

財団法人 油脂工業会館

第43回表彰

油脂産業優秀論文

審査委員特別賞

生物多様性に貢献する油脂産業

昆虫（ゴキブリ）を生物資源に活用した保全策の提案

花王株式会社

はせがわ よしひろ
長谷川 義博

目 次

はじめに	1
第1章 油脂産業における生物多様性保全に向けた課題の抽出	
1-1 生物多様性保全に向けた国際的な動き	2
1-2 油脂産業の生態系サービスへの依存度・影響度と課題	2
第2章 油脂産業におけるバイオマス資源の課題	
2-1 食糧およびエネルギー資源でもあるバイオマス資源	3
2-2 バイオマス資源への外部環境の影響と対応策	3
第3章 昆虫の生物資源としての潜在力評価	
3-1 豊かな多様性、その体組成と油脂組成	4
3-2 豊かな多様性、その高い飼育自由度とエネルギー変換率	5
3-3 バイオマス資源に替わる生物資源としての有力候補	5
第4章 ゴキブリの生態と生物資源としての可能性	6
第5章 ゴキブリの生物資源としての活用プラン	
5-1 食品廃棄物の有効利用による採算性の評価	7
5-2 ゴキブリの有効利用による生物多様性保全策への効果	8
第6章 事業化モデルの提案	
6-1 廃棄物受託処理と油脂販売を組み合わせたビジネスプランの提案	8
6-2 副生物の多目的活用による拡張プラン	9
6-3 社会的合意に向けた課題	10
おわりに	10
参考文献	12

はじめに

イースター島はヤシの森林に覆われた自然豊かな島であったという。800～1200年前、人間の定住によって森林が伐採され、木々とそれらがもたらしてくれる食糧、資材の消失により島の生態系が崩壊し現在の姿になった¹⁾。今は、かつて豊かであった痕跡として彫像が静かに残るのみである。古生物学的な推定によれば、カンブリア紀から6億年の間に、幾度かの大きな環境変化に遭遇し、種の多様性が急激に減少した時期があったといわれる²⁾

(図1)。その危機を乗り越えて地球上に住む生物は、ゆるやかではあるが環境と調和し、多様性豊かな現在の姿をつくりあげてきた。ところが、国連の「ミレニアム生態系評価 (Millennium Ecosystem Assessment) 報告書」は、地球の営みからみれば一瞬の間もない過去50年の間に劣化した生物多様性喪失の速度と規模が、これまでのどの時期よりも甚大であることを示している。この変化は、従来の性質とは異なって人の介入によるものであり、イースター島と同様、異質で経験したことのないリスクを孕んでいる。

油脂産業において生物多様性喪失への影響が深いものとしては、例えば油糧植物 (パーム、ココヤシ、大豆、トウモロコシ、ナタネ等) の生産がある。これらは近年の需要の増加を背景に国家プロジェクト的規模で開発が進み、例えば、ブラジルのアマゾンおよびセラードにおける大豆生産の大規模農業^{3),4),5)}や、マレーシアやインドネシアにおけるパーム油生産の大規模プランテーションの結果^{3),6)}、生物多様性の宝庫である熱帯や亜熱帯雨林の減少を招くことで生態系に大きな影響を与えているといわれている^{2),7)}。

これら油糧植物生産の生物多様性喪失に与える影響は、その用途が食糧資源およびエネルギー資源と密接に関係して、いずれも国の安全保障にまで繋がる問題となる。したがって、その生産を直ちに減少あるいは取りやめることはできず、生物多様性喪失のリスクを回避することは極めて困難な状態に陥っている。とはいえ、現状をベースに油糧植物の生産を続けること、あるいは拡大していくことは、いずれさらなる生物多様性喪失の犠牲を伴うであろう。そのため、人々の日々の安心な生活を支え、ひいては生物多様性を損なう道筋を避けるには、油糧植物の生産だけに頼らない新しい資源オプションが必要となる。そうした背景を受け、2011年5月発行のアメリカ油化学会誌『i n f o r m』において、新たな資源候補のひとつとして昆虫の利用可能性が示唆された⁸⁾。

著者は、生物多様性の保全には、単に生物の種の絶滅、あるいは保護のみを対象に考えるのではなく、新たな視点で生命の力を活用し、それらと折り合いをつけながら有効に利用していくことこそが、結果として生物多様性の保全に繋がるものと考えた。本論文では、生物種の中でも最も多様性に優れ、これまでバイオマス資源 (再生可能な、生物由来の有機性資源) として活用されてこなかった昆虫、特にゴキブリに視点を当てて、その生物資源としての可能性と、

それを活用した生物多様性保全に繋げる構想を提案する。

第1章 油脂産業における生物多様性保全に向けた課題の抽出

1-1 生物多様性保全に向けた国際的な動き

1992年に国連環境開発会議（地球サミット：於リオデジャネイロ）で生物多様性条約の署名開放が行われてから現在までの間に、持続可能な社会構築のための議論が重ねられ、特に2006年、生物多様性条約第8回締約国会議（CBD COP8）における民間の参画決議がなされてからは、生物多様性保全に対する企業の責任も明確に示されるようになってきた。2007年には「ビジネスと生物多様性のイニシアチブ」が発足し、さらに2008年には「生態系と生物多様性の経済学 T E E B（The Economics of Ecosystems and Biodiversity）」により、生態系保全の経済的価値が具体的に議論されるようになった。

また、生態系と企業活動との関連性を評価する体系的な方法論を取り纏めた報告書「E S R（The Corporate Ecosystem Services Review）」が発表され、生物多様性の保全が経済価値と等価であるという認識を深め、生物多様性を損なうことがビジネスのリスクと捉えることができるということが確認された⁹⁾。加えて、油脂産業を含むあらゆる産業、鉱業、建設、運輸、流通などが、サプライチェーン視点で、原料生産から加工、物流、消費までの各段階においてどの程度、生物多様性に依存し影響を与えうるかを評価する方法論が提示されている。

1-2 油脂産業の生態系サービスへの依存度・影響度と課題

それでは、油脂産業は生物多様性に対してどの程度依存し影響を与えているのだろうか？ E S Rで提案された評価フレームは生態系サービスとして受ける4つの視点（供給サービス、調整サービス、文化的サービス、基盤サービス）で示されている。そのうち「供給サービス」は、食料や水などの循環型資源、いわゆる有形の自然の恵みを指し、「調整サービス」は、森林の保水力、気候、環境の調整、水の浄化・循環など無形の恵み、「文化的サービス」は、世界遺産に象徴される自然の産物から受ける情緒的価値、「基盤サービス」は、1次生産（主に光合成による）と栄養源の循環を意味している。構造的には基盤サービスに供給、調整、文化の3つのサービスが積み上がったものと捉えることができ、人の選択と行動の自由は、これらの生態系サービスにより成り立っている（図2）。

ここで、E S Rの提案フレームを参考に4つのサービスに対する油脂産業の生物多様性への依存度と影響度について評価した。想定するサプライチェーンとしては前述のマレーシア、イ

インドネシアのパーム油生産事業あるいはブラジルでの大規模農業などを上流チェーンに置き、中流には加工業者・物流など、下流に顧客を置いて、それぞれのサービスへの影響を確認したところ、生態系サービスに負荷を与えている課題はかなり広域にわたって存在することが分析された。すなわち、概観的には、油脂産業における生態系サービスへの依存度と影響度は、供給、調整、文化、基盤まで、広く及んでいることが見て取れる（図3）。

この評価結果から、いずれの視点でも、その課題を整理し油脂産業として取り組むべき方向性を示すことで生物多様性の保全に貢献できるといえるが、今回は油脂産業として主体的、能動的に取り組める課題という観点から「供給サービス」を選び、特にバイオマス資源に注目した。

第2章 油脂産業におけるバイオマス資源の課題

2-1 食糧およびエネルギー資源でもあるバイオマス資源

農水省はバイオマス資源をエネルギー作物、未利用資源、廃棄物系との3つに分類している。油脂産業におけるバイオマス資源は、油糧植物（パーム、大豆、トウモロコシ等）でありエネルギー作物に分類される¹⁰（図4）。しかしながら、これらは、その性質において食糧資源であり、エネルギー資源でもある。したがって、油脂産業におけるバイオマス資源の問題は、食糧問題とエネルギー問題の両者に密接に関係しているので、いずれの国においても自国民の安定した生活と生命の安全を担保するために最重要な国内問題であり、同時に国際問題にも関係してくる。

このことから、生産国と需要国との間で資源と財貨が潤沢な場合、双方の利害は一致し問題は生じないが、生産国での資源の枯渇や需要国での財貨の不足が生じた場合は、即刻、利害が対立し資源国の供給停止から需要国での資源不足を招き、国民の安定した生活と生命の安全を損なうことで両国間の深刻な外交問題に発展する。食糧問題もエネルギー問題も、その背景には人口問題、環境問題、政治問題、経済問題、技術問題などが深く関わり、それらは互いに交差しながら、結果的に資源国からの供給が断たれるというバイオマス資源の安定的な確保に対する将来的な不安感と、不作や需要の増大に供給が追いつかないなどといった現実的に枯渇する危機感を生み出している。

2-2 バイオマス資源への外部環境の影響と対応策

ここで、外部環境（人口、環境、政治、経済および技術問題）のバイオマス資源への影響に

ついて、主なものを挙げる。

「人口問題」：経済協力機構（OECD）と国連食糧農業機関（FAO）による2015年までの世界農業見通しで、世界の農畜産物の伸びは世界人口の平均増加率を上回ると予想されている。特に新興国での需要増加は著しく、かつては生産国であった中国やインドが、その経済成長を背景にしたライフスタイルの変化により消費国へと転じつつある^{11),12),13)}。

「環境問題」：温暖化に起因する気候変動、異常気象の増加で主要な農業生産国において想定外の規模の洪水と干ばつに見舞われている。具体例としては2006年から2年連続で起こったオーストラリアの干ばつや2007年ウクライナの干ばつ、欧州東部を襲った熱波と欧州北西部の大雨による不作などで、予期せぬ低収穫、不作のリスクが高まっている^{11),14),15)}。

「政治問題」：中東やリビア情勢に起因するエネルギー資源の安定供給に対する危機感や各国のエネルギー転換政策を背景に、米国、ドイツ、ブラジルなどで穀物需要を増大させている^{3),16)}。

「技術問題」：農業技術として単収増加率の鈍化^{11),12)}、並びに、エネルギー技術として、石化燃料の枯渇リスクおよび2011年3月11日に発生した東日本大震災より始まった世界的な原子力エネルギーに対する見直し、それらを背景とした再生可能エネルギー化のニーズの高まりに対し、現行技術が低コスト化、実用化の課題を残している^{10),17),18)}。

「経済問題」：上記の人口、環境、政治、技術の情勢を背景に投機マネーが穀物市場に流れ込み、特にリーマンショック以降は穀物価格の過度な高騰を招いている¹⁹⁾。

以上の問題から引き起こされるバイオマス資源獲得に対する不安感と危機感は、生物多様性保全に対して間接的あるいは直接的に影響を与えている。したがって、油脂産業において将来的に生物多様性保全に貢献する社会を築くためには、バイオマス資源の不足、枯渇を未然に防ぐ対策が不可欠である。そのための有効な手段のひとつとして、例えば、近年、産官学をあげて取り組まれている新しいバイオマス資源として微細藻類の利用が検討²⁰⁾されているように、既存のものと競合しない次世代の資源を開発していくことが必要とされている。

そこで筆者はこの考えに基づき、従来、油脂産業において活用されてきたバイオマス資源（パーム、大豆、トウモロコシ等）に替わる新しい生物資源として「昆虫」に着目した。

第3章 昆虫の生物資源としての潜在力評価

3-1 豊かな多様性、その体組成と油脂組成

昆虫は、既知ベースで最も多様性の優れた生物種といえる¹⁾（図5）。様々な環境に適応して生存してきた生命の神秘は奥深く、遺伝子資源の宝庫であり、研究素材としての魅力も大変大きい。昆虫は、植物のように太陽エネルギーを物質転換する第1次生産者の立場ではないた

め定義としてはバイオマス資源と区別されるが、食物連鎖の中では主に捕食される立場で、地球上の多くの生命を支え、ボリュームゾーンに位置する貴重な生物資源である。

今回、改めて昆虫を食糧あるいはエネルギー資源として見直してみると、特に注目に値することは、現代の日本人には馴染みのない感覚ながら、昆虫は、過去より食文化としての実績があることである²¹⁾。例えば、現在でも流通する蜂の子やイナゴなどは、珍味として比較的知名度もある。それ以外にも地方あるいは時代によって、様々な昆虫が食されてきたことがわかり²²⁾ 昆虫は親しみ深い食材であったことは想像に難くない。海外では、国・地域により現在も一般に流通している（図6）。

これらの昆虫の体組成を概観すると、種によって程度の差はあるものの、蛋白質含有量は乾燥ベースで28～64%、脂質は8～40%となっており、代表的な油糧植物である大豆と比べても遜色がないばかりか²³⁾、いわゆる高カロリー素材となりうるポテンシャルを有している（図7）。また、その油脂組成は、ゴマ油、落花生油、ひまわり油等と比べてもなんら特異なものでなく、同等である^{8),23)}（図8）。

3-2 豊かな多様性、その高い飼育自由度とエネルギー変換率

ここでさらに、資源としての有用性を生産性から評価するため、その飼育について考えると、その食性は多食（雑食）から寡食（肉食もしくは草食）とバリエーションに富んでおり、飼育の自由度が高いといえる（図9）。これは現在、畜産農業として管理、生産されている草食動物（牛、羊、馬等）および雑食動物（豚、鶏、魚等）と同様な視点で整理してもその多様性は広い。さらに生産効率で見ると、与える餌に対して転換されるエネルギー効率が高いことが予想される。例えば、牛肉を1kg育てるのに要する穀物は11kg（変換効率9%）、豚肉では7kg（14%）、鶏肉では4kg（25%）であるが²⁴⁾、鶏よりも小型の昆虫のエネルギー変換効率はさらに高いと予想され、40%前後の高い効率で物質転換されるといわれている²⁵⁾。

3-3 バイオマス資源に替わる生物資源としての有力候補

具体的に昆虫の飼育候補を考えてみる。彼らに与える餌として、いわゆる家畜動物（牛、豚、鶏等）と同様に人の食糧資源を与えることは、これまでの畜産システムを模倣しただけであり、新たな生物資源としては魅力的な話とはならない。この点に留意し、改めて多様な昆虫の中から資源として有効なものを想定すると、餌に未利用もしくは廃棄系バイオマスを活用できる種としてゴキブリ、シロアリ、ウジムシ等が例示される。いずれもその体組成と性質が生物

資源として興味深い対象である^{23),26),27),28)}(図10)。すでにシロアリについては廃菌床(木質基材)を利用した提案²⁷⁾がなされているが、本論文では、先進国および新興国において大きな社会問題となっている食品廃棄物の利用が可能なゴキブリの活用を提案したい。

第4章 ゴキブリの生態と生物資源としての可能性

ゴキブリは、その名の響きに抵抗を覚える方も多いと思われるが、汚染された印象は文化的なもので、その生息場所によるステレオイメージであることが大きい。日本でよく観察されるものは家住性のもので主にチャバネゴキブリ、クロゴキブリ、ヤマトゴキブリ、ワモンゴキブリの4種が生息しており²⁹⁾、東南アジアでは食用種も存在する。その生命力は旺盛で、生物史上2億年を生き抜いた稀有な生物であるが、資源の観点から見ると、いくつかの魅力的な要素を備えていることに気付かされる。

1点目は、その成長の早さと繁殖力の旺盛さで、世界中に広く分布する最もポピュラーな種のチャバネゴキブリでは、計算上1匹が1年で14万匹になりうる潜在力をもつと言われている。2点目として、餌の面で多食(雑食)であり穀物から野菜まで栄養源として消化し体組織に変換できる。幼生から成虫まで外見上の変態も少なく同じものを食べるのが可能で、餌の融通性が高く飼育環境の管理が容易であるといえる。実際、S.C.ジョンソン社では防虫剤開発のために専門スタッフが一辺あたり25センチメートルほどのプラスチックの飼育容器の中で、その幼生を5千匹近く飼育し、同時に数百万匹を育てているという情報や、アメリカ農務省獣医学昆虫研究所では、網戸の網の目の大きさを調整することで、簡易に幼虫と成虫との共食いを避けて飼育しているといった情報もある³⁰⁾。

すなわち、ゴキブリの飼育は、集約して効率よく生産できる可能性が高いといえよう。したがって、大規模農業のような広大な土地を必要とせず、土地の限られた都市部でも、狭く変則的で活用しにくい区画の土地であっても生産の場所を選ぶことがない。また、体組成に関しては、これまで資源の視点で研究されてこなかったため現時点ではあくまで一般的な情報であって、さらに高蛋白、高脂肪な個体が存在する可能性もある。ゴキブリの体組織は腹部を満たせる空間のほとんどを脂肪体が埋め尽くす構造となっており(図11)^{30),31)}、この脂肪体が生命力の根源であるとされているが、潤沢に餌を与え脂肪体が効率よく肥える品種をスクリーニングあるいは改良することで、より魅力的な品種を見出す可能性はかなり高いと考える。

第5章 ゴキブリの生物資源としての活用プラン

5-1 食品廃棄物の有効利用による採算性の評価

ゴキブリの利用可能性について具体的に考察してみる。ゴキブリは生物資源として、農産物の大豆、トウモロコシ等あるいは水産物のサバ、イワシ等と同等の個体と捉えれば、産業的に利用するプロセスは、従来とほぼ同様の手続きで取り扱うことができるものと考えられる。その前提で利用上の採算性を考察する。まず、資源利用の最初のステップはその飼育（生産）で、いわゆる豚、鶏等の畜産農業の場合は、穀物等の有価物を与えても食肉の付加価値を背景に採算ベースにのせることができる。それに対して昆虫の場合は主に油糧資源としての利用を考えると飼料にコストはかけにくい。そこで餌としては食品廃棄物を利用することを考えた。

食品廃棄物の排出量は、日本では年間約1,900万トン、米国では年間3,750万トンもの膨大な量に達している³²⁾。その量は現在も減少してはいない。この食品廃棄物の問題は、世界の一部に飢餓がある一方で大変な矛盾を抱えながらも、先進国ではその都市化とライフスタイル変化の影響から避けることのできない社会問題であり、すでに新興国においても顕在化する課題となっている。日本では、その対策として循環型社会形成推進基本法を受けて平成13年に「食品リサイクル法」が制定され、食品廃棄物の再利用が進められているが、その7割近くが未利用であり、木質基材系のバイオマスなど、他の廃棄物と比較しても莫大な量となっている（図12）。

食品廃棄物の内訳は、食品卸および小売り業者から排出される売れ残り品や調理クズ等、そして飲食店および食事の提供を行う事業者から排出される食べ残し等（約800万トン）と一般家庭から排出されるもの（約1,100万トン）からなる³³⁾。これらの栄養価は農水省の外食ロス統計から推察されるように穀物、肉、卵類が中心となっており、廃棄物とはいえカロリー価値の大変高いものとなっている（図13）。

前述のように、仮に食品廃棄物からエネルギー転換率40%でゴキブリが生産できるとすれば、日本の未利用食品廃棄物（年間約1,330万トン）から飼育できるゴキブリの重量は約530万トンに達する。その収穫量の530万トンから得られる油脂は搾油率10%（通常ゴキブリの脂質組成は約20%）で見積もって53万トンであり、この値は日本の2010年度のパーム油輸入量54万トン（財務省統計）にほぼ匹敵する。仮に、得られた油脂を89円/kg（2011年4月時点 パーム油標準卸値価格1,123ドル/トン、レート80円/1ドルにて換算）の条件で金額ベースの価値として約472億円/年に変換することが可能である。

5-2 ゴキブリの有効利用による生物多様性保全策への効果

ここで、ゴキブリの単収率を試算してみた。仮に、前述した情報「幼生（体長3ミリ程度）ならば一辺25センチメートル飼育容器で5千匹飼育可能」を参考に、成虫（体長30ミリ）ならば、同じ床面積で飼育器の工夫、例えば高層化などで500匹程度まで十分に飼育可能と想定すれば1ヘクタール当たり16万区画（1区画25平方センチメートルで平屋換算）を割り当てることができる。さらに3ヶ月周期で収穫できるとすれば、1日当たりおよそ1,700区画からの生産物が得られるので、ゴキブリの収穫量は85万匹、ゴキブリ1匹の重さを3gとして2.6トン、よって年間で930トン収穫できる。結果、搾油率10%とすれば93トンの収量が可能となる。

この値は、油糧植物の単収率、パーム油6トン、菜種油1.2トン、大豆油0.5トンに比べて大きなものであり、研究されている油脂生産微細藻類の47-140トン²⁰⁾にも並ぶものである（図14）。すなわち、生物資源としてゴキブリをグローバルに活用することで多様性喪失の要因のひとつとなっている大規模農業や大規模プランテーションの増大を抑え、間接的に熱帯や亜熱帯雨林の減少を抑制する可能性が大いに期待される。

第6章 事業化モデルの提案

6-1 廃棄物受託処理と油脂販売を組み合わせたビジネスプランの提案

具体的な事業化に当たっては、食品廃棄物を活用し、飼料化、飼育して、油脂を獲得するまでのビジネスモデルを提案したい。参考としたビジネスモデルはバイオガス事業で、この事業は廃棄物の委託処理費と発生したガスの発電電力の売り上げを収入源にしている¹⁷⁾。このモデルを参考に食品廃棄物の受託処理費と油脂の販売を収入にしてシミュレーションした（図15）。

想定ケースは、年間1万5千トンの食品廃棄物（平成19年度の東京都の年間発生量121万トンの約1%程度）を飼料化、飼育して搾油精製するもので、1日の廃棄物受託処理量を約40トンとすると、平均的な自治体の廃棄物受託処理費用は10円/kgなので、廃棄物処理からの粗利は40万円/日となる。さらに、廃棄物40トンから得られるゴキブリの収穫量は変換効率40%で見積もり16トン/日、ゴキブリ16トンからの搾油率を10%に設定し約1.6トン/日の油脂を得ることが可能とした。その結果、油脂販売からの収入は約14万円/日（油脂販売価格は上述の89円/kgとした）となる。この設定で、受託処理費と油脂販売による収入を合わせた年間総収入は2億3百万円が期待できる。

一方、支出は、主要な初期投資として飼料化設備、飼育施設（建屋）および搾油・精製設備の3つがあり、まず飼料化施設は40トン/日の処理能力を設定した。次に、飼育施設は16トン/日の収穫を可能とする広さを想定した。また、搾油・精製設備は16トン/日の処理能力を設定して投資額は総計10億円と見積もった。運営費は設備維持費、減価償却費と総人件費・光熱費を計上し、設備維持費は初期投資の5%で5千万円、減価償却費（20年償却）は5千万円/年、および総人件費・光熱費を加えて年間総支出は1億9千万円と見積もった。支出に係わる推定に用いた条件・数値には未確定な要素も多いが、受託処理収入に頼りながらも事業的には成立可能性はあると推定する。

現在、食品廃棄物は、その栄養源としての魅力を背景に利活用事業として一部の自治体で豚や鶏向け飼料（エコフィード事業）に循環利用する試みが実際に行われている。但し、現状、このビジネスモデルは収支に課題を残している。例えば、採算性の事例から、飼料調整費（支出）が平均21.9円/kgに対して廃棄物受託処理費（収入）が自治体平均10.3円/kgであり、支出が収入を上回る結果となっている^{34,35}。したがって、飼料販売収入（約15~20円/kg）が得られたとしても、その他の諸経費（人件費、設備維持費、償却費等）をまかなうことができない。この問題点は、飼料品質を豚や鶏用に合わせて調整しているため調整費が高んでいること、さらに畜産業と切り離して飼料化事業のみで独立させていることに起因していると考えられる。

そこで、本提案は、こうしたエコフィード事業の課題を解消するために、飼料化から飼育、そして搾油・精製までを一連した事業として捉えた。例えば、昆虫向けの飼料は、衛生面に配慮した工程を担保できれば飼料均質性の調整は省略する。加えて、飼育から搾油・精製の人件費は効率よく配分する。そうした全体最適化の努力で効率化が図られ、事業性も向上させることができる。

6-2 副生物の多目的活用による拡張プラン

また本シミュレーションでは、生産物の利用目的を油脂に留めたが、副生物の利活用も含めた像を描けば実現性はさらに向上すると思われる。例えば、飼育時に発生する昆虫の排泄物の肥料化、ならびに、昆虫利用の多くの場合、外骨格物質であるキチン物質の副生が伴うが、こうした物質等も資源として活用できれば、新たな価値を生み出す可能性がある（図16）。このキチン質の多目的利用は既に実用段階のものもありバイオガス燃料、消臭剤、人工皮膚、土壌改良剤まで多岐に及んでいる。したがって、トータルに生産物を有効活用できれば、それぞれの価値により燃料から医薬まで用途範囲が広がり、結果、採算性の向上も期待できる。

6-3 社会的合意に向けた課題

最後に、事業性の議論とは別の側面として、こうした昆虫生産施設の設置にあたり、現実的には設置場所や運営にあたり社会的な合意が必要となってくる可能性を指摘しておきたい。昆虫の飼育、加工は大規模農業やプランテーション開発のように土地の広さや場所の制約を受け難い利点がある一方で、例えば飼育中の昆虫が施設から流出したときのリスクや昆虫が媒介する病気等に対する対策、そしてなによりも近隣に心理的、生理的に受け入れられないなどの問題も残されている、また、「一寸の虫にも五分の魂」といわれるように日本人の生命に対する畏敬、倫理観の問題も考えられる。したがって、研究や事業化の前には、昆虫を隔離飼育する設備の設計や管理を徹底し近隣住民の納得が得られるようにした上で、地域住民との間に安全、安心の合意を得ること、ならびに昆虫を活用することへの必要性を含めた密なコミュニケーションをとることが必要となろう。

以上、バイオマス資源に替わる生物資源として昆虫に焦点をあてて考察してきたが、その利活用においては、まず、その基本に飼育法や品種改良、生産物の利用に関わる研究が必要である。このような点において油脂産業が主体的、積極的に取り組むべきであろう。それには、これまで人が牛や馬や豚や鶏を家畜化し多目的に利用し成功を収めたのと同じ感性で新たに取り組むことが必要である。その結果、資源としての生産性や有用性の幅を大きく広げられる。

さらに昆虫を対象にした応用研究^{36),37)}には、その食性の多様性に注目し、腸内共生菌や消化酵素を研究することで、バイオマス資源の効率的な化学変換技術、例えばセルロース糖化技術などへの知見にも繋がる可能性も考えられよう。昆虫を研究対象とした発展性は極めて高いと考える。

おわりに

TEEB中間報告によれば、現状のまま特に対策をとらない場合、生態系と生物多様性が損なわれることによる経済的損失の規模は、2050年まで控えめに見積もっても世界でGDPの7%に達する可能性があると推定されている。健全な経済成長が産業の要であることを考えると、あらためて生物多様性保全は企業にとっても最重要課題に挙げられる。

また、これからの基本トレンドは、いずれの国も都市化と共に工業化が進み、ペティ＝クラークの法則に従い、経済性の高い土地利用に進んでいくと思われる。特に新興国においては国民1人当たりの生産額が増えるにつれて農業従事者の比率が減少するように³⁸⁾、資源の生産に

においては、少ない担い手と限られた土地を前提に効率的かつ集約的な食糧とエネルギーの生産の実施が今後は求められるようになる。

こうした経済成長の維持と基本トレンドに合致し、問題となっている食品廃棄物の利用も踏まえて、昆虫を生物資源とする生物多様性保全策を考察した。繰り返しになるが、生物多様性の保全においては、単に種の絶滅、あるいは保護のみを対象に考えるのではなく、その多様性と生命の力を活用し、それらと折り合いをつけながら有効に利用してゆく手段を講じることこそが、結果的に生物多様性の保全に繋がるものと考えている。

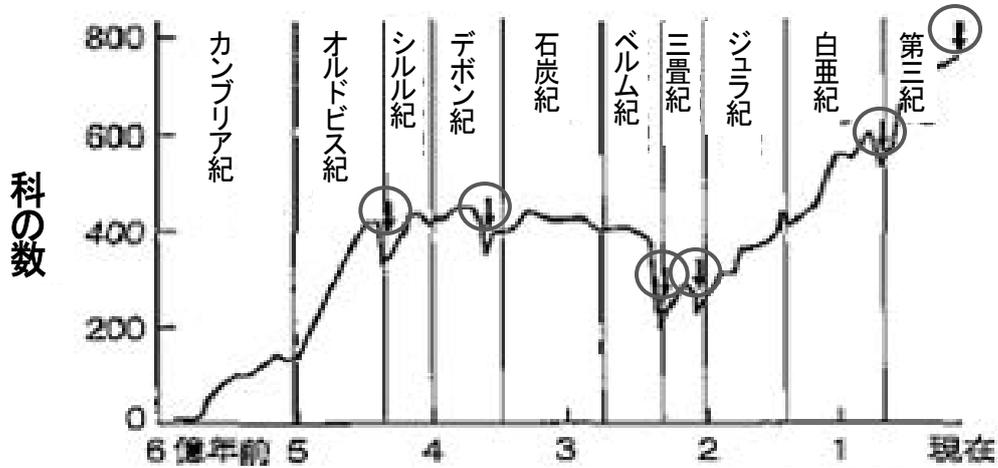
昆虫は多様性の宝庫であり、生命の力は計り知れない魅力を備えている。昆虫の多様性を有効に活用し、彼らの生命力の神秘と向き合い、生命のメカニズムを理解することで、これからの油脂産業を含めた化学産業界に与える影響は大きいものと著者は信じる。

参 考 文 献

- (1) Andrew S. Pullin, 『保全生物学』, 丸善出版社, 2004年
- (2) 井田徹治, 『生物多様性とは何か』, 岩波新書, 2010年
- (3) 坂内久・大江徹男, 『燃料か食料か』, 日本経済評論社, 2008年
- (4) 星野妙子編, 「ラテンアメリカの一次産品輸出産業」, アジア経済研究所調査研究報告書, 47-91, 2006
- (5) 本郷豊, 「南米の食料資源1 と世界経済—ブラジルの大豆を事例として」
ラテンアメリカ時報, No. 1376, 2006
- (6) 地球・人間環境フォーラム <http://www.gef.or.jp/>
- (7) 平井晴己・永富悠, 「日本におけるバイオディーゼルの導入について」
(財) 日本エネルギー経済研究所 IEEJ 研究報告討論会, 34回 2008年6月
- (8) Abdalbasit Adam Mariod, "Insect oils: Nutritional and industrial applications", 米国油化学会誌 inform, Vol. 22(5), 266-268
- (9) 足立直樹, 『生物多様性経営』, 日本経済新聞社, 2010年
- (10) 中村太和, 『環境・自然エネルギー革命』, 日本経済新聞社, 2010年
- (11) 柴田明夫, 『食料争奪』, 日本経済新聞社, 2007年
- (12) 渡部忠世・海田能宏, 『環境・人口問題と食糧生産』, 農文協, 2003年
- (13) 清水達也編, 「食料危機と途上国におけるトウモロコシの需要と供給」
アジア経済研究所調査研究報告書, 1-18, 2010
- (14) 浜田和幸, 『食料争奪戦争』, 学研新書, 2009年
- (15) 茅野信行, 『食料格差社会』, ビジネス社, 2009年
- (16) 川島博之, 『食料自給率の罨』, 朝日新聞出版, 2010年
- (17) 井熊均, 『よくわかる最新バイオ燃料の基本と仕組み』, 紀伊国屋, 2008年
- (18) 笠原紀夫, 『エネルギーと環境の疑問 Q&A 50問』, 丸善, 2008年
- (19) 樋口修, 「穀物価格の高騰と国際食料需給」, 農林環境調査室 国立国会図書館
ISSUE BRIEF NUMBER 617, 2008年6月10日
- (20) 財団法人油脂産業会館 油脂原料確保研究会, 「油脂原料をどうする」
平成21年4月
- (21) 松浦誠, 「日本における昆虫食の歴史と現状」, 三重大学生物資源学部紀要
22号: 89-135 平成11年3月15日
- (22) 吉村浩一・内山昭一, 「昆虫食・昆虫料理をめぐる心理的要因の検討に向けて」
法政文学部紀要第59号, 23-34

- (23) Mark D. Finke, "Complete Nutrient Composition of Commercially Raised Invertebrates Used as Food for Insectivores", *Zoo Biology*, 21, 269-285, 2002
- (24) 農林水産省, 「食料をめぐる国際情勢とその将来に関する分析」, 国際食料問題研究会報告書, 平成19年11月
- (25) 普後一, 「人が学ぶ 昆虫の知恵」, 東京農工大学出版会, 2008
- (26) Hideaki Tsuji, "Development of the smoky brown cockroach", *Jap. J. Saint. Zool.* Vol.26 No.1 p1-6 1975
- (27) 中村雄己・佐藤由美, 「シロアリを活用した地域雇用開発」, 財団法人油脂産業会館 第42回 油脂産業優秀論文
- (28) 三橋淳, 「閉鎖空間での昆虫利用」, 「Bio. Sci. in Space」, Vol21, No.4, 124-128, 2007
- (29) 西村昭, 「ゴキブリの生態と駆除」, 衛生動物, 特別講演要旨 第30回岡山実験動物研究会, 平成7年12月1日
- (30) David George Gordon, 『The COMPLEAT Cockroach』, 青土社, 1999年
- (31) 東工大 Science Tecno. <http://www.t-scitech.net/>
- (32) 経済産業省, 『エネルギー基本計画』, 資源エネルギー庁編, 2007年
- (33) 環境省, 「日本廃棄物処理・産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」, 平成19年度
- (34) 森久綱, 「食品廃棄物の飼料的利用:札幌市を事例として」, 北海道大学 経済学紀要, 51(3), 145-158, 2001-12
- (35) 加藤剛・畑めぐみ・原千里, 「食品廃棄物の需給主体間における経済性の問題～エコフィード推進に向けて～」, I S F J 政策フォーラム 発表論文 20th 中央大学 FLP 横山彰研究会 環境分科会, 2008年12月
- (36) 藤崎憲治, 『昆虫未来学』, 新潮選書, 2010年
- (37) 赤池学, 『昆虫が人を救う』, 宝島社, 2007年
- (38) 首藤久人, 「インド経済の諸課題と対印経済協力のあり方、農業・食糧市場の現状」, 筑波大学大学院生命環境科学研究科, 2006年

図一1



古生物学に基づいて推定される過去の大絶滅

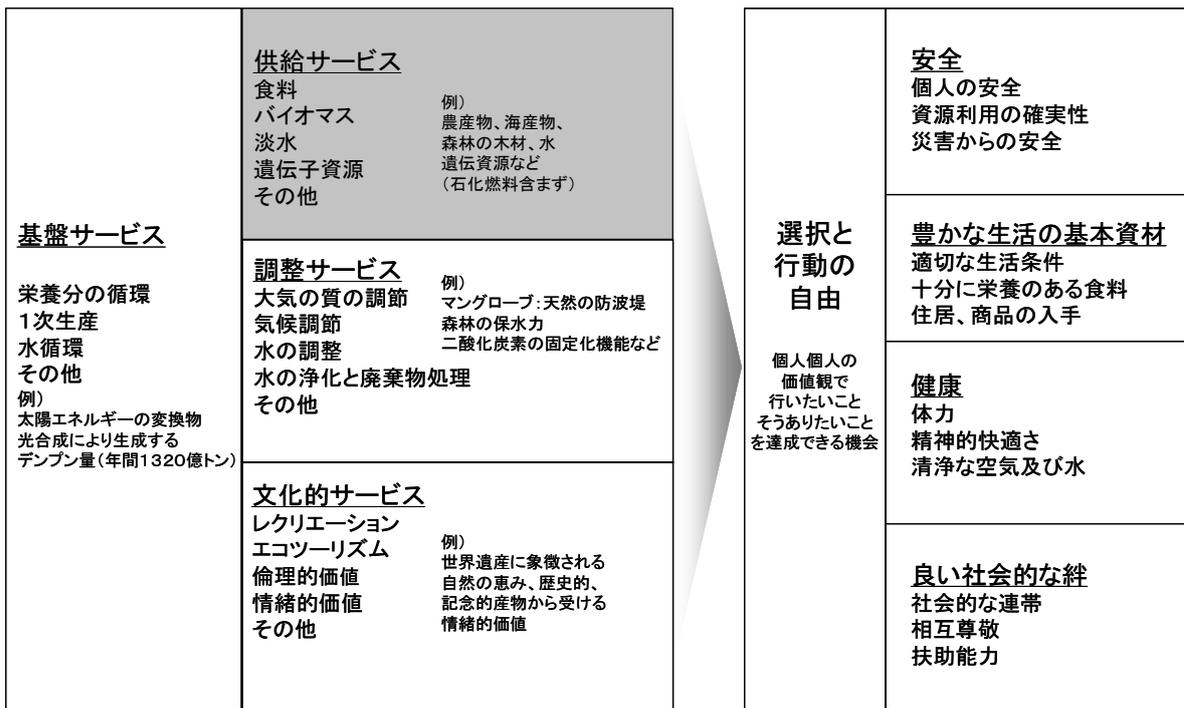
科: 生物分類の階層分類における基本的階級の1つ

出典: 井田徹治, 『生物多様性とは何か』, 岩波新書, 2010年

図一2

生態系サービスと人間の福利

人間の福利構成要素



国連「ミレニアム生態系評価」(2005)及びサステナビリティの科学的基礎に関する調査(2005)より作成

図一3

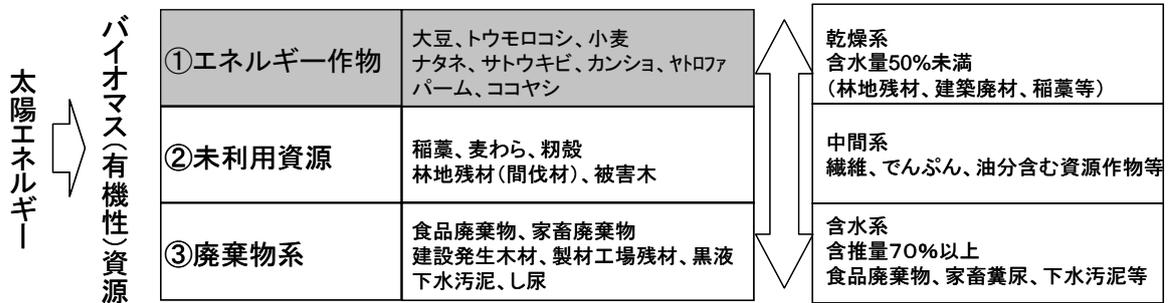
油脂産業の生態系サービスに対する依存度と影響度の評価

		上流（資源生産者）		中流（加工業者）		下流（顧客）	
		依存度	影響度	依存度	影響度	依存度	影響度
供給サービス	食料		○	○	○	○	○
	バイオマス		○	○	○	○	○
	淡水	○	○	○	○	○	○
	遺伝子資源		○		○		○
	その他						○
調整サービス	大気質の調節	○	○		○	○	○
	気候調整	○	○		○	○	○
	水の調整	○	○	○	○	○	○
	水の浄化と廃棄物の処理	○	○	○	○	○	○
	土壌浸食の調整/土壌の形成	○	○	○	○	○	○
	病害虫の抑制	○	○		○		○
	その他						
文化的サービス	レクリエーションとエコツーリズム		○		○	○	○
	倫理的・情緒的価値		○		○	○	○
	その他						
基盤サービス	栄養分循環	○	○				
	一次生産(光合成による)	○	○				
	水循環	○	○				
	その他						

The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD),
Meridian Institute,WRI(2008) The Corporate Ecosystem Service Reviewをもとに作成

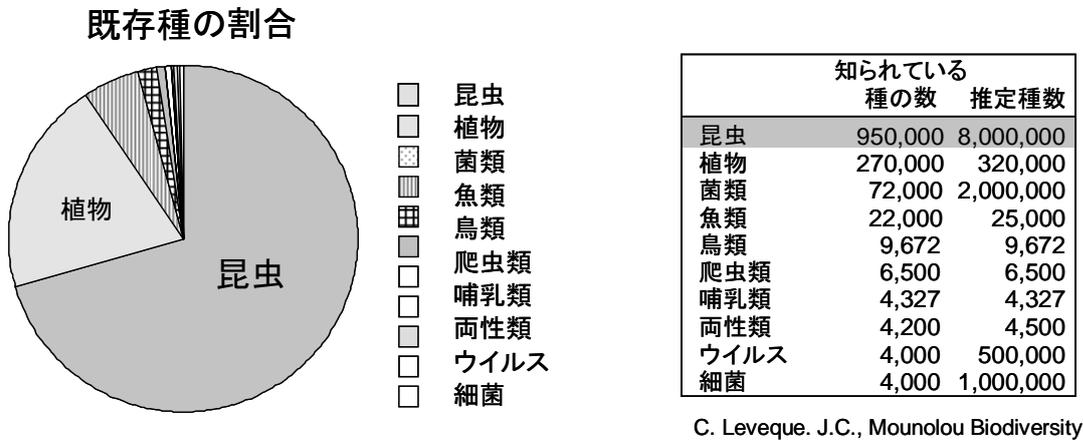
図一4

バイオマス資源の分類



中村太和,『環境・自然エネルギー革命』,日本経済新聞社, 2010年をもとに作成

図一5



出典：保全生物学 Andrew S. Pullin

図一6

世界で昆虫食として活用される種

<p>中国 セミ ハチ アリ バッタ カイコ サクサン カミキリムシ ゲンゴロウ ガムシ タガメ シロアリ カメムシ ゾウムシ タケツトガ ゴミムシダマシ ゴキブリ サソリ ムカデ 冬虫夏草</p> <p>タイ タイワンタガメ ツムギアリ ツチイチゴ ミツバチ スズメバチ タイワンオオコオロギ タケツトガ ゲンゴロウ ガムシ</p>	<p>東南アジア諸国 バッタ コオロギ ケラ カマキリ ゴキブリ ナナフシ ハチ ツムギアリ セミ タガメ カメムシ ミズムシ ゲンゴロウ ガムシ ゾウムシ カミキリムシ センチコガネ コガネムシ カブトムシ タマムシ カイコガ スズメガ ボクトウガ タケツトガ シロアリ トンボ ギンバエ</p>	<p>オーストラリア ウィッチェティ・グラブ ブゴングガ ミツツボアリ ハリナシバチ カミキリムシ幼虫 アブラムシ カイガラムシ キジラミ ケムシ イモムシ ゴキブリ バッタ シラミ コオロギ</p> <p>パプアニューギニア ヤシオオサゾウムシ幼虫</p>	<p>北米 バンドラ蛾幼虫 ミギワバエ バッタ ミツツボアリ モルモンコオロギ ウシバエ幼虫 ノミ ケモノジラミ アリ セミ ヤゴ タガメ カミキリムシ幼虫 ハチの子 ガガンボの子</p> <p>メキシコ ボクトウガ幼虫 セセリチョウの幼虫 アリ バッタ ミズムシ</p>	<p>ヨーロッパ バッタ セミ カミキリムシ幼虫 アカヤマ アリ</p>	<p>アフリカ ヤママユガ幼虫 セセリチョウ幼虫 シャチ ホコガ幼虫 スズメガ幼虫 ヤガ幼虫 バッタ シロアリ ミツバチ アフリカオオコオロギ ヤシオサゾウムシ幼虫 カブトムシ幼虫 カ ハエ コガネムシ幼虫 ゲンゴロウ ゴキブリ カミキリムシ幼虫 タガメ トンボ幼虫 セミ アリ ハゴロモ カマキリ スズメバチ ケラ キリギリス ケヨソイカ カゲロウ カメムシ</p>
---	--	---	--	---	---

出典：吉村浩一・内山昭一
「昆虫食・昆虫料理をめぐる心理的要因の検討に向けて」
Hosei University Repository 文学部紀要第59号 23-34 をもとに作成

図一7

昆虫の蛋白質、脂質等の含有率(%)

体組成(蛋白質、脂質含有量)比較(百分率:乾燥ベース)

昆虫の栄養価 (乾燥ベース)	ツヤケシ オオゴミムシダマシ 幼虫	オオチャイロコメノ ゴミムシダマシ	チャイロコメノ ゴミムシダマシ (幼生)	チャイロコメノ ゴミムシダマシ (成虫)	ハチノススズリガ	カイコ	オウシュウ イエコオロギ (成虫)	オウシュウ イエコオロギ (幼生)	ミミズ
蛋白質	43	44	43	50	28	51	55	58	64
脂質	38	40	31	11	50	8	18	13	10
その他	19	16	27	39	21	42	27	29	26
	100	100	100	100	100	100	100	100	100

出典:

Mark D. Finke, Complete Nutrient Composition of Commercially Raised Invertebrates Used as Food for Insectivores, *Zoo Biology*, 21:269-285 (2002)をもとに作成

図一8

昆虫の脂肪酸組成(%)

TABLE 1. Fatty acid composition (% of total) of melon and sorghum bug oils compared with oils commonly used in Sudan*

Oil	12:0	14:0	16:0	16:1	17:0	18:0	18:1Δ9	18:1Δ11	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0	
MBO	0.02	0.33	30.95	10.7	2.43	3.47	46.63	0.46	3.90	0.09	0.23	0.17	0.00	昆虫油
SBO	0.00	0.21	12.22	1.04	0.14	7.27	40.97	0.73	34.53	1.14	0.77	0.23	0.23	
SEO ゴマ油	n.d	0.02	9.76	0.17	0.10	6.17	39.83	0.97	41.43	0.34	0.68	0.17	0.19	植物油
GNO 落花生油	n.d	0.03	10.95	0.10	0.10	3.55	45.83	0.64	29.85	0.10	1.61	1.20	3.43	
SFO ひまわり油	n.d	n.d	n.d	15.2	n.d	n.d	33.1	n.d	51.52	n.d	n.d	n.d	n.d	
CSO 綿実油	0.02	0.92	23.63	0.61	0.20	2.61	17.46	0.92	48.82	0.16	0.31	1.34	0.22	

*Data are means of triplicate results. Abbreviations: n.d, not determined; MBO, melon bug oil; SBO, sorghum bug oil; SEO, sesame oil; GNO, groundnut oil; SFO, sunflower oil; CSO, cottonseed oil. Source: Mariod et al. (2009).

出典: Abdalbasit Adam Mariod, "Insect oils: Nutritional and industrial applications", *Inform*, Vol.22(5),266-268

MBO: メロン害虫より搾油した昆虫油
SBO: モロコシ害虫より搾油した昆虫油

脂肪酸構造表記 ○○:○△○=炭素数:不飽和数△不飽和結合の位置を表す。
例) 12:0=ラウリン酸、14:0=ミリスチン酸、16:0=パルミチン酸
16:1=パルミトレン酸、18:2=リノール酸、18:1Δ9=オレイン酸等

図一9

食性による分類

食物(エネルギー源)

哺乳類	草食	牛 馬 羊 ヤギ
	雑食	豚
鳥類	雑食	ニワトリ カモ
魚類	雑食	イワシ サバ
昆虫類	草食	シロアリ 蚕
	雑食	ゴキブリ ウジムシ
植物	光合成	大豆 トウモロコシ ナタネ ヤトロファ パーム ココヤシ
藻類(植物)	光合成	ボトリオコッカス
	雑食	オーランチオキトリウム

図一10

ゴキブリ、シロアリ、ウジムシ等の体組成比較(%)

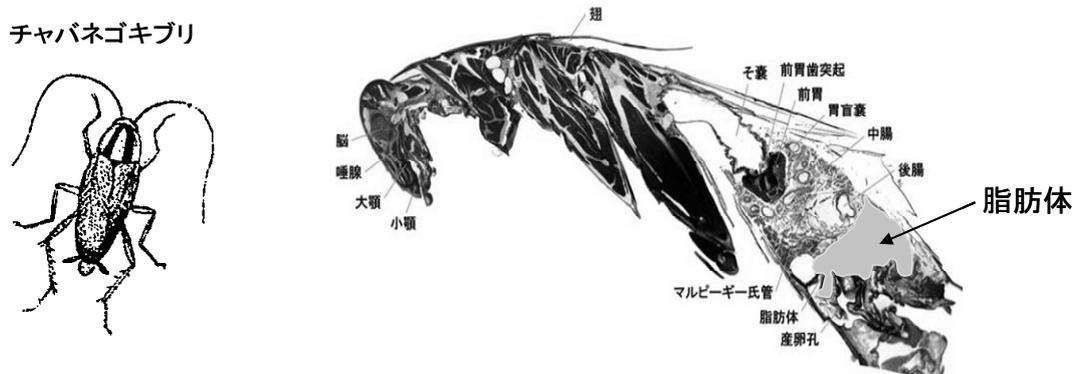
	ゴキブリ (乾燥)	シロアリ (乾燥)	ウジムシ (乾燥)	カイコ (乾燥)	大豆 (乾燥)
水分					
蛋白質	77	40	60	63	40
脂質	21	40	20	15	22
その他	2	20	20	22	39
食性	多食(雑食)	寡食(草食)	多食(雑食)	寡食(草食)	
利用可能な 主なバイオマス	食品廃棄物	未利用材木	家畜排泄物	クワ 人口飼料	/

出典:

- ・Hideaki Tsuji, 三共株式会社, Jap. J. Sanit. Zool Vol.26 No.1 p.1-6(1975)
- ・中村雄己, 佐藤由美, 第42回油脂産業論文, 「雇用と油脂産業」, イエシロアリのデータから
- ・三橋淳, 東京農業大学, Biological Science in Space, Vol.21 No.4(2007)124-128
- ・http://www.wormman.com/cat_roaches.cfm HPより
- ・Mark D. Finke, Complete Nutrient Composition of Commercially Raised Invertebrates Used as Food for Insectivores, *Zoo Biology*, 21:269-285 (2002) をもとに作成

図一11

チャバネゴキブリの断面



出典: David George Gordon,
The COMPLETE Cockroach, 1999

出典 <http://www.t-scitech.net/>
東工大 Science Techno. みらいCANのキッチン事情

図一12

廃棄物系バイオマスの利用状況(%)

			利用	未利用	□ 利用	■ 未利用
廃棄物系 バイオマス	家畜排泄物	約8,700万t	90	10	90	10
	下水汚泥	約7,900万t	74	26	74	26
	黒液	約1,400万t	100	0	100	
	紙	約2,600万t	80	20	80	20
	食品廃棄物	約1,900万t	30	70	30	70
	製材工場等残材	約430万t	95	5	95	5
	建設発生木材	約410万t	90	10	90	10
未利用 バイオマス	農作物非食用部	約1,400万t	85	15	85	15
	林地残材	約800万t	100	0	100	

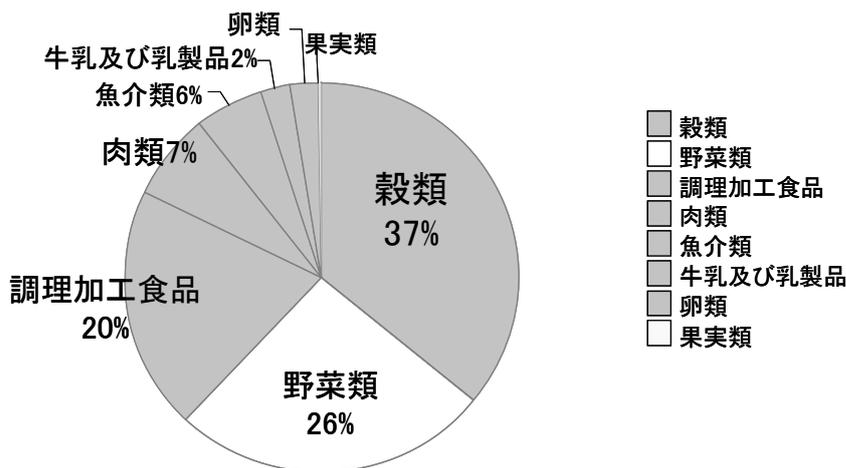
出典: エネルギー基本計画 経済産業省資源エネルギー庁編 (2007)

0% 20% 40% 60% 80% 100%

図一13

平成21年食品ロス統計調査概要 (外食産業調査) 農水省

食堂・レストラン 食べ残し



濃厚飼料分(野菜類を除く)計 約74%

図一14

	パーム油	菜種油	大豆油	微細藻類	ゴキブリ
単収率 (t/ha・year)	6.0 ¹⁾	1.2 ¹⁾	0.5 ¹⁾	47-140 ¹⁾	93 ²⁾

1)財団法人油脂産業会館 油脂原料確保研究会,「油脂原料をどうする」
平成21年4月

2)ゴキブリの単収率 試算条件

幼生で25センチ四方の容器で5千匹飼える情報から、同面積で成虫で500匹は飼育可能と想定した。1haで25センチ区画は16万区画割り当てることができる。3ヶ月周期で収穫できるとすれば、1日当たりおよそ1700区画からの生産物が得られる。したがって、ゴキブリ収穫量は85万匹(=500x1700)、ゴキブリ重さ1匹3gとして2.6トン/日、よって年間930トン収穫できる。搾油率10%とし93トンの収量が可能である。

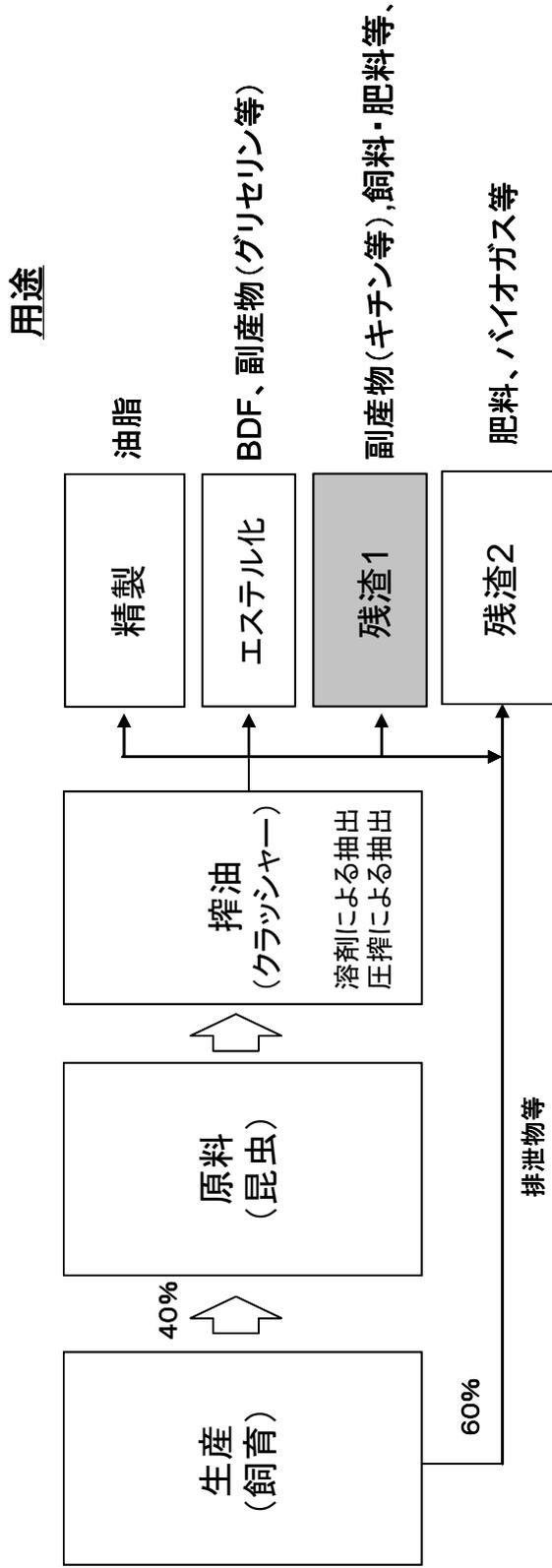
図 15 東京都年間食品廃棄物量(H19年度)121万トンの約1%相当の1万5千トンを活用したプラン

- ケース条件:
1. 廃棄物の委託処理費用 10円/kg、油脂の販売価格 89円/kg。
 2. 昆虫へのエネルギー変換効率は40%。
 3. コキブリからの搾油率は10%。
 4. 設備維持のランニングコストは初期投資の5%。
 5. 人件費は熟練員、飼料化1名、飼育・搾油名程度 計8名分) 9千万円とした。
 6. 設備の初期投資額(飼料化設備費、飼育施設設備費、搾油・精製設備費)は、10億円投資回収期間を約20年とし減価償却額(5千万円/年)とした。

収入									
廃棄物委託処理費による収入	年間	受託処理量(トン)	15,000	受託処理費	10,000円/トン	粗利(百万円)	150		
油脂販売による収入	一日 スケール	受託処理量(トン)	40	受託処理費	10,000円/トン	粗利(百万円)	40		
	年間	コキブリ捕獲量(トン)	6,000	40%変換率計算	10%搾油率	粗利(百万円)	見込み価値 89円/kg		
	一日 スケール	コキブリ捕獲量(トン)	16			粗利(百万円)	14		
総収入									年間203(百万円)

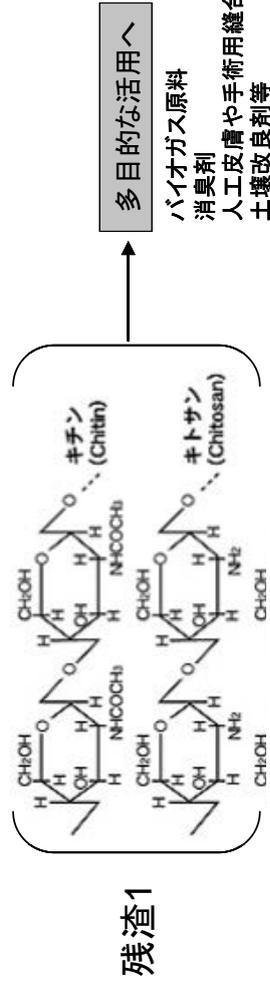
支出									
飼料化	イニシャル	飼料化施設(連結設備)(百万円)	50	飼料化施設は40トン/日の処理能力 処理能力1基1トン/h、5基 x 8hours = 40トン					
飼育	イニシャル	飼育施設(建屋)(百万円)	900	飼育施設の要件 コキブリの1ha当たり、1日の単収量は2.6トンと想定した(資料図13より)。 16トン/日得るためには、延べ約6ha分(1万8千坪相当)の飼育施設を必要とする。					
搾油・精製	イニシャル	搾油・精製設備(百万円)	50	施設の坪単価を5万円/坪で算出し初期投資を9億とした。この施設投資額は、飼育条件を研究し最適化するれば、施設を高層化する等の工夫で、施設の広さ、付帯設備の投資要件も変化すると考えられる。現時点は、想定条件での暫定値として見積った。					
	初期投資額 総計	(百万円)	1,000						
	設備維持費	初期投資の5%(百万円)	50						
	総人件・光熱費	(百万円)	90	搾油・精製設備は16トン/日の処理能力 処理能力1基1トン x 5基 x 3バッチ/日 = 16トン					
	減価償却費 (20年・備去)	(百万円)	50						
総支出									年間190(百万円)
事業利益									総収入(203) - 総支出(190) = 13(百万円)

昆虫資源利用のマテリアルフロー考案図



参考:

- キチン質を含む有機物・有機性廃棄物からの燃料ガス製造法
独立行政法人産業技術総合研究所
特開2007-238733
- キチン質物質を原料とする活性炭及びその製造方法
国立大学法人 宮崎大学
特開2006-225231
- 昆虫キチン質を利用した無機質植物育成剤
個人、実用新案登録第3147087号



平成24年 2 月 2 1 日

〒103-0027 東京都中央区日本橋 3-13-11

財団法人 油脂工業会館

☎東京 03(3271)4307 (代表)

<http://www.yushikaikan.or.jp>