



内閣府

環境要因を考慮した経済統計・指標について

2022年8月

内閣府経済社会総合研究所

資料の構成

1. 調査研究の趣旨
2. 経済と環境の関係の見える化(国際機関の取組)
3. 本資料における汚染調整済経済成長率等の試算方法
4. 日本の温室効果ガス等の排出状況
5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

参考資料

(参考1) 令和3年度研究会開催の経緯

(参考2) 汚染調整済経済成長率の導出とその推計手法

(参考3) 大気排出勘定の試算方法の概要

1. 調査研究の趣旨

- 脱炭素社会の実現に向けた官民の取組が進められる中で、環境と経済の関係を「見える化」することが重要な課題であることから、骨太方針2022(令和4年6月閣議決定)においては「グリーンGDP(仮称)などの研究・整備を進める」とされており、経済活動の環境への影響をGDPに反映させる指標の研究・整備が求められている。
- 国際機関においては、国連が「環境経済勘定体系」を国際基準として策定するとともに、OECDが温室効果ガスや大気汚染物質の排出削減努力を経済成長率にプラス評価する「汚染調整経済成長率」の推計を行うといった取組が進められている。
- 内閣府では、上記のような国際的な取組を参考に、
 - ① 国際連合の基準に基づく温室効果ガスや大気汚染物質の排出に関する産業別データ(大気排出勘定)を二酸化炭素、メタン、非メタン揮発性有機化合物等について作成した。
 - ② 温室効果ガス等の削減努力を経済成長率に反映させる指標として、OECDが提案した「汚染調整経済成長率」について、日本の2020年までの値の暫定的な試算を行った。
- 本資料は、令和3年度に実施した調査研究の結果を基に、内閣府で行った暫定的な試算等をまとめたものであり、今後とも統計・指標の研究・整備を進める予定である。

2. 経済と環境の関係の見える化（国際機関の取組）

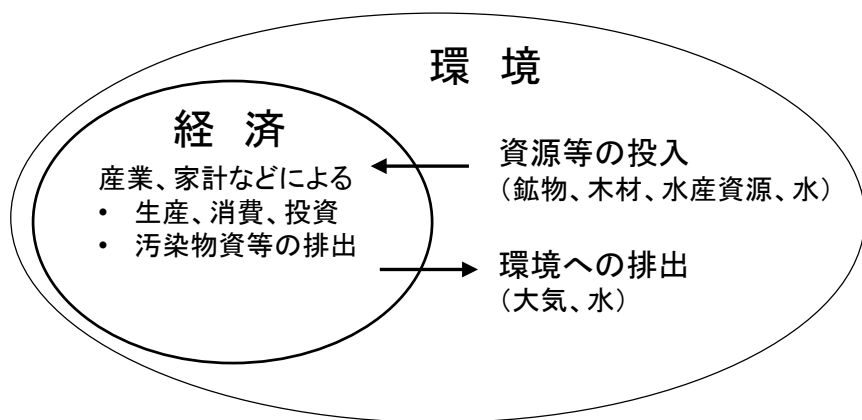
（1）国連による国際基準「環境経済勘定体系（System of Environmental and Economic Accounting、SEEA）」

- 国連は、2012年に「環境経済勘定体系」を国際基準^(注)として採択。
- 国民経済計算と統合的な産業分類や制度部門で、経済に対する環境からの様々な資源の投入や環境への汚染物質等の排出を含めた活動を物量ベースで記録するとともに、国民経済計算における環境保護活動を把握することで、GDPと環境の関係を分析できるよう作成された勘定体系。

（注）国際基準に関するこれまでの経緯

国連が1993年に策定した「ハンドブック環境・経済統合勘定」は、汚染物質によって悪化した環境を回復するための費用を金額ベースで評価する「帰属環境費用」や、それを国内純生産から差し引いた「環境調整済国内純生産」という概念を提案。経済企画庁が1998年に公表した試算では、1990年の日本の帰属環境費用は4.2兆円（大気2.4兆円、水0.7兆円、土地1.1兆円、CO2は試算の対象外）。現在の国際基準にはこうした概念はなく、環境と経済の間の資源投入や物質の排出を物量ベースで記録する考え方になっている。

（図表1）経済と環境の間の物的フロー（イメージ）



（図表2）環境経済勘定体系における主な勘定

物的供給・使用表
経済の各部門が環境から資源をどのように投入し、経済活動の中で、生産、消費、投資を行い、汚染物質等を環境に排出するかを物量ベースで記録。
○物的供給・使用表の個別のフローを詳細に記録する勘定 ・エネルギーの物的フロー勘定 ・水の物的フロー勘定 ・大気への排出勘定（←今回の調査研究で作成） ・水中への排出勘定
SNAにおける環境関連活動を金額ベースで捉える勘定表
○環境保護支出勘定 （産業、家計、政府の環境保護のための支出等）
○環境財・サービス勘定 （環境保護や資源管理に資する財・サービスの生産・雇用等）

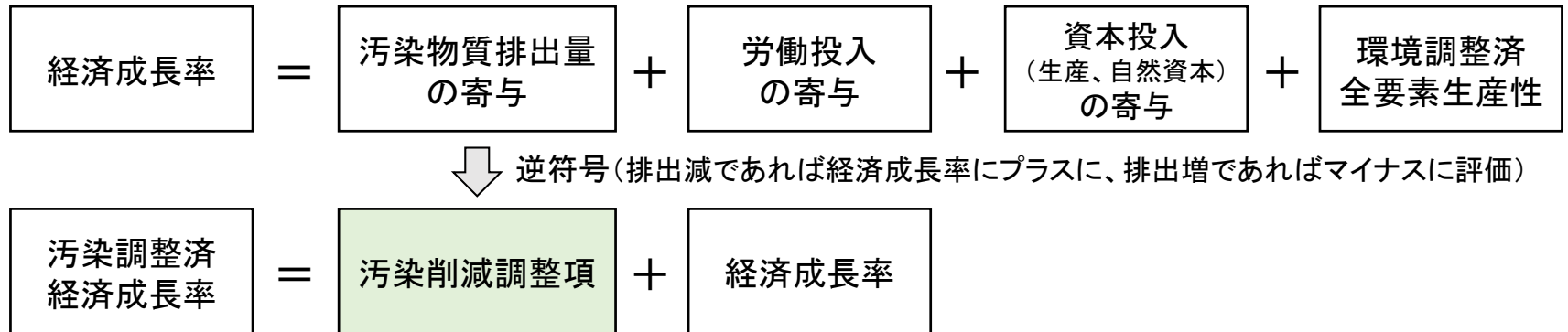
2. 経済と環境の関係の見える化（国際機関の取組）

(2) OECDの汚染調整済経済成長率(Pollution-adjusted GDP growth)

- OECDが「汚染調整済経済成長率」という指標を提案(2018年)。
- 温室効果ガスや大気汚染物質の削減努力を経済成長率にプラス評価(排出増であれば経済成長率にマイナス評価)する指標。

(図表3)「汚染調整済経済成長率」の分析枠組み(イメージ)

- ✓ 統計的手法により経済成長率(実質GDP成長率)を汚染物質排出量の寄与、労働投入の寄与、資本投入の寄与(生産資本、自然資本)、全要素生産性に要因分解。
- ✓ 汚染物質排出量の寄与を逆符号にしたもの(=汚染削減調整項)を経済成長率に加えたものが「汚染調整済経済成長率」となる。



汚染削減調整項の意味:

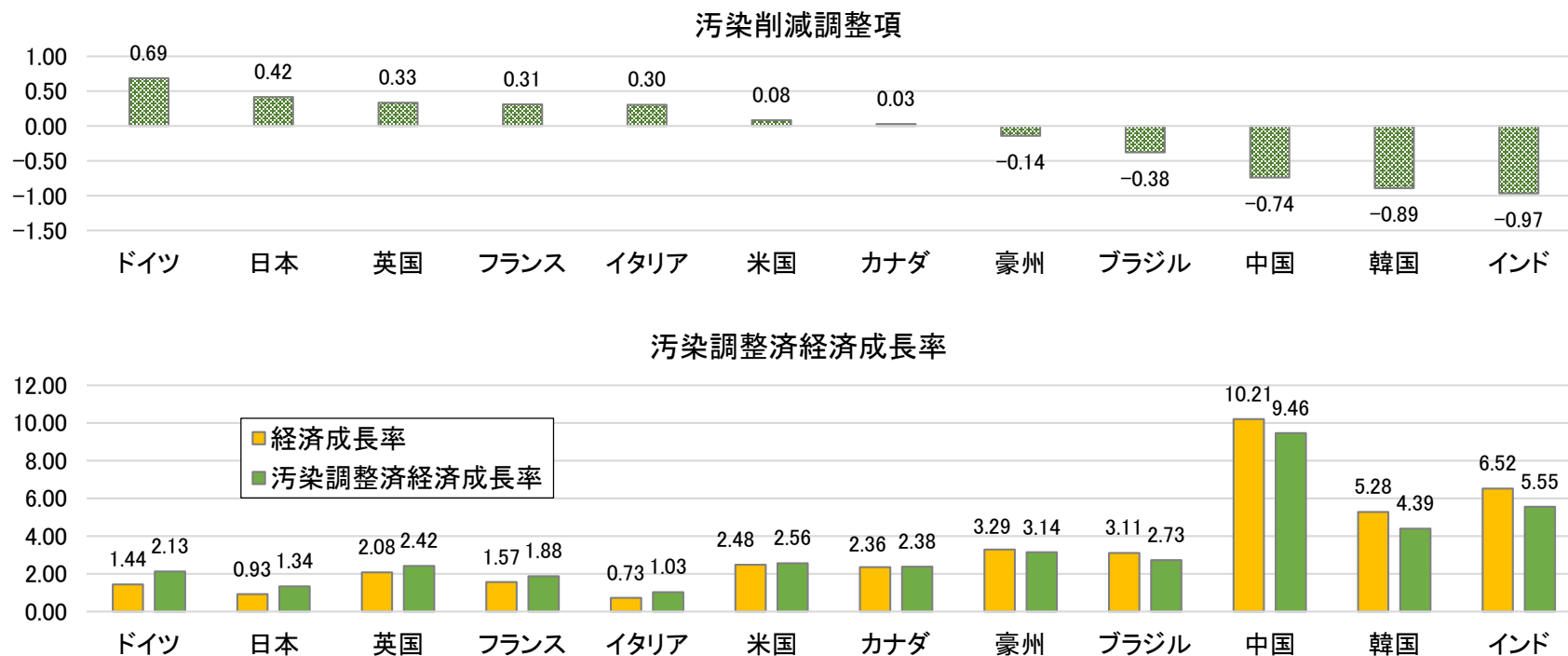
- 汚染物質を削減するために経済成長率を犠牲にした程度(プラスの場合)、あるいは汚染物質の増加を代償として実現された経済成長率(マイナスの場合)を表す。
- 汚染物質排出量が前年と同じ場合、汚染削減調整項はゼロとなる。
- 汚染物質排出量の増減率を経済成長率ベースで評価したものであり、温室効果の変化を表すものではない。また、一国の動向のみを捉えており、工場の海外移転などにより汚染物質が減少した場合でもプラスの評価となる。

2. 経済と環境の関係の見える化（国際機関の取組）

(2) OECDの汚染調整経済成長率(Pollution-adjusted GDP growth)

- 我が国は1991～2012年の経済成長率(年平均)は0.93%であったが、温室効果ガスや大気汚染物質の削減努力が経済成長率換算で0.42%プラス評価されることから、汚染調整経済成長率は1.34%と推計されている。

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



(注)日本、豪州は2012年までの値。

(出所)Cárdenas Rodríguez M., Hašičič 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.

(グラフ作成に用いたデータは OECD Statistics による。)

3. 本資料における汚染調整済経済成長率等の試算方法

(1) 日本全体の指標の試算

- OECDが推計した「汚染物質排出に対する実質GDP弾性値」を用い、日本全体の汚染調整済経済成長率等を試算し、時系列の推移に関する特徴を整理。

○「汚染物質排出に対する実質GDP弾性値」とは：

温室効果ガスや大気汚染物質の排出量が1%変化した際に実質GDPが何%変化するかを表す数値。
統計的に有意な結果が得られた以下の3物質の弾性値を使用。

OECDによる日本の弾性値の推計結果

二酸化炭素(CO2)	メタン(CH4)	非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)
0.066	0.187	0.044

○経済全体の指標の計算式

汚染削減調整項 = 汚染物質排出に対する実質GDP弾性値 × 汚染物質の増減率 × (-1)
(上記の3物質について試算。逆符号で評価するため-1を乗じている。)

汚染調整済経済成長率 = 汚染削減調整項 + 経済成長率

環境調整済全要素生産性 = 汚染調整済経済成長率 - 労働の寄与 - 資本の寄与(注)

(注)本資料では、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経済成長への寄与は大きくないと考えられる。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にとどまっている。

3. 本資料における汚染調整済経済成長率等の試算方法

(2) 日本の産業別の指標の試算

- 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。
- 「環境経済勘定体系(SEEA)」に基づき内閣府が作成した日本の産業別の温室効果ガスや大気汚染物質排出量のデータを使用。
 - 電力・熱供給産業から排出された二酸化炭素を、電力や熱を使用する産業に配分したデータを用いている。
 - 家計部門からの排出量は、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に配分している。

○産業別寄与度の計算方法

※ 以下のように計算した寄与度により、経済全体の値を分解。

産業 i の汚染削減調整項(寄与度) =

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

産業 i の汚染調整済経済成長率(寄与度) =

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

産業 i の環境調整済全要素生産性(寄与度) =

$$\text{産業}i\text{の汚染調整済経済成長率(寄与度)} - \text{産業}i\text{の労働の寄与} - \text{産業}i\text{の資本の寄与}$$

4. 日本の温室効果ガス等の排出状況

(1) 温室効果ガス等排出量の推移

- 日本の温室効果ガス排出量は、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。2020年度のシェアをみると、二酸化炭素が9割を占めている。
- 窒素酸化物等の大気汚染物質は、排出規制や企業の自主的な取組みを背景に減少してきている。

(図表5) 日本の温室効果ガス排出量の推移

(百万トンCO2換算)

	1990年度	2013年度	2020年度	
			排出量	シェア(%)
二酸化炭素(CO2)	1,163.7	1,317.9	1,044.2	90.8
エネルギー起源	1,067.6	1,235.4	967.4	84.1
非エネルギー起源	96.1	82.5	76.8	6.7
メタン(CH4)	44.1	30.1	28.4	2.5
一酸化二窒素(N2O)	32.4	22.0	20.0	1.7
代替フロン等4ガス	35.4	39.1	57.5	5.0
ハイドロフルオロ カーボン類(HFCs)	15.9	32.1	51.7	4.5
パーフルオロ カーボン類(PFCs)	6.5	3.3	3.5	0.3
六ふっ化硫黄(SF6)	12.9	2.1	2.0	0.2
三ふっ化窒素(NF3)	0.0	1.6	0.3	0.0
計	1,275.4	1,409.1	1,150.1	100.0

(図表6) 主な大気汚染物質排出量の推移

(キロトン)

	1990年度	2020年度
窒素酸化物(NOx)	1,978.7	1,150.0
一酸化炭素(CO)	4,409.2	2,838.3
非メタン揮発性有機化合物 (NMVOC)	2,184.0	835.6
硫黄酸化物(SOx)	1,252.6	571.4

(出所) 環境省、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2022年)」のデータをもとに作成。

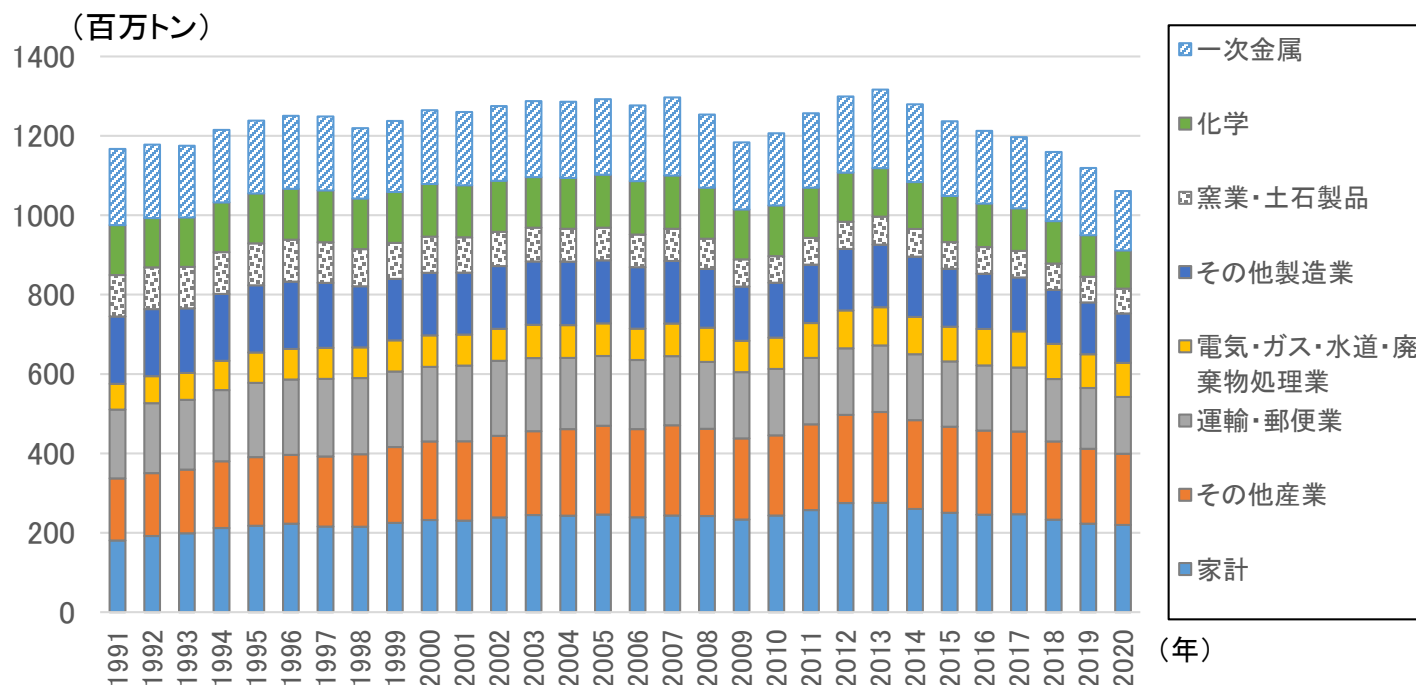
(注) 「CO2換算」とは、ある一定期間にそれぞれの温室効果ガスがおよぼす地球温暖化の影響について、CO2の影響を1としたときの係数を用いて計算した数値。例えばメタンの地球温暖化の影響はCO2の25倍あるので、重量を25倍する。

4. 日本の温室効果ガス等の排出状況

(2) 二酸化炭素(CO2)排出量の推移

- 二酸化炭素(CO2)排出量は、一次金属(鉄鋼、非鉄金属)、化学、運輸・郵便業などからの排出が多い。また、近年は家計からの排出が2割程度を占めている。
- 排出量は、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、2013年をピークに減少している。近年の減少は、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としている。

(図表7) 二酸化炭素排出量の推移



(出所) 環境省、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2021年)」のデータをもとに内閣府が作成。ただし、2020年の数値については、「温室効果ガスインベントリ(2022年)」のデータをもとに内閣府が作成。

(注)

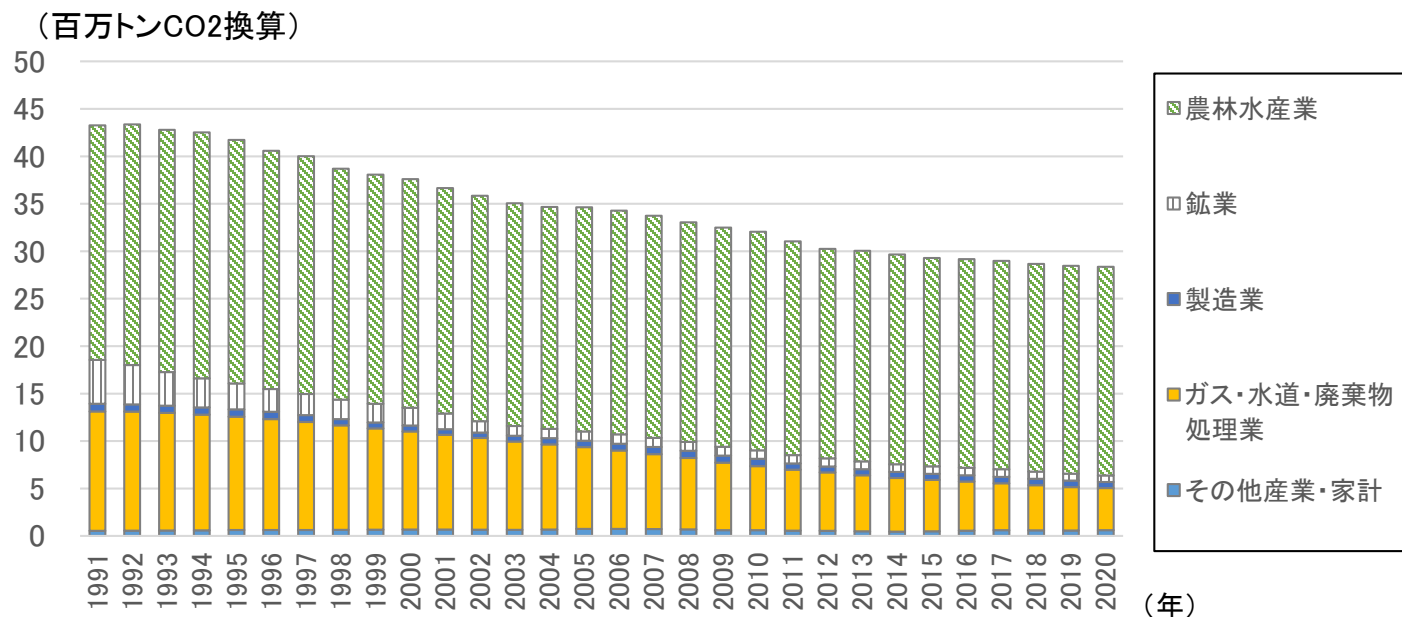
1. 電力・熱供給産業から排出された二酸化炭素を、電力や熱を使用する産業に配分した「電気・熱配分後」のデータを用いている。
2. 家計部門は冷暖房や自家用車の使用などに伴い排出される二酸化炭素排出量を表している。
3. 産業分類は国民経済計算の分類に従って内閣府において組み替えた後、排出量の少ない産業は適宜まとめて表示している。
4. 数値については暦年換算を行っている。

4. 日本の温室効果ガス等の排出状況

(3)メタン(CH₄)排出量の推移

- メタン(CH₄)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。
- 廃棄物埋立量の減少や、家畜頭数の減少等を背景に、排出量は長期的に減少傾向にある。

(図表8)メタン排出量の推移



(注)

- 産業分類は国民経済計算の分類に従って内閣府において組み替えた後、排出量の少ない産業は適宜まとめて表示している。
- 数値については暦年換算を行っている。

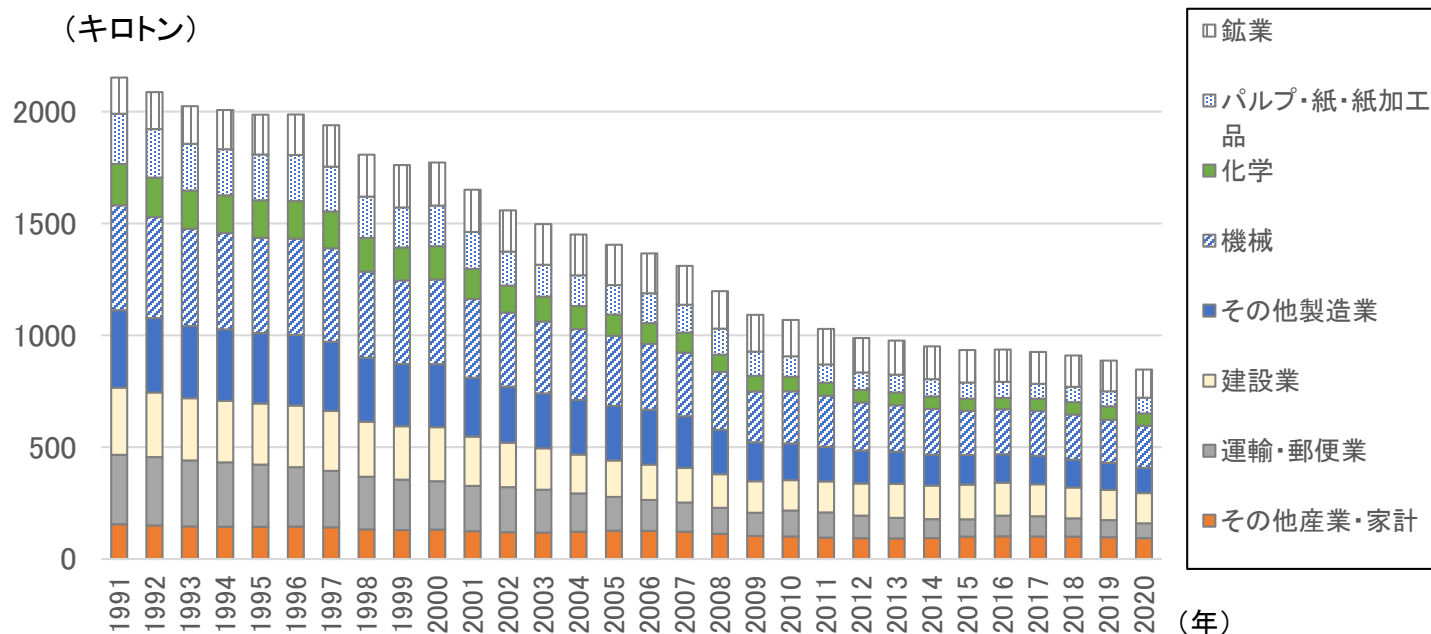
(出所)環境省、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2021年)」のデータをもとに内閣府が作成。ただし、2020年の数値については、「温室効果ガスインベントリ(2022年)」のデータをもとに内閣府が作成。

4. 日本の温室効果ガス等の排出状況

(4) 非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)排出量の推移

- 非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)排出量は鉱業、機械、パルプ・紙・紙加工品、化学、建設業、運輸・郵便業などからの排出が多い。
- 排出量は排出規制や企業の自主的な取組により、長期的に減少してきている。

(図表9) 非メタン揮発性有機化合物排出量の推移



(注)

1. 石油・天然ガスからの漏出は鉱業に、溶剤等からの漏出は、それぞれの品目の産業ごとの使用状況によって配分している。
2. 産業分類は国民経済計算の分類に従って内閣府において組み替えた後、排出量の少ない産業は適宜まとめて表示している。
3. 数値については暦年換算を行っている。

(出所) 環境省、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2021年)」(ただし、2020年の数値は「温室効果ガスインベントリ(2022年)」)、及び揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリ検討会「揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリについて(令和3年3月)」のデータをもとに内閣府が作成。

5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

(1) 試算結果の概要

- OECDの分析で得られたパラメータを用い、我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試算を行った。
 - 汚染調整済経済成長率については1995年から2020年について試算した。
 - 環境調整済全要素生産性については、労働、資本投入データの制約から、1995年から2018年について試算した。
- 1995～2020年の実質GDP成長率(1995～2020年平均)は0.57%であるが、汚染削減調整項が0.47%ポイント押し上げた結果、汚染調整済経済成長率は1.04%となった。
- 同期間の汚染削減調整項の内訳は、二酸化炭素が0.03%、メタンが0.29%、非メタン揮発性有機化合物が0.15%と、メタンの削減による寄与が最も高くなっている。
- 環境調整済全要素生産性(1995～2018年の平均)は、0.96%の上昇となった。

(図表10) 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	—	—	—

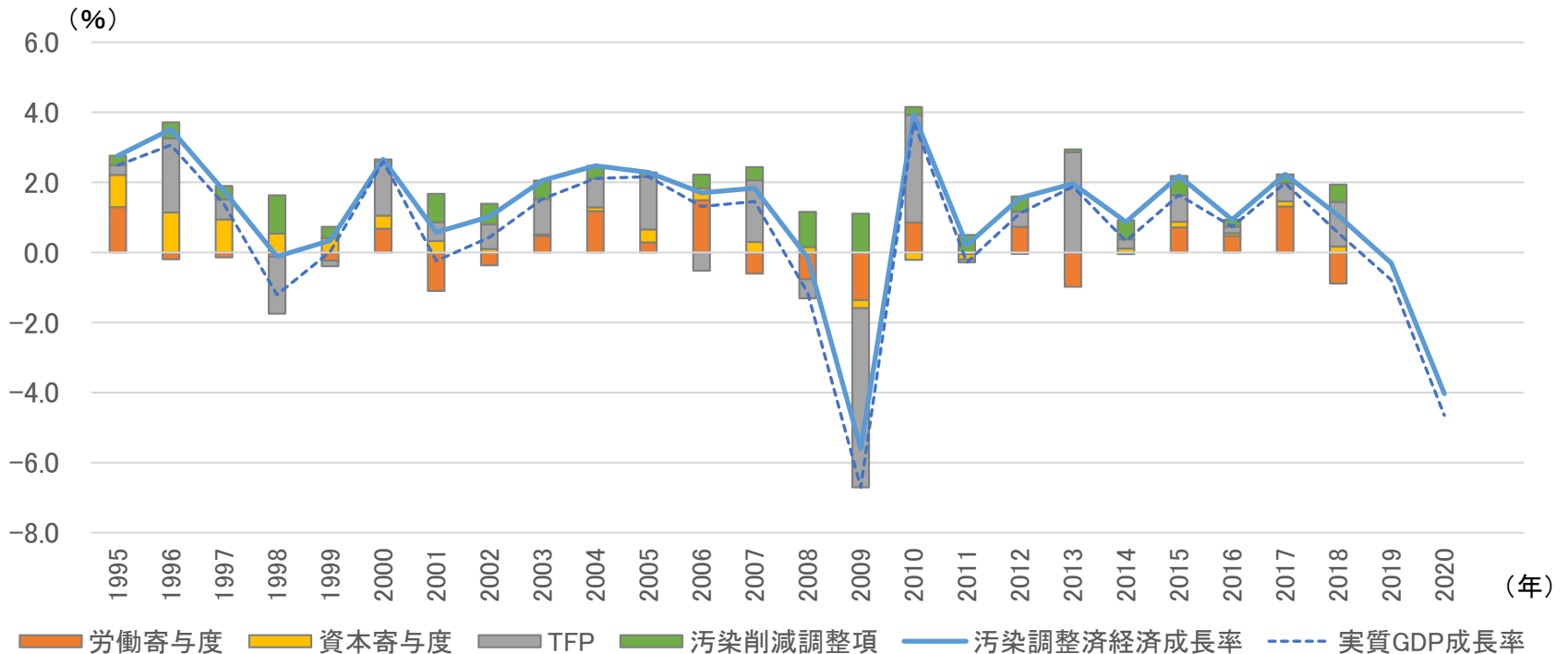
(注) 実質GDPは経済活動別国内総生産の産業計を、労働投入及び資本投入寄与度の試算は、独立行政法人経済産業研究所のJIPデータベースを用いている。

5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

(2) 汚染調整経済成長率の要因分解

- 汚染調整経済成長率と実質GDP成長率の推移をみると、メタン、非メタン揮発性有機化合物が長期的に減少傾向にあることに加え、2014年以降は二酸化炭素も減少傾向にあることから、汚染削減調整項が全期間においてプラスの寄与となり、汚染調整経済成長率は常に実質GDP成長率を上回っている。
- 世界金融危機の影響を受けた2008、2009年など、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。

(図表11) 汚染調整経済成長率の寄与度分解



5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

(参考) 汚染調整済経済成長率と環境調整済全要素生産性の推移

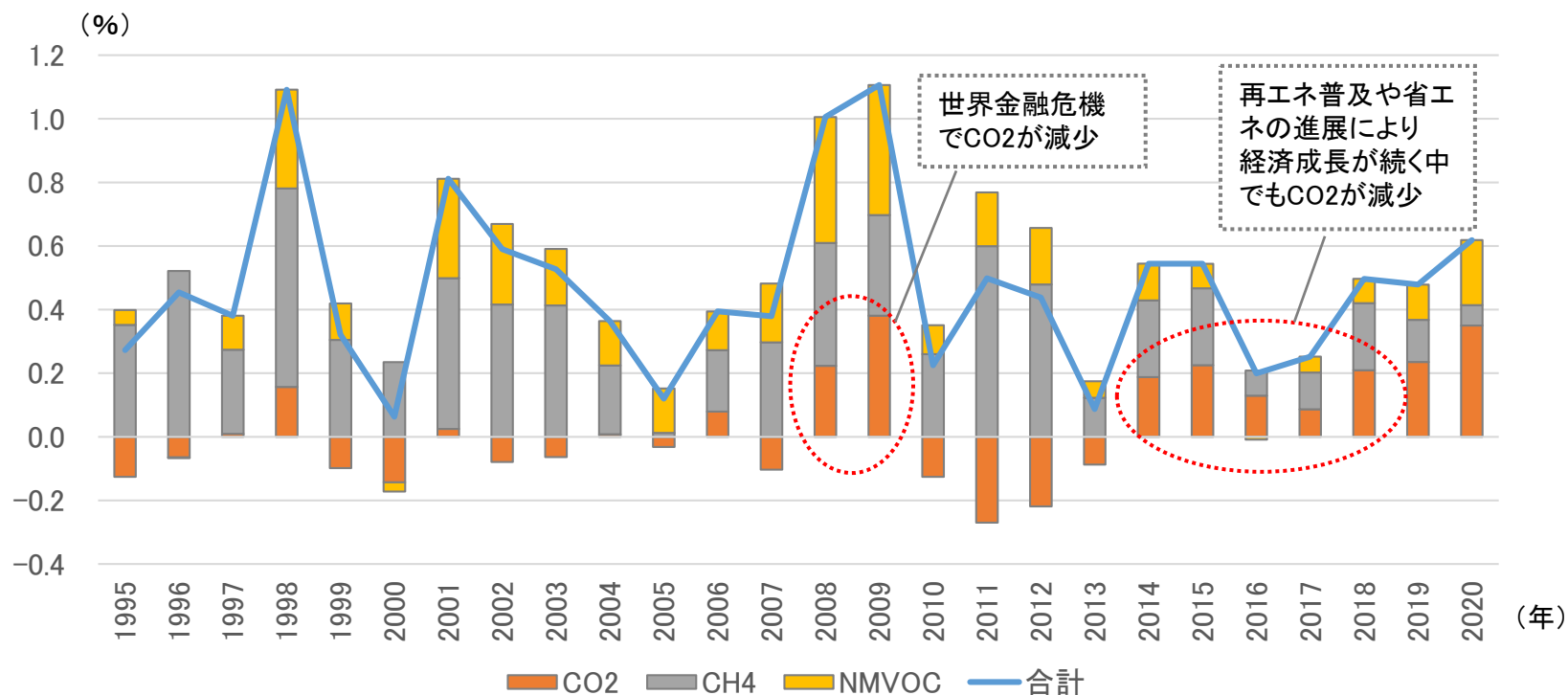


5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

(3) 汚染削減調整項の内訳

- 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、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いが、2014年以降は経済成長が続く中でも排出量が削減され（デカップリング）、プラスの寄与が続いている。

(図表12) 汚染削減調整項の内訳



5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

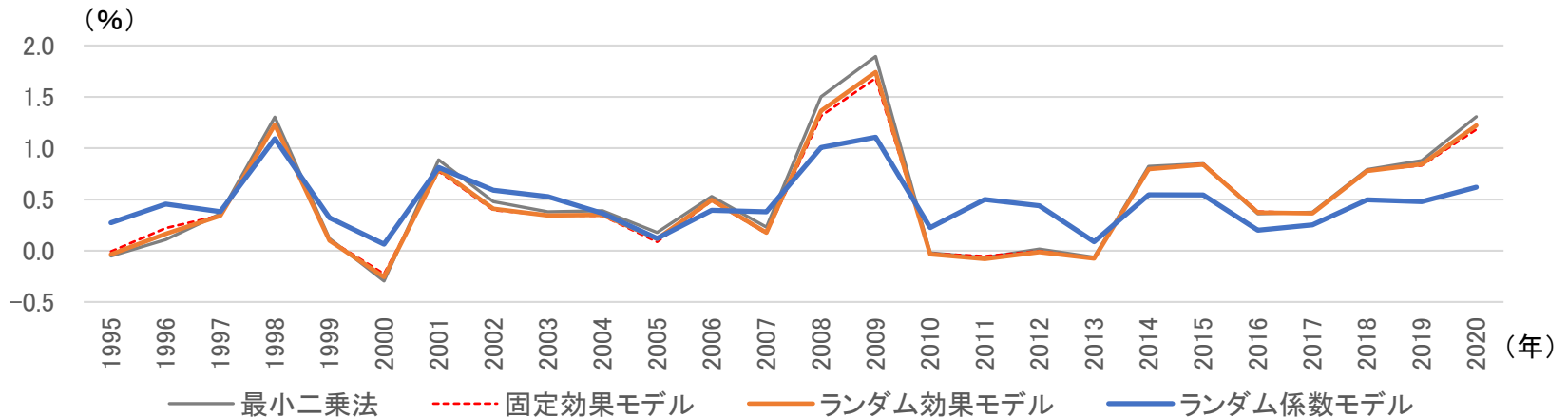
(4) 異なる弾性値ごとに計算した汚染削減調整項の比較

- OECDは、「汚染物質排出に対する実質GDP弾性値」の推計にあたり、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(国ごとに異なる弾性値が得られる)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。
- 試みに各モデルのパラメータを用いて我が国の汚染削減調整項を計算すると、ランダム係数モデルが最も安定的な推移を示している。

(図表13) 各モデルごとの汚染削減調整項の平均変化率(1995~2020年)

	A:汚染調整済 経済成長率	B:GDP成長率	C:汚染削減調整項	D:汚染削減調整項 CO2	E:汚染削減調整項 CH4	F:汚染削減調整項 NMVOC
	A=B+C		C=D+E+F			
最小二乗法	1.09	0.57	0.51	0.09	0.16	0.27
固定効果モデル	1.05	0.57	0.48	0.09	0.22	0.16
ランダム効果モデル	1.05	0.57	0.48	0.09	0.19	0.20
ランダム係数モデル	1.04	0.57	0.47	0.03	0.29	0.15

(図表14) 各モデルごとの汚染削減調整項の推移

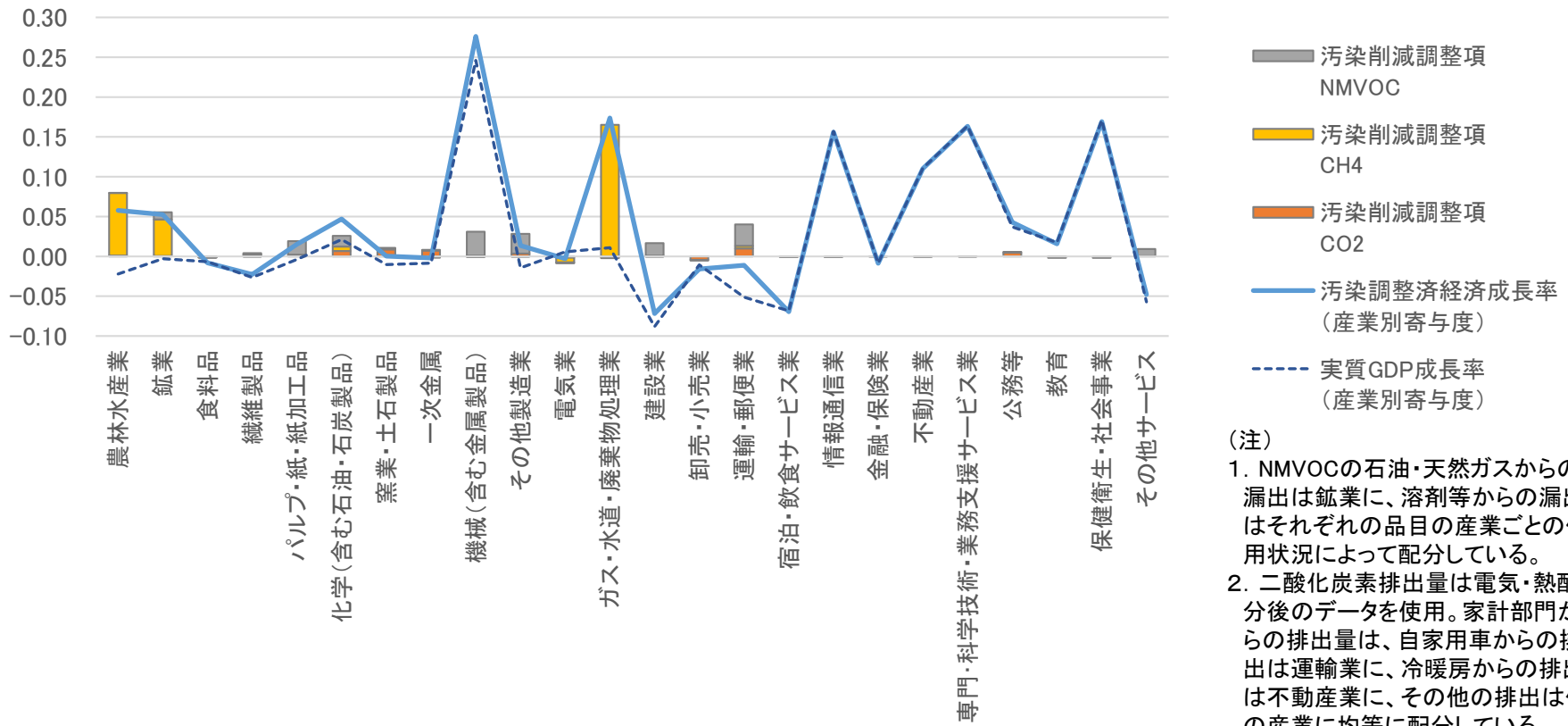


5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

(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)

- 汚染調整済経済成長率の産業別寄与度(1995~2020年平均)をみると、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、汚染調整済経済成長率の寄与度が実質GDP成長率の寄与度を上回っている。
- 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。
- 二酸化炭素は1995~2020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15) 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)

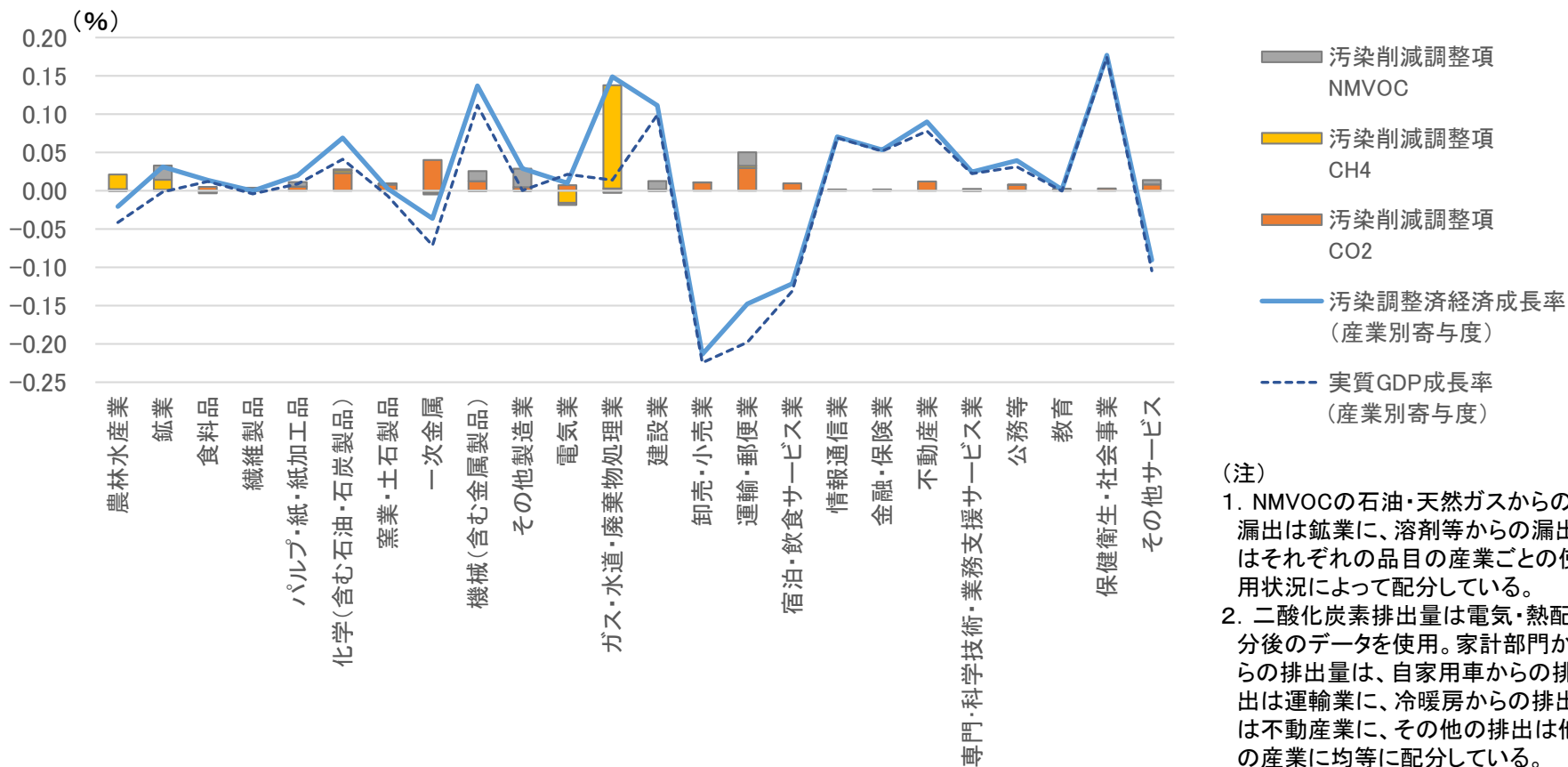


5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

(6) 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(2014~2020年平均)

- 二酸化炭素排出量のピーク(2013年)以降の動向として2014~2020年の平均をみると、化学、一次金属、運輸・郵便業などで、二酸化炭素の削減を反映して汚染削減調整項が大きくなっている。
- 汚染削減調整項全体では、メタンの削減によるガス・水道・廃棄物処理業の寄与が大きくなっている。

(図表16) 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(2014~2020年平均)

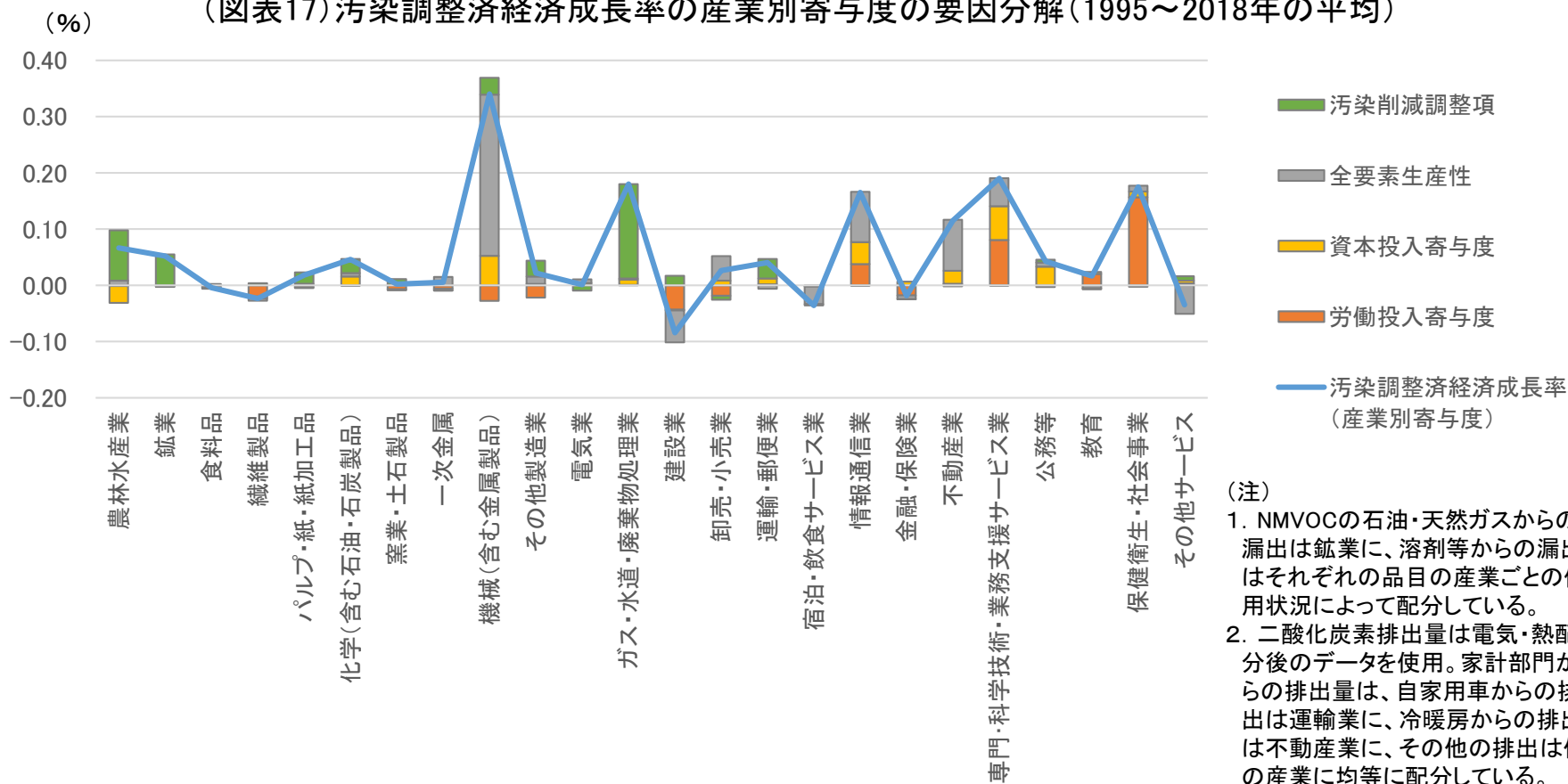


5. OECDの枠組みに基づく日本の試算

(7) 汚染調整済経済成長率の産業別寄与度の要因分解(1995~2018年の平均)

- 汚染調整済経済成長率の産業別寄与度を、労働投入の寄与、資本投入の寄与、汚染削減調整項、全要素生産性に分解すると、農林水産業、ガス・水道・廃棄物処理業などは汚染削減調整項が押し上げており、機械、情報通信業、不動産業などは全要素生産性の上昇が成長率を押し上げている。

(図表17) 汚染調整済経済成長率の産業別寄与度の要因分解(1995~2018年の平均)



参考資料

(参考1) 令和3年度研究会開催の経緯

(参考2) 汚染調整済経済成長率の導出とその推計手法

(参考3) 大気排出勘定の試算方法の概要

(参考1) 令和3年度研究会開催の経緯

- 国際基準であるSEEAに基づく大気排出勘定の試算、及びOECDの汚染調整済経済成長率を産業別に推計するための推計手法の検討及び推計作業等を受託事業者(株式会社エス・アール・シー)が行った。
- 受託事業者による作業の結果を有識者による研究会に提示し、問題点や改善事項等について議論を行い、その結果を推計作業に反映させた。研究会は以下の要領で実施した。

研究会	年月日	議題
第1回	令和3年8月5日	(1)本調査研究の概要について (2)環境要因を考慮した3つの指標(大気排出勘定、環境財サービス部門勘定、汚染調整済経済成長率)へのアプローチについて
第2回	令和3年10月26日	(1)大気排出勘定(AEAs)のマニュアルについて (2)大気排出勘定(AEAs)のデータの収集・整備について (3)汚染調整済経済成長率の推計について (4)大気排出勘定(AEAs)を作成する上での論点について
第3回	令和3年12月24日	(1)CO ₂ 以外のガスの活動分類別排出量について (2)大気排出勘定(AEAs)の第1次試算について (3)時系列データ(CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O)の整備について (4)汚染調整済経済成長率の推計に向けて
第4回	令和4年2月22日	(1)汚染調整済経済成長率等の第1次試算について (2)環境財サービス勘定の推計に関わるサーベイについて (3)報告書の骨子について (4)今後に向けた課題について

■ 研究会の構成

座長: 早見 均(慶應義塾大学 教授)

委員: 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)

- なお、本資料については、令和3年度委託調査の結果に基づき内閣府経済社会総合研究所で二酸化炭素、メタン、及び一酸化二窒素の大気排出勘定を2020年まで延長し、非メタン揮発性有機化合物の大気排出勘定を新たに推計したものである。同様に、汚染調整済経済成長率の推計についても令和3年度委託調査の結果に基づき、経済社会総合研究所で推計したものである。

(参考2) 汚染調整済経済成長率の導出とその推計手法

- OECD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アプローチは成長会計分析の概念を、インプットについては自然資本を、アウトプット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。
- 以下では、OECD(2018), “*Environmentally Adjusted Multifactor Productivity: Methodology and Empirical Results for OECD and G20 Countries.*”に基づき、汚染調整済経済成長率の導出とその推計手法を説明する。
- まず、労働 L 、生産資本 K 、自然資本 S を投入し、付加価値額 Y を生み出す一方、その経済活動の結果として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る
- 生産技術を表現するものとして変形関数の考え方を導入する。変形関数については最も効率的な活動水準を1として定義する。単純化のために、経済主体は効率的な活動を実施していると想定する。また、変形関数 H は産出 (Y, R) について n 次同次関数であり、投入 (L, K, S) について一次同次関数であると想定する。なお、 t は時間を表す変数である。

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

(1)式を変数 t で対数微分した式を考える。

$$\frac{d\ln H(Y, R, L, K, S, t)}{dt} = \frac{\partial \ln H}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial t} + \frac{\partial \ln H}{\partial R} \frac{\partial R}{\partial t} + \frac{\partial \ln H}{\partial L} \frac{\partial L}{\partial t} + \frac{\partial \ln H}{\partial K} \frac{\partial K}{\partial t} + \frac{\partial \ln H}{\partial S} \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial \ln H}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

(2)式を $\partial \ln Z = \frac{\partial Z}{Z}$ の関係を用いて書き換えると次式を得る。ただし、 $H_V = \frac{\partial H}{\partial V}$ ($V \in \{Y, R, L, K, S\}$)。

$$\frac{\partial \ln H}{\partial t} = -\frac{H_Y Y}{H} \frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \frac{H_R R}{H} \frac{\partial \ln R}{\partial t} - \frac{H_L L}{H} \frac{\partial \ln L}{\partial t} - \frac{H_K K}{H} \frac{\partial \ln K}{\partial t} - \frac{H_S S}{H} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (3)$$

(3)式について、弾力性の定義 $\varepsilon_{HV} = \frac{H_{tV}}{H}$ を用いると次式を得る。

$$\frac{\partial \ln H}{\partial t} = -\varepsilon_{HY} \frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \varepsilon_{HR} \frac{\partial \ln R}{\partial t} - \varepsilon_{HL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} - \varepsilon_{HK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} - \varepsilon_{HS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (4)$$

(4)式について弾力性 ε_{HY} で除すと、次式となる。

$$\frac{1}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln H}{\partial t} = -\frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \frac{\varepsilon_{HR}}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln R}{\partial t} - \frac{\varepsilon_{HL}}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln L}{\partial t} - \frac{\varepsilon_{HK}}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln K}{\partial t} - \frac{\varepsilon_{HS}}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (5)$$

$\frac{\partial \ln H}{\partial t} = \frac{H_t}{H}$ であることと、 $\varepsilon_{YV} = -\frac{\varepsilon_{HV}}{\varepsilon_{HY}}$ であることを用いると次式を得る。

$$-\varepsilon_{Yt} \frac{1}{t} = \frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \varepsilon_{YR} \frac{\partial \ln R}{\partial t} - \varepsilon_{YL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} - \varepsilon_{YK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} - \varepsilon_{YS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (6)$$

ここで、環境調整済全要素生産性(EAMFP)の変化率を次式の関係で定義する。

$$\frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} = \frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \varepsilon_{YR} \frac{\partial \ln R}{\partial t} - \varepsilon_{YL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} - \varepsilon_{YK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} - \varepsilon_{YS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (7)$$

(7)式を変形すると、次式が得られる。

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \varepsilon_{YR} \frac{\partial \ln R}{\partial t} = \varepsilon_{YL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{YK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{YS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} + \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} \quad (8)$$

- (8)式の左辺は、生産面を表現しており、第1項は付加価値額の成長率、第2項は温室効果ガス及び大気汚染物質の排出量の変化率に、付加価値額の排出量に対する弾力性を乗じた汚染削減調整項を表している。
- 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と想定しているので ($\varepsilon_{YR} > 0$)、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。この(8)式の左辺を汚染調整済経済成長率と定義する。

$$\text{汚染調整済経済成長率} = \text{付加価値額(GDP)の成長率} + \text{汚染削減調整項} = \frac{\partial \ln Y}{\partial t} - \varepsilon_{YR} \frac{\partial \ln R}{\partial t}$$

- また(8)式の右辺は投入面を表している。こ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、その残差は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。

推計のモデル式については、前述の(8)式を以下のように変形して得られる。複数の物質 j を大気中へ排出していると想定し、(8)式を整理すると、

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} + \varepsilon_{YL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{YK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{YS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} + \sum_j \varepsilon_{YR_j} \frac{\partial \ln R_j}{\partial t} \quad (9)$$

再度、 $\varepsilon_{YV} = -\frac{\varepsilon_{HV}}{\varepsilon_{HY}}$ であることを用いると次式を得る。

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \left(\varepsilon_{HL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{HK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{HS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \right) - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \sum_j \varepsilon_{HR_j} \frac{\partial \ln R_j}{\partial t} \quad (10)$$

温室効果ガス等を大気中へ排出する際に環境保全対策などに関連する費用がかかるとし、その費用も考慮して利潤最大化行動を行う経済主体を想定する。すると、投入(L, K, S)は変形関数に関し一次同次であることから、弾力値 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。OECDの分析では投入費用ウェイトに関するデータは事前に利用可能であるので、投入に関する変数は次式のように一つの変数 X にまとめられる。

$$\frac{\partial \ln X}{\partial t} = \varepsilon_{HL} \frac{\partial \ln L}{\partial t} + \varepsilon_{HK} \frac{\partial \ln K}{\partial t} + \varepsilon_{HS} \frac{\partial \ln S}{\partial t} \quad (11)$$

最後に(10)式に(11)式を代入すると、次式を得る。

$$\frac{\partial \ln Y}{\partial t} = \frac{\partial \ln EAMFP}{\partial t} - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \frac{\partial \ln X}{\partial t} - \frac{1}{\varepsilon_{HY}} \sum_j \varepsilon_{HRj} \frac{\partial \ln R_j}{\partial t} \quad (12)$$

- OECD(2018)の分析では、国×年次のパネルデータを用いて、(12)式に基づく以下のモデル式で弾力値の推計を行っている。

$$\dot{Y}_{it} = \alpha_i + \delta_t + \gamma_i \dot{X}_{it} + \sum_j \beta_{ji} \dot{R}_{jit} + u_{it} \quad (13)$$

- ここで、 i は国を、 t は年次を表している。 \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各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。
- 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力値 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。
- 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(硫黄酸化物(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物(NMVOC))を対象としている。

(参考3)大気排出勘定の試算方法の概要

■ 大気排出勘定(二酸化炭素(電気・熱配分前))の試算概要

基礎データ

- 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)」
(国内向け公開版、CO2の部門別排出量【電気・熱配分前】、簡易表)
- ②環境省、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2021年)」
(2021年提出版各分野に掲載されている時系列データ)
- ③経済産業省「総合エネルギー統計」

エネルギー起源

- 発電所・製油所等、農林水産鉱建設業、製造業(基礎データ①を利用)
該当するJSNA産業部門へ計上
- 業務他(第三次産業)、運輸(基礎データ③を利用)
 CO_2 部門別排出量 = 総合エネルギー統計大分類別エネルギー種別の(「エネルギー消費量」-「非エネルギー利用量」) × 「高位発熱量」 × 「炭素排出係数」

非エネルギー起源

- 工業プロセス及び製品の使用、廃棄物、その他(間接CO2等)(基礎データ①を利用)
該当するJSNA産業部門へ計上
- ただし、下記区分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」の詳細区分を使用(基礎データ②を利用)
 - 工業プロセス及び製品のうち金属製造
 - 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
 - 廃棄物のうち廃棄物のエネルギー利用
 - その他(間接CO2等)のうち燃料からの漏出他

(注1)2020年の数値に関しては、環境省、国立環境研究所「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年の排出量の変化率を推計し、2019年の大気排出勘定の数値に乗じて推計。

(注2)数値は暦年に変換。

■ 大気排出勘定(二酸化炭素(電気・熱配分後))の試算概要

基礎データ

- 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)」
(国内向け公開版、CO2の部門別排出量【電気・熱配分後】、詳細表)
- ②環境省、国立環境研究所「温室効果ガスインベントリ(2021年)」
(2021年提出版各分野に掲載されている時系列データ)
- ③経済産業省「総合エネルギー統計」

エネルギー起源

- 該当するJSNA産業部門へ計上(基礎データ①を利用)
- ただし、電気ガス熱供給水道業の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表のデータを用いて推計している(基礎データ③を利用)。

非エネルギー起源

- 工業プロセス及び製品の使用、廃棄物、その他(間接CO2等)(基礎データ①を利用)
該当するJSNA産業部門へ計上
- ただし、下記区分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」の詳細区分を使用(基礎データ②を利用)
 - 工業プロセス及び製品のうち金属製造
 - 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
 - 廃棄物のうち廃棄物のエネルギー利用
 - その他(間接CO2等)のうち燃料からの漏出他

(注1) 2020年の数値に関しては、環境省、国立環境研究所「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年の排出量の変化率を推計し、2019年の大気排出勘定の数値に乗じて推計。

(注2) 数値は暦年に変換。

■ 大気排出勘定(メタン、一酸化二窒素、及び非メタン揮発性有機化合物)の試算概要

基礎データ

- 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)」
(共通様式(CRF :Common Reporting Format))
- ②経済産業省「総合エネルギー統計」
- ③揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリ検討会「揮発性有機化合物(VOC)排出インベントリについて(令和3年3月)」

メタン(CH₄),一酸化二窒素(N₂O)

- 排出量をCRF区分に対応するJSNA産業分類へ計上した。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按分した(基礎データ①及び②を利用)。

非メタン揮発性有機化合物(NMVOC)

- 排出量をCRF区分に対応するJSNA産業分類へ計上した。ただし、CRF部門が複数の産業に対応する場合は該当する産業数で等分した(基礎データ①を利用)。
- CRF分類の「2. Industrial processes and product use D. Non-energy products from fuels and solvent use 3. Other」についてはVOCインベントリを用い、発生源品目及び業種別を参考にし、該当するJSNA分類に案分した(基礎データ③を利用)。

(注1)メタン及び一酸化二窒素の2020年の数値に関しては、「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年の排出量の変化率を推計し、2019年の大気排出勘定の数値に乗じて推計。

(注2)非メタン揮発性有機化合物の2020年の数値に関しては、「温室効果ガスインベントリ(2022年)」のデータを用いて推計。

(注3)数値は暦年に変換。

■ブリッジングアイテムの試算概要

- SEEAの大気排出勘定は海外の居住者も対象とするいわゆる国民概念の考え方に基づいて整備される。
- 一方で温室効果ガスインベントリは国内領土の居住者が対象である。そのため、データを可能な限り国民概念へと調整するためにブリッジングアイテムの推計を行った(注1)。
- ブリッジングアイテムの試算概要については以下の表の通りである。なお、基礎データは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」、④ OECD.stat “Air Transport CO2 Emissions“である。

試算方法の概要

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	CO2	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③の該当データを引用
		CH4,N2O, 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	CO2	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
		CH4,N2O, NMVOC	同上
国内の非居住者	航空	CO2	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③の該当データを利用
	船舶	CO2	-
	航空/船舶	CH4,N2O, NMVOC	-

(注1)二酸化炭素に関して、SEEAの枠組みに基づく大気排出勘定では電気・熱配分前で整備される。

電気・熱配分後のデータは、汚染調整済経済成長率を試算するために作成したものであり、ブリッジングアイテムは推計していない。

(注2)数値は暦年に変換