

# 産業連関表を用いた中国各地域での鉄鋼生産における二酸化炭素誘発構造変化の分析

呉 懿奇<sup>1</sup>・吉田 登<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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、二酸化炭素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二酸化炭素は全体の約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。さらに、多様な工業製品のサプライチェーン拡大により、鉄鋼業と各産業との結びつきが強くなってきている。本研究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通して、鉄鋼生産に伴う排出した二酸化炭素の誘発構造変化に与える影響についてを分析する。

**Key Words :** steel production, input-output tables, carbon dioxide, industrial structure, Carbon footprint

## 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、中国国務院は二酸化炭素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）の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）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、二酸化炭素の排出は非常に多くなる。持続可能な社会に向かって、鉄鋼業における二酸化炭素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二酸化炭素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、奥野嘉雄<sup>1)</sup>は中国における鉄鋼生産の見通しと高炉の動向を分析している。韓穎ら<sup>2)</sup>は中国の鋼鉄工業の二酸化炭素排出量を予測している。小田ら<sup>3)</sup>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、鉄鋼業が集中している省を対象に、それぞれ省の鉄鋼業の現状を踏まえて、二酸化炭素排出量変化の要因を分析する。

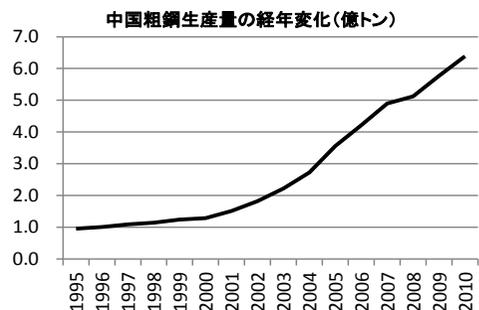


図-1 中国粗鋼生産量の経年変化

## 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。

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

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。鉄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. 研究方法

### (1) 二酸化炭素排出量の計算法

中国の省レベルのエネルギー消費データ<sup>4)</sup>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。

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、煉焦及核燃料加

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(総合能源通則) kJ/kg、kJ/m <sup>3</sup>	20908	28435	41816	43070
熱量あたりCO2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(総合能源通則) kJ/kg、kJ/m <sup>3</sup>	43070	42652	41816	38931
熱量あたりCO2排出量原単位 tC/TJ	19.6	20.2	21.1	15.3

工業、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。二酸化炭素排出量の計算には、「熱量換算係数」<sup>4)</sup>のデータ(表-1)及びIPCCガイドライン<sup>5)</sup>による、熱量あたり二酸化炭素排出原単位(表-1)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m<sup>3</sup>)のようにする)、熱量換算係数をK(kJ/kg)、熱量あたり二酸化炭素排出原単位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二酸化炭素排出量はC式(3)のようになる。

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

### (2) 産業連関表を用いた鉄鋼生産により二酸化炭素の誘発

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2002<sup>6)</sup>年と2007<sup>7)</sup>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：部門から部門への二酸化炭素誘発負荷量を行列要素とする二酸化炭素誘発負荷行列、D：部門別の生産額あたり二酸化炭素排出強度原単位を対角要素とする二酸化炭素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)<sup>-1</sup>、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。

Dを計算する際に、価格表示を実質化しておく必要がある。ここでは、中国におけるGDPデフレーター<sup>8)</sup>の値をもとに、2007年産業連関表の値に195.16/248.58を乗じ、2002年実質価格に換算して計算を行った。

式(4)で計算した二酸化炭素の誘発量は、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。前方連関とはその部門から川下部門へ向かっての波及効果を指す。鉄鋼などの素材部門ではその部門から生み出される財が様々な最終製品に使われるため、どの最終製品（部門）への最終需要が素材部門への二酸化炭素を誘発させたのかを把握することは重要である。また後方連関はその部門から川上部門に向かっての波及効果を指す。後方連関に着目すれば、鉄鋼生産に伴い生産に必要な鉄鉱石

や石炭などの原材料を投入する過程で川上の原材料部門にどれほど二酸化炭素を誘発させたのかを把握することができる。本研究は前方連関と後方連関を分けて分析を行う。

### (3) SDA

2002年と2007年の中国地区産業連関表を参考して、この2時点においては、産業構造変化を分析するために、SDA(Structural Decomposition Analysis)という分析方法を用いて要因分析を行う。

産業連関表を用いた鉄鋼生産により二酸化炭素の誘発量は式(5)のように計算ができる。2002年の誘発量と2007年誘発量E1-E0の変化は式のように表される。

$$\begin{aligned}
 E1-E0 &= D1 * B1 * F1 - D0 * B0 * F0 \\
 &= (\Delta D + D0) * B1 * F1 - D0 * B0 * F0 \\
 &= \Delta D * B1 * F1 + D0 * (\Delta B + B0) * F1 - D0 * B0 * F0 \\
 &= \Delta D * B1 * F1 + D0 * \Delta B * F1 + D0 * B0 * (\Delta F + F0) - D0 * B0 * F0 \\
 &= \Delta D * B1 * F1 + D0 * \Delta B * F1 + D0 * B0 * \Delta F \quad (5)
 \end{aligned}$$

2002年と2007年の差は $\Delta$ で表示する。この式の最終的な展開式の第1項、第2項、第3項はそれぞれ、CO2排出強度変化要因、産業構造変化要因、最終需要変化要因による寄与分を表す。これにより、二酸化炭素誘発量の変化がどのような要因によりもたらされたかについて要因を分解して調べることができる。

## 4.結果と考察

### (1) 鉄鋼業の二酸化炭素直接排出量

鉄鋼業の二酸化炭素の直接排出量と誘発量は異なる。二酸化炭素直接排出量は鉄鋼業から直接排出された二酸化炭素量である。二酸化炭素の誘発量は鉄鋼業が間接的に他の産業に誘発した量、または他の産業から鉄鋼業に誘発した量である。

今回は中国の河北省、山西省、遼寧省、江蘇省、山西省における鉄鋼業からの直接排出量と鉄鋼業以外の産業からの二酸化炭素排出量の合計を計算した。

図-2に示すように、2002年と2007年を比較すると、二酸化炭素直接排出量は鉄鋼業だけではなく、その他の産業においても急速に増えている。特に河北省や山西省や山東省の鉄鋼業の二酸化炭素排出量が大きく増加している。河北省では2007年の年鉄鋼業からの二酸化炭素排出量5191.2(万t)であり、全体の37.7%を占め、2002年の3.76倍に増加した。山西省は2007年における二酸化炭素排出量は全体の19.6%を占め、2002年5.04倍に増加した。この2省では鉄鋼業の二酸化炭素排出量と排出量の割合とも増

鉄鋼業とその他産業の二酸化炭素排出量(万tc)

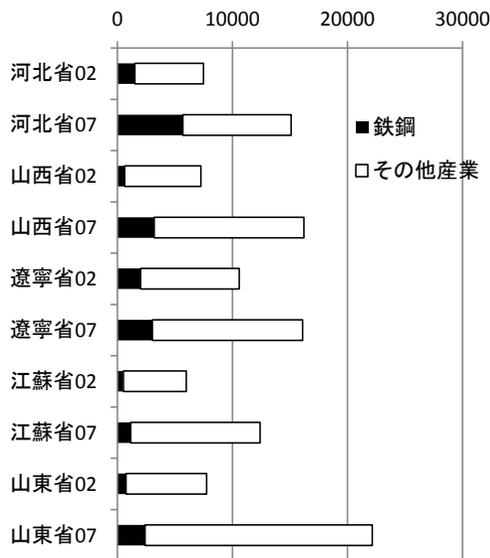


図-2 鉄鋼業とその他産業の二酸化炭素排出量

えた。山東省では二酸化炭素排出合計は22157(万tc)であり、この5省の中で最も多い。一方、遼寧省においては、鉄鋼業の二酸化炭素排出量は他の省に比較すると、増加割合が一番少ない。

### (2) 二酸化炭素の誘発

中国では地域によって、産業構造が異なる。今回は2007年の粗鋼生産量トップ5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、鉄鋼が生産された時、鉄鋼業は各産業への誘発した二酸化炭素誘発量は図-3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、この三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。

2007年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い、かなり大きく変化した。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)へ誘発した二酸化炭素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年河北省での鉄鉱石生産量が30953.96(万トン)、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を比較すると、山西省と

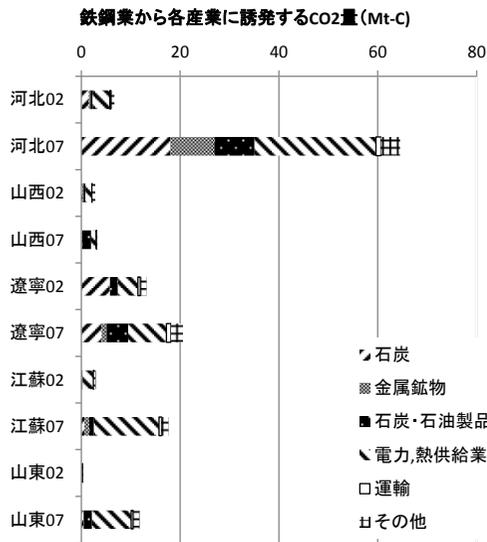


図-3 鉄鋼業から各産業に誘発するCO2量

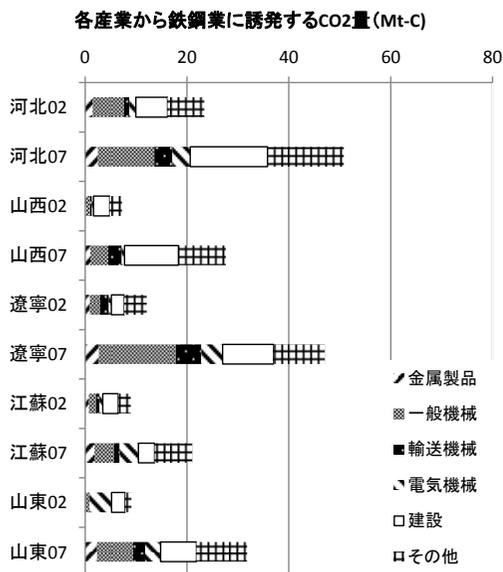


図-4 各産業から鉄鋼業に誘発するCO2量  
 遼寧省の変化は少ない。一方は江蘇省と山東省の鉄鋼業から誘発した二酸化炭素増加率が非常に高い。江蘇省と山東省は沿海地域として、近年の経済発展が著しく、多くの鉄鋼工場が建設されている。生産効率は相対的に高い。

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、地域間の生産構造の格差が大きい。江蘇省と山東省では鉄鉱石が少ないので、他の地域から鉄鉄が提供され、粗鋼へと加工されるため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、鉄鋼業から誘発する二

酸化炭素量が多い。

次に、前方連関に着目すると、各産業から鉄鋼業に誘発する二酸化炭素の量は図-4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二酸化炭素量が非常に多い。

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。

### (3) SAD要因分析

中国では地域によって、産業構造が大きく異なる。つまり、それぞれの地域においては、鉄鋼生産により二酸化炭素誘発量の変化の原因が違ふ。SDA要因分析を用いて、二酸化炭素排出強度、産業構造や最終需要この三つの方面から二酸化炭素誘発量を発生する要因を分析する。

2002年から2007年までの5年間で、二酸化炭素を削減することを目指して、中国政府は鉄鋼業に様々な技術を導入した。排出強度は小さくなり、鉄鋼生産量あたりの二酸化炭素排出量が少なくなる。特に河北省では鉄鋼の生産量が多いので、その効果が一番顕著である。一方産業構造の変化によって、鉄鋼の用途が広くなり、鉄鋼業に関連する産業を結びつきが強くなっている。

最終需要とは、産業等の原材料として再び生産過程に入って中間消費されるもの以外に、家計や一般政府の消費あるいは資本形成等として最終的に需要されるものをいう。最終需要は最終消費、固定資本形成、輸出と移出この三つが多くを占めるが、山東省と江蘇省では沿海地域であり、近年海外への輸出量が増加している。

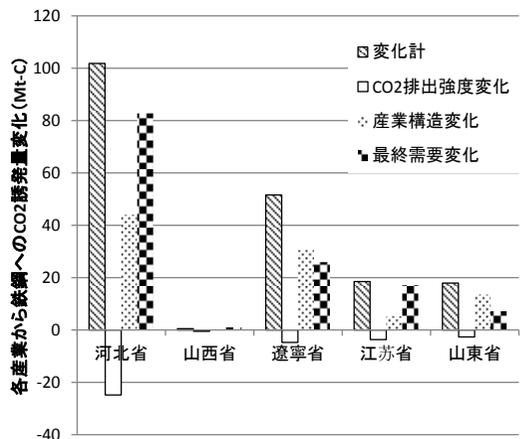


図-5 各産業から鉄鋼業へのCO2の誘発量

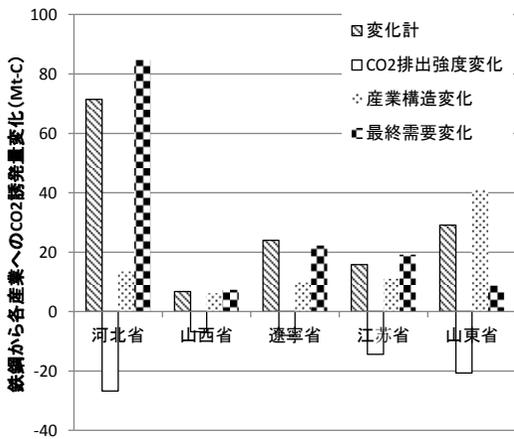


図-6 各産業から鉄鋼業へのCO2の誘発量

河北省、江蘇省では、遼寧省と同様、最終需要変化が最もCO2誘発量増加に寄与した。特に河北省において最終需要変化の寄与が最も大きい。山東省では産業構造変化の寄与が最も大きい。産業構造変化の寄与については、遼寧省、河北省では素材産業としての特徴を反映して、各産業が鉄鋼業に誘発したCO2量増加の要因としては寄与が大きく、鉄鋼業から各産業に誘発したCO2増加の要因としては寄与が相対的に小さくなっている。これに対して、江蘇省では逆に後方連関側でのCO2誘発量変化において産業構造変化の寄与が大きい傾向を示している。このように、各省とも2002年から2007年にかけて、鉄鋼業におけるCO2誘発量は増加したものの、各省によって異なる要因の傾向が伺われた。

また各産業が鉄鋼業に誘発したCO2の増加要因については、生産設備の拡大による最終需要の増加とともに、鉄を原料とする多くの部品から構成される工業製品を生産する産業が拡大し、鉄鋼部門への生産波及効果が高まったことが増加要因として顕著に作用した。

## 5. 結論

中国の主要な鉄鋼生産省を対象として、鉄鋼生産における二酸化炭素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った。これらの産業クラスター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た。

また最終需要の増加と産業構造の変化が、二酸化炭素排出量が増加する主な原因となっていることが示された。2002年から2007の5年間で、鉄鋼業は環境技術の導入と生産プロセスの更新を通して、二酸化炭素の排出強度は小さくなっており、二酸化炭素排出量削減効果が伺える。しかし、先進国と比較すると、中国の鉄鋼業はまだ削減余地を残しており、今後も鉄鋼業に低炭・省エネ技術を導入する必要があると思われる。

## 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。

## 参考文献

- 1) 奥野嘉雄：中国における鉄鋼生産の見通しと高炉の動向。
- 2) 韓穎, 李廉水, 孫宁：中国钢铁工业二氧化碳排放研究 TQ028. 2; X511(2009)
- 3) 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)
- 4) 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
- 5) IPCC Guide lines for ational Greenhouse Gas Inventories : Reference Manual (Revised 1996).
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) GDPデフレーター推移  
[http://ecodlb.net/country/CN/imf\\_gdp.html](http://ecodlb.net/country/CN/imf_gdp.html)
- 9) 遼寧省統計局 遼寧省統計年鑑 2003, (2003)
- 10) 遼寧省統計局 遼寧省統計年鑑 2008, (2008)
- 11) 山東省工業統計局 山東省統計年鑑 2008, (2008)
- 12) 山西省統計局 山西省統計年鑑 2003, (2003)  
山西省統計局 山西省統計年鑑 2008, (2008)
- 13) 中国鋼鐵工業編輯委员会中国鋼鐵工業年鑑 2003, (2003)  
2008, (2008), 2011, (2011)
- 14) 中国統計出版社 中国能源統計年鑑 2003, (2003)
- 15) 中国統計出版社 中国能源統計年鑑 2008, (2008)

(2012. 7. 18 受付)

## Analysis on carbon dioxide inducement structure of iron and steel production areas in China using input-output tables

YIqi WU, and Noboru YOSHIDA

In recent years, China, as a production base of Asia, has expanded carbondioxide emissions quickly with its continuous development. Iron is called industrial food and is often used as raw material of an industrial commodity in China. Furthermore, connection with the steel industry and each industry is becoming strong by various supply chain expansions of an industrial commodity. On the other hand, carbon dioxide emission with production of steel and nonferrous metal has come to occupy about 16% of the total emission in China.

In this research, carbon dioxide inducement structure of iron and steel production areas in China using input-output tables and also analyzed factors to cause changes in carbon dioxide emission between 2002 and 2005.

As a result, it revealed that change of raw material supply and industrial structure caused carbon dioxide inducement structure as well as differences in technological efficiency.