



環境要因を考慮した生産性の測定

～ OECD の推計と我が国の試算～

よしもと なおふみ
吉本 尚史

内閣府経済社会総合研究所 研究官

1. はじめに

生産性の測定に関する議論は投入要素の効率的な利用を把握するという意味で非常に重要なテーマである。生産性の測定については労働投入に対する産出額（あるいは付加価値額）を測定する労働生産性、あるいは資本投入に関する資本生産性、そしてこれらの要素を包括的に把握する多要素生産性¹（Multi-Factor Productivity：MFP）といった手法がある。しかし、気候変動問題への対応が喫緊の国際的な課題となっているなか、より環境を考慮した形で生産性の測定が望まれるようになっている。

OECD ではこのような社会的要請を踏まえ、2018年に環境調整済多要素生産性（Environmentally Adjusted Multi-Factor Productivity：EAMFP）という指標を開発・推計している。OECD の手法は従来の成長会計の枠組みを基礎に、アウトプットについては温室効果ガスおよび大気汚染物質を、インプットについては自然資本を組み込んだものである。これらの要素を組み込むことで、生産者の環境問題への取組みを把握することができる。さらに2023年に、アウトプットとしての温室効果ガスおよび大気汚染物質の対象範囲を、そしてインプットとしての自然資本の対象範囲を拡張する形で新たな試算が公表されている。それらの成果は Cárdenas Rodríguez

et al. (2018) および Cárdenas Rodríguez et al. (2023) として取りまとめて公表されている。本稿ではこの両論文に言及する形で議論を進めていく。

本稿では、まず OECD の環境調整済多要素生産性の枠組みについてその理論的背景を整理し、OECD の推計結果を紹介する。その後、内閣府 (2022) および松多他 (2024) の我が国の環境調整済多要素生産性の試算の事例を紹介する。

2. OECD の環境調整済多要素生産性

2.1 環境調整済多要素生産性の枠組み

OECD による汚染調整済経済成長率のアプローチは成長会計を基礎として、生産技術を表現した変形関数（Transformation Function）の概念を用いて、産出に温室効果ガス及び大気汚染物質を、投入に自然資本を含む形で拡張を行っている²。変形関数 H は、次式で定義される。

$$H(Y, R, L, K, S, t) \geq 1 \quad (1)$$

ここでは、労働 L 、生産資本 K 、及び自然資本 S を投入し、付加価値 Y と、温室効果ガス及び大気汚染物質 R を排出する経済主体を考えている³。

(1)式に自然対数を取り、時間 t で微分し、式変形を行うと、次の式が導出される⁴。

¹ 多要素生産性は全要素生産性（Total Factor Productivity：TFP）と言及されることもあるが、本稿では OECD の表記に従い、多要素生産性と呼ぶ。

² 変形関数の詳細については Shephard (1971) あるいは、Diewert (1973) を参照。変形関数を環境関連のアウトプットおよびインプットへ拡張する議論については Brandt et al (2013) および Brandt et al (2014) を参照。

³ 変形関数は、 t 期の経済計画 (Y, R, L, K, S) について、1 に近いほど効率的であることを仮定している。また、 $(H_Y = \partial H / \partial Y > 0, Y \in [R, L, K, S])$ および $(H_Y = \partial H / \partial Y < 0)$ を仮定している。

⁴ 式変形の詳細については内閣府 (2022) を参照。



【吉本尚史氏のプロフィール】

早稲田大学商学大学院卒業。早稲田大学大学院商学研究科修了。
内閣府経済社会総合研究所で「環境要因を考慮した統計・指標」、
「データの資本化」および「産業別生産性」等の研究を担当。

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \varepsilon_{YR} \frac{\partial \ln R}{\partial t} = \varepsilon_{YL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{YK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{YS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} + \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} \quad (2)$$

ここで、 ε は弾性値を表す。OECD の分析では、この(2)式の左辺を汚染調整済経済成長率 (Pollution adjusted GDP) と定義している。左辺は生産面を表現しており、第一項目は付加価値額の成長率である。第二項目は、温室効果ガス等の排出量の変化率に、付加価値額に対する温室効果ガス等の排出量の弾性値を乗じたものとなっており、これを「汚染削減調整項 (the adjustment for air pollution abatement)」と定義している。(2)式の右辺については生産活動の投入面を表しており、生産面を労働、生産資本、自然資本で寄与度分解した後、その残差を環境調整済多要素生産性 (EAMFP) として、環境を考慮した生産性を規定している。

汚染調整済経済成長率及び環境調整済多要素生産性を推計するには、(2)式の各弾性値を求める必要がある。弾性値の推計に用いるモデル式は、前述の(2)式を変形して導出する。ここで、複数の物質 j を大気中へ排出していると想定し、(2)式を整理すると、

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} + \varepsilon_{YL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{YK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{YS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} + \sum_j \varepsilon_{YRj} \frac{\partial \ln R_j}{\partial t} \quad (3)$$

となり、さらに $\varepsilon_{YV} = -(\varepsilon_{HV}/\varepsilon_{HY})$ であることを用いて投入要素をまとめる形で整理すると、

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \left(\varepsilon_{HL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{HK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{HS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \right) - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \sum_j \varepsilon_{HRj} \frac{\partial \ln R_j}{\partial t} \quad (4)$$

となる。

OECD の分析では、弾性値を推計するために、利潤最大化問題によるアプローチと計量経済学のアプローチを組み合わせている。まずはじめに、以下の利潤目的関数を最大化する経済主体を考える。

$$\max_{Y,R,L,K,S} P_Y Y + P_R R - wL - u_K K - u_S S \text{ s.t. } H(Y,R,K,L,S,t) \geq k \quad (5)$$

この式は、技術制約 $H(Y,R,K,L,S,t) \geq k$ の下、付加価値額を最大化させる経済主体の行動を表している。ここで P_Y は望ましいアウトプットである Y の価格であり、 P_R は、温室効果ガス等の排出に伴い発生する排出量単位当たりの価格を表す (例：規制遵守コスト)。(5)式の一階条件により、弾性値 ε_{HL} , ε_{HK} , ε_{HS} はそれぞれ、総費用に対する投入費用ウェイトになる⁵。つまり、

$$\varepsilon_{HL} = \frac{wL}{\gamma}, \varepsilon_{HK} = \frac{u_K K}{\gamma}, \varepsilon_{HS} = \frac{u_S S}{\gamma} \quad (6)$$

となる。ここで $\gamma = wL + u_K K + u_S S$ である。このように、利潤最大化問題を解くことで、投入要素 (L, K, S) についてはその弾性値を投入コストのウェイトによって測定できることがわかる。

投入要素についてはその価格に関するデータが比

⁵ 詳細は Cárdenas Rodríguez et al. (2018) の [7] 式から [10] 式を参照のこと。

較的取得可能であるが、産出面、特に排出に関する価格については通常、利用可能なデータが少なく、そのため統計的な推計が必要となる。まず、OECDの分析では投入費用ウェイトに関するデータは取得可能なものを利用するため、投入に関する変数は次のように一つの変数 X にまとめている。

$$\frac{\partial \ln X}{\partial t} = \varepsilon_{HL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{HK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{HS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (7)$$

次に(4)式に(7)式を代入すると、次式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln Y}{\partial t} = & \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln X}{\partial t} \\ & - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \sum_j \varepsilon_{HRj} \frac{\partial \ln R_j}{\partial t} \end{aligned} \quad (8)$$

2.2 OECDの推計対象となる環境要因

OECDの2018年の推計（Cárdenas Rodríguez et al. (2018)）で対象としている自然資本は燃料関係の4種（無煙炭、瀝青炭、天然ガス及び原油）、および鉱物の10種類（ボーキサイト、銅、金、鉄鉱石、鉛、ニッケル、リン酸塩、銀、スズ、亜鉛）であ

り、採掘資源を中心としている。しかし2023年の推計（Cárdenas Rodríguez et al. (2023)）では生態系サービスなどの再生可能自然資本へ、その範囲を拡張している。OECDの2023年の推計で自然資本について考慮されているデータは表1のとおりである。

この(8)式を計量経済的に推定するために特定化したモデル式が以下の(9)式であり、OECDの分析では、このモデル式の推定結果をもとに弾性値の推計をしている。

$$\dot{Y}_{it} = \alpha_i + \delta_t + \gamma_i \dot{X}_{it} + \sum_j \beta_{ji} \dot{R}_{jit} + u_{it} \quad (9)$$

ここで、 i は国を、 t は年次を、 j は排出される物質を表している。 $\dot{Y}_{it}$ はGDPの変化率、 $\dot{X}_{it}$ は投入の変化率、 $\dot{R}_{jit}$ は各温室効果ガス及び大気汚染物質の排出量の変化率を表している。また、 α_i は生産性の伸び率を、 δ_t は年次ダミーを、 u_{it} は誤差項を表している。

Cárdenas Rodríguez et al. (2018, 2023)では、この推計式(9)について、そのパラメータをランダム係数モデルを用いて推計している⁶。ランダム係数モ

表1 2023年のOECDの推計で利用されている自然資本

非再生可能 自然資本	化石燃料資源	無煙炭、褐炭、原油、天然ガス
	鉱物資源	ボーキサイト、銅、金、鉄鉱石、鉛、ニッケル、リン酸塩、銀、スズ、亜鉛
再生可能 自然資本	土地資源	農地、牧草地、林地
	生物資源	水産資源、自然林
	生態系サービス	森林生態系サービス：森林による流域保護
		森林生態系サービス：森林からの木材以外の生産物
		マングローブ生態系サービス：沿岸洪水の保護
	再生可能エネルギー資源	水力発電、風力発電、太陽光発電

出所：Cárdenas Rodríguez et al (2023) により著者作成。

⁶ Cárdenas Rodríguez et al. (2018, 2023)のモデルでは、最小二乗法、固定効果モデル、ランダム効果モデルおよびランダム係数モデルについて、尤度比検定等の統計的検定やバイズ情報基準を用いて、最も望ましいモデルがランダム係数モデルであるとしている。

デルは国×時系列パネルデータについて国ごとに異なるパラメータを推計できるモデルであり、その結果、各国の弾性値について推計することができる。OECD の2018年の推計では温室効果ガス3種（二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O））、及び大気汚染物質5種（硫黄化合物（SO_x）、窒素酸化物（NO_x）、PM₁₀、一酸化炭素（CO）、非メタン揮発性有機化合物（NMVOC））を対象にしている。その後、2023年の推計では対象物質を、温室効果ガス5種（二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）、三フッ化窒素（NF₃）、六フッ化硫黄（SF₆））、および大気汚染物質7種（窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）、一酸化炭素（CO）、非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）、PM₁₀、アンモニア（NH₃）、ブラックカーボン（BC））とその範囲を拡張している。このうち、統計的な推計により、独立変数である GDP 成長率 $\dot{Y}_{it}$ と統計的に有意な汚染物質は2018年の推計においては、二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）であるとし、汚染削減調整項、汚染調整済経済成長率および環境調整済多要素生産性を試算している。その後の2023年の推計で GDP 成長率 $\dot{Y}_{it}$ と統計的に有意な汚染物質は CO₂、N₂O、SF₆ および NMVOC としている。また、このうち各国間でパラメータが異なる物質は CO₂、N₂O および SF₆ であり、NMVOC のパラメータに関しては国ごとに変化はないとしている。このように OECD の分析では、利用するデータが変わると GDP 成長率の変化と有意な物質が変わり、考慮される物質が変わる結果となっている。

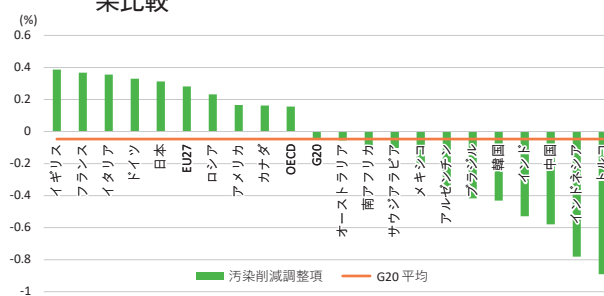
2.3 OECD の推計

OECD の2018年の推計では、分析の対象期間は1991年から2013年となっており、2023年の推計ではその対象期間は1996年から2018年が対象となってい

る。以下では OECD の2023年の推計について紹介する。

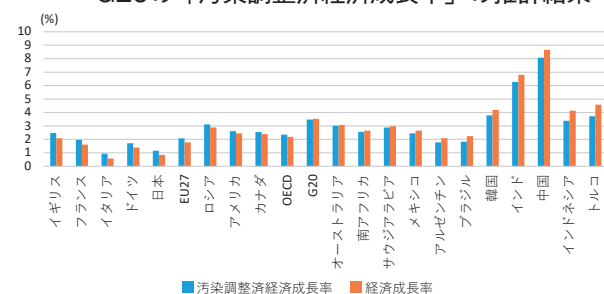
図1、2、3はそれぞれ Cárdenas Rodríguez et al (2023) による G20メンバーの「汚染削減調整

図1 Cárdenas Rodríguez et al (2023) による G20メンバーの「汚染削減調整項」の推計結果比較



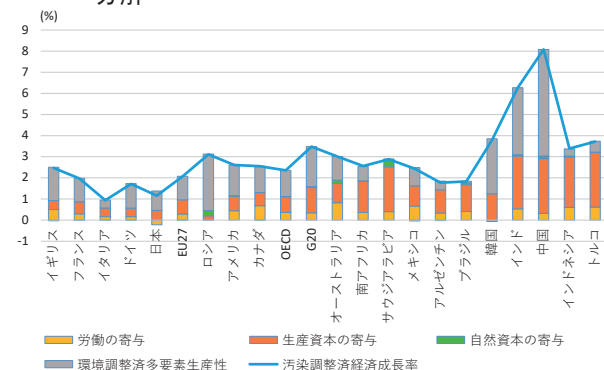
出所：Cárdenas Rodríguez et al (2023) により著者作成。

図2 Cárdenas Rodríguez et al (2023) による G20の「汚染調整済経済成長率」の推計結果



出所：松多他 (2024) により著者作成。

図3 Cárdenas Rodríguez et al (2023) における G20の「汚染調整済経済成長率」の寄与度分解



出所：松多他 (2024) により著者作成。

項」、「汚染調整済経済成長率」および「環境調整済多要素生産性」の推計結果に関する図である。「汚染削減調整項」について日本は5位と上位の層に位置付けられている。また、汚染調整済経済成長率の日本の数値に関し、経済成長率については、年平均で0.84%であり、それに加え汚染削減調整項が経済成長率換算で0.31%プラスの評価となったため、汚染調整済経済成長率は、1.16%と推計されている。最後に、汚染調整済経済成長率への寄与度分解について、日本の場合、環境調整済多要素生産性が最も大きな割合を占めている。

3. 我が国の試算

3.1 マクロの試算

我が国の試算では内閣府（2022）と、この内閣府（2022）について OECD の2023年の推計結果に基づき内容を更新した松多他（2024）がある。本稿では松多他（2024）の成果を中心に紹介する。松多他（2024）では、Cárdenas Rodríguez et al（2023）の「温室効果ガス等の排出に対する実質 GDP 弾性値」を利用して試算しており、日本全体の試算だけでなく、産業別の特徴についても整理を行っている。OECD（2023）が推計した我が国の弾性値の値はそ

れぞれ、表2のとおりとなっている⁷。なお、松多他（2024）では、試算においては簡略化のため、鉱物資源などの自然資本の寄与は計算していない⁸。

試算の対象期間は日本全体のマクロの数値については1995年から2021年の27年間としており⁹、そのため Cárdenas Rodríguez et al（2023）と比較して、より直近の動向まで把握できるようになっている。利用しているデータに関し、実質 GDP については内閣府の公表値を、労働投入及び資本投入については独立行政法人経済産業研究所の JIP データベース2023を利用している¹⁰。また、温室効果ガス等については、2023年4月に、環境省・国立環境研究所より公表された温室効果ガスインベントリ（2023）を使用している。

表3は推計結果をまとめたものである。まず、1995年から2021年の実質 GDP 成長率（年平均）は0.66%であり、OECD の推計結果の0.84%と比べ0.18%下がっている。これは推計期間の違いによるものであり、松多他（2024）では2021年まで新型コロナウイルス感染症の拡大した期間を含めている結果である。汚染削減調整項については0.39%となっている。その内訳についてみると、NMVOC の寄与が0.27と最も大きく、次いで N₂O の寄与が0.05と

表2 我が国の「温室効果ガス等の排出に対する実質 GDP 弾性値」

二酸化炭素（CO ₂ ）	一酸化二窒素（N ₂ O）	非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）	六フッ化硫黄（SF ₆ ）
0.071	0.028	0.081	0.005

出所：Cárdenas Rodríguez et al.（2023）

⁷ OECD の2018年の推計における我が国のパラメータは二酸化炭素（CO₂）0.066、メタン（CH₄）0.187および非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）0.044となっている。

⁸ 日本は自然資本の寄与は少ないと考えられ、また OECD の分析でも小さいものとどまっている。

⁹ 内閣府（2022）では対象期間が1995年から2020年であり、1年更新されている。

¹⁰ ただし、JIP データベースは推計に必要な労働投入のデータを2021年まで取得可能であるが、資本投入のデータについては2020年までの数値しか取得できない。そのため、国民経済計算（JSNA）の実質固定資産の伸び率を用いて延長推計を行っている。

表3 我が国の汚染調整済経済成長率の寄与度（平均値）

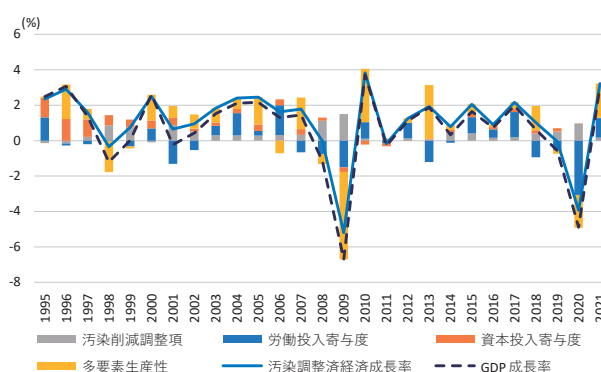
項目	項目名	寄与度（%, % pt）	備考
A	汚染調整済経済成長率	1.06	$A = B + C$
B	実質 GDP 成長率	0.66	
C	汚染削減調整項	0.39	$C = D + E + F + G$
D	汚染削減調整項（CO ₂ ）	0.04	
E	汚染削減調整項（N ₂ O）	0.05	
F	汚染削減調整項（NMVOC）	0.27	
G	汚染削減調整項（SF ₆ ）	0.04	
H	労働寄与度	0	
I	生産資本寄与度	0.27	
J	環境調整済多要素生産性	0.8	$J = A - H - I$

出所：松多他（2024）により著者作成。

なっている。これらの汚染削減調整項の効果を加えた、汚染調整済経済成長率は1.06%となっている。最後に汚染調整済経済成長率への寄与について、労働、資本、（残差で求められる）環境調整済多要素生産性（EAMFP）に分解すると、労働が0.00%ポイント、資本が0.27%ポイント、EAMFPが0.80%ポイントとなっており、EAMFPが成長の主たる寄与要因となっているとしている。

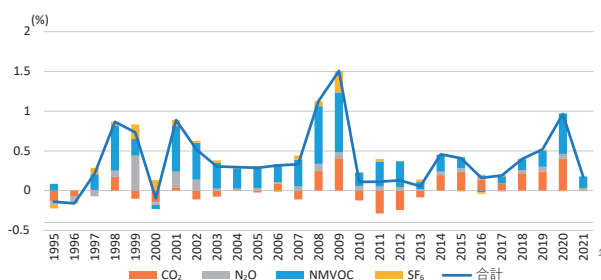
図4は汚染調整済経済成長率の寄与度分解の推移を図示したもの、図5は汚染削減調整項の内訳の推移を図示したものである。図4が示すように汚染調整済経済成長率は実質 GDP 成長率を多くの期間で上回っている。また、世界金融危機の影響を受けた2008、2009年、2020年の新型コロナウイルス感染症の流行で経済成長率が大きく落ち込んだ際には、二酸化炭素の排出量の減少を反映して汚染削減調整項の寄与が高まっている。汚染削減調整項が多くの期間でプラスの寄与となっているのは、図5が示すとおり、NMVOC や SF₆ が多くの期間でプラスの寄与となっていることと、2014年以降はこれらの物質に加えて CO₂ がプラスの寄与となっていることを反映している。

図4 我が国の汚染調整済経済成長率の寄与度の推移



出所：松多他（2024）により著者作成。

図5 汚染削減調整項の内訳の推移



出所：松多他（2024）により著者作成。

3.2 我が国の汚染調整済経済成長率の産業別寄与度

松多他（2024）ではマクロの推計に加えて、汚染調整済経済成長率および環境調整済多要素生産性（EAMFP）について、日本全体の指標を産業別の

寄与度として分解し、産業ごとの特徴を整理している。対象期間は利用するデータの制約により1995年から2020年までの期間となっている¹¹。なお、内閣府（2022）および松多他（2024）では産業別の排出量については国際基準である環境経済勘定セントラルフレームワーク（System of Environmental-Economic Accounting Central Framework：SEEA-CF）の大気排出勘定を推計して利用している。

産業別の寄与度は、実質 GDP 成長率については名目 GDP ウェイトを、汚染削減調整項については排出量ウェイトを用いることで分割している。そしてそれらを加算することにより各産業 i の汚染調整済経済成長率を推計している。最後に産業 i の汚染調整済経済成長率から産業 i の労働投入と資本投入の寄与度を控除することで、産業別の環境調整済多要素生産性を推計している。具体的な推計方法は以下のとおりである。

$$\begin{aligned} & \text{産業 } i \text{ の汚染削減調整項 (寄与度)} \\ &= \sum_j \text{物質 } j \text{ の GDP 弾性値} \\ & \quad \times \text{物質 } j \text{ に関する産業 } i \text{ の排出量ウェイト} \\ & \quad \times \text{排出量変化率} \times (-1) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \text{産業 } i \text{ の汚染調整済経済成長率 (寄与度)} \\ &= \text{産業 } i \text{ の名目 GDP ウェイト (二期平均)} \\ & \quad \times \text{産業 } i \text{ の実質 GDP 成長率} \\ & \quad + \text{産業 } i \text{ の汚染削減調整項 (寄与度)} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & \text{産業 } i \text{ の環境調整済多要素生産性 (寄与度)} \\ &= \text{産業 } i \text{ の汚染調整済経済成長率 (寄与度)} \\ & \quad - \text{産業 } i \text{ の労働の寄与} \\ & \quad - \text{産業 } i \text{ の資本の寄与} \end{aligned} \quad (12)$$

松多他（2024）では、環境調整済多要素生産性

（EAMFP）について、汚染削減調整項と多要素生産性（MFP）に分解して整理している。成長会計では多要素生産性は実質 GDP 成長率から労働投入の寄与度と生産資本投入の寄与度を控除した残差で定義される。

$$\begin{aligned} & \text{実質 GDP 成長率} = \text{労働投入の寄与} \\ & \quad + \text{生産資本投入の寄与} \\ & \quad + \text{多要素生産性 (MFP)} \end{aligned} \quad (13)$$

一方で、自然資本投入を考慮しない場合、環境調整済多要素生産性は以下の式で表現される。

$$\begin{aligned} & \text{実質 GDP 成長率} + \text{汚染削減調整項} \\ &= \text{労働投入の寄与} + \text{生産資本投入の寄与} \\ & \quad + \text{環境調整済多要素生産性 (EAMFP)} \end{aligned} \quad (14)$$

(14)式に(13)式を代入して整理すると、

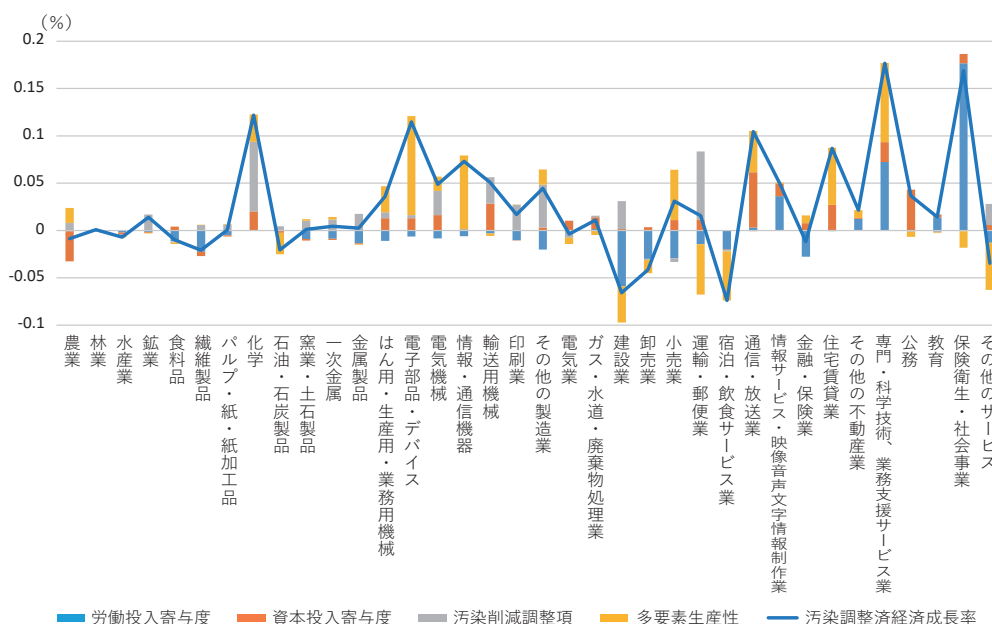
$$\begin{aligned} & \text{環境調整済多要素生産性 (EAMFP)} \\ &= \text{汚染削減調整項} + \text{多要素生産性 (MFP)} \end{aligned} \quad (15)$$

となり、環境調整済多要素生産性は汚染削減調整項と多要素生産性に分解して表現できることになる。

松多他（2024）による汚染調整済経済成長率の産業別寄与度の要因分解の結果が図6である。汚染削減調整項をみると、多くの産業でプラスの寄与となっている。これは、温室効果ガス等のうち NMVOC 削減によるプラス寄与が多く、多くの産業でみられることを反映している。多要素生産性および資本の寄与は多くの産業でプラスであり、多要素生産性の寄与の方が資本の寄与よりも多くの産業で大きい。このことから我が国の経済成長は多要素生産性の向上がけん引しているとみることができる。一方、労働の寄与は多くの産業でマイナスの寄与であるが、少数の

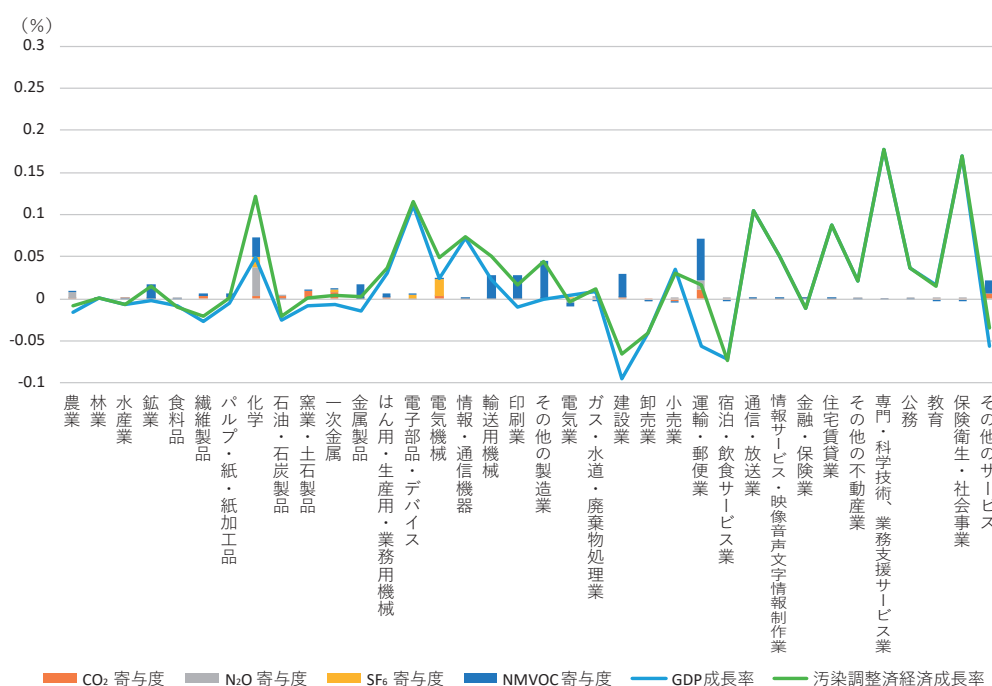
¹¹ 内閣府（2022）も1995年から2020年を対象期間としており、同一となっている。ただし内閣府（2022）では利用した JIP データベースの対象期間の関係で労働・資本投入のデータは2018年までとなっている。松多他（2024）では更新された JIP データベースを取り込んでいるので労働・資本投入についても2020年まで更新されている。

図6 汚染調整済経済成長率の産業別寄与度の要因分解（1995～2020年の平均）



出所：松多他（2024）により著者作成。

図7 汚染調整済経済成長率の産業別寄与度と汚染削減調整項（1995～2020年）



出所：松多他（2024）により著者作成。

産業（保健衛生・社会事業等）の大きなプラスの寄与がそれを相殺している。

さらに、汚染調整済経済成長率の産業別寄与度と物質別の汚染削減調整項の関係を整理したのが図7

である。まず一酸化二窒素（N₂O）であるが、N₂Oは農用地の土壌や家畜排せつ物の管理等、一部の化学製品原料の製造過程、および輸送業に関連する乗用車等の利用によって発生する。それぞれの産業に

において N_2O の削減効果がみられるが、もっとも寄与しているものは化学業である。これはアジピン酸製造過程における N_2O 分解装置の設置による削減効果によるものである。次に大きいのは輸送業の寄与度である。これは、ガソリン乗用車について1997年より低排出ガス対策車販売が販売されたことや、2000年からの新規制により N_2O の排出を削減する装置が装着されたことによる。

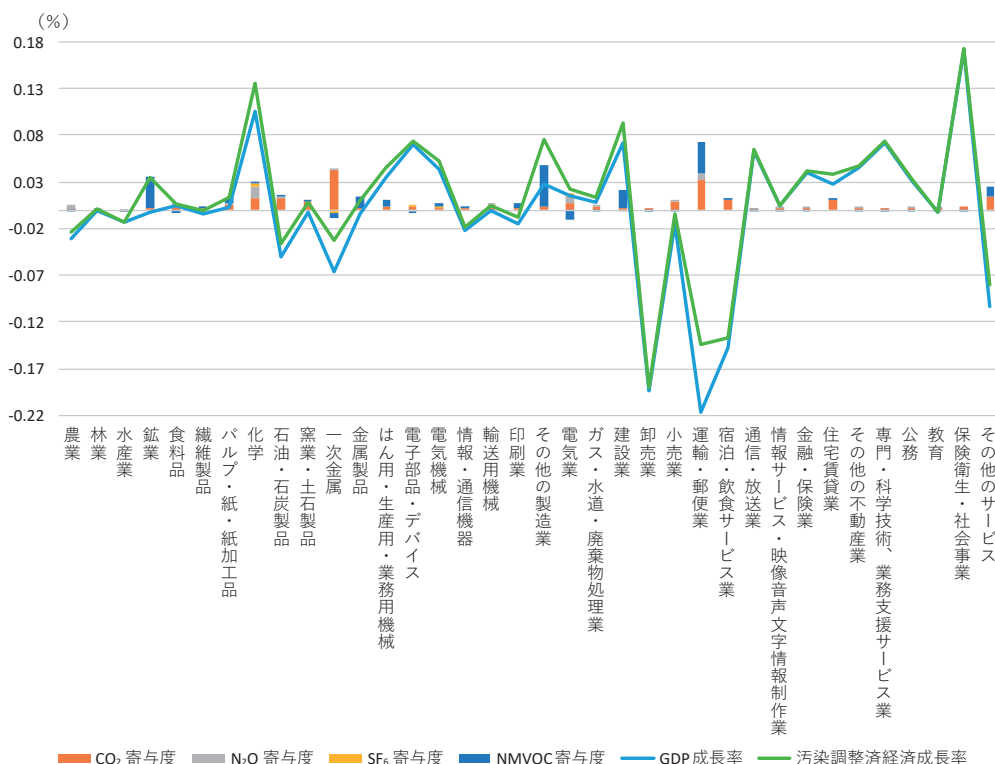
次に非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）であるが、NMVOC はエネルギー燃料から排出されるとともに、温室効果ガスインベントリのカテゴリでいうところの「工業プロセス及び製品の使用」によって排出される。後者は、具体的には、塗料、洗浄剤、接着剤、インキ等の溶剤に含まれている NMVOC がこれらの使用で発生する。NMVOC は排出規制と各産業の自主的な排出量削減の取り組みにより、

毎年着実に減少しているが、産業別にみると排出量が多く（つまり排出ウェイトが大きく）かつ排出削減量も多い、「運輸・郵便業」、「その他製造業」、「建設業」、「輸送用機械」および「印刷業」の寄与度が高くなっている。

六フッ化硫黄（ SF_6 ）は、電気設備の製造や、マグネシウム溶解のための使用、半導体等の製造工程等で使用される。 SF_6 が使用される電気設備において、業界団体の取組みにより、排出量が減少したことにより電気機械業の寄与度が高くなっている。

最後に CO_2 についてみていく。 CO_2 は1995～2020年でみると、運輸・郵便業を除いて明確な寄与がみられないが、2015年以降の期間で整理した図8をみると、多くの産業で明確な寄与がみられる。製造業全体が省エネへの取組みを進め CO_2 排出量を削減していくなか、特に一次金属（鉄鋼業及び非鉄金属

図8 汚染調整済経済成長率の産業別寄与度と汚染削減調整項（2015～2020年の平均）



出所：松多他（2024）により著者作成。

業)において、排出量が大きく(排出ウェイトが高く)、かつ削減量が大きいため、CO₂削減による汚染削減調整項の寄与度が高くなっている。運輸・郵便業については、自動車からのCO₂排出が2000年代に入り燃費の改善等により減少傾向にあり、また新型コロナウイルス感染症の影響により2020年の走行量が激減したことを受け、汚染削減調整項の寄与度が高くなっている。

これまでみたように、温室効果ガスおよび大気汚染物質について、その生産性への寄与は物質によっては特定の産業にその排出が限られているケースも多く、削減の寄与がこうした産業に偏る傾向がある。ただし、CO₂については1995年から2020年でみると産業別でもその効果は運輸・郵便業をのぞいてみられないが、近年は多くの産業でその削減効果が確認できる。

4. おわりに

OECDの環境調整済多要素生産性の枠組みを紹介し、我が国での試算例として松多他(2024)を紹介した。通常の生産性の議論では、生産性が向上することによって、分配できるパイが大きくなり、国民の生活の向上が期待できる。一方、環境調整済多要素生産性は、経済活動による環境への影響について経済活動を評価している基準で評価し、この指標を改善することによって環境への配慮に関する活動や自然資本の効率的な利用を促すという社会の持続可能性を向上させることが期待できる。

しかし、今後、この環境調整済多要素生産性の議論を進めていくにはいくつかの注意が必要である。一つは自然資本投入の考え方である。一言で自然資本といっても、鉱物資源と生態系サービスに関するものでは、その資本蓄積や経済への影響のプロセスは大きく異なると考えられ、その差異を十分検討した形で議論を整理する必要がある。もう一点が、環

境の社会的コストとの関係性である。環境調整済多要素生産性は、その手法上、「生産者が直面する環境への影響の効果」を反映したものとなっている。より具体的には、生産者の選択する環境へ配慮した行動の影響は、生産者の機会コストを反映したものとなっている。これは必ずしも社会的なコストと一致しておらず、社会の持続可能性の観点からみると今後は社会的コストとの整合性も踏まえた議論を展開していくことが重要と考えられる。

参考文献

- 環境省(2006)「揮発性有機化合物について 光化学スモッグのないくらし(パンフレット)」
- 環境省(2015)「平成27年版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」
- 環境省(2023)「令和5年版 環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」
- 環境省・国立環境研究所(2023)「温室効果ガスインベントリ(2023)」
- 経済産業省産業構造審議会製造産業分科会化学物質政策小委員会フロン類等対策ワーキンググループ(2015)「第8回開催資料 資料1-3 分野ごとの行動計画に基づく取組の進捗状況(個票)」
- 経済産業省・産業環境管理協会(2010)「VOC排出抑制の手引き 参考資料」
- 経済産業研究所(2023)「JIP データベース 2023」
- 内閣府経済社会総合研究所(202)「環境要因を考慮した統計・指標について」, 研究会報告書等 No.87.
- 松多・吉本・高橋・酒巻(2024)「汚染調整済経済成長率等の新たな試算について」, ESRI Research Note No.80.
- Brandt, N., P. Schreyer and V. Zipperer (2013), “Productivity Measurement with Natural Capital”, *OECD Economics Department Working*

-
- Papers*, No. 1092, OECD Publishing, Paris,
- Brandt, N., P. Schreyer and V. Zipperer (2014), “Productivity Measurement with Natural Capital and Bad Outputs”, *OECD Economics Department Working Papers*, No. 1154, OECD Publishing, Paris.
- Cárdenas Rodríguez M., Haščič I. and Souchier M. (2018), “Environmentally Adjusted Multifactor Productivity: Methodology and Empirical Results for OECD and G20 Countries”, *OECD Green Growth Papers*, No. 2018/02, OECD Publishing, Paris.
- Cárdenas Rodríguez, M., Mante, F., Haščič, I. and Rojas Lleras, A. (2023), “Environmentally adjusted multifactor productivity: Accounting for renewable natural resources and ecosystem services”, *OECD Green Growth Papers*, 2023-01, OECD Publishing, Paris.
- Deiwert (1973), “Functional forms for profit and transformation functions”, *Journal of Economics Theory*, 6, pp.284-316.
- Shephard, R.W. (1971), “Theory of Cost and Production Functions”, Princeton University Press.