

理研ニュース

No.180 June 1996

理化学研究所

2 ● 研究最前線

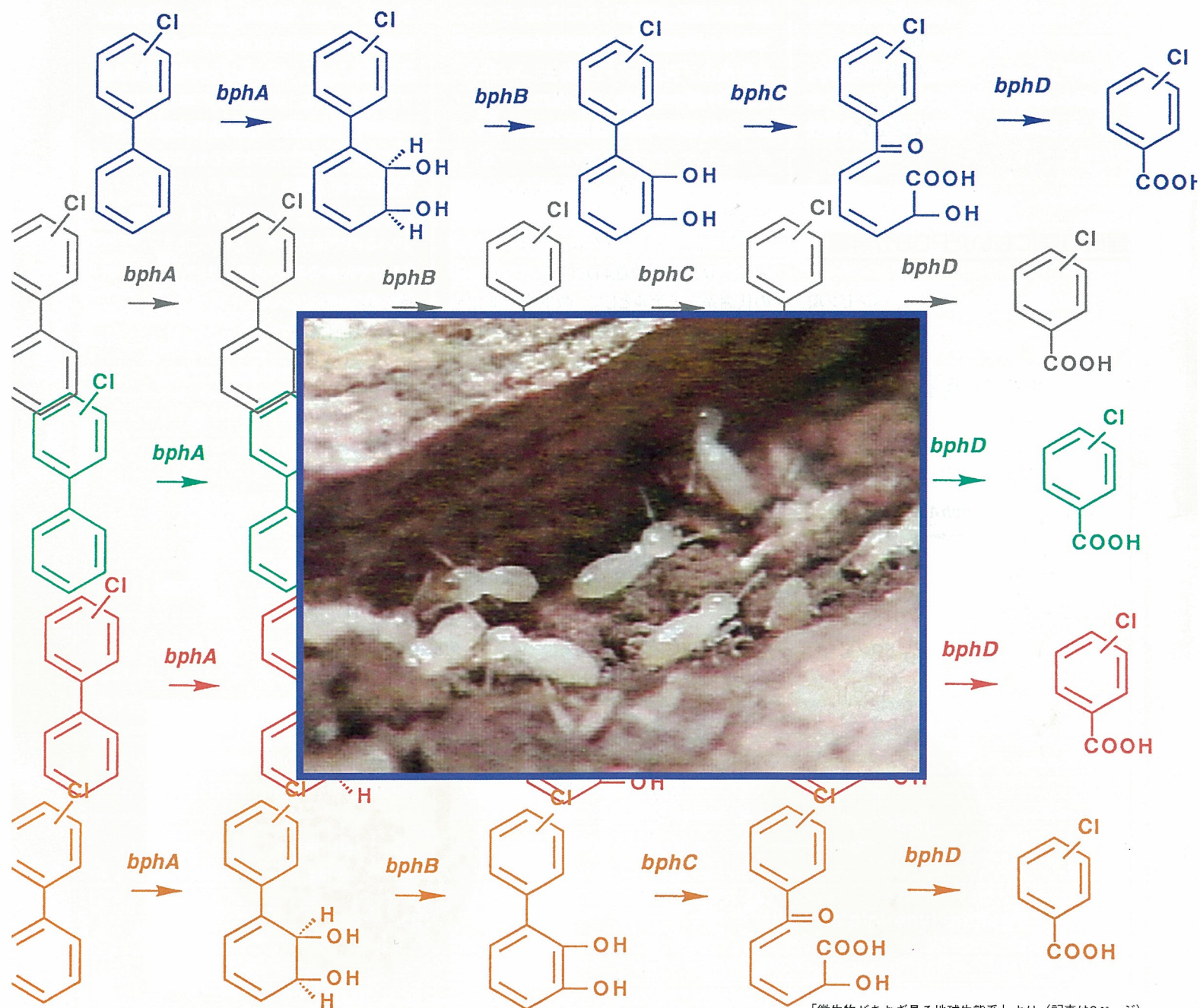
微生物があおぎ見る地球生態系

7 ● TOPICS

- ・川合主任研究員、猿橋賞を受賞
- ・ノーベル物理学賞受賞者T.D.Leeコロンビア大学教授エminentサイエンティストとして理研を来訪
- ・日本学士院賞のお知らせ
- ・理研ホームページ開設

8 ● 原酒

- ・地の果てまでも



「微生物があおぎ見る地球生態系」より（記事は2ページ）

微生物があおぎ見る地球生態系

落語の三題話ではないが、PCBとシロアリでどんなストーリーができるだろうか。

じつは、すばらしい物語が編まれつつあるのだ。その鍵となるのが「微生物」、これが三番目のお題だ。

物語の作者である微生物学研究室の工藤俊章主任研究員は、「シロアリも微生物も、やれ害虫だ、病原菌だと嫌われていますが、地球の生態系、さらには生命史のなかで欠かすことのできない地位をしめているのです」とわれわれの偏見に異を唱える。

人間中心の目の高さをちょっと変えてやれば、生命のダイナミックな相互作用の世界が見えてくると……。

理研の庭にもいたPCB分解菌

PCB(ポリ塩化ビフェニル)は、ベンゼン環が2個つながったもの(ビフェニル)に複数

の塩素がついた非常に安定性の高い物質。さまざまな工業製品に使われてきたが、安定で分解されにくいゆえに、土壌や生物に高濃度に蓄積され、環境汚染物質となってしまった。

現在では厳しく規制されているが、自然界にはまだまだ大量に残っている。(図1)

工藤主任研究員のグループが、PCB問題と取り組むようになったのは1991年のことである。新技術事業団の国際共同研究「微生物進化プロジェクト」に参加したことが、きっかけだった。このプロジェクトには、ミネソタ州立大学微生物生態学センターのジェームス・ティージェ教授のグループと、長岡技術科学大学の故矢野圭司教授の研究室も参加した。

そして、ティージェ・グループは、長年研究してきた除草剤の2,4-Dを分解する微生物の代謝系をモデルとして、微生物の進化を追究することになった。2,4-Dは1個のベン

ゼン環に塩素がついた構造となっている。また、矢野グループは、従来から研究してきたいくつかのPCB分解菌の代謝系を深く掘り下げることとなった。

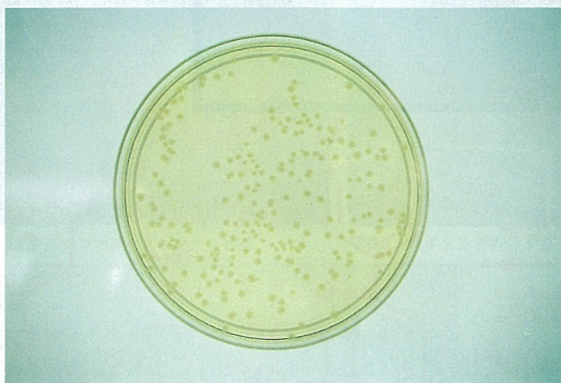
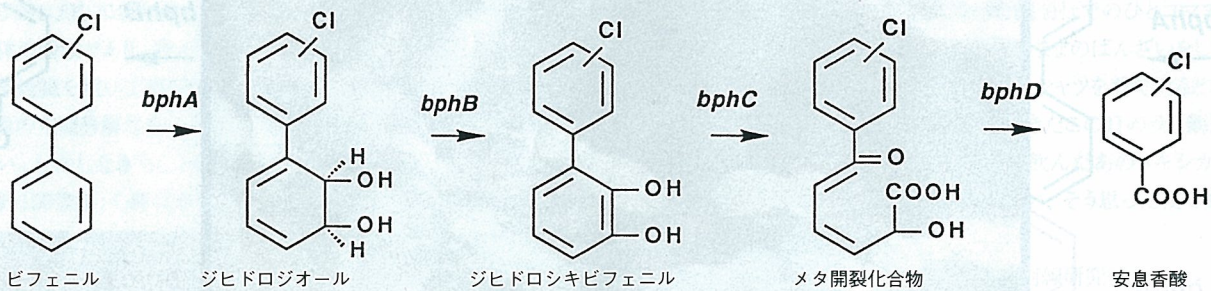
2,4-DやPCBといった人工物は、最近あらたに登場したもので、それまでは自然環境に存在していなかった。

「ですから、これらを分解する微生物の代謝系を調べれば、短期間に起こった進化の状況がくつきり浮かび上がるだろう、という考えがありました。ならば、われわれのグループはどう攻めようかと……」

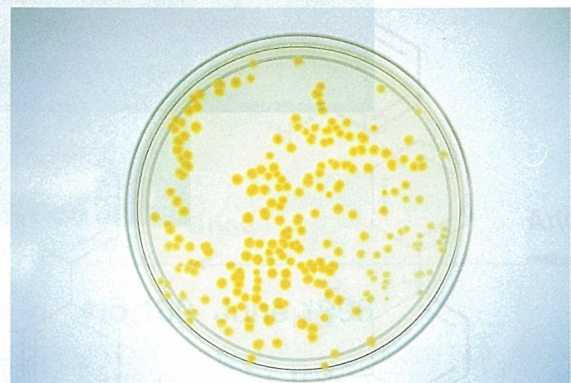
このとき、工藤主任研究員の頭をよぎったのは、たかだか何十年というオーダーで突然PCBを分解する代謝系ができるだろうか、元々似たような代謝系をもった微生物がいるのではないかと、ということだった。

「そこでわれわれの方は、ほぼ広くPCB分解菌を追いかけてみることにしました。手はじめに理研構内の土をあっちこっからとっ

図1 PCBの分解経路



噴霧前



噴霧後 (メタ開裂化合物により黄色を呈する)

写真1 ヤマトシロアリ



いったベンゼン環をもつ物質を分解する菌もあり、芳香族を分解する遺伝子群が広く微生物に分布している

できて、中の微生物を培養してみたら、これがちゃんといたんですね」

従来、PCBの蓄積した土壤にはその分解菌がいることが知られており、シュドモナス属を代表とするグラム陰性菌についての研究が中心であった。ところが、PCBの蓄積とは無関係な理研の庭土には、グラム陽性のPCB分解菌もいたのである。

そして理研の庭には、興味深い生き物がもう一種存在した。シロアリである。(写真1)

ことも明らかになった。そして話は、PCB分解菌だけでは終わらなかった。

「いや、シロアリのお腹には、PCB分解菌だけでなく、じつにさまざまな微生物がいたんです。まさにそこは“微生物の海”でした。微生物屋としてはすごい研究材料を手にしてしまった…」

シロアリの腸には、前腸・中腸・後腸の三つの部分があるが、主に後腸が共生微

生物の住み家で、鞭毛虫類などの原生生物が、5万から10万細胞と体重の3分の1を占めるほどいる。また、窒素固定菌やメタン生成菌、PCB分解菌といったバクテリアが、100万から1000万細胞、種類にして100種以上存在したのである。

腸内の微生物の核を蛍光染色して顕微鏡でのぞいてみると、無数の微生物が青色に光り、原生生物のなかにもバクテリアが存在しているのがわかる。原生生物の表面に宿り木のようにくっついてあるバクテリアもいる。まさに進化の揺籃であった古代の海を彷彿とさせる世界だ。(写真2、3)

シロアリのお腹は“微生物の海”

「構内のいろいろな所の土壤をサンプリングしていた若い人たちが、シロアリを見つけ持ってきたのです。それなら、このお腹の中にいる微生物も調べてみるか、ということになりました」

そもそも工藤主任研究員が考えていたのは、PCB分解菌の代謝系にはルーツがあるのではないかとということで、その有力候補の一つが、植物の細胞壁をつくるリグニンに対する代謝系だった。リグニンもベンゼン環が2個つながった構造(ビフェニル)をもっている。(図2)

「シロアリは倒木などに住みついて、これを食糧としています。ですから、リグニンの分解がぜったいに必要で、これをお腹の中の微生物、いわゆる共生微生物が担当しているのです」

こうして調べたシロアリの腸には、たしかにロドコッカス属などのPCB分解菌がいたのである。

シロアリの腸内にも、理研構内はもちろん日本各地の土壤にもPCB分解菌がいたことから、その分解遺伝子は、リグニンのビフェニル構造を分解する遺伝子から進化してきたことがほぼ確実となった。

また、PCB分解菌のなかにはPCBだけではなく、トルエンやフェノール、ナフタレンと

図2 リグニンの模式図 (ビフェニル構造を含む)

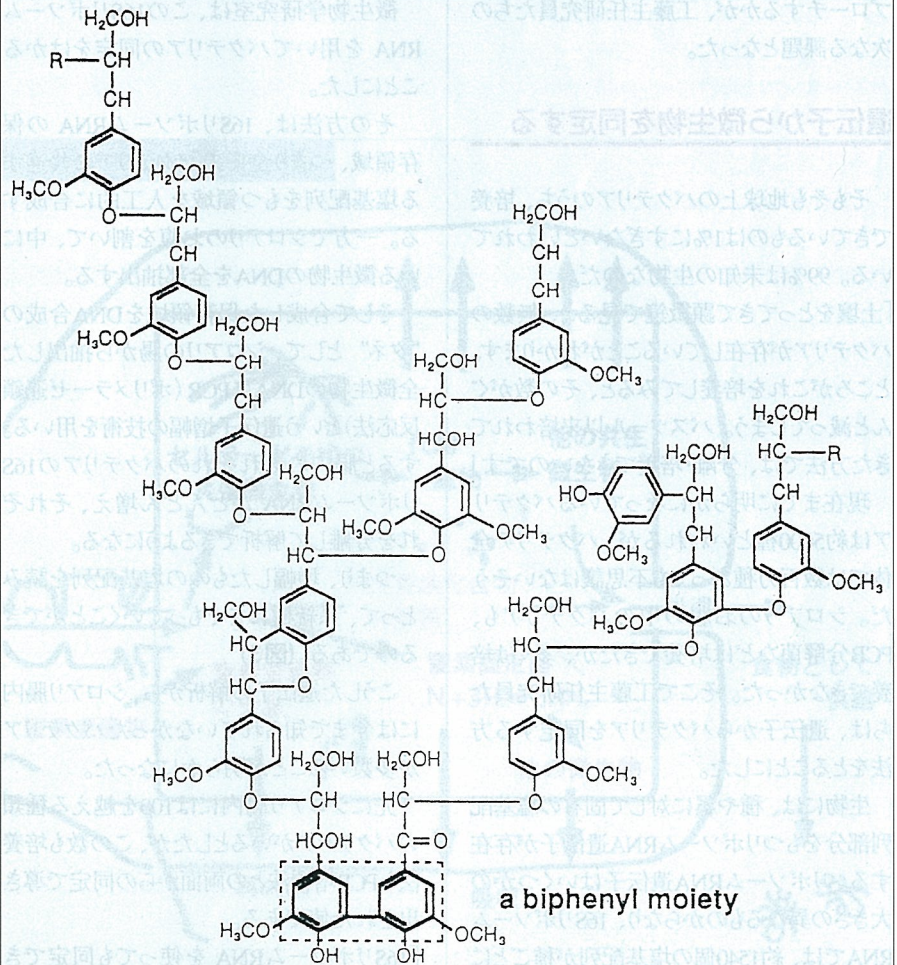


写真2 シロアリ腸内の共生原生物の核染色写真

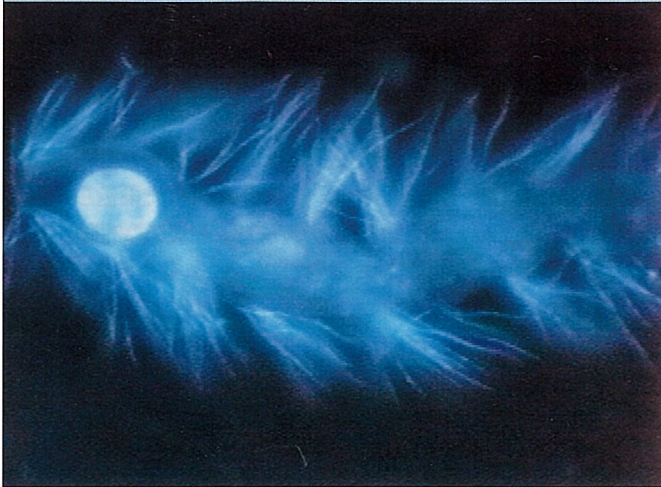
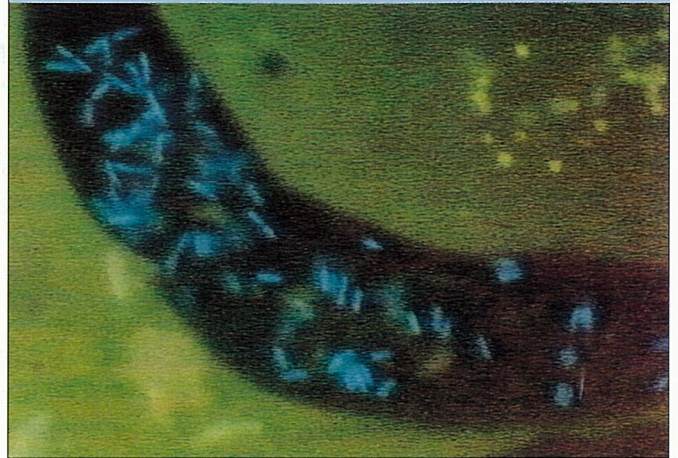


写真3 シロアリ腸内の共生原生物中のメタン生成菌（青色の桿菌）の蛍光顕微鏡写真



そして、いかにしてこれらの微生物にアプローチするかが、工藤主任研究員たちの次なる課題となった。

遺伝子から微生物を同定する

そもそも地球上のバクテリアのうち、培養できているものは1%にすぎないといわれている。99%は未知の生物なのだ。

「土壌をとってきて顕微鏡で見ると、無数のバクテリアが存在していることがわかります。ところがこれを培養してみると、その数がぐんと減ってしまう。パスツール以来培われてきた方法では、分離・培養できないのです」

現在までに明らかになっているバクテリアは約5000種といわれるが、バクテリア全体では数百万種あっても不思議はないそうだ。シロアリのお腹の中のバクテリアも、PCB分解菌などは培養できたが、多くは培養できなかった。そこで工藤主任研究員たちは、遺伝子からバクテリアを同定する方法をとることになった。

生物には、種や属に対して固有の塩基配列部分をもつリボソームRNA遺伝子が存在する。リボソームRNA遺伝子はいくつかの大きさの異なるものからなり、16SリボソームRNAでは、約1540個の塩基配列が種ごとにほぼ一定となっている。なかでも保存領域とよばれている場所では種をこえすべての

細菌で、まったく同じ配列となっている。

微生物学研究室は、この16SリボソームRNAを用いてバクテリアの同定をはかることにした。

その方法は、16SリボソームRNAの保存領域、つまり全てのバクテリアに共通する塩基配列をもつ領域を人工的に合成する。一方でシロアリのお腹を割いて、中にある微生物のDNAを全部抽出する。

そして合成した保存領域をDNA合成の“タネ”として、シロアリの腸から抽出した全微生物のDNAにPCR（ポリメラーゼ連鎖反応法）という遺伝子増幅の技術を用いる。すると腸内のそれぞれのバクテリアの16SリボソームRNAがどんどん増え、それぞれを分離して解析できるようになる。

つまり、増幅したものの塩基配列を読みとって、系統樹にまでもっていくことができるのである。(図3)

こうした遺伝子の解析から、シロアリ腸内には今まで知られていなかったバクテリアが多数いることが明らかになった。

先にシロアリ腸内には100を越える種類のバクテリアがいるとしたが、この数も培養法とPCR増幅法との両面からの同定で導き出された値である。

「16SリボソームRNAを使っても同定できないバクテリアが、まだまだシロアリの腸内にはいるんですね。これをどうするかで、他

の“タネ”を考えてやる必要があるでしょう」と言う工藤主任研究員だが、遺伝子からバクテリアの機能を探るという画期的な試みもはじめようとしている。

遺伝子で探るバクテリアの機能

シロアリ腸内の種々のバクテリアは、細胞壁のリグニンを分解するだけでなく、シロアリが生きていくのに不可欠な役割をさまざまに担っている。

シロアリは枯れ木を食糧としているので、生体をつくるアミノ酸合成に必要な炭素源はとれるが、窒素源は食糧からほとんどとることができない。

空気中の窒素を腸内の窒素固定菌を用いて取り込んだり、老廃物の尿酸を尿酸分解菌で分解して得ているのである。(図4)

「体内の炭素と窒素のバランスは、窒素を取り込むだけでなく、炭素を外へ出すことでもとられているのですが、これはメタン菌の役割です」

だが、どういうメタン菌や窒素固定菌や尿酸分解菌が行っているのかは、わかっていない。シロアリ腸内の「どんなバクテリアがどのような機能をもって微生物のマイクロコスモスを形成しているか」を解明することは、生態系を見る上でも、進化を考える上でも欠かせない。

図3 PCR増幅法を用いたシロアリ腸内細菌 (UNシリーズ) の系統樹

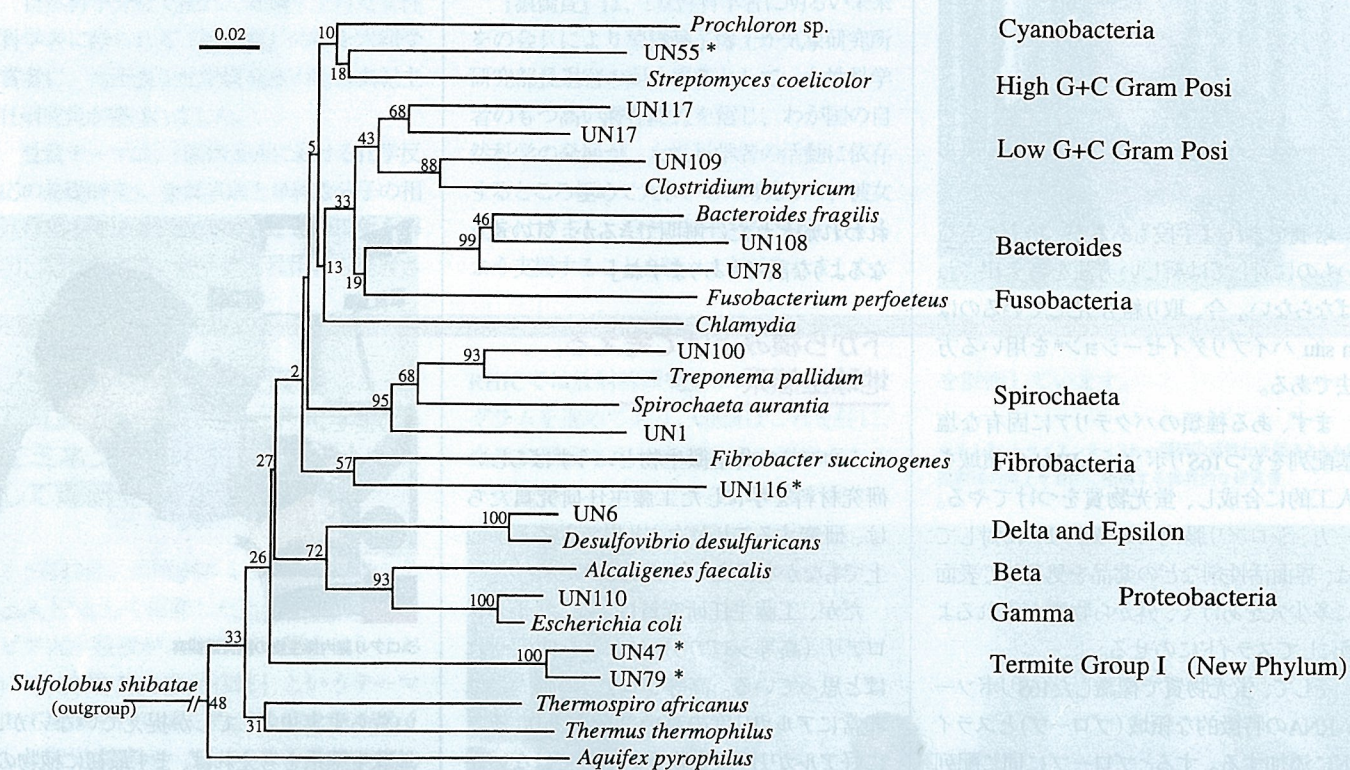
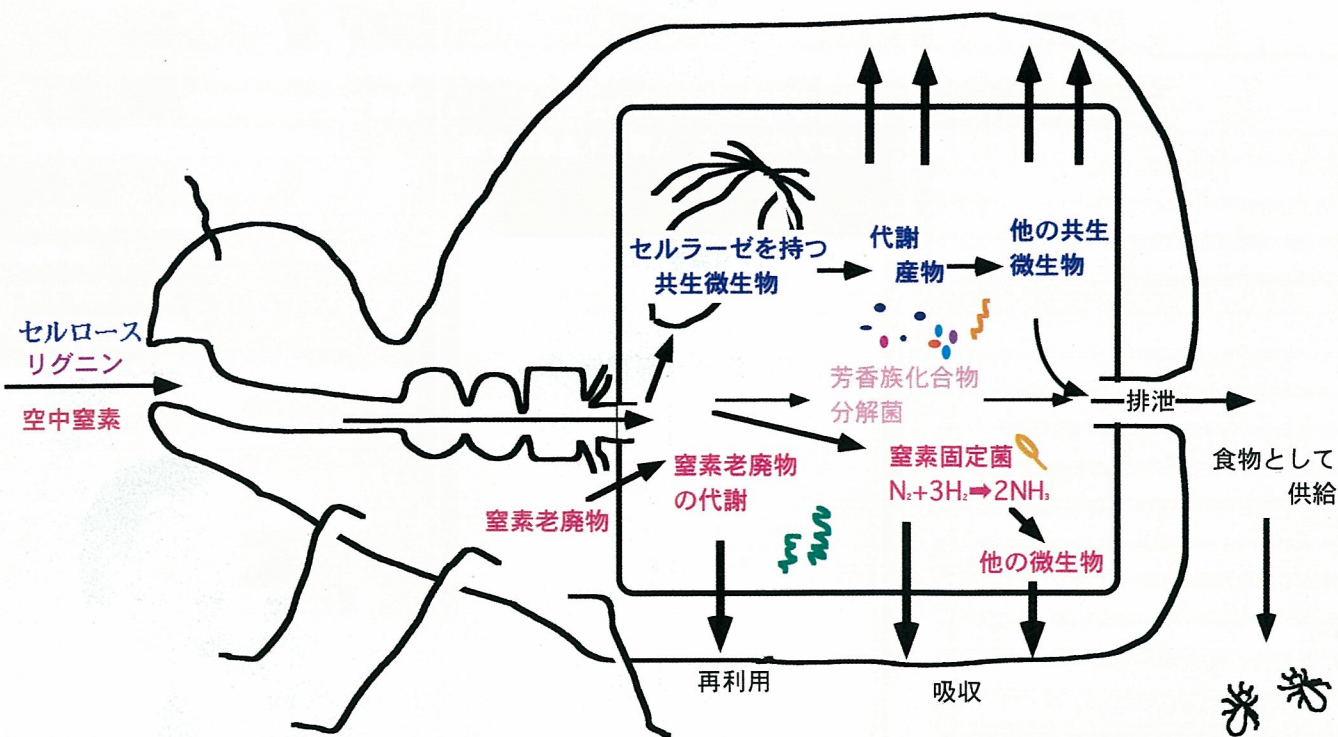


図4 シロアリとその消化管（後腸）内に共生する微生物との関係の模式図



培養できれば手段もあるが、培養できないものに対しては新しい方法を考え出さねばならない。今、取り組もうとしているのは *in situ* ハイブリダイゼーション[※]を用いる方法である。

まず、ある種類のバクテリアに固有な塩基配列をもつ16SリボソームRNAの領域を人工的に合成し、蛍光物質をつけてやる。一方、シロアリ腸内のバクテリアに対しては、界面活性剤などの薬品を処理して表面に多少穴をあけて、外から物質が入れるようにしてスライドにのせる。

そして、蛍光物質で標識した16SリボソームRNAの特徴的な領域(プローブ)とスライドに添加する。するとプローブと同じ配列をもつ微生物の遺伝子にはプローブが入り込み、同じ部分にくっつく。

顕微鏡下では、プローブがくっついたバクテリアの核は緑色に光って見える。「これでバクテリアの種類と形態の対応がつく。そこから機能までいきつくには、一ひねりも二ひねりもせねばなりません」

形態がわかれば、腸内での存在量が推定でき、また腸内のどこにいるかが明らかになる。大量に存在すればシロアリにとって必要不可欠なものと考えられ、またどこに住んでいるか、腸壁なのか原生生物の中なのかなどで機能の推定もある程度はつく。さらに機能を突き詰めるには、再び遺伝子を使うことになる。

たとえば、窒素固定を支配する遺伝子は *nif* 遺伝子とよばれているが、これを合成して蛍光物質で標識し、バクテリアの溶液に添加してやれば、やはり似た遺伝子をもつバクテリアの核は緑色に光る。

こうしてどの菌が窒素固定の機能をもっているかがわかるわけだ。「微生物屋には、大腸菌なら大腸菌と、一種の微生物だけを一生かけて追究する人が大勢います。シロアリの微生物の海をわ

※ *in situ* ハイブリダイゼーション
染色体上での遺伝子の位置を解析する方法で、標識した核酸プローブと染色体とをDNA-DNAハイブリダイゼーションさせ、形成する分子雑種の蛍光により同定する方法。

れわれがどれだけ解明できるか、気の遠くなるような話でもありますね」

下から積み上げて考える 地球生態系

シロアリの共生微生物というすばらしい研究材料を手にした工藤主任研究員たちは、研究することが次々と出てきて人手の上でもなかなかたいへんようだ。

だが、工藤主任研究員はさらに熱帯のシロアリ(高等シロアリ)にも手を伸ばせばと思っている。高等シロアリの腸内には非常にアルカリ度の高い部分があり、そこに好アルカリ性微生物がいるのではないかと考えられるからだ。長年、好アルカリ性微生物を研究してきた工藤主任研究員にとってはみのがせない話だ。

「好アルカリ性微生物は、極限的な環境に偏在する特殊な生物だと考えられてきました。つまりマイナーな存在だと……。しかしこれが高等シロアリの腸に居て、なんらかの役割を果たしているのであれば、特殊どころか地球生態系にとって確固たる位置を占めていることになります」

シロアリにしても、人間は木造家屋を喰



シロアリ腸内微生物の顕微鏡観察

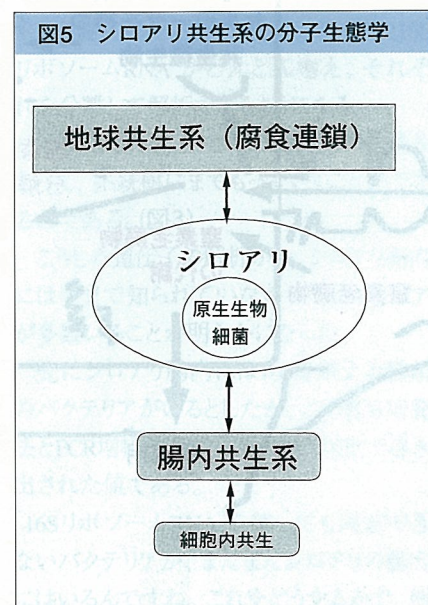
い荒らす害虫としてしか捉えていないが、地球生態系を考えれば、まず最初に植物の遺体を分解する重要なメンバーだ。「シロアリ腸内の微生物の生態系からはじめて、やがてはシロアリそのものの生態を調べ、そして地球生態系へとつなげていくのが夢ですね。いわば下から積み上げていくモレキュラー・エコロジー(分子生態学)を形にできれば最高でしょうね」(図5)

文責：総務部広報室

監修：微生物学研究室

工藤俊章主任研究員

取材・構成：由利伸子



工藤俊章主任研究員

川合主任研究員、猿橋賞を受賞

自然科学分野で優れた業績を上げた女性科学者に贈られる『猿橋賞』の第十六回受賞者に、当所表面化学研究室の川合真紀主任研究員が選ばれました。

受賞テーマは、「固体表面における化学反応の基礎研究」。金属表面と単純な分子の相互作用をモデルに物理吸着などの現象を解明、酸化物の薄い膜を作る技術にも発展さ

せ、応用範囲の広い、独創的な研究と世界的な評価を得ています。

『猿橋賞』は、「女性科学者に明るい未来をの会」により猿橋勝子博士が気象研究所研究部長退官の記念事業として、女性科学者のもつ高い潜在能力を信じ、わが国の自然科学の発展が、女性科学者の活動に依存するところ極めて大きいとの考えから、彼女達を上げまし、自然科学発展に貢献できるように支援することを願って創設されました。



ノーベル物理学賞受賞者 T. D. Lee コロンビア大学教授 エminentサイエンティストとして理研を来訪

5月17日、当所がエminentサイエンティスト*として招聘したT. D. Lee コロンビア大学教授が、鈴木梅太郎ホールにおいて「対称性と非対称性」というテーマにて講演を行いました。会場を埋め尽くした研究者達は、ユーモアと示唆に富んだ講演に聞き入っていました。

Lee教授は、1957年に「パリティの破れ」を発見した業績でノーベル物理学賞を受賞した理論物理学者で、米国ブルックヘブン国立研究所のRHICという世界最高エネルギーを持つ衝突型重イオン加速器の発案者の一人として知られています。

RHICでは放射線研究室がスピン物理プログラムを進めており、理研はこれを柱に、当地に理論も含む物理分野の研究センターを設置し、研究をさらに推進すること

を計画しています。

※エminentサイエンティスト…理研の活性化を図るとともに国際性の向上を目的に招聘する世界的な研究者



日本学士院賞のお知らせ

佐田登志夫元副理事長（現豊田工業大学副学長）が、1996年度(11名)日本学士院賞を受賞しました。この賞は、学術の分野で優れた業績を上げた研究者に贈られるもので、当所は現在までに50名近い受賞者を輩出しています。

今回の受賞は、「対話的コンピューター支援設計を利用した生産方式を確立し、機械製造分野の発展に貢献(共同研究)」が高く評価されたものです。

授賞式は6月10日に行なわれました。



理研ホームページ開設 <http://www.riken.go.jp>

インターネットの急激な普及により、学術研究分野においても各機関が保有する情報をインターネットを使用して公開することが一般的になってきました。理研においてもインターネットを利用した情報の提供を目的として所外向け情報を新たに整理しました。開設するホームページは、理研の研究室や事務に関する情報、理研ニュースやシンポジウム等の情報を詳しく紹介していますのでぜひ御利用下さい。



地の果てまでも



筆者近影

私の専門は、いわゆる天文学である。その昔、私が「天文学者になんねん。」と言ったとき、いたって即物的でロマンを解さないうちの両親などは、「あんた、空向いてぼーっと口開けとつても、お金ふってけえへんで。」と言ったものだった…。まあ、しかし、世の中、我が両親ほどではないにしろ、天文学者の日常とはどんなものかと思われるむきもいらっしやるかもしれない。例えば、ヤンソンの「ムーミン谷の彗星」には、ムーミン達が迫りくる彗星について尋ねるためにおさびし山の頂上にある天文台まで出かけてゆく場面がある。そこでは、「一年中山にこもって、たばこを吸いながら、星のことばかり考えている」天文学者達が描かれるのだが、多くの人が抱く天文学者のイメージは、きっと今でもこんな感じなのではないだろうか？

私は、(まあ、なんだかんだいいながらも理解ある両親のおかげで大学院をだしてもらい)今年(平成8年)3月まで基礎科学特別研究員として2年間理研にお世話になった後、現在は東北大学理学部の天文学教室に勤務している。理研では、松岡主任はじめ宇宙放射線研究室の方々のご理解にも恵まれて、たいへんのびのびと自由な環境で仕事をさせていただいた。お世話になったみなさんに感謝の意を表しつつ、現代天文学者の実態ならぬ研究生生活のひとコマを紹介させていただこうと思う。

さて、現代の天文学は、テクノロジーを駆使して電波からガンマ線までのあらゆる波長で宇宙のいろいろな物理現象を解き明かそうとしている。宇宙放射線研究室も多くの貢献をしているX線天文衛星「あすか」のあげた様々な成果などを耳にされた方もたくさんいらっしやるだろうと思う。私自身は、ひとつの波長やひとつの観測手段にとらわれない、多角的なアプローチによる研究をこころがけているつもりなのだが、あえて言えば可視光、つまり眼で見える光による遠方(初期)宇宙における銀河の形成と進化の様子を解き明かすための観測的研究が専門である。ほんの少し、研究の一端を紹介させていただこう。例えば、写真1は約70億年前の宇宙に存在した「2型」クェーサーと呼ばれる天体の画像であり、我々のグループによってハワイ島にあるハワイ大学の望遠鏡を用いて得られたものである。非常に遠方であるため、約1秒角の空間分解能をもってしても、その構造はまだ詳しくはわかっていない。しかしながら、この天体は宇宙が始まって数億年(宇宙の年齢は約150億年)の時代までさかのぼって観測される「宇宙の灯台」ク

ェーサーと銀河の形成との関係を探き明かすための重要な手掛かりになると考えられている。

さて、このような良質のデータを得るためには、好条件の場所にある、高性能の望遠鏡が必要になるのだが、そのような望遠鏡の方はどこにでもあるわけではないし、また、ひとりの研究者が自由にできるようなものはほとんどない。そして、世界有数の天文台は、いずれも人里離れた山の中や、砂漠、あるいは火山島の頂上などにあり、我々一般の天文学者は望遠鏡の時間をもらえれば、それこそ、地の果てまでもでかけてゆくのである。残念ながら、日本国内は天候条件が悪く、可視望遠鏡で第一級と呼べるようなものがないので、海外の望遠鏡に観測を申し込む以外にないこともよくあり、先週はアメリカ、今日はヨーロッパと、まるでビジネスマンのように移動していることもある。もともと、相手は天気次第だから、いくら好条件で晴天率のよい天文台に行っても、曇ったり、霧がでたり、ときには嵐がきたりして、地球の裏側でまるまる1週間を無為に過ごすようなこともありうる。

絶好の場所にある素晴らしい望遠鏡の数は当然限られているので、競争はし烈で、数ヶ月前から観測の申し込みを行い審査の結果に一喜一憂するのが常である。それはいいのだが、問題は旅費である。国内の共同利用施設では、それなりのサポートが用意されているのだが、我々が外国の望遠鏡を使いに行く場合、旅費はこちら持ちである。校費や科研費などの通常の研究費は、この目的には使えなかったりするので、最悪は自腹である。ボーナスまでつぎ込んで、奥さんと離婚沙汰になる天文学者の話など、そうめずらしくもないらしい。こんなときには、基礎特研の研究費はたいへん、心強い味方であった。なによりも、柔軟に、研究者の責任において使うことのできる点が大変良い。

写真2は、昨年2月、アメリカはアリゾナ、ご覧のようなサボテンが立ち並ぶ砂漠の町ツーソン近郊のキットピーク天文台で、すでに述べた「2型」クェーサーを発見することになった観測行でのひとコマである。見渡す限りのサボテン(しかも、西部劇そのままのばんざいをしているサボテン!)の広がる砂漠は、2月というのにシャツを着ていると汗ばむほどであった。観測が終わって山を降りてきたこの日の夜、観測成功を祝ってツーソンの町のメキシコ料理店で飲んだあのメキシカンビールの味!これだから天文学者はやめられない、そう思った夜であった。

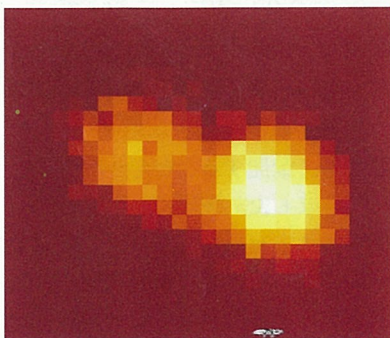


写真1 「2型」クェーサーのイメージ写真



写真2 サボテンが群生するアリゾナ、ツーソン近郊の砂漠

宇宙放射線研究室
元基礎科学特別研究員 山田亨

編集後記

梅雨のうっとうしい天気が続いていますが、何か心がからっと晴れるようなニュースをお届けしたいと思っております。皆様のご意見やご希望をお寄せ下さい。

理研ニュース No.180 June 1996

発行日：平成8年6月15日

編集発行：理化学研究所総務部広報室

〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号 電話 (048) 467-9272 (ダイヤルイン)

制作協力：株式会社エフピーアイ・コミュニケーションズ