

粗飼料生産技術の評価に関する理論的・実証的研究

小 野 洋

粗飼料生産技術の評価に関する理論的・実証的研究

目次

第1章 農業技術の評価と普及の条件	1
1. はじめに	1
2. 研究の背景と評価手法	1
1) 背景	2
2) 技術評価手法	3
(1) 経営的評価	3
(2) 環境影響評価	4
(3) 統合評価	5
3. 小括	6
第2章 粗飼料生産の可能性と自給飼料生産費用価	9
1. はじめに	9
2. 自給飼料生産費用価と輸入乾草価格	10
1) 自給飼料生産費用価と乾草価格の較差	10
2) 飼料生産の動向	11
3) 自給飼料利用コスト	11
4) 過重労働の実態	13
3. 農業白書にみる自給飼料生産の位相の変化	15
1) 1980年代前半まで	15
2) 1980年代半ば以降	16
4. 飼料生産条件の考察	17
1) 市価主義と費用価主義	17
2) 生産費用価基準	18
3) 労働報酬基準	20
5. 自給飼料生産費用価の修正にむけて	22
1) 現行モデルの問題点	22
2) 労働制約を組み込んだ飼料生産モデル	23
6. 小括	26

第3章 自給飼料生産の判断基準－飼料収穫作業の自家労賃評価－	28
1. はじめに	28
2. 線形計画法を用いた自家労賃の推計	29
1) 線形計画問題と自家労賃評価	29
(1) 線形計画モデルの具体化	30
(2) 所得最大化モデルと単体表	31
(3) 解の存在と安定性	34
2) 自家労賃の計測	35
(1) モデル経営の自家労賃	35
(2) 個別経営の自家労賃	35
3. コントラクター利用データにもとづく飼料生産労働の評価	37
1) 飼料収穫労働のモデル化	37
2) コントラクター利用料金と酪農家の行動	38
(1) コントラクターの利用状況	39
(2) データの構成	40
3) 収穫調製費用価・収穫調製コストの比較	41
4) 収穫調製作業の自家労賃評価	43
(1) 推計方法	43
(2) 推計結果	44
5) 自家労賃水準の検証	45
6) 自給飼料生産費用価と自給飼料利用価	46
4. 小括	48
補論 飼料コントラクターが飼料生産に果たす役割	49
1) はじめに	49
2) コントラクターの現状	49
3) 鹿追町コントラクターの設立、利用実績の推移	50
4) 粗飼料の収量変化とコントラクターの役割	51
5) 小括	53
第4章 資源循環型技術の環境影響評価	55
1. はじめに	55
2. 環境問題と資源循環型農業技術	55
3. 環境影響評価指標	57
1) 農業技術と地球温暖化問題	57
2) 環境負荷量の可測性	58
4. 資源循環技術の評価手法	59
1) LCAの構成と研究の現段階	60

2) 積み上げ法と産業連関分析法	62
(1) 両手法の長所と短所	62
(2) 産業連関分析法	63
3) LC-CO ₂ の計測	64
4) 資源循環システムの評価に関する研究	65
5. 小括	66
 第5章 環境影響評価の実際－耕畜連携システムの LC-CO ₂ －	68
1. はじめに	68
2. 飼料イネ耕畜連携システムの構造	69
1) 飼料イネの生産動向	70
(1) 作付面積・政策の展開	70
(2) 飼料イネロールベールの生産コスト	71
2) 飼料イネ耕畜連携システムの概略	71
(1) 耕畜連携システムと資源循環	71
(2) システム境界の設定	73
3. 飼料イネ生産システムと環境負荷削減効果	76
1) 分析視点	76
2) 想定するシナリオ	76
(1) 現状の平均的な姿：シナリオ 1-a(現状), 1-b(中山間)	76
(2) 低投入・高収量技術：シナリオ 2(短期目標), 3(中期目標), 4(長期目標)	77
3) 輸入乾草の原単位の作成	79
(1) コストの按分方法	80
(2) 海上輸送の取扱い	80
4. 耕畜連携システムの LC-CO ₂	82
1) 産業連関分析をベースとした計測方法	82
2) シナリオ分析にもとづく計測結果	83
5. 小括	85
 補論 飼料イネ生産技術の評価における留意点	87
1) はじめに	87
2) 飼料イネ生産費用価の修正の必要性	87
(1) 飼料イネの品質	87
(2) 粃の漏生問題	88
(3) 保管コスト・ハンドリングコスト	88
3) 単収水準の乖離の要因	89
(1) 研究圃場と生産現場の生産条件	89
(2) 2000 年前後の収量	89

(3) 近年の収量.....	90
4) 小括.....	91
 第6章 結語.....	93
1. 経営的評価と環境影響評価の統合に向けて.....	93
2. 技術の評価手法.....	95
1) 費用対効果分析.....	95
2) 環境負荷軽減技術と助成.....	96
3) GHG削減の経済効果.....	97
(1) 評価基準としての炭素価格.....	97
(2) 炭素価格を用いた飼料イネ耕畜連携システムの評価.....	99
3. 指標の統合化と残された課題.....	101
 引用文献.....	103

第1章 農業技術の評価と普及の条件

1. はじめに

農業技術開発の目的は、農業所得の向上による農業経営の改善及び農業生産環境の持続性の確保にある¹。

技術開発のステップを考えよう。研究所では毎年数多くの技術が開発されるが、生産者に向けて公表される技術は、経済性や環境負荷に関する研究所内部のテストをパスした技術に限られる。その後生産現場において生産者によるチェックを受け、最終的な技術導入の可否が決定される。このとき、研究所の示す収量やコストが生産者の判断材料として用いられるが、収量やコストが生産現場において再現可能でないとすれば、技術への信頼は失われ、当該技術は誰にも使われることはない。いくら優れた技術であると開発側が主張しても、生産現場に普及しない限り技術は当初の目的を達成することはできない。

そこで以下では「技術評価」を「数多くの開発技術から生産現場で有用となる技術を選別する作業」と定義して議論を進める²。本研究の焦点は、1. 現在実施されている技術評価のフレームや手法に関する問題点の整理、2. 技術評価を通じた農業技術の普及・定着条件の検討の2点に当てられる。技術開発の成否は技術評価の的確な実施と一体であるが、的確な技術評価は、生産者が直面する物理的制約、社会的制約を取り込むことではじめて提供可能となる。

技術評価が関連する研究領域は、普及論、経営計画論、技術論など多様である。技術の普及主体・普及手段のあり方に関しては普及論、新技術に求められるコスト水準や技術導入の経営改善効果に関しては経営計画論、技術とは何かを定義し技術の評価可能な形でとりあげる手法に関しては技術論の立場から研究が進められてきた。技術評価においては、これら全ての分野を考慮することが求められるが、本研究では、技術評価の中心的役割は、技術導入の判断指針を生産者に受け入れやすい形で提示することにあると考え、主に経営計画論の立場から検討を行う。そのため、普及論、技術論への言及は最小限にとどめた。

2. 研究の背景と評価手法

技術評価に際して考慮すべき制約条件は多様であるが、ここでは問題をミクロとマクロの2つに整理する。生産者の経営上の制約をどのようにとらえるかというミクロの問題と、温暖化や水質汚染のように農業経営の範囲を超えて生じる生産制約をどのようにとらえるかというマクロの問題である。例えば、ミクロの問題としては、黒ボク土の圃場で試験設計された技術をグライ土地帯に普及するケースが考えられる。土質の相違は技術採否に関して異なった結論を

¹ 2つの目的は、食料・農業・農村基本法に示された「食料の安定供給の確保」「農業の持続的な発展」「多面的機能の発揮」「農村の振興」のうち主として「農業の持続的な発展」に関連している。

² OECD[24]によれば、技術評価の目的は、1. 意思決定改善、2. 資源配分の最適化・効率化、3. 納税者へのアカウンタビリティの材料提供にあるとされる。

もたらすだろう。これは圃場レベルでの問題ともいえる。

マクロの問題としては、資材利用によるオゾン層破壊ガスの発生が例として考えられる。ガスの発生自体は生産を直接に制約しないために当該技術(資材)の使用が有利となるが、マクロレベルでは使用の制約が望ましい。記憶に新しいところでは、2004年末に使用が原則全面禁止となった土壤燻蒸剤としての臭化メチルがあげられる。

以下では、はじめに技術評価が着目されるに至った背景をのべる。続いてミクロの問題に関連して経営的評価、マクロの問題に関連して環境影響評価を取り上げ、それぞれの研究動向を整理し、次章以降の分析の視点を明らかにする。さらに、技術の総合的評価の観点から、経営と環境の両者をいかに統合するかについて記述する³。

1) 背景

1990年代までは、技術評価が技術の普及実績と関連づけられることはほとんどなかった。つまり、事前評価として実施される技術評価は、手法や結果の妥当性を問われることなく実施されてきた。背景として、1つには技術開発の資金が比較的潤沢にあったこと、2つめは、これとほぼ同義であるが、技術開発への投資効果が十分あったことがあげられる。伊藤[13]によれば、日本の農業研究投資の収益率は60年代から70年代半ばまでは高率であり、その後低下したものの80年代後半も2%前後で推移していた⁴。しかし、90年代以降の経済成長の鈍化は、経済成長自体が技術進歩の要因となりさらなる経済成長を生み出す、というカルドア=フェアードンの法則を過去のものとした(渡辺[33])。経済の衰退により技術開発の効果がより小さく、見えにくくなったのである⁵。

アメリカの農業技術研究の投資効率を測定したAlston et al. [1]は、近年の技術は陳腐化が

³ なお社会学を中心に、AHPやDEMATEL法等を用いた効率的な技術開発が検討されているが(浅井[3]等)、本研究では対象外とした。

⁴ 研究開発の投資効果の計測は、Griliches[9]以降、農業分野でも行われている。そこでは価格ないし数量を一定と仮定した費用便益分析のみならず、計量経済的手法にもとづいた収益率の計測が多数行われた。Griliches[10]には、コブダグラス型生産関数を用いた標準的な手法が示されている。具体的にはQを農産物の産出量、Xを物的資本を含む慣行投入要素の集計指数、Kを研究開発ストック(論文や特許の数)として生産関数 $Q = AX^\beta K^\gamma$ を定式化し、 β や γ を推計している。計測結果からは、他産業と比較した農業研究のリターンが高いことが示されている。また、計量経済モデルによる研究開発投資の評価手法をレビューしたGriliches[11]は、自身が展開してきたモデルに対する不満(discontent)を3点にまとめている。1. 研究開発ストックの推計は非常に困難であり、産業内・産業間で発生する研究開発効果のスピルオーバーも測定が難しい。2. 健康や環境などは、近年その価値が認められてきたが、生産関数ではカウントできないため、モデル自体の説明力が低下している。3. 研究開発が経済的インセンティブに基づくならば、同時性の問題が発生し生産関数の推計が困難になる。

⁵ 政府は国の研究開発評価に関する大綱的指針を定め(2001年制定、2005年改訂)、公正・透明な評価の着実な実施とその質の向上、評価結果の資源配分への適切な反映、評価に必要な資源の確保と評価体制の整備等を推進している。これを受け、2006年～2010年に、政府研究開発投資のGDP比率を欧米諸国並みの1%とすることを目標とした投資拡大策が実施されている。なお、近年のGDPに占める政府+民間の研究開発費の割合は、米国商務省経済統計局[32]によると、主要国では日本が最も高く3.2%、次いでアメリカ2.6%、EU1.8%、中国1.4%となっている。農業投資の比較を行ったAlston[2]では、日本の農業研究投資の規模は、アメリカについて世界第二位であるが、農業研究費/農業GDPでみた研究の効率性は、アメリカには劣るものの、オセアニア・欧州諸国とほぼ同じであることが示されている。

激しく、またメンテナンス研究の割合が高いため、生産効果自体が小さくなっていることを指摘した。例えば抵抗性の害虫の出現は、現状の単収を維持するためだけでも追加的な研究投資を必要とするが、これらの研究の効果を評価することは容易ではない。また、近年増加傾向にある防衛特許のための研究も、生産量の現状維持が主目的のため、研究の投資効率の名目値を低下させる要因となっている。

研究開発の投資効果の低下に、近年みられる財政の逼迫、また環境問題への関心の高まりが加わることで、技術評価の精度向上が従来以上に厳しく問われている⁶。本研究において技術評価手法の検討を行う背景には以上の問題が存在する⁷。

2) 技術評価手法

(1) 経営的評価

技術の経営的評価は、技術開発研究の出口を構成し、これまでも一種のピアレビューとして実施されてきた。小野[26]は、所得増・コスト減の視点から野菜・果樹作における8つの技術を対象に近年の経営評価事例をまとめている。また、吉田[35]は、環境保全型技術が経営をいかに改善するかという視点から経営的評価を実施し、資材投入減がどの程度のコスト減をもたらすか、堆肥利用による有機農産物生産がどの程度の所得増をもたらすかを分析したうえで、環境保全型技術の導入可能性を論じている。但し、これらの四則演算にもとづくシンプルな経営的評価では、複数作目を扱う経営や、労働制約や土地制約といった生産要素の制約を明示的に扱うことができない。こうした問題に対処する手法として、数理計画法とりわけ線形計画法の研究が進められた。頼[34]によると、農業技術の評価に線形計画法が初めて利用されたのは1954年とその歴史は古い。

線形計画法にもとづく経営的評価は、理論の精緻化と手法の簡便化が同時に進められた。並行してツールやソフトも作成され、営農技術体系評価・計画システム(FAPS)やXLP⁸などは、生産現場において広く用いられている⁹。このように、経営的評価に関する研究は、数理計画法をベースにした手法の深化、アプリケーションソフトの開発等、多くの実績をあげてきた¹⁰。その一方で、経営的評価が実際の技術普及に結びついていないとの批判もつきない。事実、研究

⁶ 研究投資の評価に関しては、2002年4月に「行政機関が行う政策の評価に関する法律(政策評価法)」が施行されたことを受け、アウトカム(成果)の視点からの評価が、各省庁、研究独法で開始された。農林水産省では研究開発評価に関する指針(2006年3月農林水産技術会議決定)に従い、普及に区分される研究成果情報に関しては、その成果の利用・普及状況等を5年間追跡調査している。

⁷ 研究投資効率の計測にもとづく技術評価は数多く行われてきた(崎浦[29]、伊藤[13]等)。その際用いる研究費は、農林水産関係試験研究要覧等の公刊資料からこれまで推計されてきたが、現在では多種多様なファンドに基づく研究費が存在し、また研究自体も学際化が進んだために推計は困難となっている。このほか、公立研究機関における国庫助成額をどのように把握するかという問題、普及事業費における国・都道府県のダブルカウント、経常的事務費のカウントの問題も研究費の推計を困難とする要因である(伊藤[13])。

⁸ 大石亘作成のXLPは、アドインソフトとして簡便に線形計画が実行可能であり、南石晃明作成のFAPSでは、降雨条件などの作業リスクに対応した経営計画の作成が可能となっている。

⁹ 農業研究センター編[22][23]は線形計画法を用いた経営的評価手法、評価事例をまとめている。また、武藤[19]は、パラメトリックな生産関数を前提とする限界分析法に比べ、データ収集が容易である点を線形計画法の長所として指摘している。

¹⁰ 生産数量変化にともなう価格変化を考慮した二次計画法に関する研究も、理論面、実証面ともに行われてきた。空間均衡モデルについては川口[15]が詳細なレビューを行っている。

所の評価テストをパスしたにもかかわらず生産現場での採用テストをクリアできない技術は少なからず存在する。

今村[12]は、農業経営に線形計画法を適用する際の問題点を包括的に議論し、経営計画と経営実績の差をもたらす要因を3つに整理している。第1は生産条件を正しく把握・予測しているか、第2は生産計画ないし生産技術の選択に問題がないか、第3は実際に当初の計画通り生産を行ったかである。技術の経営的評価において議論の中心となるのは、評価対象技術が当初の目的をどれだけ達成できたかである。すなわち[12]でいう第1の視点に立った生産条件の正しい把握・予測である。この点に関し、酪農技術を分析した De Boer[6]は、研究所レベルと実際の生産現場レベルでの各種条件の相違を踏まえることが必要であると指摘している¹¹。

経営的評価において、実際の生産圃場における生産条件をいかに正確に反映させるかは本研究の1つめの課題である。

ところで、多くの経営的評価では、新技術導入の前後で生産数量ないし農産物価格を一定として効果を計測している。単収増加技術では生産物価格を一定、品質向上技術では生産(販売)数量を一定とすることで経営的評価は格段に容易に実施可能となる。しかし、生産数量の増加(価格の上昇)が大きければ価格は下落(数量は減少)し、その結果、所得改善効果は当初の見込みを下回る可能性がある。古くは公共事業の効果を分析した Dupuit[7]がこの問題を検討している。数量ないし価格一定という前提を緩和する場合、生産関数、需要関数を推計し、価格や数量の変化を計測する必要があるが生じるが、一般に、生産関数のシフトは計測可能であっても、需要関数の形状やシフトの大きさを推計することは困難である¹²。この点に関し Alston. et al. [1]は、新技術導入により生産数量が増加するケースにおいて、数量増加及び生産関数のシフトにともなう価格の変動を考慮しなくともよい、と結論づけている。理由として、価格を一定とすることによる誤差は、生産関数や需要関数の推計時に起こりうる誤差に比べて十分に小さいことをあげている。

以上の理由から、本研究においては、生産関数ないし需要関数の推計は実施せず、価格ないし数量を一定と仮定し、実証分析を実施している。

(2) 環境影響評価

開発技術が生産現場に定着するためには、いくつかのテストをパスしなければならない。経営的評価はテストの一つである。これに加え、近年の環境問題への関心の高まりは、環境影響評価に関するテストを必要としている¹³。農業経営にとってプラスであるにもかかわらず、生産環境にマイナスとなるならば、当該生産は持続可能とは判断されないだろう。農業技術の環境影響評価をいかに実施するかは、本研究のもう1つの課題である。

¹¹ De Boer[6]は、The impact should be assessed not on a few experimental farms but rather on a number of commercial farms for each production system of interest. と指摘しているが、この点に着目した実証研究は多くない。

¹² Dupuit[7]も、「何かを知ることができない場合、何も知らないということを認識しているだけでも、たいしたものだ」として、数量増大にともなう価格の低下を必ずしも把握する必要がないことを指摘している。勿論、農業生産全体に大きなインパクトを与える技術であれば、価格ないし数量一定という前提が推計結果にもたらすバイアスは大きい。

¹³ マルクス経済学では一般的に、農業においては自然的な再生産過程が経済的な再生産過程と結びついているために、環境問題が工業以上に重要となると理解されている(梶井[14])。

農業生産活動がもたらす環境負荷は多種多様であることから、環境負荷量の計測に関する議論は幅広く行われてきた¹⁴。自然科学の分野では、農業技術の導入による環境への影響を物質レベルで計測し、当該物質の変化量を指標とする評価が一般的である。そこでは過剰施肥による窒素の流亡問題、飼料輸入の増大がもたらすふん尿蓄積、土壌浸食、農薬ドリフト等が議論の対象とされている。三輪ら[18]は土壌中のNやCの動態に着目し、農業生産による影響を分析している。但し、土壌内部における物質動態は、多くの研究にもかかわらず未知の領域が数多く残されたままとされている。また、三輪ら[17]は、窒素フローが過剰ななかで有機質の循環を進めても、結果として窒素分が国内の農地に蓄積されるにすぎず、環境にプラスの効果はないとし、ふん尿の堆肥化により適正な資源循環が実現するという風潮を批判している¹⁵。

農業生産活動によりどの指標が低下(ないし上昇)すれば、環境に好ましいといえるか。実は、水質のような法的基準が明確なものを除けば、個々人の主観に依存している指標が多く、客観的な指標は少ない。例えば、畜産の臭気に対する評価は、都市住民と酪農地帯の住民、農家と非農家とでは大きく異なる。農村景観についても同様の指摘ができる。牛が草をはむ景観に価値を見出す人もいれば、それを嫌悪の対象とする人もいる。整備された水田を美しいとみるか、人工的とみるか等も同様である。主観的な指標は可測性という点で客観的指標に劣る。

本研究では、環境影響評価指標として、測定可能かつ当該指標に関する社会的な共通認識が形成されている温室効果ガス(GHG)を対象に、新たな農業生産システム導入による技術評価をマクロの視点から実施する。国際標準化機構(ISO)では、環境影響評価¹⁶として農業生産が環境にもたらすインパクトの計測を求めているが、本研究では農業生産活動にともなうGHGに着目して環境負荷量を計測している。

(3) 統合評価

もう一つの課題は、経営的評価と環境影響評価をどのように統合するかである。農業生産の振興と環境問題の克服という2つの課題を定量化する作業と言い換えてよい。

社会科学においては、複数の要素の統合化を前提とした研究が主流であり、環境負荷と経済指標の統合が特段の留意なく実施される傾向にあるが、自然科学においては、諸効果のナイーブな統合には懐疑的な見方が多い。そこでは環境問題の指標はそれぞれが意味をもつことから、複数の指標を1つに統合することに自体に意味がないという立場がとられる。本研究では指標

¹⁴ 農業技術と環境汚染の関係については、農業環境技術研究所[21]、西尾[20]が包括的に論じているが、自然科学分野における環境影響に関する議論は、生態系への配慮が主であり、農業経営との関連を論じたものは多くない。

¹⁵ 第5章で分析対象とする飼料イネ耕畜連携システムの現地調査において、「飼料イネ生産の最大の課題は何か」という問いに対し、「水田でいかにして過剰なふん尿処理をするかにつきる」という答えが、耕種農家・畜産農家の双方から度々聞かれた。耕畜連携の本質は過剰なふん尿問題にあるとする生産者の意見である。

¹⁶ 1990年代以降、社会科学分野で広く行われているCVM等の評価手法は環境評価と呼ばれ、ここで言う環境影響評価とは区別される。これらは景観や国土保全等の外部経済を金銭評価したものである(例えば藤本[8]、吉田[36])。環境経済学の分野では、80年代後半から顕示選好による環境評価が理論・実証双方で進展をみた。しかし、個人の効用に関する推計には多大なコストを要する点、また、評価対象についての情報量が被対象者間で不均一になっている点など、その分析結果の信頼性を疑問視する声は小さくない。なお、環境影響評価に環境評価を組み込む動きも一部にはあるが、現時点では両者には一定の線引きがなされている。

の統合をどのように行うべきかに関して、社会科学と自然科学の双方の議論を整理している。

ところで、環境負荷を軽減し、環境を改善する技術に対しては各種の助成が行われている。農地・水・環境保全向上対策はその代表である。中山間地域等直接支払制度も農地や草地といった国土環境を保全するという点では、広義の環境対策といえる。これらの対策の背景には、生産性ないし経営改善効果は不十分であっても、環境負荷軽減効果の大きい技術は評価されるべきという思想が存在する。また、助成水準は、間接的にはあるが経営面と環境面の統合評価の結果を反映している¹⁷。本研究では、環境負荷量としてGHGを選択したことから、両者を統合する指標としては炭素価格を用いている。

関連して、以下で用いる「影響」「評価」「効果」の概念を整理する。環境影響評価における「影響」とは、技術導入により農業経営や農村に生じるなんらかの変化をさすものであり、そこに価値判断は含まれない。一定の価値規範に基づく尺度上に「影響」をマッピングする作業が「評価」であり、そこで評価された数値が「効果」となる。本研究で言うところの環境影響「評価」とは、何らかの環境負荷量(例:GHG)の多寡を問題視する価値規範を前提に、生産環境への「影響」を環境負荷の変化量という「効果」へと変換する作業にほかならない。

同様に経営的「評価」とは、金額の多寡を価値規範とし、技術導入による農業経営への「影響」を金額の変化で示される「効果」へと変換する作業である。

3. 小括

農業の生産環境は厳しさを増している。現下の主要な課題としては、米の生産調整への対応、家畜ふん尿がもたらす窒素過剰、耕作放棄地の増大、食料自給率向上等があげられる。そこで本研究では、これらの課題に対処する手段としての粗飼料生産に着目する。

技術の価値は、農業生産現場で実際に普及、定着し、農業経営ないし国民の厚生を改善することではじめて発揮される。言い換えれば、いくら優れていると研究所が考える技術であっても、生産者が採用しなければ、成果(outcome)は生産現場には還元されず、論文や特許といった研究業績(output)のみが蓄積される。研究の成果が重視されるなかで、生産者が直面する労働力条件、圃場条件、栽培管理条件等を技術評価に正確に組み込むことがこれまで以上に求められている。技術開発の実効性は確度の高い技術評価と厳格なスクリーニングによって確保されるであろう。農業生産が抱える問題を解決するためには、政策的支援のみならず、技術開発によるコスト削減や収量増を通じた生産力の底上げが不可欠であり、この点で技術開発の役割は大きい。

本研究のフローチャートを図1-3-1に示した。

技術の経営的評価に関する諸問題は第2、3章で分析する。対象は自給飼料生産である。

第2章では、現状の粗飼料生産の問題点を整理する。粗飼料生産技術は、購入乾草と自給飼料のどちらが経営にとってリーズナブルかで判断されるが、評価に用いられる自家労賃水準にはいくつかの問題があるとされてきた。本研究では、自給飼料生産費用価と乾草価格を比較する

¹⁷ これらの助成の実施は、当該農業生産が国民経済にとってプラスと判断された結果と考えられる。

という現在の評価手法が不適切である理由を整理したうえで、実証分析において自給飼料生産費用価の修正及び自家労働評価の推計を行う。具体的には第3章において、農外雇用賃金が自家労賃評価の指標として適切か否かを検討し、「労働制約が存在するケースでも農外雇用賃金を用いた自給飼料生産費用価を用いるべきだ」という現状の理解に対し、「労働制約下では農外雇用賃金を自家労賃とすることは適切ではない」ことを明らかにする。

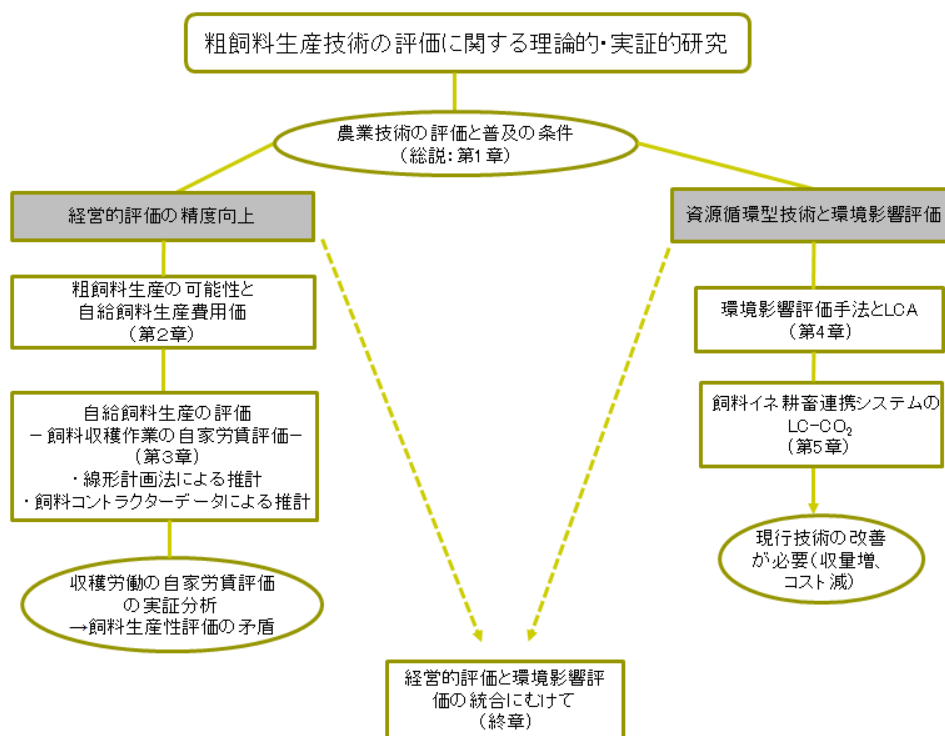


図1-3-1 本研究のフローチャート

一方、農業生産に起因する環境問題への関心の高まりは、技術評価における環境影響評価を不可避としている。第4、第5章でこれらのテーマを論じる。

農業生産の持続性は環境に配慮した技術の利用が前提となるが¹⁸、環境負荷の定量化は十分とはいえない。また、資源循環がブームといえる状況にあって、資源循環という行為自体が目的化した結果、資源の浪費が行われている事例も存在する。資源循環型技術であっても環境に対する配慮が欠けた技術は普及に適さない。環境負荷量の定量化により、こうした点を検討することも環境影響評価の目的である。そこで第4章ではLCA(Life Cycle Assessment)に着目して環境影響評価の手法を整理し、第5章では資源循環型技術として飼料イネ耕畜連携システムをとりあげ、環境影響評価を実施する。

終章では経営的評価と環境影響評価の統合手法を検討し、その問題点を検討する。飼料イネを対象とした分析では、炭素価格を統合のウェイトとした評価を行ったが、環境面のプラスの効果が経営面のマイナスをオフセットすることはなかった。現行の炭素価格の水準が低いこと

¹⁸ 将来は、環境影響への配慮を目的とした減農薬・減化学肥料技術等の技術ばかりでなく、これらを直接の目的としない技術(例えば増収技術)においても環境影響評価は不可避となるだろう。

が要因と考えられる。

本研究では以上の全体構成のもとで、技術の経営的評価、環境影響評価を対象として、各評価の意義と手法の重要性・問題点を論じたうえで実証分析を実施している。分析にあたっては、手法の簡便さ、理解のしやすさ、計測のしやすさに重点を置いた。この視点は、とりわけ生産者を対象とした技術の評価問題を検討する際には重要である。増田[16]が強調するように、いくら手法として厳密でかつ正確であっても、分析過程がブラックボックスであれば生産者には見向きもされない。技術の評価手法・評価結果は第一に生産者に理解されるものでなければならない¹⁹。

最後に普及研究²⁰に対する筆者の立場を明らかにし、第一章を閉じたい。

技術の普及を図るためには、生産条件の把握と同時に生産条件の改善も必要となる。普及論では、生産者の技術リテラシーの向上をめざした研究が多く行われてきた。

小倉[25]は「科学より慣習に、技術よりも習熟に依存」している生産者との文化的なずれを修正することが重要として、技術普及の問題を零細農家の文化的遅れに求めた。これに対して、内山[31]は農民の意見を十分反映しない指導方法は、結果として民間技術と官僚技術の対立を生む可能性があることを強調した。

生産者を指導するという考えは、開発経済学から批判を受けている。Caldwell ら[4]は、研究所ができることは技術の部品か原型をつくるのがせいぜいであるとして、トップダウン型の普及方法を批判し、生産者を技術にあわせるのではなく、技術を生産者にあわせることが新技術の研究開発において重要であると指摘している。Chambers[5]も、「我々は農民を教育しなければならない」という研究者の傾向を批判している。

筆者は、新技術の開発、普及において、研究者が自身の無謬性を信じ、問題発生 of の要因を生産者に求めている現場に何度か立ち会ったことがある²¹。本研究では生産環境に配慮した技術評価が重要であることを繰り返し強調しているが、これは「はじめに技術ありき」を信念とする研究者へのささやかな反論でもある。

¹⁹ 技術評価の完全な実施はデータ、コスト、人員の制約から現実には困難である。仮に技術評価に10年をかけることが許されるならば完全な評価が可能となるが、完全な評価を受けて10年後にリリースされる技術は既に陳腐化したものとなっているだろう。

²⁰ 効率的な普及方法に関する研究では、指導的な生産者を普及のターゲットとすれば、模倣者である他の生産者がそれに従うという事実から、リーダーとなる生産者を育成が技術普及の近道であることが指摘されている(高橋[30])。また、技術の普及速度に関する研究も多数行われた。Rogers[28]は、社会システムの中で、あるイノベーションについて情報(主観的な評価)が広がっていくと、ある時点で普及率がテイクオフするポイントがあり、それは普及率10~25%の時点であることを明らかにしている。大塚[27]は、保温折衷苗代技術の普及過程をロジスティック曲線を用いて詳細に分析し、期待利潤の増加が普及速度に影響を与えていることを明らかにした。

²¹ 研究所での評価をパスした技術が生産現場に普及しない事実に対して、「優れた技術を開発したにもかかわらず、技術が定着しないのは、行政や農業団体の普及体制に問題があるからだ」という意見が聞かれる。こうした指摘には理がある一方、技術開発者側の免罪符として使われてきたことは否定できない。

第2章 粗飼料生産の可能性と自給飼料生産費用価

1. はじめに

自給飼料生産拡大に対する国民的関心が高まりをみせる一方、77%という粗飼料自給率に示されるように、粗飼料生産の水準は十分ではない¹。自給飼料増産のための諸施策の実施にもかかわらず、現状の総生産量は増加どころか減少を続けている。

自給飼料生産に対する期待には、環境負荷の軽減、安全・安心な畜産物の確保等がある。具体的には、堆肥還元可能な圃場を自給飼料生産によって確保し、家畜ふん尿に起因する窒素蓄積を緩和すること、素性の分かる自給飼料の給与を通じて BSE・口蹄疫の発生以降顕著となった安全・安心な畜産物に対する需要に応えることが望まれている。これらに加えて経営改善への期待がある。近年の飼料価格の高騰のもと²、酪農で4割、繁殖・肥育で3割とされる飼料費の削減を、粗飼料の低コスト生産を通じていかに実現するか。これも自給飼料生産にとって重要な課題である³。一方で、農業白書や各種の行政文書では「自給飼料生産費用価は購入乾草価格より低いことから、飼料生産の経済的条件は十分にある」との認識が長らく示されてきた。粗飼料を購入するより自分で生産したほうが安いとすれば酪農家は粗飼料生産を増やしたであろう。こうした指摘は、粗飼料生産量・粗飼料自給率の四半世紀にわたる縮小傾向と矛盾している。

これほどの長期間、酪農家は経済合理的でない行動を取り続けてきたのだろうか。もちろん否である。とすれば、問題は酪農家ではなく「自給飼料生産費用価は購入乾草価格より低い」という前提から「飼料生産の経済的条件は整っている」とする議論自体にある。本章ではこの論理的矛盾をもたらす要因を探るために、自給飼料生産費用価の算定における問題点を検討し、あわせてその修正の必要性を指摘する。

次節では、輸入乾草と自給飼料生産費用価の較差の現状を考察し、第3節では、飼料生産労働が飼料生産の隘路となっていることを白書等の整理から明らかにする。第4節では、自給飼料生産の可能性に関する研究レビューを行い、飼料生産における自家労賃がどのように扱われてきたかを整理する。その上で、毎月勤労統計調査や畜産物生産費統計をベースに得られる飼料生産費用価には問題があり、自給飼料生産労働投入の判断指標とならないことをシンプルな

¹ 農林水産省[14]によると、2007年度の飼料生産は田畑計897,200ha、うち田104,400ha(北海道15,300ha、都府県89,100ha)、畑792,900ha(北海道584,800ha、都府県20,800ha)である。自給飼料のほとんどが北海道において生産されている。第3章の実証分析でも北海道を対象とするが、北海道は国内粗飼料生産の主力地域であり、かつ都府県と比較して土地資源が豊富で自給飼料生産のポテンシャルが高いことが選択の理由である。

² 飼料価格の上昇は、濃厚飼料と同様に粗飼料にもみられる。種村ら[20]によると、2007年末の粗飼料価格は2004年末と比較して30%程度上昇している。濃厚飼料の価格上昇もほぼ同じ傾向にある。CIF価格ベースでみた乾草の2007年第2,3四半期平均価格は、前年比10%高、前々年比15%高となっている。

³ 現行の食料・農業・農村基本計画では、2015年度の粗飼料自給率100%(飼料自給率35%)を目標に、各種の施策を強化しているが、これら施策の実効性を担保する意味でも、粗飼料生産の可能性の検討は重要である。

数理モデルにより検討する。これを受けて第5節では、労働制約を勘案した場合に第4節で検討した飼料生産条件がどのように変化するかを考察する。以上の分析は、自給飼料生産費用価の修正にむけた理論的整理に相当する。自給飼料生産費用価の実際の修正は次章で行う。

2. 自給飼料生産費用価と輸入乾草価格

1) 自給飼料生産費用価と乾草価格の較差

ここでは、粗飼料⁴生産問題、輸入問題が顕在化する1990年代以降の期間を対象として、粗飼料生産費用価と購入乾草価格の差がどのように推移したかを観察する。

図2-2-1の縦軸の値は、TDN⁵1kg当たりの購入粗飼料価格と、TDN1kg当たりの自給飼料生産費用価の差である。値がプラスであることは粗飼料生産費用価が購入乾草価格を下回ることを意味するが、全ての期間において粗飼料生産費用価<購入乾草価格が成立している。1990年代初めは都府県、北海道ともに較差は非常に大きく、北海道ではTDNkg当たりで最大60円の差があった。その後、粗飼料の輸入量が安定するにつれて較差は縮小し、90年代半ば以降は一定のレンジ内で推移している。年次間変動はあるが、近年の較差は北海道で30円前後、都府県で10-20円である。

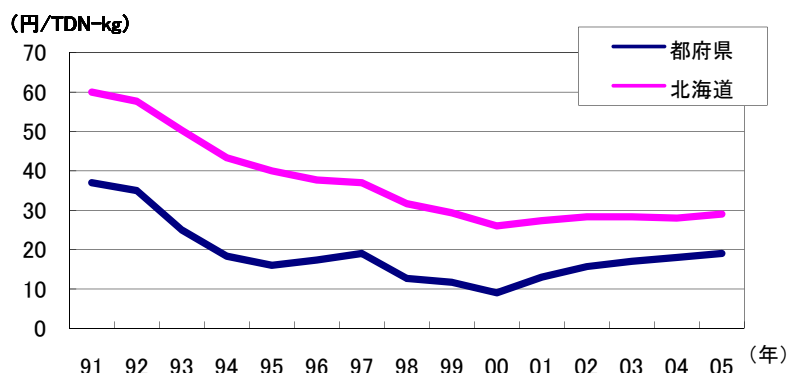


図 2-2-1 購入乾草と粗飼料生産費用価の較差の経年変化(3か年移動平均)
資料:農林水産省畜産局・生産局畜産部

図に示される粗飼料生産費用価と購入乾草価格の較差は、自給飼料生産の優位性を示すものだろうか。仮に、図の較差が自給飼料生産の優位性を示すものであるならば、粗飼料生産の拡大、粗飼料自給率の向上がみられるはずだが実態は異なっている。

⁴ 濃厚飼料生産は我が国ではほとんどないことから、自給飼料＝粗飼料としてよい。以下でも両者は同義に用いられる。

⁵ TDN (TDN: Total Digestible Nutrients:可消化養分総量)はエネルギー単位を意味する。飼料成分の基準としてはこのほかに NDF(Neutral Detergent Fiber:中性デタージェント繊維)、NEL(Net Energy for Lactation:産乳の正味エネルギー)がある。このうち TDN が最も標準的な指標である。

2) 飼料生産の動向

自給率、輸入量の推移に着目して飼料生産の動向をみたのが図 2-2-2 である。

飼料自給率は 70 年代半ばから 80 年にかけて大きく低下した。(中小家畜を含む)家畜飼養頭数の急増にもかかわらず飼料生産圃場が減少し、濃厚飼料の輸入が急増したためである。この背景には円高等による濃厚飼料価格の下落があった。濃厚飼料の輸入急増と飼料自給率の低下⁶とは対照的に、粗飼料は 1985 年頃まではほぼ自給を維持していた。要因としては、粗飼料の生産コストが相対的に低かったこと、また流通技術が低水準だったため、粗飼料の輸送コストが高かったことが指摘されている⁷。乾草購入と比較した場合に自給粗飼料生産は長らくリーズナブルであった。しかし、海外における粗飼料生産・流通体制の整備やプラザ合意以降の円高を受け、80 年代後半以降、粗飼料輸入は急増する。この点を生源寺[18]は、「高コストの自給粗飼料生産を控え、安価になった粗飼料の購入量を増やすことが、ビジネスとしての酪農経営の自然な選択である」と整理している。なお近年、粗飼料自給率は 2004 年度の 75%から 2006 年度の 77%へと微増しているが⁸、これは、粗飼料自給量が減少する一方で、飼養頭数も同時に減少したためであり、飼料生産の拡大によるものではない。

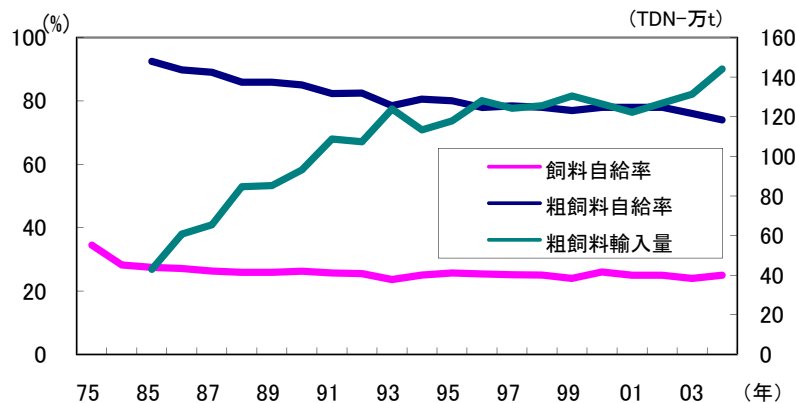


図 2-2-2 飼料自給率・粗飼料自給率の推移
資料：各年次農業白書(食料・農業・農村白書)付属統計資料

粗飼料生産の可能性に関しては、図 2-2-1 のデータをもとに、これまで 20 年以上にわたって「自給飼料生産費用価は輸入乾草価格よりも低いゆえ、自給飼料の増産は可能である」ことが議論されてきた。この指摘に従えば、図 2-2-2 は酪農家が 20 年以上も経済的に不合理な行動を取り続けてきたことを意味する。

3) 自給飼料利用コスト

自給飼料生産が縮小する現状を前にして、自給飼料生産費用価が乾草価格を下回るという事

⁶ 2006 年度現在、飼料自給率は 24%(北海道 53%、都府県 15%)にまで落ち込んでいる。低い飼料自給率は飼料の関税政策によるところが大きく、自給飼料生産振興と飼料関税政策との間には明らかな矛盾が存在するが、ここでは論点の指摘にとどめておく。

⁷ 自脱型コンバインの普及以前は、低コストでのワラ収集が容易であったことも要因と考えられる。

⁸ 北海道と都府県では粗飼料自給率は様相を異にする。酪農の粗飼料自給率は北海道 93%、都府県 40%と格差は大きい(農林水産省[15])。

実をもって「自給飼料生産によって経営は改善される」と強弁することは有効だろうか。図 2-2-1 にみる較差が継続的に存在し、かつ近年においても縮小しないことを勘案すれば、農家にとっての自給粗飼料の利用コストは、使用されている自給飼料生産費用価とは異なる水準にあり、かつ自給飼料生産費用価よりも高いのではないかと考えられる。

図 2-2-3 にこれらの関係を模式的に整理した。この図の含意は、乾草価格より自給飼料生産費用価が低いという事実から粗飼料生産の可能性を判断することはできないというものである。図 2-2-3 の右端は乾草価格、隣のボックスの長方形は自給飼料生産費用価を示している。乾草価格の高さが自給飼料生産費用価の高さを上回るが、これは図 2-2-1 の購入粗飼料価格 > 自給飼料生産費用価の関係に対応している。また、自給飼料生産費用価は、図の左端に示される自給飼料利用価 (=酪農家の利用コスト) とも異なっている。

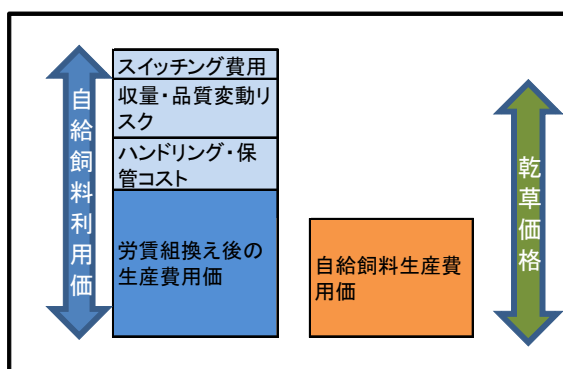


図 2-2-3 生産費用価に関する模式図

中央左側のボックスは自給飼料利用価を示しているが、これは4つの部分で構成されている。

1 つめは、飼料変更にともなうスイッチング費用である。購入乾草を自給飼料に変更する際に給餌技術や飼養技術の修正が行われるが、そのときに発生するコストがこれに相当する⁹。2 つめはリスク要因である。自給粗飼料にみられる品質の低さや変動、これに起因する廃棄率の高さ、安定供給に対する不安¹⁰等が該当する。この点に関し、梶井[6]は「収量変動等を考慮するならば、平均的な生産費用価とされるものは実態を反映しておらず、平均的な生産費は購入飼料価格よりも高い可能性がある」ことを指摘している¹¹。但しスイッチング費用やリスクの計測は容易ではない。3 つめはハンドリングコストや保管コストである。サイレージ形態の自給粗飼料の給与はコンパクトな乾草に比べ手間を要するため、ハンドリングコストが発生する。また、乾草は必要量だけの調達が可能のために保管コストは低いですが、一時期に大量に調製されるサイレージでは保管コストが発生する。4 つめは、現行の自給飼料生産費用価の修正である。生産者にとっての自家労賃が、生産費用価算定で用いられる労賃を上回るならば、「労賃組換え後の生産費用価」の高さは、「自給飼料生産費用価」の高さを上回るであろう。厳しい労働制約

⁹ 飼料購入に伴い、飼料配合の相談や土壌診断などのサービスを受けているケースでは、これらサービスの喪失もスイッチング費用となる。スイッチング費用については Shy[19]を参照のこと。

¹⁰ 2001 年度以降の農業白書では地域間、経営間での収量のばらつきが問題として挙げられている。

¹¹ 123 点の輸入乾草を分析した西野ら[13]は、輸入乾草においても品質格差は存在し、その分散を小さくするよう飼料を選択することで酪農経営が改善されることを指摘している。仮に、購入乾草の品質変動が自給粗飼料と同程度であれば、品質変動に関するリスクを考慮する必要はなくなる。

下にある酪農経営の場合、この点の修正が必要であると考えられる。以下ではこの最後の点に分析の焦点を当てている。

4) 過重労働の実態

次に、飼料収穫期の過重労働、作業集中の実態を、統計データ・調査データから確認する。

酪農家が飼料生産を行う場合、通年作業である乳牛の飼養管理を行った上で、飼料生産労働を追加的に投入する必要がある。具体的には、朝の搾乳作業と夕方の搾乳作業の間、また夕方の搾乳終了後の時間が飼料の生産管理、収穫調製に割り当てられる。通常期には休息に充てていた時間が飼料生産に用いられると考えてよい。酪農生産における労働問題を扱った前田[11]は「酪農経営における労働負担は、とくに飼料生産部門において過重である」として、北海道における労働時間の長さを問題視している。

飼料生産労働の特徴は一時期に集中することである¹²。とりわけ 1 番草の収穫調製作業に要する労働負担が大きい。この負担のために飼料生産を断念する、ないし飼料面積の拡大を回避する経営は少なくない。北海道農政部[3]には、フリーストール、経産牛 100 頭規模、労働力男女各 1 名の経営における標準的な作業時間が示されている。図 2-2-4 は、労働が最も過重となる 1 番草、2 番草の収穫期の必要労働時間(一日当たり)である。

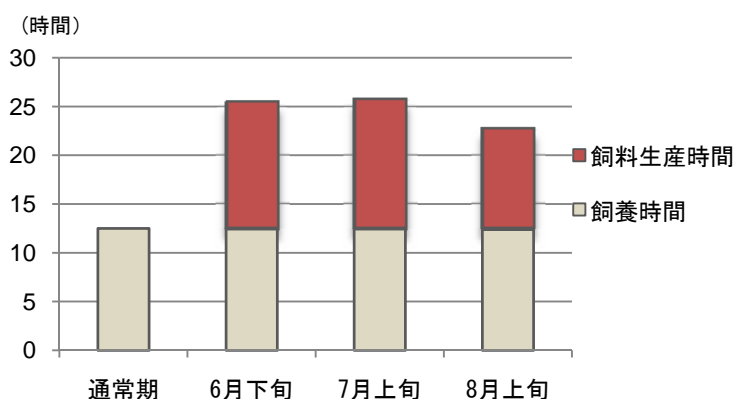


図 2-2-4 酪農経営における通常期と繁忙期の労働時間比較(男女各 1 名:計 2 名の総時間)
資料: 北海道農政部[3]

グラフの下側は、飼養・搾乳労働に必要とされる時間を、グラフの上側は、飼料収穫・調製・施肥等に必要な追加的な労働投入量時間を示している。1 番草収穫の 6 月下旬から 7 月上旬、2 番草収穫の 8 月上旬の労働時間は、通常期と比較してそれぞれ 103%増、106%増、82%増となっており、飼料生産のための追加労働は乳牛の飼養作業と同等ないしそれ以上必要となっている。特に、6 月下旬から 7 月上旬の 1 番草収穫時期は一日一人当たり労働時間が 12.5 時間を超えており、明白な過重労働が確認できる。

次に、実際の酪農家の労働投入状況を図 2-2-5 にみる。北海道鹿追町の経営主 99 名と後継者

¹² 通年作業が確保される搾乳作業に関する労働市場は機能している。聞き取り調査によれば、求人雑誌等への年間雇用求人や研修生の募集にはある程度の応募がある。一方、季節性を伴い、単純労働でもない飼料生産では労働力確保は容易ではないとされる。搾乳作業の雇用が可能であることは、飼料生産の労働力が確保されることと同義ではない。

18 名を対象にしたアンケートの結果である。横軸¹³は、通常期の飼養・搾乳の 1 日当たりの労働時間、縦軸は、飼料収穫時期に追加的に投入する作業時間である。このデータから、繁忙期の労働時間が 10 時間/日を超える酪農家が全体の約 6 割を占め、全農家の平均労働時間は 10.7 時間であることが分かる。図に例示した直線は等労働投入時間曲線である。直線の右上に位置するドットは、当該労働投入時間を上回る労働を行う生産者を示す。時間別にみると、8 時間未満 34 人、8-10 時間 14 人、10-12 時間 16 人、12-14 時間 18 人、14-16 時間 19 人、16 時間以上 6 人であった。

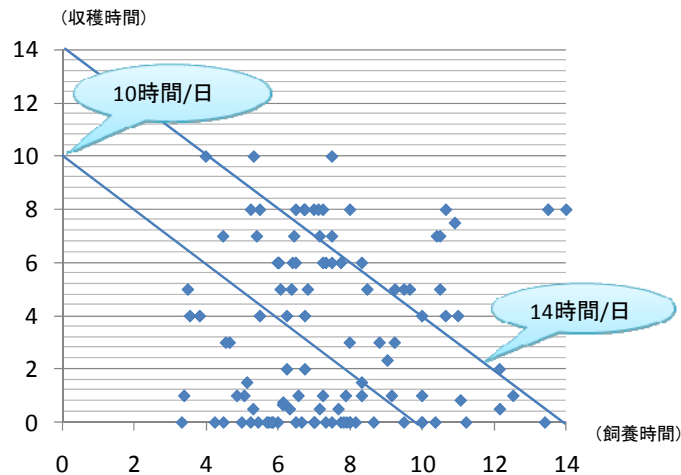


図 2-2-5 北海道鹿追町の経営主・後継者の労働時間(1996 年)
資料：加藤による調査¹⁴(1997)

飼料生産の繁忙期の過重労働の実態から、繁忙期の労働に対しては通常期の労働とは異なる評価が行われていることが示唆される。そうであるならば、過重労働を反映しない自給飼料生産費用価は飼料生産の経済性に関する判断指標として不適切である。

あわせてここでは畜産物生産費調査から、乾物重量(DM:Dry Matter)当たり自給飼料生産費用価及び 10a 当たりの生産コストの構成をみる。2006 年産のチモシーの費用構成は表 2-2-1 に示される。

表 2-2-1 生産費用価及び生産コスト

	費用価(円/DMkg)	コスト(円/10a)
材料費	14.09	9,948
減価償却費	7.07	4,991
労働費	3.4	2,400
草地費	0.62	438
合計	25.18	17,777

資料：農林水産省統計部、畜産物生産費(2006 年産)

コストの 6 割弱を材料費が占める一方、労働費は費用価全体の 15%を占めるにすぎず、その

¹³ 横軸上のドットは自給飼料生産を行わない農家を示す。これらは JA 鹿追町コントラクターに作業を全面的に委託している農家である(第 3 章参照)。

¹⁴ 図は未発表。なお時間数は自由記入形式をとっているため、データの精度には留意が必要である。

割合は決して大きいとはいえない。但し、このことのみから、労働費が自給飼料生産に及ぼす影響が小さいと結論づけることはできない。自家労働の評価として用いられる自家労賃の水準（毎月勤労統計調査における農外賃金の値）が、飼料生産現場の労働制約のもとで実態に即しているかは別途検討が必要である。

3. 農業白書にみる自給飼料生産の位相の変化

本節では、飼料生産において労働が重要な生産要素となるに至った経緯を、農業白書（食料・農業・農村白書）及び関連する資料の整理から明らかにする。

1) 1980年代前半まで

終戦後から1960年頃までの期間は大家畜の飼養頭数自体が少なく、飼料生産は畜産経営において大きな問題とは認識されなかった¹⁵。

農業白書において飼料生産が指摘されるのは、飼料生産が停滞する1960年代後半以降である。そこで、これ以降の期間を対象に、粗飼料生産をめぐる環境の変化を整理する。表2-3-1は、経営環境の変化・生産制約・代表的なトピックを時期別にまとめたものである。

表 2-3-1 自給飼料生産をめぐる環境変化

	経営環境の変化	生産制約	主要なトピック
1970年代中期	生乳需要増	飼料畑制約	濃厚飼料への代替・飼料畑開発
～80年代前期	為替変化	飼料高騰	自給飼料生産費用価の意識(79年)
～80年代中期	乳脂肪基準	粗飼料需要増	粗飼料輸入(85年:粗飼料自給率)
～90年代後期	乳価低迷	牧草収穫労働	輸入粗飼料と自給飼料の代替関係(92年)
～現在	ふん尿問題	環境3法制定	自給飼料生産＝労働制約への対応(2000年)

1972年度¹⁶白書では「1960～71年の間に乳用牛の飼養頭数が2.3倍に増加」、「高地価など土地条件の制約に伴う購入飼料への依存度の高まり¹⁷」といった表現がみられ、土地制約のために粗飼料生産量が十分でなく、1960年代以降の需要の伸びに対応できていないことが記述されている。

翌73年度には、「土地制約の強い都府県の酪農経営では(中略)飼養規模を拡大するうえで土地基盤の制約がますます強くなっている」と、飼料生産問題の筆頭に土地制約をあげている。以降、85年度まで飼料作における土地制約問題が取り上げられる。

70年代中期以降の大家畜経営が直面する課題は飼料畑の制約であり、増頭等にとまなう飼料需要の拡大に対しては、草地開発、農地流動化による土地制約の緩和策が実施された。為替変

¹⁵ この期間の飼料生産を分析した児玉[3]は「飼料自給の問題は経営にとっては土地利用の経済性の問題である」として、飼料と他作物の土地生産性、収益性に焦点を当てている。

¹⁶ 実際の白書の年次は元号表記であるが、西暦で統一した。以下同様。

¹⁷ 現在に比べ粗飼料多給であったため、自給飼料の供給減には濃厚飼料の給与増で対応が可能であった。粗飼料割合を減らす余地があったと言い換えてよい。

動に伴う配合飼料価格高騰が経営を圧迫した 75 年度には、飼料費削減を目的とした自給飼料生産が指摘されている。79 年度には、自給飼料生産費用価が初めて分析に加わる。飼料生産におけるコストに関する記述はこの時期以降に増加する。

81 年度白書では、粗飼料の生産コストに焦点を当てた詳細な分析が行われた。そこでは「粗飼料は、濃厚飼料に比べ取扱い面等での利便性は低い、一般に費用の面で配合飼料に比べ有利である」と、購入飼料価格と粗飼料生産費用価が比較され、「大家畜生産にとって粗飼料の自給率を高めることが所得の向上、経営の安定に寄与する」と大家畜経営における粗飼料生産の必要性が強調された。この年の白書に初めて登場する「生産費用価でみると粗飼料生産は経営にとって有利」という考え方は現在まで一貫して維持されている。

以上、80 年代中頃までの飼料問題は、1. 飼料生産において不足する生産要素は土地である、2. 粗飼料の供給減少＝濃厚飼料購入の増加であったために、濃厚飼料価格の変動が粗飼料生産に大きな影響を及ぼしていたという 2 点にまとめられる。

2) 1980 年代半ば以降

粗飼料自給率が初めて白書に登場するのは粗飼料輸入が顕著になった 85 年度である。これ以降、自給粗飼料と濃厚飼料の比較は行われなくなり、自給粗飼料と輸入乾草の比較が分析の中心となる。87 年の乳脂肪基準引き上げ¹⁸により粗飼料利用の重要性が高まったものの、粗飼料生産の減少に歯止めはかからず、粗飼料自給率は低下し続けた。安価な輸入乾草の供給が増えたことにより粗飼料自給のインセンティブが薄れたことが原因である。

90 年度には、粗飼料生産費用価と輸入乾草価格の比較が行われ、「自給飼料コストを TDN 換算価格で計算すると、1ha 以上層の生産コストは購入乾草の価格を下回」ることから、自給飼料生産の可能性は十分であると結論された。それ以前の分析との違いは、自給粗飼料と輸入粗飼料の代替関係が明確にされた点である。粗飼料の供給不足を補うものが、それまでの濃厚飼料から 90 年代以降は乾草に変化したことを反映している¹⁹。

生乳生産をめぐる経済環境が悪化するなかで、所得確保のための搾乳頭数の大規模化が進み、93 年頃から飼料生産における労働力不足が表面化する。関連して 94 年度には「牧草の収穫期等に集中する労働の軽減」が課題とされ、98 年度には「飼料生産のための労働力が不足している農家」の顕在化が指摘されている²⁰。99 年度の「飼料生産に関するアンケート調査」結果では、飼料生産拡大の阻害要因の第 1 位が「飼料生産労働力の不足」にあることが示され²¹、翌 2000 年度には「労働力不足を課題とする畜産経営においては飼料労働の労働加重感が大きいこと」が指摘されている²²。

この四半世紀の間に生産要素の制約は土地から労働力に、また自給飼料生産コストの比較対

¹⁸ 87 年に脂肪分の取引基準がそれまでの 3.2%から 3.5%に引き上げられた。

¹⁹ 技術的には、粗飼料給与量を削減する余地がなくなる程度まで粗飼料給与率が低下したために、自給飼料生産の減少分を乾草の購入で補填する必要があったといえる。

²⁰ 飼料生産の労働市場が不完全な場合には、飼料収穫コントラクターの育成などの対応が求められる。酪農におけるコントラクターの役割については第 3 章補論で取り上げる。

²¹ 第 2 位は「コスト」であった。それまで粗飼料生産の隘路とされてきた農地問題は「農地集積が進まない」が第 3 位と、重要度は相対的に低くなっている。

²² 栗原[4]は、自給飼料生産の最大の阻害要因が労働力であることを指摘している。

象は濃厚飼料から輸入乾草へと変化した。以上の動向をまとめたのが表 2-3-2 である。

表 2-3-2 自給飼料生産をめぐる環境変化のまとめ

	1970年代	近年
生産要素制約	土地	労働
自給粗飼料の比較対象	濃厚飼料	輸入乾草

4. 飼料生産条件の考察

本節では、飼料生産の経済性に関する研究レビューを行い、飼料収穫期の労働制約と自給飼料生産費用価の関係及び労働制約と自給飼料生産行動の関係を検討する。

はじめに、これまで自給飼料生産の判断基準とされてきた生産費用価基準、労働報酬基準を整理し、これら二つの基準では労働制約下にある酪農家の飼料生産の行動が説明されないことを示す。続いて、シンプルな最適化モデルを用いて、労働制約下の飼料生産行動を説明するための理論的枠組みを構築する。

1) 市価主義と費用価主義

自給飼料生産を行うか否かは、乾草購入と自給飼料生産のどちらが経済的に優れているかで判断される。乾草の経済性はその価格で判断できるものの、取引財ではない自給飼料の経済性を示す指標は市場には存在しないことから、代替的な指標を用いた評価が必要となる。

加用[8]は、自給飼料の評価の考え方を、類似財の市場価格で代替しようとする市価主義とコスト積み上げ型の費用価主義に分類している。市価主義に対しては、自給飼料と類似の生産物市場が存在せず、また生産した粗飼料の評価を農家毎に実施することも現実的ではないと批判し、後者の費用価主義が望ましいとしている。但し、費用価計算のために酪農家に膨大な記帳が求められるのであれば、市価による代替もやむを得ないという消極的な立場をとっている。和田[22]も同様の視点から、自給飼料の評価は機会費用原理によるべきとしている。本研究も市価主義による算定は現実的ではないという立場から、費用価をベースに検討する。

費用価算定においては、市場評価が行われない自家労働をどのように評価するか、すなわち労賃評価をいかに行うかが次の問題となる²³。これまでも、農業雇用労賃を用いたもの、自家労働への報酬を自家労賃見合いとしたもの、各種統計を用いて主体均衡賃金としての自家労賃を計測したもの等、様々な視点から評価が行われてきた。加用[8]は、飼料の価値について生産費用価という原価主義を採用するのであれば、労働の価値についても生計費という原価主義を用いるべきとしている。しかし、労働原価の算定作業は明らかに困難であるため²⁴、雇用労賃による評価が次善の策だとして「農業における自家労働の評価としては、農業雇用賃金による

²³ 資本についても同様の問題が存在するが、本研究では償却相当分を資本費用と擬制し、資本の評価問題は扱わない。なお、自作地地代においてはこの問題は生じないとする。次章で対象とする北海道のサイレージ生産における地代は畜産物生産費調査によるとほぼ0である。

²⁴ 特定の労働のためには、食費や居住費がどのくらい投入されているか、という議論が必要となる。

評価方法を正しいと考える」と結論づけている。

農業雇用賃金の利用は、酪農の生産性が農業一般と同等レベルにあった時代には妥当性を有していた。偽装失業が問題とされていた時代には、むしろこうした雇用賃金による評価は過大評価となっていた可能性すらある²⁵。

2) 生産費用価基準

小規模酪農経営の淘汰や大規模化の進展といった酪農生産をめぐる環境変化のもとで、農業(ないし農外)雇用賃金を自家労賃評価とすることは妥当だろうか。この点を考察するため、自家労賃が雇用労賃 \bar{w} (円/h) で与えられるケースを対象に自給飼料生産費用価について検討する。なお以下の kg とは乾物重量(DMkg)をさす²⁶。用いる変数とパラメータを表 2-4-1 にまとめた。

表 2-4-1 飼料生産に関連する変数・パラメータ

記号		単位
p_f	乾草価格	円/kg
x_{cf}	粗飼料生産量	kg
c_f	粗飼料生産の資材コスト	円/kg
l_f	粗飼料生産労働時間	h

1 単位の乾草価格を p_f (円/kg)、1 単位の飼料生産のための資材コストを c_f (円/kg)、飼料生産の総労働時間を l_f (h)、粗飼料生産量を x_{cf} (kg) とすれば、生産費用価基準による自給飼料生産の有利性は次式に示される。

$$(p_f - c_f) > \bar{w} \frac{l_f}{x_{cf}}$$

ここで左辺は自給飼料生産により節約されるコスト、右辺は自給飼料生産に必要なコストである。節約されるコストが大きければ自給飼料生産は乾草購入よりも有利となる。 p_f 、 c_f 、 l_f/x_{cf} は定数であるから、生産費用価基準による自給飼料生産の優劣の判断は \bar{w} (円/h) のみに依存する。

次に \bar{w} の大きさが飼料生産労働の条件を反映しているか否かを検討する。 \bar{w} としては 1975 年までは農業臨時雇い賃金、76 年からは調査農家の所在するその地方の農村雇用賃金、92 年以降は毎月勤労統計調査における非農業の賃金が用いられている。なお 92 年の労賃の評価換えにより \bar{w} の水準は 2-3 割程度上昇している²⁷。98 年以降は男女別賃金が廃止され同一賃金となった。現在では、毎月勤労統計調査の建設業、製造業、運輸・通信業の 3 業種の 5-29 人規模の労

²⁵ 酪農の生産性を分析した荏開津ら[2]では、時間当たり労働報酬の推計を通じ、規模間には労賃較差が存在すること、小規模層では労働報酬が特に低い(時には負になる)ことを明らかにしたうえで主に小規模酪農生産の非効率性を議論している。荏開津ら[2]では CD 型生産関数をベースに、生産技術を BC 過程と M 過程を分けて、BC 関数と M 関数を計量経済モデルで推計し、得られた各種パラメータの推計値から生産弾性値と時間当たりの労働報酬を計測し、自給粗飼料と濃厚飼料のどちらが有利かを検討している。但し、このフレームを現在の大規模生産が主流の酪農に適用する場合には搾乳生産労働と飼料生産労働が一括して扱われている点が問題となる。

²⁶ 通常、自給飼料生産費用価は(円/DMkg)ないし(円/TDNkg)が単位となる。

²⁷ 荏開津[1]は 1981 年までの毎月勤労統計調査と農村雇用賃金との比較を行い、前者は後者に比べて 2~3 割ほど高いと指摘している。

賃単価をもとに、都道府県別に自家労賃が評価されている²⁸。この労賃には管理職の給与も含まれていることから、毎月勤労統計調査をベースとした労賃は単純労働者としての賃金を上回る水準にあるとされている。

この点に関し石田[5]は、農家の生産者行動分析において雇用賃金を使用することは、雇用経営が支配的で農業労働市場が機能していることを前提としているが、これらの仮定は現実妥当性を有しないと指摘し、農業生産労働を雇用賃金で一律に評価することに疑問を呈している。

一方、自家労賃評価に毎月勤労統計調査における雇用労賃を用いることの是非は、農林水産省において1999年度に開催された「生産費調査における家族労働評価等に関する研究会」において検討されている。研究会では、自家労賃評価の水準を代替的な市場に求めるべきか否かが議論された。「自家労賃評価はあくまでもマーケットで評価されるべき代替費用であり、機会費用概念の適用は不適である。農業労働に類似した賃金をいかにして見つけるかが重要である²⁹」「アメリカのように一般の雇用労賃を用いる手法が合理的である」等の論点が示されたが、最終的には、「調査上の問題もあり毎月勤労統計調査による現在の方法が最も適切である」と結論された³⁰。この点に関し金沢[7]は、アメリカにおける労働単価は、もっぱら他産業との比較のために用いられており、農業経営者が経営判断において(他産業の賃金単価で示された)労働単価を意識することはないことを指摘している。

また研究会では、生産費用価とは何かに関する検討も行われた。生産費用価は、特殊原価調査的方法で算定された製造原価であり、これをもって技術の普及の可能性等の経営判断はできないこと、生産費用価は行政価格の指標として用いるのが本来の姿であり、そもそも個々の経営活動を反映した数値である必要はないことが指摘された³¹。以上の議論は、自給飼料生産費用価を用いて飼料生産の可能性を判定することには理論上も問題があることを示唆する。

生産費用価算定における労賃水準に関しては、2007年度農業白書において、「粗飼料の自給による経営コストの引下げよりも飼養規模拡大により粗収益の増大を図る方が経営上有利であったこと等から、利便性が高く労働力負担の軽減にもつながる輸入粗飼料が利用される傾向にあったものと考えられる」との記述がみられる。本研究との関連では次の2点に注意すべきである。1点目は「粗飼料の自給による経営コストの引下げよりも飼養規模拡大により粗収益の増大を図る方が経営上有利」という分析である。労働力を自給飼料生産に投入するよりも、生乳生産に振り替えた方が経営にとってプラスになるという判断³²は、自給飼料生産費用価と乾草価格の比較をもって飼料生産拡大の可能性を検討することは妥当でない、と自ら認めていることにほかならない。2点目は「労働力負担の軽減」という表現である。自給飼料生産に投入された労働を生乳生産に振り替えることで「負担が軽減」されるのである。これは、同じ労働であっても、飼料収穫労働が搾乳労働よりも高く評価されるべき状態がありうることを意味し、

²⁸ 農業労働では通勤はないとして、労賃単価から通勤手当相当分1.7%を控除している。

²⁹ カッコ内は研究会議事録から引用。

³⁰ 興味深いことであるが、加用[8]によると1947年に農林省内で行われた米生産費調査における労働力評価の検討においても、「理論的には問題はあっても、雇用賃金を参照する現行の方法が望ましい」と結論づけられている。

³¹ 特殊原価とは会計学における用語であり、通常の前価計算においてはカウントされない機会費用等を含めた原価を意味する(岡本[17])。

³² 次に示す労働報酬基準は、飼料労働と搾乳労働の収益性に着目した基準である。

搾乳労働と飼料生産労働を一括りにせず、各々の特徴を把握したうえで議論する必要があることを示唆している。

3) 労働報酬基準

酪農経営の大規模化にともない、毎月勤労統計調査による \bar{w} は専門的経営の自家労賃としては不十分と評価され、労賃水準の修正が検討された。具体的には

$$(p_f - c_f) > \bar{w} \frac{l_f}{x_{cf}} \quad \cdot \cdot (2.4.1)$$

における \bar{w} を専門経営の実態に即した数値で再評価すべきという議論である。

労働報酬基準では、自家労賃の評価額として労働報酬が用いられる。農業粗生産額から資材等の(労働以外の)コストを差し引いた残余部分を労働時間で除したものを労働報酬とみなし、これを \bar{w} に代替させて(2.4.1)式の不等号の向きを判断する。堀尾[4]は「労働費の取り方もその地域の農村雇用賃金による計上ではなく、飼育管理部門の労働報酬を機会費用的に取り入れた検討が必要である」と指摘し、 \bar{w} の指標として、畜産物生産費調査における時間当たり家族労働報酬³³を用いるべきと主張している。その上で、様々な規模の酪農経営における時間当たり家族労働報酬を用いて(2.4.1)式の両辺を比較し、「自給飼料作物の有利性は無条件には言えない」と結論づけている。

以下では先の表 2-4-1 をベースに生乳生産に関する変数やパラメータを追加し、労働報酬基準を考察する。変数とパラメータは表 2-4-2 に示される。

表 2-4-2 生乳生産・飼料生産に関連する変数・パラメータ

記号		単位
p_m	生乳単価	円/L
q_m	乳量	L
l_m	生乳生産労働時間	h
p_f	乾草価格	円/kg
x_{pf}	乾草購入量	kg
x_{cf}	粗飼料生産量	kg
c_f	粗飼料生産の資材コスト	円/kg
l_f	粗飼料生産労働時間	h

生乳単価を p_m (円/L) とするが、記号の節約のため p_m は生乳 1 単位の乳価から必要な資材コストを控除したものとする。また年間乳量は q_m (L)、乳牛飼養・搾乳の総労働時間を l_m (h)、乾草(粗飼料)購入量を x_{pf} (kg) とする。

このときの酪農生産の時間当たり労働報酬は、酪農生産における農業所得 $p_m q_m - c_f x_{cf} - p_f x_{pf}$ を投入時間 $l_f + l_m$ で除した値

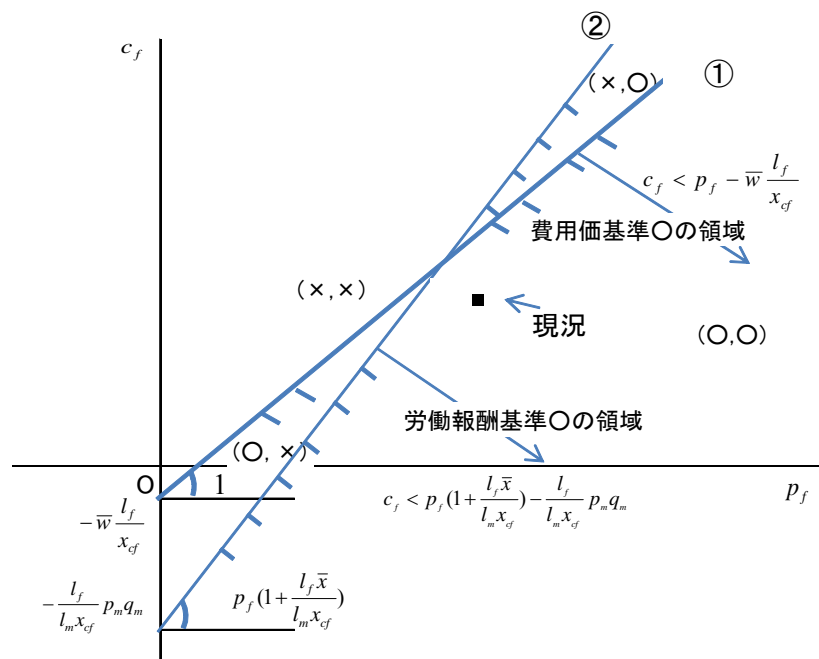
$$\frac{p_m q_m - c_f x_{cf} - p_f x_{pf}}{l_f + l_m} \quad \cdot \cdot (2.4.2)$$

となる。次に労働報酬基準では、時間当たりの労働報酬が飼料生産の自家労賃となることから

³³ 労働報酬は、酪農経営における労働への帰属分であることから、混合労働としての生乳生産労働と飼料生産労働への報酬を意味する。ここには、飼料収穫労働に対する評価も一部含まれる。

$$(p_f - c_f) > \frac{p_m q_m - c_f x_{cf} - p_f x_{pf}}{l_f + l_m} \frac{l_f}{x_{cf}} \quad \cdot \cdot \quad (2.4.3)$$
$$\frac{(p_f - c_f)x_{cf}}{l_f} > \frac{p_m q_m - p_f(x_{cf} + x_{pf})}{l_m} \quad . \quad . \quad (2.4.4)$$

図 2-4-1 には、生産費用価基準と労働報酬基準に関する以上の関係を示した。


$$c_f < p_f - \overline{w} \frac{l_f}{x_{cf}}$$

であり、これは傾き 1 で縦軸の切片 $-\bar{w} \frac{l_f}{x_{cf}}$ の直線の右下の領域(直線①の右下の領域)に相当す

る。労働報酬基準についても同様に(2.4.4)式から

$$p_f(1 + \frac{l_f \bar{x}}{l_m x_{cf}}) - \frac{l_f}{l_m x_{cf}} p_m q_m > c_f$$

が得られ、飼料生産領域は②の右下となる。ここで \bar{x} は $x_{cf} + x_{pf}$ の和である。自給飼料と購入乾草を加算する際のウエイトが 1 であることは、生乳生産にとって乾草と自給粗飼料が無差別であることを意味する。労働報酬基準が示す直線の傾き $(1 + \frac{l_f \bar{x}}{l_m x_{cf}})$ は 1 より大きいことから、生産

費用価基準の直線と比較して傾きは急である。また通常のケースでは $\frac{p_m q_m}{l_m}$ は毎月勤労統計調査

による労賃 \bar{w} よりも大きいと考えられることから、縦軸の切片 $-\frac{l_f}{l_m x_{cf}} p_m q_m$ を $-\bar{w} \frac{l_f}{x_{cf}}$ の下に位置

するものとして作図した。このとき労働報酬基準を示す直線②は、生産費用価基準を示す直線①を左下から右上に横切ることになる。

以上により第 1 象限は 2 つの直線によって 4 つの領域に分けられる。右下に示される(○, ○)は飼料生産が費用価基準、労働報酬基準の双方を満たして有利な領域、原点に近い(○, ×)は同様に費用価基準を満たさないが、労働報酬基準は満たす領域である³⁴。

なお、畜産物生産費調査ならびに毎月勤労統計調査によれば 2006 年度の資材コスト、労賃、乾草価格はおよそ $c_f = 42$, $\bar{w} \frac{l_f}{x_{cf}} = 8$, $p_f = 50$ であり、図中では「現況」として示した位置にプロッ

トされる。「現況」は(○, ○)のエリアに位置するにもかかわらず、飼料生産は長期低落傾向にあるという事実は、生産費用価基準、労働報酬基準ともに飼料増産の判断指標としては十分でないことを意味する³⁵。

5. 自給飼料生産費用価の修正にむけて

1) 現行モデルの問題点

本章では、自給飼料生産拡大の可能性に関する通説的理解が飼料生産の数量・面積の経年的縮小という事実と矛盾することを議論した。自給飼料生産費用価が乾草価格より低いという統計データにもかかわらず、飼料生産の拡大という事実は存在しない。また、現状の自給飼料生産費用価では飼料生産行動を説明できないことをシンプルな数理モデルを用いて整理し、あわせて、飼料生産労働に関して制約を受けているならば、当該酪農家の自家労賃の評価は現在の擬制的な評価水準から上方に乖離し、結果として自給飼料生産費用価算定の修正が必要となる

³⁴ 先ほどの堀尾[4]の分析は、1980 年代前半の飼料生産がこの(○, ×)の領域にあったことを意味する。

³⁵ 図 2-2-1 の自給飼料生産費用価と乾草価格の乖離が、費用価基準を示す直線①と「現況」との距離として表現されている。

ことを指摘した。

ところで、自給飼料生産費用価が購入乾草価格より低いという統計的事実をもって「飼料生産の経済的条件は整っている」³⁶と強弁することは、二重の意味で誤りである。一つは論理上の矛盾である。「自給飼料生産よりも乾草購入が有利であるにもかかわらず、酪農家は飼料を増産しない」という命題は、「経済的条件」という表現が含意する酪農家が最適化を行動原理とする主体であるという暗黙の前提と矛盾する。そもそも偽である命題からは新しい知見や論理的に意味のある結論を得ることはできない。もう一つは飼料技術の研究者に対し誤ったシグナルを送る点である。経済的条件が既に整った技術を前に技術開発の意欲は間違いなく低下するだろう。

以上により、「自給飼料生産費用価は乾草価格よりも低いため、飼料生産の経済的条件は整っている」とする議論が妥当性を欠いていることから、本節では自給飼料生産費用価の修正にむけた検討を行う³⁷。これは図 2-5-1 では生産費用価と修正生産費用価³⁸の比較として示される。

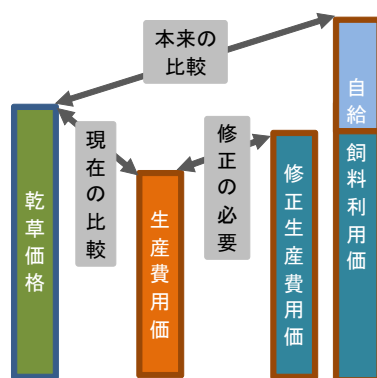


図 2-5-1 自給飼料生産費用価の比較

2) 労働制約を組み込んだ飼料生産モデル

飼料生産の経済的有利性の判定基準が飼料生産の実態と整合的であるためには、生産者の抱える問題を内包したモデル化が不可欠である。生産費用価基準及び労働報酬基準では、通常期と繁忙期の労賃(ないし労働報酬)を同一としているが、これは自給飼料生産における最大の制約である収穫繁忙期の過重労働が反映していない。

以下では、一般的な効用最大化モデルを用いて自給飼料生産の判断基準を検討する。分析の主眼は、農業生産条件なかでも労働制約を評価に正確に取り込むことに向けられる。

議論のために [前提 1]～[前提 8]をおく。自給粗飼料と輸入乾草の選択問題を簡略化するための仮定であるが、これにより議論の本質が損なわれることはない。なお一部の前提は次章の実証分析において緩和される。

³⁶ 筆者もこうした観点から飼料イネの生産可能性とその効果を検討したことがある(小野[7])。

³⁷ 乾草価格と比較すべきは自給飼料生産費用価ではなく自給飼料利用価であるとの観点からの検証も必要となる。これは図 3-1-1 では乾草価格(左端)と自給飼料利用価(右端)の比較検証であるが、この点の考察は次章で行う。自給飼料利用価の上部の薄い網掛けは図 2-2-3 におけるハンドリングコストや保管コスト等に相当する。

³⁸ 図中の修正生産費用価とは、飼料生産労働の評価換え後の自給飼料生産費用価を意味する。図の「現在の比較」においては、乾草価格と生産費用価が比較されている。これは前章図 2-2-1 における自給飼料生産費用価と乾草価格の比較に相当する。

[前提 1] 酪農家は経産牛のみを飼養し、農業所得は生乳販売のみから得る。

[前提 2] 経産牛 1 頭当たりの濃厚飼料費は一定である。

[前提 3] 効用関数は $U(y, S_n + S_b)$ であり³⁹、酪農家の効用は農業所得 y と労働時間で構成される。後者は通常期の労働投入量 S_n と繁忙期の追加労働投入量 S_b の和であるが、ここでは飼養頭数は所与であることから([前提 6])、通常期の生乳生産労働は \bar{S}_n で一定とみなす。これにより変数は y と S_b となる。飼料労働投入の調整によって最適化をはかるという想定は、飼料収穫労働に焦点を当てるための簡便化である。

農家の労働供給行動の研究は主体均衡論において進められた。丸山[12]は効用の水準は資産、所得等のパラメータによって異なることを、田中[21]は守銭奴的農家や生存限界にある低所得農家では労働の限界効用がほぼゼロとなることを指摘している。これらは、様々な農家を包含する統一的モデルの構築が困難であることを示唆する。しかし、本研究で対象とする大規模酪農専業経営では、資産や所得の分散は農家全体を包括する一般的なケースほど大きくなく、また、過重労働下にある酪農家が所得以外の効用形成要因を無視する守銭奴的行動をとるとは考えられないことから、前提 3 のように同一の効用関数をおくことは許容されると考えられる。

次に、繁忙期の労働評価を推計するために、労働制約条件を以下のように想定する。

[前提 4] 労働供給量は自家労働のみで構成され、通常期 $\bar{S}_n (= \bar{l}_m)$ 、繁忙期 $S_b (= l_f)$ とする。

S_n は飼養及び搾乳のための労働投入時間 l_m と等しく、 S_b は飼料収穫作業時間 l_f に等しい。

[前提 5] 飼料生産関数は生産量を x_{cf} 、飼料生産労働を l_f として $g(l_f) = x_{cf}$ で表される。

簡便化のため飼料生産関数の生産要素は労働のみとする。

[前提 6] 経産牛頭数 \bar{z} を一定とする。

生乳生産は、飼料供給量と飼養・搾乳の労働投入量を独立変数とする関数 $f(\bar{l}_m, x_{pf} + x_{cf}, \bar{z})$ で示され、生乳生産の所得 y は $p_m f(\bar{l}_m, x_{pf} + x_{cf}, \bar{z}) - c_f x_{cf} - p_f x_{pf}$ となる。

以上から、酪農家に関する最適化問題は以下に定式化できる。

$$\text{Max } U(y, S_b)$$

$$\text{s. t. } S_b - l_f = 0 \text{ (繁忙期の労働時間)}$$

$$g(l_f) - x_{cf} = 0 \text{ (飼料生産関数)}$$

$$p_m f(\bar{l}_m, x_{pf} + x_{cf}, \bar{z}) - c_f x_{cf} - p_f x_{pf} - y = 0 \text{ (生乳生産の所得)}$$

ラグランジュアンは

$$L = U(y, S_b) + \lambda_b (S_b - l_f) + \mu_y (p_m f(\bar{l}_m, x_{pf} + x_{cf}, \bar{z}) - c_f x_{cf} - p_f x_{pf} - y) + \mu_x (g(l_f) - x_{cf}) \quad \cdot \cdot \cdot (2.5.1)$$

となる。生乳生産及び飼料生産が行われるとして、各変数について 1 階の条件を求めると、

$$\frac{\partial L}{\partial y} = \frac{\partial U}{\partial y} - \mu_y = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (2.5.2) \quad \frac{\partial L}{\partial S_b} = \frac{\partial U}{\partial S_b} + \lambda_b = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (2.5.3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_{pf}} = \mu_y (p_m \frac{\partial f}{\partial x_{pf}} - p_f) = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (2.5.4) \quad \frac{\partial L}{\partial x_{cf}} = \mu_y (p_m \frac{\partial f}{\partial x_{cf}} - c_f) - \mu_x = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (2.5.5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial l_f} = -\lambda_b + \mu_x \frac{\partial g}{\partial l_f} = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (2.5.6)$$

³⁹ 労働力の質が異なるケースを分析した田中[21]に従い、総労働を飼養・搾乳労働と飼料生産労働に分けている。

の 5 式が得られる。

(2.5.2)式は所得の限界効用 $\frac{\partial U}{\partial y} = \mu_y$ を、労働供給に関する(2.5.3)式は労働時間の増加による限界不効用と当該労働の評価が等しい点で生産が行われることを示す。

[前提 7]所得の限界効用 μ_y は 1 に基準化されている。

これにより、効用の変化と金額の変化が比較可能となる。

[前提 8]粗飼料と輸入乾草に品質の差はない。

粗飼料と乾草が同質の場合、各飼料の産乳能力は等しいことから $\frac{\partial f}{\partial x_{cf}} = \frac{\partial f}{\partial x_{pf}}$ となる。

前提 7, 8 を(2.5.4)(2.5.5)に適用することで

$$\mu_x = p_f - c_f \quad \cdot \cdot (2.5.7)$$

が得られる。また、繁忙期の飼料生産の条件は、飼料収穫期の労働投入量についての均衡式である(2.5.6)に(2.5.7)を代入した

$$-\lambda_b + (p_f - c_f) \frac{\partial g}{\partial l_f} = 0 \quad \cdot \cdot (2.5.8)$$

で示される。(2.5.8)は傾きが 1 で切片が $\lambda_b / \frac{\partial g}{\partial l_f}$ の直線上で飼料生産の優位性条件が満たされ

ることを意味する。図 2-4-1 に直線 $c_f = p_f - \lambda_b / \frac{\partial g}{\partial l_f}$ (図では③)を加えたのが図 2-5-2 である。

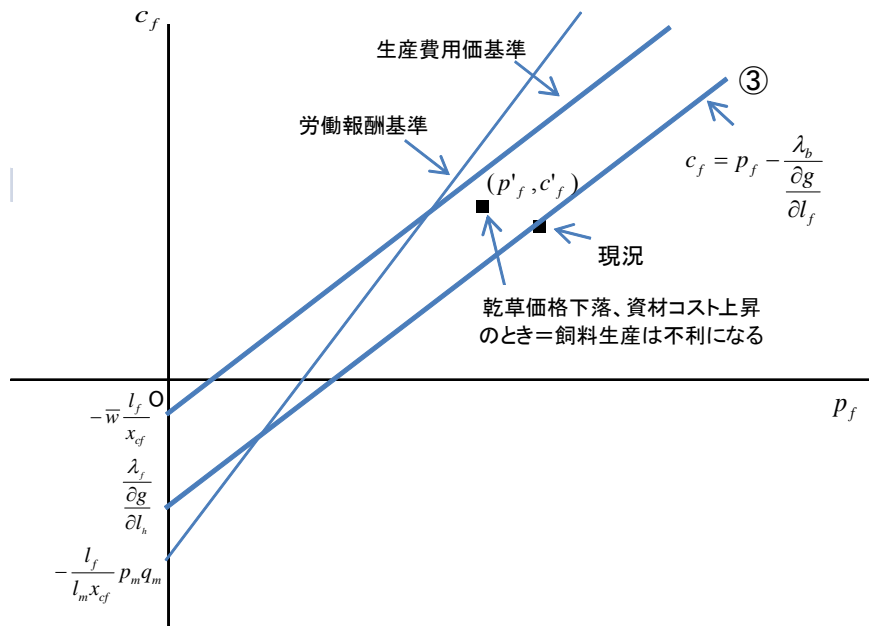


図 2-5-2 労働制約を反映した飼料生産の可能性

効用最大化主体である酪農家は、乾草価格や資材コストを勘案しつつ、(2.5.8)式が常に成立するように飼料生産の労働投入を調整すると考えられる。例えば乾草価格・資材コストが「現況」として与えられた場合、直線 $c_f = p_f - \lambda_b / \frac{\partial g}{\partial l_f}$ が「現況」の点を通るように酪農家は繁忙期の労働投入量を調整し効用を最大化する。

図において、乾草価格の下落($p_f \rightarrow p'_f$)や自給飼料生産資材コストの上昇($c_f \rightarrow c'_f$)によって自給飼料生産の条件が相対的に不利になったケースを考えよう。 $(p_f, c_f) \rightarrow (p'_f, c'_f)$ のシフトの後には $(p'_f - c'_f) \frac{\partial g}{\partial l_f} < \lambda_b$ となるが、このシフトが生じた後も、生産費用価基準及び労働報酬基準は満たされるため⁴⁰、両基準からは依然として「飼料生産の拡大可能性がある」というシグナルが出される。一方 $(p'_f - c'_f) \frac{\partial g}{\partial l_f} < \lambda_b$ は、飼料労働から得られる利得が飼料生産による限界不効用を下回ることを意味するため、当該生産者は $(p'_f - c'_f) \frac{\partial g}{\partial l'_f} = \lambda_b$ となるように飼料生産を縮小($l_f \rightarrow l'_f$)しなければならない。これは、生産費用価基準及び労働報酬基準の導く行動とは異なっている。

自給飼料生産費用価基準及び労働報酬基準からは飼料生産拡大の可能性を適切に論じることができない、というのが図 2-5-2 の含意である⁴¹。

6. 小括

現在の自給飼料生産技術に対しては、「粗飼料生産は乾草の購入よりも有利」という評価がなされている。農林水産省[16]では「自給飼料は、輸入粗飼料と比較してコスト面で優位にあるものの、畜産経営においては、利便性、労力面の負担等の要因により、輸入粗飼料に依存する傾向」という指摘がこの数年繰り返されている。しかし、粗飼料生産が有利であるという認識と飼料生産の実態は明らかに乖離している。

本章では、第2節で自給飼料生産費用価が輸入乾草価格と乖離していることを整理し、自給飼料生産費用価の算定方法に関する問題を検討した。飼料収穫時の労働制約により、自給飼料生産労働の自家労賃は現行水準よりも高いと予想され、自給飼料生産費用価の修正が必要であると考えられる。第3節では農業白書の整理を通じ、飼料生産における制約が土地から労働にシフトしたことを確認した。飼料生産技術の正しい評価、自給飼料生産拡大可能性の正しい判断のためにも、自給飼料生産費用価は飼料生産の実態に合わせて修正されなければならない。第4節では自給飼料生産の経済的条件に関する研究レビューを行い、従来の自給飼料生産費用価ならびに、自家労賃として労働報酬を用いたケースの飼料生産費用価の妥当性を検討した。

自給飼料生産の隘路は、飼料生産における労働とりわけ収穫調製労働にある。飼料収穫作業は、その季節性ばかりでなく作業自体に高い熟練度が求められるために、市場を通じた労働力の確保は容易ではない。第5節では飼料収穫期の労賃評価を計測するためのモデルビルディングを行ったが、そこでは収穫調製期とそれ以外の期の労働の相違に注意を払った。これは次章

⁴⁰ 図 2-4-1 における(○, ○)の領域に位置する。

⁴¹ なお、同様の議論は、労働の限界不効用が大きくなるケースでも生じる。限界不効用の増大が切片 $-\lambda_b / \frac{\partial g}{\partial l_f}$ の下方シフトをもたらす結果、「現況」の座標は直線 $c_f = p_f - \lambda_b / \frac{\partial g}{\partial l_f}$ の左上に位置する。ゆえに、資材コストや乾草価格に変化がないとしても、酪農家が最適化をはかるためには飼料労働投入を減らす必要が生じる。

の実証分析に必要な理論フレームの構築としての意味を持つ。

毎月勤労統計調査をベースに算定される自給飼料生産費用価が低いとしても、それは農家の飼料生産の判断材料とはならない。過重労働が顕著なケースでは、これまで用いられてきた費用価のもとでの飼料生産の収支がプラスであっても、その大きさが小さいならば追加的労働投入による飼料生産は行われることはなく、輸入乾草が選択されるというのが本章の結論である。

第3章 自給飼料生産の判断基準－飼料収穫作業の自家労賃評価－

1. はじめに

前章では飼料生産に関するシンプルな最適化モデルを展開し、個々の酪農家の収穫調製労働に対する評価が自給飼料生産行動を規定することを整理した。収穫調製労働の制約が厳しく自家労賃評価が高い農家は飼料生産労働を行うことなく乾草を購入し、そうでない農家は自ら飼料生産を行う。とすれば、飼料生産条件の検討には収穫調製労働に対する評価を具体的な数値として知ることが不可欠となる。この点の考察が本章の課題である。

収穫調製労働に対する評価を推計するために2つの手法を用いる。第2節では労賃の直接推計を行う。ここでは、生産技術や資材購入量等に関する情報を用いて線形計画モデルを作成し、収穫調製労働の shadow wage rate を直接推計している。第3節では飼料コントラクターの利用料金をもとに収穫調製労働の自家労賃を間接的に推計した。あわせて2つの手法の妥当性を検証するため、自家労賃の推計値が最適化理論モデルと整合的か否かに関するチェックを行った。

以上の分析にあたっては、北海道における酪農生産を対象とし、十勝管内鹿追町を事例とした。対象とする鹿追町は北海道十勝平野の北西に位置し、面積は400km²、人口は5,900人である(2005年)。

本章の分析枠組みを提示しつつ、事例選択の理由を以下に4点述べる。1点目は分析目的それ自体に関連している。粗飼料生産の労働制約を分析する上では、粗飼料への需要が多く¹、かつ飼料生産における労働制約が先鋭的に現れている地域²が望ましい。同町は平均乳牛飼養頭数が147頭(2006年)と全国でもトップクラスの規模の酪農地帯であり、また飼料生産の労働制約に対処するため日本で最初の本格的な飼料コントラクター組織を立ち上げた地域である。飼料コントラクターの機能については補論にまとめてある。

2点目は分析上の要請である。分析を過度に複雑にしないためには、農家の行動は農業生産条件のみに規定されることが望ましい。最適化理論をベースに飼料生産労働を考察する際に、世帯内で多額の農外所得を得ている者がいるケースや、農外就業の労働市場が展開しているため常に農外就業の誘因が存在するといったケースでは、これらの要因を考慮することで分析モデルが複雑になる。多くの酪農家が専業農家であり、通勤可能圏内に農外労働市場の発達していない地域を選択することで³、農外所得の影響が捨象可能となり、農外条件に関する変数及びパラメータを絞り込むことができる。この点で、農業所得の全てを酪農部門から得ている経営の多い鹿追町は本章の分析に適している。なお、実証分析においては畑作の影響を除去するために、畑酪経営、酪畑経営は分析から除外してある。

3点目も分析モデルを単純化する上での要請である。仮に飼料生産圃場において他作物の栽培が可能ならば、粗飼料の収益性が他作物の収益性を上回ることをモデルの条件に加えなけれ

¹ 乳牛は生乳生産を行うという生理上、他の畜種と比較して大量の粗飼料を必要とする。

² 事例の飼料収穫調製労働の制約については既に図2-2-5で確認した。

³ 管内最大の都市である帯広市からは40kmの距離にあり、自家用車での通勤は(とりわけ冬期間において)容易ではない。

ばならない。しかし、栽培対象作物が飼料のみのケースでは、他作物の収益条件をモデルに組み込む必要はなく、飼料以外の作物に関する変数及びパラメータを導入する必要はない。このとき、酪農専業経営における飼料生産の必要条件は、粗飼料生産の収益が非負であるという簡明な条件に還元される⁴。

四点目は実証分析の実効性に関わる。飼料生産労働の自家労賃評価の妥当性を検証するためには、飼料収穫作業の制約に関するデータとあわせて自家労賃の指標となる何らかの金銭データが明示的に得られることが望ましい。鹿追町では、飼料コントラクターの利用料金・利用時間のデータ、家族労働に関するデータが整備されている。

2. 線形計画法を用いた自家労賃の推計

前章では飼料生産の可能性を検討したが、そこでは繁忙期の飼料生産労働の評価(λ_b)の大きさがポイントであった。

λ_b を得る first-best の手法は、生産者の効用関数を具体的に推計することである。前田[5]は、ノンパラメトリックに効用関数を推計し、自家労賃を計測する手法を提示しているが、推計される線形不等式が複数となる結果、最適解として複数の労賃(労働の限界評価)が得られる点を問題としている。また、この点を回避するためには、膨大なデータが必要となることを指摘している。Sonoda et al. [11]は稲作を対象に主体均衡賃金としての労働報酬を検討した研究である。非分離型モデルを用いて、コメ価格の上昇が余暇の価格である主体均衡賃金を経年的に上昇させたことを明らかにしたが、効用関数の推計において線型支出体系を用いていることから、実質的には主体均衡賃金を市場賃金で代用しており、本研究の目的を満足させる方法ではない。このように、効用関数の推計にもとづく労賃推計はデータの制約等により困難であるため、本研究では効用関数を直接推計することなく自家労賃を計測している。これは直接推計する手法に対して second-best の手法と位置づけられる。

1) 線形計画問題と自家労賃評価

最適化問題から収穫時期の労働報酬をパラメトリックに推計するためには、効用関数や飼料生産関数、生乳生産関数の推計が必要となるが、このアプローチは既に整理したように実行困難である。但し、飼料生産や生乳生産技術が線型で示されるという仮定をおけば、線形計画問題として農業所得最大化モデルを展開することでダイレクトに労働評価を得ることが可能となる。

線形計画モデルから得られた自家労賃評価は、追加労働 1 単位の緩和による収益性の改善効果であるが、第 3 節で検討するように、所得の限界効用を 1 とすれば、追加労働の緩和による収益性の改善効果を繁忙期の飼料生産労働の評価と見なすことができる。そこで以下では自家労働の shadow wage rate の推計を目的として、飼料収穫時期の労働制約に焦点を当てた線形計

⁴ 例えば、大豆生産の収益増が飼料生産による所得増を上回る限り自給飼料生産は行われまいだろう。このとき、畑作物の価格や(頻繁に変更される)助成金の水準をモデルに組み込むことは分析を過度に複雑にする。

画問題を解くこととする。

自家労賃評価額は以下の手順で求められる。一般的な線形計画問題を

$$\begin{aligned} \max \quad & ax \\ \text{s.t.} \quad & Cx \leq b \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

と定式化する。但し a は利益係数ベクトル⁵、 x は投入・産出に関わる財ベクトル、 b は資源量を表すベクトル、 C は投入・産出と資源量との関係を示す行列である。これが最適解 x^* をもつための必要十分条件は、非負のベクトル $\lambda \geq 0$ に対して $a = \lambda C = \lambda_1 c_1 + \lambda_2 c_2 + \dots + \lambda_n c_n$ が得られ、同時に $\lambda(b - Cx^*) = 0$ と $b - Cx^* \geq 0$ の相補スラック条件が成立することである。

このことを確認しておく。線形計画問題において目的関数 $z = (a_1, a_2, \dots, a_n)'(x_1, x_2, \dots, x_n)$ は一次式の超平面であり、また制約式の集合は $g^*(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b$ であらわされる⁶。分離定理を用いれば、この超平面 z は最適解 $x^*(\geq 0)$ と制約集合を分離する分離超平面となる。

最適解においては、グラディエントベクトル $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ と制約を満たす任意の点 x とのなす角は鋭角とはならないことから $a(x - x^*) \leq 0$ は自明である。つまり、分離超平面のグラディエントベクトルと制約上ベクトルとの半空間の間には $a(x^* - x) \geq 0$ が成立する。同様に、制約式は任意の点において等号または不等号で満たされていることから、 $Cx^* \geq Cx$ すなわち $C(x^* - x) \geq 0$ も自明である。これより

$$a(x^* - x) \geq 0 \quad C(x^* - x) \geq 0$$

が得られる。Minkowski-Farkas の定理から、 a は C がつくる凸多面錐上に存在することが明らかであり⁷、

$$a(x^* - x) = \lambda' C(x^* - x) \geq 0, \lambda \geq 0$$

が成立する。以上から、上記の線形計画問題においては、生産要素制約のラグランジュ乗数が連立方程式 $a = \lambda' C$ によって定まることが示される⁸。

(1) 線形計画モデルの具体化

酪農家の生産技術体系を線形計画問題で定式化するために、労働制約、生乳生産技術、飼料生産技術に関して以下の仮定をおく。記号については前章のモデルに従っている。

労働制約：通常期の労働量を S_n 、繁忙期の追加労働量を S_b とし、雇用労働力は存在しないと仮定する。このとき酪農家は、通常期には全労働力を酪農生産に l_m だけ投入し、繁忙期には追加的に飼料生産に l_f だけ自家労働を投入する。 l_m を経産牛 1 頭当たりに必要な労働時間とすれば、頭数 M のときの労働投入量は $l_m = l_m M$ となる。同様に l_b を繁忙期の単位面積の飼料生産に必要な労働時間とすれば、面積 F の生産に必要な労働投入量は $l_f = l_b F$ となる。以上より作業時間は通常期、繁忙期それぞれについて

$$S_n = l_m M$$

⁵ 投入財の利潤係数は負、産出財の利益係数は正である。

⁶ 制約式の数 m とすれば、制約量ベクトル b は R^m である。

⁷ 利益係数ベクトルが資源制約ベクトルの正方向に張られる平面上に存在すると言い換えられる。

⁸ 以上の議論は、戸瀬ら[12]、西村[6]を参考にしている。Minkowski-Farkas の定理を利用すれば、与えられた線形計画問題に解く意味があるか否かは、 $a = \lambda' C$ を満たす非負の $\lambda \geq 0$ が存在するか否かと同値である。Minkowski-Farkas の定理については戸瀬ら[12]を参照のこと。なお、ここでの $\lambda \geq 0$ は、 C で作られる空間が凸多面錐であることに対応している。

$$S_b = l_{mn}M + l_{fb}F$$

と示される。

売り上げ：単位量の生乳価格を p_m 、1 頭当たり年間乳量を f_m とすると販売額は

$$y = p_m f_m M$$

となる。

コスト：経産牛 1 頭当たりの飼料以外の飼養コストを c_m とする。飼料生産については、労賃を除く自給飼料生産コスト(乾物重量当たり)を c_f 、自給飼料生産量を x_{cf} 、乾草価格を p_f 、乾草利用量を x_{pf} とする。自給飼料の単収を t とすれば生産量は $x_{cf} = tF$ であるから、

$$c_m = c_f x_{cf} + p_f x_{pf} + c_m M$$

となる。

飼料の制約：飼料の量に関しては、生乳生産に必要な量 \leq 飼料の調達量が条件となる。経産牛の生体維持に必要な飼料量を x_{m1} 、生乳 1L 当たり生産に必要な飼料量を x_{m2} とすれば、

$$M(x_{m1} + f_m x_{m2}) \leq x_{pf} + x_{cf}$$

と表される。

以上から酪農生産における所得最大化問題は次のように単純化して定式化される。

$$\max \quad \pi = p_m f_m M - (c_f x_{cf} + p_f x_{pf} + c_m M) \quad \cdot \cdot \cdot (3.2.1)$$

$$\text{s.t.} \quad S_n = l_{mn}M \quad \cdot \cdot \cdot (3.2.2)$$

$$S_b = l_{mn}M + l_{fb}F \quad \cdot \cdot \cdot (3.2.3)$$

なお、自給飼料生産の shadow wage rate の検討には双対問題を考えることが有益である。上の所得最大化問題の双対問題は (3.2.2) (3.2.3) 式のラグランジュ乗数をそれぞれ λ_n, λ_b とするならば、次のように定式化される。

$$\min \quad \lambda_n S_n + \lambda_b S_b$$

$$\text{s.t.} \quad p_m f_m - p_f x_{m1} - c_m \leq (\lambda_n + \lambda_b) l_{mn}$$

$$t(p_f - c_f) \leq \lambda_b l_{fb}$$

ここでクーンタッカー条件から、

$$[p_m f_m - p_f x_{m1} - c_m - (\lambda_n + \lambda_b) l_{mn}]M = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (3.2.4)$$

$$[t(p_f - c_f) - \lambda_b l_{fb}]F = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (3.2.5)$$

が成立する⁹。

(3.2.4)式で $M > 0$ は自明であり、同じく (3.2.5)式において飼料生産 $F > 0$ も自明であることから

$$p_m f_m - p_f x_{m1} - c_m - (\lambda_n + \lambda_b) l_{mn} = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (3.2.6)$$

$$t(p_f - c_f) - \lambda_b l_{fb} = 0 \quad \cdot \cdot \cdot (3.2.7)$$

が成立する。この (3.2.6)式と (3.2.7)式に関するパラメータが得られれば、連立方程式を解くことで通常期ならびに繁忙期の労働に関する評価 λ_n, λ_b が求められる。

(2) 所得最大化モデルと単体表

酪農家の生産行動を反映させた線形計画モデルを構築し、自家労働の評価額を計測するため

⁹ t は収量水準を表すパラメータである。

には、上記モデルに変数やパラメータを追加し、実際の農家の行動を再現できるようモデルを修正する必要がある。修正に必要な技術条件のデータソースを表 3-2-1 に記す。具体的な技術関係については以下で議論する。

経産牛 60 頭規模の酪農経営を例にとり、その生産環境を示した単体表が表 3-2-2 である。以下では、単体表作成に用いられた諸係数について説明する。

表 3-2-1 データソース

主な変数・パラメータ	データソース
乳価・乳量	北海道農業生産技術体系
労働力投入	北海道農業生産技術体系
牧草・トウモロコシ収量(TDN-kg)	北海道農業生産技術体系
TDN当たり飼料価格(濃厚・粗飼料)	飼料をめぐる情勢
子牛・廃用牛価格	補填水準
育成・経産牛比率	北海道農業生産技術体系
ha当たり自給飼料生産時間	北海道農業生産技術体系
ha当たり自給飼料生産コスト	畜産物生産費
ha当たり収量(TDN)	北海道農業生産技術体系
1頭当たり経費	畜産物生産費
1頭当たり飼養時間	畜産物生産費
牛の体重	日本飼料標準
必要とされる飼料量	日本飼料標準

利益係数

利益係数は各項目の利益及びコストを示す。濃厚飼料価格を 85 円/TDNkg、購入乾草価格を 95 円/TDNkg とする。北海道農業生産技術体系(北海道農政部[2])をベースに計算した牧草及びデントコーン 1ha 当たりのコスト(労働費を除く)はそれぞれ 32 万円、43 万円、草地更新経費は 1.5 万円/ha である。

表 3-2-2 線形計画モデルの単体表(経産牛 60 頭規模)

利益係数(万円)		-0.0085	-32	-43	-0.009	-1.5	50.8		10	10	-4.5	15		
	制約量	関係	濃厚飼料	牧草	コーン	乾草	草地更新	経産牛	乳雌生産	育成仕向	雌販売	雄販売	育成	廃用牛
変数(単位)			X1(TDN-kg)	X2(ha)	X3(ha)	X4(TDN-kg)	X5(ha)	X6(頭)	X7(頭)	X8(頭)	X9(頭)	X10(頭)	X11(頭)	X12(頭)
土地	L	≧		1	1		1							
草地更新				0.14			-1							
栄養量バランス		≧	-0.9	-3519	-6885	-0.9		4184					1653	
濃厚飼料下限		≧	-0.7	1173	2295	0.3								
濃厚飼料上限		≦	0.4	-2346	-4590	-0.6								
デントコーン給与		≧			-6885			650						
経産牛	60	≧						1						
仔牛生産(雌)		≧						-0.44	1					
仔牛生産(雄)		≧						-0.44				1		
雌仔牛販売		≧							-1	1	1			
育成仕向		≧								-0.95			1	
廃用牛		≧						-0.22						1
労働時間	通常	13	≧					0.16					0.057	
牧草繁忙	St	≧		0.216	0.039		0.315							
コーン繁忙	Sc	≧		0.031	0.311									

制約に関する注:

エサの安全率10%サイレージの利用率85%(収穫ロス5%、調製ロス10%)

草地は7年更新乳牛事故率5%

斜字は、100頭規模経営において変化する項目

経産牛 1 頭当たりの生乳販売額は、乳価を 72.0 円/L(補填金込み)、乳量を 8,300L とすると 59.8 万円であるが、資材費や獣医費等の諸経費 9 万円を控除した結果、経産牛 1 頭当たりの(飼料費を除く)粗収益は 50.8 万円となる。このほか、ヌレ子の販売価格 10 万円(保証水準)、廃用牛販売価格 15 万円、1 頭当たり育成経費 4.5 万円/年とした。

最大化される所得は、以上の係数を用いると、

$$-0.00851x_1 - 32x_2 - 43x_3 - 0.009x_4 - 1.5x_5 + 50.8x_6 + 10x_9 + 10x_{10} + 4.5x_{11} + 15x_{12}$$

で示される。

制約について

本モデルでは 15 本の制約式を設定した。表 3-2-2 の各行について考察する。

1 行目：土地に関しては、作付け上限を L(ha) とする。

$$L > x_2 + x_3 + x_5$$

2 行目：草地は 7 年に 1 度更新する。

$$7x_5 = x_2$$

3-5 行目は飼料に関する制約である。

3 行目：生乳生産に必要なとされる飼料量は購入飼料と自給飼料で確保する¹⁰。

平均体重 300kg の育成牛に必要な TDN 量を 1,653kg、平均体重 600kg の経産牛の生体維持に必要な TDN 量を 1,653kg、1L の生乳生産のために必要な年間 TDN 量を 0.305kg とする。ha 当たり TDN 収量を牧草で 4.6t、デントコーンで 9.0t とし、エサの残食率を 10%、自給飼料生産の収穫調製ロスを 15%とすると、飼料制約は

$$0.9[(x_1 + x_4) + 0.85(4600x_2 + 9000x_3)] \geq (1653 + 0.305 * 8300)x_6 + 1653x_{11}$$

となる。

4-5 行目：濃厚飼料給与量は総 TDN の 3 割を下回ることなく、4 割を上回ることもない。

$$x_1 \geq 0.3(x_1 + 0.85 * 4600x_2 + 0.85 * 9000x_3 + x_4)$$

$$0.4(x_1 + 0.85 * 4600x_2 + 0.85 * 9000x_3 + x_4) \geq x_1$$

6 行目：デントコーンの年間給与上限は経産牛 1 頭当たり 650TDNkg とする。

$$0.9 * 0.85 * 9000x_3 \geq 650x_6$$

7 行目：経産牛は 60 頭とする¹¹。

$$60 \geq x_6$$

8-12 行目は乳牛のサイクルに関する制約である。

8-9 行目：搾乳サイクル(分娩間隔)は 13.6 か月、雌雄率は 50%とする。

$$0.44x_6 \geq x_7 \quad 0.44x_6 \geq x_{10}$$

10 行目：雌子牛のうち育成用以外のヌレ子や廃用牛は全て販売する。

$$x_7 \geq x_8 + x_9$$

11 行目：事故率は 5%とする。

$$0.95x_8 \geq x_{11}$$

12 行目：牛群はほぼ 4 年で完全に入れ替わる。

$$0.22x_6 \geq x_{12}$$

¹⁰ 例えば、表 3-2-2 の栄養量バランスと牧草の交点の 3,519 とは $0.9(\text{残食率 } 10\% \text{ 控除}) * 0.85(\text{飼料ロス率 } 15\% \text{ 控除}) * 4,600(\text{牧草 TDN 収量})$ 、同じくデントコーンとの交点の 6,885 は $0.9 * 0.85 * 9000(\text{デントコーン TDN 収量})$ を意味する。

¹¹ 労働力制約のもとでの増頭は、通常は飼料生産の全面外部委託によって実現可能となる。以下で扱う北海道鹿追町でも飼料生産から撤退し増頭をはかった事例は少なくない。経産牛頭数一定という前提に整合的な農家として、次節の実証分析では収穫調製作業のみを外部委託する農家を対象としている。収穫調製作業のみを委託する農家は短期において増頭を行わないと考えてよい。

13-15 行目は労働制約に関連する。

酪農家は、自家労働力のみを用いて飼料生産を行う。北海道農政部[2]に従い、コントラクター、年間雇用、期間雇用等による飼料生産は行わないと仮定する。なお、単体表に示される飼養時間(経産牛 0.16h/頭・day、育成牛 0.057h/頭・day)は、生産費調査に示される都府県の労働時間の約半分であり、これは北海道における効率的な飼養作業を反映している。

13 行目：通常期の労働上限は 1 経営当たり 13 時間/日とする。

$$13 \geq 0.16x_6 + 0.057x_{11}$$

14 行目：繁忙期の追加労働時間は、牧草 0.216h/ha、コーン 0.039h/ha、草地更新 0.315h/ha とし、牧草繁忙期の追加労働供給を St とすると、労働制約は

$$St + 13 \geq 0.16x_6 + 0.057x_{11} + 0.216x_2 + 0.039x_3 + 0.315x_5$$

で示される。

15 行目：同様にコーン繁忙期の追加労働は牧草 0.0031h/ha、コーン 0.331h/ha とし、労働供給を Sc とすると、コーン繁忙期の労働制約は

$$Sc + 13 \geq 0.16x_6 + 0.057x_{11} + 0.0031x_2 + 0.331x_3$$

となる。

(3) 解の存在と安定性

上記単体表の解を求める際に生じる問題は、 λ に関する連立方程式の解の一意性である。各変数に関するパラメータを用いて λ が求められることを本節(1)で整理したが、解の一意性すなわちシャドウプライスの一意性は明らかではない。

表 3-2-2 のケースでは、各々の制約式についてラグランジュ乗数 $\lambda_1 \sim \lambda_{15}$ を設定し、行列計算を行うことで、全てのラグランジュ乗数が求められる。しかし、以下の(3.2.8)に示されるように、ラグランジュ乗数ベクトルにかかる行列は 15 行×12 列であることから、解の一意性は担保されない。連立方程式の解の導出過程を検討し、本章の分析対象である牧草生産時期の自家労賃評価 λ_{13} が正かつ安定的である条件を考察する。

$$\begin{bmatrix} -0.0085 \\ -32 \\ -43 \\ -0.0090 \\ -1.5 \\ 50.8 \\ 0 \\ 0 \\ 10 \\ 10 \\ -4.5 \\ 15 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \\ \lambda_7 \\ \lambda_8 \\ \lambda_9 \\ \lambda_{10} \\ \lambda_{11} \\ \lambda_{12} \\ \lambda_{13} \\ \lambda_{14} \\ \lambda_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.14 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.9 & -3519 & -6885 & -0.9 & 0 & 4184 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1653 & 0 \\ -0.7 & 1173 & 2295 & 0.3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.6 & -1564 & -3060 & -0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6885 & 0 & 0 & 650 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.44 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.44 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.95 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.22 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.057 & 0 \\ 0 & 0.216 & 0.039 & 0 & 0.315 & 0.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.057 & 0 \\ 0 & 0.031 & 0.311 & 0 & 0 & 0.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.057 & 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (3.2.8)$$

(3.2.8)式の 15×12 行列は full-column rank であるため、ラグランジュ乗数は 3 変数に関して不定である。この連立式が解をもつためには 3 つの制約式についてスラックが発生する必要があり、かつ安定的であるためには、スラックは常に同じ制約式について発生しなければならない。後者は線形計画法のアルゴリズムに関する用語を用いれば「基底ベクトルが変化しない」

と言い換えられる。このように線形計画法における最適化とは、過剰な制約式のなかでいずれが binding でないかを探索する作業にほかならない。そこで、一意な解を確保するために、土地の制約、粗飼料の上限制約、通常期の労働制約におけるスラックの発生を事前に仮定する。なお、土地制約や繁忙期の労働制約に moderate な数値を代入して最適化問題を解くケースでは、これら 3 つの制約についてスラックが生じることが確認されていることから、この仮定は事前には恣意的であるが、事後では恣意的ではない。土地、粗飼料の給与上限、通常期の労働の制約が binding でない場合、(3.2.8)式は

$$\begin{bmatrix} -0.0085 \\ -32 \\ -43 \\ -0.0090 \\ -1.5 \\ 50.8 \\ 0 \\ 0 \\ 10 \\ 10 \\ -4.5 \\ 15 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_5 \\ \lambda_6 \\ \lambda_7 \\ \lambda_8 \\ \lambda_9 \\ \lambda_{10} \\ \lambda_{11} \\ \lambda_{12} \\ \lambda_{14} \\ \lambda_{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0.14 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.9 & 1173 & -6855 & -0.9 & 0 & 4184 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1653 & 0 \\ 0.6 & -1564 & -3060 & -0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6855 & 0 & 0 & 650 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.44 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.44 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.95 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.22 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0.216 & 0.039 & 0 & 0.315 & 0.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.057 & 0 \\ 0 & 0.031 & 0.311 & 0 & 0 & 0.16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \cdots (3.2.9)$$

と変換される。これにより、技術のパラメータで構成される行列は正方行列となり、各ラグランジュ変数に関して一意的な解が得られる。

以上の想定から、生産技術と価格等に関するデータのみを用いて、つまり飼料労働の上限量を明示化することなく自家労賃評価が計測可能となる。

2) 自家労賃の計測

(1) モデル経営の自家労賃

北海道農業生産技術体系に示されたモデル経営(表 3-2-2 の単体表)を対象に、収穫調製労働に関する自家労賃を計測する。また、(3.2.9)式と同様の式を 100 頭規模のケースについても作成することで、経産牛 100 頭規模の自家労賃も計測する。100 頭規模では飼料生産技術及び搾乳飼養技術が改善され、ha 当たり及び 1 頭当たりの作業時間が 25%軽減される。但し、頭数が増えたことで飼養労働に必要な労働投入は 1 人当たり 25%増加している。

(3.2.9)式から 60 頭規模における収穫調製の自家労働評価は時間当たり 5,953 円、また(3.2.9)の労働係数を変更することで得られる 100 頭規模の労賃評価は 6,151 円となる。

(2) 個別経営の自家労賃

続いて(3.2.9)式の係数を可能な限り個々の酪農経営に置き換えることによって、個別経営毎の収穫調製に関する shadow wage rate を推計する。データソースは表 3-2-2 に示した。

生産要素投入額(肥料、農薬、種子購入代等)、生乳等の販売価格については農協の組合員勘定(クミカンと略記)データ、労働力については町独自の労働力調査¹²の結果を用いる。乳牛飼

¹² 鹿追町では労働力調査を実施しているが、年間雇用や臨時雇用、季節雇用等の数値には疑問点が含まれているとのことである。また、学生・社会人研修制度や外国人の技術研修制度等も実質的には労働力であるが、調査ではカウントされていない。このため労働力については誤差の発生を見込んでおく必要がある。

養技術、飼料生産技術については、前項と同様に北海道生産技術体系のデータを用いた。北海道生産技術体系には 60 頭規模と 100 頭規模の飼養技術が示されているが、ここでは 80 頭未満には前者、80 頭以上には後者を一律に適用した。分析する酪農経営の選択にあたっては、生産技術体系における労働力の想定(男 1 名、女 1 名の計 2 名)と整合させるため、同等の労働力条件の酪農家を対象とした。さらに畑作収入のある農家、年間雇用や期間雇用を採用している農家を除外した結果、分析の対象は 24 戸となった。

表 3-2-2 所得最大化モデルで用いる変数・パラメータ（個別農家のケース）

主な変数・パラメータ	データソース
乳価・乳量	クミカン
労働力	労働力調査 通常期・繁忙期の労働の上限は生産技術体系
飼料面積	クミカン
飼料価格(濃厚・粗飼料)	クミカン
子牛・廃用牛価格	補填水準
ヘクタール当たり自給飼料	必要時間:生産技術体系 生産コスト:肥料・農薬・種苗等はクミカン 資本財については畜産物生産費
1頭当たり経費	飼養時間:生産技術体系 購入飼料・獣医代:クミカン
牛の体重	日本飼料標準
必要とされる飼料量	日本飼料標準
コントラクター経費	1ha当たりの委託費・軽油量:コントラ課資料 諸資材:クミカン

表 3-2-1 の単体表をベースに全 24 戸について単体表を作成したうえで最適化計算を実施した結果が図 3-2-1 である。横軸に乳量水準、縦軸には収穫調製労働の自家労賃の推計値をとった。

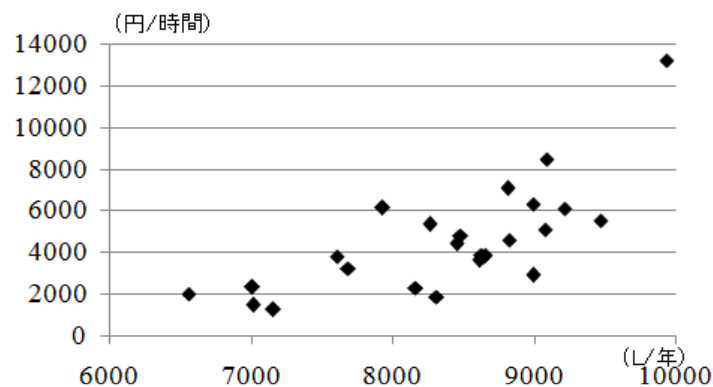


図 3-2-1 飼料収穫期の労賃評価(個票データ)

この図からは、個別農家における収穫調製労働の評価が毎月勤労統計調査の 1,619 円からは上方に乖離していることが明らかである。また、技術の基準状態(乳量 8,300L)から乖離する酪農家においては労賃評価の変動が大きい。これは本来、乳量 8,300 L の経営に適用すべき技術体系のデータを異なる乳量水準の経営に適用したことによって発生したばらつきであると考えられる。この点を考慮して、技術体系に同等性が想定される平均乳量±10%までの経営を抽出すると、経営数は 17、労賃評価の平均値は 4,701 円となった。

以上、本節では線形計画法を用いて自家労賃を推計した。標準的技術体系ならびに個別経営を対象とした収穫調製労働評価を比較したのが図 3-2-2 である。

いずれのケースにおいても、自家労賃評価は毎月勤労統計調査に基づく水準(1,619 円)を大

きく上回った。これにより現行の自給飼料生産費用価で用いられる労賃が著しく過小評価であることが明らかとなった。但し、前提とした基本的な技術体系が 60 頭規模と 100 頭規模の 2 つのみであることから、推計の精度は高いとは言えない。特に労働投入に関する個別データの整備が今後の課題である。

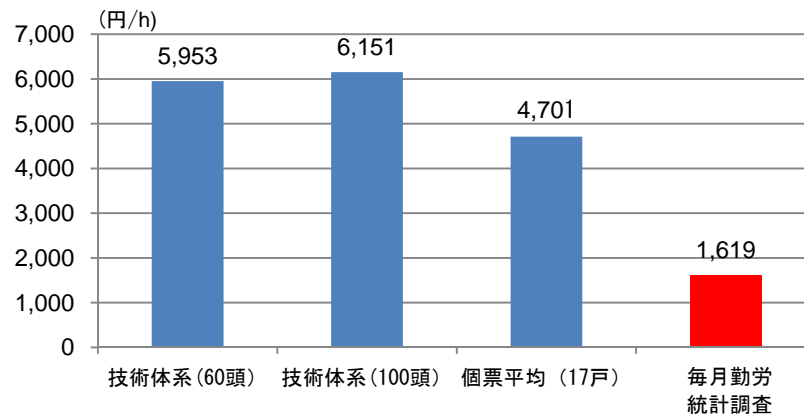


図 3-2-2 各種の自家労賃評価

3. コントラクター利用データにもとづく飼料生産労働の評価

前節では、線形計画法をベースに収穫調製労働の自家労賃を推計したが、この水準が妥当であるかについては別途の手法による検証を行っておく。本節では、コントラクター利用データをもとに間接的に自家労賃の水準について推計を行い、最後に両者の理論的整合性を確認する。

1) 飼料収穫労働のモデル化

飼料生産労働を代替する飼料コントラクターが地域内に存在するケースを考えよう。収穫調製期の酪農家は、自身で収穫作業を行うか、コントラクターに作業を委託するかの判断に迫られる。委託料を支払ったとしても自分で作業する以上の効用が得られるケースでは、コントラクター利用が選択され、逆のケースでは自家労働投入が選択されるだろう。酪農家に対してコントラクターから収穫調製に関する作業料金が提示された場合、飼料労働の制約に直面する酪農家がとる行動は「作業を委託する」「自らが作業する」の二つである。このとき、追加労働の評価が、作業委託による効用増大を上回っていれば作業委託を行うことから、作業料金が自家労賃評価の指標となる¹³。

自家労賃評価を求めるにあたり前章の(2.5.1)式を用いる((3.3.1)とする)。

$$L = U(y, S_b) + \lambda_b(S_b - l_f) + \mu_y(p_m f(l_m, x_{pf} + x_{cf}, \cdot) - c_f x_{cf} - p_f x_{pf} - y) + \mu_x(g(l_f) - x_{cf}) \cdots (3.3.1)$$

コントラクターの料金を c_c (円/h)¹⁴、コントラクターへの委託時間を l_c (h) とおけば、両者が変数として(3.3.1)式に追加される。ここでコントラクターの作業効率は自家労働の β 倍と仮定

¹³ 前章の前提 8 において所得の限界効用は 1 で一定としており、所得はそのまま効用と等値される。

¹⁴ 実際の委託料金は労賃部分と機械利用コスト部分で構成されていることから c_c とは一致しない。

すれば、 $l_c = \beta l_f$ となり、

$$L = U(y, S_b) + \lambda_b(S_b - l_f) + \mu_y(p_m f(l_m, x_{pf} + x_{cf}, \cdot) - c_f x_{cf} - p_f x_{pf} - c_c l_c - y) + \mu_x(g(l_f + \beta l_f) - x_{cf}) \quad (3.3.2)$$

が得られる。

(2.5.1)式と同様に(3.3.2)式についても各変数に関して 1 階の条件をとると、(2.5.2)～(2.5.6)の 5 式のうち(2.5.2)～(2.5.5)は同一式となり、(2.5.6)のみが

$$\frac{\partial L}{\partial l_f} = -\lambda_b - c_c + (1 + \beta)(p_f - c_f) \frac{\partial g}{\partial l_f} = 0 \quad (3.3.7)$$

と修正される。ここで(2.5.6)と(3.3.7)から $c_c = \beta \lambda_b$ となるが、 β を別途推計することにより

$$\lambda_b = \frac{c_c}{\beta} \quad (3.3.8)$$

が得られ、繁忙期の飼料生産に関する自家労賃評価を求めることができる。

コントラクターに収穫調製作業を全面的に委託し、繁忙期に飼料に関する作業を行わないケースでは $\frac{\partial L}{\partial l_f} = -\lambda_b - c_c + (1 + \beta)(p_f - c_f) \frac{\partial g}{\partial l_f} \leq 0$ であることから¹⁵

$$\lambda_b \geq \frac{c_c}{\beta} \quad (3.3.9)$$

となる。

以上は飼料収穫労働の自家労賃評価を得るためのモデルビルディングである。次節では、飼料コントラクターが提示する収穫作業コストと収穫作業の自家労賃評価の関係を事例データから検討し、労働制約下の自家労賃を推計する。

2) コントラクター利用料金と酪農家の行動

コントラクターが提示する作業料金の受諾・不受諾に関する個別農家の行動をもとに、収穫調製労働の自家労賃評価を得るためには、コントラクターの利用料金・利用時間に関するデータが必要となる。本節では、コントラクター利用実績データ、個別経営に関するデータ(JA 鹿追町組合員勘定)等が用いられる。

JA 鹿追町ではコントラクター課を設置し、農協直営で事業を展開している。コントラクターの設立は 1993 年と道内では最も古く、全国の先進事例として紹介されることも多い。JA 鹿追町資料(2006 年度)によれば、農業就業人口 1,170 人、経営体数 275 戸。内訳は畑作専業 130 戸、酪農専業 113 戸であり、農業生産の主体は畑作(小麦 1650ha、ばれいしょ 1,003ha、豆類 717ha、てんさい 1,340ha)と酪農(牧草 5,290ha、デントコーン 1,520ha)である¹⁶。鹿追町の 1 戸当たりの農業生産額は 5,248 万円と道平均の 2,086 万円を大きく上回り、耕地面積は 1 戸当たり 41.5ha、乳牛頭数も平均で 147 頭と、日本でも最大規模の農業が展開されている。

¹⁵ 実証分析においては、コントラクターに収穫作業を一部分のみ委託する酪農家がほとんどなかったため、不等式である(3.3.9)式を用いて飼料収穫労働に関する労賃評価の下限値を推計している。

¹⁶ 聞き取り調査によれば、当地域の酪農は 1950 年代後半に導入された。当初は、畑作生産の片手間に 1 頭ないし 2 頭の妊娠牛を札幌周辺の酪農家から出産まで一定期間預かるという飼養体系が一般的であった。その後、1965 年以降の牛乳不足払い制度によって酪農生産の収益性が改善されたことから、多くの農家が増頭を行い、土地利用についても畑作から飼料作への転換がすすめられた。この点、当初から酪農に特化していた道東の酪農地帯とは成り立ちを異にする。

以下の分析では、収穫期において労働が長時間にわたる牧草、なかでも生産量の多いチモシーを対象とした。北海道全体でみても牧草生産の9割がチモシーであり、オーチャードは1割未満である。オーチャードは2005年度より飼料生産費統計から除外されてこともあり、本章の分析対象とはしなかった。

(1) コントラクターの利用状況

JA 鹿追町の乳牛飼養農家は118戸¹⁷である。うち畑作収入のある生産者を除外した酪農専業農家はコントラクターの利用状況から表3-3-1の5つに分類される。

表 3-3-1 タイプ別のコントラクター利用戸数

タイプ1 (28戸)	飼料作全作業を委託(播種・耕起・施肥・防除・収穫)
タイプ2 (25戸)	収穫調製作業のみを委託
タイプ3 (13戸)	スポット的に収穫調製作業を委託(例:1番草のみ)
タイプ4 (19戸)	収穫以外でコントラ利用(例:堆肥・スラリー散布のみ)
タイプ5 (20戸)	全くコントラを利用せず

資料：JA 鹿追町コントラクター課

飼料生産労働の評価に関する考察においては、飼料を生産するか否かの境界線上にある農家の行動が対象となる。この点で収穫調製作業のみを委託する農家、具体的には収穫調製作業を委託している酪農家(タイプ2:セット委託)とスポット的に収穫作業を委託する酪農家(タイプ3:単独委託)が対象となる。タイプ2,3は「飼料生産から完全撤退したくない。しかし収穫調製作業は困難」という酪農家である。耕起や管理等は自ら行うこれらの農家に、少なくとも短期的には「飼料生産から撤退し、増頭をはかる」という選択は存在せず、直面する選択肢は「飼料を自分で生産する」と「コントラクターに委託し、その間は休む」の二つになり、飼料調達をめぐる最適化行動を想定した分析が可能となる。

飼料生産の委託を行わないタイプ4,5は分析から除外する。また、事実上の飼料生産委託農家であるタイプ1も除外する。理由は以下である。

タイプ1は「飼料を自分で生産する」「飼料生産から撤退し、休息をとる」「飼料生産から撤退し、増頭をはかる」という3種類の行動のうち2,3番目を選択した農家と考えられる。このとき3番目の行動については乳牛生産の変化(増頭や施設の増築)を追う必要があり、また見るキングパーラーの導入のように技術体系自体が大きく変化する場合もあることから、本モデルの枠組みでは分析が困難となる。以上から、本節では飼料生産から撤退し、経産牛頭数の拡大を図っていると考えられるタイプ1の農家は対象としない¹⁸。

タイプ2,3の戸数と各々の特徴を整理する。タイプ2は、収穫調製以外の諸作業は自らで行うが、収穫調製作業は全面積をコントラクターに依存する酪農家である。作業料金はタイプ3

¹⁷ 少数ではあるが町外組合員も含まれるため、町全体の酪農家数とは一致しない。

¹⁸ また、タイプ1の農家には、後継者のいない小規模農家(経産牛50頭未満)や、怪我・病気のため男性労働力が不在の農家が含まれている。これら農家の飼料生産委託の理由は本研究で想定している労働制約以外にあるため、飼料生産条件に多少の変化があっても飼料生産に復帰するとは考えにくい。

よりは 5%低く設定されている(タイプ 1 よりは 5%高い)。さらにこのうちチモシー利用農家は 19 戸である。タイプ 3 は自らもしくは数戸共同で牧草生産機械を所有し、通常の作業は自らが、労働力不足のためコントラクターに収穫作業の一部を依頼する酪農家である。このタイプの農家のうちチモシー利用農家は 5 戸¹⁹であった。以上、タイプ 2 のうちの 19 戸、タイプ 3 のうちの 5 戸の合計 24 戸が分析対象となる。

コントラクターに収穫作業を依頼するタイプ 2、3 の特徴は、委託コスト c_c には十分満足している点にある。つまり、これらの酪農家にとって c_c の水準は自ら収穫作業を行った場合の限界不効用 λ_b の水準を下回っていると考えられる。

(2) データの構成

データを整理する。表 3-3-2 にはチモシーの作業料金の一部を示した。同コントラクターではセット委託(タイプ 2)、単独委託(タイプ 3)別に面積当たりと時間当たりの基本料金が決められている。例えば均平で整形された圃場では作業時間が短くなるため、同一面積の作業委託であっても、時間当たり部分の料金が安くなる²⁰。

表 3-3-2 作業料金設定について(抜粋)

作 業 区 分	面積 割合	時間 割合	セット委託(タイプ2)		単独委託(タイプ3)		時間当たり 処理面積	単位	軽油 使用量
			面積当たり	時間当たり	面積当たり	時間当たり			
固形堆肥散布	0.5	0.5	10,370	15,037	10,890	15,791	1.45	ha	42.00
半固形堆肥散布	0.3	0.7	6,222	26,278	6,534	27,595	1.81	ha	42.00
スラリー散布		1.0		15,000		15,000		Hr	14.50
尿 散 布		1.0		15,000		15,000		Hr	14.50
普 通 耕 起	0.5	0.5	7,750	7,750	8,140	8,140	1.00	ha	21.00
簡 易 耕 起	0.5	0.5	5,500	8,195	5,775	8,605	1.49	ha	21.00
ハワ-ハロー1回掛け(3.5m)	0.5	0.5	4,900	7,007	5,145	7,357	1.43	ha	17.00
ハワ-ハロー1回掛け(5.0m)	0.5	0.5	4,900	8,918	5,145	9,364	1.82	ha	17.00
ハワ-ハロー2回掛け(前後)	0.5	0.5	7,750	7,750	8,140	8,140	1.00	ha	28.00
デスクハロー1回掛け	0.5	0.5	4,250	5,568	4,465	5,849	1.31	ha	10.00
デスクハロー2回掛け	0.5	0.5	6,750	5,670	7,090	5,956	0.84	ha	15.00
除草剤散布(含防除)	1.0		10,000		10,500		3.50	ha	5.00
チモシー1番草収穫	0.5	0.5	16,550	52,133	19,035	59,960	3.15	ha	36.00
チモシー2番草収穫	0.5	0.5	13,740	50,838	14,425	53,373	3.70	ha	33.00
チモシー3番草収穫	0.5	0.5	12,055	50,631	12,660	53,172	4.20	ha	30.00

資料：JA 鹿追町

表中の面積割合、時間割合が 0.5:0.5 とは、面積による料金と時間による料金が半々で構成されることを意味する。右から 3 列目の時間当たり処理面積とは、標準的な圃場における時間当たり処理面積である。例えばタイプ 2 の農家が 3.15ha の収穫調製を委託し、そのときの作業時間が 1 時間であった場合には、 $0.5 \times 16,550 \text{ 円} + 0.5 \times 52,133 \text{ 円}$ と軽油使用量 $3.15 \times 36 \%$ の金額が徴収される(網掛け部分)。作業時間に関する委託農家毎の個票は表 3-3-3 の形式でまとめられており、それぞれ作業面積・料金等が記録されている。

表 3-3-3 の表頭の「割合」とは、面積当たりの標準作業時間(表 3-3-2 の時間当たり処理面積

¹⁹ うち 1 戸はチモシー収穫を全面的に委託しているため実質的にはタイプ 2 である。なお、タイプ 2 のかたちで委託するためには、事前(春作業前)の利用登録が必要である。事前に登録しない場合は、仮に飼料作の全面委託であってもタイプ 3 の単独利用として扱われ、作業料金はタイプ 2 に比べて 5%増となる。

²⁰ 農家間には単位面積あたりの作業時間に変動がみられるが、これは圃場形状や区画の大きさ、収穫作業時期の相違による天候の影響等が要因である。

の逆数として得られる)と比較して、どれだけ多く(少なく)作業時間を要したかを示している。

表 3-3-3 コントラクター作業個票 (抜粋)

		集落名	(組合員コード)	氏名	〇〇	××		
月 日	委託区分	作業区分	機 械 名	作業面積	実働時間	割合(%)	料 金	免税軽油
7月1日	セト委託	チモシー1番草収穫	自走式ハーベスター	9.30	3:15	110%	378,382	335
			ダンプトラック(TW)		3:15			
			ダンプトラック(大型)		3:15			
			ショベルローダー		3:15			
			ダンプトラック(大型)		3:40			
			ユンボ		3:05			
			ショベルローダー(大型)		2:30			
6月28日			モアコン(F・R)		2:00			
7月1日			モアコン(F・R)		3:05			
6月28日			集草レーキ		1:30			
7月2日			集草レーキ		1:30			
	セト委託	チモシー1番草収穫	自走式ハーベスター(大型)	11.50	1:45	109%	464,794	414
			ダンプトラック(大型)		1:45			
			ダンプトラック(大型)		1:45			
7月1日			集草レーキ		2:10			
.....								
8月30日	セト委託	チモシー2番草収穫	自走式ハーベスター(大型)	6.00	1:15	81%	159,036	198
			ダンプトラック(TW)		1:15			
			ダンプトラック(大型)		1:15			
			ショベルローダー(大型)		1:15			
			ダンプトラック(大型)		1:15			
			モアコン(F・R)		0:45			
			自走式モアコン		0:45			

資料：JA 鹿追町

3) 収穫調製費用価・収穫調製コストの比較

ここでは、コントラクター利用時の収穫調製作業コストと自給飼料生産における収穫調製の費用価と比較する。後者は統計データから求められる。

はじめに自給飼料生産における収穫調製作業の費用価(円/DM100kg)を畜産物生産費調査から推計する。収穫調製の費用価は、収穫労働費と減価償却費、燃料費等で構成される。労働費は収穫調製の作業時間 0.22 時間に労働単価(1,619 円:毎月勤労統計調査による)を乗じて、減価償却費は生産費調査における牧草用農機具費に、収穫時間割合(収穫時間/全飼料作業時間)を乗じて求める。ただし、燃料費については畜産物生産費調査ではデータが得られないことから、コントラクターにおける収穫調製作業費と燃料費の割合 1:0.049 を用いて推定した。以上から収穫調製作業の費用価を計算すると、乾物 100kg 当たり収穫調製費用価は 702 円(機械費 443 円(うち燃料費 21 円、労働費 259 円))となる。

次に、タイプ 2(セット委託)とタイプ 3(単独委託)の収穫コスト(円/DM100kg)を推計する。各生産者に関する利用面積、利用料金データは得られるが、収穫量に関するデータはない。そのため、北海道農政部[2]に示される収量に JA 鹿追町で実施した作況調査データ²¹の指数を乗じて得た標準収量(1 番草 480kg、2 番草 295kg)を用いた。以上のデータをもとにコントラクター利用のケースにおける収穫調製コストが推計される²²。

図 3-3-1 には、生産費統計から得られる収穫調製費用価(左端:702 円)と、コントラクター利用農家ごとの収穫調製コストが示されている。

²¹ 作況調査は坪刈り収量のためそのまま用いることはできない。

²² 農家レベルでの収量は実際には圃場毎にばらつきがあると考えられるが、コントラクターが作業する圃場では、1 番草、2 番草といった収穫時期以外に起因する差がないと想定している。

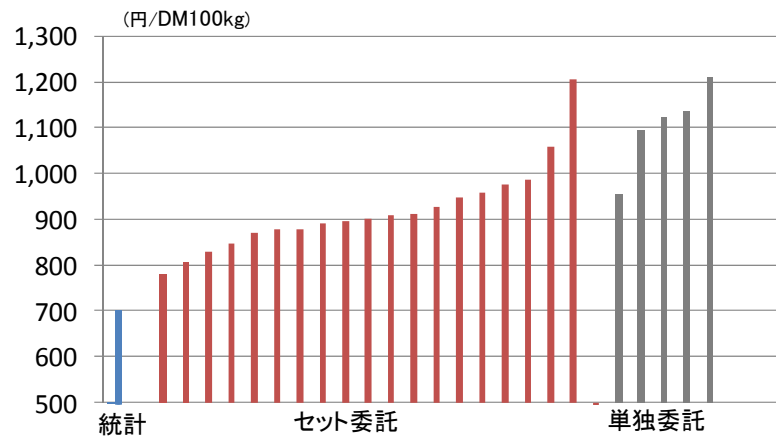


図 3-3-1 チモシー収穫調製作業コストと収穫調製費用価との比較(毎月勤労統計調査ベース)
資料：畜産物生産費調査、JA 鹿追町コントラクター課(2006 年)

タイプ 2(セット委託)の各農家のコストは、統計から得られる 702 円と比較して+11%~+71%、またタイプ 3(単独委託)は+56%~+72%の水準にある。畜産物生産費調査における収穫調製費用価の 95%信頼区間は 691~713 円となる。つまり、全 24 戸について、コントラクター利用における収穫調製コストは統計の費用価と有意な差を示している²³。

自家労賃を労働報酬で置き換えることで、修正された収穫調製費用価が得られる²⁴。具体的には、2006 年度の北海道における 50-80 頭規模、80-100 頭規模、100 頭以上規模の 1 時間当たり労働報酬は 1,301 円、1,928 円、2,627 円であり、これらを 1,619 円に置き換えている。以上の値を各コントラクター利用農家の収穫調製コストと比較したのが図 3-3-2 である。

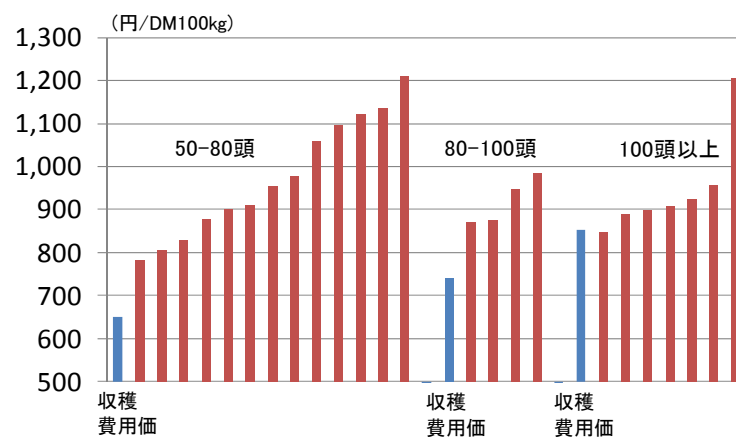


図 3-3-2 チモシー収穫作業コストと収穫調製費用価との比較：労働報酬ベース
資料：畜産物生産費調査、JA 鹿追町(いずれも 2006 年)

²³ 収穫量をウエイトして平均をとると、タイプ 2 では 930 円(対収穫調製費用価+32%)、タイプ 3 では 1,109 円(同+58%)、タイプ 2、3 全体の平均では 949 円(+35%)となった。コントラクター利用者の収穫調製労働への支払いは、統計に示される収穫作業費用価の 1.35 倍に達することが分かる。

²⁴ 50-80 頭規模の 1,301 円は毎月勤労統計調査で示される労賃評価 1,619 円を 20%下回る。これは、労賃の評価替えによって 50-80 頭規模の労賃単価は下方修正されることを意味する。

前章で紹介した堀尾の分析では、雇用賃金から労働報酬への評価替えによる費用価の上昇が前提とされていたが、現在の飼料生産環境は、堀尾が分析した当時とは明らかに変化している。

結果、50-80 頭規模の収穫調製費用価は 651 円 (95%信頼区間 646-656 円)、80-100 頭規模では 741 円 (同 735-747 円)、100 頭以上では 853 円 (同 846-860 円)となる。これらは図 3-3-2 では各群の左端の値で示される。各酪農家のコントラクターへの支払額は 1 戸を除くすべての農家において、収穫調製費用価を有意に上回る²⁵。

本節の結果も、毎月勤労統計調査ないし労働報酬に基づく収穫調製の費用価は、酪農家の収穫調製の費用価としては過小であることを示している。

4) 収穫調製作業の自家労賃評価

(1) 推計方法

ここではコントラクター利用データをもとに自家労賃を推計する。導出過程は図 3-3-3 に模式化される。

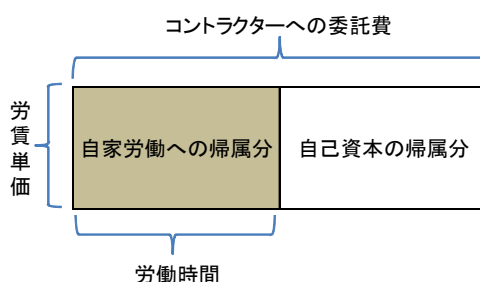


図 3-3-3 自家労賃推計の模式図

収穫調製作業の自家労賃評価を推計するためには、単位面積(ないし単位収量)当たりの自家労働時間を得る必要がある。しかし、単位面積に必要な自家労働時間としてコントラクターの作業時間を用いることは適切ではない。個人で作業する際の資本装備とコントラクターの装備が大きく異なるためである。自家労賃推計のために以下の3段階の調整を行う。

1. コントラクターの利用時間をもとに、同じ作業を自ら実施した場合の労働時間を推計する。

はじめにコントラクター作業時間を用いて各人の面積当たりの作業時間を指標化する。これは条件の悪い圃場はコントラクターの作業時間が長く、条件が良い圃場では作業時間が短縮されるとの想定にもとづく。この指数に北海道農業生産技術体系をベースにした標準的な作業時間を乗じることで、農家毎の収穫作業時間が推計される。農家個人による標準的な作業時間は1ha 当たり 1 番草 5.30 時間、2 番草 4.30 時間であるが、これはコントラクターの1ha 当たり標準作業時間 3.70 時間、3.15 時間とは異なる²⁶。この差はコントラクターと個人の作業能力の違いに起因する²⁷。

2. 個人の資本装備は標準的なものと仮定し、収穫調製作業の資本のコストを推計する。

²⁵ 経産牛頭数規模別に、コントラクター利用農家の収穫調製費用価の平均値をみると、50-80 頭規模 974 円、80-100 頭規模 920 円、100 頭以上規模 927 円であった。

²⁶ 表 3-3-2 には時間当たりの処理面積すなわち面積当たりの作業時間の逆数のみが記してあるが、実際にはダンプによる運搬作業・ローダーによる調製作業等がこれに加わるため、ここに示した数値となる。但し、1 番草と 2 番草の作業時間比率をみると、コントラクターでは 100:83、本節の推計では 100:81 と差はほとんどない。

²⁷ 以上は前節 (3.2.8) 式における β を推計する作業にほかならない。

資本への帰属分は資本装備の水準に規定される。畜産物生産費調査で想定する標準的な資本装備のもとでは、単位面積当たりの収益の資本への帰属分は、畜産物生産費調査に示される時間当たりの償却分に上記 1 で推計した作業時間に乗じたものと計算される。

3. コントラクターへの委託費から資本への帰属分を控除した残差として自家労働への帰属分を求める(図 3-3-3 の網掛け部分)。

自家労賃単価の推計には、コントラクターへの委託費、資本への帰属分、労働時間の 3 種類のデータが必要となる。以上の手順により、委託費はコントラクター利用データから直接得られ、労働時間は 1、資本への帰属分は 2 で推計されることから、収穫作業労働に対する自家労賃評価が計測できる²⁸。

(2) 推計結果

図 3-3-3 の手順から推計される自家労賃は図 3-3-4(a) に示される。

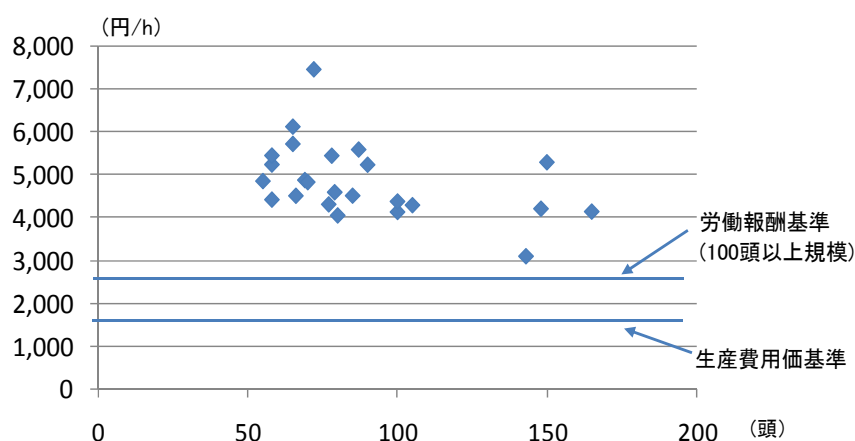


図 3-3-4(a) 経産牛頭数規模でみた飼料労働評価の推定値(円/時間)

資料：北海道農業生産技術体系、畜産物生産費調査、JA 鹿追町(いずれも 2006 年)

自家労賃はおおむね 4,000-6,000 円に分布している²⁹。24 戸の平均で 4,510 円、95%信頼区間は 2,952~6,566 円となった。これは生産費用価で用いられる労賃単価 1,619 円、労働報酬でもっとも高いケースの 2,627 円と比較しても有意に大きい。なお、図では小規模ほど自家労賃の評価額が高くなる傾向が認められるが、これは資本装備の水準を規模に関係なく一定としたために、小規模層における資本コストが過小評価されることが原因と考えられる。

図 3-3-4(b) は畜産物生産費における規模別の労働報酬と、ここで推計された 24 戸の自家労賃評価の平均値を比較している。タイプ 2、3 平均の自家労賃評価は生産費調査のいかなる規模の労働報酬と比較しても有意に大きいことが示される。以上から、コントラクター利用データ

²⁸ 頼[13]は、労働への帰属分が小さい場合、所得から諸資材費を控除した残余额をもって労働報酬とすることには慎重であるべきと述べている。残余额が帰属報酬となるのは、労働以外の生産要素の調達額が各々の生産要素の限界価値生産力に等しいケースに限られるためである。本章の分析では、費用全体に占める労働への帰属分は十分に大きいことから、この問題は回避されている。

²⁹ 酪農ヘルパー利用の目的が限界的な労働の緩和にあるとすれば、酪農ヘルパーの時間当たり利用料金は自家労賃評価の参考となる。鹿追町においては、頭数やヘルパーの利用メニューによって利用コストは異なるが、通常 70 頭の搾乳・飼養労働を委託した場合約 4 万円、100 頭で約 5 万円の委託費(資材費は含まない)、作業時間当たりに換算すると 3,000 円~3,500 円となる。

に基づく自家労賃は、毎月勤労統計調査や畜産物生産費調査に示される労賃水準を大きく上回ることが明らかとなる。

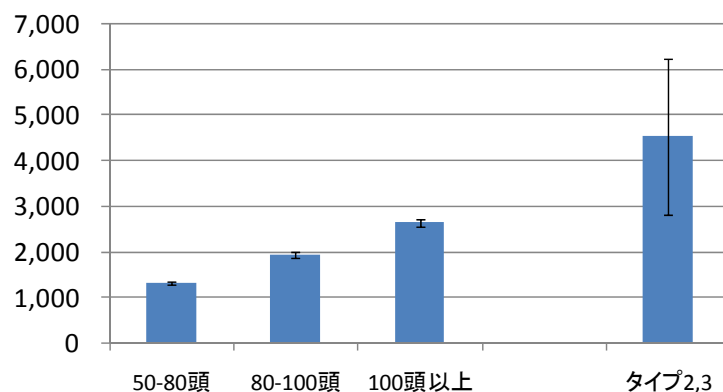


図 3-3-4 (b) 自家労賃評価の推定値 (円/時間)

資料：北海道農業生産技術体系、畜産物生産費調査、JA 鹿追町 (いずれも 2006 年)

5) 自家労賃水準の検証

線形計画モデルから得られた自家労賃評価は、追加労働 1 単位の緩和による収益性の改善効果であった。一方、コントラクター利用データから得られる自家労賃評価は、余暇の効用を反映するものであるが、

$$\lambda_b \geq \frac{c_c}{\beta} \cdot \cdot (3.3.9)$$

に示されるように、コントラクターのコストを下限值として推計される。とすれば、前節と本節の手法が理論と整合的である限り、コントラクター利用農家において、前者は後者と等しいか、これを上回るはずである³⁰。以下ではこのことを検証する。

はじめに、両者の平均値から全体の動向を確認する。線形計画法による自家労賃評価の平均値 4,701 円に対し、コントラクター利用コストから得られる労賃評価の平均値は 4,510 円であった。両者の差は大きいとは言えないが、大小関係は理論通りとなっている。また、前節の図 3-2-1 において、shadow wage rate としての自家労賃評価を計測した酪農家のうち、タイプ 2 (セット委託)、3 (単独委託) の 7 戸に関しては、図 3-3-4 (a) においてコントラクター利用データにもとづく自家労働評価を推計している。つまり、これらについては両者の比較が可能である。

表 3-2-5 は 7 戸の農家について 2 種類の自家労賃の推計値を比較した結果である³¹。基準乳量に近い酪農家 (MI や IS) においては、(コントラクターデータによる自家労賃) < (線形計画法による自家労賃) となる。想定した技術に近い経営 (労働力 2 名、乳量 8,300L) において、2

³⁰ 理論的には、線形計画から得られる自家労賃とコントラクター利用データから得られる自家労賃は、均衡状態において一致する。しかし、コントラクターが公的主体による運営である、コントラクターにおける資本の調整が個別経営ほどにはスムーズに行われない、等が理由となって、当該コントラクターが厳密な意味での最適化主体とならないケースでは、線形計画から得られる自家労賃とコントラクター利用データから得られる自家労賃の間に乖離が存在すると考えるのが妥当である。そこで本章では (3.3.8) 式ではなく (3.3.9) 式を分析に用いている。

³¹ 図 3-2-1 の 24 戸のコントラクターの利用状況はタイプ 1 が 5 戸、タイプ 2, 3 が 7 戸、タイプ 4, 5 が 12 戸であった。

つの手法による自家労賃推計は実態をよく反映していると考えられる。7戸中 MI や SI を含む 5 戸において、推計値の大小関係は最適化理論から得られる事前の予想と一致した。

表 3-2-5 2つの手法による労賃評価の理論との整合性

氏名	コントラデータ		線形計画	基準乳量との差
KI	3,813	<	4,440	-13.5%
KA	4,240	<	5,330	-6.0%
TA	5,166	>	3,613	-2.1%
MI	4,808	<	7,074	0.2%
IS	4,350	<	4,591	0.3%
IB	5,381	<	6,290	2.2%
MU	7,398	>	6,081	4.8%

6) 自給飼料生産費用価と自給飼料利用価

最後にコントラクター利用農家の自給飼料生産費用価³²を検討する。播種・施肥に要する生産資材の購入量・単価が農家毎に得られることから、先の収穫調製費用価に諸資材費を加えることで自給飼料生産費用価の修正値が農家別に求められる。なお、収穫作業以外の労賃単価としては、畜産物生産費調査の労働報酬(50-80 頭規模 1,301 円、80-100 頭規模 1,928 円、100 頭以上規模 2,627 円)を用いている。自給飼料生産費用価と修正自給飼料生産費用価を比較したのが図 3-3-5 である。

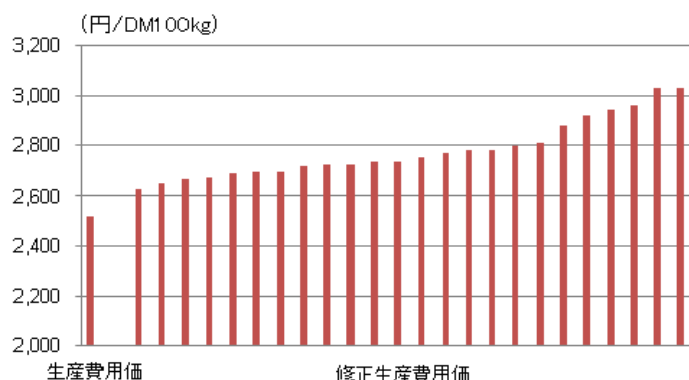


図 3-3-5 農家毎の修正自給飼料生産費用価
資料：畜産物生産費調査、JA 鹿追町(いずれも 2006 年)

自家労賃の評価換えによって DM100kg 当たりの自給飼料生産費用価は 2,518 円から 2,776 円と平均で約 10%上昇する³³。但し、修正自給飼料生産費用価は最も大きい農家でも 3,000 円をわずかに上回る水準であった。これは各農家における資材投入が、生産費調査における資材投入とほぼ同等であったことによる。

但し、この図 3-3-5 の数値を輸入乾草価格とダイレクトに比較して、飼料生産の可能性を論じることとはできない。自給粗飼料の利用時にはハンドリングコスト、保管コスト等が新たに生

³² 図 2-5-1 の修正自給飼料生産費用価に相当する。

³³ 自給飼料生産費用価に占める労働費の割合は 15%から 23%に上昇する。

じるためである。そこで図に示した修正自給飼料生産費用価をベースとして自給飼料利用価の推定を行う³⁴。給与段階のハンドリングコストについては井上[4]に示された TDNkg 当たり 3.86 円を、保管コストについては原[2]による現物 1kg 当たり 1.0 円、TDNkg 当たり 4.38 円を用いる。さらに、自給飼料生産における収穫ロスを 5%、調製ロスを 10%と想定しこれらも勘案した。

以上から酪農家の自給飼料利用価が推計される。図 3-3-6 には平均値を示した。

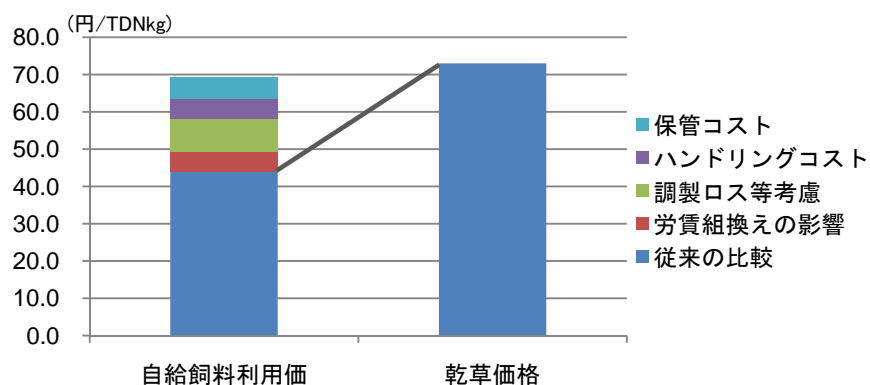


図 3-3-6 飼料生産利用価と乾草価格の比較 (円/TDNkg)
資料：畜産物生産費調査、JA 鹿追町 (いずれも 2006 年)

前章図 2-1-1 との比較を行うために重量単位を TDNkg とした³⁵。自給飼料利用価からみた飼料生産の経済性について考察する³⁶。図 2-1-1 において TDNkg 当たり 29 円だった自給飼料生産費用価と購入乾草価格の差は、自給飼料生産費用価に様々な修正要因が加わった結果、図 3-3-6 では TDNkg 当たり 5 円にまで縮小している。これに(今回カウントしなかった)スイッチング費用や品質変動によるリスクプレミアムが加われば、自給飼料利用価は乾草価格を上回る可能性がある。これは、自給飼料生産が乾草購入よりも有利であるとする従来の主張には論証すべき余地が残されていることを示唆する。あわせて、農家毎の自給飼料利用価を図 3-3-7 に示した。

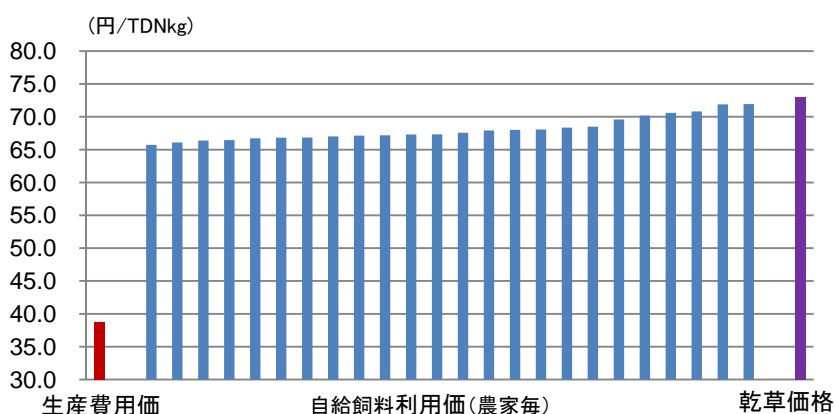


図 3-3-7 乾草価格、自給飼料生産費用価と各農家の飼料生産利用価の比較 (円/TDNkg)
資料：畜産物生産費調査、JA 鹿追町 (いずれも 2006 年)

³⁴ 自給飼料利用時に生じる品質リスクは扱わない。

³⁵ チモシーサイレージにおいては 1DMkg=0.65TDNkg である(日本飼養標準)。

³⁶ 二つの棒グラフをつなぐ線は図 2-1-1 の自給飼料生産費用価と購入乾草価格の比較に相当する。

図からは自給飼料利用価は従来の自給飼料生産費用価からは大きく乖離していること、また自給飼料利用価と乾草価格の差は TDNkg 当たり 1 円にまで縮小していることが確認できる³⁷。以上の分析は「自給飼料生産利用価と購入乾草価格には、自給飼料生産費用価と購入乾草価格ほどの大きな乖離は生じない」ことを示している。

4. 小括

前章では、毎月勤労統計調査をベースに算定される生産費用価が低いとしても、それは農家の判断材料とはならないことが示された。本章では、過重労働が顕著なケースでは、飼料生産の利益が相当程度上回らない限り、追加的労働投入による飼料生産は行われなことに焦点を当て、シンプルな最適化モデルをもとに自給飼料生産行動を考察した。分析の中心は飼料生産労働の自家労賃推計におかれた。

自給飼料生産の隘路は、飼料生産における労働力とりわけ収穫調製労働にある。飼料収穫作業は、その季節性ばかりでなく作業自体に高い熟練度が求められるために、市場を通じた労働力の確保は容易ではない。第 2 節においては線形計画モデルを用いて飼料収穫期の労賃を直接計測した。モデルには、収穫調製期とそれ以外の期の労働の相違を組み込んだ。

続く第 3 節では、コントラクターの利用料金が自家労賃の指標となることを用いて、自家労賃評価を間接的に推計した。ここでは、自給飼料生産を増産するか否かの背後には、作業委託による報酬と自家労働投入によって失われる効用(余暇)の価値のどちらが大きいかに関する判断が存在することを利用している。本章の目的の一つは、生産費用価算定における自家労賃水準の妥当性を検討することであった。「自給飼料生産費用価は修正の必要がない」という仮説は、本章の検討によって棄却される。事実、図 3-2-2、図 3-3-4 に示した自給飼料生産の労賃評価は、生産費用価算定で用いられる毎月勤労統計調査の 1,619 円とは大きくかけ離れており、これは「自給飼料生産費用価は修正の必要がある」ことを意味する。同様に、労働報酬の水準を自家労賃とすることも図 3-3-4 から適切ではないと判断される。あわせて、第 2 節ならびに第 3 節で用いた手法の確からしさについて検証を行った。一部に例外はあったものの、2 つの手法で推計された自家労賃の値は、最適化行動モデルから要請される大小関係とおおむね整合することが示された。

³⁷ 自給飼料利用価が 70 円/TDNkg を超える農家では、諸コストを含めた自給飼料利用価は乾草に比べて十分高いと予想される。

補論 飼料コントラクターが飼料生産に果たす役割

1) はじめに

飼料コントラクターは、国産飼料資源活用促進総合対策事業³⁸の助成要件において「3年以上の事業計画をもち、法人格を有するないし取得予定で、オペレータの作業日数が年間90日以上あり、作業面積が北海道で200ha、都府県で20ha以上となる組織」と定義されている。一般にコントラクター利用の長所としては、ふん尿の処理、収穫労働の軽減、作業機械投資の節約が³⁹、短所としては、購入乾草に比べて品質が天候に左右しやすいこと、飼料貯蔵施設が必要となることがあげられる。但し、農地に恵まれた北海道においては後者の貯蔵施設の問題はほとんど生じていない。

本補論の目的は、コントラクターの事例分析を通じて、コントラクターが地域の飼料生産に果たす役割を明らかにすることである。なお、組織論の観点からは、組織の構成⁴⁰がコントラクター運営にどのような影響を及ぼすかが議論されるが、この点は対象としない。

2) コントラクターの現状

1970年代に飼料作機械の共同利用から始まったコントラクターは、飼料作物生産の必要性及び重要性に対する認識が現在に比べて弱かったこともあり、組織の展開は一部に限られた。しかし、93年以降の助成強化(飼料生産外部化拡大緊急対策事業)による参入障壁の低下、また口蹄疫発生に起因する稲わら収集作業や環境3法を背景としたふん尿堆肥散布作業等の活動領域の拡大もあり、北海道を中心にその数は増加し(北海道159、都府県257:2006年)、2006年度の総作業受託面積は延べ98,000haに達している⁴¹。表3-補-1、3-補-2には酪農・肉用牛農家のコントラクター利用割合を示した。

表 3-補-1 コントラクター利用割合(乳用牛) 表 3-補-2 コントラクター利用割合(肉用牛)

乳用牛生産	利用戸数	総戸数	利用割合	肉用牛生産	利用戸数	総戸数	利用割合
北海道	5,778	8,590	67.3%	北海道	140	3,000	4.7%
都府県	1,823	17,010	10.7%	都府県	6,045	82,600	7.3%

資料：(社)日本畜産種子協会ら[9]、畜産統計
注)利用戸数は2005年度、総戸数は2006年2月の数値

北海道の酪農経営では、何らかの形でコントラクターを利用している割合が2/3を超えてお

³⁸ コントラクターの設立をバックアップする同事業では、設立後3年以内の組織に対し、飼料作物作付け作業に年平均10,000円/ha、長大作物収穫に同じく約15,000円、一般の収穫作業に同じく19,000円が3年間給付される。

このほか、以前から稼働しているコントラクターに対しては、強い農業づくり交付金において必要な農業機械、施設の整備に対し1/3～1/2の補助が行われる。

³⁹ コントラクターの役割として、日本畜産種子協会[10]では、良質な粗飼料生産やTMR等の新たな飼料生産システムが利用可能な点も指摘されている。

⁴⁰ 飼料作コントラクターは、以下の4タイプに類型化できる。営農集団タイプ(機械の共同利用組織が作業受託組織に発展したもの)、法人組織タイプ(営農集団が法人化したもの、建設業等が有限会社化したもの、個別経営が受託を増やし農業法人化したもの)、農協直営タイプ、公社・3セクタイプである。後2者は公益性を求められるため、前2者とは運営方式が異なるケースが多い。

⁴¹ 絶対量でみると決して多い数値ではない(農林水産省生産局畜産部[7])。

り、既にコントラクターは地域農業にとって不可欠な存在となっている。また都府県でも約 1 割の酪農家がコントラクターを利用している。

3) 鹿追町コントラクターの設立、利用実績の推移

鹿追町では 1990 年頃から飼料作業の労働過重が顕著になり、飼料生産労働の軽減への要望が高まっていた。92 年時点では 1 戸当たりの年間合計労働時間は 7,000 時間を超え、飼料収穫期の過重労働から乳牛の事故、繁殖成績の低下、乳量の低下等の問題が多発していた。こうしたなか、飼料収穫時の労働負荷軽減を目的とし、93 年に JA が主体となって飼料コントラクターが組織された。コントラクターは、牧草及びデントコーンサイレージに関する作業全般を取り扱っている。

設立後数年間は農家の利用が十分ではなく、年当たり 1 千万円単位の赤字が続いた(図 3-補-1 参照)が、その後の農家への技術指導、真空播種機の導入、的確な作業⁴²によって、地域内の信頼を得て利用面積を拡大し、99 年度には、設立当初の目標作業面積である 6,200ha をクリアした。主な作業名及び利用面積は表 3-補-3 に示した。

表 3-補-3 コントラクター作業と利用実績

(単位: ha、戸)

作 業 名		1993年(設立年)		1998年		2003年		2007年11月末現在	
		面 積	戸 数	面 積	戸 数	面 積	戸 数	面 積	戸 数
牧 草 収 穫	1 番 草	436.1	30	1,233.3	48	1,761.0	60	2,051.3	66
	2 番 草	314.4	20	1,026.4	37	1,612.0	50	1,759.1	59
	3 番 草	39.0	2	633.0	28	686.9	30	607.0	26
	4 番 草			62.7	7	20.8	1	12.5	1
	計	789.5		2,955.4		4,080.7		4,429.9	
コ ー ン 収 穫		97.4	15	425.1	51	656.1	57	886.4	64
液 肥 (除 草 剤) 散 布		164.5	17	339.7	27	483.0	40	596.3	39
堆 肥 散 布		280.5	34	1,068.6	118	1,747.0	147	1,769.9	133
耕 起	耕 起	248.9	20	322.0	40	535.0		547.6	60
	簡 易 耕 起					131.0	67	68.8	8
整 地		72.9	8	292.5	31	688.8	66	887.5	66
鎮 庄		30.4	4	93.1	19	260.5	44	613.2	54
液 肥	牧 草 施 肥	22.2	4	41.4	3	102.0	16	91.2	16
	融 雪 剤 散 布					279.0	34	409.2	29
牧 草 播 種		17.7	4	114.0	19	237.1	45	222.1	41
コ ー ン 施 肥	耕 起	14.8	2	142.8	16	197.7		484.0	32
	播 種 不 耕 起					260.2	45	116.3	15
石 灰 散 布		13.4	2	44.1	5	110.1	16	92.7	15
堆 肥 運 搬				(525Hr)	96	(881Hr) 7297台	119	(593Hr) 5143台	112
心 土 破 砕						(39Hr)	13	(29Hr)	11
ス ラ リ ー 散 布						(113Hr)		453Hr	17
堆 肥 切 返 し				(199Hr)	47	(325Hr)	39	104.2Hr	19
ビ ー ト 移 植						30.3	3	38.4	4
(延 べ 戸 数)	畑 作 酪 農				(83) (92)		(110) (104)		(105) (109)
合 計		1,752.2		5,838.7	175	9,798.5		11,253.5	

資料：JA 鹿追町

⁴² 繁忙期の飼料収穫調製作業は 1 日当たり 25-40 人の出役となる。農繁期の臨時雇用の増大は収穫技術の低下を招きかねないと言われるが、当コントラクターでは、近隣の運送会社から作業員を車両込みで雇用するという傭車契約を結ぶことで臨時形態ではありながらも、安定的な労力と技能の確保を図り、技術水準の低下を回避している。

表には設立年の1993年、5年後の98年、10年後の03年と07年度の利用実績を示した。利用面積は96年度までは急増し、その後は04年度まで微増、それ以降は横ばいである。ただし、現在コントラクターを利用していない農家であっても、機械更新時期にはコントラクター利用に転換する意向の生産者もあることから、今後の利用拡大が期待される。

本コントラクターの特徴は、JA直営であることの利点を生かし、組合員の経営状況や土壌診断で把握した圃場の性質を考慮した作業設定を行っている点にある。また、大型機械による作業効率の高さにも特徴がある。500馬力のトラクター、25tのスラリートンカー等、国内最大級の資本装備を有する。このほか、保有機械の整備を自ら行うことで耐用年数の延長に努め、基準耐用年数の2～3倍という機械の長期利用を実現している。一方、運営上の課題としては、農協直営型のコントラクターであるために対象者が組合員に限定される点や冬期の常勤職員の有効活用があげられる。収益の推移を図3-補-1に示した⁴³。

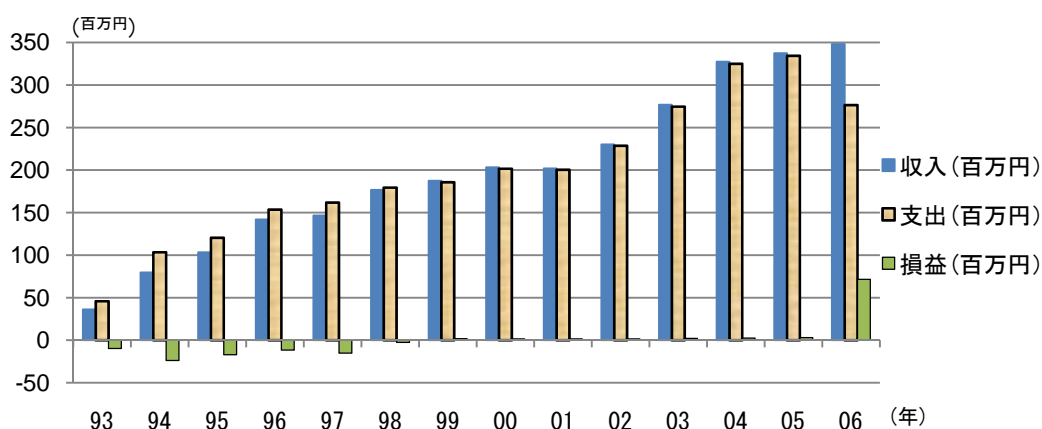


図 3-補-1 コントラクターの収益性
資料：JA 鹿追町

収入には作業受託収入、コントラクター運営に対する助成、支出には労賃、修理費、圧縮後の減価償却費が含まれる。機械の購入は一部を除き補助事業を利用しており、建物、機械等に対する助成金額は設立以降の15年間で3億6,816万円、年平均2,454万円である。なお、志賀[10]において運営上の課題とされた機械の更新については、毎年助成を取り入れつつ順調に更新を図っており、特段の問題は生じていない。

利用料金は、コントラクター立ち上げ後97年度までは一定金額であったが、赤字が続いたために98年度に約20%程度値上げし、以降は毎年見直しを行っている⁴⁴。

4) 粗飼料の収量変化とコントラクターの役割

以下では簡単な統計手法を用いてコントラクター設立の飼料生産に対する影響を考察する。

⁴³ ここでは畑作部分も含めた全利用実績を取り上げている。

⁴⁴ 立ち上げ当初3年間の赤字が5,100万円であったのに対し、99年度以降は黒字に転換し、最近3か年の黒字は7,700万円に達している。但し、助成金控除後も黒字となっているのは、01, 02, 06年の3か年度のみであり、助成金の継続が運営上不可欠となっている。なお、2006年度分の黒字は、05年度の特例償却・有税償却の影響による。

期間は1982年からの25年間⁴⁵を対象とする。また鹿追町との比較のため十勝全体(但し鹿追町分は除く)を取りあげた⁴⁶。図3-補-2によると、90年代後半は飼料作付面積の減少割合は十勝平均よりも大きいが、直近(06年度)の面積指数は、十勝0.958に対して鹿追は0.953とほぼ同水準となっている。

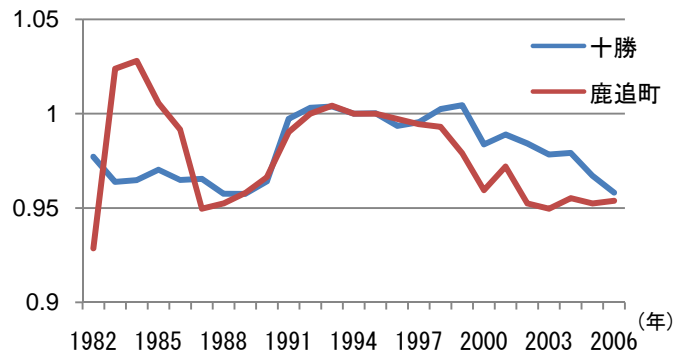


図 3-補-2 飼料作面積の推移(1993-94を1とした指数)
資料：各年次北海道農林水産統計年報

次に単収の変動からコントラクター導入の技術的効果をみる。図3-補-3では、コントラクター利用の中心である牧草を対象として、鹿追町におけるコントラクターの作業割合と単収の関係を示した。

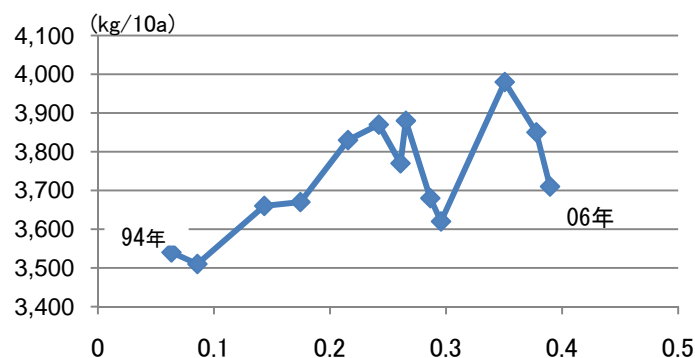


図 3-補-3 コントラクターの牧草収穫作業割合と収量変動(1994-2006年)
資料：各年次北海道農林水産統計年報、JA 鹿追町

縦軸は10a当たりの乾物収量、横軸は(コントラクター作業面積)/(町全体の飼料収穫面積)⁴⁷である。これは鹿追町の牧草生産における飼料コントラクターのプレゼンスを示す指標である。年次毎の変動はあるものの、コントラクターの作業割合が増加するにつれて収量も増加すると

⁴⁵ コントラクター導入後の13年分のデータと対比するため、コントラクター導入以前(93年以前)について12年分のデータを対象とする。

⁴⁶ 同町は十勝管内でも気温が低い地域のため農業生産条件は厳しく、作物の収量は周辺地域と比較しても低いとされている。

⁴⁷ 牧草の作付面積1に対し収穫面積を2.2として換算した。2回収穫のチモシーを飼料作全体の8割、3回収穫のオーチャードを2割とすれば、収穫面積は牧草作付面積1に対し2.2(=0.8*2+0.2*3)となる。

いうおおまかな傾向が読み取れる。両指標の相関をみると、 R^2 は0.417、P値は0.017であった。また、図中の動きは横軸方向に単調増加しているが、これはコントラクターによる収穫割合がこの間一貫して増加していることを示す。

収量の推移を十勝全体と比較したのが図3-補-4である。90年代半ば以降、鹿追の収量増加のペースが十勝を上回っていることが確認できる。コントラクター導入以前の80年代において、鹿追町の収量平均は十勝平均のレベルで上下に変動していたが、93年のコントラクター導入後は変動の傾向が変わり、十勝の平均を常時200-300kg程度上回るようになった。コントラクター導入が地域全体の技術水準を底上げしていると考えられる。

そこではじめに、十勝、鹿追のそれぞれについて、コントラクター設立の93年で期間を区切り、構造変化に関するchow検定を行う。その結果、F値は十勝8.23、鹿追19.8となった。これは $F(2, 20)$ の1%水準5.85を上回っており、十勝、鹿追双方の収量に関して有意であった。93年前後に、牧草の収量変動の傾向に変化があったことを示している。

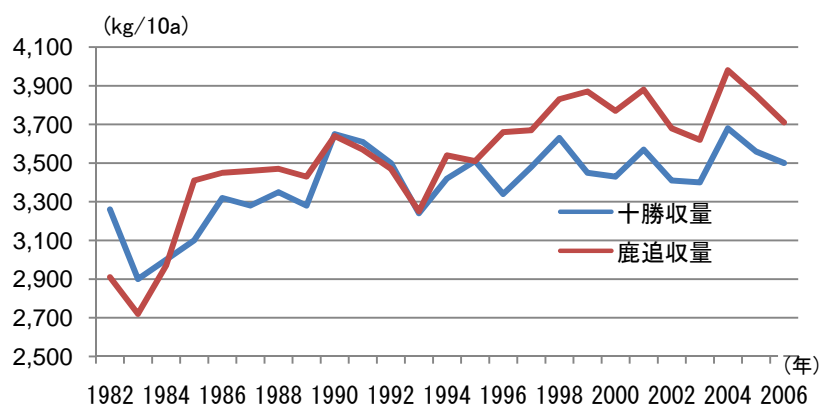


図3-補-4 牧草収量の推移
資料：各年次北海道農林水産統計年報

次の問題はこの収量変化に関して、十勝と鹿追との間に差があるか否かである。具体的には、コントラクター導入後の十勝全体と鹿追町の収量変化の傾向が異なるかを検定する。

年次変動の効果を除去する⁴⁸ために共分散分析を行う。コントラクター導入以前は、十勝全体と鹿追町の収量変動傾向に差はみられなかったが(P値0.698)、コントラクター導入以降は、鹿追町の収量増加のペースが、十勝全体のそれを上回ることが確認された(P値0.000)。以上から、コントラクター導入以降、十勝全体と比較して鹿追の収量増加ペースが速まっていることが明らかとなった。コントラクターによる収量増収効果と言ってよい。

5) 小括

コントラクター稼働による酪農家のメリットは、作業委託による収穫労働の軽減であり、これにより粗飼料生産の維持・増産が可能となることである。コントラクターの役割に関する従来の分析においても利用のメリットが強調されてきた。その一方で、コントラクターの導入に

⁴⁸ 図3-補-4において、面積割合の増加と年次変化がほぼ平行である理由は、年次が一種の技術進歩の代理変数として収量に影響を与えているためと考えられる。これはコントラクターなかりせば、鹿追においても十勝全体と同じように一定の収量増加があったことを示唆する。

よる地域全体の技術の底上げ効果についての言及はほとんどなかった。

そこで本補論では、飼料コントラクターが地域の牧草生産に与える効果を統計データから明らかにすることを目的とし、北海道鹿追町のコントラクターを事例とした分析を行った。

分析からは、飼料コントラクターの導入前後で明らかな収量増産が確認された。要因としては、コントラクター自体の技術水準の高さに加えて、技術に関するデモンストレーション効果が指摘できる。デモンストレーション効果の定義は、「他者に影響を受け消費行動が変化すること」であるが、ここでは「コントラクター稼働の影響を、地域全体の酪農家が受けること」と言い換えられる。

コントラクターが地域の耕起、播種、収穫等の基幹作業時期の指標となる結果、地域全体の技術が向上し、また、コントラクターの技術を模倣することで、減収や品質劣化の軽減(とこれを通じた期待収益の増加)が可能となる。さらには、地域の有力な生産者とコントラクターとの間に一種の技術競争も生じている。コントラクターよりも早く作業を終わらせることで、自分の経営の技術の高さ、粗飼料品質の高さを周辺に誇示する行為は、結果として地域全体の技術水準を向上させる⁴⁹。

⁴⁹ デモンストレーション効果は、異質性の強い社会では、上級者に対する模倣として、同質性の強い社会では、他者に対する見栄から生じるとされる。作業適期を知る指標としてコントラクターの動向を観察する酪農家は、技術的に上級であるコントラクターの技術の模倣をしているといえる。また、収穫作業をコントラクターよりも早く終わらせるという行動は、他者に対する見栄の現れと捉えられる(Duesenberry[1])。

第4章 資源循環型技術の環境影響評価

1. はじめに

現在の農業技術は環境負荷を軽減するか。今後導入予定の農業技術は環境負荷を軽減するか。こうした設問に対し、ある人は yes、ある人は no と判断を下すかもしれない。同一の技術に対し回答が異なる理由として、一つは評価対象とする環境要素の相違、もう一つは分析対象の範囲の相違が考えられる。前者については、絶滅危惧種の個体数の増減こそが重要であるという視点とマスでみた生物量が重要であるという視点とでは、自ずと回答は異なるだろう。後者については、適正量の堆肥投入は土壌環境には好ましいが、その堆肥が長距離運搬されたものだとすれば、地球環境には負の効果をもたらすといったケースが考えられる¹。

とはいえ、環境負荷軽減というコンセプト²は、産業部門のみならず、社会のあり方、個々人の生活様式にも深く組み込まれており、現代社会においては分野・領域を問わず、いかなる活動においても環境負荷への配慮が必要とされる。農業もこの例外ではなく、環境問題が経済行為としての農業生産のあり方を規定する場面は少なくない³。

農業生産と環境負荷の関係を議論するにあたり、はじめに環境とは何かについての検討が、次に環境負荷量をいかなる手法で評価するかを検討が必要となる。分析対象と分析手法の明確化に際しては、次の点に注意を払わなければならない。1 つは対象とする環境負荷が社会・国民にとって重要なものであり、もう 1 つは評価手法が客観的で結果が容易に検証可能であるかである。

以下、最初に本章と次章の準備として農業生産と環境問題の関わりを整理する。そこでは、資源循環型技術、環境保全型技術全般を対象として、その制度展開をレビューする。続いて、第3節では環境影響評価の対象物質・評価手法として何を選択すべきかを検討する。環境負荷物質と環境問題の関係は、温室効果ガス (GHG) と地球温暖化問題、SO_x, NO_x と酸性化、CFC とオゾン層破壊、DDT と生態系破壊、P や N と富栄養化等が考えられるが、最大公約数としての環境問題とは何か、可測性を有する環境負荷量は何かという視点から、環境指標としては GHG を、環境問題としては地球温暖化問題を取り上げる。第4節では環境影響評価手法としてのライフサイクルアセスメントについて議論する。

2. 環境問題と資源循環型農業技術

農業生産における環境問題は様々な場面において、様々な形態で生じるが、環境問題を解決

¹ 神奈川県小田原市のある野菜産地では、堆肥をフェリー輸送によって千葉県房総地域から、また 50km 以上離れた秦野市の畜産地帯から調達している。生産資源の localization によって輸送距離を短縮し、環境負荷削減を目指す取組を評価する指標の 1 つに food-miles がある (例えば中田 [20])。

² 環境保全的、environmentally-friendly と同義。

³ 新たな農業技術は環境保全的でなければ、技術としても持続可能とはならない。中長期的に環境負荷量の評価はその重要度を増すだろう。

する手段は大きく2つに分類できる。Reduce技術とRecycle技術である。前者の例としては減農薬・減化学肥料といった生産資材の使用抑制による環境負荷物質の削減、後者の例としては家畜排泄物の資源循環による窒素過剰の解消と土壌・水質汚染の軽減が挙げられる。Recycle技術のなかでも、家畜排泄物を堆肥化し耕種圃場に還元する耕畜連携システムは、ふん尿という廃棄物⁴の適正処理・利用による環境汚染の軽減と、化学肥料の削減による環境負荷物質の削減に資する技術体系として注目を集めている。これについては第5章で詳しく取り上げる。

現在、農業生産と環境負荷の問題は資源循環型技術をベースに議論されることが多い。そこで資源循環型農業技術の展開過程を整理し、資源循環型技術が環境問題のなかにどのように位置づけられてきたかを考察する。資源循環を通じた環境負荷軽減という考え自体は、70年代の産業エコロジー論に端を発する⁵。これは、ある工場で発生した廃棄物を隣接する工場で有効に用いるといった素朴な考えであり、その後、ゼロエミッション、産業共生などの概念が提唱された。農業技術と環境問題の関係は環境保全型農業の推進のなかで議論されてきた。ただし本格的な検討の歴史は新しく、その嚆矢は92年の「新しい食料・農業・農村政策の方向」である。

環境保全型農業の展開をレビューした西尾[23]によれば、農業生産のもたらす環境負荷について本格的な研究が開始されたのは80年前後である。例えば、環境保全型農業生産における主要な資材である緩効性肥料は50年代後半から開発が進められたが、その目的は長らく施肥効率の向上を通じた経済性の改善にあり、環境保全という役割が付加されるのは90年代に入ってからである。また、資源循環型技術は環境保全型技術を構成する重要な要素であるが、資源循環型技術自体が議論されるようになったのはごく最近のことである。

次に、資源循環型技術の位置づけの変化を施策の動向から整理する⁶。農業の自然循環機能の維持増進、農薬及び肥料の適正な使用の確保、家畜排せつ物等の有効利用による地力の増進等を目的とした環境3法⁷が施行されたのは99年である。これを受けて2003年に公表された「農林水産環境政策の基本方針」では、環境負荷の低減とたい肥を利用した土づくりによる物質循環の促進、環境保全を重視する農業の推進等、環境を重視した農林水産業への移行が掲げられた。そこでは堆肥利用によるふん尿の循環が持続的な農業⁸にとって重要であると強調され、資

⁴ 家畜ふん尿はなんらかの処理をしなければ負の便益をもたらすことから、廃棄物の処理及び清掃に関する法律において産業廃棄物に指定されている。

⁵ 70年代の資源問題における課題は、資源価格高騰にどのように対処するかであり、対策手法としてはエネルギーコスト削減のための資源節約、省エネ技術が選ばれた。環境問題は第一義的にはコスト削減という経済問題であった。

この資源価格高騰を受ける形で、グリーンエネルギー計画(78-87年)が省庁横断的に実施され、農業関連分野では、エネルギー生産や飼料作物の有効利用に関する研究が行われた。しかし、省エネ等の原油価格の高騰をオフセットする技術進歩、86年のプラザ合意による円高及びその後の原油価格急落により、研究の規模は人員・資金ともに大幅に縮小した。

⁶ 2002年に閣議決定(06年改訂)されたバイオマス・ニッポン総合戦略では、地球温暖化防止、循環型社会形成のため、未利用バイオマスとしての家畜ふん尿の循環利用が位置づけられている。

⁷ 環境3法とは、持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律(持続的農業促進法)、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(家畜排せつ物法)、肥料取締法の一部を改正する法律をさす。これらは5年の移行期間を経て2004年より本格施行されている。

⁸ 持続的な農業は、持続的農業促進法において「土壌の性質に由来する農地の生産力の維持増進その他良好な営農環境の確保に資すると認められる合理的な農業の生産方式」と定義され、「化学的に合成された肥料の施用を減少させる効果が高いもの及び化学的に合成された農薬の使用を減少させる効果」が高い技術がそのベースとなっている。

源循環型技術として、たい肥等有機質資材施用技術、有機質肥料施用技術を取り上げている。

一方、環境問題を直接の目的としない施策においても、資源循環型技術への取組がみられる。2004年からの産地づくり交付金制度では、耕種部門と畜産部門の連携による資源循環型農業に対する追加助成が制度化された。資源循環型技術を経営面で支援するという点で、一歩進んだ取組である。ここには、資源循環技術にプラスの評価を与え⁹、それに対して助成が行うという思想がある。また、05年の食料・農業・農村基本計画では、自然循環機能の維持増進の項目が設けられ、資源循環型技術への志向がより明確になった¹⁰。

但し、いずれの施策においても、資源循環型技術の目的は資源循環の達成にあるとされ、資源循環型技術導入に伴う環境負荷発生の可能性や技術の環境影響評価に関する言及はない。これは、資源循環型技術が環境負荷軽減的である保証がないにもかかわらず、望ましいものであると先験的に判断していることにほかならない。

3. 環境影響評価指標

環境に対する各人の考えは多様である。こうしたなかで、資源循環型農業技術が環境負荷を軽減するか、という問いに答えるためには、環境影響評価の指標として、多くの国民が納得し、かつ客観的に計測可能なものを選択しなければならない。本節では国民にとっての最大公約数としての環境問題は何か、また、可測性に優れた環境負荷量はどのようなものかを議論する。

1) 農業技術と地球温暖化問題

農業生産活動の最大の特色は自然生態系を活かして生産を行う点にある。しかし一方で、多くのエネルギー消費を伴う機械化や施設化に対しては油づけ農業との批判が向けられてきた(農林水産省[25])¹¹。最終エネルギー消費に占める農林水産業の割合は、2001年度で2.8%弱とGDPに占める農林水産業の割合1.3%の2倍強に達し¹²、投じられるエネルギーの石油依存度は99%と高いことから、農業生産には化石燃料利用の削減と低エネルギー技術への転換が同時に求められている。他方、08年より京都議定書の第一期約束期間に入り、温暖化ガス排出抑制への社会的関心が高まるなかで、農業生産活動においても温室効果ガス(GHG)排出量の客観的把握が求められるようになった。また、温室効果ガスの発生抑制による持続的な農業生

⁹ 資源循環型技術のあるべき姿に関連して、資材節約型・労働集約型の旧来の農業生産体系が望ましいとの意見もあるが、こうした技術への回帰の主張は伝統的な技術が現在の技術にとって代わられた歴史的事実を無視するものであると考える。水洗トイレの普及と人糞尿の施肥利用の関係がわかりやすい。本研究では、技術は時間に関して不可逆性を有するという立場から、多労を伴う有機農業等の技術の奨励には与しない。資源循環の思想を受け継ぎ、現代型の資源循環技術への模索を続けることが重要である。

¹⁰ 2006年に閣議決定された第三次環境基本計画でも、10の重点分野政策プログラムの第1に地球温暖化問題に対する取組、第2に物質循環の確保と循環型社会の構築のための取組、が謳われている。また同年には、環境と調和のとれた農業生産活動規範(農業環境規範)が公表されている。

¹¹ 農薬や化学肥料の過度の投入も同様にエネルギー消費の要因となる。

¹² この数値は直接の燃料消費のみをカウントしており、資材の生産過程で生じる間接排出は含まない。

産の実現と化石燃料の節減による油づけ農業からの脱却は密接に関連している。以上を勘案すれば、環境指標の基準として GHG 量を選択することは妥当である。

続いて、農業生産と温暖化問題の関係を整理する。温暖化と産業活動の関係は、IPCC において長らく議論が行われ、両者の因果関係に関する議論は 2007 年の第 4 次報告 (IPCC[10]¹³) で決着をみた。そこでは、気候変動の要因は温室効果ガス及び温室効果ガスを排出する諸活動にあると指摘し、温室効果ガスと温暖化には 90% の確率で因果関係があると結論づけている。温暖化と農業生産の関係についても、IPCC[10] では「温室効果ガスの増加は、化石燃料の使用、農業及び土地利用の変化といった人間活動による排出が主な要因」であり、農業生産活動が温暖化の要因であることを指摘している。

地球温暖化の影響を最も受けやすい産業部門は農業である。温暖化の影響は、温度に敏感な果樹において顕著である。杉浦ら[36]が指摘するように、わが国においても果実の着色不良や生理落下、カンキツグリーンング病等の温暖化の被害が確認されている。また、水稻における白未熟粒¹⁴や胴割れ粒の多発生にも温暖化が寄与していることから、他産業と同様に農業においても GHG 抑制技術の開発が重要となる。

2) 環境負荷量の可測性

はじめに国内における GHG (温室効果ガス) の発生状況を簡単にみておく。GHG としては 6 種類が定められている。図 4-3-1 に温室効果ガス排出総量、図 4-3-2 に産業部門別の GHG 排出量を示した。

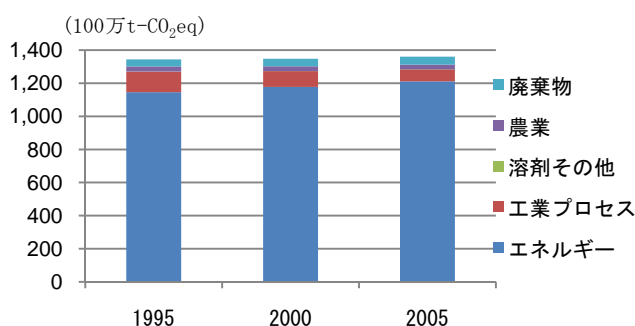
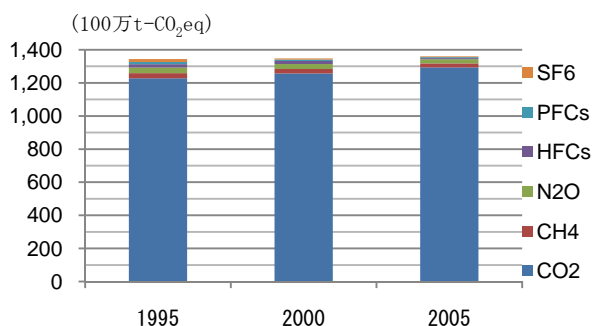


図 4-3-1 日本における温室効果ガス排出量の推移 図 4-3-2 分野別温室効果ガス排出量の推移

資料：温室効果ガスインベントリオフィス編[28]

注：eq は equivalent の略。つまり CO₂-eq は CO₂ 等量をさす。

2005 年度の CO₂ 排出量は重量ベースで 95%、温暖化要因ベースで 60% を占めている。農業の排出は全産業の 2% (2,760 万 t) を占めるに過ぎないが、これは農業生産に必要な資材生産において発生する GHG が含まれないためである。実際の農業分野の総負荷量はこれ以上と推定される。農業生産に関連した GHG には、資材の製造過程で発生する CO₂ の他に、施肥に伴う N₂O、燃料の

¹³ 「1980 年から 1999 年までに比べ、21 世紀末 (2090 年から 2099 年) の平均気温上昇は、環境の保全と経済の発展が地球規模で両立する社会においては、約 1.8℃である一方、化石エネルギー源を重視しつつ高い経済成長を実現する社会では約 4.0℃」に達するとして、今世紀末の温暖化を予想している。

¹⁴ 田植え時期の早期化も白未熟米発生の要因である。

燃焼時の CO_2 、水田の湛水や大家畜の飼養にともなう CH_4 、ふん尿から揮散する CH_4 、 N_2O などがあるが、このうち可測性の高いものが環境影響評価の対象となる¹⁵。

負荷の発生源が点的ならば計測は比較的容易である。しかし、面的に発生するケースでは、計測が物理的に困難¹⁶なばかりでなく、負荷の発生が温度、湿度等の影響を強く受けるために、データの安定性が確保できないといった問題も生じる。白石ら[32]は、成分調整後のふん尿堆肥からの N_2O の揮散量は、最大 $20.08\text{mg}/\text{m}^3$ 、平均 $0.86\text{mg}/\text{m}^3$ と変動が非常に大きいことを指摘している。長田[29]は、 N_2O 、 CH_4 、 NH_3 の揮散に関する原単位は季節、地域で大きく異なることや、データの捕捉性と信頼性にトレードオフが存在することを指摘している¹⁷。また、神田ら[12]においては、土質(黒ボク、グライ土)や採水場所(圃場の中央か縁か)で硝酸態窒素濃度は大きく変動することが指摘されている。以上の問題は、空間に対して開放的である農業生産活動、とりわけ広大な農地を利用する大家畜生産において顕著となる。

農業生産における環境負荷量の可測性に関して福原[8]は「農業分野は、工業分野と異なり、化石資源、土壌、大気等の多岐な要素が組み込まれて」いるため「環境影響評価が確立されていない」と整理している。可測性を厳密に考慮するならば、農業分野における環境負荷量計測の対象物質数は限定的にならざるをえない。環境影響評価において、ある指標の捕捉が重要であっても、数値の計測が困難であったり、莫大なコストを要したりするならば、その指標を用いた環境影響評価は実行不可能となる。データの精緻化は技術的に可能な限り望ましいが、環境負荷の計測のために多くの資材を投入したのでは本末転倒である。

以上の議論をふまえ、本研究ではインプットの局面、すなわち資材投入時点に着目して分析を進める。インプットデータは、圃場・水系段階でのデータと異なり、資材の投入(購入)数量を捕捉することで収集可能であることが理由である¹⁸。なお、酸性化ガスの NO_x 、 SO_x は、寺園[38]らが指摘するように、原単位の頑健性が CO_2 に比べ十分ではない。とりわけ NO_x については、燃料使用時の条件によって排出量のブレが大きくなること、また Fuel- NO_x と Thermal- NO_x の按分が困難であることが指摘されている。後者の問題は、排気ガスの N 分が燃料由来か大気由来かを区別できないことによるが、こうした按分問題は環境影響評価においては常に問題となる。

4. 資源循環技術の評価手法

資源循環型技術に対する評価としては、資源循環は環境に好ましいという漠然とした認識があるものの、具体的な評価データを伴ったものは多くない。農業生産をとりまく環境要素が多様で計測困難な場合が多いためである。そこで前節では選択の根拠を示しつつ、環境要素の絞り込みを行った。その結果、国民的関心の大きさから環境問題として地球温暖化問題を、可測

¹⁵ 次章の分析では、資材生産や燃料消費に伴う CO_2 と施肥により生じる N_2O を対象としている。

¹⁶ 畜産の悪臭問題に関しては、ウインドレス鶏舎の採卵鶏と草地型酪農が、水質問題に関しては施設型の養液栽培と通常の露地栽培が可測性の両極をなす。

¹⁷ 堆肥処理過程の温暖化ガス計測において、気体収集の正確さを期して完全な閉鎖系空間をつくった結果、堆肥発酵処理自体が進まない現象が生じる(長田[30])。

¹⁸ van der Werf[40]は、インプットに着目した指標を mean-based indicator、アウトプットに着目した指標を effect-based indicator と区別している。

性の観点から環境負荷物質としては CO_2 と N_2O を取り上げることとした。事実、地球温暖化問題への関心の高まりを背景とし、農林水産省では現在、ライフサイクルで発生する CO_2 量の農産物への表示を検討する等、農業生産活動にともなう温暖化への影響が議論されている¹⁹。

本節では、環境影響評価手法としてISO(国際標準化機構)の14040 シリーズで規格化されているライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment:以下LCA)を取り上げ、その概略を説明する。1)では、LCAの現段階を紹介し、2)では分析手法の特徴を整理する。3)では評価、計測における留意点を指摘し、4)では資源循環型技術を対象としたLCA研究のレビューを行う。

1) LCA²⁰の構成と研究の現段階

環境影響評価手法の望ましさは、生産活動に伴い発生する環境負荷量をいかに捕捉できる度合いに依存する。捕捉率を高めるためには、生産活動の全過程(ライフサイクル)を分析対象としなければならない。LCAが適切な評価手法とされるゆえんである。

LCAの構成を図4-4-1に示す。

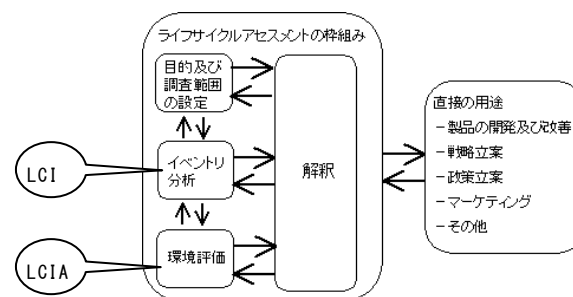


図 4-4-1 LCA の構成について (ISO14040)

LCAは、目的及び調査範囲の設定、インベントリ分析(ライフサイクルインベントリ分析)、影響評価(ライフサイクル影響評価)、解釈(ライフサイクル解釈)の4つの段階で構成され、製品の生産から消費、廃棄といった一連の過程における負荷が計測される。段階毎に解釈を加え、モデルを修正するところに特徴がある。

LCAの中心は、GHG等の環境負荷量を計測するLCI(Life Cycle Inventory)分析である。環境

¹⁹ 類似の手法に、エコロジカルフットプリントがある。これは、農業生産活動による環境負荷を面積で表示し比較する手法であり、エネルギー量の場合80GJ/yearが1haで換算される。和田[42]は、施設栽培トマトと露地栽培トマトを比較し、単位生産物当たり必要な物理的面積は前者が小さいが、投入資材を面積換算した場合には、後者が3倍程度大きくなることを示している。

²⁰ (社)未踏科学技術協会[34]、稲葉ら[10]を参考にLCAの歴史を整理する。

1969年のMidwest研究所におけるリターナブル瓶と飲料缶の環境負荷の比較が最初のLCAと言われる。しかし、その後の環境問題の関心が公害分析に移ったために研究は縮小した。再びLCAが注目を集めるのは80年代以降であり、84年にBUWAL(Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft)において、包装用材の比較研究等が行われた。また、91年にオランダのライデン大学がLCAマニュアルを発表したことで手法の普及がすすんだ。日本では、化学経済研究所から製品に着目したインベントリ分析に関する報告書[32]が出されたが、社会的関心が低かったこともあってLCA研究は進まなかった。80年代後半からは産業連関表を用いた評価が建物の建設過程の負荷を中心的に実施された。91年には、プラスチック協会がプラスチックの負荷について研究成果をまとめた。これは製品評価に関する最初の研究である。また、90年代後半には人間の被害算定等のendpoint型の環境影響評価が実施され、DALY(Disability Adjusted Life Year)に代表される人間の生活の質に着目した分析が実施された。

負荷が人間や生態系に及ぼす影響を分析したものは、通常 LCIA (Life Cycle Impact Assessment) と呼ばれ LCI 分析とは区別される。インベントリ分析では、各プロセスにおける資源やエネルギーの投入と環境負荷や廃棄物の排出フローを示したライフサイクルフロー図を作成し、分析枠組みを構成する。次に、モデル化された製品システムにおける投入と産出について、妥当性や整合性を検証しつつデータを収集し、集計する。以上の手続きにより、製品のゆりかごから墓場まで (from cradle to grave) の環境負荷量が計測される。

システム境界は評価者が評価目的に応じて任意に設定する。これまでの研究では、製品の出荷段階まで (from cradle to gate) を扱う研究がほとんどであり、廃棄工程まで (from cradle to grave) を評価したものは少数である。消費財の廃棄工程の計測が困難なためである。図 4-4-2 にはサツマイモ生産を例としたマテリアルフローとシステム境界が描かれている。

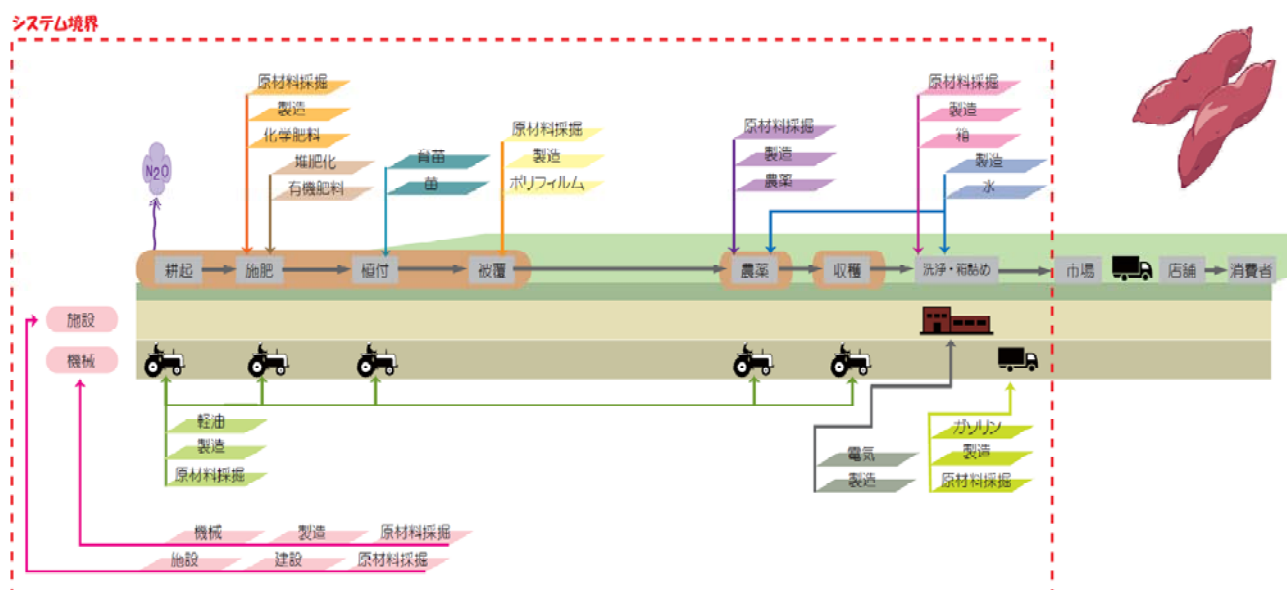


図 4-4-2 サツマイモ生産におけるシステム境界の例

資料：中島隆博ら, LCA の実習, 平成 20 年度農研機構都道府県職員短期集合研修, 2008.

各生産プロセスにおける生産投入資材、資本の減価償却等をカウントすることにより生産活動にともなう環境負荷の総量が計測できる²¹。なお図では農家の庭先段階までを対象としているが、データが捕捉可能な限り、システム境界は拡張可能である。分析範囲を出荷段階までとすることに手法上の問題はないが、こうした任意の分析範囲の設定に対しては、工場や企業の内部のみを対象としたのではプロセス全体の負荷が不明であるとの批判がなされている²²。小澤[31]は炊飯と食パンの GHG を比較し、市販されているコメと食パンでは、単位カロリー当たりのエネルギー排出量は食パンが大きい、コメにおける炊飯、食パンにおけるトーストといった調理過程まで含めると、コメの負荷が大きくなると指摘している。これは、評価結果がシ

²¹ 理論上は原材料の採掘過程における負荷量もカウントされる。

²² 廃棄過程を考える。エコマークやグリーンコンシューマーの認定は、廃棄に関しては適正に廃棄物を管理し、産業廃棄物業者に処理を委託することのみが条件となる。このとき仮に、その廃棄物業者が不法投棄等の社会的に不適切な行動を取ったとしても、エコマークやグリーンコンシューマーの認定には何ら影響はない。

システム境界の取り方に依存する例である。

既に指摘したように、農業部門を対象としたLCAは一般製造業部門と比べ難しいとされる。一般製造業では工場内部で系を閉じることができるが、開放系である農業生産では、温度等の要因を制御することが困難なためである。農業分野のLCA研究は1998年度以降行われているが²³、検証に耐えうるデータ収集が困難なため、その進展は十分とは言えず、現在でも原単位の確立が最大の課題とされている。

2) 積み上げ法と産業連関分析法

(1) 両手法の長所と短所

LCAは積み上げ法と産業連関分析法に大別される。積み上げ法は、全生産過程の資材投入量等を詳細に分析することで、文字通り環境負荷量を積み上げていく手法であり、環境負荷の計測範囲は一定領域(主に圃場)に限定されることが多い。産業連関分析法は産業連関表を利用する手法であり、環境負荷発生領域は圃場に限定されない。

両手法の長所と短所を表4-4-1にまとめた。一方の長所はもう一方の短所であることから、以下では産業連関分析法に着目し、長所と短所を整理する。

表4-4-1 両手法の特徴

	産業連関分析法	積み上げ法
負荷量の計測	金額データをベースに、産業部門間での環境負荷因子のやりとりを推定	生産プロセスでの資材利用量をベースに環境負荷因子を計測
長所	間接的な負荷量が推定可能	個別要素毎に負荷量が分析可能
	数量ではなく金額データ(調査コスト低)	四則演算の範囲内で計測可能
短所	細かな部門毎の相違に対応できない	間接的発生量の測定が困難
	産業連関分析の理解が必要	投入量の詳細な調査(調査コスト高)

産業連関分析法の長所としては、1. 生産過程で間接的に発生する環境負荷量が容易に推計可能である点、2. 資材投入量を金額で表示可能な点があげられる。生産費調査等の統計資料及び個々の生産者の収支報告データを用いることで、川上の産業活動を含む環境負荷量が計測可能となる点が産業連関分析法の長所である。

反面、短所としては、分析単位が産業連関表の部門に限定されるため、細かな生産プロセスに対応できない点があげられる。肥料Aと肥料Bを同額だけ使った場合、通常、AとBの成分・製法には違いがあるためそれぞれの環境負荷量は異なる。積み上げ法では、実際の工場等の調査データにより肥料生産の負荷を明らかにすることができるが、産業連関分析法では、AもBも同

²³ これまでの研究成果は、農業環境技術研究所[24]にまとめられている。第1期LCAプロジェクト(1998-2002年度)では、大気汚染物質やエネルギーのデータを、温暖化エネルギー、温暖化土壌収支、窒素濃度、廃棄物、農薬といった分野毎に集計し、慣行栽培と新技術の比較を行っている。評価対象は、水稻直播、トマトの施設栽培、簡易耕起栽培、キャベツの機械化体系等である。いずれの技術においても、新技術が概ね環境負荷軽減的であるとされた。

増田[17]は、農業分野における近年のLCA研究をまとめている。研究件数はふん尿処理に関する農業廃棄物処理、飼料作、畜産全般の順に多いこと、また畜産関連が最い理由としては、ふん尿による環境問題の発生が指摘されている。

じ肥料ととらえるために、負荷量は同じとみなされる。但し、積み上げ法によって肥料や農薬の負荷量を計測するためには多大なコストを要する²⁴。小林[14]は肥料を例として、積み上げ法によるインベントリ分析に必要なデータとコストがいかに膨大かを示している。また、Woods et al. [41]は積み上げ法、産業連関分析法の比較を扱った定量的研究であるが、生産工程を不完全にしかトレースできないことを積み上げ法の欠点としている²⁵。

両手法の使い分けに関して森本ら[19]は、詳細なデータが入手可能な個別製品の分析では積み上げ法が、また生産システムのような多くの生産物や生産要素を含む場合には産業連関分析法が適していると整理している。複数の生産物を含む資源循環型技術のケースでは、産業連関分析法がふさわしいといえる。

(2) 産業連関分析法

数式を用いて産業連関分析法にもとづく環境負荷計測手順を整理する。産業連関分析法では、産業部門間での投入産出構造における財・サービスのやりとりを基に、各部門においてどれだけの環境負荷因子が発生したかを計測する²⁶。

農業生産活動によるGHG排出量は、生産過程で直接、間接に誘発される量 C_m と、生産過程での燃料使用により直接発生する量 C_f の和となる。また、これらに施肥による N_2O (施肥量*発生比率*温暖化係数)が加えられる²⁷。 C_f は各種燃料の排出原単位と燃料使用量の積和であり、 C_m は産業連関分析によって計測される。各産業部門における排出原単位ベクトルを E_m 、最終需要としての生産資材投入ベクトルを F_m 、産業連関表の投入係数表を A 、単位行列を I とすれば C_m は

$$C_m = E_m[I - A]^{-1}F_m$$

で示される²⁸。

C_m は当該農産物の生産過程で発生した直接、間接のGHG量に相当する。ここでの「間接に」

²⁴ 以下は筆者らによるインベントリデータの収集例である。ある有機肥料のインベントリ収集にあたって、肥料製造者である愛知県豊橋の業者を訪問した。そこで、工場内の製造工程のインベントリデータを収集した。原料のチキンミール・フィッシュミールは、それぞれ青森と静岡の加工場で処理されたとの情報を得、八戸と焼津の工場を調査し、製造工程のインベントリデータを収集した。八戸では、チキンミールの原料は東北6県の養鶏場から収集していたことが明らかになったが、これは養鶏場の位置の確認と養鶏場の代表例の調査を必要とする。こうした段階を全て調査するのがインベントリ分析である。

²⁵ オーストラリアの有機農業を対象としたWoods[41]では、積み上げ法により生じる切断誤差(truncation error)は総排出量の50%に達することが示されている。その上で、有機農業と慣行農業の比較において積み上げ法を用いた場合、機械製造の間接排出に関する切断誤差のために負荷削減効果が過小評価され、その結果、積み上げ法を用いた削減効果は産業連関分析法よりも小さくなることを示している。

²⁶ 投入係数は短期では一定に固定されている。こうした産業連関分析で用いられる技術構造の諸仮定については、新飯田[22]を参照のこと。

²⁷ 資源循環型生産システムでは、ふん尿堆肥の利用により化学肥料が削減され、その結果 N_2O の揮散量が減少する。但し揮散量は気温、耕起法、圃場残渣の取り扱いによって大きく変動することが古賀[15]によって指摘されている。IPCC第4次報告では、水田における施肥由来の N_2O 揮散割合(0.31%)もデフォルト化され、水田の N_2O 揮散量が評価可能となった。なお、IPCCの基準では化学肥料も有機質肥料も、窒素成分当たりの N_2O 揮散割合の原単位は等しく設定されている。

²⁸ 輸入係数行列を M 、産業構造が競争輸入型とすれば、

$$C_m' = E_m[I - (I - M)A]^{-1}F_m$$

として国内でのGHG排出量が得られるが、地球温暖化は国境を越えた問題であることから競争輸入型の分析は適当ではない。GHGの発生が日本であれ外国であれ温暖化は等しく生じると考えられる。

とは、当該財生産に投入される原材料を供給する部門での排出が含まれることを意味する。**Em**は各部門が単位数量の生産活動がもたらすGHG排出量であり、排出原単位と呼ばれ、通常は産出額100万円当たりで示される。この**Em**は、産業連関表の物量表をもとに各産業における燃料(ガソリン、石炭、都市ガス等27種類)使用量から推計される。但しその際、原単位の精度向上や不突合調整に多大な労力を要することが南齋ら[21]に示されている。

3) LC-CO₂の計測

LC-CO₂とはライフサイクルで発生するGHGをCO₂量で換算する手法ないし換算されたCO₂量を意味する。本章では、資材の製造、運搬工程、原料の採掘、また燃料の燃焼工程などの局面で生じるCO₂と施肥過程で生じるN₂Oを温暖化係数を用いてCO₂換算したものの和がLC-CO₂として計測される。以上から、本研究では「燃料の直接燃焼によるCO₂+資材の生産過程で生じる直接・間接のCO₂+施肥によるN₂O」を環境負荷量とする。IPCCの基準に従えば、LC-CO₂はCO₂重量+N₂O重量*310で示される。

以下の分析では、GHGの絶対量ではなく変化量に着目している²⁹。重要なのは、新技術導入や技術革新によるGHG量の増減である。農業生産振興と環境負荷軽減の両立を重視するならば、大家畜の腸管や水田から発生するCH₄のように、農業生産において不可避に生じるGHG量を議論することは不要である。負荷の絶対量を重視する立場から得られるGHG削減に関する最適解は「農業生産をやめる」であるが、これはナンセンスである。

そこで次章の分析では、資源循環型技術の導入前後で乳牛の飼養頭数や水田面積を一定と仮定することで、これらに関連するCH₄量は技術導入前後で変化しないとし、CH₄の計測の問題を回避している。田面や牛の腸管からのCH₄についてはその大きな温暖化効果が問題となっているが、前者については湛水状態が長い水田では炭素動態³⁰の計測自体が困難であることを谷山ら[37]が、後者については排出原単位が頑健でないことをWoods[41]が指摘している³¹。このほか、土地利用の変更にとまなうGHG排出も重要な要素であるが、研究途上にあることから分析対象とはしなかった。

LCAにおけるもう一つの問題は評価単位である。生産物を単位とするか、農地面積を単位とするかで結果が異なる可能性がある。これは機能単位(functional unit)の選択問題として知られている。Hayashi[6]は、園芸を対象に有機栽培と慣行栽培を比較して、面積当たりの負荷は前者で小さいが、生産物当たりの負荷では大小関係が逆転することを明らかにしている。コメ

²⁹ バイオマス等の新技術においては炭素量の増加(carbon-positive)を目指した研究が進められている。なお、わが国の高温多湿という気候条件、狭隘な国土という資源賦存条件を勘案すれば、炭素を蓄積する栽培技術の成立は困難といえる。

³⁰ 炭素動態に関する近年の研究例を整理する。古賀[16]は「土壌では土壌有機物の分解・蓄積によるCO₂の発生・吸収、N₂O発生やCH₄の吸収など土壌微生物が関与する減少が同時に起きている」として、土壌の炭素隔離(carbon sequestration)能力の重要性を指摘し、当該能力を計測している。Fargione et al. [4]は、資源作物を栽培のために熱帯雨林の開墾を行うならば、土中から多量のCO₂が発生し、このCO₂をペイするのに300-400年かかることを指摘している。また、Antle et al. [1]は、Centuryモデルと計量経済モデルを組み合わせ、土壌の炭素固定能力と炭素価格との関係を考察しているが、炭素率の空間的な不均一性にとまなう予測誤差の大きさを問題としている。

³¹ 現在、畜産分野では、エサの給与方法等によるCH₄削減技術、稲作分野では圃場管理によるCH₄抑制技術の研究が進められている。CH₄が評価対象となるのはこうした技術の導入時である。

とムギの CO₂ 排出量においては、農産物販売金額を単位とすると、排出量はコメ 1 に対しムギ 1.78 とムギが大きい。しかし、生産重量を単位とするとコメ 1 に対しムギ 0.99 と排出量はほぼ同量となり、さらに面積を単位とすると、コメ 1 に対しムギ 0.61 と金額を単位にしたケースとは反対にコメの排出量が大幅に大きくなる (Ono et al. [26])³²。

このように LCA においては、機能単位の取り方によって環境負荷量の数値が変化し、負荷量の序列が変化する可能性があることに留意が必要である³³。最も望ましいのは、面積でも生産物でも (金額ベースでも) 負荷軽減となる技術であるが、こうした技術は多くはない。単位によって評価数値の大小が入れ替わる場合、どちらの技術が好ましいかを決定するのは研究者ではなく社会である。LCA に求められるのはこうした社会の判断に資する確かな情報提供である。

4) 資源循環システムの評価に関する研究

ここでは資源循環型技術に関する LC-CO₂ 研究の動向を整理する。菅ら [35] による故紙リサイクル分析では、リサイクルによりシステム全体の環境負荷は軽減するが、バージンパルプを利用しないことで、化石燃料の消費量はリサイクルにより増加することが指摘されている。バージンパルプ使用時には副産物であるパルプ黒液を燃料として利用できるが、リサイクル時にはパルプ黒液相当の化石燃料が別途必要となるためである。また、池田ら [9] による鉄くずリサイクル分析、布施ら [5] による自動車リサイクル分析等では、産業連関表を拡張し、修正を加えることによって資源循環技術、リサイクル技術の環境負荷量が計測されている。

このように、LC-CO₂ 研究は主に工業分野で実施されてきた。複数作目・複数経営を対象とする資源循環型農業技術では扱うデータが広範囲に及ぶことから研究は盛んではなかったが、バイオマスへの関心が高まるにつれて、バイオマス資源循環技術を中心に LCA が実施されている³⁴。我が国における研究は端緒についたばかりであり、試験プラントレベルでのデータはあるが、

³² Ono et al. [25] では稲作経営の大規模化による環境負荷軽減効果も計測している。コメの単位生産物当たり CO₂ 排出量を小規模層 (0.5~1.0ha) と大規模層 (5.0~10ha) で比較し、前者 100 に対し後者は 1995 年で 85、2000 年で 64 となっていることを明らかにした。

³³ 同様の問題は先に指摘した温暖化係数でも発生する。温暖化係数は CO₂ と N₂O の温暖化効果の統合に用いられるウエイトであり、排出量 1 単位の 100 年後の温暖化効果は、CO₂ のそれを 1 としたとき N₂O は 310 である。但し 20 年後では、両者の比率は 1:280、500 年後では 1:170 とウエイトは変化する。これは、ある技術の評価したときの GHG 発生量の大小が、評価期間の取り方によって逆転する可能性があることを意味する。技術 A の CO₂ と N₂O の発生量が 100 と 1.1、技術 B のそれが 140 と 1 の場合、100 年後の温暖化効果は技術 A (100+341) > 技術 B (140+310) であるが、20 年後では技術 A (100+308) < 技術 B (140+280) と大小が逆転する。

³⁴ Tilman et al. [39] は、野生草の混植を対象とした生態系の多様性と環境影響評価に関する研究であるが、生物多様性を確保しながら野生草を栽培すると、その高い C 固定能力によって野生草栽培に要する化石燃料の 13 倍の C を固定できるとして low-input high-diversity (LIHD) 栽培を推奨している。但し、既存の食料生産に負の影響を与えるトウモロコシ等のバイオ燃料作物に対してはとして批判的である。Heller et al. [7] はヤナギのバイオマス生産システムの評価から、ヤナギのエネルギー産出量が生産にかかるエネルギー量の 55 倍に達するとしている。原野の開拓によるスケールメリットを評価の前提としているが、取り付け道路等の必要性や道路建設にともなう負荷をカウントしていない点が問題である。Crutzen et al. [2] は、新たにナタネやトウモロコシを栽培することは、温暖化にはマイナスであると指摘している。多くの窒素分を必要とするバイオ燃料作物生産では、栽培時に N₂O が大量に発生するためである。具体的には、バイオ燃料生産によりナタネでは 1-1.7 倍、トウモロコシでは 0.9-1.5 倍の GHG が発生することから、軽油ないしガソリンを消費した方が環境負荷が少ないと結論づけている。

実機レベルや生産現場レベルでのデータ蓄積は少ない。小野ら[27]は、ナタネ栽培の資源循環システムの環境影響評価を行い、日本におけるナタネを用いたバイオディーゼル燃料生産は、極めて効率的な回収システムを構築しない限り環境負荷を増大させるとしている。また Masuda et al. [17]では、北海道産規格外小麦とブラジル産サトウキビのエタノール生産における LC-CO₂ を比較し、前者は後者より効率は劣るが、ガソリン利用よりは効率が良いことを明らかにした。

次に、資源循環型技術の LC-CO₂ において問題となる環境負荷量の按分問題を検討する。1つのアクティビティで複数の財が生産されるケースでは、環境負荷や廃棄物をどの財にどれだけ帰属させるかという問題が必然的に生じる。このとき一定の基準によって負荷が各生産物に配分されなければならないが、どのような基準で配分するかで結果は大きく異なる。例えば、負荷を食用米とくず米でアロケートするケースでは、重量ベースと金額ベースでは結果に大きな差が出るだろう。

堆肥利用を含む資源循環システムの環境影響評価においては、副産物としてのふん尿の取り扱いが重要となる。築城[13]は、副産物の扱いについて、以下の3つの考えを示している。1つめは副産物を主産物と同様に扱うというものであるが、牛を解剖しふん尿発生メカニズムを生物工学的に明らかにすることは困難であり、ふん尿のインベントリの作成は現実的ではない。2つめは重量比による按分である。重量按分は小麦のふすまのように比重・量において主産物との較差が存在するケースでは有効である。しかし、ふん尿は生乳以上に発生するため(通常、生乳 30kg に対しふん尿 60kg)、重量按分的前提をおくと、酪農家はふん尿のために多くの飼料やエネルギーを使うという本末転倒な結論が得られる。3つめは経済的価値、つまり金額による按分であり、築城[13]はこの方法が現実的であると指摘している。本研究でもこの立場をとる³⁵。この金額による按分は、産業連関分析における円価値単位³⁶の考え方に従っている。すなわち、ある生産活動の結果 9,000 円の食用米と 1,000 円のくず米が得られるケースでは、価格 1 円のコメが 10,000 単位生産され、それが食用米として 9,000 単位、くず米として 1,000 単位生産されたとみなすのである。このとき、10,000 円分の生産活動で発生した環境負荷は、食用米に 9 割、くず米に 1 割アロケートされることになる。

以上から、本研究における環境負荷軽減的農業生産技術とは「農産物 1 単位の生産時に排出される GHG 量を、従来技術よりも軽減する技術」と定義される。

5. 小括

資源循環型農業技術の評価は、これまで農業経営に及ぼす効果を中心に実施されてきた。ここでは副産物利用による飼料コストの低減、堆肥利用による化学肥料の節減、有機物利用による農産物の高付加価値化の実現等に焦点が当てられた。農業生産の増大、農業経営の改善が新技術導入の目的であるならば、この基準は十分な妥当性を有していたといえる。しかし、近年

³⁵ 次章の分析でも、ふん尿の実質価格はゼロとし、酪農生産資材(電気、燃料、濃厚飼料等)にともなう負荷はふん尿には按分していない。

³⁶ 価額表示の産業連関表を、価格を 1 円とした物量表と見なす考え方である。

環境負荷軽減が重視されるにつれ、資源循環型農業技術の評価において環境影響評価は不可欠のものとなっている。産業活動の環境影響評価は、主に工業部門において議論及び手法の展開がみられた。農業部門においては、空間に対してオープンであるという農業の特質のために環境負荷因子の計測自体が困難とされ、これまで十分な議論は行われなかった。

以上をふまえ本章では、資源循環型技術の環境影響評価実施上の課題を包括的に議論した。

はじめに、農業分野においても温室効果ガス排出量の定量化が課題となっていることを整理し、社会の受容性と可測性の観点から CO_2 と N_2O を取り上げることが妥当であるとした。次いで、これらの負荷物質の計測手法として LCA を取り上げ、LCA 実施の留意点等を整理した。分析に際しては、現状の生産を維持しつつ環境負荷物質を削減することが課題となることから、農業生産活動による環境負荷量の絶対量ではなく、新技術導入による環境負荷量の変化に着目すべきことを指摘した。

次章では、資源循環型農業生産システムを対象として、新技術の導入ないし当該技術の進歩により環境負荷量がどのように変化するかを計測する。ここで資源循環的＝環境負荷軽減的と短絡してはならない。Defra[3]は、資源循環型の有機酪農は慣行酪農より環境負荷軽減的か、という問いに no と回答している。具体的には有機酪農生産には小規模なものが多いために輸送等の負荷が大きく、資源効率が慣行農業を下回る結果、環境負荷が2割増大することを指摘している。環境影響評価によって、時に常識は覆される。こうした点の検証のためにも農業技術の環境影響評価は必要である。

第5章 環境影響評価の実際－耕畜連携システムのLC-CO₂－

1. はじめに

農業技術は特定の問題に対処することを目的として開発される。悪化する農産物交易条件のもとでは高付加価値、低コスト、高収量が、環境問題への対応が求められ、減農薬・減化学肥料、生態系保全、資源循環が技術開発のキーコンセプトとなる。近年、環境問題への関心が高まるなか、農業分野においても副産物や廃棄物のリサイクル利用、カスケード利用をベースとする資源循環型技術に期待が寄せられている。

ところで、資源循環型技術は環境負荷軽減の有効な手段であるにもかかわらず、新技術の導入により環境負荷量が増大することがある。一見するとパラドキシカルにみえる現象は、マテリアルリサイクル自体が最終目的となり、その過程で発生する環境負荷量に十分な関心が払われないケースで発生する。資源循環は手段にすぎない。このシンプルな事実は循環型社会に関する定義にも見られる。2000年制定の循環型社会形成推進基本法¹において、資源循環型社会は「適正に循環的な利用が行われることが促進され(中略)、もって天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会」と定義されており、資源循環自体はあくまでも手段として位置づけられている。しかし、一部には無定見な資源循環・リサイクル信仰による手段の目的化がみられる。これらに対しては、資源循環型技術の環境負荷軽減(増大)効果を数値で示す科学的態度が必要となる²。そこで本章では、資源循環型農業技術の環境影響評価を実施し、どのような技術であれば環境負荷軽減的となるかを検討する。具体的には飼料イネ耕畜連携システムをとりあげ、生産システム全体のLC-CO₂分析を行う。飼料イネ耕畜連携システムの導入目的は、粗飼料増産³、生産調整水田の有効利用⁴、ふん尿堆肥の圃場還元によるふん尿処理にある。これら3つはいずれも現下の農業生産における重要な課題である。

本章の構成は以下の通りである。次節では、飼料イネ生産システムの概略を整理し、環境影響評価に必要な生産体系のモデル化を行う。第3節では分析シナリオを提示し、あわせて輸入乾草について排出原単位を推計する。この輸入乾草のLC-CO₂量は、耕畜連携システムの分析において重要となる。第4節では複数のシナリオに基づく耕畜連携システムのLC-CO₂が示される。

¹ 法第7条では資源の循環的な利用及び処分の基本原則が定められている。①発生抑制(リデュース)、②再使用(リユース)、③再生利用(原材料利用：マテリアルリサイクル)、④熱・エネルギー回収(サーマル・リサイクル)、⑤適正処分の5つである。本章で扱う家畜ふん尿の利用技術は①と③、生産資材の削減技術は①に該当する。また、第2次循環型社会形成推進基本計画(2008)では、「低炭素社会」「自然共生社会」「循環型社会」実現のために、3R(Reduce, Reuse, Recycle)運動の推進と並んで環境負荷量の定量化の推進が目標に掲げられている。

² リサイクルに対する批判は根強く存在する。熱力学第二法則の観点からそもそもリサイクルは成立しないとする槌田[47]などがある。

³ 粗飼料を対象とした理由は、国内における濃厚飼料生産は十分な意義があるものの、生産拡大の実現性が低いためである。現時点における国内の濃厚飼料自給率は10%、内訳は6割が糟糠類、残りは魚粉等であり、飼料穀物の栽培はほぼゼロである。

⁴ 水田経営における最重要課題の一つが生産調整問題であることは論を待たない。水田面積の4割に達する生産調整と担い手の減少は、水田の不作付面積の増加をもたらす要因となっている。不作付田は2005年度には13.9万haに達し、農地の荒廃、耕作放棄地の増加が懸念されている。

本章の副次的なねらいは、技術開発目標の現実的妥当性の検討にある。圃場における生産効率が低水準にとどまるならば、当該技術の導入は環境負荷量を従前に比べて増大させる可能性がある。実現可能性の低い技術目標は、研究所における想定値と生産現場の実績値との乖離をもたらす。飼料イネに関するこうした問題は補論で検討する。なお、本章での環境影響評価の対象は、温暖化ガス排出量 (GHG)⁵に限定していることを断っておく。

飼料イネに関する環境影響評価は、CO₂に着目した小野ら[29]が最初のものである。その後、家畜飼養における環境負荷に着目した荻野ら[26]の研究もみられるが、資源循環型技術の LCA 研究はふん尿処理に関わる原単位の作成を中心に実施され、耕畜連携システム全体を対象とした環境影響評価は少ない。本章の分析の特徴は、CO₂に加え N₂O を対象とすることで化学肥料の削減効果を明示的にカウントした点、輸入乾草の原単位の試算を行うことで乾草代替の GHG 削減効果を分析した点にある。

2. 飼料イネ耕畜連携システムの構造

畜産農家と稲作農家の連携による飼料イネ生産は、水田の有効利用、飼料自給率の向上、水田へのふん尿堆肥還元による資源循環を通じ環境負荷低減をもたらすとして注目を集めている。

飼料イネとはどのようなものかを整理する。飼料イネは、ホールクロップサイレージとして利用するイネをさし、子実を利用するものは飼料米⁶と呼ばれ飼料イネとは区別される。表 5-2-1 に飼料イネと飼料米の違いを示した。飼料米普及の最大のネックは、流通段階での識別性である。食用米価格との差が 2~3 倍のふり下米の食用への不正転用が問題視されるなかで、価格差が 6 倍以上あるとされる (主食用 25 万円/t に対し、飼料用 4 万円/t) 飼料米の全国的な生産・

⁵ もう 1 つの環境問題である窒素循環について整理しておく。飼養頭数拡大に伴う家畜ふん尿の増大は、ふん尿ないし堆肥に含まれる窒素分が還元可能量を超えた地域では深刻な環境問題をひきおこしている。生物系廃棄物リサイクル研究会[32]の推計によれば、家畜ふん尿の年間発生量は 1 億トン弱と膨大であり、また発生量の偏在が問題とされている。循環型社会形成推進基本法は家畜ふん尿問題への対策として、①家畜ふん尿の発生抑制策、②堆肥、飼料化等による再生利用、③熱・エネルギー回収 (バイオガス、炭化等) 等の技術開発を挙げている。①に関しては、フィターゼ添加技術が一定の効果をあげている。武政[43]は、フィターゼを鶏の飼料に添加することによって、リン分の排出が 15-30%削減されることを明らかにした。但し、酪農においてはふん尿量の抑制が生乳量の減少、すなわち売上げの減少を結果するため、ふん尿抑制型技術導入のインセンティブは中小家畜ほど大きくはない。また、③については、バイオガスプラントが全国各地に設立されているが、スラリー処理、消化液の処理における技術的問題、低売電価格によって、十分な収益を上げている事例は少ないことを市川ら[9]は指摘している。原料、土地の面で比較的設置が容易な北海道においてさえ、冬期凍結の問題があり稼働は十分でない。石川[10]は、現在の売電価格では経常収益はマイナスとなるため、ふん尿処理負担金を酪農家が継続して支払う必要があることを指摘している。

本章では、②の堆肥化による資源の再生利用の観点からふん尿問題を検討している。但し、ふん尿の堆肥化と農地への散布が可能としても、西日本を中心に窒素過剰となることから、堆肥利用による資源循環には批判も大きい。関連して干場[8]は、そもそも日本での家畜飼養頭数が多すぎるとして、増頭ないし高泌乳追求型技術から転換すべきことを提案している。西尾[20]は、1993 年以降のふん尿過剰傾向を指摘し、堆肥化過程における揮散を考慮しても日本全体では窒素量が耕地の受け入れ可能量を上回ることを明らかにした。

⁶ 生産調整にカウントされる飼料米生産は 2007 年度 286ha、うち庄内が 133ha と 5 割弱を占める。最大の飼料米生産地域である遊佐町の助成例をみると、産地づくり交付金は 10a 当たり 2007 年度で 50,500 円、2008 年度は 41,500 円と他の転作作物と比較して遜色ない水準に設定されている。

流通のためには、流通段階における相当程度の監視コストが必要と考えられる。

表 5-2-1 飼料イネと飼料米の比較

	飼料イネ	飼料米
運搬	難 (運搬ロス多い、輸送コスト高)	易 (運搬ロスなし、輸送コスト低)
保存性	やや難 (調製・輸送時のカビ発生)	易 (通常の飼料と同じ)
対象畜種	限定的 (粗飼料として大家畜のみ)	限定なし (全畜種で可)
品質	一定せず (水分調整が難しい)	一定 (通常の食用米と同様)
生産コスト	低一高 (専用収穫機が高コスト)	低コスト可 (機械の操業度上昇)
識別性	易 (食用種の場合はその限りでない)	非常に難 (隔離・モニタリングコスト大)
代替飼料との価格差	大 (購入乾草の1.5～3倍)	極めて大 (トウモロコシの5倍)

資料：小野[28]

1) 飼料イネの生産動向

(1) 作付面積・政策の展開

図 5-2-1 に生産動向を示す。1980 年代、水田の転作的利用が検討された中で飼料イネ生産は一時数百 ha に達した。ただ、生産の重点は飼料イネではなく、飼料米におかれていた⁷。この点に関し荏開津[3]は、転作廃止により米価は 3 割程度の低下するものの、転作奨励金の削減分を飼料米の買い上げに充てることで飼料米生産は十分可能であることを指摘している。その後、助成の削減とともに面積は減少し 93 年度の生産はわずか 19ha となった⁸。

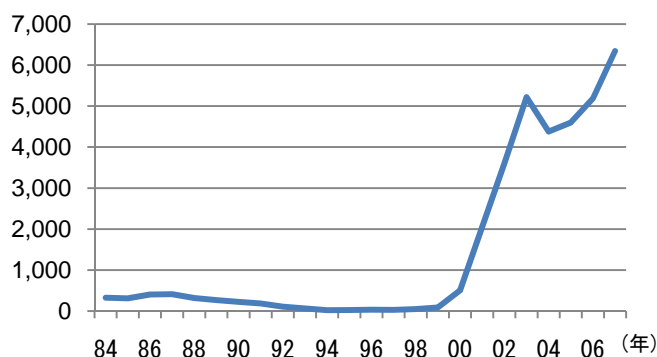


図 5-2-1 飼料イネ栽培面積推移 (ha)

資料：農林水産省畜産部、生産局飼料課資料

2000 年度以降、水田農業経営確立対策において耕種農家への助成(最大 7.3 万円/10a)⁹が実

⁷ 飼料米に関する研究プロジェクトとしては 50%の単収増を目指す計画が農林省を中心に実施された。当初の目標が達成されたとはいえないが、近年開発された飼料イネ専用種にはこのときの研究成果が生かされている。また、耕畜連携システムについては、1978 年から地域農業複合化研究が行われ、飼料米による耕畜連携システムが検討された。

⁸ この時期の飼料イネは、冬野菜・たばこ生産のためのクリーニングクロップや圃場整備後の地力回復のための作物として作付けられていた。

⁹ 緊急総合米対策において耕種農家に対する政府の助成は最大 9.3 万円となった。2001 年に筆者が調査した青森県六戸町では米作自体が縮小した結果、水田の 6 割が飼料イネとなった集落もあった。このほか、助成の総額が 11 万円を超えた自治体もあった(茨城県茨城町)。

施され、また畜産農家にも助成(2万円/10aの給与実証事業)が行われたことで、面積は2000年度500ha、01年度2,300ha、03年度5,200haと急増する。湿田でも作業可能なクローラタイプの飼料イネ専用収穫機の開発、難脱粒性、乾物重量の高い専用品種(ホシアオバ、クサホナミ、クサノホシ等)の開発も面積拡大の要因となった。その後04年度には作付面積が減少する。畜産農家に支給される給与実証事業の変更(2万円→1万円)や生産調整助成制度の変更に伴う混乱が理由であった。しかし、耕畜連携に対する追加助成や自給飼料を見直す機運が高まったことを受けて、06年度5,182ha、07年度6,339haと面積は再び拡大している。但し、現在でも熊本県1,400ha、宮崎県1,200haと2県で全体の4割を占めるなど、栽培には地域的な偏在がみられる。

なお、農林水産省[24]では09年度の目標面積を8,000haに設定している。2008年度の地域水田農業活性化緊急対策では、飼料イネを新規に3年以上栽培する生産者に対し5万円/10aが追加助成される等、条件整備が進められている。

(2) 飼料イネロールベールの生産コスト

環境影響評価により環境負荷軽減効果が確認されたとしても、コストが高ければ当該技術は採用されない。ここでは、現在の技術水準の確認も兼ねて、飼料イネロール価格を検討する。なお飼料イネの取引では、ロールの庭先価格を生産費用見合いとするケースが一般的であることから、飼料イネ生産費用価を検討する。なお、このときの耕種農家の農業所得は生産調整奨励金となる。

収量を考える。諸文献や現地調査の結果を勘案すると、現状の単収水準は概ね乾物1t/10aである¹⁰。一方、生産コストについては、地域によって格差は大きいものの10万円/10aをやや下回る水準と推定される(小野ら[30])。このときの生産費用価は100円/DMkg、乾物TDN含量は55%(日本飼料標準)であることから、TDN当たりの生産費用価は180円/TDNkgとなる。これは輸入乾草価格の約2倍の水準である。

こうした値が示すように、現在、乾草と競争可能なコストで飼料イネロールを生産している地域はなく、耕畜連携システムの形成・維持は助成に大きく依存している。

例えば、全国の300強の市町村を対象とした日本草地畜産種子協会[18]のアンケートによれば、水田で飼料イネを作付する理由の第一位は「国からの助成が高いから(64.8%)」であり、同様に飼料イネ作付けにおける問題点の第一位は「助成金がいつまで続くのかが心配(67.6%)」であった。筆者らが調査した事例のなかにも、助成金目当てのいわゆる捨て作り(現物収量400kg程度)もみられた。

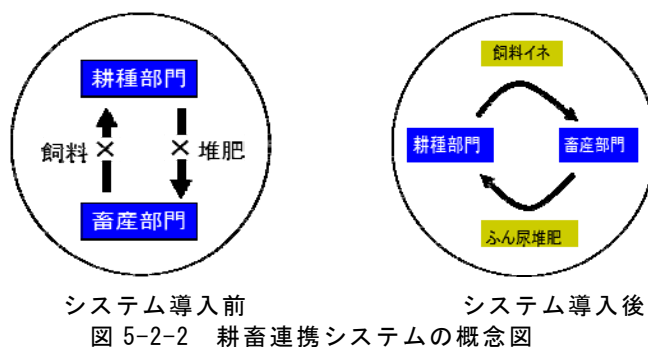
2) 飼料イネ耕畜連携システムの概略

(1) 耕畜連携システムと資源循環

作物としての飼料イネの特徴は以下にまとめられる。1点目は湛水による転作である。水田にイネを作付けするという転作方法は、湿害の心配がなく、米作の資本装備・技術の利用が可能であることから作業技術、水利用の面で利点を有する。2点目は、粗飼料である飼料イネを

¹⁰ 単収設定については補論で議論する。

畜産農家が利用することによる飼料自給率向上である¹¹。3点目は、資源循環による環境負荷軽減である。耕種農家と畜産農家の連携により水田へのふん尿堆肥還元が行われ、かつ化学肥料の投入が削減されるならば、新技術の導入により環境負荷量が軽減される。また、水田に投入される有機分が減少するなかにあっては、地力減耗の抑止効果も期待される。耕畜連携システムの概念を図 5-2-2 に模式化した。



左はシステム導入前であり、耕種部門と畜産部門は別々に営農を行っている。経済的にも、物質的にも各部門は個別完結している。右は耕畜連携システム導入後である。耕種部門は飼料イネを生産し畜産部門に供給し、畜産部門からはふん尿堆肥が（時にはスラリー状で）耕種圃場へ還元される。これにより耕種部門と畜産部門は経済的・物質的に相互依存関係を構築し、資源循環が完結する。とはいえ、現状はその多くが飼料イネのやりとりにとどまっており、家畜ふん尿の堆肥還元が行われている地域は限定的である。家畜ふん尿を有機質肥料として適正利用することは現実にはそれほど簡単ではない。そこには解決すべき多くの社会的、技術的課題が存在する¹²。なお、濃厚飼料は耕畜連携システム成立後も従来通り域外から調達することから、図の物質循環は粗飼料部分に限られる。この点において飼料イネ耕畜連携システムは限定的な資源循環システムである。表 5-2-2 には飼料イネ生産のパターンを示した。

表 5-2-2 飼料イネ生産体系

作業体系	栽培管理	収穫調製運搬
①	耕種	耕種
②	耕種	畜産
③	畜産	畜産
④	耕種・畜産	耕種・畜産

資料：小野[27]

¹¹ 食料・農業・農村基本計画では、現在 24%の飼料自給率を 2015 年に 35%に引き上げるとし（2005 年 390 万 TDNt→2015 年 508 万 TDNt）、これにより 0.5%の食料自給率向上を見込んでいる。生産調整に関する研究会[33]では、水田転作による飼料作物拡大面積を 3.3 万 ha と見込んでいる。仮に全面積が飼料イネであるとすれば、現在の 6,300ha と併せておよそ 4 万 ha が飼料イネ生産面積となる。この 4 万 ha で平均乾物単収 1.5t が実現した場合、TDN でみた粗飼料自給率は 6.8%上昇し、飼料自給率では 1.5%上昇する。これを食料自給率に換算すればおよそ 0.07%の上昇となる。

¹² 例えば飼料畑への堆肥散布、スラリー散布に対しては地域住民からの苦情も多く、地域住民の畜産に対する理解を高めることが、ふん尿ないし堆肥還元推進上の課題となっている。

農業生産条件や畜産部門の労力制約等の違いから、生産体系は4種類にまとめられる。表には作業主体が耕種部門か畜産部門か、あるいは両者が共同作業を実施するかが示されている。①は耕種部門が全作業を実施し、畜産部門は飼料イネロールを庭先で受け取るケースである。時間的・距離的制約のために、飼料イネに関する作業が困難な大規模畜産農家が想定される。②は栽培管理を耕種部門が行い、収穫調製を畜産部門が行うケースである。畜産部門の労力ないし機械利用にある程度の余裕がある場合が考えられる。③は畜産部門が全作業を実施する場合であり、自家水田を保有する小・中規模の畜産農家が想定される。④は②と③の中間に属し、例えば集落営農が展開する水田酪農地域が想定される。

作業体系の相違は、飼料イネの品質に影響を与えるとされる。表 5-2-2 の③ないし④では生産者と利用者が一致することから、良質の飼料イネ生産へのインセンティブが働くが、生産者と利用者が一致しない①においては、良質飼料生産へのインセンティブが小さくなり、低質の飼料イネが供給されることが問題となっている。以下の分析では②の体系を対象とする。

(2) システム境界の設定

中山間地域における飼料イネ耕畜連携システムを環境影響評価の対象とする。理由としては、中山間地域では水田の不作付けの懸念が大きく、飼料イネ生産が農地保全と直結すること、また平場に比べて畜産がさかんなため、飼料イネの導入可能性が相対的に高いことがあげられる。

耕畜連携以前の状態を図 5-2-3 に示した。図では、耕種と酪農は各々が点線で囲われており、両者間を循環する資源はない。

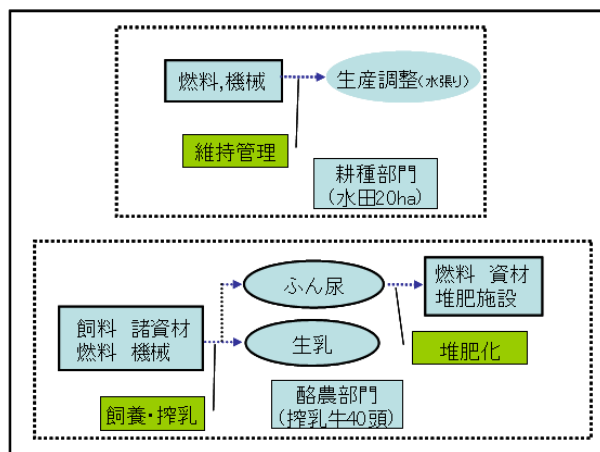


図 5-2-3 耕畜連携システム導入前

一番外側の枠はシステム境界を示している。黄緑の長方形はプロセスを、淡青の長方形は投入資材を、楕円は生産活動による生産物・副産物を示している。なお、本試算には作業機械や施設の廃棄プロセスは含まれない。システム導入前において、耕種部門は20haの調整水田で生産調整を行うと仮定する。調整水田とは、耕起・代掻き・その他畦畔管理をし、水稻生産にいつでも復帰できるよう状態を維持する水田を指す。調整水田に飼料イネを作付するという想定は、他の作物の生産を減らすことなく飼料イネが導入されることを意味し、不作付け回避とい

う飼料イネ生産の目的とも整合する¹³¹⁴。さらに、調整水田を想定することにより、田面からのCH₄発生が耕畜連携システム導入の前後で不変となることから、CH₄の計測を行う必要はない。事前の圃場が畑であるケースでは事後のCH₄排出が多くなるため、生産資材節約的な新技術であっても環境負荷軽減効果がほとんどないと判断される可能性がある¹⁵。

以下の分析では、耕種農家は従前において10a当たり表5-2-3のコストを投入して調整水田の管理を行うと仮定する¹⁶。20haの飼料イネ生産圃場で、同様の管理が行われるとするならば、表の数値を200倍したものが全体の管理コストとなる。

表 5-2-3 維持管理作業コスト（円/10a）

費目	土地改良・水利費	機械	建物	軽油	灯油	ガソリン
金額(円)	3486	4318.8	332.3	92.9	35.9	83.2

資料：平成12年産米及び麦類の生産費，温室効果ガス排出量算定に関する検討結果（環境庁，2000）

一方、酪農部門としては経産牛40頭規模、年間乳量8,000kgの経営を想定する。これは筆者らが調査した広島県中山間地域¹⁷の例をベースとしている。一般に、多頭数・高泌乳追求型の経営では、飼料イネのように品質が安定しない飼料に対する需要は小さい。経産牛40頭、年間乳量8,000kgという想定はこの点にも配慮した結果である。また、酪農家の搾乳技術¹⁸、堆肥化技術自体はシステム導入の前後で変化がなく、耕畜連携システム成立以前は、ふん尿堆肥は自家の飼料畑への施用ないし戻し堆肥として利用しているとする。

図5-2-4は耕畜連携システム成立後の状況である。耕種農家が生産した飼料イネは畜産農家において給与され、畜産農家の堆肥が耕種農家の飼料イネ圃場に還元されることで資源循環が実現している。両者には経済的（金銭的）にも物質的にも連携関係が構築されている。ここで耕畜連携の範囲として旧村程度を想定している。飼料イネ生産において広域連携も謳われているが、効率的な資源循環システムという観点からは好ましくない。

¹³ 転作小麦や大豆を飼料イネに転換することは、そもそも食料自給率向上という目的に反する。また、畑作物を栽培していた転作田に飼料イネを導入するケースの環境影響評価では、畑作物生産に要した負荷を考慮する必要があるが、これは議論を必要以上に複雑にする。

¹⁴ 加藤[14]は、飼料イネ栽培が自己保全管理・調整水田の解消にどの程度貢献したかを解析し、飼料イネ導入により農地のさらなる低利用は回避されているが、自己保全管理や調整水田の面積が減少しているとは言えないと結論づけている。

¹⁵ 田面からのCH₄量は非常に大きい。米のケースでは、単位面積の水田からの発生するCH₄をGHGに換算した量は、生産時の資材投入（米生産費調査における標準的な技術体系の採用）により発生するGHG発生量の1.5倍に達する。

¹⁶ 水利費については通常の水田と同等のコストが必要とし、機械、建物については作業時間による按分を行った。価格は2000年固定価格とした。燃料については、中央農業総合研究センター・作業技術研究部のデータを用いた。コメの場合の10a当たりの燃料使用量は約27Lであるが、調整水田に関しては、水管理・畦畔管理に2.8Lの燃料を用いるとした。また、調整水田からの利得は単純化のために0円とする。これは、管理作業にかかる資材費及び労働費は、調整水田に対する生産調整の助成金でオフセットされるとの仮定である。

¹⁷ 広島県の事例集としては、近畿中国四国農業研究センター編[17]がまとまっている。

¹⁸ 飼料イネ利用による技術変化として疾病率の減少、とりわけ第四胃変位の発症の減少が指摘されている。この点は、獣医サービスの利用減や飼料効率の上昇による環境負荷量の軽減をもたらすが、効果の定量化は途上段階にある。そのため今回は計測対象外とした。

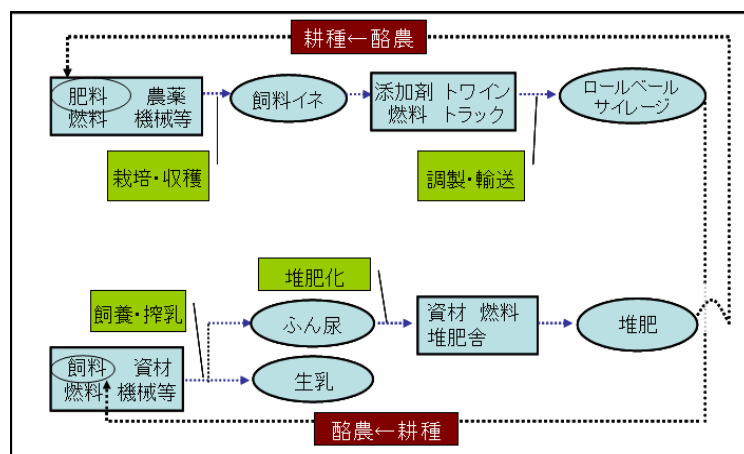


図 5-2-4 耕畜連携システム導入後

飼料イネ耕畜連携システムは、低投入で粗飼料を生産し、ふん尿を地域内で循環する点で、Reduce をともなう Recycle 技術として位置づけられる。技術導入の前後でシステム全体の GHG 排出が削減されるか否かの検討は、図 5-2-3 と図 5-2-4 を比較し、両者の LC-CO₂ の差をとることで行われる。表 5-2-4 には技術変更による環境負荷増の要因と環境負荷減の要因を整理した。

表 5-2-4 環境負荷量変化の主な要因

環境負荷増の主要因	環境負荷減の主要因
飼料生産に投入される諸資材の増加	飼料イネ利用による購入飼料の使用減
飼料イネ生産・運搬時の燃料消費の増加	堆肥利用による化学肥料の使用減

図 5-2-3 から図 5-2-4 への移行に伴う負荷増の要因としては、飼料イネ生産による諸資材・燃料の利用¹⁹、機械の減価償却相当分、飼料イネ運搬にともなう燃料等の増加があげられる。一方、負荷減少の主要因は、飼料イネの利用による輸入乾草の利用減である。輸入乾草の生産、運搬時に発生する環境負荷は輸入飼料の利用減によって削減される。

LC-CO₂ の計測に必要なその他の条件を設定する。

機械装備に関しては、飼料イネ専用収穫機とラッピングマシンの新規導入のみが行われるとし、堆肥製造のための新規投資は行わない。また、堆肥散布機の稼働に伴う燃料や資本の償却に起因する GHG 量はシステム導入の前後で不変とする。

ところで耕畜連携システムではふん尿堆肥の還元が重要となるが、堆肥の投入可能量²⁰は文

¹⁹ 収量とフィルム、トワイン、輸送燃料の利用量はリンクしており、収量の増大とともに増加する。

²⁰ 飼料イネを飼料作とみるか、稲作とみるかでも数値は大きく異なる。施山[38]は飼料作物では 10a 当たり 8.8t まで堆肥還元が可能としている。一方、飼料イネでは 10t 程度の堆肥投入が可能とする議論もあるが、実際の生産現場では通常 2t、多くて 4t 程度の投入にすぎない。飼料イネの長期栽培の場合、多肥は問題がないとされるが、食用米と圃場のローテーションを組むケースでは窒素分の蓄積が敬遠される。筆者らの調査において、次のような畜産農家の発言があった。「水田に堆肥を連年投入していると地力が上がってくる。投入量も 10a 当たり毎年 3t、2t と減り、中には堆肥は不要であるという耕種農家もいる。」この指摘は、ふん尿に起因する窒素の過剰問題は、飼料イネ利用によっても解決されないこと示唆している。

献によって異なる。志賀[39]は、適正散布量は水稻 1.5t、飼料作 4.2t であり 3 倍弱の差があるとしている。このとき、堆肥の窒素含有率を 0.5%として、経産牛頭数を試算すると稲作のケースで 10a 当たり 0.17 頭、飼料作で 0.48 頭となる。本システムでは経産牛 40 頭、飼料イネ 20ha としたが、この想定は 10a 当たりの頭数(40 頭/20ha=0.2 頭/10a)からみて適正な範囲にある。

3. 飼料イネ生産システムと環境負荷削減効果

1) 分析視点

資源循環システムが効率的ならば環境負荷の発生は抑制されるが、システム自体が非効率的ならばむしろ天然資源・エネルギーは浪費され、結果として環境負荷は増大する。本節ではこの点に着目し、飼料イネ資源循環システム導入による GHG の変化量を計測する。あわせて、当該システムが環境負荷軽減的であるための技術水準を考察する。環境負荷量の計測にあたっては、飼料イネ生産技術についていくつかのシナリオを提示した。

分析では 2 点に着目する。1 つは飼料イネ生産技術の変化に伴う環境負荷量の変動である。ここでは投入節約的、収量増大的技術開発によって、環境負荷量がどの程度削減されるかが焦点となる。もう 1 つは、飼料イネがどの飼料と代替され、給与されるかである。飼料イネ増産によって自給飼料生産が減少するか、それとも乾草の輸入が減少するかが重要となる。飼料イネが輸入乾草と代替するならば環境負荷削減効果は大きい、(もともと生産性の高い)自給飼料と代替するケースでは削減効果は小さいと予想される。

2) 想定するシナリオ

以下では図 5-2-4 で示した耕畜連携システムの栽培・収穫調製技術に関して、4 つの異なるシナリオを想定する。栽培から立毛段階までのコストは米生産費調査と事例調査データを、収穫調製と運搬は事例調査データを用いた。事例は広島県北広島町(旧大朝町)、三原市(旧久井町、大和町)の耕畜連携システムである。各シナリオにおいて専用収穫機、バールラッパーの購入を想定する²¹。不作付地をいかに減らすかという観点からは、条件不利圃場で生産が可能な専用収穫機体系が望ましい。

なお、機械修繕費については、米生産費調査における「農機具費の償却費」と「修繕及び購入補充費」の比率から償却費の 22.9%を修繕費とした²²。

(1) 現状の平均的な姿：シナリオ 1-a(現状), 1-b(中山間)

栽培条件の詳細は表 5-3-1 に示した。

²¹ 機械購入(1 セット 1200 万円、通常は半額補助)費の負担は大きい。飼料イネの収穫調製体系には、専用収穫機体系(コンバイン・バールラップ)のほかに通常の牧草収穫体系(モア・テッド・レーキ・ロールベアラ・バールラップ)があり、償却費で比較すれば後者が有利である。ただし、牧草収穫体系が導入可能な圃場は水はけのよい比較的優良な圃場に限定される。

²² 茨城県茨城町では毎年の修理費が機械価格の 1 割(年間償却費の 6 割)に達する。クローラ型の専用機であっても湿田や降雨後での作業が続くと、泥等の混入のため機械の故障が頻発する。

表 5-3-1 10a 当たりコストの構成（シナリオ 1-a(収量 1.0t)に対応）

	内訳	備考
物財コスト(円)	65,370	
種苗	2,039	
肥料	7,336	
農薬	9,833	
光熱動力	3,733	軽油15.8L,灯油7.4L,ガソリン7.7L
機械類	30,885	うち収穫機償却10,800円
諸資材	9,089	トワイン1,200円,フィルム6,200円
建物	1,857	
土地改良・水利	598	
労働コスト	39,000	30h(時給1,300円)

資料：米生産費調査、現地調査資料等（以下、シナリオ 2, 3, 4 も同様）

物財コストの 6.5 万円は中国地域の 3.0ha 以上層の食用米栽培の 10a 当たり物財費にほぼ対応する。物財コストに労働費が加わることで総コストは 10 万円強となる。この値は一般的に示される飼料イネ生産費に比べてやや高いが、減価償却を圧縮しないことがその理由である²³。

このシナリオ 1-a を以下では「現状」とする。乾物収量は 1.0t/10a とした。補論で検討するが、飼料イネの実際の収量は低く、条件の悪い圃場では 1.0t を下回ることが多い。また、中山間地域の乾物収量は平均で 800kg 前後となっている。そこで LC-CO₂ の計測では、表 5-3-1 と同じ栽培技術で収量が 0.8t というシナリオ 1-b を追加する。シナリオ 1-a では購入飼料の削減量(=飼料イネ生産量)がシナリオ 1-a よりも減少することから、1-a→1-b へのシナリオ変化は環境負荷削減に負の影響をもたらすと予想される。以下シナリオ 1-b を「中山間」と呼ぶ。

（２）低投入・高収量技術：シナリオ 2(短期目標), 3(中期目標), 4(長期目標)

生産費用価は、飼料イネ栽培技術の平準化が進むにつれて逡減していく。次のシナリオ 2(表 5-3-2)は収量 2 割増とコスト 2 割減が実現したケースである。収量 2 割増は、農林水産研究基本目標における現状比の収量増加目標に対応し、コスト 2 割減は、近年の農林水産省における目標値に対応する²⁴。以下シナリオ 2 を「短期目標」と呼ぶ。

表 5-3-2 10a 当たりコストの構成（シナリオ 2(収量 1.2t)）

	内訳	備考
物財コスト(円)	49,409	
種苗	2,039	不変
肥料	3,668	肥料購入半減
農薬	4,917	農薬半減
光熱動力	3,142	燃料消費2割減,飼料イネ輸送は2割増
機械類	22,620	田植機半減、収穫機半減
諸資材	10,569	トワイン・フィルム2割増
建物	1,857	不変
土地改良・水利	598	不変
労働コスト	31,200	24h(時給1,300円)

²³ 圧縮計算は経営的評価では必要だが環境影響評価では不必要である。同様に労働コストも環境影響評価では分析対象から外れる。

²⁴ 食料・農業・農村政策推進本部[41]では、2005 年からの 5 年間で 2 割の食料供給コスト削減することを目標としている。

参考までに生産コストに関する近年の事例調査結果を表 5-3-3 に示す。10a 当たりの生産コストは平均 7 万円強である。但し、収穫機械の償却方法等、収量水準に相違があるためにこれらを一律には比較できない²⁵。

表 5-3-3 近年の 10a 当たり生産コスト

埼玉県妻沼町	66,000	関野[35]
広島県三原市	77,000	堀江[7]
同	72,000	堀江[7]
広島県小規模農家	103,000	棚田[44]
同 営農法人	67,000	棚田[44]
広島県東広島市	81,000	恒川[49]
茨城県水戸市	87,000	千田[37]
新潟県長岡市	72,000	土田[46]
岩手県一関市	71,000	藤森[5]
埼玉県美里町	71,000	新井[1]
埼玉県熊谷市	63,000	新井[1]

シナリオ 3(表 5-3-4)は収量 3 割増、コスト 3 割減のケースである。シナリオ 3 を以下「中期目標」と呼ぶ。この水準は現在の最優良事例の技術水準に相当する。

表 5-3-4 10a 当たりコストの構成（シナリオ 3(収量 1.3t)）

	内訳	備考
物財コスト(円)	45,060	
種苗	2,039	不変
肥料	2,201	肥料7割減
農薬	1,475	農薬7割減
光熱動力	2,529	燃料消費4割減,飼料イネ輸送3割増
機械類	22,820	償却費3割減
諸資材	11,309	トワイン・フィルム3割増
建物	1,857	不変
土地改良・水利	598	不変
労働コスト	27,300	21h(時給1,300円)

中山間地域でシナリオ 3 の水準を達成するためには技術的ブレイクスルーが必要となる。具体的には、増収型品種の開発、圃場の団地化による作業条件の改善、収穫ロス率の低減²⁶のほか、収穫時の水分調製技術の平準化、刈り遅れの防止による適期収穫の徹底等が必要となる。黄熟期以外の収穫では TDN 率が 1～2 割減少するとされることから、適期収穫の励行も重要である。

シナリオ 4(表 5-3-5)では、助成なしで飼料イネが輸入乾草に対抗できるケースを想定した。このときの物財コストはシナリオ 1-a の半分である。但し、諸資材費はシナリオ 1-a(表 5-3-1)

²⁵ なお、生産組合等が公表している生産費をもって、「10a 当たり 2 万円当たりの生産費が実現した」といった研究報告が散見されるが、これらには自治体や JA による種子の無償提供や資材の低コストでのレンタルといった有形・無形の支援・助成がカウントされていない場合がほとんどである。データ分析には注意が必要である。

²⁶ コンバイン型収穫機の収穫ロスは 1 割程度とされていることから、収穫機械の改善は収量増に直結する。なお、モアコンディショナーのロスは 2 割強とされている。

と比較して3割程度増加する。これは収量増にともない収穫調製に必要な資材が増加するためである。

表 5-3-5 10a 当たりコストの構成（シナリオ 4(収量 1.5t)）

	内訳	備考
物財コスト(円)	32,382	
種苗	2,039	不変
肥料	0	全量堆肥
農薬	1,475	農薬7割減
光熱動力	1,958	燃料消費6割減, 飼料イネ輸送5割増
機械類	11,666	償却費7割減(直播導入による)
諸資材	12,789	トワイン・フィルム5割増
建物	1,857	不変
土地改良・水利	598	不変
労働コスト	19,500	15h(時給1,300円)

シナリオ 4 の生産費用価は 35 円/DMkg であるが、これは畜産農家の飼料イネ購入希望価格(現物 10 円/kg)に対応している。飼料イネに対する畜産農家の留保価格 35 円/DMkg と乾草価格 50 円/DMkg との差は 15 円であるが、この差は、飼料イネと輸入乾草に存在するハンドリングコストや保管コスト、また品質較差によるプレミアム分と考えられる²⁷。

シナリオ 4 の実現には長期的対応が必要なことから、以下では「長期目標」と呼ぶ。各シナリオの生産費用価、単収及び想定する条件は表 5-3-6 にまとめられる。

表 5-3-6 シナリオ毎の生産費用価

	シナリオ1-b (中山間)	シナリオ1-a (現状)	シナリオ2 (短期目標)	シナリオ3 (中期目標)	シナリオ4 (長期目標)
生産費用価(円/乾物kg)	130	104	70	54	35
乾物収量(t/10a)	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5
想定する条件	中山間地の 平均	現在の平均	コスト2割減 収量2割増	最良事例の 水準	購入乾草と対 抗可能

3) 輸入乾草の原単位の作成

飼料イネの利用によってこれまで給与してきた粗飼料が減少する。輸入粗飼料の給与削減により、環境負荷量は減少するが²⁸、それは飼料イネが輸入乾草と代替する場合である²⁹。自給粗飼料の生産性は飼料イネと比べて高いため、サイレージに代替するケースでは、環境負荷量は増大すると考えられる。また、このケースは飼料自給率に対してニュートラルな効果しかもたないため、自給率向上の観点からも好ましい選択ではない。一方、飼料イネが輸入乾草に代替

²⁷ 関野[35]は、乾物収量 1.5t が達成された場合でも 6.6 万円の生産費用を償うためには 14,500 円の助成が必要としている。これは酪農家が飼料イネを乾物 34.3 円と評価していることにほかならない $(66,000 - 14,500) / 1,500 = 34.3$ 。

²⁸ 一方で飼料イネ生産において新たな負荷が発生する(表 5-2-4)。

²⁹ なお、黄熟期で収穫する飼料イネには濃厚飼料の役割もあるとされるが、栄養成分等を考慮すれば濃厚飼料の代替飼料とは言い難い。

するケースでは事情は異なる。輸入乾草は長距離輸送を伴うことからその環境負荷量は大きく、飼料イネの利用による輸入乾草の削減は環境負荷量を削減すると予想される。このように、飼料イネを輸入乾草と代替させるシナリオは、飼料自給率向上の観点からも、さらに農地の有効利用という観点からも好ましい。以上は、飼料イネ耕畜連携システムの LC-CO₂ 計測において、輸入乾草の排出原単位が重要性であることを意味する。そこで以下ではアメリカ産チモシーの原単位を推計する。

濃厚飼料生産にともなう環境負荷の原単位は USDA の統計(各年次版)から求められる。しかし、粗飼料生産の投入構造に関する詳細な統計は存在しない。現在は、粗飼料の原単位として農村工学研究所[22]による推計値が用いられることが多いが、その数値は以下に示すように日米間の輸送過程の想定に問題があるため、この点を修正する。

(1) コストの按分方法

栽培過程についてはコストをベースに環境負荷量の按分を行う。乾草価格を 40 円/DMkg とする³⁰。排出原単位を計算するため、はじめにコストを各生産段階に分解し、次いで各段階で生じる環境負荷量を積み上げる。按分に際し、労働・機械償却・燃料・肥料等の構成比率は日米で同じだが、その効率(収量/コスト比)が異なると仮定する³¹。価格構成は表 5-3-7 に示される。

表 5-3-7 輸入乾草の価格構成(畜産農家の庭先価格 40 円/DMkg のケース)

アメリカ国内農家の受取価格	12円72銭
アメリカ国内輸送コスト	2円72銭
日本への輸送コスト	4円56銭
商社・関連業者のコスト	13円43銭
日本国内輸送コスト	6円57銭

資料：阮[31]など

畜産農家の庭先価格を CIF 価格とそれ以外に分け、阮[31]によるアメリカ産トウモロコシの費用構成を参考に、CIF 価格を米国生産者受取価格、米国内輸送コスト、日本への輸送コストに按分する。また国内分については、庭先価格から CIF 価格を控除した分が国内での経費にあたるとし、この国内経費は産業連関表の飼料部門のマージン率を用いて、商業部門と運輸部門に按分した。

(2) 海上輸送の取扱い

輸送には、米国内、日本国内それぞれの輸送³²と、米国-日本間の海上輸送の二つがあるが、

³⁰ 2006 年からの飼料価格急騰により粗飼料価格は現在約 50 円/DMkg となっているが、本章での排出原単位は 2000 年産業連関表をベースとしており、40 円/DMkg という想定は整合的である。

³¹ 米国の乾草栽培の資材投入データが得られなかったための次善の策である。例えば、乾草 1t 当たりの牧草生産コストが、日本 40,000 円、アメリカ 10,000 円のケースにおいて、アメリカにおける資材投入量はその各々が日本の 1/4 であると考ええる。なお農村工学研究所[22]でも同様の観点から試算を行っている。

³² 米国内における飼料輸送を説明した資料としては、江藤[4]、土屋[48]をあげておく。両資料の比較から、飼料の輸送構造にはこの 20 年間に大きな変化はないことが確認される。

後者に焦点を当てる。乾草のように軽くて嵩張る財は必然的に単位重要当たりの輸送費、したがって輸送にともなう環境負荷が大きくなると考えられる³³。

海上輸送による環境負荷量を推計する。ここではシップ&オーシャン財団[40]をもとに、コンテナによる輸送を平均 6,200 マイルと仮定して CO₂ 排出を計測する。コンテナ輸送においては主に燃料(C 重油)消費により 1 TEU³⁴マイル当たり 0.398kg の CO₂ が排出される。ヘイプレスによる高密度乾草(300kg/m³)を想定すれば、乾草 1kg 当たりのコンテナ輸送にともなう CO₂ の直接排出は $6200 \times 0.398 / (38.7 \times 300) = 210.8 \text{g/DMkg}$ となる。以上から、海上輸送にともなう排出は乾草 1 円当たり 5.27g(=210.8/40³⁵)、百万円当たりでは 5.27t となる。この数値は農村工学研究[22]とは異なるが、両者に差が生じた要因は、農村工学研究[22]がシップ&オーシャン財団[40]の「鉄鉱石・石炭以外のバルク輸送」の原単位を日米間輸送に用いたことにある。乾草をバルク輸送しているという農村工学研究[22]の仮定は修正する必要がある。輸送以外の項目に関しては 3EID(南齋ら[19])からデータを得ることで、輸入乾草の原単位が求められる。結果を図 5-3-1 に示す。グラフの右側の国内産とは、日本国内の飼料作物生産百万円当たりの排出原単位を意味する。

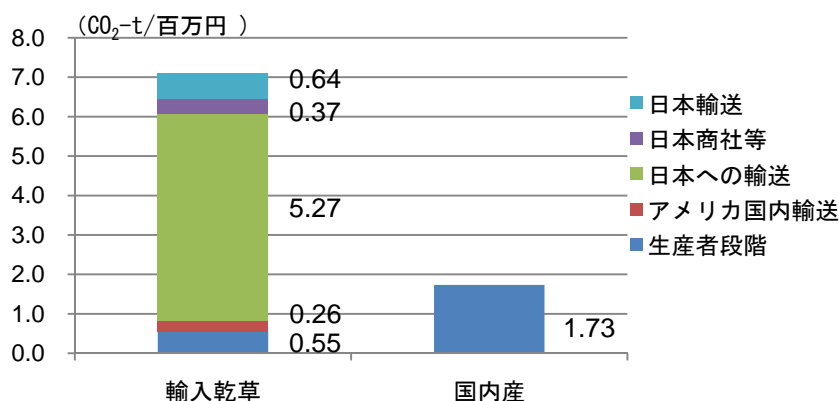


図 5-3-1 輸入乾草と国産飼料の CO₂ 排出原単位比較

輸入乾草の排出原単位は 7.10t-CO₂/百万円であり、同一金額当たりの CO₂ 排出量は、国内飼料作物の 4.10 倍となっている³⁶。内訳は、アメリカの生産者段階 0.55t、アメリカ国内輸送段階 0.26t、日本への輸送段階 5.27t、日本国内商社等活動 0.37t、日本国内輸送 0.64t となる。

³³ 1995 年度農業白書では流通コストの要因分析が行われ、「日米のトラックの運送料金を比較すると、大口・長距離輸送の分野でアメリカの方が安い。この背景には、国土条件の違い等から平均輸送距離等の輸送構造や車両積載量等の輸送方式に大きな差異があるほか、人件費、燃料費、高速道路利用料金等の輸送コストが我が国は高い」ことが指摘されている。平均積載量と平均輸送距離については、日本 4t トラックで 82km、アメリカ 14t トラックで 678km と、輸送効率の違いがみられる。また、経済産業省[15]によれば、トラック運賃の内外価格差は 2000 年時点では対アメリカ比 2.14 倍であるが、日米ではガソリン価格の差が 3 倍程度あることから、内外価格差は環境負荷量の較差に直結しないと仮定し、輸送運賃の内外価格差はカウントしていない。

³⁴ TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)は 20 フィートの海上輸送用コンテナ 1 本に相当する。体積は、6.1m×2.44m×2.6m=38.7m³である。

³⁵ 乾草の価格は 40 円/DMkg である。

³⁶ 百万円当たりのエネルギー排出で比較すると、輸入乾草 102.20GJ に対し飼料作物 25.54GJ と両者の比率は 4.00 倍となり、両者の格差はやや小さくなる。

とりわけ海外からの輸送段階の負荷が大きい。なお、輸送部分の排出原単位は、3EIDにおける外洋輸送の原単位の1.1倍であることから、今回の推計結果は十分リーズナブルといえる。以上の試算から、飼料イネ耕畜連携システムにおいてCO₂排出削減を実現するためには、飼料イネを輸入乾草に代替させることが不可欠であることが示される。

4. 耕畜連携システムのLC-CO₂

1) 産業連関分析をベースとした計測方法

LC-CO₂の計測式については前章で示したことから、ここでは要点を記すにとどめる。各資材投入を最終需要の発生(**Fm**)とすれば、排出量は

$$\mathbf{Em}[\mathbf{I}-\mathbf{A}]^{-1}\mathbf{Fm} + \text{燃料の直接消費} + \text{施肥によるN}_2\text{O揮散} \cdots (5.4.1)$$

となる。第1項は、投入資材の生産工程で直接・間接に排出されるCO₂量である。ここでA表としては2000年産業連関表の生産者価格表を用い、**Em**としては3EIDによる排出原単位(南齋ら[19])を用いた³⁷。また、逆行列表としては $(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}$ 表を用いた³⁸。既に指摘したようにCO₂の排出による温暖化は発生地域とは無関係なためである³⁹。仮に国内での排出減があっても、それが国外での排出増に置き換わるだけならば、地球温暖化の抑制にはなんら貢献をしない。但し、A表は購入者価格表ではなく生産者価格表であることから、マージン部分についての調整が必要となる⁴⁰。ここでは、資材やサービスの購入費用をそのまま(5.4.1)式の**Fm**とはせず、産業連関表産出表に基づき、商業マージン(卸売、小売)と運輸マージン(鉄道、道路、沿岸、港運、航空、取扱、倉庫)、生産者価格の計10項目に按分し排出量を計測した。

第2項の燃料の直接消費は、燃料別の使用量当たりのCO₂排出原単位と使用量の積から求めた。第3項のN₂O揮散は、農業環境技術研究所[21]に従って、窒素1kgの節約当たり0.0067kgのN₂O排出が削減されるとした。CO₂に換算すればこれは2.077kgCO₂-eq/N-kgとなる。この他、10a当たりの化学肥料施肥による窒素分は、統計情報部[25]をベースに、シナリオ1-aで8.0kg、シナリオ2で4.0kg、シナリオ3で2.4kg、シナリオ4で0kgとし、耕畜間の飼料イネ輸送については、飼料イネサイレージの乾物率を35%、2tトラックの燃費を6km/L⁴¹、ラップサイレージの運搬平均距離を2kmとした⁴²。

³⁷ 3EIDによる原単位は、現在では産業連関分析をベースとしたLCAのデフォルトとなっている。

³⁸ 勿論、飼料イネ生産が独立した生産部門と認められる規模にまで拡大すれば、飼料イネ生産にともなう負荷量は最終需要の変化としてではなく、投入係数表自体の変更によって計測しなければならないだろう。

³⁹ (5.4.1)式の**Fm**を輸入分を控除した(I-M)**Fm**としない理由も同様である。

⁴⁰ 投入係数の安定性を保つ意味から、一般には購入者価格表よりも生産者価格表を利用することが望ましいとされる。

⁴¹ 燃費については建設省・三菱総研[16]を用いた。1km当たりの燃料消費をY(cc/km)、平均時速V(km/h)としたときの小型貨物車の燃費は $Y=544.2/V-1.194V+0.117V^2+81.2$ である。飼料イネ運搬の平均時速30kmですと燃費Yは5.92Lとなるが、中山間地域であることを考慮して6km/Lとした。但し、軽トラックで輸送する場合は一度に2個のロールしか積載できないために環境負荷は本章の結果よりも増加する。

⁴² 輸送を専門業者に委託する場合、1ロール当たり500円程度、乾物kgで7-8円程度のコストアップとなる。

2) シナリオ分析にもとづく計測結果

耕畜連携システム導入によって GHG 量はどの程度変化するだろうか。以下では、図 5-2-3 に示される 20ha の調整水田と 40 頭の経産牛飼養を基準として図 5-2-4 のシステムを導入することで、GHG 排出量がどのように変化するかを計測する。

はじめに、飼料イネ利用により輸入乾草の使用が減少するケースを考える。図 5-4-1 はシナリオ 1-b(中山間)と 1-a(現状)、図 5-4-2 はシナリオ 2(短期目標), 3(中期目標), 4(長期目標)に関する計測結果である。

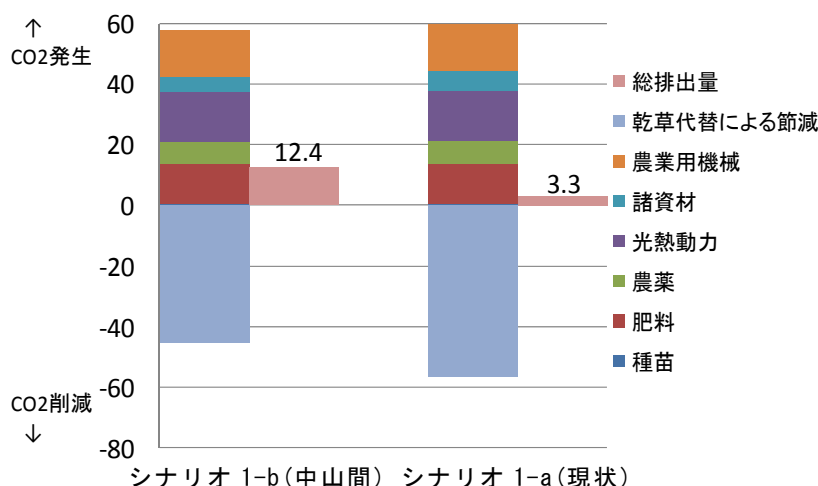


図 5-4-1 飼料イネ資源循環システムの GHG 排出削減効果 (t-CO₂eq/system)

シナリオ分析の図は 3 つの部分で構成されている。左側の正の方向に伸びる部分は、資材投入や燃料消費、施肥などによる GHG 発生、つまり環境負荷量の増大を意味する⁴³。飼料イネ生産に関連して、図には種苗・肥料・農薬・光熱動力・諸資材・農業用機械の 6 部門のみが示されているが、実際には細分化された 25 部門で計測しそれを集計している。左側の負の方向に伸びる部分は、輸入乾草の利用減少がもたらす環境負荷量の削減分である。一方、右側は、左側の二本のグラフの和をとったものであり、システム全体での GHG 排出量の変化を示している。正の値は GHG 排出量(CO₂換算)の増、負の値は排出量の減を意味することから、数値はマイナスであることが望ましい。

中山間地域の現状と考えられるシナリオ 1-b では、耕畜連携により排出が増えている(+12.4t)。また現状の平均像としたシナリオ 1-a においても 3.3t の排出増となる。これは、食用米並みの投入で乾物 0.8t ないし 1.0t の飼料を作ることは決して効率的ではないという直感と一致する。資源循環システムの成立や輸入乾草の減少があっても、飼料の生産効率が不十分ならば全体としての環境負荷量は増加する。項目別にみると、燃料消費と機械使用による排出負荷が上位を占める。燃料費は物財費ベースのシェアは 5%と低い、GHG 排出ベースでは 30%を占め、大きな排出源となっている。農業用機械については、専用収穫機及びベールラッパーの負荷が大きい。以上は、燃料の節減⁴⁴ないし耐用年数の延長が GHG 排出削減に大きく貢献す

⁴³ 維持管理作業で必要とされた資材投入の排出分は飼料イネ生産によって削減される。これは飼料イネ生産時の排出分から控除してある。

⁴⁴ 但し、図 5-4-2 にみるようにシナリオの進展によって燃料使用が急激に削減されることはない。

ることを示唆している。

図 5-4-2 は飼料イネ栽培技術の進歩によって、システム全体で GHG の排出がどの程度削減されるかを計測した結果である。現状と比較して収量 2 割増、コスト 2 割減(生産費用価ベースで 33%減)となるシナリオ 2 では、GHG 排出削減効果が確認される。飼料イネの収量増により輸入乾草の利用減にともなう負荷削減効果が大きくなるため、システム全体では 23.9t の削減となる。以下、収量 3 割増、コスト 3 割減(生産費用価ベースで 46%減)であるシナリオ 3 では 37.7t、技術進歩が大幅に進み飼料イネが輸入乾草と競争力をもつようになるシナリオ 4 では 61.0t の削減となる。数値の大きさが意味するところについては次章で検討するが、以上の分析から少なくとも現状の生産技術では資源循環システムの導入により環境負荷はむしろ増大すること、環境負荷軽減のためには生産技術水準の改善が不可欠となることが示された。

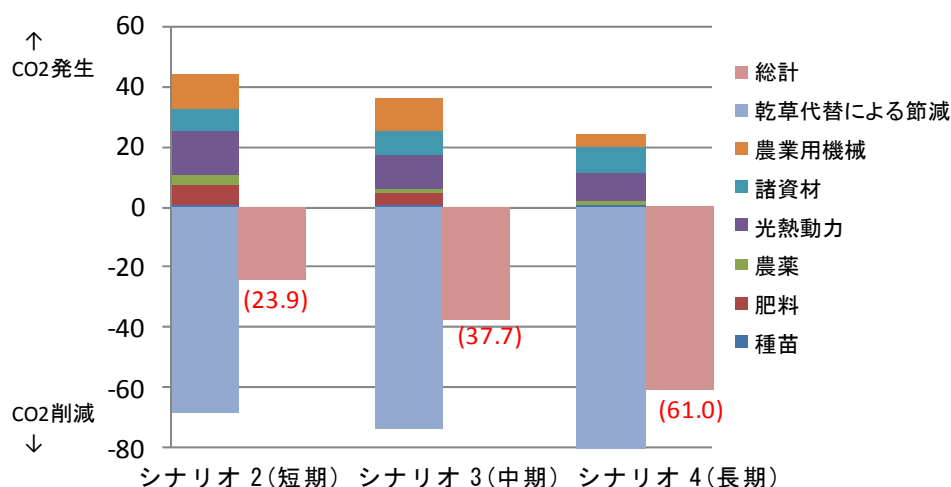


図 5-4-2 飼料イネ資源循環システムの GHG 排出削減効果 (t-CO₂eq/system)

関連して、エネルギー消費量の変化を図 5-4-3 に示す。

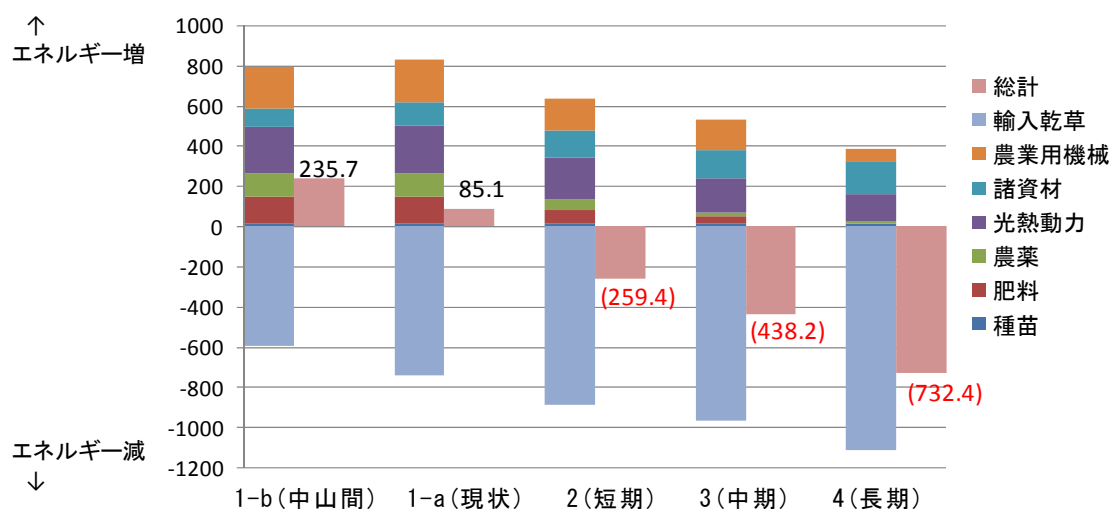


図 5-4-3 飼料イネ資源循環システムのエネルギー削減効果 (GJ/system)

飼料イネロールの増加にともない運搬プロセス等での排出が増加するためである。

施肥による揮散がカウントされていないこと、原単位が GHG 排出からエネルギーに変わることを除いては、計算方法は図 5-4-1、図 5-4-2 とほぼ同じである。シナリオ 1', 1-a ではエネルギー負荷も増大し、環境にとってマイナスとなることは GHG のケースと同様である。図 5-4-1, 5-4-2 との相違は、諸資材の割合が GHG のケースに比して大きく、シナリオの進展による減少は GHG ほどではないことである。これは、収量増大にともないトワインやフィルムといったエネルギー負荷量の大きい資材の利用が増加するため、エネルギー削減効果が GHG ほどには大きくならないことを反映している。

最後に、飼料イネが自給飼料作物と代替するケースを図 5-4-4 に示す。

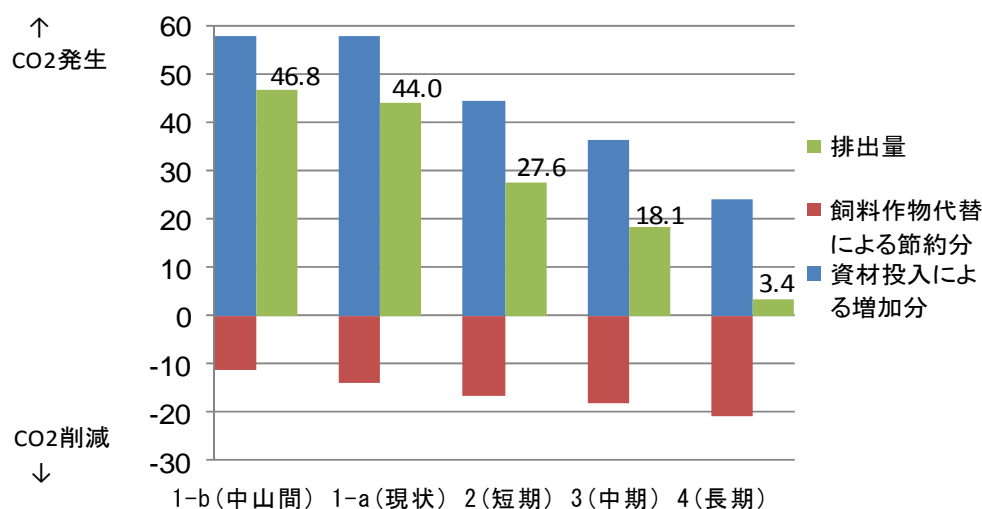


図 5-4-4 飼料イネ資源循環システムの GHG 排出削減効果(飼料作物と代替) (CO2-eq t/system)

図 5-4-1、図 5-4-2 との相違は、飼料イネ利用によって削減される飼料が輸入乾草から飼料作物に変更になった点のみである。そもそも自給飼料生産は低投入・高収量であるため、生産物当たりの GHG 排出分が小さい。そのため飼料イネを飼料作物で代替しても削減される GHG 量は少なく、その結果、全てのシナリオにおいて環境負荷は増加する。

飼料作物の生産を減らして飼料イネを栽培するという想定は、飼料自給率向上という政策目標に照らして不適切であることを指摘したが、環境負荷量削減という観点からも同様に不適切と言わざるをえない。

5. 小括

飼料イネ耕畜連携システムの普及に対する期待は大きい。飼料イネがカバーする諸問題、すなわち生産調整の円滑な実行、飼料自給率向上、堆肥の還元による適正なふん尿処理はいずれも現在の農業生産における喫緊の課題である。

環境負荷軽減からみた飼料イネ耕畜連携システムにおける特徴は、以下の 2 つに大別される。1 つは、飼料イネ生産技術の向上による資材の投入減、飼料イネ収量増による単位生産物当

りの負荷量の減少である。もう1つは、堆肥の耕種農家の圃場への投入による化学肥料の節減である。前者は3RというReduce技術、後者はRecycle技術に相当する。ふん尿堆肥の施用と飼料イネ生産による資源循環は一般に望ましいと考えられているが、環境負荷軽減達成という最終目的からみれば資源循環はあくまでも手段にすぎない。そこで飼料イネ耕畜連携システム導入によるGHG排出削減効果を計測し、従前の生産システムと耕畜連携システムのいずれが環境に好ましいかを評価することが求められる。

産業連関分析に基づくLC-CO₂の結果は次の3点にまとめられる。1. 現状の生産技術水準では飼料イネ資源循環システム導入によりGHG排出量は増大する。2. 輸入乾草は輸送段階でのGHG排出が非常に大きいことから、乾草利用を減らすことでシステム全体の排出削減効果が期待できる。3. GHG排出量が削減されるのは、飼料イネが輸入乾草に代替し、かつ投入節約・収量増大が実現する場合に限られる。

以上、飼料イネ資源循環システムのLC-CO₂を実施し、資源循環システムの環境影響評価を行った。計測結果は予想外のものではないが、図5-4-1の結果は資源循環万能主義やリサイクル信仰にみられる手段の目的化が、環境負荷の観点からはむしろマイナスとなることを意味している点で重要である。なお、分析では堆肥還元をアプリオリに想定したが、飼料イネ生産圃場において堆肥還元が実現している地域は一部である。耕種と畜産の連携とは言いながら、多くの地域では飼料イネロールの取引にとどまっている。資源循環型技術のカギとなる堆肥還元については技術的にも社会的にも多くの課題が残されていることを付け加えておく。

最後に、経済性と環境負荷の関係を図5-5-1に示す。

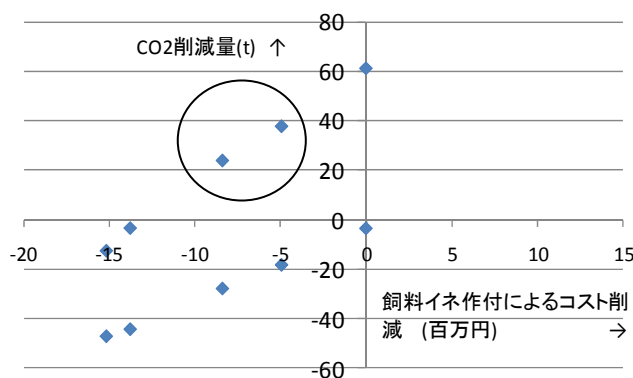


図 5-5-1 飼料イネ導入による経営面と環境面の指標の変化

これは図5-4-1、図5-4-2、図5-4-3の結果を、それに対応する所得水準と対応させてプロットしたものである。図5-5-1の第3象限は、経営的にも環境的にも負であることから、社会にとっても生産者にとっても不利な技術となる。○で囲まれた技術は図5-4-2のシナリオ2(短期目標)とシナリオ3(中期目標)である。これらは経営的にはマイナスだが、環境負荷を削減する技術である。こうした技術をどのように評価したらよいだろうか。次章ではこの点を検討する。

補論 飼料イネ生産技術の評価における留意点

1) はじめに

本章では飼料イネ生産システムの環境影響評価を実施した。現状と将来の技術水準に関するシナリオを設定し、環境負荷量が技術変化によりどのように推移するかを分析・検討したが、技術水準の妥当性については特段の言及をしなかった。

ところで、飼料イネの作付面積は、近年増加したとはいえ 6,000ha 強にすぎず、飼料作物面積の 0.6%、生産調整面積の 0.5%とシェアは決して大きくはない。技術開発側が想定したほどには生産は拡大していないのが現実である。理由は単純である。生産現場における現実の収量やコストが、研究側が考える収量やコストから乖離する結果、飼料イネ耕畜連携システムが多くの生産者によってペイしないと判断されているためである。技術が不採択となる要因は大きく分けて 2 つある。1 つは経営的評価手法自体の問題である。第 2 章では、自給飼料生産費用価が乾草価格を下回るとしても、それがダイレクトに普及には結びつかないことを指摘した。飼料イネ生産においても同様の議論があてはまる可能性がある。もう 1 つは、普及側が想定する生産環境と実際に当該作物が生産される生産環境の相違に起因する技術目標の未達成である。具体的には、生産現場と研究所における圃場条件、水利条件、土壌条件等の較差の存在が検討課題となる。

飼料イネ耕畜連携システムはふん尿問題、生産調整問題、耕作放棄問題を同時に解決する理想的なものであると喧伝されているにもかかわらず、なぜ生産の拡大が遅々として進まないのか。この要因の考察が本補論の目的である。以下では費用価及び単収に着目して、技術目標と現実の相違の実態を明らかにし、普及が進まない要因を検討している。

2) 飼料イネ生産費用価の修正の必要性

一般的な飼料イネ生産の経営的評価においては、輸入乾草の購入価格と飼料イネ生産費用価が比較される。しかし、第 2 章で検討したように、両者の単純比較からは有益な含意は導かれない。

(1) 飼料イネの品質

畜産農家へのアンケート等によると、飼料イネロールベールに対する畜産農家の評価は庭先価格で TDN1kg 当たり 50 円程度(乾物 1kg 当たり 35 円程度)とされている。千田[36]は、酪農家を対象にアンケートを実施し、8 割を超える農家が飼料イネの庭先価値を 50 円/TDNkg 以下と評価したこと指摘した。このことは、飼料イネの生産費用価が仮に乾草価格(現在 90 円/TDNkg)を下回ったとしてもそれだけでは有利な飼料とは判断されないことを意味する。低評価の理由としては、品質のばらつき⁴⁵、気温が上昇する 6 月以降の二次発酵があげられる。平児ら[6]も、品質のばらつきによる産乳や生育への影響を敬遠する畜産農家の意向と飼料イネへの低評価を指摘している。また、飼料イネの利用者である亀田[11]は、現物 10 円(58 円/TDN1kg)だった

⁴⁵ ラッピング技術如何ではカビが発生する。多少のカビは嗜好上問題ないとされるが、多くの酪農家はカビを忌避する。

ら飼料イネ給与を行うか、という質問に対し「大変高いと思う、いくら品質が良くても、とても買える値段ではない」と回答し、飼料イネへの評価が低い理由として、収穫時の水分含有量、登熟度合いの変動に起因する品質較差を挙げている。

（２） 粳の漏生問題

一方で耕種農家側も問題を抱えている。飼料イネ圃場を食用米生産に戻した場合に、飼料イネ収穫時に脱粒した粳や堆肥中に含まれる未消化粳が発芽し、その結果食用米の品質が低下することへ懸念が示されている。漏生粳に起因する品質低下を回避するために、飼料イネとして食用品種を作付するケースも多いが、これは低収量を結果する。漏生粳の低減は収量増に直結するとともに、品質低下に対する農家の不安を解消することから、その技術開発に期待が寄せられている。

（３） 保管コスト・ハンドリングコスト

1 個 200kg 以上のロールベールは、ハンドリングコストを生じさせる。この点も飼料イネサイレージが低評価となる要因の一つである。また、中山間地域ではロールの保管場所が問題となる。次頁左の写真は道路沿いに積み重ねられたロール、右は圃場を一時的な保管場所としている例である。保管場所がないため飼料イネの利用を断念した、との畜産農家の声も聞かれる。また、飼料イネ運搬・堆肥散布時の距離も制約となる。埼玉県旧妻沼町の事例(加藤[13])ではロールの運搬距離として 5km が上限であることが報告されているが、筆者らの調査事例では、最も遠い畜産農家までの距離は、広島県旧大朝町、鳥取市で 20km、千葉県旧干潟町では 60km であった。飼料イネ輸送が長距離となる事例では運搬コストも非常に大きくなる。



広島県旧大朝町



青森県六戸町（いずれも筆者撮影）

なお、飼料イネ生産農家と利用農家は飼料イネの播種前に利用契約を結ぶ必要があるため、飼料イネの市場流通は制度上認められていないが、飼料イネの市場流通の可能性も過去には検討されている。但し、重量・体積・腐敗性といった物理的特性により流通コストが莫大になることから、その実現可能性は低いと結論づけられた⁴⁶。

⁴⁶ 生産調整に関する研究会[34]は、飼料イネの市場流通コストをおよそ 47 円/DMkg としているが、購入乾草価格とほぼ等しい流通コストは、飼料イネの市場流通を事実上不可能のものとする。加えて、堆肥の運搬、撒布における労力やコストを考慮すれば、生産条件の不利な水田が飼料イネ生産の対象となる可能性は一層低くなる。

3) 単収水準の乖離の要因

飼料イネの普及可能性のカギは収量増と低コスト生産にある。しかし、現実には転作作物である飼料イネを優良圃場に作付けする例は多くない。また、収益性の高い食用米の作業を優先したために飼料イネの作業適期を逸し、低収量にとどまるケースも散見されており、効率的な飼料イネ生産を実現している地域は限定的である。

(1) 研究圃場と生産現場の生産条件

飼料イネ生産の与件となる物理的制約、社会的制約は多様である。単収や生産費等の技術水準の指標は、本来地域特有の諸制約を一定程度考慮した形で提示される必要がある。にもかかわらず、技術の経営的評価では、生産環境の整った事例における収量・コスト水準をナイーブにデフォルト値とすることが多い。

収量水準に関しては、研究所が示す目標が生産現場において達成されないことが問題となる。生源寺[42]は、生産調整水田として生産力の低い圃場が割り当てられることを実証しているが、飼料イネにおいても事情は同様である。研究所においては、稠密な栽培管理と最適な土壌条件、オールマイティな水のかけひきのもとで試験が行われる。現実の普及場面において、同等の圃場条件や栽培条件が確保される保証がないにもかかわらず、研究機関ではこうした試験が行われることが一般的である⁴⁷。

生産をとりまく制約を考えよう。物理的制約としては、不十分な排水条件が代表的である。このとき低コスト・高品質生産は実現されない。また、社会的制約としては、農地を集積する主体ないし、地域をまとめる主体の欠如がある。農地の集約による生産性向上が見込めない場合、同様に飼料イネの生産は拡大しないだろう。飼料イネ生産では、専用収穫機の償却が必要であり一定程度の面積の確保が不可欠なためである。このほか、地域の水利慣行も重要である。周辺圃場との関係上早期落水が不可能な場合、地耐力確保のため適期収穫が困難となる。以上から、研究サイドにおいて、生産現場における種々の制約を勘案した試験が必要とされることが明らかである⁴⁸。

次に飼料イネ収量データを時期別に整理し、収量の実態を確認する。これは本章のシナリオ分析においてベースとなるシナリオ1の単収をなぜ乾物1.0tとしたかについての説明でもある。

(2) 2000年前後の収量

2000年前後の飼料イネ収量を昇順に表5-補-1にまとめた。水田農業経営確立対策における助成拡充によって、飼料イネ栽培が急速に拡大した時期である。

乾物1.0tを超える地域も一部にはあるが、総じて1.0tを下回っている。この当時既に、乾物1.5~1.9tの高収量品種が開発されてはいたが、実際の収量はこの水準を大幅に下回ってい

⁴⁷ 研究所が提示する生産技術水準が生産現場で再現可能か、という問いは、研究所における稠密な栽培管理が実際の生産現場で再現可能かという問いに置き換えることができる。

⁴⁸ 現状の単収を乾物1.0tと設定することに対し、「研究所レベルでは、既に乾物で2.0t近くとれているデータもあるのに、なぜ低い数値を使うのだ」という批判を必ずと言ってよいほどに技術系研究者から受ける。耕種農家はなぜ研究所が想定したように行動してくれないのか。という彼らの疑問に対しては、技術系研究者はなぜ農家の合理的反応を配慮した研究設計を行わないのか、と反論しておく。

た。耕種農家にとって飼料イネが新規作物であり、栽培情報、技術水準が不十分であったことを割り引いてもこの水準は低いと言わざるをえない。

表 5-補-1 2000 年前後の栽培方法と収量水準

年	都道府県	単収(DMkg)	播種方式	収穫方法	備考
2001	島根県	450	湛直	牧草収穫機	
2000	熊本県	476	移植	牧草収穫機	
2000	山口県	583	移植	牧草収穫機	排水不良
2000	熊本県	661	移植	牧草収穫機	
2000	熊本県	694	移植	牧草収穫機	
2000	熊本県	769	移植	牧草収穫機	
2001	広島県	790	移植	専用機	
2000	山口県	902	移植	牧草収穫機	害虫被害
2000	宮崎県	913	移植	牧草収穫機	無農薬
1998	埼玉県	924	移植	牧草収穫機	
2001	島根県	940	湛直	牧草収穫機	
1999	群馬県	970	湛直	牧草収穫機	
1999	群馬県	988	湛直	牧草収穫機	害虫被害
2000	新潟県	990	乾直	専用機	排水不良
1999	山形県	1,002	移植	専用機利用割合3/4	
2000	熊本県	1,016	移植	牧草収穫機	
1999	埼玉県	1,057	移植	牧草収穫機	
1999	山形県	1,065	乾直	専用機利用割合3/4	
2001	島根県	1,100	湛直	専用機	

資料：全農 GRASS、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル(2001 年版)ほか

次に飼料イネ栽培が一定の広がりを見せた 2002 年産をみる。表 5-補-2 には東北農政局[45]、畜産草地研究所[2]のデータを示す。乾物収量は全地区で 1.0t を下回っており、5 地区の単純平均は 755kg にすぎない。なお、同時期の収量に関する資料(農林水産省[23])によれば、飼料イネ専用品種を利用した地区での平均単収は現物で 2,586kg(乾物換算で約 900kg)であった。

表 5-補-2 2002 年の収量 (DMkg/10a)

A地区	B地区	C地区	D地区	E地区
645	930	642	614	942

資料：畜産草地研究所[2]、東北農政局[45]

(3) 近年の収量

表 5-補-3 は千田[37]による近年の動向である。立科町を除けば、全体として収量は依然として低水準であり、1.0t 前後にとどまっている。特に、刈り遅れ等による品質劣化・脱粒のあった水戸では地区平均で 700kg を下回っている。

表 5-補-3 2005 年の収量 (DMkg/10a)

立科	美里	大洗	水戸
1,116	812	965	682

資料：千田[37]

また、新井[1]による埼玉県データのデータも低収量の実態を示している⁴⁹。2003-2007 年までの熊谷市、旧妻沼町の 5 年間の収量平均はそれぞれ 992kg、1,022kg であった。

4) 小括

土地利用型の転作作物に対して稠密な管理を求めることは現実的ではない。通常飼料イネには相対的に条件の悪い圃場が割り当てられ、また食用米ほどの稠密な栽培管理も行われない⁵⁰。さらに食用米の作業が優先されることから、収穫適期の遵守も十分ではない。

以上を表 5-補-4 にまとめた。転作作物としての飼料イネに対する生産者の期待は、研究所が考えるような「集約的管理で多収」ではなく、「粗放的管理で適度の収量」に向けられている。研究所の目標である乾物収量 1.5-1.9t を実現している地域はほとんどなく、1.0t を下回る地域が多数存在することがその証左である。

表 5-補-4 研究所と生産現場の相違

飼料イネの場合	圃場の選択	栽培管理
研究所	品種の特質を最大限生かす圃場	雑草、病虫害には細心の注意
生産現場	収益面で最適な圃場	欠株・雑草はかまわない、省力化指向

最後に、生産圃場の選択に関して 2 葉の写真を示す。



飼料イネ用水田 耕作放棄水田

広島県旧久井町



広島県旧大和町 (いずれも筆者撮影)

いずれも、筆者らが対象としている広島県の中山間地域の事例である。左は耕作放棄田に隣接する水田の飼料イネである。飼料イネの作付けにより農地の保全が行われている点は評価できるが、生産条件が良好ではないことは明白である。その結果、写真の地域における収量水準は乾物 1t を大きく下回る。右は山間地域での収穫作業である。一区画の面積が小さいばかりでなく圃場の長辺が短いため作業効率は悪い。このように、条件不利地である中山間地域におい

⁴⁹ これは坪刈り収量の結果であることから、実際の収量は 10%程度低いと考えられる。機械収穫では泥の混入等を避けるために高刈りをする傾向にあるが、坪刈りでは田面に近い地点から収穫を行うために、機械収穫と比較して収量は多くなることが要因である。

⁵⁰ 金沢[12]は、稲作技術の分析のなかで、高温多湿の日本において肥培管理における粗放化は成立しないと指摘している。この立場からは、飼料イネにおいても周到な管理が重要となる。事実、現在多収を実現しているのは周到な管理を行っている地域である。

但し、飼料作物である飼料イネの全国普及を考えた場合には、労働集約的な管理を技術モデルとすることはコスト的にも現実的ではない。そこでは粗放的管理技術の確立が求められる。

て飼料イネに対してナイーブに高い生産性を期待することは困難である。

以上、収量に着目して、研究所が提示する技術水準と、生産現場で実現される技術水準が乖離する要因を考察した。栽培試験において生産現場の環境を加味することがないならば、開発技術が生産現場で再現可能とはならない、というのが本補論の結論である。

第6章 結語

これまでの各章では、いかにして生産現場に普及する技術を開発するかという視点から、農業技術の評価をめぐる様々な問題について考察した。具体的には、資源循環型技術である粗飼料生産を対象に、経営的評価手法及び環境影響評価手法の問題点を整理、検討した。残された課題は、これらの評価をどのように統合するかである。農業生産の振興と環境問題の克服という農業生産が直面する2つの課題の観点から定量化し、評価する作業と言い換えられる。経営的評価と環境影響評価の統合に関する議論を整理し、その展望を示すことで本研究のまとめをしたい。

1. 経営的評価と環境影響評価の統合に向けて

本研究では技術評価の軸として経営と環境の2つを取りあげ、農業技術の普及可能性を検討した。経営を改善しない技術が現場に導入されることはない、という当然の認識のもとで、1つめの軸としては経営的評価を取り上げた。第2章で粗飼料生産における経営的評価の課題を整理し、第3章で北海道の酪農地帯を事例として評価手法の修正を行った。もう1つの軸は環境影響評価である。経営を改善する技術であっても、環境問題への国民的関心の高まりや国際規律の強化¹のもとでは、環境に悪影響を及ぼす技術が存続することはできない。第4章で地球温暖化問題に関する環境影響評価の必要性・重要性を指摘し、第5章で飼料イネ耕畜連携システムを対象とした環境影響評価(LC-CO₂分析)を実施した。

但し、評価軸が2つという考えには批判がある。ある技術が酪農生産に及ぼす影響は例えば図6-1-1のように多くの軸で構成されるだろう。このうち経済性と温暖化のみを取り上げるとは、他の軸が相対的に重要ではないという判断、もしくは他の軸の重要性を適切に計測できないという判断、のいずれかに立つことを意味する。第4章ではこの点を検討した²。

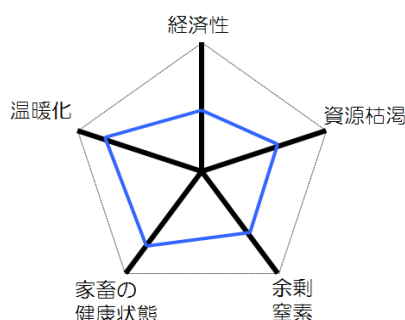


図 6-1-1 新技術導入による効果の模式図

¹ 例えば、コーデックス委員会に示された各種ガイドラインや GAP (Good Agricultural Practice) への対応が求められている。

² 軸を構成する要素としては食料自給率や国土保全等も考えられる。このほか、時間軸を加えることも考えられる。時間軸が加わったケースでは時間選好のタイプが議論の中心となる（例えばシュターマー[15]）。

ところで、技術の導入により経営が改善され、かつ環境負荷が軽減されるケースでは技術の普及に何らの支障も生じない。但し、こうした技術はごく少数に限られ、多くは経営面ではプラスだが環境面ではマイナス、あるいは経営面ではマイナスだが環境面ではプラス、のいずれかに分類される。問題は経営面と環境面の効果の符号が異なる技術をいかに評価するかであり、こうした技術の評価においては両者を統合する作業が必要となる。図 6-1-2 に新技術導入による効果を模式的に示した。横軸は経営に対する効果、縦軸は環境に対する効果である³。各象限には普及に必要な施策の例が記されている。

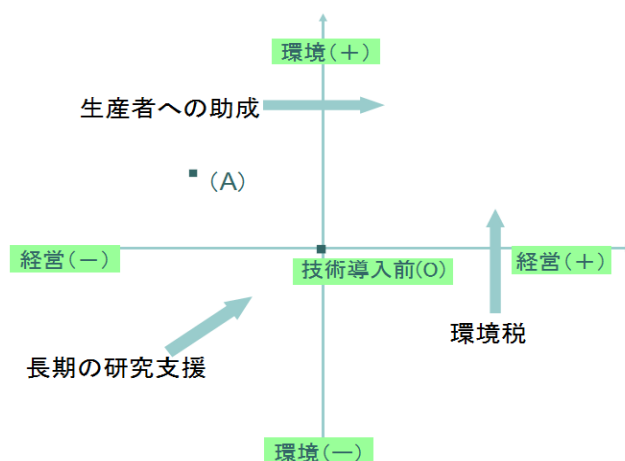


図 6-1-2 新技術導入による経営面・環境面の変化

第 1 象限と第 3 象限は考察の対象外とした。経営収支も環境収支も改善される第 1 象限にある技術は、特段の施策なしに普及が予想される。一方、第 3 象限の技術は経営収支も環境収支も悪化することから、技術自体の開発が打ち切られるか、将来の技術進歩に期待して研究開発が継続されるかのいずれかである。第 2 象限に位置する技術では生産者への助成が、第 4 象限の技術では環境税等が普及の手段として想定される。これらの手段により当該技術は第 1 象限に移動することになる。

新技術が図 6-1-2 の A 点に示されたとしよう⁴。当該技術の統合評価によって、技術導入前の O 点と技術導入後の A 点のいずれが望ましいかが判断される⁵。このときの評価とは、図中にどのような無差別曲線を引くかの検討にほかならない。無差別曲線の形状を得るためには、どれだけの環境負荷が許容されるか(第 4 象限)、あるいは生産者に対しどれだけの助成を与えるべきか(第 2 象限)を知る必要があるが、その作業が困難であることはこれまでの研究が示してい

³ 農業生産と環境問題の関係は多面的でありかつ複合的である。多面的とは、水質・土壌汚染、悪臭、資源枯渇、地球温暖化など、環境問題自体の種類・性質が多様であることを意味する。複合的とはこれらの問題が同時発生的(あるいは同時決定的)であり、ある要素が原因にも結果にもなることを意味する。また各要素間にはネガティブフィードバック(ポジティブフィードバック)の関係も存在する。例えば、化学肥料の過剰な利用は、窒素の過剰蓄積をもたらすと同時に温暖化の要因となるが、同時に温暖化は、病虫害の発生頻度を高め、化成肥料や農薬の使用増加を帰結するだろう。

⁴ 第 5 章までの分析は、新技術の導入効果を図 6-1-2 に正確にプロットするための手法の検討及び座標点の計測に充てられたと言い換えられる。

⁵ 新技術は現行技術と比較して望ましい $A > O$ 、同等 $A \sim O$ 、望ましくない $A < O$ のいずれかである。

る。とはいえ、何らかの尺度による評価が存在しない限り統合評価ができない。そこで以下では厳密さよりも実行可能性を重視し、統合手法の検討とシンプルな実証を試みる。

2. 技術の評価手法

第1章で整理した影響、評価、効果の3つのキーワードを用いるならば、残された課題である経営的評価と環境影響評価の統合とは、所得変化で示される経営への「影響」とGHG量で示される環境への「影響」を、何らかの価値規範に則った「効果」へと変換する作業ということができる⁶。つまり、統合評価のベースとなる価値規範の選択と、各影響の効果への変換が課題となる⁷。この課題に対処するため、本章では価値規範として効用を採用し、また、効用の変化を金額の変化で変換するために金額変化と効用変化が一致する効用関数を選択する。

1) 費用対効果分析

技術の統合評価とは、究極的には費用対効果分析にほかならない。技術導入によるコストがベネフィットを上回れば技術は採用され、下回れば改善要因を分析した上でさらなる技術開発を進めるか、技術開発自体を中断するかが選択される。問題はコストとして何を含め、ベネフィットとして何を含めるか、つまり何を評価の価値規範とするかである。表6-2-1に一般的な費用対効果分析の手法をまとめた。表中の○や×といった記号はそれぞれの項目の実現可能性についての一般的評価を示している。ひとくちに費用対効果分析と言ってもその意味するところは幅広く、大まかには3種類に分けられる。民間企業で用いられる財務分析、公共事業で用いられる費用便益分析、非金銭的な効果を含む満足度に着目した費用有効度(満足度)分析である⁸。

表 6-2-1 費用対効果分析

分析手法	評価基準	効果の正確な把握	計測のしやすさ
財務分析	市場価格(金額)	×	◎
費用便益分析	シャドウプライス(金額)	○	○
費用有効度(満足度)分析	満足度(効用)	◎	×

農業技術の経営的評価は表6-2-1ではおおむね財務分析に相当する。経営的評価は当該技術の導入による生産コストの減少あるいは農業所得の増加という視点から計測が行われる。しかし、資源循環型技術の主要な目的である環境負荷軽減効果は、財務分析では対象とならない。そこで、評価対象領域を個別経営から農村ないし国全体さらには地球規模にまで広げ、環境に

⁶ 環境影響評価においてGHG量の変化は「効果」であったがここでは「影響」と記述される。

⁷ 技術の評価、なかでも環境と経済の統合評価は複雑な問題である。これに関しAlston[2]は次のように指摘している。

The analyst now faces the problem of accounting both for the externalities and for the government intervention to correct for them. This is far from straightforward conceptually and as an empirical matter it is very difficult.

⁸ 財務分析に関してはその手法が確立しているが、後2者の境界線は明確ではない。

関する項目を評価に組み込む必要が生じる。次に費用有効度(満足度)分析を考える。これは技術導入による効果をあまねくとらえようとする考え方であり、LCAではendpoint分析と呼ばれる。tangibleであるとintangibleであるとかかわりなく、全ての効果や影響(住民の厚生の変化、人的被害の軽減等)が含まれる点でfirst-bestの手法であるが、計測には膨大な量のアンケート調査や面接調査が必要となるため、計測コスト(時間・金額とも)の高さが常に問題とされる。

実行可能性の視点からは2行目の費用便益分析が有効となる。擬制的な価格を用いることで、部分的ではあるが環境負荷の評価が可能となり、かつ費用有効度分析に比べ計測コストが節約できる点で他の手法より優れている。以下では、環境負荷量としてのGHGを金額表示し、これを経営的評価と統合することを検討する。費用有効度分析をfirst-bestとすれば、本手法はsecond-bestと位置づけられる。

2) 環境負荷軽減技術と助成

LCAはデータの収集、影響領域の把握、統合化指標の作成という3段階を経るが(図4-4-1)、農業分野の既往研究はいずれも統合化指標の作成には至っていない⁹。統合化が困難な理由としては、農地が空間に対して開放的である、生産主体がコントロールできない自然の影響(土壌や水も含む)を強く受けるといった農業生産特有の問題があげられる(第4章)。

新農法の導入によりGHGが削減されるケースを考えよう。技術導入による環境への正の影響が、市場機構を通じて内部化可能ならば特段の問題は生じない。例えば、カーボンフットプリントが表示された農産物に消費者が付加価値を見出す場合、各経営は当該技術を積極的に導入するだろう。しかし、GHG削減による効果は基本的に排除不可能であることから、排出削減による便益の対価を生産者が国民から徴収することは困難であり、公的主体が環境負荷削減効果を別途評価する必要が生じる。そもそも、環境負荷物質には非競合性や非排除性があるために、その効果を正確に金銭評価すること自体が容易ではない。そこで、以下では環境保全型技術に対する助成¹⁰を手がかりに、経営的評価と環境影響評価の統合問題を検討する。生源寺[16]にならって、環境負荷と経済性の関係を整理する。

図6-2-1は資材投入を削減する(地域の慣行に比べて原則として化学肥料・化学合成農薬の使用を5割減らす)エコファーマーの行動を念頭においている¹¹。農業資材の削減により通常は収量が低下するが、エコファーマー制度においては、生産した農産物を別途集荷する仕組みはないため、農産物価格が一定な限り農業所得は通常減少する。環境支払いでは③で示された減収分(の一部)を環境に対するプラスの効果とみなし、助成が行われる。減収分の補填という考え

⁹ 第5章はmidpoint分析である。ISO14040においてendpoint評価はLCAの義務とはされていない。midpoint評価を提示し最終的な評価を生産者にゆだねることもLCAとしては十分な分析である。

¹⁰ 2006年から実施されている農地・水・環境保全向上対策では、環境負荷軽減的な農法の導入により農業所得が減少するとし、生産者(エコファーマー)に対して所得を補填している。

¹¹ エコファーマー制度は2000年度に始まり、戸数は2002年の9,000戸から2007年9月末には155,000戸に増加している。なお、近年の増加分の多くは農地・水・環境保全向上対策における助成を受けるための申請増を反映していると考えられるが、このことは金銭的インセンティブによる環境負荷軽減施策が効果をあげていることの証左でもある。

は、資材投入の削減による環境負荷軽減効果が金銭換算可能であるとの仮定に基づく¹²。

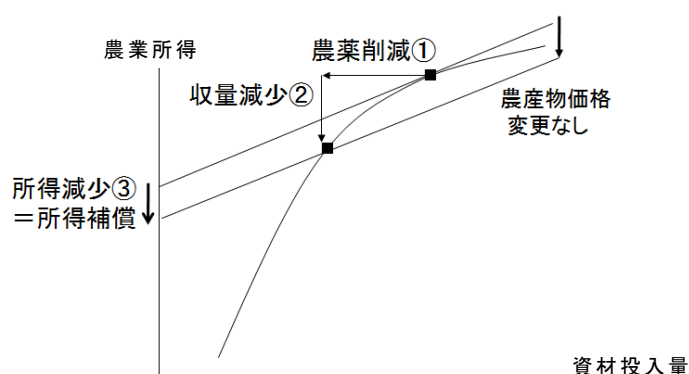


図6-2-1 投入削減と所得補償（農薬削減の例）

このように環境負荷軽減効果を金銭表示することで、経営と環境という2次元平面が1次元に変換され、当該技術の効果を所得という単一の経済的指標で表現することが可能となる。

3) GHG 削減の経済効果

新技術導入による効果計測の最善策は、表 6-2-1 に示されるように、環境要素を含めた社会的効用を推計することであった。但し、社会的効用を直接得ることは困難なことから、以下では所得と環境負荷物質の間にあるウエイトをおき、両者の統合を検討する¹³。

(1) 評価基準としての炭素価格

環境負荷と経済性の統合評価手法の検討にあたり、シンプルな準線形効用関数を用いる。準線形の効用関数では、環境負荷と経済性の代替率、つまり環境負荷の「価格」をいかに決定するかが重要となる。GHG 削減効果のケースでは炭素価格が環境負荷の価格となる。

一般的な例を用いて、準線形効用関数における効用水準と金額の関係を整理する。Y を所得、E を負荷量、t を E の価格とすれば、効用水準は

$$U(Y,E)=Y+tE \cdots (6.2.1)$$

で表示される。ここで等価変分 EV は $U(Y+EV+\Delta Y,E)=U(Y,E+\Delta E)$ で定義されるが、(6.2.1) より $EV=t\Delta E$ であることから、U 全体の変化は

¹² 資材投入の減少にもかかわらず農業所得が増加する要因は、生産フロンティがシフトしたか、従前の生産点が最適ではなかったかのいずれかである。農林水産省の調査(農林水産省統計部[13])によれば、減農薬減化学肥料の生産によって 10a 当たり収量は 7~15%減少するものの、10a 当たり農業所得は 8,000~34,000 円上昇する。この結果は、資材投入の削減という外的条件に対して、生産者は(マーケティングを含む)技術体系の変更で対応していること示唆する。

¹³ 技術導入の効果を金銭評価する意味を考える。この背景には、所得変化が経済余剰の変化と等しく、かつ経済余剰の変化を社会的余剰の変化とする考えがある。経済余剰と社会的余剰が一致する条件として Varian[19]は、貨幣がニューメラルであること、効用関数が準線形であることをあげている。但し Alston[2]は、これらの条件が成立しなくても所得の変化は社会的余剰の近似として十分な指標であることを指摘している。理由として、1. 圧倒的に少ない情報量で推計できること、2. 仮に詳細な情報を集めたとしても、その結果が必ずしも正確な指標とはならないことの 2 点をあげている。

$$\Delta U = \Delta Y + t \Delta E \cdot \cdot (6.2.2)$$

と単純化され、その結果、技術の統合評価においては(6.2.2)式の正負が技術導入の判断指標となる¹⁴。

炭素価格には二つの側面がある。1 つはマーケットから決まる排出権取引価格である。本研究で GHG を取り扱った理由の 1 つは、仮に不完全であったとしても CO₂ にはマーケットが存在することである。炭素市場における価格は、市場開設当初の 3 年間は 500 円/t-CO₂ 程度であったが、近年上昇傾向にある。日本の取引価格としては t 当たり 1,600 円があげられる¹⁵。これらの価格は低水準にあるが、理由として、炭素取引に参加している主体が限られているために炭素市場が需給を反映していないこと、炭素価格が一種の罰金として決定されるために低水準となることが指摘できる。もう 1 つは、温暖化による被害額から算定される炭素価格である。

IPCC[6][7]には、温暖化による被害を経済モデルで推計し炭素価格を算出した結果がまとめられている。CO₂1t 当たりの経済的被害額とその 90%信頼区間は表 6-2-2 に示されるが、そこでは価格の推計幅が広いことが問題とされている。また報告書では、CO₂ 価格の上昇によりどれだけの排出削減が可能となるかも議論されている。IPCC[6][7]以降も IPCC 第二次報告(IPCC[8])等において炭素価格が報告されたが、基本的には 95 年版のデータを踏襲している。データがリバイズされない理由として、不確実性による推計結果の不安定性があげられている。

表 6-2-2 温暖化被害による炭素価格 (USD/t-CO₂eq)

	平均値	区間推計値
Nordhaus(1991)	7.3	0.3-65.9
Nordhaus(1993)	6.8	—
Ayres and Walter(1991)	—	30-35
Cline(1992)	—	7-150
Peck and Teisberg(1992)	—	12-14.
Franlhauser(1994)	22.8	7.4-52.9
Maddison(1994)	—	8.1-8.4

資料：IPCC[6][7]

この他、炭素税に関する研究も数多く行われた¹⁶。CO₂1t 当たりの税額は下限の 0 から上限の 83.2USD(Treasury[17])まで幅広いことから、被害額推計のケースと同様に信頼性が問題視されている。一方、Nordhaus[12]¹⁷は効用関数を用いて、各種の施策によって炭素税がどのように時系列で変化するかを推定し、温度上昇の幅を小さくとどめる施策において炭素価格が高くなることを議論している。そこでは CO₂ 濃度を産業革命以前の 1.5 倍に安定化させるために必要

¹⁴ EV(Equivalent Variation)は間接補償関数 $\mu(\mathbf{q}; \mathbf{p}, m)$ において \mathbf{q} を事前の価格で固定した場合の変分である。間接補償関数自体は支出関数 $e(\mathbf{q}; \mathbf{v}(\mathbf{p}, m))$ と同義であるが、ここで価格 \mathbf{q} を固定すれば、 $e(\mathbf{q}; \mathbf{v}(\mathbf{p}, m))$ は効用関数そのものであり、(6.2.1)式における金銭変化は効用の変化に一致する。

¹⁵ 2007 年 11 月に日本政府はハンガリーから 1,000 万 t を購入する契約を結んでいる。

¹⁶ 赤井ら[1]は実験経済学の観点から炭素税導入の影響について検討している。Godal et al. [4]はアメリカの京都議定書参加にともなう炭素価格の変動に着目した排出権取引の実験を行っている。

¹⁷ Nordhaus は DICE(Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy)モデルにおいて、大気の放射に対する GHG の影響を計測し、炭素価格が推計している。なお、Nordhaus は Treasury [17]の結果に否定的であるが、批判の中心は 0.1%という低い時間割引率に向けられている。

な炭素価格は 1t 当たり 51.7USD、2 倍では 10.8 USD、2.5 倍では 10.1USD となること¹⁸を推計している。

近年の炭素市場の動向をまとめた World Bank[20]では、世界の炭素市場の規模は 2007 年で 640 億 US\$に達するが、現実に取りされている炭素価格自体はもっとも高い EU 域内取引でも 25US\$にとどまるとしている。

（２）炭素価格を用いた飼料イネ耕畜連携システムの評価

次に、炭素価格を用いて、飼料イネ耕畜連携システムにおける経済性と環境負荷の統合評価を考える。経済性の指標としては飼料イネ生産の収益が考えられる。しかし、生産性の低い水田での作付けは生産調整政策への協力の結果であるとすれば、純粋な(=助成を全くカウントしない)収益性は、飼料イネ技術の統合評価を検討する上では正しい指標ではない。技術の評価にあたっては、産地づくり交付金の該当部分は収益に含めるべきである。中央農業総合研究センター[3]は、12 自治体について飼料作物を含む一般作物への基本支払部分を調査し、10a 当たりの助成金額は平均 38,300 円/10a であるとしている¹⁹。そこで、以下の図 6-2-3 では 38,300 円/10a を収益に組み入れて分析を行っている²⁰。

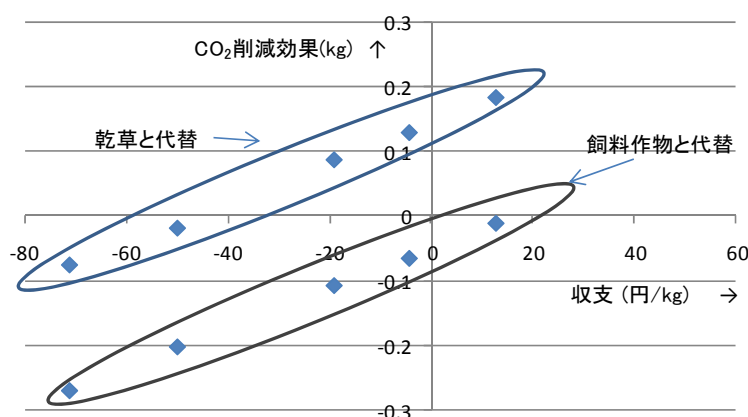


図 6-2-3 飼料イネ 1kg 生産の経営収支と CO₂ 収支

以上をもとに実際の耕畜連携システムを評価する。図 6-2-3 に示される軸は横軸が飼料イネ乾物 1kg 当たりでみた経営収支(円/DMkg)、縦軸が GHG 削減量(t-CO₂eq/DMkg)である²¹。左上の楕円は乾草と飼料イネを代替したケース、右下の楕円は飼料作物と飼料イネを代替したケースにおける収益性の変化と環境負荷削減効果を示す。それぞれ左からシナリオ 1-b(中山

¹⁸ 平均気温を 1900 年レベルから 1.5℃以内に安定させた場合の炭素価格は 38.4USD、2℃以内で 16.4USD、2.5℃以内で 11.7USD、3℃以内で 10.3USD である。

¹⁹ 産地づくり交付金制度以降、各自治体に助成額の決定権が与えられたために助成水準のモデル化が困難になっている。但し、制度の目的が画一的助成の廃止にあったことを考えれば、これは当然の帰結である。

²⁰ 実際に飼料イネ生産が行われている事例では、産地づくり交付金に加え様々な自治体独自の助成を受けている。

²¹ 乾草価格が上昇する場合は飼料イネの収益性が改善されるため、図中の各点は右側に水平移動する。例えば、乾草価格が 5 割上昇すれば 22.5 円分だけ各点は右側に移動する。

間), 1-a(平地), 2(短期目標), 3(中期目標), 4(長期目標)の順にプロットされている。(6.2.2)式では横軸は ΔY 、縦軸は ΔE に相当する。

最も単純な技術の判定基準は、この図に炭素価格を当てはめることで得られる。既に指摘したように、 $\Delta Y + t\Delta E > 0$ ならば当該技術は望ましく、 $\Delta Y + t\Delta E < 0$ ならば社会にとって望ましくないと判断される。このように価格 t の水準が技術評価を決定する²²。図 6-2-4 は図 6-2-3 上に炭素価格を追加したものである。図には 4 種類の価格を示した。表 6-2-2 の最小値と最大値、日本政府の買入価格、さらに最高値として Nordhaus[12]の数値(27,000 円(245USD))を用いた。図の簡略化のため飼料イネが乾草と代替するケースのシナリオ 2, 3, 4 の 3 点のみを示した。

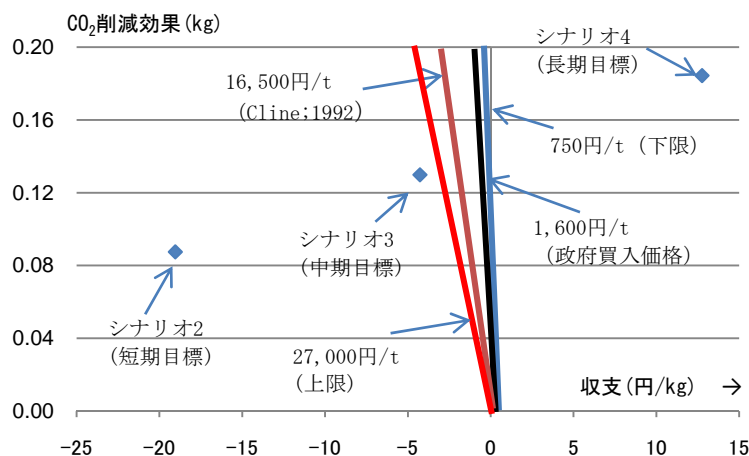


図 6-2-4 飼料イネ 1kg 生産の経済収支と CO₂ 価格

各直線の右側が $\Delta Y + t\Delta E > 0$ 、左側が $\Delta Y + t\Delta E < 0$ の領域であるが、シナリオ 2, 3 では $\Delta Y < 0$ かつ $\Delta Y + t\Delta E < 0$ であり、 ΔY と $\Delta Y + t\Delta E$ の符号が入れ替わることはない。この図のスケールでは炭素価格を示す直線はほぼ垂直に示され、経営的評価のみによる技術の判断と炭素価格導入後の統合評価による判断は一致する。各種の炭素価格を用い GHG の削減効果を金額換算した場合でも、炭素価格の大きさが小さいために、結果として $\Delta Y + t\Delta E$ の正負は影響を受けない²³。

別の視点から助成の効果を考える。耕畜連携システムに対しては、10a 当たり 1.3 万円の追加助成が行われる。この金額を GHG 削減効果の指標とすれば、各炭素価格で換算される GHG 排出削減効果が助成をペイするかに関して表 6-2-3 の分析が可能となる。

表の金額が 1.3 万円を超えるならば、当該政策は効率的と判断できる。しかし、図 6-2-4 と同様に、ここでも負荷削減に対する市場の評価は十分な大きさとはならない。栽培技術が相当程度効率化されたシナリオ 4 でも負荷削減の金銭評価は耕畜連携システムに対する行政サイドの評価(1.3 万円)には届かない。

²² $\Delta Y + t\Delta E > 0$ という費用便益比を指標とすることに問題がないわけではない。複数技術の比較のケースでは value for money と selectivity は重要な論点となる。費用便益分析の基本的な問題については野口[11]が詳しい。

²³ シナリオ 3 のケースでさえ、いかなる炭素価格でも $\Delta Y + t\Delta E < 0$ の符号は変化しなかった。

表 6-2-3 GHG 削減効果の評価額と助成額の比較

	1600(円/t) 日本政府購入 価格	5,700(円/t) 2010年の平均気温 1900年比1.5度以	16,500(円/t) 現状の被害から 算定される上限	27,000(円/t) 2100年の平均気 温1900年比1.5度
シナリオ1-b(中山間)	-99	-353	-1,023	-1,674
シナリオ1-a(現状)	-26	-94	-272	-446
シナリオ2(短期)	191	680	1,972	3,227
シナリオ3(中期)	302	1,073	3,110	5,090
シナリオ4(長期)	488	1,735	5,033	8,235

3. 指標の統合化と残された課題

以上、環境影響評価と経営的評価の統合手法について検討し、炭素価格を用いて両者の統合に関する試算を行った。炭素価格が低いため、炭素価格を用いた統合から統合前の判断を覆す結果は得られなかった。これは、経営と環境を統合するより良い手法の検討が必要であることを示唆する。

環境と経済の統合問題を整理して本論文の結びとしたい。

環境負荷の金銭表示に関し、将来世代の環境の価値は現世代の評価と異なる可能性があるため、環境問題を現世代のみで議論することは妥当ではないとの意見が根強くある。また中西[10]は、リスクを指標化することの困難さを指摘しているが、客観性が比較的高いと思われる医学分野の平均余命や DALY(Disability Adjusted Life Years)の計測でさえ、主観的な要素が非常に大きいことを指摘している。これらの批判や疑念に対する高い説得力のある回答は得られていない。

自然科学系の研究者には、そもそも効果の統合を図ること自体に懐疑的な見方がある。van der Werf et al. [18]は12の評価指標を取り上げ、どの指標が優れているかの順位付けには意味がなく、各々の分析目的に応じて指標を適切に用いることが重要であると結論づけている。また、農業生産の環境影響評価のレビュー論文である Payraudeau et al. [14]は、窒素成分や生態系²⁴等の指標を検討しているが、数ある環境問題に関する指標を一つの指標で代表させることには否定的であり、目的に応じてその都度指標を選択すべきとしている。このように、統合的評価に関する自然科学系研究には、両者の統合自体を否定的に検討したものが多い。

一方、社会科学においては、複数の要素の統合化を前提とした研究が主流である。

環境負荷物質が生態系や人間の健康等に及ぼす影響を考慮する endpoint 分析の例としては、LIME(Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint Modeling)がもっともよく知られている(伊坪ら[9])。LIMEの特徴は大量の面接調査によるコンジョイント分析をもとに²⁵、社会的厚生関数を直接推計し、全ての環境影響を金銭評価する点にある。具体的には、環境影響カテゴリ毎に環境負荷を定量化し、人間健康・社会試算・生物多様性・一次生産の4指標

²⁴ 生態系に着目した Green et al. [5]では、野生生物の生息可能性、生息密度を技術評価の指標としている。

²⁵ 例えば、コンジョイント分析を用いれば温暖化と毒性と富栄養化の統合が可能であるが、自然科学の観点からはこれらの統合は容易ではない(あるいはナンセンスと評価される)。安易な手法の利用には注意が必要である。

で表したうえで、最終的にそれらを金銭表示している。

手法の改善策としては、LIME に示された概念の農業技術評価への適用が考えられる。現在の LIME には、農業生産に特徴的な水源涵養や国土保全等の正の外部効果は含まれておらず、農業分野の評価を導入することによるモデルの大幅な改善が期待される。但し、いかなる手法を用いる場合でも、技術の統合評価のためには個別農家の投入構造の詳細な把握が必要となる。このことは、わが国においても FADN (Farm Accountancy Data Network)²⁶と同等レベルのデータベース整備が急務であることを示唆する。データなしではいかなる検討も困難である。

²⁶ 農業生産者や農業事業者の収入分析に必要な会計データの収集を目的とした組織であり、1965年に EEC によって設立された。

引用文献

第 1 章

- [1] J. M. Alston et al., Science under Scarcity, CAB International, 1995.
- [2] J. M. Alston et al., Paying for Agricultural Productivity, Johns Hopkins, 1999.
- [3] 浅井悟ら, 農業経営者の意識にみる新技術導入の動機と規定要因, 農業経営研究, 36-1, 1998, pp1-13.
- [4] J. S. Caldwell ら, ファーミングシステム研究, 国際農林水産業研究センター, 2000.
- [5] R. Chambers, 穂積智夫、甲斐田万知子訳, 第三世界の農村開発, 明石書店, 1995.
- [6] I. J. M. de Boer, Environmental impact assessment of conventional and organic milk production, Livestock Production Science, 80, 2003, pp69-77.
- [7] A. Dupuit, De la mesure de l' utilite des travaux publics, 1844. (栗田啓子訳, 公共事業と経済学, 日本経済評論社, 2001.)
- [8] 藤本高志, 農がはぐくむ環境の経済評価: CVM, 農林統計協, 1998.
- [9] Z. Griliches, Research cost and social returns: Hybrid corn and related innovations, Journal of Political Economy, 66-5, 1958, pp419-431.
- [10] Z. Griliches, R&D and the productivity slowdown, American Economic Review 70, 1980.
- [11] Z. Griliches, Issues in Agricultural Productivity Measurement, Agricultural Science Policy, Johns Hopkins, 2001.
- [12] 今村幸生, 農業経営設計の理論と応用, 養賢堂, 1969.
- [13] 伊藤順一, 農業投資の収益性と投資決定, 農林統計協会, 1994.
- [14] 梶井功, 農業者と環境問題, 環境保全型農業とはなにか, 農林統計協会, 1996, pp33-58.
- [15] 川口雅正, 空間均衡モデルの近年の展開方向について, 九州大学農学部学芸雑誌, 57-2, 2003, pp261-272.
- [16] 増田萬孝, 農業経営診断の論理, 養賢堂, 1983.
- [17] 三輪睿太郎ら, わが国の食飼料供給に伴う養分の動態, 土の健康と物質循環, 日本土壌肥料学会編, 博友社, 1988, pp117-140.
- [18] 三輪睿太郎ら, 集中する窒素をわが国の土は消化できるか, 科学, 58, 1990, pp631-638.
- [19] 武藤和夫, 線形計画法と営農設計, 新しい農業分析, 東京大学出版会, 1962, pp77-99.
- [20] 西尾道徳, 農業と環境汚染, 農文協, 2005.
- [21] 農業環境技術研究所, 農業と環境—研究の軌跡と進展, 養賢堂, 2005.
- [22] 農業研究センター, 線形計画法による農業経営の設計と分析マニュアル, 農林統計協会, 1999.
- [23] 農業研究センター経営管理研究担当グループ編, 農業技術の経営的評価とシミュレーション分析, 農業研究センター, 2001.
- [24] OECD, Improving Evaluation Practices, 1999, pp14-15.
- [25] 小倉武一, 農民指導の理論, 農民教育協会, 1955.
- [26] 小野洋, 平成 13 年度農業技術の研究ターゲットに関する調査研究, 農業技術研究機構総合企画調整部, 2001.
- [27] 大塚啓二郎, 技術改善と技術普及, 農業経済研究, 47-1, 1975, pp14-23.
- [28] E. M. Rogers, Diffusion of Innovation, Third Edition, The Free Press, 1983. (E. M. ロジャーズ, イノベーション普及学, 青池慎一・宇野善康監修, 産能大学出版部, 1990.)
- [29] 崎浦誠治, 品種改良の経済分析, 養賢堂, 1984.
- [30] 高橋正郎, 地域農業の組織革新, 農山漁村文化協会, 1987.
- [31] 内山政照編著, 普及活動, 農業の改良普及に関する文献・資料・その解説, 農業総合研究所, 1960.
- [32] U. S. department of commerce, bureau of economic of commerce, R&D Satellite Account: Preliminary Estimate, 2006.
- [33] 渡辺千仞, 成功の報復, Economic Review, 5-2, 富士通総研, 2001.
- [34] 頼平, 農業経営管理方法の解明, 農業経営学, 明文書房, 1991.
- [35] 吉田英雄編, 農業技術と経営の発展, 農林統計協会, 2002.
- [36] 吉田謙太郎, CVM による中山間地域農業・農村の公益的機能評価, 農業総合研究, 53-1, 1999, pp45-87.

第 2 章

- [1] 荏開津典生, 農業統計学, 明文書房, 1985.
- [2] 荏開津典生ら, 酪農の生産関数と均衡賃金, 農業経済研究, 54-4, 1984.
- [3] 北海道農政部, 北海道農業生産技術体系第 3 版, 北海道農業改良普及協会, 2006.
- [4] 堀尾房造, 酪農の展開と飼料経済, 明文書房, 1984.
- [5] 石田正昭, 農家主体均衡, 農業経済研究の動向と展望, 富民協会, 1996, pp119-132.
- [6] 梶井功, 水田農業安定化に麦・大豆・飼料作物等の増産をいかにして役立たせるか, 農業構造問題研究, 2, 2001, pp149-174.
- [7] 金沢夏樹, 農業経営学講義, 養賢堂, 1982.
- [8] 加用信文, 農畜産物生産費論, 楽游書房, 1976.
- [9] 児玉賀典, 自給飼料作物の経営経済的考察, 農業経済研究, 31-1, 1959, pp26-34.
- [10] 栗原幸一, 資源循環型畜産の展開条件と課題, 資源循環型畜産の展開条件, 農林統計協会, 2006.
- [11] 前田浩史, わが国酪農の経営形態と労働力利用, 酪農生産の基礎構造, 農林統計協会, 1995.
- [12] 丸山義皓, 企業・家計複合体の理論, 創文社, 1984.
- [13] 西野松之ら, 都府県酪農の経営と技術を考える, 畜産の研究, 62-6, 養賢堂, 2008, pp665-669.
- [14] 農林水産省統計部, 飼肥料作物の作付(栽培)面積, 2008.
- [15] 農林水産省生産局畜産部, 飼料をめぐる情勢と飼料政策の展開状況について, 2008.
- [16] 農林水産省生産局畜産部・消費安全局, 2008. 9.
- [17] 岡本清, 原価計算の基礎知識, 原価計算, 国元書房, 2000, p22.
- [18] 生源寺真一, 酪農経営と地域農業, 生源寺・佐伯編, 酪農生産の基礎構造, 農林統計協会, 1995.
- [19] O. Shy, The Economics of Network Industries, Cambridge University Press, 2001.
- [20] 種村高一ら, 都府県酪農の経営と技術を考える, 畜産の研究, 62-5, 養賢堂, 2008.
- [21] 田中修, 農業の均衡分析, 有斐閣, 1962.
- [22] 和田照男, 再度農業経営研究と農業統計について, 農業経営と統計利用, 日本農業経営学会編, 農林統計協会, 1982.

第 3 章

- [1] J. S. Deussenberry, Income, Saving and the Theory of Consumer Behavior, Harvard University Press, 1949.
- [2] 原仁, 飼料高騰下での自給飼料の経済的メリット, 牧草と園芸, 56-3, 2008.
- [3] 北海道農政部, 北海道農業生産技術体系第 3 版, 北海道農業改良普及協会, 2006.
- [4] 井上憲一ら, 飼料用稲生産・利用の経済性の解明, 近中四農研農業経営研究, 9, 2005, pp8-14.
- [5] 前田幸嗣, 農家主体均衡のアクティビティ・アナリシス, 農業経済研究, 72-1, 2000.
- [6] 西村和雄, 線形計画法, 経済数学早わかり, 日本評論社, 1982.
- [7] 農林水産省生産局畜産部畜産振興課, コントラクターをめぐる状況, 2007.
- [8] 小野洋, 飼料イネ栽培の現状とその経済的評価, 農政調査時報, 546, 2002, pp62-70.
- [9] (社)日本畜産種子協会ら, コントラクター-つくり方生かし方-, 中央畜産会, 2008.
- [10] 志賀永一, 農協によるコントラクター事業の取り組みと課題 北海道・JA 鹿追町の事例, 畜産の情報, 畜産振興事業団, 2000.
- [11] T. Sonoda et al., Effects of the Internal Wage on Output Supply, American Journal of Agricultural Economics, 81-1, 1999, pp131-143.
- [12] 戸瀬信之ら, 線形不等式と線形方程式, 経済数学, エコノミスト社, 1999.
- [13] 頼平, 農業経営学, 明文書房, 1991.

第 4 章

- [1] J. M. Antle et al., Estimating the economic potential for agricultural soil carbon

- sequestration in the Central United States using an aggregate econometric-process simulation model, *Climatic Change*, 80, 2007, pp145-171.
- [2] P. J. Crutzen et al., N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 2007, pp11191-11205.
- [3] Defra, *Environmental Impacts of Food Production and Consumption*, 2006.
- [4] J. Fargione et al., Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt, *Science*, 319, 2008, pp1235-1238.
- [5] 布施正暁ら, 自動車リサイクルの産業連関分析, 特集産業連関表の応用, LCA 学会, 2006, pp65-72.
- [6] K. Hayashi, Sustainability assessment in agriculture: A methodological overview, *Sustainability Assessment of Agricultural Systems Using the Life Cycle Approach: Abstracts and Presentations*, 2007, pp13-35.
- [7] M. C. Heller et al., Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system, *Biomass and Bioenergy*, 25, 2003, pp147-165.
- [8] 福原道一, 農林水産業における LCA の適用, 農林水産技術研究ジャーナル, 22-10, 1999, pp5-8.
- [9] 池田明由ら, 環境分析用産業連関表の応用(7):鉄くず・高炉スラグ・フライアッシュ利用のシミュレーション, 産業連関, 6-2, 1995.
- [10] IPCC, Agriculture, Working Group III Report "Mitigation of Climate Change", IPCC Fourth Assessment Report, 2007.
- [11] 稲葉敦監修, LCA の実務, (社)産業環境管理協会, 2005.
- [12] 神田健一ら, 土壌からの流出成分等からみた LCA 評価の検討, 環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発, 農業環境技術研究所, 2003, pp54-57.
- [13] 築城幹典, 畜産におけるライフサイクルアセスメント, 畜産の研究, 57-1, 2003, pp130-134.
- [14] 小林久・佐合隆一, 窒素およびリン肥料の製造・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, 36-3, 2001, pp141-151.
- [15] 古賀伸久, 畑輪作体系における耕起法の変更が温室効果ガス排出に及ぼす影響の評価, 第 54 回北海道土壌肥料懇話会シンポジウム, 2007.
- [16] 古賀伸久, 農地管理法の違いと土壌炭素, 土壌の物理性 No105, 2007, 土壌肥料学会, pp5-14.
- [17] 増田清敬, わが国の農業分野における LCA 研究の動向, 農経叢論, 62, 2005, pp. 99-115.
- [18] K. Masuda, Does Bio-fuel Production in Japan have environmental Advantages?, 平成 19 年度日本農業経営学会報告, 2007.
- [19] 森本一史, 自動車におけるライフサイクルアセスメントの現状, トヨタ中央研究所 R&D レビュー, 30-2, 1995, pp1-12.
- [20] 中田哲也, 「フード・マイレージ」の試算について, 農林水産政策研究所レビュー, 2, 2001, pp44-50.
- [21] 南齋規介ら, 部門別原燃料消費量の推計, 産業連関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, 2002, pp7-18.
- [22] 新飯田宏, 産業連関分析入門, 東洋経済新報社, 1978.
- [23] 西尾敏彦, 環境保全型農業—研究開発の現状と課題—, 大日本農会, 2003.
- [24] 農業環境技術研究所, 環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発, 2003.
- [25] 農林水産省, 農林水産業における省エネルギー対策について, 2004. 5.
- [26] H. Ono et al. LCA of Agricultural Activity and CO₂ Emission, The Fourth International Conference on EcoBalance, 2000, p433-436.
- [27] 小野洋ら, ナタネを軸とした資源循環システムの環境影響評価, 農業経営研究, 45-1, 2007, pp122-125.
- [28] 温室効果ガスインベントリオフィス編, 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. 2008.
- [29] 長田隆, 家畜排泄物からの環境負荷ガスの発生について, 日本畜産学会報, 72, 2001, pp167-176.
- [30] 長田隆, 畜産における環境影響評価のための原単位の把握, 家畜ふん尿処理研究会報告書, 2006, pp55-62.
- [31] 小澤寿輔, 食品研究会紹介, 食品研究会講演会, 日本 LCA 学会, 2007.
- [32] 白石誠ら, 亜酸化窒素・メタンの発生抑制方法の検討, 岡山県総合畜産センター研究報告, 15, 2004, pp70-75.
- [33] (社)化学経済研究所, 新素材導入にともなう省エネルギー効果の分析について, 1981.
- [34] (社)未踏科学技術協会, LCA のすべて, 工業調査会, 1995.
- [35] 菅幹雄ら, 環境分析用産業連関表の応用(6):故紙リサイクルの実証分析, 産業連関, 6-1, 1995.

- [36] 杉浦俊彦ら, 地球温暖化がわが国の野菜・花き生産に及ぼしている影響の現状, 園芸学研究, 2009(印刷中).
- [37] 谷山一郎ら, 農耕地土壌における炭素動態とモデリングの現状と課題, 農業生態系における炭素と窒素の循環, 農業環境技術研究所, 養賢堂, 2004.
- [38] 寺園淳, LCA における廃棄物の考え方, 日本エネルギー学会誌別冊ライフサイクルアセスメント, 日本エネルギー学会. 1998, pp948-955.
- [39] D. Tilman et al., Carbon Negative Biofuels from Low Input High Diversity Grassland Biomass. SCIENCE, 314, 2006, pp1598-1600.
- [40] H. M. G. van der Werf et al., Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level, Agriculture: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods, Ecosystems and Environment, 93, 2002, pp131-145.
- [41] R. Woods et al., A comparative study on environmental impacts of conventional and organic farming in Australia, Agricultural Systems, 89, 2006, pp. 324-348.
- [42] 和田喜彦, エコロジカルフットプリント指標によるトマト生産の持続可能性評価, 日本エネルギー学会, 82, 2003, pp36-41.

第 5 章

- [1] 新井守, 水田輪作システムを支えるための飼料イネ導入と麦作、野菜作経営継続の可能性, 平成 19 年度関東山東海農業経営研究会報告資料, 2008, pp18-25.
- [2] 畜産草地研究所, 現地における飼料イネの取り組みおよび研究・普及の進展とその成果, 2003.
- [3] 荏開津典生, 農政の論理をたどる, 農林統計協, 1987.
- [4] 江藤隆司, トウモロコシから読む世界経済, 光文社, 2002.
- [5] 藤森秀樹, 手持ちの機械を活用した予乾体系によるミニロール稲発酵粗飼料の生産コスト, 東北農業研究センター成果情報, 2008.
- [6] 平児慎太郎・千田雅之, 畜産経営における稲発酵粗飼料の利用実態と評価, 農業経営研究, 43-1, 2005, pp90-94.
- [7] 堀江達哉: 中国中山間地の飼料イネ生産における乾田散播直播技術の導入効果と課題, 近畿中国四国農業経営研究, 15, 2006, pp1-14.
- [8] 干場信司, 循環型酪農生産への要望が高まっている, 理戦, 84, pp156-171.
- [9] 市川治編著, 資源循環型酪農・畜産の存続のための地域循環システム, 資源循環型酪農・畜産の展開条件, 農林統計協会, 2007, pp87-154.
- [10] 石川志保, 共同利用型バイオガスプラントのエネルギー的・経済的評価, 酪農バイオガスシステムの社会的・経済的評価, 酪農学園大学エクステンションセンター, 酪農ジャーナル臨時増刊号, 2006, pp73-39.
- [11] 亀田康好, 飼料イネの利用現場から, 日本農業の動き, 136, 農政ジャーナリストの会, 2001.
- [12] 金沢夏樹, 水田農業を考える, 東京大学出版会, 1989.
- [13] 加藤英男, 耕畜連携による飼料イネ生産の利用と支援ー地域の水田と酪農を結合するー, 畜産大賞報告書, 2001.
- [14] 加藤克明, 営農組合における飼料イネ導入の効果と意義, 近畿中国四国農業経営研究, 115, 2006, pp42-57.
- [15] 経済産業省, 産業の中間投入に係る内外価格調査, 2001.
- [16] 建設省・三菱総研, 道路整備による効果の推計に関する調査報告書, 1992.
- [17] 近畿中国四国農業研究センター, 飼料用稲生産における新技術導入の経営評価と中山間地域の組織化対応, 2006.
- [18] (社) 日本草地畜産種子協会, 稲発酵粗飼料の生産・供給に関するアンケート調査, 2003.
- [19] 南齋規から, 産業連関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, 2002,
- [20] 西尾道德, 畜産の急速な拡大, 農業と環境汚染, 農文協, 2005.
- [21] 農業環境技術研究所, LCA 手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル, 2003.
- [22] 農村工学研究所資源化循環システム研究チーム, バイオマス利活用システムの設計と評価, 2006.
- [23] 農林水産省生産局畜産部, 稲発酵粗飼料に係る取組状況について, 2003.
- [24] 農林水産省生産局畜産部, 飼料自給率向上にむけた平成 20 年度行動計画, 2008.

- [25]農林水産省統計情報部, 農業生産環境調査報告書, 2000.
- [26]荻野暁史ら, 飼料イネを利用した酪農の LCA 評価, 第 2 回日本 LCA 学会報告要旨, 2007, pp64-64.
- [27]小野洋, 飼料イネ栽培の現状とその経済的評価, 農政調査時報 546, 全国農業会議所, 2002, pp62-70.
- [28]小野洋, 水田の飼料利用, 平成 15 年度農業技術の研究ターゲットニングに関する調査研究, 2003.
- [29]小野洋ら, 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, 2003, pp216-219.
- [30]小野洋ら, 飼料イネの経済性と畜産経営への導入可能性, 農林経済, 9505, 時事通信社, 2003, pp2-6.
- [31]阮蔚, 米国産トウモロコシの日本向け輸出の物流と価格構成, 農林金融, 91, 2007, pp29-42.
- [32]生物系廃棄物リサイクル研究会, 生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題, 1999.
- [33]生産調整に関する研究会, 「中間取りまとめ」, 2002.
- [34]生産調整に関する研究会, 「中間取りまとめ」における検討項目に対する考え方, 2002.
- [35]関野幸二, 大規模米麦 2 毛作経営への飼料イネ導入の目安となる価格と収量, 中央農業総合研究センター成果情報, 2006.
- [36]千田雅之, 給与対象牛に応じた稲発酵粗飼料の評価とその要因, 中央農業総合研究センター成果情報, 2006.
- [37]千田雅之, 稲発酵粗飼料の品質評価と対応策, 農業経営研究, 45-1, 2007, pp35-39.
- [38]施山紀男, 地域有機物資源のリサイクル促進に向けて, 畜産環境保全に関する技術研修会資料, 1999.
- [39]志賀一, 農耕地の有機物受け入れ容量と畜産廃棄物, 酪総研選書 35, 1994.
- [40]シップ&オーシャン財団, 船舶からの温室効果ガス(CO₂等)の排出削減に関する調査研究報告書, 2001.
- [41]食料・農業・農村政策推進本部, 21 世紀新農政 2006, 2006.
- [42]生源寺真一, 生産調整の増収効果, 農業経営研究, 21-3, 1984.
- [43]武政正明ら, 麦類の利用による鶏ヒナ排泄リン量の低減, 日本家禽学会誌, 32-5, 1995, pp342-349.
- [44]棚田光雄, 集落営農における飼料イネ直播栽培の経済性と導入条件, 近畿中国四国農業経営研究, 15, 2006, pp15-31.
- [45]東北農政局, 耕畜連携による稲発酵粗飼料の取組事例, 2003.
- [46]土田志郎, 飼料イネ生産技術の経営評価と導入・定着の可能性, 飼料イネ生産利用技術の経営的評価と定着条件に関する検討会, 飼料イネ研究連絡会, 2007, pp7-16.
- [47]槌田敦, 持続可能性の条件—資源と廃棄物で社会の循環と自然の循環をつなぐ, 名城商学, 1999.
- [48]土屋圭造, 農業政策論, 明文書房, 1988.
- [49]恒川磯雄, 集落営農による飼料用稲生産の現状と課題, 近畿中国四国農業経営研究, 15, 2006, pp58-74.
- [50]USDA, National Agricultural Statistics Service, Agricultural Chemical Usage – Field Crops, Annual Report.

第 6 章

- [1]赤井研樹ら, 実験経済学的手法による地球温暖化防止のための国内制度設計, 2005.
- [2]J. M. Alston et al., Science under Scarcity, CAB international, 1995.
- [3]中央農業総合研究センター, 地域水田農業ビジョンの実現に向けた地域の取り組みの特徴と課題, 中央農業総合研究センター, 2005.
- [4]O. Godal, Carbon trading across sources and periods constrained by the Marrakesh Accords, Journal of Environmental Economics and Management, 51, 2006, pp302-318.
- [5]R. E. Green. et al., Farming and the Fate of Wild Nature, SCIENCE, 307, 2005, pp550-555.
- [6]IPCC, The social cost of climate change: greenhouse damage and the benefits of control, 1995.
- [7]IPCC, Economic and Social Dimensions of Climate Change, 1995.

- [8]IPCC, Stabilization of Atmospheric Greenhouse Gases: Physical, Biological and Socio-Economic Implications, 1997.
- [9]伊坪徳宏, 稲葉敦編著, ライフサイクル環境影響評価手法, (社)産業環境管理協会, 2005.
- [10]中西準子, 環境リスク学, 日本評論社, 2004.
- [11]野口悠紀雄, 公共経済学, 日本評論社, 1982.
- [12]W. Nordhaus, A Question of Balance Weighing the Options on Global Warming Policies, Yale University Press, 2008.
- [13]農林水産省統計部, 環境保全型農業(稲作)推進農家の経営分析調査報告, 2004.
- [14]S. Payraudeau et al., Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods, Agriculture, Ecosystems and Environment, 105, 2005, pp1-19.
- [15]C. シュターマー編著(吉永康平訳), 持続可能な社会への2つの道, ミネルヴァ書房, 2006.
- [16]生源寺眞一, 現代農業政策の経済分析, 東京大学出版社, 1998.
- [17]HM Treasury, Stern Review on the Economics of Climate Change, 2006.
- [18]H. M. G. van der Werf et al., Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level, Agriculture: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods, Ecosystems and Environment, 93, 2002, pp131-145.
- [19]H. Varian, Microeconomic Analysis, Norton, 1992.
- [20]World Bank, State and Trends of the Carbon Market 2008.