



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	家畜糞尿を考慮した酪農経営の技術効率分析：ノンパラメトリック・アプローチ
Author(s)	愼, 鏞光
Citation	北海道農業経済研究, 9(1), 1-14
Issue Date	2000-07-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/63271
Type	journal article
File Information	KJ00009065039.pdf



[論 文]

家畜糞尿を考慮した酪農経営の技術効率分析

：ノンパラメトリック・アプローチ

愼 鏞 光 *

1. 課 題

本稿の課題は、多財生産物が結合生産物として生産される生産フロンティアモデルを用いて、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の技術効率を分析することにある。

市場競争の原理が浸透する状況下で、生産性向上が要求される生産者は飼料や機械のような代価を求められる財については節約に努力するが、代価を求められない水や空気の自然環境についてはいきおい浪費的になる場合も多い。その結果、環境汚染問題が発生し、それが大きくクローズアップされつつある。このような環境問題の克服が提起されている中で、持続的農業の概念が農業生産と環境保全を両立させるキーコンセプトとして注目されている。持続的農業は農業の生産性向上と農業による環境汚染防止を同時に追求する農法の体系である¹⁾。

北海道の酪農は、土地条件に恵まれ土地利用型酪農として展開してきたことから、都府県に比べて、家畜糞尿処理が大きな問題にならなかった。ところが、北海道酪農においても、一つに、飼養頭数規模の拡大が草地面積の拡大テンポを上回って進展し²⁾、草地面積当たり家畜飼養密度が高く

なってきた。二つに、規模拡大とともに必要な施設とその投資額が大きくなってきたものの、経営規模拡大において直接生産につながらない糞尿処理に投資や労働力をかける十分な余裕がなかった。その結果、規模拡大に伴う糞尿排泄量の増大や地域的な偏在化などから家畜糞尿が環境汚染問題の一つになりつつある。

以上のように、持続的農業の観点から酪農経営の経営成果について検討する際には、経営成果として主産物たる牛乳生産量の生産性向上を認識するだけでなく、副産物たる家畜糞尿排泄量の過剰をいかに回避するかを考慮することが重要である。その解決方法として、過剰な家畜糞尿排泄量をどのように適正処理・適正利用するのかは大切なことであるが、過剰な家畜糞尿の排泄量をどのように少なく生産するのかを考えることも家畜糞尿を「資源」³⁾として扱う上で大切なアプローチである。

ところで、北海道酪農における個別経営の効率性を分析した既存研究として、生産サイドから規模と技術効率との関連を分析したもの(趙[2]、金[7]、松原[8])、費用サイドから平均費用格差とその要因を分析したもの(山本[14])がある。しかし、これらの実証分析は、家畜糞尿による環境への影響を考慮しない生産性(効率性)指標の分析である。

* 岩手連合大学院帯広畜産大学配属
韓国 農村振興庁 農業経営官室

Pittman [9] は、生産性指標に環境の影響を考慮した。Pittman [9] は Translog transformation function を用いて、パルプ・製紙 (pulp and paper) 産業から排出される undesirable output (BOD) の shadow price を計測した。

また、Färe, Grosskopf, Lovell and Pasurka [5] は nonparametric approach を用いて、desirable output と undesirable output を比例的に増加と減少させる a hyperbolic productive efficiency を計測した。

さらに、Ball, Lovell, Nehring and Somwaru [1], Tyteca [11], Yaisawarng and Klein [13] は Färe, Grosskopf, Lovell and Pasurka [5] によって提案された nonparametric approach を用いて、sub-vector efficiency 計測の実証的アプリケーションを提供した⁴⁾。

本稿では、このような内外の先行研究の潮流をふまえて、持続的農業の観点から家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の sub-vector efficiency を計測する。すなわち、多財生産物が結合生産物として生産される生産フロンティアモデルを提示し、与えられた生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する酪農経営の技術指標を分析する。

本稿の分析視点は次の3点に設定される。

- ①家畜糞尿生産を考慮した（与えられた生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産物を最大化する）酪農経営の技術効率は、どの程度であるか。
- ②家畜糞尿生産を考慮した酪農の技術非効率は、どの要因に影響を受けているのか。
- ③家畜糞尿生産を考慮した酪農の技術効率は、規模と関連しているのか。

①の視点を解明するために、多財生産物が結合生産物として生産される生産フロンティアモデルを提示すると共に sub-vector efficiency を計測する。②の視点を解明するために、①による酪農の技術効率は三つの要因に分解する生産フロンティ

アモデルを提示する。③の視点を解明するために、規模によって効率測度に差があるかどうかを統計的に検定する。

以下、2節では、まず図解によって個別経営間比較における、家畜糞尿生産を考慮した技術効率の要因の捉え方を考察する。3節では、技術効率計測のための理論モデル、計測方法ならびにデータについて検討する。4節では、技術効率を計測する。最後に、5節では結論を述べる。

注1) 詳しくは嘉田 [6] を参照されたい。

注2) 詳しくは鶴川 [12] を参照されたい。

注3) 「資源」とは、一般的に「生産に役立つもの（広辞苑）」、「生産活動のもととなる物資（岩波国語辞典）」で定義される。本稿では、家畜糞尿を肥料に相等する資源としてとらえている。

注4) sub-vector efficiency は Färe, R., S. Grosskopf, C. A. K. Lovell [4] を参照。また、日本では刀根 [10] が input sub-vector efficiency を、制御不能変数を含むモデルとして紹介している。sub-vector efficiency を用いる制約は与えられた要素投入量のもとで outputs 間の効率格差を計測することである。

2. 経営間技術効率の図解

(1) 生産フロンティアと技術効率の定義

生産フロンティアは、与えられた生産要素投入量のもとでもっとも大きい生産量が達成される経営を結んだ線分上の要素投入量と生産量の組み合わせと定義される。

技術効率は、与えられた要素投入量のもとでの現実の生産量と生産フロンティア上の生産量との比率と定義される。

Farrell [3] が初めて定義した技術効率は goods に対する規模に関する収穫一定と強可処分性を仮

定した制約的なものであり、計測には radial efficiency が用いられた。

Färe, Grosskopf, Lovell and Pasurka [5] は、goods と bads の生産物が結合生産物として生産されることを前提とし、異なる生産物 (goods と bads) における技術効率分析ができる生産フロンティアモデルを提示した。計測には hyperbolic productive efficiency が用いられた。

さらに、Ball, Lovell, Nehring and Somwaru [1]、Tyteca [11]、Yaisawarng and Klein [13] は Färe, Grosskopf, Lovell and Pasurka [5] によって提案された nonparametric approach を用いて、sub-vector efficiency 計測の実証的アプリケーションを提供した。

以下では、家畜糞尿生産を考慮した技術効率が sub-vector efficiency によって計測される方法について、図解によって説明する。

(2) sub-vector efficiency と異なる生産物

家畜糞尿生産を考慮した技術効率の非効率を分析するために、異なる生産物 (goods と bads) において sub-vector efficiency を計測する方法について検討する。

技術効率を 1 種類の生産要素・2 種類の生産物で図解したのが図 1 である。図 1 で、縦軸が生産量 v 、横軸が生産量 w を表す。また、A、B、C、F が現実の経営の生産点である。

図 1 で、すべての生産物が goods である場合、 $F(X, V, W)$ における技術効率は、①与えられた生産要素投入量のもとですべての生産物を比例的に増大させる現実の生産量 ($F(X, V, W)$) と生産フロンティア上の生産量 ($F'(X, \mu V, \mu W)$) との比率 (radial output-oriented efficiency)、②与えられた生産要素投入量とある生産物 (W) のもとで、ある生産物 (V) を増大させる現実の生産量 ($F(X, V, W)$) と生産フロンティア上の生産量 (J) との比率 (output sub-vector efficiency)、③与えら

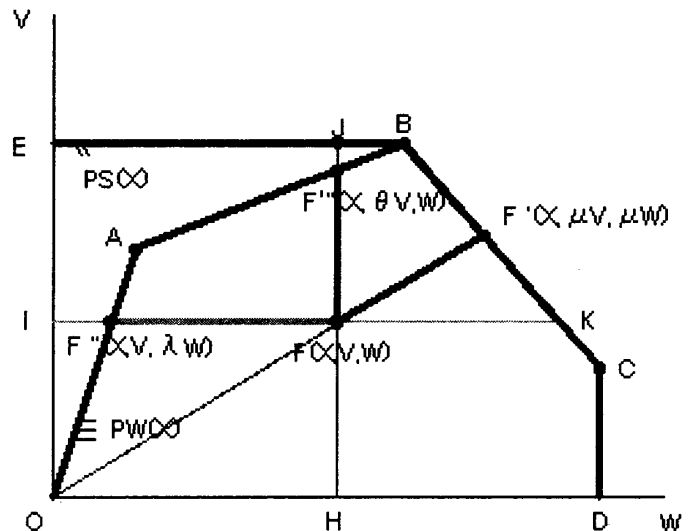


図 1 技術効率の図解 (1 要素 2 生産物の場合)

- 注 1) V, W は生産量であり、A、B、C、F は現実経営の生産点である。
- 注 2) $P^S(X)$ = 領域 OEBD であり、 $P^W(X)$ = 領域 OABCD である。また、生産物 W だけが SDO ではない制約により減少された技術効率 = 領域 OEBA である。
- 注 3) すべての生産物が goods である場合、 $F(X, V, W)$ の技術効率の生産フロンティア = 線分 $\overline{JBK}$ である。また、生産物 W だけが bads である場合、 $F(X, V, W)$ の技術効率の生産フロンティア = $\overline{F''AF''}$ 線分である。
- 注 4) 家畜糞尿生産を考慮した $F(X, V, W)$ の技術効率 = $\overline{HJ} / \overline{HF}$ である。

れた生産要素投入量とある生産物 (V) のもとで、ある生産物 (W) を増大させる現実の生産量 ($F(X, V, W)$) と生産フロンティア上の生産量 (K) との比率 (output sub-vector efficiency) である。よって、 $F(X, V, W)$ における技術効率の生産フロンティアは線分 $\overline{JBK}$ 上である。また、生産要素投入量とすべての生産物は無償処分できるという強可処分性の制約をもつ。

生産物 W だけが bads である場合、 $F(X, V, W)$ における技術効率は①与えられた生産要素投入量と goods である生産物 (V) のもとで bads の生産物 (W) を減少させる現実の生産量 ($F(X, V, W)$) と生産フロンティア上の生産量 ($F''(X, V, \lambda W)$) との比率 (output sub-vector efficiency)、②与えら

れた生産要素投入量と bads である生産物 (W) のもとで goods の生産物 (V) を増加させる現実の生産量 ($F(X,V,W)$) と生産フロンティア上の生産量 ($F^*(X, \theta V, W)$) との比率 (output sub-vector efficiency) である。よって、 $F(X,V,W)$ における技術効率の生産フロンティアは線分 $\overline{F''AF''}$ 上である。また、生産要素投入量と goods である生産物 (V) は無償処分できるという強可処分性の制約をもつが、bads である生産物 (W) は無償処分できないという弱可処分性の制約をもつ。

本稿での、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の sub-vector efficiency は次のように計測できる。 $F(X,V,W)$ における技術効率は与えられた生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を増大させる現実の生産量 ($F(X,V,W)$) と生産フロンティア上の生産量 (J) との比率である。また、生産要素投入量とすべての生産物は無償処分できるという強可処分性の制約をもつ。この場合、 θ が 1 の経営が技術効率が最も高い経営であり、 θ が 1 より大きい経営ほど非効率経営である。

(3) 混雑効率 (congestion)

家畜糞尿生産を考慮した技術効率の非効率を要因分析するために、生産物の可処分性 (disposability) について検討する¹⁾。

強可処分性 (SDO, Strong Disposability of Output) とは、生産物が無償処分できることをいう。これに対し、弱可処分性 (WDO, Weak Disposability of Output) とは、生産物の無償処分ができないことをいう。すなわち、前者 (SDO) は生産物を減少させることが費用なしに、いつも可能であるが、後者 (WDO) は生産物を減少させるためには費用が必要であることを意味する。

図 1 において、すべての生産物が SDO の場合の生産可能集合 ($P^s(X) = \{(v,w): x \text{ は } (v,w) \text{ を生産可能}\}$) は、領域 OEBCD であらわされる。また、生産物 w だけが WDO の場合の生産可能集

合 ($P^w(X) = \{(v,w): x \text{ は } (v,w) \text{ を生産可能}\}$) は領域 OABCD であらわされる。よって、w だけが SDO ではない制約による生産可能集合の変化分は領域 OEBA であらわされる。

また、F における強可処分性を前提として計測した技術効率と弱可処分性を前提として計測した技術効率の比率 (線分 $\overline{HJ}/\overline{HF''}$ 線分) を混雑効率 (congestion efficiency) といい²⁾、本稿では、汚染防止または環境規制の効果を測定する指標として用いる。

(4) 技術効率と生産フロンティア

家畜糞尿生産を考慮した酪農の技術非効率を要因分析するために、技術効率を要因分解する。

技術効率を 1 種類の生産要素・1 種類の生産物で図解したのが図 2 である。図 2 で、縦軸が生産量 (Y)、横軸が要素投入量 (X) を表す。また、A, B, C, D が現実の経営の生産点である。

全体技術効率 (SK) は、規模に関して収穫一定 (CRS) の生産フロンティア (K 点) から計算

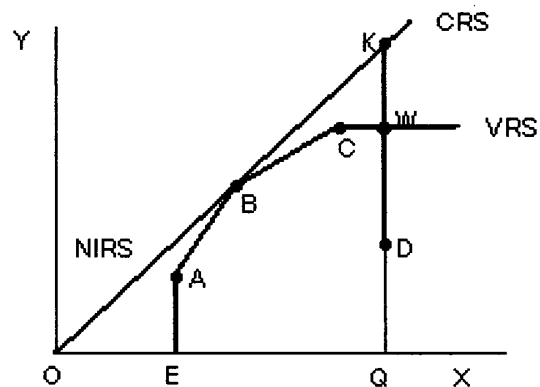


図 2 技術効率の図解

注 1) X は生産要素投入量、Y は生産量。

注 2) CRS、VRS、NIRS はそれぞれ規模に関して収穫一定 (線分 OBK)、規模に関して収穫可変 (線分 EABCW)、規模に関して収穫非通増 (線分 OBCW) の生産フロンティア。

注 3) 全体技術効率 (SK) = 線分 $\overline{QK}/\overline{QD}$ 線分、弱技術効率 (SW) = 線分 $\overline{QW}/\overline{QD}$ 線分、規模効率 (SS) = 線分 $\overline{QK}/\overline{QW}$ 線分である。

される。よって、全体技術効率 (SK) は、線分 $\overline{QK}/\overline{QD}$ 線分により計算される。

弱技術効率 (SW) は規模に関して収穫可変 (VRS) の生産フロンティア (W 点) から経営の生産点 (D 点) まで計算される技術効率を弱技術効率と呼ぶ。よって、線分 $\overline{QW}/\overline{QD}$ 線分により計算される。

規模効率 (SS) は全体技術効率 (SK) と弱技術効率 (SW) の比率と定義される。よって、規模効率 (SS) = 全体技術効率 (SK, $\overline{QK}/\overline{QD}$) ÷ 弱技術効率 (SW, $\overline{QW}/\overline{QD}$) = 線分 $\overline{QK}$ / 線分 $\overline{QW}$ により計算される。

したがって、家畜糞尿生産を考慮した酪農の技術効率 (図 1 の線分 $\overline{FJ}$ 、以下、HOSCRS という) は図 1 と図 2 をあわせ、次の三つの要因に分解できる。

①家畜糞尿の混雑効率 (congestion)

$$= P^s(X)/P^w(X)$$

② $P^w(X)$ での弱技術効率 (以下、WSW という)

③ $P^w(X)$ での規模効率 (以下、WSS という)

よって、HOSCRS = ($P^s(X)/P^w(X)$) × WSW × WSS である。

注 1) 以下の詳細な展開は Färe, R., S. Grosskopf, C. A. K. Lovell [4] を参照。また、生産物の弱可処分性を仮定して技術効率を分析したのは Ball, V. E., C. A. K. Lovell, R. F. Nehring, and A. Somwaru [1], Färe, R., S. Grosskopf, C. A. K. Lovell, and C. Pasurka [5], Tyteca, D. [11], Yaisawarng, S., and J. D. Klein [13] があり、日本において生産要素の弱可処分性を仮定して技術効率を分析したのは山本 [16] である。

注 2) 本稿では、congestion efficiency を山本 [16] と同様、混雑効率と呼ぶことにする。

3. 計測方法とデータ

(1) 計測方法

分析の前提として本稿では、与えられた生産要素投入量と生産された家畜糞尿排泄量のもとで、牛乳生産量の差異を比較するために生産量基準を用いる⁵⁾。この前提は生産者が与えられた生産要素投入量と生産された家畜糞尿排泄量のもとで、牛乳生産の最大化をめざしているが、必ずしも最大化に成功していないことを意味する。

計測方法はノンパラメトリック・プログラミング法を用いる。技術効率を計測する線形計画法によって、sub-vector efficiency を最大化する問題を個別経営ごとに解く⁶⁾。

まず、生産技術は次のような生産可能集合によってあらわされる。

$$P(x) = \{ u : \lambda U \geq u, \lambda X \leq x, \lambda \geq 0 \} \dots\dots (1)$$

ここで、 x は個別経営の生産要素投入量ベクトル、 u は個別経営の生産量ベクトル、 X は要素投入量 x の行列、 U は生産量 u の行列、 λ = Intensity ベクトルである。

(1) 式による生産可能集合 $P(x)$ は① $\lambda \geq 0$ に対して ($\lambda X, \lambda U$) の集合は凸を構成する、② x がある λ に対してその凸の X より大きい値をとる、③ u が凸の U より小さい値を取る、④生産量は強可処分である、⑤生産要素投入量に強可処分を仮定した、また CRS を仮定した生産可能集合である。さらに、 λ の制約を $\sum \lambda = 1$ と $\sum \lambda \leq 1$ にかえればそれぞれ VRS (規模に関して収穫可変)、NIRS (規模に関して収穫非逓増) の生産可能集合が求められる。

生産量の強可処分制約(④)を式にあらわすと次のようにあらわされる。

$$u' \leq u \in P(x) (u' \in P(x)) \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式は P に属するある生産物 u に対して $u' \leq u$ を満たす u' は P に属すると解釈できる。すなわち、すべての生産物は無償処分できることを意味する。

一方、生産量の弱可処分制約を式にあらわすと次のようにあらわされる。

$$u \in P(x) \Rightarrow \theta u \in P(x) \text{ for all } 0 \leq \theta \leq 1 \dots (3)$$

(3) 式は P に属するある生産物 u の比例的減少は、生産要素投入量の変化なしで可能であり、すべての生産物は無償処分できないことを意味する。

次に、生産量ベクトルを $u=(v,w)$ にすると、生産物に強可処分を仮定した生産可能集合は次のようにあらわされる。

$$P^s(x) = \{(v,w) : \lambda V \geq v, \lambda W \geq w, \lambda X \leq x, \lambda \geq 0\} \dots (4)$$

生産可能集合 $PS(x)$ は $P(x)$ を多財生産物に拡張したものであり、(2) 式と (3) 式はそれぞれ (5) 式と (6) 式になる。

$$(v', w') \leq (v, w) \in P(x) \Rightarrow (v', w') \in P(x) \dots (5)$$

$$(v, w) \in P(x) \Rightarrow (\theta v, \theta w) \in P(x) \text{ for all } 0 \leq \theta \leq 1 \dots (6)$$

さらに、生産物 $u(v,w)$ のある生産物 w が弱可処分であり ((3) 式)、ある生産物 v が強可処分である ((2) 式) 場合、生産可能集合 $P^w(x)$ と生産物 $u(v,w)$ の制約は次のようにあらわされる。

$$P^w(x) = \{(v,w) : \lambda V \geq v, \lambda W = w, \lambda X \leq x, \lambda \geq 0\} \dots (7)$$

$$(v, w) \in P(x) \Rightarrow (v', w) \in P(x) \text{ for } v' \leq v \dots (8)$$

(8) 式で、 v は無償処分が可能であり、 w は無償処分できないと仮定されている。

家畜糞尿生産を考慮しない全体技術効率 (radial output-oriented efficiency) は次の式により計測される。(以下、HASCERS とする) (9)

$$\begin{aligned} \max : & \theta \\ & \theta, \lambda \\ \theta v_i^0 & \leq \sum_{t=1}^T \lambda_t V_{it}, i = 1, 2, \dots, I, t = 1, 2, \dots, T \\ x_j^0 & \geq \sum_{t=1}^T \lambda_t X_{jt}, j = 1, 2, \dots, J, t = 1, 2, \dots, T \\ \theta w_k^0 & \leq \sum_{t=1}^T \lambda_t W_{kt}, k = 1, 2, \dots, K, t = 1, 2, \dots, T \\ \lambda_1 & \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \dots, \lambda_T \geq 0 \end{aligned}$$

(9) 式は $P^s(x)$ の生産可能集合において、与えられた生産要素投入量のもとで、すべての生産物の効率を最大化する問題を解くことによって計測される。

家畜糞尿生産を考慮する全体技術効率 (sub-vector efficiency ; HOSCRS) は次の式により計測される。 (10)

$$\begin{aligned} \max : & \theta \\ & \theta, \lambda \\ \theta v_i^0 & \leq \sum_{t=1}^T \lambda_t V_{it}, i = 1, 2, \dots, I, t = 1, 2, \dots, T \\ x_j^0 & \geq \sum_{t=1}^T \lambda_t X_{jt}, j = 1, 2, \dots, J, t = 1, 2, \dots, T \\ w_k^0 & \leq \sum_{t=1}^T \lambda_t W_{kt}, k = 1, 2, \dots, K, t = 1, 2, \dots, T \\ \lambda_1 & \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \dots, \lambda_T \geq 0 \end{aligned}$$

(10) 式は $P^s(x)$ の生産可能集合において、与えられた生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで、牛乳生産量の効率を最大化する問題を解くことによって計測される。

家畜糞尿が弱可処分性の制約である家畜糞尿生産を考慮する全体技術効率⁷⁾は次の式により計測される。(以下、HOWCRS とする) (11)

$$\begin{aligned} \max_{\theta, \lambda} &: \theta \\ \theta v_i^0 &\leq \sum_{t=1}^T \lambda_t V_{it}, i=1,2,\dots,I, t=1,2,\dots,T \\ x_j^0 &\geq \sum_{t=1}^T \lambda_t X_{jt}, j=1,2,\dots,J, t=1,2,\dots,T \\ w_k^0 &= \sum_{t=1}^T \lambda_t W_{kt}, k=1,2,\dots,K, t=1,2,\dots,T \\ \lambda_1 &\geq 0, \lambda_2 \geq 0, \dots, \lambda_T \geq 0 \end{aligned}$$

なお、(9) 式～(11) 式の各記号は次のとおりである。

θ = 酪農経営の技術効率、 x_j^0 = 酪農経営の生産要素 j の投入量、 v_i^0 = 酪農経営の生産物 i の生産量、 w_k^0 = 酪農経営の生産物 k の生産量、 X = 要素投入量 x の行列、 V = 生産量 v の行列、 W = 生産量 w の行列、 λ = Intensity ベクトル、
 なお、本稿において $i=1, j=1,2,3,4, k=1, t=1,2,\dots,95$ である。

(11) 式は $P^w(x)$ の生産可能集合において、与えられた生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで、牛乳生産量の効率を最大化する問題を解くことによって計測される。

さらに、(11) 式において、 λ の制約を $\sum \lambda_t = 1$ ($t=1,2,\dots,95$) と $\sum \lambda_t \geq 1$ ($t=1,2,\dots,95$) にかえれば、それぞれ家畜糞尿が弱可処分性の制約である家畜糞尿生産を考慮する VRS と NIRS の技術効率が求められる。

(2) データ

計測に用いるデータは、平成 9 年の北海道 S 町 (95 戸) のものを用了⁷⁾。サンプルの等質性を保つため、酪農単一経営を分析対象とした⁸⁾。

計測に用いる変数は次のとおりである^{9,10)}。

1) 要素投入量は固定財費、流動財費、労働力、飼料作付面積である。

- ① 固定財費 (円)：建物、機械、家畜などの減価償却費を貨幣タームで示した。
- ② 流動財費 (円)：購入飼料費からなる流動費用のすべてを含めた。
- ③ 労働力 (人)：家族労働力の総稼働人員である。なお、労働を等質化する意味で女性労働は 0.8 のウェイトをもって換算した。
- ④ 飼料作付面積 (ha)：飼料作物の作付面積である。

2) 生産量は牛乳生産量、推定糞尿排泄量である。

- ① 牛乳生産量 (kg)：牛乳生産量を 3.8% の乳脂率に換算したものである。
- ② 推定糞尿排泄量 (kg)：糞尿排泄量は各々の農家から得られないデータであるために乾物摂取量 (DMI) によって推定した¹¹⁾。なお、各農家別の乾物摂取量 (DMI) は、S 町における家畜別購入飼料量標準を参考に次のように計算した。

- i) 自給飼料 DMI = 単位当たり作物別平均生産量 × 作物別個別作付面積 × 平均乾物率 × 平均利用率
- ii) 購入飼料 DMI = (1 頭当たり個別購入飼料費 / 1 頭当たり平均購入飼料費標準) × 1 頭当たり平均購入飼料別 DMI 標準 × 個別頭数
- iii) 農家別乾物摂取量 (DMI) = 農家別自給飼料 DMI + 農家別購入飼料 DMI

ここで、平均 = S 町における平均、1 頭当たり平均購入飼料費標準 = 平均 1 頭当たり購入飼料年間給与標準 × 購入飼料別価格、1 頭当たり平均購入飼料別 DMI 標準 = 平均 1 頭当たり購入飼料年間給与標準 × 購入飼料別乾物率 で

ある。

値は第1表のとおりである。

また、それぞれの変数に関する記述統計

第1表 変数の記述統計値

変数名	変数定義	単位	平均	標準偏差
生産量	V	牛乳生産量	Kg	555,709.57
	W	推定糞尿排泄量	Kg	1,603,031.03
要素投入量	X1	固定財費	円	4,941,216.39
	X2	流動財費	円	42,028,842.04
	X3	労働力	人	2.70
	X4	飼料作付面積	ha	35.97

注5) 日本における酪農の牛乳生産は、生産調整によって個別酪農農家が自由に牛乳生産量を変更できない。しかし、現実の個別酪農農家では離農やペナルティの程度によってある程度、自由に牛乳生産量を変更できると考える。

注6) 計測にはパーソナルコンピュータで利用できるXLPを用いた。

XLPは<http://www.narc.affrc.go.jp/pub/ooisi>のアドレスから入手し、利用した。

注7) 本稿では、利用可能な最も最近のデータである平成9年のデータを用いる。また、s町1町のみを対象としたのは、家畜糞尿処理に対する取り組みが遅れているが、家畜糞尿が環境汚染問題の一つになりつつある同町問題に注目したかったからである。しかし、北海道における家畜糞尿を考慮した酪農経営の生産性推移を計測するためには、複数の市町村及び複数年度を取り上げて検討する必要がある、今後の課題としたい。

注8) 酪農単一経営とは、酪農部門の販売収入が総販売金額の80%以上を占める農家である（「改訂農業水産統計用語辞典」平成5年）。

注9) 計測に用いるデータの説明は次のとおりである。

1) データは北海道のs町農協の調べである。

2) 固定財費、流動財費、牛乳生産量は平成9年1月1日～平成9年12月31日までの固

定財費、流動財費、牛乳生産量の合計である。

3) 労働力、飼料作付面積は平成9年9月1日現在の労働力、飼料作付面積である。

注10) 生産量としては、酪農経営の主産物たる牛乳生産量と副産物たる家畜糞尿排泄量を取り上げた。要素投入量としては、牛乳生産にかかわる慣習的生産要素として土地、労働、費用を取り上げた。なお、費用はBC（生物化学的）過程とM（機械的）過程を区分するために固定財費と流動財費に分ける。ただし、固定財費は建物、機械と家畜を分けたいが、データとして得られなかった。

注11) 帯広開発建設部「平成8年度十勝地域環境保全型農業高度化検討委員会資料」により、糞尿排泄量に及ぼす主要な飼料要因を取り上げた関係式が次のとおりである。

$$(1) Y = 28.42 + 3.09 \times DMI - 0.17 \times MY - 0.04 \times BW \quad (R=0.839)$$

$$(2) Y = 31.43 + 2.67 \times DMI - 0.04 \times BW \quad (R=0.835)$$

$$(3) Y = 8.52 + 2.70 \times DMI - 0.19 \times MY \quad (R=0.793)$$

$$(4) Y = 11.49 + 2.25 \times DMI \quad (R=0.788)$$

ここで、Y＝糞尿排泄量、DMI＝乾物摂取量、MY＝乳量、BW＝体重である。

また、本稿では各農家別の牛の体重（BW）が把握できないので、糞尿排泄量の推定に（3）式を用いた。

4．技術効率の計測結果

個別農家における技術効率の計測結果は第2表、第3表のとおりである。

第2表 全体技術効率の計測結果

規模	HASCRS	HOSCRS	HOWCRS
小規模	1.06852 (7.0275)	1.15213 (9.1066)	1.12968 (9.4903)
中規模	1.07544 (6.0947)	1.14413 (6.4081)	1.12194 (7.6763)
大規模	1.06097 (5.9053)	1.09738 (8.3727)	1.09728 (8.3607)
全体	1.06831 (6.3117)	1.13099 (8.2285)	1.11616 (8.5387)

注1）HASCRSは $P^s(X)$ の制約で、すべての生産物を比例的に増大させる全体技術効率の平均値。HOSCRSは $P^s(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。HOWCRSは $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。

注2）95戸を経産牛平均頭数の下位から33.3%ずつ3グループに分け、小規模・中規模・大規模とした。経産牛平均頭数の階級の範囲、階級の平均は小規模：24.5頭～52.5頭；平均45.1頭、中規模：53.0頭～71.5頭；平均62.0頭、大規模：72.0頭～152.5頭；平均89.1頭である。

注3）上段は平均技術効率であり、下段（）内は変動係数である。

注4）変動係数＝（標準偏差／平均）×100である。

第2表をみると、家畜糞尿生産を考慮しない全体技術効率（HASCRS）は1.06831である。よって、与えられた生産要素のもとですべての生産物を比例的に最大化する技術効率（radial efficiency）において、現実の生産量がもっとも高い生産量（最効率な生産量）で生産量を最大化していないことによる生産量の効率性は93.6（ $(1/1.06831) \times 100$ ）%であ¹²⁾。

一方、家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率（HOSCRS）は1.13099である。よって、与えられた生産要素と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する技術効率（sub-vector efficiency）において、現実の生産量がもっとも高い生産量（最

効率な生産量）で生産量を最大化していないことによる生産量の効率性は88.4（ $(1/1.13099) \times 100$ ）%である。

このことから、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の技術効率の計測結果は、家畜糞尿生産を考慮しない技術効率の計測結果と比べ、技術効率の平均値が5.2%減少することが明らかになった。この結果は、家畜の泌乳水準に応じた飼料要求量以上に飼料を過剰投入した結果として家畜糞尿が過剰に排泄されたことによるものと推察される。

第3表 家畜糞尿生産を考慮した構造効率の計測結果

規模	全体技術効率 (HOSCRS)	弱技術効率 (WSW)	規模効率 (WSS)	混雑効率 (HOSCRS/HOWCRS)
小規模	1.15213 (9.1066)	1.08726 (9.5368)	1.04063 (5.9460)	1.02245 (7.2740)
中規模	1.14413 (6.4081)	1.10038 (8.0827)	1.02019 (2.4921)	1.02209 (5.6506)
大規模	1.09738 (8.3727)	1.08250 (7.8297)	1.01385 (3.8010)	1.00008 (0.0431)
全体	1.13099 (8.2285)	1.09007 (8.4417)	1.02472 (4.4244)	1.01479 (5.3764)

注1) HOSCRS は $P^s(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。WSW と WSS はそれぞれ $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する弱技術効率と規模効率の平均値。混雑効率 (HOSCRS/HOWCRS) は家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率の $P^s(X)$ と $P^w(X)$ との比率。

注2) 95 戸を経産牛平均頭数の下位から 33.3% ずつ 3 グループに分け、小規模・中規模・大規模とした。経産牛平均頭数の階級の範囲、階級の平均は小規模：24.5 頭～52.5 頭；平均 45.1 頭、中規模：53.0 頭～71.5 頭；平均 62.0 頭、大規模：72.0 頭～152.5 頭；平均 89.1 頭である。

注3) 上段は平均技術効率であり、下段 () 内は変動係数である。

注4) 変動係数 = (標準偏差 / 平均) × 100 である。

第3表は家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率 (HOSCRS) の要因分析の計測結果である。

第3表をみると、家畜糞尿生産を考慮した弱技術効率 (WSW) は 1.09007 である。よって、標本すべての農家が規模を変更することなく、現実の規模で生産量を最大化していないことによる生産量の効率性は 91.7 ((1/1.09007) × 100) % である。家畜糞尿生産を考慮した規模効率 (WSS) は 1.02472 である。よって、現実の生産量が CRS による規模で生産していないことによる生産量の効率性は 97.6 ((1/1.02472) × 100) % である。この結果から、家畜糞尿生産を考慮した場合、規模拡大による非効率性の改善より、現状の規模のもとで経営非効率を改善する効果の方が大きいといえる。

汚染防止または環境規制で、家畜糞尿が無償処分できないことを前提として計測された技術効率 (HOSCRS/HOWCRS)、すなわち家畜糞尿の混

雑効率は 1.01479 である¹³⁾。

次に、各技術効率を経産牛平均頭数規模別¹⁴⁾に検討する。第2表をみると、家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率 (HOSCRS) は小規模経営ほど非効率性が高い。変動係数は中規模経営が小さく、つづいて大規模経営、小規模経営の順になっている。しかし、これらの経営において、統計的に有意差があるかどうかは明らかではないことから、規模別効率値の差を統計的に検定する。

検定には ANOVA (分散分析)、MEANS (平均値の差の検定)、Kruskal-Wallis の順位和検定 (分布) を用いる¹⁵⁾。帰無仮説は三つの検定 (分散、平均値、分布) とともに、規模間で効率値に差がないことである。各効率値に対する規模間の検定結果は第4表～第6表のとおりである。

第4表 小規模と中規模間の統計的検定結果

	HASCRS	HOSCRS	HOWCRS	WSW	WSS	CONGESTION
ANOVA	1.3125	2.0479 *	1.5496	1.3593	5.9233 **	1.6583
F test	0.2278	0.0257	0.1154	0.2000	1.91E-06	0.0835
MEANS	-0.3901	0.3519	0.3164	-0.5395	1.7248	0.0213
t test	0.6978	0.7261	0.7528	0.5915	0.0896	0.9831
Kruskal-Wallis	0.4875	0.1182	0.0274	0.3992	0.0552	0.8166
χ^2 test	0.4850	0.7310	0.8685	0.5275	0.8142	0.3662

注1) HASCRS は $P^s(X)$ の制約で、すべての生産物を比例的に増大させる全体技術効率の平均値。HOSCRS は $P^s(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。HOWCRS は $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。WSW と WSS はそれぞれ $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する弱技術効率と規模効率の平均値。CONGESTION (混雑効率) は家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率の $P^s(X)$ と $P^w(X)$ との比率。

注2) 上段は各検定統計量であり、下段は有意水準確率をあらわす。

注3) * は5%、** は1%の有意水準で帰無仮説が棄却されることをあらわす。

第5表 中規模と大規模間の統計的検定結果

	HASCRS	HOSCRS	HOWCRS	WSW	WSS	CONGESTION
ANOVA	1.0944	0.6368	0.8813	1.1011	0.4353 *	17913.35 **
F test	0.4016	0.1072	0.3636	0.3951	0.0117	1.81E-58
MEANS	0.9027	2.2500 *	1.1084	0.8230	0.7772	2.1567 *
t test	0.3702	0.0280	0.2720	0.4136	0.4400	0.0349
Kruskal-Wallis	1.1207	4.6045 *	1.3476	0.4041	4.3720 *	4.2304 *
χ^2 test	0.2898	0.0319	0.2457	0.5250	0.0365	0.0397

注1) HASCRS は $P^s(X)$ の制約で、すべての生産物を比例的に増大させる全体技術効率の平均値。HOSCRS は $P^s(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。HOWCRS は $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。WSW と WSS はそれぞれ $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する弱技術効率と規模効率の平均値。CONGESTION (混雑効率) は家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率の $P^s(X)$ と $P^w(X)$ との比率。

注2) 上段は各検定統計量であり、下段は有意水準確率をあらわす。

注3) * は5%、** は1%の有意水準で帰無仮説が棄却されることをあらわす。

第4表～第6表をみると、家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率 (HOSCRS) は小規模と中規模において、5%の有意水準でANOVAの帰無仮説が棄却される。中規模と大規模および小規模と大規模において、5%の有意水準でMEANSの帰無仮説が棄却される。また、Kruskal-Wallisの帰無仮説は中規模と大規模および小規模と大規模間

において5%の有意水準で棄却される。この結果は、家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率 (HOSCRS) を値そのものではなく、その順位で考えると、中規模と大規模および小規模と大規模で家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率 (HOSCRS) の分布に有意差があることを意味している。

第6表 小規模と大規模間の統計的検定結果

	HASCRS	HOSCRS	HOWCRS	WSW	WSS	CONGESTION
ANOVA	1.4364	1.3040	1.3657	1.4968	2.5781 **	29706.09 **
F test	0.1606	0.2332	0.1964	0.1348	0.0053	8.3E-62
MEANS	0.4337	2.2056 *	1.2901	0.1997	2.0694 *	1.7023
t test	0.6660	0.0312	0.2019	0.8424	0.0428	0.0938
Kruskal-Wallis	0.0123	4.0007 *	1.2541	0.0659	2.2181	1.2229
χ^2 test	0.9118	0.0455	0.2628	0.7974	0.1364	0.2688

注1) HASCRS は $P^s(X)$ の制約で、すべての生産物を比例的に増大させる全体技術効率の平均値。HOSCRS は $P^s(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。HOWCRS は $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する全体技術効率の平均値。WSW と WSS はそれぞれ $P^w(X)$ の制約で、生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する弱技術効率と規模効率の平均値。CONGESTION（混雑効率）は家畜糞尿生産を考慮した全体技術効率の $P^s(X)$ と $P^w(X)$ との比率。

注2) 上段は各検定統計量であり、下段は有意水準確率をあらわす。

注3) * は 5 %、** は 1 % の有意水準で帰無仮説が棄却されることをあらわす。

規模効率（WSS）はすべての規模間において、5 % の有意水準で ANOVA の帰無仮説が棄却される。小規模と大規模において、5 % の有意水準で MEANS の帰無仮説が棄却される。中規模と大規模において、5 % の有意水準で Kruskal-Wallis の帰無仮説が棄却される。

家畜糞尿の混雑効率（congestion）は中規模と大規模および小規模と大規模において、5 % の有意水準で ANOVA の帰無仮説が棄却される。中規模と大規模において、5 % の有意水準で MEANS の帰無仮説が棄却される。中規模と大規模において、5 % の有意水準で Kruskal-Wallis の帰無仮説が棄却される。

注12) 山本 [14] は 1985 年の北海道酪農のデータを用いて、家畜糞尿を考慮しない費用効率を 0.7310 と計測した。

注13) 具体的には、家畜糞尿の生産量及び散布量の制限などで、家畜糞尿が無償処分できないことにより減少された酪農経営の技術効率をあらわす。

注14) 家畜糞尿生産と関連する草地・経営耕地規模別、及び乳量階層別の分析も取り上げることも可能

ではあるが、本稿では規模として最も理解が容易と考えられる経産牛平均頭数のみで区分した。

注15) ANOVA（分散分析）と MEANS（平均値の差の検定）は効率値が正規分布を仮定しているが、本稿での各技術効率が正規分布であるかは明らかではない。また、Kruskal-Wallis の順位和検定は正規分布を仮定しない。

5. 結 論

本稿では、多財生産物が結合生産物として生産される生産フロンティアモデルを用いて、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の技術効率を分析した。

分析結果を要約すれば、以下の通りである。

第1に、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の技術効率は与えられた生産要素投入量と家畜糞尿排泄量のもとで牛乳生産量を最大化する sub-vector efficiency によって分析した結果、持続的農業の観点から、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の技術効率（HOSCRS、1.13099）は家畜糞尿生産を考慮しない酪農経営の技術効率（HASCRS、

1.06831) と比べ、小さいことが明らかになった。このことは家畜糞尿排泄量が酪農経営の技術効率に影響を及ぼす要因の一つであることを指摘するものである。

第2に、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の全体技術効率を(1)弱技術効率、(2)規模効率、(3)家畜糞尿の混雑効率の三つの要因に分解し、要因分析を行った。その結果、一つに、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の弱技術効率(WSW)、規模効率(WSS)はそれぞれ1.09007、1.02472であり、規模拡大による技術非効率の改善よりも、現状の規模のもとで技術非効率を改善する効果の方が大きいことが示された。二つに、汚染防止または環境規制で、家畜糞尿が無償処分できないことを前提として計測された技術効率(HOSCRS/HOWCRS)、すなわち家畜糞尿の混雑効率は、1.01479であることが明らかになった。三つに、技術効率を規模別に見ると、家畜糞尿生産を考慮した酪農経営の全体技術効率(HOSCRS)および規模効率(WSS)は、全規模間で差がみられ、混雑効率は、中規模と大規模間および小規模と大規模間で差があることが明らかになった。

本稿で提示された理論的かつ実証的な枠組みは、他農畜産物のみならず他産業においても異なる生産物が結合生産物として生産される場合における個別経営間の技術効率の分析に役立つものと期待される。

[付記] 本稿の作成にあたって、佐々木市夫帯広畜産大学教授から懇切丁寧なご指導をして頂いた。北海道大学大学院の山本康貴助教授、帯広畜産大学の樋口昭則教授、同大学の澤田学助教授、同大学の金山紀久助教授からは貴重なコメントを頂いた。本稿は平成10年度北海道農業経済学会研究大会において個別報告した原稿を加筆、修正したものである。そこでは座長丸山明酪農学園大学助教授に貴重なコメントを頂いた。また、本稿のレ

フリーと編集委員会にも貴重なコメントを頂いた。資料に関しては、S農協の関係者のご協力を得た。記して感謝の意を表します。

引用文献

- [1] Ball, V. E., C. A. K. Lovell, R. F. Nehring, and A. Somwaru, "Incorporating Undesirable Outputs into Models of Production: An Application to U. S. Agriculture", *Cahiers d'économie et Sociologie Rurales* 31, 1994, pp. 60~74.
- [2] 趙錫辰「時系列および横断面データによる牛乳生産関数の計測」『農業経済研究』、第49巻、1977、pp. 29~37.
- [3] Farrell, M. J., "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General*, Vol. 120, 1957, pp. 253~281.
- [4] Färe, R., S. Grosskopf, C. A. K. Lovell, *Production Frontiers*, Cambridge University Press, 1994.
- [5] Färe, R., S. Grosskopf, C. A. K. Lovell, and C. Pasurka, "Multilateral Productivity Comparisons When Some Outputs are Undesirable: a Nonparametric Approach", *Review of Economics and Statistics* 71, 1989, pp. 90~98.
- [6] 嘉田良平『環境保全と持続的農業』、家の光協会、1990.
- [7] 金正稿「個別経営の技術効率とその源泉－北海道東部地域酪農経営を対象として－」『農林業問題研究』、第21巻、1985、pp. 20~27.
- [8] 松原茂昌「牛乳生産構造の経済分析」(矢島武先生定年退官記念事業会編『現代農業経営経済新説』)、養賢堂、1972、pp. 299~314.

- [9] Pittman, R. W., "Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs", *The Economic Journal* 93, 1983, pp. 883~891.
- [10] 刀根薫『経営効率性の測定と改善－包絡分析法 DEA による－』、日科技連出版社、1994.
- [11] Tyteca, D., "Linear Programming Models for the Measurement of Environmental Performance of Firms - Concepts and Empirical Results", *Journal of Productivity Analysis* 8, 1997, pp. 183~197.
- [12] 鶴川洋樹「北海道酪農の収益構造と経営展開」『農業経済研究』、第 70 巻、第 1 号、1998、pp. 1~9.
- [13] Yaisawarng, S., and J. D. Klein, "The Effects of Sulfur Dioxide Controls on Productivity Change in the U. S. Electric Power Industry", *The Review of Economics and Statistics* 76, 1994, pp. 447~460.
- [14] 山本康貴「個別経営間における生産費格差とその要因－北海道酪農の費用効率分析－」『農業経済研究』、第 66 巻、第 3 号、1994、pp. 135~143.
- [15] 山本康貴「生産効率性測定による農業経営の診断法」(久保嘉治『農業経営の事前的診断のための情報処理方法の開発』、平成 5 年度科学研究費補助金 (一般研究 (c) 研究成果報告書)、1994、pp. 30~51.
- [16] 山本康貴「個別経営間の生産性格差とその要因－北海道酪農の粗飼料生産における技術効率分析」『北海道農業経済研究』、第 5 巻、第 2 号、1996、pp. 50~63.

(1999 年 8 月 27 日 受理)