

DB
2169
2005
HG

富士山亜高山帯針葉樹林における
外生菌根菌の群集生態学的研究

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
博士（農学）学位論文

柴田尚

寄贈
柴田尚氏

06006685

目次

	頁
第1章 緒言	1
第2章 研究史	4
第3章 調査地の環境	11
3.1 調査地の位置および概要	11
3.2 カラマツ天然林および人工林	12
3.3 シラビソ・オオシラビソ天然林	16
3.4 シラビソ人工林	17
3.5 コメツガ天然林	18
3.6 気象条件	19
第4章 調査方法および解析方法	28
4.1 既往の研究の問題点および用語の定義	28
4.2 調査方法	31
4.3 結果の統計処理	32
第5章 調査結果	34
5.1 カラマツ天然林	34
5.2 カラマツ人工林	36
5.3 シラビソ・オオシラビソ天然林	38
5.4 シラビソ人工林	39
5.5 コメツガ天然林	42
第6章 考察	102
6.1 カラマツの外生菌根菌の動態	102
6.2 シラビソ・オオシラビソおよびシラビソの外生菌根菌の動態	109
6.3 コメツガの外生菌根菌の動態	118
6.4 植生遷移と外生菌根菌の動態	122
摘要	131
謝辞	134

Summary	135
引用文献	138
図版説明	151
図版	I - X

第1章 緒言

森林生態系の中で重要な役割をはたしている菌類の生態に関しては、これまでも様々な研究結果が紹介されている (Carroll & Wicklow 1992, Worrall 1999, Dighton 2003, 佐橋 2004 など)。特に、植物病原菌としての菌類の存在は、森林保護あるいは造林上の重要課題として生態的にも生理的にも遺伝的にも様々な角度から研究が行われている (Blanchard & Tatter 1981, 長谷川ら 1991, 鈴木 1999 など)。また、分解者としての役割に関しては、森林の天然更新に係わる要因のひとつとして主に生態的な面から様々に論じられてきた (今関・青島 1955, 青島ら 1977, Frankland et al. 1982, Schwarze et al. 2000 など)。さらに、森林における菌根共生の重要性が広く認識され、森林と菌根菌を関連づけてその共生関係を解析することは、森林あるいは地球環境の保全、生物多様性の維持など、様々な面で今後ますます重要性を増していくことが考えられるようになり (Allen 1991, 岡部 1997), この分野での研究が活発になりつつある。

そこで、担子菌類との共生関係にある北方林 (本論文中では亜高山帯林と表現した) における植生遷移と菌根菌の関係を明らかにし、それを基に北方林生態系における菌根菌の動態を明らかにすることを試みた。これらの菌根菌のうち、肉眼的な子実体いわゆる「きのこ」を形成する種が多く含まれる外生菌根菌に関しては、子実体発生を指標としてその群集の動態を明らかにしようとする調査研究例が数多く報告されている。しかし、それらは調査期間が8年以下と短く、その結果も断片的な内容に留まっており、この分野での定説といえるような報告例はこれまでない。

本研究で調査地として選定した富士山の森林は、北方林そのものではないが、氷河期に南下していた北方林が氷河の後退にともなう温暖化により高地に移動したものであると考えられている (大賀・沼田 1971)。

富士山北面には、海拔 1,600m 付近から 2,300m 付近にかけての比較的狭い範囲の亜高山帯 (亜寒帯) にカラマツ (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carriere), シラビソ (*Abies veitchii* Lindl.)・オオシラビソ (*Abies mariesii* Masters), コメツガ (*Tsuga*

diversifolia (Maxim.) Masters)を主要樹種とする落葉もしくは常緑針葉樹天然林が分布していることが大きな特徴となっている。なかでも海拔 2,000m 前後の地域ではこれら針葉樹の植生遷移の状況を特に明瞭に観察することができる (大賀・沼田 1971, Nakamura 1992)。

さらに、カラマツは日本特産の落葉針葉樹であり、シラビソ、オオシラビソおよびコメツガも同様に日本特産である。これらの中でカラマツおよびオオシラビソは、分布の南限に近い。また、シラビソおよびコメツガの2樹種も本州中部での分布は南限に近く、しかも比較的大面積に分布している (林 1960)。これらの亜高山帯針葉樹による木本遷移に関する研究結果は、すでに数多く報告されてきた (Tohyama 1966, 大賀・沼田 1971, Nakamura 1992 など)。Nakamura (1992) によれば、カラマツに始まった遷移は、シラビソ林を経て極相林であるコメツガ林が形成される。また、一部のスコリア基質地帯では、カラマツ林から第1段階のシラビソ林へ移行し、さらにコメツガ林に移行した後にシラビソ林へ再移行する遷移が部分的に起こっているとされている。

また、森林が地球環境の改善あるいは生物多様性の維持のために果たす役割の大きさについては、これまでも多くの具体的事例を含めて報告されている。特に熱帯多雨地域の森林に関しては、近年多くの研究成果が報告されている。これらに対して、植物にとって短い生育期間、冬季の低温、強風など厳しい自然条件下にある富士山の森林に代表されるような亜高山帯林 (北方林) の生態系に関する研究は、植生遷移に関するものを除くと、熱帯林に比べて必ずしも多いとは言えない。しかし、地球全体で $13.7 \times 10^6 \text{Km}^2$ の広さをもち、熱帯林と並ぶ最大の森林地帯である北方林 (寺島 2004) が地球環境保全のために果たす役割は非常に大きく、植物以外の生物も包括した生態の解明がこの地域の適切な森林環境保全のために緊急の課題となっている。また、富士山の亜高山帯針葉樹林における外生菌根菌の生態は、柴田 (1997, 2000) によりその一部が紹介されているが、樹齢の変化あるいは植生遷移と外生菌根菌群集の動態に関してはこれまでほとんど報告されていなかった。

このような背景の下で、不明な点が多かった富士山亜高山帯針葉樹林における外

生菌根菌の生態，特に樹齡変化および植生遷移と子実体発生の変遷について調査解析し，子実体発生を指標として外生菌根菌群集の動態を明らかにすることを目的として本研究を実施した。

第2章 研究史

樹木と菌類の共生関係を研究し、その基本的な構造および機能について記述し、この関係を mycorrhiza (菌根) と名付けたのは Frank (1885) である (Ainsworth 1976 引用)。それ以前から Hartig (1840) による外生菌根の形態観察の図、Kamienski によるシャクジョウソウ型菌根に関する記述 (Allen 1991 引用) などの報告がなされていた。一方、De Bary (1887) は、寄生から相利共生までの様々な共生のタイプを定義付け、それによって共生関係の基本的な区別が可能となった (Ainsworth 1976 引用)。

これまでの研究で、菌根には形態的、生態的に様々なタイプが存在することが明らかにされた。Dictionary of the Fungi 9th ed. (Kirk et al. 2001) によれば、菌根を Ectomycorrhiza (外生菌根), Vesicular-arbuscular (VA 菌根), Ericoid (エリコイド菌根), Orchid (ラン型菌根), Arbutoid (アーブトイド菌根) および Monotropoid (シャクジョウソウ型菌根) の 6 タイプに分類している。Smith & Read (1997) は、Ectendomycorrhiza (内外生菌根) をこれらに付け加えて 7 タイプに分類している。しかし、この分類に関しても議論の余地があり、今後の変更の可能性を示唆する意見も以前からある (Allen 1991)。

これら菌根の存在は、ごく一般的には植物および菌類の双方にとって有益であるとされている (Lewis 1973)。Meyer (1973) によれば、外生菌根に限ってみても種子植物の約 3% が菌根を形成するとされている。現在までの研究で、外生菌根を形成することが知られている植物は、マツ科、ブナ科、カバノキ科、バラ科 (Trappe 1962, Meyer 1973, Ingleby et al. 1990), フタバガキ科 (Lee et al. 1997), フトモモ科 (Malajczuk & Hingston 1981) など数多くあり、Smith & Read (1997) によると 33 科の植物で外生菌根の形成が確認されている。また、外生菌根または内外生菌根を形成する菌は、担子菌類や一部の子嚢菌類、接合菌類を含み、その種数の合計は、5,000~6,000 種と推定されている (Molina et al. 1992)。

これまでの多くの研究で示されたように、1 種の植物が複数種の菌と同時に外生

菌根を形成している例は非常に多い (Trappe 1962, Molina et al. 1992, Cairney & Chambers 1999)。また, 1種の外生菌根菌が多種の植物と菌根を形成する例も数多く知られている (Trappe 1962, Molina et al. 1992, Cairney & Chambers 1999)。Trappe (1977) によれば, ダグラスファー (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) は, 約 2,000 種の菌根菌と共生関係にあると推定されている。一方で, ハンノキ属 (*Alnus* spp.) 以外とは菌根を形成しない *Alpova* 属のようなグループもある (Molina 1981)。

樹木の生長にともない, 子実体を形成する外生菌根菌の種が変化する現象は以前から観察されていた。苗床で苗木に形成されたイボタケ (*Thelephora terrestris* Fr.) の菌根が, 植林地に植えられた後に他種の菌根菌に交代していく例 (Trappe 1977) は有名である。このほかにも, 森林における外生菌根菌群集の生態を研究する際に, 子実体発生をひとつの指標として利用した一連の研究例が数多くある (遠藤 1972, Chu-Chou & Grace 1981, Last et al. 1984, Mason et al. 1982, 藤田 1989, Murakami 1989, Cripps & Miller 1993, Baar & Braak 1996, Nara et al. 2003 など)。これらの中でも, Last et al. (1984), Mason et al. (1982), 藤田 (1989), Nara et al. (2003) などの研究は, 子実体の発生にもとづいて外生菌根菌の遷移を解明しようとする内容であった。特に, Mason et al. (1982) および Deacon et al. (1983) は, カンバ属植物の外生菌根菌の子実体発生には遷移があるという見方を示した。彼らは, 外生菌根菌を大きく二つのグループに分け, それぞれを early-stage fungi (初期相菌類) および late-stage fungi (後期相菌類) と呼んだ。これに対して, Fleming (1983) は, 樹齢の高い成木によって構成される林分に同種の樹木の苗を移植すると, 後期相菌類が苗にも感染することを報告した。また, 初期相菌類と後期相菌類に加えて, 新たに multi-stage fungi (多段階出現菌類) というグループを提案する意見 (Danielson 1984) なども示されている。その後も外生菌根菌を初期相菌類と後期相菌類に分けることに関しては, 支持する意見 (Jansen 1991, Visser 1995, Helm et al. 1996, Jumpponen et al. 1999 など), 疑問視する意見 (Thermorshuizen 1991, Newton 1992, Keizer & Arnolds 1994 など) が出されて結論が得られないまま現

在に至っている。

このように意見の分かれる原因の一つとして、Newton (1992)は、これらの研究の多く(Chu-Chou 1979, Mason et al. 1982, Last et al. 1984, Dighton et al. 1986, Hintikka 1988, Jansen 1991 など)が苗畑もしくは植林地での調査結果に基づいている点を指摘している。また、Deacon & Fleming (1992), Keizer & Arnolds (1994)の指摘にあるように、土壌条件によって外生菌根菌の種構成が異なる例も報告されている。

これら以外にも、調査期間はごく短い、植生の一次遷移および二次遷移に伴う外生菌根菌相の変遷について研究した例も、近年は報告されている。その代表例として、藤田 (1989) のアカマツ林での調査、Baar (1996) のヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris* L.) 林での一次および二次遷移林と土壌条件を関連づけた研究、Yang et al. (1998) のカラマツ林での調査、Jumpponen et al. (1999) の一次遷移林と二次遷移林の比較、Hashimoto & Hyakumachi (2000) のシラカバ (*Betula platyphylla* Sukatchev var. *japonica* (Miq.) Hara) 林での調査、Nara et al. (2003) のミヤマヤナギ (*Salix reinii* Fr. et Sav.) 林での調査などがある。

外生菌根菌の遷移に関しては、これら以外にも McArthur & Wilson(1967)の提唱した r -淘汰および K -淘汰の概念を菌根菌にも応用する意見 (Dighton & Mason 1985), early-stage fungi (初期相菌類) および late-stage fungi (後期相菌類) がそれぞれ r -戦略者および K -戦略者に対応するという意見 (Fleming 1985), Grime (1974, 2001) が植物生態学の分野で提唱した攪乱とストレスにもとづく 3 戦略者説 (CSR 説) を菌根菌にも適用する意見(Deacon & Fleming 1992), 植物遷移における先駆植物の概念を応用し、それらに対応する先駆菌類を提案する意見 (Newton 1992) などが示されている。これらの意見は、樹齢の異なる複数の林分を同時に短期間 (1-8 年間) 調査することによって得られた結論にもとづいている。しかし、長期間にわたり同一林分で子実体発生調査を行い、それにもとづいた調査結果と考察は Straatsma et al. (2001)の報告例を除いてこれまで示されていない。

さらに、外生菌根菌の生態や遷移を考える上でいくつかの見解が示されている。

小川（1981）は、子実体を形成する大型菌類（小川によれば高等菌類）の土壌中でのコロニー形成様式および菌糸束の形成様式にもとづく生活型（コロニー型）に注目した。それをフェアリーリング型、不定形マット型および分散コロニー型の3タイプに分類し、それぞれのタイプは大型菌類の属単位ではほぼ類似していると述べている。Read（1992a, 1992b）は、小川の意見を紹介するなかで不定形マット型は外生菌根形成菌に特徴的な生活型であるとし、分散コロニー型も良く知られた外生菌根形成菌（*Amanita* 属, *Boletus* 属, *Paxillus* 属, *Russula* 属, *Lactarius* 属など）にみられる型であるとして小川の意見を支持している。これらとは別に Newton（1992）は、菌糸束の役割に注目し、菌糸束の存在が外生菌根菌の分散と競争能力に大きく影響する可能性を示唆している。菌糸束の役割については小川（1981）の分類様式中の分散コロニー型でも重視されている。さらに、Newton（1992）は攪乱を受けた場所では先駆的な外生菌根菌が稚樹の生育に有効に作用し、その後外生菌根菌相が変化するという意見を述べている。また、Dighton & Mason（1985）は、森林生態系では、時間の経過とともに菌根菌などの菌類を含む生物の種多様度は増加し、樹冠の鬱閉とともにその多様度が減少するという模式図を示した。

主として子実体の発生を指標として考える研究に対して、地中の外生菌根そのものを研究の対象として外生菌根菌群集の生態を明らかにしようとする試みも行われてきた。その最も初期の研究のひとつは、Marks & Foster（1967）によってラジアータマツ（*Pinus radiata* D. Don）の外生菌根に関して行われた。彼らは、3年間の調査期間中に根に形成された菌套の形態がひとつの型から別の型に変化したと報告した。しかし、彼らが対象とした外生菌根菌の種数は限られており、外生菌根そのものにもとづいた研究は、その形態を合理的に分類する方法が確立されていなかったために、これ以後は一時停滞した。ところが、Agerer（1987-2002）、Ingleby et al.（1990）による外生菌根の形態分類手法の発表と、それに続く Agerer et al.（1996-2004）による外生菌根の解剖学的記載が発表されたことにより、地中の外生菌根が再び注目をされるようになり、多くの研究例が示されるようになった（Helm et al. 1996, Yamada & Katsuya 1996, Goodman & Trofymow 1998, Baxter et al. 1999, 松

田 1999, Stendell et al. 1999, Hashimoto & Hyakumachi, 2000 など)。

さらに、地上部の子実体と地下部の菌根とを同時に研究対象とした報告例も多い。Visser (1995)は、山火事跡地のバンクシャーマツ (*Pinus banksiana* Lamb.) 林で外生菌根菌の子実体と菌根の多様度を調査し、樹齢の低い林分 (41 年生以下) ではこれらの多様度は増加したが、その後も減少に転ずることはなかったと報告している。また、これらの報告の中には、地上部の子実体発生と地下部の菌根量とは必ずしも良い正の相関を有しないという結果が示された例もある (Taylor & Alexander 1989, Gardes & Bruns 1996, Peter et al. 2001 など)。一方, Termorshuizen & Schaeffers (1989) は、ヨーロッパアカマツの菌根数と子実体数とは相関があるという調査例を示した。松田 (2000) は、モミ林の菌根菌の研究をとおして、「大きな空間スケールでみると、子実体数が多い種ほど土壌からの菌根の出現頻度が高いという関係が認められるため、地上部で優占的にみられる種は、土の中でも優占しているようである」と述べている。また、地上部に子実体を形成しない種 (例えば、*Cenococcum geophilum* Fr.) や地下生の子実体を形成する種が存在するため、土の中の優占種が必ずしも地上での調査結果から確認できるとは限らない (山田 1996, Smith & Read 1997, Erland & Taylor 1999) という意見も示されている。

1990 年代後半以降には、分子生物学的手法によって菌根菌の種を同定し、菌根菌群集の生態を明らかにしようとする調査・研究が増加している (Bruns 1995, Gardes & Bruns 1996, Dahberg et al. 1997, Taylor & Bruns 1999, Peter et al. 2001 など)。これらの報告は、Gardes & Bruns (1996) の報告に代表されるように、地下部の外生菌根菌群集が地上部の子実体発生調査によって確認された種とは異なることを示している。この分野におけるもっとも初期の研究のひとつを実施した Bruns (1995) はその報告の中で、現段階では外生菌根菌の種多様性論議は、植林地など植生が均一な場所での調査結果にもとづかねばならないと述べている。これらの報告のほとんどが、6 年間以下の調査期間にもとづいているため、外生菌根菌の種構成が樹齢もしくは宿主となる植物の遷移に伴ってどのように変化するかについては明らかにされていない。

亜高山帯の森林における大型菌類の生理・生態に関する調査研究は、Ogawa (1977a, 1977b), Horak (1985), Debaud (1987), 柴田 (1997, 2000) などにより報告されている。これらのうち Horak (1985) および柴田 (1997) の報告は、亜高山帯森林の大型菌類相調査に主眼がおかれている。Ogawa (1977a) の報告では、亜高山帯針広混交林 (コメツガ林, オオシラビソ・ダケカンバ林) における大型菌類の生活型についての検討がなされている。Debaud (1987) によれば、海拔 2,100m 付近の高山帯 (Vanoise 国立公園) の大型菌類の菌糸体成長温度の範囲を調査した結果、高山帯の大型菌類の菌糸体成長は温度の下限はほぼ 4℃であったとされている。さらに柴田 (2000) は、本州中部の亜高山帯針葉樹林における外生菌根菌子実体発生の特徴および子実体発生のフェノロジーの概要を紹介した。

これら以外にも、亜高山帯に気象条件が類似しているアラスカの亜寒帯地域での外生菌根菌の生態が Treu et al. (1996), Wurzbürger et al. (2004) などにより報告されている。Treu et al. (1996) は、アラスカ中部でカンバ属やヤナギ属 (*Salix* spp.) の樹木に外生菌根が形成されることを確認し、チョウノスケソウ (*Dryas octopetala* L.), ムカゴトラノオ (*Polygonum viviparum* L.) にも外生菌根が形成されることを報告している。Wurzbürger et al. (2004) は、アラスカ南東部の Mitkof Island の湿原から森林への移行帯において外生菌根の多様度を調査し、湿原から森林帯へと環境が変化するにつれて外生菌根の多様度も増加するという結果を得ている。しかしこの結果と同時に、採取した土壌塊中の根端試料の数には不均一性もあることを認めている。さらに、スピッツベルゲンにおいてヤナギ類の外生菌根を調査した Vare et al. (1992) によれば、この地域のヤナギ類を宿主とする外生菌根菌 38 種を報告し、その種数は調査が進めばさらに増加する可能性を示している。

富士山の菌類に関する研究は、Sato (1966) の銹菌類 (Uredinales) フロラに関する研究、柴田 (1987, 1992, 1997, 2002, 2003) および Shibata (2001, 2004) の大型菌類相に関する一連の研究、出川 (2003) による接合菌類相に関する研究、日本菌学会 (1959) および Furukawa et al. (1983) による菌類目録の作成、などがある。

富士山およびその周辺地域での外生菌根菌の生態に関する研究の内の主なものは、柴田(1996)による亜高山帯カラマツ林における外生菌根菌の生態に関する研究、柴田(2000)による本州中部亜高山帯針葉樹林のきのこに関する研究、Sugiyama et al. (1994)による亜高山帯森林の大型菌類による放射性セシウムの吸収に関する研究、Zhou et al. (2000)によるカラマツ林の外生菌根菌ハナイグチ (*Suillus grevillei* (Klotz.) Singer) のジェネットタイプに関する研究、Nara et al. (2003)による富士山の一次遷移における先駆樹木実生の成長を支える外生菌根菌の群集構造に関する研究、呉ら(2003)による富士山のミヤマヤナギに共生する *Cenococcum geophilum* の SSR マーカーによる多型解析に関する研究などがある。

これらのうち、柴田(2000)は、富士山の亜高山帯に生育するカラマツ林においては、樹齢の変化にともなって外生菌根菌相も変化する可能性があることを17年間にわたる連続観察によって示した。さらに、Nara et al. (2003)は、先駆樹種であるミヤマヤナギが、その外生菌根菌の存在によって、カラマツやダケカンバ (*Betula ermanii* Cham.) などの植物の定着に寄与している可能性を示している。また、Zhou et al. (2000)は、PCR法を用いて樹齢85年生以上のカラマツ人工林および35年生のカラマツ人工林で外生菌根菌ハナイグチのジェネットタイプを調査した。その結果、高齢林の方がジェネットタイプが多様性に富んでいることが示された。

以上に記したように、菌根菌に関する研究は非常に多岐にわたっている。また、富士山の菌類に関するこれまでの研究は、現存種の目録づくりに関する内容が多く、菌類の生態に関する研究は、植物生態学分野に比べて断片的で偏った内容となっている。本論文で言及する富士山亜高山帯針葉樹林の外生菌根菌群集の生態に関して、その生活型や遷移などをはじめ、これまでの研究では未解明の部分が多く、より詳細な調査と体系的な解析にもとづく研究が必要とされている。

第3章 調査地の環境

3.1 調査地の位置および概要

調査地は富士山の海拔1,700m～2,300mの範囲にある亜高山帯針葉樹林の中に設定した。その範囲は、北緯35°23′から北緯35°25′，東経138°42′から東経138°44′にあり、面積は約2,170haで、すべて山梨県県有林として管理されている。この地域で、純林もしくは純林に近い林分を形成するカラマツ、シラビソ、シラビソ・オオシラビソおよびコメツガの4種類の林分を選定した。これらの内カラマツは雪崩跡地の二次林、天然林および人工林を、シラビソ林は人工林を調査対象地として選定した。また、シラビソ・オオシラビソ林およびコメツガ林はそれぞれ天然林のみを調査対象地として選定した。これら調査地は表3-1および図3-1に示した。

カラマツ林は雪崩による攪乱地に形成された3生の二次林(樹齢は1983年現在：注意書きがない場合は以下同じ)および100年生以上と推定される(渡瀬1971)天然林、樹齢12年生および43年生の人工林の合計4林分を調査対象林分とした。

シラビソ林は樹齢15年生、25年生および44年生の人工林3林分を調査対象林分とした。シラビソ・オオシラビソ林は樹齢120～160年生以上と推定される(渡瀬1971)海拔1,900mおよび2,100mの天然林2林分を選定し、コメツガ林は、樹齢200～300年生と推定される(大賀・沼田1971)天然林を海拔高別に3林分(1,750m、2,000mおよび2,250m)選定した。

今回調査対象林分を選定した地域の地質は第四紀層に属し、基岩は玄武岩であり、土壌母材は火山砂礫である(山梨県林業試験場1975)。傾斜は、地域上部では25°～26°，下部では8°～18°で平均は、18.1°である。分布する土壌は、粗粒火山噴出物未熟土壌(分布面積割合43.4%)、褐色森林土壌(同41.1%)およびポドゾル型土壌(同15.5%)である。山梨県民有林適地適木調査説明書(山梨県林業試験場1975)および山梨県森林簿によれば、この地域の天然林および人工林を合わせた樹種別面積は、カラマツ林が約650ha、シラビソ、オオシラビソ林が約430ha、コメ

ツガ林が約 340ha である。

これら調査対象林分のうち、カラマツ 3 年生林分は、スコリア層が厚く堆積した粗粒火山噴出物未熟土壌 (Im) である (山梨県 1980, 山梨県林業試験場 1975)。カラマツ天然林の土壌型は、スコリア層が厚く堆積した粗粒火山噴出物未熟土壌 (Im) および一部はポドゾル化土壌 (PDⅡ, PDⅢ) である (山梨県 1980, 山梨県林業試験場 1975)。これら以外のカラマツ人工林およびシラビソ人工林の土壌型は、スコリアを含む褐色森林土壌 (dBd) である (安藤 1962, 山梨県 1980, 山梨県林業試験場 1975)。シラビソ・オオシラビソ天然林の土壌型は褐色森林土壌 (dBd) およびコメツガ天然林の土壌型は、湿性ポドゾル土壌 (Pw(h)Ⅲ) で厚い黒色脂肪状の H 層をもつ (山梨県 1980, 山梨県林業試験場 1975)。土壌型の調査に際しては、森林土壌研究会 (1982) による調査方法書も参考にした。

3.2 カラマツ天然林および人工林

カラマツ二次林 (LK3: 調査地略号, 以下同様) は, 1980 年 4 月 14 日 14 時過ぎに海拔 3,000m~3,400m 付近を起点として発生した雪崩跡地に成立した林分である。雪崩の規模は, 面積約 23ha, 幅約 800m, 高度差約 1,400m で, それまで成立していたカラマツ, シラビソ, コメツガなどの天然林が破壊され, 表層に堆積した有機物およびその下層のスコリア層も 20cm~40cm の厚さで流失し, スコリア層が大面積で裸出した (菊地・長田 1981, 菊地ら 1983)。その後, 1981 年にはカラマツの実生の発生が確認され, 1983 年からは, 3 年生のカラマツ稚樹の生育が多数観察された (菊地ら 1983)。この林分は面積 1.3ha で, 山梨県有林 24-ぬ-4 林班に属している。海拔高度は 2,200m である。

カラマツ天然林 (LK100) は, 前記の雪崩跡地に隣接し, カラマツ樹齢は 100 年以上と推定されている (渡瀬 1971) 林分である。この林分は面積 2.2ha で前記の二次林と同様に山梨県有林 24-ぬ-4 林班に属している。海拔高度は 2,200m である。

カラマツ人工林のうち若齢の 1 林分 (LK12) は, 1973 年に植栽され, 面積は 2.2ha

で、山梨県有林 24—ろ—6 林班に属している。1983 年時点での樹齢は、12 年生である。LK12 林分の海拔高度は 1,700m である。他の人工林 1 林分 (LK43) は、1942 年に植栽され、面積は 3.1ha で、山梨県有林 26—い—19 林班に属している。1983 年時点での樹齢は、43 年生である。林分の海拔高度は 1,700m である (図 3-1)。

各調査林分の履歴および環境条件の詳細は表 3-1 に示した。LK3 および LK100 林分が属する地域は、傾斜 15° ~20° で、富士山高海拔地帯に広く分布する粗粒火山噴出物未熟土壌 (Im) に覆われ、極めて砂質な (A) C 断面をつ (山梨県 1980)。

LK3 林分では、大賀・沼田 (1971) の報告と同様に下層植生は貧弱で、ごく一部にダケカンバ、ミヤマハンノキ (*Alnus maximowiczii* Call.) およびオンタデ (*Aconogonum weirichii* (Fr.: Schm.) var. *alpinum* (Maxim.) H. Gross) が混在している。この林分では、調査開始時には、地衣類は確認されなかったが、調査終了時には極わずかにハイイロキゴケ (*Stereocaulon vesvianum* Pers.), アカミゴケ (*Cladonia pleurota* (Florke) Schaer.), ヒメレンゲゴケ (*Cladonia ramulosa* (With.) J. R. Laundon) などが確認された (原田 2003)。LK100 林分の下層植生は、コケモモ (*Vaccinium vitis-idaea* L.), ミヤマハンノキ, ダケカンバ, オンタデがみられるが、これらの密度も低く、溶岩もしくは溶岩屑が露出したままの部分が多く、その一部はハナゴケ (*Cladina rangiferina* (L.) Nyl.), ミヤマハナゴケ (*Cladina stellaris* (Opiz.) Brodo), マキバエンランタイ (*Cetraria laevigata* Rassad.) などの地衣類に覆われている (原田 2003)。

LK12 および LK43 林分が属する地域は、傾斜 8° ~15° で富士山亜高山帯に広く分布する褐色森林土壌 (dBD) に覆われている。山梨県民有林適地適木調査説明書 (山梨県林業試験場 1975) にもあるとおり、A0 層は厚く、F-H 層がとくに発達している。A 層と B 層の境界は不明瞭であり、色調は黒褐色である。下層植生は、ナナカマド (*Sorbus commixta* Hedel.), ノリウツギ (*Hydragea paniculata* Siebold), マイズルソウ (*Maianthemum dilatatum* (Wood.) Nels. et Macbr.), カニコウモリ (*Cacalia adenostyloides* Matsum.), オンダ (*Dryopteris crassirhizoma* Nakai) などが多くみられ、地表面の一部は蘚類に覆われている。

調査を開始した 1983 年の時点での各調査林分のカラマツ立木密度は、LK3 が 8,000 本/ha, LK100 が 800 本/ha, LK12 が 3,000 本/ha, LK43 が 1,500 本/ha であった。各林分が成立する前の履歴は、次のとおりである。LK3 は、雪崩以前には、カラマツ、シラビソおよびダケカンバが優先する森林であった（菊地・長田 1981）。LK12 および LK43 は、シラビソ、コメツガ、カンバ類などが生育する天然林を伐採した後に植林された森林である（山梨県林務部 1976；山梨県有林第 1 次経営計画書）。LK100 は、成立後 100 年以上を経た森林でそれ以前の履歴は不明である（渡瀬 1971）。

土壌 pH の測定は 1982 年 8 月 30 日に実施した。試料の採取は、1 林分あたり 9 地点から行った。LK3 および LK100 林分では、地表面から深さ 10cm の位置で溶岩屑を採取・風乾後 2mm メッシュの篩にかけ、その内の 100g に 250ml の蒸留水を加えて良く攪拌し、その上澄み液 125ml を分離して pH 値を測定した。LK12 および LK43 林分では、A0 層を除去した後、A 層上部から土壌を採取・風乾後、その内の 100g に 250ml の蒸留水を加えて良く攪拌し、その上澄み液 125ml を分離して pH 値を測定した。

土壌微生物のコロニー数計測は、本調査開始前年の 1982 年、調査 10 年目の 1992 年および調査 20 年目の 2002 年のそれぞれ 6 月 30 日、8 月 30 日および 10 月 30 日に行った。方法は、近藤・加藤（1977）に従い乾土 1g あたりのコロニー数を計測した。試料の採取は、1 林分あたり 9 地点から行った。LK3 および LK100 林分では、地表面から深さ 10cm の位置で溶岩屑を採取した後に 2mm メッシュの篩にかけそれを試料とした。この試料を用いて、希釈平板法によって形成された糸状菌、放線菌および細菌のコロニー数を計数した。LK12 および LK43 林分では、A0 層中の腐植層および A 層上部の土壌を採取し、希釈平板法によって形成された糸状菌、放線菌および細菌のコロニー数を計数した。糸状菌のコロニー数計数用には、ローズベンガル寒天培地（ KH_2PO_4 , 1.0g； $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5g；ペプトン, 5.0g；グルコース, 10.0g；ローズベンガル, 0.033g；寒天, 20.0g；蒸留水, 1,000ml；pH6.8）を使用した。放線菌のコロニー数計数用にはアルブミン寒天培地（エッグ

アルブミン, 0.25g; グルコース, 1.0g; KH_2PO_4 , 0.5g; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.2g; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, 痕跡; 寒天, 15.0g; 蒸留水, 1,000ml; pH6.8) を使用した。細菌のコロニー数計数用には土壌浸出液寒天培地 (土壌浸出液, 1,000ml; KH_2PO_4 , 0.2g; 寒天, 15.0g; pH6.8) を使用した。土壌浸出液は, 山梨県森林総合研究所富士吉田試験園の苗畑土壌 1,000g に水道水 1,000ml を加え, オートクレーブで 120°C , 20 分間熱水抽出し, それをろ過後, 蒸留水を加えて全量を 1,000ml とした。

LK3, LK100, LK12 および LK43 の各林分の落葉量をリタートラップ法によって調査した。調査は, 本調査開始前の 1982 年, 調査 10 年目の 1992 年および調査 20 年目の 2002 年に実施した。1982 年および 1992 年の LK3 の調査は, カラマツが小さいため, トラップに利用した白色寒冷紗に適宜カッターで切れ目を入れて植物体がトラップ上に現れるようにした。1 トラップの大きさは $0.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ とした。このトラップを各林分内に 5 箇所ずつ設定し, カラマツ落葉の総乾燥重量をもとめた。

土壌 pH 値は, LK3 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.75 \pm 0.17$, LK12 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.51 \pm 0.20$, LK43 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.46 \pm 0.19$ および LK100 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.50 \pm 0.10$ であった (表 3-2)。各林分間で土壌 pH 値には有意差がみられなかった ($p < 0.05$)。

1982 年, 1992 年および 2002 年に LK3, LK12, LK43 および LK100 林分でカラマツの落葉量を調査した結果は表 3-3 に示した。その結果, 1 ha に 1 年間で落ちるカラマツ落葉量は, LK3 林分では 10 年間隔で行った測定ごとに有意に増加した ($p < 0.05$)。LK12 林分では 1982 年の落葉量と 1992 年および 2002 年の落葉量との間には有意差が認められたが, 1992 年と 2002 年の落葉量との間には有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。それ以外の LK43 および LK100 林分では 1982 年, 1992 年および 2002 年のカラマツ落葉量には有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

希釈平板法による糸状菌, 放線菌および細菌コロニー数調査の結果 (1982, 1992, 2002) を表 3-4, 表 3-5 および表 3-6 に示した。1992 年には LK43 林分の A₀ 層の細菌コロニー数を除いて, 糸状菌, 放線菌および細菌のコロニー数が他の年に比べて少なかった。糸状菌コロニー数は, LK3 林分ですべての年で他の林分または土壌

層位に比べて有意に少なかった ($p < 0.05$)。これ以外の3林分では、1982年には林分または土壌層位により糸状菌コロニー数が異なった。しかし、1992年および2002年コロニー数に有意差はみられなかった ($p < 0.05$)。放線菌コロニー数は、LK3林分ですべての年で他の林分または土壌層位に比べて有意に少なかった ($p < 0.05$)。他の3林分では、放線菌コロニー数は、林分または土壌層位により異なっていた。細菌コロニー数は、LK3林分ですべての年で他の林分または土壌層位に比べて有意に少なかった ($p < 0.05$)。LK100林分の溶岩屑およびLK12、LK43林分のA層上部の細菌コロニー数には各年ともに有意差はみられなかった ($p < 0.05$)。LK12およびLK43林分A0層の細菌コロニー数は、他の林分または他の土壌層位と比べて有意に多かった ($p < 0.05$)。

3.3 シラビソ・オオシラビソ天然林

シラビソ・オオシラビソ天然林 (AVn19) は山梨県有林 22一は—6 林班に属し、海拔高度は 1,900m、面積は 10.7ha である。シラビソ・オオシラビソ天然林 (AVn21) は山梨県有林 22一り—2 林班に属し、海拔高度は 2,100m、面積は 8.5ha である (表 3-1)。シラビソ、オオシラビソの樹齢は、両林分ともに 120~160 年 (1983 年現在) と推定されている (渡瀬 1971)。また、立木密度は両林分とも約 800 本/ha であった。シラビソとオオシラビソの構成比は、AVn19 林分が 86 : 14、AVn21 林分が 93 : 7 であり、いずれの林分でもシラビソが優占していた。

AVn19 林分が属する地域は、傾斜 10° ~ 15° で富士山亜高山帯に広く分布する褐色森林土壌 (dBd) に覆われている。山梨県民有林適地適木調査説明書 (山梨県林業試験場 1975) に示されたとおり A0 層は厚く、F—H 層が良く発達し、A 層と B 層の境界は不明瞭であり、色調は黒褐色である。A0 層はシラビソの落葉が主体で A 層は腐植にとむ。下層植生は、コメツガ、ナナカマド、マイズルソウ、カニコウモリなどで、林床は藓類に厚く覆われている。

AVn21 林分が属する地域は、傾斜 8° ~ 15° で富士山亜高山帯に広く分布する褐色森林土壌 (dBd) に覆われている。山梨県民有林適地適木調査説明書 (1975)

に示されたとおり A0 層は厚く、F—H 層が良く発達し、A 層と B 層の境界は不明瞭であり、色調は黒褐色である。A0 層はシラビソの落葉が主体で A 層は腐植にとむ。下層植生は、コメツガ、シラビソ、ハクサンシャクナゲ (*Rhododendron brachycarpum* G. Don), マイズルソウ、カニコウモリなどで、林床は蘚類に厚く覆われている。

土壌 pH の測定は 1982 年 8 月 30 日に実施した。試料の採取は、1 林分あたり 9 地点で行った。AVn19 および AVn21 の各林分で、A0 層を除去した後、A 層上部から土壌を採取・風乾後 2mm メッシュの篩にかけ、その内の 100g に 250ml の蒸留水を加えて良く攪拌し、その上澄み液 125ml を分離して pH 値を測定した。

土壌 pH 値は、AVn19 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.40 \pm 0.11$ および AVn21 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.37 \pm 0.17$ であった (表 3-8)。調査した両林分間で土壌 pH 値に有意差はなかった ($p < 0.05$)。

3.4 シラビソ人工林

シラビソ・オオシラビソ天然林では、樹齢変化にともなう外生菌根菌群集の動態を把握することができない。そこで代替措置として、同地域に植林された樹齢の異なるシラビソ人工林における外生菌根菌群集の動態を調査した。調査対象とした 3 林分のシラビソ人工林は、すべて海拔 1,700m にある。それらの内、樹齢 15 年生 (1983 年時点での樹齢、以下同様) の林分 (AV15) は 1970 年に植栽され、面積は 2.3ha で山梨県有林 28—は—3 林班に属している。樹齢 25 年生の林分 (AV25) は、1960 年に植栽され、面積は 5.2ha で山梨県有林 28—に—1 林班に属している。樹齢 44 年生の林分 (AV44) は、1941 年に植栽され、面積は 6.1ha で山梨県有林 28—に—8 林班に属している。

各調査林分の履歴および環境条件の詳細は表 3-1 に示した。林分 AV15, AV25 および AV44 が属する地域は、平均傾斜 $8^\circ \sim 15^\circ$ で富士山亜高山帯に広く分布する褐色森林土壌 (dBd) に覆われている。山梨県民有林適地適木調査説明書 (山梨県林業試験場 1975) に示されているとおり A0 層は厚く、F—H 層が良く発達し、A

層と B 層の境界は不明瞭であり、色調は黒褐色である。A0 層はシラビソの落葉が主体で A 層は腐植にとむ。下層植生はマイズルソウ、カニコウモリなどがみられ、地表面は、蘚類に覆われている。

調査を開始した 1983 年の時点での各調査林分の立木密度は、AV15 林分が 3,000 本/ha、AV25 林分が 2,100 本/ha、AV44 林分が 1,250 本/ha であった。これらの各林分の植林前の植生は、カンバ類、ハンノキ類、シラビソ、コメツガなどが混在する天然林であった（山梨県林務部 1976；山梨県県有林第 1 次経営計画書）。

土壌 pH の測定は 1982 年 8 月 30 日に実施した。試料の採取は、1 林分あたり 9 地点から行った。AV15、AV25 および AV44 の各林分で、A0 層を除去した後、A 層上部から土壌を採取・風乾後 2mm メッシュの篩にかけ、その内の 100g に 250ml の蒸留水を加えて良く攪拌し、その上澄み液 125ml を分離して pH 値を測定した。

土壌 pH は、AV15 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.32 \pm 0.16$ 、AV25 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.48 \pm 0.17$ および AV44 林分が $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})5.26 \pm 0.40$ であった（表 3-7）。調査した 3 林分の土壌 pH 値には、有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

3.5 コメツガ天然林

コメツガ天然林 3 林分の概況は表 3-1 に示した。コメツガ天然林 (TD n 17) は、山梨県有林 22-ち-1 林班に属し、海拔高度は 1,750m、面積は 11.2ha である。コメツガ天然林 (TD n 20) は、山梨県有林 22-は-3 林班に属し、海拔高度は 2,000m、面積は 3.9ha である。コメツガ天然林 (TD n 22) は、山梨県有林 28-よ-2 林班に属し、海拔高度は 2,250m、面積は 5.6ha である。これら 3 林分のコメツガ樹齢は 200~300 年と推定されている（大賀・沼田 1971）。立木密度は TD n 17 が 950 本/ha、TD n 20 および TD n 22 が 750 本/ha であった。

TD n 17 および TD n 20 林分が属する地域は、傾斜 $8^\circ \sim 12^\circ$ で富士山亜高山帯の山腹上部から尾根筋にかけて分布するポドゾル型土壌 (PDⅢ) に覆われている。山梨県民有林適地適木調査説明書（山梨県林業試験場 1975）に示されたとおり A0 層は厚く、F-H 層が良く発達し、A 層は薄く、溶脱層は明瞭ではないが B 層上部

には赤褐色の集積層がみられる。A₀層はコメツガの落葉が主体で、A層は腐植を含む。下層植生はほとんど見られず、イチヤクソウ、マイズルソウ、カニコウモリなどが部分的にわずかにみられる。林床は藓類に厚く覆われている。

TDn22 林分が属する地域は、傾斜 5° ~10° で富士山亜高山帯の山腹上部から尾根筋にかけて分布するポドゾル型土壌 (PDⅢ) に覆われている。山梨県民有林適地適木調査説明書 (山梨県林業試験場 1975) に示されたとおり A₀層は厚く、F-H層が良く発達し、A層は薄く、溶脱層は明瞭ではないが B層上部には赤褐色の集積層がみられる。A₀層はコメツガの落葉が主体で、A層は腐植を含む。下層植生は、コメツガ、ハクサンシャクナゲ、シラビソ、イチヤクソウが見られる。林床は藓類に厚く覆われている。

土壌 pH の測定は 1982 年 8 月 30 日に実施した。試料の採取は、1 林分あたり 9 地点から行った。TDn17, TDn20 および TDn22 の各林分で、A₀層を除去した後、A層上部から土壌を採取・風乾後 2mm メッシュの篩にかけ、その内の 100g に 250ml の蒸留水を加えて良く攪拌し、その上澄み液 125ml を分離して pH 値を測定した。

各林分の土壌 pH 値は、TDn17 林分が pH(H₂O)5.34±0.22, TDn20 林分が pH(H₂O)5.31±0.11 および TDn22 林分が pH(H₂O)5.28±0.08 であった (表 3-9)。調査した 3 林分の pH 値の間には有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

3.6 気象条件

この地域を含む富士山亜高山帯の気象条件は、安藤 (1962) の示した気温の低減率 (高度が 100m 上昇するごとに気温は 0.56°C 低下する) を使用した推定によれば、年間平均気温は 2.1°C (海拔 2,300m) ~5.6°C (海拔 1,700m) である。また、著者が海拔 2,250m 地点のコメツガ林で 6 年間 (1999-2004) 連続測定した結果では、深さ 10cm の地中温度は、観測期間の最高値は 16.6°C、観測期間の最低値は、-9.1°C であった。さらに、この地点では、11 月上旬から翌年の 5 月中旬までの間は、深さ 10cm の地中温度は氷点下であった。同様の測定により、海拔 1,700m のシラビソ林の地中温度 (深さ 10cm) は、年間の最高値は 20.9°C、最低値は -4.8°C であり、

12月上旬から翌年の4月中旬までは、深さ10cmの地中温度は氷点下であった。地中の外生菌根菌の菌糸伸長に影響を与えるのは地中温度である。しかし、地中温度の測定期間が短いため(1999~2004年)、本論文では必要がある場合には、その代替として推定気温を使用した。なお、1999~2004年の測定値によれば、有効積算地温と推定有効積算気温の間には相関が認められた(図3-2)。

この地域の降水量は、海拔2,350mの御中道で2,558mm(国土交通省富士砂防工事事務所による1989-1998年の観測平均値)海拔1,700mの大滝で2,860mm(同)である。安藤ら(1968)の作成した「山梨県林業気象図」におけるこの地域の推定降水量(2,600~3,000mm)もこの観測値とほぼ一致する。

山梨県森林総合研究所富士吉田試験園(海拔835m)における5月から10月の積算降水量と9月上旬の降水量率^{注2)}([9月上旬降水量]÷[5~10月積算降水量]×100%)の年次変化を図3-3に示した。

積算降水量がもっとも多かったのは1991年であり、逆にもっとも少なかったのは1996年であった。さらに、積算降水量に対して9月上旬の降水量に占める割合がもっとも低かったのは1992年および1995年であった。これらに対して、9月上旬の降水量が占める割合がもっとも高かったのは1986年であった。

注1) 海拔2,250m地点の推定気温は、富士山頂の観測値を基準にし、富士山における気温の低減率(安藤1962)を使用して求めた。富士山頂の気温から求めた推定有効積算気温(1999-2004)と著者の測定した結果から求めた有効積算地温(1999-2004)との間には相関が認められた($R^2=0.32$)。本来は、子実体の発生に影響する温度としては地中温度を利用すべきであるが、有効積算温度の測定期間が短いため、代替として推定有効積算気温を使用した。推定有効積算気温および有効積算地温は、5月から10月の間で、各日の推定平均気温または地温が4℃を越える日の気温または地温から4℃を差し引いた値を積算して求めた。4℃という値は、Debaud(1987)が海拔2,100m付近の高山帯(Vanoise 国立公園)の大型菌類の菌糸体成長温度の範囲を調査した結果得られた値を暫定的に使用した。彼の測定によれば、高山帯の大

型菌類の菌糸体成長は温度の下限は、ほぼ 4℃であったとされている。

注2) 9 月上中旬の降水量が子実体発生に有利に働くという岡部 (1997) の意見、9 月上旬の降水量が山梨県およびその周辺地域における大型菌類の子実体発生に大きく影響するという調査結果 (柴田 2000) にもとづいている。この結果から、5~10 月の積算降水量および 9 月上旬の降水量率 (5~10 月積算降水量の中で 9 月上旬の降水量の占める率) をひとつの指標として使用した。

表 3-1 調査林分の概況

林分記号	樹種	森林 タイプ	所在地 (林班) ¹⁾	1983年の 樹齢(年生)	海拔高度 (m)	面積 (ha)	土壌型 ²⁾	立木密度 (本/ha)	前植生
LK3	カラマツ	二次林 (天然林)	24-ぬ-4	3	2,200	1.3	Im	8,000	カラマツ・シラビソ・ ダケカンバ
LK12	カラマツ	人工林	24-ろ-6	12	1,700	2.2	dBD	3,000	シラビソ・コメツガ・ カンバ類
LK43	カラマツ	人工林	26-い-19	43	1,700	3.1	dBD	1,500	シラビソ・コメツガ・ カンバ類
LK100	カラマツ	天然林	24-ぬ-4	推定 100~	2,200	2.2	Im	800	不明
AV15	シラビソ	人工林	28-は-3	15	1,700	2.3	dBD	3,000	シラビソ・コメツガ・ カンバ類
AV25	シラビソ	人工林	28-に-1	25	1,700	5.2	dBD	2,100	シラビソ・コメツガ・ カンバ類
AV44	シラビソ	人工林	28-に-8	44	1,700	6.1	dBD	1,250	シラビソ・コメツガ・ カンバ類
AVn19	シラビソ・オオ シラビソ	天然林	22-は-6	推定 120~ 160	1,900	10.7	dBD	800	不明
AVn21	シラビソ・オオ シラビソ	天然林	24-り-2	推定 120~ 160	2,100	8.5	dBD	800	不明
TDn17	コメツガ	天然林	22-ち-1	推定 200~ 300	1,750	11.2	PDⅢ	950	不明
TDn20	コメツガ	天然林	22-は-3	推定 200~ 300	2,000	3.9	PDⅢ	750	不明
TDn22	コメツガ	天然林	28-よ-2	推定 200~ 300	2,250	5.6	PDⅢ	750	不明

1)山梨県富士山県有林林班番号

2)土壌型説明：Im；粗粒火山噴出物未熟土壌， dBD；褐色森林土壌， PDⅢ；ポドゾル型土壌

表 3-2 カラマツ林の土壌 pH (1982)

カラマツ林分	土壌 pH (H ₂ O)
LK3	5.75±0.17a
LK12	5.51±0.20a
LK43	5.46±0.19a
LK100	5.50±0.10a

n=9, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 3-3 各調査林分における 10 年毎のカラマツ落葉量変化 (落葉乾燥重, Kg/ha/年)

調査年	LK3	LK12	LK43	LK100
1982	361.8±137.3a	1395.8±472.6a	4300.8±637.7a	3945.4±524.8a
1992	1162.4±222.9b	2956.2±252.4b	4386.8±387.2a	3918.0±363.5a
2002	2629.0±373.8c	3636.2±345.3b	4596.4±197.2a	4311.8±380.0a

n=5, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 3-4 カラマツ調査林分の乾土 1g 当たりの糸状菌コロニー数 ($\times 10^3$)

調査林分および層位	1982 年	1992 年	2002 年
LK3	0.82 \pm 0.25a	0.85 \pm 0.19a	0.96 \pm 0.19a
LK100	3.19 \pm 0.60b	2.08 \pm 0.50b	3.25 \pm 0.65b
LK12 (A ₀)	4.00 \pm 0.97c	2.19 \pm 0.75b	3.22 \pm 0.44b
LK43 (A ₀)	3.93 \pm 1.01bc	2.30 \pm 0.74b	3.81 \pm 0.65b
LK12 (A)	3.33 \pm 0.75b	2.05 \pm 0.61b	2.91 \pm 0.55b
LK43 (A)	4.78 \pm 1.06c	2.48 \pm 0.83b	3.31 \pm 0.88b

n=9, 平均値 \pm 標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

希釈平板法による計数

表 3-5 カラマツ調査林分の乾土 1g 当たりの放線菌コロニー数 ($\times 10^5$)

調査林分および層位	1982 年	1992 年	2002 年
LK3	1.16 \pm 0.50a	0.95 \pm 0.27a	1.14 \pm 0.41a
LK100	4.15 \pm 0.85bd	1.58 \pm 0.54ad	3.61 \pm 0.57b
LK12 (A ₀)	7.81 \pm 2.33c	3.13 \pm 1.37b	8.89 \pm 1.33c
LK43 (A ₀)	8.20 \pm 3.05c	5.74 \pm 2.44c	6.19 \pm 2.63d
LK12 (A)	3.51 \pm 0.82b	2.27 \pm 0.99bd	3.72 \pm 0.77b
LK43 (A)	4.38 \pm 1.16d	2.88 \pm 0.63b	3.55 \pm 0.91b

n=9, 平均値 \pm 標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

希釈平板法による計数

表 3-6 カラマツ調査林分の乾土 1g 当たりの細菌コロニー数 ($\times 10^5$)

調査林分および層位	1982 年	1992 年	2002 年
LK3	0.60 \pm 0.28a	0.36 \pm 0.16a	0.80 \pm 0.22a
LK100	3.71 \pm 0.86b	1.47 \pm 1.20b	3.74 \pm 0.74b
LK12 (A ₀)	5.23 \pm 1.14c	3.33 \pm 0.87c	8.37 \pm 1.41c
LK43 (A ₀)	7.27 \pm 1.86d	7.99 \pm 2.72d	9.09 \pm 1.30c
LK12 (A)	3.29 \pm 0.57b	1.47 \pm 0.52b	3.76 \pm 0.67b
LK43 (A)	3.83 \pm 0.90b	2.08 \pm 0.84b	3.90 \pm 0.72b

n=9, 平均値 \pm 標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

希釈平板法による計数

表 3-7 シラビソ・オオシラビソ天然林の土壌 pH (1982)

シラビソ・オオシラビソ林分	土壌 pH (H ₂ O)
AVn19	5.40±0.11a
AVn21	5.37±0.17a

n=9, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 3-8 シラビソ人工林の土壌 pH (1982)

シラビソ林分	土壌 pH (H ₂ O)
AV15	5.32±0.16a
AV25	5.48±0.17a
AV44	5.26±0.40a

n=9, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 3-9 コメツガ天然林の土壌 pH (1982)

コメツガ林分	土壌 pH (H ₂ O)
TDn17	5.34±0.22a
TDn20	5.31±0.11a
TDn22	5.28±0.08a

n=9, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

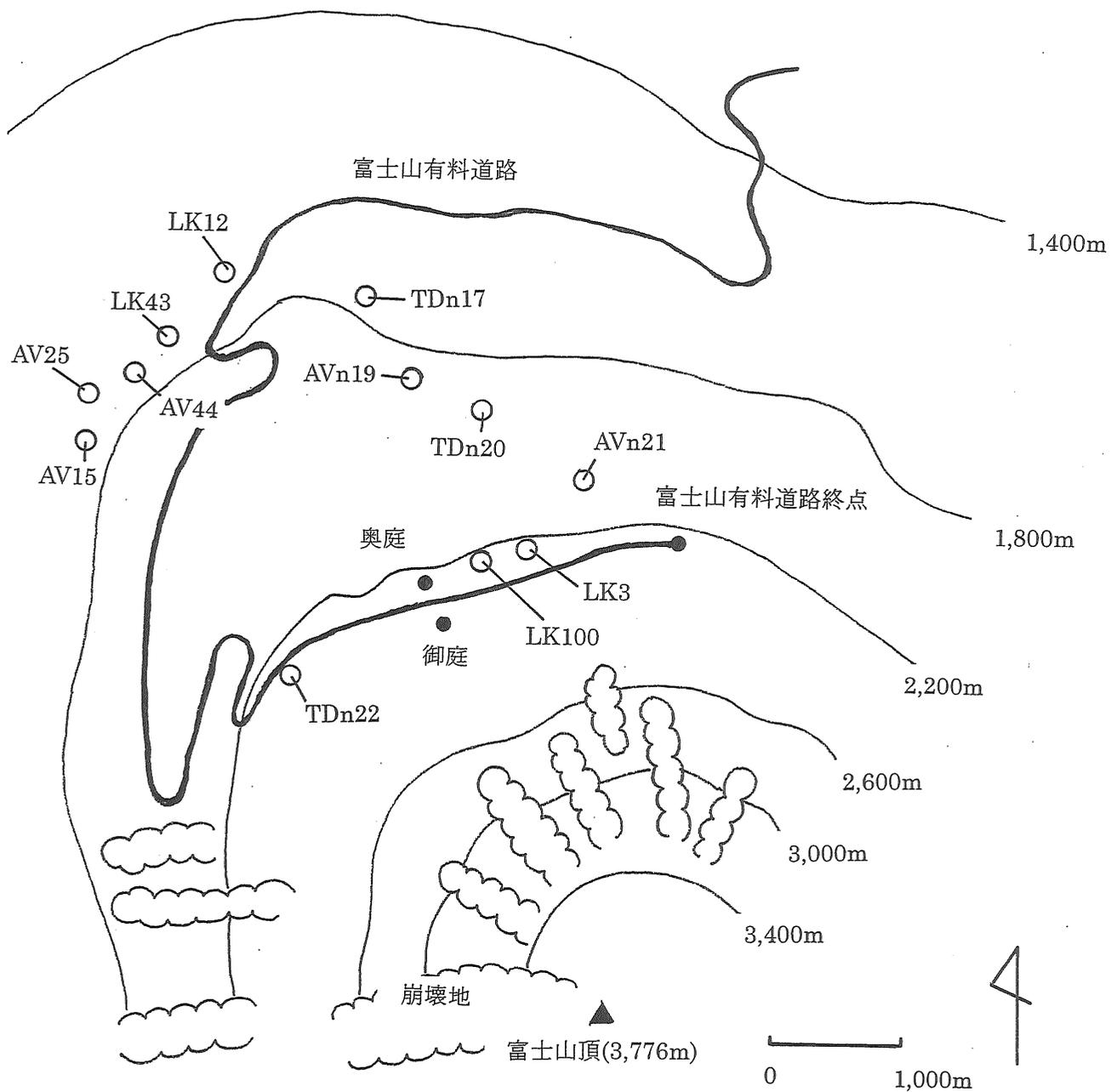


図 3-1 富士山亜高山帯針葉樹林の外生菌根菌子実体発生調査地の位置
 (図中の LK3 から TDn22 までの記号は調査地の林分を表す記号であり、
 その詳細は 22 頁の表 3-1 参照)

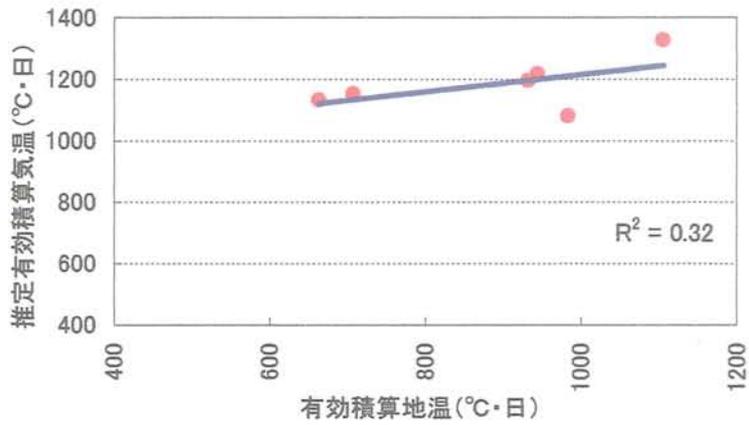


図3-2 推定有効積算気温・積算地温(2, 250m)の相関

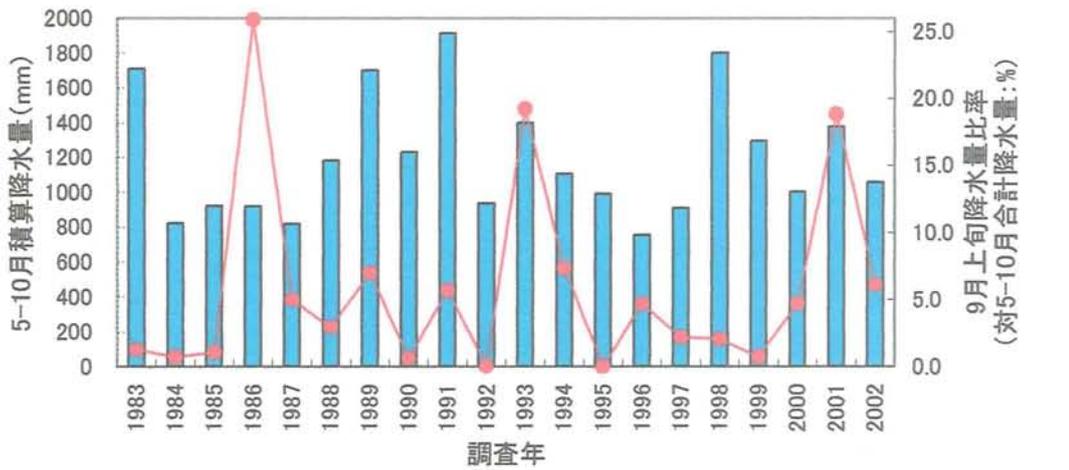


図3-3 5-10月積算降水量および9月上旬降水量比率
(山梨県森林総合研究所富士吉田試験園観測値)

■ 5-10月積算降水量
● 9月上旬の降水量比率 (対5-10月合計)

第4章 調査方法および解析方法

4.1 既往の研究の問題点および用語の定義

これまでに行われた外生菌根菌の遷移に関する調査では、その方法に次のような問題点を含んでいる。

すなわち、

- 1) 調査期間が短すぎた(Vogt et al. 1992 の指摘)
- 2) 調査回数が少なすぎた(Vogt et al. 1992 の指摘)
- 3) 調査面積が狭すぎた(Vogt et al. 1992 の指摘)
- 4) もともと自生していない樹種を調査対象とした(Newton 1992 の指摘)
- 5) 調査地間で土壌条件などの環境条件が異なりすぎていた (Deacon & Fleming 1992 の指摘) などの点である。

また、調査対象を子実体とするのか菌根そのものとするのかについても、それぞれ次にあげるような長所および短所がある。子実体の発生にもとづく菌根菌の調査には、種の特定が最も確実であるという利点があり、これまでも数多くの報告がある。さらにサンプリングの際に地中の菌根に与える影響がもっとも小さいと考えられ(菊地 1999)、長期間にわたる継続調査には適している。しかし、対象とできるのは子実体を形成する種のみであり、その発生は、気象条件などの環境条件に左右される場合もあり、短期間の調査では結果の信頼度が低くなるという欠点を有している(Worrall 1999)。その上、子実体からの種の同定にあたっては、相当の経験を必要とする点も欠点のひとつである。Arnolds (1995)や Watling(1995)の指摘をはじめとして、大型菌類の子実体発生をもとにしてある地域の菌類相を推定するためには、少なくとも 10 年以上の継続した反復調査が必要であるとする意見が、現在では一般的である(Lodge et al. 2004)。子実体発生調査はいくつかの長所・短所を併せ持つが、Worrall (1999)は、調査年数を長くし、いくつかの調査方法を組み合わせて実施する子実体発生調査の結果にはそれなりの堅実性もあると述べている。

このように子実体発生調査に基づく外生菌根菌の調査には様々な見解が示されて

いる。しかし、実際に計画的に長期間にわたって子実体の発生を調査し、その結果を解析した例はごく少なく Straatsma et al. (2001)によるスイスでの21年間にわたる調査例を除いてはみられない。

地中の菌根の形態を類別し、地中の菌根菌の種構成を解明する方法は、Agerer (1987-2002, 1996-2004), Ingleby et al. (1990)による菌根の形態分類法の確立以降に多くの報告例がある。しかもこの方法によれば理論上は菌根菌のすべてを調査することが可能である(松田 2000)。その一方で、菌根の形態から種を特定することは技術的に困難であるという欠点をもつ(松田 2000)。これらに加えて、森林全体に比較するとごくせまい範囲のみから得られた情報によって、その森林全体の菌根菌相を述べることの妥当性についての疑問がのこる。

近年、多く採用されるようになった子実体と菌根の遺伝的解析による調査は、理論上は菌根のすべてを対象とすることができ、客観的なデータが得られ、種の特定も可能ではある。しかし、この方法には子実体の種の正確な同定作業が大前提となっており、その上、菌根のすべてを処理するのは困難であるとされている(松田 2000)。以上にあげたような調査方法および調査対象のもつ問題点をふまえた上で、本研究の実施にあたっては、次に上げる点について留意した。

- 1) 外生菌根菌の種名を正確に同定するため、調査対象は子実体とした。
- 1) 富士山の亜高山帯(海拔高 1,700m~2,300m)の比較的せまい範囲の森林を対象とし土壌条件、気象条件等の環境条件を可能な限り均等にした。
- 2) 日本特産の針葉樹であるカラマツ、シラビソ、オオシラビソおよびコメツガ林を調査対象とした。
- 3) カラマツ林は、雪崩による攪乱地に成立した若齢の二次林、樹齢 100 年生以上の高齢天然林(渡瀬 1971)および樹齢の異なる人工林を調査対象とした。シラビソ林は、樹齢の異なる人工林を調査対象とした。シラビソ・オオシラビソ林は樹齢 120~160 年生の高齢天然林(渡瀬 1971)を調査対象とした。コメツガ林は樹齢 200~300 年生の高齢天然林(大賀・沼田 1971)を調査対象とした。
- 4) 子実体を対象とした調査の欠点(前述)を克服するとともに外生菌根菌の生態

に関して新たな知見を得るために、これまでほとんど実施されたことのなかった長期間にわたる調査期間（20年間）を設定した。

5) 子実体を対象とした調査の欠点（前述）を克服するために、調査頻度を高くし、各年とも子実体発生期間の6月～11月にかけて5日から10日に一度の割合で調査を実施した。

6) 子実体発生調査を補うために小川（1981）によって提案された大型菌類のコロニー型分類にもとづき外生菌根菌のコロニー型を種ごとに調査・記載した。

これまでの研究で設定された固定調査区は1林分あたり48～1,000 m² (Vogt et al. 1992の集計による) である。また、Bruns (1995)は0.1haの針葉樹植栽林内の外生菌根菌種数を約30種と推定している。本研究では1林分あたりの固定調査区は、合計で800 m²とし、他の研究例と比べて遜色のない広さの固定調査区で調査を実施した。

本研究で使用するいくつかの用語については次のように定義づける。

群集の定義は「ある地域に生息するすべての種、もしくはある近縁なグループの種の総体を群集という（巖佐ら 2003）」とされている。本論文であつかう外生菌根菌の種の集団は、必ずしも種の総体ではない。しかし、山田(1996)および松田(1999)は外生菌根菌に関するそれぞれの報告においてこのような種の集団を群集として表している。これらの例にならって、本論文においても外生菌根菌の種集団に対して群集という語を使用する。

藤田（1989）や Molina et al. (1992), Keizer & Arnolds (1994), Jumpponen et al. (2002)のように、時系列あるいは森林の環境変化に沿った外生菌根菌の種構成変化を外生菌根菌の遷移ととらえる研究者もいる。一方で、Allen (1991)はこのような種構成の変化を「'successional' changes (遷移的変遷)」と呼んでいる。このように、樹齢の変化に伴う外生菌根菌の変化を遷移としてとらえるか否かについてはいくつかの論議がある。本論文では、樹齢変化や植生遷移にともなう外生菌根菌の子実体発生消長を外生菌根菌群集の動態を示す指標のひとつとして位置づけて論議を進める。そのため、群集の変化を表す用語として遷移という表現は使用せず、こ

これらの変化を総称して群集の動態と表現した。

4.2 調査方法

1983年からの本調査に先だって1982年の6月に、カラマツ林 LK3, LK100, LK12 および LK43, シラビソ人工林 AV15, AV25 および AV44, シラビソ・オオシラビソ天然林 AVn19 および AVn21, コメツガ天然林 TDn17, TDn20 および TDn22の各林分のほぼ中央部に20m×20mの正方形固定調査区を1箇所設定した。この調査区の一辺から5m離れた位置に正方形調査区を挟むようにして4m×50mの長方形固定調査区を2箇所設定した。以後の、子実体発生状況調査はすべてこの調査区内で実施した。

外生菌根菌子実体の発生状況調査は1983年から2002年の間に合計292回行った。各調査年の5月から11月にかけて5日から14日に一回の割合でそれぞれの調査区を巡回し、発生した外生菌根菌の子実体を採集し、種名、本数および乾燥重量を記録した。種名の同定にあたっては、主として今関・本郷（1957, 1965, 1987, 1989）および Breitenbach & Kranzlin（1986-2000）を参考にした。

外生菌根菌の子実体発生調査と平行して、小川（1981）により示された大型菌類の自然条件下における生活型にもとづいた類別を各林分の外生菌根菌に対して行った。その方法は小川（1981）に従い、子実体発生調査を行った林分で固定調査区以外に発生した外生菌根菌のうち、固定調査区との共通種の子実体直下およびその周辺の土壌中の菌根菌コロニーの形態を肉眼で観察記載した。この調査は同一種の子実体に対して一種あたり3箇所行い、1983～1985年の3年間くり返した。また、この期間中に子実体が発生しなかった種は、その発生時に前述と同様の調査を行い、20年間で9回の調査観察を行った。小川（1981）の定義付けによればそれぞれの生活型は次のとおりである。フェアリーリング型（I型）のコロニーを形成する種は、土壌有機物や微生物相の貧弱な鉍質土層に限られ、成林初期に侵入して定着する。老齢林では表層土壌の有機物が多くなり、次第に消滅する。不定形マット型（II型）のコロニーを形成する種は、植物の根が高頻度に分布し勢い良く生長する土壌

層位に菌糸層を形成し、条件によってはこのタイプのコロニーを形成する種のみが独占的に存在することもある。条件が良ければフェアリーリングを形成することもある。分散コロニー型（Ⅲ型）に属する種は、広い範囲に生息可能で、競争相手に対して強い抵抗力をもつ根状菌糸束を形成する。

4.3 結果の統計処理

種多様度指数に対するサンプルの大きさの影響については、森下（1996）が人工群集を使用した解析モデルを紹介している。その中で、現在までの知見としてサンプルから母集団を推定するには、出現頻度数の増加が停止するまでサンプルを拡大する方法が紹介されている。本研究では、富士山亜高山帯針葉樹林における調査期間が20年間であるために、それぞれの林分における子実体の出現種数はほぼ上限に達していると考えて解析を行った。

大型菌類の子実体の種多様度解析手法は、Schmit et al.（1999）によりナラ属の樹木が優占種である温帯林の大型菌類に関して7種類の解析手法が検討されている。しかし、その結果はいずれの手法も大型菌類の子実体の多様性を表すには一長一短があると述べられている。

常緑広葉樹林における大型菌類の種多様性を解析するにあたり、Iwabuchi et al.（1994）はShannon-Weanerの多様度指数（ H' ）を利用している。また、Giachini et al.（2004）もブラジル南部のユーカリ属およびマツ属の林分における子実体種多様性を解析するにあたって同様の種多様度指数（ H' ）を使用している。そこで本研究においてもこれらの例にならい、これまでに様々な生態学の分野で広く使用されてきたShannon-Weanerの多様度指数（ H' ）（伊藤1994, 宮下・野田2003）で外生菌根菌子実体の種多様性を表した。

$$\text{Shannon-Weaner の多様度指数 } (H') : H' = - \sum (N_i/N) \ln(N_i/N)$$

N : 総個体数, N_i : 種別総個体数

データ解析には、市販の統計解析ソフト STATISTICA ver.5.5（stattsoft ジャパン株式会社）を使用した。有意確率は注記しない限り原則として $p < 0.05$ とした。

外生菌根菌群集の子実体種多様度変化を知るために、一次回帰式を用いて各林分における子実体の種多様度指数の年次変化を分析した。また、各林分の子実体の種多様度と子実体バイオマスとの関係を単回帰分析した。

シラビソ人工林では採集された菌の種数が多かったので、子実体発生とシラビソ樹齢の関係を解析するため、小林（1995）を参考にし、ユークリッド距離を用いた Ward 法により階層的クラスタ分析を行いデンドログラムを作成した。

カラマツ天然林（LK100）、シラビソ・オオシラビソ天然林（AVn19, AVn21）およびコメツガ天然林（TDn17, TDn20, TDn22）における外生菌根菌の子実体発生変動と気象量（気温および降水量）の変動との相関を知るため、富士山山頂気温から気温の低減率を用いて推定した海拔 2,300m 地点の 5—10 月の推定有効積算気温（第 3 章 3.6 参照）、山梨県森林総合研究所富士吉田試験園（海拔 850m）における 5—10 月の積算降水量および 9 月上旬の積算降水量と子実体バイオマスとの間で重回帰分析を行い、積算気温もしくは積算降水量のうちのいずれかと子実体バイオマス変動との間に相関が認められた種は、子実体の発生活長に気象量が影響していたと判定した。

第5章 調査結果

5.1 カラマツ天然林

調査した天然林 2 林分で子実体の発生が確認された外生菌根菌は、ヌメリガサ科 (Hygrophoraceae) のオトメノカサ (*Camarophyllus virgineus* (Wulf.: Fr.) Kummer.), キヌメリガサ (*Hygrophorus lucorum* Karchbr.), キシメジ科 (Tricholomataceae) のキツネタケ (*Laccaria laccata* (Scop.: Fr.) Berk. et Br.), カラマツシメジ (*Tricholoma pusammopus* (Karchbr.) Quél.), フウセンタケ科 (Cortinariaceae) のワカフサタケ (*Hebeloma mesophaeum* (Pers.: Fr.) Quél.), ワカフサタケ属菌 (*Hebeloma* sp.), イグチ科 (Boletaceae) のウツロベニハナイグチ (*Boletinus asiaticus* Singer), アミハナイグチ (*Boletinus cavipes* (Opat.) Karchbr.), カラマツベニハナイグチ (*Boletinus pulster* (Peck) Peck), ハナイグチ (*Suillus grevillei* (Klotz.) Singer), シロヌメリイグチ (*Suillus laricinus* (Berk in Hook.) O. Kuntze), キノボリイグチ (*Suillus spectabilis* (Peck) O. Kuntze), およびベニタケ科 (Russulaceae) のカラマツチチタケ (*Lactarius porninsis* Rolland) の 4 科 8 属 13 種であった (表 5-1)。

これらの種の地中のコロニー形態を調査し、小川 (1981) が提案した大型菌類のコロニー型に従って類別した。その結果、フェアリーリング型 (I 型) のコロニーを形成する種はなかった。不定形マット型 (II 型) のコロニーを形成したのはキノボリイグチ, アミハナイグチ, カラマツベニハナイグチおよびウツロベニハナイグチの 4 種であった。分散コロニー型 (III 型) の菌は、ワカフサタケ, ワカフサタケ属菌, キツネタケ, キヌメリガサ, オトメノカサ, ハナイグチ, シロヌメリイグチ, カラマツシメジおよびカラマツチチタケの 9 種であった (表 5-1)。それらのコロニー型の林分別比率の変化を図 5-1 に示した。樹齢が高い林分ほど不定形マット型の菌の比率が高く、樹齢が最も低い LK3 林分では分散コロニー型の菌が 90%を占めた。

調査した 2 林分における外生菌根菌子実体の種多様度指数を比較した (表 5-2)。

その結果、LK3 林分の子実体種多様度指数 (2.12 ± 0.44) は、LK100 林分 (2.74 ± 0.29) に比べて有意に小さかった ($p < 0.05$)。

次に、発生した子実体の種多様度指数の年次変化を各林分別に分析した。調査した天然林で発生した子実体の種多様度指数と調査開始からの経過年数との関係を一次回帰した結果を図 5-2 および図 5-3 に示した。2 林分のうち、LK3 林分は、子実体の種多様度指数が 20 年間で最も急激に増加し、樹齢変化と子実体種多様度指数との間には良い相関がみられた ($R^2 = 0.53$)。一方、LK100 林分では、20 年間をとおして時間経過とともに子実体の種多様度指数が有意に増加あるいは減少することとはなかった ($R^2 = 0.06$)。

調査した 2 林分で 1 年間に発生した総子実体バイオマス (子実体の総乾燥重量) を 1ha 当たりに換算しそれぞれ比較した (表 5-3)。その結果、LK3 林分は、LK100 林分とは総子実体バイオマスが異なっていた。総子実体バイオマスは LK3 林分は 1691.37 ± 1620.65 g/ha/年であり、LK100 林分は 8419.85 ± 8013.15 g/ha/年であった。

子実体の種多様度指数と子実体バイオマスとの関係を単回帰分析した結果を表 5-4 に示した。LK3 林分では、子実体の種多様度指数と子実体バイオマスの間には正の相関があることが明らかとなった ($p < 0.05$)。しかし、LK100 林分では子実体の種多様度指数と子実体バイオマスの間には相関が認められなかった ($p < 0.05$)。

次に、富士山のカラマツ林で子実体が採集された菌の種別子実体バイオマス (乾燥重量) の年次変動を図 5-6～図 5-18 に示した。比較を容易にするために図中の子実体バイオマスは 1 ha 当たりの値に換算してある。ワカフサタケ (図 5-6) およびワカフサタケ属菌 (図 5-7) の 2 種は、LK3 林分で子実体の発生が確認された。

キツネタケ (図 5-8)、カラマツチチタケ (図 5-9)、カラマツシメジ (図 5-10) は、LK3 および LK100 林分で子実体が採集された。しかし、その子実体バイオマスは、樹齢の高い林分では大きく変動した。

オトメノカサ (図 5-11)、キヌメリガサ (図 5-12)、ハナイグチ (図 5-13) およびシロヌメリイグチ (図 5-14) の 4 種は、LK100 林分では 1992 年をのぞいて採集

された。しかし、LK3 林分では調査開始から数年の間は採集されない種があった。それらのうちシロヌメリイグチは調査開始 5 年目以降にハナイグチおよびオトメノカサは 8 年目以降に、キヌメリガサは 9 年目以降に採集された。

ウツロベニハナイグチ (図 5-15) およびカラマツベニハナイグチ (図 5-17) およびキノボリイグチ (図 5-18), の 3 種は、LK3 林分では採集されなかった。アミハナイグチ (図 5-16) は LK3 林分でも子実体が発生したがそのバイオマスは低かった。

カラマツ天然林 (LK100) で発生が確認された外生菌根菌 11 種の子実体のうち、カラマツチチタケおよびカラマツシメジの 2 種のみが 5—10 月の積算降水量と相関が認められた (表 5-5)。全種の子実体バイオマス合計の変動と気候要素の変動とは相関は認められなかった ($p < 0.05$)。

5.2 カラマツ人工林

調査した人工林 2 林分で子実体の発生が確認された外生菌根菌は、ヌメリガサ科のオトメノカサ、キヌメリガサ、キシメジ科のキツネタケ、カラマツシメジ、フウセンタケ科のワカフサタケ、ワカフサタケ属菌、イグチ科のウツロベニハナイグチ、アミハナイグチ、カラマツベニハナイグチ、ハナイグチ、シロヌメリイグチ、キノボリイグチおよびベニタケ科のカラマツチチタケの 4 科 8 属 13 種であった (表 5-1)。

これらの種の地中のコロニー形態を調査し、小川 (1981) が提案した大型菌類のコロニー型に従って類別した。その結果、フェアリーリング型 (I 型) のコロニーを形成する種はなかった。不定形マット型 (II 型) のコロニーを形成したのはキノボリイグチ、アミハナイグチ、カラマツベニハナイグチおよびウツロベニハナイグチの 4 種であった。分散コロニー型 (III 型) の菌は、ワカフサタケ、ワカフサタケ属菌、キツネタケ、キヌメリガサ、オトメノカサ、ハナイグチ、シロヌメリイグチ、カラマツシメジおよびカラマツチチタケの 9 種であった (表 5-1)。それらのコロニー型の林分別比率を図 5-1 に示した。

調査した人工林 2 林分における外生菌根菌子実体の種多様度指数を比較した（表 5-2）。その結果，LK12 および LK43 林分の子実体種多様度指数はそれぞれ 2.57 ± 0.46 および 2.71 ± 0.44 であり，有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

発生した子実体の種多様度指数の年次変化を林分別に分析した。その結果，LK12 林分では子実体の種多様度指数は樹齢の変化と共に有意に増加した ($R^2 = 0.42$)。一方，LK43 林分では，20 年間をとおして時間経過と共に子実体の種多様度指数が有意に増加あるいは減少することはなかった ($R^2 = 0.08$)。

人工林 2 林分で 1 年間に発生した総子実体バイオマスを 1ha 当たりに換算して比較した（表 5-3）。その結果，LK12 林分では $3769.81 \pm 1960.32 \text{ g/ha/年}$ ，LK43 林分では $6529.50 \pm 4728.71 \text{ g/ha/年}$ であり，両林分間には有意差が認められた ($p < 0.05$)。しかし，表 5-4 に示したとおり，これら 2 林分とも子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの間には相関は認められなかった ($p < 0.05$)。

次に，富士山のカラマツ林で子実体が採集された菌の種別子実体バイオマス（乾燥重量）の年次変動を図 5-6～図 5-18 に示した。比較を容易にするために図中の子実体バイオマスは 1 ha 当たりの値に換算してある。ワカフサタケ（図 5-6）およびワカフサタケ属菌（図 5-7）の 2 種は，LK12 林分のみで子実体の発生が確認された。

キツネタケ（図 5-8），カラマツチチタケ（図 5-9），カラマツシメジ（図 5-10）は，LK12 および LK43 林分で子実体が採集された。しかし，その子実体バイオマスは，樹齢の高い林分では大きく変動した。

オトメノカサ（図 5-11），キヌメリガサ（図 5-12），ハナイグチ（図 5-13）およびシロヌメリイグチ（図 5-14）の 4 種は，1992 年をのぞいて両林分で採集された。

ウツロベニハナイグチ（図 5-15），アミハナイグチ（図 5-16），カラマツベニハナイグチ（図 5-17）およびキノボリイグチ（図 5-18）の 4 種は，両林分で採集された。しかし，LK12 林分ではこれらの子実体発生は調査開始時にはみられず，開始から 10～18 年後に発生が始まった。なかでもカラマツベニハナイグチは LK12 林分での子実体バイオマスは低く，子実体発生は 2001 年のみであった。

5.3 シラビソ・オオシラビソ天然林

調査した2林分で子実体の発生が確認された外生菌根菌は、ヌメリガサ科 (Hygrophoraceae), キシメジ科 (Tricholomataceae), テングタケ科 (Amanitaceae), フウセンタケ科 (Cortinariaceae), オニイグチ科 (Strobilomycataceae), イグチ科 (Boletaceae), ベニタケ科 (Russulaceae), アンズタケ科 (Cantharellaceae), ホウキタケ科 (Ramariaceae), ラッパタケ科 (Gomphaceae), カノシタ科 (Hydnaceae) およびイボタケ科 (Thelephoraceae) の12科に属する19属59種であった (表5-12)。

AVn19林分では59種中57種の子実体発生が確認され, AVn21林分では59種中52種の子実体発生が確認された。AVn19林分では子実体発生が確認されなかったのはキツネタケおよびクダアカゲシメジ (*Tricholoma vaccinum* (Pers.: Fr.) Kummer) の2種であった。AVn21林分で子実体発生が確認されなかったのはタマゴテングタケモドキ (*Amanita longistriata* Imai), オオキノボリイグチ (*Boletellus mirabilis* (Murrill) Singer), ウラベニイロガワリ (*Boletus luridus* Schaeff.: Fr.), ヤマドリタケモドキ (*Boletus reticulatus* Schaeff.), ドクヤマドリ (*Boletus venenatus* Nagasawa), チシオハツ (*Russula sanguinaria* (Schumach.) Rauschert) およびウラグロニガイグチ (*Tylopilus eximius* (Peck) Singer) の7種であった。

AVn19およびAVn21の両林分で子実体発生が確認された合計59種の外生菌根菌のコロニー型 (小川1981) は, フェアリーリング型 (I型) が8種, 不定形マット型 (II型) が18種, 分散コロニー型 (III型) が32種, コロニー型不明 (オオキノボリイグチ) が1種であった (表5-6 および図5-19)。オオキノボリイグチの子実体発生位置は, 倒木上であったため, 地中のコロニーの状態を確認することができなかった。

この調査結果にもとづいてAVn19林分およびAVn21林分における子実体種多様度指数を比較した (表5-13)。その結果, AVn19林分の子実体種多様度指数は 4.12 ± 0.44 , AVn21林分の子実体種多様度指数は 4.21 ± 0.55 となり, 両者の間に有意

差は認められなかった ($p<0.05$)。

次に、子実体種多様度指数の変化を知るために調査開始からの経過年数との関係を一次回帰した。その結果、AVn19 林分では $R^2=0.00$ 、Avn21 林分では $R^2=0.10$ であり、いずれの林分においても 20 年の間に子実体種多様度指数が大きく減少、あるいは増加することはなかった (図 5-20 および図 5-21)。

調査した 2 林分で 1 年間に発生した子実体のバイオマス (乾燥重量) を比較した (表 5-8)。その結果、AVn19 林分および AVn21 林分の総子実体バイオマスは、それぞれ $10840.77 \pm 7576.01 \text{g/ha/年}$ および $8067.96 \pm 3897.36 \text{g/ha/年}$ であった。両林分の子実体バイオマスの間には有意差は認められなかった ($p<0.05$)。

各林分毎に子実体種多様度指数と総子実体バイオマスとの関係を単回帰分析した結果を表 5-9 に示した。AVn19 林分および AVn21 林分ともに子実体種多様度指数と総子実体バイオマスとの間には相関があることが示された ($p<0.05$)。

子実体発生が確認された外生菌根菌 59 種のうち、個別種の子実体バイオマス変動といずれかの気候要素 (推定有効積算気温, 5—10 月積算降水量および 9 月上旬積算降水量) 変動との間に相関が認められたのはベニテングタケ (*Amanita muscaria* (L.: Fr.) Hooker), アシベニイグチ (*Boletus calopus* Fr.), ツバアブラシメジ (*Cortinarius collinitus* (Sow.: Fr.) Fr.), ツチカブリ (*Lactarius piperatus* (Scop.: Fr.) S.F. Gray), ショウゲンジ (*Rozites caperata* (Pers.: Fr.) Karst.), チシオハツ, ネズミシメジ (*Tricholoma virgatum* (Fr.: Fr.) Kummer) およびベニタケ属菌 (*Russula* sp. No.2) の 8 種であった (表 5-10 および表 5-11)。総子実体バイオマスの変動と気象要素の変動とには相関は認められなかった ($p<0.05$)。

5.4 シラビソ人工林

調査した 3 林分で子実体の発生が確認された外生菌根菌は、ヌメリガサ科, キシメジ科, テングタケ科, フウセンタケ科, イグチ科, ベニタケ科, アンズタケ科, ホウキタケ科, ラップタケ科, カノシタ科およびイボタケ科の 11 科に属する 19 属 50 種であった (表 5-12)。これらのうち、調査した 3 林分すべてで発生が確認され

たフウセンタケ科のマダラフウセンタケ (*Cortinarius scaurus* (Fr.) Fr.) は、Shibata (2001) により日本新産種として報告された。

子実体の発生が確認された種数は AV15 林分では 50 種中 33 種、AV25 林分では 50 種中 37 種、AV44 林分では 50 種中 48 種であった。一方、調査した 3 林分の内、AV15 林分では子実体発生が確認されなかった種は、アミハナイグチ、アンズタケ (*Cantharellus cibarius* Fr.)、ヌメリササタケ (*Cortinarius pseudosalor* J. E. Lange), アカタケ (*Dermocybe sanguinea* (Wulf.: Fr.) Wünsche), アオゾメツチカブリ (*Lactarius glaucescens* Crossland) およびツチカブリの 6 種であった。AV25 林分では子実体発生が確認されなかった種はウスタケ (*Gomphus floccosus* (Schw.) Singer) だけであった。さらに、キツネタケ (*Laccaria laccata* (Scop.: Fr.) Berk. et Br.) の子実体発生が確認されなかったのは 3 林分の内 AV44 林分のみであった。

これらの種を小川 (1981) のコロニー型に従って調査分類し、表 5-12 に示した。50 種のうち、フェアリーリング型 (I 型) に該当する種は 3 種 (AV15), 3 種 (AV25) および 7 種 (AV44) であった。不定形マット型 (II 型) に該当する種は 9 種 (AV15), 12 種 (AV25) および 15 種 (AV44) であり、分散コロニー型 (III 型) に該当する種は 21 種 (AV15), 22 種 (AV25) および 26 種 (AV44) であった。それらのコロニー型の林分別比率の変化を図 5-22 に示した。フェアリーリング型の菌は樹齢が最も高い AV44 林分で最も比率が高く、分散コロニー型の菌は樹齢の最も低い AV15 林分で最も比率が高かった。AV25 林分における比率は、AV15 林分と AV44 林分の中間型であった。

3 林分における子実体の種多様度指数を比較した (表 5-13)。その結果、AV15 林分における子実体の種多様度指数 (2.88 ± 1.09) は、他の 2 林分に比べて有意に小さかった ($p < 0.05$)。AV25 林分 および AV44 林分の子実体種多様度指数はそれぞれ 3.73 ± 0.47 および 3.71 ± 0.72 であり、両者の間には有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

調査した 3 林分で発生した子実体バイオマスをそれぞれ比較した (表 5-14)。その結果、AV15 林分、AV25 林分および AV44 林分における 1 年間の総子実体バイオ

マスは、それぞれ $4135.86 \pm 3949.43 \text{ g/ha/年}$ 、 $6659.10 \pm 3889.15 \text{ g/ha/年}$ および $7573.23 \pm 4705.18 \text{ g/ha/年}$ であった。AV15 林分と AV44 林分との間には有意差が認められたが、AV15 林分と AV25 林分および AV25 林分と AV44 林分との間には有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

各林分毎に子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの関係を単回帰分析した結果を表 5-15 に示した。AV15 林分および AV44 林分では子実体種多様度と子実体バイオマスとの間には正の相関があることが示された ($p < 0.05$)。また、AV25 林分においても子実体種多様度と子実体バイオマスとの間には弱いながらも相関があることが示された ($R^2 = 0.28$)。

次に、発生した子実体の種多様度指数の変化を各林分別に分析した。調査した 3 林分で発生した子実体の種多様度指数と調査開始からの経過年数との関係を一次回帰した結果を図 5-23～図 5-25 に示した。3 林分のうち、AV15 林分は、子実体の種多様度指数が 20 年間でもっとも大きく増加し、種多様度指数の増加と経過年数との間には正の相関がみられた ($R^2 = 0.78$)。AV25 林分においても子実体の種多様度指数は樹齢変化とともに増加し、種多様度指数と樹齢変化との間には正の相関がみられた ($R^2 = 0.46$)。しかし、AV44 林分では子実体種多様度指数と樹齢変化との間には相関は認められなかった ($R^2 = 0.09$)。

AV15 林分、AV25 林分および AV44 林分で、子実体発生が確認された樹齢をもとにして種を分ける階層的クラスタ分析を行った結果、採集された 50 種の外生菌根菌は 5 グループに分類された。その結果を表 5-16 および図 5-26 に示した。

第 1 グループに属する代表的な種は、キツネタケで、50 種中 5 種 (10%) が属していた。第 2 グループの代表種はクロカワ (*Boletopsis leucomelaena* (Pers.) Fayod)、アカモミタケ (*Lactarius laeticolorus* (Imai) Imazeki) であり、50 種中 6 種 (12%) が属していた。第 3 グループの代表種は、タマゴタケ (*Amanita hemibapha* (Berk. et Br.) Sacc.)、ニオイハリタケモドキ (*Hydnellum caeruleum* (Hormem.: Pers.) Karst.) であり、50 種中 11 種 (22%) が属していた。第 4 グループの代表種は、フジウスタケ (*Gomphus fujisanensis* (Imai) Parmasto)、アイ

シメジ (*Tricholoma sejunctum* (Sow.: Fr.) Quél.) であり、50 種中 14 種 (28%) が属していた。第 5 グループの代表種はウラグロニガイグチ、ショウゲンジであり、50 種中 14 種 (28%) が属していた。

次に、それぞれのグループを代表する菌の各年毎の子実体バイオマス (乾燥重量) を図 5-27～図 5-35 に示した。第 1 グループに属する菌の子実体発生が多かったのは AV15 および AV25 林分であり、AV44 林分では子実体発生は著しく減少、もしくは見られなくなった。第 2 グループに属する菌は、調査した 3 林分のいずれにおいてもほぼ均一に子実体が発生した。第 3 グループに属する菌は、AV15 林分において調査開始からの 8 年間もしくは 10 年間は子実体の発生が確認されなかった。AV25 林分および AV44 林分でも短期間、子実体の発生が確認されない年があったが、それを除いては子実体の発生動態に大きな特徴はみられなかった。第 4 グループに属する菌は、子実体発生のピークが AV15 林分および AV25 林分においては調査期間の後半にあるか、または AV44 林分で子実体の発生が確認された。さらに第 5 グループに属する菌は、AV15 林分および AV25 林分では子実体の発生が確認されないかまたは単年のみの発生であり、AV44 林分においても子実体の発生が確認された年は調査を行った 20 年間のうちで 3 年以下と非常に短期間であった。

5.5 コメツガ天然林

調査した 3 林分において子実体の発生が確認された外生菌根菌を表 5-17 に示した。その内訳は、ヌメリガサ科、キシメジ科、テングタケ科、フウセンタケ科、オウギタケ科、オニイグチ科、イグチ科、ベニタケ科、アンズタケ科、ホウキタケ科、カノシタ科およびイボタケ科の 12 科に属する 20 属 45 種 1 変種であった。これらのうちフウセンタケ科のジンガサドクフウセンタケ (*Cortinarius rubellus* Cooke) は、日本新産種の有毒きのことして報告された (Shibata, 2004)。

TDn17, TDn20 および TDn22 の 3 林分で子実体の発生が確認されたのは 45 種 1 変種中のそれぞれ 38 種 1 変種、40 種 1 変種および 44 種 1 変種であった。3 林分中 TDn17 林分のみで子実体発生が確認されなかったのは、ウツロベニハナイ

グチ、ジンガサドクフウセンタケ、オウギタケ (*Gomphidius roseus* (Fr.) Karst.) およびチシオハツの4種であった。さらに TDn20 林分のみで子実体発生が確認されなかったのはベニタケ属菌 (*Russula* sp. No.2) だけであり、TDn22 林分で子実体発生が確認された種は、他の2林分のうち少なくともどちらか一方の林分においても子実体発生が確認された。

TDn17, TDn20 および TDn22 の3林分で子実体発生が確認された45種1変種の外生菌根菌のコロニー型(小川 1981)は、フェアリーリング型(I型)が5種、不定形マット型(II型)が23種、分散コロニー型(III型)が17種、コロニー型不明(オオキノボリイグチ)が1種であった(表5-19 および図5-37)。オオキノボリイグチの子実体発生位置は、倒木上であったため、地中のコロニーの状態を確認することができなかった。

3林分の子実体種多様度指数は、TDn17 林分が 3.89 ± 0.57 , TDn20 林分が 4.02 ± 0.57 , TDn22 林分が 3.53 ± 0.73 であった(表5-18)。この結果から3林分の子実体種多様度指数の間には有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

調査した3林分で発生した子実体バイオマス(子実体乾燥重量)を比較した(表5-19)。その結果、TDn17 林分、TDn20 林分および TDn22 林分の1年間の総子実体バイオマスは、それぞれ $7418.16 \pm 4406.28 \text{g/ha/年}$, $10490.40 \pm 6398.91 \text{g/ha/年}$ および $7701.48 \pm 4801.91 \text{g/ha/年}$ であった。TDn17 林分、TDn20 および TDn22 林分の子実体バイオマスの間には有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

次に、子実体種多様度指数の変化を知るために調査開始からの経過年数との関係を一次回帰した。その結果、TDn17 林分では $R^2 = 0.03$, TDn20 林分では $R^2 = 0.16$, TDn22 林分では $R^2 = 0.24$ であり、いずれの林分においても20年間に子実体種多様度指数が大きく減少、あるいは増加することはなかった(図5-37~図5-39)。

各林分毎に子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの関係を単回帰分析した結果を表5-20に示した。TDn17 林分では子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの間には相関があることが示された。しかし、TDn20 林分および TDn22 林分では子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの間に相関は認められなかった(い

れも $p < 0.05$)。

コメツガ天然林 3 林分で子実体発生が確認された 45 種 1 変種の外生菌根菌のうち、個別種の子実体バイオマスの変動と気象量変動との間に相関が認められたのは 21 種であった (表 5-21～表 5-23)。全種の子実体バイオマス合計の変動と気候要素の変動とには相関は認められなかった (いずれも $p < 0.05$)。

表 5-1 富士山亜高山帯カラマツ林の外生菌根菌およびその生活型と子実体発生林分

外生菌根菌種名	コロニー型	菌糸束	LK3	LK12	LK43	LK100
<i>Boletinus asiaticus</i> (ウツロベニハナイグチ)	Ⅱ	+		○	○	○
<i>B. cavipes</i> (アミハナイグチ)	Ⅱ	+	○	○	○	○
<i>B. paluster</i> (カラマツベニハナイグチ)	Ⅱ	+		○	○	○
<i>Camarophyllus virgineus</i> (オトメノカサ)	Ⅲ	+	○	○	○	○
<i>Hebeloma mesophaeum</i> (ワカフサタケ)	Ⅲ		○	○		
<i>Hebeloma</i> sp. (ワカフサタケ属菌)	Ⅲ		○	○		
<i>Hygrophorus lucorum</i> (キノメリガサ)	Ⅲ	+	○	○	○	○
<i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)	Ⅲ		○	○	○	○
<i>Lactarius porninsis</i> (カラマツチチタケ)	Ⅲ	+	○	○	○	○
<i>Suillus grevillei</i> (ハナイグチ)	Ⅲ	+	○	○	○	○
<i>S. laricinus</i> (シロヌメリイグチ)	Ⅲ	+	○	○	○	○
<i>S. spectabilis</i> (キノボリイグチ)	Ⅱ	+		○	○	○
<i>Tricholoma psammopus</i> (カラマツシメジ)	Ⅲ	+	○	○	○	○

- ・コロニー型は、小川（1981）の区分による Ⅱ；不定形マット型，Ⅲ；分散コロニー型
- ・菌糸束の列中で，+；菌糸束形成有り，空欄；菌糸束の形成未確認
- ・表中の○印は，調査期間中（1983～2002）に子実体が発生したことを示す
- ・LK3～LK100の記号は，表 3-1 参照

表 5-2 各カラマツ林分の外生菌根菌子実体の種多様度指数

調査林分	子実体種多様度指数
LK3	2.12±0.44a
LK12	2.57±0.46b
LK43	2.71±0.44b
LK100	2.74±0.29b

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-3 各カラマツ林分の外生菌根菌の総子実体バイオマス (g/ha/年)

調査林分	子実体バイオマス
LK3	1691.37±1620.65a
LK12	3769.81±1960.32b
LK43	6529.50±4728.71c
LK100	8419.85±8013.15c

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-4 富士山亜高山帯カラマツ林における子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの単回帰分析

カラマツ林分	相関係数 (r)
LK3	0.786**
LK12	0.427
LK43	0.305
LK100	0.071

** ; $p<0.01$

表 5-5 富士山亜高山帯カラマツ天然林における外生菌根菌の子実体バイオマスと気象量の重回帰分析

外生菌根菌種名	5-10 月 積算降水量	9 月上旬 積算降水量	推定有効 積算気温	調整済 R ²
<i>Boletinus asiaticus</i> (ウツロベニハナイグチ)	・	・	・	・
<i>B. cavipes</i> (アミハナイグチ)	・	・	・	・
<i>B. paluster</i> (カラマツベニハナイグチ)	・	・	・	・
<i>Camarophyllus virgineus</i> (オトメノカサ)	・	・	・	・
<i>Hebeloma mesophaeum</i> (ワカフサタケ)	—	—	—	—
<i>Hebeloma</i> sp. (ワカフサタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Hygrophorus lucorum</i> (キノメリガサ)	・	・	・	・
<i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)	・	・	・	・
<i>Lactarius porninsis</i> (カラマツチチタケ)	0.619*	・	・	・
<i>Suillus grevillei</i> (ハナイグチ)	・	・	・	・
<i>S. laricinus</i> (シロヌメリイグチ)	・	・	・	・
<i>S. spectabilis</i> (キノボリイグチ)	・	・	・	・
<i>Tricholoma psammopus</i> (カラマツシメジ)	0.517*	・	・	・
全子実体バイオマス量	・	・	・	・

表中の数字は標準偏回帰係数 (調整済 R²を除く), * ; $p < 0.05$, ・ ; 相関無し,
— ; 子実体発生無し

表 5-6 富士山亜高山帯シラビソ・オオシラビソ天然林の外生菌根菌およびそのコロニー型と子実体発生林分

外生菌根菌種名	コロニー型	菌系束	AVn19	AVn21
<i>Amanita hemibapha</i> (タマゴタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>A. longistriata</i> (タマゴテングタケモドキ)	Ⅲ	+	○	
<i>A. muscaria</i> (ベニテングタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>A. sprete</i> (ツルタケダマシ)	Ⅲ	+	○	○
<i>A. virosa</i> (ドクツルタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>Boletellus mirabilis</i> (オオキノボリイグチ)	?		○	
<i>Boletinus cavipes</i> (アミハナイグチ)	Ⅱ	+	○	○
<i>Boletinus</i> sp. (アミハナイグチ属菌)	Ⅱ	+	○	○
<i>Boletopsis leucomelaena</i> (クロカワ)	Ⅱ		○	○
<i>Boletus auripes</i> (コガネヤマドリ)	Ⅲ	+	○	○
<i>B. calopus</i> (アシベニイグチ)	Ⅲ	+	○	○
<i>B. luridus</i> (ウラベニイロガワリ)	Ⅲ	+	○	
<i>B. reticulatus</i> (ヤマドリタケモドキ)	Ⅲ	+	○	
<i>B. venenatus</i> (ドクヤマドリ)	Ⅲ	+	○	
<i>Cantharellus cibarius</i> (アンズタケ)	Ⅰ	+	○	○
<i>Cortinarius collinitus</i> (ツバアブラシメジ)	Ⅱ		○	○
<i>C. mucosus</i> (アブラシメジモドキ)	Ⅱ		○	○
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)	Ⅱ		○	○
<i>C. salor</i> (ムラサキアブラシメジモドキ)	Ⅲ		○	○
<i>C. scaurus</i> (マダラフウセンタケ)	Ⅲ		○	○
<i>C. vibratilis</i> (キアブラシメジ)	Ⅱ		○	○
<i>Cortinarius</i> sp. No.2 (フウセンタケ属菌)	Ⅲ		○	○
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)	Ⅱ		○	○
<i>D. sanguinea</i> (アカタケ)	Ⅱ		○	○
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)	Ⅱ		○	○
<i>Gomphus floccosus</i> (ウスタケ)	Ⅰ	+	○	○
<i>G. fujiisanensis</i> (フジウスタケ)	Ⅰ	+	○	○
<i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)	Ⅱ	+	○	○
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)	Ⅱ	+	○	○
<i>Hygrophorus hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)	Ⅲ	+	○	○
<i>Hygrophorus</i> sp. (ヌメリガサ属菌)	Ⅲ	+	○	○
<i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)	Ⅲ			○
<i>Lactarius chrysorrheus</i> (キチチタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>L. flavidulus</i> (キハツダケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>L. laeticolorus</i> (アカモミタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>L. piperatus</i> (ツチカブリ)	Ⅲ	+	○	○
<i>L. repraesentaneus</i> (キイロケチチタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>L. uvidus</i> (トビチャチチタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>L. vellereus</i> (ケシロハツ)	Ⅲ	+	○	○
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)	Ⅰ		○	○
<i>R. formosa</i> (ハナホウキタケ)	Ⅰ		○	○
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)	Ⅱ		○	○
<i>Russula adusta</i> (コゲイロハツタケ)	Ⅲ	+	○	○

(次頁へつづく)

<i>R. cyanoxantha</i> (カワリハツ)	Ⅲ	+	○	○
<i>R. delica</i> (シロハツ)	Ⅲ	+	○	○
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>R. sanguinaria</i> (チシオハツ)	Ⅲ	+	○	
<i>Russula</i> sp. No.1 (ベニタケ属菌)	Ⅲ	+	○	○
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	Ⅲ	+	○	○
<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	Ⅱ		○	○
<i>T. muscarium</i> (ハエトリシメジ)	Ⅱ		○	○
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	Ⅰ		○	○
<i>T. robustum</i> (マツタケモドキ)	Ⅰ		○	○
<i>T. saponaceum</i> (ミネシメジ)	Ⅱ		○	○
<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	Ⅱ		○	○
<i>T. vaccinum</i> (クダアカゲシメジ)	Ⅰ	+		○
<i>T. virgatum</i> (ネズミシメジ)	Ⅱ		○	○
<i>Tylopilus chromapes</i> (アケボノアワタケ)	Ⅲ	+	○	○
<i>T. eximius</i> (ウラグロニガイグチ)	Ⅲ	+	○	

- ・コロニー型は小川 (1981) による Ⅰ；フェアリーリング型, Ⅱ；不定形マット型, Ⅲ；分散コロニー型, ？；コロニー型不明
- ・菌糸束の列中で, +；菌糸束形成有り, 空欄；菌糸束形成未確認
- ・表中の○印は, 調査期間中 (1983～2002) に子実体が発生したことを示す
- ・Avn19 および AVn21 の記号は表 3-1 参照

表 5-7 シラビソオオシラビソ天然林の外生菌根菌子実体の種多様度指数

調査林分	子実体種多様度指数
AVn19	4.12±0.44a
AVn21	4.21±0.55a

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-8 シラビソ・オオシラビソ天然林の外生菌根菌の総子実体バイオマス (g/ha/年)

調査林分	子実体バイオマス
AVn19	10840.77±7576.01a
AVn21	8067.96±3897.36a

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-9 シラビソ・オオシラビソ天然林における子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの単回帰分析

シラビソ・オオシラビソ林分	相関係数 (r)
AVn19	0.615*
AVn21	0.622*

* ; $p<0.05$

表 5-10 富士山亜高山帯シラビソ・オオシラビソ天然林における外生菌根菌の子実体バイオマスと気象量の重回帰分析 (AVn19 林分)

外生菌根菌種名	5-10月 積算降水量	9月上旬 積算降水量	推定有効 積算気温	調整済 R ²
<i>Amanita hemibapha</i> (タマゴタケ)
<i>A. longistriata</i> (タマゴテングタケモドキ)
<i>A. muscaria</i> (ベニテングタケ)
<i>A. sprete</i> (ツルタケダマシ)
<i>A. virosa</i> (ドクツルタケ)
<i>Boletellus mirabilis</i> (オオキノボリイグチ)
<i>Boletinus cavipes</i> (アミハナイグチ)
<i>Boletinus</i> sp. (アミハナイグチ属菌)
<i>Boletopsis leucomelaena</i> (クロカワ)
<i>Boletus auripes</i> (コガネヤマドリ)
<i>B. calopus</i> (アシベニイグチ)	.	.	0.538*	0.254*
<i>B. luridus</i> (ウラベニイロガワリ)
<i>B. reticulatus</i> (ヤマドリタケモドキ)
<i>B. venenatus</i> (ドクヤマドリ)
<i>Cantharellus cibarius</i> (アンズタケ)
<i>Cortinarius collinitus</i> (ツバアブラシメジ)
<i>C. mucosus</i> (アブラシメジモドキ)
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)
<i>C. salor</i> (ムラサキアブラシメジモドキ)
<i>C. scaurus</i> (マダラフウセンタケ)
<i>C. vibratilis</i> (キアブラシメジ)
<i>Cortinarius</i> sp. No.2 (フウセンタケ属菌)
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)
<i>D. sanguinea</i> (アカタケ)
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)
<i>Gomphus floccosus</i> (ウスタケ)
<i>G. fujisanensis</i> (フジウスタケ)
<i>Hydnum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)
<i>Hygrophorus hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)
<i>Hygrophorus</i> sp. (ヌメリガサ属菌)
<i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)	—	—	—	—
<i>Lactarius chrysorrheus</i> (キチチタケ)
<i>L. flavidulus</i> (キハツダケ)
<i>L. laeticolorus</i> (アカモミタケ)
<i>L. piperatus</i> (ツチカブリ)
<i>L. repraesentaneus</i> (キイロケチチタケ)
<i>L. uvidus</i> (トビチャチチタケ)
<i>L. vellereus</i> (ケシロハツ)
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)
<i>R. formosa</i> (ハナホウキタケ)
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)

(次頁へ続く)

<i>Russula adusta</i> (コゲイロハツタケ)	•	•	•	•
<i>R. cyanoxantha</i> (カワリハツ)	•	•	•	•
<i>R. delica</i> (シロハツ)	•	•	•	•
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	•	•	•	•
<i>R. sanguinaria</i> (チシオハツ)	0.551*	•	•	0.237*
<i>Russula</i> sp. No.1 (ベニタケ属菌)	•	•	•	•
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	•	•	•	•
<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	•	•	•	•
<i>T. muscarium</i> (ハエトリシメジ)	•	•	•	•
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	•	•	•	•
<i>T. robustum</i> (マツタケモドキ)	•	•	•	•
<i>T. saponaceum</i> (ミネシメジ)	•	•	•	•
<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	•	•	•	•
<i>T. vaccinum</i> (クダアカゲシメジ)	—	—	—	—
<i>T. virgatum</i> (ネズミシメジ)	•	0.593*	•	0.267*
<i>Tylopilus chromapes</i> (アケボノアワタケ)	•	•	•	•
<i>T. eximius</i> (ウラグロニガイグチ)	•	•	•	•
全子実体バイオマス	•	•	•	•

表中の数字は標準偏回帰係数 (調整済 R^2 を除く), * ; $p < 0.05$, • ; 相関無し,

— ; 子実体発生無し

表 5-11 富士山亜高山帯シラビソ・オオシラビソ天然林における外生菌根菌の子実体バイオマスと気象量の重回帰分析 (AVn21 林分)

外生菌根菌種名	5-10 月 積算降水量	9 月上旬 積算降水量	推定有効 積算気温	調整済 R ²
<i>Amanita hemibapha</i> (タマゴタケ)
<i>A. longistriata</i> (タマゴテングタケモドキ)	—	—	—	—
<i>A. muscaria</i> (ベニテングタケ)	0.550*	.	.	.
<i>A. sprete</i> (ツルタケダマシ)
<i>A. virosa</i> (ドクツルタケ)
<i>Boletellus mirabilis</i> (オオキノボリイグチ)	—	—	—	—
<i>Boletinus cavipes</i> (アミハナイグチ)
<i>Boletinus</i> sp. (アミハナイグチ属菌)
<i>Boletopsis leucomelaena</i> (クロカワ)
<i>Boletus auripes</i> (コガネヤマドリ)
<i>B. calopus</i> (アシベニイグチ)
<i>B. luridus</i> (ウラベニイロガワリ)	—	—	—	—
<i>B. reticulatus</i> (ヤマドリタケモドキ)	—	—	—	—
<i>B. venenatus</i> (ドクヤマドリ)	—	—	—	—
<i>Cantharellus cibarius</i> (アンズタケ)
<i>Cortinarius collinitus</i> (ツバアブラシメジ)	0.527*	.	.	.
<i>C. mucosus</i> (アブラシメジモドキ)
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)
<i>C. salor</i> (ムラサキアブラシメジモドキ)
<i>C. scaurus</i> (マダラフウセンタケ)
<i>C. vibratilis</i> (キアブラシメジ)
<i>Cortinarius</i> sp. No.2 (フウセンタケ属菌)
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)
<i>D. sanguinea</i> (アカタケ)
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)
<i>Gomphus floccosus</i> (ウスタケ)
<i>G. fujisanensis</i> (フジウスタケ)
<i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)
<i>Hygrophorus hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)
<i>Hygrophorus</i> sp. (ヌメリガサ属菌)
<i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)
<i>Lactarius chrysorrheus</i> (キチチタケ)
<i>L. flavidulus</i> (キハツダケ)
<i>L. laeticolorus</i> (アカモミタケ)
<i>L. piperatus</i> (ツチカブリ)	.	.	0.513*	0.323*
<i>L. repraesentaneus</i> (キイロケチチタケ)
<i>L. uvidus</i> (トビチャチチタケ)
<i>L. vellereus</i> (ケシロハツ)
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)
<i>R. formosa</i> (ハナホウキタケ)
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)	0.611*	.	.	0.319*

(次頁へ続く)

<i>Russula adusta</i> (コゲイロハツタケ)	•	•	•	•
<i>R. cyanoxantha</i> (カワリハツ)	•	•	•	•
<i>R. delica</i> (シロハツ)	•	•	•	•
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	•	•	•	•
<i>R. sanguinaria</i> (チシオハツ)	—	—	—	—
<i>Russula</i> sp. No.1 (ベニタケ属菌)	•	•	•	•
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	•	•	0.539*	•
<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	•	•	•	•
<i>T. muscarium</i> (ハエトリシメジ)	•	•	•	•
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	•	•	•	•
<i>T. robustum</i> (マツタケモドキ)	•	•	•	•
<i>T. saponaceum</i> (ミネシメジ)	•	•	•	•
<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	•	•	•	•
<i>T. vaccinum</i> (クダアカゲシメジ)	•	•	•	•
<i>T. virgatum</i> (ネズミシメジ)	•	0.547*	•	•
<i>Tylopilus chromapes</i> (アケボノアワタケ)	•	•	•	•
<i>T. eximius</i> (ウラグロニガイグチ)	—	—	—	—
全子実体バイオマス	•	•	•	•

表中の数字は標準偏回帰係数 (調整済 R^2 を除く), * ; $p < 0.05$, • ; 相関無し,
 — ; 子実体発生無し

表 5-12 富士山亜高山帯シラビソ人工林の外生菌根菌およびそのコロニー型と子実体発生林分

外生菌根菌種名	コロニー型	菌糸束	AV15	AV25	AV44
<i>Amanita hemibapha</i> (タマゴタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>A. longistriata</i> (タマゴテングタケモドキ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>A. muscaria</i> (ベニテングタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>A. spreata</i> (ツルタケダマシ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>A. virosa</i> (ドクツルタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Boletinus cavipes</i> (アミハナイグチ)	Ⅱ	+		○	○
<i>Boletopsis leucomelaena</i> (クロカワ)	Ⅱ		○	○	○
<i>Boletus auripes</i> (コガネヤマドリ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>B. calopus</i> (アシベニイグチ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>B. luridus</i> (ウラベニイロガワリ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>B. reticulatus</i> (ヤマドリタケモドキ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>B. venenatus</i> (ドクヤマドリ)	Ⅲ	+			○
<i>Cantharellus cibarius</i> (アンズタケ)	Ⅰ	+		○	○
<i>Cortinarius collinitus</i> (ツバアブラシメジ)	Ⅱ		○	○	○
<i>C. mucosus</i> (アブラシメジモドキ)	Ⅱ				○
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)	Ⅱ			○	○
<i>C. scaurus</i> (マダラフウセンタケ)	Ⅲ		○	○	○
<i>Cortinarius</i> sp. No2 (フウセンタケ属菌)	Ⅲ		○	○	○
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)	Ⅱ		○	○	○
<i>D. sanguinea</i> (アカタケ)	Ⅱ			○	○
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)	Ⅱ		○	○	○
<i>Gomphus floccosus</i> (ウスタケ)	Ⅰ	+	○		○
<i>G. fujisanensis</i> (フジウスタケ)	Ⅰ	+			○
<i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)	Ⅱ	+	○	○	○
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)	Ⅱ	+	○	○	○
<i>Hygrophorus hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)	Ⅲ	+	○		
<i>Hygrophorus</i> sp. (ヌメリガサ属菌)	Ⅲ	+			○
<i>Inocybe fastigiata</i> (オオキノハダトマヤタケ)	Ⅲ		○	○	○
<i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)	Ⅲ		○	○	
<i>Lactarius chrysorrheus</i> (キチチタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>L. flavidulus</i> (キハツダケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>L. glaucescens</i> (アオゾメツチカブリ)	Ⅲ	+		○	○
<i>L. laeticolorus</i> (アカモミタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>L. piperatus</i> (ツチカブリ)	Ⅲ	+		○	○
<i>L. vellereus</i> (ケシロハツ)	Ⅲ	+			○
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)	Ⅰ				○
<i>R. formosa</i> (ハナホウキタケ)	Ⅰ		○	○	○
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)	Ⅱ				○
<i>Russula cyanoxantha</i> (カワリハツ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>R. delica</i> (シロハツ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Russula</i> sp. No.1 (ベニタケ属菌)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	Ⅲ	+			○
<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	Ⅱ				○
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	Ⅰ				○
<i>T. saponaceum</i> (ミネシメジ)	Ⅱ		○	○	○

(次頁へ続く)

<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	II		○	○	○
<i>T. vaccinum</i> (クダアカゲシメジ)	I	+	○	○	○
<i>T. virgatum</i> (ネズミシメジ)	II		○	○	○
<i>Tylopilus eximius</i> (ウラグロニガイグチ)	III	+			○

- ・コロニー型は小川 (1981) による I；フェアリーリング型, II；不定形マット型, III；分散コロニー型
- ・菌糸束の列中で, +；菌糸束形成有り, 空欄；菌糸束形成未確認
- ・表中の○印は, 調査期間中 (1983～2002) に子実体が発生したことを示す
- ・AV15～AV44 の記号は表 3-1 参照

表 5-13 シラビソ人工林の外生菌根菌子実体の種多様度指数

調査林分	子実体種多様度指数
AV15	2.88±1.09a
AV25	3.73±0.47b
AV44	3.71±0.72b

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-14 シラビソ人工林の外生菌根菌の総子実体バイオマス (g/ha/年)

調査林分	子実体バイオマス
AV15	4135.86±3949.43a
AV25	6659.10±3889.15ab
AV44	7573.23±4705.18b

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-15 富士山亜高山帯シラビソ人工林における子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの単回帰分析

シラビソ林分	相関係数 (r)
AV15	0.825**
AV25	0.526*
AV44	0.783**

* ; $p<0.05$, ** ; $p<0.01$

表 5-16 シラビソ人工林の樹齢にもとづく外生菌根菌群の分類

グループ	外生菌根菌種名
第 1 グループ (5 種)	<i>Amanita lomgistriata</i> (タマゴテングタケモドキ), <i>A. sprete</i> (ツルタケダマシ), <i>A. virosa</i> (ドクツルタケ), <i>Cortinarius collinitus</i> (ツバアブラシメジ), <i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)
第 2 グループ (6 種)	<i>Boletinus cavipes</i> (アミハナイグチ), <i>Boletopsis leucomelaena</i> (クロカワ), <i>Lactarius flavidulus</i> (キハツダケ), <i>L. laetiocolorus</i> (アカモミタケ), <i>Russula cyanoxantha</i> (カワリハツ), <i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)
第 3 グループ (11 種)	<i>Amanita hemibapha</i> (タマゴタケ), <i>A. muscaria</i> (ベニテングタケ), <i>Boletus reticulatus</i> (ヤマドリタケモドキ), <i>Cortinarius scaurus</i> (マダラフウセンタケ), <i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ), <i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ), <i>Hydnum repandum</i> (カノシタ), <i>Ramaria formosa</i> (ハナホウキタケ), <i>Tricholoma saponaceum</i> (ミネシメジ), <i>T. vaccinum</i> (クダアカゲシメジ), <i>T. virgatum</i> (ネズミシメジ)
第 4 グループ (14 種)	<i>Boletus auripes</i> (コガネヤマドリ), <i>B. calopus</i> (アシベニイグチ), <i>B. luridus</i> (ウラベニイロガワリ), <i>B. venenatus</i> (ドクヤマドリ), <i>Cantharellus cibarius</i> (アンズタケ), <i>Cortinarius</i> sp. (フウセンタケ属菌), <i>Dermocybe sanguinea</i> (アカタケ), <i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ), <i>Gomphus floccosus</i> (ウスタケ), <i>G. fujisanensis</i> (フジウスタケ), <i>Inocybe fastigiata</i> (オオキノハダトマヤタケ), <i>Lactarius chrysorrheus</i> (キチチタケ), <i>Russula</i> sp. No.1 (ベニタケ属菌), <i>Tricholoma sejunctum</i> (アイシメジ)
第 5 グループ (14 種)	<i>Cortinarius mucosus</i> (アブラシメジモドキ), <i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ), <i>Hygrophorus hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ), <i>Hygrophorus</i> sp. (ヌメリガサ属菌), <i>Lactarius glaucescens</i> (アオゾメツチカブリ), <i>L. piperatus</i> (ツチカブリ), <i>L. vellereus</i> (ケシロハツ), <i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ), <i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ), <i>Russula delica</i> (シロハツ), <i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌), <i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ), <i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ), <i>Tyropilus eximius</i> (ウラグロニガイグチ)

本表は、富士山亜高山帯のシラビソ人工林において、外生菌根菌の子実体発生とシラビソ樹齢との関係を調査し、その結果をクラスター分析し作成した（クラスター分析の結果は、89 頁の図 5-26 参照）。

表 5-17 富士山亜高山帯コメツガ天然林の外生菌根菌およびそのコロニー型と子実体発生林分

外生菌根菌種名	コロニー型	菌糸束	TDn 17	TDn 20	TDn 22
<i>Amanita virosa</i> (ドクツルタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Boletellus mirabilis</i> (オオキノボリイグチ)	?		○	○	○
<i>Boletinus asiaticus</i> (ウツロベニハナイグチ)	Ⅱ	+		○	○
<i>B. cavipes</i> (アミハナイグチ)	Ⅱ	+	○	○	○
<i>Cantharellus infundibuliformis</i> (ミキイロウスタケ)	Ⅱ	+	○	○	○
<i>C. luteocomus</i> (トキイロラップタケ)	Ⅰ		○	○	○
<i>Cantharellus</i> sp. No.4 (アンズタケ属菌)	Ⅱ	+			○
<i>Chroogomphus tomentosus</i> (フサクギタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Cortinarius alboviolaceus</i> (ウスフジフウセンタケ)	Ⅱ		○	○	○
<i>C. collinitus</i> (ツバアブラシメジ)	Ⅱ		○	○	○
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)	Ⅱ		○	○	○
<i>C. salor</i> (ムラサキアブラシメジモドキ)	Ⅲ		○	○	○
<i>C. traganus</i> (オオウスムラサキフウセンタケ)	Ⅱ		○	○	○
<i>C. rubellus</i> (ジンガサドクフウセンタケ)	Ⅱ			○	○
<i>Cortinarius</i> sp. No.13 (フウセンタケ属菌)	Ⅱ				○
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)	Ⅱ		○	○	○
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)	Ⅱ		○	○	○
<i>Dermocybe</i> sp. No.1 (ササタケ属菌)	Ⅱ				○
<i>Gomphidius rozeus</i> (オウギタケ)	Ⅲ	+		○	○
<i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)	Ⅱ	+	○	○	○
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)	Ⅱ	+	○	○	○
<i>H. repandum</i> var. <i>album</i> (シロカノシタ)	Ⅱ	+	○	○	○
<i>Hygrophorus camarophyllus</i> (ヤギタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>H. hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>H. pudorinus</i> (フキサクラシメジ)	Ⅱ	+	○		
<i>Hygrophorus</i> sp. No.5 (ヌメリガサ属菌)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Inocybe</i> sp. No.3 (アセタケ属菌)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Lactarius akahatsu</i> (アカハツ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>L. chrysorrheus</i> (キチチタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Pulveroboletus ravenerii</i> (キイロイグチ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)	Ⅰ		○	○	○
<i>R. flava</i> (キホウキタケ)	Ⅰ		○	○	○
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)	Ⅱ		○	○	○
<i>Russula adusta</i> (コゲイロハツタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>R. cyanoxantha</i> (カワリハツ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>R. rubescens</i> (イロガワリベニタケ)	Ⅲ	+	○	○	○
<i>R. sanguinaria</i> (チシオハツ)	Ⅲ	+		○	○
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	Ⅲ	+	○		○
<i>Sarcodon scabrosus</i> (ケロウジ)	Ⅱ		○	○	○
<i>Suillus tomentosus</i> (ワタゲヌメリイグチ)	Ⅱ	+	○	○	○

(次頁へ続く)

<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	II	+	○	○	○
<i>T. muscarium</i> (ハエトリシメジ)	II	+	○	○	○
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	I	+	○	○	○
<i>T. robustum</i> (マツタケモドキ)	I		○	○	○
<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	II	+	○	○	○

- ・コロニー型は小川 (1981) による I ; フェアリーリング型, II ; 不定形マット型, III ; 分散コロニー型, ? ; コロニー型不明
- ・菌糸束の列中で, + ; 菌糸束形成有り, 空欄 ; 菌糸束形成未確認
- ・表中の○印は, 調査期間中 (1983~2002) に子実体が発生したことを示す
- ・TDn17~TDn22 の記号は表 3-1 参照

表 5-18 各コメツガ天然林分の外生菌根菌子実体の種多様度指数

調査林分	子実体種多様度指数
TDn17	3.89±0.57a
TDn20	4.02±0.57a
TDn22	3.53±0.73a

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-19 各コメツガ天然林分の外生菌根菌の総子実体バイオマス (g/ha/年)

調査林分	子実体バイオマス
TDn17	7418.16±4406.28a
TDn20	10490.40±6398.91a
TDn22	7701.48±4801.91a

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

表 5-20 富士山亜高山帯コメツガ天然林における子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの単回帰分析

コメツガ林分	相関係数 (r)
TDn17	0.672*
TDn20	0.469
TDn22	0.356

* ; $p<0.05$

表 5-21 富士山亜高山帯コメツガ天然林における外生菌根菌の子実体バイオマスと気象量の重回帰
(TDn17 林分)

外生菌根菌種名	5-10月 積算 降水量	9月上旬 積算 降水量	推定有効 積算 気温	調整済 R ²
<i>Amanita virosa</i> (ドクツルタケ)	・	・	0.534*	・
<i>Boletellus mirabilis</i> (オオキノボリイグチ)	・	・	・	・
<i>Boletinus asiaticus</i> (ウツロベニハナイグチ)	—	—	—	—
<i>B. cavipes</i> (アミハナイグチ)	・	・	・	・
<i>Cantharellus infundibuliformis</i> (ミキイロウスタケ)	・	・	・	・
<i>C. luteocomus</i> (トキイロラッパタケ)	・	・	・	・
<i>Cantharellus</i> sp. No.4 (アンズタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Chroogomphus tomentosus</i> (フサクギタケ)	・	・	・	・
<i>Cortinarius alboviolaceus</i> (ウスフジフウセンタケ)	・	・	0.508*	・
<i>C. collinitus</i> (ツバアブラシメジ)	・	・	・	・
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)	・	・	・	・
<i>C. salor</i> (ムラサキアブラシメジモドキ)	・	・	0.461*	0.291*
<i>C. traganus</i> (オオウスムラサキフウセンタケ)	・	・	・	・
<i>C. rubellus</i> (ジンガサドクフウセンタケ)	—	—	—	—
<i>Cortinarius</i> sp. No.13 (フウセンタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)	・	・	・	・
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)	・	・	・	・
<i>Dermocybe</i> sp. No.1 (ササタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Gomphidius rozeus</i> (オウギタケ)	—	—	—	—
<i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)	・	・	・	・
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)	・	・	・	・
<i>H. repandum</i> var. <i>album</i> (シロカノシタ)	・	・	・	・
<i>Hygrophorus camarophyllus</i> (ヤギタケ)	・	・	・	・
<i>H. hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)	・	・	・	・
<i>H. pudorinus</i> (フキサクラシメジ)	・	・	0.590*	0.270*
<i>Hygrophorus</i> sp. No.5 (ヌメリガサ属菌)	・	・	・	・
<i>Inocybe</i> sp. No.3 (アセタケ属菌)	・	・	・	・
<i>Lactarius akahatsu</i> (アカハツ)	・	・	・	・
<i>L. chrysorrhoeus</i> (キチチタケ)	・	0.463*	・	0.298*
<i>Pulveroboletus ravenarii</i> (キイロイグチ)	・	・	・	・
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)	・	・	・	・
<i>R. flava</i> (キホウキタケ)	・	・	・	・
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)	・	・	・	・
<i>Russula adusta</i> (コゲイロハツタケ)	・	・	・	・
<i>R. cyanoxantha</i> (カワリハツ)	・	・	・	・
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	・	・	・	・
<i>R. rubescens</i> (イロガワリベニタケ)	・	・	・	・
<i>R. sanguinaria</i> (チシオハツ)	・	・	・	・
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Sarcodon scabrosus</i> (ケロウジ)	・	・	・	・
<i>Suillus tomentosus</i> (ワタゲヌメリイグチ)	・	・	・	・

(次頁へ続く)

<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	.	.	.	.
<i>T. muscarium</i> (ハエトリシメジ)	.	.	0.532*	0.317*
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	.	.	0.555*	.
<i>T. robustum</i> (マツタケモドキ)	.	.	.	.
<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	.	.	.	.
全子実体バイオマス	.	.	.	.

表中の数字は標準偏回帰係数（調整済 R^2 を除く）， *； $p < 0.05$ ， ·； 相関無し，

—； 子実体発生無し

表 5-22 富士山亜高山帯コメツガ天然林における外生菌根菌の子実体バイオマスと気象量の重回帰 (TDn20 林分)

外生菌根菌種名	5-10月 積算 降水量	9月上旬 積算 降水量	推定有効 積算 気温	調整済 R ²
<i>Amanita virosa</i> (ドクツルタケ)	・	・	・	・
<i>Boletellus mirabilis</i> (オオキノボリイグチ)	・	・	・	・
<i>Boletinus asiaticus</i> (ウツロベニハナイグチ)	・	・	・	・
<i>B. cavipes</i> (アミハナイグチ)	・	・	0.570*	・
<i>Cantharellus infundibuliformis</i> (ミキイロウスタケ)	・	・	・	・
<i>C. luteocomus</i> (トキイロラッパタケ)	・	・	0.462*	0.286 *
<i>Cantharellus</i> sp. No.4 (アンズタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Chroogomphus tomentosus</i> (フサクギタケ)	・	・	・	・
<i>Cortinarius alboviolaceus</i> (ウスフジフウセンタケ)	・	・	・	・
<i>C. collinitus</i> (ツバアブラシメジ)	・	・	・	・
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)	・	・	・	・
<i>C. salor</i> (ムラサキアブラシメジモドキ)	・	・	・	・
<i>C. traganus</i> (オオウスムラサキフウセンタケ)	・	・	・	・
<i>C. rubellus</i> (ジンガサドクフウセンタケ)	・	・	・	・
<i>Cortinarius</i> sp. No.13 (フウセンタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)	・	・	・	・
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)	・	・	・	・
<i>Dermocybe</i> sp. No.1 (ササタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Gomphidius rozeus</i> (オウギタケ)	・	・	・	・
<i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)	・	・	・	・
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)	・	・	0.569*	・
<i>H. repandum</i> var. <i>album</i> (シロカノシタ)	・	・	0.622*	0.251*
<i>Hygrophorus camarophyllus</i> (ヤギタケ)	・	・	・	・
<i>H. hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)	0.550*	・	・	0.439**
<i>H. pudorinus</i> (フキサクラシメジ)	—	—	—	—
<i>Hygrophorus</i> sp. No.5 (ヌメリガサ属菌)	・	0.471*	0.561*	0.282*
<i>Inocybe</i> sp. No.3 (アセタケ属菌)	・	・	・	・
<i>Lactarius akahatsu</i> (アカハツ)	・	・	・	・
<i>L. chrysorrhoeus</i> (キチチタケ)	・	・	・	・
<i>Pulveroboletus ravenerii</i> (キイロイグチ)	・	・	・	・
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)	・	・	・	・
<i>R. flava</i> (キホウキタケ)	・	・	0.612*	0.297*
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)	・	・	・	・
<i>Russula adusta</i> (コゲイロハツタケ)	・	・	・	・
<i>R. cyanoxantha</i> (カワリハツ)	・	・	・	・
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	・	・	・	・
<i>R. rubescens</i> (イロガワリベニタケ)	・	・	・	・
<i>R. sanguinaria</i> (チシオハツ)	・	・	・	・
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	—	—	—	—
<i>Sarcodon scabrosus</i> (ケロウジ)	・	・	・	・
<i>Suillus tomentosus</i> (ワタゲヌメリイグチ)	・	・	0.553*	0.287*

(次頁へ続く)

<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	·	·	·	·
<i>T. muscarium</i> (ハエトリシメジ)	·	·	·	·
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	·	·	0.697**	0.437**
<i>T. robustum</i> (マツタケモドキ)	·	·	·	·
<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	·	·	·	·
全子実体バイオマス	·	·	·	·

表中の数字は標準偏回帰係数 (調整済 R^2 を除く), * ; $p < 0.05$, ** ; $p < 0.01$,

· ; 相関無し, - ; 子実体発生無し

表 5-23 富士山亜高山帯コメツガ天然林における外生菌根菌の子実体バイオマスと気象量の重回帰
(TDn22 林分)

外生菌根菌種名	5-10月 積算 降水量	9月上旬 積算 降水量	推定有効 積算 気温	調整済 R ²
<i>Amanita virosa</i> (ドクツルタケ)	・	・	0.546*	・
<i>Boletellus mirabilis</i> (オオキノボリイグチ)	・	・	・	・
<i>Boletinus asiaticus</i> (ウツロベニハナイグチ)	・	・	0.671**	0.284*
<i>B. cavipes</i> (アミハナイグチ)	・	・	0.604*	・
<i>Cantharellus infundibuliformis</i> (ミキイロウスタケ)	・	・	・	・
<i>C. luteocomus</i> (トキイロラッパタケ)	・	・	・	・
<i>Cantharellus</i> sp. No.4 (アンズタケ属菌)	・	・	・	・
<i>Chroogomphus tomentosus</i> (フサクギタケ)	・	・	・	・
<i>Cortinarius alboviolaceus</i> (ウスフジフウセンタケ)	・	・	・	・
<i>C. collinitus</i> (ツバアブラシメジ)	・	・	・	・
<i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ)	・	・	・	・
<i>C. salor</i> (ムラサキアブラシメジモドキ)	・	・	・	・
<i>C. traganus</i> (オオウスムラサキフウセンタケ)	0.491*	・	・	・
<i>C. rubellus</i> (ジンガサドクフウセンタケ)	・	・	・	・
<i>Cortinarius</i> sp. No.13 (フウセンタケ属菌)	・	・	・	・
<i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ)	・	・	・	・
<i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ)	・	・	0.563*	・
<i>Dermocybe</i> sp. No.1 (ササタケ属菌)	・	・	・	・
<i>Gomphidius rozeus</i> (オウギタケ)	・	・	・	・
<i>Hydnellum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ)	・	・	・	・
<i>Hydnum repandum</i> (カノシタ)	・	・	・	・
<i>H. repandum</i> var. <i>album</i> (シロカノシタ)	・	・	・	・
<i>Hygrophorus camarophyllus</i> (ヤギタケ)	・	・	・	・
<i>H. hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ)	・	・	0.609*	・
<i>H. pudorinus</i> (フキサクラシメジ)	—	—	—	—
<i>Hygrophorus</i> sp. No.5 (ヌメリガサ属菌)	・	・	・	・
<i>Inocybe</i> sp. No.3 (アセタケ属菌)	・	・	0.544*	・
<i>Lactarius akahatsu</i> (アカハツ)	・	・	・	・
<i>L. chrysorrheus</i> (キチチタケ)	・	0.584*	・	・
<i>Pulveroboletus ravenerii</i> (キイロイグチ)	・	・	・	・
<i>Ramaria botrytis</i> (ホウキタケ)	・	0.718**	・	0.424**
<i>R. flava</i> (キホウキタケ)	・	・	・	・
<i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ)	・	・	・	・
<i>Russula adusta</i> (コゲイロハツタケ)	・	・	・	・
<i>R. cyanoxantha</i> (カワリハツ)	・	・	・	・
<i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)	・	・	・	・
<i>R. rubescens</i> (イロガワリベニタケ)	・	・	・	・
<i>R. sanguinaria</i> (チシオハツ)	・	・	・	・
<i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌)	・	・	・	・
<i>Sarcodon scabrosus</i> (ケロウジ)	・	・	・	・
<i>Suillus tomentosus</i> (ワタゲヌメリイグチ)	・	・	・	・

(次頁へ続く)

<i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ)	・	・	・	・
<i>T. muscarium</i> (ハエトリシメジ)	・	・	・	・
<i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ)	・	・	0.638**	0.324*
<i>T. robustum</i> (マツタケモドキ)	・	・	・	・
<i>T. sejunctum</i> (アイシメジ)	・	0.444*	0.554*	0.258*
全子実体バイオマス	・	・	・	・

表中の数字は標準偏回帰係数（調整済 R^2 を除く）， * ; $p < 0.05$, ** ; $p < 0.01$,
 ・ ; 相関無し, - ; 子実体発生無し

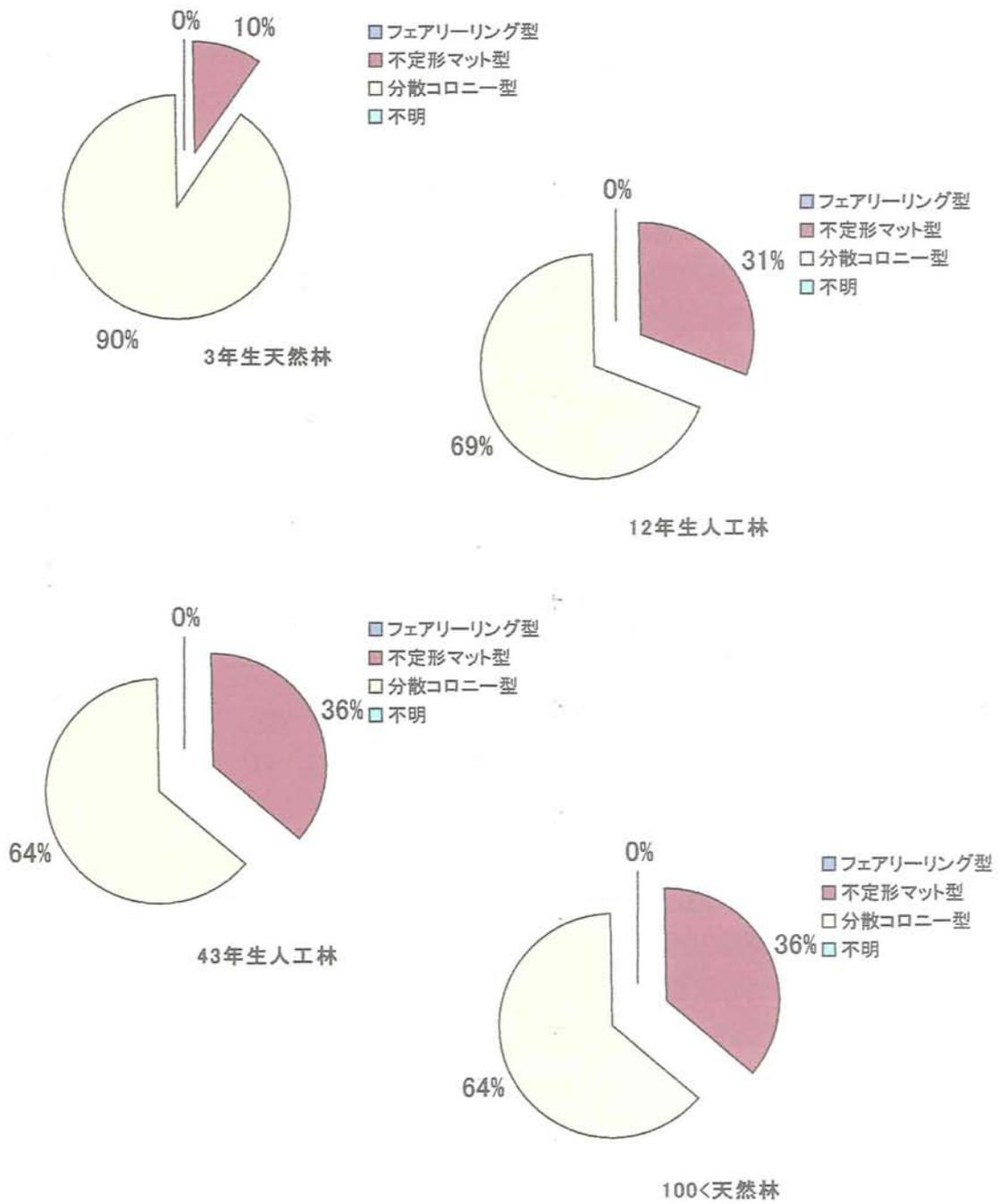


図 5-1 富士山亜高山帯のカラマツ樹齢と外生菌根菌群集の各コロニー型比率の変化(各コロニー型は、小川 (1981) の定義による)

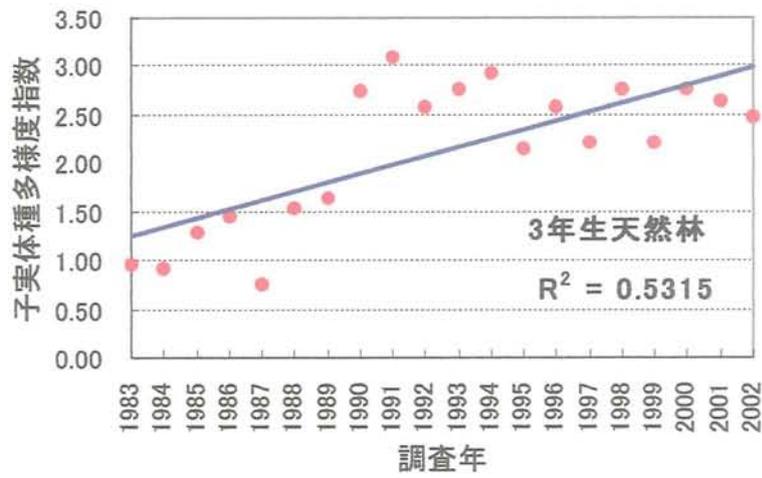


図 5-2 富士山亜高山帯の若齢カラマツ天然林（LK3 林分）の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化（1983-2002）

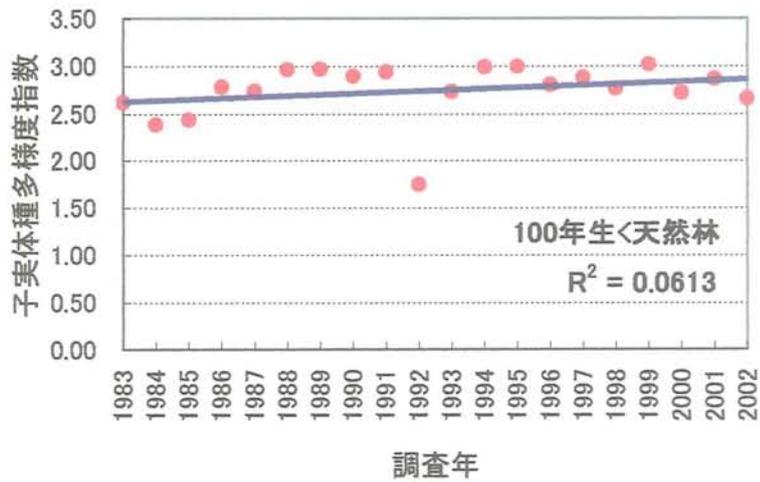


図 5-3 富士山亜高山帯の高齢カラマツ天然林（LK100 林分）の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化（1983-2002）

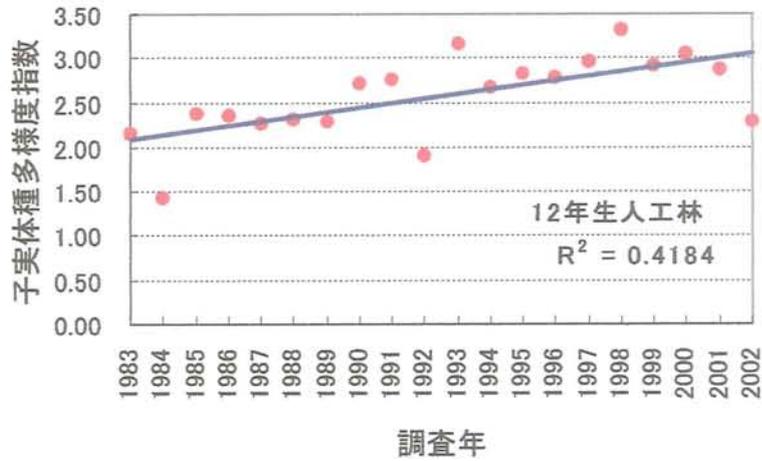


図 5-4 富士山亜高山帯の若齢カラマツ人工林 (LK12 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)

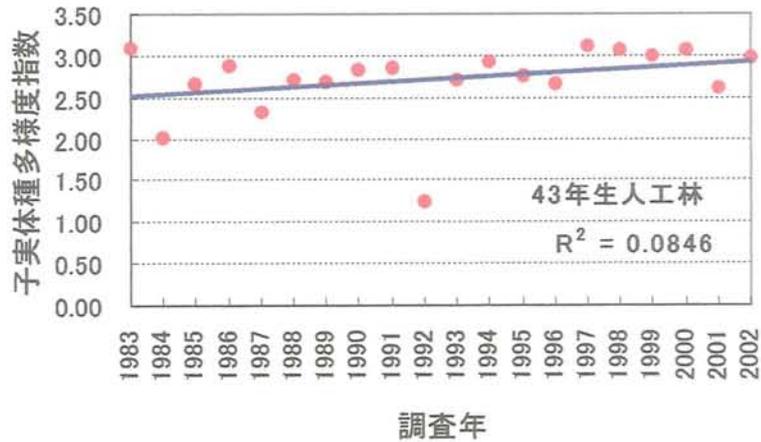


図 5-5 富士山亜高山帯の高齢カラマツ人工林 (LK43 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)

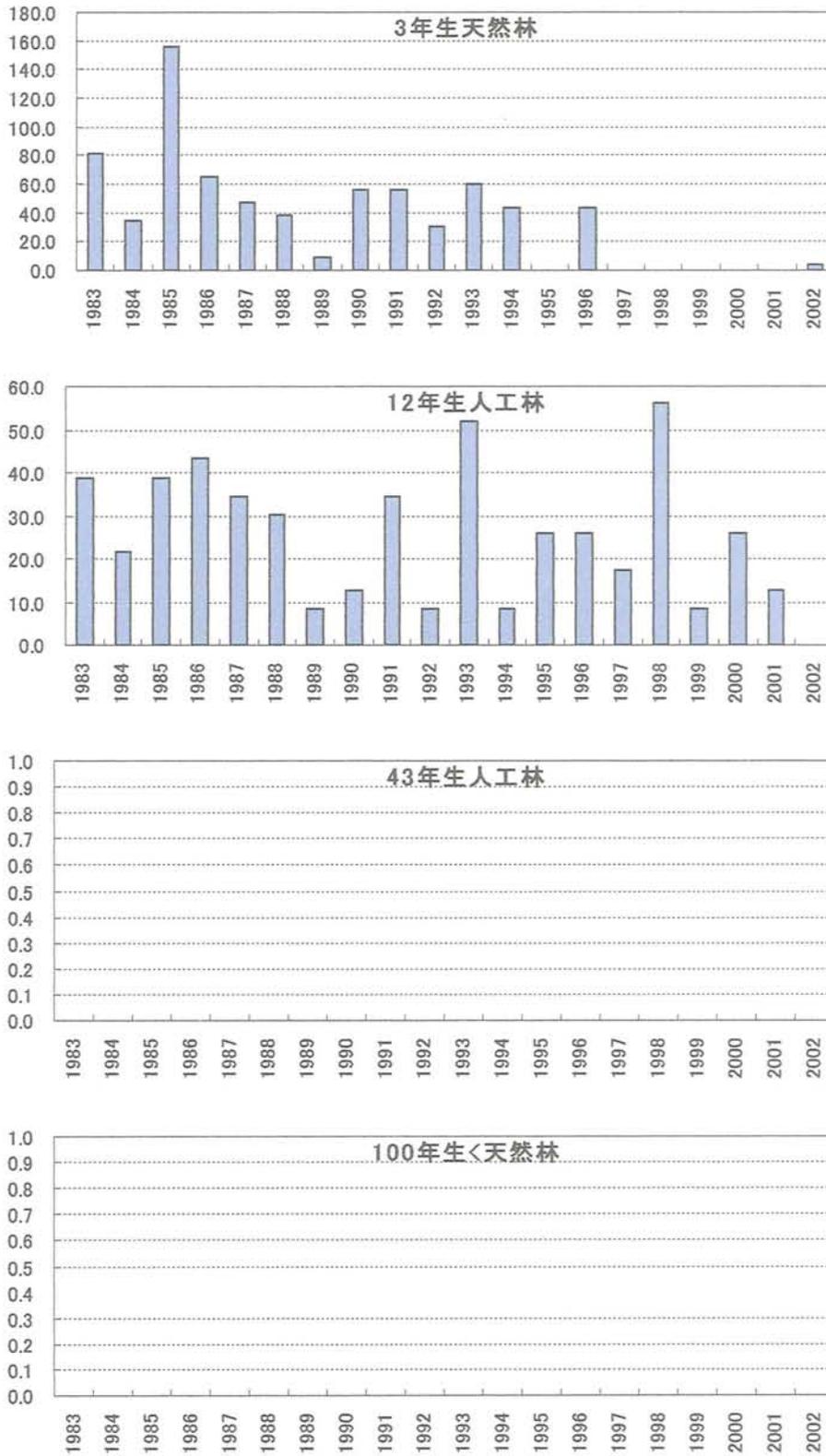


図 5-6 カラマツ林におけるワカフサタケ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

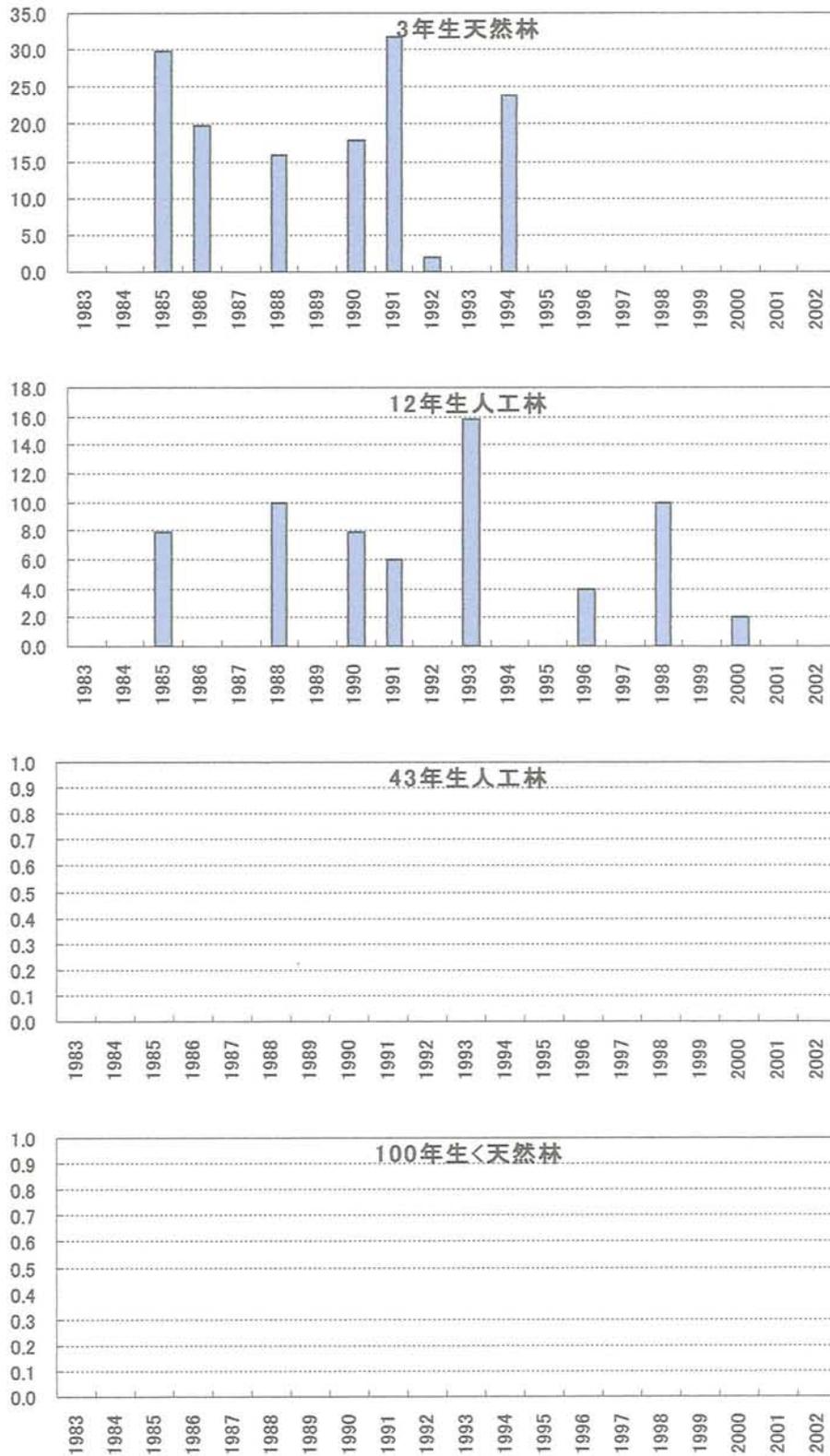


図 5-7 カラマツ林におけるワカフサタケ属菌子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

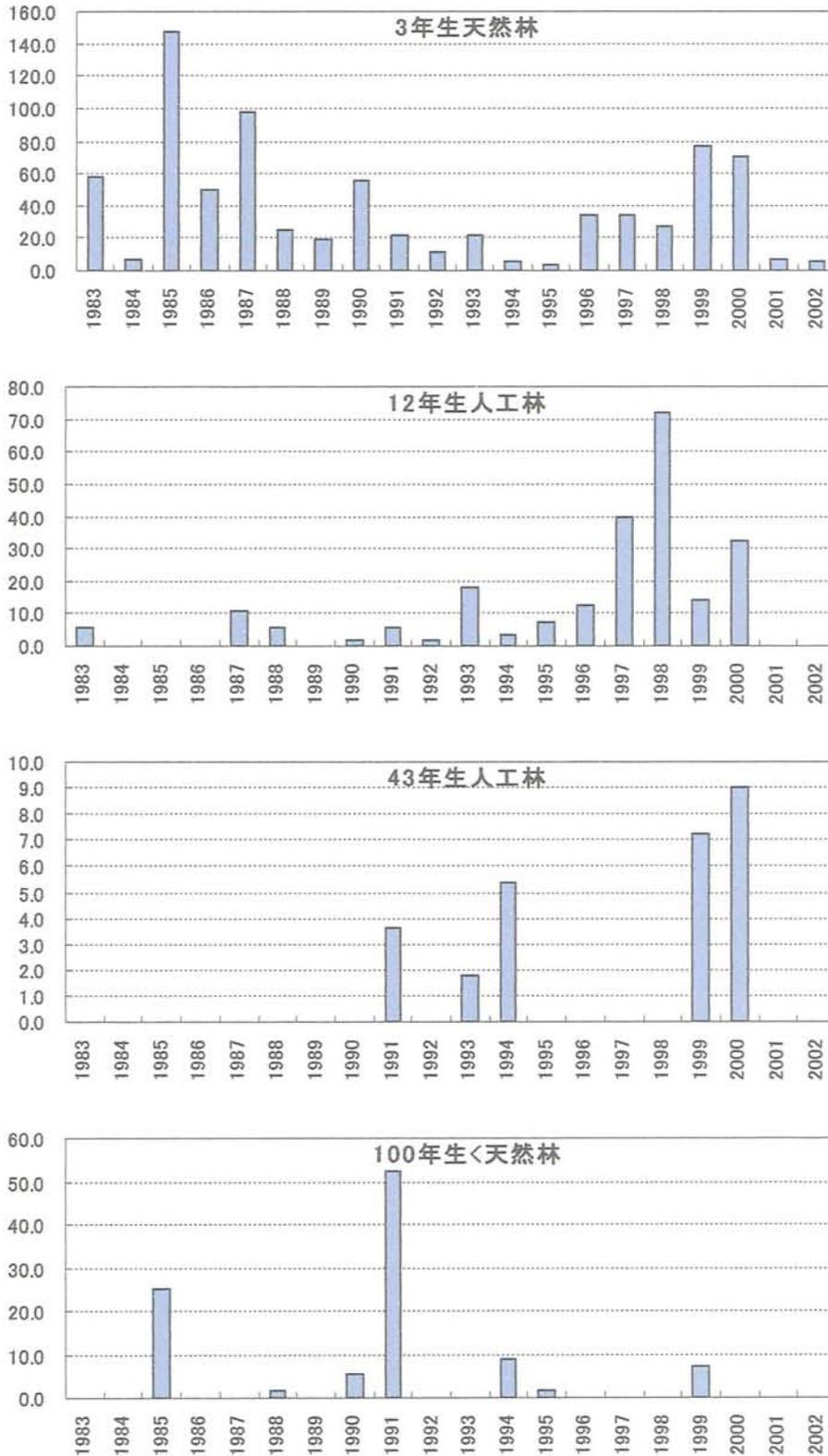


図 5-8 カラマツ林におけるキツネタケ子実体バイオマスの林分別年次変動
図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

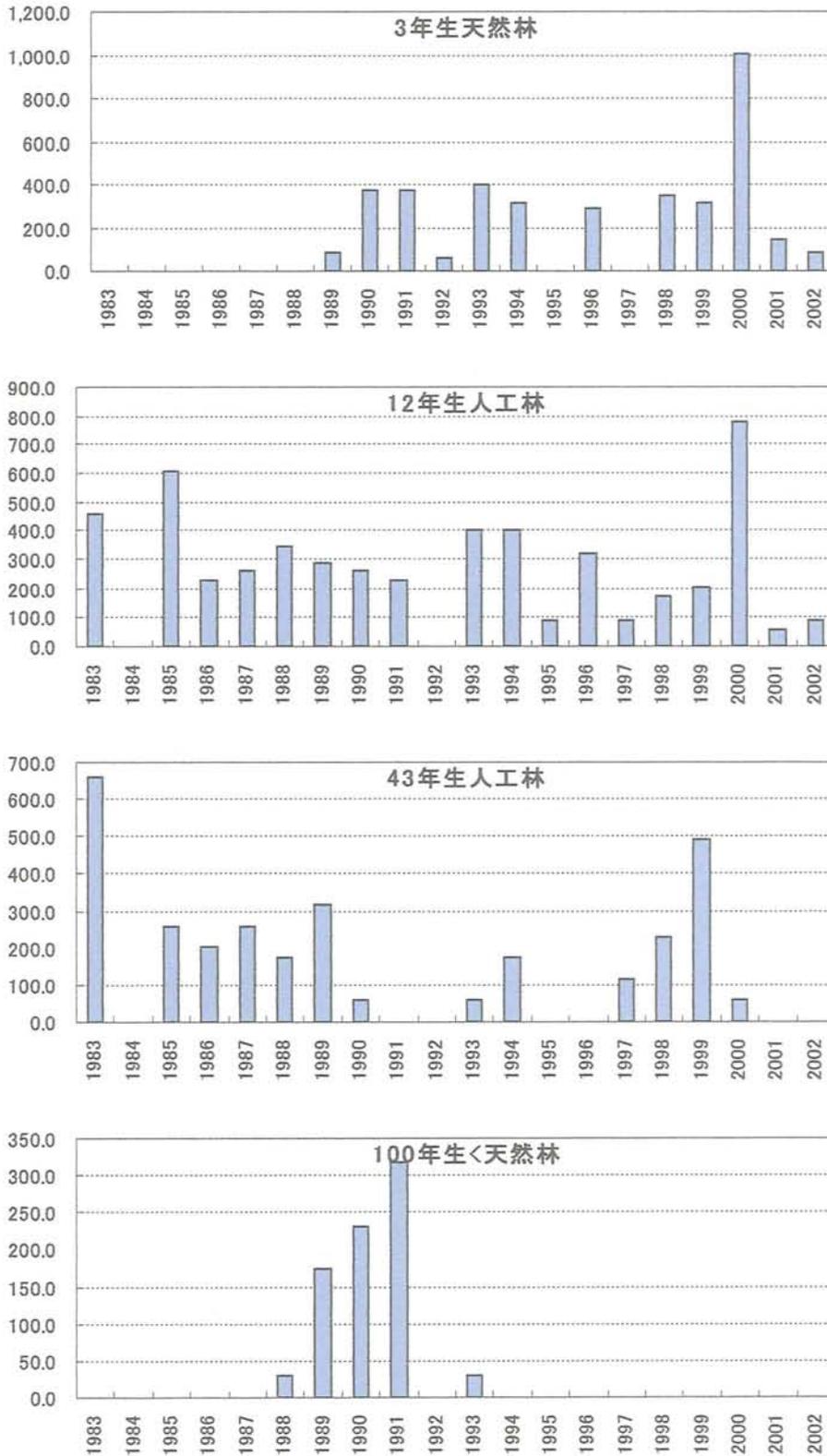


図 5-9 カラマツ林におけるカラマツチチタケ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

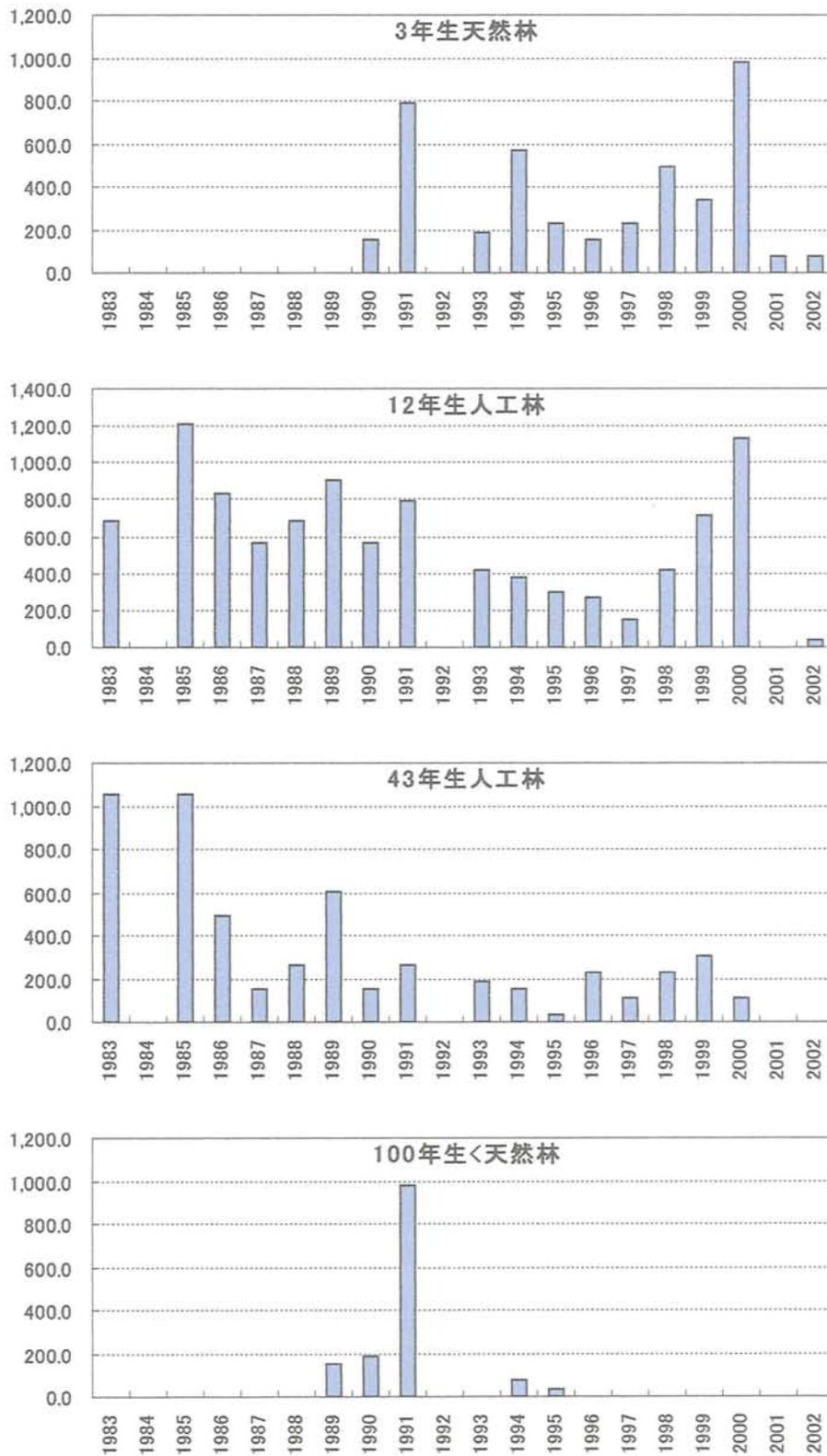


図 5-10 カラマツ林におけるカラマツシメジ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

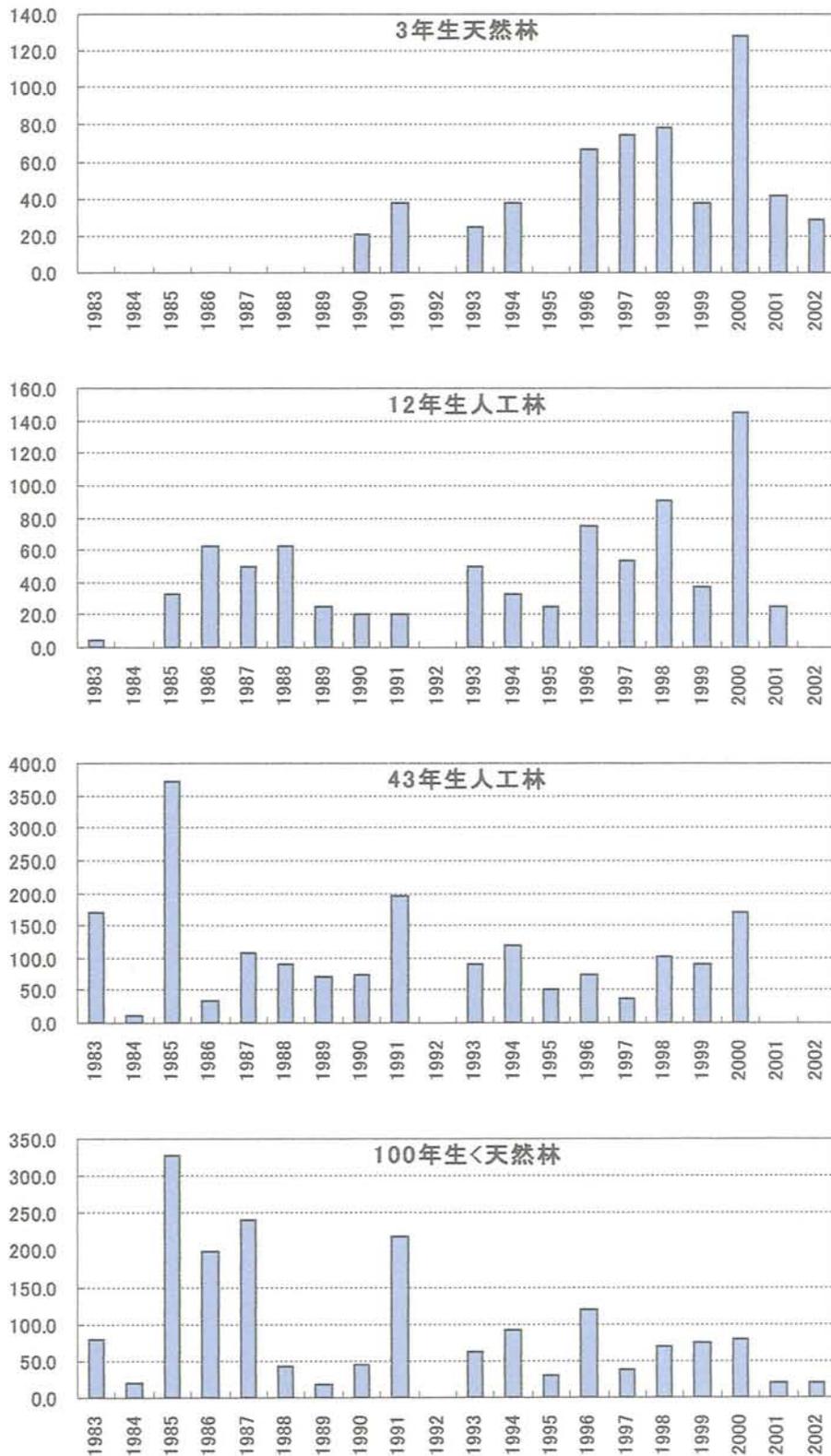


図 5-11 カラマツ林におけるオトメノカサ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

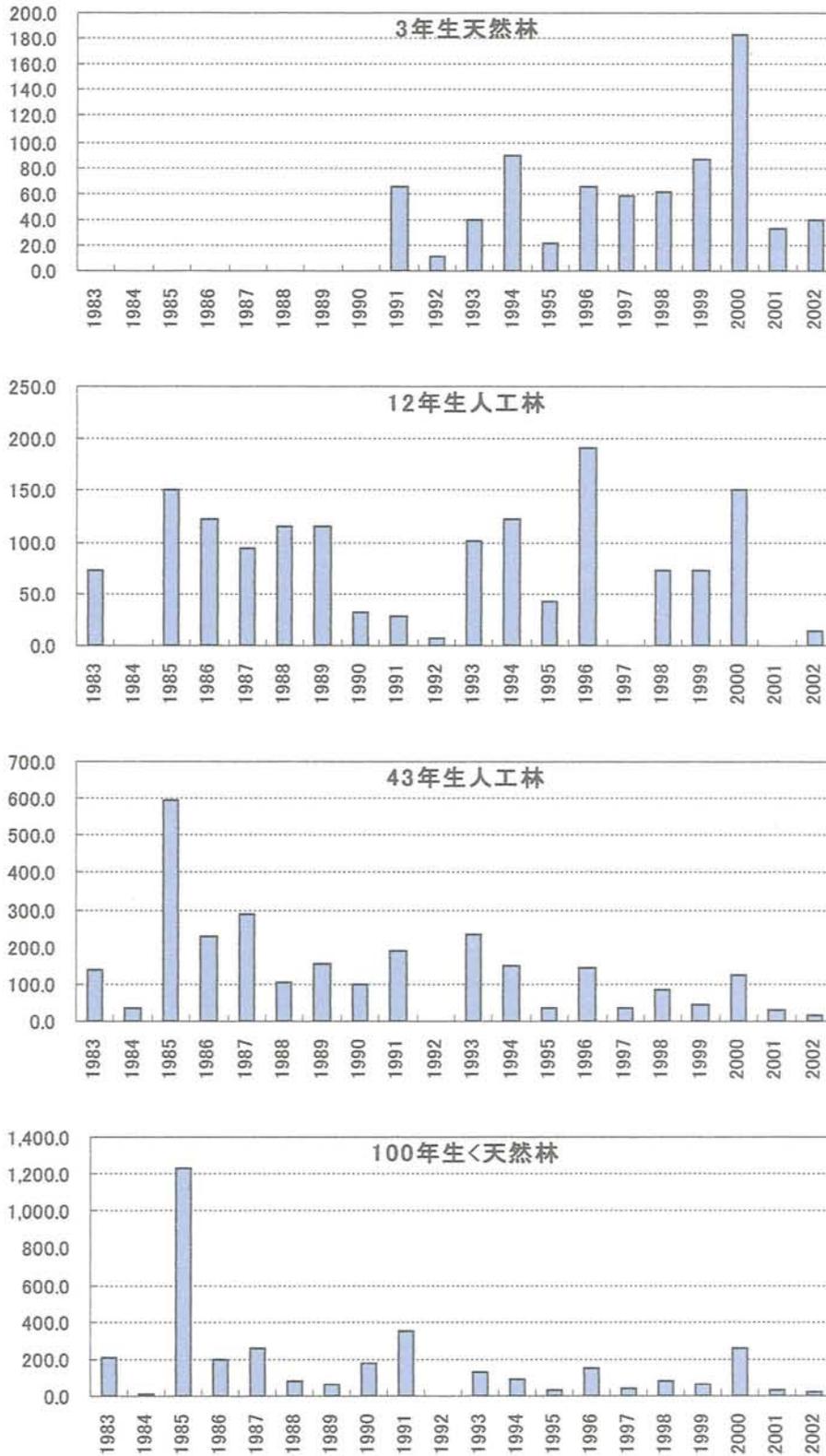


図 5-12 カラマツ林におけるキヌメリガサ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

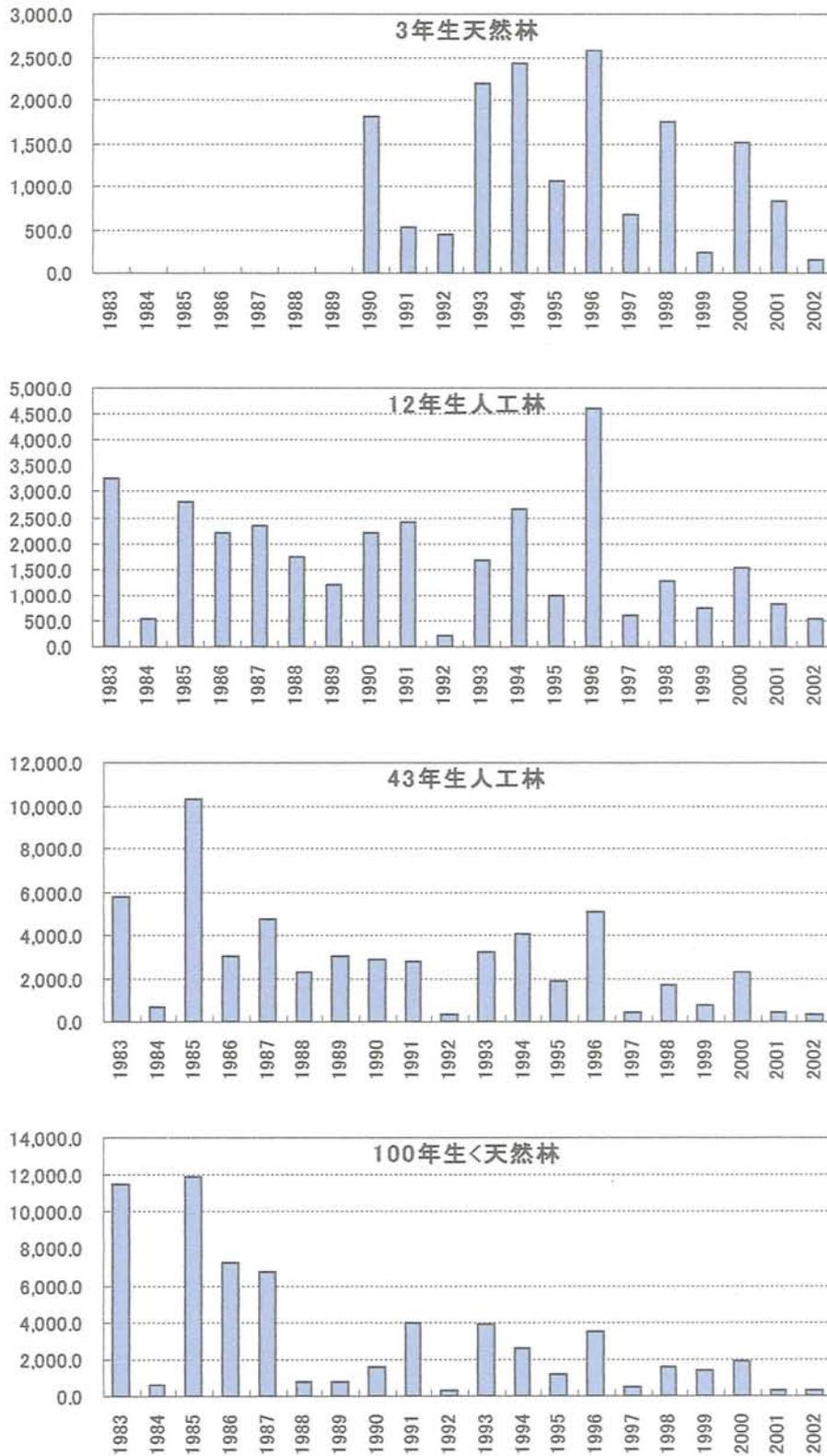


図 5-13 カラマツ林におけるハナイグチ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

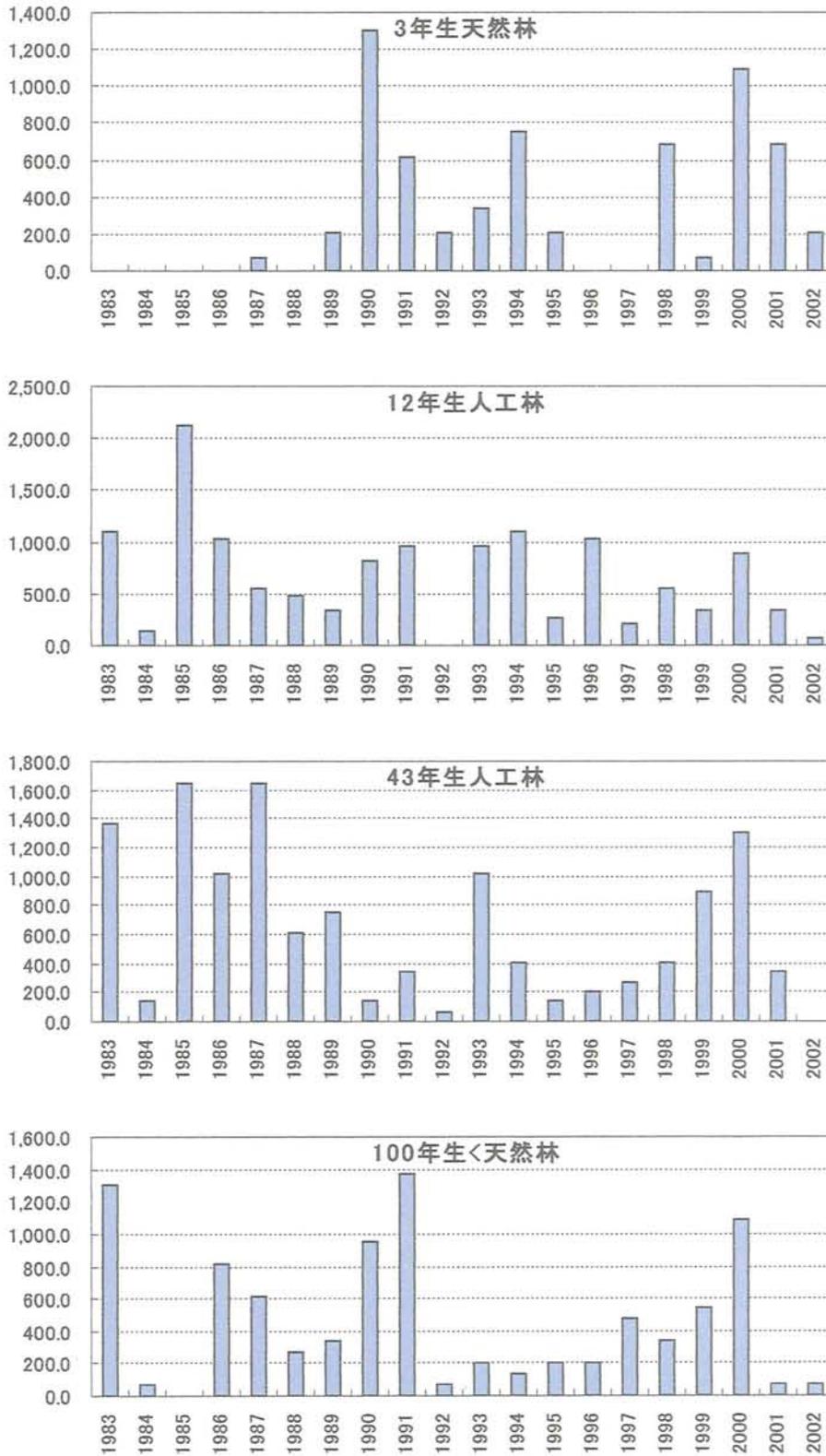


図 5-14 カラマツ林におけるシロヌメリイグチ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

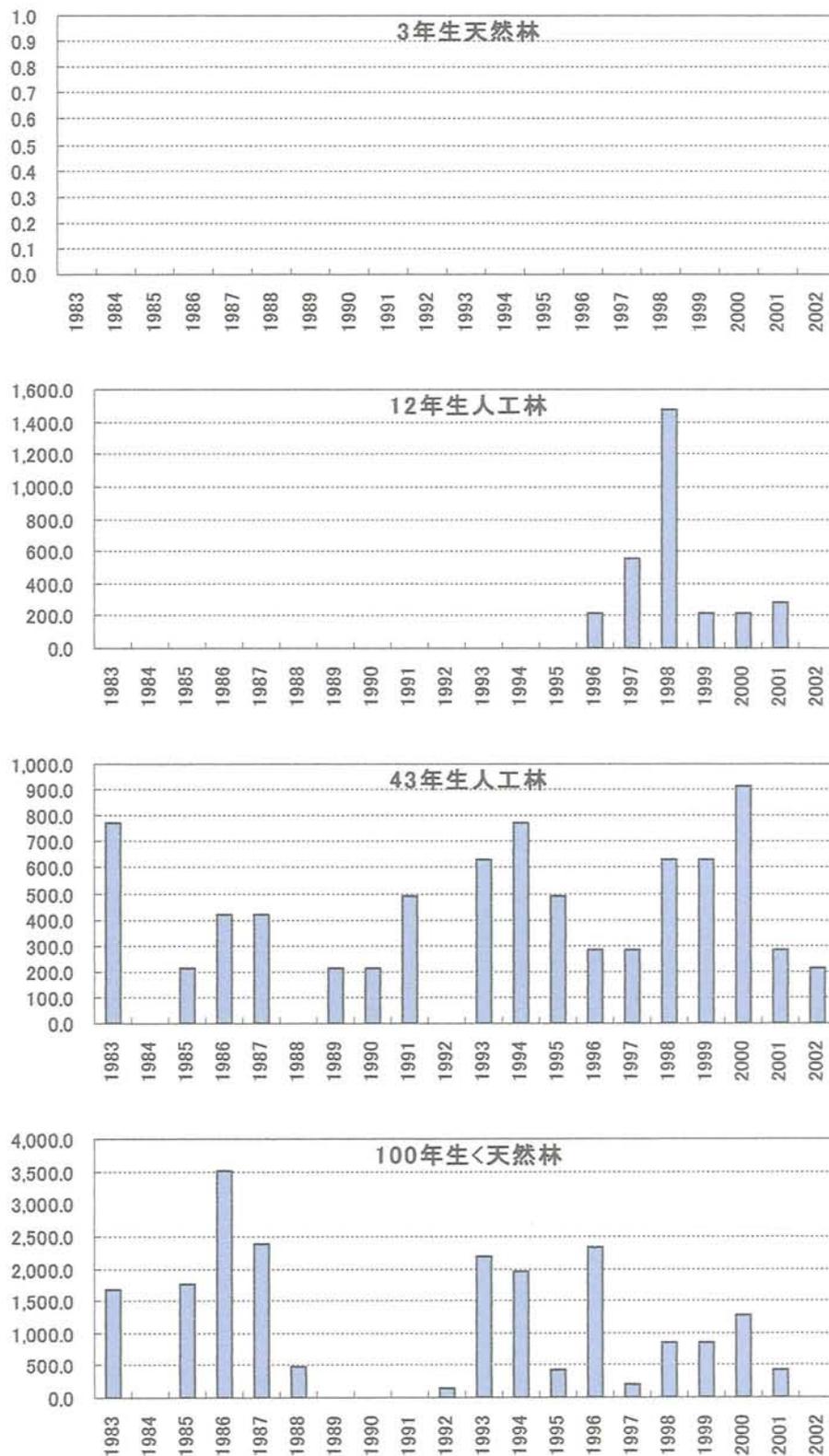


図 5-15 カラムツ林におけるウツロベニハナイグチ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

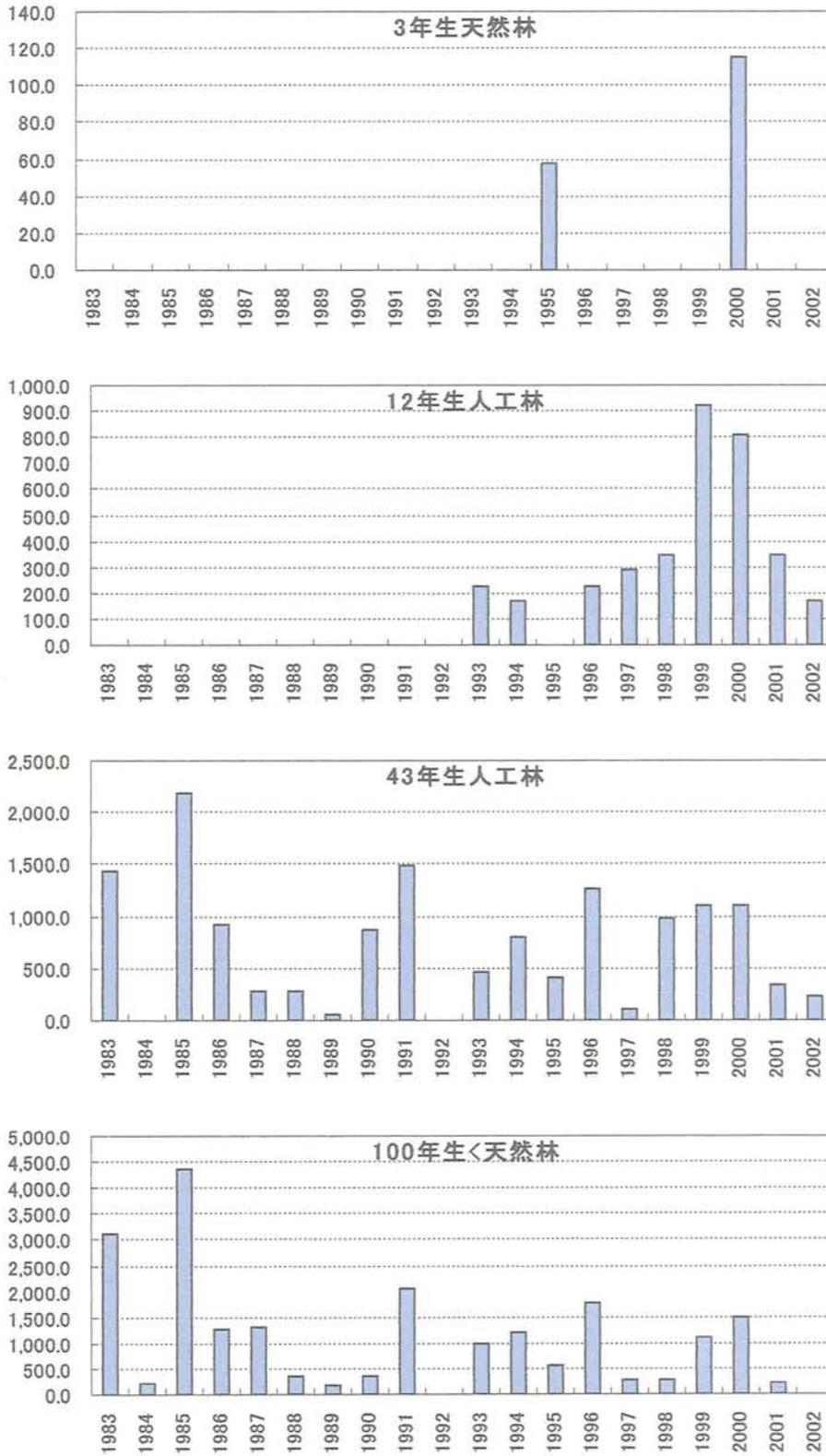


図 5-16 カラマツ林におけるアミハナイグチ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

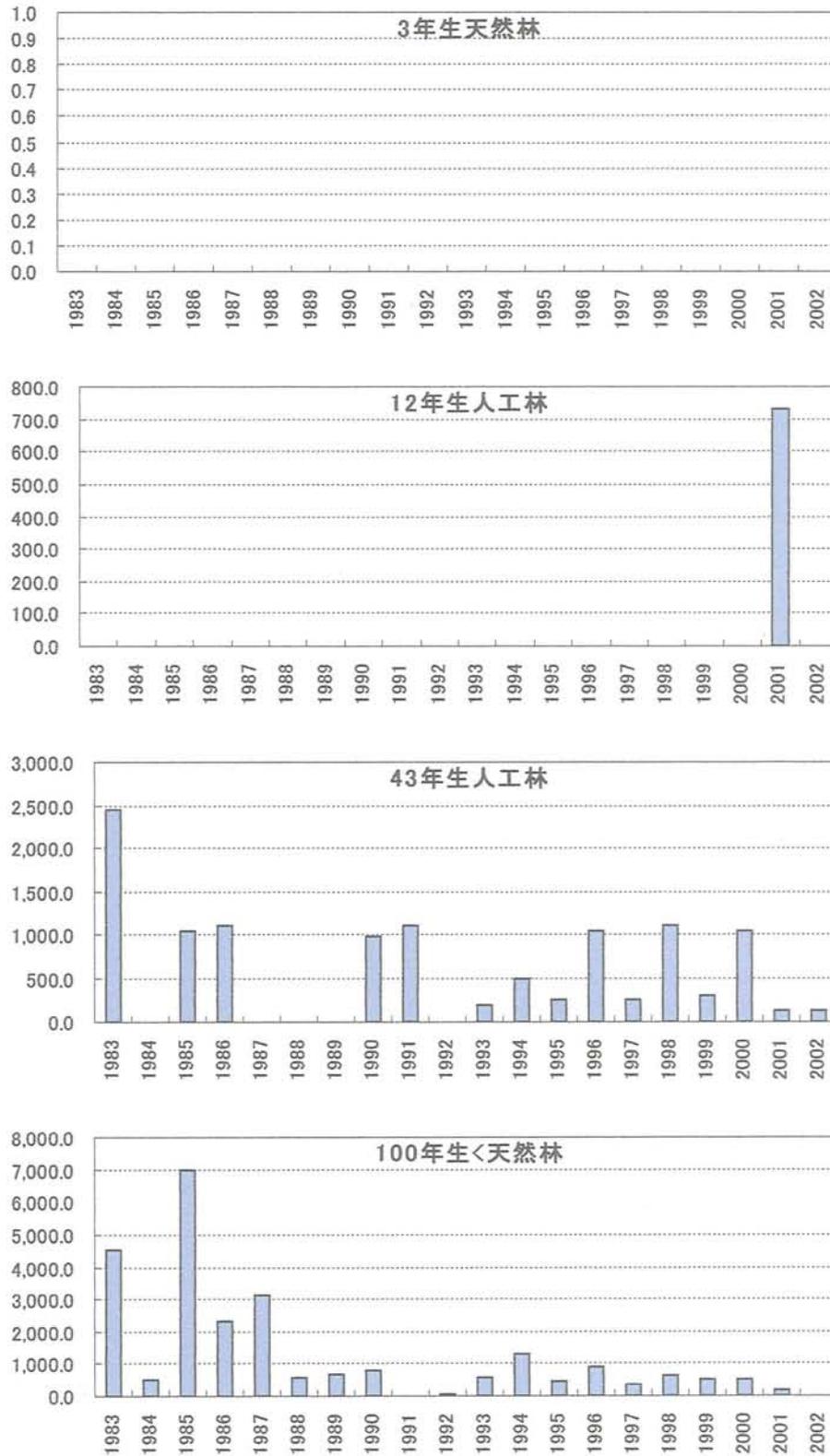


図 5-17 カラマツ林におけるカラマツベニハナイグチ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

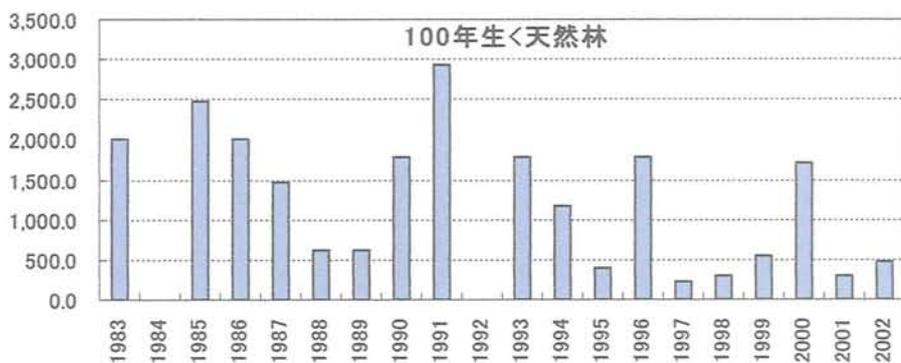
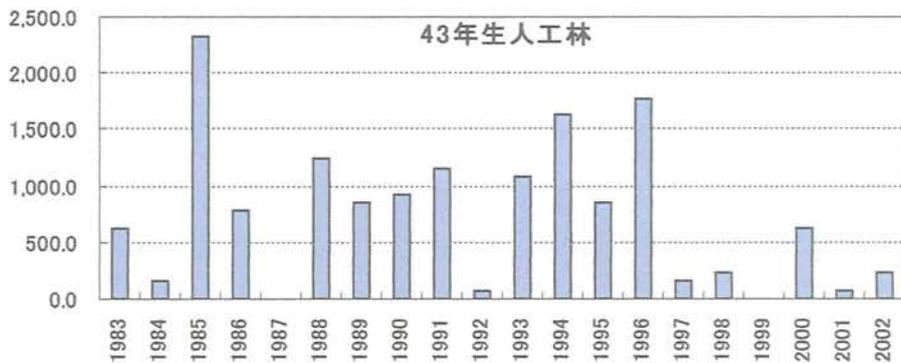
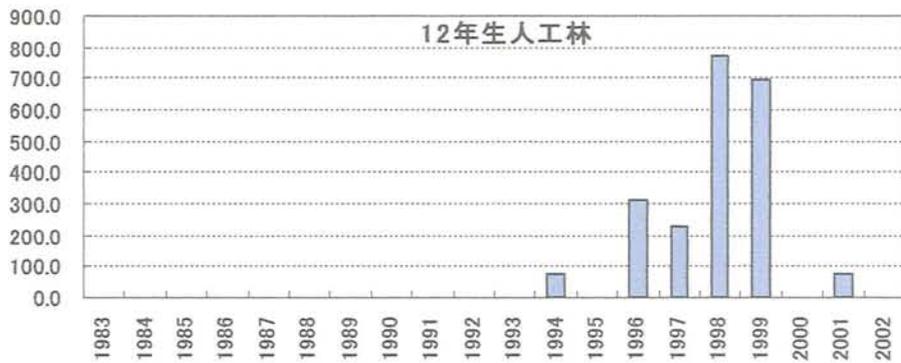
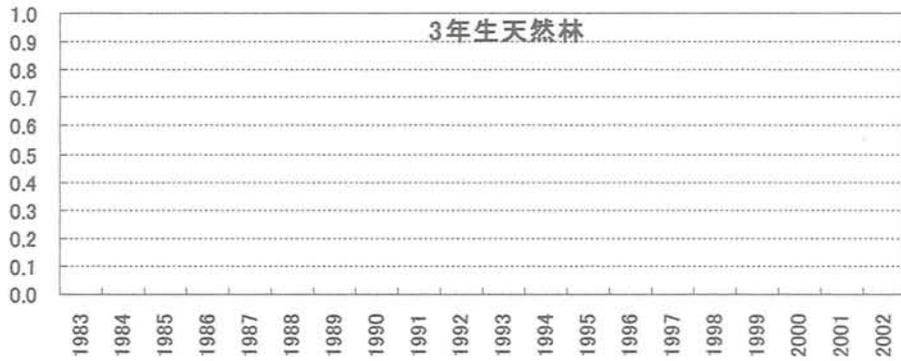
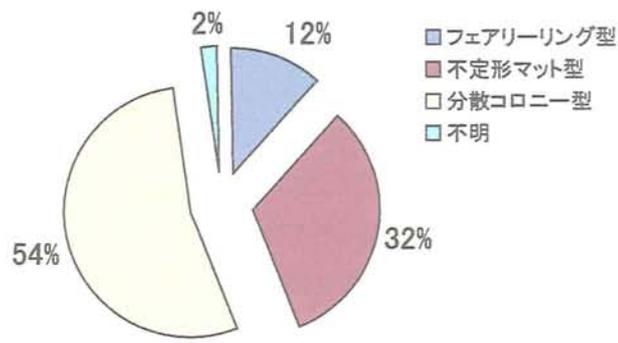
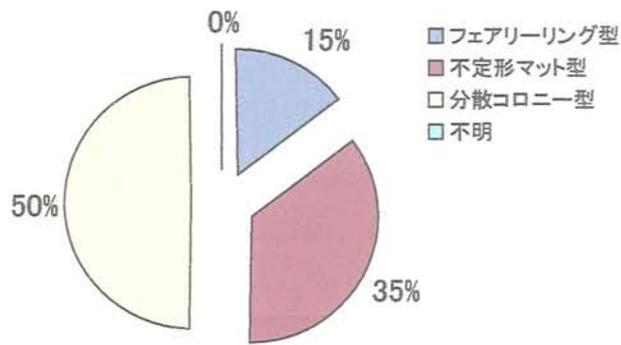


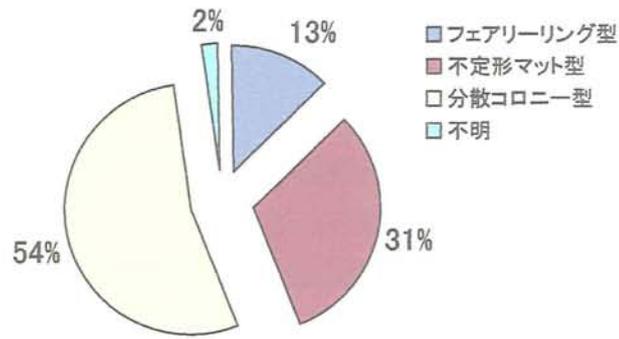
図 5-18 カラマツ林におけるキノボリイグチ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）



AVn19



AVn21



シラビソ・オオシラビソ天然林全体

図 5-19 富士山亜高山帯のシラビソ・オオシラビソ天然林の外生菌根菌群集のコロニー型比率 (各コロニー型は、小川 (1981) の定義による)

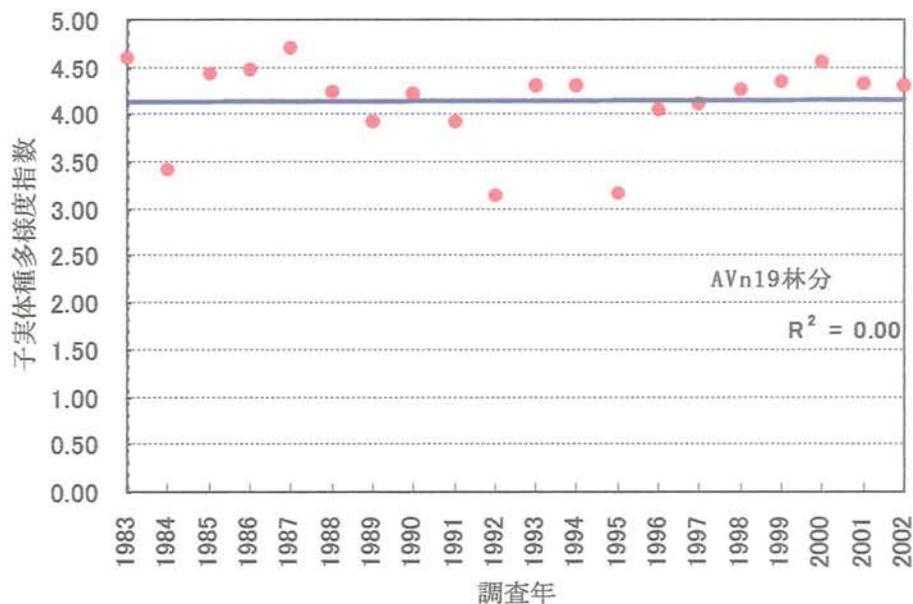


図 5-20 富士山亜高山帯のシラビソ・オオシラビソ天然林 (AVn19 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)

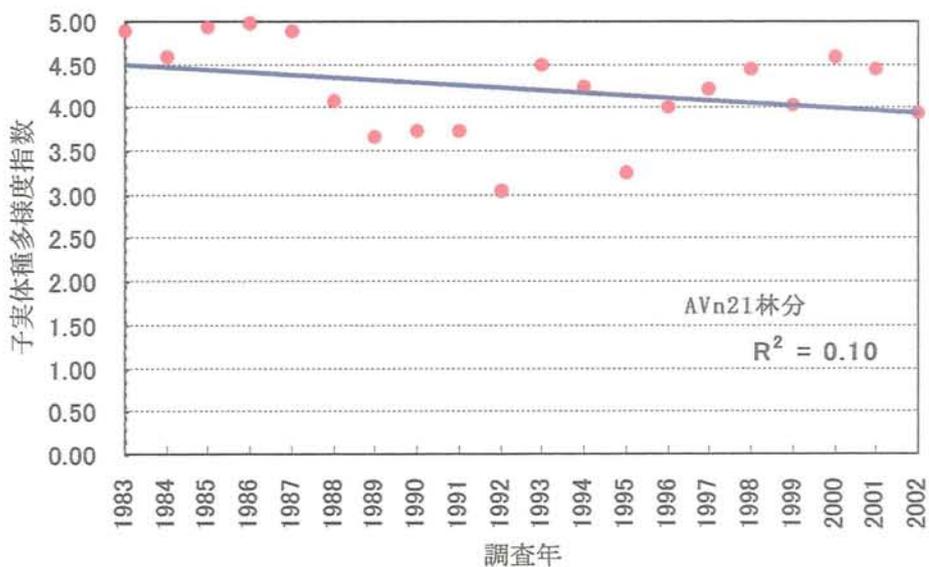
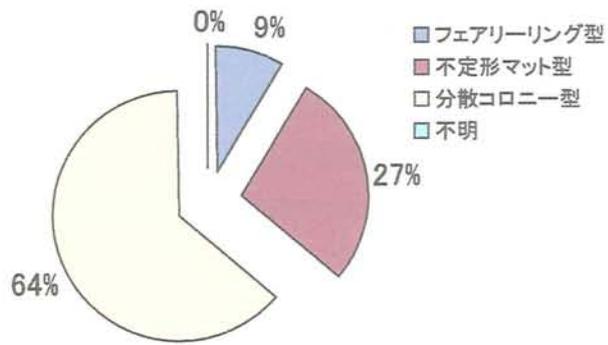
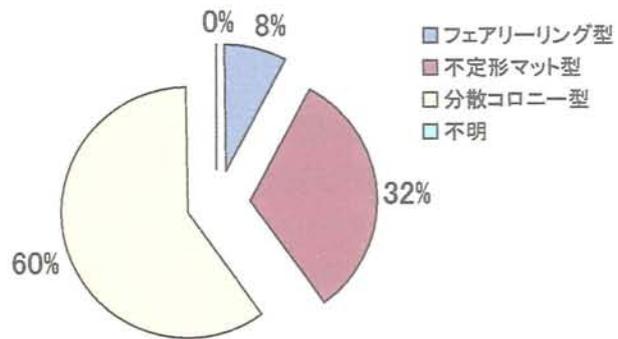


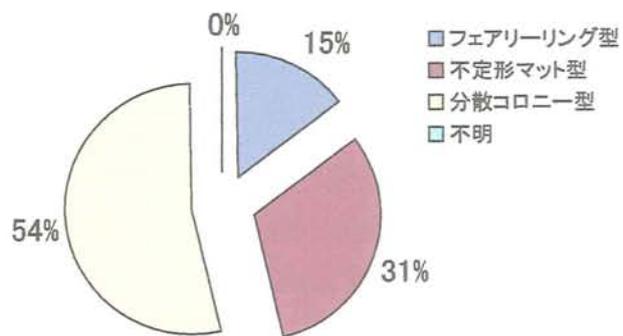
図 5-21 富士山亜高山帯のシラビソ・オオシラビソ天然林 (AVn21 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)



15年生人工林



25年生人工林



44年生人工林

図 5-22 富士山亜高山帯のシラビソ人工林の樹齢と外生菌根菌群集の各コロニー型比率の変化 (各コロニー型は、小川 (1981) の定義による)

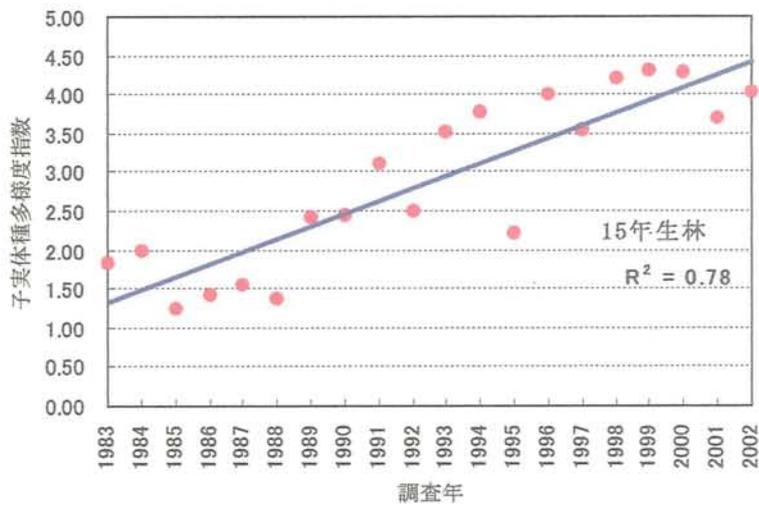


図 5-23 富士山亜高山帯のシラビソ人工林（AV15 林分）の外生菌根菌子実種多様度指数の年次変化（1983-2002）

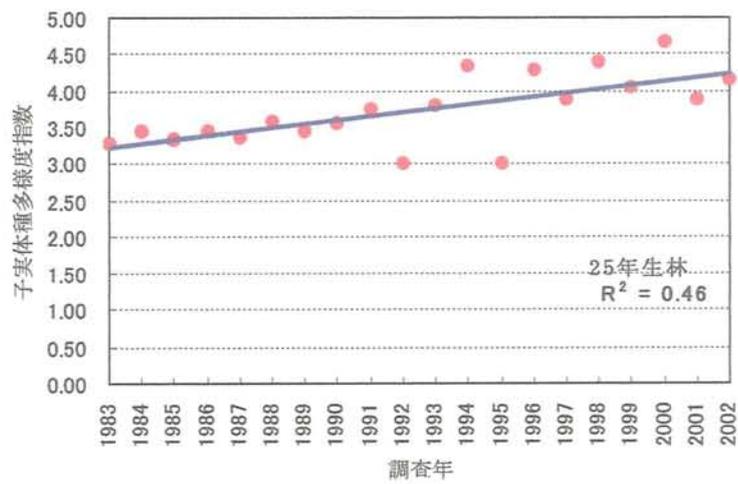


図 5-24 富士山亜高山帯のシラビソ人工林（AV25 林分）の外生菌根菌子実種多様度指数の年次変化（1983-2002）

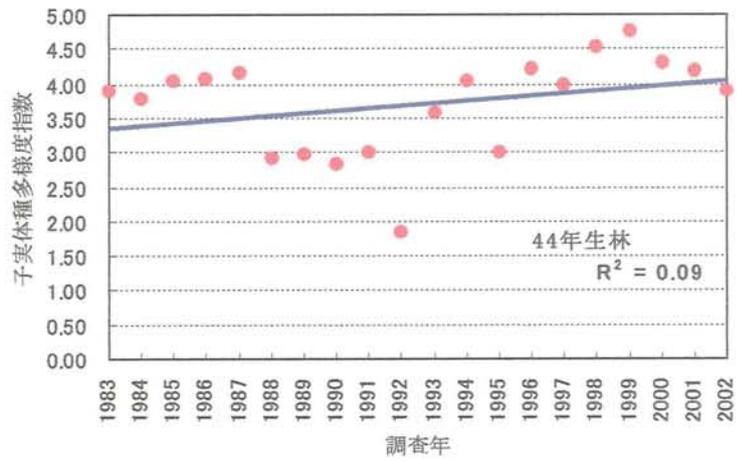


図 5-25 富士山亜高山帯のシラビソ人工林 (AV44 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)

ワード法
ユークリッド距離

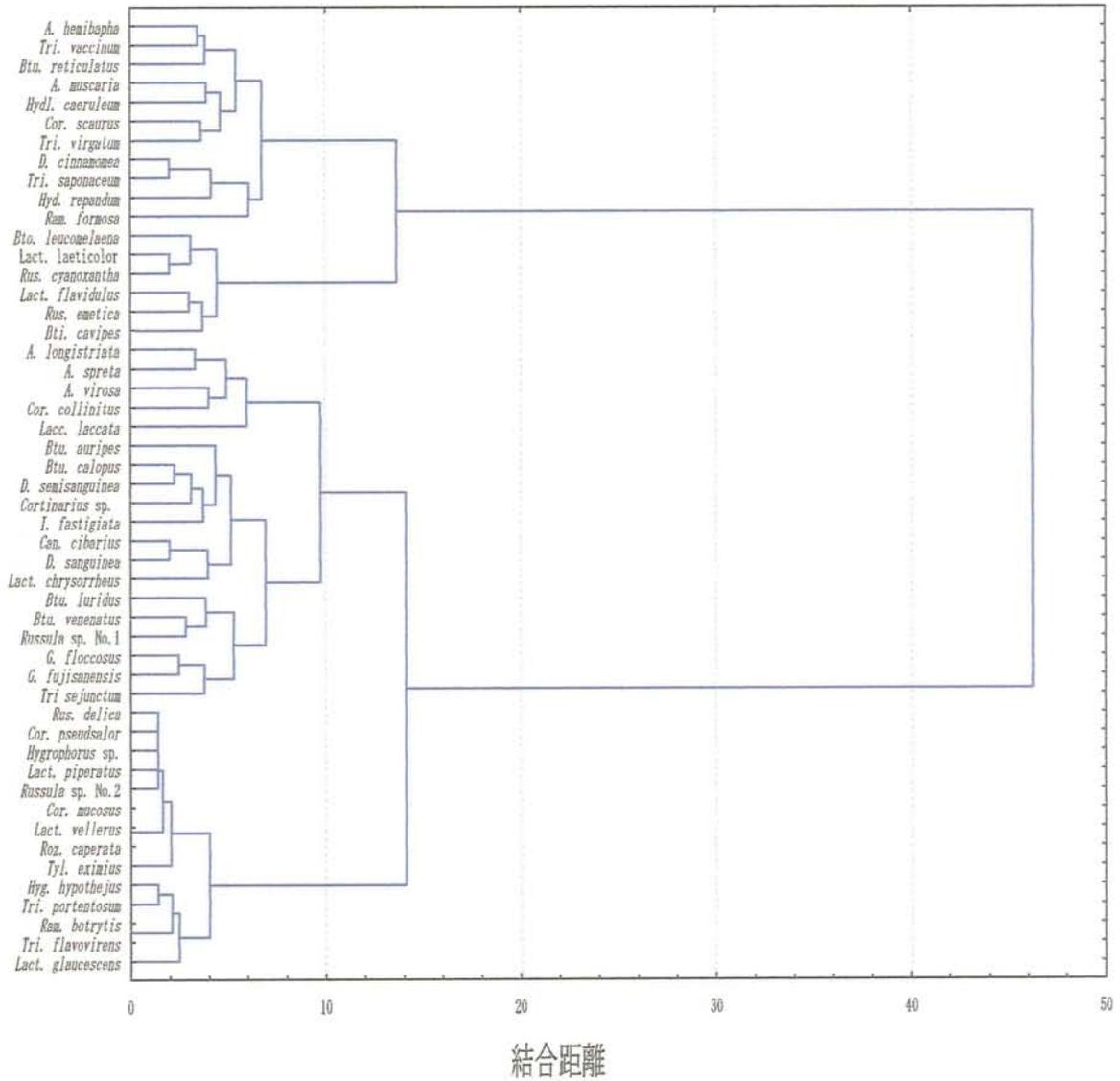


図 5-26 子実体発生樹齢にもとづくシラビソ人工林の外生菌根菌のクラスター分析結果
 図中の左縦軸には外生菌根菌の学名を表示してある。それぞれの和名およびグループ
 分けは表 5-16 (58 頁) 参照。

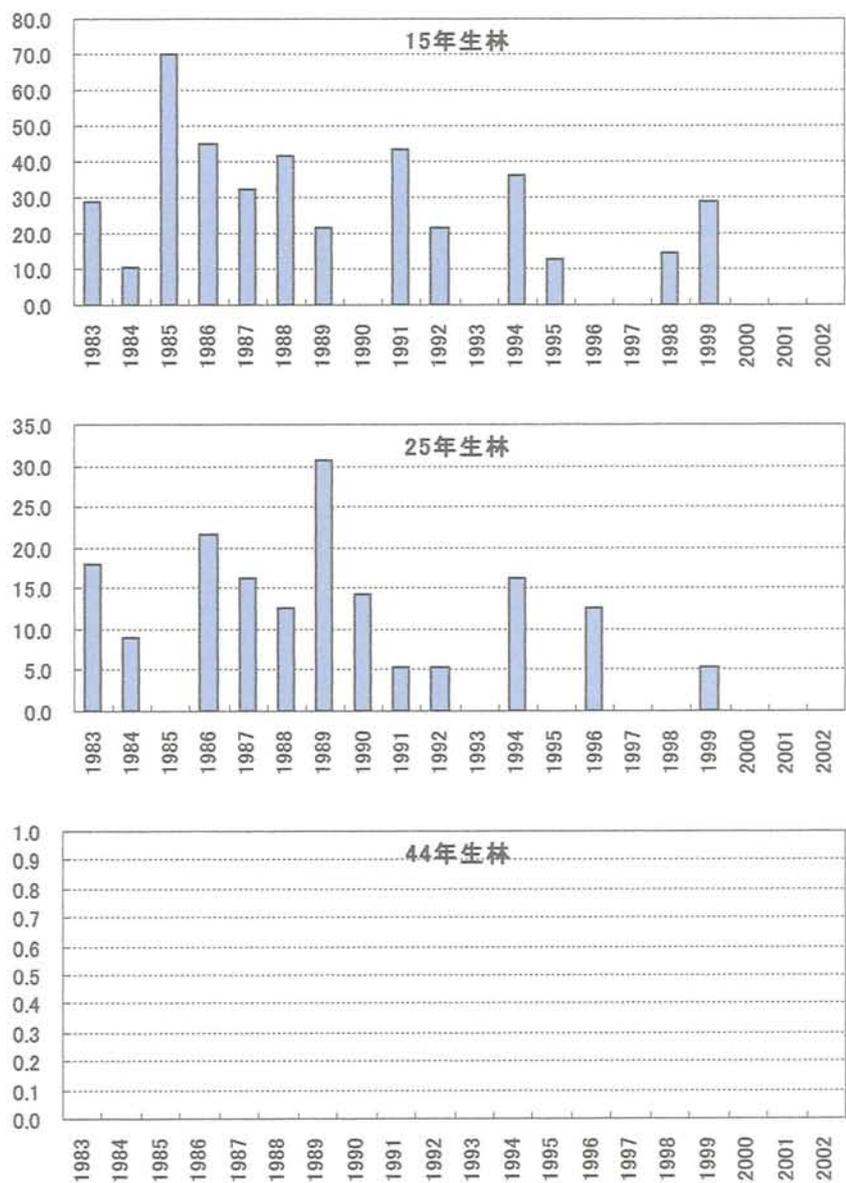


図 5-27 シラビソ人工林におけるキツネタケ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年、縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

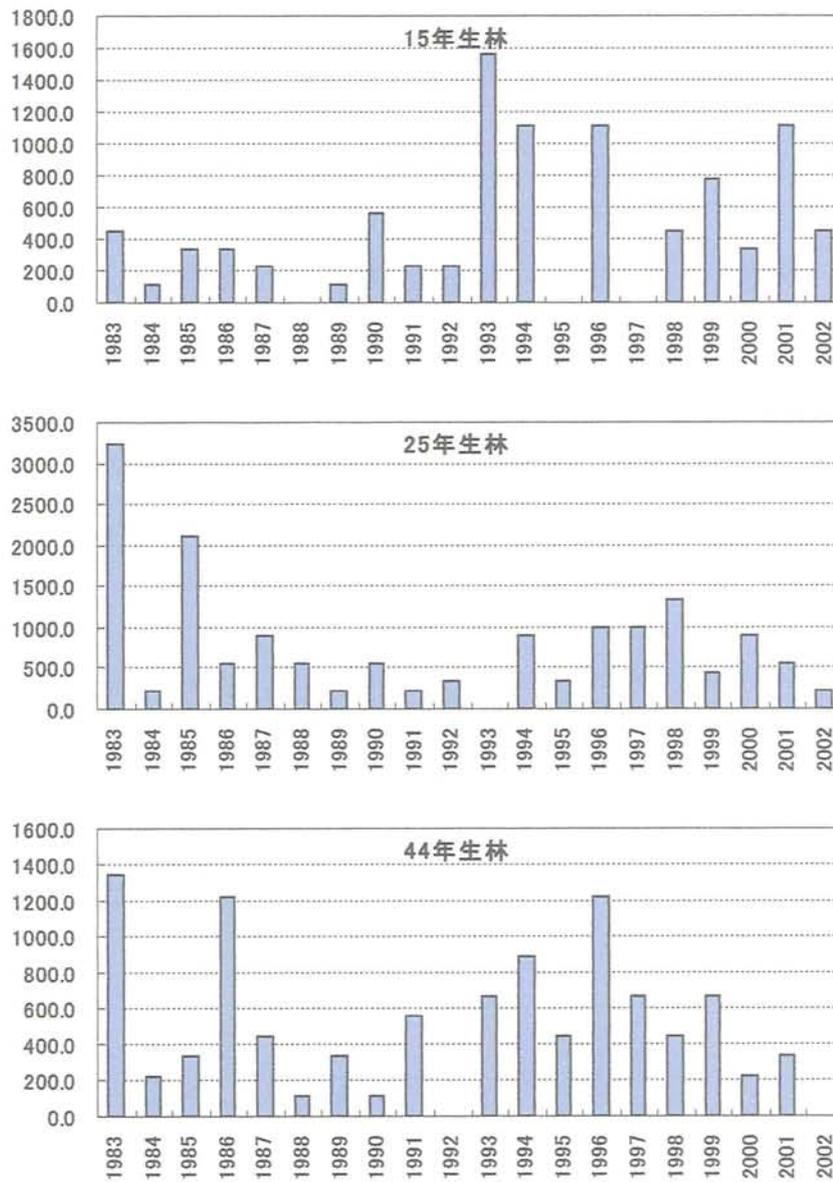


図 5-28 シラビソ人工林におけるクロカワ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

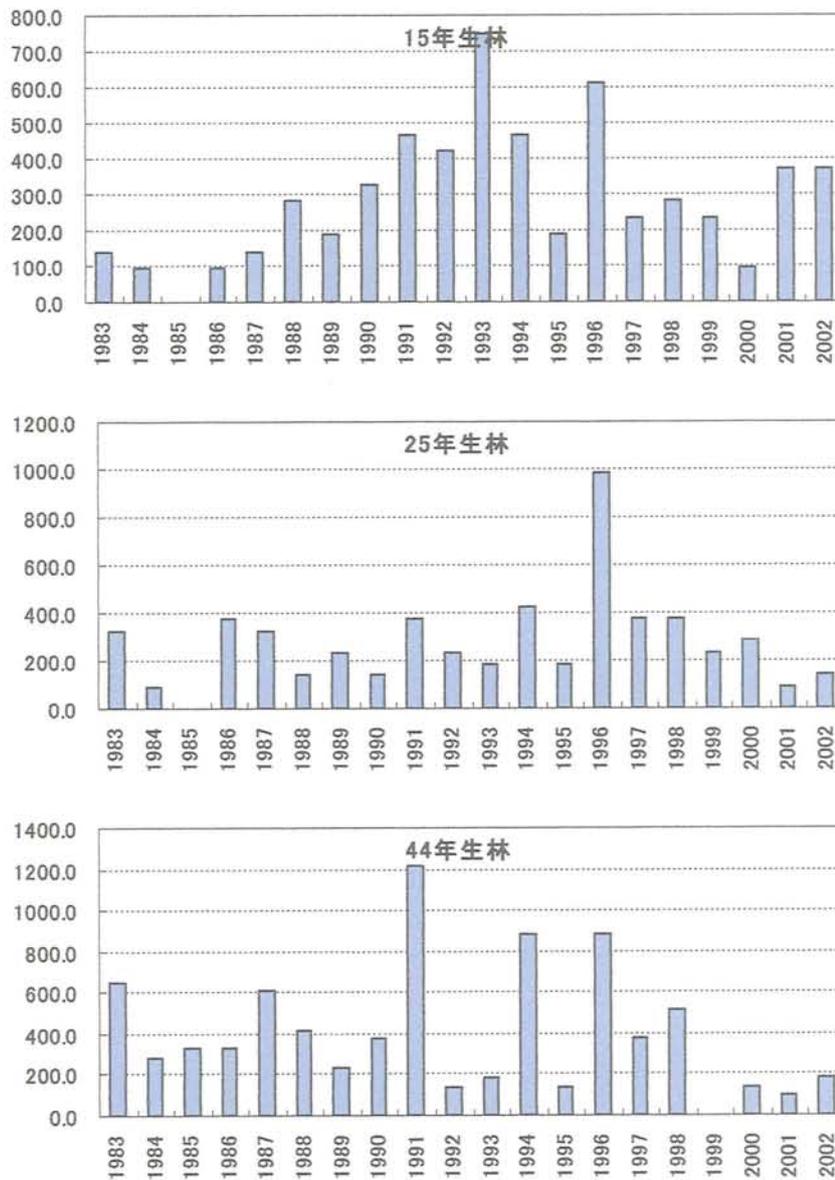


図 5-29 シラビソ人工林におけるアカモミタケ子実体バイオマスの林別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

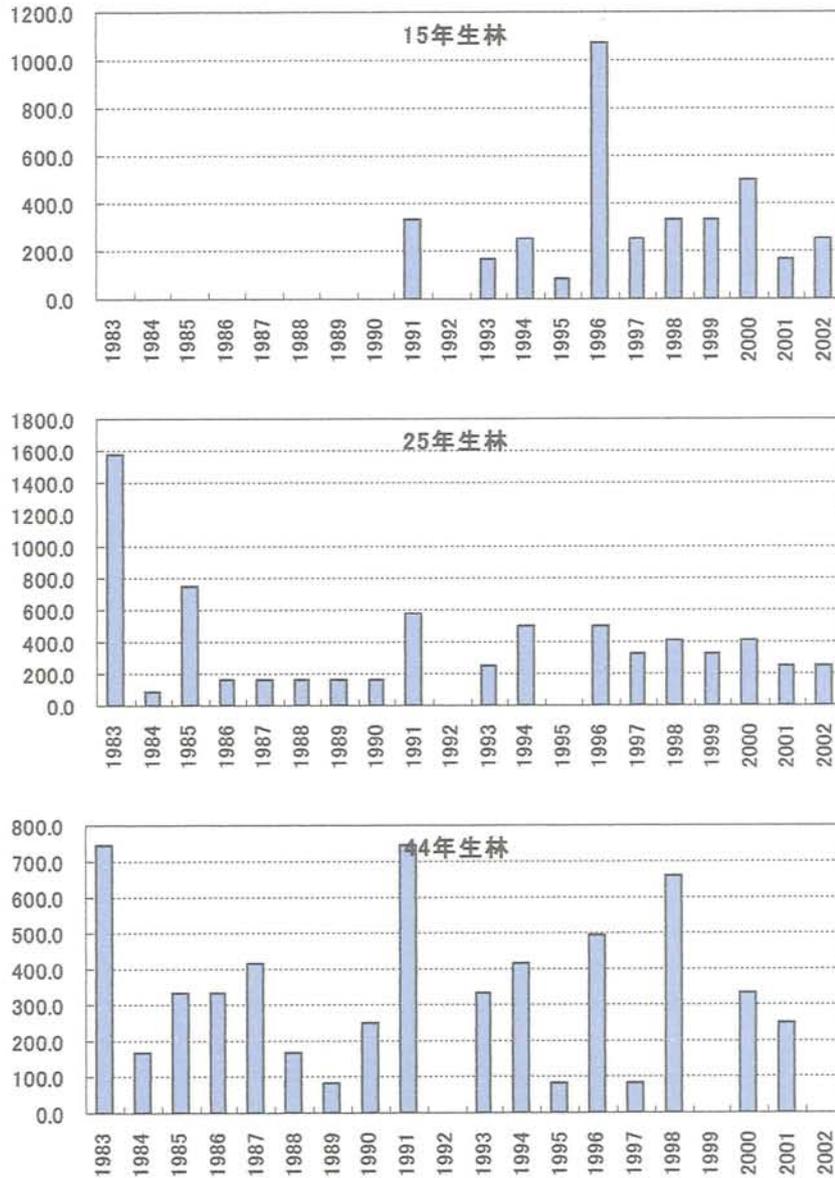


図 5-30 シラビソ人工林におけるタマゴタケ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

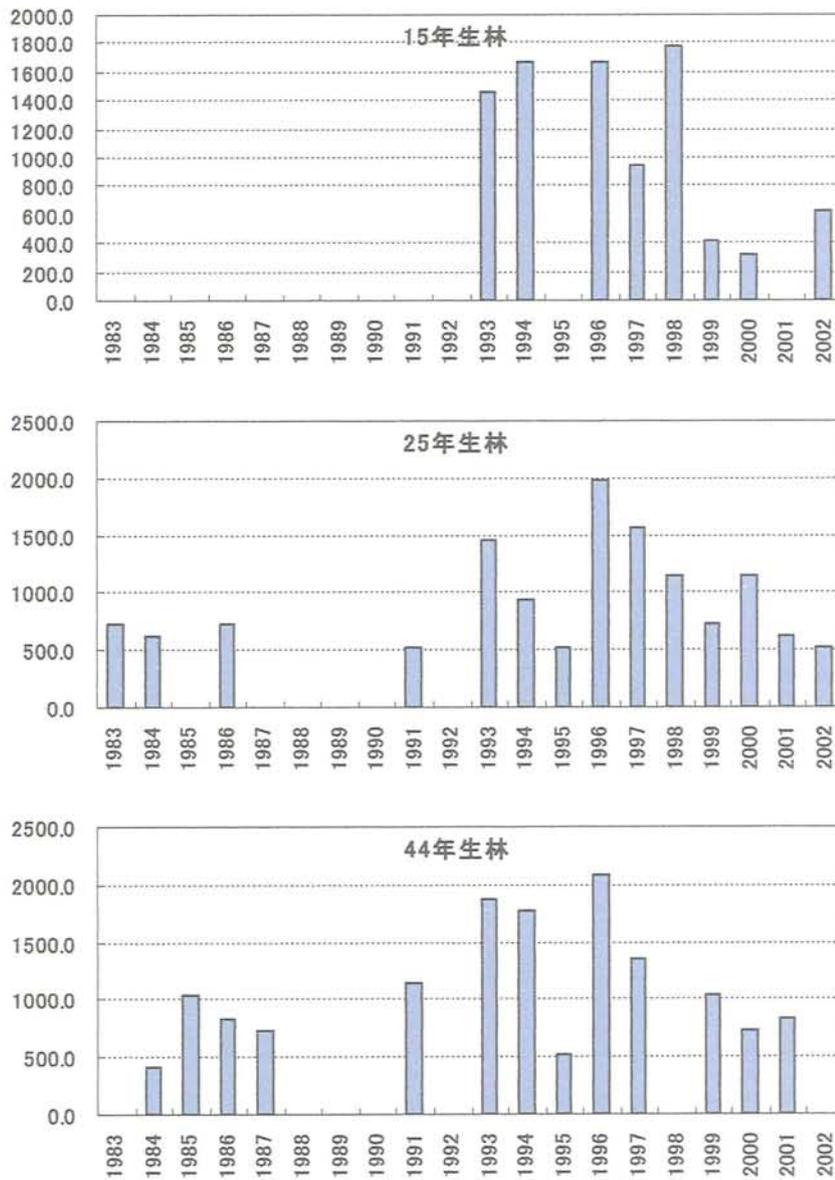


図 5-31 シラビソ人工林におけるニオイハリタケモドキ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

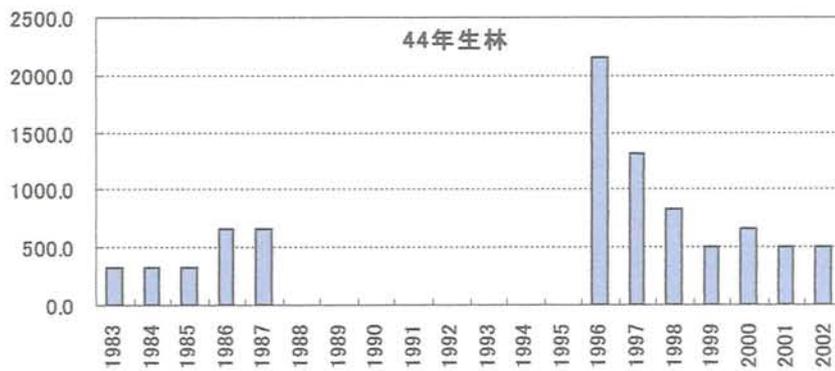
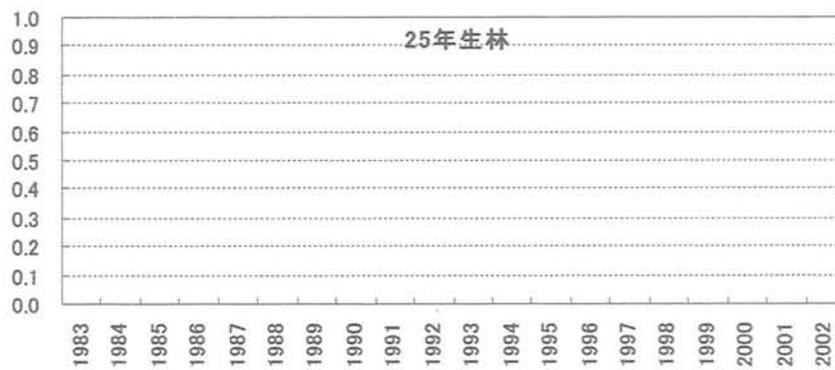
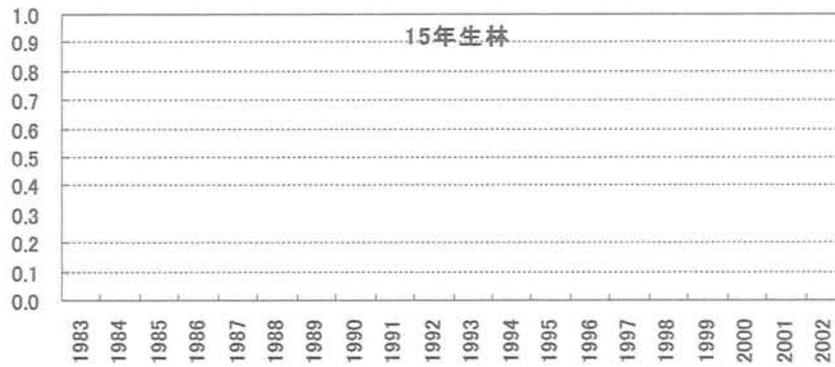


図 5-32 シラビソ人工林におけるフジスタケ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

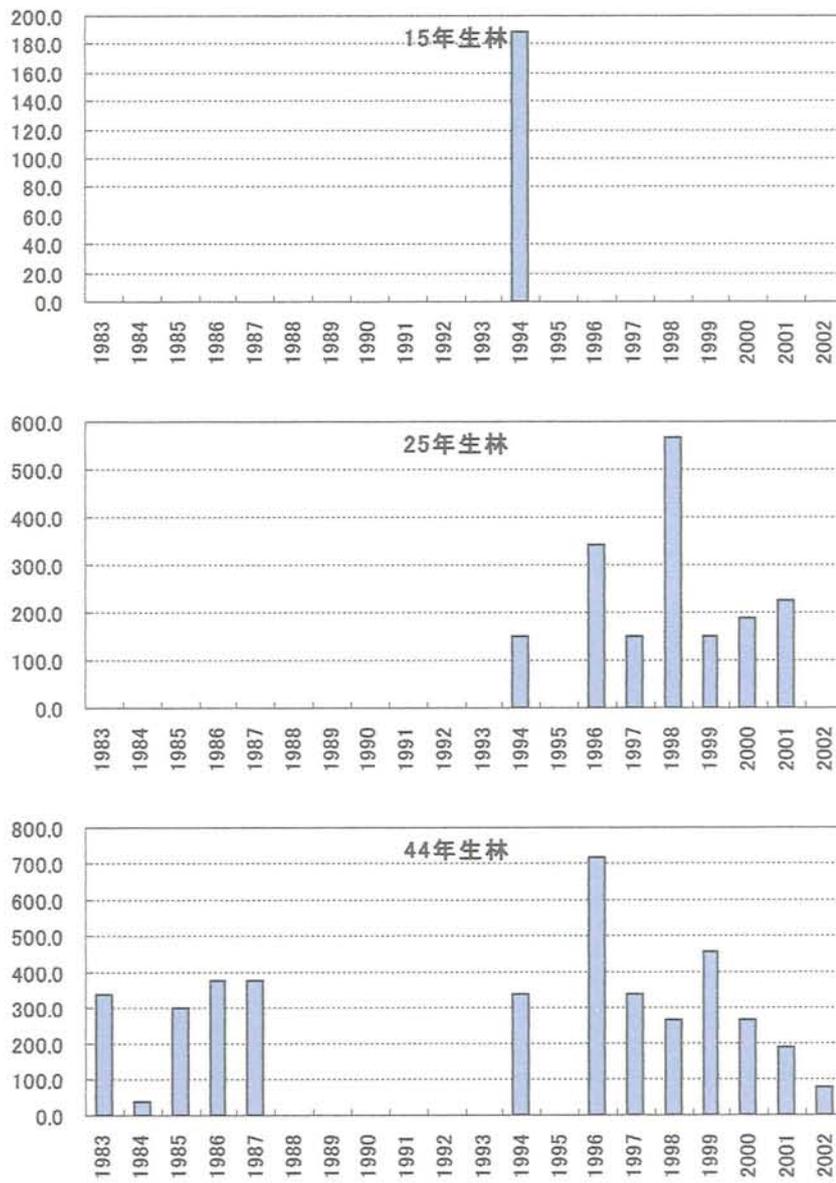


図 5-33 シラビソ人工林におけるアイシメジ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

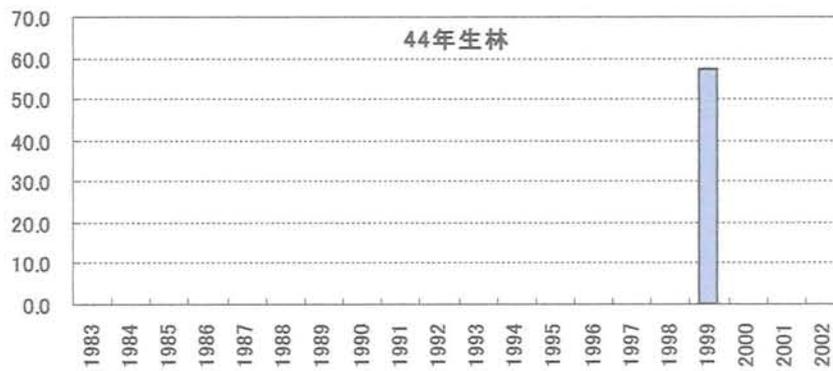
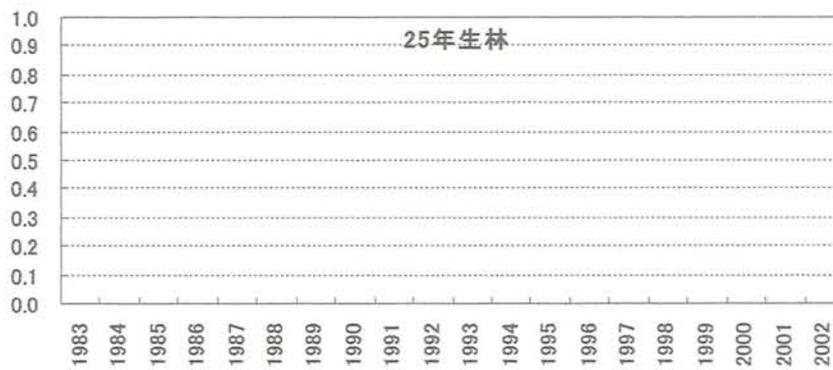
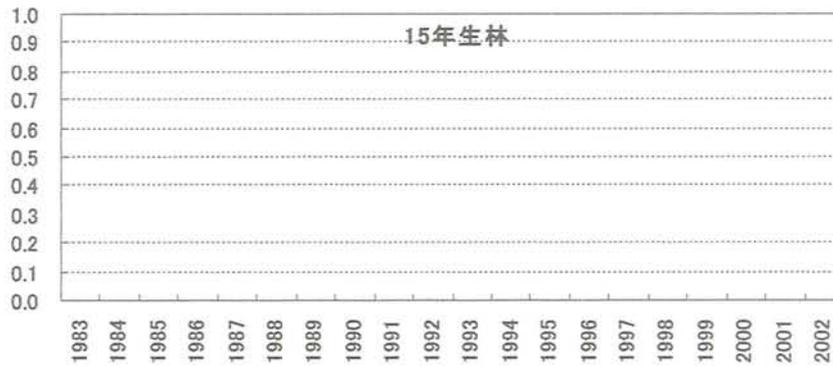


図 5-34 シラビソ人工林におけるショウゲンジ子実体バイオマスの林分別年次変動
 図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

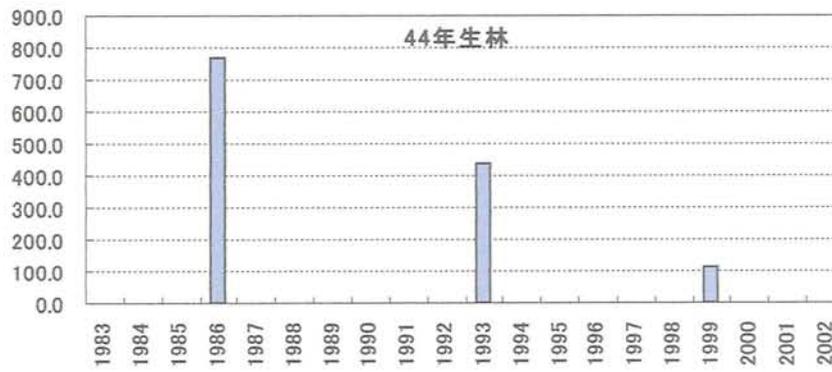
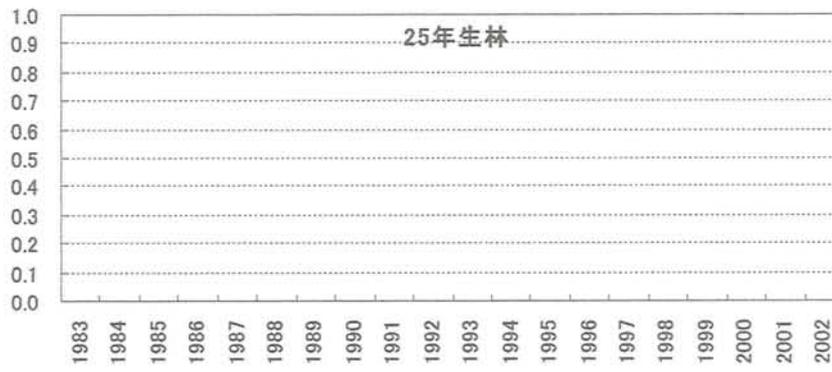
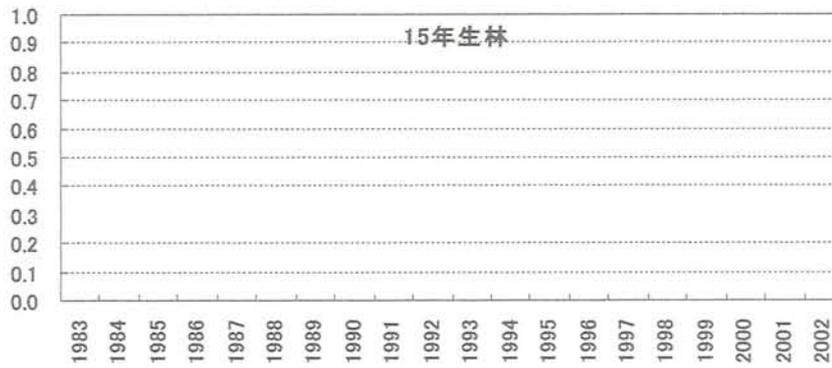


図 5-35 シラビソ人工林におけるウラグロニガイグチ子実体バイオマスの林分別年次変動
図の横軸は調査年，縦軸は子実体バイオマス（単位：g/ha/年）

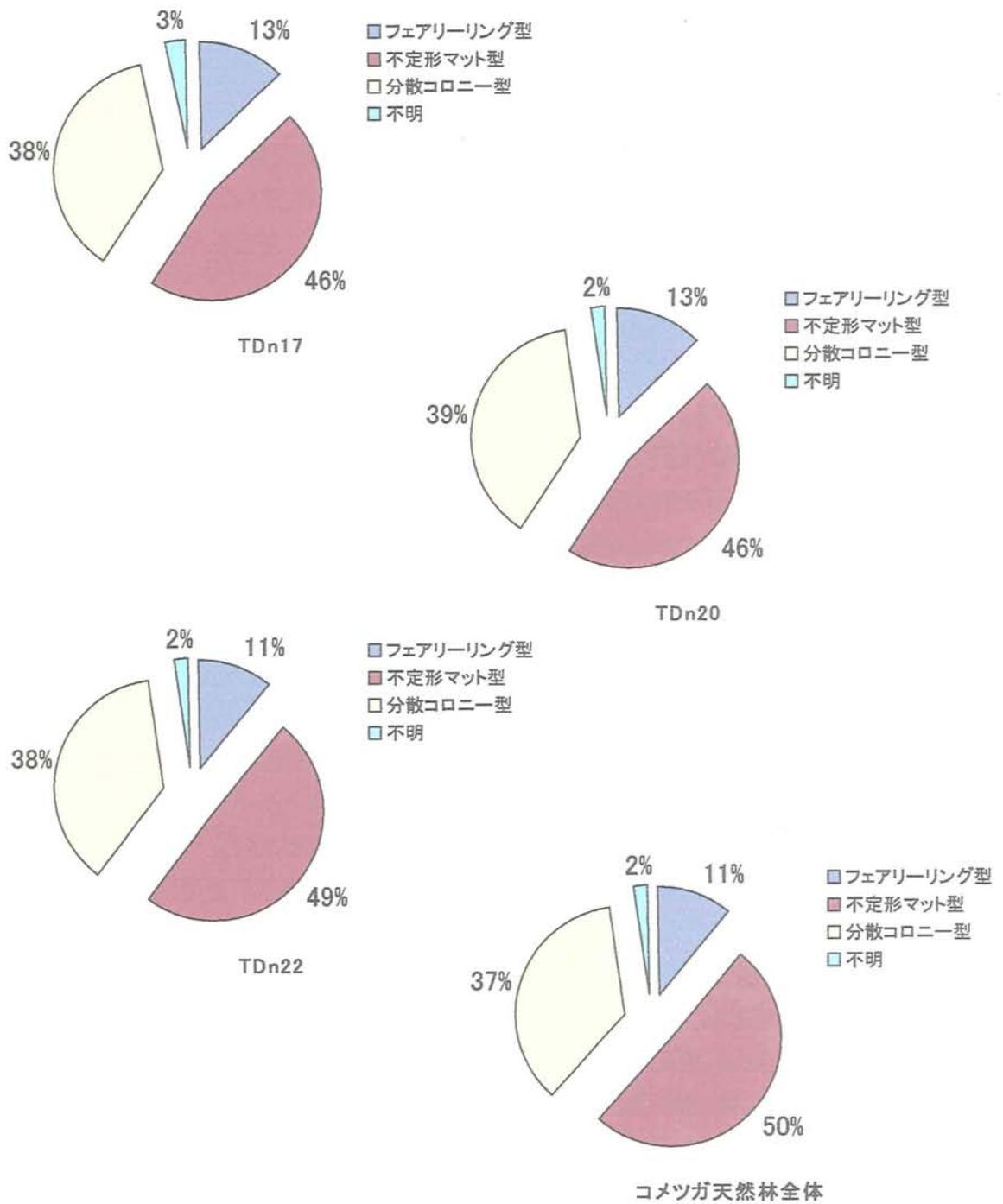


図 5-36 コメツガ天然林の外生菌根菌群集の各コロニー型比率(各コロニー型は、小川(1981)の定義による)

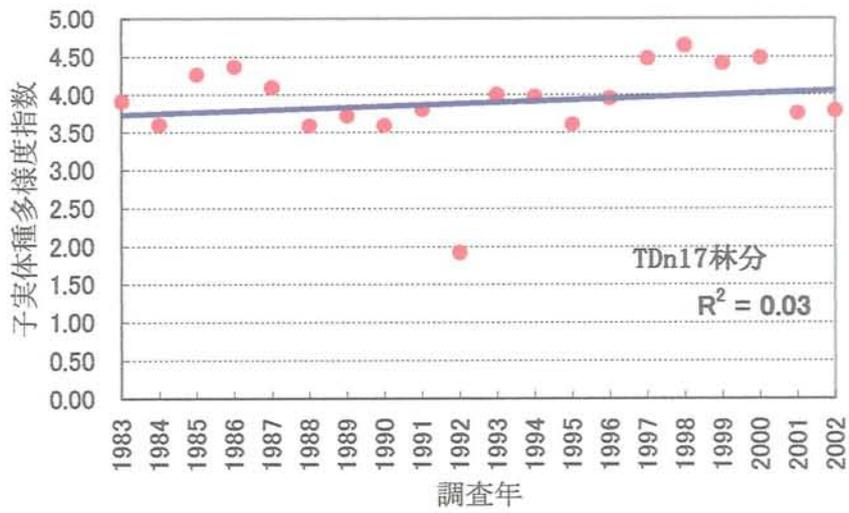


図 5-37 富上山亜高山帯のコメツガ林 (TDn17 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)

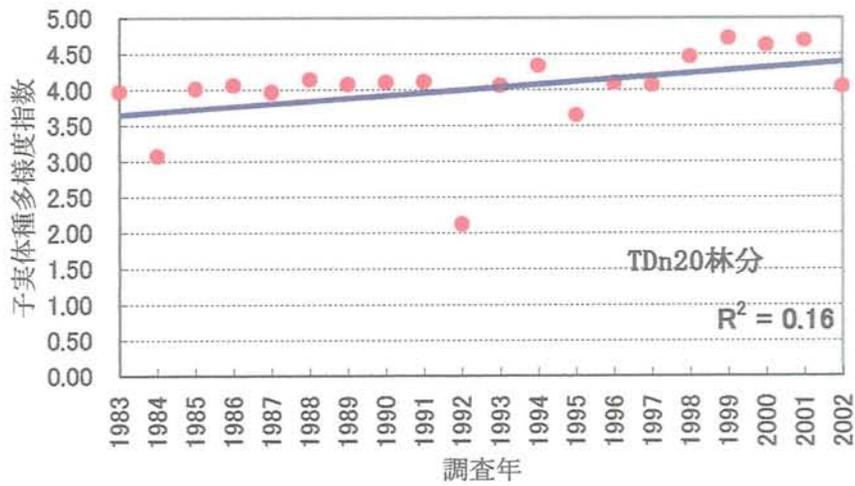


図 5-38 富士山亜高山帯のコメツガ林 (TDn20 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)

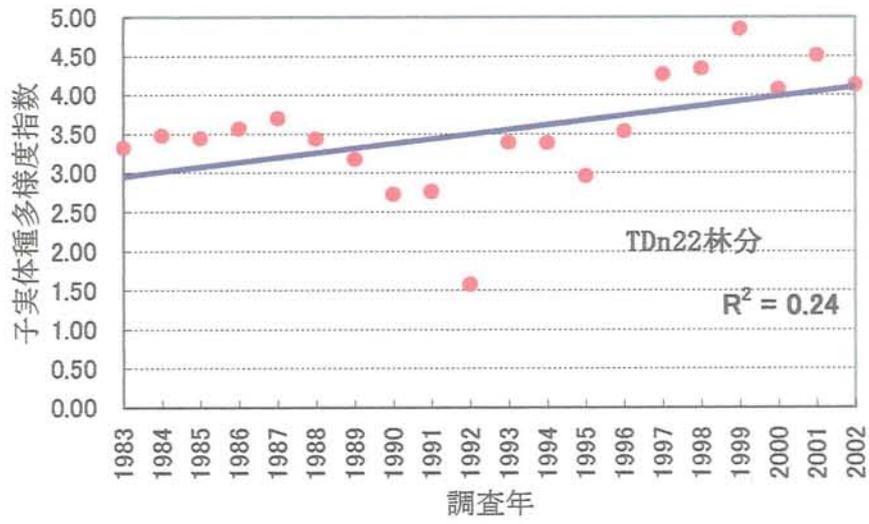


図 5-39 富士山亜高山帯のコメツガ林 (TDn22 林分) の外生菌根菌子実体種多様度指数の年次変化 (1983-2002)

第6章 考察

6.1 カラマツの外生菌根菌の動態

Bruns (1995) は、単一樹種の針葉樹人工林における外生菌根菌の種数を推定している。それによれば、0.1ha 当たり 30 種の外生菌根菌が生息する可能性があるとしている。これに対して山田 (1996) は、アカマツ林では 0.06ha 当たり少なくとも 79 種の外生菌根菌が生息することを明らかにした。もともとカラマツの外生菌根菌の種数は、アカマツなどに比べて少ない (Trappe 1962, Cairney & Chambers 1999)。Bruns や山田の報告に比べて、本研究の結果が 0.32ha で 13 種と少ないのは、子実体のみを調査の対象としたことも一因と考えられる。そのため、本研究においてはカラマツ林だけでなく、調査したすべての樹種の各林分で確認された外生菌根菌の種数は「最低限これだけの種は生息する」という基本的な立場で、以後の論議を進める。

調査した 4 林分で子実体発生が確認された外生菌根菌は、13 種であった。これらのうちキヌメリガサ、カラマツシメジ、ハナイグチ、シロヌメリイグチ、キノボリイグチおよびカラマツチチタケの 6 種は、日本ではカラマツ林の固有種として知られている (今関・本郷 1987, 1989)。実験的にはハナイグチが、ヨーロッパアカマツの実生苗にも外生菌根を形成することが Finlay (1989) によって報告されている。しかし、日本の森林ではこのような例があるかは現在のところ不明である。アミハナイグチおよびウツロベニハナイグチは、富士山亜高山帯のシラビソ天然林で子実体の発生が確認されている (柴田 1997)。さらにアミハナイグチはヨーロッパアカマツの実生苗にも外生菌根を形成することが Finlay (1989) によって報告されている。また、長澤 (1989) は、カラマツベニハナイグチがシラビソ・オオシラビソ天然林にも子実体を発生させることを紹介している。富士山亜高山帯のカラマツ林では、子実体発生が確認された外生菌根菌 13 種中の 6 種 (約 46%) が固有種 (少なくとも日本においては) であった。*Alpova* 属菌のようにハンノキ属植物の固有種といわれる外生菌根菌もある (Molina 1981) が、多くの外生菌根菌は複数種の宿主

をもつことが知られている (Trappe 1962, Cairney & Chambers 1999)。このような例からすると、カラマツ林では他の亜高山帯針葉樹林とは異なる外生菌根菌相が形成されている可能性がある。

小川 (1981) は、コロニーおよび菌糸束の形態にもとづいて大型菌類のコロニー型を大きく 3 種の型に分類している。その定義によれば、「フェアリーリング型のコロニーを形成するグループは、土壌有機物や微生物相の貧弱な鉱質土層に限られ、成林初期に侵入して定着する。老齢林では、表層土壌の有機物が多くなり次第に消滅する。」これに含まれる種は多年生のコロニー (いわゆる「シロ」) を形成する。不定形マット型のコロニーを形成するグループは、小川 (1981) の定義によれば「植物の根が高頻度に分布し、勢い良く生長する土壌層位に菌糸層を形成し、条件によってはこのタイプのコロニーを形成する種のみが独占的に存在することもある。条件が良ければフェアリーリングを形成することもある。」これに含まれる種は、多年生の菌糸マット型のコロニーを形成する。分散コロニー型に属する種は、小川 (1981) の定義によれば「広い範囲に生息可能で、競争相手に対して強い抵抗力をもつ根状菌糸束で広がる能力を有している。」この型は、最も一般的な大型菌類のコロニー型であるとされている (小川 1981, Read 1992b)。

本研究の調査地域である富士山亜高山帯のカラマツ林で子実体が発生した外生菌根菌は、小川 (1981) のコロニー型分類に従えばそのすべてが不定形マット型もしくは分散コロニー型に類別された。

異なる樹齢のカラマツ林で菌のコロニー型の占める比率の変化は、図 5-1 に示した。樹齢の低い林分では分散コロニー型の比率が高く、樹齢の高い林分では不定形マット型の比率が高くなっていることが示され、若齢林から老齢林になるのに従って外生菌根菌群集がコロニー型の面で変化していることが明らかになった。また、最も安定したコロニーを形成するフェアリーリング型が観察されなかったのは、カラマツが先駆植物の代表種のひとつであり、土壌条件をはじめとする環境条件が厳しい地域に生育することと関連していると考えられる。

土壌中のコロニー形態を種別に調査した結果から、キノボリイグチ、アミハナイ

グチ, カラマツベニハナイグチ, ウツロベニハナイグチは不定形マット型に含まれ, 分散コロニー型には, ワカフサタケ, ワカフサタケ属菌, キツネタケ, キヌメリガサ, オトメノカサ, ハナイグチ, シロヌメリイグチ, カラマツシメジ, カラマツチタケが含まれることが明らかになった。これらのうち, キノボリイグチ, アミハナイグチ, カラマツベニハナイグチおよびウツロベニハナイグチの4種は, カラマツ林の樹齢が比較的高く, 幼齢林に比べると土壌も安定した状態の林分で子実体が発生することも明らかになった。これらの結果は, 種のレベルにおいても子実体発生に消長が見られる可能性を示唆している。

調査した4林分における外生菌根菌群集における子実体の種多様度指数の比較では, LK3林分の種多様度指数が他の3林分に比べて有意に小さかった。本研究の結果は, 樹齢の低い林分では菌根菌の種多様度は比較的低いという部分に関しては Dighton & Mason (1985) の仮説を支持している。一方, これ以外の3林分間の比較では, 子実体の種多様度指数に有意差はみられなかった。この結果は, Dighton et al. (1986) が示した樹冠が鬱閉するに従って菌根菌の種多様度指数が減少するという報告とは矛盾する。他方, Visser (1995) は, 樹齢が高い林分においてもそのような種多様度の減少はみられなかったと報告しており, 今回のカラマツ林での調査結果は Visser の結果を支持している。

次に, 各林分毎の子実体の種多様度指数の年次変化に関してより詳細な解析を行った。その結果, LK3 および LK12 林分では 20 年の調査期間中に子実体の種多様度指数が急速に増加した。樹齢の低い林分における外生菌根菌の種多様度が増加または変化することは, 子実体発生や外生菌根形態識別調査に基づく研究例 (Dighton & Mason 1985, Visser 1995, Hashimoto & Hyakumachi 2000) で知られており, 本研究の結果もこれらを支持している。一方で, LK43 および LK100 林分における 20 年間の調査では子実体の種多様度指数の大きな増減はみられなかった。これらの2林分で 1992 年に種多様度指数が一時的に減少しているのは, この年の気象条件 (9月上旬の極端な小雨) によるものと考えられる (図 3-3 参照)。富士山のカラマツ林においては, 「外生菌根菌子実体の種多様度指数は森林の樹木の生長とともに

増加し、その後樹冠が鬱閉するに従って減少に転ずる」という Dighton & Mason (1985) の仮説や Dighton et al. (1986) の報告には一致しなかった。今回の調査結果はこれらの仮説や報告よりも、一度増加した外生菌根菌の種多様度指数には増加もしくは減少などの変化はみられなかったという Visser (1995) の調査結果に近かった。

LK3 林分は雪崩跡地に自然成立した二次林であり、LK12 林分は人工林である。その土壌条件は、前者が粗粒火山噴出物未熟土壌、後者が褐色森林土壌である。森林の生い立ちおよび土壌環境が異なるにも係わらず子実体の種多様度指数はいずれの林分でも明らかに増加した。また、LK43 林分と LK100 林分との間では、森林の生い立ちおよび土壌環境が異なるにも係わらず子実体の種多様度指数には大きな増減が認められなかった。Termorshuizen (1991), Keizer & Arnolds (1994) が結論づけたような土壌条件の違いが菌根菌の種多様度に影響するという報告と今回の富士山カラマツ林での調査結果は一致しない。これらのことから、少なくとも富士山亜高山帯のカラマツ林においては、カラマツの樹齢が外生菌根菌子実体の種多様度指数の変化に影響を与える大きな要因のひとつであると考えられる。

調査したカラマツ林 4 林分の子実体バイオマス（子実体の総乾燥重量）を比較した。その結果、LK43 林分と LK100 林分との間には子実体バイオマスに有意差は認められなかった。一方、LK3 林分および LK12 林分は、それぞれ他の 3 林分とは子実体バイオマスが異なった。さらに子実体種多様度指数と子実体バイオマスの相関を林分ごとに分析したところ、もっとも樹齢の若い LK3 林分では、子実体種多様度指数が増加すると子実体バイオマスも増加することが明らかとなった。しかし、これ以外の 3 林分では多様度指数とバイオマスとの間に相関は認められず、富士山亜高山帯の樹齢の高いカラマツ林では、子実体種多様度指数と子実体バイオマスをそれぞれ独立した指標として扱えることが示された。

樹齢の高い林分（LK43 および LK100 林分）では、子実体の種多様度指数の変動幅よりも子実体バイオマスの変動の幅が大きい年もみられた。その原因の一つとして各年毎の降水量や気温などの気候要素が異なっていたことが考えられる。

Arnolds (1995) や岡部 (1997) が紹介しているように、気候要素の影響は子実体の種多様度よりもその発生量に対して直接的に現れたのであろう。これまで行われてきた子実体発生を指標とした多くの研究例は、調査期間が短いものが多く (Vogt et al. 1992), 調査結果の変動が気候要素の変化に起因するのか、それ以外の原因によって変化したのかが明確でない場合もあった。Arnolds (1995) や Watling (1995) が述べているように、気象条件やその他の環境要因の影響を極力排除するためには、長期間の調査が必要である。その点において本研究のように長期間の調査で得られた結果では、少なくとも年毎の気候要素の変動による影響とそれに起因する結果の誤差は調査期間が短いこれまでの報告例よりは少ないと考えられる。

樹齢が子実体種多様度指数変化に影響を与える大きな要因のひとつであるという結論にもとづいて、富士山亜高山帯のカラマツ林で子実体が発生する 13 種の外生菌根菌群集の中に子実体発生消長の系列が存在するのかについて検討を加えた。本論文の第 2 章研究史でも紹介したように、菌類、特に外生菌根菌の生態に関しては様々な議論がある。本研究では 20 年間にわたる子実体発生消長の調査および小川 (1981) によって示された大型菌類のコロニー型を調査した結果にもとづいて論議を進める。

少なくとも富士山亜高山帯のカラマツ林においては、土壌型および海拔高度の差が子実体発生の種多様度全体に与える影響は、カラマツ樹齢の違いに比べて小さいことがこれまでの論議で明らかとなった。そこで、種別の子実体バイオマスの年次変動調査の結果 (図 5-6~図 5-18) にもとづいて、外生菌根菌群集を 4 グループに分けた。それぞれのグループの特性は次に示すとおりである。

第 1 グループ：比較的樹齢の低い林分で子実体発生量が多く、樹齢が高くなるに従って子実体発生量が減少する種により構成される群。

第 2 グループ：様々な樹齢の林分で子実体発生が確認されたが、樹齢の高い林分では、子実体バイオマスが年によって大きく変動した種によって構成される群。

第 3 グループ：様々な樹齢の林分で子実体発生が確認された種により構成される群。

第 4 グループ：比較的樹齢の高い林分で子実体発生量が多いが樹齢の低い林分では

子実体の発生がほとんどあるいはまったく見られない種により構成される群。

第1グループに含まれる菌は、子実体発生動態からワカフサタケ、ワカフサタケ属菌の2種であると考えられる。以後はこのグループを[K-1群]と呼ぶ。同様に、子実体発生動態から、第2グループにはカラマツチチタケ、カラマツシメジおよびキツネタケの3種が含まれ、以後はこのグループを[K-2群]と呼ぶ。第3グループにはキノメリガサ、ハナイグチ、シロヌメリイグチおよびオトメノカサの4種が含まれ、以後はこのグループを[K-3群]と呼ぶ。第4グループにはアミハナイグチ、キノボリイグチ、ウツロベニハナイグチおよびカラマツベニハナイグチの4種が含まれ、以後はこのグループを[K-4群]と呼ぶ。

13種の中で[K-1群]に含まれるワカフサタケ、ワカフサタケ属菌の2種は、宿主となる樹種の範囲が広い外生菌根菌として知られている (Trappe 1962, 今関・本郷 1987, Marmesse et al. 1999)。これら2種は、Deacon & Fleming (1992) がワカフサタケ属の菌について述べているように典型的な攪乱依存型の菌であると考えられる。これに対して[K-4群]に含まれるウツロベニハナイグチ、アミハナイグチ、カラマツベニハナイグチおよびキノボリイグチの4種は、子実体発生の樹齢を考えると、[K-1群]の対極の位置づけにあると考えられる。

山田 (1996) はアカマツ林の外生菌根菌群集構造を解析し、この群集に属する外生菌根菌がこれまで考えられていたような early-stage (初期相) および late-stage (後期相) という2つのグループに単純には分けられないことを示した。富士山亜高山帯のカラマツ林における長期の観察からも同様の結果が得られた。カラマツチチタケを初めとする[K-2群]およびキノメリガサを初めとする[K-3群]の菌は、幅広い樹齢の林分で子実体が発生した。

さらに山田 (1996) は、攪乱に対する反応性の違いからアカマツの外生菌根菌を実験的手法により3グループに分けている。それらは(1)攪乱に弱いグループ、(2)攪乱の影響が少ないグループ、(3)攪乱に依存的なグループであり、それぞれをGrime (1974) の生活史戦略型の競争型、競争的攪乱依存型、攪乱依存型に該当させている。さらに、攪乱地に伸長したアカマツの根系上では、攪乱に依存的なグル

ープおよび攪乱の影響が少ないグループの菌が初めに菌根を形成し、その後種の多様度が保たれたまま攪乱の影響が少ないグループおよび攪乱に弱いグループの菌群へと移行していくと推測している。この研究は、すでに多様な種からなる外生菌根菌群が形成されていることがうかがえる約 45 年生のアカマツ林で行われた。成木が構成要員となっている林分に同種の樹木の苗を移植すると、後期相菌類が苗にも感染するという Fleming (1983) の報告にもあるように、山田の結果からは樹齢の変化に伴う外生菌根菌相の変化を知ることは困難である。

一方、カラマツの樹齢変化と子実体バイオマスの変化を調査した本研究においては、子実体発生の変遷を証明する結果が得られた。また、山田 (1996) の示した攪乱依存型の菌群には本研究の[K-1 群]が相当し、攪乱に弱い菌群に相当するのは[K-4 群]が相当する。しかし、本研究においては、両者の中間的な位置を占める菌群として[K-2 群]および[K-3 群]の 2 群が認められた。この結果は、外生菌根菌群集は山田 (1996) の示した 3 区分では説明しきれない。ましてや初期相、後期相という単純な区分けで外生菌根菌群集全体をとらえようとするこれまでの研究結果は、必ずしも群集の動態を反映していないことを示している。

実生苗に始まるカラマツの成長過程の中で、樹齢 10 年に満たない林分ではまず[K-1 群]および[K-2 群]の中のキツネタケが子実体を形成する。これらの菌は、宿主範囲が広く、攪乱に依存する種であることが知られており、Mason et al. (1982) や Deacon et al. (1983) はこれらを初期相菌類としている。この時期には、カラマツシメジやカラマツチチタケに代表される[K-2 群]の菌が子実体の形成を始めることもある。しかし、この群の菌は、樹齢の高い林分でも子実体発生がみられ典型的な初期相菌類には該当しない。

樹齢 10 年前後からはこれら菌群に加えて、キヌメリガサを初めとする[K-3 群]の子実体発生が始まり、カラマツ樹齢が高くなると (今回の富士山における調査結果では樹齢 21~24 年生以上の人工林および高齢の天然林) アミハナイグチを初めとする[K-4 群]の子実体がほぼ毎年発生するようになった。

また、図 5-1 に示したように、樹齢の最も若い林分 (LK3) では、分散コロニー

型の菌の比率が 90%であったのに対して、他の林分では 64%~69%に減少した。一方、不定形マット型の菌の比率は、樹齢の最も若い林分 (LK3) では、10%であったのに対して、他の林分では 31%~36%に増加した。このようにコロニー型の調査結果も外生菌根菌群集が変化していることを間接的に示している。

これらのことから、富士山亜高山帯のカラマツ林においては外生菌根菌の子実体発生には Mason et al. (1982) や Deacon et al. (1983) のいうように樹齢変化とともにその時系列に沿った種構成の変化がみらることが明らかとなった。その動態を図 6-1 に模式的に示した。

子実体バイオマスの年次変動の傾向からカラマツ林の樹齢変化にともなう外生菌根菌子実体の発生活消長の系列は、天然林および人工林ともにほぼ同じであることが明らかとなった。Keizer & Arnolds (1994) は、外生菌根菌の子実体発生遷移に関与する要因は、樹齢以外にも森林における宿主植物の構成、森林の立地や土壌条件など多様であるとしている。本論文であつかった富士山亜高山帯カラマツ林では、海拔高度、土壌条件、森林の成立過程などが異なったにもかかわらず、ごく若い樹齢の林分に発生する群から樹齢の高い林分に発生する群までほぼ一定の順序に従って外生菌根菌群集が変化することが示された。

6.2 シラビソ・オオシラビソおよびシラビソの外生菌根菌の動態

シラビソ・オオシラビソ天然林の AVn19 および AVn21 林分は、海拔高度は異なるものの、シラビソ・オオシラビソの推定樹齢、土壌型、土壌 pH 値に差はなかった。また、両林分で子実体の種多様度指数および子実体バイオマスを比較したところ、それぞれについて両林分間に有意差は認められなかった。そして、両林分の子実体の種多様度指数は 20 年間で増加もしくは減少したという結果は得られなかった。なお、両林分ともに 1992 および 1995 年の子実体の種多様度指数が低かったのは、同年の 9 月上旬の降水量の少なさに起因すると考えられる。子実体の種多様度指数と子実体バイオマスとの相関は、両林分ともに認められた。以上の結果にもとづき、以後の論議においては、原則としてこれら 2 林分を特に区別することなくシ

ラビソ・オオシラビソ天然林としてあつかうことにする。

シラビソ・オオシラビソ天然林で子実体発生が確認された外生菌根菌は2林分あわせて59種であった。Avn19林分ではこの内の57種が、AVn21林分ではこの内の52種が確認された。両林分ともにシラビソ人工林3林分すべてで確認された種数(50種)よりも多かった。また、シラビソ人工林で発生が確認されたオオキノハダトマヤタケ (*Inocybe fastigiata* (Schaeff.) Quél.) およびツチカブリの子実体発生は、AVn19およびAVn21の両林分ともに確認されなかった。シラビソ人工林では子実体発生が確認されなかったが、AVn19およびAVn21のいずれかもしくは両方で発生が確認された種は、オオキノボリイグチ、ムラサキアブラシメジモドキ (*Cortinarius salor* Fr.), キアブラシメジ (*Cortinarius vibratilis* (Fr.) Fr.), キイロケチチタケ (*Lactarius repraesentaneus* Britz.), トビチャチチタケ (*Lactarius uvidus* (Fr.: Fr.) Fr.), コゲイロハツタケ (*Russula adusta* (Pers.: Fr.) Fr.), チシオハツ, ハエトリシメジ (*Tricholoma muscarium* Kawamura: Hongo), マツタケモドキ (*Tricholoma robustum* (Alb. Et Schw.: Fr.) Ricken) およびアケボノアワタケ (*Tylopilus chromapes* (Frost) A. H. Smith et Thies) の10種であった。

AVn19およびAVn21の両林分で子実体発生が確認された59種の外生菌根菌のコロニー型(小川1981)は、フェアリーリング型が8種(13%), 不定形マット型が18種(31%), 分散コロニー型が32種(54%), コロニー型不明(オオキノボリイグチ)が1種(2%)であった(図5-19)。オオキノボリイグチの子実体発生位置は、倒木上であったため、地中のコロニーの状態を確認することができなかった。シラビソ人工林との共通種のコロニー型は、人工林とは独立して調査を実施したシラビソ・オオシラビソ天然林においても同様の型であることが確認された。シラビソ・オオシラビソ天然林の外生菌根菌の生活型比率は、人工林のなかでもAV44林分(フェアリーリング型15%, 不定形マット型31%, 分散コロニー型54%)の比率(図5-19および図5-22)とほぼ一致した。

小川(1981)はフェアリーリング型のコロニーを形成するグループは、表層土壌の有機物が多くなった老齢林では次第に消滅すると述べている。また、Dighton &

Mason (1985) は、森林を構成する樹木が生長し、樹冠が鬱閉するに従って外生菌根菌群集の種多様度も減少するという模式図を示している。しかし、少なくとも富士山亜高山帯のシラビソ・オオシラビソ天然林 (AVn19 および AVn21 林分) における 20 年間の調査では、気候要素の極端な変動に伴う子実体の種多様度指数の減少 (例えば 1992, 1995 年など) を除いて、小川 (1981) が述べたようなコロニーの消滅も Dighton & Mason (1985) の示したような樹冠が鬱閉にともなう外生菌根菌群集の種多様度指数の減少もみられなかった (図 5-20, 図 5-21)。小川 (1977b) は、富士山亜高山帯コメツガ林でみられるマツタケのシロとその周辺環境に言及し、この地域の針葉樹林土壌は他の地域に比べて貧栄養であると述べている。樹齢 200 年以上のコメツガ林においても土壌は貧栄養であるという小川の意見に従えば、植生遷移系列上でコメツガの前生樹種であるシラビソ・オオシラビソ林の土壌もまた貧栄養であることが考えられる。富士山亜高山帯の樹齢の高いシラビソ人工林やシラビソ・オオシラビソ天然林で外生菌根菌群集の子実体種多様度の減少が確認されないのは低温などの気象条件により有機物分解が遅く、土壌の貧栄養状態が長期間継続しているためと考えられる。

シラビソ・オオシラビソ天然林の調査によって得られた今回の結果は、Visser (1995) によって報告された樹齢が高い林分においても外生菌根菌の種多様度には変化がみられなかったという結果を支持している。子実体の種多様度指数と全子実体バイオマスにも相関がみられ、外生菌根菌全体の子実体発生を指標とする限りでは、富士山亜高山帯のシラビソ・オオシラビソ天然林の外生菌根菌群集全体としては、気候要素の大きな変動など外部環境の極端な変化の影響を受けた場合を除けばカラマツ林や樹齢の低いシラビソ人工林 (後述) に比べて変化が少ないと考えられる。

気候要素の変動に影響された種は、ベニテングタケ、アシベニイグチ、ツバアブラシメジ、ツチカブリ、ショウゲンジ、チシオハツ、ネズミシメジおよびベニタケ属菌 No.2 の 8 種であり、これらは 5—10 月の推定有効積算気温もしくは 5—10 月の積算降水量の変動と相関が認められた。

シラビソ人工林 3 林分で子実体発生が確認された外生菌根菌の種数は、11 科 19 属 50 種であった。この種数は、カラマツ林の 13 種と比べると非常に多く、シラビソ人工林では、より複雑な外生菌根菌群集の存在が予測される。シラビソ同様に日本固有種であり、同じ *Abies* 属でもあるモミ林の外生菌根菌に関してはいくつかの報告がある。根田 (1996) が、海拔 170~200m の東京大学千葉演習林内のモミ人工林 (23 年生) および天然林 (約 100 年生) のそれぞれ 20 m² を 11 ヶ月間調査した結果では、子実体発生が確認された外生菌根菌は両林分あわせて 30 種であった。愛知県北設楽郡の海拔 680m 付近のモミ (樹齢不明) が優占する二次林の 300 m² で、3 年間にわたり松田 (1999) が子実体発生を調査した結果では 13 属 39 種が確認されている。本研究により確認された 50 種は、これら二つの報告よりも明らかに多い種数であった。シラビソとモミという異なる樹種であり、調査面積も異なるため、子実体発生種の種数の差を単純に比較することはできないものの、この結果の差は Worrall (1999) の示したように、子実体発生調査における長期継続調査のもつ優位性の一面を現しているといえる。

シラビソ人工林で子実体発生が確認された 50 種の外生菌根菌を小川 (1981) のコロニー型にもとづいて分類すると、フェアリーリング型に属する種がアンズタケ、シモフリシメジ (*Tricholoma portentosum* (Fr.) Quél.), ホウキタケなど 7 種、不定形マット型に属する種がアミハナイグチ、ニオイハリタケモドキ、ショウゲンジ、ミネシメジ (*Tricholoma saponaceum* (Fr.) Kummer) など 16 種、分散コロニー型に属する種がキツネタケ、タマゴタケ、シロハツ、シモフリヌメリガサ (*Hygrophorus hypothejus* (Fr.: Fr.) Fr.) など 27 種であった。これらのコロニー型の比率を林分別に比較すると図 5-20 に示すとおりになった。シラビソ人工林では、カラマツ林では見られなかったフェアリーリング型の菌が確認され、最も樹齢の高い林分でその比率が他の林分に比べて増加した。これと反対に分散コロニー型の菌の比率は減少した。不定形マット型の菌の比率は大きく変化することはなかった。

カラマツ林とシラビソ林の間でこのような差がみられる理由のひとつとして、カラマツは先駆植物であること (斎藤 1971) が考えられる。富士山では、カラマツが

時間の経過とともにシラビソ、コメツガへと遷移していくことが知られており (Nakamura 1992)、植生の遷移がそこに生息する外生菌根菌の種構成に影響をあたえ、そのコロニー型にも影響を与えていることが考えられる。

調査した 3 林分における外生菌根菌の子実体種多様度指数の比較では、AV15 林分の種多様度指数が AV25 および AV44 の 2 林分に比べて有意に小さかった。樹齢の低い林分で子実体種多様度指数が低くなるのは、カラマツ天然林および人工林でも確認されている。カラマツ林での結果と同様に、富士山亜高山帯のシラビソ人工林においても、樹齢の低い林分では外生菌根菌の種多様度指数は比較的低いという部分に関しては Dighton & Mason (1985) の説は支持されている。しかし、樹齢が高くなるとともに樹冠が鬱閉し外生菌根菌子実体の種多様度が減少するという Dighton et al. (1986) の報告や、樹齢が高い林分でも菌根菌の種多様度は変化しないという Visser (1995) の報告と本論文の結果との異同は、林分毎の種多様度指数の単純な比較では結論を得られなかった。

そこで、各林分毎の子実体種多様度指数の年次変化を分析した。その結果、AV15 および AV25 林分では 20 年間の調査期間中に子実体の種多様度指数が増加したことが明らかとなった。特に AV15 林分における増加は急速であった。一方、AV44 林分では、20 年間を通した傾向を見る限り、子実体種多様度指数の明確な増減はみられなかった。カラマツ林 (LK43 および LK100 林分) でもみられたように、1992 年に AV44 林分でも子実体種多様度指数が大きく落ち込んでいるのは、この年の気象条件 (9 月上旬の極端な小雨) に起因すると考えられる (図 3-3 参照)。

富士山亜高山帯のシラビソ人工林においては、カラマツ林で確認されたのと同様に樹木の生長とともに外生菌根菌子実体の種多様度は増加し、その後はほぼ変動することなく経過した。シラビソ人工林での子実体発生動態の解析結果はカラマツ林でのそれと同様に、Visser (1995) の結果すなわち「外生菌根菌の種多様度は樹齢の低い林分では樹木の生長とともに増加するが、樹齢の高い林分では種の多様度自体は大きく変化しなかった」という内容を支持している。さらに、富士山のシラビソ人工林においては、外生菌根菌子実体の種多様度に影響を与える要因として樹齢

が大きな位置を占めることが明らかとなった。

シラビソ人工林に発生した外生菌根菌の総子実体バイオマスを比較した。AV15 林分と AV44 林分の間では総子実体バイオマスに有意差があった。これは、両林分間の子実体発生種の種多様度指数にみられる有意差と良く対応していた。他方、AV15 林分と AV25 林分、AV25 林分と AV44 林分の間では子実体バイオマスに差はみられなかった。次に、各林分ごとに子実体種多様度指数と子実体バイオマスとの間の相関を分析した。その結果、3 林分のいずれも両者の間に相関が認められ、種多様度指数が増加すると子実体バイオマスも増加することが明らかになった。シラビソ林におけるこのような相関は、カラマツ林では樹齢の低い LK3 林分を除いては認められず、シラビソ林とカラマツ林における外生菌根菌子実体の発生動態の違いを示している。

富士山亜高山帯のシラビソ人工林においてはカラマツ林と同様に、樹齢が子実体種多様度指数の変化に影響を与える要因のひとつであるという結論にもとづいて、その樹齢変化にともなう子実体発生の変遷について考察した。AV15、AV25 および AV44 林分の樹齢と子実体発生の有無にもとづいて、これら 3 林分で子実体が発生した外生菌根菌 50 種を対象に階層的クラスタ分析を実施した結果、これらの菌は 5 グループに分けられた (表 5-16 および図 5-26)。さらにそれらのグループ中の 1 種もしくは 2 種について、調査した 3 林分での子実体バイオマスの年次変動をグラフ化した (図 5-27~図 5-35)。これら二つの結果は良く一致し、それにもとづく各グループの特徴は以下ようになった。

第 1 グループの菌は、樹齢の低い林分で子実体発生が多く、樹齢の高い林分ではそれが減少もしくは見られなくなった種により構成される。キツネタケなど 5 種がこの群に属し、いずれも樹齢の低い林分 (AV15 および AV25) で子実体バイオマスが高かった。しかし、樹齢の高い林分 (AV44) では子実体が発生しないか、そのバイオマスは減少した。以後はこのグループを[S-1 群]と呼ぶ。

第 2 グループの菌は、様々な樹齢の林分で子実体発生が確認された種により構成される。クロカワ、アカモミタケなど 6 種がこの群に属し、すべての樹齢の林分で

子実体が発生し、林分内での子実体バイオマスもほぼ安定していた。以後はこのグループを[S-2群]と呼ぶ。

第3グループの菌は、樹齢が若い林分では発生がみられないか極わずかであるが、樹齢が高くなるに従って子実体が発生し始め、その後も安定して子実体が発生する種により構成される。タマゴタケ、ニオイハリタケモドキなど11種がこの群に属し、樹齢が20年前後の林分から子実体発生がみられるようになり、樹齢が高くなっても子実体バイオマスは毎年ほぼ安定している。以後はこのグループを[S-3群]と呼ぶ。

第4グループの菌は、樹齢の低い林分では子実体の発生が少なく、樹齢の高い林分では子実体発生が多い群で、調査期間中の子実体バイオマスの変動が大きかった種により構成される。この群にはフジウスタケ、アイシメジなど14種が属していた。以後はこのグループを[S-4群]と呼ぶ。

第5グループの菌は、樹齢の低い林分では子実体の発生がほとんど確認されないかまたは子実体バイオマスが小さく、樹齢が高い林分では散発的(20年の内3年以下)に子実体発生が確認された種により構成される。この群にはショウゲンジ、ウラグロニガイグチなど14種が属していた。この群に属する外生菌根菌の子実体発生は、AV25林分の調査の後半期間およびAVn44林分に限られていた。また、子実体バイオマスが高くなる時期も特定できなかった。以後はこのグループを[S-5群]と呼ぶ。

樹齢と子実体発生との関係を示すクラスター分析の結果および樹齢と子実体バイオマス変動の調査結果から、シラビソ人工林の樹齢変化にともなう外生菌根菌の子実体遷移の系列を表6-1および図6-2に示す。若齢林に形成された[S-1群]および[S-2群]を中心とする外生菌根菌群集に、シラビソ樹齢が高くなるに従って[S-3群]が加わる。さらに子実体バイオマスは変動する場合もあるものの[S-4群]がこれらに加わる。一方、[S-1群]の子実体バイオマスは樹齢が高くなると著しく減少し、これに代わって、[S-5群]の子実体が散発的に発生するようになった。

富士山亜高山帯のシラビソ人工林においては、Mason et al. (1982) や Deacon et

al. (1983) の初期相菌類に該当する外生菌根菌は、子実体が発生した 50 種のうちキツネタケ 1 種のみであった。これは富士山亜高山帯のカラマツ林に比べて極端に少なかった。AV15 および AV25 林分において種多様度指数に増加傾向が認められたことから、これら林分では樹齢の変化とともに子実体の種数も増加していることが示されている。

また、調査した 3 林分における外生菌根菌のコロニー型の比率の変化 (図 5-22) もシラビソ人工林の外生菌根菌群集が変化していることを示している。すなわち、最も樹齢の低い AV15 林分では分散コロニー型が 64%、不定形マット型が 27%、フェアリーリング型が 9%であったのに対して、最も樹齢の高い AV44 林分ではそれぞれの比率が 54%、31%、15%となり、分散コロニー型比率の減少と不定形マットおよびフェアリーリング型比率の増加がみられた。

これらの結果から、シラビソ人工林においてもカラマツ林と同様に外生菌根菌の子実体発生に消長が存在することが確認された。しかし、カラマツ林ではその外生菌根菌子実体発生の消長が種単位で示されたのに対して、シラビソ人工林では樹齢変化にともなう外生菌根菌群の変遷は、種単位では明瞭に示せなかった。その原因としては、カラマツ林とシラビソ人工林の外生菌根菌の種数の差が考えられる。このように、樹齢、海拔高度、土壌型などの環境条件にほとんど差がないシラビソ人工林 (AV15, AV25, AV44) とカラマツ人工林 (LK12, LK43) における外生菌根菌群集の種構成およびコロニー型の変遷経過には違いが認められた。Mason et al. (1982) や Deacon et al. (1983) の初期相菌類に関する考察は、カンバ属の苗木の外生菌根菌の子実体発生に関する観察結果から導き出されている。彼らの使用したカンバ属植物や本論文でとりあげたカラマツは、攪乱地に植生遷移の初期段階に侵入する先駆植物として知られている (斎藤 1971 など)。一方で、シラビソは富士山亜高山帯針葉樹林においては、植生遷移の途中に林分を形成する種として知られている (Nakamura 1992)。植生遷移系列におけるカラマツとシラビソの生態的特性の違いが、それらと共生関係にある外生菌根菌のコロニー型をはじめとする生態に影響を与えていると考えられる。

カラマツ林とシラビソ・オオシラビソ天然林およびシラビソ人工林との共通種は、キツネタケおよびアミハナイグチの2種であった。キツネタケは、宿主植物の範囲が広く様々な樹種の林分で発生が確認されている (Trappe 1962 ほか)。アミハナイグチは、一般にはカラマツ属の林分の固有種と考えられてきた。しかし、アミハナイグチが実験的にカラマツ以外の樹種に外生菌根を形成し、リンおよび炭素源の植物間の授受に関与することは (Finlay 1989) によって報告されている。本研究において、カラマツ林の外生菌根菌子実体の発生消長では、アミハナイグチは後期に子実体が発生することが示されている。一方、シラビソは、富士山亜高山帯針葉樹の遷移系列中ではカラマツの次に林分を形成する樹種とされており (Nakamura 1992)、アミハナイグチの子実体発生が確認されたカラマツ林は、外生菌根菌相に関してはシラビソ林への移行のための準備が整った段階にあると推測できる。

富士山亜高山帯のカラマツ林においては樹齢の高い人工林および天然林の間で、外生菌根菌群集の子実体構成は同じであった。しかし、最も樹齢の高い人工林である AV44 林分とシラビソ・オオシラビソ天然林では発生する子実体の種構成は異なっていた。AV44 林分では子実体発生が確認されているが、天然林 (Avn19 および AVn21 林分) 2 林分の内の少なくとも 1 林分で子実体が発生しなかった種は、クダアカゲシメジ、タマゴテングタケモドキ、ウラベニイロガワリ、ヤマドリタケモドキ、ドクヤマドリ、オオキノハダトマヤタケ、アオゾメツチカブリおよびウラグロニガイグチの 8 種であった。これとは逆に、天然林 (Avn19 および AVn21 林分) 2 林分の内の少なくとも 1 林分で子実体発生が確認され、AV44 林分では子実体発生が確認されなかった種は、マツタケモドキ、キアブラシメジ、ハエトリシメジ、ムラサキアブラシメジモドキ、キツネタケ、キイロケチチタケ、トビチャチチタケ、コゲイロハツタケ、チシオハツ、アケボノアワタケおよびオオキノボリイグチの 11 種である。カラマツ林では約 40 年生以降の林分では 100 年生以上と推定される天然林との間で外生菌根菌の子実体種構成には差がみられなくなったのに対して、約 40 年生以降のシラビソ人工林と 120 年生以上と推定されるシラビソ・オオシラビソ天然林の間には子実体の種構成に差がみられた。富士山亜高山帯のシラビソ林

もしくはシラビソ・オオシラビソ林では、松田（1999）が同属のモミ林の外生菌根菌群集の研究のなかで述べているように、外生菌根菌群集全体としては最終的に安定した群集構造へと移行していく可能性はある。しかし、本研究の結果からは、群集を構成する個別の種は、樹齢変化や気象的要因をはじめとする様々な環境要因の影響を受けて変化し続けている可能性が考えられる。

以上の結果から、富士山亜高山帯のシラビソ人工林、シラビソ・オオシラビソ天然林においては、子実体発生が長期間継続する外生菌根菌群集が形成される一方で、子実体発生において種交代を繰り返す外生菌根菌群集もあわせて存在していることが考えられる。すなわち富士山亜高山帯のシラビソ人工林、シラビソ・オオシラビソ天然林の外生菌根菌群集においては、一部の種が交代しながら、群集全体としては安定的な共存が保たれており、群集は動的安定性（巖佐ら 2003）を満たしていることが推測できる。

Ogawa（1977a）も長野県志賀高原のダケカンバ・オオシラビソ林では菌糸束を形成する大型菌類がコメツガ林に比べて多かったと報告している。生存戦略上の競争力が高いといわれる菌糸束を形成する外生菌根菌（小川 1981, Newton 1992）が富士山亜高山帯および志賀高原で同じように多いことから、シラビソ・オオシラビソを中心とする亜高山帯の森林では、外生菌根菌群集内において競争にもとづく種の交代が比較的高頻度で起こる可能性を示している。Widden（1997）は、環境の変化が菌類の種間競争関係に大きな影響を与えると述べている。Widden（1997）の言うように環境の大きな変化がなければ、一般的には時間の経過とともに外生菌根菌群集全体はより安定した菌根菌群集へと移行していくことが予測される。しかし、少なくとも富士山亜高山帯のシラビソ・オオシラビソ林においては、特に目立つ環境の変化がない場合でも、移行過程の途中では外生菌根菌群集の構成種は、その一部が交代するという可能性が常に内包されていると考えられる。

6.3 コメツガの外生菌根菌の動態

Nakamura（1992）は、尾根地形の溶岩基質地域のコメツガ林ではその後の遷移が

みられないのに対して、谷地形ではスコリア層が堆積し、コメツガ林から第2シラビソ林への遷移が観察されると報告している。本研究で設定した調査地のうち TD n 17 および TD n 20 林分は尾根地形の溶岩基質地帯にあり、TD n 22 林分は谷地形のスコリア基質地域にある。また、それぞれの林分の海拔高度は異なったが、コメツガ樹齢、土壌型、土壌 pH 値には差がなかった。

コメツガ各林分ごとの子実体の種多様度指数および子実体バイオマス（子実体乾燥重）をそれぞれ比較すると有意差は認められなかった。各林分ごとの子実体の種多様度指数は 20 年間に増加もしくは減少したという結果は得られなかった。3 林分ともに 1992 年の子実体の種多様度指数が低かったのは、同年の 9 月上旬の降水量の少なさに起因すると考えられる。子実体の種多様度指数と子実体バイオマスの相関は、TD n 17 林分のみでみられ、他の 2 林分では両者間の相関は認められなかった。

以上のように多くの項目で 3 林分間に有意差が認められなかったことから、本研究でとりあげたコメツガ天然林 3 林分の環境条件および外生菌根菌の子実体発生動態は、ほぼ同じと考えられる。そこで、以下の論議においては原則としてこれら 3 林分をコメツガ天然林として一括して扱う。

富士山亜高山帯のコメツガ天然林で子実体発生が確認された外生菌根菌は 3 林分あわせて 45 種 1 変種であった。子実体が採集された種が最も多かったのは TD n 22 林分でフキサクラシメジ (*Hygrophorus pudorinus* (Fr.) Fr.) を除く 44 種 1 変種の子実体が発生した。反対に最も少なかったのは TD n 17 林分でウツロベニハナイグチ、アンズタケ属菌 No.4 (*Cantharellus* sp. No.4), ジンガサドクフウセンタケ、フウセンタケ属菌 No.13 (*Cortinarius* sp. No.13), ササタケ属菌 No.1 (*Dermocybe* sp. No.1), オウギタケ (*Gomphidius roseus* (Fr.) Karst.) およびチシオハツの 7 種を除く 38 種 1 変種の子実体発生が確認された。TD n 20 林分ではアンズタケ属菌 No.14, フウセンタケ属菌 No.13, ササタケ属菌 No.1, フキサクラシメジおよびベニタケ属菌 No.2 の 5 種を除く 40 種 1 変種の子実体発生が確認された。

コメツガ天然林全体で子実体発生が確認された 45 種 1 変種の外生菌根菌のコロ

ニー型は、フェアリーリング型が5種(11%)、不定形マット型が23種(50%)、分散コロニー型が17種(37%)、コロニー型不明(オオキノボリイグチ)が1種(2%)であった(図 5-36)。この結果は、カラマツ天然林で子実体発生が確認された外生菌根菌11種の生活型(フェアリーリング型が0種(0%)、不定形マット型が6種(55%)、分散コロニー型が5種(45%))とは異なっていた。富士山亜高山帯の針葉樹林における植生遷移系列のなかで代表的な先駆植物(斎藤 1971)として位置づけられるカラマツと、極相林を形づくる樹種のひとつとして位置づけられる(Nakamura 1992)コメツガとの間では共生関係にある外生菌根菌群集にも違いがみられることは明らかである。

また、コメツガ天然林での結果をシラビソ・オオシラビソ天然林での結果と比較すると、フェアリーリング型とコロニー型不明種の比率には大きな差はみられなかった。これとは対照的に、シラビソ・オオシラビソ天然林では不定形マット型の占める比率が31%(18種)、分散コロニー型の占める比率が54%(32種)であり、コメツガ天然林でそれぞれの生活型の種が占める比率(不定形マット型が23種:50%、分散コロニー型が17種:37%)とは逆転していた(図 6-3)。この比率の違いからコメツガ天然林とシラビソ・オオシラビソ天然林の外生菌根菌群集の間にも違いがあることが考えられる。

子実体バイオマスの年ごとの変動を解析した結果、ドクツルタケ、アミハナイグチ、シモフリヌメリガサ、キチチタケ、キホウキタケ(*Ramaria flava* (Fr.) Quél.), ワタゲヌメリイグチ(*Suillus tomentosus* (Kauff.) Singer, Snell et Dick) およびシモフリシメジの7種の菌の子実体バイオマスの変動は、少なくとも2つ以上の林分で5-10月の推定有効積算気温、積算降水量または9月上旬の積算降水量のいずれかと相関が認められ、気候要素の変動が子実体バイオマス変動に影響している可能性が大きい。

富士山、八ヶ岳、金峰山などの本州中部の亜高山帯林においてはシラビソ・オオシラビソ天然林とコメツガ天然林との間では共通種が19種確認され、カラマツ天然林とコメツガ林との間の2種に比べて共通種の割合が高いことが柴田(1997,

2000) により報告されている。一方, Ogawa (1977a) は, 長野県志賀高原の海拔 1,500-1,800m のコメツガ林およびダケカンバ・オオシラビソ林の大型菌類の子実体発生調査を行い, 菌根菌 62 種, 腐生菌 57 種を採集している。それらのなかで両林分間の共通種は 3 種のみであったと報告している。これらの既往の報告に対して, 今回の調査結果では, 富士山亜高山帯のコメツガ天然林とシラビソ・オオシラビソ天然林の共通種は 21 種であり, これまでの報告の中では最も多かった。

地上の子実体バイオマスと地中の菌根量との間には必ずしも正の相関関係はないとする報告 (Taylor & Alexander 1989, Gardes & Bruns 1996, Peter et al. 2001 など) がある。一方で Termorshuizen & Schaeffers (1989) は, ヨーロッパアカマツの菌根数と子実体数とは相関があるという調査例を示した。松田 (2000) は, モミ林の菌根菌の研究をとおして, 「大きな空間スケールでみると, 子実体数が多い種ほど土壌からの出現頻度が高いという関係が認められるため, 地上部で優占的にみられる種は, 土の中でも優占しているようである」と述べている。また, 地上部に子実体を形成しない種 (例えば, *Cenococcum geophilum* Fr.) や地下生の子実体を形成する種が存在するため, 土の中の優占種が必ずしも地上での調査結果から確認できるとは限らない (山田 1996, Smith & Read 1997, Erland & Taylor 1999) とする意見も示されている。

本研究では地中の植物根に形成された菌根そのものは調査対象としてはいないが, 地上の子実体バイオマスおよび地中のコロニー形態の調査結果にもとづいて個々の外生菌根菌を類別検討した。富士山亜高山帯のコメツガ天然林では, 同地域のカラマツ人工林, 天然林やシラビソ人工林, シラビソ・オオシラビソ天然林に比べて, フェアリーリング型もしくは不定形マット型コロニーを形成する種の占める比率が高いことが明らかになり (図 6-3), 多年生のコロニーを形成する種が多いことが明らかとなった。本研究の結果は, 富士山亜高山帯針葉樹林における植生遷移系列の中で極相林を形成する樹種である (Nakamura 1992) コメツガ林の特性とも良く一致し, 極相林を形成するコメツガ林では, 他の針葉樹林に比べて子実体発生とそのバイオマスの年次変動が少ない外生菌根菌群集が形づくられていることが明らかに

された。さらに、コメツガとカラマツとの間に比べて、コメツガとシラビソ・オオシラビソ天然林との共通種が多数存在することは、両樹種が外生菌根菌の存在をとおして密接に関連していることを示している。Nakamura (1992) が示したようなコメツガ林から第2シラビソ林への移行の際にも外生菌根菌が何らかの役割を果たしていることを裏付けているといえよう。

6.4 植生遷移と外生菌根菌の動態

本研究により、富士山亜高山帯の針葉樹植生の遷移にともなう外生菌根菌群集の動態が明らかにされた。

カラマツ林の外生菌根菌の子実体発生系列の最終期に出現する[K-4 群]一員であるアミハナイグチはシラビソ人工林においても子実体が発生し、カラマツからシラビソ林への遷移系列 (Nakamura 1992) においても両者をつなぐ役割を担っている可能性が考えられる。さらに[K-4 群]の菌は、カラマツ林からシラビソ林への移行のための準備が整ったことを示す指標菌類としても利用できる可能性があり、今後の森林保全にも活用される可能性を有している。

富士山の亜高山帯針葉樹林では、カラマツ林は時間の経過とともにシラビソ・オオシラビソ林へと遷移することが示されている (Nakamura 1992)。しかし、アミハナイグチおよびキツネタケの2種を除いて、カラマツ林とシラビソ林あるいはシラビソ・オオシラビソ林では、外生菌根菌群集の子実体の種構成に明らかな違いが認められる。これらのことにより、カラマツ林の成熟とともに形成された外生菌根菌群集の種構成も植生の遷移に伴い再び変化することが明らかとなった。

シラビソもしくはシラビソ・オオシラビソのモミ属の森林では、外生菌根菌群集の動態がカラマツとは若干異なっていた。シラビソ人工林での調査結果を解析したところ、子実体が発生した50種の外生菌根菌を5群に分けることができ、樹齢変化にともなう外生菌根菌群集の動態が明らかになった。樹齢の高いシラビソ・オオシラビソ天然林で子実体が採集された外生菌根菌は59種であり、人工林より多くの種が確認された。人工林と天然林の種構成を比較すると共通種は46種あり(人

工林の 92%, 天然林の 78%), 松田 (1999) が同属のモミ林の外生菌根菌群集の生態に関する研究で示したように最終的には生態的に安定した外生菌根菌群集へと移行していくことも考えられる。しかし, 子実体発生消長の消長にもとづく本研究の調査結果によれば, その移行の過程は単純ではなく, 多くの外生菌根菌の間で生活の場を巡る競争が起きる可能性が示されている。シラビソ・オオシラビソ天然林に発生する個別の外生菌根の子実体バイオマス変動を比較した結果, 気候要素の変動とバイオマス変動に相関が認められたのは 8 種にすぎない (表 5-10 および表 5-11) ことから, 群集の中で種間あるいは群間の競争が起き, 子実体発生消長の一部はその競争を反映していることが考えられる。

富士山の亜高山帯針葉樹林の植生遷移系列において極相林を形成することが知られているコメツガ林 (Nakamura 1992 ほか) の外生菌根菌群集のなかで, 子実体を形成することが確認されたのは 45 種 1 変種であった。これらの外生菌根菌のうちカラマツ天然林との共通種は 2 種であったのに対しシラビソ・オオシラビソ天然林との共通種は 21 種あった。このように共通種が多くみられるのは植生遷移過程にみられるシラビソ・オオシラビソとコメツガの関係を反映している。Nakamura (1992) によって示されたように, 富士山ではシラビソ林からコメツガ林へと移行した森林が再び第 2 シラビソ林へと移り変わる場合がある。富士山亜高山帯のように気象条件, 土壌条件をはじめとする環境条件が厳しい地域では外生菌根菌群集の共通性の高さが有利に作用し, このような森林植生の移行が容易になっている場合もあると考えられる。

富士山亜高山帯のコメツガ天然林で子実体発生が確認された外生菌根菌のコロニー型は多年生のフェアリーリング型もしくは不定形マット型の占める割合がカラマツやシラビソ・オオシラビソに比べて高かった。この結果は, 富士山亜高山帯における針葉樹の遷移系列をよく反映しており, 極相林として位置づけられるコメツガ林においては外生菌根菌群集も一定の状態に保たれていることが明らかとなった。

森林植生の遷移系列において時間の経過とともに菌類を含む生物種の多様度が増加し, それはやがて減少に転ずるという Dighton & Mason (1985) の説は, 個別

の樹種ごとの外生菌根菌群集の子実体の種多様度変化には必ずしも適合しなかった。しかし、植生の遷移系列に対応させて比較すると、カラマツ林では外生菌根菌群集の子実体種多様度指数は低く、シラビソ・オオシラビソ林で最も高くなり、コメツガ林ではやや低下し（表 6-2）、この説に良く適合した。

樹齢の高いカラマツ林で発生したアミハナイグチは、シラビソ林にも発生し、植生の移行期に重要な役割をはたす可能性が示唆された。また、コメツガとシラビソ・オオシラビソとの共通種は 21 種であり、カラマツの 2 種に比べて多く、これらの樹種は、外生菌根菌という仲介者をとおして密接に関連していることがうかがえる。コロニー型は、植生の遷移にともなって最終的には多年生のフェアリーリングもしくは不定形マット型の菌が優占することが明らかとなった。この結果は、短年生の分散コロニー型の種によって構成される攪乱依存型の若齢カラマツ林の外生菌根菌群集が、シラビソ・オオシラビソ林を経て、極相林であるコメツガ林に至って多年生のフェアリーリング型や不定形マット型の種を主体とする安定な群集構造へと変化することを示している。また、その過程のなかでカラマツ林およびシラビソ林では樹齢の変化にともなって子実体発生の変化が確認され、外生菌根菌の群集構造が変化することが明らかとなった。さらに、植生の遷移にともなって外生菌根菌の種多様度指数も変動することが明らかになり、特に、カラマツからシラビソ・オオシラビソへ移行する際には急激に増加することが示された。

本研究によって、富士山の亜高山帯針葉樹林の樹齢変化および植生の遷移にともなう外生菌根菌群集の動態が明らかにされた。これらの結果は、外部環境からのストレスを受けやすいといわれる（丸田・中野 1999）亜高山帯針葉樹林の保全策を確立するための基礎的資料としても活用できると考えられる

表 6-1 シラビソ人工林の樹齢と子実体発生調査結果にもとづく外生菌根菌群の分類

外生菌根菌群	各群に含まれる外生菌根菌の種名
S-1 群 (5 種)	<i>Amanita lomgistriata</i> (タマゴテングタケモドキ), <i>A. sprete</i> (ツルタケダマシ), <i>A. virosa</i> (ドクツルタケ), <i>Cortinarius collinitus</i> (ツバアブラシメジ), <i>Laccaria laccata</i> (キツネタケ)
S-2 群 (6 種)	<i>Boletinus cavipes</i> (アミハナイグチ), <i>Boletopsis leucomelaena</i> (クロカワ), <i>Lactarius flavidulus</i> (キハツダケ), <i>L. laetiocolorus</i> (アカモミタケ), <i>Russula cyanoxantha</i> (カワリハツ), <i>R. emetica</i> (ドクベニタケ)
S-3 群 (11 種)	<i>Amanita hemibapha</i> (タマゴタケ), <i>A. muscaria</i> (ベニテングタケ), <i>Boletus reticulatus</i> (ヤマドリタケモドキ), <i>Cortinarius scaurus</i> (マダラフウセンタケ), <i>Dermocybe cinnamomea</i> (ササタケ), <i>Hydnum caeruleum</i> (ニオイハリタケモドキ), <i>Hydnum repandum</i> (カノシタ), <i>Ramaria formosa</i> (ハナホウキタケ), <i>Tricholoma saponaceum</i> (ミネシメジ), <i>T. vaccinum</i> (クダアカゲシメジ), <i>T. virgatum</i> (ネズミシメジ)
S-4 群 (14 種)	<i>Boletus auripes</i> (コガネヤマドリ), <i>B. calopus</i> (アシベニイグチ), <i>B. luridus</i> (ウラベニイロガワリ), <i>B. venenatus</i> (ドクヤマドリ), <i>Cantharellus cibarius</i> (アンズタケ), <i>Cortinarius</i> sp. (フウセンタケ属菌), <i>Dermocybe sanguinea</i> (アカタケ), <i>D. semisanguinea</i> (アカヒダササタケ), <i>Gomphus floccosus</i> (ウスタケ), <i>G. fujisanensis</i> (フジウスタケ), <i>Inocybe fastigiata</i> (オオキヌハダトマヤタケ), <i>Lactarius chrysorrhoeus</i> (キチチタケ), <i>Russula</i> sp. No.1 (ベニタケ属菌), <i>Tricholoma sejunctum</i> (アイシメジ)
S-5 群 (14 種)	<i>Cortinarius mucosus</i> (アブラシメジモドキ), <i>C. pseudosalor</i> (ヌメリササタケ), <i>Hygrophorus hypothejus</i> (シモフリヌメリガサ), <i>Hygrophorus</i> sp. (ヌメリガサ属菌), <i>Lactarius glaucescens</i> (アオゾメツチカブリ), <i>L. piperatus</i> (ツチカブリ), <i>L. vellereus</i> (ケシロハツ), <i>Ramaria botorytis</i> (ホウキタケ), <i>Rozites caperata</i> (ショウゲンジ), <i>Russula delica</i> (シロハツ), <i>Russula</i> sp. No.2 (ベニタケ属菌), <i>Tricholoma flavovirens</i> (キシメジ), <i>T. portentosum</i> (シモフリシメジ), <i>Tyropilus eximius</i> (ウラグロニガイグチ)

本表は、富士山亜高山帯のシラビソ人工林において、外生菌根菌の子実体発生とシラビソ樹齢との関係を調査し、その結果をクラスター分析し作成した（クラスター分析の結果は、図 5-26 参照）。

表 6-2 富士山亜高山帯における針葉樹天然林の外生菌根菌子実体種多様度指数

樹種	子実体種多様度指数
カラマツ	2.74±0.29a
シラビソ・オオシラビソ	4.17±0.49b
コメツガ	3.81±0.62c

n=20, 平均値±標準偏差, 同列内で異なる英字を付した平均値間には, Kruskal-Wallis 検定による有意差あり ($p<0.05$)

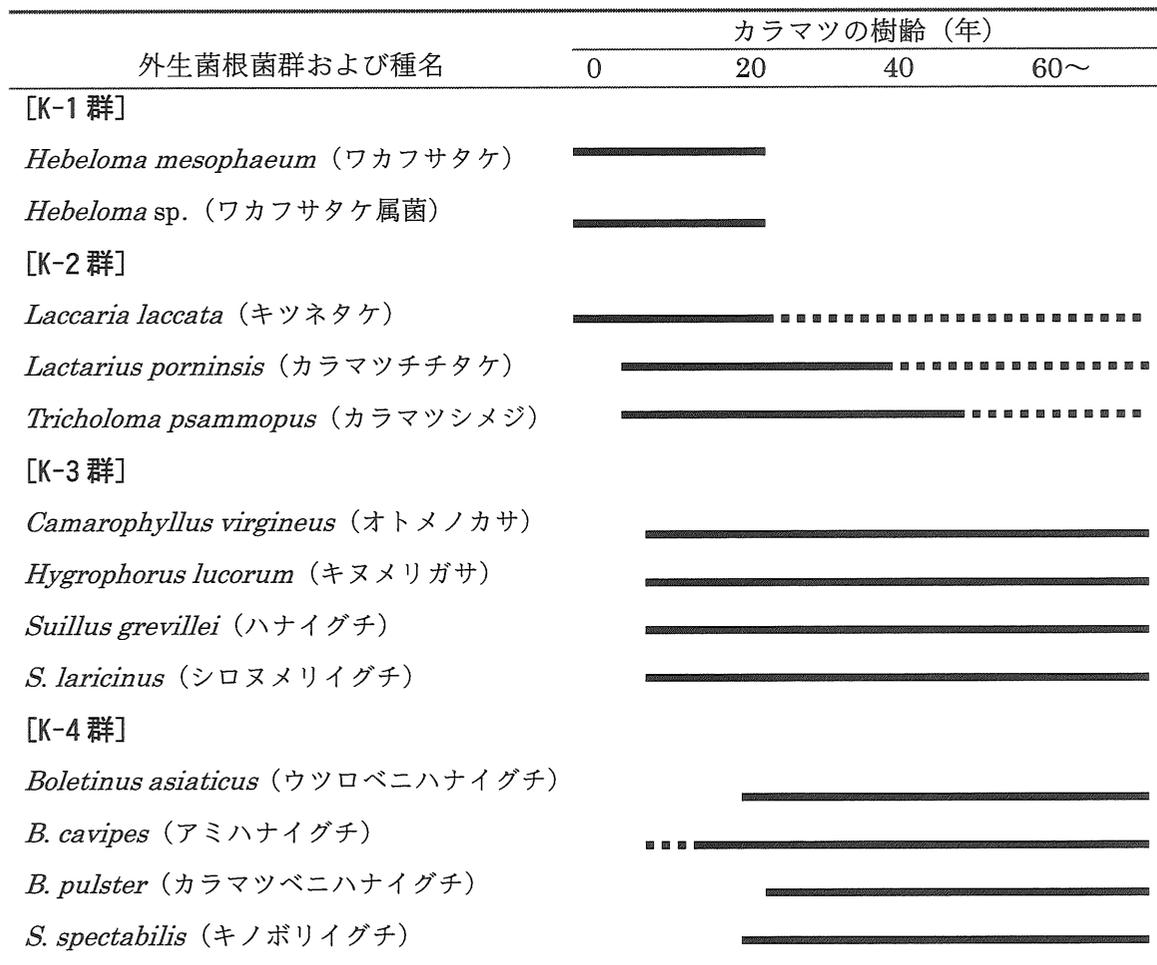
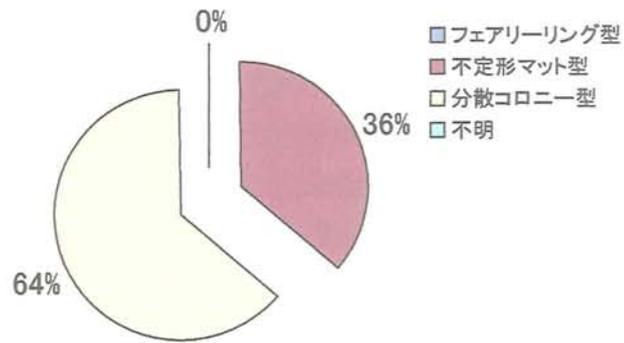
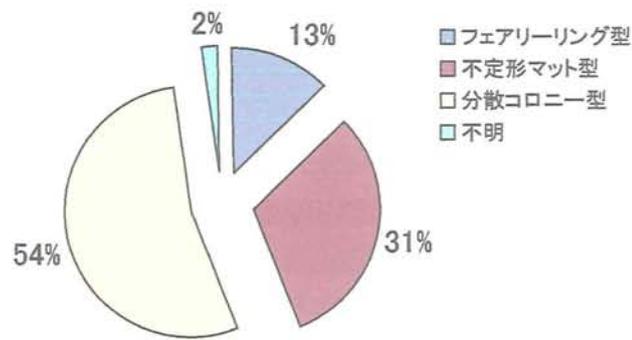


図 6-1 富士山亜高山帯カラマツ林での調査結果にもとづいて作成したカラマツ樹齢変化と外生菌根菌の子実体発生消長模式図

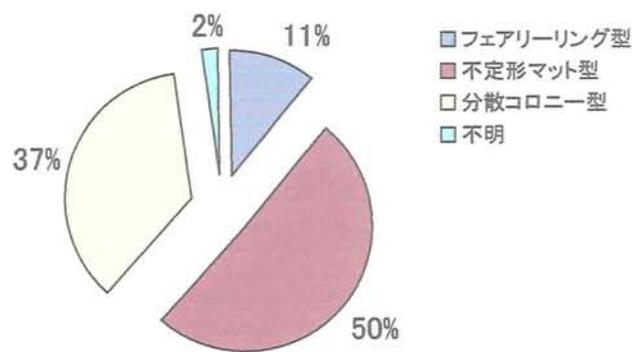
————— : 子実体発生が安定している期間
 : 子実体発生が不安定な期間
 空白部分は子実体発生がみられない期間



カラマツ天然林



シラビソ・オオシラビソ天然林全体



コメツガ天然林全体

図 6-3 富士山亜高山帯針葉樹天然林の植生遷移にともなう外生菌根菌群集内の各コロニー型構成比率の変化 (各コロニー型は小川 (1981) の定義による)

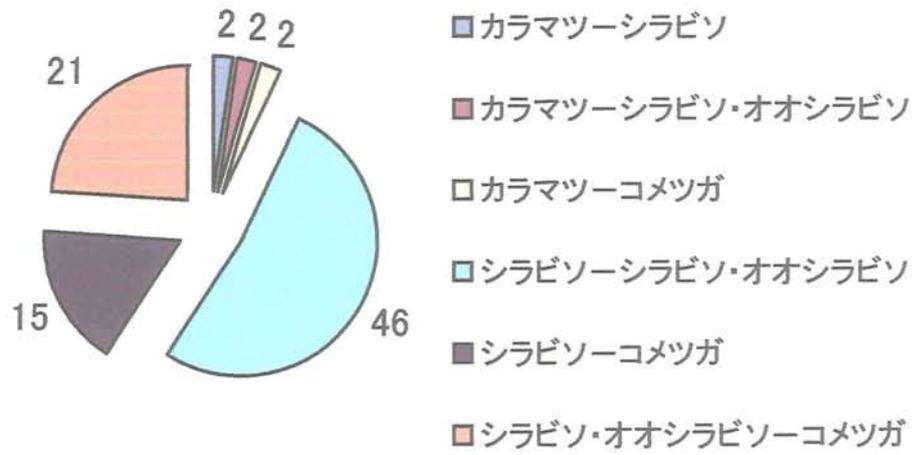


図 6-4 富士山亜高山帯の針葉樹林における各樹種間で共通して子実体が発生する外生菌根菌種数（表中の数字は菌の種数）

摘要

外生菌根菌は、森林の樹木と密接な共生関係にあることが知られているが、その生態に関しては未だ不明な部分が多い。特に、森林植生の遷移にともなって、外生菌根菌相がどのように変化していくのかを長期間にわたって調査解析した例は皆無である。本研究は、富士山における外生菌根菌の子実体発生を指標とした 20 年間の調査結果に基づいて、森林樹木の樹齢変化および植生の遷移にともなう外生菌根菌群集の動態を明らかにすることを目的として行ったものである。これらの結果は、脆弱性が指摘される亜高山帯針葉樹林の生態系保全手法を確立するための重要な理論的根拠となるものとする。

そのため、調査地は、カラマツからシラビソ・オオシラビソを経てコメツガに至る植生の遷移系列が明瞭な富士山の山梨県側海拔 1,700~2,300m の亜高山帯針葉樹林とした。対象はカラマツ天然林および人工林、シラビソ・オオシラビソ天然林、シラビソ人工林およびコメツガ天然林とし、それぞれ 800 m²の固定調査区を設定して外生菌根菌の子実体の種類とそのバイオマス（乾燥重量）を調査した。調査は 20 年間継続し、1 区あたり 292 回行った。また、外生菌根菌の生活様式を明らかにするために、子実体の発生と地中のコロニー型を調査し、短年生の分散コロニー型、多年生の不定形マット型およびフェアリーリング型の 3 型に区分した。この調査は 1 種あたり 9 箇所で行った。

木本遷移の先駆相にあたるカラマツの天然林 2 林分と人工林 2 林分では共に 13 種の外生菌根菌の子実体発生が確認され、種構成は同じであった。外生菌根菌の種多様度指数は樹齢約 30 年生以下の若齢林では急速に増加したが約 40 年生以上の老齢林では変動しなかった。これらの外生菌根菌群集を樹齢と子実体バイオマス変動によって分類したところ 4 群に分けられ、それぞれの群が時系列に従って消長した。コロニー型は、若齢林では分散コロニー型の種が多く、老齢林では不定形マット型の種もみられるようになった。しかし、フェアリーリング型の種は確認されなかった。

次の遷移段階にあるシラビソ・オオシラビソ天然林 2 林分で子実体発生が確認された外生菌根菌は 59 種であった。両林分とも子実体の種多様度指数は変動しなかった。

シラビソ・オオシラビソ天然林では樹齢変化にともなう外生菌根菌群集の動態を調査することができないため、その代替措置として、樹齢の異なるシラビソ人工林3林分を調査し、50種の外生菌根菌の子実体発生が確認された。樹齢の高いシラビソ人工林と天然林との間で外生菌根菌群集の種構成はほぼ同じであった。外生菌根菌の種多様度指数は樹齢約40年生以下の若齢人工林では急速に増加したがそれ以上の老齢人工林では変動しなかった。人工林の菌は、発生する樹齢にもとづくクラスター分析およびバイオマス変動特性により5群に区分され、それぞれの群が時系列に従って消長した。コロニー型は、天然林では、短年生の分散コロニー型と多年生のフェアリーリング型および不定形マット型の占める比率はほぼ拮抗し、若齢人工林では分散コロニー型が最も多く(64%)、老齢人工林では分散コロニー型と不定形マット型およびフェアリーリング型の占める比率がほぼ拮抗した。

この地域の極相林であるコメツガ天然林3林分では45種1変種の外生菌根菌の子実体が確認された。どの林分も子実体の種多様度指数は変動しなかった。コロニー型は、多年生のフェアリーリング型および不定形マット型の占める比率が3林分ともに高かった(平均60%)。

カラマツ林およびシラビソ林では樹齢の変化にともなう子実体発生の変化が確認され、外生菌根菌の群集構造が変化することが明らかとなった。さらに、植生の遷移にともなう外生菌根菌の種多様度指数も変動することが明らかになり、特に、カラマツからシラビソ・オオシラビソへ移行する際には急激に増加することが示された。また、シラビソ・オオシラビソからコメツガへ移行する際には種多様度指数の急激な変化はみられなかった。

樹齢の高いカラマツ林で発生したアミハナイグチは、シラビソ林にも発生し、植生の移行期に重要な役割をはたす可能性が示唆された。また、コメツガとシラビソ・オオシラビソとの共通種は21種であり、カラマツの2種に比べて多く、これらの樹種は、外生菌根菌という仲介者をとおして密接に関連していることがうかがえる。コロニー型は、植生の遷移にともなう最終的には多年生のフェアリーリングもしくは不定形マット型の菌が優占することが明らかとなった。この結果は、短年生の分散コロ

ニー型の種によって構成される攪乱依存型の若齢カラマツ林の外生菌根菌群集が、シラビソ・オオシラビソ林を経て、極相林であるコメツガ林に至って多年生のフェアリーリング型や不定形マット型の種を主体とする安定な群集構造へと変化することを示している。

本研究によって、富士山の亜高山帯針葉樹林の樹齢変化および植生の遷移にともなう外生菌根菌群集の動態が明らかにされた。これらの結果は、亜高山帯針葉樹林の保全策を確立するための基礎的資料としても活用できると考えられる。

謝辞

本論文のとりまとめ全般にわたって懇切なご指導・ご助言をいただいた筑波大学大学院生命環境科学研究科教授・柿嶋眞博士に衷心より感謝します。菌類生態学全般に関して本論のとりまとめにあたり有益なご指導・ご助言をいただいた筑波大学大学院生命環境科学研究科教授・徳増征二博士，森林微生物の機能全般に関してご指導・ご助言いただいた筑波大学連携大学院教授（農業環境技術研究所化学環境部）・石井英夫博士，並びに菌類の生理・生態に関してご指導・ご助言いただいた筑波大学大学院生命環境科学研究科助教授・山岡裕一博士に深く感謝します。

これまで 20 年以上にわたり菌根菌研究を見守り，常に励ましの言葉をいただいた筑波大学名誉教授・佐藤昭二先生並びに元筑波大学教授・勝屋敬三先生，筑波大学名誉教授・故椿啓介先生，元農林水産省林業試験場木曾分場・浜武人博士に心からお礼申し上げます。さらに，菌根菌研究の道に導いていただき，菌根菌並びに土壤微生物全般に関する研究方法に関して 1979 年～1981 年の 3 年間にわたり懇切にご指導いただいた元農林水産省林業試験場土壤微生物研究室長・小川眞博士に感謝します。

山梨県における菌根菌研究の実施にご理解をいただき，さらに森林土壌の調査および同定に関して様々なご指導をいただいた元山梨県林業試験場長・遠藤昭氏，並びに元山梨県森林総合研究所副所長・馬場勝馬氏に感謝します。植物生態学全般に関してご助言いただいた山梨県森林総合研究所研究員・東京大学大学院客員助教授・長池卓男博士に感謝します。文献の収集にあたって様々なご便宜をおはかりいただき，さらに菌根菌に関して有益なご助言をいただいた筑波大学大学院生命環境科学研究科・阿部淳一ピーター博士に感謝します。採集した子実体の一部を同定していただいた（財）日本きのこセンター菌茸研究所・長澤栄史上席主任研究員に感謝します。

数多くの調査資料の収集・整理・とりまとめにあたり，ご助力いただいた山梨県森林総合研究所富士吉田試験園の元職員・渡邊早苗さん，同・宮野恵さんに感謝します。

Summary

An ecological study on communities of ectomycorrhizal fungi in sub-alpine coniferous forests of Mt. Fuji

Hisashi SHIBATA

Ectomycorrhizal fungi are known to play an important role in the ecosystems of forests. However, their ecological aspects have not been demonstrated clearly because of the difficulties of long-term fieldwork in a forest. In the present study, the occurrence of sporocarps of ectomycorrhizal fungi was recorded for 20 years in the several different coniferous forests on the mountainside of Mt. Fuji and their quantitative, qualitative changes were analyzed in relation to the age of trees that composed the forests.

In the north slope of Mt. Fuji, various coniferous forests are observed between 1,700m to 2,300m above sea level. Three experimental plots (two rectangular plots of 4m × 50m and one square plot of 20m × 20m) were fixed in two natural and two planted forests of *Larix kaempferi*, two natural forests of *Abies veitchii*-*Abies mariesii*, three planted forests of *Abies veitchii*, and three natural forests of *Tsuga diversifolia* for field investigations, respectively.

The field investigation was carried out every 5-14 days during June to November from 1983 to 2002 and finally done 292 times. In each investigation, all sporocarps of ectomycorrhizal fungi occurred in these plots were recorded and collected. After strict identification, the numbers and dry weight of sporocarps were recorded for each species. Colonies of the species found during the study were also examined and divided into the types followed Ogawa's classification (1981).

Thirteen species were occurred in the four *L. kaempferi* stands and the species

composition of the natural stands was the same as the planted ones. The species were divided into 4 groups based on appearance periods and changes of biomass in the course of experiment. In younger stands (under 30 years) the value of species diversity index was increased with the age of stand, while it was rather stable in the older stands of more than 40 years. The colony type of these 13 species were "Irregular mycelial mat type" or "Dispersed colony type". Thus, four species had "Irregular mycelial mat", and the remainder produced "Dispersed colony". In the youngest stand, the species of "Dispersed colony type" were dominant (90%), the other three stands the percentages of this colony type decreased (64-69%).

Fifty-nine species were recorded in the two *A. veitchii*-*A. mariesii* natural stands. The values of species diversity index did not practically change for 20 years. Three types of colony were recognized among those species, namely "Fairly ring type (8 spp.)", "Irregular mycelial mat type (18 spp.)", and "Dispersed colony type (32 spp.)". The colony type of *Boletellus mirabilis* was indistinct. The percentages of individual colony types did not practically change for 20 years.

Fifty species were collected in the three different planted *A. veitchii* stands with different ages. These species divided into 5 groups based on results of a cluster analysis of sporocarps occurrence in relation to tree ages. In younger stands (under 40 years), the species diversity indexes increased with the age of stand, but they were almost no change in the older stands of more than 40 years. The colonies of these 50 species were divided into three types, namely "Fairly ring type (7 spp.)", "Irregular mycelial mat type (15 spp.)", and "Dispersed colony type (28 spp.)". The percentage values of "Fairly ring type" and "Irregular mycelial mat type" species increased with the age of stand from 9% to 15% and from 27% to 31% respectively in the investigation period. In contrast, the percentage of "Dispersed colony type" species decreased from 64% to 54%.

Forty-five species and one variety were collected in the three natural *T. diversifolia* stands. The species diversity indexes did not practically change for 20 years. The colony of these 45 species and one variety were divided into three types, namely “Fairly ring type (5 spp.)”, “Irregular mycelial mat type (23 spp.)”, and “Dispersed colony type (17 spp.)” and one indistinct (*B. mirabilis*). The proportion of those colony types did not change largely for 20 years.

In both younger *L. kaempferi* (under 30 years) and *A. veitchii* (under 40 years) stands, the occurrence of the sporocarps of ectomycorrhizal fungi changed with the age of stand, and the diversity indexes of the fungi changed too. The members of ectomycorrhizal fungal communities changed with the progress of tree succession in this area and the proportion of each colony type among the species occurred changed largely with it.. Only 2 fungal species found in *A. veitchii*-*A. mariesii* stands are common to *L. kaempferi* stands, while 21 fungi recorded from *T. diversifolia* stands are also found in *A. veitchii*-*A. mariesii* stands. In the youngest *L. kaempferi* stand, the fungi of “Dispersed colony type” were dominant, but in *T. diversifolia* stands, a member of climax forests in the study area, the numbers of “Fairly ring type” and “Irregular mycelial mat type” occurred more frequently. It appeared from those results that the ectomycorrhizal community became very stable in *T. diversifolia* forests than other coniferous forests developing sub-alpine area of Mt. Fuji.

This study clearly demonstrate that the composition and structure of ectomycorrhizal fungal community change rather rapidly associated with advancing age of the stands in the serial coniferous forest and become stable in the climax stage of forest succession. The results of this study will be useful in understanding of ectomycorrhizal community in sub-alpine coniferous forests and also contribute to conservation of the forest.

引用文献

- Agerer R. 1987-2002. Colour atlas of ectomycorrhizae. Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger, Schwabisch Gmund, Germany
- Agerer R. 1996-2004. Descriptions of ectomycorrhizae. Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger, Schwabisch Gmund, Germany
- Ainsworth G. C. 1976. Introduction to the history of mycology. Cambridge University Press, Cambridge, 359p.
- Allen M. F. 1991. The ecology of mycorrhizae. Cambridge University Press, Cambridge, 184p.
- 安藤愛次. 1962. 中部山地の隣地生産力に関する研究—とくに山梨県を中心として—. 山梨県林業試験場報告 10 : 1-195.
- 安藤愛次・遠藤昭・馬場勝馬. 1968. 山梨県林業気象図. 山梨県林業試験場
- 安間荘. 2000. スラッシュフローと雪代災害. 月刊地球 22: 544-551.
- 青島清雄・林康夫・魚住正. 1977. 石狩川源流森林総合調査報告（第2次）Ⅵ 菌害. 旭川営林局, 北海道, pp141-147.
- Arnolds E. 1995. Problems in measurement of species diversity of macrofungi. In: Allsopp D., Colwell R. R. and Hawksworth D. L. eds. Microbial diversity and ecosystem function. CBA International, Wallingford, UK, pp337-353.
- Baar J. 1996. The ectomycorrhizal flora of primary and secondary stands of *Pinus sylvestris* in relation to soil conditions and ectomycorrhizal succession. J. Vegetation Science 7: 497-504.
- Baar J. and Ter Braak C. J. F. 1996. Ectomycorrhizal sporocarp occurrence as affected by manipulation of litter and humus layers in Scots pine stands of different age. Applied Soil Ecology 4: 61-73.
- Baxter J. W., Pickett S. T. A., Carreiro M. M. and Dighton J. 1999. Ectomycorrhizal diversity and community structure in oak forest stands exposed to contrasting

- anthropogenic impacts. *Can. J. Bot.* 77: 771-782.
- Blanchard R. O. and Tattar T. A. 1981. Field and laboratory guide to tree pathology. Academic Press, New York, 285p.
- Breitenbach J. and Kraenzlin F. 1986-2000. Fungi of Switzerland vol. 2-5. Verlag Mycologia, Luzern.
- Bruns T. D. 1995. Thoughts on the processes that maintain local species diversity of ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 170: 63-73.
- Cairney J. W. G. and Chambers S. M. 1999. Ectomycorrhizal fungi. Key genera in profile. Springer-Verlag, Berlin, 369p.
- Callot G. 1999. La truffe la terre la vie. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 210p.
- Carroll G. C. and Wicklow D. T. 1992. The fungal community. Its organization and role in the ecosystem. 2nd ed. Marcel Dekker, New York, 976p.
- Chu-Chou M. 1979. Mycorrhizal fungi of *Pinus radiata* in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 11: 557-562.
- Chu-Chou M. and Grace L. J. 1981. Mycorrhizal fungi of *Pseudotsuga menziesii* in the North Island of New Zealand. *Soil Biol. Biochem.* 13: 247-249.
- Cripps C. and Miller O. K. Jr. 1993. Ectomycorrhizal fungi associated with aspen on three sites in the north-central Rocky Mountains. *Can. J. Bot.* 71: 1414-1420.
- Dahrberg A., Jonsson L. and Nylund J. E. 1997. Species diversity and distribution of biomass above and below ground among ectomycorrhizal fungi in an old-growth Norway spruce forest in south Sweden. *Can. J. Bot.* 75: 1323-1335.
- Danielson R. M. 1984. Ectomycorrhizal associations in jack pine stands in northern Alberta. *Can. J. Bot.* 62: 932-939.
- Deacon J. W., Donaldson S. J. and Last F. T. 1983. Sequences and interactions of mycorrhizal fungi of birch. *Plant and Soil* 71: 257-262.

- Deacon J. W. and Fleming L. V. 1992. Interactions of ectomycorrhizal fungi. In: Allen M. F. (ed) *Mycorrhizal functioning: an integrative plant-fungal process*. Chapman & Hall, New York, pp 249-300.
- Debaud J.C. 1987. Ecophysiological studies on alpine macromycetes: saprophytic *Clitocybe* and mycorrhizal *Hebeloma* associated with *Dryas octopetala*. In: Lausen G. A., Ammirati J. F. and Redhead S. A. (eds) *Arctic and alpine mycology II*. Plenum press, New York, pp47-60.
- 出川洋介. 2003. 接合菌類. 生態系多様性調査 (富士北麓地域) 報告書, 環境省自然環境局生物多様性センター, pp45-47.
- Dighton J. 2003. *Fungi in ecosystem processes*. Marcel Dekker, New York, 432p.
- Dighton J. and Mason P. A. 1985. Mycorrhizal dynamics during forest tree development. In: Moore D., Casselton L. A., Wood D. A. and Flankland J. C. (eds) *Developmental biology of higher fungi*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 117-139.
- Dighton J., Poskitt J. M. and Howard D. M. 1986. Changes in occurrence of basidiomycete fruit bodies during forest stand development: with special reference to mycorrhizal species. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 87: 163-171.
- 遠藤正喜. 1972. 常緑広葉樹林の地上生高等菌類の植物社会学的研究. *日本生態学会誌* 22 : 51-61.
- Erland S. and Taylor A. F. S. 1999. Resupinate ectomycorrhizal genera. In: Cairney J. W. G. and Chambers S. M. (eds) *Ectomycorrhizal fungi. Key genera in profile*. Springer-Verlag, Berlin, pp 347-363.
- Erland S. and Taylor A. F. S. 2002. Diversity of ecto-mycorrhizal fungal communities in relation to abiotic environment. In: van der Heijden M. G. A. and Sanders I. R. (eds) *Mycorrhizal ecology*. Springer, Berlin, pp 163-200.
- Finlay R. D. 1989. Functional aspects of phosphorus uptake and carbon translation in incompatible ectomycorrhizal associations between *Pinus*

- sylvestris* and *Suillus grevillei* and *Boletinus cavipes*. *New Phytol.* 112: 185-192.
- Fleming L. V. 1983. Succession of mycorrhizal fungi on birch: infection of seedlings planted around mature trees. *Plant and Soil* 71: 263-267.
- Fleming L. V. 1985. Experimental study of sequence of ectomycorrhizal fungi on birch (*Betula* sp.) seedling root systems. *Soil Biol. Biochem.* 17: 591-600.
- Frankland J. C., Hedger J. N. and Swift M. J. 1982. Decomposer basidiomycetes, their biology and ecology. Cambridge University Press, Cambridge, 355p.
- 藤田博美. 1989. アカマツ林に発生する高等菌類の遷移. *日菌報* 30 : 125-147.
- Furukawa H., Abe Y. and Neda H. 1983. List of fungi of Mt. Fuji. *Trans. Mycol. Soc. Japan* 24: 235-245.
- Gardes M. and Bruns T. D. 1996. Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: above- and below-ground views. *Can. J. Bot.* 74: 1572-1583.
- Giachini A.J., Souza L.A.B. and Oliveira V.L. 2004. Species richness and seasonal abundance of ectomycorrhizal fungi in plantations of *Eucalyptus dunali* and *Pinus taeda* in southern Brazil. *Mycorrhiza* 14: 375-382.
- 呉炳雲・奈良一秀・宝月岱造. 2003. 富士山のミヤマヤナギに共生する *Cenococcum geophilum* の SSR マーカーによる多型解析. 第 114 回日林学術講 : 379.
- Goodman D. M. and Trofymow J. A. 1998. Comparison of communities of ectomycorrhizal fungi in old-growth and mature stands of Douglas-fir at two sites on southern Vancouver Island. *Can. J. For. Res.* 28: 574-581.
- Grime J.P. 1974. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature* 250: 26-31.
- Grime J.P. 2001. Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties (second edition). John Wiley & Sons, Chichester, UK, 417p.
- 原田浩. 2003. 地衣類. 生態系多様性調査 (富士北麓地域) 報告書. 環境省自然環境局

- 生物多様性センター, pp48-54.
- 長谷川絵里・福田健二・鈴木和夫. 1991. ナラタケの生物学的種. 日本林学会誌 73 : 315-320.
- Hashimoto Y. and Hyakumachi M. 2000. Quantities and type of ectomycorrhizal and endophytic fungi associated with *Betula platyphylla* var. *japonica* seedlings during the initial stage of establishment of vegetation after disturbance. *Ecological Research* 15: 21-31.
- 林弥榮. 1960. 日本産針葉樹の分類と分布. 農林出版, 東京, 246p.
- Helm D. J., Allen E. B. and Trappe J. M. 1996. Mycorrhizal chronosequence near Exit Glacier, Alaska. *Can. J. Bot.* 74: 1496-1506.
- Hintikka V. 1988. On the macromycete flora in oligotrophic pine forests of different ages in South Finland. *Acta Bot. Fennica* 136: 89-94.
- Horak E. 1985. Die Pilzflora (Macromyceten) und ihre Oekologie in fünf Pflanzengesellschaften der montan-subalpinen Stufe des Unterengadins (Schweiz). *Erg. wiss. Untersuchungen Schweiz. Nationalpark.* 12(6):337-476.
- 今関六也・青島清雄. 1955. 石狩川源流原生林総合調査報告Ⅱ2, 菌害. 林野庁旭川営林局, 北海道, pp239-271.
- 今関六也・本郷次雄. 1957. 原色日本菌類図鑑. 保育社, 大阪, 181p.
- 今関六也・本郷次雄. 1965. 続原色日本菌類図鑑. 保育社, 大阪, 235p.
- 今関六也・本郷次雄. 1987. 原色日本新菌類図鑑Ⅰ. 保育社, 大阪, 325p.
- 今関六也・本郷次雄. 1989. 原色日本新菌類図鑑Ⅱ. 保育社, 大阪, 315p.
- Ingleby K., Mason P. A., Last F. T. and Fleming L. V. 1990. Identification of ectomycorrhizas. *ITE Res. Publ. No.5*, HMSO, London. 112p.
- 伊藤嘉昭. 1994. 生態学と社会. 東海大学出版会, 東京, 185p.
- Iwabuchi S., Sakai S. and Yamaguchi O. 1994. Analysis of mushroom diversity in successional young forests and equilibrium evergreen broad-leaved forests. *Mycoscience* 35: 1-14.

- 巖佐庸・松本忠夫・菊沢喜八郎・日本生態学会. 2003. 生態学事典. 共立出版, 東京, 682p.
- Jansen A. E. 1991. The mycorrhizal status of douglas fir in the Netherlands: its relation with stand age, regional factors, atmospheric pollutants and tree vitality. *Agriculture Ecosystems and Environment* 35: 191-208.
- Jumpponen A., Trappe J. M. and Cazares E. 1999. Ectomycorrhizal fungi in Lynn Lake Basin: a comparison between primary and secondary successional sites. *Mycologia* 91: 575-582.
- Jumpponen A., Trappe J. M. and Cazares E. 2002. Occurrence of ectomycorrhizal fungi on the forefront of retreating Lyman Glacier (Washington, USA) in relation to time since deglaciation. *Mycorrhiza* 12: 43-49.
- Keizer P. J. and Arnolds E. 1994. Succession of ectomycorrhizal fungi in roadside verges planted with common oak (*Quercus robur* L.) In Drenthe, The Netherlands. *Mycorrhiza* 4: 147-159.
- 菊地淳一. 1999. 森林生態系における外生菌根の生態と応用. 日本生態学会誌 49 : 133-138.
- 菊地政泰・長田十九三. 1981. 富士山なだれ跡地の更新に関する研究 (I) . 33 回 日林関東支論. : 133-134.
- 菊地政泰・長田十九三・神戸陽一. 1983. 富士山スバルライン沿いのなだれ跡地の更新 (II) . 35 回日林関東支論. : 221-222.
- Kirk P. M., Cannon P.F., David J. C. and Stelplers J. A. 2001. Dictionary of the fungi. 9th edition. CABI Publishing, UK, 655p.
- 小林四郎. 1995. 生物群集の多変量解析. 蒼樹書房, 東京, 194p.
- 国土交通省富士砂防工事事務所. 2002. 富士山の自然と社会. 国土交通省, 388p.
- 近藤熙・加藤邦彦. 1977. 土壌中の微生物計数法. 土壌微生物実験法, (土壌微生物研究会編), 養賢堂, 東京, pp21-26.
- Last F. T., Mason P. A., Ingleby K. and Fleming L. V. 1984. Succession of

- fruitbodies of sheathing mycorrhizal fungi associated with *Betula pendula*.
Forest Ecology and Management 9: 229-234.
- Lee L. S., Alexander I. J. and Watling R. 1997. Ectomycorrhizas and putative
ectomycorrhizal fungi of *Shorea leprosula* Miq. (Dipterocarpaceae).
Mycorrhiza 7: 63-81.
- Lewis D. H. 1973. Concepts in fungal nutrition and the origin of biotrophy.
Biological Reviews 48: 261-278.
- Lodge D.J., Ammirati J.F., O'Dell T.E. and Mueller G.M. 2004. Collecting and
describing macrofungi. In: Mueller G.M., Bills G.F. and Foster M.S. (eds)
Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods. Elsevier academic
press, Boston, pp128-158.
- MacArthur R. H. and Wilson E. D. 1967. The theory of island biogeography.
Princeton University Press, Princeton, 203p.
- Malajczuk N. and Hingston F. J. 1981. Ectomycorrhizae associated with Jarrah.
Aust. J. Bot. 29: 453-462.
- Marks G. C. and Foster R. C. 1967. Succession of mycorrhizal associations on
individual roots of radiata pine. Aust. For. 31: 193-201.
- Marmeisse R., Gryta H., Jargeat P., Fraissinet-Tachet L. and Debaud J.-C. 1999.
Hebeloma. In: Cairney J. W. G. and Chambers S. M. (eds) Ectomycorrhizal
fungi. Key genera in profile. Springer-Verlag, Berlin, pp89-127.
- 丸田恵美子・中野隆志. 1999. 中部山岳地域の亜高山帯針葉樹と環境ストレス. 日本
生態学会誌 49 : 293-300.
- Massicotte H. B., Molina R., Tackaberry L. E., Smith J. E. and Amaranthus M. P.
1999. Diversity and host specificity of ectomycorrhizal fungi retrieved from
three adjacent forest sites by five host species. Can. J. Bot. 77: 1053-1076.
- Mason P. A., Last F. T., Pelham J. and Ingleby K. 1982. Ecology of some fungi
associated with an aging stand of birches (*Betula pendula* and *B. pubescens*).

- Forest Ecology and Management 4: 19-39.
- 松田陽介. 1999. モミ根系における外生菌根菌の群集生態学的研究. 名大森研. 18 : 83-141.
- 松田陽介. 2000. 森林における外生菌根菌の群集構造—樹木をつなぐ菌根菌ネットワーク. 森林微生物生態学, (二井一禎・肘井直樹編), 朝倉書店, 東京, pp230-243.
- Meyer F. H. 1973. Distribution of ectomycorrhizae in native and man-made forests. In: Marks G. C. and Kozlowski T. T. (eds) Ectomycorrhizae; their ecology and physiology. Academic Press, New York, pp79-105.
- 宮下直・野田隆史. 2003. 群集生態学. 東京大学出版会, 東京, 187p.
- Molina R. 1981. Ectomycorrhizal specificity in the genus *Alnus*. Can. J. Bot. 59: 325-334.
- Molina R., Massicotte H. and Trappe J. M. 1992. Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: Community-ecological consequences and partial implications. In: Allen M. F. (ed) Mycorrhizal functioning: an integrative plant-fungal process. Chapman & Hall, New York, pp 357-423.
- 森下正明. 1996. 種多様性指数値に対するサンプルの大きさの影響. 日本生態学会誌 46 : 269-289.
- Murakami Y. 1989. Spatial changes of species composition and seasonal fruiting of the Agaricales in *Castanopsis cuspidata* forest. Trans. mycol. Soc. Japan 30: 89-103.
- 長澤栄史. 1989. イグチ科. 原色日本親近類図鑑 (II), (今関六也・本郷次雄編), 保育社, 大阪, pp 1-44.
- Nakamura T. 1992. Succession and differentiation of forest communities in the subalpine region of Mt. Fuji. Bull. Tokyo Univ. For. 87: 159-173.
- Nara K., Nakaya H. and Hogetsu T. 2003. Ectomycorrhizal sporocarp succession and production during early primary succession on Mount Fuji. New Phitol. 158: 193-206.

- 根田仁. 1996. 森林における野生きのこの多様性. 森林科学 17 : 32-35
- Newton A. C. 1992. Toward a functional classification of ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 2: 75-79.
- 日本菌学会. 1959. 富士山採集会の収獲. 日菌報. 2: 15-17.
- Ogawa M. 1977a. Ecology of higher fungi in *Tsuga diversifolia* and *Betula ermani-Abies mariesii* forests of subalpine zone. Trans. Mycol. Soc. Japan 18: 1-19.
- Ogawa M. 1977b. Microbial ecology of 'Shiro' in *T. matsutake* (Ito et Imai) Sing and its allied species IV. *T. matsutake* in *Tsuga diversifolia* forests. Trans. Mycol. Soc. Japan 18: 20-33.
- 小川眞. 1978. マツタケの生物学. 築地書館, 東京, 326p.
- 小川眞. 1981. 菌根菌の生態的性質とその菌根—菌類生態学序論—. 第17回 IUFRO 論文集 : 170-175.
- 岡部宏秋. 1997. 森づくりと菌根菌. (財) 林業科学技術振興所, 東京, 110p.
- 大賀宣彦・沼田真, 1971. 富士山における遷移系列とその解析. 富士山総合学術調査報告書, 富士急行株式会社, pp422-455.
- Peter M., Ayer F., Egil S. and Honegger R. 2001. Above- and below-ground community structure of ectomycorrhizal fungi in three Norway spruce (*Picea abies*) stands in Switzerland. Can. J. Bot. 79: 1134-1151.
- Read D. J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* 47: 376-391.
- Read D. J. 1992a. The mycorrhizal mycelium. In: Allen M. F. ed. Mycorrhizal functioning. An integrative plant-fungal process. Chapman & Hall, New York, pp 102-133.
- Read D. J. 1992b. The mycorrhizal fungal community with special reference to nutrient mobilization. In: Carroll G. C. and Wicklow D. T. (eds) The fungal community, its organization and role in the ecosystems. 2nd ed. Marcel Dekker, New York, pp 631-652.

- 斎藤全生. 1971. 森林限界付近の植生. 富士山総合学術調査報告書, 富士急行株式会社, pp639-656.
- 佐橋憲生. 2004. 日本の森林・多様性の生物学シリーズ② 菌類の森. 東海大学出版会, 神奈川, 198p.
- Sato S. 1966. Studies on the rust fungi found on Mt. Fuji and its vicinities, Fuji-Hakone-Izu National Park, Japan with special reference to species of the tree rusts. Mem. Fac. Agri. Tokyo Univ. Education. 12: 1-64.
- Schmit J. P., Murphy J. F. and Mueller G. M. 1999. Macrofungal diversity of a temperate oak forest: a test of species richness estimators. Can. J. Bot. 77: 1014-1027.
- Schwarze F. W. M. R., Engels J. and Mattheck C. 2000. Fungal strategies of wood decay in trees. Springer-Verlag, Berlin, 185p.
- 柴田尚. 1987. 山梨県産高等菌類に関する研究Ⅰ—山梨県内でみられるハラタケ目アミタケ目およびベニタケ目菌類. 山梨県林業技術センター報告 16: 20-52.
- 柴田尚. 1992. 山梨県産高等菌類に関する研究Ⅱ—山梨県内のヒダナシタケ目菌類. 山梨県林業技術センター報告 18: 45-53.
- 柴田尚. 1996. 亜高山帯カラマツ林における外生菌根菌の生態. 第29回林業技術シンポジウム講演集: 31-37
- 柴田尚. 1997. 山梨県およびその周辺地域の亜高山帯針葉樹林の菌根性担子菌類. 山梨県森林総合研究所研究報告 19: 27-36.
- 柴田尚. 2000. 本州中部亜高山帯針葉樹林のきのこ. 森林科学 30: 8-13
- Shibata H. 2001. Three species *Cortinarius* subgenus *Phlegmacium* new to Japan. Mycoscience 42: 227-233.
- 柴田尚. 2002. 山梨県産高等菌類に関する研究Ⅲ—山梨県内でみられるハラタケ目アミタケ目およびベニタケ目菌類(2). 山梨県森林総合研究所研究報告 23: 1-12.
- 柴田尚. 2003. 大型菌類(きのこ). 生態系多様性調査(富士北麓地域)報告書, 環境省自然環境局生物多様性センター, pp29-37.

- Shibata H. 2004. *Cortinarius rebellus*, a poisonous species new to Japan. Mycoscience 45: 395-397.
- 森林土壌研究会. 1982. 森林土壌の調べ方とその性質. 林野弘済会, 東京, 328p.
- Smith S. E. and Read D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis 2nd ed. Academic Press, San Diego, 605p.
- Stendell E. R., Horton T. R. and Bruns T. 1999. Early effects of prescribed fire on the structure of the ectomycorrhizal fungus community in a Sierra Nevada ponderosa pine forest. Mycol. Res. 103: 1353-1359.
- Straatsma G., Ayer F. and Egli S. 2001. Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot. Mycol. Res. 103: 515-523.
- Sugiyama H., Shibata H., Isomura K. and Iwashima K. 1994 Concentration of radiocesium in mushrooms and substrates in the sub-alpine forest of Mt. Fuji Japan. J. Food. Hyg. Soc. Japan 35: 13-22.
- 鈴木和夫. 1999. 樹木医学. 朝倉書店, 東京, 325p.
- Taylor D. L. and Alexander I. J. 1989. Ectomycorrhizal synthesis with an isolate of *Russula aeruginea*. Mycol. Res. 92: 103-107.
- Taylor D. L. and Bruns T. D. 1999. Community structure of ectomycorrhizal fungi in a *Pinus muricata* forest: minimal overlap between the mature forest and resistant propagule communities. Molecular Ecology 8: 1837-1850.
- 寺島一郎. 2004. 植物と環境. 植物生態学, (甲山隆司他編), 朝倉書店, 東京. pp1-41.
- Thermorshuizen A. J. 1991. Succession of mycorrhizal fungi in stands of *Pinus sylvestris* in The Netherlands. J. Vegetation Science 2: 555-564.
- Thermorshuizen A. J. and Schaeffers A. P. 1989. The relation in the field between fruitbodies of mycorrhizal fungi and their mycorrhizas. Agaric. Ecosyst. Environ. 28: 509-512.
- Tohyama M. 1966. Subalpine needle-leaved forests of Mt. Fuji. – Forest

- vegetations of Mt. Fuji IV – Mem. Fac. Agri. Hokkaido University 6: 1-33.
- Trappe J. M. 1962. Fungus associates of ectotrophic mycorrhizae. Bot. Rev. 28: 538-606.
- Trappe J. M. 1977. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. Ann. Rev. Phytopath. 15: 203-222.
- Treu R., Laursen G.A., Stephenson S.L., Landolt J.C. and Densmore R. 1996. Mycorrhizae from Denali National Park and Preserve, Alaska. Mycorrhiza 6: 21-29.
- 津屋弘達. 1971. 富士山の地形・地質. 富士山総合学術調査報告書, 富士急行株式会社, pp1-150.
- Vare H., Vestberg M. and Euroala S. 1992. Mycorrhiza and root-associated fungi in Spitsbergen. Mycorrhiza 1: 93-104.
- Visser S. 1995. Ectomycorrhizal fungal succession in jack pine stands following wildfire. New Phytol. 129: 389-401.
- Vogt K. A., Bloomfield J., Ammirati J. F. and Ammirati S. R. 1992. Sporocarp production by basidiomycetes, with emphasis on forest ecosystems. In: Carroll G. C. and Wicklow D. T. (eds) The fungal community, its organization and role in the ecosystems. 2nd ed. Marcel Dekker, New York, pp 563-581.
- Watling R. 1995. Assessment of fungal diversity: macromycetes, the problems. Can. J. Bot. 73(Suppl. 1): s15-s24.
- 渡瀬彰. 1971. 富士山における天然林の生育. 富士山総合学術調査報告書, 富士急行株式会社, pp657-664.
- Widden P. 1997. Competition and fungal community. In: Wicklow D. T. and Soderstrom B. E. (eds) The Mycota VI. Environmental and microbial relationships. Springer, Berlin, pp 135-147.
- Worrall J. J. 1999. Fungal demography – Mushrooming populations. In: Worrall J. J. (ed) Structure and dynamics of fungal populations. Kluwer Academic

Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 175-194.

Wurzburger N., Hartshorn A.S. and Hendrick R.L. 2004. Ectomycorrhizal fungal community structure across a bog-forest ecotone in southeastern Alaska. *Mycorrhiza* 14: 383-389.

山田明義. 1996. アカマツ林内における外生菌根菌の群集生態学的研究. 博士学位論文. 筑波大学, 158p.

Yamada A. and Katsuya K. 1996. Morphological classification of ectomycorrhizas of *Pinus densiflora*. *Mycoscience* 37: 145-155.

Yang G., Cha J. Y., Shibuya M., Yajima T. and Takahashi K. 1998. The occurrence and diversity of ectomycorrhizas of *Larix kaempferi* seedlings on a volcanic mountain in Japan. *Mycol. Res.* 102: 1503-1508.

山梨県. 1980. 土地分類基本調査 一富士山（5万分の1）一. 山梨県, 34p.

山梨県林業試験場. 1975. 昭和 49 年度山梨県民有林適地適木調査説明書一富士山北西部地域一. 山梨県林業試験場, 36p.

山梨県林務部. 1976. 山梨県県有林第 1 次経営計画. 山梨県, 287p.

Zhou Z., Miwa M. and Hogetsu T. 2000. Genet distribution of ectomycorrhizal fungus *Suillus grevillei* populations in two *Larix kaempferi* stands over two years. *J. Plant Res.* 113: 365-374.

図版説明

図版Ⅰ

- 1 : 1980年4月14日に発生した雪崩直後の状況
- 2 : 1983年の調査開始時のカラマツ二次林 (LK3 林分)
- 3 : 1992年のLK3 林分

図版Ⅱ

- 4 : 1983年の調査開始時のカラマツ天然林 (LK100 林分)
- 5 : 1983年の調査開始時のカラマツ人工林 (LK12 林分)
- 6 : 1983年の調査開始時のカラマツ人工林 (LK43 林分)

図版Ⅲ

- 7 : 1983年の調査開始時のシラビソ人工林 (AV15 林分)
- 8 : 1983年の調査開始時のシラビソ人工林 (AV25 林分)
- 9 : 1983年の調査開始時のシラビソ人工林 (AV44 林分)

図版Ⅳ

- 10 : 1983年の調査開始時のシラビソ・オオシラビソ天然林 (AVn19 林分)
- 11 : 1983年の調査開始時のシラビソ・オオシラビソ天然林 (AVn21 林分)

図版Ⅴ

- 12 : 1983年の調査開始時のコメツガ天然林 (TDn17 林分)
- 13 : 1983年の調査開始時のコメツガ天然林 (TDn20 林分)
- 14 : 1983年の調査開始時のコメツガ天然林 (TDn22 林分)

図版Ⅵ

- 15 : 小川 (1981) のコロニー型分類によるフェアリーリング型コロニー (Ⅰ型) ;
シラビソ人工林内に形成されたウスタケ (*Gomphus floccosus*) のコロニー
- 16 : フジウスタケのシロ (コロニー) に形成された菌系束
- 17 : 小川 (1981) のコロニー型分類による不定形マット型コロニー (Ⅱ型) ; コメツガ天然林内に形成されたケロウジ (*Sarcodon scabrosus*) のコロニー

- 18：小川（1981）のコロニー型分類による分散コロニー型コロニー（Ⅲ型）；カラマツ
二次林内に形成されたワカフサタケ属菌（*Hebeloma* sp.）のコロニー

図版Ⅶ

- 19：カラマツ 2 次林に発生したワカフサタケ（*Hebeloma mesophaeum*）子実体 [K-1 群]
20：カラマツ 2 次林に発生したカラマツチチタケ（*Lactarius porninsis*）子実体 [K-2 群]
21：カラマツ林に発生したカラマツシメジ（*Tricholoma pusammopus*）子実体 [K-2 群]
22：カラマツ天然林に発生したキノメリガサ（*Hygrophorus lucorum*）子実体 [K-3 群]
23：カラマツ天然林に発生したハナイグチ（*Suillus grevillei*）子実体 [K-3 群]
24：カラマツ人工林に発生したアミハナイグチ（*Boletinus cavipes*）子実体 [K-4 群]
25：カラマツ天然林に発生したキノボリイグチ（*Suillus spectabilis*）子実体 [K-4 群]

図版Ⅷ

- 26：シラビソ人工林に発生したキツネタケ（*Laccaria laccata*）子実体 [S-1 群]
27：シラビソ人工林に発生したクロカワ（*Boletopsis leucomelaena*）子実体 [S-2 群]
28：シラビソ人工林に発生したアカモミタケ（*Lactarius laeticolorus*）子実体 [S-2 群]
29：シラビソ人工林に発生したタマゴタケ（*Amanita hemibapha*）子実体 [S-3 群]
30：シラビソ人工林に発生したニオイハリタケモドキ（*Hydnellum caeruleum*）子実体
[S-3 群]

図版Ⅸ

- 31：シラビソ人工林に発生したフジウスタケ（*Gomphus fujisanensis*）子実体 [S-4 群]
32：シラビソ人工林に発生したアイシメジ（*Tricholoma sejunctum*）子実体 [S-4 群]
33：シラビソ人工林に発生したショウゲンジ（*Rozites caperata*）子実体 [S-5 群]
34：シラビソ人工林に発生したウラグロニガイグチ（*Tylopilus eximius*）子実体 [S-5 群]

図版Ⅹ

- 35：シラビソ人工林に発生し，日本新産種として報告されたマダラフウセンタケ
（*Cortinarius scaurus*）子実体
36：コメツガ天然林に発生し，日本新産種として報告されたジンガサドクフウセンタケ
（*Cortinarius rubellus*）子実体





