

環境負荷低減のための DEA を用いた中国各省の農業生産性の比較

Comparison of Agricultural Productivity of each Provinces of China with Data Envelopment Analysis for Lowering Environmental Burden

園田益史*

森杉雅史*

井村秀文*

Masufumi SONODA

Masafumi MORISUGI

Hidefumi IMURA

ABSTRACT ; It has been a world-wide problem to cope with growing food demand that is involved with population explosion. Amount of cultivated acreage remains constantly and thus it is needed to increase agricultural production per unit. In addition, agricultural production has relation with resource and environmental issues. This research aims at evaluation of agricultural productivity and environmental assessment. To evaluate productivity from various aspects, Data Envelopment Analysis (DEA) is adopted.

KEY WORDS : Data Envelopment Analysis, Agricultural Productivity, Translog Production Function

1 はじめに

中国は世界全体の穀物生産量の約 22%の生産を行っている。¹⁾ このように穀物生産量において世界的に大きな割合を占める中国であるが、その広大な国土の農業環境にはかなりの地域差が存在している。中国では近代的な農法の導入によってこの影響を可能な限り緩和することで、現在の穀物生産量を達成してきた。空間的・時間的な水資源量の格差に対しては灌漑用水の効果的な利用によってこの障害を克服し、耕地の栄養的な地域差については、化学肥料の利用や農業機械等の農業インフラの整備によって対処してきた。しかし一方で、近代的な農法の普及に伴って、灌漑用水の過剰利用による地下水位の低下や化学肥料による土壌汚染等、いくつかの環境問題も現れている。このような環境負荷を減じる対策の1つとして、一定の生産を得るために用いられる資源・物質の使用量を最小限に留めるという方法が考えられる。本研究はこのような対策の視点に立って、中国国内の農業生産効率を比較する。今回はこのための比較方法として、生産主体の相対比較によって物量ベースに基づいた比較を可能とする DEA (Data Envelopment Analysis) を用いた。DEA は、物量ベースであるが生産への寄与率が高い投入要素を評価に入れることが可能であり、価格付けがされていない資源、あるいは、価格付けが適切でない資源を扱う手法として有効である。また、生産主体の活動を最も特徴的な側面に特化してみることで、各々の活動主体が持つ技術固有の評価を行うことが可能である。

本研究では、農業生産で使用される投入要素の様々な組み合わせにおいて DEA を適用し、比較分析を行う。比較分析は、各投入要素の投入を総合的に捉えて比較を行う CCR モデルによるものと、特に水資源の投入に着目したものを行っている。水資源の投入に着目した比較では、水資源の節減によって改善が可能な生産の非効率性に焦点を当てこれを指標化している。さらに、トランスログ型生産関数分析を用い、投入要素間の代替・補完関係を捉え、DEA の分析結果を併せて、中国各省の農業の実態を地理的特性を鑑みて考察していく。

*名古屋大学大学院環境学研究科 Graduate School of Environment, Nagoya University

2 DEA

2.1 DEA の概要

生産の比較に移る前に DEA の概要を説明する。DEA はテキサス大学の Charnes, Cooper らによって提唱された事業活動の評価方法である。DEA では事業体の活動を資源の投入によって便益を算出する変換の過程と捉え、投入に対する産出の比を比率尺度 (D 効率値) として活動の効率性を評価する。

$$\text{比率尺度} = \frac{\text{産出}}{\text{投入}} \quad (1)$$

DEA 分析の利点としては、投入項目や産出項目を複数もつ事業体の比較を公平に行うことが可能であることと、それらの情報から最も優れた生産活動を行っている事業体を基準とした各事業体活動の評価を行えることの2点が挙げられる。図-1 は2つの投入要素と産出要素を持つ事業体群の活動をプロットしたものである。A から G までの事業体の投入要素と産出要素について (投入要素 1/産出要素 1) の値を横軸に、(投入要素 2/産出要素 1) の値を縦軸に表している。

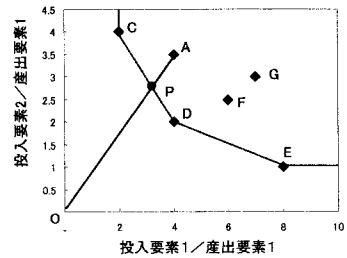


図-1 1 投入要素・1 産出要素の例

生産の効率性という観点からみると所与の産出量を得るための投入量は可能な限り少ない方が望ましいと考えられる。ここでは C, D, E の事業体の活動が他の事業体よりもより原点に近い位置にあり効率的であると考えられる。これら C, D, E の活動を直線で結び、さらに C から垂直に伸ばした線と E から平行に伸ばした線を加えた直線を効率的フロンティアと呼ぶ。他の事業体の活動はフロンティア線の右側に包み込まれることになり、その活動の評価はこのフロンティア線に基づいて行われる。例

えば A の事業体の効率性は原点と A を結んだ線分とフロンティア線の交点 P によって OP/OA として示される。効率的フロンティア線上の事業体の効率値は 1 であり、ここで計測される効率値はこれに対する相対的な値である。この際 A の効率値が 1 より小さく、非効率であるという判断を与えるのは D, E の存在のためである。この意味で D, E は事業体 A に対する参照集合と呼ばれる。この参照集合を基にして事業体の効率改善案を示すことができ、例えば A については、入力および出力を減らして P に重なるように移すのがひとつの改善案となる。この際の A の改善分、すなわち線分 AP で示される活動の非効率をスラックと呼ぶ。

この例では入力および出力のいずれかは 1 種類であり、他方も 2 種類であったので平面上に効率的フロンティアを示すことは容易であった。しかし投入要素と産出要素がともに複数となるときには効率的フロンティアに基づいた効率性の比較を行うことは簡単ではない。そこで他項目にわたる投入要素および産出要素に重み係数をかけ、仮想的な入力と出力に直して効率性を比較できるように考案されたのが CCR モデルである。

2.2 CCR モデル

DEA では事業体を DMU (Decision Making Unit) と呼ぶ。いま DMU の数が n 個、各事業体について投入要素を m 個、産出要素を s 個設定するものとする。効率性の測定の対象とする事業体 DMU₀ の投入要素を $x_{10}, \dots, x_{m0}$ 、産出要素を $y_{10}, \dots, y_{s0}$ と表す。CCR モデルは式(2)~(4)のような分数計画問題として定式化される。目的関数の左辺において θ は比率尺度を示している。 $x_{10}, \dots, x_{m0}$ は投入要素を表し、 $y_{10}, \dots, y_{s0}$ は産出要素を表している。なお $v_1, \dots, v_m$ は投入に対する重み係数を示し、 $u_1, \dots, u_s$ は産出に対する重み係数を示している。

目的関数

$$\max \theta = \frac{u_1 y_{10} + u_2 y_{20} + \dots + u_s y_{s0}}{v_1 x_{10} + v_2 x_{20} + \dots + v_m x_{m0}} \quad (2)$$

制約式

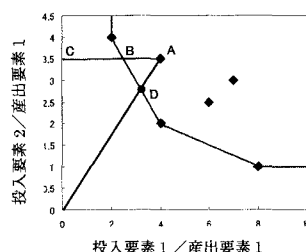
$$\frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (4)$$

(4)の制約式によって重み係数 v_r , u_r による仮想的総投入と総産出の比は1以下となるように抑えられている。この制約の下、当該の事業体の活動の θ を最大とするように重み係数を定める。最適解を (v^*, u^*) とし、このときの目的関数値を θ^* とする。 $\theta^*=1$ のとき DMU_0 は効率的であると判断され、 $\theta^*<1$ の場合には DMU_0 は改善の余地があると判断される。最適解として得られた (v^*, u^*) は DMU_0 の比率尺度を最大化するために最も都合のよい値を示している。また個々の投入要素および産出要素に対応する v^*_i および u^*_i の大小から、対象とする事業体の投入および産出要素の相対的な評価の大小を知ることができる。これによって事業体の活動の特徴が示される。2.1 で述べたようにここで求められる効率値 θ^* は対象とする事業体群の中で効率的フロンティアに位置する事業体に対する相対評価として定められる値である。

2.3 NCN モデル

CCR モデルにおいては、すべての投入要素の増減を可能なものとして、効率性を求めている。各生産事業体の純粋な技術評価であれば、このモデルによる比較のみで十分である。しかし、CCR モデルにおいて、事業体の活動と効率的フロンティアまでの距離は、各投入要素の節減を組み合わせたベクトルとして示されており、特定の投入要素が効率性に与えている影響をみることは難しい。そこで、本研究では、ある投入要素に着目した場合の効率性を示すために、投入要素の非制御変数を含める NCN モデルを用いている。図-2 は2投入要素、1産出要素の場合において、NCN モデルの概要を示したものである。ここでは投入要素2は固定としたうえで、投入要素1のみの節減によって効率化を図る例を示している。CCR モデルで示される効率性 OD/OA に対して、NCN モデルでは CB/CA として効率性が示される。



求められたNCN効率性をもとにつくられる $\{1 - (\text{NCN 効率性})\}$ という指標によって、投入要素1の投入の着目した非効率性を示すことができる。図の中で、この非効率性指標 $\{1 - (\text{NCN 効率性})\}$ は AB/AC にあたっている。複数要素のNCNモデルは式(5)~(7)のように定式化される。ここで、 X_0^e , Y_0^e は節減可能な投入要素および産出要素を示し、 X_0^N , Y_0^N は投入量を固定する投入要素および産出要素を示している。このような最適化式によって、他の投入要素は固定として、特定の投入要素のみを節減可能なものとし、この投入要素に着目した効率性を示すことができる。

$$\text{目的関数} \quad \min \quad \theta \quad (5)$$

$$\theta X_0^C \geq X^C \lambda \quad Y_0^C \leq Y^C \lambda \quad (6)$$

$$X_0^N = X^N \lambda \quad Y_0^N = Y^N \lambda$$

$$L \leq e\lambda \leq U \quad \lambda \geq 0 \quad (7)$$

3 比較に用いたデータ

投入及び産出要素のデータは、中国統計年鑑²⁾の省別の値を使用し、必要なものについては推計を行っている。投入要素のうち、労働力、農業用水量、化学肥料、農業用機械の出力値、労働力については、各作物別の集計値が存在しないので、全耕地面積に対する各作物の作付面積を用い推計した。また各作物に占める用水量は、中国水資源公報³⁾から得た用水原単位と各省の灌漑面積から求められた平均的な灌漑率、さらに各作物の生育期需水量から推計している。また4.1水資源問題の予備考察の節では、食糧として価値に重点を置いて穀物生産全体の比較を行うため、作物別に生産量を熱量単位(cal)に換算し、これを合計して産出要素としている。

4 各省の生産比較

4.1 中国農業の水資源問題の予備考察

複数投入要素による CCR モデルでの比較を行う前に、水資源問題に注目した比較を行った。比較する DMU（事業体）は、中国各省を単位としている。産出要素として、米・小麦・とうもろこし・大豆の合計 cal 値をとり、灌漑用水量・機械出力を投入要素とし、図-3 に示す比較結果を得た。横軸に灌漑用水量を穀物生産量によって割った値を取り、縦軸は農業機械の出力を穀物生産量で割った値を取っている。図-4 は図-3 の枠内の範囲を拡大して示したものである。

図-3 をみると天津市や北京市、河北省では生産量当たりの農業機械出力が大きいことが分かる。天津市、北京市、河北省は北部に位置する都市化が進んだ地域であり、経済力の大きさに添う形で農業の機械化も他地域に比べて進展している。

横軸について灌漑用水と生産量の関係を見ると、新疆自治区、寧夏回族自治区、青海省で値が大きくなっていることが分かる。青海省は水使用量に対する水資源量の比が非常に大きく、水利用に関して余裕がある省である。この結果として水利用の効率化を図る動きが遅れているのではないかと考えられる。これに対して寧夏回族自治区と新疆自治区は水資源量が使用量を下回っており、水の自給自足がなされていない状況である。ここで新疆自治区、寧夏回族自治区、青海省と、灌漑用水の利用効率が高かった上海市、北京市、天津市について、（灌漑面積／耕地面積）で求めた灌漑率との関係を考える。北京市と上海市は、この灌漑率が90%を超えている地域である。北京市と上海市では灌漑の整備が進んでおり、効率のよい設備によって水利用が行われていることが分かる。それに対して、寧夏回族自治区や新疆自治区は低い灌漑率となっている。このような東部と西部地域の灌漑率の違いは、東西の経済的な格差を反映して、農業インフラの整備状況が異なっていることに由来している。西部の省の中で新疆自治区の灌漑率は高くなっているが、経済的な制約から地区の大きな灌漑面積に対し、利用効率化のための技術の導入が遅れているのではないかと推察される。ここでの分析では、生産量あたりの用水利用量の少ない東部の都市域で農業機械の使用が盛んであることを示しており、投入要素としての農業機械が、水資源と代替関係にあることも考えられる。農業機械使用と用水利用の関係については、5.1 の生産関数を用いた分析で詳しくみる。

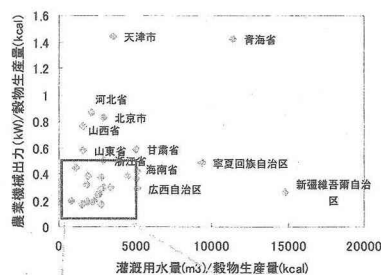


図-3 食糧生産量と灌漑用水量・機械出力

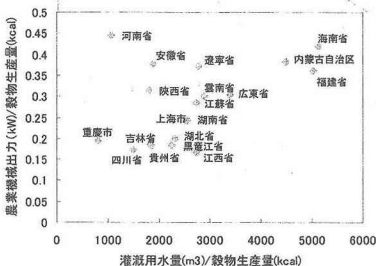


図-4 食糧生産量と灌漑用水量・機械出力

4.2 DEA-CCR モデルによる作物別の比較結果

DMU として各省を単位とし、CCR モデルによる作物別の比較を行った。投入要素として、2000 年の労働力、作付面積、農業用水量、化学肥料、農業用機械出力をとり、産出要素として、米、小麦の生産量をとった。その例として、米生産と小麦生産の場合の比較結果を示す。小麦の CCR 効率値を図-5 に、米の CCR 効率値を図-6 に示している。なお、米生産について、西部の青海省は生産量が少なく比較の対象に入っていない。

米の効率値の分布をみると東部から東南部の省にかけて効率性が低くなっていることが分かる。生産量でみると南東部の地域は、米の生産量が多い地域である。生産量が多い地域で効率が下がっている理

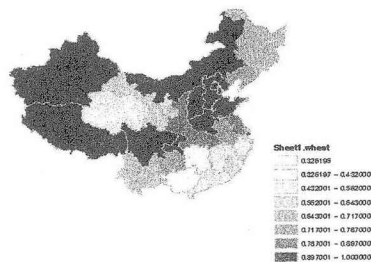


図-5 小麦生産の CCR 効率値

由として長年投入されてきた化学肥料の影響で土壌質が悪化していることが考えられる。それに対し生産量の少ない西部の地域では有機肥料が用いられている割合が高いために土壌の生産性が維持されているとも考えられる。また米の生産量の多い地域は主に長江流域であり、水資源量に恵まれた地域である。このために水の効率的な利用の意識が低く、用水の投入に対する効率が低いということも考えられる。

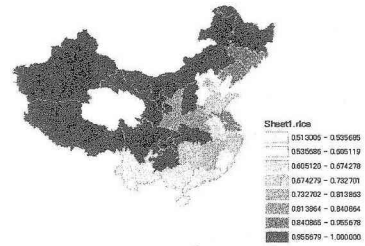


図-6 米生産の CCR 効率値

4.3 NCN モデルによる非効率性指標

CCR モデルによる分析では、経済状況や気候条件において類似する環境にある省同士では、効率性や生産技術の特化の様子に一定の傾向があることが認められた。特に東部の都市域では、農業機械や化学肥料の使用量が多く、生産量あたりの用水使用量が非常に小さい生産が行われている。4.1 節の予備考察において、水利用の効率が高かった天津市・北京市は中国国内でも特に水利用状況が厳しい淮河の下流域、河北省、河南省、山東省は黄河の下流域にあたる。先に示したCCR効率性は生産技術に関する総合的な評価指標という面では有効であるが、水資源状況が厳しい地域が多い中国においては、用水利用に重点を置いた比較を行う必要がある。ここではCCRモデルと同様に投入・産出の多面的な評価を行いつつ、用水の制限がもたらす効率性への影響をみるために、2.3 のNCNモデルの節で述べた、1 投入要素のみを制御可能な変数として比較を行う。

NCN モデルにおいて、投入要素には用水 (W) を中心とし、耕地面積 (T)、労働力 (L)、化学肥料 (C)、農業機械出力 (M) を組み合わせて選択し、産出要素として農業生産高をとって、比較を行う。それぞれ用水の投入を制御可能変数、それ以外の投入要素を制御不可能変数として、NCN 効率値を求める。さらに非効率性指標 $\{1 - (\text{NCN 効率値})\}$ を求め、用水および耕地の制御によって改善の可能性がある非効率性を求める。各投入要素の組み合わせにおいて求められた、用水についての非効率性指標 $\{1 - (\text{NCN 効率性})\}$ の値を図-7～図-10 に示す。

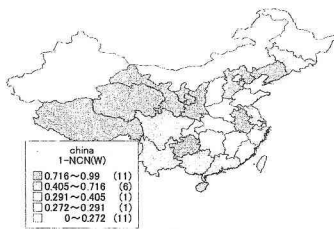


図-7 用水に関する非効率性指標
(投入要素 T,L,W)

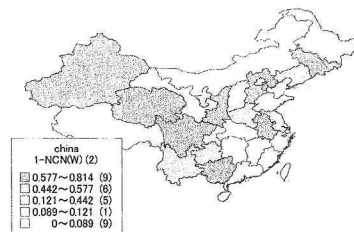


図-8 用水に関する非効率性指標
(投入要素 T,C,W)

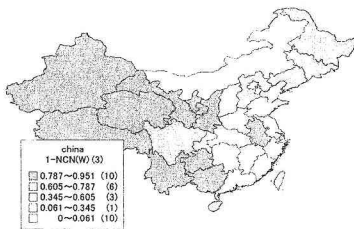


図-9 用水に関する非効率性指標
(投入要素 T,M,W)

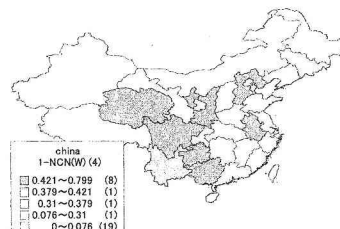


図-10 用水に関する非効率性指標
(投入要素 T,C,M,L,W)

T (耕地), L (労働力), W (用水) の投入の組み合わせ (以下省略のため、T,L,W の場合、というように示す) (図-7) において、黄河流域に注目すると、非効率性指標が下流域では小さく、上流域では大きくなっていること

が分かる。黄河においては下流域での水資源状況が特に厳しく、非効率性指標の分布はこのような状況を反映したものと考えられる。T,C,W (図-8) の場合においても、黄河流域について、同様の非効率性指標の分布がみられる、また T,M,W (図-9) の場合についても、ほぼ同様である。T,C,W と T,M,W の場合において、T,L,W に比較し、東部のいくつかの省（遼寧省、吉林省、江蘇省）で効率性の上昇が見られる。特に T,M,W の場合に、東部地域で全体的に、効率性の改善がみられる傾向にある。水資源が不足しているこの地域でこのような傾向が認められることから、4. 1 の水資源に関する予備考察でみたように、ここでも農業機械や化学肥料の使用が用水の利用を代替していることが考えられる。特に、農業機械と用水についてこの関係が顕著であると推測される。図-9 は T,C,M,L,W の 5 つの投入要素をとった場合であり、他の場合と比較して全体的に非効率指標が小さくなっていることが分かるが、依然として、非効率性の大きい省が存在している。一般的に DEA では投入要素として多くの指標を含めれば、効率的フロンティアへの改善策の数が増え、比較対象の事業体全体の効率性が上昇する。これは NCN モデルにおいても同様である。効率の投入要素を含めているのにも関わらず、大きな非効率性がみられるということは、これらの地域で特に水利用の効率が低いことを示していると考えられる。

4.4 生産関数分析による投入資源の代替・補完関係

ここまで、CCR モデルと NCN モデルの両モデルによって、投入要素を様々に組み合わせて効率性の評価を行ってきた。効率性の比較では、中国の一部地域で不足が著しい水資源の投入に特に着目してきたが、用水とその他の投入要素に一定の関係が存在する可能性がいくつか示された。中でも、用水と農業機械の利用の間に、比較的顕著な代替関係がみてとれる。ここでは、投入要素間の関係をさらに明確に示すために、用水（W）、耕地面積（T）、労働力（L）、化学肥料（C）、農業機械出力（M）の 5 つの投入要素のうち、任意の 3 つの要素を投入要素とする生産関数の推計をした。推計した生産関数は Marriman (1970)⁹などに用いられている Translog 型の生産関数である。Tranlog 型の生産関数は以下の回帰式で示すことができる。各項の各係数 α から、投入要素間の関係を知ることが可能である。

$$\begin{aligned} \ln Y_i = & C_i + \alpha_1 (\ln A_i - \ln \bar{A}) + \alpha_2 (\ln B_i - \ln \bar{B}) + \alpha_3 (\ln C_i - \ln \bar{C}) + \alpha_4 (\ln A_i - \ln \bar{A})^2 + \alpha_5 (\ln B_i - \ln \bar{B})^2 \\ & + \alpha_6 (\ln C_i - \ln \bar{C})^2 + \alpha_7 (\ln A_i - \ln \bar{A})(\ln B_i - \ln \bar{B}) + \alpha_8 (\ln A_i - \ln \bar{A})(\ln C_i - \ln \bar{C}) \\ & + \alpha_9 (\ln B_i - \ln \bar{B})(\ln C_i - \ln \bar{C}) \end{aligned} \quad (8)$$

各投入要素の組み合わせ（A,B,C）について、以下のような生産関数が推計された。

表-1 トランスログ型生産関数

A B C	T W C	T W M	T W L	T L C	T L M	T C M
$\ln A_i - \ln(A \text{ average})$ (t値)	0.028 (0.067)	0.112 (0.157)	0.113 (0.377)	-0.184 (-1.379)	-0.720 (-0.485)	0.070 (0.133)
$\ln B_i - \ln(B \text{ average})$ (t値)	0.203 (0.406)	0.874 (0.967)	0.460 (1.847)	0.277 (1.816)	1.501 (1.215)	0.520 (0.509)
$\ln C_i - \ln(C \text{ average})$ (t値)	0.956 (1.761)	0.050 (0.080)	0.723 (6.662)	0.852 (6.488)	-0.121 (-0.328)	0.720 (1.612)
$[\ln A_i - \ln(A \text{ average})]^2$ (t値)	0.126 (0.721)	-0.091 (-0.264)	0.030 (0.080)	0.249 (1.729)	0.253 (0.861)	0.130 (0.735)
$[\ln B_i - \ln(B \text{ average})]^2$ (t値)	0.010 (0.084)	-0.045 (-0.188)	0.109 (0.471)	0.709 (2.340)	0.581 (1.526)	0.024 (0.147)
$[\ln C_i - \ln(C \text{ average})]^2$ (t値)	0.074 (0.385)	-0.060 (-0.577)	-0.071 (-0.191)	0.201 (0.770)	0.091 (1.235)	-0.044 (-0.825)
$[\ln A_i - \ln(A \text{ average})][\ln B_i - \ln(B \text{ average})]$ (t値)	0.013 (0.068)	0.116 (0.250)	-0.102 (-0.171)	-0.675 (-2.072)	-0.815 (-1.573)	-0.140 (-0.522)
$[\ln A_i - \ln(A \text{ average})][\ln C_i - \ln(C \text{ average})]$ (t値)	-0.146 (-0.443)	0.191 (0.682)	0.037 (0.331)	0.546 (1.290)	0.252 (0.444)	-0.171 (-1.072)
$[\ln B_i - \ln(B \text{ average})][\ln C_i - \ln(C \text{ average})]$ (t値)	0.027 (0.103)	-0.289 (-0.973)	0.275 (0.417)	-0.966 (-2.134)	-0.273 (-0.522)	0.221 (0.992)
R^2	0.926	0.734	0.799	0.949	0.793	0.923

各投入要素の積の項の係数の正負が、投入要素の関係を示している。係数が正の場合、互いに生産への寄与において相乗的な効果を及ぼし合う補完関係を示し、負の場合には互いに代替しあう代替関係を示す。表-2 に推計された各生産関数から判断される投入要素間の関係を示す。

今回の推計結果では、用水と機械利用は代替関係にあると推察される。これは DEA の比較結果からの推察と同様である。農業機械の利用状況は、灌漑設備の技術水準等、全体的な農業インフラの整備水準と密接に関係していると考えられ、農業インフラによる用水利用の効率化の作用が、制約の大きい用水利用を代替している状況にあるのではないかと推察される。

表-2 投入要素の代替・補完関係

	T-W	T-C	T-M	T-L	W-C	W-M	W-L	L-C	L-M	C-M
TWC	○	●			○					
TWM	○		○			●				
TWL	●			○			○			
TLC		○		●				●		
TLM			○	●					●	
TCM		●	●							○

5 結論

本研究では農業における環境負荷低減を目的とし、資源・物質の使用量を最小限に留めるという視点から、中国国内の農業生産性を比較した。今回は価格情報から生産性の比較を行う費用便益法のような方法に対して、耕地や水資源といった環境資源を物量ベースで代入し、比較を行うことのできる DEA を用いた。行った比較は食糧生産量と灌漑率、農業機械使用に重点を置いたものと、作物別のものの2つである。また、特定の資源の投入に着目した NCN モデルによる効率性を求めた。また以上の DEA による比較から推察される投入要素間の関係を、生産関数の推計結果から考察した。

比較で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 経済発展が著しい沿海部では化学肥料や農業機械の普及が進んでおり、労働力に対して効率性が高い傾向にあった。北京市や天津市、河北省ではこの傾向が顕著であった。しかしその一方で化学肥料への偏重が土地の生産性を減衰させていることも考えられる。
- 2) CCR による作物別の比較において、米では生産量の大きい地域で効率性低下の傾向があり、小麦では生産量の大きい地域で効率性上昇の傾向がみられた。この理由としては、米の生産量の大きい南部地域で農業、化学肥料の使用による土地汚染が進行している可能性、および南部では水資源量に余裕があるために水利用の効率化があまり進んでいないことが考えられる。
- 3) NCN モデルによる比較や生産関数の推計結果では、農業機械の使用が用水利用を代替している傾向がみられた。

研究の課題として、以下のことが挙げられる。

- 1) 今回の比較では対象地域が中国全体と広大であり、示された効率性の高低は各省の技術水準によるところが大きい。耕地や用水への汚染が生産の効率に与える影響をみるには、技術水準がほぼ一定である小地域を対象とした分析が必要である。
- 2) 農業における生産効率には気温や日照といった環境条件が大きく影響を与えられられるが、今回の比較ではこれを考慮していない。環境条件を比較に導入するための適切な指標化方法を考案する必要がある。

参考文献

- 1) FAO (1999) : Production Yearbook1999, FAO
- 2) 国家統計局 (1985, 1990-2002) : 中国統計年鑑 1985, 1990-2002, 中国統計出版社
- 3) 中国人民共和国水利部(2000) : 中国水資源公報 1999-2000, 中国人民共和国水利部
- 4) Marriman : D.(1990). "Public Capital and Regional Output", Regional Science and Urban Economics,20