



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道における酪農の総合生産性と草地需要に関する分析
Author(s)	藤井, 陽子; FUJII, Yoko; 近藤, 巧 他
Citation	北海道大学農経論叢, 57, 45-56
Issue Date	2001-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11208
Type	departmental bulletin paper
File Information	57_p45-56.pdf



北海道における酪農の総合生産性と草地需要に関する分析

藤井陽子・近藤 巧

An analysis of the derived demand for pastureland and the dairy farming productivity in Hokkaido

Yoko FUJII · Takumi KONDO

Summary

This study analyzes the effect of increases in Hokkaido pastureland on dairy farming. In order to represent the feed producing process explicitly and to analyze the derived demand for input factors, subsystem equations as well as a master system equation were employed. The results implied that farmers react to changes in the input price ratio of feed and land. A continuous decrease in the price ratio, which is caused by the increasing land rent in the 1970's and the rapidly decreasing feed price in the 1980's, has induced the feed-using and land-saving technologies. However, in recent years, the previously increasing land rent has been decreasing, and this should induce more efficient land-using technologies.

1. はじめに

1961年、農業基本法によって酪農が選択的拡大部門の基幹部門として位置付けられ、酪農振興法による乳牛飼養の普及とともに草地改良事業など土地基盤整備を中心とした公共投資が活発に行われた。1965年の「不足払い法」による乳価安定政策とあいまって、それまで副次的であった北海道酪農は規模拡大が進み、酪農家の専門化を押し進めた(註1)。

全国の生乳生産量が1966年の343万トンから1998年の863万トンへと2.5倍上昇する中、北海道の生産量は71万トンから354万トンへと実に約5倍に上昇し、全生乳生産に占める北海道産のシェアは21%から41%へ上昇した(註2)。同時に、北海道全体の飼養頭数は1966年の32万頭から1998年の88万頭へと増加した一方で、飼養戸数が減少し続けたために、一戸当たりの飼養頭数は8頭から83頭へと拡大した(註3)。

こうした生乳生産の規模拡大を実現した理由として、機械投入を背景とした労働節約的技術の浸透と草地面積の拡大がある。北海道における草地

造成面積は、1950年代後半に始まった公共投資により急増し1971年にはそれまでで最大の1.9万haに達した。それ以降造成事業は減少し草地の拡大から草地の改良事業へと事業内容がシフトしていくものの、一貫して草地基盤の整備がはかられた(註4)。

一方で飼料作物の作付面積は1970年代も伸び続け、1970年の33万haから1980年の54万haへと10年で64%という伸び率を示している。しかし、その後1980年代に入りその伸び率は急激に鈍化し、1998年には58.2万haと18年間の伸び率は7.7%に低下した(註5)。北倉〔9〕は1980年代の作付面積減少の要因について、購入飼料の価格が乳価に比べて相対的に安価になったことをあげている。

このように、草地の需要量は購入飼料価格の影響を受けるという点に注目し、本論文では第1に酪農家の自給飼料生産ひいては草地に対する需要が購入飼料の価格からいかなる影響を受けるか、第2に自給飼料と購入飼料の代替関係に焦点を当て規模拡大とともに総合生産性がいかに変化したかを明らかにすることを目的とする。

これまで北海道酪農の大規模化において購入飼料と自給飼料の果たした役割に対する分析が多くなされてきた。大塚 [7] は北海道の酪農経営について、規模の経済性の発揮と、購入飼料使用の・労働節約的経営が行われてきたことを示した。その結果、草地依存型の大規模経営であっても、自給飼料多投的な傾向はみられないとした。また久保 [10] は、全国の酪農経営のデータを用いて、大規模酪農経営が成立する条件を考察し、配合飼料の入荷量増大と生乳需要の増大がその成立条件を強く規定することを示す一方で、牧草面積が必ずしも大規模酪農経営の成立条件とはなり得ないとしている。梶井 [8] は、草地型酪農が購入飼料を多給する理由として、草地に依存した乳牛飼養が結果として生乳の生産費を押し上げることを指摘し、濃厚飼料の多給による乳牛1頭当たりの乳量の増加が必要となることを強調した。

一方、駒木・天間 [11] (註6) は、乳牛資本に注目し、購入飼料の多投を可能とする乳牛の質的改良が生乳生産の生産性向上をもたらしていることを実証した。さらに、購入飼料の多投は、生産費の上昇を招くため非効率的であるとし、購入飼料費節約の必要性を示唆した。同時に、濃厚飼料への依存を軽減するため、自給飼料の質の向上とその生産費削減を提唱した。最後に、山本 [14] (註7) は、北海道と都府県の生産性の向上について比較分析し、北海道における規模の経済性と大規模層の高い技術進歩の存在を実証した。また、北海道と都府県の生産性格差は自給飼料生産を規定する土地賦存条件の違いにあるとし、北海道における草地面積の停滞、都府県における転作地の増加が飼料投入の格差を縮小しているとした。

本論文では、酪農生産を生乳生産のプロセスと自給飼料生産の2つのプロセスからなるモデルを呈示し、草地需要が飼料価格等からいかなる影響を受けてきたのかを明らかにする。草地に対する派生需要を明らかにすることは、農家の視点から草地開発の必要性を把握することにつながる。その際、自給飼料と購入飼料の相対価格に注目する。生乳生産において飼料を自給するのかそれとも購入するかはそれらの費用に依存する。酪農家の草地利用が、生乳生産コストの費用低下にとっ

て有効である場合に限り草地利用は評価されると考えるのである。

よって本論文では、費用最小化のもと、農家が生乳生産において、その投入財である購入飼料や草地及び農地の価格にどのように反応しそれらの投入財の組み合わせを変化させていったのかを明らかにする。さらに、総合要素生産性(以下、TFP)を推計し、その要因分解をすることで、規模拡大の効果、および技術進歩の貢献度を明らかにし、規模拡大過程において生産性向上に寄与した要因を明らかにする。

本稿の分析モデルは基本的に駒木・天間 [11] で使用されたモデルを踏襲している。彼らの分析枠組との違いは、①草地需要や自給飼料生産に多大な影響を及ぼすと考えられる地代の効果を明示的に分析すること。駒木・天間 [11] の分析では自給飼料生産費として種子、肥料、農機具、労働などの費用は取り上げられているが地代が含まれていない。②本稿の分析対象期間は、1980年代後半の急速な円高によって購入飼料価格が低下した局面を含んでいること、にある。

以下第2節では飼料生産に関する要素投入量の推移を概観し、第3節で分析方法を示す。第4節で分析に用いたデータとその作成方法および計測方法について述べ、第5節で計測結果に対する考察を与える。第6節はまとめである。

2. 飼料生産に関する要素投入量の推移

農林水産省『農家の形態別にみた農家経済』(以下、農家経済調査)から得た北海道の酪農単一経営のデータを用いて、農地投入と購入飼料投入との関係を分析する。飼料生産に関する主要な生産要素の投入量、並びに価格の変化を概観しておく。表1は、飼料生産に関する要素投入量と生乳産出量の成長率を求めたものである。分析期間を1968年から1994年までとし(註8)、これを1968年から1979年までの前期、1980年から1994年までの後期に区分した。これは、1979年の計画生産開始によって1980年頃を境として、各投入要素の成長率の変化がみられるからである。

産出量(註9)の年平均成長率は、前期では11%、後期では約5%である。ちなみにこの期間、農業粗収益に占める酪農部門の割合は年々増加

表1 生産要素投入量と産出量の成長率（飼料生産部門）

期間	df	係数	産出 (Y)	土地 (A)	購入飼料 (F)	肥料 (V)	労働 (L)
1968～1979	10	\hat{b}	0.105	0.095	0.142	0.141	0.014
		$e^{\hat{b}}-1$	0.111	0.099	0.152	0.151	0.014
1980～1994	13	\hat{b}	0.048	0.023	0.065	-0.003	0.002
		$e^{\hat{b}}-1$	0.049	0.024	0.067	-0.003	0.002

出所) 農林水産省『農家の形態別にみた農家経済』より作成。

註1) $\ln x = \hat{a} + \hat{b}t$ より成長率を推定した。但し、 x は投入要素指数、 t はトレンドを示す。

2) 有意水準1%で有意であることを示す。

3) dfは自由度を示す。

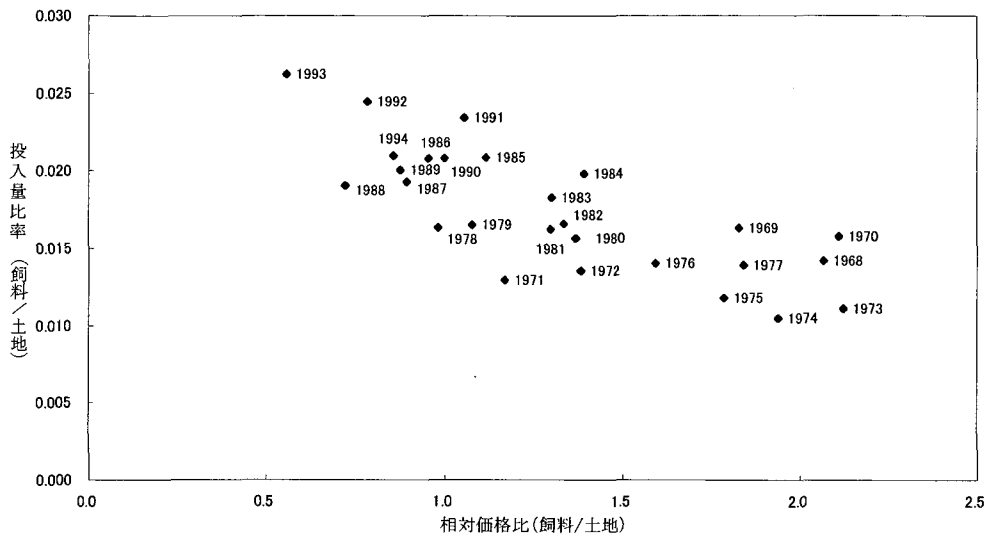


図1 飼料と土地の投入量比率と相対価格比（飼料／土地）

資料：農林水産省『農家経済調査』および『北海道農林水産統計年報』より作成。

し、1960年代終わりには90%に近づき、その後90%後半を推移している。

購入飼料の増加率は、前期が15%、後期が7%である。前期においては、購入飼料に大幅に依存しながら生乳の増産をはかってきたことが容易に推測される。また、後期においても、購入飼料の成長率が落ち込んでいるとはいえ、産出量全体の伸びも11%から5%へ低下していることから、購入飼料の落ち込みがそれほど大きなものとはいえない。農地の投入量の平均成長率は、前期は10%、後期は2%で大きく低下している。産出量が前期ほど伸びていないことから、後期では農地への依存を低下させながら産出量の増加をはかってきたと推測される。

こうした購入飼料と農地の投入要素比率の変化と相対価格比の関係を示したものが図1である。図から、飼料/地代の相対価格と、飼料/農地の投入量比率は相関係数-0.79で高い逆相関の関係にあり両投入要素比率を、相対価格の変化に応じて変化させてきたと考えられる。ここで、投入比率の変化が飼料生産における土地生産性の上昇によるものではないかと推測される。しかし、北海道における牧草の単収を『作物統計』によってみると、1980～1994年にかけて、単収に大きな上昇は見られない。1980年の単収が3170kg/haであるのに対し、1994年の単収は3480kg/haと、14年間で9%増加したに過ぎず、年率平均に換算すると0.6%という水準である。このことは、表1の

肥料投入量の成長率からも推測することができる。すなわち、1980年から現在にかけて、肥料投入量にほとんど変化が見られず、飼料作物の単収の伸びが停滞していることが考えられる。これは、酪農そのものが土地条件に恵まれない地帯に立地していることと大いに関係していると思われる。

さらに重要な点は、飼料生産を酪農経営内部で行った場合、労働負担が増加することである。分析対象期間中、農家の労働の機会費用は労働力不足・高齢化の下で大幅に上昇し続けたのであり、飼料生産が自家所得の向上へと結実するためには、効率的な粗飼料生産が不可欠となる。生乳生産量と牧草地の規模拡大にもかかわらず、労働代替的投入要素の投入により労働投入量は前期1.4%、後期0.2%と微増にとどまってきた。農地の派生需要を左右する要因としては、購入飼料と農地の相対価格が重要であると推測することができる。

3. 分析の枠組み

1) モデル

粗飼料生産に焦点をあて、農地の派生需要を分析するために、生産関数を以下の通り定義する。

$$Y = f(x, g(L, K, C), h(A, V, F)) \dots (1)$$

ただし、

g : 労働的投入要素部門の集計関数

h : 飼料的投入要素部門の集計関数

Y : 生乳産出量 x : 他の生産要素

労働的投入要素部門は労働(L)、機械(K)、および光熱・動力(C)から成り、飼料的投入要素部門の投入要素は土地(A)、肥料(V)、および飼料(F)から成るものと仮定する。

集計関数 g は、労働および機械技術過程を、集計関数 h は飼料生産過程を表す。これら両過程を以下サブシステムと呼び、(1)式のプロダクション関数をマスターシステムと呼ぶこととする。

農家は第1段階において、生乳生産にとって重要な生産要素である飼料生産を行い、第2段階でその飼料を投入して生乳を生産する。これは土地、肥料、飼料はそれぞれ他の生産要素から弱分離可能であると仮定することに他ならない。労働、機械、光熱・動力についても他の要素から弱分離であると仮定する。さらに、上記の2つの集計関数は投入要素についてホモセティックであると仮定

する。

ここで、(1)式のプロダクション関数のもと、費用最小化行動を仮定すると、以下の費用関数を得る。

$$C = C(P_x, P_g, P_h, Y) \dots (2)$$

$$P_g = P_g(P_K, P_L, P_C) \dots (3)$$

$$P_h = P_h(P_A, P_V, P_F) \dots (4)$$

ただし、 P_g, P_h はそれぞれ、労働的投入要素部門と飼料的投入要素部門の投入要素の単位費用関数である。本論文では(2)式から(4)式をトランスログ型で特定化する。すなわち、技術進歩を示す変数としてトレンド変数 t を導入すると(2)式は、

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \alpha_x \ln P_x + \alpha_Y \ln Y + \alpha_i \cdot t \\ & + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_{ij} \ln P_i \cdot \ln P_j + \sum_i \alpha_{iY} \ln P_i \cdot \ln Y \\ & + \sum_i \alpha_{iY} \ln P_i \cdot t + \frac{1}{2} \alpha_{YY} (\ln Y)^2 + \alpha_{YY} t \cdot \ln Y \\ & + \frac{1}{2} \alpha_{YY} \cdot t^2 \end{aligned} \quad (i, j = x, g, h) \dots (5)$$

となる。また費用関数は、価格に関して1次同次であるため、

$$\sum_i \alpha_i = 1, \sum_i \alpha_{ij} = 0, \sum_i \alpha_{iY} = 0, \sum_i \alpha_{ii} = 0 \quad (i, j = x, g, h) \dots (6)$$

の制約が付加される。

(3)、(4)式のサブシステムもトランスログ型で特定化すると、ホモセティックであるという仮定のもとでは、シェファードの補題よりそれぞれのサブシステムのコストのシェア式が得られる。

$$\frac{\partial \ln P_g}{\partial \ln P_i} = m_i \quad (i = K, L, C) \dots (7)$$

$$\frac{\partial \ln P_h}{\partial \ln P_i} = z_i \quad (i = A, V, F) \dots (8)$$

ただし、 m_i, z_i は、労働的投入要素のサブシステム、飼料的投入要素部門のサブシステムの総費用に占めるそれぞれの生産要素のシェアを示す。

(7)、(8)式は、

$$m_i = \beta_i + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j \quad (i, j = K, L, C) \dots (9)$$

$$z_i = \gamma_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_j \quad (i, j = A, V, F) \dots (10)$$

となる。

したがって、われわれは、第1に(9)、(10)式のサブシステムを推計し、次に(5)式のマスターシステムを推計する。その際、(9)、(10)式の推定結果を利

用し、パラメトリックな方法によって P_g 、 P_h の価格指数を作成することも可能であるが、ノンパラメトリックな方法で作成したトロンクビスト指数と大きな差が存在しなかったため、本稿ではノンパラメトリックな方法によって作成した指数を用いている(註10)。(9)、(10)式を推計する意義は、飼料生産に関する投入構造を明らかにすることにある。特に、投入要素間の代替・補完関係を推計する上で有用である。

(5)式のマスターシステムを推定する場合、シェファードの補題によって得られる、

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = S_i = \alpha_i + \sum_j \alpha_{ij} \ln P_j + \alpha_{iY} \ln Y + \alpha_{it} \quad (i, j = x, g, h) \dots (11)$$

を利用する。ただし、 S_i はコストシェア式である。

2) 価格の弾力性と代替の弾力性

生産要素間のアレンの代替の偏弾力性、派生需要の価格弾力性はそれぞれ以下のとおりである。

(i) 第*i*生産要素と第*j*生産要素の代替の弾力性
マスターシステム

$$\sigma_{ij} = 1 + \frac{\alpha_{ij}}{S_i S_j} \quad (i \neq j), \quad \sigma_{ii} = 1 + \frac{\alpha_{ij}}{S_i^2} - \frac{1}{S_i} \quad (i, j = x, g, h) \dots (12)$$

サブシステム

$$\sigma_{mij} = 1 + \frac{\beta_{ij}}{m_i m_j} \quad (i \neq j), \quad \sigma_{mii} = 1 + \frac{\beta_{ij}}{m_i^2} - \frac{1}{m_i} \quad (i, j = K, L, C) \dots (13)$$

$$\sigma_{zij} = 1 + \frac{\gamma_{ij}}{z_i z_j} \quad (i \neq j), \quad \sigma_{zii} = 1 + \frac{\gamma_{ij}}{z_i^2} - \frac{1}{z_i} \quad (i, j = F, A, V) \dots (14)$$

(ii) 第*i*生産要素に及ぼす第*i*生産要素の派生需要の価格弾力性

マスターシステム

(12)より

$$\varepsilon_{ij} = \sigma_{ij} \cdot S_j, \quad \varepsilon_{ii} = \sigma_{ii} \cdot S_i \quad (i, j = x, g, h) \dots (15)$$

サブシステム

(13)、(14)式より

$$\varepsilon_{mij} = \sigma_{mij} \cdot m_j \quad (i, j = K, L, C) \dots (16)$$

$$\varepsilon_{zij} = \sigma_{zij} \cdot z_j \quad (i, j = A, V, F) \dots (17)$$

サブシステムの派生需要の弾力性は、あくまでサブシステムの産出量を一定としたもとの値であり、全体の産出量 Y を一定としたもとの弾力性は、以下のとおりとなる。

$$\left. \frac{d \ln q_i}{d \ln P_j} \right|_{Y=Y_0} = \left. \frac{\partial \ln q_i}{\partial \ln P_j} \right|_{q=q_0} + \frac{\partial \ln q_i}{\partial \ln q^s} \cdot \frac{\partial \ln q^s}{\partial \ln P^s} \cdot \frac{\partial \ln P^s}{\partial \ln P_j} \Big|_{Y=Y_0} \quad \left(\begin{matrix} i, j = x, g, h \\ s = m, z \end{matrix} \right) \dots (18)$$

ただし、 q は派生需要量を示す。特に集計関数 q^s 、1次同次であると仮定すれば、派生需要の弾力性は

$$\left. \frac{d \log x_i}{d \log P_j} \right|_{Y=Y_0} = \begin{cases} \varepsilon_{mij} + \varepsilon_{ij} \cdot m_j \quad (j = K, L, C) \\ \varepsilon_{zij} + \varepsilon_{ij} \cdot z_j \quad (j = F, A, V) \end{cases} \dots (19)$$

で与えられる。

3) TFPと要因分解

生産性(TFP)の変化を要因分解するにあたり、Greene [2]に従う。

$$\frac{d \log(C/Y)}{dt} = \left(\frac{\partial \log C}{\partial \log Y} - 1 \right) \frac{d \log Y}{dt} + \sum_i \frac{\partial \log C}{\partial \log P_i} \frac{d \log P_i}{dt} + \frac{\partial \log C}{\partial t} \dots (20)$$

左辺は平均費用の変化率、右辺第1項はChristensen and Greene [1]の定義による規模の経済性の効果、第2項は代替効果、第3項は平均費用関数の下方へのシフト率を示し、技術進歩率の効果である。

4. データ及び計測方法

パラメータの推定に用いられたデータは、農林水産省『農家経済調査』の、1968年から1994年までの北海道の酪農単一経営農家を利用した(註11)。農家経済調査における酪農単一経営農家とは、専業農家のうち、酪農部門の販売額が60%以上を占めるものを指す。また、ここでは平均階層のデータを用いた。Kuroda [3]は、戦後の日本農業の労働生産性について『農家経済調査』を用いて分析をおこなっており、以下で本稿との違いに言及しながらデータの作成方法を示す。

(i) 産出量

生乳、いも類、野菜、工芸作物、稲作・麦作、その他作物、養鶏・養豚、その他畜産の粗収入をもとに、トロンクピスト価格指数を作成した。対応する産出量、その他全てのデフレータは農林水産省『北海道農林水産統計年報』を利用した。

(ii) 労働的投入要素価格

労働的投入要素は、労働時間、農機具・自動車、光熱動力からなる。労働時間は家族労働と雇用労働からなり、家族の労働時間については女子労働時間に0.8を乗じ、男子労働時間に加算した。雇用労働時間については、男女別の労働時間が不明なため、調整していない。労働費用については、農水省『農村物価統計調査』から、時間当たり農村雇用労働賃金率を計算し、能力換算した労働時間に乗じた。一方、Kuroda [3]における家族労働の男女別能力換算は、『農村物価賃金統計』の賃金比率を用い、労働費用については雇用労賃を雇用労働時間で除したものを時間当たり賃金率として用いている。また、本分析における農機具のウェイトには利子を加えている。

(iii) 飼料生産部門

飼料生産プロセスは、購入飼料、農地、肥料からなる。購入飼料、肥料については上記のデフレータを用いた。農地については、農林水産省『農家経済調査』の農業経営費の支払い小作料を農地の借入面積で除して求めた(註12)。Kuroda [3]でも、農地については本論文と同様に作成されている。

(iv) その他の財

その他の財は、種苗、動物、その他経営費からなる。種苗、動物については当該デフレータを利用し、その他経営費については、農業資材の総合デフレータを利用した。

計測にあたり多重共線性を避けるため、(9)式の労働的投入要素から光熱・動力を、(10)式の飼料生産部門からは肥料のシェア式をはずした。また、トランスログ費用関数が正常な生産構造を示すには、上記の制約に加え、産出量と生産物価格に対

する単調性及び要素価格に対する凹性を満たす必要がある。マスターシステムを推計した結果、近似の展開点において、要素価格に関する凹性の条件を満たさなかったため、この条件を付加して推定した(註13)。

5. 計測結果及び考察

表2にサブシステムのシェア式から得られたパラメータの推定値を示す。シェア式の決定係数は、機械0.816、労働0.858、飼料0.099、土地0.553であり、 $\beta_{KC}, \beta_{LC}, \gamma_{FF}, \gamma_{FA}, \gamma_{FV}, \gamma_{AF}$ を除いて全て有意水準1%でゼロと有意差をもつ。よって労働的投入要素部門のパラメータは比較的有意性が高いが、飼料生産部門の特に飼料の有意性は全体的に低い。全般的に有意性は低いが地代に関するパラメータは有意であった。

表3に(16)、(17)式より得られるサブシステムの派生需要の弾力性を示した。労働的投入要素部門の価格弾力性は、機械と労働の自己価格・交差価格弾力性を除いて全般的に非弾力的である。機械と労働の派生需要、自己価格弾力性はそれぞれ $\epsilon_{mKK} = -1.76$ 、 $\epsilon_{mLL} = -1.29$ と極めて弾力的であり、またそれらの交差価格弾力性も $\epsilon_{mKL} = 1.74$ 、 $\epsilon_{mLK} = 1.26$ と高く、機械と労働は強い代替関係にある。よって継続的に上昇する労賃に注目すれば、機械化が進展していったことが推測できる。

次に飼料生産部門であるが、派生需要の価格弾力性は全般的に非弾力的である。生産要素の結合関係のうち土地と肥料は補完関係にある。飼料生産部門で最も重要な点は、粗飼料生産において土地と飼料が代替関係にあるということである。ここでは、要素価格に注目して考察する。土地に対する派生需要の購入飼料価格弾力性は、 $\epsilon_{zAF} = 0.62$ であり、飼料の自己価格弾力性が $\epsilon_{zFF} = -0.39$ であることから、購入飼料価格の低下は土地投入を高い割合で減少させてきたことを示している。一方、購入飼料に対する派生需要の地代弾力性は $\epsilon_{zFA} = 0.17$ であり、土地の自己価格弾力性は $\epsilon_{zAA} = -0.44$ である。よって、飼料と土地に対する派生需要の要素価格弾力性は、飼料価格弾力性がともに絶対値において高いことから、農家が飼料価格に対し柔軟に対応していることがわかる。また、土地に対する派生需要の価格弾力性は飼料に対す

表2 サブシステムの計測結果
労働的投入要素部門 (m)

機械 (K)			労働 (L)		
パラメータ	推定値	t 値	パラメータ	推定値	t 値
β_K	0.397*	45.2	β_L	0.550*	56.8
β_{KK}	-0.458*	-10.4	β_{LK}	0.473*	13.0
β_{KL}	0.473*	13.0	β_{LL}	-0.461*	-9.8
β_{KC}	-0.015	-0.4	β_{LC}	-0.012	-0.3
$R^2=0.816$			$R^2=0.858$		

飼料的投入要素部門 (z)

飼料 (F)			土地 (A)		
パラメータ	推定値	t 値	パラメータ	推定値	t 値
γ_F	0.658	92.2	γ_A	0.179	32.4
γ_{FF}	-0.033	-0.9	γ_{AF}	-0.007	-0.4
γ_{FA}	-0.007	-0.4	γ_{AA}	0.068	5.0
γ_{FV}	0.041	1.0	γ_{AV}	-0.061	-2.8
$R^2=0.099$			$R^2=0.553$		

註) *は有意水準1%で有意であることを示す。

るものより絶対値が高いことから、要素価格の変化に対し、土地の投入をより高い割合で変化させてきたことがわかる。

サブシステムにおける代替の偏弾力性を表4に示した。労働的投入要素部門における要素間の結合関係は、全ての組み合わせにおいて代替関係にあった。なかでも労働と機械の代替の弾力性は $\sigma_{mKL}=3.2$ と極めて高い。このような代替の弾力性の高さは、労働投入量の成長率(表1)が他の生産要素に比べて格段に低いことに表れている。

飼料生産部門の各要素間の結合関係について、肥料と土地の代替の弾力性が $\sigma_{zAV}=-1.07$ で、補完関係にある。他の結合関係は全ての組み合わせで代替関係にあり土地と飼料が $\sigma_{zFA}=0.94$ 、肥料と飼料は $\sigma_{zFV}=1.38$ であり、自給飼料と購入飼料の間の高い代替の可能性を示唆している。

表5に、(18)式から得られる全体の産出量Yを一定としたもとの派生需要の価格弾力性を示した。飼料価格と地代に注目すれば、土地の飼料価格弾力性が飼料の地代弾力性より高く、産出量一定のもと、飼料価格の低下が、高い割合で土地の飼料への代替を促してきたことがわかる。

表5の結果を用いて飼料と土地の投入比率(飼

表3 派生需要の弾力性 (サブシステム)
労働的投入要素部門 (m)

投入量 \ 価格	機械 (K)	労働 (L)	光熱・動力 (C)
機械 (K)	-1.755	1.742	0.014
労働 (L)	1.257	-1.288	0.032
光熱・動力 (C)	0.104	0.330	-0.434

飼料的投入要素部門 (z)

投入量 \ 価格	購入飼料 (F)	土地 (A)	肥料 (V)
購入飼料 (F)	-0.393	0.168	0.226
土地 (A)	0.616	-0.441	-0.175
肥料 (V)	0.908	-0.192	-0.716

註) 弾力性の算出には、展開点の値を用いた。

表4 代替の偏弾力性 (サブシステム)
労働的投入要素部門 (m)

	機械 (K)	労働 (L)	光熱・動力 (C)
機械 (K)	—	3.165	0.262
労働 (L)		—	0.600
光熱・動力 (C)			—

飼料的投入要素部門 (z)

	購入飼料 (F)	土地 (A)	肥料 (V)
購入飼料 (F)	—	0.937	1.380
土地 (A)		—	-1.072
肥料 (V)			—

註) 弾力性の算出には、展開点の値を用いた。

料/土地)の変化の要因分解を示した結果が表6である(註14)。1968年から1979年の前期と、1980年から1994年の後期に時期区分して算出した。前期、後期とも投入比率は年率4%代で上昇している。前期、後期ともに残差の寄与率は10%前後であり、投入比率のほとんどは要素価格の変化によって説明される。飼料価格と地代に注目すれば、投入比率の上昇に対し前期では地代の寄与率が高く、後期では飼料価格の寄与率が高い。よって、

表5 派生需要の弾力性 (産出量一定)

	労働的投入要素部門 (m)			飼料的投入要素部門 (z)		
	機 械	勞 働	光熱・動力	購入飼料	土 地	肥 料
	(K)	(L)	(C)	(F)	(A)	(V)
飼料 (F)	-0.035	-0.048	-0.005	-0.403	0.165	0.223
土地 (A)	-0.035	-0.048	-0.005	0.607	-0.444	-0.178

註) 弾力性の算出には、展開点の値を用いた。

表6 飼料と土地の投入比率の要因分解

期 間	投入比率 (飼料/土地)	飼料的投入要素部門 (z)				残 差
		購入飼料価格 (F)	地 代 (A)	肥料価格 (V)	合 計	
1968~1979	0.048 (100)	-0.064 (-132.2)	0.086 (178.8)	0.032 (66.0)	0.054 (112.7)	-0.006 (-12.7)
1980~1994	0.042 (100)	0.037 (86.8)	0.007 (16.5)	-0.006 (-15.3)	0.037 (88.0)	0.004 (9.9)

註) 上段は変化率(%), 下段()内は寄与率を表す。

表7 飼料生産部門の集計価格の要因分解

期 間	代 替 効 果			誤 差	集計価格
	購入飼料価格 (F)	地 代 (A)	肥料価格 (V)		
1968~1979	0.040 (55.3)	0.023 (31.5)	0.013 (17.2)	-0.003 (-3.9)	0.073 (100)
1980~1994	-0.025 (94.3)	0.002 (-7.6)	-0.003 (10.3)	-0.001 (3.0)	-0.026 (100)

註1) 上段は変化率(%), 下段()内は寄与率を表す。

2) 前期は1974年, 後期は1987年のコストシェアを用いた。

飼料使用的農地節約的な投入比率の上昇を引き起こした要因は、前期が地代の上昇であり、後期は飼料価格の低下によるものであることがわかる。

飼料生産部門から得られる飼料的投入要素の価格変化の要因分解を表7に示す。前期と後期に時期区分して算出した(註15)。前期、後期を通じて誤差の寄与率は低く、飼料的投入要素の集計価格の変化はそれを構成する要素価格の変化で説明できる。飼料的投入要素の価格は前期に上昇し後期に減少している。その要因を寄与率からみると、前期における価格上昇の主たる要因は飼料価格であり、その寄与率は55.3%と最も高く、次いで地代が31.5%、肥料が17.2%となっている。飼料価格の上昇が飼料生産部門の価格の上昇をもたらしていたといえる。後期は、飼料的投入要素価格の

低下に対する寄与率が飼料価格で94.3%と最も高く、価格を低下させる方向に作用している。寄与率は次いで、肥料価格が10.3%、地代が-7.6%で地代の寄与率が最も低い。地代の上昇が飼料的投入要素の集計価格を押し上げる方向に作用していることがわかる。飼料と地代の相対的価格の低下は、飼料と土地の代替が弾力的である(表4)ことから、農家が粗飼料生産(土地)を購入飼料で代替し購入飼料の多給へシフトさせたといえる。これは、駒木・天間[11]の自給飼料と購入飼料のデータを用いた結果と同じである。

マスターシステムの計測結果を表8に示す。生産量Yおよび時間tに関する決定係数は0.988で、は有意水準1%でゼロと有意差をもつ。その他のパラメータについては凹性制約付の計測結果であ

表8 マスターシステムの計測結果(凹性制約付)

パラメータ	推定値	t 値
α_1	0.527*	110.0
g_{11}	-0.408*	-4.9
g_{12}	0.349*	4.3
α_2	0.238*	63.9
α_{1Y}	0.033	1.7
α_{1r}	-0.003	-1.6
g_{22}	0.000	0.0
α_{2Y}	-0.067*	-5.3
α_{2r}	0.000	-0.3
α_Y	0.831*	3.0
α_{rY}	1.728	0.8
α_{rY}	-0.135	-0.9
α_r	-0.019	-1.2
α_n	0.007	0.7
CST.	10.700*	311.2

$R^2=0.988$

註1) *は有意水準1%で有意であることを示す。

2) α_i と g_{ij} の関係については(註13) 参照。

3) CST. は定数項を示す。

るので、その有意性については言及できない。

表9に、(13)式から得られるマスターシステムの生産要素に対する派生需要の価格弾力性を示す。自己価格弾力性は、労働的投入要素が $\epsilon_{gg} = -0.51$ で最も弾力的であり、労働的投入量の増加率が低下していることから、農家が労働的投入の集計価格の上昇に対応し、労働的投入を減少させてきたことがわかる。次いで、他の生産要素の自己価格弾力性は $\epsilon_{xx} = -0.32$ 、飼料的投入要素は $\epsilon_{hh} = -0.02$ と続く。

交差価格弾力性は飼料的投入要素と労働的投入要素の派生需要に対する労働的投入の価格弾力性、飼料的投入の価格弾力性はそれぞれ $\epsilon_{gh} = -0.09$ 、 $\epsilon_{hg} = -0.09$ となり、非弾力的ではあるが補完関係にある。

各生産要素に対する派生需要の産出量弾力性は、飼料的投入要素の弾力性が $\epsilon_{hY} = 1.06$ と最も高く、次いでその他の要素 $\epsilon_{xY} = 0.98$ 、労働的投入要素 $\epsilon_{gY} = 0.64$ と続く。農家は産出量の上昇に対し、飼料的投入要素を最も高い割合で上昇させてきたといえる。生乳の増産が労働的投入や他の生産要

素を用いるのではなく、飼料的投入の多投によるものであることから、搾乳量の上昇を目指したと考えられる。

次に、表10に(12)式から得られるマスターシステムの代替の弾力性を算出した。投入要素の結合関係は、飼料的投入要素と労働的投入要素の弾力性が $\sigma_{gh} = -0.37$ で補完関係にある。その他は、労働的投入要素と他の生産要素の弾力性が $\sigma_{xg} = 1.65$ 、飼料的投入要素と他の生産要素 $\sigma_{zh} = 0.2$ で代替関係にある。労働的投入要素と他の生産要素の代替の弾力性は高く、他の生産要素への派生需要を拡大した。

(20)式より算出される平均費用の変化率を要因分解したものが表11である。前期と後期に時期区分して算出した。平均費用の変化率は規模の経済性、代替効果、技術進歩に分解できる。TFPは規模の経済性と技術進歩率をあわせたものである。平均費用は前期で上昇、後期で減少傾向にあった。前期の平均費用を押し上げた要因は、他の生産要素の寄与率が56%、労働的投入要素が45%で高く、代替効果による。また、代替効果に打ち消されているものの、規模の効果は平均費用を低下させる方向に作用していた。寄与率は29%である。TFPの変化率は1.8%であり、寄与度合いは後期の値に比較して小さい。後期において平均費用は低下した。これは、規模効果と飼料的投入要素価格の低下、さらに技術進歩の効果が大きい。特に寄与度合いを見れば技術進歩の効果が規模効果と代替効果の合計の2倍にも達する。その結果、TFPは年率2.1%で増加しており寄与度合いも113%と高い値を示している。

両期間をとおして規模の経済性は一貫して平均費用低減に貢献しており、北海道の酪農経営が規模の経済性を追求した発展であったことがわかる。TFPの変化率によって表される技術進歩率の寄与率が後期において高いことは図2のTFPの推移からも明らかである。1968年から1973年にかけて急速に上昇した後、1980年代半ばまでTFPは激しく変動し、停滞している。しかし、後半は1989年まで安定的に上昇し続けた。1980年代半ば、飼料価格の低下にうまく適応しながら生産性を大幅に向上させたと考えられる。

表9 派生需要の弾力性 (マスターシステム)

投入量 \ 価格	他の生産要素 (x)	労働的投入要素 (g)	飼料的投入要素 (h)	産出量 (Y)
他の生産要素 (x)	-0.316	0.270	0.046	0.983
労働的投入要素 (g)	0.576	-0.510	-0.087	0.642
飼料的投入要素 (h)	0.103	-0.088	-0.015	1.064

註) 弾力性の算出には、展開点の値を用いた。

表10 代替の偏弾力性 (マスターシステム)

	他の生産要素 (x)	労働的投入要素 (g)	飼料的投入要素 (h)
他の生産要素(x)	—	1.649	0.195
労働的投入(g)		—	-0.368
飼料的投入(h)			—

註) 弾力性の算出には、展開点の値を用いた。

表11 平均費用変化の要因分解

期間	合計	規模	代替効果			合計	技術進歩	TFP
			他の生産要素 (x)	労働的投入 (g)	飼料的投入 (h)			
1968~1979	0.065 (100)	-0.019 (-29)	0.036 (56)	0.029 (45)	0.018 (27)	0.065 (99)	0.001 (1)	-0.018 (28)
1980~1994	-0.019 (100)	-0.008 (44)	0.003 (-17)	0.005 (-25)	-0.006 (30)	-0.006 (31)	-0.013 (69)	-0.021 (113)

- 註1) 上段は変化率, 下段 () 内は寄与率を表す。
 2) 前期は1974年, 後期は1987年のコストシェアを用いた。
 3) TFPは規模の効果と技術進歩の効果の合計である。

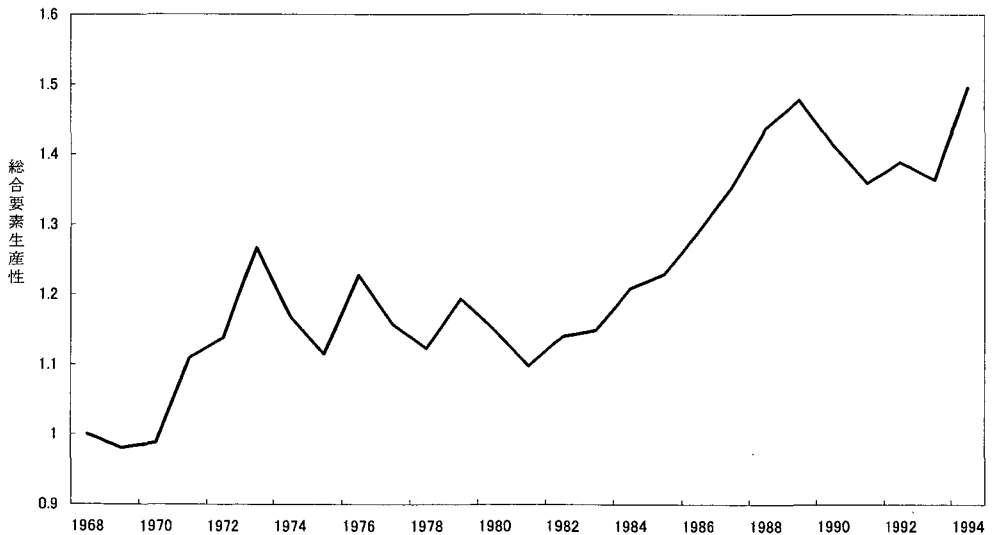


図2 北海道酪農の総合要素生産性 (TFP) の推移

6. 結論

本論文では、酪農専業農家における農地の派生需要を購入飼料との代替関係に着目し定量的に分析することを主たる課題とした。さらに、酪農の経営規模拡大過程で、規模の経済性および技術進歩が生産性向上に及ぼした効果を明らかにした。そのために、生乳生産に必要な飼料を草地利用によって自給するのか、それとも購入飼料に依存するのか、あるいはこれら両者の任意の組み合わせを許容するモデルを呈示した。

計画生産の開始時期によって前期と後期にわけて分析を行った。1960年代から公共投資による土地基盤整備が進み、土地に立脚した酪農を目指して草地拡大がすすめられた。皮肉なことにこの期間地代は大幅に上昇し続けた。したがって、農家に行ってみれば割高な生産要素を供給され続けたことになる。購入飼料と農地の相対価格は低下した結果、購入飼料を多投する方向に北海道酪農の生産構造は変化した。すなわち、農家は飼料と地代の相対価格の変化に対応して投入要素の組み合わせを年率にして4%上昇させ、農地と購入飼料との代替をはかってきた。こうした購入飼料/農地の投入比率の上昇は、前期は地代の高い上昇率によって、後期は急激に低下する飼料価格によってもたらされたものであることが明らかになった。

前期と後期では技術進歩率に大きな差が見られた。前期にその効果はほとんどみられないものの、後期における技術進歩率は高かった。両期間とも一貫して規模の経済性が発揮され生乳生産の平均費用低減に果たした規模拡大効果は大きい。

現在、酪農経営は生産性の向上に加え適切な糞尿処理を実施し環境への負荷を軽減することも緊急の課題として浮上している。近年、地代が低下していることは、効率的な飼料生産と糞尿処理という両課題を解決するうえで好条件といえる。購入飼料価格も地代と同等またはそれ以上に低下し続けているために予断を許さないが、要素価格の変化は社会的にも私的にも草地依存型酪農のより一層の重要性を示している。

註

- (註1) 梶井 [8] に詳しい。
 (註2) 農林水産省『牛乳乳製品統計』による。
 (註3) 農林水産省『畜産統計』による。
 (註4) 北倉 [9] を参照した。
 (註5) 農林水産省『作物統計』による。
 (註6) 1969~1986年の農水省『畜産物生産費調査』の自給飼料、購入飼料を用いている。
 (註7) 1968~1985年の農水省『牛乳生産費調査』を用いている。
 (註8) 地代の計算に必要な借入地面積は1967年までなく、また農家経済調査は1994年で終了している。
 (註9) トルクビスト指数を使って指数化している。
 (註10) (9), (10)式にトレンド変数を導入することも考えられるが本稿ではあくまで集計関数と考える。
 (註11) データとして、搾乳牛一頭当たりまたは生乳100kg当たりの生産費を算出し、農家の生乳生産過程のみを示した『牛乳生産費調査』がある。その中で自給飼料について、単位当たりの生乳生産に投入された自給飼料費が計上されている。しかし、酪農家が生産した全ての自給飼料を含む生産費用ではなく、自給飼料生産をひとつのプロセスと捉えることは難しい。よって、自給飼料生産を生乳生産と並ぶひとつの生産過程として捉え、分析の中に明示的に組み込む本論文では、農家をひとつの経営体として捉え、そこから生産される全ての生産物とその生産費について調べた『農家経済調査』を利用することが妥当と考えた。
 (註12) 『農家経済調査』における支払い小作料は牧草地を反映しているかということについて、『牛乳生産費調査』を用いて求めた地代と比べると、特に前期において『農家経済調査』がやや高めに推移することがわかる。『農家経済調査』と『牛乳生産費調査』の地代比率を前期・後期に分けてトレンドに回帰すると、前期では切片が2.369、トレンドが-0.097で双方のパラメータとも有意である。また、切片は1と有意差をもつ。これは、『農家経済調査』の地代水準が高く格差が存在すること、および格差は年々縮小することを示している。後期では、切片が0.864で1と有意差をもたない。トレンドのパラメータは0.013で0と有意差をもたない。このことは、『農家経済調査』と『牛乳生産費調査』の地代格差はなく、牧草地の地代水準を反映しているとみることができる。

(註13) トランスログ費用関数の価格に関する2次微分の係数は

$$\frac{\partial^2 C}{\partial P_i \partial P_j} = (\alpha_{ij} - \alpha_i \delta_{ij} + \alpha_j \alpha_i) \frac{C}{P_i P_j} \quad (i, j = x, g, h, i \neq j) \dots \dots (2)$$

である。ただし、

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

$$\alpha_{ij} = \frac{\partial^2 \ln C}{\partial \ln P_i \partial \ln P_j}, \quad \alpha_i = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i}$$

である。

したがって、費用関数が要素価格に関して凹であるためには、(2)式の行列

$$\left[\frac{\partial^2 C}{\partial P_i \partial P_j} \right], \quad (i, j = x, g, h)$$

が、負値定符号行列でなければならない。これは、

$$\left[\frac{\partial^2 C}{\partial P_i \partial P_i} \right] \text{の} i \text{ 次の主座小行列式を} |A_i| \text{と表すと、}$$

$$|A_1| < 0, |A_2| > 0, |A_3| < 0$$

を意味している。 $\frac{C}{P_i P_j} > 0$ であるから、この条件は、

(2)式の行列 $[a_{ij} - a_i \delta_{ij} + a_j a_i]$ が負値定符号であることと同値である。ところで、任意の負値定符号行列は、下側三角行列 G で、 $-GG'$ と分解できる。したがって、

$$-GG' = a_{ij} - a_i \delta_{ij} - a_j a_i \quad (i, j = 1, 2, 3)$$

とおけば、 a_{ij} を $[GG']$ の要素 g_{ij} で置換することによって価格に対する凹性条件が付加される。さらに、価格に対する1次同次性の制約 $\sum_{j=1}^3 \alpha_{ij} = 0 \quad (i = 1, 2, 3)$ を g_{ij} について考慮すれば、

$$\sum_{j=1}^3 g_{j1} = 0, \quad \sum_{j=2}^3 g_{j2} = 0, \quad g_{33} = 0,$$

となる。

事前にこれらの凹性制約を課し、トランスログ費用関数から得られる上記の2本のシェア式を非線形の Zellner [2] の SUR 法で推定した。この場合、制約を付加しない場合の費用関数における $\alpha_r, \alpha_i, \alpha_{ry}, \alpha_{rv}, \alpha_u$ のパラメータが計測できない。2本のコストシェアからこれらの予測値 \hat{s}_1, \hat{s}_2 、さらに $\hat{s}_3 (= 1 - \hat{s}_1 - \hat{s}_2)$ を推定する。そして、

$$\ln C - \left(\frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \hat{s}_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \alpha_i \ln P_i \right)$$

を費用関数の産出量 Y と時間 t の1次と2次の項に回帰して、 $\alpha_r, \alpha_i, \alpha_{ry}, \alpha_{rv}, \alpha_u$ のパラメータを求めた。

(註14) 飼料生産部門が他の生産要素から弱分離であるため、飼料/農地の投入比率は、飼料生産部門以外の要素価格から無関係となる。

(註15) 集計関数の1次同次を仮定しているため、規模の効果はない。

参考文献

- [1] Christensen, L.R., and W. Greene. "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation," *Journal of Political Economy*, Vol. 84, 1976, pp. 655-676.
- [2] Greene, W.H. "Simultaneous Equation of Factor Substitution, Economies of Scale Productivity, and Non-Neutral Technical Change", in A. Dogramaci, eds., *Developments in Econometrics Analysis of Productivity, Measurement and Modeling Issues*, Boston, Kluwer-Nijhoff Publishing, 1983, pp. 121-144.
- [3] Kuroda, Y. "The Production Structure and Demand for Labor in Postwar Japanese Agriculture, 1952-82," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 69, 1987, pp. 328-337.
- [4] Zellner, Arnold. "An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias," *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 57, 1962, pp. 348-368.
- [5] 宇佐美繁「草地酪農の構造」『畜産経営と土地利用：総括編』農山漁村文化協会, 1982, pp. 221-263.
- [6] 荏開津典生・茂野隆一「酪農の生産関数と均衡賃金」『農業経済研究』第55巻第4号, 1984, pp. 196-203.
- [7] 大塚啓二郎「酪農の発展と生乳の需要構造」『経済発展と農業開発』農林統計協会, 1985, pp. 90-110.
- [8] 梶井功「牛乳需要の構造問題」『農産物過剰』明文書房, 1981, pp. 97-141.
- [9] 北倉公彦『北海道酪農の発展と公的投資』筑波書房, 2000.
- [10] 久保嘉治「大規模経営成立の条件」『農業経済研究』第55巻第3号, 1983, pp. 123-130.
- [11] 駒木泰・天間征「北海道酪農の技術進歩に関する分析」『農経論叢』第45集, 1989, pp. 75-93.
- [12] 近藤巧『基本法農政下の日本稲作 —その計量経済学的研究—』北海道大学図書刊行会, 1998.
- [13] 佐伯尚美・生源寺真一『酪農生産の基礎構造』農林統計協会, 1995.
- [14] 山本康貴「わが国酪農における生産性向上と地域間生産性格差の計量分析1968-1985」帯広畜産大学『学術研究報告第I部』vol. 16, 1988, pp. 59-70.