

シロアリの木質バイオマス資源化機能を活用した きのこ廃菌床からのバイオディーゼル燃料の生産

近畿大学農学部 板倉修司

はじめに

食用きのこの人工栽培は、大鋸屑などからなる培地を瓶や袋につめて施設内で栽培する空調施設栽培と、ほだ木を用いる原木栽培によって行われています。空調施設栽培には、生産効率の向上と労働負荷の低減などメリットが多く、食用きのこの栽培で多く採用されています。これに伴い、きのこを採取した後に残る廃菌床の発生量も急増し、その処分方法が大きな問題になりつつあります。平成16年のきのこ廃菌床発生量は、乾燥重量で約30万トンにも及ぶと推定されています¹⁾。廃菌床の大部分は、発酵させた後に堆肥として、また、きのこ栽培用の新たな培地に混合して培地基材として再利用するなど有効に活用されています。しかしながら、これらの方法で処理できる廃菌床の量は限られており、空調施設栽培の増加につれて発生量が急増すると予測される廃菌床を、これらの既存の方法だけで処理することは難しいものと考えられます。

私たちは、家屋害虫として知られるイエシロアリとヤマトシロアリの飼料あるいは食品としての価値に着目して、シロアリの栄養価を分析しました²⁾。その結果、シロアリ乾燥質量の45~70%が脂質であること、その脂質を構成する主要な脂肪酸がオレイン酸、リノール酸、ステアリン酸およびパルミチン酸であり、組成的にはオリーブオイルに近いことを見出しました。このことは、シロアリから絞ったシロアリオイルをメタノリシスによりメチルエステル化し、バイオディーゼル燃料として利用できることを意味しています。

食用きのこの廃菌床を分析したところ、培地基材として加えられたセルロースとヘミセルロースの大部分が未消化の状態に残されていることが分かりました。シロアリはセルロースやヘミセルロースを主要な栄養源としていま

す。産業廃棄物である廃菌床を餌としたシロアリ飼育(養殖)により個体数を増やし、さらに大きく育ったシロアリから絞ったシロアリオイルのメチルエステル化物をバイオディーゼル燃料として活用するという夢のようなストーリーが浮かんできます。この夢を叶えるためには、シロアリの階級分化をコントロールして産卵能をもった個体(ネオテニック)を効率的に増やす方法、きのこが残存している廃菌床の中でもシロアリが生き延びることのできる飼育方法の開発など難関が待ち構えています。飼育方法に関しては、廃菌床の形状や供給方法を工夫することでほぼ解決しつつありますが、階級分化の制御には、少なくともあと数年は必用なように思われます。ここでは、シロアリの成分分析の結果を中心にご紹介します。

シロアリ

社会性昆虫であるシロアリは、単独では生きて行かず、集団(コロニー)で生活しています。1つのコロニーには、職蟻、兵蟻、ニンフ、女王・王などが共同で暮らしています。ここではイエシロアリとヤマトシロアリの職蟻およびニンフと呼ばれる階級の個体を実験材料として使用しました。まず、職蟻とニンフについて簡単にご説明します。イエシロアリとヤマトシロアリともに、幼虫から分化した職蟻には、兵蟻へ分化する個体と職蟻のまま一生を終える個体があります^{3, 4)}。また、ヤマトシロアリの職蟻の中には、産卵能をもつようになる個体も知られています⁴⁾。ニンフは有翅虫(いわゆる羽アリで、後に女王と王という生殖階級になり新しいコロニーを創成します)になる個体と幼形成熟(ネオテニックと呼ばれます)という産卵能を備えた個体へと分化するものがあります。ヤマトシロアリのニンフは職蟻からではなく幼虫から分化しますが⁴⁾、イエシロアリのニンフ

は職蟻から分化すると言われていす³⁾。

シロアリの平均体重と水分

シロアリと聞くと「家を食い尽くす害虫」という恐ろしいイメージがありますが、1頭の体重はわずか数 mg しかありません。また職蟻の含水率は約 70%，ニフの含水率は 50～60% でした（表 1）。

表 1 の単位には (mg/頭) を使用しています。これは、シロア리를数えるときには、「匹」ではなく「頭」が用いられるためです。英語では (mg/termite) を使用します。

表 1 シロアリの水分と平均体重

	イエシロアリ		ヤマトシロアリ	
	職蟻 (Cf-W)	ニフ (Cf-N)	職蟻 (Rs-W)	ニフ (Rs-N)
水分(%)	75.8	49.9	67.3	59.2
生体重 (mg/頭)	3.30	7.32	2.14	3.11
乾燥質量 (mg/頭)	0.80	3.67	0.70	1.27

シロアリの栄養価

シロアリの栄養価を図 1 に示しました。図 1 の横軸は左端から順に、灰分、グリコーゲン、還元糖、トレハロース、繊維、脂質、タンパク質で、いずれもシロアリの乾燥質量を基準にして表示されています。手前の薄紫色の円錐が職

蟻、奥の濃紫色の円錐がニフの分析結果です。昆虫の血糖であるトレハロース、セルロースやヘミセルロースの消化産物であるグルコースなどの還元糖、動物の貯蔵多糖として知られるグリコーゲンほとんど含まれていませんでした。繊維は昆虫の外骨格であるキチンに由来します。シロアリが窒素をほとんど含まない木材 (C/N比 = 50～1000) を餌としている割には、多くのタンパク質が含有されていました。職蟻で約 10～15%，ニフで約 20～30% のタンパク質が含まれていました (シロアリの C/N比 = 3～10 といわれています)。水以外で、シロアリに最も多く含まれていたのは、脂質でした。脂質含有率は職蟻よりもニフの方が高く、職蟻の約 45～60%，ニフの約 65～70% が脂質で占められていることが明らかになりました。

シロアリオイルの脂肪酸組成

シロアリの主成分である脂質を構成する脂肪酸をメチルエステル化し、その組成を分析し、図 2 の結果を得ました。オレイン酸 (約 60～70%)、パルミチン酸と動物の必須脂肪酸であるリノール酸 (各々、約 10～15%) とステアリン酸 (約 5～10%) が主要な脂肪酸であり、この他にもミリスチン酸 (約 1～2%)、パルミトレイン酸 (約 1.5～2.5%)、 γ -リノレン酸 (~0.1%)、アラキジン酸 (約 1%) が含まれていることが明らかになりました。

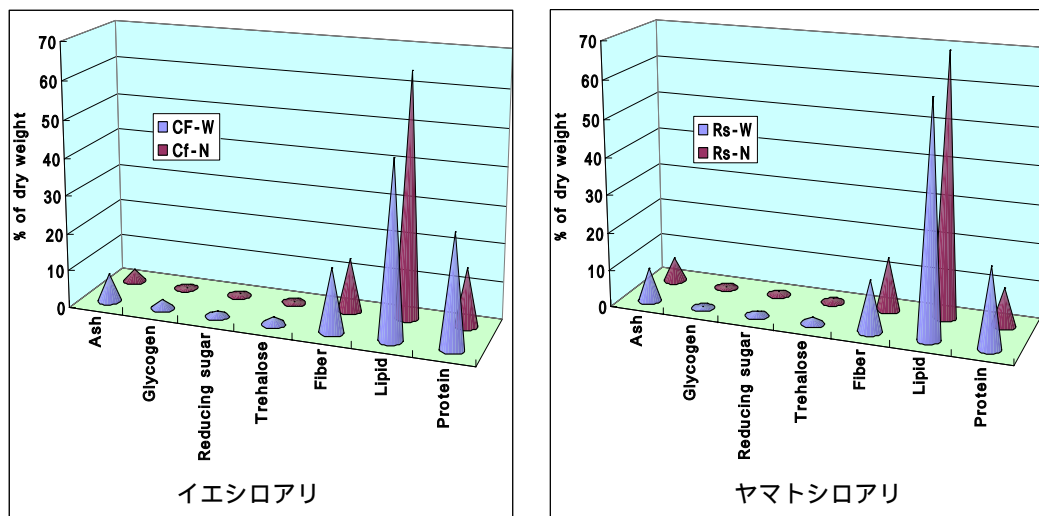


図 1 シロアリの栄養価

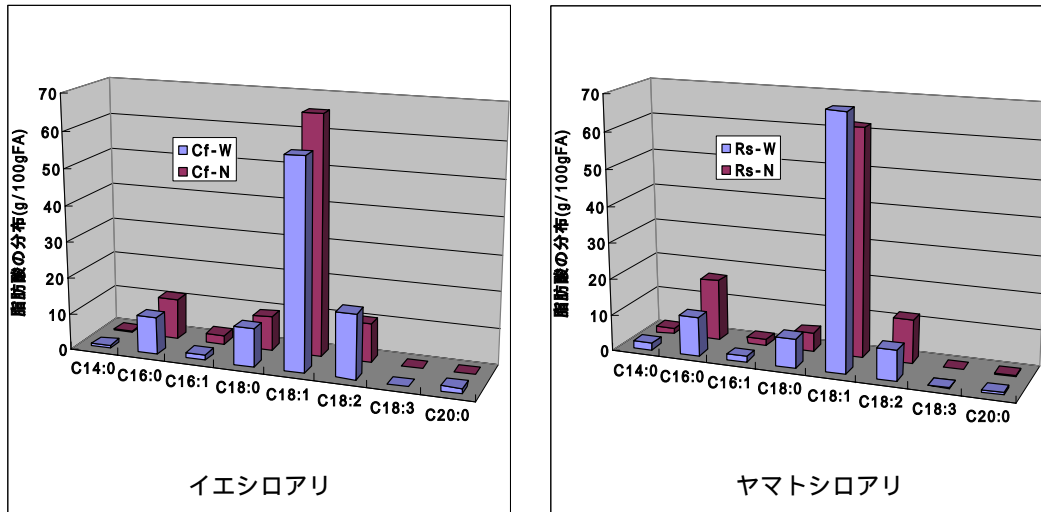


図2 シロアリオイルの脂肪酸組成

市販されている油と比較してみると、オリーブオイルの脂肪酸組成が、シロアリオイルの組成に類似していることがわかりました。ご参考までにオリーブオイルの代表的な脂肪酸組成は、オレイン酸(72%)、パルミチン酸(12%)、リノール酸(8%)、ステアリン酸(2%)、パルミトレイン酸(1%)、リノレン酸(1%)と報告されています⁵⁾。

シロアリに秘められた新たな可能性

家屋害虫として恐れられているシロアリに、家畜などの飼料あるいはバイオディーゼル燃料の原料として使用できる可能性が見いだされました。また、飽食の時代に生きる私達にはピンときませんが、地球上ですでに始まっている急激な人口増加や農地の荒廃さらには干ばつ等による水不足により、遠くない将来に引き起こされるかもしれない世界レベルでの食糧

不足の際に、ひょっとすると我々の貴重な食料の一部として利用できるかもしれません。

シロアリの体重はわずか数 mg です。しかもその 50~70%は水分で占められています。シロアリを飼料やバイオディーゼル燃料として工業的に利用するためには、膨大な数のシロアリを集めることが必要になります。例えば 100 万頭のイエシロアリ職蟻を原料とした場合、平均体重が 3.30mg/頭、含水率約 75%、脂質含有率約 45%(vs 乾燥質量)なので、合計体重 3300g のシロアリから、371g のシロアリオイルが得られることとなります。同様の計算をイエシロアリのニンフに対して行くと、100 万頭の合計体重が 7320g で、そこから得られるシロアリオイルは 2379g となります。ヤマトシロアリの職蟻とニンフ 100 万頭の合計体重はそれぞれ 2140g、3110g で、得られるシロアリオイルは職蟻 295g、ニンフ 871g です。

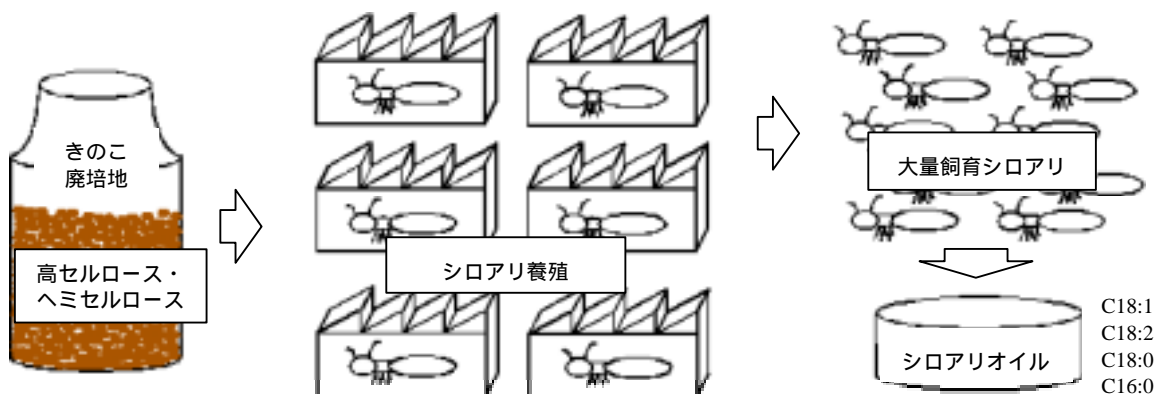


図3 きのこ廃菌床を用いたシロアリオイル製造の概念図

シロアリ 100 万頭は、イエシロアリの成熟したコロニーの中に生息している全個体数に相当します。ヤマトシロアリでは数万～50 万頭のシロアリがコロニー内に生息していると言われています。これらは自然環境下で成熟したコロニーの例ですので、人工的な環境下では、例えば1万頭のシロアリを1単位とした飼育容器を、数千～数万個並列に(もちろん縦にも積上げます)設置したシロアリ飼育工場でシロアリを養殖して、大量のシロアリオイルを搾油します(図3)。シロアリ飼育時の餌として、発生量が約30万トン/年にもおよぶ廃菌床を用います。きのこ廃菌床を用いたシロアリ飼育に関して、未発表データであるため詳細にご紹介することはできませんが、すでに条件の絞込みを始め、シロアリが良好に生育する飼育方法を確立しつつあります。

産卵能をもつシロアリの生産・管理

廃菌床を使用してシロアリを大きく生育させる飼育方法にはほぼ目処がつかしました。しかしながら、個体数をいかにして増やすかという大きな関門が待ち構えています。

イエシロアリとヤマトシロアリは1年に1回、群飛と呼ばれる集団飛行を行います。この群飛は、将来の女王と王になるメスとオスの有翅虫が、初夏の雨上がりに一斉にコロニーから飛び立つ行動です。この時、ペアになったメスとオスの有翅虫を捕獲し、産卵能を獲得するまで飼育するという方法が考えられます。このような初期コロニーでは、1年目に数個の卵が産卵されますが、千～万個/年という産卵能を持つようになるまで数年かかります。

ヤマトシロアリでは、ニフがネオテニクという産卵能をもった個体へと分化する場合があります。ニフが有翅虫になるかネオテニクになるかの決定には、幼若ホルモンとエクダイソンが密接に関係しているようですが、その詳細は明らかではありません。幼若ホルモン結合タンパク質として知られるヘキサメリン、ヴィテロジェニン、リポフォリンがシロアリの

変態に関連していると推定されています。他にも、幼若ホルモンやエクダイソンの分解に関与する物質が存在するようです。これらの物質による変態の制御について検討を続けてきました。これからも、シロアリの変態制御機構に関する研究を継続し、ニフからネオテニクへの分化を誘導できないか検討して行きます。この様な、ニフから産卵能をもつネオテニクへの変態誘導技術を確立できれば、シロアリの個体数を増やすことが可能となります。きのこ廃菌床を用いたシロアリ生育技術とシロアリ変態誘導技術を組み合わせることで、産業廃棄物であるきのこ廃菌床の有効利用ならびに有用物質であるバイオディーゼル燃料の生産という夢のようなストーリーが現実の技術として誕生します。まだまだ解決すべき問題が山積みの状態ですが、今後も努力を継続して行きたいと思います。

参考資料

- 1) 松村ゆかり, 藤本清彦, 高野勉: キノコ廃菌床発生量の推定, 第56回日本木材学会大会 CD-ROM 要旨集, PT026 (2006).
- 2) Itakura, S., J. Okuda, K. Utagawa, H. Tanaka, A. Enoki: Nutritional value of two subterranean termite species, *Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes speratus* (Kolbe) (Isoptera: Rhinotermitidae), Jpn. J. Environ. Entomol. Zool., **17**, 107-115 (2006).
- 3) Raina, A., W. Osbrink, Y. I. Park: Nymphs of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae): aspects of formation and transformation, Ann. Entomol. Soc. Am., **97**, 757-764 (2004).
- 4) Zhou, X., F. M. Oi, M. E. Scharf: Social exploitation of hexamerin: RNAi reveals a major caste-regulatory factor in termites, PNAS, **103**, 4499-4504 (2006).
- 5) 稲葉恵一, 平野二郎: 天然油脂資源 in “新版脂肪酸化学”, 幸書房, 東京, pp. 2-9 (1981).