

DEA による肉用牛経営の生産性分析

Productivity Analysis in the Beef Cattle Management of Japan
1976-2018中 川 雅 嗣
Masatsugu Nakagawa

Abstract

This paper analyzes the productivity according to prefectures and the convergence speed of the Beef Cattle growing from 1976 to 2018. Data Envelopment Analysis (DEA) is used to estimate Malmquist index (MI) measure of total factor productivity change. The malmquist index can resolve the technological change and the technical efficiency change. The convergence of the productivity of the Beef Cattle growing can confirm the influence of a policy and the system.

It became clear that the productivity of the Beef Cattle growing was different in the prefecture. A tendency to decrease has productivity. The reason is because a calf price rises. Therefore it is thought that consistency management is effective to cope with keeping of calf (the meat) and the remarkable rise of the price. The advantage is to come to have a short keeping of calf and shorting shipment period. I confirmed that it certainly converged to a benchmark in all indexes.

This result showed that productivity improved by the same policy and system. I measured the convergence speed according to the prefecture. The convergence speed of the technical efficiency of the national average was 6.1 months. The technical change was 10.4 months and the Malmquist index was 7.1 months.

Keywords : DEA (Data Envelopment Analysis), Malmquist index, Beef cattle, Convergence, Panel Uintroot Test, Convergence Speed

【目次】

- I はじめに
- II 肉用牛生産の歴史的経過
- III マルムクイスト指数による生産性の分析方法
- IV 単位根検定による収束の検定
- V マルムクイスト指数の計測結果
- VI 収束に関する検定結果と半減期の比較
- VII 日本の畜産経営と今後の政策的展開
- VIII おわりに

I はじめに

わが国の畜産業は、飼料価格や燃油等生産資材費の上昇に伴うコストの増加と、デフレによる景気の低迷により高級牛肉の消費が減少し、それに伴い肉類価格も低迷している。さらに、環太平洋パートナーシップ協定 (TPP) への参加によって、輸入自由化が進み、畜産経営はさらに厳しい状況に陥る可能性がある。国際競争による肉用牛飼育への影響は、牛肉の輸入自由化によって懸念されていたが、BSE の発生によって現実のものとなってしまった。

食品の安全性をめぐる一連の事件を通じて、国内の肉用牛生産振興にとって生産性の向上と同時に、肉用牛の経営基盤の安定を図るためには、飼料生産基盤の強化に務めることが重要な課題であることが改めて示された。生産性は生産要素 1 単位当たりの産出量を表すので、生産性は技術進歩の 1 つの指標として考えられる。このため、肉用牛経営が発展するためには、投入諸要素の増加と生産性すなわち技術進歩という 2 つの要素の向上を図らなければならない。

投入要因が増加するということは、肉用牛経営の規模が拡大したことを意味し、つまり肉用牛経営の成長は規模拡大と生産性によって分析できる。肉用牛経営における生産性の計測は、それぞれの要素生産性について行うことが可能だが、生産要素の中で労働は所得形成に最も大きく寄与しており、その効率的活用が最も重要と言える。肉用牛における技術進歩は、まず資源そのものの技術的な性能改善によるものであり、もう 1 つは資源を効率的に利用する経営改善である。このような視点から肉用牛経営における労働利用を考えれば、生産性は経営資源の拡大と並行的に向上する要因と、新しい技術による技術革新による要因の 2 つがあると考えられる。

前者は飼養する頭数規模の拡大により一定面積

当たりの収容頭数が拡大して牛舎の利用効率が高まり、1 頭当たりの労働時間が短縮するなど規模の経済が働くことであり、後者は規模に関係なく例えば給餌を機械化したり、牛舎を自動で清掃する装置を設置というような新技術を取り入れることで生産性を向上する場合をいい、技術フロンティアの上昇を意味する。これまで畜産農業の生産に関する計量経済分析は、山本康貴 [1988] では、1968 年から 85 年の北海道及び都道府県のデータを用いて酪農の全要素生産性を定量化し、トランスログ型の生産関数と生産者の均衡条件を仮定した要因分解により、規模拡大と技術進歩が畜産の生産性向上に貢献したことを示している。

また、李・天間 [1989] では、トランスログ型の生産関数を推定し、山本と同様に規模拡大と技術進歩の生産に対しプラスの影響を計測している。さらに、日本全体の肉用牛部門において規模の経済と技術進歩の影響が見られることを示している。またノンパラメトリックの手法により技術進歩、技術効率性を計測する研究も数多くされており、金昌皓 [1996] では DEA 法により平成 6 年の酪農経営 84 戸の個別データを CCR モデルで分析し、酪農専業経営は牛の販売収入より生乳販売収入を高める方が経営効率が良く、畑作酪農経営の場合は、畑作収入より酪農収入を高める方が経営効率は良くなることを示した。ただし、これらの先行研究では、技術進歩の源となる要因や経済収束に関する分析は行われていない。

そこで本研究は生産性を時系列的に頭数規模、投下労働時間、その他生産要素との関連を分析して、生産性が向上した要因を明らかにし、さらに高めるための経営技術の確立を測ることが目的である。

II 肉用牛生産の歴史的経過

肉用牛は従来、生産、育成・使役、肥育の 3 タ

イブに分かれていたが、高度経済成長による農業機械の発展によって、畜力を利用した形態は減少した。役牛は機械の代替により子牛の生産と肥育の2形態に変化した。つまり和牛は役用から肉専用に移行するようになった。このことにより飼養農家と飼養頭数は、全国的に減少に転じ、特に育成、役利用をする地域では激しい減少傾向となった。その後本格的に肉用牛生産が開始されたのは、乳用種肥育が始まった昭和40年代に入ってからである。積極的に乳用種肥育を導入する地域と和牛に特化する地域など分化が進んだ。

昭和40年代後半になると和牛中心から乳用種へと移ることとなった。肉用牛生産に重要な要因となる飼料など経営を踏まえた生産性に焦点をあて、肉用牛生産の歴史的経過から見た生産性を明らかにする。

Ⅱ-1 育成・肥育に関する経過

戦後、肉用牛肥育の飼養目的に着目すると、大きく3期間に分けられる。

役畜飼養の普及拡大期（～昭和30年）。昭和30年頃までは、和牛は使役が主な目的であり、農家自らが飼養しており農業の規模拡大と相まって飼養農家数も増加する傾向にあった。

役畜から用畜への移行期（昭和30年～昭和40年）。農作業の機械化が進むことで、役畜のための肉用牛数が低下し、肉用として飼育されるようになる。また高度経済成長による労働力の流出は、素牛による繁殖経営の減少につながることとなった。

肉畜的飼養の成立期（昭和40年～）。乳用雄子牛の育成・肥育が導入され肉用牛が上昇傾向になり、本格的な用畜が進んだ。昭和50年代に入ると乳用種が増えだした。繁殖地域は東北、中国、九州であり、肥育地域はこれら以外の地域である。東北と九州は肉専用繁殖地域であり、それ以外の関東・東山、東海、四国では乳用種の導入が活発

に進められた。役畜期の飼料は野草と稲作の副産物（稲わら、米ぬか）を使用してきたが、用畜期になると野草や稲わらから栽培された粗飼料を使うなど自給粗飼料を利用するようになった。

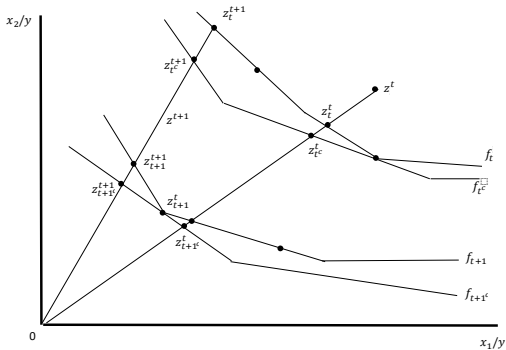
特に繁殖地域は青刈り粗飼料（青刈りとうもろこし、ソルゴーなど）を利用し、北海道は放牧も加えてまかなうようになった。一方、それ以外の地域は肥育経営であり、配合飼料に依存している傾向が強いといえる。

Ⅲ マルムクイスト指数による生産性の分析方法

包絡分析法による生産性および効率性、技術進歩の変化を計測する方法としてマルムクイスト指数が用いられている。マルムクイスト指数は、Caves et al. (1982) によって提唱され、その生産性を技術進歩と技術効率性に分解することができるという特徴を持っている。生産性の変化が、技術変化による上昇する局面、キャッチアップ効果による上昇する局面を実証し、その後、生産性の伸びがゼロになる局面を示唆した。また、各地域の生産性が収束しているか否かを議論することは政策を推進する上で重要ある。

収束仮説は、技術伝播により新しい技術開発には時間がかかり、技術を開発した地域が最も早く成長し、周辺地域はその模倣により急速に発展し先進地域に追いつくとされている。つまり収束は、生産性の低い地域は高い地域より急速に成長し、生産性の低い地域は高い地域にキャッチアップすると定義される。収束が成立しているなら、当該地域内で同一方向へ進んでいることがわかり、共通の農業政策が有効であると言える。しかし収束が成立していないならば、地域内で別々の方向に向かっていることとなり、個別の農業政策を検討する方が効果的と判断できる。

図1 時系列分析における効率と指数の関係



Ⅲ-1 マルムクイスト指数による生産性および技術効率性の計測方法

時間による効率値の変化を説明するために、図1を用いて説明する。この図の中では、ある事業体のパフォーマンスが t 期において z^t 、 $t+1$ 期において z^{t+1} で示されていると考える。1出力(y)と2入力(x_1 , x_2)と考えると、この図1では、 t 期においてBCC効率のフロンティア(規模の経済性に仮定をおかない)は f_t で表され、CCR効率のフロンティア(規模の経済性において、収穫一定の仮定をおく)は、 f_t^c で表されている。添字“ t ”の上に“ c ”をおくのは、“constantRTS: 収穫一定”を意味している。 $t+1$ 期も同様で、2つの効率のフロンティアは、それぞれ f_{t+1} 、 f_{t+1}^c であらわされている。

図1の t 期において z^t で示された事業体は、その期において技術的効率TE(フロンティアへのキャッチアップ)を達成した場合、 z_t^t で表される。ここで、上の添字“ t ”は t 期を示し、下のそれは t 期のBCC効率のフロンティアを示している。ここである期でフロンティアシフトがあった場合、 t 期のパフォーマンスを $t+1$ 期の効率のフロンティアで評価する必要がある。図でみると、 z^t は $t+1$ 期の効率のフロンティア上の z_{t+1}^t と z_{t+1}^t へシフトすることができる。逆に、 $t+1$ 期のパフォーマンス z^{t+1} は、その $t+1$ 期の効率の

フロンティア上に移動された値 z_{t+1}^{t+1} と z_{t+1}^{t+1c} のほかに、その前の期(t 期)の効率のフロンティアに移動させることもでき、 z_t^{t+1} と z_t^{t+1c} とで表される。

マルムクイスト指数は、ここで対象となる事業体が属する産業に技術進歩があり、 t 期から $t+1$ 期においてパフォーマンスの向上がみられ、効率のフロンティアが生産性の向上する方向に移動しているという仮定を設けている。技術進歩があまりない産業では、効率のフロンティアがシフトしなかったり、 t 期と $t+1$ 期の2つのフロンティアが交差する場合もある。これらの場合にもマルムクイスト指数は解析可能な分析力をもつ。

マルムクイスト指数は図1の中で

$$MI_t^{t+1} = \left[\frac{oz_t^t}{oz_{t+1}^t} * \frac{oz_{t+1}^{t+1}}{oz_t^{t+1}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

この指数は2期(t 期と $t+1$ 期)間のフロンティア上の点(z_t^t , z_t^{t+1} , z_{t+1}^t , z_{t+1}^{t+1})を比較し、

$z_t^t \rightarrow z_{t+1}^t$ と、 $z_t^{t+1} \rightarrow z_{t+1}^{t+1}$ の幾何平均で求められている。ここで(1)式の分母分子を oz^t と oz^{t+1} で割ると

$$MI_t^{t+1} = \left[\frac{\frac{oz_t^t}{oz_t^t}}{\frac{oz_{t+1}^t}{oz_t^t}} * \frac{\frac{oz_{t+1}^{t+1}}{oz_{t+1}^{t+1}}}{\frac{oz_t^{t+1}}{oz_t^{t+1}}} \right]^{1/2} \quad (2)$$

となる。このことから MI_t^{t+1} は計測されている事業体の技術・スケール効率(TSE)が t 期から $t+1$ 期に、逆に $t+1$ 期から t 期にどのように変化しているかを収穫一定の条件下で測定し、その2つの変化の幾何平均をとったものであることがわかる。TSEに時間の変化を表す添字“ t ”と“ $t+1$ ”をつけて

$$MI_t^{t+1} = \left[\frac{TSE^t}{IEI^{t \rightarrow t+1}} * \frac{IEI^{t+1 \rightarrow t}}{TSE^{t+1}} \right]^{1/2} \quad (3)$$

として表される。ここで、 TSE^t と TSE^{t+1} は t 期と $t+1$ 期におけるそれぞれの技術・スケール効率を表している。また、 $IEI^{t \rightarrow t+1}$ は t 期の事業体を $t+1$ 期の効率のフロンティアで評価した場合のTSEを意味し、逆に $IEI^{t+1 \rightarrow t}$ は $t+1$ 期の事業体を t 期の効率のフロンティアで評価した場合のTSEを意味している。IEI(Intertemporal Eff-

ciency Index：時間による効率指数）と呼ばれており、添字の矢印はフロンティア上のシフトの方向を示している。マルムクイスト指数において通常の算術平均をとらず幾何平均をとる理由は、時系列変化の平均値の動きを、幾何平均の方が算術平均より的確にとらえるためとされている。

マルムクイスト指数は、ある経済主体の効率性が時間を通じ、どの程度変化したかを示す指標であるから、第 s 期の技術水準の下で、第 t 期のインプット x_t からアウトプット y_t を生産し、経済主体 j が n 個存在するものとする、第 k 番目の経済主体は以下の CRS (constant returns to scale) モデルを解くことにより求めることもできる。ただし、 θ は効率値、 λ は作業解析で使われる強度変数、インプット要素 i は l 種類、アウトプット要素 r は m 種類とする。

$$\min \theta = Dcrs, s(x_t, y_t)$$

$$\text{s.t. } -\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij,s} + \theta x_{ik,t} \geq 0 (i = 1, 2, \dots, l)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj,s} \geq y_{rk,t} (r = 1, 2, \dots, m), \lambda_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

さらに、制約条件に $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ を加えることで規模に関して収穫可変として求めることができる。本研究は 4 種類の入力、1 種類の出力であるため入力指向で計測することとした。

マルムクイスト指数は、基準となる時点の技術水準を固定し、当該技術水準の下で各期の技術効率性により計測する。第 s 期を基準としたマルムクイスト指数は、以下のとおり。

$$MI_s = \frac{D_{CRS,s}(x_t, y_t)}{D_{CRS,s}(x_s, y_s)} \quad (5)$$

2 期間の幾何平均をとると、

$$MI = (MI_s \cdot MI_t)^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{D_{CRS,s}(x_t, y_t)}{D_{CRS,s}(x_s, y_s)} \cdot \frac{D_{CRS,t}(x_t, y_t)}{D_{CRS,t}(x_s, y_s)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

ここでマルムクイスト指数を以下のように変形することで、次の要素に分解することができる。

$$MI = \frac{D_{CRS,t}(x_t, y_t)}{D_{CRS,s}(x_s, y_s)} \cdot \left[\frac{D_{CRS,s}(x_t, y_t)}{D_{CRS,t}(x_t, y_t)} \cdot \frac{D_{CRS,s}(x_s, y_s)}{D_{CRS,t}(x_s, y_s)} \right]^{\frac{1}{2}} = TEC \cdot TC \quad (7)$$

TEC は技術フロンティアに近づいたことによる影響を示す指数である技術効率性であり、TC はフロンティア自身に変化したことによる影響を示す指数である技術進歩を表している。

ここでマルムクイスト指数は、各時点での生産性水準ではなく 2 時点間の変化である。そこで近藤・山本 (2004) に倣い生産性水準は、1 年目の生産性水準は 1 年目の技術効率性とし、2 年目以降の生産性水準は 1 年目の技術効率性に次年以降の生産性変化を累積的に毎年乗じて行くことにより産出した。

他の指数の水準について、技術効率性は 1 年目の技術効率性、技術進歩等その他の指数は 1 年目の水準を 1 とし、次年以降は年次変化を累積的に乗じることにより産出した。なお、生産性変化を表すマルムクイスト指数、キャッチアップ効果を現す技術効率 TEC、技術変化 TC の解釈は次のようになる。MI>1 (MI<1) ならば生産性は上昇 (低下) で、MI=1 ならば生産性は変化なしである。TEC>1 (TEC<1) ならばキャッチアップ効果はプラス (マイナス) で生産性上昇 (低下) に寄与し、TEC=1 ならばキャッチアップ効果は変化なしである。

TC>1 (TC<1) ならば技術進歩 (技術後退) で、生産性上昇 (低下) に寄与し、TC=1 ならば技術変化は変化なしである。本研究で利用する包絡分析法は評価方法として相対評価であり、絶対評価ではない。すなわち基準となる経済主体との比較で、その良否を判定する。農業生産は工業製品と異なり、自らの投入量を調整できない要因、気象条件など管理不能な要因が存在する。そのため効率性の評価を歪め、技術進歩などを適切に計測できない場合がある。特に、農業は気象条件に大きく影響を受けるため変動が大きくなることに加え、データ全体に対する単一の回帰平面を最適化することを目的とするパラメトリックな方法とは異なることを考慮しなければならない。

IV 単位根検定による収束の検定

IV-1 収束と検定方法

各経済主体の経済パフォーマンスが、時間を通じ同レベルの定常状態に移行することを収束 (convergence) という。経済発展が遅れた経済主体がより速いスピードで成長すれば、最終的には、すべての経済主体の経済パフォーマンスは同じような定常水準に収束することとなる。このような収束過程を絶対収束と名付けてられている。しかし、各経済主体がそれぞれ異なる定常水準を持ち、経済パフォーマンスもそれぞれの定常水準に収束する場合がある。このような状態を条件付収束と呼ばれている。以下では収束の検定方法である単位根検定について説明する。

確率変数 Y_t が、AR (1) モデルに従うと仮定する。 (u_t : ホワイト・ノイズ)

$$Y_t = \phi Y_{t-1} + u_t \quad (8)$$

初期値をとし逐次代入すると、

$$Y_t = \phi^t Y_0 + \sum_{j=1}^t \phi^{t-j} u_j \quad (9)$$

ここで、

$$|\phi| < 1 \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} Y_t = \sum_{j=1}^{\infty} \phi^{t-j} u_j$$

$$|\phi| \geq 1 \Rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} Y_t = \infty$$

つまり、確率変数 Y_t が単位根を持たなければ、収束する。よって単位根の有無を検定することにより、収束するか否かを確認できる。具体的には拡張されたディッキーフラー検定 (ADF 検定) により次ぎの3つのモデルにより推定する。

$$\begin{aligned} \text{モデル 1: } Y_t &= \phi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + u_t \\ \Leftrightarrow \Delta Y_t &= \beta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + u_t \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{モデル 2: } Y_t &= \mu + \phi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + u_t \\ \Leftrightarrow \Delta Y_t &= \mu + \beta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + u_t \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{モデル 3: } Y_t &= \mu + \delta t + \phi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + u_t \\ \Leftrightarrow \Delta Y_t &= \mu + \delta t + \beta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + u_t \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 $\beta = 1 - \phi$ 、 $\sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j}$ は拡張項、 μ は確定項、 t はタイムトレンドを表している。

ここで、 $\beta = 0$ のとき、確率変数 Y_t が単位根

を持つ場合、すべてのモデルで発散する。また $\beta < 0$ のとき、モデル 1 に従うならば絶対収束、モデル 2 に従うならば、条件付収束、モデル 3 に従うならば、発散することになる。ここでモデル 2 に従うということは、 $\beta < 0$ かつ $\mu \neq 0$ であることを意味し、モデル 3 に従うというのは $\beta < 0$ かつ $\mu \neq 0$ かつ $\delta \neq 0$ であることを意味する。従って、 $\beta < 0$ かつ $\mu = 0$ かつ $\delta = 0$ の場合、モデル 1 に従うことになり絶対収束となる。また $\beta < 0$ かつ $\mu \neq 0$ かつ $\delta = 0$ の場合、モデル 2 に従うことになり条件付収束と判断できる。

IV-2 収束と検定方法

政策を実施する上で、各地域の農業が同一方向へ進んでいるか、あるいは発散しているかは重要な点となる。同一方向に進むのであれば共通農業政策が有効であり、同一方向に進んでいないなら各地域で個別の政策が効果的となる。以下の議論において、絶対収束とは長期的に均衡との差がゼロになることを意味する。すなわち、経済主体が同じ定常状態に収束することを意味する。また条件付収束とは、長期的に均衡との差が一定になることを意味し、経済主体は異なる定常状態に収束することを意味する。収束性の検定方法として単位根検定を利用する。また計測期間が短い場合、通常の時系列分析と異なり、検出力が弱くなるという問題点が生じるため、以下のパネル単位根検定により分析する。Levin, Lin and Chu (2002), Im, Pesaran and Shin (2003), Phillips and Perron (1986) の方法 (以下, LLC 検定, IPS 検定, PP 検定) により検定を行うこととする。経済主体数は n 、期間を t とすると

$$Y_{it} = \phi_i Y_{i,t-1} + u_{it} \quad (i=1,2,\dots,N; t=1,2,\dots,T) \quad (13)$$

N はクロスセクションの数を示し、 T は時系列の標本期間を示す。 u_{it} は定常的な誤差項である。 $\Phi_i=1$ であれば Y_{it} は単位根を持ち、 $|\Phi_i|<1$ であれば Y_{it} は単位根を持たない。さらに、単位根検定

のために以下のような ADF モデルを考える.

$$\Delta Y_{it} = \rho Y_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{p_i} \gamma_{ij} \Delta Y_{i,t-j} + \alpha_{mi} d_{mt} + u_{it} \quad (m=1,2,3\cdots) \quad (14)$$

ただし, $\rho = \phi_i - 1$, d_{mt} は確定的変数を含み, $d_{1t} = \{0\}$, $d_{2t} = \{1\}$, $d_{3t} = \{1, t\}$ である. つまり, $m=1$ の時は, $\alpha_{1i} d_{1t} = 0$, $m=2$ の時は, $\alpha_{2i} d_{2t} = \alpha_{2i}$, $m=3$ の時は, $\alpha_{3i} d_{3t} = \alpha_{3i}^0 + \alpha_{3i}^1 t$ となる. 拡張項の次数は, SBIC 情報量により決定した. 帰無仮説は $\rho = 0$ であり対立仮説は $\rho < 0$ である. LLC 検定では, 次のような帰無仮説と対立仮説を検定する.

帰無仮説: $\phi_1 = \phi_2 = \cdots = \phi_n = 1$

対立仮説: $\phi_1 = \phi_2 = \cdots = \phi_n < 1$

LLC 検定は, すべての経済主体に単位根があるか否かを検定するものであり, 帰無仮説が棄却された場合はすべての経済主体の確率変数 Y が長期的にゼロに近づくことになり, 収束すると判断される. これに対し, IPS 検定は次のような帰無仮説と対立仮説を検定する.

帰無仮説: $\phi_i = 1$ for all i

対立仮説: $|\phi_i| < 1$ at least one i

IPS 検定では, 少なくとも 1 つの経済主体には単位根があるか否かを検定している. 帰無仮説が棄却されると, 少なくとも一つの経済主体において, 確率変数 Y が収束していると考えられる.

PP 検定は

$$\Delta Y_t = (b_1 - 1)Y_{t-1} + u_t = cy_{t-1} + u_t \quad (15)$$

(15) を OLS で推定した場合, OLS 残差を \bar{u}_t とすると, PP 検定の統計量 Z は

$$Z = \frac{S_{u\tau_{b1}}}{S_{\tau q}} - \frac{S_{\tau q}^2 - S_u^2}{S_{\tau q}(T^2 \sum_{t=2}^T (y_{t-1} - \bar{y}_{-1})^2)^{1/2}} \quad (16)$$

となる. ここで q はラグの次数とし, T を標本数とし, \bar{y}_{-1} は y_{t-1} の平均値とし, τ_{b1} は (15) における c の t 値で, S_u^2 と $S_{\tau q}^2$ が下記のようになる.

$$S_u^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \bar{u}_t^2$$

$$S_{\tau q}^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \bar{u}_t^2 + \frac{2}{T} \left[\sum_{j=1}^q \sum_{t=j+1}^T \left(1 - \frac{j}{q+1}\right) \bar{u}_t \bar{u}_{t-j} \right]$$

この統計量の臨界値はディッキーフラー検定と同様になる.

IV-3 収束速度

長期的に収束するならば, どの程度の速度で乖離が縮小するかは重要なことである. この速度を計測する指標として, 半減期 (均衡からの乖離が半分になるのに必要な時間) がある. (7) 式または (8) 式で求められる ϕ によって, 以下のとおり半減期を表すことができる.

$$Y(t) = Y_0 e^{-\phi t}$$

$$Y(T_{1/2}) = \frac{Y_0}{2} = Y_0 e^{-\phi T_{1/2}}$$

$$e^{-\phi T_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\phi} \quad (17)$$

したがって, 半減期は $\ln(2) / \phi = 0.69 / \phi$ である. それゆえ, $\phi = 0.05$ の場合, 半減期は 14 年となる. 本研究では, 1 期は 1 年 (12 ヶ月) となる.

V マルムクイスト指数の計測結果

V-1 使用した統計データ

本研究でマルムクイスト指数の計測に必要なデータは, 農林水産省農業経営統計調査畜産生産費である. 計測期間は 1976 年から 2018 年であり, 変数に関して生産物は販売頭数, 生産要素は労働, 資本, 経常財とした. 資本と経常材は農業物価統計 (平成 22 年基準) の価格指数で実質化した. 労働は直接投下労働時間, 資本は農機具費, 建物費, 賃借料及び料金, 経常材費は飼料費, 敷料, 獣医費とした. またマルムクイスト指数による全国平均値は生産農業所得統計の対象都道府県の粗生産額をウェイトとして用いた. 分析対象は, 北海道, 東北, 関東・東山, 北陸, 東海, 近畿, 中国, 四国, 九州の 9 地域とした.

V-2 マルムクイスト指数の計測結果

第 2 節で紹介した計測方法に従い, 日本の各都道府県のマルムクイスト指数 (全要素生産性), 技術効率性, 技術進歩の 3 つの指標の変化を計測した. これらの結果をより簡単に解釈するために,

表 1 肉用牛の生産性

技術効率性	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
北海道	1.000	1.001	1.020	0.990	0.973	1.006	1.025	0.971	1.089	0.915	1.000	0.550	1.062	0.891	1.936	1.015	0.992	0.557	1.783	0.997	0.995	1.015
東北	1.000	1.004	0.940	1.179	1.005	0.994	1.001	1.099	0.961	0.965	1.027	0.997	0.978	0.976	1.007	0.739	1.344	0.826	0.882	0.940	1.095	1.005
北陸	1.000	0.952	0.968	1.011	1.099	0.930	1.242	0.974	0.902	1.104	1.026	0.921	0.971	1.351	0.989	0.885	0.520	1.424	1.040	0.999	0.964	0.836
関東・東山	1.000	1.023	0.964	0.947	1.112	0.891	0.990	1.182	0.846	0.999	1.070	1.017	1.003	0.981	1.047	0.955	0.979	1.039	0.947	1.118	0.923	1.034
東海	1.000	1.025	0.923	1.252	0.814	1.007	1.286	0.974	0.795	1.050	1.205	0.880	1.043	0.944	0.970	0.962	1.429	0.863	0.853	1.069	0.902	0.865
近畿	1.000	1.068	1.036	0.927	0.966	1.056	0.959	1.212	0.873	0.938	1.007	1.104	1.025	0.919	0.675	1.426	1.053	1.012	1.037	0.935	1.006	1.023
中国	1.000	1.155	0.982	0.779	1.034	0.951	0.974	1.203	0.975	0.892	1.027	1.006	0.916	1.250	1.047	1.097	0.551	1.488	0.709	1.404	0.989	0.759
四国	1.000	1.124	1.130	0.678	1.035	0.957	0.949	1.002	1.031	0.966	0.996	1.052	0.987	1.250	0.803	1.322	0.729	1.583	0.636	1.069	1.133	0.993
九州	1.000	0.964	1.037	0.967	0.973	1.215	1.035	1.124	0.968	1.155	1.129	0.777	0.995	0.911	0.996	0.888	0.918	1.045	1.118	0.856	1.212	1.330
全国	1.000	1.024	0.978	0.970	1.001	1.001	1.051	1.082	0.938	0.998	1.054	0.923	0.998	1.028	1.052	1.032	0.946	1.093	1.001	1.043	1.024	0.985

技術進歩	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
北海道	1.000	1.290	0.992	0.981	1.012	0.775	0.990	0.858	1.503	1.029	1.001	1.009	0.937	0.731	0.744	1.124	0.993	1.017	0.973	1.258	1.267	0.993
東北	1.000	0.990	0.932	1.010	0.994	0.797	0.996	0.933	1.073	1.004	1.095	1.005	0.984	1.017	1.000	0.996	0.732	1.099	0.905	1.034	1.159	0.984
北陸	1.000	0.991	0.783	1.006	0.962	0.982	0.981	0.781	1.086	1.020	0.976	0.973	0.956	1.062	1.142	0.961	1.269	0.846	0.807	1.057	1.006	0.972
関東・東山	1.000	0.950	0.987	1.063	0.961	0.885	0.865	0.891	1.129	1.075	0.986	1.035	1.003	1.017	0.987	1.004	0.945	0.990	0.994	0.972	1.002	0.989
東海	1.000	0.995	0.938	1.248	0.849	0.985	1.029	0.809	1.123	0.965	0.989	1.049	0.994	1.007	0.992	1.032	0.991	1.051	0.944	1.248	0.993	0.983
近畿	1.000	1.179	0.906	1.044	0.999	0.961	1.010	0.919	1.072	0.999	1.125	1.176	1.022	0.965	0.982	0.838	0.977	1.005	0.961	0.969	0.979	1.003
中国	1.000	0.912	1.015	1.066	0.885	0.993	1.093	0.859	1.231	0.951	0.977	0.985	1.010	0.959	1.053	1.067	1.181	0.969	0.912	0.979	1.011	1.143
四国	1.000	1.046	0.916	1.141	0.993	0.945	1.000	0.996	1.114	1.006	1.007	1.016	0.988	1.013	0.972	0.976	0.831	0.938	0.939	1.107	0.942	1.011
九州	1.000	0.969	0.969	1.036	0.941	0.902	1.004	0.789	1.356	0.920	0.827	1.152	1.028	0.983	1.072	1.043	1.048	0.952	0.943	1.275	0.954	0.880
全国	1.000	1.036	0.938	1.066	0.955	0.914	0.996	0.871	1.187	0.997	0.998	1.045	0.991	0.973	0.994	1.005	0.996	0.985	0.931	1.100	1.035	0.996

Malmquist	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
北海道	1.000	1.291	1.012	0.971	0.984	0.780	1.015	0.834	1.636	0.942	1.001	0.555	0.996	0.651	1.441	1.141	0.985	0.567	1.735	1.254	1.261	1.008
東北	1.000	0.994	0.783	1.191	0.999	0.792	0.997	1.025	1.031	0.970	1.124	1.002	0.963	0.993	1.007	0.736	0.983	0.907	0.798	0.972	1.269	0.990
北陸	1.000	0.845	0.758	1.017	1.057	0.913	1.218	0.761	0.979	1.126	1.001	0.897	0.928	1.435	1.129	0.851	0.660	1.206	0.840	1.056	0.970	0.812
関東・東山	1.000	0.971	0.952	1.007	1.069	0.789	0.857	1.053	0.955	1.074	1.056	1.037	1.007	0.999	1.034	0.959	0.925	1.028	0.942	1.087	0.925	1.023
東海	1.000	1.020	0.866	1.563	0.691	0.993	1.323	0.788	0.892	1.013	1.192	0.923	1.037	0.951	0.962	0.992	1.416	0.907	0.805	1.333	0.896	0.850
近畿	1.000	1.259	0.939	0.967	0.965	1.015	0.968	1.114	0.936	0.938	1.133	1.298	1.047	0.887	0.663	1.195	1.029	1.017	0.997	0.906	0.984	1.026
中国	1.000	1.054	0.896	0.831	0.916	0.944	1.065	1.033	1.201	0.848	1.003	0.991	0.926	0.984	1.103	1.171	0.650	1.442	0.646	1.375	1.000	0.868
四国	1.000	1.176	1.036	0.774	1.028	0.905	0.949	0.999	1.149	0.971	1.003	1.069	0.975	1.265	0.781	1.291	0.606	1.484	0.597	1.183	1.068	1.005
九州	1.000	0.934	1.005	1.002	0.915	1.096	1.039	0.887	1.313	1.062	0.934	0.896	1.023	0.896	1.068	0.926	0.962	0.995	1.054	1.091	1.156	1.171
全国	1.000	1.061	0.916	1.036	0.958	0.914	1.048	0.944	1.121	0.994	1.050	0.965	0.989	1.007	1.021	1.029	0.913	1.061	0.935	1.140	1.059	0.973

技術効率性	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	平均
北海道	1.062	0.979	1.025	0.956	0.637	1.527	0.998	1.028	0.983	0.992	0.996	0.721	1.083	0.895	1.053	0.940	1.042	1.437	1.042	1.017	0.995	1.028
東北	0.984	1.036	1.084	0.948	0.962	0.910	1.450	0.801	1.255	1.001	1.016	0.990	0.995	0.689	1.167	0.988	0.868	1.186	1.045	0.965	0.893	1.002
北陸	0.958	1.251	1.014	1.000	0.985	0.686	1.460	1.040	1.053	0.969	0.980	1.183	1.002	0.918	1.113	0.917	1.024	0.882	0.998	0.992	0.996	1.010
関東・東山	1.060	0.991	0.983	0.985	1.157	0.807	1.034	0.948	1.008	1.043	1.006	1.007	0.999	0.938	1.019	1.010	0.993	1.045	1.023	0.982	0.962	1.002
東海	0.942	1.027	0.982	1.062	1.079	1.024	0.959	0.888	1.023	1.004	0.947	1.036	1.022	0.937	1.031	1.032	0.942	0.988	1.040	1.131	1.009	1.005
近畿	0.957	0.974	1.031	0.971	1.045	1.073	0.946	0.951	1.123	0.926	0.994	0.995	1.053	0.962	1.003	1.070	1.055	0.957	0.925	0.981	1.175	1.010
中国	1.330	1.032	0.793	1.214	1.012	0.984	1.029	0.966	1.003	1.002	1.104	0.985	1.046	0.975	0.905	0.992	1.022	1.029	1.019	0.714	0.833	0.997
四国	0.899	0.959	0.963	1.315	0.937	0.934	1.040	0.919	1.058	1.435	0.765	0.972	0.946	0.990	0.964	0.986	0.929	1.072	1.019	1.078	0.976	1.014
九州	0.922	0.850	1.205	0.820	0.772	1.233	1.154	0.920	1.239	1.072	0.964	1.031	0.949	0.859	0.883	0.932	1.172	0.924	1.016	0.980	0.961	1.011
全国	1.013	1.011	1.009	1.030	0.954	1.020	1.119	0.940	1.083	1.049	0.974	0.991	1.011	0.907	1.015	0.985	1.005	1.058	1.014	0.982	0.978	1.009

技術進歩	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	平均
北海道	1.020	0.994	0.977	0.982	0.910	1.121	1.243	1.219	0.984	0.890	0.834	1.022	1.139	0.855	1.180	1.289	1.281	1.040	1.086	0.994	1.013	1.037
東北	1.091	0.906	0.919	1.021	0.829	1.353	1.028	1.118	0.892	0.884	0.862	0.993	0.988	0.962	1.131	1.175	1.189	1.122	1.120	0.908	1.131	1.009
北陸	0.989	0.993	0.982	1.014	0.812	1.561	1.017	0.984	1.064	0.853	0.984	0.967	1.010	0.994	1.047	1.053	1.023	1.055	0.987	0.992	1.022	0.998
関東・東山	1.031	0.961	1.005	0.999	0.900	1.133	1.010	1.027	1.004	0.933	0.910	0.987	0.999	0.927	1.009	1.039	1.118	1.007	1.009	1.008	1.019	0.994
東海	1.002	1.002	0.987	0.999	0.971	1.104	0.968	1.114	0.943	0.956	0.953	0.997	0.981	0.917	1.016	1.004	1.037	1.018	1.002	1.017	0.965	1.004
近畿	1.026	0.996	0.997	0.870	0.978	1.030	1.057	1.065	0.984	0.918	0.960	1.030	0.999	0.984	1.010	1.022	0.997	1.045	1.012	1.009	1.007	1.002
中国	1.031	1.004	0.988	0.913	0.966	1.216	1.084	0.884	0.830	0.845	0.942	0.996	1.013	1.018	0.995	1.018	1.007	0.985	0.964	1.025	1.116	1.002
四国	1.042	0.952	1.013	1.048	0.946	1.088	1.015	1.121	0.952	0.879	0.899	0.985	1.008	0.979	1.040	1.052	1.050	1.031	1.001	1.020	1.005	1.001
九州	1.051	1.087	0.928	1.058	0.978	1.120	0.920	1.094	0.931	0.945	1.002	1.017	1.029	1.068	1.036	0.999	0.941	1.010	0.969	1.035	0.978	1.006
全国	1.032	0.977	0.977	0.989	0.921	1.192	1.038	1.069	0.954	0.900	0.927	0.999	1.018	0.967	1.051	1.072	1.071	1.035	1.017	1.001	1.028	1.006

Malmquist	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	平均
北海道	1.083	0.974	1.001	0.939	0.579	1.711	1.240	1.253	0.967	0.882	0.830	0.736	1.233	0.765	1.243	1.212	1.335	1.495	1.132	1.011	1.008	1.064
東北	1.074	0.939	0.996	0.968	0.797	1.231	1.491	0.895	1.120	0.884	0.876	0.983	0.984	0.663	1.319	1.161	1.032	1.330	1.171	0.876	1.010	1.008
北陸	0.947	1.118	0.996	1.014	0.800	1.070	1.484	1.024	1.121	0.826	0.964	1.144	1.012	0.913	1.165	0.965	1.047	0.930	0.985	0.984	1.017	1.000
関東・東山	1.092	0.952	0.987	0.985	1.042	0.914	1.044	0.973	1.012	0.973	0.915	0.994	0.997	0.870	1.048	1.050	1.109	1.053	1.032	0.990	0.980	0.994
東海	0.944	1.029	0.969	1.061	1.047	1.131	0.928	0.990	0.965	0.961	0.902	1.033	1.003	0.859	1.048	1.036	0.977	1.005	1.042	1.150	0.974	1.011
近畿	0.982	0.970	1.029	0.845	1.021	1.105	1.000	1.013	1.105	0.850	0.954	1.025	1.052	0.947	1.013	1.093	1.052	1.000	0.936	0.989	1.183	1.011
中国	1.371	1.036	0.784	1.108	0.978	1.197	1.116	0.854	0.832	0.846	1.040	0.982	1.060	0.992	0.900	1.010	1.030	1.014	0.982	0.732	0.929	0.994
四国	0.936	0.913	0.976	1.378	0.886	1.016	1.056	1.030	1.007	1.262	0.688	0.957	0.954	0.969	1.002	1.038	0.975	1.106	1.020	1.100	0.980	1.013
九州	0.970	0.924	1.118	0.868	0.755	1.382	1.062	1.007	1.154	1.014	0.966	1.049	0.976	0.917	0.914	0.931	1.033	0.934	0.984	1.014	0.940	1.010
全国	1.044	0.984	0.984	1.018	0.878	1.195	1.158	1.004	1.031	0.944	0.904	0.989	1.030	0.877	1.070	1.055	1.073	1.096	1.032	0.983	1.002	1.012

指数およびその要素の自然対数をとった。このことで、これらを % 変化として解釈できる。各地方の各年の指標の変化をグラフにしたものを図2に示した。

昭和50年代（1975年～1984年）は経済の安定成長期であり、牛肉の需要が強かった。畜産物全体では需要の大きな伸びは期待できない時期に入っており牛乳の生産調整が始まった時期であったが、牛肉は唯一需要の伸びが期待される畜産物と言われていた。1976年から1984年のマルムクイスト指数の最高値は1.121であり生産性の上昇が確認された。このとき技術進歩は1.187であり、技術進歩によって生産性が上昇したことが明らかになった。これは子牛価格の高騰により酪農家は生まれた子牛を肥育素牛としてできるだけ高く売ることを考えて黒毛和種を交配したF1子牛を生産するようになり、肥育農家も高い肉専用種の素牛の導入から一部をF1に切り替えるようになったためと考えられる。

1988年にアメリカの市場開放を求める要求は、米等を含む農産物や自動車部品まで含む形となった。このような中で輸入自由化の方針が決まり、3年後にあたる1991年に牛肉輸入自由化を完全実施することになった。この当時の国産牛肉の目標は安全良質な牛肉を低コストで生産することとされ、コストは2～3割削減することであった。1985年から1994年のマルムクイスト指数の最高値は1.061であり生産性が上昇している。このときの上昇要因は技術効率性（1.093）であり、技術効率による上昇によって生産性が上昇したことが明らかになった。

1995年から2004年までの10年間では、マルムクイスト指数の最高値は1.195であり計測期間で最高値となった。これは技術進歩（1.192）による上昇によるものである。ガット農業合意に伴う畜産物価格の低下により畜産農家数の減少等影響を及ぼしていたが、主に北海道で経営規模の拡

大や低コスト化を実現している。日本の畜産は輸入飼料に依存していたが、北海道では自給飼料依存度が高く、土地利用型畜産を実施している。これらのことがフロンティアを上昇させる要因になったと考えられる。

2005年から2014年の10年間では、マルムクイスト指数が0.877で計測期間最低になった。要因としては技術効率性（0.907）の低下によるものである。これは2011年3月に起こった東日本大震災によるものであり、特に東北の技術効率性は0.689と大きく低下した。またBSEが2001年に国内ではじめて発見され、2009年以降発見されなくなったが、2003年以降、マルムクイスト指数は減少傾向が続き、BSEが終息しても下げ止まらず、2011年が最低値となった。

2015年から2018年では、マルムクイスト指数の最高値は1.096であり、技術効率性が1.058で技術効率性が牽引していることが明らかになった。農林水産省では2015年に「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」を発出し、肉用牛生産における肥育もと牛の安定的な確保として、肉用牛肥育経営の繁殖・肥育一貫経営への移行を上げている。これは肉用牛子牛が高騰しているため、子牛確保と子牛価格の変動リスクを抑え、一貫経営することで出荷を早期化することを目的としている。技術効率性の上昇から効果が出ていると考えられる。

VI 収束に関する検定結果と半減期の比較

VI-1 収束に関する検定結果

(4) 式で求められた稲作生産性の変化が各都道府県で収束するか否かを計測する。山口・霍(2004)にならい、最もマルムクイスト指数が最も高い北海道をベンチマークとし、その他地域の指標がベンチマークである北海道に収束するかを確認する。その他の都道府県の生産性との差をとり、以

表 2 ADF 検定による収束性の検定結果

malmquist index(MI)									
	Φ (3)	μ (3)	t	Φ (2)	μ (2)	Φ (1)	Std. Error	t-Statistic	結果
北海道	bench mark								
東北	-1.194	-0.038	-0.001	-1.193	-0.061	-1.146	0.154	-7.437	*** 絶対収束
関東・東山	-1.206	-0.004	-0.004	-1.193	-0.077	-1.131	0.155	-7.322	*** 絶対収束
北陸	-1.197	-0.007	-0.003	-1.191	-0.068	-1.151	0.153	-7.533	*** 絶対収束
東海	-1.099	0.051	-0.005	-1.073	-0.051	-1.048	0.157	-6.692	*** 絶対収束
近畿	-1.595	0.045	-0.006	-1.487	-0.082	-1.351	0.255	-5.293	*** 絶対収束
中国	-1.374	0.033	-0.006	-1.343	-0.090	-1.285	0.151	-8.535	*** 絶対収束
四国	-1.391	0.019	-0.004	-1.378	-0.068	-1.351	0.148	-9.139	*** 絶対収束
九州	-1.097	0.049	-0.005	-1.058	-0.050	-1.014	0.154	-6.577	*** 絶対収束
技術効率性									
	Φ (3)	μ (3)	t	Φ (2)	μ (2)	Φ (1)	Std. Error	t-Statistic	結果
北海道	bench mark								
東北	-1.229	-0.020	-0.001	-1.229	-0.032	-1.219	0.155	-7.889	*** 絶対収束
関東・東山	-1.337	-0.017	-0.001	-1.336	-0.037	-1.323	0.150	-8.843	*** 絶対収束
北陸	-1.455	0.008	-0.001	-1.453	-0.023	-1.449	0.141	-10.292	*** 絶対収束
東海	-1.130	-0.007	-0.001	-1.128	-0.027	-1.120	0.157	-7.136	*** 絶対収束
近畿	-2.162	-0.015	-0.001	-2.153	-0.047	-2.097	0.291	-7.216	*** 絶対収束
中国	-1.525	-0.018	-0.002	-1.523	-0.051	-1.510	0.136	-11.099	*** 絶対収束
四国	-2.279	-0.009	-0.001	-2.275	-0.038	-1.499	0.137	-10.954	*** 絶対収束
九州	-1.167	0.024	-0.002	-1.159	-0.019	-1.154	0.156	-7.389	*** 絶対収束
技術進歩									
	Φ (3)	μ (3)	t	Φ (2)	μ (2)	Φ (1)	Std. Error	t-Statistic	結果
北海道	bench mark								
東北	-0.999	-0.018	0.000	-0.999	-0.022	-0.965	0.151	-6.412	*** 絶対収束
関東・東山	-0.882	0.006	-0.002	-0.835	-0.028	-0.777	0.143	-5.437	*** 絶対収束
北陸	-0.956	-0.009	-0.001	-0.955	-0.031	-0.920	0.153	-6.029	*** 絶対収束
東海	-0.865	0.036	-0.003	-0.829	-0.021	-0.799	0.147	-5.419	*** 絶対収束
近畿	-0.835	0.019	-0.002	-0.803	-0.026	-0.764	0.153	-5.008	*** 絶対収束
中国	-0.798	0.039	-0.003	-0.760	-0.017	-0.736	0.142	-5.170	*** 絶対収束
四国	-0.861	0.021	-0.002	-0.831	-0.025	-0.786	0.149	-5.286	*** 絶対収束
九州	-0.765	0.029	-0.002	-0.745	-0.016	-0.725	0.143	-5.055	*** 絶対収束

(注1) ***は1%、**は5%、*は10%で有意であることを示す。

(注2) Φ (1) はモデル I の係数を表す。

下のような確率変数を作成した。

$$Y_t = Y_{it}^* - Y_{bt} \quad (18)$$

Y_{it}^* は各地域における数値である。

背景となる収束のメカニズムだが、生産性等が

低い地域が、高い地域にキャッチアップする傾向にあり、つまり生産性等が低い地域と生産性等が高い地域の差が縮まる傾向にあるということである。計測した Y_t を用い単位根検定をした結果、

表 3 パネル単位根検定による分析

	技術効率性			技術進歩			Malmquist		
	検定統計量	p 値	ラグ	検定統計量	p 値	ラグ	検定統計量	p 値	ラグ
全国									
ADF	-13.299	0.000	1	-10.602	0.000	1	-10.779	0.000	1
IPS	-12.179	0.000	1	-8.954	0.000	1	-9.360	0.000	1
LLC	-15.226	0.000	1	-11.888	0.000	1	-12.204	0.000	1
PP	-33.861	0.000	-	-13.662	0.000	-	-20.290	0.000	-

(注) LLCはLevin-Lin-Chu検定, IPSはIm, Pesaran and Shin検定, PPはPhillips-Perron検定

表 4 各地域の半減期 T

	技術効率性	技術進歩	malmquist index(MI)
東北	6.8	8.6	7.3
関東・東山	6.3	10.7	7.4
北陸	5.7	9.0	7.2
東海	7.4	10.4	7.9
近畿	4.0	10.9	6.2
中国	5.5	11.3	6.5
四国	5.6	10.6	6.2
九州	7.2	11.5	8.2
全国平均	6.1	10.4	7.1

(注) 単位は月数である

モデル1で表される確率変数はすべての地域において単位根を持たないことがわかった。またモデル2とモデル3が棄却される結果を得た。つまりすべての計測結果においてモデル1に従い、生産性が最も高いベンチマーク（北海道）に絶対収束することが示された。各地域の気象や自然条件に合った肥育経営をしながら、生産性を高める経営をしている。

この結果から長期的にみると生産技術の伝播は、北海道から全国へ波及することが明らかになった(表2)。またパネル単位根検定の結果から、それぞれの仮説検定P値が小さく帰無仮説が棄却されている。このことから絶対収束の結果が頑健であることが実証された(表3)。

VI-2 収束速度に関する結果

表4は(12)式に基づいて計測された半減期、すなわち収束速度を示している。半減期の計測結果を概して、技術効率性は全国平均で6.1ヶ月であり、技術進歩10.4ヶ月、MI7.1ヶ月であった。技術効率性は、技術進歩より速度が3.5ヶ月程度速く伝播することが見いだされた。技術進歩は遅く、比較的時間がかかることが明らかになった。

技術効率性の半減期は近畿4.0ヶ月であり、もっとも収束速度が速い結果となった。近畿は府県が小さいため府県間の距離が短いとともに、近江牛、丹波牛などの産地があり、大消費地に隣接していること、他地域に比べ気象条件が似ているので技術伝播が進みやすいためと考えられる。一方、技術効率性の速度が最も遅いのは東海であった。

技術進歩の半減期は、東北が最も早く8.6ヶ月

となった。ベンチマークから距離的に最も近く、気象も類似しているため伝播しやすい環境にあるといえる。岩手県、青森県、秋田県の山間地帯を中心に飼養されている。東北は我が国の食料供給基地として重要な役割を果たしており、関東の大消費地への役割りは大きい。経営規模や環境問題による立地などのから見ても他地域に比べ伝播しやすいと思われる。また半減期が最も長い地方は九州で11.5となった。九州は、鹿児島、宮崎、佐賀、熊本と肉用種肥育牛の産地である。畜産環境問題が発生する懸念がすくない農村地域で産地化が進み、独自の生産基盤が形成されているためと考えられる。

マルムクイスト指数で半減期がもっとも短いのは近畿、四国で6.2ヶ月となった。近畿は大消費地に隣接しており、他地域との距離も近いので伝播しやすいと思われる。またもっとも半減期が長い地域は九州で8.2ヶ月であり、地域独自の経営展開がなされているため、伝播に時間がかかったと考えられる。

Ⅶ 日本の畜産経営と今後の政策的展開

肉用牛経営をめぐる環境は厳しさを増しており、経営安定のための政策を充実させなければ牛肉の自給率の急速な低下を止めることは難しいだろう。

まず肉用牛の肥育経営において肥育牛1頭当たり生産費のうち、もと畜費が占める割合は5割程度あり生産性に大きな影響を与えている。近年、もと畜となる肉用子牛の取引価格は過去最高水準で推移しており、特に黒毛和種子牛の取引価格は堅調な動きにあり、平均80万円を超える月もある。この背景には肉用牛（雌牛）の頭数減少に伴う肉用子牛の頭数減少がある。肉用牛肥育経営にとって肉用子牛の安定的な確保は生産性向上の課題となっている。

そこで農林水産省は平成27年3月に「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」を発出し、肉用牛子牛の確保のための方策として、肥育経営から繁殖・肥育一貫経営への移行を取り上げている。これは子牛価格の変動リスクを回避することを目的として打ち出している。また「飼ひ直し」の回避をできる。子牛価格の上昇により、繁殖農家は子牛に濃厚飼料を多給して牛を太らせて（高値で取引される）出荷している。このことが枝肉歩留まりを低下させ、消化器疾病等を誘発するという問題点が発生している。

このため購入した肥育農家は濃厚飼料給与料を制限し、粗飼料を多給することで余分な脂肪を落とし、胃袋を作り直してから肥育を開始している（飼ひ直し）。これに2ヶ月間を要するので、繁殖・肥育一貫経営はこの非効率な飼ひ直しを回避できるため実行的な肥育を実現できることになる。政策としては肉用中肥育経営安定特別対策事業（牛マルキン）の充実だろう。牛マルキンとは、肉用牛肥育経営の安定を図ることを目的として、肉用牛肥育経営の収益が悪化した場合に、生産者の拠出と機構の補助により積み立てられた基金から、祖父植木と生産コストの差額の9割を補填する事業である。

粗収益は期間中に食肉卸売市場または相対取引で販売された枝肉の取引価格および重量を基に算出している。しかし牛マルキンのカバーは差額の9割であり、1割は農家負担の赤字となる。毎月100頭など出荷頭数が多い農家ほど、大きいダメージとなる。制度自身はたいへん有効な事業だが、経営継続的な補填とはなっていない。よって当面の間、素牛導入の奨励金として、肉専用種1頭の出荷につき交付金を交付して経営維持を図れるような助成が必要だろう。また人口減少社会となり労働人口の減少、高齢化が一層進み労働力の量・質の低下への対応が課題となっている。

この課題に対しては、情報通信技術（IoT）を

取り入れた畜産技術進歩が必要だろう。すなわち、スマート畜産による省力化の推進である。これまでカメラの遠隔操作による牛の監視や熱センサーによる体温管理など IOT の導入による技術進歩などが不可欠と思われる。加えてビックデータを有効に活用すべきである。肉用牛には牛トレーサビリティ法に対応して個体識別情報がある。これは出生からと畜までの履歴情報について管理されている。この情報により、市町村レベルでの生産者数や飼育頭数などが時系列的に把握できる。

これだけにとどまらず、畜産経営の分析や施策効果の計測も可能となろう。担い手の減少や畜産農業者の高齢化など畜産環境は年々厳しくなっており、農業政策としても技術効率を上昇させる施策や、新たな技術進歩を提案するなどさまざまな施策を進めるべきであろう。食料自給率を向上させる観点からも生産性上げことは重要な課題だろう。

VIII おわりに

本研究では、肥育用肉用牛の技術効率性や技術進歩、マルムクイスト指数を計測し、それらが地域毎に収束するか否かという点について分析してきた。さらに、半減期、すなわち、均衡からの距離が半分になる期間を計測し、収束速度を計測した。まず、ADF 検定の結果から、各地域においてマルムクイスト指数（生産性指数）が最も良好な値であるベンチマーク（北海道）に絶対収束するという結果が得られた。また技術効率性についても絶対収束する結果が得られた。技術進歩についても同様に絶対収束することがわかった。

このことから日本の畜産は、北海道の生産性および技術効率性、技術進歩は、最も高い状態にある北海道へ追いつく傾向があることが示された。またその収束速度（半減期）はマルムクイスト指数（全国値）で、7.1 ヶ月となった。最も収束速

度が速い（半減期間が短い）地域は、近畿、四国であり 6.2 ヶ月であった。逆に最も遅い地域は九州（8.2 ヶ月）であった。東北は距離が近い上に、気象条件の似ており、経営面積も大きいため早く伝播されと考えられる。九州はベンチマーク（北海道）から距離的に最も離れている。また堆肥還元が可能な農地が豊富で畜産環境問題が発生する懸念のない農村地帯であるため地域に合った産地化となっている。

また技術効率性では、全国値は 6.1 ヶ月となった。技術効率性はマルムクイスト指数や技術進歩に比べ伝播しやすいことが明らかになった。地域別に見ると近畿が最も早い 4.0 ヶ月であった。最も遅い地域は東海となった。近畿は、規模が小さく技術を取り込みやすい構造にあると思われ地理的に便利がよく伝播しやすい立地にあると考えられる。技術進歩では、全国値は 10.4 ヶ月となった。肉用牛生産の産地である東北が 8.6 ヶ月で最も早い収束速度となった。

一方、九州が 11.5 ヶ月と最も遅い地域となっている。全国および各地域において技術効率の速度は比較的速く、技術進歩の収束速度は遅い傾向にあることが示唆された。これは伝えられた技術を効率的利用することは速く伝播するが、技術進歩が低い地域に技術自体を定着させるには時間がかかることを意味している。畜産は全国各地に飼育されているものの牛種、地域性、気象条件等が影響するものと思われる。

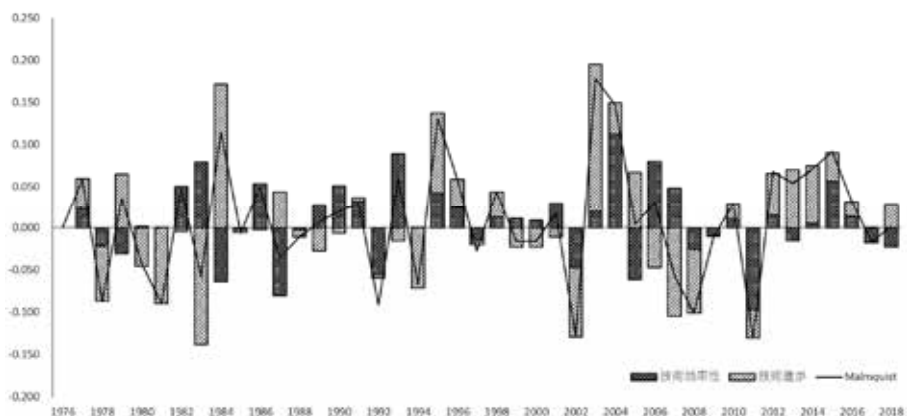
畜産政策として肉用中肥育経営安定特別対策事業（牛マルキン）の充実や、畜産労働者人口の減少、高齢化が一層進み労働力の量・質の低下が懸念される中、情報通信技術（IOT）を取り入れた畜産技術進歩が必要と考えられる。さらに牛トレーサビリティの個体識別情報を活用した政策実施、検証するなど効果的な利用をすべきだろう。

参考文献

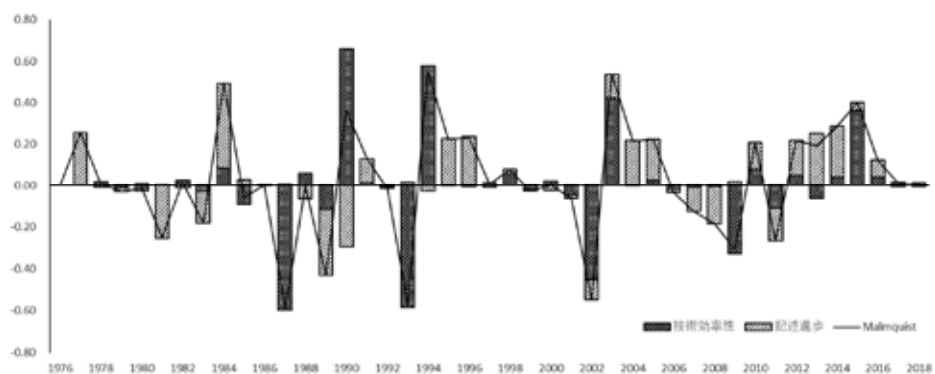
- Caves, D. W., Christensen, L. R. and Diewert, W. E. (1982) The economic theory of index number and the measurement of input, output and productivity, *Econometrica* 50: 1393-1414.
- Im, K. S., Pesaran, M. H. and Shin, Y. (2003) Testing for unit roots in heterogeneous panels, *Journal of Econometrics* 115: 53-74.
- Levin, A., Lin, C. and Chu, C. J. (2002) Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite sample properties, *Journal of Econometrics* 108: 1-24.
- Phillips, P., and P. Perron, "Testing for a Unit Root in Time Series Regression," *Biometrika*, Vol. 75, (1986), pp. 331-346.
- 近藤功庸・山本康貴 (2004) 「地域別に見たわが国稲作生産性の推移とその要因—減反開始期以降を対象として—」『農業問題研究』, 第 154 号, pp. 242-245.
- 末吉俊幸 (2001) 『DEA-経営効率分析法』朝倉書店.
- 山口三十四・霍靈光 (2004) 「包絡線分析法による旧ソ連諸国の農業技術効率性と収束の分析」『農林業問題研究』第 156 号, pp. 25-33.
- 山本康貴 (1988) 「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』, 16 巻 1 号, pp59-70.
- 李商栄・天間征 (1989) 「肉用牛肥育経営における生産性向上の要因分析」『北海道大学農経論叢』第 45 巻, pp95-117.

図 2 各地域における生産効率の変化

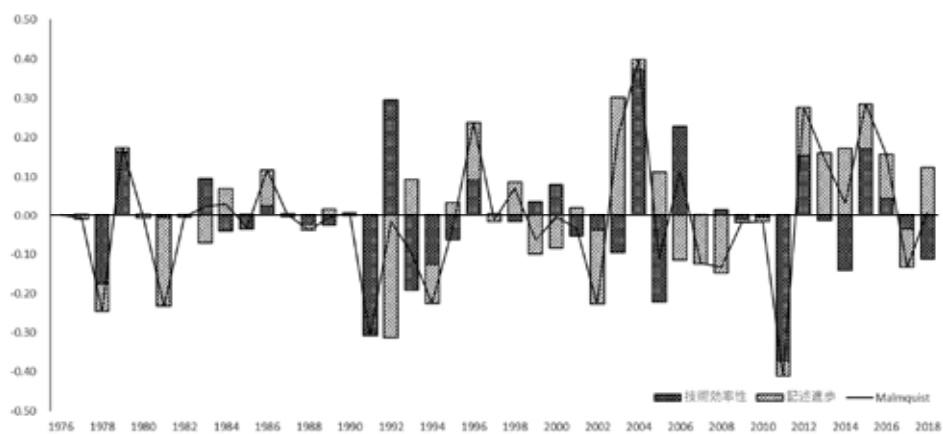
全国



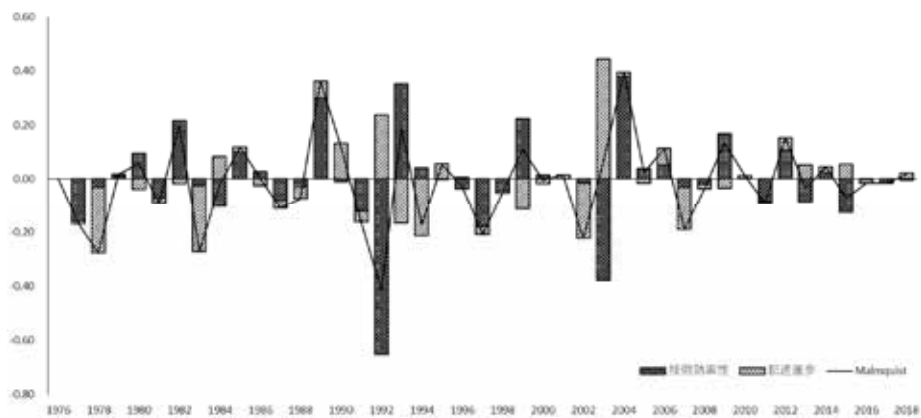
北海道



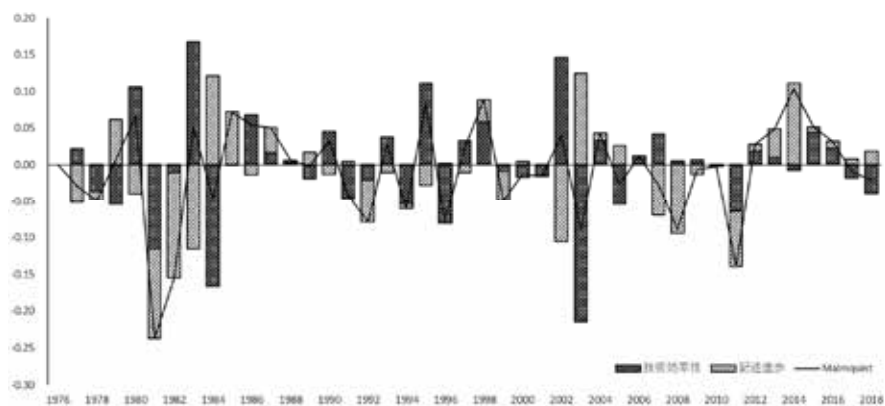
東北



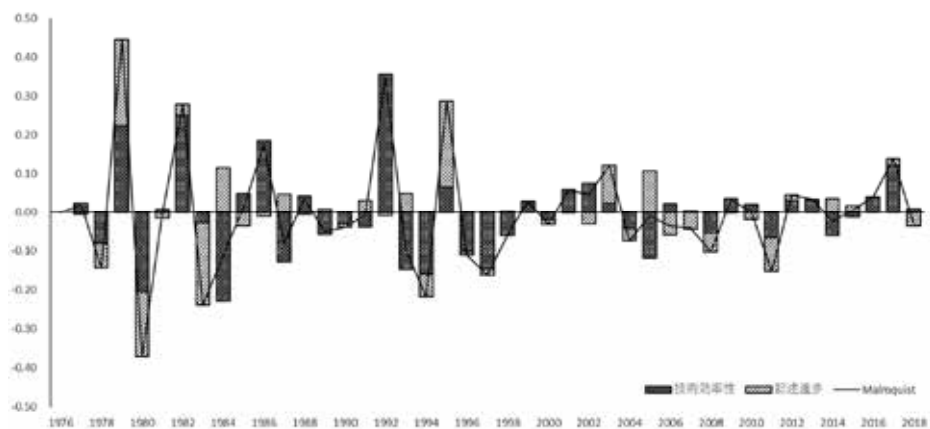
北陸



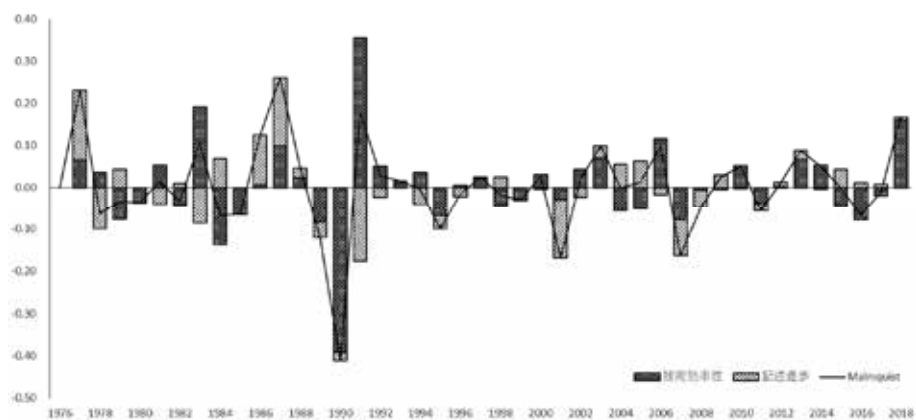
関東・東山



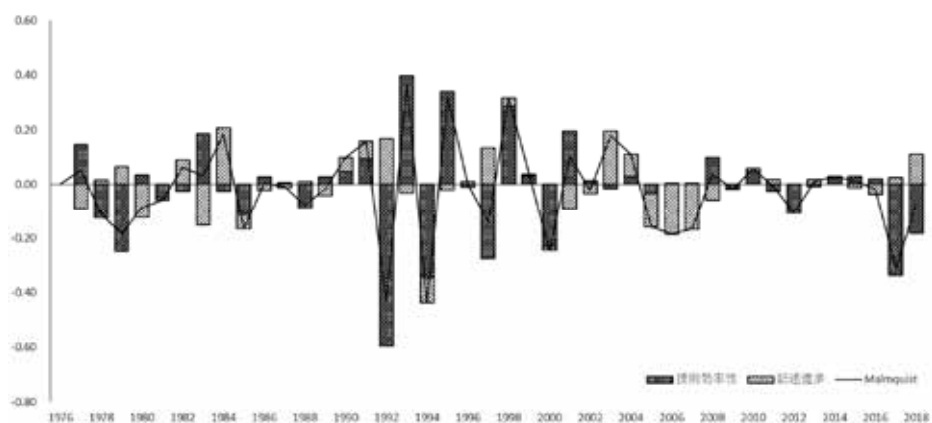
東海



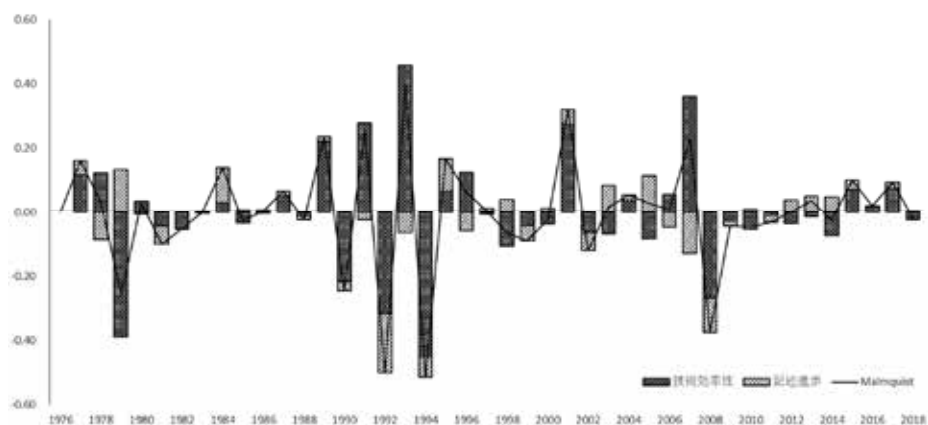
近畿



中国



四国



九州

