

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21380093

研究課題名（和文） 森林生態系の生食・腐食連鎖に関わる節足動物の群集構造と生態系機能における位置

研究課題名（英文） Structures of arthropod communities involved in the grazing and detrital food webs and their functioning in a forest ecosystem

研究代表者

肘井 直樹 (HIJII NAOKI)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：80202274

研究成果の概要（和文）：スギ人工林において、樹上と土壌のリター（枯枝葉）の性質と、樹冠層、土壌層における節足動物の種構成、個体数、現存量密度等の経時的調査を行ない、空間分布構造、および両層間の節足動物群集の定着過程と分解過程の違いを明らかにした。また、生食連鎖と腐食連鎖を結び、局所スケールでの恒常的捕食圧の主役であるクモ群集に着目し、スギ林-カラマツ林、樹冠層-土壌層（林床）間の比較を通じて、クモ群集の多様性、群集構造の違いをもたらす要因を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The colonization patterns of microarthropods were examined in arboreal and soil microhabitats of a *Cryptomeria japonica* plantation by using litter bags. The variation in leaf-litter mass among litter bags increased markedly with increasing decomposition in the soil, and was smaller in the arboreal environment. Soil microarthropods were suggested to be more affected by successional changes because of faster decomposition of the litter, whereas arboreal microarthropods by seasonal changes because of slower decomposition processes.

Comparative analyses revealed that (1) the species diversity of arboreal spider communities in canopies was influenced by the structural complexity of the foliage; (2) arboreal spider communities differed more distinctly between the layers of the *C. japonica* than *L. kaempferi* canopy, mainly due to the difference in the resource quality (living or dead foliage); (3) the community composition of spiders on the forest floor differed between tree species as well as between the canopy and forest floor in both stands, primarily due to the structural complexity of habitats.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	9,500,000	2,850,000	12,350,000

研究分野：森林保護学、森林生態学

科研費の分科・細目：森林学、森林科学

キーワード：スギ、カラマツ、人工林、節足動物、土壌動物、クモ群集、樹冠層、食物連鎖

1. 研究開始当初の背景

1990年代半ば頃より、草地生態系を始めとして、一次生産力、栄養循環やエネルギー流

など、生態系機能に果たす生物群集の役割が、とくに生物多様性とのかわりから注目されるようになってきている (Hunter 2001;

Naeem et al. 2002; Loreau et al. 2002; Tilman et al. 2006)。しかし、森林生態系では、その空間構造や環境要素の複雑さのゆえに、系を構成する生物群集がどのような構造を持ち、固有の多様性をどのように維持し、生態系機能にどのように関わっているのかは未知の部分が多く、生物群集に関する基礎データの集積は大きく立ち遅れていた。一方で、近年の林冠への関心の高まりにより、とくに樹冠層の生物に関する理解は飛躍的に深まりつつある (Basset et al. 2003; Lowman & Linker 2004 等)。しかし、熱帯林冠において重要な成果を挙げている進化生態学的研究を除き、日本国内における研究がこれに十分貢献しているとは言い難い。森林の生態系機能に関わる生物群集の多様性の維持機構を、樹冠構造や林分の生産力との関係から解明しようとする試みはいくつかあるものの (Ishii et al. 2004; Halaj & Wise 2001 等)、節足動物群集にかかわる定量的な情報、とりわけ針葉樹林、人工林に関する情報は、国内外ともに依然としてきわめて限定的である (Hijii 1989; Hijii et al. 2001 等)。とくに近年、地上部—地下部両空間の生物群集の連関 (ecological linkages) が生態系機能に果たす役割の重要性が強調されてきたにもかかわらず (Wardle 2002; Wardle et al. 2004)、森林生態系を駆動させている生食・腐食連鎖系という‘動脈’の全体構造と、系の動的平衡の維持機構を解明するにはほど遠く、様々な森林間の比較検討を含めて、今後まだ相当の解明努力が必要であると感じていた。そこで本課題では、森林の空間構造・資源動態が節足動物群集の密度と空間分布に及ぼす影響をさらに詳細に解明するとともに、とくに生食連鎖系と腐食連鎖系の結節点に位置する主要捕食者 (クモ類) 群集の構造とその形成機構の解明に力点を置いて研究を進めることとした。

2. 研究の目的

これまでの研究において著者が取り組んできた主要な課題は、1) 森林の物質循環を制御する腐食連鎖系において微生物とともに中心的な存在である腐食性・菌食性節足動物の群集構造と、2) 樹木—植食者間のボトムアップ的相互作用、食虫性鳥類—餌動物間のトップダウン的相互作用を通じて生食連鎖系の中核をなす植食性節足動物群集の存在様式であった。本課題では、これまでの研究で一定の情報の蓄積が得られている針葉樹人工林を材料として、1) の課題については、主としてリターバッグ法を用いて、小型節足動物群集のリター資源へ定着過程と、樹上、土壌におけるリターの分解過程の違いを明らかにすることを目的とした。また、2) の課題については、クモ群集に着目し、樹冠

層—土壌層での群集構造の比較とその相違をもたらす構造的要因を明らかにするとともに、主要な餌動物を用いての採餌選択実験などを通じて、クモ群集の多様性の維持機構、生態系の安定化に関わる捕食圧の定量化を試みる。クモ類は、年間を通じて、樹冠層から土壌層に至るまで森林の様々な生息場所にきわめて豊富に存在し、昆虫食性鳥類と比べ、昆虫類の様々なステージ、サイズに対して有効性の高い捕食効果を恒常的にもたらず点で、寄生蜂とともに、ミクロスケールでの恒常的捕食圧の主役といえる。このためクモ類は、生態系の安定化の面から、森林の生態系機能のなかで重要な役割を果たしているものと考えられる。とくに樹冠層では、クモ類は捕食者の中心を成し (Hijii 1989)、そのかなりの部分は、土壌層からの腐食流入 (detrital infusion) によって支えられていると考えられている (Shimazaki & Miyashita 2005; 吉田 2006)。ここで得られた知見は、生食連鎖系と腐食連鎖系の構造解明のみならず、両系間の相互作用の解明、森林生物群集の多様性創出と動的平衡を維持する機構を解明する手がかりを与える。

3. 研究の方法

(1) 腐食連鎖系に関与する節足動物

名古屋大学演習林内の 38 年生スギ人工林、17 年生カラマツ人工林内に固定調査地を設け、スギ林では林内に設置した高所作業用タワーを利用して、樹冠層に滞留したままの付着枯枝葉 (樹上のリター資源) の定期的な採取を行なった。腐食・菌食性節足動物群集については、群集構成や個体数・現存量とそれらの季節変動等を、主として洗浄法とツルグレン法を用いて付着枯枝葉から節足動物を抽出することにより明らかにした。

また、生息場所としての連続性・独立性の観点から、樹上と土壌における節足動物群集の侵入定着過程と分解過程との関連性、それらと物理的環境要因との関連性を、リターバッグ法によって検証した。

(2) 樹冠層・土壌層のクモ相と群集構造

調査は月 1 回の頻度で行なった。樹冠層では、各調査木 (樹高 23 m、胸高直径 24 cm、5 本) の枝葉に対するビーティング (たたきあみ) 法と隣接タワー上に設置した水盆トラップ、一方、林床では、ピットフォールトラップにより、クモを含む節足動物を採集した。トラップは 400 cc で開口部直径が 7.5 cm のプラスチックカップで、各トラップは 100 cc の水に少量のソルビン酸と洗剤を保存のために添加した。10 個のトラップを、開口部を (リター層の上部ではなく) 地表面と同レベルで設置し、1 週間後に回収した。

樹冠層における採集は、ほぼ生葉のみから

なる上層と、枯枝葉が優占する下層にわけて行ない、さらに樹冠層では、造網型クモの出現頻度を記録した。採集したクモは種、餌群集は目レベルで同定を行ない、さらにクモを徘徊・造網といった生活型、餌群集を歩行・飛翔といった分散型に分類して、生息場所ごとの対応関係を調べた。また、造網型を、粗い網を作る造網型（粗）と目の細かい網を作る造網型（密）に区分した。クモは1.8 mの竹の棒と捕虫網で枝を叩き、吸虫管で素早く採集して、70%エタノールで保存した。

一方、カラマツ（樹高9 m、胸高直径10 cm、5本）の樹冠は、樹冠層の半分の深さ部分で分割し、上層、下層とした。各層から3本の枝を無作為に選定し、同様にクモを採集した。

さらに、それぞれの生息場所における、餌動物とクモの体サイズ分布を解析するとともに、サイズや採餌型ごとに給餌実験を行なって、餌の嗜好性、捕食可能性を解析した。

4. 研究成果

(1) 樹上、土壌層における小型節足動物群集の定着と分解過程

林床から樹幹上7 mの高さまで2 mごとに、スギの葉、スギ樹皮を封入したリターバッグを設置し、樹上環境と土壌環境での小型節足動物の定着と分解過程を調査した。スギ葉の重量減少速度は、樹上の方が土壌よりも遅かった。また、土壌では、分解の進行とともに、スギ葉量のばらつき（変動係数）が著しく増大したが、樹上では土壌に比して、この値は小さかった。小型節足動物のリターバッグへの侵入定着過程は、樹上と土壌とで大きく異なっていた。樹上ではトビムシやトゲダニ等の捕食性ダニ類の密度が2年目の夏にピークに達したのに対し、ササラダニ類は、15ヶ月まで比較的安定な密度を維持していた。一方、土壌では、トビムシがまず定着し、より分解が進んだ段階で、捕食性ダニ類が侵入した。

主要節足動物群の垂直的な定着傾向は、樹幹上の高さによらず、ほぼ一定していた。樹上環境におけるリターの遅い分解は、節足動物群集にとっての厳しい物理的環境条件を反映したものであることが示唆された。一方、このような厳しい環境にある樹上リターは、物理的環境耐性を持つ限られた節足動物にとっては、相対的に安定した資源となり得る。各動物群の特性により、樹上リターはトビム

シ、捕食性ダニ類によって季節的に、ササラダニ類には継続的に利用されていることが示唆される。土壌に生息する節足動物は、その早いリター分解によって、季節性よりも分解の進行段階により強く影響を受け、一方、樹上リターに侵入する節足動物は、厳しい環境下での遅い分解の元で、季節による影響をより強く受けるものと考えられる（Yoshida and Hiji 2011）。

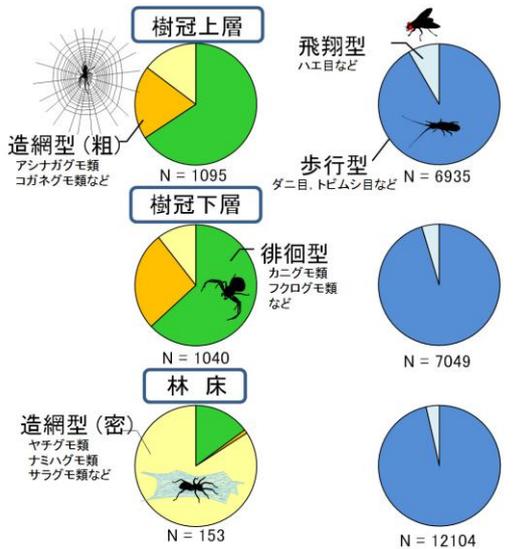
(2) クモ類の群集構造

森林生態系では、クモ類（Araneae）は、樹冠層、土壌層（林床）いずれにおいても常に高い個体数密度と現存量を維持しており、針葉樹、広葉樹を問わず、全節足動物に対して常に10–30%の現存量を占めていて（Hiji 1989）、森林節足動物群集の主要な恒常的捕食者の一群を形成している。しかし、クモ群集とその餌動物との関係を明らかにした研究は少なく、とくに森林では、クモ類を核とした節足動物群集の食物網構造はほとんど明らかになっていない。本課題では、スギ林の樹冠層と林床においてクモ類を含む節足動物を定期的に調査し、生息場所ごとのクモ群集と潜在的な餌資源との対応関係を明らかにした。また、カラマツ人工林でのデータと併せて、樹種および垂直的な住み場所の違いが、群集構造の違いにどのように影響しているのかを考察した。

① スギ人工林におけるクモ群集

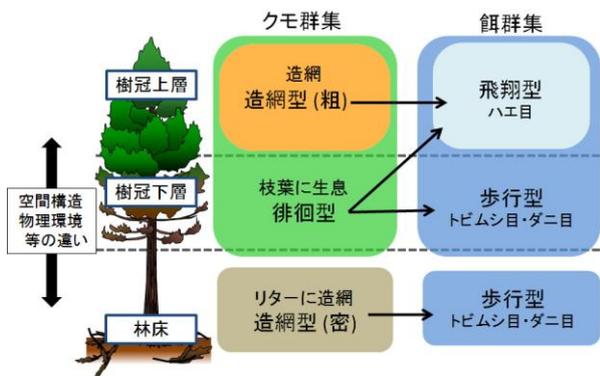
2009年のデータでは、樹冠層上層で15科1006頭、下層で11科661頭のクモ類が採集された。また、樹冠層の両層とも、個体数は8月から10月にかけてピークがみられた。樹冠層の上層と下層のクモ相は類似する傾向がみられたが、完全には一致しなかった。林床では、8科94個体のクモ類が採集されたが、クモ相は樹冠層とは大きく異なっていた。また、調査期間を通じて、クモ類の個体数に大きな変化はみられなかった。樹冠層、林床のいずれにおいても、調査期間を通じてそれぞれに共通の科が優占する傾向がみられたが、特定の月にのみ優占する科も存在した。このことから、スギ人工林のクモ相は、空間的にも季節的にも異なることが示唆された。このようなクモ相の違いは、生息場所ごとの餌となる節足動物相やその密度、微気象などの違いを反映したものと考えられる。

樹冠層では、両層ともに徘徊型のクモ類が優占したが、上層では円網性の造網型クモ類が空間を広く利用していた。餌群集は全体的にトビムシ目、ダニ目（ササラダニ類、捕食性ダニ類）が優占していたが、上層ではハエ目の個体数が下層に比べて有意に多かった。下層におけるトビムシ目、ダニ目の出現は、下層に滞留している、スギ特有の付着枯枝葉の存在が大きく影響していると考えられる。一方、林床のクモ相は、樹冠層とは異なり、網目が密な造網型クモ類（造網型（密））が

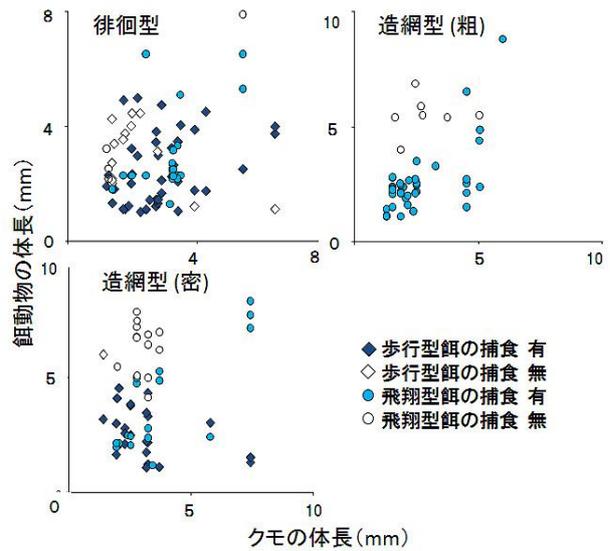


優占していた。一方、林床の餌群集は、ほぼトビムシ目、ダニ目などの小型節足動物に限られていた（下図）。これらの傾向は、2010年以降の調査においても同様であった。

以上の結果、樹冠層と林床いずれにおいても、クモ類の生活型と餌群集の分散型の構成には、明瞭な対応関係がみられた。このことは、クモ類が生息場所ごとの餌環境に反応して、固有の群集を形成していることを示唆していた（下図）。



また、クモ、餌動物それぞれの生活型、生息場所ごとに、室内の飼育容器で摂食実験を



試みたところ、いずれの生活型のクモも、同程度の体サイズまでであれば、餌として利用可能であることが明らかとなった（下図）。

② スギ・カラマツ林におけるクモ類の群集構造の比較

2008年7月から12月の間の6回の予備調査のデータを用いて、樹種間、生息場所間での群集構造の違いとそれをもたらす要因を解析した。スギの樹冠上層から44種848個体、樹冠下層から40種907個体、カラマツ樹冠上層から10種666個体、下層から29種890個体のクモ類が採集された。これらのデータをもとに、推定種数・多様度指数 (Shanon, Simpson 指数)・類似度 (Jaccard, Sorensen 指数; Morishita-Horn, Bray-Curtis 指数) を、EstimateS 8.2.0 (Cowell 2005) を用いて算出し、樹種間、生息場所間での群集構造の違いを解析した。

樹上性クモ類の多様性は、スギ樹冠の方がカラマツ樹冠よりも高かった。また、スギ樹冠内では上層においてクモ類の多様性が高いのに対して、カラマツでは下層の方が高い傾向を示した。また、カラマツ林では上層、下層いずれも同じ種が優占していた。スギとカラマツの両方の樹冠において、徘徊型クモ類が造網型（密）や造網型（粗）よりも大きな個体数割合を占めていた。造網型では、スギ林では造網型（粗）の個体数割合が、カラマツ林では造網型（密）の割合が高かった。スギ上層と下層では質の異なる資源（生葉と枯葉）によって形成されているため、生枝葉のみからなるカラマツと比較して、垂直的に異なる群集構造が形成されているものと考えられる。林床においても主要クモ類の構成は、樹種間での類似度も低く、また、スギ、

カラマツの両樹種ともに、樹冠層と土壌層では共通種がほとんどみられず、両層におけるクモ相は全く異なっていた。

スギとカラマツの樹冠層、および林床のクモ群集の比較によって、1) 樹冠の構造的複雑性が樹上性クモ類群集の多様性に影響していること、2) スギ林とカラマツ林の樹冠上層と下層では異なる要因(資源の質、隣接する層構造の有無)によってクモ類の群集構造が異なること、3) 林床の構造的複雑性の違いによって樹種間および樹冠層と林床のクモ類の群集構成が異なること、などが明らかとなった。

(Vertical stratification of spider communities in two conifer (*Cryptomeria japonica* and *Larix kaempferi*) plantations in central Japan 審査中)

—まとめと今後の展望—

針葉樹人工林は一般に生物相が単純で、昆虫の大発生などによる生物被害の潜在的危険性を持つとみなされており、実際、国内外において甚大な被害を及ぼす例がしばしばみられる。しかし、森林では安定密度の維持機構にかかわる制御因子の検出が困難なため、とくに樹木、植食者から捕食者へと連なる食物連鎖の構造と機能に関する知見は非常に少ない。まして、昆虫に代表される節足動物群集が、通常の密度レベルにおいて、生態系機能とどのように関わっているのかについての知見もほとんどない。森林の生態系機能には生食連鎖系と腐食連鎖系が相互に深く関わっており、その作用機構を明らかにするためには、植食者・腐食者・捕食者群集の一体的な把握が不可欠である。

本課題はとくに、両連鎖系を結ぶ点に位置する捕食者の構造に焦点を当て、森林内の資源分布と関連づけて定性的・定量的に明らかにしようとした。たとえば、スギなどにみられる懸垂土壌のような樹上への腐食資源の拡張が、とくに腐食者群集の樹上への進出と群集の維持を可能にし、樹冠層での多様な節足動物が、結果的に、クモに代表される捕食者群集に餌資源として供給されることで(腐食流入)、植食性昆虫に対しての潜在的な制御因子(恒常的捕食圧)として機能していることが、本研究によっても強く支持された。

今後はさらに、こうしたクモ類や鱗翅目幼虫、直翅目昆虫を餌とする食虫性鳥類の採餌生態の解明を通して、人工林における食物連鎖構造を明らかにしたいと考えている。物質循環の担い手としての腐食性節足動物群集

のみならず、鳥の餌資源ともなる植食性昆虫やクモ類群集を維持し、鳥類を定着させることが、物質循環や捕食による密度調節といった生態系機能を安定的に発揮させ、結果的に系の安定化をもたらすものと予想される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

Yoshida, T., Hijii, N., Micro-arthropod colonization of litter in arboreal and soil environments of a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantation.

Journal of Forest Research, 16, 2011, 46-54 (査読有)

DOI 10.1007/s10310-010-0205-x

ほか、和文論文(査読有)2編

[学会発表] (計13件)

①時野谷彩夏, 異なる常緑針葉樹林と落葉広葉樹林の移行帯における土壌動物群集の分布, 第59回日本生態学会大会, P3-208J, 2012年3月20日, 龍谷大学(大津)

②小栗大樹, 森林生態系におけるクモ類の群集構造と餌資源利用様式, 第58回日本生態学会大会, 2011年3月9日, 札幌コンベンションセンター

③小栗大樹, スギ人工林の樹冠層と林床におけるクモ相とその潜在的餌資源潜在的餌資源, 第59回森林学会中部支部大会, 2010年10月16日, 三重大学

④小栗大樹, スギ人工林の樹冠層と林床におけるクモ相と潜在的餌資源, 第57回日本生態学会大会, 2010年3月17日, 東京大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

肘井 直樹 (HJIII NAOKI)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・教授
研究者番号: 80202274

(2) 研究分担者

吉田 智弘 (YOSHIDA TOMOHIRO)

東京農工大学・農学部・助教

研究者番号: 60501052

(3) 連携研究者

該当なし