

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K06430

研究課題名(和文)「界」をまたがる資源競争 バクテリア・虫・鳥・獣の死肉をめぐる攻防

研究課題名(英文) Cross-kingdom competitions among microbes, arthropods, and vertebrates for animal carcasses

研究代表者

中島 啓裕 (NAKASHIMA, Yoshihiro)

日本大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：80722420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脊椎動物の死体をモデルとして、非近縁分類群間の相互作用が死体の消失にどのような影響を与えているのかを明らかにした。具体的には、北海道八雲町の落葉広葉樹林において、有害駆除されたアライグマの死体を設置し、直接観察および自動撮影カメラによる観察を行い、死肉食性昆虫(とくにホホグロオビキンバエ)と微生物による死体の消費が、脊椎動物による死体発見までの時間や利用頻度に与える影響を定量的に評価した。この結果、ハエ幼虫による消費によって哺乳綱食肉目(アカギツネとタヌキ)による消費可能量が大きく制限されること、一方で、キンバエ幼虫の活動によって食肉目の死体発見が迅速化することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

資源競争は、これまで最も活発な研究がなされてきた生物間相互作用であり、生物群集を形作る重要な要素となりうるということが分かっている。しかし、従来の研究は、近縁種間による競争に注目したものが多く、非近縁種間での生物間相互作用が資源の利用可能性にどのような影響をもたらすのかについては十分な研究がなされていない。本研究では、脊椎動物死体をモデルとして、非近縁な生物間においても、正負両面の効果を持つ複雑な相互作用が生じうることを示した。こうした知見は、生物多様性と生態系機能や生態系サービスの関係性を明らかにするうえでも欠かせないものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we studied how species interactions among distantly-related organisms affect the limited resources by using vertebrate carcasses as a model. Specifically, we observed the carcass fate of a raccoon in the summer 2018-2021 and quantified the effects of consumption by necrophagous insects and microbes on the time to detection and the consumption rate by vertebrate scavengers. The results showed that consumption by fly larvae (especially *Chrysomya pinguis*) and microbes greatly limited the carcasses available for consumption by mammalian carnivores (red fox and raccoon dog), while the activities of the fly larvae accelerated the detection of carcasses by the carnivores.

研究分野：群集生態学

キーワード：動物死体 自動撮影カメラ スカベンジング 資源競争 生物間相互作用

1. 研究開始当初の背景

「種間競争」は、生物群集を形作る最も代表的な生物間相互作用であり、進化の原動力でもある。生態学者も早くからその重要性に気づき、種間競争がもたらす生態学的・進化的帰結について理論・実証の両側面から膨大な研究を積み重ねてきた。しかし、依然として未解明の領域が残されている。実際の自然下では、細菌から脊椎動物にいたる様々な分類群が同一の資源をめぐる激しく争っており、「消費型競争」だけではなく、より積極的に相手の利用効率を低下させる「干渉型競争」がみられることも珍しくない。しかし、これまで研究対象とされてきたのは、多くの場合、近縁種間での競争であり、非近縁分類群間での競争 (Cross Kingdom Competition)、とくに微生物と高等生物の競争がもたらす生態学的・進化的帰結は、十分な実証研究はなされてこなかった (Burkepile et al. 2016)。

しかし、近年、非近縁分類群間の相互作用の統合的理解が、ますます重要になってきている。例えば、人為攪乱による生物多様性の喪失が急速に進み、生物多様性と生態系機能あるいは群集の安定性との関係が生態学の最重要課題となりつつある。これらの真の解明には、分類上の近縁・非近縁を問わず、同一ギルド内の種間相互作用のタイプと強さや、それらの生態系機能の質への影響についての情報が不可欠であろう。幸いなことに、近年の研究技術の進展によって、複数の分類群間の相互作用を効率的に扱う条件も整いつつある。微生物に関しても、単一菌種の分離培養過程を必要としないメタゲノム解析手法の登場で、その構成や機能などの全体像の把握が可能となった (Qin et al. 2010)。非近縁種間の種間相互作用は、いまだからこそ解明が可能になった生態学に残されたフロンティアなのである。

本研究では、動物遺体をモデルとして、とくに活発な相互作用が見られることが予想される夏季において、非近縁分類群間の相互作用が、その分解・消費プロセスにどのような影響を与えているのかを明らかにすることにした。動物遺体の分解過程は重要な生態学的プロセスであり、分類群多様性と生態系機能の関係性を問ううえで格好の材料となる。また、動物遺体は、葉や果実といった生体資源とは異なり、まさに死んでいるがゆえに特定の利用者を促進あるいは抑制するような形質が進化しえない。このため、動物遺体を誰が利用できるかは、もっぱら利用者間での競争力に委ねられており、非近縁な相手との競争を有利にする形質が進化している可能性が高い。

2. 研究の目的

本研究の具体的な目的は、2つの問い「微生物、腐食性昆虫および鳥類・哺乳類間の動物遺体をめぐる競争が、どの程度互いの資源利用効率に影響するのか」「こうした相互作用は、動物遺体の分解速度にどう影響するのか」の解明することである。これらを通じて、非近縁分類群間の相互作用の生態的・進化的重要性を示すとともに、分類群多様性と生態系機能の関係性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 遺体の入手および調査地

本研究では、有害駆除されたアライグマ *Procyon lotor* の遺体を利用し、その消費・分解過程を観察することにした。遺体は、雌雄の判別、体重の測定を行った後、大型冷凍庫に保存した。遺体の設置及び観察は、2018年から2020年の8月から9月にかけて、北海道二海郡八雲町日本大学八雲演習林において行った。

(2) 目視および自動撮影カメラによる観察

どのような脊椎動物によって利用されるのかを明らかにするために、赤外線センサーを内蔵した自動撮影カメラによる遺体利用者の撮影を行った(以下、脊椎動物調査区)。演習林内の林道沿いに少なくとも500mの距離を離して遺体を設置した。カメラは動画の撮影が可能な設定とした。10日に1回程度の点検とデータ回収を行い、約2か月間、データを取得した。脊椎動物が撮影された場合は、動画内の動物行動を詳細に観察し、遺体のどの部位を食べたかを可能な限り詳細に観察した。

これとは別に、昆虫や微生物による遺体の消費・分解過程を観察するための調査プロット(以下、昆虫・微生物調査区)を設けた。これらの調査プロットは、互いに50m程度離して設置した。それぞれの調査プロットに、昆虫類の遺体へのアクセスを防いだ処理区(以下、昆虫排除区)と、排除しない処理区(以下、非排除区)を設け、それぞれの処理区の遺体の状態を設置後15日間毎日観察した。観察時には、遺体の脇に設置したピットフォールトラップの内容物の採取、遺体の湿重量の測定、目視による遺体の物理状態の観察を行った。さらに、数日おきに、遺体の体表の微生物を滅菌綿棒によってサンプリングした。ピットフォールトラップで捕獲した鞘翅目昆虫は少なくとも科レベルまで同定した。サンプリングした微生物は次世代シーケンサーによる細菌叢解析を行った。鞘翅目相および微生物相の時間変化は、nMDS解析によって視覚化した。

(3) 目視観察および自動撮影の統合

昆虫・微生物調査区で得た遺体の湿重量の減少パターンを、ゴンペルツ関数を用いてモデリングした。一方、脊椎動物調査区のデータを用いて、脊椎動物による遺体発見時間を推定した。両者の調査区の遺体の分解・消費が同じスピードで起こっていることを確認したうえで、両者を統合し、脊椎動物が潜在的に利用できた遺体の湿重量を推定する階層ベイズモデルを構築した。

4. 研究成果

(1) 遺体の分解・消費過程

アライグマの遺体は、短時間の間に急速に変化した(図 1)。設置後、すぐにクロバエ科のホグロオビキンバエ *Chrysomya pinguis* が集まり、遺体の体表に卵を産み付けた。約 2 日後、孵化し、遺体の傷口や口腔、肛門から体内に進入した。体内に進入したハエ幼虫は急速に遺体を消費した。約 5 日後には、彼らの活動によって皮膚が破れ、ハエ幼虫が外部からも観察可能になった。この段階でハエ幼虫は熱を発生しており、遺体の温度は約 50℃ まで上昇した。その後約 8 日後に、ハエ幼虫は遺体から周囲へと分散し、地中に潜って蛹化した。この間、遺体の湿重量は急速に減少し、8 日後には約 20% 程度になった。この時点で、遺体に残されていたのは、骨と毛、皮膚のみであった。こうした劇的な変化は、昆虫排除区では見られず、湿重量もほとんど変わらなかった。

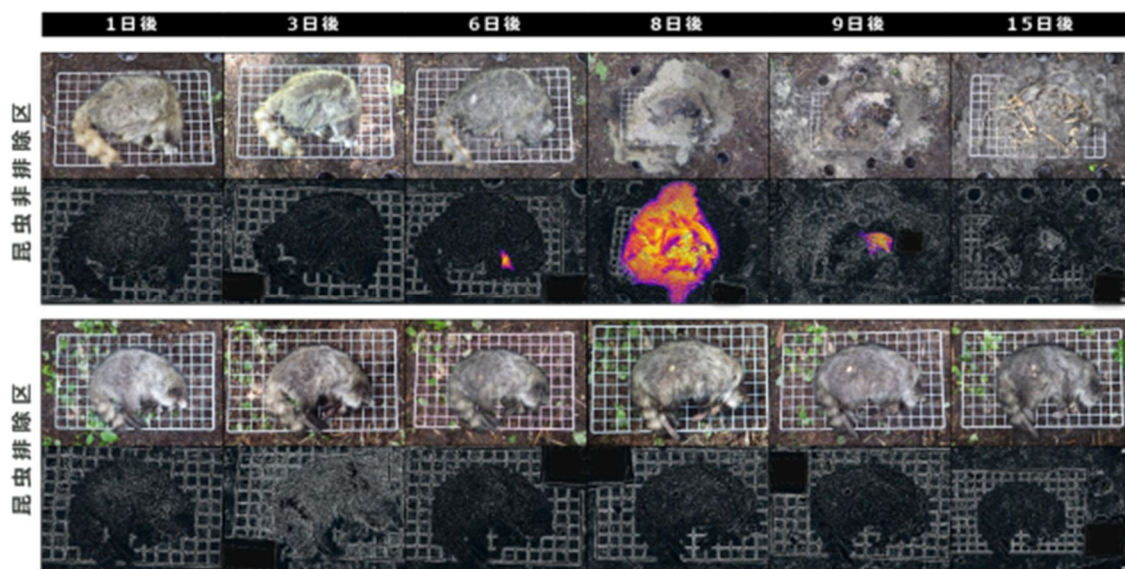


図 1. アライグマの遺体における昆虫類のアクセスを防いだ処理区(昆虫排除区)と、排除しない処理区(非排除区)の設置後 1 日ごとの状態変化。

(2) 鞘翅目および微生物への影響

ハエ幼虫の消費による遺体の変化に伴って、捕獲された鞘翅目が大きく異なることが確認された。捕獲されたのは、全部で 9 科であった。ゴミムシ科は、設置後数日以内に捕獲されていたのに対し、エンマムシ科は、約 7 日経過した後、捕獲数が最も高くなっていた。図 2 に捕獲された鞘翅目相の時間変化の解析結果を示す。鞘翅目の一部(例えばハネカクシ科の多くの種)は、遺体自体ではなく、成長したハエ幼虫をおもな餌資源としていることも確認された。

さらに、微生物相も、遺体の状態変化に伴って大きく変化したことが確認された(図 3)。設置直後からしばらくは、多様性が上昇したのに対し、ハエ幼虫の分散後には多様性が低下していた。

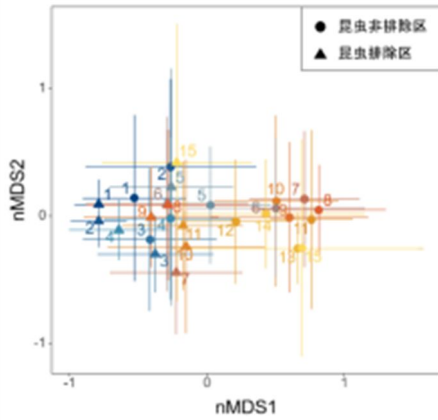


図 2. アライグマの遺体における昆虫類の遺体へのアクセスを防いだ処理区(昆虫排除区)と、排除しない処理区(非排除区)で捕獲された鞘翅目相の時間変化．数字は経過日数を示す．

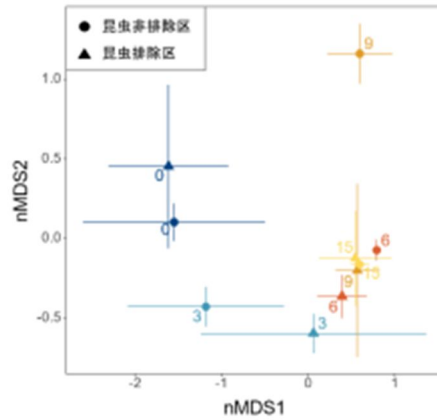


図 3. アライグマの遺体における昆虫類の遺体へのアクセスを防いだ処理区(昆虫排除区)と、排除しない処理区(非排除区)で採取された微生物相の時間変化．数字は経過日数を示す．

(2) ハエ幼虫による消費の脊椎動物への影響

2つの調査区の結果を統合した結果、ハエ幼虫による遺体の消費は、脊椎動物の遺体利用プロセスにも大きな影響を与えていることが分かった。まず、ハエ幼虫による遺体重量の劇的な減少は、脊椎動物が利用可能な遺体の湿重量を大きく低下させていることが分かった。図4は、おもな遺体利用者であったキツネ *Vulpes vulpes* およびタヌキ *Nyctereutes procyonoides* が最初に遺体を発見した段階で、どの程度の湿重量が残されていたかを推定したものである。両種とも多くの場合、遺体の重量が大きく低下してから発見するため、利用可能性が大きく制限されていた。すなわち、ハエ幼虫とキツネおよびタヌキは遺体資源をめぐる競争関係にあったことが示された。

一方で、両者の関係は、消費型競争だけにとどまるものではないことも分かった。キツネおよびタヌキの発見確率の推移をみると、ハエ幼虫による消費が最も活発になった後で最大化していた(図5)。これは、ハエ幼虫の活動に伴って遺体から揮発性物質が拡散し、キツネおよびタヌキに遺体のありかを伝えるシグナルとして働いたためであると考えられる。

さらに、遺体で発生したハエ幼虫は、様々な鳥類の餌資源となることも分かった。ハエ幼虫の捕食が確認されたのは、トラツグミ *Zoothera dauma* やコマドリ *Luscinia akahige* など、7科15種になった。

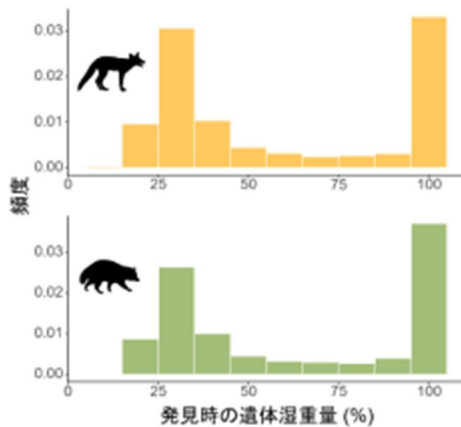


図 4. キツネおよびタヌキが最初にアライグマの遺体を発見した段階における遺体湿重量の推定結果．

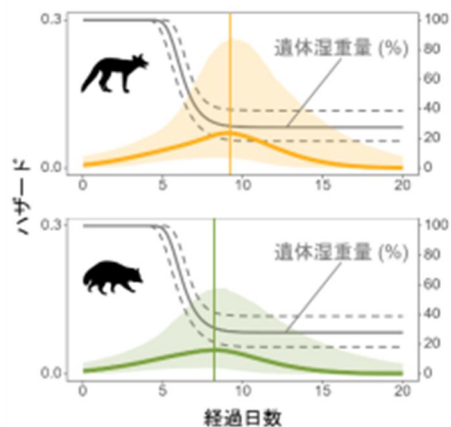


図 5. キツネおよびタヌキによるアライグマの遺体の発見確率の時間変化．

(3) まとめ

以上のように、北海道二海郡の森林では、動物遺体はおもに1種のハエ(ホホグロオビキンバエ)によって消費され、このハエとの相互作用によって、他の生物(微生物、鞘翅目昆虫、脊椎動物)の遺体利用に大きな影響を与えていることが分かった。この中には、ハエは、他の生物の遺体利用可能性を低下させるだけでなく、餌資源として機能したり、遺体のありかを伝えたりすることで、正負両面の影響を及ぼしていることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中島 啓裕	4. 巻 60
2. 論文標題 房総半島の里山で撮影された在来捕食者による外来種ウシガエル<i>Lithobates catesbeiana</i>の利用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 哺乳類科学	6. 最初と最後の頁 2~2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11238/mammalianscience.60.2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakashima Yoshihiro, Hongo Shun, Akomo-Okoue Etienne Fransois	4. 巻 241
2. 論文標題 Landscape-scale estimation of forest ungulate density and biomass using camera traps: Applying the REST model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biological Conservation	6. 最初と最後の頁 108381~108381
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biocon.2019.108381	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nakashima Yoshihiro	4. 巻 62
2. 論文標題 Potentiality and limitations of N mixture and Royle Nichols models to estimate animal abundance based on noninstantaneous point surveys	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Population Ecology	6. 最初と最後の頁 151~157
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/1438-390X.12028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中島 啓裕	4. 巻 59
2. 論文標題 自動撮影カメラが拓く新しい哺乳類研究 個体識別を必要としない密度推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 哺乳類科学	6. 最初と最後の頁 111~116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11238/mammalianscience.59.111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松島 義治, 橋詰 茜, 幸田 良介, 中島 啓裕
2. 発表標題 腐肉に集まる昆虫の種相及び個体数は微生物やウジを 排除した場合どう変わるのか？
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋詰 茜, 山中 康如, 笠原 康裕, 大館 智志, 幸田 良介, 中島 啓裕
2. 発表標題 肉の腐敗にどう抗うか？－微生物への対抗ともう1つの戦略－
3. 学会等名 日本生態学会第66回全国大会（ポスター発表）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島 啓裕
2. 発表標題 自動撮影カメラが拓く新しい哺乳類研究－現場の勘と統計的思考の協働－
3. 学会等名 日本哺乳類学会2018年度大会（奨励賞受賞講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋詰 茜, 松島 義治, 幸田 良介, 笠原 康裕, 大館 智志, 中島 啓裕
2. 発表標題 動物の死骸は誰のもの？：死肉食性昆虫と雑食性食肉目の消費型競争
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会（ポスター発表）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松島 義治, 橋詰 茜, 幸田 良介, 中島 啓裕
2. 発表標題 腐肉に集まる昆虫の種相及び個体数は微生物やウジを排除した場合どう変わるのか?
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会 (ポスター発表)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 愛理, 松島 義治, 矢島 豪太, 中島 啓裕
2. 発表標題 スズメバチは腐肉食性昆虫の採食行動を促進させるのか: マウス死体を用いた検証
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	笠原 康裕 (KASAHARA Yasuhiro) (20273849)	北海道大学・低温科学研究所・准教授 (10101)	
研究 分担者	大館 智志 (OHDACHI Satoshi) (60292041)	北海道大学・低温科学研究所・助教 (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------