

I はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告書によると、世界の平均気温は1906～2005年の百年間に0.74℃上昇した。この原因は二酸化炭素をはじめとする温室効果ガス（以下GHGと表記する。）が自然の吸収量を超えて増大し続けていることであると推定されている。また、この報告書によると、産業革命前と比べた気温上昇を2.0～2.4℃に抑えるには、先進国の二酸化炭素排出量を2020年に1990年比で25～40%削減することが必要であり、さらに2050年に80～95%削減することが必要である。

Daly (1996)によると、経済は生態系(ecosystem)のサブシステムである。したがって経済の規模には上限があり、それは生態系の再生力と吸収力のうち、いずれか小さい方の能力によって規定される。しかし、生態系の制約を受けていることを無視したこれまでの経済成長の結果、今日の多くの国と地域の経済は、この上限を超えており、生態系の自己調節機能はすでに損傷していると考えられる。その証拠のひとつが地球温暖化であろう。

マルクスも含めて、大部分の経済理論は、富の生産と再生産や労働の生産力・生産性に焦点を当ててきた。生産などの人間活動が生態系に及ぼす再生不可能な破壊力や破壊性を理論化する本格的試みが始まったのが20世紀の半ばである¹。そして、今日、富の生産と生態系の破壊との間に何らかの結びつきがあることは広く認識されているとしても、生産力と破壊力との関係、労働の生産性変化と破壊性変化との関係に関する理論的・数量的な分析は少なく、定説といえるものも見当たらない²。本稿の第1の目的は、1990年代以降の先進諸国におけるGHG排出と経済成長との関係を数量的に分析することにより、「定型化された事実」を明らかにすることである³。特に重要なのは、ある制度的条件下ではGHG排出削減と経済成長が両立するという事実である。本稿の第2の目的は、「定型化された事実」を、累積的因果連関モデルを用いて分析することである。GHG排出削減と経済成長とは両立するケースにおいても、両者の間には部分的ジレンマが存在することを明らかにする。したがって、GHG排出削減を優先するか経済成長を優先するかは政治的選択となる。

本稿の構成は次の通りである。第II節では、既存の代表的な見解を批判的に検討する。第III節では、1990年以降の先進18カ国におけるGHG排出量と経済成長率との関係についてのパネルデータ分析と時系列データ分析の結果を説明する。第IV節では、労働投入に対する動学的収穫逓増効果と、GHG排出に対する動学的収穫逓増効果との間にはトレードオフの関係があることを示す。第V節では、GHG排出削減のためのイノベーションの転換が成長体制にどのような影響

¹ 先駆的な試みとしては、柴田(1953)やGeorgescu-Roegen (1971)が挙げられる。

² 「環境クズネッツ曲線」の推定の試みや「デカップリング(Decoupling)」という分析概念の提示の試みがすでにあるが、両者の試みとも多くの問題点を抱えている（内山, 1993; United Nations Environment Programme, 2011; 高井, 2011）。

³ 質的に多様な生産力は価格を使って量的に集計することが可能であるが、破壊力はそのような集計ができない。質的に多様な環境破壊のうち、本稿ではGHG排出という一側面だけを取り上げる。GHG排出量については信頼できるデータがあるからである。また1990年代以降の先進諸国に分析を限定する理由は、第II節で述べる。

を及ぼすかを、累積的因果連関モデルに基づいて説明する。

II 既存の代表的な諸見解の批判的検討

直感的には、経済成長率が高いほど GHG は増加すると考えられがちである。そこから経済成長と GHG 削減とは両立しないという消極論や悲観論がでてくる。また、GHG 削減のためには経済成長率ゼロやマイナス成長が望ましいという極端な主張もでてくる。以下では、3 つの代表的な見解を批判的に検討する。いずれも、データの処理に難点があり、そこから誤った主張が導かれている。議論を整理するために、下記に示す「茅の方程式」を利用する。

GHG 排出量を G 、実質 GDP を Y 、エネルギー消費量を E で表すと、

$$G = Y \times (G/Y) = Y \times (E/Y) \times (G/E)$$

この式の両辺を変化率に変換すると、次のような「茅の方程式」と呼ばれる恒等式が導かれる。

$$\hat{G} = \hat{Y} - (-\widehat{G/Y}) = g - \varepsilon = g - (\widehat{Y/E} - \widehat{G/E})$$

ここで、 $g = \hat{Y}$ は経済成長率、 $\varepsilon = -\widehat{G/Y}$ は排出係数低下率、 $\widehat{Y/E}$ はエネルギー生産性上昇率、

$-\widehat{G/E}$ は「脱炭素率」つまりエネルギー消費量 1 単位当たりの GHG 排出量の減少率を表す。茅の方程式は、GHG 排出量の変化率は、経済成長率と排出係数低下率との差に等しいことを示している。また、排出係数低下率は、エネルギー生産性上昇率と脱炭素率の和に等しいことも示している。

第 1 の代表的見解は、茅(2008)である。茅は先進 5 カ国（アメリカ、イギリス、ドイツ、フランス、日本）の 1980～2005 年のデータを用いて、「茅の方程式」を構成する各変化率を計算し、それに基づき次のような見解を述べている。①過去のデータによると経済成長率はエネルギー生産性上昇率より大きい。②したがって、GHG 排出量削減率の上限はエネルギーの脱炭素率となる。③過去の脱炭素率の推移から判断すると、2020 年に排出量の 25～40%減という IPCC の目標達成は技術的に困難である。そして茅の政策的主張は、IPCC などの地球温暖化対策の目標は高すぎるので引き下げるべきであるという消極的なものとなる。しかし、茅自身の示すデータを見ても、ドイツのエネルギー生産性上昇率は経済成長率を上回っており、上記①の主張は 5 カ国すべてに妥当していない。後で述べるように、多くの先進諸国が地球温暖化対策に取り組み始めた 1990 年代以降のデータでは、エネルギー生産性上昇率と経済成長率との差は小さく、今後、人口増加の鈍化や現象などにより経済成長率が低下すると、エネルギー生産性上昇率が経済成長率を上回る国は増えると考えられる。したがって、上記①の主張は一般的妥当性をもたない。また、「茅の恒等式」の構成要素をそれぞれ独立的に分析し予測している点に茅(2008)の根本的問題点がある⁴。

第 2 の代表的見解は石見(2009)である。石見は「茅の方程式」を構成する各変化率の世界全体の値を問題にする。1970～2004 年の 34 年間では、世界全体の経済成長率は 146%（うち人口増

⁴ U.S. Energy Information Administration (2010)も「茅の恒等式」を用いているが、同じ根本的問題点を含んでいる。

加 69%、1 人あたり GDP 増加 77%)、エネルギー生産性上昇率は 34 年間で 33%であり、経済成長率はエネルギー生産性上昇率を大きく上回っている。今後も世界の人口増加傾向は続くだろうし、1 人あたり GDP 増加の抑制にも抵抗があるだろうし、エネルギー生産性の革命的な上昇も困難であると石見は考える。そして石見の結論は、地球温暖化は止められず、2050 年に気温上昇を 2°C以内に抑えるのは困難であるという悲観論となる。しかし、人口動態、経済成長率、環境政策が大きく異なる先進国と発展途上国とを区別せず、一括したデータで論じる分析方法に石見の誤りがある⁵。また、先に述べた茅の議論の誤りは、石見にもあてはまる。

第 3 の見解は Victor (2008)である。Victor は、先進各国の経済成長率と排出係数低下率について、1972～2002 年の平均年率を計算し、それを散布図にプロットする。この散布図では、経済成長率と排出係数低下率との間には負の弱い相関がみられる。この結果に基づいて、経済成長率が低いほど、排出係数低下率は大きいと主張する(p.121, Figure 7.1)。そして、*Managing Without Growth* という著書のタイトルにも示されているように、Victor の政策的主張は、2005～2055 年において、先進国が年率 2.6%の GHG 排出量削減を行うためには、1 人当たり GDP 成長率をゼロにするべきであるというものである。しかし、1972～2002 年という 30 年間の平均年率ではなく、1972～82 年、1982～92 年、1992～2002 年に時期区分して各 10 年間の平均年率をプロットすると、1992～2002 年の散布図では、Victor の散布図とは異なり、正の相関がみられる（このことは Victor 自身が認めている）。つまり、かなりの先進各国が地球温暖化対策を本格化させた 1990 年代以降時期には構図が変化したといえる。1990 年代以降のデータとそれ以前の時期のデータを区別していない Victor の見解は妥当性を欠く。つまり、Victor は、経済成長率と排出係数低下率との相関関係の推計において、先進諸国における制度変化を事実上、無視しているのである。

III 1990～2008 年の先進諸国の分析結果

1 パネルデータによる分析

この節では、人口動態、経済成長率、環境政策における先進国と途上国との違いを重視し、さらに 1990 年代以降先進国で起きた制度変化を重視する立場から、1990～2008 年の先進諸国のパネルデータ分析と時系列データ分析の結果を述べる。使用したデータのうち、実質 GDP と総就業者数(Total employment)は Source OECD の統計データベースから得た。GHG 排出量(GHG_s excluding LULUCF, in Gg CO₂ eq.)は、気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)のホームページから得た。UNFCCC ホームページに GHG 排出量データがあり、かつ Source OECD の統計データベースで 1990 年以降の総就業者数データがそろっているのは、次の 18 カ国である。オーストラリア、オーストリア、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、イタリア、日本、ルクセンブルグ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、スペイン、スウェーデン、スイス、イギリス、アメリカ（ただしドイツとスイスの就業者数データは 1991 年以降のものとなるので、以下の分析でもこの二国の分析期間は 1991～2008 年となる。）。

⁵ このような分析方法の誤りについて、Victor (2008)も、先進国と発展途上国それぞれのデータを挙げて指摘している(p. 113)。

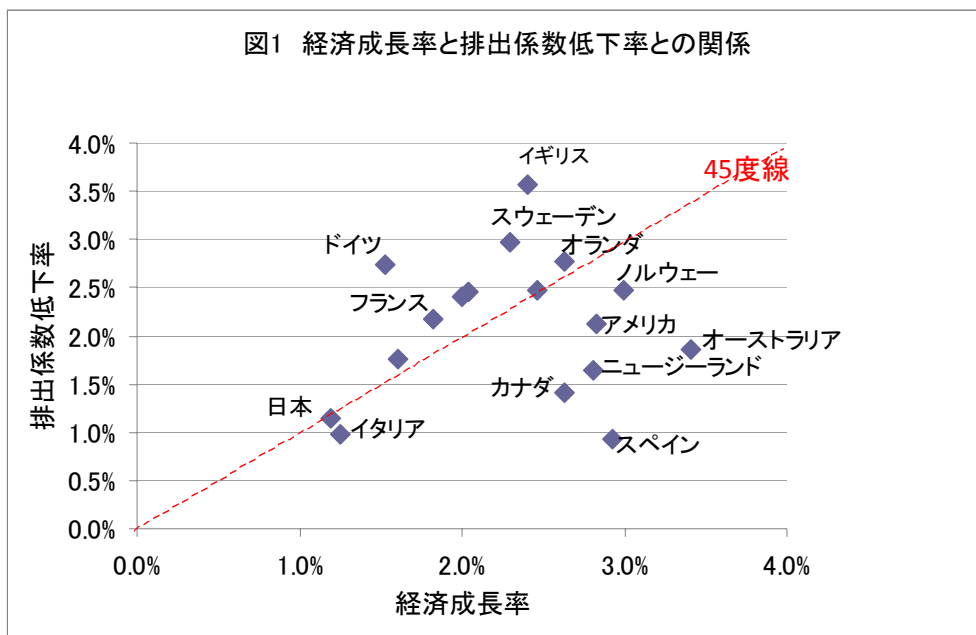
各国の GHG 排出係数低下率と経済成長率について、1990～2008 年の平均年率を計算し、プロットすると図 1 のようになる（ルクセンブルグの経済成長率は 4.5%、排出係数低下率は 4.8%であり、図 1 では枠外に位置する）。多くの国が 45 度線より上に位置しており、GHG 排出量削減を実現している。

また、この 18 カ国のデータを用いて、単純回帰を行った結果は次の通りである（括弧内の数値は t 値である。）。

$$\varepsilon = 0.58 g + 0.0085 \quad R^2 = 0.249$$

(2.31) (1.31)

図 1 においては、Victor (2008) が示した負の相関関係ではなく、GHG 排出係数低下率と経済成長率との間には正の相関が認められる。しかし決定係数が低いことに示されるように、この回帰式の説明力は高くない。図 1 を注意深く見ると、経済成長率と排出係数低下率との間の関係に関して、18 カ国は次の 2 つのグループに分岐している。第 1 のグループは、45 度線より上に位置する諸国であり、主にヨーロッパ諸国である。これらの国では排出係数低下率は経済成長率を上回っているため、GHG 排出量はこの 18 年間に減少した。第 2 のグループは、45 度線より下に位置する諸国であり、主にアングロサクソン諸国である。これらの国では排出係数低下率は経済成長率を下回っているため、GHG 排出量はこの 18 年間に増加した。また、この両グループとも、各グループ内での経済成長率と排出係数低下率との間には、正の相関が認められる。



このように分岐が生じた原因を探るために、制度変数を追加した回帰分析を行った。制度変数として選んだのは、環境税（炭素税）である⁶。1990 年代に環境税を導入した下記の 8 カ国の制度変数を 1、未導入の 10 カ国の制度変数を 0 とした⁷。

⁶ 環境税の他に、排出量取引制度と再生可能エネルギーの固定価格買取制度も GHG 排出削減に有効な制度である。排出量取引制度はイギリスで 2001 年、EU で 2005 年に導入された。再生可能エネルギーの固定価格買取制度はドイツで 2001 年に導入された。

⁷ 環境税導入年については環境省「諸外国における温暖化対策に関連する主な税制改正の経緯」<http://www.env.go.jp/policy/tax/about/pdf/mat07-1.pdf> にもとづく。

フィンランド (1990 年いわゆる炭素税 Additional duty 導入)
 スウェーデン (1991 年二酸化炭素税 CO2 tax 導入)
 ノルウェー (1991 年二酸化炭素税 CO2 tax 導入)
 デンマーク (1992 年二酸化炭素税 CO2 tax 導入)
 オランダ (1992 年一般燃料税 General fuel tax 導入、1996 年規制エネルギー税 Regulatory energy tax 導入)
 イギリス (1993~99 年炭化水素油税 Hydrocarbon oil duty の段階的引上げ、2001 年気候変動税 Climate change levy 導入)
 ドイツ (1999~2003 年鉱油税 Mineral oil tax の段階的引上げ、1999 年電気税 Electricity tax 導入)
 イタリア (1999 年鉱油税 Excises on mineral oils の改正、石炭等を追加)

制度変数(Institution)を説明変数に追加した推計結果は次の通りである。

$$\varepsilon = 0.0080 \times \text{Institution} + 0.70 g + 0.0021 \quad R^2 = 0.420$$

$$(2.10) \qquad (2.97) \qquad (0.32)$$

制度変数を含まない先の結果と比べて、決定係数が大きく、回帰式の説明力が高い。また制度変数の係数推定値も経済成長率の係数推定値もともに正で有意である。経済成長率が大きいほど排出係数低下率も大きい。また環境税の存在は、排出係数低下率を 0.80%ポイント大きくする効果を持っている。図 1 において 45 度線より上に位置するグループ (主にヨーロッパ諸国) と下に位置するグループ (主にアングロサクソン諸国) の分岐のひとつの要因は環境税の有無という制度的違いにあるといえるだろう。GHG 排出量の増加抑制あるいは削減は、様々な手段を通じて行われるが、GHG 排出削減のための最も有力な手段は、利潤や賃金の一部を、GHG 排出削減効果をもつ設備に投資することであろう⁸。GHG 排出が企業の生産コストあるいは労働者の生活コストに算入されない場合は、このような投資へのインセンティブは弱いだろう。環境税が導入されると企業や家計は GHG 排出をコストとして算入せざるをえなくなる。このようにして、環境税などを通じて GHG 排出削減は促進される。

2 時系列データによる分析

次に、時系列データを使った国毎の分析の結果を説明する。図 2 はドイツの経済成長率、労働生産性上昇率、GHG 排出係数低下率の推移を示している。この図をみると、経済成長率が大きい景気拡張期に、排出係数低下率が大きいことがわかる。つまり排出係数低下率はプロサイクリカルに変動している。また、ドイツでは大部分の年において GHG 排出係数低下率は経済成長率を上回る値を示している。このことは、「茅の方程式」によれば、大部分の年において GHG 排出量は減少したことを意味する。

ドイツの経済成長率を説明変数とし、GHG 排出係数低下率を被説明変数とする単純回帰の結果は次の通りである。

$$\varepsilon = 1.17 g + 0.0097 \quad R^2 = 0.387$$

⁸ GHG 排出削減のための投資については第 5 節で詳しく分析する。

(3.08) (1.34)

経済成長率の係数推定値は 1.17 であり、時系列的にも経済成長率と GHG 排出係数低下率との間には強い正の相関があることが確認できる。経済成長率が 1%ポイント増加すると、GHG 排出係数低下率は 1.17%ポイント増加する。この推計式は後出の図 6 において太実線で表示されている。この線上の各点と 45 度線との垂直距離（または水平距離）が GHG 排出量の変化率を示す。経済成長率が高いほど、この垂直距離は大きくなること、つまり GHG 排出量の減少率が大きくなることわかる。このようにドイツにおいては経済成長と GHG 排出削減とが両立している。

この結果は次のように考えると意外な結果ではない。先に述べたように、GHG 排出量の増加抑制あるいは削減のための最も有力な手段は、利潤や賃金の一部を、GHG 排出削減効果をもつ設備に投資することであろう。このような効果を持つ投資を企業や家計が増やすことができるのは経済成長率が高い好況期である。不況期における投資は、老朽設備の更新投資だけに落ち込んでしまい、GHG 排出削減のための投資増加は困難である。GHG 排出削減のための投資を促進する諸制度が存在するドイツにおいても、不況期にはこのような投資は実行されない。つまり、この諸制度が実際に機能するのは、一定の経済成長がある状況下に限られる。

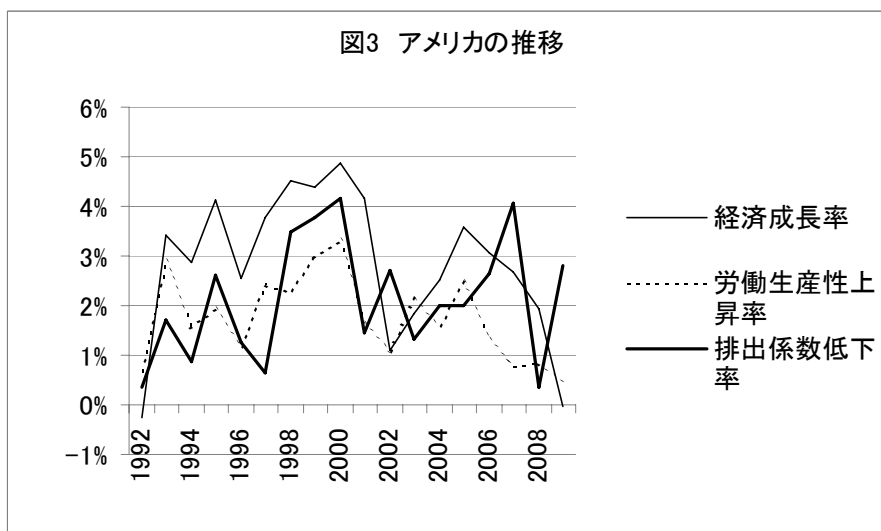
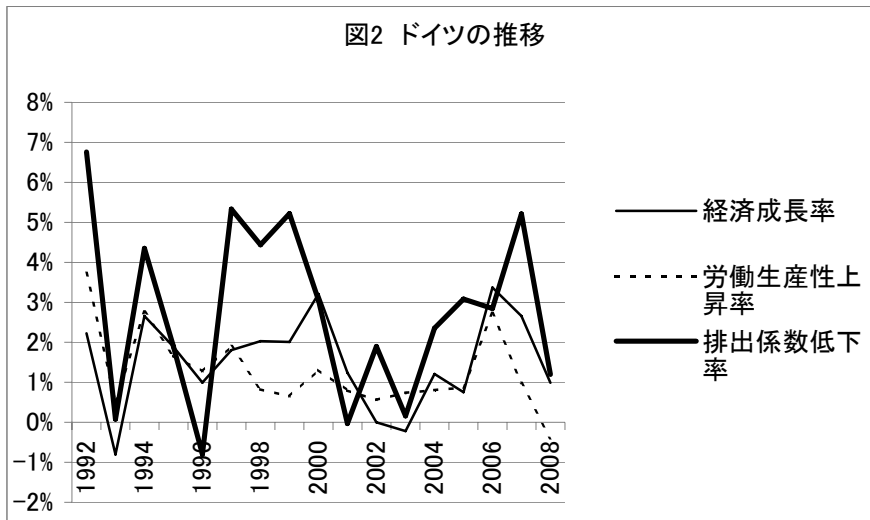


図3はアメリカの経済成長率、労働生産性上昇率、GHG排出係数低下率の推移を示している。経済成長率が大きい景気拡張期に、排出係数低下率が大きい点、つまり排出係数低下率はプロサイクリカルに変動している点はドイツと同じである。しかし、ドイツとは異なり、大部分の年においてGHG排出係数低下率は経済成長率を下回る。すなわち、アメリカでは大部分の年においてGHG排出量は増加した。アメリカの年次データを使った単純回帰の結果は次の通りである。

$$\varepsilon = 0.32g + 0.0121 \quad R^2=0.149$$

$$(1.67) \quad (1.99)$$

経済成長率の係数推定値は0.32であり、経済成長率が1%ポイント増加すると、GHG排出係数低下率は0.32%ポイント増加するだけである。すなわちプロサイクリカルであるとしても、弱いプロサイクリカルな変動を示す。またこの推計式は後出の図7において太実線で表示されている。この線上の各点と45度線との垂直距離をみると、経済成長率が約2%を超える場合は、経済成長率が高いほど、この垂直距離は大きくなる。つまり経済成長率が高いほどGHG排出量の増加率が大きくなることがわかる。このようにアメリカにおいては経済成長とGHG削減とが背反関係にある。GHG排出削減のための投資を促進する諸制度が存在しないアメリカにおいては、不況期にも好況期にもこのような投資は実行されない。その結果、経済成長率が高いほどGHG排出量の増加率が大きくなる。

18カ国それぞれの時系列データを使って、非説明変数を排出係数低下率とし、説明変数を経済成長率とする回帰分析を行った。そのうち決定係数が0.1以上となった13カ国の結果を表1の左半分に示す(表1の右半分には労働生産性上昇率を非説明変数とする推計結果も掲載されているが、この部分については次節で説明する。)。係数推定値が大きい順に並べてある。この表から、次の3点の定型化された事実が確認できる。

- ① 係数推定値(a_1)はこれらすべての国で正であり、排出係数低下率はプロサイクリカルに変動している。すなわち景気拡張期に排出係数低下率は大きくなり、景気収縮期には小さくなる。
- ② 定数項推定値(b_1)は、ほとんどすべての国においてゼロに近い小さな値である。したがって経済成長率がゼロになると、排出係数低下率もGHG排出量変化率もゼロに近い値になる。
- ③ この推計式と茅の方程式を使うと、GHG排出量増加率は次のように表される。

$$\text{GHG 排出量増加率} = g - \varepsilon = (1 - a_1)g - b_1$$

先に列挙した1990年代に環境税を導入した諸国のうちイタリア以外の国では係数推定値(a_1)は1を超える。すなわち、これらの諸国ではドイツと同様に経済成長率が大きいほど、GHG排出量減少率は大きくなる。1990年代に環境税を導入しなかった諸国の大部分では係数推定値は1を下回る。すなわち、これらの諸国ではアメリカと同様に経済成長率が高まると、GHG排出量は増加する。

以上のような1990年代以降の先進諸国の定型化された事実に基づくと、GHG排出量を削減するためには、第1に、環境税などの制度の導入が必要であり、かつ、第2に、一定率以上の経済成長率が必要である。環境税などの制度を導入したとしても、経済成長率がゼロになると、GHG排出量削減もゼロになってしまうので、Victor (2008)の政策的主張であるゼロ成長論(Managing

Without Growth)は誤っている⁹。

表1 回帰分析の推計結果

推計式	$\varepsilon = a_1g + b_1$			$\rho = a_2g + b_2$		
	a_1	b_1	R^2	a_2	b_2	R^2
ベルギー	1.7967	0.0116	0.3809	0.713	0.0024	0.575
オランダ	1.6437	0.0153	0.5295	0.3375	0.0024	0.2653
フランス	1.4845	-0.0085	0.3578	0.4026	0.0037	0.2935
スウェーデン	1.1965	0.0027	0.4745	0.2745	0.0171	0.1231
ドイツ	1.1736	0.0097	0.3875	0.4913	0.0053	0.326
スイス	1.0636	0.0007	0.2786	0.3498	0.0045	0.2694
イギリス	1.035	0.011	0.3713	0.2993	0.012	0.2766
ニュージーランド	0.8623	-0.0075	0.3935	0.651	-0.0118	0.4082
イタリア	0.7474	0.0034	0.2871	0.5361	-0.0013	0.2125
オーストラリア	0.7253	0.0062	0.5066	0.4425	0.0004	0.1841
日本	0.6103	0.0008	0.1591	0.5926	0.0052	0.5478
カナダ	0.5603	0.0005	0.2196	0.5122	0.0018	0.664
アメリカ	0.3204	0.0121	0.1487	0.4531	0.0046	0.6146

注: ε : 排出係数低下率、 g : 経済成長率、 ρ : 労働生産性上昇率。イタリック体の係数推定値は1%水準で有意。その他の係数推定値の大部分は5%水準で有意。

データは1991~2008年の年次データである(ドイツとスイスは1992~2008年)。日本の2008年のデータ、フランスの1994年のデータ、イタリアの1995年のデータは外れ値であるので除外した。

IV 2つの動学的収穫逡増効果の間のトレードオフ

表1の右半分には、労働生産性上昇率を被説明変数、経済成長率を説明変数とする回帰分析の結果も示されている。この結果は、Kaldor (1966)を端緒として定式化された産出成長と労働生産性上昇との間の正の相関関係、すなわち「フェルドーン法則」あるいは「カルドア第2法則」の計測結果に相当する。労働生産性上昇率を ρ 、産出成長率を g であらわすと、カルドアの推計結果は、 $\rho = 0.446g + 0.888$ であった¹⁰。 g の係数の推計値は「フェルドーン係数」と呼ばれるが、この値が正の値であることは、労働投入に対する収穫逡増が作用していることを意味する。この収穫逡増は単に産出規模と労働生産性水準との間だけではなく、産出成長率と労働生産性上昇率との間で作用しているので、「動学的収穫逡増」と呼ばれる。「フェルドーン係数」の大きさは労働投入に対する動学的収穫逡増効果の大きさを表す。

宇仁(2009)の第11章で詳しく述べるように、この労働投入に対する動学的収穫逡増効果の大きさに影響を及ぼす要因としては、第1に、生産設備の質的变化がもたらす労働節約効果と、第2

⁹ 経済成長率ゼロは、環境税などの制度を導入しないアメリカなどでGHG排出量を削減するためには有効かもしれない。しかし、経済成長率ゼロという状態は、雇用など他の様々な面において悪影響をもつので、それを考慮すると経済成長率をゼロにすることは望ましい選択肢とはいえない。

¹⁰ しかしながら、宇仁(2009)の第10章に示すように、Kaldor (1966)の実証方法には弱点があった。産出成長率と労働生産性上昇率の観測値として使われたのは、先進12カ国のパネルデータである。しかし、フェルドーン係数は、(1-雇用弾力性)に等しい。そして、雇用制度の国別多様性のために、産出量に対する雇用量の弾力性は国によって大きく異なることはよく知られている。したがって、多数の国のデータをプールして推定するのではなく、Stoneman (1979)が行ったように、一国毎に、時系列データを使って推定することが望ましい。1800-1969年のイギリスに関するStonemanの推計結果では、フェルドーン係数の値は、0.655であった。

に、産出量の変動に応じた雇用量の変動を抑制する諸制度がもたらす労働保蔵効果とが重要である。具体的には、景気拡張期には、産出量増加に対応するための設備投資を通じて労働節約効果をもつ新たな技術や設備が導入され、労働生産性上昇率が高まる。また、経営者は需要量の変化に応じて労働投入量を調整しようとする。労働投入量を調整する主な方法は雇用量の調整である。しかし、雇用は直接的に労働者の生活と関わるので、雇用量は経営者の判断によって自由に変わられる変数ではない。雇用保障に関わる法制度や労使協定、労使交渉における労働組合側の発言力などが産出量に応じた雇用量の柔軟な調整を妨げるので、このような制度的制約が強いことは、景気拡張期において経営者に労働節約的な設備投資を強いる圧力となる。法制度などは社会全体で規定されるが、生産設備の技術的性質や、労使協定や労働組合の交渉力などは、産業単位や企業単位で規定される。したがって、労働生産性上昇率と産出成長率との間の制約関係は、1つの国民経済のなかでも産業や企業によって異なる方と考える方がよいだろう。したがって動学的収穫逓増効果の計測は産業部門別に行うことが望ましいが、データの制約があるので、本稿では、経済全体で分析する¹¹。

表1の右半分に示す労働生産性上昇率を被説明変数とする推計結果によると、次の3点の定型化された事実が確認できる。

- ① フェルドーン係数にあたる係数推定値(a_2)が、これらすべての国において0と1の間の正值である。労働投入に対する動学的収穫逓増効果が作用していることがわかる¹²。
- ② ほとんどすべての国において、定数項推定値(b_2)は、ゼロに近い小さな値である。
- ③ 就業者数増加率 $= g - \rho = (1 - a_2)g - b_2$ である。したがって、上記の①と②を考慮すると、経済成長率が高まると、就業者数は増加することがわかる。ただしその増加率については、国によって違いがある。

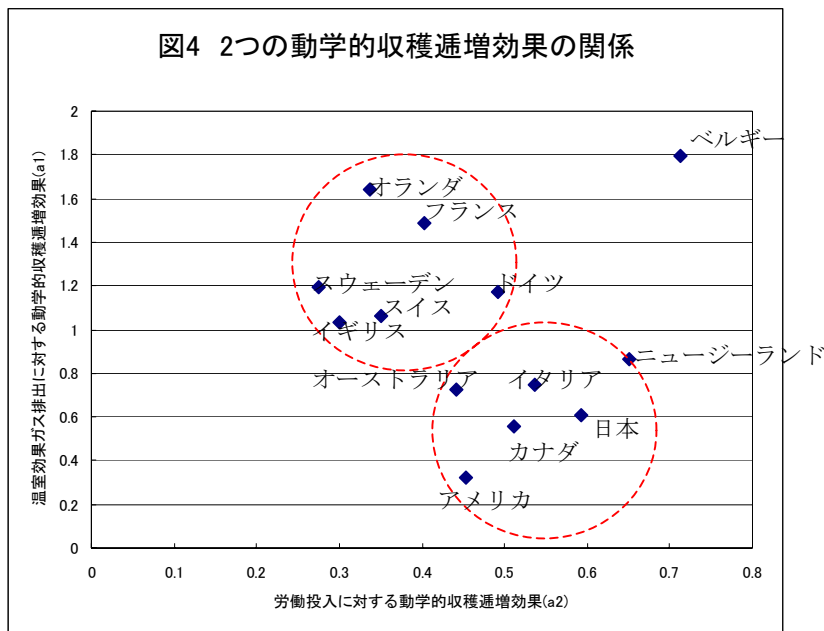
排出係数低下率は、GHG1単位当たりの実質GDPの増加率に等しい。したがって、排出係数の低下は、GHG排出に対する収穫の増加ととらえることができる。表1の左半分に示す、係数推定値(a_1)が正值であることは、これらの国においてGHG排出に対する収穫逓増が作用していることを意味する。そして、この係数推定値(a_1)の大きさは、GHG排出に対する動学的収穫逓増効果の大きさを表す。この大きさと係数推定値(a_2)が示す労働投入に対する動学的収穫逓増効果の大きさとはどのような関係にあるのだろうか。この2つの効果を散布図にプロットしたものが図4である。

ベルギーを除いて考えると、図4によれば、これら2つの動学的収穫逓増効果はトレードオフの関係にある。すなわち、GHG排出に対する動学的収穫逓増効果が大きい諸国（主に1990年代に環境税を導入した諸国）では、労働投入に対する動学的収穫逓増効果が小さい。前者の効果が

¹¹ さらに表1の推計結果には、推計期間の設定において各国の景気循環の山や谷のずれを考慮していない点や、経済全体での推計であり産業構造の国による違いを考慮していない点などの、いくつかの欠陥がある。

¹² 表1によれば、フェルドーン係数が比較的大きな国は、順にベルギー、ニュージーランド、日本である。フェルドーン係数は(1-雇用弾力性)に等しいので、これらの国では雇用弾力性が小さいことを意味する。逆にフェルドーン係数が小さい国つまり雇用弾力性が大きい国は、スウェーデン、イギリス、オランダとなっている。このような結果はおおむね妥当であると考えられるが、OECD, Employment Protection Legislation Indexを参考にすると、ニュージーランドの推計結果には問題があると考えられる。

小さい諸国（主に 1990 年代に環境税を導入しなかった諸国）では、後者の効果が大きい。このようなトレードオフの関係が生じる理由は、先に述べたように GHG 排出量削減の主な手段が、GHG 排出削減効果をもつ設備投資であるという点に求められる。投資総額が所与で不変であるとき¹³、企業が GHG 排出削減のための設備投資を増やす場合、労働節約効果をもつ設備への従来型投資はその分少なくなるだろう。したがって環境税などの制度を導入した国においては、導入していない国と比べて、GHG 排出に対する動学的収穫逦増効果は大きい、労働投入に対する動学的収穫逦増効果は小さくなると考えられる。



V 累積的因果連関モデルによる分析

1 広義の生産性レジームの定式化

図 5 は累積的因果連関モデルの基本的枠組みを示している。「需要レジーム」は、労働生産性上昇から需要成長に至る因果連関を表し、「生産性レジーム」は逆方向の因果連関を表す。宇仁(2011)で説明するように、所得分配や支出構造の変化などが需要レジームの位置に影響する。生産性レジームの傾きは Kaldor (1966)が明らかにした動学的収穫逦増作用の強さを表す。生産性レジームの位置は、前節で説明した技術的要因と制度的要因の影響を受ける。需要レジームと生産性レジームとは実体経済面における累積的因果連関を構成し、図 5 に示すように両者の交点 P が経済成長率と労働生産性上昇率とを決定する(Boyer (1988))。

回帰分析自体は、因果連関とは無関係である。しかし、以下に述べる理由から、表 1 の右半分を示す推計式は、因果連関の方向としては、経済成長率から労働生産性上昇率への因果関係を示すと考えられる。つまり、図 6 や図 7 の上でこれらの推計式を示す細実線が生産性レジームを表

¹³ 投資総額を規定する資本係数、資本蓄積率および利潤率の傾向については、後で触れる。1990 年代以降、これらの変数はほぼ不変であり、また、環境税などの制度を導入した国と導入していない国との間に顕著な差異は認められない。

すと考えられる。前節で説明した技術的要因と制度的要因は、企業や産業によって多様であると考えられるが、個々の企業や産業の生産性レジームの時間的な変化については、循環的変動は小さく短中期的には安定的であると考えられる。一方の、需要レジームは、とくに投資需要の循環的変動が大きいので、景気循環に応じた変化をともなっていると考えられる。比較的安定な生産性レジームと循環的に変動する需要レジームとを前提にして考えると、時系列データを使い、労働生産性上昇率を被説明変数、需要成長率を説明変数とする回帰分析によって得られる推計式が、生産性レジームを表すといえる。

本稿の冒頭で触れたように、大部分の経済理論は、富の生産と再生産や労働の生産力・生産性に焦点を当ててきた。このような限界を超えるためには、生産などの人間活動が生態系に及ぼす再生不可能な破壊力や破壊性を生産理論や成長理論に統合することが求められる。以下で説明する「広義の生産性レジーム」は、それを定式化するひとつの試みである。

GHG 排出量を G 、実質 GDP を Y 、就業者数を L で表すと、

$$Y/G = (Y/L)/(G/L)$$

この式の両辺を変化率に変換すると、次のような恒等式が導かれる。

$$-\widehat{G/Y} = \widehat{Y/L} - \widehat{G/L} \quad \text{すなわち、} \quad \varepsilon = \rho + (-\widehat{G/L})$$

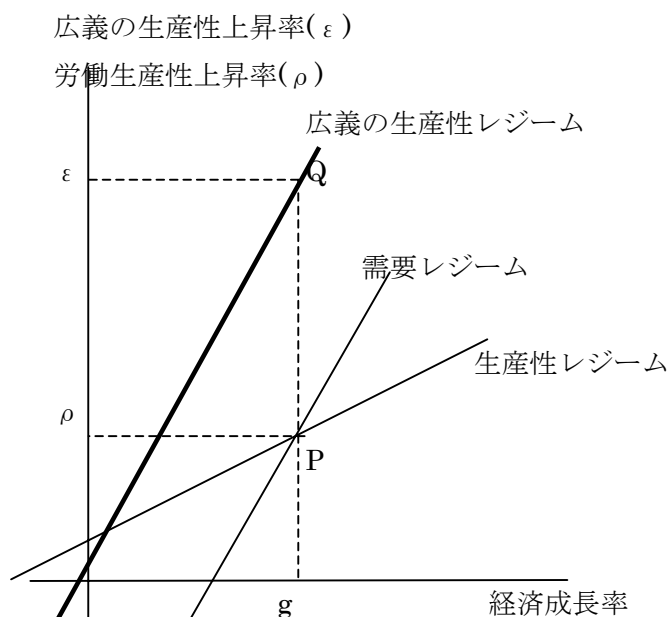
労働 1 単位当たりの GHG 排出量 (G/L) を、「労働破壊性」と呼ぶならば、上式は、排出係数低下率が労働生産性上昇率と労働破壊性低下率との和に等しいことを示している。しかし、このような呼び方には次のような異議が出されるかもしれない。第 1 に、本稿の冒頭でも述べたように、生態系の破壊は地球温暖化だけではなく、多様な形で進行している。第 2 に、GHG の排出は生産活動場面だけでなく、消費活動場面でも生じるので、GHG 排出を労働だけに結びつけることには違和感がある。しかし地球温暖化はそのインパクトの深刻さとグローバル性において、生態系の破壊を代表するもののひとつである。また、環境省「2009 年度（平成 21 年度）GHG 排出量について」¹⁴によると、家計関連（自家用車と一般廃棄物を含む）の二酸化炭素排出量は、日本全体の 22% であり、78% が企業・公共部門関連から排出されている。したがって、労働 1 単位当たりの GHG 排出量 (G/L) を「労働破壊性」の数量的指標とすることはそれほど的外れなことではない¹⁵。

上式によると、排出係数低下率(ε)は、労働の破壊性の変化をも織り込んだ広義の労働生産性の変化を表すと考えられる。つまり排出係数低下率は「広義の生産性上昇率」と呼ぶことができる。そして、生産性レジームに関して述べたことと同様に、表 1 の左半分に示す推計式（すなわち図 6 や図 7 の上で排出係数低下率を示す太実線）は、経済成長率から広義の生産性上昇率への因果連関を表すと考えられる。つまり「広義の生産性レジーム」を表すと考えられる。図 5 において、需要レジームと生産性レジームの交点 P が経済成長率 g と労働生産性上昇率 ρ とを決定するとすれば、その上方にある点 Q の高さが広義の生産性上昇率 ε を示す。そして点 Q と点 P との距離が、労働破壊性低下率の大きさを示す。

¹⁴ <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2009yoin-1.pdf>

¹⁵ また、マルクスによれば、資本主義においては労働の生産力は資本の生産力となるので、労働の破壊力は資本の破壊力となる。この論点は重要であるが、本稿では議論しない

図5 需要レジーム・生産性レジーム・広義の生産性レジーム



2 イノベーションの転換が需要レジームに及ぼす影響

Georgescu-Roegen (1976)は、技術進歩の典型的な形態として、「節約型イノベーション economy-innovations」、「代替型イノベーション substitution-innovations」および「スペクトラム・イノベーション spectrum-innovations」を挙げた。「節約型イノベーション」とは、エネルギー・コストが大きい原材料を小さいものに代替することなどにより、「低エントロピー」の節約を達成するイノベーションであり、「代替型イノベーション」とは、労働投入節約のために、より多くの鉱物資源を使用する設備を導入するなど、単に人間のエネルギーを物理・化学的エネルギーで代替することである。これら二つは主にプロセス・イノベーションと考えられるが、三つ目の「スペクトラム・イノベーション」は、新しい消費財を作り出すプロダクト・イノベーションである。Georgescu-Roegenによると、スペクトラム・イノベーションのほとんどは、同時に代替型イノベーションである。過去百年間は、容易に入手可能な鉱物資源の発見が相次いだ例外的な時代であり、この発見は鉱物資源に基づくエネルギーを安価にした。そして、代替型イノベーションを通じて、労働生産性は大きく上昇した (Georgescu-Roegen, 1976, p. 18.)。しかし、鉱物資源の燃焼にもとづくエネルギー消費の増加による GHG 排出の増加をともなった。

1990年代以降、一部の先進諸国は、環境税などの導入を通じて、GHG 排出削減のための投資を促進してきた。これは、Georgescu-Roegen の用語で表現すると、「代替型イノベーション」から「節約型イノベーション」へのイノベーションの転換である。また、この転換のひとつの帰結が、これらの諸国では、GHG 排出に対する動学的収穫逓増効果が大きくなっていることである。

「代替型」から「節約型」へのイノベーションの転換は、資本係数や利潤率などの変化を介して、需要レジームに影響を及ぼす可能性がある。以下ではこの影響について考察する。例外的な鉱物資源の発見が相次いだ過去百年間に、コスト構造は、「フロー要素」が増大し、「ファンド要素」が減少するという方向に変化したと Georgescu-Roegen は述べた。このような変化は、資本

係数の低下につながると考えられる。Georgescu-Roegen のこの考え方によれば、「節約型イノベーション」への転換は、資本係数の上昇をもたらすと予測できる。もっと明確に、柴田(1953)は、次のように労働投入係数の上昇、資本係数の上昇や利潤率の低下を予測した。「可壊的富源を食いつぶせば食いつぶすほど、われわれは、もっと深い地底を掘ったり、もっと遠隔の鉱山や海洋をあさったり、もっと劣悪な貧鉱や鉱脈に手をつけたりしなければならぬ。そこで、それらの富を「生産」するためには、ますます多くの生産財や労働力を、それらの富の一単位あたりの「生産」に際して、投ぜねばならぬ。だから、上述の研究によって明白なように、一般利潤率はますます低下せざるを得ぬ」(p.66)¹⁶。柴田は、このような「可壊的富源の破壊から由来する禍」を「壊禍」と呼び、技術改良、交換範囲の拡大や企業集中などを手段とする「対壊禍闘争」を資本主義存続のための重要課題として位置づけた¹⁷。したがって、柴田の考え方を正確に言えば、資本係数などの将来の行方は、「壊禍」に対抗する「対壊禍闘争」の強さや形態にも依存する。

1990年代以降の先進諸国において、「壊禍」とそれに対抗する「対壊禍闘争」とは、資本係数や利潤率に対してはどのような影響を及ぼしているのだろうか。表2はデータが得られた数カ国における資本係数、資本蓄積率および利潤率の変化率を示している。サンプル数は少ないが、表2から次の3点が推測できる。

- ①GHG 排出係数低下率と比べると、資本係数と資本蓄積率の変化率は小さい。
- ②GHG 排出係数の変化と、資本係数あるいは資本蓄積率の変化の間には、明確な相関はない。
- ③利潤率の傾向的低下傾向はない¹⁸。

したがって、ヨーロッパ諸国を中心に、GHG 排出削減のための「節約型イノベーション」が増えているとしても、そのために必要な設備投資の増加は、資本蓄積の顕著な加速を伴っていないし、生産における資本深化も伴っていない。つまり、従来「代替型イノベーション」に充てていた設備投資資金の一部を「節約型イノベーション」のための設備投資に振り替える形態で、イノベーションの転換が進められていると推測できる。

このような形態でイノベーションの転換は、以下に説明するように、需要レジームのポジションに大きな影響を及ぼさないと考えられる。需要レジームは、累積的因果連関に基づく成長モデルにおいて、労働生産性上昇から、所得分配とその支出を介して、需要成長に至る因果連関の経路を表す。宇仁(2011)に示すように、投資財部門の需要レジームのポジションを決める要素としては、「資本蓄積効果」、「需要構造変化効果」および「相対価格変化効果」がある。このうち資本

¹⁶ Georgescu-Roegen (1976)も、同様な文脈で、採鉱するためのエネルギー・コストの急速に増加することを指摘している(p.12)。

¹⁷ 柴田(1953)では、「壊禍の法則」はマルクス・スラッファ型の3部門モデルで考察されている。しかし柴田(1976)など1970年代の著書においては、「壊禍の法則」は、労働、資本財および可壊的天然資源(「本源財」と呼ばれる)を投入要素とするコブ・ダグラス型生産関数を用いて展開されている。コブ・ダグラス型生産関数では、投入要素は代替的であるので、可壊的天然資源の枯渇は資本財の投入の増加によってカバーすることができてしまう。コブ・ダグラス型生産関数の採用に関する柴田のいくつかの弁明を考慮したとしても、この採用は不適切である。実際は、本源財と他の投入要素とは代替的關係にはないという点は篠原(1979)も指摘している。また Georgescu-Roegen (1976)も、Solow (1974)が、投入要素間の代替を無条件に認めて「この世界は事実上、天然資源なしでもやっていける」と結論している点を、厳しく批判している(pp. 17-18)。

¹⁸ 利潤率はノルウェーとフィンランドでやや大きな上昇が見られるが、起点である1990年は、北欧諸国の金融危機の最中にあたるという特殊事情が影響していると考えられる。

蓄積効果の大きさは、資本蓄積率に比例する。資本蓄積率が不変である場合には、資本蓄積効果の大きさも不変である。また、需要構造変化効果は、投資財需要額と消費財需要額との比率が変化するとき作用する。上記のような形態でのイノベーションの転換は、この比率を変化させないので、需要構造変化効果は作用しない。相対価格変化効果の大きさは投資財部門と消費財部門との間の労働生産性上昇率格差に比例する。代替型から節約型へのイノベーションの転換は、両部門の労働生産性上昇にほぼ同じ影響を及ぼすと考えられるので、格差はそれほど変化しないだろう。以上みたように、需要レジームのポジションを決める3つの要素に対して、上記のような形態で進行するイノベーションの転換が及ぼす影響は小さい。つまり、このイノベーションの転換は需要レジームに関してほぼ中立的である。

表2 1990～2008年の資本係数などの変化率(平均年率)

	GHG 排出係 数低下率	資本係数上 昇率	資本蓄積率上 昇率	利潤率上昇 率
オランダ	2.8%	-1.0%	-1.4%	0.1%
ドイツ	2.7%	0.3%	-2.0%	0.4%
ノルウェー	2.5%	-0.8%	1.2%	3.0%
フィンランド	2.5%	-1.4%	-1.2%	2.8%
アメリカ	2.1%	-0.3%	-0.5%	-0.3%
オーストラリア	1.9%	-0.1%		0.2%
オーストリア	1.8%	0.0%	-1.0%	0.6%
イタリア	1.0%		-0.5%	-0.5%

出所: GHG排出量(GHG excluding LULUCF, in Gg CO2 eq.)は国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) のホームページから、その他のデータはSource OECDの統計データベースから得た。

注: 資本係数=Net fixed assets at constant prices / GDP at constant prices.

資本蓄積率=(Gross fixed capital formation at current prices – Housing at current prices) / Net fixed assets at current prices.

利潤率=Gross operating surplus and gross mixed income at current prices / Net fixed assets at current prices.

資本蓄積率と利潤率は、1990～2006年の変化率の平均年率である。ドイツについては、4つの変数とも起点は1991年である。

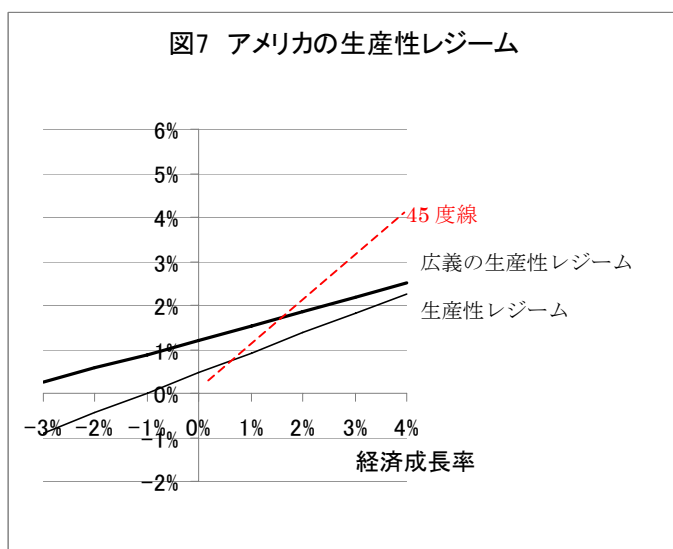
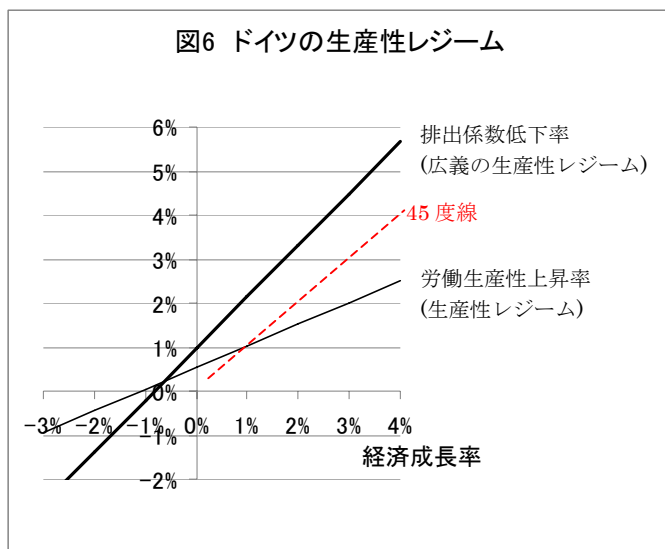
3 イノベーションの転換が生産性レジームと広義の生産性レジームに及ぼす影響

表1に示す推計結果の推計式をグラフ化することにより、各国における生産性レジームと広義の生産性レジームのポジションを知ることができる。図6の細実線と太実線とはドイツにおけるこの2つのレジームを示している。労働破壊性低下率は、これら2つの線の垂直距離で測られる。たとえば、経済成長率が年率3%の場合、排出係数低下率は4.5%、労働生産性上昇率は2.0%であるので労働破壊性低下率は2.5%となる。図6によれば、ドイツでは経済成長率が高いほど、労働破壊性は急速に低下していく。

図7はアメリカのケースを示す。生産性レジームの位置はドイツとほぼ同様である。しかし、広義の生産性レジームの傾きがドイツよりかなり小さい。たとえば、経済成長率が年率3%の場合、排出係数低下率は2.25%、労働生産性上昇率は1.8%なので労働破壊性低下率はわずか0.4%にすぎない。図7によれば、アメリカでは経済成長率が高いほど、労働破壊性の低下は鈍化する。

表1において、上位にランクされている諸国(すなわち、排出係数低下率が大きい諸国。その多くは1990年代に環境税を導入した諸国)の構図は、図6と同様でありドイツの状況に近い。表1の下位にランクされている諸国(その多くは1990年代に環境税を導入しなかった諸国)の

構図は、図 7 と同様でありアメリカの状況に近い。このように、環境税などの導入の有無という制度的要因が、労働破壊性の変化に関する大きな分岐を生んでいる。



広義の生産性レジームの傾きは表 1 の a_1 の値で示され、生産性レジームの傾きは a_2 の値で示される。表 1 の上位にランクする国ほど、 a_1 の値は大きく、 a_2 の値は小さいという傾向がある。ただし a_2 の値の国別差異は小さい。したがって、環境税などの制度の下で「代替型」から「節約型」へのイノベーションの転換が進むと、広義の生産性レジームの傾きは増加し、生産性レジームの傾きは減少すると考えられる。すなわち図 5 において、原点近傍を回転軸として、広義の生産性レジームは反時計回りにかなり大きく回転し、生産性レジームは時計回りにやや小さく回転する。

先に述べたような形態でのイノベーションの転換は、需要レジームのポジションには大きな影響を及ぼさない。需要レジームの位置が不変であるとすれば、生産性レジームの時計回りの回転によって、生産性レジームと需要レジームとの交点 P は少し左下方向にシフトする。その結果、経済成長率 g と労働生産性上昇率 ρ は若干小さくなる。また、広義の生産性レジームは反時計回りの大きな回転によって、点 Q は右上方向にシフトする。その結果、広義の生産性上昇率 ε は増

加し、労働破壊性低下率も大きくなるだろう。

したがって、ドイツなど環境税などの導入によって「節約型」へのイノベーションの転換を進めた国では、部分的ではあるが、経済成長率と労働生産性上昇率が犠牲になっている。このように、経済成長と GHG 排出削減との間には部分的ジレンマが存在する。したがって、GHG 排出削減に代表される労働破壊性の低下を優先するか、それとも経済成長を優先するかは政治的な選択にならざるをえない。

参考文献

- 石見徹(2009)『地球温暖化問題は解決できるか』岩波書店。
- 内山勝久(1993)「持続可能な発展と環境クズネツ曲線」(宇沢弘文・國則守生編『地球温暖化の経済分析』東京大学出版会、所収)。
- 宇仁宏幸(2009)『制度と調整の経済学』ナカニシヤ出版。
- 宇仁宏幸(2011)「累積的因果連関と構造変化——カルドアとパシネッティに基づく成長モデル」『季刊経済理論』第 48 巻第 1 号。
- 茅陽一(2008)『低炭素エコノミー』日本経済新聞出版社。
- 篠原三代平(1979)「本源財は”代替的”か」『評論』no.25、日本経済評論社。
- 柴田敬(1953)『資本主義世界経済論 (上巻)』三和書房。
- 柴田敬(1976)『ケインズを超えて』ミネルヴァ書房。
- 高井亨(2011)、「経済成長と二酸化炭素排出量削減は両立するか—デカップリング概念を用いた国際比較」『経済論叢』第 184 巻第 2 号。
- Boyer, R. (1988) “Formalizing Growth Regimes” in G. Dosi et al. *Technical Change and Economic Theory*, London, Pinter Publishers.
- Daly, H. E. (1996) *Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development*, Boston : Beacon Press. (新田功, 藏本忍, 大森正之共訳『持続可能な発展の経済学』みすず書房、2005 年)
- Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Harvard University Press. (高橋正立ほか訳『エントロピー法則と経済過程』みすず書房、1993 年)
- Georgescu-Roegen, N. (1976) *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*, New York, Pergamon Press. (一部の章は、小出厚之助ほか訳『経済学の神話』東洋経済新報社、1981 年に所収)
- Kaldor, N. (1966) *Causes of the Slow Growth in the United Kingdom*, Cambridge University Press. (Republished in Kaldor, N., *Further Essays on Economic Theory*, Duckworth, 1978. 笹原昭五ほか訳『経済成長と分配理論』日本経済評論社、1989 年、第 4 章)
- Solow, R.M. (1974) “The Economics of Resources or the Resources of Economics,” Richard T. Ely Lecture. *American Economic Review*, May 1974, pp. 1-14.
- Stoneman, P. (1979) “Kaldor’s Law and British Economic Growth 1800-1970”, *Applied Economics*, 11(3).
- United Nations Environment Programme (2011) *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*, United Nations.
- U.S. Energy Information Administration (2010) *International Energy Outlook 2010*. <http://www.eia.gov/oiarf/ieo/>
- Victor, P. A. (2008) *Managing Without Growth*, Edward Elgar.