

## 植物に対する土壌の役割 2 (菌根菌: きんこんきん)

(教材3をさらに発展させられる余地があると先生がクラスの状況を判断された場合、以下へ)

### 1. はじめに

以下、菌根菌について概要をお話します。

陸上植物はそのほとんどが自分の力だけで生きてきたのではないこと、さらに現代の植物たちは自分以外の力(菌根菌の菌糸ネットワーク)を使って植物個体間の情報や物質のやりとりさせているということの分かってきた世界に目を向けられることが目的です。そこに見えたのは植物と微生物の深い関わり合い、パートナーシップです。

菌根菌は多くの種類から成っていますが、ここで焦点を当てるのは専門的な固有名詞や系統の正しい知識整理でなく、それらには区別可能なグループがあり、それぞれが特徴的な役割を果たしているという体系を概観頂くことです。

よって、この教材では符号化するため仮のアルファベット表記で表すこととします(ここだけでしか通用しない、勝手な略し方です)。

内生(ないせい)菌根菌(→菌“N”)の一種であるアーバスキュラー菌根菌(→菌“A”)、内外生(ないがいせい)菌根菌(→菌“NG”)、外生(がいせい)菌根菌(→菌“G”)、内生菌根菌の一種であるツツジ科菌根菌(→菌“T”)、ラン科菌根菌(→菌“R”)等。



左) ラン : Orchid / sarniebill1 右) ツツジ : Azalea going nuts / billums

### 2. 菌根菌(きんこんきん)とは何でしょうか？

#### 2. 1. 植物のパートナーとしての起源

今日、当たり前のように身近な存在の陸上植物は 46 億年と言う地球の歴史、あるいは地球に生物が出現した 40 億年前などから比べればかなり最近(4.5 億年前から 5 億年前の間)に、水の世界から進出してきたことが研究より明らかになっています。当時の岸辺の先に続いていた陸上世界は、それまで水中で生活していた現代陸上植物の当時の祖先にとって地上で生きていく能力を身につけられさえしたら、地上はまだ競争相手も昆虫の先祖も陸上脊椎動物もない、未来に向かって大繁栄も夢ではない約束の地として、あたかも手招きするかのようにただただ果てしなく広がっていたことでしょう。しかし、水中で生活してきた藻類(そうるい)にとって、地上は基本的に大

変乾燥しており、植物の栄養物(無機成分)も水に溶けた形で植物は吸収するため、水分や栄養成分をどのようにしたら得られるのか、あるいは陸上の重力という未経験の圧迫環境に抗して生きるにはどうすればいいのか、今のままでは能力の限界を超えた、隔絶した世界として進出を拒んできたと考えられます。

最近の化石の研究から、植物が陸上に進出したほぼ期を同じくして植物は菌“A”と大変よく似た種類の菌と共存していた事実が明らかになりました。これはまだ証明されていないようですが、植物が水中から陸上へ進出するに当って、その当時すでに水辺や陸上で生活していたはずの菌根菌の先祖の助けを借りることにより、その高いハードルを越える能力を獲得できたのかもしれませんが。つまり、陸上植物はその地上へのほぼ進出開始期からパートナーとしてこの種類の菌と共に今日まで生きてきた可能性が示唆されています。その間、大陸が一つに集まりまた別れ、何回かの大量絶滅、氷河期の到来、間氷期のくりかえしなどいくたの地球規模の気候変動、環境の大変化を経てきた長い道のりを通してです。

## 2. 2. 菌根菌(きんこんきん)の特徴

菌根菌(きんこんきん)とは多分、生徒さんたちの多くが初めて耳にされる言葉かもしれません。専門用語ですので、今覚える必要はありません。難しい名前は別として、それらは実はみなさんたちもよく知っているカビやキノコ的一种で、マツタケやシメジはこの菌根菌のうちの菌“G”の仲間です。菌根菌も他の菌類同様、菌糸(きんし)という構造体を作ります。それらが孢子を遠くへ飛ばすために集まってできた物が、日本人にお馴染みのあのマツタケやシメジのキノコ(子実体:しじつたい)です。とは申せ、すべてのキノコがこの菌根菌の仲間という訳ではないのですが。

私たちが住む地球の生物界には植物や動物の他に、これら菌類、さらに細菌類というものたちが別のグループとして存在するという全体像を描き、かつ今学んでいるのはそれら菌類(カビやキノコの類)の一種であることを知っておいて頂ければ十分です。

実は菌根菌という言葉に先立って、まず菌根(きんこん)と名づけられたものがあります。この種の菌類の菌糸が植物の根の内外につきそこで共生するもの(共生体:きょうせいたい)を指します。この菌根を形成する菌(類)ということで、このややこしいような?、愉快的な菌根菌という名前がつけられました。この一見不思議な文字も正しく分解してみれば、そんなにトンチンカン、ちんぷんかんぷんな言葉でもないのです。

1. 1. で植物が陸上へ進出したほぼ同時期から植物は菌“A”と共生して生きてきたことを述べました。では具体的に菌根ができれば、植物の何がどう変わるのでしょうか。

菌根に連なった菌糸のネットワークを通して、

- ①水の吸収が増進される(乾燥に対する耐性の上昇)
- ②植物養分(ミネラル)の吸収が促進される(特にリンや、また微量必須ミネラルも)

③病気や害虫からの攻撃に対して強くなる(病害耐性の増大)

④土壌の構造がさらに強く維持される

一方、菌根菌は植物側から光合成産物(光合成によって作られた炭水化物)の提供を受けて、自身の生存に役立てます。これら互いに自分のためになる物を相手からもらい、その代わりに相手の必要とするものを提供する関係を相利(そうり)共生と呼びます。

### 3. 菌根菌の種類とその役割

#### 3. 1. アーバスキュラー菌根菌 (菌“A”)



草本植物 : dew on grass / mush2274

陸上植物の8割以上がこの菌“A”と共生する能力があると推定されています。この菌“A”は多様な種類の植物にかなり分け隔てなく(特異性が低く)、共生して菌根を作りますが、特に草のたぐいで多く報告されています。それらの植物にとって特にリンの吸収は重要で、その吸収促進の活動に菌“A”が大きな役割を果たします。

栄養分の乏しい土壌に植えた同一種、複数の草本植物体において、ある個体には菌“A”を感染させ、また別の個体には菌“A”を感染させずに数週間も栽培すると、乾燥重量やリン含量に数倍、十数倍も違いの出ることがあるそうです。数%や数十%等のレベルではないこの正に桁違いの影響の大きさ、開いた口がふさがらない位、おそろべし菌“A”と言える力です。ちなみにこれら栽培の条件などで変わる特徴を獲得形質(かくとくけいしつ)と呼びます。ですので、それらはあくまで遺伝する性質のものではありませんが、菌根菌のつきやすさは遺伝していてもおかしくありません。

「例外のない規則はない」とよく言われますが、植物の菌根性(菌根菌に感染して菌根を作る性質)についても例外はあります。たとえば、花を咲かせる特徴を持った植物である“被子(ひし)植物”のうち、アブラナ科などもこれらの菌類に感染しても菌根を作らないか、あるいはその頻度が大変低いものです。この種類の植物が土壌の不溶性(溶けてない状態の)リン(そのままでは植物は吸収できない)を自分の力で溶かして吸収する能力をもつ可能性を指摘する研究者もいます。あるいはスイレン科など水辺の植物も菌“A”と共生しない性質を持っています。これらは元々、菌根菌と共生をしていなかったのではなく、その後共生する必要がなくなった理由が生まれ、長い時間を経て現在ではそのように変わったのかもしれませんが。また、菌根性として知られる植物でもその生えている土壌の環境に従って、植物の吸収可能なリンが豊かに存在する場合など、菌“A”に感染しても菌根を作らない傾向も認められ、このように共生は植物をとりまく状況、事情に従ってその関係性を結ぶ、あるいは結ばないというコントロールが図られています。あるいは、この種のメカニズムが基盤となって上記、菌根性でない植物の進化もまた推し進められてきたのかもしれませんが。

一方、自然環境の中、やせた土地のその所々に小さな草はらが点在して生えている光景を時に見かけます。これは菌“A”の集まった区域(コロニー)に色々な種類の植物が地下の菌“A”の菌糸のネットワークで繋がって生きているという例である場合が多々みられるといえます。植物個体とその共生相手の菌という関係性だけでなく、植物はさらに菌糸を仲立ちにして同種、あるいは別種の他の植物個体とコミュニケーションをとっているらしいことが最近明らかになってきました。

### 3. 2. 外生(がいせい)菌根菌 (菌“G”)



木本植物 : Big trees in the Sierra / John-Morgan

現在の多くの樹木のたぐい(木本植物)や一部の草本植物に感染して菌根を形成するのが、菌“G”です。マツ科、ブナ科、カバノキ科、ヤナギ科、フタバガキ科、バラ科などの樹木の細い根に菌根を作ります。

この菌“G”も樹木に与える影響は菌“A”のそれとほぼ同様であり、例えば水吸収力を高めることができます。また菌“A”に似て、病原菌の樹木の細い根への攻撃を防ぐのにも菌“G”が役立っているとみられます。一方、菌“G”の構造体は植物の根を覆うようになる特徴を持ちますが、この結果そこに空気を多く含む層が生まれることとなり、それに包まれた植物の根は凍結による傷害や酸素不足から免れることが可能となりました。これら菌“G”の助けを得て、多くの樹木の仲間が北極圏のツンドラ地帯から高山帯あるいは砂漠、さらにほとんど岩場のような、土壌そのものが乏しい海岸にまで生活圏を広げることができたと考えられます。



桂浜 広島県呉市倉橋町: 白砂青松百選HPより転載

手入れが行き届いた松並の続く日本各地の海岸線はその風光明媚さから、「白砂青松(はくさせ

いしょう)」と形容されてきました。美しい砂浜の際に松林が広がる風景、それを可能としていたのは松自身の能力ではなく、実はこの菌“G”、つまり松と共生するマツタケの仲間の力によるものだったというわけです。(マツタケ、松露おいしい!!、だけでなく)、マツタケ一派、えらい！ですね。

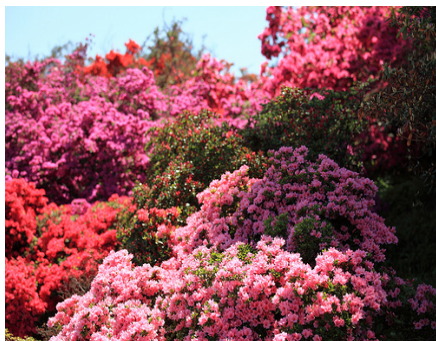
菌“G”と共生して生活圏を広げてきた樹木の種類は主に北半球の温帯以北に分布が片寄り、亜熱帯や熱帯では高山地域に限られます。さらに南半球ではそれら菌“G”と共生する樹木は少なく、キノコの種類そのものも少ない傾向にあるそうです。菌“G”は実は、菌“A”と比べると比較的最近になって植物と共生関係を持ち始めた菌類で、その出現は今から数千万年前から 1 億年前位の間とされます。それから地球のどこでこれら樹木たちの先祖は菌“G”と共生関係を結ぶ術を身につけ、生活力の向上という能力を得たことによりどのようなルートを経て新たなフロンティアへ広がっていったのか、多分それらの現在の分布がある程度その歴史を物語っているのではないのでしょうか。そんな樹木のたどってきた長い地球生態系の変遷に思いを巡らして、また目の前の森や林を眺めてみればこれまでと違った奥行き景色が見えて来るかもしれません。

森では菌“G”の分布している区域(コロニー)に多くの樹木が育つことが知られています。私たちが普段目にしない地下世界で、それら樹木は菌“G”の菌糸によるネットワークで繋がっていると推定されるようになりました。専門家の理解によれば、たとえば日当たりの悪い箇所に生えている個体に代わってその分の光合成産物を別の個体が菌“G”へ余分に与えたり、あるいは小さな若木に代わって親あるいは兄、姉に当たる樹木が炭水化物を菌“G”へ与えたり、木同士が連携し助け合うコミュニティが形作られている可能性もあるそうです。あるいは物質のやりとり、肩代わりなどを行う以前に木と木とが菌糸のネットワークを丁度、電線のように使って情報のやり取りをそもそも行っているのかもしれない。実際、もしそれが事実ならば、どんな言葉(分子)を使ってどのような情報のやりとりをしているのか、想像してみるだけで何か嬉しくなってきましたか。言わば地下世界における木の言語やそのコミュニティにおける関係性など、今後の研究による解明が待たれるものがたくさんあるそうです。それらを 10 年後、あるいは 15 年後にも明らかにする未来の科学者が実は今、この教育プログラムに参加している生徒諸君、あなたかも知れませんね。

また、草本と草本の間は菌“A”で繋がることは先ほど述べましたが、樹木と草本の間も主に菌“A”のネットワークによるそうです。こちらの言語は木と木との間の場合とはまたどう違うのでしょうか。それは方言ほどの違いでしょうか、日本語と英語ほど？、あるいは人とイルカほど、いえいえ、さらに地球人と宇宙人？ほどの違いでしょうか。若い研究者の卵、いえ種子さんたち、一日も早くこれらもまた明らかにして下さい。それは地球の植物界の理解に大きく役立ち、またそこへ人間のさらに豊かな関わり方、新たな 21 世紀農林業技術を作り出していってくれることでしょう。がんばれ、未来の科学冒険者たち!!、



### 3. 3. ツツジ科菌根菌（菌“T”）



ツツジ科の植物は、菌“N”に分類される菌根菌のうちの一つ、菌“T”と特別なパートナー関係を持っています。ツツジはしばしば火山の裾野や岩山などに群落を作り、開花期には一面のツツジ花畑となってそこを訪れる人々の目を楽しませ、たとえばミヤマキリシマの大群落など各地の火山地帯にツツジ群落の名所があります。しかし、なぜそのような地にはツツジだけが群落を作っているのか、作れるのか、

ツツジ： Azalea / Rhododendron / 躑躅(ツツジ) / TANAKA Juuyoh (田中十洋)

あるいは言い方を換えれば他の植物はなぜ群落を作らないのか、その答えはこの菌“T”にあるそうです。火山の近くは酸性が大変強い土壤になってしまうのですが、菌“T”は実は酸性の土壤で溶け出してくる重金属、これは植物に大きな毒性をもたらしますが、それを菌体自身に集積してかつ植物体を与えないようにする働きを持っています。ですから、他の植物が育たないような強酸性の土壤でもツツジはまるでわが世の春のように群落を作れた訳です。あるいは岩山など、ほとんど土壤がないような場所でも菌“T”の広く伸長した菌糸が周りから水分を始め、リンなど植物に必要な無機栄養分を集めて植物体に渡す役割を担っています。ですから、ほとんどの植物が進出できなかった、他の植物にとってはまったく過酷な環境へまるで一人勝ちのような状況で優占的に生活圏を進めていけることとなりました。

この菌“T”は菌“A”と正反対に、特別な種類の植物種とのみ共生関係を作ったという点が対照的です。これなどは、生き物はそれぞれ生きてゆくために色々な戦略をもって環境に適応すべく立ち向かうことの一つの例と言えるでしょう。生き方は決して一つではないことを生き物の世界が私たちに教えてくれています。

### 4. 根粒菌(こんりゅうきん)

根粒菌という微生物は実はこれまで紹介してきました菌根菌とはまったく違って、細菌(バクテリア)の仲間です。しかし、植物側のそれら共生微生物に対する関わり方は、分子のレベルで見るとかなり共通するものがあることが最近の研究で明らかになってきました。これはマメ科の植物と共生する微生物ですが、詳しくはJAXA宇宙教育センターホームページ(<http://edu.jaxa.jp/seeds/>)に載る「ミヤコグサ植物体と根粒の共生」をご覧ください。短く述べれば、空気中の窒素ガスを元にその構造を変え窒素栄養成分を共生相手(宿主)のマメ科の植物へ提供する働きを持っています。この共生関係はマメ科植物の出現時、今から6,400 万年前位に始まりました。植物と微生物の共生関係って奥が深いですね。でもこれらが解明されていけば、例えばバイオ農薬の開発や利用など、21 世紀農業の変革、発展に大きな影響を及ぼすものと期待され、現在盛んに研究が進められている分野の一つです。でもまだまだ分からないことも多いと聞きます。

## 5. 終わりに

今回学んだ生徒さんたちの中に、植物って微生物と助け合って暮らしていて、実はずいぶんへんてこりんな生き物なんだなあと思った人がいるかもしれません。でも人間を始め、動物も微生物と助け合って生きてきたのです。たとえば大腸菌って聞いたことがありますか。この教材範囲からさらに外れてしまうので詳しくは省きますが、私たちは腸内細菌と助け合って生きています。つまり、このような微生物との関わり方からしても、植物と動物、実は案外似ているのかもしれません。