

はじめに

1600年代なかば、ヨーロッパは3世紀にわたって何度も押しよせた腺ペストの流行によって、人口の激減にみまわれていた。最悪だったのは1347年から1352年まで猛威をふるった黒死病と呼ばれた流行で、このあいだに人口の3分の1もが命を落としている。流行と流行の合間を縫うようにして、ヨーロッパの都市には人々がまた集まり、そのたびに商業を立てなおしていた。そうしなかでオランダの港湾都市アムステルダムは、海上の覇権がオランダからイギリスに移ってしまっから、ヨーロッパの金融と交易の中心として栄えていた。大量のガラス、織物、香辛料が、この港を経由して行き来した。

織物商人だったアントニ・ファン・レーウエンフックは、アムステルダムで見習いとして奉公したあと、故郷の町デルフトに戻って自分で商売をはじめ、当時の経済発展の波にうまく乗ることができ

た。そして大手の服地屋と張りあうために、織物の品質を見きわめる手立てを求め、さまざまな厚さのガラスレンズで織物の糸を1本1本拡大して見る方法を試した。それより75年以上も前には、眼鏡職人のツアハリアス・ヤンセンとその父親のハンス・ヤンセンが、2枚のレンズを組みあわせて倍率を高めることを思いつき、世界初の複合顕微鏡を発明している。レーウエンフックが利用したレンズはおもに1枚だけだったが、作り方が精巧で、それまでだれも見たことがなかった微小な世界を目にすることができた。

レーウエンフックが工夫をこらしてつぎつぎに新しい顕微鏡を組み立てると、その独創的な発明品の評判は広まっていった。これを使って自然界のさまざまなものを覗いたレーウエンフックは、趣味を楽しむというより、科学的な探究心を満たしていたようだ。200倍の顕微鏡を使えば、雨水や雪どけ水、さらに歯からこそぎとった歯垢のなかで、ごく小さいものが動きまわるのが見えた。レーウエンフックは自分の目に映った微小な球や棒のかたちをとっても詳しく記録したので、3世紀もあとの科学者たちはそのノートを読んだだけで、実際に何が見えていたのかわかったという。レーウエンフックはそうした小さい生きものを微小動物（アニマルキュール）と呼び、顕微鏡でしか見えない微視的な世界をはじめて研究した。微小動物は、のちに細菌（バクテリア）と呼ばれるようになり、レーウエンフックは微生物学という科学分野の生みの親とされている。

細菌は自給自足する小さな生命で、独立して生命を維持している生きものとしては、地球上で最も小さい。たくさん集まって暮らしたほうがたしかに有利だが、浮遊細胞となって自由生活をしても十分にやっつけていける。原生動物が生きていくためには水分の多い場所、藻類が生きていくためには日光、

菌類が生きていくためには土壌が、それぞれどうしても必要だが、細菌にそのような制約はない。

微生物を理解しようと思うなら、まず細胞を理解するのが早道だろう。細胞は、生命をもつ最も単純な分子の集まりだ。生命は、誕生からはじまって老化の過程を経て死で終わり、この期間に、繁殖、新陳代謝、環境に対する何らかの反応という活動を伴う。原子が化学の基本単位であるように、生物学者は細胞を生命の最も基本的な単位とみなしている。

微生物学は、肉眼では見えないほど小さい生物すべてを対象とする学問分野だ。カビ胞子、原生動物、藻類も、細菌とともにそのような小さい生物の仲間に入っていて、それぞれがほかの微生物より有利に立てる特性を備えている。たとえば、カビ胞子は丈夫でトゲのある小さい球形で、日照りにも凍りつく寒さにも耐え、風にのって何キロも移動する。さまざまな細菌も、厚い殻をもつ芽胞を作ることによってこれと同じ作戦をとり、芽胞はカビ胞子より何百年も長生きできる。一方の原生動物は、養分を求めて自分で動きまわり、細菌から栄養をとることが多い。細菌の細胞をひとつ飲みこめば夕食のごちそうになるのに、あちこちから異なる養分をかき集める必要があるだろうか？　だが細菌のほうも、独自のやりかたで食べものを手に入れている。集団を作って互いに助けあい、エネルギーを節約しながら周辺を移動し、ほかの細菌を探して食べるなどの方法だ。最後の藻類には奥の手がある。太陽エネルギーを吸収し、それを使って光合成を行ない、自分で食べものを生みだせるからだ。だがここでも細菌は臨機応変に対処する。ある細菌は水面で藻類にぴったりくっついて暮らし、同じく光合成を行なっている。また別の細菌は水中深くに住んで、水の表面層をくぐりぬけたわずかな光線を利用している。細菌がものを言えるなら、ミュージカル風にこう言うだろう——「あなたに

できることならなんでも、わたしのほうがうまくできる」。

細菌はあらゆる場所に住みつき、相棒がいなくても「ひとり」で増殖し、別の細胞に頼ることなく生きている。細菌は、生物学で扱われるほかのどんな種類の細胞とも違い、最も単純な細胞を使ってそれをやってのける。ではウイルスはどうだろうか？ ウイルスは世の中で最も単純な生物学的存在だと言われることが多い。微生物学は、おもに微視的で生物学的だという理由から、ウイルスを研究対象としてきた。ところがウイルスは、生活環^{ライフサイクル}、代謝、環境との相互作用という、生物に特有の機能のすべてを果たすことができない。ウイルスは生きている細胞にすっかり頼りきって生きのびる。ウイルス「ひとり」では、どこより快適な環境に舞いおりたとしても、何の力もないただの塵にすぎないのだ。

細菌との関係でウイルスの起源を説明しようと、さまざまな理論が考えだされてきた。まず、ウイルスは核酸——デオキシリボ核酸（DNA）またはリボ核酸（RNA）——の原形を先祖としている可能性がある。DNAが遺伝子を運んでいるのと同じように、RNAは細胞内で情報を運んでいる。RNAはDNAの遺伝子にあるコードを解釈し、この情報を使って細胞の成分を組み立てる。RNAは、その構造がDNAより単純なので、ウイルスの先祖として有力な候補だ——DNAは分子を構成している長い鎖を2本もっているが、RNAには鎖が1本しかない。ひょっとしたら遠い昔のRNAが、ウイルスの基本構造であるタンパク質で包まれた核酸のような、より複雑な分子を作る初期のプロセスを指示したのかもしれない。（タンパク質は、アミノ酸の長い鎖が独特なかたちに折りたたまれたもの。）これとは対照的なもうひとつの理論では、初期の細菌から自己複製するRNAまたはD

NAのかけらが追いだされ、ウイルスの起源になったと見る。そのかけらが何かの拍子にタンパク質に包まれて、最初のウイルスが誕生したというわけだ。微生物学者たちはさらに、進化の逆行が起き、細菌の細胞がその構造の大半をそぎおとして、タンパク質に包まれた核酸だけが残ったというシナリオも描いている。人々の支持はこちらの理論からあちらの理論へと移り変わってはいるが、ひとつだけ確かなことがある——細菌とウイルスはともに、地球上でとても長く長い歴史をもっている。

菌類、原生動物、藻類、植物、そして人間をはじめとしたすべての動物は、真核生物ドメインの間だ。真核生物を作りあげている細胞は、細胞小器官^{オルガネラ}と呼ばれる内部構造をもっている。細胞小器官は、細菌にはない秩序を真核細胞にもたらし、細胞の基本的な活動を調整するのに役立っている。それは、化合物を作り、化合物をこわし、ほかの細胞と連絡をとりあうという活動だ。けれども、たくさん下部組織を管理するには余計な仕事も必要になってくる。細胞の増殖にあたっては、それぞれの細胞小器官をふたつの細胞に配分しなければならぬ。有性生殖では、真核生物の種が繁殖するために別の真核生物細胞が必要になる。真正細菌^{バクテリア}ドメインの仲間と、細菌によく似た古細菌^{アーキエア}ドメインの微生物は、細胞小器官をもたないのでそのやりくりに煩わされることなく、ただふたつに分裂して半分ずつになればいい。（古細菌と真正細菌は顕微鏡で覗いても見分けがつかず、これら2種類の微生物をひとまとめにして考える科学者は多い。ときには微生物学者でもそうする。）

人間は細菌というものの存在をまだ知らないうちから、細菌を利用して食べものを作ったり保存したり、いろいろなものを腐らせて分解したりしていた。こうして人と細菌との関係は人類の歴史の初期にまでさかのぼるが、細菌の細胞の研究が本格的にはじまったのはほんの500年前、細菌の進化に

ついでの大発見があったのはここ50年ほどのことにすぎない。細菌遺伝学が花開いたのは1953年で、この年、ジェームズ・ワトソン、フランシス・クリック、ロザリンド・フランクリンの3人が大腸菌のねばねばした物質の研究によって、DNAの構造を突きとめている。

細菌学が発展するためには、顕微鏡の性能がよくなることが不可欠だった。はじめて顕微鏡を世に送り出したのはレーウエンフックだが、ほかの人々がこの器具に改良を加えていき、なかでもレーウエンフックと同時代に生きたイギリス人、ロバート・フックの功績は大きい。フックは試料に光を集める方法を考えだし、それによって拡大された像を研究しやすくした。1800年代代までには微生物が科学者たちの想像をかきたてるようになり、微生物学は1850年から20世紀初頭までの黄金時代を迎える。そして黄金時代が終わるころには、細菌に関係のある健康や産業の多くの問題が解決されていた。微生物学でとりわけ名高いイ・パスツールは、微生物学者の地位を真正正銘の英雄にまで高めている。

1940年代に電子顕微鏡が発明されると、微生物学者たちは細菌のひとつ一つの細胞の中まで見ることができるようになった。その成果およびDNAの構造と複製の研究によって、微生物学に新たな黄金期がおとずれたが、今度はそこに細胞遺伝学という分野も加わっていた。細菌がどうやって遺伝子を制御し、共有しているかを突きとめることによって、遺伝学者はただ赤い花と白い花の植物を交配する段階から抜け出したのだ。遺伝学は分子レベルに達した。今では、物質の最小単位である原子の画像を見せてくれる電子顕微鏡もある。こうした力を手にした科学者たちは、細胞の増殖の細胞部までを明らかにできるようになった。遺伝子工学、バイオテクノロジー、遺伝子療法は、細胞組織

をはじめ顕微鏡で覗いた研究のおかげで発展してきたと言える。

微生物学者はまた、細菌の細胞から外を眺めて、生態系全体にも目を凝らしている。生きものが生きられるなどとはいえない思えなかった場所でも、生態学者は細菌を発見してきた。しかも細菌はそうした場所の厳しい条件にただ耐えているのではなく、増殖さえしている。人間の基準からすると並外れて過酷な、ほかの生きものはほとんど生き残れない環境に暮らす極限環境微生物については、驚くようなニュースがつぎつぎに届く。産業界は極限環境微生物から、極端に熱いところ、または冷たいところでも働く酵素を見つけた。たとえばポリメラーゼ連鎖反応(PCR)では、67・7℃から93・3℃までのあいだで反応を起こすために、好熱菌の酵素を利用する。PCRはDNAのわずかな断片を、数時間で数百万倍に増やすことができる。また同じく極限環境微生物から得た制限エンドヌクレアーゼと呼ばれる酵素を使うことによって、微生物学者は伝染病の流行を追跡し、環境汚染を監視し、犯罪者を捕えることができる。

細菌は地球上の元素をリサイクルして、ほかのすべての生きものの栄養補給を支えている。私たちに食べものを与え、私たちの排泄物を浄化してくれる。気候の調節に役立ち、水を飲めるようにしてくれる。なかには、水蒸気の小さな水滴を集めて雲を作る化合物を空气中に放出している細菌まである。それなのにほとんどの人は細菌のもたらす恩恵には目もくれず、私が「不快要因」と呼んでいるものばかりを気にする。「細菌で、ほんとにどこにでもあるの?」「わたしのからだじゅうで、たった今も細菌がうじゃうじゃ這いまわってるわけ?」「ドアの取っ手にも大腸菌がいるのか?」はい、はい、そのとおり。でも微生物学者にとっては、それが素晴らしいことなのだ。

細菌は地球上のあらゆるところで増殖し、ほとんどすべての細菌は、ふだんエネルギーを生みだしているシステムがうまく働かなくなれば代わってエネルギーを作れるシステムを、少なくともひとつは用意している。そしてもし増殖できなければ、少なくとも破滅を避けられるメカニズムを発達させる。細菌は不滅のように思えるから、人々はなおさら恐怖感をつのらせるのかもしれない。伝染病、抗生物質が効かないスーパー耐性菌、歴史上で細菌が引き起こしてきた高い死亡率は、どれもおそろしく感じられる。実際にはすべての細菌のなかで病原菌が占める割合は小さいのに、15秒以内に細菌の名前を10個あげると言われれば、たいいていの人は病原菌の名前ばかりを並べたててみるだろう。

私は人々が抱く細菌のイメージをよくしようという思いから、この本を書いている。細菌は人間に害を与えることもあるが、それはほとんどの場合、人間のほうが危険な細菌を優位に立たせてしまう過ちをおかしてしまったときに限られる。私たちが細菌から受けている恩恵は、害よりもはるかに大きい。地球上のバラエティーに富んだ細菌のことをよく知れば、恐怖感も少しは和らぎ、生命の営みに欠かせないこれらの微生物の貢献ぶりに感謝できるようになるだろう。細菌の世界は、一見、目には見えない気がするかもしれない。けれども自分の暮らしに毎日影響をおよぼしている細菌を知るにつれ、ほんとうは目に見えないままであっても、見えやすくなってくる。細菌は「友好的な敵」と呼ばれてきたが、私にはこの呼び名が誤ったメッセージを送っているように思えてならない。細菌は「力強い友」なのだ。私たちは細菌を倒すことはできないだろうし、そうしたくもない。大いなる力をもつたいていの友人と同じで、尊敬し、温かくもてなし、親しくしておくのが一番だ。

1 この世界に細菌が必要なわけ

細菌とは何だろうか？ 細菌は単細胞生物のひとつで、ごくまれな例外を除いては肉眼では見えなほど小さく、地球上のいたるところで見つかる。小さくて単純で数が多いことは、細菌にとって大きな強みとなり、たくみに生き残っているだけでなく、この地球の営みのあらゆる側面に影響している。上空何メートルもの高さから地下深くのマントル内の活動まで、いろいろな化学反応に細菌が影響を与えている。

細菌の大きさは、直径が750マイクロメートル(0・75ミリ、1マイクロメートルは1000分の1ミリ)もあって肉眼でも見えるチオマルガリータ・ナミビエンシス(*Thiomargarita namibiensis* ナミビアの硫黄の真珠という意味)から、直径がたった0・2マイクロメートルの野兔病菌(*Francisella tularensis*)まで、幅広い。1988年からは、微生物学者の研究対象に「ナノバクテリ

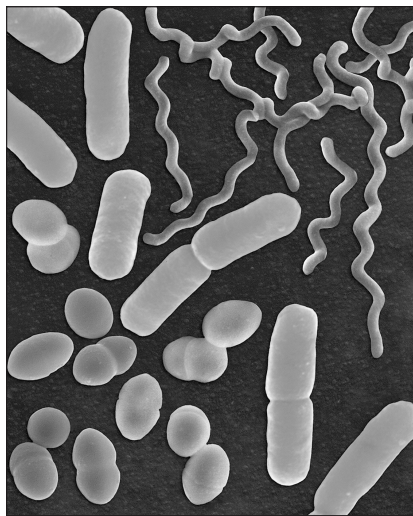


図1・1 さまざまな細菌のかたち。細胞のかたちは、細菌の遺伝的特徴に組みこまれて、決まっている。細菌および珪藻と呼ばれる藻の仲間ほど標準的なかたちを忠実に守っている生物は、動物にはいない。(写真提供：Dennis Kunkel Microscopy, Inc.)

A (デオキシリボ核酸——何千年もの時をかけて作られた情報の保管場所) は、細胞質の中に浮かぶフワフワしたかたまりのように見えても(電子顕微鏡を使わなければ見えない)、実際には精密な折り目とループを備えている——傷つきにくくし、修復を楽にするためだ。細胞質の残りの部分には、とても小さいタンパク質製造工場、リボソームが点在している。

細菌にとって、これ以外に必要な構造はほとんどない。ただし運動性のある細菌は泳ぐのに利用するムチのようなしっぽ(鞭毛)をもち、光合成をするシアノバクテリア(藍色細菌、藍藻とも呼ばれる)は光を吸収する色素をもっている。またアクアスピリルム・マグネトタクタクム(*Aquaspirillum*

ア」を扱う新しい分野も加わった。この微生物は直径が 0.05 マイクロメートルで、体積は典型的な細菌細胞の 10000 分の 1 しかない。こうした特別小さいものや特別大きいものを除けば、ほとんどの細菌の直径は $0.5 \sim 1.5$ マイクロメートル、長さは $1 \sim 2$ マイクロメートルで、ごくふつうの本で見る活字のピリオドの、 20 分の 1 よりもまだ小さい。細菌細胞の体積は、 $0.02 \sim 400$ 立法マイクロメートルまでさまざまだ。小さいと得をすることはたくさんあるが、そのひとつは環境の変化をすぐに感じられる能力で、大型の多細胞生物にはその力が欠けている。

細菌は単純でも、その単純さにだまされてはいけない。複雑とはいえないその構造が、実は地球の生態系で起こっている大切な生化学反応のすべてを進めているのだ。細菌の外側をぐるりと取りかこんでいるのは細胞壁で、それぞれ独特のかたちを保ちながら(図1・1)細胞膜をおおっている。細胞膜は内部にドロドロした細胞質を包みこむとともに、養分を選んで取り入れ、害になる物質の侵入を防ぎ、いらなくなったものを外に捨てる。この細胞膜はほかのすべての生物の細胞膜とよく似ており、ところどころにタンパク質が埋めこまれた脂質の二重の膜で、水分を含んだ環境とのやりとりと、細胞の中身を細胞の内側に閉じこめておく役目を果たしている。二層になった細胞膜の構造では、水に馴染みやすい(親水性の)部分が膜の外側を向いて細胞質と接し、水に馴染みにくい(疎水性の)部分が膜の内側に並んでいる。細胞膜はその脂質がもっている性質のおかげで、ピーカーの水の中でも自然にまとまっていられる。このような細胞膜のまとまりやすさが、地球上で最初の細胞の誕生に一役買ったらしい。

細菌の細胞質と細胞膜には、細胞が生きるために必要ないろいろな酵素が入っている。細菌のDN

magnetotacticum) のような走磁性細菌は、鎖状につながった磁鉄鉱の粒子をもっているので、地磁気を感じて地球の極の方向に動くことができる。この微小な方位磁石は、アクアスピリウム属が水中のすみかで下方に向かい、栄養豊富な堆積物のほうへ移動するのに役立っている。

細菌は小さくても、膨大な数で地球を占領している。微生物学者は土、空気、水のサンプルをとり、それぞれに入っている細菌の数を確認し、アルゴリズムの助けをかりながらそれを地球規模にまで拡大して、存在する細菌の総数を見積もってきた。この推定値には、ある程度は当てずっぽうの要素も含まれている。細菌は地表から6万メートルも離れた上空にも、深さ1万メートルの深海にも住んでいて、今までのところ人間はそうした場所のほとんどに近づけないからだ。このようにして算出された細菌の総数は、 10^{30} にもなる。科学者たちは何か意味のある比較対象を見つけないと、いろいろな例をもちだす——たとえば、地球から見える星の数は、概算で「たった」 7×10^{22} しかない。またすべての細菌の細胞をあわせた質量は 1×10^{15} キログラムに近く、これは地球上に暮らす人間65億人すべてをあわせた質量の2000倍以上にあたる。それら細菌の圧倒的多数が、土の中に住んでいる。

細菌の小ささと数の多さは、私たちの想像力の限界に挑戦するものだ。どちらの特性も細菌には都合がよく、細菌は生物学的な作用によって、人間が生きる条件をも整えてくれている。

生き残りにかける細菌の妙技

細菌と細菌に似た古細菌は、進化のなかで生まれた適応の強みを活かして、困難な状況を生きぬい

ている。生き残りのテクニクには物理的なものや、生化学的なものがある。たとえば、動く力は危険を逃れるのに大いに役立つ。水のある環境で鞭毛をゆらして泳ぐ細菌のほか、表面をすべるように進んだり、激しくピクピクと動いて前進したりする細菌がいる。また、一部の細菌の種は芽胞と呼ばれる丈夫な殻を作る。さらに別の種は生化学的な手段を用いて、周囲から押しよせる酸、塩基、塩分、高温や低温、圧力に対抗して生きのびる。

数多くの細菌が利用するのが保護カプセルの変形版で、長い糸のようなリポ多糖を表面に備える方法だ。多糖（糖鎖）に脂肪性の化合物が結びついたリポ多糖の、脂質の部分が細胞のまわりの層に入りこみ、糖鎖の部分が外に突きだしている。O抗原と呼ばれる成分をもつこうした細菌は、自然にはほとんど見つからない糖でそれを作りあげている。だから細菌を食べる原生動物が近くにきても、おいしいエサがあるとは気づかず、「本物の」細菌を探して泳ぎさっさとしまふ。

古細菌が暮らしている極限の環境を知ると、この惑星で最後まで生き残るのは古細菌にちがいないと思えてくるだろう。古細菌と細菌はどちらも原核生物だ。生物学で扱う主な細胞には原核細胞と真核細胞の2種類があり、真核細胞のほうが複雑で、藻類、原生動物、植物、動物を作りあげている。古細菌は、地球上の動植物のほとんどを死滅させるような極限の環境で生きていることから、ときには「極限環境微生物」の同義語とされることもある。沸騰する温泉に住んでいる古細菌の外膜には、炭素数が30またはそれ以上もある脂質の（脂肪に似た）分子が含まれていて、それは自然界にあるほとんどの脂肪族化合物より大きい。この脂質と、脂質どうしを結びつけているエーテル結合が、極度高温のなかで外膜を安定させている。また、水深3000メートルもの深海底にあって真っ黒な煙

を吹きだしている熱水噴出孔——ブラックスモーカー——で、新しい細菌が発見されたというニュースをよく耳にする。このような熱水噴出孔は250〜300℃という熱いガスと強い酸性の熱水を吐きだし、しかも厳しい水圧にさらされているのだから、そこに住む生きものはどんなものでもまさにニュース記事にふさわしいだろう。ただしブラックスモーカーの近くに住んでいる生きものは、ふつうは古細菌で、細菌ではない。古細菌は、塩湖のような塩分濃度の高い場所や地下堆積物のような無酸素の場所でも勢力をふるっている。多くの古細菌は実験室の条件下ではなかなか育たないし、人間がそのすみかにたどりつくのさえ難しい。そのため、古細菌の研究は細菌の研究のように進んでいない。

細菌にも、古細菌が好んでいるのと同様の極限状態で生きぬいているものがある。「極地の単細胞生物」という意味のふさわしい名をもつポロモナス属は、氷点下10〜40℃という南極の海水に住み、7日に1回しか分裂しないほど代謝を下げることによって適応している——実験室で培養されている大腸菌は20分に1回ずつ分裂する。ポロモナス属は好冷菌と呼ばれる仲間だ。それと対照的なのが好熱菌のサーマス・アクアティクス (*Thermus aquaticus*) で、70℃に達する温泉で増殖するが、こちらは代謝を維持するために耐熱性の酵素を合成している。5℃から55℃という快適な温度に暮らす中温菌の酵素は、熱せられると働きを失ってしまう。中温菌には、動物、植物、ほとんどの土壌、浅瀬、食べものの表面や内部にいる細菌が含まれている。中温菌が生きられない過酷な条件のもとで暮らす細菌は、極限状態の環境が大好きな、地球の極限環境細菌たちだ。

好塩菌のハロコッカス属は、膜結合型のポンプで常に塩分を吐きだしているので、グレートソルト

レークや岩塩坑のような場所でも生きることができる。好圧菌は上から重くのしかかる厳しい水圧にも耐え、大西洋の海底3800メートルに眠る豪華客船タイタニック号を、容赦なくむしぼんでいる。このような好圧菌の細胞膜には不飽和脂肪酸が含まれていて、ほかの細菌のように脂肪酸が含まれた細胞膜より、内部の流動性が高い。飽和脂肪酸には単結合しかないが、不飽和脂肪酸の鎖状につながった脂肪の炭素原子には、一部に二重結合が入っている。深海底の巨大な水圧のもとでは、ふつうの細胞膜の内部は冷蔵庫に入れたバターのように固くなってしまふのに対し、好圧菌の特殊な細胞膜は固くならず、きちんと役割を果たす。赤身の肉には飽和脂肪酸が多く含まれ、豚肉や鶏肉には不飽和脂肪酸が多い理由については、この章であとから説明する。

好酸菌のヘリコバクター・ピロリ (*Helicobacter pylori*) は胃のなかに住みつき、周辺の酸を中和する化合物を分泌することによって、pH1以下というバクテリア液なみの強い酸にも耐えられる。好酸菌は、人の肌を焼いてしまうほど強い酸のなかで暮らしているとはいえ、pHを7に保った微小な菌のようなものでびったり包まれ、心地よく守られている。極限環境細菌のメンバーはこれだけではない。好アルカリ菌はアンモニアやソーダ湖のような強い塩基性のすみかで暮らし、好乾菌は水のない場所に住む。また放射線耐性菌は、人間なら数分で命を落としてしまう量のガンマ線のなかでも生きのびられる。たとえばデイノコッカス属は、人間の命を奪うほど強い放射線によってDNA分子が損傷しても、効率的な修復システムを利用して治す。このシステムは、デイノコッカスの次の細胞分裂がはじまる前に、すばやく修復をすませなければならない。

しっかりした細胞壁と、その主要成分であるペプチドグリカンのおかげで、どの細菌もとても丈夫

だ。ペプチドグリカンは、糖とペプチド（タンパク質より短くてタンパク質の機能を備えていない、アミノ酸の鎖）が繰り返えし結合された高分子で、細菌の細胞壁以外の場所には、自然界のどこにも存在しない。ペプチドグリカンは格子状の構造をもっているのも、それぞれの種は独特のかたちを保ち、周囲から傷つけられないように身を守ることができる。細菌を液体に入れてミキサーで激しくかきまぜても、少しも傷つかない。

古細菌の細胞壁は、ペプチドグリカンではない高分子でできているが、やはり身を守る役割を果たしている。そのうえ古細菌は、真正細菌とは違う構造の細胞壁をもっていることで、真正細菌の細胞壁を攻撃する抗生物質や酵素にも耐えられる。こうした特異な性質を知ると、古細菌は人間にとつてとりわけ危険な病原菌のようにも思えるが、古細菌によって引き起こされた人間の病気が見つかったことはない。

顕微鏡で見える細菌は、球、棒、楕円、ボウリングのピン、らせん、ブーメランと、さまざまなかたちをした灰色のものが雑然と集まっているだけの、あまりパツとしない姿をしている。そこで微生物学者は、染料で細菌に色をつけて一般的な光学顕微鏡でも際立つようにしたり、暗視野観察法や位相差観察法といった高度な手法を使ったりする。これらふたつの観察手法では、暗い背景に明るく浮かびあがった、驚くほど美しい細菌の姿を見ることができると。

細菌が成長しようとするとき、丈夫な細胞壁のせいで大きさを変えることはできないため、多細胞生物とは異なった方法をとる。分裂し、ふたつの新しい細胞に分かれることによって増殖するのだ。細胞の数が増えるにつれ、ある種は真珠のネックレスのように一列に並び、別の種はブドウのように

房を作る。なかには薄くて平らな板のように集まり、湿った面の上を集団で遊走するものもある。こうして集団遊走する現象から、細菌はいつも漂うように気ままに浮遊しているだけではなく、微生物群集も作れることがわかる。事実、細菌の群集は、細胞がただ山ほど集まっているだけのものではない。その群集にはメッセージを伝えるシステムがあり、同種の細胞や無関係の細胞が互いに反応しあって、行動を変えていく。この適応は、クオラムセンシング（菌体密度感知）と呼ばれている。

クオラムセンシングは、細胞がアミノ酸に似た信号分子を絶え間なく分泌することからはじまる。こうして発信された信号は1マイクロメートルほど伝わるので、その距離の範囲内にある隣の細胞は、表面にある特殊なタンパク質で信号を感じできる。受容体が信号分子でふさがると、ほかの細胞が近くに寄りすぎたというメッセージになり、集団の密度が高くなりすぎたことがわかる。するとそれらのタンパク質は一連の遺伝子のスイッチを入れて、細菌の行動を変えさせる。異なる種類の細菌群集が、それぞれ独自の方法で行動を変えていくのだが、細菌学的に見た群集はどれも、細菌にとつてみごとに生き残りのメカニズムになっている。遊走する群集や、表面にしがみつくもの、あるいは池の水面を覆いつくして、池の生態系全体をコントロールしてしまう群集まである。

細菌群集

遊走性をもつ細菌は、研究室に用意された培地で、ほかの細菌と同じように成長をはじめめる。（培地は、液体や、ゲル状の寒天で固めた固体で、成長に必要なすべての養分を細菌に与える。）しばらく

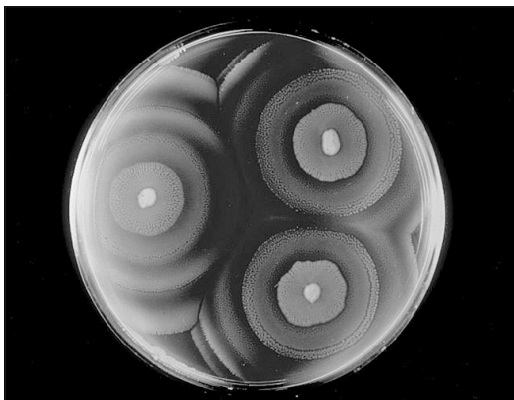


図1・2 遊走性細菌のプロテウス・ミラビリス (*Proteus mirabilis*)。プロテウス属は1個の原細胞から外に向かって遊走し、その細胞を中心にした世代ごとの年輪を作る。(写真提供: John Farmer, CDC Public Health Image Library)

く単独で代謝をしてから、ふたつに分裂し、それを何度も繰り返していくうちに、分裂に必要な養分が足りなくなってくる。そのとき、コロニーは成長を止めるのではなく、遊走細胞が互いに信号をやりとりして、増殖方法の変更という作戦をとるのだ。遊走細菌のプロテウス属は、培養によってごくふつうのコロニーを作り、それぞれの細胞の長さはおよそ3マイクロメートルだ。ところが数時間がたつと、コロニーの一番外側にある細胞の長さが40〜80マイクロメートルにも伸び、たくさん鞭毛が生えはじめる。そして鞭毛をもった10〜12個の細胞がチームを組んで、クネクネと動きながらコロニーの本体を離れていく。細胞がきれいに平行に並んだチームでは、プロテウス属の菌がひとつだけ進むときにくらべ、鞭毛の力が50倍に強まる。コロニー本体から数ミリメートル進んだところで、チームは動きを止め、そこでまたいつものように増殖を開始する。こうして何世代もの子孫が育つにつれ、図1・2にあるように、最初のコロニーの周囲にプロテウス属の輪ができていく。輪のなかの細胞密度を一定に保ちながら、プロテウス属は遊走のプロセスを繰り返えし、やがて年輪のような同心円でできたスーパークロニーを形成して、表面全体を覆ってしまう。遊走性をもつプロテウス属のふたつのコロニーがぶつかりあう場所では、互いに相手の領域を侵すことはない。先に進もうとするそれぞれの最前線チームは、相手から数マイクロメートル以内の位置で止まると、互いの防衛機能によって、それ以上近づくことができないからだ。プロテウス属は抗菌性物質(バクテリオシン)を作りだす。遊走細菌のコロニーごとに固有のバクテリオシンが、それぞれのなわばりを侵略から守る役割を果たしている。

遊走性をもつ細菌のなかには、鞭毛ではなく、線毛と呼ばれる髪の毛のような糸を利用するものも

ある。線毛を前方に投げ、どこかからめて、つなぎ綱として使う方法だ。伸ばしたり縮めたりを繰り返すことで、細胞は1時間に4センチ近くも前進できる。ペトリ皿の直径は10センチほどしかないが、もしピザくらい大きくても、遊走細胞はその端から端まで動くことができるだろう。

バイオフィーム(菌膜)のような群集は、湿気を帯びた面の上で育つ。バイオフィームが付着する場所は、水道管、流れる小川の底にある岩、植物の葉、歯、消化管の一部、食品製造ライン、医療機器、排水管、便器、船の船体などだ。ひとつだけの種が作る遊走細菌のコロニーとは違って、バイオフィームには数百という異なった種が含まれているが、やはりクオラムセンシングによって交信している。(肌などの表面についているだけの細菌は、一体となって働く群集をなしていないから、バイオフィームではない。)バイオフィームのはじまりはほんの数個の細胞で、それらが粘