

中国における製造業サプライチェーンの内包型CO₂排出量の推計

中道 久美子¹・花岡 伸也²・李 添悦³

¹正会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: nakamichi@ide.titech.ac.jp

²正会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: hanaoka@ide.titech.ac.jp

³非会員 東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

中国では経済発展とともにCO₂排出量が急増し、2013年には世界の26.4%を占める最大の排出国となった。その半分以上は製造業が起因しており、原料採掘や製造等のサプライチェーンの上流部門が、下流部門へ与える影響を把握した上で削減方策を検討することが重要である。本研究では、中国における製造業各部門の直接排出量の経年変化、省別の製造業各部門における内包型排出量の経年変化、将来の技術進歩や生産額の変化を考慮した内包型排出量を推計し、その削減方策を示すことを目的とする。推計の結果、特に鉄鋼業が多くの部門に影響を与えており、技術進歩と石炭火力発電への依存度低下が排出量削減に寄与することが示された。

Key Words : supply chain, contained CO₂ emission, direct / indirect emission, manufacturing industry

1. はじめに

中国では80年代の改革開放から経済が急速に発展し、GDPが年々増えている。2000年から2013年のGDPの平均増加率は14.3%であり、2010年には日本を抜いて世界2位の経済大国となった¹⁾。中国の経済が急成長した一つの大きな要因は、農業国から工業国への転換である。生産活動の活発化とともに、エネルギーの消費量もますます増えている。特に石炭資源への依存度が高い中国では、CO₂排出量が急増している。欧州委員会の統計データ²⁾によると、2000年から2013年の中国のCO₂排出量の平均増加率は8.6%であり、2010年には世界最大の排出国となった。2013年には10.3MtのCO₂を排出し、世界総排出量の26.4%を占めている。

国連の気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)の第5次評価報告書(2013)³⁾では、現状の増加率のまま放置すると2℃目標の達成は難しく、2100年の平均気温は最大4.8℃上昇することが発表された。現時点で世界の排出量の約4分の1を占めている中国のCO₂排出量を放置すると、中国のみならず全世界にとっても深刻な問題になる。

中国は2001年の第10回5か年計画から、環境保護と経済成長とのバランスを課題として挙げ、2014年の第13回5年か計画に関する会議では、環境保護を前提とした上で、経済発展の速度を安定させるという将来の方向性を決定した。また、2014年11月の国連気候変動枠組条約締約国会議(COP20)で、遅くとも2030年をピークにCO₂排出量を減少に転じると国際的に宣言した。

しかし、中国のCO₂排出量については依然として楽観視できない。中国はまだ工業国として中期段階にあり、中国統計年鑑を基にした算出結果⁴⁾によれば、2000年以降には工業部門全体のGDPは総GDPの5割以上を占め、工業生産額は既に世界1位であるものの、将来の発展に工業は不可欠と考えられている。また、特に工業部門の中でも製造業の重要性はますます高まってきており、工業全体のGDPの約8割を占める。中国の製造業の国際競争力は1位⁵⁾であり、世界の工場とまで呼ばれている。このような状況の下では、中国が経済発展を犠牲にし、環境保護を優先し、CO₂排出量を削減することは難しい。経済発展と環境保護を両立するために、経済に対する影響が大きく、CO₂排出量も多い製造業のCO₂排出要因を明らかにする必要がある。

CO₂排出量には、直接排出量と間接排出量の2つの概念が存在する。製造業の企業にとっての直接排出量は、自社での生産過程において、燃料の燃焼や生産プロセスによってその場で排出されるものを意味する。それに対し、間接排出量は、生産を行う際に、他社から供給される電気や熱、そして原料や部品の消費による間接的な排出を意味する。さらに、製造業サプライチェーン全体の場合には、ある部門は他部門から需要するだけではなく、同時に他部門にも投入しており、一社の場合より複雑な関係になっているため、内包型排出量という概念を用いる。内包型排出量とは、サプライチェーンを考慮した一つの製造業部門の生産過程に伴う直接および間接に発生するCO₂排出量を合算したものである。内包型排出量に着目することにより、サプライチェーンの上流である原材料の採掘・製造と、下流である原料の消費との供給関係が、どのように特定の部門のCO₂排出量に影響するのかを解明できる。

中国の産業部門の直接排出量に関する研究は数多く存在し、中国全体および30省別の直接排出量の経年変化と一時点の部門別直接排出量を推計し2020年の排出量目標値を示したもの⁹⁾、中国全体の一人当たりおよびGDPあたり直接排出量を他国と比較した上で30省別の直接排出量に及ぼす第一次～第三次産業の影響度を分析したもの⁷⁾がある。その他、生産効率に着目したもの⁸⁾、直接排出原単位の影響要因を分析したもの⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾もあるが、過去の分析に留まっている。将来のCO₂排出量に関しては、GDPとCO₂排出量との関係から工業が及ぼす影響を明らかにしたもの¹²⁾や、影響因子の分析から2030年の直接排出量が2013年の約3倍になると指摘したもの¹³⁾、製造業28部門を対象に生産能力に対する利用率の低さを指摘したもの¹⁴⁾がある。応用一般均衡モデルを用いて社会全体のシナリオの中でGDPや産業構造なども考慮した研究¹⁵⁾や、本研究でも着目する鉄鋼需給に着目した研究¹⁶⁾も存在するが、サプライチェーンやその相互作用を明示的に考慮した内包型排出量を対象とはしていない。一方、内包型排出量に関しては、一時点で中国と米国の産業部門の内包型排出量を13という粗い分類で比較したもの¹⁷⁾、4時点の内包型排出量を10の産業部門別で輸出の視点から分析したもの¹⁸⁾、3時点を対象に28の産業部門別に省エネルギーなどの影響力を分析したもの¹⁹⁾などがある。これらの産業連関表を用いた包括的な分析の他にも、ライフサイクルアセスメントの手法を用いて環境負荷を分析した研究も数多く存在し、中国の9つの製造業部門を対象とした31社への調査によりカーボンフットプリントを推計した研究²⁰⁾などがある。このように、製造業の直接排出量を算定する論文は多数あるが、製造業サプライチェーンの上流と下流の関係を考慮した内包型排出量については、地域別部門別の推計はされておらず、部門別の内

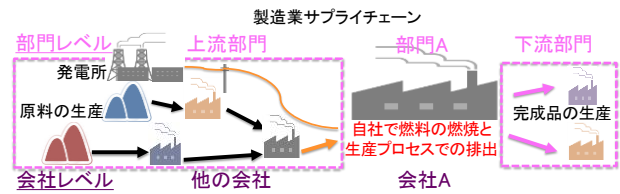


図-1 製造業におけるサプライチェーンの構造

包型排出量の変化要因にも言及していない。また、将来の製造業を対象とした内包型排出量の推計は十分に行われていない。

生産額もCO₂排出量も多い中国の製造業サプライチェーンは、将来の経済発展の大きな要因であり、環境負荷軽減の鍵も握っている。持続可能なCO₂排出量削減策の検討には、排出量の現状をまず把握しなければならない。特に内包型排出量により、他部門に大きな影響を与えている部門とその原因を解明し、実現可能な削減策を検討する必要がある。そのため、本研究では、1) 2000年から2010年までの全国の製造業各部門の直接CO₂排出量を推計すること、2) サプライチェーンを考慮し、2000年から2010年までの全国及び省別の製造業各部門における内包型CO₂排出量を推計し、1)の直接CO₂排出量と比較・考察すること、3) 政策を考慮しながら、技術進歩、生産額の変化のシナリオを構築し、将来の直接・内包型CO₂排出量を推計した上で、CO₂排出量の削減方を検討することを目的とする。これにより、過去とともに最新のデータを用いて、サプライチェーンを考慮した全国および30省別の製造業部門別の内包型排出量を把握できる。また、その結果により、複数時点間での変化傾向を分析した上で、将来の政策や発展傾向を考慮したシナリオ分析を行うことにより、CO₂排出量を削減する政策を検討する際の参考情報が得られる。

2. 分析手法

(1) CO₂排出量の定義

製造業の企業1社について考える際、CO₂排出量には、直接排出量と間接排出量の2つの概念が存在する。図-1に示すように、直接排出量とは、自社での生産過程において、燃料の燃焼や生産プロセスによって、その場で排出されるものを意味する。会社レベルで見ると、例えばある鉄鋼業の会社Aで石炭消費や自家用発電を行っている場合、その際に発生したCO₂はその会社の直接排出量として計上される。一方、間接排出量とは、生産を行う際に、他社から供給される電気や熱、そして原料や部品の消費による間接的な排出を意味する。同じ鉄鋼業の例で言い換えると、他社の発電所からも受電している場合、

その発電のために排出されたCO₂は、その受電量に応じて会社Aの間接排出量として計上される。また、原料の使用なども同じように、原料を作る際に発生したCO₂排出量は原料を使用する会社Aに間接排出量として計上される。つまり、会社と会社のお互いの投入と需要の量がCO₂排出量に与える影響は間接排出量を用いて明確にすることができる。

以上は一つの会社に関する例であり、製造業サプライチェーン全体を部門レベルで見た場合も同様の概念を拡大することができる。ただし、一つの製造業部門について考える際には、会社の場合と違って、ある部門は単に他部門から需要するだけではなく、同時に他部門にも投入している。特に製造業においては、原料や製品、エネルギーなどの需給関係が複雑であり、全ての部門間に投入と需要が含まれている。つまり、一つの部門の間接排出量のみを推計することはできない。そのため、間接排出量の代わりに、内包型排出量という概念を用いる。内包型排出量とは、サプライチェーンを考慮した一つの製造業部門の生産過程に伴う直接および間接的に発生するCO₂排出量を合算したものである。内包型排出量に着目することにより、サプライチェーンの上流である原材料の採掘・製造などと、下流である原料の消費などとの供給関係が、どのように特定の部門のCO₂排出量に影響するのかを解明できる。

(2) 使用データ

直接排出量の推計において、エネルギー消費量は中国統計局による2000～2010年の中国エネルギー統計年鑑²¹⁾で公表されている数値を使用する。エネルギー別の低位発熱量と炭素排出係数はIPCCガイドライン²²⁾で公表されている数値を用いる。

内包型排出量の推計に用いる産業連関表については、全国範囲では中国統計局により出版された2002年、2007年の全国基本表と、2000年、2005年、2010年の全国延長表を用いる。省レベルで推計する際には、2002年と2007年の省別産業連関表を用いる。基本表については部門を100部門以上に細分化した詳細表があるのに対し、延長表の部門は細分化されていない。その部門数は、1987年～1995年は33部門、1997年と2000年は40部門、2002年以降は42部門である。省別の場合には、2002年と2007年の42部門の産業連関表が存在する。

ただし、中国エネルギー統計年鑑と産業連関表の部門分類は異なるため、部門間の対応を取って統合を行い、最終的に28の産業部門（うち製造業は16部門）に整理した。

(3) 直接排出量の推計方法

直接CO₂排出量は、エネルギー消費量にエネルギー別の低位発熱量と炭素排出係数を乗じることで推計できる²²⁾。

$$D = \sum q_{ik} \cdot j_k \cdot c_k \cdot o \cdot 44/12 \quad (1)$$

D_i : 部門*i*の直接CO₂排出量(t-CO₂)

k : 燃料(石炭, コークス, 原油, ガソリン, 灯油, ディーゼル, 燃料油, 天然ガスの6種類)

q_{ik} : 部門*i*における燃料*k*の消費量(t)

j_k : 燃料*k*の低位発熱量(1000GJ/t)

c_k : 燃料*k*の炭素排出係数(t-C/1000GJ)

o : 酸化率(1.0と仮定)

(4) 内包型排出量の推計方法

内包型CO₂排出量をの推計するために方法は、産業連関表から得られる部門間で投入・需要の生産額に、内包型CO₂排出原単位(部門別生産額あたりの内包型CO₂排出量)を掛け合わせるのが一般的な方法である。産業連関表とは、財・サービスが最終需要部門に至るまでに、各産業部門間でどのような投入・産出との取引過程を経て、生産・販売されたものであるのかを、一定期間にわたって記録し、その結果を行列の形で一覧表に取りまとめたものである。産業連関表を用いることにより、ある部門において最終需要を満たす直接的な生産だけでなく、他部門への波及効果も含めた直接間接の生産に伴うCO₂排出量を求めることができられる²³⁾。日本の場合、部門別の内包型CO₂排出原単位が公開されている²⁴⁾のに対し、中国の場合は公式のデータがないため、独自に推計しなければならない。産業連関表を使った推計式を以下に示す。

$$X = AX + F \text{ or } X = (I - A)^{-1} F \quad (2)$$

$$d_i = D_i / x_i \quad (3)$$

$$d = [d_1, d_2, \dots, d_n] \quad (4)$$

$$E = d \cdot X = d \cdot (I - A)^{-1} F \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_k \\ \vdots \\ e_n \end{pmatrix} = d \cdot (I - A)^{-1} \begin{pmatrix} f_1=1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & 1 & & \vdots \\ f_k=0 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & & \vdots & & 1 \\ f_n=0 & \dots & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$E_j = \sum_j x_{ij} e_i \quad (7)$$

X : 中間需要である部門*j*の部門*i*に対する需要行列

A : 部門*j*の単位生産額あたり必要とする部門*i*の投入額を示す投入係数行列

F : 最終需要部門による需要の行列

d_i : 部門*i*の直接CO₂排出原単位(t-CO₂/万元)

D_i : 部門*i*の直接CO₂排出量(t-CO₂)

x_i : 部門*i*の総生産量(万元)

E : 部門1～*n*の合計の直接CO₂排出量(t-CO₂)

e_i : 内包型CO₂排出原単位 (t-CO₂/万元)
 f : 最終需要部門による需要 (万元)
 E_j : 部門jの内包型CO₂排出量 (t-CO₂)
 x_{ij} : 部門jの部門iに対する中間需要 (万元)

3. 過去の推計結果

ここでは、2000年、2002年、2005年、2007年、2010年の中国全体の製造業16部門別の直接排出量と内包型排出原単位、内包型排出量、そして2002年と2005年の30省別16部門別の内包型排出量を推計した結果を示す。

(1) 直接排出量の推計結果

図-2に示すように、製造業の直接排出量は2000年から年々増加している。特に2005年以降の増加は激しく、2010年の排出量は2000年の2倍以上になっている。この間のGDPの変化は、2000年から2007年の間に増加率が毎年増えており、2007年は前年より約14.2%も成長している。2008年から2010年の増加率は落ち着いたものの、いずれも9%以上である²⁵⁾。GDPの増加は製造業の発展と密接に関連しており、直接排出量の急増は製造業の生産額の成長によるところが大きい。

また、石油・コークス・核燃料加工業、化学工業、非金属鉱物製品業、金属精錬圧延加工業の直接排出量が、他部門よりはるかに大きいことがわかった。製造業全体の排出量が増加したのは、ほぼこの4部門による。特に、石油・コークス・核燃料加工業と金属精錬圧延加工業の排出量は極めて大きく、増加率も高い。図-3の部門別直接排出原単位より、石油・コークス・核燃料加工業の直接排出量が多い理由は、生産過程において化石燃料の直接燃焼が他部門より非常に高いためである。化学工業の直接排出量は非金属鉱物製品業と同レベルであるが、直接排出原単位は他の3部門と比べて小さい。金属精錬圧延加工業も同様に直接排出量は石油・コークス・核燃料加工業とあまり差がないが、直接排出原単位は石油・コークス・核燃料加工業の半分程度しかない。つまり、化学工業と金属精錬圧延加工業は、生産過程で大量に化石燃料を使用するだけでなく、生産量自体が多いのである。以上から、この4部門に対し、原単位と生産量の両方を考慮して直接排出量削減策を検討することが、製造業全体の排出量削減に貢献することがわかる。

(2) 内包型排出量の推計結果

a) 内包型排出原単位

図-4に示す通り、内包型排出原単位の推移は直接排出量とは逆に、ほぼ全ての部門で年々減少している。これは技術進歩と密接に関連していると考えられる。

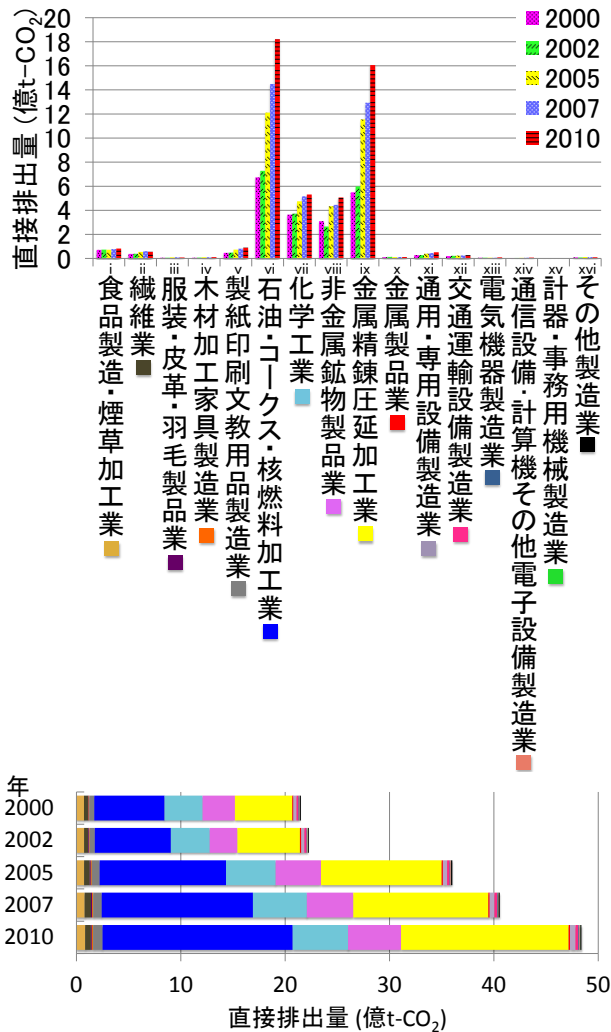


図-2 製造業部門別直接CO₂排出量 (上) とその推移(下)

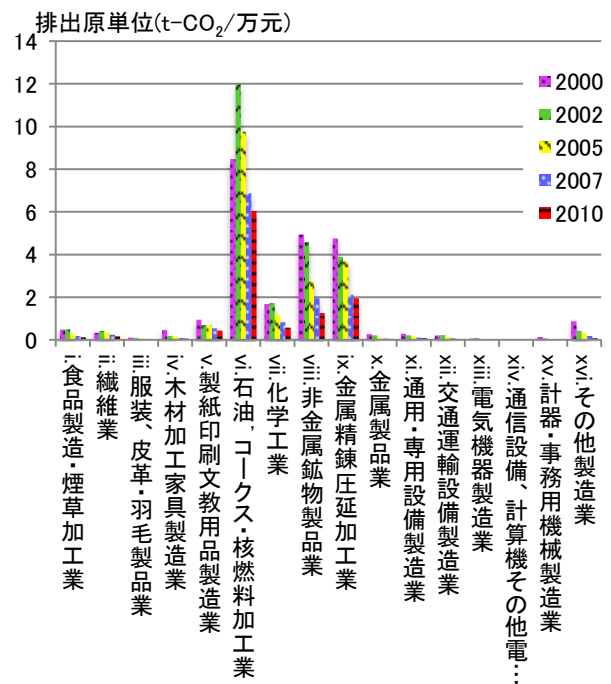


図-3 製造業部門別直接CO₂排出原単位の推移

部門別でみると、電力・熱エネルギー生産供給業の内包型排出原単位が他部門よりかなり大きくなっている。その原因は、エネルギー部門がエネルギーを生産する際に、燃料を多く燃焼させており、特に中国の発電部門においては、石炭火力発電のシェアが非常に高いためと考えられる。そして、直接排出量が多かった石油・コークス・核燃料加工業、化学工業、非金属鉱物製品業、金属精錬圧延加工業の4部門に関しては、内包型排出原単位も大きいものの、直接排出量のように、他部門と5倍以上差があるというほどではない。また、直接排出量とは異なり、金属製品業、通用・専用設備製造業、交通運輸設備製造業、電気機器製造業、電子設備製造業など、金属を原料として多く使用する製造業部門の内包型排出原単位が大きい。これらの部門はサプライチェーンの下流にあたり、上流の部門の中でも原単位が大きい金属精錬部門やエネルギー部門の製品を多く使用しているため、特に間接排出原単位が大きくなっている。

以上をまとめると、サプライチェーンの上流にあたる部門は直接排出原単位が大きいのにに対し、下流の部門は間接排出原単位が大きい。一方で、内包型排出原単位が小さい部門は、直接消費する燃料も少なく、内包型排出原単位の大きい部門からの需要も少ないと考えられる。

b) 中国全体の内包型排出量

図-5に示すように、まず全体からみると、内包型排出原単位が年々減少しているにも関わらず、内包型排出量は大幅に増加している。これは生産量が伸びているからである。

部門別でみると、直接排出量も内包型排出原単位も大きい石油・コークス・核燃料加工業、化学工業、非金属鉱物製品業、金属精錬圧延加工業の4部門のうち、化学工業と金属精錬圧延加工業の内包型排出量は極めて大きい。この2部門は単に生産量と直接排出量が多いだけでなく、内包型排出原単位が大きい部門からの需要も多いため間接排出量も多くなっている。一方、石油・コークス・核燃料加工業は自身の内包型排出原単位が大きい、生産量が少ないこと、原単位が大きい上流部門からの需要が小さいことという2つの理由で、内包型排出量が少なくなっている。さらに、金属製品業、通用・専用設備製造業、交通運輸設備製造業のようにサプライチェーンの下流にあり、金属を原料として多く使用する部門では、中程度の内包型排出原単位を持っているが、上流で内包型原単位が大きい金属精錬圧延加工業からの需要が多く、また生産量も多い結果として、内包型排出量も多くなっている。

以上より、内包型排出量は生産量から影響を受けるほか、生産過程の際に使用する燃料の種類や、サプライチェーンにおける位置、さらには原料などを購入する部門の内包型排出原単位などの様々な要因が影響しているこ

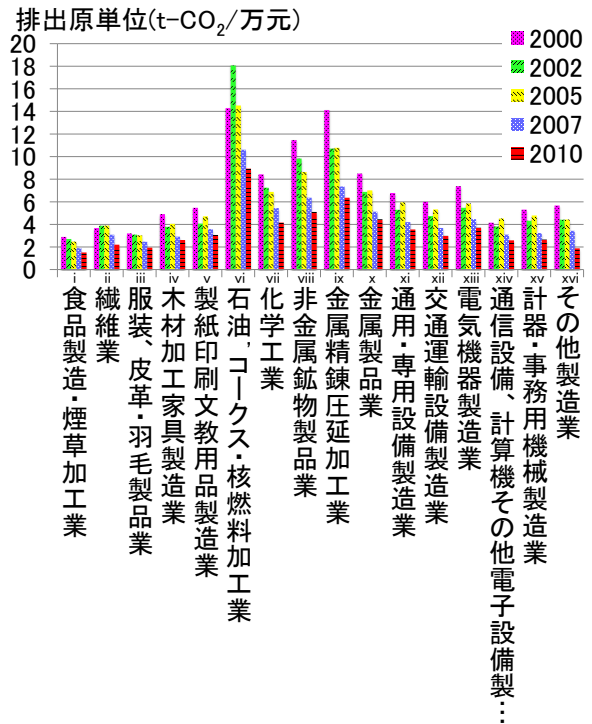


図-4 製造業部門別内包型CO₂排出原単位の推移

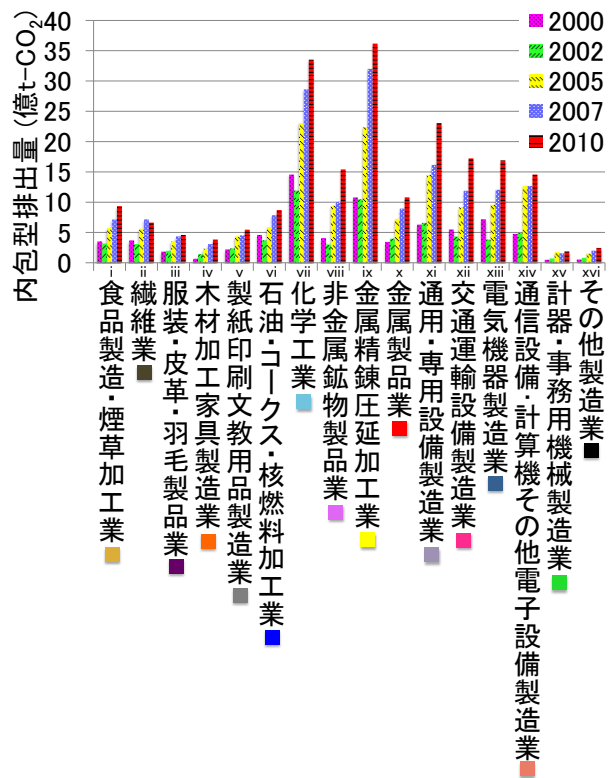


図-5 製造業部門別内包型CO₂排出量の推移

とがわかる。

c) 省別の内包型排出量

図-6は省別の内包型排出量の推計結果を示しており、各省のGDPとの関連性を明確にするため、横軸は左から2007年のGDPが多い順²⁰に並べている。GDPが多い省では、製造業部門における内包型排出量も多い傾向がみら

定する。この予測では、経済の成長は、サービス産業の発展、都市化の進行や人口とともに、労働力、資本投入や技術進歩などに影響されており、中国においてこれらの影響因子はいずれも楽観的な状態になっていない。さらに、中国財政政策報告20102011²⁸⁾によると、将来は中国でも高齢化が加速し、2030年には65歳以上の人口の割合が日本を超え、世界最大の高齢化社会になると予測されている。労働人口は2016～2030年は毎年平均500万人、2030年以降は毎年平均1000万人減少すると推測されている。そして、技術力はだんだん先進国に近くなり、技術進歩の速度は遅くなると考えられる。これらの要因から、GDPの成長率は徐々に鈍化すると予想されるため、米国と日本の発展軌道を参考にしながら、中国の人口変化を考慮し、2020～2030年の平均GDPの増加率を5%と仮定、2030年からは4%と設定し、2050年までのGDPを推測した。その結果、GDPは2030年には462,455億元、2050年には1,013,295億元になる推測される。さらに、過去の部門別排出量が全体に占める割合の推移から将来の部門別割合を推測し、それを直接排出量の推計結果に乘じることにより、部門別の直接排出量を推計する。本研究で推計した2000～2010年の全部門合計および部門別の直接排出量の変化をみたところ、全部門合計値は頭打ちになる傾向があり、部門別割合では石油・コークス・核燃料加工業と金属精錬圧延加工業の割合が増加傾向にあるのに対し、化学工業と非金属鉱物製品業は減少傾向がみられた。これらのことを考慮しながら、各部門の排出量とその割合の変化傾向を分析し、将来の割合を予測した。

将来の内包型排出量を推計するにあたって、将来の産業連関表が必要となる。各部門の中間投入の合計、中間需要の合計と国内生産額は近年の変化傾向から容易に推計することができるが、部門間の投入係数は変化傾向から予測する手法が必要となる。そこで、投入係数を推計するために、広く使用されており信頼性が高いRAS法²⁹⁾を用いることとした。この手法では、基準となる産業連関表の投入係数行列に対し、予測目標とする産業連関表における部門別国内生産額ベクトル、中間投入ベクトル、中間需要ベクトルを用いて収束計算を行うことにより、予測目標とする産業連関表の投入係数行列を求めることができる。

これらの直接排出量の結果に基づき、発電量を逆推計する。過去の直接排出量と発電量の関係进行分析すると、直接排出量と発電量はほぼ線形関係になっていることがわかった。そのため、予測した直接排出量の結果を用いて、将来の発電量を推計する。その結果、中国の発電量の増加率は徐々に穏やかになるという予測になった。直接排出量を推計する際に、将来の経済発展傾向を考慮して予測した国内生産額を用いたため、将来の直接排出量も中国全体の経済発展の傾向を考慮したものとなってい

る。このように予測した将来の直接排出量を用いることによって推計した将来の発電量は、単に過去の発電量の増加率で推計したものより、現実に近いと考えられる。

b) シナリオ2 (石炭火力発電の発電効率向上)

現状では、中国の石炭火力発電の割合は他国より大きく、発電の効率は低い。しかし、本研究の推計結果から、積極的に海外の技術を導入することにより、石炭火力発電のCO₂排出係数は2004年の1.112kg-CO₂/kWhから年々減少し、2009年には0.934kg-CO₂/kWhになったことがわかった。この傾向が続くと、2030年には大幅に減少し、2050年には日本の0.57kg-CO₂/kWh前後になる可能性もある。そこで、2050年の石炭火力発電排出係数は0.57kg-CO₂/kWh、2030年は2050年と2010年の中間値0.75kg-CO₂/kWhと仮定する。

一方、石油火力発電とLNG火力発電については、合計した発電量は火力発電全体の5%以下で、発電量全体の2%未満である。国からの技術支援や政策が少なく、2000～2010年間にCO₂排出係数も大きく変動していなかったため、将来も大幅に減少するとは考えにくい。そこで、石油火力発電とLNG火力発電の発電CO₂排出係数は、それぞれ、近年の平均値0.835kg-CO₂/kWhと0.039kg-CO₂/kWhを用いる。

シナリオ2では、発電方法別の発電量の割合は不変と仮定しており、直接排出量は、2030年にはシナリオ1の場合より約13%減少し、2050年には約33%減少する。

c) シナリオ3 (発電方法別割合の変化)

中国政府は、第10回5か年計画(2000～2005年)から環境問題を取り上げ始め、2014年に開催された第13回5か年計画の会議では、さらに詳しい目標を設定した。今後は、原子力発電、風力発電と太陽光発電に力を入れ、非化石燃料の占める割合を30%にするとしている。専門家によると、原子力発電は2020年には発電量の4%、2030年からは10%を維持するのが中国において最適だとされていることから³⁰⁾、本研究では2030年には6%、2050年には10%になると仮定する。風力発電については、2020年から補助金がなくなることを考慮し、その発電割合は2030年には5%、2050年には6%になると仮定する。太陽光発電については、補助金により今後発展し、その割合は2030年には1%、2050年には2%になると仮定する。水力発電はこれ以上増加させるのは難しいとみられているため、現状を維持し、発電量の17%と仮定する。これらの仮定より、2030年の非化石燃料による発電量は全体の30%に達し、国の目標と一致する。非化石燃料が増加した分、石炭火力発電が減少するとした。以上で設定した発電方法別の発電割合に、シナリオ1で推計した全体の発電量を乗じ、発電手段別発電量を推計する。発電部門における直接排出量は、シナリオ1の場合より、2030年は約10%、2050年は約17%小さな値となる。

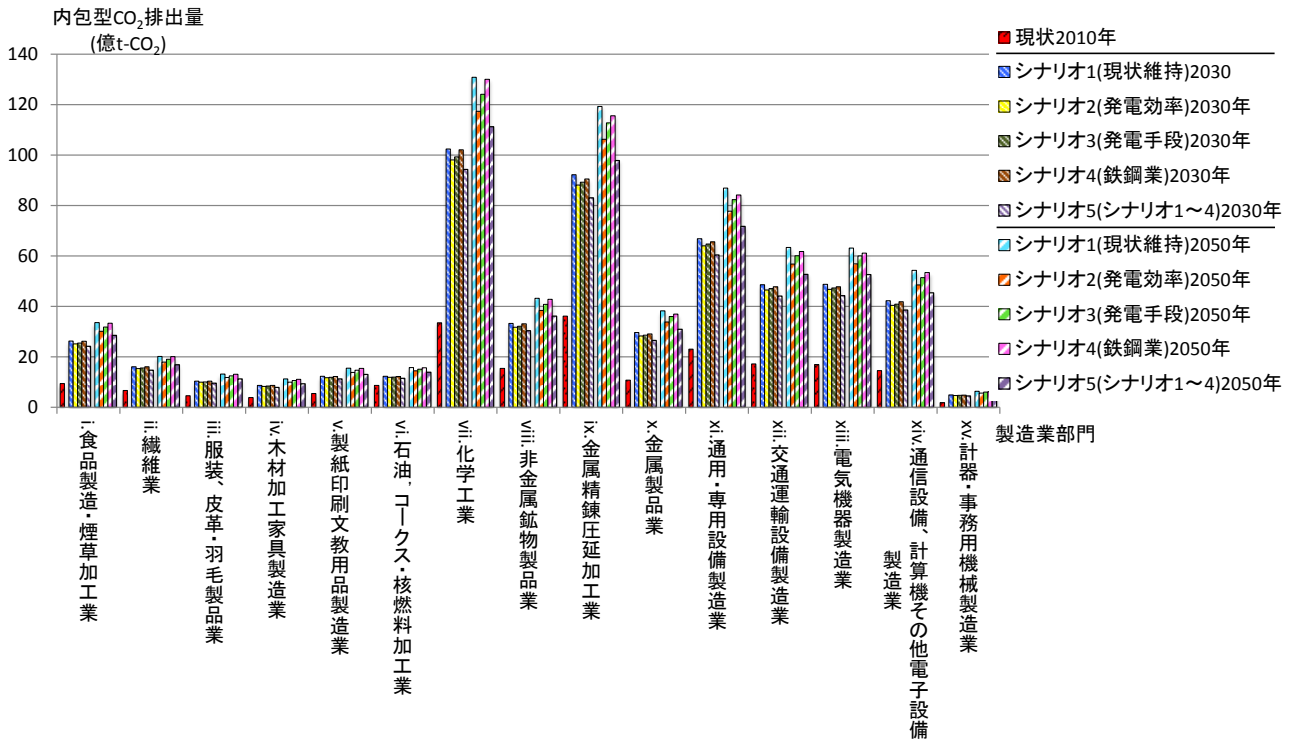


図-7 シナリオ別の内包型CO₂排出量推計結果 (2030年, 2050年)

d) シナリオ4 (鉄鋼業の技術向上)

現状分析の結果から、金属精錬圧延加工業における直接排出量が非常に多いことがわかった。鉄鋼業は製造業のサプライチェーンの上流にあたり、間接排出量として他部門に与える影響が大きい。特に近年は経済発展に伴い、自動車製造業、重機製造業、建築業などからの鉄鋼の需要が多い。1993年からは鉄鋼生産量が世界2位となり、2013年には世界の半分以上の鉄鋼が中国で生産されている。金属精錬圧延加工業における直接排出量が削減できれば、サプライチェーンの下流にあたる部門の内包型排出量も削減することができると考えられる。そこで、鉄鋼業の技術力向上に関するシナリオを設定し、将来の製造業部門の内包型排出量を推計する。鉄鋼業の生産量1tあたりCO₂排出係数は2000年の4.3 t-CO₂から年々減少し、2010年には2.5 t-CO₂となった。中国政府は、鉄鋼業のエネルギー使用効率を高める政策を打ち出しており、2020年までには燃焼効率を10%から30%に高めるという目標を設定した³¹⁾。それを踏まえ、本研究では燃焼効率を、2030年には2010年比で20%、2050年には35%高めるシナリオを設定する。これにより、鉄鋼業の直接排出量は、シナリオ1と比べて2030年には11%、2050年には19%減少する。

e) シナリオ5 (シナリオ2~4の組み合わせ)

シナリオ1で予測した産業連関表と部門別直接排出量をベースに、シナリオ2, 3で設定した将来の石炭火力発電効率と発電手段の割合変化と、シナリオ4で設定した鉄鋼業の排出係数の変化を全て組み合わせたシナリオを

設定し、2030年と2050年の内包型原単位および排出量を推計する。

(2) 結果と考察

各シナリオによる内包型排出量の推計結果を図-7に示す。全体としては、シナリオ2とシナリオ3は、ともにシナリオ1より発電部門のCO₂排出量を削減できるが、シナリオ2の発電効率向上のほうが、シナリオ3の発電割合の変化より、削減効果大きい。部門別にみると、全ての部門において、2050年は2030年より内包型排出量が増加した。また、シナリオ2, 3のような発電部門の直接排出量の削減が、ほぼ全部門の内包型排出量に影響を与えていることがわかる。特に、金属精錬圧延加工業と化学工業への効果が大きい結果となっている。これは、これらの部門では、生産する際の電力需要が多いためと考えられる。

シナリオ1とシナリオ4の結果はほとんど差がないが、部門によっては差が生じている。シナリオ4によって、内包型排出原単位と排出量が最も減少したのが、当然のことながら金属精錬圧延加工業であり、この部門自身の直接排出量を減少させたことによる。そのほかにも、金属製品業は金属精錬圧延加工業からの需要が大きいため、内包型排出量が減少しており、さらに通用・専用設備業や建築業でも、シナリオ1より原単位も排出量も小さくなった。これは、金属製品業のように金属精錬圧延加工業から直接影響を受けた部門が、さらに下流のほかの部門に影響を与えるためと考えられる。つまり、金属精錬

圧延加工業の直接排出量減少により、サプライチェーンの下流にある金属を利用する部門に広く影響を与えることがわかった。

シナリオ5では、石炭発電の発電効率向上、発電手段の割合変化と鉄鋼業の技術向上に全て取り組むことで現状維持のシナリオ1より多くの削減効果を得られた。石油、コークス・核燃料加工業、つまり発電部門の原単位が大幅に減少した以外にも、現状では内包型原単位も排出量も大きい化学工業と金属精錬圧延加工業の内包型原単位と排出量も減少させている。もともと内包型原単位や排出量が小さい下流の部門でも、発電部門と鉄鋼業のシナリオの影響によりさらに原単位も排出量も減少した。そして注目すべき点は、多くの部門で、シナリオ5における2050年の内包型排出量が、シナリオ1での2030年の排出量の値に近くなっていることである。言い換えると、もし長期的にシナリオ5での設定を全て実現できれば、排出量全体の多くを占める製造業については、中国政府から発表した2030年をピークに削減に転じる目標を達成できる可能性がある。さらに、例えば鉄鋼業以外に、石油・コークス核燃料加工業や化学工業なども積極的に技術改良を導入すれば、その目標達成が確実になる可能性は高い。このように、将来のCO₂排出量削減策を検討する際には、特にサプライチェーンの上流にある発電や鉄鋼業のような、技術進歩と使用エネルギー改善により製造業の下流の部門の内包型排出量に大きく影響を与える部門に対し、重点的に対策を行うことが重要である。

5. 結論

本研究では、中国における製造業サプライチェーンに着目し、現状の全国製造業部門別直接排出量と、全国および各省の製造業部門別内包型排出量を推計した。その上で、将来の産業連関表の変化と、経済発展を考慮した部門別直接排出量を予測することで、将来の部門別内包型排出量を推計した。

現状分析から、製造業サプライチェーンの上流にあたる石油・コークス・核燃料加工業、化学工業、非金属鉱物製品業、金属精錬圧延加工業の4部門から排出されるCO₂は他の部門より非常に多いことがわかった。また、内包型排出原単位と内包型排出量の結果により、これらの4部門では直接排出量が大きいだけでなく、内包型排出原単位も多く、他部門への影響が大きいことが示された。内包型排出量の内訳をみると、発電部門からの電力の購入が多くの部門の内包型排出量に影響を与えているだけでなく、金属を多く使用する金属製品業や交通運輸設備製造業は、金属精錬圧延加工業の製品の購入による影響が大きいことがわかった。省別にみると、製造業に

おける内包型排出量は基本的にはその省のGDPと密接に関連しているものの、各省の産業構造による影響も大きいことが明らかになった。地理的には、経済が発展している東沿海部の省で内包型排出量が多いほか、内陸での石炭などの原料の分布も影響していることがわかった。これらは通常よく用いられている直接排出量の分析だけではわからないことであり、排出責任を考える際の参考情報となりうる。

さらに、発電部門における石炭火力発電のエネルギー使用効率向上、シェア減少、鉄鋼業の直接排出原単位(生産量ベース)削減の3つのシナリオを設定した上で、全て組み合わせたシナリオも設定した。そして、それぞれのシナリオにおける部門別の内包型排出原単位と内包型排出量を推計した。その結果、発電部門のCO₂排出量削減が製造業全体に与える影響が大きいことがわかった。ただし、現在までに示された石炭火力発電効率や発電構成に関する目標を達成するだけでは、2050年も排出量は増え続ける可能性が高い。しかし、鉄鋼業のようにサプライチェーンの上流にあり、ほかの部門への影響が大きい部門に対する技術進歩に重点的に取り組み、発電部門の対策と同時に進めれば、2030年をピークに減少に転じる目標の達成も期待できることが示された。

今後の課題としては、省ごとの原料やエネルギーの使用状況をより詳細に反映させること、他部門への影響が大きいサプライチェーン上流の部門の対策についてもシナリオ分析を行うこと、家庭などの最終消費者の生活や地理的分布の違いも考慮した分析につなげていくことが挙げられる。さらに、中国では石炭を始めとして多くを国産に依存してはいるものの、国産品と輸入品では生産プロセスが異なることから、近年の産業連関分析では輸入先の技術を考慮した原単位の拡張も試みられている²⁾。今後は、このように輸入品のシステム境界を海外に広げることも重要である。また、中国では、製造物が輸出される割合も大きく、排出責任の観点からは海外での需要のために、中国で生産することでCO₂排出量が発生していると考え方もある。既往研究でもWeber et al. (2008)¹⁸⁾、林ら(2010)¹⁹⁾のように輸出に着目した研究が行われており、これらの視点を取り込むことは今後の課題である。

参考文献

- 1) The World Bank Data-GDP (current US\$), <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDPMK1PCD>
- 2) European Commission: CO₂ time series 1990-2013 per region/country, <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=CO2ts1990-2013>
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC): IPCC 第5次評価報告書, 2009.
- 4) 小村智宏:工業大国の行方, 三井物産戦略研究所経済調査室, 2012.9, http://mitsui.mgsi.com/issues/report/r1209x_omura.pdf
- 5) The Shifting Economics of Global Manufacturing. The Boston Consulting Group, 2014.4.25.

- <http://www.slideshare.net/TheBostonConsultingGroup/bcg-global-mfg-cost-competitiveness-index-final>
- 6) 何艶秋, Chinese energy carbon dioxide emissions control objectives and geographical distribution statistics, Southwestern University of Finance and Economics, 2013.(中国語)
 - 7) 王文超: Research on Driving Factors Analysis and Prediction of China's Provincial Energy Consumption and carbon Dioxide Emission, Dalian University of Technology, 2014.(中国語)
 - 8) 陶小馬, 周文: 中国地区工业部门二氧化碳排放量及碳排放约束下全要素生产率测算, *Technology Economics*, Vol.31, No.9, pp.40-50, 2012.(中国語)
 - 9) 陳詩一: 中国工业分行业统计数据估算 1980-2008, *China Economic Quarterly*, Vol.10, No.3, pp.735-776, 2011.(中国語)
 - 10) 何建坤: 我国 CO₂减排目标的经济学分析与效果评价, *Studies in Science of Science*, Vol.29, No.1, pp.56-65, 2011.(中国語)
 - 11) 姚西章: 技术进步、结构变动与制造业的二氧化碳排放强度, *Jinan Journal (Philosophy and Social Sciences)*, Vol.170, pp.59-65, 2013.(中国語)
 - 12) 王中英, 王礼茂: 中国经济增长对碳排放的因素分析, *北京石油化工学院学报*, Vol.6, No.5, pp.88-91, 2006.(中国語)
 - 13) Guan Dabo, Klaus Hubacek, Christopher L. Weber, Glen P. Peters, David M. Reiner: The drivers of Chinese CO₂ emissions from 1980 to 2030, *Global Environmental Change*, Vol.18, No.4, pp.626-634, 2008.
 - 14) 韩国高, 高铁梅, 王立国, 齐鹰飞, 王晓姝: 中欧制造业产能过剩的测度、波动及成因研究, *经济研究*, Vol.12, pp.18-31, 2011.(中国語)
 - 15) 生津路子, 藤森真一郎, 松岡護: 世界温室効果ガス排出量半減に向けた中国における削減方策の定量的解析, *土木学会論文集 G*, Vol. 68, No. 6, pp. II_155-II_164, 2012.
 - 16) 行木美弥, 森口祐一: 中国とインドにおける鉄鋼需給に関連する温室効果ガス排出の中長期予測—スクラップの利用可能性と限界—, *土木学会論文集 G*, Vol.69, No.6 pp. II_205-II_215, 2013.
 - 17) Jie Guo, Le-le Zou, Yi-Ming Wei: Impact of inter-sectoral trade on national and global CO₂ emissions: An empirical analysis of China and US, *Energy Policy*, Vol.38, pp.1389-1397, 2010.
 - 18) Christopher L. Weber, Glen P. Peters, Dabo Guan, Klaus Hubacek: The contribution of Chinese exports to climate change, *Energy Policy*, Vol.36, No.9, pp.3572-3577, 2008.
 - 19) 林寧, 梁瑞録, 嶋崎善章, 相馬隆雄: 産業連関表を用いた中国における経済発展と二酸化炭素排出に関する研究, *Journal of life cycle assessment*, Vol.6, No.4, pp.327-337, 2010.
 - 20) Fu Q, Xin L, Ma J: Study on Composing Characteristics of Supply Chain Multi-Stage Carbon Footprint in Manufacturing Industries, *战略决策*, Vol.11, 2012.(中国語)
 - 21) 国家统计局, 中国能源统计年鉴 2000-2009, 中国统计出版社, 2001-2010.(中国語)
 - 22) Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC): 2006年改訂版温室効果ガス目録のための IPCC ガイドライン, 2006.
 - 23) Keisuke Nansai, Yasushi Kondo, Shigemi Kagawa, Sangwon Suh, Kenichi Nakajima, Rokuta Inaba, and Susumu Tohno: Estimates of Embodied Global Energy and Air-Emission Intensities of Japanese Products for Building a Japanese Input-Output Life Cycle Assessment Database with a Global System Boundary, *Environmental Science & Technology*, Vol.46, NO.16, pp.9146-9154, 2012.
 - 24) 南齋規介, 森口祐一, 東野達: 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID), 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター, 2002.
 - 25) 国家统计局: 中国统计年鉴 2007, 中国统计出版社, 2008.(中国語)
 - 26) 闫坤, 刘陈杰: 中国未来经济增长的新常态测算, 中国社会科学院财税研究中心, 中国社会科学院经济研究所, 2014.(中国語)
 - 27) 中国社会科学院财政贸易经济研究所: 中欧财政政策报告 2010/2011, 2010.(中国語)
 - 28) 丸山佐和子: ノンサーベイ・アプローチによる投入係数の推計と検証, *産開研論集*, Vol.21, 2009.
 - 29) 张祝华: 安全与发展并行, *CNEA(中国核能协会)*, Vol.6, pp.26-27, 2014.(中国語)
 - 30) 中华人民共和国工业和信息化部: 工业领域应对气候变化行动方案(2012-2020), 2013.(中国語)

(2015. 7. 31 受付)

ESTIMATION OF THE CONTAINED CO₂ EMISSIONS FROM THE SUPPLY CHAIN OF CHINESE MANUFACTURING INDUSTRY

Kumiko NAKAMICHI, Shinya HANAOKA and Tianyue LI

The excessive CO₂ emissions from manufacturing make China become the largest CO₂ emission country. The objectives of this study are to estimate direct and indirect CO₂ emissions from the supply chain of Chinese manufacturing industry sectors by regions, and to propose the effective solution to CO₂ emissions reduction. This study uses Input-Output table and CO₂ emissions intensity to estimate the contained CO₂ emissions by sectors and by regions. Moreover, five future emissions scenarios for power generation sector and smelting sector are created. The high-emission upstream sectors in supply chain are proved as the key for CO₂ reduction. Improvement of industrial volume and structure, promotion of power generation composition and improvement of power efficiency of fuel are found as the most effective solutions.