

【最優秀賞】

昆虫養殖におけるメリットと課題

板倉 賢希, 田中 芙侑奈

岐阜大学応用生物科学部生産環境科学課程1年

要旨

本レポートは、飢餓や環境負荷軽減等を緩和する希望のある昆虫食事業の起点となる昆虫養殖について、企業、法人へのアンケートや先行研究を通じて昆虫養殖のメリットと課題を明らかにしようとするものである。また、明らかとなった課題に対して解決策を考察する。

キーワード：昆虫養殖, 飼料変換効率, アニマルウェルフェア

1. はじめに

2019年に発表された国連の新たな報告書によると、30年後の2050年に世界の人口は、約97億人にのぼる見込みである¹。急激な人口増加による大きな課題の一つに、食糧問題がある。2021年7月に、世界食糧計画(WFP)や食糧農業機関(FAO)などの国際機関が、6億6000万人が飢餓に苦しんでいると発表した²。そこで、飢餓問題の打開策として注目を浴びているのが、昆虫食である。昆虫食は、栄養価、養殖時における環境負荷軽減など様々な面で利点が挙げられる。

昆虫の多くは不飽和脂肪酸やタンパク質、ミネラルを豊富に含んでおり、食肉に代わる動物性タンパク質源として注目を集めている。例えば、1匹分の重量が軽いため十分な栄養素を摂取するには、多量の昆虫を摂取しなければならないが、同じ重量の牛肉と比較しても昆虫の方が高タンパク、低脂質である。生の状態で100gあたりのタンパク質含有量は、牛肉が19~26gであるのに対し、バッタは35~48g、コオロギは約60gと、どちらも牛肉を大きく上回っている³。このように、多くの栄養を含み、健康的である食用昆虫は次世代のスーパーフードとも言われている。

このように昆虫食は食糧問題において注目されているが、普及はしていない。昆虫食を

¹ 2019年6月に国連が発表した「国連世界人口推計2019年版」に基づいている。

² 2021年7月に5つの国連機関(FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO)が共同で制作し、発行された「世界の食料安全保障と栄養の現状(The State of Food Security and Nutrition in the World Report: SOFI)」に基づいている。この統計は新型コロナウイルスによる影響も含んでいる。

³ FAO Forestry Paper, 171 (2013)を参考にした。

昆虫養殖におけるメリットと課題

広めるためには事業の起点となる昆虫養殖を畜産業のように発展させる必要がある。そこで、昆虫養殖の現状を調査し、メリットと今後の課題について考えてみた。

2. アンケート結果

今回、昆虫養殖を調べるにあたって、株式会社グリラス⁴様と特定非営利活動法人 ISAPH⁵様にアンケートの協力をいただいた（以下敬称略）。グリラスは、自動飼育システムやゲノム編集技術のテクノロジーを用いて、コオロギの飼育をしているベンチャー企業である。そこで、飼育に関わるテクノロジーや、事業のメリット、課題を知ることが目的にアンケートを行った。ISAPHは、ラオスにおいて食用昆虫の養殖を普及することを目指している法人である。そこで、主にラオスでの食用昆虫の飼育状況や日本との環境の違いについて知るためにアンケートを行った。表 1,2 は行ったアンケートとその回答をまとめたものである。

表1. アンケート結果（株式会社グリラス）

	質問	回答
1	昆虫養殖における寄生虫や細菌などの危険性の有無、また、衛生管理で大事にしていることがあるか。	コオロギに特異に寄生する細菌等で、人間に特に重大な危害を及ぼすものは承知しておりません。また、弊社では、加工工程において全てのコオロギを殺菌処理しておりますので、弊社で販売しているコオロギ原料は、ほぼ無菌状態になっています。衛生管理において大事にしている点は、一般の食品と同じで、大腸菌等の増殖による食中毒の防止や、頭髮その他の異物混入対策といったところになります。
2	昆虫のゲノム編集は他の家畜と比べて簡単か否か。	他の家畜のゲノム編集がどれくらい大変かを承知していないので、お答えを控えさせていただきます。
3	ホームページで「高度な品種改良」を推進していくと書いてあったが、現段階では、どこまで進んでいるのか。	現在、自社の研究施設を立ち上げ、経済産業省からの補助金等を活用しつつ、研究開発を進めているところです。
4	昆虫養殖という事業は参入しやすいか。	個体が小さく、設備投資も少なく、臭いや糞尿等の問題も軽微であることから、他の畜産業と比較すれば、参入はしやすいのではないかと思います。
5	実際に昆虫養殖をしている視点から見える昆虫養殖のメリットや課題はどのようなものがあるか。	メリットについては、弊社HPでお示ししている通り、他の家畜と比較したときの環境負荷の低さがあると考えています。弊社としては、今後、人口増加が続き、動物性タンパク質の世界的な不足が見込まれる中、環境負荷が小さい良質な動物性タンパク質を、コオロギによって供給していきたいと考えています。課題については、生産コストの高さが挙げられると思います。コオロギ養殖は、まだまだ歴史の浅い産業なので、技術革新も進んでおらず、作業のかなりの部分が人手に依存しています。このため、必然的に、十分に機械化が進んでいる他の農畜産物と比較して割高な食品となってしまっています。動物性タンパク源として食用コオロギを広く普及していくには、このコスト面の課題を解決することが必要不可欠と考えています。

⁴ 株式会社グリラス (gryllus.jp/) は、徳島大学の基礎研究をベースに、コオロギの可能性を社会に実装していくことを目的として 2019 年に創業したフードテックベンチャーである。

⁵ 特定非営利活動法人 ISAPH (isaph.jp/) は、開発途上国の人々が予防できる病気等から自衛できるように保健医療協力を実施する団体である。

表2.アンケート結果（特定非営利活動法人ISAPH）

	質問	回答
1	昆虫を養殖するにあたってどのようにして、良質な衛生環境を保持されていますか。また、養殖虫と天然虫とのリスク(病原菌や寄生虫等)の違いを教えてください。	私たちは、日本のような環境の整った場所ではなく、ラオスの農村部での養殖を行っています。以下の養殖環境とも関連しますが、そのような背景から、病原性のある微生物や寄生虫などを十分に隔離できてはいないと思っています。そのため、養殖した昆虫を食べる場合には必ず加熱することを原則としています。また病原性のある微生物や寄生虫への感染が「自然界の循環の中で起こるケース」については、養殖は生態系とは違う生産サイクルですから、安全と言える部分もあるかもしれません。昆虫に感染・寄生する病原性生物が十分に知られているわけではないと思いますので、その辺りは気をつけて周知するようにしています。
2	現在ラオスで制定されている規格にはどんなものがありますか。また、実際に養殖や販売をされていて、今後定めておくべき基準など気になる点があれば教えてください。	残念ながらラオスに、日本のHACCAPのような認証があるわけではありません。そもそも、昆虫を「食品」として輸出入出来る国も限られていると思いますから、そういった規格を作ることがこれからの社会の課題だと思います。ただ私たちは、ラオスという国のなかで「もともと昆虫を食べている農村部の住民たちが、自分たちの生活・栄養のために養殖をする」という建付けで事業を行っていますので、今の事業の中で、規格を開発しようとはしていません。
3	日本の養殖場では温度や湿度の管理が可能な設備になっており、年中飼育ができますが、ラオスではどのような飼育環境で養殖されているのでしょうか。	上述したように、ラオスの事業は産業としての昆虫養殖ではありませんから、温度や湿度を管理して、大量生産を目指した養殖設備になっているわけではありません。むしろ、自宅の一角で、自分の空き時間を使って昆虫を育てていますよ。ラオスは熱帯/亜熱帯地域で、寒くても15℃くらいですので、効率は多少変わりますが、一年を通して養殖することができます。
4	食用昆虫の養殖におけるメリットやデメリット、今後の課題やその解決案などがあれば、教えてください。	昆虫養殖については、まだまだ実践が足りないのが現状です。大量生産や産業としてある種の成功を見せているのはコオロギくらいで、もっともっと美味しい昆虫が自然界には潜んでいます。しかし、私たち先進国の人々は虫たちを「害虫」として処分する方向に文明を発達させてきたので「効率的な養殖技術」の知見がまったく十分ではありません。タガメなんかはとても美味しいのですが、殺虫剤に非常に弱いので養殖はとても難しいです。そのような点が解決された後には、食用昆虫の、昆虫養殖の良いところや課題がもっと見えてくると思いますよ。

アンケートにより、昆虫養殖におけるいくつかのメリットと課題が分かった。ここからは、得られたメリットや課題の意見を部門ごとにまとめ、課題に関しては解決策を考察していく。

3.昆虫養殖のメリット

3-1.衛生面（該当箇所：表 1-1, 2-1）

昆虫養殖のメリットとして、野生下よりも衛生的である点が挙げられる。昆虫食において、野生下で採取した昆虫と、養殖下で育てられた食用昆虫を比較すると養殖の食用昆虫

の方が安全であると考えられる。表 1-1 に「弊社では、加工工程において全てのコオロギを殺菌処理しております」とあるように、グリラスの養殖場で育成され、販売されている食用昆虫はほとんど無菌状態を保っている。また、養殖の事例がある昆虫の種に、今のところ、人に害のある寄生細菌や感染症は認められていない。

養殖設備の整っていないラオスの農村部の養殖場では、日本のような殺菌処理は行っていないが、食する際は必ず加熱処理を行うことを原則としている。表 2-1 に「病原性のある微生物や寄生虫などを十分に隔離できてはいないと思っています」とあるように、日本国内の養殖場と比較すると、衛生面は劣っているかもしれないが、養殖は生態系とは別の生産サイクルであるので、野生の昆虫と比較すると安全性が高い。

3-2.環境負荷軽減（該当箇所：表 1-5）

表 1-5 やグリラスのホームページより、ウシやブタなどの家畜の飼育と比較すると、昆虫は変温動物であるため、飼料変換効率が高く、昆虫の飼育は非常に環境負荷が小さいことが分かった。具体的には、1kg のタンパク質を生産するために、ウシは 10kg、ブタは 5kg、ニワトリは 2.5kg の飼料が必要であるのに対し、コオロギは 1.7kg と、かなり少量の飼料で生産することができる⁶。体重を 1kg 増加させるのに要する水の量は、ウシが 22000L、ブタが 3500L、ニワトリが 2300L である。昆虫に関してはデータが見つからなかったが、昆虫は体が小さく、ミルワームなど干ばつに強い種もいるので、使用する水の量も減ると考えられる⁷。また、コオロギによる温室効果ガスの排出量は、ウシやブタなどの家畜動物よりも低い傾向にある。反芻動物であるウシで最も話題に上がるメタンガス（CH₄）は昆虫ではゴキブリ、シロアリ、コガネムシしか排出せず⁸、食用昆虫として挙げられることが多いコオロギやミルワームは生産しない。温室効果ガス全体で見ると、昆虫の排出量はウシやブタよりもかなり少なく、排泄物として出てくるアンモニア（NH₃）も排出を抑えて飼育できるという研究結果が出ている⁹。さらに、ウシやブタの飼育に必要な面積ほど、昆虫の飼育には土地を必要としない。そのため、過放牧による森林破壊や砂漠化などといった環境破壊を抑制することができる。

⁶ ウシ、ブタ、ニワトリは Smil, V. (2002)を参考に、コオロギは Collavo et al. (2005)を参考にした。

⁷ ウシ、ブタ、ニワトリに関しては Pimentel et al. (2004)を参考にした。昆虫における水の使用については FAO Forestry Paper, 171 (2013)において言及はあったものの、適切な見積もりはないと記述されている。

⁸ Hackstein and Stumm. (1994)を参照した。CH₄を産出する 3 種は後腸のバクテリアが産出に関係している。

⁹ Oonincx et al. (2010)を参照した。

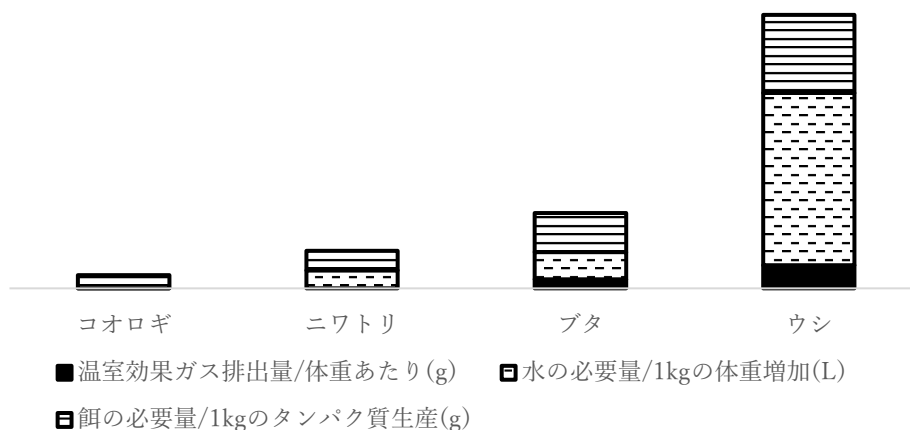


図1：環境負荷の比較

Ooninx et al., (2010), Pimentel et al., (2004), van Huis, (2013).
を参考に著者作成 (脚注10)

10

3-3.飼育の難易度 (該当箇所：表 1-4, 2-3)

表 1-4 に「個体が小さく、設備投資も少なく、臭いや糞尿等の問題も軽微であることから、他の畜産業と比較すれば、参入はしやすいのではないかとあるように、昆虫はウシやブタなどの他の畜産業と比べると、飼育が容易であるといえる。

また、ラオスでは、最低気温が 15°前後であるため、年中通して昆虫の飼育が可能であり、設備投資のコストを抑えられるため昆虫養殖を行いやすい。

4.昆虫養殖の課題

昆虫養殖という事業は近年始まったばかりで、多くの課題がある。そこで、昆虫養殖の課題について、企業・法人から頂いた回答や調べて得た知見を踏まえて考察する。

4-1.昆虫養殖に対する知識・技術不足 (該当箇所：表 1-5, 2-4)

表 1-5 より、グリラスから「コオロギ養殖は、まだまだ歴史の浅い産業なので、技術革新も進んでおらず、作業のかなりの部分が人手に依存しています。このため、必然的に、十分に機械化が進んでいる他の農畜産物と比較して割高な食品となってしまっています。」との回答を頂いた。牛や豚等の歴史のある家畜は、飼育における大量のデータがあるので、機械化が進んでおり、最大限の効率化がなされている。しかし、昆虫は食用とし

¹⁰ Ooninx et al., (2010), Pimentel et al., (2004), van Huis, (2013).を参考に作成した。ただし、コオロギの水の必要量、ニワトリの温室効果ガス排出量に関して記述がなかったため、省いてある。

て飼育されたというデータが少ないので、機械に頼ることがあまりできず、人的資源が多く必要になってくる。このため、昆虫食品は他の農産物より割高になっているようだ。

また、表 2-4 より、ISAPH からも、「私たち先進国の人々は虫たちを「害虫」として処分する方向に文明を発達させてきたので「効率的な養殖技術」の知見がまったく十分ではありません。」と回答を頂いた。確かに、著者の周りでも昆虫を食べられるものだと認識している人は少なく、見ることさえ苦手だという人も多い。昆虫養殖の技術を発達させるためには、昆虫は害のあるものだけではないと人々の考えを変えなければならない。この考えのシフトがなければ、もし昆虫養殖工場を設置するということになった場合、近隣住民からの理解を得ることも困難になると考えられるなど、「効率的な養殖技術」の知見を深めることができなくなる。

4-2.安全規格とアニマルウェルフェア

昆虫は先にも書いた通り、食用として飼育されたことは少ないため、現在の日本では昆虫を安全に食べる、または育てるための規格がない。普通、家畜には飼養衛生管理基準が適用される。牛や豚等の良く育てられる家畜は飼育している際の衛生面の危険性がどのようなものか大抵わかっている。しかし、食用飼育として歴史の浅い昆虫は育てる上でどのような危険性を孕んでいるかよく知られていない。また、メジャーな食べ物ではないため、規格を制定する必要性が低いと考えられている。これらが理由で、日本に昆虫養殖の安全規格がないと考えられる。また、表 1-1 にあるように、「コオロギに特異に寄生する細菌等で、人間に特に重大な危害を及ぼすものは承知しておりません。」とのことであったが、他の昆虫では何かしらの病原体を持っている可能性は十分にある。食用昆虫を広めるためには危険から守るために規格の制定が必要だろう。

また、昆虫にアニマルウェルフェアの考えが必要かという議論もある。アニマルウェルフェアとは、動物の生活とその死に関わる環境と関連する動物の身体的・心的状態である¹¹。なぜ昆虫にアニマルウェルフェアについての議論が必要かという点、昆虫が痛みを受容し、苦しいと感じるかどうかがまだわからないからである。カマキリは鳥などの天敵が近づくと、威嚇行動を示す。この威嚇行動は、侵害刺激とみられる電気信号を与えても起こる。ここで鎮痛効果のあるモルヒネを投与すると、威嚇行動は抑制された¹²。また、このモルヒネの効果はナロキソンで抑制された。ここから、カマキリは哺乳類と類似した神経経路を持っており、痛みの刺激を受容できると考えられる。また、ミツバチが痛みのような嫌悪刺激に対して回避を見せたといった痛みに対する学習能力があることを示す研究結果もある¹³。しかし、刺激を受容しているだけで、昆虫が痛い、苦しいという感情を持

¹¹ 国際獣疫事務局 (OIE) の勧告による定義である。

¹² Zabala, N. A. et al. (1984) を参照した。

¹³ Tedjakumala, Stevanus Rio, and Martin Giurfa (2013) を参照した。

っているということとは別である。国際獣疫事務局（OIE）の定義するアニマルウェルフェアの「5つの自由¹⁴」の中に「恐怖及び苦悩からの自由」と「苦痛，傷害及び疾病からの自由」の二つがある。昆虫の痛みに対する受容がこれらに当てはまるかはまだ議論が必要である。

5. 考察・まとめ

2つの問題点を挙げてきたが、共通する解決策としてやはり昆虫食を目的とした研究を進め、知見を深めるということと、消費者に昆虫食について知ってもらうことが必要だろう。

研究を進めるためには国や公的機関，またはクラウドファンディング等からの援助が必要である。昆虫養殖は新気鋭の事業のため，関わる企業はベンチャー企業が多い。このような企業が昆虫養殖を効率化，また，昆虫食の安全性について知るためにも研究資金が必要である。今回アンケートに協力していただいたグリラスは，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施した2021年度「研究開発型スタートアップ支援事業／シード期の研究開発型スタートアップに対する事業化支援」（NEDO STS 事業）の支援を受けている¹⁵。このように支援が広がれば，昆虫食も，より目にかかる機会が増えるだろう。

昆虫食が現代の問題を解決する可能性のあるもので，メリットも多くあるということを消費者に伝えるためには，教育やメディア等での宣伝が必要であると考え。昆虫食，養殖を広めるとしたら，これからの世代を担う子供たちに知ってもらうことが不可欠である。そこで，昆虫を食べることの嫌悪感を無くすために，特別授業を行ったり，給食に昆虫を混ぜた料理を提供したりすると興味を持ってもらえると考え。ただ，見た目が問題だということもあるので，最初のうちはペースト状にするなど調理にも工夫が必要である。また，大人子供に限らず，イベントを開くことも有効的であると考えられる。昆虫食はまだマイナーな文化なので，珍しいという売りを持っている。この特性は，人を引き付ける魅力を持っている。こうして昆虫食の露出を増やしていけば，昆虫養殖に対する理解も徐々に得られると考え。

6. 謝辞

最後に，本レポートを執筆するにあたってアンケートの回答に協力していただいた株式

¹⁴ 5つの自由は1960年代ごろにイギリスで提唱され始めた家畜に対する動物倫理の考えである。上記で挙げた2つの他に，「飢え，渇き及び栄養不良からの自由」，「物理的，熱の不快感からの自由」，「通常の行動様式を発現する自由」の3つがある（アニマルウェルフェアに配慮した家畜の飼養管理の基本的な考え方についてを参照）。

¹⁵ NEDOとは，持続可能な社会の実現に必要な技術開発の推進を通じて，イノベーションを創出する，国立研究開発法人である。NEDOのミッションとして，エネルギー・地球環境問題の解決と産業技術力の強化があり，NEDO STS事業では，問題解決に向けたシード期の企業へ助成支援をするものである。

会社グリラス様，特定非営利活動法人 ISAPH 様に厚く御礼を申し上げ，感謝の意を表します。

7.参考文献

- ・ Smil, V. (2002), Eating Meat: Evolution, Patterns, and Consequences. Population and Development Review, 28: 599-639.
- ・ Collavo, A. L. B. E. R. T. O., et al. "House cricket small-scale farming." Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails 27 (2005): 515-540.
- ・ Oonincx, Dennis GAB, et al. "An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption." PloS one 5.12 (2010): e14445.
- ・ Pimentel, David, et al. "Water resources: agricultural and environmental issues." BioScience 54.10 (2004): 909-918.
- ・ Van Huis, Arnold. "Potential of insects as food and feed in assuring food security." Annual review of entomology 58 (2013): 563-583.
- ・ FAO Forestry Paper, 171 (2013)
- ・ Hackstein, J. H., and Claudius K. Stumm. "Methane production in terrestrial arthropods." Proceedings of the National Academy of Sciences 91.12 (1994): 5441-5445.
- ・ Zabala, N. A., et al. "Opiate receptor in praying mantis: effect of morphine and naloxone." Pharmacology Biochemistry and Behavior 20.5 (1984): 683-687.
- ・ Tedjakumala, Stevanus Rio, and Martin Giurfa. "Rules and mechanisms of punishment learning in honey bees: the aversive conditioning of the sting extension response." Journal of Experimental Biology 216.16 (2013): 2985-2997.
- ・ 水野壮 (2019) 「家畜化にともなう昆虫の福祉—歴史学・民俗学・生命科学的—考察—」麻布大学雑誌 第31巻 25-34
- ・ アニマルウェルフェアに配慮した家畜の飼養管理の基本的な考え方について (令和2年3月16日付け農林水産省生産局畜産部畜産振興課長通知)