

昆虫食について

－ FAO 2013 報告書を中心に－

管理栄養学科 一色 忍

1. はじめに

国際連合食糧農業機関 (FAO) は、2013 に「Edible insects: Future prospects for food and feed security」(以後 FAO 報告書とする) を公表した。この報告書は、食料や飼料としての昆虫の利用が全世界的にさらに広まり、食料問題の解決の一助となる可能性を示している。報告書の構成は以下のようである。

1. 序論
2. 昆虫の役割
3. 昆虫食の文化、宗教、歴史
4. 資源としての食用昆虫
5. 食料および飼料としての昆虫飼育の環境的側面
6. 昆虫の栄養的価値
7. 飼料としての昆虫
8. 昆虫養殖
9. 食用および飼料のための食用昆虫の加工
10. 食品安全および保存
11. 生活改善の推進役としての食用昆虫
12. 経済性：現金収入、産業推進、市場・貿易
13. 飼料・食料として昆虫を広める
14. 食料安全保障のための昆虫の使用の規則の枠組み
15. 将来に向けて

本稿では、このなかで、6. 昆虫の栄養的価値と 7. 飼料としての昆虫について述べる。

ヒトは雑食動物とされるので、肉食動物であるライオンや反芻動物である牛 (ウシ亜目) などのように、食する対象が肉や草に制約されることがない。雑食動物たるヒトが食料として昆虫を食するのは、世界的にみれば珍しいことではない。FAO 報告書では、世界で少なくとも 1900 種類の昆虫が 20 億人の人々によって食されていると概算している。しかし、現在、我が国のような先進国では、昆虫食は一般的ではなく、限られた地方の伝統食という位置づけとなる。主に山間部が中心とされ、はちの子やいなごを甘露煮にしたり佃煮にしたりする長野県などが知られる。日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂) の肉類に、「はち (はちの子缶詰)」と「いなご (つくだ煮)」が記載されている。しかし、これも地方の土産物店や道の駅で見かける程度である。また、昆虫を食することは、ある種、ゲテモノ食という感も否めない。FAO 報告書は、世界的視点から昆虫食の可能性を展望している。地球的規模で人口増加と食糧問題を考えるとき、昆虫を食料や飼料として利用する機運は高まりつつある。関連する出版物や記事も多く見うけられる。この原稿を執筆中にも「養殖魚の餌 虫が一役」(朝日新聞、朝刊、2017.3.19、28 面) という記事を目にした。

2. 食用としての昆虫の栄養的価値

一口に昆虫といっても非常に種類が多く、そのなかで、食べられる昆虫の栄養的価値についても非常に多様になる。また、ある特定の種類に限っても、昆虫に特有にみられる変態という面からみると、例えば、完全変態をとるアリ、ハチ、甲虫のようものが成長の過

程でとる各段階、卵、幼虫、蛹、成虫の4段階において、その栄養成分は変化すると考えられる。また、それぞれの生息環境や餌の影響による栄養成分の変動も想定される。さらに、調理方法、これは、他の食品も同様であるが、乾燥、煮る、炒めるといった加工も栄養成分に影響する。一般的に昆虫食がおこなわれるところは、発展途上国が多く、FAO報告書では、アフリカなどの例が多くあげられている。一方、我が国のような先進国では、郷土食としての位置づけとなり地域性がある。昆虫食の可能性を探るとき、昆虫の栄養的価値を客観化するためデータを集積しデータベースを構築する試みが重要となる。FAO報告書では、The FAO/INFOODS food composition database for biodiversity が紹介されている。この2010年12月15日に出た資料には、ある種の食用昆虫の栄養的価値が記載されている。食用昆虫の栄養成分のデータは多様であるが、それでも多くの昆虫成分は、文献などから、栄養学的にみて、十分なエネルギー、たんぱく質、アミノ酸を供給し、高濃度の一価不飽和脂肪酸あるいは多価不飽和脂肪酸を含有し、微量栄養素的には、Cu、Fe、Mg、Mn、P、Se、Zn、その他、リボフラビン、パントテン酸、ビオチン、場合によっては、葉酸も豊富であるとされている。

2.1 エネルギーについて

文献によるとメキシコでの78種類の昆虫を対象としたデータでは、100g乾燥重量当たりのカロリーは、293～762kcalの範囲とある。トノサマバッタの例では、598～816kcal/100g乾燥重量の範囲とされている。

図1に、地域別に各種14種類の昆虫のエネルギー量を比較して示した。このデータでは、生鮮物の100g当たりであり、89～1,272kcal/100g生鮮重量の範囲にある。成虫以外に変態の段階の異なるものも含む。ツムギアリの数値が1,272と突出しているのが特徴的であり、それを除くと最大値は、シロアリの535となり、タイ:バッタ、生とタイ:カイコ、蛹が100未満でこの中では一番低い値となっている。外れ値1,272を除いた平均値は220となり、中央値をとると163となる。第1四分位数と第2四分位数の差が38であるのに

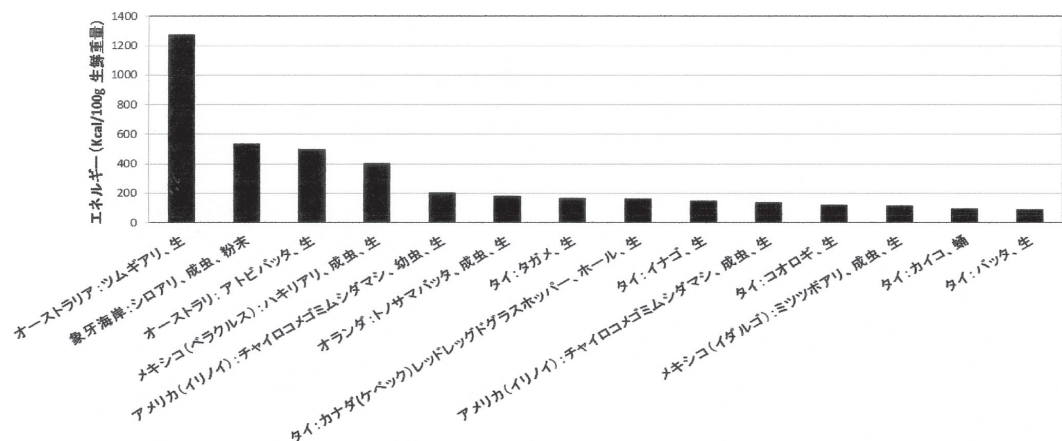


図1 地域別にみた各種昆虫のエネルギー量の比較

FAO 報告書 TABLE 6.1 より作図

対し、第3四分位数と第2四分位数の差が192となり、中央値以上の値にばらつきが大きい傾向となっている。ちなみに、加工品であるので直ちには比較できないが、日本食品成分表2015年版(七訂)にある「はち(はちの子缶詰)」は250kcal/100g、「いなご(つくだ煮)」は、247kcal/100gとなる。

2.2 たんぱく質

たんぱく質の栄養的価値を評価するにあたり、その食品のたんぱく質含量が重要な要素となり、次に、質の問題が重要となる。すなわち、量と質の両者が伴わなければならない。質の問題は、そのたんぱく質の消化性およびアミノ酸組成に依存する。アミノ酸組成では、ヒトが体内で合成できないので、食品から十分に摂取しなければならない8種類の必須アミノ酸が含まれているかどうかによって焦点があてられる。さらに、そのバランスが理想的かは、アミノ酸スコアで評価される。図2は、各昆虫の分類ごとに、成虫と幼虫を含む、粗たんぱく質含量の範囲を比較したものである。ただし、ヨコバイ亜目は成虫、幼虫、卵、ハチ目は成虫、幼虫、蛹、卵、トンボ目は、成虫と若虫(ヤゴ)、バッタ目は、成虫と若虫となっている。全体では、13~77%の範囲となり、一口に昆虫といっても、変態による変動も含め、粗たんぱく質含量は大きくばらついていることがわかる。相対的には、ヨコバイ亜目が、12ポイントの狭い範囲にあるのに対し、ハチ目やチョウ目は、それぞれ、64ポイントと54ポイントと広い範囲にばらついている特徴がみえる。総じて、十分なたんぱく質含量を示していると評価され、動物性たんぱく質にとともに利用すると食品の質を高めることに役立つと考えてよい。

昆虫のたんぱく質含量は種類によりかなり変動するといえるが、図3では、哺乳類、爬虫類、魚類と比較して示す。昆虫1~8の内訳は、表1に示した。

哺乳類、爬虫類、魚類、エビ、イカのたんぱく質含量が、大体、10~30g/100gの範囲にあるのに対し、昆虫はその範囲、あるいは、それ以上と、たんぱく質含量が広範囲にあ

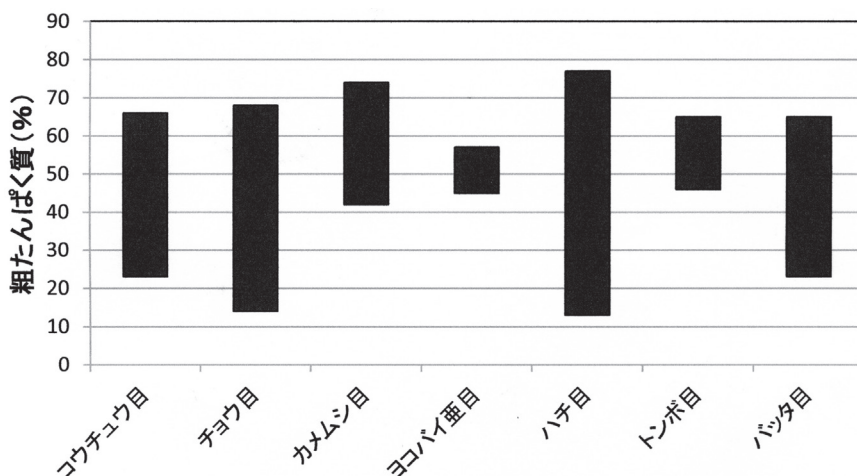


図2 昆虫の分類別の粗タンパク質含量の範囲

FAO 報告書 Table 6.2 より作図

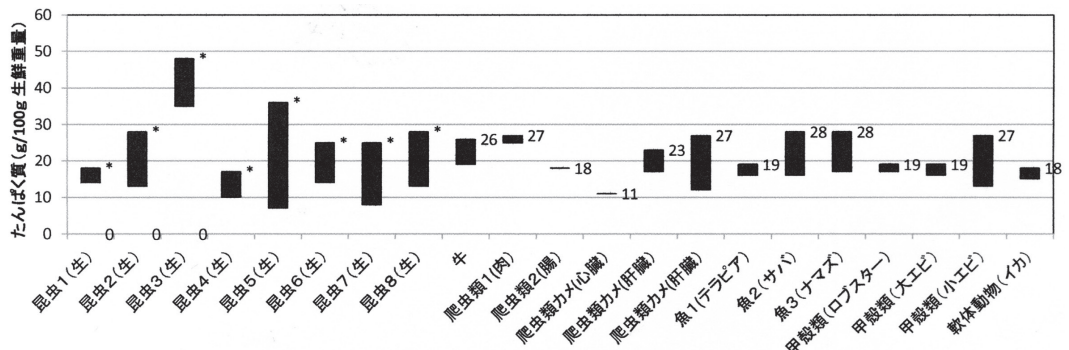


図3 昆虫*, 爬虫類、魚類、哺乳類のタンパク含量の比較

FAO 報告書 Table 6.3 より作図

ることを示している。昆虫のなかでも、図3で昆虫（3）と示した、メキシコで食用とされ、Chapulines と呼ばれるバッタの一種は他に比較し、35～48g/100g 生鮮重量と、相対的に高いタンパク質含量を示し、牛肉を上回っているのが特徴的である。

タンパク質含量は、当然ながら、昆虫が食べている餌によって変動すると考えられる。ナイジェリアにおけるバッタの例では、ふすまを餌にしているものは必須脂肪酸が豊富となり、たんぱく質量も、トウモロコシを餌にした場合の2倍になっている。

次に、昆虫の変態によるたんぱく質量の変化を図4に示す。ナイジェリアのオグン州のバッタの一種の例である。成虫になるまでは、大体、15g/100g 生鮮重量 付近で推移しているが、成虫になると21.4g/100g 生鮮重量 となり増加する傾向がみられる。

表1 図3に示した昆虫の種類

昆虫	種類	学名	可食部
昆虫1(生) イナゴ、バッタ		<i>Locusta migratoria</i>	幼虫
		<i>Acridium melanorhodon</i>	
		<i>Ruspolia differens</i>	
昆虫2(生) イナゴ、バッタ		<i>Locusta migratoria</i>	成虫
		<i>Acridium melanorhodon</i>	
		<i>Ruspolia differens</i>	
昆虫3(生) バッタ		<i>Sphenarium purpurascens</i> (chapulines-メキシコ)	成虫
昆虫4(生) カイコ		<i>Bombyx mori</i>	幼虫
		<i>Rhynchophorus palmarum</i>	
昆虫5(生) パームワーム ビートル		<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	幼虫
		<i>Callipogon barbatus</i>	
		<i>Tenebrio molitor</i>	
昆虫7(生) コオロギ		-	成虫
昆虫8(生) シロアリ		-	成虫

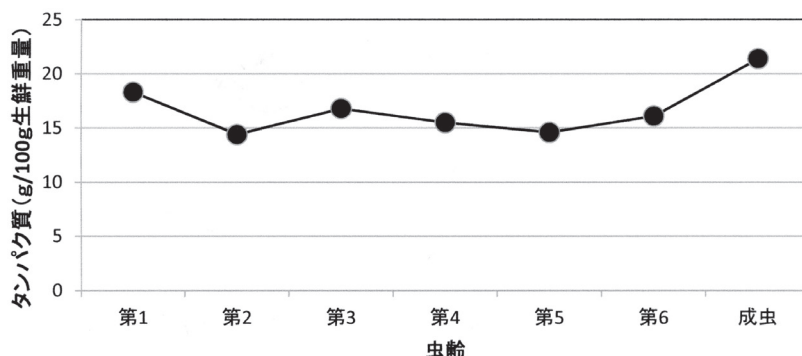


図4 変態によるタンパク質量の変化
 バッタ、生 (*Zonocerus variegatus*) ナイジェリア
 FAO 報告書 Table 6.4 より作図

2.3 アミノ酸

アミノ酸の栄養価は必須アミノ酸のバランスに依存するが、穀類たんぱく質のアミノ酸組成で、第一制限アミノ酸はリジン、トウモロコシでは、トリプトファン、第二制限アミノ酸は、両者ともトレオニン（スレオニン）であることはよく知られている。これを補いアミノ酸スコアを上昇させる補足効果が昆虫にあるだろうか。そこで、FAO 報告書では、ヤママユガ科の毛虫、ヤシオオオサゾウムシの幼虫、水生昆虫などを例としてあげている。これらは、粗たんぱく質 100g あたり 100mg 以上のリジン含有しているということから、補足効果が期待できる。

実例として、アフリカのコンゴでは、リジンが不足した主食に、リジンの豊富な毛虫を補って食することで、栄養価が増した伝統食となっている。同様に、パプアニューギニアでは、リジンとロイシンの不足したイモ類（塊茎）の栄養価が、前述のヤシオオオサゾウムシの幼虫を食することで改善されている。イモ類は、ヤシオオオサゾウムシで不足しているトリプトファンおよび芳香族アミノ酸（フェニルアラニンやチロシン）を補足する。こうして、互いに補足しあって、アミノ酸スコアを高めた伝統食の実績がすでにある。

トウモロコシを主食とする、アンゴラ、ケニア、ナイジェリア、ジンバブエのようなアフリカ諸国で、時に、広範囲なトリプトファンとリジンの不足がおこるが、これにシロアリの一種 (*Macrotermes bellicosus*) が有効という。報告書では、アンゴラで伝統食としてすでにこのシロアリが受け入れられているので、これを利用すべきだという提案がなされている。ただし、微妙なのは、同じ属のシロアリ (*Macrotermes saubyalinus*) でも種が違えばアミノ酸組成が悪く、アミノ酸の補足効果がないようだ。

やはり、アミノ酸組成一つをとってもいえるが、食用昆虫類のアミノ酸スコアの基礎的データベースの構築が急がれる。

2.4 脂質

食品の一般成分の三要素であるたんぱく質、脂質、炭水化物の一翼を担う重要な栄養素である。まず、乾燥重量あたり 38% の高脂質含量で、オレイン酸 (n-9:一価不飽和脂肪酸)

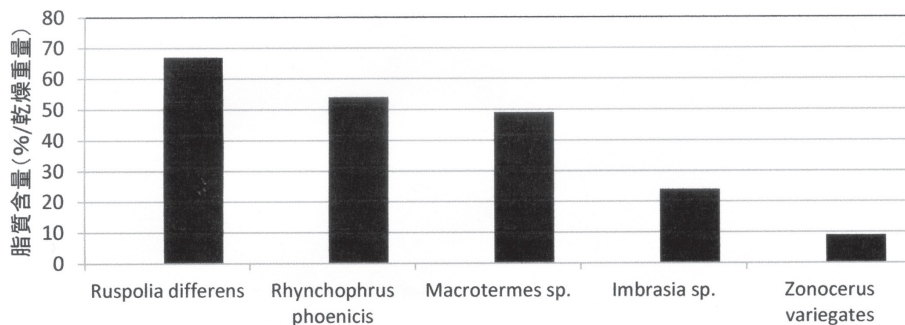


図5 メルーンで消費された食用昆虫の脂質含量
Ruspolia differens : 食用バッタ ; *Rhynchophrus phoenicis* : アフカヤシオサゾウムシ ;
Macrotermes sp. : シロアリ ; *Imbrasia sp.* : ヤママユガ幼虫 ;
Zonocerus variegates : 班入りバッタ
 FAO 報告書 TABLE 6.5 より作図

が豊富な蛾の幼虫が紹介されている。これは、Australia's witchetty grub というもので、広義には、オーストラリアにおいて、大きく、白い、木材を食する蛾や甲虫類の幼虫を指すらしいが、狭義には、ボクトウガ科の *Endoxyla leucomochla* を言う。オーストラリアでユーカリの一種の根に地下深く生息し、原住民アボリジニのデザートであり主食でもある伝統食ということで、高タンパク質、高脂肪の重要な食料となる。興味深いのはその味で、生はアーモンド、調理すると皮はパリッとしたローストチキン風になるとのことである。

図5に、カメルーンで消費される、いくつかの昆虫の脂質含量を比較したものを示す。ある種の食用バッタは、乾燥重量あたり67%もの高い値を示しているが、同じバッタ類でも属が違うと9%に過ぎないので、種類によって、ばらつきが大きい傾向がある。

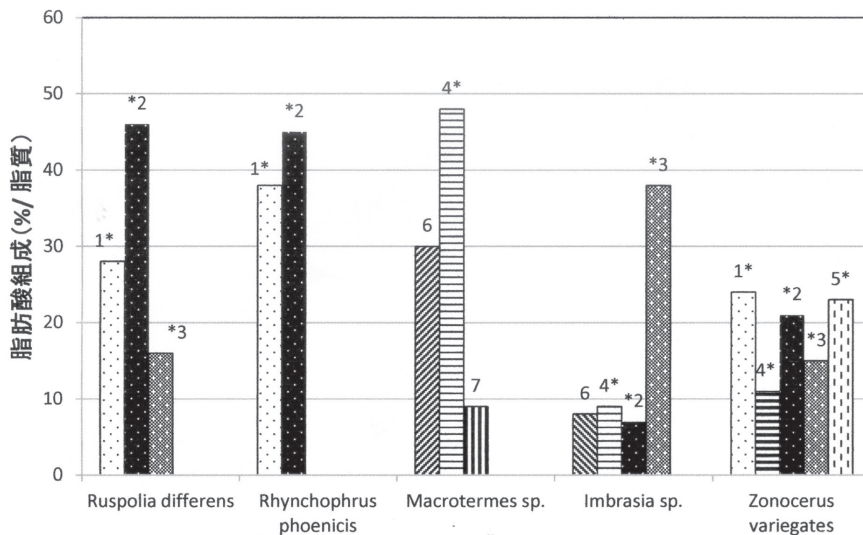


図6 カメルーンで消費された食用昆虫の脂質当たりの主な脂肪酸組成
 1 パルミトオレイン酸 MUFA ; 2 リノール酸 PUFA ; 3 α -リノレン酸 PUFA ;
 4 オレイン酸 MUFA ; 5 γ -リノレン酸 PUFA ; 6 パルミチン酸 SFA ; 7 ステアリン酸 SFA ; 飽和脂肪酸 ; MUFA : 一価不飽和脂肪酸 ; PUFA : 多価不飽和脂肪酸
 学名の日本語表記は図5を参照、FAO 報告書 TABLE 6.5 より作図

図6には、図5の各昆虫の脂質の脂肪酸組成を比較して示す。ただし、脂肪酸は、任意に選択したものとしている。ここでは、食用バッタやヤシオサザウムシは、必須脂肪酸であるリノール酸の比率が高く、シロアリは、オレイン酸の比率が高い。なかでも、ヤマユガの幼虫は、n-3 脂肪酸であり必須脂肪酸の α -リノレン酸の比率が高いのが特徴的で注目される。また、これらの昆虫の脂肪酸組成は、餌の影響を受けることがわかっているのので、今後の養殖などに際しては、留意されるべき点となる。

2.5 微量栄養素

無機質およびビタミン類に代表されるような微量栄養素の不足も発展途上国において、影響が大きい。この微量栄養素の補給面で昆虫が貢献できるためには、昆虫に含まれる微量栄養素が、餌や変態によって影響されることを念頭におく必要がある。また、この微量栄養素の種類や含有量は、昆虫の種類、すなわち分類学上の種や目の違いで広範囲に変動することについての基礎的データも必要となる。昆虫の加工については、加工および精製工程で失われる栄養素を考えると昆虫の固体全体を利用するのも有効である。

2.6 無機質

ヒトの無機質の推奨量(RDIs:25歳男性)とヤマユガの幼虫の無機質含有量(mg/100g乾燥重量)を比較して図7に示す。推奨量に対する比率では、カリウムやカルシウムが20%程度で相対的に低いが、亜鉛、鉄、マンガン、銅は、充足しており、特に、鉄は、31mg/100g乾燥重量を示し、牛肉の、6mg/100g乾燥重量と比較しても優れた鉄の供給源であることを示している。ちなみに、トノサマバッタの近縁のアフリカトビバッタ(*Locusta migratoria*)は、8~20mg/100g乾燥重量の範囲とされているが、これは、餌の影響があるとされる。いづれにしても、このような鉄含有量の豊富な食用昆虫の活用は、鉄不足の問題を抱える発展途上国において有意義である。

亜鉛欠乏も公衆栄養学、特に母子の健康において重要な問題である。図7では、14mg/100g乾燥重量を示し、充足率は、127%となる。一般論として、ほとんどの昆虫は良い亜鉛の供給源とされている。例えば、牛肉は、12.5mg/100g乾燥重量であるが、ヤシオサザウムシ(*Rhynchophorus phonicis*)は、26.5mg/100g乾燥重量である。

2.7 ビタミン類

FAO報告書が示すデータでは、一般的に、昆虫には、ビタミンB₁(チアミン)が乾燥重量100gあたり、0.1~4mg/100g乾燥重量の範囲で含まれ、B₂(リボフラビン)が0.11~8.9mg/100g乾燥重量の範囲とされている。他の食品との比較として、全粒粉パンの、ビタミンB₁が、0.16mg/100g、B₂が0.19mg/100gというデータが示されているので、昆虫は、ビタミンB₁とB₂の供給源として可能性があるとして評価される。

また、基本的に、ビタミンB₁₂は動物性の食品が主な供給源とされている。昆虫は供給源としてどうであろうか。一例として、ミルワームの幼虫(*Tenebrio molitor*)は、0.47 μ

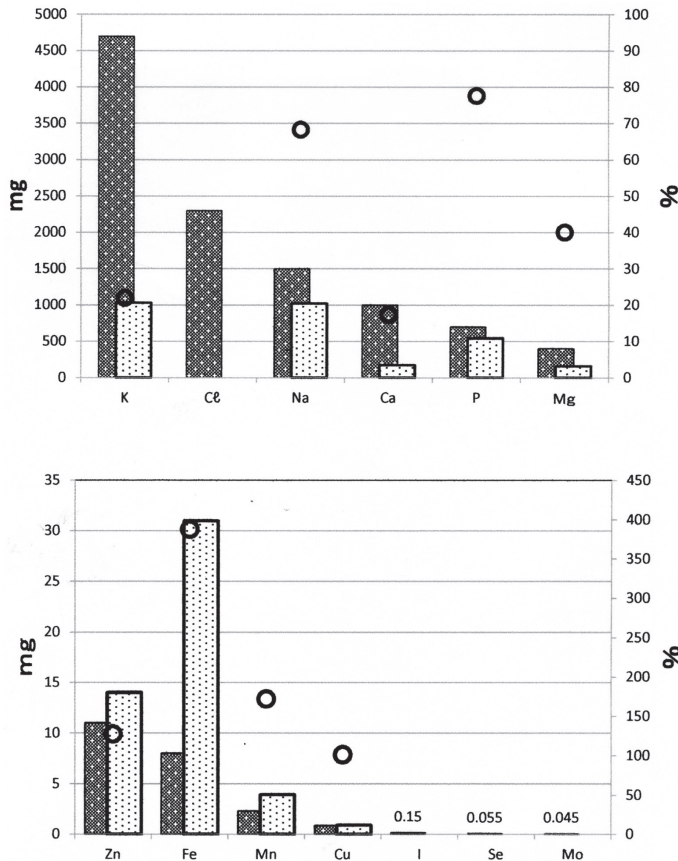


図7 ヒトの推奨量 (DRIs) とヤマユガ幼虫 (*Imbrasia belina*) の無機質含量の比較
 DRIs : recomended dietary allowance and adequate intake,minerals,Food and Nutrition Board,Institute of Medicine,Natinal Academies.
 ■ DRIs □ ヤマユガ幼虫 ○ % (ヤマユガ幼虫 /DRIs)
 FAO 報告書 TABLE 6.6 より作図

g/100g、ヨーロッパイエコオロギ (*Acheta domesuticus*) の成虫で、 $5.4 \mu\text{g}/100\text{g}$ 、若虫 (わかむし) で、 $8.7 \mu\text{g}/100\text{g}$ の含有量となる。しかし、一般的に昆虫における B_{12} の含有量は、きわめて低いとされている。因みに、日本食品成分表 (7訂) 2015年版の「いなご (つくだ煮)」と「はち (はちの子缶詰)」をみると、いずれも $0.1 \mu\text{g}/100\text{g}$ とある。昆虫のビタミンB群の含有量のデータは、現状では不十分といえるようだ。

ビタミンAとして、レチノールと β -カロテンをみるとヤマユガの一種について幼虫のデータがある。レチノールでは、 $32 \sim 48 \mu\text{g}/100\text{g}$ 乾燥重量、 β -カロテンでは、 $6.8 \sim 8.2 \mu\text{g}/100\text{g}$ 乾燥重量の範囲とされる。ミルワームやヨーロッパイエコオロギなどでも含有量は低く、評価に値しないとされている。因みに、日本食品成分表の「いなご」と「はち」についても、微量あるいは0もしくは、値なしとなっていることから期待できそうにない。ビタミンEは、ヤシオオオサゾウムシ幼虫で、 α -トコフェロールが、 $35\text{mg}/100\text{g}$ 、 $\beta + \gamma$ -トコフェロールが、 $9\text{mg}/100\text{g}$ というデータが示されている。また、カイコの凍結乾燥粉末における、ビタミンE含量、 $9.65\text{mg}/100\text{g}$ という数値からも相対的に高いレベ

ルとされる。FAO 報告書で示されているヒトでの推奨量、15mg/日 や日本人の食事摂取基準 2015 の成人の目安量、6.5mg/日 (男)、6.0mg/日 (女) に基づけば、給源としての可能性は十分ある。しかし、実際の製品をみると、加工品として日本食品成分表にあるいなごのつくだ煮とはちの子缶詰については、 α -トコフェロールが、それぞれ、2.8 と 1.0mg/100g。 β -トコフェロールが、微量と 0、 γ -トコフェロールが、0.2 と 0.8mg/100g にすぎない。

2.8 食物繊維

昆虫の食物繊維については、不溶性食物繊維として、外骨格由来のキチンが注目される。昆虫類、特に、ペット用に商業的に飼育されたものについて、キチン含量として FAO 報告書が示すデータは、2.7 ~ 49.8mg/kg 生鮮重量および 11.6 ~ 137.2mg/kg 乾燥重量となり広範囲となる。特に固い外骨格を持つ食用昆虫において含有量が高くなるとされる。キチンは、食物繊維みなしてよいとされるが、FAO 報告書が示すように、熱帯地方の昆虫を良く食する人たちの多くは、キチナーゼ活性を有し、昆虫を食さない西洋の人びとは、キチナーゼ活性を有する比率が低いという事実は興味深い。これはおそらく、腸内細菌叢の問題と思われる。海藻を良く食する日本人の腸内細菌で特にみいだされる *Bacteroides plebeius* という細菌が、海藻の多糖類を分解する酵素を有するという報告があることから、昆虫を日常的に食する食文化の人びとでは同様の現象がおこるとと思われる。

2.9 「牛肉 対「昆虫」：ミルワームの場合

ミルワーム (*Tenebrio molitor*) は、すでにペット用の餌として実績があり、養殖技術がある程度確立していることから、FAO 報告書では、牛肉と比較している。図 8 に示すように、一般成分的には、脂質は、牛肉の方が多く、水分量は、牛肉が少し低い。たんぱく質とエネルギーは、牛肉がわずかに高い値を示している。また、図 9 に示すように、アミ

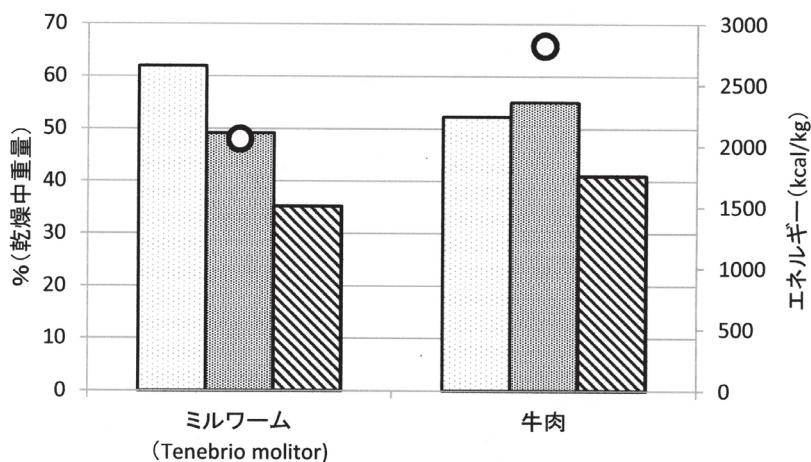


図 8 ミルワームと牛肉のたんぱく質と脂質含量の比較
 □水分 (%) ■たんぱく質 ▨脂質 ●エネルギー
 FAO 報告書 TABLE 6.7 より作図

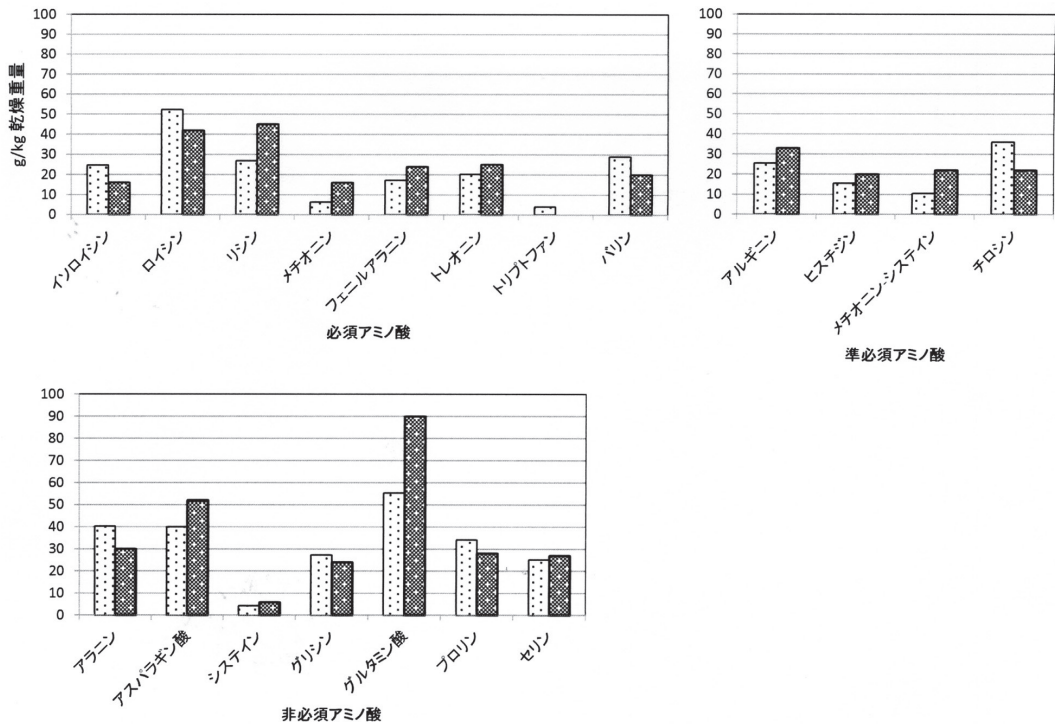


図9 ミルワーム (*Tenabrio molitor*) と牛肉のアミノ酸含量の比較
 □ミルワーム ■牛肉
 FAO 報告書 TABLE 6.8 より作図

ノ酸は、グルタミン酸、リジン、メチオニン、牛肉が多いが、イソロイシン、ロイシン、バリン、チロシン、アラニンは、牛肉の方が少ない傾向がある。

脂質では、パルミトオレイン酸、パルミチン酸、ステアリン酸は、牛肉の方が多く、必須脂肪酸のリノール酸は、ミルワームの方が、牛肉よりかなり多い。一方、ミルワームの成虫のリン脂質の脂肪酸組成の分析例では、パルミチン酸、ステアリン酸、オレイン酸、リノール酸が全体の80%以上を占めている。また、これらの脂肪酸は、幼虫でも同様に高い値とされる。さらに、多価不飽和脂肪酸は、ほとんど、リン脂質として検出されている。無機質含量では、ミルワームは、銅、ナトリウム、カリウム、鉄、亜鉛、セレンにおいて、牛肉に匹敵する。ビタミン類では、ビタミン B₁₂ 以外は、ミルワームは、一般的に牛肉より高い値を示す。

2.10 食材としての昆虫

世界的にみれば、昆虫食は伝統食として位置づけられ、アフリカ、アジア、ラテンアメリカでは、通常の食生活の一部となっている。牛肉、魚、鶏肉などのたんぱく質源として便利な食材が十分に調達できないために、昆虫を食べるというより、そもそも昆虫は重要な食材と考えられており、時には、ご馳走でさえある。先進国にはない食文化が、根強く残っているということになる。FAO 報告書は、この事実が、西欧諸国で昆虫食を

普及させるきっかけになるというわけでないが、食の欧米化によっても昆虫食が消えうせることにはならないと確信するとしている。とはいえ、食の欧米化は、昆虫食への脅威には違はなく、対抗策として、定番の人気食品と昆虫食を融合する試みがある。一例として、メキシコでは、ミルワーム入りでたんぱく質豊富なトルティーヤが珍しくない。

3. 飼料としての昆虫

3.1 家禽について

発展途上国では、この20年間で養鶏産業の急速な発展がみられ、多くの種類の昆虫が飼料に補足的に利用されている。利用される種類としては、バッタ類、コオロギ、ゴキブリ、シロアリ、シラミ、カメムシ、セミ、アブラムシ、カイガラムシ、キジラミ、甲虫類、イモムシ(毛虫)類、ハエ、ノミ、ハチ、スズメバチ、アリと広範囲の種類が利用対象となっている。発展途上国では、たんぱく質の豊富な動物性飼料は、輸入の魚粉や肉あるいは血液由来の成分を含むのが一般的で、植物性では、輸入の油粕や豆類となるが、アフリカのトーゴやブルキナファソでは、養鶏にシロアリが利用されると報じられている。

昆虫の外骨格の多糖類成分であるキチンも注目される。免疫機能を賦活する効果があるかもしれない。これは、養鶏での抗生物質の使用を減らすことにつながり、ヒトへの薬剤耐性菌感染問題解決に寄与することになる。すなわち、オランダでの事例だが、抗生物質添加飼料で生産された鶏肉を消費したヒトにおいて、高薬剤耐性 ESBL 菌 (Expanded Spectrum Beta-lactamase) に感染した場合のリスクが増すことになるからだ。

昆虫利用の具体例として、アメリカミズアブやイエバエのさなぎを養鶏飼料のダイズ粉の代替とする例や養鶏産業の副産物であるカイコのさなぎを、たまご生産養鶏の飼料の魚粉の代替とする例がある。その他、バッタ類とモルモンキリギリス (*Anabrus simplex*) も魚粉とダイズ粉の代替となりうるという。アフリカのコンゴでは、ゴキブリとシロアリからなる粉末飼料が開発されている。従来の魚粉などは、昆虫由来の粉末飼料で十分代替することができるということになる。

3.2 養魚について

養魚の飼料に昆虫をつかうのは世界的にみて一般的でないようだ。FAO 報告書の FIGURE 7.2 にあるウガンダの例では、植物性のものが上位を占め、全体でも動物性の餌は約 11% の漁師が利用しているに過ぎず、15 種類の餌の中で唯一の昆虫はシロアリであり、約 5% の漁師が利用しているだけだ。天然物であることもあり、種々の理由で量を確保しにくいのである。魚粉も約 2% 足らずであるが、これはコストの問題なのか。その他、東南アジアでは、養魚池の照明に虫を集め餌にしている例がある。また、ラオスの例では、アリの幼虫や蛹のように、羽のないバッタやコオロギが魚の餌として利用される。

3.3 飼料とされる主な昆虫

3.3.1 アメリカミズアブ (Black soldier fly)

アメリカミズアブ (*Hermetia illucens*) は、家禽、豚、牛の糞の堆肥に発生し、また、コー

ヒーカすや野菜、蒸留所の廃棄物、魚類の加工の副産物にも幼虫が多く発生する。これは、衛生上、問題視されるかもしれないが、一方では、商業的には、家畜の糞や有機廃棄物の環境問題の解決手段として利用されているといえる。すなわち、その全体量を減らし、水分量や悪臭を軽減するということになる。成虫がヒトの生活圏にくることなく、食品にもたからないという。このアブは、その高い粗脂肪含有率のため、バイオディーゼルに変換することができ、油を回収した残渣からはキチンを回収できる可能性があるとされている。FAO 報告書では、このキチンを飼料に添加することで飼料の機能性を増すことができるとある。

その他に、堆肥の貯蔵で問題となるイエバエの繁殖を減らすとか、堆肥のたんぱく質やその他の栄養素をさらに有益なバイオマスに変換するなどの活用ある。もっとも、一方では、問題となるイエバエそのものを家畜や養魚の飼料にするという考えもある。

FAO 報告書では、さらに、このアメリカミズアブの有用性を強調している。例えば、この幼虫は堆肥のマイクロフローラを改善し有害な細菌を減らす。具体的には、鶏糞堆肥の大腸菌 O157 やサルモネラ菌を効果的に減らすことを紹介している。

驚かされるのは、キンバエ (Green bottle fly) の幼虫 (うじ) がデブリードマン (創傷清拭) に利用され、それが薬剤耐性菌による感染の対策として実用化されているということだ。しかもそれに類似した効果がアメリカミズアブでもあるという。すなわち、幼虫は、キンバエと同様の天然の抗菌性物質を持っているとされる。ちなみに、我が国では、第二次大戦後にアメリカから進入した帰化昆虫とされ、畜舎、ごみ溜め、便所に発生する不潔な昆虫であるとみなされ駆除の対象でしかない。

次に、この有用性の高いアブは、飼料としてはどうであろうか。幼虫は、乾燥重量当たりたんぱく質、42%、脂質、35%を含む。鶏や豚、そして、養魚では、ニジマス、ナマズ、テラピアの肥育において良い成績も示されている。ニジマスの飼料では、魚粉や魚油で30%前後の代替も可能のようだ。幼虫は養魚で餌となる一方、幼虫の養殖において、魚の内臓が幼虫の餌となり、その時の幼虫の成分は、堆肥で育ったものより向上する。

3.3.2 イエバエ (Common housefly)

我が国では、衛生上嫌われるだけであるが、イエバエ (*Musca domestica*) の幼虫 (うじ) は、熱帯地方では、家禽のたんぱく質源として重要とされる。ブロイラー養鶏では、魚粉と代替されるし、有機肥料としての排泄物の蓄積の軽減にも利用される。

アフリカの農村では、家禽があさる天然の飼料になる。FAO 報告書では、アフリカのトーゴやカメルーンで、優れたたんぱく源としてすでに利用されていることが紹介されている。韓国では、実際に飼料に混ぜることによってブロイラーの肥育に効果があるとされ、さらに、ナイジェリアの例も紹介され、結論的には、魚粉飼料に一定量混ぜることによって、代替飼料として全く問題ないとしている。ただし、成虫が病気を媒介するという問題があり、幼虫を飼料とするとき、細菌やカビによる汚染も注視される。解決法としては、幼虫を保存するに際し、水分量を減らし、密閉するという方法が示されている。

3.3.3 シロアリ、カイコ、ミルワーム、バッタ類

シロアリは、釣りの餌や野鳥の捕獲に利用できる。FAO 報告書では、特に、鳥の捕獲の実例がいくつか紹介されている。問題点として、シロアリは飼育が難しいこととメタンを多量に排出することが指摘されている。発展途上国では、飼料としての魚粉の不足と高価格が問題となっている。一方で、養蚕で多量のカイコの幼虫が生産されるにもかかわらず、それを飼料とするための研究は乏しい。FAO 報告書は、カイコの幼虫は、ブロイラー養鶏の飼料として、栄養成分、肥育における有効性や魚粉より安価である経済性などを説き、代替飼料として有用としている。また、ミルワーム（チャイロコメノゴミムシダマシなどの幼虫）はすでに工業レベルで、低栄養の廃棄物で養殖され、ブロイラー養鶏の飼料とされている実績がある。大豆かすなどのたんぱく質源の代替として有望とされている。インドでは、家畜の飼料として、Acridids というバッタが研究されている。飼料コストは家畜を飼育するコストの 60% にもなると試算されている。飼料としてのトウモロコシやダイズが不足するのは、ヒトの食料と競合しているからである。この Acridids（触覚の短いバッタ類）を捕獲するには、農耕地や草原での有害な農薬の制限が伴うことになる。ダイズや魚粉と比較しても高たんぱく質の 4 種類の Acridids があるが、その 4 種類のうちの 2 種類については、大量養殖に必要な条件、容器と温度や光について検討されている。また、排泄される糞の成分については、動物の堆肥と類似していて、同等の利用価値があるとしている。

養魚でも Acridids は有効であり、魚粉だけと魚粉の 50% を代替したものを比較しても遜色ないとしている。日本では、ウズラの飼料としての有用性があるとされ、魚粉の 50% を代替したものと魚粉だけを比較すると前者で卵の生産性は顕著に高くなった。

また、栄養成分の豊富な 2 種類の Acridids について、イネ科の雑草として一般的なセイバンモロコシやパラグラスを餌として養殖することも考えられている。これが一般化されれば、飼料や食料としての代替性が増し、引いては、魚粉の需要供給バランスを改善し市場価格を下げるという明るい展望が示されている。

4. 昆虫の養殖

すでに、動物では、畜産や養鶏、植物では、作物栽培や園芸、林業といった言い方がさされるが、昆虫では新たな発展的な領域となる。昆虫を所定の環境で、すなわち、場所や飼料などを管理して、自然の状態から隔離して育てるということになる。完全な人工飼育と半人工飼育という二つの考えがある。また、英語でいう、rearing と breeding はしばしば混同されるらしい。前者は単に世話をする、育てるというニュアンスがあるが、後者は再生産する、すなわち、繁殖させるという意味合いがある。例えれば、養鰻業において、天然しらすを採取し、それを育てて出荷しているのが rearing で、卵の採取から始まり、完全養殖するというのが、breeding といえる。家畜というと従来的には、ウシ、ブタ、家禽、ヒツジ、ラマ、アルパカ、ヤギ、ラクダ、ウマといったものを指し、ヒトが利用するために、かつ、なんらかの利益を得るために動物を育てるということであり、ペットで

はないということで、このような考えを昆虫にもあてはめることになる。

4.1 昆虫養殖の実際

食べられる昆虫もほとんどは野生ということになるが、商業的に有用であるため、カイコやミツバチのように飼いならされたものがある。カイコは実に5000年ほど前の中国に起源があるとされ、もはや家畜化された状態であり、成虫は、飛ぶこともできず、ヒトの手を借りずに生きることもできない。ミツバチの幼虫やカイコのさなぎは、副産物として食べることができる。インド、ケニヤ、マダガスカルでは、カイコの幼虫やさなぎを食用にしたり、家禽の飼料にするなどの活用が進んでいる。また、ミツバチやカイコ以外にもミルワームやコオロギは、ペットフードとしてヨーロッパや北米、アジアの一部で養殖されている。その他、我が国でも、なじみのあるものに、コチニール色素という食品添加物がある。食品表示ラベルの原材料名の欄で目にされた方もあるだろう。食品衛生法で認められている赤色着色料であり、いわゆるエンジムシという昆虫から得られるカルミン酸という物質が主成分である。このエンジムシ、すなわち、コチニールカイガラムシ (*Dactylopus coccus*) は、ウチワサボテンに寄生するもので、養殖の起源は古く、アテスカやインカ帝国に起源があるとされ、現在やメキシコや南米で養殖されている。

昆虫養殖というと、直接に食用や飼料とされるものではないが、農業分野では、花粉媒介や生物的防除で昆虫が利用され、このような昆虫のある種のもは、世界的に養殖されている。花粉媒介ではマルハナバチやセイヨウミツバチよく知られている。生物防除では、卵寄生蜂や幼虫寄生蜂が利用される。卵寄生蜂では、イネの害虫、ニカメイガの防除に、ズイムシアカタマゴバチなどが注目されている。

地域的にみると、温帯地域では、様々な昆虫が、企業により、食用や飼料として養殖されている。主なものは、コオロギ類、ミルワーム、バッタ類、甲虫類、ハチノスツヅリガ（釣りの餌）、ゴキブリ、イエバエ幼虫などである。食べるという範疇からははずれるが、医学的な利用として、ヒロズキンバエ (*Lucilla sericata*) のうじは、マゴットセラピー（無菌ウジ治療）と称して、創傷清拭（そうしょうせいしき）に有効とされ、イエダニはアレルギー試験用に養殖される。さらに、宇宙食という観点から、中国、日本、アメリカで、昆虫をたんぱく源とする試みがあり、カイコ、エビガラスズメ（スズメガの一種）、シロアリ類を対象としている。ペットなど観賞用に養殖される例もある。中国でコオロギの鳴き声を楽しんだり、闘蟋（とうしつ）と称して闘わせたりする文化がある。我が国や東南アジアでは、クワガタムシやカブトムシを飼育して楽しむため養殖販売されている。西洋にはない文化である。

4.2 産業として

熱帯地域のタイ、ラオス、ベトナムなどでは、飼料のみならず食用としてのコオロギの養殖も盛んである。コオロギもいくつかの種類があるが、やはり味などの品質がよいものが優先されるようだ。養殖技術は、これらの国で色々と伝統的な方法で工夫されており、

FAO 報告書では、経済的にコストがかからないような色々な工夫や技術が紹介されていて興味深い。しかし、大規模で高度に工業化されているとはいえない。

温帯地域においても昆虫養殖は、家族経営的なものが大半を占める。ミルワーム、コオロギ、バッタ類が、狭い空間で、温湿度と照明等の調節のもと、大量に養殖されている。

工業国でなら、昆虫全体、あるいは、たんぱく抽出物にしても高品質のものが生産可能となるであろうが、高品質のためなら高い生物学の知識、様々な養殖条件、人工的な餌の組成が必要となる。すなわち、餌によって、食用としての昆虫の栄養価も増し、照明条件による増殖も可能となる。昆虫を広くヒトの食用として普及させるためには、高品質で、より高度な養殖技術の確立が不可欠であり大量生産性と養殖の自動化などが課題となる。FAO 報告書では、養殖の自動化という視点から、それに適応するかどうか昆虫の様々な生態、性質を整理して表 (TABLE 8.1) に示しているが、大量生産や自動養殖に適した生態や性質を持ち、かつ、食用や飼料としてふさわしい味覚や成分を有する昆虫の選抜や育種が課題となる。コストの問題や経済性も伴う。現在、それらの条件に適う候補とされているのが、飼料としてのアメリカミズアブ、食用と飼料の両方に適するイエローミルワーム (*Tenebrio molitor*) である。ここで、もう一度、家内工業的な養殖に目を向けることにする。養殖の自動化や大規模化ということも必要であるが、一方では、熱帯地域における、家内工業的で伝統的な小規模養殖も存在意義がある。餌は地元で調達することができる。有機廃棄物を餌として有効利用できることなど評価できる部分もある。昆虫養殖技術のさらなる情報共有や教育もあるべき姿である。教育機関でもっと昆虫養殖の可能性や意義を啓蒙するべきだということになる。現行の家畜と同等なレベルに到達することができるのだ。実際、ラオスでは、このような試みがなされている。昆虫が飼料や食料の材料となったりしていくためには、生産と廃棄の流れという面で検証する必要がある。この点はまだ研究の余地がある。コスト削減、地産地消、品質と供給の安定性、そして、農薬や抗生物質残留がないことなどが望まれる。食品は安全性が一番である。昆虫養殖において、畜産業における抗生物質やホルモン剤の乱用の問題を教訓にしなければならない。その他、病気対策、ヒトへ病原体の感染、アレルギー問題、衛生基準などへの対応が必要となる。

5. おわりに

栄養的側面からみて昆虫の食材としての可能性は大きいですが、現在でも発展途上国の一部にみられるように、昆虫の外観がそのまま残るような調理法では、先進国の食文化からみても世界的規模での普及にはまだ抵抗が大きいと考える。我が国の現状からすると昆虫そのものを直接的に食材にして料理するのではなく、家畜や養魚の飼料として二次的に利用するという方向性により将来的展望が拓けるのではないだろうか。ところで、よく知られているいなごの佃煮やはちの子を口にされた方は珍しくないかもしれないが、昆虫料理のそのものの愛好家は少なからずいて、最近目にした、「昆虫 おいしく 旬 いかした多彩レシピ」(朝日新聞、朝刊、2017.10.2、7面) という記事では、メイン食材にモンクロシャ

チホコ（通称サクラケムシ）の幼虫などを調理して昆虫食を味わうイベントが紹介されていた。また、宗教民族学者の山田 仁史（やまだひとし）氏が「食タブー集団線引きの論理」（リレーオピニオン、肉食考 13、朝日新聞、朝刊、2017.10.3、15 面）のなかで、犬肉食について、「昆虫食が見直されているように、犬肉食が大事にされてもいい。」などと述べていた。このように、昆虫食は、話題性があり、興味がある方は、参考資料にあげた書籍を参考にさせていただきたい。

参考資料

- 1) Edible insects - Future prospects for food and feed security - , <http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf> (2017/6/1 取得)
- 2) 内山照一：昆虫食入門、平凡社、2012.
- 3) 三浦淳 編著：虫を食べる人びと、平凡社、2012.
- 4) 水谷美咲、内山照一：人生が変わる！特選昆虫料理 50、山と溪谷社、2014.
- 5) 水野壮 監修：昆虫を食べる！ - 昆虫食の科学と実践 - 、洋泉社、2016.
- 6) 三橋淳：世界昆虫食大全、八坂書房、2008.
- 7) アメリカミズアブ・アメリカミズアブ幼虫：https://de.wikipedia.org/wiki/Hermetia_illucens (2017/6/16 取得)
- 8) イエバエ・イエバエ幼虫；
<https://de.wikipedia.org/wiki/Stubenfliege> (2017/2/16 取得)