



# 気候変動と 世界の乳牛セクター

将来の低炭素社会における酪農乳業セクターの役割

©FAO/Giuseppe Bizzarri



**謝辞**

本書は、国連食糧農業機関（FAO）、グローバル・デリー・プラットフォーム（GDP）、持続可能な畜産のためのグローバル・アジェンダ（GASL）の各組織の協力により作成されました。

# 気候変動と世界の乳牛セクター

将来の低炭素社会における酪農乳業セクターの役割

発行：

国連食糧農業機関（the Food and Agriculture Organization of the United Nations）

および

グローバル・デーリー・プラットフォーム（the Global Dairy Platform）

ローマ、2019年

必要とされる引用：

FAO and GDP. 2018. *Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future* (気候変動と世界の乳牛セクター - 将来の低炭素社会における酪農乳業セクターの役割) . Rome. 36pp. ライセンス : CC BY-NC-SA- 3.0 IGO

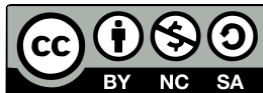
この文書は上記の原文から一般社団法人 Jミルクが作成した翻訳（仮訳）であり、仮訳の正確性、完全性等については保証をするものではありません。この翻訳は国連食糧農業機関（FAO）またはグローバル・デーリー・プラットフォーム（GDP）が作成したものでなく、FAO および GDP は翻訳の内容や正確さについて責任を負いません。原文の英語版を正式な版とします。

本情報製品における使用名称と提示資料は、国、領土、都市、地域の法的地位や発展状況またはその関係当局の法的地位や発展状況に関し、あるいは国境や境界の画定に関し、国連食糧農業機関（FAO）やグローバル・デーリー・プラットフォーム（GDP）の意見表明を示唆するものではありません。特定の企業や製造業者の製品への言及は、それらが特許取得済みかどうかに関係なく、FAO や GDP が、言及されていない同類の性質を有する企業や製品よりもそれらを宣伝・推薦していることを示唆するわけではありません。

本情報製品で示される見方は著者のものであり、必ずしも FAO や GDP の見方や方針を反映するわけではありません。

ISBN 978-92-5-131232-2 (FAO)

© FAO, 2019



一部の権利を留保。本作品はクリエイティブ・コモンズ表示-非営利-継承 3.0 IGO ライセンスの下で利用できます（CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode>）。

同ライセンスの条件に従い、本作品は、適切に引用することを条件として非営利目的で複製、頒布、変更することができます。本作品を使用する際は、FAO が特定の組織、製品、サービスを宣伝していると示唆してはなりません。FAO ロゴの使用は認められません。本作品を変更する場合、変更された作品にも同一または同等のクリエイティブ・コモンズ・ライセンスを付与しなければなりません。本作品が翻訳される場合、必要な出典とともに次の免責事項を含める必要があります。「この翻訳は国連食糧農業機関（FAO）が作成したものでなく、FAO は翻訳の内容や正確さについて責任を負いません。原文の英語版を正式な版とします。」

ライセンスの下で生じる、友好的に解決できない争議は、別段の定めがある場合を除き、ライセンス第 8 条に規定される調停と仲裁によって解決します。適用される調停規則は世界知的所有権機関 <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/> の規則であり、仲裁は国連国際商取引法委員会（UNCITRAL）の仲裁規則に従います。

第三者による資料。表、図、画像など第三者に帰属する本作品資料の再利用を希望するユーザーは、その再利用に許可が必要かどうかの判断および著作権所有者からの許可取得について責任を負います。本作品を構成する第三者所有の要素に関する侵害から生じる申し立てのリスクは、ユーザーのみが負います。

販売、権利、ライセンス許諾。FAO の情報製品は FAO のウェブサイト（[www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)）に掲載されており、[publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org) を通して購入できます。商業利用は [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request) を通して申請してください。権利とライセンス許諾に関する質問は [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org) で受け付けます。



## 要約

1. 状況の説明	11
2. アプローチ	14
3. 生乳生産の動向と生産効率	16
4. 乳牛セクターからの排出量の動向	20
5. 酪農乳業セクターが果たせる役割	28
付録	34

# 要約

気候変動は、人口増加、貧困緩和、環境悪化、世界的な食料不安と共に、21世紀を特徴づける課題に数えられます。食料生産を脅かす気象パターンの変化や、壊滅的な洪水のリスクを高める海面上昇など、気候変動の影響は世界全体に及び、これまでにない規模に達しています。はっきりしているのは、Win-Winの（双方にプラスになる）解決策を講じなければ、気候変動によって他のすべての課題がさらに深刻になるということです。

政策立案者にとって - そして酪農乳業セクターにとって - の課題は、社会のニーズを満たしつつ、環境影響をいかに削減するかです。乳・乳製品は、健康的で栄養豊かな食生活に役立つ基本的な栄養素を豊富に含んでいます。質の高い動物性タンパク質の需要が世界的に増加しているため、酪農乳業セクターは乳・乳製品の供給を通して世界の食料安全保障と貧困削減に貢献できる有利な立場にあります。その際、セクターの成長が環境および公衆と家畜の衛生福祉の点で、また開発、貧困緩和、社会発展の点で持続可能であることはきわめて重要です。

2015年12月にパリの「国連気候変動枠組条約締約国会議（COP）」で採択され、195カ国の支持を得たパリ協定は、あらゆるセクターとステークホルダーが気候変動対策に直ちに着手する必要を気づかせる好機となりました。

世界ではすでに、たとえば環境や人々の暮らしに被害をもたらす洪水、暴風雨、干ばつ、森林火災などの頻度が高まっています。酪農乳業セクターは、危険な気候変動を避ける世界的な取り組みに効果的に貢献し、変動する気候に対して回復力を備え、準備し、適応しなければなりません。

気温上昇を抑えるため、酪農乳業セクターは温室効果ガス（GHG）の排出量を削減し、将来の低炭素社会に向けて取り組む必要があります。幸い、セクター内には排出量削減によって気候変動を抑制する多くの機会があります。変化の規模と時期については不確かな点もありますが、変化が起こりつつあることは確かなため、環境、経済、文化を守るために、



今、行動を起こすことはいずれにしても有意義です。

気候変動への対処方法を検討するために酪農乳業セクターに必要なのは、ステークホルダーがどのように貢献できるか、どのように貢献しなければならないかを理解できる、明快にわかりやすく提示された身近なエビデンス（証拠）です。

この報告書は、酪農乳業セクターが気候変動の課題に対処し、低炭素社会に向けて歩む道を定めるさらなる一歩として、2005～2015年の世界の炭素排出量に対する同セクターの寄与を理解するための試みです。

## 酪農乳業セクターからの排出量

本調査には、同セクターの GHG 排出量が 2005～2015 年の間に 18 パーセント増加したことが示されています。消費者需要の増加に対応し、生乳生産量が全体として 30 パーセントと大幅に増加したからです。絶対排出量の動向は、乳牛頭数の変化とセクター内の生産効率の変化を反映しています。世界では 2005～2015 年の間に乳用牛が 11 パーセント増加しました。同時に、世界の平均乳量は 15 パーセント増加しています。生産効率の上昇は、（乳牛頭数が減少している場合を除き）一般に絶対排出量の増加につながります。とはいえ、効率改善がなければ酪農乳業セクターからの GHG 排出量は 38 パーセント増加していたでしょう。

つまり、総排出量が増加した一方で、酪農業の効率が改善されたことで生産単位当たりの排出原単位が減少したのです。

排出原単位、すなわち生乳 1 kg 当たりの GHG は 2005～2015 年の間に 11 パーセント近く減少しました。この減少はすべての地域で記録され、乳牛の生産性の向上と管理の改善によって達成された農場における継続的な効率改善を反映しています。しかし、排出原単位には地域によって顕著な差があります。一般に、生乳生産の排出原単位は先進的な酪農地域で最も低い（2015 年には脂肪・タンパク質調整乳 1kg につき CO<sub>2</sub> 換算で 1.3～1.4 kg）一方、南アジア、サハラ以南のアフリカ、西アジア、北アフリカなど発展途上の酪農地域では排出原単位が高くなっています（2015 年には脂肪・タンパク質調整乳 1 kg につき CO<sub>2</sub> 換算で 4.1～6.7 kg）。

排出原単位の大幅なばらつきは同一地域内でも見られました。このばらつきは管理方式の違いによって説明され、GHG 排出をすべての地域で削減できる可能性を示唆しています。

## 今後はさらに意欲的な行動が必要

現実には、直ちに意欲的な行動を取る必要が明らかです。酪農家はすでに気候変動を抑制する解決策を講じていますが、気候の転換点を避けるために、セクターの対応を加速・強化する差し迫った必要があります。新たな研究や技術の開発は今後も続きます。

すが、現在でも多くの緩和策が利用でき、その採用を加速することができます。採用をこれ以上遅らせると、CO<sub>2</sub> 排出量は大気中に数百年、数千年にわたって蓄積されるため、全体の排出量が拡大する結果となります。ベストプラクティスや優れた技術を実施しても、排出量の一部は将来まで残留する可能性があります。そのため、酪農乳業界はこの残留排出量を相殺する方法を検討する必要もあります。酪農乳業セクターからの GHG 排出量の大幅な純減を達成するには、1) 効率改善、2) 炭素の回収・隔離、3) 酪農生産と循環型バイオエコノミーの結び付きの強化という、大きく 3 つの分野での行動が必要になります。

この 3 つの経路により、以下が削減されます。

- 排出原単位、つまり生乳 1kg の生産に必要な排出量
- 酪農生産からの絶対排出量

## 酪農生産における排出原単位を減らす

生産効率をさらに改善するために既存のベストプラクティスと優れた技術の採用を加速すれば、排出原単位を減らすのに役立ちます。排出原単位は生産性の低い低・中所得地域で最も大幅に減りましたが、調査結果はこうした地域では依然として生産者によって大きな差があることも示しています。この差は、既存のシステム内でさらに排出量を緩和させる余地があることを意味します。低・中所得国では、排出原単位概念が依然として最も魅力的な緩和手段となっています。これによって食料安全保障、開発目標、気候変動の緩和と適応目標がもたらす相乗効果を利用できるからです。

## 酪農生産の絶対排出量を減らす

世界が 2050 年までにカーボンニュートラルに向かう以上、絶対排出量の削減は不可欠です。持続可能な方法で発展するにあたっての酪農乳業セクターの責任は認識しているものの、生物学的プロセスとして排出は必ず生じるため、このセクターの緩和の可能性は限られています。ここで、残留排出量を相殺するための追加対策という問題が生じます。排出量増加のジレンマに対処する解決策としては、セクターが炭素の回収と地中への貯蔵を促進することと、温

室効果ガス排出の削減に向けた循環経済の機会を後押しする上でカギとなる戦略の特定に集中するということがあります。たとえば、生産性の向上や炭素損失の削減によって炭素の取り込みを増やすよう、草地管理の方式を改善すれば、草地の土壌中への炭素の純蓄積 - 大気中の二酸化炭素の隔離 - につながる可能性があります。さらに、セクターの循環度を高めれば、資源利用の効率を高めるだけでなく、気候変動への対処にも役立ちます。新たな資源の生産と資源の浪費を最小限にとどめ、栄養素を循環させ、すでに循環しているものの寿命を延ばせば、気候に大きな影響を及ぼせるでしょう。

戦略には、嫌気性消化処理のような「栄養素回収技術」などが含まれます。これは、排泄物を分解して栄養豊富な製品を生産する技術で、できた製品は、過去数十年で大幅に増加して CO<sub>2</sub> と N<sub>2</sub>O の排出量増加の大きな原因となっている合成肥料に代わって使用することができます。加えて、技術の可能性を活用すれば、灌漑対策、施肥、精密給餌などを含む精密農業へ移行することで、農業の近代化を進められます。農業製品と栄養素を循環させることも、土壌の質を維持し、他の場所における土地利用変化を避けるのに役立ちます。

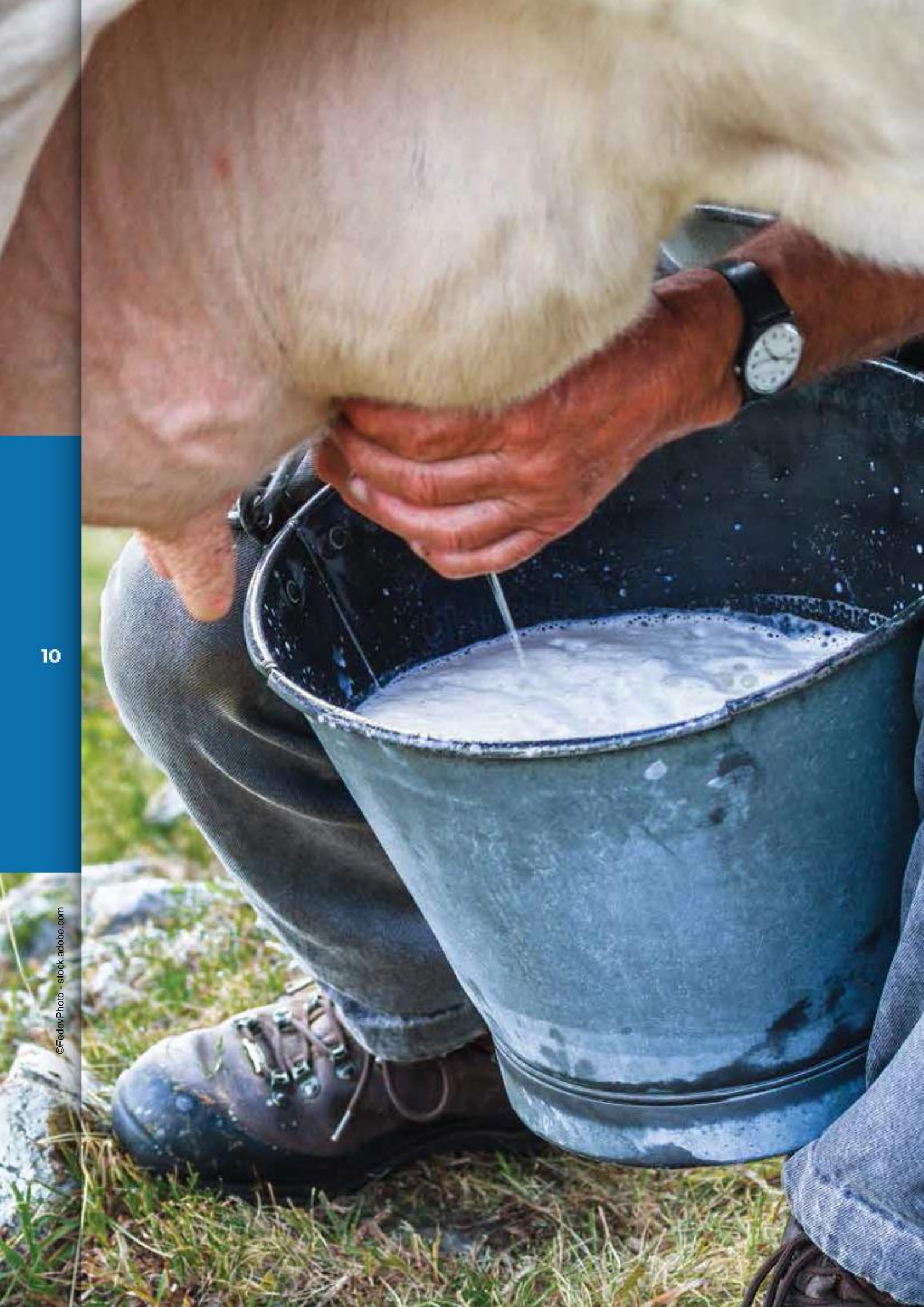
## 低炭素に通ずる道を支援する

将来の低炭素社会に通ずる道は一本ではありません。酪農乳業セクターは、排出緩和策を取ることで低炭素経済へ移行する可能性を秘めています。これにはコストがかかりますが、同時にもたらされる利益と機会も無視できません。本調査は、選択肢や選択内容や影響を巡るオープンな議論を可能にするためのさらなる一歩です。

低炭素に向けた選択を体系的に支援するためには、研究、政策、規制、インフラ、刺激策のいずれもが必要です。データ収集とさらに詳細な分析に投資すれば、緩和策の選択肢や行動を特定し改善する上で、また長期的にみて望ましく実現可能な緩和方針を巡る透明性のある議論を支援する上で役立ちます。







# 1. 状況の説明

世界の食料需要は 2050 年までに倍増すると予測されています。国連の推定では、世界人口は現在の 76 億人から 2030 年には 86 億人、2050 年には 98 億人に増え、2100 年には 112 億人を超えるとされます。世界中の農業システムは、この増加し続ける人口を賄うために食料生産を拡大する必要に迫られます。この増加は、酪農乳業セクターに機会と課題をもたらします。課題は、健康的で栄養豊富な、かつ持続可能な方法で生産された食料で世界人口を賄うことです。

世界人口の 80 パーセント以上に当たる約 60 億人が、液状乳およびその他の乳製品を定期的に消費しています。2014 年における世界の乳・乳製品市場の規模は推定 3300 億米ドルでした（FAOSTAT, 2014）。

人々は乳・乳製品の摂取から恩恵を受けています。エネルギーと多くのタンパク質、およびカルシウム、マグネシウム、セレン、リボフラビン、ビタミン B5 と B12 などの微量栄養素を供給する栄養豊富な食品だからです。人間にとってエネルギー供給源としては第 5 位、タンパク質と脂肪の供給源としては第 3 位である他、推奨される栄養水準を満たすための手ごろな価格の栄養源として重要です。

推定では、世界で 5 億 7,000 万の農業事業体の 4 分の 1 以上、すなわち 1 億 5,000 万以上の農家が、牛、水牛、ヤギ、ヒツジなど乳用家畜を 1 頭以上飼育しています。1 億 3,300 万の事業体が乳牛を、2,850 万の事業体が水牛を、4,100 万がヤギを、1,900 万がヒツジを飼っていると見積もられています（FAO, 2016）。多くの農家では、2 種類以上の乳用家畜を

含めた複数の家畜を飼育しています。牛は最も一般的な乳用家畜で、発展途上国の農家では通常 2~3 頭の群れで牛が飼育されています（FAO, 2016）。

牛を飼育している農家の 25 パーセント、すなわち約 3,500 万戸の農家では、乳牛を直接所有・管理するのは女性です（FAO, 2016）。多くの場合、酪農は農村の女性にとって社会における自分の地位を固めるための基盤として機能します。世界の労働年齢の女性の約 22 パーセントは農業に従事し、男性と女性の両方が経営する農業事業体の約 4 分の 1 は乳用家畜を飼っていることから、約 8,000 万人の女性が酪農にある程度従事しています（FAO, 2016）。

酪農乳業セクターにとっての課題には、酪農生産が変動する気象パターン、変化する市場力学や乳製品価格に影響を受けるにもかかわらず、市場競争力のある価格で乳を消費者に届けることがあります。同時に、持続可能性もますます重視されるようになっていきます。人々の関心は環境、家畜福祉、食品の品質に注がれているのです。

持続可能な方法で飢餓を終わらせ、食料安全保障を達成し、食事の栄養価を高める取り組みにおいて、酪農は欠かせません。国連の持続可能な開発目標には、2030年までに「飢餓をゼロに」のターゲット、天然資源の持続可能な利用、気候変動対策を含め、農業と食料生産に関連する優先分野が含まれます。2050年までに、地球は利用可能な土地、水、エネルギーを保存し、GHG排出量を削減しつつ、食料生産を増やす必要があります。この課題は、人間の消費に生産される食料の3分の1が無駄になっているという現実によって深刻化しています（FAO, 2011）<sup>1</sup>。そのため、気候変動に対する効果的な政策措置は需要と供給の両方に関係する要因に対処しなくてはなりません。

地球が人間の活動のせいで温暖化しているという兆候に疑いの余地はありません。地球の温度は1880年以降、0.85度上昇しました（IPCC, 2014）<sup>2</sup>。地球温暖化の原因は大気中の温室効果ガスの水準が上昇していることです。気候変動はさまざまな形で（牛の乳量や健康といった直接的な形で、または飼料の生産量や質への影響という間接的な形で）酪農に影響をもたらします。

同時に、畜産物は他の大半の食料源よりもGHG排出量の増加の原因になります。酪農生産におけるGHG排出は、種々の複合的な生物学的プロセスの結果です。たとえば腸内発酵で生じるメタンは消化プロセスの副産物として生成されます。この他のメタンと亜酸化窒素の排出は、家畜の排泄物管理のプロセス全体（牧草地と建物内で、保管中および糞用堆肥をまく段階）から生じます。これらは物理的・化学的・生物学的プロセスの結果であり、大気の状態（気温、風など）、周囲の環境（土壌、建物のタイプなど）、家畜の特性（生理的段階など）、畜産慣行次第で時間的・空間的に差があります。この他に排出されるのは、エネルギー使用、飼料等の生産と輸送、土地利用と土地利用変化に幅広く関係する二酸化炭素です。

パリ協定は気候に関する国際交渉の転換点となり、将来の低排出社会に向けた世界的な取り組みの強化を示しています。2016年11月、世界のGHG排出量全体の55パーセント以上に当たる国々に批准され、パリ協定が発効しました。

この協定は、地球の温暖化を2度未満に抑えるという目標を設定し、さらに1.5度未満に抑えることを目指しています。この目標の達成に向け、協定は「今世紀後半に温室効果ガスの人為的な発生源による排出量と吸収源による除去量との均衡」を実現するというターゲットを定めています。こうした目標の達成に向け、各国には、衡平の原則、および共同とはいえ区別された責任とそれぞれの能力に応じて、排出量削減の主導権を握ることが期待されます（UNFCCC, 2015）<sup>3</sup>。こうした道への移行を支援するため、パリ協定は各国に対し、2020年までに「世紀半ばまでの長期的な温室効果ガス排出削減戦略」の策定を求めています。

パリ協定の下、国別削減目標を達成する手段として92カ国が畜産セクターを「自国が決定する貢献」（NDC）に含めました（Wilkes, 2017）<sup>4</sup>。したがって、気候変動の影響に対処し、世界の気温上昇を抑えるための対応を担う同セクターには、持続可能で低炭素排出の、気候変動に強い開発経路に沿ったセクターへと移行することが求められます。

この報告書は、酪農乳業セクターが考えられる低炭素への道筋を描く作業を支援する取り組みです。本書では、セクターの成果がパリ協定の野心的な目標実現に必要な世界の削減量と整合するかどうかを評価する目的で、生乳生産の炭素排出量と排出原単位に関する調査結果を提示します。こうした排出動向はFAOの「世界畜産環境評価モデル（Global Livestock Environmental Assessment model : GLEAM）」を使用して分析されています。これは、畜産セクターが排出量に及ぼす影響をライフサイクルアセスメント（LCA）のアプローチを使用して見積もる、空間を明確に区別した生物物理学的モデルです。

この作業の目的は以下の2つです。

- 第一は、酪農乳業セクターの成果を評価し、世界のGHG排出量に対するセクターの経時的な寄与を理解し、酪農乳業セクターで利用できる排出削減機会を特定することです。
- 第二は、「パリ協定」と「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に掲げられた世界的目標の達成に向けた貢献の一環として、セクターが酪農生産からの排出に対処する際に、セクターに役立つ情報を提供することです。

<sup>1</sup> FAO. 2011. *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Rome. <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf>

<sup>2</sup> IPCC. 2014. *Fifth Assessment Report (AR5) - Summary for policy makers*. [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)

<sup>3</sup> UNFCCC. 2015. *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

<sup>4</sup> Wilkes, A. 2017. *Measurement, reporting and verification of greenhouse gas emissions from livestock: current practices and opportunities for improvement*. <https://cgispace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/80890/Livestock%20MRV%20Info%20Note%20May%203%202017.pdf>



## 2. アプローチ

### 排出量の測定方法

排出量に占める酪農乳業セクターの寄与を理解することは、低炭素社会への道のりを描く上で最初の一歩です。畜産からはさまざまな形で GHG が排出されます。家畜による直接的な排出（排泄物と腸内発酵）と、飼料生産、肥料製造におけるエネルギー使用、搾乳・冷蔵・畜舎・貯蔵・輸送および生産後の輸送・処理・小売などの農場運営による間接的な排出があります。

京都議定書の下での国際公約の一環として、各国は排出量を毎年報告することが義務付けられています。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、GHG 排出量の国別インベントリの報告に関するガイドラインを定めました。農業セクターについて、IPCC は 4 つの活動のグループを定めています。畜産の場合、ここには腸内発酵によるメタン排出と排泄物管理によるメタンと亜酸化窒素の排出が含まれます。畜産に関連する他の排出は別の項目で報告されています。たとえば現行の算定手順では、生産・輸送・化学肥料その他の生産原材料の使用による二酸化炭素や亜酸化窒素の間接的な排出は、工業、エネルギー生産、輸送の各セクターの項目で報告されます。ただし、資源利用と緩和のために考えられる選択の責任は、農場レベルで下される経営上の意思決定にあります。

そのため、GHG 排出量削減のために同セクターの産業が利用できる選択肢が減り、緩和を実現させるための適切な刺激策が提示されません。

さらに IPCC の手法では、国内のセクターを基準としたアプローチを使用して GHG 排出量を算定します。このアプローチでは、ある国の領内の製品生産から生じる排出量と国から輸出される物品の生産から生じる排出量を算定しますが、国へ輸入された物品の生産で生じた排出量は考慮しません。

農業の環境影響を削減するための政策と実践を評価するには、農業セクター全体を分析し、生乳や肉など各農産物の生産の間の差し引きを評価するために使用できるアプローチが必要です。そのようなアプローチの一つであるライフサイクルアセスメント（LCA）では、ある商品の生産に関連する GHG の総排出量を計算に入れます。畜産の場合、ここには家畜からの直接的な排出だけでなく、窒素肥料や飼料などの投入材の生産から生じる間接的な排出も、たとえばこうした製品が輸入されたもので、その生産に関連した排出が他の国で生じていても、含めます。LCA アプローチは、セクターが影響源を理解し、改善の余地がある領域を特定し、GHG 排出量に対するベストプラクティスの効果を評価するのに役立ちます。このアプローチで、経時的な改善を測る際に基準となるベースラインが得られます。

## 本調査における排出量の算定

本調査では、生物物理学的モデルである FAO の「世界畜産環境評価モデル (GLEAM)<sup>5</sup>」を用いて、乳牛セクターからの排出量を評価しています。この報告書で提供する乳牛セクターからの排出量評価は、2005 年、2010 年、2015 年を基準年として生乳生産における排出量と排出原単位の動向を分析したものです。GLEAM 2.0 は、畜産のサプライチェーンに沿ったすべての主要排出源の特定に、ライフサイクルアセスメント (LCA) 手法を使用したモデルです。排出源としては、土地利用や飼料生産から農場での家畜生産、最終的には製品の製造加工と小売拠点への輸送があります。

本調査では、畜産システムにおける排出の大部分を占める、農場から出荷されるまでの主な GHG 排出に注目しています (Gerber *et al.*, 2013)。

対象は、農業・食料システムから排出される 3 種類の主要 GHG、すなわちメタン (CH<sub>4</sub>)、亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O)、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) です。

検討された排出源は以下のとおりです。

- (i) 腸内発酵、草食動物の排泄物、排泄物管理、糞尿堆肥の農地への施用を含む、農場での家畜の飼育
- (ii) 無機質肥料の施用、有機質土壌の耕作、作物残滓の分解、関連する上流の工業プロセス (肥料生産) を含む、飼料と飼料生産
- (iii) 農場での畜産と飼料生産に関連するエネルギー消費、および飼料の輸送と処理に必要なエネルギー消費
- (iv) 飼料生産によって引き起こされる土地利用変化 (LUC) (草地と牧草地を除く)
- (v) 畜舎と農場設備の建設に関連した直接的なエネルギー

農場から出荷後の排出 (輸送、処理、小売への流通) と酪農乳業セクターに由来する肉は除外されます。

排出量は、100 年の地球温暖化係数 (GWP100) に基づき、CO<sub>2</sub> 排出量換算で報告されます。気候変動の影響を見積もるために GLEAM 2.0 が使用している、IPCC (2014) が提示する最新の GWP 値は、GWP100 CH<sub>4</sub> = 34、および GWP100 N<sub>2</sub>O = 298 です。

排出原単位は、出荷時の脂肪・タンパク質調整乳 (FPCM) 1 キロ当たりの排出量で表現されます。酪農システムからは数種類の販売可能な製品が生み出されるため、GHG 排出量は副産物全体に配分するのが理想です。雄の子牛、必要な後継牛の数を上回る雌の子牛、廃牛に由来する肉は、酪農生産の不可欠かつ貴重な副産物です。総排出量を副産物に配分するには、質量に基づくアプローチ、生物物理学的アプローチ、経済学的アプローチ、あるいはシステム拡張アプローチなど、さまざまな配分手法が利用できます。本調査では、タンパク質の含有量に基づく生物物理学的アプローチを使用して、排出量を製品 (乳と肉) に配分しています。

ここで注意点がいくつかあります。最も重要な点は、2015 年の生乳生産からの GHG 排出量分析では、乳用牛と乳量における変化のみを考慮していることです。2015 年の分析では、餌の組成、排泄物管理システムなどの生産要素は 2010 年にモデル化されたものと同様と仮定しています。その上、分析では出荷後の排出量と乳用牛からの牛肉生産に関連した排出量は考慮していません。地域によっては、牛肉は生乳生産と深く結びついています。この分析結果は GHG 排出量に関する FAO の以前の分析とは比較できません。改訂を加えた手法と GLEAM 2.0 バージョンで記録したデータセットに基づいているからです。

この分析の目的は、世界の酪農乳業セクターによる GHG 排出量への経時的な寄与を評価し、同セクターのさらなる緩和の可能性がどこにあるかについて理解を深めることです。本調査で使用された手法は科学的に堅固なものですが、酪農チェーンの一部のみを評価している可能性がある、より限定的な一次データを使用している、サンプルサイズが小さい、報告の目的が異なるために異なる方法論的アプローチを採用しているような個々の国や地域の調査と、これらの結果とを比較しようとする場合には注意が必要です。

この分析から得られる酪農乳業セクターにとって重要な結果は、10 年間の動向と、緩和策の焦点をどこに定めるかに関する知見です。

<sup>5</sup> FAO. 2018. *GLEAM Model description*. Rome, [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/gleam/docs/GLEAM\\_2.0\\_Model\\_description.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM_2.0_Model_description.pdf)

# 3. 生乳生産の動向と生産効率

2015年には、2005年より30パーセント多い約6,665億kgの生乳が世界で生産されました。この10年間（2005～2015年）における世界の牛乳生産の成長率は年平均2.8パーセントでした。2005年～2010年の成長率は、2010年～2015年の期間に記録された年平均3.1パーセントより鈍い、年平均2.5パーセントでした。搾乳牛の頭数と牛1頭当たりの生乳生産量（乳量）も変化しました。この10年で、牛1頭当たりの乳量の世界平均は2005年の2,180リットルから2015年の2,514リットルに増え（15パーセントの増加）、乳牛の数は14パーセント増加しました。

## 地域の生乳供給

図1は2005年、2010年、2015年における10地域の生乳生産量を示しています<sup>6</sup>。2015年に、西欧と北米（一般に伝統的な乳牛地域と見なされている）の乳牛セクターで生産された生乳は、それぞれ22パーセントと15パーセントでした。それにもかかわらず、世界の生乳生産における同地域のシェアは低下しています（図2）。世界の生乳生産におけるシェアは南アジア、サハラ以南のアフリカ（SSA）、西アジアと北アフリカ（WANA）など他の地域で上昇していますが、こうした地域は生乳生産地域としてとくに成長が著しいため、驚くにはあたりません（図3）。東アジアと中南米の生産シェアは、2005～2010年に上昇傾向にありましたが、2015年には低下しています。ロシア連邦と東欧のシェアは2010年に低下し、2015年に上昇しました。こうした動きは、最終的には酪農場の収益性と生産性を左右する地域毎のさまざまな要素の違いを反映

しています。気候、地形特性、生産方式、生乳価格といった要素が異なります。

## 生乳生産の発展

この10年間で生乳生産の年間成長率がとくに高かったのは、WANA（年4.5パーセント）、南アジア（年4.0パーセント）、SSA（年3.6パーセント）です。他の地域に比べ、SSAでは元々の生産性が非常に低かったため、生産性の伸びが低いものに留まっています。オセアニア、東欧、中南米、ロシア連邦の生乳生産は、2005～2015年の間に年3.8、3.2、2.9、2.3パーセントずつ伸びました。一方、西欧と北米の生乳生産の伸びはそれぞれ年1.5パーセントと1.6パーセントに留まり、年2.8パーセントという世界全体の伸びを下回っています（図3）。

<sup>6</sup> 本調査に含まれる地域：中南米（CSA）、東アジア（EA）、東欧（EE）、北米（NA）、オセアニア（O）、ロシア連邦（RF）、南アジア（SA）、サハラ以南のアフリカ（SSA）、西アジアと北アフリカ（WANA）、西欧（WE）。各地域に含まれる国については付録を参照。



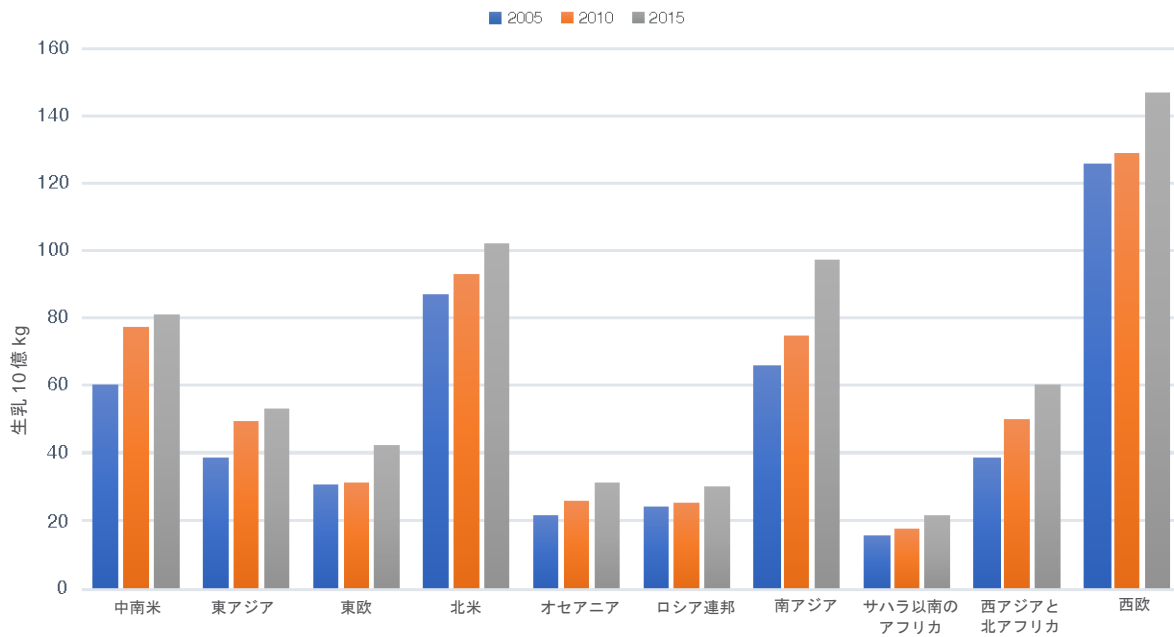


図1： 2005、2010、2015年の地域別生乳生産量

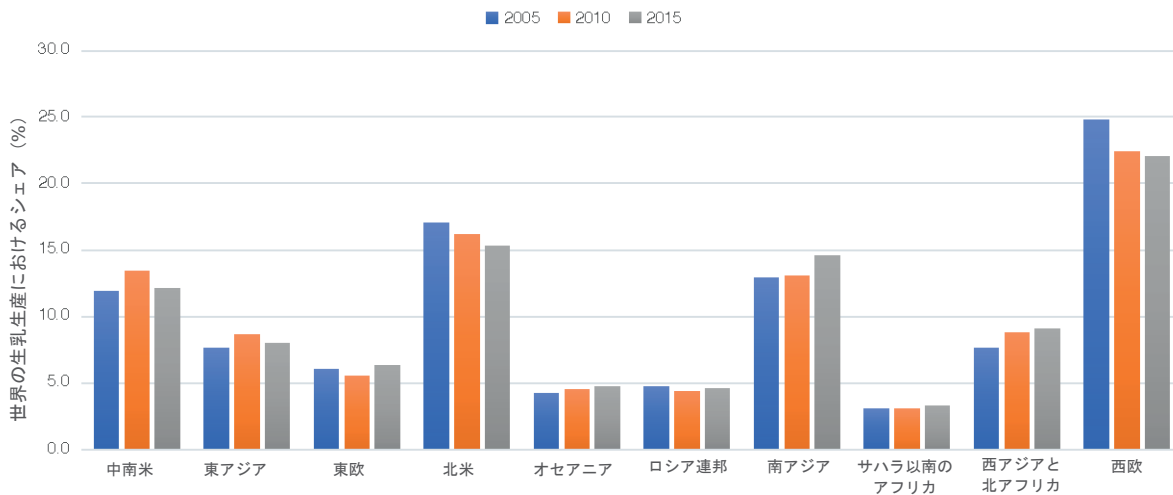


図2： 2005、2010、2015年の世界の生乳生産における地域別シェア

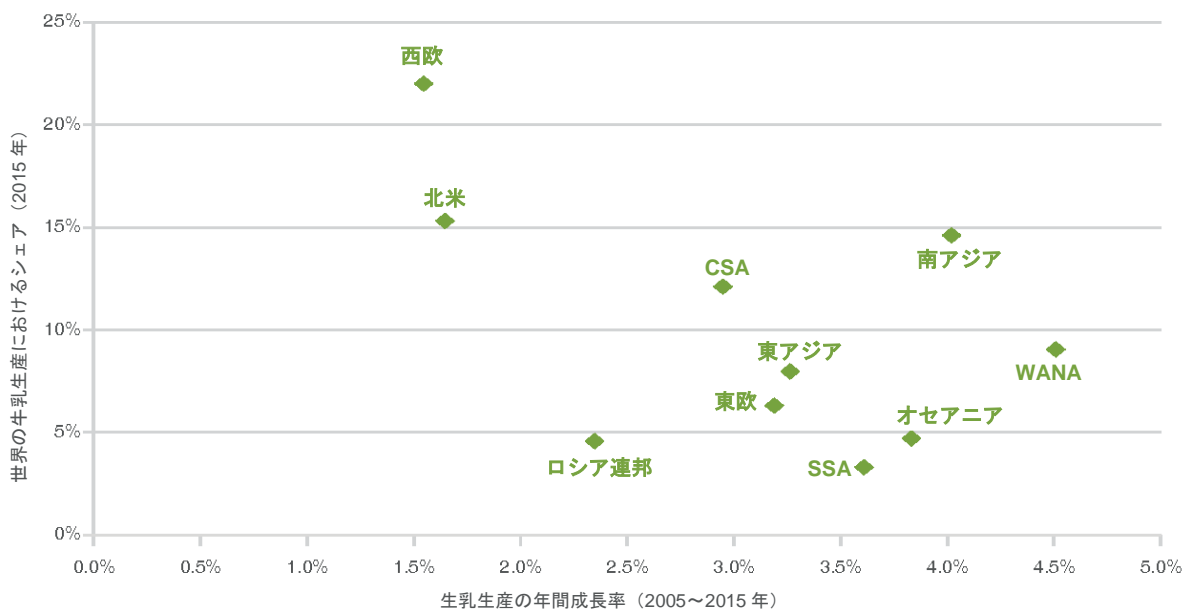


図3： 2005~2015年の地域別生乳生産成長率

## 生産性向上の要因

酪農乳業界では、多くの場合、生産性は単一の要素に対する生乳生産量で考慮されます。一般に使用される測定値としては、牛 1 頭当たりの年間生乳生産量（乳量）や、飼料転換効率（飼料消費量に対する生乳生産量）があります。生産性はすべての地域で伸びていますが（図4）、この結果が達成された方法は異なります。

この 10 年（2005～2015 年）における生乳生産の伸びは、搾乳牛 1 頭当たりの乳量の伸び、搾乳牛頭数の増加、またはその両方のいずれかの方法で達成されました。2005～2015 年に、世界の乳用牛頭数<sup>7</sup>は 11 パーセント増加しました。これを後押ししたのは主に東アジア（31 パーセント増）、SSA（25 パーセント増）、南アジア（11 パーセント増）、CSA（10 パーセント増）における増加です。2015 年、この 4 地域における乳用家畜が世界の乳用牛群に占める割合は 76 パーセントでした。この期間、西欧では乳用牛の増加は停滞傾向にありました（+0.1 パーセント）。

2005～2015 年における地域別生乳生産量の伸びには以下の傾向が見られました（図5）。

### ・（搾乳家畜と乳用牛を合わせた）頭数が減り、乳量が増えた地域：

2005～2015 年の期間、WANA（-1.4 パーセント）とロシア連邦（-11.4 パーセント）では乳用牛頭数の減少が記録されました。同時に、ロシア連邦（-2.5 パーセント）と WANA（-4.6 パーセント）では搾乳牛頭数も減少しています。搾乳牛と乳用牛の減少にもかかわらず、これらの地域における変化の実質的な影響は、乳量が大きく増えたことによる生乳の総生産量の大幅な伸びとなりました。

- ・ WANA：年 4 パーセントの乳量増加と年 0.5 パーセントの搾乳牛頭数の減少
- ・ ロシア連邦：年 3.3 パーセントの乳量増加と年 0.2 パーセントの搾乳牛頭数の減少

### ・ 乳量の増加が搾乳牛頭数の増加を上回る地域：

地域によっては、生乳生産量の急増が搾乳家畜数の増加以上に牛の乳量の増加に起因しています。

- ・ 南アジア：年 3.6 パーセントの乳量増加と年 1.5 パーセントの搾乳牛頭数の増加
- ・ 東欧：年 2.5 パーセントの乳量増加と年 0.6 パーセントの搾乳牛頭数の増加
- ・ 中南米：年 1.6 パーセントの乳量増加と年 0.8 パーセントの搾乳牛頭数の増加
- ・ 西欧と北米：この 10 年間で乳量の増加は年 1.0 パーセント、搾乳牛頭数の増加はそれぞれ年 0.3 パーセントと 0.4 パーセント

### ・ 搾乳家畜数の増加が乳量の増加を上回る地域：

東アジアとオセアニアおよびサハラ以南のアフリカでは、生産性向上の多くの部分が搾乳牛頭数の増加に起因しています。

- ・ オセアニア：年 1.5 パーセントの搾乳牛頭数の増加と年 0.9 パーセントの乳量の増加
- ・ 東アジア：年 2.2 パーセントの搾乳牛頭数の増加、年間の乳量の増加はゼロ
- ・ SSA：年 3.8 パーセントの搾乳牛頭数の増加と年 2.5 パーセントの乳量の微減

こうした地域毎の生産性の伸びの差には、地域の産業構造の変化、地域内の農場における新技術採用の程度、酪農システムを左右する各地域固有の特徴が反映されています。

<sup>7</sup> 乳用牛には搾乳牛と後継牛が含まれます。

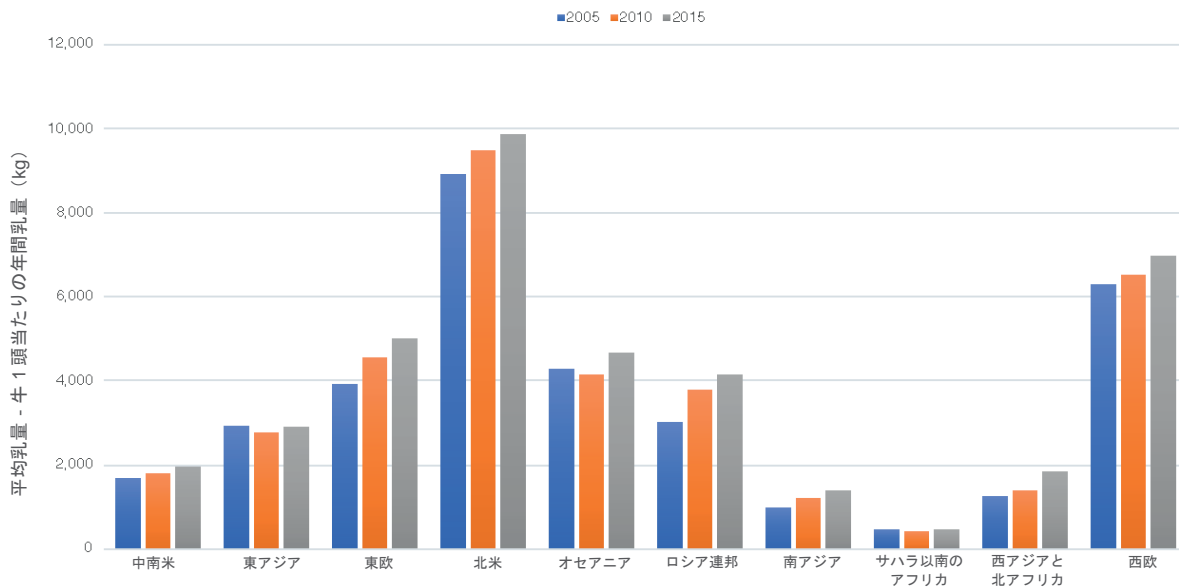


図4： 2005、2010、2015年の地域別乳量の動向

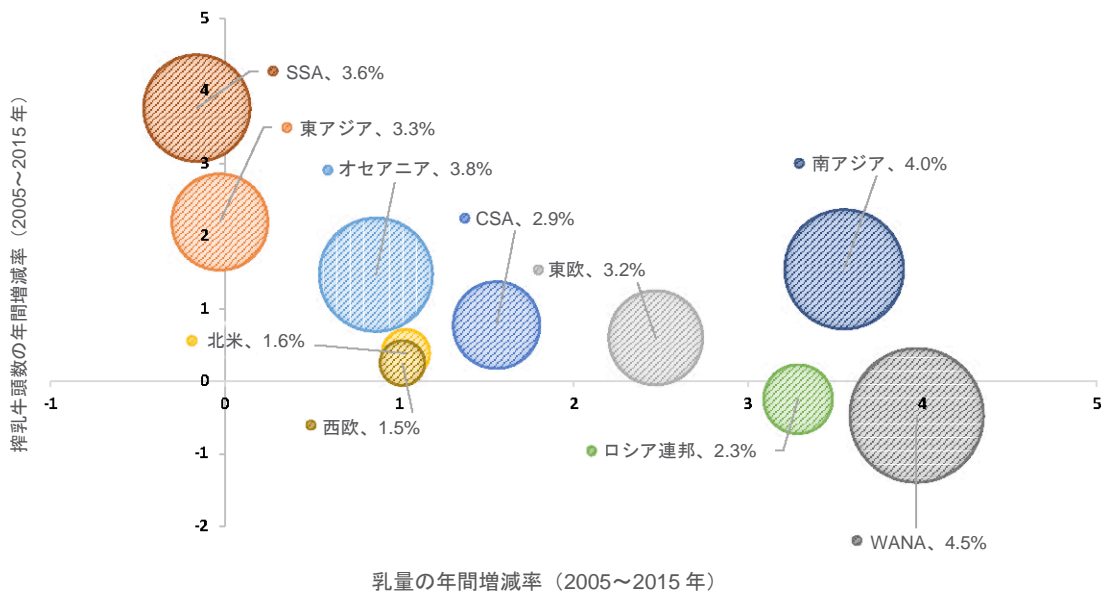


図5： 搾乳牛頭数と乳量の年間増減率 (2005~2015年、年間%)

注：円のサイズは2005~2015年の生乳生産量の年間の伸びを表す

## 4. 乳牛セクターからの排出量の動向

酪農は、生産単位当たりの排出量が減少しているために効率が改善しています。生乳の排出原単位は、2005年から年に約1パーセントずつ減少してきました。しかし、この排出原単位の減少は、それを上回る生乳産出の全体的な成長の増加によって相殺されてきました。結果として、絶対排出量は2005年の水準を超えています。

酪農生産システムは、メタン（CH<sub>4</sub>）、亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）をはじめとする温室効果ガス（GHG）の複合的な排出源です。世界規模のライフサイクルアセスメント・アプローチを使用すると、同セクターの2015年の排出量はCO<sub>2</sub>換算で17億1,180万トンと推定されます（図6）。

世界需要に応じて総生産量が大幅に増えたため、2015年の総排出量は2005年の水準と比べて18パーセント増加しました。2015年、排出量は2005年の水準よりCO<sub>2</sub>換算で2億5,600万トン（18パーセント）増加しました。このうち、CO<sub>2</sub>換算で1億6,900万トンと同5,200万トンが、それぞれCH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oの排出量増加とされています。これは、同時期における牛の頭数増加と平均乳量の伸びを考えれば、意外ではありません。2005年以降に達成された家畜の生産性（1頭当たりの乳量）の向上は、エネルギー需要の増加を満たすための牛1頭ずつの飼料摂取量の増加につながり、それが牛1頭当たりの排出率の伸びと1頭当たりのCH<sub>4</sub>（表1）とN<sub>2</sub>Oの排出量増を招いています。

生産性の向上がなければ（それと同じ割合で生産量が伸びると仮定した場合）、同量の製品を届けるための総排出量は2005～2015年で18パーセントどころか約38パーセント増えていたでしょう。先のセクションで示したように、こうした生産量と効率の全体的な変動は地域によって一様ではありませんでした。

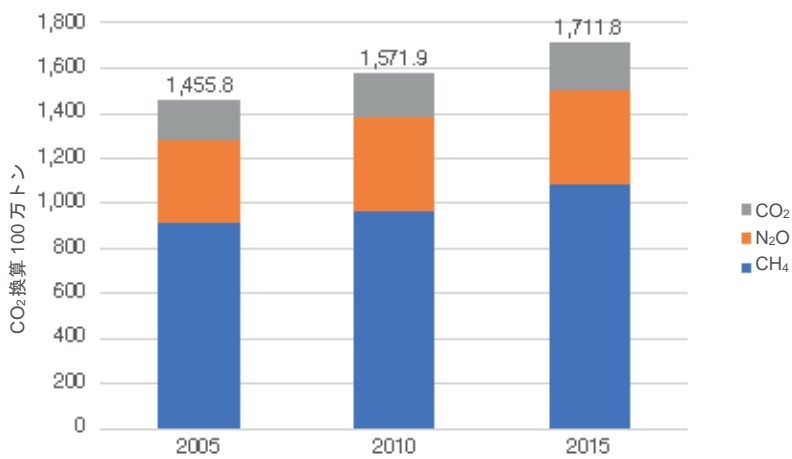


図6： 2005、2010、2015年の乳牛セクターからの絶対排出量（CO<sub>2</sub>換算100万トン）

地域	家畜1頭当たりの年間CH <sub>4</sub> 量 (kg)		平均乳量 (家畜1頭当たりの年間量) (kg)	
	2005	2015	2005	2015
北米	111.0	116.6	8,899	9,867
ロシア連邦	64.2	71.8	3,000	4,146
西欧	76.3	80.9	6,287	6,957
東欧	71.2	81.7	3,921	5,005
西アジアと北アフリカ	68.2	72.8	1,240	1,830
東アジア	69.5	69.1	2,915	2,907
オセアニア	72.3	81.4	4,274	4,659
南アジア	60.8	62.1	979	1,388
中南米	82.2	84.6	1,668	1,947
サハラ以南のアフリカ	46.1	46.4	464	457

表1：家畜1頭当たりの腸内メタン排出量と乳量



## 排出源はどこか？

酪農場は、主に腸内発酵（メタン）、排泄物管理（メタンと亜酸化窒素）、飼料生産・輸送・処理（二酸化炭素と亜酸化窒素）を出所とする GHG 排出源です。メタンは家畜の微生物発酵プロセスによる消化プロセスの副産物として生成されます。腸内発酵によるメタン排出量は家畜の消化システム、餌の内容、管理方式によって決まります。家畜の排泄物管理からは  $\text{CH}_4$  と  $\text{N}_2\text{O}$  が排出されます。メタンは排泄物が嫌気条件下で分解する際に生成されます。排泄物からの  $\text{CH}_4$  排出量は、処理施設や管理施設の種類、周囲の気候、排泄物の組成によって決まります。

酪農場で生じる亜酸化窒素は、糞尿や窒素肥料を主とする窒素の流入にも由来します。 $\text{N}_2\text{O}$  は  $\text{CO}_2$  の 298 倍の温室効果があります。 $\text{N}_2\text{O}$  排出量に大きく寄与するのは、排泄物に含まれる余分な食物由来の窒素です。施肥からの排出は、硝化・脱窒過程を経て直接的に、あるいは土壌に再堆積し浸出したアンモニアガスを経て間接的に、肥料中の窒素が亜酸化窒素に変換された場合に生じます。

二酸化炭素は、各種の化石燃料がエネルギー源として燃やされる際に排出されます。エネルギーは、搾乳、穀物の乾燥、牧草地での作業といった農場内のさまざまなプロセスや活動に加え、無機質肥料と飼

料の生産、乳・乳製品の輸送や処理といった産業プロセスなどに使用されます。

図7はそれぞれの排出源が2005～2015年について算定された総排出量に占める割合を示したものです。2015年における生乳生産からの総排出量の大部分を占める三大排出源と、個々の寄与は次の通りです。

- 腸内発酵によるメタン排出（総排出量の 58.5 パーセント）。
- 飼料生産、処理、輸送による（ $\text{CO}_2$  と  $\text{N}_2\text{O}$  の）排出（29.4 パーセント）。
- 排泄物管理による（ $\text{CH}_4$  と  $\text{N}_2\text{O}$  の）排出（9.5 パーセント）。

2005年の排出量の大部分を担ったのも、同じ排出源でした。

腸内発酵は総排出量の半分以上を担うため、この分野が排出量緩和の機会として有望です。飼料生産に関連する排出については、生乳の GHG 排出原単位を減らすために適用できそうな戦略が考えられます。たとえば、一定量の生乳を生産するために投入される飼料の量として定義される、飼料転換効率の改善などです。飼料転換効率の改善は、排出原単位の削減に役立つだけでなく、飼料コストが農場の経費全体で大きな割合を占めることを考えると農場の収益性の改善にもつながる、魅力的な戦略です。



図7： 2005年と2015年の世界の乳牛システムの排出源

凡例：

LUC：飼料生産のための耕作地拡大に由来する排出

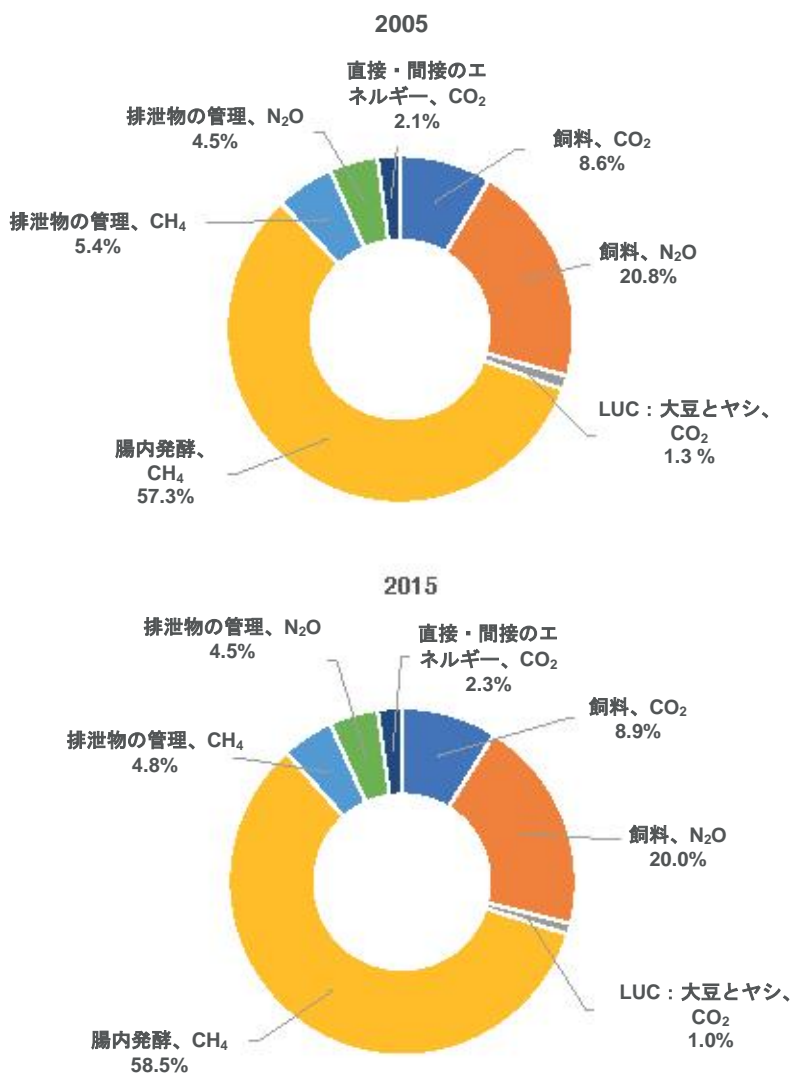
飼料 CO<sub>2</sub>：飼料の生産、処理、輸送に由来する排出

飼料 N<sub>2</sub>O：施肥、糞尿堆肥の施用と堆積、作物残滓の分解に直接・間接に由来する排出

直接エネルギーCO<sub>2</sub>：農場でのエネルギー使用（搾乳、暖房、換気など）に由来する排出

間接エネルギーCO<sub>2</sub>：農場内の施設建設や機械類に関連する排出

排泄物管理：排泄物の保管と処理に由来するCH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>Oの排出



## 生産性の向上で今後も排出原単位の増加を抑えることが可能

分析によると、2005～2015年に生乳の排出原単位はCO<sub>2</sub>換算でFPCM 1kg当たり2.8kgから同2.5kgに減少し、10年間では11パーセントの減少となりました（図8）。

生産単位当たりの排出量は、生産効率が上昇したために減少しました。家畜の遺伝的特徴と管理が改善され、かつ草地管理および給餌方式も改善されたことは、農家が生産量を増やすためにリソースをより効率的に適用していることを意味します。たとえば分析では、家畜が消費する飼料が家畜の維持よりも生産に多く使用されていること、（主に牛1頭当たりの乳量の増加が後押しした）生乳生産の増加が排出原単位の減少に貢献したことが示されています。乳量の増加は、牛の代謝が維持よりも生乳生産と繁殖に適した変化を遂げたことを示唆し、これが排出原単位の減少に貢献しました。生産性の高い乳牛では、生産性の低い乳牛よりも1日に必要な栄養が多くなります。1日当たり14kgの生乳を産出する牛は消費したエネルギーの47パーセントを維持に使用するのに対し、生産性の低い牛（生乳産出量が1日当たり1.4kg）は取り入れたエネルギーの75パーセントを維持に使用します。図9は、地域の平均乳量を踏まえ、搾乳牛の維持のエネルギー要件を満たすために必要な飼料摂取の割合示したものです。

排出原単位の世界的な減少傾向は地域レベルでも反映されています（図10）。

排出原単位は、乳牛の生産性向上によって達成された農場における継続的な効率改善を反映し、すべての地域で減少しました。ただし、地域によって排出原単位には顕著な差があります。一般に生乳の排出原単位は比較的発展した酪農地域で少ない（世界平均未満）のに対し、南アジア、SSA、WANAのような地域では多くなっています（2015年にはFPCM 1kg当たりCO<sub>2</sub>換算で4.1～6.7kg）。

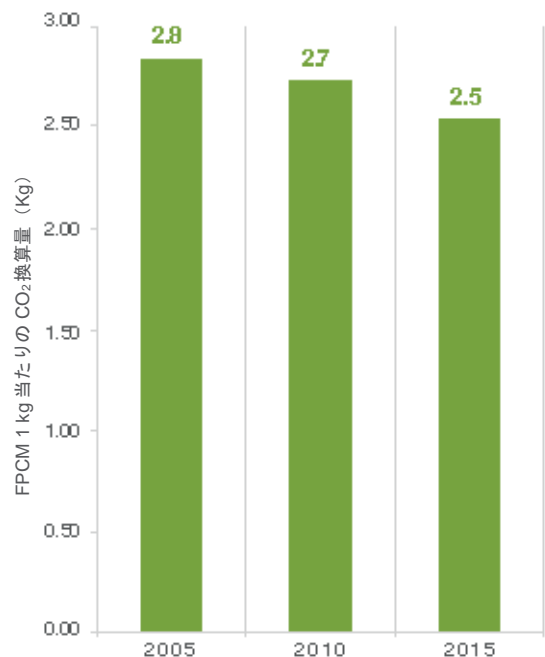


図8： 2005、2010、2015年の生乳の平均排出原単位



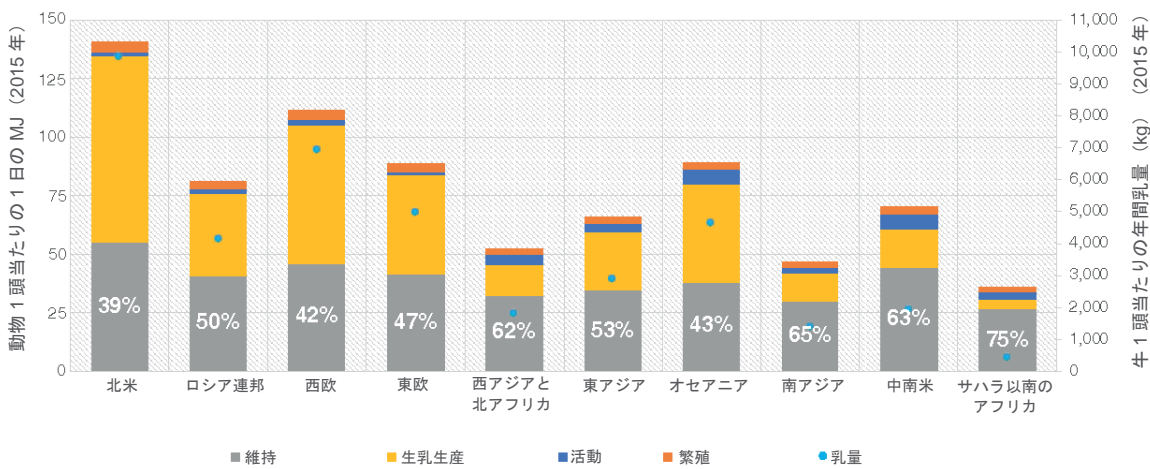
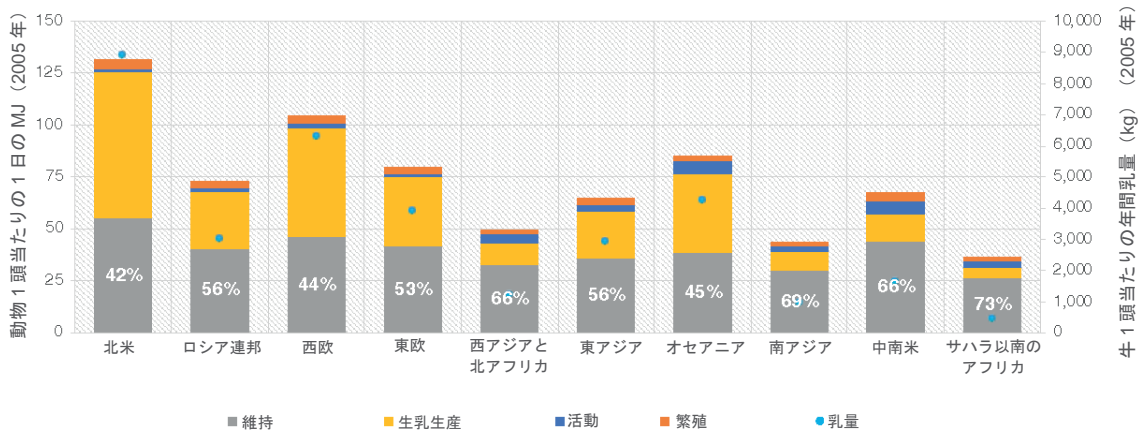


図9： 搾乳牛の飼料エネルギーの使用配分（2005年と2015年）

注：牛の食べる量と乳量が増えると、エネルギーの総使用量、とくに生乳用のエネルギー消費量が増え、維持に必要なエネルギーの割合が低下する。この「維持の希薄化」は、酪農乳業界で栄養利用の効率が向上した第一の理由である。

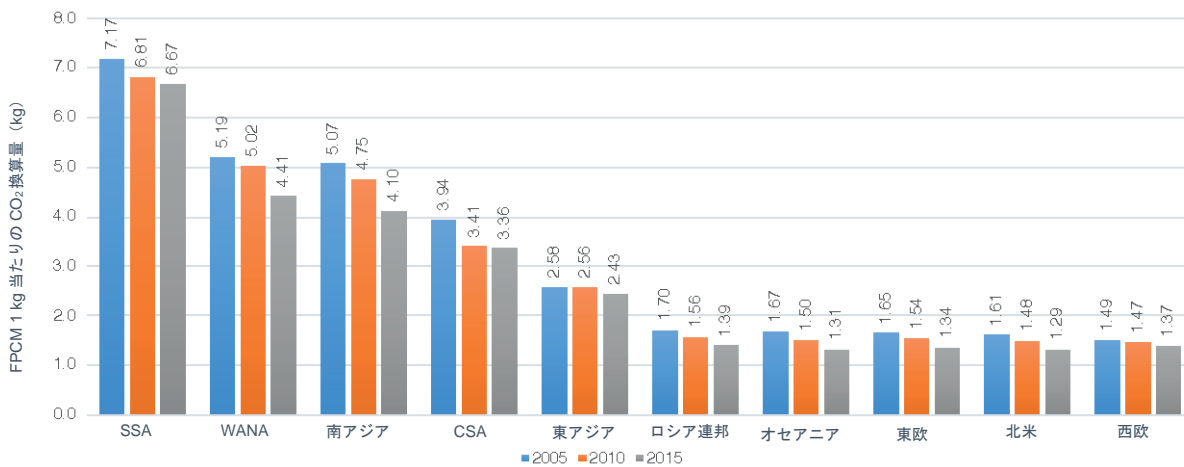


図10： 生乳の地域別排出原単位の動向（2005年、2010年、2015年）



生産・管理方式の多様性に深く関係する排出原単位には、地域毎に大きな差があります（図 11）。排出原単位のばらつきが最も大きいのは低・中所得地域です。大きな差があるということは、効率改善に結びつく方式を採用することで生乳の GHG 排出原単位を減少させる機会があるということを示唆します。

### 生乳生産の効率改善と排出原単位の動向

酪農乳業セクターでは、生産効率の改善による生産性向上と排出原単位の削減が継続的に行われてきました。こうした変化は、栄養、遺伝的特徴、繁殖成績、病害管理の改善、および施肥方式の改善と牛・家畜レベルでの管理の向上から得られた利益の積み重ねによるものです。図 12 を見ると、生乳の排出原単位の推移が直線的ではないことがわかります。生乳生産が増加するにつれて、生産に関連した排出に対する維持に関連した排出の割合が下がります。この図は、効率改善と排出原単位の現象を反映して 2015 年にこの曲線が下向きになっていることも示しています。こうした改善の大部分は、2本の曲線の開きに示されるように、生産性の低い国で達成されています（図 13）。

乳量増加による GHG 排出量削減分は、牛 1 頭当たりの年間乳量が 5,000 kg を超える生乳生産システムにとっては取るに足りません。この関係の変曲点は、牛 1 頭当たりの年間 FPCM 量が約 1,200 kg となる点です。これは、世界規模でセクター全体の排出原単位を最大限に削減しようとする場合の最低限の目標となる乳量です。

したがって、乳量増加で削減可能性が最大限となるのは、牛 1 頭当たりの年間 FPCM 量が 2,000 kg 未満のシステムです。ほぼすべての排出量が生乳生産に由来し、家畜の維持による排出量は無視できる程度であるような、家畜の生産性が非常に高い極端なケースでは、家畜 1 頭当たりの生産量をさらに増やしても排出原単位の減少はほんのわずかです。

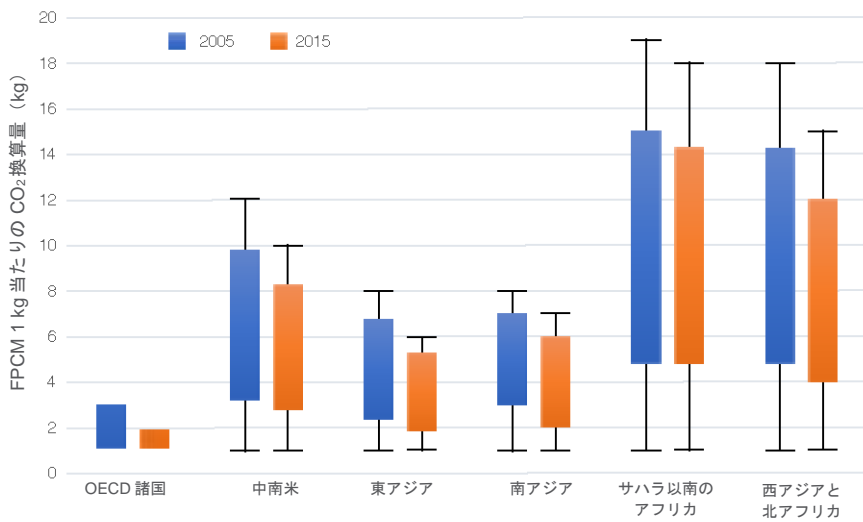


図 11：生乳の排出原単位  
のボックスプロット  
(FPCM 1 kg 当たりの  
CO<sub>2</sub> 換算量 (kg))  
注：色の付いた部分は各地域  
における生乳の排出原単位の  
分布の 90% を占める

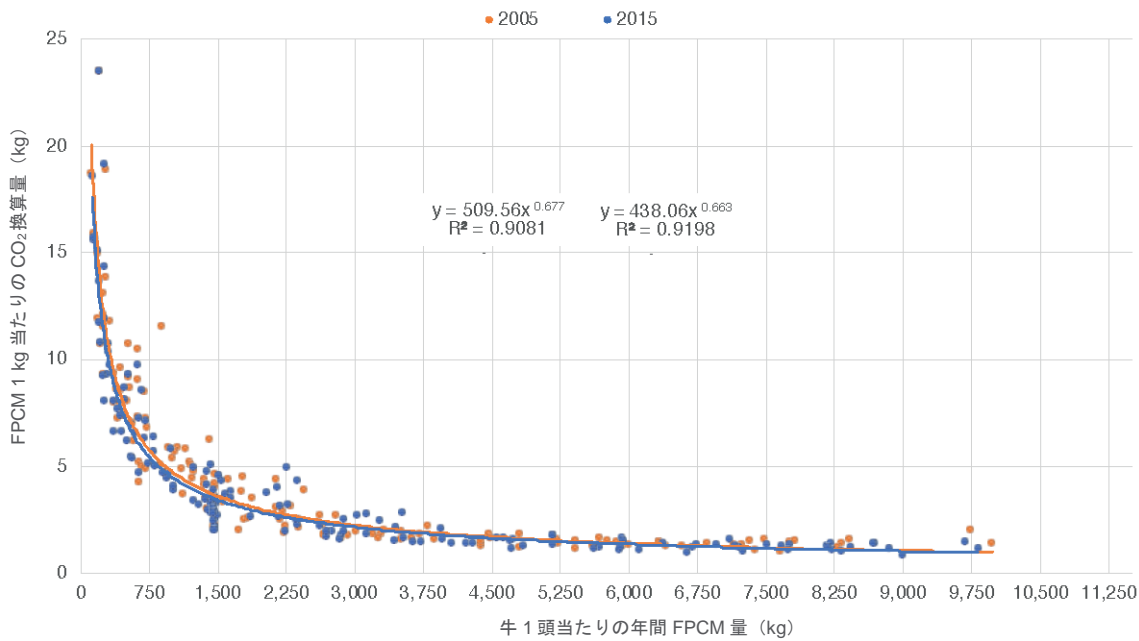


図 12：排出原単位と乳量

注：各点は国を示す。近似曲線は、牛 1 頭当たりの乳量と排出原単位との反比例の関係を明確に示している。つまり、乳量が増えると排出量を配分する生乳の量が多くなる。

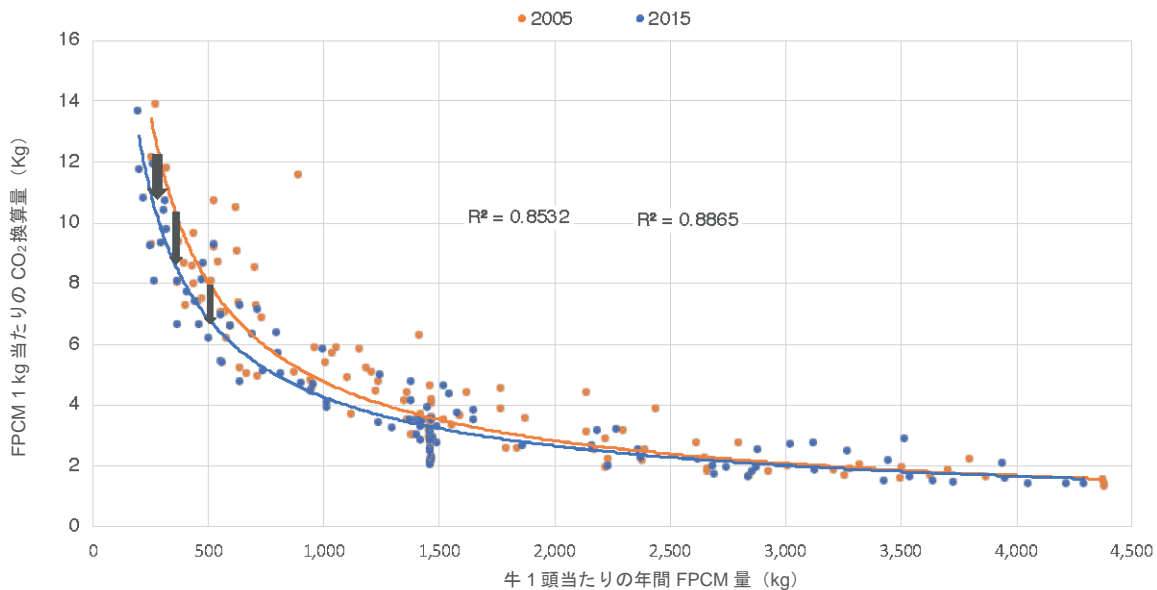


図 13：排出原単位と乳量（乳量の水準が牛 1 頭当たり年間 4,500 kg 未満の場合）

注：各点は国を示す。

## 5. 酪農乳業セクターが果たせる役割

酪農乳業セクターはすでに気候変動対策の一翼を担っています。しかし、同セクターは以下の行動を通して現在の取り組みを加速させる必要があります。1) 生産効率を継続的に改善し、同時に生乳の排出原単位も継続的に減らすこと。これを達成するには、セクターは優れた技術と農場のベストプラクティスによる介入と解決策を通して GHG 排出量削減の既存の可能性を実現するべく、早急に行動する必要があります。2) 自然生態系の劣化、農業拡大、森林伐採に結びつく原動力を標的にすることで、二酸化炭素吸収源（草地と森林）を保護するような生産方式の変化を促すこと。3) 畜産を循環型バイオエコノミーにより効果的に組み込むことで、資源需要を削減すること。これは、家畜の排泄物の栄養分とエネルギーを再利用・回収することによって、あるいは農作物とさまざまな規模の農産業に畜産をさらに統合し、低価値・低排出のバイオマスを利用することによって達成できます。

各地域で排出原単位は一般に減る傾向にありますが、排出原単位の削減は絶対排出量の削減には直結していません。例外的に、北米では 2005 年以降、排出原単位が年 2.2 パーセント減少した一方、生乳生産は 2.1 パーセント増加し、かつ絶対排出量は 5 パーセント減りました。他の地域では、いずれも絶対排出量の増加が記録されています（図 14）。絶対排出量の削減が実現するには、生乳生産の増加率が排出原単位の減少率を下回る必要があります。家畜の生産性を高めると、通常は（飼料摂取が増えることで）牛 1 頭当たりの排出量が増えるため、排出削減が達成されるのは生産高に上限を設けた場合のみです。

これまでのセクションで説明した、排出原単位に世界レベル、地域レベルで大きなばらつきがあることは、生産者間の差の大きさを強調しています。この差は、既存のシステム内で排出量を緩和させる余地があることを意味します。図 15a と b は、2つの地域で 2005~2015 年に排出原単位の差が縮小したことで得られた成果を示しています。図から、生産者間の差を縮小すると、大部分の排出原単位が最も効率的

な生産者のレベルに近づくことによって、平均排出原単位が減少することがわかります。この文脈では、酪農乳業セクターは気候変動に多数の方法で効果的に対処することができます。費用対効果の高い緩和策の採用による排出削減などがその例です。ただし、農業と食料生産に見込まれる緩和の程度は他の経済セクターほどではありません。農業・食料セクターからの排出は生物学的プロセスに由来するからです。

技術とベストプラクティスを農家に伝える上での具体的な課題は、生産システムの多様性、および農作業が行われる物理的環境の多様性です。これは排出原単位に大きな差が見られたことによく表れています。

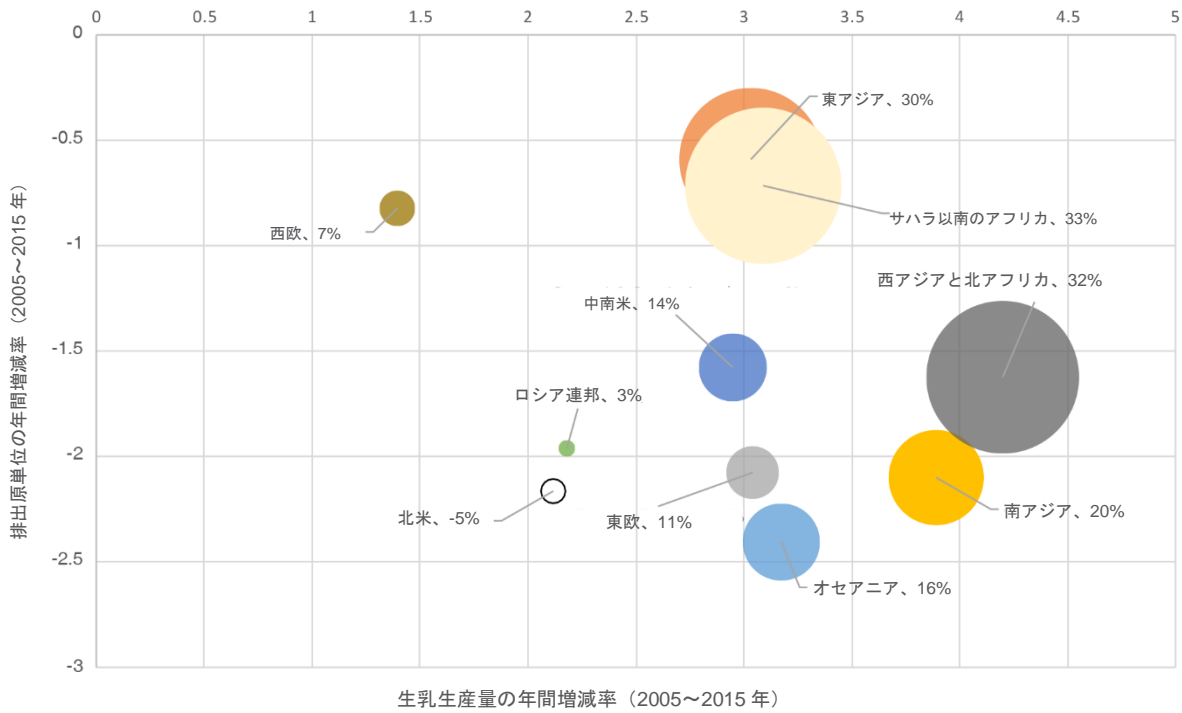


図 14 : 地域別の排出原単位と生産量の動向 (%)

注 : 円のサイズは絶対排出量の増減率 (2005~2015 年) を示す。

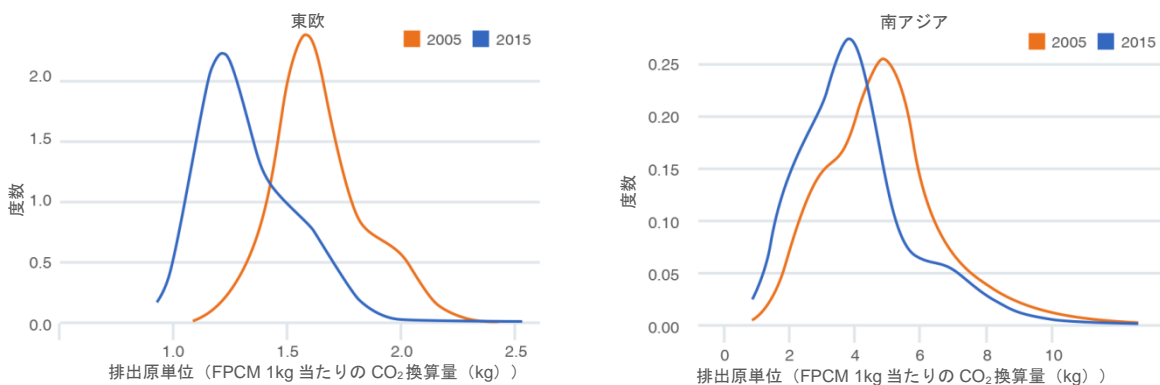


図 15 (a, b) : 2005 年と 2015 年の東欧と南アジアにおける排出原単位の差

## 酪農乳業セクターの GHG 排出量削減に向けた選択肢

以下で概説する排出緩和策の選択肢は、酪農場の効率と生産性の改善策に一致します。家畜の生産性向上には、給餌、繁殖、健康、遺伝的特徴、家畜の飼育作業の全般的な管理を含む複数の側面があります。低・中所得地域をはじめとする世界の多くの地域で、最も効果的な GHG 緩和戦略は、家畜の生産性を高めることです。このような方式と技術を採用すれば、生乳の排出原単位を大幅に削減することができます。

### 飼料・給餌管理

- 飼料のエネルギーとタンパク質含有量を最適化することで飼料効率を高める。
- 精密給餌技術を使用することで家畜の要件と飼料栄養供給を合致させる。
- 地元産飼料の使用を増やし、副産物など低排出飼料を調達する。
- 草地管理を改善することで土壌に貯蔵する炭素を増やす。

### 排泄物の管理

- 排泄物の回収、保管、利用を改善する。
- 牛の排泄物をバイオガスシステムで利用すれば、排泄物の保管で生じる GHG 排出量を削減し、肥料の質を改善し、化石エネルギー源の代用とすることができる。
- 未処理の排泄物を堆肥化することで排出を大幅に削減することができる。

### 肥料管理（排泄物と化学肥料）

- 必要量に照らして消費量を最適化する。
- 排泄物の施用と土壌中への取り込みを減らすことで、農場の生産性を維持しながら排出量を削減することができる。

- カーボンフットプリントの少ない、環境に配慮した方法で製造された化学肥料を使用する。
- 最良の技術を用いて適時に施肥を行う。

### 農場におけるエネルギー使用

- 化石燃料エネルギー（電気、ディーゼルなど）の使用を減らす。
- 化石燃料エネルギーの代わりに、風力エネルギーやバイオ燃料など持続可能なエネルギーの使用を増やす。

### 家畜の健康と畜産

- 家畜と家畜群の生殖・繁殖を改善することで非生産的な家畜の頭数を減らす家畜構成管理は、生乳の単位当たりの排出量を削減し、酪農の収益性を高めるアプローチとして効果的。
- 健康な家畜ほど生産性が高く、生産単位当たりの排出量が減るため、病害や寄生虫の蔓延を減らせば、一般に排出原単位は減少する。
- 計画的異種交配や品種内での選別を通して家畜の遺伝的潜在能力を改良し、適切な栄養によってこの遺伝的能力を発揮させる。

## 排出量の差を縮小し、排出量の増加を抑えるために利用できる方法は何か？

酪農場の地形、土地利用、土壌特性、農場管理方式はさまざまです。複数の要素が相互作用する、とりわけ複雑なシステムであるため、GHG 排出量を削減する最良のアプローチは地域に固有の条件、農家のスキルや知識を含む各農場の方針に左右されます。それでも、排出量を削減し、相殺をもたらす余地は相当にあります。

セクター固有の複雑さに気候変動に特徴的な課題が加わっているため、排出量削減に向けて単一の方法に依存・集中することは望ましくありません。複数の方法を組み合わせて「排出量の差」を縮めることは、全世界のGHG 排出量に対する影響を減らすセクターの可能性を広げることにもなります。

### 生産効率をさらに高めることで排出原単位を削減する

排出原単位を継続的に削減する最良のアプローチは、生産者が生産効率の改善を可能な限りの程度と速度で継続することです。生産の効率化とは、一定の生産量を得るための投入材（飼料など）と廃棄物（GHG など）の量を最小限にすることです。GHG

排出量は酪農システムの非効率性を表します。大気中へのメタンと亜酸化窒素の喪失は、生産に回せるように投入したエネルギーと窒素が失われるという意味です。一定水準の排出は当然想定されますが、GHG 排出量を削減し、効率化とひいては収益性を獲得する機会は多くあります。飼料は酪農生産者にとって最大のコストであり、それを効率的に使用すれば純収入を増やし、環境に対する潜在的な悪影響を減らすことができます。分析結果には、2005～2015年に各地域で飼料転換効率（FCE）が向上したこと、つまり1 kgのFPCMを生産するために使用する飼料が相対的に減って牛1頭当たりの生乳の生産性が上がったことが示されています（図16）。

副次的な結果として、生乳1 kg当たりの温室効果ガスの量も減っています。この10年で、農家は飼料と栄養、家畜の遺伝的特徴、牧草管理、家畜の健康を着実に改善してきました（ボックス1）。排出原単位の削減によって示されたように、こうした選択肢には累積的な効果をもたらす可能性があります。このため、排出原単位が多い地域でのさらなる取り組みは、農家の収益性を改善しつつ、排出原単位も削減するような解決策の推進に集中させなければなりません。気候変動、食料安全保障、その他の開発目標の分野における各緩和策には明らかな関連性があります。こうした対策は、排出原単位が多く需要の継続が期待される低・中所得地域を中心とした、酪農乳業セクターの拡大という文脈で最大限に展開される必要があります。

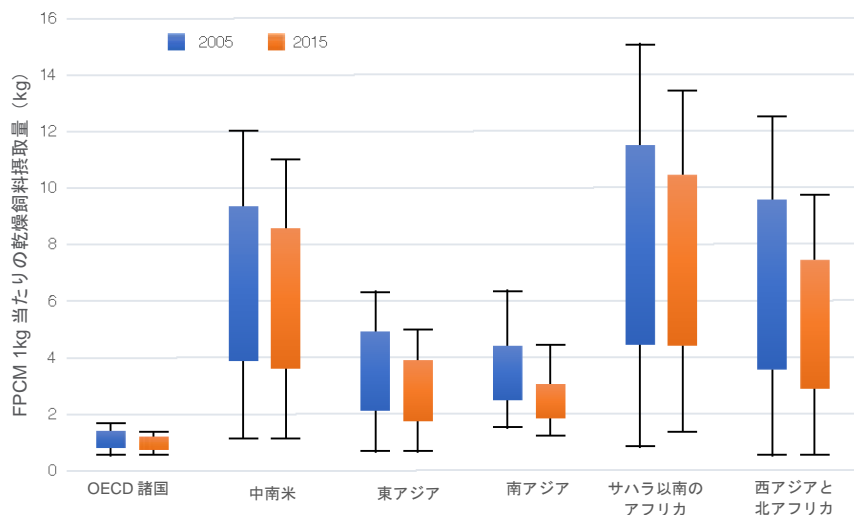


図16：搾乳牛の飼料転換効率 (FCE)

注：FCEは一般に、牛がどれだけ効率的に餌を生乳に転換しているかを判断するために使用される。単純化して言うと、消費した乾燥飼料1キロ当たり何キロの生乳を牛が産出したかを測るものである。FCEを改善すれば必ず利益が増えると言ってよい。与えた乾燥飼料の単位当たりで得られる生乳が増える、逆に言えば同量の生乳を得るために与える飼料の量が少なくて済むという意味だからである。



## 絶対排出量の増加を抑える

排出原単位の差が縮小するにつれ、斬新で費用対効果の高い科学的な大発見（メタン抑制剤、メタンワクチン、メタン排出量が少ない家畜など）が反芻動物による生産の根本を変えない限り、効率化に向けた解決策を見つけ、効果を上げることは次第に難しくなっています。

生産量を犠牲にせずに酪農乳業セクターからの総排出量の大幅な削減を実現する余地は限られています。絶対排出量の削減には、生産量の抑制（消費者需要の増加を考えると困難ですが）と新たな緩和技術・戦略の開発における飛躍的な進歩を組み合わせる必要があります。排出量増加のジレンマに対処する解決策は、セクターが炭素貯蔵の促進と維持に集中し、セクター内の循環性の差を縮める上でカギとなる戦略を特定することです。

農用地中に貯蔵される炭素の量を増やせば、GHG の大気中への排出を相殺できる可能性があります。世界全体で、草地は森林より 50 パーセント近く多い 343 トンの炭素を含むと推定されています（FAO, 2010）<sup>8</sup>。実際に長期にわたって自然吸収量を増やすには、あらゆる規模でこれらの生態系の劣化や破壊を阻止する取り組みが必要でしょう。より持続的な畜産方式を促進し、草地と森林の確実な保全を図れ

ば、森林伐採と土壌劣化という二重の課題にきわめて効果的に対処することができ、全体として炭素貯蔵が容易になります。しかしながら、この緩和可能性を実現するには技術面で困難があります。土壌中の炭素貯蔵量の変化を算定する手法とデータの欠如は大きな障壁です。この課題をさらに複雑にするのが、このような炭素貯蔵の永続性、窒素循環と炭素循環の複雑な関係、土地利用の逆転や利用方法の変更による非永続性のリスクも、気候変動が炭素隔離の可能性にもたらす正確な影響も、いずれも生態学的に不確かだということです。炭素隔離の可能性とそれを実現する技術は国や地域に固有のものであり、土壌タイプ、管理方式、気候によって異なります。

循環型戦略を適用すれば、CO<sub>2</sub> 排出量が確実に減ります。これは、サプライチェーン全体にわたる食品その他の廃棄物の削減や廃棄物管理の改善、または残留物の流れの最大活用を通して行うことができます。FAO（2011）によれば、低所得国では平均して、収穫後の処理・保管中と流通・小売過程の乳・乳製品の廃棄率がそれぞれ 7 パーセントおよび 9 パーセントと比較的高くなっています。この場合、冷蔵設備へのアクセスが効果的な要素です。サハラ以南のアフリカでは、収穫後の処理・保管中の廃棄率が約 11 パーセントと最も大きな割合を占めました。生産過程の廃棄も中・高所得国で高くなっています。乳牛の病害（主に乳房炎感染）によって乳量が約 3~4 パーセント減るからです。ただし高所得国では、消費レベルでの廃棄が廃棄全体で最も大きな部分を占めています。

<sup>8</sup> FAO. 2010. *Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems*. Rome. 67pp. <http://www.fao.org/docrep/012/i1399e/i1399e.pdf>





循環性は、農場内、地形や地域レベル、食料システム内、世界規模などさまざまな規模で、バイオマス、栄養分、エネルギーの流れを管理することで達成できます。

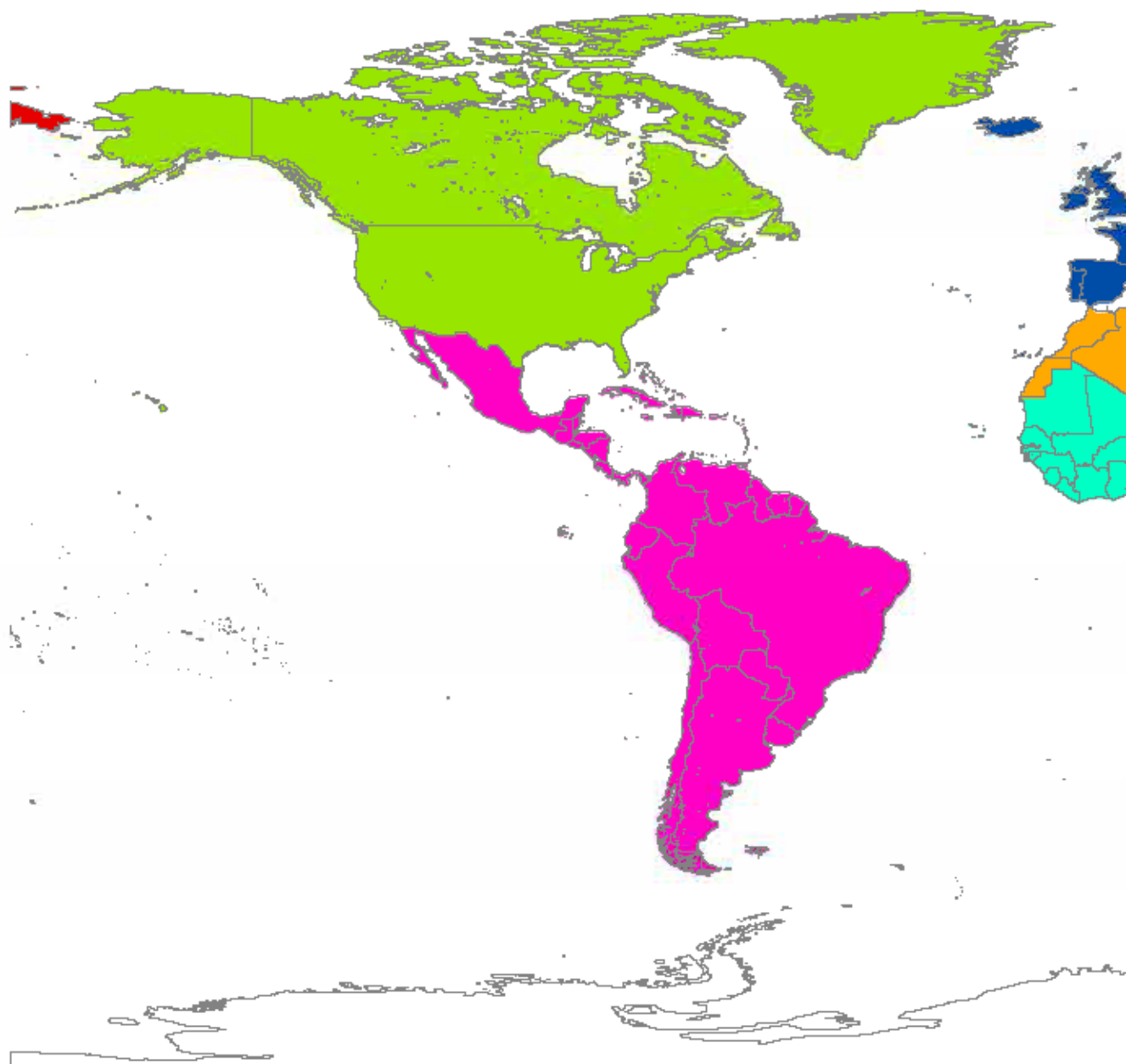
### 高い可能性 - 実現につながる環境が整えば

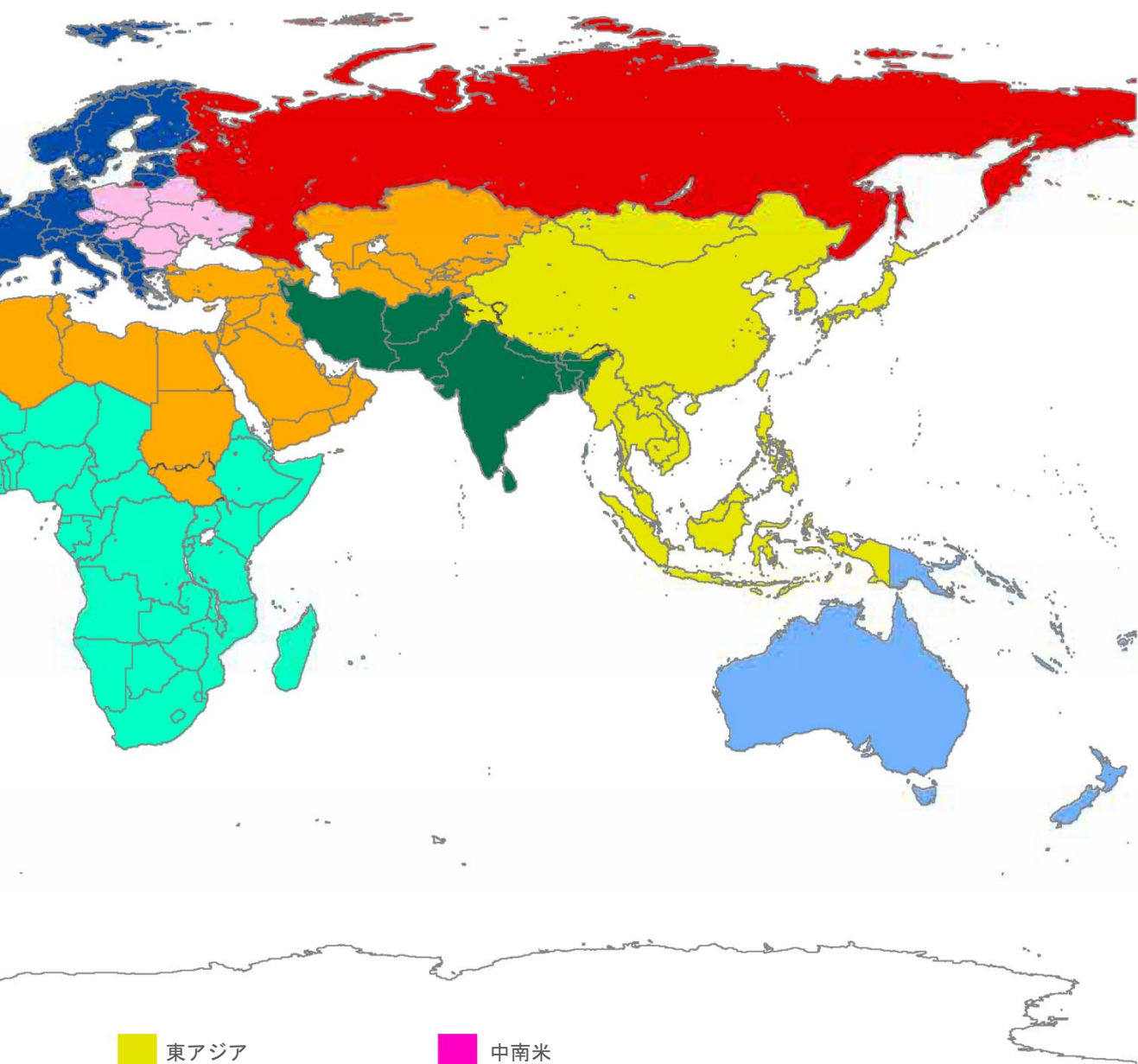
排出削減は、革新的な技術と農家による既存のベストプラクティス採用の組み合わせに左右されます。生産性を改善する方式を含め、排出量を削減する農場経営の方式はすでに知られており、利用することができます。しかし、酪農生産システムの多様性が排出削減の進捗を妨げています。進捗を加速する方法の特定と全体的な結果を考慮する必要があります。実施方式や技術の採用を遅らせる根本的な原因に対処することが欠かせません。

緩和策を広い範囲で採用するには、研究と知識移転への大規模な投資が必要です。気候変動の緩和と炭素効率の高い管理方式の採用は相互に結びついています。技術と知識移転の取り組みでは、排出原単位の幅を縮小することと、最も効率の低い農家を最も効率の高い農家に近づけることに集中しなければなりません。その一方で、すでに炭素効率の高い農場の排出原単位をさらに削減するには、新たな GHG 緩和技術が重要になります。しかし、技術的飛躍がもたらされたとしても、それを大多数の農家が採用するまでにはまだ多くの年月がかかるでしょう。実行可能な新技術の採用を加速するには、支援と刺激策が必要になります。

酪農乳業セクターの可能性の扉を開くには、すべてのステークホルダーが協調して同セクターに投資し、研究を支援・実施し、革新を促進し、刺激策を提供することで、低炭素の効率的な技術と実践方式への転換と実施を加速しなければなりません。こうした行動には、同セクターと同セクターに依存する人々の多様性を考慮に入れる必要があります。

# 付録





- |  |  |
|--|--|
|  東アジア       |  中南米        |
|  北米         |  東欧         |
|  ロシア連邦      |  オセアニア      |
|  サハラ以南のアフリカ |  南アジア       |
|  西欧         |  西アジアと北アフリカ |

## 連携機関

国連食糧農業機関

[Carolyn.opio@fao.org](mailto:Carolyn.opio@fao.org)

グローバル・デリー・プラットフォーム

[Donald.Moore@globaldairyplatform.com](mailto:Donald.Moore@globaldairyplatform.com)

[Brian.Lindsay@dairysustainabilityframework.org](mailto:Brian.Lindsay@dairysustainabilityframework.org)

持続可能な畜産のためのグローバル・アジェンダ

[Fritz.Schneider@bfh.ch](mailto:Fritz.Schneider@bfh.ch)

[Eduardo.Arcediaz@fao.org](mailto:Eduardo.Arcediaz@fao.org)

ISBN 978-92-5-131232-2



9 7 8 9 2 5 1 3 1 2 3 2 2

CA2929EN/1/01.19