

昆虫等を原料とする新たな養殖飼料の開発

—タンパク質危機回避と水産養殖業の持続性—



国立研究開発法人水産研究・教育機構 理事

生田 和正 (いくた かずまさ)

1988年東京大学大学院農学系研究科水産学専攻博士課程修了。2016年水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所所長、2022年から現職。東京大学生産技術研究所リサーチフェロー。北里大学海洋生命科学部客員教授。内閣府ムーンショット型農林水産研究開発事業「地球規模の食料問題の解決と人類の宇宙進出に向けた昆虫が支える循環型食料生産システムの開発」副PM。JST未来社会創造事業「将来の環境変化に対応する革新的な食料生産技術の創出」研究開発代表者補佐。博士（農学）東京大学。

Point

- ① 世界の人口増加と経済成長に伴いタンパク質の消費が急増し、近い将来需要が供給を上回るタンパク質危機の到来が懸念される
- ② 養殖による魚介類の生産拡大がタンパク質供給に大きな役割を果たすが、飼料原料となる魚粉の供給も頭打ちで高騰を続ける
- ③ タンパク質危機の回避と養殖生産拡大のため、未利用資源である昆虫ミズアブを代替物として利用する研究開発が進められている

1. はじめに

最近、マスコミ等を通じて未来の食料として昆虫食が取り上げられる機会が増えてきた。実際、大手メーカーが乾燥コオロギの粉末を材料に入れたクッキーやせんべい等を販売したり、レストラン等で昆虫を使用したグルメ料理を提供したりするケースが増え、話題を呼んでいる。昆虫食と聞くと、何かゲテモノ食のようなイメージを持つ方が多いかと思うが、かつて我が国では、内陸部の農村地域ではイナゴやハチノコといった昆虫を貴重なタンパク源として利用していた。世界に目を向けてもタイやラオス等東南アジアの農業地域では、昆虫を食材としてさまざまな形で利用しており、昆虫を食べることについてはそれほど奇妙な

ことではない。

世界的に昆虫食について注目されるようになってきたのは、国連食糧農業機関（FAO）が食糧問題の解決策の一つとして報告したことが発端となっており¹⁾、現在、欧米先進国を中心に世界各国ですでに取り組みが始まっている。昆虫は牛や豚といった既存の家畜に比べて、育てる場所や水をさほど必要とせず、生産時の地球温暖化の原因となる二酸化炭素やメタンといった温室効果ガスの排出も極めて少ない。また、現在問題となっている多量の食品ロス^{2), 3)}や食品廃棄物を昆虫生産のための餌として利用すれば、まさに循環型の食料生産システムの実現に大きく貢献する。

2. 世界的なタンパク質を中心とした食料危機の懸念

近年、世界人口の増加および新興国等の経済発展に伴い、近い将来には食料供給全体が逼迫することが予測されており、特に早ければ2025年から2030年には食料タンパク質の需要が供給量を超過し始める「タンパク質危機 (Protein Crisis)」に直面すると警鐘が鳴らされている⁴⁾。タンパク質供給を畜肉生産で増加させるには、飼料となる穀物等の耕地面積の拡大が必要だが、すでに陸上では耕地拡大は限界に達しており、穀物生産の飛躍的な増加は望めない。

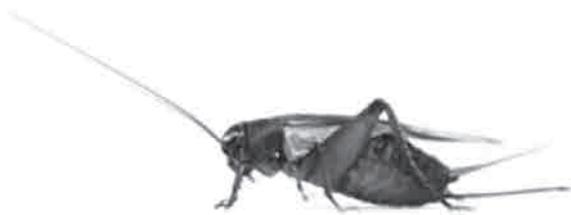
一方、地球上の面積の70%を占める海洋を活用した水産養殖は潜在的に約150億トン（現状の100倍以上）の生産能力を有しているといわれており⁵⁾、未来のタンパク質供給には水産物が果たす役割が重要と考えられている⁶⁾。しかし、水産養殖生産の拡大には、養魚飼料の問題解決が必要であり、魚粉代替タンパク質の開発が喫緊の課題である。現在のシステムは、養魚飼料を魚由来の魚粉および魚油という海洋天然資源に依存した、「魚に魚を食べさせる」という非効率的な生産システムであり、増産の限界に達している。また、養殖生産の拡大による環境負荷も懸念され、国連の推進する持続可能な開発目標 (SDGs) の観点からも海洋生態系に配慮した生産技術の開発が不可欠である^{7), 8)}。

そのような情勢の中、2020年内閣府総合科学技術・イノベーション会議によって、2050年の未来を見据え、最先端の科学技術による破壊的イノベー

ションによって新しい社会を創造することを目標とする「ムーンショット型研究開発事業」が開始された。これは、1970年代に米国が月に初めて人類を送り込んだアポロ計画になぞらえて命名された大型研究プロジェクトで、新規医療技術、AIやロボット技術、地球環境保全技術等、さまざまな目標が設定されているが、未来の食料危機に対応した持続可能な食料生産システムの開発についても目標として位置づけられた。その中で、未利用資源を活用した新たな循環型食料生産システム構築のために、昆虫を新たな食料資源とする「地球規模の食料問題の解決と人類の宇宙進出に向けた昆虫が支える循環型食料生産システムの開発」が開始した⁹⁾。

このプロジェクトでは、お茶の水女子大学、早稲田大学、徳島大学、東京農工大学、長浜バイオ大学からなるコオロギ研究グループと、水産研究・教育機構（水産機構）、農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）、東京海洋大学、人間環境大学、理化学研究所（理研）、東京大学、静岡県水産・海洋技術研究所からなるミズアブ研究グループ、京都大学、山口大学、浜松医科大学からなるシロアリグループで構成されている。コオロギ（種名タイワンエンマコオロギ：図表1）は主に人の食料として、新たな家畜化を目的とした育種、大量生産システム、機能性の探索、未来の宇宙食としての利用、食品としての社会受容性の普及等を目指している。ミズアブ（種名アメリカミズアブ：図表2）は水生昆虫の一種であり、日本にも幅広く分布し、その幼虫は腐食性のため食品廃棄物等に

図表1 タイワンエンマコオロギ



出所：東京農工大学

図表2 アメリカミズアブの成虫（左）と幼虫（右）



出所：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

図表3 オオシロアリ



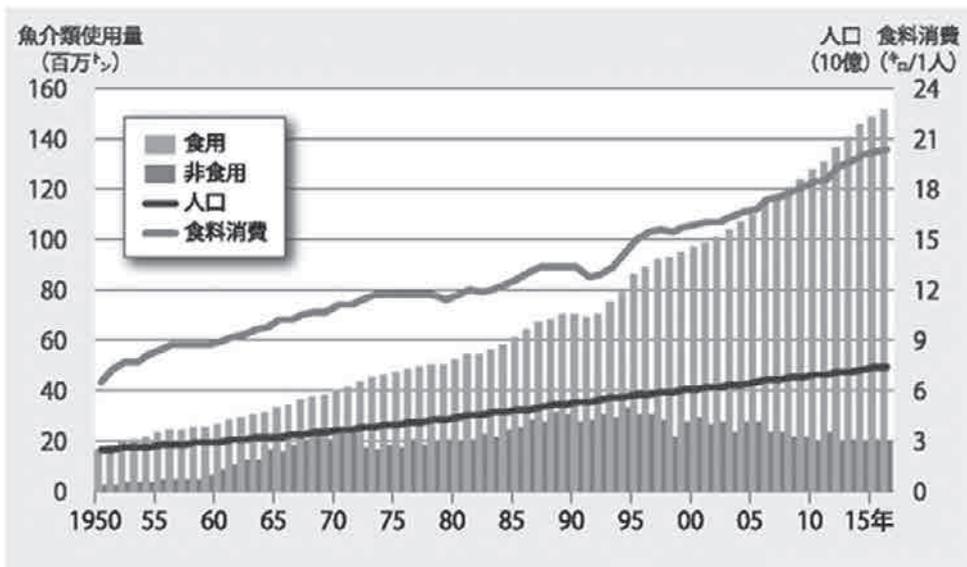
出所：京都大学

よって大量培養し、養殖や畜産の飼料原料とするための育種品種の開発、魚粉代替飼料としての最適飼料設計・製造技術の開発を目標としている。シロアリ（種名オオシロアリ：図表3）は、亜熱帯地域に分布する害虫ではない種で、枯死した林地残材のセルロースを多様な腸内細菌で分解し、タンパク質に変換する機能を持っているため、大量に飼育して畜産飼料に利用することを目標としている。

3. 世界的な養殖生産の拡大と飼料用魚粉の逼迫

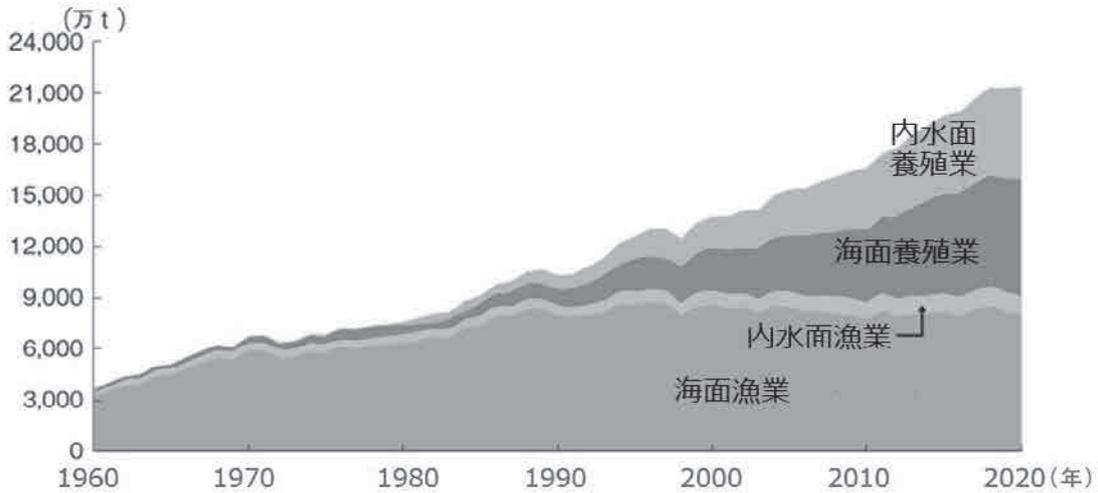
魚をはじめとする水産物は、おいしく健康によい食事として世界的に普及しており、2013年魚食を中心とした和食は、ユネスコ「無形文化遺産」に登録されている。そして、新興国や途上国の経済発展に伴い、世界中で水産物の消費量が右肩上がりに増加している（図表4）。実際、以前は世界で生の魚を食べるのは日本人ぐらいしかいなかったが、今では世界中にスシ・バーが展開され、ア

図表4 世界の水産物使用量と消費量の推移



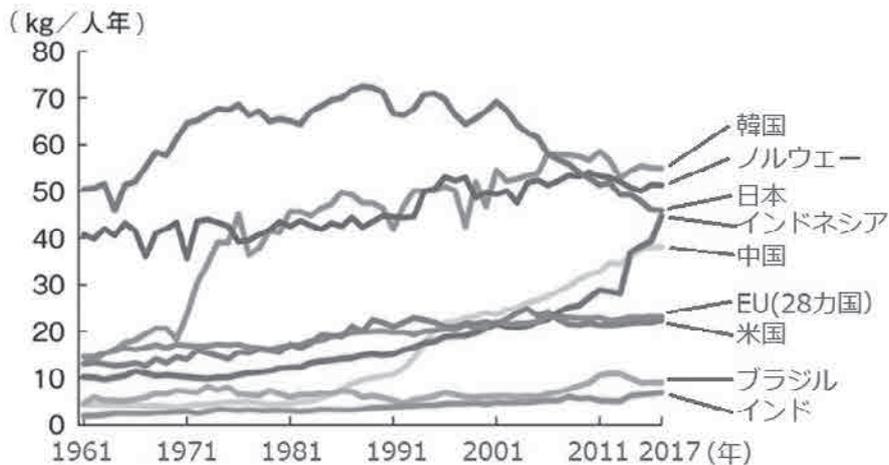
出所：FAO「世界漁業養殖業白書」

図表5 世界の漁業・養殖業生産量の推移



出所：「令和3年水産白書」よりFAO「Fishstat (Global capture production、Global aquaculture production)」(日本以外) および農林水産省「漁業・養殖業生産統計」(日本)に基づき水産庁で作成

図表6 世界の1人1年当たり食用魚介類消費量の推移(粗食料ベース)



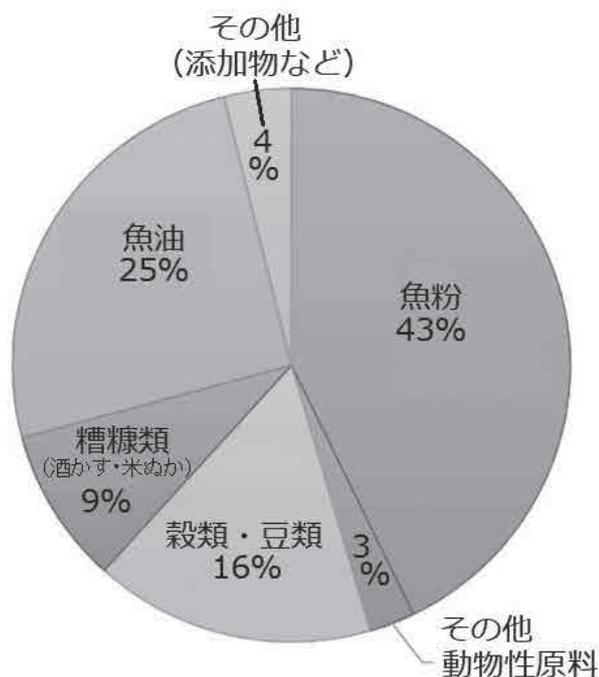
(注) 粗食料とは、廃棄される部分も含んだ食用魚介類の数量
出所：「令和2年水産白書」よりFAO「FAOSTAT (Food Balance Sheets)」(日本以外) および農林水産省「食料需給表」(日本)

ジアでもサンマの塩焼きなど日本食がブームになるほどである。一方、天然魚介類の生産力には限界があるため、1990年代より世界の漁船漁業による漁獲生産量は横ばいとなっており、このような水産物需要の増加を補うため養殖業生産量が急増を続け、現在は漁業生産量を上回るようになっている(図表5)。ノルウェーやチリに代表されるサケ養殖、東南アジアを中心としたエビ養殖、地中海やメキシコのクロマグロ養殖など、世界中で国

際商材を扱うビジネスとして養殖業が拡大している。

我が国は、ブリ、マダイ、クロマグロ等の海面養殖をはじめとする養殖大国として世界をリードしてきたが、最近では世界の趨勢と逆行し、少子高齢化の影響と若年層の魚離れによって水産物消費は減少傾向にある(図表6)。そこで、最近では世界のマーケットを見据えた輸出商材として、水産物の成長産業化の基盤として養殖生産物に大き

図表7 養殖用配合飼料の原料組成



出所：第6回ブリ類養殖振興勉強会（2019年10月29日）
資料5を一部改変

な期待が寄せられている。日本政府は、農林水産業の成長産業化を推進するため、我が国の品質の高い農林水産物・食品の輸出戦略を策定し、2012年に約4,500億円であった輸出額を2020年までに1兆円に拡大することとしたが、目標はほぼ達成し、特にそのうち水産物は3,500億円と優等生であった。これを受け、さらに2030年までに全体で5兆円、水産物で1.2兆円にまで輸出を拡大させようと戦略を更新している。また、農林水産省は2020年「養殖業成長産業化総合戦略」¹⁰⁾を策定し、我が国の養殖生産の拡大を図るための施策を進めている。

一方、養殖産業の発展のためには、解決されなくてはならない多くの課題があり、前述のようにその最も大きな問題は養魚飼料の原材料となる魚粉の供給の逼迫と価格高騰である。最近では、ウクライナ情勢と円安の影響を受けさらに高騰が続いている。魚粉のほとんどは、イワシ類等の天然魚類資源に依存しており、世界の総生産量は年間約500万トンと頭打ちである。すでに世界的な魚粉の争奪による価格の高騰によって、養魚飼料は

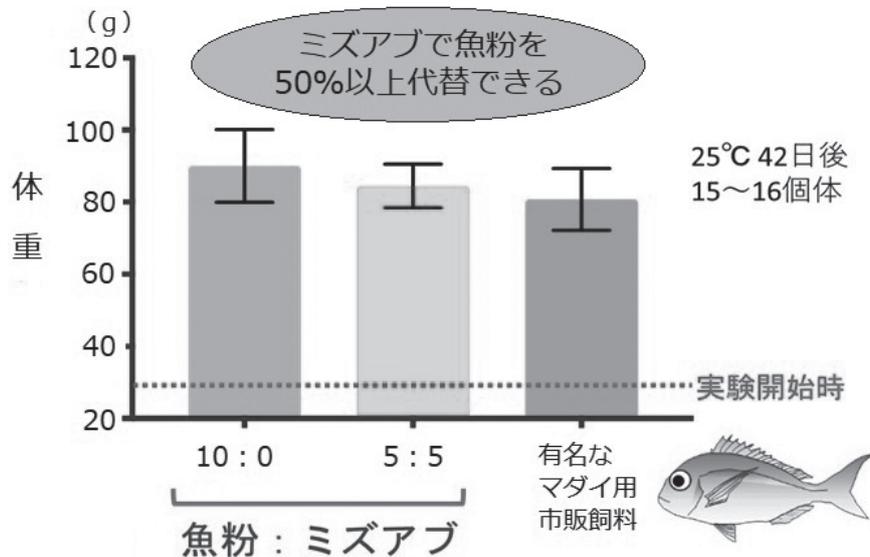
養殖生産コストの60%以上を占めるなど養殖経営にとって大きな負担となっている¹¹⁾。そのため、以前よりダイズやコムギ等由来の植物タンパク質で魚粉を代替する研究開発が進められているが¹²⁾、魚粉と同等の効果を得るためには加工や添加物が必要であるため大きなコスト削減は難しく、また穀物は可食資源であることから農業生産・消費との競合も引き起こすと考えられる。また、海産魚の成育にはEPA、DHA等の高度不飽和脂肪酸が必須であるため養魚飼料原料の25%を魚油が占めるが、これらも現状ではイワシ類等の天然魚を原料としているため、魚粉同様供給が逼迫しており価格が高い（図表7）。

4. 昆虫タンパク質等を活用した養殖飼料開発

養殖飼料に昆虫を利用するという事は何も新しいことではなく、明治以降我が国で盛んに行われていたコイやニジマス等の内水面養殖は、当時基幹産業であった養蚕業で廃棄物として大量に排出されるカイコのサナギを安価な餌資源として利用して拡大した。しかし、養蚕業の衰退と1970年代から大量に漁獲されるようになったマイワシの流通により、養魚飼料原料は魚粉に頼るようになり、1990年代より我が国周辺のマイワシ資源が急減すると養魚飼料は主にペルー等から輸入されるカタクチイワシ（アンチョビー）の魚粉に頼るようになった。さらに、2000年代以降ペルーのアンチョビー資源管理政策や世界的な養殖生産量の拡大により、魚粉の流通量が逼迫するようになり、代替タンパク質の研究開発は喫緊の課題となった。昆虫タンパク質の利用に関しても各国で取り組まれるようになり、我が国でも愛媛大学でのイエバエの幼虫の利用技術開発など研究が続けられている。

昆虫類の脂質にはEPAやDHAといった ω 3高度不飽和脂肪酸が含まれていないが、淡水魚はそれらを生体内で合成することができるためそのまま養魚飼料として活用できる。しかし、海産魚はこれらの不飽和脂肪酸を食物として摂取すること

図表8 魚粉100%、魚粉50%ミズアブ50%、市販養殖飼料を与えられたときのマダイの成長差



出所： <https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr2022/20221004/20221004press.pdf>

が必須である。そこで、天然資源に依存しない養殖飼料を開発するために、EPA や DHA を産生する植物プランクトンである微細藻類を大量に人工培養し、飼料用の必須脂肪酸を製造して飼料に添加する技術開発も同時に実施している。また、昆虫タンパク質は動物タンパク質ではあるものの、魚粉とは必須アミノ酸組成等で異なる部分がある。そのため、各昆虫の詳細な成分分析を行うとともに、魚類の消化・吸収・代謝機能をメタボローム解析と呼ばれる代謝産物の分子変化の詳細解析を行い、海産魚類の栄養要求性に適合した配合飼料の開発を進めている。マダイに魚粉の50%をミズアブ・タンパク質で置き換えた飼料を与えても、成長にまったく遜色がないことを明らかにしている（図表8）。

また、養殖生産の拡大は海洋への環境負荷を助長し、貧酸素水塊、赤潮の頻発や環境悪化による病害虫の発生等を引き起こす可能性があるため、併せて養殖漁場環境の統合管理技術の開発も喫緊の課題である。特に、昆虫タンパク質等を原材料とした飼料を実海域で養殖漁場に給餌したときの海洋環境に与える影響については過去に事例がな

く、養殖飼料の開発と並行して確認する必要がある。漁場底質の酸化還元電位のリアルタイムモニタリングと制御による環境改善技術について水産機構と理化学研究所の共同研究によって着手している。

5. 未来に向けて

ムーンショット型研究開発事業における、昆虫タンパク質や微細藻類由来の高度不飽和脂肪酸といった未利用資源を原材料とした養殖飼料と、養殖漁場環境制御技術を活用した革新的な養殖生産システム開発については、将来的には関係する企業とも連携し、2030年までにはプロトタイプとして個々の要素技術を完成させたい。本プロジェクトで開発される、天然資源に依存しない養魚飼料と沿岸生態系に負荷を与えない養殖技術によって生産された水産物は、持続的生産物としてSDGsの推進に大きく寄与する。特に、最近では欧米マーケットを中心に環境に優しいエコ商品が消費者に選ばれるようになっており、我が国発の新たなデファクト・スタンダードとしてのエコ認証を付与することにより、生産物と生産技術を世界に向け

普及・輸出することができる。養殖生産物の国際競争力の強化と国内外の経済へ、大きなインパクトを与えることができよう。

謝辞

「地球規模の食料問題の解決と人類の宇宙進出に向けた昆虫が支える循環型食料生産システムの開発」は、生物系特定産業技術研究支援センターのムーンショット型農林水産研究開発事業（管理人：生研支援センター、体系的番号：JPJ009237）によるものであり、関係者に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) FAO (2013) Edible insects-Future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper* 171, pp.201.
- 2) FAO (2011) Food loss and waste database. <http://www.fao.org/platform-food-loss-waste/flw-data/en/>
- 3) 農林水産省 (2016) 食品ロス及びリサイクルを巡る情勢. https://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html
- 4) Forum for the Future (2018) The future of food: Are businesses on track to deliver a sustainable protein system by 2040? pp.75.
- 5) Gentry, R.R. *et al.* (2017) Mapping the original protein for marine aquaculture. *Nature Ecology & Evolution* 1. 1317-1324.
- 6) Costello, C. *et al.* (2020) The future of food from the sea. *Nature* 588: 95-100.
- 7) Naylor, R.L. *et al.* (2000) Effects of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405 (29) : 1017-1024.
- 8) Naylor, R.L. *et al.* (2009) Feeding aquaculture in an era of finite resources. *PNAS* 106 (36) : 15103-15110.
- 9) 由良敬, 他 (2021) 昆虫を活用した新たな食料生産システムの構築. *JATAFF ジャーナル* 9 (6) : 14-19. <https://if3-moonshot.org/>
- 10) 農林水産省 (2020) 養殖業成長産業化総合戦略. https://www.jfa.maff.go.jp/j/saibai/yousyoku/attach/pdf/seityou_senryaku-4.pdf
- 11) 水産庁 (2013) 平成 25 年度水産白書、特集「養殖業の持続的発展」, pp.61.
- 12) Ayadi *et al.* (2012) Alternative protein sources for aquaculture feeds. *J. Aquaculture Feed Sci. Nutri.* 4 (1) : 1-26.