

中国の主要鉄鋼生産地域への環境技術導入に伴うCO2排出削減構造の投入産出分析

呉 懿奇¹・吉田 登²

¹学生会員 和歌山大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)

E-mail:s134012@sys.wakayama-u.ac.jp

²正会員 和歌山大学教授 システム工学部環境システム工学科 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)

E-mail:yoshida@sys.wakayama-u.ac.jp.

近年、中国はアジアの生産拠点として発展が続き、CO₂排出量は急速に拡大している。排出量のうち、鉄鋼・非鉄金属の生産に伴って排出されたCO₂は全体の約16%を占めるに至っている。鉄は中国では工業の食料といわれ、工業製品の原材料としてよく使われている。しかし中国の鉄鋼業においては、省エネ・低炭素技術は先進国より遅れている。本研究では産業連関分析を用いて、鉄鋼業が集中する地域の産業社会構造変化を分析し、現在先進国の鉄鋼業で使われている省エネ・低炭素技術を中国の鉄鋼業に導入した場合の地域への環境影響効果について分析する。

Key Words: carbon footprint, linkage effect, steel industry, low carbon technology, input-output analysis

1.初めに

中国経済は1978年の改革開放以来30年間にわたり、急速に伸びている。特に、2002年のWTO加盟を契機に、中国経済がグローバル経済に組み入れられた。

一方、中国経済の発展とともに環境問題もますます深刻になっている。2009年11月、中国国務院はCO₂の削減についての会議を行った。会議で、中国政府は2020年までの温室効果ガスの排出削減をめぐる行動目標を発表し、国内総生産 (GDP) 1万元あたり (単位GDP) の

CO₂排出量を2005年比で40%から45%削減すると発表した。

鉄は中国では工業の食料と言われ、工業が生

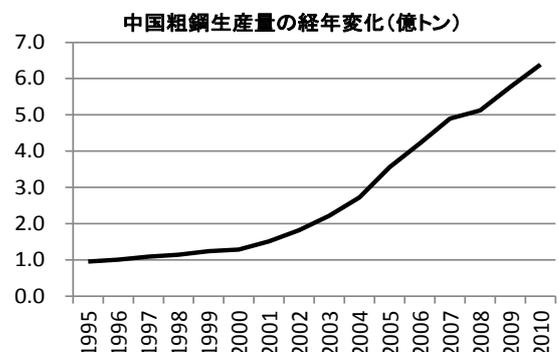


図-1 中国粗鋼生産量の経年変化

産を行う時の原材料としてよく使われている。近年中国鉄鋼生産量は急速に伸びている。図-1は粗鋼の生産量の経年変化を示す、中国における2010年の粗鋼生産量は6.39億トンであり、2000年より5倍近くに増加している。そして、鉄の生産により、CO₂の排出は非常に多くなる。持続可能な社会に向かって、鉄鋼業におけるCO₂の排出削減は大きな課題である。中国での工業化の進展とともに産業構造が大きく変化し、それが鉄鋼の生産に影響を及ぼしている。本研究では中国内の主要な鉄鋼生産地域として河北省、遼寧省、山西省、河北省、江蘇省を取り上げ、2002年、及び2007年の中国地区産業連関表を用いて、これらの地域での鉄鋼生産におけるCO₂誘発構造変化の分析を行った。中国鉄鋼業に関しては多くの研究事例が存在する。たとえば、韓穎ら¹⁾は中国の鋼鉄工業のCO₂排出量を予測している。小田ら²⁾は主な鉄鋼生産国、地域における代表的な省エネルギー（低炭素）技術の普及率について調査を行った。本研究においては経済統計として使われている産業連関表を用いて、鉄鋼業の現状を踏まえて、CO₂排出量変化の要因を分析する。また、鉄鋼業で使われている省エネ・低炭素技術を中国の鉄鋼業に導入した場合の地域への環境影響効果について分析する。

2. 産業連関表

(1) 産業連関表の概要

地域経済を構成する各産業は、域内・域外の産業と相互に密接な取引関係を結びながら生産活動を行い、地域独自の産業構造を形成している。ある一つの産業は、他の産業から原材料や燃料などの財・サービスを購入（投入）し、これを加工（労働・資本などを投入）して新たな財・サービスを生産する。さらに、これを他の産業に対し原材料等として販売（産出）する。

このような関係が各産業間で連鎖的につながり、最終需要者に対して必要な財・サービスが供給されることとなる。

レオンチェフ逆行列とは、ある産業がその生産物を1単位生産した場合に、それが各産業に対して直接・間接にどれくらいの生産波及効果を及ぼすかを示すものである。式(1)により求められる。

$$B = I + A^2 + A^3 + \dots + A^\infty = \frac{I}{(I - A)^{-1}} \quad (1)$$

ここで、Bレオンチェフ逆行列係数行列、I：単位行列、A：は投入係数である。

(2) 産業連関表の前方連関と後方連関

前方連関は新しく登場した産業の生産物が、他の産業に原料として供給され、他の新産業の登場が可能になる効果を意味する。後方連関は新しく登場した産業が、他の産業の原料需要を誘発し、原料供給産業の登場が可能となる効果のことである。

鉄鋼業は二次産業である。銑鉄を鋼材に加工して、多くの製造業と建築業の原材料として、よく使われている。製造業と建築業は鉄鋼業の前方連関産業である。一方、鉄鋼業の後方連関産業は採掘業や石炭業や電力などである。本研究は鉄鋼業の前方連関と後方連関を分けて分析を行う。

(3) CO₂排出量の計算方法

中国の省レベルのエネルギー消費データ³⁾については省によって産業連関表42部門以上の詳細な区分で公開しているところもあれば、省統計年鑑では全く公開していないところまで様々である。

表-1 燃料種別熱量換算・CO₂排出係数

		石炭	コークス	原油	ガソリン
熱量換算原単位(総合エネルギー)	kJ/kg, kJ/m ³	20908	28435	41816	43070
熱量あたりCO ₂ 排出量原単位	tC/TJ	25.8	29.4	20	18.9
		灯油	軽油	重油	天然ガス
熱量換算原単位(総合エネルギー)	kJ/kg, kJ/m ³	43070	42652	41816	38931
熱量あたりCO ₂ 排出量原単位	tC/TJ	19.6	20.2	21.1	15.3

そこでまず省の統計年鑑における記載情報を確認し、42部門に対応している部門のデータをそのまま用い、より詳細な部門のデータに分かれている場合には42部門の区分にあわせて統合した。42部門のデータがない場合は中国能源統計の省レベルのバランス表を利用し、その部門を含む消費データをその区分に該当する産業連関表の各部門における、石油部門（石油加工、炼焦及核燃料加工业、部門番号11）からの投入額の比によって配分をおこなった。

統計年鑑の部門別エネルギー消費量のうち、主要な燃料である石炭、コークス、原油、ガソリン、灯油、軽油、重油、天然ガスの8種類のエネルギーを対象となる。CO2排出量の計算には、「熱量換算係数」のデータ及びIPCC⁴⁾ガイドラインによる、熱量あたりCO2排出原単位の各係数を用いた。

エネルギー消費量をG(天然ガス以外：万トン、天然ガス(億m³)のようにする)、熱量換算係数をK(kJ/kg)、熱量あたりCO2排出原単位Rとすると、石炭、コークス、原油、ガソリン、灯油、軽油、重油、天然ガスの使用によって発生するCO2排出量は式(3)のようになる。

$$C = G \times 10^7 \times K \times R / 10^9 \quad (3)$$

3 CO2の誘発

(1) CO2誘発の計算方法

国家統計局国民経済核算司編著による中国地区投入産出表2002⁵⁾年と2007⁶⁾年が出版された。これを用いて、最終需要により直接、間接に誘発される環境負荷量(カーボンフットプリント)を計算することができる。数式は(4)のようになる。

$$E = D \times B \times F \quad (4)$$

ここで、E：部門から部門へのCO2誘発負荷量を行列表素とするCO2誘発負荷行列、D：部門別の生産額あたりCO2排出強度原単位を対角要素とするCO2排出強度の対角行列、B：単位行列I及び投入行列Aより計算されるレオンチェフ逆行列(I-A)⁻¹、F：部門別最終需要額を対角要素とする最終需要の対角行列。

式(4)で計算したCO2の誘発量は、その部門の前方連関や後方連関から整理することができる。本研究は前方連関と後方連関を分けて分析を行う。

(2) 結果と考察

中国では地域によって、産業構造が異なる。

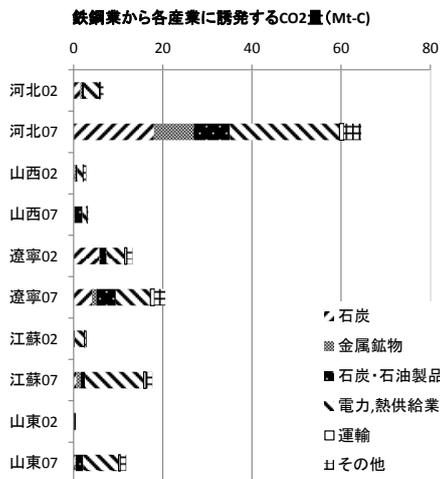


図-2 鉄鋼業から各産業に誘発するCO2量

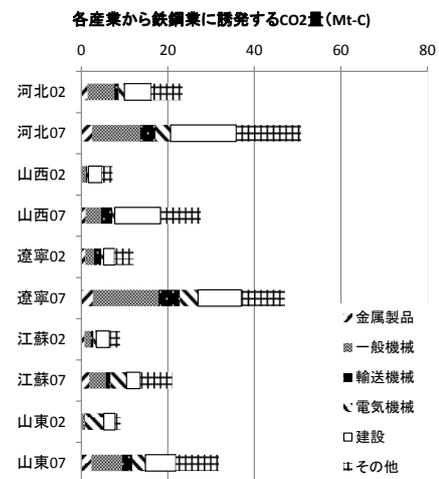


図-3 各産業から鉄鋼業に誘発するCO2量

今回は2007年の粗鋼生産量上位5省に位置する省、河北省、山西省、遼寧省、江蘇省、山西省を対象として、分析を行う。この5つの省においては、まず後方関連に着目すると、鉄鋼の生産に伴い、鉄鋼業が各産業に誘発したCO₂誘発量は図-2のように示される。

2002年と2007年河北省、山西省、遼寧省、江蘇省、山東省の鉄鋼業は石炭(採掘と選別)、石炭石油製品(主にコークス)、電力熱供給業、この3つの産業への誘発割合が非常に大きい。鉄鋼業では石炭からコークスを製造し、鉄鉱石の中の鉄の酸化物を還元する。また製鉄の工程では多くの電力を消費する。これら3つの産業への誘発は、このような鉄鋼生産プロセスとの関わりが大きい。

2007年における河北省の鉄鋼業から各産業への誘発量は他の省より非常に多くなっており、かなり大きく変化したことが示されている。2002年河北省の粗鋼生産量は2659.6(万トン)、2007年は10569.2万トンであり約4倍に増加している。そして、2007年では河北省においては、鉄鋼業から金属鉱物業(主に鉄鉱石の採掘)へ誘発したCO₂の量は他の省に比較すると圧倒的に多い。その理由として2007年の河北省での鉄鉱石生産量が30953.96(万トン)であり、中国全体の43%を占め、多くの鉄鋼石が採掘されたことが挙げられる。2002年と2007年を比較すると、山西遼寧省の変化は少ない。一方、江蘇省と山東省の鉄鋼業から誘発したCO₂増加率が非常に高い。江蘇省と山東省は沿海地域として、近年の経済発展が著しく、多くの鉄鋼工場が建設されている。そのため生産効率は相対的に高い。日本の鉄鋼業の一貫生産と違って、中国では、原材料石炭と鉄鉱石の有無によって、地域間での鉄鋼生産構造の違いが大きい。江蘇省と山東省では鉄鉱石が少ないので、他の地域から銑鉄が提供され、粗鋼へと加工されるため地域内の石炭部門への誘発量が少ない。遼寧省

と河北省においては、石炭の採掘と選別が盛んであり、鉄鋼業から誘発CO₂量が多い。

次に、前方関連に着目すると、各産業から鉄鋼業に誘発するCO₂の量は図-3のように示される。

鉄鋼はよく原材料として、さまざまな産業で使われている。特に製造業が生産を行う時、多くの鉄鋼が必要とされる。そのうち、特に一般機械から鉄鋼業に誘発したCO₂量が非常に多い。

山西省や山東省では建設産業から、江蘇省では電気機械から、遼寧省では、一般・特殊設備産業からのCO₂誘発が大きいことが分かり、これらの産業クラスタを考慮に入れた資源循環や低炭素技術施策が有効であることが示唆される。

4. 環境技術方策の移転効果の評価

(1) 省エネ技術のポテンシャル

鉄鋼生産プロセスにおける省エネルギー・低炭素技術には様々なものがある。連続鑄造やコークス炉ガスの回収はすでに途上国においても高い普及率を示しているが、それ以外に代表的な省エネルギー(低炭素)技術として知られている乾式消火技術(CDQ)、炉頂圧発電技術(TRT)、転炉ガス回収技術(BOF)では先進国と途上国との間で普及率に大きな格差がみられる。また、炭素集約度の高い石炭を代替する廃プラ高炉還元する技術(WPRCO)はプラスチック製容器包装をリサイクルして、石炭を代替する技術である。それから下水乾燥汚泥の高炉吹込(SSRBF)では、下水汚泥を製鉄プロセスの中で使用される微粉炭の代用品として再利用する。

(2) 計算方法

表-2 投入係数・投入金額の変化

環境技術	投入係数, 投入金額の変化
BOF CDQ TRT	(-) 各地域の省エネルギー技術効率に対応して電力熱部門(No.23)から鉄鋼業部門(No.14)への投入金額を削減.
WPRCO	(-) 廃プラの投入量に応じて各地域の石炭選別部門(No.2)から, 鉄鋼業部門(14)への投入係数を削減. (+) 廃プラの洗浄と輸送に伴い各地域の水供給部門と交通部門から, 自地域の鉄部門への投入係数が増加.
SSRBF	(-) 下水汚泥の高炉吹き込み量に応じて各地域鉄鋼業(No.14)の生産量あたりCO2排出原単位を削減. (+) 汚泥の乾燥と輸送のために, 電力熱部門(No.23), 運輸部門(No.23), 石炭コーク部門(No.27)から水道部門(No.29)への投入金額が増加.

中国地区産業連関表と統計年鑑データに基づいて, 乾式消火技術 (CDQ), 炉頂圧発電技術 (TRT), 転炉ガス回収技術(BOF), 廃プラ高炉還元する技術(WPRCO)技術, 下水乾燥汚泥の高炉吹込 (SSRBF) の移転効果の評価方法は表-2のように示された.それぞれの技術は投入金額や投入係数の変化

(2) 環境技術の導入に伴い削減される誘発CO2量

大型の製鉄プラント (年間粗鋼生産量100万吨) にBOF, CDQおよびTRT技術を導入するものとする. コークスの消費量の1%に対して廃プラを代替する. 各省の汚泥を利用して微粉炭の代用品として高炉に吹き込む. この5つ技術を遼寧省, 江蘇省, 河北省, 山東省, 山西省をそれぞれに導入した結果は図-4のように示された.

全体的に見ると, 河北における削減効果が

各省環境技術導入の削減効果

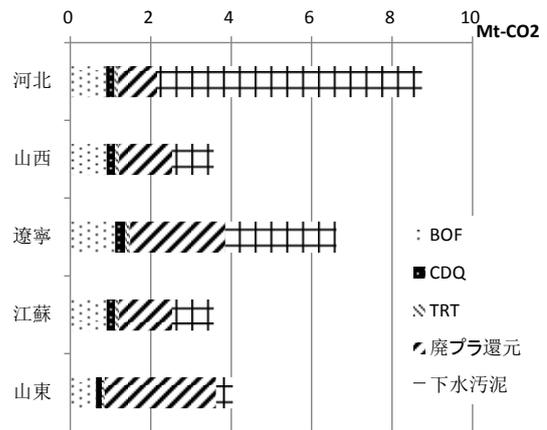


図-4 各省環境技術の削減効果

鉄鋼業が各産業へ誘発するCO2削減効果

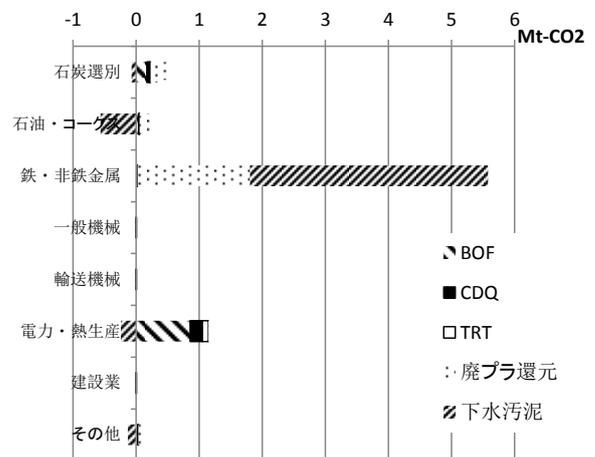


図-5鉄鋼業が各産業へ誘発するCO2の削減効果

各産業が鉄鋼業へ誘発するCO2削減効果

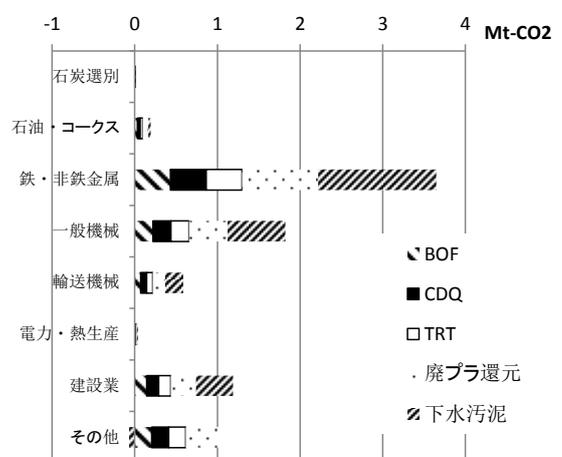


図-6各産業が鉄鋼業へ誘発するCO2の削減効果

きい。導入された技術の中においては、廃プラの高炉還元技術と下水汚泥の高炉吹込み技術の効果が一番顕著である。これは、廃プラや下水汚泥の利用に伴って石炭消費が大きく削減されることによるものと考えられる。各省で利用可能な廃プラや下水汚泥量が異なるため、省ごとに削減効果が大きく異なる。三つの節電技術の中に、転炉ガス回収技術は他の2つ技術より効果が圧倒的に大きい。

各環境技術の評価は前方連関と後方連関それぞれの分析を行った。遼寧省を例として、鉄鋼業が各産業へ誘発するCO₂削減効果と各産業が鉄鋼業へ誘発するCO₂削減効果を図-5に示された。

後方連関は石炭選別部門と電力部門ではCO₂削減効果がある。一方、下水汚泥の高炉吹込み技術は水道部門の導入金額が増えるため、誘発したCO₂が増えた。前方連関を着目すると、コークス、一般機械、輸送機械、運輸、建設産業から鉄鋼業に誘発するCO₂削減量は大きい。遼寧省では、一般・特殊設備産業からのCO₂誘発が大きいことが分かり。これらの産業クラスタを考慮に入れた資源循環や低炭素技術施策を導入すれば、効果が顕著である。

5. 結論

中国の主要な鉄鋼生産省を対象として、鉄鋼生産におけるCO₂誘発構造変化の分析を行った。2000年後中国の鉄鋼生産量は急速に伸びている。河北省、山西省、遼寧省、江蘇省、山東省この五つの地域では鉄鋼業が集中している。

地域間の差は、技術水準の違いやコークスなどCO₂誘発効果の高い原料の自給構造の違いによっていることがわかった。また各産業から鉄鋼業にCO₂を誘発する構造を分析すると、山西省や山東省では建設産業から、遼寧省では、

一般・特殊設備産業からのCO₂誘発が大きいことが分かり。これらの産業クラスタを考慮に入れた資源循環や低炭素技術施策が有効であることが示唆される。

乾式消火技術 (CDQ), 炉頂圧発電技術 (TRT), 転炉ガス回収技術(BOF), 廃プラ高炉還元技術(WPRCO), 下水乾燥汚泥の高炉吹込(SSRBF)は中国鉄鋼生産地域に導入した場合一定のCO₂削減効果が得られる。特に遼寧省と河北省では製造業が盛んであり、石炭資源が豊富で、石炭の採掘が多いので、環境技術は先に遼寧省と河北省に導入すると効果が大きい。

謝辞

本研究は、環境研究総合推進費補助金(課題番号K113002)による支援を得ておこなった。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 韓穎, 李廉水, 孙宁: 中国钢铁工业二氧化碳排放研究 TQ028. 2; X511(2009)
- 2) Oda J., Akimoto K., Sano F., Tomoda T.: Diffusion of energy efficient technologies and CO₂ emission reductions in iron and steel sector, Energy Economics, 29 (4), 868-888, (2007)
- 3) National Standards of the People's Republic of China : General Principles for Calculation of the Comprehensive Energy Consumption (综合能耗计算通则), GB/T 2589-2008, (2008) N
- 4) IPCC Guide lines for ational Greenhouse Gas Inventories : Reference Manual (Revised 1996).
- 5) 国家統計局国民経済核算司編著: 中国地区投入産出表 2002, (2008)
- 6) 国家統計局国民経済核算司編著: 中国地区投入産出表 2007, (2011)
- 7) 容リ協会: プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討, 2010.
- 8) 新日鐵株式会社: 特願 2004-221934 (P2004-221934), 2004.