

二酸化炭素排出と経済のデカップリング に関する研究

Decoupling Possibility of CO₂ Emission and Economic Development
– A Case Study of the G20 Economies –

四蔵茂雄¹
Shigeo SHIKURA

1. はじめに

化石燃料が支える我々の社会は、二酸化炭素(CO₂)の排出と共に経済発展してきたが、今や限界を迎えている。地球温暖化防止のためには、これ以上のCO₂の排出は許されない状況となっている。では、温暖化防止のために我々は経済的に豊かになることをあきらめたかというと、そういう訳でもない。豊かさへの欲求は今後も止みそうにない。問題は、排出削減(ゼロエミッション化)を追及しつつ、経済成長を果たすこと、このことである。しかし、果たしてこれは可能なのであろうか。

経済的豊かさ(GDP:国内総生産)と環境質(例えば、CO₂等)の関係をめぐって、これまで多くの研究が行われてきた。その中で、経済発展のあるレベルまでは環境質は悪化するが、そのレベルを超えると環境は改善へと進むという仮説が登場し広く関心を集めようになつたⁱ⁾。横軸にGDP、縦軸に環境質を取ってグラフ化すると逆U字型になる曲線は、環境クズネツ曲線(EKC)として知られている。EKC仮説が成立すれば、環境質が改善された社会へ向かう経済発展が可能だと理解されるため、その成否が大きな論点であったⁱⁱ⁾。また併せて、成立するならそれはどんな環境質か、その転換点(発展レベル)はいつか、ということに関心が集まっていた。

一方、経済成長と環境質の関係を考えるに当たり、近年“デカップリング(decoupling)”という概念が登場し、こちらにも関心が集まっているⁱⁱⁱ⁾。デカップリング分析は、文字通り両者の進行が分離されているか否かの評価に力点を置いた分析である。EKC仮説の検証とデカップリング分析は、分析の視点・目的に本質的な違いはない。両者の違いは、評価の時間軸にあるように思われる。前者が中長期の将来展望に、後者が短期の、直近将来の見通しに関心を置いているように見える。

本稿では、国家レベルの経済成長とCO₂排出量に関するデカップリング分析を行う。温暖化防止の緊迫度が増す中、2015年に温暖化防止の新

たな枠組みであるパリ協定が成立した。パリ協定下では、原則、国家単位での対応が求められ、また、短期間(5年毎)の排出削減量がチェックされる^{1,3)}。そのため、国家レベルで短期の将来を見通すことは、締約各国にとって極めて重要な課題になっている。

本研究では、CO₂排出量に及ぼすGDPの影響について、パス解析の手法を使い、直接効果だけでなく間接効果をも評価する。これが既往研究にはない本研究の最大の特徴である。また、見せかけの回帰(Spurious Regression)を排除した真のデカップリングの状況を評価することも目的のひとつである。

本研究では、はじめにデータの処理方法を詳述し、次いでデカップリングの検証結果とパス解析の結果を述べ、最後に米、中と我が国について、デカップリングの課題を指摘する。

2. 研究方法

2.1 分析方法

本研究では、CO₂への影響要因として、テーマ1: GDPのみの場合、テーマ2: GDP以外の要因も含めた場合の2ケースを分析する。テーマ1はGDPの直接効果を、テーマ2は間接効果を含めた総合評価を行うことを意図している。

2.1.1 テーマ1の分析方法

テーマ1の分析手順をFig.1に示す。分析は、(1)回帰前検定、(2)回帰分析(OLS法)、(3)後検定、(4)再回帰分析(CO法あるいはGLS法)の流れで進めた。先に述べたように本研究の目的の一つは、見せかけの回帰を避けた解析を行うことである。そのため、前検定として定常性の検定(単位根検定と共和分検定)を行った。単位根検定では、ADF検定を主に使い、ラグ次数はAICやBICを参考に決定した。共和分検定では、Engle-Granger検定を使った。データが非定常と判定された場合は、階差もしくはトレンド除去によって定常化した。定常化したデータについても単位根検定を行い、定常性を確認した。変数間に共和分関係が認められた場合は、レベルデータのまま回帰分析に供した。回帰分析に用いたモデル式は、GDPに

¹ 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 教授

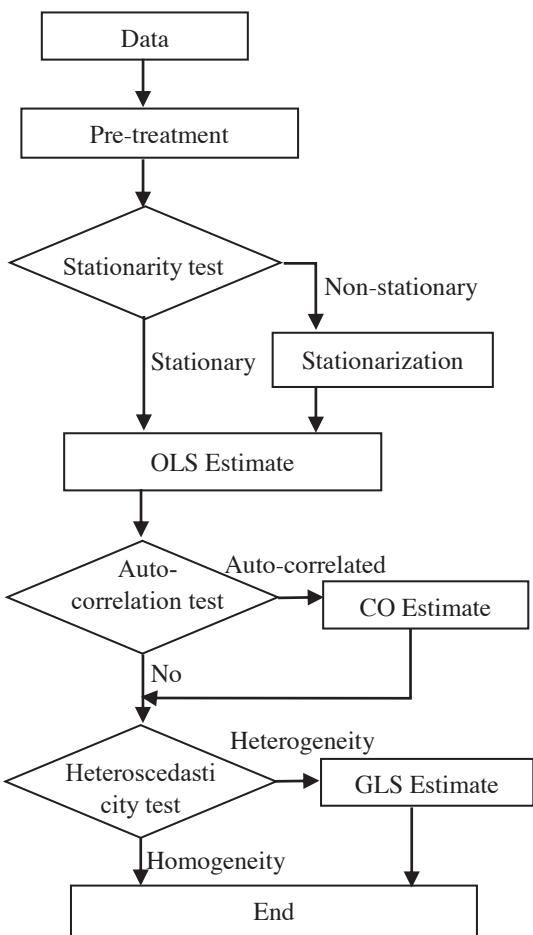


Fig.1 Procedure of Regression Analysis

関する式(1)の一次式と式(2)の二次式である。式(1)はデカップリングの評価、式(2)はEKC仮説の検証に用いた。

$$CO2 = \alpha + \beta \cdot GDP + \mu \quad (1)$$

$$CO2 = \alpha + \beta \cdot GDP + \gamma \cdot (GDP)^2 + \mu \quad (2)$$

ここに、

CO2：一人当たりCO2排出量、

GDP：一人当たりGDP、

μ ：誤差項、

回帰分析の後に、系列相関検定(DW検定)と分散不均一検定(Breush Peagan検定)をそれぞれ行った。回帰分析法としては、最小二乗法(OLS法)を用い、系列相関がある場合は、コクランオーカット法(CO法)、不均一分散がある場合は、一般化最小二乗法(GLS法)を用いた。以上の分析と検定には、解析ソフトgretlを使った。

2.1.2 テーマ2の分析方法

テーマ2では、パス解析の手法を用い、GDPの直接影響に加え、GDPとCO2排出量の連関に介

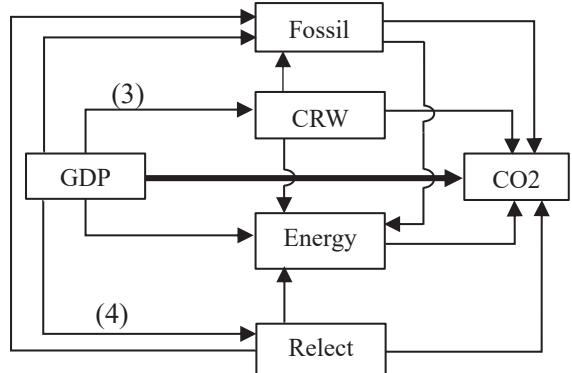


Fig. 2 Path Diagram

在する間接要因の影響をも明らかにする。本研究で仮定したパス図をFig.2に示す。考慮した変数(間接要因)は、(1)化石燃料消費(Fossil fuel energy consumption [Fossil])、(2)可燃再生可能エネルギーと廃棄物(Combustible renewables and waste [CRW])、(3)一人当たりエネルギー利用(Energy use per capita [Energy])、(4)再生可能資源による電力(Electricity Production from renewable sources [Select])である。(3)は主に薪材等のバイオマス資源である。CO2に向かう5つのパスのうち、太矢印が直接効果で、他が間接効果を表している。

人は豊かになれば(GDPが向上すれば)、エネルギー(Energy)を多く需要し、また化石燃料(Fossil)をより多く消費するようになるが、さらに豊かになれば風力や太陽光発電などの再生可能電力(Select)への投資を行う。これは化石燃料消費を抑制させる働きをする。また、バイオマス(CRW)は、途上国では主要なエネルギー源であるが、豊かになれば商業エネルギーへの転換が進みCO2排出を刺激する一方で、豊かな先進国はCO2排出削減のためバイオマスへの回帰を進めようとする。豊かさの進展は、CO2排出削減にも排出増加にも作用する可能性がある。

パス解析に用いた方程式は、Fig.2中に示す番号(3)ならびに(4)のパスに対応する単回帰式と以下の式(5)～(7)の重回帰式の計5本の方程式群である。モデル式より得られた回帰係数(パス係数)を、パスの流れに従い乗じて、GDPからCO2に至る5つのルートの影響を算出した。

テーマ2の解析に用いたデータは、テーマ1の手順にならい定常化した後、変数間の影響度を比較するため、さらに標準化したものである。

$$CO2 = f(GDP, Energy, Fossil, CRW, Select) \quad (5)$$

$$Energy = f(GDP, Fossil, CRW, Select) \quad (6)$$

$$Fossil = f(GDP, CRW, Select) \quad (7)$$

ここに、

CO2 : 一人当たりCO2排出量、
GDP : 一人当たりGDP、

Fossil : 化石燃料消費,
 CRW : 可燃再生可能エネルギーと廃棄物,
 Energy : 一人当たりエネルギー消費,
 Select : 再生可能資源による電力

2.2 分析用データ

本研究で使用したデータは、テーマ1、2共に全て世界銀行のデータベース（WDI：World Development Indicators）からダウンロードし入手した¹⁴⁾。WDIが提供するCO2排出量の元データ（出典元）は、Oak Ridge National Laboratory（米国）であり、CO2排出量にはエネルギー消費に伴うCO2とセメント産業によるCO2が含まれている。GDPには様々なものがあるが、本研究では、2011年基準の購買力平価のGDP（2011 PPP International \$/person）を利用した。再生可能資源による電力には、水力発電は含まれていない。エネルギー関連データの出典元は、IEA（International Energy Agency）である。

入手したデータはパネルデータとせず、各国単独の時系列データとして分析に供した。CO2データが入手できる期間が2014年までであるた

め、分析の期間は、1990年～2014年とした。本研究では、G20を分析対象国とした。G20は様々な国家から成り（我が国を含む先進国、移行国、途上国、産油国等）、その経済規模やCO2排出規模の大きさ故（いずれも全世界のおよそ8割）、分析対象国に選んだ¹⁵⁾。入手したデータの例として日本のデータをAppendix 1に、対象国のコード表をAppendix 2に示す。

3. 結果

3.1 CO2排出量の変化

Fig. 3は、国別一人当たりCO2排出量の経年変化を示している。これより、米国やカナダ、オーストラリア等の国々では、相対的に排出量レベルは高いものの、近年減少傾向にあること、フランスやイタリア等のEU諸国は中程度の排出量であるが、やはり減少傾向にあること、我が国は期間を通して変化が小さいこと等が見て取れる。対して、サウジアラビアでは排出量が著しく増加し、最近では米国やオーストラリアをも凌ぐレベルに達していること、ロシア、韓国、中国等でも排出量が増加し、EU諸国を超えていていることがわか

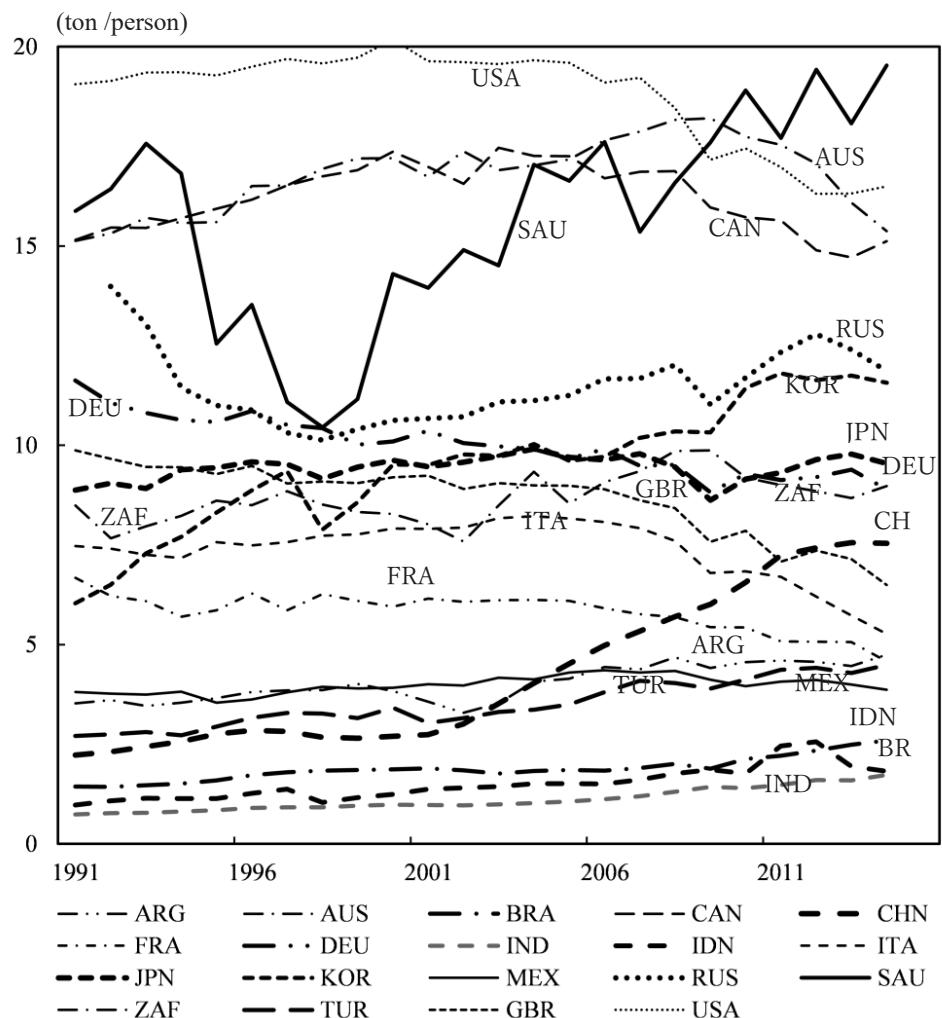


Fig. 3 Trend of CO2 Emission (CO2 per capita)

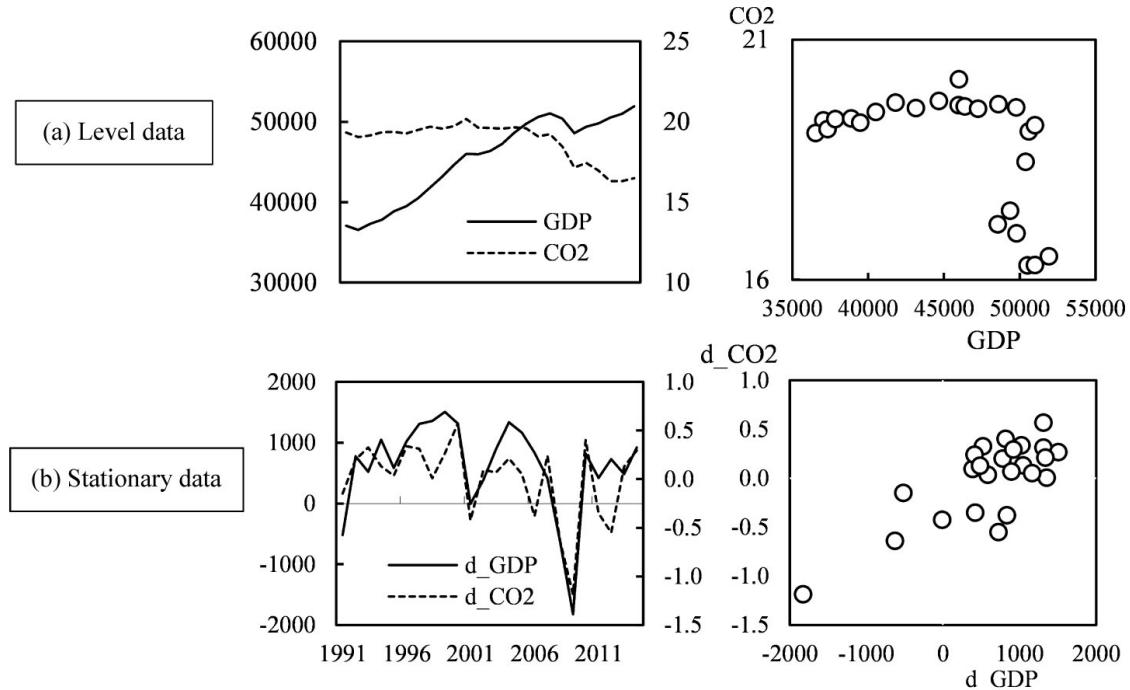


Fig. 4 Effect of Stationarization of Time Series Data

る。その他の国々、アルゼンチンやインド、ブラジル、トルコ等では、排出量のレベルはまだ相対的に小さいものの、いずれも増加傾向にあることがわかる。

3.2 CO₂ 排出量と GDP のデカップリング

3.2.1 見せかけの回帰の事例

テーマ2では、初めに、見せかけの回帰の事例として米国のケースを示し、データ定常化の重要性を確認しておく。Fig.4は定常化前後を比較したものである。(a)がレベルデータ(元の非定常データ)、(b)が定常化データである。左が時系列グラフ、右が散布図となっている。レベルデータの時系列グラフを見ると、GDPが増加傾向、CO₂が減少傾向にあるように見える。散布図では、不明瞭ながら、GDPが低いところでは正の相関が、GDPが高いところでは負の相関が認められる。ただし、全データ期間をひとまとめに解析すると、GDPに係る回帰係数はマイナスとなる。一方、定常化データ(階差データ)の散布図を見ると、明らかに正の相関が見て取れる。この場合の回帰係数の符号はプラスである。以上のこととは、米国では GDP と CO₂ 排出量はカップリング(非デカップリング)していると結論されるべきところを、見せかけの回帰では、デカップリングであると誤った判断がなされることを示している。

3.2.2 デカップリングの評価

データの定常化がもたらす影響とデカップリングの状況について、全ての分析対象国(の結果を

見てみる。Table 2 は、非定常データと定常データについて、モデル式(1)の回帰係数 β の有意性と、符号の変化についてまとめたものである。Table 1 では被説明変数が、(a)一人当たり CO₂ 排出量(CO₂ per capita)の場合に加え、(b)GDP 当たり CO₂ 排出量(CO₂/GDP)の場合についても示している。表中の○印は、 β の P 値が 10%, 5%, あるいは 1% で有意であることを示している。符号の変化については、例えば、“+ → -”は、非定常データによる回帰分析では係数の符号がプラス(+)、定常データではマイナス(-)に変わったことを示している。

Table 2 の(a)より、米国に加え、フランス、ドイツ、インド、英国の計 5ヶ国で回帰係数の符号が変化しており、これらの国々では見せかけの回帰になっていることがわかる。本研究では、 $\beta \leq 0$ をデカップリング、 $\beta > 0$ をカップリング(非デカップリング)とする。デカップリングは、Tapio が定義する強デカップリングに、カップリングは弱デカップリングに概ね当たる^{v)}。定常化データに基づく回帰係数 β の符号を見ると、日本や英国、米国を含むほとんどの国でプラスであり、デカップリングの状況にないことが示されている。フランス、ドイツ、インド、南アフリカでは、GDP は有意な変数ではない。この場合、統計的に $\beta = 0$ を棄却できないということであるから、以上の国々はデカップリングと見なせる。

既往研究においては、フランス、ドイツ等に対

Table 2 Coefficient Estimated on Stationary and Non-stationary data

(a) CO2 percapita : GDP percapita				(b) CO2 / GDP : GDP percapita			
Country	Significance		Change of coeff. sign	Country	Significance		Change of coeff. sign
	Non-stationary data	Stationary data			Non-stationary data	Stationary data	
ARG	○	○	1	ARG	○	×	3
AUS	○	○	1	AUS	○	×	4
BRA	○	○	1	BRA	×	×	1
CAN	×	○	1	CAN	○	×	4
CHN	○	○	1	CHN	○	○	4
FRA	○	×	3	FRA	○	×	4
DEU	○	×	3	DEU	○	×	4
IND	○	×	2	IND	○	○	4
IDN	○	○	1	IDN	○	×	1
ITA	○	○	1	ITA	×	○	3
JPN	○	○	1	JPN	○	×	3
KOR	○	○	1	KOR	○	○	3
MEX	○	○	1	MEX	○	○	4
RUS	○	○	1	RUS	○	○	4
SAU	○	○	1	SAU	○	×	1
ZAF	○	×	1	ZAF	○	○	4
TUR	○	○	1	TUR	○	○	4
GBR	○	○	3	GBR	○	×	4
USA	○	○	3	USA	○	×	3
No.	18/19	15/19	-	No.	17/19	8/19	-

○: 10% or more significant, ×: not significant,

Coefficient sign change pattern; 1: + → +, 2: + → -, 3: - → +, 4: - → -

する評価は分かれている。Wu et al.¹⁷⁾ や Pao et al.¹⁸⁾ はデカップリング状態であると言うのに対し, Csereklyei¹⁹⁾, Chen et al.²⁰⁾ はデカップリングがない(弱デカップリングである), Wang et al.²¹⁾ は弱デカップリングから強デカップリングに移行しつつあると結論している。

(b)は被説明変数が“CO2/GDP”的ケースである。CO2/GDP は GDP 当たり CO2 排出量であり、効率性指標あるいは技術指標であると解釈される。(b)を見ると、符号の変化パターンが“4”的国が多くなっている。特に、中国やインド、メキシコ、ロシア等の途上国・移行国では、変数(GDP)が有意であり、これらの国々では GDP の上昇に伴いエネルギー利用効率の改善が進んでいる。我が国は、イタリアや韓国、米国と同様に変化パターンが“3”である。我が国と米国は技術改善が見せかけである可能性があり、イタリアと韓国では技術効率が悪化している。

3.2.3 EKC 仮説の検証

モデル式(2)を用いて EKC 仮説を検証した。EKC 仮説に期待される符号条件は、 $\beta > 0$, $\gamma < 0$ であるが、ほとんどの国で γ は有意に計測されなかった。 γ が有意であったのは、韓国、トルコと

ドイツであった。ただし、ドイツの場合、回帰式の決定係数(A-R2)が0.102と極端に低いため、回帰式に意味を求めるのは困難と判断した。したがって、今回の解析では EKC 仮説が成立するのは韓国とトルコの2ヶ国と結論された。

3.3 パス解析による CO2 排出要因分析

パス解析の結果を、Table 3 に示す。表中の数値は、各サブルート上の全てのパス係数の積であり、GDP がこのルート経由で CO2 排出に及ぼす影響の程度を表している。太字の数値は統計的に有意であることを示している。合計(Total)は、CO2 排出量と GDP の単回帰式における回帰係数(相関係数)と一致し、GDP の CO2 排出量に及ぼす総合効果を表している。ロシアやイタリア、日本、トルコ、米国等では、この値が大きく、GDP は CO2 排出量に大きく影響を及ぼしているのに対し、ドイツ、インド、南アフリカ、フランス等では、GDP はほとんど影響を持っていないことがわかる。

Table 3 に示すように、ルート II はエネルギー利用効果、ルート III は化石燃料効果である。II はバイオマスと最エネ電力以外のエネルギー種の選択・シェア・利用効率等を、III は化石燃料の種類・シェア・利用効率等を反映した効果で

ある。IV がバイオマス効果、V が最エネ電力効果である。ルート I は直接効果を表している。直接効果は、間接効果で説明できない残りの効果である。例えば、省エネ効果やエネルギーの相似拡大的・縮小的利用のような効果が考えられる。

同表を見ると、全体的にルート I~III の影響が強く現れ、IV と V はほとんど影響を持っていないことがわかる。バイオマス効果が小さいことは、中国やインド、ブラジル等の途上国では、バイオマスの利用削減が CO₂ 排出増加に影響をもたらす。

Table 3 Result of Path Analysis

Route Name		Sub-route		ARG	AUS	BRA	CAN	CHN
I	Direct Route	1 GDP→CO ₂		-0.031	-0.047	0.026	0.110	0.386
II	Energy Use Route	2 GDP→Energy→CO ₂		0.000	0.000	0.000	-0.022	0.000
III	Fossil Fuel Route	3 GDP→Fossil→CO ₂		0.523	0.420	0.644	0.575	0.031
		4 GDP→Fossil→Energy→CO ₂		0.000	0.000	0.000	-0.097	0.000
IV	Biomass Route	5 GDP→CRW→CO ₂		-0.002	-0.021	-0.031	0.008	-0.040
		6 GDP→CRW→Energy→CO ₂		0.000	0.000	0.000	-0.028	0.000
		7 GDP→CRW→Fossil→CO ₂		0.008	0.069	-0.072	-0.052	0.003
		8 GDP→CRW→Fossil→Energy→CO ₂		0.000	0.000	0.000	0.009	0.000
V	Renewable Electricity Route	9 GDP→Relect→CO ₂		-0.018	0.002	0.001	-0.036	0.023
		10 GDP→Relect→Energy→CO ₂		0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
		11 GDP→Relect→Fossil→CO ₂		0.022	-0.022	-0.010	0.093	0.000
		12 GDP→Relect→Fossil→Energy→CO ₂		0.000	0.000	0.000	-0.016	0.000
Total				0.502	0.400	0.558	0.548	0.403

	FRA	DEU	IND	IDN	ITA	JPN	KOR	MEX	RUS	SAU	ZAF	TUR	GBR	USA
1	-0.077	-0.219	-0.285	0.246	0.271	0.111	0.040	0.305	0.052	0.314	0.079	0.103	0.025	-0.054
2	-0.008	0.000	0.042	0.000	-0.001	0.010	0.000	0.000	0.841	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.403	0.072	0.013	-0.040	0.595	0.563	0.566	0.252	0.000	0.039	0.075	0.667	0.418	0.819
4	-0.031	0.000	0.163	0.000	-0.015	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.012	0.130	-0.005	0.125	-0.001	-0.013	0.002	0.018	-0.001	-0.018	-0.074	0.009	0.001	0.003
6	0.003	0.000	0.002	0.000	0.002	-0.003	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	-0.235	-0.012	0.000	0.007	-0.040	0.084	-0.006	0.004	0.000	0.012	-0.050	-0.046	-0.006	-0.001
8	0.018	0.000	0.005	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.008	0.101	-0.008	0.014	-0.027	0.009	-0.024	0.005	0.003	0.000	0.000	-0.001	-0.012	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.008	0.000	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.016	-0.046	-0.001	0.000	0.067	-0.046	0.024	-0.001	0.000	0.000	0.000	-0.018	0.045	0.002
12	-0.001	0.000	-0.007	0.000	-0.002	-0.001	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.107	0.026	-0.082	0.352	0.854	0.732	0.602	0.583	0.893	0.348	0.029	0.713	0.471	0.768

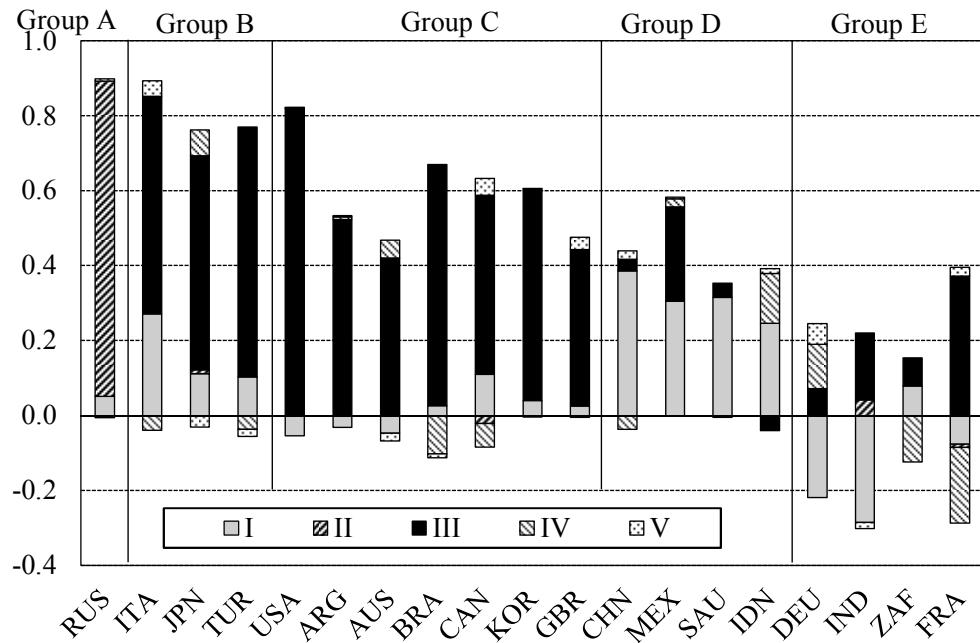


Fig. 5 Direct and indirect effect of GDP

していないこと、先進国ではバイオマスの利用推進による CO₂ 排出削減効果が依然として小さいことを、それぞれ示唆している。最エネ電力の影響の小ささは、このエネルギーの利用が依然限定的であるためであると思われる。

Table 3 のデータをルート毎に集計し、5 つのグループに分けて特徴を拾い出した。これを Fig. 5 に示す。グループ A はロシア 1 国からなる。ロシアは CO₂ 排出量に対する GDP の影響が極めて大きいこと、そのほとんどがエネルギー利用効果によるものであることが特徴である。ロシアはソビエト解体後の経済的低迷からの回復とそれに伴うエネルギー需要の増加、加えて天然ガス等の化石燃料だけでなく、水力や原子力の利用も進めているため、このような結果になったのではないかと思われる。

グループ B は、イタリア、日本とトルコからなる。このグループは、GDP の影響が大きいこと、その影響のほとんどは化石燃料効果であること、ただし直接効果も有意に認められることが特徴である。直接効果が有意であることは、中国やメキシコ等の途上国を代表するグループ D と共通している。

グループ C は、米国、アルゼンチン、ブラジル、オーストラリア、カナダ、韓国、英国からなる。このグループは、米国を除き GDP の影響は相対的に中程度であり、化石燃料効果が大きいこと、グループ B とは違い直接効果はマイナスか、プラスでも小さいことが特徴である。グループ D は、中国、メキシコ、サウジアラビア、インドネシアからなる。このグループでは、GDP の影響はグループ C よりもさらに小さく、直接効果のみが有意であることが特徴である。グループ E は、ドイツ、インド、南アフリカ、フランスからなる。これらの国々では、プラスの間接効果とマイナスの間接効果が打ち消しあって、総合効果がほぼ 0.1 以下となっている。グループ E がデカップリングと判定されたのは、このことに起因しているものと思われる。

4. 考察

経済と CO₂ 排出量の関係において、ドイツ、インド、南アフリカ、フランスの 4ヶ国はデカップリング、トルコと韓国は EKC 仮説が成立するが、米国や我が国を含むその他の国々は、デカップリングでもなく、また EKC 仮説も成立しないことが明らかとなった。パス解析によると、ドイツ等の 4ヶ国では、プラスの間接効果（排出増加要因）をマイナスの間接効果（削減要因）が相殺していた。ドイツでは直接効果が、フランスではバイオマス効果がマイナス要因として働いていた。今後、その他の国々においても、デカップリングを達成するためには、プラス効果を縮小する

と共にマイナス効果を拡大する必要がある。そのために必要な方法は、それぞれの国が抱える事情によって異なるものである。ここでは、主要な国々（米中）と我が国に対して、本研究のもたらす政策的インプリケーションを指摘しておきたい。

インドや南アフリカより先行する中国やメキシコ、インドネシア等のグループ D の国々においては、直接効果を下げる必要がある。このことは、これらの人々でも炭素効率 (CO₂/GDP) の改善が進展しているとは言え、なお一層の改善の必要性を示唆しているものである。特に、中国は世界の CO₂ 排出量のおよそ 3 割を排出しているため、同国における省エネの推進・技術革新は、温暖化防止の観点において極めて重要な課題である。

世界第二位の排出国・米国では、GDP の CO₂ 排出に及ぼす影響のほとんどが、化石燃料効果によるものである。そのため、この部分の改善が不可欠である。2000 年中期以降、米国ではシェールガスの普及が進み、これが CO₂ の排出量を大きく減少させることに寄与した。また、原子力発電の見直し、最エネ促進等の脱化石燃料化も進められている。そのため、今後も継続的に CO₂ 排出量は減少していくものと期待される。ただし、我が国やドイツと比べるとエネルギー効率は圧倒的に低い状況である。そのため、化石燃料の利用効率の改善は、同国最大の課題である。

我が国はグループ A (ロシア) と並びデカップリングからは最も遠いグループであるグループ B に属している。我が国が抱える最大の課題は、これである。経済発展は依然として CO₂ 排出に大きな影響を与えており、また、我が国では化石燃料効果に加え、直接効果も有意に影響している。これはグループ D (中国等の途上国) と類似した特徴であり、イタリアを除く他の先進国では見られないものである。我が国が有するこのような特徴は、震災以降の原子力発電の停止と化石燃料への依存の高まりが影響したものと推察される。

今後の対策については、エネルギー計画²²⁾をベースとした長期戦略²³⁾に従い実施されるものと思われるが、焦点は省エネを初めとする技術開発、再エネの普及、そして原発の取り扱いであろう。

5. おわりに

本研究では、G20 を対象に経済と CO₂ 排出量の関係を回帰分析ならびにパス解析の手法を用いて調べた。分析の前段階としてデータの定常性の検定と定常化を行った。その結果、多くの国がデカップリング状況にないことが明らかとなった。国際社会は、温暖化防止のため 2030 年に 45% 削減、2050 年にネットゼロエミッションを目標

に掲げているが^{2,4)}、本研究の成果は経済を犠牲にしない排出削減は困難であることを示している。では、実際に経済発展を犠牲にしてよいかというと、それはできない。国際社会にとって温暖化防止は最優先の課題ではあるが、唯一の課題ではない。貧困、医療、教育等多くの課題にも、同時に対応していかなければならぬ^{2,5)}。こういった問題群に対処するためには、各国の財政基盤の強化とそれを裏打ちする経済発展が不可欠である。国際社会には、全体を等しく俯瞰した冷静な対応が必要だろう。

なお、米国やカナダ、オーストラリア、イタリア等の先進国においても2000年中期以降にCO2排出量が減少し始めている。この状況が今後も継続すれば、結果は異なったものになるものと思われる。今後のデータの蓄積を待ち、再度分析を行いたいと考えている。

註

- i) 環境クズネツ仮説が注目されるきっかけは、世界銀行の1992年版World Development Report¹⁾である。同書(p11, Fig.4)では、経済発展(一人当たり所得の向上)に伴う環境質の変化を3つに類型化して図示しているが、その中の一つが逆U字型の曲線を示している。大気汚染や水質汚濁がこのタイプであると指摘している。なお、CO2は逆U字型ではなく、右上がりの曲線に当たる(所得の向上と共に悪化する)環境質の例として示されている。
- ii) EKC仮説については、膨大な研究の蓄積がある。Science Directの論文検索で、“CO2”, “Environmental”, “Kuznets”をキーワードとして検索すると、2010年以降に限っても770本がヒットする(2019.11.30アクセス)。
- 近年の研究では、GDPとCO2排出量に関してEKC仮説が成立するという報告が多いように思われるが、成立しないという報告も少なくない。例えば、Van Tran et al.²⁾, Arminen & Menegaki³⁾, Zhang & Liu⁴⁾, Lin et al.⁵⁾, Baek⁶⁾, Fernandez et al.⁷⁾, Luzzati, T. et al.⁸⁾, Hove & Tursoy⁹⁾等がある。成立・不成立の評価が分かれる原因是、研究目的や分析条件が研究毎に異なっていることが影響している。例えば、対象環境質、用いられるデータの質や期間、データの前処理法、推定モデル、さらにはモデルの推定方法等の違いが、結果に影響しているためである。
- 分析法としてはパネルデータによる解析が主流となっているが、時系列データを使った解析もある。例えば、Apergis¹⁰⁾は先進15ヶ国を対象に調査し、12ヶ国でEKC仮説が成立すると述べている。Lazar et al.¹¹⁾は中東欧諸国を対象に、二次式では7ヶ国中2ヶ国、三次式では11ヶ国中4ヶ国でEKC仮説が成立すると報告している。Ahahbaz et al.¹²⁾は1880~2015年という超長期のデータに基づきG7を対象に分析し、日本以外ではEKC仮説が成立すると報告している。
- iii) デカップリングに関する研究は、EKC仮説研究に比べると圧倒的に少ないが、2010年以降になり徐々に

増えてきている。Zhang¹³⁾やTapio¹⁴⁾が初期のものと思われる。

- iv) 以下は、WDIのデータに基づく。

$$\begin{aligned} \text{①GDP} & (\text{Constant 2010 US\$}, 2014 \text{ 年}) \\ & \text{G20 計} / \text{世界 217 か国計} \\ & = (5.6786 \times 1013) / (7.3713 \times 1013) = 0.77 \\ \text{②CO2 排出量} & (2014 \text{ 年}) \\ & \text{G20 計} / \text{世界 217 か国計} \\ & = 27,068,059 \text{ kt} / 33,848,394 \text{ kt} = 0.80 \end{aligned}$$

- v) Tapio¹⁴⁾はCO2排出量のGDP弾性値をデカップリング指標として提案し、これを元にデカップリングの程度を8つに分類した。例えば、① $\Delta\text{CO}_2 < 0$, $\Delta\text{GDP} > 0$, $\sigma \leq 0$ なら強デカップリング、② $\Delta\text{CO}_2 > 0$, $\Delta\text{GDP} > 0$, $0 < \sigma < 0.8$ なら弱デカップリング、とした。ここに、 σ は弾性値、 Δ は時間差分オペレータである。本研究では、 $\beta \leq 0$ をデカップリング、 $\beta > 0$ をカップリングとする。デカップリングについては、期間平均の $\overline{\text{CO}_2}$ と $\overline{\text{GDP}}$ は、 $\overline{\text{CO}_2} > 0$, $\overline{\text{GDP}} > 0$ であるから、 $\beta \leq 0$ なら、 $\sigma = \beta \times \overline{\text{GDP}} / \overline{\text{CO}_2}$ より、弾性値 $\sigma \leq 0$ となり、Tapioと同義である。カップリングについては、Tapioは $0 < \sigma < 0.8$ として、これを弱デカップリングとしているのに対し、本研究では $\beta > 0$ をカップリングとする。この点が、相違点である。弱デカップリングでも、CO2排出が上昇トレンドを持つことは強デカップリングと違いはない。誤解を招きやすい印象を与える恐れがあると思われるで、本研究では採用しないこととする。

参考文献

- 1) World Bank : World Development Report, Oxford U.P. 1992.
- 2) Van Tran N., Van Tran Q., et al. : Trade off between environment, energy consumption and human development: Do levels of economic development matter? ,Energy, 173, 483-493, 2019.
- 3) Aminen, H., Menegaki, A.N. : Corruption, climate and the energy-environment-growth nexus, Energy Economics, 80, 621-634, 2019.
- 4) Zhang, S., Liu, X. : The role of international tourism and renewable energy in environment: new evidence from Asian countries, Renewable Energy, 139, 385-394, 2019.
- 5) Lin, B., Omoju, O.E., et al. : Is the environmental Kuznets curve hypothesis a sound basis for environmental policy in Africa? Journal of Cleaner Production, 133, 712-724, 2016.
- 6) Baek, J. : Environmental Kuznets curve for CO2 emissions: case of Arctic countries, Energy Economics, 50, 13-17, 2015.
- 7) Fernandez-Amador, C. et al. : Carbon dioxide emissions and economic growth: an assessment based on production and consumption emission inventories, Ecological Economics, 135, 269-279, 2017.
- 8) Luzzati, T. et al. : A multiscale reassessment of the environmental Kuznets curve for energy and CO2 emissions, Energy Policy, 122, 612-621, 2018.
- 9) Hove, S., Tursoy, T. : An investigation of the environmental Kuznets curve in emerging economies, Journal of Cleaner Production, 236, 1-9, 2019.
- 10) Apergis, N. : Environmental Kuznets curves: new evidence on both panel and country-level CO2 emissions, Energy Economics, 54, 263-271, 2016.
- 11) Lazar, D., Minea, A., Purcel, A.A. : Pollution and economic growth: Evidence from Central and Eastern European countries, Energy Economics, 81, 1121-1131,

- 2019.
- 12) A hahbaz, M., et al. : The CO₂-growth nexus revisited: A nonparametric analysis for the G7 economies over nearly two centuries, Energy Economics, 65, 183-193, 2017.
 - 13) 四藏茂雄：地球温暖化防止の国際交渉－パリ協定と我が国の課題－，舞鶴高専紀要，2017。
 - 14) WDI : <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (2019.11.30 アクセス)。
 - 15) Zhongxiang Zhang : Decoupling China's Carbon Emissions Increase from Economic Growth: An Economic Analysis and Policy Implications, World Development, Vol. 28, No. 4, pp. 739–752, 2000.
 - 16) Tapio, P. : Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001, Transport Policy, 12(2), 137-151, 2005.
 - 17) Ya Wu, Qianwen Zhu, Bangzhu Zhu : Decoupling analysis of world economic growth and CO₂ emissions: A study comparing developed and developing countries, Journal of Cleaner Production, 19094-103, 2018.
 - 18) Hsiao-Tien Pao, Chun-Chih Chen : Decoupling strategies: CO₂ emissions, energy resources, and economic growth in the Group of Twenty, Journal of Cleaner Production, 206, 907 - 919, 2019.
 - 19) Zsuzsanna Csereklyei, David I. Stern : Global energy use: Decoupling or convergence? Energy Economics, 51, 633-641, 2015.
 - 20) Jiandong Chen, Ping Wang, Lianbiao Cui, Shuo Huang, Malin Song : Decomposition and decoupling analysis of CO₂ emissions in OECD, Applied Energy, 231, 937-950, 2018.
 - 21) Qiang Wang, Min Su : Drivers of decoupling economic growth from carbon emission -an empirical, analysis of 192 countries using decoupling model and decomposition method, Environmental Impact Assessment Review, 81, 106356, 2020.
 - 22) 経済産業省・資源エネルギー庁：長期エネルギー需給見通し, 2019.
 - 23) 環境省：パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略, 令和元年6月11日閣議決定, 2019.
 - 24) IPCC : Special Report, Global Warming of 1.5°C, 2018.
 - 25) UN General Assembly : Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Oct. 2015.

Appendix 1 Data of Japan

year	CO2	GDP	Energy	Fossil	CRW	Select
1990	8.87	30,582	3,551	3,003	36.6	91.6
1991	8.87	31,530	3,575	3,000	36.7	93.6
1992	9.05	31,718	3,650	3,065	35.8	93.6
1993	8.91	31,476	3,665	3,021	34.0	91.3
1994	9.39	31,681	3,851	3,185	34.3	97.8
1995	9.43	32,425	3,936	3,207	35.5	111.6
1996	9.58	33,346	4,008	3,256	35.5	115.8
1997	9.53	33,624	4,041	3,248	36.9	119.3
1998	9.16	33,155	3,956	3,141	34.5	108.8
1999	9.45	33,011	4,011	3,234	35.9	111.6
2000	9.62	33,872	4,084	3,295	37.2	110.0
2001	9.46	33,928	4,008	3,231	33.8	108.6
2002	9.57	33,889	3,992	3,267	35.0	114.1
2003	9.73	34,333	3,953	3,334	35.6	123.8
2004	9.91	35,078	4,078	3,374	35.4	131.7
2005	9.70	35,658	4,063	3,316	42.9	144.6
2006	9.63	36,142	4,054	3,303	43.9	150.9
2007	9.78	36,697	4,013	3,351	45.5	160.9
2008	9.45	36,278	3,858	3,211	43.0	158.8
2009	8.62	34,318	3,679	2,989	39.7	162.5
2010	9.15	35,750	3,893	3,151	72.8	295.6
2011	9.32	35,775	3,611	3,242	76.1	312.6
2012	9.64	36,368	3,537	3,348	76.1	335.3
2013	9.78	37,149	3,568	3,377	84.6	401.9
2014	9.54	37,337	3,471	3,286	87.6	521.9

Variables

CO2 CO₂ per capita (ton / person)

GDP GDP per capita (Const. 2011 international \$)

Energy Energy use per capita (kg of oil equivalent)

Fossil Fossil energy use per cap. (kg of oil equivalent)

CRW Combustible, renewables and waste (kg of oil equivalent per capita)

Select Electricity Production from renewable sources (kWh / person)

Appendix 2 Code of the G20 Economies

Country	Code
Argentina	ARG
Australia	AUS
Brazil	BRA
Canada	CAN
China	CHN
France	FRA
Germany	DEU
India	IND
Indonesia	IDN
Italy	ITA
Japan	JPN
Korea	KOR
Mexico	MEX
Russia	RUS
Saudi Arabia	SAU
South Africa	ZAF
Turkey	TUR
UK	GBR
United States	USA

(2019.12.6 受付)

Decoupling Possibility of CO₂ Emission and Economic Development - A Case Study of the G20 Economies -

Shigeo SHIKURA*

*Corresponding author: shikura@maizuru-ct.ac.jp

Abstract: In this paper, influence of GDP to CO₂ emission in G20 economies is investigated by regression analysis and path analysis. First, stationarity of all the data obtained were checked, then non-stationary data were stationalized, finally the data were utilized in analysis. As a result of regression analysis, it was revealed that (1) only France, Germany, India, and South Africa are in decoupling state, (2) Turkey and Korea are according to EKC theory. Path analysis showed that the G20 was able to be divided into 5 groups (see Fig. 5 below). Feature of each group is summarized as below,

Group A: (1) relation between CO₂ emission and GDP is extremely strong, (2) energy effect is dominant.

Group B: (1) the relation is extremely strong, (2) a fossil fuel effect is dominant, but a direct effect is also effective.

Group C: (1) the relation is intermediate, weaker than Group B, (2) a fossil fuel effect is dominant.

Group D: (1) the relation is relatively weak, smaller than Group C, (2) a direct effect is dominant.

Group E: (1) the relation is very weak, (2) plus and minus effects are significant, and make total effect negligible.

Members of Group E are entitled to receive a decoupling state. A direct effect in China, fossil fuel effect in USA, and both of these effects in Japan are main paths. According to implications of this study, some policy issues in these 3 countries were discussed.

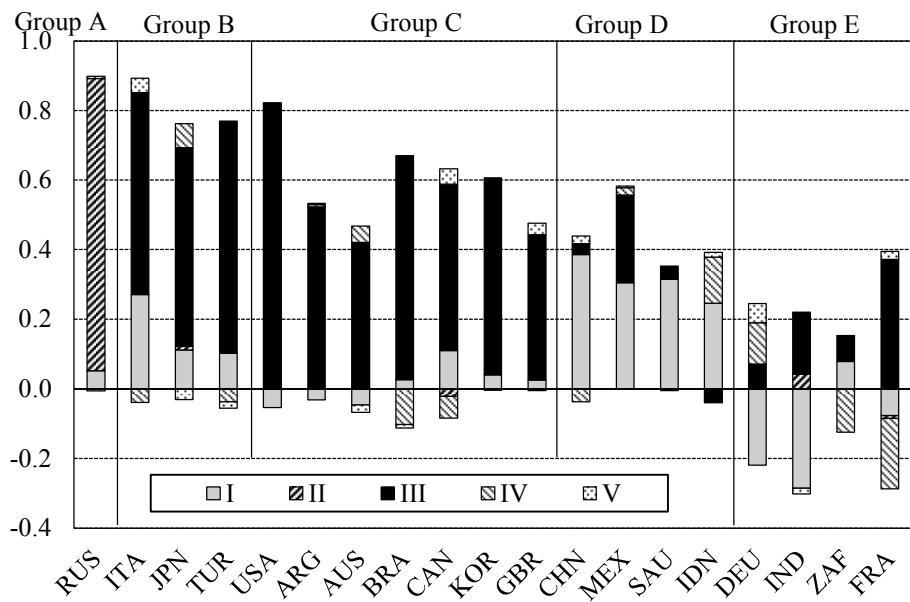


Fig. 5 Direct and indirect effect of GDP

Key words: Global warming, GDP, CO₂, G20, Path Analysis