

子牛価格の不確実性が肉牛繁殖農家の飼養頭数決定に与える影響

— 動学的双対モデルによる実証分析 —

阪 本 亮*・草 莉 仁*

1. はじめに

わが国の肉牛生産では肥育農家を中心に大規模化・企業経営化が進められているが、肥育農家の生産費の大部分は子牛の購入費用である。そのため、肉牛生産全体の競争力を向上する上で子牛の調達費用を削減することの意義は大きく、繁殖農家の飼養規模拡大によるコストの削減は、わが国の肉牛生産における重要な課題として位置づけられてきた(註1)。この点について、第1図から繁殖農家の生産構造を確認すると、繁殖農家戸数が長期的な減少傾向を示す中で、繁殖農家の1戸当たり飼養頭数は1990年で3.6頭、2008年に9.6頭であり、規模拡大は進行している。しかし同時に、第2図から、2008年においても飼養規模10頭以下の繁殖農家が全体の76%を占めており、依然として多くの繁殖農家が零細な規模に留まっていることがわかる。こうした状況に対して、本稿では子牛価格の不確実性と繁殖農家の投資行動の関係に着目した分析を行うことで、子牛価格の不確実性が繁殖農家の規模拡大に与える影響を実証的に明らかにする(註2)。

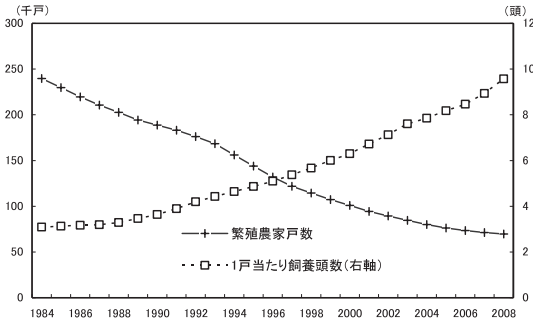
周知のとおり、牛肉経済の特徴はビーフサイクルと呼ばれる周期変動である。第3図は繁殖雌牛飼養頭数、子牛価格、牛枝肉価格の推移であり、一部の期間では周期変動が不明確であるものの、全体としてはビーフサイクルの存在を確認できる。牛肉経済を計量経済学的に分析した先行研究の多くは、このような周期変動の発生メカニズムや周期の長さを解明することを課題としており、例えば大賀・稲葉[19]、堀田[5]、松原[12]など豊富な研究蓄積がある。これらの研究において共通して述べられていることは、「子牛価格が下落すると繁殖農家は繁殖雌牛の淘汰を早めること」、「こうした繁殖農家の意思決定が牛肉経済の周期変動を発生させる起点になっていること」である。その中でも、堀田[5]は「これらの周期変動は、特に和牛雌牛屠殺頭数と子牛価格の間にきわめて対照的な変動パターンが確認され、子牛価格の高騰および暴落にともなう繁殖経営の不安定な収益性は、繁殖母牛の淘汰の減少、増大をくり返し、繁殖経営

の規模拡大の大きな阻害要因となっている」と述べており、子牛価格の不確実性が繁殖農家の規模拡大を阻害する要因となっていることを指摘している。このことは、生産期間が長く、価格変動のリスクに直面する繁殖農家は、子牛価格の動向次第では繁殖雌牛を淘汰することで、将来の収益性悪化のリスクを回避できることを意味している。

一方、門間[14]は牛肉供給反応の特質の解明が重要であると述べて、適応期待モデルを用いた和牛・乳用種の飼養頭数決定反応の分析と、多項式分布ラグモデルを用いた雌和牛の枝肉供給反応の分析を行っている。門間[14]は、肉牛生産が他の作物と比較して相対的に多額の固定資本装備を必要とする点に着目し、生産の即時的な調整の困難性や短期と長期を識別した分析を行うことの重要性を指摘した。繁殖農家に関して言えば、繁殖雌牛飼養頭数の決定には畜舎の増築に関する資金が必要であることや、土地や労働力の賦存条件に規定される粗飼料確保の困難性が指摘されており、繁殖雌牛飼養頭数の短期的な調整は容易ではないと思われる。そのため、子牛価格の不確実性と繁殖農家の投資行動の関係も長期的な視点から分析する必要がある。この点に関して、自己回帰型分布ラグモデルを用いてカナダ西部のアルバータ州の繁殖農家と肥育農家を分析したMbagi and Coyle[13]は、肉牛農家を分析する際に長期的な視点と価格の不確実性を考慮することの必要性を指摘している(註3)。しかし、わが国の繁殖農家を対象として、長期的な視点から子牛価格の不確実性が繁殖農家の繁殖雌牛飼養頭数の決定に与える影響を計量経済学的に分析した研究は、私見では見受けられない。

そこで本稿では、繁殖雌牛飼養頭数の調整過程を内生化した上で、子牛価格の不確実性が繁殖雌牛飼養頭数の決定に与える影響を実証的に明らかにするため、OECD[18]が提示した不確実性下における動学的双対モデルを用いた分析を試みる(註4)。具体的には、不確実性下における繁殖農家の動学的効用最大化問題から、繁殖雌牛投資関数、子牛供給関数、要素需要関数を導出し、理論と整合するように実証分析を行う。以上の作業を通じて、子牛価格の不確実性が繁殖雌牛飼養頭数の決定に与える影響を実証的に明らかにすることが本稿の課題で

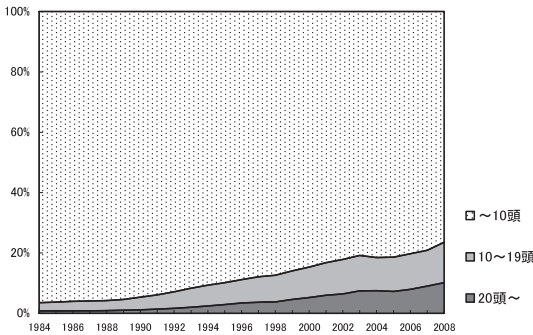
*神戸大学



第1図 繁殖農家戸数と1戸当たり飼養頭数の推移 (全国)

資料：農林水産省『畜産統計』

註：1戸当たり飼養頭数は、「子取り用雌牛飼養頭数」を「子取り経営戸数」で除して求めた。なお、『農業センサス』実施のため、『畜産統計』が公表されていない年については、その直前と直後の年の値の平均値を当てはめた。



第2図 繁殖農家戸数の飼養頭数規模別シェアの推移 (全国)

資料：農林水産省『畜産統計』

註：『農業センサス』実施のため、『畜産統計』が公表されていない年については、その直前と直後の年の値の平均値を当てはめた。

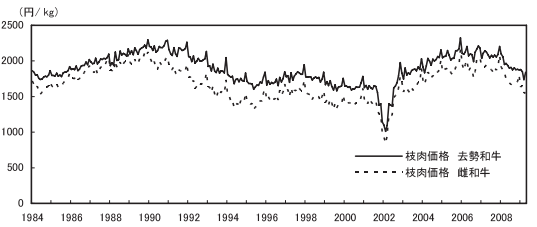
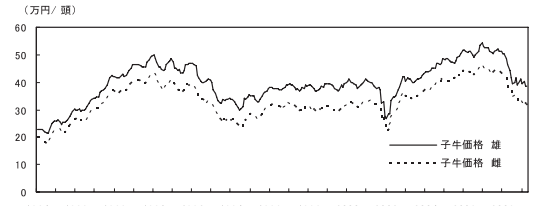
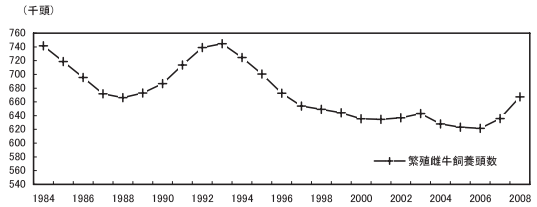
ある。

本稿の構成は以下のとおりである。はじめに、第2節で不確実性を考慮した動学的効用最大化の理論を展開した上で、実証分析における計測式と計測データを提示する。次に第3節で計測結果の考察を行い、最後に第4節で本稿の結論を述べる。

2. 分析の方法とデータ

1) 動学的双対モデル

本稿では、Epstein [4] が提示した動学的双対モデルを不確実性下の枠組みに拡張した OECD [18] のモデルを用いる (註5)。以下、OECD [18] と本稿との相違点に留意しながら、モデルの構造や仮定について述べる (生産関数や間接効用関数の数学的定式化については



第3図 繁殖雌牛飼養頭数、子牛価格、牛枝肉価格の推移 (全国)

資料：農林水産省『畜産統計』、農林水産省『農作物価統計』、農林水産省『畜産物流通統計』

- 註：1) 農林水産省『農作物価統計』は、1993年以前は『農村物価賃金統計』、1994～99年は『農村物価統計』である。また、農林水産省『畜産物流通統計』は1990年以前、『食肉流通統計』である。
2) 『農業センサス』実施のため、『畜産統計』が公表されていない年については、その直前と直後の年の値の平均値を当てはめた。

Appendix 1)を参照されたい。

- (i) 繁殖農家は、子牛価格に不確実性が存在する状況で、可変生産要素である飼料 X_F 、その他の要素 X_O 、準固定生産要素である繁殖雌牛 K 、固定生産要素である労働 L を用いて子牛 Y を生産する (註6)。ここでいう準固定生産要素とは、粗投資 I に付随して調整費用が発生するため、短期的には生産要素の限界生産物価値と市場価格が一致せず、即時的な調整が困難な生産要素のことである。調整費用が存在する場合、繁殖農家が繁殖雌牛の飼養頭数をすぐには変更しないことが、動学的な効用最大化の観点から合理的となり得る。
- (ii) 準固定生産要素である繁殖雌牛の粗投資 I に付随する調整費用の具体例としては、畜舎増設や繁殖雌牛購入に関する資金制約 (資本制限)、投資に関わる新技術の習熟や妊娠中の繁殖雌牛は淘汰できない

などの技術制約、農家の心理的要因（投資に対する不安など）などに起因する費用を挙げることができる（註7）。また、調整費用は繁殖雌牛の粗投資 I に対して通増的であると仮定する。これは、後述する動学的最適化問題に最適解が存在するための十分条件となる。

(iii) 繁殖農家の効用関数は Coyle [3] が提示した Mean-Variance 効用関数である。農家のリスク選好に関して、OECD [18] や OECD [18] の静学分析である Schokai and Moro [22] は「相対的リスク回避係数一定」を仮定しているが、本稿では「絶対的リスク回避係数一定」を仮定する（註8）。

(iv) 繁殖農家の期待形成は、子牛価格の周期性を織り込んで、子牛価格の期待値については前期価格、分散については過去5年間の変動を考慮していると仮定する（註9）。

(i)~(iv)から、繁殖農家の動学的効用最大化問題は、(1)式の右辺を最大化する繁殖雌牛飼養頭数の最適経路を決定することに帰着する。(1)式の $J(\cdot)$ は現在から将来にわたる総効用の割引現在価値を表し、状態評価関数と呼ばれる。

$$J(\bar{P}, V_P, \mathbf{W}, C, K_{t_0}, L, T) = \max_I \int_{t_0}^{\infty} e^{-r(t-t_0)} [U(\bar{P}_t, V_{P_t}, \mathbf{W}_t, C_t, K_t, L_t, I_t, T)] dt$$

$$s.t. \dot{K}_t = I_t - \delta K_t, K_{t_0} = K(0) > 0 \quad (1)$$

ここで、 \bar{P} と V_P は子牛価格の期待値と分散、 \mathbf{W} は可変生産要素価格ベクトル（飼料価格、その他の要素価格）、 C は繁殖雌牛の使用者価格、 L は労働投入量、 T は技術指数を、それぞれ表す。また、 $K_{t_0} = K(0)$ は意思決定時における繁殖雌牛飼養頭数を表し、 $\dot{K}_t = I_t - \delta K_t$ は K の遷移式である。 I_t は繁殖雌牛の粗投資、 δ は事故死や自然死などによる減耗率、 r は割引率を表す。外生変数が将来にわたり一定であると仮定して動学計画法を用いると、(1)式の動学的最適化問題は(2)式のハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を解くことに帰着する（註10）。ただし、 $J(\cdot)$ と $U(\cdot)$ に関する添え字はその変数に関する偏微分を表す。

$$rJ(\cdot) = \max_I [U(I) + J_K \dot{K}] + J_T \quad (2)$$

(2)式の両辺を I で偏微分すると、繁殖雌牛の粗投資 I に関する最適化の一階条件は $J_K = -U_I$ で表される。

ここで、 J_K は繁殖雌牛飼養頭数が1頭増加したときの $J(\cdot)$ （現在から将来にかけて得られる総効用の割引現在価値）の増加量を意味しており、 K のシャドウ・プライスであると解釈される。一方、 $-U_I$ は投資の限界調整費用を表す。そのため $J_K = -U_I$ から、 K のシャドウ・プライスと投資の限界調整費用が等しくなるところで最適投資 I^* が決定されることがわかる。一方、調整費用が存在しない場合は $U_I = 0$ となり、繁殖雌牛飼養

頭数も毎期に限界原理が働く可変生産要素と同様に決定されることとなる。

次に、繁殖雌牛飼養頭数の調整が完了する時点、すなわち長期均衡における繁殖雌牛飼養頭数の最適水準について考察するために、(2)式の両辺を K で偏微分して(3)式を導出する。

$$rJ_K = U_K + J_{KK} \dot{K}^* - \delta J_K + J_{TK} \quad (3)$$

長期均衡では、 $J_K = -U_I$ のもとで $\dot{K}^* = 0$ が成立することをを用いて(3)式を整理すると、繁殖雌牛飼養頭数の長期最適水準 \bar{K} では、(4)式が成立する。

$$U_K(\bar{K}) = -(r + \delta) U_I(\bar{K}) + \frac{\partial U_I}{\partial T}$$

$$\Leftrightarrow \bar{P} \frac{\partial F(\bar{K})}{\partial K} = C - (r + \delta) U_I(\bar{K}) + \alpha_A V_P F \frac{\partial F}{\partial K} + \frac{\partial U_I}{\partial T} \quad (4)$$

ここで、(4)式の右辺の第二項は限界調整費用に関する利子費用と減価償却費用の和、第三項は K の保険プレミアム（限界評価）を表すため、繁殖農家がリスク回避的であればどちらも正值となる（註11）。一方、リスク中立的、かつ調整費用が存在しなければ、(4)式は不確実性が存在しない場合の静学的な利潤最大化の一階条件である $\bar{P} \cdot \partial F(\bar{K}) / \partial K = C$ に帰着する。調整費用や子牛価格の不確実性が存在することで、繁殖雌牛の長期最適水準 \bar{K} は静学的な利潤最大化水準よりも減少するので、繁殖農家の投資行動が影響を受けることがわかる。

実証分析では、(1)式の状態評価関数を(5)式で表される quadratic functional form に特定化することで、農家の動学的最適化問題から導出される繁殖雌牛投資関数、子牛供給関数、要素需要関数を連立推計する。このとき、状態評価関数 $J(\cdot)$ の $(\bar{P}, V_P, \mathbf{W}, C)$ に関して一次同次制約を課すために、子牛価格の期待値 \bar{P} 、子牛価格の分散 V_P 、飼料価格 W_F 、繁殖雌牛の使用者価格 C のそれぞれをその他の要素価格 W_O で除している。

$$J = \alpha_0 + \alpha_P \bar{P} + \alpha_V V_P + \alpha_F W_F + \alpha_C C + \alpha_K K + \alpha_L L + \alpha_T T$$

$$+ \frac{1}{2} (\alpha_{PP} \bar{P}^2 + \alpha_{VV} V_P^2 + \alpha_{FF} W_F^2 + \alpha_{CC} C^2 + \alpha_{KK} K^2 + \alpha_{LL} L^2$$

$$+ \alpha_{TT} T^2) + \alpha_{PV} \bar{P} V_P + \alpha_{PF} \bar{P} W_F + \alpha_{PC} \bar{P} C + \alpha_{PK} \bar{P} K$$

$$+ \alpha_{PL} \bar{P} L + \alpha_{PT} \bar{P} T + \alpha_{VF} V_P W_F + \alpha_{VC} V_P C + \alpha_{VK} V_P K$$

$$+ \alpha_{VL} V_P L + \alpha_{VT} V_P T + \alpha_{FC} W_F C + \alpha_{FK} W_F K + \alpha_{FL} W_F L$$

$$+ \alpha_{FT} W_F T + \alpha_{CK}^{-1} C K + \alpha_{CL} C L + \alpha_{CT} C T + \alpha_{KL} K L$$

$$+ \alpha_{KT} K T + \alpha_{LT} L T \quad (5)$$

(5)式を用いると、繁殖雌牛投資関数、子牛供給関数、飼料需要関数、均衡における絶対的リスク回避係数は、それぞれ(6)~(9)式で表される（導出の詳細については Appendix 2)を参照されたい）。

$$\dot{K}^* = (r + \alpha_{CK}) K + r \alpha_{CK} (\alpha_C + \alpha_{PC} \bar{P} + \alpha_{VC} V_P + \alpha_{FC} W_F$$

$$+ \alpha_{CC} C + \alpha_{CL} L + \alpha_{CT} T) - \alpha_{CK} \alpha_{CT} \quad (6)$$

$$Y^* = r (\alpha_P + \alpha_{PP} \bar{P} + \alpha_{PV} V_P + \alpha_{PF} W_F + \alpha_{PC} C + \alpha_{PK} K$$

$$+ \alpha_{PL} L + \alpha_{PT} T) - \alpha_{PK} \dot{K}^* - \alpha_{PT} \quad (7)$$

$$X_F^* = -r(\alpha_F + \alpha_{PF}\bar{P} + \alpha_{VF}V_P + \alpha_{FF}W_F + \alpha_{CF}C + \alpha_{FK}K + \alpha_{FL}L + \alpha_{FT}T) + \alpha_{KF}\bar{K}^* + \alpha_{FT} \quad (8)$$

$$\alpha_A^* = -r(\alpha_V + \alpha_{PV}\bar{P} + \alpha_{VV}V_P + \alpha_{VF}W_F + \alpha_{CV}C + \alpha_{VK}K + \alpha_{VL}L + \alpha_{VT}T) - \alpha_{VK}\bar{K}^* - \alpha_{VT} \left| \frac{2}{(Y^*)^2} \right. \quad (9)$$

最後に、繁殖雌牛の投資が長期最適水準への漸次的な調整であることを明示するため、(6)式を $\bar{K}^* = (r + \alpha_{CK})(K - \bar{K})$ の形に変形する。このとき、 \bar{K} は(10)式で表される繁殖雌牛飼養頭数の長期最適水準となり、 K は意思決定時における繁殖雌牛飼養頭数なので、繁殖農家の最適な投資行動は \bar{K} と K の差を調整係数 $(r + \alpha_{CK})$ の分だけ調整することとなる。したがって、仮に調整係数が -0.20 であれば、長期最適水準に対して、繁殖雌牛飼養頭数は1期間で20%だけ調整されるため、調整完了まで5期間を要することになる。

$$\bar{K} = -r\{\alpha_{CK}(\alpha_C + \alpha_{PC}\bar{P} + \alpha_{VC}V_P + \alpha_{FC}W_F + \alpha_{CC}C + \alpha_{CL}L + \alpha_{CT}T) - \alpha_{CK}\alpha_{CT}\} (r + \alpha_{CK})^{-1} \quad (10)$$

2) 計測データ

計測データには、農林水産省『畜産統計』、農林水産省『畜産物生産費』、農林水産省『農業物価統計』、総務省統計局『消費者物価指数年報』(中分類)を用いた(註12)。対象地域は、東北、中国、九州地域の全県から山口県、福岡県を除いた16県で、計測期間は1989年から2000年の12年間である。したがって、サンプル数は192(16県×12年)である(註13)。

はじめに、繁殖雌牛飼養頭数 K は『畜産統計』「子取り用雌牛2歳以上飼養頭数」として、その純投資 \dot{K} は $\dot{K}_t = K_{t+1} - K_t$ より求めた(註14)。子牛の供給量 Y は『畜産統計』「肉用種雄1歳未満飼養頭数」と「肉用種雌1歳未満飼養頭数」の合計である。これら『畜産統計』のデータはすべて2月1日現在のものである。そのため、妊娠期間を9カ月とすると、例えば1991年2月の「肉用種1歳未満飼養頭数」は、近似的に1989年4月からその後1年間に種付けされた子牛であるとみなすことができる(註15)。また、こうして求めた子牛の供給量 Y 、繁殖雌牛飼養頭数 K 、純投資 \dot{K} のそれぞれを『畜産統計』「子取り用雌牛飼養戸数」で除して、繁殖農家1戸あたりのデータに変換した。

子牛価格の期待値 \bar{P} と分散 V_P は、『農業物価統計』「和子牛雄」「和子牛雌」の県別・月平均データから以下のように作成した。前項で述べたように、子牛価格の周期性を考慮して、子牛価格の期待値については前年価格(12カ月の単純平均)であり、分散については過去5年間の月別データから計算した値である。このとき、農家はそれぞれ50%の確率で雄と雌が生まれてくると期待しているものとして、雄と雌それぞれの期待値に0.5を乗じて合計した値を子牛価格の期待値 \bar{P} とした。また子牛価格の分散 V_P は、過去5年間の月別データから、雄の標本分散 V_P^M 、雌の標本分散 V_P^F 、雄と雌の標本共

分散 V_P^{MF} をそれぞれ計算して、 $V_P = 0.25(V_P^M + V_P^F) + 0.5V_P^{MF}$ から求めた。

飼料価格 W_F は『農業物価統計』「飼料価格指数」であり、その他の要素価格 W_0 は、集計費目の費用合計に占める各費目のシェアをウェイトとするマルチ・ラテラル価格指数である。集計費目は、種子、肥料、敷料、光熱水料及び動力、その他の諸材料、獣医師料及び医薬品、賃借料及び料金、建物、農機具であり、各費目に対応する価格指数は『農業物価統計』「農業生産資材別年次別価格指数」から該当する指数を充てた。ただし、敷料と建物の価格は「稲わら」と「建築資材」の価格指数で、獣医師料及び医薬品価格は『消費者物価指数年報』(中分類)の「保健医療価格指数」で、それぞれ代用した。

ここで、「牧草・放牧・採草費」の取り扱いについて述べる。「畜産物生産費」によると、「牧草・放牧・採草費」は「牧草等の飼料作物の生産に要した費用及び野生草・野乾草・放牧場・採草地に要した費用を、費用価計算により計上した。費用価は、飼料の種類ごとにその生産過程(は種から収穫調整まで)において発生した費用、すなわち、材料費(種子、肥料、その他の材料)、固定財費(建物、農機具)等を合計した」と定義されている。そのため『畜産物生産費』「牧草の飼料数量と価額(子牛1頭当たり)」、「牧草(飼料作物)の費用価」、「野生草及び野乾草の費用価(100kg当たり)」を用いて、「牧草・放牧・採草費」を種子、肥料、農機具費に分解した。ただし、1994年以前の「牧草・放牧・採草費」は労働費を含んでいるため、「牧草・放牧・採草費」から「子牛1頭当たり」「牧草・放牧・採草費」に係る家族労働評価額を差し引いた上で分解した。以上より、飼料費は『畜産物生産費』の流通飼料費であり、その他の要素費用は『畜産物生産費』の種子、肥料、敷料、光熱水料及び動力、その他の諸材料、獣医師料及び医薬品、賃借料及び料金、建物、農機具の合計である(註16)。ただし、種子費、肥料費、農機具費には「牧草・放牧・採草費」の分解分が含まれている。要素投入量 X_F 、 X_0 は、それぞれの費用を対応する価格指数で除して、子牛の供給量 Y を乗じたものである。

労働 L は『畜産物生産費』「総労働時間」である。女子に0.8を乗じて、男子と合計した総労働時間を用いる。このとき、1995年以降については自給牧草生産などに要する労働時間が「間接労働時間」として総労働時間に計上されている。そのため、1994年以前についても間接労働時間を計算して総労働時間に加えた。間接労働時間は、「子牛1頭当たり」「牧草・放牧・採草費」に係る家族労働評価額を家族労働の見積もり賃金率で除すことにより求めた。また、家族労働の見積もり賃金率は、労働費を直接労働時間で除すことにより算出した。以上の労働時間については、子牛の供給量 Y を乗じて1戸当りに変換している。

第1表 計測データの記述統計

		平均	標準偏差	最小値	最大値
繁殖雌牛飼養頭数 (頭)	K	3.82	1.33	1.87	8.87
子牛の供給量 (頭)	Y	2.96	1.41	1.23	8.57
労働投入量 (時間)	L	421.90	204.94	197.01	1242.85
子牛価格の期待値	\bar{P}	35.59	7.32	15.30	55.54
子牛価格の分散	V_P	32.07	25.45	2.18	107.39
繁殖雌牛の使用者価格	C	4.59	0.90	3.39	6.71
飼料の投入量	X_F	26.79	12.04	10.20	73.91
その他の要素投入量	X_O	23.45	11.22	10.09	67.85
飼料価格	W_F	95.67	4.58	88.42	102.42
その他の要素価格	W_O	100.06	3.55	92.72	104.20

註：繁殖農家1戸当たりの数値である。価格データの単位は万円、 $X_i (i=F, O)$ 、 $W_i (i=F, O)$ はそれぞれ数量指数と価格指数である。

次に、繁殖雌牛の使用者価格 C であるが、「畜産物生産費」「繁殖雌牛償却費」を用いた（註17）。割引率 r は、農林漁業金融公庫「総合施設資金貸付金利」を総務省統計局「消費者物価指数年報」「消費者物価指数（総合）」で実質化し、その計測期間平均値である3.4%とした。技術指数 T はタイム・トレンドで代理した。なお、第1表に計測データの記述統計を記載している。

3. 計測結果と考察

1) パラメータの推計結果

パラメータの推計は、(6)～(8)式、及び(2)式と(6)～(8)式から求まるその他の要素需要関数に(9)式を代入した式の、4本の連立推計である（註18）。計測方法は、三段階最小二乗法でパラメータの初期値を推計した、完全情報最尤法である（註19）。このとき、リスク中立制

約や繁殖雌牛を可変生産要素または固定生産要素とする制約に関して、第2表に示すとおりに尤度比検定を行ったが、これらの制約はすべて1%水準で棄却された。そのため、リスク中立制約を課さず、繁殖雌牛を準固定生産要素として扱ったモデルの推計結果を、第3表、第4表に示した。推計された36個のパラメータ（ダミー変数を除く）のうち、1%水準で有意なものは13個、5%水準では18個、10%水準では21個であった。また決定係数は、繁殖雌牛投資関数について0.987、子牛供給関数について0.968、飼料需要関数について0.923、その他の要素需要関数について0.863であった（註20）。

2) 絶対的リスク回避係数と保険プレミアム

標本平均で評価した繁殖農家の絶対的リスク回避係数の推計値は0.00094 (t 値: 2.957) であり、繁殖農家はリスク回避的に行動していることが明らかになった。絶

第2表 尤度比検定の結果

帰無仮説	LR	LLu	LLr	自由度
$\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$	83.27	-601.1	-642.7	8
$\alpha_{CK} = -1 - r$	270.51	-601.1	-736.4	1
$\alpha_{CK} = -r$	357.77	-601.1	-779.9	1
$\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$ ($\alpha_{CK} = -1 - r$ maintained)	164.14	-736.4	-818.4	8
$\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$ ($\alpha_{CK} = -r$ maintained)	48.03	-779.9	-804.0	8
$\alpha_{CK} = -1 - r$ ($\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$ maintained)	351.38	-642.7	-818.4	1
$\alpha_{CK} = -r$ ($\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$ maintained)	322.53	-642.7	-804.0	1
$\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$ and $\alpha_{CK} = -1 - r$	434.65	-601.1	-818.4	9
$\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$ and $\alpha_{CK} = -r$	405.79	-601.1	-804.0	9

註：1) LLu は制約なしモデルの対数尤度、 LLr は制約付きモデルの対数尤度、LR は尤度比検定統計量を表す。 χ^2 分布の5%と1%の臨界値は自由度1で3.84と6.63、自由度8で15.51と20.09、自由度9で16.92と21.67である。

2) $\alpha_V = \alpha_{Vi} = 0$ はリスク中立制約、 $\alpha_{CK} = -1 - r$ と $\alpha_{CK} = -r$ は繁殖雌牛をそれぞれ可変生産要素、固定生産要素とする制約である。

第3表 推計パラメータ

	推計値	t 値		推計値	t 値
α_0	73.288	0.179	α_{PK}	0.932 ***	4.516
α_P	39.513 ***	2.632	α_{PL}	0.195 ***	16.745
α_V	0.023	1.388	α_{PT}	0.351	1.638
α_F	-646.941 *	-1.846	α_{VF}	0.021 ***	3.190
α_C	-92.000 **	-2.099	α_{VC}	0.0027 **	2.409
α_K	-1.573	-0.137	α_{VK}	0.00071	0.705
α_L	-1.777 ***	-3.516	α_{VL}	-0.00048 ***	-3.099
α_T	69.610 *	1.821	α_{VT}	-0.0071 ***	-2.675
α_{PP}	0.660 **	2.391	α_{FC}	16.569	0.965
α_{VV}	0.0000043 ***	3.085	α_{FK}	-9.181 **	-2.421
α_{FF}	600.804 ***	2.916	α_{FL}	-1.952 ***	-9.182
α_{CC}	4.175	1.478	α_{FT}	-9.043	-1.363
α_{KK}	1.384	0.449	α_{CK}	-0.288 ***	-6.616
α_{LL}	0.00064	0.693	α_{CL}	-0.139 ***	-5.378
α_{TT}	-9.862 **	-2.127	α_{CT}	-0.178	-0.229
α_{PF}	-6.708 *	-1.809	α_{KL}	-0.012	-0.755
α_{PC}	-0.916	-1.499	α_{KT}	-0.094	-0.123
α_{PV}	-0.0019 ***	-4.977	α_{LT}	-0.028	-0.687
決定係数	繁殖雌牛投資関数 0.987		飼料需要関数 0.923		
	子牛供給関数 0.968		その他の要素需要関数 0.863		
対数尤度	-601.106				

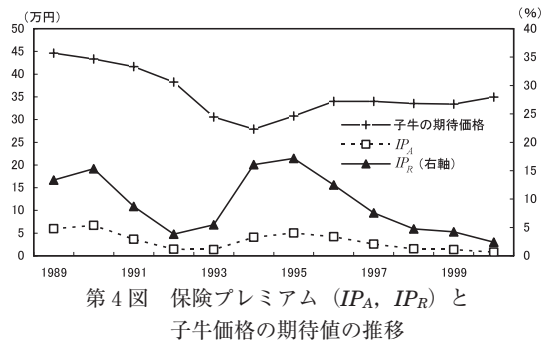
註：*, **, *** はそれぞれ10%, 5%, 1%水準で統計的にゼロと有意差をもつことを表す。

第4表 ダミー変数の推計パラメータ

	推計値	t 値		推計値	t 値		推計値	t 値		推計値	t 値
D_1	153.226	0.641	DP_1	-22.966	-2.245	DF_1	-17.346	-0.109	DC_1	30.713	0.972
D_2	162.490	0.637	DP_2	-24.953	-2.142	DF_2	1.758	0.009	DC_2	34.753	1.071
D_3	106.757	0.437	DP_3	-26.948	-2.756	DF_3	34.688	0.234	DC_3	22.482	0.704
D_4	114.020	0.505	DP_4	-21.901	-2.414	DF_4	16.930	0.132	DC_4	10.122	0.329
D_5	125.286	0.544	DP_5	-21.021	-2.222	DF_5	-14.239	-0.101	DC_5	7.433	0.235
D_6	-162.941	-0.665	DP_6	-21.734	-1.564	DF_6	-169.349	-0.997	DC_6	-3.411	-0.108
D_7	-13.192	-0.047	DP_7	-30.510	-2.682	DF_7	-88.559	-0.482	DC_7	35.067	0.869
D_8	-20.931	-0.077	DP_8	-28.654	-2.348	DF_8	-104.031	-0.573	DC_8	38.078	1.017
D_9	3.138	0.012	DP_9	-34.728	-2.715	DF_9	-43.918	-0.235	DC_9	43.332	1.210
D_{10}	-70.137	-0.278	DP_{10}	-28.042	-2.391	DF_{10}	-91.042	-0.566	DC_{10}	61.307	1.776
D_{11}	-7.442	-0.027	DP_{11}	-27.448	-2.142	DF_{11}	-129.419	-0.646	DC_{11}	43.523	1.230
D_{12}	136.788	0.509	DP_{12}	-29.246	-2.524	DF_{12}	-256.160	-1.514	DC_{12}	32.371	0.957
D_{13}	104.183	0.367	DP_{13}	-34.595	-2.944	DF_{13}	-173.286	-0.955	DC_{13}	42.683	1.201
D_{14}	125.742	0.462	DP_{14}	-31.081	-2.639	DF_{14}	-218.997	-1.203	DC_{14}	44.159	1.282
D_{15}	146.052	0.531	DP_{15}	-33.708	-2.694	DF_{15}	-189.540	-1.053	DC_{15}	42.536	1.240

註： D_i ($i=1\sim 15$) は状態評価関数の切片ダミーに関する推計パラメータ、 DP_i, DF_i, DC_i ($i=1\sim 15$) はそれぞれ \bar{P}, W_F, C に関する状態評価関数の一次項ダミーに関する推計パラメータである。添え字の数字と計測対象の県は以下のように対応している。

1：長崎県，2：熊本県，3：大分県，4：宮崎県，5：鹿児島県，6：青森県，7：岩手県，8：宮城県，9：秋田県，10：山形県，11：福島県，12：鳥取県，13：島根県，14：岡山県，15：広島県。



第4図 保険プレミアム (IP_A , IP_R) と子牛価格の期待値の推移
 註: $IP_A = \alpha_A V_P Y / 2$, $IP_R = IP_A / \bar{P}$ である。また、子牛価格の期待値, IP_A は左軸の目盛り, IP_R は右軸の目盛りである。

対的リスク回避係数の推計値は計測単位に依存するため、子牛1頭当たりの保険プレミアム IP_A と、子牛1頭当たりの保険プレミアムが子牛価格の期待値に占める割合 IP_R の2つについて、計測期間における平均値を算出したところ、 IP_A は32,310円、 IP_R は9.28%であった。第4図に、 IP_A と IP_R の推移を子牛価格の期待値とともに示す。

第4図から IP_A と IP_R は同様の動きをしていることが確認できる。したがって、繁殖農家のリスクの程度について、時系列の推移を観察する上で、 IP_A と IP_R はどちらも有用であると考えられる。一方、他部門との比較については、価格や生産物の単位に依存する IP_A よりも、それらの単位に依存しない IP_R の方が適当である。ただし、繁殖農家を対象とした IP_A や IP_R の推計例は見受けられない。この点で、わが国の稲作と酪農について、それぞれ中島 [16]、中島・前田 [17] で農家の IP_R が推計されている。このうち、中島 [16] (都府県稲作農家, 1995~97年) では、小規模層で6.3%、大規模層で8.5%となっている (註21)。また、中島・前田 [17] (都府県および北海道の酪農家, 1995~99年) で

は、1.7~9.4%の間で推移している。

ここで第4図に戻ると、子牛価格が1992年から1993年にかけて急激に下落したことを反映して、 IP_R は1993年から1995年にかけて増加しており、1995年には17.2% ($IP_A = 50,290$ 円) となった。その後、子牛価格が安定的に推移したため、 IP_R は減少傾向を示した。 IP_R の計測例が少ないので十分な比較はできないが、以上の関係は、価格の不確実性が增大する時期には、繁殖農家の IP_R の水準は、他部門 (稲作、酪農) と比較して大きくなる傾向にあることを示している。

3) 繁殖雌牛の調整係数と短期・長期の弾力性

第2節で述べたように、繁殖雌牛飼養頭数の長期最適水準に対して、調整される割合を示すのが調整係数であった。推計パラメータから算出された調整係数の推計値は-0.258 (t 値: -5.928) であり、繁殖雌牛飼養頭数の調整は1年間に25.8%の割合で行われることがわかった。動学的双対モデルを用いて1970~90年のアメリカの肉牛部門を分析したBuhr and Kim [2] は、繁殖雌牛は1年間に11%調整されるとしており、本稿の推計値はBuhr and Kim [2] の推計値よりも大きい。この点に関して、本稿の計測期間では米の生産調整が以前にも増して強化される傾向にあったため、小林 [8] が指摘するように、転作による飼料作の増加が粗飼料基盤の確保に重要な役割を果たし、繁殖雌牛の調整係数を大きくしていたことが考えられる (註22)。

ここで、標本平均で評価した短期と長期の弾力性の推計値を第5表に示した (註23)。第5表から、以下の点が指摘できる。弾力性の推計値は理論的に要請される符号条件を満たしている。また、自己価格弾力性の絶対値は短期に比べて長期の方が大きな値であり、ル・シャトリエの原理が成立している。ただし、短期、長期のどちらにおいても繁殖農家の供給構造は非弾力的である。

子牛価格の期待値に対して、繁殖雌牛投資、子牛供給量、飼料需要量の弾力性は、短期と長期の差が大きく、

第5表 標本平均で評価した短期・長期の弾力性の推計値

		繁殖雌牛投資		子牛供給量		飼料需要量	
		短期	長期	短期	長期	短期	長期
子牛価格の期待値	\bar{P}	0.074 (1.597)	0.287 (1.484)	0.239** (2.391)	0.277** (2.232)	0.171 (1.462)	0.309* (1.819)
子牛価格の分散	V_P	-0.020** (-2.350)	-0.077** (-2.396)	-0.042*** (-4.488)	-0.076*** (-4.479)	-0.053** (-2.344)	-0.090*** (-3.196)
飼料価格	W_F	-0.036 (-0.992)	-0.139 (-0.960)	-0.022 (-0.420)	-0.083* (-1.906)	-0.597*** (-2.686)	-0.664*** (-2.967)
繁殖雌牛の使用者価格	C	-0.043 (-1.504)	-0.168 (-1.470)	0.0096 (0.235)	-0.065* (-1.731)	-0.028 (-0.277)	-0.109 (-1.206)

註: 上段は弾力性の推計値, 下段のカッコ内は t 値を表す。また, *, **, *** はそれぞれ10%, 5%, 1%水準で統計的にゼロと有意差をもつことを表す。

第6表 繁殖雌牛飼養頭数の長期最適水準の要因分解（繁殖農家1戸当たり）

期間	$d\bar{K}$	$\bar{P}(+)$	$V_P(-)$	$W_F(-)$	$C(-)$	$L(+)$	$T(+)$	誤差
第一期 1989～92年	100 (2.4)	-170.1 (-7.0)	301.2 (-51.1)	22.3 (-2.2)	-62.7 (4.8)	-9.3 (1.0)	13.6	5.0
第二期 1992～94年	100 (-3.2)	151.5 (-16.6)	87.6 (43.9)	-20.4 (-4.0)	1.0 (0.2)	-113.4 (7.3)	-6.7	0.5
第三期 1994～96年	100 (7.1)	37.1 (10.0)	-1.8 (1.3)	-11.5 (5.1)	25.6 (-10.2)	40.0 (5.3)	2.9	7.7
第四期 1996～2000年	100 (3.3)	-0.1 (-0.2)	44.6 (-40.9)	12.2 (-3.8)	11.8 (-1.4)	9.6 (0.1)	4.8	17.2
全期間 1989～2000年	100 (2.8)	-39.5 (-3.2)	52.9 (-15.3)	9.2 (-1.1)	9.2 (-2.4)	46.4 (3.5)	7.6	14.2

註：各変数のカッコ内の符号は、 $\partial\bar{K}/\partial H$ の符号である（ H ：外生変数）。また、各期間において、上段は $d\bar{K}$ を100としたときの外生変数の寄与率、下段のカッコ内は変数の年平均変化率を表す。

なかでも繁殖雌牛投資の弾力性の差がもっとも大きい（それぞれ、0.074と0.287、0.239と0.277、0.171と0.309）。これは、基本的に繁殖雌牛飼養頭数の調整が1年間に25.8%しか行われないことによるが、調整の小ささに加えて、繁殖農家の場合は生産物（子牛）と資本（繁殖雌牛）が直接的に結びついているため、調整に関わる制約が生産量に反映されやすいためである（註24）。また、子牛価格の期待値に対して、繁殖雌牛投資と子牛供給量の弾力性を比較すると、長期で両者はほぼ等しくなっている（0.287、0.277）が、短期では子牛供給量の方が弾力的である（0.074、0.239）。これは、雌子牛を保有して繁殖雌牛を増頭しようとする場合、子牛の販売可能月齢からさらに育成期間を要すること、繁殖雌牛の増頭を計画して雌子牛を保有しても、すべてが繁殖雌牛として利用できないこと、繁殖雌牛を外部から調達する場合、価格や品質の問題から、適当な繁殖雌牛を即座に調達することが困難なことによっている。

次に、子牛価格の不確実性の影響を見ると、子牛価格の分散に対する短期と長期の弾力性は、繁殖雌牛投資について-0.020、-0.077、子牛供給量について-0.042、-0.076、飼料需要量について-0.053、-0.090である。分散弾力性はいずれも負値を取っているため、価格の不確実性は、リスク回避的な繁殖農家の生産を利潤最大化水準よりも減少させる要因となっている。また、子牛価格の期待値に対する弾力性と同様に、分散に対する短期と長期の差異は、繁殖雌牛投資の弾力性がもっとも大きい。ただし、子牛価格の期待値の弾力性と比較すると非弾力的であるため、子牛価格の不確実性の影響は軽微に留まる可能性がある。この点に関しては次項で分析する。

4) 繁殖雌牛飼養頭数の長期最適水準

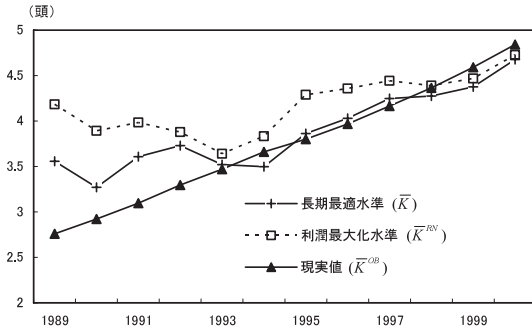
子牛価格の不確実性が繁殖農家の規模拡大に与える影響を評価するため、(10)式から1戸当たりの繁殖雌牛飼

養頭数の長期最適水準を求め、(11)式に従って要因分解を行った。要因分解の時期区分は、子牛価格の下落が相対的に緩やかな1989～92年を第一期、価格下落が加速した1992～94年を第二期、価格が上昇基調に転じた1994～96年を第三期、価格が安定的に推移した1996～2000年を第四期とした。また、(10)式で $\alpha_{CV}=0$ としてリスク中立的な状況と対応する利潤最大化水準も同様に算出した。1戸当たりの繁殖雌牛飼養頭数の長期最適水準と要因分解の結果を、それぞれ第5図と第6表に示す。以下、不確実性下における長期最適水準を \bar{K} 、リスク中立的な状況の利潤最大化に対応する長期最適水準を \bar{K}^{RN} 、現実値を \bar{K}^{OB} とする。

$$d\bar{K} = -r(r + \alpha_{CK})^{-1} \alpha_{CK} (\alpha_{PC} d\bar{P} + \alpha_{VC} dV_P + \alpha_{FC} dW_F + \alpha_{CC} dC + \alpha_{CL} dL + \alpha_{CT} dT) \quad (11)$$

はじめに第5図を見ると、 \bar{K}^{RN} は常に \bar{K} を上回る水準にあることがわかる。これは繁殖農家のリスク回避的な行動を反映している。この点に関して、第6図に示した \bar{K} と \bar{K}^{RN} の比率（計測期間の平均値）を計算すると0.93であり、子牛価格の不確実性は、 \bar{K}^{RN} に対して \bar{K} を平均7%減少させていることがわかった。

次に、第6表を用いて要因分解の結果を解釈する。はじめに全体の概略を把握するため、全期間（1989～2000年： $d\bar{K}=2.8$ ）における要因分解の結果を見ると、子牛価格の期待値は-39.5、分散は52.9、飼料価格と繁殖雌牛の使用者価格の寄与率はどちらも9.2である（註25）。これらの点から、子牛価格の期待値の減少が繁殖農家の規模拡大を阻害している主要因であるのに対して、子牛価格の分散の減少は規模拡大を促進する主要因であることが窺われる。以下では、要因分解の結果について詳細に考察するため、第一期（1989～92年）から第四期（1996～2000年）までを順番に見ていくこととする。

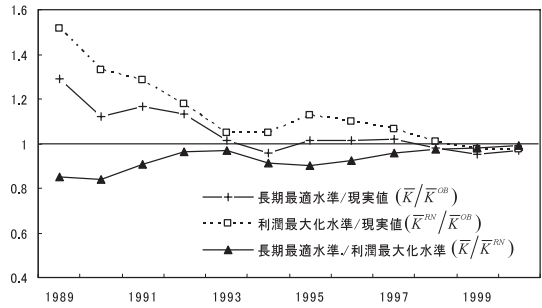


第5図 繁殖雌牛飼養頭数の長期最適水準の推移 (繁殖農家1戸当たり)

註： \bar{K} は不確実性下における繁殖農家1戸当たりの繁殖雌牛飼養戸数の長期最適水準、 \bar{K}^{RN} はリスク中立的な状況の利潤最大化に対応する長期最適水準、 \bar{K}^{OB} は現実値を示す。

はじめに、子牛価格が下落基調で推移した第一期(1989~92年： $d\bar{K}=2.4$)について述べる。第5図を見ると、第一期において \bar{K} は \bar{K}^{OB} を上回って推移していることを確認できる。このように \bar{K} と \bar{K}^{OB} の乖離が大きくなっているのは、1984~89年にかけて子牛価格が約5年間上昇していたことが関係している。すなわち、急激な子牛価格の上昇に繁殖雌牛飼養頭数の調整が追いつかず、調整が完了する前に子牛価格が下落したことの反応であると考えられる。要因分解の結果を見ると、子牛価格の期待値の寄与率は-170.1であり、 \bar{K} を大きく減少させていたことがわかる(註26)。また、繁殖雌牛の使用者価格の寄与率は-62.7であり、1984~89年に子牛価格が上昇した影響で、第一期の繁殖雌牛の使用者価格が高水準で推移したことも \bar{K} の減少要因となっている。その一方で、飼料価格が緩やかに下落したことは \bar{K} の増加要因となっているが、比較的軽微な影響に留まっている(寄与率は22.3)。

第二期(1992~94年： $d\bar{K}=-3.2$)では、下落基調にあった子牛価格が、特に1992~93年にかけて急激に低下して子牛価格の分散が増大した結果、 \bar{K} は減少して、1994年には \bar{K}^{OB} を下回った。要因分解によると、子牛価格の期待値の寄与率が151.5、分散の寄与率が87.6であり、期待値が分散の約二倍である。一方、子牛価格の期待値と分散に対する繁殖雌牛投資の弾力性の比率(絶対値)は約四倍であった(0.287, -0.077)。これらの関係から、子牛価格の分散の影響は弾力性の関係から予想される影響よりも大きいことがわかる。これは、子牛価格が急激に下落したことで、期待値の変化率(絶対値)に対して、分散の変化率(絶対値)が大きくなったためである。また、第一期から緩慢な下落を続けていた飼料価格は \bar{K} の増加要因となっているが、寄与率は-20.4であるため、子牛価格の期待値や分散と比較して、飼料価格の影響は小さい。



第6図 不確実性下、リスク中立下における長期最適水準、現実値の比率の推移

註： \bar{K} は不確実性下における繁殖農家1戸当たりの繁殖雌牛飼養戸数の長期最適水準、 \bar{K}^{RN} はリスク中立的な状況の利潤最大化に対応する長期最適水準、 \bar{K}^{OB} は現実値を示す。

第三期(1994~96年： $d\bar{K}=7.1$)では、子牛価格が上昇に転じたことで \bar{K} も増加した。 \bar{K} の増加要因は、子牛価格の期待値と繁殖雌牛の使用者価格であり、寄与率はそれぞれ37.1と25.6である。第三期において繁殖雌牛の使用者価格が下落基調に転じたことは、1989年以降に子牛価格が下落基調であったことを反映していると考えられる。一方、 \bar{K} の減少要因は子牛価格の分散と飼料価格であり、寄与率はそれぞれ-1.8と-11.5である。飼料価格が \bar{K} の最大の減少要因となっているが、これは世界的なとうもろこし需給の逼迫を背景として飼料価格が大きく上昇したためである。

最後に、第四期(1996~2000年： $d\bar{K}=3.3$)について述べる。第四期は、周期変動を考慮すると、子牛価格の上昇局面にあたると思われる。しかし、これまでの周期変動と比較すると、子牛価格の上昇は小幅に推移した。そのため、第四期の子牛価格は低い水準に留まった(註27)。第6表の要因分解の結果を見ると、子牛価格の安定による不確実性の減少が \bar{K} の増加にもっとも寄与しており、分散の寄与率は44.6である。また、飼料価格と繁殖雌牛の使用者価格が下落したことも \bar{K} の増加要因となっている(寄与率は、それぞれ12.2, 11.8)。しかし、これまでの周期変動と比較して子牛価格の上昇幅が小さかったため、 \bar{K} は \bar{K}^{OB} を上回るほどには増加しなかった。以前の周期変動の山に対応する1989年では、 \bar{K} と \bar{K}^{OB} の比率が1.28であることから、1994年から始まる子牛価格の上昇幅が小さかったことを確認できる。そのため、子牛価格が低位水準に留まったことが、この期間に繁殖農家の規模拡大を停滞させる要因になっていたと考えられる。

以上の要因分解の結果から、子牛価格の分散の増減で繁殖雌牛の淘汰や増頭が誘発されることがわかった。したがって、繁殖農家の投資行動には、子牛価格の期待値だけでなく子牛価格の分散も同様に重要であることが明

らかになった。

4. 結 論

本稿では、わが国の繁殖農家の多くが零細な規模に留まっている現状をふまえて、子牛価格の不確実性が繁殖雌牛飼養頭数の決定に与える影響を実証的に検討した。そのため、OECD〔18〕が提示した不確実性下の動学的双対モデルを用いて、繁殖雌牛投資関数、子牛供給関数、要素需要関数を連立推計した。日本の繁殖農家の投資行動に着目した計量分析の蓄積は豊富とは言えず、そうしたなかで、動学的な枠組みで価格の不確実性が投資に及ぼす影響を捉えた点に、本稿の特色がある。ただし、データの利用可能制約から、実証分析では県と地域レベルの集計データを組み合わせて用いている点、繁殖農家の複合部門を捨象している点で限定的な結果となっていることは先に述べたとおりである。

実証分析の結果は以下のとおりである。はじめに、推計された絶対的リスク回避係数は標本平均で評価すると0.00094であり、繁殖農家がリスク回避的に行動していることが明らかになった。特に、子牛価格が急激に下落した場合、繁殖農家のリスクに対する支払い意思額である保険プレミアムが子牛価格に占める割合は、17.17%にも及んでいた。推計された弾力性は短期、長期ともに非弾力的な傾向を示したが、繁殖雌牛飼養頭数の調整が1年間に25.8%であることと、繁殖農家の場合は調整に関わる制約が生産量に反映されやすいことから、短期と長期の弾力性の差は大きくなっていった。また、子牛価格の不確実性の影響について、分散に対する繁殖雌牛投資、子牛供給量、飼料需要量の弾力性はすべて負値であり、価格の不確実性はリスク回避的な繁殖農家の生産を利潤最大化水準よりも減少させていることがわかった。要因分解の結果から、繁殖農家の投資行動には子牛価格の期待値だけでなく子牛価格の分散も重要であり、子牛価格の分散の増減で繁殖雌牛の淘汰や増頭が誘発されることを確認できた。

2001年の国内におけるBSEの発生以後、子牛価格は上昇を続けていたが、2007年に下落に転じた。それまでの子牛価格の高騰が肥育農家の収益性を悪化させ、子牛の需要減退を招いて、子牛価格を下落させたと思われる。こうした情勢で、今後、子牛価格の不振れリスクに対処するために、繁殖農家が繁殖雌牛の淘汰数を増加させることが懸念される。繁殖農家の規模拡大を促進するためには、1990年から実施されてきた肉用子牛生産者補給金制度の給付水準の再考など、繁殖農家が直面するリスクを軽減するための施策が重要であることを、分析結果は示している。

(註1) 例えば、2005年に農林水産省が公表した「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための方針」においても、経営規模

を拡大して2015年の生産コストを現状の8割程度に低減することが目標として掲げられている。また、2007年の農林水産省『畜産物生産費』によると、飼養規模2~5頭未満では子牛1頭当たり費用(生産費総額から家族労働費を控除した額)は359,547円であるのに対して、20頭以上層ではその54%である194,516円となっており、繁殖農家が生産コストを低減する上で飼養規模を拡大することは有効であることを確認できる。近年では米価の低迷により米作の収益性が低下しているため、複合部門として重要な役割を担っている繁殖経営部門の費用低減を図り、収益性を向上させる必要性は高まっている。

(註2) 本稿の分析対象は乳用種を除く肉専用種の繁殖農家である。乳用種経営の供給行動は生乳価格など酪農部門が大きく影響すると思われるため、分析対象に含めなかった。

(註3) Mbagha and Coyle〔13〕は、これまでに肉牛農家の供給行動を分析した研究は供給行動の動学的側面と価格の期待形成のみに着目していたため、自身の研究が動学的な枠組みで価格の不確実性の影響を分析した先駆的研究であると述べている。本稿においても動学的な枠組みで価格の不確実性が繁殖農家に与える影響を分析するが、Mbagha and Coyle〔13〕が農家の最適化行動と整合的ではない自己回帰型分布ラグモデルを用いているのに対して、本稿では不確実性下における繁殖農家の効用最大化行動の枠組みと整合的な動学的双対モデルによる実証分析を行っている。

(註4) 本稿の貢献は、わが国の繁殖農家に動学的双対モデルを適用し、子牛価格の不確実性が繁殖農家の投資行動に与える影響を実証的に明らかにした点にある。しかし、周知のとおり繁殖農家は稲作などの複合経営が一般的となっている。そのため、複合部門を考慮した分析枠組みが必要であると思われるが、実証分析におけるデータの制約上、本稿では肉専用種繁殖農家の繁殖経営部門のみに着目した分析を行わざるを得ない。複合部門の経営状況が繁殖経営部門の意思決定に影響を与えている可能性は否定できないため、子牛の販売など繁殖経営部門の意思決定は主として繁殖経営部門の経営指標により決定されていることを仮定した分析となる。

(註5) 関連研究として、Buhr and Kim〔2〕は動学的双対モデルを繁殖農家に適用し、本稿と同様に繁殖雌牛を準固定生産要素として扱っているが、繁殖農家のリスク中立的行動が暗黙に仮定されており、価格の不確実性は捨象されている。これら動学的双対モデルを農業分野に適用した研究は多数存在するため、その詳細についてはサーベイ論文であるMundlak〔15〕を参照されたい。また、日本農業に関しては、農林水産省『農家経済調査』の集計データを用いて動学的投資関数を計測し、資本の過剰投資と長期の生産構造について論じた伊藤〔7〕がある。伊藤〔7〕は、従来の分布ラグモデルを用いた投資関数と比べて、動学的投資関数は農家の最適化行動と整合的に投資行動を説明できると述べている。

(註6) 固定生産要素として土地を加えることも検討したが、農林水産省『畜産物生産費』の記載では繁殖経営における土地の利用状況が把握できないことから断念した。また、労働を可変生産要素としなかったのは、多くの繁殖農家の経営が高齢者や女性に担われており、労働に関する限界生産物価値と市場賃金率が短期的に均衡するとは考えにくいためである。伊藤〔7〕は、動学的投資関数の推計の際に労働を可変生産要素としているが、賃金率のデータはKuroda〔9〕が計測した労働の限界生産力を反映したシャドウ・プライスを用いている。高橋〔23〕は労働と機械を準固定生産要素とした動学的双対モデルを用いて戦後の過剰就業に関する分析を行っている

るが、準固定生産要素の数が増えると推計パラメータの数が膨大になり、実証分析上の困難に直面する。一方で、短期利潤関数を計測した草苜 [10] が指摘するように、自営業の場合は、労働を固定生産要素とすることで、子牛生産の利潤が子牛生産で稼得される所得にほぼ対応するため、繁殖農家の行動様式が、実質的には期待所得に対応した効用最大化問題を意味することになるという利点がある。以上より、本稿では労働を固定生産要素とみなして繁殖雌牛飼養頭数に着目した分析を行う。なお、競争的でない労働市場を想定することで農家の生産部門と消費部門の最適化行動を独立に扱うことができなくなるが、消費部門の影響は不明であり、この点は捨象せざるを得ない。

- (註7) OECD [18] では、調整費用の発生は金融市場や生産要素市場の不完全性と関連しているため、市場の不完全性ともなう準固定生産要素の調整の遅れを一種の誘導型として分析枠組みに組み込むことができると述べている。例えば、土地市場が不完全なために流動性が制約されている場合、推計される調整費用には、繁殖農家の自給飼料生産に必要な土地調達の困難性に起因する費用が含まれる可能性があり、したがって、分析の中で明示的に扱っていない生産要素市場の不完全性も反映された値となる。ただし、調整費用の発生要因を特定することはできない。
- (註8) 相対的リスク回避係数一定の仮定は農家のリスク回避度が期待所得の減少関数になる点において優れているが、本稿では以下の理由から絶対的リスク回避係数一定を仮定した。一点目は、繁殖農家の詳細な経営状況を記載しているのは農林水産省『畜産物生産費』のみであるが、農林水産省『畜産物生産費』には農家所得の中で大きな割合を占める農外所得や、繁殖農家の複合経営部門の収益などが記載されておらず、農家所得を把握できない。したがって、実証分析で相対的リスク回避係数一定の利点を活かすことができないことによる。また二点目は、相対的リスク回避係数一定を仮定することで、推計式が複雑になり安定的な推計が困難になることによる。この点に関して、OECD [18] や Scokkai and Moro [22] は、相対的リスク回避係数をパラメータとして直接推計することで対処している。しかし、OECD [18] の p.27 や Scokkai and Moro [22] の p.49 でも述べられているように、相対的リスク回避係数をパラメータとして扱うことは、所得の限界効用が所得、生産量、生産物価格、相対的リスク回避係数の単純な関係で説明されるという制約を先験的に課すことになる。また、理論的にすべてのサンプルで相対的リスク回避係数が一定になるという制約を、規模別ダミーを付加することで回避している。その一方で、絶対的リスク回避係数一定を仮定することは、農家のリスク回避係数が所得の水準に関係なく一定となることが欠点であるが、リスク回避係数や所得の限界効用に制約を付加することなく双対理論と整合的に推計を行うことができるという利点がある。このように、2つの仮定には、実証分析を前提とする限り、それぞれに一長一短がある。絶対的リスク回避係数一定を仮定している研究として、例えば、Oude Lansink [20] や Abdulkadri et al. [1] を挙げることができる。
- (註9) 農家の期待形成をどのように特定化するかは難しい問題であり、OECD [18] など多くの先行研究においても、アド・ホックに特定化されている。一般的に、期待形成に関して理論的な要請は存在しないが、分析対象の実態を踏まえて適切であると思われる定式化を選択することが望ましいことは言うまでもない。本稿では、子牛価格の周期変動に着目した期待形成を仮定する。はじめに、子牛価格の期待値を前年

価格としたのは、周期変動の発生要因を分析した堀田 [5] が指摘するように、繁殖農家の生産が、将来時点の価格ではなく現時点の価格に基づいて決定されていると考えられるためである。次に、子牛価格の分散であるが、本稿の計測期間の最初の年である1989年は、1984年から上昇し始めた子牛価格が下落基調に転じた時期である。そのため、当時の周期の約半分に相当する過去5年間から、実態に適合した分散が計算されると仮定した。

- (註10) 動学計画法を用いる際には、Vasavada and Chambers [24]、Buhr and Kim [2]、OECD [18] など、多くの研究が外生変数は一定であることを仮定している。一方、Luh and Stefanou [11] は非静学的な期待を仮定している。本稿では、将来価格などの予想には費用がかかるため、小規模層が多い繁殖農家はそこまで複雑な期待形成は行っていないと想定して、静学的期待を仮定している。
- (註11) 第二項の限界調整費用に関する利子費用と減価償却費用の和は、伊藤 [7] が限界調整利子費用と述べたものと同じである。調整費用は投資費用の一部であり、資本などと同様に利子費用や減価償却費用を算入しなければならない。また、第三項の限界評価の保険プレミアムは、限界的な生産物1単位に対して期待利潤を保証する収入保険への農家の支払い意思額を意味する。同様に、平均評価の保険プレミアム IP_A は、生産物1単位に対して期待利潤を保証する収入保険への支払い意思額であり、 $IP_A = \alpha_V V_P / 2$ で与えられる。さらに、価格や数量などの測定単位に依存しない選好指標としては、平均評価の保険プレミアム IP_A が子牛価格の期待値に占める割合 $IP_R = IP_A / P$ が、農家のリスク選好を知る上で有用である。これらの保険プレミアムについては酒井 [21]、中島 [16] を参照されたい。
- (註12) 農林水産省が公表している物価統計は、1993年以前は『農村物価賃金統計』、1994～99年は『農村物価統計』、2000年以降は『農作物価統計』と改称されている。煩雑さを避けるため、以下ではこれらの統計をまとめて農林水産省『農作物価統計』と呼ぶこととする。
- (註13) 東北、中国、九州地方は、わが国における繁殖農家の主要地域である。都府県全体の繁殖雌牛飼養頭数に占めるこれら3地域の割合は、計測期間のすべての年において80%を超えている。ただし、福岡県は2000年以前、山口県は1991年4月～95年12月において『農作物価統計』の和子牛価格が欠損しているため、この2県は計測対象から外した。計測期間は、『畜産統計』「肉用種雌1歳未満飼養頭数」と「肉用種雌1歳未満飼養頭数」が利用可能となる1989年から、繁殖農家にとって外生的ショックであるBSEが国内で発生する前年の2000年までとした(12年間)。また、『畜産統計』と『農作物価統計』の和子牛価格は県別に記載されているが、『畜産物生産費』は農業地域別までしか細分化されておらず、県別のデータは不明である。そのため、同じ地域であれば、異なる県であっても子牛1頭当たりの生産費は同じであると仮定せざるを得ない。以上のように、本稿で計測に用いるデータは、県別集計データの平均値を用いている点に加えて、一部で県別データに農業地域別データをリンクさせている点などの限界がある。一方、わが国の繁殖農家の投資行動を俯瞰した分析を行うためには、こうしたデータ・セットを用いざるを得ないのが実情である。
- (註14) 『農業センサス』実施のため『畜産統計』が公表されていない年については、その直前と直後の年の値の平均値を当てはめた。例えば、1990年の値は1989年と1991年の平均値である。

- (註15) 近似計算の誤差として、子牛の出荷月齢が約10カ月であることによる誤差と、2月時点の繁殖雌牛飼養頭数 K を4月時点のものとみなすことによる誤差が考えられる。
- (註16) 1994年以前において、「その他の諸材料費」は「光熱水料及び動力費」と一括計上されている。1995年以降のデータを見ると、「その他の諸材料費」に明確なトレンドが存在せず、「その他の諸材料費」が生産費に占める割合はわずかなので、1995～2000年の平均値を1994年以前のデータとみなした。このように、「その他の諸材料費」は一部に外挿値を含むため正確性を欠いているが、それを費用として計上しないと利潤を過大に評価することになるため、上記の処理を行って計上した。ただし、「その他の諸材料費」を省いても、計測結果はほとんど変化しないことが、結果的に確認された。
- (註17) Buhr and Kim [2] は繁殖雌牛の使用者価格を次のように算定している。(更新用繁殖雌牛の購入価格+年間飼料費×耐用年数-淘汰時の売却額)÷耐用年数。これに対して、「畜産物生産費」「繁殖雌牛償却費」は、繁殖雌牛の取得費用を償却したもの(淘汰時の評価額が残存評価額を超えた場合はその差額を差し引き、逆の場合はその差額を加えている)であり、耐用年まで飼育するのに必要な飼料費は含まれていない。「畜産物生産費」の飼料費は、繁殖雌牛の分と子牛の分を分離できないためである。
- (註18) 県によって、繁殖雌牛飼養頭数、子牛の供給量、飼料投入量の水準が異なるため、計測式の一次項に県別ダミーを付加した(対応するパラメータは、(6)～(8)式と、その他の要素需要関数に含まれる $\alpha_P, \alpha_F, \alpha_C, \alpha_0$ である。ダミーは佐賀県を基準としている)。
- (註19) 計測データは、形式上は完全なパネルデータとなっているが、計測式は非線形であり、かつ連立体系となっているため、固定効果推計や変量効果推計のようなパネル推計を行うことは困難である。先行研究における動学的投資関数の推計方法は、非線形反復SUR(Luh and Stefanou [11]), OECD [18]), 三段階最小二乗法(Howard and Shumway [6], Buhr and Kim [2]), 完全情報最尤法(Vasavada and Chambers [24])が一般的である。本稿の推計方法は、三段階最小二乗法の推計値を初期値として完全情報最尤法で推計している伊藤 [7] を参考にしている。なお、OECD [18] は個票を用いた実証分析なので、農家の投資が端点解となることへの対処が必要となっているが、集計データを用いている本稿では端点解は存在せず、したがってOECD [18] のような対処は不要である。
- (註20) 状態評価関数の理論的性質であるが、絶対的リスク回避係数一定を仮定した場合、状態評価関数は単調性($J_P > 0, J_{V_P} < 0, J_{W_P} < 0, J_C < 0, J_K > 0 (I > 0$ のとき)、 $J_K < 0 (I < 0$ のとき))と($\bar{P}, \bar{V}_P, \bar{W}_P, C$)に関する準凸性を満たす。推計パラメータを用いてこれらの条件を確認したところ、単調性は満たされていた。準凸性に関しては一部の符号条件が一致していなかったものの、統計的な有意性は非常に低く、ゼロと有意差をもたない。このため、その限りで準凸性は満たされていると言える。一方、OECD [18] は準凸性が満たされないことからコレスキー分解による凸性の制約を課して再計測している。しかし、OECD [18] でも述べられているように、quadratic functional formでは状態評価関数のヘッシアンが一定になるため、コレスキー分解を行うと必然的に大域的な凸性制約が課せられることとなり、計測式のフレキシビリティは著しく損なわれる。同時に、準凸性よりも強い制約である凸性を課すことにもなる。以上の理由から、本稿ではコレスキー分解による解法を採用しなかった。
- (註21) 中島 [16] は稲作農家に関する限界概念の保険プレミアムを計測しているが、中島・前田 [17] によって中島 [16] が計測した稲作農家の限界概念の保険プレミアムは平均概念の IP_R に修正されている。そのため、本稿の推計値との比較には中島・前田 [17] が修正した値を用いている。
- (註22) 小林 [8] は、1980～85年における和牛雌牛飼養頭数の変化を、畑作による飼料作付面積の変化、水田転作による飼料作付面積の変化、牧草地面積の変化に帰属することで、都府県別のクロス・セクション分析を行っている。その結果、飼養頭数1～2頭層以外の階層において、転作による飼料作の増大が繁殖雌牛飼養頭数の増加に寄与していたことを示した。また、特に東北、九州において、転作による飼料作の影響が大きいことも併せて指摘している。
- (註23) ここで言う長期とは、繁殖雌牛飼養頭数の調整が完了する時点を、短期とは繁殖雌牛飼養頭数の調整が1期間だけ行われる時点を意味する。そのため、固定生産要素の存在の有無で短期と長期を区別する通常のミクロ経済学で用いられている定義とは異なることに注意されたい。
- (註24) OECD [18] は、耕種作物(とうもろこし、小麦、油糧種子など)を販売するイタリアの農家を分析対象としているが、推計された弾力性の短期と長期の差は小さくなっている。その背景として、イタリアの耕種作物農家の多くが以前は畜産農家であったために、耕種作物の生産と現有資本との関係が弱いことの影響であると指摘している。
- (註25) 第6表を見ると、労働投入量の寄与率は計測期間を通じて一貫して \bar{K} の増加要因となっていることがわかる。本稿では労働を固定生産要素として扱っており、繁殖農家の労働投入量の決定を分析の枠組みの外に置いているので、以降の考察では労働投入量の寄与率に関しては言及していない。また、具体的要因を特定できない技術進歩(タイム・トレンドで代理)に関しても同様である。
- (註26) 第一期において、分散の寄与率が301.2と大きくなっているのは以下の2つの理由による。1つ目は、第6図の \bar{K}^{RN} と \bar{K} の比率が1を下回っていることからわかるように、第一期において子牛価格の分散が繁殖雌牛飼養頭数に与えている影響が大きいことである。また2つ目の理由は、第一期の分散の年平均変化率が-51.1%となっていることである。
- (註27) 第四期の子牛価格の動向を分析している研究は見当たらないが、日本経済の景気後退が子牛価格の先行指標である牛枝肉価格の上昇を抑制したことが、子牛価格の上昇幅が小さかったことに関係していると考えられる。第四期の子牛価格や牛枝肉価格の推移は第3図より確認されたい。なお、2001年に子牛価格や牛枝肉価格が急激に下落しているのは、国内でBSEが発生したためである。

引用文献

- [1] Abdulkadri, A. O., M. R. Langemeier, and A. M. Featherstone, "Estimating Economies of Scope and Scale under Price Risk and Risk Aversion," *Applied Economics*, Vol. 38, No. 2, 2006, pp. 191～201.
- [2] Buhr, B. L. and H. Kim, "Dynamic Adjustment in Vertically Linked Markets: The Case of the U. S. Beef Industry," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 79, No. 1, 1997, pp. 126～138.
- [3] Coyle, B. T., "Risk Aversion and Yield Uncertainty in Duality Models of Production: A Mean-Variance Approach," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 81, No. 3, 1999, pp. 553～567.

- [4] Epstein, L. G., "Duality Theory and Functional Forms for Dynamic Factor Demands," *Review of Economic Studies*, Vol. 48, No. 1, 1981, pp. 81~95.
- [5] 堀田和彦「牛肉需給計量モデルの周期の計測」森島賢編著『現代牛肉経済の諸問題』明文書房, 1988, pp. 182~200.
- [6] Howard, W. H. and C. R. Shumway, "Dynamic Adjustment in the U. S. Dairy Industry," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 70, No. 4, 1988, pp. 837~847.
- [7] 伊藤順一「農家の投資行動—動学的投資関数による接近—」『農業経済研究』第 62 巻第 3 号, 1990, pp. 166~176.
- [8] 小林弘明「肉用牛飼養の展開方向—センサス・データを用いたクロス・セクション分析—」森島賢編著『現代牛肉経済の諸問題』明文書房, 1988, pp. 15~31.
- [9] Kuroda, Y., "Estimating the Shadow Value of Farmland in Japanese Agriculture, 1958-1985," *Institute of Socio-Economic Planning Discussion Paper Series*, No. 388, University of Tsukuba, 1988.
- [10] 草薙 仁「稲作農家の規模階層からみた減反政策の経済性」『農業経済研究』第 61 巻第 1 号, 1989, pp. 10~18.
- [11] Luh, Y. H. and S. E. Stefanou, "Estimating Dynamic Dual Models under Nonstatic Expectations," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 78, No. 4, 1996, pp. 991~1003.
- [12] 松原茂昌「牛肉の需給構造と価格形成—計量経済モデルによる分析—」森島賢編著『現代牛肉経済の諸問題』明文書房, 1988, pp. 201~230.
- [13] Mbagwa, M. and T. B. Coyle, "Beef Supply Response under Uncertainty: An Autoregressive Distributed Lag Model," *Journal of Agricultural and Resource Economics*, Vol. 28, No. 3, 2003, pp. 519~539.
- [14] 門間敏幸「肉用牛生産農家の供給反応」『牛肉の需給構造と市場対応』明文書房, 1984, pp. 98~132.
- [15] Mundlak, Y., "Production and Supply" in B. L. Gardner and G. C. Rauser, eds., *Handbook of Agricultural Economics*, Vol. 1 A, Amsterdam, North-Holland, 2001, pp. 4~85.
- [16] 中島隆博「米価不確実性下における稲作農家の危険回避行動—シンプルなジョイント分析—」『農業経営研究』第 40 巻第 1 号, 2002, pp. 10~19.
- [17] 中島隆博・前田幸嗣「乳価不確実性下における酪農経営の危険回避行動—平均-分散モデルによる計量経済分析—」『農業経営研究』第 40 巻第 1 号, 2002, pp. 37~42.
- [18] OECD, "Modeling the Impact of Agricultural Policies on Farm Investments under Uncertainty: The Case of the CAP Arable Crop regime," [AGR/CA/APM (2005) 13/FINAL].
- [19] 大賀圭治・稲葉弘道「牛肉需給の計量分析」『農業総合研究』第 39 巻第 2 号, 1985, pp. 1~50.
- [20] Oude Lansink, A., "Area Allocation under Price Uncertainty on Dutch Arable Farms," *Journal of Agricultural Economics*, Vol. 50, No. 1, 1999, pp. 93~105.
- [21] 酒井泰弘「不確実性の経済学」有斐閣, 1982.
- [22] Sckokai, P. and D. Moro, "Modeling the Reforms of the Common Agricultural Policy for Arable Crops under Uncertainty," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 88, No. 1, 2006, pp. 43~56.
- [23] 高橋大輔「戦後日本農業における過剰就業の動学的調整過程」『2006 年度日本農業経済学会論文集』, 2006, pp. 87~94.
- [24] Vasavada, U. and R. G. Chambers, "Investment in U. S. Agriculture," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 68, No. 4, 1986, pp. 950~960.

(2008 年 4 月 18 日受付, 2009 年 6 月 24 日受理)

Appendix

1) 繁殖農家の生産関数と効用関数

繁殖農家の生産関数を (A-1) 式で表す。

$$Y = F(\mathbf{X}, K, L, I, T) = F(X_F, X_O, K, L, I, T) \quad (\text{A-1})$$

繁殖農家は可変生産要素である飼料 X_F とその他の要素 X_O , 準固定生産要素である繁殖雌牛 K , 固定生産要素である労働 L を用いて子牛 Y を生産する。また, T は技術指数, I は繁殖雌牛の粗投資を表す。(A-1) 式のプロダクション関数は次の性質を満たすと仮定する。

$$(1-i) \quad \partial F / \partial X_i > 0 \quad (i = F, O), \quad \partial F / \partial K > 0, \quad \partial F / \partial L > 0 \quad \text{である。}$$

$$(1-ii) \quad (\mathbf{X}, K, L, I) \text{ に関して凹関数である。}$$

$$(1-iii) \quad I > 0 \text{ ならば } \partial F / \partial I < 0, \quad I < 0 \text{ ならば } \partial F / \partial I > 0 \quad \text{である。}$$

ここで, (1-iii) の仮定は, 調整費用が I の絶対値に関して逓増的であることを意味し, これは動学問題の最適解が存在する十分条件となる。次に, 繁殖農家の間接効用関数を (A-2) 式で表す。

$$U(\bar{P}, V_P, \mathbf{W}, C, K, L, I, T) = \max_{Y, \mathbf{X}, s.t. Y = F(\mathbf{X}, K, L, I, T)} \bar{U}(\bar{\pi}, V_{\pi}) \\ = \bar{P}Y^{**} - \mathbf{W}\mathbf{X}^{**} - CK - \frac{\alpha_A}{2} V_P (Y^{**})^2 \quad (\text{A-2})$$

(A-2) 式の右辺の $\bar{U}(\bar{\pi}, V_{\pi})$ は, 利潤の期待値 $\bar{\pi}$ と分散 V_{π} のトレードオフにより効用が決定する Mean-Variance 効用関数であり, $\bar{U}(\bar{\pi}, V_{\pi})$ と左辺の間接効用関数 $U(\bar{P}, \mathbf{W}, C, V_P, K, L, I, T)$ は双対関係にある。ただし, α_A は絶対的リスク回避係数, \bar{P} と V_P は子牛価格についての期待値と分散, \mathbf{W} は可変要素価格ベクトル, C は繁殖雌牛の使用価格を表す。(A-2) 式のような不確実性下における静学的な双対問題は Coyle [3] によって定式化されている。また, (A-2) 式においては必ずしも $I = I^*$ を要請していないため, 内生変数の肩字の (**) は動学問題の解 (*) と区別している。つまり, (A-2) 式において $I = I^*$ となるとき, 最適解 (**) と (*) は一致することになる。

ここで, 生産関数の調整費用に関する仮定 (1-iii) と間接効用関数の関係を確認するため, (A-2) 式の両辺を I で偏微分して (A-3) 式を導出する。

$$\frac{\partial U}{\partial I} = (\bar{P} - \alpha_A V_P Y) \frac{\partial F}{\partial I} \quad (\text{A-3})$$

(A-3) 式の右辺 $(\bar{P} - \alpha_A V_P Y)$ は, 子牛価格から保険プレミアムを差し引いた不確実性下における実効価格であ

り正の値をとる。したがって、調整費用の仮定(1-iii)を踏まえると、 $I > 0$ ならば $\partial U / \partial I < 0$ 、 $I < 0$ ならば $\partial U / \partial I > 0$ となることがわかる。

2) 繁殖雌牛投資関数、子牛供給関数、飼料需要関数、均衡における絶対的リスク回避係数の導出

(2) 式を満たす繁殖雌牛投資関数 \bar{K}^* 、子牛供給関数 Y^* 、飼料需要関数 X_F^* 、均衡における絶対的リスク回避係数 α_A^* を導出するために、(A-2) 式の両辺を \bar{P} 、 V_P 、 W_F 、 C でそれぞれ偏微分して (A-4)～(A-7) 式を得る。

$$\bar{U}_{\bar{P}} = Y^{**} \quad (\text{A-4})$$

$$\bar{U}_{V_P} = -\alpha_A 0.5(Y^{**})^2 \quad (\text{A-5})$$

$$\bar{U}_{W_F} = -X_F^{**} \quad (\text{A-6})$$

$$\bar{U}_C = -K \quad (\text{A-7})$$

次に、(2) 式の両辺を \bar{P} 、 V_P 、 W_F 、 C でそれぞれ偏微分することにより (A-8)～(A-11) 式を得る。

$$rJ_{\bar{P}} = U_{\bar{P}} + J_{K\bar{P}}\bar{K}^* + J_{T\bar{P}} \quad (\text{A-8})$$

$$rJ_{V_P} = U_{V_P} + J_{KV_P}\bar{K}^* + J_{TV_P} \quad (\text{A-9})$$

$$rJ_{W_F} = U_{W_F} + J_{KW_F}\bar{K}^* + J_{TW_F} \quad (\text{A-10})$$

$$rJ_C = U_C + J_{KC}\bar{K}^* + J_{TC} \quad (\text{A-11})$$

以上より、繁殖雌牛投資関数 \bar{K}^* は (A-7) 式と (A-11) 式から (A-12) 式、子牛供給関数 Y^* は (A-4) 式と (A-8) 式から (A-13) 式、飼料需要関数 X_F^* は (A-6) 式と (A-10) 式から (A-14) 式、絶対的リスク回避係数 α_A^* は (A-5) 式と (A-9) 式から (A-15) 式のように求めることができる。

$$\bar{K}^* = J_{KC}^{-1}(rJ_C + K - J_{TC}) \quad (\text{A-12})$$

$$Y^* = rJ_{\bar{P}} - J_{K\bar{P}}\bar{K}^* - J_{T\bar{P}} \quad (\text{A-13})$$

$$X_F^* = -rJ_{W_F} + J_{KW_F}\bar{K}^* + J_{TW_F} \quad (\text{A-14})$$

$$\alpha_A^* = -2(rJ_{V_P} - J_{KV_P}\bar{K}^* - J_{TV_P})(Y^*)^{-2} \quad (\text{A-15})$$