

観察記録とアンプリコンシーケンス解析による
陸棲貝類の菌食性の解明

経済学部 3年 22301362

氏名：石井 晃瑛

(指導教員：糟谷大河先生)

目次

1.はじめに	3
1.1.背景	3
1.1.1. 陸棲貝類とは	3
1.1.2. 菌類とは	4
1.1.3. これまでの陸棲貝類の菌食性に関する知見	6
1.2. 本研究の目的・意義および研究の問い	8
2. 調査地及び調査方法	11
2.1. 神奈川県横浜市港北区日吉地域及びその周辺地域	11
2.1.1. 選定背景	11
2.1.2. 調査方法	15
2.2. 静岡県伊豆半島中部	16
2.2.1. 選定背景	16
2.2.2. 調査方法	18
2.3. 解析方法	22

3. 結果および考察	24
3.1. 神奈川県横浜市港北区日吉及びその周辺地域	24
3.1.1. 野外で観察された陸棲貝類の菌食行動の概要	24
3.1.2. 各菌食記録の詳細と考察	27
3.2. 静岡県伊豆半島中部	36
3.2.1. 野外で観察された陸棲貝類の菌食行動の概要	36
3.2.2. 菌食記録の詳細と考察	39
3.3. アンプリコンシーケンス解析結果	40
3.3.1. 使用試料の選別	40
3.3.2. 試料全体の解析結果	43
3.3.3. 各試料の解析結果と考察	49
4. まとめ	58
5. 本研究における課題	62
6. 今後の展望	64
謝辞	66
引用文献	67

1.はじめに

1.1. 背景

1.1.1. 陸棲貝類とは

陸棲貝類とは、陸上環境を主たる生息域とする軟体動物門腹足綱の一群であり、一般にカタツムリやナメクジ等と呼ばれるような種を含む。現在日本では1000種近くが知られている(環境省, 2002)。また、水中生活から陸上生活へと適応する過程で、呼吸器官の肺化、殻構造の強化、行動的・生理的な乾燥耐性の獲得など、多様な適応進化を示す点が特徴である(Ponder et al., 2020)。陸棲貝類は森林・草地・農地・都市域など幅広い生息環境に見られ、湿度や微気候、土壌構造、基質の種類に強く依存して分布が規定される。また、落葉層や倒木、石下などの微小環境を利用することが多く、微小な環境変化に対して敏感に反応する指標性を備える(吉村ら, 2025)。発生や成長、活動性は季節的・気候的要因と密接に関連し、特に降雨後や高湿度条件で活発に行動する。

生活史の面では、雌雄同体である種が多く、交尾を経た相互受精によって繁殖が行われる。産卵は土壌中や落葉層など湿潤かつ安定した環境に行われ、卵はゼラチン質の膜で包まれ外的環境から保護される(Barker, 2001)。陸棲貝類

は一般に移動能力が低く、個体群構造は局所環境の影響を大きく受ける。このため、地形的隔離や環境差に伴う種分化、固有性の形成がしばしば見られる点も特徴である(環境庁自然保護局, 1993)。陸棲貝類は主に落葉・朽木・菌類などの有機物を摂食するデトリタス食性や糸状菌食性であることが知られており、森林生態系における分解過程やに寄与する生態学的役割を担う(Barker, 2001)。武田・西(2015)においては陸棲貝類が主に、藻類や朽木、葉を食べることが紹介されている。以上のように、陸棲貝類は生態的・形態的多様性に富み、陸域生態系に広く分布し、生態系においてデトリタスを分解する重要な役割を担う無脊椎動物群である。

1.1.2. 菌類とは

菌類とは、真核生物の主要な系統を構成する生物群であり、キノコ類・カビ類・酵母類など多様な形態と生活史を示す。自然環境に存在する菌類の潜在的種数は150万種以上と推定され、地球上で最も多様な生物群の一つである(日本菌学会, 2014)。

そして、菌類の生活環において重要な構造が子実体 (fruiting body) である。

子実体は、菌糸体 (vegetative mycelium) が一定の環境条件を満たした際に形

成される孢子形成器官であり、一般に「キノコ」として認識される外生的な構造がその代表例である。子実体内部あるいは表層には担子器や子嚢などの孢子形成組織が配置され、孢子の効率的な散布を可能にする。子実体の形態や発生過程は、菌類の分類、生理生態、進化的適応を理解する上で不可欠な指標となっている。菌類の子実体の栄養成分としては、種により違いはあるものの、タンパク質や炭水化物、ヘミセルロース・キチン・グルカンをはじめとした食物繊維などを豊富に含んでいる(木方, 2002)。陸棲貝類のほかにも昆虫(山下, 2013)や鳥類(熊本県農林水産部, 2009)、哺乳類(澤田, 2014)などの様々な生物に菌類の子実体は栄養源として摂食される。

このような菌類は一般に菌根菌・腐生菌・寄生菌の三類型に大別され、いずれも陸域生態系の機能維持に不可欠である。菌根菌は多様な植物と共生関係を築き、菌糸を植物の根の表面または内部に伸長させて菌根と呼ばれる構造を形成する(農林水産省, 2021)。植物は光合成産物の一部を菌類に供給し、菌類は土壤中の水分や無機養分（リン・窒素など）を吸収してその一部を植物に供給することで相利的關係が成立する。また、菌根形成により植物の根は物理的に強固となり、乾燥や温度変化といった環境変動に耐性を獲得したと推察されている（文献を引用）。腐生菌は枯死した植物遺体、落葉落枝、動物遺体、排泄物などの有機物を細胞外酵素により分解し、分解産物を吸収して栄養を得る。

これにより有機物の分解・無機化が促進され、土壌形成および炭素・窒素循環に大きく寄与する(金野, 2013)。寄生菌は植物・動物、他の菌類など生きた宿主の細胞や組織に侵入し、そこから栄養を吸収して生育する。植物病原菌は葉枯れ、萎凋、根腐れなど多様な病害を引き起こし、時に宿主を枯死させる(濱本, 2023)。動物寄生性菌類も昆虫・魚類等を広く宿主とし、生態系における動物の個体群動態に影響を与える(濱本, 2023)。菌類は子実体形成を含む独自の生活史を持ち、以上のような三つに類別される多様な栄養獲得様式を通じて陸域生態系の構造と物質循環の維持に中心的な役割を果たす生物群である。

1.1.3. これまでの陸棲貝類の菌食性に関する知見

陸棲貝類の菌食性については、陸棲貝類学、菌類学、ならびに野外調査に携わる研究者や愛好家の間で経験的知見として広く認識されている。しかしながら、特定の陸棲貝類が野外環境においてどのような菌類を摂食しているのかを、野外観察等に基づいた実証的手法に基づいて明示的に検証した研究例は限られている。国外の研究としては Barker(2001)は、多くの菌類が腹足類に好んで食されており、食欲にされる菌類の種は腹足類の種類によって異なることを指摘した。また、それと同時にヤマタニシ科(Cyclophoridae)や、肉食であるホ

観察記録とアンプリコンシーケンス解析による陸棲貝類の菌食性の解明 (石井晃瑛)

ソアシヒダナメクジ科(Rathouisiidae)、オカモノアラガイ上科(Succineoidea)の菌食性も報告した。Ivan et al. (2021)は、陸棲貝類によるナヨタケ科キララタケ属(*Coprinellus* spp.) *Disseminati* 節に属する菌類の摂食記録を報告した。また、トリュフとして知られるセイヨウショウロ類の新種 *Tuber rugosum* の記載と同時に、*T. rugosum* の *Arion* 属貝類による摂食記録と孢子排泄を報告している(Rennick et al., 2023)。そしてチリの固有陸棲貝類である *Macrocyclus peruvianus* が肉食性と菌食性を有していること、中でも菌類の子実体に関しては、ハラタケ目(Agaricales)を最も多く摂食する傾向にあり、次いでイグチ目(Boletales)、ラッパタケ目(Gomphales)、ベニタケ目(Russulales)を摂食する傾向にあることが報告された(Rodrigo et al., 2024)。

国内における陸棲貝類の菌類食の知見としては、古くからカタツムリ飼育における餌としての菌類の有用性が既に知られている。具体的な陸棲貝類の菌食性の事例としては、早瀬ら(2012)によって、スカシベッコウ *Bekkochlamys serenus* やスジキビ *Parakaliella ruida* の食性が消化管内容物の観察より菌食性が主であることが推測されている。また、大場(2017)によって八丈島において国内外来種となっているオオシママイマイ *Satsuma lewisii* によるアミヒカリタケ *Mycena manipularis* の摂食の観察事例が報告されている。また、Kitabayashi et al. (2022) はヤマナメクジ *Meghimatium fruhstorferi* の菌食性

に注目し、メタバーコード解析によって糞から担子菌類や子囊菌類の存在を見出したほか、糞の中から抽出されたヒラタケ属 *Pleurotus* spp. やナラタケ属 *Armillaria* spp. などの菌類の胞子が直接子実体から採取された胞子よりも高い発芽率を有していることを報告した。また、それらの結果を踏まえ、野外観察実験なども行いながら、森林生態系においてヤマナメクジが菌根菌、腐生菌、木材腐朽菌の胞子が適切なコロニーを形成できる場所に運ぶ可能性も示唆されている。

1.2. 本研究の目的・意義および研究の問い

前述したように、陸棲貝類による菌類の摂食は、倒木や落葉層、地表に発生した子実体上において野外でしばしば観察されてきた。しかし、これらの知見の多くは、子実体が出現している限られた時期や、夜間あるいは降雨後といった陸棲貝類の活動が活発化する条件下での偶発的な目視観察や写真記録に基づくものであり、体系的な情報として整理されてきたとは言い難い。特に、摂食対象となった菌類の同定は、肉眼で識別可能な子実体の形態に強く依存しており、子実体を形成しない菌類や、形成期間が短い分類群、あるいは形態的同定

が困難な種については、ほとんど記録されてこなかった。

その結果、陸棲貝類が実際に利用している菌類資源の全体像や多様性、さらには菌類群集の中でどのような分類群が選択的に摂食されているのかといった生態学的側面については、十分に解明されていないのが現状である。また、近年急速に発展しているアンプリコンシーケンス解析をはじめとする分子生物学的手法は、環境中に存在する微生物群集の解明に広く応用されている(Osborn and Smith, 2005)ものの、陸棲貝類の糞や摂食痕跡を対象として、実際に摂食された菌類相を解析した研究例は国内外ともに限られており、知見の蓄積は進んでいない。

そこで本研究は、神奈川県横浜市港北区日吉地区およびその周辺の都市近郊緑地（慶應義塾大学日吉キャンパス、多摩川台公園）と、自然度の高い比較調査地としての静岡県伊豆半島中部を対象に、①踏査・行動観察に基づく摂食記録の蓄積と、②糞試料に対する菌類 ITS 領域のアンプリコンシーケンス解析の手法を組み合わせることで、陸棲貝類が実際に摂食した菌類群集を網羅的に推定することを目的とする。糞分析に基づく分子解析は、子実体の未出現種や形態同定が困難な分類群を含め、摂食された菌類を“利用履歴”として検出できる点に意義がある。また、移動能力の低い陸棲貝類が排泄する糞中の菌類 DNA

は、周辺微環境（倒木・リター・湿潤条件・植生）と餌資源利用の対応関係を反映することが期待され、都市化や様々な環境変動の影響下で維持される、生態系における分解者ネットワークの理解にも資する。

本研究の問いは主に二点である。第一に、陸棲貝類の糞中から分子解析によって検出される菌類群集はどの程度多様であり、野外観察や写真記録で得られる「摂食対象菌類」とどの範囲で整合するのか、また両者の不一致はどのような要因（子実体の非出現、形態同定の限界、摂食後の分解や検出感度の差など）により生じうるのか、ということ进行明らかにする点である。すなわち、糞試料用いたアンプリコンシーケンス解析が、目視観察では把握困難な「実際に摂食された菌類の多様性」をどこまで補完・拡張しうるかを検証することである。

第二に、都市近郊（日吉地区）と自然度の高い伊豆半島中部の比較を通じて、環境の改変度や微気候（湿度条件、倒木・腐植量など）が、糞中に検出される菌類相の現れ方および菌食行動の観察可能性にどのように影響するのか、ということを検討する点である。

以上により、本研究は、これまでに試みられることがなかった野外観察に基づく定性的記録と糞由来 DNA に基づく定量的かつ網羅的推定を接続、統合す

る新たな枠組みを提示し、都市緑地を含む森林における菌類—陸棲貝類相互作用の実態把握を可能にすることを目指す。

2. 調査地及び調査方法

2.1. 神奈川県横浜市港北区日吉地区及びその周辺地域

2.1.1. 選定背景

本研究では、陸棲貝類と菌類の摂食関係を明らかにするための調査地の一つとして、神奈川県横浜市港北区日吉地区およびその周辺地域（東京都大田区田園調布の多摩川台公園）を選定した(図 1・2)。本地域は、現在では平野部を中心に住宅地が広く立地する都市化の進んだ地域である一方、局所的に長い時間的連続性を有する森林・緑地が点在している点に特徴がある(上村, 2022)。具体的には、慶應義塾大学日吉キャンパスや多摩川台公園に代表される斜面林・雑木林など、都市化以前から比較的連続して存在してきた緑地が確認される。

これらの緑地は、周辺地域が高度経済成長期以降に急速な宅地化を受ける中

でも、開発の影響を部分的に免れてきた空間であり、落葉層や倒木の存在といった、菌類の子実体が形成されやすい微環境が現在も維持されている。このような環境は、菌類や腐葉土、朽ちた倒木などを重要な食資源とする陸棲貝類にとって不可欠な生息基盤である。

陸棲貝類は移動能力が低く、生息環境の分断や表土攪乱、落葉層の消失といった人為的開発の影響を顕著に受ける生物群である。特に、一度開発によって局所個体群が消失した場合、周辺からの再定着や自然回復が極めて困難であり、群集構造が元の状態に戻るまでには長い時間を要するか、あるいは回復しない場合も多い。実際に、陸棲貝類の分散能力の低さ故に、歩道や植生の設置だけで簡単に陸棲貝類の分散が阻害されてしまうことが黒住(1994)で示されている。そのため、現在観察される陸棲貝類群集は、過去の土地利用や環境改変の履歴を強く反映していると推察される。

さらに、日吉地区一帯はかつて日吉台地域の里山として、薪炭林や農地、屋敷林がモザイク状に配置された人為的自然環境が長期にわたり形成されてきた歴史を有する(慶應義塾大学・日吉自然調査グループ, 1991)。このような背景から、現在も生物多様性に恵まれており、昆虫や哺乳類、鳥類、植物においても希少性の高い種の記録が存在する(阿久澤, 2023)。そのみならず、こうした土地利用の継続性は、菌類相および陸棲貝類群集の時間的な維持に寄与してき

た可能性がある。

また、慶應義塾大学日吉キャンパスにおいては、陸棲貝類相および菌類相に関する調査研究が継続的に進められてきたことも、本研究における調査地選定理由の一つである。著者らは2023年から2025年にかけて、同キャンパス内における陸産および淡水産貝類相の包括的調査を実施し、各種の分布状況を生息地の植生構造や湿地環境の水質条件と照合して解析した。さらに、得られた結果を約30年前に実施された同地域の貝類相調査記録と比較することで、種構成の変遷や群集構造の変化について検討を行った。その結果、新たに確認された外来種の定着状況や、過去には記録されていたものの近年確認されなくなった在来種の存在が明らかとなり、これらの知見は吉村ら（2025）において報告されている。菌類相に関しても、本研究の指導教員である糟谷大河によって解明が進んでいる（Kasuya et al., 2019）。以上より、本地域は都市化の進行と非開発的緑地の残存が併存する空間であり、陸棲貝類と菌類の摂食関係を、開発影響と生態学的時間スケールの双方から検討する上で適切な調査地の一つであると判断した。



図 1. 多摩川台公園(図中の星印)及びその周辺地図。基図は国土地理院地図 (電子国土 Web) を使用。



図 2. 慶應義塾大学日吉キャンパス(図中の星印)及びその周辺地図。基図は国土地理院地図 (電子国土 Web) を使用。

2.1.2. 調査方法

神奈川県横浜市港北区日吉地区及びその周辺地域での調査は以下の通りに行った。まず調査地点としては、多摩川台公園および慶應義塾大学日吉キャンパス内に存在する草地から森林環境にかけての緑地を選定し、陸棲貝類による菌類摂食の実態を把握するため、踏査による現地調査を2025年の4月から10月にかけて不定期で行った。これらの環境は、落葉層や倒木、石材、植栽基部などが発達しており、陸棲貝類が潜みやすい微環境が形成されている。調査は踏査を基本とし、落葉層下、倒木、湿潤な地表、菌類の子実体が発生している箇所などを重点的に探索した。踏査で発見した陸棲貝類については、可能な限りその場で行動を観察し、特に菌類の子実体や菌糸体を摂食している様子が確認された場合には、写真による記録を行った。調査時間帯は、日中だけでなく陸棲貝類の活動が活発化する夜間にかけてとし、降雨後や地表が湿潤な条件下を中心に調査した。これにより、乾燥条件下では確認が困難な摂食行動についても観察機会を確保した。得られた観察記録および撮影資料をもとに、摂食していた菌類および陸棲貝類の種同定を行い、両者の対応関係を整理した。これらの情報から、陸棲貝類の菌類食に関する生態的特徴について推定を行った。

2.2. 静岡県伊豆半島中部

2.2.1. 選定背景

本研究では、都市近郊環境を対象とした神奈川県横浜市港北区日吉地区およびその周辺地域に加え、自然度の高い比較対象として静岡県伊豆半島中部地域を調査地の一つに設定した(図 3)。伊豆半島中部は、天城山周辺の山地や河津の渓流域に代表されるように、現在も人為的改変の影響が比較的少ない森林環境と、滝や溪流を伴う湿潤かつ複雑な地形が広く残存する地域である(環境庁, 1988)。これらの環境は、陸棲貝類の生息に適した高湿度条件を有するとともに、菌類の発生基盤となる落葉層や倒木が豊富に存在することから、陸棲貝類による菌類摂食の観察に適した環境であると考えた。実際に増田・波部(1989)においても、静岡県内で記録された陸棲貝類のうち、多くの種類が伊豆半島から記録されている。

伊豆半島は、フィリピン海プレートの北上と本州への衝突によって形成された比較的新しい地史を有する地域であり、火山活動に由来する急峻な地形と複雑な谷構造が発達している(本多ら, 2023)。このような地形的特性は、局所的な湿潤環境や多様な微地形を生み出し、森林床における水分保持性を高めることで、菌類や陸棲無脊椎動物の多様性を支えてきたと推察される。特に天城山

系周辺は本州有数の多雨地域として知られており(山根, 2016)、年間を通じて高い湿度が維持されやすい点も、生物相の豊かさに寄与している。

また、伊豆半島全体は伊豆半島ジオパークとしてユネスコ世界ジオパークに認定されており、火山活動に由来する地質・地形のみならず、それらが生み出す水循環、森林生態系、生物多様性を含めた総合的な自然システムとして高く評価されている(Izu Peninsula Geopark Promotion Council, 2022)。この認定は、伊豆半島が単なる地質学的対象ではなく、地形・気候・生態系が連続的に結びついた地域であることを示しており、菌類と陸棲貝類の相互関係を生態系全体の文脈の中で検討する上で重要な背景となる。

さらに、伊豆半島中部の山地には、歴史的に人の立ち入りが制限されてきた地域が多く、都市周辺部と比較して開発の影響が相対的に小さい土地利用履歴を有する(高木・遠山, 1987)。この点は、低い移動能力をもつ陸棲貝類群集が長期的かつ安定的に維持されてきた可能性を示唆しており、菌類相との関係をより自然状態に近い形で観察できる条件が整っていることが期待される。

以上の理由から、伊豆半島中部は、日吉地区とは対照的に、人為の影響が少なく自然度が高く、かつ湿潤な環境における陸棲貝類と菌類の摂食関係を検討するための比較対象として適切であり、本研究の目的に合致した調査地であると判断した。



図 3. 伊豆半島中部の調査地域(図中の星印)及びその周辺地図。基図は国土地理院地図（電子国土 Web）を使用。

2.2.2. 調査方法

伊豆半島中部地域における調査は、神奈川県横浜市港北区日吉地区およびその周辺地域での調査と同様の方針で実施した。すなわち、陸棲貝類が潜在的に生息し、かつ菌類の発生が見込まれる微環境を対象として踏査を行い、陸棲貝類による菌類摂食の実態把握をするために現地調査を行った。調査期間は 2025

年7月3日から7月6日とした。調査時間帯は、陸棲貝類の活動が活発化する日中後半から夜間にかけてとし、降雨後や地表が湿潤な条件下を中心に実施した。

伊豆半島中部における主な調査地点は、静岡県賀茂郡河津町の河津七滝周辺、静岡県伊豆市湯ヶ島の浄蓮の滝周辺、同じく湯ヶ島地区に位置する天城トンネル周辺の3地点である(図4)。これらはいずれも天城山系に連なる山地環境に位置し、多雨な気候条件と急峻な地形により、年間を通じて高湿度な林床環境が維持されている。

河津七滝周辺は、火山活動に由来する溶岩地形と深い溪谷が連続する地域であり、滝周辺には常時水分供給を受ける湿潤な斜面林や溪畔林が発達している。苔類や菌類の被覆が顕著で、倒木や岩盤表面にも菌類の子実体が多く確認されることから、陸棲貝類の生息および菌類の摂食という関係が成立しやすい環境であることが窺える。

浄蓮の滝周辺は、狩野川水系の上流部に位置し、滝による冷涼かつ湿潤な微気候が形成されている。周辺の森林床には厚い落葉層が発達し、倒木や半ば分解された木質の基質が多く存在することから、菌類の発生基盤として適した環境である。また、人為的管理は行われているものの、地形的制約により大きな人為的改変は受けておらず、比較的自然度の高い生態系が維持されている。

天城トンネル周辺は、旧街道沿いの森林環境が残存する地域であり、歴史的に人の往来はあったものの、大規模な造成や土地改変は限定的であった。そのため、長期にわたる森林環境の連続性が保たれており、陸棲貝類群集が土地利用履歴の影響を受けにくい状態で安定的に維持されてきた可能性がある。湿潤な林床と豊富な落葉層は、菌類および陸棲貝類双方にとって安定した生息基盤を提供している。

本地域における調査では、踏査による観察に加え、陸棲貝類の採集調査を併用した。発見した個体については、可能な限りその場で行動を観察し、特に菌類の子実体または菌糸体を摂食している場面に遭遇することを目的として注視した。採集した陸棲貝類については、菌類摂食の直接的証拠を得るため、排泄された糞の回収を行った。糞試料は劣化を防ぐため、採集後できる限り短時間、原則として数時間以内に発見・回収するよう努めた。

回収した糞は直ちに 100%エタノール中に浸漬して液浸標本とし、その後 70°C で冷凍保存を行った。これにより、糞中に含まれる菌類由来 DNA の保存性を高め、後続の分子解析に供することとした。得られた観察記録、写真資料、糞試料に基づき、採集個体の種同定を行うとともに、それらが摂食する菌類との対応関係を整理した。



図4. 伊豆半島中部における調査地点 (○:河津七滝, △:浄蓮の滝, □:天城トンネル)。基図は国土地理院地図 (電子国土 Web) を使用。



図5. 浄蓮の滝周辺における調査風景

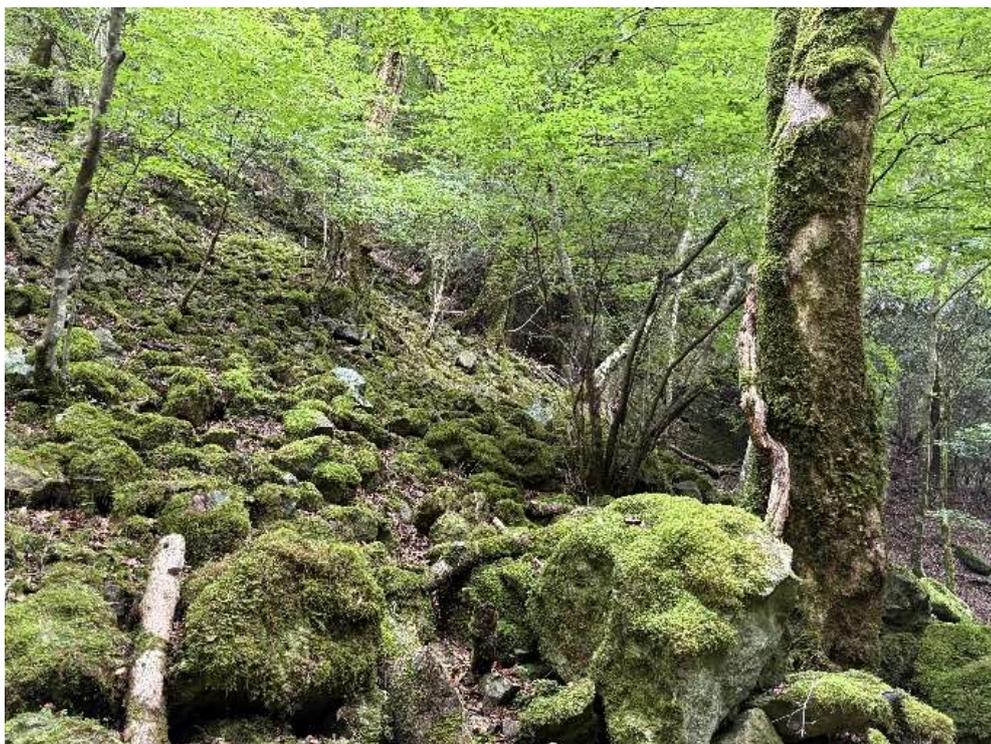


図 6. 天城トンネル周辺における調査地点の環境

2.3. 解析方法

本研究では、静岡県伊豆半島中部での採集調査により得られた陸棲貝類の糞試料を対象に、分子生物学的手法を用いた解析を実施した。採集個体数や観察記録が比較的充実しており、かつ現地において実際に菌類の摂食行動が確認された分類群または種を中心に、解析対象試料を選定した。

選定した糞試料を株式会社生物技研（神奈川県相模原市）に発送し、アンプリコンシーケンス解析を委託した。同社は、環境 DNA 解析や微生物群集解析

を含む次世代シーケンサーを用いた受託解析サービスを提供しており、試料前処理から PCR 増幅、シーケンス解析、データ出力に至るまで一貫した解析体制を有している。本研究では、DNA が分解されやすく、抽出や DNA 断片の増幅に際して阻害物質を含みやすいという糞試料の特性を考慮し、DNA 抽出および増幅条件の最適化を含めた専門的技術を有する機関として同社を選定した。委託分析を用いることで、解析手法の標準化および再現性の確保を図るとともに、得られたデータの信頼性向上に努めた。

また、アンプリコンシーケンス解析とは、環境試料中に含まれる DNA のうち特定の分類群を識別可能な遺伝子領域を PCR によって増幅し、その塩基配列を大規模並列シーケンスにより解析する手法である (Schoch et al., 2012)。菌類の場合、核リボソーム RNA 遺伝子の ITS (Internal Transcribed Spacer) 領域などがバーコーディング領域として広く用いられており (Schoch et al., 2012)、形態的同定が困難な分類群を含め、多様な菌類を網羅的に検出できる点に特徴がある。以上の解析手法を採用することで、踏査および行動観察による定性的記録と、分子解析に基づく定量的・網羅的情報を組み合わせ、陸棲貝類と菌類の摂食関係を多角的に検討することを可能とした。本研究におけるアンプリコンシーケンス解析は、野外観察と実験的手法を橋渡しする補完的手段として位置づけられる。

3. 結果および考察

3.1. 神奈川県横浜市港北区日吉地区及びその周辺地域

3.1.1. 野外観察で確認された陸棲貝類の菌食行動の概要

野外観察調査を中心に行った神奈川県横浜市港北区日吉地域では、以下のよ
うな組み合わせでの摂食関係が観察された(表 1)。調査期間中にも樹上や地
表、人工物上で一定数のマイマイ属 *Euhadra* を観察したにもかかわらず、菌類
を摂食している個体に遭遇することは無かった。ニッポンマイマイ *Satsuma*
japonica は軟体部を長く伸ばして移動できる移動能力の高さ故なのか、林縁部
の草地上にあるコウジタケ属 *Hortiboletus* やチチアワタケ *Suillus granulatus* の
子実体を摂食している様子を観察することができた。一方で慶應義塾大学日吉
キャンパスにおいて観察されたキセルガイ科 Clausiliidae に属するナミギセル
Stereophaedusa japonica やヒカリギセル *Zaptyx buschi*、ナミコギセル
Tauphaedusa tau といった種類は、倒木やその周辺の環境を生息環境として好
み、群生する傾向が強い。実際に今回の調査結果ではヒカリギセルが複数個体
集まってケガワタケ *Lentinus squarrosulus* を摂食している様子や、ナミギセル
がウラジロベッコウ *Urairochlamys doenitzii* と共にカワウソタケ *Inonotus*

*mikadoi*を摂食している様子を観察することができた。そして、ナメクジ類としては慶應義塾大学日吉キャンパスの人工建造物にほど近い植え込みにおいてケヤキの倒木に生えたヒダキクラゲ *Auricularia mesenterica* を摂食するチャコウラナメクジ *Ambigolimax valentianus* や、落葉広葉樹林内において朽ちた倒木に生えたアミスギタケ *Polyporus arcularius* を摂食するナメクジ *Meghimatium bilineatum* の二つの観察事例を記録することができた。

表 1. 神奈川県横浜市港北区日吉地区及びその周辺地域で観察された陸棲貝類の菌類食記録

番号	陸棲貝類(摂食者)	菌類(摂食対象)	観察された地域・環境	観察年月日
A1	ニッポンマイマイ <i>Satsuma japonica</i> (L. Pfeiffer, 1847)	コウジタケ属の一種 <i>Hortiboletus</i> sp.	神奈川県横浜市港北区慶應義塾大学日吉キャンパス 広葉樹林の林縁部の地表	2024.10.08
A2	ニッポンマイマイ <i>Satsuma japonica</i> (L. Pfeiffer, 1847)	チチアワタケ <i>Suillus granulatus</i> (L.) Rousselr	東京都大田区田園調布多摩川台公園 草地の地表面	2025.06.09
A3	ヒカリギセル <i>Zappys buschii</i> (Küster, 1844)	ケガワタケ Lentinus squarrosulus (Mont.)	神奈川県横浜市港北区慶應義塾大学日吉キャンパス 広葉樹林の倒木上	2024.07.14
A4	ナミギセル <i>Stereophaedusa japonica</i> (Crosse, 1871)	カワウソタケ <i>Inonotus mikadoi</i> (Lloyd) Gilb. & Ryvarden	神奈川県横浜市港北区慶應義塾大学日吉キャンパス 広葉樹林の倒木上	2025.06.10
A5	ウラジロベッコウ <i>Urairochlamys doenitzii</i> (Reinhardt, 1877)	カワウソタケ <i>Inonotus mikadoi</i> (Lloyd) Gilb. & Ryvarden	神奈川県横浜市港北区慶應義塾大学日吉キャンパス 広葉樹林の倒木上	2025.06.10
A6	チャコウラナメクジ <i>Ambigolimax valentianus</i> (A. Férussac, 1821)	ヒダキクラゲ <i>Auricularia mesenterica</i> (Dicks.) Pers.	神奈川県横浜市港北区慶應義塾大学日吉キャンパス 草地の切り株上	2025.06.10
A7	ナメクジ <i>Meghimatium bilineatum</i> (W. H. Benson, 1842)	アミスギタケ Polyporus arcularius (Batsch) Fr.	神奈川県横浜市港北区慶應義塾大学日吉キャンパス 広葉樹林の倒木上	2025.05.10

3.1.2. 各菌食記録の詳細と考察

神奈川県横浜市港北区日吉地区及びその周辺地域で観察された陸棲貝類による菌食行動記録6点の詳細と考察を以下に記載する。慶應義塾大学日吉キャンパスにおける陸棲貝類の分布や種の概要に関しては吉村ら(2025)を参考にした。

(1) ニッポンマイマイによるコウジタケ属の一種の摂食記録(A1)

慶應義塾大学日吉キャンパス構内において、広葉樹林林縁部の地表面に発生したコウジタケ属の一種の子実体を摂食するニッポンマイマイを確認した(図1)。コウジタケ属の菌類は比較的柔らかい肉質の子実体を形成し、広葉樹林内などの地表面に発生することを特徴とする菌根菌である(Wu et al., 2016)。コウジタケ属の和名に含まれる「コウジ」は「麴」に由来し、本属の複数種が甘い麴様の芳香を放つことが知られている。一方でニッポンマイマイはニッポンマイマイ属 *Satsuma* に属し、殻径 20mm 前後のやや小型な陸棲貝類である。日吉キャンパスにおいては全域の草地から森林に至るまで広く確認されている。

本調査において観察されたニッポンマイマイは、コウジタケ属菌類の子実体から放出される化学物質に誘引された可能性が推察される。本事例は都市緑地という人工的環境下においても、菌類と陸棲貝類の相互作用が成立していることを示唆する一例である。



図7. 慶應義塾大学日吉キャンパスにて観察されたコウジタケ属の一種を摂食するニッポンマイマイ

(2) ニッポンマイマイによるチチアワタケの摂食記録(A2)

東京都大田区田園調布に位置する多摩川台公園において、アカマツ樹下の草地に発生したチチアワタケの子実体を摂食する2個体のニッポンマイマイを確認した(図2)。チチアワタケはヌメリイグチ属 *Suillus* に属する菌根性菌類で、マツ科樹木と外生菌根を形成し、無機栄養と光合成産物を相互に交換する生態を持つ(山田, 2003)。また、本種の子実体は食用として利用されることも多い。

本調査では、2個体のニッポンマイマイが同一の子実体に集まり、摂食行動を示していた。ニッポンマイマイは比較的高い移動能力を有する陸棲貝類であるが、本事例においては偶発的遭遇に加え、チチアワタケの子実体から発せられる化学物質が誘引要因として機能した可能性もある。本記録も(1)における観

観察記録と同様に都市公園という人工的環境下においても、菌類と陸棲貝類の相互作用が成立している可能性を示唆する一例といえる。



図 8. 東京都大田区田園調布多摩川台公園にてチチアワタケを摂食するニッポンマイマイ

(3) ヒカリギセルによるケガワタケの摂食記録(A3)

慶應義塾大学日吉キャンパス構内の広葉樹林内において、朽ちた倒木上に発生したケガワタケの子実体に群集する形で摂食行動を示す複数個体のヒカリギセルを確認した(図 3)。ケガワタケはケガワタケ属 *Lentinus* に属する木材腐朽菌であり、本属の中でも傘表面が顕著な鱗片に覆われる点を特徴とする(根田・佐藤, 2008)。一方、ヒカリギセルはノミギセル属 *Zaptyx* に属する陸棲貝類で、淡黄色の殻を有し、殻高は約 20 mm に達する中型種である。日吉キャンパスでは主として森林域を中心に広く分布している。

本調査では、日中にもかかわらず、倒木上に発生したケガワタケの子実体に

ヒカリギセルが複数個体集まり、活発に摂食する様子が観察された。日吉キャンパスにおける地上性キセルガイ類としてはナミギセルとヒカリギセルの2種が確認されているが、ヒカリギセルの方が個体数が多く、また天候や湿度条件に左右されにくく倒木上や地表面を活動する傾向が強い。このような活動性の高さにより、倒木上に発生するケガワタケのような菌類資源へ効率的にアクセスできることが、ヒカリギセルの個体数優位性の一因となっている可能性が考えられる。

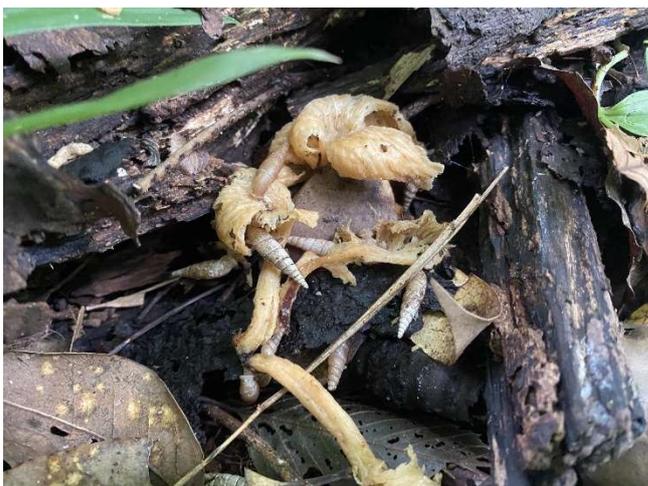


図9. 慶應義塾大学日吉キャンパスにてケガワタケを摂食するヒカリギセル

(4) ナミギセル・ウラジロベッコウによるカワウソタケの摂食記(A4・A5)

慶應義塾大学日吉キャンパス構内の広葉樹林内において、朽ちた倒木上に生えたカワウソタケの傘の表面を齧るようにして摂食しているナミギセルとウラジロベッコウを確認した(図4)。カワウソタケはサクラなどの倒木や枯れ木に

発生する木材腐朽菌の一種であり、サクラを害する代表的な病原菌の一つでもある(大綱,2005)。一方でナミギセルは赤褐色で殻高 25mm 程になる比較的大型の陸棲貝類であり、慶應義塾大学日吉キャンパスでは森林を中心に広く確認されている。ナミギセルを含む地上性キセルガイの仲間は、日中は倒木の裏やリター層の中で活動するため、夜間の湿潤な環境で観察を行ったことで、倒木上のカワウソタケの子実体にたどり着いた個体を観察することができたのではないかと考えられた。ウラジロベッコウは殻径 7mm ほどの透明性が高くべっこう色を呈した小型の陸棲貝類である。本種は森林のみならず、キャンパス構内の草地や低木林といった、人の手によって開発などの影響を受けた場所でも比較的多くの個体数を見ることができる。

また、カワウソタケはサルノコシカケ型の生時から硬い種であることから、健康な状態の硬い子実体は陸棲貝類から摂食対象として選ばれづらそうに思われた。しかし、本調査においてナミギセルやウラジロベッコウが食していた子実体はやや傷み、表面が劣化しつつある状態であったため、齧りやすく摂食に適していた可能性が考えられる。



図 10. 慶應義塾大学日吉キャンパスにてカワウソタケを摂食するナミギセルとウラジロベッコウ

(5) チャコウラナメクジによるヒダキクラゲの摂食記録(A6)

夜間の慶應義塾大学日吉キャンパス構内において、学校建造物（第一校舎）に近い植栽されたケヤキの切り株に発生したヒダキクラゲを摂食するチャコウラナメクジを確認した(図 5)。ヒダキクラゲはキクラゲ属 *Auricularia* に属し、ケヤキなど主に広葉樹の樹皮を分解する腐生菌である。子実体の背面に毛が密生し、色の濃淡を伴った環紋があることで同定される(Wu et al., 2015)。一方でチャコウラナメクジはチャコウラナメクジ属 *Ambigolimax* に属するヨーロッパ起源の外来種のナメクジ類であり、日本国内では現在、北海道から九州に至るまで広く分布している(武田・西, 2015)。特に、民家の庭先や住宅地内の公園、空き地など、人為的改変を強く受けた環境において高頻度で確認されることが知られている。本属に属する種は、比較的高い環境耐性を有する点が特徴

である。

本調査において、慶應義塾大学日吉キャンパス構内でチャコウラナメクジが観察された地点は、落葉層の堆積がほとんど認められず、比較的乾燥した状態にあり、土壌の発達は貧弱な環境であった。このような環境は、一般に多くの陸棲貝類にとって生息条件が厳しいと考えられるが、チャコウラナメクジはそのような人工的に改変された環境下でも安定して生息している点が注目される。本調査の結果から、チャコウラナメクジは土壌発達が貧弱な人工的環境下で、限られた基質上に発生した藻類や菌類を摂食している可能性が示唆された。こうした限られた餌資源を利用することで、チャコウラナメクジが都市的環境に適応している可能性が推察される。

以上のことから、チャコウラナメクジは、在来種の陸棲貝類の生息には不適な人工的環境においても、乾燥や温度変化といった環境耐性を持ち、そのような環境に生育可能な限られた藻類や菌類を柔軟に摂食することで生存を可能とする外来種であることが裏付けられた。本種の存在は、都市環境における陸棲貝類相の単純化や外来種優占の一例として位置づけられるとともに、菌類資源の利用という観点からも興味深い対象である。



図 11. 慶應義塾大学日吉キャンパスにてヒダキクラゲを摂食するチャコウラナメクジ

(6) ナメクジによるアミスギタケの摂食記録(A7)

慶應義塾大学日吉キャンパス構内において、広葉樹林内の倒木上に発生したアミスギタケの子実体を摂食するナメクジを確認した(図 6)。アミスギタケはタマチョレイタケ属 *Polyporus* に属する木材腐朽菌であり、傘裏面が管孔状となり、「多孔菌」と総称される菌類の子実体に特有の形態を示す(早乙女, 2015)。本属菌類は倒木や枯死木を基質として発生し、木材成分を分解することで森林生態系における物質循環に重要な役割を果たしている。

一方、ナメクジはナメクジ属 *Meghimatium* に属する陸棲貝類で、灰褐色の体色を呈する。「ナメクジ」という呼称は外来種であるチャコウラナメクジに対しても慣用的に用いられる例が多いが、本種は、標準和名として「ナメクジ」を冠する在来種である。チャコウラナメクジと比較すると体サイズは大きく、

最大まで伸長した個体では全長 100 mm を超える場合もある。

本調査では、降雨後の多湿な環境条件下において、倒木上に発生したアミスギタケをナメクジが活発に摂食する様子が観察された。記録は十分に蓄積されていないものの、本種が他の菌類を摂食している場面も繰り返し確認されていることから、ナメクジは日吉キャンパスに生息する陸棲貝類の中でも、菌類を重要な食資源として最も利用する種の一つである可能性が高いと。

本記録は、都市緑地という人工的要素を含む環境下においても、倒木を基盤とした菌類の子実体発生と、それを利用する陸棲貝類の摂食行動が成立していることを示す一事例であり、都市緑地における分解者ネットワークの理解に資する知見であるといえる。



図 12. 慶應義塾大学日吉キャンパスにてアミスギタケを摂食するナメクジ

3.2. 静岡県伊豆半島中部

3.2.1. 採集調査結果と得られた試料の概要

静岡県伊豆半島中部で行った採集調査では、3か所の調査地点において陸棲貝類の試料を合計で20種140個体得ることができた。樹上や地上を這うマイマイ属の殻口が反り返っていない幼貝や成貝が多数見られ、ミスジマイマイ種群であるミスジマイマイ *E. peliomphala peliomphala* (図13) やシモダマイマイ *E. p. simodae*、クノウマイマイ *E. p. kunoensis* が普遍的に観察されたほか、地域によってはハコネマイマイ *E. callizona* やヒラマイマイ *E. eoa eoa*、ヒダリマキマイマイ *E. quaesita* (図14)、ミヤマヒダリマキマイマイ *E. scaevola scaevola* (図15) 等が観察された。他にもキセルガイ科 Clausiliidae の種は、ヒカリギセルのような平地で見られる種から生息環境が限られるオオトノサマギセル *Megalophaedusa rex* (図16) やオオギセル *M. martensi* のような種が倒木やリター中から得られたほか、積み重なった倒木の裏などから複数個体のビロウドマイマイ *Nipponochloritis oscitans* やカサキビ属の一種 *Trochochlamys* sp. が少数得られた(図17)。ビロウドマイマイは、一か所の倒木が積み重なったポイントから群れのような形で複数の個体がまとまって発見される事例を複数確認した。また、採集調査中にビロウドマイマイがナヨタケ科

Psathyrellaceae の一種の子実体を摂食する様子を観察記録することができた。

これらの採集した陸棲貝類の試料から採集後に 115 点の糞試料を回収することができた。回収した糞試料は回収後速やかに 100%エタノールを用いて液浸標本にし、慶應義塾大学日吉キャンパス第二校舎生物学教室にて-70°Cで冷凍保存した。



図 13. 浄蓮の滝周辺にて活動するミスジマイマイ



図 14. 天城トンネル周辺にて地表面を活動するヒダリマキマイマイ



図 15. 天城トンネル周辺にて地表面を活動する稀産種ミヤマヒダリマキマイマイ



図 16. 天城トンネル周辺にて活動するオオトノサマガセル



図 17. 交接するカサキビ属の一種 *Trochochlamys* sp.

3.2.2. 菌食記録の詳細と考察

静岡県伊豆市湯ヶ島に位置する浄蓮の滝周辺において、ビロウドマイマイが朽ちた倒木に発生したナヨタケ科 Psathyrellaceae の一種の子実体を摂食している様子を確認することができた(図 18)。ビロウドマイマイの「ビロウド」は殻皮に毛状の付着物を有し、ビロウド状になることに由来する(東, 1982)。ナヨタケ科に属するほとんどの菌類が腐生菌であり、ビロウドマイマイが複数活動していた腐朽した広葉樹材に普遍的に発生する菌類であり、本菌群はビロウドマイマイの重要な餌資源の一つとなっている可能性が高い。



図 18. ナヨタケ科の一種を摂食するビロウドマイマイ

3.3. 使用試料の選別とアンプリコンシーケンス解析結果

3.3.1. 使用試料の選別

静岡県伊豆半島中部における現地採集調査において、ビロウドマイマイがナヨタケ科の一種の子実体を摂食している様子を確認することができた。加えて、ビロウドマイマイが倒木や落葉層の発達した微環境、とりわけ倒木が積み重なった地点において、群集するような形で複数個体が同時に活動している状況を複数回観察した。ビロウドマイマイは移動能力が低い陸棲貝類であることから、このような局所的な集合は、偶発的な集中というよりも、餌資源や生息条件の良好な環境に依存した空間利用の結果である可能性が高いと推察される。一方で、ビロウドマイマイ類に関しては、これまで菌類を摂食する可能性が示唆される野外観察例がほとんど報告されておらず、ビロウドマイマイの菌食性に着目した生態学的研究や分子生物学的解析に基づく知見は存在しないそのため、本種がどのような菌類を摂食し、どの程度菌類を重要な食資源として利用しているのかについては、これまで全く検討されてこなかった。

以上の背景を踏まえ、本研究では、伊豆半島中部の浄蓮の滝周辺と天城トンネル周辺で採集したビロウドマイマイの糞試料の中から、状態が良好で汚染の可能性が低い試料を厳選し、合計 8 点を解析対象として選定し、試料番号を付

与した(表 2)。これらの糞試料はいずれも異なるビロウドマイマイの個体に由来するものであり、かつ複数の調査地点から採集された個体の糞を含めることで、特定の個体や局所環境に偏らないようにした。選定した試料については、菌類群集の網羅的解析を目的として、前述の通り、株式会社生物技研にアンプリコンシーケンス解析を依頼した。

このように、野外観察によって確認された菌類摂食行動と、糞由来 DNA の分子解析を組み合わせることで、ビロウドマイマイにおける菌食性の実態を多角的に把握することを試みた点が、本解析の特徴である。

表 2. アンプリコンシーケンス解析を行った試料の概要

番号	試料ID	種名	試料情報
S1	0703-2-1-30	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月3日の日中に浄蓮の滝エリアにて採集 同所で同種他個体によるナヨタケ科の一種の摂食を確認
S2	0703-2-6-3	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月3日の日中に浄蓮の滝エリアにて採集 同所で同種他個体によるナヨタケ科の一種の摂食を確認
S3	0703-2-7-1	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月3日の日中に浄蓮の滝エリアにて採集 同所で同種他個体によるナヨタケ科の一種の摂食を確認
S4	0703-2-8-4	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月3日の日中に浄蓮の滝エリアにて採集 同所で同種他個体によるナヨタケ科の一種の摂食を確認
S5	0704-3-1-57	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月4日夜間に天城トンネルエリアにて採集
S6	0704-3-5-52	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月4日夜間に天城トンネルエリアにて採集
S7	0704-4-2-85	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月4日夜間に天城トンネルエリアにて採集
S8	0704-4-3-69	ビロウドマイマイ Nipponochloritis oscitans (Martens, 1881)	2025年7月4日夜間に天城トンネルエリアにて採集

3.3.2. 試料全体の解析結果

アンプリコンシーケンス解析の結果、ビロウドマイマイ由来の糞試料からは、複数の菌類分類群に由来する DNA 塩基配列が検出され、試料全体として多様な菌類群集が確認された。特に、ナヨタケ科に属する一種を含むいくつかの菌類分類群は、異なる個体および異なる採集地点に由来する複数の糞試料間で共通して検出されており、解析結果の再現性および野外調査結果との整合性が示された。

これらの重複検出は、単一個体や局所的環境に特有の偶発的摂食ではなく、ビロウドマイマイが一定の頻度で特定の菌類群を利用している可能性を示唆するものである。特にナヨタケ科の菌類は、倒木や落葉層などの湿潤な森林床環境に発生しやすく、伊豆半島中部において本種が群集して活動していた倒木集積環境とも子実体発生の条件は空間的に一致する。このことから、糞中に検出された菌類群集は、周辺環境に偶然存在した菌類相を反映したものというよりも、ビロウドマイマイの餌資源選択性および行動圏内の菌類相を反映している可能性が高い。

一方で、試料間には検出される菌類の分類群組成に一定のばらつきも認められ、全試料で一様ではなかった。このばらつきは、個体ごとの摂食履歴の違

い、糞の排泄時期と菌類発生状況との時間的ずれ、あるいは糞中 DNA の分解度や増幅効率の差異など、複数の要因が複合的に影響した結果である可能性がある。しかしながら、こうしたばらつきが存在する中でも、特定の菌類群が複数試料で共通して検出された点は、アンプリコンシーケンス解析が陸棲貝類の菌類摂食実態を反映しうる有効な手法であることを支持する。

以上の結果から、糞試料を対象としたアンプリコンシーケンス解析は、野外観察や写真記録のみに依拠した手法では把握が困難であった「実際に摂食された菌類相」を補完的かつ網羅的に明らかにする上で有効な手法であることが示された。本研究において得られた全体的な解析結果は、ビロウドマイマイが倒木環境を中心とした林床において、特定の菌類群を反復的に、あるいは選好して利用している可能性を示唆するものである。また、複数の試料間で共通して検出された菌類分類群の存在は、解析結果の再現性および生態学的妥当性を支持する重要な証拠である。

本研究におけるアンプリコンシーケンス解析結果の概要を把握するため、各試料から検出された菌類の ITS1 領域の塩基配列について、リード数が 100 を超えているものを多い順に上位各最大 10 種を抽出し、それぞれの構成を比較可能な形で整理した（表 3・4）。さらに、各糞試料における菌類群集構成を、検出されたリード数に基づいて可視化したグラフを作成した（図 19）。これら

の図表は、試料間における菌類群集の共通性および相違点を直感的に把握することを目的として作成したものである。

ここで言うリード数とは、各糞試料から検出された全 DNA 配列のうち、特定の菌類分類群に同定された DNA 配列の本数を指す。本研究では、リード数を各菌類分類群の相対的な検出頻度を示す指標として用いており、必ずしも摂食量や生物量を直接的に反映するものではない点に留意する必要がある。しかしながら、複数試料間で一貫して高いリード数を示す菌類分類群については、偶発的な検出である可能性は低く、ピロウドマイマイによる反復的な摂食や利用頻度の高さを反映している可能性が高い。

これらの結果は、次節以降で行う各試料の詳細な結果解釈および考察を行う上での基盤情報として位置づけられるものであり、個体間あるいは採集地点間における菌類利用の共通性と変異を検討するための出発点となる。

表 3. それぞれの糞試料から見出された菌類構成(試料 S1~S4)

試料S1(ID: 0703-2-1-30)	リード数	試料S2(ID: 0703-2-6-3)	リード数	試料S3(ID: 0703-2-7-1)	リード数	試料S4(ID: 0703-2-8-4)	リード数
クリゲノチャヒラダケ <i>Crepidotus crocophyllus</i>	34114	種不明	3979	チャヒラダケ属の一種 <i>Crepidotus kangoliformis</i>	31005	<i>Lecanicillium fungicola</i>	9362
Helotiales sp.	897	ガラツキウラベニガサ <i>Pluteus podospileus</i>	3415	ナヨタケ科の一種 Psathyrellaceae sp.	3928	<i>Blastobotrys</i> sp	5600
Chaetothyriales sp.	260	<i>Mariannaea samuelsii</i>	3108	<i>Aureobasidium</i> sp.	781	<i>Simplicillium lamellicola</i>	2635
<i>Candida</i> sp.	214	ナヨタケ科の一種 Psathyrellaceae sp.	1463	<i>Fontanospora</i> sp.	389	<i>Trichothecium crocotingenum</i>	2423
Chaetosphaeriaceae sp.	209	<i>Blastobotrys farinosus</i>	1415	<i>Veronaea</i> sp.	305	Thelephoraceae sp.	1899
Chaetothyriales sp.	162	Saccharomycetales sp.	1104	ナヨタケ科の一種 Psathyrellaceae sp.	177	<i>Leptobacillium symbioticum</i>	1625
Cladophialophora	143	<i>Dactylonectria anthuricola</i>	1055	<i>Cosmospora</i> sp.	139	Thelephoraceae sp.	1048
		<i>Mucor aseptatoohorus</i>	1027	<i>Linnemannia amoebaidea</i>	136	<i>Penicillium sumatraense</i>	1034
		<i>Trichothecium crocotingenum</i>	678	<i>Hypomyces tubaricola</i>	116	<i>Linnemannia amoebaidea</i>	871
		<i>Cladophialophora mongoliae</i>	668			<i>Simplicillium coffeanum</i>	542

表 4. それぞれの糞試料から見出された菌類構成(試料 S5~S8)

試料S5(ID: 0703-3-1-57)	リード数	試料S6(ID: 0703-3-5-52)	リード数	試料S7(ID: 0704-4-2-85)	リード数	試料S8(ID: 0704-4-3-69)	リード数
ウラベニガサ属の一種 <i>Pluteus anatolicus</i>	32676	Mortierellaceae sp.	12129	<i>Octaviania tomentosa</i>	28466	<i>Nectriopsis</i> sp.	21552
<i>Didymella</i> sp.	940	<i>Trechispora</i> sp.	6524	<i>Lecanicillium fungicola</i>	4314	ヒメテングノシメガイ <i>Geoglossum</i> sp.	2221
<i>Tolypocladium</i> sp.	662	種不明	2391	<i>Sebacina</i> sp.	3405	<i>Fusarium babinda</i>	1579
GS14	550	<i>Lunasperangiospora chienii</i>	1756	種不明	452	チ子タケ属の一種 <i>Lactarius</i> sp.	653
<i>Scytalidium ganodermophthorum</i>	492	<i>Lecanicillium praecognitum</i>	1542	<i>Sepedonium chrysospermum</i>	129	<i>Tomentella</i> sp.	469
種不明	201	タマチヨレイタケ目の一種 Polyporales sp.	454			<i>Mortierella calciphila</i>	405
Sordariomycetes	200	シロキクラゲ目の一種 Tremellales sp.	443			<i>Trechispora</i> sp.	338
		<i>Phomatospora biseriata</i>	394			種不明	323
		ハラタケ亜綱の一種 <i>Agaricomycetes</i> sp.	360			<i>Neonectria major</i>	283
		<i>Mortierellaceae</i> sp.	334				

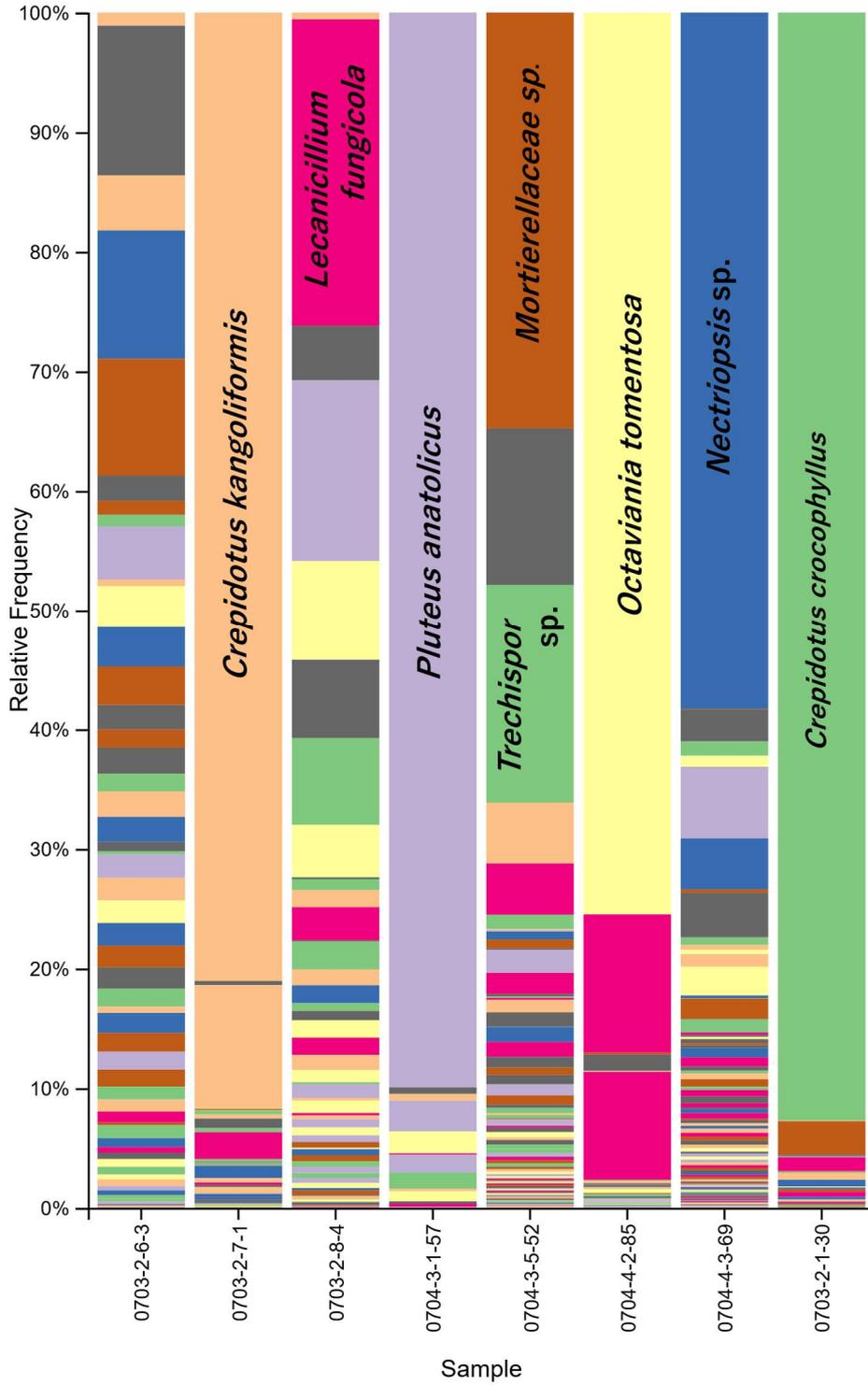


図 19. アンプリコンシーケンス解析により見出された各糞試料の菌類構成

3.3.3. 各試料の解析結果と考察

以下では、各試料の解析結果における菌類の具体的な分類群の多様性組成およびその特徴を順に示し、検出された菌類群集の特徴と、それらから導かれる考察を記述する。特に、複数の証拠が整合的に示された試料については、陸棲貝類による菌類の食利用の可能性を検討し、結果の解釈にあたっては解析手法の限界や不確実性についても併せて言及する。

(1) 試料 S1(ID:0703-2-1-30)

試料 S1 は 2025 年 7 月 3 日の日中に浄蓮の滝周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたビロウドマイマイより得られた糞である。同所ではビロウドマイマイの他個体によるナヨタケ科の一種の子実体摂食が実際に確認されており、本試料からも同様にナヨタケ科の一種をはじめとした菌類の検出が期待された。

結果より、クリゲノチャヒラタケ *Crepidotus crocophyllus* のリード数 34114 が全体のほとんどの割合を占めていた。クリゲノチャヒラタケはアセタケ科 *Inocybaceae* に属し、腐朽した広葉樹材上に発生する腐生菌である (Kasuya et al., 2014)。柄をほとんど持たず、「クリゲノ」に由来する茶褐色の毛を帯びた傘

が直接、腐朽した材上から発生する。常連の滝周辺においてビロウドマイマイを採集した環境は湿潤な土壌が発達した広葉樹林内における腐朽した倒木の裏であり、尚且つ筆者らは実際にビロウドマイマイが得られた倒木上に、種同定には至らなかったものの、様々な小型の菌類の子実体が発生しているのを確認している。このことから、本試料のアンプリコンシーケンス解析から得られた結果はビロウドマイマイとクリゲノチャヒラタケの摂食関係を支持するに足りるということが出来る。一方で、クリゲノチャヒラタケよりも少ないリード数が検出された他の菌類は、子実体を形成し陸棲貝類の摂食対象となるようないわゆる「きのこ」ではなく、糞を分解する役割を持つ菌類であった。これらの菌類が糞試料のアンプリコンシーケンス解析で検出されてしまう原因としては空気などを経由したコンタミネーションや、ビロウドマイマイによる排泄から糞試料の回収の間に侵入したことなどが推察される。そのため、これらの菌類とビロウドマイマイには摂食関係は存在しないと考えられた。

(2) 試料 S2(ID:0703-2-6-3)

試料 S2 も 2025 年 7 月 3 日の日中に浄蓮の滝周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたビロウドマイマイより得られた糞である。同所ではビロウドマイマイの他個体によるナヨタケ科の一種の子実体摂食が確認されており、本試料

からも同様にナヨタケ科の一種をはじめとした菌類の検出が期待された。

結果より、多くのリード数が検出された菌類の中でザラツキウラベニガサ *Pluteus podospileus*(検出リード数:3415)・ナヨタケ科 Psathyrellaceae の一種(リード数:1463)・マンネンタケ属 *Ganoderma* spp.の一種(リード数:678)の3分類群が摂食由来の可能性の高い菌類として挙げられた。ザラツキウラベニガサはウラベニガサ科 Pluteaceae に属する腐朽した広葉樹材上に発生する腐生菌で、傘は暗褐色を呈する(Takehashi and Kasuya, 2009)。ナヨタケ科の一種はほとんどが腐生菌であり、同所で他のピロウドマイマイによって摂食されている様子も観察されている。マンネンタケ属にはコフキササルノコシカケやマンネンタケ等の、日本において普遍的に見られる木材腐朽菌が存在し、採集調査を行った地点でもサルノコシカケ類と推測される菌類の子実体が実際に観察された。これらの菌類に関して、それぞれの生態的特徴や調査において同科又は同属の種が実際に目視で観察されているため、本試料のアンプリコンシーケンス解析から得られた結果はピロウドマイマイと上記3分類群の摂食関係を支持するに足りると考える。一方で上記三種以外でリード数が多く検出された菌類は(1)と同様にコンタミネーションによって混入したか、排泄から回収までに発生したと推察される。また、本試料ではそのような菌群が比較的多く検出されているため、糞の劣化が進んでいた可能性もある。

(3) 試料 S3(ID:0703-2-7-1)

試料 S3 も 2025 年 7 月 3 日の日中に浄蓮の滝周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたビロウドマイマイより得られた糞試料である。同所ではビロウドマイマイの他個体によるナヨタケ科の一種の摂食が実際に確認されており、本試料からも同様にナヨタケ科の一種をはじめとした菌類の検出が期待された。

結果より、多くのリード数を検出した菌類の中でチャヒラタケ属の一種 *Crepidotus kangoliformis* (リード数:31005) ・ ナヨタケ科の一種 1(リード数:3928) ・ ナヨタケ科の一種 2(リード数:177) の 3 分類群が摂食由来の可能性の高い菌類として挙げられた。チャヒラタケ属の一種はアセタケ科 *Inocybaceae* に属する腐朽した広葉樹材上に群生する腐生菌で、黄土褐色のヒラタケ型の傘を持つ小型の菌類である (Desjardin and Perry, 2016)。ナヨタケ科の一種は、そのほとんどが腐生菌である。また、試料 S2 においてもナヨタケ科の一種が見出されている。これらの菌類はそれぞれの生態的特徴や調査において同科の種の子実体が実際に確認されていることから、本試料のアンプリコンシーケンス解析から得られた結果はビロウドマイマイと上記の菌群の摂食関係を支持するに足りると考える。一方で上記 3 種以外のリード数が多く検出された菌類はこれまでに述べた試料と同様にコンタミネーションによって混入したか、排泄から回収までの間に侵入したと推察された。また、本試料ではそのよ

うな菌群のリード数も多いため、糞の劣化が比較的進んでいた可能性も考えられた。

(4) 試料 S4(ID:0703-2-8-4)

試料 S4 も 2025 年 7 月 3 日の日中に浄蓮の滝周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたビロウドマイマイより得られた糞試料である。同所ではビロウドマイマイの他個体によるナヨタケ科の一種の子実体摂食が確認されており、本試料からも同様にナヨタケ科の一種をはじめとした菌類の検出が期待された。

しかし、本試料から得られたリード数上位の菌類はほとんど全てコンタミネーションによって混入した菌類や、排泄から回収までの間に侵入、発生した糞の分解菌であった。よって本試料は糞内容物由来の DNA の分解や劣化が進んでいると推察され、ビロウドマイマイと菌類との摂食関係が考察しうる結果は得られなかった。

(5) 試料 S5(ID:0704-3-1-57)

試料 S5 は 2025 年 7 月 4 日の日中に天城周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたビロウドマイマイより得られた糞試料である。

結果より、多くのリード数を見出された菌類の中でウラベニガサ属の一種

Pluteus anaticus(リード数:32676)がビロウドマイマイによる摂食由来の可能性が高い菌類であると推察された。浄蓮の滝周辺において採集されたビロウドマイマイ由来の糞試料 S2 において、同属他種であるザラツキウラベニガサが検出されており、異なる採集地点であるものの、共通してウラベニガサ属の菌類由来 DNA 塩基配列がビロウドマイマイの糞試料より見出された。今回リード数が多く検出されたウラベニガサ属の一種 *P. anaticus* も、ザラツキウラベニガサと同様に腐朽した広葉樹材上に発生する腐生菌であり (Kaygusuz et al., 2021)、ナヨタケ科菌類と同様にビロウドマイマイの摂食対象となりえる点や、異なる採集地点の糞試料から共通して検出された点から、本試料のアンプリコンシーケンス解析から得られた結果は、ビロウドマイマイとウラベニガサ属菌類との摂食関係について試料 S2 での結果を支持する形となった。

(6) 試料 S6(ID:0704-3-5-52)

試料 S6 も 2025 年 7 月 4 日の日中に天城トンネル周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたビロウドマイマイより得られた糞試料である。

結果より、多くのリード数を見出された菌類の中でタマチョレイタケ目の一種 Polyporales sp.(リード数:454)・シロキクラゲ目の一種 Tremellales sp.(リード数:443)・ハラタケ亜綱の一種 Agaricomycetes sp.(リード数:360)の 3 種がビ

ロウドマイマイによる摂食由来の可能性が高い菌類であると考えられた。しかし、これらの分類群は目や亜綱までの同定に留まり、その分類単位の大きさから他の試料における事例よりも摂食由来としては信頼性が低い。また、上記3種以外でリード数が多く検出された菌類は試料 S1 と同様にコンタミネーションによって混入したか、排泄から回収までの間に侵入した糞の分解菌であると推察される。さらに、本試料ではこのような菌群のリード数が多く検出されているため、糞の劣化が比較的進んでいた可能性もある。

(7) 試料 S7(ID:0704-4-2-85)

試料 S6 も 2025 年 7 月 4 日の日中に天城トンネル周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたピロウドマイマイより得られた糞試料である。

結果より、多くのリード数を見出された菌類の中でホシミノタマタケ属の一種 *Octaviania tomentosa*(リード数:28466)がピロウドマイマイによる摂食由来の可能性が高い菌類であると考えられた。ホシミノタマタケ属の一種は、イグチ科に属し、地中に小型のトリュフ状の子実体を形成する地下生菌である (Orihara et al., 2021)。地下生菌は自力での孢子散布ができない為、動物による摂食に依存している。今回のピロウドマイマイの糞からは、アンプリコンシーケンス解析によってホシミノタマタケ属の一種由来の DNA 塩基配列が非常に

高い割合で検出された。野外においてビロウドマイマイはホシミノタマタケ属の一種が放つ化学物質等に誘引され、地中に軟体部を伸ばす形で埋没したホシミノタマタケ属の一種を摂食している可能性がある。また、ビロウドマイマイはホシミノタマタケ属の一種を摂食する際に胞子を軟体部に付着したり、胞子を含んだ糞を環境中に排泄したりすることで、ホシミノタマタケ属の一種の胞子散布にも役立っている可能性もある。そしてホシミノタマタケ属の一種は2021年に日本国内で新種記載された種であり、その生態や胞子散布に関する知見は少ない(Orihara et al., 2021)ことから、今回の結果は本種の生態や他の生物との相互作用に関する重要な情報となる。

以上のように、本試料のアンプリコンシーケンス解析から得られた結果はビロウドマイマイとホシミノタマタケ属の一種との摂食関係を支持するに足りると同時に、ホシミノタマタケ属の一種の胞子散布についての知見も新たに付加することができたものである。

(8) 試料 S8(ID:0704-4-3-69)

試料 S7 も 2025 年 7 月 4 日の日中に天城トンネル周辺において朽ちた倒木の裏から採集されたビロウドマイマイより得られた糞試料である。

結果より、多くのリード数を見出された菌類の中で *Nectriopsis* 属の一種(リ

ード数:21552)・ヒメテングノメシガイ属の一種 *Geoglossum* sp.(リード数:2221)・チチタケ属の一種 *Lactarius* sp.(リード数:653) の3分類群が摂食由来の可能性の高い菌類として考えられた。*Nectriopsis* 属はビオネクトリア科に属し、森林内の倒木上に微小な子嚢果を形成する腐生菌である(廣岡, 2009)。

ヒメテングノメシガイ属の一種は種まで同定されていないものの、地上生で黒色の小型の子実体を形成する子嚢菌の一群である(文献を引用)。また、チチタケ属は傘、ひだと柄を有し、比較的大型の子実体を形成し、白色や黄色を帯びる乳液を分泌する外生菌根菌である(Barge et al., 2016)。これらの菌類それぞれの生態的特徴から、本試料のアンプリコンシーケンス解析から得られた結果はビロウドマイマイと上記3菌群との摂食関係を支持するに足りるものと考ええる。一方で上記3分類群以外のリード数が多く検出された菌類はこれまでの試料と同様にコンタミネーションによって混入したか、排泄から回収までの間に侵入したと考えられた。また、本試料ではこのような菌類のリード数が比較的多く検出されているため、糞の劣化が比較的進んでいた可能性もある。

4.まとめ

本研究は、陸棲貝類による菌類の摂食が野外でしばしば観察される一方で、摂食対象菌類の同定が子実体の出現・形態識別に強く依存してきたこと、ならびに子実体を形成しない菌類や形態に基づく同定が困難な分類群、発生期間の短い菌類の子実体の利用実態が十分に整理されてこなかったことを踏まえ、踏査・行動観察に基づく記録と糞試料を用いた分子解析を統合する枠組みを提示したものである。すなわち、都市近郊緑地（神奈川県横浜市港北区日吉地区およびその周辺）と、自然度の高い比較調査地（静岡県伊豆半島中部）を対象に、①野外での摂食行動の直接観察記録の蓄積と、②糞試料に対する菌類 ITS 領域のアンプリコンシーケンス解析を組み合わせ、陸棲貝類が実際に食利用した菌類群集を網羅的に推定することを目的とした。

日吉地区では、踏査・行動観察により、都市的・人為的要素を含む環境下においても、倒木や落葉層、林縁草地等を基盤とした菌類—陸棲貝類の相互作用が成立していることを、複数の具体例として確認した。具体的には、ニッポンマイマイが地表に発生した菌根菌（コウジタケ属の一種、チチアワタケ）の子実体を摂食する事例が得られ、都市緑地・都市公園といった人工的環境下で

も、地上性の菌類の子実体が陸棲貝類の食資源となりうることが示された。加えて、倒木環境に依存する傾向の強い地上性キセルガイ類では、ヒカリギセルが朽木上のケガワタケを群集的に摂食する事例や、ナミギセルがウラジロベッコウとともにカワウソタケを摂食する事例が確認され、倒木上に形成される菌類の子実体が、複数分類群の陸棲貝類によって食資源として共有・利用されることが示唆された。ナメクジ類についても、在来種ナメクジが倒木上のアミスギタケを摂食する事例が得られ、降雨後の湿潤条件下で菌類資源へのアクセスが高まることが観察された。一方、落葉層の堆積が乏しく比較的乾燥した人工的環境では、外来種チャコウラナメクジがヒダキクラゲを摂食する事例が確認され、都市的環境における資源制約の下で、乾燥耐性をもつ菌類を含む限られた餌資源が利用される可能性が示された。これらの結果は、都市化の進行下でも、微環境（倒木・腐植・湿潤条件）の残存が菌類—陸棲貝類の相互作用成立に寄与しうることを、ならびに陸棲貝類の生活型（移動能力、倒木依存性、活動性）に応じて菌類資源へのアクセス様式が異なることを示す基礎的知見である。

伊豆半島中部では、河津七滝、浄蓮の滝、天城トンネル周辺の3地点において採集調査を実施し、計20種140個体の陸棲貝類を得た。採集個体からは計115の糞試料を回収・保存し、分子解析に供しうる試料群を確保した。現地で

は、倒木や落葉層が発達した湿潤な林床、とりわけ倒木が集積する微環境においてビロウドマイマイが複数個体で集合して活動する状況が複数回確認され、加えてそれらがナヨタケ科の一種を摂食する様子が観察された。これらの観察結果と先行知見の乏しさを踏まえ、本研究ではビロウドマイマイ由来の糞試料8点を厳選して菌類 ITS 領域のアンプリコンシーケンス解析を実施した。その結果、複数の試料から多様な菌類分類群が検出され、解析した試料全体として一定の菌類の多様性が把握できた。とくに、腐朽木上に発生する腐生菌（例：チャヒラタケ属、ウラベニガサ属、ナヨタケ科の一部）が複数試料で共通して検出され、野外で観察された倒木環境や菌類の子実体発生状況と整合的な傾向が得られた。これらの分類群が異なる糞試料から重複して検出されたことは、単一個体や局所環境に特有の偶発的な摂食によるものではなく、ビロウドマイマイが倒木環境を中心として一定の菌類の分類群を選択的に利用する可能性を示唆するものである。

さらに、天城トンネル周辺由来の一部試料では、地下生菌（ホシミノタマタケ属の一種）が高い割合で検出され、ビロウドマイマイが地中に形成される菌類の子実体を食資源として利用することが示唆された。地下生菌は自力での孢子散布が制約されることから動物依存的な孢子散布様式が想定されており、本結果は、陸棲貝類が地下生菌類の生活史（孢子散布を含む）に関与しうる可能

性を検討する上で重要な示唆を与える。ただし、アンプリコン解析は糞中 DNA の検出に基づく推定であるため、検出結果の解釈には、採集時の陸棲貝類の行動観察や菌類の子実体の探索結果を踏まえるとともに、菌類の生態特性、試料状態などの情報を統合して慎重に判断する必要がある。

以上より、本研究は、都市近郊緑地と自然度の高い森林環境における菌類—陸棲貝類相互作用を、観察記録と糞由来 DNA 解析を組み合わせることで記述した点に大きな意義がある。とりわけ、糞試料を対象としたアンプリコンシーケンス解析は、子実体の未出現種や形態に基づく同定が困難な分類群を含め、野外観察のみでは把握が困難であった「実際に陸棲貝類によって摂食された菌類相」を補完的かつ網羅的に明らかにしうる手法であることが示された。そして、日吉周辺（都市）と伊豆半島（自然）との対比を通じて、環境改変度や微環境条件の違いが、陸棲貝類による菌食行動の観察可能性や糞中に反映される菌類相の現れ方に影響しうるか、という本研究の核心をなす問いに対し、基礎的な実証結果を提示することができた。

5. 本研究における課題

本研究は、陸棲貝類による菌類摂食の実態を、野外観察と糞試料を用いたアンプリコンシーケンス解析を組み合わせて検討した点に特徴ならびに新規性がある一方で、いくつかの課題を残している。

第一に、アンプリコンシーケンス解析によって検出された菌類分類群の多くについて、実際に野外で確認された子実体との対応関係を直接的に示す証拠が十分に得られていない点が挙げられる。糞中から検出された菌類 DNA は、摂食由来である可能性を示唆するものの、子実体の同定記録や摂食痕跡との対応が限定的であるため、どの菌類のどの発生段階（子実体・菌糸体・孢子）が陸棲貝類に摂食されたのかについては、なお不確実性が残る。

第二に、本研究では糞中に含まれる菌類 DNA の検出をもって摂食の推定を行ったが、糞中に含まれる孢子そのものの形態観察や生残性の評価は行っていない点がある。糞中に含まれると推察される菌類の孢子の顕微鏡観察や発芽試験を併用することで、アンプリコン解析で検出された菌類が実際に陸棲貝類が摂食し、それらの消化管を通過したものであるかを、より直接的に検証できるだろう。

第三に、ビロウドマイマイの菌類の食利用に関する分子生物学的手法の適用は、状態が良好であると見なした 8 試料に今回は限定しており、菌類への選好性や利用頻度を定量的に評価するには必ずしも十分な試料数とは言えない点である。個体数や調査地点、季節を拡張したうえで、より多くの糞試料に対してアンプリコンシーケンス解析を行うことにより、特定の菌類分類群に対する選択的利用の有無をより精度高く検証できるだろう。

以上の点から、本研究の結果は陸棲貝類の菌類食を示す基礎的証拠を提示するものの、摂食対象の確定や選好性の評価については、今後の追加的検証が強く望まれる。

6. 今後の展望

本研究では、ビロウドマイマイを対象として糞試料のアンプリコンシーケンス解析を実施した結果、倒木環境に発生する腐生菌や地下生菌を含む複数の菌類分類群が検出された。今後は、本手法をビロウドマイマイ以外の陸棲貝類にも適用することで、陸棲貝類群集全体における菌類利用様式の多様性をより包括的に理解できると期待される。

例えば、マイマイ属 *Euhadra* spp.に含まれる樹上性の種群（ハコネマイマイ、クノウマイマイ、シモダマイマイ、ミスジマイマイなど）は、主として樹幹や樹上を活動域とすることから、樹皮表面や樹幹上に形成される菌類、あるいは地表性菌類とは異なる分類群の菌類を摂食している可能性がある。これらの種を対象に糞由来 DNA 解析を行うことで、生活場所の違いが菌類資源利用にどのように反映されるのかを検討できるだろう。

また、同一調査地において複数種が共存するキセルガイ類についても、糞のアンプリコン解析は食性解析のための有効な手法となりうる。倒木依存性や微環境選好が異なるキセルガイ類の各種が、摂食する菌類の分類群に差異をもたせることで資源分割を行い、微細な棲み分けを成立させている可能性がある。

種ごとの糞中菌類相を比較することで、これまで形態観察や分布情報のみでは捉えにくかったキセルガイ類の生態的分化の一端を明らかにできると期待される。

さらに、本研究において特に注目されるのは、ビロウドマイマイ由来の糞試料の一つから地下生菌であるトリュフ型菌類 *Octaviania tomentosa* が高い割合で検出された点である。地下生菌は自力での孢子散布が困難であるため、動物による摂食と排泄を通じた孢子散布に依存していると考えられている。本研究の結果は、ビロウドマイマイが地下生菌を摂食することで、菌類側にとっても孢子散布という利益がもたらされている可能性を示唆している。

今後は、地下生菌の摂食場面を野外で直接記録することや、糞中に含まれる孢子の顕微鏡観察・発芽試験を併用することで、解析による推定をより実証的に補強することが求められる。特に、地下生菌と陸棲貝類との相互作用は、これまでほとんど注目されてこなかった研究対象であり、林床における菌類の生活史や分解者ネットワークを再評価する上でも重要な切り口となりうる。

以上のように、糞試料を用いたアンプリコンシーケンス解析は、陸棲貝類の菌類利用を解明するために効果的な手法であり、対象種・環境・季節を拡張することで、陸域生態系における菌類—動物相互作用の理解を大きく前進させる可能性を有している。

謝辞

本研究を進めるにあたり、筑波大学生命環境系下田臨海実験センターの香川理助教は陸棲貝類の菌食性についてご助言をいただくとともに、静岡県伊豆半島での5日間の調査において全体の調整やフィールド調査・標本作成においてご協力いただいた。慶應義塾大学経済学部生物学教室の林牧子助教（有期）には慶應義塾大学日吉キャンパスと静岡県伊豆半島での調査にご協力いただくとともに、陸棲貝類の菌類食事例の情報提供をいただいた。筑波大学理工情報生命学術院の山田彩斗氏には伊豆半島における陸棲貝類の採集調査にご協力いただいた。慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士課程の和田匠平氏には陸棲貝類の菌類食事例の情報提供をいただいた。

最後に、慶應義塾大学経済学部生物学教室の糟谷大河准教授には、本研究の遂行に際して終始懇切丁寧なご指導ならびに叱咤激励をいただいた。以上に各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

阿久澤武史. 2023. キャンパスの戦争 慶應日吉 1934-1949. 288 pp. 慶應義塾大学出版会, 東京.

東正雄. 1982. 原色日本陸産貝類図鑑. 333 pp. 保育社, 東京.

Baker G M. 2001. *The Biology of Terrestrial Molluscs*. 558 pp. CABI Publishing, Wallingford.

Barahona-Segovia, R. M., Gallardo-Pillancari, E., Orrego, G., Osorio F. 2024. Mycophagy and feeding on other native land snails by the black snail *Macrocyclus peruvianus*(Gastropoda, Macrocyclidae). *Austral Ecology* 49: e13491.

Barge E. G., Cripps C. L., Osmundson T. W. 2016. Systematics of the ectomycorrhizal genus *Lactarius* in the Rocky Mountain alpine zone. *Mycologia* 108(2): 414-440.

Desjardin, D. E., Parry, B. A. 2016. Dark-spored species of Agaricineae from Republic of Sao Tome and Principe, West Africa. *Mycosphere* 7(3): 359-391.

濱本宏. 2023. 菌類病とはそもそも何か. *iPlant*. 1(4).

早瀬善正・木村昭一・川瀬基弘. 2012. 面ノ木原生林のベッコウマイマイ科3

観察記録とアンプリコンシーケンス解析による陸棲貝類の菌食性の解明 (石井晃瑛)

種. かきつばた (37):28-35.

本多亮・安部祐希・道家涼介. 2023. 伊豆半島の衝突テクトニクス. 地震 76:
135-148.

廣岡裕吏. 2009. 日本産ネクトリオイド菌類の分類学的研究. 日菌報 50: 79-93.

Izu Peninsula Geopark Promotion Council. 2022. *Izu Peninsula UNESCO
Global Geopark Master Plan and Action Plan 2021-2025*. pp.79. Izu
Peninsula Geopark Promotion Council, Izu.

環境省. 2002. 生物多様性調査 動物分布調査報告書(上・下)(陸産及び淡水産貝
類). 1342 pp. 環境省自然環境局生物多様性センター, 東京.

環境庁. 1988. 第3回自然環境保全基礎調査 植生調査報告書(静岡県). 126 pp.
環境庁, 東京.

環境庁自然保護局. 1993. 動植物分布調査報告書(陸産及び淡水産貝類). 167 pp.
環境庁自然保護局, 東京.

Kasuya T., Kaneko R., Takehashi S., Hosaka K. 2023. *Hydropodia sylvae-
nipponicae*(Porotheleaceae), a new species from evergreen broad-leaved
forests in Japan. Mycoscience 64:116-122.

Kasuya T., Uno K., Hosaka K. 2014. Reexamination of *Crepidotus crocophyllus*
(Basidiomycota, fungi) in Japan, with reference to its phylogenetic

観察記録とアンプリコンシーケンス解析による陸棲貝類の菌食性の解明 (石井晃瑛)

placement. Univ. Bull. Chiba Inst. Sci. 7: 159-166.

Kaygusuz O., Knudsen H., Menolli N. Jr. • Ibrahim Turkekul. 2021. *Pluteus*

anatolicus (Pluteaceae, Agaricales): a new species of *Pluteus* sect.

Celluloderma from Turkey based on both morphological and molecular

evidence. Phytotaxa 482(3): 240-250.

慶應義塾大学・日吉自然調査グループ. 1991. 慶應義塾日吉キャンパス域の自然

調査報告. 114 pp. 慶應義塾大学, 東京.

木方正. 2002. キノコが身体によいわけ. 薬学図書館 47(1):48-51.

Kitabayashi K., Kitamura S., Tuno N. 2022. Fungi spore transport by omnivorous

mycophagous slug in temperate forest. Ecology and Evolution 12(2):1-

12.

金野尚武. 2013. きのこと類が生産する糖質加水分解酵素. MOKUZAI HOZON.

39(2): 60-70.

熊本県農林水産部. 2009. マンネンタケ(霊芝)菌床給与による地域特産肉用鶏の

生産性と免疫反応の向上. 2 pp. 熊本県.

黒住耐二. 1994. 導入植生への陸産貝類の分散について. 千葉中央博自然誌研究

報告特別号 (1):235-244.

増田修・波部忠重. 1989. 静岡県陸淡水産貝類相. 東海大学自然史博物館研究報

告 3: 1-89.

根田仁・佐藤大樹. 2008. 亜熱帯日本産ハラタケ型菌類 (1) *Lentinus* および
Panus. 日菌報 49: 91-98.

日本菌学会. 2014. 菌類ワールドへの誘い. 11 pp. 日本菌学会, 東京.

農林水産省. 2021. 不思議がいっぱい! きのこの生態と豆知識. aff(あふ)2021
年 10 月号. 農林水産省, 東京.

https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/2110/spe1_01.html

大場由美子. 2017. 光るキノコと八丈島. 関西菌類談話会会報 34:2-7.

Orihara T., Healy R., Corrales A., Smith M. E. 2021. Multilocus phylogenies
reveal three new truffle-like taxa and the traces of interspecific
hybridization in *Octaviania* (Boletaceae, Boletales). IMA Fungus
12(1):2-22.

大澤正嗣. 2005. 腐朽病菌カワウソタケ (*Inonotus mikadoi* (Lloyd) Imazeki) のソ
メイヨシノ (*Prunus x yedoensis* Matsumura) への接種試験. 山梨県森林
総合研究所研究報告 24: 1-3.

Osborn M., Smith C. 2005. Molecular microbial ecology. pp.400.
Taylor&Francis.Rodrigo

Ponder W. F., Lindberg D. R., Ponder J. M. 2020. *Biology and Evolution of the Mollusca*. 817 pp. CRC Press, Boca Raton.

Putra I. P., Thamrin J. A. D. 2021. *Coprinellus* sect. *Disseminati*: Source of Gastropod Mycophagy in Bogor-Indonesia. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati* 6(3):147-154.

Rennick B., Benucci G. M. N., Du Z. -Y., Healy R., Bonito G. 2023. *Tuber rugosum*, a new species from northeastern North America : Slug mycophagy aides in electron microscopy of ascospores. *Mycologia* 115(3): 1-17.

早乙女梢. 2015. *Polyporus* 属とその間連属の分子系統分類学的研究. *日菌報* 56: 69-81.

澤田晶子. 2014. 霊長類のキノコ食行動-今後の課題と可能性-. *霊長類研究* 30: 5-21.

Schoch C. L., Seifert K. A., Huhndorf S., Schindel D. 2012. Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *PNAS* 109 (16): 6241-6246.

高木宏・遠山三樹夫. 1987. 天城山のブナ林の植物社会学的研究. 横浜国立大学教育学部 理科教育実習施設研究報告. (4):11-20.

観察記録とアンプリコンシーケンス解析による陸棲貝類の菌食性の解明 (石井晃瑛)

武田普一・西浩孝. 2015. カタツムリハンドブック. 129 pp. 文一総合出版, 東京.

Takehashi S., Kasuya T. 2009. *Pluteus magnus* and *Pluteus podospileus* f. *podospileus*, two agaric species new to Japan. Mycoscience 50: 74-77.

上村成彦. 2022. 理想的な田園都市「田園調布」の過去と未来. 京都芸術大学通信教育課程 芸術教養学 WEB 卒業研究展. 京都芸術大学, 京都. <https://g.kyoto-art.ac.jp/reports/4695/>

Wu F., Yuan Y., Riovoire B., Dai Y. -C. 2015. Phylogeny and diversity of the *Auricularia mesenterica* (Auriculariales, Basidiomycota) complex. Mycol Progress 14: 42.

Wu G., Li Y.-C., Zhu X. -T., Zhao K., Han L.-H., Cui Y.-Y., Li F., Xu J.-P., Yang Z. L. 2016. One hundred noteworthy boletes from China. Fungal Diversity 81:25-188.

山下聡. 2013. 木材腐朽性担子菌類と菌食性昆虫の生物間相互作用 -孢子分散における昆虫の役割-. 日本生態学会誌. 63: 327-340.

山田明義. 2003. アカマツ林における外生菌根菌の生態と菌根形態に関する研究, 及び菌根性きのこ類の人工増殖に関する総合的研究. 日菌報 44: 9-18.

観察記録とアンプリコンシーケンス解析による陸棲貝類の菌食性の解明 (石井晃瑛)

山根悠介. 2016. 静岡県における最近 30 年間の降水の経年変化について. 常葉

大学教育学部紀要. 36: 301~312.

吉村 太郎・石井 晃瑛・逢坂 暖・小久保真聖・橋本 翔太・今井 宏明・有川

智己・佐々木猛智. 2025. 慶應義塾日吉キャンパスにおける陸・淡水産

貝類相. ちりぼたん 55: 89-114.

本文 38 字×18 行 全 26339 文字