

貿易を經由した二酸化炭素排出量抑制技術の国際的拡散

International Technological Diffusions by the Trade and Possibility of Carbon Dioxide Control

藤田 渉 *

FUJITA, Wataru[†]

Abstract

The international transfer policies of technologies to reduce carbon dioxide emissions should be considered as well as usual technology transfer or diffusion. There are many infiltrate routes of technological diffusions and spillover. The route passes through the import products which embody foreign advanced technologies is important well as much as the routes pass through aids, foreign direct investments and purchasing royalties and licenses. After additional analysis of the possibilities of the carbon-leakage in import goods and distinguish high carbon intensity goods and the other, this paper shows quantifies impacts on carbon dioxide emissions by structural and these technological factors using panel data covering large sample of worldwide countries.

The effects by the trade are measured. For example, correlations in carbon dioxide reduction and imports of transportation vehicles and equipments are measured in the developing country group. In the developed country group, there are correlations in the information/telecommunication equipments and carbon dioxide reduction. Moreover, the import of industrial goods which can be manufactured with relatively low-technologies show meaningful correlation with the control of carbon dioxide emissions in all the income groups.

This is similar to the argument of pioneer studies about the high-technological spillover from outside the country, but the technologies and know-how which influence for carbon dioxide emission control directly or indirectly are general and popular among the wide range of industries in developed countries.

Keyword: technology, spillover, trade, environment, carbon dioxide, emission, energy, aid, foreign direct investment.

JEL Classification: C23; F10; O19; O31; Q20; Q40.

*長崎大学経済学部、教授

[†]Professor, Faculty of Economics, Nagasaki University

1 はじめに

地球温暖化防止に対する国際的取組と協調に関しては、1992年に開催されたりオの地球サミットにおいて採択された気候変動に関する国際連合枠組条約（the United Nations Framework Convention on Climate Change、1994年発効）があり、同条約の締約国会議（COP：the Conference Of the Parties）においてさらに現行の条約上の規定では不十分な対策や目標についての検討プロセスが続けられている^(注1)。

しかしながら、世界最大の温室効果ガス排出国である米国が京都議定書を支持しないことを表明し^(注2)、また本稿執筆中に行われたCOP8において徹夜交渉の結果の「デリー宣言」において、「(途上国を含む)各国は排出削減のための行動に関する非公式な情報交換を促進すべき」との文言が盛りこまれたことが、わが国が特に強く主張したこととして特記的に環境省から発表（環境省[29]）されたことからうかがわれるように、これまで途上国が自らの排出削減活動について話し合うことさえ拒否してきた経緯があるなど、地球温暖化対策の実効性の確保にはまだ課題が山積している状況である^(注3)。

したがって、地球温暖化の主要因である二酸化炭素排出の国際的な抑制政策は、これまで排出権取引などの市場メカニズムの導入や、援助や直接投資による途上国への国際的な技術移転策などが主に議論されてきた。現在でも途上国に対しては自発的参加を求めるとや、資金・技術移転を既存の枠組み内で拡充する支援政策が中心であり、わが国の政策も同様である^(注4)。

しかしながら、二酸化炭素排出の主要因である化石燃料消費は産業部門から運輸部門、民生部門にいたる全部門で生じるため、援助に代表される外発的な技術移転は部分的、限定的な効果にとどまらざるをえないのではないだろうか。

国際的な技術移転のルートは、援助や直接投資の他にも、知識の購入や国際貿易を通じ

^(注1)1995年にベルリン開催のCOP1におけるベルリン・マニフェスト（現行の条約上規定で不十分とされる2000年以降の先進締約国等による対策や目標についての検討プロセスの開始）を受けたアドホックグループの国際的努力により、1997年に京都開催のCOP3において京都議定書（先進各国の温室効果ガス排出量について法的拘束力のある具体的な数値化された約束を定める）が全会一致で採択された。しかし2000年のオランダのハーグ開催のCOP6においては、京都議定書の実施に要するルールや手続等について合意に至らず、2001年のドイツのボン再開会合でボン合意（京都議定書の運用ルールに関する基本的な合意）とモロッコのマラケシュ開催のCOP7で京都議定書の具体的な運用に関する細目を定める文書が決定されるまでに至った（環境省[28]、UNFCCC[33]）。2002年10月23日から11月1日までのインドのデリー開催のCOP8ではマラケシュ合意（COP7）での積み残し事項である京都議定書実施のための細則に関して報告・審査ガイドラインが策定されている（環境省[29]）。

^(注2)2002年2月14日に、ブッシュ大統領により米国の気候変動政策が発表されている。

^(注3)たとえば途上国に対する排出量削減によって生じる経済的影響と各国の政策や措置の分野においては合意を得ることは非常に困難であることは、地球温暖化防止京都会議（COP3）において途上国への将来的数値目標設定（エヴォリューション）に関して議論が紛糾したことからわかる。

^(注4)環境基本法（平成5年11月19日公布・施行）においては、地球環境保全等に関する国際協力等を推進するため、国は必要な措置を講ずるように努めることが規定（第三十二条）されている。さらに環境基本計画（平成12年12月）の中でも、「政策の国際的な連携の強化、環境と開発の両立に向けた開発途上地域の自助努力への支援等の国際的取組を推進することが必要」としている。

また環境省[28]ではさらに、平成4年6月30日、閣議決定の「政府開発援助大綱」（環境の保全をODAの基本理念の一つとして挙げるとともに、環境と開発の両立を援助実施の原則として位置づける）、平成11年に公表された「政府開発援助に関する中期政策」（環境保全を重点課題の一つとして掲げている）、平成9年6月のUNGASSにおける総理演説「21世紀に向けた環境開発支援構想（ISD）」（ODAを中心としたわが国の国際環境協力についての基本理念と行動計画を示すものとして、具体的には1)人類の安全保障、2)自助努力、3)持続可能な開発の3つを基本理念とし、1)大気汚染、水質汚濁及び廃棄物対策、2)地球温暖化対策、3)自然環境保全のほか、4)「水」問題への取組、5)環境意識向上の支援、6)持続可能な開発に向けての戦略研究の推進を行動計画として掲げている）などを列挙している。

た流入経路などが存在するにもかかわらず、従来の議論ではでは、まず援助による発電などのエネルギー転換部門での設備ストック更新や燃料転換を促進させる政策を、また輸入を通じた効果についても先進国技術の導入によるエネルギー消費設備・機器の効率の向上やといった直接的な一次効果のみに着目してきたきらいがある。したがってより普遍的かつ内発的な技術移転メカニズム、たとえば途上国内で模倣（イミテーション）が可能になるような技術移転ルートやプロセスに着目する必要があるのではないだろうか。これは Pacey[8] が示すところの dialog^(注5) にも相当するのかもしれない。

藤田 [14][15] は、この視点から各国・地域の二酸化炭素排出量およびエネルギー消費量に影響を及ぼす気候、産業構造、エネルギー消費・生産構造といった構造要因とともに、これらの技術流入経路に説明される技術要因を抽出して、技術移転効果を計測可能であるかどうかを分析した。ここでは構造的な要因とあわせて、先進国および途上国に関して、援助、海外直接投資、製造業品目の輸入、非製造業品目の輸入、技術の購入による獲得、エネルギー転換要素（原子力、石炭）といった技術要素が二酸化炭素排出量抑制に与える効果について計測を行っている。この結果、一般的な国外からの技術スピルオーバーについて論じた先駆的な研究と同様、技術を含んだ製品の輸入を通じて、二酸化炭素排出量抑制という特殊な技術領域においても同様な効果が生じている可能性があることを示すことができた。

本稿ではさらに上記研究よりも製品の輸入をさらに商品種類別に細分化することによりその効果を詳細に分析するとともに、それぞれの輸入財を特徴付けるエネルギー集約度、炭素集約度に注目し、エネルギー多消費産業の国外に移転や国際貿易を通じた二酸化炭素排出の国際移転（カーボン・リーケージ：carbon leakage）^(注6) と、技術のスピルオーバー効果を有する可能性のある輸入財とを分別した。その結果、エネルギー集約度、炭素集約度の低い輸入商品領域にも二酸化炭素排出量と負の相関が確かめられるものがあること、さらに国・地域の所得階層別グループによって、その効果を有する輸入財の特徴が異なることを示すことができた。

^(注5) 技術史は社会的総過程の一部として描写される現代的扱いが適切であれば、従来は単に発展途上国へ機械や装置を導入することとして考えられてきた技術移転も、社会的過程の一部として考える必要があるとして、Pacey はその過程がさらに広範囲に及ぶとする。受け取り側の反応と逆方向への技術移転が不断に持続する技術的相互作用として特徴付けられることに着目するべきであるとし、その過程を dialog（対話）になぞらえている。

^(注6) 『環境白書 平成7年版』（環境庁 [26]）、「総説 第4章 第2節 環境と貿易の相互支持化に向けた取組」において、「... 二酸化炭素排出抑制のため単独で炭素税等を導入すれば、自国製品の国際競争力の低下をもたらし、競争力の低下を嫌う企業が海外に生産拠点を移すことによって、いわゆる「炭素リーケージ」等が起こる...」と指定された。また、『環境白書 平成11年版』（環境庁 [27]）「総説 第3章 第2節 3 日本とアジア地域の関わり」において、「地球温暖化防止京都会議で先進国（移行経済国を含む。以下同様）における温室効果ガスの排出削減目標の数値目標が設定された。この達成に向けて先進国が対策を講じた場合、先進国において相当量の排出削減効果が生じると同時に、途上国の二酸化炭素排出量が増加するという影響（以下、「炭素リーケージ」という。）が生じることが指摘されている。IPCC の報告書においては、炭素リーケージは、エネルギー集約的な製品の生産拠点の対策を講じていない地域への移転 対策を講じた地域におけるエネルギー需要の減少に呼応した化石燃料の低下によって引き起こされる非抑制地域におけるエネルギー消費量の増大などを含むエネルギー市場効果、 交易条件の変化によって引き起こされる各地域の所得、エネルギー需要の変化などを含む多くの経路を通じて生じるとされている。炭素リーケージは、先進国の二酸化炭素削減目標が厳しい程、大きいと予想されるが、排出量取引によって軽減される可能性がある。京都議定書の目標達成の場合、排出量取引が導入されないケースでは、2010年の炭素リーケージの量は先進国の二酸化炭素削減総量の10%以下に見積もる予測もある。」と説明されている。

さらに意図的に域内からの発生源の回避を行うことを、キャピタル・フライト（capital flight）からの連想としてカーボン・フライト（carbon flight）という場合があるようである。

2 各国・地域の二酸化炭素排出量とエネルギー消費量

2.1 国際的な環境政策と技術移転政策に対する問題提起

環境省の環境白書 [28] には、開発途上国に対する環境協力の意義^(注7)として、経済成長と環境負荷の関係を論じるにあたって、いわゆる「環境クズネッツ曲線」の議論を用いている。これは、経済成長初期においては環境負荷は小さく、経済成長の進展にしたがって環境負荷を増大させ、一定程度の成長段階に至った後には、環境対策の進展により環境負荷が低減していくため、1人当たり国民所得 - 環境汚染度のグラフは逆U字型のカーブを描くというものである^(注8)。そして、低開発国が高環境負荷であった先進国の発展経路をトレースすることがないように、開発途上国自身の環境対策への積極的な取り組みを重視するとともに、先進国の協力によって開発途上国が後発性の利益を得ることができ、ひいては持続可能な開発を達成できるとし、援助の正当性に結びつくというものである。

これに対して、松岡・松本・河内 [16] は、 SO_x 、 NO_x 、 CO_2 (各1人当たり排出量)、安全な水及び衛生設備への各アクセス率 (人口比)、森林減少率の環境指標を対象に、1980年、および1990年時点の29カ国のデータを用い、回帰分析を行った。各国の環境指標の動向について弾性値分析を行い、想定する関数形を決定した結果、2次式で回帰させる妥当性があるのは SO_x のみであり、 NO_x 、 CO_2 、安全な水、衛生設備は1次式で回帰させることが妥当であることが明らかとなったとしている。すなわち、公害型環境汚染とでもいべき SO_x に関しては逆U字型とみなすことができても、その他の環境指標について環境クズネッツ曲線が成立することは支持できなかったとする。特に CO_2 に関しては、独立した環境指標というよりはエネルギー消費効率指標であり、環境クズネッツ曲線のような議論の対象にすること自体が妥当ではないとする。

もし環境クズネッツ曲線仮説に従えば、途上国の環境政策においては独自かつ強力なオプションを選択する必要はそれほどなく、経済成長と適合的なモデレートな政策でよく、むしろ先進国による援助や投資による技術移転が有効であるということがいえるであろう。しかしながら環境クズネッツ曲線が成立しない場合はもちろんのこと、その正否にかかわらず援助や投資による技術移転以外にも重要な技術移転のパスがあるならば、今日の先進国による国際的な環境政策の内容は問い直しを迫られる可能性がある。

長期にわたる時系列データの利用には制約があるために、まず藤田 [15] によるクロスセクション分析の結果をもとに、各国・地域の二酸化炭素排出量とエネルギー消費量の概況について議論を行う。

以下の分析においては、データセットはWDI (*The World Development Indicators*, The World Bank、2000年版および2002年版) [24][25] から加工したものをを用いている^(注9)。

^(注7) 序章第三章第三節、「国際社会における新たな対応とわが国の貢献」、4. 「環境分野における国際貢献」の項。

^(注8) 松岡・松本・河内 [16] によれば、World Bank, *World Development Report 1992*, Oxford U.P. が、環境クズネッツ曲線への注目を集めるきっかけをつくったと指摘している。

^(注9) WDIにまとめられた世界各国・地域の二酸化炭素排出量は、主としてUSDOE (米国エネルギー省、U.S. Department of Energy) がスポンサーであるCDIAC (The Carbon Dioxide Information Analysis Center) の計算による。もとなる化石燃料の消費量はUNSD (国連統計局、United Nations Statistics Division) のWorld Energy Data Set、また世界のセメント製造量はUSBM (米国鉱業局、U.S. Bureau of Mines) のCement Manufacturing Data Setによっている。なおWDIではESD (Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory) のデータも用いられているとコメントされている。ただし二酸化炭素排出量については、計量可能な排出起源となるエネルギーは商用エネルギーに限定されている

2.2 クロスセクションでの対 GDP 弾力性

(1) 対 GDP 弾力性の分析モデル

計測可能な二酸化炭素排出量自体は主として商用エネルギー消費量から算出されるため、エネルギー消費量とは密接な関係がある。エネルギー消費効率（対 GDP など）は一種の生産性概念であり、ストックと運用によって変化する。ならば二酸化炭素排出量はエネルギー消費と平行に変動するかといえば必ずしもそうではない。転換部門以外の産業における消費や最終需要として消費されるエネルギーは転換部門で製造される 2 次的なものが大半であり、エネルギー源を含む炭素集約度（carbon intensity）^(注 10)で大きく変化する。このための典型的な二酸化炭素排出量削減技術が原子力であり自然エネルギー利用であり、さらに水素利用や天然ガス利用技術などがある。

石油危機以後の 1975、1980、1985、1990、1995 の各年次に関して、各国・地域の CO_2 排出量とエネルギー消費量の対 GDP 弾力性（ $a_1 = \frac{dY_i/dGDPR_i}{Y_i/GDPR_i}$ ）を、以下のクロスセクション・モデルを用いて OLS 計測した。^(注 11)

$$\ln Y_i = a_0 + a_1 \ln GDPR_i + u_i \quad (1)$$

$Y_i = CO_2T_i$ または $Y_i = ENET_i$ 、ただし i : 国、地域の指標

CO_2T_i : CO_2 排出量 (CO_2Mt)、 $ENET_i$: 商用エネルギー消費量 ($MTOE$)

$GDPR_i$: 実質 GDP (constant 1995 10 億 US\$)

また、この 5 期のデータのうち最近の 1985~1995 の 3 期をプーリングしたパネルデータに対して a_1 を推定し、期を超えてその性質が共通しているかどうかを調べた^(注 12)。

$$\ln Y_{it} = a_0 + a_1 \ln GDPR_{it} + e_{it} \quad (2)$$

$$e_{it} = \alpha_i + v_{it} \quad (3)$$

(2) 対 GDP 弾力性の推定結果

なおデータ制約から各期に利用できる国・地域が異なるので、1975 年から利用可能なものを基準グループとする。クロスセクションで回帰した場合の全体での GDP 弾力性 a_1 と、基準グループの GDP 弾力性 \bar{a}_1 を併記している^(注 13)。二酸化炭素排出量およびエネルギー消費量の対実質 GDP 弾力性の推定結果は、表 1、および表 2 に示す。また 2 端点でのデータの相違を図 1、および図 2 にそれぞれ示す。

^(注 10) 単位熱量あたりの炭素量

^(注 11) OLS モデル (1) においては確率的誤差項 u_i は以下の標準線型回帰モデルの仮定を満たすとする。 $E(x_i u_j) = 0$ 、 $E(u_i) = 0$ 、 $E(u_i u_j) = 0$ ($i \neq j$)、 $E(u_i^2) = \sigma^2$ 。ここで、 $i = 1, \dots, N$ 、 $t = 1, \dots, T$ 。

^(注 12) パネル分析については、和合・伴 [17]、Hsiao[5] 等を参照。パネルデータのパラメータ推定のために、 $e_{it} = \alpha_i + v_{it}$ なる構造を有する誤差項を考える。これに対して、以下のような仮定をおく。 $E(x_{it} v_{jt}) = 0$ 、 $E(v_{it}) = 0$ 、 $E(v_{it} v_{js}) = 0$ ($i \neq j$ 、 $t \neq s$)、 $E(v_{it}^2) = \sigma_v^2$ 。ここではさらに、individual effect α_i について、fixed effect: $E(\alpha_i x_{it}) = 0$ および random effect: $E(\alpha_i x_{it}) \neq 0$ のふたつのケースに対して Hausman 検定を行い、特定化の誤りの有無を検定する。「random effect モデルとして特定化の誤りが無いとする」仮説が棄却されても、個別効果は無いとする帰無仮説、 $H_0: \alpha = \alpha_i$ をテストして H_0 が棄却されれば、fixed effect モデルとして採用できる。

^(注 13) 1975 年からデータが利用可能なグループは比較的統計が早期から整備されている国・地域であり、先進国の比率が大きい。

表 1: CO₂ 排出量の GDP 弾性値 (藤田 [15])

	116 力国・地域				利用可能データ全体				
	\bar{a}_0	\bar{a}_1	R^2	SE	a_0	a_1	R^2	SE	N
1975	-0.2229 (-4.60)	1.0509 (30.2)	0.888	0.367					
1980	-0.1866 (-3.95)	1.0280 (31.8)	0.898	0.344	-0.2085 (-4.99)	1.0586 (35.8)	0.908	0.357	131
1985	-0.2256 (-4.77)	1.0302 (32.8)	0.903	0.336	-0.2264 (-5.67)	1.0471 (36.9)	0.907	0.361	141
1990	-0.1958 (-3.78)	1.0085 (30.4)	0.889	0.357	-0.2094 (-5.05)	1.0259 (35.4)	0.896	0.376	147
1995	-0.1883 (-3.55)	1.0106 (30.7)	0.891	0.358	-0.1115 (-2.43)	1.0125 (32.2)	0.860	0.428	169
panel : 1985,1990,1995 (random effects model) Hausman test of H_0 RE vs. FE: $\chi^2(1) = 1.77(P = 0.183)$					-0.2562 (-2.99)	1.0064 (44.1)	0.882	0.930	max 169

表 2: エネルギー消費量の GDP 弾性値 (藤田 [15])

	90 力国・地域				利用可能データ全体				
	\bar{a}_0	\bar{a}_1	R^2	SE	a_0	a_1	R^2	SE	n
1975	-0.5288 (-3.20)	0.8685 (19.2)	0.805	0.805					
1980	-0.3495 (-2.19)	0.8389 (20.2)	0.821	0.732	-0.1931 (-1.23)	0.8133 (19.5)	0.797	0.765	97
1985	-0.3271 (-1.96)	0.8390 (19.9)	0.816	0.742	-0.0515 (-0.32)	0.7945 (18.5)	0.772	0.794	102
1990	-0.1735 (-1.06)	0.8144 (20.4)	0.824	0.713	0.1769 (1.12)	0.7652 (18.3)	0.743	0.815	117
1995	-0.1187 (-0.72)	0.8066 (20.7)	0.828	0.704	0.2657 (1.83)	0.7456 (20.1)	0.773	0.771	119
panel : 1985 ~ 1995 (random effects model) Hausman test of H_0 RE vs. FE: $\chi^2(1) = 1.09(P = 0.296)$					0.3050 (2.74)	0.7281 (28.7)	0.754	0.809	max 119

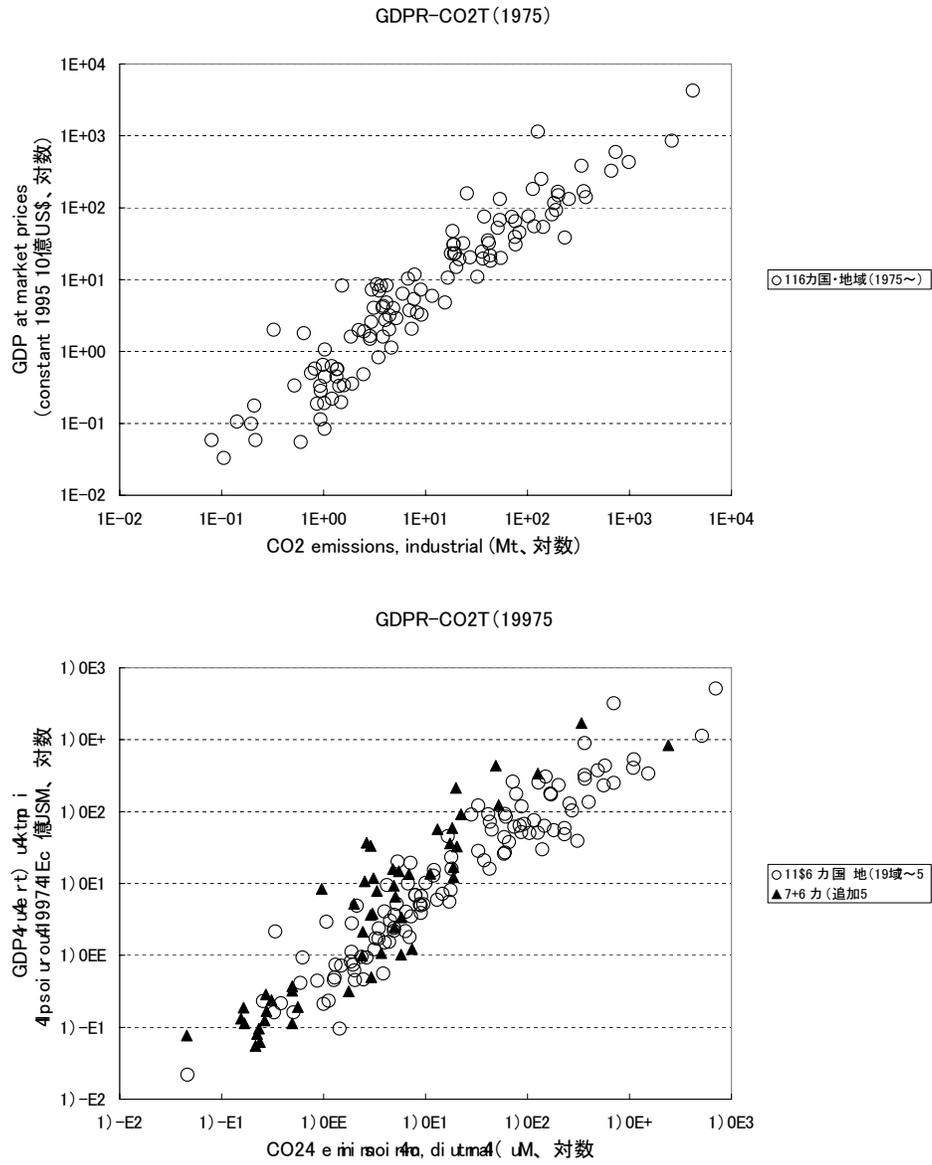
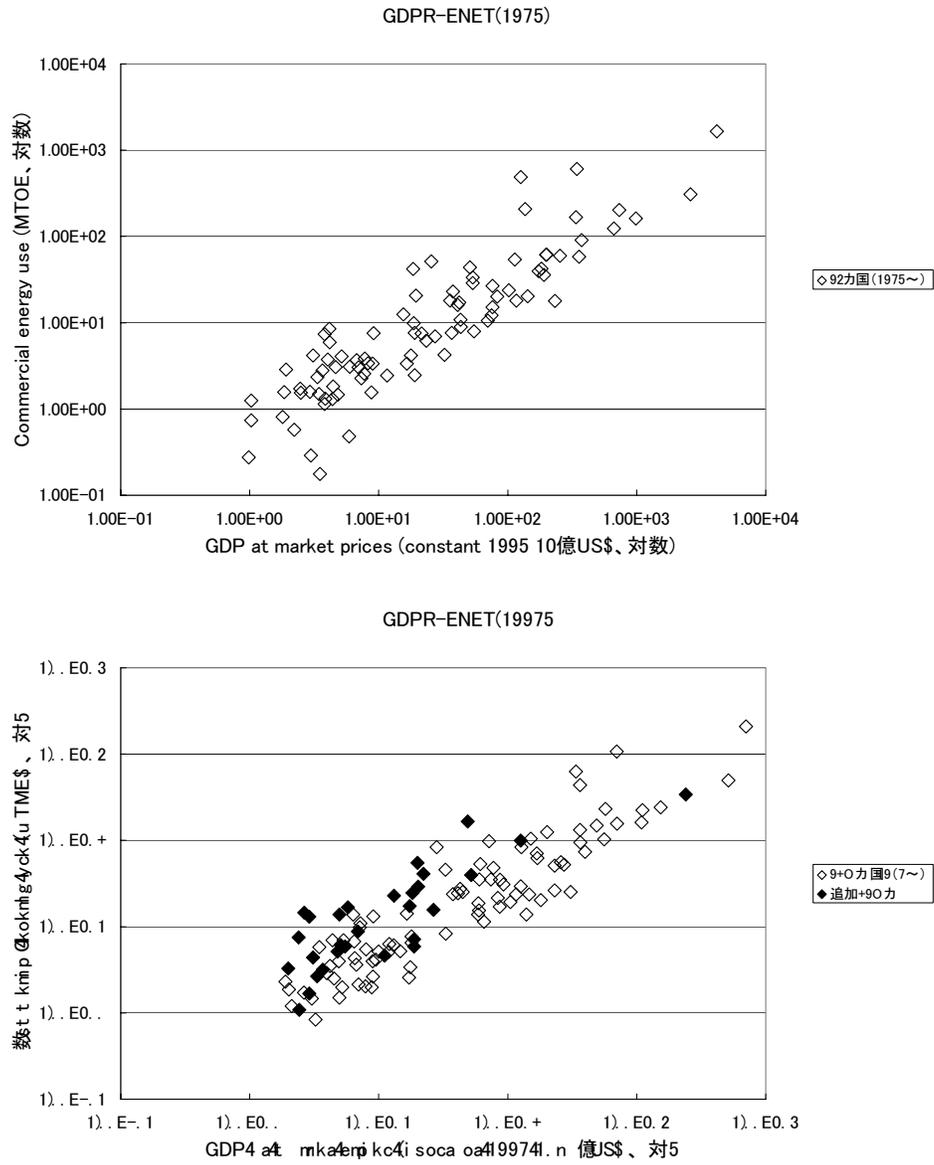


図 1: 実質 GDP と二酸化炭素排出量の関係 : 1975、1995 (藤田 [15])



二酸化炭素排出量の対 GDP 弾力性は、国・地域を基準グループのみで固定的に測っても、利用可能なデータをすべて測っても、いずれも 1975～1995 の期間にわずかながらの低下が見られる。ただし、標準誤差はやや増加気味である（表 1）。また、3 期分のパネルデータ（1985～1995、最大 169 力国・地域）に対する分析では、期別のクロスセクション分析の結果と比較して、やや二酸化炭素排出量の GDP 弾力性は低めに計測されているが、同程度であると見ることができる。この結果からは、総じて変化は少ないと考えられよう。

これに対して、二酸化炭素排出量の直接的な原因であるエネルギー消費量については、その GDP 弾力性は、基準グループのみで国・地域を固定的に測っても、利用可能なデータをすべて測っても、いずれも 1975～1995 の期間に若干の低下が見られる。（表 2）。

また、パネルデータ（1985～1995、最大 119 力国・地域）に対する分析では、エネルギー消費量の GDP 弾力性はクロスセクションでの結果と比較してかなり低めに計測された。

エネルギー消費量、および関連が深い二酸化炭素排出量の GDP 弾力性との相違は、以下のように整理できよう。

- 二酸化炭素排出量の GDP 弾力性の方がエネルギー消費量の GDP 弾力性より総じて高く計測されている。
- 二酸化炭素排出量の GDP 弾力性は、サンプルが数が多い利用可能なデータをすべて用いた方（途上国を多く含む）が高い値を示したが、エネルギー消費量の GDP 弾力性は逆にサンプルが多い方がかなり低い値を示す。
- 二酸化炭素排出量の GDP 弾力性よりも、エネルギー消費量の GDP 弾力性の方が期間内の低下傾向が強い。
- パネル分析とクロスセクション分析の比較では二酸化炭素排出量の GDP 弾力性よりもエネルギー消費量の GDP 弾力性の方が差が大きい（低い）。

これらの傾向は散布図、図 2 でも明らかであり、1975 年と 1995 年を比較すると低所得国のエネルギー消費量が増加して、クロスセクションでの傾きは減少している。またパネル分析の方がエネルギー消費量の GDP 弾力性が低く計測される、ということは平均的には時系列的にエネルギーの消費増は抑制されつつあるが、低所得国家でのエネルギー需要圧力が高いと考えられる。

また、エネルギー消費量の GDP 弾力性（1 以下）よりも二酸化炭素発生量の GDP 弾力性の方が大きい（1 以上）。これはエネルギー消費効率の向上に比較して、炭素集約度（炭素含有度の高い燃料消費）が高まっている可能性がある^(注 14)。

この結果からは、エネルギー消費効率は高所得化すればすこしずつ改善される可能性があるものの、二酸化炭素排出についてはあまり改善されていないという状況がうかがわれる。

(3) エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の関係

ここで藤田 [15] をもとに、1995 年のクロスセクションで、GDP とエネルギー消費量の関係、エネルギー消費と二酸化炭素消費の関係を見てみる。図 3 は、1995 年における、各国の工

^(注 14) たとえば電力の需要が増加すれば、発電効率があるために、発電用燃料の消費は急速に増大する。ここに重油や石炭が投入されているという可能性がある。

エネルギー消費効率 (Commercial energy use (MTOE)/GDP, PPP (current international 10 億\$)) と、エネルギー消費に対する二酸化炭素発生比率 (CO_2 emissions, industrial (Mt)/Commercial energy use (MTOE)) の関係を示したものである。グラフ内部の軸はそれぞれの平均値を通過する位置にある。ここでは 1995 年の GDP per capita, PPP が

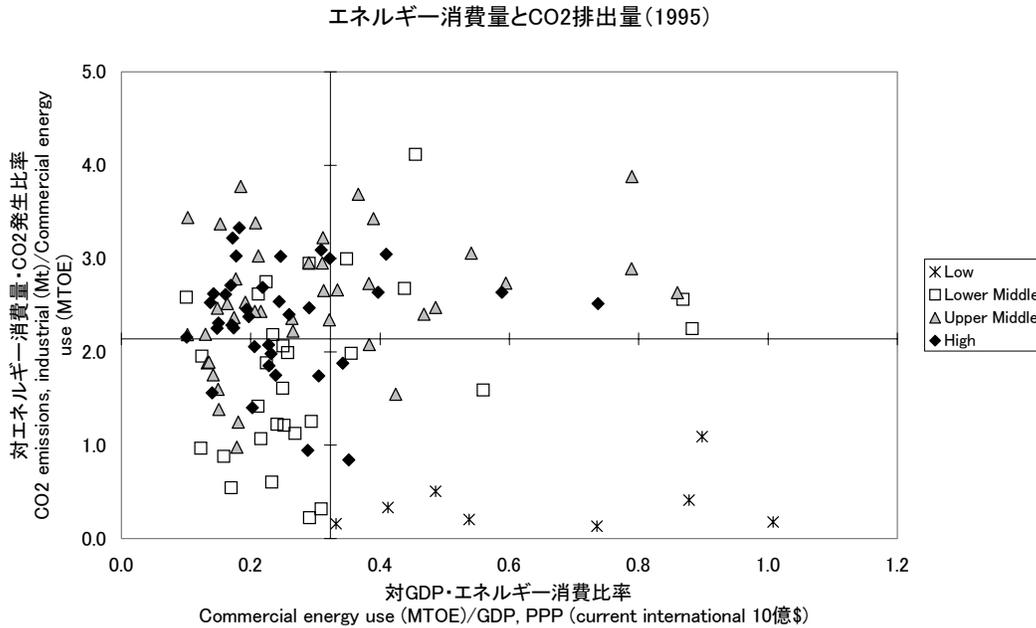


図 3: エネルギー消費と二酸化炭素消費 (藤田 [15])

ら、1000 ドル未満、1000 ドル以上 3000 ドル未満、3000 ドル以上 10000 ドル未満、10000 ドル以上の各国をそれぞれ、低所得国群 (Low)、下位中所得国群 (Lower Middle)、上位中所得国群 (Upper Middle)、高所得国群 (High) で分類してある。

ここからは以下のことを読み取ることができる。

- 低所得国群は (対 GDP) エネルギー消費効率は低い位置 (右方) にあるが、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率は低い (下方)。
- 高所得国群、上位中所得国群はエネルギー消費効率は高いものが多いが (左方)、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率はやや高まっている (中・上方)。
- 上位中所得国群は高所得国群と比較して、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率がやや高めな国・地域がある。またエネルギー消費効率が低い国も多い。ただしグループとして、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率に上位中所得国群は高所得国群の明確な差はない。
- 下位中所得国群は低所得国群と比較して、エネルギー消費効率は高いものが多いが (左方)、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率はやや高まっている。しかし高所得国群、上位中所得国群よりも平均はやや低い位置にある。

このことから、経済発展に伴って以下のような変化が生じることが類推できる。

- 低所得国群から中所得国に移行すればエネルギー消費効率は改善される可能性がある。
- しかしさらに所得が向上した場合、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率が上昇する。
- さらに所得が向上したとしても、現在の高所得国水準の二酸化炭素発生比率は、上位中所得国群と比較して特に改善されているわけではない。
- 所得が高い国の中にもエネルギー消費効率が低いものがある。

この結果、発展途上国が成長した場合、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率の上昇が、エネルギー消費効率の改善を上回る恐れや、各種要因からエネルギー消費効率が改善されないままにエネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率が上昇するといった可能性があり、世界全体では二酸化炭素発生圧力が高まりこそすれ減少しない可能性がある(注15)。

いずれにしても、これら中所得国・地域の動向が将来の世界的な二酸化炭素排出量に大きな影響を及ぼすであろうことは確実である。また分析の結果は、松岡・松本・河内[16]の主張を支持するものである。二酸化炭素発生量はエネルギー消費効率によってほぼ規定され、単独で環境指標として議論する意義は希薄である。これまでの分析結果では低所得国群を中心としてエネルギー消費効率が低く、かつ二酸化炭素発生比率も低いというグループも存在するが、中所得国家グループ以上では二酸化炭素発生比率にそれほどグループ間で差異があるわけではなく、経済成長したからといって二酸化炭素発生比率が低下していることはない。

したがって二酸化炭素排出の低減のためには、まず第一にエネルギー消費効率の向上が重要であろう。次には燃料転換やカーボン・リーケージの可能性はあるが産業構造の転換(産業連関表において国・地域間の投入係数の交換)といったこと程度しか効果のある施策は無い恐れがある。このためには経済成長のある期間に援助するといった現在選択されているような国際環境政策ではなく、より根源的な技術移転方策を見出す、ないしは自立的な技術移転の経路に新たに注目するといったことが必要になると考えられる。

2.3 エネルギー消費効率向上から見た二酸化炭素排出要因の抽出

(1) 構造要因

以上のデータ・ファインディングでは、各国・地域の経済の発展段階別のグループ内でもエネルギー消費効率が異なっていること、また使用するエネルギーの炭素集約度もそれぞれの国・地域の事情から差異があることがうかがわれる。これらの二酸化炭素排出要因

(注15) 第 象限は、エネルギー消費効率、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率ともに平均より低い国・地域を示しているが、これに含まれる高所得国は、Sweden、France、Switzerland、Finland、New Zealand、Netherlands、Belgium、Malta、Slovenia の各国である。

第 象限は、エネルギー消費効率、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率ともに平均より高い国・地域を示しているが、これに含まれる高所得国は、Bahrain、Brunei、United Arab Emirates、Singapore、Saudi Arabia である。

ほとんど平均値に位置するシンガポールを除けば、右方にあるのは産油国ばかりであり、いわゆる先進国は含まれないが、同じ第 象限には CIS 諸国や中国など、人口規模の大きな中所得国が多い。

また、第 象限の中所得国も成長にしたがって先進国並にエネルギー消費効率、エネルギー消費量に対する二酸化炭素発生比率が改善されていくかどうかは不明である。

は、経済成長に関連するもの、また関係が薄い場合もある。エネルギー消費効率は技術要因に関連し、発電などの転換部門や工場などの産業部門でのエネルギー消費技術ストックも重要であるが、究極は国・地域全域でのエネルギー消費に直接・間接に関連する広範な技術ストックの状況にかかわってくる。このためにはどのように国・地域内で技術がストックされるのか、あるいはどのようなルートで技術が国・地域内に流入するのかといったメカニズムの解明も必要であろう。

ここで対象にしている産業起因による二酸化炭素の排出とは、化石燃料の燃焼による排出およびセメント製造にともなう排出であるが、後者は前者と比較して小さいので、とりあえず前者が主であるとして分析する。

化石燃料起源の二酸化炭素排出量は、国内での生産活動に関連したエネルギー消費量、さらにそのエネルギーの炭素集約度の積で決定される。まず対 GDP エネルギー消費効率の変化要因（技術要因）を列挙すれば以下のものがある（藤田 [15]）。

- (a) 老朽化した施設などに応急手当（バンドエイド）を行うことを可能にする教育や管理力
- (b) 国・地域に特有な条件の改善能力（気候風土への対応や、エネルギー確保政策、機器設備のカスタマイズ）
- (c) 低効率の老朽設備の運休と高効率の新鋭設備への生産シフト（不況下）、また逆に低効率の老朽設備のフル稼働（好況下）
- (d) 新鋭設備や高効率・省エネルギー技術の導入（規模の効果、エネルギー転換、新プロセス、新制御技術の導入も含む）
- (e) 2次エネルギーの輸入（国内・域内での転換ロスを減らす）
- (f) 高付加価値部門への産業構造シフト（エネルギーの間接輸入を含む）
- (g) 民生・運輸部門まで含む高効率設備・機器へのリプレース

このうち、(e) 2次エネルギーの輸入や(f) 産業構造シフトはカーボン・リーケージの原因になりうる。(d) や、またそれをさらに全体に敷衍する(g) は単にストック全体の効率向上だけではなく、電力シフトや天然ガス化のようにエネルギー転換を伴うものであることは注意する必要がある。すなわち、技術的なエネルギー消費効率の改善と電力シフトなどのエネルギー転換による炭素集約度の低下は独立に生じるのではなく、技術水準の向上にともなって複合的に生じることが多い。したがって交差的な効果も考慮する必要がある。

また最初の2点(a)(b)はそれぞれの国・地域の社会が有する暗黙知に近いものであり、気候条件による冷暖房用のエネルギー需要や国土の広さや配置による交通用エネルギー需要などといったもの以外は、表面的なデータに現出することは難しいであろう。また、経済が発展すれば空調や自動車の普及も生じるため、逆にエネルギー消費が分散化、群小化して効率が低下することもある。

また、さらに二酸化炭素排出量については、このエネルギー消費量に炭素集約度を掛ければ算出可能であることから、

- (A) 石炭のシェア
- (B) 水力原子力のシェア

が基本的な要因となる。(A)は炭素集約度の高い化石燃料の使用度を示し、また(B)は見かけ上は化石燃料を消費することなく電力を供給できる。石炭中心の国から石油中心へ、さらに天然ガスへとといった燃料転換も低炭素化を実現するものであるが、藤田 [14][15]における予備分析では、(B)ほどの説明力は得られていない。

なお、これらの要因は産業構造またはエネルギー需給構造に関わるもの、あるいは社会構造や地域特性に関わるものであり、ほとんどのものが中期レンジでは構造要因としてとらえることができる。本稿で主として利用した WDI にデータベースとして直接用意されているものとしては、第 2 次産業比率 (GDP における Industry のシェア (%)) 程度であり、その他はデータを加工して作成する必要がある。入手できるエネルギーの炭素集約度あるいは非炭素系エネルギーシェアの情報は、IEA/OECD のエネルギー統計 [18] [19]、またエネルギーバランス表 [20] [21] までブレイクダウンすることが可能であるが、影響の大きな発電電源別のシェアのデータは WDI にも集約されている。また、エネルギー生産や発電量と消費量の関係についても、生産量および消費量に関するデータが WDI 内に集約されているものを使うことができる。

気候などの影響によるエネルギー消費の構造要因については、冷暖房特性として緯度や平均気温などのデータは各種の理科資料から利用可能である。ただし主要都市のデータに限定されること^(注 16)、またそれらの地点がエネルギー消費の重心であるかどうかは不明であること、大半の入手可能なデータは長期の平均気温であり時系列分析にはなじまない、といった問題がある。さらに空調用エネルギー消費に影響を及ぼすのは気温ではなく大気エンタルピーなどの熱力学的性質と建築物の平均的な構造などである^(注 17)。したがって、長期平均気温データはクロスセクション分析で利用することに限定する。多くの国々では一般的に冷房用途のエネルギー需要よりも暖房需要の方が大きいいため、気温はエネルギー需要に対して負の相関があることが期待される。

(2) 技術要因

以上の構造要因とあわせて技術要因の影響を考慮する。技術要因は構造要因と異なり、容易に変数として用意できるものではない。技術ストックの状況、技術水準の程度、いずれも定量化することは難しい。本稿では、二酸化炭素排出量抑制技術自体が比較的新しい分野であること、また蓄積はこれからであることなどから、ストックデータではなくフローの技術移転パスに注目する。すなわち、技術が各国・地域に流入するパスである、技術知識の直接購入、援助や海外からの投資、といったものをまず技術要因としてとりあげることとする。援助や海外からの直接投資、また特許やロイヤリティなどの支出、人口当たりの科学者や技術者の人数などのデータは WDI において集約されているので利用可能である。ただし、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量、また実質 GDP などの基本データと比較して、利用可能な国・地域は極端に減少するため分析に制約が加わる。

また、上記の直接的な技術の移転 (技術移転を意図した政策によるという意味で) のみに技術移転パスが限定されるわけではないことに注意する必要がある。二酸化炭素排出量の抑制技術はエネルギー消費効率向上の技術や、より一般的にはエネルギー利用技術全体

^(注 16) 途上国では国際空港でのデータしか利用できないことが多い。

^(注 17) 湿度や露点温度まで入手できなくても水温等のデータを入手できれば近似的に推定可能であり、今後の課題として考えている。

に密接に関係する。エネルギーは全部門に投入されるものであり、エネルギー利用技術に関する指標はその国・地域のエネルギー消費機器ストック全体および運用の状況の反映である。発電所や工場といったエネルギー消費や二酸化炭素排出にとって象徴的なポイントだけでなく、生活の場面全域が問題になる。極端な例としては、衣類や住宅構造、庶民のライフスタイルといったことまでも大きく作用すると考えられる。

このような広範囲な技術の変化は、生産財だけではなく一般的な消費財の普及や、それを使用するための情報を提供する大衆的なメディアや流通といったインフラ・ストラクチャーの変化まで含めて生じる。そしてこれらの技術はまず、貿易を通じて輸入された商品 (Commodity) に体化された国外技術の獲得といった形から始まると考えられる。

しかしながらこういった Commodity 領域については技術史や生活史的に定性的に取り扱われてきた。経済学において技術のスピルオーバー効果として主に着目されてきたのは R&D 活動と経済成長の議論であり、Romer 以来のモデルにおいては民間企業の利潤動機に基づく R&D 活動によりイノベーションが生じ、これを成長のエンジンとしてとらえている (Jaffe[6]、Bayoumi-Helpman[1]、Coe-Helpman[2] など)。技術進歩が生産効率に影響を及ぼすことについては、それがすべてであるかどうかの議論は別にして、おおよその研究においては異論が無いものと考えられる。しかしエネルギー消費効率も一種の生産効率に他ならず、技術進歩や生産効率水準と Commodity に体化 (embody) された技術との関係については議論が尽くされていないと考えられる。

ひとつの答えは、途上国が輸入する Commodity といえども過去の R&D 活動の成果の蓄積であり、それぞれの技術は希釈されてはいるものの、迂回してエネルギー消費効率に寄与しているというものである。また先進国ではすでに普遍化した多くの技術が希釈されて含有されているために途上国にとって受容が容易であるとともに模倣もたやすく、技術のスピルオーバーをもたらすと考えられる。このような変哲も無い Commodity を対象にしたものではないが、貿易を介した直接間接の高度技術の技術スピルオーバー効果に着目した先行的な研究として、Connolly[3] がある。

Connolly の考え方によれば、貿易、特に技術を体化したものである国外からの製品輸入は、直接的には国内生産に投入することにより生産量を増加することができるとともに、これらの製品に対するリバース・エンジニアリング (reverse-engineering) を通じて、模倣 = イミテーション (imitation) と技術革新 = イノベーション (innovation) に寄与することになる。すなわち貿易は、より高品質の資本財が国内の生産で使われることによって、単に国内の技術革新を加速するだけではなく、先進的な国外技術を継続的に利用できるというメカニズムをもつとする。さらに注目すべき点としては、上記の Connolly の論文では先進国からの直接投資からは技術のスピルオーバー効果はうかがわれなとする。このことは発展途上国の経済成長政策あるいは環境政策に重大な示唆を与えるものである。直接投資に関する同様の命題は Lichtenberg-van Pottelsberghe de la Potterie[7]、Haddad[4] なども提示している。

Connolly は、これをイノベーションについては、米国への特許許可数で、またイミテーションについては当該国での国内特許出願数で変数を代理し、高度技術製品の輸入、非高度技術製品の輸入、および直接投資などとの関係を計測している^(注 18)。貿易の影響につ

(注 18) Connolly の分析モデルは以下の形をもつ。

$$C_{it} = C(R_{it}, F_{it}, H_{it}, NH_{it}, POP_{it}, IRP_{it}, FDI_{it})$$

いての Connolly の計測では、イミテーションおよびイノベーションによる保有技術はいずれも高度技術製品の輸入と正の相関を持ち、非高度技術製品の輸入については負の相関を持つ。

単位経済活動あたりの二酸化炭素排出量（たとえば実質 GDP あたりの二酸化炭素排出量）は、エネルギー消費効率やエネルギー源の種類に深く関連している。エネルギー消費は主として発電や石油精製などの転換部門、一般の工業部門、運輸部門、民生部門などで行われるが、これらの各部門で使用する資本財をすべて内製可能な国は限られている。発電プラントや自動車などをはじめ、多くの国々では一部の先進国も含め輸入に依存しているのが現状である。したがって二酸化炭素排出量抑制にかかわる技術の多くも貿易を通じて移転していると考えられる。

民生用のエネルギー消費機器（給湯・空調機器や家電製品など）も生活スタイルとともに輸入されるし、また伝統的な民生用機器からの転換にともない、消費されるエネルギーも電力や都市ガスに変化し、それは遡及して発電所などのエネルギー変換部門のリプレースや新增設を生起して、さらに先進国からの工業製品の輸入を促進する。

国産化や輸出国化が進捗した場合でも、多くの国々では先進国からの中間製品や生産財の輸入が増加する傾向があり、長期的にはコスト削減の立場からエネルギー消費効率を向上させる目的や、制御性向上のために、電力や天然ガスなどの低炭素エネルギー源を使用する先進技術の蓄積が輸入を通じて浸透していると考えられる。

Connolly 流の仮説に従えば、貿易、特に製品の輸入は利用できる技術水準や生活上の要求を向上させ経済成長を促すが、さらにそれに従い各国の二酸化炭素排出量水準に増加要因として作用することになる。しかしながら、二酸化炭素排出量抑制技術の浸透も起こるために、同時に単位経済活動あたりの二酸化炭素排出量を減少させる方向にも作用するはずである。また、これらの貿易品目は高度技術によるものだけでなく、汎用の commodity 領域にまで及ぶ可能性がある。

以下の分析においては上記の仮説を検証するため、技術要因としてさらに貿易の効果を計測する。まず、工業製品とそれ以外の品目を対象とし、さらに工業製品の品目までブレークダウンを行う。工業製品とそれ以外の品目については WDI でデータを作成可能であるが、それ以上の細分類については国連貿易統計を用いる。藤田 [14][15] においても同様の計測を行ったが、本稿ではさらに最近までのデータを追加することにより、推定値の安定を調べている。

$$I_{it} = I(R_{it}, F_{it}, H_{it}, NH_{it}, POP_{it}, IRP_{it}, FDI_{it})$$

C_{it} : imitation proxy、 I_{it} : innovation proxy

R_{it} : quality-adjusted research (per capita)

F_{it} : per capita measure of the transportation and communication infrastructure level

H_{it} : imports of high technology goods from DCs (per GDP)

NH_{it} : imports of all goods other than high technology goods from DCs (per GDP)

POP_{it} : domestic population

IRP_{it} : IPRs (intellectual property rights protection index)

FDI_{it} : inflows of foreign direct investment

3 二酸化炭素排出水準に対する構造要因・技術要因の効果

3.1 基本モデルの構造とデータセット

生産にともなうエネルギー消費、エネルギーの炭素集約度、構造要因、および技術の獲得水準により二酸化炭素排出水準が説明されるとして、以下のモデルをベースモデルとする。変数はいずれも対数であるが、零値あるいは負値をとりうるものは対数に変換せずそのまま用いる。また分析の目的によって変数を省略する。

二酸化炭素排出量を対象とするモデルと、エネルギー消費量を対象とするモデルは同じ構造とし、推定されたパラメータの相違からエネルギー消費効率への影響と、炭素集約度のコントロールに関する情報を推論する。基本モデルはプーリングされたパネルデータを対象にしている。

$$Y_{it} = a_0 + a_1 GDP_{it} + a_2 IND_{it} + a_3 NOC_{it} + a_4 TMP_i \\ + a_5 ELX_{it} + a_6 ENX_{it} + a_7 AID_{it} + a_8 FDI_{it} \\ + a_9 PAT_{it} + a_{10} IM_{it} + a_{11} NIM_{it} + e_{it} \quad (4)$$

$$Y_{it} = CO2T_{it}, \text{ または } Y_{it} = ENET_{it}$$

$CO2T_{it}$: CO_2 排出量 (CO_2Mt)

$ENET_{it}$: 商用エネルギー消費量 ($MTOE$)

GDP_{it} : 実質 GDP (constant 1995 10 億 US\$)

IND_{it} : 第 2 次産業比率 (% of GDP)

NOC_{it} : 総発電量に占める非化石燃料起源の発電量比率 (%)

TMP_i : 平均気温 (degree)

ELX_{it} : 発電量と消費電力量の比 (%)

ENX_{it} : エネルギー生産量と消費量の比 (%)

AID_{it} : 海外からの援助額 (% of GDP)

FDI_{it} : 海外からの直接投資額 (% of GDP)

PAT_{it} : 特許料およびライセンス料の支払い額 (% of GDP)

IM_{it} : 製造業品目の輸入額 (% of GDP)

NIM_{it} : 非製造業品目の輸入額 (% of GDP)

i : 国、地域の指標

t : 年次

$e_{it} = \alpha_i + v_{it}$, ただし

$E(x_{it}v_{jt}) = 0$, $E(v_{it}) = 0$, $E(v_{it}v_{js}) = 0$ ($i \neq j$, $t \neq s$), $E(v_{it}^2) = \sigma_v^2$

また、fixed effect: $E(\alpha_i x_{it}) = 0$ を仮定する。

なお、クロスセクション分析など時系列の分析を行わない場合には、添字 t を除去するとともに、誤差項も標準線型回帰モデルの仮定にしたがう e_i とする。

(1) 構造要因変数

第 2 次産業比率 (IND) は、産業構造による二酸化炭素排出要因を説明するもので、エネルギー集約的な生産の程度を反映する。これは製造業および運輸部門による付加価値比

率である。また同等のエネルギーを消費しても、炭素集約度の高い石炭等の化石エネルギーの比率が高ければ相対的に二酸化炭素排出量は増加するし、逆に水力や原子力といった非化石エネルギーの比率が高ければ相対的に低下する。ここでは前述のように藤田 [14][15]での準備的分析の結果、石炭の比率を用いるよりも、水力発電および原子力発電のシェアを用いた方が回帰効率が良好であることを確認できたので、両者の総発電量に占める比率の和 (NOC) を用いている。期待されるパラメータの符号は二酸化炭素排出量に対して負の相関である。

気温の低い国・地域においては暖房用途のエネルギー消費が相対的に増加する。これは民生用途においては石炭などの比較的low価格の炭素集約度の高い化石燃料に依存しがちであること、また簡単な装置により小規模分散で燃焼されるために低効率であることが多く、同様の経済水準であっても温暖な地域よりもエネルギー消費量および二酸化炭素排出量が増加しやすい効果を反映したものである。ただし平均気温 (TMP) であるので、時系列での分析の際には省略する。変数の単位は摂氏温度であり、期待されるパラメータの符号は負である。

発電量と消費電力量の比 (ELX)、エネルギー生産量と消費量の比 (ENX) はそれぞれ国内での生産量 (発電量) を消費量で除したものである。前者は域外からの電力購入が多ければその値は1以下になる^(注 19)。域外からの電力に依存する場合は、域内での発電にともなう二酸化炭素排出量はその分減少する。期待されるパラメータの符号は負である。また後者はエネルギーの生産・輸出国においては相対的にエネルギー価格が低く、その結果効率向上が遅れたり、また国産エネルギーに依存して二酸化炭素排出量が増える可能性を考えている。しかし統計上2次エネルギーも含むので、逆にエネルギー消費効率が高くなる可能性もある。エネルギー需給構造の影響を測るためにこの変数を用意している。

(2) 技術要因変数

途上国において、エネルギーの低炭素転換や省エネルギー化も含めて高効率化できる機会は、主としてなんらかの技術の導入であると考えられる。このため海外からの援助 (AID)、直接投資 (FDI)^(注 20) による設備を通じて得られるもの、ロイヤリティやライセンス料 (PAT) を支払うことにより国内に技術を移転する直接的なものをまず選んだ。

さらに以上の直接的な技術流入だけではなく、貿易によって国内に流入する高品質・高機能な先進国の生産財・消費財を使用することにより間接的に流入する技術による効率向上の測定を考える。このため、製造業品目の輸入額 (IM) および非製造業品目の輸入額 (NIM) を対にしてモデルに加えることにより、技術の集約度の異なる商品の輸入の効果を調べる。包含される技術が何らかの効率向上をもたらすならば、期待される (IM) のパラメータの符号は負になるはずである。

なお、製造業品目の輸入は輸出国におけるエネルギー消費、ひいては二酸化炭素排出によってなされるものであり、カーボン・リーケージ効果も含むと考えられる。したがって

(注 19) 送配電損失を考慮して計算した。

(注 20) 藤田 [15] においては、国・地域の統一的な取り扱いから利用可能な net inflow データを用いた。このため純粋な in 方向の海外直接投資のみを分離していなかった。本稿ではさらに国際投資データが整備されたことをうけて、in 方向のみのデータを分離、作成した。ただし技術水準を表す変数とするならば outflow まで考える必要がある可能性もあり、他の変数も含めて変数としての妥当性の検討は今後の課題としている。

間接的な技術移入による効率化と二酸化炭素排出の回避（移転）の効果を識別するためにはさらに輸入商品をブレークダウンする必要がある。輸入商品別の炭素集約度の考慮については次の段階で分析を行う。（注 21）。

前述のように、以上のデータセットは平均気温データ（*TMP*）以外は、WDI（The 2002 World Development Indicators, The World Bank）[25] から加工して作成することができる（注 22）。

3.2 クロスセクション分析

(1) 構造要因の影響

パネル分析の効果を確認するため、分析に先立ってクロスセクション分析を行った。技術要因をあらゆる変数まで利用可能なデータセットを作成すると、対象となる国・地域の数が限定されるため、まずある程度の国・地域数を確保できる構造要因のみに限定したモデルで計測を行った。ついで、サンプル数は減少するが、技術要因変数を加えたデータセットで同じくクロスセクション分析を行った。利用可能な最新のデータは1998年であり、これと藤田 [15] による1985年、1990年、1995年の各断面での分析結果と比較した。

用いたモデルは、式 (4) で、構造要因のみを残した以下のモデルである。パラメータ推定はOLSによる。推定結果を表3に示す。

$$Y_i = a_0 + a_1GDPR_i + a_2IND_i + a_3NOC_i + a_4TMP_i + a_5ELX_i + a_6ENX_i + e_i \quad (5)$$

構造要因についてのクロスセクション分析においては、二酸化炭素排出量は、実質GDP（*GDPR*）、第2次産業比率（*IND*）、そして総発電量に占める非化石燃料起源の発電量比率（*NOC*）に関しては、全期においてモデルの仮定を満たす説明力を有している。平均気温（*TMP*）が1995年以降で有意なのは、気候要因により安価で低品質な石炭系の燃料を多用している旧ソ連邦、および東欧の国々に関して1990年以前のデータが利用不可能であることに起因すると考えられる。データセットが充足すれば説明変数として重要であることが示されていると見てよい。

これに対して、エネルギー消費量に対する分析においては実質GDP（*GDPR*）以外に全期において有意な説明力を有しているものは計測されなかった。

以上ではエネルギー消費は経済活動に非常に密接に関係していること、二酸化炭素排出に関しては使用する燃料の炭素集約度が、産業構造、発電源の状況によって異なるので、

(注 21) もっとも直接的にカーボン・リーケージを生じる可能性が高い電力の輸入は非製造業品目の輸入額（*NIM*）に含まれており、技術が含まれていると目される、製造業品目の輸入額（*IM*）とは分離している。電力の輸入は構造変数 *ELX*（発電量と消費電力量の比）の持つ情報と重複するが、これも深刻な多重共線関係が見られない限り、輸入電力の水準と電力の自給率では別な情報を含んでいるとして、特別に控除するという事は行っていない。次の段階の分析である貿易品目の細分化において、輸入電力の情報は貿易品目の方に一本化する。

(注 22) 平均気温データは各国の首都あるいは主要都市の長期平均気温データを理科年表 [32]（大半は1961年～1990年の平均値）、および、World Climate: Weather rainfall and temperature data（World Climate: Weather rainfall and temperature data（<http://www.worldclimate.com/>））から検索している。後者は利用するデータベースによって平均値計測期間はさまざまである。これは The Global Historical Climatology Network (GHCN) をデータソースとしているが、これも前記の CDIAC と ESD によるものである。

Model		1985			1990			1995			1998		
dep.	<i>CO2T</i>												
indep.	a_0	-1.721			-3.098		***	-2.684		***	-6.420		***
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(-1.42)	(0.16)		(-2.79)	(0.01)		(-2.56)	(0.01)		(-5.72)	(0.00)	
	<i>GDPR</i>	0.899		***	0.871		***	0.764		***	0.733		***
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(17.80)	(0.00)		(19.11)	(0.00)		(19.47)	(0.00)		(17.40)	(0.00)	
	<i>IND</i>	0.700		***	1.050		***	1.458		***	1.091		***
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(2.56)	(0.01)		(4.06)	(0.00)		(5.52)	(0.00)		(3.80)	(0.00)	
	<i>TMP</i>	-0.045			0.041			-0.350		***	-0.316		***
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(-0.22)	(0.83)		(0.23)	(0.82)		(-2.55)	(0.01)		(-2.14)	(0.03)	
	<i>NOC</i>	-0.008		***	-0.008		***	-0.009		***	-0.012		***
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(-3.44)	(0.00)		(-3.52)	(0.00)		(-4.09)	(0.00)		(-5.28)	(0.00)	
	<i>ELX</i>	0.000			0.000			0.000			0.000		
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(-0.17)	(0.87)		(-0.72)	(0.47)		(-0.01)	(0.99)		(0.16)	(0.87)	
	<i>ENX</i>	0.000			0.000			0.000			0.000		
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(-0.76)	(0.45)		(-0.11)	(0.91)		(-1.12)	(0.27)		(-0.95)	(0.34)	
	<i>SE</i>	0.70			0.67			0.69			0.73		
	\bar{R}^2	0.88			0.89			0.87			0.84		
	<i>n</i>	84			90			99			107		
dep.	<i>ENET</i>												
indep.	a_0	0.867			-0.973			-1.498			-4.966		***
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(0.67)	(0.51)		(-0.79)	(0.43)		(-1.32)	(0.19)		(-4.24)	(0.00)	
	<i>GDPR</i>	0.828		***	0.794		***	0.711		***	0.699		***
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(15.40)	(0.00)		(15.79)	(0.00)		(16.76)	(0.00)		(15.94)	(0.00)	
	<i>IND</i>	-0.386			0.077			0.678		***	0.214		
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(-1.32)	(0.19)		(0.27)	(0.79)		(2.38)	(0.02)		(0.72)	(0.48)	
	<i>TMP</i>	0.184			0.281			-0.055			-0.012		
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(0.86)	(0.39)		(1.42)	(0.16)		(-0.37)	(0.71)		(-0.08)	(0.94)	
	<i>NOC</i>	0.000			0.000			-0.002			-0.003		
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(0.07)	(0.94)		(0.15)	(0.89)		(-1.06)	(0.29)		(-1.12)	(0.26)	
	<i>ELX</i>	-0.002			0.000			0.000			0.000		
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(-0.88)	(0.38)		(-0.80)	(0.43)		(-0.24)	(0.81)		(0.52)	(0.61)	
	<i>ENX</i>	0.000			0.000			-0.001		*	0.000		
	(<i>t</i>) (<i>p</i>)	(0.19)	(0.85)		(-0.75)	(0.45)		(-1.62)	(0.11)		(-0.95)	(0.35)	
	<i>SE</i>	0.75			0.74			0.75			0.76		
	\bar{R}^2	0.80			0.80			0.79			0.76		
	<i>n</i>	84			90			99			107		

*** : 5%有意水準、** : 10%有意水準、* : 15%有意水準

表 3: 構造要因に関するクロスセクション分析

それが反映していること。また民生用では途上国ではなかなか低炭素の燃料に転換できていないことなど、直感的に理解できる状況が示されている。

(2) 構造要因と技術要因の影響

次にデータセットのサンプル数は減少するが、技術要因を含めたモデルでの計測結果を示す。用いたモデルは以下ようになる。これもパラメータ推定はOLSによる。推定結果を表4に示す。利用可能な最新のデータは1998年であり、同じくこれと藤田[15]による1985年、1990年、1995年の各断面での分析結果と比較している。なお、1995年に関してはデータ利用可能な国地域が増加したので、最新のデータで再推定している。

$$\begin{aligned}
 Y_i = & a_0 + a_1GDPR_i + a_2IND_i + a_3NOC_i + a_4TMP_i \\
 & + a_5ELX_i + a_6ENX_i + a_7AID_i + a_8FDI_i \\
 & + a_9PAT_i + a_{10}IM_i + a_{11}NIM_i + e_i \quad (6)
 \end{aligned}$$

先の構造要因のみのクロスセクション分析の場合よりもデータ利用可能な国・地域が限定されているが、二酸化炭素排出量に関する要因は、実質GDP(*GDPR*)、第2次産業比率(*IND*)のパラメータの符号は正で、そして総発電量に占める非化石燃料起源の発電量比率(*NOC*)については負で、計測結果は安定している。技術要因を加味すると、平均気温(*TMP*)の効果が失われている。サンプルに比較して説明変数が多いことから、多

Model		1985		1990		1995		1998					
dep.	<i>CO2T</i>												
indep.	a_0	1.304 (0.52)	(0.61)	-2.983 (-1.40)	(0.17)	-7.775 (-3.92)	(0.00)	***	-6.264 (-3.39)	(0.00)	***		
	<i>GDPR</i>	0.895 (13.86)	(0.00)	***	0.907 (13.23)	(0.00)	***	0.757 (12.00)	(0.00)	***	0.688 (10.06)	(0.00)	***
	<i>IND</i>	0.501 (1.21)	(0.23)		1.288 (3.34)	(0.00)	***	1.408 (3.33)	(0.00)	***	1.492 (3.52)	(0.00)	***
	<i>TMP</i>	-0.051 (-0.25)	(0.81)		-0.188 (-0.85)	(0.40)		-0.145 (-0.84)	(0.41)		-0.266 (-1.47)	(0.15)	*
	<i>NOC</i>	-0.012 (-4.74)	(0.00)	***	-0.012 (-4.61)	(0.00)	***	-0.012 (-4.64)	(0.00)	***	-0.013 (-4.48)	(0.00)	***
	<i>ELX</i>	-0.311 (-0.83)	(0.41)		0.092 (0.32)	(0.75)		0.000 (0.29)	(0.77)		0.000 (0.35)	(0.73)	
	<i>ENX</i>	0.000 (0.03)	(0.97)		0.000 (-0.22)	(0.83)		0.000 (-0.91)	(0.37)		0.000 (0.27)	(0.79)	
	<i>AID</i>	-0.041 (-0.57)	(0.57)		0.006 (0.09)	(0.93)		0.010 (0.34)	(0.73)		-0.014 (-0.40)	(0.69)	
	<i>FDI</i>	-0.016 (-0.32)	(0.75)		0.053 (1.82)	(0.08)	**	0.046 (1.16)	(0.25)		-0.010 (-0.57)	(0.57)	
	<i>PAT</i>	-0.436 (-0.67)	(0.51)		-0.694 (-1.09)	(0.28)	*	-0.340 (-2.31)	(0.03)	***	-0.139 (-1.78)	(0.08)	**
	<i>IM</i>	-0.143 (-0.72)	(0.48)		-0.335 (-1.47)	(0.15)	*	-0.293 (-1.47)	(0.15)	*	-0.336 (-1.62)	(0.11)	*
	<i>NIM</i>	-0.150 (-0.83)	(0.41)		0.024 (0.10)	(0.92)		0.074 (0.36)	(0.72)		-0.035 (-0.15)	(0.88)	
	<i>SE</i>	0.58		0.60		0.55		0.63					
	\bar{R}^2	0.91		0.90		0.89		0.88					
	<i>n</i>	61		62		61		64					
dep.	<i>ENET</i>												
indep.	a_0	3.420 (1.48)	(0.15)	*	-0.884 (-0.42)	(0.68)		-7.775 (-3.92)	(0.00)	***	-4.035 (-2.21)	(0.03)	***
	<i>GDPR</i>	0.896 (15.04)	(0.00)	***	0.877 (12.98)	(0.00)	***	0.757 (12.00)	(0.00)	***	0.716 (10.60)	(0.00)	***
	<i>IND</i>	-0.248 (-0.65)	(0.52)		0.570 (1.50)	(0.14)	*	1.408 (3.33)	(0.00)	***	0.308 (0.74)	(0.47)	
	<i>TMP</i>	0.102 (0.54)	(0.59)		0.166 (0.76)	(0.45)		-0.145 (-0.84)	(0.41)		-0.152 (-0.85)	(0.40)	
	<i>NOC</i>	-0.004 (-1.70)	(0.10)	**	-0.004 (-1.68)	(0.10)	**	-0.012 (-4.64)	(0.00)	***	-0.007 (-2.44)	(0.02)	***
	<i>ELX</i>	-0.523 (-1.51)	(0.14)	*	-0.179 (-0.62)	(0.54)		0.000 (0.29)	(0.77)		0.000 (0.32)	(0.75)	
	<i>ENX</i>	0.000 (0.72)	(0.48)		0.000 (0.23)	(0.82)		0.000 (-0.91)	(0.37)		0.000 (0.46)	(0.65)	
	<i>AID</i>	-0.103 (-1.55)	(0.13)	*	-0.076 (-1.11)	(0.27)		0.010 (0.34)	(0.73)		0.020 (0.56)	(0.58)	
	<i>FDI</i>	0.083 (1.77)	(0.08)	**	0.081 (2.80)	(0.01)	***	0.046 (1.16)	(0.25)		-0.019 (-1.12)	(0.27)	
	<i>PAT</i>	-0.905 (-1.51)	(0.14)	*	-0.623 (-0.99)	(0.33)		-0.340 (-2.31)	(0.03)	***	-0.111 (-1.43)	(0.16)	
	<i>IM</i>	-0.167 (-0.91)	(0.37)		-0.007 (-0.03)	(0.98)	*	-0.293 (-1.47)	(0.15)	*	-0.407 (-1.99)	(0.05)	**
	<i>NIM</i>	-0.133 (-0.80)	(0.43)		-0.382 (-1.58)	(0.12)	*	0.074 (0.36)	(0.72)		0.141 (0.61)	(0.54)	
	<i>SE</i>	0.54		0.59		0.57		0.62					
	\bar{R}^2	0.89		0.87		0.86		0.85					
	<i>n</i>	61		62		61		64					

*** : 5%有意水準、** : 10%有意水準、* : 15%有意水準

表 4: 構造要因・技術要因に関するクロスセクション分析

重共線性についてはその可能性があることを注意しておく必要があるだろう。

なお、エネルギー消費量については、構造要因のみの分析の場合と同様、全期で実質GDP ($GDPR$) が有意に計測された他、総発電量に占める非化石燃料起源の発電量比率 (NOC) が後半で有意になっている。

これ以外に、特に技術要因については全期において有意な説明力を有しているものは計測されなかった。

クロスセクション分析では、各国・地域の構造要因の影響に対してはその差異をある程度示すことが可能であったが、技術要因に関してはそれほど有意な結果は得られなかった。この結果は藤田 [15] と同様であり、最新のデータを用いても長期的な変化しか期待できない構造要因に対して、技術要因については比較的短期的に変動するものであり、グローバルな経済活動下において各国・地域が似たような変化をしているような場合であれば、クロスセクション分析により計測することは難しい可能性がある。このため直接、間接の技術移転による効果などは、時系列方向の分析を必要とすると考えら、サンプル数を増やすことも含めてパネル分析を適用することは妥当であろう。

3.3 技術要因を考慮したパネル分析

(1) モデルの選択

二酸化炭素排出量およびエネルギー消費量に影響を及ぼす構造要因、および技術要因の効果を同時に計測するために、各期のデータセットをプールし、パネル分析を行った。モデルは式 (4) の形のものを用いるが、平均気温 (TMP) はそれぞれの国・地域で観測期間を通じて同じデータであり、各国・地域の属性となり個別効果 (individual effect) として考慮されるのでモデルから除去しておく。パラメータ推定は以下のような固定効果モデル (fixed effect model) を対象としている。

$$Y_{it} = a_0 + a_1GDPR_{it} + a_2IND_{it} + a_3NOC_{it} \\ + a_5ELX_{it} + a_6ENX_{it} + a_7AID_{it} + a_8FDI_{it} \\ + a_9PAT_{it} + a_{10}IM_{it} + a_{11}NIM_{it} + e_{it} \quad (7)$$

ここで、誤差項 $e_{it} = \alpha_i + v_{it}$ は同様に、モデル (4) で仮定したものである^(注 23)。なお、プールデータは非バランスである^(注 24)。

(2) データセットの作成

各国・地域の経済発展の状況により技術要因の存在、およびその作用の程度が異なる可能性があり、プールデータ全体だけではなく、所得階層で分類したグループ別のデータ

^(注 23) いくつかの所得階層別のデータセットによるケースでは α_i を確率変数として扱う変量効果モデル (Random effect model) として特定化可能であるが (Hausmann test による)、すべてのクラスに対して変量効果モデルの特定化を図れないので、ここでは固定効果モデルでの分析にとどめる。本稿に示した分析結果はすべてプールデータに対するパラメータ推定の結果、定数項 α_i は全体で共通という帰無仮説を棄却できたものである。

^(注 24) バランス化を行うとさらに利用できるデータ数に制約が生じること、またデータの整備が進んでいる特定の先進国に偏ることを防ぐためにそのまま用いた。

セットに対する分析も行った。なお、藤田 [15] では per capita GDP による単純なグループ化^(注 25)を行ったが、本稿では WDI の Classification of economies による、1. 低所得国家グループ (Low income group)、2. 下位中所得国家グループ (Lower-middle income groupe)、3. 上位中所得国家グループ (Upper-middle income groupe)、4. OECD 加盟高所得国家 (High income OECD group)、5. OECD 非加盟高所得国家 (High income non-OECD group) の分類を用いた^(注 26)。以前の分析との比較において、グルーピング間で国家・地位の移動があるため単純に比較は難しいが、推定されたパラメータの安定性については議論は可能である。この各グループについては、必要があればグループを統合して分析を行う。

(3) 分析結果

表 5 に二酸化炭素排出量、およびエネルギー消費量に関するパネル分析結果を示す。分析は WDI による所得別の 5 分類それぞれと全体に対しての合計 6 データセットに対して行ったが、ここでは要約として低所得 (Low income group : 1)、中所得 (Middle income groupe : 2,3)、高所得 (High income group : 4,5) および全体での、統合したデータセット (1,2,3,4,5) に対するものについてのみ示す。推定結果はグルーピングが異なる藤田 [15] と比較して、主要な指標に関しては安定している。

以下、説明変数別に分析結果を整理するとともに、クロスセクション分析、および過去の推定結果と比較を行う。

(4) 構造要因との関係

実質 GDP (*GDPR*) については、エネルギー消費量および二酸化炭素排出量ともに推定されたパラメータの符号はすべて正で有意に計測されている。またこれは先のクロスセクション分析と同様である。

第 2 次産業比率 (*IND*) については、エネルギー消費量ではすべてのグループについて推定されたパラメータの符号は負で、有意な相関がある。これに対して二酸化炭素排出量では、中位所得グループのみ正で有意に計測されているだけである (クロスセクション分析ではエネルギー消費量に対してはほとんど有意ではなく、二酸化炭素排出量では同じように 1990 年以降ではパラメータは有意に正符号で推定されている)。産業化はエネルギー消費効率の向上と相関するが、中所得の途上国群では二酸化炭素排出増と関係していることになる。クロスセクションのエネルギー消費量での分析で計測されないということは、エネルギー消費量と産業化の度合いの関係は国別ではかなり異なるが、それぞれの内部ではエネルギー消費構造にともなう因果関係があり、時系列では相関を持つことが多いとい

^(注 25) この分析では per capita GDP で各国・地域をクラスに分け、それぞれに対してパネル分析を同時に行った。1995 年値で、1000 ドル未満、1000 ドル以上 3000 ドル未満、3000 ドル以上 10000 ドル未満、10000 ドル以上の区分により、それぞれ Low income、Lower Middle income、Upper Middle income、High income の諸国・諸地域としてクラス分けしている。

^(注 26) 2000 年の GNI per capita において、低所得国家グループは \$755 以下、下位中所得国家グループは \$755 ~ \$2,995、上位中所得国家グループは \$2,995 ~ \$9,266、高所得国家グループは \$9,266 以上である。欧州通貨同盟 (EMU) の 11 カ国は高所得国家グループにに含まれる。なお高所得国家グループは OECD 加盟国とそれ以外に分類されている (WDI user guide)。

Model		Low			Middle			High			Total		
dep.	<i>CO2T</i>												
indep.	<i>GDPR</i>	0.872 (8.35)	(0.00)	***	1.055 (31.77)	(0.00)	***	0.482 (6.35)	(0.00)	***	1.003 (34.16)	(0.00)	***
	<i>IND</i>	0.214 (1.58)	(0.12)	*	0.309 (5.04)	(0.00)	***	-0.135 (-1.45)	(0.15)	*	0.214 (4.39)	(0.00)	***
	<i>NOC</i>	-0.003 (-1.50)	(0.14)	*	-0.003 (-5.28)	(0.00)	***	-0.009 (-9.76)	(0.00)	***	-0.004 (-6.39)	(0.00)	***
	<i>ELX</i>	-0.436 (-3.14)	(0.00)	***	0.128 (4.69)	(0.00)	***	0.455 (3.77)	(0.00)	***	0.051 (1.76)	(0.08)	**
	<i>ENX</i>	0.001 (4.16)	(0.00)	***	0.000 (-2.52)	(0.01)	***	0.000 (2.38)	(0.02)	***	0.000 (1.29)	(0.20)	
	<i>AID</i>	0.005 (1.35)	(0.18)		-0.015 (-4.60)	(0.00)	***	-0.051 (-2.63)	(0.01)	***	-0.001 (-0.28)	(0.78)	
	<i>FDI</i>	0.061 (1.91)	(0.06)	**	0.009 (2.54)	(0.01)	***	-0.004 (-1.60)	(0.11)	*	0.000 (0.05)	(0.96)	
	<i>PAT</i>	0.362 (0.86)	(0.39)		-0.068 (-0.95)	(0.34)		0.008 (0.63)	(0.53)		-0.062 (-3.85)	(0.00)	***
	<i>IM</i>	0.052 (0.65)	(0.52)		0.050 (2.08)	(0.04)	***	0.025 (0.52)	(0.60)		0.071 (3.05)	(0.00)	***
	<i>NIM</i>	0.078 (1.64)	(0.10)	*	0.015 (0.75)	(0.46)		-0.042 (-1.08)	(0.28)		0.064 (3.65)	(0.00)	***
	<i>SE</i>	0.24			0.13			0.09			0.16		
	<i>R²</i>	0.988			0.993			0.997			0.992		
	<i>Narea/Nobs</i>	21	198		47	619		25	366		93	1183	
	<i>Tmin/Tmax</i>	1	19		1	19		3	19		1	19	
dep.	<i>ENET</i>												
indep.	<i>GDPR</i>	0.720 (27.63)	(0.00)	***	0.995 (45.34)	(0.00)	***	0.744 (16.40)	(0.00)	***	0.946 (62.07)	(0.00)	***
	<i>IND</i>	-0.083 (-2.46)	(0.02)	***	-0.133 (-3.27)	(0.00)	***	-0.159 (-2.85)	(0.01)	***	-0.170 (-6.72)	(0.00)	***
	<i>NOC</i>	-0.003 (-5.42)	(0.00)	***	-0.001 (-2.83)	(0.01)	***	-0.003 (-5.47)	(0.00)	***	-0.002 (-5.11)	(0.00)	***
	<i>ELX</i>	-0.021 (-0.60)	(0.55)		0.105 (5.82)	(0.00)	***	0.500 (6.93)	(0.00)	***	0.092 (6.07)	(0.00)	***
	<i>ENX</i>	0.000 (-5.94)	(0.00)	***	-0.001 (-11.90)	(0.00)	***	0.000 (-5.95)	(0.00)	***	-0.001 (-15.70)	(0.00)	***
	<i>AID</i>	0.005 (5.72)	(0.00)	***	-0.005 (-2.49)	(0.01)	***	-0.085 (-7.38)	(0.00)	***	0.002 (2.34)	(0.02)	***
	<i>FDI</i>	0.006 (0.80)	(0.43)		0.002 (0.88)	(0.38)		0.001 (0.54)	(0.59)		0.002 (1.03)	(0.30)	***
	<i>PAT</i>	-0.013 (-0.12)	(0.90)		0.088 (1.87)	(0.06)	**	-0.018 (-2.33)	(0.02)	***	-0.039 (-4.64)	(0.00)	***
	<i>IM</i>	-0.005 (-0.24)	(0.81)		-0.059 (-3.72)	(0.00)	***	0.083 (2.91)	(0.00)	***	-0.028 (-2.32)	(0.02)	***
	<i>NIM</i>	-0.027 (-2.28)	(0.02)	***	0.004 (0.34)	(0.74)		-0.090 (-3.89)	(0.00)	***	-0.010 (-1.05)	(0.29)	
	<i>SE</i>	0.06			0.09			0.06			0.08		
	<i>R²</i>	0.999			0.996			0.999			0.997		
	<i>Narea/Nobs</i>	21	198		47	619		25	366		93	1183	
	<i>Tmin/Tmax</i>	1	19		1	19		3	19		1	19	

*** : 5%有意水準、** : 10%有意水準、* : 15%有意水準

表 5: 二酸化炭素排出量・エネルギー消費量と構造・技術要因 (panel 分析)

うことが考えられる。また中所得の途上国群では産業化に伴って炭素集約度の高い燃料を消費する機会が増えている可能性がある。

総発電量に占める非化石燃料起源の発電量比率 (*NOC*) もエネルギー消費量についてはすべてのグループについて推定されたパラメータの符号は負で、有意な相関がある。また二酸化炭素排出量との関係では、中高所得グループでのみ負の相関がある (クロスセクション分析ではエネルギー消費量とは 1995 年以降、二酸化炭素排出量とは全期間で同じく負の相関を有する)。原子力発電の導入などによる効果が含まれるので、低所得グループでは計測しにくいという可能性がある。

発電量と消費電力量の比 (*ELX*) については、エネルギー消費量および二酸化炭素排出量ともに、中高所得グループでは正に、低所得グループでは二酸化炭素排出量のみが正で相関を示している (クロスセクション分析ではエネルギー消費量および二酸化炭素排出量ともに相関は認められなかった)。発電量が消費量を上回るならば、国際的に炭素負荷を担うためにエネルギー消費量、ひいては二酸化炭素排出量が増加する。低所得グループで相関が計測されないのは、多様な発電源を運用しているケースは少ないことによると考えられる。

エネルギー生産量と消費量の比 (*ENX*) はエネルギー消費量および二酸化炭素排出量ともに全グループで相関が有意に計測されているが、エネルギー消費量に対してはすべてのグループで負、二酸化炭素消費量では低高所得グループで正、中所得グループで負と分かれている。エネルギー生産量は 2 次エネルギーを加算するので、エネルギー消費効率が高く計測される可能性がある。また二酸化炭素排出量については中所得の途上国群のみパラメータの符号が逆である。二酸化炭素排出増とエネルギー生産増加の関係はこのグループでの炭素集約度の高い燃料の増加に関係するのではないかと考えられる (*ENX* に関しても、クロスセクション分析ではエネルギー消費量および二酸化炭素排出量ともにどのグループでも相関は認められなかった)。

第 2 次産業比率 (*IND*)、発電量と消費電力量の比 (*ELX*)、エネルギー生産量と消費量の比 (*ENX*) については産業構造、エネルギー需給構造といったその国・地域内での構造が関与するため、指標化された変数では各国それぞれの特性があり、クロスセクション分析でその効果を計測することは難しい可能性がある。

(5) 技術要因との関係

次に技術の流入パス別の変数に関しては、援助 (*AID*) についてはエネルギー消費については低所得グループでは正に、中高所得グループでは負に、有意な相関が得られている。二酸化炭素排出量に対しては中高所得グループ^(注 27) では同じく負の相関が測定されたが、低所得グループでは有意な結果は得られていない。このように低所得グループでは援助 (*AID*) についてはエネルギー消費効率向上にも二酸化炭素排出抑制にも効果があるような結果は出ていない (クロスセクション分析ではエネルギー消費量および二酸化炭素排出量ともにどのグループでも相関は認められなかった)。

直接投資 (*FDI*) はエネルギー消費量とはいずれのグループでも相関はなかった。二酸

(注 27) 高所得グループでは援助を受けている国自体が少ないが、受けている国には相関があるように計測された。

化炭素消費量に対しては中所得グループで正の相関が得られ、また低所得グループでもある程度の有意で正の相関が認められる（クロスセクション分析ではエネルギー消費量および二酸化炭素排出量ともに全期を通しての相関は認められなかった）。

これらの結果は、低所得グループの国・地域においては援助によるエネルギー消費効率向上や二酸化炭素排出抑制との相関が計測されないこと、また直接投資によってはエネルギー消費効率の向上を得られておらず、また二酸化炭素排出は増加方向に作用している可能性を示していることになる。中所得グループに対しても援助はエネルギー消費効率向上と相関を有するが二酸化炭素排出量は増加方向に相関を有することを示している。これは、Connolly[3] や Lichtenberg-van Pottelsberghe de la Potterie[7]、Haddad[4] らの指摘する直接投資は先進国からの技術スピルオーバーとは無縁であるとする命題が、CO₂ 排出抑制技術の分野でも生じている可能性があるのか否かについてはさらに深い検討が必要であると考えられるが、興味深い結果である。

ロイヤリティやライセンス料の支払額（*PAT*）については、エネルギー消費量に対しては高所得グループで負の相関が有意に計測されている。しかしその他のグループでは有意な関係はほとんど認められていない（クロスセクション分析ではどれも有意な計測結果はない）。

製造業品目の輸入額（*IM*）および非製造業品目の輸入額（*NIM*）については、エネルギー消費量については、エネルギー消費量については有意に計測されているものがあるが、パラメータの符号は一定ではない。二酸化炭素排出量については中所得グループでわずかに有意に計測されているが、これも期待されている符号とは逆であった（クロスセクション分析ではどれも有意な計測結果はない）。ただし全グループのデータをプールして分析した場合には、ほぼ期待されていた結果が得られている。

(6) 分析結果の検討

藤田 [15] との比較では、グルーピングの方法、推定期間、また直接投資（*FDI*）データの入れ替えによって多少推定結果が変わることが示されている。また全グループのデータをプールして分析した場合、エネルギー消費量にたいしては中上位グループと類似の結果が得られているが、二酸化炭素排出量では、グループ別の推計結果とはやや異なっている。少なくともグループ別には特徴があること、また全体としての傾向もあることが示唆されている。

構造要因は経済活動と密接な関係を有するエネルギー消費量と、またそれと物理的な定数でほぼ結びつく二酸化炭素排出量とも比較的安定して計測されるものが多い（*GDPR*、*NOC*）。またクロスセクション分析では計測されなかった要因についてもパネル分析では有意に計測され、効果が認められるものがある（*ELX*、*ENX*）。

これに対して技術の流入パスを示す変数についてはクロスセクション分析ではどれも情報を得ることはできなかったが、パネル分析においては援助（*AID*）、直接投資（*FDI*）については相関が認められ、また低所得グループに対する効果に関しては興味深い傾向を示している。さらに、高度技術のスピルオーバーの研究では注目されるロイヤリティやライセンス料の支払額（*PAT*）の効果は高所得グループを除いて、どの分析でもほとんど計測されていない。

製造業品目の輸入額 (IM) および非製造業品目の輸入額 (NIM) については計測結果は安定したものではないが、全グループを対象にした場合、製造業品目の輸入額 (IM) については負の効果、および非製造業品目の輸入額 (NIM) については二酸化炭素排出量では反対の正の効果が示される。

これらのことから、さらに、(a) 国・地域のグルーピング方法による計測の不安定を回避すること、(b) 説明変数間の多重共線関係の存在に配慮すること、(c) 安定的な計測のために説明変数の選択と利用可能なサンプル数というトレードオフを考慮すること、(d) クロスセクションでは計測できないがパネルでは効果が認められるような内部構造が問題になる説明変数について、さらに検討を深めること、さらに計測結果に対しても、(e) カーボン・リーケージ効果と技術の効果の識別、(f) インプリケーション、などが分析として要求されよう。

本稿ではさらに、製造業品目の輸入額 (IM) に着目し輸入品目別の効果を測定することで、以上の問題点を解決しつつ検討を進める。

4 貿易による技術流入効果の詳細分析

これまでの分析においては、パネル分析を導入することによりクロスセクション分析では得られなかった構造要因、技術要因の効果を測定できた。しかし構造要因については比較的その効果を議論しやすいものの、技術要因については計測結果に一部不安定なものがあり、安易に議論することは難しい。その主たる原因は、構造要因に比較してデータを利用できる国・地域の数、および期間が限定されることによるサンプル数の減少、および間接的な技術流入効果を示そうとした製造品目輸入が一括されたものであり、内部で品目間の相殺効果などが生じている可能性があることなどが考えられる。

ここではまず輸入品目の細分化について検討を行った。ついでそれにとまなうサンプル数減少の効果を配慮して推定モデルを再検討し、またグルーピングによる不安定を避けるために、国・地域のグループ化についても再検討を行った。

4.1 輸入品目の詳細化

まず WDI データベースを用いた分析において製造業品目 (IM)、非製造業品目 (NIM) として大別していた輸入品目についての詳細化をはかった。製造業品目の内容にブレイクダウンするために、国連貿易統計 [22][23] を用いる。

WDI データベースにおける各国別の財・サービス輸入の内、製造業品目 (Manufactures imports) は、STIC³ (注 28) による貿易品目分類 1digit 項目において、5.chemicals、6.basic

(注 28) 貿易統計における商品分類に関しては、戦前のブリュッセル分類 (1913 年) や国際連盟のミニマムリスト (Minimum List of Commodities for International Trade Statistics, 1937 年) 等の商品分類に関する国際標準を別にすれば、貿易統計における商品分類の代表的なものは、STIC (the Standard International Trade Classification, 国連) と、税関手続きの簡素化、標準化を目的とした関税協力理事会 (the Customs Cooperation Council) による HS (Harmonized Commodity Description and Coding System) がある。

STIC はミニマムリストをもとに 1950 年に作成され、この最初の貿易分類はその後の改訂分類に対して、SITC Origin と呼称される。SITC の改訂は、SITC Rev.1 (1960 年)、SITC Rev.2 (1975 年) を経て、SITC Rev.3 は、1985 年に国際連合統計委員会 (United Nations Statistical Commission) で策定され、1986 年に国際連合により発表された。一方、OEEC (欧州経済協力機構、OECD の前身) により 1952 年に設立さ

manufactures、7.machinery and transport equipment、および 8.miscellaneous manufactured goods からなる。ただし、部門6 については2digit 分類項目中、68.nonferrous metals を除くものとしている。燃料、電力の輸入に関しては上記の製造業品目は含まれていない。

国連貿易統計を利用する場合、現在容易に入手可能な電子化されたデータの期間、1992-2000 年に対して、エネルギーおよび二酸化炭素データは WDI2002 においては 1998 年までが利用可能域であるため、パネル分析においてはアンバランス・データでも時系列は 7 期に限定される。したがって、説明変数の数に制約が生じ、先のモデルはそのままでは利用できないため、構造分析および技術要因の再検討を行い、2 段階で分析を行う。

また、国連貿易統計を用いて輸入品目データをブレイクダウンしてデータセットを作成する際に、その商品の輸入がエネルギー消費効率や二酸化炭素排出量抑制にかかわる何らかの技術流入パスの可能性が高いのか、またカーボン・リーケージを引き起こす可能性が高いものなのか、事前に識別しておく必要がある。

4.2 カーボン・リーケージの識別

(1) 貿易品目の炭素集約度

モデル (7) を用いて二酸化炭素排出量およびエネルギー消費量の関係について構造要因および技術要因の影響をパネル分析したが、このうち貿易を介した技術要因については製造業製品の輸入額と、それ以外の財サービスの輸入に分離して分析を行っている。ここで問題となるのはエネルギー多消費産業の国外依存によるカーボン・リーケージ（二酸化炭素排出の国際移転）と、国際貿易を通じた二酸化炭素管理技術のスピルオーバーがあることとの識別である。このためには、さらに炭素集約的、あるいはエネルギー集約的な製品と、そうでない製品の輸入をさらに分けて、詳細に分析する必要がある。

しかしながら、それぞれの製品を製造するにあたっての炭素集約度 (carbon intensity) あるいはエネルギー集約度 (energy intensity) を測ることはそれほど容易なことではない。ひとつの問題は一般的にエネルギー関連統計は産業別の部門分類をとっており、商品分類との対応が問題となる。もうひとつの問題は、エネルギー関連統計は当該産業に直接投入された 1 次、2 次エネルギー消費量を集計しているが、2 次エネルギー消費により間接的に発生する炭素負荷は明示されていないこと、さらに製造過程において投資された生産財、および投入された中間財を経由するエネルギー消費量およびそれにともなう炭素負荷についての情報を得ることができないということである。すなわち、間接的消費まで考慮したエネルギー消費量およびそれにともなう二酸化炭素排出量は産業連関構造およびエネルギー需給構造に依存する。このため、通常エネルギー統計を用いるだけでは、1 次、2 次エネルギーの直接消費量に対する消費原単位 (unit consumption) までしか計算することはできず、集約度 (intensity) についての情報を得ることが難しい。

れた関税協力理事会による品目表は、BTN (Brussels Tariff Nomenclature、1955 年)、CCCN (Customs Cooperation Council Nomenclature)、HS (Harmonized Commodity Description and Coding System、1983 年) として改訂されてきている。

CCCN 系では関税率表に使用するために、同原材料ならば同分類になる傾向がある。これに対して STIC 系は原材料が同じであっても加工段階に応じるコード附番がなされており、経済分析に向いているとされる。戦後の国連に報告された貿易統計は、ほとんどが STIC 系か BTN ~ HS 系のいずれかの体系に準拠して分類されており、対象リストを用いて、その当時の改訂体系上で組み換えが可能とされる。

まず第一の商品分類とエネルギー消費部門分類との対応については、産業連関表として組み替えられたデータを用いることにする。一般に公的統計の部門分類は事業所ベースで集計されるため、かならずしも商品のエネルギー特性、あるいは炭素特性の分析にそのまま利用することはできない。また、貿易統計に代表される商品分類においても同じ原材料の商品でも加工段階に応じて1桁目から分類コードを分別するSTIC系(Standard International Trade Classification)と、同じ原材料の商品は同一の部や類に分類される傾向を持つCCCN系のHS(Harmonized Commodity Description and Coding System、1983年以降)があるが、比較的長期にわたって利用可能なSTIC系の商品分類と対応させるためには生産技術を単位として部門分類を行うアクティビティベースによる産業連関表を用いることが相対的に望ましいと考えられる。ただし以下に述べる、ふたつ目の問題と関連して、利用可能な詳細な産業連関表は先進国等に限定されること、また既に製造における国際的な相互依存関係が存在するために主要国間の比較が可能なものが必要であることから、国際産業連関表を用いることにする。これにより、国際貿易品目としてエネルギー集約度および炭素集約度の高い商品を把握し、一国のみの産出データからエネルギー集約度および炭素集約度を計算する際の、すでにカーボン・リーケージが生じていた場合に過小評価する可能性を排除できる。

次の問題は、間接的なエネルギー消費の効果の把握である。国別・地域別の部門別エネルギー種別の消費量は、OECDのように定期的にエネルギー統計(IEA/OECD[18]、[19])、エネルギーバランス表(IEA/OECD[20]、[21])を公表している機関のデータを用いることが可能であり、また二酸化炭素排出量データは、それら部門別の1次エネルギー需要、あるいは最終需要での化石エネルギー系燃料の消費量に、燃料の組成から算出された各燃料別の二酸化炭素排出量原単位を乗して推定することが可能である。産業部門別のエネルギー消費原単位および二酸化炭素排出原単位は、これを可能ならば物量ベースの産出量、通常は産出額あるいは付加価値額で除することによって計算する。しかし、このような直接的なエネルギー投入、あるいはそれによる二酸化炭素排出のような環境負荷のみに着目した場合、財の投入産出構造を経由・波及した間接的なエネルギー消費や環境負荷を見落とししてしまう可能性がある。環境負荷に関しても、もしある国・地域が閉鎖的な経済系であればその域内で採取され消費された化石エネルギーなどの含炭素燃料の量さえ把握出来れば直接・間接に環境中に排出された二酸化炭素量を推定可能である。しかしながらこの場合においても財別に見た場合、その生産が環境に及ぼす影響度については直接的な含炭素燃料投入の分しか把握出来ない。またすでに他国・他地域との財の輸出入・移出入がある場合、間接的なエネルギー投入やそれによる環境負荷発生についてはもはや情報を得ることは出来ない。これらの点に関しては、国内でも先駆的な研究である斉藤[11]および、内山・山本[9][10]に詳しい。斉藤[11]においては、エネルギーの大半を輸入していることによりその総量を入り口で把握可能であり、また相対的に完結した生産構造を有していた1970年代のわが国においては、産業連関表を用いたエネルギー・アナリシスにより直接・間接的なエネルギー消費の計測が可能であることを示した。

これに対し藤田[12][13]は、わが国ではじめて作成された1985年日本・米国・EC3カ国・アジア8カ国・地域・国際産業連関表[30]を用いて、ROWに関して若干の仮定を置いた上で、同様に世界全体をクローズな体系として地域別・部門別の中間財に含まれたエネルギー消費量を考慮した直接・間接のエネルギー消費量、すなわち集約度を計測できる

ことを示すと同時に、直接・間接の二酸化炭素集約度も算出した。

現在では上記の国際産業連関表については1990年表[31]が利用可能であるが、主要な工業製品がまだ欧米先進国および日本に集中していたために部門別のエネルギー集約度および二酸化炭素集約度が分散していない可能性を考慮して1985年表のデータを対象とした藤田[12][13]の結果をもとに議論を進める(注29)。

直接的なエネルギー消費による二酸化炭素排出量は、まずエネルギー統計における産業部門別需要を、転換部門でのバランスを用いて1次エネルギー相当の需要量に再整理し、各産業部門別のエネルギー消費量を生産額で除して原単位を算出したものに燃料種別の二酸化炭素排出係数(IEAによる)を乗して排出原単位を算出した(注30)。

産業連関分析を用いたエネルギーアナリシスにおいては、フローおよびストックからのエネルギー流入の内、主としてフロー面からのエネルギー流入に着目し、財のエネルギー集約度概念(1単位の財を生産するために直接間接に投入されるエネルギー量、たとえば単位はTOE/ドルやGcal/円)を導入する。この概念を拡大し、二酸化炭素排出濃度を同様に定義する。これは1単位の財を生産するために直接間接に投入される化石エネルギーにより環境に排出される二酸化炭素量である。従って単位は炭素換算二酸化炭素量(TC、炭素トン)を用いた場合、TC/ドルあるいはTC/円のディメンションになる。

これは n 部門の産業連関表を用いて以下のように導出される(斉藤[11]、内山・山本[9]、藤田[12][13])

$$\mu_j X_j = \sum_{i=1}^n \mu_i X_{ij} + \gamma_j X_j \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

ただし、 x_i は第 i 部門域内生産額、 X_{ij} は第 i 部門から第 j 部門への投入量、 μ_i は第 i 部門の財に含まれるエネルギーまたは二酸化炭素集約度、 γ_i は生産物1単位当たりのエネルギーまたは炭素の含有量(採取量)あるいは輸入セクターの場合は輸入品の当該集約度である。

(注29) 藤田[12][13]においては、基礎となるエネルギーデータはOECDのエネルギー統計およびエネルギーバランス表を用いた。また国際産業連関表については、エネルギー統計における部門分割を必要以上に行わないですむこと、また産業連関表としての価値を減じないことを考慮し、38部門基本分類表から24部門統合分類表の内、鉱業部門を基本分類表のまま残すのに等しい25部門表を作成した。OECDエネルギーデータは先進国であるOECD諸国の統計とnon-OECD諸国の統計に別れ、それぞれエネルギー種別、転換・需要部門の分類が微妙に異なること、また国によっては一部エネルギーに関しては合計値しか記載されない場合も有るため、類似の機能を有するエネルギーの利用状況を用いて分配等を行っている。

(注30) 最終エネルギー消費量から算出される二酸化炭素排出原単位についてはいくつかの問題点があげられる。現状のエネルギー統計は1次エネルギー需要および最終エネルギー需要でのバランス表で表現されるため、最終エネルギー需要は2次エネルギーとの併記になる。このため各産業部門の生産額当たりのエネルギー消費原単位を熱量換算で導出するのは比較的容易であるが、これを二酸化炭素排出原単位に換算する場合には、転換部門に投入される1次エネルギー中の化石エネルギーまで遡及する必要がある。ここで平均的な転換効率(発電効率など)を利用すれば、実際に各産業部門が消費するのと等価な化石エネルギー量とは相違が有る可能性が高い。例えば電力消費量から化石エネルギー消費相当量を導出する場合、その産業の季節別・時間帯別の稼動状況から発電における1次エネルギー源は様ではない。たとえばわが国では夜間稼働率が高い産業では原子力比率が高く、平均発電効率で算出された化石燃料依存度よりも低いことが想定される。また逆に夏期昼間などに稼働率が高い産業においてはピーク電力対応のために石油や天然ガスへの依存率が高い可能性が有る。さらに、これらの季節別・時間帯別の平均発電燃料内訳が明らかになったとしても産業の立地によっては電力潮流(発電所から消費地への電力の流れの向き)の問題から必ずしもその時間帯の平均的燃料使用に対応するわけではない。藤田[12][13]においては、これらの問題は当該研究の直接の対象ではないため平均効率を用いているが、電力シフトの進行とともにいずれ環境負荷関連の研究分析においては無視出来ない要素になる可能性が有ることを指摘している。

これは、投入係数、 $a_{ij} \equiv \frac{X_{ij}}{X_j}$ の定義から、

$$\mu_j = \sum_{i=1}^n \mu_i a_{ij} + \gamma_j \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$\boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\mu} \mathbf{A} + \boldsymbol{\gamma} \quad (\text{行列表示}) \quad (10)$$

ここで、 $\mathbf{A} = (a_{ij})_{n \times n}$ 、 $\boldsymbol{\mu} = (\mu_1 \ \mu_2 \ \dots \ \mu_n)$ 、 $\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1 \ \gamma_2 \ \dots \ \gamma_n)$ である。よって以下のように変形できる。

$$\boldsymbol{\mu} = \boldsymbol{\gamma} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (11)$$

比較のために、OECD エネルギー統計から導出された地域別部門別自然エネルギー採取量・二酸化炭素源採取量 (γX_j) と、さらにこれを用いて国際産業連関表から計算されたエネルギー集約度および二酸化炭素集約度 (μ) を表 6 および表 7 に示す(注 31)。

単位 左 (エネルギー): 百万 TOE 右 (二酸化炭素): 百万 TC	日本 X _j		米国 X _j		EC-3 X _j		Asia-8 X _j	
	e	c	e	c	e	c	e	c
農林水産業	3.6	2.9	17.3	13.8	5.9	4.7	32.9	30.9
原油・天然ガス	.0	.0	4.9	3.3	.8	.6	.1	.1
石炭・その他鉱業	.1	.1	1.2	.8	.3	.3	.1	.1
食料品	2.3	1.8	23.5	16.7	8.5	6.1	13.0	12.9
繊維製品	2.6	2.0	11.8	8.2	3.0	2.2	14.9	14.5
パルプ・紙・木製品	1.4	1.2	56.9	40.5	5.1	3.8	10.0	10.0
化学製品	26.3	21.0	84.9	60.7	46.0	33.9	71.0	62.6
石油製品	10.0	8.0	46.6	34.0	15.0	11.9	14.6	11.8
窯業・土石製品	8.1	7.7	43.8	32.4	12.9	10.3	44.6	44.9
鉄鋼・同製品 (含コークス)	43.8	42.9	60.0	49.1	33.6	32.2	74.1	73.7
非鉄金属	.9	.8	25.2	17.6	3.5	2.6	.2	.2
金属製品	.0	.0	1.2	1.1	3.3	2.2	.0	.0
一般機械	.0	.0	.4	.4	1.9	1.3	.0	.0
電気機械	.0	.0	.6	.5	2.1	1.4	.0	.0
自動車	.0	.0	1.7	1.5	2.5	1.8	8.7	8.4
その他輸送機械	.0	.0	.4	.4	.7	.5	11.7	11.6
精密機械	.0	.0	.2	.2	.2	.1	.0	.0
その他製造業	12.6	10.0	11.4	7.6	6.5	5.4	25.0	22.2
建設	3.9	3.1	.0	.0	2.3	1.9	7.6	6.4
電力・水道・ガス	141.0	71.4	598.8	370.5	239.2	129.2	157.6	114.6
商業	2.5	1.9	7.9	5.0	5.0	3.7	13.6	12.2
運輸	40.1	30.5	204.3	155.3	61.2	46.5	109.4	86.4
その他サービス	6.5	5.0	20.8	13.3	13.3	9.9	23.7	21.3
政府活動	.5	.4	4.5	2.9	4.0	3.0	3.8	3.4
分類不明・その他	10.5	8.4	3.9	3.4	1.9	1.6	1.2	1.1
生産過程での自然採取 エネルギー直接消費計	316.8	219.0	1232.0	839.0	478.9	317.0	637.5	549.3
最終需要での投入	33.9	25.8	487.8	357.1	181.9	131.1	52.0	65.8
non-energy use を除く 投入計	350.7	244.8	1719.8	1196.1	660.8	448.0	689.5	615.0

表 6: 部門別自然エネルギー採取量・炭素源採取量 (藤田 [13])

(注 31) 単位の TOE は原油換算トン、TC は炭素トン。炭素トンは二酸化炭素の質量をその中の炭素量で表現したもの、またこの時点での期間平均為替レートは 220.23 円/US ドルであった。

単位 e (エネルギー): TOE/百万\$ c (二酸化炭素): TC/百万\$	日本		米国		EC-3		Asia-8	
	μ		μ		μ		μ	
	e	c	e	c	e	c	e	c
農林水産業	162.8	130.1	349.6	273.1	245.7	202.0	409.5	375.6
原油・天然ガス	214.8	171.2	114.1	86.2	56.0	44.7	147.6	135.6
石炭・その他鉱業	293.9	238.5	284.6	222.6	314.6	285.6	682.4	634.2
食料品	170.8	137.6	356.4	272.0	216.7	176.2	517.5	478.6
繊維製品	265.7	213.9	473.6	355.2	210.4	170.3	852.8	789.0
パルプ・紙・木製品	254.8	207.2	738.7	548.3	302.8	248.0	1001.9	947.1
化学製品	631.1	505.2	850.7	632.3	699.9	544.9	2138.5	1904.1
石油製品	240.3	193.9	445.1	335.3	240.8	193.1	530.2	447.0
窯業・土石製品	448.2	396.8	1207.0	911.2	632.6	524.6	2347.0	2302.0
鉄鋼・同製品 (含コークス)	1113.5	1047.0	1923.8	1570.6	1362.6	1280.0	3621.3	3550.0
非鉄金属	405.0	324.8	1491.8	1087.6	556.8	469.2	762.6	706.8
金属製品	387.5	346.2	541.4	432.4	344.7	299.7	1153.8	1099.3
一般機械	227.1	197.1	281.5	225.1	198.3	170.8	863.4	816.4
電気機械	194.1	161.0	236.4	185.3	164.4	136.3	553.5	510.2
自動車	218.3	184.9	304.4	242.2	220.2	187.5	1113.0	1055.9
その他輸送機械	246.4	214.3	211.7	166.9	178.7	151.9	1718.5	1660.4
精密機械	159.4	132.9	190.1	148.0	155.0	129.8	607.2	566.4
その他製造業	352.7	282.6	336.3	251.9	266.1	220.6	1083.8	976.5
建設	225.2	192.5	276.8	214.0	196.0	164.4	1108.9	1047.3
電力・水道・ガス	1372.3	1082.6	2073.7	1695.6	1761.9	1706.6	4837.6	4621.3
商業	85.4	67.9	119.5	92.5	120.7	101.1	494.5	449.9
運輸	465.1	358.1	1076.9	824.7	718.7	556.3	2171.7	1754.3
その他サービス	95.9	76.7	104.5	79.8	93.1	77.6	522.0	476.3
政府活動	9.8	7.5	10.8	6.9	20.6	15.2	148.4	133.6
分類不明・その他	264.7	212.6	333.5	268.5	1664.3	1423.1	1298.2	1201.3

表 7: エネルギー集約度、二酸化炭素集約度 (藤田 [13])

(2) 分析用の輸入品目の変数選択

さらに、エネルギー集約度 μ_{energy} 、および二酸化炭素集約度 μ_{co_2} と最終需要 F から以下のように直接間接のエネルギー消費量、および二酸化炭素排出量が部門別に評価可能である。

$$\begin{cases} \mathbf{F} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}) \mathbf{X} \\ \boldsymbol{\mu} (\mathbf{I} - \mathbf{A}) = \boldsymbol{\gamma} \end{cases} \quad \text{より、}$$

$$\boldsymbol{\mu} \mathbf{F} = \boldsymbol{\mu} (\mathbf{I} - \mathbf{A}) \mathbf{X} = \boldsymbol{\gamma} \mathbf{X} \quad (12)$$

算出されたデータについては以下のような注意が必要である。

直感的であるはずの最終エネルギー需要を用いた国内・域内での直接的なエネルギー消費量や二酸化炭素排出量においては、2次エネルギーの扱いについては燃焼させるポイントを重視する場合には転換部門(電力部門など)を設けそこでの消費、排出としてカウントする。この場合、転換部門では生産におけるエネルギー消費だけではなく民生分野等向けのエネルギーも合わせて消費している形になるため、過大に評価され、また逆に各部門での消費・排出は転換部門での消費、排出が別項で立てられるために、見かけ上小さく評価されることになる。

逆に、2次エネルギー需要での国内・域内での間接的なエネルギー消費量や二酸化炭素排出を各部門に配賦しようとするれば、各部門での電力消費量に対して転換効率を用いて熱量換算し、各部門での消費・排出に加算することになる。この結果は転換部門での負荷を

過小に見せるために、直感からますます乖離することもある。表6においては、転換部門を別個に計上している。

しかしいずれにしても、鉄鋼、窯業・土石、化学といった部門においては投入されたエネルギー量が巨大であるために、消費原単位や発生原単位も高く、消費量、発生量も大きく評価される。また転換部門を別個に扱う場合には、電力部門においては原単位、総量とも非常に大きな値をとる。

これに対してここで扱う最終需要と直接・間接のエネルギー消費量の関係はやや異質なデータとなる。集約度データ μ 自体は、その部門に直接投入される自然採取エネルギー量 γ によって影響を受ける部分が大きいため、上記の直接消費あるいは直接排出の原単位と同様に、鉄鋼、窯業・土石といった部門は相対的に高い値をとる。しかしながら、これらのエネルギー多消費型の部門の産出は直接最終需要に供されることはまれであるために、そのような部門の F_i は相対的に小さく評価されることになる。この結果、 $\mu_i F_i$ も相対的に小さな値をとるために、この値を当該産業部門での直接的なエネルギー消費量、あるいは二酸化炭素発生量と錯覚すると奇異な印象を受けがちである。

実際は、たとえば鉄鋼部門に投入された自然採取エネルギーはほとんどすべての部門に波及し、最終需要に鉄鋼部門の産出物のままで直接到達する直接・間接のエネルギー消費の結果や、二酸化炭素排出の結果は少量であるということである。同様にたとえば窯業土石部門の $\mu_i F_i$ も相対的に小さな値をとるが、この部門での直接・間接のエネルギー消費、二酸化炭素の排出は多くは建設部門を迂回して最終需要に供されるため、建設部門の $\mu_i F_i$ が大きくなる形をとる。

これらに対して転換されるだけでエネルギーの直接・間接の消費の効果が直達しやすい電力部門では非常に $\mu_i F_i$ の値が大きくなるとともに、電力の投入が大きいサービス部門もその迂回効果により $\mu_i F_i$ の値が大きくなる。運輸部門でも燃料などの転換部門からの迂回量が大きいため同様の結果になる。

ここで、もともどもどって表7の μ に注目しよう。まずアジア地域の部門は非鉄金属部門を除いて、ほとんどすべての部門で高い二酸化炭素集約度を示している。ただし、当時はエネルギーの消費効率が低い、および石炭等の高炭素の燃料シェアが非常に高いということがあがるが、二酸化炭素集約度の定義による部分も大きい。この定義は各部門の生産物1単位当たり（産出額あたり）の直接および間接の二酸化炭素排出量であるため、この時点での国際的な垂直分業体制において価格の低い製品を担当しているために過大評価された可能性など、他の先進地域と比較する際には注意が必要であろう。必ずしも物量単位当り（重量当りなど）においてエネルギー集約度や二酸化炭素排出濃度が高いことを意味しているわけではない。

また、アジア地域を除けば米国の各濃度が高めである。特に素材系の産業部門においてその傾向が著しいが、機械産業等では日本、米国、ECの3地域でそれほど大きな差があるとは言えない。

先進国地域においてはエネルギー集約度は、特に自然採取のエネルギーを直接燃焼させる必要のある素材系部門やエネルギー部門を除けば大半の部門では0.5TOE/千USドル程度かそれ以下のレベルにある。また二酸化炭素集約度の場合も同様であり0.5TC/千USドル程度かそれ以下の部門が多い。また先進国地域では地域によって目立って突出している集約度を持つ部門もほとんどない。これは国際的なエネルギー価格体系、および産出物

の国際市場での価格体系、製造技術・知識の共有といった点から見て妥当であると考えられる。

これらのことは輸入を通じた品目別カーボン・リーケージの取り扱いにおいて、次のようなことをある程度担保していると考えられる。

まず、先進国間の製造業品目の輸入においては、化学製品、窯業土石製品、鉄鋼、非鉄金属などの素材系の品目を除いては、カーボン・リーケージの可能性はそれほど考える必要は少ない。中位所得の途上国では上記の素材系品目以外でもエネルギー集約度、二酸化炭素集約度はかなり高い値を示しているが、国際的な分業体制が進むにつれ、先進国間で加工組立系の部門の範囲では集約度の差異が少ない現状と同様の傾向に向かうものと考えられる。さらに低所得の国々においては、もともと輸入によるカーボン・リーケージの可能性は僅少である。特に先進国が技術的また国際的なシェアに関して優位な一般機械、電気・電子機械、輸送機械などについては、カーボン・リーケージの懸念はそれほど必要ないと考えられる^(注 32)。

これに対して素材系の品目については、この時点でも日米の集約度において大きな差異があるように、輸入によるカーボン・リーケージの可能性は先進国間、および先進国と中位所得国家間のいずれについても十分考慮しなければならない。

以上の考察をもとに、WDI データベースを用いた分析において製造業品目、非製造業品目として分離していた輸入品目について、さらに詳細な分析を行う。

(3) データセットの作成

再分類した輸入品目については貿易統計における商品分類から、非製造品目として、燃料(石炭・石油・燃料ガスおよびそれら製品、*FEL*)、電力(*ELC*)、製造業品目として、化学製品(*CHM*)、金属製品等(窯業土石、鉄鋼・金属およびそれら製品、*MTL*)、発電装置等(*PWG*)、機械(*MCN*)、情報通信機器(*INF*)、電気機器(*EEQ*)、輸送機器(*TRN*)、その他(食品、素材類、家具・衣類など、*OTR*)に統合して説明変数データを作成する。対応する直接間接の効果を考えた炭素集約度の点からは、

$$ELC > MTL \gg CHM \gg PWG, MCN, INF, EEQ, TRN, OTR$$

といったことになるだろう。*ELC*、*MTL*、*CHM* の輸入によって二酸化炭素排出量に負の効果が測定されている場合はカーボン・リーケージを疑う必要があると考えられる。

STIC3 の 2digit 分類では、*FEL*:32~34、*ELC*:35、*CHM*:5x、*MTL*:66~69、*PWG*:71、*MCN*:72~74、*INF*:75,76、*EEQ*:77、*TRN*:78~80 になる。

2digit までの分類および変数の対応を資料の表 16 に示す。

また国地域のグルーピングによって推定されるパラメータが不安定になることを防ぐため、以下のような方法をとる。まず低所得、中所得、高所得の各グループに分けることはこれまでと同じであるが、各グループの境界を重複させ、グループ分けでどの国を含めるかによって生じる不安定を回避する。本稿では WDI の Classification of economies による、

^(注 32) この問題については国際的な垂直分業、水平分業などのケースに分けて、追跡的な研究が必要であると考えられるが、エネルギーアナリシスの結果では直接的な炭素集約度では先進国間でも直接的な炭素集約度では格差が計測される加工・組立系の工業製品も、間接的な炭素集約度まで考慮するとあまり差が見受けられないという事実の方が重要である。

1. 低所得国家グループ (Low income group) 2. 下位中所得国家グループ (Lower-middle income groupe) 3. 上位中所得国家グループ (Upper-middle income groupe) 4.OECD 加盟高所得国家 (High income OECD group) 5.OECD 非加盟高所得国家 (High income non-OECD group) の分類を用いているが、これを低所得グループは、相対的に所得の低いグループとして、1,2,3 のグループで作成する (これまでの分析では 1,2 のみ) 。また中所得グループについても OECD 非加盟国の 5 を加えて、2,3,5 で作成する (同じく 2,3 のみ) 。高所得グループも相対的に所得の高いグループとして、3,4,5 から作成する (同じく 4,5 のみ) 。表記もこれまでの Low、Middle、High と混同しないようにサブグループを明記して、Low(123)、Middle(235)、High(345) とする。

このことによってグループ間のサンプル数の格差を防ぐとともに、国・地域の分別によるグルーピングではなく、相対的な低・中・高という位置付けによる重複を許したグループにすることにより、傾向がより明らかになると考えられる。

4.3 パネル分析モデル

(1) 構造要因・技術要因の選択

データ利用期間が7期であるためにサンプルが減少するとともに、説明変数の数に制約が生じる。また観測期間が短縮されることにより、クロスセクション分析において効果が測定できなかった変数については同様の現象が生じる可能性がある。このためモデルに使用する変数を限定するために、以下のような予備分析を行った。

まず、クロスセクション分析においても安定的であった実質 GDP ($GDPR$) および総発電量に占める非化石燃料起源の発電量比率 (NOC) と、直接的な技術流入経路である援助 (AID) 直接投資 (FDI) ロイヤリティやライセンス料の支払額 (PAT) の技術要因のみでモデルを構成し、新たなデータセットでのその推定にともなう特徴を検討する (モデル (13)) 。次に間接的な技術流入経路と考えられる製造業品目合計 (IM) および非製造業品目合計 (NIM) のみでモデルを構成し、同様にデータセットを変えたことによる影響を検討する (モデル (14)) 。このときは構造要因として $GDPR$ と NOC とともに第2次産業比率 (IND) を選択している。

$$Y_{it} = a_0 + a_1GDPR_{it} + a_2NOC_{it} + a_3AID_{it} + a_4FDI_{it} + a_5PAT_{it} + e_{it} \quad (13)$$

$$Y_{it} = a_0 + a_1GDPR_{it} + a_2NOC_{it} + a_3IND_{it} + a_4IM_{it} + a_5NIM_{it} + e_{it} \quad (14)$$

ここで、 Y_{it} は $CO2T_{it}$ または $ENET_{it}$ 、また誤差項 $e_{it} = \alpha_i + v_{it}$ はモデル (4) で仮定したものと同一であり、fixed effect model としてパネル分析した。結果を表 8、および表 9 に示す。

モデル (13) について、援助 (AID) はエネルギー消費量においては低中所得グループで有意に計測され、また符号も抑制方向である。しかし二酸化炭素排出量では中所得グループのみで負の相関が有意に計測されたのみである (先の輸入品目を一括した場合のパネル分析では、エネルギー消費については低所得グループでは正、中高所得グループでは負に相関があり、また二酸化炭素排出量については中高所得グループでは負の相関があったが低所得グループでは相関がなかった) 。

Model		Total (12345)			Low (123)			Middle (235)			High (345)		
Variable	indep.	Coeff.			Coeff.			Coeff.			Coeff.		
dep.		(t)	(p)		(t)	(p)		(t)	(p)	(t)	(p)		
CO2T	GDPR	0.739 (11.68)	(0.00)	***	0.730 (8.79)	(0.00)	***	0.656 (7.44)	(0.00)	***	0.719 (9.03)	(0.00)	***
	NOC	-0.006 (-5.84)	(0.00)	***	-0.006 (-4.69)	(0.00)	***	-0.008 (-5.04)	(0.00)	***	-0.006 (-3.78)	(0.00)	***
	AID	-0.006 (-1.51)	(0.13)	*	-0.006 (-1.21)	(0.23)		-0.036 (-2.93)	(0.00)	***	-0.017 (-0.76)	(0.45)	
	FDI	0.000 (0.15)	(0.88)		0.004 (1.17)	(0.24)		0.004 (1.02)	(0.31)		0.000 (-0.11)	(0.91)	
	PAT	-0.020 (-1.29)	(0.20)		-0.041 (-0.44)	(0.66)		-0.022 (-0.22)	(0.83)		-0.018 (-1.28)	(0.20)	
SE		0.08			0.10			0.10			0.07		
R ²		0.998			0.997			0.996			0.998		
ENEL	GDPR	0.739 (20.91)	(0.00)	***	0.710 (15.84)	(0.00)	***	0.695 (14.69)	(0.00)	***	0.760 (16.76)	(0.00)	***
	NOC	-0.003 (-4.45)	(0.00)	***	-0.003 (-4.22)	(0.00)	***	-0.004 (-5.09)	(0.00)	***	-0.003 (-3.05)	(0.00)	***
	AID	-0.009 (-3.79)	(0.00)	***	-0.009 (-3.42)	(0.00)	***	-0.021 (-3.22)	(0.00)	***	0.009 (0.66)	(0.51)	
	FDI	0.001 (0.94)	(0.35)		0.002 (0.78)	(0.44)		0.001 (0.37)	(0.71)		0.000 (-0.05)	(0.96)	
	PAT	-0.013 (-1.50)	(0.13)	*	0.061 (1.23)	(0.22)		0.118 (2.21)	(0.03)	***	-0.013 (-1.60)	(0.11)	*
SE		0.05			0.05			0.05			0.04		
R ²		0.999			0.999			0.999			0.999		
N _{area} /N _{obs}		86		412	62		274	48		239	43		241
T _{min} /T _{max}		1		7	1		7	1		7	1		7

すべて固定効果モデル (Fixed Effect Model) の計測 (観測期間は、1992-1998、最大 7 期)

***: 5%有意水準、**: 10%有意水準、*: 15%有意水準

N: 左は国・地域の延べ数、右は総観測数

T: 左は時系列の最小、右は最大

表 8: 技術要因の比較 (AID, FDI, PAT)

Model		Total (12345)			Low (123)			Middle (235)			High (345)		
Variable	indep.	Coeff.			Coeff.			Coeff.			Coeff.		
dep.		(t)	(p)		(t)	(p)		(t)	(p)	(t)	(p)		
CO2T	GDPR	0.831 (16.27)	(0.00)	***	0.840 (12.30)	(0.00)	***	0.873 (13.05)	(0.00)	***	0.880 (13.16)	(0.00)	***
	IND	0.053 (0.79)	(0.43)		-0.017 (-0.20)	(0.84)		-0.017 (-0.17)	(0.87)		0.005 (0.06)	(0.96)	
	NOC	-0.006 (-6.06)	(0.00)	***	-0.006 (-5.16)	(0.00)	***	-0.007 (-5.18)	(0.00)	***	-0.005 (-3.39)	(0.00)	***
	IM	-0.058 (-2.50)	(0.01)	***	-0.053 (-1.92)	(0.06)	**	-0.072 (-2.36)	(0.02)	***	-0.126 (-3.26)	(0.00)	***
	NIM	0.022 (0.79)	(0.43)		0.022 (0.68)	(0.50)		0.012 (0.33)	(0.74)		0.033 (0.92)	(0.36)	
SE		0.09			0.10			0.10			0.08		
R ²		0.998			0.997			0.997			0.998		
ENEL	GDPR	0.778 (26.87)	(0.00)	***	0.778 (21.04)	(0.00)	***	0.808 (21.54)	(0.00)	***	0.788 (19.84)	(0.00)	***
	IND	-0.102 (-2.73)	(0.01)	***	-0.092 (-2.09)	(0.04)	***	-0.204 (-3.62)	(0.00)	***	-0.174 (-3.18)	(0.00)	***
	NOC	-0.002 (-4.30)	(0.00)	***	-0.003 (-4.07)	(0.00)	***	-0.003 (-4.26)	(0.00)	***	-0.003 (-3.12)	(0.00)	***
	IM	-0.047 (-3.52)	(0.00)	***	-0.051 (-3.44)	(0.00)	***	-0.066 (-3.88)	(0.00)	***	-0.067 (-2.89)	(0.00)	***
	NIM	0.052 (3.35)	(0.00)	***	0.059 (3.30)	(0.00)	***	0.052 (2.62)	(0.01)	***	0.038 (1.79)	(0.08)	**
SE		0.05			0.05			0.05			0.04		
R ²		0.999			0.999			0.999			0.999		
N _{area} /N _{obs}		104		534	76		359	61		317	54		305
T _{min} /T _{max}		1		7	1		7	1		7	1		7

すべて固定効果モデル (Fixed Effect Model) の計測 (観測期間は、1992-1998、最大 7 期)

***: 5%有意水準、**: 10%有意水準、*: 15%有意水準

N: 左は国・地域の延べ数、右は総観測数

T: 左は時系列の最小、右は最大

表 9: 技術要因の比較 (IM, NIM)

期間短縮とグルーピング方法の変更があったために多少結果は変わっている。しかし中所得グループでは同じ結果になっている。また他のグループでは中所得グループとの重複があるためにの影響がある。少なくとも国・地域の数も多く、二酸化炭素排出抑制政策上重要な中所得グループでは援助 (*AID*) との相関関係は十分認められること、低所得グループに対する影響はそれほど認められないことが確かめられる。

直接投資 (*FDI*) とロイヤリティやライセンス料の支払額 (*PAT*) については、中所得グループでエネルギー消費で *PAT* と正の相関が得られた他は有意な関係は計測されていない (先のパネル分析でも *FDI*、*PAT* による効果はほとんど認められていない)。

以上の分析では、援助 (*AID*) については十分考慮するべきということがいえるが、直接投資 (*FDI*) やロイヤリティやライセンス料の支払額 (*PAT*) の効果は否定的である。ただしこれらの要因が完全に独立なものではない可能性や多重共線関係の可能性もあるため、輸入品目別にブレークダウンした分析においては、比較のために要因としてモデルに組み込み、さらにその特徴を見ることにする。

モデル (14) については、第 2 次産業比率 (*IND*) はエネルギー消費量との関係ではすべて抑制方向に有意な相関が認められたが、二酸化炭素排出量ではいずれのグループでも相関を示していない (この結果は先のパネル分析でもほぼ同様である)。このとき製造業品目合計 (*IM*) とエネルギー消費量はほとんどのグループで有意な抑制方向の相関を示すし、二酸化炭素消費でも同様に相関が測定されている (先の先の輸入品目を一括した場合のパネル分析では、*IND* および *IM* とともにエネルギー消費量に対しては同様の相関があったが、二酸化炭素排出量に対しては不安定な結果しか計測されていない)。

変更されたデータセットに対しても、援助 (*AID*) および第 2 次産業比率 (*IND*) はエネルギー消費量抑制方向と相関を示し、また二酸化炭素排出量とは相関が薄くなっている。しかし、製造業品目合計 (*IM*) については両方の局面で安定した抑制方向の相関を示した。

以上からは期間とグルーピング変更の影響は多少生じているものの、いずれも要因としてモデルに組み込むことには問題が無いと考えられる。

(2) 輸入品目別のパネル分析

分析モデルにおいては、着目する輸入品目 (X) およびそれ以外の輸入品目 (IMP_X) を選んだ上で、実質 GDP ($GDPR$) および総発電量に占める非化石燃料起源の発電量比率 (NOC) という、クロスセクション分析においても安定的であった説明変数を用いる。さらに説明変数 (Z) をモデルに組み込むが、先に述べたように輸入品目を細分化するので電力および燃料の輸入を輸入品目として扱うことができるので、エネルギー需給構造を示す、発電量と消費電力量の比 (ELX)、エネルギー生産量と消費量の比 (ENX) についてはこの候補から除去する。

したがって、残る要因 (Z) については、先に呼び分析した第 2 次産業比率 (IND)、援助 (AID)、直接投資 (FDI)、ロイヤリティやライセンス料の支払額 (PAT) のうちからひとつを選択してモデルを作成する。

$$Y_{it} = a_0 + a_1GDPR_{it} + a_2NOC_{it} + a_3Z_{it} + a_4X_{it} + a_5IMP_{Xit} + e_{it} \quad (15)$$

Y_{it} : $CO2T_{it}$ 、 $ENET_{it}$ から選択

Z_{it} : IND_{it} 、 AID_{it} 、 FDI_{it} 、 PAT_{it} から選択

X_{it} : 燃料 (FEL)、電力 (ELC)、化学製品 (CHM)、金属製品等 (MTL)、発電装置等 (PWG)、機械 (MCN)、情報通信機器 (INF)、電気機器 (EEQ)、輸送機器 (TRN)、その他 (OTR)、製造業品目合計 (IM_{it}) から選択 (% of GDP)

IMP_{Xit} : X_{it} 以外の財・サービスの輸入 (% of GDP)

$e_{it} = \alpha_i + v_{it}$: モデル (4) で仮定したものと同一

変数選択および国・地域グループの組み合わせにより、 $2 \times 4 \times 11 \times 4 = 352$ 種類のモデルを推定した。分析結果については、表 13 に例として、すべての国・地域 (Total(12345)) を対象にし、かつ要因として $Z = IND$ を選択した場合を示す。このような形で非常に多くの計算結果が得られているが比較するのが容易ではないので、二酸化炭素排出量と技術要因 (輸入品目別) の効果 (表 11) およびエネルギー消費量と技術要因 (輸入品目別) の効果 (表 12) の 2 種類の集約表にまとめた。

表 11 および表 12 はそれぞれ、所得グループ別に Z に IND 、 AID 、 FDI 、 PAT のいずれかを選択した場合 (表頭項目)、 X に選択した輸入商品別 (表側項目) にその推定結果を一覧にしたものである。その他の説明変数に関する情報は省略してあるが、他の要因の寄与状態は予備分析の結果 (表 8、表 9) とほぼ同じである。

集約表の見方については、たとえば表 13 の結果は集約表 11 に以下のように集約されている。

例示した表 13 は全国家・地域サンプル Total(12345) を対象に $Z = IND$ を選択したケースの分析であり、左欄の二酸化炭素排出量 $Y = CO2T$ についての分析結果の表示は、上の段から順に、 X に燃料 (FEL)、電力 (ELC)、化学製品 (CHM)... を選んだ場合のモデル (15) の推定結果になっている^(注 33)。この推定結果について、 X の列だけを抜き出したものが二酸化炭素排出量と技術要因 (輸入品目別) の効果の集約表である表 11 の最も左側の列 (グループ Total(12345) について $Y = CO2T$ 、 $Z = IND$ を選択した場合というように対応) に引き写されている。表 13 の右欄のエネルギー消費量についての分析結果も同様に集約表 12 に引き写されている。

集約表 11、12 からは、二酸化炭素排出量についてもエネルギー消費量についても特定の輸入商品に相関関係が集中していることがわかる。この結果をさらに記号的に表現したものが、表 10 である。左欄は二酸化炭素排出量 $Y = CO2T$ 、右欄はエネルギー消費量 $Y = ENET$ をとった場合、また上から所得グループ別に 4 段に分かれている。所得グループ別のブロック内の配置は集約表 11、12 と同じである。表の中は集約表 11、12 では X に関する情報のみを集約したが、表 10 においては同時に X 以外の輸入品を一括した IMP_X の情報をセットで表示している。

記号の意味は、右が X の推定パラメータ (a_4)、左が IMP_X の推定パラメータ (a_5) を意味するが、二酸化炭素排出量 $Y = CO2T$ あるいはエネルギー消費量 $Y = ENET$ とどのような相関関係が計測されたかを示している。 X に相関が有意に認められなかった場合は何も表示されていない。

(注 33) 一番下の製造業品目合計 (IM) については、 $Z = IND$ ならば予備分析の推定結果、表 9 と同じものになっている。

表中の各記号の意味は、

- $a_4 < 0$, $a_5 > 0$ のとき、(左 : a_4 、右 : a_5) はそれぞれ、○ : 5%有意水準、10%有意水準、- : 10%有意水準でない。
- $a_4 < 0$, $a_5 > 0$ のとき、 : ともに 5%有意水準。
- $a_4 > 0$, $a_5 < 0$ のとき、 : ともに 5%有意水準、 : 一方が 5%有意水準、他方が 10%有意水準。

なお、 $a_i < 0$ は抑制の方向に相関、 $a_i > 0$ は促進の方向に相関を意味する。

(3) 分析結果の考察

すでに述べたように、二酸化炭素排出量についてもエネルギー消費量についても特定の輸入商品に相関関係が集中している傾向がうかがわれる。以下、所得グループ別、輸入商品別に考察する。

低所得グループ エネルギー消費量に対しては、推定パラメータは金属製品等 (MTL)、発電装置等 (PWG)、機械 (MCN)、その他 (OTR) で一様に抑制方向に相関を有している (輸送機器 (TRN) は説明要因との組み合わせによっては有意に相関を有する)。特に、金属製品等 (MTL) とその他 (OTR) は、それ以外の財・サービスの輸入 IMP_X と組み合わせて (符号を逆に持つ) 有意に相関が示されおり () 効果が強い。

これに対して二酸化炭素排出量では、その他 (OTR) で一様に抑制方向に相関を有する。この他では輸送機器 (TRN)、化学製品 (CHM)、金属製品等 (MTL) では説明要因との組み合わせによっては有意に相関を有している。

エネルギー消費量に対してエネルギー集約度の大きい金属製品等 (MTL) などが抑制方向に相関を有することは直感的であるが、その他 (OTR)、すなわち食品、素材類、家具・衣類などそれほどエネルギー集約度の高くない輸入商品が強く効果を有することについては、これらのそれほど技術が集約されていない製品であっても輸入することにより効率を高めることに寄与する可能性があるかと理解するべきであろう。

二酸化炭素排出側でも同じく、その他 (OTR) がもっとも強い相関を有している。したがって、これはエネルギー消費量効率向上、あるいは消費量低減に寄与するとともに、そのために炭素集約的にはなっていないということの意味する。

中所得グループ エネルギー消費量に対しては、すべてのモデルで有意なのは金属製品等 (MTL) である。発電装置等 (PWG)、機械 (MCN)、その他 (OTR)、輸送機器 (TRN) でも説明要因との組み合わせによっては有意に相関を有する傾向は低所得グループと共通する。

二酸化炭素排出量に対しては、化学製品 (CHM)、その他 (OTR) で一様に抑制方向に相関を有する。金属製品等 (MTL) もほとんどのモデルで同様である。

特に低所得グループと比較して、金属製品等 (MTL) がエネルギー消費量、二酸化炭素排出量の双方に同時に有意に抑制方向に相関していること、エネルギー消費量とは重機械系が、二酸化炭素排出量には素材系が有意に相関することが明確になっている。その他

dep. Y		CO2T				ENEL			
Group	Z X	IND	AID	PAT	FDI	IND	AID	PAT	FDI
Total (12345)	FEL								
	ELC								
	CHM	-		○-	○-				
	MTL	-		○-	○-	○-	○-		
	PWG							○-	○-
	MCN					○-	○-	○-	○-
	INF	○-	○-						-
	EEQ								
	TRN	○-	○-	○-	○-	○-	○-		
	OTR	○-	○-	○-	○-	○-	○-		○-
	IM	○-	○-						
Low (123)	FEL								
	ELC								
	CHM			○	○-				
	MTL			○-	○-				
	PWG					○-	○-	○-	○-
	MCN					○-	○-	○-	○-
	INF								
	EEQ								
	TRN	○-	○-	-	-	○-	○-		
	OTR	○-	○-		○				
	IM	-	-					○	○
Middle (235)	FEL								
	ELC								
	CHM	○-	○-	○-	○-				
	MTL	○-	○-	-	○-	○-	○-	○-	○
	PWG					-		○-	○-
	MCN					-	○-	-	○-
	INF								
	EEQ								
	TRN					○-	○-		
	OTR	○-	○-	○-	○-	-	○-	-	○-
	IM	○-	○-						
High (345)	FEL								
	ELC	○							
	CHM								○
	MTL	○-	○-			-	-	-	
	PWG								-
	MCN					○-	○-	○-	○-
	INF							○	○
	EEQ								
	TRN					○-	○-	○-	○-
	OTR	-	-	○-	○-				
	IM	○-	○-	○-	○-	○	○-	○-	○-

X の推定パラメータの符号が負、 IMP_X の推定パラメータの符号が正のとき、
○：5%有意水準、 10%有意水準、 -：10%有意水準でない（左：X、右： IMP_X ）
：ともに 5%有意水準
X の推定パラメータの符号が正、 IMP_X の推定パラメータの符号が負のとき、
：ともに 5%有意水準、 一方が 5%有意水準、他方が 10%有意水準
model: $Y_{it} = a_0 + a_1GDP_{it} + a_2NOC_{it} + a_3Z_{it} + a_4X_{it} + a_5IMP_{X_{it}} + e_{it}$

表 10: 二酸化炭素排出量・エネルギー消費量と技術要因（輸入品目別）の効果（集約表）

表 11: 二酸化炭素排出量と技術要因 (輸入品目別) の効果 (要約表)

Y	CO2T															
	Group	Total(12345)				Low(123)				Middle(235)				High(345)		
Z	IND	AID	PAT	FDI	IND	AID	PAT	FDI	IND	AID	PAT	FDI	IND	AID	PAT	FDI
<i>FEL</i>	0.003	0.003	0.007	0.000	0.003	0.003	0.006	0.007	0.002	0.003	0.005	0.006	0.008	0.008	0.010	0.010
(t)	(0.85)	(0.92)	(1.40)	(0.08)	(0.70)	(0.68)	(1.06)	(1.15)	(0.44)	(0.51)	(0.63)	(0.71)	(1.30)	(1.29)	(1.30)	(1.31)
(p)	(0.40)	(0.36)	(0.16)	(0.93)	(0.48)	(0.50)	(0.29)	(0.25)	(0.66)	(0.61)	(0.53)	(0.48)	(0.20)	(0.20)	(0.20)	(0.19)
<i>ELC</i>	0.002	0.003	0.025	0.000	0.006	0.006	0.004	0.008	-0.023	-0.022	0.073	0.080	-0.197	-0.199	-0.082	-0.068
	(0.07)	(0.13)	(0.44)	(-0.09)	(0.18)	(0.20)	(0.06)	(0.12)	(-0.44)	(-0.43)	(0.88)	(0.97)	(-1.96)	(-1.98)	(-0.62)	(-0.51)
	(0.95)	(0.90)	(0.66)	(0.93)	(0.85)	(0.85)	(0.95)	(0.91)	(0.66)	(0.67)	(0.38)	(0.33)	(0.05)	(0.05)	(0.54)	(0.61)
<i>CHM</i>	-0.015	-0.016	-0.041	0.000	-0.016	-0.016	-0.051	-0.052	-0.035	-0.034	-0.054	-0.055	-0.018	-0.018	-0.022	-0.019
	(-1.83)	(-1.85)	(-3.45)	(-0.04)	(-1.47)	(-1.43)	(-3.09)	(-3.15)	(-2.43)	(-2.40)	(-2.49)	(-2.54)	(-1.55)	(-1.58)	(-1.45)	(-1.26)
	(0.07)	(0.07)	(0.00)	(0.97)	(0.14)	(0.15)	(0.00)	(0.00)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.12)	(0.12)	(0.15)	(0.21)
<i>MTL</i>	-0.019	-0.019	-0.029	0.000	-0.019	-0.019	-0.040	-0.046	-0.034	-0.032	-0.034	-0.042	-0.030	-0.031	-0.021	-0.016
	(-1.78)	(-1.79)	(-2.27)	(0.17)	(-1.41)	(-1.39)	(-2.45)	(-2.77)	(-2.48)	(-2.42)	(-1.92)	(-2.30)	(-2.29)	(-2.30)	(-1.30)	(-0.98)
	(0.08)	(0.07)	(0.02)	(0.86)	(0.16)	(0.16)	(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.06)	(0.02)	(0.02)	(0.02)	(0.20)	(0.33)
<i>PWG</i>	-0.014	-0.014	-0.017	0.000	-0.012	-0.013	-0.019	-0.019	-0.021	-0.012	-0.020	-0.020	-0.017	-0.017	-0.016	-0.013
	(-0.98)	(-0.98)	(-1.04)	(-0.06)	(-0.71)	(-0.71)	(-1.01)	(-1.02)	(-1.22)	(-0.68)	(-0.90)	(-0.94)	(-0.94)	(-0.96)	(-0.68)	(-0.58)
	(0.33)	(0.33)	(0.30)	(0.95)	(0.48)	(0.48)	(0.32)	(0.31)	(0.23)	(0.50)	(0.37)	(0.35)	(0.35)	(0.34)	(0.50)	(0.57)
<i>MCN</i>	0.000	0.000	-0.003	0.000	0.002	0.002	-0.001	-0.004	0.001	0.000	0.001	-0.003	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
	(-0.07)	(0.04)	(-0.41)	(-0.04)	(0.27)	(0.29)	(-0.14)	(-0.52)	(0.13)	(0.05)	(0.08)	(-0.32)	(-0.39)	(-0.37)	(-0.38)	(-0.29)
	(0.95)	(0.97)	(0.68)	(0.97)	(0.79)	(0.77)	(0.89)	(0.60)	(0.90)	(0.96)	(0.93)	(0.75)	(0.70)	(0.71)	(0.71)	(0.77)
<i>INF</i>	-0.015	-0.016	-0.002	0.000	0.007	0.007	0.008	0.008	-0.011	-0.011	0.015	0.016	-0.027	-0.028	-0.012	-0.018
	(-2.24)	(-2.37)	(-0.17)	(-0.02)	(0.64)	(0.63)	(0.61)	(0.69)	(-1.15)	(-1.22)	(1.10)	(1.25)	(-3.78)	(-3.81)	(-0.98)	(-1.76)
	(0.03)	(0.02)	(0.87)	(0.98)	(0.52)	(0.53)	(0.54)	(0.49)	(0.25)	(0.22)	(0.27)	(0.21)	(0.00)	(0.00)	(0.33)	(0.08)
<i>EEQ</i>	0.002	0.002	0.006	0.000	0.007	0.007	0.007	0.007	0.001	0.001	0.007	0.008	-0.007	-0.007	-0.002	-0.002
	(0.47)	(0.45)	(1.38)	(0.08)	(1.36)	(1.37)	(1.27)	(1.40)	(0.17)	(0.25)	(1.34)	(1.52)	(-1.61)	(-1.60)	(-0.36)	(-0.29)
	(0.64)	(0.65)	(0.17)	(0.94)	(0.17)	(0.17)	(0.21)	(0.16)	(0.87)	(0.81)	(0.18)	(0.13)	(0.11)	(0.11)	(0.72)	(0.77)
<i>TRN</i>	-0.011	-0.011	-0.013	0.000	-0.014	-0.015	-0.014	-0.015	-0.008	-0.010	-0.009	-0.010	-0.010	-0.009	-0.013	-0.013
	(-2.16)	(-2.19)	(-2.03)	(0.14)	(-2.14)	(-2.22)	(-1.75)	(-1.89)	(-1.29)	(-1.48)	(-1.08)	(-1.21)	(-1.65)	(-1.60)	(-1.73)	(-1.75)
	(0.03)	(0.03)	(0.04)	(0.89)	(0.03)	(0.03)	(0.08)	(0.06)	(0.20)	(0.14)	(0.28)	(0.23)	(0.10)	(0.11)	(0.09)	(0.08)
<i>OTR</i>	-0.009	-0.010	-0.023	0.000	-0.015	-0.016	-0.030	-0.032	-0.014	-0.015	-0.029	-0.031	-0.010	-0.010	-0.023	-0.020
	(-1.98)	(-2.12)	(-3.39)	(-0.13)	(-2.30)	(-2.37)	(-3.62)	(-3.79)	(-2.39)	(-2.48)	(-3.21)	(-3.37)	(-1.78)	(-1.76)	(-2.55)	(-2.18)
	(0.05)	(0.04)	(0.00)	(0.89)	(0.02)	(0.02)	(0.00)	(0.00)	(0.02)	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.08)	(0.08)	(0.01)	(0.03)
<i>IM</i>	-0.058	-0.062	-0.048	0.000	-0.053	-0.051	-0.039	-0.053	-0.072	-0.070	-0.048	-0.065	-0.126	-0.127	-0.112	-0.100
	(-2.50)	(-2.74)	(-1.48)	(0.00)	(-1.92)	(-1.92)	(-0.98)	(-1.30)	(-2.36)	(-2.41)	(-1.09)	(-1.45)	(-3.26)	(-3.34)	(-2.44)	(-2.19)
	(0.01)	(0.01)	(0.14)	(1.00)	(0.06)	(0.06)	(0.33)	(0.19)	(0.02)	(0.02)	(0.28)	(0.15)	(0.00)	(0.00)	(0.02)	(0.03)
<i>Narea</i>	104		85		76		62		61		48		54		43	
<i>Nobs</i>	534		412		359		274		317		239		305		241	

すべて固定効果モデル (Fixed Effect Model) の計測 (観測期間は、1992~1998、最大 7 期)

*** : 5%有意水準、** : 10%有意水準、* : 15%有意水準

表 12: エネルギー消費量と技術要因（輸入品目別）の効果（要約表）

Y	ENET															
	Total(12345)				Low(123)				Middle(235)				High(345)			
Group	IND	AID	PAT	FDI												
X																
<i>FEL</i>	0.004 **	0.003 *	0.004 *	0.005 *	0.004 **	0.004 *	0.005 *	0.005 *	0.004	0.003	0.003	0.003	0.009 ***	0.009 ***	0.009 ***	0.009 ***
(<i>t</i>)	(1.79)	(1.53)	(1.53)	(1.60)	(1.68)	(1.47)	(1.50)	(1.53)	(1.28)	(1.11)	(0.68)	(0.71)	(2.30)	(2.32)	(2.08)	(2.09)
(<i>p</i>)	(0.08)	(0.13)	(0.13)	(0.11)	(0.09)	(0.14)	(0.14)	(0.13)	(0.20)	(0.27)	(0.50)	(0.48)	(0.02)	(0.02)	(0.04)	(0.04)
<i>ELC</i>	0.004	0.003	-0.042	-0.043	0.007	0.006	-0.039	-0.042	-0.026	-0.041	-0.031	-0.033	-0.132 ***	-0.117 **	-0.171 ***	-0.161 ***
	(0.24)	(0.16)	-(1.27)	-(1.30)	(0.42)	(0.33)	-(1.01)	-(1.09)	-(0.85)	-(1.36)	-(0.69)	-(0.73)	-(2.20)	-(1.92)	-(2.29)	-(2.15)
	(0.81)	(0.87)	(0.21)	(0.20)	(0.67)	(0.74)	(0.32)	(0.28)	(0.40)	(0.18)	(0.49)	(0.47)	(0.03)	(0.06)	(0.02)	(0.03)
<i>CHM</i>	0.002	0.003	-0.001	0.000	-0.002	-0.001	-0.008	-0.008	-0.001	0.002	-0.004	-0.002	0.009	0.011 *	0.013 *	0.015 **
	(0.38)	(0.54)	-(0.10)	-(0.01)	-(0.33)	-(0.21)	-(0.90)	-(0.89)	-(0.09)	(0.24)	-(0.37)	-(0.19)	(1.29)	(1.56)	(1.50)	(1.69)
	(0.70)	(0.59)	(0.92)	(0.99)	(0.74)	(0.84)	(0.37)	(0.37)	(0.93)	(0.81)	(0.71)	(0.85)	(0.20)	(0.12)	(0.14)	(0.09)
<i>MTL</i>	-0.018 ***	-0.018 ***	-0.025 ***	-0.025 ***	-0.026 ***	-0.026 ***	-0.033 ***	-0.037 ***	-0.019 ***	-0.018 ***	-0.027 ***	-0.030 ***	-0.015 **	-0.014 **	-0.018 **	-0.015 *
	(-3.05)	(-2.95)	(-3.38)	(-3.33)	(-3.64)	(-3.59)	(-3.71)	(-4.06)	(-2.44)	(-2.32)	(-2.82)	(-3.08)	(-1.88)	(-1.74)	(-1.95)	(-1.57)
	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.02)	(0.02)	(0.01)	(0.00)	(0.06)	(0.08)	(0.05)	(0.12)
<i>PWG</i>	-0.012 *	-0.012 *	-0.020 ***	-0.020 ***	-0.023 ***	-0.024 ***	-0.030 ***	-0.027 ***	-0.019 **	-0.014 **	-0.036 ***	-0.031 ***	-0.012	-0.011	-0.025 **	-0.024 **
	(-1.48)	(-1.50)	(-2.17)	(-2.17)	(-2.38)	(-2.43)	(-2.88)	(-2.63)	(-1.93)	(-1.30)	(-3.12)	(-2.72)	(-1.12)	(-1.05)	(-1.96)	(-1.82)
	(0.14)	(0.14)	(0.03)	(0.03)	(0.02)	(0.02)	(0.00)	(0.01)	(0.06)	(0.20)	(0.00)	(0.01)	(0.26)	(0.30)	(0.05)	(0.07)
<i>MCN</i>	-0.007 ***	-0.008 ***	-0.010 ***	-0.010 ***	-0.008 ***	-0.008 ***	-0.009 ***	-0.011 ***	-0.007 **	-0.008 ***	-0.008 **	-0.011 ***	-0.008 ***	-0.009 ***	-0.008 ***	-0.009 ***
	(-2.17)	(-2.32)	(-2.75)	(-2.88)	(-2.04)	(-2.10)	(-2.16)	(-2.71)	(-1.81)	(-2.04)	(-1.94)	(-2.47)	(-2.26)	(-2.47)	(-2.49)	(-2.45)
	(0.03)	(0.02)	(0.01)	(0.00)	(0.04)	(0.04)	(0.03)	(0.01)	(0.07)	(0.04)	(0.05)	(0.02)	(0.03)	(0.01)	(0.01)	(0.02)
<i>INF</i>	-0.002	-0.001	-0.006	-0.008 **	-0.002	-0.001	-0.003	-0.002	0.001	0.004	-0.001	0.001	-0.004	-0.003	-0.014 ***	-0.017 ***
	(-0.53)	(-0.22)	(-1.15)	(-1.72)	(-0.24)	(-0.11)	(-0.37)	(-0.23)	(0.24)	(0.80)	(-0.14)	(0.08)	(-0.85)	(-0.60)	(-2.12)	(-2.88)
	(0.60)	(0.83)	(0.25)	(0.09)	(0.81)	(0.91)	(0.71)	(0.82)	(0.81)	(0.42)	(0.89)	(0.94)	(0.40)	(0.55)	(0.04)	(0.00)
<i>EEQ</i>	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.002	-0.002	-0.002	-0.001	0.000
	(0.20)	(0.28)	(0.49)	(0.58)	(0.59)	(0.59)	(0.33)	(0.52)	(-0.07)	(0.03)	(0.36)	(0.59)	(-0.66)	(-0.81)	(-0.25)	(-0.14)
	(0.85)	(0.78)	(0.63)	(0.57)	(0.56)	(0.55)	(0.74)	(0.60)	(0.95)	(0.98)	(0.72)	(0.55)	(0.51)	(0.42)	(0.80)	(0.89)
<i>TRN</i>	-0.008 ***	-0.008 ***	-0.005	-0.005 *	-0.010 ***	-0.010 ***	-0.006	-0.007 *	-0.009 ***	-0.010 ***	-0.006	-0.007	-0.012 ***	-0.012 ***	-0.013 ***	-0.014 ***
	(-2.68)	(-2.82)	(-1.33)	(-1.49)	(-2.58)	(-2.63)	(-1.42)	(-1.53)	(-2.36)	(-2.75)	(-1.31)	(-1.44)	(-3.35)	(-3.55)	(-3.10)	(-3.14)
	(0.01)	(0.01)	(0.19)	(0.14)	(0.01)	(0.01)	(0.16)	(0.13)	(0.02)	(0.01)	(0.19)	(0.15)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)
<i>OTR</i>	-0.007 ***	-0.007 ***	-0.011 ***	-0.010 ***	-0.013 ***	-0.012 ***	-0.018 ***	-0.018 ***	-0.007 **	-0.007 ***	0.061 **	-0.015 ***	-0.002	-0.002	-0.006	-0.004
	(-2.73)	(-2.64)	(-2.97)	(-2.71)	(-3.54)	(-3.41)	(-3.86)	(-3.84)	(-1.92)	(-1.98)	(1.65)	(-3.09)	(-0.49)	(-0.52)	(-1.17)	(-0.78)
	(0.01)	(0.01)	(0.00)	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.06)	(0.05)	(0.10)	(0.00)	(0.63)	(0.60)	(0.24)	(0.43)
<i>IM</i>	-0.047 ***	-0.041 ***	-0.025	-0.026	-0.051 ***	-0.043 ***	-0.037 **	-0.039 **	-0.066 ***	-0.048 ***	-0.034	-0.033	-0.067 ***	-0.051 ***	-0.062 ***	-0.055 ***
	(-3.52)	(-3.10)	(-1.35)	(-1.38)	(-3.44)	(-2.98)	(-1.69)	(-1.75)	(-3.88)	(-2.91)	(-1.42)	(-1.35)	(-2.89)	(-2.22)	(-2.36)	(-2.08)
	(0.00)	(0.00)	(0.18)	(0.17)	(0.00)	(0.00)	(0.09)	(0.08)	(0.00)	(0.00)	(0.16)	(0.18)	(0.00)	(0.03)	(0.02)	(0.04)
<i>Narea</i>	104	85			76	62			61	48			54	43		
<i>Nobs</i>	534	412			359	274			317	239			305	241		

すべて固定効果モデル (Fixed Effect Model) の計測 (観測期間は、1992~1998、最大 7 期)

*** : 5%有意水準、** : 10%有意水準、* : 15%有意水準

<i>X</i>	<i>CO2T</i>						<i>ENEL</i>						
	<i>GDPR</i>	<i>IND</i>	<i>NOC</i>	<i>X</i>	<i>IMP_X</i>	<i>SE/R²</i>	<i>GDPR</i>	<i>IND</i>	<i>NOC</i>	<i>X</i>	<i>IMP_X</i>	<i>SE/R²</i>	
<i>FEL</i>	0.830 ***	0.057 ***	-0.006 ***	0.003 ***	-0.055 ***		0.773 ***	-0.092 ***	-0.003 ***	0.004 **	-0.030 ***		
(<i>t</i>)	(16.06)	(0.87)	(-6.17)	(0.85)	(-2.31)	0.09	(26.10)	(-2.43)	(-4.62)	(1.79)	(-2.15)	0.05	
(<i>p</i>)	(0.00)	(0.39)	(0.00)	(0.40)	(0.02)	0.998	(0.00)	(0.02)	(0.00)	(0.08)	(0.03)	0.999	
<i>ELC</i>	0.821 ***	0.068 ***	-0.006 ***	0.002 ***	-0.055 ***		0.759 ***	-0.081 ***	-0.003 ***	0.004 ***	-0.019 ***		
	(16.17)	(1.04)	(-6.20)	(0.07)	(-2.08)	0.09	(25.99)	(-2.15)	(-4.64)	(0.24)	(-1.24)	0.05	
	(0.00)	(0.30)	(0.00)	(0.95)	(0.04)	0.998	(0.00)	(0.03)	(0.00)	(0.81)	(0.22)	0.999	
<i>CHM</i>	0.812 ***	0.063 ***	-0.006 ***	-0.015 **	-0.007 **		0.760 ***	-0.080 ***	-0.003 ***	0.002 ***	-0.025 ***		
	(16.03)	(0.97)	(-6.40)	(-1.83)	(-0.19)	0.09	(26.01)	(-2.12)	(-4.64)	(0.38)	(-1.21)	0.05	
	(0.00)	(0.33)	(0.00)	(0.07)	(0.85)	0.998	(0.00)	(0.04)	(0.00)	(0.70)	(0.23)	0.999	
<i>MTL</i>	0.819 ***	0.066 ***	-0.006 ***	-0.019 **	-0.008 **		0.756 ***	-0.083 ***	-0.003 ***	-0.018 ***	0.029 ***		
	(16.23)	(1.01)	(-6.34)	(-1.78)	(-0.22)	0.09	(26.26)	(-2.23)	(-4.86)	(-3.05)	(1.38)	0.05	
	(0.00)	(0.31)	(0.00)	(0.08)	(0.83)	0.998	(0.00)	(0.03)	(0.00)	(0.00)	(0.17)	0.999	
<i>PWG</i>	0.816 ***	0.070 ***	-0.006 ***	-0.014 **	-0.045 **		0.754 ***	-0.079 ***	-0.003 ***	-0.012 **	-0.009 **		
	(16.08)	(1.07)	(-6.31)	(-0.98)	(-1.67)	0.09	(25.86)	(-2.10)	(-4.85)	(-1.48)	(-0.59)	0.05	
	(0.00)	(0.29)	(0.00)	(0.33)	(0.10)	0.998	(0.00)	(0.04)	(0.00)	(0.14)	(0.56)	0.999	
<i>MCN</i>	0.821 ***	0.068 ***	-0.006 ***	0.000 **	-0.054 **		0.755 ***	-0.072 **	-0.003 ***	-0.007 ***	0.008 ***		
	(16.19)	(1.04)	(-6.25)	(-0.07)	(-1.69)	0.09	(26.03)	(-1.92)	(-4.59)	(-2.17)	(0.42)	0.05	
	(0.00)	(0.30)	(0.00)	(0.95)	(0.09)	0.998	(0.00)	(0.06)	(0.00)	(0.03)	(0.68)	0.999	
<i>INF</i>	0.859 ***	0.051 ***	-0.006 ***	-0.015 ***	-0.032 ***		0.762 ***	-0.082 ***	-0.003 ***	-0.002 ***	-0.013 ***		
	(16.05)	(0.77)	(-6.20)	(-2.24)	(-1.20)	0.09	(24.64)	(-2.16)	(-4.66)	(-0.53)	(-0.85)	0.05	
	(0.00)	(0.44)	(0.00)	(0.03)	(0.23)	0.998	(0.00)	(0.03)	(0.00)	(0.60)	(0.40)	0.999	
<i>EEQ</i>	0.807 ***	0.069 ***	-0.006 ***	0.002 ***	-0.059 ***		0.754 ***	-0.080 ***	-0.003 ***	0.000 ***	-0.018 ***		
	(14.95)	(1.06)	(-6.29)	(0.47)	(-2.28)	0.09	(24.28)	(-2.12)	(-4.70)	(0.20)	(-1.20)	0.05	
	(0.00)	(0.29)	(0.00)	(0.64)	(0.02)	0.998	(0.00)	(0.04)	(0.00)	(0.85)	(0.23)	0.999	
<i>TRN</i>	0.827 ***	0.079 ***	-0.006 ***	-0.011 ***	-0.020 ***		0.764 ***	-0.073 ***	-0.003 ***	-0.008 ***	0.006 ***		
	(16.34)	(1.21)	(-6.23)	(-2.16)	(-0.71)	0.09	(26.32)	(-1.97)	(-4.68)	(-2.68)	(0.34)	0.05	
	(0.00)	(0.23)	(0.00)	(0.03)	(0.48)	0.998	(0.00)	(0.05)	(0.00)	(0.01)	(0.74)	0.999	
<i>OTR</i>	0.807 ***	0.065 ***	-0.006 ***	-0.009 ***	-0.008 ***		0.746 ***	-0.084 ***	-0.003 ***	-0.007 ***	0.021 ***		
	(15.80)	(1.00)	(-6.26)	(-1.98)	(-0.23)	0.09	(25.49)	(-2.25)	(-4.68)	(-2.73)	(1.08)	0.05	
	(0.00)	(0.32)	(0.00)	(0.05)	(0.82)	0.998	(0.00)	(0.03)	(0.00)	(0.01)	(0.28)	0.999	
<i>IM</i>	0.831 ***	0.053 ***	-0.006 ***	-0.058 ***	0.022 ***		0.778 ***	-0.102 ***	-0.002 ***	-0.047 ***	0.052 ***		
	(16.27)	(0.79)	(-6.06)	(-2.50)	(0.79)	0.09	(26.87)	(-2.73)	(-4.30)	(-3.52)	(3.35)	0.05	
	(0.00)	(0.43)	(0.00)	(0.01)	(0.43)	0.998	(0.00)	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	0.999	
Group :	Total (12345)			<i>Narea/Nobs</i> :			104	534	<i>T_{min}/T_{max}</i> :			1	7

すべて固定効果モデル (Fixed Effect Model) の計測 (観測期間は、1992-1998、最大 7 期)

*** : 5%有意水準、** : 10%有意水準、* : 15%有意水準

表 13: Panel 分析 Total(12345) $Z=IND$

(OTR)も両方にほぼ有意に相関を有するが、エネルギー消費に対しては低所得グループほどに効果ははっきりと現れていない。また輸送機器 (TRN) も二酸化炭素排出量側では有意に計測されていない。

高所得グループ 低中所得グループに比較して、異なった傾向を有する。

まずエネルギー消費については、燃料 (FEL) の輸入が消費増加の方向ときわめて強い相関を有する。また電力 (ELC) の輸入は抑制方向と強い相関を有する。ところがこのエネルギー輸入については二酸化炭素排出量側では燃料 (FEL) の影響は全く計測されない。電力 (ELC) については説明要因との組み合わせによっては有意に抑制方向に相関を有している。電力 (ELC) についてはカーボン・リーケージという視点からはある程度直感的な結果になっている。

これは天然ガスなどの炭素集約度の低い燃料系エネルギーの輸入は消費増を増加させるが、二酸化炭素排出量に与える影響は低いという効果の可能性がある。また同じく中低所得グループと異なり電力 (ELC) の輸入の影響が計測されているのは、中低所得グループではもともと回避する発電源が無かったという解釈が可能であろう。高所得グループでは発電源の回避効果が出ている可能性がある。ただし二酸化炭素排出量側ではそれほど一様に強い相関が計測されているわけではない^(注 34)。

素材系商品の輸入については、エネルギー消費量に対して、金属製品等 (MTL) でも抑制方向への相関は明確なものではない。また低中所得グループと異なり化学製品 (CHM) では相関が計測されていない。

またこれらは二酸化炭素排出量に対して、ほとんど相関が計測されない (金属製品等 (MTL) が説明要因との組み合わせによっては有意に相関を有するのみ)。高度な製品を必要とするような先進国の金属製品等 (MTL) の需要では、すべて海外依存するといったことは難しいが、そのような理由でカーボン・リーケージが予想しているよりも少なかったのかどうかはさらに微視的な領域での検討が必要であろう。

また高所得グループではエネルギー消費量に対して、加工組立系の商品の輸入による効果が幅広く計測されている。機械 (MCN)、輸送機器 (TRN) が一様に抑止方向に有意に相関を持つほかに、説明要因との組み合わせによっては発電装置等 (PWG)、情報通信機器 (INF) が相関を示している。輸送機器 (TRN) については低中所得グループの場合よりもはっきりと計測されていることが特徴的である。

そして、二酸化炭素排出量側の分析ではこの中で情報通信機器 (INF) がほとんどのモデルで抑制側に相関を有していることが計測された。これは注目すべき結果である。

また、その他 (OTR) に関しては中低所得グループと異なりエネルギー消費量側では有意な相関は計測されなかった。また二酸化炭素排出量に対してもその計測結果は弱まっている。

エネルギー輸入 輸入商品としてエネルギー輸入の効果が明確に計測されたのは高所得グループのみである。

高所得グループではすでに炭素集約度の低い燃料に転換している可能性がある。このため輸入はエネルギー消費増に結びつくが二酸化炭素排出量にはそれほど影響を与えない可

^(注 34) EU などで広域の電力融通が行われているケースなどでは炭素回避 (カーボン・リーケージ) ではなく原子力回避の傾向がある。このような場合には二酸化炭素排出量には影響を及ぼさない可能性がある。

可能性がある。同様に、電力に関しても炭素集約度の低い発電源を保有・運用していた可能性があり、また輸入も不足分を輸入する傾向が考えられる。このため発電効率に結びつく形でエネルギー消費量が抑制されるが、カーボン・リーケージはそれほど大きく計測されることはない可能性がある。

素材系製品輸入 エネルギー消費量に対して、その抑制効果への相関の強さは、 $Low(123) > Middle(235) > High(345)$ 、ところが二酸化炭素排出量に対する相関では、 $Middle(123) > Low(235) \gg High(345)$ といった順序になる。

また、金属製品等 (*MTL*) ではエネルギー消費量、二酸化炭素排出量の両方で抑制方向の相関が計測されるが、化学製品 (*CHM*) ではエネルギー消費量に対してはほとんど計測されない。

素材形製品の輸入による効果については、もともと産業が無い低所得グループ、必要に応じて水平分業する高所得グループよりも、海外依存による環境上の恩恵を受けているのは中所得グループである可能性がある。カーボン・リーケージは先進国が疑われることが多いが、経済成長に対して支払う環境負荷は中所得グループの方が回避できている可能性があるのだろうか。^(注 35) この点については成長との関係をさらに検討する必要があるが、興味深い計測結果である。

加工組立系製品輸入 この分野の製品は、すでに検討したようにエネルギー集約度および二酸化炭素集約度において国際間に大きな差は無く、カーボン・リーケージの恐れは少ない。

すべての所得グループに対して機械 (*MCN*) はエネルギー消費量に対して抑制方向と相関を示す。また発電装置等 (*PWG*) は $Low(123) > Middle(235) \gg High(345)$ 、輸送機器 (*TRN*) では $High(345) \gg Low(123), Middle(235)$ といった結果になった。

機械製品の輸入がエネルギー消費効率を向上させていることは、ある程度直感的である。しかし、これらは二酸化炭素排出量では全く影響を示していない。高所得グループで輸送機器 (*TRN*) が抑制方向に弱い相関を示しているだけである。エネルギー消費効率の向上よりも燃料の炭素集約度が高まるような現象があるのか、さらに検討を行う必要があるだろう^(注 36)。また輸送機械 (自動車など) の輸入がエネルギー消費効率を向上させたり二酸化炭素排出量を抑制することも、高性能で燃費のよい自動車を例に考えれば直感的である。高所得グループで顕著なのは、たとえば自動車の普及率といったことが影響しているのではないかと考えられる。低所得グループでは輸送システム全体での効率向上が輸入によって生じている可能性がある。

さらに興味深い結果として、高所得グループにおいてのみ情報通信機器 (*INF*) についてエネルギー消費量についても二酸化炭素排出量に対しても抑制方向に相関が認められることがあげられる。エネルギー消費局面での制御性向上による効率向上は発電所や工場の燃焼制御から、民生用製品、たとえば空調機器や家電製品の省エネルギー化まで広範囲に

(注 35) これが実態としての後発性の利益であるとする、直接的な技術流入よりも間接的な技術流入効果が無視できないことになる。

(注 36) 発電のために石炭、重油の消費量が増加したり、また輸送用燃料および生活水準の向上に炭素集約度の高い燃料を必要とする可能性がある。また統計の整備にもなって炭素集約度の高い燃料が商用エネルギーとして把握される可能性もある。

その機会が存在しているが、全体的な効率向上に寄与しているのかどうかは即断はできない^(注 37)。そのメカニズムについては、さらに商品分類を詳細にすることやモデルの改良、さらに国別・地域別ケースでの微視的な分析が必要になると考えられる。

その他の製品輸入 上記の比較的高度な技術を含む工業製品に対して、その他 (*OTR*)、すなわち食品、素材類、家具・衣類など炭素集約度も相対的に低く、また製造に要する技術水準も比較的高くはない製品群が、ほとんどすべての計測でエネルギー消費量においても二酸化炭素排出量においても抑制方向に相関が計測されている。またこれらの製品の輸出国は先進国だけではなく、多くの国・地域が貿易に関与している。エネルギー消費については、*Low*(123) \gg *Middle*(235)、二酸化炭素排出量については、*Low*(123) $>$ *Middle*(235) $>$ *High*(345) であり、発展段階での順序と同期している。なお、高所得グループにおいてはエネルギー消費との関係は推定されていない。

これに関してもさらに商品分類の詳細化や国別・地域別での検討が必要であろうが、すべての所得グループおよびモデル内の他の説明変数の選択にかかわらず、抑制方向に有意に計測されているということは何らかの因果関係を否定できない。また低所得であるほど有意ということは、国際的な環境対策における支援政策にとって無視できない効果である可能性が高い。

他の要因との関係 予備分析の結果と同様、*Z* の変数候補である援助 (*AID*)、直接投資 (*FDI*)、ロイヤリティやライセンス料の支払額 (*PAT*) では全グループでの安定した計測結果は得られていない。

モデル (15) おいて、 $Z = AID$ の場合には、中所得グループのエネルギー消費および二酸化炭素排出量で有意に計測されたのみである。また、 $Z = PAT$ の場合は、高所得グループのエネルギー消費でおおよそが有意に、また同グループの二酸化炭素排出量と中所得グループのエネルギー消費で多少相関が推定されただけである。直接投資 (*FDI*) に関しては全く関係が推定されなかった。

二酸化炭素排出量抑制という環境対策において、中所得グループに対しては援助は有効であるが、低所得グループについては援助との相関が認められないということは、先の低所得グループは中所得グループよりも輸入製品のうちその他 (*OTR*) による抑制効果との相関が有意であるということと比較すると、軽工業製品のイミテーション可能程度の技術水準にならなければ、援助では全体でのエネルギー消費効率を向上することは難しいというインプリケーションを導くことも可能ではないかと考えられる。

また発展した国のほうがロイヤリティやライセンス料の支払額 (*PAT*) が有意であるということは直感的である。

直接投資 (*FDI*) の効果が希薄であるということは、先進技術のスピルオーバーに関する先行研究と同様な結果である。

(注 37) きわめて間接的で迂回を続けた結果の効果が集積されたものであると考えられるので、少なくとも *new economy* や収獲逡増経済といった IT 革命的な考え方とは対極にある異質な現象であることは間違いないと考えられる。

5 おわりに

貿易の影響についての Connolly の計測では、イミテーションおよびイノベーションによる保有技術はいずれも高度技術製品の輸入と正の相関を持ち、非高度技術製品の輸入については負の相関を持つとする。

ところで 2.3 節で述べたように、ある国・地域の二酸化炭素排出量水準の変化はエネルギー消費効率やエネルギー源の種類に深く関連している。エネルギー消費はエネルギー転換部門から運輸や民生部門に至るまでのあらゆる局面で生じるが、これらの各部門で使用するエネルギー消費に関連する財、たとえば原子力発電所から乾電池までをすべて内製可能な国はほとんど無く、先進国であってもかなりの部分を輸入に依存することが多い。したがってエネルギー消費管理や二酸化炭素排出量抑制にかかわる技術の多くも貿易を通じて何らかの形で間接的に移転していると考えられる。それは継続的に先進的な技術を使用できるという効果もあれば、模倣を通じて習得する技術もあるだろう。また、そのような技術や製品が存在するという知識自体が技術や知識の組み合わせの動機となり、エンジニアリング段階の技術になることも考えられる。これらの現象は途上国から先進国に至るまで、さまざまな形態で生じている可能性がある。

Connolly の分析は一般的な技術を対象とし、輸入を通じた技術の流入の生産性への効果について議論したものであるが、本稿においては経済活動にともなう二酸化炭素排出量抑制という限定された技術領域においても同様の分析結果が得られたと考えられる^(注 38)。もしこの効果が確認され、また高所得グループだけでなく低中所得グループの国・地域にも拡大して行けば、国際的な二酸化炭素排出量抑制政策は新たな展開をすることになる可能性があるだろう。

エネルギー消費効率向上はすでに 20 世紀後半からの課題であり、その技術蓄積は進んでいるが、明示的な二酸化炭素排出量抑制技術はこれからの技術である。そこでは国内産業部門間での技術スピルオーバーだけではなく、国外からの先進技術の導入と模倣（イミテーション）およびそれに触発される技術革新（イノベーション）が先進国、途上国とも重要になると考えられる。エネルギー源の転換をともなう二酸化炭素排出量抑制技術は単に発電所や生産の現場だけの課題ではなく、都市ガスなどの燃料や電力利用形態の変化という形を通して一般家庭など民生部門での対応もせまられるのである。さらに、エネルギー転換に応じたプラントなどの輸入の他に、民生部門においても輸入されるライフスタイルなどに随伴して二酸化炭素排出量抑制技術が国外から輸入や援助等を介して浸透しているはずであり、またその効果は国内での技術ストックと比較しても無視できないシェアを持つと考えられる。

本稿はこれらの視点から、構造的な要因とあわせて、先進国および途上国に関して、援助、海外直接投資、製造業品目の輸入、非製造業品目の輸入、技術の購入による獲得、エネルギー転換要素（原子力、石炭）といった技術要素が二酸化炭素排出量抑制に与える効果についてまず計測を行った。

前半のパネル分析では、高所得諸国においては二酸化炭素排出量（ CO_2T ）と製造業品目の輸入（ IM ）の間にはおおよそで、負の相関、非製造業品目の輸入（ NIM ）との間には正の相関が計測されている。この結果、一般的な国外からの技術スピルオーバーについ

^(注 38) 二酸化炭素抑制は減少方向が技術水準の上昇であるから、技術集約度の高い製品の輸入、低い製品の輸入の効果の符号は、Connolly のモデルと逆になる。

て論じた先駆的な研究と同様、技術を含んだ製品の輸入を通じて、二酸化炭素排出量抑制という特殊な技術領域においても同様な効果が生じている可能性があることを示した。

さらに本稿では、この効果をさらに詳細に検討するために輸入製品をさらにブレークダウンし、品目別にその分析を進めた。また直接的なエネルギー消費だけでなく産業構造やエネルギー需給構造を経由する間接的なエネルギー消費まで考慮するエネルギー集約度および炭素集約度について考察を行い、カーボン・リーケージを生じる可能性のある輸入製品と、その可能性が薄い輸入製品について確認を行った。

その結果、二酸化炭素排出量についてもエネルギー消費量についても特定の輸入商品に相関関係が集中している傾向が計測された。

電力の輸入や化学製品、鉄鋼などの金属等のカーボン・リーケージの可能性のある財の輸入による効果以外に、機械（*MCN*）に代表されるような炭素集約度のそれほど高くない加工組立系の製品輸入もエネルギー消費量や二酸化炭素排出量に対する抑制効果と相関を有することが示された。これらの製品の輸入にはカーボン・リーケージの可能性は薄く、製品に体化された技術と環境負荷軽減の間に何らかの因果関係を考慮する必要があるだろう。

特に注目すべきことは、その他の製造業製品（*OTR*）、すなわち食品、素材類、家具・衣類など炭素集約度も相対的に低く、また製造に要する技術水準も比較的高くはない製品群が、ほとんどすべての計測でエネルギー消費量においても二酸化炭素排出量においても抑制方向に相関が計測されており、特に低所得グループの国家・地域で有意である。また高所得国家・地域のグループでは、情報通信機器（*INF*）による相関も計測された。

また、援助は中所得国家・地域のグループでは有意に効果が計測されたのみであり、低所得グループでは計測されなかった。また海外からの直接投資は輸入製品をブレークダウンした詳細な分析においては、その効果は認められず、R&Dのスピルオーバーに関する先行的な研究と同様の結果が得られている。それらのメカニズムについては、さらに商品分類を詳細にすることやモデルの改良、さらに国別・地域別ケースでの微視的な分析が必要になると考えられるが、貿易を通じた技術の流入効果は二酸化炭素抑制の領域においても生じている可能性が高い。

技術のスピルオーバーに関する先駆的な研究は先端技術関連のものが多く、これらの領域においては常に先進的な国・地域と途上の国・地域との間には技術的な距離が生じており、たとえ模倣を続けても必ずしも技術の平準化は達成できないことが多い。このため技術革新ごとに技術の発信者と受信者に分離して、常に貿易を通じた技術スピルオーバー効果が生じると考えられる。

ところが二酸化炭素排出量抑制にかかわる技術群は、本稿の分析に現れたように、決して先端技術だけから構成されるものではなく熟成した技術も多い。しかし技術的課題となつてからの時間が短いことや技術の裾野が広いために、現状では歴史的経緯や事情によって各国間の技術ストックの粗密がきわめて大きい状況と考えられる。このため直接的な特許やライセンスの売買だけではなく、貿易を通じた技術の浸透・平均化が将来の環境問題において重要な役割を果たすことになると考えられる。

これが一過性の現象なのか、あるいは二酸化炭素排出量抑制においても先端技術的な領域が生じて恒常的に貿易を通じたスピルオーバーが生じるのかは今後の観測を待たなければならぬ。しかし、さらに詳細な分析を行うことによりこれらの兆候を分析できると考

えられ、今後の研究課題にしたい。なお本論文は科学研究費補助金（藤田：科学研究費補助金、課題番号 13630066：基盤研究 (C)(2)）の研究成果の一部である。

付記

本稿は西日本理論経済学会第 115 回例会（2000 年 10 月 15 日、於・西南学院大学）における研究報告をもとに継続作成されたものである。討論者となっていたいただいた福岡国際大学の岡島慶和氏からは非常に貴重なコメントをいただいた。ここに深く感謝の意を表したい。なお、当然のことであるが、本稿におけるあり得べき誤りはすべて筆者の責に帰するものである。

参考文献

- [1] Bayoumi, T., Helpman, E., "R&D Spillovers and Global Growth," *NBER Working Paper*, No. W5628, National Bureau of Economic Research, June 1996.
- [2] Coe, D., Helpman, E., "International R&D Spillovers," *NBER Working Paper*, No. W4444, National Bureau of Economic Research, November 1995.
- [3] Connolly, M. P., "The Dual Nature of Trade: Measuring Its Impact on Imitation and Growth," *Staff Papers*, No. 44, Federal Reserve Bank of New York, May 1998.
- [4] Haddad, M., "Are there positive spillovers from direct foreign investment? Evidence from panel data for Morocco," *Journal of Development Economics*, No. 42, pp51-74, 1993.
- [5] Hsiao, C., *Analysys of Panel Data*, Cambridge University Press, 1986.
- [6] Jaffe, A. B., "Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firm's Patents, Profits, and Market Value," *The American Economic Review*, 76, No. 5, pp984-1001, 1986.
- [7] Lichtenberg, F., van Pottelsberghe de la Pottirie, B., "International R&D Spillovers: A Re-Examination," *NBER Working Paper*, No. W5668, National Bureau of Economic Research, July 1996.
- [8] Parcey, Arnold, *Technology in World Civilization*, Cambridge: MIT Press, 1994 (邦訳：林武監訳、東玲子訳『世界文明における技術の千年史』, 新評論, 2001 年 6 月).
- [9] 内山洋司, 山本博巳「発電プラントの温暖化影響分析」財団法人電力中央研究所『電力中央研究所報告（研究報告：Y91005）』, 1992 年 5 月.
- [10] 内山洋司, 山本博巳「発電プラントのエネルギー収支分析」財団法人電力中央研究所『電力中央研究所報告（研究報告：Y90015）』, 1991 年 11 月.

- [11] 斎藤雄志「エネルギー使用効率評価におけるエネルギーアナリシスの有効性」『省エネルギー』, Vol.33 No.1, pp15-22, 1981年1月.
- [12] 藤田渉「国際産業連関表を用いた地域間環境負荷依存関係の分析 (An analysis of multi-area relationship on environmental load)」環太平洋産業連関分析学会 1994年度総会 (Pan Pacific Association of Input-Output Studies - 1994 Conference) 報告要旨, 1994年11月.
- [13] 藤田渉「国際産業連関分析による各国・地域間の環境負荷依存関係 (Estimation of Multi-Area Interdependence of CO2 Emissions from Activities : Using the 1985 Japan-US- EC-Asia Input-Output Tables)」長崎大学経済学部『研究年報』第11巻, pp49-69, 1995年3月.
- [14] 藤田渉「二酸化炭素排出量と貿易を経由した国際的技術スピルオーバーについて」西日本理論経済学会第115回例会報告, 2000年10月.
- [15] 藤田渉「二酸化炭素排出量水準における技術要因の国際間比較」地球環境レポート編集委員会『地球環境レポート』, vol.5, 2001年11月30日.
- [16] 松岡俊二, 松本礼史, 河内幾帆, 「途上国の経済成長と環境問題: 環境クズネッツ曲線は成立するか」環境科学会『環境科学会誌』, 11巻4号, 1998年, pp.349-362.
- [17] 和合肇, 伴金美『TSPによる経済データの分析 [第2版]』東京大学出版会, 1995年2月.
- [18] Enrgy Statistics Division, *Energy Statistic of OECD Countries 1960-1999* 2001 Edition, International Energy Agency, 2001.
- [19] Enrgy Statistics Division, *Energy Statistic of NON-OECD Countries, 1971-1999* 2001 Edition, International Energy Agency, 2001.
- [20] Enrgy Statistics Divusion, *Energy Balances of OECD Countries 1960-1999* 2001 Edition, International Energy Agency, 2001.
- [21] Enrgy Statistics Division, *Energy Balances of NON-OECD Countries, 1971-1999* 2001 Edition, International Energy Agency, 2001.
- [22] United Nations Statistics Division, *Five year time series 1993-1997 of international tarade statistics with market share and trade analysis by country and product (STIC3)*, International Trade Centre UNCTAD/UN, 1999.
- [23] United Nations Statistics Division, *Five year time series 1996-2000 of international tarade statistics with market share and trade analysis by country and product (STIC3)*, International Trade Centre UNCTAD/UN, 2002.
- [24] Development Data Group, *The 2000 World Development Indicators*, The World Bank, 2000.

- [25] Development Data Group, *The 2002 World Development Indicators*, The World Bank, 2002.
- [26] 環境庁『環境白書 平成7年版』平成7年5月.
- [27] 環境庁『環境白書 平成11年版』平成11年5月.
- [28] 環境省『環境白書 平成14年版』平成14年5月.
- [29] 環境省「気候変動枠組条約締約国会議第8回会合(COP8)の結果について」(報道発表資料), 平成14年11月5日.
- [30] 通商産業大臣官房調査統計部『1985年日本・米国・EC3カ国・アジア8カ国・地域・国際産業連関表』,1993年.
- [31] 通商産業大臣官房調査統計部『1990年日本・米国・EC3カ国・アジア8カ国・地域・国際産業連関表』,1998年.
- [32] 文部省国立天文台編『理科年表 2001年度版』丸善, 2001年.
- [33] The United Nations Framework Convention on Climate Change (国際連合枠組条約 WebPage), <http://unfccc.int/>.

資料

Income Class	Data Set	1			A	2				B		C	D	E
	Country Name	85	90	95	98	80	85	90	95	95	98			
1.Low	Angola													
	Armenia													
	Azerbaijan													
	Bangladesh													
	Benin													
	Cameroon													
	Congo, Dem. Rep.													
	Congo, Rep.													
	Cote d'Ivoire													
	Ethiopia													
	Georgia													
	Ghana													
	Haiti													
	India													
	Indonesia													
	Kenya													
	Kyrgyz Republic													
	Moldova													
	Mozambique													
	Nepal													
	Nicaragua													
	Nigeria													
	Pakistan													
	Senegal													
	Sudan													
	Tajikistan													
	Tanzania													
	Togo													
	Ukraine													
	Uzbekistan													
	Vietnam													
Yemen, Rep.														
Zambia														
Zimbabwe														
2.Lower Middle	Albania													
	Algeria													
	Belarus													
	Bolivia													
	Bosnia and Herzegovina													
	Bulgaria													
	China													
	Colombia													
	Ecuador													
	Egypt, Arab Rep.													
	El Salvador													
	Guatemala													
	Honduras													
	Iran, Islamic Rep.													
	Jamaica													
	Jordan													
	Kazakhstan													
	Latvia													
	Lithuania													
	Morocco													
	Namibia													
	Paraguay													
	Peru													
	Philippines													
	Romania													
	Russian Federation													
	Sri Lanka													
Syrian Arab Republic														
Thailand														
Tunisia														
Turkmenistan														

表 14: データを利用可能な国・地域 (1)

Income Class	Data Set Country Name	1			A	2				B		C	D	E
		85	90	95	98	80	85	90	95	95	98			
3.Upper Middle	Argentina													
	Bahrain													
	Brazil													
	Chile													
	Costa Rica													
	Croatia													
	Czech Republic													
	Dominican Republic													
	Estonia													
	Gabon													
	Hungary													
	Korea, Rep.													
	Lebanon													
	Malaysia													
	Mexico													
	Oman													
	Panama													
	Poland													
	Saudi Arabia													
	Slovak Republic													
South Africa														
Trinidad and Tobago														
Turkey														
Uruguay														
Venezuela, RB														
4.High OECD	Australia													
	Austria													
	Belgium													
	Canada													
	Denmark													
	Finland													
	France													
	Germany													
	Greece													
	Iceland													
	Ireland													
	Italy													
	Japan													
	Luxembourg													
	Netherlands													
	New Zealand													
	Norway													
	Portugal													
	Spain													
	Sweden													
Switzerland														
United Kingdom														
United States														
5.High non-OECD	Brunei													
	Cyprus													
	Hong Kong, China													
	Kuwait													
	Malta													
	Singapore													
	Slovenia													
United Arab Emirates														
<i>Narea</i>	84	90	99	107	58	61	62	48	61	64	93	86	104	

データセット 1 と A は、構造要因でのクロスセクション分析まで、データが利用可能な国・地域
2 と B は、構造要因および技術要因でのクロスセクション分析まで、データが利用可能な国・地域
C はパネル分析でデータが利用可能な国・地域
D は FDI と PAT を入れた輸入商品別パネル分析でデータ利用可能な国・地域。
E は FDI と PAT を除いた輸入商品別パネル分析でデータ利用可能な国・地域。
1,2 は藤田 [15] で用いたデータセット(参考)

表 15: データを利用可能な国・地域(2)

CODE	COMMODITIES	CODE	COMMODITIES	Variables
0	FOOD & LIVE ANIMALS	0	LIVE ANIMALS EXCEPT FISH	
		1	MEAT & PREPARATIONS	
		2	DAIRY PRODUCTS & EGGS	
		3	FISH/SHELLFISH/ETC.	
		4	CEREALS/CEREAL PREPARATN	
		5	VEGETABLES AND FRUIT	
		6	SUGAR/SUGAR PREP/HONEY	
		7	COFFEE/TEA/COCOA/SPICES	
		8	ANIMAL FEED EX UNML CER.	
9	MISC FOOD PRODUCTS			
1	BEVERAGES AND TOBACCO	11	BEVERAGES	
		12	TOBACCO/MANUFACTURES	
2	CRUDE MATER.EX FOOD/FUEL	21	HIDE/SKIN/FUR, RAW	
		22	OIL SEEDS/OIL FRUITS	
		23	CRUDE/SYNTHET/REC RUBBER	
		24	CORK AND WOOD	
		25	PULP AND WASTE PAPER	
		26	TEXTILE FIBRES	
		27	CRUDE FERTILIZER/MINERAL	
		28	METAL ORES/METAL SCRAP	
		29	CRUDE ANIM/VEG MATER NES	
3	MINERAL FUEL/LUBRICANTS	32	COAL/COKE/BRIQUETTES	<i>FEL</i>
		33	PETROLEUM AND PRODUCTS	<i>ELC</i>
		34	GAS NATURAL/MANUFACTURED	
		35	ELECTRIC CURRENT	
4	ANIMAL/VEG OIL/FAT/WAX	41	ANIMAL OIL/FAT	
		42	FIXED VEG OILS/FATS	
		43	ANIMAL/VEG OILS PROCES'D	
5	CHEMICALS/PRODUCTS N.E.S	51	ORGANIC CHEMICALS	<i>CHM</i>
		52	INORGANIC CHEMICALS	
		53	DYEING/TANNING/COLOR MAT	
		54	PHARMACEUTICAL PRODUCTS	
		55	PERFUME/COSMETIC/CLEANSR	
		56	MANUFACTURED FERTILIZERS	
		57	PLASTICS IN PRIMARY FORM	
		58	PLASTICS NON-PRIMRY FORM	
		59	CHEM MATERIAL/PRODS NES	
6	MANUFACTURED GOODS	61	LEATHER MANUFACTURES	<i>OTR</i>
		62	RUBBER MANUFACTURES NES	
		63	CORK/WOOD MANUFACTURES	
		64	PAPER/PAPERBOARD/ARTICLE	<i>MTL</i>
		65	TEXTILE YARN/FABRIC/ART.	
		66	NON-METAL MINERAL MANUF.	
		67	IRON AND STEEL	
		68	NON-FERROUS METALS	
		69	METAL MANUFACTURES NES	
7	MACHINERY/TRANSP EQUIPMT	71	POWER GENERATING EQUIPMT	<i>PWG</i>
		72	INDUSTRY SPECIAL MACHINE	<i>MCN</i>
		73	METALWORKING MACHINERY	
		74	INDUSTRIAL EQUIPMENT NES	<i>INF</i>
		75	OFFICE/DAT PROC MACHINES	
		76	TELECOMMS ETC EQUIPMENT	
		77	ELECTRICAL EQUIPMENT	<i>EEQ</i>
		78	ROAD VEHICLES	<i>TRN</i>
		79	RAILWAY/TRAMWAY EQUIPMNT	
8	MISCELLANEOUS MANUF ARTS	81	BUILDING FIXTURES ETC	<i>OTR</i>
		82	FURNITURE/FURNISHINGS	
		82	FURNITURE/FURNISHINGS	
		83	TRAVEL GOODS/HANDBAG/ETC	
		84	APPAREL/CLOTHING/ACCESS	
		85	FOOTWEAR	
		87	SCIENTIFIC/ETC INSTRUMNT	
		88	PHOTOGRAPHIC EQU/CLOCKS	
		89	MISC MANUFACTURES NES	
9	COMMODITIES NES	91	POSTAL PACKETS NOT CLASS	
		93	SPECL TRANSACT NOT CLASS	
		96	COIN NONGOLD NON CURRENT	
		97	GOLD NON-MONETARY EX ORE	

International Trade Centre (UNCTAD/WTO) 資料より作成。

表 16: The Standard International Trade Classification Revision 3 (SITC Rev.3)