

技術進歩の計測

— 戦後水稲作の場合 —

唯 是 康 彦

一、分析の問題点

1、戦後わが国産業の技術進歩は正に瞠目に値するものがあり、農業とてもその例外でないことは日常われわれの経験しているところである。したがって、技術進歩に対する配慮は現実分析ならびに将来予測のためには経済学の分野でも是非必要である。技術進歩は経済学では、それが生産へ及ぼす効果という側面から把握されるのが普通であるが、もしこの効果が計測できたら、生産函数や供給函数の計測には言うに及ばず、生産予測や技術促進的政策に多大の貢献を能够做到であろうことは想像に難くない。しかし、残念ながら、現在までのところ、この種の

成果は皆無に等しいと言っても過言ではない。以下にみるように、それはそれなりの理由があるのであるが、このノートでは技術進歩が水稲生産に与えた効果を極めて形式的に測定し、今後の研究の足掛りにしようとするものである。

技術進歩に関する経済学的分析は R. Solow, "A Contribution to the Theory of Economic Growth," Q. J. E. Feb. 1956. においてかなり明確な形態をとったと言われている。技術進歩を生産との関連でみると、労働使用的・資本使用的・中立的技術進歩の三種類がある。ソローは一次同次の生産函数を仮定し、技術進歩は専ら中立的なものに還元されるように工夫した。そして、実際の計測に当っては、上述の生産函数が生産物および生産要素の均衡価格体系のなかで実現していると考えたから、直接、生産函数を計測せず、所得と労働賃金および資本利子との関係から、技術進歩の生産へ与えた効果を抽出している。この方法は極めて大胆且つ単純で、それなりに意味があるのであるが、わが国のように生産物および生産要素の価格体系が均衡関係にあるかどうか疑わしいような状況では、ソローの方法の適用がややぶまれるのも当然である。この種の実測例がまだ出てこないのもそのためかとも思われる。更にとえ——均衡価格が実現するとしても、それはある長期間の平均として言えることであって、短期間には困難であるから、戦後の

わが国のように、短期間のうちに著しい技術進歩をした場合には、余りふさわしい方法とは言えないであらう。しかし、明治時代から今日までの農業技術進歩を計測するというような場合には、価格体系にある種の仮定をおけば、適用を試みてよい方法のように思われるのである。

2、ソローが実際に試みた方法のわが国農業への適用は次の機会での課題ということにして、技術進歩が比較的短期間になされ、且つ価格体系の均衡が一応、疑われる場合は、ソローの理論そのものへ戻って、生産函数の計測から出発しなくてはならないであらう。技術進歩が中立的であるなら、技術進歩が生産へ与える効果は生産函数のシフト係数として把握されることになる。したがって、二つの接近法が考えられるであらう。一つは、あらかじめシフト係数は時間の函数であると考え、生産函数の推定の際に、時間を独立変数として織り込む方法である。

いま一つの方法は、各時点で横断面の生産函数を計測し、それらの生産函数を相互に比較することから、シフト係数を導いてくる方法である。

ところで、わが国農業に関する生産函数の計測はどのような状態であらうか。経済学者の業績の大部分はある時点・ある地域の調査個表に依存した、経営学的色彩の濃いものであるか、農事試験場などの実験例に基づく、生物学的色彩の強いもので

あるかいずれかである。元来、生産函数は生産要素と生産物との間の純粹に技術的な関係であり、価格関係を含まないものであるから、従来、計測された生産函数はそれ自体としては正しいものである。ただ、技術進歩の問題意識がなかったから、時系列的に計測されていないし、また、そのように資料も整備されていない。したがって、従来の業績の上に技術進歩の計測を遂行するためには、調査個表や実験例の時系列的な整備が必要であるとともに、それらの資料を単に一地域に限定せず、全国的に集計できるように蒐取・分類しなくてはならない。その上、生物学的実験結果と経営学的調査結果との間の関係づけもしておく必要があるであらう。こんな訳で、従来の業績の上にわれわれの問題意識を設定するためには、準備されねばならない多くの事柄があるので、差し当っての計測には間に合わないのである。

3、最後にわれわれに残された途は、農林省で毎年度公表している全国的な集計資料を利用することである。しかし、農業生産は地域的に極めて異質な条件に立脚して成立しているのであるから、これらの平均値を使用することにとりだけの意味があるか甚だ疑問である。この種の資料に基づいて生産函数を計測した例は、馬場教授を中心として農林省農業観測審議会方法論部会の「供給分析」(昭年三十六年度)だけである。ここでは農

林省統計調査部『農家經濟調査報告』並びに米麦の「生産費調査報告」が利用されている。水稻反収の生産函数が農区別に昭和二六—三四年度について時系列で算出されている。その際、時間を独立変数として、生産函数のシフト係数が求められているが、結果は余り良くない。その理由の大部分は独立変数の間に多重共線關係が発生しているためと思われる。労働と資本は時系列的にみた場合、逆の方向に変化しているし、その変化が一本調子のために、時間と比例關係にあるからである。

右の多重共線關係を回避するためには、クロス・セクション資料の利用が考えられる。いま反当収量 Q_t 、反当流動資本 C_t 、反当固定資本 K_t 、反当労働 L_t 、農家当り作付面積 R_t とし、添字 t を年度、添字 n を当年度内の農家とすると、

$$Q_{nt} = a_t + bC_{nt} + cK_{nt} + dL_{nt} + eR_{nt} \dots\dots\dots (1)$$

$b \cdot c \cdot d \cdot e$ は各変数の係数で、どの年度についても一定であると仮定すると、(1)式は各年度の平均点でも成立するから、平均を点で現せば、

$$Q_t = a_t + bC_t + cK_t + dL_t + eR_t \dots\dots\dots (1')$$

(1)と(1')との差を Δ で示す、

$$\Delta Q_{nt} = b \cdot \Delta C_{nt} + c \cdot \Delta K_{nt} + d \cdot \Delta L_{nt} + e \cdot \Delta R_{nt} \dots\dots\dots (2)$$

(2)式から $b \cdot c \cdot d \cdot e$ が求められるから、常数項は次のようにして決まる。

$a_t = Q_t - (bC_t + cK_t + dL_t + eR_t) \dots\dots\dots (3)$

(3)式から明らかなように、 a_t は各年度で違った値を示すから、これは生産要素の生産へ与える効果を除いた残りの部分である。氣象条件からくる変動がないと仮定すれば、 a_t は中立的技術進歩の生産へ与えた効果とみなされるであろう。なお、各変数の係数 $b \cdot c \cdot d \cdot e$ が年度ごとに变化する場合が考えられる。この場合には手続は複雑になるが、原理的には需要函数における嗜好变化の測定において、所得弾性値が变化する場合と同じことになるので、拙稿「食糧需要における経済外要因の計測」『経済研究』一四卷三号参照)

『米生産費調査報告』からは二種類のクロス・セクション資料がえられる。一つは経営規模別であり、他は農区別である。しかし、いずれの資料に基づいて計算しても、(2)式の回帰係数 $b \cdot c \cdot d \cdot e$ のうち、いずれかの符号が負となるので、この試みは a_t を求める以前に挫折してしまつた。失敗の原因としては少なくとも次の二つのことが考えられる。一つは地域差があるにもかかわらず、これを無理して取りあつたためである。そこで、農区内を更に県別と経営規模別に細分して、農区差の算出を行なってみると、東日本と西日本との間に地域差が出てきた。しかも西日本は更にその内部の異質性が認められる。これは東日本が米単作地帯を多く含むのに、西日本は種々の農業

と兼業を含む結果であると思われる。したがって、これらの地域差を無視して、同一の生産函数を求めること自体、無理なことなのである。第二の原因は生産要素間の結びつきが極めて密接なために、再び多重共線関係が発生しているのである。この第二の原因は集計的な資料では除去することが不可能である。したがって、集計的資料から生産函数をまともを求めることは断念せざるをえなくなった。しかし、技術進歩の計算は必ずしも生産函数に依らなくとも、投入と産出関係が把握できるから、生産要素間の高い相関を逆に利用して、要因分析を適用してみることにした。

二、要因分析の適用

1、生産物の産出に当って、生産要素は何らかの仕方で結合される。限界概念に立脚した生産函数によれば、一定の産出量をうるためには生産要素の結合は無限に可能である。しかし、これはあくまでも理論上のことであって、技術体系が現実的に可能になるためには、生産要素にはその技術体系に占める重要性に關し自ら程度というものはあるはずである。この程度を生産要素のその結合におけるウェイトと呼ぶなら、このウェイトによって、全生産要素の投入水準を指数化することができるはずである。ここにいうウェイトは生産要素結合における各要素の

不可欠度のことであるから、生産要素の微分変化に対する産出量の感応度を示す生産函数の限界値ないし弾性値とは違っている。また、生産要素の価格はその需要供給関係によって決定されるものであるから、生産における総費用と上述の投入水準とは全く異なったものでなくてはならない。投入水準は純粋に技術的な概念なのである。

ところで、技術進歩が中立的であるとすれば、生産要素の技術的結合関係はその産出量との関連いかにかわらず変らないのであるから、生産要素の結合におけるウェイトも変らないわけである。そうすると、われわれは産出量とは一応切り離れた形で投入水準を求めることができるわけである。こうして別別に得られた投入水準と産出水準とを関係づけることによって、むしろ中立的技術進歩の効果を推定することができるのである。

それでは一体、このような生産要素の結合におけるウェイトはどのようにして求めることができるのであろうか。全生産要素の投入水準というものは直接に測定不可能なものであり、各種の生産要素の投入量を総括して間接的に推定されるものである。このように直接的に不可測なものの間接的推計には統計学では要因分析が使用されている。これによって不可測なものを構成する各要素のそこにおけるウェイトを算出し、そのウェイトによって各要素指数を合計し、不可測なものの総合指数を作

るのである。投入水準の測定は正に要因分析の一例であると言
うことができる。ただ、ここでは一般に言われる Principal
Component Analysis は用ゐず、M. Hagood による簡便法
を借用するにすぎぬ。(M. Hagood, "Construction of Co-
unity Index for Measuring Change in Level of Living
of Farm Operator Families, 1940—45, *Rural Sociology*,
June, 1947.) 参照。なお、Principal Component Analysis
と Hagood の簡便法との関係については三枝義清「生活構造指
数の作成について」『国民生活』第二版第二号参照)。Hagood
の方法によると、ある生産要素と残り全部の生産要素との多重
相関係数を求め、これをその生産要素の標準偏差で割って、そ
のウェイトとするのである。

既述のように、われわれが求めているものは、生産要素が現
実の世界で技術的に結合される場合の重要度であるが、これは
二つの点から把握することができる。一つは他の生産要素との
結びつきが強い生産要素は重要度が高いと言う考え方で、これ
はその生産要素と残り全部の生産要素との多重相関係数で知る
ことができる。もう一つの考え方はすべての農民が一樣の使
い方をしている生産要素ほど重要度が大いということである。
つまり、不可欠の要素となっている生産要素の使用状況は農家
間で均一化しているはずである。生産要素の標準偏差がその指

標となるのであって、これをウェイトするためには逆数が利
用されねばならないだろう。相関係数と標準偏差の比をその生
産要素のウェイトとするところの Hagood の方法は、数学的
演繹から離れて考えてみると、以上二つの考え方の合成である
と言つてかき得るであらう。

2、わが国戦後の水稲作は昭和三〇年を境として安定期に入
るので、この年の以前と以後との技術的断層を追求することも
興味があるが、ここでは昭和三〇年以降昭和五年までの安定
期に入ってから技術進歩を求めてみることにしよう。資料は
生産函数の場合と同様に『米生産費調査報告』を使用する。生
産要素は流動資本・固定資本・労働・土地とし、土地を除いて
他の三つは反当で示される。土地は一農家当り作付面積である。
流動資本は金額表示であるが、資料が時系列であるから、昭和
三二年度を一〇〇とする流動資本の価格指数を作り、それで実
質化した。固定資本は原動機と畜力との使用時間数で表示され
た。両者を合計する場合、馬力数に基づいて畜力は原動機の十
分の一というウェイトが使われたが、これはかなり大雑端なも
のであるから、今後改良される必要がある。

固定資本を金額表示にしなかったのは、近年、畜力や原動機
の賃借がふえてきているのに、金額では自己所有の部分しか示
していないからである。なお、建物価額は固定資本から落して

あるが、これは建物の生産に与える貢献が曖昧な上に、経営部分と家計部分との分割も恣意的になっているからである。

労働は労働時間を使用されたが、その際、年令や性別の配慮はなされなかった。土地も作付面積で、地価による差別はなされていない。以上の生産要素はすべて全国平均を一〇〇として指数化してある。

次に、各年度を構成する農家の種類であるが、『米生産費調査報告』では、前述のように、経営規模別と農区別との二種類がある。経営規模別農家は一町歩を境にして兼業の点でかなり異質なものを含んでいるし、計算結果は農区別の場合と余り大きく違いそうもないので、農区別農家の方を採用することにした。しかし、この場合も、生産函数のところで述べたように、東日本と西日本とはかなり様相を異にしているから、全農区に等質の技術体系を前提することは甚だ危険である。けれども、このノートは試算の域を出ないのであるから、余り細かい配慮は返って複雑となる。ここでは全農区に等質の技術体系を前提して要因分析を施してみることにする。

農区別農家の各生産要素の値を昭和三〇—三五年で一括して、各生産要素ごとに平均値を求め、これを基準にして各年度別農区の値を指数化する。次に各生産要素に残りの生産要素との多重相関を求める。その結果が第1表に示されている。大きさは

第1表 年度別・農区別生産要素間の関係

生産要素	回 帰 式	相関係数
流 動 資 本	$C = 57.453 + 0.508K - 0.144L + 0.061R$ (0.037) (0.288) (0.017)	0.641
固 定 資 本	$K = 26.210 + 0.530L - 0.072R + 0.804C$ (0.355) (0.067) (0.137)	0.692
勞 働	$L = 108.172 - 0.128R - 0.035C + 0.081K$ (0.019) (0.070) (0.055)	0.750
土 地	$R = 453.253 + 0.419C - 0.311K - 3.640L$ (0.365) (0.292) (0.552)	0.742

注. C……反当流動資本

K……反当固定資本

L……反当労働力

R……1農家当り作付面積

資料：農林省統計調査部『米生産費調査報告』(昭和30～35年)。

労働・土地・固定資本・流動資本の順であるが、いずれも大差はない。次に各生産要素の全年度・全農区にわたる標準偏差を求める。それが第2表に示されている。労働・流動資本・固定資本・土地の順に大きくなる。重要度はこの逆である。そこで、多重相関係数を標準偏差で割ってウェイトが作られる。勿論こ

第2表 年度別・農区別生産要素指数のウェイト

生産要素	標準偏差	相関係数	ウェイト
流動資本	0.149	0.641	0.117
固定資本	0.258	0.692	0.074
労働力	0.027	0.750	0.764
土地	0.450	0.742	0.045

注. ウェイトは相関係数と標準偏差の比であるが、合計して1になるように調整してある。

のウェイトは合計して1になるように調整されている。
第2表のウェイトによると、労働・流動資本・固定資本・土地の順に小さくなっている。このウェイトを用いて投入水準を指数化したのが第3表である。産

出水準の指数は年度別・農区別反当収量からこれらの平均値を基準にして作成したものである。

以上のようにして、投入水準並びに産出水準が指数化したから次にはこの両者の関係を考えてみよう。産出水準指数を O 、投入水準指数を I とし、添字 t が年度を、添字 n が農区を表わすとする。

$$O_{nt} = a_t + bI_{nt} \dots \dots \dots (4)$$

もとより、係数 b は全農区・全年度を通じて一定と仮定する。 b が年度ごとに变化する場合については次の機会に譲ることにする。各年度の全農区平均を点で示すと、(4)式は各年度の平均点でも成立するから、

$$O_{\cdot t} = a_t + bI_{\cdot t} \dots \dots \dots (4')$$

第3表 年度別・農区別投入・産出指数

農 区	指 数	昭和30年度	昭和31年度	昭和32年度	昭和33年度	昭和34年度	昭和35年度
		30年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度
北海道	投入	91.6	86.9	84.2	84.1	86.0	88.7
	産出	87.3	84.6	81.6	94.6	99.5	102.9
東北	投入	100.4	102.4	104.5	107.1	102.0	103.8
	産出	109.3	111.8	110.3	107.1	113.7	119.6
北陸	投入	111.5	107.2	107.3	105.6	110.4	111.1
	産出	107.8	102.2	109.6	96.8	115.4	115.2
関東	投入	99.6	100.0	97.3	110.9	99.4	100.7
	産出	101.5	99.0	97.8	110.8	105.4	111.3
東海	投入	104.0	96.8	94.3	95.8	96.5	93.0
	産出	97.5	88.7	95.3	85.3	89.0	101.2
近畿	投入	112.2	100.9	97.4	101.1	102.6	99.6
	産出	107.4	96.1	99.0	99.5	106.6	104.7
中国	投入	104.3	102.2	100.1	104.1	103.9	101.8
	産出	100.5	84.3	88.2	96.6	100.0	96.3
四国	投入	101.4	97.5	97.5	98.2	100.4	97.7
	産出	94.9	92.4	94.6	101.5	108.6	100.0
九州	投入	97.1	93.2	91.1	97.0	95.9	95.1
	産出	94.6	86.8	85.0	104.2	101.2	103.2

(4)式と(4')式の差を ΔO_{nt} で示すと、

$$\Delta O_{nt} = bI_{nt} \dots \dots \dots (5)$$

(5)式から b が求められると、 a_t は次のようにして決定される。

$$a_t = O_{\cdot t} - bI_{\cdot t} \dots \dots \dots (6)$$

a_t は生産要素投入の生産への効果を除いた残りの年度別生産変化である。気象条件の変化による効果をこれから除去すると

残ったものは中立的技術進歩の生産への効果を示すことになる。
われわれの例では、(5)式は

$$\Delta O_{nt} = 0.818 \Delta T_{nt}$$

相関係数は 0.675 である。これより a_t を求めると、第4表の第2欄のようになる。これは昭和三〇年を 100 として指数化されている。これを第3欄の気象反応指数で修正すると、第4欄の中立的技術進歩指数なるものが算出される。昭和三〇年以来、三一年を除いて、毎年上昇していることが明らかである。

第4表 中立的技術進歩の測定

年度	投入効果を 除いた変動	気象反応 指数	中立的技術 進歩指数
30	100.0	100.0	100.0
31	81.6	92.2	88.3
32	98.8	97.8	100.6
33	107.4	96.9	111.0
34	139.9	95.6	146.0
35	152.8	96.7	157.7