

ヒルガタワムシ

— 極限環境にも生きる小さな動物たち —

Bdelloid rotifers — Microscopic Survivors of Extreme Environments —

横浜国立大学 環境情報研究院 水域生態学研究室 和田 智竹 (Wada, Tomotake)

ヒルガタワムシとは

ヒルガタワムシ (図1) は、一般にワムシ類と呼ばれる輪形動物門 (Rotifera) に属する微小動物です。輪形動物という名前の通り、ワムシは漢字で輪虫と表されます。これは、頭部にある繊毛が回転し、その様子が小さな車輪のように見えることに由来しています。この繊毛を回転させることで、餌を集めたり泳いだりしています。一般的によく知られているワムシ類は、体長が0.1~1 mmほどで、主に淡水や汽水に生息する動物プランクトンです。中でもシオミズツボワムシ (*Brachionus plicatilis*) は、養殖魚の仔稚魚の餌として広く利用されており、水産分野では非常に重要な生物として知られています。

ワムシ門は、Monogononta 綱、Bdelloidea 綱、Seisonidea 綱に分類されます。このうち、シオミズツボワムシは、Monogononta 綱に属しますが、本稿で紹介するヒルガタワムシは、ヒルガタワムシ綱 (Bdelloidea) に属しています。そして、Bdelloidea 綱に属する生物群がヒルガタワムシと呼ばれています。ヒルガタワムシは、一般的によく知られているシオミズツボワムシなどの浮遊性のワムシ類とは異なり、水中を漂うというよりも、底生性に近い生活を送っています。頭部の輪盤を回転させて泳ぐこともできますが、体を自由に伸縮させることができ、体を前方へ伸ばして基質に固定し、その後体を縮めて後方を引き寄せるといった独特な動きを繰り返しながら移動し

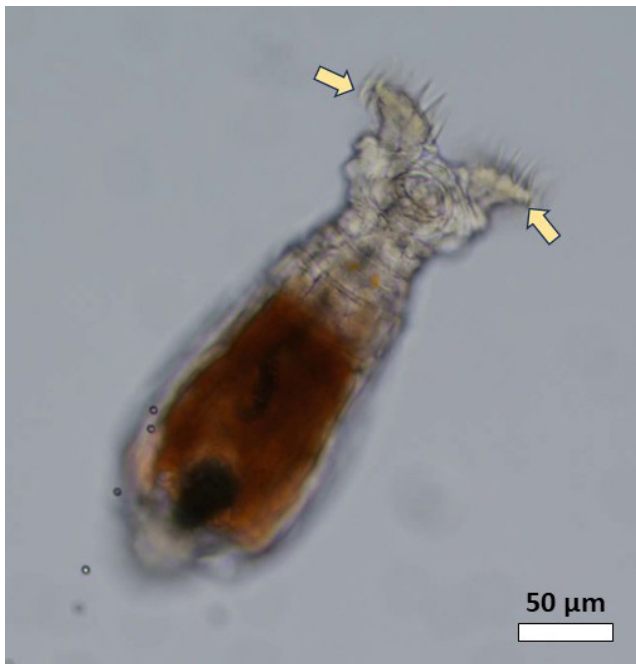


図1 ヒルガタワムシ。写真の個体は *Philodina gregaria*。黄色の矢印で示したものが輪盤。これを回転させて水流を起こし餌を食べる。輪盤に付いている棘のようなものが繊毛。

ます。この動きがヒルに似ていることから、ヒルガタワムシという名前が付けられました。

ヒルガタワムシは、極域から熱帯まで世界中に広く分布しており、これまでに約450種が知られています。主に淡水環境に生息していますが、水中だけでなく土壌やコケの間隙水中などにも生息しています。また、ヒルガタワムシは他のワムシ類と同様に、頭部にある輪盤と呼ばれる繊毛の生えた器官を回転させることで水流を発生させて、水中の藻類や菌類、有機物微粒子などを濾過捕食しています。ヒルガタワムシは一般にあまり知られていない生物ですが、実は私たちの身近な場所でも重要な役割を果たしています。例えば、浄水処理施設や活性汚泥中では、細菌や有機物粒子を摂食することで水質浄化に関与していることが知られています (須藤ほか, 2016)。このように、ヒルガタワムシは目に見えないほど小さな生物でありながら、私たちの知らないところで活躍している生物です。このような特徴を持つヒルガタワムシですが、さらに特筆すべき2つの特徴を持っています。

ヒルガタワムシの特徴その1 — 数千万年にわたるメスのみでの生殖 —

1つ目の特徴は、メスのみで増えるという点です。通常、多くの生物ではオスとメスによる有性生殖が行われています。有性生殖では遺伝子が組変わることで多様性が生まれ、環境変化や病気などに適応しやすくなると考えられています。一方、無性生殖を行う生物も数多く知られていますが、特にヒルガタワムシは数千万年にわたってメスのみで生殖を続けてきた可能性が示唆されています (Welch & Meselson, 2000)。このことは、有性生殖なしでは長期的に絶滅するはずだという従来の進化学の考え方に反しており、進化生物学のスクランダルとも呼ばれてきました (Maynard Smith, 1986)。近年の研究では、ヒルガタワムシは外来遺伝子を取り込む可能性なども指摘されており、一般的な動物とは異なる方法で遺伝的多様性を維持している可能性があります。このような特殊な生殖様式は、進化や遺伝子維持の仕組みを理解する上で重要な研究対象となっており、現在でも世界中で研究が進められています。

ヒルガタワムシの特徴その2 — クマムシと同じ最強生物? —

ヒルガタワムシのもう一つの大きな特徴は、極めて高い乾燥耐性を持つことです (Ricci, 1998)。あらゆる環境下でも耐えることができることから、地球上最強の生物としてクマムシが一躍有名となりました。クマムシがこのような高い環境耐性を持つ理由の一つが、乾眠能力を持つことです。乾眠 (anhydrobiosis) とは、体内の水分をほとんど失った状態で休眠し、水分が供給されると再び活動を再開する能力のことを指します。クマムシは、緩歩動物門に属する生物であり、分類学的にはヒルガタワムシとは大きく異なる生物群です。しかし、

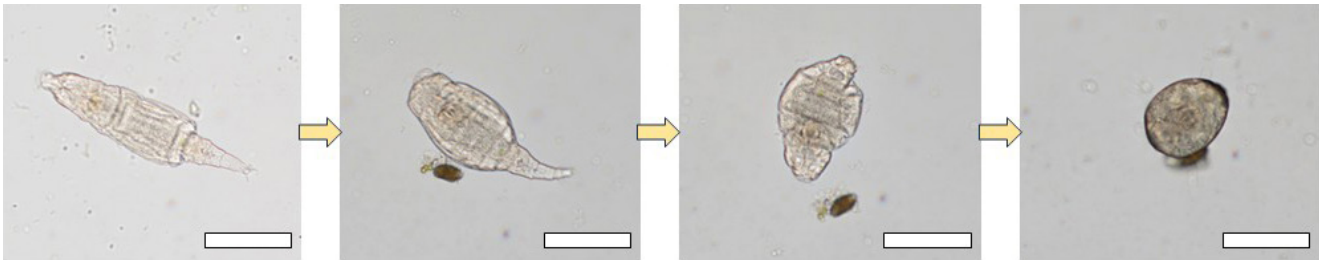


図2 ヒルガタワムシが体を収縮させながら乾眠状態になるまでの様子。右写真の球状が乾眠状態。スケールバーの大きさは50 μm 。



図3 南極の景観写真。左上の写真中央に写っているのが昭和基地。右上写真は、氷床が後退して露出した陸地。露岩域と呼ばれ、このような場所に降り立って調査をする。左下の写真が露岩域の景観写真。南極砂漠と呼ばれるように赤茶色の景観が広がり、湿地の他に湖が点在する。右下がキャンプ生活の様子。

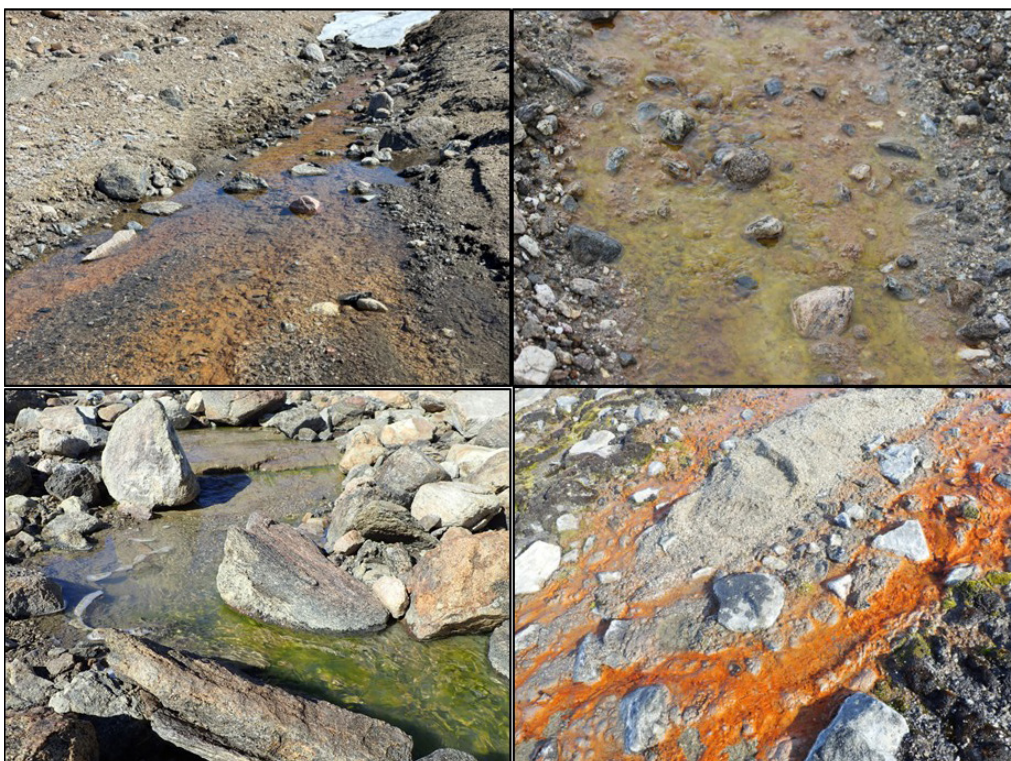


図4 雪解け水が供給され、藻類やバクテリアの増殖で緑やオレンジに染まる湿地。

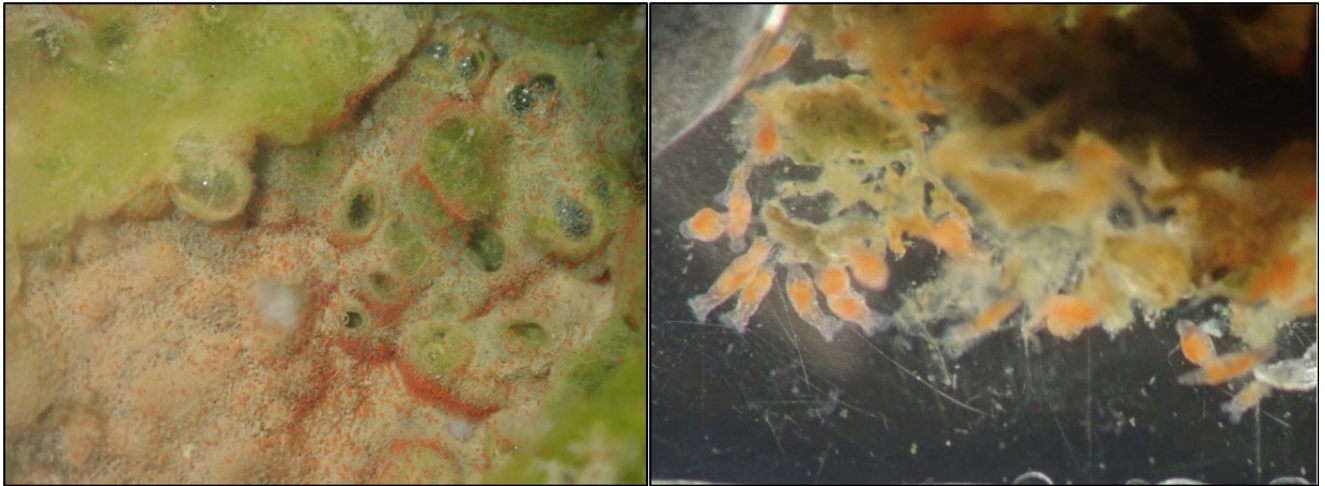


図5 左写真が目視でもわかるヒルガタワムシの大発生。赤い部分全てがヒルガタワムシ。右写真は、赤く染まったところを顕微鏡で観察した様子。

ヒルガタワムシもクマムシと同じく乾眠能力を有することが分かっており、また線形動物のセンチュウも乾眠する生物として知られています。周囲の環境が乾燥すると、ヒルガタワムシは自らの体を縮めて乾眠状態に入ります（図2）。乾眠状態では代謝活動がほとんど停止し、水分をほぼ完全に失った状態でも生存できます。そして再び水を得ると、早い場合には数分から数時間で活動を再開します。この能力によって、ヒルガタワムシは過酷な環境にも適応することができます。乾燥だけでなく、低温、高温、放射線、紫外線などにも強い耐性を示すことも知られており、南極大陸などの乾燥地帯や北極の氷河上など、一見すると生物が生息できないような場所でもヒルガタワムシが見つかっています。このようにヒルガタワムシは、クマムシほど有名でないものの、極限環境への耐性を有するもう一つの最強生物ともいえる存在なのです。

南極でのフィールドワーク —ヒルガタワムシの大発生を求めて—

南極大陸の生物といえばペンギンを思い浮かべる人が多いと思います。しかし、実は南極観測が本格化する前の南極探検の時代から、ヒルガタワムシは南極に生息する生物の一つとして知られていました。さらに驚くことに、通常は肉眼で見ることが難しいヒルガタワムシが、目視できるほど大発生する現象も報告されていました（Murray, 1905）。私は、この大発生現象を調べるため、日本の南極地域観測隊に参加し、南極で調査を行ってきました。南極での調査は、日本の基地である昭和基地から数十 km 離れた地域でキャンプ生活をしながら行います（図3）。南極は、低温・乾燥・強紫外線という非常に過酷な環境です。しかし、夏になると雪解け水によって一時的な湿地が形成されます。このような湿地では藻類や細菌が増殖するとともに、ヒルガタワムシもそこに生息しています（図4）。湿地を歩き回って調査を続けた結果、実際に目視できるほど大発生したヒルガタワムシの集団を発見することができました（図5）。また、ヒルガタワムシは、昭和基地周辺でも最も優占する生物群の一つであることも分かりました（Wada et al., 2023）。このような大発生は、限られた生物しか生息できない南極生態系の中で、ヒルガタワムシが重要な役割を果たしている可能性を示しています。現在は、南極に生息するヒルガタワムシの分類と生態について研究を進めています。

さらに近年では、ヒルガタワムシが残雪期の雪上や温泉にも生息していることが分かってきました。実際に、日本各地の雪山や温泉でも調査を行い、すでに多数のヒルガタワムシの採集



図6 色々なヒルガタワムシ。左上写真と右上写真が南極で採取したそれぞれ *Philodina gregaria* と *Adineta grandis*。どちらも南極固有種。*A. grandis* は輪盤がない。左下写真は日本の高山帯で採取した *Rotaria* sp. 右下写真が国内の雪山で採取した *Philodina* sp. スケールバーの大きさは上2枚の写真は100 μ m、下2枚の写真は50 μ m。

に成功しています（図6）。現在は、これらのヒルガタワムシについて、形態と遺伝子配列情報を組み合わせた分類学的研究を進めています。また、これまで採集したヒルガタワムシの中には、未記載種と考えられるものも確認されており、新種記載研究も進めています。

おわりに

ヒルガタワムシは、極めて小さな生物でありながら、生殖や乾眠能力の点で非常に興味深い特徴を持つ生物です。しかし、生殖など特異的な特徴に着目した研究が進められている一方、分類や生態に関する基礎的な研究は遅れています。特にヒルガタワムシは、体が非常に小さく、生きた状態でないと分類に必



図7 ヒルガタワムシが生息する場所。左上写真は湯気立ち上る温泉。右上写真は残雪が残るブナ林。赤枠の緑色に染まっている箇所は雪氷藻類が増殖したもので、この中にヒルガタワムシが生息している。下の写真2枚は、道路脇のコケ。このような場所にも、ヒルガタワムシやクマムシなど乾燥に強い生物が数多く生息している。

要な形態学的特徴を十分に観察することが難しいという特徴があります。ヒルガタワムシは体を大きく伸縮させるため、固定標本では分類に必要な形質を正確に捉えることがほとんどできません（図2）。そのため、分類を行う際には、生きた状態の個体を長時間観察し、動画撮影を繰り返しながら分類に必要な形態学的特徴が観察できるまで記録する必要があります。このような研究には多くの時間と労力が必要であり、それがヒルガタワムシ研究の難しさの一つとなっています。現在、この形態形質情報に加え、遺伝子解析で遺伝子配列情報を調べながら、これまで採集したヒルガタワムシの分類を進めています。そして、ヒルガタワムシの分類という基礎的な知見を明らかにしつつ、南極や雪山・温泉など特異的な環境での生態学的役割なども明らかにしていきたいと思っています。

ヒルガタワムシは、ペンギンやクマムシのように有名な生物ではありません。しかし実際には、道路脇のコケの中など、私たちのすぐ身近な場所にも生息しています（図7）。顕微鏡の中を覗くと、そこには私たちの知らない多様な生物の世界が広がっています。実際に、コンクリート上のコケを採取して水に浸してみると、ヒルガタワムシをはじめ、クマムシやセンチュウなど乾燥耐性を持つ微小動物が観察できることがあります。興味を持たれた方は、ぜひ観察してみてください。今後は、まずは日本のヒルガタワムシ相の整理と分類学的知見の集積を進めながら、南極や雪氷、温泉環境といった極限環境におけるヒルガタワムシの生態学的役割について研究を進めていきたいと考えています。

謝辞

ヒルガタワムシに関する研究やフィールドワークを主体とした研究を進めるにあたり、国立極地研究所の工藤栄先生、内田雅己先生には、多くのご指導とご支援を頂きました。心より感

謝申し上げます。また、日本国内にはヒルガタワムシの専門家がいなかったことから、ヒルガタワムシ研究のいろはを教えて頂いたオストラヴァ大学（チェコ共和国）のNatallia Iakovenko博士にも心より感謝申し上げます。私は野外調査を中心として研究を行っていますが、南極観測や雪山調査、各地でのサンプリングは、多くの方の支えによって成り立っています。現在所属している横浜国立大学鏡味研究室の皆様をはじめ、南極観測を支えてくださった海上自衛隊の皆様、観測隊関係者の皆様にも厚く御礼申し上げます。また、本研究の一部は、公益財団法人水産無脊椎動物研究所による2023年度個別研究助成の支援を受けて実施しました。さらに、本稿執筆の機会を与えて頂いたことにも、この場を借りて深く感謝申し上げます。

引用文献

- 須藤隆一、田中伸幸、西村修、吉田恵也（2016）浄化槽の生物：その役割と現場判定（16）浄化槽に出現する輪虫類（1）ヒルガタワムシ目が出現する浄化槽。浄化槽483: 31-42.
- Maynard Smith J. (1986) Contemplating life without sex. *Nature* 324: 300-301.
- Murray J. (1905) Rotifera of the Scottish National Antarctic Expedition. *Trans. R. Soc. Edinburgh* 45: 151-191.
- Ricci C. (1998) Anhydrobiotic capabilities of bdelloid rotifers. *Hydrobiologia* 387/388: 321-326.
- Wada T, Kudoh S, Koyama H, Iakovenko N, Elster J, Kviderová J, Otani M, Shimada S. & Imura S. (2023) Abundance and biomass of Bdelloid rotifers in the microbial mats from East Antarctica: The ecological relations between microscopic phototrophs and invertebrates. *Ecological Research* 38: 317-330.
- Welch D. M. and Meselson M. (2000) Evidence for the evolution of bdelloid rotifers without sexual reproduction. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 97: 6720-6725.