



Title	農業経営における環境負荷を考慮した意思決定の支援に関する研究
Author(s)	日向, 貴久
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第7176号
Issue Date	2023-03-23
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.r7176
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90150
Type	doctoral thesis
File Information	Hinata_Takahisa.pdf



農業経営における環境負荷を考慮した意思決定の支援に関する研究

北海道大学 大学院農学院

日向 貴久

農業経営における環境負荷を考慮した意思決定の支援に関する研究

序章 課題と方法

第1節 問題意識	1
第2節 既存研究の成果と到達点	2
第3節 課題の限定、分析の枠組み	6
第4節 論文構成	9

第1章 農業におけるGHG発生の現状と削減の動向

第1節 GHGの作用原理と具体的な影響	11
第2節 世界のGHG排出における農業の位置付け	12
第3節 環境保全型農業推進に関するわが国の政策対応	13
第4節 農業における環境保全の具体的な施策や手法	15
第5節 小括	16

第2章 酪農におけるGHGの排出場面と削減効果の定量化

第1節 背景および目的	18
第2節 分析手法とLCA評価範囲	18
第3節 インベントリ分析結果	27
第4節 小括	30

第3章 クリーン農業における資材の削減とコスト・GHGに与える影響

第1節 背景および目的	32
第2節 分析対象と経済性分析およびLCAの方法	32
第3節 経済性分析およびLCAの結果	35
第4節 小括	39

第4章 国産濃厚飼料（子実用トウモロコシ）の経済性および環境に与える影響

第1節 背景および目的	40
第2節 分析対象と経済性分析およびLCAの方法	41
第3節 経済性分析およびLCAの結果	42
第4節 小括	47

第5章 倫理的消費に対する消費者と生産者との意識差

第1節 背景および目的	49
第2節 分析対象と方法	50
第3節 ステークホルダー間の認識の違いに関するAHPの結果	51
第4節 小括	54

第6章 環境に配慮された農産物に対する消費者選好と購買層	
第1節 背景および目的	55
第2節 分析対象と消費者試験、分析の方法	56
第3節 分析結果から見る消費者像	59
第4節 小括	66
終章 要約と結論	
第1節 各章の要約と含意	68
第2節 今後の展開と残された課題	72
参考文献一覧	74

序章 課題と方法

第1節 問題意識

農業は、土壌、大気、水といった自然環境の恩恵を最も受けている産業の一つである。絶え間ない技術開発により農業の生産性は著しく向上し、農業は人類への食料の安定的な供給と、生活の質の向上に大きく貢献をしてきた。一方で農業は、自然を相手にする以上、自然環境に与える負荷とも密接に関わっており、農業の持続可能性、すなわち再生産可能な生産システムの構築と環境問題の回避は、長く議論の対象であった。

環境問題の中でも、温室効果ガス（GreenHouse Gas、以下 GHG）に起因する地球温暖化問題は、国際的に最も協調した対応が進む分野の1つである。近年、わが国では暖冬や多雨、台風害といった異常気象に見舞われ、農業に生産にも深刻な影響を与えている。こういった自然現象は、国際的には気候変動問題として捉えられ、IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル）はその原因を GHG の大気圏内での増加と指摘している。従来、議論の遡上に上がっていた環境問題は、土壌汚染や水質汚染、悪臭といった、問題の原因と影響の地理的な関係が密接しているものであった。これに対して、地球温暖化はまさに“地球”温暖化であり、その影響は地域や国を越え地球全体に及ぼすものである。生産者や消費者は、経済活動の中で自分が使用する化石燃料その他から発生する GHG が、世界に影響を与える可能性を持つことを深く認識しづらく、こういった原因と結果の空間的な隔たりは、地球温暖化問題の解決を難しくする要因となっている。現在は、各国が相互の取組みを注視しながら、協調して排出削減を図っている。

現在の地球温暖化問題は、経済学でいう市場の失敗による外部不経済と解釈できる。持続可能な農業生産を進める上では、公的機関による積極的な支援が必要となることには論をまたないが、GHG の削減は生産者や関係機関のみならず、消費者も含めた国民全員で責任をもって取り組まなければならない課題でもある。

農業生産をなるべく減らすことなく、生産に関わる GHG を削減するには、削減技術を導入する必要がある。削減技術の導入は、多くの場合生産物のコストを増加させる方向に作用し、導入の可否に当たっては経営者の意思決定が必要となる。しかし、農業生産における GHG のコントロールは、今までは重要な問題として認知されておらず、経営者の経営行動の中で GHG のコントロールを念頭に置いた行動は極めて少ないと言える。消費者は、農業生産における GHG の削減に価値を見出し、価格に転嫁された削減費用に理解を示した上で、生産物を消費することで生産を支援することができる。公的機関の介入方法としては、2001 年の家畜排せつ物処理法に代表される法規制が最も一般的である。ただし、OECD(1999)は、生産者への一律規制は確実な効果を期待できる反面、地域の特性を踏まえたきめ細かい対応や基準の設定が困難であることや、法規制の管理・運用にコストがかかるようになり、費用対効果の面からも効率的ではないことを弊害として指摘する。農産物に起因する GHG が削減されるためには、削減をすることが生産者のインセンティブに繋がり、生産者の自発的な意思決定によってなされるよう誘導されることが望ましい。

以上より、生産者が自らの営農場面において生産に伴う GHG 排出を意識した経営行動をとるための条件を明らかにし、農業経営における環境負荷を考慮に入れた意思決定を支

援するための方法論を示すことは、わが国の農業で発生する GHG を削減する上で重要な示唆を与えるものと考えられる。

第 2 節 既存研究の成果と到達点

1) 農業生産における環境問題と農業経営の対応に関する研究動向

農業生産における環境問題とその影響に対する指摘は、1960 年代にその端緒が見られる。当時の環境問題とされた事柄は、農薬の土壌残留や生物濃縮、地下水汚染の問題が主であった。代表的な既存文献としては、例えば Carson (1962) が挙げられる。ここでは、主に農薬の残留性をもたらす生態系への影響が明らかにされ、特に生物濃縮によって人間の健康に及ぼす危険性が指摘された。経済学の議論の場においては、化学物質の過剰な放出により発生する公害を除き、1980 年代まで自然環境は所与である不変の存在であり、人間によるコントロールの客体との認識は主流ではなかった^{註1)}。宇沢(1994)は、教育や医療といった人間が尊厳を守るために不可欠な制度や自然環境を「社会的共通資本」と定義し、自然環境はその中の一つに含まれるとの認識を示した。また、社会的共通資本は職業的専門家によって専門的知見に基づき、職業的規範に従って管理・維持されるべきであるとし、人間により統制をとる必要があることを示した。

農業の環境問題の中に GHG の排出増加による温暖化問題が含まれるようになったのは、1990 年代後期からである。小林 (1999) は、当時の世界で最も大きな関心の的になっている環境問題として、大気中の炭酸ガスおよびメタンガス濃度の上昇による地球温暖化を挙げた。地球温暖化は、従来議論されていたふん尿過多による水質汚染や悪臭と並んで対策しなければならない問題であるとした。また、わが国の国土は人口に比べて小さくかつ耕地割合が小さいことを指摘し、そもそも粗放的土地利用となる畜産は、日本には適合しづらい面があるとした。家畜ふん尿の円滑な農地還元が困難となると、家畜ふん尿が公共水域や地下水の水質汚染、周辺への悪臭発生となり、経営にも大きな問題となると指摘した。農業における GHG 排出の一因として反芻家畜の排出するメタンガスの影響を言及し、その上で、ふん尿処理の難しさとして処理に一定水準以上の投資が要求され、それによって生産が採算割れとなるのであれば、最初から畜産経営を放棄するのが合理的選択であるとして、ふん尿処理投資の困難性を指摘した。生産者はそれまで生産物の量と質にのみ目を向けていたが、今後は生産物の増加や収益の増加に影響しない“負の投資”であるふん尿処理にも目を向けなければならないと考察した。

遠藤 (1999) は、農業における環境問題が取り上げられてきた初期は、塩類集積や裸地化といった主に農地の利用形態に対するものだったのに対して、その後は農薬や化学肥料の多投入による物質循環のサイクルの偏重と生態系の破壊といった、中長期的な影響をもたらす属性に変化していき、1990 年代では、地球温暖化やオゾン層の破壊、酸性雨といった地球全体を対象とするものに範囲が広がってきていることを指摘した。2000 年代からは、GHG 排出の問題は環境問題の一つとして認知され、IPCC を通じて国際的な研究や議論の対象になったと言える。

翻って、2000年代からは、農業における環境問題と農業経営の対応も広く議論の対象となっている。例えば樋口（2002）は、十勝農業と世界の農業とで共通する環境問題として、窒素濃度の上昇による水質汚染を指摘し、特に十勝では家畜ふん尿の過剰な発生によるところが大きく畑作農家の経営に影響を与えているとした。その上で、環境問題への対応でかかるコストを、汚染者負担の原則から農業経営体にものみ負わせることとなれば、私的利益を追求する経営体の効率を犠牲にすることになるため、行政や農協といった公益的組織体の対応を検討すべきであるとした。

黒河（2002）は、北海道を対象に持続可能型農業の一つと位置付けられる有機農業経営や低投入型酪農経営の展開を整理した。これら農法を採用したのはいずれも経営者としての判断であり、すなわち環境保全への直接寄与はプライオリティではなく、生態系の持つ合理性に出来る限り沿った生産方式を実践することにより、より価値の高い生産を目指したものであるとした。これらの農業を継続する上では掛かり増しコストを収益によってカバーしなければならず、消費者ニーズにこたえる商品生産を心がけることが必要であることを示した。また、そのためには「生産・流通・消費」の間でお互いに相手の見える、すなわち相互の立場を理解しあえる関係構築と持続努力が不可欠であることを指摘した。

鈴木（2005）は、わが国の窒素収支と特に硝酸体窒素の蓄積が人間の健康に与える不安について指摘した。海外からの資材の輸入が多い現況では、国内に物質が蓄積する構造となっており、その対応として飼料の自給率を上げること、畜産物廃棄物の堆肥化を高度利用を図ること、食品残滓の農業利用を検討することを提案し、そのためのインセンティブ設計について言及した。

以上の通り、環境問題への農業経営の対応としては、発生するコストは汚染者負担の原則から見て基本的には農業経営が負担すべきものであるが、公的機関による支援も必要であること、また、農業経営はコストの増分を補填するため、消費者のニーズをとらえた価値の高い商品生産をする必要があることが示されている。

2) 環境保全技術導入に関する経済分析の研究動向

農業における環境問題に関する経済分析^{註2)}としては、環境負荷削減技術の投資に関わるコスト評価が以前より行われてきた。代表的な分析としては、横溝・本松（1997）、岩本ら（2000）、樋口ら（2005）、藤田（2009）が挙げられる。

横溝・本末（1997）は、岡山県蒜山地区の酪農経営を対象として、まず個別経営のふん尿処理の難しさを示すため、ふん尿処理を考慮した酪農経営モデルを設定しシャドウ・プライスの観点から評価を実施した。結果、ふん尿処理の制約から搾乳牛の頭数規模が49頭に留まることを明らかにした。また、堆肥化処理を共同化させることによって酪農家が選択できる頭数規模の範囲が拡大することを明らかにし、施設建設の重要性を指摘した。

岩本ら（2000）は、家畜ふん尿による環境汚染への対策が飼養形態の差によってもたらす違いを、線形計画モデルを用いて比較分析した。結果、フリーストール飼養ではふん尿処理・活用設備に要する減価償却費の増加に伴って、スタンションストール飼養に比べて大きな所得減少をもたらすことを明らかにした。

樋口ら（2005）は、畑作経営と酪農経営を対象として、肥料や飼料といった生産資材の投入と、農産物や生乳といった産出での窒素フローに着目した。産出窒素と投入窒素の差分で表現される余剰窒素を線形計画法の新たな制約要因として加えた経営モデルを作成し、水質汚染に配慮した経営に関する計画立案について検討した。この中で、余剰窒素以外の環境負荷としてリンや GHG を挙げ、今後これらの環境負荷に関しても、線形計画の単体表に組み込み環境問題を複合的に評価することを今後の課題とした。

藤田（2009）は、個別の酪農経営でのふん尿処理による環境問題に注目し、処理に関する投下資本と労働力の不足から来る投資困難な状況を明らかにした上で、酪農経営の投資限界と外部委託の可能性を分析し、意思決定に当たっては農業改良普及センターや農協等の関係機関の支援が不可欠であると結論付けた。

これらの研究は、個別経営における技術導入の可否や適正規模に関する規範的評価と見え、主に評価対象が酪農・畜産経営であるものが多い。加えて、環境問題の属性として GHG を扱ったものではない。GHG の排出の影響は水質汚染や悪臭と違い、当該地域の農業に局所的・明示的に及ぼすものではなく、既存研究で経営者が環境負荷を削減するに至る背景とは大きく異なることが推察される。

3) GHG 排出を対象とした環境評価に関する研究動向

農業において GHG 排出を対象に含めた環境評価に関する既存研究では、手法論として Life Cycle Assessment (LCA) を適用した例が多く見られる。石谷（1999）は LCA を、製品やサービスに関わる原料の調達から製品製造、流通、使用、廃棄、リサイクルに至るライフサイクル全体を評価対象として、各段階の資源やエネルギーの投入量と様々な排出物の量を定量的に把握し、これらによる様々な環境影響や資源・エネルギーの枯渇への影響などを客観的に可能な限り定量化し、これらの分析・評価に基づいて環境改善などに向けた意思決定を支援するための科学的・客観的な根拠を与える手法としている。農業を評価対象とした初期の代表的な研究としては、大村ら（2000）、大村ら（2002）、増田ら（2003）、荻野（2007）が挙げられる^{註3)}。

大村ら（2000）は、持続可能な社会システムのデザインのための基礎的な作業として、農業と関連産業のエネルギー・資源の環境負荷を定量的に把握し、負荷をできるだけ減少させた農業の実現可能性を検討した。北海道十勝管内土幌町を対象に評価項目を地球温暖化と富栄養化とし、削減技術の導入により負荷が減少することを明らかにした。一方で、削減技術の経済的な自立性を今後検討すべき課題として挙げた。

大村ら（2002）は、農業分野における LCA の適用のあり方・方向性として、農産物生産段階での資材、エネルギーの圃場内での利用は想像できるものの、活動に伴って発生する圃場外での環境負荷を理解するのは困難であり、評価者が定量化をすることによって可視化されることが大きなメリットであることを指摘した。

増田ら（2003）は、北海道オホーツク管内興部町にある TMR センターとその構成農家 8 戸を対象として、酪農で発生する環境負荷を定量化し、影響が重大である環境負荷物質の排出源であるホットスポットを地球温暖化、酸性化、富栄養化のそれぞれの観点から明らかにした。

荻野（2007）は、海外での畜産における LCA 研究を総括し、報告内容としてはケーススタディが多く、畜種別では酪農が突出して多いことを指摘した。また、自身が実施した肉用牛生産と食品残渣飼料化の 2 つの LCA 結果を示した上で、今後の課題の一つとして他の評価軸との統合が必要であるとし、まず経済面との複合評価の重要性を挙げた。

これらの研究は上述の荻野（2007）が指摘するように、事例を対象としたケーススタディの要素が強く、地域や営農種別による環境負荷排出の違いを今後明らかにしていく上での、基礎的データとしての性格を持っているものと考えられる。また、LCA の評価結果を用いた生産者の意思決定については未検討である。一方で、LCA のメリットとして、今まで実態の分からなかった環境負荷を定量的に可視化したことを指摘する。

4) 環境と経済性の複合評価に関する研究動向

生産者の意思決定支援に寄与することを目的とした GHG 排出と経済性の複合的評価は、ケーススタディに基づく実際の評価と、評価のための統合的な評価手法である環境会計の構築の 2 つに大別される。前者は、干場ら（2001）、小野ら（2003）、佐藤・南石（2011）があり、後者は、熊谷（2000）、家串（2001）、林（2008）、関根・大村（2009）が代表的な研究として挙げられる。

ケーススタディに基づく実際の評価に関して、干場ら（2001）は、北海道釧路管内浜中町の酪農経営 230 戸のクミカンデータを基に、農業所得、窒素負荷量、投入化石エネルギー量を算出し、それぞれの相関関係について分析した。結果、農業所得が高くなるにつれて窒素負荷量と投入エネルギー量は大きくなるものの、ばらつきも大きいことを明らかにした。その上で、複合的な評価指標として「農業所得 1 万円を得るために発生する窒素負荷」、「農業所得 1 万円を得るために投入されるエネルギー量」を提案し、これらの指標をもって農業経営の持続性を評価すべきだと主張した。

小野ら（2003）は、当時転作作物として関心が高まっていた飼料米の普及に際して、費用価の視点から生産性向上、助成水準の変化による所得改善効果を線形計画法により試算し、助成が不可欠であることを明らかにした。加えて、助成継続の理由として環境負荷削減に着目し、稲わらを堆肥原料とし耕畜連携を進めた際の GHG の変化について、産業連関分析法による LCA で評価した。結果、稲わらや堆肥の輸送で新たに発生する分を考慮すると、GHG の総排出量は増加すると結論付けた。

佐藤・南石（2011）は、農業生産に伴う環境リスクとして、消費者の関心の高い農薬使用リスクに着目し、農薬使用の技術危険度を指標化した。その上で、大豆栽培におけるリビングマルチによる省除草剤栽培技術を対象にコストと技術危険度を算出し、トレードオフの度合いを明らかにした。これらの研究は、環境影響を考慮した農業経営を目指した評価体系を試論的に提示したものであり、生産者による利用に向けての更なる研究の展開が待たれてきた^{註4)}。

農業における環境会計の構築に関して、熊谷（2000）は、個別農業経営の活動と地域資源や地域環境との関わり具合を表現し、農業の持続性を測定する会計システムとして「農業環境会計」を定義づけた。そこで、企業の導入例を基に農業へ導入した際の損益項目の

扱い、貸借項目の扱い、金銭評価ができない事項の扱い、プラスの環境効果の扱いについて想起される工夫の必要な点を列挙した。

家串（2001）は、農業での環境会計の導入根拠、その主体、対象、開示要件に関する論点を整理した。その中で、個別経営における農業の社会性に関する情報開示には、手間と時間を要しかつ実効価値が高くないという現実問題があったが、今日では PC 簿記会計の著しい発達によって手間は格段に減少していることと、特に環境保全コストに関して、最終的な負担者を生産者とするか消費者とするか考える上で、環境会計が重要になってくる^{註5)} ことを指摘した。

林（2008）は、環境会計を集計範囲で概ね3つに区分した。すなわち、国家全体を単位として、国家全体の経済と環境の相互作用を明らかにしようとするマクロ環境会計、国土の部分地域を単位とするセミマクロ環境会計、個々の経営主体を単位とするマイクロ環境会計とし、農業においてはマイクロ環境会計の導入はマクロ、セミマクロと比べて困難であるとした。その理由として、経営者がコスト管理の場面において参考にするという経営内部への機能としては一定の効果があるものの、削減効果をステークホルダーに示すという外部への機能としては自らの利益へ帰結しづらいことを指摘した^{註6)}。その上で、今後ますます環境へ配慮した農業生産が求められる中では、消費者の関心も高くなることが予想されることから、環境配慮イメージへの貢献といった、間接的な形での収益向上の可能性を示唆した。

関根・大村（2009）は、環境会計の試行として米ぬか除草と合鴨農法の慣行農法と比較し、コストの増分を環境保全コスト、GHG 削減量を環境保全効果として算出した。ただし、機械の減価償却費の算定や農薬、化学肥料に由来する GHG 揮散を求める際の使用時期や土壌状態の把握も必要であり、研究者による評価が難しい側面を指摘した。

これらの研究は、今後農業経営者の管理会計の強化の必要性と、社会の要請に応じて環境負荷に対するアカウンタビリティを確保する意味で、環境会計を導入する必要性が高まることを指摘する。しかし、運用上の課題として、コスト以外の生産体系を把握していなければ算出できない環境負荷が存在することと、現状では収益向上の機会になる可能性が小さく、作成のインセンティブがそれほど高くないことを指摘している。

第3節 課題の限定、分析の枠組み

前節での整理より、近年は農業における環境問題の中でも GHG による地球温暖化の問題に関する関心が高まりつつあり、農業経営を対象とした環境評価に関する実態分析も行われていることが指摘できる。一方で、環境に配慮した経営をするためコストとの比較で意思決定をする手法は模索されているが、実用には至っていないと言える。その理由について、前節での林（2008）が示した環境会計の持つ経営内部への機能、外部への機能とで整理することができる。

経営内部への機能から見ると、まず環境影響を評価する際に、生産者でなければ把握しづらい自然条件に関する情報を含むといった技術的な問題がある。加えて、生産者が環境影響に関する情報を重要な情報と認知していないことが原因の一つと考えられる。これに関連して、原田（2020）は、経営者が自らを取り巻く社会情勢や自然環境を解釈し、意味

ある情報として受け止める行為を「情報認識」とした上で、情報認識の仕方は経営体固有の展開につながる重要な要素であるとしている。佐々木（1992）は同様の概念を「当事者情報」と説明し、ある情報が経営者にとっての当事者情報となるプロセスを、情報収集、情報集約、情報開発、情報評価だと説明する。すなわち、経営者が環境に関する情報を有用なものとして認知するには、「一次情報として収集・蓄積」し、「加工や他の情報との融合をして新たな解釈・評価」に利用するプロセスを経る必要があるものと考えられる。

経営外部への機能から見ると、GHGに起因する環境問題は、悪臭や水質・大気汚染と異なり実態が曖昧であり測定が難しく、また、結果もインセンティブに繋がらない懸念があることが原因の一つと考えられる。特に、農業経営において新しい技術を定着させるためには、そのことが一定の経済的便益をもたらす、導入のインセンティブを維持する必要がある^{註7)}。

以上の認識から、本論文では大きく次の2点について分析を行う。1点目はGHG情報の経営内部への機能に対応して、GHG情報と融合させる他の情報をコストと想定し、農業経営における新技術を対象に実際のLCA評価、またはコスト評価との複合評価を実施する。環境負荷の情報が経営管理に活かされる際、各々のプロセスでどのような新しい情報が生成されるかを明らかにした上で、これらの評価を農業経営が利用する有効性を考察する。2点目はGHG情報の外部への機能に対応して、環境負荷に関する情報を付加価値とし経済的便益に転換する可能性について、生産者と消費者との認識の違いや、消費者内でのGHG情報の認識の違いを明らかにした上で考察する。以上の分析を踏まえて、GHG情報が経営者に与える有用性と、生産者への支援の方策について考察することとする。

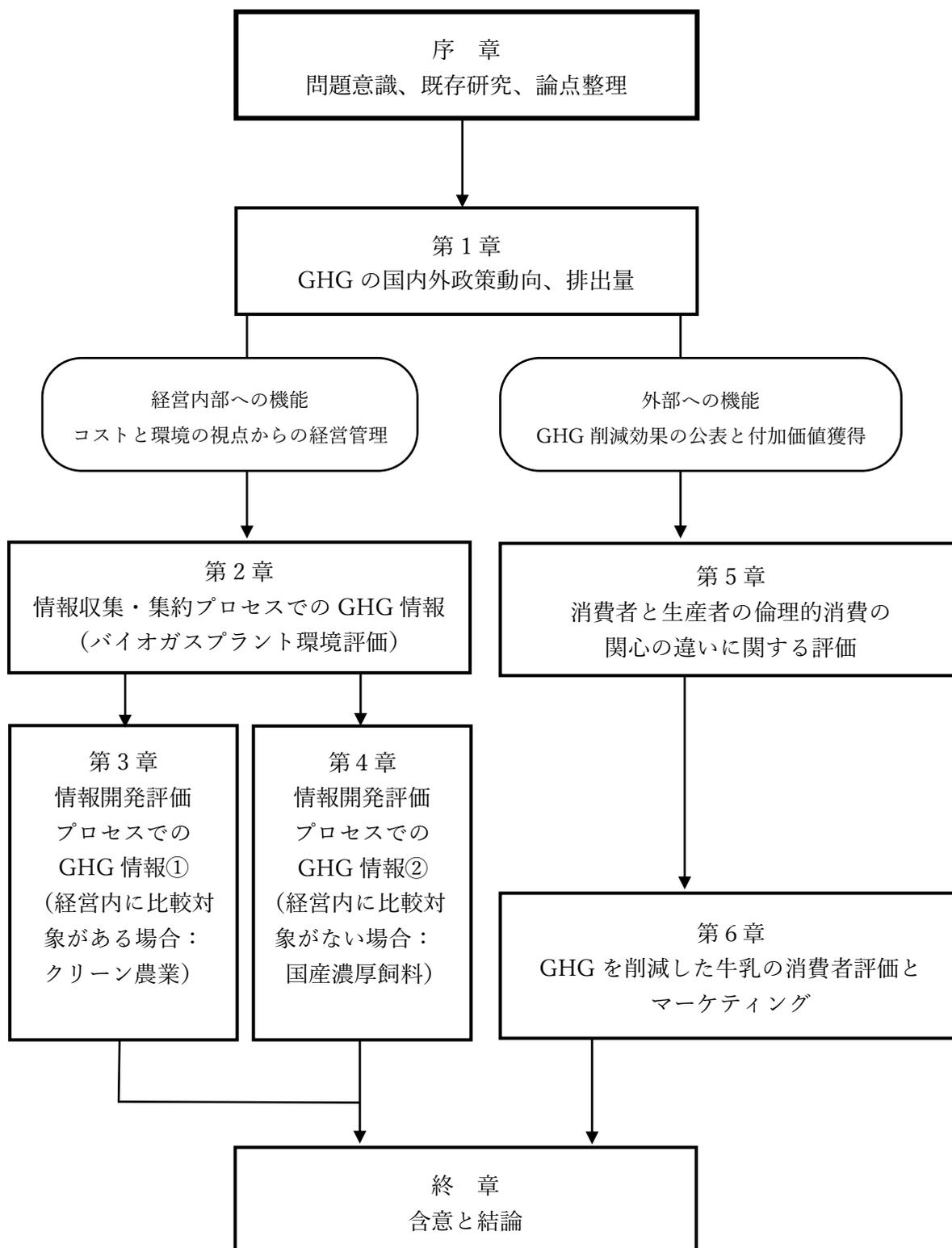


図 序-1 本論文の構成

第4節 論文構成

前節を踏まえて、本研究の構成は次の通りとする。(図 序-1)

第1章ではGHGが地球に及ぼす問題、いわゆる「地球温暖化問題・気候変動問題」について説明した後、行政における農業でのGHG削減の施策展開を整理し、特徴を明らかにする。その上で、わが国におけるGHGの発生状況を概観し、農業部門での排出の状況を示す。

第2章から第4章では、環境情報の経営内部への機能に着目し、環境評価手法であるLCAによる農業を対象とした実態分析を通じ、環境情報が農業経営に有用な情報と認知されるためのプロセスごとに、明らかになる知見とその有効性を示す。第2章では情報収集・集約段階で明らかになる知見について分析する。酪農でのふん尿処理の新技術導入による効果を検討するため、GHGをどれほど削減できる余地があるかをLCAにより示す。

第3章では、情報開発・評価段階で明らかになる知見のうち、経営内に比較する慣行農法がある場合、GHG情報とコスト情報の組合せで得られるものについて分析する。耕種農業での環境保全型栽培を事例に、トマトでの特別栽培の経済性評価と環境評価を行い、低投入型農業の経済面・GHG排出面での特徴を示す。具体的には、化学肥料と化学合成農薬を慣行より50%以上削減した特別栽培を対象に、環境評価と経済性評価を同時に行うことで、環境負荷から見た場合の改善点とコストから見た場合の改善点を明らかにする。

第4章では、情報開発・評価段階で明らかになる情報のうち、経営内に比較する慣行農法がない場合について分析する。ここでは、国産濃厚飼料における子実用トウモロコシを取り上げ、実用化が既に進みつつある取組みに対して環境評価と経済性評価を行い、それぞれの面から見た特徴を明らかにする。その上で、濃厚飼料を国外から輸入した場合と、国内で生産した場合を比較し、環境負荷削減から見た国内生産の特徴を明らかにする。

第5章から第6章では、環境情報の外部への機能に着目し、農産物の付加価値向上に向け、環境負荷を削減した農産物に対する現状での消費者の意識を整理する。

第5章では、付加価値の源泉として消費者の効用に直接は結びつかないが、購入に当たっての判断材料となる倫理的消費^{註8)}の概念に着目し、倫理的消費の中で環境保全に関する属性が、生産者との直接取引をする消費者にどの程度重視されているかの把握を試み、生産者との差異を明らかにする。また、倫理的消費に関する生産者間の意識の違いを明らかにした上で、付加価値実現を図るために生産者が留意すべき点について示す。

第6章では、GHGを削減した牛乳の消費者評価を行い、この属性を評価する消費者のセグメンテーションを通じて、消費者像の把握を試みる。また、高い支払意思額(WTP)を持つ消費者の抽出を試み、他の消費者層とのWTPの違いや消費者の特徴を明らかにする。

終章では、総括を述べるとともに、環境に関する情報を経営者にとっても有用な情報と認識してもらうための支援の方策を考察する。

- 註 1) 経済学における自然界に対する認識の変遷は、Immler(1993)を参照のこと。
- 註 2) 農業経営での技術導入に関する経済分析は、技術の経済性評価と導入による経営体の経営評価に大別される。経済性評価とは、技術を導入した際に生産される農産物の再生産可能な条件を明らかにし、主に農産物の生産費を主な分析対象とする。一方で経営評価とは、技術導入による農業経営全体への影響と所得変化を対象としており、主に経営体の所得を分析対象としている。すなわち、前者の視点は「農産物が、それを生産するまでにかかる社会的費用を収益で補償できるか」であることに對し、後者は「農業所得（場合によっては農家所得）とその安定性がどう変化するか」と言える。
- 註 3) 2004年には日本LCA学会が設立され、LCAの方法論や結果の解釈・活用方法に関して国内の研究者において様々な議論がされている。農業分野では、主にGHG排出と地球温暖化への影響に関する分析結果について、多くの学会報告や論文が公表されている。
- 註 4) 小田ら（2012）は、今後の農業経営が開示すべき情報内容・範囲について、農業経営の環境活動や社会的責任行動に関する情報を可能な限り貨幣単位や物量情報として記述し、取引相手は無論のこと消費者、自治体、地域社会などの多様なステークホルダーに対して社会公的に行動すべきであることを指摘している。
- 註 5) 家串（2002）では、農業においては本来的に汚染者（生産者）負担原則が適用されるべきであるとするものの、環境保全型農業に取り組む農業は「環境財」という名の公共財を提供していることから、かかり増しコストは受益者（消費者）負担原則を採用する必要があると指摘した。
- 註 6) 柴田・梨岡（2006）は、会計の2側面である外部報告会計（財務会計）、内部管理会計（管理会計）と関連させて、林（2008）の指摘する概念を「外部環境会計」、「環境管理会計」と呼んでいる。
- 註 7) 上西（2022）は、Rogersのイノベーション普及理論の枠組みを援用して、持続可能な農業技術を導入するにあたって注意すべき事項を開発段階と普及段階に分けて明らかにし、整理した。その中で、技術の最終普及率は技術の経済メリットによって規定されることと、技術の利用を中断した理由の上位に価格があまり高くないことを挙げた。
- 註 8) 山本（2020）によると、倫理的消費は人権・労働問題や環境問題、フェアトレードなどといった倫理的問題から起業活動や商品を評価し、市民の消費行動を通じて横断的に解決するアプローチとして1980年代より議論された概念であるとする。

第1章 農業における GHG 発生の現状と削減の動向

第1節 GHG の作用原理と具体的な影響

GHG は大気圏内で温室効果をもたらす気体の総称である。代表的な GHG としては、CO₂ やフロンガス等が挙げられ、これらは一般に広く認知されている。大気中の GHG は地表面から放射される赤外線を吸収する性質を有しており、地球全体を包囲し地上熱の宇宙空間への放散を温室のように抑制することで地表の温度維持に貢献している。地球温暖化の専門家で組織され、最新の科学的知見の評価を行う IPCC（International Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル）は、産業革命以降に大気圏中の GHG 濃度が急速に上昇し、このことが地球の平均気温を今までにないペースで上昇させていることを指摘する。

国際的には、GHG 排出に関わる問題は温暖化（Global Warming）よりもむしろ気候変動（Climate Change）の問題として捉えられている。すなわち、単に気温が上昇するだけでなく、地球全体の気候が大きく変わり干ばつや冷夏、猛暑、台風の頻発といった気象災害の形で、自然環境や人の生活に様々な深刻な影響と被害をもたらすことが懸念されている。一般に、気候変動は海面上昇や生物種の喪失、疫病の蔓延による健康リスクの増大といった形で人類に影響を与えるとされるが^{註1)}、気候変動が農業に与える影響も同様に多岐に渡る。

表 1-1 気温上昇が農業の各作目に与える影響

作目	具体的な影響項目		
水稻	白未熟粒の発生	虫害の発生	胴割米の発生
	粒の充実不足	登熟不良	成熟不良
畑作物	凍霜害	小粒化	病害の発生
	着莢数の低下	湿害	登熟不良
果樹	着色不良	日焼け果	生理落果増加
	裂果	発芽不良	凍霜害
野菜	着花不良	生育不良	病害の発生
	虫害の発生	不良果	
酪農	乳量低下	斃死	繁殖低下
	疾病発生	分娩事故	
畜産	斃死	増体量の低下	繁殖低下
	飼料品質の低下	飼料の夏枯れ	

資料：農林水産省（2022）

気候変動が農業に与える影響を各作目別に整理したものを表 1-1 に示す。農林水産省（2022）によると、わが国の幅広い地域で栽培される水稻は、気温が上昇することによっ

てその地域の気候特性に合わせて開発された品種が育成しづらくなり、登熟不良や成熟不良が発生しやすくなる。温暖となることでいもち病や葉枯病の病害、ウンカやカメムシといった虫害の発生リスクも高まる。また収穫できた場合でも小粒による整流歩合の低下や、結実白未熟粒や胴割米といった外品の出現度合いが高まり、可販収量が大きく低下する一因となることが指摘されている。酪農・畜産では、暑熱ストレスによる家畜の斃死、乳量・繁殖成績の悪化といった家畜の生産性の低下があり、生産者は対策に多くの労働力を割く必要が生じる。それに加え、飼料畑でも積算気温の少ない寒冷地では、それまで栽培出来なかった晩生品種の飼料用トウモロコシが作付けられるといったプラスの影響もある一方、品種不適合による品質低下や夏枯れ等の被害が高まり、草地の維持に向けては広範囲での技術の更新が必要になる可能性が生じる。特に草地では、中辻（2018）が、北海道の飼料用トウモロコシの収量は1割増加する一方で、チモシーの年間収量が1~2割減少する可能性を指摘している。

このように、GHGによる気候変動と農業に与える影響は小さくなく、GHG排出抑制対策は、元々の生産量が低く食料自給率の低いわが国では喫緊の課題として対応をする必要がある。

第2節 世界のGHG排出における農業の位置付け

IPCC（2019）によると、世界の農業由来のGHG排出量は、2007-2016年の平均で年間62億t-CO₂eq（二酸化炭素等量：以下略）であり、全人為的起源のGHG排出量（同年520億t）の11.9%であった。一方で国内でのGDP（国内総生産）およびGHG排出量と、農林水産業の占める割合を表1-2に示す。国内のGHG排出量を調査し公表する、国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）によると、日本全体で2019年度に排出されたGHGはCO₂換算で12.1億tであった。うち、農林水産分野で発生するGHG排出量は約4,700万トンと、国内の3.9%を占めていた。わが国は世界と比較するとGHG排出に占める農業の割合が小さいが、これはわが国の食料自給率が低く、食料を海外から輸入していることに起因する。

また、内閣府（2019）によると、同年におけるわが国の農林水産業のGDPは約5.8兆円であり、全GDP（558兆円）に占める割合は1.0%であった。わが国の農林水産業は、他の産業と比較した時に、生産した付加価値に対して排出したGHGの割合が高いことが指摘できる。このことから、農林水産業においてもGHGの削減は必要であると言える。

表1-2 日本の国内総生産およびGHG排出量と農林水産業の占める割合（2019）

	全体	うち、農林水産業	割合
国内総生産（億円）	5,584,912	57,687	1.0%
GHG排出量（万t-CO ₂ eq）	121,200	4,747	3.9%

資料：内閣府（2019）、GIO（2021）

国内農業での排出箇所別 GHG 排出量を図 1-1 に示す。最も排出の多い箇所は化石燃料の燃焼によって発生する CO₂ であり、1,570 万 t と全体の 33% を占める。次いで稲作における湛水下土壌で発生する CH₄ が全体の 25% だが、家畜消化管内発酵と家畜排せつ物管理を合わせると 29% となり、畜産での排出が農業では一定程度大きいことが見て取れる。家畜消化管内発酵は、大家畜のルーメン内での繊維消化により発生する暖気（げっぷ）由来の CH₄ であり、家畜排せつ物管理はふん尿処理時にふん尿から発生する CH₄ と N₂O である。IPCC (2019) では、これらのガスは CO₂ と比べてそれぞれ 25 倍、300 倍の温室効果を持つとしており、発生量自体が少量であっても温暖化への強力な影響を及ぼしていることがわかる。このように、農業では GHG として CO₂ 以外のガスの影響が強いことが特徴であり、これらのガスの排出のある稲作と畜産において排出量の割合が高いことがわかる。

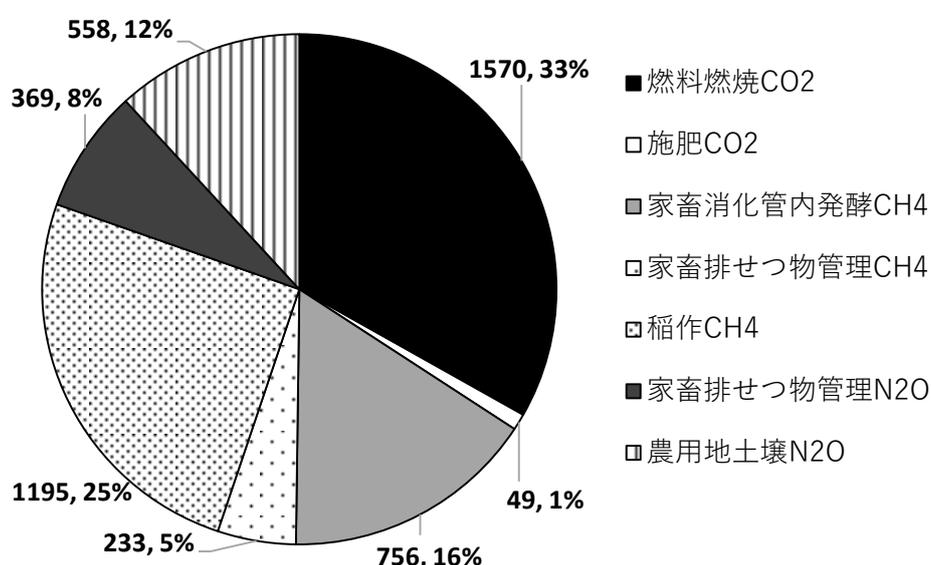


図 1-1 国内農業における排出箇所別 GHG 排出量 (単位：万 t、2019)
資料：GIO(2021)

第 3 節 環境保全型農業推進に関するわが国の政策対応

わが国の農業における環境への配慮について、農林水産省は 1992 年に環境保全機能に配慮した持続的な農業を「環境保全型農業」と定義していたが、本格的な政策への取組みは、1999 年の持続農業法に基づくエコファーマーの認定から始まっている。この中で、持続性の高い農業生産方式として、堆肥等施用技術、化学肥料低減技術、化学農薬低減技術を示し、生産者がこれら技術の導入と利用の計画を都道府県へ提出し認可されることで、エコファーマー（認定農業者）として認定されるものとした。エコファーマーは、農業機械や施設導入に当たっての資金貸付の優遇や、償還期間の延長といった支援を受けることができる制度である^{註2)}。

その後、1999 年に制定された食料・農業・農村基本法（以下、基本法）は、国内農業の

環境保全への態度を表す大きな転換点となっている。基本法では、その目的の一つに農業の持続的な発展が掲げられ、具体的な取り組みとして農業の多面的機能の向上、農業の自然循環機能の発揮・増進とした。基本法を踏まえた環境政策の具体的な計画に当たっては、食料・農業・農村政策審議会の企画部会で議論が重ねられ、2005年より新たな基本計画が策定された。基本計画では、環境の保全に配慮した基盤整備の実施や、農村の自然循環機能の維持のための環境規範の実践等への支援が盛り込まれたが、実際の政策へは打ち出されなかった。他方で、EUでは農業環境政策が広域的に行われており、2005年からは共通農業政策（CAP）の中でもデカップリングの条件として環境保全への対策が盛り込まれていたことから、生産者の補助の条件として位置付いていた。

これを受け、2007年からは経営所得安定対策大綱の中で農地・水・環境保全向上対策が実施された。この対策は、地域資源保全施策と環境保全型農業施策から成っており、後者は、地域ぐるみで化学肥料・化学合成農薬の使用量を慣行対比5割低減する取組みに対して支援するもので、初めての生産者への環境直接支払いとなっていた。その後、2011年に同対策が拡充し、新たに環境保全支払が創出され、化肥・農薬低減とセットで地球温暖化防止や生物多様性保全に効果の高い取組みについて単価を設定し、それらを実施する生産者への支援を広げた。この制度は、現在でも環境保全型農業直接支払交付金として継続運用されている。

2020年には、当時の内閣が2050年までにわが国全体でカーボンニュートラルを目指すことを宣言した。これは、2015年に日本を含む多くの国々が合意した国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）でのパリ協定に対応した脱炭素化の目標設定である。カーボンニュートラルとは、GHGの排出量から植林、森林管理などによる人為的な吸収量を差し引いて、合計を実質的にゼロにすることを意味する。この達成に向けた中間目標として、2030年までにGHGを2013年比で46%削減すると設定した。これを受け、2050年カーボンニュートラルを達成する「グリーン成長戦略」を策定し、経済と環境の好循環を作るため成長が期待される14分野を指定し、あらゆる政策をこれらの分野に総動員することとした。食料・農林水産業は分野の1つとして位置付けられ、技術開発とともに、技術と経済性の複合評価手法の開発といった普及・実装に向ける方針であることが表明された。

2021年には「みどりの食料システム戦略」が策定された。これは2020年のEUの新しい農業・食料分野での環境保全対策である「Farm-to-Fork戦略」をほぼ踏襲したものである。同戦略は、持続的な食料システムを構築し、中長期的な観点から調達、生産、加工流通、消費の各段階の取組みと、カーボンニュートラル等の環境負荷軽減のイノベーションを推進することを目的とする。具体的な目標として、2050年までに農林水産業のCO₂排出量を実質ゼロにすることを挙げ、そのための手段として、①化学合成農薬の使用量（リスク換算）の半減、②輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%削減、③耕地に面積に占める有機農業の取組み面積の割合を25%（100万ha）等の具体的なKPIを設定し、革新的な技術・生産体系を順次開発していくとともに、必要な支援を講じることとした^{註3)}。国際的には、前述のEUに加え、米国でも2020年に「農業イノベーションアジェンダ」を示し、2050年までに農業生産量の40%増加と、環境フットプリント半減を目標としている^{註4)}。

以上のように、わが国の農業に関する GHG の政策は、国際的な GHG 削減の取組みに呼応する形でこれまで進んでいる。2050 年までに GHG 排出を実質ゼロにするという数値目標が設定されたことから、農業においても GHG の削減は急務であると考えられる。

第 4 節 農業における環境保全の具体的な施策や手法

わが国における農業での環境保全の施策手法を表 1-3 に示す。農業における環境対策では、法や政令を整備した上で違反した際に行政指導や刑事罰が科される規制的手法を基本としたものが多い。一方で、近年は経済的手法により生産者へインセンティブを与える取組みが増加している。前述の環境保全型農業直接支払い交付金や、多面的機能支払い交付金は、化学肥料・化学合成農薬の削減や堆肥の施用といった一定の要件を満たすことで、直接支払いを受給できるクロスコンプライアンスとなっている。

表 1-3 わが国における農業での環境保全施策の手法と具体的な内容

施策手段	施策の具体的な内容
規制的手法	施肥：肥料取締法に基づく肥料の品質確保、 都道府県が策定する施肥指針、硝酸体窒素等に係る土壌管理指針 農薬：農薬取締法に基づく農薬登録制度、使用規制、適正使用の指導 農業資材：廃棄物の処理及び清掃に関する法律に基づく適正処理 家畜排せつ物：家畜排せつ物法に基づく適正管理の確保、水質汚濁防止法、悪臭防止法
経済的手法	環境保全型農業直接支払い交付金 多面的機能支払交付金 持続農業法に基づくエコファーマー認定者への支援措置 環境削減技術導入に対する農業改良資金等の融通
自主的手法	自治体等による環境保全型農業推進方針等の策定 持続農業法に基づく持続性の高い農業生産方式の導入計画の策定
情報的手法	有機農産物の JAS 規格による認証制度 特別栽培農産物の表示基準の提示
技術開発	環境負荷削減技術の研究開発

資料：IPCC（2019）での分類を基に作成

また、GHG 削減で行政が進める経済的手法には、カーボンプライシングと ESG 投資の促進がある。カーボンプライシングは、CO₂を主とした GHG の排出に際して排出量に応じたコスト負担を義務付ける仕組みで、大きく炭素税と排出量取引に分かれる。

このうち排出量取引では、排出削減に市場原理を導入したもので、各企業は GHG の排出目標値である排出枠を所有し、GHG の削減を進める。削減が排出量の枠に収まらない場合は、超過分を他の企業よりクレジットとして排出量市場で購入することで、削減を達成したものとみなされる。排出枠よりも多く削減ができた企業は、GHG を排出できる権利として他の企業にクレジットを販売し収益を得ることが可能となる。このことにより、企業の GHG 削減にインセンティブを付与する制度である。EU では排出量取引の制度が

すでに運用を始めており、GHG を排出する企業への参加を義務付けている。これら企業に排出量を割り当て、排出が超過した際には市場での取引価格よりも高い罰金的課税をしている。一方で、現在のわが国での排出量取引は、GHG の排出削減量や吸収量をクレジットとして国が認証して売買する J-CREDIT^{註5)} といった制度はあるものの、現状では強制的なものではなく、あくまでも企業の自主的な導入判断に基づいて行われている。農業分野では、経営の単位が一般企業よりも零細で、個々の経営体で見た場合は GHG 排出量が少なく、排出量の把握や管理も難しいことから、今後導入されるかは不明である。

ESG 投資とは、環境 (Environment)、社会 (Social)、ガバナンス (Governance) を考慮した企業への投資を意味する。国連持続可能な開発目標 (SDGs) とも関連して、企業経営の持続可能性に関わるこれらの評価指標を作成し公表することで、関心ある投資家の出資に結び付け、安定した財務基盤を確保しようとする外部報告会計の一つと位置付けられる。この考え方は、2006 年に国連の提唱した責任投資原則から始まっている。日本では、世界最大の機関投資家である年金積立金管理運用独立行政法人が、2015 年に投資先の選定に ESG を重視する姿勢を表明しており、投資を呼び込みたい企業にとっての大きなインセンティブとなった。

農業では、農林中央金庫が 2022 年に、脱炭素関連の事業へ資金供給する政府系組織「脱炭素化支援機構」に対して出資をした。同機構は、GHG の排出削減につながる事業に投資をする基金であり、GHG 削減を間接的に支援するとともに、ESG 投資としての性格も持つ。しかし、現在のところ農業への ESG 投資の動きは大きくない。これは、わが国の農業では中小規模の家族経営が太宗を占めており、所有と経営の分離がされていないことと、農業の収益性が他産業との比較で高くなく、投資家による投資の対象とはなっていないことに起因すると考えられる。

以上のように、わが国の GHG 削減の取り組みにおいて、市場原理を導入した経済的手法は進みつつあるが、未だ制度が確立していない状態であると言える。特に農業では、個々の経営体の規模が小さくないことから、一般企業が導入を検討する GHG 削減の取り組みを当てはめづらいことが多く、適用が遅れているものと考えられる。

第5節 小括

GHG の影響とされる気温上昇や気候変動は、既に国内外でも様々な影響が指摘されており、わが国でも国際的に強調して取り組むべき課題の一つである。わが国の農業での GHG 排出は国内全体の排出の 4%弱であり、農業の大きな排出源とは位置付けられてはいないが、国内での付加価値生産の視点から見た場合、付加価値当たりの排出量は平均より高い。その意味において農業は、国内でも重点的に GHG を削減すべき分野の一つと位置付けることができる。

現在実施されている GHG 削減の取り組みは規制的手法により行われているものが多く、公的な規制であることから、現状では経営者のインセンティブに繋がらない強制的な手段が主となっている。民間におけるカーボンプライシング等の市場化も進みつつあるが、みどりの食料システム戦略に掲げられた、2050 年までに GHG 排出の実質ゼロという目標を達成するためには、生産者の自発的な削減が不可欠である。生産者の農業生産における意

思決定の枠組みの中に GHG 削減の要素を入れる必要があることが確認された。次章からは、農業を対象として環境評価手法である LCA の実態分析を通じ、環境情報が農業経営に有用な情報と認知されるためのプロセスごとに明らかになる情報とその有効性を示す。

註1) 農林水産省(2020)は、日本の年平均気温は、100年当たり1.24°Cの上昇で年変動も大きかったことを指摘している。つまり、このことは温暖化が徐々に高くなるのではなく、高温年や低温年を繰り返しながら平均気温が上昇トレンドとなることを意味する。また、1時間降水量50mm以上の年間発生回数は、2009-2019の10年間で平均327回であり、1976-1985と比較して1.4倍となっていることから、水害リスクの増加も指摘している。

註2) エコファーマーの制度は、2022年7月に廃止となり、みどりの食料農業基本計画の中に組み込まれる形となった。

註3) 農林水産省では、所管する農林水産技術会議の戦略プロジェクト研究「農業分野における気候変動緩和技術の開発(2017-2021年度、代表機関：農研機構)では、農業分野での気候変動緩和技術の開発を進めてきた。このプロジェクトでは、経営体レベルでGHG20%削減を目標と設定した上で、削減技術の開発を進めている。排出源として大きな割合を占める畜産部門での対策は、柱の一つとなっている。畜産では、遺伝的にゲップの少ない牛の選抜や、バイオガスふん尿処理技術の効率向上、エサの改善等に取り組んでおり、現在も技術研究が進んでいる。また、農地土壌や農作物は光合成を行うことでCO₂の大きな吸収源になるとも考えられており、これは農業以外の他産業では得られない特徴である。CO₂の吸収量を正確に測定し、トータルで農業全体が果たしてどの程度地球温暖化に影響しているかも精査されている。

註4) 中国は2020年の国連総会における一般討論演説において、GHGの国内排出を2030年までにピークにした上で、2060年までにカーボンニュートラル実現を目指して努力することを表明している。この他にも、123カ国の国が2050年までにカーボンニュートラルを達成することを表明している。

註5) J-CREDITの活用例として、北海道は2023年度から2030年度までの間に、道内の森林が吸収するCO₂のうち約60万トンを経営者に登録する計画を立てている。このオフセット枠の販売収益は森林再生の政策予算に使用され、更なる森林資源の充実と道内におけるGHG排出実質ゼロ化を目指している。

第2章 酪農における GHG の排出場面と削減効果の定量化

第1節 背景および目的

本章の目的は、環境情報の情報収集・集約に相当するプロセスに着目し、農業における一つの GHG 削減技術による環境への影響に関する情報を集約することで、何が明らかになり、どのような効果を得られるかについて示すことである。本章での分析対象は、酪農におけるふん尿処理で発生する GHG を削減するバイオガスプラント(嫌気発酵)とした。酪農におけるふん尿処理問題は、周辺環境に与える影響から現在最も深刻なもののひとつである。「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」によって、酪農家はふん尿への雨水の混入と、地下へのふん尿成分の流出に対策を施した堆肥施設を設置する義務が生じる。その中で、注目を集めているふん尿処理の1つにバイオガスシステムによる嫌気発酵処理(以下、BS)がある。空気を遮断した嫌気下でふん尿を発酵処理することで発生した CH₄ を捕集し、燃焼させて電気や熱を得る仕組みである。温暖化負荷の高い CH₄ を大気中に放出することなくエネルギー源として有効利用し、かつそれを燃焼させて相対的に温暖化負荷の低い CO₂ とすることで、温暖化負荷削減の効果も期待されている。これらの技術を環境的な見地から評価するためには、評価対象の一連の生産過程にわたる総合的な分析と、異なる技術間での比較をするための数値による負荷定量化が必要である。

そこで本章では、北海道根室管内の別海町にある共同利用型バイオガスプラントを対象とし、酪農経営の BS によるふん尿処理で発生する GHG について LCA を適用し評価を行う。また、事例農家が従来処理を継続していた場合と比較し、ふん尿処理方式の違いで生じる環境負荷の差を定量的に把握することで、個別技術の導入によって GHG を改善できる余地を検証する。

第2節 分析手法と LCA 評価範囲

1) 分析手法

(1) Life Cycle Assessment (LCA)

本章では、環境影響の分析手法として LCA を用いた。LCA とは、ISO が認定する環境評価分析手法である。この分析の特徴は、評価対象の放出する環境負荷を国際規格化された基準に従い、製品の一連のライフサイクルの中で積算して定量化できることにある。

図 2-1 は LCA での環境負荷の捉え方を示している。既存の環境評価は評価対象の生産や消費のみを捉えたものが多く、プロブレム・シフティング(負荷の転嫁)を考慮することができなかった。例えばある新製品について考えてみると、その製品を消費する際には従来よりも負荷の発生が少ないが、廃棄時にその減少分を上回る負荷が発生する場合、この問題は評価の範囲の外であった。LCA ではそのような弊害を防ぐため、製品の全過程について細かく評価をすることで範囲の問題をカバーすることができる。また、定量化をすることで比較や減少率の測定が可能となることから、より実用的な環境評価として位置付けられる。

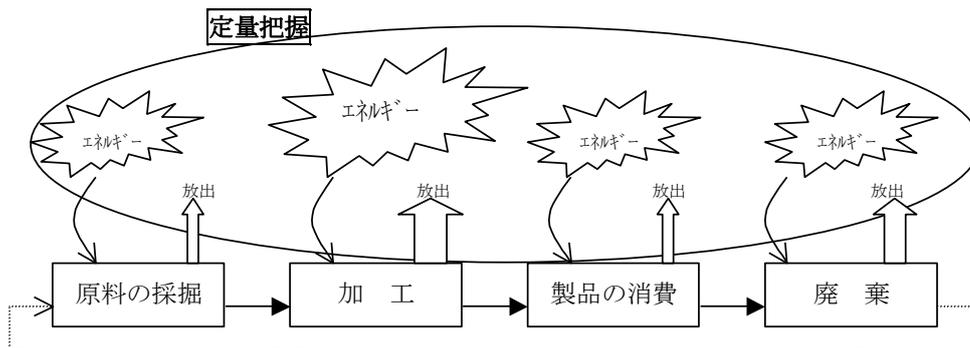


図 2-1 LCA 評価の概念

資料：石谷（1999）を基に筆者作成

（2）LCA の手順

国際規格 ISO14040 シリーズに基づく LCA では、評価実行者の恣意を排除した客観的評価の遂行のために、目的と範囲の設定、ライフサイクルインベントリ分析、ライフサイクル影響評価、ライフサイクル解釈と 4 段階の作業を経ることが求められている。

① 目的と範囲の設定

分析の前段階として、評価を実施する目的と評価対象、評価する環境影響項目を決める。そして、詳細な実態調査を行い評価対象のライフサイクルフローを作成する。ライフサイクルフローとは、評価対象が生産されてから廃棄されるまでの過程と、そこで投入されたエネルギーや発生した環境負荷を図式化したものである。これによって分析の範囲を設定し、どのようなデータを収集するのかを特定する。

② ライフサイクルインベントリ分析 (LCI)

LCI では、作成したライフサイクルフローに従って、環境負荷物質の各発生過程でその発生シナリオをたて、収集したデータから発生量を算定する。採用した計算方法と使用した原単位は明示されることが求められる。そして全過程での発生量を積み上げたインベントリ表を作成する。この時、排出量が総排出量と比較して著しく小さく、総体に影響を与え得ない程度（概ね 1%未満）の過程については、これをカットオフして計算の煩雑化・肥大化を防ぐ。

③ ライフサイクル影響評価

インベントリに記載される値は、種類別の環境負荷物質の発生総量であることから、数値は複数存在する。そのため、そのままでは影響の度合いの判断が難しく、また異なった技術の評価や、同一技術内の異なった過程間での比較もしづらい。そこで、自然科学の分野で設定された特性化係数を用いて、複数の負荷物質をそれぞれを代表的な負荷物質に換算した値であるインパクトを計算し、合計する（図 2-2）。GHG 評価の場合は、発生する複数の GHG の排出量を全て CO₂ に換算して CO₂-eq (二酸化炭素等量) として表現する。

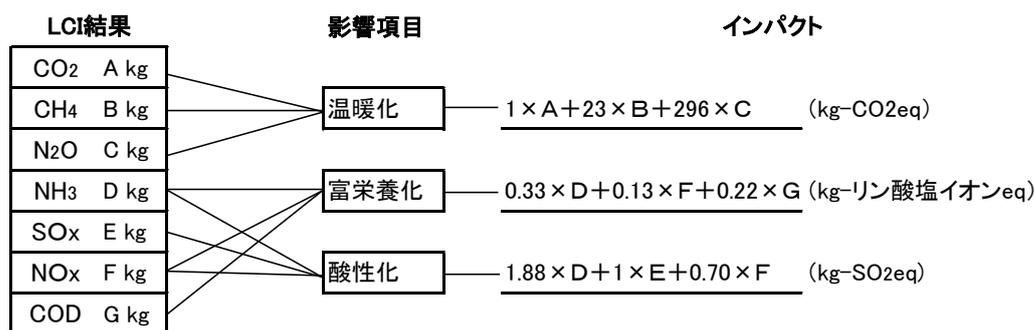


図 2-2 ライフサイクル影響評価

資料：石谷（1999）を基に筆者作成

④ ライフサイクル解釈

精度を確認するためのチェックを行った後、得られたデータを基に技術内の評価や技術間の評価を行い、結論や提言を導き出す。

2) 評価対象

評価対象として、北海道別海町にある（独）北海道開発土木研究所の寒冷積雪地資源循環プロジェクトバイオガスプラントを取り上げた。別海バイオガスプラントは別海町中西別地区にある 10 戸の酪農専業農家の共同によるふん尿処理施設である。ここでは経営内で発生したふん尿をプラントに搬入、メタン発酵して得られるバイオガスの燃焼によって熱や電力などのエネルギーを生産し、処理後の消化液を草地散布して還元する仕組みをとっている（図 2-3）。CH₄を燃焼して生産されたエネルギーは、プラント内の動力として使われるほか、余剰分は電力会社へ販売されている。

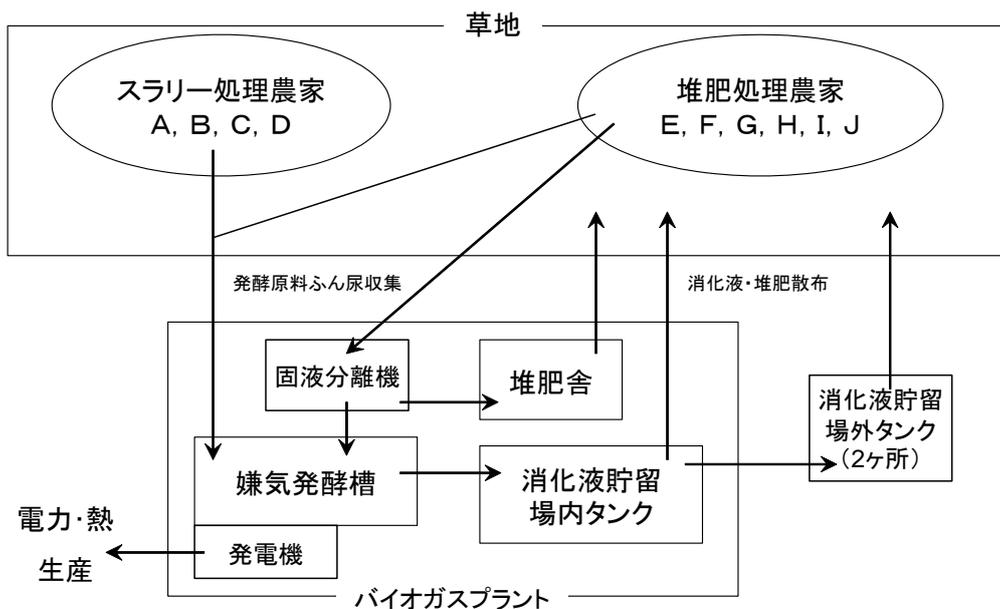


図 2-3 別海大規模共同利用型バイオガスプラント

資料：調査結果より作成

ふん尿の搬入は、その性状によって異なる形態をとる。主にフリーストール（FS）農家で採用される、スラリー処理から出るスラリー等の水分含有率の高いものは、一時的に農家に設置した小規模地下ピットに貯留しておく。それらは、プラント職員がプラント所有のアームロール車に付属のバキュームタンクを搭載させて週2～3回のペースで収集する。一方、主にタイストール（TS）農家が採用する堆肥処理から発生するふんなど水分含有率の低いものについては、農家にコンテナを置いておき、日常はそこに投入してもらう。そして、コンテナ内容量が一定に達した時に、プラント職員がアームロールでコンテナごと交換する仕組みをとっている。

プラント内での作業は、全て常駐する2人のプラント職員が行っている。職員は、搬入されたふん尿の移動、発酵管理、機械の点検、固液分離、堆肥の製造、発酵後消化液の一部場外タンクへの搬出等の日常業務を担う。この時、作業で使用される電力は、プラントで発電されたものを補完することで、商用電力の購入量を抑えている。その上で余剰となった電力は、北海道電力へ販売することで収入を得ている。

プラントからの搬出作業は、圃場への散布作業とほぼ連続的に実施されており、これらの一部を除いて農家自身の手によって行われる。自己所有のスラリースプレッダー、マニュアルスプレッダーで、プラントか若しくはプラントから距離がある農家のための中継地点の役割を果たす2ヶ所の場外タンクまで行き、そこで積載した消化液・堆肥を圃場まで運搬し、散布している。

表 2-1 にこのプラントにふん尿を搬入している農家の経営概要を示した。飼養形態はFS3戸、TS7戸であり、FS3戸のほかTS農家のうち1戸の計4戸がスラリー処理でスラリーをプラントに搬入するが、TSの6戸は固形ふんの形態で搬入する。参加農家の所有乳牛の合計頭数は、成牛換算にしておよそ1,000頭であった。

表 2-1 参加農家の飼養概況

農家記号	A	B	C	D	E
飼養形態	FS	FS	FS	TS	TS
従来ふん尿処理	スラリー	スラリー	スラリー	スラリー	堆肥
経営耕地面積 (ha)	68	80	59	46	48
搾乳牛 (頭)	64	107	60	51	68
乾乳牛 (頭)	5	4	10	4	0
育成牛 (頭)	35	70	34	35	40
敷料	麦稈	牧草、おがくず	麦稈	麦稈	牧草
プラント距離 (km)	4.5	1.2	1.4	2.2	0.5
農家記号	F	G	H	I	J
飼養形態	TS	TS	TS	TS	TS
従来ふん尿処理	堆肥	堆肥	堆肥	堆肥	堆肥
経営耕地面積 (ha)	58	38	75	72	51
搾乳牛 (頭)	77	46	74	62	43
乾乳牛 (頭)	0	4	3	11	3
育成牛 (頭)	43	37	47	43	22
敷料		麦稈	おがくず	稲わら	牧草、麦稈
プラント距離 (km)	3.7	2.5	2	1.3	1.7

資料：調査結果より作成

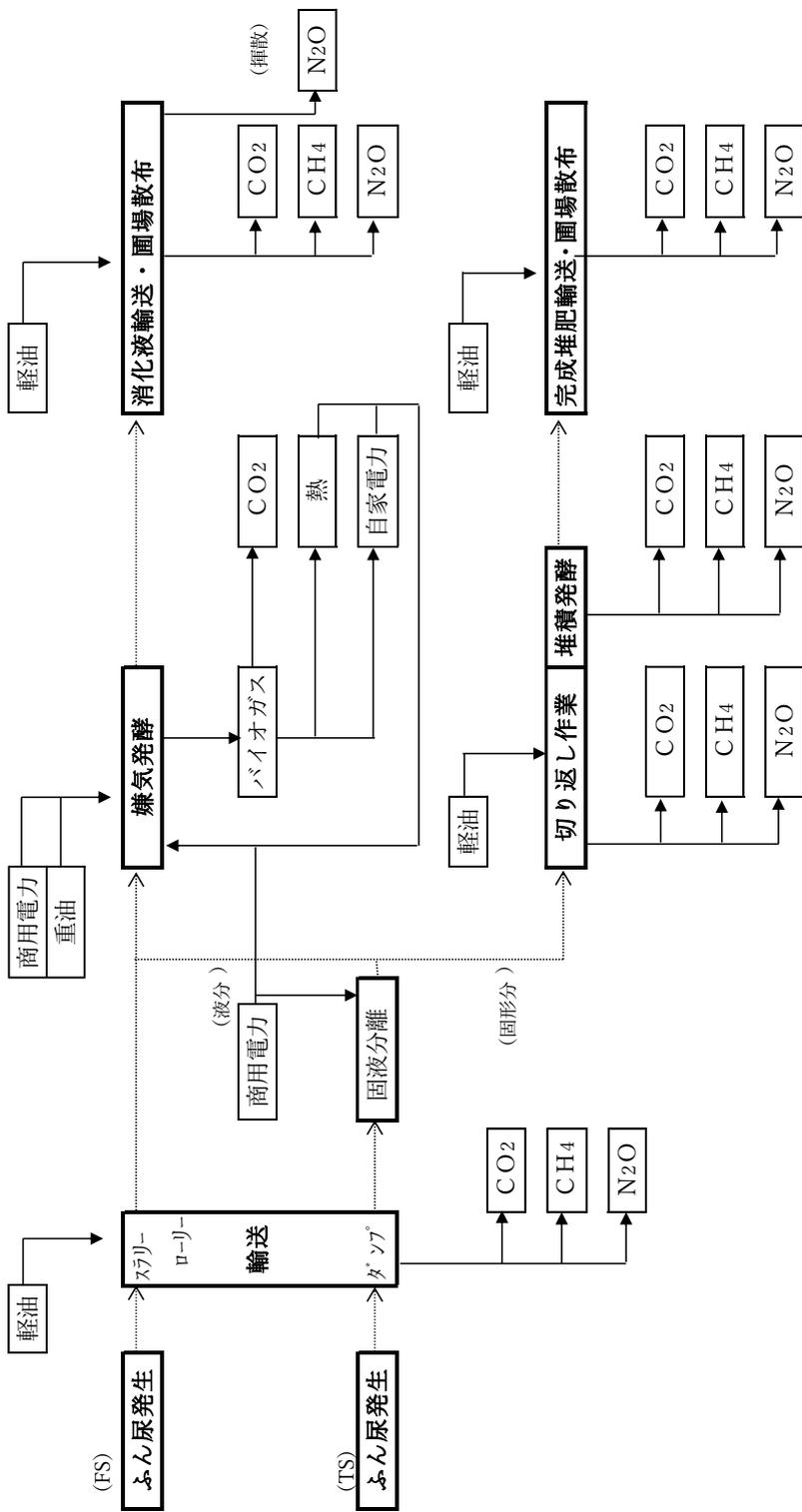


図 2-4 BS 糞尿処理における評価範囲

3) 評価範囲

本分析による対象期間は2002年4月～2003年3月までの1年間とした。分析項目は温暖化のみに限定し、発生量を算定するGHGはCO₂のほか、CH₄(メタン)、N₂O(一酸化二窒素)の3種類とした。機能単位は参加農家の搬出したふん尿1tとした。

BSの評価範囲は図2-4に示すふん尿処理過程と設定した。別海大規模共同利用型バイオガスプラントによるふん尿処理での主なGHGの発生源は、大きく以下の3種類に分類される。1つは、車両等の動力源や熱源としての化石燃料の燃焼、2つ目に、商用電力の使用時、その電力の生産のための化石燃料燃焼、そして最後に、発酵や揮散などといった形でふん尿そのものからの発生である。さらに分解すると、温暖化負荷発生過程は、①ふん尿をプラントに搬入する機材の燃料燃焼、②プラントが使用する商用電力の生産、③プラントが使用する重油の燃焼、④プラント内作業用機器の燃料燃焼、⑤固液分離後固形分の堆積発酵、⑥消化液の貯留時揮散、⑦消化液・堆肥を搬出する機材の燃料燃焼、⑧消化液・堆肥を散布する機材の燃料燃焼、⑨散布後圃場の消化液・堆肥からの揮散の9つに分類することができる。ここで、ふん尿の嫌気発酵で発生したバイオガスを燃焼した際に出るCO₂と、堆積発酵時や散布後に発生するCO₂については、化石燃料を除くバイオマス由来のCO₂が、植物体の成長によるCO₂吸収と等量であると考えカーボンニュートラルの考え方に従って、算定から除外した。

また、比較対象として、これらの農家の従来のふん尿処理過程(以下、従来型)を図2-5のように設定した。従来型処理は基本的に自己の経営内で完結するため、大規模な搬出入を必要とせず、ふん尿の移動が大規模共同利用型バイオガスプラントに比べて少なく、処理の過程もより単純であることがわかる。比較の公平性を保つため、インベントリ分析では、処理をするふん尿量や散布量をBS処理での設定値と同一とした。スラリーは蒸発・揮散による重量減少を考えないこととし、堆肥発酵時の重量減少率は北海道立根釧農業試験場(1999)での測定値を用いた。その他の原単位も、BSで使用したものを準用し、新たに、乳牛の尿を単独で散布した際のN₂O発生原単位は赤井ら(2001)を引用した。

4) 評価モデル

図2-6に、別海バイオガスプラントの評価対象期間内でのふん尿、消化液、堆肥の流れを示す。輸送量はプラント職員や農家の記入が基になっており、記入忘れなどから搬入・搬出総量の均衡が取れてないものについては推定により調整した。

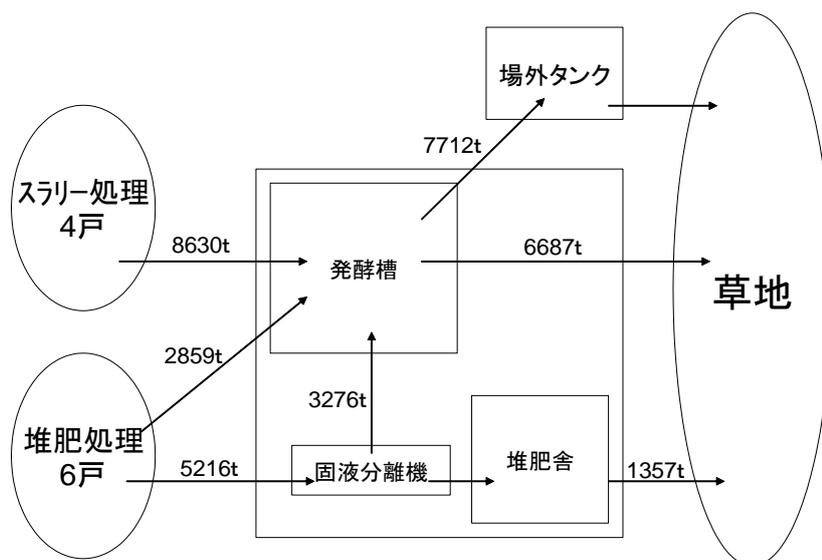


図 2-6 別海バイオガスプラントにおけるふん尿、消化液、堆肥の流れ
資料：調査結果より作成

以下に、各排出過程での排出量の推定モデルを示す。

① ふん尿をプラントに搬入する機材の燃料燃焼

軽油をエンジンで燃焼させることによって CO₂、CH₄、N₂O が発生する。プラントへのふん尿の搬入は、プラントの所持するアームロールと、付属品のバキュームタンク、コンテナによって行われている。搬入の回数は重量と共に日報がつけられており、プラントから各農家への道のりの実測値から実際の走行距離が推定できる。搬入機器の軽油消費による GHG 発生量は、推定走行距離と燃料消費量を基に、南齋ら（2002）の消費量当たり CO₂ 発生原単位と、環境省（2002a）の輸送距離当たり CH₄、N₂O 発生原単位より算出した。運搬車両の燃費については、コントラクターからの聞き取りより、バキュームタンク搭載時アームロールを 1.5km/ℓ、コンテナ搭載時アームロールを 2.5km/ℓ とした。

② プラントが使用する商用電力の生産

商用電力はその使用時には温暖化負荷の発生は伴わないが、発電時に多量の化石燃料を燃焼させることから、燃焼の際の温暖化負荷発生を捕捉した。ここでは送電線による電力損失は考慮に加えず、プラントでの使用量からプラントで生産された電力量を控除したものを、発電所での発電量と考えた。プラント内で使用した商用電力量はプラント記録より採取し、北海道電力（2003）の公表する電力生産時の CO₂ 排出原単位より算出した。

③ プラントが使用する重油の燃焼

対象期間内の重油の購入量を使用量とみなした。別海プラントには余剰熱の有効利用を目的とした温室があるが、温室の補助熱源として燃焼された重油はインベントリから除外した。購入量はプラント記録より採取して、温室に使われた重油量を控除した後、南齋ら（2002）の重油燃焼時発生 CO₂ 原単位に使用量を乗じて算出した。

④プラント内作業用機器の燃料燃焼

プラント内作業用機器とは、搬入されたふん尿の場内移送のために使用されるホイールローダ、スキッドローダを指す。これらも②③と同じくプラントでの軽油購入量と、南齋ら（2002）の重油燃焼時発生 CO₂ 原単位より算出した。

⑤固液分離後固形分の堆積発酵

堆積発酵の原料になるふんは、固液分離機に投入された固形ふん尿処理農家からのふんの分離固形分である。分離機の固液分離割合は、北海道立根釧農業試験場（1997）による試験値を用いた。この過程では CO₂、CH₄、N₂O が発生するが、この内 CO₂ には前述のカーボンニュートラルの考え方に従いインベントリの対象外とした。

堆積発酵で発生する CH₄ と N₂O は、それぞれ固形分内の有機物量と T-N（全窒素）に堆積発酵中の発生原単位を乗じて求めた。固形分中の有機物量と T-N は北海道開発土木研究所（2002）での測定化学成分値を、堆積発酵中の発生量原単位は畜産技術協会（2002）より引用して算出した。

⑥消化液の貯留時揮散

発酵後の消化液はメタン発酵後の残渣であるため、有機物含量は低下しているものの一時貯留の間に揮散が起こる。揮散は、貯留施設の形状や被覆の有無によっても大きく異なる。ここでは、木村ら（1998a、1998b）より固形分濃度 9%のスラリーをメタン発酵処理した後に生成された消化液を 5~20°C の条件で密閉貯留し、貯留槽から発生した CH₄ 量を、スラリーでの値との比較より推定し、さらに、Umetsu et al.（1992）より固形分濃度の違いがバイオガス発生量に与える影響を推定することで、対消化液中有機物 CH₄ 発生原単位を作成し、これを利用した。CO₂ は⑤と同様にカーボンニュートラルを適用した。

⑦消化液・堆肥を搬出する機材の燃料燃焼

プラントから搬出される消化液・堆肥の正確な数量と回数は、搬入時と同様に日報から把握できるため、搬出機器を 1 回の搬出規模より尿散布機、スラリーローリーの 2 つに区分し、推定走行距離と燃料消費量より計算した。しかし、評価開始の 2003 年 9 月時点でプラントにそれ以前の保有があるため、搬出物がどちらの評価期間内で作られたものかの峻別は困難であった。そこで、散布した消化液の量は期間内に嫌気発酵槽に投入された液分と同量とし、堆肥は北海道立根釧農業試験場（1999）の分離固分重量に、堆肥化による減少割合を乗じて算出した分を、対象期間内で生産された堆肥とみなした。

⑧消化液・堆肥を散布する機材の燃料燃焼、

消化液の散布は搬出を必ず伴う行為であり、同一機材を使用して連続して行う作業のため、散布回数は搬出回数と同一と見なし得る。散布作業に要する時間は、1 回分を一律 5 分と考えて総作業時間を推定し、北海道農政部農業改良課（1999）の時間当たり軽油消費量に乗じた。堆肥散布時の機材燃料消費量は、北海道農政部農業改良課（2000）の単位面積作業量当たり軽油使用量に、推定散布面積を乗じて求めた。

⑨散布後の消化液・堆肥からのガス揮散

圃場では散布後消化液と堆肥から N_2O が揮散する。堆肥からの揮散量は、⑦で求めた推定散布量に北海道開発土木研究所（2002）の堆肥中化学成分値と、畜産技術協会（2002）のふん尿中成分 1 kg 当たりガス揮散原単位を利用して計算した。

第3節 インベントリ分析結果

1) バイオガス処理によるインベントリ分析

共同利用型バイオガスプラントの稼動に伴う放出 GHG インベントリを表 2-2、図 2-7 に示す。別海バイオガスプラント稼動に伴う総温暖化負荷量は CO_2 -eq（二酸化炭素等量）でおよそ 859 t となり、ふん尿 1 t につき 62.8kg CO_2 -eq と算定された。

過程別の排出割合を見ると、固液分離後固形分の堆積発酵によるガス放出が全温暖化負荷の 47% と、ほぼ半分を占めた。また、重油の燃焼によるガスの発生も温暖化効果の 6 分の 1 弱を占め、施設使用商用電力と圃場での N_2O 揮散が 1 割を超えていた。一方で、共同利用型のコスト面での負担となる各農家から施設へのふん尿搬入で発生する CO_2 は全体の 2% であり、大きな影響とはなっていないと考えられた。このことから、大規模共同利用型バイオガスプラントを組織する上で、参加予定農家のプラントまでの距離は、環境面では大きな影響を与える要因ではないことが示唆された。

2) 従来型ふん尿処理によるインベントリ分析

次に、別海バイオガスプラント参加農家が集中型 BS を選択していなかった場合、つまり FS 農家ならばスラリー処理、TS 農家は堆肥化と尿の貯留を行っていた場合の温暖化負荷の評価結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 は従来型ふん尿処理をシミュレーションした場合の GHG 排出量のインベントリ分析結果である。GHG の放出される過程は少ないが、全体を通して CO_2 換算で 1,207 t の温暖化負荷があると算定された。機能単位では、搬入されたふん尿 1 t につき 88.3kg CO_2 -eq と算定された。過程別に見ると（図 2-8）、固形分堆積発酵の割合が非常に高く、スラリー・尿の貯留過程と合わせて 9 割以上の負荷が散布前で発生していた。

表 2-2 バイオガス処理のインベントリ分析結果

(kg)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
搬入時燃料消費	14,201	0.1	0.23
固形分堆積発酵	—	1,216.3	1,264.40
施設使用商用電力	120,411	—	—
重油消費	140,145	—	—
作業用機械燃料消費	18,897	0.2	0.32
搬出時燃料消費	8,405	0.1	0.21
散布時燃料消費	38,151	0.4	0.64
散布後揮散	—	—	392.20
気体別合計	340,210	1,217.1	1,658.00
特性化係数		1	23
	340,210	27,993	490,768
温暖化負荷合計	859t-CO ₂ eq		

資料：調査結果より作成

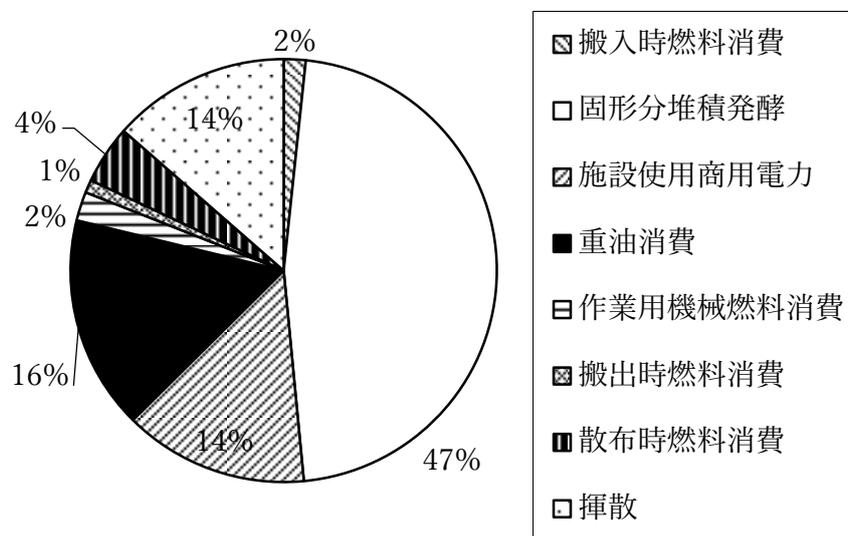


図 2-7 バイオガス処理の過程別 GHG 排出割合

資料：調査結果より作成

表 2-3 従来型ふん尿処理のインベントリ分析結果

(kg)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
固形分堆積発酵	—	2,455.7	2,311.02
スラリー・尿貯留時揮散	—	3,554.4	896.35
散布時燃料消費	29,756	0.3	0.50
散布後揮散	—	1,004.5	222.69
気体別合計	29,756	7,014.9	3,430.56
特性化係数	1	23	296
	29,756	161,343	1,015,445
温暖化負荷合計	1,207t-CO ₂ eq		

資料：調査結果より作成

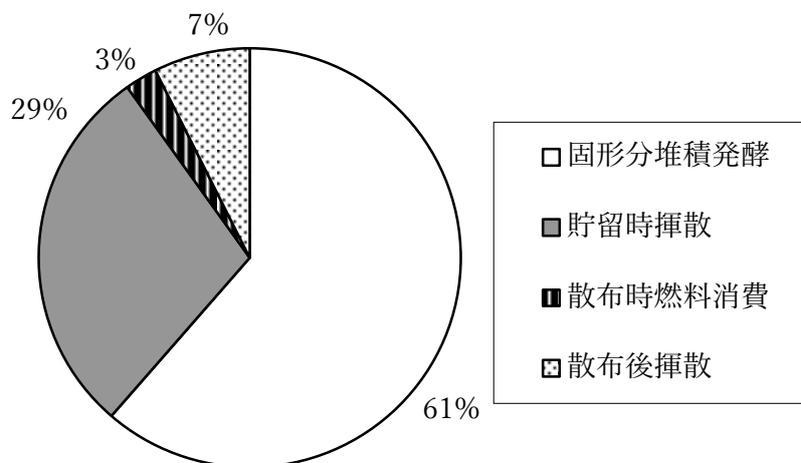


図 2-8 従来型ふん尿処理の過程別 GHG 排出割合

資料：調査結果より作成

第4節 小括

本節では、前節で算定されたデータから、ふん尿処理による GHG 排出の特徴と BS の温暖化に与える影響について小括し、経営者が大規模共同利用型バイオガスプラントの建設を計画する際に留意すべき点について考察する。

第1に、表2-2と表2-3を見ると、温暖化負荷の発生気体別では、CH₄、N₂Oによるものが全体の過半を占める。ふん尿処理による温暖化負荷削減を目指すためには、化石燃料の使用量を減らすことよりも処理の不十分なふん尿からの CH₄、N₂O 発生を抑えることがより重要である。

第2に、BSのほうが出 GHG の総量では多いものの、温暖化負荷は従来型の71%になっている。このことから、BSは従来型ふん尿処理に比べて稼動において温暖化負荷発生量の少ない技術であると考えられる。ガス放出総量と温暖化効果の逆転の理由として、発生ガスの構成の違いが挙げられる。BSで発生している GHG の総量は、その99%が燃料消費に由来し、発生量は従来型の11倍になっている一方、温暖化効果の高い CH₄ や N₂O を見ると、両者とも放出量が著しく減少している。特に CH₄ が従来型に比べて17%に減少している点は、BSの特徴である CH₄ の有効活用を顕著に示している。すなわち、BSは従来型のふん尿処理と比べて、発生する GHG の総量が多いものの、温暖化負荷の高い GHG の発生量を大きく削減することにより、全体で温暖化負荷の削減を可能にする技術であるといえる。

第3に、搬入されるふん尿の性状について、図2-7と図2-8より、一連の処理過程の中でも、特に固形分堆積発酵の占める割合が総負荷の約半分を占めていることが分かる。堆積発酵は堆肥化と同じものであり、図2-5のライフサイクルフローにもあった通り嫌気発酵の行程から切り離されて処理が行われている。これは、固形分を発酵槽に投入すると、固形分の中のワラや麦稈が嫌気発酵槽で詰まりを起こしてしまうことや、ワラや麦稈は難分解性であり嫌気発酵でも分解に時間を要すことに起因する。これは、バイオガスプラントの利点であるエネルギー生産の原料となる CH₄ を、利用せずに大気中へ放出していることを意味する。

第4に、作業過程別に見ると、大規模共同利用型に見られるふん尿の大規模な搬出入は、環境に与える影響の点ではそれほど高くなく、前述の嫌気発酵から切り離された堆積発酵の過程が最大の負荷発生源である。このことは、堆積発酵を必要としない処理システムの構築が温暖化負荷削減に大きく貢献すると換言できる。大規模共同利用型バイオガスプラントでは、搬入されたふん尿をできるだけ多く嫌気発酵に供することが、温暖化負荷削減に効率よいと判断される。具体的には、ふん尿中の敷料、ワラ、麦稈の細断の徹底や、プラントでのマセレーターの設置により、プラント発酵槽に投入すると故障を惹き起こす夾雑物を削減することが肝要となる。貯留槽を密閉形式にするなど、貯留時揮散を抑制する施設の整備も有効であると考えられる。また、参加農家のプラントからの距離の増加による運搬時の化石燃料は全体の GHG 排出中の寄与度が低いことから、距離が離れた経営体からもスラリー搬入を受け入れるなど、組織形成の時点から考えるべきものも挙げられる。

また、いずれの処理方式でも、温暖化負荷の最大の発生源はバイオガス処理に適さない

固形物の堆積時であることから、負荷削減の技術は、固形分割の減少する飼養形態や前処理方法の開発がより効果的であると考えられる。

酪農経営のふん尿問題には、環境問題のほかに投資の問題が存在する。ふん尿処理施設への投資は高額であり、かつ短期的には収益の増加へと直接繋がらないことから、一般に経営者は投資の優先順位を下げる傾向がある。GHG に関する評価を施した後は、投資に当たっての必要なコストと GHG 削減の関係を示す必要がある。

本章では、LCA を用いて嫌気発酵・好気発酵によるふん尿処理それぞれの温暖化負荷発生量の定量化をし、それらの比較を試みた。分析の結果、従来のふん尿処理における GHG の発生は、固形ふんの発酵時やスラリーの貯留時といった堆積・貯留過程で大きいことから、この過程での GHG 排出を削減することがふん尿処理全体での GHG 排出量を減らすことに貢献できることが確認された。BS は従来のふん尿処理を実施するのに比べて温暖化負荷を減少させる効果があるが見られ、定量値をもとに判断をすることが出来る。農業における GHG 発生では1つの排出工程での排出の集中度が高いホットスポットがあり、その場合は単体の技術導入でも GHG を大きく削減できる可能性がある。農業における GHG の削減では LCA を実施し行程全体での GHG 排出を概括することで、削減すべき箇所を特定できると考えられ、削減技術を導入することによる同一経営内での削減効果も算定することが可能である。

第3章 クリーン農業における資材の削減とコスト・GHG に与える影響

第1節 背景および目的

本章の目的は、環境情報の情報開発・評価に相当するプロセスに着目し、特に経営内に比較する慣行農法がある場合について、農業における環境保全型農業の取組みを GHG 排出量とコストの両面から分析することでどのような知見が得られ、どういった効果を得られるかを示すことである。分析事例は施設園芸作における特別栽培の導入である。

農林水産省が公表した 2011 年度の戸別所得補償制度では、それまでの農地・水・環境保全向上対策を拡充して新たに環境保全支払が創出され、化学肥料と化学合成農薬の使用量を慣行対比で原則 50%以上低減することが、支援の対象となる要件の1つとして設定された。また、海外に目を転じると、欧州委員会による CAP 提案では、2013 年以降の生産者への政策援助として直接支払いを重視し、なおかつ環境保全への支払いを直接支払いの 30%にすることが明記された。今後、農業経営への公的支援には環境保全とのクロスコンプライアンスがより重視されることが考えられる。ただし、化学肥料や化学合成農薬といった資材の使用量を減少させる過程において、そのことがコストや GHG 排出に与える影響については明らかになっていない。

以上の整理に基づき、本章では施設園芸であるトマトを対象に、生産資材の使用量を削減したクリーン農業において、生産コストと GHG 排出量に与える影響を明らかにする。具体的には、農産物の生産のために消費した経済費用の合計である生産費を用い、コストと GHG の慣行栽培との比較、並びに発生行程の違いを明らかにする。

第2節 分析対象と経済性分析及び LCA の方法

分析は、施設園芸の夏秋どりトマトにおける減化学肥料・減化学合成農薬栽培（以下、減・減栽培）を対象とし、初めに慣行栽培と特別栽培の 10a 当たり生産費と労働時間を算出した。生産費は、物財費に労働費を加えた費用合計の項目について、農林水産省農産物生産費調査に準じてデータ取得を行った。

次に、地球温暖化負荷を示す GHG 排出量を定量した。評価範囲を図 3-1 に示す。LCA では、トマト栽培に起因して生産場面で排出される GHG を直接排出、トマト生産で消費した財・サービスの製造場面までさかのぼり排出される GHG を間接排出とし、その合計を見る Hybrid-LCA を適用した。図 3-1 の直接排出の項目設定では、圃場からの排出は、国立環境研究所（2011）に基づき、「土壌への化学肥料施肥」、「有機質肥料施肥」、「大気沈降」、「窒素溶脱・流出」の4つとし、積上げ法により定量した。化学肥料と有機質肥料の施肥量は、調査値を用いた。化石燃料燃焼からの排出は、使用量の調査値に国立環境研究所（2011）のエネルギー排出原単位を乗じて求めた。

間接排出の項目設定では、生産費調査で入手した各生産者の所属する農協の組合員勘定（クミカン）を用いて、1つひとつの購買データを、南齋ら（2002）の 399 部門産業連関表に対応させ、産業連関法により算出した。ただし、光熱動力費の電力に関する費用は、化石燃料燃焼と同様、使用量に国立環境研究所（2011）のエネルギー排出原単位を乗じて

求めた。また、堆肥の発酵過程における GHG 排出量は、前章と同様とした。産業連関法を利用した GHG 排出量把握は、物財費から固定資産に係る項目を除外した部分を評価範囲とした。機能単位には、トマト栽培面積 10a とトマト 1 kg の 2 つを用いた。

生産費調査の事例とする経営の選定にあたって、道内におけるトマトの減・減栽培への取り組み状況を見るため、北海道の独自認証制度である YES!clean の登録集団数と、化学肥料及び化学合成農薬の削減率を表 3-1 に示した。地域別の特徴について、以下のことが指摘できる。

表 3-1 トマト栽培における YES!clean 登録集団数

地 域	集団数	化学肥料 削減率 (%)	化学合成 農薬削減率 (%)
空知	5	8	35
上川	3	-	40
渡島	3	43	33
網走	3	16	52
胆振	2	-	30
釧路	2	12	34
日高	1	23	30
後志	1	-	30
全道	20	9	40

資料：YES!clean 登録集団（2010 年）HP より作成

註）資材の削減率は、各地域の登録集団での平均を示す。

第 1 に、YES!clean 登録集団の中で特別栽培基準に到達している集団は見られなかった。第 2 に、減・減栽培の取り組みは道内の各地域に散見され、特定の地域に集中する傾向は認められなかった。第 3 に、化学肥料の削減率では、地域間で大きなばらつきが存在し、一部では道内における慣行の設定値よりも増加している例が見られた。以上より、トマトでは、減・減栽培が一定程度取り組まれており、特に化学合成農薬の削減が全道的に進んでいる傾向が認められた。一方で、化学肥料の削減については大きな地域差が存在し、YES!clean の化学肥料、化学合成農薬削減割合をさらに上げて面的な定着に至っている産地は現在のところ見られなかった。

このことから、分析事例として、認証機関から特別栽培の第三者認証を受けている栽培集団を選定した。具体的には、道央 A 町に位置する構成員数 3 戸からなる P 集団を選定した。P 集団は 1989 年から特別栽培の取り組みを開始している。施肥では化学肥料の代替に堆肥と市販の有機質肥料を利用し、緑肥を導入している。防除では、粘着シートによる予察を行い、栽培暦を構成員間で統一して適期防除に努めるほか、バチルス剤等の生物農薬を代替的に使用している。また、有色マルチを隙間なく張りつめることで、雑草発生の抑制に努めている集団である。

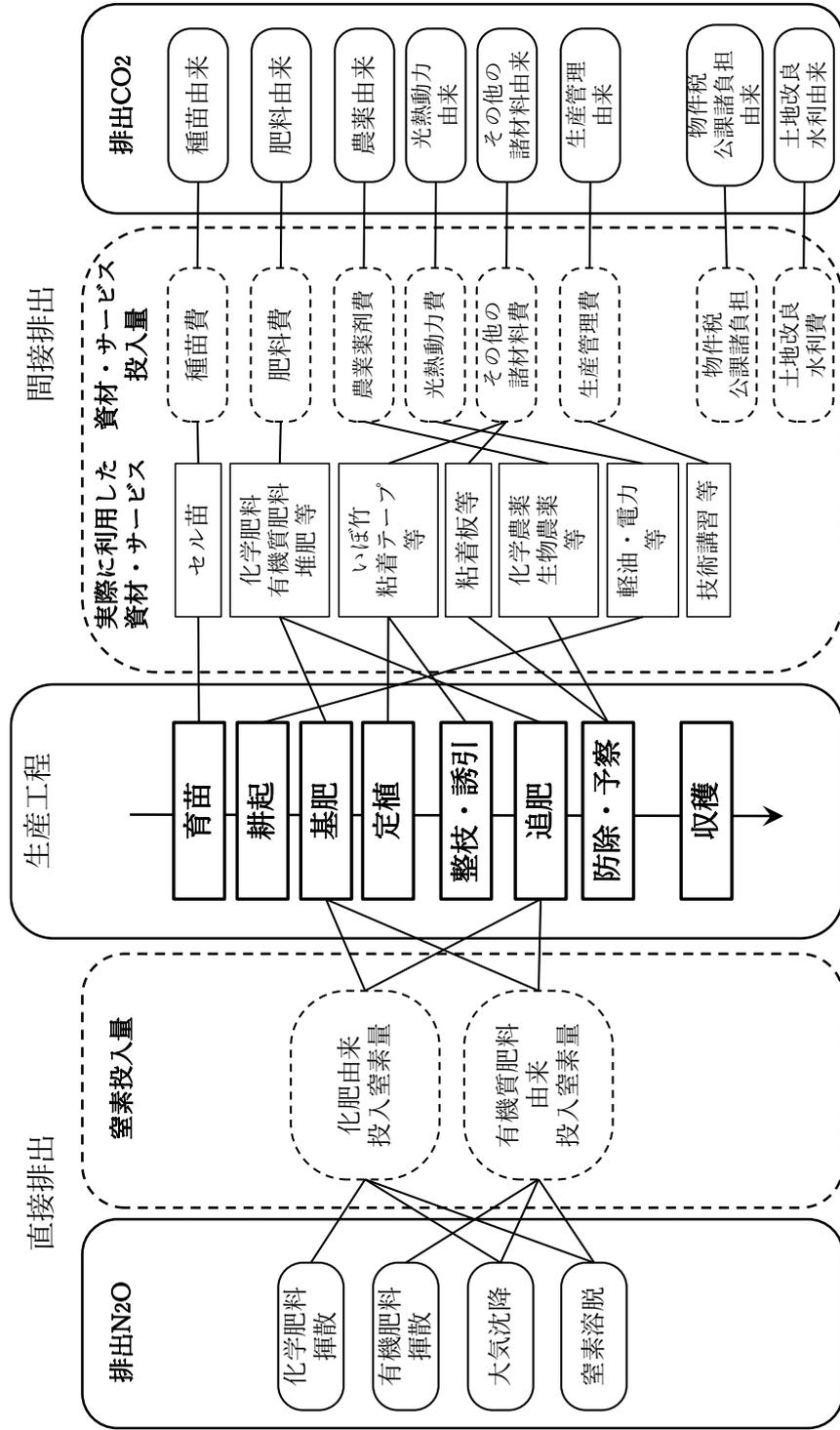


図 3-1 本章における LCA 評価範囲

第3節 経済性分析およびLCAの結果

1) 投下労働時間

特別栽培によるトマトの投下労働時間を表3-2に示した。投下労働時間を慣行栽培と比較すると、施肥（基肥及び追肥）では、基肥として堆肥の施用を行っており、労働時間が増加した。雑草対策では、有色マルチの設置や手取り除草によって労働時間が大きく増加した。栽培管理では、ハウス内の見回り回数の増加したため、労働時間が増加した。

防除では、散布回数の減少に伴い労働時間が減少した一方で、粘着板を用いた発生予察の導入により予察時間が増加し、防除と予察の労働時間合計は同程度となった。収穫調製では、収量の減少により労働時間が減少した。生産管理労働では施肥技術の実習のため、また間接労働では、緑肥に関する作業が加わったため労働時間が増加した。

以上の結果、特別栽培の投下労働時間は、慣行栽培と比べて6%程度増加した。

表3-2 トマトの投下労働時間 (hr/10a)

	特別栽培	慣行栽培
育苗	20.82	20.82
耕起整地	7.25	7.25
ハウス組立	14.53	14.53
基肥	12.91	7.17
定植	32.50	32.50
灌排水・保温・換気	21.33	21.33
除草	38.31	10.32
追肥	7.03	5.13
栽培管理	170.25	163.25
防除	11.44	17.74
予察	15.20	8.25
収穫調製	208.63	228.74
後片付け	21.17	21.17
生産管理	12.79	7.45
間接労働	5.81	2.90
合計	599.97	568.55
慣行比	106	100
家族	556.90	543.40
雇用	43.06	25.16

資料：農家調査より作成

2) 生産費

特別栽培によるトマトの生産費を表3-3に示した。トマトの特別栽培は慣行栽培と同等の栽植密度であり、物財費の中で最も費用の高い種苗費では差が生じていなかった。肥料費では、化学肥料の一部を有機質肥料に代替し、また土壌改良も見込んで堆肥を施用し、緑肥を導入していたため、慣行よりも増加した。農業薬剤費では粘着シートの利用による発生予察で殺虫剤の使用を抑えており、慣行栽培に比べて低減していた。ただし、生物農薬も散布していたことから、低減割合は10%程度にとどまった。その他諸材料では、有色マルチの費用が追加されて増加した。物件税及び公課諸負担では、特別栽培の第三者認証の手続きで費用が発生し増加した。生産管理費では、有機液肥の施用技術に関する講習会

に参加したことと、技術の専門書購入によって増加していた。

結果、特別栽培によるトマトの10a当たり費用合計は、慣行栽培に比べて5%程度増加した。また、単位生産物当たりの費用合計は、収量の減少を反映して15%程度増加した。

表 3-3 特別栽培トマトの生産費（円/10a）と慣行との比較

	特別栽培	慣行栽培
種苗費	111,831	111,831
肥料費	31,134	27,298
うち、有機質肥料	13,950	—
うち、土壌改良に要した費用	2,119	—
農業薬剤費	18,154	20,167
うち、生物農薬	1,492	—
光熱動力費	25,757	25,757
その他の諸材料費	56,635	51,124
賃借料及び料金	0	0
物件税公課諸負担	13,474	8,374
土地改良水利費	5,500	5,500
建物費	47,239	47,239
自動車費	3,572	3,572
農機具費	25,103	25,103
生産管理費	8,927	4,568
物財費	347,326	330,533
家族労働費	883,799	862,375
雇用労働費	34,451	20,124
費用合計	1,265,576	1,213,032
慣行比（慣行＝100）	105	100
単収(kg/10a)	7,735	8,500
生産物当たり費用合計(円/kg)	164	143
慣行比（慣行＝100）	115	100
作付面積(a)	91	9
化肥由来窒素量(kg/10a)	11.8	24.2
化学合成農薬(回)	8	20

資料：表 3-2 に同じ

3) GHG 排出量

トマトの生産に係る 10a 当たりの GHG 排出量、並びに直接排出、生産費の各費目から求めた財・サービスの生産に係る間接排出の内訳について、LCA による分析結果を表 3-4 に示した。表より以下のことが指摘される。

第 1 に、トマトの慣行栽培による 10a 当たり GHG 排出量は 1,553kg-CO₂eq であったが、うち、生産費を用いたことにより評価範囲に追加された種苗費、その他の諸材料費、物件税公課諸負担、土地改良水利費、生産管理費の各費目に由来した排出が 398 kg-CO₂eq と 26% を占め、特別栽培においても同 28% であった。

第 2 に、特別栽培による直接排出において、圃場からの排出では、施肥からの N₂O 排出はほぼ変わらなかった。一方で、緩行性肥料である有機質肥料の施肥により、大気沈降や窒素溶脱・流出過程での排出が抑えられていた。結果、慣行栽培と比較して GHG 排出量は 25% 減少していた。化石燃料燃焼による排出は変わらなかった。

第 3 に、特別栽培による間接排出において、肥料の一部を有機物肥料に置き換えたことにより、有機物肥料の間接排出の少なさを反映して肥料由来の排出が削減された。しかし、堆肥の製造に伴う排出の大きさから、肥料費全体では特別栽培の排出が多い結果となった。生産費の比較では特別栽培の方が高コストであり、間接排出の合計も同様の結果を示した。

表 3-4 特別栽培トマトの GHG (kg-CO₂eq/10a) と慣行との比較

	内 訳	特別栽培	慣行栽培
直 接 排 出	土壌への化学肥料施肥	34	70
	有機質肥料施肥	32	0
	大気沈降	5	11
	窒素溶脱・流出	20	42
	圃場からの排出 小計	92	123
	化石燃料燃焼	555	555
	計	647	678
間 接 排 出	肥料費	221	205
	うち、化学肥料	113	205
	うち、有機質肥料	34	0
	うち、堆肥	69	0
	農業薬剤費	78	86
	光熱動力費(電力)	186	186
	種苗費	189	189
	その他の諸材料費	182	164
	物件税公課諸負担	18	11
	土地改良水利費	20	20
	生産管理費	26	13
	計	919	875
	合 計	1,566	1,553
	種苗費以下の項目 計	435	398
	合計に占める割合	28%	26%

資料：表 3-2 に同じ

註) 農作業等で圃場から排出される GHG を直接排出、生産に伴い消費する財・サービスの製造場面までさかのぼり、製造工程において発生する GHG を間接排出とした。

第4に、直接・間接排出の合計では、直接排出の中の圃場からの排出で慣行栽培のGHGが特別栽培と比べて多くなる一方で、全排出に占める割合が1割に満たないことから、全体ではほとんど差が生じていなかった。

以上より、生産費の捕捉によって評価できた、種苗費、その他の諸材料費、物件税効果諸負担、土地改良水利費、生産管理費の支出に基づくCO₂排出は総排出の4分の1を超え、無視しえない排出量であることが指摘できる。

トマトの生産に係る生産物としてのトマト1kg当たりのGHG排出量を表3-5に示した。トマト1kg当たりのGHG排出は、慣行栽培の183g-CO₂eqと比べて特別栽培で202g-CO₂eqであり、10%高い値を示した。面積当たりのGHG排出は変わらなかったことから、この差は特別栽培による減収を反映しているものと言える。

表 3-5 生産物当たり GHG 排出量

		特別栽培	慣行栽培
面積当たりGHG排出量	(kg-CO ₂ eq/10a)	1,566	1,553
単 収	(kg/10a)	7,735	8,500
生産物当たりGHG排出量	(g-CO ₂ eq/kg)	202	183

資料：表 3-2 に同じ

第4節 小括

事例の特別栽培と慣行栽培において生産費を比較すると、化学肥料の使用量は51%程度減少したものの、代替に単価の高い有機質肥料や堆肥を使用したため、肥料費は増加した。化学合成農薬の使用量も成分回数で60%程度減少したものの、代替として単価の高い生物農薬等を利用したため、農業薬剤費の減少割合は10%にとどまった。結果、特別栽培によるトマトの10a当たり費用合計は、慣行栽培に比べて5%程度増加した。

また、GHG排出量の比較では、特別栽培の直接排出で化学肥料の利用によるCO₂排出量減少の影響が認められた一方で、有機質肥料や堆肥の利用に起因して間接排出が増加し、合計はほとんど変わらない結果となった。

生産費評価とGHG排出量評価の結果を比較すると、特別栽培・慣行栽培に共通して物財費の中で最も割合の高い費用は種苗費であったのに対し、GHG排出量の中では化石燃料の燃焼による直接排出や肥料の製造に係る間接排出の割合が高かった。これは、コスト削減を目指すべき際に、費目間で最も影響の大きいホットスポットと、GHG削減のそれとは違う点にあることを表しており、GHG削減を目指す際には単にコスト削減や資材の使用量を削減をすればよいわけではないことが判明した。また、一般に、低投入型の農業では発生する環境負荷も少なく、資材の投入量を減らしてコストを削減することが環境にやさしいとのイメージがあるが、本分析の結果では逆に多くなる可能性が示唆された。

本章では、経営内で比較対象の存在する環境保全型農業の取組みについて、GHG排出量とコストの両面から分析することで明らかになる知見を示した。生産工程の中でGHGの発生が多く管理すべき要諦となる箇所がコストの要諦とは異なることは、今後コストとGHG排出を経営者がコントロールして環境保全型農業を実施していく上で重要な情報となる。また、環境保全型農業の実施による生産量の低下に起因して、生産物単位当たりのGHGおよびコストが慣行より高くなる可能性は、販売する際の価格や宣伝方法、経営体内における環境保全型農業と慣行農法の実施割合の決定など、生産を考える上での技術選択に活かせる重要な情報となる。分析の結果、コスト情報とGHGの情報を組み合わせることによって、経営者にとって新たな情報を生み出すことができると考えられる。次章では、経営内に比較対象となる慣行技術がない場合における、GHG情報の利用について検討する。

第4章 国産濃厚飼料(子実用トウモロコシ)の経済性および環境に与える影響

第1節 背景および目的

本章の目的は、前章に引き続き環境情報の開発・評価に相当するプロセスに着目し、経営内に比較対象となる技術がない場合を扱い、農業において実用化が既に進みつつある取組みを GHG 排出量とコストの両面から分析することで、どのような知見が得られ、どういった効果を得られるかについて示すことである。分析事例は、国産濃厚飼料に位置付けられる子実用トウモロコシの生産である。

わが国では、農林水産省が2021年に策定した「みどりの食料システム戦略（以下、「戦略」）」の下、持続的な農業生産に対する政策的な誘導が強くなりつつある。畜産部門においては、特に飼料用穀物の供給が海外からの輸入農産物に長く依存しており、穀物の国際相場の変動は、畜産物生産の持続性に大きな影響を与えうる。農林水産省によると、2019年度の粗飼料の自給率は77%である一方で、トウモロコシを中心とした濃厚飼料の自給率は12%ととりわけ低い。『新たな食料・農業・農村基本計画』では濃厚飼料自給率の目標を15%と定めているものの、未だ目標は達成できていない。これらを背景に、わが国では持続的な農業生産の観点から、特に濃厚飼料の自給率向上を喫緊の課題としている。

国産濃厚飼料の取組みは、飼料米やイアコーンサイレージ(以下、ES)などが挙げられ、経営に与える影響に関する研究も行われてきた。飼料米では千田・恒川(2015)、恒川(2016)がコストの高さを示し、普及にあたっての最大の課題であることを指摘した。ESでは、樋口ら(2010)、久保田(2016)がトウモロコシの収量の高さに起因して、飼料米よりコストが低いことを指摘した。一方で、竹内・久保田(2017)は、ESはサイレージ調製が必要な技術体系であり長距離の輸送に向かないと特徴づけた。

近年、飼料米の収量性に起因するコスト高、ESでの輸送の困難性の課題を解決しうる技術として、子実用トウモロコシ生産の取組みが注目されている。子実用トウモロコシとは、デントコーンを圃場で完熟させ、収穫と同時に脱穀し、茎葉は圃場還元した上で子実のみを飼料として利用するものである。収穫された子実は、輸入トウモロコシと同様の濃厚飼料として利用することができ、耕種部門において飼料米と比べて低コストな濃厚飼料生産技術^{註1)}の可能性が検討されている。

自然環境の持続性から見ても、「戦略」では、イノベーション等による持続的生産体制の構築の手段の一つとして子実用トウモロコシを挙げ、自給飼料の生産拡大を図るとともに、GHGを主とする環境負荷の排出削減を目指している。政策による支援の在り方を検討する際には、経営体の所得確保のみならず、経営体が適正な混合所得を得て、生産活動を維持・継続できるかの視点が重要である。このことから、生産に要した全ての価値の消費額である全算入生産費(以下、生産費)と、労働時間等の把握が必要である^{註2)}。既存研究では所得確保の視点から経営費に注目した考察となっており、再生産のために必要な収量はわかっていない。また、「戦略」では、2050年までに農業由来GHGの50%削減が目標とされているが、国内子実用トウモロコシの生産に係るGHGの具体的な定量化に関する既存研究はない。

そこで本章では、まず子実用トウモロコシの生産にかかる労働時間を示すとともに、生

産者の再生産を可能にする採算点収量を明らかにすることで現時点での経済性を確認する。加えて、国産子実用トウモロコシの生産から実需者への輸送までの際に発生する GHG を、輸入トウモロコシと比較することで、環境に与える影響を明らかにする。これらにより、国産子実用トウモロコシの経済性および環境面での特徴について海外産との比較で考察することを目的とする。

第 2 節 分析対象と経済性分析および LCA の方法

1) 調査対象

調査対象は、国内で子実用トウモロコシの生産を先進的に取り組む、北海道子実コーン組合（以下、コーン組合）の組合員とした。コーン組合は、転作率の高い水田作地帯である北海道南空知で水田・肉牛複合経営を行う A 氏によって、栽培技術の普及による作付面積の拡大と、一元集荷による販売力確保の目的で 2015 年に設立された。この地帯は転作率が 5 割を超え、小麦の過作による収量の低下が課題となっている。組合員数は 71 戸(2021 年 4 月現在)で、転作を主体とした水田作地帯の生産者が太宗を占める。組合全体の子実用トウモロコシ作付面積は、設立当初 13ha だったのが、2021 年では 380ha まで拡大している。調査では、設立当初より子実用トウモロコシの作付けを行っており、作付面積が毎年 5ha 以上で安定している A~C の 3 戸を抽出した。A は先述の同組合設立者で、現組合長である。A~C はいずれもコーン組合設立当初からのメンバーであり、道央水田作地帯で転作率の高い空知南部の同一町村で専業経営を行っている。

表 4-1 調査対象の作付面積と作付構成

(単位:ha)	A	B	C
水稲	3	6	4
秋小麦	17	14	12
大豆	12	14	17
子実とうもろこし	8	7	5
春小麦	-	-	6
てんさい	-	4	-
その他	8	-	11
合計	48	45	55

資料：聞き取り調査より作成

調査対象の 2019 年における作付構成を表 4-1 に示す。調査対象生産者の経営耕地面積はいずれも 40ha を超え、同地域の平均である 20ha を大きく上回る大規模経営である。水稲移植機以外の全ての機械作業は、所有する海外製の大型機械で行われている。地目は 9 割以上が田地であるものの、水稲の作付けは経営面積の 1 割程度と転作が多く、秋まき小麦と大豆の合計が作付けの過半を占める。特に小麦の過作への対応として子実用トウモロコシを導入している。

2) 調査方法

調査は、①子実用トウモロコシの経済性、②子実用トウモロコシの GHG 排出の 2 つを実施した。

(1) 子実用トウモロコシの経済性

調査対象の 2019 年産子実用トウモロコシ生産に伴う、10a 当たりの労働時間、並びに生産費を調査した。調査は 2019 年 9 月～2020 年 2 月に実施し、生産工程を聞き取り当年度会計データを収受した。調査結果は、農林水産省生産費調査に準じて集計した。労働は家族労働、農地は自作地のみであった。以上の労働時間と生産費を 3 戸で試算し、調査対象における平均値を求めた。また、子実用トウモロコシの現時点での収益および費用から、生産費を充足し翌年の再生産を可能とする収益を得るための採算点収量を算出し、現状の収量水準と比較した。

(2) 子実用トウモロコシの GHG 排出

子実用トウモロコシによる GHG 発生量の定量化は、化石燃料の燃焼に伴って発生する CO₂ を評価項目とした。評価範囲は、子実用トウモロコシの生産時(乾燥工程を含む)と実需者への流通時とし、化石燃料使用に由来する直接排出と、肥料等資材の生産工程での化石燃料使用に由来する間接排出とした。国産トウモロコシとの比較対象は、わが国の輸入シェアが首位である米国産とした。機能単位は、トウモロコシ生産 1kg 当たりとした。

国産トウモロコシの生産時の CO₂ 算定方法は、小林・柚山(2006)に準拠した。具体的には、前述の農家調査の結果から燃料、肥料、農薬の使用量を抽出し、国立環境研究所(2020)の各 CO₂ 原単位を乗じて CO₂ 発生量を求めた。流通は、圃場から飼料工場および実需者までの各トラック輸送とした。米国産トウモロコシの CO₂ 算定方法は生産・流通とも国産と同様の範囲とした。輸送工程は、米国内でのトラックと船による輸送、米国から日本までの海上輸送、港から飼料工場および実需者までのトラック輸送を想定し、結果は小林・柚山(2006)から引用した。

調査年は湿害による不作年であり、事例 3 戸の平均収量が 527kg/10a(乾燥重量ベース、以下同じ)と著しく低かった。このことから、国産トウモロコシの評価は、調査年の実態に加えて、調査事例の平年の収量水準を想定した場合の試算も行い、原産国による CO₂ 排出量の違いを比較した。

第 3 節 経済性分析および LCA の結果

1) 調査結果

まず、子実用トウモロコシの労働時間に係る調査結果を表 4-2 に示す。同表より以下が指摘できる。

第一に、子実用トウモロコシの作業時間の構成に注目すると、播種から収穫までの間の作業は追肥と除草剤散布が 1 回ずつであった。子実用トウモロコシは、他作物で見られる圃場内の手取り除草や、畦畔除草、水管理等の播種後作業が少なく、薬剤散布作業も 1 回

のみであった。このことが労働時間の削減を可能にしていると考えられる。労働時間は 10a 当たり 1.9 時間^{註3)} であり、省力的な作物であると言える。

表 4-2 子実用トウモロコシ生産の労働時間

(単位:hr/10a)	A	B	C	3戸平均	作業分類
耕起整地	0.22	0.55	0.42	0.40	融雪剤、耕起、砕土、整地
施肥・播種	0.13	0.30	0.20	0.21	施肥播種
追肥・中耕	0.10	0.10	0.03	0.07	機械による追肥・中耕
除草	0.04	0.13	0.03	0.06	除草剤散布
収穫	0.24	0.30	0.32	0.29	収穫、運搬
乾燥	0.18	0.02	0.16	0.12	乾燥
生産管理	0.52	0.50	0.41	0.47	集会、技術習得、記帳
間接労働	0.25	0.49	0.09	0.28	農機具修繕、資材調達
合計	1.68	2.38	1.65	1.90	

資料：調査結果より作成

第二に、労働時間 1.9 時間のうち、圃場内での作業時間は 1.1 時間であり、生産管理労働や間接労働といった圃場外作業の割合が 0.8 時間と 4 割を占めた。これは、子実用トウモロコシの生産技術に関する講習会が多いためであった。このことから、作物の労働時間では圃場内作業以外の労働にも注目すべきであり、導入後間もない作物においては、特に圃場外作業時間も考慮に入れる必要があると考えられる。加えて、今後、子実用トウモロコシの栽培体系が確立されることで、労働時間はさらに短縮されよう。

次に、子実用トウモロコシの生産費のうち、物財費に係る調査結果を表 4-3 に示す。10a 当たり物財費は 4.4~5.4 万円であり、平均で 4.8 万円であった。物財費の構成を見ると、比率の高い費目は農機具費であり、1.4 万円と全体の 3 割弱であるものの、農林水産省(2020)で水田での他作物と比較すると、米(2.1 万円)と大きく異なるものではなかった。

A 経営の所有機械と主要作物での利用状況を表 4-4 に示す。子実用トウモロコシの播種に使う真空播種機は、大豆用のものを利用していった。また、コンバインは収穫部のアタッチメントを取り換えることで水稲、小麦、大豆で汎用利用していた。これにより、収穫に関する新たな投資を回避し、加えて既存の機械の利用面積を大きくすることで、単位面積当たりの減価償却費を抑制している。

表 4-3 子実用トウモロコシの物財費

(単位：円/10a)	A	B	C	3戸平均
種苗費	5,080	5,388	5,260	5,243
肥料費	9,818	5,610	10,248	8,559
農業薬剤費	2,903	4,465	2,467	3,278
光熱動力費	3,273	3,694	3,118	3,362
その他の諸材料費	0	0	0	0
土地改良水利費	3,741	3,518	5,796	4,352
賃借料及び料金	0	0	4,942	1,647
物件税及び公課諸負担	2,251	1,416	1,722	1,796
建物費	2,075	973	3,816	2,288
自動車費	5,861	3,765	936	3,521
農機具費	18,799	14,534	8,223	13,852
生産管理費	596	511	228	445
物財費 計	54,395	43,873	46,757	48,342
うち、流動財費	34,811	31,076	38,247	34,711

資料：調査結果より作成

表 4-4 A 経営の所有機械と主要作物での利用

		子実用 とうもろこし	水稲	小麦	大豆
耕起・整地		○	○	○	○
播種	真空播種機	○			○
施肥	ブロードキャスター	○	○	○	○
除草・追肥	専用カルチ	○			
防除	ブームスプレーヤー	○	○	○	○
収穫	汎用コンバイン	○	○	○	○
乾燥	遠赤乾燥機	○	○	○	○
作付面積 (ha)		8.3	3.3	16.6	12.3

資料：調査結果より作成

表 4-5 子実用トウモロコシの生産費

(単位：円/10a)	A	B	C	3戸平均
物財費 計	54,395	43,873	46,757	48,342
労働費	2,522	3,570	2,477	2,856
費用合計	56,916	47,443	49,234	51,198
副産物価額	0	0	0	0
資本利子	3,477	2,667	2,889	3,011
地代	11,200	11,100	11,100	11,133
全算入生産費	71,593	61,210	63,223	65,342
kg当たり生産費 (円/kg)	135	136	105	125
主産物収量 (kg/10a)	532	450	600	527
作付面積 (a)	830	733	504	689

資料：調査結果より作成

以上の物財費に労働費、資本利子、地代を加えた 10a 当たり生産費は、表 4-5 より 6.1～7.2 万円であり、平均で 6.5 万円であった。

2) 経済性

生産費をもとに、水田作地帯、畑作地帯で子実用トウモロコシの収量が増加した際の収益、物財費、生産費の関係を図 4-1 に示す。図において、収量が増加するにつれて収益も増加し、物財費を超えると所得が発生し、全算入生産費を超えると家族労働費を十分に得た上でさらに経済的余剰が発生することを意味する。収益は、トウモロコシ子実の品代収入と交付金収入で構成される。品代は、コーン組合の現在の販売単価 (35 円/kg) に、子実用トウモロコシの収量を乗じることで求められる。交付金収入は、水田活用の直接支払交付金における戦略作物助成 3.5 万円/10a と、水田農業高収益化推進助成 1.0 万円/10a の計 4.5 万円/10a の交付金収入を見込んだ。なお、A～C 経営における過去 5 か年の収量の実績値は 500～1,000kg/10a であり、中庸 3 か年の平均値では 923kg/10a であった。

図より、畑作地帯における子実用トウモロコシの収益を品代収入のみとすると、1,392kg/10a で物財費と均衡した。また、水田作地帯では、交付金収入があることから、物財費水準の収益は確保された上で、570kg/10a で生産費と均衡した。したがって、水田作地帯における子実用トウモロコシの生産は、交付金収入によって収益が補填される場合には 600kg/10a 程度の収量確保が必要となる。平年並みの作柄では再生産可能な収益を確保できるものと考えられる。ただし、調査年の収量では再生産可能な水準に至っておらず、生産が安定していないことが課題となる。

一方で、畑作地帯では現在の子実用トウモロコシの収量水準で所得を上げることが困難であり、更なる費用削減が求められるものと考えられる。すなわち、子実用トウモロコシの導入は、現行の費用水準では水田作地帯での交付金収入に裏付けられており、結果として水田作地帯での展開が主となることが示唆される。

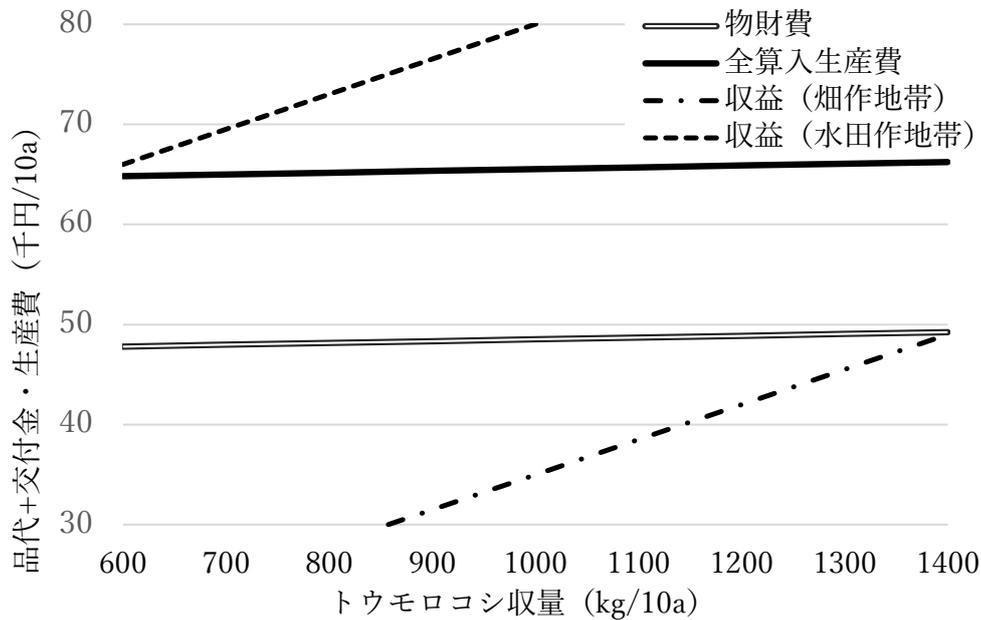


図 4-1 子実用トウモロコシの採算点となる収量

資料：調査結果より作成

表 4-6 子実用トウモロコシの重量当たり GHG 排出

		国産 (調査年単収)	国産 (平年単収)	米国産
生産	直接排出(機械)	85	48	46
	直接排出(乾燥)	81	81	57
	間接排出	194	111	42
	小計	359	240	145
輸送	圃場～港	-	-	41
	海上輸送	-	-	90
	飼料工場への輸送 80km	15	15	15
	畜産農場への輸送 150km	29	29	29
	小計	44	44	174
合計	(g-CO ₂ eq/kg)	403	284	319
(%:米国産=100)		126	89	100

資料：調査結果より作成

子実用トウモロコシの生産と流通における GHG 排出量を表 4-6 に示す。表において、生産時の排出量は、その年の収量により大きく変動する。平年の収量を想定した結果では、乾燥工程の直接排出と間接排出は米国産より大きいものの、機械の稼働工程の直接排出は同程度であった。合計では国産の方が GHG 排出量は 1 割程度低かった。ただし、調査年の収量の場合、合計排出量は米国産よりも高い結果となった。国産子実用トウモロコシの生産は、飼料生産においては海外産より GHG 排出量が少ないことから、濃厚飼料の自給は自然環境により配慮した生産体系であると考えられる。こういった外部効果の存在は、子実用トウモロコシ生産者への補助金による外部効果の内部化が実現されれば、生産者の収益性向上の可能性を有するものと考えられる。

第 4 節 小括

本章の結果は、以下の 3 点に集約される。

第一に、子実用トウモロコシの生産に関する生産費の特徴と大規模経営による範囲の経済である。子実用トウモロコシの労働時間は 10a 当たり 1.9 時間であり、省力的な作物であることが示された。また、労働時間のうち、圃場内での作業は半分程度であり、圃場外の生産管理労働や間接労働の割合が高いことがわかった。生産費では、3 戸平均の物財費は、10a 当たり 4.8 万円であった。国内におけるトウモロコシの生産・利用の問題点として、機械の導入に関する費用が高いことは指摘されており、そのことが導入の大きなボトルネックであるとされてきた。表 4-4 より、今回調査対象とした大規模水田作経営では、子実用トウモロコシで利用する機械を複数作物間で汎用化させており、範囲の経済による費用低減の効果が表れていたことが示唆される。このことより、転作作物の作業を外部委託していない大規模経営においては、子実用トウモロコシの栽培は新たな投資を必要とせず、現行の機械体系での導入がしやすいものと考えられる。

第二に、子実用トウモロコシの生産費の調査結果は 6.5 万円/10a 程度であり、再生産を可能とする採算点収量は、現行の収量と比べて十分に達成できる水準であった。一方で、生産者が子実用トウモロコシを生産するには、交付金の存在が前提となる。現状の交付金水準の下では、平均的な収量で収益が家族労賃、自己資本利子、自作地地代を含めた費用を補償していることから、水田作地帯では経営耕地が増加した中核経営の農地利用の手段の一つとして、子実用トウモロコシへの作付が進むことも考えられる。また、作付を進める上では、現行の水田活用の直接支払いから、畑作物と同様の数量払いへの転換も有効かもしれない。

第三に、国産子実用トウモロコシの化石燃料に由来する GHG 排出量は、海外から輸入することに比べて低いことが明らかになった。今回の分析では対象外だが、国産子実用トウモロコシは国内での流通経路が海外産に比べ短く、輸送の GHG がさらに少ない可能性もある。このことは、子実用トウモロコシを国産することが、環境保全型農業の手段の一つとして交付金の根拠となり得ると同時に、収穫物を販売する際の強みとして、海外産との差別化の材料となることも期待される。ただし、調査年次のような不作年では 1kg 当たりの GHG 排出は海外産より高くなり、経済的にも採算点収量を下回っていた。このことから、今後の子実用トウモロコシの技術面の研究では、600kg/10a を下回ることがないよ

う収量の安定を目指した品種および栽培技術の開発が要請される。

以上より、海外産農産物と国産農産物では、輸送時に発生する GHG は海外産の方が大きくなることから、他の作目においても GHG の総発生量で、国産の方が少ない可能性が示唆される。経営内に比較対象となる技術が存在しない場合、技術の選択や両技術の実施割合の選択に利用することはできないが、比較の枠組みを経営外に設定することで農産物に新たな属性を付加させ、農産物の差別化を図る新たな情報を生みだせるものと考えられる。コストと同時に環境影響の評価をすることにより、コスト以外の優点を明らかにすることができ、公的な支援をする根拠となる基礎データをステークホルダーに対して準備できるのと同時に、収穫物を販売する際の強みとして差別化を図る消費者への新たな情報になり得ると考えられる。

註 1)子実用トウモロコシの生産技術に関する詳細は、例えば農研機構(2019)を参照のこと。

註 2)農水省による農畜産物生産費調査では、対象が米、麦、大豆、甘味作物、澱粉原料用作物、主要畜産物に限定されている。

註 3)農林水産省(2020)では、米(全国：5ha 以上)が 14.7hr/10a、麦(全国・田作：5ha 以上)が同 4.3hr、大豆(全国・田作)6.1hr であった。

第5章 倫理的消費に対する消費者と生産者との意識差

第1節 背景および目的

本章では、農産物の新たな付加価値の源泉として、消費者の効用に直接は結びつかないが、購入に当たっての判断材料となる倫理的消費の概念に着目する。倫理的消費の中で環境保全に関する属性が、生産者との直接取引をする消費者にどの程度重視されているかの把握を試み、生産者との差異を明らかにする。評価事例は前章に引き続き、主に飼料として利用される国内産子実用トウモロコシとし、国産飼料を用いた畜産物を題材に、倫理的消費に関する消費者と畜産経営との意識の違いを明らかにする。また、倫理的消費に関する生産者間の意識の違いを明らかにした上で、付加価値実現を図るために生産者が留意すべき点について示す。

近年の国際的な穀物価格の高騰は、わが国の穀物生産および畜産での飼料利用の在り方にも大きな影響を与える喫緊の課題である。畜産では穀物を濃厚飼料として利用するが、とりわけトウモロコシの消費量は大きく、年間1,500万トンのほぼ全てを輸入に依存し3分の2が飼料に利用される。トウモロコシの輸入価格(CIF)は2016~2020年度までトン当たり22千円前後で推移していたが、21年度は同37千円、直近の22年7月では56千円と上昇しており、配合飼料価格安定制度による下支えも限界にある。トウモロコシ以外の購入飼料である麦、大豆粕、コーリャン、魚粉も高価格にあることから、国産濃厚飼料自給の取組みが進みつつある。

国産濃厚飼料である飼料米の既存研究を見ると、畜産経営と消費者の関係性を捉えたものとして吉川ら(2010)、原田(2013)等が挙げられる。吉川ら(2010)は、飼料用米を利用した豚肉を対象とした消費者調査により、購入時の消費者の意識として食味、国産、安全性があることを指摘した。原田(2013)は、飼料用米事業の価値を、経営的観点から見る「市場価値」と個々の事業者に戻元されない観点から見る「社会価値」に分類し、社会価値に問題意識を持つ消費者の存在を指摘した。これらに共通するのは、国産濃厚飼料により生産された畜産物を消費者が購入する時には、消費者の効用に直接は結びつかない事項も判断材料に含まれることが示唆されている点である。

こういった消費行動は、一般に倫理的消費(エシカル消費)として認知されつつある^{註1)}。消費者庁は倫理的消費を、「消費者それぞれが、各自にとっての社会的課題の解決を考慮したり、そうした課題に取り組む事業者を応援しながら消費活動を行うこと」と定義している。倫理的消費が対象とする属性には、環境負荷の削減を主とした環境保全があることが知られているが^{註2)}、消費者は日常の倫理的消費の中でどういった属性を意識しているのか、特に環境保全を他の属性との比較でどの程度意識しているのかを把握することは、環境負荷を削減した農産物の販売の在り方を考える上での基礎的な資料となる。また、属性間の意識の違いに関する生産者とのギャップを把握することは、それら畜産物の販売額増加を通して、子実用トウモロコシの生産拡大にも有用になるものと考えられる。

以上の整理より、ここでは、倫理的消費で重視される属性を示し、畜産経営と消費者との差を示す。その上で、国内でトウモロコシを生産・流通する際の生産経営と畜産経営との意識の差を解明する。これらにより、環境に配慮した農畜産物の生産を拡大する上での、

倫理的消費の側面からの普及の可能性を考察する。

第2節 分析対象と方法

本章の分析は、畜産経営と消費者とを対象とした、倫理的消費の属性間の重みづけに関する調査と、畜産経営と子実用トウモロコシ生産者を対象とした、国産濃厚飼料の流通に関する意識調査からなる。調査対象は、子実用トウモロコシを利用する国内の畜産経営と、畜産経営の直売所での顧客である消費者、子実用トウモロコシを生産する耕種経営とした。畜産経営は、北海道子実コーン組合で生産された子実用トウモロコシの利用が確認できた全国の生産者4戸（A～D）とした。耕種経営は、日本メイズ生産者協会に所属する全国の子実コーン生産者のうち、作付けが5ha以上である4戸（E～H）を選定した。

1) 倫理的消費の属性の重要度

2022年5月～8月に畜産経営に対し質問票を配布し、今後の農業・食料生産で自身が重要と考える倫理的消費の属性について、提示した5属性の相対的な重要度の重みづけに関する回答を得た。提示した属性は氏家(2013)を参考に「環境保全」、「動物福祉」、「フェアトレード」、「食料自給」、「農村維持」とした。使用した調査票を図5-1に示す。調査票では、この5属性を一对比較で10反復してリッカートスケールで回答するようにした。回収したデータを用いて、Scheffeの一对比較法^{註3)}により、合計を1.0とした場合のそれぞれの項目の重要度の重みづけを計算した。また、同様の質問票を、上記4戸の畜産経営がそれぞれ運営する直売所で日常購買している消費者各3～4人に畜産経営経由で渡し、計15件の回答を得た。この回答を畜産経営と同様に処理し、畜産経営と消費者の重みづけの平均値の比較を行った。

今後の農業・食料に重要なこと

以下の5つの項目について、1つひとつを比べてどちらがどれくらい重要か、当てはまる所に○をつけてください。

- ①環境保全
- ②動物福祉
- ③フェアトレード
- ④食料自給
- ⑤農村の維持

①の環境保全の方が	きわめて 重要	かなり 重要	やや 重要	①と②が 同等に重要	やや 重要	かなり 重要	②の動物福祉の方が
①							②
①の環境保全の方が	きわめて 重要	かなり 重要	やや 重要	①と③が 同等に重要	やや 重要	かなり 重要	③のフェアトレードの方が
①							③

図5-1 本分析で使用した調査票（抜粋）

2) 国産濃厚飼料に必要な条件の重要度

前述の調査と並行して上記畜産経営と耕種経営へ質問票を配布し、子実用トウモロコシの国内生産を進める上で必要な条件について、提示した4条件の相対的な重要度を回答してもらった。調査票は、「価格の低さ」、「価格の安定」、「品質」、「倫理的な消費を意識した生産」の4条件を一对比較で6反復して回答するようにした。回答は前述 Scheffé の一对比較法で処理し、畜産経営と耕種経営の重みづけの平均値の比較を行った。

第3節 ステークホルダー間の認識の違いに関する AHP の結果

1) 倫理的消費に対する属性間の重要度の違い

倫理的消費において重視する属性についての調査結果を表5-1 および図5-2 に示す。回答者の回答の整合度を表すCIは0.13であり、概ね整合的な回答を得られたと判断できる。これらの結果より、以下の2点が指摘できる。

第一に、畜産経営自身の評価では「動物福祉」の重要度が0.09と低いものの、他の4属性はほぼ0.22~0.24の範囲にあり、これらは同等に重要であると考えられていた。

第二に、一方で消費者は「環境保全」の重要度が0.34で、農業が環境に与える影響を重視する傾向にあった。「フェアトレード」(0.12)や「農村維持」(0.07)は、それほど重要視していないものと考えられた。

以上より、生産者と消費者が倫理的消費で重視すべき属性に、差異が生じていることがうかがえた。

2) 国産濃厚飼料に必要な条件に対する畜産・耕種経営間の重要度の違い

国産濃厚飼料に必要な条件に関する調査の結果を、表5-2 および図5-3 に示す。回答者の回答の整合度を表すCIは0.15であり、概ね整合的な回答を得られたと判断できる。これらの結果より、以下の2点が指摘できる。第一に、国産飼料の取引において生産者が重要だと考える項目は、耕種経営と畜産経営に共通して「価格の低さ」、「価格の安定」、「品質」、「倫理的消費を意識した生産」の順であり、経済的な条件が優先されていた。

第二に、耕種経営の項目ごとの重要度の平均値を見ると、「価格の低さ」の重要度が突出して高く、耕種経営にとっては低コストで生産できることが何よりも重視される傾向が見られた。「価格の安定」と「品質」の差は大きくなかった。また、「倫理的消費を意識した生産」の重要度は低いことがうかがえた。一方で、畜産経営では、「価格の低さ」と「価格の安定」の差は小さく、「倫理的消費を意識した生産」の重要度が比較的高い傾向が見られた。

すなわち、耕種経営と畜産経営では、国産飼料生産の条件は、順序では同傾向であるものの、相対的な重要度が大きく異なっており、耕種経営は「価格の低さ」、畜産経営は「倫理的消費を意識した生産」の重要度が他方より高いことがわかった。

表 5-1 重要と考える倫理的消費属性の生産者/消費者間での違い

		環境保全	動物福祉	食料自給	フェア トレード	農村維持
A	自身	0.22	0.07	0.28	0.14	0.28
	消費者	0.32	0.35	0.13	0.06	0.13
B	自身	0.16	0.04	0.38	0.07	0.34
	消費者	0.32	0.39	0.15	0.09	0.05
C	自身	0.10	0.05	0.16	0.49	0.21
	消費者	0.31	0.16	0.32	0.16	0.06
D	自身	0.39	0.18	0.13	0.21	0.09
	消費者	0.43	0.06	0.30	0.16	0.05
平均	自身	0.22	0.09	0.24	0.23	0.23
	消費者	0.34	0.24	0.22	0.12	0.07

資料：調査結果より作成

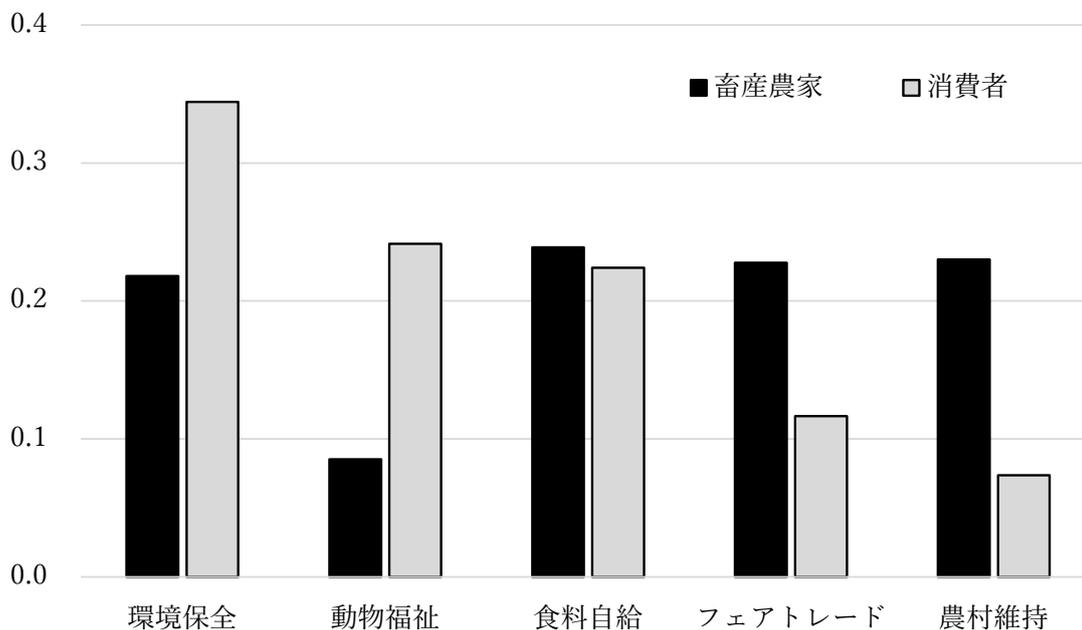


図 5-2 属性別 重要度の平均値

資料：調査結果より作成

表 5-2 国産濃厚飼料流通に必要と考える条件の経営間での違い

	農家No	価格の 低さ	価格の 安定	品質	倫理的 生産
畜 産	A	0.25	0.29	0.37	0.08
	B	0.39	0.30	0.17	0.13
	C	0.35	0.31	0.18	0.16
	D	0.37	0.37	0.09	0.16
耕 種	E	0.41	0.31	0.24	0.04
	F	0.42	0.32	0.16	0.10
	G	0.43	0.15	0.38	0.04
	H	0.65	0.20	0.11	0.04

資料：調査結果より作成

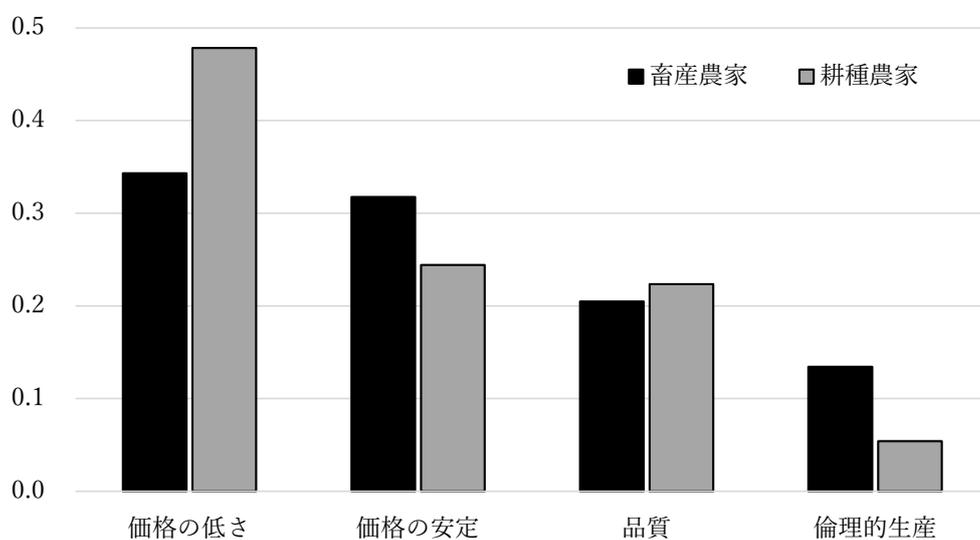


図 5-3 項目別 重要度の平均値

資料：調査結果より作成

第4節 小括

本章の結論は以下に集約される。

今回の調査で対象とした消費者は、子実用トウモロコシを利用する畜産経営が生産した農産物を日常的に購買しており、調査方法上の制約から調査数も十分ではない。しかし、分析結果より、環境保全の重要度には畜産経営とこれらの消費者の間で差がうかがえる。このことから、消費者が重視する倫理的消費の属性と、生産者が重視する属性には日頃から両者がコミュニケーションをよく取っていた場合でも、違いがあることが示唆される。また、調査対象である消費者が考える倫理的消費の中では、環境保全に対する重要度が一定程度存在することもうかがえる。山本（2020）は、倫理的消費というキーワードによる付加価値化が近年一般的になってきていることを指摘するが、このことは、倫理的消費の中に GHG への配慮も含まれていることを示唆する。

翻って、国産濃厚飼料の生産を進める上で必要な条件に関する認識では、畜産経営の方が耕種経営と比べてより倫理的消費を意識していることがうかがえる。このことは、山本（2020）が指摘した、「国産飼料を用いた畜産物の消費者は、経済効率や品質といった視点のみならず、倫理的消費の意義を認める傾向にあること」と整合しており、改めて確認することができた。

消費者の意向を国産濃厚飼料の生産に反映させることができれば、畜産物、ひいては GHG 排出の少ない農産物の商品 PR にも活用でき、販売にも活かせるかもしれない。そのためには、畜産経営と耕種経営との国産濃厚飼料に関するニーズや、生産に関する情報交流を通じて、消費者の志向を耕種経営に伝える仕組みを構築することが肝要である。また、GHG 排出に配慮した農産物を求める消費者を具体化し、そういった農産物の販売相手となる顧客層をより具体化していく取り組みも、今後重要になってくると考えられる。

註 1) 既存研究においても、Lusk et al.(2007)では「Affiliated public dimensions」、氏家(2013)では「公共財的側面をもつ信用属性」、山野(2020)では、「社会貢献要素」と同様の意味を持つ概念が提示されてきた。

註 2)倫理的消費が対象とする具体的な属性は、環境保全のほか、動物福祉、フェアトレードなどがある。詳細は山本（2020）を参照のこと。

註 3)Scheffe の一対比較法は、AHP（階層分析法）において評価基準の重みづけをする際に適用される手法と同様である。農業では TN 法第 3 ステップでの利用がある。利用例は門間(1996)や山本（1998）、山本ら（2005）を参照のこと。なお、属性間の重みづけでは、次章で利用する Best-Worst-Scaling が代表的な手法であるが、今回は評価属性の数が少ないことから、消費者の調査を生産者に委託したことから、調査方法の説明のしやすさを考慮し Scheffe の一対比較法を採用した。

第6章 環境に配慮された農産物に対する消費者選好と購買層

第1節 背景および目的

本章では、前章での結果を踏まえ、GHG 排出に配慮した農産物を求める消費者の具体化と、選好の強さを消費者試験より具体化することを目的とする。

わが国の酪農業では、限られた国土の中での持続的な酪農生産について、議論が活発化している。持続可能な生産体系による酪農を国内で確立するためのロードマップや推進の方法論の策定は、喫緊の課題となっている。

2021年に農林水産省は、「持続的な畜産物生産の在り方検討会の中間とりまとめ」を公表した。とりまとめでは、具体的な取り組みとして「生産に係る環境負荷軽減」、「堆肥の広域流通・資源循環の拡大」、「国産飼料生産等の推進」、「消費者への理解醸成」を掲げた。特に、消費者への理解醸成では、今後持続的な畜産物生産を進める上で、生産者の努力によるコスト削減と同時に、価格転嫁の形でコスト負担を求める必要があるとした。すなわち、今後生産者は生産面での現状把握・課題解決のみならず、消費者への情報発信とニーズに合わせた生産をする必要があると言える^{註1)}。環境負荷削減や、国産飼料生産の取り組みに対する成果は、生産時におけるGHG排出量や飼料自給率といった形で数値化が可能である。これらの項目を数値化し目標と現状を示すことは、この問題に対する幅広い理解の醸成に有用と考えられる。ただしここで、生産者側の環境負荷削減投資を促すためには、消費者側がこの問題に対してどのように反応するかを明らかにし、情報として伝えることが手段の一つとして考えられる。

持続的な農業生産と農産物の消費に関する国内の既存研究では、農産物の持つ新しい価値^{註2)}の定量化といった観点から、消費者調査による支払意思額の計測に関する蓄積が多く存在する^{註3)}。例えば、岩本(2004)は、札幌市に居住する主婦を対象として、エコラベルを貼った牛乳の消費者評価を行い、環境に配慮した方法で生産された牛乳に対する支払意思額を明らかにした。

一方、消費者の農産物に対するニーズは多様であり、全ての消費者が環境に配慮した農産物に興味を持つわけではない。消費者へのコスト負担を求める際には、興味を示す層を抽出することが重要であり、消費者層の特定や探索といった観点から、消費を伸ばすための端緒を探る研究も進んでいる。

櫻井(2004)は、商品マーケティングの方法として、潜在クラス分析を利用したターゲット・マーケティングの方法を提案した。従来のマス・マーケティングでは、全ての消費者を均質な顧客と考え、標準化された商品を大量生産し販売してきたが、消費者の価値観が多様化する中で、消費者のニーズの異質性を組み込んだターゲット・マーケティングに注目した。まず、ターゲット・マーケティングをおこなう際に重要なこととして、消費者のセグメント化、各セグメント構造とサイズの把握、各セグメントに有効なターゲット・プロモーションの展開の3点を指摘した。その上で、あるスーパーマーケットの購買データに潜在クラス分析を実施し、クラスごとの牛乳の購入に関する属性を整理し、セグメント化した。

駄田井ら(2007)は、岡山県内の直売所を対象として、顧客と生産者それぞれへの選択

実験により、農産物の味や安全性の部分効用値を算出し、消費者ニーズに対応したマーケティング戦略の構築を試みた。その中で、今後の課題の1つとして、「高いWTPを示した消費者の確保」を挙げた。

山野(2016)は、環境保全や生物多様性保全といった農業・農村に関わる社会的な問題を改善する方法によって生産された農産物が持つ価値を「社会貢献要素」と位置付けた上で、飼料米を給与して生産された鶏卵の購入に対する購入の重視度を明らかにした。

澁谷・久保田(2019)は、自給飼料を多給した牛乳で生産されたジェラートの消費拡大に向けて、購入者へのアンケート調査よりクラスター分析を用いて消費者を類型化した。結果、飼料の品質の良さや自給飼料を利用することはジェラートの購入意欲とは結び付きづらいとした。

光成・吉野(2019)は、山地で粗放的に放牧された乳牛から生産される牛乳を「特色ある牛乳」とした上で、一般消費者の生活感や食への関心、牛乳に対する嗜好に関する消費者調査を行い、潜在クラス分析を用いてこの牛乳の潜在的な消費者層の特定を試みた。

藤原ら(2012)は、20代以上の女性を対象に、GHG排出量削減に配慮した米へのWTPを算出する中で、この農産物を相対的に高く評価するのは若い世代や年収の高い消費者、農家の取組みに関する知識が多い消費者であることを明らかにした。

しかし、この分野の既存研究では特定の属性に興味を示す消費者の抽出は進む一方で、GHG削減と飼料自給率に配慮した牛乳に対する日本の消費者の選好に焦点をあてた研究はない。これを明らかにすることは、「自然の持続性」や「社会の持続性」に配慮した酪農生産システムの方向性を示す上で意義があるものと考えられる。

以上の認識に基づき本研究では、持続可能な酪農生産の2つの大きな要素であるGHG削減と飼料自給率について、これらの属性(以下、付加属性)を評価する消費者のセグメンテーションを通じて、消費者像の把握を試みる。具体的には、一般消費者を対象にWeb調査によって離散選択実験(Discrete Choice Experiment)をおこなう。その際、調査内容にベスト・ワースト・スケールリング(Best Worst Scaling: 以下、BWS)を含めることにより、付加属性に対して高いWTPを持つ消費者の抽出を試み、他の消費者層とのWTPの違いや消費者の特徴を明らかにすることを目的とする。

第2節 分析対象と消費者試験、分析の方法

1) 本研究の構成

本研究では、GHG削減、飼料自給率という2つの付加属性を加えた牛乳に対する離散選択実験を中心とするアンケート調査をおこなった。分析ではまず、消費者のセグメンテーションを目的として離散選択実験の回答データに潜在クラスモデル(Latent Class Model、以下 LCM)を適用し、消費者を回答傾向によって区分した。各クラスのGHG削減率、飼料自給率の変化に対する限界支払意思額(WTP)を算出するとともに、付加属性に関する反応の違いを整理し各クラスを特徴づけた。その際には、Lister et al.(2017)を援用した、牛乳購買時に考慮する要因についてのBWS、および、地球温暖化と飼料自給に関する認識も利用した。以上により、各付加属性に対して高いWTPを示したクラスの消費に対する特徴を明らかにした。

2) 離散選択実験

離散選択実験での属性数について、新山ら（2007）によると、消費者が農産物を実際に購入する際、商品を見始めてから選択するまでの時間はごく短く、探索された情報数は平均 3.4 であり、価格、数量、賞味期限、産地などの基本的なものに集中したことが分かっている。以上より、今回の評価では属性の数は 3 とした。評価する属性は、先述の「持続的な畜産物生産の在り方検討会の中間とりまとめ」を踏まえ、生乳生産時に発生する GHG の削減と飼料自給率の 2 属性を対象とし、これに価格属性を加えた比較的シンプルなプロフィールを採用することとした。

各属性のレンジについて、価格は調査時点における都内スーパーの電子チラシを参考に、予備調査では 180～255 円（税抜）とした。GHG 削減の水準について、農林水産省委託プロジェクト「農業分野における気候変動緩和技術の開発（2018-2021）」では、開発された GHG 削減技術の導入により、2030 年までに経営体で GHG20%削減を目的として開発が進んでいる^{註4)}。これを参考に、水準は慣行（0%削減）、20%削減、50%削減と設定した。飼料自給率の水準は、農林水産省（2021）に記載された 2018 年の酪農経営における自給飼料の給与割合（TDN ベース：32%）を踏まえ、近年の飼料輸入の動向から、現行より大きく減少することはないと仮定し、慣行（30%）、40%、60%、80%、100%とした。以上の条件設定や属性のレンジについては、2019 年 12 月 16～17 日の予備調査で検討し、最高価格での選択確率が高めだったことから、本調査では価格レンジを 180～370 円（税抜）と修正した。

表 6-1 消費者試験における全選択肢集合

質問 No.	第1選択肢			第2選択肢			第3選択肢			第4選択肢		
	GHG 削減率 (%)	飼料 自給率 (%)	価格 (円/L)									
1	0	30	210	20	30	270	0	60	280	50	100	370
2	0	30	200	20	30	280	0	80	240	50	80	250
3	0	30	190	50	30	230	0	60	270	20	80	330
4	0	30	180	50	30	240	0	100	210	50	60	290
5	0	30	210	20	30	260	0	80	230	20	40	270
6	0	30	200	50	30	210	0	100	220	20	40	310
7	0	30	180	20	30	250	0	40	250	50	100	230
8	0	30	190	50	30	220	0	40	260	20	60	350

本論文の離散選択実験では、第 1 選択肢は常に慣行の牛乳（GHG 削減率 0%、飼料自給率 30%）とした。その上で、第 2 選択肢は GHG 削減のみが向上した牛乳、第 3 選択肢は飼料自給率のみが向上した牛乳、第 4 選択肢は GHG 削減と飼料自給率の両方が向上した牛乳とし、「どれも買わない」を加えた 5 選択肢としている。この構造を前提として、全選択肢集合の設計（各選択肢の属性水準の決定）には、ChoiceMetrics Inc. の実験計画ソフトウェア Ngene ver 1.2.1 による D-error 最適化による方法を用いた（ChoiceMetrics 2018）。本調査に用いた全選択肢集合を表 6-1 に示す。また、本調査で設定した質問文と選択肢集合の例を図 6-1 に示した。

	1	2	3	4
飼料自給率	(30%)	(30%)	飼料自給率 60%	飼料自給率 100%
温室効果ガス の削減率	—	温室効果ガス 20%削減	—	温室効果ガス 50%削減
価格	210円 (税込226円)	270円 (税込291円)	280円 (税込302円)	370円 (税込399円)

Q6 上記のうち最も買いたい牛乳をお選びください。

どれも買いたくないときには「どれも買わない」をお選びください。

- 1
- 2
- 3
- 4
- どれも買わない

図 6-1 web 調査における選択実験の設問例

資料：web 調査画面を基に筆者作成

牛乳についての選好、特に GHG 削減や飼料自給率の向上という、一般的ではない属性について、すべての消費者が同じ選好構造を持っていると仮定することは現実的ではない。そこで本論文の離散選択実験データの分析には、LCM を用いることとした。LCM は、選好を表すパラメータの離散的な分布を仮定することで、消費者選好の異質性に対応するものであり、サンプルに含まれる各回答者は推計を通じて潜在的な「クラス」に分けられる (LCM の詳細は、Hensher et al.(2015)、藤田・佐藤 (2017)を参照)。

本章での LCM の確定効用のモデルは、

$$V = Const_q + bGn_q \times \ln(\text{GHG}) + bS_q \times \ln(\text{SSR}) + bP_q \times \text{Price} \quad (1)$$

とした。変数 GHG は温室効果ガスの削減率、変数 SSR は慣行水準 (30%) からの飼料自給率の改善率、変数 Price は価格を表している。GHG 削減率と自給率については、自然対数を取るモデルを採用した。これは、両属性の増加に対する消費者評価の逓減傾向を捉えるためである^{註 5)}。 bGn_q 、 bS_q 、 bP_q 、および定数項 $Const_q$ は推計すべきパラメータであり、添え字 q はクラス q のパラメータであることを示す。選択肢「どれも買わない」が選ばれた場合は $V = 0$ としている。これらのパラメータのうち、 $Const_q$ は「どれも買わない」以外の 4 選択肢で共通としているため、GHG 削減率 0%、飼料自給率は慣行の 30% という牛乳「本体」への選好を表すとみなせ、符号は正となることが予想される。GHG の削減率のパラメータ bGn_q と飼料自給率のパラメータ bS_q には、回答者によるこれらの属性の評価が反映される。また、価格のパラメータ bP_q の符号は負となることが期待される。

なお、(1)式で GHG と SSR の自然対数を取っているため、これらの属性に対する MWTP には属性の水準が影響し、GHG の場合であれば、以下のように求められる (Hensher et al. 2015)。

$$MWTP = - \frac{bGn_q}{bP_q \times GHG} \quad (2)$$

3) ベスト・ワースト・スケーリング

調査では、消費者が牛乳購入時に何を重視するかを知るためにBWSのCase1(合崎 2017)による質問もおこなった。BWSは、多数の項目に対する相対評価を、比較的回答しやすい形式質問から計測できる方法であり、幅広い学術分野で活用されている。評価項目は、畜産物の価値に関する既存研究であるLister et al.(2017)に従い、(1)新鮮さ(消費期限やパッケージ等でわかる新鮮さ)、(2)味(風味や香り、舌触りなど)、(3)価格(食料品の価格)、(4)安全性(食べることで身体の不具合を起こす可能性が低いこと)、(5)健康(食べることで長期間の身体に与える良い影響)、(6)栄養(必須栄養素や一日の必要カロリーの含有量)、(7)利便性(調理や利用の手軽さ)、(8)生産地・トレーサビリティ(どこで生産されたかの情報、また、生産や加工に関する情報をどの程度知ることができるか)、(9)成長ホルモン・抗生物質(乳牛の飼育に成長ホルモンや抗生物質が使用されているか)、(10)家畜福祉(家畜が、肉体的・心理的ストレスのない方法で飼育されたか)、(11)環境への影響(生産時、流通時において自然環境に与える負荷や影響)の11項目とした。

全選択肢集合の設計は、つり合い型不完備計画(Balanced Incomplete Block Design: BIBD)を採用し、R(R Core Team 2019)のcrossdesパッケージにより行った。各質問では、11項目の中から抽出された6項目を提示し、最も重要な項目と、最も重要でない項目を回答してもらい、組み合わせを変えて11回質問を繰り返した。

BWSの回答結果については、計数法(合崎 2017)によって非集計レベルのBW得点を算出し、離散選択実験から推計された各潜在クラスの特徴の分析に用いることとする。

4) アンケート調査の概要

アンケート調査は2020年2月18~20日に、(株)マクロミルに委託して、Web調査の形式でおこなった。アンケートには、離散選択実験とBWSのほかに、牛乳の消費、地球温暖化や飼料自給率についての認識を問う項目などが含まれている。回答者は関東圏(1都3県)の726名を対象とし、年代(20-60代)と性別について、人口構成比に比例した割り付けをおこなった。分析では、日常で牛乳をまったく買わない回答者、ほとんど買わない回答者、および牛乳の消費量が週に500ml程度未満の回答者を除き、489名分のデータを用いた。

第3節 分析結果から見る消費者像

1) LCMによる離散選択実験データの推定結果

離散選択実験データのLCMによる推定結果を表6-2に示す。推計にはEconometric Software社のNLOGIT6を用いた。表中に併記したMNLと比較すると、全体のフィットを示すMcFaddenR²が大きく改善していることがわかる。LCMのクラス数は、AICとパラメータの有意性から3とした。推定されたパラメータのうち、定数項と価格パラメータは、すべて1%水準で有意であり、符号も理論通りである。ただし、Class2はGHG排

表 6-2 潜在クラスモデルの推定結果

変数	MNL	LCM		
		Class1	Class2	Class3
		17.3%	32.8%	49.9%
Const	4.657	7.156	17.060	5.113
定数項	(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)
bGn	0.099	0.236	-0.072	0.300
GHG削減率	(<0.001)	(<0.001)	(0.136)	(<0.001)
bS	0.108	0.251	-0.045	0.310
飼料自給率	(<0.001)	(<0.001)	(0.353)	(<0.001)
bP	-0.020	-0.046	-0.065	-0.016
価格	(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)	(<0.001)
McFadden's R ²	0.046	0.336		
AIC/N	2.937	2.144		
サンプルサイズ(N)	3912(489人×8回)			

資料：調査結果より作成

註：()内は p 値で、「<0.001」は p 値が 0.001 未満であることを示す。

出削減と飼料自給率のパラメータの有意性が低く、これらの属性が選択にあまり影響していない。

表 6-3 は、表 6-2 の推計パラメータから求めた、クラスごとの属性の評価額である^{註6)}。ただし(2)式からわかるように、両付加属性の MWTP は属性水準によって変わるため、表 6-3 では慣行牛乳 (GHG 削減 0%、飼料自給率 30%) と効用水準が等しくなる金額を、各属性の評価額とした。

Krinsky and Robb(1986)の方法による信頼区間を含めて判断すると、付加属性に対する評価額が正であるのは Class1 と Class3 で、Class2 は付加属性に対する評価額が 0 と有意差を持たない。また、Class1 と Class3 の各属性水準における評価額を比較するために Poe et al.(2005)の方法を用いて検定したところ、どの水準でも Class3 の方が有意に大きいと判断された (すべて $p < 0.001$)。なお、信頼区間の推定には R の mass パッケージ(Ripley et al.(2013))を利用し、Poe et al. (2005)の検定には R の mded パッケージ(Aizaki(2014))を用いている。

以下、表 6-2 と表 6-3 より各クラスの特徴を記す。まず、回答者の 17.3%が分類された Class1 は、牛乳本体への評価である定数項の WTP が低めで価格にシビアな消費者層と判断できる。ただし、GHG 削減と飼料自給率についても一定の評価はしており、パラメータはどちらも有意に正である。

32.8%が分類された Class2 は、牛乳本体への評価は Class1 より高い。一方で二つの付加属性のパラメータはわずかにマイナスだが、前述のように有意性は低い。牛乳の付加属性としては、GHG 削減、飼料自給率の向上に冷淡な層だと解釈できる。

表 6-3 付加属性に対するクラス別評価価額 (円/L)

定数項	GHG削減				飼料自給率			
	20%	50%	40%	60%	80%	100%	80%	100%
Class1	154.3 [140.3 , 163.3]	20.0 [10.7 , 29.0]	13.0 [7.6 , 17.9]	18.6 [10.9 , 25.7]	21.3 [12.5 , 29.4]	23.1 [13.6 , 31.9]		
Class2	261.2 [249.0 , 276.7]	-4.3 [-11.4 , 1.3]	-1.7 [-5.9 , 1.7]	-2.4 [-8.4 , 2.4]	-2.7 [-9.6 , 2.8]	-2.9 [-10.4 , 3.0]		
Class3	326.5 [298.6 , 356.7]	75.3 [67.8 , 84.0]	47.5 [43.1 , 52.4]	68.1 [61.7 , 75.1]	77.9 [70.6 , 86.0]	84.5 [76.6 , 93.2]		

資料：調査結果より作成

註1) []内は Krinsky and Robb (1986)の方法による 95%信頼区間である。

註2) 全てのパラメータは、Class1と Class3の間に 1%の有意差がある。

最も多い49.9%の回答者が分類されたClass3は、牛乳本体へのWTPが高く、飼料自給率とGHG削減のパラメータも有意に正である。両付加属性を積極的に評価しているクラスだと考えられる。

GHG削減の評価額をみると、Class1では20%減が15.5円、50%減が20.0円であり、Class3では20%減が58.3円、50%減が75.3円となった。この属性評価額は、本体である牛乳の価格と独立であるため、慣行牛乳が200円で販売されているときに、Class1の回答者であれば、GHG50%削減の牛乳が220.0円ならば、慣行牛乳との選択確率が等しくなる、と読むことができる。Class3の回答者では、GHG50%削減の牛乳が275.3円のときに、この選択確率が等しくなる。Class2はGHG削減をまったく評価していない^{註7)}。

2) クラス別の基本属性の比較

次に、各回答者は、推計結果から計算した所属確率が最も高いクラスに所属するものと仮定したうえで、各クラスにおける回答者の基本属性（年齢、性別、既婚率、世帯収入）の分布を示したのが表6-4、6-5である。

表 6-4 性別、年代のクラス別比率（%）

	性別		年齢					平均
	男性	女性	20代	30代	40代	50代	60代～	
Class1	34.5	65.5	10.4	31.0	24.1	13.8	20.7	44.9
Class2	55.0	45.0	18.8	24.4	21.9	16.9	18.1	44.0
Class3	45.0	55.0	12.4	19.4	21.9	20.7	25.6	47.3
全体	46.4	53.6	14.1	23.1	22.3	18.2	22.3	45.8

資料：調査結果より作成

表 6-5 世帯年収のクラス別比率（%）

	～200	～400	～600	～800	～1000	1000～
Class1	6.9	17.2	32.7	24.1	8.7	10.3
Class2	6.5	14.8	27.9	25.4	12.3	13.1
Class3	4.9	17.5	21.9	20.3	13.1	22.4
全体	5.8	16.5	25.6	22.6	12.1	17.4

資料：調査結果より作成

以下、各クラスの特徴を基本属性と全体平均との比較から述べる。性別を見ると（表6-4）、Class1で女性の割合が多く、Class2で男性の割合が高い。年齢を見ると、Class1で30代の割合が高く、Class2で20代から30代の割合が高かった。一方、Class3は50代以降の割合が平均より高く、特に60代以降の割合がクラスの4分の1以上を占めていて、平均年齢も全体平均より高い。世帯年収について（表6-5）、不明・無回答を除いた全体の最頻層は401～600万円であった。Class3の最頻層は1,000万以上にあり、他のクラスに比べて経済的に豊かな層が多いことがうかがえた。

普段の牛乳購買行動について、クラスと結果を表6-6、6-7に示す。家庭内での過当たり

消費量では（表 6-6）、いずれのクラスでも最頻層は 1L で 4 割を占めており、次いで 2 L であった。ただし、Class1 では 2 L も 3 割に近く、消費量は多めである。普段購入する牛乳の価格では（表 6-7）、いずれも 151~200 円/L が過半を占めた。一方で、Class3 の消費者は、250 円/L 以上の割合が 1 割を超えており、平均購入価格もクラスの中で最も高かった。

表 6-6 1 週間当たり牛乳消費量のクラス別比率（％）

	0.5L	1L	2L	3L	4L~
Class1	8.1	41.4	29.9	11.5	9.2
Class2	5.0	44.4	27.5	13.1	10.0
Class3	10.7	45.5	20.7	12.4	10.7
全体	8.4	44.4	24.5	12.5	10.2

資料：調査結果より作成

表 6-7 購入する牛乳（1L）の価格帯のクラス別比率（％）

	<150円	~200円	~250円	~300円	300円<	(平均:円/L)
Class1	25.0	62.5	10.0	0.0	2.5	166
Class2	10.6	74.8	11.9	1.3	1.3	172
Class3	9.9	51.5	26.2	7.9	4.5	194
全体	12.9	61.7	18.2	4.2	3.0	181

資料：調査結果より作成

3) クラス別の BW 得点の比較

表 6-8 は、牛乳購入時に重要な項目を尋ねた BWS の質問結果から非集計レベルの BW 得点を算出し、それを LCM のクラス別に集計した結果である。BW 得点は各項目の相対的な重要度を示しており、表では全体のスコアで降順にソートしている^{註8)}。

回答者全体では、「安全性（2.33）」のスコアが最も高く、次いで、「価格（1.37）」、「健康への影響（1.15）」であった。BW 得点が最も低かったのは「利便性」であり、「生産地・トレサビ」、「家畜福祉」、「環境への影響」も、相対的な重要性は低いという結果であった。クラス間の比較では、重要と考える項目の序列に大きな違いは見られなかった。その中で、Class1 は「安全性」のスコアが最も高く、「価格」、「新鮮さ」がこれに次いだ。Class2 は、「価格」のスコアが最も高く、「安全性」、「味」の順であった。Class3 は、Class1 と同様「安全性」のスコアが最も高いが、「健康への影響」が続き、次いで「成長ホルモン・抗生物質」であった。

クラス間を比較すると、Class1 は「価格」のスコアが全体より高めである点をのぞけば、全体の傾向とあまり変わらなかった。Class2 は「価格」のスコアが高く、「環境への影響」のスコアは低めであった。Class3 は「価格」のスコアが他より低く、「生産地・トレサビ」、「家畜福祉」のスコアは他のクラスよりもやや高めであった。

表 6-8 BWS 得点のクラス別比較

	Class1	Class2	Class3	全体	Lister.et.al(2017) での順位	1-2	1-3	2-3
安全性	2.24	2.07	2.52	2.33	2			
価格	2.00	3.07	0.02	1.37	7	**	**	**
健康への影響	0.90	1.03	1.32	1.15	3			
新鮮さ	1.26	1.08	0.94	1.04	1			
味	1.00	1.13	0.95	1.02	4			
成長H・抗生物質	0.52	0.33	0.96	0.67	6			**
栄養	-0.39	-0.34	-0.20	-0.28	5			
環境への影響	-1.15	-1.70	-0.94	-1.23	9			**
家畜福祉	-1.71	-1.84	-1.12	-1.46	8	**	**	
生産地・トレサビ	-1.97	-2.32	-1.38	-1.79	10	**	**	
利便性	-2.70	-2.49	-3.07	-2.82	11			**

資料：調査結果より作成

註 1) Lister.et.al での順位では、牛乳を対象とした Share of Importance の順位を示した。

註 2) **は Tukey-Klamer 法による検定で、クラス間に 5%の有意差を持つことを示す。

表 6-9 飼料自給率の高い牛乳に対して持つイメージのクラス別比較

	Class1	Class2	Class3	All	1-2	1-3	2-3
安全性が高い	3.89	3.87	4.23	4.05		**	**
価格が高い	4.34	4.13	4.21	4.21			
健康によい	3.66	3.59	4.00	3.80		**	**
新鮮である	3.56	3.34	3.72	3.57			**
味がよい	3.76	3.53	3.89	3.75			**
成長ホルモンや抗生物質が少ない	3.66	3.53	3.82	3.70			**
栄養的に優れている	3.66	3.49	3.88	3.71			**
自然環境へ与える負荷や影響が少ない	3.41	3.45	3.74	3.59		**	**
乳牛に与えるストレスが少ない	3.51	3.33	3.60	3.49			**
生産地や加工に関する情報を入手しやすい	3.55	3.57	3.77	3.67			
利便性が高い	3.03	2.99	3.02	3.01			

資料：調査結果より作成

註) **は Tukey-Klamer 法による検定で、クラス間に 1%の有意差を持つことを示す。

4) 付加属性に関するクラス間の認識の違い

飼料自給率の高い牛乳に対するイメージをクラスごとに分けた結果を表 6-9 に示す。表中のスコアは、飼料自給率の高い牛乳を慣行の牛乳と比べた際の特徴として「5.そう思う」～「3.どちらでもない」～「1.思わない」と 5 段階で回答してもらったものの平均値であり、大きいほど質問に対して肯定的であることを意味する。回答者全体では、「価格が高い (4.21)」が最も高かった。その次に高い値をとったのは、「安全性が高い (4.05)」であり、その他の項目は「利便性が高い (3.01)」を除いて 3.5～4.0 の間で同様であった。クラス間では、Class3 は「価格が高い」と「利便性が高い」以外の各項目で最もスコアが高かった。

また、クラスごとの平均値を Tukey-Kramer 法により多重比較し、クラス間の比較をした結果、Class2 と Class3 で「価格が高い」、「利便性が高い」、「生産地や加工に関する情報を入手しやすい」の3項目以外全てに1%の有意差があり、いずれも Class3 の方が平均値は高かった。

Class3 では他のクラスと比べて、「成長ホルモン・抗生物質を使用していないこと」、「健康への影響」、「安全性」が高かった。Class3 は、飼料自給率の高い牛乳の特徴について、「新鮮」、「味が良い」、「安全性が高い」、「健康に良い」、「栄養価が高い」、「成長ホルモンや抗生物質が少ない」、「乳牛に与えるストレスが少ない」、「環境負荷が少ない」という点で、他のクラスよりイメージを強く持っていた。

地球温暖化および食料自給率に関する一般的な考え方に対する質問への回答結果を表10に示す。設問は、これらの問題の重要性、問題解決に向けた努力に関するものである。表中の数値は、前表と同様、5段階での回答の平均値である。回答者全体では、問題の重要性を示す「地球温暖化問題／日本の食料自給率を上げることが重要である」はそれぞれ4.27、3.99だった。両者とも3を上回り問題の重要性には肯定的であったが、地球温暖化問題の方がよりスコアは高かった。問題解決に向けた努力の必要性を示す「日本は地球温暖化問題の解決／食料自給率の向上に、いま以上に努力すべきである」はそれぞれ3.99、3.90であった。クラス間の比較では、全ての項目でClass3は他のクラスより高く、多くの項目について有意な差が見られた。

表6-10 温暖化問題、および食料自給率に対する考えのクラス別比較

	Class1	Class2	Class3	All	1-2	1-3	2-3
地球温暖化問題は重要である	4.13	4.12	4.42	4.27	**	**	
地球温暖化の悪影響はすでに自分や家族にも出ている	3.37	3.19	3.50	3.38			**
農業部門が地球上での温室効果ガス排出全体に与える影響は大きい	3.52	3.41	3.71	3.58			**
地球温暖化問題と温室効果ガスの関係には、科学的な根拠が薄い	2.84	2.94	2.79	2.85			
日本は地球温暖化問題の解決に向けて、いま以上に努力すべきである	3.93	3.83	4.12	3.99			**
日本の食料自給率を上げることが重要である	3.69	3.82	4.21	3.99	**	**	
現在の国内食料自給率の水準に、懸念を持っている	3.39	3.41	3.96	3.68	**	**	
酪農については、食料自給率をいま以上上げる必要はない	2.74	2.63	2.50	2.58			
食料自給率が低下することで国内に与える影響は、あまり大きくない	2.60	2.52	2.37	2.46			
日本は食料自給率の向上に、いま以上に努力すべきである	3.64	3.76	4.08	3.90	**	**	

資料：調査結果より作成

註) **は Tukey-Kramer 法による検定で、クラス間に1%の有意差を持つことを示す。

第4節 小括

以上の結果を基に、持続的な酪農生産に関する属性を付加した牛乳を購入する消費者の特徴と、セグメンテーションの意義について考察を加える。

1) 消費者の特徴について

本章の分析結果からは、GHG 削減や飼料自給率の向上を評価する消費者層 (Class3) が存在し、これらが牛乳の付加価値としても評価されることが明らかになった。Class3 の回答者は表 6-10 の「地球温暖化の悪影響はすでに自分や家族にも出ている」の項目で高めの認識を示している。また Class3 は、地球温暖化問題とわが国の食料自給率向上の重要性、問題解決に向けた努力の必要性を最も肯定的に評価している。

全体として、BWS の結果における「環境への影響」の順位は、Lister.et.al(2017)と同様に低かったものの、Class3 では他のクラスよりも「環境への影響」の BW 得点は高く、相対的には重視されている。また、Class3 は BWS で「安全性」、「健康へ影響」を最も重視しているクラスである。つまり、GHG を削減した牛乳や飼料自給率を向上した牛乳を志向する消費者は、牛乳の選択に自身や家族の健康を重視する傾向が認められる。このことは、飼料自給率の高い牛乳に対して持つイメージ (表 6-8) において、Class3 の「安全性が高い」に対するスコアが他のクラスより有意に高いこととも整合的である。

Class3 の基本属性は、50 代以降の壮年～老年層の割合が高く、世帯年収は高い傾向が見られた。また、牛乳の消費量は他のクラスと大きく変わらないものの、普段購入している牛乳の価格は他のクラスより高い傾向が見られた。GHG を削減した牛乳や飼料自給率を向上した牛乳を販売する際には、これらの消費者層が主な購入対象として想定される。

2) セグメンテーションの意義

本章の分析より、消費者をクラス分けすることによって、全体を1つとした集団で評価した際とは異なる属性や特徴を抽出することができた。顧客個別の商品購買行動に関するデータは、本来は既に市場で流通する商品でのみ取得が可能である。しかし、流通前の商品についても表示選好法により消費者のニーズを把握することで、対象のセグメンテーションができ、特徴ある農産物に興味を持つ消費者の絞り込みができる。

GHG を 50%削減させた牛乳が慣行の牛乳と同程度の購入確率を持つ価格は、Class3 の場合慣行比+75 円/L であり、飼料自給率も加えることで、この差はさらに広がる。本章で取り上げた属性を持つ牛乳の生産に生産者が取り組む際には、ターゲットの絞り込みをおこなうことで、消費者全体を一つのまとまりとして分析していた際には些少と見られていた価値が顕在化する可能性がある。

今回のように、消費者のセグメンテーションをした上で、販売する農産物の対象となる消費者層を明らかにすることは、販売時におけるマーケティング活動だけでなく、生産者が将来の生産体制の構築に向けた投資の意思決定においても、有用な情報となりえる。いわば、生産者側に向けた消費者ニーズの「見える化」である。

3) まとめ

本章では、消費者のセグメンテーションを通じて、持続可能な農業生産の2つの大きな要素である GHG 排出と飼料自給率を改善した牛乳を評価する消費者像の把握を試みた。近年、農産物マーケティングの方法として、生産者ラベルによる差別化が用いられることがある。生産者ラベルは、消費者に生産者を識別して認識させる方法と言えるが、消費者と生産者の「顔の見える関係」を構築するためには、生産者が消費者を認識することも重要であろう。

消費者のセグメンテーションを通じた消費者ニーズの顕在化は、生産者の意識をそうしたニーズに向けさせることに役立つ。本章の分析結果も、農業生産者の持続的な農業生産への投資の意思決定に動機付けを与えうる。

註1) 2017年に加工原料乳生産者補給金制度が改正されたことにより、生産者は特色ある牛乳を他の牛乳と区別し、プレミアム乳価での販売を委託することが可能となった。今後、酪農では飼料自給率を高めるとともに、そうした牛乳に対する有利販売の検討が進むことが予想され、一部の乳業メーカーでは国産飼料100%の牛乳の販売が開始されている。

註2) 工藤(2000)では、ドイツにおける食肉の品質管理保証プログラムと、EUのプロジェクト論文の整理から、EUにおける食品の品質概念の変化が検討された。その中で、品質に関する認識は、計測可能な製品特性に対応したものから、動物愛護に配慮した飼養環境のような製品そのものの特性に対応しないものへ拡大していると指摘した。

註3) 氏家(2013)では、消費者評価の研究動向の整理の中で、食品の持つ公共財的な属性の1つとして「環境保全属性」を挙げ、公共財的属性の評価に関する研究蓄積の必要性を指摘した。また、氏家(2016)では、これまでの食品表示と消費者行動をめぐる実証研究の整理の中で、食品の表示内容の区分の1つを「有機・環境・持続可能性」とし、その性格を「環境保全に配慮して生産された農産物」とした。また、「消費者調査データに基づく分析が、食品表示と消費者行動の研究においてメインストリームの研究手法である」とした。

註4) GHG国内削減量の目標値は2020年の後半よりしばしば強化され、2021年4月には2030年度までの政府の方針として同46%削減、6月には「みどりの食料システム戦略」において実質ゼロとする目標が示された。

註5) 変数GHG、SSRは0となることがあるため、1を加えてから自然対数を取っている。

註6) 基準となる慣行牛乳のGHG削減率、飼料自給率(30%からの向上分)は、自然対数を取った際の0からの増加に対する評価額として算出した。

註7) なお、推計作業では、牛乳を週に500ml以上購入する回答者(回答者726名のうち489名)に絞っている。そのため、Class3のように、牛乳本体や付加属性に対して高い評価額を持つ層が消費者全体に占める割合は、49.9%よりも低いと考えるべきだろう。

註8) 計数法によるBW得点では、Worstとして選択される回数がBestの回数を上回れば、BW得点は負となる。したがって、負のBW得点は、項目全体のなかで、その項目の相対的な評価が低いことを示すだけであり、回答者の効用を下げる項目であることを意味しない。

終章 結論と残された課題

第1節 各章の要約と含意

1) 各章の要約

本節では、これまでの章での分析を要約した後、農業経営者が GHG 排出を意識した経営行動をとるために支援すべき方策について考察する。

第1章では、わが国における GHG の発生状況と農業の占める割合を示した後、行政施策による農業での環境負荷の動向と、特に GHG 削減に関するものについて整理した。わが国の GHG 排出量は 2018 年で 12.4 億 t-CO₂eq であり、世界の総排出の 3.2% を占め国別では第5位の大きさである。その内、農業での排出は 0.5 億 t-CO₂eq であり、国内の排出量の 4.0% である。一方で、わが国の GDP のうち農林水産業の占める割合は 1.3% であることから、生産した付加価値額に対しては GHG 排出量が多く、削減が求められる産業であると考えられる。

第2章では、情報収集・集約段階で明らかになる情報について分析した。酪農を対象に、北海道での平均的な規模を想定した場合の GHG 排出量と排出場面別の内訳を示した上で、ふん尿処理における GHG 削減技術であるバイオガス処理による GHG の削減について評価した。LCA の結果、GHG は慣行比 71% に削減されることがわかった。発生したバイオガスをエネルギー源として利用することができれば、更なる削減効果が期待できる。

農業における GHG 発生では1つの排出場面への集中度が高いもの（ホットスポット）があり、その場合は単体の技術導入によって GHG を大きく削減できる可能性がある。また、コスト削減には、生産要素の投入量を減らすことが基本となる一方で、GHG 削減には生産要素のコントロールのみでは削減が困難な場合もある。単一の削減技術の導入によって、GHG 排出量を大きく削減することは可能であることから、農業における GHG の削減では LCA を実施し行程全体での GHG 排出を概括した後、削減すべき箇所を特定することが肝要と考えられる。

第3章では、情報開発・評価段階のうち、経営内に比較する慣行農法がある場合に明らかにできる新たな情報について検討した。クリーン農業を対象に、生産資材の使用量を削減した施設園芸において生産コストと GHG 排出量に与える影響を明らかにした。化学肥料と化学合成農薬の使用量を慣行から5割削減した場合、代替となる有機質肥料、ゼロカウント農薬が高価であることから、削減したほどのコストの減少は見られず、費目によっては増加するものも見られた。GHG の発生量は、資材が削減されたにも拘らずほとんど変わらなかった。また、農法の変更により収量が減少する場合は、GHG の減少以上に収量が減少すれば生産物当たりの GHG 排出量が増加する可能性も指摘される。以上のように、コスト評価と GHG 排出量評価結果を複合させることで経営管理に有用な情報を新たに開発できることを明らかにした。

第4章では、情報開発・評価段階のうち、経営内に比較する慣行農法がない場合でも明らかにできる新たな情報について検討した。ここでは、国内で既に生産が拡大しつつある子実用トウモロコシを対象に、国産濃厚飼料の普及に向けた経済性の評価とともに、海外産飼料との GHG 排出量の比較を行った。子実用トウモロコシは、現状見込まれる収量で

全算入生産費を賄う収益を得ることが可能であり、飼料の国際価格が大きく変化する現在においては、国内で生産をすることに経済的な合理性を持つと考えられる。同時に、国産トウモロコシの生産、流通を含めた GHG 排出量の比較対象を、トウモロコシの主要な輸入国であるアメリカ産として LCA を行った結果、国産の方が海外産よりも 1 割程度少ないことが判明した。このことから、比較対象が経営内にない場合は、経営内での技術選択にはならないものの、比較の枠組みを経営外に設定することで農産物に新たな属性を付加させ、農産物の差別化を図る新たな情報を生みだせることを明らかにした。

第 5 章では、生産者の経済的インセンティブとして消費者の倫理的消費に注目し、消費者と生産者との倫理的消費の属性間での関心の違いを整理した。結果、生産者から直売をしている消費者は、特に自然環境への影響に関心が高い傾向が見られ、生産者との交流頻度の高い消費者でも、生産者との間に乖離がある可能性を指摘した。

第 6 章では、持続可能な酪農生産を考える際に商品特性となる GHG 削減と飼料自給率について、牛乳を対象としてこれらの属性を評価する消費者のセグメンテーションと、消費者の特徴の把握を試みた。離散選択実験の LCM の結果、GHG 削減と飼料自給率向上に対する付加属性の WTP は消費者間で大きく異なり、高い WTP を持つクラスは、50 代以降の壮年～老年層の割合が高く、世帯年収は高い傾向が見られた。また、牛乳の消費量は他のクラスと大きく変わらないものの、普段購入している牛乳の価格は他のクラスより高い傾向が見られた。加えて、GHG を削減した牛乳や飼料自給率を向上した牛乳を志向する消費者は、食品の選択に主に自身や家族の健康を重視する傾向が認められた。GHG を削減した牛乳を販売する際には、これらの消費者層がターゲットの 1 つとして想定できると考えられる。

2) 考察－経営者の GHG 排出を意識した経営行動を促進する方策

以上を踏まえ、支援者が生産者に自らの営農場面において生産に伴う GHG 排出を意識した経営行動をとるよう促すための方策を、佐々木（1992）の指摘する当事者情報の創造プロセスに沿って以下考察する。

（1）情報収集・集約段階での取り組み

当事者情報の創造プロセスの初期に当たる情報収集・集約段階は、市場環境および自然環境から提供されるシグナル、つまり形式的情報を観察・記録し蓄積する過程と位置付けられている。ここではまず、市場環境の情報として「消費者が環境情報に関心を持っていること」を支援者が経営者に認識してもらう必要があると考えられる。GHG 削減に関心を示す消費者が一定数いることを示すのは、経営者が GHG 削減に注目し、削減技術を導入し自らの生産物に GHG 削減の属性を付与させるきっかけとなりうる。

第 5 章より、消費者の中にも倫理的消費で環境影響への関心を持つ者が一定程度存在することが示唆され、生産者との間に差が見られることが確認された。また、それを受けた第 6 章では、実際に GHG を削減した牛乳に対して WTP を持つ消費者も確認された。消費者の倫理的消費への認識と、環境影響に関する関心の高さに関する情報を生産者へ継続的に伝えることで、GHG 情報に関する経営者の関心を惹起する可能性がある。経営者の関心が得られたら、自然環境の情報を得るためのデータ収集を行う。ここでは、目に見え

ない GHG 発生量を LCA で分析し把握する必要がある。第 2 章より、酪農のふん尿処理での GHG 削減である共同利用型バイオガスプラント処理では、従来型のふん尿処理に比べて負荷が 71%に減少し、一つの技術を導入することで GHG を大きく削減することができる可能性が確認された。これにより、GHG は負荷量の捕捉と管理が可能であると経営者に示すことができる。LCA は支援者が経営者に代わって実施する必要があるが、経営者が GHG を意識するには、そもそも目に見えず影響もわかりづらいこの環境負荷をまずは定量し、可視化することが重要となってくる。そのためには、経営者が生産に係るデータを選択して簡単に入力することで、自動的に GHG 排出量に関する LCA の情報を出力できるアプリケーション・ソフトウェアの開発が、普及する上では必要と考えられる。これにより、経営体の GHG 排出情報が支援者を通じて経営者の下に集約される。

(2) 情報開発・評価段階での取り組み

上記の GHG 排出情報を集約した経営者に対して、当事者情報の次の創造プロセスである情報開発段階は、従来の視点に囚われない見方で情報の組み替えや加工をし、生産物や生産物への対応を具体化させる過程と位置付けられている。ここでは、支援者は「従来の情報と GHG の情報の組み合わせで、新たな情報を生み出せること」を経営者に認識してもらう必要があると考える。第 3 章より、トマトの生産で最もコストのかかる費目は種苗費で、次いでその他諸材料費だったのに対し、GHG の主な排出は主に化石燃料の燃焼と肥料の製造に起因するものであった。すなわち、農畜産物において生産コストの構成比から大きく改善すべき項目と、主に GHG が発生し対応すべきホットスポットは連動しておらず、別々の箇所であることが確認された。これは、コスト削減と GHG 削減の要諦は同一箇所ではないことを意味しており、コストや資材の削減の延長に漠然と GHG の削減があるわけではないことを示している。

加えて第 3 章では、環境保全型農業の一つであるトマトの特別栽培農産物について、コスト面の評価で、特別栽培トマトの収量減少に起因して単位生産物当たり費用が慣行より高くなるのと同様に、単位生産物当たり GHG 排出量も高くなる可能性が示唆された。このことより、GHG の発生量の増減を把握し消費者に開示するためには、物的生産量や付加価値生産の結果指標と関連させて定量化すべきであり、生産物重量当たりや粗収益当たりの発生量として捉え議論すべきであることが示唆される。そのためには、経営体の GHG 管理は生産データや経営データを連動させる必要がある。

以上のことから、開発段階においては、農場における価値的投入を表しているコスト情報を GHG 情報と組み合わせることで新たな情報が開発され、コストと GHG 削減の要諦の違いが明らかになる。これにより経営者が、生産場面のどの過程に、どのような技術を投入していくべきかが判断できるようになると考えられる。この際、LCA を実施するにはコスト情報の取得が必須となることから、支援者がコスト情報を用いて経営分析を実施できれば、経営者の興味をより惹きつけることができるかもしれない。

当事者情報の最後の創造プロセスである情報評価段階は、生産工程に結び付いた具体的な技術や農法を実際に評価し、評価結果から経営者がこれらを有用な情報と認識する過程と位置付けられている。ここでは、「評価した結果、取組みによって GHG が削減されると判断され、消費者にとっても訴求力を持つものであること」を支援者が経営者に認識して

もらう必要があると考える。第4章より、子実用トウモロコシの国内生産は、経営面でも水田作地帯においては十分収益を確保できる作物であることがわかったのに加えて、GHG排出のLCA結果からも、海外産トウモロコシを輸入するのに比べて負荷が少なくなることが判明した。農産物の収益性に関する情報は、消費者にとってはあまり訴求力を有するものではないが、GHG排出が海外産と比較した際に少ないという情報は消費者にアピールできる可能性がある。これにより経営者は、経営内に比較対象となる慣行技術の有無にかかわらず、技術や農法を導入するインセンティブに繋がるものと考えられる。

(3) 生産者への支援の主体

LCAにより環境に関する情報を作成するに当たっては、圃場や畜舎といった On-fieldでのGHG排出モデルを設定する上で土壌条件、生育条件等の詳細な生産条件を把握しておく必要がある。加えて、資材の使用量や資材の工場製造時に発生する間接排出GHGを求めるとき、経営のコストデータを用いて算出するものもある。このことから、LCAの評価は農協や都道府県の農業改良普及センターといった、生産圃場の地理的条件や経営者の生産技術を把握している農業関係機関のスタッフがを行い、順次経営者自身が評価を実施できるよう移行していくことが望ましい。

また、GAPや特別栽培に地域ぐるみで取り組んでいる産地では、地域で集団的に生産条件が統一されており、栽培暦等の評価に必要なデータが既に存在する。産地形成の際に農業関係機関のスタッフが既に関わっていることが多く、GHGを意識した農業経営を拡げる上では、こういった地域で集団的に取り組んでもらうことから始め、その成果を近縁で普及させることで発展を図るのも一つの方法として想定される。

(4) 生産者と消費者との関わり

第5章より、国産飼料生産のフードシステムの中で、濃厚飼料を生産する耕種農家と、それを購入し畜産物を生産する畜産農家では、取引における倫理的消費の重要度に差異があった。これは、消費者からの距離によって消費者に関する情報の非対称性が発生している可能性があるとして解釈することもできる。畜産農家は畜産物の販売において、直売などで消費者と直接交流をする機会があり、消費者の倫理的消費に関するニーズを捉えた上でPOP等の販促に活かしていることがうかがえる。消費者の意向が畜産農家を通じて耕種農家へ伝わり飼料の生産に反映させることができれば、畜産物の商品PRにも活用でき販売にも活かせる可能性がある。そのためには、畜産経営と耕種経営との情報交流を通じて、消費者の志向をフードシステム内の生産者全体に伝える媒体や仕組みを構築することが肝要である。

また、第6章より、GHGを削減して生産された畜産物に対して、通常の価格よりも高いWTPを保有する消費者層の存在が明らかになった。消費者試験等を用いたマーケティングリサーチは、LCAによる削減情報の実態値を基に、より現実的な削減値を消費者に提示することで、現状の消費者心理に関するより正確な情報を取得できる。定量化されたGHG情報を基に消費者へマーケティングリサーチを実施し、結果を当該生産者間で共有し、商品戦略、価格戦略、流通戦略、販促戦略の耕畜に活かすことが求められる。これらを進める上では、生産者と研究者の連携した取り組みが必要となってくる。GHG削減に

関心を示す消費者の存在を示すことは、生産者が GHG 削減に注目し、削減技術を導入し自らの生産物に GHG 削減の属性を付与させるインセンティブにもなる。消費者に対しても、倫理的消費が日常に一定程度あることを知り、更なる需要を喚起する上での情報となり得る。Lister et al. (2017)は、農産物の消費者選好は作物ごとで異なり、また国ごとでも大きく変わることを指摘している。わが国での農業生産時の GHG に対する消費者選好を作物別に明らかにした上で、どういった消費者層に関心が高く、同時にどのような属性にも興味を持っているかの説明が引き続き必要である。

第2節 今後の展開と残された課題

農業における GHG の削減に当たっては、国際的な協調が求められている。行政から見ても、削減 GHG とそのコストの関係を収集できれば、作目間、他産業との比較で削減すべき点を検討する有用なデータとなり、今後の政策立案に活かすことが可能である。この観点からも、行政において経営者の GHG を考慮した意思決定を促進していくことは必要であると考える。

今後、経営者が GHG の定量化をするには、気候変動問題の重要性と GHG との関係を経営者に認識してもらう必要があるが、行政にはそうした情報の更なる周知、啓蒙がまず求められる。実務的には、環境問題に精通した普及指導員（旧、農業改良普及員）の養成や配置数を増やすことも対策となる。行政からの交付金の要件の一つとして生産者による自らの圃場の GHG の定量化を加えるなど、クロス-コンプライアンスの拡充も考えられる。第4章では国産濃厚飼料の生産を事例として扱ったが、飼料自給といった国内農業のレジリエンス（強靱性）を強化する政策を進める上で、自給による GHG 削減といった副次的な効果もアピールできれば、推進を後押しすることも期待できる。

第1章では、わが国の農業が、国内産業の中で付加価値額に対して GHG 排出量の多いことを指摘したが、海外の既存研究では、農業や畜産における GHG の平均削減費用は他産業より安価であることを指摘するものがある^{註1)}。わが国の農業における GHG 削減と費用に関する研究の蓄積は少なく、また農業での GHG 排出は地理的・農法的要因に強く規定される^{註2)}。わが国の農業の多様性を考慮した平均 GHG 削減費用の検証が、今後必要となってくる。また、消費者の効用に結び付かない倫理的消費の存在は、政府による政策支援の根拠にもなる。消費者が求める倫理的消費の具体的な内容に関して、研究を更に進めていくことも重要であろう。

本研究における LCA の評価は、圃場での窒素動態や資材の消費に伴って発生する GHG を対象としており、建物・施設などの耐久消費財の建設時に発生する GHG は評価の範囲外であった。建物の LCA は、建設資材の把握や建設後の利用年数の推定が困難であるが、農業の中でも畜産分野は資本集約型産業であり、耐久消費財に関する GHG の精緻化の影響は大きいものと考えられる。このことから、耐久消費材を対象とした LCA の評価手法に関する研究開発が必要である。また、GHG 以外の物質の排出も定量化することで、環境負荷として地球温暖化以外の水質富栄養化や酸性化も包括した総合的な評価と、これらを考慮に入れた意思決定の支援方策も今後検討が必要である。

本研究では、GHGの増加による地球温暖化・気候変動が世界的な問題となる中で、農業経営者がGHG削減を考慮した経営行動に関する意思決定を促進するための支援の方策を明らかにした。まず、倫理的消費に関する関心が高い消費者の存在を生産者に示し、経営者の関心を惹起する必要がある。関心を持った経営者に対しては、LCAを用いて生産体系で発生するGHGを定量化すると同時にホットスポットを提示し、コスト情報と対照することで削減の要諦の違いを明示化する。GHGの定量化には詳細な生産条件の把握とコスト情報が必要となることから、支援は農協や農業改良普及センターといった技術に精通したスタッフが主体となることが望ましい。その際に、コスト情報を基に経営分析を実施することで経営者の関心を更に高めることができるものとする。その上で、販売する際に消費者にとって訴求力の高い情報を定量化されたGHG情報より作成し、マーケティングリサーチに利用し、販売戦略に繋げることが有効と考えられる。

経営耕地面積や農地条件が海外と比べて必ずしも良くないわが国では、高いコストをかけて農産物を国内生産する意義や公的支援の度合いについて、今後も議論の対象となることが予想される。一方で、農地は洪水や土砂流出の防止による国土の保全、地下水の涵養等のいわゆる多面的機能を有しており、市場では評価できない価値も国際的に見直されている。GHGは、農業生産の場面において全ての経営体が大気中へ必ず排出する環境負荷と言える。GHG削減を考慮した農業生産や食料消費の考え方が広まることで、国内農業の意義と持続性を改めて評価する嚆矢となることが期待される。

註1) 例えば、Enkvist et al.(2007)は、畜産におけるGHGの限界削減費用がt-CO₂e当たり10ユーロ程度で、風力をはじめとする代替エネルギーによるGHG削減よりも費用が低いことを指摘している。

註2) Yamamoto et al. (2022) は、ベトナムでの炭素税政策が農業に与える影響を検討する中で、先進国の大規模農業でのGHG削減シナリオを他国にそのまま適用することは難しいと指摘している。具体的な平均削減費用の既存研究として、例えば、Grace et al. (2012) は、土壌耕起の有無によって生じる炭素貯留の違いから、GHG削減費用を計算している。他にも、Dakpo (2017)、Kragt et al. (2012) 等が参考になる。

参考文献一覧

序章

- 遠藤織太郎 (1999) 「持続的農業システム管理論の基礎」『持続的農業システム管理論』、農林統計協会
- 藤田直聡 (2009) 『酪農経営の環境対策における投資限界と外部委託』、農林統計協会
- Hans Immler (1993) 『経済学は自然をどうとらえてきたか』農文協
- 原田英美 (2020) 「農業経営の環境対応モデル-経営者の情報認識と意思決定-」『フードシステムの未来へ② 農業経営の存続、食品の安全』: 86-104.
- 林岳 (2008) 「農業におけるマイクロ環境会計の適用」『農業環境の経済評価』北海道大学出版会
- 樋口昭則 (2002) 「十勝の農業と環境問題」『農業の予件変化と対応策』農林統計協会
- 樋口昭則・三宅俊輔・澤岨直哉 (2005) 「環境負荷を考慮した経営計画モデルの作成-余剰窒素を対象として-」『2005 年度日本農業経済学会論文集』 pp339-346.
- 干場信司・河上博美・森田茂・野田哲治・池口敦夫 「酪農生産システムの複合的評価指標の提案」『農業施設』 21(3) : 129-134.
- 家串哲生 (2001) 「農業経営における環境会計導入に関する論点整理」『農業における環境会計の理論と実践』農林統計協会
- 家串哲生 (2002) 「誰が環境保全費用を負担するのか」『2002 年度日本農業経済学会論文集』 :173-175.
- 小林茂樹 (1999) 『環境に調和した家畜の生産・管理技術』筑波書房
- 岩本博幸・山本康貴・出村克彦 (2000) 「環境汚染対策の適用が酪農経営に及ぼす影響の比較-フリーストールとスタンションストールとの比較-」『2000 年度日本農業経済学会論文集』 pp191-193.
- 熊谷宏 (2000) 「農業環境効果と農業経営会計システムの方向-「農業環境会計」の構築を目指して-」『農業会計の新展開』農林統計協会
- 黒河功 (2002) 「持続可能型農業経営展開の可能性に関する一考察-北海道における有機農業および低投入農業の事例-」『農業の予件変化と対応策』農林統計協会
- 増田清敬・宿野部猛・出村克彦・山本康貴 (2003) 「LCA を用いた酪農環境問題の定量分析-北海道・興部フィードサービスを事例として-」『2003 年度日本農業経済学会論文集』: 341-346.
- 増田清敬・山本康貴 (2008) 「LCA を用いた農業地域における有機資源循環システムの環境影響評価」『農業環境の経済評価』、北海道大学出版会
- OECD(1999) *Voluntary Approaches for Environmental Policy*, <https://www.oecd.org/en/v/tools-evaluation/voluntaryapproachesforenvironmentalpolicy.htm>, 12 Sep 2022.
- 小田滋晃・香川文庸・珍田章生 (2012) 「第 1 章 農業経営理論の評価と展望 第 7 章 農業会計学の新たな展開方向」『農業経営研究の奇跡と展望』農林統計出版: 48-60.
- 小野洋、尾関秀樹、堀江達也 「飼料イネ導入の条件と耕畜連携システムの環境評価」『2003 年度日本農業経済学会論文集』: 216-219.

- 大村道明・両角和夫・合田素行 (2000) 「北海道士幌町における農業と関連産業の LCA」『2000 年度日本農業経済学会論文集』: 183-185.
- 大村道明・両角和夫・田上貴彦・西澤栄一郎・合田素行 (2002) 「農業分野への LCA 適用の 動向と展望」『2002 年度日本農業経済学会論文集』: 170-172.
- Rachel Cason (1962) 『Silent Spring (邦題: 沈黙の春)』新潮社
- 佐々木市夫 (1992) 「畜産経営の技術革新プロセス」『畜産経営の環境と適応プロセス』明文 書房
- 佐藤正衛・南石晃明 (2011) 「農業生産に伴う環境リスクと経済リスクの統合的評価」『食料・ 農業・環境とリスク』農林統計出版
- 関根久子 (2003) 「農業における環境会計導入の可能性」『2003 年度日本農業経済学会論文 集』: 220-222.
- 関根久子・大村道明 (2009) 「農業生産活動の環境影響評価」『WTO 体制下における東アジ ア農業の現局面』農林統計出版
- 柴田英樹・梨岡英理子 (2006) 『進化する環境会計』中央経済社
- 鈴木宣弘 (2005) 『食料の海外依存と環境負荷と循環農業』筑波書房
- 上西良廣 (2022) 『持続可能な農業に向けた農法普及-「生き物ブランド米」の技術と導入行 動-』農林統計出版
- 宇沢弘文 (1994) 『社会的共通資本』岩波新書
- 山本謙治 (2020) 『倫理的消費の拡大と専門流通事業体の変容: 日本型キャンペイナー創出の 可能性』北海道大学博士論文
- 横溝功、本松秀敏 (1997) 「家畜ふん尿の堆肥化処理のコスト評価に関する一考察」『農業経 営研究』34(4): 57-66.

第 1 章

- GIO (2021) 『2019 年度 (令和元年度) の温室効果ガス排出量 (確報値) について』
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/jqjm1000000xcmba-att/jqjm1000000xcmzf.pdf> (2022 年 10 月 3 日閲覧)
- IPCC (2019) *Special Report on Climate Change and Land*, <https://www.ipcc.ch/srccl/2019/>, 11 Oct 2022.
- 内閣府 (2019) 『国民経済計算』
- 中辻敏朗 (2018) 「地球温暖化が北海道の主要作物に及ぼす影響とその対策方向-2030 年代 の予測-」『日本土壌肥料学雑誌』89 (6): 483-490.
- 農林水産省 (2020) 『気候変動に対する農林水産省の取組』
- 農林水産省 (2022) 『令和 3 年地球温暖化影響調査レポート』<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-75.pdf>

第2章

- 赤井直彦・石橋英二・大家理哉・森次真一(2001)「牛尿への硝酸化成抑制剤添加が草地からの環境負荷に及ぼす影響」『日本土壤肥料学雑誌』: 206-213.
- 畜産技術協会 (2002)『畜産における温室効果ガスの発生制御 (総集編)』: 84-108.
- 羽賀清典・和木美代子(2000)「肥育牛のふん尿堆肥化におけるエミッションの LCA」『農環研シリーズ 農業におけるライフサイクルアセスメント』,養賢堂: 116-125.
- 日向貴久(2003)「酪農業におけるふん尿処理の LCA」『平成 15 年度廃棄物学会シンポジウム』
- 北海道電力(2003)『ほくでんグループ環境方針』
- 北海道開発土木研究所(2002)『積雪寒冷地における環境・資源循環プロジェクト調査報告書』
- 北海道立根釧農業試験場 研究部酪農施設科(1999)『酪農施設機械試験成績書』
- 北海道立根釧農業試験場 研究部酪農施設科(1997)「ふん尿固液分離機(わら用)の性能」『平成 8 年度酪農施設機械試験成績』
- 北海道立農業試験場 家畜糞尿プロジェクトチーム(1999)『家畜糞尿処理・利用の手続き 1999』: 24-35.
- 北海道農政部農業改良課(1999)『北海道における特定高性能 農業機械の導入に関する計画』: 84-85.
- 北海道農政部農業改良課(2000)『北海道農業生産技術体系 (第 2 版)』
- IPCC(2001) *Climate Change :The Scientific basis.*
- 石谷久、赤井誠 (1999)「ISO14041, ISO TR14049 制定の経緯と意義」『対訳&解説 ISO14041/JIS Q 14041 ISO TR14049/JIS Q 14049 ライフサイクルアセスメント-インベントリ分析&適用事例-』産業環境管理協会
- ISO (2000) *International Standard ISO14042-Life Cycle Impact Assessment-*, ISO
- ISO (2000) *International Standard ISO14043-Life Cycle Interpretation-*, ISO
- 小林久・佐合隆一 (2001)「窒素及びリン肥料の製造・流通段階のライフサイクルにわたるエネルギー消費量と CO₂ 排出量の試算」『農作業研究 第 36 巻第 3 号』: 141-151.
- 環境省 (1998)『温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン』.
- 環境省 (2002a)『平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会 運輸分科会報告書』
- 環境省 (2002b)『平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会 農業分科会報告書』
- 木村義彰・梅津一孝・高畑英彦 (1998a)「貯留式メタン発酵における温度依存性(2) - 乳牛糞尿を対象とする発酵特性 -」『農業施設』 29(3) : 101-108.
- 木村義彰・梅津一孝・高畑英彦 (1998b)「貯留式メタン発酵における温度依存性(3) - メタン発酵鋭離液を対象とする発酵特性の比較 -」『農業施設』 29(3) : 109-116.
- 増田清敬 (2003)「LCA を用いた酪農環境問題の定量分析」『2003 年度日本農業経済学会論文集』: 341-346.
- 南齋規介・森口祐一・東野達(2002)『産業関連表による環境負荷原単位データブック(3EID)』, 国立環境研究所 地球環境研究センター
- 大村道明・両角和夫・田上貴彦・西澤栄一郎・合田素行 (2002)「農業分野への LCA 適用の動向と展望」『2002 年度日本農業経済学会論文集』: 170-172. (前掲)
- Umetsu,K Takahata,H and Kawamoto,T(1992) "Effect of temperature on mesophilic an

aerobic digestion of dairy cow slurry” Research bulletin of Obihiro university I 17(4): 71-78.

第3章

- 家串哲生 (2001) 「農業経営における環境会計導入の試み-EMS 確立過程における環境コストの算出」『農業における環境会計の理論と実践』農林統計協会
- 国立環境研究所 (2011) 『日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (NIR)』
- 南齋規介・森口祐一・東野達 (2002) 『産業関連表による環境負荷原単位データブック (3EID)』, 国立環境研究所 地球環境研究センター (前掲)
- 佐藤正衛・南石晃明 (2011) 「農業生産に伴う環境リスクと経済リスクの統合的評価」『食料・農業・環境とリスク』農林統計出版. (前掲)
- 四方康行・北田紀久雄 (2008) 「農業経営における環境会計の展望」『農林業問題研究』 44(3):436-448
- 関根久子 (2007) 「農業における利用可能な環境会計の構築に関する考察」『東北農業経済研究』 25(2):1-12.

第4章

- 荒木和秋 (2019) 「国産子実トウモロコシ生産の可能性」『農業経営研究』 57(2):65-70
https://doi.org/10.11300/fmsj.57.2_65
- 樋口昭則・樋口聖哉・渡邊大樹・仙北谷康 (2010) 「実取りトウモロコシの経営的評価」『2010年度日本農業経済学会論文集』:30-37.
- 小林久・柚山義人 (2006) 「輸入飼料の供給地域別ライフサイクル・エネルギー消費量および GHG 排出量の推計」『環境情報科学』 35(3):45-53.
- 国立環境研究所 (2020) 『日本国温室効果ガスインベントリ報告書 (NIR)』 (前掲)
- 久保田哲史 (2016) 『大規模飼料生産の経営計画と新規飼料作物の導入条件』農林統計協会.
- 宮路広武・篠遠善哉・嶺野英子 (2020) 「国産子実用トウモロコシの生産に係る費用と定着に向けた課題」『農業経営研究』 58(3):9-14.
- 農研機構 編 (2019) 「子実用トウモロコシ生産・利活用の手引き (都府県向け) 第1版」
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/sijitoutomorokosimanual20190425.pdf (2021年9月10日閲覧)
- 農林水産省 (2020) 「農産物生産費統計」https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/eisanhi_nousan/#r3 (2021年9月25日閲覧)
- 千田雅之・恒川磯雄 (2015) 「水田飼料作経営成立の可能性と条件—数理計画法の適用による水田飼料作経営の規範分析と飼料生産コスト—」『農業経営研究』 52(4).
https://doi.org/10.11300/fmsj.52.4_1
- 竹内重吉・久保田哲史 (2017) 「担い手減少下の地域農業における国産濃厚飼料イアコーン導入と農地管理の可能性—北海道の畑作経営を事例として—」『農林業問題研究』 53(2):60-71. <https://doi.org/10.7310/arfe.53.60>

恒川磯雄 (2016) 「飼料用米の流通・利用の実態とコスト低減の可能性」『農業経営研究』
53(4):6-16. https://doi.org/10.11300/fmsj.53.4_6

第5章

- 原田英美(2013)「飼料用米事業のコンセプトと戦略」『農業経営研究』51(3):1-11,
https://doi.org/10.11300/fmsj.51.3_1
- Lusk Jayson(2011) "The market for animal welfare" *Agriculture and Human Values* 28:
561-575, <https://doi.org/10.1007/s10460-011-9318-x>
- 門間敏幸(1996)『TN法-むらづくり支援システム-実践事例集』農林統計協会
- 氏家清和(2013)「『おもいやり』と食糧消費」『フードシステム研究』20(2):72-82,
<https://doi.org/10.5874/jfsr.20.72>
- 鶴川洋樹(2022)「高級豚肉ブランドと国産子実用トウモロコシ」『飼料用米の生産と利用の
経営行動』農林統計出版:139-154.
- 山本和博 (1998)「新技術導入の決定要因と経営理念-カーネーションにおける反射マルチ技
術を事例とした実験的経営研究-」『農業経営研究』36(3):11-21.
- 山本和博・沖本宏・松下秀介 (2005)「新技術導入の決定要因と技術普及に関する動学的経
営分析」『農業経営研究』43(2):1-11.
- 山本謙治(2020)『倫理的消費の拡大と専門流通事業体の変容：日本型キャンペイナ創出の
可能性』北海道大学博士論文 (前掲)
- 山野薫(2016)「社会貢献型農産物に対する消費者の意識と購買時の評価」『協同組合研究』
35(2):76-89.
- 吉川光洋・渡邊憲二・岳鵬宇 (2010)「飼料用米を利用した畜産物への消費者意識」『農業経
営研究』48(3):48-53. https://doi.org/10.11300/fmsj.48.3_48
- 吉野宣彦(2008)「家族酪農における経営管理の実態」『家族酪農の経営改善』日本経済評論
社:77-136.

第6章

- Aizaki H(2014). mded: Measuring the difference between two empirical distributions, R
package version 0.1-1. <http://CRAN.R-project.org/package=mded>.
- 合崎英男(2017)「R を利用した Case 1 Best-Worst Scaling の実施手順」『北海道大学農経論
叢』71: 59-71.
- 荒幡克己 (1993)「農業における持続可能性の概念規定とその農法史への適用」『農業経済研
究』65(1):1-11.
- ChoiceMetrics(2018) *Ngene 1.2 User Manual & Reference Guide*, <http://www.choice-metrics.com/NgeneManual120.pdf>, 20 Jan 2022.
- 駄田井久・佐藤豊信・石井盟人 (2007)「農産物直売所におけるマーケティング戦略の構築 -
安心・安全の視点から-」『農林業問題研究』43(1):141-145.
- 藤田政隆・佐藤和夫 (2017)「福祉法人が生産する農産物への消費者評価」『フードシステム

- 研究』24(3):245-250.
- 藤原諒也・大谷 智一・佐藤剛史・矢部光保 (2012)「農産物生産過程における温室効果ガス排出量削減の付加価値評価」『九州大学大学院農学研究院学芸雑誌』67(2):81-90.
- 林岳・田中耕一郎 (2014)「温暖化緩和策及びそのコベネフィットの概念整理と既存施策の温暖化緩和効果の検証-福岡県築上町における飼料米生産・利用を事例として-」『農林水産政策研究』21:1-15.
- Hensher, D.A., J.M. Rose, and W.H. Greene (2015) *Applied Choice Analysis, Second Edition*, Cambridge University Press.
- 廣政幸生 (2003)「持続可能な農業と多面的機能に関わる政策論(1)」『明治大学農学部研究報告』132(1):11-21.
- 岩本博幸(2004)「HACCP ラベルおよびエコラベル表示牛乳に対する価値評価-札幌市民を対象とした選択型コンジョイント分析による接近-」『北海道農業経済研究』11(2):48-60.
- 持続可能な畜産物生産の在り方検討会 (2021)「中間とりまとめ」
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_tiku_manage/attach/pdf/index_idouyout_esut-32.pdf (2021年7月30日閲覧) .
- 小泉達治 (2021)「COVID-19 パンデミックが世界のフードセキュリティ及びフードシステムに与える影響」『フードシステム研究』28(3):188-195.
- Krinsky, Itzhak, and A. Leslie Robb (1986) "On approximating the statistical properties of elasticities." *The review of economics and statistics* : 715-719.
- 工藤春代(2000)「ヨーロッパにおける食品の品質概念の変化」『農業と経済』66(14):79-90.
- Lister, G., G. T. Tonsor, M. Brix, T. C. Schroeder, and C. Yang (2017) "Food values applied to livestock products" *Journal of Food Products Marketing* 23(3): 326-341.
<https://doi.org/10.1080/10454446.2014.1000436>.
- 光成有香・吉野章 (2019)「特色ある牛乳の潜在的需要者層の抽出」『農業経営研究』57(3):71-76.
- 新山陽子・西川朗・三輪さち子 (2007)「食品購買行動における消費者の情報処理プロセスの特質-認知的概念モデルと発話志向プロトコル分析-」『フードシステム研究』14(1):15-33.
- 農林水産省 (2021)「畜産の動向」https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/attach/pdf/index-613.pdf (2021年5月22日閲覧) .
- 長田隆 (2010)「畜産に由来する温室効果ガス」『畜産の研究』64(3):357-361.
- Poe Gregory L., Kelly L. Giraud, and John B. Loomis.(2005) "Computational methods for measuring the difference of empirical distributions." *American Journal of Agricultural Economics* 87(2): 353-365.
- R Core Team(2019) "R: A language and environment for statistical computing." R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ripley, B., Venables, B., Bates, D. M., Hornik, K., Gebhardt, A., Firth, D., & Ripley, M. B. (2013) Package 'mass' *Cran r* 538, 113-120. <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>.
- 櫻井尚子 (2004)「潜在クラス分析を用いたマーケットセグメンテーション—顧客の購買パターンによるマーケットセグメント創出のモデル—」『計算機統計学』17(1):21-30.
- 澁谷美紀・久保田哲史 (2019)「自給飼料多給乳製品の消費者への効果的な商品説明方策」『北

- 農』86(2):116-121.
- 山野薫(2016)「社会貢献型農産物に対する消費者の意識と購買時の評価」『協同組合研究』35(2):76-89. (前掲)
- Y.Sonoda, O.Kazato, C.Yosuke and H.Hiroyuki(2018) “How do human values influence the beef preferences of consumer segments regarding animal welfare and environmentally friendly production?” *Meat Science* 176: 75-86.
- 竹内重吉・佐藤豊信・駄田井久 (2007)「大規模干拓地における畜産経営の環境・経営的に持続可能な農業生産システムの構築」『農林業問題研究』166(1):31-35.
- 谷口吉光 (2020)「コロナ禍と有機農業」『有機農業研究』12(1):2-3.
- 氏家清和 (2013)「『おもいやり』と食料消費-公共財的側面をもつ属性に対する消費者評価-」『フードシステム研究』20(2):72-82. (前掲)
- 氏家清和 (2016)「食品表示と消費者行動をめぐる実証的研究の動向」『農業経済研究』88(2):156-171.

終章

- K Herve Dakpo, Philippe Jeanneaux, and Laure Latruffe(2017) "Greenhouse gas emissions and efficiency in French sheep meat farming: A nonparametric framework of pollution adjusted technologies" *European Review of Agricultural Economics* 44(1), 33-65.10.1093/erae/jbw013.
- Per-Anders Enkvist, Tomas Nauc ler, and Jerker Rosander (2007) "A cost curve for greenhouse gas reduction" *McKinsey Quarterly*(On-line),<https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/a-cost-curve-for-greenhouse-gas-reduction>, 29 Dec 2022.
- Peter R. Grace, John Antle, Stephen Ogle, Keith Paustian, and Bruno Basso(2010) "Soil carbon sequestration rates and associated economic costs for farming systems of south-eastern Australia" *Australian Journal of Soil Research* 48, 720-729. 10.1016/j.agso.2011.10.019.
- Marit E. Kragt, David J. Pannell, Michael J. Robertson and Tas Thamo(2012) "Assessing costs of soil carbon sequestration by crop-livestock farmers in Western Australia" *Agricultural Systems* 112, 27-37. 10.1016/j.agsy.2012.06.005.
- Aito Yamamoto, Thi Kim Uyen Huynh, Yoko Saito and Takashi Fritz Matsuishi (2022) "Assessing the costs of GHG emissions of multi-product agricultural systems in Vietnam" *Nature Scientific Reports*, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20273-w>, 29 Dec 2022.

謝辞

本研究をとりまとめるに当たり、ご多忙の中で終始懇切なるご指導を賜り、かつご校閲の労をお取りいただいた、主査の北海道大学大学院農学研究院教授 東山寛博士に衷心より感謝の意を表します。また、副査の北海道大学大学院農学研究院教授 坂爪浩史博士、同准教授 三谷朋弘博士、同准教授 小松知未博士には、ご校閲の労をお取りいただき有益なご助言を賜りました。ここに深甚なる謝意を表します。

本研究の消費者試験において、酪農学園大学農食環境学群教授 佐藤和夫博士と、北海道大学大学院農学研究院准教授 合崎英男博士には、分析に当たっての手法選択や解析の実施で多大なる助言とご指導をいただきました。また、酪農学園大学農食環境学群の教員の方々には、辛抱強くも暖かい激励をいただきました。加えて、農業経済学コースの教員の方々からは、最終段階の研究会において、示唆に富んだ多くの助言をいただきました。皆様のご協力なくして、本研究のとりまとめは叶いませんでした。

本研究の構想は、私の初任地である北海道立根釧農業試験場（現、北海道立総合研究機構 酪農試験場）での初めての担当課題、北海道開発土木研究所「寒冷積雪地資源循環プロジェクト」内で実施した調査や経験に端を得たものです。特に担当課題の前任者であった岡田直樹博士（現、秋田県立大学教授）には、貴重な機会と分析視角をいただき、木村義彰博士（現、酪農試験場酪農研究部長）には、数々の生産者や関連分野の専門家との交流機会を現在に至るまでいただきました。このプロジェクトでの経験は、私の研究者としての拠り所となりました。

また、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 故長田隆博士と、酪農学園大学名誉教授 故干場信司博士には、プロジェクト研究をする中で農業経済学分野の枠を超えた気候変動問題に関する国際的な研究動向を教示いただき、常に暖かい激励をいただきました。お二方にこの成果を見せることができなかつたのは、痛恨の極みです。

多くの方々のご協力により、本学位論文はとりまとめに至りました。ここに記せなかつたご支援、激励をいただいた全ての方々に、改めて感謝申し上げます。

最後に、これまで自分の思う道を進むことに対し、いつも暖かく見守ってくれた妻と子供たち、長く心の支えとなった家族に深く感謝の気持ちを捧げます。

【付記】本学位論文は、農林水産省戦略的プロジェクト研究「農林分野における気候変動緩和技術の開発（うち、畜産分野における気候変動緩和技術の開発）」、および JSPS 科研費 21K05820「水田転作における子実用とうもろこしの振興」の支援を受け実施したものである。