

松林의 菌根菌—송이버섯의 微生物生態學的 研究

小 川 眞

日本農林水産省 林業試驗場

Mycorrhiza in the Pine Forest—The Ecological Study of Matsutake as a Microorganism

Makoto Ogawa

Forest Research Institute, Tokyo, Japan

송이버섯의 生理生態에 관한 研究의 歷史는 오래되었으
며, 1908年 三林鍾三郎에 의해서 報告된 後 오늘
에 이르기까지 많은 研究가 이루어졌다(3). 1964年까
지의 研究成果는 「송이버섯 研究와 增産—1964」(4)로
정리되었으며 1979年까지의 成果는 「송이버섯의 生物
學」(9)속에 記錄되어 있다. 이 研究는 송이버섯의 菌
根과 시토 및 시로의 松林에 있어서의 生態的 地位에
관해서 論述한 것이며, 松林에 있어서의 송이버섯의
增殖施業 및 菌의 接種源이 되는 송이버섯 感染菌의
育成法의 基礎로 되어 있다.

I. 송이버섯의 시로

1) 송이버섯의 菌絲와 菌根: 송이버섯의 菌絲는 人
工培地위에서 比較的 쉽게 分離培養되나, 그 成長은
낮고 30°C를 넘으면 죽는다. 弱酸性에서 잘 자라며 單
糖類와 2,3의 其他의 糖類를 炭素源으로 利用한다. 암
모니아態질소와 아미노酸類를 질소源으로 하며, V.B₁,
니코틴酸등의 비타민類에 대한 要求性이 强하다. 菌絲
에는 隔壁 連結이 없고 균층은 白色이며, 菌絲束이나
氣菌絲의 形成이 없다. 土壤培養하면 氣菌絲를 형성한
다. 營養要求性이나 菌絲의 生長速度는 다른 菌根菌의
경우와 類似하다. (4).

송이버섯의 菌絲가 寄主人 소나무의 새로 생긴 뿌리
(若根)에 접촉하면, 뿌리의 表皮는 黑變한다. 菌絲는
가장단 主根과 그로부터 發根되는 側根에 붙어서 表皮
細胞를 파괴하고, 皮層의 세포間극에 침입한다. 一般
的인 外生菌根의 경우와는 달리 뿌리를 에워싸는 菌鞘
는 形成하지 않고 表皮細胞와 皮層의 外側細胞에는 탄
닌이 集積한다. 또 할터허망의 形成이 없고 菌根의 老

화된 部分에서는 菌絲가 皮層細胞의 内部까지 侵入한
다. 이와같은 菌絲의 부착방법은 典型的인 外生菌根과
같지 않으며, 擬菌根이라고 불리우는 寄生性이 좋은
菌이 만드는 菌根과 비슷하다. 송이버섯의 菌絲는 主
根이나 側根의 根端을 둘러싸지 않고 發根과 伸長生長
을 促進시킨다. 따라서 송이버섯이 形成하는 菌根은
간가지가 많고 徒長한 가는 뿌리로 만들어진 빗자루의
혹모양(天狗巢狀) 또는 樹枝狀이며, 根狀菌束을 形成
하지 않는 菌根菌을 形成하는 菌根의 典型的인 것이
다. (6). 송이버섯의 菌根에서는 피넌 系의 物質로 알
려진 (13) 抗生物質이 分泌되고 있으며, 强한 抗菌性을
나타낸다(11). 송이버섯이 黑松, 솔송나무, 붉은가문
비나무, 가문비나무, 눈잣나무 등에 만드는 菌根, 미국
송이버섯이 콘틀라스나무, 미송, 햄록 등에 만드는 菌
根, 유럽송이가 레바논삼나무에 만드는 菌根은 어느것
이나 判別할 수 없을만큼 닮았다(9). 또 송이버섯의
近緣種인 바카마스타게가 졸참나무, 물가리나무에 만
드는 菌根, 플보카스타네움송이가 졸참나무나 모밀잣
나무에 만드는 菌根도 송이버섯의 것에 類似하다 (9).

2) 시로의 形態와 生長: 옛부터 송이버섯의 發生場
所를 시로라고 부르나, 現在에는 自然狀態에 있어서의
菌의 集落(colony)을 나타내는 用語로서 쓰이고 있다.
시로는 말하자면 自然狀態에서의 菌의 生活單位이다.
송이버섯의 子實體는 菌輪을 만들면서 發生하며 土壤
속의 菌絲層은 그림 1에 나타난 것과 같이 環狀이며,
해마다 15~20cm씩 바깥쪽으로 擴大生長한다. 시로는
有機物이 없는 鐵質土層에 形成되어, 菌絲層의 두께가
20~40cm에 이른다. 시로의 先端에는 菌絲만의 層 I
이 있으며, 계속해서 活性菌根을 포함한 層 II가 있다.
子實體를 發生시킬 때까지는 菌絲의 量이 增加되며 菌

根의 량도 많은 層Ⅲ이 생기나, 子實體發生과 동시에 菌絲와 菌根이 파괴되어 土壤이 乾燥하여 層Ⅳ로된다. 여기서는 細根이 分解되기 시작하며 菌絲는 粉狀體로 되어 송이버섯이 나지 않는 忌地로 된다. 層Ⅳ로부터 시로의 內側에서는 점차로 消失되기 시작하며, 白色의 건조한 土壤의 層은 시로의 中心에 가까워질수록 얇아진다(5).

시로에 있어서의 소나무의 뿌리의 分布를 보면, 菌根량이 시로의 先端에서 많고, 시로內部에서는 枯死한 細根이 增加한다. 菌根을 形成한 母根의 量은 시로의 內側에서 많고, 시로의 中心附近에는 소나무의 뿌리가 많다. 이것은 소나무의 어린뿌리가 集中해서 生長하는 곳에 시로가 만들어지기 쉽고, 일단 菌根으로 된 뿌리가 數年間菌根을 계속 形成하면서 生長하기 때문이다(5).

胞子에서 發芽한 菌絲와 뿌리 사이에 菌根이 形成되는 過程은 아직 확실치 않다. 數個의 菌根이 地表가까운 곳에서 形成되면, 서로 합하여 작은 등근 시로를 만든다. 해마다 菌絲層은 바깥으로 넓어지며 깊어진다 菌根이 形成된 後 3~5年째에 子實體의 發生이 보이나, 처음에는 孤生하거나 群生하며 이어서 環狀으로 發生하게 되면서 시로擴大期로 들어간다. 이 環狀發生以前을 菌根形成期로부터 시로形成期라고 부른다. 環狀으로 넓혀지는 시로는 強하고, 10數년에 걸쳐서 安定된 生長을 계속한다. 密度가 높으면 重合이 겹치고 점차 弧狀이나 線狀으로 子實體를 形成하게 되고 害菌이나 소나무의 뿌리의 不足에 의해서 시로는 토막토막으로 되어 衰退期에 들어간다. 子實體의 發生量이 떨어지면서 시로가 消失하기까지는 10年未滿인 것이 一般적이다. 송이버섯의 시로에는 확실하게 나이(齡)를 인정할 수 있다. 季節의인 生長도 明瞭한 特徵이 있으며, 시로는 규칙적인 擴大生長을 한다(5).

3) 시로의 微生物社會: 송이버섯의 시로 內部的 微生物相은 시로의 外側의 것과 전혀 다르다. 元來, 송이버섯의 시로는 絲狀菌 10³個, 細菌, 放線菌 10⁴個程度の 土壤微生物相이 빈약한 鑛質土層에 생긴다. 송이버섯의 菌根에서 分泌되는 抗生物質의 作用에 의해서 이들 土壤微生物 특히 세균과 放線菌은 活性菌根이 많은 層으로부터 거의 完全히 排除된다. 忌地가 消失되기 시작하면 微生物相이 漸漸히 回復되며, 세균과 *Trichoderma*의 침입이 시작된다. 松林土壤에 많은 *Mortierella* sp.와 소나무의 根面에 棲息하는 絲狀菌이 數種分離된 뿐이며, 土壤棲息菌인 *Penicillium*이나 *Aspergillus*, *Mucor* 등은 完全히 除外된다(7).

한편, 菌根의 先端은 송이버섯의 菌絲에 獨點당하나, 菌根이 오래됨에 따라서 根面棲息性的 腐敗菌이 交替되면서 出現한다. 송이버섯과 같은 菌根菌은 根面微生物相의 先驅者라고 한다. 시로內部的 土壤에서는 菌根이나 菌絲의 殘骸를 分解하는 *Mortierella* sp.나 其他 絲狀菌이 活動한다. 시로土壤과 菌根에서 出現하는 微生物間에는 機能的인 差異가 있으며, 微生物群이 질서있게 形成되어간다. 시로는 秩序를 가진 微生物社會이며, 이와같은 시로는 송이버섯과 그의 近緣種에서 보편적으로 볼수 있다(7).

II. 松林과 송이버섯

1) 鬚새 競爭範圍: 송이버섯의 시로는 微生物的으로 單純化되어 있으며, 다른 菌의 시로를 끌어들이지 않고 拮抗한다. 그림 4에 表示된 구획속에 發生한 菌은 25種이며, 그중 菌根菌이 18種, 落葉分解菌 7種이었다. 송이버섯과 비슷한 層位에서 棲息하는 菌根菌이 5種있으며, 類似한 生活型을 갖는 것이 3種이었으나, 이들의 菌은 서로 分散하여 시로를 形成하고 있다. 이들의 大形의 시로를 만드는 菌의 點有面積率도 가장 높았다 菌根菌의 HA層에 棲息하는 種類, 히메감무리다게(日語)등이 70~80年生の 老齡林에서는 增加하기 시작하였으며, 송이버섯의 發生量은 低下하고 있다. 송이버섯에 拮抗하는 菌은 송이아재비, 노루털버섯의 일종, 갈색기갈대버섯속의 1종, 송이속의 1종, 흰송이 등 棲息位置가 類似하며, 소나무의 뿌리에 寄生的인 菌根을 만드는 種이다. 또 노란머슴이나 히메감무리다게와 같이 HA層에서 A₀로 퍼지는 菌도 송이버섯의 시로의 生長을 抑制시키는 경우가 있다. 落葉分解性的 菌과같이 전혀 生活型이 다른 것과는 競爭이 없다(8).

2) 林齡과 송이버섯의 시로: 松林에 송이버섯의 시로가 形成되는 것은 林齡 15~30年頃이다. 自然下에서 種을 更新한 松林에서는 이때쯤되서 뿌리의 密度가 높아지며 有機物層은 얇아지고, 微生物相은 貧弱하기 때문에 菌根菌이 侵入하기 쉬워진다. 송이버섯과 같은 時期에 시로를 만드는 菌은 금버섯, 흰송이, 흰굴뚝버섯, 산호침버섯의 1종, 등이며 그 以前의 若齡林에서 많은 것은 그물버섯, 젓버섯아재비, 즐각버섯, 고리갈색갈대기버섯, 비단그물버섯 등이다.

A₀層이 形成되고 뿌리의 量이 增加하면, 송이버섯의 시로와 競爭하는 노루털 버섯속의 1종이나 히메감무리다게, 굴뚝버섯科의 菌이 增加하고, 林齡이 많아서 A層이 되기 시작하면 무당버섯屬이나 젓버섯屬의 菌이

出現한다. A₀層속에서 細根이 上昇하면, 끈적버섯屬이나 흰떡수염버섯등이 增加하여 老齡林의 버섯상으로 變한다. 소나무林的 버섯상은 林齡과 함께 變化하여, 土壤微生物相이나 뿌리, A₀層의 形成方式등에 따라서 規則的인 遷移를 나타낸다. 다만 이 遷移는 林齡에 依한다는 것보다는 土壤이나 土壤微生物의 作用에 따라서 이루어지며, 소나무林的 表層土壤이 發達하면, 林齡은 작아도 버섯상은 老齡林의 것과 흡사하게 된다. 송이버섯의 시로를 誘導하여 增殖시키려면 '소나무林的 表層土壤을 若齡林의 狀態, 말하자면 未熟한 狀態로 유지할 必要가 있다(9).

3) 林型과 송이버섯의 시로: 송이버섯의 시로는 林齡 15~30年頃에 形成되어 40~60년에 最盛期가 되며, 60~80년이 되면 消失되는 것이 一般的이다. 다만 이 傾向은 소나무林에 따라서 결정되며, 土壤條件에 따라서도 變化한다.

花崗岩 또는 三紀層을 母材로 하는 Er~B_A型에서 作하는 松林은 立木密度가 높고, 生長이 不良하며 林床은 地衣와 灌木으로 된다. 이 林에서는 송이버섯의 시로의 密度가 높고 20年前後에 시로形成이 일어나며, 林齡 40年頃에는 下降山으로 된다. 古生層을 母材로 하는 Er~B_A型土壤에 成林한 松林에서는 시로의 形成年이 늦고, 시로 密度도 낮으나, 子實體의 發生期間은 길게 된다. 林床이 灌木型의 松林에서 가장 시로가 形成되기 쉽고 밭풀고사리型 풀고사리 型조릿대型으로 됨에 따라서 시로의 形成頻도는 低下된다. 또 地方에 따라서 송이산의 適地는 多少 差異가 있으나 原則的으로는 土壤이 未熟하고 건조하며, 山の中腹으로부터 斜面上部에 位置하는, 立木密度가 높은 林分이다(9).

Ⅲ. 송이산을 만든다

1) 適地의 選擇: 위에 記述한바와 같이 송이산의 適地는 土壤과 소나무의 密度, 生育狀態에 따라서 결정된다. 가장 바람직한 土壤은 花崗岩, 三紀層, 古生層의 頁岩, 粘板岩등을 母材로 한 弱酸性土壤이다. 中腹 또는 斜면의 殘積土에서 有機物을 거의 含有치 않은 未熟土壤이 알맞다. 土壤型으로는 未熟土, Er型土壤이 바람직하다. 松林의 植生이나 地表의 有機物層을 處理하여 송이버섯의 시로의 增殖을 測定하는 경우에는 소나무의 林齡이 30年 未滿으로써, 密度가 3000本/ha 以上이어야 한다. 林齡이 30年을 넘는 경우에는 A₀層이 두껍고, 表層土壤에 송이버섯以外的 菌이 이미 先住하고 있을 可能性이 強하고 失敗率이 높다. 林齡이 30年以上이거나, 소나무의 生育이 良好한 경우에

는 송이버섯의 시로形成時期가 늦어지거나, 그렇지 않으면 시로密度가 낮아진다. 검은흑색땅, 火山灰土壤, 石灰岩土壤 또는 이들의 土壤이 섞인 土壤은 송이버섯의 棲息에는 알맞지 않다(9).

2) 微生物相의 調節: 젊은 松林의 適地를 選擇하여 落葉灌木등의 下木草를 別채하고 A₀層을 끊어모아 林外로 搬出한다. 소나무 以外の 植物은 송이버섯에 대해서는 必要치 않으나 雜草의 侵入을 막기위해서 남겨 놓는 일이 많다. 灌木의 伐採에서 A₀層은 얇아지며, 鑛質土壤의 表層에 소나무의 細根이 增加한다.

落葉分解菌은 없어지고 菌根菌이 增加한다(1). A₀層의 除去作業이 심할수록 鑛質土壤의 土壤微生物은 減少하며 土壤動物도 준다. 말하자면 土壤중에 송이버섯에 의한 空家が 생기게 된다(12). 이와같은 若齡林으로의 植生순질을 하여 송이버섯의 시로의 增殖을 꾀한 例는 近年各地에서 增加하고 있으며, 施業이 송이버섯의 시로의 증식에 효과적이란 것이 확실히 立證되기 시작하였다(1). 이施業은 松林의 土壤微生物相을 調節하여 송이버섯이란 特定の 菌의 增殖을 도운 것이다. 송이버섯菌을 받아들이는 땅을 만드는 方法이 確立되어 現在에는 그곳에 菌을 接種하기 위한 技術이 開發되기 시작하였다. 그 하나가 송이버섯의 시로周邊에 소나무 其他의 菌을 심어 菌이 붙은 苗, 即 송이버섯 感染苗를 만들고, 이것을 송이버섯의 未發生地에 옮기는 技術이다. 송이버섯 感染苗는 成功率 60%前後가 되며 林地에서의 2次感染의 結果가 期待되고 있다.(10).

引 用 文 獻

- 伊藤武・小川眞(1979):日林誌61, 163~173.
 マツタケ研究懇話會編(1964):マツタケ— 223pp. 京都,
 三村鐘三郎(1908):日山林會報 305, 1~5.
 小川眞(1964):マツタケ—研究と増産, 101~114.
 小川眞:林試研報 272, 79~121, 1975
 小川眞:林試研報 278, 21~49, 1975
 小川眞:林試研報 293, 105~170, 1977
 小川眞:林試研報 297, 59~104, 1977
 小川眞:マツタケの生物學 326pp. 築地書館, 東京,
 1979
 小川眞:(1978):등 日林地 60, 119~128,
 Ohara, H. & M. Hamada(1967): Nature 213, 528~
 529, 1967
 下川利之・小川眞:日林誌(投稿中)
 鶴田輝之・川合正允(1979):日菌報 20, 211~220,