

CO₂排出量を考慮した 47 都道府県の生産効率性分析

入会申請中 東京工業大学 *石田凌 ISHIDA Ryo
01109680 東京工業大学 後藤美香 GOTO Mika

1. はじめに

地域経済の生産性とその経年変化を計測し評価することは、地域経済政策の議論にとって有用である。従来の生産性指標は、労働、資本、エネルギー、材料をインプットとし、国内総生産 (Gross Domestic Product: GDP) や地域内総生産 (Gross Regional Product: GRP) をアウトプットとして計測されることが一般的である。しかし、そのような生産性指標は、生産活動が環境に及ぼす影響を捕捉することができないという課題がある。2015 年に国連で「我々の世界を変革する 持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」が採択され、SDGs が提唱された。また同年、国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP21) においてパリ協定が採択され、翌年に発効した。日本でも、2020 年に当時の菅総理大臣が 2050 年までにカーボンニュートラルを目指すことを表明し、CO₂ を含む温室効果ガスの削減施策について議論が継続されている。これを受け、都道府県など自治体単位の環境に対する取り組みも加速している。

本研究では、インプットとして環境要因を取り入れた生産効率性指標を検討し、日本の 47 都道府県の 2007 年から 2014 年の 8 年間のデータに応用することで、生産効率性の経年変化を計測する。そのために、データ包絡分析法 (Data Envelopment Analysis: DEA) を用いる。分析結果から、地域経済における経済効率と環境効率の両立について議論する。

2. 先行研究

地域経済を対象とした生産性の計測はこれまでも多くの研究で行われてきた。例えば Barro and Sala-i-Martin (1995) では、回帰分析を用いた分析により、1930 年から 1990 年までの日本における労働生産性の地域間収束を示した。Essletzbichler and Kadokawa (2010) は、1968 年から 2004 年までの日本の都道府県の労働生産性の推移を検証し、生産性上昇の速い時期と遅い時期によって、生産性水準に二極化と収束が見られること示した。Nemoto and Goto (2005) や Goto et al. (2018) は、Hicks-Moorsteen-Bjurek (HMB) 生産性指数の計測とその要因分解を行い、生産性の地域間格差の動向とその要因について示した。一方、これらの研究では、CO₂ 排出量など環境負荷要因を考慮していない。本研究では、望ましいアウトプットに加え、CO₂ 排出量を望ましくないアウトプットとして分析モデルに取り入れた生産効率性の計測を行う。

3. 分析手法

DEA は Charnes et al. (1978) 以降、意思決定主体

(Decision Making Unit: DMU) の相対的な効率性を評価するノンパラメトリックな分析手法として、多くの研究者によって理論研究と応用研究が行われてきた。様々なモデルが開発される中で、生産プロセスにおける望ましくないアウトプットを取り入れたモデルも提案されてきた。それらのうち本研究では、Tomikawa and Goto (2022) で用いられた DEA intermediate approach を応用し、CO₂ を望ましくないアウトプットとして考慮した場合としない場合の、都道府県の生産効率性について比較分析する。

具体的には、DMU k の効率値を計測する、アウトプット指向の、規模に関して収穫可変のモデルを、モデル (1) で示す。

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta = \frac{1}{s+h} (\sum_{r=1}^s \xi_r^g + \sum_{f=1}^h \xi_f^b) \\ & + \varepsilon_n (\sum_{i=1}^m R_i^x d_i^x + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^x = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi_r^g g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\ & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi_f^b b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \quad (1) \\ & \xi_r^g \leq 1 \quad (r = 1, \dots, s), \quad \xi_f^b \leq 1 \quad (f = 1, \dots, h), \\ & d_i^x \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), \quad d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s), \\ & d_f^b \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h), \quad \lambda_j \geq 0, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\ & \xi_r^g: \text{unrestricted}, \quad \xi_f^b: \text{unrestricted}. \end{aligned}$$

ここで ξ_r^g と ξ_f^b は非効率性を示す変数、 d_i, d_r, d_f はそれぞれインプット x_i ($i = 1, \dots, m$)、望ましいアウトプット g_r ($r = 1, \dots, s$)、望ましくないアウトプット b_f ($f = 1, \dots, h$)、に関するスラック変数である。DMU は 47 都道府県であり、 $j = 1, \dots, 47$ である。 λ_j は DMU をつなぐ重み変数である。また本研究では $\varepsilon_n = 0.001$ を用いる。モデル (1) の目的関数から $+\sum_{f=1}^h \xi_f^b$ と分母の h を削除し、3 番目の制約式と、 $\xi_f^b \leq 1$ ($f = 1, \dots, h$)、 $d_f^b \geq 0$ ($f = 1, \dots, h$) を削除することで、望ましくないアウトプットを考慮しないモデルになる。 R_i, R_g, R_f はデータ範囲の調整のために用いられ、以下のとおり定義する。 $R_i^x = (m + s + h)^{-1} (\max_j \{x_{ij}\} - \min_j \{x_{ij}\})^{-1}$, $R_r^g = (m + s + h)^{-1} (\max_j \{g_{rj}\} - \min_j \{g_{rj}\})^{-1}$, $R_f^b = (m + s + h)^{-1} (\max_j \{b_{fj}\} - \min_j \{b_{fj}\})^{-1}$. $i = 1, \dots, m, r = 1, \dots, s, f = 1, \dots, h, j = 1, \dots, n$. 効率値は $0 < \rho = 1 - \theta \leq 1$ により計測される。

4. 実証分析

4.1 データ

図 1 はデータに基づき本研究の分析枠組みを表している。本研究では、望ましくないアウトプットを含めない場合と、含め

た場合の2パターンについて効率値の計測を実施する。望ましいアウトプットとしてGRPを、望ましくないアウトプットとしてCO₂排出量を用いる。そのため、モデル(1)の r と h はそれぞれ1項目ずつのシンプルなモデルとなる。インプットは労働、エネルギー、資本から構成される。資本は、民間資本ストックと社会資本ストックの2種類を導入する。

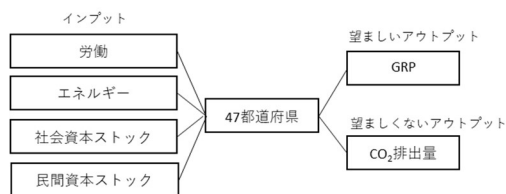


図1: データからみた分析の枠組み

労働、社会資本ストック、GRPは、内閣府ウェブサイト、「県内就業者数」、「粗資本ストック」、「県内総生産」の項目を取得した。エネルギーは、資源エネルギー庁ウェブサイト、「エネルギー消費総計」から、CO₂排出量は、環境省ウェブサイトから入手した。民間資本ストックは、内閣府から更新データの取得ができなかったため、R-JIPデータベース2021で、「実質純資本ストック(知的生産物以外)」を取得した。R-JIPデータベースは、独立行政法人経済産業研究所(RIETI)が構築しており、「付加価値」、「資本」、「労働」などのデータについて、都道府県別、産業別に整備されている。

4.2 分析結果

望ましくない出力を考慮した分析と、しない分析の、効率値 ρ の結果について、47都道府県を8地域に集約して平均値をとった経年変化を図2と図3に示している。これらから以下の5点が指摘できる。(1) 図2と図3に共通の傾向として、四国の生産効率性が高い。(2) 四国に次いで、効率値が相対的に高いグループ(グループA)と、低いグループ(グループB)の2つに分かれている。(3) グループAには首都圏、近畿、北関東、中部が、グループBには九州、東北、沖縄、北海道、中国が含まれる。(4) 効率値の水準は全体的に図2より図3で低く、CO₂排出量を考慮することで効率値が低下している。(5) 一方、図2に比べ図3では、中部、中国の効率値が上がり、北関東、沖縄の効率値が低下した。

中部と中国には、いずれも製造業を中心とする産業クラスターがあり、CO₂排出量を考慮することで効率値が相対的に低下する可能性もあるが、実際には逆の結果となっている。企業が早い段階からCO₂排出量を抑制しつつ経済成長を遂げたことが結果として表れたと推察される。今後、各都道府県が経済活動を活性化しつつCO₂排出削減ができるかどうか、統合的な効率性向上への鍵となる。一方、北関東、沖縄は、産業構造が異なるものの、どちらも付加価値に対するCO₂排出量が多いと考えられ、今後は排出量抑制のための技術の導入や制度的な仕

組みの検討が必要になると考えられる。

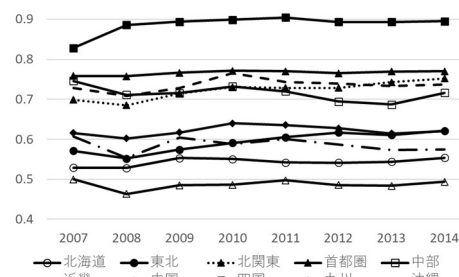


図2: CO₂を考慮しない計測結果

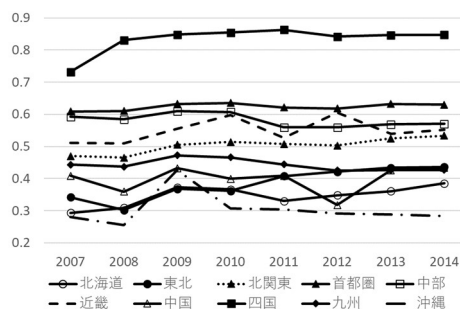


図3: CO₂を考慮した計測結果

5. おわりに

本研究は、環境要因を考慮した日本の47都道府県の2007年から2014年までの生産効率性指標について、DEA intermediate approachを用いて計測した。CO₂排出量を考慮しない場合とした場合の結果を比較することで、地域の特徴点を議論した。今後の課題として、主にデータの拡充の必要性が指摘できる。まず、本研究で用いたデータは2014年までのデータであり、パリ協定などの議論を踏まえ現在各都道府県で行われているCO₂排出量削減の取り組みの影響については観測できていない。また、環境要因としてCO₂排出量のみを用いたが、経済協力開発機構(OECD)は2011年から「Better Life Index」を、国連環境計画(UNEP)は2012年から「Inclusive Wealth Index」を公表しており、GDPの拡張指標や代替指標を提案する試みがなされている。本研究でも、より広範囲な視点を取り入れた効率性評価への拡張が期待できる。例えば、自然資本や文化資本を取り入れた新しい生産性指標の分析は、地域の総合的な豊かさを議論する上で有用であると考えられる。

主な参考文献

- [1] Nemoto, J. and Goto, M. (2005). "Productivity, efficiency, scale economies and technical change: A new decomposition analysis of TFP applied to the Japanese prefectures," Journal of the Japanese and International Economies, 19, 617-634.
- [2] Tomikawa, T. and Goto, M. (2022). "Efficiency assessment of Japanese National Railways before and after privatization and divestiture using data envelopment analysis," Transport Policy, 118, 44-55.