

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K06152

研究課題名（和文）森林性キノコバエ類とその天敵の機能に注目したシイタケ栽培地の生物間相互作用の解明

研究課題名（英文）biological interactions among forest-dwelling fungus gnats and their natural enemies in shiitake mushroom production area

研究代表者

末吉 昌宏（Sueyoshi, Masahiro）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：80435586

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）：原木シイタケほだ場の害虫キノコバエ類の天敵として寄生蜂、造網性クモ類、鳥類を想定し、これらの天敵の群集構造の特徴を明らかにした。ほだ場で発生する害虫キノコバエ類の直接の捕食者として、クモ類や鳥類による捕食機能は極めて低いが、十分に明らかにならなかったが、寄生蜂が機能していることがわかった。国内各地のほだ場ではこれら寄生蜂類による寄生率が4割に達する事例が観察された。また、ハエヤドリクロバチ類がほだ場やその周辺の森林、特に広葉樹林に多く見られた。子実体が発生する時期およびそれぞれの時期、ほだ場内部および周辺の森林環境など多くの要因によって、寄生蜂の種類や寄生率が異なると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シイタケは食用きのことして代表的な存在である。近年はおがくずを固めた菌床を使った栽培が主流となり、クヌギやコナラなどのホダ木を使った原木栽培の生産量は減りつつある。しかし、原木シイタケは菌床シイタケの数倍の価格で取り引きされるため、本州・九州の一部の中山間地域では今でも原木栽培が盛んである。原木シイタケの害虫として複数種のキノコバエ類が知られている。また、これらの天敵として寄生蜂類、鳥類やクモ類などが考えられる。害虫の個体密度はできるだけ低く抑えられることが求められる。そのため、原木シイタケ生産地として有名な大分県日田市で、ほだ場のキノコバエ類およびそれらの天敵の群集構造の特徴を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Species assemblages of the parasitoids, net-building spiders, and birds were investigated as natural enemies of fungus gnat pest injuring shiitake mushroom. Although prey capture rates by spiders and birds were not high, parasitoid wasps were evidently functional. It was observed that the parasitism rate by te wasps have reached 40%. The wasps were also found in the forests around the log bed, especially in broad-leaved forests. Species assemblages of the wasps might be various, depending on many factors, such as seasons, forest environment within log beds and surrounding them.

研究分野：昆虫分類学

キーワード：スギ人工林 群集構造 生物間相互作用 生物多様性 害虫防除

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

きのこは国内自給率の高い農産物の一つである。その中でもシイタケは食用きのことして代表的な存在であり、近年はおがくずを固めた菌床を使った栽培が全国的に主流となった。クヌギやコナラなどのホダ木を使った原木シイタケ栽培(以下、単に原木栽培と記す)の生産量は減りつつある。しかし、原木シイタケは菌床シイタケの数倍の価格で取り引きされるため、本州・九州の一部の中山間地域では今でも原木栽培が盛んである。

原木栽培はホダ木を人工林や天然林の林床に持ち込んで行われる。すなわち、ホダ場は外部から資源が人為的に運び込み続けられる生態系になっている。ホダ木はシイタケを含むきのこ類、きのこを食べる腐食者、その天敵による食物連鎖を通じて、ホダ場の生物群集の維持・変化に大きく影響すると考えられる。

一般に、人工林は生物多様性が低いとされる。また、天然林であっても常緑広葉樹林下の林床植生は乏しく、生物多様性は低い。これらの林床にホダ木を持ち込むと林床の構造が複雑になり、ホダ木を資源とする生物による生物間相互作用が付け加わる。そのため、ホダ場の生物多様性はより高まると考えられる。しかし、ホダ場にはシイタケ害虫が高い密度で維持されている(末吉 2018 昆虫ニューシリーズ 21: 85-100)。害虫も生物多様性の一部であるが、原木栽培の障害となる害虫の個体密度はできるだけ低く抑えられることが求められる。

原木シイタケ害虫としてナカモンナミキノコバエ(以下単にナカモン)、シイタケトンボキノコバエ(以下単にシイタケトンボ)、フタモントンボキノコバエ(以下単にフタモン)が知られている。これらの天敵として寄生蜂類が知られている(Mesner 1968 *Acta ent. bohemoslov.*, 65: 464-466; 杉本・宗野 2017 山口のむし 16; Sevcek 2006 *Čas. Slez. Muz. Opava (A)*, 55, suppl.2: 1-84)。これらに加えて、森林内では鳥類やクモ類などの捕食者が幼虫・成虫を捕食していると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、きのこ栽培の管理手法に生物多様性の概念を取り入れ、害虫による被害を減らす技術を開発することを目的とする。本課題は、ほだ場に特有なキノコバエ類群集およびそれらのキノコバエ類を捕食、または捕食寄生する天敵として寄生蜂、造網性クモ類、鳥類を想定し、これらそれぞれの群集構造の特徴を明らかにし、害虫キノコバエ類に対するこれら天敵による捕食圧を定量化する。

### 3. 研究の方法

2019年7月に大分県日田市の森林内のほだ場7箇所と周辺のスギ人工林4箇所、天然林4箇所を調査地として選定し、固定プロット(100m<sup>2</sup>)とプロット内のコドラート(1m<sup>2</sup>)を各1箇所ずつ設けた。これらの調査地で、次の6つの方法でキノコバエ類と寄生蜂を捕獲した: 羽化トラップ(地表接地面250cm<sup>2</sup>; 4基/調査地; 2019年7月~2020年7月、月1回収)(図1a); 水盤トラップ(黄色; 4基/調査地; 2021年2月~2020年6月、4日間/月)(図1b); 粘着シートトラップ(3枚/調査地; 2020年3月~2020年7月、2021年2月~2021年6月; 4日間/月)(図1c); クモ類の巣網の獲物(詳細後述; 2021年2月~2021年6月; 30分/月)(図1d); スウィーピング(捕虫網; 2019年7月~2020年7月、2021年2月~6月、10分/月); 羽化試験(詳細後述)。



図 1. 各調査方法 .a 羽化トラップ、b 水盤トラップ、c 粘着シートトラップ、d クモの巣網の獲物。

羽化試験は、キノコバエ類幼虫が食害したシイタケ子実体(以下単に子実体)を各回10ヶ以上採取することで幼虫を捕獲して行った。採取した子実体から這い出てきた幼虫や蛹をナカモンなどおよび寄生蜂成虫の羽化に供した。羽化試験は日田市内の調査地および国内各地のほだ場を対象として行った。日田市に設置した調査地のうち、ほだ場の調査地から2020年5月と2022年6月に各1回で得た子実体を対象とした。また、2022年5月から12月までの間に岩手

県（紫波郡矢巾町、一関市大東町）、茨城県行方市、千葉県大多喜町、静岡県中伊豆町で得られた子実体も同様に羽化試験に供した。

羽化トラップおよび水盤トラップで捕殺された昆虫類は各トラップに注入された 99% プロピレングリールで保存された。これらの試料を実験室内で分類群ごとに分別し、70% エタノール中に保存した。粘着シートトラップで捕殺された昆虫類はシートごと冷凍保存され、害虫キノコバエ類、および羽化試験で得られた寄生蜂類の個体数を計数した。クモ類の巣に捕獲された昆虫類および羽化試験で羽化した成虫を捕殺して乾燥標本とした。これらを実体顕微鏡で観察し、外部形態に基づいて科の同定、可能であれば種同定を行った。

日田市内の各調査地の固定プロット内で、2019 年 7 月から 2020 年 7 月までの間、地表高 2 m までの空間に巣網を作った造網性クモ類を毎月 30 分間探索・採集した。見つけた巣網上の個体を調査地ごとに集計し、一部を採集して種同定を行った。採集したクモ類を 70% エタノール中に保存した。また、各調査地の固定プロット内のコドラートを撮影する自動撮影カメラを 2019 年 8 月から 2020 年 6 月までの間、1 基設置した。撮影された写真から、コドラート中で土壌をついばむ野鳥類の種類と個体数を記録し、カメラに写ったのべ個体数を調査地ごとに集計した。

#### 4. 研究成果

羽化試験の結果、害虫キノコバエ類として3種（ナカモン、シイタケトンボ、フタモン）が得られた。シイタケトンボやフタモンは調査対象としたほだ場のうち、一部のほだ場で発生が見られた。ナカモンは調査したほだ場全てで発生し、フタモンが優占した2回の試験を除き、常に優占種であった。ナカモンの寄生蜂としてシリボソクロバチ科（以下単にシリボソ）（図 2a）およびハエヤドリクロバチ科（図 2b）、ヒメバチ科、コマユバチ科の成虫を得た。試験に供した幼虫から成虫が羽化した羽化率は約18-70%、寄生蜂の寄生率は0.4-40%とばらつきがあった（表1）。シリボソは一関市のほだ場を除き、調査したほだ場全てで見られ、常に他3科よりも優占していた。一部のほだ場で複数のキノコバエ類が見られたが（表1）、ナカモンの主要な寄生蜂はシリボソであると考えられる。

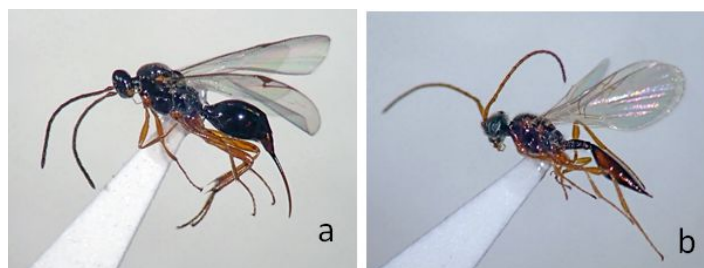


図 2. 羽化した寄生蜂類の例 . a, シリボソクロバチ科 b, ハエヤドリクロバチ科。

表 1. 2022 年に行った羽化試験の結果。

調査地	岩手県 矢巾町	岩手県 矢巾町	岩手県 矢巾町	岩手県 一関市	茨城県 行方市	千葉県 大多喜町	千葉県 大多喜町	静岡県 伊豆市	大分県 日田市	
調査時期	5月	10月	11月	10月	11月	6月	11月	12月	6月	
子実体を採集したほだ場数		1	1	1	1	1	1	1	4	2
供試幼虫総数		222	970	298	97	1079	61	1201	168	248
成虫羽化数										
ナカモンナミノコバエ	49	279	94	9	442	4	74	14	147	
シイタケトンボキノコバエ	0	3	30	6	0	1	0	0	0	
フタモントンボキノコバエ	0	0	0	0	19	0	521	47	0	
シリボソクロバチ科	65	292	19	0	296	5	5	1	12	
ハエヤドリクロバチ科	5	27	4	0	0	0	0	0	1	
ヒメバチ科	2	68	7	16	0	0	0	0	0	
コマユバチ科	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
羽化個体総数	121	669	154	31	757	11	600	62	160	
(羽化率)	(54.5)	(69.0)	(51.7)	(32.0)	(70.2)	(18.0)	(50.0)	(36.9)	(64.5)	

岩手県（矢巾町、一関市）のほだ場で見られたヒメバチ科とハエヤドリクロバチ科寄生蜂はそれぞれ複数属・種が含まれていた。これらのほだ場はシイタケトンボも見られたことから、これらのヒメバチ科とハエヤドリクロバチ科は異なる寄主（ナカモンとシイタケトンボ）を利用していると考えられる。いずれかの種がナカモンに特異的であれば、シリボソと合わせてナカモンの主要な寄生蜂として防除に利用できる可能性がある。

日田市内の各調査地で得られたキノコバエ類と寄生蜂類の個体数を森林タイプおよびほだ場の有無で比較すると、各種トラップ、捕虫網、クモの巣網の獲物いずれでも、スギ林よりも広葉樹林で多い傾向が見られた。その中で、ナカモンは全体的に人工林で多く、人工林・天然林ともにほだ場で多かった（図 3a）。ハエヤドリクロバチ科の個体数は天然林に多かったが、人工林の調査地ではほだ場で個体数がより多い傾向があった（図 3b）。シリボソは日田市の調査地全体で

21 個体しか得られず、特定の森林タイプやほだ場への依存程度は明らかでなかった（表 2）。

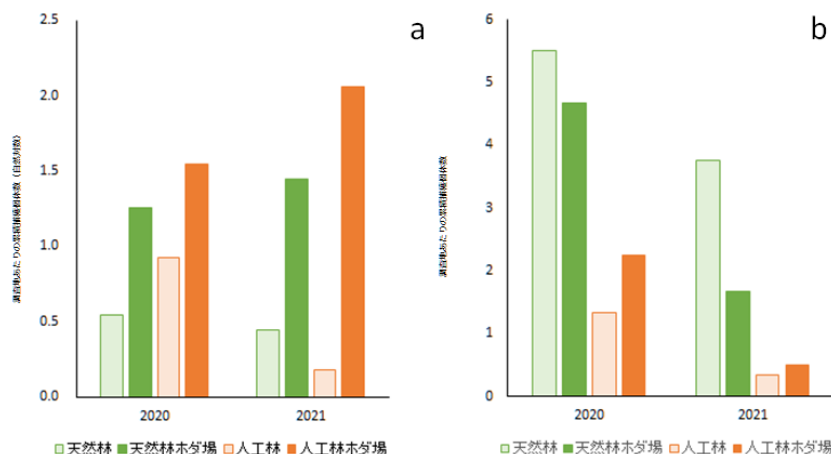


図 3. 粘着シートトラップで採集されたナカモンナミキノコバエ (a) およびハエヤドリクロパチ類 (b) の個体数。

表 2. 日田市で採集されたシリボソクロパチ科の個体数。

調査方法*	天然林	天然林ほだ場	人工林	人工林ほだ場
羽化トラップ	2	0	0	8
水盤トラップ	1	0	0	0
粘着シートトラップ	0	2	2	1
クモ巣網の獲物	0	0	0	0
スウィーピング	0	1	0	2

調査地で得られたクモ類は主にウズグモ類、コシロカネグモ、サラグモ類であった。コシロカネグモは 2019 年 10 月から 2020 年 5 月までの間、体長 1~2mm 程度の幼生であった。獲物の調査期間中、全体で 2620 ケのクモ類の巣網を観察し、174 ケの巣網にかかった昆虫類 202 ケのサンプルを得た。これらのサンプルのうち半数以上が 4 月に採集され（図 4）、これらサンプルが得られた巣網のうち、コシロカネグモの巣網が 6 割を占めた。タマバエ科およびクロバネキノコバエ科の個体が全サンプル数の 5 割を占め（図 4）、ナカモンは 1 頭のみであった。また、寄生蜂が 13 個体採集され、それらのうちコマコバチ科が 9 個体を占め、シリボソなど日田市の羽化試験で得られた寄生蜂類は得られなかった。各調査地で得られた総サンプル数を各調査地で観察した巣網数で平準化し、森林タイプおよびほだ場の有無で比較すると広葉樹林、スギ林、広葉樹林（ほだ場）、スギ林（ほだ場）それぞれで 0.11、0.05、0.11、0.08 であり、スギ林よりも広葉樹林で多い傾向が見られた。

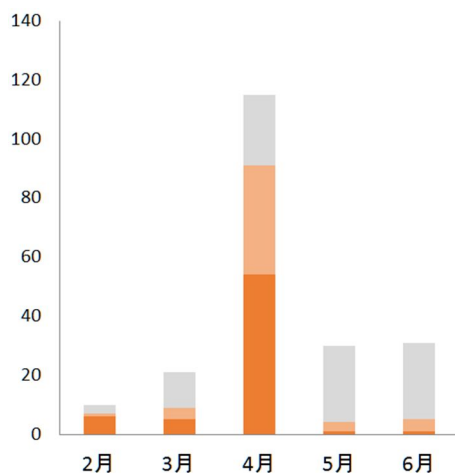


図 4. 2020 年 2 月から 6 月までの調査月ごとに得られたクモの巣網の獲物の総個体数。■ タマバエ科、■ クロバネキノコバエ科、■ その他昆虫類。

自動撮影カメラで撮影された鳥類はシロハラ、シメ、トラツグミなどであった。全体でのべ530 個体の鳥類が撮影され、シロハラは撮影された鳥類の中で最も撮影頻度が高かった（267 / 530 個体）。シロハラとシメが地表を探る様子が2020年2,3,5月に撮影された（図5）。撮影された鳥類の個体数はスギ林とスギ林ほだ場の間ではスギ林に、広葉樹林と広葉樹ほだ場の間では広葉樹林に多かった。



図 5. 広葉樹林ほだ場林床で採餌するシロハラ  
(2020年5月17日13:20)

日田市での調査の結果、クモ類や鳥類による害虫キノコバエ類への捕食圧は極めて低いか、十分に明らかにならなかった。ナカモンの成虫が発生するよりも早い時期に活動している捕食者は鳥類とクモ類であった。主たる造網性クモ類であるコシロカネグモはナカモンが多く見られる3-5月にまだ幼若であった（図6）。また、調査地内で主要な造網性クモ類であるコシロカネグモによるナカモンの捕食は1例を観察するのみであった。これらがナカモンなどキノコバエ類の個体数抑制にどの程度寄与しているか不明であり、その効果もあまり高くないことが推察される。ただし、クモの巣を模した粘着シートトラップの累積でナカモンが677個体採集されていることから（図3a）、クモ類は潜在的に捕食圧が高いと考えられる。子実体が発生する時期のほだ場に飛来し、地表で採餌行動する鳥類の種類を明らかにしたが、ナカモンなどキノコバエ類を選択的に捕食しているか不明であった。



図 6. 2020年に採集したコシロカネグモ、ナカモンナミキノコバエ、クロバネキノコバエ科の1種。

ほだ場で発生するナカモンの直接の捕食者としてシリボソなど寄生蜂が機能していることがわかった。日田市内で寄生蜂全体の寄生率は5%程度であったが、国内各地のほだ場では寄生率が4割に達する事例が観察された。日田市内で得られたシリボソの個体数が少なかったが、ハエヤドリがほだ場やその周辺の森林、特に広葉樹林に多く見られた。異なる時期で調査した、国内各地のほだ場ごとに寄生率の幅は広く異なっていたことから、子実体が発生する時期およびそれぞれの中の時期、ほだ場内部および周辺の森林環境など多くの要因によって、寄生蜂の種類や寄生率が異なると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 末吉昌宏
2. 発表標題 シイタケ栽培が森林のキノコバエ類と寄生蜂群集に及ぼす影響
3. 学会等名 日本生態学会第69回大会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------