

## 「酸性雨、侵入病害等による森林衰退現象と共生菌群集の多様性との関係の解明」

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
博士課程 鷓川 信

現在、日本各地で森林衰退が問題となっている。しかし、一概に森林衰退と言っても、その森林を構成する樹種や立地条件は異なっており、様々なタイプの森林衰退が起きていると考えられている。

外生菌根菌は、樹木の根に共生する共生菌類であり、宿主の樹木と養分や水分の交換を行うとともに、樹木のストレス耐性や病害に対する抵抗性を高める働きが知られており、森林生態系において重要な役割を果たしている。

上記のことから、森林衰退と外生菌根菌との間には、次の 2 つの関係が予想される。1 つは、森林衰退によって宿主樹木が枯死および衰弱することから、外生菌根菌の多様性および活性が低下することであり、また、もう 1 つは、多様な外生菌根菌の樹木生理への寄与によって、樹木が森林衰退の原因への抵抗性を獲得し、森林衰退の進行が妨げられるということである。前者は菌類（主に外生菌根菌）の保全という視点において、また、後者は森林衰退の防除策の開発において重要な知見になると考えられる。

以上を踏まえ、本研究では、森林衰退と外生菌根菌群集の多様性の関係を明らかにすることを目的とした。対象となる森林衰退は、丹沢山地におけるブナ林の衰退、都市化にともなう常緑広葉樹林の衰退、材線虫病によるマツ林の衰退、そして、亜高山帯における針葉樹林の衰退である。

以下に、上記 4 つのタイプの森林衰退における研究内容とその成果を示す。

### 1．丹沢山地におけるブナ林の衰退と外生菌根の多様性との関係

調査対象地：神奈川県丹沢山地

調査対象樹種：ブナ

衰退の原因：不明

研究の成果：

- ・本調査地内では、88%のブナが衰弱もしくは枯死している。
- ・本調査地内（最も離れた調査区間の距離は 900m）では、ブナの衰退は一様に起こる。
- ・ブナの衰退が起きている場所の土壌は酸性化していない。
- ・ブナの衰退（枯死のみでなく衰弱も含む）にともなって外生菌根の多様性が低下する。
- ・ブナの衰退にともなって外生菌根の種類組成が変化する。

## 2. 都市化にともなう常緑広葉樹林の外生菌根菌の群集構造の変化

調査対象地：

- ・東京都港区国立科学博物館付属自然教育園（都市域）
- ・千葉県千葉市千城台北（農村景観域）
- ・千葉県君津市札郷東京大学付属千葉演習林（山間域）

調査対象樹種：常緑広葉樹（主にスタジイ）

衰退の原因：人為活動における森林の利用形態や森林の分断化、

研究の成果：

- ・都市域と農村景観域では、木本相の多様性が低く、山間域では高い。
- ・農村景観域では、人為活動による森林の二次林化と土壌 pH の上昇が見られる。
- ・山間域では、外生菌根菌の多様性が高い。
- ・都市域と農村景観域では、外生菌根菌の種類組成が異なる。
- ・外生菌根菌の種類組成は、木本相の種類組成や土壌 pH と関係している。

## 3. 材線虫病によるマツ林の衰退と外生菌根菌の多様性との関係

調査対象地：茨城県筑波山

調査対象樹種：アカマツ

衰退の原因：マツノザイセンチュウ（病原）による材線虫病

研究の成果：

- ・外生菌根菌が多様な林分においても、材線虫病の被害は免れない。
- ・材線虫病の被害によりマツの生残量が減少すると、外生菌根菌の多様性が低くなる。
- ・材線虫病の被害を受けても、他の菌根性樹種が混交していれば、外生菌根菌の多様性は高く維持される。

## 4. 亜高山帯における針葉樹林の衰退と外生菌根菌の多様性との関係

調査対象地：長野県北八ヶ岳縞枯山

調査対象樹種：シラビソおよびオオシラビソ

衰退の原因：卓越風による環境ストレス（自然現象）

研究の成果：

- ・林分の受ける環境ストレスが高くなると、外生菌根菌の多様性が低くなる。
- ・枯死のみでなく、生理的な衰弱によっても、外生菌根菌の多様性が低くなる。

上記 4 つのタイプの森林衰退において共通してみられる外生菌根菌の群集構造の特徴としては、森林の衰退にともなって、その多様性が低下することが明らかになった。この現象は、衰退の原因に関わらず、宿主の衰退（枯死のみでなく衰弱も含む）によって引き起こされることが示唆された。一方で、多様な外生菌根菌群集の樹体への寄与によって森林衰退を防除できる可能性は、材線虫病によるマツ林の衰退のみで調べることができた。し

かし、残念ながら、多様な外生菌根菌群集でも材線虫病の被害を防ぐ可能性は低いことが示された。本研究の結果は、付随的に得られた知見も含め、外生菌根菌群集の保全について重要な知見を与えると考える。

#### **謝辞**

本研究成果は、公益信託エスペック地球環境研究・技術基金の支援によって得ることができた。ここに心より感謝の意を示し、厚く御礼を申し上げる。

## 「丹沢山地におけるブナ林の衰退と外生菌根の多様性との関係」

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
修士課程 猪頭 友子

### 1. はじめに

丹沢山地は神奈川県西北部に横たわる面積約 4 万 ha の山塊である。稜線部に広がるブナ林は近年多くの立ち枯れが報告されており、現在も衰退傾向にある。ブナの衰弱木はほぼ全域で認められ、枯損は集団的である。その跡地では後継樹がほとんど見られず、場所によっては草地化している。原因としては酸性霧やオゾンなどの大気汚染物質、ブナハバチ、ナラタケ病などの病虫害、ニホンジカの個体数増加による林床劣化などの諸説があるが、詳しい枯死機構はわかっていない(越地 1996、藤澤 2003、丹沢大山自然環境総合調査団 1997)。

一般に外生菌根菌は宿主植物から光合成産物を得る一方で、宿主の養水分吸収の促進や耐病性の向上など、宿主の生育に重要な機能を果たしている。この外生菌根菌はブナと共生し、共生体である外生菌根を形成することが知られている。以上のことから、樹木の健全性と地下部の外生菌根には密接な関係がある可能性が考えられる。加えて、ナラ類の枯死および衰退と地下部細根や外生菌根の衰退との関連も報告されている(奥田ら 2001)。したがって、丹沢のブナの衰退においても、地下部の外生菌根を調べることが必要だと考える。

そこで、本研究では、ブナの衰退と外生菌根の多様性との関係を明らかにすることを目的として、ブナ林の衰退状況と外生菌根の種類組成の調査を行った。

### 2. 調査地

神奈川県丹沢山地の鍋割山から塔ノ岳にかけてブナが優占する林分を選び(北緯 35 度 26 分、東経 139 度 9 分、標高 1340m の北斜面) P1~6 の 6 つの調査区(10m×10m)を設けた(図 1)。1993~1995 年の調査によると、調査区を含む林分では枯損木が 10~40%に達していた(丹沢大山自然環境総合調査 1997)。2003 年 7 月から 2004 年 6 月における鍋割山の平均気温は 8.7℃、積算降水量は 2479mm であった(神奈川県自然環境保全センター、図 2)。

各調査区の木本層の群落属性を表 1、下層植生の群落属性を表 2、また、土壌因子を表 3 に示す。調査地に生育する木本植物のうち樹高 130cm 以上のものは 3~8 種、計 27 種であり、ブナ以外の菌根性樹種(外生菌根を形成する樹種)は、P1、P2、P3、P5 においてク

マシデ属（クマシデ、イヌシデ、サワシバ）が見られ、P4、P6 では見られなかった。

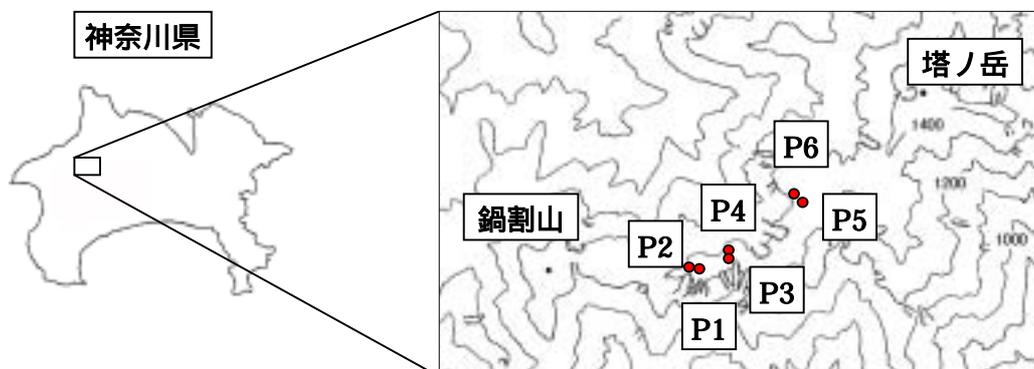


図1 各調査地の位置

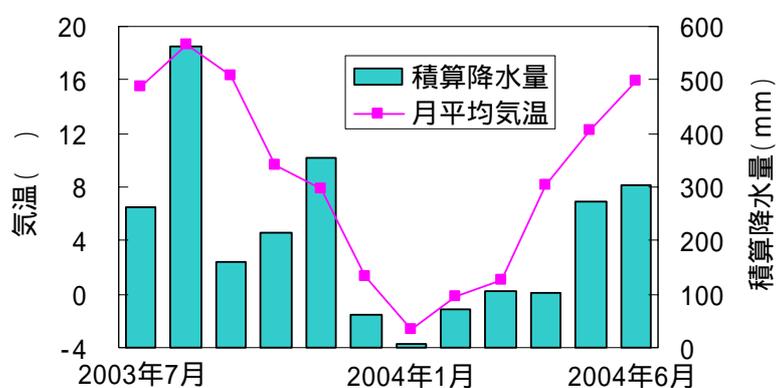


図2 鍋割山における2003年7月から2004年6月の月平均気温および月積算降水量

表1 各調査区における木本層の群落属性

| 調査区                        | P1   | P2   | P3   | P4   | P5   | P6    |
|----------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| 種数                         | 7    | 6    | 8    | 3    | 6    | 6     |
| 幹数                         | 15   | 19   | 11   | 9    | 14   | 16    |
| 胸高断面積合計 (cm <sup>2</sup> ) | 7119 | 6632 | 3302 | 4840 | 8892 | 10170 |
| 最大胸高直径 (cm)                | 89.1 | 82.9 | 46.3 | 58.0 | 71.5 | 97.6  |
| 最大樹高 (m)                   | 18.9 | 18.7 | 21.2 | 17.5 | 17.4 | 25.6  |
| 優占種                        | ブナ   | ブナ   | ブナ   | ブナ   | ブナ   | ブナ    |
| 多様性指数Shannon's H           | 0.51 | 0.65 | 0.96 | 0.35 | 0.44 | 0.20  |

表2 各調査区における下層植生の群落属性

| 調査区        | P1     | P2             | P3    | P4            | P5              | P6                 |
|------------|--------|----------------|-------|---------------|-----------------|--------------------|
| 植被率 (%)    | 23     | 85             | 5     | 98            | 30              | 90                 |
| 最大群落高 (cm) | 37     | 100            | 21    | 160           | 56              | 150                |
| 優占種        | テンニンソウ | テンニンソウ<br>スズタケ | タイアザミ | ウツギ<br>ウワバミソウ | テンニンソウ<br>タイアザミ | オオバアサガラ<br>ヤマトリカブト |

表3 各調査区の土壌因子

| 調査区       | P1         | P2         | P3        | P4         | P5         | P6         |
|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| 土壌水分 (%)  | 43 ± 3     | 38 ± 5     | 46 ± 5    | 45 ± 6     | 60 ± 8     | 42 ± 6     |
| 土壌硬度 (mm) | 9 ± 3      | 6 ± 2      | 8 ± 3     | 4 ± 2      | 10 ± 3     | 3 ± 1      |
| 土壌pH      | 5.2 ± 0.3  | 5.2 ± 0.2  | 5.4 ± 0.1 | 5.4 ± 0.1  | 5.4 ± 0.1  | 5.3 ± 0.1  |
| 土壌EC (μS) | 133 ± 28   | 145 ± 34   | 148 ± 24  | 130 ± 15   | 146 ± 22   | 138 ± 36   |
| 土壌C量 (%)  | 9.0 ± 2.5  | 8.2 ± 2.3  | 6.3 ± 0.9 | 7.5 ± 1.0  | 8.0 ± 1.4  | 9.3 ± 2.0  |
| 土壌N量 (%)  | 0.8 ± 0.2  | 0.7 ± 0.1  | 0.7 ± 0.1 | 0.7 ± 0.1  | 0.8 ± 0.1  | 0.9 ± 0.2  |
| 土壌C/N比    | 11.4 ± 1.1 | 10.8 ± 1.6 | 9.5 ± 0.7 | 10.5 ± 0.6 | 10.4 ± 0.7 | 10.8 ± 0.7 |

\*: 各値は平均値 ± 標準偏差 (S.D.) を示す。

### 3. 調査方法

#### ブナ衰退状況調査

ブナの衰退状況を把握するため、2003年7月から2004年5月にかけて、調査区内と調査区周辺のブナ個体の衰退度を調べた。衰退度の評価は、齋藤(2000)を改め、葉量や枯枝の量にもとづき、健全(衰退度0)から枯死(衰退度5)までの6段階で行った。

#### 外生菌根形成状況調査

各調査区より衰退度の異なるブナ個体を選び、調査対象木とした(表4)。2004年5月に、これらの個体の根元から1m離れた地点において、表層5cmの深さまでの土壌コア(100ml)を4つずつ採取した。これらの土壌コアからブナの外生菌根を拾い上げ(山田2000)、実体顕微鏡下で観察を行った。各外生菌根はその外部形態によりタイプ分類を行い(Agerer 1987-2002)、根端数、タイプ数、優占タイプ、多様性指数(Shannon's H)、菌根形成率(【外生菌根数】/【総根端数】×100)を求めた。

表4 各調査地における調査対象木のサイズと衰退度

| 調査区      | P1   | P2   | P3   | P4   | P5   | P6   |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 調査対象木    | S1   | S2   | S3   | S4   | S5   | S6   |
| 胸高直径(cm) | 89.1 | 82.9 | 46.3 | 58   | 77.5 | 97.6 |
| 樹高(m)    | 18.9 | 18.7 | 21.2 | 17.1 | 21.1 | 25.6 |
| 衰退度      | 0    | 0    | 2    | 1    | 4    | 2    |

### 4. 結果

#### ブナ衰退状況調査

調査地全体で、本数において、88%が衰退し、うち79%が衰弱、9%が枯死していた(表5)。各調査区間の衰退度について分散分析を行ったところ、調査区間の衰退度に有意な差は見られなかった(n=6、

表5 各調査区のブナの衰退度

| 衰退度      | 調査区名 |    |    |    |    |    |
|----------|------|----|----|----|----|----|
|          | P1   | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| 0(健全)    | 1    | 1  |    | 1  | 1  |    |
| 1(衰退兆候)  | 1    | 5  | 2  | 1  | 4  | 2  |
| 2(やや衰退)  |      | 1  | 3  | 2  | 1  | 3  |
| 3(衰退)    |      |    |    |    | 1  |    |
| 4(著しく衰退) |      |    |    |    | 1  |    |
| 5(枯死)    |      | 1  | 1  |    | 1  |    |

$F=0.05, p=0.65$  )

### 外生菌根形成状況調査

各調査対象木における外生菌根の群集属性を表6に示す。

表6 各調査対象木における外生菌根の群集属性

| 調査対象木                 | S1       | S2                  | S3                 | S4                  | S5   | S6        |
|-----------------------|----------|---------------------|--------------------|---------------------|------|-----------|
| 衰退度                   | 0        | 0                   | 2                  | 1                   | 4    | 2         |
| 土壌100mlあたりの<br>平均根端数  | 213      | 2072                | 940                | 607                 | 57   | 441       |
| 出現タイプ数                | 9        | 19                  | 9                  | 8                   | 1    | 4         |
| 優占タイプ                 | T1,T6,T3 | T6,T13,T15<br>他7タイプ | T6,T5,T13<br>他2タイプ | T13,T8,T20<br>他2タイプ | T13  | T5,T4,T22 |
| 多様性指数<br>Shannon's H' | 1.58     | 2.49                | 1.82               | 1.83                | 0.00 | 1.04      |
| 菌根形成率(%)              | 19       | 70                  | 51                 | 35                  | 4    | 36        |

ブナの衰退度が高まるにつれて、総根端数、外生菌根タイプ数、外生菌根形成率が減少する傾向が、S1を除いて見られた(表6)。調査対象木の衰退度と外生菌根の各群集属性との相関分析を行ったところ、調査対象木の衰退度と外生菌根の出現タイプ数との間に有意な相関が認められた( $n=6, r=0.862, p<0.05$ 、図3)。また、優占タイプのうちT1、T6は衰退度が高くなると見られなくなった(表6、図4、図5)

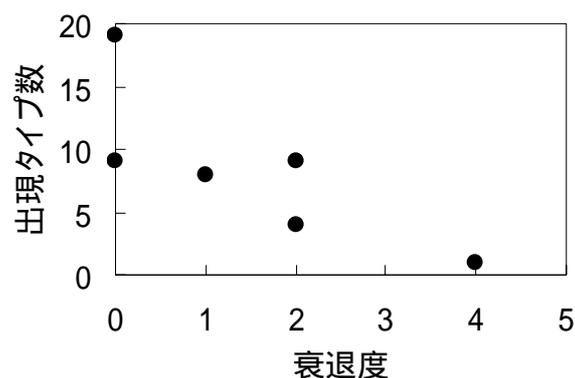


図3 ブナ調査対象木の衰退度と外生菌根の出現タイプ数



図4 外生菌根タイプT1



図5 外生菌根タイプT6

## 5. 考察

調査区間で衰退度には差は見られなかったことから、本調査地のスケールにおいては様に衰退が起きていると捉えることができた。そこで、調査区ではなく、衰退度の異なるブナ個体を調査対象木として外生菌根の形成状況を調べた。その結果、調査対象木の衰退度が高くなるとともに外生菌根の出現タイプ数は減少した。したがって、丹沢山地のブナ林においては、ブナ個体の衰退と地下部における外生菌根菌の多様性との間に関連があることが示唆された。

ブナの衰退と外生菌根の多様性の間には次のような2つの可能性が考えられた。1つは、土壌や植生などの環境変化によって外生菌根菌の多様性が低下することで宿主樹木が衰退するという可能性であり、また、もう1つは、宿主樹木の衰退によって宿主の光合成産物の生産量が減少したため、共生する外生菌根の出現タイプ数の減少が起きるといった可能性であった。本研究では、土壌や植生の各因子と外生菌根の多様性との関連は見られず、土壌や植生などの環境変化により菌根菌の多様性が低下した可能性は低いと考えられた。

また、ブナの衰退と連動して優占する菌根タイプが推移することが示されたことより、菌根の種類組成の変化も起こっている可能性が示された。

## 6. 引用文献

- Agerer R. (1996-2002) Colour atlas of ectomycorrhizae. 1-12th del. Einhorn-Verlag.
- 藤澤示弘 (2003) 丹沢山地のブナ林における外生菌根調査(1) 林床植生の影響. 神奈川県自然環境保全センター研究報告 30: 1-7.
- 越地正、鈴木清、須賀一夫 (1996) 丹沢山地における森林衰退の調査研究(1)ブナ、モミ等の枯損実態. 神奈川県森林研究所研究報告 22: 7-18.
- 奥田章子、西田謙次、松田陽介、伊藤進一郎 (2001) ナラ類集団枯損被害林分におけるコナラ・ミズナラ根系について - 菌根の形態類別と菌根形成率の季節変化 - . 日林講 112: 279.
- 齋藤央嗣 (2003) 丹沢山地におけるブナのクロロフィル含量と衰退形態 (予報). 神奈川県自然環境保全センター研究報告 30: 41-47.
- 丹沢大山自然環境総合調査団 (1997) 丹沢大山自然環境総合調査報告書. (財)神奈川県公園協会・丹沢大山総合調査団企画委員会編. 635pp、神奈川県環境部、横浜.
- 山田明義 (2001) 菌類の採集・検出と分離: 外生菌根菌( ). 採集法ならびに採集試料の前処理法. 日菌報 42: 33-39.

## 7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、神奈川県自然環境保全センターの藤澤示弘氏にご協力いただきました。また、本研究成果は、公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の支援によって得ることができました。この場をお借りして、厚く御礼申し上げます。

## 「都市化にともなう常緑広葉樹林の外生菌根菌の群集構造の変化」

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
博士課程 落丸 武彦

### 1. はじめに

関東地方以南の海岸、平野、低部山地の潜在的な極相はタブ・シイ・カシなどの優占する常緑広葉樹林である。人々が容易にアクセスすることのできるこれらの樹林地は古くから開拓・木材の採集・人工植林など人為の影響を受けており、樹林地の分断化や植生の二次林化といった現象が起こっている。他方、都市部ではヒートアイランド現象に代表される都市特有の気象変化が確認され、それに伴う植生の変化も指摘されている。

都市域・農村景観域に見られるこれらの気象や植生の変化、また、それに伴う鳥類相、土壤動物相、その他の動物相の変化は、これまでに調査報告がなされてきたが、菌類相における変化に関しては、菌類の分類および生態が十分に研究されていないこともあり、未だに研究例が少ない。特に、樹木と共生し、その生育に大きく寄与していると考えられている外生菌根菌が、人為の影響下にある樹林地において、どのような特徴を持って存在しているかを知ることが、これらの樹林を保全していく上でも重要な知見となる。

したがって、本研究では、まず、都市化にともなう植生および土壌の環境の変化を捉え、次いで、それらの環境の変化にともなう外生菌根菌の群集構造の変化を明らかにすることを目的とした。そして、これらの目的を達成するために、都市域、農村景観域、山間域の3箇所における植生および土壌の調査、また、菌根性子実体（外生菌根菌によって作られるキノコ）の調査を行った。

### 2. 調査地

関東地方において、都市域、農村景観域、山間域の3箇所の調査地を設定した。各調査地において10m×10mのコドラートを3つずつ（A、B、C）設置した。すべてのコドラートの林冠構成種は、スダジイを含んでいる。スダジイは、関東地方の山地下部以下の潜在自然植生である常緑広葉樹であり、また、外生菌根性樹種でもある。

都市域の調査地として、国立科学博物館附属自然教育園（東京都港区）を設定した（以下「自然教育園」）。自然教育園は400～500年前に豪族の館として開かれた。周囲にめぐらされた土塁の上にスダジイが植えられ、それ以降天然更新を続けている。後に宮内庁の白金御料地となり、1949年に国の天然記念物に指定された。自然教育園では都市気候の影響から暖地性のシュロやアオキが増加しているが、林冠には達していない。

農村景観域の調査地として千葉県千葉市千城台北を設定した（以下「千城台北」）。千城台北は、千葉市と四街道市の境にあたり、谷津と呼ばれる台地を刻む浅い谷が多く見られる。これらの谷津は水田に利用されている。台地上には、集落や畑地、二次林、人工林などがモザイク状に広がる。常緑広葉樹林は、それらの景観の中に島状に分布する。また、千城台北では、近隣の植生や過去の土地利用による影響がその植生に見られる。

山間域の調査地として東京大学附属千葉演習林（千葉県君津市札郷）を設定した（以下「千葉演習林」）。千葉演習林は、1897年に大学演習林とされ、スギ・ヒノキが植栽される一方、天然生の常緑広葉樹林も保護されてきた。また、千葉演習林では、都市域や農村景観域で見られないモミなどが生育している。

各調査地に近い気象庁の観測所（東京・千葉・鴨川）の2003年のデータによると、各地の平均気温は、東京で16.0、千葉で15.5、鴨川で15.6であった。また、積算降水量は、東京で1854mm、千葉で1595mm、鴨川で2313mmであった。

### 3. 調査方法

#### *都市化にともなう植生の変化*

2000年8月に各調査地の各コドラートにおいて、木本相の各個体の種名と胸高直径（地際から1.3mの高さにおける幹の直径）を記録した。それらのデータより、各樹種の胸高断面面積を算出し、相対優占度を算出した。さらに、相対優占度をもとにDCA解析を行った。DCA解析は、主成分分析の一種であり、各コドラートの木本の種類組成をスコアとして表すことができる。ただし、一次的に表現することは不可能であり、複数次元のスコア（例えば、DCA1軸のスコア、DCA2軸のスコア、DCA3軸のスコア、など）に変換される。この場合、種類組成の寄与度は、DCA1軸のスコアが最も高く、DCA2軸、DCA3軸と寄与度が低くなっていく。

#### *都市化にともなう土壌因子の変化*

2001年10月に土壌サンプルを採集し、土壌pHおよび土壌ECの測定を行った。これらのデータから、分散分析を行い、土壌pHおよび土壌ECについて調査地間およびコドラート間の差異を調べた。

#### *都市化にともなう菌根性子実体の群集構造の変化*

2000～2003年の5～11月（2000年は8月から）にかけて2週に1回の頻度で菌根性子実体の調査を行った。各コドラートを2m×2mのサブコドラートに分割し、各コドラート内に出現した菌根性子実体の種名と出現位置を記録した。これらのデータから、ある種の菌根性子実体の発生したサブコドラートの数を、その種の出現頻度とした。これら菌根性子実体の発生頻度をもとにDCA解析を行い、菌根性子実体の種類組成をスコア化した。なお、千葉演習林の調査地内に生育し、自然教育園や千城台北では見られなかったモミは、外生菌根性であり、都市域・農村景観域との対照区として、千葉演習林の調査地を設定し

たため、明らかにモミを宿主としていると考えられる菌根性子実体の種に関しては、上記解析から除外した。

#### 4. 結果

##### 都市化にともなう植生の変化

各調査地の各コドラートにおける群落属性を表1に示す。

表1 各調査地の各コドラートにおける群落属性

| 調査地<br>コドラート                        | 自然教育園 |      |      | 千城台北 |      |       | 千葉演習林 |       |       |
|-------------------------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | A     | B    | C    | A    | B    | C     | A     | B     | C     |
| 種数                                  | 6     | 12   | 11   | 5    | 8    | 9     | 9     | 12    | 9     |
| 幹数                                  | 23    | 34   | 43   | 25   | 30   | 52    | 33    | 44    | 34    |
| 最大樹高(cm)                            | 1100  | 1000 | 1200 | 1800 | 1800 | 2000  | 2500  | 2300  | 2400  |
| 最大胸高直径(cm)                          | 102   | 94   | 59   | 75   | 48   | 47    | 91    | 86    | 73    |
| 胸高断面積合計(cm <sup>2</sup> )           | 8907  | 8306 | 4241 | 8837 | 6289 | 15795 | 15457 | 13251 | 15966 |
| 菌根性樹種の<br>胸高断面積合計(cm <sup>2</sup> ) | 8203  | 6969 | 3011 | 7785 | 2622 | 15526 | 14421 | 8799  | 14816 |
| 常緑樹の<br>胸高断面積合計(cm <sup>2</sup> )   | 8907  | 7274 | 3714 | 8461 | 6022 | 15124 | 15457 | 13251 | 15966 |
| 落葉樹の<br>胸高断面積合計(cm <sup>2</sup> )   | -     | 1032 | 527  | 375  | 267  | 671   | -     | -     | -     |
| 多様性指数Shannon's H'                   | 0.35  | 0.68 | 1.14 | 1.09 | 1.37 | 0.62  | 1.20  | 1.66  | 1.45  |

千葉演習林における多様性指数は、他の2つの調査地と比べ、高かった(表1)。

DCA1軸およびDCA2軸のスコアによる散布図を図1に示す。各コドラートのDCA1軸のスコアは調査地ごとに固まって分布した(図1)。また、木本相のDCA1軸のスコアは、胸高断面積合計、常緑樹の胸高断面積合計と緩やかな負の相関を示し、落葉樹の胸高断面積と緩やかな正の相関を示した。

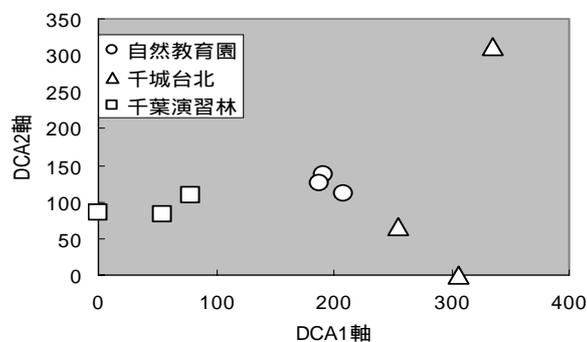


図1 木本相DCA解析

##### 都市化にともなう土壌因子の変化

各調査地の各コドラートにおける土壌因子を表2に示す。

分散分析を行ったところ、土壌のpHは、自然教育園と千葉演習林との間では

表2 各調査地の各コドラートにおける土壌因子

| 調査地<br>コドラート | 自然教育園 |     |     | 千城台北 |     |     | 千葉演習林 |     |     |
|--------------|-------|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|-----|
|              | A     | B   | C   | A    | B   | C   | A     | B   | C   |
| 土壌pH         | 4.7   | 5.0 | 4.8 | 5.8  | 5.1 | 5.1 | 4.8   | 4.9 | 4.8 |
| 土壌EC(μS)     | 299   | 214 | 223 | 274  | 193 | 199 | 149   | 224 | 226 |

有意な差がなかったが、自然教育園と千城台北との間、千城台北と千葉演習林との間では、それぞれ5%水準で有意な差が見られた。千城台北の土壌 pH は、他の調査地に比べて高いと言える。千城台北の

3つのコドラート間においても5%水準で有意な差が見られ、サイトBが特に高いpHを示した(図2)。

土壌ECについては、調査地間およびコドラート間に有意な差は見られなかった。

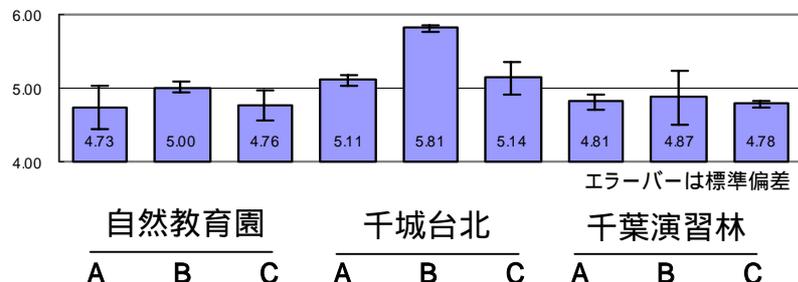


図2 各調査地の土壌pH

### 都市化にともなう菌根性子実体の群集構造の変化

菌根性子実体の種数は、モミを宿主とする菌根性子実体を除いた場合でも、千葉演習林で最も多く、自然教育園や千城台北では少ない傾向が見られた(表3)。それぞれの種の発生頻度から相対的な優占度を算出し、多様性指数

(Shannon's H') を求めたところ、千葉演習林が最も高く、自然教育園や千城台北では低くなる傾向が見られた(表3)。

表3 各調査地の各コドラートにおける菌根性子実体の発生状況

| 調査地                   | 自然教育園 |      |      | 千城台北 |      |      | 千葉演習林 |      |      |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
|                       | A     | B    | C    | A    | B    | C    | A     | B    | C    |
| 種数                    | 6.0   | 3.0  | 3.0  | 6.0  | 2.0  | 5.0  | 9.0   | 6.0  | 10.0 |
| 発生頻度                  | 28    | 14   | 17   | 17   | 2    | 17   | 24    | 8    | 14   |
| 多様性指数<br>Shannon's H' | 1.38  | 0.51 | 0.44 | 1.32 | 0.69 | 1.00 | 1.94  | 1.73 | 2.14 |

園や千城台北では低くなる傾向が見られた(表3)。

また、菌根性子実体の発生頻度にもとづくDCA1軸およびDCA3軸のスコアによる散布図を図3に示す。千城台北の3つのコドラートでは、DCA3軸のスコアが低く、自然教育園および千葉演習林の6つのコドラートでは、DCA3軸のスコアが高かった。また、自然教育園の3つのコドラートでは、DCA1軸のスコアが低く、千葉演習林の3つのコドラートでは、DCA1軸のスコアが高かった。また、千城台北のコドラートAでは、DCA1軸のスコアが千葉演習林のものと同様に高かった。千城台北のコドラートBおよびコドラートCでは、DCA1軸のスコアが自然教育園のもの

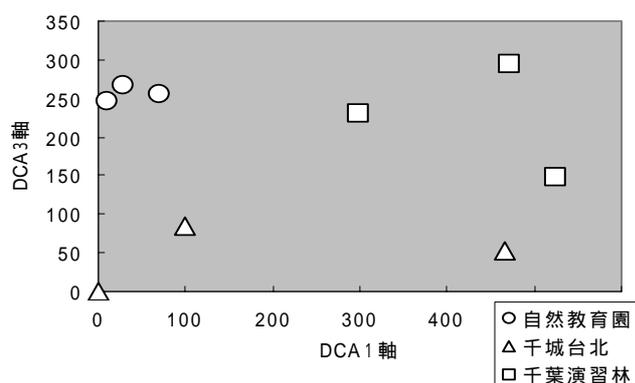


図3 子実体DCA解析

千城台北のコドラートAでは、DCA1軸のスコアが千葉演習林のものと同様に高かった。千城台北のコドラートBおよびコドラートCでは、DCA1軸のスコアが自然教育園のもの

と同様に低かった。

加えて、菌根性子実体の発生頻度にもとづく DCA1 軸のスコアは、菌根性子実体の種数と 5% で有意な正の相関を、また、菌根性子実体の多様性指数と 1% で有意な正の相関を示した。DCA1 軸のスコアとその発生頻度が 0.2 以上の相関係数を示した種は、カバイロツルタケ、コテングタケモドキ、チチタケであり、- 0.2 以下の相関係数を示した種は、シロハツモドキ、ニセクサハツ、カワリハツであった。DCA3 軸のスコアとその発生頻度が 0.2 以上の相関係数を示した種は、キニガイグチ、シロハツモドキ、カワリハツであり、- 0.2 以下の相関係数を示した種は、コテングタケモドキ、ニセクサハツ、チチタケであった。

#### *菌根性子実体の群集構造の変化に影響を与える環境要因*

菌根性子実体の DCA3 軸のスコアは、木本相の DCA 1 軸、土壌 pH とそれぞれ 5% で有意な負の相関を示した。

## 5. 考察

### *都市化にともなう植生の変化*

木本相の多様性指数が千葉演習林で比較的高かったことから、山間域では林地の分断化が起こらず、高い多様性が保たれることが考えられる。また、DCA1 軸のスコアは、群落のバイオマス量（胸高断面積合計）と緩やかな正の相関を、落葉樹のバイオマス量（胸高断面積合計）と緩やかな負の相関を示したことから、林分の二次林的性質を表していると考えられた。したがって、調査地間で比較すると、千城台北が最も二次林的性質が強く、農村景観域では人為活動の影響が強いことが示唆された。また、千城台北の 3 つのコドラートでは、DCA2 軸のスコアがばらつくことから、農村景観域においても、人為活動の量および質に差異があることが考えられた。

### *都市化にともなう土壌因子の変化*

土壌 pH は、千城台北で他の 2 つの調査地に比べ有意に高かった。リター量が増加すると、リターの分解過程で発生する有機酸の量も増加するため、土壌 pH が高くなる。したがって、農村景観域では、植生の二次林化によって落葉樹が増え、リター量が増加することで土壌 pH も高くなることが考えられる。さらに、千城台北の 3 つのコドラート間でも有意な差が見られ、人為活動の量および質の差異にともなう二次林的性質の差異が、土壌 pH に影響を与えることが考えられた。

### *都市化にともなう菌根性子実体の群集構造の変化*

千葉演習林では、他の 2 つの調査地に比べ、菌根性子実体の多様性が高く、山間域の外生菌根菌の多様性が高いことが示唆された。一方、自然教育園と千城台北、つまり、農村景観域と都市域では、外生菌根菌の多様性が低いことが示唆されたが、この 2 つの調査地間

では外生菌根菌の種類組成が異なることが示された。すなわち、菌根性子実体の発生頻度にもとづく DCA3 軸のスコアは、自然教育園では高く、千城台北では低かった。また、DCA3 軸のスコアは、シロハツモドキやカワリハツの発生頻度と正の相関を示すことから、自然教育園と千城台北、つまり、都市域と農村景観域との常緑広葉樹林の外生菌根菌の種類組成の差異は、それらの種によって特徴付けられていることが示唆された。加えて、千城台北では、植栽樹種や二次林構成樹種が少なく自然の常緑広葉樹林に近いと思われるコドラート A の DCA1 軸スコアが千葉演習林と同様に高く、人為活動が樹種構成に影響を与えていると思われるコドラート B、C の DCA1 軸スコアが自然教育園と同様に低いことから、農村景観域では樹林地の管理様式、周囲の土地利用、過去の植生の履歴によって、外生菌根菌の種類組成が大きく変動することが示唆された。さらに、千城台北の人為活動の影響を受けていると思われるコドラートは、DCA1 軸と DCA3 軸のスコアがともに低く、DCA1 軸および DCA3 軸のスコアに負の相関を示したニセクサハツが、これらの樹林の外生菌根菌の種類組成を特徴付けていることが示唆された。

#### *菌根性子実体の群集構造の変化に影響を与える環境要因*

菌根性子実体の発生頻度にもとづく DCA3 軸のスコアが木本相の DCA1 軸と有意な相関を示したことから、外生菌根菌の種類組成が、木本相の種類組成、とくに林分の二次林的性質と関連があることが考えられた。また、菌根性子実体の発生頻度にもとづく DCA3 軸のスコアが土壌 pH と有意な相関を示したことから、外生菌根菌の種類組成と土壌条件との間にも関連があることが示唆された。

## 6. まとめ

「都市化」を一元的に定義することは困難だと考えられた。したがって、本研究では、まず、植生と土壌の2つの側面によって都市化を捉えた。すなわち、山間域は木本相の高い多様性、農村景観域は植生の二次林化とそれにもなう土壌 pH の上昇によって特徴付けられた。

都市化による植生と土壌のこれらの変化は、明らかに外生菌根菌の群集構造に影響を与えていた。つまり、木本相の多様性の高い山間域では外生菌根菌の多様性が高くなる傾向が見られ、二次林的性質や土壌 pH の異なる都市域と農村景観域では外生菌根菌の種類組成が異なった。

以上の結果は、これからの都市計画や農村開発において、外生菌根菌の多様性や種類組成という生物的要素を考える上で重要な知見になると考えられる。

## 7. 謝辞

本研究は、公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の支援によって進めることができた。ここに心より感謝の意を表し、厚く御礼を申しあげる。

## 「材線虫病によるマツ林の衰退と外生菌根菌の多様性との関係」

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
博士課程 鷓川 信

### 1. はじめに

材線虫病は、主にアカマツ、クロマツを枯死させる森林病害であり、全国のマツ林に年間約 100 万 m<sup>3</sup> の材積被害を与える我が国で最大の森林病害である。病原体はマツノザイセンチュウであり、その侵入によってマツ個体内の水分生理状態が悪化し、枯死に至る。したがって、材線虫病による枯死は、水ストレスの発生する夏期に集中して起こる。今現在、様々な防除策が講じられているが、蔓延した材線虫病を終息に向かわせる方法は、未だ開発されていない。

外生菌根菌は、樹木の根に外生菌根と呼ばれる共生体を作る菌類である。この外生菌根菌は、樹木から光合成産物を得る一方で、樹木の養水分吸収の補助、耐病性の向上などの樹木生理への寄与を行い、樹木が受ける環境ストレスを軽減する。したがって、共生する外生菌根菌の量および多様性が、マツ樹体の受ける環境ストレスを軽減し、結果として、材線虫病への抵抗性を高めることが考えられる。一方で、材線虫病に伴うマツ樹体の枯死が、マツを宿主とする外生菌根菌の量および多様性の低下を引き起こすことも考えられる。

以上を踏まえ、本研究では、材線虫病被害と外生菌根菌の量および多様性との関係、とくに、「外生菌根菌が材線虫病の抵抗性に寄与する可能性」と「材線虫病による宿主マツの枯死が外生菌根菌に与える影響」を明らかにするため、茨城県筑波山周辺のアカマツ林において、菌根性子実体（外生菌根菌が形成するキノコ）の調査を行った。

### 2. 調査地

本研究では、茨城県筑波山周辺のアカマツ林に 10 個のコドラート（水平方向 30m × 斜面方向 20m の方形区）を設置した。茨城県筑波山においては、1990 年代後半から材線虫病の被害が広がり、アカマツの大量枯死が確認されている。本調査地においても、様々な防除策が講じられているが、材線虫病の被害は広がり続けている（図 1）。



図 1 筑波山における材線虫病被害

茨城県つくば市における 2003 年の平均気温

は 13.6 、積算降水量は 1385mm であった。また、2002 年冬期における各コドラートの群落属性を表 1 に、2000 年における土壌因子を表 2 に示す。とくに、m1 および m2 のコドラートについては、コナラやクマシデなどマツ以外の菌根性樹種（外生菌根菌が共生することのできる樹種）の相対優占率が高かった。

表1 2002年冬期における各コドラートの群落属性

| 調査地                                       | p1   | p2   | p3   | p4   | p5   | p6   | p7   | p8   | m1   | m2   |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 種数  | 13   | 15   | 20   | 21   | 24   | 20   | 11   | 13   | 22   | 19   |
| 幹数  | 97   | 112  | 156  | 132  | 184  | 159  | 73   | 91   | 151  | 162  |
| 胸高断面積合計(m <sup>2</sup> )                  | 2.50 | 2.65 | 1.60 | 2.22 | 2.32 | 1.44 | 1.38 | 0.66 | 2.06 | 1.67 |
| アカマツ以外の菌根性樹種の<br>胸高断面積合計(m <sup>2</sup> ) | 0.06 | 0.11 | 0.03 | 0.03 | 0.13 | 0.18 | 0.11 | 0.02 | 0.48 | 0.46 |
| 最大胸高直径(cm)                                | 40.0 | 43.5 | 36.0 | 40.5 | 36.0 | 36.0 | 44.0 | 40.5 | 32.0 | 35.5 |
| 多様性指数Shannon's H'                         | 0.74 | 0.70 | 1.03 | 0.68 | 1.27 | 1.59 | 1.64 | 1.82 | 1.41 | 1.85 |
| アカマツの幹数                                   | 41   | 41   | 26   | 37   | 33   | 23   | 6    | 4    | 28   | 22   |
| アカマツの胸高断面積合計(m <sup>2</sup> )             | 2.03 | 2.26 | 1.25 | 1.95 | 1.50 | 0.84 | 0.61 | 0.29 | 1.00 | 0.69 |
| アカマツの累積枯死率(%)                             | 28   | 31   | 45   | 47   | 51   | 76   | 85   | 89   | 51   | 63   |

表2 2000年における各コドラートの表層から5cmの深さの土壌因子

| 調査地     | p1   | p2   | p3   | p4   | p5   | p6   | p7   | p8   | m1   | m2   |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 土壌pH    | 5.3  | 5.0  | 4.7  | 5.2  | 4.9  | 5.3  | 5.0  | 4.8  | 4.9  | 4.9  |
| 土壌N量(%) | 0.3  | 0.6  | 0.5  | 0.4  | 0.6  | 0.4  | 0.6  | 0.5  | 0.7  | 0.5  |
| 土壌C量(%) | 4.9  | 9.5  | 8.0  | 5.9  | 9.6  | 5.7  | 9.0  | 8.3  | 12.5 | 8.3  |
| 土壌C/N比  | 14.9 | 16.0 | 16.8 | 15.8 | 16.4 | 14.8 | 16.4 | 15.5 | 17.4 | 17.0 |
| 固相率(%)  | 29   | 31   | 22   | 39   | 19   | 33   | 22   | 28   | 18   | 25   |
| 液相率(%)  | 33   | 38   | 38   | 36   | 32   | 31   | 35   | 41   | 29   | 23   |
| 気相率(%)  | 38   | 31   | 40   | 25   | 49   | 36   | 43   | 31   | 52   | 51   |

### 3. 調査方法

#### 材線虫病被害とマツの生残木

2002 年と 2003 年に、材線虫病が発生しない冬期において、各コドラートにおけるマツの生死を確認し、また、その胸高断面積(地面から 1.3m の高さにおける幹の断面積で、通常、幹の直径から算出する)を求めた。これらのデータから、各コドラートにおける 2003 年の材線虫病被害後のマツ生残木の

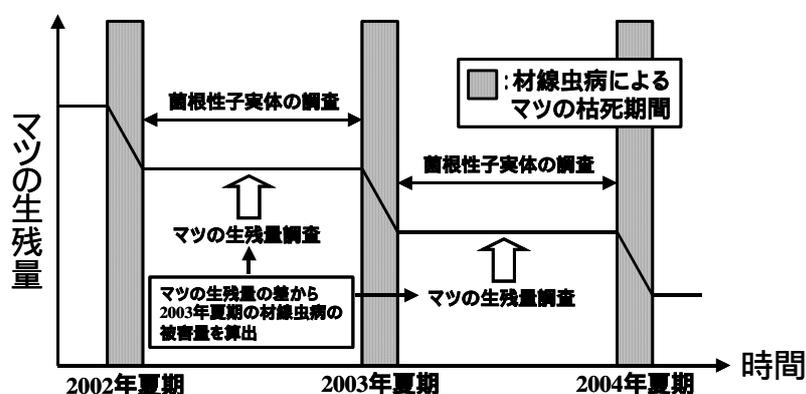


図2 時間の経過に伴う材線虫病の被害とマツの生残量

胸高断面積合計、2003年夏期の材線虫病の被害率( = 【枯死木の本数】 / (【枯死木の本数】 + 【生残木の本数】)) を各年について算出した(図2)。

### 菌根性子実体

2002年8月から2004年7月までの2年間に、子実体の発生する5~11月に2週間に1回の頻度で各コドラートに発生する菌根性子実体の種を記録した。また、各コドラートを25cm×25cmの小区画に分割し、菌根性子実体が発生した小区画の位置を記録した。これらのデータから、材線虫病が発生する夏期に着目し、8月から7月までの各コドラートにおける菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数 Shannon's H' を算出した(図2)。

## 4. 結果

### 外生菌根菌が材線虫病の抵抗性に寄与する可能性

外生菌根菌が各コドラートの材線虫病の抵抗性に寄与する可能性を調べるため、2002年8月から2003年7月に発生した菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数と2003年の夏期に発生したと考えられる材線虫病の被害率との関係について、相関解析を行った。しかし、材線虫病の被害率と菌根性子実体の各因子との間には有意な相関は得られなかった。

### 材線虫病による宿主マツの枯死が外生菌根菌に与える影響

材線虫病による宿主マツの枯死が外生菌根菌に与える影響を調べるため、2002年夏期の材線虫病の発生後に生残したマツの胸高断面積合計と2002年8月から2003年7月に発生した菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数との関係について相関解析を行った。その結果、生残木の胸高断面積合計と菌根性子実体の種数(n=10, r=0.74,  $\rho = 0.01$ 、図3-1)、発生小区画数(n=10, r=0.82,  $\rho < 0.01$ 、図3-2)と

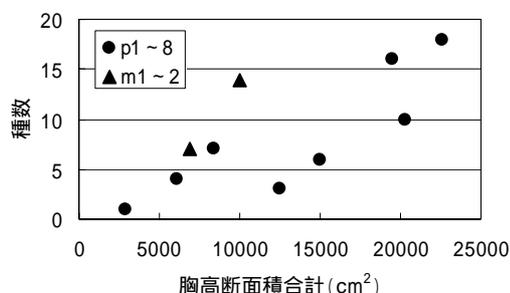


図3-1 2002年冬期のマツの生残木の胸高断面積合計と2002年8月から2003年7月に発生した菌根性子実体の種数との関係

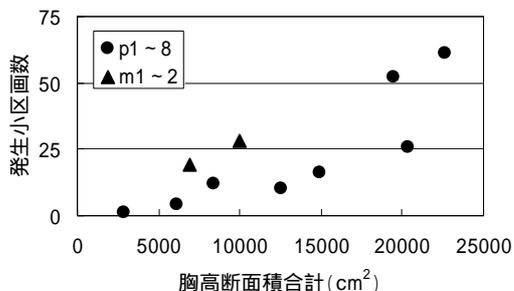


図3-2 2002年冬期のマツの生残木の胸高断面積合計と2002年8月から2003年7月に発生した菌根性子実体の発生小区画数との関係

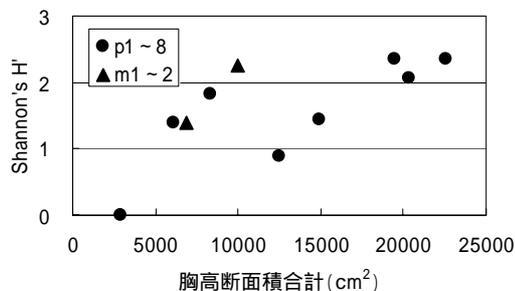


図3-3 2002年冬期のマツの生残木の胸高断面積合計と2002年8月から2003年7月に発生した菌根性子実体の多様性指数との関係

の間には、それぞれ 1% で有意な相関が、また多様性指数 ( $n=10$ 、 $r=0.70$ 、 $\rho=0.02$ 、図 3-3) との間には、5% で有意な相関が見られた。

また、2003 年夏期の材線虫病の発生後に生残したマツの胸高断面積合計と 2003 年 8 月から 2004 年 7 月に発生した菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数との関係について相関解析を行った。その結果、生残木の胸高断面積合計と菌根性子実体の種数との間には 5%

で有意な相関が得られた ( $n=10$ 、 $r=0.67$ 、 $\rho=0.03$ 、図 4)。

加えて、マツの胸高断面積合計が少なくとも、マツ以外の菌根性樹種が混交しているコドラート m1 および m2 では、菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数がある程度高い傾向が見られた。

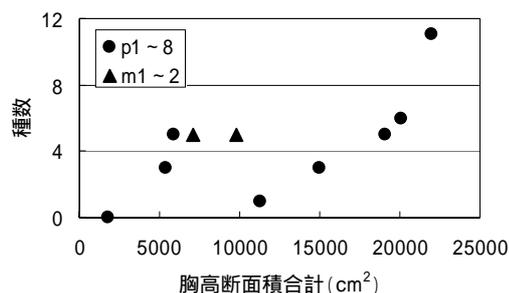


図4 2003年冬期のマツの生残木の胸高断面積合計と2003年8月から2004年7月に発生した菌根性子実体の種数との関係

## 5. 考察

以上の結果から、菌根性子実体がよく発生し、外生菌根菌の多様性および活性が高いと考えられるマツ林においても、材線虫病の被害は免れることができないことが示された。したがって、外生菌根菌がマツ樹体の材線虫病への抵抗性に寄与する可能性は低いと考えられる。一方で、材線虫病の被害によってマツが枯死し、生残しているマツが少なくなるにつれて、発生する菌根性子実体の多様性および量が減少し、外生菌根菌の多様性および活性が低下していることが示された。このことから、材線虫病の被害によって、マツ林の外生菌根菌の多様性が低下することが考えられる。しかし、コナラなどマツ以外の菌根性樹種の存在によって、外生菌根菌の多様性がある程度保たれることが考えられる。このことは、外生菌根菌の保全という視点においては、これからの造林において重要な知見になると考えられる。

## 6. 謝辞

本研究成果は、公益信託エスペック地球環境研究・技術基金の支援によって得ることができた。また、水戸森林管理局森林技術センターの御助力によって研究を進めることができた。ここに感謝の意を示し、心より御礼を申し上げる。

## 「亜高山帯における針葉樹林の衰退と外生菌根菌の多様性との関係」

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
博士課程 鷓川 信

### 1. はじめに

シラビソ、オオシラビソは、主に本州の亜高山帯に分布するモミ属の樹種である。これらのシラビソ、オオシラビソ林においては、斜面水平方向に縞状に林分が枯死する「縞枯現象」が見られる（図1）。この縞枯現象によりシラビソ、オオシラビソ林は斜面下より年間 2~3m ずつ枯死していく（図2）。枯死した林分には太陽光が林床に差し込むため、シラビソ、オオシラビソの更新が起こる。枯死と更新を繰り返すこと



図1 縞枯山南西斜面の縞枯現象

により、斜面上方から下方に向けて徐々に林齢が上がる「縞枯林分」が構成される。この縞枯現象は、南西斜面においてのみ確認されており、その原因は南西方向からの卓越風だと考えられている。枯死に至るまでの生理的メカニズムは未だ明らかにされていないが、

斜面下方の林縁においては、卓越風のインパクトにより、シラビソ、オオシラビソの個体には強い環境ストレスがかかると考えられる。したがって、卓越風による環境ストレスは、斜面下方の林縁から斜面上方に向けて漸近的に低下していると考えられる。

外生菌根菌は、樹木の根に外生菌根と呼ばれる共生体を作る菌類である。この外生菌根菌は、樹木から光合成産物を得る一方で、

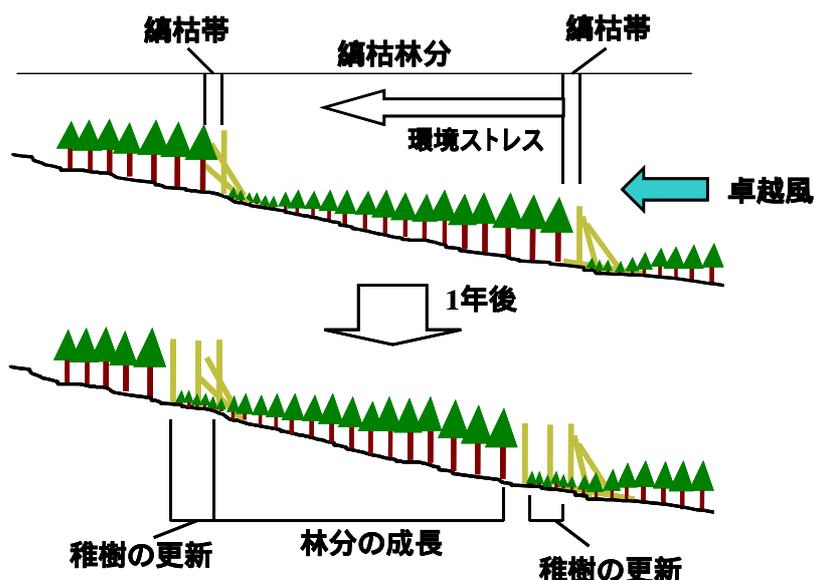


図2 縞枯現象の概念

樹木の養水分吸収の補助、耐病性の向上などの樹木生理への寄与を行うため、森林生態系において重要な役割を果たしていると言える。この外生菌根菌の多様性を縞枯林分において調べることによって、漸近的に変化する環境ストレスを受けた林分における外生菌根菌の多様性の変化、つまり、環境ストレスによる森林衰退と外生菌根菌の多様性を明らかにすることができると考えられる。

以上を踏まえ、本研究では、縞枯現象における森林衰退と外生菌根菌の量および多様性との関係を明らかにするため、長野県北八ヶ岳縞枯山のシラビソ、オオシラビソ林において、菌根性子実体（外生菌根菌が形成するキノコ）の調査を行った。

## 2. 調査地

本研究では、長野県北八ヶ岳縞枯山(標高 2403m)の南西斜面に位置するシラビソ、オオシラビソ林に3本のトランセクト(水平方向 5m×斜面方向 50mの方形区)を設置した(図3)。北八ヶ岳縞枯山においては、その南西斜面に日本でも最大規模の縞枯現象が見られ、斜面方向に3~4本の縞枯帯(縞状にシラビソ、オオシラビソが枯死した部分)が確認されている。斜面上方から1本目の縞枯帯に接して斜面上方に向けて2本のトランセクト T1 および T2 を、また2本目の縞枯帯に接して1本のトランセクト T3 を設置した。これらのトランセクトは斜面方向に5mずつ分割し、10個のコドラート(水平方向 5m×斜面方向 5mの方形区)に分けた。これらトランセクトの縞枯帯からの距離によって、林分が受けている環境ストレスの強さを示こととする。

長野県原村(標高 1017m)における2003年の平均気温は 9.1、積算降水量は 1477mmであった。

2002年における各コドラートの群落属性を表1に、また、2001年における各コドラートの土壌因子を表2に示す。

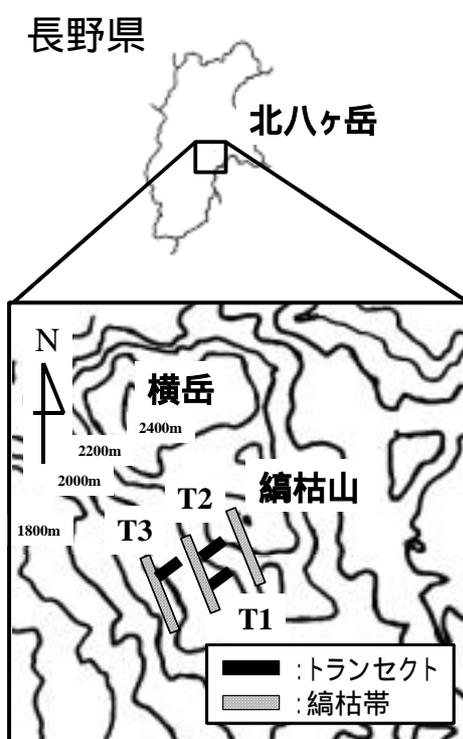


図3 調査地の位置

表1-1 トランセクトT1における各コドラートの群落属性

| コドラートの縞枯帯からの距離(m)          | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 種数                         | 2    | 2    | 2    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | 3    | 4    |
| 幹数                         | 17   | 37   | 112  | 121  | 85   | 77   | 55   | 25   | 36   | 29   |
| 胸高断面積合計 (cm <sup>2</sup> ) | 343  | 897  | 1947 | 1463 | 956  | 1125 | 865  | 769  | 1032 | 794  |
| 最大胸高直径(cm)                 | 8.9  | 11.3 | 9.1  | 7.7  | 8.0  | 9.8  | 8.5  | 12.4 | 11.9 | 10.9 |
| 最大樹高(cm)                   | 638  | 651  | 615  | 487  | 448  | 491  | 425  | 603  | 620  | 506  |
| 多様性指数Shannon's H'          | 0.54 | 0.58 | 0.61 | 0.48 | 0.63 | 0.50 | 0.52 | 0.34 | 0.59 | 0.61 |

表1-2 トランセクトT2における各コドラートの群落属性

| コドラートの縞枯帯からの距離(m)         | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 種数                        | 3    | 1    | 2    | 3    | 3    | 2    | 2    | 3    | 2    | 3    |
| 幹数                        | 18   | 4    | 6    | 14   | 12   | 15   | 41   | 28   | 19   | 52   |
| 胸高断面積合計(cm <sup>2</sup> ) | 914  | 378  | 444  | 592  | 436  | 508  | 804  | 861  | 768  | 1401 |
| 最大胸高直径(cm)                | 14.9 | 16.0 | 12.5 | 13.2 | 9.9  | 13.0 | 9.6  | 11.1 | 14.3 | 11.5 |
| 最大樹高(cm)                  | 876  | 651  | 644  | 635  | 511  | 574  | 504  | 592  | 640  | 582  |
| 多様性指数Shannon's H'         | 0.55 | 0.00 | 0.69 | 0.75 | 0.76 | 0.66 | 0.69 | 0.85 | 0.50 | 0.58 |

表1-3 トランセクトT3における各コドラートの群落属性

| コドラートの縞枯帯からの距離(m)         | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 種数                        | 3    | 3    | 3    | 3    | 4    | 1    | 3    | 2    | 3    | 2    |
| 幹数                        | 94   | 46   | 42   | 51   | 59   | 15   | 54   | 28   | 26   | 16   |
| 胸高断面積合計(cm <sup>2</sup> ) | 1217 | 905  | 1080 | 1137 | 1137 | 755  | 1135 | 691  | 814  | 665  |
| 最大胸高直径(cm)                | 9.5  | 9.8  | 10.6 | 10.4 | 9.0  | 12.4 | 11.3 | 8.9  | 12.5 | 10.4 |
| 最大樹高(cm)                  | 547  | 559  | 590  | 617  | 566  | 608  | 571  | 528  | 604  | 519  |
| 多様性指数Shannon's H'         | 0.50 | 0.39 | 0.18 | 0.42 | 0.24 | 0.00 | 0.30 | 0.27 | 0.47 | 0.18 |

表2-1 トランセクトT1における各コドラートの土壌因子

| コドラートの縞枯帯からの距離(m) | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 固相率(%)            | 14   | 14   | 13   | 12   | 13   | 14   | 13   | 13   | 14   | 14   |
| 液相率(%)            | 49   | 48   | 42   | 40   | 39   | 43   | 49   | 49   | 47   | 48   |
| 気相率(%)            | 37   | 38   | 46   | 48   | 48   | 43   | 38   | 38   | 38   | 38   |
| 土壌pH              | 4.2  | 4.2  | 4.1  | 3.9  | 4.0  | 4.0  | 3.9  | 3.8  | 3.7  | 3.8  |
| 土壌EC(μS)          | 197  | 211  | 195  | 221  | 211  | 210  | 257  | 247  | 231  | 241  |
| 土壌N量(%)           | 1.0  | 1.0  | 1.1  | 1.3  | 1.2  | 1.1  | 1.3  | 1.4  | 1.4  | 1.3  |
| 土壌C量(%)           | 18.0 | 18.6 | 20.7 | 23.3 | 21.5 | 19.5 | 21.7 | 25.3 | 23.8 | 22.2 |
| 土壌C/N比            | 17.6 | 18.0 | 18.2 | 18.1 | 18.0 | 17.6 | 17.4 | 17.5 | 17.3 | 17.5 |

表2-2 トランセクトT2における各コドラートの土壌因子

| コドラートの縞枯帯からの距離(m) | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 固相率(%)            | 17   | 18   | 17   | 16   | 16   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   |
| 液相率(%)            | 53   | 49   | 53   | 52   | 53   | 53   | 48   | 47   | 52   | 52   |
| 気相率(%)            | 30   | 33   | 30   | 32   | 30   | 29   | 35   | 36   | 32   | 31   |
| 土壌pH              | 4.6  | 4.6  | 4.6  | 4.6  | 4.7  | 4.6  | 4.5  | 4.5  | 4.6  | 4.5  |
| 土壌EC(μS)          | 137  | 132  | 115  | 117  | 123  | 120  | 115  | 118  | 124  | 123  |
| 土壌N量(%)           | 1.2  | 1.2  | 1.1  | 1.1  | 1.0  | 1.0  | 1.1  | 1.1  | 1.0  | 1.0  |
| 土壌C量(%)           | 20.3 | 19.8 | 19.4 | 18.8 | 17.1 | 17.9 | 19.5 | 19.3 | 17.2 | 18.2 |
| 土壌C/N比            | 17.1 | 16.9 | 16.9 | 16.6 | 16.9 | 17.2 | 17.4 | 17.7 | 17.6 | 17.6 |

表2-3 トランセクトT3における各コドラートの土壌因子

| コドラートの縞枯帯からの距離(m) | 0    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 固相率(%)            | 13   | 13   | 13   | 14   | 15   | 15   | 15   | 15   | 16   | 15   |
| 液相率(%)            | 53   | 55   | 56   | 52   | 52   | 54   | 56   | 57   | 57   | 55   |
| 気相率(%)            | 34   | 32   | 31   | 34   | 33   | 31   | 29   | 27   | 27   | 30   |
| 土壌pH              | 4.5  | 4.5  | 4.5  | 4.4  | 4.4  | 4.5  | 4.4  | 4.3  | 4.2  | 4.2  |
| 土壌EC(μS)          | 176  | 191  | 189  | 194  | 181  | 171  | 228  | 226  | 204  | 180  |
| 土壌N量(%)           | 1.1  | 1.2  | 1.1  | 1.1  | 1.2  | 1.1  | 1.2  | 1.2  | 1.3  | 1.3  |
| 土壌C量(%)           | 18.3 | 19.1 | 19.0 | 19.0 | 19.7 | 18.8 | 19.2 | 20.7 | 21.7 | 22.4 |
| 土壌C/N比            | 16.5 | 16.5 | 16.7 | 16.8 | 16.6 | 16.7 | 16.7 | 16.9 | 17.3 | 17.5 |

### 3. 調査方法

#### 菌根性子実体

2003年6月から11月に各コドラートに発生する菌根性子実体の種を記録した。また、各コドラートを25cm×25cmの小区画に分割し、菌根性子実体が発生した小区画の位置を記録した。これらのデータから、各コドラートにおける菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数(Shannon's H')を算出した。

### 4. 結果

#### 林分が受けている環境ストレスと外生菌根菌との関係

漸近的に変化する環境ストレスを受けた林分が外生菌根菌に与える影響を調べるため、各トランセクトにおいて、縞枯帯からの距離と2003年6~11月に発生した菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数との関係について相関解析を行った。その結果、T1においては、縞枯帯からの距離と菌根性子実体の発生小区画数( $n=10$ ,  $r=0.97$ ,  $p<0.01$ 、図4-1)との間に1%で有意な正の相関が見られた。T2においては、縞枯帯からの距離と菌根性子実体の種数( $n=10$ ,  $r=0.78$ ,  $p=0.01$ 、図4-2) および発生小区画数( $n=10$ ,  $r=0.86$ ,  $p<0.01$ 、図4-2)との間には、それぞれ1%で有意な正の相関が見られた。また、T3にお

いては、縞枯帯からの距離と菌根性子実体の種数( $n=10$ ,  $r=0.86$ ,  $p<0.01$ 、図4-3) 発生小区画数( $n=10$ ,  $r=0.85$ ,  $p<0.01$ 、図4-3) および多様性指数( $n=10$ ,  $r=0.82$ ,  $p<0.01$ 、図4-3)との間には、それぞれ1%で有意な正の相関が見られた。

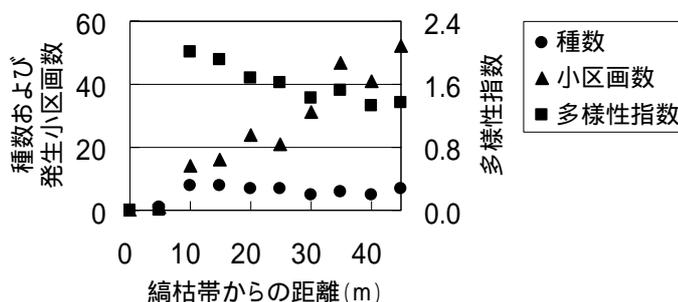


図4-1 T1における縞枯帯からの距離と菌根性子実体の多様性との関係

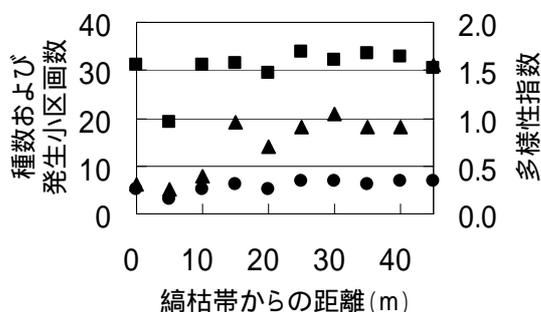


図4-2 T2における縞枯帯からの距離と菌根性子実体の多様性との関係

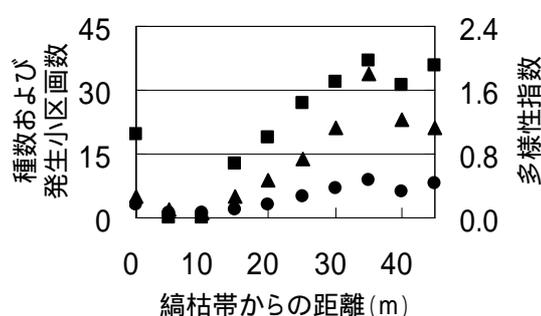


図4-3 T3における縞枯帯からの距離と菌根性子実体の多様性との関係

### シラビソ、オオシラビソのバイオマス量と外生菌根菌との関係

卓越風による環境ストレスによってシラビソ、オオシラビソ個体の衰弱および枯死が起これと考えられるが、枯死によっては林分のバイオマス量が減少すると考えられる。そこで、バイオマス量と外生菌根菌との関係を明らかにするため、各ベルトトランセクトにおいて、シラビソ、オオシラビソの胸高断面積合計と2003年6～11月に発生した菌根性子実体の種数、発生小区画数および多様性指数との関係について相関解析を行った。その結果、T1においては、胸高断面積合計と菌根性子実体の種数 ( $n=10$ ,  $r=0.68$ ,  $p=0.03$ ) および多様性指数 ( $n=10$ ,  $r=0.68$ ,  $p=0.03$ ) との間に5%で有意な正の相関が見られた。T2においては、胸高断面積合計と菌根性子実体の発生小区画数 ( $n=10$ ,  $r=0.67$ ,  $p=0.03$ ) との間に5%で有意な正の相関が見られた。また、T3においては、胸高断面積合計と菌根性子実体の発生小区画数 ( $n=10$ ,  $r=-0.64$ ,  $p=0.05$ ) との間に5%で有意な負の相関が見られた。

## 5. 考察

以上の結果から、卓越風による環境ストレスを受けたシラビソ、オオシラビソ林では、菌根性子実体の多様性および量が減少し、外生菌根菌の活性も低下していることが示された。しかし、生残しているシラビソ、オオシラビソのバイオマス量と菌根性子実体の量および多様性との関係は示されなかった。すなわち、T1およびT2における正の相関に反してT3においては負の相関が得られ、この矛盾した結果から、バイオマス量と菌根性子実体の量および多様性との関係は明らかにできなかった。したがって、宿主の枯死のみでなく、環境ストレスによるシラビソ、オオシラビソの衰弱によっても、外生菌根菌の多様性が低下することが示唆される。このことから、シラビソ、オオシラビソ個体の生理的な変化が、外生菌根菌群集にも影響を与えることが考えられる。

以上のことから、立地的な条件が直接外生菌根菌に影響を与えることも考えられるが、同一の立地内においては、ある林分の外生菌根菌の多様性を調べることで、その林分の受けている環境ストレスを推測できる可能性が考えられる。つまり、外生菌根菌の多様性を用いた環境評価手法の可能性が示唆される。

## 6. 謝辞

本研究成果は、公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の支援によって得ることができた。また、南信森林管理署の御助力によって研究を進めることができた。ここに感謝の意を示し、心より御礼を申し上げる。