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――

高　井　　亨

Ⅰ　はじめに

現在，地球温暖化への取り組みが世界的な課題となっており，各国における二酸化炭素排出量の削減が急務となっている。一方，二酸化炭素は主として化石エネルギーの利用にもとづく生産活動や日々の生活に伴い発生するため，経済成長を実現させようとすると，簡単には削減することが難しい。ところで，環境クズネッツ曲線[1)]の推定において，SO_2，SPM，CO，NO_xといった化石燃料由来の汚染物質については，一定の所得水準を超えると排出量が減少に転じることが明らかになっている（内藤［2006］）。しかし，二酸化炭素に焦点を当てた研究にはShafic［1994］，Holtz-Eakin and Selden［1995］，Schmalensee et al.［1998］，Neumayer［2002］，Cole［2003］，Dijkgraaf and Vollebergh［2005］，Richmond and Kaufmann［2006］，Galeotti et al.［2006］などいくつか存在するが，いずれも，環境クズネッツ曲線は単調増加，もしくは単調増加とみなせる程度に転換点が高所得であるか，仮に転換点が低いものであっても15000US＄程度という結果となっている。このことから，経済成長と二酸化炭素の排出量を削減することは両立が難しいと推察される。これは，所得水準の低い発展途上国において特に顕著であろう。環境クズネッツ曲線を用いた研究の結果からは，現時点では，経済成長と二酸化炭素排出量削減との両立は，やや難しい課題であると結論できる。

本稿では，デカップリング（Decoupling）という概念を用いて，経済成長と二酸化炭素排出量削減との両立が達成されているのか否かを検討する。デカップリングとは，環境負荷を削減させる一方で，人々の生活水準を向上させることを意味し，OECD［2002］等において提唱されている持続可能な発展のひとつの概念である。デカップリングという概念は極めて単純であり，これを分析に用いることは，他の分析手法に比べて簡単である。それにもかかわらず，この概念を用いて経済成長と環境負荷との関係を分析した研究は少ない。

これは，ひとつにいまだ明確な分析枠組みが存在していないことが挙げられる。これまでにいくつかの研究がなされているが，国レベルでさまざまな環境指標と経済水準とのデカップリング状態の分析を行ったOECD［2002］，北海道における一次産業のGDPと自然資源投入の貨幣評価額とのデカップリング状態を分析した林［2004］，日本国内の全自治体における一人当たり所得と一人当たり二酸化炭素排出量とのデカップリング状態を分析したTakai et al.［2008］や高井・本田［2009］，国内47都道府県の一人当たり所得と一人当たり二酸化炭素排出量とのデカップリング状態を分析した高井［2010］など，その数はあまり多くない。また，これらの分析のうちOECD［2002］や林［2004］の分析では経済成長がマイナスとなった場合に

1）環境クズネッツ曲線とは一人当たりの所得と環境負荷水準との関係が逆U字曲線を描くというものである。つまり，低所得水準において所得の増大は環境負荷を増大させるものの，ある一定の所得水準（転換点）を超えると環境負荷は低減するというものである。

デカップリング状態を判別できないなど，デカップリング概念を用いた分析は，その汎用性が低いという問題点が存在している。この問題点については，Takai et al.［2008］，高井・本田［2009］，高井［2010］などの研究において概念の拡張がなされることで克服され，経済成長がプラス，マイナスいずれの場合でも，デカップリング状態を評価できるようになっている。

デカップリング概念を用いた分析が少ない理由としてもうひとつ挙げられるのが，分析によって得られた結果から，定量的な結論を導くための方法論が確立されていない点である。しかしながら，このような欠点は，たとえば，高井［2010］においては，要因分析を行うことで二酸化炭素排出量をいくつかの構成要因に分解し，デカップリングが生じるための条件を定量的に導くなど，改善されつつある。また，本稿で後（第Ⅳ節）に示すように，要因間の関連性を定量的に分析することによって，より有用な知見を得ることも可能である。

そこで，本稿では，高井［2010］で示された方法などを用い，経済成長と二酸化炭素排出量との間の世界的なデカップリング状態の動向を分析する。対象はデータが得られた世界146か国である。分析を通じて，経済成長と二酸化炭素排出量削減の両立は可能か否かを明らかにしていく。

本稿のアウトラインを示す。第Ⅱ節では，デカップリング概念について説明を行い，デカップリング状態は6つに分類できることを示す。第Ⅲ節では実際にデカップリング概念を用いて，世界146か国のデカップリング状態を1960年から2007年にかけて，いくつかの期間に区切って分類する。また，デカップリング状態の時系列的変遷を確認することで，デカップリングが徐々に進んでいることを確認する。第Ⅳ節では，OECD諸国を対象とし，デカップリングが生じるための要因を明らかにするとともに，デカップリングが生じるために必要となる条件を明らかにする。ここでOECD諸国に対象を絞るのは，ひとつにデータ上の制約がある。多くの途上国や中進国においては，データの整備が十分ではない。もう一点が，これらの国が経済成長を実現した場合に，すでに経済成長を達成したOECD諸国において二酸化炭素排出量削減と経済成長とをいかにして両立できるか（もしくは両立できたか）を明らかにしておくことが，今後の持続可能な発展を考える上で重要なためである。第Ⅴ節では本研究の総括を行う。

Ⅱ　デカップリング概念について

本稿では，デカップリング状態の定義を，高井［2010］が示した「時間の経過とともに環境負荷が減少しつつ，経済水準が向上もしくは維持されるような状態」とする。デカップリング状態の判別は，具体的には「環境負荷の変化率」と「経済指標の変化率」とを計算することによって行われる。「環境負荷の変化率」がマイナスかつ「経済指標の変化率」がプラスであれば，デカップリングが達成されているとするのが一般的な定義である。ただし，ここでは高井・本田［2009］による，より拡張されたデカップリング概念によって，上記の2指標がとる値によってデカップリング状態を分類する。

本稿では経済成長と二酸化炭素排出量との関係に焦点を当てるため，環境負荷指標として「一人当たり二酸化炭素排出量」を，経済指標としては「一人当たり県民所得」を用いて分析を行う。ここで一人当たりの指標とするのは，人口によって調整を行わなければ，規模の異なる国を比較するうえで，公平性を欠くと考えたためである。

まず，一人当たり二酸化炭素排出量をCO_2/Capとあらわし，その変化量を$\Delta(CO_2/Cap)$と表記する。このとき，「一人当たり二酸化炭素排出量の変化率」は

$$\Delta(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)$$

と書くことができる。ここで，
CO_2：当該国の二酸化炭素総排出量
Cap：当該国の人口
である。また，一人当たり県民所得を GDP/Cap とあらわし，その変化量を⊿(GDP/Cap) と表記する。このとき「一人当たり県民所得の変化率」は

⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap)

と書くことができる。ここで，
GDP：当該国の国内総生産
である。これら２指標のとる値によって，以下のようにデカップリング状態が定義される。以下に６通りのデカップリング状態を，デカップリング状態の良い順に示す。

(1)　⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap)＞0，⊿(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)＜0 のとき

この状態を“Absolute Good Decoupling”（以下，AG と略す）と呼ぶ。経済成長が実現され，二酸化炭素排出量も減少している状態であり，もっとも望ましいデカップリング状態である。

(2-1)　⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap)＞⊿(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)＞0 のとき

この状態を“Relative Good Decoupling”（以下 RG と略すことが多い）と呼ぶ。経済成長が実現するとともに，二酸化炭素排出量も増大しているが，一人当たり二酸化炭素排出量の変化率は一人当たり GDP 成長率より小さい状態である。そのため“Absolute good decoupling”より望ましさが劣る。

(2-2)　0＞⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap)＞⊿(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap) のとき

この状態も上記の (2-1) と同様，“Relative good decoupling”と呼ぶ。マイナスの経済成長となるものの，一人当たり二酸化炭素排出量の変化率が一人当たり GDP 成長率よりさらに小さい（二酸化炭素排出量の削減率がより大きい）状態である。

ここで (2-1) と (2-2) との間の望ましさの序列は，経済成長と環境負荷削減のどちらを重視するかによって異なる。ここでは，それらの序列を決めることが目的ではないため，同列のものとして扱う。また，(2-1) と (2-2) は同じ“Relative good decoupling”ではあるが，前者が経済成長と二酸化炭素排出量増大，後者が経済の後退と二酸化炭素排出量低減という真逆の状況にあるため，特に必要があれば (2-1) の状態を“RG＋”，(2-2) の状態を“RG－”と表記する。

(3-1)　⊿(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)＞⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap)＞0 のとき

この状態を“Relative bad decoupling”（以下 RB と略すことが多い）と呼ぶ。経済成長が実現されるものの，一人当たり二酸化炭素排出量の変化率が一人当たり GDP 成長率より大きい状態である。それゆえ“Relative good decoupling”より望ましさが劣る。

(3-2)　0＞⊿(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)＞⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap) のとき

この状態も上記の (3-1) と同様“Relative bad decoupling”と呼ぶ。経済がマイナス成長となり，一人当たり二酸化炭素排出量も減少するものの，一人当たり GDP 成長率よりは一人当たり二酸化炭素排出量の減少率が小さい状態である。

ここで (3-1) と (3-2) との間の望ましさの序列は，(2-1) と (2-2) との間の望ましさの序列と同様，経済成長と二酸化炭素排出量削減のどちらを重視するかによって異なる。ここでも先と同様，これらを同列のものとして扱う。また，(3-1) と (3-2) は同じ“Relative bad decoupling”ではあるが，前者が経済成長と二酸化炭素排出量増大，後者が経済の後退と二酸化炭素排出量低減という真逆の状況にあるため，特に必要があれば (3-1) を“RB＋”，(3-2) を

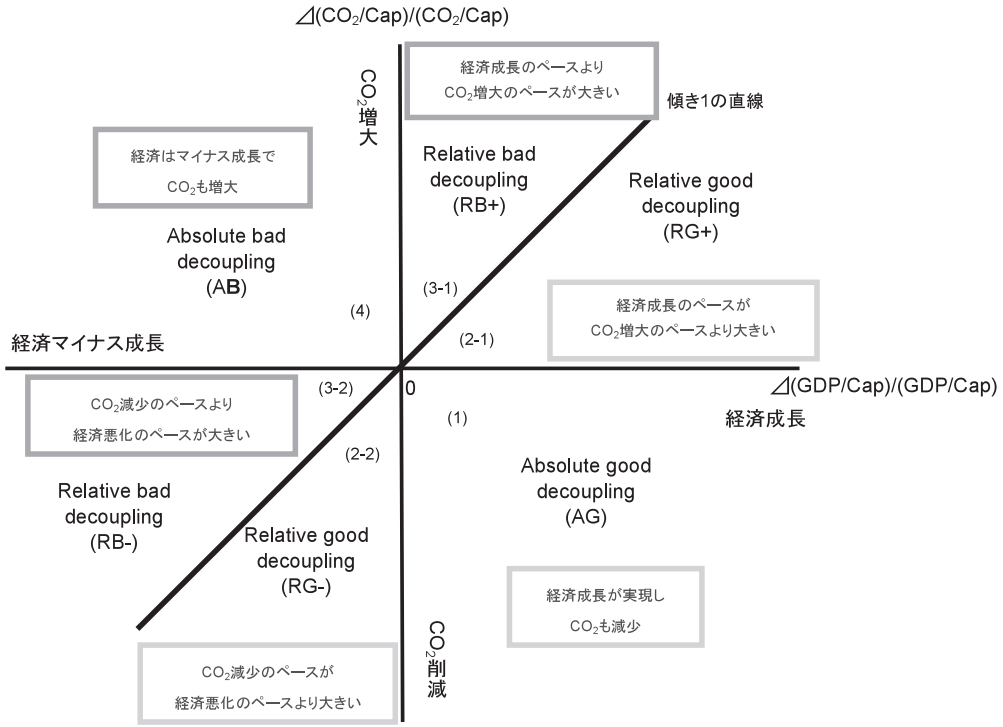


図1　デカップリング状態の分類

“RB－”と表記する。

(4)　⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap)＜0，⊿(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)＞0のとき

この状態を“Absolute bad decoupling”（以下ABと略すことが多い）と呼ぶ。経済がマイナス成長であるにもかかわらず，二酸化炭素排出量が増大している状態であり，もっとも望ましくないデカップリング状態である。

また，経済と環境とが「カップリング」している状態は，経済水準の変化率と環境負荷量の変化率が等しい状態であり

$$\Delta(GDP/Cap)/(GDP/Cap) = \Delta(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)$$

と定義できる。

以上の分類結果は⊿(GDP/Cap)/(GDP/Cap)，⊿(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)を軸として，図1のような平面上の分類図として表現することができる。図中の番号は本文の分類番号と対応している。

つづく第Ⅲ節では，上記の2指標の値を図1の分類図にプロットすることで，各国のデカップリング状態を判別する。

Ⅲ　世界各国のデカップリング状態

1　データ

本稿では世界銀行が公表しているWorld Developing Indicators（WDI）から得たデータを用いる。使用するデータは，一人当たりGDP（2000年US$/人）[2]，一人当たり二酸化炭素排出量（$CO_2$-t/人），GDPあたり一次エネルギー

2）購買力平価で換算した値を用いることがのぞましいが，WDIから得たデータには80年代以降のものしかないため，ここでは2000年基準の実質GDP（US $）を用いた。

使用量（石油換算 t/2000 年 US$），一次エネルギー使用量あたりの二酸化炭素排出量（CO_2-t/石油換算 t）である。いずれも，1960 年から 2007 年までの各国の時系列データを用いるが，国によっては古い年代のものが記載されていないことも多い。本稿ではデカップリング状態の分析を 1960-1970 年，1970-1990 年，1990 年-2007 年の 3 期間に分けて行うが，データの制約により，1960-1970 年では 84 か国，1970-1990 年では 108 か国，1990 年-2007 年では 146 か国が分析対象となった。ここで除外された国のうち，いくつか重要な国を挙げると，ドイツ，チェコ，スロバキア，スロベニア，トルコ，メキシコといった国が挙げられる。特にドイツにおいては関連統計が整備されていると考えられるが，分析対象となる期間において，WDI［2011］にはデータの大部分が記載されていなかったため，分析から除外している。OECD などが公表しているデータによって補完することも考えられるが，WDI と OECD の数値との間には誤差が存在するため，今回の分析では WDI のデータのみを用いた。

2　デカップリング状態の確認

本稿ではデータの利用が可能な 1960 年から 2007 年にかけて，一人当たり GDP と一人当たり二酸化炭素排出量のデカップリング状態を分析する。前項でも述べたとおり分析期間を 1960-1970 年，1970-1990 年，1990 年-2007 年の 3 期間に分ける。これは 1960 年以降 47 年間もの変遷をひとつの変化として追うより，いくつかの期間に分けることが望ましいと考えられるためである。期間の分割は，地球温暖化対策が本格化した 1990 年代以降と 1970 年代の石油危機がひとつのメルクマールとなるため，それらの影響が分散されるよう配慮した。

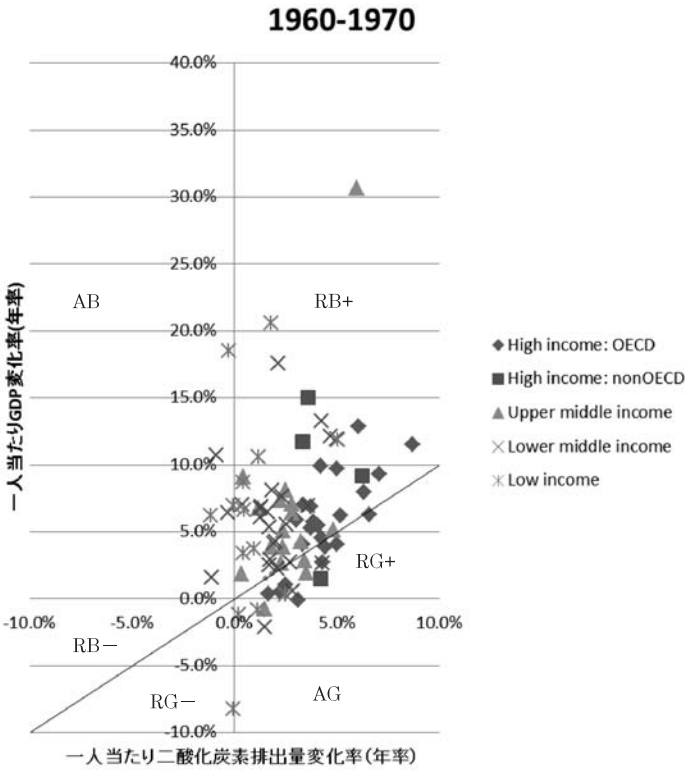


図２　1960-1970 年のデカップリング状態

図2から図4にそれぞれ，1960-1970年，1970-1990年，1990年-2007年のデカップリング状態の分類図を示した。ここでは年率換算した値を用いてデカップリング状態を判別している。またすべての国を所得水準によって区分した5つの階層に分類し，各階層に属する国は同じマーカを用いて散布図を描いた。所得水準ごとの階層化は，WDIに記載されている分類に

図3　1970-1990年のデカップリング状態

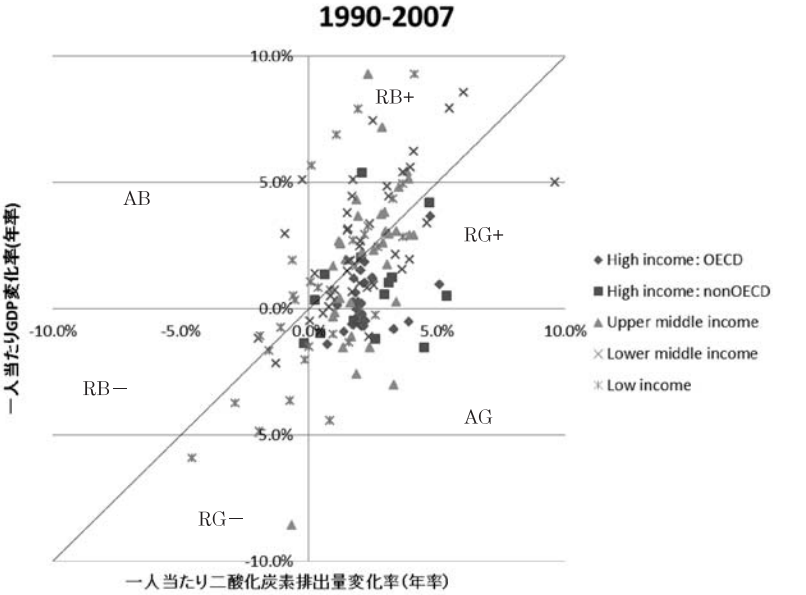


図4　1990-2007年のデカップリング状態

従い，High income：OECD，High income：nonOECD，Upper middle income，Lower middle income，Low income の５分類とした。それぞれに含まれる国の数は表１のとおりである。

1960–1970 年においては，多くの国が RB＋の領域に位置している。すなわち，一人当たり GDP の成長率以上に一人当たり二酸化炭素排出量が増大している。次いで RG＋の領域に位置する国が多く，AG に該当する国の数はわずかである。

1970–1990 年においては，1960–1970 年とは異なり，分布が下方に移っている。すなわち，一人当たり二酸化炭素排出量の変化率が小さくなっている。そのことを反映して，AG や RG＋に分類される国の割合は増加している。その一方で一人当たり GDP の成長率がマイナスの国も増加しており AB となっている国も 12 存在する。それらの国はいずれも Low income，Lower middle income もしくは Upper middle income のグループに属する国である。

1990–2007 年においては，1970–1990 年からさらに AG および RG＋が増大している。その一方で AB は減少している。

以上に述べた傾向をより簡潔に把握するために各デカップリング状態の割合の変遷を図５に示した。図５には割合とともにその実数も表に示してある。

表１　各所得水準に含まれる国の数

	1960–1970	1970–1990	1990–2007
High income：OECD	23	25	26
High income：nonOECD	4	10	15
Upper middle income	17	22	34
Lower middle income	26	29	40
Low income	14	22	31
全体	84	108	146

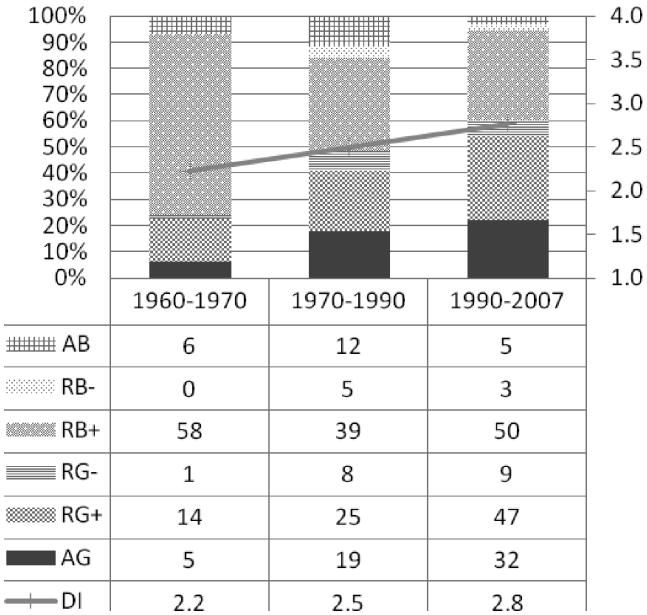


図５　各デカップリング状態の割合の変遷

明らかなとおり，AG や RG に該当する国の割合が時間を追うごとに増えている。そして AB や RB に該当する国が全体的に減少する傾向にある。このことを定量的に把握するために次のような指標を導入する。

AG：4，RG：3，RB：2，AB：1 という重みづけ（デカップリング係数と呼ぶ）を行い，各期間について，すべての国のデカップリング係数の平均値を求める。これを DI（Decoupling Index）と呼ぶ。数式で示せば以下のとおりである。

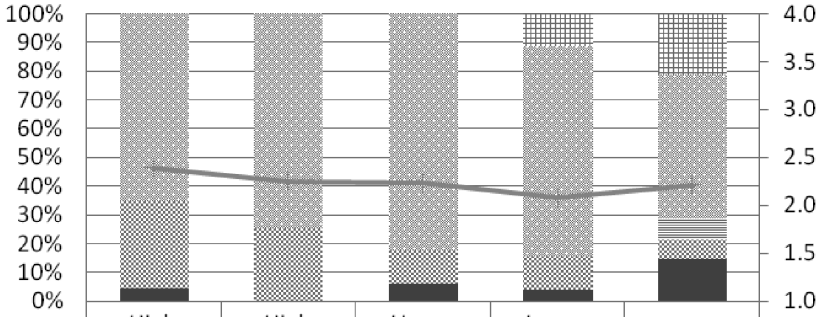
$$DI = \sum(\text{各国のデカップリング係数})/\text{サンプル数} \quad (1)$$

DI 値は対象となるグループの平均的デカップリング状態をあらわしている。DI 値を計算した結果は図５中の折れ線グラフおよび表の最後尾に示した。結果からわかるとおり，全体としてデカップリング状態が改善しつつある。以上から，世界的な動向としては，経済成長を実現し，二酸化炭素を削減する方向に向かっている国が増加しつつあることが示唆される。

3　所得別デカップリング状態の推移

次に，もう少し詳しく各国の特徴に着目し，どのような国においてデカップリングが生じているのか明らかにしたい。とはいえ，すべての国について特徴を明らかにすることは，サンプル数が多いことから難しい。そこで所得水準ごとにデカップリング状態の傾向を確認する。図６から図８に 1960-1970 年，1970-1990 年，1990 年-2007 年のそれぞれの期間における，所得水準ごとの各デカップリング状態の割合および実数を示す。

まず，1960-1970 年について確認する。いずれの所得水準においても AG に分類される国の割合は極めて少なく RG に分類される国の割合



	High income: OECD	High income: nonOECD	Upper middle income	Lower middle income	Low income
AB	0	0	0	3	3
RB-	0	0	0	0	0
RB+	15	3	14	19	7
RG-	0	0	0	0	1
RG+	7	1	2	3	1
AG	1	0	1	1	2
DI	2.4	2.3	2.2	2.1	2.2

図６　所得水準別各デカップリング状態の割合（1960-1970）

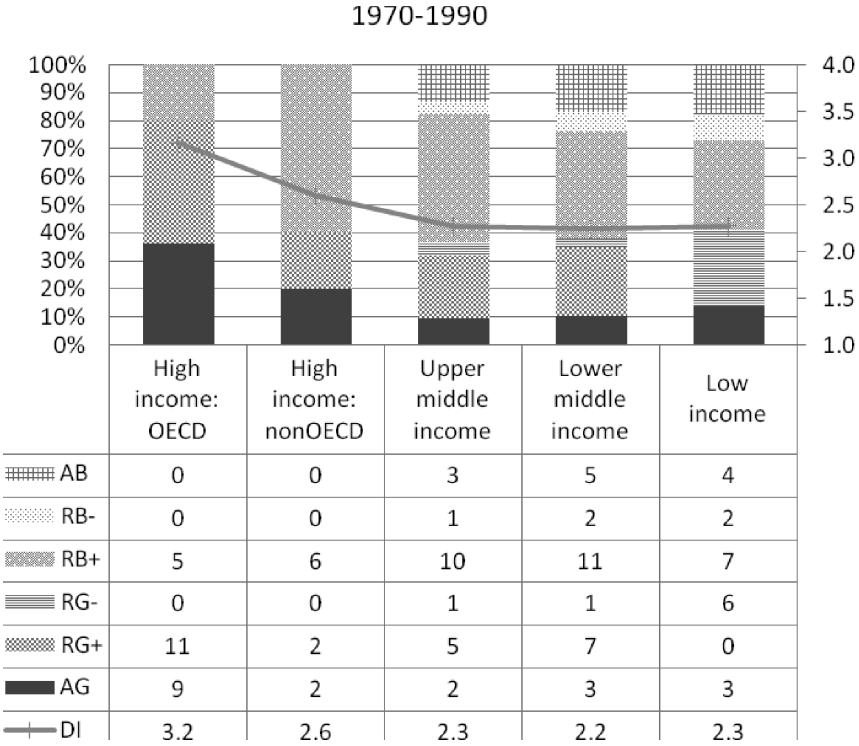


図７　所得水準別各デカップリング状態の割合（1970-1990）

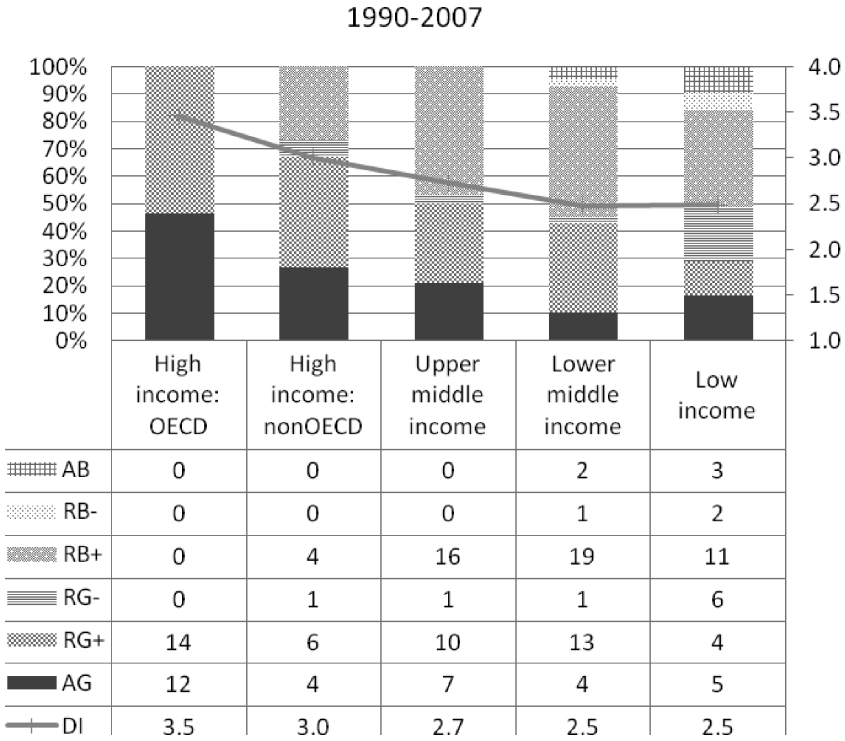


図８　所得水準別各デカップリング状態の割合（1990-2007）

も少ない。各所得水準ごとのデカップリング状態の平均的動向を示すDI値を確認すると，いずれの所得グループにおいてもDI値は2点台前半である。RB：2，RG：3としていることから，全体的にはいずれの所得グループも平均的にはRBに近いデカップリング状態であるといえる。

次いで1970-1990年について確認する。High income：OECDにおいてAGを実現している国の割合が30％を超えている。また，RGとなっている国も40％以上あり，AGもしくはRGとなっている国を合わせると80％に上る。それ以外の所得水準ではHigh income：nonOECDにおいてAGとなっている国がおおよそ20％存在しているものの，それ以下の所得水準のグループにおいてはおおよそ10％程度しかAGを実現している国がない。DI値を確認すると，High income：OECDにおいてDI＝3.2となっており，グループ全体の平均的傾向としてはRGよりやや良いデカップリング状態であるといえる。またHigh income：nonOECDがDI＝2.6であり，平均的にはRBとRGとの中間的なデカップリング状態である。それ以下の所得階層では1960-1970年とあまり変わらず2点台前半であり，平均的にはRBに近い状態であるといえる。

最後に1990-2007年について確認する。High income：OECDにおいてAGを実現している国の割合が45％ほど存在する。また，AG以外の国はすべてRGとなっている。つまり，すべての国がAGもしくはRGとなっている。それ以外の所得水準ではHigh income：nonOECDにおいてAGとなっている国がおおよそ25％存在しており，RGにも50％弱の国が該当している。それ以下の所得水準のグループにおいてはおおよそ10から20％程度の国がAGを実現している。DI値を確認すると，High income：OECDにおいてDI＝3.5であり，平均的にはRGとAGの中間のデカップリング状態である。High income：nonOECDがDI＝3.0であり平均的にはRGに相当する。それ以下の所得階層ではDI値は2点台後半となっており，平均的傾向としてRBからRGへと移行しつつある状態といえる。

ここで，各所得水準のデカップリング状態が1960-1970年，1970-1990年，1990-2007年と，どのように変化してきたかを明らかにするために，DI値の変遷を図9に示した。

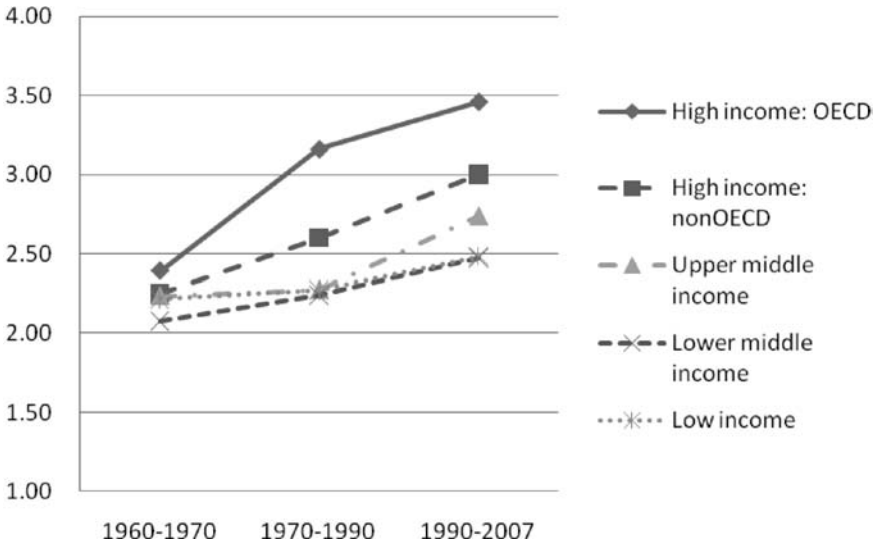


図9　所得水準別DI値の推移

図から明らかなとおり，すべての所得水準においてデカップリング状態は改善されつつある。つまり，いかなる所得水準においても，経済成長と二酸化炭素排出量の削減の両立に向かいつつあることがわかる。ただし，そしてその程度は，所得水準の高さとほぼ比例している。また，デカップリング状態そのものも，所得水準が高いほど良い。

Ⅳ　デカップリングはいかにして生じるか

第Ⅲ節では各国のデカップリング状態の変遷を所得水準とクロスさせて確認した。その結果，High income：OECD（以下 OECD 諸国と記す）の 1990-2007 年の期間において特にデカップリングが進んでいることが明らかになった。そこで，本節では OECD 諸国の 1990-2007 年に対象を絞り，デカップリング（とりわけ“AG”）が生じた要因について要因分解による検討を行う。また，それとともに，デカップリング状態と制度との関連性の検討や，要因間に内在する因果関係の検証を進めることで，経済成長と二酸化炭素排出量削減の両立のための方策を明らかにする。

1　要因分解の方法

一人当たり二酸化炭素排出量をいくつかの要因を用いてあらわすことを考える。すると，次のような要因の積として表現することができる。

$$CO_2/Cap = (CO_2/E)\cdot(E/GDP)\cdot(GDP/Cap) \qquad (2)$$

ここで，
E：当該国の総エネルギー消費量
である。

恒等式を構成する要因のうち，CO_2/E は単位エネルギー消費量あたりの二酸化炭素排出量であり「炭素集約度（Carbon Intensity）」と呼ばれる。また，E/GDP は GDP1 単位あたりのエネルギー消費量であり「エネルギー集約度（Energy Intensity）」と呼ばれる。

いま，(2) 式を時間で微分し，両辺を CO_2/Cap で割ると，

$$\begin{aligned}&\varDelta(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap)\\&=[\varDelta(CO_2/E)/(CO_2/E)]\\&\quad+[\varDelta(E/GDP)/(E/GDP)]\\&\quad+[\varDelta(GDP/Cap)/(GDP/Cap)] \qquad (3)\end{aligned}$$

となり，一人当たり二酸化炭素排出量の変化率の要因分解が可能となる。これによると，一人当たり二酸化炭素排出量の増大は，一人当たり GDP の増加，エネルギー集約度の上昇（＝悪化），炭素集約度の上昇（＝悪化）によって生じることがわかる。また，一人当たり GDP の増加と一人当たり二酸化炭素排出量の削減を両立させるためには，

$$\begin{aligned}&[\varDelta(GDP/Cap)/(GDP/Cap)]\\&<-[\varDelta(CO_2/E)/(CO_2/E)]\\&\quad-[\varDelta(E/GDP)/(E/GDP)] \qquad (4)\end{aligned}$$

を満たすことが要請される。すなわち AG を実現するためには，炭素集約度の改善率（＝低下率）とエネルギー集約度の改善率（＝低下率）の和が一人当たり GDP の変化率を上回る必要がある。

2　OECD 諸国の一人当たり二酸化炭素排出量変化率の要因と温暖化対策制度

1990 年-2007 年について一人当たり二酸化炭素排出量の要因分解を行う。前節で述べたとおり，要因分解を用いるとデカップリングが生じた要因を明らかにすることができる。図 10 に分析結果を示す。

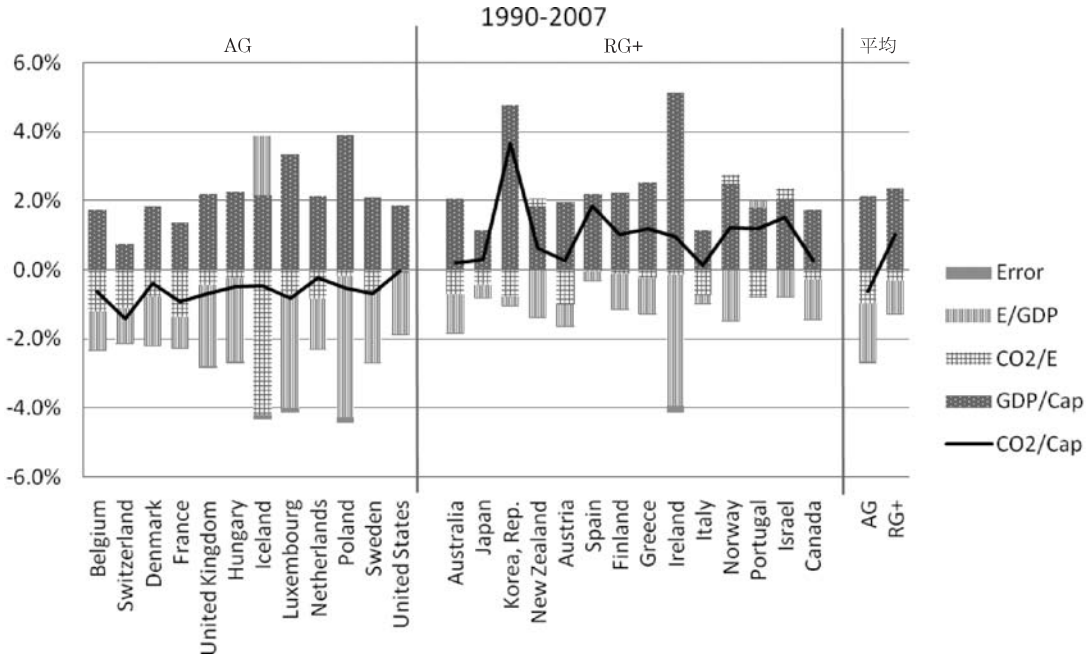


図10　OECD諸国の一人当たり二酸化炭素排出量変化率の要因分解（1990-2007年）

全般的にAGを達成した国において，炭素集約度の改善率（＝低下率）とエネルギー集約度の改善率（＝低下率）が大きく，RG＋となった国においてそれらは比較的小さいことが読み取れる[3)]。一方で一人当たりGDP成長率はAGを達成した国よりRG＋となった国においてやや高いように見える。これらの知見を統合すると，次のような推測が可能となる。AGを達成していた国はRG＋に比べて経済成長率が低いために，一人当たり二酸化炭素排出量が抑制されるという帰結を生み，より良いデカップリング状態となっていたのではないだろうか。もしそうであれば，AGは経済成長を犠牲にした環境と経済との両立であったということになる。

そこで，このことを検証するために，AGを達成した国（AG諸国と表記）とRG＋となった国（RG諸国と表記）の一人当たりGDP変化率の平均値を比較する。表2に結果を示した。

表2からわかるように，AG諸国に比べRG諸国の一人当たりGDP変化率は0.2%ほど差があるものの，有意な差ではない。つまり，AG諸国がRG諸国に比べて経済成長を犠牲にしていたという推測は正しくない。つまりAG諸国はRG諸国と比べても，ほぼ同じ経済成長のパフォーマンスを維持しながら，炭素集約度の改善率（＝低下率）とエネルギー集約度の改善率（＝低下率）が高かったといえる。実際「炭素集約度の低下率」と「エネルギー集約度の低下率」の和，すなわち「GDP1単位あたり二酸化炭素排出量の低下率」（以下，「排出係数低下率」と呼ぶ）の値の平均値をAG諸国とRG諸国とで比較すると，有意にAG諸国の値が大きいことが裏付けられた。結果は表2に示している。つまり，一人当たりの経済成長率の水準がRG諸国と同程度であっても，デカップリングは実現される。

ところで，このようなデカップリング状態の

3）図10中にErrorとして示されている部分は，要因分解によって説明することができなかった誤差である。本分析では誤差の値は0.1%以下であり，ほとんど無視しうる水準である。

表２　OECD 諸国の AG と RG＋の各要因の平均値

	AG	RG＋	差	p 値
一人当たり GDP 変化率（年率）	2.1%	2.3%	−0.2%	0.58
排出係数低下率（年率）	2.7%	1.3%	1.4%	0.00
N	12	14		

差異はいかなる条件によって生みだされているのだろうか。分析対象となった OECD 諸国において，技術的な差異が存在することは推察されるが，よりエネルギー消費量や二酸化炭素排出量を削減するような技術の導入自体は，おおよそ同程度の経済水準の国を集めて分析の対象としていることからも，RG となった国においても困難なことではないと思われる。すなわち AG 諸国と RG 諸国との間に存在する制度的差異が，本質的な役割を果たしているのではないだろうか。そこで，AG 諸国と RG 諸国における温暖化対策関連制度の導入状況を表３に示す。本稿では温暖化対策関連制度として主要なものと考えられる排出取引と温暖化対策関連税制に着目した[4)]。

表３からは AG を実現した国において，排出取引や温暖化対策関連税制が，RG＋となった国に比べて高い割合で導入されていることがうかがえる。すなわち，温暖化対策制度の有無がデカップリングを促すうえで重要となることが示唆される。

4）表中の温暖化対策関連税は，環境省［2010］に記されている「諸外国における地球温暖化対策に関連する主な税制改正の経緯」を参考にした。ここでは，温暖化対策のために税制が改正された場合に○印を付している。このことは，たとえば日本におけるガソリン税のように実質的には環境税として機能するような税が存在していても，それが温暖化対策を目的として強化されなければ，ここではカウントされないことを意味する。

3　さらなる経済成長のもとでデカップリングは可能か

デカップリング（すなわち AG）が生じるための条件を (3) 式の要因分解から考えると，一人当たり GDP の変化率はプラスであったとしても，できるだけ小さいことが望ましい。しかし，実際には AG を達成していた国も RG＋となっていた国も所得水準の変化率はほぼ等しいとみなせるものであった。それにもかかわらず，デカップリング状態が異なるのは，先に述べたとおり二つのグループ間で炭素集約度やエネルギー集約度の変化率に有意な差があったためである。つまり AG を達成していた国は,「排出係数低下率」が有意に大きかったことが原因であった。

しかし，現在の AG 諸国の一人当たり GDP 変化率（以降，適宜，成長率という用語を用いる）の値である“２％”をさらに超え，二酸化炭素排出量を削減するためには，かなり大きな排出係数低下率を実現しなければ困難である。はたしてそれは可能であろうか。この問いのひとつの答えとして Uni［2011］がある。Uni［2011］では「GDP 成長率」から「排出係数低下率」に至る因果関係を，フェルドーン・カルドア法則をもとに定式化した。そして，OECD 主要国の各国別の時系列データから，次の回帰式

$$-\Delta(CO_2/GDP)/(CO_2/GDP) = \alpha + \beta(\Delta GDP/GDP) \qquad (5)$$

のパラメータ α および β を推定することで

表3　分析対象となったOECD諸国のデカップリング状態と温暖化対策関連制度

デカップリング状態	国　名	排出取引	温暖化対策関連税
AG	Belgium	○	
	Switzerland		○
	Denmark	○	○
	France	○	○
	United Kingdom	○	○
	Hungary		
	Iceland		
	Luxembourg	○	
	Netherlands	○	○
	Poland	○	
	Sweden	○	○
	United States		
	計	8/12か国	6/12か国
RG＋	Australia		
	Japan		
	Korea, Rep.		
	New Zealand		
	Austria	○	
	Spain	○	
	Finland		○
	Greece	○	
	Ireland	○	
	Italy		○
	Norway		○
	Portugal	○	
	Israel		
	Canada		
	計	5/14か国	3/14か国

注：2007年までに導入されていない制度については，ここではカウントしない。

「GDP成長率」から「排出係数低下率」にはたらく動学的収穫逓増効果の存在を実証的に示している。すなわち「GDP成長率」が大きいほど「排出係数低下率」も大きくなるという結論を得ている。さらに，排出係数に関する動学的収穫逓増効果の強さを示すβの値は排出取引や炭素税を導入している国において1より大きく，総排出量は減少しており，それ以外の国ではβの値は1を下回り，総排出量は増加しているという結論を得ている。また，「GDP成長率」から「労働生産性上昇率（つまり就業者一人当たりGDPの成長率）」にはたらく動学的収穫逓増

効果の強さも計測している。労働生産性に関する動学的収穫逓増効果の強さを示す係数の値は，技術と制度（特に雇用制度）によって規定され，国によって異なるが約0.3～0.6である。その結果，GDP成長率が大きいほど，排出係数低下率と労働生産性上昇率との差が大きくなるという結論，つまり，就業者一人当たり排出量低下率（＝排出係数低下率－労働生産性上昇率）が大きくなるという結論が得られている。

本稿ではUni［2011］の方法を用い「GDP成長率」の代わりに「一人当たりGDP成長率」を用い，排出係数に関する動学的収穫逓増効果の有無について明らかにする。動学的収穫逓増があるということは，経済成長率（一人当たり）が大きいほど，排出係数低下率も大きいことを意味する。本稿では以下のモデルをOLSによって推定する。

$$-\Delta(CO_2/GDP)/(CO_2/GDP) = \lambda + \mu\,[\Delta(GDP/Cap)/(GDP/Cap)] \quad (6)$$

ここでλ，μは推定されるべきパラメータである。動学的収穫逓増効果の強さはμの値によってあらわされ，

$$-\Delta(CO_2/Cap)/(CO_2/Cap) = \lambda + (\mu - 1)\,[\Delta(GDP/Cap)/(GDP/Cap)] \quad (7)$$

であるから，

(i) $\mu > 1$のとき：一人当たりGDP成長率が大きいほど，一人当たり二酸化炭素排出量削減率は大きくなる。

(ii) $\mu < 1$のとき：一人当たりGDP成長率が大きいほど，一人当たり二酸化炭素排出量削減率は小さくなる。ただし，$\lambda > 0$の場合，ある一定値までは一人当たり二酸化炭素排出量削減率がプラスの状態を維持できるため，AGとなりうる「最大の一人当たり経済成長率」が存在する。

(iii) $\mu = 1$のとき：二酸化炭素排出量低下率の値は常にλに等しい。

以下，実際に(6)式の推定を行う。推定の際，AGを達成した国（12か国）とRG＋となった国（14か国）とにサンプルを分けて(6)式のパラメータを推定する。これは，前項で述べたとおり，AGとRG＋によって制度が異なる国が多いことが明らかになっており，同一のグループ内の国をサンプルとすることで，AG，RG＋それぞれのグループにはたらいている動学的収穫逓増効果の推定を行うためである。推定結果を表4に示した。

推定の結果，AG，RG＋ともにF検定はそれぞれ0.1％水準，5％水準で有意となった。すなわち回帰式は有意味である。また，AGについて決定係数は0.81で比較的高い。一方RG＋において決定係数は0.37とそれほど高くない。

表4　排出係数に関する動学的収穫逓増効果の推定結果

AG				RG＋			
	推定値	t値	p値		推定値	t値	p値
λ	0.01	3.36	0.01	λ	0.00	0.45	0.66
μ	0.81	6.44	0.00	μ	0.46	2.68	0.02
N	12			N	14		
R^2	0.81			R^2	0.37		
F値	41.48	0.1％水準で有意		F値	7.20	5％水準で有意	

動学的収穫逓増効果の強さをあらわすμの値はAGが0.81，RGが0.46であり，いずれも1より小さい。この結果はUni［2011］が示した，炭素税と排出取引を導入した国において1以上の係数となるという結果とは異なる。これは，ひとつに，Uni［2011］が時系列データを用いているのに対し，本稿で用いたデータはクロスセクションであることに由来すると考えられる。二つ目に，Uni［2011］と本稿とでは説明変数が若干異なることが挙げられる。Uni［2011］ではGDP変化率を用いるのに対し，本稿では，一人当たりGDPの変化率を用いている。三つ目が，Uni［2011］はGDPの値を購買力平価（以下PPP）で評価したものを用いているが，本稿は為替レートでUS$に変換した値を用いているという違いである。最後の理由として，Uni［2011］ではCO_2排出量ではなくGHG排出量のCO_2換算値を用いている点が挙げられる。

第一の点について補足すると，Uni［2011］は，制度的な差異のある国どうしをプールした回帰分析では制度のもたらす影響を把握できないため，国ごとの時系列データによる回帰が望ましいと述べている。この点について，本稿ではAGとRGという質的に異なるグループに分けてグループごとの回帰分析を行っているため，Uni［2011］の指摘する問題点をクリアできていると考えられる。第二点については，Uni［2011］と本稿の分析上の目的の違いからくる差異である。第三点については，PPPを用いることのほうが各国の実体経済に即していると考えられるため，今後，本稿においても検討する必要がある。最後の点については，どちらのデータを用いるべきか詳細に検討する必要があると考えられるが，本稿においてこの点に深く入り込むことは本質的ではない。

次に，λ，μの値の解釈を行う。AGにおいてμは0.81，λは0.01である。いずれも1％水準で有意である。このケースは(ii)$\mu<1$の特に$\lambda>0$の場合に該当する。具体的に，AGが実現される最大の一人当たりGDP変化率を(7)式にパラメータの推定結果を代入して求めると，一人当たりGDP変化率はおよそ5.3%となる。AGを達成していたグループにおいては平均的に，5.3%の成長率までであればAGが実現できる。

一方RG+においては，μは0.46，λは0.00であり，μのみが5％水準で有意である。RG+の動学的収穫逓増効果をあらわす直線は原点を通る。(7)式およびパラメータの推定結果から，この場合AGとなる余地は全く存在しない。ただし，決定係数が0.37と低いことから，RG+についての回帰式をこのような予測に使うことはあまり好ましくない。

以上の結果から，OECD諸国の中でもAGを実現している国，すなわち温暖化対策制度の導入が比較的進んでいるグループにおいては，5％の一人当たり経済成長までならAGの範囲に収まることが可能である。経済成長と二酸化炭素排出量の削減の両立は，所得水準が高く，かつ温暖化対策への制度的基盤の整った国においては，比較的高い成長率の下でも実現が可能である。

V　おわりに

本稿の分析結果から，一人当たりのGDPと一人当たりの二酸化炭素排出量のデカップリングは世界的に拡大していることが明らかになった。この傾向は，高所得国においてより強く観察された。所得水準の高さがデカップリングを引き起こすためのひとつの条件であると推察される。これは，クズネッツ曲線による分析結果と同様の結論である。そしてOECD諸国のうち，もっともデカップリング状態の良いAGを実現した国と，それより劣るデカップリング状態であるRG+となった国との間で，一人当たり経済成長率はほぼ同じであることも明らかになった。すなわち経済成長を犠牲とせずにデ

カップリングは実現可能であるといえる。そして，特に排出取引や温暖化対策税を導入した国において，AG が達成されている割合が高かった。このことは，排出取引や炭素税などの制度が決して経済成長を阻害するものではなく，二酸化炭素排出量の削減にも効果的であることを示唆している。また，このような条件を備えた国においては，現在の技術水準において，５％強程度の一人当たり経済成長率となっても，AG を達成できることが判明した。

今後の課題について述べる。地球温暖化対策の最終的な目標は，一人当たりではなく総量としての二酸化炭素排出量の削減である。しかしながら本稿では，公平性の観点から一人当たりという指標を用いてデカップリングについて論じた。しかし，世界の人口はいまだ増加の過程にあるため，本分析で示した一人当たりのタームでのデカップリングが先進国の一部で生じたとしても，地球全体では二酸化炭素排出量の増大傾向はいまだに止まることがない。今後の分析においては一人当たりではなく，総量としての二酸化炭素排出量にも注意を払う必要があるだろう。

謝辞

本稿を作成するうえで，京都大学大学院経済学研究科宇仁宏幸教授より有益なコメントを賜った。ここに感謝申し上げる。

参考文献

Cole, M. A.［2003］“Development, Trade, and the Environment : How Robust is the Environmental Kuznets Curve ?”, *Environmental and Development Economics*, 8, pp. 557–580.

Dijkgraaf, E. and H. R. Vollebergh［2005］“A Test for Parameter Homogeneity in CO_2 Panel EKC Estimations”, *Environmental and Resource Economics*, 32, pp. 229–239.

Galeotti, M., A. Lanza and F. Pauli［2006］“Reasssessing the Environmental Kuznets Curve for CO_2 Emissions : A Robustness Exercise”, *Ecological Economics*, 57, pp. 152–163.

Holtz-Eakin D. and T. M. Selden［1995］“Stoking the Fires ? CO_2 Emissions and Economic Growth”, *Journal of Public Economics*, 57, pp. 85–101.

Neumayer, E.［2002］“Can Natural Factors Explain Any Cross-Country Differences in Carmon Dioxide Emissions ?”, *Energy Policy*, 30, pp. 7–12.

OECD［2002］*Indicator to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth*, OECD.

Richmond, A. K. and R. K. Kaufmann［2006］“Is There a Turning Point in the Relationship between Income and Energy Use and/or Carbon Emissions ?”, *Ecological Economics*, 56, pp. 176–189.

Schmalensee, R., T. M. Stoker and R. A. Judson［1998］“World Carbon Dioxide Emissions : 1950–2050”, *Review of Economics and Statistics*, 80, pp. 15–27.

Shafic, N.［1994］“Economic Development and Environmental Quality : An Econometric Analysis”, *Oxford Economic Papers*, 46, pp. 757–773.

Takai, T., T. Honda and A. Kishimoto［2008］“Comparative Analysis on Eco-efficiency of the Local Government”, *Proceedings of The 8th International Conference on EcoBalance*, pp. 168–171.

The World Bank［2011］World Development Indicators（WDI）, http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators

Uni, H.［2011］“Economic Growth and Greenhouse Gas Emission : An Analysis Using a Cumulative Causation Model”, *Paper for European Association for Evolutionary Political Economy 2011 Conference at the Austrian Academy of Sciences in the Centre of Vienna*, 2011

環境省［2010］『環境白書平成 22 年版』日経印刷。

高井亨［2010］「デカップリング概念と要因分解の統合による持続可能性評価」『環境情報科学論文集』第 24 巻，261–266 ページ。

高井亨・本田智則［2009］「自治体における環境と経済とのデカップリング状態の評価手法について」『環境情報科学論文集』第 23 巻，31–36 ページ。

内藤登世一［2006］「環境クズネッツ曲線仮説」に関する論文サーベイ，『Journal of Faculty of Economics, KGU』第 15 巻，117–132 ページ。

林岳［2004］「地域における第一次産業の持続可能な発展に関する分析―北海道地方を事例とした環境経済統合勘定の構築・推計」『農林政策レビュー』第12巻，10-15ページ。