HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	融雪期の雪中における無脊椎動物の生息状況
Author(s)	大高, 明史
Citation	低温科学, 70, 113-117
Issue Date	2012-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49050
Type	departmental bulletin paper
File Information	LTS70_016.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

低温科学 70 （2012） 113-117

融雪期の雪中における無脊椎動物の生息状況

大高　明史[1)]

2011 年 12 月 27 日受付，2012 年 1 月 18 日受理

青森県弘前市の山間休耕田で，アカシボが発生する融雪期に，雪中における無脊椎動物の鉛直分布と活動状況を調べた．雪中ではソコミジンコ類と双翅目幼虫，貧毛類が優占し，その密度は，アカシボが見られた濡れ密度の高い底層の雪で大きく高まった．動物の群集構造や総密度が，雪中と土壌中で類似する点から，雪中に出現する動物は土壌に由来すると推測された．ソコミジンコ類の活動状態を観察したところ，濡れ密度の低い上層の雪から回収された個体はすべて死亡していたが，下層に分布する個体は活発に動き回り，交尾前ガードペアも多数確認された．融雪期に，ざらめ雪が湛水することによって形成される間隙環境は，小型の水生動物にとって好適な住み場になっている可能性が指摘された．

Distribution and activity of intranivean invertebrates in snowmelt season in Aomori Prefecture, northern Japan

Akifumi Ohtaka[1]

Vertical distribution and activities of intranivean invertebrates were studied in snowmelt season in northern Japan. The intranivean invertebrates were dominated by copepods, dipteran larvae and oligochaetes, and they increased toward the bottom. High structural similarity between snow and soil animals strongly suggested that the intranivean invertebrates were derived from subnivean fauna. All the harpacticoids recovered from the less wet snow in the middle layers were died often with seriously damaged in their appendages. On the other hand, most of those in the lower and waterbearing layers of the snow showed active movement. Many precopulating pairs were found in the harpacticoids there. It is suggested that inundated granular snow in the late snowmelt season can provide interstices which harbor many small aquatic animals such as copepods and oligochaetes.

キーワード：融雪期，アカシボ，ざらめ雪，間隙性動物
snowmelt season, Akashibo red snow, granular snow, interstitial fauna

1．はじめに

赤雪の一種で，融雪後も地上に残存する〝アカシボ〟は，尾瀬ヶ原（Fukuhara et al., 2002; Yamamoto et al., 2006）だけでなく，青森県，秋田県，山形県の多雪地帯の湿原や水田で融雪期に広く見られる現象である（山本ほか，2004）．青森県内のアカシボ発生地点での調査によると，雪中の無脊椎動物群集は，ソコミジンコ類や貧毛類，双翅目幼虫が優占し，その密度は雪がざらめ状になる融雪期に水分を多量に含む下層で高まった（大高ほか，2008）．このような群集構造や出現の傾向は，アカシボが発生する場所であれば，青森県の高層湿原（八甲田山）と水田（弘前市）で大きな違いはなく，また，尾瀬ヶ原とも共通している．

雪中で見られる動物には，陸生種と水生種が含まれる．このうち，融雪期に高密度になる無脊椎動物群集はもっぱら水生種から構成される．構成種には，小型で細長い体型をした種類が多いことから，この時期の無脊椎動物群集は，海浜などで発達する間隙動物群集（伊藤，1985）との類似性が指摘された（大高ほか，2008）．しかし，これまでの調査では，雪中の動物を生の状態で観察した例はほとんどなく，肉眼で動きが確認できる一部の動物を除くと，雪の中で生存しているかどうかもよくわかっていない．そこで，ここでは，無脊椎動物の雪中での生息状況を知るために，アカシボの発生が知られて

1）弘前大学教育学部自然科学科教室
[1] Department of Natural Science, Faculty of Education, Hirosaki University, Hirosaki, Japan
E-mail: ohtaka@cc.hirosaki-u.ac.jp

いる青森県弘前市の山間休耕田で融雪期に行った観測から，無脊椎動物の雪中での分布状況と生体観察の結果を示す．

2．調査地と方法

調査は，融雪期の2005年4月3日に，青森県弘前市坂元の山間休耕田（40°32′37.5″N，140°26′27.3″E）で行った．これは，大高ほか（2008）によって示されている雪中動物の継続観測に先だって，同じ場所で行われた予備調査にあたる．雪面に直径約1 mの雪穴を掘り，その側面を使って速やかに雪温（SATO SK-250WP）の鉛直分布を測定したのち，深さ10 cmごとに雪の試料を採取した．雪サンプルは実験室に持ち帰り，既知体積の重量測定から密度（濡れ密度）を算出するとともに，融解水のpH（比色法）を測定した．

雪中での動物の分布を知るために，雪穴の側面を使って表面から20 cmごとに体積1 Lの雪を3個ずつ採取して持ち帰った．融解後に開口100 μmのふるいで濾して集めた動物を10%ホルマリンで固定し，実体顕微鏡下で同定と計数を行った．加えて，調査した各層から採取した雪を冷蔵して持ち帰り，実体顕微鏡を用いて動物の生死や行動を定性的に観察した．

土壌の無脊椎動物を雪中の動物と比較するために，調査地点の積雪直下から，面積15×15 cm，深さ5 cmの土壌を3個採取し，中に含まれる土壌動物を定量的に採集した．土壌は，開口100 μmのふるいでふるったのち，10%ホルマリンで固定して持ち帰り，実体顕微鏡下で動物の同定と計数を行った．調査時には，さらに，雪上での無脊椎動物の出現状況を定性的に観察した．

3．結果

3.1　雪中の環境

調査時の積雪は95 cmであった．雪は全体にざらめ状で，最下層には約5 cmの厚さのはっきりとしたアカシボの層が見られた（図1左）．これは，尾瀬ヶ原で区分されているアカシボの発達過程（福原ほか，2012a）のうち，Stage 1（アカシボ初期）に相当する．アカシボ層には，球形や長楕円形をした赤褐色の粒子が多数含まれていた（図1右）．

雪中の温度はどの層でも0.1℃と安定していたが，土壌と接する最下層では0.3℃とやや高まった（図2）．融雪水のpHは，表面とその下層10 cmでは7.6〜7.9と弱アルカリ性であったが，それよりも下の層では6.2〜6.5と弱酸性を示した．雪の密度（濡れ密度）は，下層の20 cmを除くと0.41〜0.53の範囲だったが，最下層では多量の水を含んで0.96まで高まった．この濡れ密度の高い層はアカシボが見られた層に対応した．

3.2　雪と土壌中における無脊椎動物群集の構成

雪中から，ウズムシ類〝Turbellaria〟，貧毛類Oligochaeta，カイアシ類Copepoda，ユスリカ幼虫Chironomidae，ヌカカ幼虫Ceratopogonidaeが確認された（表1）．貧毛類ではヒメミミズ科Enchytraeidaeが優占し，他に，ミズミミズ科Naididae，ナガレイトミミズ亜科Rhyacodrilinaeのナガレイトミミズ*Rhyacodrilus coccineus*や同科ミズミミズ亜科Naidinaeのナミミズミミズ*Nais communis*，同科イトミミズ亜科の不明種Tubificinae sp.が含まれていた．カイアシ類は大部分がソコミジンコ類Harpacticoidaで占められ，ケンミジンコ類Cyclopoidaはカイアシ類全体の2%以下とわずかであった．雪中の動物で最も優占したのはソコミジンコ類で，個体数で群集全体の65.6%を占めた．

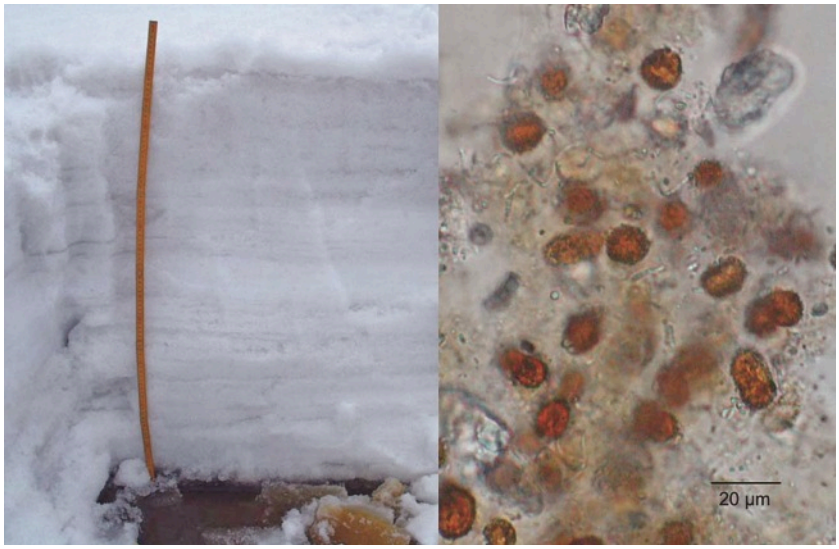

図1：2005年4月3日の弘前市坂元休耕田における雪断面（左）と，最下層に見られたアカシボ粒子（右）．

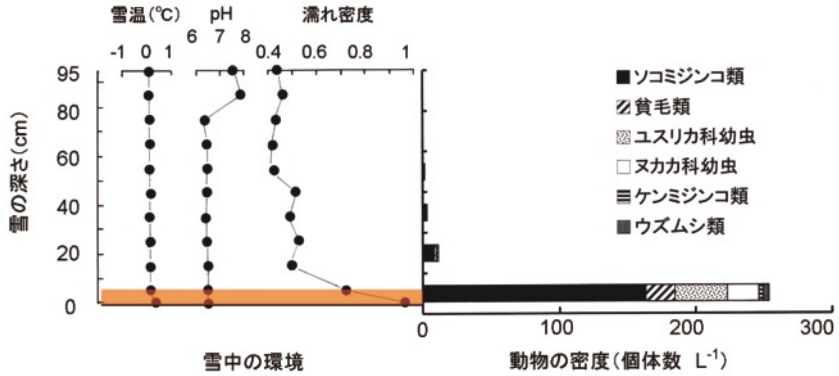

図2：弘前市坂元休耕田における雪中の環境と無脊椎動物の鉛直分布．2005年4月3日．

表1：弘前市坂元休耕田における雪中と土壌の動物の構成（%）．2005年4月3日の調査結果を示す．雪中はアカシボ層を含む．

	雪　中	土　壌
ウズムシ類	1.6	0
巻貝類	0	0.8
貧毛類	7.9	14.1
ヒル類	0	0.4
線虫類	0	9.7
ダニ類	0	0.5
ソコミジンコ類	65.6	45.2
ケンミジンコ類	1.6	3.7
貝形虫類	0	7.9
ユスリカ科幼虫	14.8	7.6
ヌカカ科幼虫	8.5	10.1
動物総密度（No m^{-2}）	14,720	11,142

次いで，ユスリカ幼虫（14.8%），ヌカカ幼虫（8.5%），貧毛類（7.9%）の順で豊富だった．雪中で動物が確認されたのは底面から55 cmよりも下の層に限られ，その密度はアカシボが確認された最下層で顕著に高まった．雪の層全体で見られた動物の密度は14,720個体 m^{-2} であった．

積雪直下の湛水した土壌で見られた動物は，ウズムシ類を除くと雪中に出現した動物群を全て含み，そのほかに，雪中では見られなかった巻貝類Gastropodaやヒル類Hirudinoidea，線虫類Nematoda，ダニ類Acarina，貝形虫類Ostracodaを含んでいた（表1）．土壌中で最も優占した動物は雪中と同様にソコミジンコ類で（45.2%），次いで，貧毛類（14.1%），ヌカカ幼虫（10.1%）の順であった．土壌中の貧毛類は雪中と同様にヒメミミズ科が優占したほか，雪中で見られた他の3群も確認された．土壌動物の密度は，雪中の動物の総密度の76%に相当する11,142個体 m^{-2} であった．

調査時に，雪上から，クモ類Araneae，トビムシ類Collembolaおよびカワゲラ類（ユキクロカワゲラ*Eocapnia nivalis*）とユスリカ類（カニエリユスリカ*Orthocladius kanii*を含む）のいずれも成虫が確認された．

3.3　動物の雪中での活動状態

持ち帰った雪の定性的な観察から，雪中で見つかる動物には，死亡している個体と生存している個体があることが明らかになった．雪中で動物が見られた最も上層にあたる底面から55 cmの層と，その下の35 cmの層では，少数のソコミジンコ類だけが出現したが，55 cm層から回収された個体（N＝3）はすべて，35 cm層からの個体（N＝5）も1個体を除いてすべて死亡しており，それらの多くは付属肢が欠如するなど，大きく破損していた．一方，底面から15 cmの層でみられたソコミジンコ類（N＝10）は2個体を除いて活動が確認され，同じ層でわずかに見られたケンミジンコ類（N＝2）とユスリカ幼虫（N＝1）も同様に活動していた．アカシボが見られた底面直上5 cmの雪層で観察された動物（N＞200）は，優占したソコミジンコ類の他に，ウズムシ類（図3左）や貧毛類，ユスリカ類，ヌカカ類を含んでいたが，その大部分は活発に動きまわっているのが確認された．底面直上の雪層から得られたソコミジンコ類は多数の連結個体（交尾前ガードペア）を含み（図3右），繁殖期にあると推定された．また，貧毛類のナガレイトミミズとイトミミズ亜科の一種でも，環帯を発達させた成熟個体が複数確認された．

4．考察

4.1　雪中の動物の構成と由来

アカシボの発生が知られている尾瀬ヶ原湿原（福原ほか，2006）や，青森県の八甲田山および弘前市内の休耕田（大高ほか，2008）で融雪期に行われた調査では，雪中に出現する動物は，群集の組成や密度が類似する点から，土壌に生息する動物に由来すると推測されている．今回の調査結果でも，雪中に見られた無脊椎動物の群集構造や密度は土壌中での群集と類似しており，これまでの推測と矛盾しない．アカシボ発生地帯では，雪上や雪中からしばしばたくさんのガガンボ科幼虫Tipulidaeが見いだされているが（Fukuhara et al., 2002；福原ほか，2006），今回の調査では，雪中にも土壌にも全く出

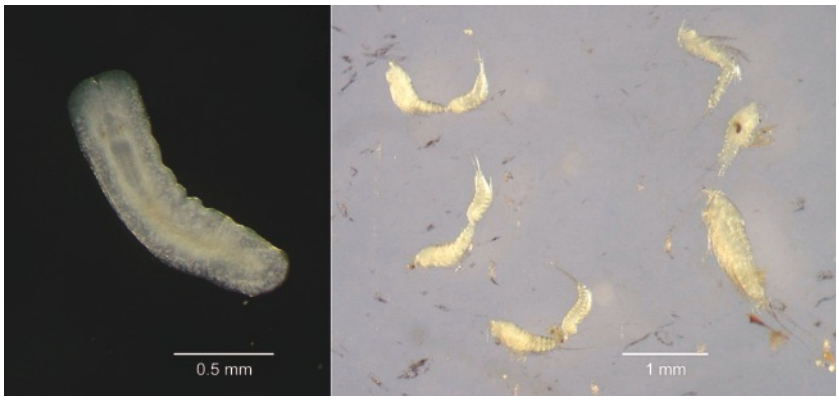

図 3：弘前市坂元休耕田の雪中で見られた無脊椎動物．左，ウズムシ類（マエクチコケウズムシ科（川勝，1988）の一種 Prorhynchidae sp.）；右，ソコミジンコ類．いずれも，2005 年 4 月 3 日の調査時に，積雪底面直上の 5 cm 層から得られた個体．

現しなかった．しかし，同じ場所で行った大高ほか（2008）による調査では，密度は低いもののガガンボ科幼虫が記録されている．今回の調査で雪中にガガンボ科幼虫が見られなかったのは，休耕田内における群集構造の偏りを反映したものと思われる．

4.2 融雪期にできる間隙環境

雪に出現する無脊椎動物には，昆虫の成虫のような気相中で生活する動物と，カイアシ類などの水生の動物が含まれ，前者は雪上や濡れ密度が小さい雪の上層に分布するのに対して，後者は濡れ密度が大きくなる積雪下層に分布する傾向がある（大高ほか，2008；Fukuhara et al., 2010）．融雪期には，日射による融解や雨水によって，雪が長い時間水を含んで 0 ℃に保たれるために，氷の粒は粗大体してざらめ雪になる（若松ほか，1968）．融雪期に積雪下層に出現する無脊椎動物には，ソコミジンコ類のように小型か，またはヒメミミズ類のように細長い体型をしたものが多く，湛水したざらめ雪によって形成される雪間隙での生活との関連が指摘されている（大高ほか，2008）．砂浜海岸では，線虫類やソコミジンコ類，ヒメミミズ類などを主体とした間隙動物群集が発達することが知られている（伊藤，1985）．淡水域でも，湖沼の砂礫岸や河床間隙，砂州内の伏流間隙，さらに地下水層など，砂浜に匹敵する間隙環境は少なくない．日本では，淡水域における間隙動物の研究はいまだ少ないものの，竹門ほか（2003）は京都府木津川での調査から，ミギワバエ科数種 Ephydridae spp.，ハネカクシ科数種 Staphylinidae spp.，ミズミミズ亜科の数種，スジカマガタユスリカ属の一種 *Demicryptochironomus* sp.，ウシオダニ類の一種 *Labohalacarus* sp.，ムカシエビ目 Bathynellacea spp.を伏流間隙動物群集の構成員，あるいはその候補とみなしている．間隙性のヒメミミズ科貧毛類としては，ミズヒメミミズ属 *Marionina* とミジンヒメミミズ属 *Cernosvitoviella* で複数の種類が知られているほか（Torii, 2011a, 2011b），ヒメミミズ科と近縁なコヒメミミズ科 Propappidae に属するナガハナコヒメミミズ *Propappus volki* ももっぱら河床間隙に生息する（Torii, 2006）．トビケラ類でも，ムナグロナガレトビケラ種群 *Rhyacophila nigrocephala* species group に属するニッポンナガレトビケ *R. nipponica* やシコツナガレトビケラ *R. shikotsuensis*，カワムラナガレトビケラ *R. kawamurae* などは伸縮自在な腹部や細長い頭部を持っており，もっぱら河床間隙に生息する（Taira and Tanida, 2011）．淡水域でも砂礫間隙は普遍性の高い微生息環境で，そのような環境を利用する動物は，これまで知られている以上に多いと思われる．融雪期に見られる水を大量に含んだざらめ雪は，砂礫間隙に匹敵する間隙環境を作り出して，動物に新たな住み場を提供している可能性がある．

4.3 動物にとってのアカシボ雪

これまでの調査の多くでは，アカシボが発達するほど雪中で無脊椎動物は豊富になり，またアカシボの発達した層で密度の高い無脊椎動物が見られる傾向がある．いずれの調査でも，雪中の動物は土壌動物に由来すると推測されており，土壌から雪中へ動物が移動するのは，湛水に伴って土壌や雪下層で酸素濃度が減少することと関係している可能性が指摘されている（福原ほか，2006）．また，アカシボ雪中に動物が高い密度で出現する要因としては，アカシボ物質を餌として積極的に利用していることが示唆されている（Fukuhara et al., 2002；福原ほか，2006，2012b）．しかし，アカシボ雪に出現するソコミジンコ類やヒメミミズ類などが，砂礫間隙で優占することが多い動物であることを考慮すると，土壌から雪中への移動は，ざらめ雪が湛水することよって新しくできた間隙環境へ積極的に分散した結果である可能性がある．また，動物の密度が雪の下層で高まる現象は，単に，動物の供給源である土壌により近いという点でも説明できる．

アカシボの発達は一般に湛水を伴うが，湛水した雪で必ずアカシボが発生するわけではない．尾瀬ヶ原での観測によると，アカシボ粒子は融雪水の流れや水位の上昇

に伴って，あるいは毛管現象によって上方に移動すると推測されている（山本ほか，2006；Yamamoto et al., 2006; Fukuhara et al., 2010)）．今回の休耕田の調査では，濡れ密度の低い上層の雪から回収されたソコミジンコはすべて死亡していた．このような死亡個体が雪の上層で見つかるのは，雪中での水位が上昇した時に分散した個体が，水位の低下に伴って雪粒子にトラップされたためであると考えられる．アカシボ発生時の尾瀬ヶ原で雪中の動物を調べた Fukuhara et al. (2010) では，雪中に出現する動物の総密度は，アカシボが見られない雪よりもアカシボが発生している雪のほうが高い．しかし，雪中での鉛直分布をみると（Fukuhara et al., 2010, fig. 2)，動物の総密度はアカシボが分布する底層よりも，より上方の，アカシボはみられないが湛水している雪の層で高くなっている傾向が読み取れる．この点から，動物の分布はアカシボの存在よりも，むしろ湛水環境ができることにより強く関係している可能性が指摘される．

今回の観察で，湛水した雪底層のソコミジンコ類で多くの交尾前ガードペアが見られ，また貧毛類でも成熟した個体が見られたように，融雪期は多くの水生動物にとって繁殖期にあたる．小型の水生動物にとって，融雪期の雪間隙は，好適な繁殖の場所になっている可能性がある．

謝辞

研究を進めるにあたって，たくさんの助言をいただいた，新潟大学の福原晴夫氏と元明治大学の山本鎔子氏をはじめとする尾瀬アカシボ研究会の皆様，および雪中に出現したウズムシ類の仮同定をしていただいた札幌市の川勝正治氏に深く感謝します．また，現地調査で補助をしていただいた，小笠原嵩輝，山﨑千恵子をはじめとする，弘前大学教育学部理科教育講座の学生諸氏（当時）に感謝いたします．

引用文献

福原晴夫，木村直哉，北村淳，落合正宏，山本鎔子，林卓志，大高明史，小島久弥，福井学，菊地義昭，野原精一（2012a）尾瀬地域におけるアカシボの発達過程．低温科学，**70**，37-47．

福原晴夫，大高明史，木村直哉，北村淳，菊地義昭（2012b）アカシボに分布する無脊椎動物 ── 尾瀬ヶ原のアカシボを中心に ──．低温科学，**70**，75-85．

Fukuhara, H., A. Ohtaka, N. Kimura, M. Fukui, Y. Kikuchi, S. Nohara, M. Ochiai, Y. Yamamoto and Oze Akashibo Research Group (2002) Spring red snow phenomenon "Akashibo" in the Ozegahara mire, Central Japan, with special reference to distribution of invertebrates in red snow. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **28**, 1645-1652.

福原晴夫，大高明史，木村直哉，菊地義昭，山本鎔子，落合正宏，福井学，野原精一，尾瀬アカシボ研究グループ（2006）尾瀬ヶ原のアカシボに見られる無脊椎動物．陸水学雑誌，**67**，81-93．

Fukuhara, H., A. Ohtaka, N. Kimura, M. Ochiai, Y. Yamamoto and Oze Akashibo Research Group (2010) Vertical distribution of invertebrates in red snow (Akashibo) at Ozegahara mire, Central Japan. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **30**, 1487-1492.

伊藤立則（1985）砂のすきまの生きものたち．間隙生物学入門．鳴海社，東京．

川勝正治（1988）日本産野生生物目録㈫扁形動物門・ウズムシ綱（渦虫綱）．日本産野生生物目録―本邦野生動植物の種の現状（環境省編）：19-22，自然環境センター，東京．

大高明史，山崎千恵子，野原精一，尾瀬アカシボ研究グループ（2008）青森県のアカシボ発生地域における雪中の無脊椎動物．陸水学雑誌，**69**，107-119．

Taira, A and K. Tanida (2011) Peculiar hyporheic habitat of some *Rhyacophila* species (Trichoptera; Rhyacophilidae) in Japanese mountain streams. *Limnology*, **12**, 25-35.

竹門康弘，土居秀幸，谷田一三（2003）木津川砂州における河川水流入部の水質環境と間隙動物の分布様式．木津川の総合研究：263-270．河川学術研究会木津川研究グループ．

Torii, T. (2006) New record of *Propappus volki* (Annelida: Clitellata: Propappidae) from Japan. *Species Diversity*, **11**, 359-365.

Torii, T. (2011a) New record of *Cernosvitoviella minor* (Annelida: Clitellata: Enchytraeidae) from hyporheic habitat in a Japansese stream. *Edaphologia*, **88**, 31-35.

Torii, T. (2011b) New records of semiaquatic species *Marionina* (Clitellata, Enchytraeidae) from Japan, with a description of *Marionina biwaensis* sp. nov. *Turk. J. Zool.*, **35**, in press.

若松五郎，中村勉，遠藤八十一（1968）積雪内への融雪水の移動Ⅱ．低温科学，**A26**，53-76．

山本鎔子，大高明史，林卓志，福原晴夫，野原精一，落合正宏，尾瀬アカシボ研究グループ（2004）東北地方の赤雪．陸水学雑誌，**65**，181-191．

山本鎔子，林卓志，落合正広，福原晴夫，大高明史，野原精一，福井学，菊地義昭，尾瀬アカシボ研究グループ（2006）尾瀬ヶ原のアカシボ現象に関する研究 ── 赤雪の垂直分布と藻類の関わり ──．陸水学雑誌，**67**，209-217．

Yamamoto, Y. A. Ohtaka, T. Hayashi, H. Fukuhara, S. Nohara and M. Ochiai (2006) Spring red snow phenomenon in the alpines in Japan ccaused by iron accumulating algal cells. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **29**, 1947-1950.