

論 文

環境要因を考慮した経済統計・指標について*

～「汚染調整済経済成長率」と「大気排出勘定」の試算～

酒巻 哲朗・吉本 尚史**

＜要旨＞

気候変動問題への対応が喫緊の課題となる中、脱炭素社会の実現に向けた取組の効果を「見える化」するため、経済活動の環境への影響を捉える統計や指標を整備することは重要な課題である。内閣府経済社会総合研究所では、脱炭素の観点から経済活動の環境への影響を GDP に反映させる指標の調査研究を開始しており、OECD の分析枠組みに基づき温室効果ガス等の排出削減努力を経済成長率にプラス評価する「汚染調整済経済成長率」や、国際基準 SEEA に準拠し、日本の国民経済計算と整合的な産業分類による「大気排出勘定」の暫定的な試算を行い、2022 年 8 月に公表した。

1990 年代以降の日本の温室効果ガス等の排出量の動向をみると、二酸化炭素は景気動向を反映して増減を繰り返してきたが、近年は再生可能エネルギーの導入拡大や省エネの進展等を反映して減少している。メタンや非メタン揮発性有機化合物 (NMVOC) は長期的に減少している。

OECD の分析で得られたパラメーターと日本のデータを組み合わせて試算した「汚染調整済経済成長率」は、1995～2020 年の年平均で 1.04% となった。実質 GDP 成長率 0.57% に対し、温室効果ガス等の削減の効果を表す「汚染削減調整項」が 0.47% ポイント押し上げた結果である。排出物の種類別には二酸化炭素削減の寄与は小さく、メタンや非メタン揮発性有機化合物の削減による寄与が高くなっている。

JEL Classification Codes : E1, O4, Q5

Keywords : 経済成長、SEEA、大気排出勘定

* 本稿は 2021 年度に内閣府経済社会総合研究所が実施した委託研究の成果に基づき、内閣府で行った試算の内容を基に執筆している。委託研究の研究会でご指導いただいた早見均慶應義塾大学教授、氏川恵次横浜国立大学大学院教授、深見正仁ミネベアミツミ株式会社 Chief Green Officer、牧野好洋静岡産業大学教授、委託研究で推計手法の検討・推計作業を行った株式会社エス・アール・シーのご担当者に深く感謝する。本稿に含まれる内外の取組や先行研究、試算結果の評価・解釈等に係る記述は筆者個人の見解である。また、本稿に残された誤りは筆者の責によるものである。

** 酒巻 哲朗：内閣府経済社会総合研究所総括政策研究官、吉本 尚史：内閣府経済社会総合研究所研究室研究官

Economic Statistics and Indicators Considering Environmental Factors: Preliminary Estimation of Japan's Pollution-adjusted GDP Growth Rate and Air Emission Accounts

By Tetsuro SAKAMAKI and Naofumi YOSHIMOTO

Abstract

While responding to climate change has become an urgent issue, it is important to develop statistics and indicators that capture the impact of economic activities on the environment to visualize the efforts needed to achieve carbon neutrality. The Economic and Social Research Institute of the Cabinet Office have started research on indicators that reflect the environmental impacts of economic activities on GDP growth from the perspective of decarbonization. The preliminary estimations of the “pollution-adjusted GDP growth rate” based on the OECD analytical framework which evaluates efforts to reduce emissions of greenhouse gases, etc. as a positive factor in the economic growth rate were published in August 2022. And the provisional air emissions accounts that conform to the international standard SEEA and that are consistent with the industry classifications of Japan's national accounts were also published.

Looking at trends in Japan's greenhouse gas emissions since the 1990s, carbon dioxide has repeatedly fluctuated in response to economic trends. However, in recent years, it has been declining, reflecting the introduction of renewable energy and progress in energy conservation. Methane and non-methane volatile organic compounds are declining in the long run.

The pollution-adjusted GDP growth rate, calculated by combining the parameters obtained from the OECD analysis and data from Japan was 1.04% on average for the period from 1995 to 2020. This is the result of a 0.47 percentage point increase in the pollution reduction adjustment term, which indicates the effect of reducing greenhouse gases, etc., against the real GDP growth rate of 0.57%. By type of emissions, the contribution of carbon dioxide reduction is small, and the contribution of methane and non-methane volatile organic compounds (NMVOC) reduction is high.

JEL Classification Codes: E1, O4, Q5

Keywords: economic growth, SEEA, Air Emissions Accounts

1. はじめに

気候変動問題への対応が喫緊の課題となる中、脱炭素社会の実現に向けた取組の効果を「見える化」するため、経済活動の環境への影響を捉える統計や指標を整備することは重要な課題である。国際社会においては、国際連合が 2012 年に国民経済計算と整合的な枠組みで経済と環境の関係をとらえる「環境経済勘定体系」を国際基準として策定しており、世界各国でデータ整備が進められている。また、OECD は、成長会計の枠組みを経済と環境の相互関係に拡張し、自然資本の投入や温室効果ガス等の排出と経済成長率の関係を捉える「環境調整済全要素生産性」の分析枠組みを提案している。

内閣府経済社会総合研究所では、「経済財政運営と改革の基本方針 2021、2022」¹で「グリーン GDP（仮称）などの研究・整備を進める」とされたことを受け、国際的な取組を参考に、脱炭素の観点から経済活動の環境への影響を GDP に反映させる指標の調査研究を開始している。具体的には、OECD の分析枠組みに基づき温室効果ガス等の排出削減努力を経済成長率にプラス評価する「汚染調整済経済成長率」や、そのバックデータとして、国連の国際基準 SEEA に準拠し、日本の国民経済計算と整合的な産業分類による「大気排出勘定」の暫定的な試算を行い、2022 年 8 月に公表した。本稿では、その内容を紹介する。

以下、2.で上記の国際的な取組や内閣府が進めている調査研究の概要を述べた後、3.で「大気排出勘定」について、4.で「汚染調整済経済成長率」について、試算方法と試算結果を解説する。5.では今後の課題を整理する。

2. 環境要因を考慮した経済統計・指標の調査研究について

2.1 国際的な取組

（OECD による環境調整済全要素生産性）

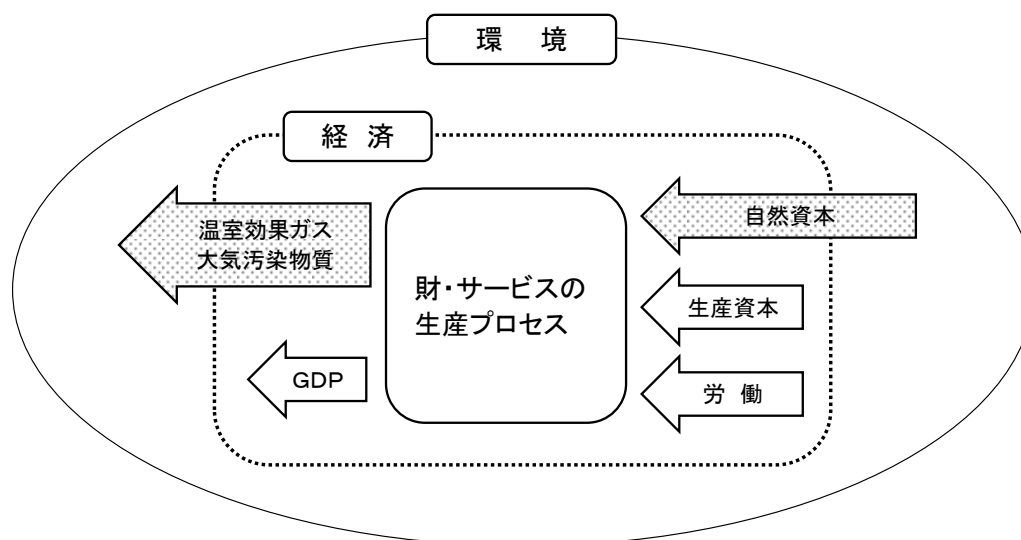
OECD（2018）は、成長会計を環境から経済への自然資本の投入や、経済から環境への温室効果ガス等の排出も含む形で拡張し、自然資本の経済成長への寄与や温室効果ガス等の削減・増加の評価を勘案した「環境調整済全要素生産性（Environmentally Adjusted Multifactor Productivity、EAMFP）」を測定する枠組みを提案した。

通常の成長会計では、生産資本（経済活動の中で生産される機械や建物などからなる資本）と労働が財・サービスの生産プロセスに投入され、GDP が産出される過程を生産関数により表現し、経済成長率に対する資本、労働の寄与や、残差として計算される全要素生産性を測定する。OECD が提案した分析枠組みは、成長会計を環境と経済の間の物質の投入、排出を含む形で拡張する。具体的には、環境から経済への自然資本（鉱物資源等）の投入、経済から環境への温室効果ガスや大気汚染物質の排出を含めた関数を想定し、これ

¹ 「経済財政運営と改革の基本方針 2021」（令和 3 年 6 月 18 日閣議決定）、「経済財政運営と改革の基本方針 2022」（令和 4 年 6 月 7 日閣議決定）。

によって経済成長率に対する自然資本の寄与や、環境への影響を勘案した全要素生産性や経済成長率を測定する（図表2-1）。

図表2-1 OECDの環境調整済全要素生産性の分析枠組みのイメージ



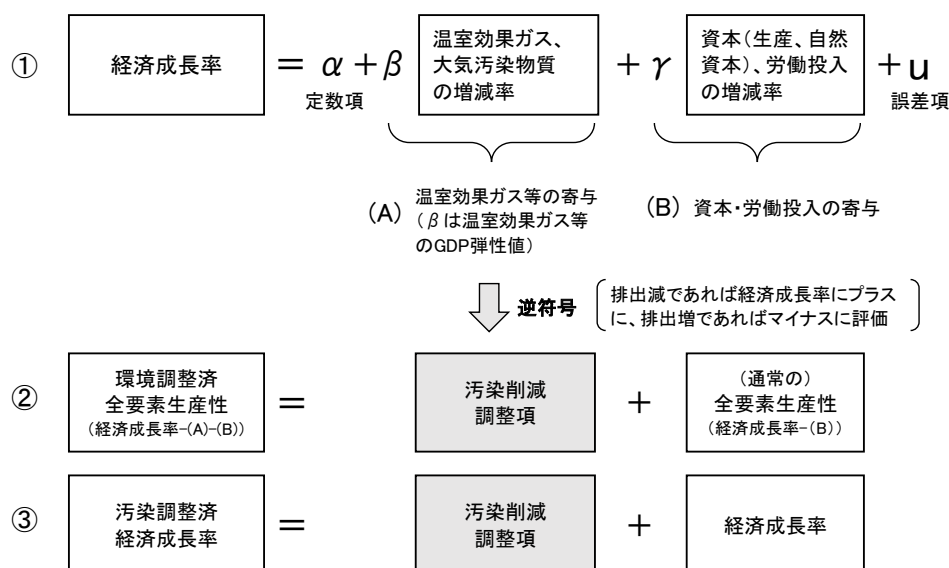
（備考）Rodríguez et al.(2018a)を参考に筆者作成。

実際の計測では、図表2-2①のような関数を想定し、回帰分析によりパラメーターを推定することで、経済成長率を温室効果ガス等の寄与、資本・労働投入の寄与、残差である生産性に分解する。 β は温室効果ガス等のGDP弾性値である。温室効果ガス等の排出量の増減は、GDP成長率の増減と正の相関を持つと考えられるため、プラスの値をとることが予想される。温室効果ガスが減少した時、寄与はマイナスとなって経済成長率を押し下げるが、資本・労働を投入して経済活動の中で温室効果ガスの削減努力を行ったことを表しており、環境にとってはプラスの影響を与えたと考えることができる。そこで、温室効果ガス等の寄与を逆符号にしたものを「汚染削減調整項」と名付け、通常の全要素生産性に足したものを「環境調整済全要素生産性」（図表2-2②）、経済成長率に足したものを「汚染調整済経済成長率」（図表2-2③）と定義する。「環境調整済全要素生産性」や「汚染調整済経済成長率」は、温室効果ガス等が減少すれば通常の全要素生産性、経済成長率より高くなり、温室効果ガス等が増加すれば低くなる。

「汚染削減調整項」は、温室効果ガスや大気汚染物質を削減するために経済成長率を犠牲にした程度（プラスの場合）、あるいはそれらの増加を代償として実現された経済成長率（マイナスの場合）を表すと考えられる。ただし、上記のような概念設定や測定方法から、「汚染削減調整項」が捉える環境への影響を解釈する際には留意が必要である。例えば、汚染物質排出量が前年と同じ場合、仮に大気汚染の状況が深刻でも汚染削減調整項はゼロとなる。また、汚染物質排出量の増減率を経済成長率ベースで評価したものであり、温室効

果自体の変化を表すものではない。また、一国の動向のみを捉えており、工場の海外移転などにより汚染物質が減少した場合でもプラスの評価となる。

図表 2-2 環境調整済全要素生産性等の推計イメージ



(備考) Rodríguez et al. (2018a) を参考に筆者作成。

OECD は、加盟国や G20 のうち 47 か国について、1991～2013 年の国際パネルデータを用いて推計を行い、国際比較可能な形で国ごとの推計結果を提供している (Rodríguez et al. (2018a))。汚染調整済経済成長率の理論的枠組みや推計方法の詳細は、4.で説明する。

(SEEA に基づく大気排出勘定)

国連は、2012 年に「環境経済勘定体系 (System of Environmental and Economic Accounts, SEEA)」を国際基準として採択した²。SEEA は国民経済計算と整合的な産業分類や制度部門で、環境と経済の相互関係を包括的にとらえる勘定体系である。SEEA は、

- ・ 環境から経済への天然資源等の物質の投入、経済における物質の使用・供給、経済から環境への物質の排出を捉える「物的フロー勘定」
- ・ 鉱物資源、土地、森林、水産資源などの環境資産を物的、貨幣的に記録する「資産勘定」
- ・ 環境保全のための経済活動を記録する「環境活動勘定」(環境保護支出勘定、環境財・サービス部門統計)

など、多数の勘定表から構成される。

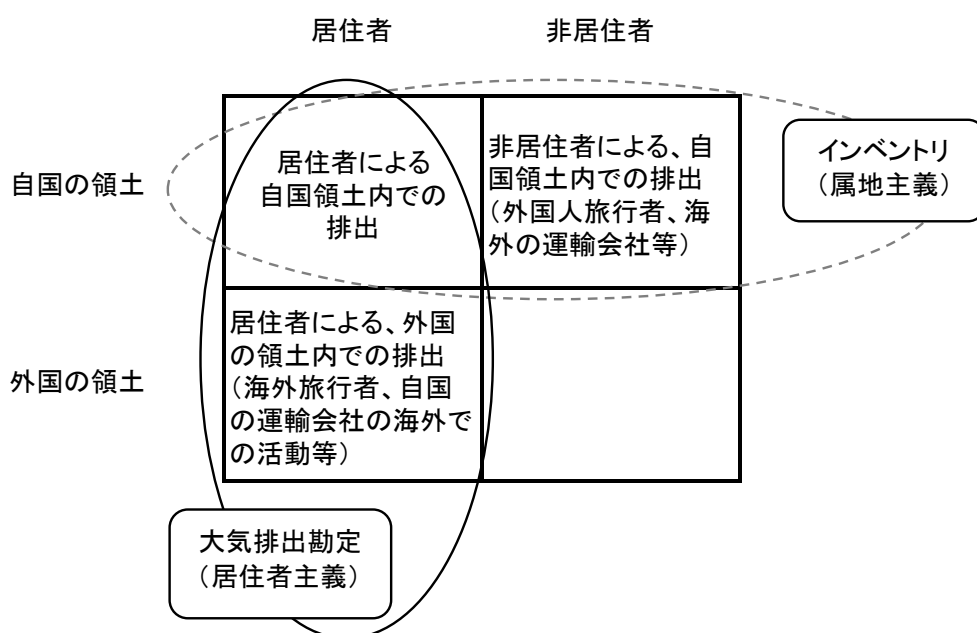
物的フロー勘定では、特定の物質に着目して詳細に記録する勘定表も提案されているが、脱炭素との関係では、事業所と家計から大気に放出されたガス状・粒子状の物質を記録す

² 本稿で「環境経済統計体系」に言及する場合はセントラルフレームワーク (SEEA Central Framework, SEEA-CF) を指す。また、SEEA に関する以下の説明は、主に内閣府 (2016) に基づく。

る「大気排出勘定」が重要である。

温室効果ガスの排出・吸収状況のデータは、国連気候変動枠組み条約（UNFCCC）に基づき、インベントリ報告として締約国から国連に提出されている。温室効果ガスや主要な大気汚染物質に関する大気排出勘定は、インベントリ報告のデータを用いて作成することができる。ただし、産業等の分類が異なるため、国民経済計算と整合的な産業分類に組み替える必要がある。また、インベントリ報告書は一国の領域内で発生した物質を記録する「属地主義」に基づき作成されているため、SEEA と整合的な「居住者主義」に組み替える必要がある。具体的には、非居住者が国内で発生させた分は除き、国内の居住者が海外で発生させた分を含める必要がある（図表2-3）。

図表2-3 大気排出勘定における居住者主義と属地主義



（備考）Eurostat (2015) Figure 3 を基に筆者作成。

2.2 内閣府で行った試算の概要

（汚染調整済経済成長率）

内閣府では、脱炭素の観点から経済活動の環境への影響を GDP に反映させる指標として、OECD の分析枠組みに基づく「汚染調整済経済成長率」の試算を行った。国際比較可能性を保つため、OECD が推計したパラメーターを使用し、後述の大気排出勘定で作成した日本のデータを組み合わせて試算した。対象とする物質は、OECD の分析で温室効果ガス等の GDP 弾性値が有意であった二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）の3種類、期間は1995～2020年を対象とした。

OECD の分析枠組では、環境からの投入として自然資本の役割を重視しているが、分析で用いられた自然資本である鉱物資源の日本の賦存量は非常に少ないため、試算では省略している。

また、大気排出勘定で作成した産業別のデータを用い、産業別の汚染調整済経済成長率も試算した。計算に用いた弾性値は各産業で共通であるため、産業別の温室効果ガス等の増減率の差異のみを反映した数値であるが、脱炭素の観点から産業別経済成長の特徴を示す指標と考えることができる。

(大気排出勘定)

大気排出勘定は、環境省・国立環境研究所の「温室効果ガスインベントリ」のデータを、日本の国民経済計算の産業分類に組み替えることで作成した。今回の試算では1991年から2020年までの二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)の大気排出勘定の試算を行った³。大気排出勘定は、温室効果ガス及び大気汚染物質の排出量を、産業別の排出と家計からの排出に分けて記録する物的フロー勘定である。また、前述の通り、SEEAに適用される基本原則は、物的フローについて、排出量を生産単位あるいは、消費単位が居住する国に帰属させることを求めている(SEEA-CF, para, 3.121)。今回大気排出勘定を試算するのに利用した「温室効果ガスインベントリ」は、国内での排出を記録しているため、居住者概念にするための調整項目(ブリッジングアイテム)についてEurostatのマニュアルに従い、可能な範囲で試算を行っている。

3. SEEAに基づく大気排出勘定の試算

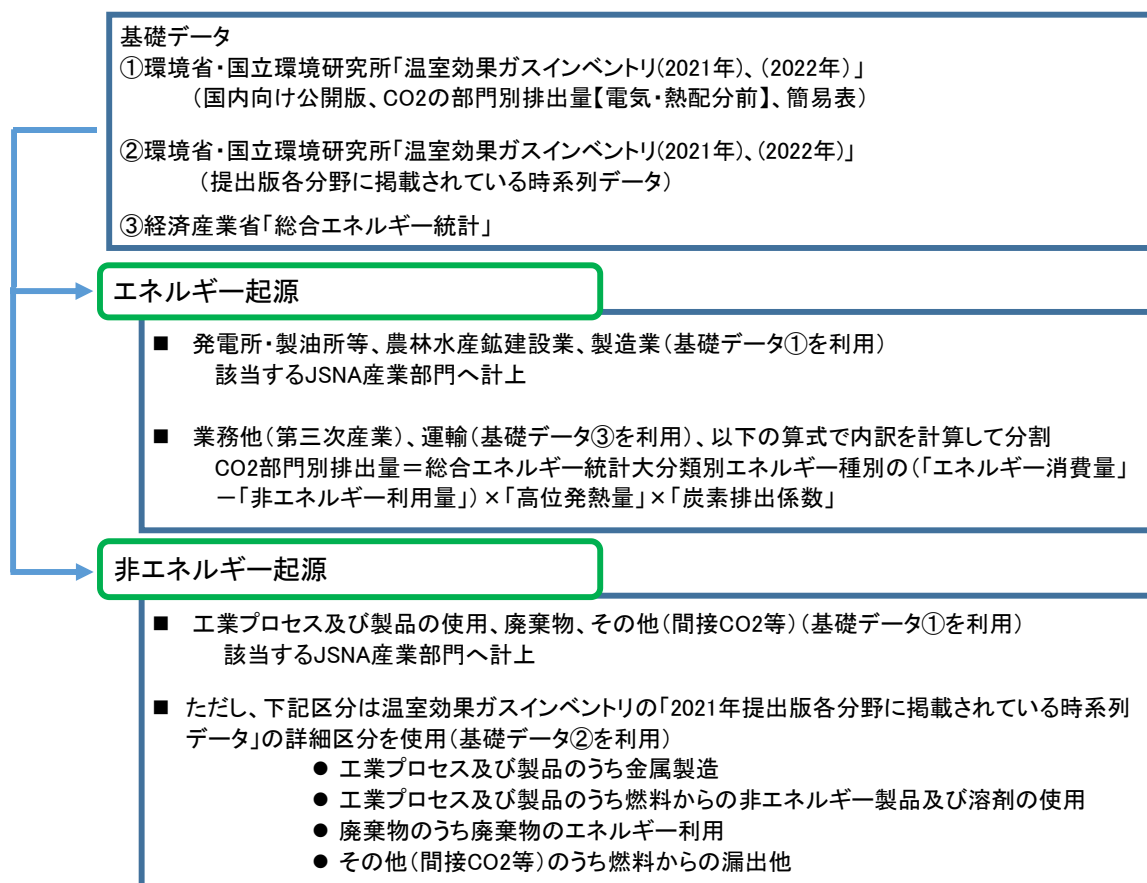
3.1 二酸化炭素(CO₂)の産業別排出量の試算概要

二酸化炭素(CO₂)については、電気・熱配分前と後の2通りの勘定表を作成した。SEEAの原則では、温室効果ガス及び大気汚染物質が大気に排出された時点で排出量を捕捉することとなっており、大気排出勘定においては電気・熱配分前の部門で記録することが望ましい。しかし、電気事業者からの各産業への電力供給は中間投入という側面がある。4.で説明する産業別の汚染調整済経済成長率は、GDPと温室効果ガス及び大気汚染物質との関係を見える化する指標であるので、電気熱配分後で試算することが望ましいと考えられる。そのため、電気熱配分前後で産業別の状況が大きく異なる二酸化炭素(CO₂)については、電気熱配分前後の2通りの試算を行っている。

³ 令和3年度の委託研究で作成した大気排出勘定は温室効果ガスインベントリ(2021年)利用し、1990年から2019年までの二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素の大気排出勘定の試算を行った。ただし、2022年4月に温室効果ガスインベントリ(2022年)が公表されたため、温室効果ガスインベントリ(2022年)のデータを用い、2019年から2020年の伸び率を用いて、2020年の数値を延長推計した。また、公表に当たってはOECDの汚染調整済経済成長率等の推計結果を考慮し、温室効果ガスインベントリ(2022年)を用いて非メタン揮発性有機化合物の試算を行った。なお、温室効果ガスインベントリでは年度ベースで1990年度以降のデータが公表されているが、大気排出勘定では暦年ベースに組み替えるため、1991年以降のデータとなる。

二酸化炭素（CO₂）に関する大気排出勘定は環境省・国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ（2021年）、（2022年）」の国内向け報告版、及び経済産業省「総合エネルギー統計」のデータを用いている⁴。電気・熱配分前の二酸化炭素（CO₂）産業別排出量の試算方法は図表3-1の通りである。

図表3-1 二酸化炭素（CO₂）産業別排出量の試算概要



(出所) 内閣府(2022)、参考3を一部修正。

エネルギー起源の排出量について、発電所・製油所、農林水産鉱建設業及び製造業は、それぞれ該当するJSNA産業部門へ計上している。しかし「業務(第三次産業)が一括で記載されているため、それらを分割する必要がある。また、運輸業については自動車の家計寄与分を分割する必要がある。業務他(第三次産業)及び運輸業については温室効果ガスインベントリの共通報告様式(Common Reporting Format: CRF)の1.A.4.その他部門と対応しているため、温室効果ガスインベントリ報告書の「3.2.10.その他部門(1.A.4)及びその他(1.4.5)におけるCO₂排出」と同じ方法で業務他(第三次産業)及び運輸業からの排

⁴ 温室効果ガスインベントリでは排出量を年度で記録しているが、大気排出勘定の試算では排出量を暦年に換算している。

出量の内訳を計算する⁵。

非エネルギー起源の排出については、簡易表の各部門に該当する JSNA 産業部門に計上している。ただし、①工業プロセス及び製品のうち金属製品、②工業プロセス及び製品のうち燃料からの非エネルギー製品及び溶剤の使用、③廃棄物のうち廃棄物のエネルギー利用、④その他（間接 CO₂ 等）のうち燃料からの漏出に関する区分については、温室効果ガスインベントリの「2021 年提出版各分野に掲載されている時系列データ」の詳細区分を参考に部門分割を行っている⁶。

電気・熱配分後の二酸化炭素排出量については、電気・熱配分前の二酸化炭素排出量と異なり、エネルギー起源についてどの産業がエネルギー燃料等によって排出しているかを詳細に記録している「温室効果ガスインベントリ（2021 年）」国内向け公表版の CO₂ の部門別排出量【電気・熱配分後】詳細表（以後「詳細表」と呼称）があるため、これを利用している。詳細表についても、簡易表と同様にエネルギー起源と、非エネルギー起源の 2 つに分けて排出量が記録されている。

まず、エネルギー起源については、こちらも該当する JSNA 産業部門へ計上している。ただし、電気ガス熱供給水道業の中で電気業に対応する排出量、及びその他サービス業の廃棄物処理業に対応する排出量については、総合エネルギー統計詳細表の炭素単位のデータを用いて推計している。次いで、非エネルギー分野については、電気熱配分前と同様の方法で分割をしている。

3.2 メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）、及び非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）の産業別排出量の試算概要

メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）については CRF と総合エネルギー統計を用いて産業分類を行っている。分類方法としては CRF の分類について該当する JSNA 産業に計上している。ただし、CRF 部門が複数の産業に対応する場合は「総合エネルギー統計」のエネルギー消費量の割合で案分している。

非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）についても、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O）と同様の方法で分類している。ただし、非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）の排出量は CRF 分類の「2.工業プロセス及び製品の使用 A.燃料からの非エネルギー製品及び溶剤の

⁵ 具体的には、内訳となる産業からの二酸化炭素排出量を、エネルギー消費量に発熱量、炭素排出量の係数等を乗じて推計し、全体の値を分割する。エネルギー消費量は総合エネルギー統計から、各係数は温室効果ガスインベントリ報告書から取得する

⁶ 「工業プロセス及び製品のうち金属製品」については鉄鋼製造とアルミニウム製造に分割し、それぞれ鉄鋼業と非鉄金属業に計上している。「工業プロセス及び製品のうち燃料からの非エネルギー製品及び溶剤の使用」について、「潤滑油の使用」及び「尿素触媒」については運輸業に、「パラフィンろうの使用」及び「NMVOC の焼却」については化学業に計上している。「廃棄物のうち廃棄物のエネルギー利用」について、「廃棄物の焼却と野焼き」については廃棄物処理業に、「廃棄物のエネルギー利用」についてはそれぞれ利用している産業に計上している。最後に「その他（間接 CO₂ 等）のうち燃料からの漏出に関する区分」について、石炭採掘などの資源採掘に関するものは鉱業他に、地熱発電に関するものは電気業に、残りは運輸業に計上している。

使用 3.その他」の排出が全体の7割を超えている状況である。「その他」に当たる排出は、金属や製造品機器の洗浄、接着剤の利用及び溶剤の利用等に伴う排出量を記録したものとなっている。このCRF項目を産業別に分類するためには、それらがどの産業で利用されていたかというデータが必要であるため、揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリ検討会（2022）のVOCインベントリを用い、発生源品目及び業種別のデータを利用し、該当するJSNA分類に案分して産業の分類を行っている。

3.3 ブリッジングアイテム

温室効果ガスインベントリは国内領土における排出が対象である一方で、SEEAの大気排出勘定は居住者による海外における排出も対象とする居住者主義の考え方に基づいて整備されるため、居住者主義への調整項であるブリッジングアイテムの推計を行った。具体的には、インベントリの排出量から非居住者の国内の活動から発生する分を差し引き、居住者の海外における活動から発生する分を加算する必要がある。Eurostat（2015），“Manual for air emissions accounts”では、居住調整が必要だと思われる問題として、国際船舶輸送、国際航空輸送、国際道路輸送、漁船、観光及びパイプラインでのエネルギー輸送を取り上げている。この中で、データの利用可能性及び我が国における重要度の観点から、海外の居住者と国内の非居住者の航空と船舶について推計を行っている。推計方法は図表3-2の通りである。ただし、推計に必要な情報が得られない項目もあり、より適切な推計方法を検討することは今後の課題である。

図表3-2 ブリッジングアイテムの試算方法の概要⁷

ブリッジングアイテム	航空/船舶の別	対象物質	試算方法
海外の居住者	航空	CO ₂	1991-2012年について基礎データ②から航空機の日本の国籍比率を推計し、基礎データ①のCRF分類の「1.A.3.Transport/a. Domestic aviation」、及び「Memo items/International bunkers/Aviation」のデータを用いて推計 2013-2020年については基礎データ④の該当データを引用
		CH ₄ , N ₂ O, NMVOC	1991-2020年について基礎データ②から航空機の日本の国籍比率を推計し、基礎データ①のCRF分類の「1.A.3.Transport/a. Domestic aviation」、及び「Memo items/International bunkers/Aviation」のデータを用いて推計
	船舶	CO ₂	1991-2020年について基礎データ③から船舶の日本の国籍比率を推計し、基礎データ①のCRF分類の「1.A.3.Transport/d. Domestic navigation」、及び「Memo items/International bunkers/Navigation」のデータを用いて推計
		CH ₄ , N ₂ O, NMVOC	同上
国内の非居住者	航空	CO ₂	1991-2012年については利用したデータは無し。 2013-2020年については基礎データ④の該当データを利用
	船舶	CO ₂	-
	航空/船舶	CH ₄ , N ₂ O, NMVOC	-

（出所）内閣府（2022）

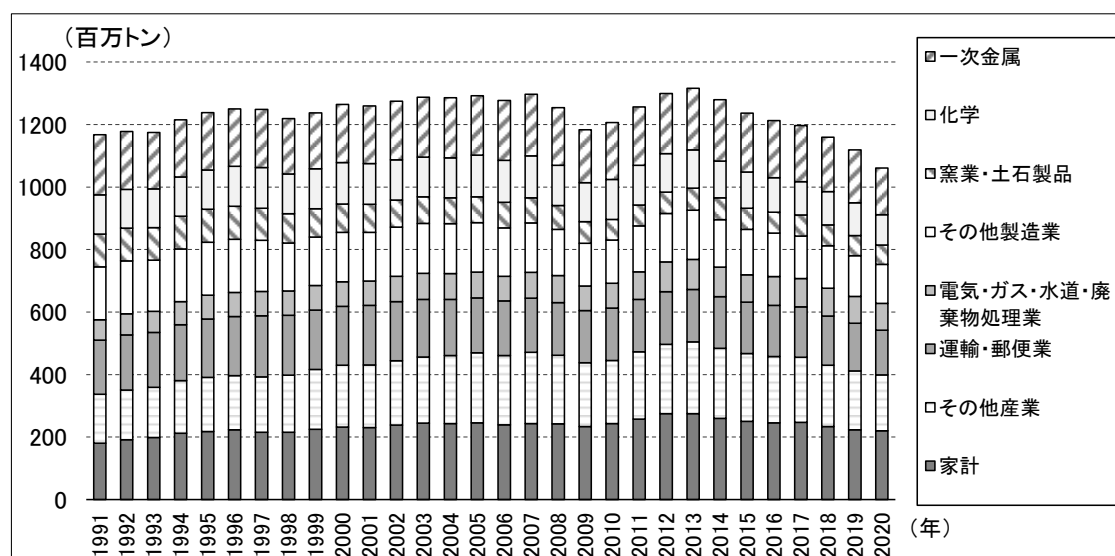
⁷ 利用した基礎データはそれぞれ、①環境省・国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ（2021年、2022年）」、②財務省貿易統計「国籍別航空機入港表」、③財務省貿易統計「国籍別船舶入港表」、④OECD.stat, “Air Transport CO₂ Emissions”である。

3.4 我が国の温室効果ガス及び大気汚染物質の排出状況

温室効果ガスインベントリによると、日本の温室効果ガス全体の排出量は、2013 年度をピークに、再生可能エネルギーの導入拡大や省エネの進展等を背景に減少している。また、2020 年度のシェアは二酸化炭素が 9 割を占めている。大気汚染物質の排出量は、排出規制や企業の自主的な取り組みを背景に減少してきている。

以下、4.の汚染調整済経済成長率の試算で利用する電気熱配分後の産業別二酸化炭素（CO₂）排出量、産業別メタン（CH₄）排出量、産業別揮発性有機化合物（NMVOC）の推移をみていく。電気・熱配分後の産業別二酸化炭素（CO₂）排出量の推移は図表 3-3 の通りである。図表 3-3 の家計部門は冷暖房や自家用車の使用などに伴い排出される二酸化炭素排出量を表している。図表 3-3 によると、二酸化炭素排出量は、一次金属（鉄鋼、非鉄金属）、化学、運輸・郵便業からの排出が多い。排出量については、世界金融危機による景気後退で減少した後、増加に転じたが、前述の通り、再生可能エネルギーの導入拡大や省エネの進展を背景として、近年は減少傾向にある。

図表 3-3 二酸化炭素排出量の推移

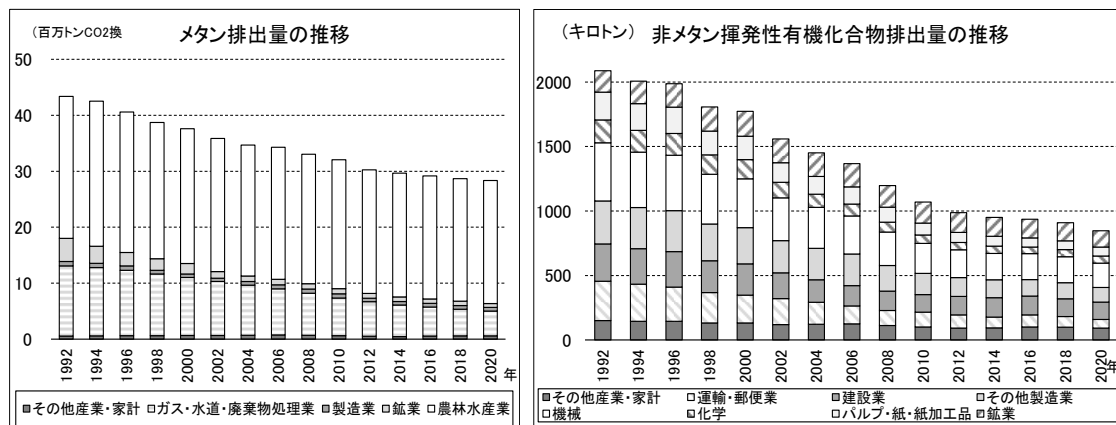


(出所) 内閣府 (2022)

産業別メタン（CH₄）排出量の推移は図表 3-4 の通りである。メタン排出量は、農林水産業（稲作、畜産）やガス・水道・廃棄物処理業からの排出が大宗を占めている。これらの産業について家畜頭数の減少や廃棄物埋立量の減少により、排出量は長期的に減少傾向にある。

産業別非メタン揮発性有機化合物（NMVOC）排出量も長期的に減少している。非メタン揮発性有機化合物の排出については 2004 年の大気汚染防止法改正により規制が行われ、また、この規制を契機に企業の自主的取り組みが進められていることが減少の背景である。

産業別には、鉱業、機械、パルプ・紙・紙加工品、化学、建設業、及び運輸・郵便業などからの排出量が多い。

図表3-4 メタン及び非メタン揮発性有機化合物の推移⁸

(出所) 内閣府 (2022)。

4. OECD の枠組みに基づく「汚染調整済経済成長率」の試算

4.1 汚染調整済経済成長率の理論的枠組みと推計手法

汚染調整済経済成長率のアプローチは成長会計分析の概念を投入については自然資本を、産出については温室効果ガス及び大気汚染物質を含む形で拡張したものである。成長会計分析の拡張は生産技術を表した変形関数の概念を用いている。変形関数 H は、次式で定義される⁹。

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

この変形関数は、生産可能集合の考え方に基づいた効率性を表現する関数である。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 を生み出し、その一方で温室効果ガスあるいは大気汚染物質 R を排出する経済主体を考える。第 t 期について投入 (L, K, S) に対し、排出量 R を定めると、技術制約に従い、これらに対する創出可能な付加価値の最大額 $Y_M(R, K, L, S)$ が決まることになる。経済活動 (Y, R, K, L, S) について、 Y_M が達成されていなければ生産を拡大する余地が残っており、そのことが $H > 1$ と表現される。もし、経済活動 (Y, R, K, L, S) について、 Y_M が達成されていれば生産を拡大する余地がなく、その状況が $H = 1$ と表現される。 $H < 1$ は、経済活動 (Y, R, K, L, S) は、 Y_M を実現するためには、生産の規模を縮小することを求めるということであり、実際にはありえない経済活動である。そのため、(1)式は1以上として表現されている。

⁸ 偶数年のみ表示

⁹ 変形関数の大気排出への応用については Brandt et al. (2014) を参照。

投入が増加すると、あるいは生産に伴う排出量が増加すると、生産拡大の余地が生まれるので、変形関数 H は R, L, K 及び S について増加的であると仮定される ($H_V = \partial H / \partial V > 0, V \in \{R, L, K, S\}$)。また、付加価値額が増加すると、より効率的になるので、変形関数 H は付加価値 Y について減少的であると仮定される ($H_Y = \partial H / \partial Y < 0$)。よって効率的な経済主体は投入に対して付加価値を増加させる活動を選択するかあるいは、排出量を抑制させる活動を選択するかのトレードオフに直面しているといえる。

汚染調整済経済成長率は、(1)式に対数を取り、時間 t で微分することで導出される。

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

ここで、 ε は弾性値である。この(2)式の左辺を汚染調整済経済成長率と定義する。(2)式の左辺は、生産面を表現しており、第1項については付加価値額の成長率を、第2項については温室効果ガス及び大気汚染物質の排出量の変化率に付加価値額の排出に対するそれぞれの物質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 growth adjustment for pollution abatement)」と定義している。仮定より付加価値額が増加すれば、温室効果ガス及び大気汚染物質の排出量も増加するので ($dY/dR = -\frac{\partial H / \partial R}{\partial H / \partial Y} > 0$)、付加価値額の排出に対するそれぞれの物質の弾性値は正となる $\varepsilon_{YR} > 0$ 。よって、温室効果ガス及び大気汚染物質の排出量を抑制すると、 $-\varepsilon_{YR} \frac{\partial \ln R}{\partial t} > 0$ となり、汚染削減に関する活動について正の評価を行うことになる。

また、(2)式の右辺は投入面を表している。OECD の拡張した成長会計分析は、生産面 (= 汚染調整済経済成長率) を労働投入、生産資本投入、自然資本投入に寄与度分解し、その残差が環境調整済全要素生産性として、環境を考慮した生産性を表現することになる。

4.2 OECD の推計手法

汚染調整済経済成長率及び環境調整済全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り、統計的手法によって推計を行う。推計のモデル式については、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、

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

となる。 $\varepsilon_{YV} = -\frac{\varepsilon_{HV}}{\varepsilon_{HY}}$ であることを用いると

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

となる。ここで、以下の目的関数を最大化する経済主体を考える。

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

この式は、一定期の技術制約 $H(Y, R, K, L, S, t) \geq k$ 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。 P_R は、規制遵守コストなどの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である。基本的に排出があれば排出に対する支払いが発生するとみなすので、 $P_R < 0$ を想定している。また w, u_K, u_S はそれぞれ労働投入、生産資本投入、自然資本投入の価格である。ここで、変形関数 H について、アウトプット (Y, R) については、 θ 次同次性($H(\lambda Y, \lambda R, K, L, S, t) = \lambda^\theta H(Y, R, K, L, S, t)$)を、インプットについては、一次同次性 $H(Y, R, \alpha K, \alpha L, \alpha S, t) = \alpha H(Y, R, K, L, S, t)$ を仮定している。インプットについて一次同次的であれば、(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¹⁰。後述するように 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ので、投入に関する変数は次式のように1つの変数 X にまとめられる。

$$\frac{\partial \ln X}{\partial t} = \varepsilon_{HL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{HK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{HS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (6)$$

最後に (4) 式に (6) 式を代入すると、次式を得る。

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln X}{\partial t} - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \sum_j \varepsilon_{HRj} \frac{\partial \ln R_j}{\partial t} \quad (7)$$

OECD は(7)式に基づく以下のモデル式で弾性値の推計を行っている。

$$\dot{Y}_{it} = \alpha_i + \delta_t + \gamma_i \dot{X}_{it} + \sum_j \beta_{ji} \dot{R}_{jit} + u_{it} \quad (8)$$

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。 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。また、推計手法は、統計的なテストの結果、温室効果ガス及び大気汚染物質に関する弾性値 β_{ji} が国ごとに異なる値をとるランダム係数モデルを採用している。

4.3 OECD の推計結果

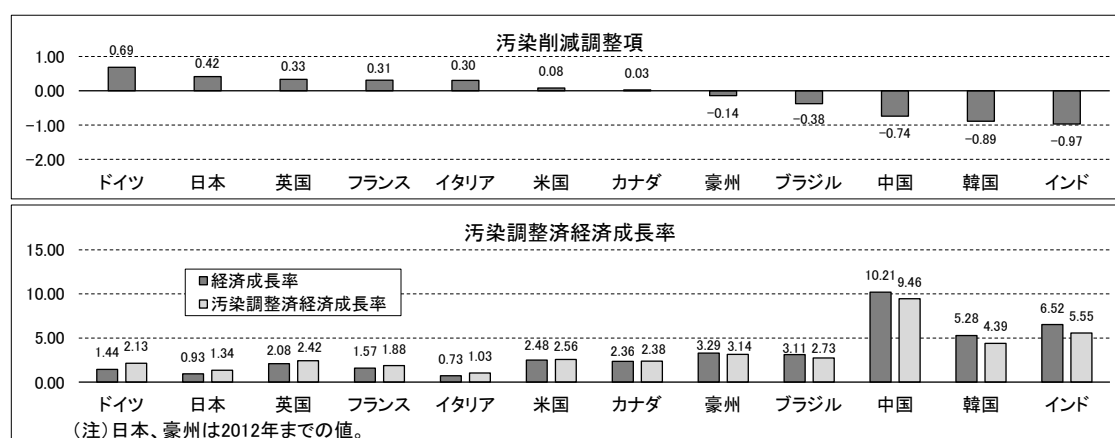
OECD の分析では、1990 年から 2013 年の期間について国×年次のパネルデータを用いて(8)式に基づき弾性値の推計を行っている。自然資本投入については燃料関係の4種（無煙炭、瀝青炭、天然ガス及び原油）及び鉱物の10種（ボーキサイト、銅、金、鉄鉱石、鉛、ニッケル、リン酸塩、銀、スズ、亜鉛）を、大気排出物については、温室効果ガスの3種（二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、一酸化二窒素（N₂O））、及び大気汚染物質の5種（硫酸化物（SO_x）、窒素酸化物（NO_x）、PM₁₀、一酸化炭素（CO）、非メタン揮発性有機化合

¹⁰ 詳細は Cárdenas Rodríguez M., Haščíč I. and Souchier M. (2018a) の[7]式から[10]式を参照

物（NMVOC）を分析の対象としている¹¹。OECD の回帰分析の結果¹²では、温室効果ガス等について、二酸化炭素、メタン、非メタン揮発性有機化合物の3物質のパラメータ（弾性値）が有意であり、その値は、二酸化炭素が 0.066、メタンが 0.187、非メタン揮発性有機化合物が 0.044 となっている。

OECD の分析結果について、汚染削減調整項及び汚染調整済経済成長率の値は、図表 4-1 の通りである。日本は、1991 年～2012 年¹³の経済成長率は年平均で 0.93%であったが、温室効果ガス及び大気汚染物質の削減努力が経済成長率換算で 0.42%プラスに評価されることから、汚染調整済経済成長率は 1.34%と推計されている。

図表 4-1 OECD による「汚染調整済経済成長率」の推計結果（1991～2013 年の平均）



(出所) Cárdenas Rodríguez M., Haščič I. and Souchier M. (2018a)、グラフ作成に用いたデータは OECD Statistics による。

4.4 我が国の「汚染調整済経済成長率」の試算

我が国の汚染調整済経済成長率及び環境調整済経済成長率の試算に当たっては、OECD が推計した我が国の「温室効果ガス等の排出に対する実質 GDP 弾性値」を用いて計算しており、時系列の推移に関する特徴を整理した。また、試算については簡単化のため、鉱物資源などの自然資本の寄与は計算していない。自然資本は経済と環境の関係を考える上では重要な要素であるが、鉱物資源の少ない国ではその寄与は大きくないと考えられ、OECD の分析でも日本の自然資本の寄与は比較的小さいものとどまっている。

試算の対象期間は 1995 年から 2020 年の 26 年間である。用いたデータは、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

¹¹ 自然資本については、OECD の Natural resource accounting 及び世界銀行の the Wealth Accounting and Valuation of Ecosystem Services (WAVES) を利用している。温室効果ガス等については、OECD が公表している大気排出勘定、及び OECD の the Emission of Air Pollutants and Greenhouse Gas Emissions by Source 等を用いている。

¹² OECD の分析では最小二乗法、固定効果モデル、ランダム効果モデル、ランダム係数モデルの4つのモデルを用いて推計を行い、統計的なテストが最も良好であったランダム係数モデルを採用している。ランダム係数モデルは国別に異なる弾性値が得られる推計方法となっている。

¹³ OECD 分析の対象期間は 1990 年から 2013 年の 24 年間であるが、統計の利用可能性の影響等で推計結果の期間と分析の対象期間が一致していない国がある。

所の JIP データベース 2021 を利用した。ただし、JIP データベースは 2018 年までの数値しか取得できないため、環境調整済全要素生産性の試算は 2018 年までとなっている。また温室効果ガス等については、今回試算した大気排出勘定を用いた。

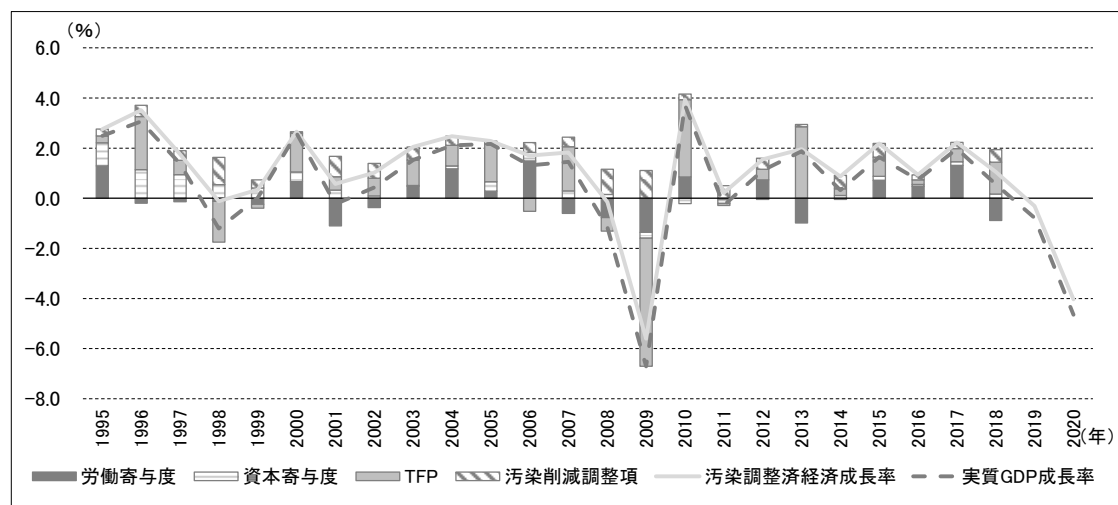
試算結果は図表 4-2、4-3、4-4 の通りである。1995 年から 2020 年の実質 GDP 成長率（年平均）は 0.57% であるが、汚染削減調整項が 0.47% 押し上げた結果、汚染調整済経済成長率は 1.04% となっている。

図表 4-2 わが国の汚染調整済経済成長率及び環境調整済全要素生産性の平均成長率

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	汚染調整済 経済成長率	実質GDP 成長率	汚染削減 調整項	汚染削減 調整項 CO2	汚染削減 調整項 CH4	汚染削減 調整項 NMVOC	労働投入 寄与度	資本投入 寄与度	環境調整済 全要素生産 性
	(A=B+C)		(C=D+E+F)						(I=A-G+H)
1995-2018年 平均	1.32	0.85	0.46	0.01	0.31	0.14	0.11	0.25	0.96
1995-2020年 平均	1.04	0.57	0.47	0.03	0.29	0.15	—	—	—

（出所）内閣府（2022）。

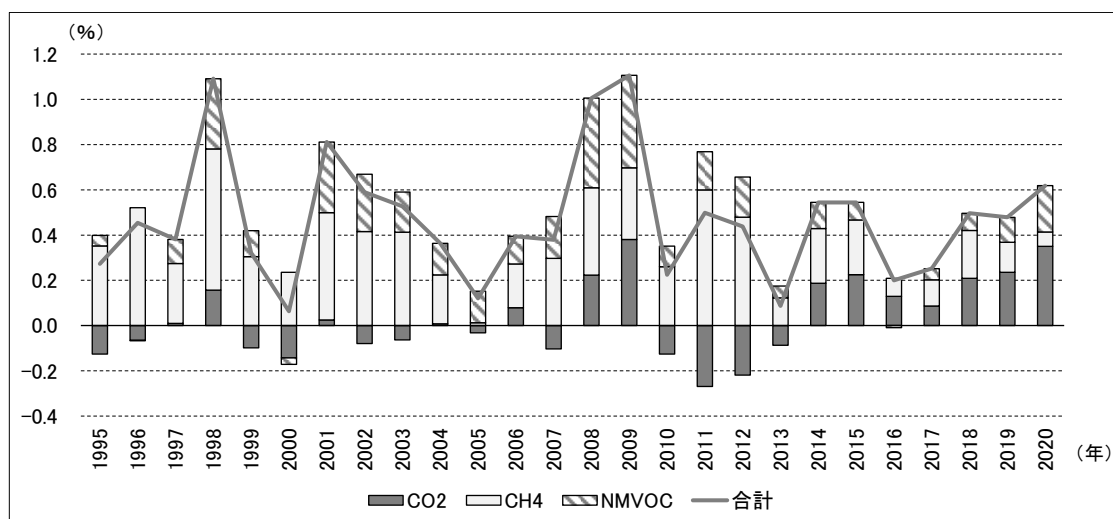
図表 4-3 わが国の汚染調整済経済成長率の寄与度分解



（出所）内閣府（2022）。

温室効果ガスや大気汚染物質の削減努力を評価した「汚染削減調整項」の内訳をみると（図表 4-4）、メタンの寄与が最も大きく、次いで非メタン揮発性有機化合物の寄与が大きい。二酸化炭素は、増加した年にはマイナスとなるため、期間全体としての寄与は他の物質と比べて小さくなっている。しかし 2014 年以降は、経済成長が続くなかでも排出量が削減されるデカップリングが実現しているためプラスの寄与が続いている。

図表 4-4 汚染削減調整項の内訳



(出所) 内閣府 (2022)。

我が国の汚染調整経済成長率については、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た¹⁴。産業別の寄与度は以下の計算方法により試算を行っている。

産業 i の汚染削減調整項 (寄与度) =

$$\begin{aligned} & \sum_j \text{物質 } j \text{ の GDP 弾性値 (OECD 推計)} \\ & \times \text{物質 } j \text{ に関する産業 } i \text{ の「排出量ウェイト} \times \text{排出量変化率」} \\ & \times (-1) \end{aligned}$$

産業 i の汚染調整経済成長率 (寄与度) =

$$\begin{aligned} & \text{産業 } i \text{ の名目 GDP ウェイト (前期と今期の平均)} \\ & \times \text{産業 } i \text{ の実質 GDP 成長率} \\ & + \text{産業 } i \text{ の汚染削減調整項 (寄与度)} \end{aligned}$$

産業 i の環境調整済全要素生産性 (寄与度) =

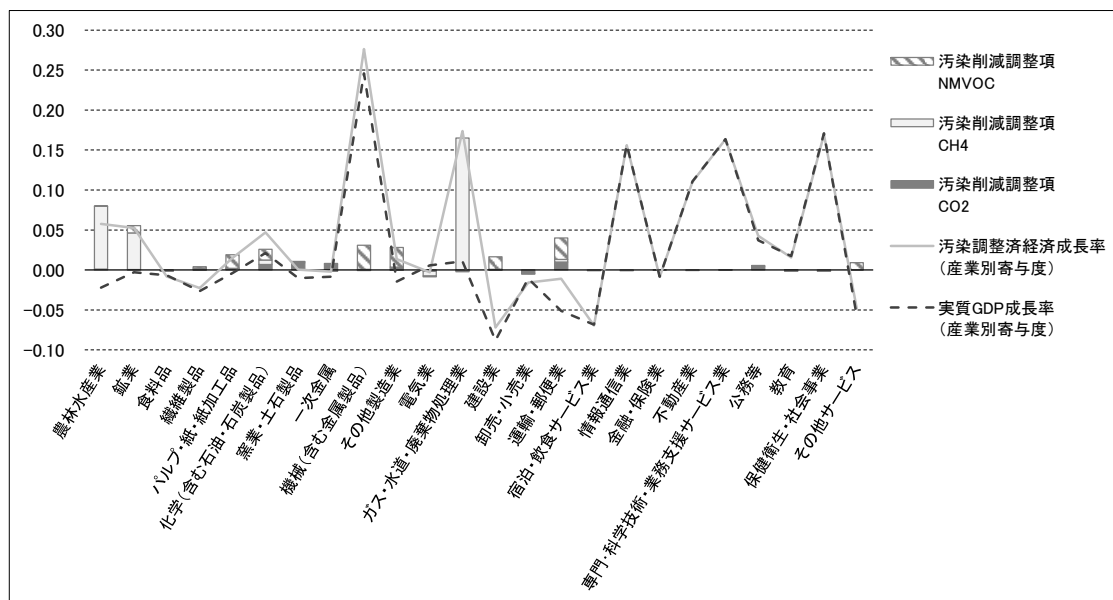
$$\begin{aligned} & \text{産業 } i \text{ の汚染調整経済成長率 (寄与度)} \\ & - \text{産業 } i \text{ の労働の寄与} - \text{産業 } i \text{ の資本の寄与} \end{aligned}$$

1995 年から 2020 年の平均の汚染調整経済成長率の産業別寄与度と汚染削減調整項は図表 4-5 の通りである。メタン排出量削減の影響が大きい農林水産業、鉱業、ガス・水道・廃棄物処理業などで汚染削減調整項が大きく、汚染調整経済成長率の寄与度が実質 GDP

¹⁴ 二酸化炭素の産業別の数値については、電気熱エネルギーは中間投入という性質を持つと考えられることから電気・熱配分後の数値を用いている。また、家計部門からの排出量について、自家用車からの排出は運輸業に、冷暖房からの排出は不動産業に、その他の排出は他の産業に均等配分している。

成長率の寄与度を上回っている。また、非メタン揮発性有機化合物は機械や運輸・郵便業で相対的に汚染削減調整項が大きい。一方で、二酸化炭素は1995年から2020年の26年間の平均では増加、減少の効果が打ち消されるため、どの産業でも汚染削減調整項が小さい。

図表 4-5 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 年平均）



(出所) 内閣府 (2022)。

5. 今後の課題

今回の試算では、二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O)、非メタン揮発性有機化合物 (NMVOC) の4種類の物質について大気排出勘定を作成したが、温室効果ガスインベントリでは、この他にハイドロフルオロカーボン (HFCs)、フッ素化合物 (PFCs)、六フッ化硫黄 (SF₆)、三フッ化窒素 (NF₃)、窒素酸化物 (NO_x)、一酸化炭素 (CO)、二酸化硫黄 (SO₂) の排出量データが公表されている。温室効果ガス等の排出状況を広く捉え、多様な分析に対応するためにも、大気排出勘定の対象とする物質を拡充すべきである。

また、産業分類は日本の国民経済計算に合わせたが、より柔軟に産業分類を組み替えられるような推計手法を検討する必要がある。有用な基礎情報の収集、基礎情報の使い方の工夫、属地主義から居住者主義にデータを変換するためのブリッジングアイテムの推計手法の改善など、推計上の多くの課題がある。

汚染調整済経済成長率の試算については、今回は省略した自然資本の取り込みが課題である。鉱物資源に乏しく、農林水産業のシェアも小さい日本経済の状況を考えると、自然資本が経済成長率に与える影響は小さいかもしれないが、環境と経済の状況を包括的に捉える分析枠組みの考え方を踏まえれば、自然資本も含む試算を行うことが望ましく、デー

タの作成方法を検討する必要がある。

環境要因を考慮した経済統計・指標について、今後できるだけ有用なデータが提供できるように、調査研究を進めていきたい。

参考文献

- 環境省・国立環境研究所（2021）「温室効果ガスインベントリ（2021年）」。
- 環境省・国立環境研究所（2021）「温室効果ガスインベントリ（2022年）」。
- 揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリ検討会（2022）「揮発性有機化合物（VOC）排出インベントリについて」。
- 経済産業省（2022）「総合エネルギー統計」。
- 経済産業研究所（2021）「JIP データベース 2021」。
- 内閣府経済社会総合研究所（2016）「環境経済勘定セントラルフレームワークに関する検討作業 SEEA-CF 概説書」。
- 内閣府経済社会総合研究所（2022）「環境要因を考慮した経済統計・指標について」，研究会報告書等 No.87。
- Brandt N., P. Schreyer and V. Zipperer (2014), “Productivity Measurement with Natural Capital and Bad outputs”, *OECD Economics Department Working Papers*, NO.1154, Publishing, Paris.
- Eurostat (2015), “Manual for air emissions accounts”。
- Cárdenas Rodríguez M., Haščič I. and Souchier M. (2018a), “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., Haščič I. and Souchier M. (2018b), “Environmentally Adjusted Multifactor Productivity: Methodology and Empirical Results for OECD and G20 Countries” *Ecological Economics*, November 2018, Volume 153, pp. 147-160.
- United Nations (2014), “System of Environmental-Economic Accounting 2012 –Central Framework”。