

【令和 4 年度】

栄養と持続可能性の観点から肉牛による食料生産の価値を考える

オルテック・ジャパン合同会社
マーケティング・コマーシャルプロジェクトマネージャー 森田真由子

著者が所属するオルテック社（米国）は、世界約 130 か国で事業を展開する、機能性飼料原料を中心とした動物向け栄養関連製品メーカーです。海外から発信される情報に触れる機会が多いため、それらの中から特に日本の肉牛生産に関わる方々に役立てていただけたようなものを紹介します。

さて、農業は食料生産の手段であり、地球上の生命活動の持続可能性に欠かすことのできない重要な産業です。また、農業は自然環境や資源を利用して行われるため、それらの持続可能性にも大きな影響を与えます。したがって、農業従事者は地球の未来を変える可能性を秘めた重要な役割を担っています。今回は比較的新しい研究論文や文献を紹介します。養牛の持続可能性や牛肉の栄養価について、新しい基準やスコアリング手法を用いて評価し、他の畜産物や農作物との比較を通じて正しく理解していただくきっかけとなることを目的としています。

はじめにー 世界の動物性タンパク質需要の今後

人口の増大と発展途上国の経済発展に伴い、動物性タンパク質の需要は今後も高まり続ける。（OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2022-2031）*1

OECD（経済協力開発機構）と FAO（国際連合食糧農業機関）によるレポートによれば、2031 年までの世界の食肉需要は、所得水準の高い先進国では高齢化や健康意識、動物福祉への関心の高まりなどの影響を受けてやや低下傾向となる一方、途上国では人口増加と所得水準の上昇に伴い増加すると予想されています。

国や地域により今後の変化には違いが見込まれるものの、2031 年には 2019～2021 年平均比で、動物性タンパク質の世界供給量は鶏由来が 16%、豚由来が 17%、牛由来が 8%、羊由来が 16%増加し、一人当たりの年間食肉消費量は 10 年以内に世界平均 35.6kg（小売重量）に達すると試算されています。

動物性タンパク質の需要は今後も高まり続けると考えられ、その需要に応えるためには生産量の増加も必要です。

1. すべて同じではないタンパク質ー消化性必須アミノ酸スコア（DIAAS）で本質を比較する

昨今では、土地や水、エネルギー利用効率、温室効果ガス（GHG）排出に関する議論から、動物由来食品より植物由来食品の方が環境的持続可能性に優れるとの考え方に強い関心が寄せられている。しかし、動物性食品と植物性食品の比較は複雑であり、タンパク質の質や栄養組成を考慮する必要がある。

タンパク質は、ヒトの代謝や身体機能、発育および健康維持に必要な必須アミノ酸を供給する重要な栄養素である。したがって、各個人および世界の人々が十分なタンパク質を摂取できることは、食料・栄養安全保障を考える上での基盤となる。（Moughan, 2021）*2

（1）「消化性必須アミノ酸スコア（DIAAS）」とは何か

2013年にFAOが提唱したDIAAS（Digestible Indispensable Amino Acid Score）は、各タンパク質のアミノ酸供給能力を、アミノ酸組成およびヒト体内での消化性・利用性に基づいて評価する指標で、いわば、タンパク質の「質」を示すスコアといえます。

具体的には、DIAASはヒトの必須アミノ酸要求量に対する、対象食品中タンパク質由来の各必須アミノ酸の小腸（回腸）での消化量割合を示します。つまり、9種類の必須アミノ酸すべてが要求量以上に消化・吸収される食品では、スコアは1（100%）以上となります。

DIAASが高いほど、多種類の可消化性必須アミノ酸を多く供給できる高品質なタンパク源であることを意味します。一般に植物性タンパク質は、アミノ酸組成の偏りや消化性・利用性の低さなどから、動物性タンパク質よりもDIAASが低いことが知られています。（Adhikari ら, 2022）*3

またMoughanによると、WHO/UNU/FAOが2007年に示したタンパク質の推奨摂取量（RDA）は、DIAASが100%以上となるような高品質なタンパク質のみを摂取した場合を前提とした値です。そのためWHO/UNU/FAO報告書には、「多くの食品では、推奨量以上のタンパク質摂取が必要である」と記載されています。

参考までに、Adhikari らがまとめたDIAAS一覧表では、牛肉のリブアイ（グリル・ミディアム）が130%、リブアイ（グリル・ウェルダン）が107%、牛挽肉（生）が121%、ビーフジャーキーが120%、粉乳が144%、鶏卵が122%と報告されています。一方、植物性タンパク質源では大豆粉が105%と最も高く、小麦43%、濃縮コメプロテイン37%、コーンフレーク19%となっています。このことから、動物性タンパク質のDIAASは植物性タンパク質より比較的高いことがうかがえます。（表1）

（2）世界の半分の国と地域でタンパク質摂取量が不足している可能性

FAOは2015年時点で、世界の約8億人が栄養不足状態にあると指摘しています。これには、炭水化物・タンパク質・脂質などのマクロ栄養素へのアクセス不足だけでなく、ビタミンやミネラルなどのミクロ栄養素の摂取不足による、いわゆる「見えざる空腹」も含まれます。

Moughanも、論文で世界の多くの国でタンパク質摂取量（つまりアミノ酸摂取量）が不足している可能性を指摘しています。研究では、世界205の国・地域のうちタンパク質摂取量が比較的小さい103の国・地域を抽出し、それぞれのRDAと推定タンパク質摂取量を比較しています（図1）。

① 比較1：植物性・動物性タンパク質の単純合計摂取量とRDAの比較

結果：ほとんどの国でRDAを上回っているように見える（図1-A）。

② 比較2：DIAASで補正した実質的なタンパク質摂取量とRDAの比較

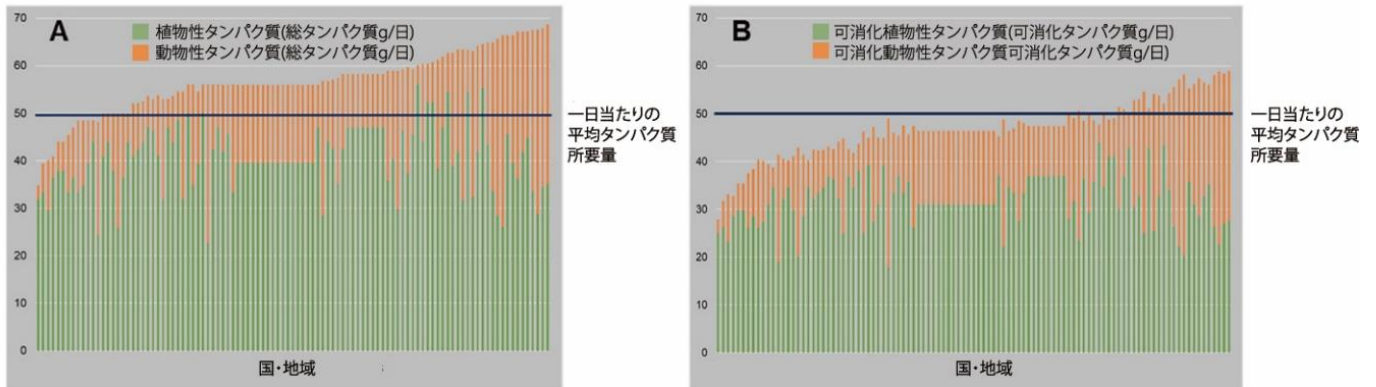
結果：103の国・地域の大半がRDAを下回り、上回ったのは18か国・地域のみであった（図1-B）。

この結果より、多くの国や地域では、実質的なタンパク質摂取量が推奨水準に達していない可能性が示唆されています。

食肉需要は今後さらに高まると予想されていますが、実際には現時点ですでに、良質なアミノ酸源である動物性タンパク質の供給量が世界的に不足している可能性があるということです。

図1 一人一日当たりのタンパク質摂取量と平均タンパク質所要量との比較

A: タンパク質の単純総摂取量 B: リジン消化率を反映した実際のタンパク質摂取量



(3) 各動物性・植物性タンパク質生産による環境負荷の比較

また、Adhikari らは、DIAAS のようなタンパク質評価メトリクスを各種タンパク質源の環境負荷評価にも用いるべきだと述べています。実際に Moughan も DIAAS を用いて、各農作物・畜産物による可消化リジン 1kg の生産当たりの環境インパクトを算出・比較していますので紹介します (図 2)。

① 土地利用効率

1 ヘクタール当たりの総タンパク質生産量で比較すると、小麦やコメ、トウモロコシの効率は高く、卵や豚肉などは劣って見えます。しかし、これを可消化リジン量に換算して比較すると一転して、小麦やトウモロコシの効率は大幅に低下し、土地利用効率はほぼ同程度となります。

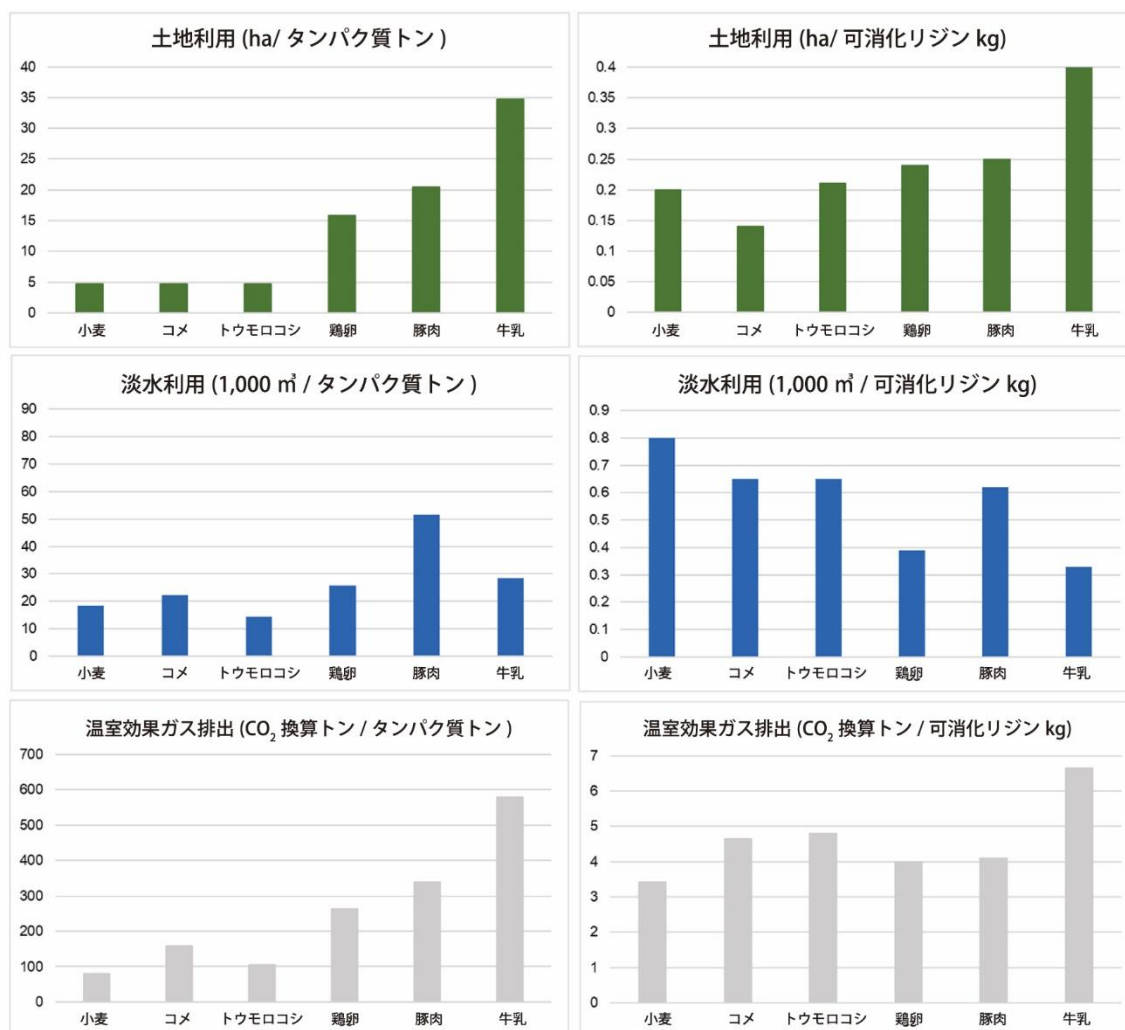
② 淡水利用効率

小麦、コメ、トウモロコシといった植物性タンパク質は、淡水 1,000 m³ 当たりのタンパク質生産量で比較すると動物性タンパク質より効率がよく見えます。しかし、可消化リジン量に換算すると、豚肉や牛乳、卵の方が淡水利用効率が高いことが示されています。

③ GHG 排出強度

可消化リジン供給量を基準として比較すると、卵や豚肉は比較的 GHG 排出強度が低い部類に入り、コメやトウモロコシはむしろ高い部類に入ることが分かります。

図 2



(4) 結論

ヒトが必要としているのは「食料」や「タンパク質」そのものではなく、栄養としての「アミノ酸」です。したがって、ヒトへの栄養供給を評価する際には、DIAASを基準とした方が、より正確な実態を把握することができます。

また、タンパク質生産システムに関する栄養面の課題や環境の持続可能性を検討する際にも、それぞれのタンパク質の質を考慮することが不可欠であり、DIAASは有用な評価指標となり得るでしょう。

2. 反芻動物による「Protein Upcycling (タンパク質のアップサイクリング)」：正味タンパク質貢献値 (NPC) で評価する牛のタンパク質変換能力

770ポンドのトウモロコシを飼料として385ポンドの牛肉を生産できる。もしこのトウモロコシを牛の飼料とせず、直接子どもたちに与えたとしたら、子ども3人が1年間に必要とするリジンを得ることができる。しかし、牛に与えて牛肉を生産した場合は17人分のリジンを得ることができる。

(J. R. Baber et al., 2019) *4

Baberらは、肉牛が低品質なタンパク質を飼料として利用し、高品質なタンパク質をヒトの食料としてもたらす仕組みを「タンパク質のアップサイクリング」と称し、DIAASを活用してそのメカニズムを科学的に説明しています。その前提として、肉牛の生産システムは他の動物性タンパク質の生産と比較して、以下の二点において明確な利点があるとされています。

- ① 反芻動物は他の食肉用家畜とは異なり、ヒト非可食性バイオマス（牧草や副産物など）を利用できること。
- ② 反芻動物はルーメン内微生物の働きにより、低品質なタンパク質を、より質の高い必須アミノ酸供給源へと変換できること。

ヒト可食タンパク質であっても、DIAASスコアの低いもの（例：小麦やトウモロコシ）であれば、牛に飼料として給与して牛肉を生産することでDIAASスコアを高めることができます。

Baberらは、独自のスコアリングシステムである「正味タンパク質貢献値（Net Protein Contribution：NPC）」を用いて、牛肉のアミノ酸生産（変換）効率を評価しています。その内容を以下に紹介します。

（1）正味タンパク質貢献値（NPC）とは

正味タンパク質貢献値（NPC）は、タンパク質質的比率（PQR）とヒト可食タンパク質転換効率（HePCE）を掛け合わせることで算出されます。

① タンパク質質的比率（PQR）（産出DIAAS ÷ 投入DIAAS）

タンパク質質的比率（protein quality ratio：PQR）は、肉牛生産のために投入したヒト可食原料のDIAASに対する、産出されたヒト可食食品のDIAASの比率を表します。

NASEM（2016）などに基づいて設定されたモデルケースでは、肉牛飼料中のヒト可食原料がすべてトウモロコシであった場合のPQRは3.04でした。また、ヒト可食原料の割合をトウモロコシ75%、大豆25%とした場合、PQRは2.17となりました。

飼料中のヒト可食タンパク質由来の総DIAASを低く設計することで、肉牛によるタンパク質のアップサイクリング効率を高めることが可能になります。

② ヒト可食タンパク質転換効率（HePCE）（ヒト可食タンパク質生産量[g／枝肉1kg当たり] ÷ ヒト可食タンパク質投入量[g／枝肉1kg当たり]）

ヒト可食タンパク質転換効率（human-edible protein conversion efficiency：HePCE）は、投入したヒト可食タンパク質量に対する、生産されたヒト可食タンパク質量の比率を表します。

モデルケースでは0.99であり、肉牛生産ではヒト可食タンパク質1gの給与につき0.99gのヒト可食タンパク質が生産されることを示しています。ただし、これは量のみを比較した指標であり、アミノ酸スコアの向上は考慮されていません。

③ 正味タンパク質貢献値（NPC）（PQR × HePCE）

PQRとHePCEを掛け合わせることで、投入されるタンパク質の質と量、および生産されるタンパク質の質と量の両方を踏まえたタンパク質生産（変換）効率を示すNPCを算出できます。

モデルケースでは、飼料中のヒト可食タンパク質がすべてトウモロコシであった場合のNPCは3.01、トウモロコシ75%と大豆25%で構成した場合のNPCは2.15でした。

(2) 商業的肉牛生産のNPC評価

Baberらは、上述のNPCスコアリングを実際の商業飼育環境下でも評価しています。

米国内8か所の肉牛農場において、2006年から2017年までの10年以上にわたり飼料内容と生産成績を追跡し、生産ステージによって飼料配合が変化する肉牛の生産サイクル（子牛～育成～肥育・仕上げ）を考慮した肉牛バリューチェーン（ライフサイクル）のNPCデータを収集しました。

その結果、NPCは1.51～4.60の範囲に分布し、最も効率の低いケースにおいてもNPCは1を上回っていました。このことは、肉牛を活用したタンパク質生産が、ヒトのアミノ酸要求を満たす上で有効であることを示唆しています。

なお、参考までにオーストリアの養豚および養鶏システムにおけるNPCは、それぞれ0.64と0.76でした。他の畜種と比較した場合にも、肉牛のアミノ酸転換効率の高さは明らかです。

3. 牛はヒトの食を奪っているか

家畜は毎年、飼料として世界で60億トンの乾物を消費しているが、このうち86%は現在ヒトが食用としていない（できない）物質である。また、家畜、特に牛は、草や作物残渣（茎など）、農業副産物などヒトが食用とできないものを高品質な食品へと変換し、バイオエコノミーにおいて重要な役割を担っている。（Mottet et al., 2017）*5

FAOのMottetらによると、世界のヒト消費カロリーの18%、ヒト消費タンパク質の25%が動物由来です。食肉は、高品質なタンパク質や様々な微量栄養素（ビタミン、ミネラル類）など、植物性食品だけでは十分に摂取することが難しい栄養素を供給することから、食料安全保障においても非常に重要な存在です。

しかし、ヒトが食べられる食料を牛に与えて乳や肉を生産していることに對し、その食料を牛に給与せず、直接ヒトが消費した方が持続可能であるとの主張も聞かれます。

この主張は主に飼料と土地利用に関するものであり、

① 牛の飼料にはヒトの食料となり得る成分が含まれること、また飼料からヒト可食食品への変換効率が比較的低いこと

② 飼料原料作物の生産用地はヒトの食料生産にも利用可能であること

の二点を指摘しています。

特に、牛の飼料と食料の生産に必要な資源利用の競合が問題視されており、論文ではそれぞれについて次のような検証結果が報告されています。

(1) 飼料と食料の競合について

・家畜は毎年、飼料として世界で60億トンの乾物を消費していますが、このうち86%は現在ヒトが食用としていない（できない）物質です（図3）。

・特に肉牛は、「1kgの牛肉生産に6～20kgもの穀物が必要である」といったデータに基づいて非効率的と判断されることが多くあります。しかし、そのような飼料を給与されるのは世界の肉牛全体の約7%

と推定される主に肥育・仕上げ期の牛であり、90%以上の牛はそのような飼料を摂取していません。

- ・鶏や豚と比較して飼料効率が劣るとされることがありますが、これらの単胃動物用飼料には、牛用飼料よりもヒト可食原料が多く含まれている点は十分に考慮されていません。

- ・家畜、特に牛は、草や作物残渣（茎など）、農業副産物などヒトが食用とできないものを高品質な食品へと変換することで、バイオエコノミーにおいて重要な役割を担っています。

- ・一般的な認識とは異なり、本研究によれば、1kgの肉（骨を含まない）の生産に必要なヒト可食飼料原料は、反芻動物では2.8kg、採卵鶏を含まない単胃動物では3.2kgと推定され、反芻動物の方が高効率でした。この数値は平均値であり、畜種や生産システム、生産ステージによって飼料要求率や飼料の内容・質には大きなばらつきがあります。

- ・放牧や粗飼料給与の割合が高い反芻動物飼養システムは、摂取飼料総量を基準とすると飼料効率が非常に低くなります。これは生産性の低さだけでなく、飼料中の栄養濃度が低いことも理由です。しかし、飼料中のヒト可食成分に限ってその割合を基準にすると、反芻動物は植物性タンパク質から動物性タンパク質への栄養転換効率が、商業的に飼育される単胃動物よりも高いことが示されました。

(2) 土地利用における競合について

- ・鶏や豚と比較して、牛の飼養は土地利用効率が劣るとされることがあります。しかし、これらの単胃動物が利用している土地には、牛の場合よりもヒトの食料生産が可能な土地が多く含まれている点は考慮されていません。

- ・飼料用作物の生産には25億ヘクタールの土地が利用されており、これは地球上で農業に利用されている土地の約半分に相当します。ただし、その大部分である20億ヘクタールは草地であり、さらにそのうち13億ヘクタールは、ヒトの食料を直接生産する農地には適していないrangeland（著者注：放牧可能な自然草地）です。

(3) 結論

様々な形態の畜産は、食料生産システムにおいて不可欠な要素です。特に、耕作限界地を活用し、良質な堆肥をもたらし、栄養価の低い作物や副産物から高タンパクかつ栄養価の高い食品を生産できる牛の価値は大きいと言えます。

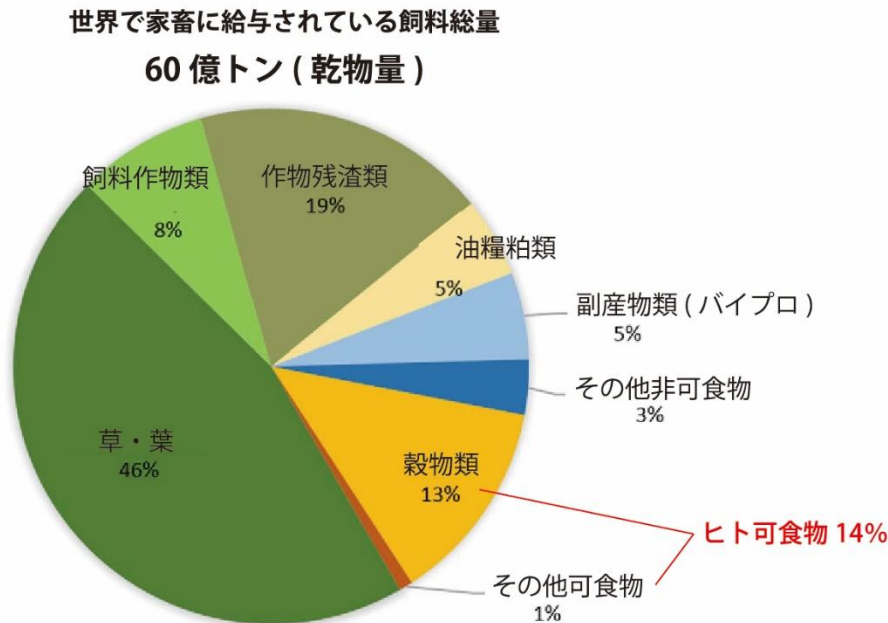
2050年までに96億人に達すると試算される世界人口へ食料を供給するに当たり、

- ① 畜産に投入される土地およびバイオマス資源と、そこから生み出される食料を適切に評価するための指標化

- ② 消費者の嗜好、気候変動への影響、ならびに特定の飼料原料のヒト可食物への変換効率を改善するプロセスなどのモデリング精度の向上

の二点について、今後さらなる研究が求められます。

図3



飼料作物類：穀物・豆類サイレージ、飼料用ビーツ等

作物残渣類：ワラ、茎、穂等

副産物類：ふすま、コーングルテンミール、糖蜜、蒸留粕、ビートパルプ、バイオ燃料残渣等

その他非可食物：低グレード穀物、食品残渣、魚粉、合成アミノ酸、石灰等

その他可食物：キャッサバペレット、豆類、油糧・大豆油等

4. 地球上から牛が消え、メタンガスを排出しなければ、気候変動問題は解決に近づくか。

地域差はあるが、米国の非二酸化炭素（以下 CO_2 ）GHG 総排出量、および泌乳牛の総摂取乾物量のそれぞれ 3 分の 1 が副産物飼料に由来する。米国では、副産物は乳牛へ給与する方が、埋め立て処分（49 倍）や堆肥化処分（4.7 倍）にかけるよりも、はるかに非 CO_2 GHG の排出量を減らすことができる。副産物の焼却処分による非 CO_2 GHG 排出量は比較的少ないが、熱やエネルギーを生み出せても、そこに含まれる栄養は失われてしまう。牛は、ヒトの消費に適した牛乳という貴重な栄養源の供給まで行っている。

（Ondarza と Tricarico, 2021）*6

牛は確かに価値の高い栄養をヒトにもたらしませんが、それを可能にする生理的プロセスの中で、GHG を環境中に排出することも事実です。そのため、牛は地球の気候変動に悪影響を及ぼしている存在としてしばしば議論的となります。しかし、牛の存在がなければ気候変動問題は解決へ向かうのでしょうか。これまで述べてきた通り、牛はヒトが食用とできない物質（例えば農産副産物）や質の低い栄養を利用し

て、価値の高い食品を生産しています。世界で生産される農産物の約 30%が副産物となるというデータがあります。牛は、そのようなヒトの営みから生じる副産物や未利用資源が単純に処分されることを防ぎ、むしろ貴重な栄養源として有効利用することができる存在なのです。

Ondarza と Tricarico によると、米国内で飼養される乳牛は 1 日平均 12kg（乾物換算 8.2kg）の副産物を飼料として摂取しており、これは牛乳 1L の生産につき 0.32kg（乾物換算 0.22kg）の副産物を利用している計算になります。2019 年の 1 年間に換算すると、3,200～4,100 万トン（乾物換算 2,200～2,800 万トン）の副産物が米国内の乳牛によって利用されたことになります。

試算によると、米国内では乾物ベースで、泌乳牛用飼料の 32%、乳生産に必要なタンパク質の 54%、糖質の 61%、脂質の 46%、そして繊維質の 27%が副産物によって賄われていました。

広く知られている通り、乳牛は消化管内発酵および排せつ物の発酵によって GHG を排出します。Ondarza と Tricarico は、既報論文に掲載された計算式を用いて、副産物を牛に給与した場合と、その他の方法で処理・処分した場合の非 CO₂GHG 排出量を試算・比較しました。

(1) 牛の消化管内発酵由来 GHG 排出

2019 年、副産物を給与された乳牛の消化管内発酵由来のメタン（eCH₄）排出量は、1 頭 1 日当たり平均 225g でした。摂取した副産物（乾物ベース）1kg 当たりの eCH₄排出量は 27.4g、生産された牛乳 1kg 当たりの副産物由来 CO₂換算メタン排出強度は 207g と試算されました。

(2) 牛の排せつ物由来 GHG 排出

副産物を給与された乳牛の排せつ物発酵由来メタン（mCH₄）排出量は 1 頭 1 日当たり 138g、亜酸化窒素（mN₂O）排出量は 3.02g でした。摂取した副産物（乾物ベース）1kg 当たりの mCH₄排出量は 16.76g、mN₂O 排出量は 0.368g であり、生産された牛乳 1kg 当たりの副産物由来 CO₂換算排出強度は 151g と試算されました。

(3) 牛 vs 埋め立て vs 堆肥化 vs 焼却：副産物の処分方法としての比較

米国内の乳牛に、非副産物（牧草や全粒穀物など）の一部と置き換えて副産物を給与した場合の非 CO₂GHG 排出量は、CO₂換算で副産物 1kg（乾物換算）当たり 70g と試算されました。

一方、これを牛に給与せず埋め立て処分した場合は 3,448g、堆肥化した場合は 328g、焼却した場合は 31g（いずれも CO₂換算、副産物 1kg 乾物当たり）の非 CO₂GHG が排出されると試算されました。

副産物の処分方法という観点で見ると、牛は比較的効率的に副産物を利用できるだけでなく、牛乳という栄養価の高い食品を供給することから、非常に価値の高い存在であると言えます。

5. メタンの特性と気候変動対策としての反芻動物の可能性

メタンの排出量を 10 年間で 3%減少できれば、むしろ地球の冷却につながる。これは CO₂の能動的な除去と同等の温度影響を持つ。（Allen ら, 2022）*7

気候変動は、畜産が関係する最大の環境課題の一つです。地球全体の人為由来 GHG 排出量のうち、7.1 ギガトン（CO₂換算で 14.5%）が畜産由来であり、そのうち 41%が肉牛生産、20%が酪農に由来するといわれています。*8

反芻動物は消化管内発酵によって、また排せつ物中の有機物が嫌気性分解されることによってメタンを排出します。さらに、大気中の1分子当たりで比較すると、メタン（CH₄）はCO₂よりも強い温暖化作用を持っています。そのため、反芻動物由来のメタンが地球温暖化に寄与していることは事実です。

しかし、CO₂とメタンでは大気中での挙動が大きく異なります。CO₂は自然作用によって除去されるまでに約100年を要し、大気中に蓄積していきます。一方、メタンは約12年で分解されるため、長期的には蓄積しにくいという特徴があります。

この特性から、CO₂は「蓄積型 GHG」、メタンは「短寿命 GHG」と呼ばれることがあります。CO₂による温暖化は過去の蓄積量によって決まるのに対し、メタンによる温暖化は主に直近約12年間の排出量によって決まります。

現在広く用いられている地球温暖化係数「GWP100」では、メタン1トンはCO₂28トンと同等の温暖化影響を持つとされています。しかし、この評価はメタンの短寿命性を十分に反映していない可能性が指摘されています。

そこで Allen らは、メタンの短寿命性を考慮した新たな指標「GWP*」を提案しています。この指標によれば、20年以上にわたり一定レベルで排出されているメタン1トンの1年当たりの温暖化影響は、CO₂8トン程度と概ね同等となり、「GWP100」による評価の約7分の2程度になるとされています。

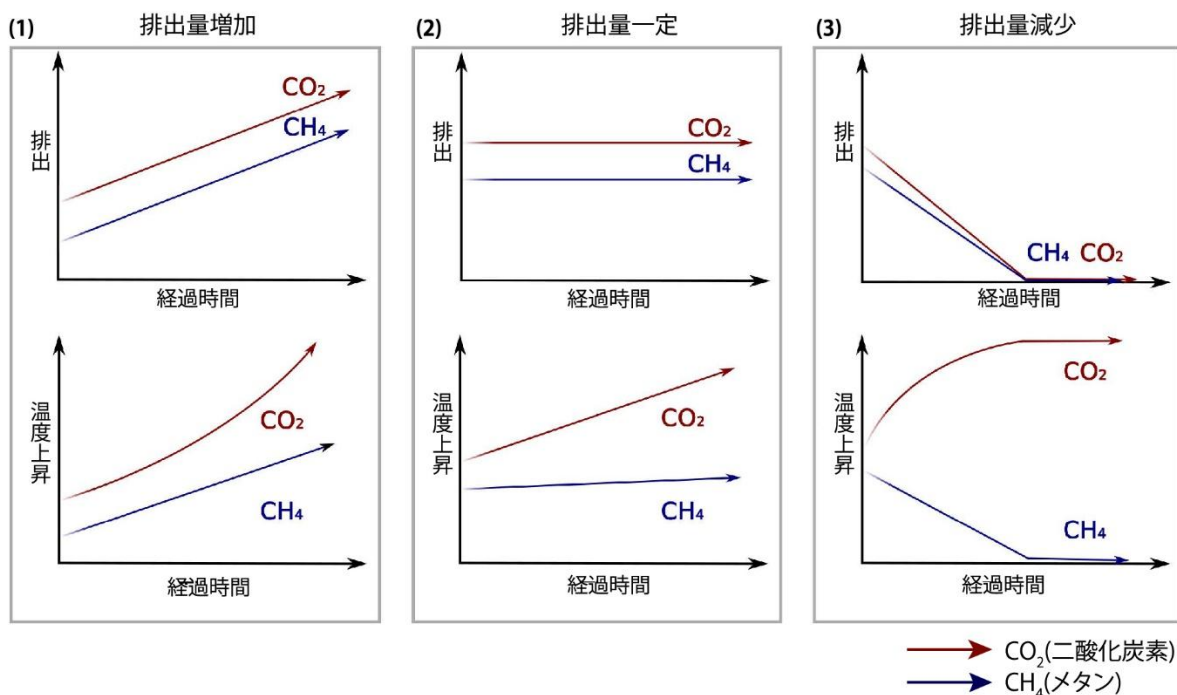
CO₂とメタンの温室効果の違いについて、反芻動物の飼養に関連する重要な点を以下に示します（図4）。

① CO₂もメタンも、排出量が増加すれば温暖化を進行させる。

② しかし排出量が一定の場合、CO₂は長期間大気中に蓄積するため、温度上昇も継続する。一方でメタンは比較的短期間で分解されるため、大気中濃度は一定に近づき、気温も概ね一定の水準で推移する。

③ CO₂の排出量が急速に減少しても、排出がゼロにならない限り蓄積は続くため、温度上昇も続く。一方、メタンは排出量を10年間で3%削減するだけでも温暖化効果の低下が始まる。さらに、メタン排出量が「ネットゼロ」となれば、大気中での寿命が短いいため温暖化レベルは急速に低下し、20～30年以内に半減すると試算されている。

図 4



よって、牛の飼養由来のメタン排出強度を、育種改良や、飼料管理の工夫、新規技術等で削減することは、むしろ地球に冷却効果をもたらす可能性があり、気候変動に対する非常に有効かつ直接的な対策となりえるのです。

6. 牛由来GHG排出低減の実例（オランダ）

Hospersら*9は最近の論文で、牛1頭当たりおよび1ヘクタール当たりの酪農生産効率が世界最高レベルにあるオランダにおいて、1990年から2019年の間に、同国酪農セクターからのGHG排出量が15%、生乳1kg当たりのGHG排出量が35%減少したことを報告しています。

オランダの生乳生産量は、1990年の1,100万トンから2019年には1,400万トンへと増加しました。一方、乳牛1頭当たりの乳量も同期間に6トンから8.8トンへ増加しています。

また、オランダ産生乳のカーボンフットプリントは、1990年には脂肪・タンパク補正乳1kg当たり1,522gでしたが、2019年には992g（いずれもCO₂換算）となりました。

研究チームによると、生乳1kg当たりのGHG排出量削減に寄与した要因として、節電、飼料給与量の削減、牧草地への窒素施用量の減少（約半減）、乳牛の育種改良による生産性向上、若齢牛頭数の減少など、様々な取り組みが挙げられています。

また、生産サイクルを構成する主要5要素におけるカーボンフットプリントの変化（1990年対2019年）は以下の通りでした。

- 消化管内発酵：－15%
- 農場における牧草生産：－52%

- 購入資材：－54%
- 糞便の貯蔵・堆肥化：＋26%
- エネルギー使用：－47%

オランダの事例は、反芻動物の飼養において、現在と同等またはそれ以上の生産性を維持しながら、気候への影響を低減することが可能であることを示唆しています。

まとめ

地球規模で見れば、人口の増加や各地域の発展に伴い、食肉需要は今後も高まり続けると考えられます。それどころか、すでに多くの国で良質なタンパク質の供給不足が懸念されており、今後はこれまでに以上に畜産の重要性が高まるでしょう。地球上のすべての人々の必須アミノ酸所要量を植物性タンパク質だけで賄い続けることが難しいことは、アミノ酸の質という観点からも明らかになっています。気候変動への影響に関する様々な議論により、牛由来のタンパク質生産は抑制すべきとの声もあります。しかし、ヒト非可食性資源から食料を生み出し、さらに摂取した飼料以上の価値を持つアミノ酸へと変換できる牛は、タンパク質源としてだけでなく、持続可能性の観点からも貴重な存在です。

すべての人が十分に栄養を得ることのできる持続可能で豊かな地球を実現し、未来へ引き継ぐためには、畜産や農業を含むあらゆる産業、そしてそこに関わるすべての人々が現状の改善を追求し続ける必要があります。農業や畜産、あるいは牛だけに非難の矛先を向けても、現実的な解決策を生み出すことはできないでしょう。

【引用・参考文献一覧】

- *1 OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2022 – 2031 / 2021
- *2 Population protein intakes and food sustainability indices: The metrics matter / Paul J. Moughan / Riddet Institute, Massey University / Global Food Security 29 (2021) 100548
- *3 Protein Quality in Perspective: A Review of Protein Quality Metrics and Their Applications / Shiksha Adhikari et al./ Nutrients 2022, 14, 947. <https://doi.org/10.3390/nu14050947>
- *4 Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate / Anne Mottet et al. / Food and Agriculture Organization of the United Nations, Animal Production and Health Division / Global Food Security Volume 14, September 2017, Pages 1-8
- *5 The Beef Industry: Upcycling Protein for Human Consumption / J. R. Baber et al./ Texas A&M University, College Station / presentation at The Plains Nutrition Council 2019 Spring Conference
- *6 Nutritional contributions and non-CO2 greenhouse gas emissions from human-inedible byproduct feeds consumed by dairy cows in the United States / M.B. de Ondarza and J.M. Tricarico / Journal of Cleaner Production 315 (2021) 128125
- *7 CLIMATE METRICS FOR RUMINANT LIVESTOCK, PROGRAMME BRIEFING Oxford Martin Programme on Climate Pollutants, July 2022 / Myles Allen et. al.,
- *8 TACKLING CLIMATE CHANGE THROUGH LIVESTOCK / FAO / 2013
- *9 The evolution of the carbon footprint of Dutch raw milk production between 1990 and 2019 /

