

乳牛の健康と温室効果ガス排出量に関するパイロット研究：チリ、ケニア、英国

ジョナサン・スタサム、ハリエット・スコット、シャーン・スタサム、ジュディス・アクトン - RAFT ソリューションズ
エイドリアン・ウィリアムズ、ダニエル・サンダース - クランフィールド大学

要約

2019年に、国際連合食糧農業機関とグローバル・デーリー・プラットフォームは報告書「気候変動と世界の乳牛セクター」を発表した。全世界を調査対象としたその報告書は、乳牛の健康の改善は畜産に伴う温室効果ガス（GHG）排出量の削減策のための行動の一つとして重要であることを特定した。それは、家畜の健康が向上することで生産性が高まり、最終生産物の単位当たりの排出量が低くなるためである。

本パイロット研究は、農業分野の温室効果ガスに関するグローバル・リサーチ・アライアンスおよびグローバル・デーリー・プラットフォームのために実施された。本研究が述べているのは、温室効果ガス（GHG）排出量の実用的測定方法、明確に定められた家畜の健康改善策（AHIM）によって乳牛の健康が改善された場合に期待される GHG の削減規模、そして GHG 削減のために義務付けられている「国が決定する貢献（NDC）」およびそれに不可欠な「測定・報告・検証（MRV）」を通じて各国が「国連気候変動枠組条約（UNFCCC）」に行う報告に AHIM を適用する可能性である。本研究では、当初英国で採り入れた前提条件およびモデル作りの考え方をベースとした方法論を、チリ、ケニア、英国の酪農セクターに等しく適用した。さらに、国ごとにいくつかの経済的シナリオを検討し、AHIM の採用を促進するために、実施した AHIM から個別の酪農家が得た費用便益についても調査を行った。

チリ、ケニアおよび英国における家畜の健康改善策（AHIM）が温室効果ガス（GHG）排出量に与える影響

乳牛に特有の風土病は、生乳の生産量と生産性に悪影響を与え、結果的には温室効果ガス排出量にも影響を及ぼしている。この排出量に影響を与える典型的要因としては、死亡率の増加、産乳量の低下、廃棄した処理済み乳の残余物の増加、繁殖力の減退などが挙げられる。本研究は、これらの異なる3か国が直面している乳牛の健康および生産性に関する次の3つの具体的な課題に焦点を当てている：1. 繁殖能力 - 不妊または受胎の失敗（子牛を産まない牛）、2. 単一感染因子による感染症 - 牛ウイルス性下痢ウイルス（BVDv）、3. 多因性または管理由来の疾病 - 乳房炎。

収集したデータをクランフィールド大学のシステムをベースとしたライフサイクルアセスメント（LCA）モデルに入力し、乳牛の健康改善に伴う温室効果ガス（GHG）排出原単位の変化を推計した（ウィリアムズら、2015年）。その結果は、今回の研究で取り組んだ3つの具体的課題それぞれに関して、平均的レベルの牛群における GHG 排出原単位の潜在的削減率と、対象とした牛群中で健康状態が最も悪い10%に対して AHIM を実施した場合の GHG 排出原単位の潜在的削減率との比較で示された。表1はチリ、ケニア、英国の平均的レベルの牛群における GHG 排出原単位の潜在的削減率を示しており、各国間の数値については、不妊率が7~24%、BVDが4~5%と幅が有る一方、乳房炎については3か国とも6%であった。ただし、牛群中で健康状態が最も悪い10%における GHG 排出原単位の潜在的削減率の各国間の数値については、不妊率が10~44%、BVDが8~11%、そして乳房炎については10~12%という幅が見られた。

気候変動に関する国際連合枠組条約（国連気候変動枠組条約、UNFCCC）における「測定・報告・検証（MRV）」のためのツールおよび「国が決定する貢献（NDC）」

GHG 排出量への影響を測定するための基準線を設定することは、AHIM に関連するいくつかの目標にとって非常に重要である。排出量削減策を実施した結果生じた変化の測定と検証が可能となるからである。

GHG インベントリのティア1の算定法では、家畜1頭当たりの GHG 排出量を定めているため、総排出量の変化は家畜頭数の変化しか反映していない。ティア2の算定法においては、家畜をいくつかのサブカテゴリーに分けた上でそれぞれの特徴や活動に関する詳細な情報が必要とされる。それによって実際の生産活動の状態およびそれが GHG 排出量に及ぼす影響を細かく反映させることができる。これは、インベントリに追加する削減策すべてについて当てはまることである。言い方を少し変えれば、改善策の介入効果の全容を評価するためには、LCA を完全な形で実行することが役立つ。また、他の介入については必ずしも当てはまらないが、AHIM の目標は高すぎないようにすべきである。LCA を完全な形で実行することによって、実施した AHIM の実際の効果（マイナスとプラスの両方）についてのより包括的な評価が可能となる。

このモデルの基本的な機能は、a) 維持、成長、懐胎、泌乳のための代謝エネルギー要求量 (MER)、および b) 安定的な頭数を前提とした時に群を維持するために必要な乳牛と後継未経産牛のバランス、という二つの計算に依拠している。さらに、モディファイアーを適用し、乳量、繁殖力、死亡率、成長率、感染に対する抵抗力等の健康の要因が MER に及ぼす影響を検討する。こういったデータに伴って、獣医学的および管理上の介入に伴う GHG 排出量の推定値が得られる。

本パイロット研究によって明らかになったことは、的を絞った AHIM を実施することによって、優れた費用効率で酪農セクターが排出する GHG を削減できる大きな可能性があるということである。AHIM は現時点で「国が決定する貢献 (NDC)」には明示的に組み込まれていない。また、それを全世界で、あるいは多くの場合各国特有の方法で実現するためには、標準化された「測定・報告・検証 (MRV)」用のツールが必要であるが、我々は現在それを持っていない。MRV へのアプローチの仕方については、事例の概略を後述する。

クランフィールド大学のオリジナルモデルにおいては、乳牛の管理および健康状態 (病気が与える影響、治療法、回復能力、罹患率) の両方に関するデータを含め、英国の状況に合わせたパラメータが設定された。健康に関連した KPI に対して MRV 用のツールを将来的に幅広く適用していくためには、各国において追加データが必要となるが、その中には通常記録として残される初産年齢、分娩間隔 (CI)、乳牛の死亡率、および泌乳当たりの産乳量などが含まれる。

AHIM の経済的利益

本研究で取り上げる各 AHIM の経済的利益について、3 か国それぞれで調査を実施した (表 6~9 を参照)。すべての国々で AHIM を実践していくことは、個別の酪農場レベルにおける投資だけではなく、GHG 排出量削減に対する国レベルでの投資に対しても非常に大きなリターンをもたらす可能性が高いことがわかった。エリオットら (2015 年) は経済的利益についてより詳細に説明しており、このモデルを AHIM の比較事例研究の基盤として利用した。

i. 繁殖能力を向上させるために AHIM を行うことによる経済的利益

群における分娩間隔 (CI) をわずか 10 日短縮することによって、それによる群としての利益は推計で乳牛 1 頭当たり年間 25 ドルを超える一方、PD (妊娠鑑定) のような AHIM やヒートマウントディテクターを使用するための費用は乳牛 1 頭当たり年間わずか 2~3 ドルに留まる。このことは、典型的な AHIM のために行う 1 年分の投資に対して 10 倍のリターンが得られる可能性があることを示している。これに基づけば、分娩間隔を 1 日短縮することによって、繁殖能力向上のための AHIM に対する投資費用をカバーできることになる。

ii. 単一感染因子による感染症である BVD の予防と感染拡大を防ぐために AHIM を行うことによる経済的利益

牛群の BVD 感染が防止できれば、それに伴って他の疾病の減少、繁殖力の向上などの便益がもたらされ、生産量への影響として群として推計で乳牛 1 頭当たり年間 68 ドルを超える額の節約ができる。一方、予防のためのワクチン接種のような AHIM の費用は乳牛 1 頭当たり年間でわずか 2~3 ドルに留まる。このことは、典型的な AHIM のために行う 1 年分の投資に対して 20 倍を超えるリターンが得られる可能性があることを示している。

iii. 多因性または管理由来の疾病である乳房炎の感染防止のために AHIM を行うことによる経済的利益

牛群において臨床性乳房炎の発生を抑制できれば、その恩恵としての節約額は乳牛 1 頭 1 症例当たり年間 670 ドルを超えると推計される。つまり、年間 1 頭当たりの症例数の平均が 40 から 30 に削減できた場合の節約額は 6,700 ドルを超える一方、乾乳牛治療 (DCT) のような AHIM の費用は、乳牛 1 頭当たり年間でわずか 10 ドルに留まる。群の中のわずか 1 頭の臨床性乳房炎の発生を抑えるために AHIM に投資することによって、70 頭の乳牛に対して通常行う AHIM への投資費用とほぼ同額を節約することができる。

家畜の健康改善策 (AHIM) は、酪農経営に伴って排出される温室効果ガスを大幅に削減する一つの現実的な機会を創出し、それを実施した際の費用効果は圧倒的に高い。本研究は、チリ、ケニア、英国の 3 か国における AHIM の実施方法およびその「測定・報告・検証 (MRV)」に関するものであるが、より幅広い国々を対象に実施することもできるだろう。

はじめに

2019 年に、国連食糧農業機関とグローバル・デーリー・プラットフォームが「気候変動と世界の乳牛セクター」という報告書を発表した。

全世界を対象としたこの報告書は、乳牛の健康の改善が畜産に伴う温室効果ガス (GFG) 排出量の削減策の一つとして重要であることを特定した。一般的に疾病や寄生虫の広がりを抑えることによって排出原単位は減少し、家畜の健康が向上すれば生産性が高まり、最終生産物の単位当たりの排出量が低くなる。

GHG の排出量の規模は、疾病の種類や体調によって異なってくる。乳牛の疾病を軽減するために予防、感染防止、治療を含め様々な「家畜の健康改善策 (AHIM)」が講じられている。AHIM は施策によって効果、経済的費用、複雑さの程度が異なる。異なる種類の疾病、例えば繁殖に関するもの、家畜の飼育に関するもの、バイオセキュリティに関するものなどに等しく効果があるものもある。

推奨された AHIM を酪農家が使いたいと思うかどうかは、個々のニーズおよび個性に依存する。例として費用や利益が農場の収益性に直接与える影響が挙げられるが、これに限定するものではない。また、酪農家の現状変革意欲も規制上の要件や市場の要求に大きな影響を受ける。とはいえ、人間の動機形成は複雑な形で行われ、個々で異なるものである。

AHIM が広範に採り入れられることで GHG が削減されることは、国家的規模で見れば (個別の酪農場レベルでは必ずしもそうとは言えないが)

相当な利益を生むと言ってもよいだろう。このため、各国政府は AHIM を喧伝し酪農家に採用を推奨することによって国家レベルでの GHG 排出量削減を図りたいと考えるかもしれない。しかしながら、政府が実際にそうするかどうかは、AHIM による家畜由来の温室効果ガス削減効果を自国の GHG インベントリに取り込めるかどうか、その力量次第であろう。

政府による国家レベルの取り組みの例としては、家畜の健康問題への対処、経済や GHG 削減などの優先事項の実現に向けての生産性全般の改善などがある。このような場合、GHG の影響を評価するために明確なモニタリング・プログラムが用意されている。それによって、具体的な介入の効果を評価するために酪農場レベルでデータを収集できるようになった。

本研究が提示しているのは、温室効果ガス (GHG) 排出量の実用的測定方法、明確に定められた家畜の健康改善策 (AHIM) によって乳牛の健康が改善された場合に期待される GHG の削減規模、そして GHG 削減のために義務付けられている「国が決定する貢献 (NDC)」およびそれに不可欠な「測定・報告・検証 (MRV)」を通じて各国が「国連気候変動枠組条約 (UNFCCC)」に行う報告に AHIM を適用する可能性である。

本研究では、当初英国で採り入れた前提条件およびモデル作りの考え方をベースとした方法論を、チリ、ケニア、英国の酪農セクターに等しく適用し、さらに、いくつかの経済的シナリオを国ごとに検討した。重要なこととして、採用を促進するために、実施した AHIM から個別の酪農家が得た費用便益についても調査を行った。

家畜の健康改善策（AHIM）、経済、そして温室効果ガス（GHG）排出量

乳牛に特有の風土病は、生乳の生産量と生産性に悪影響を与え、結果的には温室効果ガス排出量にも影響を及ぼしている。

GHG 排出量に影響を与える典型的要因としては、以下のようなものを挙げることが出来る。

- ・ 死亡率の増加
- ・ 産乳量の低下
- ・ 廃棄した処理済み乳の残余物の増加
- ・ 繁殖力の減退

このように、乳牛の健康を改善することによって生乳生産に由来する GHG 排出原単位を減らすことが可能になるとともに、総生産量が一定であると仮定すれば、GHG の排出量が減少していくことになる。各国の状況や固有の酪農システムに合った家畜の健康改善策（AHIM）を実施することこそが、GHG 排出量削減に向けて取るべき道である。エリオットら（2015 年）は、英国では家畜の健康の課題による経済および GHG 排出量に及ぼす影響が獣医学的な介入によって緩和される可能性があるとして述べている。

研究の結果に対して経済分析を行い、家畜の健康改善に伴う GHG 排出量削減コストを定量化した。そして英国固有の状況下において生産量を固定するというシナリオを立て、限界費用削減曲線（MACC）を作成した（図 1 参照）。ここには、全国の乳牛群における各種疾病の全体的な広がりの実態に関する推計も含まれている。

この MACC から明らかに読み取れることは、日常の搾乳作業の管理や牛ウイルス性下痢（BVD）のような感染症に対するワクチンの接種などを含め、家畜の健康を改善するための多くの方策は、それを行うこと自体が利益を生むものであると同時に、GHG 排出原単位を減少させているということである。効果的な方策に的を絞ることによって、生産者に膨大な経済的利益がもたらされると共に、世界中の GHG 排出量削減機会も増大することになる。

英国の乳牛に特有の風土病の防御に関する限界費用削減曲線（エリオットら、2015 年）

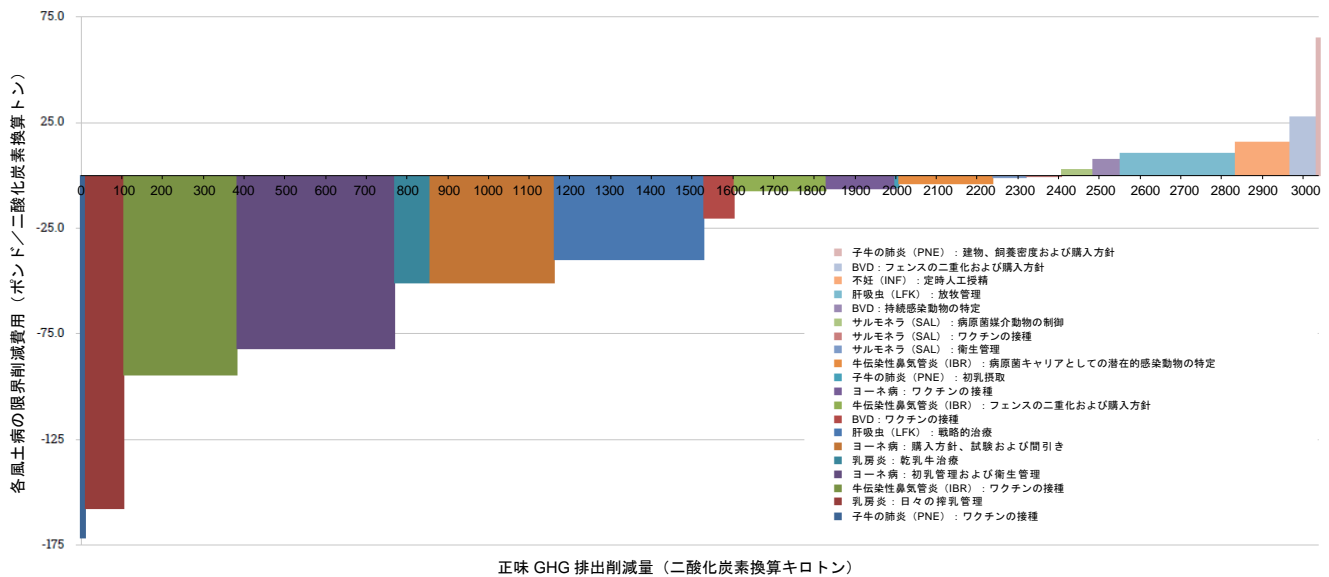


図 1：英国の乳牛に特有の風土病の上位 10 種類の制御に関する限界費用削減曲線（下向きマイナス方向のバーの長さは酪農家にとっての GHG 削減の費用効果の大きさを示す。水平方向のバーの幅はそれぞれの AHIM による GHG 削減の規模を示す。）

英国における研究は、酪農セクターが排出する GHG の削減可能性が非常に高く、しかもそこに経済的利益が伴うことを示唆している。しかし、世界の国々では酪農経営システムは大きく異なり、改善サービス等へのアクセスにもバラつきがある中、同様の方策を適用することができるのだろうか？どの AHIM を選ぶにせよ、効果的な方策に的を絞るためには、現在の管理方法に関する知識、そして改善度を測る際のベースとなる経済上および GHG 排出量の基準点に関する知識が要求される。本パイロット研究においては、チリ、ケニアそして英国の酪農セクターが抱えるこれらの問題の中の幾つかに対処することを目標とした。

気候変動に関する国際連合枠組条約（国連気候変動枠組条約、UNFCCC）および「測定・報告・検証（MRV）」

GHG 排出量への影響を測定するための基準線を設定することは、AHIM に関連する幾つかの目標にとって非常に重要である。GHG 排出量削減策を実施した結果生じた変化の測定と検証が可能となるからである。これは削減活動に必要な資金を獲得する上において重要な要素であるが、各国のインベントリにおいて削減の要因を AHIM に帰属させたいという欲求が反映されているだけかもしれない。

GHG インベントリの最も基本的な算定法であるティア1では、家畜1頭当たりの GHG 排出量を固定しているため、総排出量の変化は家畜頭数の変化しか反映していない。ティア2の算定法においては、家畜をいくつかのサブカテゴリーに分けた上でそれぞれの特徴や活動に関する詳細な情報が必要とされる。それによって実際の生産活動の状態およびそれらが GHG 排出量に及ぼす影響を細かく反映させることができる。

全世界の畜産セクターによる排出量の推計については、当初ティア1の算定法を使って計算が行われていた。しかしながら、家畜の管理方法における変化が GHG 排出量に与える効果を国レベルで測定するためには、ティア2の算定法を用いて、異なる生産システムあるいは一国の異なる地域における管理方法・飼料・家畜の状態などの変化が GHG 排出量に与える影響を捕捉することが必要となる。

ティア2の算定法を使って推計した家畜1頭当たりの排出量についても、管理方法や生産性に関するデータがアップデートされれば時の経過とともに変化していく。このように、畜産業の開発および気候変動軽減政策が酪農セクターによる GHG 排出量に与える影響を把握するために、ティア2の算定法は欠かすことが出来ない。畜産による GHG 排出の特徴をより的確にとらえることも、政策立案者が畜産セクターからの GHG 排出量削減に向けた取り組みの絞り込みと計画を行う際に役に立つかもしれない（ウィルクスら、2017年）。2017年の時点で、63か国が GHG 排出量の推計を行うためにティア2の算定法を採用している。

これは、インベントリに追加する削減策すべてについて当てはまることである。言い方を少し変えれば、改善策の介入効果の全容を評価するためには、LCA を完全な形で実行することが役立つ。また、他の介入については必ずしも当てはまらないが、AHIM の目標は高すぎないようにすべきである。LCA を完全な形で実行することによって、実施した AHIM の実際の効果（マイナスとプラスの両方）についてのより包括的な評価が可能となる。

チリ、ケニア、英国における AHIM が温室効果ガス排出量に与える影響の評価

本研究は、異なる3か国が直面している乳牛の健康および生産性に関する次の3つの具体的な課題に焦点を当てている。

1. 繁殖能力 - 不妊または受胎の失敗（子牛を産まない牛）
2. 単一感染因子による感染症 - 牛ウイルス性下痢ウイルス（BVDv）
3. 多因性または管理由来の疾病 - 乳房炎

これら3つの課題の広がり具合、および英国内で共通して使われている AHIM について、チリおよびケニアに比較可能な基準を適用し、それぞれの国の獣医学専門家グループを対象としたデルファイ法による検討を行った。

• **チリ**：ラテンアメリカ獣医学協会およびチリ獣医学会、農業研究協会、農業サービス協同組合（Cooprinsem）、コンセプション大学、農業牧畜庁、および独立獣医学アドバイザー

• **ケニア**：ケニア農業畜産研究所および農業畜産漁業省

• **英国**：王立獣医カレッジ（RCVS）所属の専門家を含むエクセルヴェット（XLVet）獣医グループ

1. 繁殖能力 - 不妊または受胎の失敗（妊娠しない牛）

繁殖能力の低下によるコスト増は国によって異なるが、英国の経済調査では乳牛1頭1日当たり2~4ポンド（エッスルモントおよびコッサイパティ、2002年）、また米国の経済調査では最高3ドル（デブリーズ、2006年）である。泌乳曲線の低生産量のロングテールが伸び、産まれる子牛が減少し、後継牛の増頭ニーズが増える反面、それらを相殺するだけの生産量が無いにも関わらず GHG 排出負荷が発生し、環境対策関連の余計な負荷が増加することになる（図2参照）。獣医に1回妊娠鑑定をしてもらうための1頭当たりわずか数ドルの投資費用が、大きなリターンを生むことになる。

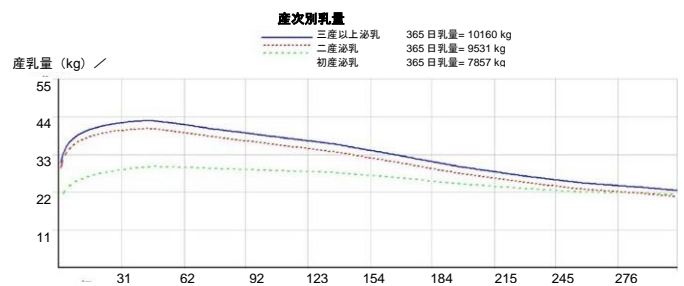


図2：乳量曲線（不妊によって酪農場に生じる1日当たりの運営コストを生理学の面から見積もるための根拠）

チリ、ケニア、英国における不妊／受胎の失敗に対する AHIM

不妊／受胎の失敗に対する現行の AHIM について、デルファイ法による専門家グループの検討を通じて明らかになったことは以下の通り。

- **チリ**：超音波検査、発情発見を補助するセンサーとツール、定時人工授精プログラムなどによる早期の妊娠鑑定。
- **ケニア**：人の手による妊娠鑑定、発情発見補助手段（雌を興奮させるための雄の手配など）、普及サービス。
- **英国**：超音波検査、発情発見を補助するセンサーとツール、定時人工授精プログラムなどによる早期の妊娠鑑定。

2. 単一感染因子による感染症 - 牛ウイルス性下痢ウイルス (BVDv)

BVDv は免疫抑制性の感染性ベステウイルスの一種による乳牛感染症で、世界中に広く存在している（図 3 参照）。感染することによる費用は、乳牛 1 頭当たり最大 49 ドルになると推計されている（ただし全ての国々においてこの疾病に関連する包括的費用が把握されているわけではない）。この感染症によってあらゆる年齢の家畜が様々な病気に罹りやすくなっていくことに加えて、繁殖能力に与える悪影響は劇的であり、特に呼吸器系疾患の原因となっている。子牛の持続感染 (PI) は、接触することが多いすべての家畜にとって脅威である。スコットランドにおける経済調査によれば、BVDv のワクチンを 1 度だけ接種するためのわずか数ドルの投資が、5 年に渡りその 10 倍を超える乳牛 1 頭当たり年間 50 ドルを超す経済的リターンをもたらす可能性がある（ストットら、2012 年）。

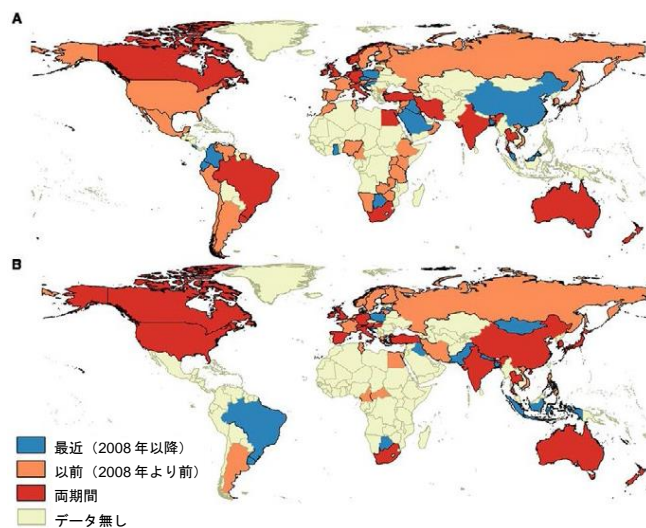


図 3： BVDv の世界的な広がり (リヒターら、2019 年、図 2：牛ウイルス性下痢ウイルス (BVDV) の世界感染マップ。最近の報告 (2008 年以降を青で表示) によるものと過去の報告 (2008 年より前をオレンジで表示) によるもので色分けしている。一つの国が両期間とも報告を行っている場合は赤で表示。(a) 抗体 (AB) 陽性、(b) 持続感染 (PI) およびウイルス血症性 (VI) 感染。

チリ、ケニア、英国における BVDv 感染防止のための AHIM

デルファイ法による専門家グループの検討で明らかになった現行の BVDv 感染防止対策は以下の通り。

- **チリ**：バイオセキュリティ諸施策および隔離、ワクチン接種、持続感染 (PI) 家畜に対する試験およびその根絶。
- **ケニア**：バイオセキュリティ諸施策および隔離（ワクチン接種、持続感染 (PI) 家畜に対する試験およびその根絶については今のところ未確認）。
- **英国**：バイオセキュリティ諸施策および隔離、ワクチン接種、持続感染 (PI) 家畜に対する試験およびその根絶。

3. 多因性または管理由来の疾病 - 乳牛の乳房炎

乳房炎は世界的に最も甚大な経済的影響を与えている乳牛の疾病である（ブラッドリーら、2002 年）。英国の臨床例における費用の推定中央値は約 521 ポンドである（グリーン、2009 年）。乳房細胞が感染性あるいは環境由来の様々な病原体に感染することによって乳腺分泌組織の損傷を引き起こし、それに伴う痛みや炎症によって泌乳が減少してしまう。さらに、炎症メディエーターが繁殖力と飼料転換効率を減少させるという形でより広範な影響を及ぼしている。乳房炎の症状は群によって大きなばらつきがある（図 4 参照）が、軽減できる可能性はかなり高い。乳頭シーラントの購入や搾乳のトレーニングのために乳牛 1 頭当たりわずか数ドルの費用をかけることによって、その何倍もの大きさのリターンを得ることができる。

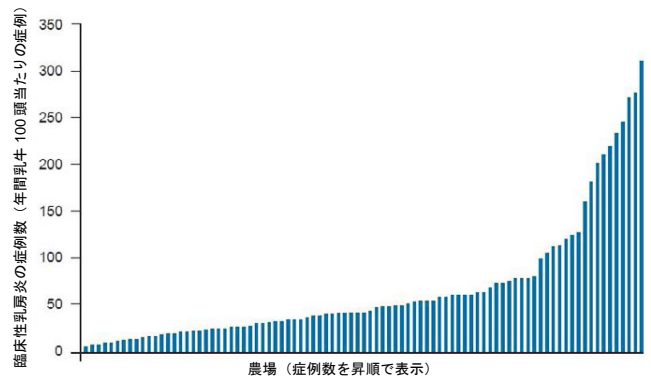


図 4： 英国内にある 89 の乳牛群において報告された臨床性乳房炎の症例数を少ない方から多い方へ順番に表示した。ここに示していない一つの農場では乳牛 100 頭当たり年間 849 の症例が報告された（グリーンら、2007 年）。

チリ、ケニア、英国における乳房炎感染防止のための AHIM

デルファイ法による専門家グループの検討で明らかになった乳房炎感染防止対策は以下の通り。

- **チリ**：乳頭の殺菌および衛生管理、乾乳牛の選択的治療、搾乳管理に関するトレーニング。
- **ケニア**：乳頭の殺菌および衛生管理、乾乳牛の治療（現在の乳頭シーラントの使用率は 1%未満）、搾乳の手順変更を含む搾乳管理に関するトレーニングなどが特定されている。
- **英国**：乳頭の殺菌および衛生管理、乾乳牛の選択的治療、搾乳管理に関するトレーニング。

結果

収集したデータを Cranfield 大学のシステムをベースとしたライフサイクルアセスメント (LCA) モデルに入力し、乳牛の健康改善に伴う温室効果ガス (GHG) 排出原単位の変化を推計した (ウィリアムズら、2015 年)。

以下に示すのは、今回の研究で取り組んだ 3 つの具体的な課題に関して得られた結果である。各課題について、平均的レベルの牛群における GHG 排出原単位の潜在的削減率と、対象とした牛群中で健康状態が最も悪い 10% に対して AHIM を実施した場合の GHG 排出原単位の潜在的削減率との比較で示された。

本パイロット研究においては、当初英国をベースとした LCA モデル (附属資料 1 参照) を基に前提条件を設定したが、今後さらに検討を続けていく必要がある。ただし、国の違いによるものと思われる要因は、根底にある生産的要因および内在的な生物学的要因よりもはるかに重要性が低い。不妊を減らすための処置によって、健康状態が最も悪い 10% の事例において GHG 排出原単位を約 10~40% 削減できる可能性があるため、これが最も良い方法であるように見えるが、単一感染因子による感染症や多因性または管理由来の疾病に対する処置も見落とすわけにはいかない。

チリ、ケニア、英国の平均的レベルの牛群における GHG 排出原単位の潜在的削減率を表 1 に示すが、その幅は以下の通り。

- 不妊は 7~24%
- BVD は 4~5%
- 乳房炎は 6% (3 か国とも)

ただし、健康状態が最も悪い 10% の牛群の GHG 排出原単位の潜在的削減率の幅は以下の通りである。

- 不妊は 10~44%
- BVD は 8~11%
- 乳房炎は 10~12%

表 1: 家畜の健康改善が GHG 排出原単位の削減に及ぼす潜在的影響。(データは、平均的レベルの牛群および健康状態が最も悪い 10% の牛群それぞれにおける 3 つの体調に関するものである。)

体調	GHG 排出原単位の潜在的削減率		
	チリ	ケニア	英国
BVD	5%	4%	4%
BVD (最も悪い 10%)	9%	8%	11%
乳房炎	6%	6%	6%
乳房炎 (最も悪い 10%)	10%	11%	12%
不妊	7%	24%	7%
不妊 (最も悪い 10%)	10%	44%	16%

それゆえに、チリ、ケニア、英国の生乳生産に関して、鍵となる AHIM を実施することにより長期的に費用対効果の高い方法で GHG 排出原単位を削減出来る可能性が極めて高いことを本パイロット研究は示している (図 5、6、および 7 参照)。

生乳生産の GHG 排出原単位における潜在的削減率 (チリ)

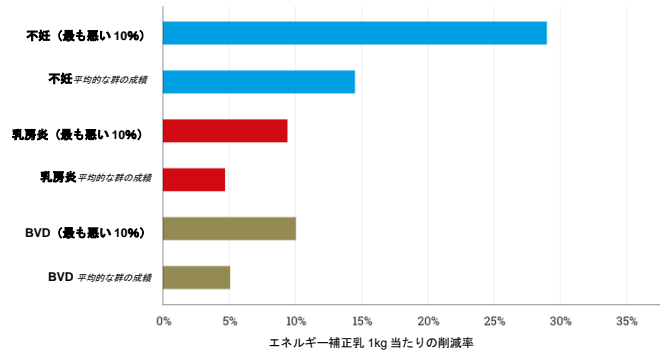


図 6: チリの生乳生産の GHG 排出原単位における潜在的削減率。平均的な牛群と健康状態が最も悪い 10% の牛群の成績を表示。

生乳生産の GHG 排出原単位における潜在的削減率 (ケニア)

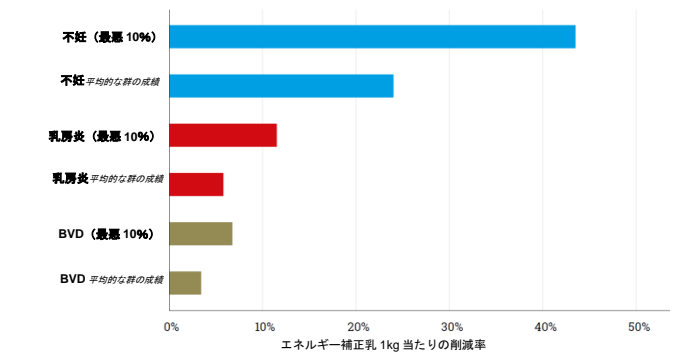


図 7: ケニアの生乳生産の GHG 排出原単位における潜在的削減率。平均的な牛群と健康状態が最も悪い 10% の牛群の成績を表示。

生乳生産の GHG 排出原単位における潜在的削減率 (英国)

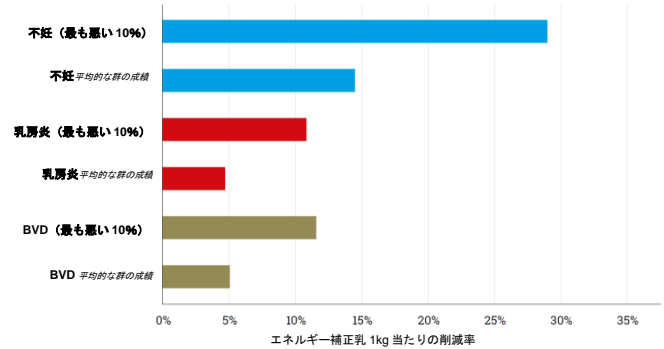


図 5: 英国の生乳生産の GHG 排出原単位における潜在的削減率。平均的な牛群と健康状態が最も悪い 10% の牛群の成績を表示。

どうすれば AHIM を「国が決定する貢献（NDCs）」に組み込むことができるか？この目標達成に向けて必要な「測定・報告・検証（MRV）」のツールは何か？

本パイロット研究によって明らかになったことは、**的を絞った AHIM を実施することによって、優れた費用効率で酪農セクターが排出する GHG を削減できる大きな可能性がある**ということである。

AHIM は現時点で「国が決定する貢献（NDC）」には明示的に組み込まれていない。また、それを全世界で、あるいは多くの場合各国特有の方法で実現するためには、標準化された「測定・報告・検証（MRV）」のツールが必要であるが、我々は現在それを持っていない。MRV へのアプローチの仕方については、事例の概略を後述する。

家畜の健康基準を温室効果ガスのインベントリおよび NDC に統合する

我々が知る限り、当レポート作成時点において、いかなる国においても明確な形で AHIM の GHG インベントリおよび MRV への統合は行われていない。問うべき大事な点は以下の通り。

- そこから何が読み取れるか？
- 他に何が統合可能か？
- どのような追加データが必要か？

本パイロット研究で明らかになったように、家畜の健康を改善することの大きな利点は、GHG 排出原単位（生乳生産単位当たりの排出量）の削減である。このレポートでは家畜によく見られる 3 つの体調に対する介入について検討したが、使用したモデル方式によって全体的に GHG の排出が削減されることが明確に示された。

実際は、個々の家畜からの直接的な排出量が増加してしまうような介入もあるが、生乳生産の低下に伴う廃棄物の発生を防止し、様々な免疫反応や病気との戦いに向けてべきエネルギーと資源を非生産的に配分しないようにすることによって、酪農場全体での排出原単位が減らせる。全体的に見た時の正味の効果としては、非生産的な間接的活動による GHG 排出量を削減することによって、生乳生産単位当たりの排出原単位が減少するということである（表 2 参照）。

表 2： 乳房炎、BVD、および不十分な繁殖能力に対する介入が乳牛からの GHG 排出量に及ぼすと期待される効果（個体および群レベル）

介入の効果	摂取量への結果	乳牛 1 頭当たりの GHG 排出量への影響	群の生乳生産を一定にした場合の GHG 排出量	理由
病気と戦うための余分なエネルギーを減らす	摂取量を減らす	減少	減少	代謝エネルギー要求量（MER）の低下
産乳量の増加	1 頭当たりの摂取量を増やすが、必要な頭数は少なくともよい	増加	減少	余計な負荷の抑制
分娩間隔の短縮	1 頭当たりの摂取量を増やすが、必要な頭数は少なくともよい	増加	減少	余計な負荷の抑制
農場における死亡率の縮小	個別の牛に対する摂取量は減らす、後継牛のためのニーズが増加	同様の生産性に対して減少	減少	余計な負荷の抑制
乳牛の生産活動寿命の延長	後継牛に対するニーズの減少および食肉生産機会の増大	未経産牛の時を除いて成乳牛としてはほとんど無し	減少	余計な負荷の抑制
乳牛 1 頭当たりの泌乳の生産性増大	後継牛に対するニーズの減少および食肉生産機会の増大	未経産牛の時を除いて成乳牛としてはほとんど無し	減少	余計な負荷の抑制

介入の効果は国によって異なるであろうし、牛乳や牛肉の需要、牧草地の拡張可能性や様々な飼料の入手可能性、増加する家畜を管理する酪農家の能力など多くの要素に左右されるだろう。牛乳の需要が一定ないしは減少する場合は、GHG 排出原単位と GHG の総排出量が共に減少するのであるから、小規模かつ生産性の高い乳牛群が理に適っているように見える。牛乳の需要が増加しても GHG 排出原単位は削減できるかもしれないが、GHG 総排出量は増加する。このシナリオは低所得国および中所得国にとっては理に適ったものであり、持続可能な開発目標（SDGs）の他の要素についても示唆を与えてくれる。

生乳生産の部分的カーボンフットプリントは、GHG インベントリに含まれている情報による計算、すなわちすべての乳牛、未経産後継牛および繁殖用の雄牛による排出量の合計を生乳の総生産量で除することによって導き出せる。この研究における前提条件については、附属資料 1 に概略が記されている。現在のインベントリの報告方式に AHIM を組み込むことは、非常に難しい課題である。一般的に使われているインベントリ報告方式に AHIM を組み込むのは容易ではない。AHIM の切り口は子牛／成牛という区分を超越しており、複雑なものとなっている。それは

介入を受ける／受けないという単純な要件変更に及ぼす影響範囲を超えており、多くのモディファイアーが必要となってくるからだ。

ティア 2 の算定法でもこの目的を実現できるはずだが、より詳細なティア 3 の算定法が必要になるかもしれない。ティア 3 は、国ごとに異なる状況に合わせやすい面があり、介入の前提条件による制約を超えて疾病と AHIM のインパクトを説明する上でも、大幅に記述しやすくなる。ここで示したのは完璧なカーボンフットプリントではない。完璧なカーボンフットプリントは、飼料の生産、エネルギーの消費、その他上流部分における仕入れに際して発生する排出量なども含むものである。牛肉生産システムに送られる雄の子牛の生産に関しても、国際酪農連盟が使っている配分システムを使うなど、ある程度の裁量の幅を考慮しておかなければならない。

ティア 2 の算定法を使用すれば、時間の経過に伴う変化の追跡が可能となる。本研究においてモデルとして設定した 3 つの体調に対する指標のような主要成績評価指標（KPI）を記録しておくことによって、AHIM の効果についてより詳細な評価が可能となるだろう。

健康に関連した KPI に必要な追加データには、以下のような一般的な記録事項を含んでいなければならない。

- 初産時の月齢
- 分娩間隔 (CI)
- 泌乳量が多かった回数
- 斃死時の月齢
- 子牛の斃死率
- 成乳牛の斃死率
- 泌乳当たりの産乳量

クランフィールド大学のオリジナルモデルにおいては、乳牛の管理および健康状態（病気が与える影響、治療法、回復能力、罹患率）の両方に関するデータを含め、英国の状況に合わせたパラメータが設定された。エリオットら（2015 年）の報告では、環境への影響（GHG 排出量に限定）および元来の研究対象である 10 の特定の風土病（BVD および乳房炎を含む）に係る費用の計算に対してこのモデルが適用された。

このモデルは代謝エネルギーのバランスを利用したライフサイクルアセスメント (LCA) であり、「単純な」インベントリ方式ではない。後者は、家畜による直接排出量およびそれに付随した間接的 GHG 排出量のみを扱い、飼料生産、家畜管理や、獣医学的な介入については対象外である。

このモデルの基本的機能は、a) 維持、成長、懐胎、泌乳のための代謝エネルギー要求量 (MER)、および b) 安定的な頭数を前提とした時に群を維持するために必要な乳牛と後継未經産牛のバランス、という二つの計算に依拠している。さらに、モディファイアーを適用し、乳量、繁殖力、斃死率、成長率、感染に対する抵抗力等の健康の要因が MER に及ぼす影響を検討する。こういったデータに伴って、獣医学的および管理上の介入に伴う GHG 排出量の推定値が得られる。

主要成績評価指標 (KPI)

AHIM の各方策の主要成績評価指標 (KPI) は、特定の風土病改善による GHG 排出量削減策を NDC に組み込んでいけるような MRV の基本要素となりうる。下の表 3、表 4、および表 5 は、それぞれ AHIM の事例とその KPI の説明である。

KPI を設定することは AHIM を効果的に NDC に組み込むために重要である。これまでに説明した通り、常に変わり続けている健康および繁殖に関する動向をインベントリ方式だけで正確に把握することはできない。代謝エネルギー収支をベースとして AHIM の効果をモデル化するためにはより多くのモディファイアーが必要であり、これらの KPI が具体的な MRV のパラメータを提供してくれる。

表 3: 繁殖能力

評価基準 (KPI)	評価基準の説明	進捗の目安
受胎を失敗した牛の間引き (FTC)	一定期間中（通常 12 か月）に出産を行った牛の総数に対して、同期間中に受胎できず群の外に移された牛の頭数の割合	12~18%から 6%まで削減することが目標 (1) (2)
分娩間隔 (CI)	同じ牛が 1 頭の子牛を生んだ時からそのすぐ次の子牛を生んだ時までの時間（日数または月数）。妊娠診断 (PD) および出産データに基づく	425 日から 365 日まで短縮 (1) (2)
検証のためのエビデンス		AHIM 前進に向けての方策
獣医師および農場の記録に基づく早期の妊娠診断 (PD) : PD は通常獣医師が手で牛の生殖器官を触診することによって行われる。超音波画像を使うことによって診断を充実させることは可能であり、電池式のものも簡単に入手できるが、それに対する投資が課題である。		この AHIM は、受胎していない牛を早期に見分けることで前進する。このような牛は再交配するか食用に間引きされるが、どちらにしても非生産的で遅すぎる再交配がもたらす泌乳の不調の長期化を減らすことができるため、FTC は減少し、CI は縮小することになる。
検証および報告においては通常獣医師による認定書が使用される。ただし、牛群改良 (DHI) スキームおよび農場保証スキームのために必要な泌乳記録においては、FTC および CI のデータを収集し追加する機会が増えている。		
発熱検知にセンサーおよび他のツールを使用したことのエビデンスを獣医師の認定書および検査で確認する : 乳牛の交配に必要なのは生殖力のある雄牛だが、それ以上に重要なのが人工授精の成功率を高めるための排卵予知方法である。最終的には優れた遺伝子を持った生殖細胞を世界中の市場から調達することも可能である。排卵は家畜が示す幾つかの発情兆候から予想することが可能であるが、これらの兆候は高い代謝需要および低栄養状態があると発現しないため、大量生産・少量生産どちらのシステムにとっても課題となっている。排卵予知を補助することによって、人工授精による受胎率が向上する。その方法としては、尾根部に固定するヒートマウントディテクター、ペイントを塗布して発情を視覚的に伝える方法、同様に精管を切除した雄牛にクレヨン付きのチンハーネスを装着させる方法などがあるが、現在では加速度センサー式が増加しており、発情期またはその周辺になると乳牛の歩行数が増えることを利用して排卵を警告している。		この AHIM は、牛の交配率を向上させることで前進する。それに伴い、FTC が減少し CI が短縮する。
検証と報告については、交配に適した牛が目標期間内に交配したことが記録された交配記録の審査をもって完了することができる。		
獣医師が定時人工授精プログラムを利用したことのエビデンスおよび処方記録 : 上記で説明したような発情発見の困難さについては、定時人工授精プログラムを利用し、計画的なホルモン注射によって排卵時間の基本的なコントロールを人為的行うことによって回避することが可能である。		この AHIM は、牛の交配率を向上させることで前進する。それに伴い、FTC が減少し CI が短縮する。
検証と報告については、交配および薬の利用の両方に関する獣医師と農場の記録の審査をもって完了することができる。		

(1) 乳牛群の健康 - 編集者マーチン・グリーン、第 4 章 - 73~116。
(2) 生乳の持続的産産を実現するために - 編集者ジョン・ウェブスター教授、第 23 章 - 551~568

表 4： 単一感染因子による感染症（BVDv）

評価基準（KPI）	評価基準の説明	進捗の目安
現在流行中の BVD ウイルスに罹患したエビデンスを有する牛群の数および割合	ウイルステスト（PCR 検査または抗原検査）における陽性、または特定の年に行ったワクチン用にコントロールされた抗体検査における陽性コホートをエビデンスとする	1) ワクチンコンプライアンスの判定はリスク集団に対するワクチン投与回数を目安とする 2) 持続感染（PI）は、リスク集団において発見し除去した頭数を目安とする 3) バイオセキュリティおよびウイルスの封じ込めの現状は取引記録（高リスクおよび低リスクの家畜の取引回数）を目安とする
検証のためのエビデンス		AHIM 前進に向けての方策
<p>ワクチン投与回数によってワクチンコンプライアンスの判定を行ったエビデンス：繁殖行動中の家畜を BVDv から守るためのワクチン接種は、普遍的に採用・実行されているわけではない。生物学的に生きており温度変化に敏感なもので、接種時期および接種に至るまでの具体的な手続きが決められている。現在ケニアではワクチンが手に入らない。従って、まずワクチン入手することがこの AHIM を実施する上で極めて重要な第一歩となる。一方チリと英国にはワクチンがある。</p> <p>検証と報告については、農場において実施された接種の記録、および獣医師や薬剤師が処方した、または最終的に製薬会社の販売員から購入した薬の記録の審査をもって完了することができる。</p>		この AHIM は、ワクチン接種を行い妊娠中の動物を感染から守り、子宮の中の受精卵および胎児への BVD ウイルスの伝染を遮断することで前進する。
<p>臨床試験の結果および獣医師の認定に基づいて PI を発見し除去したことのエビデンス：BVD に持続的に感染する家畜（PI）は、BVD 伝染の主要因である。これを除去することが撲滅プログラムの柱となる。このためには、家畜の中からサンプルを選び試験所でテストを行わなければならない（またはペンサイド・テスト）。</p> <p>検証と報告については、獣医師および試験所の記録の審査をもって完了することができる。</p>		この AHIM は、牛群から感染源を除去することで前進する。
<p>獣医師の認定に基づいてバイオセキュリティおよびウイルスの封じ込めを行ったエビデンス：BVD の伝染は、境界線におけるフェンスの設置や外部から購入した家畜に対する厳格な養育方針の適用などバイオセキュリティや生物学的封じ込め施策を実行することによって防ぐことができる。</p> <p>検証と報告については、家畜の移動経路の確認、および境界線の目視検査（例えばドローンや衛星写真でも構わない）をもって完了することができる。</p>		この AHIM は、農場内の牛群から別の牛群へ、または牛群内にあるグループから別グループへの BVD の伝染を防ぐことで前進する。

表 5： 多因性または管理由来の疾病（乳房炎）

評価基準（KPI）	評価基準の説明	進捗の目安
臨床性乳房炎の割合 - 乳牛 100 頭当たりの年間症例数	臨床性乳房炎に感染すると乳房の腫れまたは赤みなどが裸眼で確認できる	臨床性乳房炎の発症が 100 頭当たり年間 80 頭超から 50 頭未満へ
バルクタンクまたは個別牛レベルでの毎月、3 か月毎、ないしは少なくとも年に 1 回の体細胞数計測（SCC）による潜在性乳房炎の発見	潜在性乳房炎に感染しても生乳や乳房の様子に視認できる変化が起きないため発見を難しくしている。生乳サンプル中の体細胞数の計測（SCC）による	SCC が 25 万個以上から 20 万個以下に低下した状態が年間 12 か月のうち 11 か月以上
検証のためのエビデンス		AHIM 前進に向けての方策
<p>搾乳する乳頭の浸漬に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う：搾乳後の乳頭の殺菌は乳房炎の感染防止にきわめて重要である。黄色ブドウ球菌、Streptococcus agalactiae のような特に伝染力の強い病原菌、Streptococcus uberis のような重要な環境由来の病原菌に注意しなければならない。検証と報告については、乳牛用薬品の購入および使用を記録し、浸漬に関するコンプライアンスを目視観察することによって完了することができる。</p>		この AHIM は、乳房炎の病原菌に感染した乳頭を搾乳後に殺菌し、乳房内への新たな感染を減らすことで前進する。
<p>乾乳牛の治療（DCT）に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う：乾乳期は、乳房感染症の治療および新たな感染防止にとって非常に重要な時期である。次硝酸ビスマス入りの乳頭シーラントを使ったり、抗菌剤を患部に塗布したりすることによって、感染症の防止と治療を行う。検証と報告については、獣医師や薬剤師が処方した、あるいは製薬会社の販売員から購入した乾乳牛治療用品の使用を記録することによって完了することができる。</p>		この AHIM は、泌乳期終了時における乳房内の感染の治療、および乾乳期における乳房内への新たな感染の予防によって前進する。
<p>日常の搾乳作業の訓練に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う：生乳を搾る手順をしっかりと行うことで、乳房炎の感染リスクを軽減することができる。例えば、最初に乳頭の準備を行ってから搾乳クラスタを装着するまでの時間を出来る限り短くすることにより、過搾乳による乳頭先端の損傷リスクを軽減することができる。検証と報告については、酪農家の訓練を証明するエビデンスをもって完了することができる。</p>		この AHIM は、可能な限りベストプラクティスに沿った搾乳手順が行うことで前進する。

活動データの記録には、中所得国および特に低所得国において比較的大きな投資が必要であることを認識しておかなければならない。その代わりに、高所得国と比べて家畜の健康状態が全般的に低いこれらの国々は、生産性、生産量、および食の安全が高まることの恩恵を最も受けるはずである。

開発援助策の中における優先度が高いとはまだ言えないものの、こういった活動を支援していくことに関しては、何百万という家畜の健康と福祉を改善するという単純に倫理的な意見、持続可能な開発目標（SDGs）における幾つかのゴールの達成、そして GHG 排出量削減への支援など、充分な論拠がある。

AHIM の経済的利益

本研究では、3 か国において実施したそれぞれの AHIM がもたらす経済的利益に関する考察を行った。それをまとめたのが下の表である。最も重要なポイントは、すべての国々で AHIM を実践していくことは、個別の酪農場レベルにおける投資だけでなく、GHG 排出量削減に対する国レベルでの投資に対しても非常に大きなリターンをもたらす可能性が高いということである。

チリ

表 8：チリにおける AHIM の経済的なインパクトおよび状況

疾病	KPI	疾病に係る費用	AHIM	AHIM 関連費用
繁殖能力	CI (分娩間隔) 405 日 年間間引き率 (特に理由なし) 9.6%。このうち 35~40%は繁殖能力が原因だと思われる。 全体的な中央値： 発熱検知率 50%、受精率 35%、受胎率 18% ⁽¹⁾	開場日当たりの費用は 2~5 米ドル	獣医師および農場の記録に基づく早期の妊娠鑑定 (PD)	1 頭当たり 2.8 米ドル (2.18 ポンド)
			センサーおよびその他のツール (尾根部へのペイント、カマール社のヒートディテクターおよび活動測定計など) を使用した発熱検知	尾根部へのペイント：6.82~10.91 米ドル (8.50 ポンド) パッチ：1 ユニット当たり 1.59 米ドル (1.24 ポンド) センサー：157 米ドル (122 ポンド) (発熱、活動状態、反芻運動、健康状態を検知・計測する個別のセンサー)。システム全体では 4,846.30 米ドル (3,800 ポンド)
			獣医師による定時人工授精 (FTAI) プログラムおよび処方記録の利用	定時人工授精サービス：1 回当たり 29.38 米ドル (22.90 ポンド)
単一感染因子による感染症：BVD	公式な記述はない。 スクリーニング/血液検査 (血清学) - サンプルの 50%が陽性 (ワクチンを使用した群もあり) BVD 陽性牛の 40%は妊娠中絶。チリにおける血清学的な有病率に関する情報は無い。中絶を行った場合は「農業牧畜庁」への報告が義務付けられているにもかかわらず、庁では関心のある病因の診断しか行わないという (ブルセラ sp)。ここで共有できる情報は、組織病理学上の発見を基にした推定診断である。チリのオーストラル大学の動物病理学研究所が行った研究「2009 年から 2011 年にかけて行ったウシの妊娠中絶に関する分析」によれば、分析を行った 72 のサンプルのうち、18%が BVD+ヘルペスウイルスに適合し、14%が単一因子としての BVD に適合した。	全国のデータはまだ発表されていないが、現在調査が進行中である。全体的な平衡状態における限界正味総収益として表される中絶手術の推定費用 (チリ南部の商業用乳牛群に見られるウシの妊娠中絶症候群が経済に及ぼす影響。P. ガディック、2010 年) は 160 米ドルである。 不妊が問題となる場合は、農場開場日の乳牛 1 頭当たりの平均費用は 40 米ドルである。	BVD に関する総合的対策	デンマークにおいては、BVD 対策の実施費用として年間 350 万米ドル (300 万ポンド) がかかる一方で、年間 2,000 万米ドル (1,500 万ポンド) の損失を防ぐことができ、最終的には年間 50 万米ドル (40 万ポンド) しかかからない。
			ワクチン投与回数によるワクチンコンプライアンスの判定	2 種類の死菌ワクチン接種が可能。1 頭当たり 4.65~5.65 米ドル (3.62~4.40 ポンド)
			臨床試験の結果および獣医師の認定に基づく PI の発見および除去	ELISA (酵素免疫測定法) サンプルテスト 5.68 米ドル (4.43 ポンド)。
			獣医師の認定に基づくバイオセキュリティの実行およびウイルスの封じ込め	全国データは公表されていない。政府が感染防止策および撲滅キャンペーンを実施せず、また疾病に対する知識が不足しているため、情報が不十分であるが、研究は進められている。
多因子または管理由来の疾病：乳房炎	DHI プログラムから全国産乳量の 60% SCC 25 万個。 臨床性乳房炎の発生率=感染の恐れがある乳牛 100 頭当たり 1 か月に 5~15 頭 (季節変動あり、放牧あり、牛舎内飼育あり) 乳房内感染の有病率 (潜在性乳房炎) = 泌乳牛群の 20~40%。 乳房炎のコントロールがうまく行った場合月当たりの乳房炎発生率 2~5%、% 9.3 n (17/183)、分娩後 2 日から 21 日までの分娩後疾病の有病率 ⁽²⁾	1 症例当たり直接費用が 200 米ドル、プラス間接費用	搾乳する乳頭の浸漬に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う	平均で 1 リットル当たり 3.13 米ドル (2.44 ポンド)
			乾乳牛の治療 (DCT) に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う	四半期当たり 0.93~2.78 米ドル (0.72~2.17 ポンド)
			日常の搾乳作業の訓練に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う	一人当たり 208~485 米ドル (162~378 ポンド)。

(1) ビネドら (2016 年)

(2) ブルンナーら (2019 年)

チリの事例紹介 - AHIM の経済的利益

チリでは 10 年ごとに農業および林業に関する全国調査を実施している（前回は 2007 年）。実施しているのは INE（国立統計研究所。www.ine.cl）である。合間に個別調査が行われている（乳牛、肉牛、豚など）が、これは INE または ODEPA（農業省所属の農業政策調査庁。www.odepa.gob.cl）が実施している。

生乳の生産量は平均で年間約 6,000 kg である。しかしながら、チリにおいては血清学的な有病率に関する情報は無い。中絶を行った場合は農業牧畜庁への報告が義務付けられているにもかかわらず、庁では関心のある病因の診断しか行わないという（例、ブルセラ sp）。また、BVD 関連費用についても現在全国レベルの推計値は無い。

繁殖能力

繁殖能力を向上させるために AHIM を実施することによって得られる経済的利益は、短縮された分娩間隔（CI）日数が端的に表している。チリの牛群における分娩間隔（CI）が 10 日短縮された場合、それによる群としての利益は推計で乳牛 1 頭当たり年間 20~25 ドルを超える一方、PD のような AHIM やヒートマウントディテクターを使用するための費用は乳牛 1 頭当たり年間わずか 2~10 ドルに留まる（表 8 参照）。このことは、AHIM のために行う 1 年分の投資に対して 10 倍のリターンが得られる可能性があることを示している。ただし、この取り組みが継続されること、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。これに基づけば、分娩間隔を 1 日短縮することによって、チリにおける典型的な繁殖能力向上のための AHIM に対する投資費用をカバーできることになる。

単一感染因子による感染症：BVD

BVD の感染防止強化のために AHIM を実施することで得られる経済的利益は、それに伴ってもたらされる疾病の減少、繁殖能力の向上、および生乳の増産などが端的に表している。チリの牛群において BVD 感染が防止できれば、群として推計で乳牛 1 頭当たり年間 68 ドルを超える額の節約ができる一方、ワクチン接種のような AHIM の費用は乳牛 1 頭当たり年間 4~6 ドルである（表 8 参照）。

チリにおける BVD 関連の具体的な費用については依然としてデータが完全にそろってはいないものの、経済的インパクトが大きな構成要素である繁殖および生産コスト（1 日 2~5 ポンド）が英国とほぼ近いことから、英国と類似したものと推定される。このことは、典型的な AHIM のために行う 1 年分の投資に対して 10 倍を超えるリターンが得られる可能性があることを示している。ただし、このワクチン接種プログラムが継続されること、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。

多因性または管理由来の疾病：乳房炎

乳房炎の感染防止強化のために AHIM を実施することで得られる経済的利益は、臨床例の発生率の減少が端的に表している。チリの牛群において臨床性乳房炎の発生を抑制できれば、その恩恵としての節約額は乳牛 1 頭 1 症例当たり年間 200 ドルを超えると推計される。つまり、年間 1 頭当たりの症例数の平均が 40 から 30 に削減できた場合の節約額は 2,000 ドルを超えることになる一方、乾乳牛治療（DCT）のような AHIM の費用は、乳牛 1 頭当たり年間わずか 4~12 ドルに留まる（表 8 参照）。チリの牛群において臨床性乳房炎の発生を 1 症例減らすだけで、年間 50 頭の乳牛に対して通常行う AHIM への投資費用を上回る節約ができる可能性がある。ただし、乾乳プログラムなどを継続して行うこと、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。

ケニア

表 9： ケニアにおける AHIM の経済的なインパクトおよび状況

疾病	KPI	疾病に係る費用	AHIM	AHIM 関連費用
繁殖能力	全国データは公表されていない。だが、各地域のデータによれば、いかなる観測時点においても 37%（東部）、23%（リフトバレー地方）、33%（西部）の雌牛が妊娠していた。	経済コストに関するデータはない。	獣医師および農場の記録に基づく早期の妊娠鑑定（PD）	1 頭当たり約 7~15 米ドル
	ケニア国内のわずかな地点に基づくデータのため、実際より低い可能性がある。常時平均で 30~40% の雌牛が妊娠している可能性がある。分娩間隔の全国平均は 15~17 か月であるが、実際には低目の 14 か月であろう。		発熱検知にセンサーおよび他のツールを使用したことを獣医師の認定書および検査で確認 獣医師による定時人工授精（FTAI）プログラムおよび処方記録の利用	平均で 1 頭当たり 1 回の授精で 15 米ドル。繰り返し行う場合費用は低下する
単一感染因子による感染症：BVD	上記と同じ調査に基づけば、伝染している牛（血清抗体が陽性）は、東部で 38%、リフトバレー地方で 68%、西部で 63% であった。 伝染率は牛の頭数をベースに計算している。伝染率は高いものの、臨床症状を示す事例は報告されていない。	経済的コストは公表されていない	BVD に関する総合的対策 ワクチン投与回数によるワクチンコンプライアンスの判定 臨床試験の結果および獣医師の認定に基づく PI の発見および除去 獣医師の認定に基づくバイオセキュリティの実行およびウイルスの封じ込め	
多因性または管理由来の疾病：乳房炎	臨床性乳房炎の罹病率は 34%、潜在性乳房炎の罹病率は 65%（公開データ有り）。罹病率はサンプル数から推計。 推計では、罹病した牛の割合は 5~75% と幅が有る一方、罹病した乳区は 2~40% である。すなわち、生乳を生産する乳牛の 10% が乳区を一つ失うと、産乳量が 2.5% 低下するということになる。 これは、酪農業者が年間約 5,640 万米ドルの収益をあげている郡においては、年間約 140 万米ドルの損失が発生するということである。 ⁽¹⁾	費用は定量化されていない。	搾乳する乳頭の浸漬に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う 乾乳牛の治療（DCT）に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う 日常の搾乳作業の訓練に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う	乳頭の衛生管理/浸漬の費用は年間で 1 リットル当たり約 5.6 米ドル 乾乳牛に投与する抗生物質の費用は年間で注射器 1 本当たり約 1.1 米ドル（1 乳区当たり 1 本）

(1) <https://www.nation.co.ke/business/seedsforgold/Avoiding-the-unending-losses-due-to-mastitis/2301238-4921804-jqqiyuz/index.html#> (2019 年)

ケニアの事例紹介 - AHIM の経済的利益

ケニアの酪農界は明確に二つに分かれている。

- **大規模農場** (約 20%)
平均年間産乳量 2,800 リットル
- **小規模農場** (約 80%)
平均年間産乳量 1,700 リットル

入手可能なデータはどちらも限られているが、特にそのほとんどが生活を維持するのに精一杯の経営を行っている小規模農場についてはデータが少ない。しかしながら、2016 年の調査データに基づけば、ケニアの乳価はアフリカで 2 番目に高かった。エクスパティスタン生活費指数 (2016 年) によれば、ナイロビのスーパーマーケットにおける牛乳の価格は平均で 1 リットル当たり約 1 米ドルである。公式データによれば、2015 年に牛乳の販売量は 10.9% 増の 6 億リットルに上り、約 1 億 9,500 万米ドルに達した。つまりケニアにおいて牛乳の価値は大変高いものであり、AHIM の経済的利益にもこの状況が反映されている。

繁殖能力

繁殖能力を向上させるために AHIM を実施することによって得られる経済的利益は、短縮された分娩間隔 (CI) 日数が端的に表している。ケニアの牛群における分娩間隔 (CI) が 10 日短縮された場合、それによる群としての利益は推計で乳牛 1 頭当たり年間約 20~25 ドルとなる一方、PD のような AHIM やヒートマウントディテクターを使用するための費用は乳牛 1 頭当たり年間わずか 7~15 ドルに留まる (表 9 参照)。このことは、典型的な AHIM のために行う 1 年分の投資に対して 2~3 倍のリターンが得られる可能性があることを示している。ただし、この取り組みが継続されること、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。これに基づけば、分娩間隔をわずか 2~3 日短縮することによって、繁殖能力向上のための AHIM に対する費用をカバーできることになる。

単一感染因子による感染症 : BVD

BVD の感染防止強化のために AHIM を実施することによって得られる経済的利益は、一般的にそれに伴ってもたらされる疾病の減少、繁殖能力の向上、および生乳の増産などが端的に表している。しかしながら、これについては現在ケニアにおいて具体的な数値があるわけではない。BVD が全国の酪農生産に与える影響は、おそらく現時点で考えられるよりも大きいものと思われる。ケニアの牛群において BVD 感染が防止できれば、生物学上の便益は他国と同様であると考えられる。そして乳価の高さも他国と同様であるとすれば、群として乳牛 1 頭当たり年間 68 ドルを超える額の節約ができると推計される。ワクチン接種や特定の臨床試験を行って根絶するなどの AHIM は商業的に実用化されていないが、より進んだセクターにおいてはバイオセキュリティのための方策が実施されている。したがって、これらは 1 回限りまたは長期にわたる費用として、乳牛 1 頭当たりわずか 190 ドル前後に留まると推計される (表 9 参照)。

ケニアにおける BVD 関連の具体的な費用については依然としてデータが完全にそろってはいないものの、経済的インパクトが大きな構成要素である乳価およびそれに関連する繁殖および生産コスト (1 日 2~5 ポンド) が英国とほぼ近いことから、英国と類似したものと推定される。ケニアの酪農セクターにおいては、生活を維持するのに精一杯の経営を行っている農場が大きな割合を占めており、その実態は良く分かっていない。そしてこれらの農場では一般的に乳は自家消費されるため、生乳生産額に関する商業ベースでの数字が存在しない。しかしながら、データとしては全体的に典型的な AHIM に対する年間投資額に対して 10 倍を超えるリターンを得る可能性があることを示している。ただし、このワクチン接種プログラムのような取り組みが適宜継続されること、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。

多因性または管理由来の疾病 : 乳房炎

乳房炎の感染防止強化のために AHIM を実施することで得られる経済的利益は、臨床例の発生率の減少が端的に表している。ケニアの牛群において臨床性乳房炎の発生を抑制できれば、その恩恵としての節約額は乳牛 1 頭 1 症例当たり年間 200 ドルを超えると推計される。つまり、年間 1 頭当たりの症例数の平均が 40 から 30 に削減できた場合の節約額は 2,000 ドルを超えることになる一方、乾乳牛治療 (DCT) のような AHIM の費用は、乳牛 1 頭当たり年間わずか 4 ドルに留まる (表 9 参照)。

ケニアの牛群において臨床性乳房炎の発生を 1 症例減らすだけで、年間 50 頭の乳牛に対して通常行う AHIM への投資費用を上回る節約ができる可能性がある。ただし、乾乳プログラムなどを継続して行うこと、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。

英国

表 6： 英国における AHIM の経済的なインパクトおよび状況

疾病	KPI	疾病に係る費用	AHIM	AHIM 関連費用
繁殖能力	FTC 英国の平均は 12～18% 目標は 6%	1 頭当たり年間 160～225 米ドル (125～175 ポンド)	獣医師および農場の記録に基づく早期の妊娠鑑定 (PD) 発熱検知にセンサーおよび他のツールを使用	年間に妊娠鑑定を 2 回受け、年間の生産量を 7,500 リットルとした場合、超音波検査の費用は乳牛 1 頭当たり年間約 2.1 米ドル (1.60 ポンド) 乳牛 1 頭当たり年間 2 回貼り付け式のヒートマウントディテクターを使用した場合、その費用は乳牛 1 頭当たり年間 2.6 米ドル (2 ポンド)
	CI (分娩間隔) 英国の平均は 425 日 目標は 365 日	目標を超過することに 1 日当たり 2.6 米ドル (2 ポンド) が発生 60 日では乳牛 1 頭当たり年間 154 米ドル (120 ポンド)	定時人工授精プログラム (FTAI) の利用	乳牛 1 頭当たり年間 1 回 FTAI を利用する場合、増加費用は乳牛 1 頭当たり年間約 19.3 米ドル (15 ポンド)
単一感染因子による感染症：BVD		アイルランドでは乳牛 1 頭当たり 68 米ドル (54 ポンド)。 アイルランドの牛群全体では 7,700 万米ドル (6,100 万ポンド) (1)	BVD に関する総合的対策	デンマークでは、BVD 対策の実施に年間 350 万米ドル (300 万ポンド) の費用がかかるが、それによって年間 2,000 万米ドル (1,500 万ポンド) の損失を防ぎ、最終的に毎年わずか 50 万米ドル (40 万ポンド) の出費で済んでいる。
			ワクチン投与回数によるワクチンコンプライアンスの判定	乳牛 1 頭当たり年間 6.4 米ドル (5 ポンド)
			PI の発見および除去 獣医師による検査および臨床試験の結果	試験場が行うサンプル検査は乳牛 1 頭当たり約 12.8 米ドル (10 ポンド) (家畜の一生の中で一度だけ行えばよい)
			バイオセキュリティの実行およびウイルスの封じ込め	英国の高地において 100 頭の牛群に対してフェンスの二重化を行うには約 19,300 米ドル (15,000 ポンド) の費用がかかる (設置が必要なのは 1 回だけで、その後は継続的な維持およびフェンスの取り換え費用が発生する)
多因性または管理由来の疾病：乳房炎		臨床性乳房炎関連費用は 1 症例当たり約 670 米ドル (521 ポンド) 英国において平均で乳牛 100 頭当たり年間約 40 症例とした場合、年間費用は乳牛 100 頭当たり 25,700 米ドル (20,000 ポンド) となる 潜在性乳房炎の場合、体細胞数 (SCC) の増加に伴う様々なペナルティまたはボーナスの喪失に伴う費用および生産面での影響額は、閾値である 200,000 個を超える場合 100,000 個増えるごとに推計で生乳生産額の約 2.5% である	搾乳する乳頭の浸漬に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う	費用は乳牛 100 頭当たり年間約 3,800 米ドル (3,000 ポンド)
			乾乳牛の治療 (DCT) に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う	乾乳牛の乳房治療は、英国においては乳牛 1 頭当たり年間約 10.3 米ドル (8 ポンド)
			日常の搾乳作業の訓練に関するコンプライアンスの確認は獣医師の認定書により行う	費用は牛群の搾乳者一人当たり約 128 米ドル (100 ポンド) となり、1 年から 5 年おきに繰り返すことができる

(1) スコットら (2012 年) によれば、アイルランドにおける BVDv 関連費用は乳牛 1 頭当たり平均で 63 ユーロである (抗原に未暴露の牛群は乳牛 1 頭当たり年間 57 ユーロ、持続感染牛 (PI) は乳牛 1 頭当たり年間 69 ユーロ)。アイルランドの乳牛群数は 24,267 で総頭数は 1,140,533 頭、1 群の平均乳牛頭数は 47 頭となるので、総費用は 7,170 万ユーロとなる。(為替レートは 1 ユーロ=0.85 ポンドを想定)

英国では、国内における乳牛に特有の風土病への感染防止のためにさらなる研究が行われ、図 1 にあるような限界削減費用曲線 (MACC) が作成された (エリオットら、2015 年)。このモデルは英国国内における変化のない静的な生産システムを前提としている。サンダーズら (2018 年) は、超音波検査による早期の妊娠鑑定によって、手を使った検査による妊娠鑑定よりも、生乳生産における GHG 排出原単位が 2.5% 押し下げられ、生乳 1 リットル当たり二酸化炭素換算で 0.026kg 相当の効果が認められることを示した。超音波検査および手を使った検査による妊娠鑑定の費用については、スタサムによる試算値 (2019 年) およびインターネット上の情報との比較を行った。

年に 2 回妊娠鑑定を行い、年間の生産量を 7,500 リットルとした場合、超音波検査による増加費用は乳牛 1 頭当たり年間 1.60 ポンドである。2.5% の削減の場合、獣医師費用は二酸化炭素換算トン当たり 8 ポンドとなるが、早期の妊娠鑑定または超音波を使った早期の治療によって生乳の生産が 0.1% 増加するので、全体的には費用対効果が認められる。もしもこれが削減された二酸化炭素換算トン当たり ±10 ポンドの範囲に収まっていることを前提にすれば、エリオットら (2015 年) が行った乳牛の費用に関する計算にほぼ沿ったものとなる (表 7 および図 1 参照)。

表 7: GHG 排出削減量および英国の酪農セクターにおける削減のための施策の費用対効果につき、MACC に関してエリオットらによって行われた評価 (2015 年)

MACC 参考資料	施策	削減量 (二酸化炭素換算キロトン)	費用対効果 (ポンド／二酸化炭素換算トン)
MMCF27	乳房炎：日々の搾乳管理	96.0	-£158
MMCF24	乳房炎：乾乳牛治療	86.3	-£51
MMCF04	BVD：ワクチンの接種	73.3	-£20
MMCF05	BVD：持続感染動物の特定	70.5	£8
MMCF19	不妊：定時人工授精	135.3	£16
MMCF06	BVD：フェンスの二重化および購入方針	64.1	£28
MMCF18	不妊：尾根部へのペイント／カマル社のヒートディテクターおよび活動測定計	88.1	£106
MMCF25	乳房炎：牛舎および搾乳機の維持管理	23.7	£472

英国の事例紹介 - AHIM の経済的利益

エリオットら (2015 年) は経済的利益についてより詳細に説明しており、このモデルを AHIM の比較事例研究の基盤として利用した。

繁殖能力

繁殖能力を向上させるために AHIM を実施することによって得られる経済的利益は、短縮された分娩間隔 (CI) 日数が端的に表している。英国の牛群における分娩間隔 (CI) が 10 日短縮された場合、それによる群としての利益は推計で乳牛 1 頭当たり年間約 25 ドルを超える一方、PD (妊娠鑑定) やヒートマウントディテクターを使用した際の AHIM の費用は、乳牛 1 頭当たり年間わずか 2~3 ドルに留まる (表 6 参照)。このことは、典型的な AHIM のために行う 1 年分の投資に対して 10 倍のリターンが得られる可能性があることを示している。ただし、この取り組みが継続されること、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。これに基づけば、分娩間隔を 1 日短縮することによって、英国における繁殖能力向上のための AHIM に対する投資費用をカバーできることになる。

単一感染因子による感染症：BVD

BVD の感染防止強化のために AHIM を実施することで得られる経済的利益は、それに伴ってもたらされる疾病の減少、繁殖能力の向上、および

生乳の増産などが端的に表している。英国の牛群において BVD 感染が防止できれば、群として推計で乳牛 1 頭当たり年間 68 ドルを超える額の節約ができる一方、予防のためのワクチン接種のような AHIM の費用は乳牛 1 頭当たり年間わずか 2~3 ドルに留まる (表 6 参照)。このことは、典型的な AHIM のために行う 1 年分の投資に対して 20 倍を超えるリターンが得られる可能性があることを示している。ただし、このワクチン接種プログラムが継続されること、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。

多因性または管理由来の疾病：乳房炎

乳房炎の感染防止強化のために AHIM を実施することで得られる経済的利益は、臨床例の発生率の減少が端的に表している。英国の牛群において臨床性乳房炎の発生を抑制できれば、その恩恵としての節約額は乳牛 1 頭 1 症例当たり年間 670 ドルを超えると推計される。つまり、年間 1 頭当たりの症例数の平均が 40 から 30 に削減できた場合の節約額は 6,700 ドルを超える一方、乾乳牛治療 (DCT) のような AHIM の費用は、乳牛 1 頭当たり年間わずか 10 ドルに留まる (表 6 参照)。英国の牛群において臨床性乳房炎の発生を 1 症例減らすだけで、年間 70 頭の乳牛に対して通常行う AHIM への投資費用を上回る節約ができる可能性がある。ただし、乾乳プログラムなどを継続して行うこと、AHIM を実施することの利益が長期にわたってあらゆる酪農事業に等しく還元されることが前提である。

結論

入手可能なデータは不完全であるものの、本研究が示したエビデンスは、AHIM の実施が酪農家に対して明確な費用対効果をもたらすばかりでなく気候変動上の恩恵も与えることを、研究対象とした 3 か国のすべてについて非常に強く示している。積極的な健康管理が経済的利益をもたらすことは、図 1 の下向きマイナス方向のバーの長さが明確に示している (エリオットら、2015 年)。畜産セクターにおいて健康管理を積極的に行うことが、GHG 削減に寄与する。本研究を通じて、繁殖能力の向上、BVD のような単一感染因子による感染症、そして乳房炎のような多因性または管理由来の疾病の感染防止に向けて AHIM を実施することによって、GHG 排出原単位が 5~40% 程度削減されることが実証された。そしてこのことについては、地球上の国や地域を超えて驚くような類似性が見られた。

現在のインベントリの報告方式に AHIM を組み込むことは、非常に難しい課題である (附属資料 1 を参照)。AHIM を一般的に使われているインベントリ報告方式に組み込むのは容易ではない。AHIM においては子牛／成牛よりも区分が細かくなっているため、AHIM の効果を有効に反

映させられるような具体的な KPI を追加することが求められる。それぞれの AHIM における「測定・報告・検証 (MRV)」が持つ意味も重要である。実証済みのデータが必要とされるが、上で述べたようなインベントリ報告のテンプレートに組み込もうとする場合、絞り込まれた主要成績評価指標 (KPI) データの収集における国レベルの調整があつて初めて実現可能となる。そしてそれぞれの AHIM による削減効果を最小費用で確実な方法でモニタリングできるように設計されたものでなければならない。現時点においては、世界中の多くの国が持つデータの間大きなギャップがある。

本パイロット研究は、さらに進んだより複雑な研究のための踏み台である。この研究によって、畜産セクターが、異なる地域における家畜の健康に関する幅広い課題に対して、より多くの情報に基づいた経営判断や方針決定を行っていくことができる。また、家畜の健康改善を目的とした様々な政策の効果を細分化し分析できるようにインベントリを補充するため、どのように MRV を使用するべきかについても決定することができる。

参考文献

- Bradley, A. J. (2002).** Bovine mastitis: an evolving disease. *Vet. J.* 164:116-128
- Elliot et al., 2013.** Life cycle analysis of endemic diseases on GHG emissions intensity – Final report to Defra on project AC0120. <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&ProjectID=17791&FromSearch=Y&Publisher=1&SearchText=endemic&SortString=ProjectCode&SortOrder=Asc&Paging=10#Description>
- Green, M.J., Leach, K.A., Breen, J.E., Green, L.E., Bradley, A.J. (2007)** National intervention study of mastitis control in dairy herds in England and Wales *Veterinary Record* 160 (9), 287-293
- de Vries, A. (2006).** Economic value of pregnancy in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89:3876–3885.
- Esslemont, R.J. and Kossaibati, M. (2002)** The costs of poor fertility and disease in UK dairy herds. DAISY Research Report No 5
- Expatistan Cost of Living Index (2016)**
<https://www.nation.co.ke/business/Kenyan-milk-prices-second-highest-in-Africa/996-3214316-pq63bf/index.html>.
- Green, M.J., Hudson, C.D, Breen, J.E. and Bradley, A.J. (2009)** The True Costs of Mastitis. *Proceedings of the British Mastitis Conference* p57-68.
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A. (2012)** Greenhouse Gas Emission from Ruminant Supply Chains. AGA/FAO, Rome.
- Sandars, D., Williams, A., Scott, J., Black, D, Reader, J, Brownlee, G, King, A. Cairns, L., Statham, J.M.E. (2018)** The environmental Life Cycle Assessment (LCA) of better health management in cattle: The cases of ultrasound pregnancy diagnosis, bovine viral diarrhoea, and calf pneumonia. *Cattle Practice* 26 (2), 125-126. *DataVet*: project funded by Innovate UK. <http://datavet.co.uk/>
- Stott, AW, Lloyd, J, Humphry, RW and Gunn, GJ (2003),** ‘A linear programming approach to estimate the economic impact of bovine viral diarrhoea (BVD) at the whole-farm level in Scotland’, *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 59, no. 1-2, pp. 51-66.
- Richter, V., Kattwinkel, E., Firth, C., Marschik, T., Dangelmaier, M., Trauffer, M., Obrtzhauer, W., Baumgartner, W., Käsbohrer, A., Pinior, B. (2019)** Mapping the global prevalence of bovine viral diarrhoea virus infection and its associated mitigation programmes *Vet Rec* 184(23): 711. Published online 2019 Apr 30. doi: 10.1136/vr.105354
- Van Leeuwen, J. et al. (2012)** Management, productivity and livelihood effects on Kenyan smallholder dairy farms from interventions addressing animal health and nutrition and milk quality. *Tropical Animal Health and Production*, 44:231–238. DOI 10.1007/s11250-011-0003-2
- Wilkes A, Reisinger A, Wollenberg E, van Dijk S. (2017).** Measurement, reporting and verification of livestock GHG emissions by developing countries in the UNFCCC: current practices and opportunities for improvement. CCAFS Report No. 17. Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) and Global Research Alliance for Agricultural Greenhouse Gases (GRA). www.ccafs.cgiar.org
- Williams, A., Chatterton, J., Hateley, G., Curwen, A., and Elliott, J. (2015).** A systems-life cycle assessment approach to modelling the impact of improvements in cattle health on greenhouse gas emissions. *Advances in Animal Biosciences*, 6(1), 29-31. doi:10.1017/S2040470014000478

謝辞

デルファイ法による検討に参加していただいた以下の各界専門家の皆様に対し、著者らから御礼を申し上げます。

ケニア

- ・ サミュエル・ムブク、ケニア農業・畜産研究機構
- ・ モーゼス・オルム、ケニア農業・畜産研究機構
- ・ アレクサンダー・キプロノ、ケニア農業・畜産研究機構
- ・ ロビン・ムバエ、農業畜産漁業省

チリ

- ・ ナタリー・ジョーンズ、酪農コンソーシアム
- ・ オクタビオ・オルトラ、酪農コンソーシアム
- ・ フランシスコ・ラヌーサ、チリ獣医学会およびラテンアメリカ獣医学協会
- ・ フランシスコ・サラサール、農業牧畜研究所 (INIA)

- ・ ホルヘ・ラマ、農業サービス協同組合 (Cooprinsem)
- ・ マリオ・オリバレス、農業サービス協同組合 (Cooprinsem)
- ・ ルイス・ポー、独立獣医学アドバイザー
- ・ マルコ・ムニョス、コンセプシオン大学
- ・ マリオ・ロヨラ、農業牧畜庁 (SAG)

英国

- ・ 王立獣医カレッジ (RCVS) 所属の専門家を含むエクセルヴェット (XLVet) 獣医グループ
- ・ 環境・食料・農村地域省 (Defra)

当プロジェクトの責任者

- ・ ジョナサン・スタサム、ハリエット・スコット、シャー・スタサム、ジュディス・アクトン - RAFT ソリューションズ (RAFT Solutions Ltd)、Mill Farm, Studley Road, Ripon HG4 2QR, United Kingdom
- ・ エイドリアン・ウィリアムズ、ダニエル・サンダース、克蘭フィールド大学 (Cranfield University)、College Road, Cranfield, MK43 0AL, United Kingdom

この研究はニュージーランド第一次産業省およびグローバル・デリー・プラットフォームによる資金提供を受けています

さらに詳しい情報をお知りになりたい場合は、以下までご連絡をお願いします。

brian.lindsay@dairysustainabilityframework.org または hayden.montgomery@globalresearchalliance.org



附属資料 1. インベントリの前提条件およびその構成

クランフィールド大学のオリジナルモデルにおいては、乳牛の管理および健康状態（病気が与える影響、治療法、回復能力、罹患率）の両方に関するデータを含め、英国の状況に合わせたパラメータが設定された。環境への影響（GHG 排出量に限定）および研究対象となった 10 種類の特定の風土病（BVD および乳房炎を含む）に係る費用についても、同様のことが考慮された。

これは「単純な」インベントリ方式とは異なるライフサイクルアセスメントモデルである。前者は、家畜による直接排出量およびそれに付随した間接的排出量のみを検討し、飼料生産、家畜管理や、獣医学的な介入については対象外である。

メタンの腸内からの排出および窒素の排泄（最終的に N₂O の排出に繋がる）については、代謝エネルギーバランスを使って乾物摂取量を計算し、そこからメタン排出量および窒素排泄量を計算する。窒素の排出係数については、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」のティア 1 係数を使用する。ただしアンモニアについては、英国方式による排泄から土壌還元までの窒素のフローに従うため適用しない。

このモデルの基本的機能は、a) 維持、成長、懐胎、泌乳のための代謝エネルギー要求量（MER）、および b) 安定的な頭数を前提とした時に群を維持するために必要な乳牛と後継未経産牛のバランス、という二つの計算に依拠している。モディファイアーを適用し、乳量、繁殖力、死亡率、成長率、感染に対する抵抗力等の健康の要因が MER に及ぼす影響を検討する。MER を満たすための飼料は放牧草、保存飼料、および濃縮飼料をベースとし、与える飼料の量および配合については入手可能な活動データから導き出す。適切なデータが欠如しているため、堆肥の管理方法に関しては、すべて英国モデルで設定したものの平均であるという前提に立つ。獣医学的な介入が環境に与える影響については、英国ですで行われた研究を基に計算し、チリおよびケニアに同様の方法で適用した。

入手可能なデータに関して、チリおよびケニアのデータには不備な点がある。したがって、そこから導き出される結論にも不確定な部分が多い。ケニアのデータについては、不確定要素がより大きい。生乳生産の大部分を担っているのが小規模農場であり、経営システムが英国およびチリとは大きく異なっているためである（チリの場合、典型的な欧州の酪農手法の視点で理解可能である）。

不十分な健康成績および繁殖能力が与える影響に関しては、牛群の平均値および健康成績が最も悪い 10% をベースとして推計した。後者の係数については、英国の「家畜の健康と福祉グループ（CHAWG）」（2018 年）が行った報告書内で発表された大量の牛群サンプルにおける乳房炎の罹患率に関するデータから導き出した。乳房炎については中央値の 2.3 倍、そして BVD および PD については乗数を 2 とした。

これらの係数を前提として出された結果については、ケニアに関しては少なくともある程度の確度を持った推計、英国に関しては確度が高い推計であるとみなすべきである。本研究において不確実性が明確に引き出されたわけではないが、既に行われた研究をベースとして、以下のようなふれ幅をみておくことを勧める。

- **チリ** 提示した結果の±30%
- **ケニア** 提示した結果の±35%
- **英国** 提示した結果の±25%

表 11: GHG 排出モデルから得たチリのデータ

体調	健康状態	運搬効力ガス排出量 (GHGE)、絶対量 100 係数 (GWPI100)、二酸化炭素換算 kg 当たり	基準点に戻すのに必要な GHGE の削減	分娩間隔、カ月	生産寿命、泌乳	乳牛体重、kg	乳牛死亡率、%	泌乳時当たり産乳量、胎直・タンパク質調整乳 kg 当たり	子牛の死亡率、%	乾物摂取量、kg / 泌乳	泌乳に必要な未経産牛の割合
乳房炎	基準点	990	0%	13.1	3.5	503	3.0%	6400	4%	5670	0.33
	平均	1050	6%	13.1	3.3	503	3.0%	6300	4%	5650	0.33
	最も悪い 10%	1100	10%	13.1	3.0	503	3.0%	5900	4%	5620	0.34
BVD	基準点	990	0%	13.1	3.5	503	3.0%	6400	4%	5670	0.33
	平均	1000	5%	13.1	3.3	503	-0.2%	6100	4%	5630	0.33
	最も悪い 0%	1080	9%	13.1	3.1	503	-0.2%	5760	4%	5604	0.33
PD	理想的な目標値	810	0%	12.0	3.5	503	3.0%	6100	4%	5110	0.34
	平均（現在）	870	7%	12.2	3.3	503	3.0%	6200	4%	5290	0.34
	最も悪い 10%	900	10%	12.4	3.1	503	3.0%	6200	4%	5380	0.34

表 12 : GHG 排出モデルから得たケニアのデータ

体調	健康状態	温室効果ガス排出量 (GHGE)、地球温暖化係数 100 (GWPI100)、二酸化炭素換算 kg 当たり	基準点に戻すのに必要な GHGE の削減	分娩間隔、カ月	生産寿命、泌乳	乳牛体重、kg	乳牛死亡率、%	泌乳時当たり産乳量、脂質・タンパク質濃度、kg 当たり	子牛の死亡率、%	乾物摂取量、kg/泌乳	泌乳に必要な未産産牛の割合
乳房炎	基準点	3100	0%	16	3.0	410	5.0%	1800	20%	3700	0.33
	平均	3300	6%	17	2.9	410	5.6%	1800	20%	3700	0.35
	最も悪い 10%	3500	11%	19	2.8	410	6.2%	1700	20%	3690	0.36
BVD	基準点	3100	0%	16	3.0	410	5.0%	1800	20%	3700	0.33
	平均	3200	4%	17	2.8	410	6.2%	1800	23%	3700	0.36
	最も悪い 10%	3400	8%	18	2.6	410	7.4%	1700	26%	3690	0.38
PD	理想的な目標値	2500	0%	12	4.0	410	4.8%	2000	19%	3710	0.19
	平均 (現在)	3100	24%	16	3.0	410	5.0%	1800	20%	3700	0.33
	最も悪い 10%	4500	44%	20	2.5	410	5.5%	1600	21%	4610	0.40

表 10 : GHG 排出モデルから得た英国のデータ

体調	健康状態	温室効果ガス排出量 (GHGE)、地球温暖化係数 100 (GWPI100)、二酸化炭素換算 kg 当たり	基準点に戻すのに必要な GHGE の削減	分娩間隔、カ月	生産寿命、泌乳	乳牛体重、kg	乳牛死亡率、%	泌乳時当たり産乳量、脂質・タンパク質濃度、kg 当たり	子牛の死亡率、%	乾物摂取量、kg/泌乳	泌乳に必要な未産産牛の割合
乳房炎	基準点	1130	0%	12.7	3.8	631	2.0%	7300	4%	6820	0.27
	平均	1200	6%	13.7	3.0	631	2.8%	7100	4%	6800	0.35
	最も悪い 10%	1290	12%	14.7	2.7	631	3.8%	6700	4%	6760	0.39
BVD	基準点	1130	0%	12.7	3.8	631	2.0%	7300	4%	6820	0.27
	平均	1200	4%	13.1	3.7	631	3.0%	7200	10%	7010	0.28
	最も悪い 10%	1300	11%	13.4	3.6	631	4.0%	7100	16%	7170	0.29
PD	理想的な目標値	960	0%	12.0	5.0	631	1.5%	7500	4%	6520	0.23
	平均 (現在)	1030	7%	12.5	4.4	631	1.8%	7500	4%	6740	0.25
	最も悪い 10%	1130	16%	12.7	3.8	631	2.0%	7300	4%	6820	0.27

この文書は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。この翻訳はグローバル・リサーチ・アライアンス、グローバル・デリー・プラットフォーム (GDP) またはデリー・サステナビリティ・フレームワーク (DSF) が作成したものではなく、グローバル・リサーチ・アライアンス、GDP および DSF 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 (Statham, J., Scott, H., Statham, S., Acton, J., Williams, A., Sandars, D. (2020) Dairy Cattle Health and Greenhouse Gas Emissions Pilot Study: Chile, Kenya and the UK. Global Research Alliance, Global Dairy Platform, and Dairy Sustainability Framework) を正式な版とします。