

苗場山麓の積雪上で活動する雪氷生物の生態および環境との関係の解明

千葉大学大学院理学研究科
渡邊 茜, 岡本 智夏, 竹内 望

研究の背景と目的

世界各地の積雪域では、低温環境に適応し、積雪上で活動する雪氷生物が見られる。例えば、雪面を赤や緑に色づける雪氷藻類などの微生物、雪面を活発に歩き回るセッケイカワゲラやトビムシなどの小型無脊椎動物などである。苗場山麓は世界有数の豪雪地帯であり、積雪期間も長く、多くの雪氷生物が生息すると考えられる。しかしながら、苗場山麓において雪氷生物に関する詳細な調査が行われたことはない。雪氷生物は、日本国内でも種や群集構造に地域差が見られることが明らかになっており、苗場山麓の雪氷生物を明らかにすることは、地域の地理的な特徴、各生物の分散過程、また氷期から間氷期に至る各生物の分布域の変化等の理解に重要である。そこで、2016年には苗場山麓ジオパーク学術研究奨励事業助成金の交付を受け、苗場山北西麓の積雪上の7地点で、雪氷生物の調査を初めて行った。その結果、雪氷藻類の大繁殖によって積雪が緑色に色づく“緑雪”現象が2地点で見られることが明らかになり、また藻類の細胞形態から、苗場山麓の藻類種が他地域と異なる可能性が示唆された。さらに、セッケイカワゲラとトビムシが雪上で活動していることが明らかになった。セッケイカワゲラは2地点で、少なくとも3種が見られ、地点によって種構成が異なる可能性が示唆された。以上のように、苗場山麓には多様な雪氷生物群集が存在することが初めて明らかになった。しかし、2016年の調査では雪氷生物が見られた地点数が少なく、地点間の比較が充分でない。そこで本研究は、2016年よりも調査域を広げ、苗場山麓において、雪氷藻類とセッケイカワゲラの空間分布を明らかにし、地点間での種構成や生態の違いと、周辺環境との関係を理解することを目的とした。

調査地

雪氷生物の調査は、2017年5月13日-15日に、W1-W8, E1-E7の15地点の残雪上で行った(図1-3)。W1-W8は苗場山の西側山麓、E1-E7は東側山麓に位置する。W1, W2は国道405号線沿い、W3-W8はのよさの里から小赤沢3合目登山口への道路沿い、E1はかぐらスキー場付近の道路沿い、E2-E7は赤湯林道沿いの残雪である。

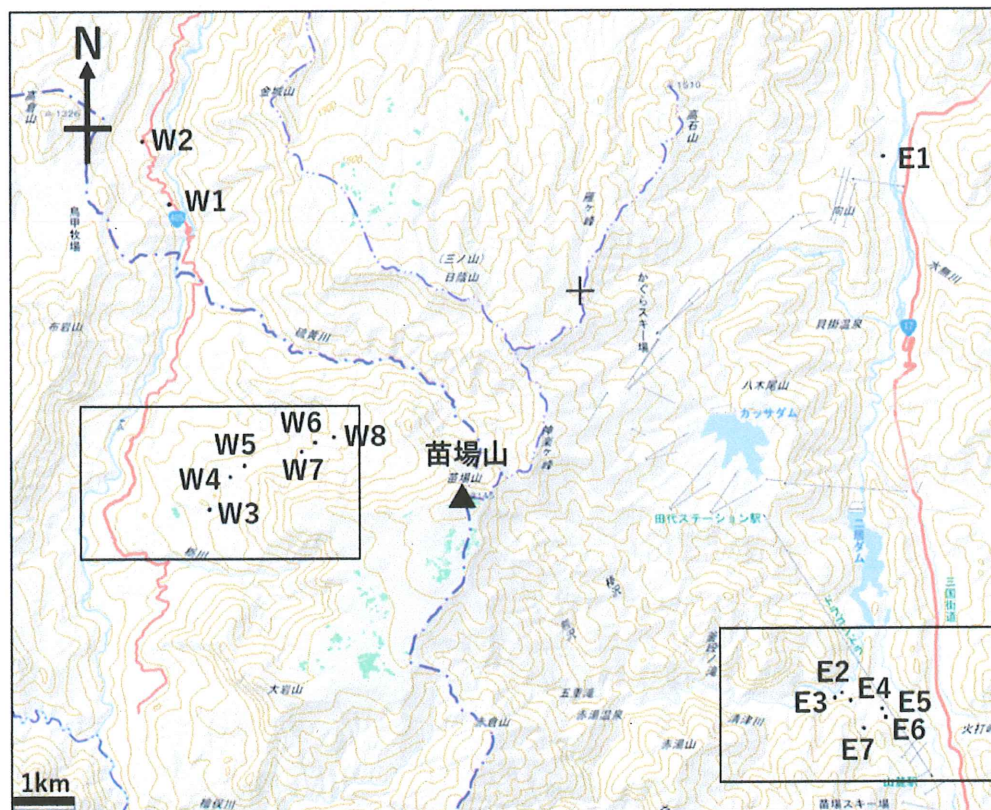


図1. 苗場山麓周辺の地図. 調査地点(W1-W8, E1-E7)を示した.
地理院地図(電子国土Web)を利用して作成した.

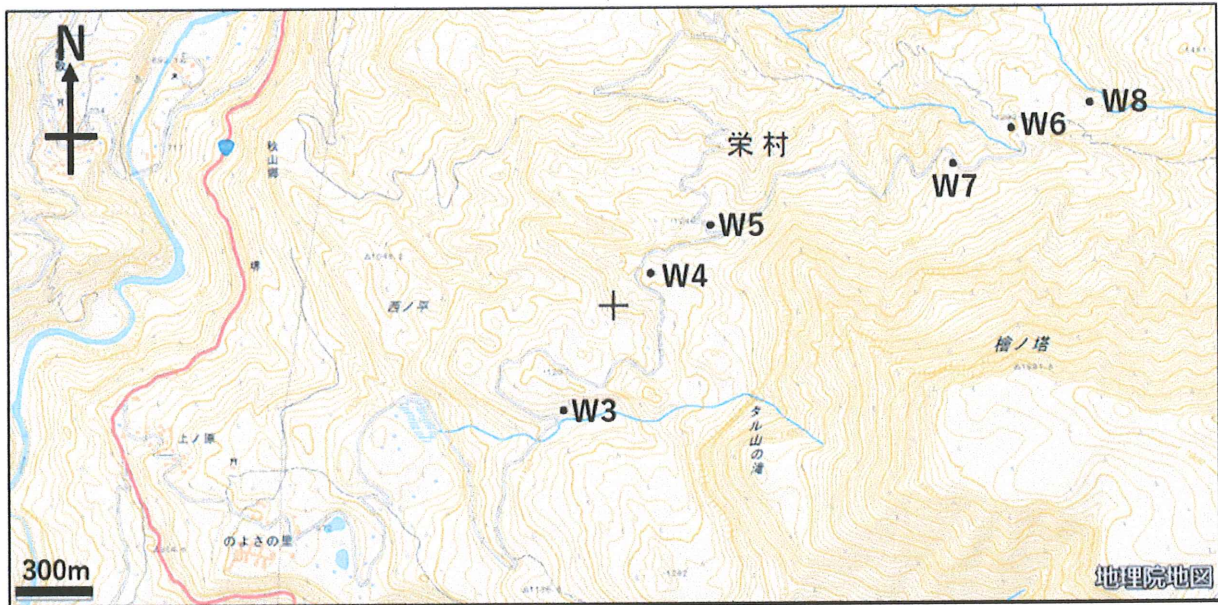


図2. 苗場山西側山麓の調査地点(W3-W8)の拡大地図.
地理院地図(電子国土Web)を利用して作成した.

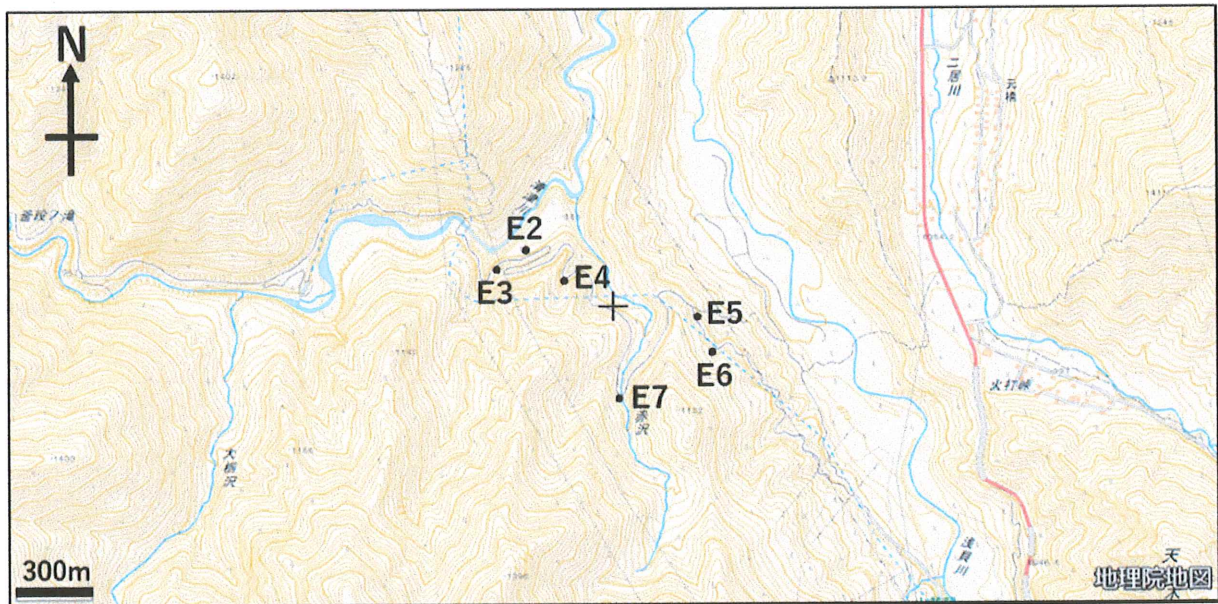


図3. 苗場山東側山麓の調査地点(E2-E7)の拡大地図.
地理院地図(電子国土Web)を利用して作成した.

苗場山麓で見られる雪氷藻類の研究

調査地点のうち、W1-W7, E1-E3, E6の計11地点で雪氷藻類の調査を行った。各地点で積雪サンプルを採取し、実験室で光学顕微鏡観察を行った。

各調査地点の概要と、彩雪と雪氷藻類細胞の有無を示したものが表1である。11地点のうち7地点で、雪氷藻類の大繁殖によって色づいた雪、彩雪が見られた。そのうち、緑雪が5地点(W2,W3,W5,E1,E2)、オレンジ雪が1地点(W7)、赤雪が1地点(E6)であった。各地点の残雪の様子と、観察された雪氷藻類の詳細を、4-8ページに示した。

表1. 雪氷藻類の調査地点の標高、積雪深、植生、彩雪の有無、藻類細胞の有無。

地点名	標高 (m)	積雪深 (cm)	植生	彩雪の有無	藻類細胞の有無
W1	670	~50	サワグルミ	なし	あり
W2	705	~45	スギ	緑雪	あり
W3	1160	~40	スギ	緑雪	あり
W4	1235	~30	ブナ	なし	なし
W5	1250	~50	スギ	緑雪	あり
W6	1300	~50	ブナ疎林	なし	あり
W7	1310	~40	落葉広葉樹	オレンジ雪	あり
E1	640	~40	スギ	緑雪	あり
E2	900	~10	スギ	緑雪	あり
E3	905	~200	落葉広葉樹	なし	なし
E6	960	~5	落葉広葉樹 ササ	赤雪	あり

まとめ

- ✓ 野外調査の結果、融雪期の苗場山麓では、雪氷藻類の大繁殖による彩雪が多くの地点で見られ、その色は緑雪、オレンジ雪、赤雪と多様であることがわかった。
- ✓ 積雪サンプルの光学顕微鏡観察を行った結果、各地点の積雪に含まれる雪氷藻類細胞は色、形態が異なることが明らかになった。
- ✓ 各地点の積雪深と、観察された藻類細胞の色、形態には関係が見られなかった。
- ✓ 緑雪は、スギ林で多く見られる傾向があった。しかし、同じスギ林の緑雪でも、含まれる藻類細胞の形態は地点によって異なっていた。
- ✓ オレンジ雪、赤雪は、比較的標高の高い地点に現れていたことが明らかになった。
- ✓ 苗場山麓は、積雪が長期間存在し、また植生が多様であるために、様々な種類の雪氷藻類が生息する貴重な地域であることが示された。

(1)W1の残雪

彩雪は見られなかったが、積雪サンプルには雪氷藻類の細胞がわずかに含まれていた。含まれていたのは主に、厚い細胞外被に覆われ、緑色とオレンジ色の色素を含む、長径30 μm 程度の楕円形細胞(図4. 左下)と、長径40 μm 程度の楕円形細胞(右下)である。どちらの細胞も、長軸両端に突起が見られる。

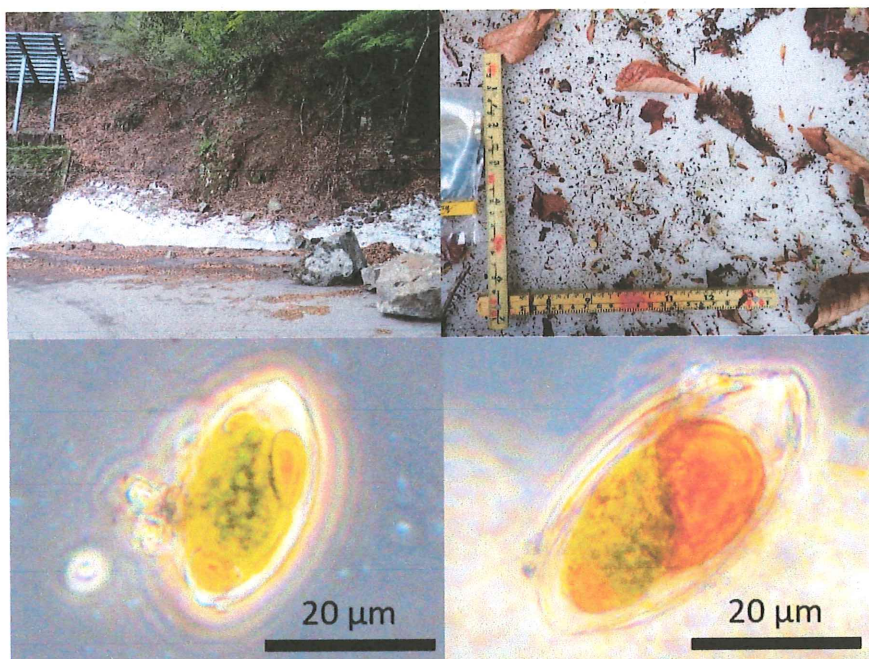


図4. W1の調査地と積雪表面の様子, および観察された藻類細胞

(2)W2の残雪

緑雪が見られた。積雪サンプルに含まれていた藻類は主に、厚い細胞外被に覆われ、緑色の色素で満たされた、長径20 μm 程度の楕円形細胞(図5. 左下)と、厚い細胞外被を持たない、長径10 μm 程度の楕円形細胞(右下)である。

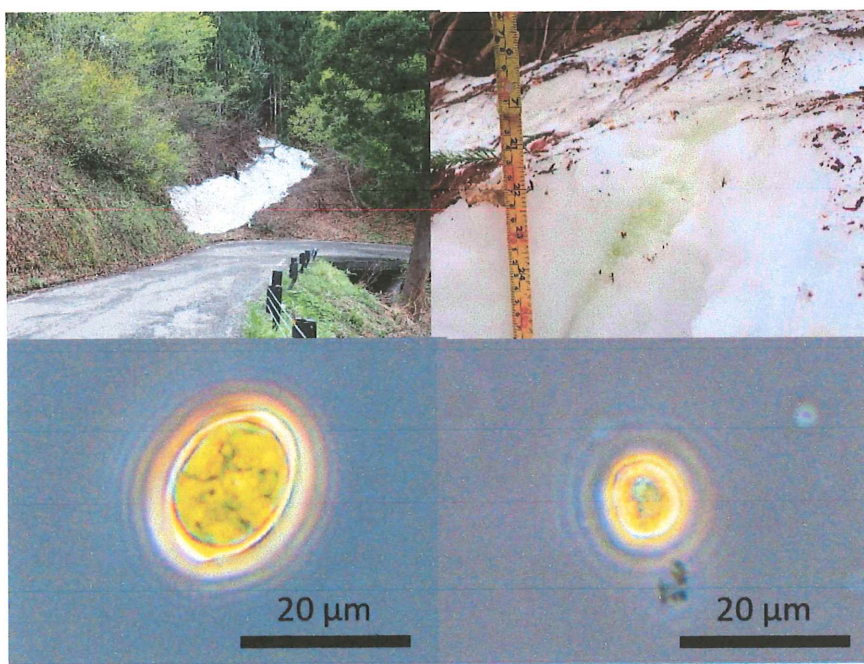


図5. W2の調査地と緑雪, および観察された藻類細胞

(3) W3の残雪

緑雪が見られた。積雪サンプルに含まれていた藻類は主に、厚い細胞外被に覆われ、緑色と黄色の色素を含む、長径30 μm 程度の楕円形細胞(図6. 左下)と、長径20 μm 程度の楕円形細胞(右下)である。どちらの細胞も、長軸両端に突起が見られる。

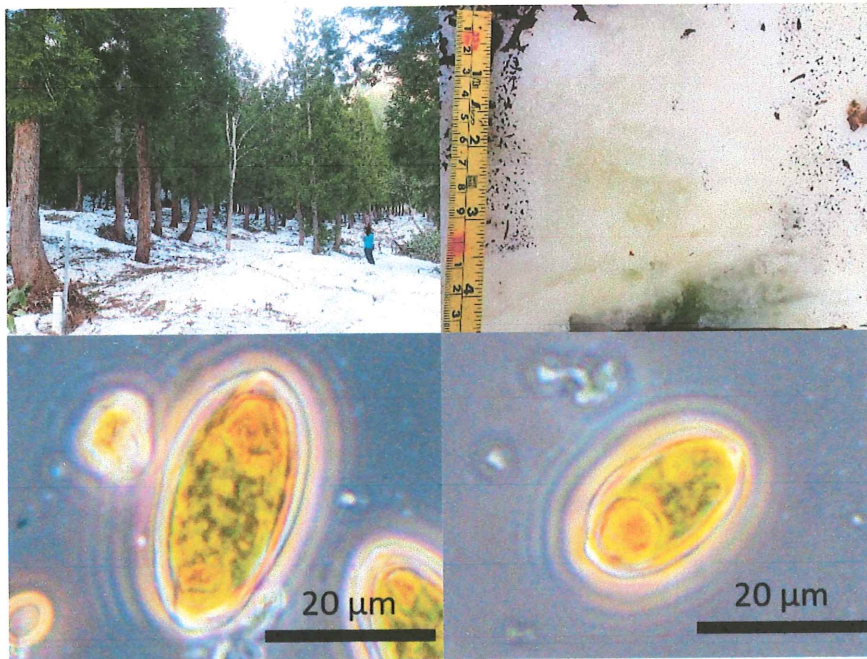


図6. W3の調査地と緑雪, および観察された藻類細胞

(4) W4の残雪

彩雪は見られなかった。積雪サンプル中にも、藻類細胞は観察されなかった。



図7. W4の調査地と積雪表面の様子

(5) W5の残雪

緑雪が見られた。積雪サンプルに含まれていた藻類は主に、緑色の色素で満たされた長径15–20 μm 程度の楕円形細胞(図8。左下)である。まれに、分裂中の細胞(右下)も見られた。

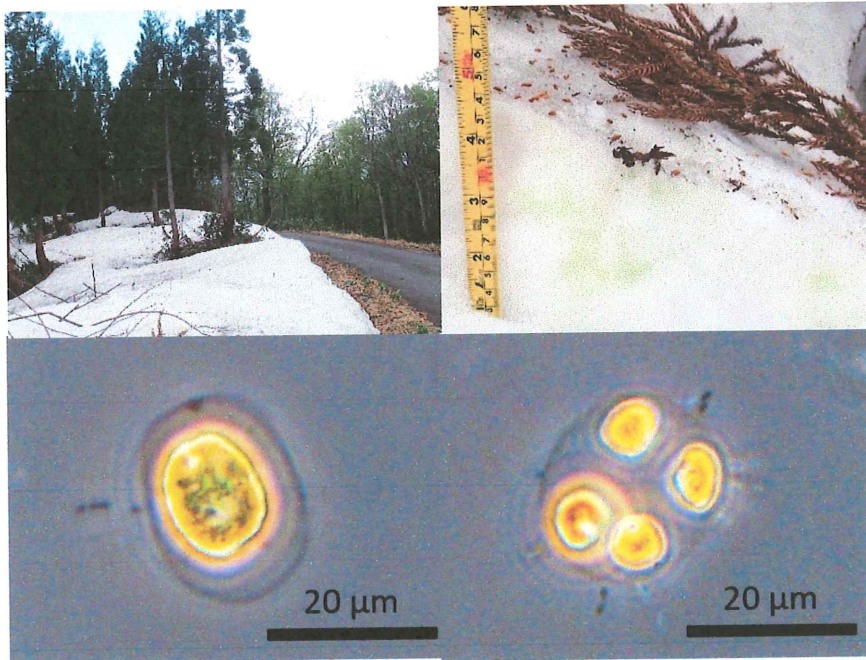


図8. W5の調査地と緑雪, および観察された藻類細胞

(6) W6の残雪

彩雪は見られなかったが、積雪サンプル中には藻類細胞が含まれていた。含まれていたのは主に、緑色とオレンジ色の色素を含む、長径40 μm 程度の楕円形細胞(図9。右上), 長径30 μm 程度の楕円形細胞(左下), 長径25 μm 程度の楕円形細胞(中央下), および緑色の色素で満たされた長径20 μm 程度の楕円形細胞(右下)である。どの細胞も、厚い細胞外被に覆われていた。

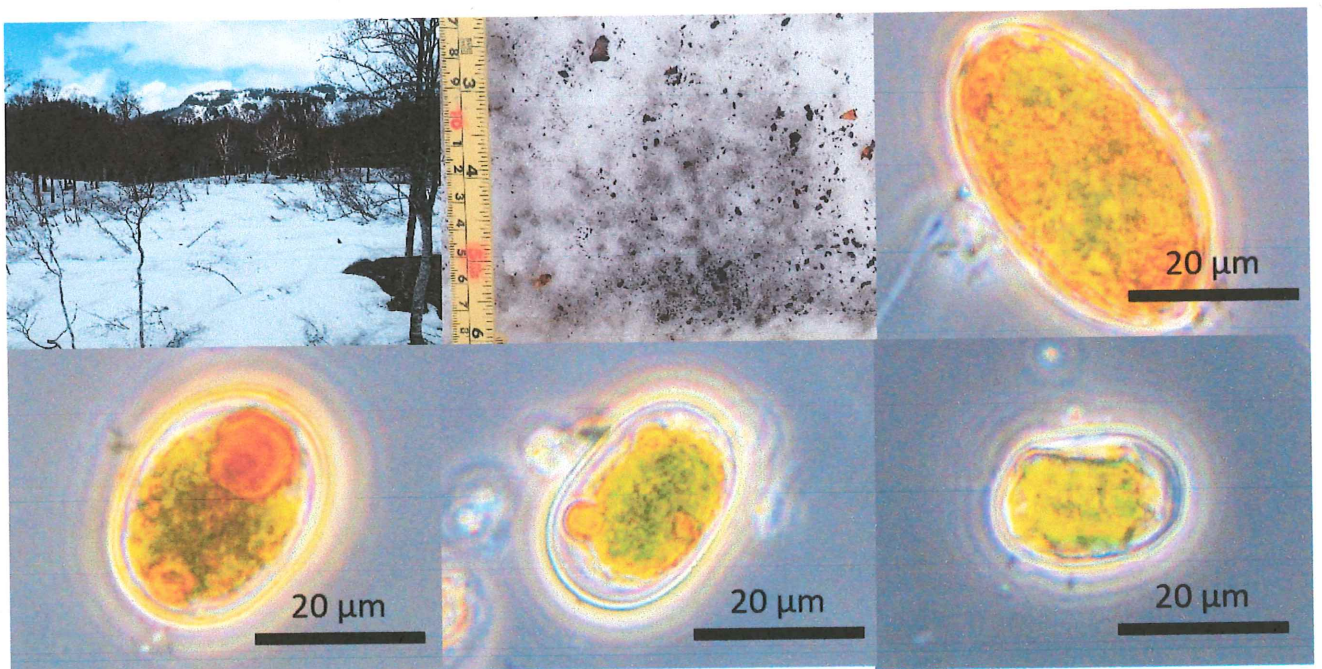


図9. W6の調査地と積雪表面の様子, および観察された藻類細胞

(7)W7の残雪

オレンジ雪が見られた。積雪サンプルに含まれていた藻類は主に、オレンジ色の色素で満たされ、厚い細胞外被で覆われた、長径20 μm 程度の楕円形細胞(図10. 右)である。



図10. W7のオレンジ雪と、観察された藻類細胞

(8)E1の残雪

緑雪が見られた。積雪サンプルに含まれていた藻類は主に、緑色の色素で満たされた、長径10 μm 程度の楕円形細胞(図11, 右)である。



図11. E1の調査地と緑雪、および観察された藻類細胞

(9)E2の残雪

緑雪が見られた。積雪サンプルに含まれていた藻類は主に、緑色の色素で満たされた、長径15 μm 程度の楕円形細胞(図12. 右)である。



図12. E2の調査地と緑雪、および観察された藻類細胞

(10) E3の残雪

彩雪は見られなかった。積雪サンプル中にも、藻類細胞は観察されなかった。



図12. E3の残雪

(11) E6の残雪

赤雪が見られた。積雪サンプルに含まれていた藻類は主に、オレンジ色の色素で満たされた、長径30 μ m程度の楕円形細胞(図13. 中左), 直径20 μ m程度の球形細胞(中右)である。まれに、緑色の色素で満たされた、直径15 μ m程度の球形細胞(左下), 赤い色素で満たされた、直径20 μ m程度の球形細胞(右下)も見られた。どの細胞も、厚い細胞外被に覆われていた。

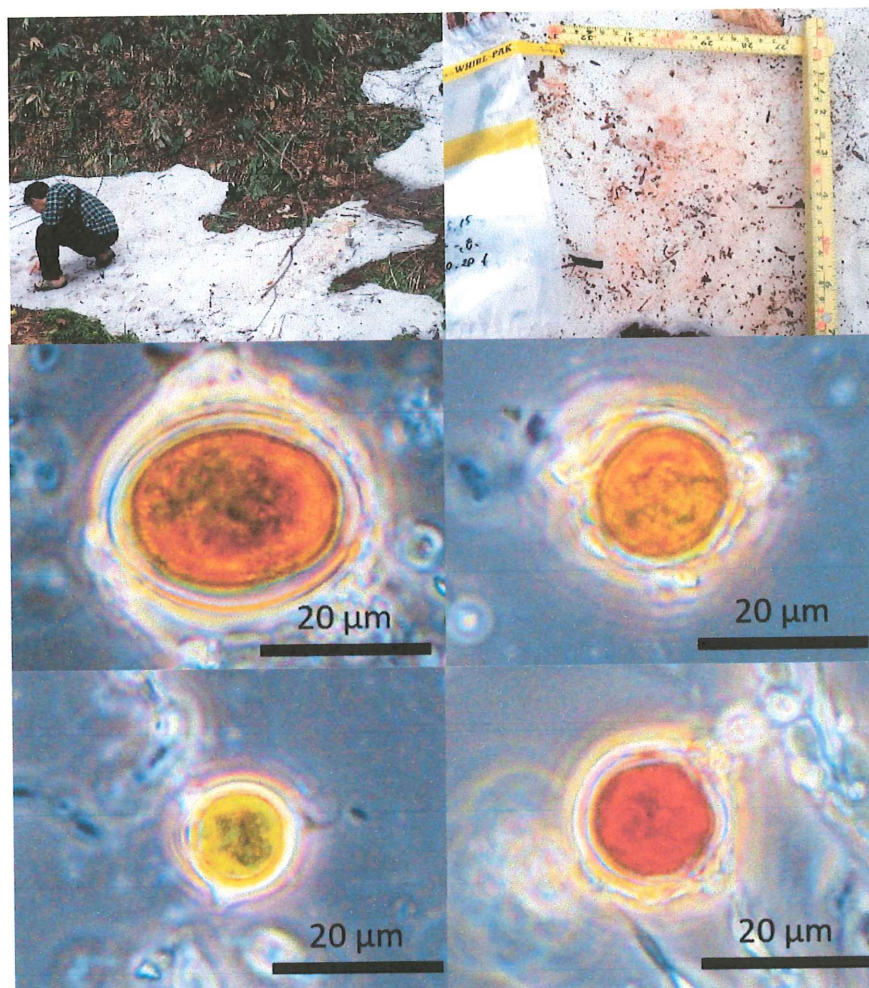


図13. E6の調査地と赤雪, および観察された藻類細胞

苗場山麓で見られるセッケイカワゲラの研究

2017年度のセッケイカワゲラ調査は、2016年度に調査した苗場山麓の西（長野県）側に加えて、東（新潟県）側でも行なった。調査を行なった15地点のうちの5地点、西側の標高1318mの溪流沿い（W8）と、1300mの溪流沿い（W6：図14）、東側の991mの溪流沿い（E7：図15）と、953mの道路脇（E5）、944mの溪流沿い（E4：図16）で、セッケイカワゲラが確認できた。採取したセッケイカワゲラを、形態的特徴を用いて種分類した後、苗場山と他地域のセッケイカワゲラについて、ミトコンドリアCOI遺伝子のDNAを解析し、種構成や類縁関係について考察した。

（1）形態的特徴を用いたセッケイカワゲラの種分類

苗場山西側の溪流沿いの積雪上では、W8で9個体、W6で14個体のセッケイカワゲラを採取し、東側では、E7で39個体、E5で1個体、E4で1個体を採取した。積雪上で採取したセッケイカワゲラを、交尾器の形態的特徴を用いて種を分類した結果、西側のW8では、9個体の *Apteroperla tikumana* の1種が、W6では、5個体の *Eocapnia shigensis*、9個体の *Apteroperla* sp. (A6)（図7）の2種が含まれていたことがわかった。また、東側で採取したセッケイカワゲラも同様に種分類した結果、E7では、39個体の *Apteroperla tikumana*（図17）の1種が、E4では、1個体の *Eocapnia nivalis*（図17）の1種が含まれていたことがわかった。この結果は、苗場山麓に生息するセッケイカワゲラは、西側と東側で、また同じ側でも標高によって、種構成が異なることを示している。

（2）DNA解析結果を用いた、苗場山麓に生息するセッケイカワゲラの種構成

苗場山で採取したセッケイカワゲラ3個体、*Apteroperla* sp. (A6)、*Apteroperla tikumana*、*Eocapnia nivalis* のDNA解析を行なった。その結果、形態的特徴が似ている同属の *Apteroperla* sp. (A6) と *Apteroperla tikumana* は、DNAを用いた種分類においても、別種であることが示された。形態的特徴が似ている2種が交雑せず、種を維持しているということは、この2種の生態が異なるために、交雑する機会が起こらなかった可能性がある。苗場山の西側においても東側においても、*Apteroperla tikumana* は、より標高の高い地点に生息していたことから、セッケイカワゲラの他の種に比べて、より寒冷な環境を好み、棲み分けをしている可能性がある。このことから、苗場山麓で場所ごとにセッケイカワゲラの種構成が異なるのは、種ごとに最適環境や、環境に対する耐性が異なるために、苗場山の周辺環境や、標高、水域の違いによって、それぞれの場所に適した種が優占的に生息しているからだと考えられる。

（3）DNA解析結果を用いた、苗場山麓と他地域のセッケイカワゲラの類縁関係

苗場山で採取したセッケイカワゲラ3個体に加えて、日本の他地域で採取した60個体のDNA解析を行ない、系統樹を作成し、類縁関係を調べた。その結果、苗場山の西側のW6で採取した *Apteroperla* sp. (A6)は、飛騨山脈周辺で採取された個体と同種であることがわかった。東側のE7で採取した *Apteroperla tikumana* は、近隣の湯沢町で採取した個体と同種であり、他の *Apteroperla* 属の種とは、遺伝的に大きく種分化しており、遠縁であることがわかった。同じく西側のE4で採取した *Eocapnia nivalis* は、長野県の斑尾高原で採取された個体と同種であり、東北（山形県、秋田県、福島県）の個体と種は異なるが、比較的近縁であることがわかった。

まとめ

- ✓ 形態的特徴を用いてセッケイカワゲラを種分類した結果、苗場山の西側と東側で、また同じ側でも標高によって、種構成が異なることが示された。
- ✓ DNA解析をした結果、苗場山で場所ごとにセッケイカワゲラの種構成が異なるのは、苗場山の周辺環境や、標高、水域の違いによって、各場所に適した種が優占的に生息しているためだと考えられた。
- ✓ DNA解析をした結果、苗場山で採取された個体は、近隣の他地域において同種が存在することがわかった。
- ✓ 以上のことから、苗場山麓は、標高が高く、複数の溪流が流れ、植生も豊かであるために、場所ごとに異なる環境が形成され、複数種のセッケイカワゲラが生息できる、重要な生息地になっていることが示された。



図14. 苗場山小赤沢三合目登山口前の道路を横断する溪流(W6)



図15. 溪流(E7)

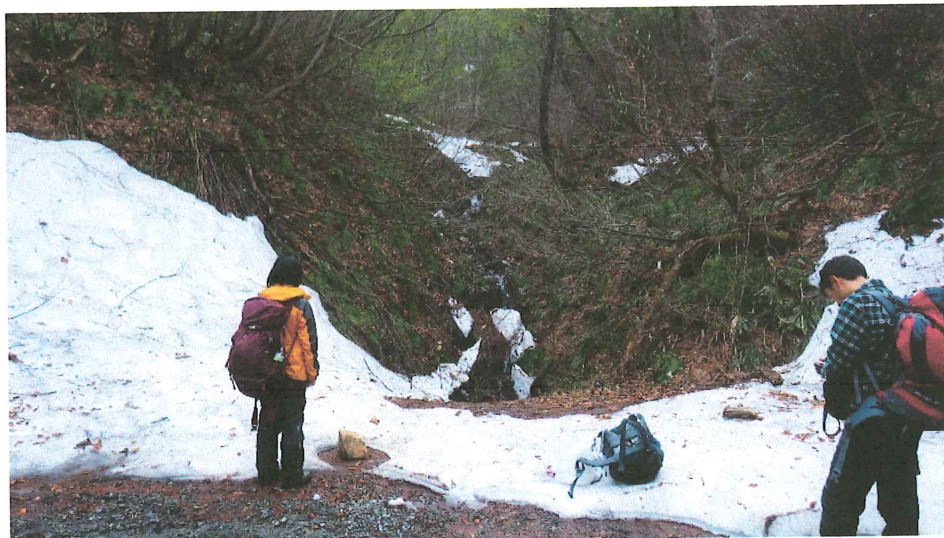
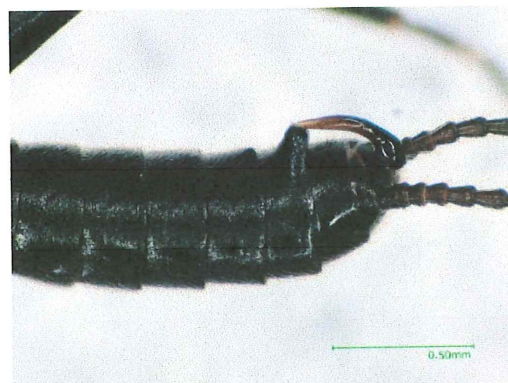
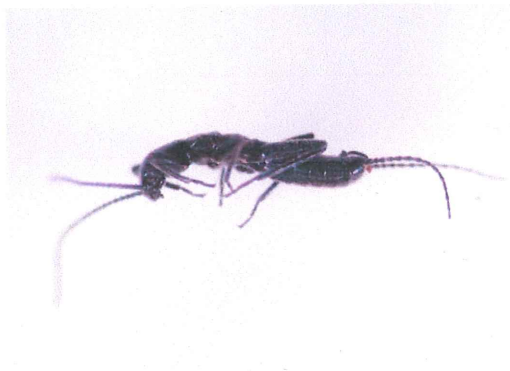


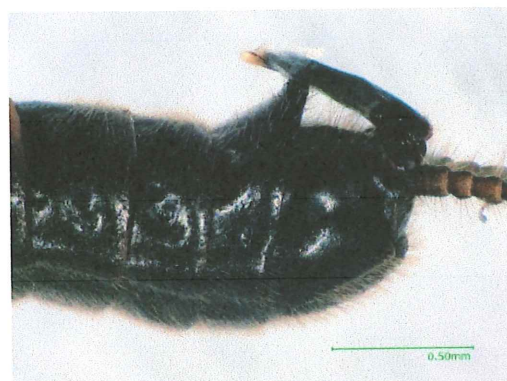
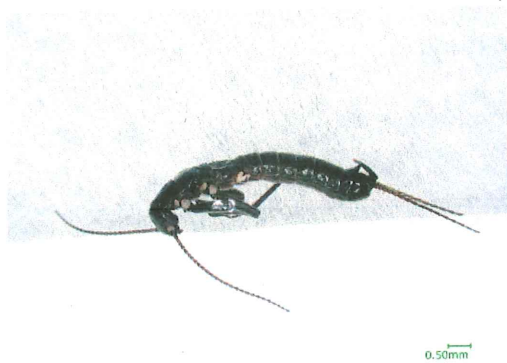
図16. 溪流(E4)



***Apteropelra* sp. (A6)**



Apteroperla tikumana



Eocapnia nivalis



Eocapnia shigensis

図17. 苗場山麓で採取したセツケイカワゲラ♂とその交尾器