

【エネルギー】セルロース系バイオ燃料生産 遺伝子解析

シロアリの腸からバイオ燃料生産効率を高める新酵素を発見（米国）

木材を激しく食い荒らすことで有名であり、家屋を粉塵にして年間何十億ドルもの被害をもたらすシロアリが、将来、より環境に優しいバイオ燃料を作るための生物化学的手段となるかもしれない。実際、この小さな害虫の腹部は微生物の宝庫であり、木質バイオマスや廃棄物バイオマスを貴重なバイオ燃料に変換する効率を高めるための、豊富な酵素源の候補に挙げられている。



ナスチターメス(*Nasutitermes*)属のシロアリ¹

(出所：DOE JGI)

米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)の共同ゲノム研究所(JGI: Joint Genome Institute)、カリフォルニア工科大学、バイオ燃料企業の Verenium 社 (旧 Diversa 社)、コスタリカ生物多様性研究所 INBio、および IBM 社のトーマス J. ワトソン研究センターによって行われたシロアリの腸に生息する微生物のゲノム配列決定と分析結果が、*Science* 誌 11 月 22 日号に発表された。

「シロアリは驚くべきマシンである」と、JGI 支援プログラムを実施している DOE 科学局長レイモンド・オーバック博士は話す。「家にシロアリが出た人の誰もが痛感するように、シロアリはごく短期間で恐るべき量の木材を消化できる。強い化学物質を使用したり加熱したりすることなく、シロアリは後腸の中に棲む特別の微生物群を使って植物の細胞壁を破壊し、物質の消化過程に触媒作用を及ぼす。JGI が行った工業規模の DNA 配列決定は、シロアリが使用しているツールが含まれた遺伝子構造を特定する手がかりとなった。今の私達の課題は、自然がどのように植物物質を消化しているかを解明するため、こ

¹ 和名はタカサゴシロアリ。

これらの遺伝子構造によって作り出される代謝経路を発見することである。もしそれを発見できれば、次世代セルロース系バイオ燃料開発を加速する今回のプロジェクトを通して発見された新しい酵素を、合成することができる」

1 世紀以上にわたって、シロアリは熱心な科学研究対象であったが、消化管に生息する微生物の正体とその役割は謎のままであった。今回の取組みにより、木材の消化に必要なこれらの区画された複雑な微生物群(microbial communities)の共生組織が明らかにされつつある。

シロアリには、ウシと同じく胃が複数個ある。そしてそれぞれの胃には、異なる微生物群が、特定の状況のもとで生息している。昆虫内に生息しているこれらの微生物は、木質高分子が、糖（発酵すればエタノールなどの燃料になる）へと変換される過程中的、特定の段階で働いている。シロアリの下顎で木材は噛み砕かれ粉々になるが、本当の作業はシロアリの腹の奥底で行われている。微生物が分泌した酵素液は、セルロースとヘミセルロースを分解するが、これらは、リグニンとともに木の基本構成要素である。

最先端科学の前進のために胃の中身を提供したこの小さな昆虫は、同論文共著者のカリフォルニア工科大学ジャレド・リードベターと、JGI 微生物生態学プログラム(Microbial Ecology Program)に携わる筆頭著者のファルク・ワルネッケ、そして Verenium 社や INBio の研究者達からなる探検隊によって、世界でも多種多様なシロアリが生息しているコスタリカの熱帯雨林地域で採取された。このチームはコスタリカのジャングルを散策している時、何の変哲もない平凡な木にとりついた、腫瘍のような巨大なシロアリの巣と遭遇した。マシェティ²で軽くたたくと、木くずからなる緻密なトンネル網の中身があらわれ、中ではナチスターメス属の高等シロアリ(higher termite)が狂乱状態となっていた。このシロアリの体長はおよそ1ペニー硬貨に刻まれた年号の大きさ程度である。

このプロジェクトでは、じょうご形の頭をしたシロアリの「兵隊蟻(soldiers)」に先立って、球状形の頭とふくらんだ腸をもった、より大きな「働き蟻(workers)」に焦点を当てた。INBio の実験室では、研究者達が微細鉗子と針を使用して、働き蟻の後腸(P3 と呼ばれる区画であり、シロアリの複雑な消化管の中のねじれが伸長している箇所)の中身を慎重に抽出した。各試料は辛うじて肉眼で見ることができるほどの大きさで、近傍の胃の内容物と混ざらないように注意深く取り扱われた。165 の検体から抽出された中身が精製され、ほんのわずかな量の貴重なしずくが得られた。そして DNA を抽出して前処理を行うために、Verenium 社に冷凍して送られた。その後、配列解析のためにウォルナット・クリーク(カリフォルニア州)にある JGI のプロダクション・ゲノミクス施設に送られた。

² サトウキビ伐採用の鉋(なた)。

このサンプルから、微生物群の正体とそれが作り出す酵素の代謝プロフィールを明らかにするために、断片的な遺伝子コードの約 7,100 万文字が詳しく調べられ、コンピュータで再構築された。この再構成により、12 の門(phylum)³ の正体が明らかになった。

「私達の分析によって、2 つの主要なバクテリア系統、すなわちトレポネーマ属とフィプロバクター属が、後腸を支配していることが明らかとなった」と、JGI の微生物生態プログラムの責任者を務める共著者フィル・フーゲンホルツは話す。「はっきりとしたらせん形をしたトレポネーマ属はシロアリの腸内で昔から確認されていたが、フィプロバクター属は今回新しく発見された興味深い属である。なぜなら、フィプロバクター属はセルロースを分解することで知られる牛の第一胃(rumen)の中に親類(relative)がいるからである。私達はシロアリのフィプロバクター属とトレポネーマ属を、木材を分解する能力のある酵素と直接結び付けることができた。しかし、フィプロバクター属は木材分解の専門家ではあるが、糖の発酵には関与していないようである。糖の発酵にはトレポネーマ属が関わっている。このプロジェクトは動く小型のバイオリクターである下等シロアリに対して全く新しい評価を与えた。」

フーゲンホルツと仲間の研究者達によって、セルロースとヘミセルロースの酵素による分解に関連している遺伝子が、シロアリの P3 区画だけで、500 以上特定された。シロアリの消化管のメタゲノムのデータセットは、DOE JGI のメタゲノム・データ管理分析システムの次世代バージョン IMG/M (<http://img.jgi.doe.gov/m>)で一般に入手可能となる。リリースは 2008 年 1 月に予定されている。

「これらの発見を工業規模のシステムに応用するのは、たやすいことではない」と JGI のエディー・ルービン局長は話す。「シロアリは、小さなバイオリクターである後腸の中で、ミリグラム単位のリグノセルロースを発酵性糖に効率的に変換する。バイオマスからバイオ燃料を生産する工場がより効率的且つ経済的に生産できるようにこのプロセスを拡大することは、また違う次元の話である。そこに辿り着くためには、セルロースを分解する主要な機能的特性を備えた遺伝子セットを特定しなくてはならない。そしてこの研究は、そこに至るための必要不可欠なステップである。」

2007 年 6 月、DOE のサミュエル・ボードマン長官は、セルロース系エタノールとその他のバイオ燃料を開発する基礎研究促進のために、3 つの新しいバイオエネルギー研究センター⁴に最大 3 億 7,500 万ドルを投資する予定であると発表した。そのすぐ後に、今回の新しい発見が見つかった。DOE JGI はこれらの 3 センターを支援してゲノム配列決定を実施する予定である。

³ 生物・動物分類の最上級の分類項目。

⁴ <http://genomicsgtl.energy.gov/centers>

シロアリの後腸についての研究は、JGI の先駆的なメタゲノム研究に基づいている。JGI のメタゲノム研究では、環境試料から直接遺伝物質が分離、特定、および特徴付けられ、特有の（大抵の場合極端な）生態的地位(ecological niche)⁵のプロフィールが提供される。DOE JGI により発表された研究調査には、様々な生物圏のごく一部を対象とした酸性鉱山廃水(acid mine drainage)、消化器官をもたない虫、農業の土壌、海底の鯨の死骸⁶、下水汚泥などがある。

現在 DOE JGI の配列解析待ちなのは、タマーワラビー(Tammar wallaby)の前胃の中身、アジア産カミキリムシ(Asian longhorned beetle)の腸、ならびに、セルロース分解に関与する酵素の宝庫として有望視される外来種のメタゲノムに関連したプロジェクトである。これらは DOE JGI の共同配列決定プログラム(CSP: Community Sequencing Program)を通して提出された。CSP は、科学界が DOE のミッションに関連したプロジェクトで、高性能な配列決定を行うことができる機会を提供している。

DOE 科学局が支援する DOE 共同ゲノム研究所は、5 つの国立研究所（ローレンス・バークレイ、ローレンス・リバモア、ロス・アラモス、オークリッジ、パシフィック・ノースウェスト）とスタンフォードヒトゲノムセンター(Stanford Human Genome Center)の専門知識を統合してゲノム解析を推進しており、クリーンなエネルギー生産、環境特性および環境浄化に関連する DOE のミッションに貢献している。DOE JGI のプロダクション・ゲノミクス施設(Production Genomics Facility、カリフォルニア州ウォルナット・クリーク)は、総合的な高性能配列決定装置とコンピュータ分析を提供しており、科学的手法で様々な課題に対処している。

翻訳：NEDO 情報・システム部

出典：http://www.jgi.doe.gov/News/news_11_21_07.html

⁵ 生物の種が利用するあるまとまった範囲の環境要因のことであり、生息している環境においてその種が果たしている生態的な役割もしくは地位のこと。

⁶ whale fall とも呼ばれる。海底には死骸をあさる生物も少なく、そのままの状態では海底に沈んだ鯨などの死骸が、海底に棲む別の生物達の生態系に色々な形で重要な役割を果たしている可能性について、近年調査がすすんでいる。