

令和 6 年 4 月 3 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20025

研究課題名（和文）石炭火力発電所に由来する大気汚染物質の健康被害評価と削減政策の提案

研究課題名（英文）Health Hazard Assessment of Air Pollutants from Coal-Fired Power Plants and Proposed Reduction Policies

研究代表者

永島 史弥（Nagashima, Fumiya）

近畿大学・経済学部・准教授

研究者番号：50845956

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、データ包絡分析法・領域化学輸送モデル・統合曝露反応モデル等を用いた健康影響評価モデルを統合し、非効率な発電を行う石炭火力発電所に対する排出抑制技術の導入および抑制技術水準の高い新規発電所への代替等で改善される大気汚染物質排出量と健康被害を推計するフレームワークを開発した。分析の結果、発電所の環境効率改善は、大気汚染の曝露による早期死亡の40%が回避可能であることが明らかになった。また、研究対象の発電所から排出された大気汚染物質由来の近隣諸国での早期死亡も、発電所の効率性改善により回避可能であることも明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により明らかになった中国の石炭火力発電所の環境効率性を基に、大気汚染物質による健康被害の削減を推し進めるにあたって、どの発電所に削減技術を優先的に導入すべきか、もしくはどの発電所を早期稼働停止すべきか等の環境政策を提案することができた。

また、本研究の学術的な意義としては、データ包絡分析法・領域化学輸送モデル・統合曝露反応モデル等を用いた健康影響評価モデルを統合することで、非効率な発電を行う石炭火力発電所の環境効率性の向上により改善される大気汚染物質排出量と健康被害を推計するフレームワークを開発したことにある。

研究成果の概要（英文）：This study integrates health impact assessment models using data envelopment analysis, chemical transport models, and integrated exposure-response models to develop a framework for estimating air pollutant emissions and health hazards that can be improved by introducing emission control technologies for coal-fired power plants that generate electricity inefficiently and replacing them with new power plants that have higher levels of control technologies. A framework was developed. The results of the analysis showed that 40% of premature deaths due to air pollution exposure could be avoided if power plants improved their environmental efficiency. It was also found that health hazards in neighboring countries from air pollutant emissions from the power plants under study could also be avoided with power plant efficiency improvements.

研究分野：環境経済学

キーワード：石炭火力発電 大気汚染 健康影響評価 アジア データ包絡分析法

## 1. 研究開始当初の背景

現在世界で屋内外の大気汚染による早期死亡者数は約 700 万人にも達し、新たな政策が導入されず、社会経済動向がこのまま推移した場合、2050 年には大気汚染が早期死亡をもたらす最大のリスク要因と OECD は警告している。特にアジアの多くの都市では大気汚染物質濃度が WHO の基準値を上回っており、中でも中国で排出される PM2.5 は国内だけでなく東アジアにおいても環境影響や健康被害をもたらしている。中国の大気汚染の要因の一つが発電部門からの排出である。中国国内の電源構成比の約 8 割は火力発電であるが、中国での大気汚染を加速させている要因として、火力発電に用いられる燃料の 70%以上を石炭が占めていることが挙げられる。

中国政府は気候変動抑制に向けた温室効果ガスの削減だけでなく、大気汚染物質の削減に取り組む姿勢を見せているものの、『第 13 次 5 ヶ年計画』において、今後増加すると予想されるエネルギー需要に対応するために、石炭火力による発電量を維持していくことを明言している。このことは、既存の発電所および建設予定である発電所からの大気汚染物質の排出によって周辺地域での健康被害が今後も継続的に発生する可能性を示唆している。中国政府がこれらの大気汚染緩和に向けた環境政策を執り行う上で、国内の石炭火力発電所の稼働によって発生する健康被害、すなわち将来に「コミットされた早期死亡者」を把握することが決定的に重要である。これまで、中国国内の国単位・省単位での石炭火力発電に伴う健康被害の推計は行われているものの、石炭火力発電所を単位とした将来的な健康被害の推計はほとんど行われていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、発電所レベルの詳細なデータを用いることにより、大気汚染にともなう健康被害を定量的に評価し、大気汚染による健康被害の削減に向けた具体的な提言を行う。

- ・ 既存の石炭火力発電所が排出する大気汚染物質により、どれだけ早期死亡者が発生しているだろうか？
- ・ 既存の発電所に対する排出抑制技術の導入および新規発電所への代替といった環境効率性の改善が大気汚染による早期死亡者の削減にどれほど寄与するだろうか？

## 3. 研究の方法

本研究では、データ包絡分析法・領域化学輸送モデル・統合曝露反応モデル等を用いた健康影響評価モデルを統合し、非効率な発電を行う石炭火力発電所に対する排出抑制技術の導入および抑制技術水準の高い新規発電所への代替等で改善される大気汚染物質排出量と健康被害を推計するフレームワークを開発した。石炭火力発電所の効率性を推計するためのデータの制約から、フレームワークの提案を論文の主題とし、中国の石炭火力発電所を対象とした分析(316 基、総発電容量の 40%)は当該フレームワークのケーススタディとした。本研究のケーススタディ用いた中国の石炭火力発電所の標本サイズを以下の表で示す。

表 1. 研究で用いた石炭火力発電所の標本サイズ

	Original sample size	Sample size for empirical analysis	Sample availability (%)
2002	740	544	73.5
2003	830	576	69.4
2004	832	551	66.2
2005	934	579	62.0
2006	966	652	67.5
2007	1012	614	60.7
2008	970	585	60.3
2009	936	577	61.6
2010	931	579	62.2
2011	939	514	54.7
Total	9,090	5,771	63.5

本研究では、大気汚染物質の排出源である個別の石炭火力発電所ごとに健康被害への寄与を計算することを可能にしたことで、発電量、導入している削減技術、発電所の立地している地域の気候、人口集積度、人口構成など様々な観点から将来に渡って発生する早期死亡者数を推計でき、どの発電所に削減技術を優先的に導入すべきか、もしくは環境基準達成のためには既存の発電所を早期稼働停止すべきか等、政府に対して具体的な環境政策を提言することが可能である。

## 4 . 研究成果

### 研究成果

本研究では表 1 で示されたデータをもとに、データ包絡分析法を用いて中国の各石炭火力発電所の環境効率性を推計した。発電所のデータは、地理的データに加え、大気汚染物質排出量や発電量、石炭資料量などの情報が含まれている。本研究では、エネルギー（石炭）消費当たりの大気汚染排出量が少ない発電所を"環境効率的"な発電所とし、逆に排出量が多い発電所を"環境非効率的"な発電所としている。

推計された効率性をもとに、現状の大気汚染物質排出量 (BAU シナリオ) および環境改善が行われた際の大気汚染物質排出量 (環境改善シナリオ) を推計し、2 つのシナリオの排出データをもとに、化学輸送モデルを用いて PM2.5 の年平均汚染物質濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) を計算した。また、汚染物質濃度から統合曝露反応 (IER) モデルにより大気汚染物質の相対リスクを計算し、曝露人口分布データおよび基準死亡率を掛け合わせることで、各発電所からの大気汚染物質が誘発する東アジアにおけるグリッド別の早期死亡者数分布を求めた。

分析結果から、発電所から排出された大気汚染物質の曝露によって、年間約 4 万 1 千人程度の早期死亡が発生した可能性があり、うち約 40% (1 万 6 千人程度) の死亡は、発電所の環境効率性改善の努力によって回避可能であったと推定された。また図 1 は、2 つのシナリオの差、すなわち、現状の排出状況から推計した早期死亡者数と環境改善された状況から推計した早期死亡者数の差を示しており、これは環境効率の改善による

早期死亡者数の削減ポテンシャルを意味しているが、この結果から成都 (Chengdu) や西安 (Xi'an)、北京 (Beijing) や重慶 (Chongqing) などの地域に高い早期死亡者数の削減ポテンシャルが存在することが明らかになった。

本研究成果は、査読付き英文誌である Energy Economics 誌に掲載されている[1]。

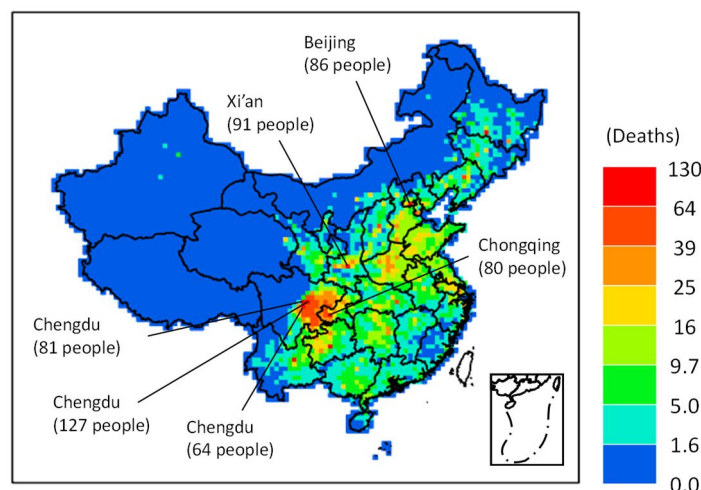


図 1. 早期死亡者数の削減ポテンシャル

## 研究成果

本研究では、これまでの CO<sub>2</sub> 排出量削減を目的とした中国における石炭火力発電所の環境効率に関する分析は数多く行われているが、発電所の立地やその空間的パターンについてはあまり焦点が当てられていないことに着目し、2002 年から 2011 年までの中国における石炭火力発電所の環境効率の空間依存性を分析した。分析の結果、中国政府が第 11 次 5 カ年計画において実施した発電所の選択的集中政策によって、発電所の全体的な環境効率が改善され、2002 年から 2011 年にかけて沿岸部と内陸部における環境効率の格差も縮まったことが示唆された。

Global Moran's I 値はさらに、環境効率スコアの有意な正の空間的自己相関を示しており、調査期間を通じて空間的集積が年々進行していることが明らかになった(図 2)。さらに、Local Moran's I 指数値と LISA クラスター・マップ(図 3)から、石炭火力発電所の環境効率は、特に沿岸部と内陸部で、それぞれ HH クラスター(高効率発電所を他の高効率発電所が取り囲むクラスター)と LL クラスター(他の低効率発電所に近接する低効率発電所のクラスター)によって特徴付けられることが明らかになった。

本研究結果に基づく政策提言として以下の 3 点が挙げられる。(1)中国政府が実施した規模抑制政策が調査期間中の環境効率改善に有効であることが示唆されたことから、この政策は今後も維持されるべきである。(2)発電所レベルでの有意な空間的自己相関は、関連する利害関係者間の技術協力を強化することが環境効率の改善に効果的であることを示しているため、特に環境効率の低い発電所が密集しているこれらの地域の発電所の利害関係者を包含する全体的な改善政策を検討すべきである。(3)政府は LH クラスター(高効率発電所に囲まれた低効率発電所のクラスター)や HL クラスター(低効率発電所に囲まれた高効率発電所のクラスター)に対して、より効率的な発電所の環境管理知識や技術を導入することにより HH クラスターに移行させるべきである。

本研究成果は、査読付き英文誌である Clean Technologies and Environmental Policy

誌に掲載されている[2]。

図 2. 2002 年から 2011 年までの環境効率性スコアの Global Moran's I 指数

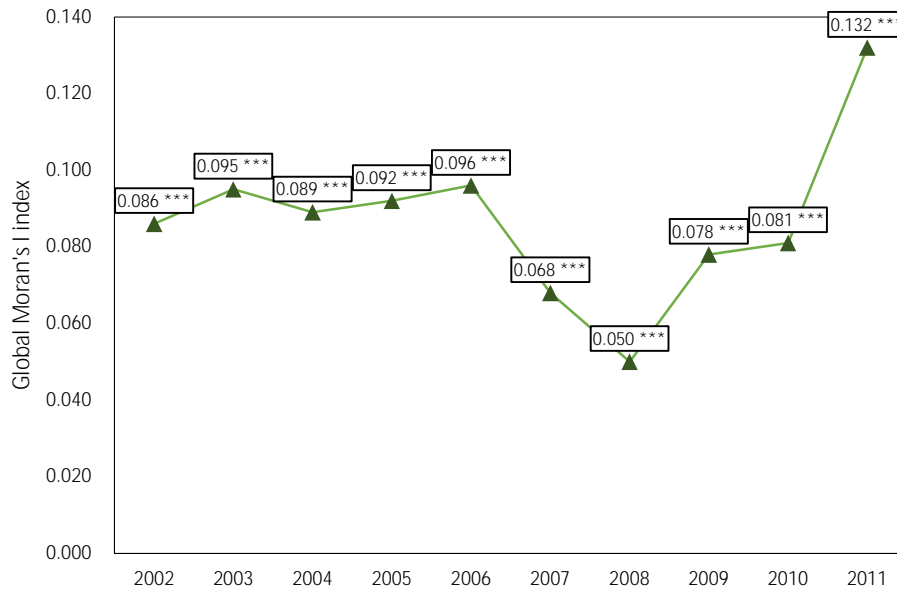
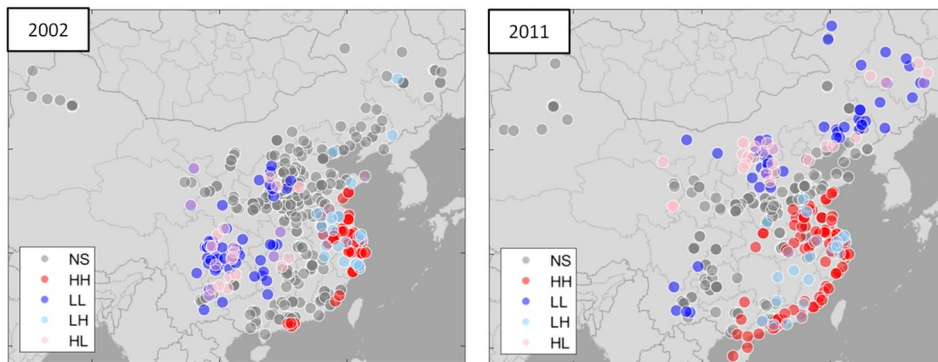


図 3. 環境効率性スコアの LISA クラスターマップ



### 参考文献

[1] Nakaishi, T., Nagashima, F., Kagawa, S., Nansai, K., Chatani, S. (2023) "Quantifying the health benefits of improving environmental efficiency: A case study from coal power plants in China", Energy Economics, vol.121, 106672.

[2] Nakaishi, T., Nagashima, F., Kagawa, S. (2022) "Spatial Autocorrelation Analysis of the Environmental Efficiency of Coal-Fired Power Plants in China", Clean Technologies and Environmental Policy, vol.24, pp.2177-2192.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomoaki Nakaishi, Fumiya Nagashima, Shigemi Kagawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatial autocorrelation analysis of the environmental efficiency of coal-fired power plants in China	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Clean Technologies and Environmental Policy	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10098-022-02310-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Fumiya Nagashima, Shohei Tokito, Tesshu Hanaka
2. 発表標題 Carbon Footprint Analysis Based on the Structural Position in the Global Supply-Chain Networks
3. 学会等名 The 28th International Input-Output Conference（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumiya Nagashima, Shohei Tokito, Tesshu Hanaka
2. 発表標題 Hub Industries in the Global Supply Chains Networks to Reduce Embodied Emissions
3. 学会等名 Networks 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土中哲秀, 時任翔平, 永島史弥
2. 発表標題 サプライチェーンにおける位置を考慮した環境負荷分析
3. 学会等名 第32回環太平洋産業連関分析学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 時任翔平, 永島史弥, 土中哲秀
2. 発表標題 付加価値輸出の構造分解分析
3. 学会等名 第32回環太平洋産業連関分析学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永島史弥, 時任翔平, 土中哲秀
2. 発表標題 中間財輸出に伴うライフサイクルCO2排出量の推定
3. 学会等名 第17回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 永島史弥, 韓雅文, 茶谷聡, 金本圭一朗, 南斉規介
2. 発表標題 石炭火力発電所に由来する大気汚染物質の健康被害評価
3. 学会等名 第15回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nagashima, F., Tokito, S., Hanaka, T.
2. 発表標題 Detecting Inter-Industrial Clusters in the Supply Chain Networks to Reduce Embodied Emissions
3. 学会等名 SETAC Europe 30th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tokito, S., Hanaka, T., Nagashima, F.
2. 発表標題 Comprehensive analysis of carbon footprint based on the relative location in the global supply chains
3. 学会等名 SETAC Europe 30th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitoma, H., Nagashima, F., Kagawa, S., Nansai, K.
2. 発表標題 PM2.5 Emission-related Mortalities in India: A Supply Chain Analysis
3. 学会等名 The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中石知晃, 永島史弥, 加河茂美
2. 発表標題 データ包絡分析を用いた中国石炭火力発電所由来のPM2.5排出量削減に伴う早期死亡者数・逸失労働収入改善ポテンシャルの推計
3. 学会等名 環境経済・政策学会2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中石知晃, 永島史弥, 加河茂美, 南斉規介, 茶谷聡
2. 発表標題 データ包絡分析を用いた中国石炭火力発電所由来のPM2.5排出量削減に伴う早期死亡者数削減ポテンシャルの推計
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年



〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------