

昆虫と菌の世界における7つの奇跡

Meredith Blackwell
Fernando E. Vega

この書物の出生地は、Borges（訳注：アルゼンチンの作家）のあるテキストの中にある。それを読み進みながら催した笑い、思考におなじみなあらゆる事柄を揺さぶらずにはおかぬ、あの笑いの中にだ。今思考と言ったが、それは、我々の時代と風土の刻印を押された我々自身の思考のことであって、その笑いは、秩序づけられたすべての表層と、諸存在の繁茂を我々のために手加減してくれるすべての見取り図とをぐらつかせ、同一者と他者についての千年来の慣行を突き崩し、しばし困惑をもたらすものである。ところで、そのテキストは、“中国（訳注：用語を改変した）のある百科事典”を引用しており、そこにはこう書かれている。“動物は次のごとく分けられる。(a) 皇帝に属するもの、(b) 香の匂いを放つもの、(c) 飼い慣らされたもの、(d) 乳呑み豚、(e) 人魚、(f) お話に出てくるもの、(g) 放し飼いの犬、(h) この分類自体に含まれているもの、(i) 正気を失ったもの（訳注：用語を改変した）、(j) 数え切れぬもの、(k) 駱駝の毛のごとく、細い毛筆で描かれたもの、(l) その他、(m) いましたが壺を壊したもの、(n) 遠くから蠅ように見えるもの”。この分類法に驚嘆しながら、直ちに思い起こされるのは、つまり、この寓話により、まったく異なった思考のエクゾチックな魅力として我々に指し示されるのは、我々の思考の限界、こうしたことを思考するにあたっての、まぎれもない不可能性に他ならない。

Michel Foucault
The Order of Things

[訳注：渡辺一民・佐々木明『言葉と物』（新潮社）より引用]

昆虫と菌は、共通の生息地で長い関係の歴史を共有し、同様の環境条件に耐え

ている。比較的最近のことであるが、菌学者は、研究試料と一緒に採集される、菌を減らす昆虫を殺すことをやめた。また昆虫学者は、昆虫に与える菌の影響を理解した。類縁関係のない二群の生物間における関係を理解するという興味に刺激されて、人々に昆虫と菌の相互作用に興味を持つ機会が生まれたのである。分岐論*1による解析の提案者である Quentin Wheeler は、菌学者の中から、Hennig に新しい弟子を見つけないかと思っていた。また、昆虫学者と菌学者が、生物間の相互作用を理解するために共同研究することを奨励した。あるシンポジウムが Wheeler と編者の一人 Meredith Blackwell によって組織され、アメリカ昆虫学会の東部支部会で開かれた。ニューヨーク州の Syracuse と Ithaca での研究集会で、1981年のことである。編集された1冊の本がその成果の集大成である (Wheeler and Blackwell 1984)。しかし一部の人たちがこの本に注目しただけで、多くは売れ残った。奇妙にも、“ニューヨーク州 Ithaca の読者” から、1つの (しかし5つ星である) 書評が Amazon.com に寄せられた。「これは、菌と昆虫の関係についての素晴らしい本である。生物学的情報をすべての生物学に共通な枠組の中に体系化するために、分岐論がいかに究極的な方法であるかを示している。」と紹介された。これに元気づけられて、本書の数章で引用文献とした。実際は、同じような主題で編集された書物が、20年以上前に10年間にわたって出版されている。これらの書物も菌と昆虫の相互作用に強い興味を示している (Batra 1979; Pirozynski and Hawksworth 1988; Schwemmler and Gassner 1989; Wilding et al. 1989)。2007年は、3年遅れたが、Wheeler と Blackwell の本“Fungus-insect relationships” から20年の記念すべき時である。これは、完全に偶然の一致である。昆虫と菌の関係において、多くの研究進展があった結果、別の視点が求められている。

▶ Foucault は“同一者と他者”を分けた…。20年後、それは“同一者”ではない

この20年余の間に、分岐論は分類学者や他の生物学者にとって、なくてはならないものになった。昆虫学者や、特に菌学者は、以前は解析する手段をほとんど持たなかったが、今では分子データを収集して解析している。最近、昆虫学者

* 1 訳注：分類群を単系統性に基づいて把握、配列しようとする分類理論。

と菌学者の出会いが増え、ある程度チームとして共同研究が行われている。新しい科学者の中には共生学者として教育を受けている者がいる。

2002年、編者の一人 Fernando E. Vega は、昆虫と菌の関係についての新しい本を出す時がきたと提案した。これは20年前に扱った内容とは異なるが大きな違いはない。変革は、遺伝学に基づいた形質、DNA 配列や他の分子マーカーの収集が可能になったことによってもたらされた。系統発生の解析、同定、個体群マーカーに使用されたのである。もはや、Borges の『百科事典』のように、たとえば皇帝に属するもの、香の匂いを放つもの、遠くから蠅ように見えるものといった、人為的な範疇によって動物を分ける必要はないのである。ハエは、ハチや相似形態を持つハエの擬態者と区別できる。他の難しい仕事も可能である。たとえば、*Ceratocystis* 属と *Ophiostoma* 属は、昆虫による胞子分散という選択圧によって、よく似た子嚢殻の形態を持つが、菌種を判別できるのである。それだけでなく、現在の分類学を反映する、莫大な遺伝的差異を測定できるのである。本書の多くの章を読むと、生物が同定できない、あるいは分類学的位置が決まらないという状況が、それほど昔のことではないとわかるだろう。昆虫と菌の関係の研究は、数年前まで、菌の同定を無視して行われ、また個体群レベルの情報のみであった。昆虫と菌が関係した年代や共生的な関係が成立する間の進化速度が推定されようとした時でさえ、論争中にもかかわらず、分子情報と化石の記録に基づいていた (Berbee and Taylor 1993, 2001 ; Lutzoni and Pagel 1997 ; Blackwell 2000 ; Heckman et al. 2001)。最近出版された別の本 (Bourtzis and Miller 2003) では、菌を含めた昆虫の共生が強調されている。もしかすると、本書は、昆虫と微生物の相互作用に関する本の中で先頭を走っているかもしれない。

本書では、昆虫と菌の関係は2つに分けられている。すなわち、菌が昆虫に敵対的に働く相互作用と、菌が昆虫と相利共生的な関係を形成する相互作用である。この分け方は人為的なものである。また、著者らは菌が昆虫に与える影響を熟知しているが、分子マーカーを駆使することによって、菌にとっての直接的利益も理解し始めていることを強調しておく。ここで議論する相互作用は、昆虫と菌の関係する世界の奇跡、以下に述べるように7つのものとして考えてみたい。

最初に、昆虫に敵対的に働く菌に関する部分を示し、寄生について議論する。最も重要な殺生生物(1)の中の2つは、昆虫防除の潜在力があるため、被害が進んでいる世界、特に農業系において重要である。Stephen A. Rehner, Michael J. Bidochka, Cherrie L. Small は、*Beauveria* 属菌と *Metarhizium* 属菌、様々な寄主昆虫

を殺す無性世代の子囊菌類について議論する。分子マーカーを使うことによってこの分野は進歩し、寄主と寄生者の相互作用がよく理解できるようになった。殺生の相互作用のいくつかは、刺激的な研究トピックであり、多寄生の相互作用という複雑なものを含んでいる。Michael J. Furlong と Judith K. Pell は、3つの生物群、捕食寄生昆虫、捕食者、昆虫病原菌、そして彼らが攻撃する昆虫の間の相互作用について報告する。他の複雑な相互作用は、植物の葉の中に隠れている菌類に関係するものである。病徴を起こさずに生息する広葉樹において、エンドファイト(2)が利益をもたらす役割があるのか、長年議論されてきた。A. Elizabeth Arnold と Leslie C. Lewis は、この菌の植物内での分布を概観し、少なくとも *Beauveria bassiana* に対する役割を提案する。

分子特性の解析は、ある菌が何であるのかを発見するのを助けてくれる。粘菌や水生菌は、菌界から除外されているが、以前に原生生物とされたいくつかのグループ(たとえば *Pneumocystis* 属と“DRIPS”門、魚類寄生菌の *Dermocystidium* 属と *Ichthyophonus* 属を含む)は、今では菌類と考えられている。本書で議論されているいくつかの章では、寄生菌における形態学(3)の地位が低下している。形態的特徴では、それらの菌が何であるのかを認識できなかったのである。Naomi M. Fast と Patrick J. Keeling は、節足動物を含む多くの生物に寄生する、微孢子虫類のルーツを認識する証拠について議論している。DNA 配列の特性解析から大きな恩恵を得ている、もう1つのグループは、ラブルベニア目(Laboulbeniales)である。生体栄養性の昆虫寄生菌は、ラブルベニア綱(Laboulbeniomyces)の非常に成功した例外を除けば、ほとんどいない。このグループは、かつて紅藻と子囊菌の間を繋ぐものと示唆され、3つの異なる菌門の仲間であると考えられていた。Alex Weir と Meredith Blackwell は、これらの子囊菌とある節足動物との関係を議論し、系統発生解析が培養できない生物について何を教えてくれるかを査定している。あるラブルベニア綱は、節足動物による胞子分散の複雑な方法の例を提供してくれる(4)。

昆虫と菌の相互作用の分野で、分子レベルの技術利用によって成功しているのは、相利共生(5)である。これらの高度に発達した関係は、新世界と旧世界に存在する、異なるグループの昆虫間にみられる。Ted R. Schultz, Ulrich G. Mueller, Cameron R. Currie, Stephen A. Rehner は、分子レベルの技術を活用して、Attini 族のアリ、彼らが培養する類縁関係のない担子菌2種、そして彼らと関係する細菌の抗生物質によって抑制される寄生菌に関する新しい共生理論を発展させた。

本書の中で、彼らは人類とアリの農業を比較した。そして、その相互作用に関係する生物に生まれる利益に関する新しい考えにたどり着いている。系統発生解析は旧世界の菌栽培シロアリとその菌の関係についても教えてくれる。Duur K. Aanen と Jacobus J. Boomsma は、シロアリと担子菌の関係が、アリの場合と違って、一度だけ生じたという証拠を与えている。彼らの仕事は、シロアリと菌が一緒に移出入してきたことを追跡するものである。

養菌性キクイムシと若干の樹皮下穿孔性キクイムシも、唯一の食物源である菌に依存している。彼らは菌を散布するが、Attini 族のアリやシロアリのように活動的に栽培しない。菌食性(6)は、一部の樹皮下穿孔性キクイムシと子囊菌や数種の担子菌の間で起こっている。Thomas C. Harrington は、菌を摂食する樹皮下穿孔性キクイムシとそのパートナーである菌の生態と進化について洞察している。彼は、密接に関係している菌種を強調しており、それは分子マーカーによって検出されている。その菌は、異なる程度で虫と特殊化している。また、胞子を貯蔵する器官とのかかわりについて、進化の道筋が明らかにされている。

いくつかの菌も、栄養を補助することによって昆虫と相互作用している(7)。Fernando E. Vega と Patrick F. Dowd は、酵母と昆虫の細胞内共生の役割を強調し、相互作用の基礎に関する情報を与えている。昆虫によって摂取された植物体は解毒され、消化されやすくなっている。生物多様性の研究は、莫大な種類の真正酵母(サッカロマイセス綱(Saccharomycetes))の発見を導いた。Sung-Oui Suh と Meredith Blackwell は、昆虫の消化管が新たな酵母の生息場所となることを説明している。知られている種数は、約800~約1,000に増加する。これらの酵母も昆虫にとって栄養補助となるかどうかは疑わしい。

菌類と関係する昆虫は、コウチュウ目、ハエ目、ヨコバイ亜目、ハチ目、シロアリ目などに含まれる。昆虫と相互作用している菌類は、分類学的にまとまりがあるかもしれない。子囊菌綱の場合は、肉座菌目(たとえば、*Beauveria* 属菌、*Metarhizium* 属菌、*Fusarium* 属菌)、*Ophiostoma* 属菌および *Ceratocystis* 属菌のアンブロシア菌(ambrosia fungi)とそれらの無性世代、ラブルベニア綱、サッカロマイセス綱、そして微孢子虫類である。しかし、他のグループは、そのような関係において、単なる偶然のメンバーにすぎない(たとえば、Attini 族のアリやシロアリによって栽培されるキノコ)。本書に含めた11の章は端緒にすぎない。昆虫と菌の関係の研究において、観察される奇跡は7つ以上あると確信している。

文 献

- Batra, L. R. 1979. *Insect-fungus symbiosis: Nutrition, mutualism, and commensalism*. Monclair, NJ: Allanheld, Osmun & Co.
- Berbee, M. L., and J. W. Taylor. 1993. Dating the evolutionary radiations of the true fungi. *Canadian Journal of Botany* 71:1114–1127.
- Berbee, M. L., and J. W. Taylor. 2001. Fungal molecular evolution: Gene trees and geologic time. In *The Mycota: A comprehensive treatise on fungi as experimental systems for basic and applied research*. Vol. 7. *Systematics and evolution*, part B, ed. D. J. McLaughlin, E. G. McLaughlin, and P. A. Lemke, pp. 229–245. Berlin: Springer Verlag.
- Blackwell, M. 2000. Perspective: evolution: terrestrial life—fungal from the start? *Science* 289:1884–1885.
- Bourtzis K., and T. Miller, eds. 2003. *Insect symbiosis*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Heckman, D. S., D. M. Geiser, B. R. Eidell, R. L. Stauffer, N. L. Kardos, and S. B. Hedges. 2001. Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plants. *Science* 293:1129–1133.
- Lutzoni, F., and M. Pagel. 1997. Accelerated evolution as a consequence of transition to mutualism. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 94:11422–11427.
- Martin, M. M. 1987. *Invertebrate-microbial interactions*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Pirozynski, K. A., and D. L. Hawksworth, eds. 1988. *Coevolution of fungi with plants and animals*. London: Academic Press.
- Schwemmler, W., and G. Gassner, eds. 1989. *Insect endocytobiosis: Morphology, physiology, genetics, evolution*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Wheeler, Q., and M. Blackwell, eds. 1984. *Fungus-insect relationships: Perspectives in ecology and evolution*. New York: Columbia University Press.
- Wilding, N., N. M. Collins, P. M. Hammond, and J. F. Webber, eds. 1989. *Insect-fungus interactions*. New York: Academic Press.