技術進歩の推計と「不可能の定理」

茅　野　甚治郎

目　次

Ⅰ．序

生産関数をシンプルに定義するなら，それは与えられた技術的情報の下で，各種の生産要素の投入量とそれによって産出される生産量間の，技術的関係を表わすものである。この様に，生産関数は生産の理論における最も基礎的な分析概念であり，C–D 生産関数及び CES 生産関数の定式化に伴い，定量的分析の主要な用具となってきた。

今日では，ミクロ・マクロ生産関数，事前・事後生産関数，短期・長期生産関数など，基礎的概念の認識を異にする多くの生産関数が提示されている[1)]。また推計されている関数型も，先に掲げた C–D 生産関数，CES 生産関数やレオンチェフ生産関数，またはそれらの変形及びトランス・ログ生産関数など，多くの定式化が見られる。加えて，直接的に生産関数を計測せず，生産者均衡の仮定から導かれる費用関数や利潤関数を用いた，デュアル・アプローチもなされるようになってきた。

では，技術進歩はどの様に定義されるのか。新古典派成長論において，技

1）　各生産関数の理論展開は，佐藤和夫（1975）『生産関数の理論』，L.Johansen（1972）“Production Functions” で行なわれている。また，Hayami & Ruttan〔4〕は誘発的技術革新に関連して meta–production function の概念を導入している。

術進歩は生産関数そのものを変化させるのではなく，生産関数に含まれる1つの変数と考えられた。これにより，生産関数の上方へのシフトと定義された技術進歩の定量的分析は急速に進展してきた。

R. M. Sollow の成長勘定分析における技術進歩の推計は，資本の完全可塑性を仮定し，残差として計測されている。これは，体化されない技術進歩の認識にもとづくものである。その後の展開として，Sollow はさらに資本の異質性の概念から，vintage-type の生産関数を導入した。E. F. Denison は労働の質的向上に注目し，その quality index の推計を試みている。これらは慣行的投入要素の質的向上を考慮したものであり，体化された技術進歩の認識にもとづく。また，技術進歩率の計測において説明変数の数が不十分であるとの考えから，教育・研究開発・普及活動への投資額を新しい変数として導入した Griliches らの研究がある[2)]。

さらに，これら技術進歩の量的側面ばかりでなく，農業生産構造の変化と強い因果関係をもち，その質的側面である偏向性の定量的把握への関心は近年著しく高まってきている。しかし，生産関数・技術進歩に関して様々な概念の認識がなされるなかで，すべての定量的分析がそうであるように生産関数と技術進歩に関しても，①生産関数及び技術進歩の概念認識にもとづいた理論設定　②定量的に把握し得る定式化　③統計的検定　④データという問題が混在し複雑になってきたことに注意しなければならない。

従来，技術進歩の偏向性に関する研究の多くは，C–D・CES タイプの生産関数により2時点のクロス・セクションによる代替の弾力性を推定し，それを比較することによって議論されてきた。しかし，技術進歩を含む生産関数でのタイム・シリーズ分析には重要な留意点がある。それは Diamond–McFadden により不可能の定理（Impossibility Theorem）と呼ばれる識別問題[3)]（一般的な条件のもとで，技術進歩の偏りと生産関数のパラメータを識別できない）である。しかし，近年の費用関数を用いたデュアル・アプローチでは，代替の偏弾力性が推定され技術進歩の偏向性が議論されている[4)]。

2）1960年以降の生産関数と技術進歩に関する展望論文として，稲本〔6〕，南・石渡〔10〕，尾崎〔12〕，辻村・渡部〔14〕がある。

3）Nerlove〔11〕，Diamoud, McFadden, Rodriguez〔3〕，佐藤〔13〕参照。

それではデュアル・アプローチにおいてImpossibility Theoremは解消されているのであろうか。先に掲げた①，②の観点からも，デュアル・アプローチがより実証研究への適用性を高め得るには，この問題が明らかにされなければならない。本稿の目的は，技術進歩が中立的または非中立的である両ケースについて，技術進歩率の推定方法を整理し，Impossibility Theoremとトランス・ログ費用関数によるデュアル・アプローチの関連を明らかにすることにある。

まず始めに，Ⅱ章では生産関数における中立的・非中立的技術進歩の特定化と，それぞれの技術進歩率の推定について整理する。その後，Ⅲ章でImpossibility Theoremを説明し，Ⅳ章でトランス・ログ費用関数を用いた実証分析との関連を考察する。

Ⅱ．技術進歩のタイプと生産関数

技術進歩といっても，体化されない技術進歩，体化される技術進歩，外生的・内生的技術進歩等[5)]様々な概念が存在するが，本稿における技術進歩のタイプとはJ.Hicksの定義した中立的技術進歩と非中立的技術進歩を意味する。すなわち，所得分配率（Hicksのいう生産要素の相対的分け前）との関連から生産要素の投入比率を一定とする時，所得分配率が不変であるなら「中立的」，労働の分配率を減少させるなら「労働節約的」技術進歩と定義される[6)]。

分析にあたって生産関数を次式のように仮定する。

$$Y = F/(K, L, T) \tag{1}$$

$$F_K = \partial F/\partial K > 0,\ F_L = \partial F/\partial L > 0,\ F_T = \partial F/\partial T > 0 \tag{2}$$

$$F_{KK} = \partial(\partial F/\partial K)/\partial K < 0,\ F_{LL} = \partial(\partial F/\partial L)/\partial L < 0 \tag{3}$$

Y；生産量，K；資本，L；労働

4）日本ではトランス・ログ費用関数から阿部〔1〕，加古〔8〕，Le Thanh Nghiep〔9〕，トランス・ログ生産関数からJung Hwan Lee〔7〕が代替の弾力性を推定している。

5）佐藤〔13〕は中立性の定義から出発して，種々の技術進歩を定義している。

6）Hicksは『賃金の理論』において，中立性を定義するとともに，技術進歩を「誘導的」発明と「自発的」発明に分類し，それらが偏向性を持つ可能性が高いことを指摘している。

また，(1)式は1次同次関数であると仮定する。この仮定は，生産物が全ての生産要素に分配し尽することを意味しているので，議論をシンプルに進めることができる。この仮定より(1)式は，

$$y=f(k,T) \tag{4}$$

$$f_k>0,\ f_{kk}<0,\ y=Y/K,\ k=L/K$$

となる。

Tは技術水準を表わす変数であり，時間（t）の関数と考えられる。実証分析において多くはtが明示的に生産関数に導入されている。

II－1　中立的技術進歩の推計[7)]

生産関数(1)，(4)式の上で中立的技術進歩はどの様に特定化できるか。生産者均衡のもとで，資本と労働の限界代替率をDとすると

$$D(k,T)=r(k,T)/w(k,T) \tag{5}$$

$$r=f-f_k,\ w=f_k \tag{6}$$

r; 資本利潤率，w; 実質賃金率

であり，Hicksの中立性の定義は$\partial D/\partial T=0$であるから

$$D(k,T)=\overline{D}(k) \tag{7}$$

表わすことができる。さらに(5)，(6)式を用いて，

$$\overline{D}(k)=(f-k\cdot f_k)/f_k \tag{8}$$

(8)式から

$$\partial f/f=\partial k/\{\overline{D}(k)+k\} \tag{9}$$

を得るこの式の両辺をfとkについて積分すると，

$$\ln f(k,\ T)-\ln C(T)=\int\frac{\partial k}{\overline{D}(k)+k} \tag{10}$$

ln; 自然対数

となる。$\ln C(T)$は積分定数を表わす。上式はさらに，

$$f(k,T)=C(T)exp\int\frac{\partial k}{\overline{D}(k)+k} \tag{11}$$

となり，ここで$exp\int\frac{\partial k}{\overline{D}(k)+k}=f(k)$とすると(11)式は，

$$f(k,T)=C(T)f(k) \tag{12}$$

7)　II章及びIII章における数式展開は主に荒〔2〕，佐藤〔13〕によっている。

となる。ゆえに，(1)式の生産関数において T が中立的技術進歩であるなら，それは，

$$Y=F(K,\ L,\ T)=C(T)F(K,\ L) \tag{13}$$

と表わされることになる。逆に，生産関数が(13)式で示されるなら，必らず中立的技術進歩を表わすことになるか。(13)式を K について微分すると

$$\partial Y/\partial K=C(T)\partial F/\partial K=C(T)F_K\left(\frac{L}{K}\right)=C(T)f_k \tag{14}$$

である。また，

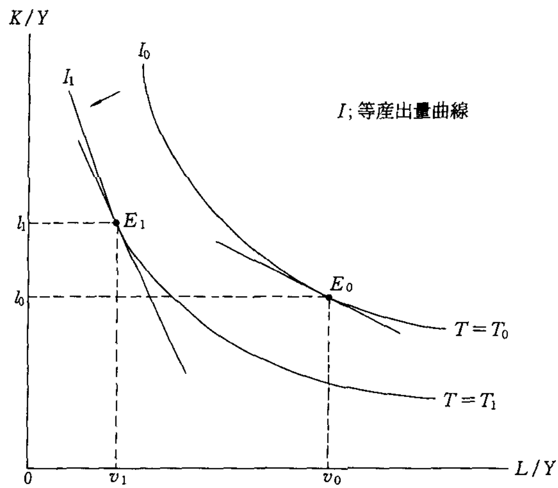
$$Y/K=C(T)F\left(\frac{L}{K}\right) \tag{15}$$

であり(14)，(15)式より

$$\partial\ln Y/\partial\ln K=F_K(k)/F(k)=\phi(k) \tag{16}$$

が成立する。$\phi(k)$ は k のみの関数であり，仮定より左辺の資本分配率は k が一定であるなら不変であることを示している。このことは上で述べた中立的技術進歩の定義にほかならない。ゆえに(13)式は技術進歩が中立的である為の必要十分条件である。

生産関数が(13)式で示される時，技術進歩の効果はどの様に推定でき得るか。



図－1　等産出量曲線と技術進歩

技術進歩の効果をY/K, Y/Lという特定の生産性によって推定することは正当ではない，何故なら図－1[8]に見られるように，E_0からE_1に技術進歩によって均衡点が変化した時，資本生産性の減少はより大きな労働生産性の増大によって相殺されるものである。ゆえに，技術進歩の効果は全体としての生産要素の生産性が問題なのであり，生産量の増加に対する技術進歩の貢献部分として推定されなければならない。

(13)式を時間に関して微分し，Yで割って整理すると，

$$G(Y)=G(C)+\alpha\cdot G(K)+\beta\cdot G(L) \tag{17}$$

$$C(Y)=\frac{dY}{dt}/Y,\quad G(C)=\frac{dC}{dt}/C,$$
$$G(K)=\frac{dK}{dt}/K,\quad G(L)=\frac{dL}{dt}/L \tag{18}$$

$$\alpha=\partial\ln Y/\partial\ln K;\text{資本分配率},\quad \beta=\partial\ln Y/\partial\ln L;\text{労働分配率} \tag{19}$$

となる。この(17)式を書きかえると，

$$G(C)=G(Y)-\alpha\cdot G(K)-\beta\cdot G(L) \tag{18}$$

仮定より$\beta=1-\alpha$だから，

$$G(C)=G(y)-\alpha G(k) \tag{19}$$

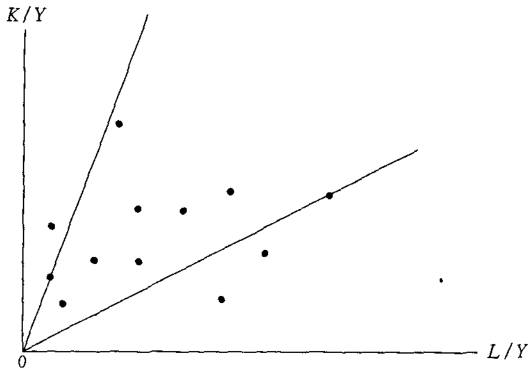
となり，(18)式，(19)式より技術進歩率$G(C)$を求めることができる。

Ⅱ－2　非中立的技術進歩の推定

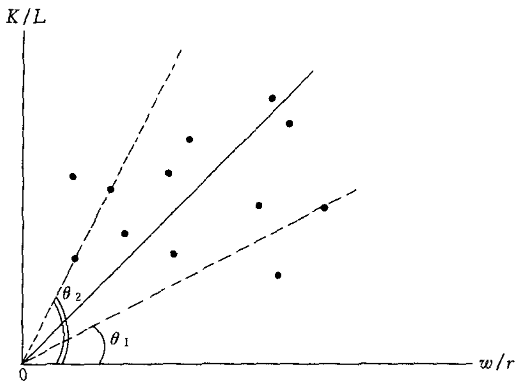
実証分析に際して，まず技術進歩が中立的であるか否かが問題となる。タイムシリーズ・データの観察において注意しなければならないのは，図－2のようにK/Y, L/Yを軸とするグラフの投入比率の変化をもって，非中立的であると仮定しバイアスの大きさをも予想することである。実証に先だつテストは，Hicksの定義に相応する図－3のようにK/L，w/rを軸とするグラフによって判断すべきである。図における$\tan\theta_1$，$\tan\theta_2$は生産要素への分配比率を表わしており，観察点が一直線上にない時，技術進歩は非中立的であると判断される。

非中立的技術進歩は一般にSollowとHarrodの中立性を合わせた要素拡大的（factor–augmenting）技術進歩として表現される。

8）等産出量曲線の原点方向へのシフトは技術進歩によると考える。



図－2　生産要素投入比率の変化
注）図における各点は観察値を表わしている。



図－3　生産要素分配率の変化
注）図－2に同じ。

すなわち,

$$Y=F\big(A(t)\cdot K,\ B(t)\cdot L\big) \tag{20}$$

ここで$A(t)$, $B(t)$ はそれぞれ質的向上を考慮したK, Lの能率係数（efficiency）を示している。1次同次関数の仮定より,

$$Z=B(t)g\left(\frac{A(t)}{B(t)}x\right)=B(t)g(q) \tag{21}$$

$$Z=Y/L,\ x=K/L=1/k,\ q=\frac{A(t)\cdot K}{B(t)\cdot L}$$

である。これより，

$$\frac{Z}{q}=\frac{g(q)}{q}B(t) \tag{22}$$

を得る。(21)式をqについて微分し，(22)式を用いると，

$$\frac{\partial \ln Z}{\partial \ln q}=\frac{g'(q)}{\psi(q)}=\phi(q),\quad \psi(q)=\frac{g(q)}{q} \tag{23}$$

が求まる。さらに(21)式をxで微分することによって，

$$\frac{\partial \ln Z}{\partial \ln q}=\frac{\partial \ln Z}{\partial \ln x} \tag{24}$$

が成立することが確かめられる。ゆえに，生産関数を(20)式で示す時，常に(23)式は成立しており，(24)式から明らかなようにqが一定ならば，生産要素への分配率も不変であることを意味している。

技術進歩率の推定は，中立的技術進歩についてと同様(20)式をtについて微分し，両辺をYで除し成長率タームで整理すると，

$$G(Y)=\alpha\left\{G(A)+G(K)\right\}+\beta\left\{G(B)+G(L)\right\} \tag{25}$$

$$G(Z)=\alpha\cdot G(A)+\beta\cdot G(B)-\alpha\cdot G(k) \tag{26}$$

が導かれる。ゆえに，上の2つの式から残差法により未知数である$G(A)$，$G(B)$を求めることはできない。中立的技術進歩と仮定して求めた技術進歩は，

$$G(C)=\alpha\cdot G(A)+\beta\cdot G(B) \tag{27}$$

と示されるように，$G(A)$と$G(B)$の加重平均となっている。

中立的技術進歩では，生産要素間の代替の弾力性（σ）は技術進歩とは独立である。一方，技術進歩が非中立的であり(20)式で表わす時，代替の弾力性は次式のように定義される。

$$\sigma=\frac{d\left(\frac{AK}{BL}\right)/\frac{AK}{BL}}{d\left(\frac{Aw}{Br}\right)/\frac{Aw}{Br}} \tag{28}$$

さらに，A，B，$k=L/K$，w，rはそれぞれの時間の関数であるから，

$$\sigma=\left\{G(A)-G(B)-G(k)\right\}/\left\{G(A)-G(B)-G(r)+G(w)\right\} \tag{29}$$

と書くことができる。

Ⅲ. Impossibility Theorem

前節において非中立的技術進歩を要素拡大的技術進歩で表わす時，その必要条件，生産量の成長率に対する$A(t)$とB(t)の貢献及び要素間の代替の弾力性を提示したが，さらにσ，G(A)，G(B)の推定問題を本章で考察する。

まず始めに，(20)式の両辺を$A(t)\cdot K$で除せば，

$$\frac{Y}{A(t)\cdot K}=f(a\cdot k) \tag{30}$$

$$a=\frac{B(t)}{A(t)},\ f(a\cdot k)=F\left(1,\ \frac{B(t)\cdot L}{A(t)\cdot K}\right)$$

が得られ，上式を使って賃金率（w）および資本利潤率（r）はそれぞれ，

$$w=Bf'(a\cdot k) \tag{31}$$

$$r=Af(a\cdot k)-kBf'(a\cdot k) \tag{32}$$

となる。(31)式を時間に関して全微分し整理すると，

$$\frac{dw}{dt}=f'(a\cdot k)\frac{dB}{dt}+\frac{B^2}{A}f''(a\cdot k)\left(\frac{k}{B}\cdot\frac{dB}{dt}-\frac{k}{A}\cdot\frac{dA}{dt}+\frac{dk}{dt}\right) \tag{33}$$

となり，さらに両辺をwで割ると，

$$G(w)=G(B)+\frac{a\cdot kf''(a\cdot k)}{f'(a\cdot k)}\left\{G(B)-G(A)+G(k)\right\} \tag{34}$$

となる。生産関数が1次同次関数の仮定からσは次式で表わすことができる。

$$\sigma=\frac{wr}{-ky\dfrac{\partial w}{\partial k}} \tag{35}$$

$\partial w/\partial k=\dfrac{B^2}{A}t''(ak)$であり，(31)(32)式および(35)式を用いて(34)式を整理すると，

$$G(w)=G(B)-\frac{1}{\sigma}\cdot\frac{r}{y}\left\{G(B)-G(A)+G(k)\right\} \tag{36}$$

となる。$r/y=\alpha$（資本分配率）を上の式に代入すると，

$$G(w)=G(B)-\frac{\alpha}{\sigma}\left\{G(B)-G(A)+G(k)\right\} \tag{37}$$

となる。(32)式についても同様にして，

$$G(r)=G(A)+\frac{\beta}{\sigma}\left\{G(B)-G(A)+G(k)\right\} \tag{38}$$

が導かれる。さらに(38)式の両辺に σ を乗じて整理すれば，

$$\beta\cdot G(B)=\sigma\cdot G(r)-\sigma\cdot G(A)+\beta\cdot G(A)-\beta\cdot G(k) \tag{39}$$

これを(26)式に代入すると，

$$G(y)-G(k)=(1-\sigma)\cdot G(A)+\sigma\cdot G(r)-G(k) \tag{40}$$

となり，次の等式が成立する。

$$G(A)=\frac{\sigma\cdot G(r)-G(y)}{\sigma-1},\quad \sigma\fallingdotseq 1 \tag{41}$$

同様に(37)式と(26)式から，

$$G(B)=\frac{\sigma\cdot G(w)-G(z)}{\sigma-1},\quad \sigma\fallingdotseq 1 \tag{42}$$

が導かれる。

上の(41)式と(42)式から明らかなように，$G(A)$ と $G(B)$ の推定には $\sigma\fallingdotseq 1$ が必要条件であり，生産関数が C–D 関数（$\sigma=1$）であるなら，生産関数から $A(t)$，$B(t)$ を分離した推定はできない。また，σ，$A(t)$，$B(t)$ の関係は

$$\left\{\begin{array}{ll}\sigma=\left\{G(A)-G(B)-G(k)\right\}/\left\{G(A)-G(B)-G(r)+G(w)\right\} & (29)\\ G(A)=\dfrac{\sigma\cdot G(r)-G(y)}{\sigma-1},\quad \sigma\fallingdotseq 1 & (41)\\ G(B)=\dfrac{\sigma\cdot G(w)-G(z)}{\sigma-1},\quad \sigma\fallingdotseq 1 & (42)\end{array}\right.$$

であり，$G(A)$ と $G(B)$ の推定には σ が既知でなければならないが，σ も $G(A)$ 及び $G(B)$ の関数となっている。ゆえに，$\sigma\fallingdotseq 1$ と仮定しても σ，$G(A)$，$G(B)$ をそれぞれ同時推定することは不可能である。この結論が，生産要素拡大的技術進歩を仮定した時の Impossibility Theorem と呼ばれる[9)]。

一方，所得分配率の変化は σ と $A(t)$ 及び $B(t)$ とどの様な関係にあるのか。

資本分配率はα：r/yであるから，その変化率は，

$$G(\alpha)=G(r)-G(y) \tag{43}$$

であり，(43)式に(38)式と$G(y)=\alpha\cdot G(A)+\beta\cdot G(B)+\beta\cdot G(k)$を代入して整理すると，

$$G(\alpha)=-\beta\left(1-\frac{1}{\sigma}\right)\left\{G(B)-G(A)+G(k)\right\} \tag{44}$$

となる。労働分配率の変化率も同様に導くことができる。

$$G(\alpha)=\alpha\left(1-\frac{1}{\sigma}\right)\left\{G(B)-G(A)+G(k)\right\} \tag{45}$$

よって(44)式と(45)式より，$\sigma=1$の時所得分配率は不変であり，また$G(A)=G(B)$すなわち技術進歩が中立的であるなら，生産要素の比率に変化がない時（$G(k)=0$）もまた所得分配率は不変であることがわかる。さらに最も重大なのは，観察データの所得分配率が一定である時，中立的技術進歩を考えがちであるが，$\sigma\fallingdotseq 1$で技術進歩が非中立的な場合においても，αとβが不変であることもあり得ることを示している。

Ⅳ．Impossibility Theorem とトランス・ログ関数

Ⅱ章およびⅢ章で，技術進歩を含む生産関数$Y=F(K,\ L,\ T)$が，中立的技術進歩の時$Y=C(t)F(K,L)$，要素拡大的技術進歩の時$Y=F(A(t)\cdot K,B(t)\cdot L)$と特定化されることを示し，その成立条件を展開した。また，要素拡大的技術進歩において Impossibility Theorem の存在と，所得分配率不変であることから中立的技術進歩を仮定することの危険性を指摘した。

では，中立的技術進歩や要素拡大的技術進歩と仮定しないで，またアプリオリな制約をもつ C–D 生産関数や CES 生産関数に定式化することなく$Y=F(K,\ L,\ T)$の変換を伴わず，直接的に要素間の代替の弾力性及び技術進歩のバイアスを推定することはできないのか。この問題に対して，トランス・ログ関数[10)]を用いたデュアル・アプローチから解答が得られると考える。

技術進歩を含む生産関数，

9) Diamond, McFadden, Rodriguez〔3〕は技術進歩のバイアスを定義して不可能の定理を展開している。

$$Y=F(x_1,\ x_2,\cdots,\ x_n,\ T),\ x_i;\text{生産要素} \tag{1)'}$$

に対応する最小費用関数は，

$$C^*=h(Y,P_1,\ P_2,\cdots P_n,\ T),\ P_i;\text{生産要素の価格} \tag{46}$$

と表わすことができる。(46)式の対数をとり，テイラー展開したのがトランス・ログ費用関数である。

$$\ln C^*=v_0+v_y\ln Y+\sum_{i=1}^{n} v_i\ln P_i+v_T\ln T$$
$$+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} r_{ij}\ln P_i\ln P_j+\sum_{i=1}^{n} r_{iT}\ln P_i\ln Y$$
$$+r_{YT}\ln Y\ln T \tag{47}$$

ここで，(47)式を生産要素価格（$\ln P_i$）で偏微分し，Shephard の補題を用いると，生産要素のコストシェア式を導くことができる。

$$S_i=v_i\sum_{j=1}^{n} r_{ij}\ln P_j+r_{iY}\ln Y+r_{iT}\ln T \tag{48}$$

(48)式のパラメータとコストシェアよりAllen の代替の偏弾力性は，

$$\sigma_{ij}=\frac{1}{S_iS_j}r_{ij}+1\ ,\quad \sigma_{ii}=\frac{1}{S^2}(\gamma_{ii}+S_i^2-S_i) \tag{49}$$

と求めることができる。ゆえに代替の弾力性に対してアプリオリな仮定もいらず，また(1)′式の生産関数を変形することなく代替の弾力性の推定が可能である。

Hicks の中立性を基準とするバイアスは，次の３つの式にそれぞれ異なって定義することができる。

(1) 生産要素の相対価格を一定とする時

ⅰ)
$$B_i=\frac{\partial S_i}{\partial T}\cdot\frac{1}{S_i} \tag{50}$$

$B_i<0$；i要素節約的，$B_i=0$；中立的，$B_i>0$；i要素使用的

ⅱ)
$$B'=\frac{\partial(K/L)}{\partial T}\cdot\frac{1}{K/L} \tag{51}$$

$B'>0$；労働節約的，$B'=0$；中立的，$B'<0$；労働使用的

10) トランス・ログ関数は Christensen, Jorgenson, Lau によって開発された。二回微分可能な関数に対して２次近似し，近似の基準点において弾力性にアプリオリな制約を設けないという flexible functional form である。

(2) 生産要素の投入比率を一定とする時

iii)
$$B'' = \frac{\partial (f_K / f_L)}{\partial T} \cdot \frac{1}{F_K / F_L} \tag{52}$$

$B''>0$；労働節約的，$B''=0$；中立的，$B''<0$；労働使用的

(50)式の定義における $\partial S_i / \partial T$ は(48)式より，

$$\frac{\partial S_i}{\partial T} = \frac{r_{iT}}{T} \tag{53}$$

となり，バイアスの定義式(50)に代入すると

$$B_i = \frac{r_{iT}}{T} \cdot \frac{1}{S_i} \tag{54}$$

となる。

ゆえに，各生産要素に対する技術進歩のバイアスは，コストシェア式のパラメータ（r_{iT}）と，データ（T, S_i）より求めることができる[11]。

ここで注意すべきことは，(49)式と(54)式を用いタイムシリーズ・データで計測した代替の偏弾力性（σ_{ij}），及び技術進歩のバイアス（B_i）がどの時点の値を表わしているのかということである。トランス・ログ関数は，厳密に言えばテイラー展開した近傍点で成り立つものであり，展開点における推定値と考えるのが適切であると考える。

なお，トランス・ログ費用関数及びコストシェア式の計測における問題として以下の点が考えられる。

i)変数間に多重共線性が生じ，推定パラメータが不安定になる可能性が強い[12]。

ii)生産者の最小費用化行動を仮定しているが，この仮定を検定する為には(47)式と(48)式の連立推計が必要であり，タイムシリーズにおいては自由度が小さくなり易い。

iii)アプリオリな制約が少ない反面，推定結果が well behaved な生産構造にもとづくかどうか検定する必要性がある。

---

11) 茅野〔15〕は，技術進歩を表わす代理変数として品種改良指数と省力的技術指数を用いてバイアスの推定を行なっている。

12) Lee〔7〕は Ridge 回帰を行なっている。

V．結び

以上で，近年展開されてきた生産者均衡におけるトランス・ログ費用関数を用いたデュアル・アプローチから，要素間の代替弾性及び技術進歩のバイアスの推定が可能であることを指摘した。タイムシリーズ分析において，図－3で見られるように技術進歩が偏向性を持つと考えられる時，技術進歩を含む生産関数を要素拡大的と仮定することなく推定するメリットがある。生産関数と議論の簡単化の為に1次同次関数と仮定して展開したが，トランス・ログ費用関数の計測に際してアプリオリにこの仮定を課す必要性はない。しかし，統計的検定とデータに関して前節で指摘した問題が含まれていることに注意しなければならない。

なお，技術進歩を推定する目的によって，前提となる生産関数の概念は異なるものであり，それに伴って技術進歩の推定方法及びデータに関しても考察する必要がある。それ故，推定に先だつ構造の特定化そのものが重大な問題となってくるだろう。

参考文献

〔1〕 阿部順一,「生産要素代替の偏弾力性」田島重雄他『近代農業経営学の理論と応用』明文書房, pp. 248～263, 1978。
〔2〕 荒　憲治郎,『経済成長論』岩波書店, 1976。
〔3〕 Diamond,P., McFadden,D. and Rodriguez,M., "Measurment of the Elasticity of Factor Substitution and Bias of Technical Change", Production Economics : A Dual Approach to Theory and Applications Vol. 2, ed. by Fuss, M. and McFadden, D., North-Holland, pp. 125～147, 1978.
〔4〕 Binswanger, H.P., Ruttan,V.W. and Others, Induced Inovation, The John Hopkins University Press, 1978.
〔5〕 Hicks,J.R.,『賃金の理論』, 内田忠寿訳, 東洋経済新報社, 1976。
〔6〕 稲本志良,「農業技術進歩の動態過程に関する生産関数分析」,『農林業問題研究』第24号, pp. 153～162, 1970。
〔7〕 Jung Hwan Lee, "Factor Relationship in Postwar Japanese Agriculture : Application of Ridge Regression to the Translog Production Function"『季刊理論経済学』Vol. 31, No. 1, pp. 33～44, 1980.
〔8〕 加古敏之,「稲作の技術進歩の性格」『農林業問題研究』第54号, pp. 18～25, 1979。
〔9〕 Le Thanh Nghiep, "The Structure and Changes of Technology in Prewar Japanese Agriculture" *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 61, No. 4, pp. 687

〜693, 1979。
〔10〕 南　亮進・石渡　茂「農業の生産関数と技術進歩1953−1965」『経済研究』Vol. 20, No. 3, pp. 226〜236, 1969.
〔11〕 Nerlove,M., "Recent Empirical Studies of The CES and Related Production Functions", The Theory an Empirical Analysis of Production, ed. by Brown, M., NBER, 1967.
〔12〕 尾崎　巌,「生産関数論覚書」『経済研究』, Vol. 29, No. 3, pp. 269〜274, 1978。
〔13〕 佐藤隆三,『経済成長の理論』勁草書房, 1968。
〔14〕 辻村江太郎・渡部経彦,「生産関数と技術進歩 ; 展望」『季刊理論経済学』, Vol. 16, No. 2, pp. 12〜26, 1966。
〔15〕 茅野甚治郎,「技術進歩の偏向性の計測」『農経論叢』第38集, 北大農学部紀要別冊, 1982。