

中国農業の化学肥料投入と生産性に関する研究： 米・小麦・トウモロコシ生産を事例として

豊田 知世¹・金子 慎治²・田中 勝也³

¹学生員 広島大学大学院国際協力研究科 (〒739-8529広島県東広島市鏡山1-5-1)

E-mail:toyota21@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 広島大学助教授 大学院国際協力研究科 (同上)

E-mail:kshinji@hiroshima-u.ac.jp

³非会員 広島大学助手 大学院国際協力研究科 (同上)

E-mail:katsuyat@hiroshima-u.ac.jp

中国では、農業生産性向上のため、年々多くの化学肥料が投入されており、現在世界第一位の肥料消費国である。しかし、増え続ける大量の肥料投入が、生産性を高め続けているだろうか。本研究は、1986年から1996年を対象に、米、小麦、トウモロコシの各品目について化学肥料投入の効率性を省別に測定し、その効率性の違いに影響する要因の特定を試みた。その結果、以下の点が明らかになった。第1に、全国的に年々米の肥料効率値は下がり、小麦の肥料効率値は上がっている。第2に、農村の所得水準が上がるにしたがい、肥料効率性は下がる傾向がある。第3に、化学肥料を多く生産している省ほど肥料効率性が低い。第4に、米と小麦の肥料効率は気象条件により大きく影響を受ける。

Key Words :China, Production function, Agricultural Productivity, Chemical fertilizer, Stochastic Frontier Analysis

1. はじめに

2004年に中国は食料需要の増加に国内生産が追いつかず、農産物の純輸入国に転じた。国連が予想した中国の人口増加は2030年ごろにピークを迎えるため、昨今の経済成長を踏まえると今後ますます多くの食料需要が見込まれる。したがって、国内の農業生産性向上は中国における緊急課題のひとつである。韓国や日本では、農業生産性を上げるために資本や技術の投入が不可欠であったことが実証されており、とりわけ化学肥料は土地生産性を高めるために重要な役割を果たしてきた¹⁾、²⁾。現在中国では、農村所得が上昇し、肥料や機械の相対価格は下がっている³⁾。これは農業の近代化を示唆しており、農民にとって資本が入手しやすくなりつつあることを示している。そのため、生産向上のため化学肥料投入量も増加し続けている。また、国内の工業技術力が向上するにつれて国内化学肥料自給率も高まり、化学肥料消費量の増加に拍車をかけている³⁾。

図-1 は中国の肥料消費量¹⁾の変化とその規模を見

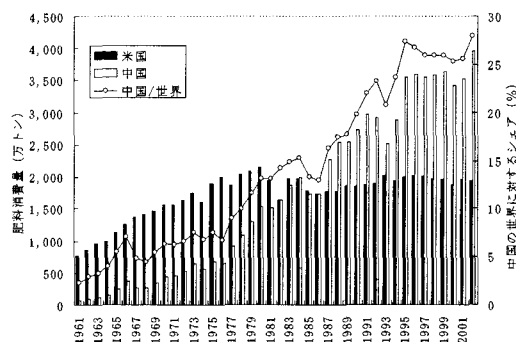


図-1 中国と米国の肥料消費量

(出所：Faostat. CD-ROM⁴⁾)

るため、世界最大規模の肥料消費国である米国との比較を行った。1980年代後半から中国の肥料消費量はアメリカの肥料消費量を追いこし、以来化学肥料消費規模は世界第1位である。これは世界全体の肥料消費量の約30%に相当する規模である⁴⁾。

こうして投入された大量の化学肥料は生産性の向上に寄与しているのであろうか。図-2 は肥料投入量と穀物収穫量の関係を示している。1980年から1985年までは肥料投入量に対して収穫量の増加が比較的急速な時期といえる。他方、1985年から

¹ 化学肥料と有機肥料の合計

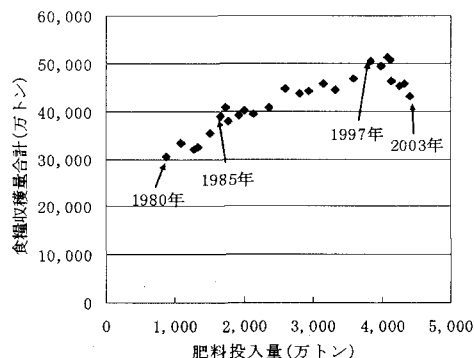


図-2 化学肥料投入量と収穫量の関係
(出所：中国統計年鑑各年版より作成)

1990年代後半にかけて投入された肥料の量に対して生産量の増加は若干緩やかになるが、順調に収穫を伸ばしている。そして、1990年代後半から2003年現在まで肥料投入量が增大しているにも関わらず、収穫量が減少するという期間に転じた。化学肥料の過剰投入によって流出した有機物質が、周辺水域の水質汚染など環境汚染を引き起こすことが懸念されている^{5), 6)}。化学肥料の過剰投入は、土地の生産性をむしろ低下させる要因ともなる。また、中国の農村では、1990年代後半から「中国の三農問題」が深刻化し、農業の低生産、農村の荒廃、農民の貧困が進行した⁷⁾。急速な工業化、経済成長の一方でこうした農村の崩壊、停滞が農業の生産性そのものに影響し、ひいては肥料生産性にも影響している可能性がある。

中国農業の生産性分析については、様々な投入要素の組み合わせによる実証がなされている。例えば、Mcmillan, et al⁸⁾は肥料や作付面積について、Wu⁹⁾は労働、土地、資本、固定資産、Zhang and Carter¹⁰⁾は労働、資本、土地を、Lin¹¹⁾は土地、労働、資本、化学肥料を投入要素とした、中国農業の生産性分析をおこなっている。しかし、これらに共通するのは、それぞれの投入要素の生産効率を分析しているものの、農業全体にとっての生産性評価である。

中国において特定の作付け品目に特化した経済生産性の分析は少ない。Huang and Rozelle¹²⁾は米の生産性について分析しているが、米に投入される各生産要素を、全農作物に対する米の作付面積比率で推計しており、全農作物における投入要素構成と同じとなっている。しかし、実際には、単位面積当たり投入される生産要素構成は作付け品目ごとに異なる。中国では、各品目に対する品目別生産要素投入量についてのまとまったデータは無いため、中国の農業生産性について品目別に分析を行うことはほと

んどなされていない。また、肥料の効率性についての研究は、作付けの組み合わせによる効果的な施肥効果の実験など、自然科学や農業分野での分析は行われているが^{13), 14)}、社会経済学的アプローチによる化学肥料の生産効率性についての分析はなされていない。

以上から本研究では、1985年から1997年までの作付け品目別の肥料効率性を分析し、品目別に肥料効率性がどのように推移したか、品目別に大きな違いがあるかどうかを確認することを目的とする。そこで、まず品目別の生産要素投入量の推計を試みた。そして、得られた結果を用い、主要穀物品目である米、小麦、トウモロコシについて、生産フロンティア分析手法のひとつである確率的フロンティア分析(SFA: Stochastic Frontier Analysis)によって省別の肥料生産性を計測する。そして、トビット分析により肥料生産性の地域間格差をもたらす要因について特定を試みる。

2. 分析方法

(1) 確率的フロンティア

生産関数による生産性分析では、生産関数のパラメータ推計方法が問題となる。確率的フロンティア生産関数では、誤差項に通常の確率誤差項に加えて非効率項を加えて関数のパラメータを推計することが特徴である。これによって、最も効率的な可能集合として生産フロンティア曲線を固定することができ、フロンティアとの関係において各生産主体の非効率性の分析を可能とする。この確率的フロンティア分析はAigner¹⁵⁾やMeeusen¹⁶⁾により提案された計量経済的手法である。

本研究では以下のトランスログ型生産関数を採用した。

$$\begin{aligned}
 \ln(\hat{Y}_i) = & \beta_0 + \beta_L \ln(X_i^L) \\
 & + \beta_A \ln(X_i^A) + \beta_F \ln(X_i^F) \\
 & + \frac{1}{2} \beta_{LL} [\ln(X_i^L)]^2 \\
 & + \frac{1}{2} \beta_{AA} [\ln(X_i^A)]^2 \\
 & + \frac{1}{2} \beta_{FF} [\ln(X_i^F)]^2 \\
 & + \beta_{LA} \ln(X_i^L) \ln(X_i^A) \\
 & + \beta_{AF} \ln(X_i^A) \ln(X_i^F) \\
 & + \beta_{FL} \ln(X_i^F) \ln(X_i^L) \\
 & + \text{time_trend} + Y_i^0 + (v_i - u_i)
 \end{aligned} \tag{1a}$$

Output Y

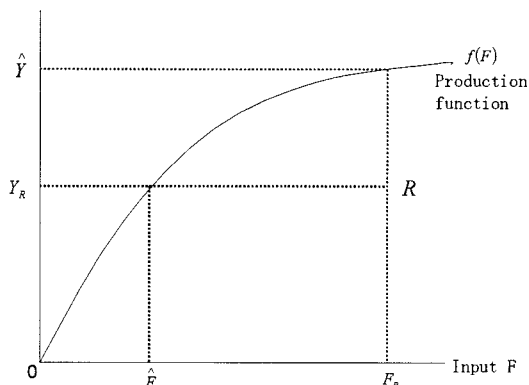


図-3 フロンティア生産関数と効率性

ここで、 $\hat{Y}_i$ は i 作物の収穫量、 X_i^L 、 X_i^A 、 X_i^F は各作物に対するそれぞれ労働、土地、化学肥料の投入量を示す。各 β は推定すべき未知のパラメータを示している。また v_i は確率的誤差で、 u_i は技術的非効率を表しており、 u_i は半正規分布に従うと仮定した¹⁷⁾。また、パラメータの推計は最尤法を用いて求めた。なお、time trend は 1986 年を 1 としたタイムトレンドで時間と共に変化する一定のトレンドを示し、 Y_i^0 は化学肥料を投入しない場合の各生産物の収穫量である。これは、各地域の土地本来の生産性の違いを取り除くための代理変数として、とりわけ生産に影響を受けやすい米と小麦に対して用いた。

本研究における肥料効率性とは、その他の生産要素の投入量を固定して、一定の生産量を生産するために投入される最も少ない化学肥料投入量と定義される。図-3 はフロンティア生産関数のアウトプット $\hat{Y}$ と化学肥料投入量 F との関係を示したものである。この場合、R 点での現在の化学肥料投入量 F_R を、同じ生産量 Y_R の生産を行うためにフロンティア生産関数上の $\hat{F}$ まで減らすことが技術的に可能であることを示している。したがって、R 点での化学肥料投入量は、フロンティア生産関数に対して $\hat{F}/F_R$ だけ非効率であるといえる。効率値 $\hat{F}/F_R$ は 0 から 1 の値をとり、実績 R がフロンティア上に近ければ近いほど効率値は 1 に近づく¹⁷⁾。 i 作物の肥料効率性 FE_i は以下の式で表される。

$$FE_i = \exp \left[\frac{(b_i^2 - 2u_i\beta_i^{FF})^{\frac{1}{2}} - b_i}{\beta_i^{FF}} \right] \quad (1b)$$

$$b_i = \beta_i^F + \beta_i^{AF} \ln(X_i^A) + \beta_i^{FL} \ln(X_i^L) + \beta_i^{FF} \ln(X_i^F) \quad (1c)$$

また、図-3 の R 点から垂直方向の生産フロンティア曲線状の生産量 $\hat{Y}$ は、現在の投入要素をもって技術的に最も多く生産可能な生産量を示す。この関係から肥料効率性と同様の方法で得られる効率性を技術効率性と称する。

(2) トビット分析

トランスログ型確率的フロンティア生産モデルで推計された肥料の効率性の違いが、どのような要因によるものかを、以下のトビットモデルで計測する。

$$FE_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum_j \lambda_j S_{ij} + \varepsilon_i \leq 0 \\ \sum_j \lambda_j S_{ij} + \varepsilon_i & \text{if } 0 < \sum_j \lambda_j S_{ij} + \varepsilon_i < 1 \\ 1 & \text{if } \sum_j \lambda_j S_{ij} + \varepsilon_i \geq 1 \end{cases} \quad (2a)$$

ここで、

FE_{ij} = 肥料効率
 S_{ij} = 説明変数 (j = 天候、インフラ整備、所得など)
 λ_j = 推計パラメータ
 ε_i = 誤差項、 $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

(3) データ

米、小麦、トウモロコシの各収穫量と作付面積は「中国統計年鑑各年版³⁾」に毎年省別に掲載されているが、その他の生産要素、ここでは、農業機械使用量、化学肥料投入量、労働などについては、農作物生産全体に対するデータしかなく、品目別データは得られない。他方、「建国以来全国所要農産品成本収益資料集編 1953～1997 (下巻)¹⁹⁾」には、1 ムー (1 ムー = 0.067 ha) 当たりの各種生産投入要素の費用について、省別品目別に掲載されている。本研究では、この品目別の単位面積当たりの費用によって、農業生産全体の総投入量を品目別に按分する。これによって、主要な生産投入要素について省別、品目別データが得られる。データの得られる期間は 1985 年から 1997 年までである。本研究では SFA 分析によって、米、小麦、トウモロコシの 3 つのフロンティア生産関数を推計する。生産投入要素は前述の通り、労働、土地、化学肥料である。ただし、労働について、有意な値が得られない場合には、代替投入要素である機会使用量を代用した。生産量である品目別収穫量 (万トン)、投入要素である省別の化

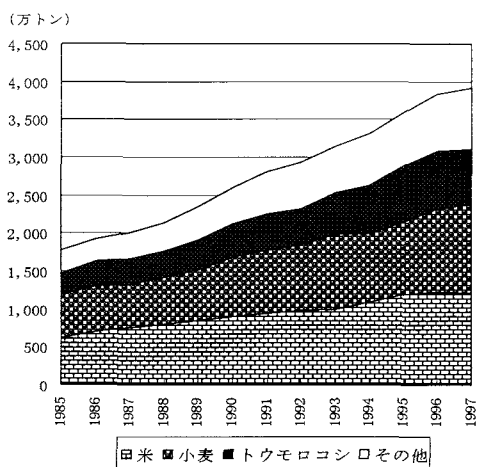


図-4 化学肥料消費量の作物別構成

(出所：中国統計年鑑各年版と建国以来全国主要農産品
 成本収益資料集編 1953～1997 (上・下巻) より作成)

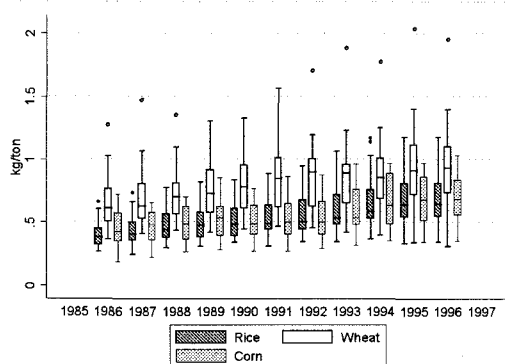


図-5 品目別収穫量に対する化学肥料投入量変化

(出所：中国統計年鑑各年版と建国以来全国主要農産品
 成本収益資料集編 下巻)

学肥料の総消費量（肥料：万トン），品目別作付面積（作付面積：万ムー），農業労働人口（労働：万人），総機械使用量（機械：万kw）は「中国統計年鑑各年版³⁾」から得た。ただし、これらのうち科学肥料，労働人口，総機械使用量は農業全体の値である。省別の品目別の化学肥料の費用（元），労働賃金（元），機械の費用（元）は，「建国以来全国所要農産品成本収益資料集編1953～1997(下巻)¹⁹⁾」から得た。モデルの推計において，有意なパラメータが得られない場合には生産要素から除外した。

他方，肥料効率性の時間的変化と地域間格差を説明する指標として，年平均気温（℃），年平均降水量（mm），年平均日照時間（時間），各品目の単

位収穫量当たりでみた水利施設建設投資（万元／トン），前年度の農村純所得（元），各省の化学肥料投入規模に対する工業部門における化学肥料生産量の比率，各品目の生産規模（万トン）を用いた。水利施設建設投資のデータは「中国固定資産投資統計年鑑1950－1995²⁰⁾」から得た。その他の変数は「中国統計年鑑各年版³⁾」から用いた。また，金額データは対象初年度の前年である1984年を基準とした物価指数で実質化した。

以上によって得られた1985年から1997年の13年間の品目別データの例として，肥料消費量の品目構成を図-4に示した。本研究で対象とする米・小麦・トウモロコシの肥料消費量の割合は，肥料消費量全体の約8割に当たる。

本研究では長期的な生産効率性の変化を分析するため，気象変動などの影響を取り除くことを目的として，すべてのデータを3年移動平均して用いた。これにより，分析期間は1986年から1996年までの11年間である。図-5は各品目ごとに1トンの生産に必要な化学肥料の投入量を箱ひげグラフで示している。箱の中央の水平線は中央値を表しており，箱の範囲に実際の分布の50%が含まれている。箱の高さの1.5倍以内の最も中央値から離れた点に直線をひき，それ以外の値は外れ値として点で表されている。この図より，作物別の肥料投入量は小麦が最も多く，同じような水準の米とトウモロコシに比べて，2～3割程度高いことが分かる。時間変化でみるといずれの品目も年々一貫して上昇していることが分かる。また，時間とともに省別の格差も大きくなっていることが分かる。このことは効率的なフロンティア生産を行っている地域と効率が低い地域との格差が大きくなっていることを示唆する。

3. 結果

(1) 確率的フロンティア生産関数の結果

各品目のフロンティア生産関数の推計結果は表-1から表-3に示した。米には化学肥料，労働，作付面積，小麦には化学肥料と労働，トウモロコシには化学肥料と機械を投入要素とした。すべての品目について，第1次項の係数はプラスとなり，化学肥料の第1次項の係数はすべて有意な結果となった。このことは化学肥料の投入はそれぞれの生産にとって重要な投入要素であることを示している。また，化学肥料と労働は代替関係にあることが分かる。タイムトレンドの係数は米についてはプラスであるが小

表-1 米のフロンティア生産関数

(注: ***, **, *はそれぞれ1%, 5%, 10%有意を示す)

変数名	係数	標準誤差
定数	0.75 ***	0.16
ln 化学肥料	0.52 ***	0.08
ln 労働	0.46 ***	0.07
ln 灌漑面積	0.22 ***	0.07
ln 化学肥料*化学肥料	-0.11	0.07
ln 労働*労働	-0.15 ***	0.04
ln 灌漑面積*灌漑面積	-0.25 ***	0.06
ln 化学肥料*労働	-0.02	0.04
ln 灌漑面積*化学肥料	0.07	0.05
ln 灌漑面積*労働	0.17 ***	0.05
Y0	0.00 ***	0.00
タイムトレンド	0.01 ***	0.00
観測数	273	
対数尤度	205.29	

表-2 小麦のフロンティア生産関数

(注: ***, **, *はそれぞれ1%, 5%, 10%有意を示す)

変数名	係数	標準誤差
定数	5.29 ***	0.06
ln 化学肥料	0.87 ***	0.03
ln 労働	0.00	0.03
ln 化学肥料*化学肥料	0.40 ***	0.06
ln 労働*労働	0.53 ***	0.06
ln 化学肥料*労働	-0.45 ***	0.06
タイムトレンド	-0.04 ***	0.00
Y0	-0.00	0.00
観測数	264	
対数尤度	17.81	

表-3 トウモロコシのフロンティア生産関数

(注: ***, **, *はそれぞれ1%, 5%, 10%有意を示す)

	係数	標準誤差
定数	3.39 ***	0.11
ln 化学肥料	0.70 ***	0.08
ln 機械	0.20 ***	0.06
ln 化学肥料*化学肥料	0.08 **	0.04
ln 機械*機械	0.08 *	0.04
ln 化学肥料*機械	-0.04 *	0.02
タイムトレンド	-0.04 ***	0.01
観測数	231	
対数尤度	-13.17	

麦とトウモロコシについてはマイナスを示しており、米生産については投入要素では説明されない年々の上昇傾向があることが見られ、逆に小麦とトウモロコシ生産には減少傾向があることが示されている。

(2) 技術効率値 (TE) と肥料効率値 (FE)

各省ごとの品目別技術効率値と肥料効率値の平均値の変化を図-6と図-7に示した。技術効率性については米とトウモロコシが高い効率値を示しており、技術効率値の年変動は小さい。品目別の肥料効率値は、米が大きく減少しており、分析対象初年度と対象最終年度と比較して33.3%の減少が見られた。小麦の肥料効率値は上昇が見られ、11.6%上昇が示された。トウモロコシについては年変動はほとんど見られなかった。このように、品目により肥料効率値は異なった動きをしている。

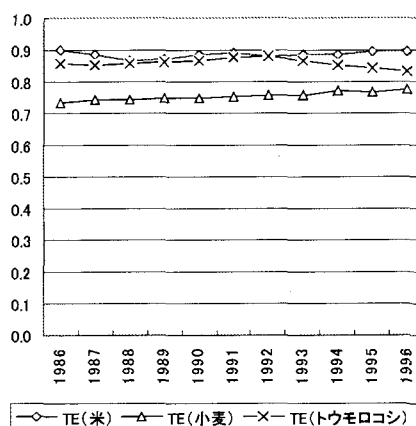


図-6 品目別平均技術効率 (TE) の年推移

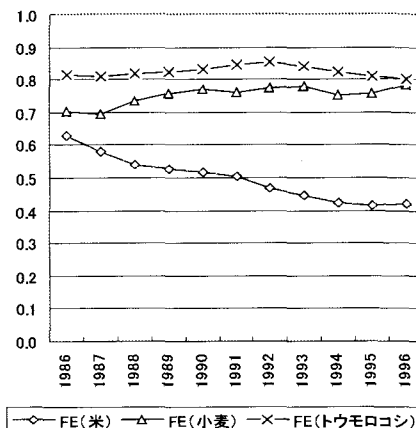


図-7 品目別平均肥料効率 (FE) の年推移

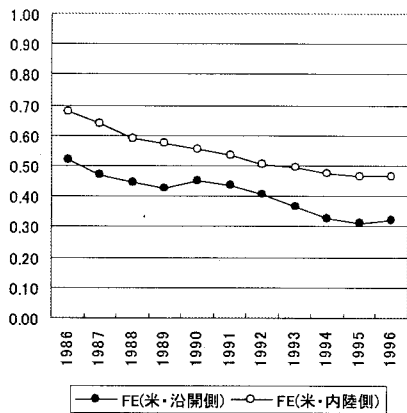


図-8 米の地域別肥料効率 (FE) の年推移

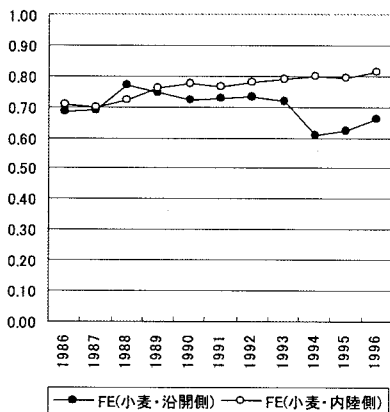


図-9 小麦の地域別肥料効率 (FE) の年推移

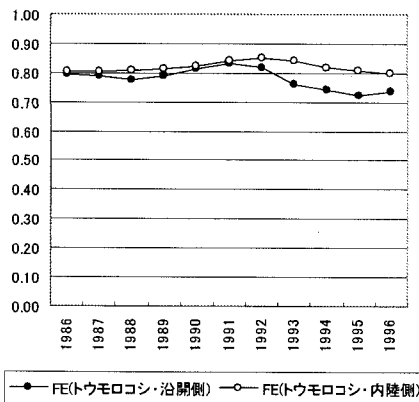


図-10 トウモロコシの地域別肥料効率 (FE) の年推移

ここで、本研究で計測した肥料効率値は生産フロンティア分析による効率値であるが、最も単純な効率指標である各品目の単位肥料投入量当たりの収穫量との違いを知るために、スピアマンの順位相関を

求めた。その結果、それぞれの相関係数は、米は0.770、小麦は0.373、トウモロコシは0.176であった。これは化学肥料投入と他の生産投入要素がそれぞれ生産効率全体に与える影響の相対的な大きさを示したものであり、SFAによる米の肥料効率値は肥料投入以外の影響が少ないと言えよう。

また、肥料効率値の地域間の違いについて経済発展地域である沿海開放地域（以下、沿開地域）と内陸地域の2地域に分け、地域間比較を行った。地域区分は平田（2000）²¹⁾に従っている。肥料効率値の地域間格差について図-8から図-10に示した。どの作物も沿開地域のほうが肥料効率値は低い結果となった。特に米の肥料効率値の地域間格差が大きいことが示された。小麦とトウモロコシについては90年代前半から地域間の格差は拡大傾向にあるといえる。これはすでに多くの肥料が投入されてきた沿開地域と内陸地域との間で、肥料投入による限界生産性の向上に違いがあるためと考えられる。

(3) トビット分析

表-4 から表-6 は各品目の肥料効率値がどのような要因と関連があるかを確認したものである。その結果、気象条件との関係では、米と小麦については気温が高くなるほど肥料効率が下がり、年平均降水量が増えるほど小麦の肥料効率性は上がり、逆にトウモロコシについては下がる結果となった。また、日照時間が長いほど米の肥料効率性は上がり、トウモロコシの肥料効率性は下がる。特に米と小麦の年平均気温の弾力性が高く気候の影響を受けやすい。

所得との関係では、すべての作物で農村所得が高い場合に肥料効率値は下がる結果となった。これは経済的に余裕のある農民が過剰に肥料を施肥する傾向にあることを示唆する。また、小麦については、水利建設費投入が多い地域ほど肥料効率が低くなっている。これを農業インフラ全体の発展や近代化の代理変数として解釈すれば、近代化が進んだ地域ほど、すでに大量の肥料が投入されており、新たな肥料投入の増加による限界生産性の向上が小さいと見ることができる。これは経済が発展している沿開地域での肥料効率値が低くなっていることと整合する。

さらに、このことは工場での化学肥料生産が多い省ほど肥料効率性は低くなっていることから支持されよう。化学肥料生産地に近い省、もしくは化学肥料を多く生産している省ほど、化学肥料輸送コストを低く抑えることができ、より安価に肥料が入手できる。また、そうした工業化の進んだ地域ほど農民の経済的状況も比較的良好であることが推察され、

結果として化学肥料の過剰投入の傾向が見られる。これは、特に米と小麦について言える。しかし、トウモロコシについては逆の結果となった。トウモロコシの化学肥料効率値は一貫して高いため、化学肥料が飽和状態にあるというよりはむしろ不足気味であることが推察される。

生産規模との関係について、小麦とトウモロコシの規模変数がプラスに有意であった。このことは、大規模生産ほど肥料効率が高いことを意味し、規模の効率性が確認できた。

4. 結論

本研究では1986年から1996年までの期間を対象に、米、小麦、トウモロコシの品目別に確率的フロンティア生産モデルによって、フロンティア生産関数を推計し、その結果に基づいて肥料効率性を計測した。また、計測された肥料効率性の格差がどのような要因によってもたらされるのか分析した。その結果、以下の点が明らかになった。

1. 米、小麦、トウモロコシの3品目の肥料効率値の年変化について、トウモロコシについては大きな変化は見られなかったが、米の肥料効率値は大きく下がっており、小麦の肥料効率は若干の上昇が見られた。
2. 気象条件は作物によって肥料効率性に異なったかたちで影響を与えている。特に、米と小麦に大きな影響を与えており、年平均気温が高い場合に効率性は下がる。
3. 農村の所得水準が上がるに従い、肥料効率性は下がる。豊かな農民ほど過剰に施肥する傾向や、豊かな地域ではすでに多くの施肥水準に達しているため、科学肥料の限界生産性が低いことが推察された。
4. 米と小麦については、工業部門で化学肥料を多く生産している省ほど肥料効率性は低い。また、小麦とトウモロコシの肥料効率は規模の経済が働いていることが確認された。

謝辞：本研究は、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業(CREST)「水の循環系モデリングシステムと利用システム(代表：楠田哲也)」(水の循環系モデリングシステムと利用システム(平成13年度採用))の一環として行ったものである。記して謝意を表す。

表-4 トビットモデルを用いた推計結果
(被説明変数：米の肥料効率率値)

(注：***, **, *はそれぞれ1%, 5%, 10%有意を示す)

	係数	標準誤差	弾性値
定数	0.73 ***	0.09	
年平均気温(10℃)	-0.26 ***	0.03	-0.95
年平均日照時間(1,000時間)	0.08 **	0.03	0.30
年平均降水量(100mm)	0.01	0.00	0.14
農村純所得(100元、1984年価格)	-0.02 **	0.01	-0.16
農業用水利施設費/米収穫量(100万円/トン)	0.00	0.01	0.00
化学肥料生産量/米に投入した化学肥料(万トン/万トン)	-0.01 **	0.00	-0.03
生産規模(万トン)	0.02	0.02	0.06
観測数	240		
対数尤度	140.63		

表-5 トビットモデルを用いた推計結果
(被説明変数：小麦の肥料効率率値)

(注：***, **, *はそれぞれ1%, 5%, 10%有意を示す)

	係数	標準誤差	弾性値
定数	1.00 ***	0.08	
年平均気温(10℃)	-0.26 ***	0.04	-0.47
年平均日照時間(1,000時間)	-0.02	0.03	-0.07
年平均降水量(100mm)	0.02 ***	0.00	0.20
農村純所得(100元、1984年価格)	-0.01	0.00	-0.04
農業用水利施設費/小麦収穫量(100万円/トン)	-0.05 ***	0.01	-0.11
化学肥料生産量/小麦に投入した化学肥料(万トン/万トン)	-0.05 **	0.02	0.11
生産規模(万トン)	0.02 ***	0.00	0.01
観測数	208		
対数尤度	149.80		

表-6 トビットモデルを用いた推計結果
(被説明変数：トウモロコシの肥料効率率値)

(注：***, **, *はそれぞれ1%, 5%, 10%有意を示す)

	係数	標準誤差	弾性値
定数	0.97 ***	0.05	
年平均気温(10℃)	-0.03	0.02	-0.04
年平均日照時間(1,000時間)	-0.05 ***	0.01	-0.14
年平均降水量(100mm)	-0.01 ***	0.00	-0.06
農村純所得(100元、1984年価格)	-0.01 ***	0.00	-0.06
農業用水利施設費/トウモロコシ収穫量(100万円/トン)	0.01	0.01	0.00
化学肥料生産量/トウモロコシに投入した化学肥料(万トン/万トン)	0.01 ***	0.00	0.06
生産規模(万トン)	0.01 ***	0.00	0.01
観測数	210		
対数尤度	266.57		

参考文献

- 1) 速水 裕次郎：新版開発経済学，pp92-121，創文社，2000。
- 2) 渡辺 利夫：開発経済学第二版，pp86-104，日本評論社，1997。
- 3) 国家統計局編：中国統計年鑑各年版，中国統計出版社。
- 4) FAO Start, CD-ROM, 2003。

- 5) Merrington, G. et al : Agricultural pollution, Spoon Press, 2002.
- 6) W. F. Sheldrick, et al : Soil nutrient audits for China to estimate nutrient balance and output/input relationships, *Agricultural, Ecosystem and Environment*, Vol94, pp341-354, 2003.
- 7) 経済産業省 : 通商白書2005, ぎょうせい.
- 8) Mcmillan, et al : The impact of China's economic reforms on agricultural productivity growth, *Jornal of Political Economy*, Vol97, No4, pp781-807, 1989.
- 9) Wu, Y. : Productivity growth, technological progress, and technical efficiency in China : A three-sectoranalysis, *Jornal of comparative economics*, Vol21, pp207-229, 1995.
- 10) Zhang, B. and C. A. Carter : Reforms, the weather, and productivity growth in China's grain sector, *American Jornal of Agriculture Economics*, Vol79, November, pp1266-1277, 1997.
- 11) Lin, J. Y : Rural reform and agricultural growth in China, *The American Economic Review*, Vol82, No1, pp34-51, 1992.
- 12) Huang, J and Rozelle, S. : Technological change : Rediscovering the engine of productivity growth in China's rural economy, *Jornal of Development Economics*, Vol49, pp337-369, 1996.
- 13) Sharma P. K., Ladha, J. K, et al : Rice-wheat productivity and nutrient status in a lantana (*Lantana spp.*)-amended soil., *Bioogy and Fertilizer of Soils*, Vol37, pp108-114, 2003.
- 14) R. J. Cabangon, T. P. Tuong, et al : Effect of irrigation method and N-fertilizer management on rice yield, water productivity and nutrient-use efficiencies in typical lowland rice conditions in China, *Paddy Water Environmen*, Vol2, No4 , pp195-206, 2004.
- 15) Aigner, C. A., Knox, L. and Schmidt, T. : Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models, *Journal of Econometrics*, Vol6, pp21-37, 1977.
- 16) Meeusen, W and Julian, B. : Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error, *International Economic Review*, Vol18, pp435-444, 1977.
- 17) S. C. Kumbhakar and C. A. K. Lovell, : Stochastic Frontier Analysis, Cambridge, 2000.
- 18) Reinhard, S., C. A. K. Lovell., and G. Thijssen. : Econometric Estimation of Technical and Environmental Efficiency: An Application to Dutch Dairy Farms, *American Journal of Agricultural Economics*, Vol81, pp44-60, 1999.
- 19) 国家発展改革委価格司編 : 建国以来全国主要農産品成本収益資料集編(下巻), 中国物価出版社, 2003.
- 20) 固定資産投資統計司編 : 中国固定資産投資統計年鑑 1950-1995, 中国統計出版社, 1997.
- 21) 平田幹郎 : 中国データブック2000/2001, 古今書院, 2000.
- 14) R. J. Cabangon, T. P. Tuong, et al : Effect of irrigation method and

Fertilizer Efficiency in China's Agriculture: Crop-Specific Stochastic Frontier Approach

Tomoyo TOYOTA, Shinji KANEKO and Katsuya TANAKA

This study estimates the chemical fertilizer efficiency in China's agricultural sector. The Stochastic Frontier Analysis is conducted for corn, rice, and wheat production during the period of 1986-1996. The estimated fertilizer efficiency is then used in the Tobit model to determine the factors affecting efficiency. Stochastic Frontier model indicates that fertilizer efficiency in rice and wheat is decreasing during the estimation period, possibly due to soil degradation and increased used of chemical fertilizer. The Tobit model shows that fertilizier efficiency is affected by several climatic conditions, economic development, and access to commercial fertilizer.