

# 東アジアにおける経済構造変化とカーボンリーケージ

— 2005年アジア国際産業連関表の推計をふまえて —

長谷部勇一・藤川 学・シュレスターナゲンドラ

地球温暖化問題に関する先進国と途上国との対立の一つに、カーボンリーケージ問題がある。この問題を扱うためには、貿易財のCO<sub>2</sub>集約度の計測を正確に行う必要があり、従来、国際産業連関表をベースにした研究がなされてきた。これらの多くは、外生国からの輸入に伴うCO<sub>2</sub>排出は、外生国の投入係数やCO<sub>2</sub>データが存在しないため、これを捨象した相互依存関係の分析しか行ってこなかった。しかしながら、この方法はCO<sub>2</sub>排出を過小評価することになるので、本研究では、外生国のCO<sub>2</sub>集約度を内生国の加重平均と仮定する方法を發展させ、2005年時点の中国、韓国、日本、アメリカを内生国とする国際産業連関表を独自に推計した上で、1995年から2005年にかけてのカーボンリーケージの動向について検討を加えた。その結果、アメリカと日本は一貫して赤字国であり、CO<sub>2</sub>排出を他国に「押し付けて」いる関係であること、近年その傾向は縮小しているが中国に対してはCO<sub>2</sub>排出赤字が拡大していることが明らかになった。

JEL Classification Codes: C67, Q56

## はじめに

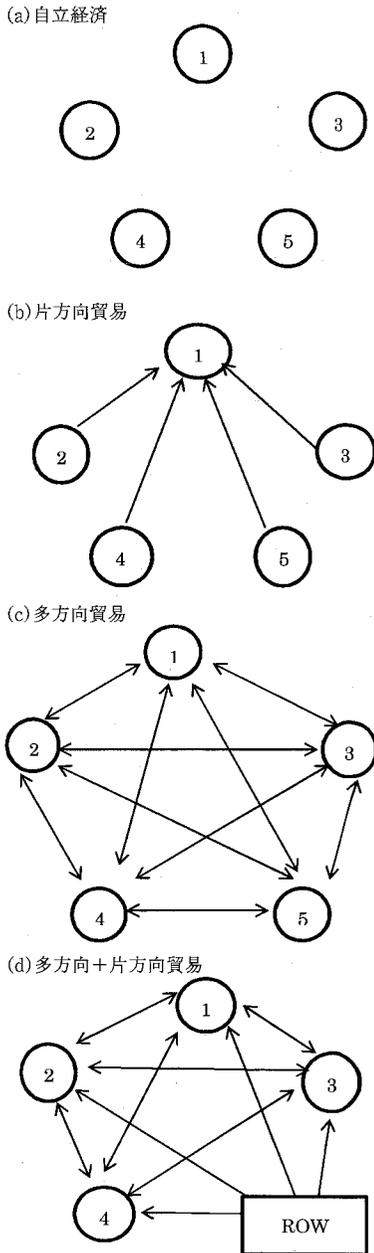
2011年12月に南アフリカにおいて開催された「地球温暖化対策について協議する国連気候変動枠組み条約第17回締約国会議(COP17)」において、京都議定書の5年間延長と、全ての国を対象とした新たな枠組みについて2015年までに合意することを柱とするダーバン宣言が採択された。枠組みは採択されたものの、先進国と新興国・途上国との対立は根深いものがあり、「共通であるが差異のある責任」の具体的あり方は依然模索の段階にある。対立の根底には、現在の温暖化ガス国内排出量を基準とすると過去の排出量の蓄積(積分)量が無視されるので先進国が有利になる、国内排出量ではなく公平性の観点からは一人当たり排出量で考えるべきである、という考え方の相違のほか、途上国は先進国への輸出により排出を肩代わりしていることを配慮すべきであるという問題がある<sup>1)</sup>。これは、貿易を通じたカーボンリーケージ(貿易品に含まれる温暖化ガス(主にCO<sub>2</sub>)が輸入国から輸出国へ移転するという問題)としても知られ、多くの研究が蓄積されてきた。

一般に製品に含まれる環境負荷の推計方法として、産業連関表を用いたトップダウン型と個々の製品に着目するボトムアップ型の方法がある。生産に伴う環境負荷は、当該の財の生産過程で直接発生するものに加えて、その財の生産に必要な資源、燃料、原材料など数多くの中間財の生産過程で発生する環境

負荷を間接的に考慮することが必要である。そのため、多くの研究では中間財取引を含む産業連関表が使用されてきた。我が国で初めて本格的に作成された大気汚染(CO<sub>2</sub>)排出原単位係数<sup>2)</sup>を用いて、産業連関モデルにより貿易に伴う汚染物質の海外移転について明らかにしたのが、高橋・安原(1975)の研究である。これによれば、1960年代から70年頃まで、アメリカ、イギリス、フランス、西ドイツ各国は輸出による汚染発生量が輸入による回避量を下回り貿易により汚染発生量が抑制されていたのに対し、日本は逆に貿易の結果汚染発生量が増加していたことが明らかにされた。その後も、一国を対象とした貿易による環境負荷の研究がなされてきたが<sup>3)</sup>、そのほとんどは輸入した製品に含まれる環境負荷の推計において、輸入品が国内で生産されたと仮定して汚染排出量を推計するという方法がとられており、必ずしも海外で実際に生産された輸入品に含まれる汚染排出量が推計されたわけではなかった。そこで、近年、国際産業連関表を利用して、外国を含む各産業の汚染物質排出量のデータをもとにした研究が主流となってきている。

しかしながら、国際産業連関表は国際間の中間財、最終財の貿易取引を含むため、そのデータの収集、推計には多大な労力とコストが必要になる。理想的には、世界経済すべての国を対象としてより多くの産業部門分類を利用した環境負荷の推計が望ましいが、実際には、対象とする国や産業部門の数は限られており、様々の工夫が必要となっている。Man-

図 1. 国際間依存関係のモデル



出所) Lenzen, Pade & Munksgaard (2004) を一部修正.

fred Lenzen, Lise-Lotte Pade & Jesper Munksgaard (2004)の整理(図1参照)に寄れば、産業連関表を利用した研究においても国際貿易や産業部門ごとの二酸化炭素など汚染物質排出量のデータが限られていることから、(a)環境負荷の計算を一国表のデータだけで行う自立経済(Autonomous Economies)、(b)主要な貿易国の輸入データだけを利用する片方向貿易(Unidirectional trade)、(c)主要な貿易国の輸出と輸入のデータを利用する多方向貿易(Multidirectional trade)の3つのタイプに分け、デンマークを例に取り、(a)から(c)に至る方法で推計することにより正確な分析ができることを示した。(c)のタイプで推計する場合、貿易を行うすべての国のデータが必要になるが、実際にはデータの制約から主要国以外の国や地域をROW(Rest Of the World; その他世界)として分離することが一般的である。ROWとして統合する場合、それを完全に多方向貿易モデルとして扱うためには、ROWからの輸入だけでなくROWへの輸出に関しても、表1のように産業部門別にその販路先の推計作業が必要となる。しかし、この部分の信頼しうる統計を得ることは困難であり、輸出に関わる部分の産業別の推計は行わず、輸入に関する部分を含めた表2のような形式で行う方法が有効である。アジア経済研究所で推計されている国際産業連関表はこの形式であり、図1の(d)のように多方向+片方向貿易のモデルとして表現することができる。

このような形式の国際産業連関表を利用した研究には、藤川他(2002)、井村他(2005)、羅(2006)、下田・渡邊・叶・藤川(2009)、星野優子・杉山大志・上野貴弘(2010)などがある。いずれも、アジア経済研究所で作成されたアジア国際産業連関表をベースにして、各国、各産業のCO<sub>2</sub>排出集約度の計算を行っている。これら既存研究の多くは、外生国からの輸入に伴うCO<sub>2</sub>排出に関しては、外生国の生産条件やCO<sub>2</sub>排出データが存在しないため、これらを捨象した内生国内の相互依存関係の分析しか行われていない<sup>4)</sup>。しかしながら、内生国の生産において外生国からの中間財の輸入が多ければ多いほど、これらを捨象することは各国のCO<sub>2</sub>排出を過小評価するという問題が生じる。そこで本研究では、藤川他(2002)で提案された外生国(ROW)のCO<sub>2</sub>集約度を内生国のCO<sub>2</sub>集約度の加重平均と仮定して内生化する方法を発展させ、2005年時点の中国、韓国、日本、アメリカを内生国とする国際産業連関表を独自に推計した上で、内生国および外生国のCO<sub>2</sub>排出にかかわる相互依存関係を分析し、1995年から2005年にかけての貿易に伴うカーボンリー

表 1. 完全国際間産業連関モデル(多方向貿易)

	Intermediate					Final Demand					Total Output
	China	Korea	Japan	USA	ROW	China	Korea	Japan	USA	ROW	
China	$Z^{CC}$	$Z^{CK}$	$Z^{CJ}$	$Z^{CU}$	$Z^{CR}$	$F^{CC}$	$F^{CK}$	$F^{CJ}$	$F^{CU}$	$F^{CR}$	$X^C$
Korea	$Z^{KC}$	$Z^{KK}$	$Z^{KJ}$	$Z^{KU}$	$Z^{KR}$	$F^{KC}$	$F^{KK}$	$F^{KJ}$	$F^{KU}$	$F^{KR}$	$X^K$
Japan	$Z^{JC}$	$Z^{JK}$	$Z^{JJ}$	$Z^{JU}$	$Z^{JR}$	$F^{JC}$	$F^{JK}$	$F^{JJ}$	$F^{JU}$	$F^{JR}$	$X^J$
USA	$Z^{UC}$	$Z^{UK}$	$Z^{UJ}$	$Z^{UU}$	$Z^{UR}$	$F^{UC}$	$F^{UK}$	$F^{UJ}$	$F^{UU}$	$F^{UR}$	$X^U$
ROW	$Z^{RC}$	$Z^{RK}$	$Z^{RJ}$	$Z^{RU}$	$Z^{RR}$	$F^{RC}$	$F^{RK}$	$F^{RJ}$	$F^{RU}$	$F^{RR}$	$X^R$
VA	$V^C$	$V^K$	$V^J$	$V^U$	$V^R$						
Total Input	$X^C$	$X^K$	$X^J$	$X^U$	$X^R$						

表 2. 日中韓米国際産業連関モデル(多方向+片方向貿易)

	Intermediate				Final Demand				Export	Total Output
	China	Korea	Japan	USA	China	Korea	Japan	USA		
China	$Z^{CC}$	$Z^{CK}$	$Z^{CJ}$	$Z^{CU}$	$F^{CC}$	$F^{CK}$	$F^{CJ}$	$F^{CU}$	$E^C$	$X^C$
Korea	$Z^{KC}$	$Z^{KK}$	$Z^{KJ}$	$Z^{KU}$	$F^{KC}$	$F^{KK}$	$F^{KJ}$	$F^{KU}$	$E^K$	$X^K$
Japan	$Z^{JC}$	$Z^{JK}$	$Z^{JJ}$	$Z^{JU}$	$F^{JC}$	$F^{JK}$	$F^{JJ}$	$F^{JU}$	$E^J$	$X^J$
USA	$Z^{UC}$	$Z^{UK}$	$Z^{UJ}$	$Z^{UU}$	$F^{UC}$	$F^{UK}$	$F^{UJ}$	$F^{UU}$	$E^U$	$X^U$
ROW	$Z^{RC}$	$R^{RK}$	$Z^{RJ}$	$R^{RU}$	$F^{RC}$	$F^{RK}$	$F^{RJ}$	$F^{RU}$		
VA	$V^C$	$V^K$	$V^J$	$V^U$						
Total Input	$X^C$	$X^K$	$X^J$	$X^U$						

ページの動向について検討を加えたい。

1. モデルと分析方法

表 1 のように ROW が完全に内生化される国際産業連関表が存在し、ROW も含めた産業別 CO<sub>2</sub> 排出量データも存在するとすれば、以下のようにして CO<sub>2</sub> 集約度を計算することが可能になる。

$$\bar{t} = \bar{h}(I - \bar{A}) - 1 \quad \text{---①}$$

ここで、

$\bar{t} = (t^C, t^K, t^J, t^U, t^R)$ ; 中国, 韓国, 日本, 米国その他国々のそれぞれの部門の CO<sub>2</sub> 集約度を並べた行ベクトル

$\bar{h} = (h^C, h^K, h^J, h^U, h^R)$ ; 中国, 韓国, 日本, 米国その他国々のそれぞれの部門の直接 CO<sub>2</sub> 排出係数

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} A^{CC} & A^{CK} & A^{CJ} & A^{CU} & A^{CR} \\ A^{KC} & A^{KK} & A^{KJ} & A^{KU} & A^{KR} \\ A^{JC} & A^{JK} & A^{JJ} & A^{JU} & A^{JR} \\ A^{UC} & A^{UK} & A^{UJ} & A^{UU} & A^{UR} \\ A^{RC} & A^{RK} & A^{RJ} & A^{RU} & A^{RR} \end{pmatrix};$$

中国, 韓国, 日本, その他国々の投入係数ブロック行列

$I$ ; 単位行列

アジア経済研究所で公表されている多方向+片方向貿易モデルの場合、表 3 のように、 $A^{CR} = A^{KR} = A^{JR} = A^{UR} = A^{RR} = 0$  (ゼロ行列) とし、ROW から内生国の中間財、最終財の合計値を  $\bar{X}^R$  と定義すれば、形式的に 5ヶ国モデルとなり、①式で CO<sub>2</sub> 集約度を定義できることになる。

ここで、行列  $\bar{A}$  を部分行列化し、次のようにブロックに分ける。

$$(I - \bar{A})^{-1} = \begin{bmatrix} I - A^{CC} & A^{CK} & -A^{CJ} & -A^{CU} & \vdots & 0 \\ -A^{KC} & I - A^{KK} & -A^{KJ} & -A^{KU} & \vdots & 0 \\ -A^{JC} & -A^{JK} & I - A^{JJ} & -A^{JU} & \vdots & 0 \\ -A^{UC} & -A^{UK} & -A^{UJ} & I - A^{UU} & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots & \dots \\ -A^{RC} & -A^{RK} & -A^{RJ} & -A^{RU} & \vdots & I \end{bmatrix}^{-1} \quad \text{---②}$$

第 1 ブロックは、内生国のみの 4ヶ国モデルのレオンチェフ行列に相当するので、その逆行列を B とする。また、部分行列の逆行列の展開により、

$$(I - \bar{A})^{-1} = \begin{bmatrix} B & O \\ A^R B & I \end{bmatrix} \quad \text{---③}$$

となる。ここで、日中韓米の 4ヶ国と ROW を分けるために、 $t = (t^C, t^K, t^J, t^U)$   $h = (h^C, h^K, h^J, h^U)$  とおけば、 $\bar{t} = (t, t^R)$ ,  $\bar{h} = (h, h^R)$  とおくことができ

表 3. 拡張日中韓米国際産業連関モデル

	Intermediate					Final Demand				Export	Total Output
	China	Korea	Japan	USA	ROW	China	Korea	Japan	USA		
China	$Z^{CC}$	$Z^{CK}$	$Z^{CJ}$	$Z^{CU}$	0	$F^{CC}$	$F^{CK}$	$F^{CJ}$	$F^{CU}$	$E^C$	$X^C$
Korea	$Z^{KC}$	$Z^{KK}$	$Z^{KJ}$	$Z^{KU}$	0	$F^{KC}$	$F^{KK}$	$F^{KJ}$	$F^{KU}$	$E^K$	$X^K$
Japan	$Z^{JC}$	$Z^{JK}$	$Z^{JJ}$	$Z^{JU}$	0	$F^{JC}$	$F^{JK}$	$F^{JJ}$	$F^{JU}$	$E^J$	$X^J$
USA	$Z^{UC}$	$Z^{UK}$	$Z^{UJ}$	$Z^{UU}$	0	$F^{UC}$	$F^{UK}$	$F^{UJ}$	$F^{UU}$	$E^U$	$X^U$
ROW	$Z^{RC}$	$Z^{RK}$	$Z^{RJ}$	$Z^{RU}$	0	$F^{RC}$	$F^{RK}$	$F^{RJ}$	$F^{RU}$	0	$\bar{X}^R$
VA	$V^C$	$V^K$	$V^J$	$V^U$	0						
Total Input	$X^C$	$X^K$	$X^J$	$X^U$	$\bar{X}^R$						

る。すると、①式は、

$$(t, t^R) = (h, h^R) \begin{pmatrix} B & O \\ A^R B & I \end{pmatrix} \quad -④$$

となるので、右辺を展開することにより、

$$t = hB + h^R A^R B \quad -⑤$$

$$t^R = h^R \quad -⑥$$

と解くことができる。これによれば、何らかの仮定で  $h^R$  または  $t^R$  を与えれば、内生国の4ヶ国のデータから計算される内生国で排出される CO<sub>2</sub> 排出量  $hB$  に、外生国で排出される  $h^R A^R B$  を加えることで、全体としての CO<sub>2</sub> 排出集約度を計算できることが分かる。ここで、各国各部門の CO<sub>2</sub> 集約度を分解するために、各部門での直接 CO<sub>2</sub> 排出係数ベクトル  $\bar{h}$  を対角行列化したものを、 $\langle \bar{h} \rangle$  とおけば、

$$\begin{aligned} \bar{T}_{mat} &= \langle \bar{h} \rangle (I - \bar{A}^{-1}) \\ &= \begin{bmatrix} \langle h \rangle & \vdots & 0 \\ \dots & \vdots & \dots \\ 0 & \vdots & \langle h^R \rangle \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B & \vdots & O \\ \dots & \vdots & \dots \\ A^R B & \vdots & I \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \langle h \rangle B & \vdots & 0 \\ \dots & \vdots & \dots \\ \langle h^R \rangle A^R B & \vdots & \langle h^R \rangle \end{bmatrix} \quad -⑦ \end{aligned}$$

が得られる。 $\bar{T}_{mat}$  の行列が各部門の CO<sub>2</sub> 集約度を表すことになる。この⑦式をもとにすることで、各国の最終需要と貿易を通じた CO<sub>2</sub> 排出の国際的相互依存関係を分析することが可能になる。国際産業連関表の最終需要ブロックには、自国内の産業から購入される財・サービスの他、他国から購入分も計上されている。たとえば、中国の列を見ると  $F^{CC}$  は、中国国内から購入された最終財、 $F^{JC}$  は日本から購入された最終財、 $F^{KC}$ 、 $F^{UC}$ 、 $F^{RC}$  はそれぞれ韓国と米国とその他国々から購入された最終財を表している。したがって、中国の最終需要ベクトルを  $\bar{T}_{mat}$  に右から乗ずることで、中国の最終需要から誘発された各国の生産に伴う直接・間接の CO<sub>2</sub> 排出量を計算することが可能になる。これを一般化し

て表わせば、

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} F^{CC} & F^{CK} & F^{CJ} & F^{CU} & E^C \\ F^{KC} & F^{KK} & F^{KJ} & F^{KU} & E^K \\ F^{JC} & F^{JK} & F^{JJ} & F^{JU} & E^J \\ F^{UC} & F^{UK} & F^{UJ} & F^{UU} & E^U \\ F^{RC} & F^{RK} & F^{RJ} & F^{RU} & O \end{bmatrix}$$

とし、

$$\begin{aligned} F &= \begin{bmatrix} F^{CC} & F^{CK} & F^{CJ} & F^{CU} \\ F^{KC} & F^{KK} & F^{KJ} & F^{KU} \\ F^{JC} & F^{JK} & F^{JJ} & F^{JU} \\ F^{UC} & F^{UK} & F^{UJ} & F^{UU} \end{bmatrix}, \\ F^R &= (F^{RC} \ F^{RK} \ F^{RJ} \ F^{RU}), \\ E &= \begin{pmatrix} E^C \\ E^K \\ E^J \\ E^U \end{pmatrix} \end{aligned}$$

とおけば、

$$\begin{aligned} \bar{T}_{mat} \bar{F} &= \begin{bmatrix} \langle h \rangle B & \vdots & 0 \\ \dots & \vdots & \dots \\ \langle h^R \rangle A^R B & \vdots & \langle h^R \rangle \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F & \vdots & E \\ \dots & \vdots & \dots \\ F^R & \vdots & O \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \langle h \rangle BF & \vdots & \langle h \rangle BE \\ \dots & \vdots & \dots \\ \langle h^R \rangle A^R BF + \langle h^R \rangle F^R & \vdots & \langle h^R \rangle A^R BE \end{bmatrix} \quad -⑧ \end{aligned}$$

この  $\bar{T}_{mat} \bar{F}$  は、本研究のデータセットにおいては各国、各地域 15 部門、最終需要は 1 部門であるので、75 行×5 列となる。右辺の  $\langle h \rangle BF$  は、60 行×4 列の行列であり、その第 1 列は中国の最終需要にもとづく中国、韓国、日本、米国の各産業部門で誘発される CO<sub>2</sub> 排出量となっており、第 2 列と第 3 列と第 4 列は同じく韓国と日本と米国の最終需要にもとづく各国の各産業で誘発される CO<sub>2</sub> 排出

量であり、内生国内のCO<sub>2</sub>誘発構造を表している。 $\langle h^R \rangle A^R B F$ は、15行×4列の行列であり、内生国の最終需要により内生国で誘発された生産のために外生国から輸入された中間財に含まれるCO<sub>2</sub>排出量を表す。 $\langle h^R \rangle F^R$ は15行×4列の行列であり、内生国の最終需要の内、外生国から直接輸入された最終財に含まれるCO<sub>2</sub>排出量を表す。 $\langle h \rangle B E$ は60行×1列の列ベクトルであり、内生国から外生国への輸出により内生国内で誘発された各産業のCO<sub>2</sub>排出量を表す。 $\langle h^R \rangle A^R B E$ は15行×1列の列ベクトルであり、内生国から外生国への輸出により内生国で誘発された生産のために外生国から輸入された中間財に含まれるCO<sub>2</sub>排出量を表す。

したがって、 $\bar{T}_{mat} \bar{F}$ の行和は内生化された4ヶ国と外生化された地域の各産業で排出されたCO<sub>2</sub>排出総量を表す。これを各国、地域毎に集計すれば、各国、各地域内の最終需要に誘発され当該国内で排出されたCO<sub>2</sub>総量となり、「生産ベース」のCO<sub>2</sub>排出量と呼ばれる。これに対して、 $\bar{T}_{mat} \bar{F}$ の列和は、内生化された4国の最終需要を満たすために、各国の各産業で排出されたCO<sub>2</sub>排出総量を表す。また、それぞれの列を各国毎に集計すれば、当該国の最終需要を満たすために排出された各国、地域で排出されたCO<sub>2</sub>量となり、各国、地域内で発生したCO<sub>2</sub>、各国、地域から輸入されたCO<sub>2</sub>を表す。この列和は「消費ベース」のCO<sub>2</sub>排出量とも呼ばれる。

この $\bar{T}_{mat} \bar{F}$ の転置行列を $(\bar{T}_{mat} \bar{F})'$ とおいて、

$$\bar{T}_{mat} \bar{F} - (\bar{T}_{mat} \bar{F})' \quad \text{---⑨}$$

をとれば、対角要素(自国の最終需要を満たすため、自国内で発生したCO<sub>2</sub>排出量)がゼロとなり、対角要素の右側の三角部分は、各行の国が輸出により他国のための生産に伴うCO<sub>2</sub>排出量と各列の国の最終需要を満たすために輸入によって他国に発生させたCO<sub>2</sub>排出量の差となり、CO<sub>2</sub>排出の国際収支バランスを表すことになる。この値が黒字(プラス)であれば、全体として他国のためにCO<sub>2</sub>排出を「肩代わり」したこと、赤字(マイナス)であれば、全体として他国へCO<sub>2</sub>排出を「押し付け」たことを意味することになる。

最後に、ROWの財のCO<sub>2</sub>排出集約度 $t^R$ の決定モデルを示す。先に述べたように、もし表1のような世界全体の国際間産業連関表と各国・各産業部門の直接CO<sub>2</sub>排出係数 $h$ がわかれば、①式によって、すべての国と地域のCO<sub>2</sub>排出集約度は計算できることになる。しかしながら、通常は、費用と時間の関係で主要な対象国を内生国とし、それ以外の地域を「その他世界」(ROW)とし、ROWから輸入された財のみを内生国の投入として計上する形式の表が

作成される。そのため、ROWから輸入財に含まれるCO<sub>2</sub>排出を考慮できないので、通常は内生国内に限ったCO<sub>2</sub>誘発構造やCO<sub>2</sub>貿易収支の分析が行われてきた。

たとえば、アジア経済研究所で作成しているアジア国際産業連関表は、日本とアメリカと中国を含む10ヶ国を内生国としたものであるが、ROWにはEUや湾岸諸国などが含まれ、それらの国・地域から輸入される財やそれに含まれるCO<sub>2</sub>排出は無視できる程小さくはない。そこで、本研究ではROWのCO<sub>2</sub>排出集約度を内生国のCO<sub>2</sub>排出集約度から加重平均により推計するという方法を用いる。方法としては、内生国の算術平均をとる、内生国内でたとえば、日本のようにCO<sub>2</sub>排出集約度が低い国と同じであるとみなす、内生国内でたとえば、中国のようにCO<sub>2</sub>排出集約度が高い国と同じであるとみなす、というケースを想定して、複数のケースにより幅のある推計を行う。したがって、本研究は複数の結果が推計される一種のシナリオ分析になるが、ROWからのCO<sub>2</sub>排出を含めた国際収支の分析が比較的簡単に行えるという利点を有する。

具体的な推計方法は、中国、韓国、日本、米国の各産業のCO<sub>2</sub>排出集約度をそれぞれ $t_i^C, t_i^K, t_i^J, t_i^U$ とおき、それぞれのウェイトを $w_i^C, w_i^K, w_i^J, w_i^U$ とし、ROWの各産業のCO<sub>2</sub>排出集約度を $t^R$ とおけば、その加重平均は、

$$t^R = w_i^C t_i^C + w_i^K t_i^K + w_i^J t_i^J + w_i^U t_i^U \quad \text{(ただし、} w_i^C + w_i^K + w_i^J + w_i^U = 1) \quad \text{---⑩}$$

となる。

ここで、 $t_i^C, t_i^K, t_i^J, t_i^U$ を要素とするベクトルをそれぞれ $t^C, t^K, t^J, t^U$ とおき、 $w_i^C, w_i^K, w_i^J, w_i^U$ からなるウェイトを対角要素とする対角行列を $\langle w^C \rangle, \langle w^K \rangle, \langle w^J \rangle, \langle w^U \rangle$ とおけば、⑩式は、次のようにも表わされる。

$$t^R = (t^C, t^K, t^J, t^U) \begin{bmatrix} \langle w^C \rangle \\ \langle w^K \rangle \\ \langle w^J \rangle \\ \langle w^U \rangle \end{bmatrix} \quad \text{---⑪}$$

本研究では、ケース【1】では、 $w_i^C = w_i^K = w_i^J = w_i^U = \frac{1}{4}$ とし、ケース【2】では、 $w_i^C = 1, w_i^K = w_i^J = w_i^U = 0$ 、ケース【3】では、 $w_i^K = 1, w_i^C = w_i^J = w_i^U = 0$ 、ケース【4】では、 $w_i^J = 1, w_i^C = w_i^K = w_i^U = 0$ で、ケース【5】では、 $w_i^U = 1, w_i^C = w_i^K = w_i^J = 0$ として $t^R$ を求めた。また、従来の研究との比較のために、ROWからの輸入を考慮しない内生国だけの排出量から計算される集約度を求めるため、ケース【6】として、 $w_i^C = w_i^K = w_i^J = w_i^U = 0$ とした計算も行った。具体的な計算

式については、⑪式のウェイト行列を  $W$  とおけば、 $t^R = tW$  となるので、⑤式と⑥式より、

$$t = hB + tWA^R B \quad -⑫$$

となる。これを変形して、

$$t = h\{I - (A + WA^R)\}^{-1} \quad -⑬$$

により、 $t$  と  $t^R$  を求めた。本研究では、US\$ に変換した CO<sub>2</sub> 排出集約度となっており、単位は、千 t/百万 US\$ (または、Kg/US\$) である。

## 2. データセット

### 2.1 日中韓米 15 部門国際産業連関表について

1995 年表と 2000 年表に関しては、アジア経済研究所で作成された 10 カ国 24 部門表を 4 カ国 15 部門表に統合したものを利用した。2005 年表については、本稿執筆時点(2012 年 1 月)では公表されていないため、以下のような方法で独自に推計した。まず、ベースとなる日本、中国、韓国、米国の 2005 年表は OECD により推計されたものを利用した。OECD 表は、内生 48 部門で共通に定義され、しかも非競争輸入方式で作成されているため、基礎資料として使用した。部門の統合は、表 4 に基づいて行った。

国際取引の部分については、できるだけ既存の貿易データを利用することで、忠実に国際間の投入構造を反映しようと考え、貿易データに基いた日中韓米国際間貿易マトリックスを構築し、より精度の高い産業別中間需要計、中間投入計を推計したうえで RAS 法により日中韓米国際産業連関表を作成した。具体的には、UN COMTRADE から Standard International Trade Classification, Third Revision (SITC. 3) 「国際標準貿易分類」に基づき、最も詳細な貿易データ(4 and 5-digit)をとり、SITC-BEC (Broad Economic Categories) コード変換表を用いて、商品別国際貿易データを財別に(中間財と最終財)分ける<sup>5)6)</sup>。さらに、SITC-ISIC (International Standard Industrial Classification of All Economic Activities, Revision 3) 「国際標準産業分類」対応表に基づき、商品別データを産業別データに変換する<sup>7)</sup>。変換された ISIC ベースの貿易データを ISIC-AIO コード対照表に基づき、国際産業連関表の産業コードに変換を行う。以上の作業により、表 1 の灰色の部分(産業ベース)の行合計を得る。総投入(総産出)と付加価値部分は各国の OECD 2005 年表からデータを手に入れる。中間投入計(産業ベース)は総投入から付加価値と ROW の輸入を除くことにより算出する。各国の 2005 年表の最終需要項目から最終財輸入を控除し、それと総産出との差を取ることで、中間需要計(産業ベース)を得る

ことができる。これらをベースとして、灰色部分の各マスの目の取引額を RAS 法によって推計した。

### 2.2 二酸化炭素排出量の推計

CO<sub>2</sub> 排出量については、各産業部門で燃焼されたエネルギー量をもとに、その炭素含有量の比率を掛けて推計するという方法をとった。日本では、環境省環境研究所が基本表ベースで詳細な CO<sub>2</sub> 排出量データを作成しているなど、各国独自の産業別 CO<sub>2</sub> 排出量データを元にするという考え方もあるが、部門対応の定義やバウンダリーの相異が多い。そこで、4 カ国共通に推計できる方法を採用した。具体的には、エネルギー消費量は、IEA (世界エネルギー機関) が公表するエネルギーバランス表 (Energy statistics and balances of OECD (Non-OECD) countries) の統計を用いた。この統計により、日本、中国、韓国、米国のエネルギーバランスデータが熱量(Toe)ベースで得られる。対象としたエネルギーは、石炭、石油、天然ガスであるが、原油と石油製品を統合して「石油」として扱った。エネルギーバランス表での部門分類は 13 部門であるが、東アジアでの貿易関係に注目して、「機械」を「一般機械」、「電子電気製品」、「その他電気製品」の 3 つに細分し、エネルギー消費量を各部門の生産量より按分比例した<sup>8)</sup>。CO<sub>2</sub> の排出については、化石燃料の消費燃料に排出係数(石炭 4.018<sup>9)</sup> t/Toe、石油 3.313<sup>9)</sup> t/Toe、天然ガス 2.317<sup>9)</sup> t/Toe、いずれも CO<sub>2</sub> 換算) を乗じることで計算した。CO<sub>2</sub> 排出は、セメント生産などからも排出されるが、本研究では考慮されていない。

## 3. 実証結果

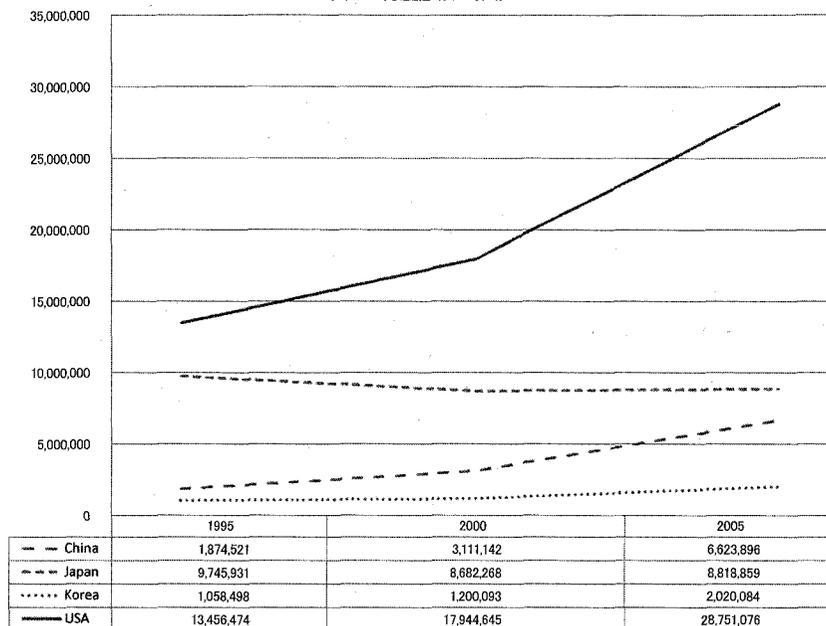
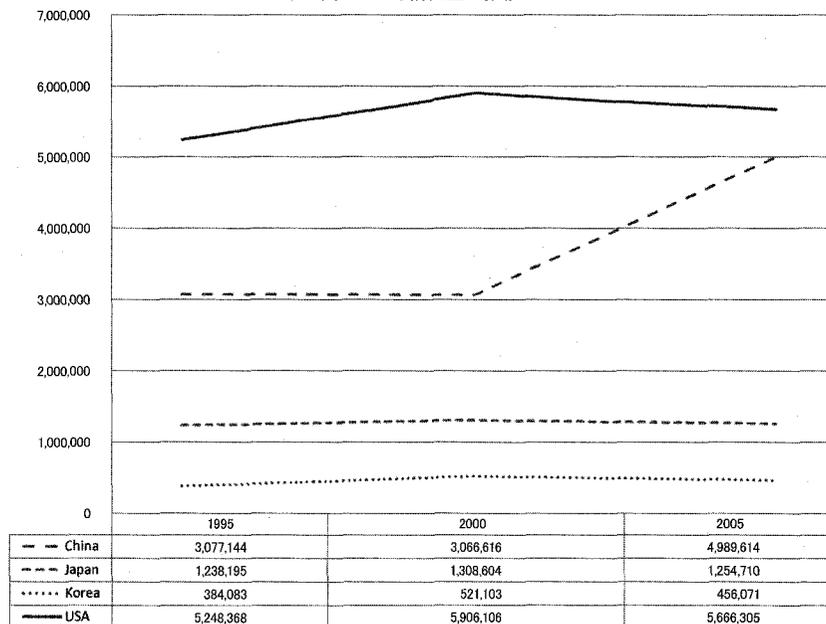
### 3.1 マクロ経済構造の変化と CO<sub>2</sub> 排出

CO<sub>2</sub> 排出量の分析の前に、日中韓米国際産業連関表に基づいた 1995 年—2000 年—2005 年にかけてのマクロ経済構造の推移とその特徴を見ておこう。図 2 は、4 カ国の名目の総生産額の推移を見たものである。中国は一貫して生産を大きく増加しており、1995 年から 2000 年にかけて 1.87 兆ドルから 3.11 兆ドル(+66.0%)へ、2005 年には 6.62 兆ドル(+112.9%)となり、1995 年から 10 年間で 253.4% の増加率(年率換算 28.7%)を示した。次いで韓国は、1997 年のアジア通貨危機の影響もあり 1995 年から 2000 年にかけて 1.06 兆ドルから 1.20 兆ドル(+13.4%)程度の成長であったが、その後急速に回復し 2005 年には 2.02 兆ドル(+68.3%)と大きく伸ばし、1995 年から 10 年間で 90.8% の増加率(年率換算 13.8%)を示した。他方、日本は平成不況が長引き

表 4.

1 Agriculture, hunting, forestry and fishing	1	Agriculture, forestry and fishing
2 Mining and quarrying(energy)	2	Mining and quarrying
3 Mining and quarrying(non-energy)		
4 Food products, beverages and tobacco	3	Food, beverages and tobacco products
5 Textiles, textile products, leather and footwear	4	Textile and apparel
6 Wood and products of wood and cork	5	Wood and paper products
7 Pulp, paper, paper products, printing and publishing		
8 Coke, refined petroleum products and nuclear fuel		
9 Chemicals excluding pharmaceuticals	6	Petroleum and coal products
10 Pharmaceuticals		
11 Rubber & plastics products		
12 Other non-metallic mineral products	7	Chemical products
13 Iron & steel	8	Non-metallic mineral products
14 Non-ferrous metals		
15 Fabricated metal products, except machinery & equipment		
16 Machinery & equipment, nec	9	Basic metal products
17 Office, accounting & computing machinery	10	Machinery and equipment
18 Electrical machinery & apparatus, nec		
19 Radio, television & communication equipment		
20 Medical, precision & optical instruments	11	Electronic and electrical equipment
21 Motor vehicles, trailers & semi-trailers	14	Other manufacturing products
22 Building & repairing of ships & boats	13	Transportation equipment
23 Aircraft & spacecraft	14	Other manufacturing products
24 Railroad equipment & transport equip n.e.c.		
25 Manufacturing nec; recycling(include Furniture)	13	Transportation equipment
26 Production, collection and distribution of electricity	12	Other electric machinery and equipments
27 Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains		
28 Steam and hot water supply	15	service sectors and unclassified
29 Collection, purification and distribution of water		
30 Construction		
31 Wholesale & retail trade; repairs		
32 Hotels & restaurants		
33 Land transport; transport via pipelines		
34 Water transport		
35 Air transport		
36 Supporting and auxiliary transport activities; activities of travel agencies		
37 Post & telecommunications		
38 Finance & insurance		
39 Real estate activities		
40 Renting of machinery & equipment		
41 Computer & related activities		
42 Research & development		
43 Other Business Activities		
44 Public admin. & defence; compulsory social security		
45 Education		
46 Health & social work		
47 Other community, social & personal services		
48 Private households with employed persons & extra-territorial organisations & bodies		

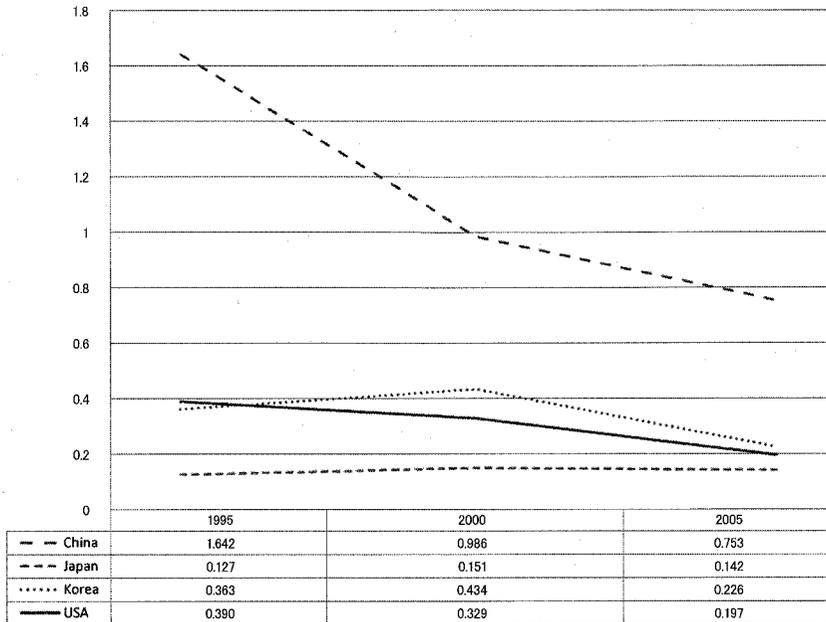
図 2. 総生産額の推移

図 3. CO<sub>2</sub>排出量の推移

1995年から2000年にかけて9.75兆ドルから8.68兆ドル(-10.9%)へ減少を示し、2005年には8.82兆ドル(+1.6%)とやや回復したものの、1995年から10年間では-9.5%の減少率(年率換算-2.0%)となった。米国は、中国ほどではないものの、13.5兆ドル、17.9兆ドル、28.8兆ドルと順調に成長した(年率換算+7.9%)。

次に、本研究で推計された各国のCO<sub>2</sub>排出量を

見てみよう。図3によれば、中国が1995年の30.8億トンから2000年の30.7億トンとやや排出量を減少させたものの2005年には49.9億トンと大きく増加させ、10年間で+62.6%、年率換算で+10.1%の増加を示し、CO<sub>2</sub>排出大国となったことがわかる。次いで韓国は1995年の3.8億トンから2000年の5.2億トンへと大きく増加させたが、2005年には4.6億トンと減少させ、10年間で見ると+18.7%

図4. マクロ CO<sub>2</sub> 排出係数の推移

年率換算で+3.5%の増加となった。日本は、1995年の12.4億トンから2000年の13.1億トンへと増加したが、2005年には12.5億トンとやや減少させ、10年間では+1.3%、年率換算で0.3%の増加を示した。米国は、1995年の52.5億トンから2000年の59.1億トンと増加を示したものの、2005年には49.9億トンとやや減少させ、年率換算では0.8%の増加を示した。

次に、マクロレベルの排出係数、すなわち、総生産1単位当たりのCO<sub>2</sub>排出量の推移を見たものが、図3である。これによると、中国の値は、水準そのものは高いもののこの10年間で1.642→0.986→0.753と大きく減少させ、-54.1%（年率換算-14.4%）だったことがわかる。韓国の値も、0.363→0.434→0.226と10年間でみると-37.8%（年率換算-9.1%）と減少となった。米国の値も、0.390→0.329→0.197と大きく減少させ、-49.5%（年率換算-6.6%）の減少率となった。それに対し日本の値は、0.127→0.151→0.14と2005年でやや改善したが、10年間で見ると+1.3%（年率換算+0.3%）の増大を示した。

### 3.2 CO<sub>2</sub> 排出集約度

2005年に関する結果が表5である。まず、ケース【1】をもとにして、それぞれの国の部門別の大きさを見ると、中国については、石油石炭製品(参考のため、4カ国平均の集約度を示すと、4.87。以下同じ)がトップであり、続いて金属製品(3.62)、サ

ービスその他(2.46)、一般機械(1.65)、輸送機械(1.46)となっている。サービスその他には、通常のサービス部門の他に電力・ガス部門が含まれているため、比較的高くなっている。集約度の低い部門としては、鉱業(0.70)、農林水産(0.80)、電気電子機械(0.90)、食品・タバコ(0.99)、繊維衣服(1.15)となっており、主に1次産業と軽工業が並んでいる。

次に日本については、中国と同様、石油石炭製品(1.16)がトップで、続いて、非金属鉱物製品(0.72)、その他製造品(0.56)、金属製品(0.54)、化学製品(0.53)となっている。低い部門としては、繊維衣服(0.22)、食品・タバコ(0.23)、電気電子機械(0.24)となっている。韓国についても、石油石炭製品(1.24)がトップであり、非金属鉱物製品(1.23)、その他製造品(0.99)、金属製品(0.71)、サービス(0.61)と続いている。また、低い部門としては、電子電気機械(0.33)、鉱業(0.35)、輸送機械(0.40)食品・タバコ(0.41)、農林水産(0.44)となっている。米国に関しては、集約度の高い部門は、石油石炭製品(1.09)、非金属鉱物製品(0.96)、化学製品(0.58)、金属製品(0.51)であり、低い部門は、鉱業(0.21)、電気電子機械(0.34)、その他電気機械(0.35)となっており、全体的に日中韓米で同じような傾向を持っていることがわかる。

また、国の比較では全体として中国の各部門がかなり高い値(15部門の単純平均値として、1.81)となり、続いて韓国(0.61)、米国(0.50)日本(0.42)となる。日本の各部門が全体的に低い、米国との差は

表5. 日中韓米国の部門別CO<sub>2</sub>集約度(ROWのウエイト別) 2005年

	CN01	CN02	CN03	CN04	CN05	CN06	CN07	CN08	CN09	CN10	CN11	CN12	CN13	CN14	CN15	Average
平均基準	0.80051	0.69525	0.98974	1.15924	1.4913	4.87055	1.52071	3.62332	2.74779	1.65005	0.90161	1.24994	1.46414	1.65488	2.46036	1.81863
中国基準	0.86406	1.0763	1.05448	1.24939	1.60471	5.12483	1.70231	3.73664	2.93665	1.81023	1.14019	1.49648	1.58829	1.78452	2.53596	1.98034
韓国基準	0.78443	0.60941	0.97385	1.1387	1.46542	4.81486	1.47372	3.59708	2.70561	1.61233	0.84678	1.19042	1.43404	1.62607	2.44287	1.78104
日本基準	0.7758	0.56745	0.96375	1.12294	1.44865	4.78849	1.45423	3.58456	2.68854	1.59482	0.81549	1.16077	1.42016	1.60846	2.43415	1.76188
米国基準	0.78087	0.5651	0.97032	1.13058	1.4525	4.78444	1.46239	3.58495	2.68071	1.594	0.83294	1.16174	1.42256	1.60969	2.43524	1.76453
内生国基準	0.74876	0.43306	0.93668	1.08682	1.40598	4.69636	1.37346	3.54291	2.62264	1.54288	0.73832	1.07958	1.37811	1.56568	2.40702	1.70389
KR01	KR02	KR03	KR04	KR05	KR06	KR07	KR08	KR09	KR10	KR11	KR12	KR13	KR14	KR15	Average	
平均基準	0.44121	0.35213	0.4088	0.51994	0.5465	1.23824	0.59221	1.21773	0.7109	0.41985	0.33212	0.42874	0.40137	0.98839	0.60828	0.61376
中国基準	0.53249	0.41297	0.48141	0.61605	0.67999	1.32866	0.78716	1.3174	0.92216	0.57064	0.47407	0.64954	0.50501	1.09425	0.64529	0.73434
韓国基準	0.41898	0.33717	0.39103	0.49815	0.5167	1.22012	0.53903	1.19535	0.66213	0.38358	0.299	0.37625	0.37546	0.96434	0.59949	0.58512
日本基準	0.40498	0.33041	0.37887	0.4805	0.49272	1.21382	0.52712	1.18473	0.64544	0.36662	0.28121	0.34708	0.36477	0.9512	0.59581	0.57102
米国基準	0.41289	0.332	0.38763	0.4897	0.50148	1.2087	0.52789	1.18404	0.63078	0.3666	0.28877	0.35107	0.36621	0.9503	0.59562	0.57291
内生国基準	0.36998	0.31149	0.34983	0.44334	0.44403	1.17888	0.44566	1.14736	0.57677	0.32291	0.23635	0.28213	0.33081	0.91695	0.58265	0.52903
JP01	JP02	JP03	JP04	JP05	JP06	JP07	JP08	JP09	JP10	JP11	JP12	JP13	JP14	JP15	Average	
平均基準	0.30672	0.3543	0.22788	0.22492	0.36299	1.16663	0.52717	0.71887	0.53567	0.24549	0.24007	0.29049	0.26021	0.55769	0.2798	0.41992
中国基準	0.36372	0.39329	0.25817	0.29065	0.46037	1.23895	0.65697	0.77524	0.64346	0.30254	0.32539	0.52281	0.31821	0.5894	0.29258	0.49545
韓国基準	0.29213	0.34527	0.22045	0.21119	0.34158	1.15436	0.49145	0.70677	0.51293	0.23211	0.22036	0.23466	0.24582	0.55141	0.27688	0.40249
日本基準	0.28244	0.34082	0.21541	0.19601	0.32286	1.15016	0.48303	0.70154	0.50559	0.22551	0.20961	0.20496	0.23982	0.54673	0.27551	0.39333
米国基準	0.29106	0.34148	0.21931	0.20425	0.33022	1.1432	0.48503	0.70008	0.49605	0.22617	0.21434	0.20576	0.24111	0.54603	0.27554	0.39464
内生国基準	0.2542	0.32753	0.20197	0.17173	0.28481	1.11961	0.42687	0.6797	0.4679	0.20851	0.18283	0.13375	0.21992	0.53499	0.27067	0.36592
US01	US02	US03	US04	US05	US06	US07	US08	US09	US10	US11	US12	US13	US14	US15	Average	
平均基準	0.47793	0.20685	0.45611	0.38578	0.39448	1.08633	0.57587	0.95641	0.50819	0.37264	0.33514	0.35116	0.44243	0.41024	0.47618	0.49672
中国基準	0.53572	0.23407	0.51018	0.48437	0.48529	1.12897	0.75389	1.17502	0.82711	0.59166	0.52175	0.58862	0.65596	0.47986	0.49538	0.63119
韓国基準	0.46281	0.20018	0.4426	0.36631	0.37414	1.07745	0.52902	0.90936	0.42876	0.31807	0.29205	0.29411	0.38622	0.39359	0.47155	0.46308
日本基準	0.45521	0.19179	0.43478	0.34176	0.35844	1.074	0.51287	0.86938	0.39627	0.29143	0.26754	0.26307	0.35807	0.38494	0.46913	0.44494
米国基準	0.46014	0.19721	0.43879	0.35399	0.36263	1.07201	0.51818	0.88072	0.38379	0.29448	0.27959	0.26421	0.37454	0.3859	0.46959	0.44905
内生国基準	0.43154	0.18793	0.41397	0.30651	0.32588	1.05735	0.43417	0.79327	0.30337	0.23086	0.21143	0.19426	0.29775	0.36204	0.4626	0.40086

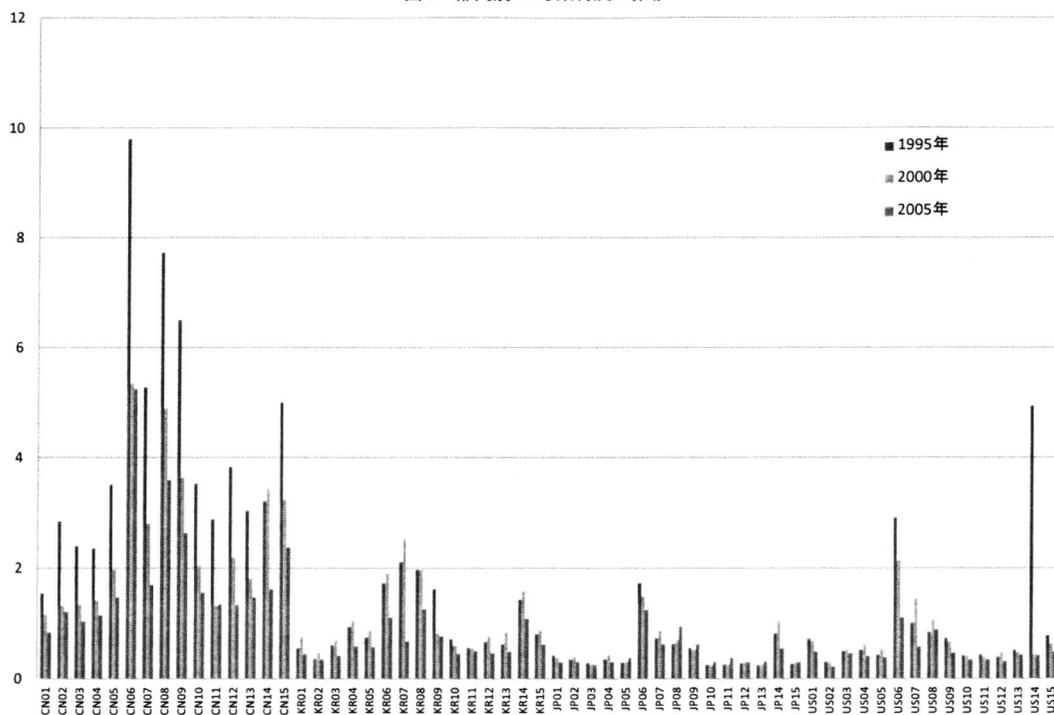
解 済 研 究

少なく、鉱業部門、石油石炭製品部門では米国のほうが低い点は注目される。

1995-2000-2005年の部門別CO<sub>2</sub>集約度の推移を見たものが図5である。これによれば、4カ国とも集約度の高い部門と低い部門の傾向はほぼ同じであることがわかる。その推移を見ると、中国のすべての部門が集約度を大きく減少していることが注目される。15部門の平均でみると、4.23→2.54→1.91であり、全体で54.9%の減少となっている。部門別に見ると、化学製品が68%減、その他電気機械が65%減、木材木製品が58%減となっており、いずれも1995-2000年にかけて排出集約度を大きく減少したことがわかる。

日本は、部門の平均が1995から2000年にかけてやや上昇したものの(0.51→0.53)、2000年から2005年にかけて減少し(0.53→0.48)、全体として5.0%の減にとどまっている。部門別に見ると、その他製造品(-33%)、農林水産(-29%)など減少した部門があるものの、非金属鉱業製品(+50%)、電子電気機械(+46%)、輸送機械(+27%)など大幅に増加した部門もあり、金属、機械部門を中心に排出集約度が増加傾向にあることが注目される。

韓国については、部門平均集約度が、1.04→1.09→0.66と推移してお

図5. 部門別 CO<sub>2</sub> 集約度の推移

り、1995年から2000年にかけてやや増加したものの、2000年から2005年にかけて大きく減少させ、全体として36%の減となっている。部門別に見ると、化学製品(-68%)、金属製品(-52%)、繊維衣服(-37%)一般機械(-36%)、非金属鉱業製品(-36%)、石油・石炭製品(-36%)と重工業部門を中心に大幅に減少させたことが注目される。

米国については、部門平均集約度が、1.04→0.73→0.49と大幅に低下し、全体では52%の減となった。部門別にみると、非金属鉱業製品が若干上昇(4.5%)した以外は減少し、特に、その他製造業(-91%)、石油石炭製品(-62%)、化学製品(-43%)と大幅に減少させ、2005年の時点で日本とほぼ同じ水準である点が注目される。

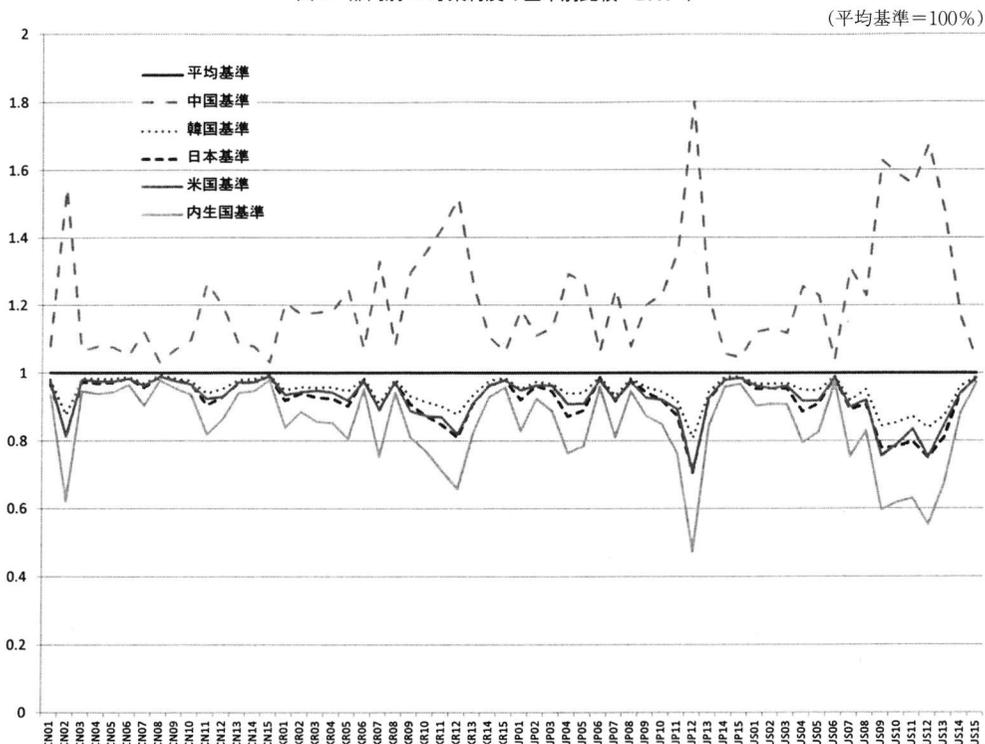
次にウェイトの相異による排出集約度の変化について見たものが、図6である。表5におけるケース【1】の4ヶ国平均のCO<sub>2</sub>排出集約度の各部門の値を100%とした場合の相対的大きさを折れ線グラフにしたものである。投入技術や省エネ技術などの要因から、中国を基準とするケース(ROWからの輸入財が中国のCO<sub>2</sub>排出集約度であると仮定)が最も高くなる。続いて、4ヶ国平均、韓国規準、米国基準日本基準となる。ケース【6】は、ROWからの輸入にともなうCO<sub>2</sub>排出を含めないで当然一番低い値をとっており、ROWからの投入を含めないと各

部門の集約度の大幅な過小評価になることがわかる。

最後に、内生国である日中韓米の2005年のCO<sub>2</sub>集約度(4国平均基準)を国別に分解してみたのが、図7である。 $\bar{T}_{max}$ の各列の要素を国毎に集計すれば、それぞれの部門で1単位の生産を行った際に各国内で排出される直接・間接のCO<sub>2</sub>排出量を表す。これを元にして、各部門の排出集約度の値を100%とした時に、自国および他国で誘発されるCO<sub>2</sub>排出量の割合を示したものである。

まず、中国について見ると、全体的には、CO<sub>2</sub>排出集約度の平均値(1.91)の91.8%が自国内から、0.6%が日本から、0.4%が韓国から、6.8%がROWから排出されることがわかる。他国と比べると自国の排出割合が高いのが特徴であり、電子電気部門(81.0%)、その他電気製品部門(83.9%)がやや低く、ROWからのCO<sub>2</sub>誘発が、それぞれ15.7%、12.2%とやや高くなっている。

それに対して、日本と韓国と米国は自国の割合が低く、ROWと中国からのCO<sub>2</sub>排出が高くなっている。日本については、平均値(0.48)の67.9%が自国から排出されるが、中国から10.4%、韓国から0.7%、ROWから19.5%が排出されており、ROWや中国からの排出割合が高くなっている。部門別では、電子電気製品部門は自国が43.6%、ROWが29.7%、中国が22.9%になっており、60%近い割

図 6. 部門別 CO<sub>2</sub> 集約度の基準別比較 2005 年

合が他国から排出されている。次いで繊維衣服部門も自国が 45.5%，ROW が 28.3%，中国が 22.7% となっており，その他電気製品部門も自国から 50.9%，ROW が 29.7%，中国が 21.7% であり，50% 以上の割合で他国から排出されていることになる。韓国については，さらに他国に依存した排出となっており，集約度の平均(0.66)の 61.6% が自国から，中国から 11.1%，日本から 3.2%，ROW から 22.2% となっており，日本以上に他国からの排出割合が高くなっている。部門別に見ると，電子電気製品部門は自国割合が 30.2% しかなく，ROW から 38.5%，中国から 20.9%，米国から 5.2%，日本から 5.1% となっており，約 70% の割合で他国から CO<sub>2</sub> を排出していることになる。それ以外では，化学製品部門 40.7%，その他電気製品部門 43.2%，輸送機械部門 47.3% が自国排出であり，60% 前後の割合で他国から排出されていることになる。

米国も日韓とほぼ同じ構造であり，平均値(0.495)の 73.8% が自国排出，23.2% が ROW，2.1% が中国からの排出となっている。部門別では，輸送機械(53.2%)，電気電子機械(58.5%)が自国排出の割合の低い部門となっている。

以上のように，CO<sub>2</sub> 排出集約度の値は，自国だけではなく他国からの排出にも依存すること，特に日本，韓国，米国の場合はその割合が高く，ROW か

らの輸入財に含まれる CO<sub>2</sub> 排出が無視できないことがわかる。

### 3.3 CO<sub>2</sub> 誘発構造と CO<sub>2</sub> 国際収支バランス

ここでは，各国の最終需要に基づき各国と ROW への生産が誘発され，それに伴ってどの程度の CO<sub>2</sub> 排出がなされたかを⑧式によって誘発分析の手法で明らかにする。本研究では，誘発された CO<sub>2</sub> 排出を日中韓米 4 カ国の国内だけでなく，中間財と最終財の輸入に伴う ROW で誘発された CO<sub>2</sub> 排出を考慮するので，ROW から輸入される各部門の財の CO<sub>2</sub> 排出集約度の想定により，3つのケース(ケース【1】4カ国平均基準，ケース【2】日本基準，ケース【4】中国基準)で推計を行った。この場合，ROW で発生するすべての CO<sub>2</sub> 排出が考慮されるわけではなく<sup>9)</sup>，ROW から日中韓米 4ヶ国へ輸出される財の生産にのみ関わる CO<sub>2</sub> 排出が含まれることに留意する必要がある。

ROW からの輸入財の CO<sub>2</sub> 排出集約度を 4カ国の平均としたケースを中心に見てみよう<sup>10)</sup>。表 6 は，各年の CO<sub>2</sub> 誘発構造を表したものである。表を行方向に見ると，各国の最終需要と ROW への輸出によりどの程度の CO<sub>2</sub> 排出が誘発されたかを示す。たとえば，表 6(3)の第 1 行目の中国は，中国国内最終需要を原因として中国国内で 38.4 億トンが排

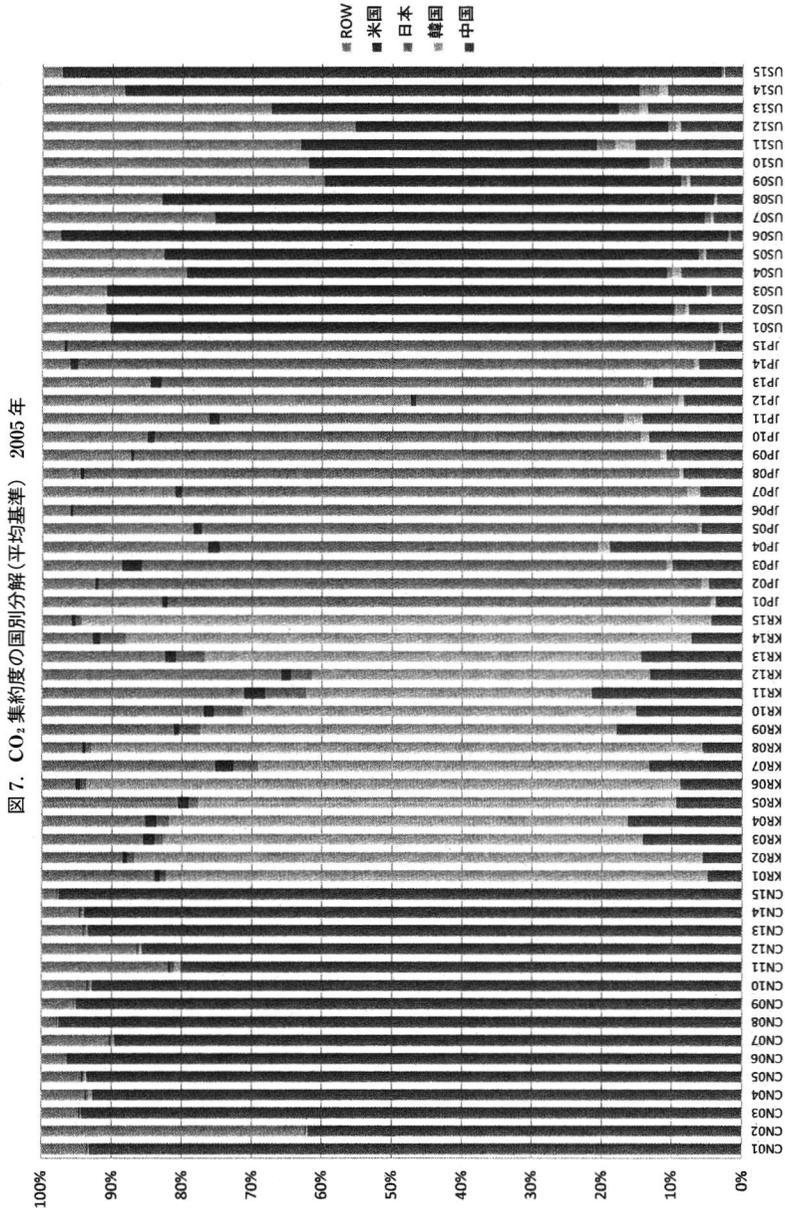


図 7. CO<sub>2</sub>集約度の国別分解(平均基準) 2005年

出され、韓国の最終需要(韓国への輸出)により0.3億トン、日本の最終需要(日本への輸出)により1.3億トン、米国の最終需要(米国への輸出)により1.4億トン、ROWへの輸出により8.5億トン、計49.9億トンのCO<sub>2</sub>が中国国内で排出されたことを意味しており、これが生産ベースのCO<sub>2</sub>排出量となる。これに対し、表を列方向に見ると、各国の最終需要にもとづく生産に伴い、自国内および内生国他国、ROWでどの位のCO<sub>2</sub>を排出させたかを示す。第1列は、中国の最終需要が起源となって総計41.8億トンのCO<sub>2</sub>が排出され、そのうち中国国内で38.4億トン、日本からの輸入により日本国内で0.24億

トン、韓国からの輸入により韓国国内で0.12億トン、米国からの輸入により米国国内で0.17億トン、ROWからの輸入によりROW内で2.9億トンのCO<sub>2</sub>が排出されたことを示しており、これが消費ベースのCO<sub>2</sub>排出量となる。

まず、表6の行方向に着目してCO<sub>2</sub>誘発構造についてみると、基本的にはどの国も自国の最終需要に基づく排出が高い。中国については、自国最終需要による誘発は1995年から2005年にかけて、78.5%→81.1%→76.9%とその割合は若干減少し、その一方でROWへの輸出需要によるCO<sub>2</sub>誘発を若干上昇させ、14.4%→10.9%→17.0%となった。

表 6. CO<sub>2</sub> 誘発量の推移

(1) 1995 年	China	Korea	Japan	USA	ROW	Total
China	2,351,263,544	19,854,345	101,481,684	92,152,628	430,346,739	2,995,098,940
Korea	6,142,271	275,952,217	9,657,076	10,506,183	66,514,440	368,772,187
Japan	5,604,144	5,699,708	1,112,019,009	21,505,154	81,583,736	1,226,411,750
USA	7,177,069	10,042,932	37,242,900	4,802,982,911	390,921,899	5,248,367,710
ROW	96,032,339	75,629,147	302,431,674	559,110,459	142,716,564	1,175,920,184
Total	2,466,219,367	387,178,349	1,562,832,343	5,486,257,334	1,112,083,378	11,014,570,771

(2) 2000 年	China	Korea	Japan	USA	ROW	Total
China	2,441,883,425	13,513,028	78,246,761	146,394,491	329,548,961	3,009,586,666
Korea	14,463,059	345,117,588	12,849,156	19,071,486	100,250,862	491,752,150
Japan	8,649,420	5,547,273	1,142,637,270	30,085,241	104,378,447	1,291,297,650
USA	8,376,564	8,135,950	28,576,820	5,412,408,174	448,608,963	5,906,106,470
ROW	125,204,557	91,188,970	317,558,125	1,124,001,104	160,334,837	1,818,287,593
Total	2,598,577,024	463,502,807	1,579,868,132	6,731,960,496	1,143,122,070	12,517,030,529

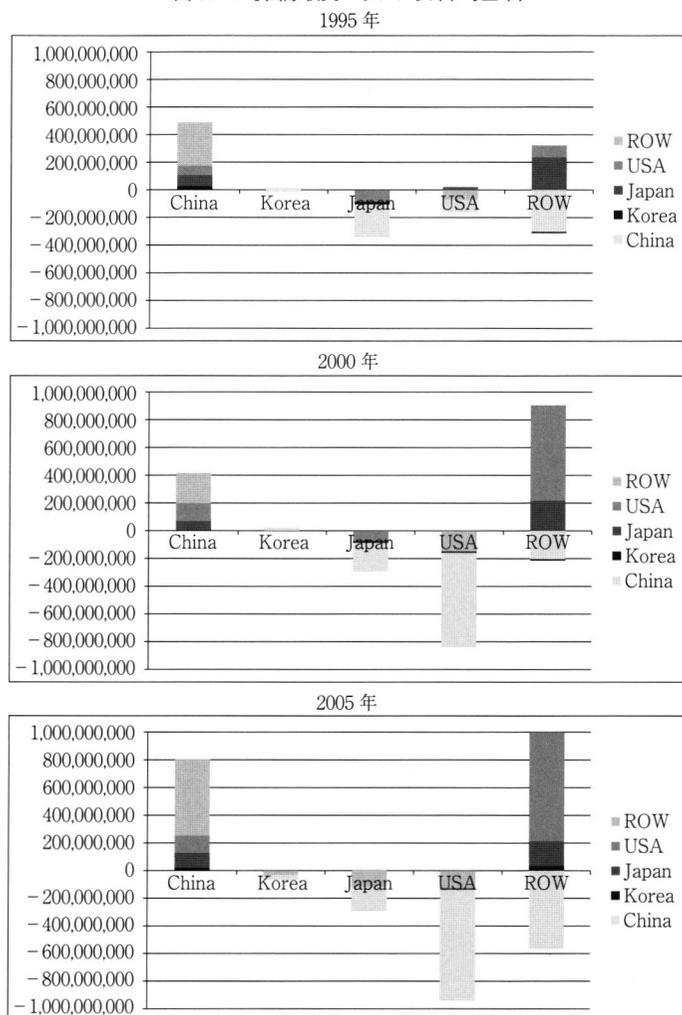
  

(3) 2005 年	China	Korea	Japan	USA	ROW	Total
China	3,839,486,372	33,078,059	130,500,994	139,976,424	846,572,219	4,989,614,068
Korea	12,648,739	352,920,198	9,871,565	12,345,719	68,284,289	456,070,510
Japan	24,406,692	12,240,669	1,070,465,523	33,506,499	114,090,118	1,254,709,500
USA	17,066,037	8,557,446	25,550,988	5,273,268,319	341,862,420	5,666,305,210
ROW	285,952,260	106,204,389	287,849,365	1,138,634,739	239,700,468	2,058,341,222
Total	4,179,560,100	513,000,762	1,524,238,434	6,597,731,700	1,610,509,514	14,425,040,510

日本と韓国と米国への輸出に伴う CO<sub>2</sub> 誘発も全体として減少させた。日本については、自国最終需要による誘発は、90.7%→88.5%→85.3%と高い水準にあり、自国の最終需要による CO<sub>2</sub> 誘発が減少している。中国と韓国への輸出に伴う CO<sub>2</sub> 排出は 2005 年に急増し、それぞれ 1.9%、1.0% となった。米国は 2% 前後で大きな変動はない。それに対し、ROW への輸出に伴う CO<sub>2</sub> 排出は上昇し、6.7%→8.1%→9.1% となった。韓国については、1995 年と 2000 年は自国最終需要に基づく CO<sub>2</sub> 誘発の割合が、74.8%、70.2% と低かったが 2005 年には 77.4% と増加した。日本への輸出にともなう CO<sub>2</sub> 誘発は 2% 台でほとんど変わらないが、中国への輸出に伴う CO<sub>2</sub> 誘発が 1.7%→2.9%→2.9% と推移した。米国も高い自国誘発であり、91.5%→91.8%→93.1% と若干上昇させた。米国の場合、ROW への輸出による誘発も 7.4%→7.6%→6.0% と高い水準にあるのが特徴である。

次に、消費ベースの CO<sub>2</sub> 排出の国別の割合について、列方向に見てみよう。まず、中国であるが、総量としての消費ベース排出量は、1995 年から 2005 年にかけて大きく増加した(4 カ国平均基準 24.7 億トン→26.0 億トン→41.8 億トン；中国基準 26.6 億トン→27.5 億トン→45.9 億トン；日本基準 23.9 億トン→25.2 億トン→40.3 億トン)。他国との関係では、1995 年から 2005 年まで中国国内の排出比率は、4 カ国平均の値で 95.3%→94.0%→91.9%

と非常に高い水準であるが若干の減少を示した。日米韓で合わせて 1% から 1.3% 程度、ROW で 4%～7% となっている。日本は、いずれの時点でも生産ベースをはるかに上回る排出量となっているもの(4 カ国平均基準 15.6 億トン→15.8 億トン→15.2 億トン；中国基準 21.8 億トン→20.0 億トン→19.4 億トン；日本基準 13.3 億トン→13.8 億トン→13.7 億トン)。この 10 年では若干ではあるが減少させた。国別の内訳では、自国内の CO<sub>2</sub> 排出割合が 1995 年から 2005 年にかけて、平均基準で 71.2%→72.3%→70.2% となっており、ほぼ安定している。中国の割合は、平均基準で 6.5%→5.0%→8.6% となっており、日本の最終需要に対応した生産によって中国での CO<sub>2</sub> 排出は拡大している。他方、ROW の割合は、平均基準で 19.5%→20.1%→18.9% と 20% 台でほぼ安定していることがわかる。韓国は、平均基準で 3.9 億トン→4.6 億トン→5.1 億トン；中国基準で、5.4 億トン→5.9 億トン→6.7 億トン；日本基準 3.3 億トン→4.1 億トン→4.6 億トン)である。国別の構成比では、自国の割合は平均基準で 71.3%→74.5%→68.8% と推移している。中国の割合が、5.1%→2.9%→6.4% となっており、日本と同様この 10 年で中国からの輸入に伴う CO<sub>2</sub> 排出が拡大していることがわかる。米国は、平均基準で、54.9 億トン→67.3 億トン→66.0 億トンと大量の消費ベース排出量となっている。注目すべきは、自国起源の排出割合が、87.5%→80.4%→79.9% と減少し、その分、

図8. CO<sub>2</sub>国際収支バランス表(平均基準)

ROWと中国からの割合が増加した。

次に⑨式によりながらCO<sub>2</sub>排出の国際収支を示したものが、図8である。

これは平均基準のバランス表を図示したものである<sup>11)</sup>。まず中国について見てみよう。中国のCO<sub>2</sub>排出バランスは、1995年から2005年にかけて、+4.82億トン→+4.11億トン→+8.1億トンで推移しており、2000年以降その黒字を急速に増加させていることがわかる。国別のバランスをみると、対日本は一貫して大きな黒字となっており(0.87億トン→0.70億トン→1.06億トン)と大量に中国が日本のCO<sub>2</sub>排出を「肩代わり」している関係にあることがわかる。対韓国では、+0.11億トン→-0.01億トン→+0.2億トンと推移しており、一時若干の赤字になったが2005年では黒字になった。対米国では、0.72億トン→1.38億トン→1.23億トンと、日本

以上に「肩代わり」していることがわかる。対ROWとのバランスは、+3.11億トン→+2.04億トン→+5.6億トンとなり大幅な黒字になっている。

次に、日本のCO<sub>2</sub>排出バランスを見てみる。1995年から2005年にかけて、-3.44億トン→-2.89億トン→-2.70億トンで推移しており、一貫して赤字であるものの近年その値を徐々に減らしていることがわかる。ただし、生産ベースの排出量12.5億トンの21.6%であることに留意する必要がある。国別のバランスをみると、先に見たように対中国は一貫して大きな赤字となっており、日本からみると中国へ大量のCO<sub>2</sub>排出を「押し付け」ている関係にあることがわかる。対韓国では、-0.06億トン→-0.07億トン→+0.02億トンと推移しており、ほぼ均衡している関係にある。対米国もほぼ同じ関係である。対ROWとのバランスは、一貫して赤字であり、-2.33億トン→-2.12億トン→-1.74億トンとなっている。

韓国について平均基準でみると-0.03億トン→+0.28億トン→-0.56億トンであり、一見小さく見えるが、この赤字幅を2005年の自国のCO<sub>2</sub>排出量と比較してみると12.2%となり、他国に「押し付け」

ている割合は高いといえよう。

米国のバランスも日本と同様、大幅な赤字であり、-1.44億トン→-8.25億トン→-9.31億トンと拡大する傾向にある。米国の場合、その大半ROWと中国からの赤字である。

なお、ROWのCO<sub>2</sub>排出集約度の違いによるCO<sub>2</sub>排出バランス表の相違については、4カ国平均と比べて日本基準はROWからのCO<sub>2</sub>排出量を低く評価し、バランスも赤字幅は縮小に、黒字幅は拡大する傾向があり、中国基準では逆にROWからのCO<sub>2</sub>排出量を高く評価するため、バランスの赤字を拡大し、黒字幅を縮小する傾向がある、という点だけを指摘しておく。

#### 4. 結びに代えて

本研究では、ROWからのCO<sub>2</sub>排出を含めた国際

産業連関モデルを用い、独自に推計した日中韓米国際産業連関表とそれに対応したCO<sub>2</sub>排出量を推計し、主にCO<sub>2</sub>排出集約度とCO<sub>2</sub>誘発構造の実証分析を行った。その主要な結論は以下のようにまとめられる。

- 1) CO<sub>2</sub>排出量については、IEAのエネルギー統計を利用して1995年、2000年、2005年の15部門別のエネルギー消費量をもとにCO<sub>2</sub>排出量を独自に推計した。マクロのCO<sub>2</sub>排出量については、中国が急速に増大させ、韓国も増大させてきたが、米国も含めて単位生産当たりのCO<sub>2</sub>排出(CO<sub>2</sub>排出係数)は減少させていること、それに対して日本は、CO<sub>2</sub>排出量は10年間で若干減少させているもののCO<sub>2</sub>排出係数を若干であるが増加させており、他のEU諸国と比較するとまだまだ改善の余地がある。
- 2) CO<sub>2</sub>排出集約度の分析からは、マクロの排出係数の傾向と同様に、中国と韓国がこの10年間、ほとんどの部門で大きく縮小してきたことが明らかになった。中国では、化学製品、その他電気機械、木材木製品などで60%近く縮小し、その他部門も50%から55%減少させた。韓国も、化学製品が70%程度、金属製品も50%程度減少させ、その他のほとんどの部門も20%から30%の削減を示した。また米国も多くの部門で減少させてきたのに対し、日本では、石油石炭製品、農林水産、鉱業、化学製品などで20%から30%程度の減少したものの、非金属鉱物で50%程度、電子電気で30%程度、輸送機械、木材木製品でも20%程度増加させ、全体としてCO<sub>2</sub>削減は停滞したことが示された。
- 3) 各部門のCO<sub>2</sub>排出集約度は、ROWからのCO<sub>2</sub>排出の含め方により変化すること、特に日本と韓国と米国のように中間財投入に占める輸入の割合が大きい国では大きく変化することが示された。部門平均値であるが、最も幅が少ない日本基準で評価した場合でも、2005年時点で中国5.0%、日本15.9%、韓国20.3%(平均基準では、11.9%、37.5%、48.2%)の差となり、ROWからのCO<sub>2</sub>排出を含めることが重要であることが示された。
- 4) CO<sub>2</sub>誘発分析では、まず生産ベースのCO<sub>2</sub>排出の分析を行い、中国の大幅な増加は、主に自国内の最終需要に対応したCO<sub>2</sub>排出が原因であること、日韓米とも近年中国への輸出により国内CO<sub>2</sub>排出が増大していることが示された。
- 5) CO<sub>2</sub>排出に関する消費ベースの分析では、中国が生産ベースと同様急速に増大させているが、

日本と米国は生産ベースを上回る拡大をしていること、また両国ともROWと中国からの輸入に伴うCO<sub>2</sub>排出が大きく、近年中国からの割合が10%程度に高まっていることが示された。

- 6) CO<sub>2</sub>排出の生産ベースと消費ベースの相違を見たものが、CO<sub>2</sub>排出国際収支バランスである。これによると、日本は一貫して赤字国であり、他国にCO<sub>2</sub>排出を「押し付けて」いる関係であること、ただし近年はその傾向は縮小していることが示された。ただし、中国に対しては、CO<sub>2</sub>排出の赤字が近年拡大している。

以上のように、貿易を通じたCO<sub>2</sub>排出の国際移転、すなわちカーボンリーケージの様相が明らかになるが、それらはROWのCO<sub>2</sub>排出集約度の仮定にも依存している。より正確な推計をする上でも、より詳細な国際産業連関表の推計、国別部門別CO<sub>2</sub>排出量データが重要なデータベースとなる。今後のCO<sub>2</sub>排出削減の国際的交渉において、生産ベースのみならず消費ベース排出量の削減目標を組み入れるためにもこのようなデータベースの構築は重要な課題になるといえよう。また、消費ベースCO<sub>2</sub>排出量をコントロールするため、現行の排出権取引の枠組みに、カーボンリーケージを含ませるような制度や、付加価値税で行われる国境調整(輸出財へのゼロ税率適用)が炭素税に関しても必要かどうかという検討も必要になってくるであろう。これにより、真にグローバルなCO<sub>2</sub>排出削減につながる制度設計を目指すことが必要である。

(横浜国立大学大学院国際社会科学研究所・(株)地域計画連合・横浜国立大学経済学部附属アジア社会経済研究センター)

## 注

- 1) 寺西(1992)は、地球環境問題を見る視点として、(1)越境型の広域環境汚染、(2)公害輸出による環境破壊、(3)国際分業を通じた資源と環境の収奪、(4)貧困と環境破壊の悪循環の進行、(5)地球共有資源の汚染と破壊、という5類型を提唱したが、カーボンリーケージ、土地や水資源のフットプリントなど、(3)に含まれる問題領域であり、現代においても重要な視点である。
- 2) 環境庁(1972)において初めて産業ごとの生産単位当たりの汚染物質発生量(原単位)が推計された。
- 3) 長谷部(1994)は、DPG(Deviation from Proportional Growth; 比例的成長からの乖離)分析を環境負荷の要因分析に応用して、1985年から1990年にかけて日本経済は、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>の排出に関して、中間投入と固定資本投資の拡大によって、より環境負荷的な構造になったが、輸出の減少と輸入の拡大により全体的には環境負荷を若干減少させた効果を持っていることを明らかにした。
- 4) その他の方法として、1国表をベースとして、

比較的詳細な部門分類とそれに対応したCO<sub>2</sub>排出量を推計し、輸入財のCO<sub>2</sub>排出量をアメリカの産業別係数で代替する方法を採用しているのが、金本圭一郎・外岡豊(2009)である。

5) United Nations Statistics Division (<http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regdnld.asp?Lg=1>).

6) SITCはHS(Harmonized Commodity Description and Coding System)「品目銘柄の統一とコード化体系」より分類が粗くなる可能性があるものの、分類上の特徴として、製造に使われた原料、製造段階、商品の使用、技術的進歩などを反映している。

7) Eurostat correspondence tables ([http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/relation/index.cfm?TargetUrl=LST\\_LINK&StrNomRelCode=SITC%20REV.%203%20-%20ISIC%20REV.%203&StrLanguageCode=EN](http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/relation/index.cfm?TargetUrl=LST_LINK&StrNomRelCode=SITC%20REV.%203%20-%20ISIC%20REV.%203&StrLanguageCode=EN)).

8) IEA バランス表における部門分類との対応については、長谷部勇一(2012)参照。

9) ROWで発生したすべてのCO<sub>2</sub>排出を計算するためには、ROWを含む完全な国際間産業連関表とROWの各部門の直接CO<sub>2</sub>排出係数を必要とする。

10) ケース【2】、ケース【4】については、長谷部勇一(2012)を参照されたい。

11) 他の基準によるCO<sub>2</sub>排出バランスについては、長谷部勇一(2012)参照。

#### 参考文献

藤川学・居城琢(2002)「日本とアジア諸国間における二酸化炭素の国際収支——1990年および1995年アジア国際産業連関表による分析——」『産業連関』Vol. 10, No. 3, pp. 26-36.

長谷部勇一(1994)「経済構造変化と環境の要因分析——産業連関分析を適用して——」『エコノミア』横浜国立大学経済学会第44巻第4号, pp. 36-65.

長谷部勇一(2012)「国際産業連関表によるCO<sub>2</sub>集約度の計算について」一橋大学経済研究所DPS-A564.

星野優子・杉山大志・上野貴弘(2010)「貿易に体化したCO<sub>2</sub>排出量の国際比較」『エネルギー・資源』Vol. 31, No. 4, pp. 8-14.

井村秀文・中村英佑・森杉雅史(2005)「日・米・アジアの産業・貿易構造変化と環境負荷の相互依存に関する研究」『土木学会論文集』No. 790/VII-35, PD.

金本圭一郎・外岡豊(2009)「わが国の貿易に伴うCO<sub>2</sub>排出量の推計」『エネルギー・資源』Vol. 30, No. 2, pp. 15-23.

近藤美則・森口祐一・清水浩(1994)「わが国の輸出入に伴うCO<sub>2</sub>排出量の経時分析とその国際間CO<sub>2</sub>収支分析の応用」『エネルギー・経済』第20巻4号, pp. 39-48.

羅星仁(2006)「東アジア地域の経済成長と二酸化炭素の帰属排出量」, 羅星仁『地球温暖化防止と国際協調—効率性・公平性・持続可能性』第6章, 有斐閣.

岡本信広・猪俣哲史(編)(2005)『国際産業連関—アジア諸国の産業構造(IV)』アジア国際産業連関シリーズ, No. 65, 日本貿易振興機構アジア経済研究所.

環境庁(1972)『環境白書』大蔵省印刷局.

下田充・渡邊隆俊・叶作義・藤川清史(2009)「東アジ

アの環境負荷の相互依存——CO<sub>2</sub>の既存排出量・水と土地の間接使用量——」『東アジアの経済発展と環境政策』ミネルバ書房, 第2章.

高川泉・岡田敏裕(2004)「国際産業連関表から見たアジア太平洋経済の相互依存関係——投入係数の予測に基づく分析——」日本銀行ワーキングペーパーシリーズ, No. 04-J-6.

高橋毅夫・安岡宣和(1975)「資源・エネルギー制約と産業連関」, 金子敬生『産業連関分析』有斐閣.

寺西俊一(1992)『地球環境問題の政治経済学』東洋経済新報社.

Chen, Z. M., Chen, G. Q. (2011) "Embodied Carbon Dioxide Emission at Supra-National Scale: A Coalition Analysis for G7, BRIC, and The Rest of The World." *Energy Policy*, Vol. 39, No. 5, pp. 2899-2909.

IDE (2001) Asian International Input-Output Table 1995.

IDE (2007) Asian International Input-Output Table 2000.

Manfred Lenzen, Lise-Lotte Pade and Jesper Munksgaard (2004) "CO<sub>2</sub> Multipliers in Multi-region Input-Output Models," *Economic Systems Research*, Vol. 16, No. 4, pp. 391-412.

Minx, J.C., Wiedmann, T., Wood, R., Peters, G.P., Lenzen, M., Owen, A., Scott, K., Barrett, J., Hubacek, K., Baiocchi, G., Paul, A., Dawkins, E., Briggs, J., Guan D., Suh, S. and Ackerman, F. (2009) "Input-Output Analysis and Carbon Footprinting: An Overview of Applications," *Economic Systems Research*, Vol. 21, No. 3, pp. 187-216.

Mori, T. and Sasaki, H. (2007) "Interdependence of Production and Income in Asia-Pacific Economies: An International Input-Output Approach," *Bank of Japan Working Paper Series*, No. 07-E-26, Bank of Japan.

Pan, J., Phillips, J. and Chen, Y. (2008) "China's Balance of Emissions Embodied in Trade: Approaches to Measurement and Allocating International Responsibility," *Oxford Review of Economic Policy*, Vol. 24, No. 2, pp. 354-376.

Rhee, H.C., Chung, H.S. (2006) "Change in CO<sub>2</sub> Emission and Its Transmissions Between Korea and Japan Using International Input-Output Analysis," *Ecological Economics*, Vol. 58, No. 4, pp. 788-800.

Robbie Andrew, Glen P. Peters and Jame Lennox (2009) "Approximation and Regional Aggregation in Multi-Regional Input-Output Analysis for National Carbon Footprint Accounting," *Economic Systems Research*, Vol. 21, No. 3, pp. 311-335.

Wiedmann, T. (2009) "Editorial: Carbon Footprint and Input-Output Analysis-An Introduction," *Economic Systems Research*, Vol. 21, No. 3, pp. 175-186.

Wiedmann, T. (2009) "A Review of Recent Multi-Region Input-Output Models Used for Consumption-Based Emission and Resource Accounting," *Ecological Economics*, Vol. 69, No. 2, pp. 211-222.