

奨励金No.1646

近世・近代の日立・別子鉱山開発の環境影響： 科学技術はどのように役立てられたか？

高橋 卓也

滋賀県立大学 環境科学部 教授

Environmental impacts of the Hitachi and Besshi mines in the early modern and modern eras: how were science and technology applied to environmental protection?

Takuya Takahashi

School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, Professor



本研究では、近世・近代期の別子銅山および日立鉱山を対象に、製錬に伴う煙害をシミュレーションで再現し、生産量と賠償額の関係を空間的・定量的に分析した。その結果、生産拡大は賠償を考慮しても利益増加をもたらす一方、社会的・政治的圧力により実際には抑制されていたことが示された。また、技術革新の確率的モデルから、煙害対策技術は自社開発よりも海外技術導入が経済的に合理的であり、実際に長期的な環境改善に寄与したことが明らかとなった。

This study examines the environmental impacts of the Besshi Copper Mine and the Hitachi Mine during the early modern and modern periods in Japan by simulating sulfur dioxide pollution from smelting activities. Using spatial and quantitative analysis, it explores the relationship between copper production and compensation payments. The results show that expanding production would have increased profits even after accounting for compensation, although actual production was constrained by social and political pressures. Furthermore, a probabilistic model suggests that adopting foreign technologies for pollution control was more cost-effective than developing such technologies in-house. These findings highlight the roles of social constraints and economic incentives in environmental management.

1. 研究内容

1.1 目的

本研究は、日本の近代化を象徴する別子銅山と日立鉱山を対象に、製錬に伴う大気汚染（煙害）をシミュレーションで再現するものである。これにより、銅の生産と賠償の関係を空間的・定量的に解明する。さらに、煙害防止技術の研究開発が、経営者の意思決定にどのような影響を及ぼしたのかを明らかにする。

1.2 方法

1.2.1 先行研究の検討

環境・資源経済学では、規制や技術革新のもとで企業が汚染などの外部性にどう対応するかについて、理論的研究が蓄積されてきた。しかし、実際の汚染被害や賠償に関する詳細なデータの不足から、企業行動を実証的に検証した研究は限られている。日本の銅鉱業に伴う公害は産業史・環境史の分野で論じられてきたが、空間的・定量的な分析は十分ではない。

1.2.2 シミュレーションによる煙害の再現と賠償額との関係の解明

まず、生産量の決定をモデル化する。次に、産業技術総合研究所が開発した ADMER を用いて亜硫酸ガスの拡散をシミュレーションし、その結果に実際の賠償額データを重ね合わせる。さらに、土地利用が賠償額に影響する点を考慮し、これを統制変数として組み込む。相関分析および重回帰分析により、生産量と賠償額を定量的に検証する。

1.2.3 技術革新の確率モデル

技術革新を確率的に発生する事象として捉え、煙害防止技術の費用と便益をモデル化する。具体的には、技術革新が実現するまでの経過年数から発生確率を推定する。別子では住民との賠償合意から技術革新までに 17～28 年、日立では大煙突建設から 37～58 年を要しており、これらの期間をもとに年間の技術革新発生確率を推計した。さらに、自社開発と海外技術導入の双方について、期待される費用便益を比較し、経営判断の合理性を検討する。

1.3 結果

1.3.1 煙害と賠償額との関係

シミュレーションにより、両鉱山から排出される亜硫酸ガスによる大気汚染の分布を再現した（図 1、図 2）。

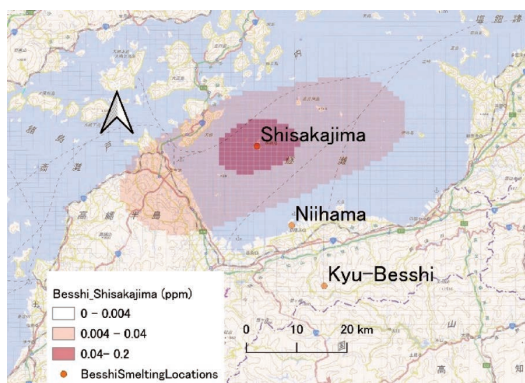


図 1 別子銅山からの大気汚染（四阪島製錬所からの排出を想定）

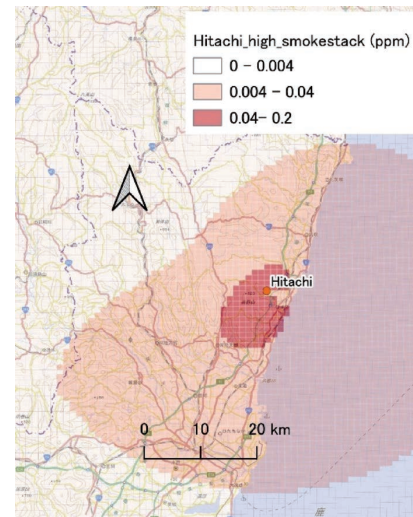


図 2 日立鉱山からの大気汚染（大雄院製錬所からの排出を想定）

賠償額が町村レベルで判明した別子について、大気汚染レベル、土地利用を説明変数とし、賠償額を被説明変数とする重回帰分析を実施した。植物は亜硫酸ガスの一定の閾値以上で被害を生ずるものと考え、一定の閾値の上下で亜硫酸ガスへの反応が異なるモデルを推定した。推定したモデルを 20 世紀初頭を生産量を前提として、別子、日立双方に適用し、賠償額を推定した（図 3、4）。

仮想的に生産量を上下させて賠償額および銅の生産による利益を試算したところ、ほぼ生産量に比例して、賠償額を差し引いた上でも利益が増大することが分かった。

なお、別子銅山においては瀬戸内海上の四阪島への製錬所の移転が、日立鉱山においては高さ

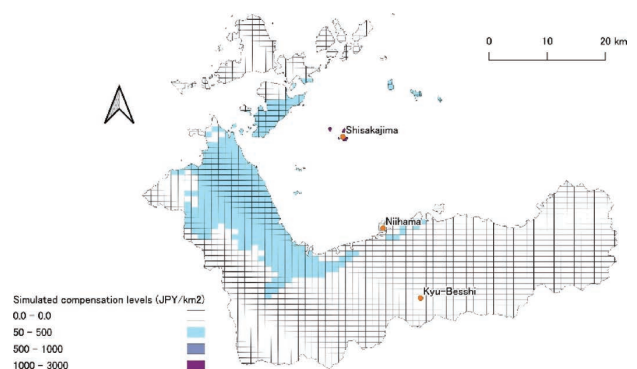


図 3 別子についてモデルにより推定した賠償額の分布

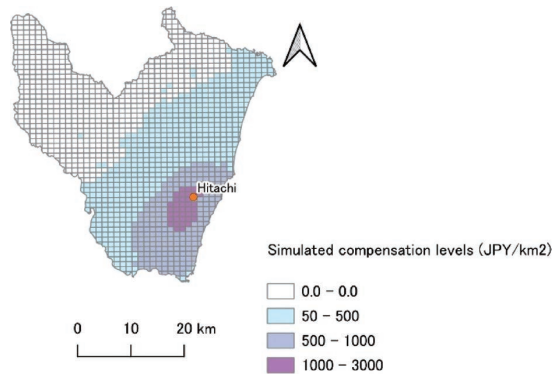


図 4 日立についてモデルにより推定した賠償額の分布

155.7 m の大煙突の建設が公害防止対策として重要なものとされている。もしそれらの対策が取られなかった場合の賠償額についても試算したところ、別子では約 2.7 倍、日立では 3.7 倍の金額となったであろうことが推定された。

1.3.2 技術革新の採算性

両鉱山における亜硫酸ガス排出の大幅削減は、海外技術の導入によって実現された。別子では賠償合意から 17～28 年、日立では大煙突建設から 37～58 年という技術革新までの時間差があった。本研究では、この経過年数をもとに技術革新の発生確率を推定し、賠償支払いの停止によって得られる利益の期待値を算出した。その結果、期待収益に基づく採算性の観点から、自社開発では投資回収が困難である一方、海外技術導入は合理的な選択であることが示された。

1.4 考察

生産量を変更するシミュレーションの結果、鉱山側の生産拡大に対するインセンティブは強い事が分かった。賠償を支払った上でも、利益の面だけから考えた場合、生産拡大は魅力的である。しかし、実際には別子では住民との協定によって、日立では自主的に生産制限が行われたことは、社会的、政治的圧力が機能していたことが示唆される。一方、技術革新については、17～58 年という比較的長い実現期間を前提とした確率的評価の結

果、期待便益が費用を上回る海外技術導入が選択されていた。すなわち、短期的な生産調整には社会的・政治的圧力が作用する一方で、長期的な技術選択は、技術革新の発生確率と投資回収期間に基づく費用便益制約に強く規定されていたといえる。

1.5 結論および今後の展開

本研究は、歴史的な公害問題を空間的・定量的に再現することで、生産者が直面する費用と便益の構造を具体的に示した。鉱山ごとの自然条件や社会環境の違いは、企業行動の差異を生む重要な要因である。今後は、足尾や小坂など他の銅鉱山、さらには海外事例にも分析対象を拡張し、科学技術の進展が公害対策に果たした役割をより包括的に解明していく。

2. 発表（研究成果の発表）

Takahashi, T. and Inoue, K. Spatial and quantitative analysis of historical pollution incidents: sulfur dioxide emissions from copper smelting during Japan's modernization era. Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (JPSSL) (Journal of Natural Resources and Environmental Management) (IPB University), 15 (6), 1051-1059. (2025).

Takahashi, T. and Inoue, K. Spatial and quantitative analysis of historical pollution incidents: sulfur dioxide emissions from copper smelting during Japan's modernization era. The 5th International Conference on Tropical Silviculture 2025: Forestry and Environmental Forensics. (Bogor, Indonesia, 21 August, 2025.)

Takahashi, T. and Inoue, K. Spatial and

quantitative analysis of historical pollution incidents: sulfur dioxide emissions from copper smelting during Japan's modernization era. 環境経済・政策学会大会 2025: Business and Environment (1)（武蔵大学、2025 年 9 月 20 日）

Takahashi, T. and Inoue, K. Reconstructing managerial decision-making under industrial pollution: simulation-based evidence from two historical copper mines in Japan. The 7th World Congress of Environmental and Resource Economists (Portugal, Carcavelos, NOVA School of Business and Economics [NOVA SBE], 29 June–3 July, 2026)