HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	青森県弘前市の水田で積雪前に出現した赤褐色粒子の観察
Author(s)	大高, 明史; 菊池, 智子
Citation	低温科学, 70, 103-107
Issue Date	2012-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/49048
Type	departmental bulletin paper
File Information	LTS70_014.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

低温科学 70 （2012） 103-107

青森県弘前市の水田で積雪前に出現した赤褐色粒子の観察

大高　明史[1)]，菊池　智子[1)]

2011 年 12 月 27 日受付，2012 年 1 月 18 日受理

赤雪の一種であるアカシボの発生が知られている青森県弘前市の水田で，積雪前に赤褐色に着色したプールが観察された．着色物質中に含まれている球形の赤褐色粒子は，尾瀬ヶ原で融雪期に見られるアカシボ粒子に比べて小さいものの，一般的な外部形態は両者でよく似ていた．着色したプールには多様な微生物群集が見られたが，特定の藻類の顕著な増殖は確認されなかった．また，降水後にいったん見られなくなった赤褐色粒子が，数日内に再び現れることが観察された．こうした点から，赤褐色の粒子は，藻類とは無関係に短期間で生成される可能性が示唆された．

Observation of reddish-brown particles and their associated biota in the pools in rice paddies in Hiorsaki, Aomori Prefecture, northern Japan before snow coverage

Akifumi Ohtaka[1] and Tomoko Kikuchi[1]

Before snow coverage, reddish-brown colored pools were found in the rice paddies in Hirosaki, Aomori Prefecture, northern Japan, where a kind of red snow “Akashibo” occurred in snow-melting seasons. The pool deposits contained spherical reddish-brown particles, which resemble those in the “Akashibo” particles in the general structure but significantly smaller than the latter. There was no prominent increase in any specific algae in the paddy pools. The reddish-brown particles appeared within several days after they once disappeared due to the outflow and/or disturbance of the pool sediments by rain and snowfall. These observations suggest that the reddish-brown particles might be generated for a short period irrespective of algal blooms.

キーワード：アカシボ，赤褐色粒子，水田，弘前
Akashibo, reddish-brown particles, rice paddy, Hirosaki

1．はじめに

〝アカシボ〞は，多雪地帯である尾瀬ヶ原（Fukuhara et al., 2002）や東北地方の日本海側（山本ほか，2004；Yamamoto et al., 2006）で融雪期に見られる赤雪現象の一種で，雪が消失しても赤い物質が残存する点で他の多くの赤雪と異なっている．アカシボに含まれる主要な着色物質は，酸化鉄で覆われた赤褐色の粒子であるが，その実体や生成の機構はいまだによくわかっていない．Fukuhara et al. (2002) や Yamamoto et al. (2006) は，これを緑藻（*Hemitoma* sp.）の休眠胞子とみなし，積雪に先立つ時期に土壌の表面で形成され，雪解けの進行に伴って雪の表層に現れると推測した．一方，青森県のアカシボ発生地域で行われた継続的な観測では，降雪前にアカシボ粒子やそれに対応すると思われる藻類の栄養細胞の増殖は確認されなかったことから，アカシボ粒子は融雪期に積雪下層あるいは土壌表面で新たに生成される可能性が示唆された（大高ほか，2008）．また，アカシボ雪中に含まれる微生物群集の解析では，アカシボ雪から真核の藻類は検出されず，アカシボの生成には鉄還元細菌の働きが重要な役割を果たしていることが示唆されている（Kojima et al., 2009）．

青森県弘前市とその近郊では，融雪期の 3 月中旬から 4 月上旬にかけて，各所の水田や休耕田でアカシボが発生する（山本ほか，2004；大高ほか，2008）．2011 年の春にアカシボの発生が確認された弘前市内の水田を，同年の積雪直前に観察したところ，稲の刈り取り時に田面に入れた農業機械のわだちに湛水したプールの内部や縁が赤褐色に着色しているのが確認された．着色した物質

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

を顕微鏡で観察したところ，融雪期のアカシボ雪中で見られる粒子とよく似た形をした赤褐色の粒子が多数見いだされた．ここでは，この，初冬の水田で見られた〝アカシボ様粒子〞の観察結果を示すとともに，同所的に見られた生物群集の概要を報告する．

2．調査地と方法

水田の調査は，2011 年の初雪（11 月 15 日）の前後にあたる，11 月 8 日，14 日，12 月 5 日および 12 月 9 日に，青森県弘前市清水富田町の水田（40°34′N，140°27′E）で行った（図 1A）．この場所は，市街地を横切って北東方向に流れる土淵川に沿って郊外から市街地まで延びる水田の一部で，同年 3 月下旬の融雪期にアカシボの発生が確認されている（図 1D）．調査地の水田では，耕作期間中は湛水と乾燥が繰り返され，稲の収穫後は水を抜いて放置されていた．

2011 年 11 月 14 日に，田面内の着色している 3 ヶ所の湛水プールで，環境測定と生物の採集を行った．プールの最大水深は 4 〜15 cm で，底泥やその上に堆積している稲わらの表面に赤褐色の物質が数ミリから数センチの厚さでゆるく堆積していた（図 1C，D）．プールの上水について，水温と電気伝導度（TOA CM-14P），pH（比色法）を測定した．プール内に堆積している赤褐色の物質をピペットで集め，アカシボ様粒子の密度をトーマの赤血球計算盤を使って推定するとともに，ミクロメーターを用いて粒子の大きさを測定した．同時に，アカシボ様粒子を含む赤褐色物質や上水中に見られる生物を定性的に観察した．また，プール内の底生動物の構成を知るために，開口 0.25 mm のふるいで底泥をふるって定性的に動物を採集した．12 月 5 日と 12 月 9 日の調査では，田面水の環境測定と田面水に含まれる生物の定性的な観察を行った．

さらに，粒子の大きさや構造を比較するために，アカシボ初期の段階にあった 2011 年 4 月 30 日の尾瀬ヶ原見本園（積雪 160 cm）で，鳥居高明氏（いであ株式会社）によって積雪最下層から採集されたアカシボ粒子についても観察を行った．

3．結果

3.1　水田プールの環境

初雪直前の 11 月 14 日の調査時の天候は晴れで，気温は 7.5℃であった．アカシボ様粒子が見られた 3 ヶ所の田面プールの水温は 11.5〜13.2℃，pH は 7.5〜8.5，電気伝導度は 34〜42 mS m^{-1} の範囲あった．プールの表面には金属光沢のある被膜が見られた（図 1 B）．プール内に堆積している赤褐色の物質は，デトライタスや赤褐色のコロイド状物質が多くを占め，その中にアカシボ様粒子とともに，藻類や小型の水生動物が観察された．

11 月 15 日の初雪後は雪や雨が続き，12 月 5 日の調査時には，田面は広く湛水していた．この時の気温は 1.5℃で，田面水の水温は 3.2℃，pH は 6.8，電気伝導度は 6.7 mS m^{-1} であった．湛水した田面の泥表面は，わずかに褐色を帯びる場所もあったものの，11 月 14 日の調査時にプールがあった場所も含めて，赤い物質の沈殿はほとんど確認できなかった．顕微鏡を使った観察でも，赤褐色のアカシボ様粒子の存在は確認できなかった．その後，降水のない 4 日間を経た 12 月 9 日に，再度，調査地を観察したところ，湛水した泥の表面が再び赤褐色に着色している場所が田面の各所で確認された．この時の気温は－ 1 ℃，田面水の水温は 2.0℃，pH は 7.0，電気伝導度は 10.1 mS m^{-1} であった．11 月 14 日と同様に，着色した田面のプールの表面には，金属光沢のある被膜が見られた．プール内に堆積している赤褐色の物質を顕微鏡で観察したところ，アカシボ様粒子が確認された．

3.2　赤褐色粒子の密度と大きさ

11 月 14 日の調査時に，水田プールの底泥表面の赤褐色の物質中におけるアカシボ様粒子の密度は 1.2×10^{5} 〜2.3×10^{6} ml^{-1} であった．アカシボ様粒子は球形ある



図 1：弘前市清水富田町の水田．A〜C．2011 年 11 月 8 日；D．2011 年 4 月 1 日．同一の田面を撮影．

いはまゆ形で，大きさは長径6.3±1.6（平均±標準偏差）μm，短径が6.0±1.5μm（N＝282），表面が不定形で瘤状をした厚さ0.6〜2.0μmの壁を持っていた（図2A）．内部には，中空に見える部分が識別された．

比較のために観察を行った尾瀬ヶ原見本園から採集されたアカシボ粒子は，球形からくびれの深さがさまざまなまゆ型であった（図2B）．粒子の大きさは，長径が11.9±2.8μm，短径が10.4±1.7μm（N＝331）で，長径，短径とも，水田のアカシボ様粒子よりも有意に大きかった（ANOVA，どちらも$P<0.001$）．壁の厚さも1.2〜3.2μmと水田の粒子よりも厚かったが，表面構造や中央部に中空に見える部分が識別できる点は，弘前市の水田で見られたアカシボ様粒子とよく似ていた．

3.3　水田プール内の生物

11月14日の水田プール内に堆積している赤褐色の物質の中には，アカシボ様粒子の他に，赤色の殻を持った根足虫類のナベカムリ属*Arcella* sp.（図3A）や，同じく赤色をしたミドリムシ藻類のトラケロモナス*Trachelomonas* sp.（図3B）が多数確認されたほか，鉄細菌の*Leptothrix*のものと思われる直径1.2〜1.6μmで枝分かれのない透明な鞘（図2A）が見られた．赤褐色の物質中や上水中には，そのほかに，藻類では藍藻類（オシラトリア属*Oscillatoria* sp.，図3K；アナベナ属*Anabaena* sp.，図3Lなど）や，ミドリムシ藻類（ミドリムシ属*Euglena* sp.，図3Cなど），黄色鞭毛藻類（シヌラ属*Synura* sp.，図3Dなど），珪藻類（ハネケイソウ*Pinnularia* sp.，図3Eなど），緑藻類（ミカヅキモ*Closterium* sp.，図3F；パンドリナ属*Pandrina* sp.，図3G；アオミドロ*Spirogyra* sp.，図3Hなど）が，原生動物では多様な繊毛虫類（コレプス属*Coleps* sp.，図3I；ゾウリムシ属*Paramecium* sp.，図3Jなど）が観察された．後生動物は少なく，ケンミジンコ類Cyclopoida spp.が優占したほか，線虫類Nematodaやヒルガタワムシ類Bdelloidea，腹毛類Gastrotrichiaが見られた．尾瀬ヶ原や東北の融雪期のアカシボ雪中で優占することが知られているソコミジンコ類Harpacticoidaやガガンボ類の幼虫Tipulidae（福原ら，2006；大高ら，2008）は，初冬の水田では確認されなかった．12月5日と12月9日の調査時の田面水では，黄色鞭毛藻類（シヌラ属）と緑藻類（パンドリナ属）が優占した．しかし，いずれの調査回も，田面のプールで特定の藻類が大規模に増殖することはなかった．

11月14日の調査で，田面プールの底泥で最も数多く見られた底生動物は線虫類で，そのほか，マメシジミ類*Pisidium* sp.，ヒラマキガイ類Planorbidae sp.，貧毛類Oligochaeta，ヒル類（シマイシビル*Erpobdella lineata*），ユスリカ類の幼虫Chironomidaeが確認された．貧毛類はユリミミズ*Limnodrilus hoffmeisteri*が優占したほか，少数のフクロイトミミズ*Bothrioneurum vejdovskyanum*やエラミミズ*Branchiura sowerbyi*，ヒメミミズ科Enchytraeidaeを含んでいた．

4．考察

今回，弘前市の初冬の水田で見いだされたアカシボ様粒子の直径は6.3×6.0μmで，尾瀬ヶ原見本園で採集されたアカシボ粒子（11.9×10.4μm）の約半分の大きさしかなかった．アカシボ雪に含まれる赤褐色粒子の計



図2：赤褐色粒子の顕微鏡写真．A．弘前市清水富田町の水田のアカシボ様粒子，2011年11月8日；B．尾瀬ヶ原見本園積雪下層のアカシボ粒子，2011年4月1日．A，Bは同じ倍率で撮影．

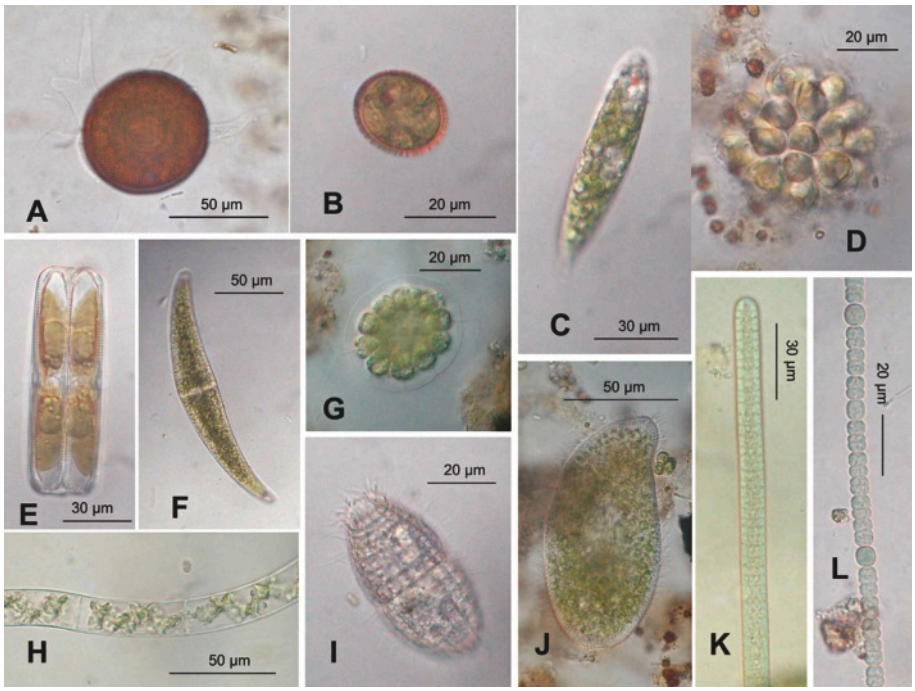


図3：積雪前に赤褐色に着色した水田プールで見られた生物．A，ナベカムリ属 *Arcella* sp.（根足虫類）；B，トラケロモナス *Trachelomonas* sp.（ミドリムシ藻類）；C，ミドリムシ属 *Euglena* sp.（ミドリムシ藻類）；D，シヌラ属 *Synura* sp.（黄色鞭毛藻類）；E，ハネケイソウ属 *Pinnularia* sp.（珪藻類）；F，ミカヅキモ属 *Closterium* sp.（緑藻類）；G，パンドリナ属 *Pandrina* sp.（緑藻類）；H，アオミドロ属 *Spirogyra* sp.（緑藻類）；I，コレプス属 *Coleps* sp.（繊毛虫類）；J，ゾウリムシ属 *Paramecium* sp.（繊毛虫類）；K，オシラトリア属 *Oscillatoria* sp.（藍藻類）；L，アナベナ属 *Anabaena* sp.（藍藻類）．いずれも，11月14日の弘前市清水富田町産．

測値としては，これまで，尾瀬ヶ原で15.0±2.7×9.5±1.2 µm（山本ほか，2006），尾瀬ヶ原を含む国内4ヶ所の高層湿原で14.8±3.0×9.9±1.4 µm（Yamamoto et al., 2006）が報告されている．今回観察した尾瀬ヶ見本園での値をこれらと比べると，短径は大きく違わないものの，長径が短いことから，球形に近い形をした粒子の割合が多いことがわかる．今回計測した尾瀬ヶ原のアカシボ粒子は，アカシボ初期（福原ほか，2012）の積雪底層から採集した粒子であった．大きな長径が示されている山本ほか（2006）と Yamamoto et al. (2006) のアカシボ粒子は，アカシボが雪の表面まで発達したアカシボ最盛期や雪や土壌に残存しているアカシボ残存期など，より進んだ段階の標本を含んでいることを考慮すると，アカシボ粒子の大きさや形は，アカシボの発達段階によって変化する可能性がある．高層湿原以外の場所からのアカシボ粒子の大きさは，これまで計測されていない．しかし，山本ほか（2004）が，東北地方の水田や休耕田で融雪期に見られるアカシボ粒子を示した写真（fig. 5）には，直径が約10 µm と約5 µm の異なる大きさの粒子が見られる．

水田で見られた赤褐色粒子は，表面が不定形で瘤状の突起で覆われ，中心部が中空に見えるなど，その構造は融雪期に出現するアカシボ粒子とよく似ていた．融雪期に見られるアカシボ粒子でも，時期や年によって大きさや形が異なることを考慮すると，今回積雪前の水田で見られた赤褐色の粒子は，融雪期のアカシボ粒子と大きく異ならないといえる．

赤褐色の沈殿物が見られた初冬の田面プールの底生動物群集は，ソコミジンコ類やガガンボ類を欠いている点で，融雪期にアカシボ雪やその下層の土壌で観察される群集とは大きく異なっている．ユリミミズが優占し，エラミミズが出現する貧毛類群集も，融雪期のアカシボ雪や雪下層の土壌での構成（福原ほか，2006；大高ほか，2008）とは異なり，むしろ夏季の湛水水田での組成（大高，未発表）と似ている．プール内で観察された藻類や原生動物・後生動物は，いずれも水田で普通に見られる生物群である（林ほか，2009a，2009b，2009c）．

尾瀬ヶ原などで融雪期に見られるアカシボ粒子は，緑藻（*Hemitoma* sp.）の休眠胞子とみなされ，また，それは積雪に先立つ時期に土壌の表面で形成され，雪解けの進行に伴って雪の表層に現れると推測されてきた（Fukuhara et al., 2002; Yamamoto et al., 2006）．しかし，今回行った初冬の水田での観察では，アカシボ様粒子が見られた田面で，緑藻の栄養細胞の大規模な増殖は確認されなかったことから，少なくても今回のアカシボ様粒子の生成に藻類が関わっている可能性は低い．水田には多様な藻類群集が見られるものの，これまでの報告に *Hemitoma* 属の記録はなく，また秋に田面水や田面

土壌で緑藻がブルームを起こすことも知られていない（藤田・中原，1999a，1999b；林ほか，2009a，2009b）．赤褐色の田面プールは，しばしば金属皮膜やコロイド状の鉄化合物が見られたことから，赤褐色粒子の生成には，むしろ，鉄細菌類が直接関わっているか，あるいは鉄細菌類が発生するような環境特性が関係している可能性がある．

今回の調査では，降雪や降雨による田面の増水によって，プール内で赤褐色物質はいったん見られなくなり，アカシボ様粒子も確認できなくなったものの，4日後にはふたたび確認されている．これは，赤褐色の粒子が短期間で生成される可能性を示唆する点で興味深い．水田の赤褐色粒子と融雪期に発生するアカシボ粒子との関係はいまだ不明なものの，水田を対象とした研究は，アカシボ発生のメカニズムを解明する一助になると思われる．

謝辞

尾瀬ヶ原のアカシボ粒子を提供していただいた，いであ株式会社の鳥居高明さんと，アカシボ現象について，共同研究を通じてたくさんの議論をしている新潟大学の福原晴夫氏をはじめとする尾瀬アカシボ研究グループに感謝いたします．

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（2012）尾瀬地域におけるアカシボの発達過程．低温科学，**70**，37–47．

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，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．

藤田裕子，中原紘之（1999a）水田の田面水と土壌における藻類群集の季節変化．陸水学雑誌，**60**，67–76．

藤田裕子・中原紘之（1999b）農法の違いが水田土壌中の藻類群集に及ぼす影響．陸水学雑誌，**60**，77–86．

林紀男，稲森康平，岩渕成紀（2009a）冬期湛水が水田の原生生物現存量に及ぼす影響．日本水処理生物学会誌，**45**，143–152．

林紀男，岡野邦宏，稲森隆平（2009b）水田生態系に出現する原生生物．千葉県立中央博物館自然史研究報告，**10**，57–70．

林紀男，大内匠，宮田直幸（2009c）水田生態系に出現するワムシ類・ミジンコ類．千葉県立中央博物館自然史研究報告，**10**，71–79．

Kojima, H., H. Fukuhara and M, Fukui (2009). Community structure of microorganisms assocated with reddish-brown iron-rich snow. *Syst. Appl. Microbiol.* **32**, 429–437.

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．

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，落合正宏，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 caused by iron accumulating algal cells. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, **29**, 1947–1950.