

貿易に体化した CO₂ 排出量-炭素効率との関係に関する考察-

Trade Embodied CO₂ Emission Trends in Major Countries

-the Relationship between Trade Embodied CO₂ Emission and Carbon Efficiency-

小川 順子 *

Junko Ogawa

This paper presents the estimation and recent characteristic of trade embodied CO₂ emission trends in major countries using data for final demand of value added by countries in Inter-Country Input-Output Trade Table of OECD. The estimation suggests that in countries with a high dependence on carbon emission abroad, not only carbon emissions are transferred to other countries, but also larger emission may be emitted in the destination countries. In addition, the carbon efficiency (production-based CO₂ emissions per GDP) is improved as the dependence of carbon emission on foreign countries increases. This trend suggests that the degree of foreign dependence of carbon is one of the factors that explain high carbon efficiency of each country.

Keywords : Trade Embodied Carbon, Carbon Leakage, Carbon Efficiency, Carbon Productivity

1. 研究の目的

気候変動枠組条約での京都議定書やパリ協定においては、各国内の生産活動に由来する温室効果ガス排出量の捕捉が行われており、各国の排出削減目標についても、国内で排出された排出量が対象となっている。他方で、国内生産活動由来排出量は、国境を越えた製品の需要や消費に由来する排出量を反映していない。例えば、A 国内での製造を海外の B 国での製造に代替した場合、A 国内での製品生産に由来する排出量は減少する。一方で、A 国の製品需要や消費に由来する排出量は、製品製造代替先である B 国の排出削減努力やエネルギー炭素集約度の水準に応じて増減する。

近年、世界規模での国際貿易が堅調に増加している状況から (図 1)、一国内の生産活動に由来する排出量水準と製品の需要や消費に由来する排出量水準が乖離している傾向にあることが予測される。さらに、エネルギー消費量の大きい製造業を国外に依存する場合は、両水準の差はさらに拡大する。

国別に目を向けると、総付加価値の自給率 (自国生産付加価値/総付加価値需要) が 7 割を下回る国もあれば、9 割近い自給率を維持している国もあり (図 2)、各国の付加価値海外依存度に代表される産業構造のあり方が様々であることが見て取れる。

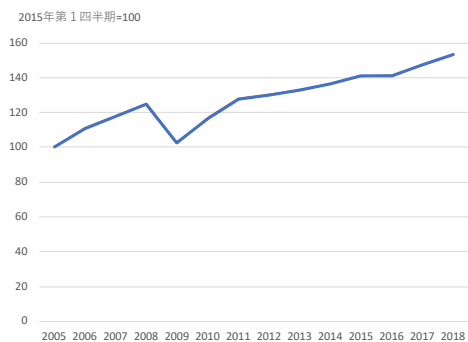


図 1 世界の貿易量推移 (2005 年第 1 四半期=100)

注) 各年第 1 四半期の数値

出所) World Trade Organization, Database Inventory
より筆者作成

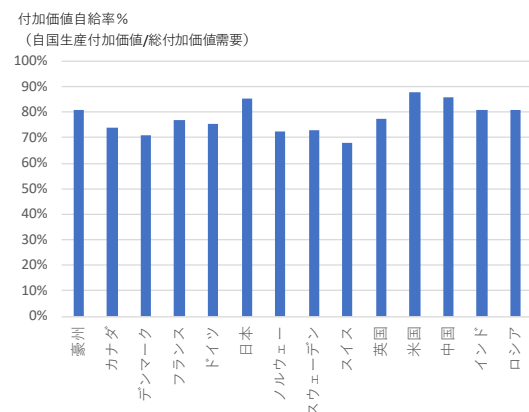


図 2 主要国の付加価値自給率

* 日本エネルギー経済研究所
〒104-0054
東京都中央区勝どき 1-13-1 イヌイビル・カチドキ 10F
E-mail : junko@tky. ieej. or. jp

出所) OECD, Inter-Country Input-Output database Trade in Value Added より 著者作成

以上のように、グローバルなモノの売買が増大する状況下において、気候変動枠組条約型である製品の“生産由来排出量”ではなく、製品の需要に基づく“消費由来排出量”の水準と傾向を捉えること、すなわち、貿易に伴って発生する排出量（貿易に体化した CO₂ 排出量と呼称する）を、製品生産国ではなく、製品輸入国（消費国）の排出量としてカウントするという考え方が近年注目を集めている。

そこで本研究では、生産由来排出量を「生産ベース CO₂ 排出量」、製品需要由来排出量を「消費ベース CO₂ 排出量」として、主要先進国における排出量水準の推計を試みた。さらに推計データに基づき、貿易に体化した CO₂ 排出量の増加によって起こり得る影響と留意すべき点についての考察を行なった。第一に、世界全体での国際貿易が高まっているが、貿易に体化した CO₂ 排出量の時系列変化からは、炭素海外依存の進展度合いは、国によりばらつきがあることがわかった。第二に、炭素の海外依存度の高い国では、炭素排出を海外に移転しているだけではなく、国内で排出するよりも過大な排出量を移転先で発生させている可能性が示唆された。第三に、炭素の海外依存度が高いほど、炭素効率（生産ベース CO₂ 排出量/GDP）が改善する傾向であることが明らかになった。炭素の海外依存度の高さが、見かけ上の炭素効率の高さを説明する要素の一つであることが示唆された。

2. 推計方法

貿易に体化した排出量の推計方法は、主に3つの方法に分けられる。Sato (2012) によれば、産業連関表や貿易統計を用いたマクロ分析、ある一つの製品の製造工程からの排出量を詳細に積み上げるカーボンフットプリントに代表されるミクロ分析、そしてマクロ分析とミクロ分析のハイブリッド分析である。ミクロ分析は一つ一つの製品からの排出量を詳細に分析するため数値の精度が高くなる一方で、データ収集の難易度が高くなり、また分析の対象範囲が限定される。マクロ分析は広範囲をカバーすることができるがミクロ分析と比較した場合の数値精度は低くなる。本分析の目的に照らし合わせた場合、近年の世界貿易の増加が各国の CO₂ 排出実態に及ぼす影響を検討することを目的とすることから、おおよその傾向を把握することが可能となるマクロ統計を用いた星野 (2011) の推計手法を用いることとした。また、データについては、最新かつ時系列の数値が整備されている Inter-Country Input-Output ICIO database (OECD) を採用した。

2.1 データ出典

- ・ 付加価値貿易額：Inter-Country Input-Output database Trade in Value Added (OECD, 2018)
単位：US Dollar, Millions
- ・ CO₂ 排出原単位：CO₂ Emission from Fuel Combustion (IEA, 2018)
単位：CO₂ Fuel combustion (MtCO₂)/GDP (billion 2010 US dollars)

2.2 推計方法

(1) 生産ベース CO₂ 排出量の推計

- ・ i 国の、世界各国 (j) (※ここでは世界各国をそれぞれ j 国とする) における付加価値需要の総額に、i 国の CO₂ 排出原単位 (CO_{2i}/GDP_i) を乗じた排出量の総和

$$PCO_{2i} = \sum_{\text{country}}^j \left(VA_{ji} \times \frac{CO_{2j}}{GDP_j} \right) \dots (1)$$

PCO_{2i} : i 国の生産ベース CO₂ 排出量

VA_{ji} : j 国における i 国からの付加価値額

CO_{2i}/GDP_i : i 国の CO₂ 排出原単位

(2) 消費ベース CO₂ 排出量の推計

- ・ i 国における国別 (j) の輸入付加価値額に輸入先国 (j) 別の CO₂ 排出原単位 (CO_{2j}/GDP_j) を乗じた排出量の総和

$$CCO_{2i} = \sum_{\text{country}}^j \left(VA_{ij} \times \frac{CO_{2j}}{GDP_j} \right) \dots (2)$$

CCO_{2i} : i 国の消費ベース CO₂ 排出量

VA_{ij} : i 国における j 国からの付加価値額

CO_{2j}/GDP_j : j 国の CO₂ 排出原単位

3. 推計結果

2005 年および 2015 年の数値を用いて主要国の貿易に体化した CO₂ 排出量を推計した結果を図 3 に示す。なお、CO₂ 排出総量は経済規模にその大きさが左右される。このため、各国間の比較、特に消費ベースの CO₂ 排出量については、一人あたりの製品需要が影響を及ぼすため、CO₂ 排出量についても人口で除して、各国比較を行うこととした。

結果を図 3 に示す。まず、アジア太平洋地域先進国（日本、米国、カナダ、豪州等）は消費ベースと生産ベースの排出量の差が小さく、国内需要に対する自給率が高い傾向

が見て取れる。一方で、欧州地域先進国（英国、フランス、スウェーデン、ノルウェー、スイス、デンマーク等）では、消費ベースと生産ベース排出量の差が相対的に大きく、さらに 2005 年から 2015 年ではその差が拡大している。2005 年時点において欧州では既に炭素海外依存度が高い傾向が見て取れるが、近年はその傾向が顕著になっていると言える。欧州域内では EU15（欧州先進国）の消費ベース CO₂ が拡大している一方で、EU13（欧州新興国）では生産ベース CO₂ 排出量が大きい。これは、欧州では域内で約 7 割の貿易が完結していることから、EU15 の国が高付加価値産業に特化する一方で、重厚長大産業を EU13 が担っており、EU28 域内全体でバランスをしていると考えられる。

先進国では、消費ベース CO₂ 排出量が生産ベース CO₂ 排出量を上回っている一方で、中国、ロシア、世界のその他の国では、消費ベース排出量よりも生産ベース排出量の方が大きいという傾向が見られた。

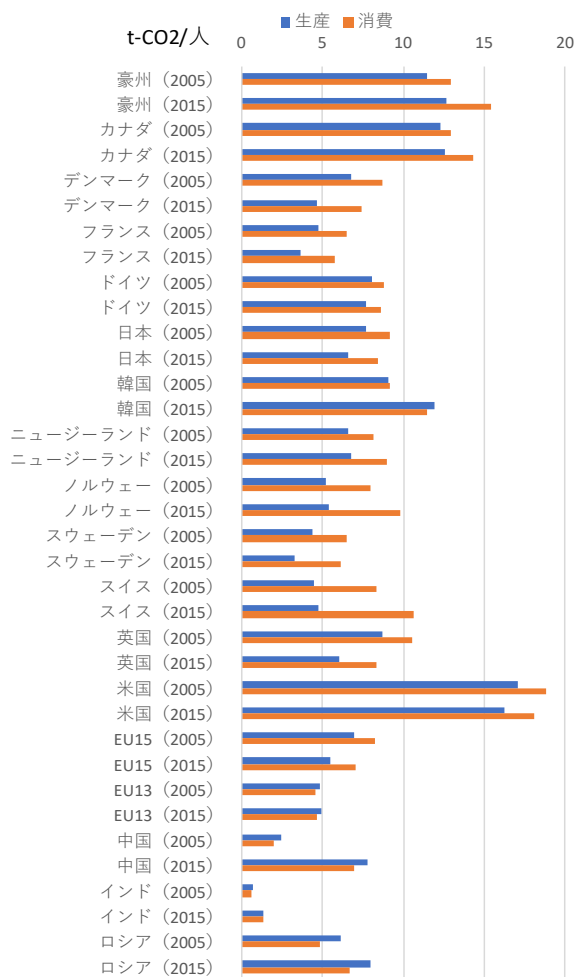


図3 消費ベース CO₂ 排出量と生産ベース CO₂ 排出量の各国比較 (2005 年, 2015 年)

4. 考察

上記推計結果からは、国により消費ベース排出量と生産ベース排出量との乖離度合いが異なること、また 2005 年から 2015 年にかけて多くの国で両者の水準差が拡大している傾向が見られた。そこで本節では、近年増加する貿易に由来する CO₂ 排出量の増加によって、起こりうる影響と留意点についての検討を行なった。

4.1. 主要国の炭素海外依存量

まず、上記で推計したデータを用いて、各国の炭素の海外依存量を(3)式、主要国における炭素の海外依存量の 2005 年から 2015 年の 10 年間の変化量を(4)式と定義し、各国の時間的変化量の確認を行なった。

$$LCO2iyear = (CCO2iyear - PCO2iyear) \dots (3)$$

$$\Delta LCO2i(2005-2015) = (LCO2i2015) - (LCO2i2005) \dots (4)$$

LCO2i : i 国の炭素海外依存量

CCO2i : i 国の消費ベース CO₂ 排出量

PCO2i : i 国の生産ベース CO₂ 排出量

各国の 2005 年から 2015 年にかけての一人あたりの炭素海外依存の変化量の比較を図 4 に示す。炭素の海外依存量の増加率が最大となったのはスイスであり、直近 10 年間で一人あたり約 2 トンの CO₂ 排出を追加的に海外に依存したという結果となった。炭素海外依存の増加量は、ノルウェー、カナダ、豪州、デンマーク、スウェーデンが続く。一方で、中国、韓国では炭素海外依存量が減少するという結果となった。

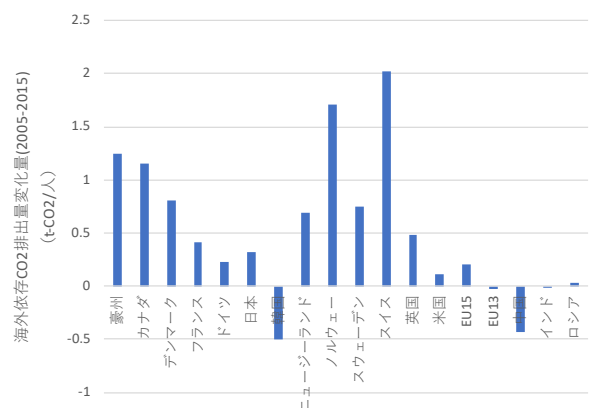


図4 一人当たり海外依存 CO₂ 排出量の変化量 (2005-2015)

次に、炭素の海外依存量の増加量の大きいこれらの国々が、仮にすべての製品を国内で生産したと仮定した場合の排出量について(5)式を用いて推計した。

$$VirCO2 = VAI \times \frac{CO2i}{GDPi} \dots (5)$$

- VirCO2i : i 国における総付加価値を i 国内で全て生産したと仮定した場合の仮想排出量
- VAi : i 国の付加価値総需要
- CO2i : i 国の国内 CO2 排出量
- GDPi : i 国の国内総生産

結果を図5に示す。海外に依存している付加価値分を国内生産に切り替えた場合、どの国においても、炭素排出量が減少するという結果が得られた。特にスイスとノルウェーでは排出量が半減する。なお、本分析では、GDPあたりのCO₂排出量というマクロの数値を採用したため、各国毎の詳細な産業構造やサブセクターの排出原単位を扱っていない。このため排出削減量は過大評価となっているが、大よその傾向を把握することが可能だと考える。本分析の結果からは、単に国内の炭素排出が海外に移転するだけではなく、海外に移転した場合には国内で排出するよりも過大な排出になる傾向にあり、これらの国による他国への炭素排出依存が、地球規模での排出量増加に寄与している可能性が示唆されていると言える。

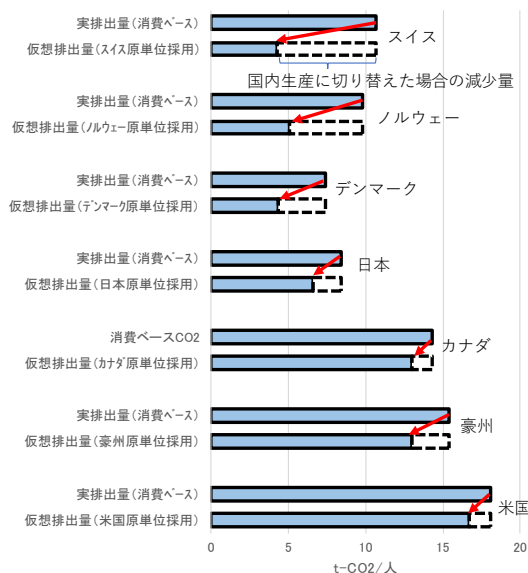


図5 海外依存生産分を国内生産に切り替えた場合のCO₂排出量の減少量

4-2. 炭素効率と炭素海外依存度の関係

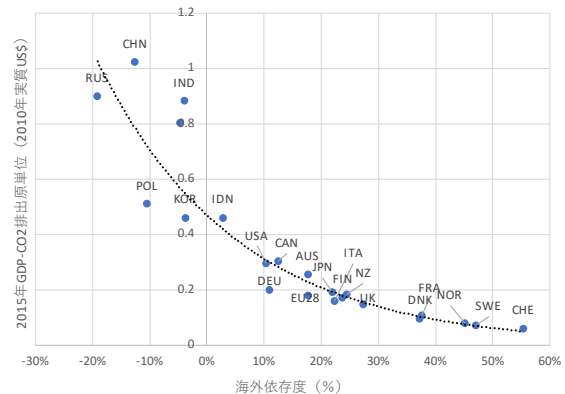
ここまでの分析から、生産ベース CO₂ 排出量と消費ベース CO₂ 排出量は、貿易が増加するにつれて乖離傾向にあることが確認された。そこで、こういった乖離と、一般的な国際指標として活用される GDP あたり生産ベース CO₂ 排出量との関係についての関係を確認する。

ここではまず、乖離水準を「炭素海外依存度」として(6)式の通りに定義する。

$$LCO2i\% = \frac{(CCO2i - PCO2i)}{CCO2i} \times 100 \dots (6)$$

- LCO2i% : i 国の炭素海外依存度 (%)
- CCO₂i : i 国の消費ベース CO₂ 排出量
- PCO₂i : i 国の生産ベース CO₂ 排出量

2015年の炭素海外依存度と GDP あたり生産ベース CO₂ 排出量（この逆数が炭素生産性となる）の関係を可視化したものを図6に示す。炭素海外依存度が高いほど、CO₂/GDP 原単位が低くなる（炭素生産性が高くなる）という傾向がみられ、回帰分析においても有意な結果となった。これは、炭素海外依存度が高い国は、サービス産業等のウェイトが大きく、またエネルギー・炭素集約型産業の財を輸入に依存している国が多いため、生産ベース CO₂/GDP 排出原単位が見かけ上では低くなる傾向にあることが推察された。



モデル要約とパラメータ推定値							
従属変数: CO2/GDP原単位 (2015)							
方程式 (等式)	モデルの要約				パラメータ推定値		
	R2乗	F値	自由度1	自由度2	有意確率	定数	b1
ロジスティック	.944	322.663	1	19	.000	2.205	54.582
独立変数は海外依存率 (2015)							

図6 GDP原単位と海外依存度の関係 (2015年)

5. 本研究結果からの示唆

本分析では昨今の国際貿易の増加に伴い乖離する傾向にある消費ベース排出量と生産ベース排出量の水準を推計し、貿易に体化した排出量の増加によって起こりえる影響と留意すべき点についての考察を行なった。

ここで、消費ベース CO₂ 排出量が生産ベース CO₂ 排出量を上回ることはどのようなことを意味するのか、再度整理する。消費ベース排出量は、その国における様々な需要に紐づいた排出量である。例えば、日本で中国への輸出用の自動車を生産した場合、これに由来する CO₂ 排出量は、気候変動枠組条約の考え方（生産ベース排出量）では、日本の排出としてカウントされる。他方、日本製自動車が中国に輸出された場合、消費ベースの CO₂ 排出量の考え方では、中国の排出としてカウントされ、日本の排出量からは差し引かれる。すなわち消費ベース CO₂ 排出量は最終製品需要が発生した国に帰属するのである。したがって、従来型の生産ベース CO₂ 排出量は、エネルギー多消費製造業を多く保有する国の排出量は過大となり、高付加価値化産業に特化している国での排出量は過小になる。一方で、消費ベース CO₂ 排出量は各国内で消費される製品製造に由来する排出量を製品の需要国にカウントするため、製品需要が大きい国での排出量が大きくなる。

本分析においても、2005 年と 2015 年の二時点では多くの国で生産ベース排出量と消費ベース排出量の差が拡大している傾向がみられた。国際貿易の拡大に伴い、国際分業が進展していくことが予想される中においては、従来型の排出量の捉え方では、各国の本来の意味での排出削減対策努力の実態を補足していくことが、今後はより困難になっていくと考えられる。

このことは、従来型の排出量水準や CO₂/GDP 排出原単位（あるいは炭素生産性）の比較についても慎重に行なう必要があることも示唆している。炭素の海外移転によって生

じる生産ベース CO₂ 排出量の減少は、国際比較指標として頻繁に用いられる指標である生産ベースの「一人あたり排出量」や「国内総生産（GDP）あたりの排出量」も減少させることから、見かけ上の炭素効率の高さの主要な構成要素となっている。生産ベース CO₂ 排出量を用いたこれらのマクロ指標は、透明性が高く理解に優しい指標として重宝されるが、実態を適切に反映していない可能性や海外移転分が反映されていない等の指標の特性を十分に理解した上で活用することが不可欠であると言える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、星野優子氏（JXTG エネルギー株式会社中央技術研究所技術戦略室）には、分析方法および文献調査について多大なるご支援をいただきました。ここに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 星野優子, 杉山大志, 上野貴弘; 貿易に体化した CO₂ 排出量の国際比較, エネルギー・資源学会論文誌 Vol131, No4, (2010), p.8-14.
- 2) Sato M., Embodied Carbon in Trade: a Survey of the Empirical Literature, Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper No. 89, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper No. 77 (2012)
- 3) IEA, CO₂ emission from Fuel Combustion
- 4) OECD, Inter-Country Input-Output database Trade in Value Added (2018)
- 5) WTO, Database Inventory

お問い合わせ: report@tky.iecej.or.jp