

# 季節的に生態系をつなぐ2つの寄生関係

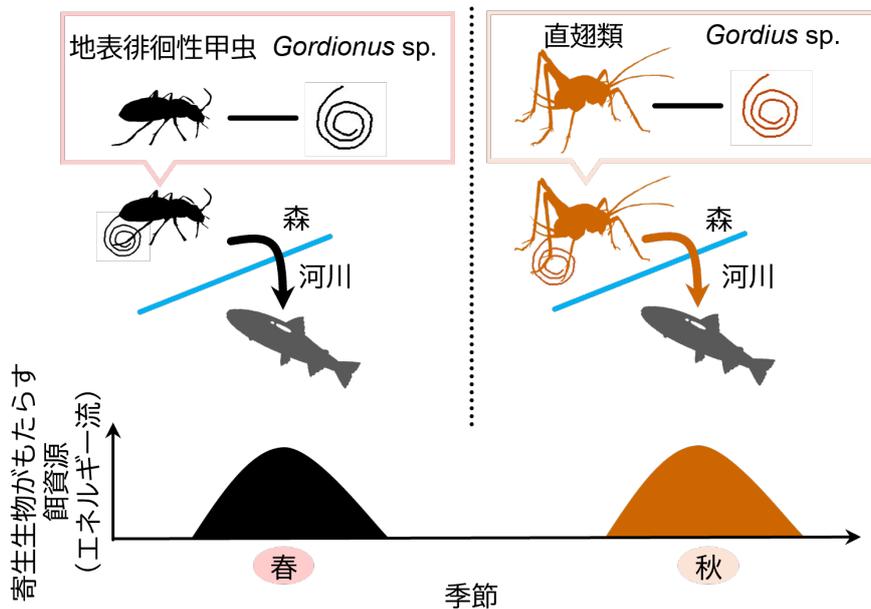
## —2属のハリガネムシが春と秋に宿主操作する—

### 概要

寄生生物はしばしば自らの利益のために、宿主の行動を操作します。この行動操作は、自然界の捕食—被食関係を改変し、結果、大きなエネルギー流を駆動することが知られています。このような寄生者介在型のエネルギー流は、複数の寄生者種と宿主種によって維持されることが明らかになりつつありますが、多様な宿主—寄生者関係が、エネルギー流の季節性をどのように規定するのかは未解明でした。

京都大学大学院理学研究科 朝倉日向子 修士課程学生、京都大学生態学研究センター 佐藤拓哉 准教授、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 岸田治 准教授らの研究グループは、系統の異なるハリガネムシと陸生昆虫宿主の寄生関係が、エネルギー流に複数の季節的経路をもたらすことを示しました。本研究で明らかになった異なる宿主—寄生者関係が同所的に維持されることによる影響は、他の生態系や宿主—寄生者関係においても普遍的に見られると考えられ、寄生生物の役割の正しい理解に、宿主—寄生者関係の多様性を認識する必要があることを示しています。

本成果は、2024年7月17日0時1分（現地時間）に英国の国際学雑誌「Biology letters」にオンライン掲載されました。



**本研究で観察された事象。** 春には *Gordionus* 属のハリガネムシが地表面徘徊性甲虫を操作して、サケ科魚類に餌資源をもたらす一方で、秋には *Gordius* 属のハリガネムシが直翅類を操作してサケ科魚類に餌資源をもたらす。

## 1. 背景

地球上に生息する生物種の約 40%を占めるほどたくさんの生物種が他の生物に寄生しています。このような寄生生物種は、宿主の行動に影響を及ぼしている可能性があり、その顕著な例として、寄生生物が自らの利益（感染率や繁殖成功率の向上）のために、宿主動物の行動を改変（宿主操作）する現象が多く確認されています。寄生生物による宿主操作は、ある生物の遺伝子が別の生物の表現型として発現する「延長された表現型」の好例であり、興味深い現象として注目を集めています。自然生態系では、寄生生物による操作は、宿主の行動を改変することで、捕食―被食関係を強化し、間接的に生態系内や生態系間のエネルギー流を駆動することが近年明らかになってきました。多様な宿主―寄生者関係がエネルギー流を駆動していると考えられますが、その多様性は系統、生活史や宿主特異性など寄生生物の自然史についての研究が乏しいためにほとんど明らかになっていませんでした。しかし、異なる寄生生物種は、異なる宿主種を自らに都合の良い時期に操作するかもしれませんが、その結果、多様な宿主―寄生者関係が存在することは、寄生者介在型のエネルギー流に、複数の季節的経路を生じさせている可能性があります。

ハリガネムシ（類線形虫類）は、終宿主の陸生宿主を操作して、自らが繁殖をする河川へと入水させます。この宿主操作は、結果として、河川のサケ科魚類に大きなエネルギー流をもたらし、間接的に河川内の底生無脊椎動物群集や河川生態系機能にまで影響を及ぼします。近年、我々の研究チームは、北海道中南部の河川周辺では、ハリガネムシが地表徘徊性甲虫と直翅類の両方に感染していることを発見しました（図 1）。興味深いことに、地表徘徊性甲虫は春に、直翅類は秋に操作されているようでした。しかしながら、それぞれの宿主を操作しているのは系統的に異なるハリガネムシなのか、そしてそれぞれの季節において、

ハリガネムシによる宿主操作はエネルギー流の経路を作り出しているのかは未解明でした。

本研究では、(1) 系統的に異なるハリガネムシ種群がそれぞれの宿主種群を操作しているのか、(2) 河川サケ科魚類は実際に春に地表徘徊性甲虫を、秋に直翅類を摂餌しているのか、を調査しました。加えて、(3) サケ科魚類にとってハリガネムシの宿主が量的にどれほど重要そうであるかも調査しました。

## 2. 研究手法・成果

北海道の小糸魚（コイトイ）川・植苗（ウエナイ）川・勇振（ユウブリ）川の 3 河川流域において、2023 年 5 月（春）、7 月（夏）、8～9 月（秋）、11 月（冬）に、サケ科魚類を採捕し、胃内容物を採集しました。得られた胃内容物は、ハリガネムシの宿主候補の昆虫・ハリガネムシ・その他（水生・陸生無脊椎動物や魚など）に分類しました。さらに、宿主候補の昆虫は、形態によって種を同定しました。一方、ハリガネムシについては、形態のみでは系統関係が分からないため、DNA 分析を用いて系統関係を評価しました。

ハリガネムシのミトコンドリア COI 遺伝子の一部（223 bp）を解析した結果、春に採集されたハリガネム

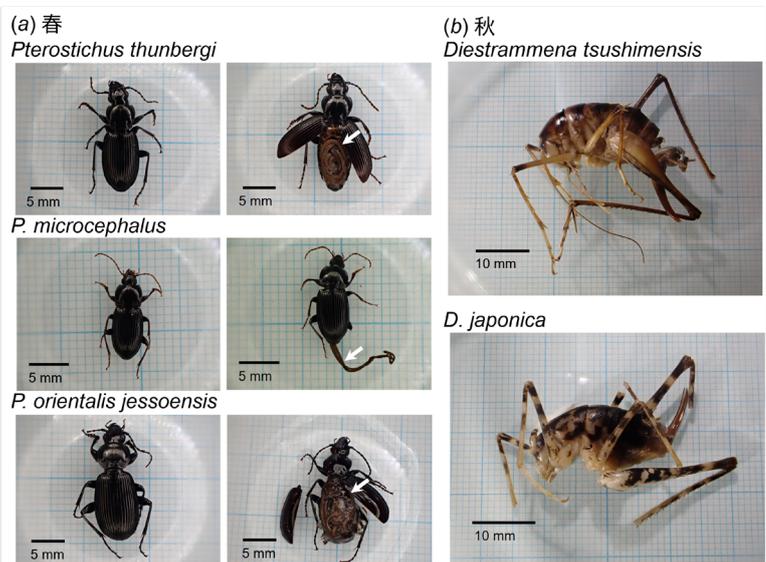


図1. 操作が行われた (a) 春と (b) 秋のハリガネムシの主な宿主. 写真提供：池内健. (a) 右側では、宿主の腹部に存在するハリガネムシを白矢印で示している。

シは *Gordionus* 属に、秋に採集されたハリガネムシは *Gordius* 属に分類されました (図 2b)。このことから、系統的に異なる 2 属のハリガネムシが、春と秋にそれぞれ、地表徘徊性甲虫と直翅類を宿主操作して河川に入水させていると結論しました。

この結果と対応するように、胃内容物を調査した結果、地表徘徊性甲虫は春にサケ科魚類によく食べられており、夏にはほとんど食べられていませんでした (図 2b)。一方、直翅類はほぼ秋にのみ、サケ科魚類に摂餌されていました (図 2b)。

では、地表徘徊性甲虫と直翅類は、それぞれの時期にサケ科魚類への重要な餌資源 (エネルギー流) となっているのでしょうか? 集団平均で比較すると、サケ科魚類総の総摂餌において、宿主は春と秋、それぞれ 5-14% と 8-20% しか寄与していませんでした。しかし、宿主を摂取したサケ科魚類個体の総摂餌量は、河川に関係なく、春と秋の両方で、摂餌しなかった個体よりも有意に高く、平均すると春と秋でそれぞれ 1.1-1.7 倍と 1.8-2.7 倍高くなっていました (図 2c)。

以上の結果より、本研究は、複数の宿主-寄生者関係の存在が、春と秋に 2 回、森と川の生態系をまたいでサケ科魚類にエネルギー流をもたらしていることを示唆しました。

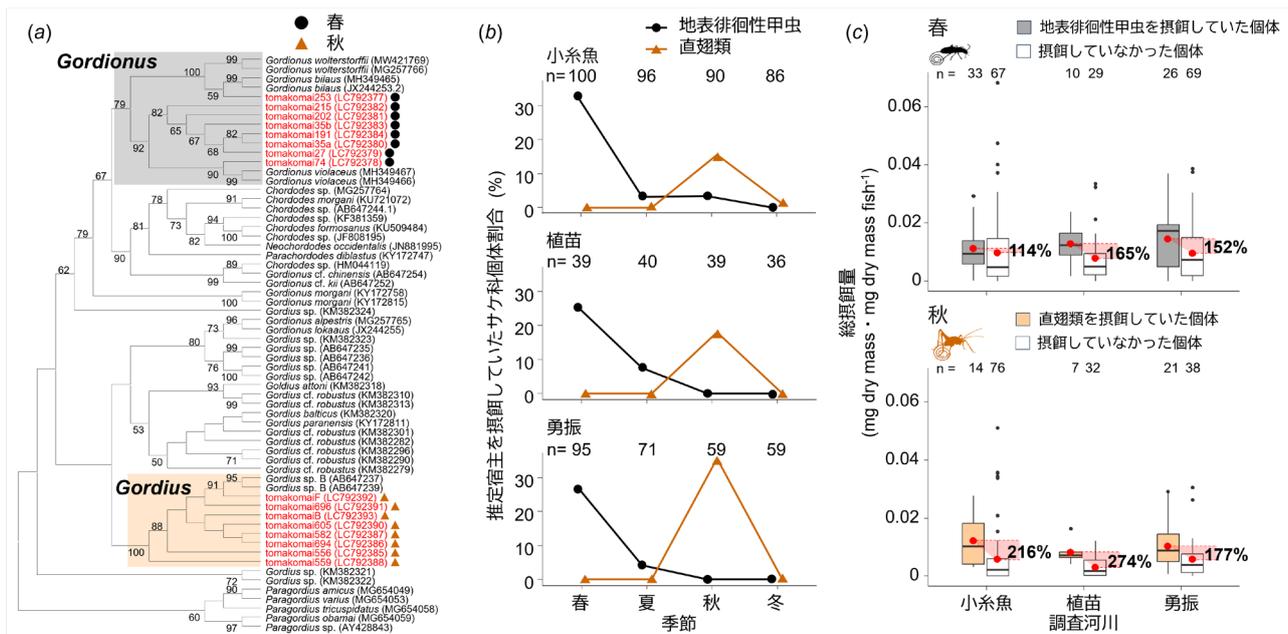


図2. (a) ハリガネムシのCOI遺伝子部分配列 (223 bp) の系統樹. (b) 3つの調査溪流におけるハリガネムシの推定宿主を摂餌したサケ科個体割合の季節変化. (c) 各河川における春と秋の推定宿主を摂餌したサケ科個体と摂餌していなかった個体の総摂餌量の比較.

### 3. 波及効果、今後の予定

寄生生物は自然生態系のいたるところに存在し、その生態学的重要性を示す研究も増えています。本研究の成果は、自然生態系における寄生生物の役割を正しく理解するためには、宿主-寄生者関係の多様性を認識する必要があることを強調しています。宿主-寄生者関係の多様性を明らかにするため、系統地理学、生活史、宿主特異性を含む寄生生物の自然史についての研究が多くの系統で展開されることを期待しています。さらに、宿主-寄生者関係の多様性は地域や生息地によって異なります。このような宿主-寄生者関係の多様性の空間変異が、寄生者介在型のエネルギー流を介して、群集や生態系機能の空間変異を部分的に説明する要因になっ

ている可能性についても今後調べていきたいと考えています。

#### 4. 研究プロジェクトについて

- 佐藤拓哉：JST FOREST Program 「寄生生物による生物機能創発機構の解明と制御への基盤研究」 JPMJFR211C
- 佐藤拓哉：日本学術振興会 科学研究費助成事業「生態系における「病原体循環」の理論・実証・応用」 JP23H00532
- 二村凌：日本学術振興会 「サクラマス回遊型のリスク回避戦術の総合的理解：大規模な個体追跡で迫る」 22j11821
- 岸田治：日本学術振興会「河川性魚類の行動と生活史の統合戦略：PIT タグシステムを駆使した探索的研究」 20K21439
- 岸田治：日本学術振興会 「野生生物における種分化の生態遺伝機構」 22H04983
- 岸田治：日本学術振興会 「適応戦術としての動物の移動：河川性サケ科魚類の大規模モニタリングによる検証」 22H02694
- 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター森林圏ステーションの教育関係共同利用拠点事業

#### <研究者のコメント>

これまでの研究では、一種の寄生生物や種や属がまとまった大きな分類群の寄生生物の宿主操作について、群集・生態系レベルまで波及する影響が調べられてきました。本研究で、そういった特定の寄生生物による宿主操作の影響についての研究と、宿主や寄生者の多様性についての研究を繋げる視点を提供でき、嬉しく思います。(朝倉日向子 研究当時、博士前期課程2年)

#### <論文タイトルと著者>

タイトル：Two distinct host-parasite associations mediate seasonal ecosystem linkages

(二つの異なる宿主-寄生者関係が季節的に生態系をつなげる)

著者：Hinako Asakura, Ryo Futamura, Senri Moriyama, Satoko Iida, Koume Araki, Masato Ayumi, Shoji Kumikawa, Yuichi Matsuoka, Taro Takahashi, Jiro Uchida, Osamu Kishida, Takuya Sato

掲載誌：Biology Letters

DOI：<https://doi.org/10.1098/rsbl.2024.0065>