

## 講演1：京都大学

生態学研究センター 准教授・博士[理学] 東樹 宏和 氏  
『コア微生物』で持続可能な農業を設計する



生態学研究センターの東樹と申します。どうぞよろしく申し上げます。

農業と言いますと、大学では農学部がございまして、そこが農業を学ぶ際の一番重要な機関になります。一方で、理学系の、私自身も理学部出身ですが、基礎のサイエンスに取り組むこともやっています。そこからの視点で、これからの地球上における物質の循環や資源をどのように使っていくのか、広いスケールで見たうえで、現実の問題に帰っていくという立場で研究を進めています。

そうした研究に至った経緯に少し触れさせていただきますと、私自身は子供の頃から生き物好きでした。大きくなったら生物学者になろうとか考えていました。そして大学院では、長い虫を採るための道具、これは本来、魚釣り用の道具ですが、樹の上の虫を取ることができないか、また、採った虫の形を見て、美しいと感じ、どうしてこんな美しいものが進化したのかなど、全く世の中のお役に立つような仕事はしておりませんでした。生き物が美しい、なぜ生まれてきたのかという謎を解き明かしたいという事で、ずっと研究を進めて参りました。そして博士号を取得しました。

その過程で様々なところに出かけます。30歳代には、色んな所に出かけて、美しい生態系、色んな生物がいて、生物がお互い関わりあって生きている。そのことに人類はほとんど理解をしていないと言えます。色々な生物が集まってできている世界、社会。人間も色々な個性のある人が集まって、何かが生まれるから面白いという面がございまして。それが生物の世界となりますと、さらに膨大な個体数となります。数も多いですし、それぞれ全然違う形や色をしています。性質も行動も違います。そうしたものが、どうして一つのシステムを作っているのだろうということに興味を持って参りました。

一方、世界各地で、日本でもそうですが、森を切るなど環境破壊が起こり、生物多様性が失われていくという現状がございました。私たち基礎の研究者としては、美しい熱帯雨林が無くなるということや、本来はあったはずの生物の多様な行動に謎が秘められた関係がある、そうしたものが、我々が研究しようとしても、将来二度とみることができなくなる事態に心を痛めるわけです。

しかし、生物が大事だという事は大切なことではありますが、一方では食糧の問題もあります。現在地球上で73億人に人口が達しているかもしれませんが、そのうち8億人に食料が足りていないと言われております。現在8億人が足りていない、その一方で、2050年までに100億人になるとして食料の増産状況はと、色々と考えていきました。熱帯雨林を切り拓いて農地にしなければ、飢えている人や子供がいるという人がたくさんいる。それはどうしようもないという意見もあります。その2つの対立をどうにかできないかを考えるようになり、今回お話しする農業というものを考えるに至りました。

地球全体の物質の流れ、そうしたことを将来にわたり考えていく場合に、我々は食糧生産をどうしなければならないのか、土地をどのように使っていかなければならないのか、それをグローバルに考えました。そして、その上で我々がすべきことを、最新の技術を使って一つ一つ農地で実現していくことを考えなければならぬと、30歳台からは主に基礎研究を更に進め、どのようにしてこの地球上で皆が共存していくのか、そうしたことを考える研究を進めてきました。

こうした写真は、みなさん良くご存知かと思っております。地球温暖化の予測マップです。地球上の温度がどんどん上がってきます。それが2度や3度であれば、そんなに大きくないかなと思いきや、少し変わっただけでも、島国は、もしかすると海に沈んでしまいます。

また我々にとり、昨年は災害が多い年でした。ある時には、非常に干ばつが起こり、私自身も小さな畑をやっていますが、そこで作物がほとんど枯れてしまい、地面にひび割れが生じています。一方で水が多すぎることもあります。

このような、予測できない気候環境が今後広がることが予想されています。それに対して人類全体として取組もうという動きが広がってきております。そして、色々なソリューションとして「これならいける。」という事で、スマート農業やゲノム編集という最先端技術が注目を集めつつある状況です。温暖化だけではなく、私たちの生存として、私たちが生物ですのでご飯食べて行かなければなりません。

最終的に、人間を、もう「情報」だけにしていまい、「身体が無くて良いのではないか。」という考えも出てくるかもしれません。しかし私は、生物であることに喜びを感じ、美味しいものを食べる時には、香りを感じて興奮し、そして触って喜びを感じる。そのような人間性は失われたいと思いません。そういう事で、食糧生産をしていくこともあると思います。

しかし気候の問題だけではなく、病気が拡がるということが、最近是非常にリスク要因として挙げられます。小麦もそろそろ危ない、世界的なパンデミックを起こし得る系統が出てきたりしています。また、移動して、今までは発生していなかったところに病気がはびこることが起きてきています。このため、現在の人間が持っている新種では対応できないことが起きていたりしています。

また、食の豊かさと言う観点からもバナナに「新パナマ病」というがあります。バナナは、かつて「パナマ病」というもので壊滅的な打撃を受けました。そして「キャベンディッシュ」という品種ができました。しかし、以前のバナナの方が美味しかったとの話があります。こうした話のように、私たちの豊かさという観点からも、バナナ自体が無くなるか

もしも、美味しい品種が失われるかもしれないという、色んなリスクが起きてきています。

また、物質の地球レベルの循環・移動と言う観点からも、現在の農業は非常に化石燃料や、そこからつくられる窒素肥料に関係があります。窒素自体は空気の8割が窒素ですが、その三重結合を引き離して、アンモニウムをつくるためには膨大なエネルギーが必要になります。ただ、窒素は元素としては(空気中等の身近に)存在するのですが、リンはそういうわけにもいかず、鉱物資源として採取する必要があります。そしてどこに存在するのかというと、大きくは西アフリカや中国、南米と、どこも安定しているとは言いがたい地域になります。その地域の政府が不安定になることや、何らかの貿易戦争(紛争)が生じて、「お前のところには出さない。」という話になりますと、供給が止まるというリスクが常にあります。それほど多くの輸入をしていますが、色々なところで回していくことのできるシステムを作っていないと、非常に国家としても危うい状況に陥ります。

**食料生産の危うい土台：リン肥料の偏在**



- ・窒素肥料と違い、リン肥料は鉱物資源
- ・埋蔵量の大半は地政学的に不安定な地域に(モロッコ、中国、南米)
- ・地球規模での物質循環のゆがみ(富栄養化)

こうした多様な問題が、どんどんと複合的に、例えば地球温暖化が更に病気の増殖を引き起こすなど、色んな問題が進んでいきます。そしてそれが更に絡み合っ、解決を複雑にしていってしまいます。そうしたことが今後加速していくが予想されます。

これに対して各個に解決するのは、なかなか上手くはいかないと思います。色々絡み合った問題を解決する「キー(鍵)」なる物は何か、という事で俯瞰しますと、それは「土」だろうと、私は申し上げたいと思います。

**人類が抱える環境問題**

食糧危機	水質汚染
水不足	大気汚染
石油資源枯渇	土壌汚染
リン肥料枯渇	土壌浸食
酸性雨	放射能汚染
森林破壊	地盤沈下
生態系の破壊	砂漠の拡大
外來種	耕地の塩害
乱獲	地球温暖化

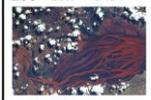
土壌生態系の基礎研究における革新が、絡み合う環境問題に新たな解決策を提示する

「土」は色々な環境問題にかかわっております。お示している様々な環境問題は、「土」と非常に関わりが深いだろうと私が考えているものです。食糧危機や水不足、こうしたものは当然かかわってきます。アメリカの穀倉地帯もオガララ帯水層の水位が下がってきますとリスクに晒されます。

また、石油資源と言うのも、まだ枯渇はしないでしょうが、価格や地政学的な供給リスクがございます。

さらに森林破壊はもちろんのこと、土壌の汚染、浸食、風や水で飛ばされていくという事で、どんどんと土地が痩せていきます。砂漠の拡大や塩害が生じます。

過度の耕作や放牧により、土壌が失われている



自然条件下で形成した表土が1cm生成されるのに、100-数百年かかる



土壌を劣化したれた文明は、人口を維持する食料生産ができず、度重なる飢餓や内戦を経て崩壊する



農業によって土壌が流出している地域

地球温暖化が、なぜ生じてくるかと言いますと、地球の中で、最も炭素を取り込んでいる植物たちに関係します。同じ分、植物自身が呼吸をしたり、動物が食べたり、菌に渡したりして、最終的に年間で釣り合っています。しかし、膨大な量が一旦植物に取り込まれますので、そこに入ってくる炭素をうまくコントロールすることで、二酸化炭素をどんどん生態系の中に溜め込んでいくというポテンシャルもございます。そのキー(鍵)は「土」だろう、という事で研究を進めてきています。

人類のこれからの生存には、「土」というキーワードがあると思うのですが、一方で人類が現在、「土」を上手く使っているのかというと、そうではありません。

個別の地域は申し上げられませんが、上空から俯瞰した写真になります。そこでは赤土が流れ出しています。ここに含まれるミネラルのようなものは、こうした農地からは失われてしまいます。また、これが海に流れ着きますと、珊瑚が死滅したりします。地球上全域で「土」の劣化と言うことが起きてきています。

そもそも、土壌を崩壊させてしまうということを、これまでに人類は何度も経験してきています。1年に少しずつ流れ出してしまうにしても、1センチの「土」ができるのには非常に長い時間がかかります。それが無くなってしまった時には生産ができなくなってしまい、もはや文明を維持できない。食糧が食べられなくなって、それどころではないという事が、これまでも起きています。こうしたことを基にして人類が大きく学んだかという、そうではない懸念があります。こうしたことから、まずは地球レベルで見て、物質の量であるとか展望を見てやっただうえで、さらに農地なり生態系で何をすれば良いのかという事を考えていくという視点で、現在研究をしております。このような観点から、微生物を使おうということが、今日お話する内容になります。

そもそも植物のほとんどは「土」の中で芽生えます。そこでどのような菌に出会うか。一番か弱い時に、色々なものがあるところで生活をしなければなりません。そこで運もあるでしょうし、そこで起きていることに注目すべきだろうと考えました。そして植物自体のゲノムを操作していく、品種改良していくことも、もちろん必要なのです。しかし、それを取り巻く生物たちを「鎧」のようにするという事を考えております。そこには、植物の進化の歴史における深い原理というものが、私の発想の根本にあります。

**微生物叢という名の「鎧」で植物を強くする**

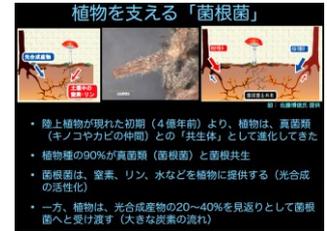


昔、植物は水の中に浮いていました。シャジクモという仲間から、陸上植物は進化してきたと言われてます。藻類であった時代、4億数千年前の状態ですが、その時には、水は周囲に沢山ありました。そしてミネラルも、膜を通して吸えるという状態でした。そこから陸に上がり、何が起こるかという、まずは乾燥があります。また、重力、さらに紫外線と、色々な外的要因が加わってきます。そこで生き残らなければなりません。水を相当持っていて、新たな供給は、なかなかないし、ミネラルが水の中に溶けていることも、なかなかない。どうしたら良いのだろうというところで出会ったのが、先に陸に進出していた「菌」たちでした。

ここで私がお話しします「菌」、特に「真菌(しんきん)類」というものは、キノコ・カビの仲間になります。みなさんはバクテリアをご存知かもしれません。私たちの腸内にも様々なバクテリアや細菌が存在します。そうしたバクテリアが生命の一番古い形態ですが、キノコ・カビの仲間は、どちらかというと、私たち動物の兄弟のようなものです。どのような形態をしているかというと、植物の根ですが、基本は非常に細かい菌糸です。これがどんどん伸びていく形態をしています。そして酵素を出して、色々なものを溶かして、それを吸って生きています。さらにキノコ・カビの仲間には「酵母」、お酒を造る酵母も真菌に含まれます。その中のキノコ・カビの仲間として「糸状菌(しじょうきん)」という、糸のようなキノコのお話をいたします。

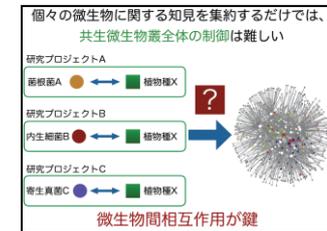


彼らは、初めに植物と付き合いました。むしろ植物が「菌」たちを頼ったというのが適切かもしれません。「菌」たちはどこまでも伸びていきます。そして色々な酵素を持っていますので、色々なものを分解する力に長けており、色々なものを吸う能力に長けています。そのため植物として自分で何か物を吸おうとするよりも、「菌」たちに任せる方が、はるかに都合が良いということになりました。そこで共生関係が成立し、その頃の化石には彼ら(「菌」)が植物の中に入っていることが観察できます。一方、植物はそれで成長を図りますので、見返りに糖をあげるということを致します。こうしますと、お互いに怠けることができない。怠ければ「お前にはやらない。」という関係が生じることが、実験的にも確かめられています。

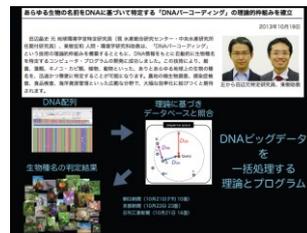


これは、非常に深い歴史をもったものなのですが、面白いことに、木がものすごく多様です。一つの森の中でも実は、全く別の種の木も、菌糸で繋がっているかもしれないという検証がごさいます。「これは面白い。」という事で研究をしております。こうした関係を見る場合に、植物の木との関係について、文科省なり、色んな機関に資金面で支援を求めて研究をはじめました。また、別の研究者と共同したり、プロジェクトにおいて、「この菌が面白い。」と研究を進めたり、ゲノム情報を読んだりします。そうした知見を蓄積していくことは重要なのですが、たとえ全てを蓄積したところで、全体の生物の関係がどのように動いているのか、そしてどのように整理するのかということにおいて、また別の科学的なアプローチが必要になってくるのが課題といえます。

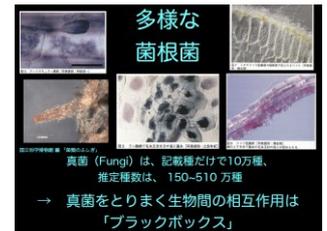
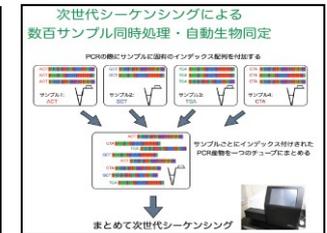
そうした観点から、私どもは7~8年前から、地下でどのようにして生物のネットワーク、真菌が植物同士を繋いでいるのかという研究を進めてきました。始めた時は、非常に大変でした。というのは、キノコ・カビの仲間は、これまで大体10万種ほどに学名が付いています。しかし、おおよそ500万種ほど存在するのではないかと研究者もいますし、ほとんどわかっていません。そんな「菌」たち、何がいるのかもわかっていない「菌」たちが、地下で何をやっているのかを見るのは、非常にチャレンジングな研究でした。一方で、そのころ、DNA パワーコーディングという手法も拡がり始めていました。これは、地球上の生命体はすべて DNA を持っていますが、その DNA を調べて、データベースと照合すれば、「これはどのような生物か」という事が分かります。そうしたデータベースが拡充されてきた時期でした。



そこで、色々な基礎研究から進めていきました。私の友人が、偶然コンピューターのプログラミングに非常に強い人間でした。その彼が、DNA を採取してきて、人間が何か特別な操作をしなくとも、全自動でデータベースと照合をして、「この生物は何である。」と判別してくれるシステムを作ってくれました。これによって色々なことができるようになりました。



色々な土を採取してきますと、その中には色々な微生物のDNAが含まれています。これを全部混ぜてやって、照合して、「サンプルナンバーの何番です。」とDNAの識別処理をして、全部を一度に検出してしまおう。詳細は、非常に専門的で申し上げることができませんが、非常にDNAの情報量が増えた時期でもあり、適切に処理できるものを一旦手に入れることができれば、色々なことができるという時代に入ってきました。そして我々は、非常に多数の、例えば一度に400サンプルほどを混ぜることや、1週間に1000サンプルを一気に分析するという事を、いかに低コスト化するのかに、力を割いてきました。



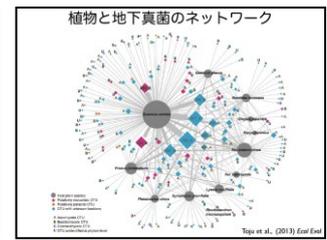
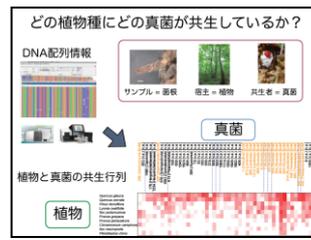
その結果、色々なことが分かってきました。例えば森の中で、1メートル間隔で根をひとつ採ろうと、友人と出向きました。今日は300ほど採れた、昨日も300ほどで、合わせて600は超えた、ということで研究室に戻り、その一つ一つの根を、一つは2センチ程度にして洗い、すり潰します。外で採取した根であれば、もちろん植物のDNAは含まれていますが、何らかの菌は必ず共生しています。共生していない根は、ほぼ野外では無いと考えていただいて良いかもしれません。もしかしたら、水の中に浸かっている植物の中には、(菌と共生を)していないものもあるかもしれませんが、どこにでも、何らかの菌はいます。

動植物に、どの「菌」が、どれくらいの頻度で存在するかを、一度に解析できるようになりました。そうしますと、十何種かの植物の根で、黒い丸印が植物ですが、これにどんな「菌」がいるのか、一つ見つけるたびに、線を引きます。

そして、たくさん見つかったときは太く線を引くという事をしていきます。これを自動で実行する「プログラム」を作って行うわけです。

これで、私はキノコ狩りも好きなのですが、キノコを見て「チョウジチチタケだなあ」と思うのですが、この DNA はどこで出てきたのかとデータを調べますと、「コナラという木に、やはりくっついていたのか！」ということと、「ほとんど他にはくっついてはいないけれども、なんか、ヤマザクラとは浮気をしているな?！」ということが、全部わかってしまいます。

こうした研究をどんどん拡大していきます。そうしたところ、一つの森で800個ほどの根の先を採取して、すり潰しました。

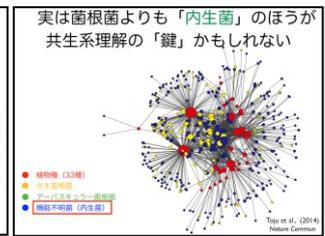
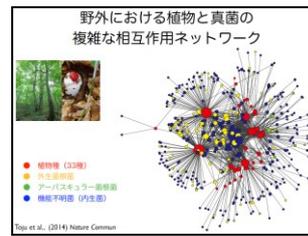


植物側も根で DNA を調べることができます。いちいち、この幹からこの根という作業をする必要はありません。

33種がこの森にはいるなという事がわかります。さらに冒頭に触れました老舗の「菌」たち、アーバスキュラー菌も一番老舗の菌であり畑作物に多く付くものですが、菌根菌と言うのはコナラやマツによく付くものです。

青い部分は、研究が進んでいない、ほとんどわからない「菌」であり、植物の中に存在する「内生菌」と呼ばれるものです。

人類はまだ知らないのですが、どうも色々な種の植物の中に入っています。そして、見るからに生態系の主よりも真ん中にいるという事が見えて参りました。「これは面白いな!」という事で、さらに研究を進めて行きました。



内生菌というものは、どういうものなのかと言いますと、キノコを作ったとしても、ほんの数ミリです。

いかにキノコ狩りが好きな人でも、これらは全く目線に入っていないだろうという連中です。さらに私が DNA を取ってきた根の物は、キノコをつくる物とは、少し異なる物ではないかと思えます。ほとんど植物の中だけに存在するのではないかという連中もいたりします。こうした発見に触れると、地球上の森の中にいる多様性については、パンドラの箱を開けてしまったような気になりました。



ですが段々と、こうしたグループを集めてきておまして、海外のグループが2017年に報告したのですが、それまではアブラナ科の植物については、農家の方はご存知かもしれませんが、大根や菜っ葉の類は、大体アブラナ科なのですが、これについては従来、菌根菌がないと言われてきました。

確かに菌根菌はいないのですが、どうも内生菌はいるのです。そして、その内生菌がリンを供給しています。そして、その植物体 F229 というギョウダケ目の内生菌を植え付けると増えて、植物のバイオマスを凶するという事が分かかってきており、こうした内生菌の機能が注目を集めつつあります。

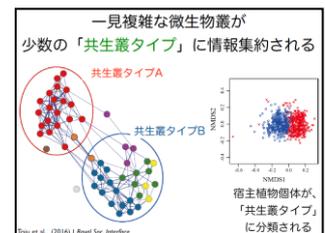
こうした菌たちは、一つの植物から採っても真菌だけで数百種であるとか、バクテリアも数百種くらいが、その植物の中にいます。その微生物どうしが、植物体内でどのように関わっているのかという事が気になって参りました。

そこで、またネットワークの研究をしようということで、現在、研究を進めて来ております。

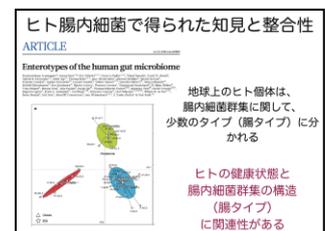
私たちの解析のやり方は、私たちの腸内細菌を解析するやり方を流用しております。私たち一人一人の腸内にある細菌を、現在は調べることができます。調べていきますと、この「菌」とこの「菌」は同じ人のオナカの中に一緒にいるなという傾向が見えてきます。そうした仲良し「菌」たちをつないでいくと、どうも「菌」同士の仲良しグループというものが見えて参ります。こうした解析方法を植物にも適用しました。

これは、1種1か所の森に生えている植物の根を700個くらい採取し、調べていきました。青で結んだ「菌」同士はお互いに、どうもいつも腐れ縁の様に、いつも一緒にいる連中です。赤は、こいつらは絶対に一緒にいないな、お互い嫌いあっているのが明白だな、というものたちです。

こういうものを見ていき、仲良しネットワークを見ていきますと、どうも同じ植物を調べているのにも関わらず、派閥がある、ということになって参りました。

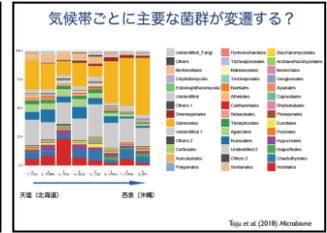
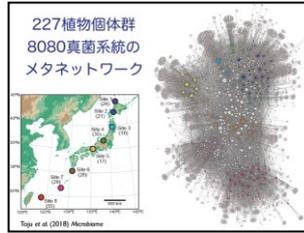


植物の方から見ても、植物の持っている「菌」祖を、サンプル毎にサンプリングしましても、やはりグループに分かれるのが見えてきました。これは実のところ、私たちの腸内細菌のシステムで何年前かに報告されています。オナカの中には、様々な微生物がありますが、微生物の「叢(そう)」のタイプが、人類は大体3つのタイプに分かれるということが報告されています。これには、異論もあるのですが、どれかはⅡ型糖尿病の患者さんに多いタイプであるとか、私たちの健康を診るにあたり、私たちの腸のタイプと言うのは、非常

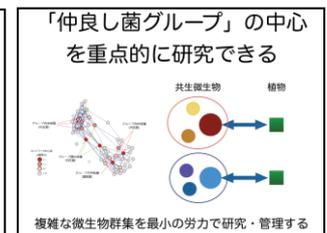
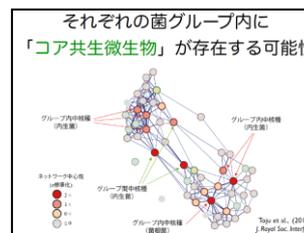


に重要であることが医学会で言われてきています。これに近いものであろうと考えています。

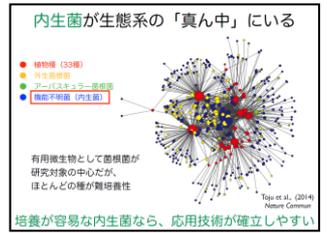
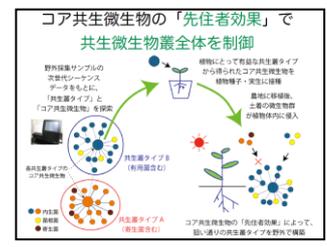
これはどういう事を意味するのかというと、微生物は膨大です。無数の数があります。そのそれぞれについて植物との関係を調べていくのであれば、いつまで経っても研究が終わりません。しかし、もし微生物たちが派閥グループを作っているのであれば、そのグループと植物の関係を見て行けば良いのではないかと、ということになります。これは、根本的に研究の簡略化、すごくシンプルにすることが可能になり、労力を削いで少なくすることができます。



さらに「菌」同士の仲良しグループを見ていきますと、どうもまとめ役のようなものがあるのではないかと、いう事になって参りました。そうしますと、グループの中のリーダーを見て行けば、グループの動きも分かりますし、他のグループには共生しない、こちらの意図する植物体にするための方策が見えてきます。さらにこれを進めますと、植物体にリーダーである「菌」祖を、植物の種子の中に植え付けてしまうと、その後は、その「菌」の仲間だけが植物体に入りやすく、そうではない物は入りにくい、というシステムができるのではないかと考えております。

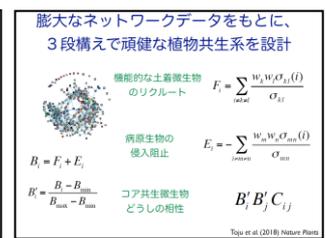
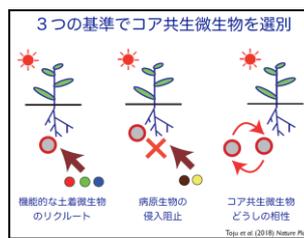


こうした背景には、これまでの微生物学や生態学の分野において、様々に研究されてきた微生物同士の関係における「先住者効果」というものがあります。人間の世界でも、町内会であったり会社であったりでも、先にその組織に入った人が、後から来る人を選ぶというのがシステムになっています。微生物の世界も同じようでして、先に植物体に入れば、極端な例で言いますと、植物の根を鎖帷子（くさりかたびら）のように覆ってしまい、他の物が入り込めないようにすることが可能になったりします。また、ここから抗生物質を出したりしますので、他の菌が入れないようにするといったことも可能です。誰が先に入るかが非常に重要になって参ります。そうしますと、私たちはDNAの分析技術を使い、さらにそれをネットワーク科学の手法で解析いたします。この「菌」が大事だなというのを優先的に植物に植え付け、その結果、その苗を畑に持っていきます。そうしますと、その土地には、すでに適応した無数の微生物がいます。今までの農業では、この微生物を制御できないがゆえに、農業で土壌全体を消毒するなどの方法が行われてきました。しかしながら、植物自体には、この土地に適応した微生物が非常に大きな役割を果たしている。それが植物2億5千万

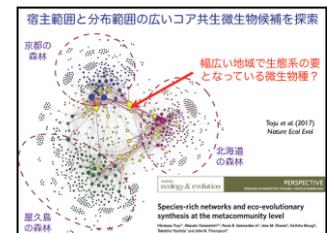


年の歴史なのです。それを全部殺してしまうと、何が起きるのかわかりませんし、折角の機能が無駄になってしまいます。

しかし人間が、あらかじめ、どのお仲間と付き合うかについて、はじめの植物の子供たちに、ある意味で教えてやるということにより、ここで植物体の成長を促したり、病気を抑制したりしてくれるものが集まりやすくなるのではないかと考えております。そうした機能を私たちは、土壌中からその「土着の菌」の中から、良いものを選んでくる。あたかもリクルーターのような「目利き」をすることになります。そうした「菌」を選ぶ機能、さらに土壌中からの病害の侵入を防ぐような機能、さらに複数の「菌」を植え付けることによる、お互いに助け合ってくれるような機能、この3つを分けました。数式を出してしまい申し訳ないのですが、データがあれば数学的に、「この「菌」はいける。」「この2つの「菌」を植物に植え付ければ良い。」という方法を、現在提唱しています。



その一方で、現在の日本列島の資源の探索も進めています。この「菌」は色んな地域で使えるのではないかと、この植物に使えるのではないかと、いう探索を進めております。例えば、元々森の研究が好きだったこともあり、北海道と関西と鹿児島あたりの森に行きました。一方で、畑には様々な攪乱要因があります。トラクターで耕すと菌糸が切れてしまうことや、肥料を施すと植物が肥料成分を自ら吸収するので、「菌」はリストラするなどしてしまいます。生物資源としては森が非常に有効なのです。



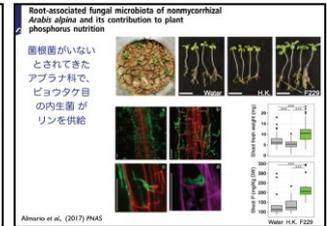
たくさんの微生物がいて、それを見ていきます。ただ、森の植物についている「菌」は、その（畑の）作物にはつかないだろうという事が有り得ます。そうした観点から見て、ありとあらゆる植物に付く内生菌も、どうやら存在します。それを優先的に見てくる、それが木本（もくほん）植物であろうと、草だろうと、ついてしまうような「菌」がいます。そうしたものを見つけ、さらに広い地域で住んでいるもの、適用できるものを見ていきたいと思います。そうした「菌」

を見つけるような、色んな指標も作っています。

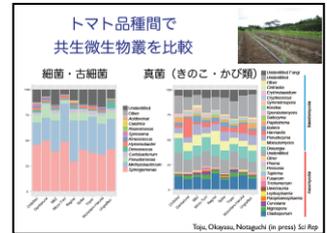
これを現在拡大しまして、北は稚内の近くから、南は西表の辺りまで、膨大な植物の種類を採っています。どうものを選んで行ったらよいか、日本全国、一つのネットワークという、詳細は申し上げられませんが、複雑な解析をします。そして、「これが良い。」とか、「これは、ここに居たのだ。」という事で、順位をつけていきます。このような、日本の生物資源の「良いもの」、「使えそうなもの」から順位をつけていくことを行いました。そうしますと、北から南へ「菌」の層が変わっていくのです。「これが良いでしょう。」と、1番から8080番までランキングをつけました。

他にも、実際に極限環境、たとえば紫外線が強いか乾燥するところで、実際どのような植物が、どういう「菌」を頼って生きているのかを調べることによって、極端な気象環境であるとか乾燥環境など、そうしたところで生きていく植物をつくるための菌を探索することも行ってきております。

これは、標高2000~3000メートルのところで生きた「菌」の仕組みです。どうもビョウダケ目というものが多く傾向です。なかなか今まで注目を集めなかった「菌」なのですが、どうもこれによって極限環境で生きていることが推測されてきました。まだ、これは実証実験をしておらず、これからです。



また、草原は日本では減ってきていますが、ここには色々な植物があります。この草原には150種くらいの植物があります。そのうち137種を採りました。そして微生物、これはバクテリアですが、葉と根にいるものを、植物の33の「目」というグループに分けて提示しています。キノコ・カビの仲間、葉と根にいるもの、こんなのがいると。また、この菌がほしいので、この植物の葉から採れるに違いない、というようなデータベースを整備しています。



農地に行くこともありまして、自分たちの生態学研究センターで作物を育てることもします。品種ごとに、葉にいる細菌やキノコ・カビの仲間、酵母には、どのようなものがあるのだろうかということを比較したりします。そうしますと、これはこの品種に特異的だなということが見えたりします。

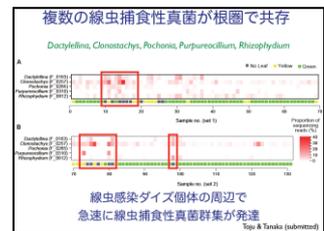
また、土壌の病害というのは、非常に深刻なものです。根こぶ線虫病が出た日には、根が丸ごと枯れてしまうようなことも有り得ます。1枚も葉が無くなってしまった根こぶ線虫に感染した植物個体、そしてまだ根こぶが来ていない青々としている植物、2畝、30センチおきに網羅的に採っていきます。そして、その根と土、健全な葉が青々としているもの、根こぶに感染して葉っぱが1枚もないものを比較していきました。

菌叢という、大体は、みなさんバクテリアを研究されるのです。しかし、バクテリア叢を見ても良くわからないということが見えてきました。一方で、キノコ・カビの仲間を見ますと、ここには健全個体がほとんどいなかったのが、ここでは(キノコ・カビの仲間が)激増しているの、「何だ、この菌は」という事になりました。



調べて見ますと、これはどうも菌糸で「輪っか」を作りまして、これになぜか線虫が誘引されてきて、これにパカッとはまり、くくられてしまいます。そうしますと、イノシシを捕る罠のように一瞬で輪が締め、菌は、後々にゆっくりと酵素を出して、中から線虫を食べてしまうという、恐ろしい連中が増えていることが見えて参りました。

これは普通の畑なのですが、そこでは根こぶが、どうしても出てしまいました。何年前かに消毒をしましたが駄目で、何年後に出てしまったという状態です。しかし、そこにはどうも、しばらく放っておくと線虫を食べてしまう「菌」も、実は土の中に少しはいて、それが増えてくることが見えてきました。さらに微生物同士の関係性に注目していきますと、先ほどのくくる様な「菌」だけではなく、他にも線虫を殺す「菌」が、どんとどんと、芋ずる式に見つかりました。大体5種くらい、芋ずる式に見つかったのです。



畑の畝で見ますと、黒い部分が根こぶにやられて、黄色の部分、黄信号がともっている状態です。その周りに、この5種類の「菌」が、一緒にドバッと出るとい、何か畑の中の動態を見ているような気になりました。こうした「菌」をうまく活かすような土づくりはどうすれば良いのかという事を、現在考えています。

我々は、色々な技術を持っていて、すごく沢山のサンプルを扱うことができます。また、情報技術を自分たちで開発してきた歴史があり、統計手法も得意にしています。細菌に限らず、バクテリアとか線虫や土壌にいる虫たちについても扱えます。このため、土壌病害が、なぜここは起きずに、あちら側では起きるのか。また、抑制するにはどうすれば良いのかという研究を進めて行きたいと考えています。

最後に、この分野の展望についてお話ししたいと思います。

現在、ゲノム編集という事で人類の食糧問題を解決しようというお話しを、みなさんどこでもお聞きになると思います。それは、今まで育種という匠の技で、美味しいトマトなどが出来てきたものを、今度は遺伝子を組み替えてしまい変えて行こうという動きでもあります。消費者意識もありますし、色んなものがあるわけですが、その技術は、どんどん色んな研究者が進めていくと思います。一方で、地球レベルの課題に対して、一つのソリューションに重点が置かれ過ぎることは、非常にリスクがございます。

私たちのスタンスとしては、それ以外の部分で、新しい基幹技術なりを構築していき、地球全体で新しいというか、複数の戦略をもって、我々の未来を保障していこうということです。その一つのきっかけになれば良いと思い、微生物叢を研究しています。

育種ですと、病原への抵抗性をつける遺伝子が見つかるわけですが、一方で、その効果はトマトの一系統であったりとか、他の種に適用するには、少し時間がかかったりします。

一方で内生菌は、非常に広範な作物種に適用できるものも、どうやります。そういう意味でも即応性があります。また、広範な応用範囲が拡がり、構築できる可能性があり、(育種を)を補完することもできます。そういう点からも研究を進めて行くべきと考えています。

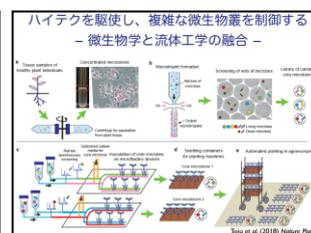
さらに実験する微生物の株を採ってくるためには、いろいろな仕組みが必要です。無数の培地と無数の「菌」たちの相性のようなものを適用することや、ハイテクもいろいろと使っていこうとしています。数ミリよりも小さいレベルで、水滴のようなものの中に、微生物の組み合わせを作ってやって、お互いに仲の良いのは誰だろうということを見つけていくことも考えています。

最終的には無数の組み合わせを作って、農地に苗床として作っていきたい。さらに一つの生態系の中にも、本来はリスクを一番分散するという意味では、いろいろな作物種を植えるのが一番だと思います。そうすると早魃が来たときにキュウリはだめでもトマトは残るとかがあるのです。しかしながら、機械化された農業では、それもなかなか難しいのが現状です。

そのため、作物は一切変えることができないのだけれど、植えつける微生物、もしくは共生している微生物だけは、株の間で異なっているようにします。そうしますと、新しい病気が出てきたときに、この株は突破されたが、隣の固体はこの微生物から新しい微生物を返り討ちにしてしまったことで被害を免れるということが起こり得ます。

簡単な話として、一つのかごの中に、全部の生卵を入れてしまっただけで転んでしまうと、全部割れてしまいます。ですが、少しずつ異なる器などに変えて運べば、全滅は免れる。そうした考え方を、農業全体の系の中に組み込んでいく。さらに時間的に輪作の中で、微生物もその中に取り込んでいくことが面白いのではないかと考えています。

加えて、情報技術が出てきて、ドローンができてきています。さらに遺伝子検査が、携帯電話にくっつくようなものが実証段階に入っています。こうしたものを使えば、ドローンが飛んで行って、葉っぱを少しだけすり潰してDNA検査をして、その情報がWebで飛んでいくようになります。さらに情報技術を適用すれば、将来どのようなようになるのか。「この座標のこのあたりのエリアは、病気が発生して枯れる。」というような予想が、見えてくるかもしれません。そうした場合に、あらかじめ何か予防的な措置を講じるということも、これからの農業に出てくるのではないかと考えています。そこでの生物叢の情報は、非常に情報量が多く、さらに最終的には、非常に低コスト化して得ることができる可能性があります。そういう意味からも、非常に展望があると考えております。



森を切り開くとか、食料を生産するとか、という軋轢、それを無くしていくような新しい枠組みといますか、地球を俯瞰した上での戦略を組んでいく。例えば森をもう一度作ることも必要になるかもしれません。

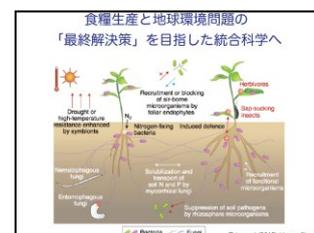
そうした場合には、どういう木の種を植えれば微生物と仲良くなるのか、お互いの共存が促進されて綺麗な、生物多様性に満ちた森ができていくのか。もしくは、場合によってはバナナや作物種を少し入れたりしても良いのです。

コーヒーなどの嗜好性植物はそこで作られるストーリーがあって、それで価値がついてきます。そうしたところも含めて、再生を半分は終えたけれど、もう半分は食料も生産するようなどころとする。それを作っていくための土作りにあたり、この「菌」はこの植物と共有し、仲が良いということなどを見ながら、全体の生態系を設計することが必要です。そうしたところで新産業をつくり、様々にご提供できるように、研究室を運営していきたいと考えています。



また、日本の農家さん向けに土壌の診断も行い、どんな土になっているか、どんな菌を求めるとか、どういったことが必要なのか、どういうエリアで農業をされているのか、それによって微生物の組み合わせをカスタマイズして提供するような枠組みが、これからは面白いと考えて研究を進めています。

学際科学と言いましょか、いろんな分野の研究者と私自身も関わりながら、刺激を受け、勉強させていただきながらやってきています。これを今後はもっと拡大して、皆さまとも、いろいろと刺激のある議論をさせていただければと考えております。



ありがとうございました。