

【令和5年度】

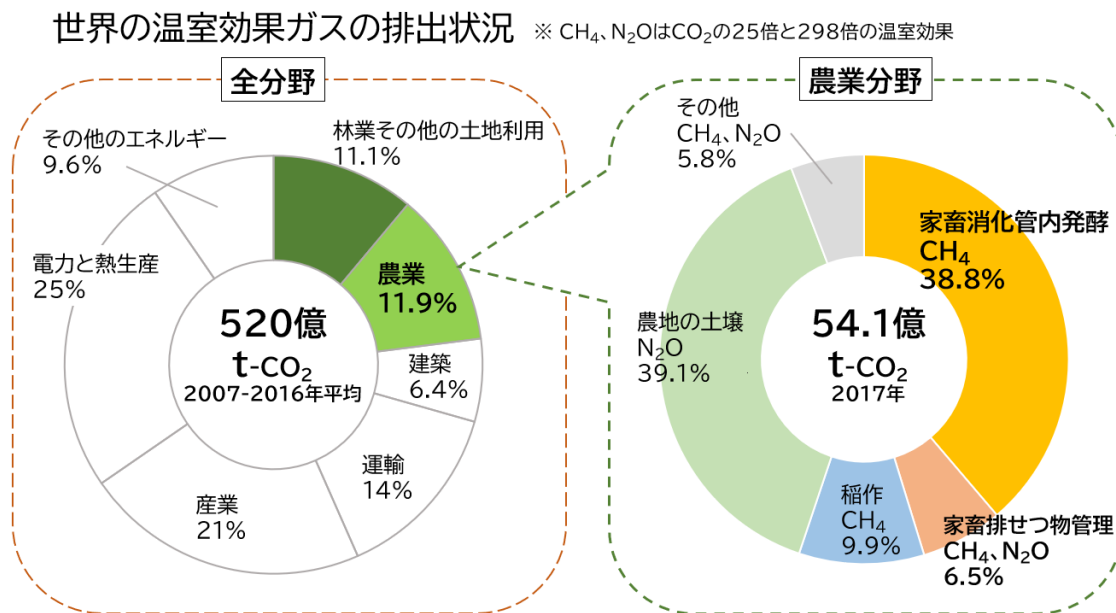
地球環境の持続可能性にむしろ貢献できうる牛の価値

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

温室効果ガス排出の現状

現在、世界全体で1年間に排出される温室効果ガス（以下、GHG）は520億トン（二酸化炭素（CO₂）換算）ほどで、このうち約12%に当たる54億トンほどが農業由来であり、さらにその半分弱が家畜由来の排出と考えられています（IPCC, 2019; FAOSTAT）（図1）。また、平均的なアメリカ人は1人当たり年間16トン（CO₂換算）のGHGを排出しており、これはオリンピック公式サイズのスイミングプール3.5杯分にも相当するといいます（Tso, 2020）。この排出は主に、自動車の運転、家庭での電気やガスの使用、食品システム、そして日々の活動に由来するものだそうです。

図1

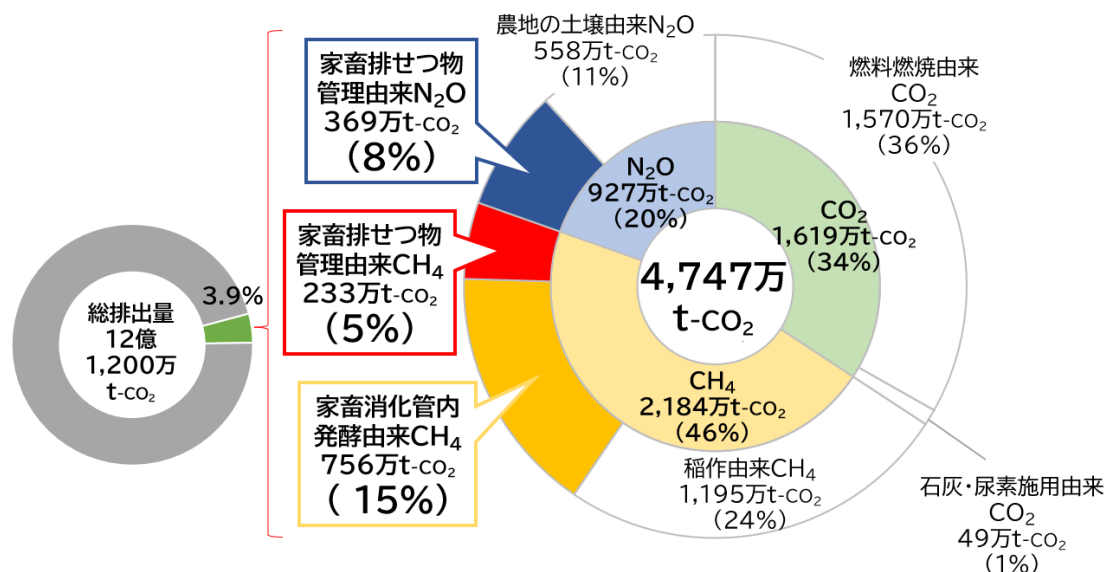


出所：IPCC, 2019; FAOSTAT

では、日本ではどうでしょうか。GHGの年間総排出量は約12.1億トンで、このうち約4%が農業由来であり、さらにその約30%が家畜由来となっています。また、農業由来GHGの約46%に当たる2,184万トン（CO₂換算）はメタン（CH₄）であり、このうち45%が家畜の排せつ物管理および家畜の消化管内発酵に由来しています（国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス）（図2）。

図 2

日本の温室効果ガス排出状況(2021年度) ※ CH₄、N₂OはCO₂の25倍と298倍の温室効果



出所：国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス

農研機構によれば、牛のメタン排出量は1日1頭当たり200～600リットルです。日本では、全国約11万台のバスが年間410万トン、約21万台のタクシーが年間248万トンのGHGを排出している一方で、牛は年間756万トン（CO₂換算）を排出しています。バスとタクシーを合わせた排出量（658万トン）よりも牛の方が多くGHGを排出しているため、牛の飼養由来のGHG排出量削減は、気候変動に対する直接的なアプローチとして非常に効果的です。

ちなみに、日本の農業由来のメタン排出量の55%は稲作由来で、実は家畜由来よりも多くなっています。ご存じの通り、日本人の主食はコメであり、その自給率は97%と、カロリーベースの食料自給率を引き上げている存在です。その生産環境である水田の土壌中には、嫌氣的（酸素が少ない）環境でメタンを産生するメタン産生菌が生息しているため、水田に水が張られると土壌中の酸素が減少し、その菌の働きによってメタンが発生します。この特性が、メタン発生源として水田が大きな存在感を放っている理由です。FAOによれば、世界の約半数の人がコメを主食としているため、日本を含む世界各地の稲作における水管理方法の調整や改良（例：間断灌漑）も、メタン排出量削減に効果を発揮するでしょう。

話を畜産に戻し、国内のGHG排出量（CO₂換算）を畜種別に比較すると、乳牛が41%、肉牛が31%を占め、それぞれその半分以上が消化管内発酵由来です（環境省のデータをベースに算出）。家畜の中でも牛が主な排出源となっているメタンガスの地球温暖化力が、二酸化炭素を基準として約25倍であることを前提に、メタンの絶対量を二酸化炭素に換算する際に25を掛けているため、数値が大きくなっています。

ただし、昨年の記事でも書かせていただきましたが、この地球温暖化係数によってメタンの温暖化力を正當に評価できるかについては、数々の異論があります。二酸化炭素が大気中に100年ともいわれる長期間滞留するのに対し、メタンは約12年で分解される短寿命のガスであることが、その根拠となって

います (Allen et al., 2022)。この点を踏まえた新しい「GWP*」に基づく、メタンの温暖化力は二酸化炭素の 8 倍程度とされています。

牛のメタンガス排出の仕組み

牛をはじめとする反芻動物がなぜメタンガスを排出するのかを知ることは、その排出量削減対策を考える上で重要です。反芻動物は、ヒトやその他の単胃動物の食料と競合しない繊維質を栄養として活用できる貴重な存在です。反芻動物の活用により、ヒトは地球上の非食用資源を食料に変換し、80 億人を超える世界人口を支える動物性タンパク質を確保しています。実際に、地球上の家畜が口にしていない飼料の 46% は葉や草、茎などであり、そのほとんどすべてが牛の飼料です (Mottet et al., 2017)。これらの繊維質の消化に必要なのが、他の生物にはない反芻胃であり、メタンの発生源にもなっています。

成牛の反芻胃（第一胃、ルーメン）はドラム缶と同じくらいの約 200 リットルもの容量があり、内容物であるルーメン液中には、1mL 当たり約 100 億もの多様な細菌類と約 100 万ものプロトゾアが生息しています。これらの微生物が繊維（セルロース）を分解・発酵することで産生される酢酸、プロピオン酸、酪酸などの VFA（揮発性脂肪酸）は牛のエネルギー源となり、また微生物自身も、その過程で発生する ATP をエネルギー源として利用しています。牛は微生物と見事な共生関係を築いているのです。

このような微生物叢の活動に伴って水素や二酸化炭素が発生し、さらにそれらを別の微生物が利用することで、ルーメン内のこれらの濃度は低く保たれ、摂取した飼料の発酵・消化が促進される環境が維持されています。メタン産生菌を含むルーメン内微生物叢は、物質の産生や代謝を通じて互いの増殖を促進したり抑制したりしながら、栄養共生関係の中で複雑なバランスを取り合っています。メタン産生菌はこの微生物叢の中で役割を持ち、牛にとって、ひいては人の食料生産にとって重要な役割を担っています。ただし、メタン産生菌は微生物叢の営みによって発生する水素を主に利用してメタンを産生しています。そのため、端的に言えば、メタン産生菌への水素の供給を制限できれば、牛から発生するメタンの量は減少します。

さて、ルーメンから排出されるガスの平均的な組成は、二酸化炭素（65%）、メタン（27%）、窒素（7%）、酸素（0.7%）です。この二酸化炭素のうち最大 3 分の 1 ほどは血液中に取り込まれ、最終的に呼気として肺から排出されますが、メタンはげっぷ（あい気）として、おおむね 1 分に 1 回、直接口腔から大気中に排出されます (京都大学, 2012)。メタンの排出量は、給餌後 1 時間ほど経過した頃から約 1 時間にわたって急増することが分かっています (Sakai et al., 2016)。あい気はルーメン内のガス圧が高まると反射的に起こるもので、これが正常に行われないとガスがルーメンに充満し、鼓脹症の原因となります (京都大学, 2012)。したがって、牛の健康維持のために、また牛が健康である証拠として、あい気は重要です。

牛の優れた特性を活用する上で、メタン排出は避けることができないものですが、その産生には飼料から得られるエネルギーの 2~15% が費やされています (農研機構)。したがって、メタン排出量の削減は気候変動対策としてだけでなく、飼料転換効率の向上にも直結するため、大きな意義があります。牛の生産効率やアニマルウェルフェアを犠牲にすることなく、また、今後さらに必要性が高まる動物性タンパク質源としての牛の飼養頭数を削減するような消極的な方法ではなく、牛由来メタンによる環境負荷の軽減を実現する新規性と発展性を備えた技術の開発が進んでいます。

牛の GHG 排出量削減方法

牛由来のメタン排出削減法は、大きく分けて二つに分類することができます。一つ目が「GHG 排出強度の低減」、二つ目が「GHG 排出絶対量の低減」です。それぞれについて以下に説明します。

① GHG 排出強度の低減

これは、単位量（例：生体重・屠体重・枝肉・精肉など 1kg）当たりの畜産物生産に由来する GHG 排出量を減らす方法です。つまり、飼料要求率の低減や飼料効率の改善と同義といえます。例えば、英国の政府系環境認証団体である Carbon Trust は、飼料添加物「イーサック 1026（オルテック社）」が牛のルーメン微生物に影響を及ぼし、最適なバランスに導くことで、乳量・乳脂肪量・乳タンパク質量の増加、および窒素吸収の促進による増体改善を通じて、炭素排出強度の低減に貢献すると認証しています。

肉牛の場合は、増体効率の向上によって出荷までの日数を短縮できるため、短縮した飼養日数分だけ生体や排せつ物からの GHG 排出量も削減することができます。加えて、出荷までの総飼料摂取量が少なくなることは、その飼料原料の生産に由来する GHG の削減にも間接的に寄与します。

また、飼料添加物以外では、飼料ミキサーフィーダー「キーナン メックファイバープラス（オルテック社）」シリーズも、家畜由来の環境負荷低減について Carbon Trust の環境認証を受けています。このマシンで調製する飼料の物理的構造が反芻運動を促進し、飼料効率の向上を通じて GHG 排出強度を低減することが科学的に認められています。

なお、飼料効率の高低には飼養管理の影響が大きいものの、もともと個体差があり、遺伝する形質でもあります。そのため、GHG 排出強度が低く、環境負荷低減につながる遺伝的特性を持つ牛を特定・選抜し、群の遺伝的特性を改良することも可能です。例えば、英国の政府外公共機関である AHDB（イギリス農業・園芸開発委員会）は、47 万 5,000 頭以上の乳牛を分析して、世界初の環境関連遺伝評価指数である「EnviroCow」を開発しました。これにより、生産寿命が長く、生産性・繁殖成績・飼料効率に優れた特性を持つ牛を生産者が見極めることが可能となりました。このシステムで上位 10% に分類される高評価牛は、下位 10% の牛と比較して、補正乳量 1 リットル当たりのメタン排出量が 21% 少ないことが明らかにされています。

② GHG 排出絶対量の低減

これは、牛の生体から放出される GHG、主としてメタンの排出量をそのものを直接的に削減する方法です。メタン産生菌を阻害する「メタンワクチン」、ルーメン内微生物叢の構成に影響を与える「抗菌性物質」、メタン産生菌の活性を阻害する「カギケノリ」、エネルギー飼料として利用される「脂肪酸カルシウム」、化学物質の「3-ニトロオキシプロパノール」、さらには植物由来成分である「エッセンシャルオイル」や「ポリフェノール」などが、この目的で国内外において調達可能、または開発・効果検証段階にあります。

ただし、メタン排出量を削減できたとしても、牛の生産性や収益性を犠牲にしてはなりませんし、その対策は継続可能なコストである必要があります。加えて、例えば化学物質であれば、最終製品への残留や消費者の受け止め方も考慮する必要があります。ヨーロッパでは、ある大手小売グループが調達先で

ある酪農家に対し、メタン排出削減を目的とした化学物質の乳牛への給与を求めたところ、食の安全やアニマルウェルフェアに関心の高い消費者から不買運動が起きた事例もあります。

また、メタン排出量削減を目的とする飼料添加物は、その特性によって、長期給与により耐性が発達する可能性があるもの、効果が最大化するまでに時間を要するもの、あるいはメタン産生を抑制できても同時に有用なガスの産生も抑制してしまうものなどさまざまです。そのため、ある程度長期間にわたり、メタン排出抑制効果と副作用の有無を追跡・確認することが推奨されます。

牛の GHG 排出量の見える化

GHG の排出削減に取り組むためには、現在の排出量がどの程度かを把握し、それを基準にどの程度まで削減するのか目標を設定した上で、その成果を数値で評価することが重要です。このことは後ほど述べますが、カーボנקレジット制度を活用して、その取り組みを経済的リターンにつなげるためにも不可欠です。

見えない GHG 排出量の計測方法には、本格的かつ正確な測定が可能なものと、農場で実施できる簡易的なものがあります。本格的な方法としては、牛をその中で飼養しながら常時計測を行う「チャンバー式呼気測定システム」などがあります。また、簡易的な方法としては、気候変動緩和コンソーシアムが 2022 年 3 月にマニュアルを公開した「スニファー法」一牛の呼気中のメタン／二酸化炭素濃度比を利用した測定技術や、「GreenFeed 法」一移動式の給餌装置にガス採取・分析システムを備えた機材を用いて、摂食中のメタン排出量を直接計測する技術などが挙げられます。

また、Carbon Trust より炭素排出削減に貢献するソリューションとして認証を受けているオルテック社の「IFM（インビトロ反芻モデル）」は、ルーメン液を入れた試験管を用いて牛のルーメン環境を模倣し、疑似反芻動作を行うことで、検体である飼料が牛によって消化された際の副産物であるメタンを含む各種ガスの発生量や組成を調べることができます。このテクノロジーを応用すれば、牛にメタン対策資材を給与し、経時的にルーメン液サンプルを採取してガス組成の変化を追跡することも可能です（写真 1）。

（著者追記（2026 年 7 月）：さらに、オルテック社傘下の E-CO2 社が提供する「E-CO2 環境アセスメント」は、農場などの運営に関わるあらゆる要因（反芻胃、飼料、肥料、燃料、生産パフォーマンスなど）に由来するカーボンフットプリントを定量化し、農場全体のカーボンフットプリントを見える化します。これは牛が排出する GHG 量を実測するのではなく、農場経営体全体での排出量をシミュレーションするものです。雪印メグミルク社は 2026 年より、調査対象酪農場の GHG 排出量の把握と低減プロトコルの特定を目的として、「酪農場環境アセスメント」を活用しています。このほか、オルテック E-CO2 社は、肉牛農場、養豚場、養鶏場、飼料工場、農畜産物加工工場、圃場などを対象に、さまざまなアセスメントプログラムを提供しています。

牛を育てる農場の経営から発生する GHG は、実は牛の生体由来に限定されません。視野を広く持つことで、牛個体に対する対策よりも簡単かつ手軽に取り入れることができ、より大きな GHG 排出削減につながる対策を見出せる可能性があります。）

写真1 オルテック IFM



「カーボンニュートラル」から「カーボンポジティブ」な肉牛生産へ：Buck Island Ranch（米国フロリダ州）の事例

1. まずは GHG 排出量の把握を

農場全体として「カーボンニュートラル」（二酸化炭素の排出量と吸収量を均衡させ、差し引きゼロにすること）な農場運営を実現した事例は、世界各地に存在します。そうした農場では、牛のメタン排出量を削減する添加物の実用化を待つことなく、この後紹介する「炭素サイクル」を回すための放牧の促進や、遺伝的選抜による低メタン排出牛の導入、太陽光パネルの設置による再生可能エネルギーの利用、農場車両の電動化、メタンガス駆動のトラクターの導入、輸入飼料の「フィードマイレージ」を考慮した調達先の見直し、さらにはカーボンクレジットの購入による排出量の相殺など、さまざまな方法を組み合わせてカーボンニュートラルを実現しています。

農場全体でカーボンニュートラルを目指す場合や、GHG 排出量の削減に取り組む場合には、GHG 排出量の見える化による現状把握と目標設定が有効です。このような取り組みにおいても、オルテック E-CO2 などの農場環境評価ツールや監査サービスの活用が役立ちます。

2. 牛の存在を含む「炭素サイクル」でカーボンポジティブな養牛へ

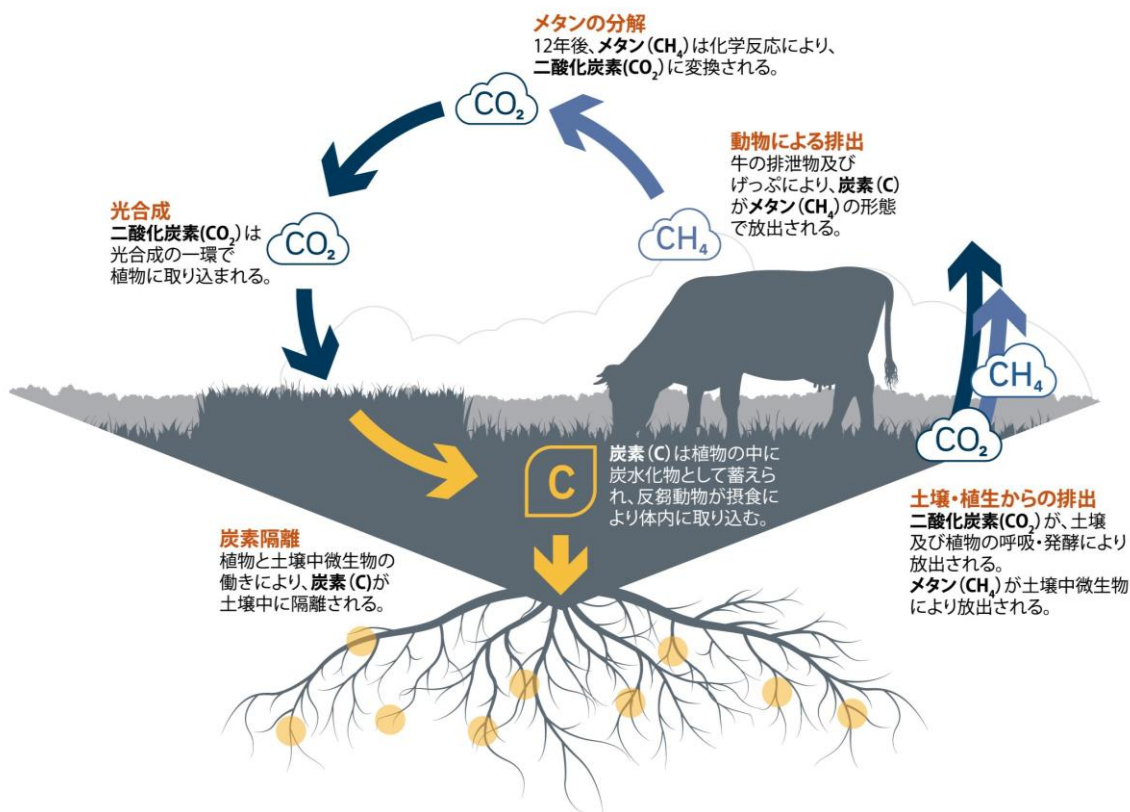
さて、温暖化の議論は GHG の排出量に集中しがちですが、牛の飼養については、特に「炭素サイクル」全体を捉える必要があります。牛のメタン排出について検討する際には、牛からの排出だけを見

るのではなく、そのメタン（に由来する炭素）がどのように自然環境内を循環しているのかを理解しなければ、本当に有効な議論は難しいでしょう。

自然界では、大気中のメタン由来の炭素は、最終的に植物の光合成によって土壌や植生に取り込まれます（これを「炭素隔離」と呼びます）。そして、その植物を牛が食べることで炭素が体内に取り込まれ、その炭素が代謝を経て再びメタンとして大気中に放出されるという炭素の循環（炭素サイクル）が繰り返されます。牛は本来、自然界の炭素サイクルの一部であり、牛が排出するメタンも自然環境内で一定の役割を果たしています（図3）。

実際に、Buck Island Ranch（米国フロリダ州）という研究牧場では、フロリダ州環境保護局とオルテックが実施している実証試験により、炭素サイクルの中に牛が存在する場合の方が、存在しない場合よりも多くの炭素が大気中から土壌中へ隔離されることが示されています。その結果、この牧場ではカーボンニュートラル（炭素排出量と吸収量を差し引きゼロにすること）にとどまらず、「カーボンポジティブ」（炭素排出量より吸収量の方が多い状態）も達成しています。

図 3



出所：Alltech Inc.

養牛を通じた温暖化の緩和・解消の可能性とカーボンクレジット

牛に話が及ぶと、最近は環境負荷の部分にばかり議論が集中します。しかし、先述した「炭素サイクル」等のエコシステムを通じて、肉牛生産や酪農がもたらしうる利点の方に目を向けた方が、むしろそれらを活かした環境フットプリント削減手法の開発を早く進めることができるのではないのでしょうか。

現在、業界を問わず多くの企業がそれぞれの炭素排出削減目標を設定しています。そして、その目標を達成するために、カーボンクレジットをカーボン市場で購入し、排出のオフセットを進める手法があります。畜産事業者がカーボンクレジットを創出して販売している事例もありますが、養牛事業者がカーボンクレジットを購入してカーボンニュートラルを達成している先駆的な事例もあります。今回は最後にカーボンクレジットについて説明し、本稿を締めくくりたいと思います。

1. カーボンクレジットとは何か

カーボンクレジットとは、温室効果ガス（GHG）の排出削減量または吸収・除去量を二酸化炭素（CO₂）換算で認証し、取引可能な価値として表したものです。

事業者や家庭が排出した GHG について、カーボンクレジットの購入等を通じて相殺する行為をオフセッティングと言い、自ら削減できない GHG 排出量について、他者が実現した排出削減量や吸収量を活用して埋め合わせる考え方を指します。

2. カーボン市場とは何か

カーボン市場とは経済的取引システムであり、カーボンクレジットの売買が行われる場です。カーボン市場は「クレジット供給者」によるカーボン削減手法の導入に対して金銭的インセンティブを提供し、「クレジット購入者」は自らの排出削減目標の達成に向けて、クレジットを購入して排出をオフセットします。このカーボン市場には、「コンプライアンス（義務的）」市場と「ボランタリー（自発的）」市場の2種類が存在しています。

① コンプライアンスクレジット市場

国・地域の排出削減義務や排出量報告制度等の規制・制度に基づいて運営されるカーボン市場です。「キャップ・アンド・トレードシステム」はコンプライアンスクレジットプログラムの一例で、このシステムでは規制対象となった事業体に GHG 排出許容量が割り当てられ、その範囲内での排出が認められます。しかし、許容排出量を超過した場合は、排出枠に余裕がある他社から排出権を購入しなければならず、それができなければ罰金等の措置が科されます（UNDP, 2022）。カーボンオフセットは、対象企業にとって規制遵守のための選択肢の一つです。

米国では、カリフォルニア州が 2013 年よりキャップ・アンド・トレード制度を採用しており、その規制対象は州内の発電施設、工場、燃料供給事業者です。カリフォルニア州は、州内で排出される炭素量を 2030 年までに 1990 年水準まで削減することを目標としており、同州のプログラム遵守を求められる企業や団体は、定められた範囲内でオフセットの利用が認められています。カリフォルニア州でカーボンクレジットを創出するオフセットプロジェクトには、家畜の排せつ物管理プロジェクト、稲作プロジェクト、森林管理プロジェクト等が含まれています（Stubbs et al., 2021）。

EU もまた、世界で初めての国際的な排出量取引制度（ETS）を 2005 年に開始しました。さらに、2021 年には中国でも世界最大級の ETS が立ち上げられ、その他の国や地域の ETS 開発を先導しています（UNDP, 2022）。

（著者追記（2026 年 7 月）：日本でも 2026 年 4 月より、日本政府の「GX（グリーントランスフォーメーション）実現に向けた基本方針」に基づき、企業の温室効果ガス排出量に目標を設定し、超過・不足分を取引する制度である GX-ETS の本格運用が始まっています。対象企業による排出量の目標超過分の調整においては、日本政府が認証する J-クレジットおよび JCM クレジットが適格カーボンクレジットとして活用可能です。対象企業は排出枠が不足した場合、実排出量の 10% を上限としてこれらのクレジットを活用し、義務履行に充てることができます。）

② ボランタリークレジット市場

現在のところ、多くのカーボン市場プログラムはボランタリー（自発的）市場に分類されます。この市場におけるカーボンクレジットの売買は法的義務に基づくものではなく、企業が自主的に実施する気候変動対策やサステナビリティ戦略の一環として活用されています。

取引は、クレジット提供者と購入者の間で直接行われる場合もあれば、第三者機関やプログラム運営団体が仲介する場合があります。世界的に、カーボンクレジットの提供者には農場や牧場経営者も多く含まれており、炭素排出削減や炭素隔離に関する一定の基準を満たす手法（例：不耕起栽培、被覆作物栽培、輪作、嫌気性発酵装置（バイオガスプラント）、放牧管理、排せつ物管理、森林再生など）の導入によってカーボンクレジットを創出し、販売しています。通常は、削減または隔離された炭素量（CO₂換算）に応じてクレジットが発行され、クレジット提供者に対価が支払われます（Shockley and Snell, 2021）。

カーボンクレジットの価格は、対象となるプロジェクト、認証制度、市場環境等によって大きく異なりますが、一般的には 1 クレジット（1t-CO₂e）当たり数ドルから数十ドル程度の範囲で取引されています（Stubbs et al., 2021）。

実際に運営されているボランタリーカーボン市場としては、Ecosystem Services Market Consortium（ESMC）、Nori、Verra、Gold Standard などがあります。これらの市場では、それぞれ独自の基準や方法論に基づいてカーボンクレジットの認証・発行・取引が行われています。例えば Verra は、「Verified Carbon Standard（VCS）」という独自の認証基準を運用しており、プロジェクト種別ごとの算定方法や第三者検証プロセス、登録システムを整備しています（Thompson and Miranda, 2021）。

また、Nori などのプログラムも独自の方法論と第三者検証を組み合わせで運営されています。このように、ボランタリー市場における認証制度、検証手順、取引価格およびクレジットの品質評価方法は非常に多様です。そのため、クレジットの購入者は、価格だけでなく、追加性（Additionality）や永続性（Permanence）、漏出（Leakage）といった品質面も考慮して選択する必要があります。

（著者追記（2026 年 7 月）：日本でもボランタリーカーボン市場の活用が広がっています。農業分野では、カーボンクレジット制度を活用することで、環境負荷低減の取り組みを新たな収益源につなげることが可能です。例えば 2025 年には、鹿児島県において和牛の飼養時に発生するメタンを改善飼料によって削減した実績が認証され、日本初となる肉用牛由来メタン削減ボランタリークレジットの創

出事例が報告されました。)

畜産・農業向けのカーボン市場の選択肢は、今後も増加し続けるでしょう。また、パイロットプロジェクトの実施や削減手法の評価も引き続き進められると考えられます。炭素隔離技術、GHG 排出削減による追加的な収益化が可能な生産手法、さらには農業・畜産を含むあらゆる産業における正確な排出量測定技術については、まだ多くの研究開発の余地があります。現在は耕種農業や森林再生分野が市場の中心となっていますが、畜産・酪農分野がカーボンクレジット市場において果たし得る役割は極めて大きいと考えられます。

最後に

地球人口は 2050 年までに 100 億人近くに達すると予測されており、食料需要は今後も高まると考えられています。人間が直接利用できない植物繊維（主としてセルロース）を栄養源として活用し、高品質な動物性タンパク質へと変換できる牛は、人類の食料供給を支える重要な存在です。また、適切な飼養管理や放牧管理の下では、草地の維持や土壌への炭素貯留を通じて炭素循環にも貢献し得ることが明らかになりつつあります。

牛はしばしばメタンの排出源として注目されますが、その一方で、人類が利用できない資源を食料へ転換する能力や、適切な生産システムの中で環境負荷低減に貢献できる可能性も併せ持っています。牛の持つ特性を正しく理解し、その生産性やアニマルウェルフェアを損なうことなく、科学的根拠に基づいた温室効果ガス排出削減技術やカーボンクレジット制度の活用を進めることは、これからの持続可能な畜産の実現に向けて重要な課題となるでしょう。

メタン排出量の削減と食料生産の両立は決して相反するものではありません。牛を単なる温暖化の原因として捉えるのではなく、気候変動対策の一部を担いうる存在として見つめ直すことが、これからの養牛産業と社会全体に求められているのではないのでしょうか。