

日本の鉄鋼業の生産構造に関する計量分析

—DEA を用いた規模の経済性の検討—

神戸大学大学院経済学研究科助教授 福重元嗣
大阪大学大学院経済学研究科院生 宮良いずみ
大阪大学大学院経済学研究科院生 各務和彦

Working Paper Series Vol. 2002-07
2002 年 5 月

この Working Paper の内容は著者によるものであり、必ずしも当センターの見解を反映したものではない。なお、一部といえども無断で引用、再録されてはならない。

財団法人 **国際東アジア研究センター**
ペンシルベニア大学協同研究施設

日本の鉄鋼業の生産構造に関する計量分析

—DEA を用いた規模の経済性の検討—*

神戸大学大学院経済学研究科助教授 福重元嗣

大阪大学大学院経済学研究科院生 宮良いずみ

大阪大学大学院経済学研究科院生 各務和彦

要旨

本稿では、大企業間での資本提携や経営統合が進むわが国の鉄鋼業界の動きが、企業間の連携による規模の経済性の追及によるものか否かについて、生産構造を分析することによって検討を行った。分析においては、個々の企業の時系列データを鉄鋼業の分類（高炉、電炉、特殊鋼、その他鉄鋼）ごとにプールし、包絡線分析（DEA）を適用した。本稿では、DEA の 4 つのモデル（CCR モデル、DRS モデル、IRS モデル、BCC モデル）による各企業の効率値の大小関係を統計的に分析することによって、生産の規模の経済性について検討する方法を提案し、実証分析を行った。

実証分析の結果によれば、わが国の鉄鋼業は全ての分類において収穫逓増の生産構造を持っており、現在提携や経営統合を進めている高炉だけでなく、電炉、特殊鋼、その他鉄鋼においても、今後資本提携や経営統合が進む可能性を示唆するものであった。

キーワード：鉄鋼業、生産構造、包絡線分析（DEA）、規模の経済性

* 本稿は平成 13 年度外部研究プロジェクトの成果である。

1. はじめに

近年のわが国の鉄鋼業界の動きを見ると、新日本製鉄と浦項総合製鉄（韓国）の資本提携、NKK と川崎製鉄の経営統合¹、NKK とティッセングループ（ドイツ）の自動車用鋼板事業での技術提携、さらには、成立はしなかったが川崎製鉄とユジノール（フランス）の資本提携といった、大企業間の連携とも呼べる動きが活発である。これは、富浦（1994）の指摘にもあるように、共同研究による新製品の開発や個々の企業が得意な部門に特化することによる効率化など複数の企業の連携による規模の経済性の追求といった要因があるのではないだろうか。もしもこの規模の経済性が鉄鋼メーカーの技術開発を含めた企業の生産構造に基づくものであれば、このような動きは今後さらに活発化してゆくと考えられる。

このような近年の動きについて経済学的な視点より分析を行う場合、以下の 2 点について注意する必要があるだろう。その第 1 は、わが国の鉄鋼メーカーに限って見れば、連携を進めようとしている企業は主に高炉と呼ばれる企業に集中しているという点である²。わが国の鉄鋼メーカーは、その生産方式と生産鋼種によって高炉、電炉、特殊鋼、その他鉄鋼に分類されるが、この中で、高炉だけが連携を進めているとすれば、これは分類ごとの生産技術の違いによるものかも知れない³。注意すべき第 2 点目は、わが国の鉄鋼メーカーの多くが、1970 年代から続く労働の削減、80 年代の製鉄所の統廃合といった 1 企業としての規模の最適化とも解釈可能な規模の縮小を行ってきた点である。このような企業の行動

は、規模の経済性の存在とは逆に、最適な企業規模、言換えれば規模に関する収穫逓減の存在を示唆するものである。また、生産構造の統計的な分析という面から見ると、このような縮小過程においては各企業が過剰な労働や資本を抱えながら生産を続けていたため、インプットとアウトプットのデータが生産構造を反映していない可能性があり、注意が必要である。

本稿では、これらの注意点を考慮し、わが国の鉄鋼メーカーの生産技術を分析するに当たっては、企業分類ごとに過剰な労働や資本を抱えて生産を行っていた可能性を考慮した分析を行う。具体的な分析方法としては、個々の企業の時系列データを分類ごとにプールしたものに包絡線分析（Data Envelopment Analysis: 以下 DEA と呼ぶ）を適用する⁴。この分析方法は、分析対象の中から最も効率的なインプットとアウトプットの関係、すなわちノンパラメトリックな生産可能性フロンティア（以降、フロンティアと呼ぶ）を求め、フロンティア上のサンプルを 1 と標準化することによって、各企業の各時点での生産構造の効率性を評価する方法である⁵。この分析方法では、直接規模に関する経済性について統計的な分析を行うことはできないが、後述するように規模に関して制約を課した 4 つのモデル（CCR モデル、DRS モデル、IRS モデル、BCC モデル）を適用し各事業主体の効率値を求め、その効率値の変化を比較することによって規模の経済性について検討することが可能となる。

本稿の構成は以下の通りである。次節では DEA の 4 つのモデルを用いた比較によって規

模の経済性に関して検討可能であることを説明する。続けて 3 節では、具体的にわが国の鉄鋼メーカーのデータを用いて、生産構造の規模の経済性について実証分析を行う。最後に、4 節では 3 節の結果を踏まえて、わが国の鉄鋼メーカーの今後の動向について検討を行う。

2. DEA を応用した規模の経済性の検討

DEA は、線形計画法によって構築されたフロンティアに基づいて各サンプルの効率性の評価⁶を行う手法である。フロンティア上のサンプルは、最も効率的に生産を行っており、その効率値を 1 とする。一方、フロンティアからの乖離が大きいサンプルほど非効率性が高いことを意味し、その効率値は 0 に近づく。この効率性評価の基準となるフロンティアは、後述するどのモデルを適用するのかによって規模の経済性についてあらかじめ仮定されている。この規模の経済性に関する仮定が正しいか否かについては、DEA で構築されるフロンティアがノンパラメトリックな手法によって求められるため、通常回帰分析などで行われるような統計的検定を行うことはできない。しかしながら、DEA には規模の経済性に仮定に関して、規模に関する収穫一定を課した CCR モデル、収穫逓減を課した DRS モデル、収穫逓増を課した IRS モデル、収穫可変を課した BCC モデルの 4 つが存在しており、実際の生産構造とそれぞれのモデルで課されている規模の経済性の仮定が近ければ、各サンプルのフロンティアからの乖離が小さくなり、平均的に効率値が高くなると考えられる。

本稿では、このような関係を利用してそれぞれのモデルにおける効率値の大小関係を検討することで規模に関する収穫について検討を行う。

実際の生産構造と各モデルにおける効率値の平均値の大小関係については、次のような例を考えれば明らかである。まず、1インプット、1アウトプットの生産活動を行う3つの企業A、B、Cからなる産業について考える。これらの企業は全てフロンティア上のサンプルであり、A、B、Cの順で生産規模が大きいものとする。横軸をインプット、縦軸をアウトプットとした図に企業A、B、Cをプロットしたものが図1であり、左の列から順に実際の生産構造が規模に関して収穫逓減、一定、逓増の場合となっている。図の中で各サンプルを結ぶ直線は、それぞれのモデルにおいて推計される効率性を評価する基準となるフロンティアである。

生産構造が規模に関して収穫逓減である場合について考えると、CCRモデルによる効率値は、全ての企業がフロンティア上にあるにもかかわらず、企業BとCの効率値が1とならない。しかもその効率値は、生産規模が大きいほどCCRモデルよるフロンティアとの乖離が大きくなるため、B、Cの順で効率値は低くなる。IRSモデルを用いて効率性評価を行った場合には、企業Cに関してのみ効率値が1より小さくなる。また、CCRモデルと比べた場合、企業CのIRSモデルにおけるフロンティアからの乖離の方が小さくなるためその効率値は大きくなる。DRSモデル、BCCモデルを用いて評価した場合には、全ての企業で効率値が1となるため、各モデルにおける全ての企業の効率値の平均をとると、CCR、IRS、

DRS または BCC の順で大きくなる。ただし、この例では、最も効率的なサンプルだけしか例として取りあげておらず、例えば企業 A よりもインプットが大きくアウトプットが小さい非効率性をもつ企業 G が存在する場合には DRS よりも BCC における平均の方が大きくなる。また、DRS よりも IRS の平均値が大きくなる例も考えることも可能だが、これは IRS においてあるサンプルの非効率性の改善が大きいため平均が影響を受ける特殊なケースと考えられる。よって、生産構造が収穫逓減である場合の効率値の平均の大小関係は

$$BCC \geq DRS > IRS > CCR$$

となる。

生産構造が収穫一定の場合には、図から明らかなようにどのモデルで効率性評価を行っても企業 A、B、C の効率値は 1 となる。ただし、非効率なサンプル企業 G や企業 H を想定すれば、効率値の平均の大小関係が次のようになるのは明らかであろう⁷。

$$BCC \geq DRS, IRS \geq CCR$$

ここで DRS と IRS については、企業 G のようなサンプルがあるか企業 H のようなサンプルがあるかに依存しており、順序は明らかではない。

生産構造が規模に関して収穫逓増である場合は、CCR モデルを用いて効率性を評価すると、企業 A と B では効率値が 1 とはならない。DRS モデルでの評価も、CCR モデルとフロンティアの形状は異なるが、効率値は影響を受けず、CCR と DRS の効率値の平均は等しくなる。このような関係は IRS モデルと BCC モデルによる効率値にもあてはまる。ここで

DRS と IRS を比較すると、企業 B の効率値は DRS の方が IRS に比べフロンティアからの乖離が大きく、さらに、DRS では企業 B に加えて企業 A も非効率であると計測され、効率値は小さくなる。平均値における大小関係は、CCR 及び DRS、IRS 及び BCC の順になる。ただし、非効率な企業 H の存在も考慮すれば、企業 H によって CCR と DRS、IRS と BCC のそれぞれの効率値の平均の間に乖離が生じ、大小関係は、

$$BCC \geq IRS > DRS \geq CCR$$

のようになる。

以上のように、実際の生産構造に対応して各モデルで求めた効率値の平均に大小関係が成り立つため、この大小関係を統計的に検定することによって生産構造が規模に関して収穫一定なのか逓減なのか、それとも逓増なのかを判断することが可能となる。本稿では、具体的な検定方法として平均値の差の検定および符合検定を行う。符号検定は、平均値の差の検定と異なり、全てのサンプルの中で効率値が改善したサンプル数が有意に 5 割を超えているかについて検定を行っている。

平均値の差の検定⁸では、次の二つの大小関係について検定を行う。まず、第 1 の帰無仮説は、BCC モデルによる効率値の平均値 (\overline{BCC}) と CCR モデルによる効率値の平均値 (\overline{CCR}) に関して、その差が 0 であるという仮説である。

$$H_0 : \overline{BCC} - \overline{CCR} = 0$$

この帰無仮説が採択されれば、生産構造が規模に関して収穫一定と考えることができるだ

ろう。第2の帰無仮説は IRS モデルによる効率値の平均値 (\overline{IRS}) と DRS モデルによる効率値の平均値 (\overline{DRS}) に差がないという仮説である。

$$H_0 : \overline{IRS} - \overline{DRS} = 0$$

この帰無仮説が上側で有意に棄却されれば生産構造が規模に関して収穫逓増、下側で有意に棄却されれば規模に関して収穫逓減と考えることができる。

符号検定では、IRS の効率値と DRS の効率値を比較して、その大小がランダム (0.5 の確率) であるという仮説、つまり

$$H_0 : P(IRS \geq DRS) = 0.5$$

という帰無仮説を検定している⁹。この仮説が上側で有意で棄却されれば規模に関して収穫逓増、下側で有意で棄却されれば規模に関して収穫逓減と判断される。IRS と DRS の効率値の大小関係以外については、BCC と CCR の平均値が常に最大または最小となり、大小関係が入れ替わる確率がランダムであると考えることができないため、符号検定は行わない。

平均値の差の検定に加え符号検定を行う理由は、非効率性が大きく改善された外れ値の可能性のあるサンプルが平均値の差に与える影響を考慮するためである。従って、符号検定と平均値の差の検定において同様の結果が得られれば、その結果はより頑健なものと考えることができる。

3. 鉄鋼業における規模の経済性の検討

本稿では、大手企業 51 社における 1963 年度から 1999 年度までの 37 年間のデータを用い、分類ごとに DEA を適用して規模の経済性に関して検討を行った。分析対象である大手企業 51 社の分類は表 1 の通りであり、高炉、電炉、特殊鋼、その他の各分類にそれぞれ 5 社、9 社、9 社、28 社の企業が存在する。各分類に属する企業数が少ないため、各企業の時系列データをプールして分析を行っている。

企業のインプットとしては固定資産合計と期末従業員数の 2 つを、アウトプットとしては付加価値に相当する当期利益と人件費・福利厚生費の合計を用いている。これらのデータは「日経財務 上場企業会社本決算ファイル」から得られ、付加価値と固定資産合計に関してはそれぞれ 1995 年を 100 とした国内卸売物価指数（基本分類別指数の鉄鋼）と総合卸売物価指数（特殊分類需要段階別・用途別指数の資本財）で実質化している。いくつかの企業で固定資産合計が 0 となっている年度があるため、その年度のデータは欠損値としている¹⁰。

表 2 が鉄鋼業の分類ごとに CCR、DRS、IRS、BCC モデルにおける効率値¹¹の平均値をまとめたものである。どの分類においても CCR における平均値が最も低く BCC における平均値が最も高い点は同じであるが、CCR の平均値と BCC の平均値の差は特殊鋼、高炉、その他鉄鋼、電炉の順に大きくなっている。

BCC と CCR の平均値の差に関する検定の結果と IRS と DRS の平均値の差に関する検定

の結果が、表 3 である。BCC と CCR の平均値の差に関する検定では、その差が 0 であるという帰無仮説はどの分類においても棄却され、生産技術が規模に関する収穫一定ではないことを示唆している。IRS と DRS の平均値の差に関する検定では、その差が 0 であるという帰無仮説は電炉とその他鉄鋼において上側で棄却されており、電炉とその他鉄鋼では、生産技術が規模に関して収穫逓増であると考えられる。一方、高炉と特殊鋼では、帰無仮説は棄却されず、平均値の差の検定からは規模の経済性について統計的に有意な結論を得ることはできなかった。

IRS と DRS の差に関する符号検定の結果は表 4 に示すように、全ての分類において上側で棄却されており、効率値が改善されるサンプルの比率から見れば、全ての分類で生産技術が規模に関して収穫逓増を示す結果となった。平均値の差の検定と符号検定で結果が異なった高炉と特殊鋼は、DRS モデルにおいて大きく効率値が改善するいくつかのサンプルが検定結果に影響を与えている可能性が考えられる。

4. 結論

本稿では、鉄鋼業の各分類における規模の経済性について DEA の各モデル (CCR、DRS、IRS、BCC) で求めた効率値の大小関係と実際の生産構造の規模の経済性の対応関係をもとに分析を行った。平均値の差の検定を用いた検定結果では、全ての分類において規模に関して収穫一定という仮説は棄却されるものの、収穫逓増か収穫逓減かについては高炉とそ

の他鉄鋼では統計的に有意な結果は得られなかった。しかしながら、符号検定によれば、全ての分類で規模に関して収穫逓増を支持する結果が得られた。結果が異なる高炉とその他鉄鋼については、平均値の差の検定が DRS において効率値が大きく改善されるサンプル（外れ値）に影響を受けている可能性を考慮して、本稿では符号検定の結果を採用して規模に関して収穫逓増であると考えられる。

以上の分析結果より、わが国の鉄鋼業は全ての分類において収穫逓増の生産構造を持っており、現在提携や経営統合を進めている高炉だけでなく、電炉、特殊鋼、その他鉄鋼においても、今後提携や経営統合が進む可能性が示唆される。もちろん、わが国で高炉においてのみ提携や経営統合が進んでいる理由には、近年の中国や韓国における鉄鋼業の急成長¹²による国際競争の激化¹³といった面もあり、海外の鉄鋼メーカーのデータを含めた規模の経済性に関する分析を行うことが重要かも知れない。この点については今後の課題としたい。また、高炉に属する川崎製鉄と特殊鋼に属する日本冶金工業が、現在、企業提携を模索している。このような連携は、規模の経済性だけでなく範囲の経済性の存在を示唆するものであり、今後このような観点からも鉄鋼業の生産構造を検討する必要があると考えられる。

補論 1：回帰分析

企業ごとの技術の違いを考慮して生産構造を分析するには、企業ごとの時系列データをもとに生産関数を推計すればよい。しかしながら、特定の企業が過剰な労働や資本といった非効率を抱えたまま生産を続けているならば、生産関数の推計によって得られたパラメータは意味のないものとなる。この補論では、各企業の時系列データを用いて Cobb-Douglas 型の生産関数を推計し、実際に生産技術をうまく推計できるか追加的に検討している。

推計は以下の 2 つの基準に従った。第 1 に、誤差項に 1 階の自己回帰過程を仮定したモデルを推計したとき、推計された自己回帰係数の t 値が有意であれば 1 階の自己回帰過程を仮定したモデルを採用し、 t 値が有意でなければ誤差項に 1 階の自己回帰過程を仮定しないモデルを採用した。これは、通常最小二乗法で推定した場合に得られるダービン・ワトソンの値から系列相関について帰無仮説を棄却も採択もできないケースが多く見られたためである。第 2 は、自由度修正済み決定係数が最大となるモデルを選択した。これは、資本や労働の係数が有意に推定されないケースが多く見られたためである。

上記の基準に従って推計した結果は、分類ごとに表 5、表 6、表 7、表 8 に示されている。この結果を見ると、大きく 2 つの問題を指摘することができる。1 つ目の問題点は、選ばれた変数が資本と労働のどちらか一方であるケースが多く見られる点である。資本のみが生産に寄与しているという結果が得られた企業は、高炉では 5 社すべて、電炉では 7 社、特

殊鋼では 6 社、その他鉄鋼では 13 社の計 31 社ある。一方、労働のみが生産に寄与しているという結果が得られた企業は特殊鋼に 1 社、その他鉄鋼に 3 社の計 4 社である。両方のインプットが生産に寄与しているという結果が得られた企業は、電炉に 2 社、特殊鋼に 2 社、その他鉄鋼に 12 社の計 16 社にとどまり、半数にも達していない。工場や機械設備といった資本や労働投入の変化が付加価値に影響を与えない、通常の生産関数であると判断しがたい結果である。第 2 の問題点は、推計された資本や労働のパラメーターが負になっているという問題である。理論的に想定されるパラメーターの符号は正であるにもかかわらず、実際に推計された結果を見ると、特殊鋼で 2 社、その他鉄鋼で 7 社の計 9 社でパラメーターが負に推計されている。特に北越メタルではいずれのパラメーターも負に推計されている。

推計においてこれらのような問題が生じるのは、各企業が過剰な労働や資本を抱えたまま生産を続けてきたからではないかと考えられる。鉄鋼業では 1970 年代から労働者の削減が始まっており（田原、1978）、80 年代になると今井（1994）や鉄鋼倶楽部編（1991）が指摘するように、固定費の削減を目指した高炉の休止、さらには製鉄所の統廃合と過剰施設の削減、同時に閉鎖した製鉄所の労働者を解雇を行ってきた。このような資本や労働の調整は、実際には円滑に行われず、常に過剰な資本や労働を抱えて生産を続けていた結果が問題を含んだ生産関数の推計結果の原因であると考えられる。

補論 2 : DEA

刀根 (1993) によると、包絡線分析では、各事業主体 (サンプル) を DMU (Decision Making Unit) と呼び、M 個の要素を投入し、S 個の要素を産出している N 個の DMU を考える。このとき Charnes *et al.* (1978) によって提案された DEA の最も基本的なモデルである CCR モデルでは、第 i 番目の DMU_i の効率値は、

$$\begin{aligned} \min_{\lambda} \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \theta x_i \geq X\lambda \\ & y_i \leq Y\lambda \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

x_i …… DMU_i の M×1 の投入要素ベクトル

y_i …… DMU_i の S×1 の産出要素ベクトル

X …… 全 DMU の M×N の投入要素マトリクス

Y …… 全 DMU の S×N の産出要素マトリクス

λ …… 個々の DMU に対する N×1 のウェイトベクトル

θ …… 効率性指標

の線形計画を解くことによって得られる。得られた効率値を θ^* とすると、 $\theta^* = 1$ のとき効率的であり、ゼロに近いほど非効率的であることを意味する。

CCR モデルでは、 λ に非負の条件のみの制約が課されてきたが、 λ の存在範囲をより一層限定することにより、規模の変化による効率性の変動を考慮したモデルとなる。それが、Banker *et al.* (1984) によって提案された BCC モデルである。BCC モデルによる、DMU_i の

効率値は、

$$\begin{aligned} \min_{\lambda} \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \theta x_i \geq X\lambda \\ & y_i \leq Y\lambda \\ & e\lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

$e \cdots \cdots$ すべての要素が1である $1 \times N$ ベクトル

を解くことによって得ることができる。BCC モデルにおける λ の線形結合の制約を緩和し

て1以上にすることで、

$$\begin{aligned} \min_{\lambda} \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \theta x_i \geq X\lambda \\ & y_i \leq Y\lambda \\ & e\lambda \geq 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

規模に関して収穫逓増となるケースを許容する IRS モデルになる。一方、 λ の線形結合に

関する制約を1以下とすれば、

$$\begin{aligned} \min_{\lambda} \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \theta x_i \geq X\lambda \\ & y_i \leq Y\lambda \\ & e\lambda \leq 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

となり、規模に関して収穫逓減となるケースを許容する DRS モデルになる。

以上の4つのモデルにおける制約式は、生産可能性集合をDMUのアウトプットの線形結合をもとに構成し、DMU_iの各インプットを一様に θ 倍に縮小したものが生産可能性集合内にとどまることを課している。目的関数はこのインプットを θ 倍に縮小するときの最小縮小率を求めている。このことから、これらのモデルでは現在のアウトプットを保証しイン

プットを最小にする生産活動を求めていることになる。インプットを最小化することからこれらのモデルを入力指向型と呼ぶ。一方、それぞれのモデルに、現在のインプットを確保して期待できる最大のアウトプットを求める出力志向型のモデルもある。

脚注

¹ 経営統合は2段階で行われる予定である。まず2002年10月をめどに、共同持ち株会社を設立し、NKKと川崎製鉄はその傘下に入る。次に2003年4月をめどに持ち株会社傘下の両社を事業別に再編し、新しい鉄鋼会社やエンジニアリング会社などを設立する。

² 川崎製鉄と日本冶金のステンレス事業での包括提携などもあるが、電炉メーカー、特殊鋼メーカー、その他鉄鋼メーカーでは現在ほとんど連携が進んでいない。

³ 日本の鉄鋼業の分類に関しては、伊丹・伊丹研究室（1997）や一柳（1990）などを参考にした。高炉は高炉（溶鉱炉）によって銑鉄、粗鋼、鋼材への加工といった生産工程を一貫して行っており、電炉は電気炉によって炭素含有量が0.7%未満の普通鋼を生産している。特殊鋼は炭素含有量が0.7%~1.7%の特殊鋼（構造用鋼、工具鋼、バネ鋼、軸受鋼、ステンレス鋼など）を生産しており、その他鉄鋼は主に高炉から買った鋼材を主に亜鉛鉄板、ブリキなど表面処理鋼板やパイプ類、建材製品、釘、針金などに2次・3次加工している。

⁴ 各企業の生産関数を推計し、生産構造を検討するという接近方法も検討したが、望ましい推定結果を得ることはできなかった。生産関数の推計結果については、補論1で検討している。

⁵ DEAによる具体的な効率値の導出方法については補論2にまとめている。

⁶ 効率性の評価方法に関しては現在のアウトプットを保証してインプットを最小にする入力指向型と、現在のインプットを確保してアウトプットを最大にする出力志向型がある。

⁷ ここで企業Hは非効率性を持っているが、企業Cよりもインプットおよびアウトプットが大きくなっているため、BCCモデルおよびDRSモデルを適用した場合に効率値が1と評価されてしまう。

⁸ あるモデルにおける効率値の平均、標本不偏分散、サンプル数をそれぞれ \bar{X}_1 、 S_1^2 、 n_1 、他のモデルにおける効率値の平均、標本不偏分散、サンプル数を \bar{X}_2 、 S_2^2 、 n_2 とする。こ

このとき、検定統計量は $Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2}}$ となり、帰無仮説のもとで漸近的に標準正規分布に従う。詳しくは森棟（2000）を参照。

⁹ IRSモデルとDRSモデルの効率値の差がプラスの符号となるサンプルの数を X とする。 X は帰無仮説のもとで、試行回数が n 回、成功確率が0.5の二項分布に従って分布し、平均が $n/2$ 、分散が $n/4$ となる。このとき、検定統計量は $Z = \frac{X - (n/2)}{\sqrt{n/2}}$ となり、帰無仮説のもと

で漸近的に標準正規分布に従う。詳しくは、森棟（2000）を参照。

¹⁰ 企業ごとにサンプル数が異なる。

¹¹ 鉄鋼業ではしばしばセーフ・ガードの発動によって生産制限が行われたという経緯があるため、入力指向型の効率値を求めている。

¹² 近年の韓国や中国の急成長を分析したものには、Jefferson (1990)、Sugimoto (1993)、D'Costa (1994)、Freng (1994)、Doms (1996)、Wu (1995, 2000)、Zhang and Zhang (2001)など数多くの研究が存在する。

¹³ 海外の大手鉄鋼メーカーの多くは高炉を所有し生産を行っている。その結果、わが国の鉄鋼メーカーで特に厳しい国際競争にさらされているのが高炉メーカーという状況となっている。

参考文献

(邦文)

伊丹敬之・伊丹研究室 (1997) 『日本の鉄鋼業 なぜ、いまも世界一なのか』, NTT 出版.

一柳正紀(1990) 『鉄鋼業界』, 教育社新書.

今井敬 (1994) 「国際化の進行と日本鉄鋼業の 21 世紀への展望」, 早稲田大学商学部 (財)

経済広報センター編, 『ダイナミック経営をめざす鉄鋼業のグローバル戦略』, 中央経済社.

鋼材倶楽部編 (1991) 『鉄鋼の実際知識』, 東洋経済新報社.

田原総一郎 (1978) 「IRON CRISIS 鉄 神話の崩壊」, 潮出出版.

刀根薫 (1993) 『経営効率性の測定と改善』, 日科技連.

富浦梓 (1994) 「グローバル化下の技術革新と技術開発研究」, 早稲田大学商学部

(財) 経済広報センター編, 『ダイナミック経営をめざす鉄鋼業のグローバル戦略』,
中央経済社.

森棟公夫 (2000) 『統計学入門 第 2 版』, 新世社 サイエンス社.

(英文)

Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper (1984) “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, **30**, 1078-1092.

Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes (1978) “Measuring the Efficiency of Decision Making

- Units,” *European Journal of Operations Research*, **2**, 429-444.
- D’Costa, A. P. (1994) “State, Steel and Strength: Structural Competitiveness and Development in South Korea,” *Journal of Development Studies*, **31**, 44-81.
- Doms, M. E. (1996) “Estimating Capital Efficiency Schedules within Production Function,” *Economic Inquiry*, **34**, 78-92.
- Freng, L. (1994) “China’s Steel Industry: Its Rapid Expansion and Influence on the International steel Industry,” *Resources Policy*, **20**, 219-234.
- Jefferson, C. H. (1990) “China’s Iron and Steel Industry: Sources of Enterprise Efficiency and the Impact of Reform,” *Journal of Development Economics*, **33**, 329-355.
- Sugimoto, T. (1993) “The Chinese Steel Industry,” *Resources Policy*, **19**, 264-286.
- Wu, Y. (1995) “The Productive Efficiency of Chinese Iron and Steel Firms: A Stochastic Frontier Analysis,” *Resources Policy*, **21**, 215-222.
- Wu, Y. (2000) “The Chinese Steel Industry: Developments and Prospects,” *Resources Policy*, **26**, 171-178.
- Zhang, X. C. and Zhang, S. (2001) “Technical Efficiency in China’s Iron and Steel Industry: Evidence from the New Census Data,” *International Review of Applied Economics*, **15**, 199-211.

脚注

表 1 鉄鋼企業の分類

分類	企業名					
	新日本製鉄	川崎製鉄	NKK	住友金属工業	神戸製鋼所	
高炉	日新製鋼	中山製鋼所	合同製鉄	大和工業	中部鋼鉄	
電炉	日本製鋼所	東洋製鋼	東京製鋼	東京製鉄		
特殊鋼	大同特殊鋼	日本高周波鋼	日本金属工業	日本冶金工業	愛知製鋼	
	東北特殊鋼	日立金属	日本金属	三菱製鋼		
その他の鉄鋼	高砂鉄工	淀川製鋼所	東洋鋼鉄	日本パイプ製造	丸一鋼管	
	大同鋼板	日鉄鋼管	日本重化学工業	日本電工	中央電気工業	
	栗本鉄工所	虹枝	自動車鑄物	旭テック	中央可鍛工業	
	川口金属重工	大和重工	日本鑄造	日本鑄鉄管	関東特殊鋼	
	TDF	日本鍛工	メタルアート	日亜鋼業	日本精線	
	東京シャリング	北越メタル	モリ工業			

(表2) 各分類の効率値の平均

	CCR	IRS	DRS	BCC	サンプル数
高炉	0.334	0.422	0.379	0.467	144
電炉	0.202	0.387	0.284	0.469	199
特殊鋼	0.125	0.150	0.190	0.215	278
その他の鉄鋼	0.114	0.259	0.152	0.297	783

(表 3)平均値の差の検定結果

	高炉	電炉	特殊鋼	その他鉄鋼
BCC-CCF	3.357 *	9.926 *	3.869 *	16.308 *
IRS-DRS	1.063	3.498 *	-1.735	9.082 *
サンプル数	144	199	278	783

*は1%水準で有意であることを示す

(表 4) 符号検定の検定結果

	高炉	電炉	特殊鋼	その他鉄鋼
サンプル数	141	196	275	776
IRSモデルの方が大きい数	89	136	167	683
統計量	2.833 *	5.429 *	3.719 *	21.18 *

*は1%水準で有意であることを示す

(表5) 高炉の推計結果

	住友金属工業	川崎製鉄	NKK	神戸製鋼所	新日本製鉄
定数	4.400 (3.674)	2.213 (23.409)	3.838 (5.482)	2.928 (3.660)	-0.531 (-0.205)
資本	0.433 (3.242)	0.435 (25.045)	0.585 (7.702)	0.694 (7.532)	0.780 (2.896)
労働					
ρ	0.783 (7.160)	0.243 (1.626)	0.687 (5.597)	0.745 (5.382)	0.401 (2.637)
決定係数	0.793	0.280	0.908	0.924	0.434
自由度修正済決定係数	0.781	0.236	0.903	0.920	0.400
DW					
対数尤度	19.648	-30.411	34.006	30.011	-20.408
サンプル数	36	36	36	36	36

() は t 値を表している。

(表6) 電炉の推計結果

	日本製鋼所	中部鋼鈹	合同製鉄	日新製鋼	東洋製鋼	東京製鋼	大和工業
定数	2.792 (31.788)	1.623 (9.928)	4.079 (5.082)	3.528 (2.287)	0.540 (0.471)	-2.720 (-27.505)	-4.884 (-31.637)
資本	0.190 (7.563)	0.243 (3.184)	0.279 (1.968)	0.486 (2.412)	0.805 (2.726)	1.218 (20.886)	1.613 (21.711)
労働							
ρ	0.093 (0.990)	0.644 (4.552)	0.856 (8.092)	0.767 (5.034)	0.765 (6.840)	0.250 (1.334)	0.562 (3.726)
決定係数	0.840	0.676	0.806	0.816	0.720	0.833	0.771
自由度修正済み決定係数	0.828	0.648	0.795	0.804	0.703	0.815	0.756
DW							
対数尤度	-29.776	-24.675	9.055	20.690	-36.312	-24.616	-34.325
サンプル数	30	26	36	36	35	22	32
	<hr/>						
	中山製鋼所	東京製鉄					
定数	3.930 (461.717)	0.437 (4.262)					
資本	0.367 (11.983)	1.313 (4.711)					
労働	0.079 (2.830)	-0.471 (-2.256)					
ρ	0.305 (1.275)	0.048 (0.256)					
決定係数	0.853	0.561					
自由度修正済み決定係数	0.833	0.496					
DW							
対数尤度	15.496	-35.472					
サンプル数	26	24					

() は t 値を表している。

(表7) 特殊鋼の推計結果

	三菱製鋼	愛知製鋼	東北特殊鋼	日本冶金工業	日本高周波鋼業	大同特殊鋼
定数	5.961 (4.809)	6.043 (3.956)	4.072 (326.558)	1.258 (8.879)	-0.915 (-9.485)	-1.408 (-0.410)
資本	-0.122 (-0.605)	-0.016 (-0.069)	0.046 (2.163)	0.368 (8.613)	0.720 (21.576)	0.884 (1.761)
労働						
ρ	0.889 (10.639)	0.970 (29.524)	0.892 (14.481)	0.300 (1.702)	0.171 (0.969)	0.614 (4.704)
決定係数	0.695	0.803	0.648	0.505	0.616	0.509
自由度修正済み決定係数	0.676	0.791	0.676	0.466	0.583	0.479
DW						
対数尤度	0.328	10.790	11.456	-34.233	-19.688	-23.124
サンプル数	36	36	29	28	26	36
	日本金属工業	日立金属	日本金属			
定数	2.873 (15.658)	-13.194 (-3.102)	-23.030 (-2.134)			
資本		0.554 (6.165)	0.611 (1.684)			
労働	0.087 (2.347)	1.622 (3.352)	3.338 (2.140)			
ρ	0.088 (0.535)	0.369 (2.390)	0.542 (2.399)			
決定係数	0.536	0.795	0.340			
自由度修正済み決定係数	0.500	0.775	0.279			
DW						
対数尤度	-38.951	-1.248	-27.333			
サンプル数	29	36	36			

() は t 値を表している。

(表 8) その他の鉄鋼の推計結果

	大和重工	関東特殊鋼	中央電気工業	川口金属重工	高砂鉄工	栗本鉄工所
定数	1.221 (4.820)	1.721 (18.363)	3.199 (4.549)	0.820 (0.818)	3.025 (3.198)	3.592 (5.321)
資本	0.141 (1.355)	0.154 (4.601)	0.244 (1.311)	0.345 (1.235)	0.447 (2.042)	0.542 (4.446)
労働						
ρ	0.500 (3.438)	0.213 (1.205)	0.855 (7.776)	0.380 (2.481)	0.699 (5.863)	0.914 (11.801)
決定係数	0.546	0.492	0.775	0.216	0.621	0.944
自由度修正済み決定係数	0.512	0.448	0.761	0.169	0.598	0.940
DW						
対数尤度	-20.865	-15.098	5.352	-43.721	19.553	33.710
サンプル数	30	26	36	36	36	36
	メタルアート	モリ工業	日本鑄造	旭テック	日本パイプ製造	日本精線
定数	2.394 (1.790)	0.367 (0.931)	-0.897 (-3.284)	-0.422 (-1.762)	-0.910 (-0.429)	-2.844 (-26.864)
資本	0.548 (1.486)	0.518 (5.932)	0.715 (9.291)	0.731 (10.593)	0.748 (1.419)	1.245 (37.909)
労働						
ρ	0.879 (7.790)	0.234 (1.333)	0.333 (2.050)	0.437 (1.609)		-0.021 (-0.099)
決定係数	0.596	0.658	0.503	0.680	0.059	0.721
自由度修正済み決定係数	0.567	0.633	0.467	0.660	0.030	0.702
DW					1.834	
対数尤度	8.828	-12.923	-31.483	-19.221	-48.547	-25.705
サンプル数	31	30	31	35	34	33

	丸一鋼管	日本電工	日本鑄鉄管	日本鍛工	北越メタル	大同鋼板
定数	-3.018 (-3.510)	11.187 (2.995)	8.689 (1.570)	3.070 (180.935)	76.645 (615.889)	5.480 (21.641)
資本	1.378 (8.543)				-2.155 (-2.701)	-0.043 (-1.094)
労働		-1.256 (-2.296)	-1.090 (-1.187)	0.099 (22.344)	-11.191 (-22.678)	0.074 (4.417)
ρ	0.332 (2.017)	0.229 (1.416)	0.964 (24.514)	-0.151 (-0.617)	0.598 (3.244)	
決定係数	0.805	0.220	0.821	0.562	0.837	0.667
自由度修正済み決定係数	0.793	0.174	0.810	0.489	0.789	0.616
DW						1.810
対数尤度	-14.092	-45.146	3.917	20.866	-11.092	20.908
サンプル数	36	37	36	15	14	16

	虹枝	淀川製鋼所	日本重化学工業	東洋鋼鋳	中央可鍛工業	日鉄鋼管
定数	4.952 (5.408)	3.969 (6.997)	-4.880 (-1.597)	7.559 (68.974)	6.749 (1.383)	2.977 (15.659)
資本	-0.389 (-2.386)	0.331 (3.461)	0.349 (1.490)	0.373 (1.280)	0.444 (5.032)	0.472 (11.549)
労働	0.095 (1.923)	0.117 (4.925)	0.756 (1.989)	-0.769 (-3.437)	-0.999 (-1.234)	0.079 (3.020)
ρ		0.959 (20.153)		0.595 (4.152)		
決定係数	0.789	0.958	0.160	0.559	0.475	0.859
自由度修正済み決定係数	0.718	0.954	0.110	0.517	0.438	0.848
DW	2.640		1.622		1.948	1.428
対数尤度	9.498	41.243	-46.164	-17.366	4.085	17.825
サンプル数	9	36	36	35	31	27

	東京シャリング	自動車鑄物	TDF	日亜鋼業
定数	2.578 (117.906)	1.760 (7.191)	-6.230 (-14.947)	3.503 (18.080)
資本	0.542 (4.832)	0.658 (13.288)	1.087 (2.734)	0.117 (2.967)
労働	0.199 (4.197)	0.044 (1.389)	0.577 (2.290)	0.095 (3.291)
ρ	0.900 (13.263)		0.415 (2.820)	0.424 (2.046)
決定係数	0.838	0.877	0.649	0.774
自由度修正済み決定係数	0.815	0.868	0.612	0.738
DW		2.187		
対数尤度	1.317	2.614	-34.984	28.258
サンプル数	26	29	32	23

() は t 値を表している。

図1 生産構造、フロンティアと効率性の関係

