

農業研究投資の経済分析

伊藤 順一

1. 序

ソロー(R. M. Solow)の古典的研究によれば、20世紀前半における米国の労働生産性は、その8分の7までが「広義の技術変化」に帰せられ、残る8分の1が資本集約度の増加に帰せられる。いみじくもソロー自身が述懐するように、そしてまた当時の経済学者にとっても、経済成長に対する資本形成の貢献度がかくも少ないといった結論は、意外な響きをもっていたに違いない。ソローの研究を契機として、この分野における研究はこの「8分の7」の解明に注がれることとなったが、その展開方向は大きく2つの系譜に分類されるといってよい。1つは技術の発生メカニズムを解明する試みであり、周知のとおり誘発的技術進歩仮設の妥当性が多くの実証研究により示唆されている¹⁾。技術の偏向性は要素価格比率の変動を決定づける資源の希少性に依存し、残差として把握された技術変化も、実のところ経済的要因によって内生的に説明されるというのが誘発的技術進歩仮設の骨子である。一方、これとは異なる視点から技術進歩の源泉を究明する試みがなされてきた。その端緒は農業発展における研究と教育の重要性を指摘したシュルツ(T. W. Schultz)によって与えられた。以来、Griliches[13][14]、国内にあっては秋野[1]を始めとして、この研究分野には、実に多くの労力が費やされることとなった²⁾。途上国における「慣習的農業」の低位性が農民の怠慢に起因するのではなく、それは収益の高い新しい投入要素の欠如にあるという洞察は、シュルツの慧眼を端的に示している。

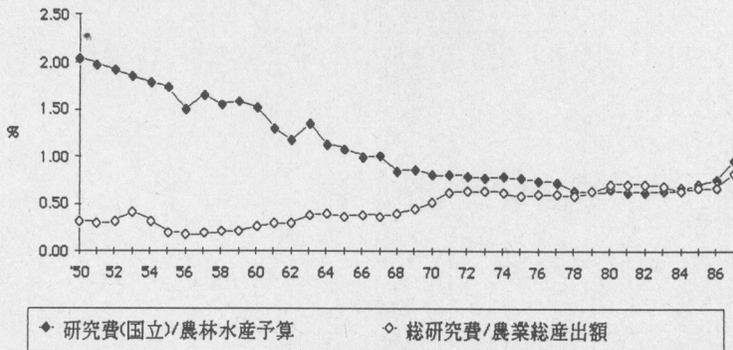
彼の着想はおもに途上国を念頭の置いたものであるが、わが国の農業においても生産性向上

は農工間所得格差の解消といった観点から、政策課題の1つであり、研究開発の重要性はつとに指摘されてきたところである。しかし、先進国を中心とする農業財政の逼迫は、研究開発の生産性に対する貢献は素より、その収益性に対する意識の高まりを生む。技術情報の公共財としての特質を根拠とする、投資の社会的報酬と私的報酬の著しい乖離は、資源配分における「市場の失敗」を引き起こす。これこそが、政府主体による研究開発活動の理論的根拠となるのだが、公的機関に特有な利潤動機欠如は、研究活動の効率的運営を阻害する要因として作用する。したがって、研究投資の収益性分析は経済学的関心に留まらず、投資の意思決定者である財政当局者にとっては、政策評価の場となるのである。

本稿の課題は以下3点に集約される。(1)旧稿[16]モデルの理論面での拡張を図りながら、農業全般に支出された研究投資の収益率を把握する³⁾。(2)旧稿で計測された稲作研究投資の内部収益率を農業全般のそれと比較し、研究投資の配分効率に関する知見を得る。(3)現下の投資収益率と投資支出額の関係から、今後の農業研究の将来を展望する。

分析の枠組みは旧稿を踏襲するものであるが、以下の点において過去の研究業績の深化、発展を意図している。(1)技術進歩の要因をフローである研究投資ではなく、それが蓄積された技術知識ストックであるとする立場にたち、使用するデータの改善を図った。(2)規模の経済性の存在によるバイアスを軽減するため、従来の生産関数分析に替わり、費用関数アプローチから技術知識ストックの限界生産力を計測する。(3)技術知識ストックの公共財的性格に着目し

図1 研究費と農林水産予算及び農業総産出額の関係



資料) 『歳出予算説明参考書』、『農林水産関係試験研究要覧』、『農林水産省予算の説明』、『農林水産試験研究年報』(いずれも農林水産省)。

ながら、技術知識ストックの限界生産力を計測する⁴⁾。

本稿の構成は次のとおりである。次節において本稿の課題に即した予備的考察を行い、第3節で分析モデルとデータ加工の概略を述べ、続く第4節で計測結果の考察を行い、最終節において課題に答える。

2. 農業研究及び改良普及事業の動向

農産物の内外価格差を背景として、コストダウンの実現は、わが国農業にとって急務の課題である。土地利用型農業における機械化の進展は、規模の経済性を発現せしめ、その結果、農地流動化の経済的条件は、十分整ったといつてよい。構造調整の推進が生産費の低下を実現することは疑いもないが、長期的な視点に立ち、農業成長の可能性を問うのであれば、技術開発の重要性が看過されてはならず、それは財政的なバックアップがあって初めて意味をなす。本節では、戦後の研究開発の動向を数字の上から探り、本稿に課せられた課題の所在を明らかにする。

図1は研究投資額と農林水産関係一般会計歳出予算及び農業総産出額との比率の推移を示している。予算に占める研究費の比率は1980年まで減少、その後バイオテクノロジー研究の拡大により僅かに上昇に転じるものの、総予算に対する比率は1%内外といった低い水準にある。

ただし、技術情報の公共財としての特性に着目すれば、農家1戸当りの研究費は、擬制的に計算される他の財政支出配分額を大きく上回ることが予想される。また、農業総産出額に対する研究費の比率は、現在0.7~0.8%の水準を維持していることが同図より看取できる。研究開発投資と農業付加価値の比率を、各国データにより分析したEvenson and Pray[10]の結果を、産出ベースで読み替えれば、1980年時点で先進国における研究費の産出額に対する比率は、平均で0.75%で最も高く、計画経済地域、途上国の水準0.25~0.4%を大きく上回っている⁵⁾。しかし、わが国の製造業における比率が概ね2~3%であることを勘案すれば、農業研究に潤沢な研究費が投下されているとはいい難い。もちろん、投下資本の効率性に関する判断は、第1課題の解明に委ねられることになる。

表1は農業関係研究費及び農業産出額の構成比を対比させたものである。産出額との比較によって、研究開発投資の部門別過不足を論ずることはもちろんできないが、1つの指標にはなりえよう⁶⁾。表示より明かであるが、ややアンバランスな研究費配分となっており、特に養蚕研究の投資額の大きさと稲作研究費の低下が特筆に値する。研究費の配分効率に関しては、第2課題と関連する本稿の重要な論点である。

図2は研究投資額及び改良普及事業費の推移を示しており⁷⁾、まず研究費の1970年代以降の

表1 研究費及び農業産出額の構成比

(単位：100万円，%)

年	研究費	米	麦	畜産	養蚕	園芸
1965	4011	25.4 (43.7)	12.6 (3.1)	31.5 (19.7)	21.4 (2.4)	9.1 (18.7)
1970	7390	21.4 (37.9)	9.9 (1.0)	37.2 (23.2)	18.9 (2.7)	12.7 (25.3)
1975	16743	18.4 (38.3)	10.6 (0.6)	34.0 (25.9)	16.4 (1.6)	20.6 (24.2)
1980	23354	17.6 (30.1)	12.8 (1.6)	36.6 (29.9)	18.5 (1.5)	14.5 (26.9)
1985	23482	17.9 (32.9)	13.6 (1.9)	38.5 (27.2)	12.2 (0.7)	17.8 (28.2)

(註) 研究費は農林水産省関係のみで名目値。上段の数字は研究費構成比、括弧内は農業産出額構成比。なお産出額構成比は雑穀、芋類、工芸作物を除外したため、その和は100%とはならない。

(資料) 『歳出予算説明参考書』(農林水産省技術会議事務局)、『ポケット農林水産統計』

停滞が注目される。大塚[24]は公共的性格が強い農業研究活動も経済的要因に誘発される点を指摘するが、果して内部収益率の変化が研究活動への財政支出を規定しているか否かは、第3課題と結びつく争点である。なお、Evenson [8]が行った研究費と改良普及事業費の国際比較によれば、技術の跛行的普及段階において後者が前者を上回ることが、ほぼ一般的に観察される。1950年代を通じて、改良普及事業費は、研究費と同額あるいはそれ以上の水準を維持しており、当時のわが国における改良普及事業の重要性を示唆している。

3. 分析モデル及びデータ

(1) 技術知識ストックの限界生産力及び費用関数の特定化

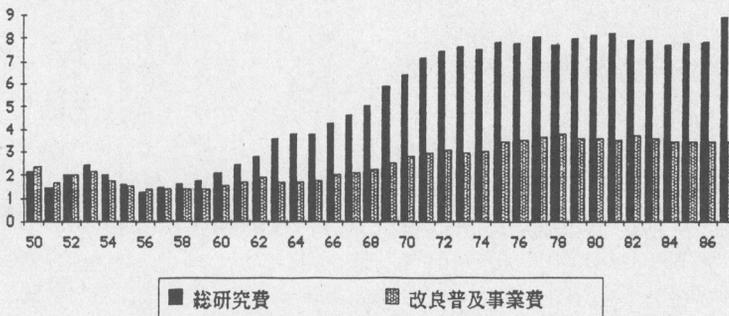
i 地域、 j 経営規模における代表的生産者の生産関数を $Q=f^{ij}(X, R)$ (X は可変的生産要素ベクトル、 R は技術知識ストック) で表す。さらに、これと双対関係にある費用関数 $C^{ij}=C^{ij}(P, Q, R)$ を定義すると (P は要素価格ベクトル)、市場において評価された技術知識ストックの実質的な限界生産力 ($\partial F/\partial R$) は、以下のように定式化される。

$$\frac{\partial F}{\partial R} = \sum \sum n_{ij} \frac{\partial f^{ij}}{\partial R} = - \sum \sum n_{ij} \frac{\partial C^{ij}/\partial R}{\partial C^{ij}/\partial Q} \dots\dots\dots(1)$$

ここで n_{ij} は i 地域、 j 経営規模に属する農家戸数である。また、 $\partial C^{ij}/\partial Q$ が生産物価格に等しければ、名目的な限界生産力は $-\sum \sum n_{ij} (\partial C^{ij}/\partial R)$ によって与えられる。教科書的な理解に従えば、公共財の市場における限界生産力は、その市場を構成する個々の限界生産力曲線を縦に積み上げて評価される。(1)式の Σ 記号はこのことを意味している⁸⁾。なお、費用関数はトランス・ログ(trans log)型により、次のように特定化した。

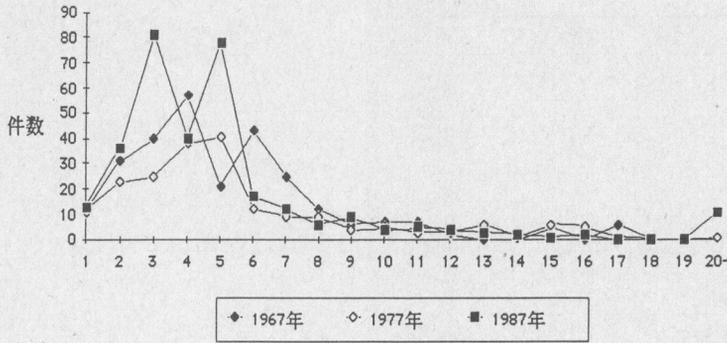
$$\begin{aligned} \ln C &= \alpha_0 + \sum \alpha_j \ln P_j + \beta_q \ln Q + \beta_r \ln R \\ &+ \beta_s \ln S + \sum \alpha_{jq} \ln P_j \ln Q \\ &+ \sum \alpha_{jr} \ln P_j \ln R \end{aligned}$$

図2 研究投資額及び改良普及事業費の推移
(1985年基準：100億円)



資料) 図1と同じ。
註) 数字は1985年価格による実質値。

図3 年代別にみた研究開発のラグ構造



資料) 『農林水産試験研究年報』(農林水産省)。

$$\begin{aligned}
 & + \sum \alpha_{js} \ln P_j \ln S + \beta_{qr} \ln Q \ln R \\
 & + \beta_{qs} \ln Q \ln S + \beta_{rs} \ln R \ln S \\
 & + \frac{1}{2} \sum \sum \alpha_{ij} \ln P_i \ln P_j + \frac{1}{2} \beta_{qq} (\ln Q)^2 \\
 & + \frac{1}{2} \beta_{rr} (\ln R)^2 + \frac{1}{2} \beta_{ss} (\ln S)^2 + \epsilon \text{DAM}
 \end{aligned}$$

P_j は生産要素価格($j=l$:労働, m :資本, i :中間投入), DAMは冷害年を1とするダミー変数である。また, 土地を固定的生産要素と見なし, S で表す。

ところで, 研究開発活動に多大な spill-over 効果が存在することは周知であり, 農業部門であれば, 農機具, 中間投入財メーカーで行われた研究開発の成果が生産要素の質的向上を媒介として, 農業生産の技術進歩に貢献していることが予想される。こうした外部効果を把握するには, 要素拡大的(factor augmenting)な生産関数を特定化した上で, 生産要素の効率性関数を計測するか, ヘドニック・プライス(hedonic price)を要素価格とする費用関数の定式化が必要となる。しかし, 費用関数のデータとして利用した『農村物価賃金統計』の価格指数は, 概念の上では品質調整済みと考えてよく⁹⁾, ここでは公表値が他産業の技術進歩を反映していると思われ, 研究開発に特有な技術知識の漏れは無視できるものと考えた¹⁰⁾。

(2) 技術知識ストックの推計¹¹⁾

技術知識ストックが, 一般的な資本と同様に扱うことが許されるなら, ストックの推計には

投資の懐妊期間と陳腐化に関する情報が必要となる。図3は『農林水産試験研究年報』に記載がある「研究期間」を研究開発のタイム・ラグと見なし, その分布をまとめたものである¹²⁾。横軸が懐妊期間, 縦軸がそれに対応する研究課題件数を表しており, その平均ラグは概ね6年であった。また, 技術知識ストックの陳腐化率 δ は, 農業研究分野で申請された特許の有効期間より計算される10%を仮定した。なお投資額は『歳出予算説明参考書』, 『農林水産関係試験研究要覧』, 『農林水産省予算の説明』, 『農林水産試験研究年報』から得られるデータに, 若干の推計作業を施し求められる。

ストック推計は以下の手順に従った。まず, R_t を t 期末における実質技術知識ストック, RF_t を t 期における技術知識フロー, E_t を t 期における実質研究開発投資支出とする¹³⁾, $RF_t = \sum \omega_j E_{t-j}$ (ω_j はラグ・ウェイト)が成立する。ここでは上記の平均ラグより, $RF_t = E_{t-6}$ として次式を導く。

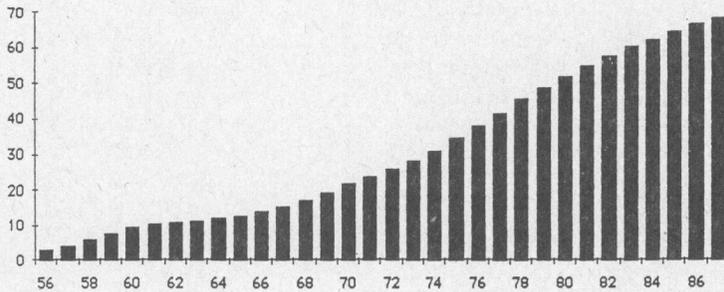
$$R_t = E_{t-6} + (1-\delta)R_{t-1}$$

ストックの年変化率を g とすると, 上式は $R_t = E_{t-6} + (1-\delta)R_{t-1} = (1+g)R_{t-1}$ となり, 基準年次(bench mark year)のストック水準 R_s は,

$$R_s = E_{s-5} / (\delta + g)$$

と表すことができる。ここで, ストックの変化率をストックの少額な時期におけるフローの変化率で近似すると, R_s の推計値が求められる。

図4 技術知識ストックの推移
(1985年基準：100億円)



資料) 図1と同じ。

註) 数字は1985年価格による実質値。

ここでは1957年から1959年にかけての投資額変化率10%をストックの変化率と見なし、1960年を基準年次とした。図4は技術知識ストックに実質改良普及事業費を加えた推移を示したもので、以下でいう技術知識ストックとはこの合計額を指すこととする¹⁴⁾。

(3) 費用関数のデータ

経営データは1960年から1987年にかけての『農家経済調査報告』を利用した。また、費用関数の推計はタイム・シリーズ・データを「都府県」及び「北海道」経営規模別データとリンクしたパネル・データにより行った。

① 賃金

労働投入については費用関数の推計にあたり、シェパード(Shephard)の補題の成立を前提とするため、賃金率は労働の限界生産力に等しいことが望ましい。ここではKuroda[21]が計測した経営規模別の帰属価格を利用した。また、労働費は帰属賃金率に能力換算労働投入を乗じて求めた。

② 中間投入財価格及び資本財価格

種苗、肥料、飼料、農薬、諸材料・加工原料、光熱動力、被服、その他財を中間投入財として集計し、テルンクヴィスト(Törnqvist)価格指数を計算した。また、農機具、自動車、建物、賃借料、動物を資本財とみなし、同様に集計価格指数を作成した。なお、その他財に対応する価格指数データは、農業生産資材総合価格指数

で代用させ、自動車価格指数の欠損値は農機具価格とリンクして求めた。

③ 生産量及び総費用

10品目の生産物についてテルンクヴィスト集計を行い、実質生産量指数を作成した。また、総費用は『農家経済調査報告』の経営費に家族労働費を加えたもので、もちろん地代は含まれていない。

4. 計測結果の検討

(1) 費用関数の推計結果

推計は費用関数にシェパードの補題を適用し、コスト・シェア方程式

$$B_j = \alpha_j + \sum \alpha_{ji} \ln P_i + \alpha_{jq} \ln Q + \alpha_{jr} \ln R + \alpha_{js} \ln S \quad (j = l, m, i)$$

を導出した後、ゼルナーによる費用関数とコスト・シェア方程式の同時推計(Zellner's iterated seemingly unrelated regression method)を実行した。また、費用関数の推計は都府県、北海道で別々に行い、その結果は表2, 3に示すとおりである。なお、費用関数の正則性条件の1つである要素価格の一次同次性については、コスト・シェア方程式の同時推計を実行し、尤度比検定により帰無仮説が棄却されないことを確認した後、パラメータ制約を課し再推計を行った¹⁵⁾。また、要素価格に関する凹性条件は満たされたものの、生産量と技術知識ストックに関する凸性条件は、北海道の一部の変数について

表2 費用関数の推定パラメータ (都府県)

α_o	-0.1103 (-4.48)	α_{is}	-0.0828 (-7.04)
α_l	0.6856 (114.59)	β_{qr}	-0.2271 (-14.85)
α_m	0.0895 (26.53)	β_{qs}	-0.2594 (-7.36)
α_i	0.2250 (48.21)	β_{rs}	0.2203 (12.47)
β_q	0.8089 (55.00)	α_{ii}	0.0700 (3.90)
β_r	-0.1573 (-5.75)	α_{mm}	0.0735 (10.43)
β_s	-0.0645 (-2.56)	α_{ii}	0.1254 (14.76)
α_{iq}	-0.0620 (-3.73)	α_{lm}	-0.0090 (-0.93)
α_{mq}	-0.0364 (-3.75)	α_{ii}	-0.0609 (-5.61)
α_{iq}	0.0984 (9.05)	β_{qq}	-0.0644 (-10.83)
α_{ir}	-0.0991 (-9.46)	α_{mi}	0.4587 (14.01)
α_{mr}	0.0657 (11.87)	β_{rr}	0.2007 (13.56)
α_{ir}	0.0334 (4.81)	β_{ss}	0.0104 (0.27)
α_{is}	0.0402 (2.23)	ϵ	0.0666 (8.24)
α_{ms}	0.0426 (4.07)		
自由度修正済決定係数		費用関数	0.99
		労働シェア方程式	0.83
		資本シェア方程式	0.91

(註) 括弧内は t 値を示す。

表3 費用関数の推定パラメータ (北海道)

α_o	-0.1128 (-2.79)	α_{is}	0.0604 (8.25)
α_l	0.6540 (66.78)	β_{qr}	-0.0594 (-6.05)
α_m	0.1385 (22.06)	β_{qs}	-0.0009 (-0.07)
α_i	0.2076 (30.16)	β_{rs}	0.0319 (2.68)
β_q	0.9181 (80.42)	α_{ii}	0.0625 (2.61)
β_r	-0.2722 (-6.97)	α_{mm}	0.0813 (4.94)
β_s	0.0156 (0.65)	α_{ii}	0.0614 (4.30)
α_{iq}	0.0586 (4.45)	α_{lm}	-0.0412 (-2.66)
α_{mq}	-0.0275 (-3.15)	α_{ii}	-0.0213 (-1.38)
α_{iq}	-0.0311 (-3.27)	α_{mi}	-0.0401 (-3.41)
α_{ir}	-0.1345 (-9.27)	β_{qq}	0.0023 (0.13)
α_{mr}	0.0936 (9.94)	β_{rr}	0.2676 (11.60)
α_{ir}	0.0408 (4.35)	β_{ss}	0.0830 (4.46)
α_{is}	-0.1057 (-10.47)	ϵ	0.1406 (9.99)
α_{ms}	0.0453 (6.75)		
自由度修正済決定係数		費用関数	0.99
		労働シェア方程式	0.82
		資本シェア方程式	0.82

(註) 括弧内は t 値を示す。

不成立となった。

研究開発の技術変化に対する偏向性は

$$\frac{\partial B_j}{\partial \ln R} = \alpha_{jr} \cong 0 \quad \begin{matrix} j \text{ 要素使用的} \\ j \text{ 要素中立的} \\ j \text{ 要素節約的} \end{matrix} \quad (j = l, m, i)$$

より判定され、表2, 3より技術変化のバイアスは、労働については節約的、それ以外の生産要素に関しては使用的に作用したことが看取できる。また、固定的生産要素である土地の実質的帰属価格は $-(\partial C/\partial S)/(\partial C/\partial Q)$ で表され、その技術知識ストックによる偏微分値は負を計測した。技術知識ストックの限界的な増加は期待に違わず、土地のレントを下落させ、土地分配率を減少させるのである。

(2) 技術知識ストックの限界生産力と投資の内部収益率

技術知識ストックの費用低下効果弾力性 $(-\partial \ln C/\partial \ln R)$ を都府県階層別に計測し、図5に示した。各農家の弾力性は1960年代中頃までは上昇を続け、1970年代後半以降、低下傾向を示している。一方、北海道における各階層の弾力性は一貫して低下傾向を辿り、1970年代半ば以降負値を計測している。一方、弾力性と経営面積の関係に注目すれば、都府県に関しては最小規模経営を除き、階層間格差が存在せず、農業研究の生物学的特性を示唆している。また、

北海道についても弾力性に階層間で有意な格差は存在しない。

ところで、負の弾力性は研究開発による費用低下効果が存在しないことと同値であり、同時に技術水準低下の現れでもある。そこで、研究開発の成果であるところの技術進歩を数量的に把握し、計測結果の妥当性を探ることにしよう。ここでは都府県の費用関数にディーワート(W. E. Diewert)のquadratic lemmaを適用し、技術進歩率 $(-\partial \ln C/\partial \ln t)$ の計測を次式により試みた¹⁶⁾。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \left[\frac{\partial \ln C}{\partial t} + \frac{\partial \ln C}{\partial s} \right] [t-s] \\ & = \ln \frac{C_t}{C_s} - \sum \frac{B_{jt} + B_{js}}{2} \ln \frac{P_{jt}}{P_{js}} \\ & - \frac{1}{2} \left[\frac{\partial \ln C}{\partial \ln Q_t} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Q_s} \right] \ln \frac{Q_t}{Q_s} \\ & - \frac{1}{2} \left[\frac{\partial \ln C}{\partial \ln S_t} + \frac{\partial \ln C}{\partial \ln S_s} \right] \ln \frac{S_t}{S_s} \\ & \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

t, s は異時点を表し、右辺第3項の $\partial \ln C/\partial \ln Q$ 及び最終項の $\partial \ln C/\partial \ln S$ は費用関数の計測値を利用した。図6は1960年を基準とする技術指数の推移を表している。各曲線の勾配が弾力性の正負と対応していれば、費用関数の計測結果との整合性が保たれたことになる。(2)式によって残差として把握された技術進歩

図5 技術知識ストックの費用低下効果弾力性

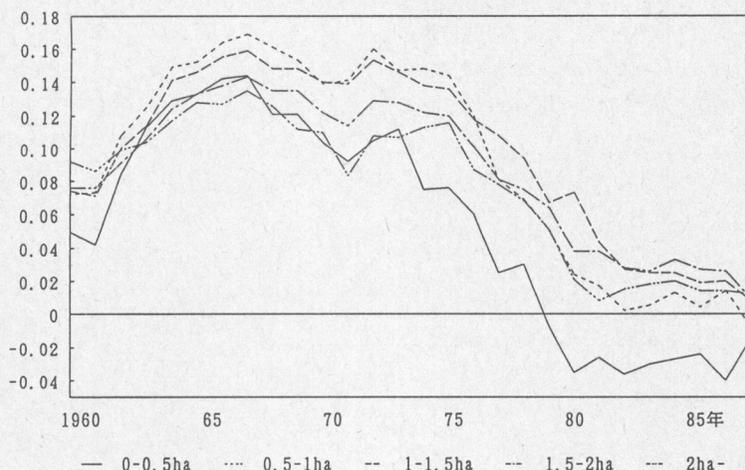
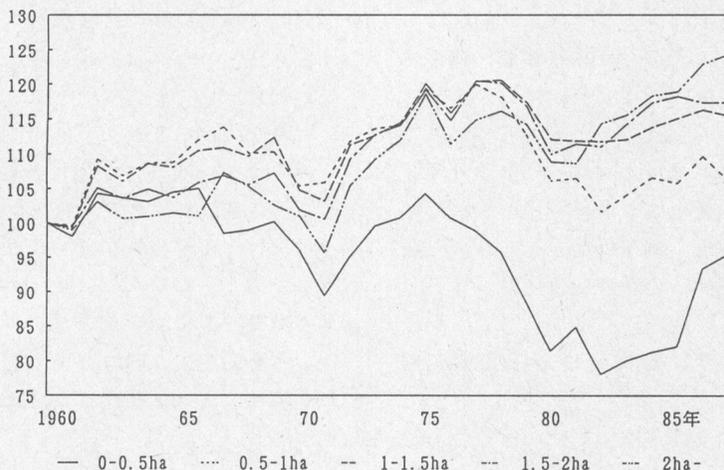


図6 都府県各階層の技術指数 (1960年=100)



は、異常気象等による攪乱項の影響を受けるため、弾力性との対応はさほど明確には現れない。しかし、1965年前後からの10年間は、各階層における技術知識ストックの費用低下効果弾力性が高い水準を維持した時期にあたり、同時に技術指数が上昇した時期に相当する。一方、その後の10年間は弾力性の低下と技術指数の停滞が定着化した時期に対応する。また、最小規模経営の技術指数は1970年代後半から100を大きく下回る水準で推移し、ここでも図5との符合点が見いだせる。

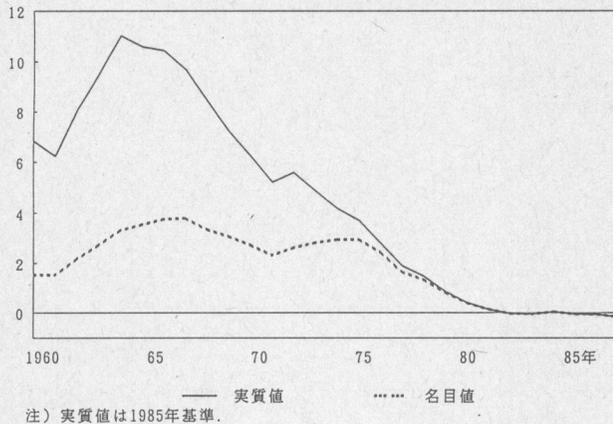
一方、個々の生産者の限界生産力を農家戸数で加重和した市場評価の限界生産力は、期間平均の名目値で1.84、実質値で4.47を計測した

が、図7に示すように、1970年代中頃より実質、名目値とも、低下傾向を強めている。名目値と実質値の相違は言うまでもなく農産物価格の変化を反映している。さらに、限界生産力に対応する研究投資の内部収益率(r)は、普及ラグを θ として、次式より計算される¹⁷⁾。

$$\exp(r\theta) = \int_0^{\infty} (\partial F/\partial R) \exp(-rt) dt$$

藤田[11]が行った技術普及の調査結果によれば、事例件数2546の内、80%にあたる農家が新技術の認知から実用まで5年を要しており、ここでは $\theta=5$ と仮定して内部収益率を計算した。上記の限界生産力に対応する内部収益率は、それぞれ33.9%、45.6%であるが、限界生産力

図7 技術知識ストックの限界生産力の推移



の低下が著しい1980年以降に関しては、利率の水準を割り込み、収益性の悪化が確認される。なお、研究開発に伴うリスク、不確実性の存在を要因として投資に伴う調整費用が発生すれば、限界調整費用に利率を掛けた分、損益分岐点は上昇し、投資収益を圧迫することになる。Bernstein and Nadiri[4]の研究によれば、米国企業の研究開発に伴う調整費用は収益率換算で設備投資の概ね2倍に相当し、これが一般的に妥当する数字なら、資金の機会費用は利率を上回る水準に設定されねばならない。かかる意味でも、1970年代後半以降に観察される収益性の悪化は大いに注目されてよい。

投資収益率の低下は、稲作研究の収益性を論じた旧稿[16]においても指摘した点である。すなわち、水稻生産における技術知識ストックの限界生産力は、1970年代後半から低下し始め、その後さらに急落するのである。また、研究費の作物間配分の効率性に関して付言するなら、農業と稲作研究の投資収益率はほぼ均衡しており、表1で指摘した稲作への過小投資は、収益性の観点から否定されることとなる¹⁸⁾。いずれにせよ、今後の研究開発戦略を模索する上でも、ここ10年間に起きた収益率の低下要因の究明が必要であろう。

考えられる要因は以下の4点である。まず、各農産物に実施されている生産調整の影響がある。技術進歩によって、右方にシフトした供給曲線が、生産調整により反対方向に引き戻され

れば、研究開発による費用低下効果は過小に評価されてしまう¹⁹⁾。

また、研究費の作物間配分の非効率率が、集計値としての収益率低下の1要因である可能性も捨てきれない。さらに、研究目標が生産費の低下から財の高品質化に向かえば、これはモデルでは捕捉できない研究開発の貢献である。しかし、ここでの最も支配的な要因は、開発技術の枯渇による技術知識ストックの収穫逡減にあるものと推察される。技術情報の創造は人的資本

投下の賜である。そしてその生成プロセス自体が1つの生産関数によって表現され、革新的な発明とは正にこの生産関数の上方シフトによって特徴づけられる。米を中心とした穀物生産の労働、土地生産性の上昇は、ここ10年間でその勢いを減速させた。土地の固定性が、技術進歩の発現を妨げている大きな原因であることは言を俟たないが、農業技術にここ数年、革新的と呼ばれる研究成果が乏しいことも見逃せない事実である。将来における収益性の好転は、今後の開発技術に負うところが大きく、現下の収益率を鑑み、基礎研究を中心とした研究環境の充実は、大いに強調されてよいのではなかろうか。

(3) 規模の経済性によるバイアス

最後に、総合生産性(TFP)分析による研究開発の貢献度の計測が、規模の経済性の存在により、バイアスをもつことを確認しておく。総合生産性は技術進歩と規模の経済性の効果を含むもので、その関係は次式により示される²⁰⁾。

$$\frac{\dot{TFP}}{TFP} = -\frac{\partial \ln C}{\partial t} + \left(1 - \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Q}\right) \frac{\dot{Q}}{Q} \dots\dots\dots (3)$$

生産関数が一次同次の時に限り、TFPの変化率と技術進歩率は等しくなる。前節(2)式で計算された技術進歩率と規模の経済性の指標より総合生産性を求め、生産性の技術知識ストック弾力性(β)を次式に従い計測した。

表4 技術知識ストックの費用低下効果弾力性

階層	費用関数	TFP	規模の 経済性	生産量 変化率	t値	R ²
0.0-0.5	0.0542	-0.0868	0.491	0.78%	-5.1	0.54
0.5-1.0	0.0927	0.0148	0.748	1.07%	0.9	0.03
1.0-1.5	0.0976	0.0619	0.886	1.47%	5.5	0.52
1.5-2.0	0.0868	0.0876	0.932	1.88%	8.9	0.75
2.0ha-	0.0774	0.1074	0.993	2.77%	10.2	0.80

(註) 費用関数の欄は前節の費用関数の推計結果から得られる弾力性、TFPは総合生産性分析から得られる弾力性である。規模の経済性は固定的要素を考慮した弾力性を示した。また、生産量変化率は年率換算値を示した。t値、R²は(4)式におけるβのt値と自由度修正済決定係数である。

$$\ln TFP = \alpha + \beta \ln R + \gamma DAM$$

(DAMは冷害ダミー)……………(4)

表4は図5に示した技術知識ストックの費用低下効果弾力性の平均値をβの推定値と対比させて示したものである。北海道に関しては、弾力性が一貫した低下傾向を示したため、計測は都府県についてのみ行った。固定資本の分割不可能性を技術的基礎とする規模の経済性は、近年特に小規模経営で顕在化している。(3)式より自明であるが、生産量の変化率が正であれば、総合生産性から求められる弾力性は費用関数による弾力性に比べ、過大に推計されるはずである。生産関数が一次同次に近い中、大規模経営は理論と整合的であり、エコノメトリック・モデルによる計測結果の妥当性を示唆しているが、経営規模1.5ha層以下については推計式の決定係数が低い上に、理論に反する結果が得られている。これは前節で行った技術知識ストックの費用低下効果弾力性と技術指数の比較からある程度予想された結果である。

ノンパラメトリックな指数アプローチは計測の簡便さゆえ、モデル推計に替わる有力な手段であるが、本稿の計測結果はその分析ツールとしての価値に疑問を投げかけている。

5. 結語

政府主導による農業研究の経済的根拠は、財としての技術が本来有する公共財的特質と、研究開発に伴う著しい不確実性の存在にある。そして、その経済パフォーマンスは、投下資本の限界的な増加と、そこから得られる限界収益流の割引現在価値を等しくさせる割引率と利子

率との比較によって判断され、その均等化は社会的経済余剰の最大化を意味する²¹⁾。過去に行われた研究開発投資の収益性分析は、分析対象となった地域、作物を問わず、そのほとんどが研究開発へのさらなる投資の必要性を示唆している。それは高い収益率に裏打ちされた結論であった。1970年代半ばまで、わが国の農業研究の投資収益率は名目値で39.4%、実質値で52.7%という、比較的高い水準を維持していた。そして、その限りにおいて、過小投資命題はわが国においても妥当性を保持していた。

しかし、投資収益率はここ10年で大幅に低下し、利子率の水準に接近する。本稿第4節の考察を念頭に置けば、すでに採算性を大きく割り込んでいたといった判断も可能であるが、いずれにせよ、60年代から70年代前半をとおして存在していた、研究費を巡る資源配分の非効率性はほぼ解消されたと考えてよい。また、1970年代に始まる収益率の低下は投資支出の停滞を伴っており、所謂誘発メカニズムの存在を肯定するがごとくである。しかし、収益率が要素価格ほどの透明さをもって、財政当局者に伝わらないことを勘案すれば、仮設の検証は弱く支持されたと結論せざるを得ない。

最後に、本稿の計測結果を解釈するにあたり、収益率の利子率への接近が、追加的な投資の必要性を否定するものではないことを特に強調しておきたい。すなわち、本分析はあくまで資金配分に関する事後的な評価であり、今後の投資戦略は不確実な将来期待に依存する。革新的な技術開発は収益性を好転させ、それこそが長期的な農業成長にとって不可欠な要素となる。収益率の利子率への接近は、研究開発のさらなる飛躍を要請するシグナルに他ならず、投資水準の現状維持を肯定するものでは断じてない。

(論文受付日1990年4月18日・採用決定日1991年2月13日、農林水産省農業総合研究所)

【補論】

個々の農家の費用関数 $C=C(P, Q, R)$ を以下で定義する。

$$C = \max PX \quad s.t. Q = f(X, R)$$

ラグランジュ関数を $L=PX + \lambda(Q - f(X, R))$ とす

ると、費用最小化の一階条件は、

$$P_i - \lambda \partial f / \partial X_i \equiv P_i - \lambda f_i = 0 \quad \dots\dots\dots ①$$

$$Q - f(X, R) = 0 \quad \dots\dots\dots ②$$

となり、陰関数定理から最適要素投入ベクトルが、 $X^* = X(P, Q, R)$ と表され、 $C = PX^*$ となる。これを R について偏微分すると、 $\partial C / \partial R = \sum P_j (\partial X_j / \partial R)$ となり、これに①式を代入すると、

$$\partial C / \partial R = \lambda \sum f_j (\partial X_j / \partial R) \quad \dots\dots\dots ③$$

を得る。一方、 X^* を②式へ代入した後、 R で偏微分すると、 $\sum f_j (\partial X_j / \partial R) + \partial f / \partial R = 0$ となる。これを③式へ代入すると、 $\partial C / \partial R = -\lambda \partial f / \partial R$ が導かれる。この場合のラグランジュ乗数 λ は、 $\partial C / \partial Q$ を意味するから、市場評価の限界生産力は(1)式で表される。なお、個々の生産者の限界生産力は技術知識ストックの共同消費の程度に大きく依存するが、技術知識ストックを完全な私的財と仮定し、費用関数を再推計した上で計算される市場評価の限界生産力は図7とほとんど同じ推移を示している。

注

- 1) 誘発的技術進歩仮説を検証した代表的論文として、Antle[2]、Binswanger[5]、Kako[18]、川越[19]、菊池[20]、Lopez[22]などがある。
- 2) 研究開発投資の経済性を扱った論文は他にも、Piekarz[25]、鈴木・宮川[29]、竹中[30]、若杉[31]他枚挙にいとまがないが、それらの多くがコブ=ダグラス型生産関数からのアプローチである。唯一 Stranahan and Shonkwiler[28]が費用関数に基づく分析である。なお、付表に過去に行われた研究開発投資の内部収益率の計測結果を示しておく。

付表 研究開発投資の内部収益率一覽

著者	国	対象	時期	内部収益率(%)
Griliches	(1958) アメリカ	ハイブリッドコーン	1944~1955	35~40
Tang	(1963) 日本	農業生産全般	1880~1938	35
Peterson	(1967) アメリカ	家禽生産	1915~1960	21~25
Ayer	(1970) ブラジル	綿花生産	1949~1967	77
Ardito Barietta	(1970) メキシコ	穀物生産	1943~1963	45~93
Evenson	(1971) アメリカ	農業生産全般	1949~1959	47
秋野	(1973) 日本	農業生産全般	1930~1935	97
Stranahan et al.	(1986) アメリカ	柑橘加工	1956~1980	57
伊藤	(1989) 日本	稲作	1969~1987	44

(註) Evenson and Kislév[9]に筆者が加筆した。なお著者の欄の括弧内は研究論文の刊行年を表す。なお、さらに詳細なサーベイがRuttan[26]にある。

- 3) 対象を農業全般に拡張することで、農業研究間に存在するであろう技術知識の spill-over 効果がある程度緩和することができる。
- 4) 技術知識の公共財的性格を考慮して、投資の収益性を論じているのは筆者が知る限り、Evenson and Kislév[9]のみである。
- 5) 農業所得率を50%として計算した。
- 6) 研究開発投資と産出額の関係から資金配分の効率性を判断する方法は、バリティ方式と呼ばれ、技術

の潜在的伸長力が各作物で等しい場合、配分効率を計る有効な方法となる。詳細はRuttan[26]を参照。

- 7) 研究費及び改良普及事業費とともに研究費デフレータ(科学技術庁『科学技術白書』)で実質化した。
- 8) (1)式の証明及び公共財における市場評価の限界生産力に関しては補論を参照されたい。
- 9) ヘドニック・プライスの理論的基礎は太田[23]を参照。なお、物価統計のデータを品質調整済み価格指数と見なすことによるバイアスの方向は一定しない。
- 10) 前掲秋野は研究開発と教育水準の向上が生産性向上の源泉であることを明らかにしている。しかし、戦後における教育水準の向上は、農家子女の労働力としての質を高め、農外就業を可能にしてきた側面が強い。本稿では改良普及事業の充実が教育効果に完全に代替したとして、これを無視する。この点に関してはWelch[32]を参照。なお、技術知識ストックが公的機関から供給され、かつ改良普及事業が農民教育に代替していることを認めれば、Shankerman[27]が指摘する研究開発投入源に関する二重計算の問題は回避される。
- 11) 技術知識ストックの推計は後藤他[12]を参考にした。
- 12) 研究開発ラグは農林水産省農業研究センター(旧農事試験場)の研究期間で代表させた。研究課題の総件数は組織改編の影響により時系列で不連続であるため、ラグ分布の形状にのみ注目する。
- 13) 研究費は農林水産関係科学技術振興費及び公立機関に投下された研究開発投資額より構成される。後者の1950年から60年までの数字は推計値である。詳細は旧稿参照。
- 14) Hayami[15]は研究費と改良普及事業費は異質なものであり、両者を加えることに異議を唱えている。これは資本ストックの集計問題として経済学における争点の1つである。なお、ストック推計によってパラメータ g の選択が恣意的になりやすい。しかし、ストック変化率の5%の変動は、結論を大きく変えるものではないことが確認された。
- 15) パラメータの対称性条件も尤度比検定の結果確認された。
- 16) 詳細はBaltagi and Griffin[3]、Diewert[7]を参照。
- 17) 内部収益率の計算式はケインズが定義した資本の限界効率を連続型に表現したものであり、追加的な ΔR 単位の投資と、それから得られる限界収益 ΔQ の流列の割引現在価値を等しくさせるような割引率として定義される。したがって、内部収益率は R がストック・タームの時、はじめて意味をもつ。
- 18) 冒頭で指摘した農業研究間に存在する技術知識の spill-over 効果を考慮すると、稲作研究投資の内部収益率は過大推計の可能性もある。
- 19) 経営規模別データを利用したため、生産調整による経営規模の縮小といった直接的影響をモデルに取り入れることができない。ここでいう生産調整の効果とは、例えば、効率的生産に対するインセンティブの低下等を指す。
- 20) Capalbo[6]を参照。
- 21) 研究開発がもたらす経済余剰の分配は重要な

論点である。拙稿[17]はこの分配問題を技術知識ストックの最適水準の関係で論じている。また、内部収益率と社会的余剰の関係についても拙稿を参照。

引用文献

- [1] 秋野正勝「試験研究、教育と農業成長」(『農業総合研究』第27巻第1号, 1973年), 43-78.
- [2] Antle, L. M. "The Structure of U. S. Agricultural Technology, 1910-1978." *American Journal of Agricultural Economics* 66 (November 1984): 415-421.
- [3] Baltagi, B. H., and Griffin, J. M. "A General Index of Technical Change." *Journal of Political Economy* 96 (February 1988): 20-41.
- [4] Bernstein, J. I., and Nadiri, M. I. "Rates of Return on Physical and R & D Capital and Structure of the Production Process: Cross Section and Time Series Evidence." (mimeo).
- [5] Binswanger, H. P. "The Measurement of Technical Change Biases with Many Factors of Production." *American Economic Review* 64 (December 1974): 964-976.
- [6] Capalbo, S.M. "A Comparison of Econometric Models of U. S. Agricultural Productivity and Aggregate Technology." In S. M. Capalbo and J. M. Antle eds., *Agricultural Productivity, Measurement and Explanation*. Washington, D. C.: Resources for the Future, 1988, 159-187.
- [7] Diewert, W. E. "Superlative Index Numbers and Consistency in Aggregation." *Econometrica* 46 (July 1978): 883-900.
- [8] Evenson, R. E. "The Organization of Research to Improve Crops and Animals in Low-Income Countries." In T. W. Schultz ed. *Distortions of Agricultural Incentives*. Bloomington and London: Indian University Press, 1978, 223-258.
- [9] Evenson, R. E., and Kislev, Y. *Agricultural Research and Productivity*. New Haven and London: Yale University Press, 1975.
- [10] Evenson, R. E., and Pray, C. E. *Research and Productivity in Asian Agriculture*. Ithaca and London: Cornell University Press, 1991.
- [11] 藤田康樹『農業指導と技術革新』(農山漁村文化協会, 1987年).
- [12] 後藤晃・本城昇・鈴木和志・滝野沢守「研究開発と技術進歩の経済分析」(『経済分析』第103号, 経済企画庁経済研究所, 1986年).
- [13] Griliches, Z., and Mairesse, J. "Comparing Productivity Growth." *European Economic Review* 21 (March/April 1983): 89-119.
- [14] Griliches, Z. "Research Expenditures and Growth Accounting." In Z. Griliches ed. *Technology, Education, and Productivity*. New York: Basil Blackwell Inc., 1988, 244-267.
- [15] Hayami, Y. "A Critical Note on Professor Tang's Model of Japanese Agricultural Development." *Economic Studies Quarterly* 15 (August 1965): 47-54.
- [16] 伊藤順一「稲作における研究開発投資の経済性」(『農業総合研究』第43巻第4号, 1989年), 1-36.
- [17] 伊藤順一「研究開発投資の社会的最適性」(『農業経済研究』第63巻第4号, 1992年), 207-216.
- [18] Kako, T. "The Decomposition Analysis of Derived Demand for Factor Inputs: The Case of Rice Production in Japan." *American Journal of Agricultural Economics* 60 (November 1978): 628-635.
- [19] 川越俊彦「農業発展と誘発的技術変化: 日米比較」(『農業総合研究』第39巻第1号, 1985年), 1-63.
- [20] 菊池眞夫「農業試験研究投資の誘発機構」(『農業総合研究』第42巻第3号, 1988年), 1-25.
- [21] Kuroda, Y. "Estimating the Shadow Value of Farmland in Japanese Agriculture, 1958-1985." *Discussion Paper Series No. 388*, Institute of Socio-Economic Planning. The University of Tsukuba, 1988.
- [22] Lopez, R. E. "The Structure of Production and the Derived Demand for Inputs in Canadian Agriculture." *American Journal of Agricultural Economics* 62 (February 1980): 38-45.
- [23] 太田誠「ヘドニック・アプローチの理論的基礎, 方法および日本の乗用車価格への応用」(『季刊理論経済学』第29巻第1号, 1978年), 30-55.
- [24] 大塚啓二郎「農業研究投資の決定因」(森島賢・秋野正勝編『農業開発の理論と実証』, 養賢堂, 1982年), 99-114.
- [25] Piekarcz, R. "R & D and Productivity Growth: Policy Studies and Issues." *American Economic Review* 73 (May 1983): 210-214.
- [26] Ruttan, V. W. *Agricultural Research Policy*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1982.
- [27] Shankerman, M. "The Effect of Double-Counting and Expensing on the Measured Returns to R & D." *The Review of Economics and Statistics* 63 (August 1981): 454-458.
- [28] Stranahan, H. A., and Shonkwiler, J. S. "Evaluating the Returns to Postharvest Research in the Florida Citrus-Processing Subsector." *American Journal of Agricultural Economics* 68 (February 1986): 88-94.
- [29] 鈴木和志・宮川努『日本の企業投資と研究開発戦略』(東洋経済新報社, 1986年).
- [30] 竹中平蔵『研究開発と設備投資の経済学』(東洋経済新報社, 1986年).
- [31] 若杉隆平『技術革新と研究開発の経済分析』(東洋経済新報社, 1986年).
- [32] Welch, F. "Formal Education and Distributional Effects of Agricultural Research and Extension." In W. L. Fishel ed. *Resource Allocation in Agricultural Research*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1971, 183-192.