

米国酪農における環境負荷軽減の取組み

主席研究員 小田志保

〔要 旨〕

国際市場での主要な乳製品輸出プレーヤーである米国では、2000年代以降、個体乳量の増加で増産が続いている。経営体数減少と規模拡大、また先進技術の導入を伴いながら、世界人口増による需要拡大に起因し、2030年まで引き続き生産増加は見通される。

こうした生産性の向上は、生乳生産量1kg当たり環境汚染物質削減と整合性をもつもので、経営と環境という両方の持続可能性を米国酪農は追い求めてきた。しかし増産が排出総量の増加につながるため、乳業メーカーや酪農経営体によるGHG排出量測定やリジェネラティブ農業の実践等が酪農乳業全体でのさらなる環境負荷軽減のためにも重要になっている。

本稿での分析を通じてみえてきたのは、国による生産単位当たり汚染物質排出量等の計測といった産業を支える基盤の重要性である。こうした国の仕組みは、大学・研究機関と酪農乳業業界の連携体制のなかで活用されており、メーカー間での協調領域のあり方や国・研究機関の関わり方が日本の酪農乳業の産業育成と環境問題の両立を考えるうえで参考になる。

目 次

はじめに

1 2000年以降の米国酪農

- (1) 生乳の増産
- (2) 生産構造の変化
- (3) 生乳流通と乳価
- (4) 最低取引乳価の算定方法と改革
- (5) 牛乳乳製品の消費と貿易

2 米国酪農と環境問題

- (1) 水環境問題における排水規制
- (2) 保護地区における取水規制

(3) 温室効果ガスGHG削減対策

3 酪農部門の環境負荷軽減の先進事例

- (1) デーリィファーマーズオブアメリカによるGHG計測
- (2) リジェネラティブ農業の実践

おわりに

- (1) 米国酪農と環境負荷軽減
- (2) 日本への示唆
- (3) 本稿の分析を通じた今後の論点

はじめに

米国は、生乳生産量が1億トン超と日本の10倍以上ある酪農大国であり、南米やアジアに向けてのチーズや粉乳等の輸出も盛んだ。生産資材高騰や低い乳価水準から規模拡大が進み、経営体数を減らしながら、今後も増産は続く。

米国において、水環境問題や温室効果ガス（GHG）の排出削減は大きな課題となっており、生産効率性を上げ、生産単位当たりの汚染物質排出量を減らしてきた。しかし増産で排出総量は増加してしまうため、乳業メーカーや酪農経営体によるGHG排出量測定やリジェネラティブ農業の実践等が重要になっている。

以下では、酪農と環境負荷軽減を分析するうえで認識すべき、産業としての酪農乳業の動向を生乳生産、乳価形成、消費構造等から概観したうえで、酪農と環境問題について制度面や業界等の取組みについて整理したい。

1 2000年以降の米国酪農

(1) 生乳の増産

米国では2000年以降、生乳は増産基調にあり、今後もそれが続く見込みである（注1）。24年の米国の生乳（注2）生産量は1億245万トンで、2000年に比べ35%増えた。2030年までにはさらに生乳生産量が680万トン増えると見通されている（注3）。

2000年以降の生乳生産量は3割増加だが、乳用牛（生乳を生産できる2歳以上）の頭数は24年では934万頭で、1.6%増にすぎない。

つまり、この間の増産は、1頭当たり生乳生産量（個体乳量）の増加に起因する。実際、個体乳量（注4）は2000年の8,254kg／頭から24年の10,967kg／頭へ32.9%増加し、同時期の日本（21%増（注5））を上回る。

この個体乳量の増加は、後述するような大規模化と、それに伴う先進技術の導入、飼養管理技術の向上、遺伝的改良等によるものだ。例えば、人工授精を利用する酪農経営体の割合は、2000年の64%から21年には81%となった。搾乳機器でえた牛一頭ずつのデータを電算処理し活用する酪農経営体の割合も、2000年の6%から21年には13%となった（注6）。

なお、使用されなくなった技術もある。日本で米国産乳製品の危険性と認識されてきた、遺伝子組み換え牛成長ホルモン（rBST等）は、1996年から2014年において乳製品販売の際の懸念から使用が減り、21年での利用割合は酪農経営体数の1%ほど、生乳生産量の2%ほどである（注7）。

（注1）米国農務省ウェブサイト。（2025年10月アクセス）

（注2）搾乳後、熱消毒する前の乳。

（注3）International Dairy Foods Association（米国乳業の利益代表団体）のウェブサイト。（2025年10月アクセス）

（注4）生乳生産量を飼養頭数で割ったもの。

（注5）Jミルクウェブサイトに依拠。（2025年10月アクセス）

（注6）、（注7）Gillespie et al. (2024)。いずれも1,000ほどのサンプル対象のアンケート調査結果。

(2) 生産構造の変化

2022年の酪農経営体数（注8）は36,024で、02年の91,989と比べて△61%と大幅に減少した（注9）。これは同時期の日本の減少率（△57%）と同水準である。

また日本と同じく、小規模層での離農が顕著であることは統計から確認できる。02年～22年で飼養頭数（2歳以上）別の経営体数をみると、1～49頭層では経営体数が79%減、50～99頭層では76%減、100～199頭層では62%減、200～499頭層では19%減、500～999頭層では13%減となっている。一方、1,000頭以上層では同期間に経営体数は60%増加した。

小規模階層での経営体数減少は、乳価水準が低く、規模の経済性を求め大規模化が進んだからである（野田（2020））。さらにこの大規模化は経営形態の変化、すなわち購入飼料への依存や耕種等と

の複合経営から酪農のみへの専業化を進めた。また伝統的な放牧ベースの酪農（注10）の場合、増頭で搾乳時の牛追いの労力負担が大きくなり、通年舎飼いへ転換した（注11）。

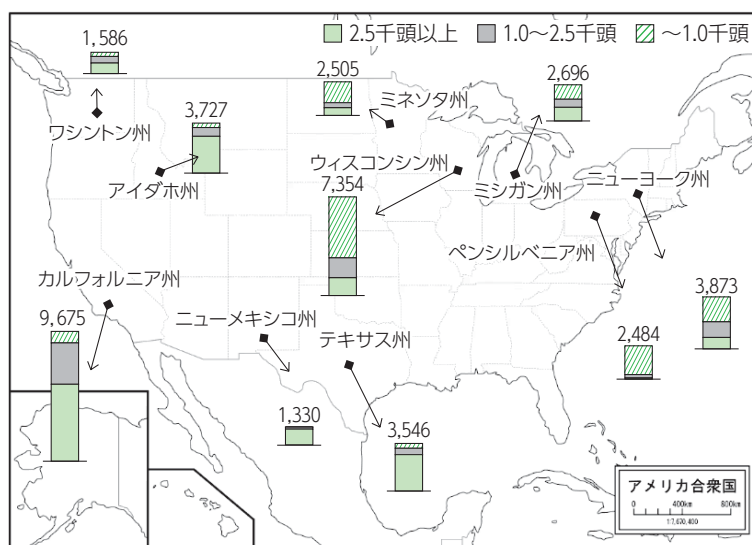
地域別にみると、大産地に生乳生産が集中している。全米の集乳量の1/3は、生産量1位のカリフォルニア（CA）州と、次点のウィスコンシン（WI）州の生産量である。とはいえ、土地利用条件

の良いCA州に大規模層は多く、伝統的酪農地帯であるWI州等は家族経営中心で、離農が進んでいるといった地域的な差もある。

2000年以降、経営体数が増加している1,000頭以上層でも州別に構造が異なる。生産量上位10州について、22年の各州の生乳生産額における飼養頭数規模別（①2.5千頭以上、②1.0千頭～2.5千頭、③1.0千頭未満）の額をみてみよう（第1図）。

全米での生乳生産額（500億ドル）のうち、CA州の生産額は9,675百万ドルと最多であり、その59%を①2.5千頭以上層が占めている。同様にアイダホ州、テキサス州、ニューメキシコ州でも①の割合が7割超と高い。一方、WI州は①と②を合算しても38%で、③の割合が5割超である。この傾向は、ペンシルベニア州やミネソタ州等の五大湖周辺の伝統的な産地、いわゆる「ミ

第1図 州の乳代収入合計に占める飼養頭数規模別割合（2022年、上位10州）



資料 米国農務省「農業センサス2022」
<https://www.ers.usda.gov/data-products/dairy-data>
(2025年10月15日アクセス)
(注) 単位は百万ドル。

ルクベルト」でみられる。

(注8) 州の規制当局の承認を受けた商業用酪農場 commercial dairy farmが対象。

(注9) 米国農業センサスに依拠。

(注10) 放牧についての定義は様々であり、ここでは放牧時期に飼料摂取量の5割を放牧地から得たものとされている。

(注11) Gillespie et al. (2024) やWhitt (2025) に依拠。

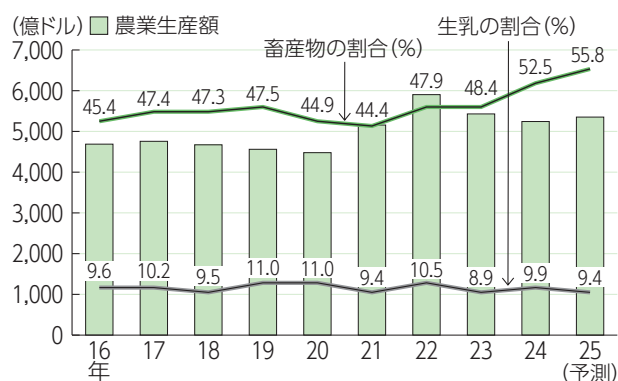
(3) 生乳流通と乳価

集乳段階では、2018年とやや古いが、酪農協同組合系統のシェアが8割とされている(注12)。なお、酪農協の組合員には伝統的な家族経営が多く、それらが主体となる小規模階層は前述のように離農が進んでいる。一方、19年に同国最大の乳業メーカー「ディー・フーズ」の倒産で、同社の資産を酪農協系の「デイリーファーマーズオブアメリカ(DFA)」が引き継いでいる。前者からは酪農協系のシェア縮小、後者からは拡大が見込まれ、現時点では不透明である。

興味深いのは、米国では自国民の栄養摂取の基礎となる牛乳乳製品の価格を相対的に抑える傾向がみられる点である。実質値で、過去10年間の農業生産額(注13)とそこでの生乳の割合をみてみよう(第2図)。農業生産額は増加し、そのうち畜産物の割合は16年の45.4%から24年の52.5%へ高まっており、25年は55.8%となる見込みである。しかし、生乳の割合は、16年の9.6%から横ばいである。

以下では、こうした傾向につながる、生乳生産量の75%が対象の「連邦ミルクマーケティングオーダー(Federal Milk

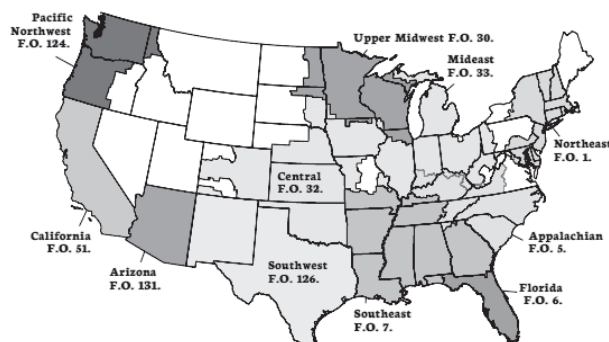
第2図 農業生産額(実質値)に占める生乳の割合



資料 米国農務省経済調査局(ERS)

Marketing Orders、以下「FMMO」)の仕組み等をみていきたい。FMMOは米国農務省(USDA)の管轄のもと、生乳成分等透明性のある乳代支払いの監査等(注14)も行うが(注15)、主な機能は第3図の11地区に所在する、牛乳類(注16)向け生乳を取り扱う乳業メーカーや生乳販売を行う酪農協に対し、「最低取引乳価(minimum uniform price)」を設定することである。日本と同じく、需給調整の難しい牛乳類の安定供給を支える仕組みであるため、11地区内でも牛乳類向け生乳を扱わない乳業等は

第3図 FMMOの11地区



資料 米国農務省

対象外となる（注17）。

なお、この仕組みは1938年の農業調整法に基づき設置され、現在は連邦規則集（注18）（CFR）第7巻1000条で規定されている（注19）。

（注12）Hoard's Dairyman誌Sarah Thomas氏の記事に依拠。

（注13）ここでは米国農務省経済調査局（ERS）報告の現金収入Cash Receiptsを用いており、畜産物は農業統計局（NASS）報告の生産額と同一。なお、全体は、商品信用公社（CCC）による商品引取りが発生する品目を含み、現金収入となる。

（注14）その他輸出表示等の業務もある。

（注15）USDA “An Overview of the Federal Milk Marketing Order Program”

（注16）連邦規則集（CFR）第7巻農業市場サービス（AMS）10章に依拠。

（注17）ウィスコンシン州ファームビューロウェブサイト に依拠。（2025年10月アクセス）

（注18）連邦規則集とは、米国連邦政府により連邦官報のなかで公布される、一般的かつ永続的な規則・規定を集成した行政法（阿竹信彦・篠崎厚志「国別規格シリーズ 国別規格米国編」東京都立産業技術研究センター）。

（注19）「交通整理は行うが権限が十分に付与されていない『交通巡査』と揶揄される。

（4）最低取引乳価の算定方法と改革

毎月の最低取引乳価の算定は、まず、USDAの統計で得た、バター、チーズ、ホエイ、脱脂粉乳（注20）の月次卸売価格から、製品別に固定の「差額調整金（Make Allowance）」を差し引き、各製品が含む乳脂肪といった成分の価格を計算する（第4

図）。そして、各製品が含む、それらの成分の量に応じて、クラスI「牛乳類（Fluid Milk）」、クラスII「ソフトな製品（アイスクリーム、カッテージチーズ、ヨーグルト等）」、クラスIII「ハードチーズ」、クラスIV「バターと粉乳」といった、4区分別のクラス価格を再構成する。このクラス価格をもとに地区内の用途別処理量でウェイトを付けプール精算したものが、生産者に支払うべき最低取引乳価となる。すなわち、乳製品の相場と乳製品工場での製造コストという生乳生産に直接関与しないものが、主な決定因子となる。

直近の、約20年ぶりとなる最低取引乳価の算定方法の包括的な改革も注目される。2010年代後半の低乳価で離農が多発し、同制度の改革は課題となっていた（野田（2020））。そこへコロナ禍での激しい価格変動等の経験があり、酪農経営体、酪農協を含む乳業メーカーら業界関係者は22年にFMMO改革をUSDAに訴えた。

USDAは23年8月から24年1月に行った公聴会で128の証言を集め、それに基づいた改革案を24年12月に公表した。同改革案を受け入れるかは、FMMOの最低取引乳価に影響を受ける酪農経営体が、地区ごとの投票で決める（注21）。酪農経営体数の2/3

第4図 最低取引価格の算定における成分価格の決め方

$$\boxed{\text{卸売価格/kg}} - \text{差額調整金 (製造コスト)/kg} \times \frac{\text{換算率}}{(\text{成分量/1kg製品量})} = \text{成分の価格}$$

資料 野田（2020）やウィスコンシン州ファームビューロのウェブサイトから作成（2025年10月アクセス）

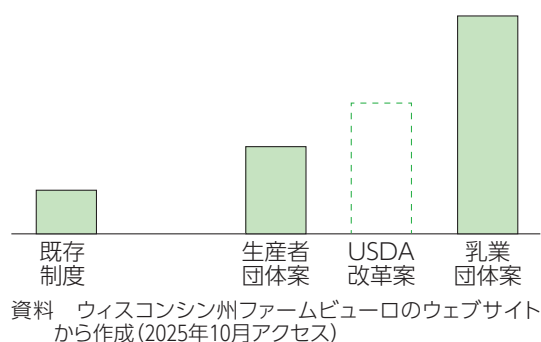
以上、もしくは生乳生産量でみた2/3以上の賛成があれば可決となる。

公聴会では、生産者側と乳業側は差額調整金の設定等で意見が食い違った。差額調整金が多いほど、最低取引乳価は小さくなるからである。既存制度での差額調整金の実態を大きく下回る点では一致していたが、引き上げ幅は生産者団体案より、乳業者団体案の方が大きかった（第5図）。

この場合、USDAの改革案は両者の折衷案となる（注22）。そして、こうした改革案にかかる投票では、改革案を受け入れるか、その地区でのFMMOそのものの廃止か、しか選択肢が無い。これはUSDAによる1938年農業調整法の解釈に拠るもの（注23）だが、否決の場合、その地区からFMMOが持つ他の機能（生乳検査等）も失われる。したがって、生産者側は反対しづらく、乳業側の意見も反映しやすい仕組みとなっているようだ。

結果として、11地区全てで改革案が受け入れられ、2025年6月1日に6つの変更点のうち5までが、12月1日から残る1つが導入される。野田（2020）が指摘する、チ

第5図 差額調整金の引き上げの提案イメージ



ーズ向け乳価の下落圧力を及ぼしていたチーズの500ポンド・バレルタイプが算定範囲から外れる等の変更があった。

（注20） Non-Fat dry milk.

（注21） USDAは改革案を作成するに、公聴会で得られた証言に根拠することが義務付けられている。

（注22） ウィスコンシン州ファームビューロウェブサイトに依拠。（2025年10月アクセス）

（注23） <https://www.fb.org/market-intel/understanding-the-fmmo-referendum-process>
（2025年10月アクセス）

（5）牛乳乳製品の消費と貿易

つぎに牛乳乳製品の消費構造等をみていきたい。

まず、米国政府の統計では、牛乳類（Fluid Milk）とは、成分無調整牛乳と低脂肪乳、無脂肪乳を含んでいる。日本の牛乳に相当する、成分無調整（ノンフレーバー）の製造量は21年では721万トンと、生乳生産量の7%ほどで、同年の低脂肪乳の製造量（910万トン）より少ない（注24）。

牛乳乳製品ではチーズの製造量が大きく、24年では646.3万トンある。単純に生乳換算係数（注25）を乗じると生乳生産量の8割がチーズ向けとなる。なお、バターの製造量は100万トンで、同様に計算すると1割がバター向けとなる。

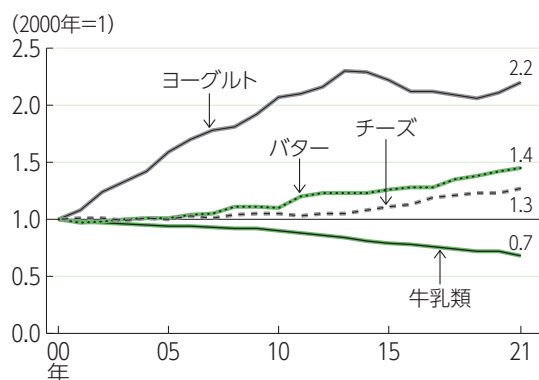
ただし、チーズ向けは生乳生産量の8割としたが、米国のチーズ製造量の4割が「アメリカン・チーズ」、すなわちナチュラルチーズ以外にも原料とするプロセスチーズであり、チーズ仕向けの実際の生乳量はもっと少ないことに留意が必要である。

2000年以降の米国の消費者一人当たり消費量は、牛乳類の減少が顕著で、2000年を1とすると21年は0.7となった（第6図）。この減少要因のひとつは植物性代替品の台頭だが、09年以降は牛乳類の消費は回復している。大きく伸びたのはヨーグルト（2.2）、バター（1.4）、およびチーズ（1.3）で、牛乳類の消費減をこうした乳製品消費増で相殺し、米国の牛乳乳製品の消費は拡大している。

一般に、こうした牛乳乳製品の消費量の全体動向をみる際、各製品の原料となる生乳の量に換算し、合算して推移をみる必要がある。さらに米国では、これを乳脂肪と乳タンパク質で区別し生乳換算（注26）している。第1表はその区分・換算で24年の米国の牛乳乳製品消費量を表したもので、乳脂肪基準では10,108万トン、乳タンパク質基準では8,312万トンとなる。つまり、米国でもタンパク質が多い粉乳等の消費量は相対的に少ないことが特徴だ。

さらに、第1表で換算した消費量に対する輸出入量をみると、消費量が少ない粉乳

第6図 消費者一人あたり消費量



資料 米国農務省ウェブサイト(2025年10月アクセス)

第1表 24年の米国の消費量、輸出入比率(乳脂肪基準、乳タンパク質基準の生乳換算)

(単位 万トン、%)

	消費量	輸入比率	輸出比率
乳脂肪基準	10,108	4.1	5.3
乳タンパク質基準	8,312	3.7	26.7

資料 米国農務省ウェブサイト(2025年10月アクセス)

等を輸出に仕向けていると想定される。乳タンパク質基準では輸出量は537.2万トンで、国内消費量に対し輸出比率が26.7%と、同基準の輸入比率（3.7%）や、乳脂肪基準での輸出比率（5.3%）を大きく上回っている。実際、米国の24年の乳製品輸出額は80.5億ドルで、アジアや中南米向けのチーズと脱脂粉乳等が主体である。

今後、乳業メーカーは28年までに110億ドル超もの設備投資を行う（注27）。その内訳は、チーズ、牛乳類（クリームを含む）、ヨーグルト等がそれぞれ30億ドルずつで、これは世界市場での乳タンパク質需要の拡大等を受けたものである。

（注24）生乳生産量の4割ほどが牛乳向け、かつ牛乳の製造量が加工乳・成分調整牛乳の8倍ほどの日本は、米国に比べ、牛の乳の味をピュアに好む民族といえよう。

（注25）日本乳業協会「日本乳業年鑑」に依拠。

（注26）生乳の標準的な乳脂肪含有量と各製品のそれから換算した、必要な生乳の量。3.67%

（注27）International Dairy Foods Association。米国乳業の利益代表団体ウェブサイトに依拠。（2025年10月アクセス）

2 米国酪農と環境問題

このように大産地に生産が集中し、規模拡大を進めながら増産してきた米国酪農だが、今後も生産拡大は見込まれ、全体とし

ては温室効果ガス排出総量の増加、また大産地ではとりわけ排水規制や取水規制といった水環境問題に直面している。

(1) 水環境問題における排水規制

畜産の水環境問題とは、第一に排水による水質汚染がある。日本でも1999年施行の「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律」や「水質汚濁防止法」等が牧場からの汚染物質を規制している。

米国では、牧場からの排水は「1972年連邦水質浄化法（Clean Water Act (CWA)）」が規制している。同法は、畜産経営体（注28）を「集約的動物飼養事業（CAFO）」とし、各州政府が管理している（Cloutier (2025)）。

同制度は、一定規模かつ施設の構造等の条件に当てはまる牧場をCAFOと指定する。家畜飼養施設は、家畜の種類や月齢、飼養頭羽数規模等で区分され、酪農の場合は、「牛（乳用牛以外）」に生乳生産前の育成牛等、生乳を生産する「乳用牛」、副産物として販売される「子牛肉用子牛」のそれぞれについて、飼養頭数規模で大型・中型・小型と区別される（第2表）。例えば、乳用牛を700頭以上飼養する牧場は、大型に区分され、CAFOに指定される。200～699頭の乳

用牛の牧場は中型とされ、堆肥や廃水を地表水へ運ぶ人工の溝やパイプがある場合か、家畜が飼養区域を流れる地表水と接触する場合のいずれかに該当するならCAFOとなる。なお、小型については個別判断にゆだねられる（注29）。

CAFOに指定されると、当局の許可が必要となる。しかし、その運用は州別に大きく異なるようだ。2024年末の生乳生産量上位10州で、CAFO（大型・中型）に分類される牧場数と規制当局の許可を受けたCAFO数を比べると、WI州、ミシガン州、ペンシルベニア州等では100%に近く、CA州等は10%ほどである（第3表）。

このような州の差は、同制度の運用が州政府に任せられ、州の独自制度と重複している状況を反映している（注30）。例えば、「2014年カリフォルニア州持続可能な地下水資源管理法」は特定エリアの牧場に地下水管理プログラムへの参加を求めている。また、WI州は冬季における^{じょう}ほ場への堆肥還元を制限する規制等を別途講じている（Cloutier et al. 2025）。

(注28) 農業関係の多くは同法の規制対象外。
(注29) 米国環境保護庁ウェブサイト（2025年10月アクセス）
(注30) IOWA Capital Dispatch（2022年の記事 <https://iowacapitaldispatch.com/2022/11/21/large-cafos-are-known-polluters-heres-why-epa-permits-only-cover-one-third/>, 2025年10月30日アクセス）

(2) 保護地区における取水規制

つぎに牧場の地表水の取水に関する規制について紹介する。これも特定の水域に関

第2表 CAFOの認定基準(酪農部門)

	(単位 頭)		
	大型	中型	小型
牛(乳用牛以外)	1,000以上	300～999	300未満
乳用牛	700以上	200～699	200未満
子牛肉用子牛	1,000以上	300～999	300未満

資料 米国環境保護庁ウェブサイト(2025年10月アクセス)

第3表 生乳生産量上位10州のCAFO数とそのうち当局の許可有割合(2024年末)

(単位 牧場、%)

	CAFO (大型・中型)	当局の許可有	(割合)
カリフォルニア州	1,063	117	11
ウィスコンシン州	346	343	99
アイダホ州	274	0	0
テキサス州	1,049	523	50
NY州	465	0	0
ミシガン州	292	278	95
ミネソタ州	1,585	905	57
ペンシルベニア州	459	459	100
ニューメキシコ州	171	21	12
ワシントン州	140	23	16

資料 米国環境保護庁[NPDES CAFO Permitting Status Report]

する制度となっている。地表水を使った灌漑が多い米国西部では（注31）、飼料生産を含む穀物生産等で、徐々に地下水の帯水層からの取水量を増やしている。背景には、近年頻発する干ばつや都市部の人口増加、また他産業での水利利用量の拡大、そして環境規制の厳格化がある。農業と他産業での取水をめぐる競合は20世紀から警告されてきたもので、2000年以降表面化している。また温暖化で農業でも水需要は拡大し、大きな社会問題となっている（注32）。

なお、日本でも酪農経営体の取水は農業用水の一種である畜産用水として、河川法のもと水利権取得が必要とされる。とはいえ、20年の農業用水の利用量年間500億m³の9割が水田向けで、それ以外は相対的に課題となりにくい様子である。

また特定地域での牧場新設が一定規模の取水を伴う場合、申請が必要となる。連邦規則集（CFR）第18巻第3章、第4章、第5章は、特定地域での基準値以上の取水を規制

している。例えば、第3章では、ペンシルベニア州南東部地下水保護地区等で30日以上1万ガロン／日以上¹の取水を新たに行う、もしくは拡張するいかなる主体も許可申請が必要とされている。これは酪農経営体に限定されていないが、一般に搾乳中の乳用牛の飲水量は75～180リットル／日なので、200～500頭規模の牧場ならこの基準値を軽く超えてしまう。大規模化する米国酪農が直面する課題といえよう。

（注31）、（注32） Hrozencik et al. (2021)

（3）温室効果ガスGHG削減対策

つぎにGHGについてみてみよう。

22年の米国のGHG排出量は5,489百万トン（CO₂換算、以下同じ）（注33）で、その11%にあたる593.4百万トンが農業由来とされる。全体では2007年をピークに減少しているが、農業部門では乳用牛を含む反すう動物の消化管由来とふん尿由来のメタンを中心に排出量は増加している。

25年1月からの第2次トランプ政権のもと、21年に国連気候変動枠組条約に提出した長期戦略（LTS）で掲げた2050年ネットゼロ排出目標等を米国は無効化した。クリーンエネルギー分野への大規模投資等で2030年までにGHG排出量の40%削減を掲げた22年「インフレ削減法（IRA）」の主要部分も、25年までに改正・廃止されてしまっている。

しかしポジティブな意味でも、今後の見

通しは不透明である。気候変動に対して現在と同じ姿勢だった第1次トランプ政権（17～21年）のもとでは、2017年対比で21年の国全体のGHG排出量は△3.4%と減少しており、これには電力部門の寄与度が△3.0% Pと大きかった。さらに同期の減少幅は、第2次オバマ政権（13～17年）の減少幅（△4.3%）と大差なく、09年～13年の第1次オバマ政権（同△0.3%）よりも大きい。

つまり、連邦政府の方針とは別に、州政府の支援もあろうが、産業界では経済的なメリットのための効率化を進め、GHG排出量が削減される動きはあるのだろう。

酪農でも、1970年以降の長期でみると、個体乳量と飼料効率性の向上、飼料作物反収増で生産単位での汚染源排出量や資源消費量を減少させてきた（rotz et al. (2023)）。

具体的な生乳1kg当たりGHG、すなわち「GHG強度（GHG emission intensify）」は、国が提供する「IFSM（Integrated Farm System Model）」というソフトウェアで計測できる。IFSMとは、USDAの農業研究サービス（ARS）によるプロセスレベルシミュレーションモデルで、1980年代に飼料生産量と牛の飼料摂取量見込みを推計するためつくられた「DAFOSYM」からの発展である。堆肥管理等別の推計といった経営の持続可能性にかかる精密度向上に加え、GHG排出量、硝酸塩の浸出、リン流出、さらに各生産システムのフットプリントの計測（LCA）といった環境の持続可能性にかかる機能も拡張させてきた。

Rotz et al. (2020) によるIFSMを用いた

計算では、2020年時点では、GHG強度は $1.01 \pm 0.09 \text{ kg} / \text{生乳} 1 \text{ kg}$ であり、これは国際的にみてもかなり低い水準である。

（注33） LULUCF部門による吸収を考慮した純排出量。

3 酪農部門の環境負荷軽減の先進事例

このようにGHG強度の点で環境負荷軽減が進むものの、今後の増産で汚染物質の排出総量は増える恐れもある。したがって、業界団体である米国酪農イノベーションセンター（注34）が「米国酪農ネットゼロイニシアチブ（NZI）」等を掲げ、2050年までのGHG排出量のネットゼロを、水環境問題への対応とともに進める動きは重要となる（注35）。その一翼を担うDFAの組合員指導や、北米酪農におけるリジェネラティブ農業の導入の動きを、文献サーベイにより、みていくことにする。

（注34） 2008年設立の同センターは、酪農乳業全体から各組織の代表が参画する任意団体で、サステナビリティといった非競争領域で共同し、業界全体として健康で持続可能な将来のために活動する組織である。

（注35） <https://www.usdairy.com/sustainability/environmental-sustainability/net-zero-initiative>
(2025年10月アクセス)

(1) デーリィファーマーズオブアメリカによるGHG計測

DFAは、カンザス州を本拠地とする酪農協系乳業メーカーである。23年の組合員数は10,000人と、米国の酪農経営体の1/4

超に相当する。従業員は19,000人で、完全子会社の製造拠点が82か所、2024年の売上高は230億米ドルと世界3位の乳業メーカーである（注36）。

DFAは、30年までに同社のGHG排出量（注37）を18年対比で30%削減することを目指している。同社のGHG排出量の9割超が、生乳生産等に由来し、この目標達成には、まずは組合員の生乳生産でのGHG排出量の把握が必要となる。

DFAは、担当職員を組合員の牧場に3年に一度訪問させ、「全国酪農経営体プログラム（National Dairy Farm Program）」に基づき、①動物福祉、②環境スチュワードシップ、③土壌スチュワードシップ、④乳質、⑤労働環境といった項目別にアセスメントを実施している。全組合員が対象なので、年間3～4千牧場ほどがこの取組みの対象となる。

ここで基準としているプログラムは、全米の酪農経営体、乳業メーカーに利用が開放されており、同国最大の生乳生産者団体「全米生乳生産者連盟（NMPF）」が、非営利組織「デーリイマネージメント社（注38）」との連携で09年に構築したものである。GHGに関しては、17年に開始した②環境スチュワードシップが、個別の牧場のGHG排出量を可視化し、それを消費者に保証するためのツールとなる。アセスメントにかかる人件費以外は、酪農経営体は無償で利用できるものとみられる。またアセスメントを行う資格制度も同プログラムのもと用意されている。

具体的なGHG測定は「RuFasモデル」という、前述のIFSMを発展させたシミュレーションモデルを使っている。さらにその信頼性を高めるために、査読付きの学術論文として認められた内容だけを、設計やその更新に採用したり、国の研究機関やコーネル大学等の研究者の関与を求める。

インプットするデータは、生乳生産、牛群、飼料、燃料使用、堆肥管理に関するものである。また包括的な情報把握のため、22年から始まった「保全活動に関する調査票（CPQ）」で、牛床や飼料等での副産物利用、牧場内での水のリサイクル等についての行動を把握している。

データを入力すると、個々の牧場ごとに、飼料生産、堆肥管理、燃料使用、消化管内発酵メタン等の別に、GHG強度が得られる。データをインプットした酪農経営体やDFA担当者は、パスワードとIDでログインした後、評価結果を閲覧できる。また、組合員について計測したGHGを合算すれば、DFAは生乳生産等からのGHG排出総量を得られる（注39）。

このように本事例においては、個々の牧場からのGHG排出量を業界共通の評価枠組みで算出し、乳業メーカーとしては一層科学的なGHG排出量の公表に努めている点が特徴である。

（注36） 売上高はラボバンクの推計。

（注37） パリ協定の目標に整合するよう、科学的な根拠に基づき企業が設定した内容と専門機関に認められているもの。

（注38） 酪農振興のために生産者等の拠出金（チェックオフ）で設立。

（注39） <https://nationaldairyfarm.com/>

(2) リジェネラティブ農業の実践

最後に北米酪農で導入が進む、リジェネラティブ農業（注40）（RA）について述べる。

（注40）日本では環境再生型農業とも訳されている。

a RAの定義は多様

RAとは、学術論文には1982年にはじめて登場した用語で、2010年代後半から注目が高まった。土壌の生産性の低下、高温化に伴う作物脆弱性、降雨パターンの変化、干ばつや洪水、そして病虫害圧力の強まりといった気候変動による長期的な混乱を背景に、ジェネラル・ミルズ、ダノン、ネスレ、ユニリーバ、ペプシコ、ウォルマートといった大企業がすでにRA関連のパイロットプログラムを開始している（注41）。

Newton et al. (2020) によると、統一的な定義は無い。例えば、RAのコンサルティング等を行うアンダスティング・アグ社（以下、「UA社」）のゲイブ・ブラウンは、RAを「自然との調和を図りながら農業と牧畜を行い、土壌中のあらゆる生命から始まり、地表のあらゆる生命へと広がっていく生態系の機能を修復し、再構築し、活性化させる（注42）」としているが、なかなか単純化しづらい内容と思われる。

統一した定義はまだないが、Newton et al. (2020) が、学術論文や関連団体による記述をまとめたところ、RAとは「①プロセ

スペース（原理Principleと／または実践Practice）」、「②アウトプットベース」、もしくは①と②の両方を指すようだ。USDAの有機認証が化成肥料の使用不可等、固有の実践を制限するものから考えると、かなり柔軟で複雑な領域である。

まず①の原理とは、例えば前述のUA社が提唱する、「^{じょう}は場が置かれているコンテキスト（状況）に合わせる」といった基本原則（6-3-4TM）等が挙げられるし、それにつながる実践としては、「土壌の地力を高める作業、総合防除（IPM）、品種改良技術の活用、有畜複合、不耕起、カバークロップ、マルチ、コンポスト、揚げ床（raised bed）、アグロフォレストリー、シルヴォパスチャー（農林複合経営）（注43）、在来種の保全」といったRAと意識せずに導入している技術も含まれ、幅広い。一方、②アウトプットベースでの指標は、土壌の健康、生物多様性の向上、GHG吸収が多いようだ（Newton et al. (2020)）。

RAの内容は多様だが、共通するのは、^{じょう}は場が置かれた気候的、地理的、社会的な条件に応じて、生産者が必要な技術等を導入し、それらが相互に影響しあうシステムの構築を重視する点であろう。RAは万能で画一的な解ではなく、構成要素の間に相互規定関係が存在し、秩序ある全体をなしているという前提に立つ「システムズ・アプローチ（注44）」の考え方に立ち、生産の課題解決を目指すものと思われる。

（注41） Wilson et al. (2023)

（注42） 2024年10月のTED登壇時の講演に依拠。

（注43） 樹木と家畜の相互作用等で生物多様性の向

上といった効果が期待されるもの。
(注44) Gary Zimmer (2016) に依拠。

b RAの導入状況

このように1980年代から概念として存在するRAには、統一的な定義が無いため、ここではカバークロップ(注45)の導入率を米国酪農でのRAの導入状況と置き、みていくことにする。

2022年農業センサスによると、米国農業全体での同年のカバークロップ作付面積は、728万ヘクタールと17年対比で17%増加し、耕作地面積の4.7%に達した。同比率は第7図のように地域差があり、その背景にはメリーランド州のように水質改善を目的としたカバークロップ導入支援策の有無や、冬枯れしてしまう等地理的な条件の差がある。

USDA (2024) によると、全米平均で酪農部門(注46)でのカバークロップ導入面積は、経営面積の半分未満と推計されている。また畑作経営が管理するものを含む飼料用

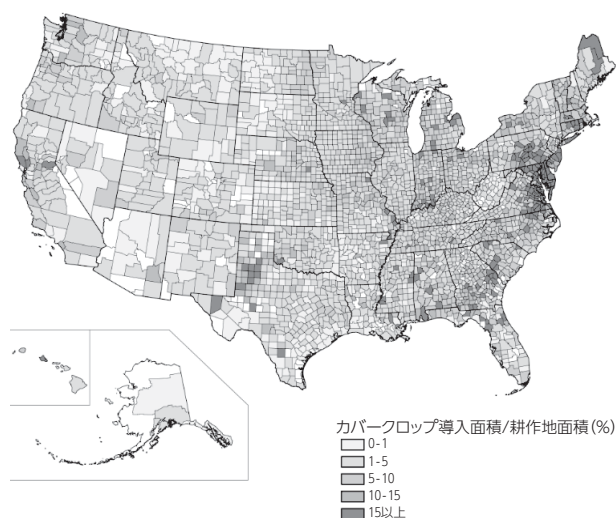
のトウモロコシの生産でのカバークロップはライ麦が主流で、冬小麦やそれらの2種混合、およびその他(大麦、エンドウ、大根、ヘアリーベッチ、カラシナ、菜種)とされる(注47)。

このようなカバークロップの導入は間作を伴う。トウモロコシでは4葉期、大豆では成熟期(注48)といったタイミングでカバークロップの播種^{はしゅ}を主作物の間に行う。したがって主作物の生育を邪魔しないような精密さが必要と思われ、GPS付き農機の活用等、スマート農業の導入が効果的である。そして、こうした先進技術の導入は、前述したような規模拡大のなか、生産の効率化とともに進んだと推測される。

カバークロップ導入に技術導入を伴うことを裏付ける結果もある。カバークロップ導入の阻害要因が、測定可能な経済的なリターンの欠如や労力不足とされる点である。農業コンサルタント(N=649)へのアンケート調査(24年10月実施)では、7割の回答者はこれらの要因が生産者のカバークロップ導入を妨げているとする(注49)。作業の精密さやそれに関する省力化を進める機械導入には多額の設備投資が伴うものの、カバークロップの導入に経済的なメリットが無いと投資計画が立ちにくいのであろう。

そこで、とくに経済的なリターンに対応するような認証制度等の構築も進められている。例えば、「リジェンティファイト Regentified」は、米国等を中心とした小売店向け認証制度である。前述のUA社が中心となり手掛けるもので、ほ場^{じょう}で65点のデー

第7図 カバークロップ導入面積比率



資料 米国農務省「農業センサス2022」

タを入手し解析する。2024年時点ですでに350農場が認証を受けており、その農畜産物を調達した30超の大手ブランドが使用している。

(注45) 農研機構によると、土壌浸食を防ぎ土壌中に有機物を加えて土壌改良に役立つ作物の総称で被覆作物とも。土壌の物理性改善、センチュウの防除、天敵の保持・増殖など多くの機能が知られる。カバークロップ導入とともにRAの代表的な技術として知られる不耕起については、その環境への効果が確立していない様子もある(Zimmer, 2011)。

(注46) 酪農経営体が行う肉用子牛繁殖部門を含む。

(注47) <https://www.ers.usda.gov/data-products/charts-of-note/chart-detail?chartId=105385>
(2025年10月アクセス)

(注48) <https://cropsandsoils.extension.wisc.edu/articles/grazing-cover-crops-and-annual-forages/>
(2025年10月アクセス)

(注49) CTIC, SARE, astalによる農業コンサルタントを対象としたカバークロップに関するアンケート結果(2025年3月公開)に依拠。

おわりに

(1) 米国酪農と環境負荷軽減

2000年以降の生乳の増産は今後も続く。技術による個体乳量の向上や、低乳価で大規模化は進んだ。この低乳価は、米国内の牛乳乳製品の消費拡大を支えていると推測され、FMMOの改革でも酪農経営体が理想とする水準には達しないだろう。もちろん農政による経営のセーフティネットは講じられてきたと思われるが、2000年以降の経営体数の減少率は日本と同様で、その手厚さは感じられなかった。

環境問題に関しては、規模拡大や干ばつのなか排水や取水での制度づくりが進んで

いる。GHG排出については、現政権では見通しが立ちづらいものの、確実なのは、経済効率性を求めて、結果的にGHG排出量も削減される可能性があることだ。米国酪農でも長期にわたり、汚染源排出量や資源消費量の生産単位当たり減少が図られてきた。

興味深いのは、米国政府により、かなり緻密にGHG排出量を計測する基盤が構築されている点である。これは、酪農乳業が丸となったDFAの取組みでみたように、牧場ごとのGHG排出量計測「RuFasモデル」の基礎となっていた。

また北米酪農でのRAの導入についてみてみた。RAはプロセスやGHG排出量削減といったアウトプット、およびその組み合わせといった、多様性にとみ把握しづらい。カバークロップ導入のみをみると、米国酪農ではある程度の広がりが見られた。課題となる、経済的なリターン等に対して、すでに稼働しつつある認証制度の面的な広がりが期待される。

(2) 日本への示唆

日本の酪農乳業での環境負荷軽減を考える際、以上の分析を経て以下の2点が示唆される。

第一に生産単位当たり汚染物質排出量等の計測基盤を国が長期にわたり、また経営の持続可能性の展開として構築することの重要性である。日本でも、適正な乳価水準は何かを考える際、科学的な分析に耐えうる経営データの必要性や、それによる経営のシミュレーションモデルの構築が重要と

いわれてきた。米国政府は、その展開としてのGHG排出強度を測る仕組みを作っている。農業経営と環境の持続可能性について同じテーブルで語られているように推測された。また、長い歴史を持つシミュレーションモデルなら社会的にも納得感が得られやすく、これを用いて生産者側が環境負荷軽減の取組みの証拠として消費者に表示しやすいのではないかと。

第二に、こうした国の仕組みや、大学・研究機関での研究蓄積は、酪農乳業業界の取組みが科学的であることのお墨付きとなっていた点である。そしてその業界の取組みは、各社が生産者のアセスメントを行う取組みを可能としている。とくに後者に関しては、日本では指定団体制度のもとでの合乳が需給調整のために必須だが、同時に乳業メーカーによる生乳生産段階でのGHG排出量測定を難しくしているという点からしても、協調領域と競争領域に区別して、酪農乳業業界としてどのように環境負荷軽減を進めるかを考えた際、大いに参考になる。

まとめると、米国における国や業界における基盤づくりが注目されるし、そのことが取水問題やRAのような、広大な国土において気候等での多様性を前提としながら、地域性に応じた規制や新たな取組みを可能にし、強い産業づくりを支えていると考える。

(3) 本稿の分析を通じた今後の論点

最後に今後の調査研究の方向性として、需給調整に言及したい。移民により人口増加気味の米国と比較するのは難しいが、人

口減少著しい日本でも、バターといった乳脂肪分の需要量に対し、乳タンパク質である脱脂粉乳は過剰供給となりやすい消費構造にある。

米国ではこうした乳タンパク質は輸出に仕向けられている部分が多い。こうした構造が歴史的にどのように構築されてきたのか。乳製品工場への多額の設備投資と長期的に一定量の生乳が調達できることが条件となろうが、深掘りできなかった。

日本では、国内人口や酪農経営体の減少から生乳の生産目標が設定されがちだが、乳業メーカーの経営を起点にホエイも含む粉乳等に設備投資を行うための産地形成のあり方という論点は重要だろう。

<参考文献>

- ・野田圭介(2020)「統合が進む米国酪農産業と乳価制度改革」『海外情報 畜産の情報 2020年4月号』
- ・Cloutier, L et al. "Environmental sustainability in US dairy farms: Policies, practices, and outcomes", *Journal of Environmental Quality*, 2025
- ・Gary F. Zimmer, *The Biological Farmer-a complete guide to the sustainable & profitable biological system of farming*, 2016, ACRES. USA
- ・Kelly Wilson, Stephanie Mercier, and Rob Myers, "Encouraging Farmer Adoption of Regenerative Agriculture Practices in the United States", 2023, *The Chicago Council on Global Affairs*
- ・R. Aaron Hrozencik and Marcel Aillery [Trends in U.S. Irrigated Agriculture: Increasing Resilience Under Water Supply Scarcity] *Economic Research Service Economic Information Bulletin Number 229*
- ・Christine Whitt, "U.S. Dairy Policy", CRS Report, 2025 (<https://crsreports.congress.gov>) USDA Economic Research Service, "Livestock, Dairy, and Poultry

Outlook:September 2025 (2025/9/18)”

- Jeffrey Gillespie, Eric Njuki, and Angel Teran, “Structure, Costs, and Technology Used on U.S. Dairy Farms”, 2024, USDA Economic Research Service
- Kleinman et al. (2019) :Peter J. A. Kleinman,* Rosemary M. Fanelli, Robert M. Hirsch, Anthony R. Buda, Zachary M. Easton, Lisa A. Wainger, Chris Brosch, Martin Lowenfish, Amy S. Collick, Adel Shirmohammadi, Kathy Boomer, Jason A. Hubbart, Ray B. Bryant, and Gary W. Shenk

2019, 「Phosphorus and the Chesapeake Bay:Lingering Issues and Emerging Concerns for Agriculture」『Journal of Environmental Quality』

- Rotz, A. et al. (2024) "Fifty years of environmental progress for United States dairy farms," *Journal of Dairy Science*. 107, Jun.

(おだ しほ)

