

パラメトリックフロンティア分析法による限界削減費用の推計に基づいた中国石炭火力発電所316基の戦略的なCO₂及びSO₂排出量削減政策

中石知晃（九州大学経済学府 博士課程1年）
Email: yoshizawa.tomoaki.718@s.kyushu-u.ac.jp

九州大学 エネルギーウィーク 2021
Energy Week 2021

Q-PIT 九州大学 エネルギー研究教育機構

1. 背景 中国石炭火力由来のCO₂・SO₂

2015年現在、**中国は世界最大のCO₂・SO₂排出国**であり、特に**石炭火力発電**はその主な排出要因である

政府は第13次5カ年計画の中で再エネの普及に積極的に取り組む一方で、主要な国産エネルギー資源である石炭火力の設備容量を55%以上で維持するとしている

これらのことを踏まえると、中国及び世界的な気候変動や大気汚染の問題を解決するためにも、**中国石炭火力発電所の環境効率性を上昇させ、CO₂・SO₂排出量を緩和する必要がある**

3. 手法 パラメトリックフロンティア分析

パラメトリックフロンティア分析は、複数の生産者の投入・産出データを基に生産可能性フロンティアを推計し、フロンティアから各生産者までの距離をベースに、**0（最低値）から1（最高値）までの基準化された相対的な生産効率性スコア**を推計する手法である

本研究では各発電所のCO₂・SO₂の排出技術に関する**環境効率性スコア**をそれぞれ、 EE^{CO_2} ・ EE^{SO_2} と定義する
また、推計されたスコアは0から1の間で基準化されているので、1（最高値）から各発電所の効率性スコア（e.g., 0.6）を引くことで、**各発電所にどれだけCO₂・SO₂を削減する余地が潜在しているのか**（CO₂・SO₂排出削減ポテンシャル： $RPCO_2$ ・ $RPSO_2$ ）も推計できる

さらに、推計されたフロンティアの接線の傾きはCO₂・SO₂と電力生産量とのトレードオフの関係を反映しており、これは**各発電所が限界的に1単位のCO₂・SO₂を削減するときにかかる追加的な費用**（**限界削減費用**： MAC^{CO_2} ・ MAC^{SO_2} ）として解釈することができる

図1は簡単に効率性スコアと限界削減費用の概念を説明している

図1において発電所：Aはフロンティアの内側にあるため生産‘非’効率的である

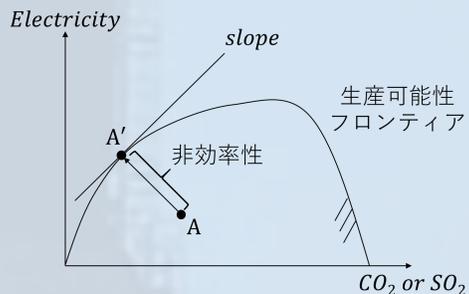


図1. 効率性スコアと限界削減費用の概念

ここで、発電所：Aとフロンティア上の仮想的な発電所：A'の間の距離が生産非効率性であり、この距離の大きさに基づいて**環境効率性スコア**は計算される

また、フロンティア上の点：A'における接線の傾きが発電所：Aの**限界削減費用**となる

続いて、図2・3に示された**環境効率性スコア**と**限界削減費用**の指数・線形の関係性： $MAC(z)$ を基に、限られた予算： $C_{allocated}$ で総CO₂・SO₂排出削減量： ΔR_{total} を最大化するための以下のような最適化問題を解く

ここで、 h_k^* は、 k^{th} 発電所の最適な**環境効率性スコア**の改良量を示すため、必ず、 $1 - EE_k$ よりも小さな値をとる

$$\begin{aligned} \max \Delta R_{total} &= \sum_{k=1}^K b_k \times h_k^* \\ \text{s.t. } h_k^* &\leq 1 - EE_k \\ C_{allocated} &= \sum_{k=1}^N \left[b_k \times \int_{EE_k}^{EE_k + h_k^*} MAC(z) dz \right] \end{aligned}$$

2. 目的 石炭火力発電所の環境効率性分析

発電所の環境効率性上昇に向け、まず**各発電所の現状の環境効率性レベルを把握することが重要である**

本研究では、**パラメトリックフロンティア分析**と**発電所単位の詳細な投入・産出データ**（石炭消費量・設備容量・電力消費量・電力生産量・CO₂・SO₂排出量）を用いて、中国石炭火力発電所316基それぞれの相対的な**環境効率性スコア**、CO₂・SO₂**排出削減ポテンシャル**、CO₂・SO₂の**限界削減費用**を推計する

続いて、上の3つの推計値の関係性から、CO₂・SO₂排出削減量を最大化するための**最適化問題**を導出する

この最適化問題は、**限られた予算内で最も効果的にCO₂・SO₂排出量を削減するためには、どの発電所にどれ程の予算配分が必要か**を明らかにすることができる

4. 結果・考察

発電所316基の EE^{CO_2} ・ EE^{SO_2} の平均はそれぞれ**0.48**・**0.61**で、これは**中国石炭火力発電所に平均52%・39%のCO₂・SO₂削減のポテンシャルが潜在する**ことを意味する

発電所316基の $RPCO_2$ ・ $RPSO_2$ の平均値は、それぞれ**1517 Kt**・**3773 t**で、累計地は**480 Mt**・**1192 Kt**であり、 MAC^{CO_2} ・ MAC^{SO_2} の平均値は1トン当たり**98 yuan**・**223,401 yuan**であった

図2・3は上3つの推計値の関係を示したバブルチャートであり、これから以下①～③の政策提言が得られる

①： EE^{CO_2} と MAC^{CO_2} の両値が低い発電所は、 $RPCO_2$ も少なく、これらの発電所は**閉鎖されるべきかもしれない**

②： EE^{CO_2} が**0.4-0.7**程度で MAC^{CO_2} が**400-800 yuan/ton**程度の発電所は $RPCO_2$ が比較的大きく、**優先的に技術改善がされるべき**である

③： MAC^{SO_2} が低いにも関わらず、大きな $RPSO_2$ を持つ発電所は、FGDシステムなどのSO₂排出緩和技術が未整備である可能性があり、**注視されるべき**である

ここで、左の最適化問題の $C_{allocated}$ を19 billion yuan（2010年の実際のSO₂対策予算）と仮定する

最適化問題の解に基づき、**最も効果的な予算配分**を発電所316基それぞれへ行くと、約107 KtのSO₂が削減できる

このとき、316基中**最も多くの予算を配分すべき発電所**は、LIAONING HUADIAN TIELING POWER GENERATION CO. LTD.で**最適な予算配分額**は487 million yuanである

所与の予算内で、各発電所にどの程度の予算配分を行えば、最も効果的な排出削減を達成できるかを明らかにする点が、本研究フレームワークの最大の貢献である

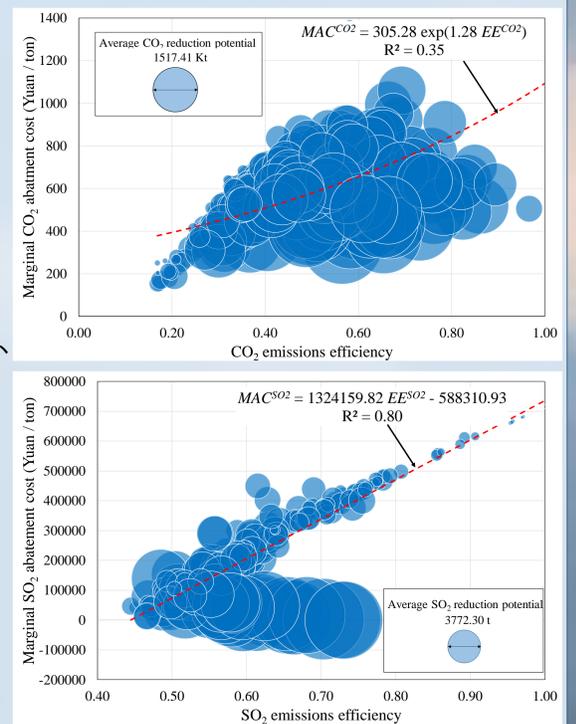


図2・図3. バブルチャート（上からCO₂・SO₂）