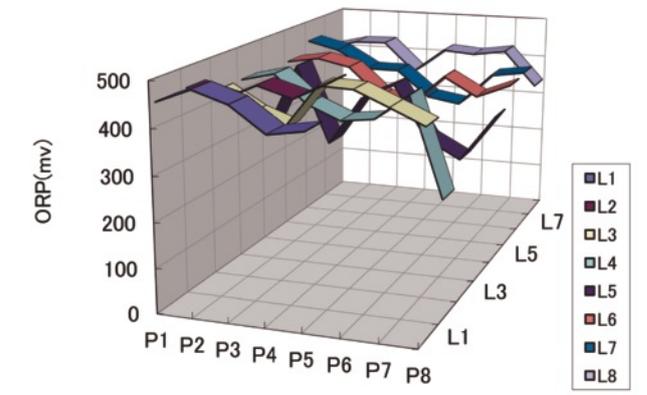


図 25：山の鼻見本園における積雪コアの ORP の分布 (2000 年 5 月 25 日)

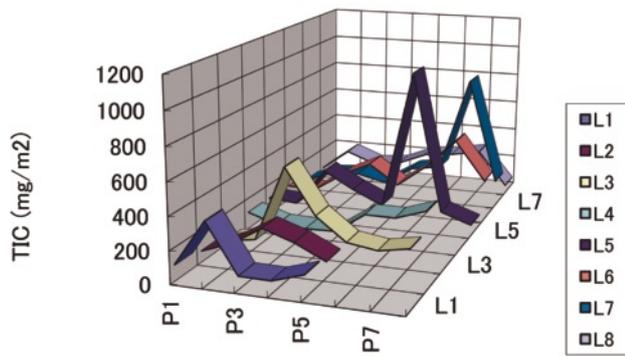


図 26：山の鼻見本園における積雪コアの TIC の分布 (2000 年 5 月 25 日)

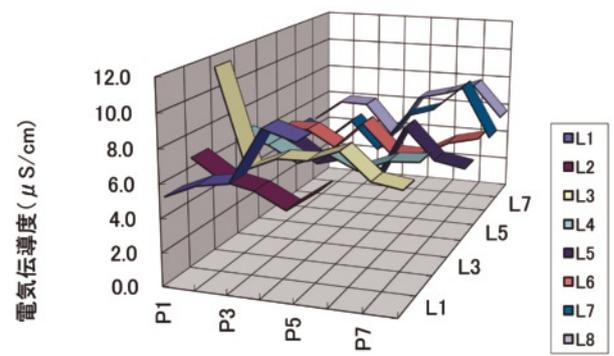


図 27：山の鼻見本園における積雪コアの電気伝導度の分布 (2000 年 5 月 25 日)

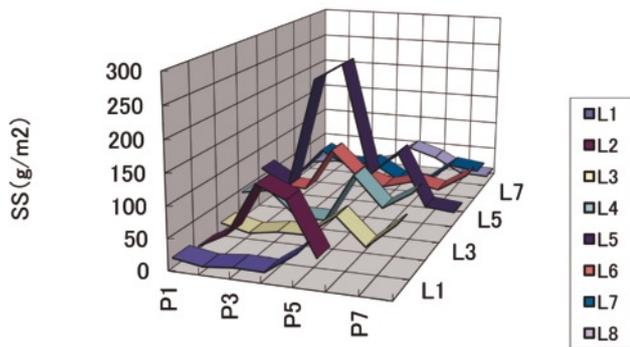


図 28：山の鼻見本園における積雪コアの懸濁物質の分布 (2000 年 5 月 25 日)

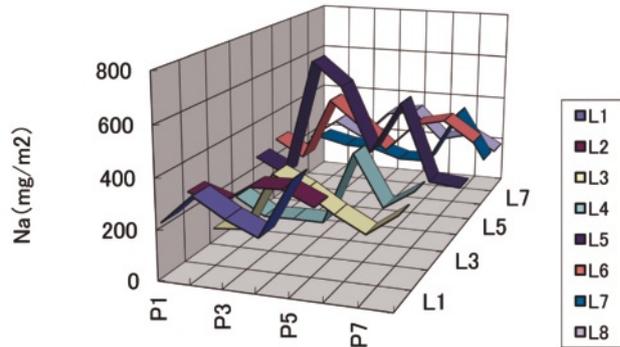


図 29：山の鼻見本園における積雪コアの Na イオンの分布 (2000 年 5 月 25 日)

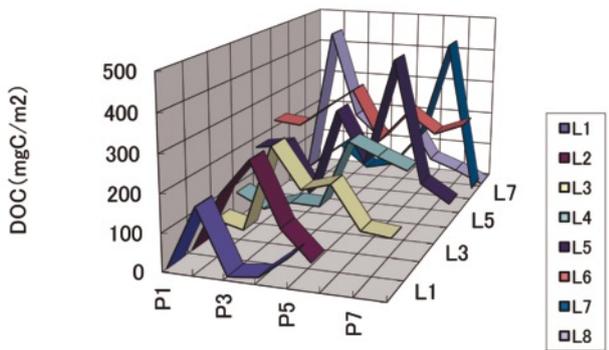


図 30：山の鼻見本園における積雪コアの溶存態有機物質の分布 (2000 年 5 月 25 日)

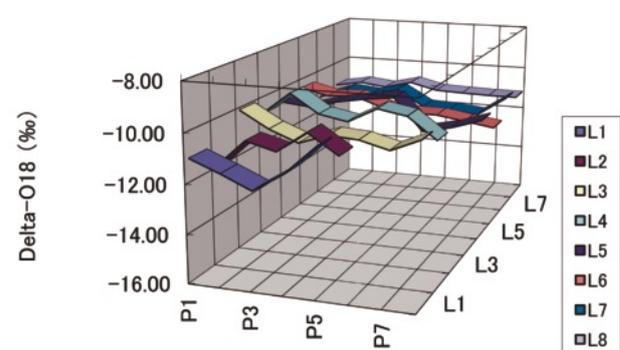


図 31：山の鼻見本園における積雪コアの酸素安定同位体比の分布 (2000 年 5 月 25 日)

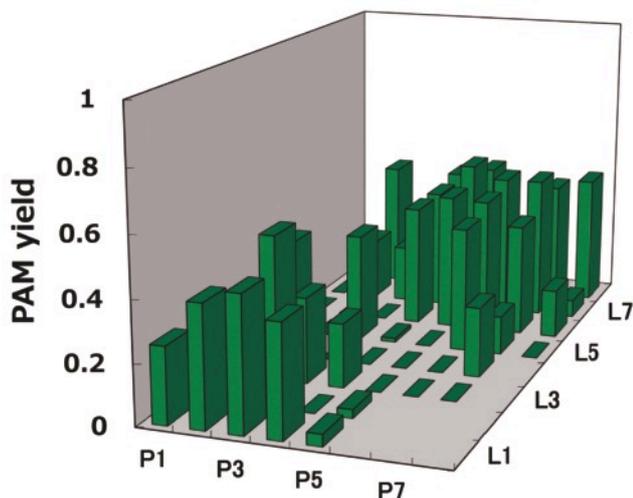


図 32：山の鼻研究見本園における湿原表層の光合成量子収率の分布 (2000 年 6 月 22 日)

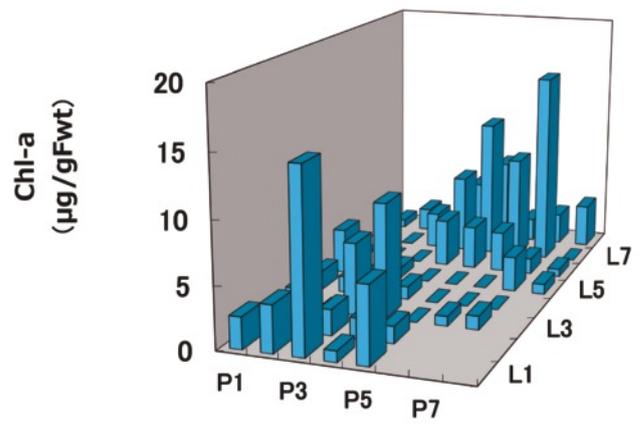


図 33：山の鼻研究見本園における湿原表層のクロロフィル a の分布 (2000 年 6 月 22 日)



図 34：山の鼻研究見本園における調査ラインの積雪コアの懸濁物質フィルター写真（2000年5月25日）

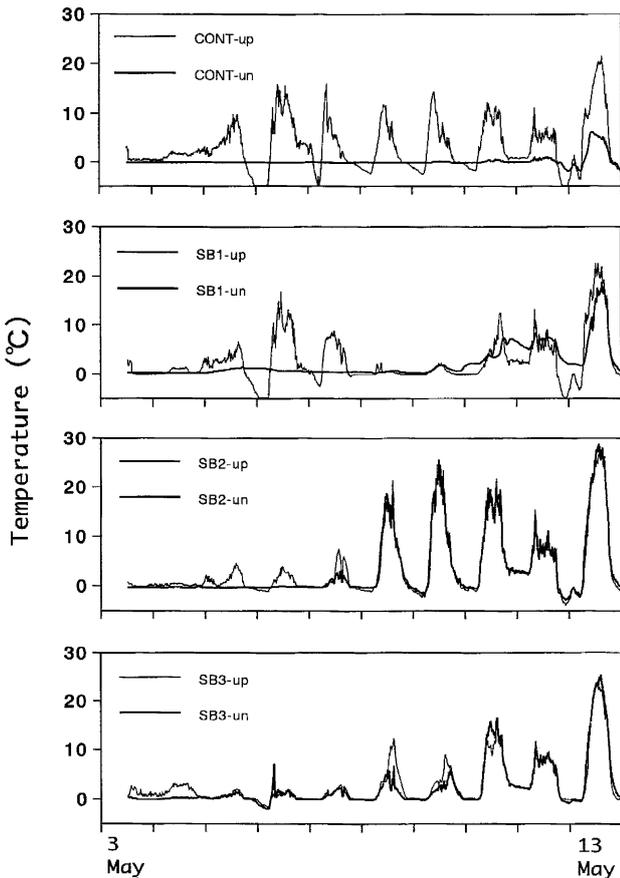


図 35：山の鼻研究見本園における積雪温度変化（1999年5月3～13日）

7色に区分しており、赤茶と緑が多いことを報告している。本研究の研究見本園で見られたアカシボは主に赤茶色に属する広い範囲に発生するものを中心にその動態を調べている。

雪が暖気や強い日射を受けて、雪面の所々にえくぼ状に凹部を生じる「雪えくぼ」の配列は不規則でその分布密度や大きさは、新積雪の深さや日射、気温によって決まる。斜面上では溝状に凹部が生じ、「流れえくぼ」と呼ばれ、雪えくぼの下が水みちの候補になるとされている。研究見本園でも流れえくぼや雪えくぼが融雪期に観察され、流れえくぼにはアカシボは生じておらず、雪えくぼの地点がアカシボの発生する凹地に相当すると推定される。アカシボが生じた凹地のマーキングによりその

下は地形上の凹凸構造は特に見られなかった。

4.2 尾瀬のアカシボの特徴

尾瀬ヶ原北部の赤田代（図1, 2）の泥炭はヨシ、ヌマガヤ、灌木を中心とした低位、中間泥炭で燧岳山麓の緩斜面を構成する砂礫層の上に直接堆積している（松井, 1952；松井ら, 1954）。赤田代は山麓の火山性湧水に涵養された鉱泉泥炭地で、褐鉄鉱床や沼鉄鉱床が形成される（阪口, 1974）。低層湿原に特有のヨシなどが優占する上田代の研究見本園など広範囲に赤褐色に積雪が染まる場所は赤田代と同じく鉱泉泥炭地であり、アカシボの色の主要因はおそらく酸化鉄であろうと考えられる。沼鉄鉱床は含鉄溶液の酸化作用で生じ沈殿したもので、バクテリア、藻類の作用で炭酸鉄、硫酸鉄、有機酸鉄などの溶液が酸化鉄、水酸化鉄ができ、これが生物の体内外に貯蔵・蓄積して、生物の死亡後遺骸が沈殿して体積したものとされ（藤本・柴田, 1966）、アカシボはそれが何らかの力（融雪時の水圧など）で積雪表面に現れたと考えられる。

これまで、アカシボの正体は大きく2つの仮説に大別されていた。一つはある種の藻類やバクテリアが増殖したという「藻類説」で、もう一つは無機質の鉱物が舞い上がったとする「鉱物説」である。本研究の現地調査と分析結果から積雪1m程度になると湿原周囲の雪解け水が地下からわき上がり、細かく分解された泥炭の一部が一時的に噴出して広がり、その後日射で周囲より早く解け窪地ができるものと思われる。その後、藻類や底生生物の増殖・集合を伴いながら雪が解けて行くものと思われる。「鉱物説」+「藻類説」がアカシボの正体であろうと推定される。

4.3 積雪の変化

尾瀬山の鼻では1997年～2000年の積雪深の最大値はそれぞれ413cmとなっておりおよそ7ヶ月の間雪に覆われる（群馬県, 1997, 1998, 1999, 2000）。尾瀬ヶ原山の鼻地区の気象データから1982～2007年度の26年間の平均的な積雪量を解析した（野原, 2012）。積雪は11月から始まり最大の積雪深に達するのは、3月の中旬で、平均の雪解け日は5月25日（11月1日から206日目）であった。雪解け終了前の1月間における平均的な

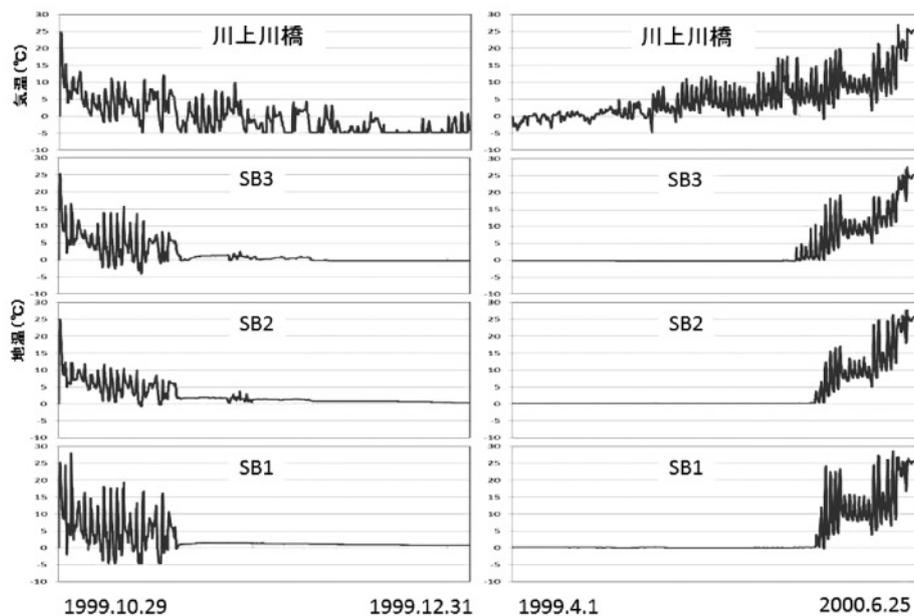


図 36：山の鼻地域の気温と研究見本園における湿原表層温度変化（1999 年 10 月～2000 年 6 月）

雪解け速度は 5.9 cm day^{-1} であった。雪解け日の最も遅い年は 2000 年で雪解け日は 6 月 27 日と推定した。最も早い雪解け日は 1995 年 4 月 30 日と 1997 年 4 月 30 日であった。雪解け速度は最速で 8.0 cm day^{-1} (2004 年) で、最も遅いのは 3.7 cm day^{-1} (2000 年) であった (野原, 2012)。

4.4 アカシボの化学的特徴

2000 年 5 月 25 日の積雪はアカシボの生じる見本園中央部で 30 cm, 周辺で 100 cm であった。雪の底の pH は 5~7 であり中央部で中性に近かったが、コアの融雪水の pH は何処も 5 付近であった。雪の底の温度は何処も 0°C 付近であり、ORP は 300~500 mV で比較的好気状態にあった。SS は最大で 200 g m^{-2} , アカシボ SS の量子収率は著しく低く、藻類はアカシボ初期には少ないと思われる。アカシボには DOC も多い傾向にあり最大で 400 mgC m^{-2} であった。同じく Na イオン (600 mg m^{-2}) もアカシボ発生付近で高くなっていた。一方 TIC は SS と DOC の高い地点とはやや異なった分布を示した。

雪の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は周辺部分 (-12%) よりアカシボの中心で重くなっており (-10%)、周辺部の雪解け水が一度泥炭層に潜り込み、間隙水・地下水が上昇してきたと考えられる。そのため、DOC, Na などが高いものと考えられた。また、アカシボの雪原には窪地に大小の穴があり、流出河川側に分布していることから穴は雪解け水の逆流でできた可能性がある。

謝辞

一連の研究は、「干潟等湿地生態系の管理に関する国際共同研究」(国立環境研究所)の一部として、環境庁と

の協議や関係機関の許可を得て行われたものである。また、研究の一部は文部省科学研究費 (10680531) を用いて実施した。尾瀬沼の調査に当たっては、福島県尾瀬保護指導委員会の調査の一部として許可の範囲内で実施した。尾瀬入山に際して、便宜を図っていただいた尾瀬保護財団、東京電力 KK 及び尾瀬林業 KK に感謝の意を表す。また、調査及び分析や解析など様々に協力していただいた全ての尾瀬アカシボ研究グループメンバーに感謝する。アカシボの分布に関して安類智仁氏の協力を得た。記して感謝する。

引用文献

- 福島県 (2008) 尾瀬地域自然環境調査業務報告書. 51 頁.
 Fukushima, H. (1963) Studies on Cryophytes in Japan. J. Yokohama Munic. Univ. Ser. C, Nat. Sci., 43: 1-146.
 Fukuhara, H., A. Ohtaka, N. Kimura, M. Fukui, Y. Kikuchi, S. Nohara, M. Ochiai, Y. Yamamoto and Oze Akashibo Res. Group (2002): Spring red now phenomenon "Akashibo" in the Ozegahara mire, central Japan with special reference to distribution of small animals in red snow. Ver. Internat. Verein Limnology. 28, 1645-1652.
 藤本治義・柴田秀賢編 (1966) 地質学ハンドブック. 朝倉書店. 610 pp.
 五味禮夫 (1980) 群馬の湖沼. 305 pp. 上毛新聞社
 群馬県 (1997) 尾瀬の自然保護 — 群馬県特殊植物等保全事業調査報告書 — 群馬県, 第 21 号, 106 pp.
 群馬県 (1998) 尾瀬の自然保護 — 群馬県特殊植物等保全事業調査報告書 — 群馬県, 第 22 号, 106 pp.
 群馬県 (1999) 尾瀬の自然保護 — 群馬県特殊植物等保全事業調査報告書 — 群馬県, 第 23 号, 106 pp.
 群馬県 (2000) 尾瀬の自然保護 — 群馬県特殊植物等保全事業調査報告書 — 群馬県, 第 24 号, 106 pp.

- Hara, H., S. Asahina, Y. Sakaguchi, K. Hogetsu, N. Yamagata (1982) Ozegahara, Scientific Researches of the Highmoor in Central Japan. Japan Soc. for the Promotion of Science, 456pp.
- Hoham, R. W. and B. Duval (2000) Microbial Ecology of Snow and Freshwater Ice with Emphasis on Snow Algae. In Snow Ecology, An Interdisciplinary Examination of Snow-Covered Ecosystems, Jones, H. G., J. W. Pomeroy, D. A. Walker and R. W. Hoham (eds) 168-228.
- 金井弘夫 (1999) 尾瀬ヶ原の池漕地図と水生植物5種の分布消長. 尾瀬の総合研究. 尾瀬総合学術調査団, 274-288
- 菊地慶四郎 (2002) 尾瀬の気候. 上毛新聞社.
- Kobayashi, Y. and H. Fukushima (1954) On the Cryovegetations of the Ozegahara Moor and its environments. 尾瀬ヶ原. 尾瀬ヶ原総合学術調査団研究報告. 日本学術振興会. 585-589.
- 松井建 (1952) 泥炭層の堆積のしかた — 尾瀬ヶ原赤田代の例 —. 泥炭のできかた第2報. 資源研彙, 28, 42-50.
- 松井建・桑野幸夫・桑野恵子・宮沢数雄 (1954) 尾瀬ヶ原の湿原堆積物. 尾瀬ヶ原. 尾瀬ヶ原総合学術調査団研究報告. 日本学術振興会. 78-107.
- 日本雪氷学会編 (1990) 雪氷辞典. 196 pp. 古今書院.
- 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.
- 小野延雄 (1986) 雪氷水文現象. 基礎雪氷学講座VI, 雪氷水文現象. 196 pp. 古今書院.
- 尾瀬ヶ原総合学術調査団 (1954) 尾瀬ヶ原. 尾瀬ヶ原総合学術調査団研究報告. 日本学術振興会. 841 pp.
- 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. 868 pp.
- 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. 329 pp.
- 山本鎔子・大高明史・林卓志・福原晴夫・野原精一・落合正宏・尾瀬アカシボグループ (2004) 東北地方の赤雪, 陸雑 165, 181-191.