

2019 年度 博士論文

**拡張型産業連関分析に基づく
環境フットプリント評価**

Environmental Footprint Assessment based on Extended Input-Output
Analysis

東京都市大学 大学院 環境情報学研究科 環境情報学専攻

一杉 佑貴

1793102

博士論文
拡張型産業連関分析に基づく環境フットプリント評価
Environmental Footprint Assessment based on Extended Input-Output Analysis

第1章	序論	1
1.1	社会背景	1
1.1.1	気候変動の現状	1
1.1.1.1	IPCC	1
1.1.1.2	世界の約束草案	4
1.1.2	廃棄物の現状	5
1.1.3	ライフサイクルアセスメント	7
1.1.4	環境フットプリント	9
1.2	研究背景	12
1.2.1	産業連関分析	12
1.2.1.1	環境分析用産業連関分析	12
1.2.1.2	廃棄物産業連関分析	15
1.2.2	統合評価モデル	16
1.2.2.1	統合評価モデルの種類	16
1.2.2.2	統合評価モデルの活用事例	17
1.3	まとめ	20
	参考文献	22
第2章	研究目的	26
2.1	研究目的	26
2.2	本研究の構造	28
第3章	拡張型産業連関分析に基づく日本の廃棄物フットプリント	29
3.1	廃棄物フットプリントの定義	29
3.2	廃棄物フットプリントの推計方法	30
3.2.1	CFP の推計	32
3.3	結果	34
3.3.1	廃棄物フットプリント原単位	34
3.3.2	廃棄物フットプリントの推計	35
3.3.3	家計に着目した廃棄物フットプリント	37
3.3.4	廃棄物フットプリントとカーボンフットプリント	39
3.3.5	廃棄物最終処分量のフットプリント	43
3.4	妥当性の検証	45
3.5	まとめ	47

参考文献.....	48
第4章 LCA と IAMs の融合による日本のカーボンフットプリント将来推計	49
4.1 AIM/CGE[Japan]モデル	49
4.2 カーボンフットプリントの推計方法	52
4.2.1 カーボンフットプリントの推計	52
4.2.2 生産基準と消費基準のカーボンフットプリント推計方法.....	53
4.2.3 炭素生産性.....	54
4.3 結果	54
4.3.1 CFP 原単位の比較.....	54
4.3.2 CFP 将来推計結果.....	55
4.3.3 家計.....	58
4.3.4 固定資本	59
4.3.5 政府.....	60
4.4 炭素生産性の推計	61
4.5 既存研究との比較	63
4.6 まとめ	65
参考文献.....	67
第5章 結論	68
5.1 本研究の成果	68
5.2 政策への提言	69
5.2.1 廃棄物マネジメント	69
5.2.2 将来に向けた CFP 削減の対策	69
5.3 今後の課題	70
謝辞	72
付録	73
付録② 廃棄物フットプリントデータベース（一般廃棄物）	82
付録③ 廃棄物フットプリントデータベース（埋立量）	91
付録④ 2005(BAU) AIM_IO（2018年12月更新）.....	100
付録⑤ 2030(BAU) AIM_IO（2018年12月更新）.....	101
付録⑥ 2030(NDC) AIM_IO（2018年12月更新）.....	102
付録⑦ 2005(BAU)CFP（2018年12月更新）.....	103
付録⑧ 2030(BAU)CFP（2018年12月更新）.....	106
付録⑨ 2030(BAU)CFP（2018年12月更新）.....	109

図目次

図 1.1.1	地球表面上の温度上昇予測 ¹⁾	1
図 1.1.2	地球表面温度 1.5°C 上昇シナリオと 2.0°C 上昇シナリオ ²⁾	2
図 1.1.3	社会経済シナリオ ³⁾	3
図 1.1.4	気候変動に対する技術革新 ⁴⁾	4
図 1.1.5	全世界の廃棄物発生量と固形廃棄物由来の GHG 排出量 ¹²⁾	6
図 1.1.6	ライフサイクル全体の資源循環イメージ ¹⁴⁾	7
図 1.1.7	ISO14040 と ISO14044 に基づく LCA の実施手順 ^{16,17)}	8
図 1.1.8	LCA 手法における評価対象 ¹⁸⁾	9
図 1.1.9	欧州を対象とした CFP ²⁰⁾	10
図 1.1.10	日本の環境フットプリント ²⁰⁾	11
図 1.2.1	環境分析用産業連関表の構造及び投入係数表とレオンチェフ逆行列 ²²⁾ ...	13
図 1.2.2	イギリスの CFP 推計結果 ²⁶⁾	15
図 1.2.3	2030 年の電力エネルギーミックスの推計 ⁴⁵⁾	18
図 1.2.4	2050 年までの GHG 排出量将来推計 ⁴⁶⁾	19
図 2.2.1	本論文の構成	28
図 3.1.1	廃棄物フットプリントの範囲	30
図 3.2.1	廃棄物産業連関表のひな型（左：内生部門非正方，右：内生部門正方） ²⁾	31
図 3.3.1	産業廃棄物発生量の原単位	34
図 3.3.2	一般廃棄物発生量の原単位	35
図 3.3.3	廃棄物フットプリント（一般廃棄物、産業廃棄物別）	36
図 3.3.4	廃棄物フットプリント（最終需要別）	36
図 3.3.5	廃棄物フットプリント（産業部門別）	37
図 3.3.6	家計の廃棄物フットプリント（ライフステージ別）	38
図 3.3.7	家計の廃棄物フットプリント（左図：製造段階、右図：使用段階）	38
図 3.3.8	CFP と MWGF の比較	40
図 3.3.9	CFP と IWGF の比較	41
図 3.3.10	IWLF(産業別)	44
図 3.3.11	MWLF（廃棄物処理別）	45
図 4.1.1	将来 CFP 推計フローチャート	51
図 4.3.1	シナリオ別 CFP 原単位	55
図 4.3.2	日本の CFP 推計結果（内訳：最終需要）	56
図 4.3.3	シナリオ別最終需要額の比較	57
図 4.3.4	全体の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）	58
図 4.3.5	家計の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）	59
図 4.3.6	固定資本の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）	60

図 4.3.7 政府の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）	61
図 4.4.1 各シナリオの炭素生産性.....	63
図 4.5.1 既存研究との直接 GHG 排出量比較（内訳：産業部門，2005 年）	65

表目次

表 1.1.1	GHG 排出量上位 5 カ国の NDCs	5
表 1.1.2	世界平均と日本の環境フットプリント比較 ²⁰⁾	11
表 1.2.1	既存の IAMs の整理	17
表 1.2.2	将来推計のための社会経済指標 ⁴⁵⁾	19
表 3.2.1	廃棄物フットプリントのライフステージの分け方	32
表 3.3.1	MWGF 内訳上位 3 項目（廃棄物）	42
表 3.3.2	IWGF 上位 3 項目（産業別）	42
表 3.3.3	MWGF 上位 3 項目（廃棄物）	43
表 3.3.4	IWGF 上位 3 項目	43
表 3.3.5	MWLF 上位 3 項目	45
表 3.4.1	報告書・既存研究との比較 ⁸⁾	46
表 3.4.2	家電 4 品目とパソコン、自動車の発生量 ¹¹⁾	47
表 3.4.3	本研究と家電 4 品目及びパソコン、自動車の発生量比較	47
表 4.1.1	NDC シナリオにおける GDP、人口、GHG 排出量の想定 ⁷⁾	51
表 4.1.2	年齢別人口の推移 ⁶⁾	51
表 4.1.3	電力ミックスの設定 ⁷⁾	52
表 4.2.1	AIM/CGE[JAPAN]で推計された産業連関表の部門分類 ²⁾	53
表 4.3.1	CFP の総量と人口データの比較	56
表 4.5.1	既存研究と 2030 年 CFP の比較	65

第1章 序論

本章では、近年の社会で問題とされている環境問題である気候変動と廃棄物の現状についてまとめた社会背景とその問題点に対して、具体的な既存研究がどのように実施されているかを研究背景として述べる。

1.1 社会背景

1.1.1 気候変動の現状

1.1.1.1 IPCC

2018年10月にIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）が1.5°C特別報告書¹⁾を発行した。この報告書によると、産業革命を基準に2017年における地球の平均気温は約1°C上昇したことを報告し、これが人間の活動起源であることを報告した。また、このままの状況が続くと、2030年から2050年の間には1.5°Cに達すると推計した。これを上回らないようにするには、抜本的な改善が必要であると述べられており、具体的には、CO₂排出量を2030年までに45%削減し、2050年までには排出量と吸収量の正味で0に達する必要があるとされている。この目標を達成するための評価は、統合評価モデル（IAMs: Integrated Assessment Models）が利用されている。（詳しい評価方法は、1.2.2に後述）この報告書では、将来の地球上の温度上昇を1.5°C上昇と2.0°C上昇としたシナリオを設定²⁾している。1.5°Cを想定すると現実的なシナリオは存在しない。

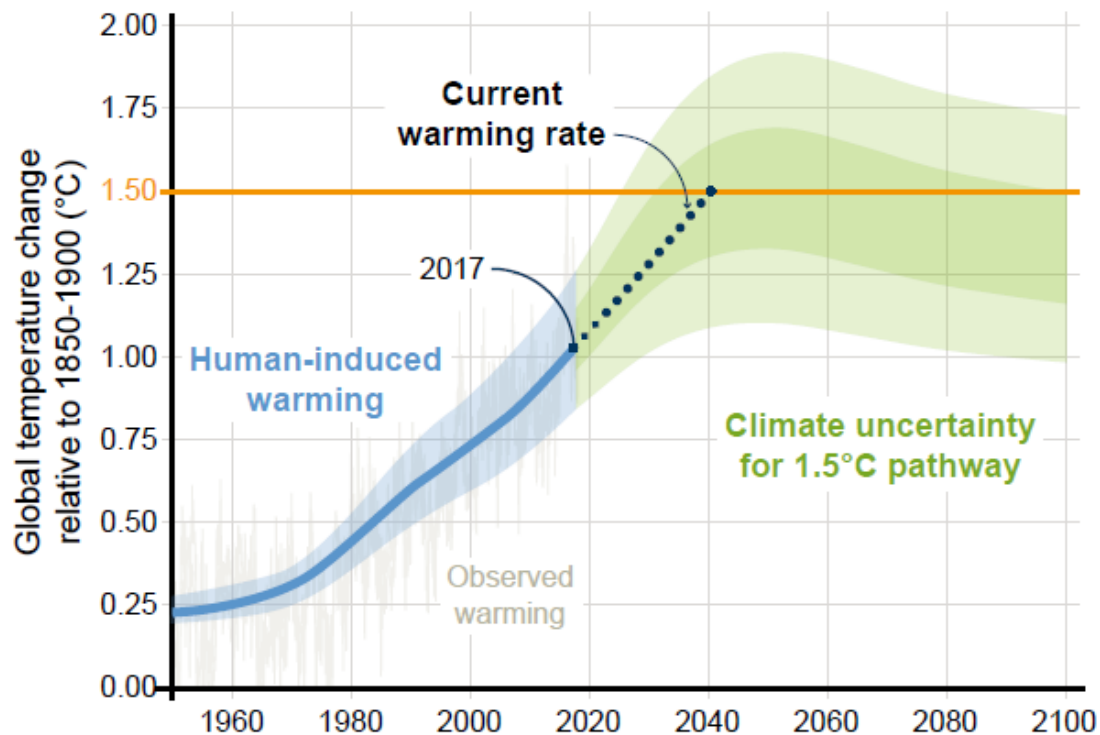


図 1.1.1 地球表面上の温度上昇予測¹⁾

一方、少し上回り 1.5°C以内に収まるシナリオは存在する。このような目標を達成するために統合評価モデルで想定するシナリオとして、社会経済シナリオ³⁾がある。このシナリオでは、将来の人口や経済成長、技術革新を想定し、緩和策の強度と適応策の強度で 5 つのシナリオに分けている。SSP1 が持続可能 (Sustainable development) であり、気候変動への影響が最も低減されている理想のシナリオである。SSP2 は中庸 (Middle of the road) であり、人口、経済成長、人間による開発活動、生活様式、エネルギー消費、食料需要が現状と同じという想定社会である。SSP3 は地域競合で、人口は増加、経済成長が無く、技術革新が見込めず、地域ごとに分離してしまう協調性の無い社会想定で、気候変動への影響が一番悪いというシナリオである。SSP4 は格差社会の想定で、人口の増加はある程度あり、経済成長は国によって変化し、全体の技術は革新する一方で、国内の産業が衰退するという想定である。緩和策の強度が高く、適応策の強度は低い社会シナリオである。SSP5 は化石燃料由来で、人口増加が見込まれ、経済成長は著しく、技術革新、人間開発が大きく進む想定である。これをベースに将来の人口、総生産額、最終エネルギー需要、食料需要を 2100 年まで見込んでいる。この推計結果から、適切な社会シナリオを考慮しつつ、具体的な気候変動への対策⁴⁾について述べている。

Pathway group	Pathway Class	Pathway Selection Criteria and Description	Number of Scenarios	Number of Scenarios
1.5°C or 1.5°C-consistent**	Below-1.5°C	Pathways limiting peak warming to below 1.5°C during the entire 21st century with 50–66% likelihood*	9	90
	1.5°C-low-OS	Pathways limiting median warming to below 1.5°C in 2100 and with a 50–67% probability of temporarily overshooting that level earlier, generally implying less than 0.1°C higher peak warming than Below-1.5°C pathways	44	
	1.5°C-high-OS	Pathways limiting median warming to below 1.5°C in 2100 and with a greater than 67% probability of temporarily overshooting that level earlier, generally implying 0.1–0.4°C higher peak warming than Below-1.5°C pathways	37	
2°C or 2°C-consistent	Lower-2°C	Pathways limiting peak warming to below 2°C during the entire 21st century with greater than 66% likelihood	74	132
	Higher-2°C	Pathways assessed to keep peak warming to below 2°C during the entire 21st century with 50–66% likelihood	58	

* No pathways were available that achieve a greater than 66% probability of limiting warming below 1.5°C during the entire 21st century based on the MAGICC model projections.

** This chapter uses the term 1.5°C-consistent pathways to refer to pathways with no overshoot, with limited (low) overshoot, and with high overshoot. However, the Summary for Policymakers focusses on pathways with no or limited (low) overshoot.

図 1.1.2 地球表面温度 1.5°C上昇シナリオと 2.0°C上昇シナリオ²⁾

		適応策の強度	
		高	低
緩和策の強度	低	SSP5：化石燃料由来 ・人口が減る ・経済成長が上向き ・技術革新あり	SSP3：地域競合 ・人口が増える ・経済成長は下向き ・技術革新なし
		-	SSP2：中庸 ・人口は現状維持 ・経済成長は現状維持 ・技術革新は現状維持
	高	SSP1：持続可能 ・人口が減る ・経済成長が上向き ・技術革新あり	SSP4：格差 ・人口が増える ・経済成長が下向き ・技術革新なし

図 1.1.3 社会経済シナリオ³⁾

図 1.1-4 では、具体的な緩和策・適応策の技術革新についての事例を分野ごとに、まとめたものである⁴⁾。建築分野では建築物内の照明器具や空調といった省エネルギーの促進と流通の倉庫、小売店での省エネルギーを挙げている。産業では、工場内でのエネルギー改善や利用する材料を枯渇資源にせず、バイオプラスチックやバイオマスを利用することを検討している。輸送ではガソリン車ではなく、電気自動車や燃料電池車といったクリーンエネルギーの利用や、カーシェアリングをはじめとする物流の最適化を挙げている。電力では再生可能エネルギーにシフトすることに加え、電気供給量を最適化するシステムの構築が挙げられている。農業では施肥量を削減することで、メタンガスの排出量を抑えること、家畜由来のメタンガスの削減、光合成の改良などが挙げられる。減災・適応では、気候変動による災害に対するリスク回避、適応策についての取り組みが重要視されている。

このように、気候変動の深刻化が進み、それに対する早急な取組が求められている。また、統合評価モデルを駆使した目標値への達成度を確認しつつ、どのような気候変動への緩和策・適応策が検討できるのかを議論されている。よって、気候変動の影響を現状だけでなく将来を見据え、定量的に評価するということは極めて重要であると考えられる。

分野	緩和策・適応策の技術革新の事例
建築	流通（倉庫・小売店）におけるエネルギー利用効率の向上、CO ₂ 排出効率の削減、照明器具、空調機器におけるパフォーマンスの向上
産業	製品製造段階での最適化及びエネルギー効率の改善、バイオプラスチック、バイオマス由来の材料開発
輸送	電気自動車や高架線を利用した電気トラック、燃料電池車といった車種の検討、カーシェアリングを含む物流の最適化、教育・医療における遠隔サービスによる輸送需要の最適化
電力	太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの導入、柔軟性を持たせる再生可能エネルギーの利用を検討したスマートグリッド
農業	施肥量の削減、家畜由来のメタン削減、光合成の改良
減災・適応	災害予測システムによる早期警戒システムの導入、災害リスクの評価

図 1.1.4 気候変動に対する技術革新⁴⁾

1.1.1.2 世界の約束草案

2015 年のパリ協定では 196 ヶ国が集まり、気候変動の深刻化について共通の理解を深めた後、各国での温室効果ガス（GHG：greenhouse gas）の排出量を削減することの重要性が議論された。これを受けて、各国が自国での GHG 排出量の削減目標を掲げる約束草案（INDC：Indeed Nationally Determined Contributions）を UNFCCC（United Nations Framework Convention on Climate Change）⁵⁾で公開した。ここでは、Global Carbon Atlas⁶⁾が公開している GHG 排出量のトップ 5 の約束草案についてまとめた。各国が基準年を設定し、GHG 排出量の目標を立てている。ただし、全ての国が絶対量で目標を掲げているわけではない。中国やインドは、人口増加及び経済成長の影響を考慮し、GDP（Gross Domestic Products）あたりの GHG 排出量としている。また、アメリカは具体的な数値目標を掲げているものの、どのように達成するかといった具体的な政策を確認することはできなかった。GHG 排出量の削減に関しては、電力エネルギーの構成を再生可能エネルギーにすること、及び正味の GHG 排出量を削減するために、森林が吸収する GHG を考慮している。このように、国レベルでの気候変動への具体的な目標を掲げ、それぞれの政策が行われてきた。

表 1.1.1 GHG 排出量上位 5 カ国の NDCs

国名	基準年	目標年	目標
中国 ⁷⁾	2005	2020	GDP あたりの GHG 排出量は 40～45%削減する。2030 年には GHG 排出量にピークを迎えるとしている。
アメリカ ⁸⁾	2005	2025	GHG 排出量を 2025 年までに 26～28%削減する。具体的な対策案については言及されていない。
インド ⁹⁾	2005	2030	GDP あたりの GHG 排出量を 33～35%削減する。2.5～3.0 億トンの GHG を吸収する森林面積を増やすことを目標とする。
ロシア ¹⁰⁾	1990	2030	GHG 排出量を 70～75%削減する。北方樹林の約 70%が国内にあるため、CO ₂ を吸収する大切な要素として、保全する。
日本 ¹¹⁾	2013	2030	GHG 排出量を 2030 年までに約 26%削減する。再生可能エネルギーの導入率は 20～25%で、原子力発電は利用することを想定

1.1.2 廃棄物の現状

近年、人間活動に伴う廃棄物をどう削減するかに注目が集まっている。世界銀行が 2018 年に“WHAT A WASTE 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 ”という報告書(2018)¹²⁾の中で、全球での廃棄物発生量が 2016 年で約 20 億トンであったという報告とともに、2050 年では約 34 億トンの発生量が見込まれていることが報告された。この発生量は GDP あたりで回帰直線により推計された値であり、説明変数に人口と GDP を用いている。この中で、2016 年における固形廃棄物処理による GHG 排出量は約 16 億トンであり、全球で排出される約 5%を占めていると報告した。もし、固形廃棄物処理のエネルギー技術が改善されないと仮定した場合、約 26 億トン排出されると推計され、その影響は決して無視できるものではないと述べた。

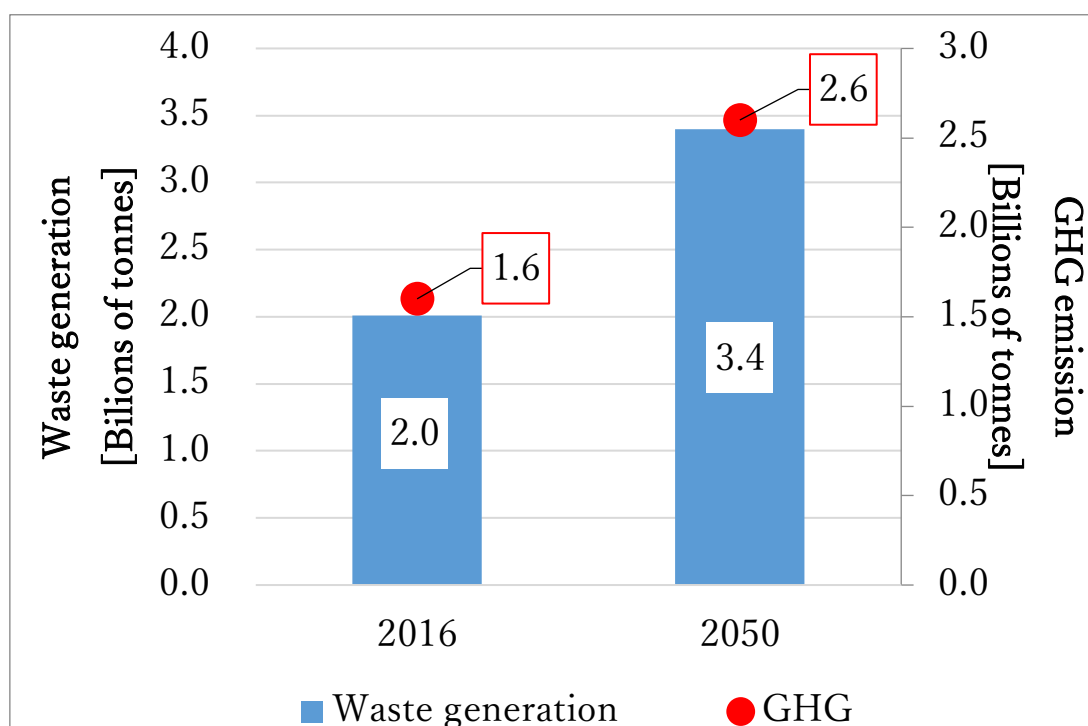


図 1.1.5 全世界の廃棄物発生量と固形廃棄物由来の GHG 排出量 ¹²⁾

日本では、政府により第四次循環型社会形成推進基本計画(2018)¹³⁾が公開された。この計画では7つの柱を掲げており、それぞれの将来像、取組、指標を設定した。

- (1) 持続可能な社会づくりとの統合的取組
- (2) 多様多様な地域循環強制圏形成による地域活性化
- (3) ライフサイクル全体での徹底的な資源循環
- (4) 適正処理の更なる推進と環境再生
- (5) 万全な災害廃棄物処理体制の構築
- (6) 適正な国際資源循環体制の構築と循環産業の海外展開の推進
- (7) 循環分野における基盤整備

この中で、新たな方向性として、資源の採掘・調達から廃棄に至るまでの“ライフサイクル全体”での徹底的な資源循環を挙げており、これを踏まえた2025年までの施策を検討した。将来像として、このライフサイクル全体での考え方に加え、廃棄物処理システムのエネルギー効率を見直すことで、温暖化対策に取り組むこと掲げた。取り組みとしては、開発設計段階での省資源化などの普及促進や再生材の利用を拡大することで、上流での資源消費量を抑えることを掲げた。さらに、食品ロスの削減が飲食サービスや家庭から排出される廃棄物量の低減につながるとした。このように、資源循環を考える一方で、気候変動への取り組みと合わせて検討することの重要性を確認した。

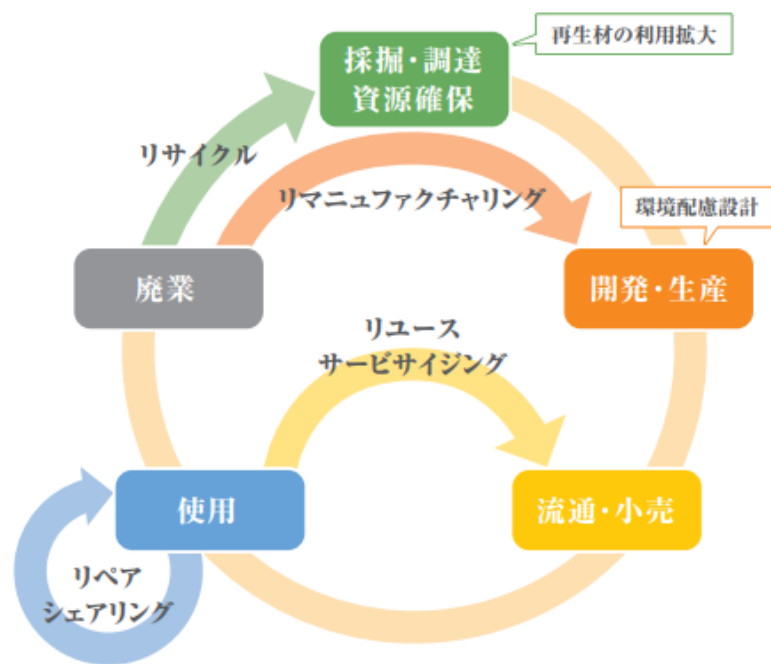


図 1.1.6 ライフサイクル全体の資源循環イメージ¹⁴⁾

1.1.3 ライフサイクルアセスメント

環境負荷を定量的に評価する手法として、ライフサイクルアセスメント（LCA：Life Cycle Assessment）という手法¹⁵⁾がある。LCAとは製品を構成する原料採取から材料入手、製品製造、使用、廃棄、リサイクルに至るすべてのライフステージを範囲として、対象製品が及ぼす環境負荷や環境影響を定量的に評価する手法である。LCAの実施手順と利用上の要件はISO14040¹⁶⁾とISO14044¹⁷⁾において規定されている。以下にその実施手順を図1.1.7に示す。

(1) 目的と調査範囲の設定

LCAを実施する目的を明確にし、調査範囲を設定する。

(2) ライフサイクルインベントリ分析（LCI：Life Cycle Inventory）

システム境界におけるプロセスすべての投入量と環境負荷を含める産出量を算定するとともに、それらの全体を把握することで、ライフサイクル全体での環境負荷量を求める。結果は環境負荷物質ごとに質量などの物質質量で表される。

(3) ライフサイクル影響評価（LCIA：Life Cycle Impact Assessment）

環境負荷によって発生する環境影響量を定量的に評価する。気候変動や大気汚染な

ど環境問題に対する寄与度を評価する。また、様々な環境影響を統合化して単一指標で表現することがある。結果の表し方は、LCIA 手法の中で着目する指標や評価手法により異なる。

(4) ライフサイクル解釈

(1)～(3)までの分析・評価結果から、どのライフステージや環境負荷物質、影響領域が重要であるか考察する。さらに、特に重要なプロセスや過程を中心にして、LCA に利用したデータの信頼性・妥当性などを検証し、必要であれば再調査を行う。これらの結果から最終的な結論を導く。

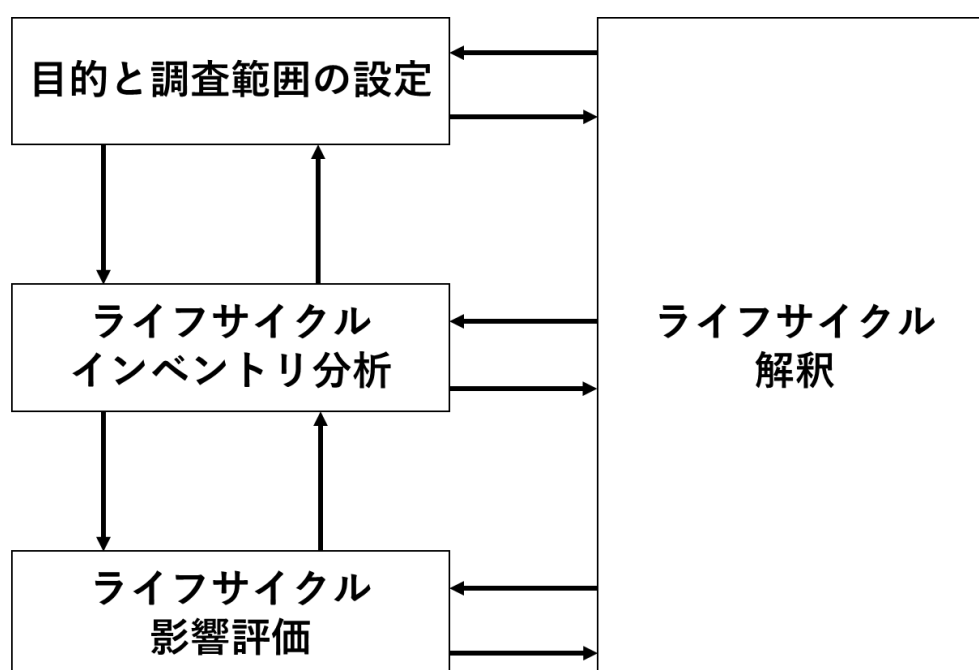
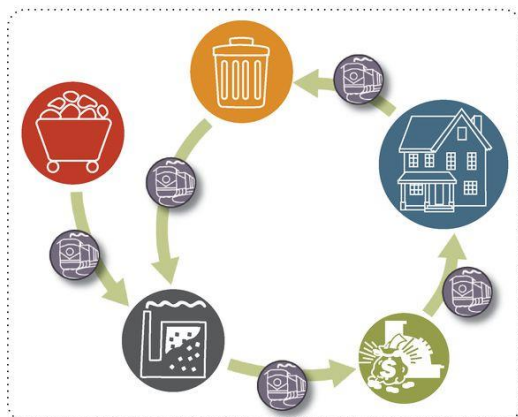


図 1.1.7 ISO14040 と ISO14044 に基づく LCA の実施手順 ^{16,17)}

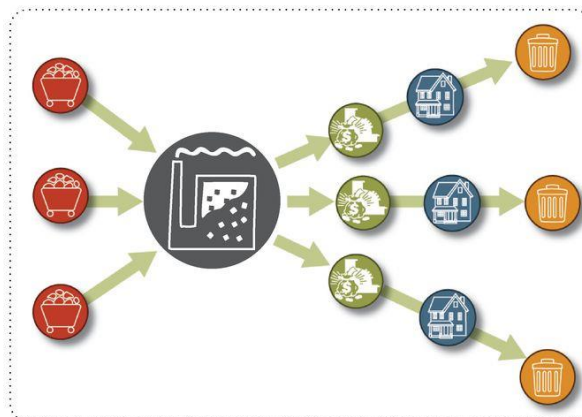
Hellweg et al (2014)¹⁸⁾の LCA 手法を用いた評価に関するレビュー文献によると評価範囲が製品だけでないことがわかる (図 1.1.8 参照)。従来の研究では A.製品を対象とした評価 (Product level LCA) であった。現在ではその評価範囲が広がり、B.企業をはじめとする組織の LCA (Organizational LCA)、C.消費者行動や家計に着目した評価 (Consumer/lifestyle LCA)、D.国全体を対象とした評価 (Country LCA) といったマクロの視点で網羅的に環境負荷を定量的に評価する研究が増えてきた。特に国全体を評価対象とし、年間の GHG 排出量や水消費量を評価する事例もある。

一方、LCA では過去の統計値を基にしたデータベースを用いて評価を行うことが一般的であり、将来の環境負荷を推計するような評価に関しては、まだまだ少ないのが現状である。

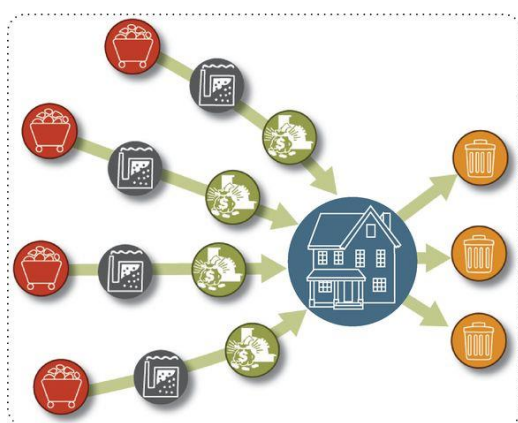
A. Product level LCA



B. Organizational LCA



C. Consumer/lifestyle LCA



D. Country LCA

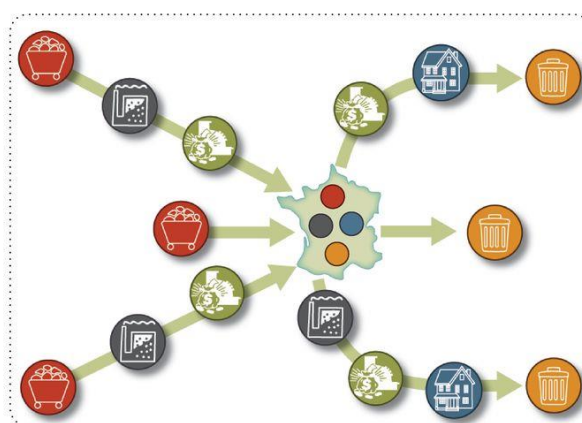


図 1.1.8 LCA 手法における評価対象¹⁸⁾

1.1.4 環境フットプリント

欧州委員会では、製品・サービスを対象とした環境フットプリントのについての“Product Environmental Footprint (PEF) Guide”¹⁹⁾というガイドラインを公開した。この中では、製品やサービスにおける環境フットプリントを以下のように定義している。

The Product Environmental Footprint (PEF) is a multi-criteria measure of the environmental performance of a good or service throughout its life cycle. PEF information is produced for the overarching purpose of seeking to reduce the environmental impacts of goods and services taking into account supply chain activities (from extraction of raw materials, through production and use to final waste management)

ここでのポイントは、一つ的环境影響だけでなく、複数の環境影響を対象とするマルチクリテリア評価であること、製品やサービスのライフサイクル全体を対象としていることである。このライフサイクル全体での環境負荷を定量的に分析する考え方は、ISO14040¹⁷⁾で規定になっているライフサイクルアセスメント (LCA) に基づいていると明

記されている。

1.1.3 節で述べた国を対象とした LCA の評価事例として、欧州委員会が報告した The Global Resource Footprint of Nations²⁰⁾ では、全球を対象に気候変動の指標としてカーボンフットプリント (CFP : Carbon Footprint)、水資源の指標としてウォーターフットプリント (WF : Water Footprint)、土地利用の指標としてランドフットプリント (LF : Land Footprint)、資源消費の指標としてリソースフットプリント (RF : Resource Footprint) を対象に、国ごとの環境フットプリントの推計結果を報告した。この環境フットプリントでは、ある国を対象にした場合、①国内需要のために生産された製品・提供されたサービスの環境負荷に加え、②国内需要を満たすために、海外で生産された製品・提供されたサービス、すなわち輸入品を製造する際の環境負荷も対象範囲に含め、消費国側の責任として計上する考え方に基づいている。その評価方法は国内の経済活動と国と国との貿易取引額を含む多地域間産業連関表²¹⁾を用いている。これにより、国内需要により輸入品をどれくらい誘発し、その波及効果でどれくらいの負荷を海外に誘発しているかを分析することを可能とした。図 1.1.9 はその結果を世界地図上で表し、対象国を色付けし、矢印の大きさでその負荷を表している。赤枠は欧州の CFP を表し、青枠は中国の CFP を表した棒グラフを拡大したものである。欧州の域内 CFP は約 61 億トンに対し、海外に依存している輸入品の CFP は約 16 億トンであり、合計 CFP は約 77 億トンであることがわかる。一方で、中国では、域内 CFP は 93 億トンであるが、他国のために生産している輸出品の CFP が約 20 億トンであり、合計は約 73 億トンという結果だ。これにより、輸入品の CFP を加え、輸出品の CFP を控除するフットプリントの考え方に基くと、全体の CFP を比較すると欧州と中国での負荷は逆転することがわかる。

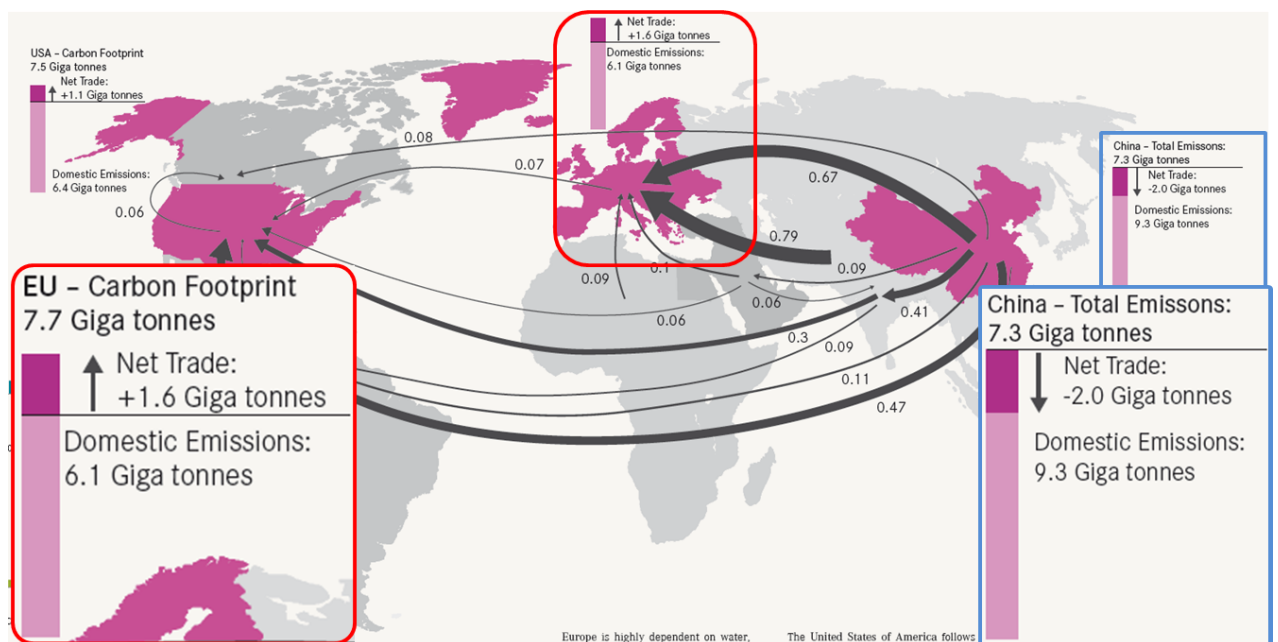


図 1.1.9 欧州を対象とした CFP²⁰⁾

また、この報告書における、日本国全体の環境フットプリント及び、国民1人あたりの環境フットプリントを抜粋した。(図 1.1.10) この結果によると、WF は 36,398[Mm³]で、そのうち輸入品の WF が 32,601[Mm³]であるため、ほとんど海外の水資源に頼っているということがわかる。次いで、RF でも約 19 億トンのうち、輸入品の RF は約 12 億トンであるため、国内需要のうち海外に約 63%依存しているということが分かる。また、全球平均の結果を示したのが表 1.1.2 であり、国民1人あたり環境フットプリントで比較すると、どの指標でも負荷が大きいことがわかる。このように、国内需要を満たすための海外との貿易によりどれくらいの環境負荷を誘発しているのが報告された。一方で、環境フットプリントのように、サプライチェーンを網羅した将来の環境負荷を推計した事例はほとんどないのが現状である。

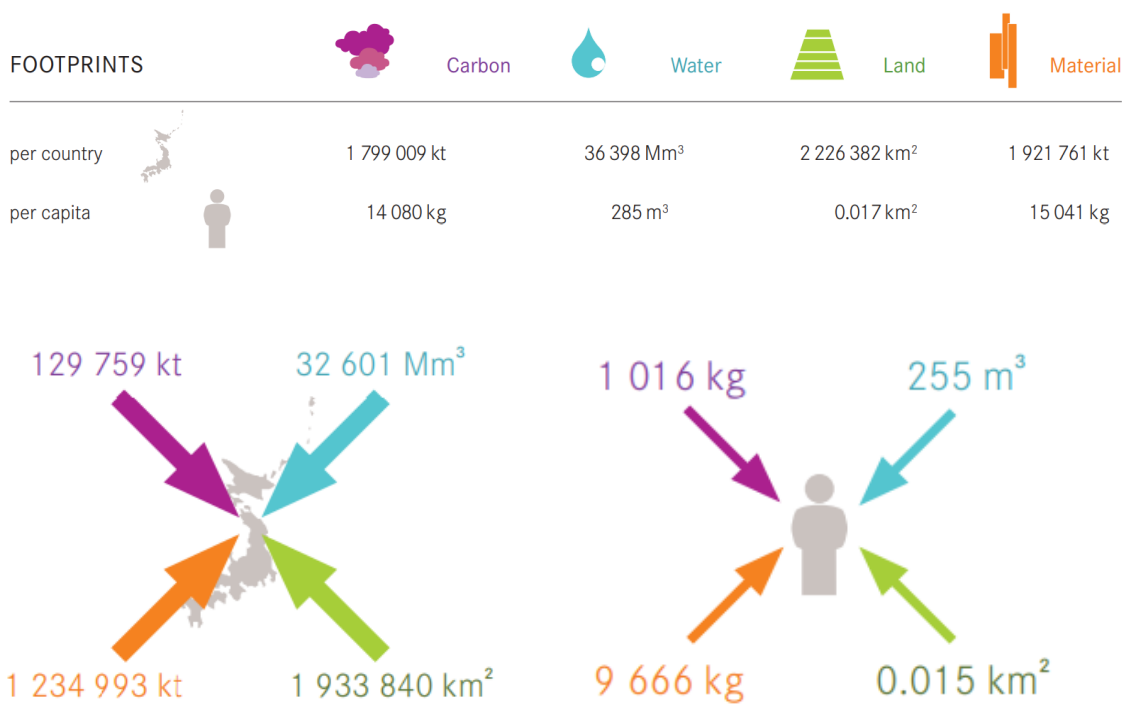


図 1.1.10 日本の環境フットプリント²⁰⁾

表 1.1.2 世界平均と日本の環境フットプリント比較²⁰⁾

KEY INDICATORS	Carbon	Water	Land	Material	GDP	Population
Resource footprints per € GDP	0.563 kt/Mil €	0.011 Mm ³ /Mil €	0.697 km ² /Mil €	0.602 kt/Mil €		
Per capita footprints relative to world average	2.46	1.14	1.31	1.52		
Contribution to global total	4.74 %	2.19 %	2.53 %	2.93 %	7.84 %	1.92 %
World total	37.97 Gt	1 660 560 Mm ³	88 031 435 km ²	65 627 314 kt	40 744 556 Mil €	6 638 184 044
World average per capita	5 721 kg/cap	250 m ³ /cap	0.013 km ² /cap	9 886 kg/cap		

1.2 研究背景

1.2.1 産業連関分析

1.2.1.1 環境分析用産業連関分析

ある国や地域を対象に一年間の経済活動を取引額で表した統計値が産業連関表である。一般的に経済波及効果を推計するなど、経済の分野で用いられる。これに対し、環境分野に応用させた環境分析用産業連関表（EIOT：Environmental Input-Output Table）を Leontief(1970)²²⁾が開発した。図 1.2.1 は EIOT の構造を表したものである。 X は中間投入と中間需要の取引額を表し、 V は間接税や労働賃金を含む粗付加価値、 x は国内生産額を表しており、需要と供給が一致することから、行和と列和の生産額は一致する。 f は家計、企業、政府の最終需要を表しており、経済活動を誘引する部門となっている。EIOT では各産業部門が一年間の経済活動でどれくらい環境負荷があるのかを推計し、割り当てており、これが D である。具体的な算定式を以下に示す。

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1k} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{k1} & \cdots & x_{kk} & \cdots & x_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nk} & \cdots & x_{nn} \end{pmatrix} \quad (\text{式 1-1})$$

売り手である行部門 $i = 1 \dots k \dots n$ と買い手である列部門 $j = 1 \dots k \dots n$ との取引額を x_{ij} で表した際に、 X は行部門による中間投入と列部門による中間需要を表す。

ここで、列部門 j の単位生産額あたり必要とする行部門 i の投入額を投入係数 a_{ij} とすると式 1-2 と表す。

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (\text{式 1-2})$$

この投入係数の行列を A とすると、式 1-3 のように表すことができる。

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1k} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{k1} & \cdots & a_{kk} & \cdots & a_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nk} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (\text{式 1-3})$$

産業 j の生産額 x_j に対する環境負荷を D_j とすると、生産額あたりの環境負荷 d_j は、式 1-4 のように表すことができる。

$$d_j = \frac{D_j}{x_j} \quad (\text{式 1-4})$$

式 1-1 から式 1-4 から得られる式から、産業 i における生産額あたりの環境負荷 e_i は、式 1-5 のように表すことができる。

$$e_j = d(I - A)^{-1} \quad (\text{式 1-5})$$

I は単位行列で、投入係数 A と同じ $n \times n$ の対角成分が 1、非対角成分が 0 である。
 $(I - A)^{-1}$ はレオンチェフ逆行列である。これは、各産業間で行われる取り引きが、数学的に無限に行われて収束すると想定した逆行列であり、経済波及効果を推計する際に用いられる式である。

産業 k に対する最終需要 f_k による環境負荷 E_k は、式 1-6 のように表すことができる。

$$E_k = d(I - A)^{-1}f_k \quad (\text{式 1-6})$$

これにより、最終需要を年間の経済活動と見なし、乗じることにより、ある国・地域内の環境負荷を推計することができる。一つの国を対象とした産業連関表で、輸入品の取引額が国内で生産する国内生産品の取引額と共に内生部門に含まれる表を競争輸入型という。この表では最終需要部門で、輸入を控除し、輸出を含めることで各産業の国内生産額となっている。すなわち、式 1-6 において、最終需要 f_k に輸入の控除を含めず輸出分を控除することで、輸入品の取引額を含めた需要として環境負荷を計算することができる。これにより、ある国・地域を対象とした環境フットプリントとして計算する際の“輸入品を消費国側に責任を持たせる”といった推計をすることが可能となる。(1.1.4 節を参照)

環境分析用産業連関表の構造				投入係数表	
	中間需要	最終需要	生産額		中間需要
中間投入	X	f	x	中間投入	A
粗付加価値	V			レオンチェフ逆行列	
生産額	x				中間需要
環境負荷	D			中間投入	$(I - A)^{-1}$

図 1.2.1 環境分析用産業連関表の構造及び投入係数表とレオンチェフ逆行列 ²²⁾

日本では、南斉らが産業連関表をベースにした環境負荷原単位データベース（3EID：Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input–Output Tables）²³⁾を開発した。最新のデータベースは 2015 年を対象としており、対象物質は、CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆、NF₃である。各産業部門で消費する石炭、石油、ガソリン、天然ガスなど、燃料投入量を統計値から推計している。これに加え、家庭や企業が消費するエネルギー由来の GHG 排出量も推計している。このデータベースを用いて Long et al(2017)²⁴⁾は、日本の 49 都市を対象に CFP を推計した。対象としているのは、主に家計の消費活動であり、飲食料品、エネルギー利用、宿泊、医療、輸送、野外での活動（旅行、ショッピングなど）、教育ごとの結果を算出している。主な結果として、一番大きな割合を示したのはエネルギー利用による負荷で全体の 31%であり、次いで飲食料品の調達で全体の 27%を占める結果であった。このように、直接エネルギーを消費している部分だけでなく、材料調達してから、廃棄に至るまでの網羅的な CFP を環境指標として表すことで新たな知見を得ることが出来る。南斉ら（2019）²⁵⁾は、日本の医療サービスに着目し、入院診療、入院外診療、歯科診療、調剤、その他の医療サービス（助産所や臨床検査業など）や、看護師の活動（学校の保健室、介護等）、医療施設の整備を対象に医療に関わる全ての活動を網羅的に評価した。

このように、国内の都市に着目した評価やある産業に特化した評価を実施することが可能である。

国外の EIOT を用いた評価事例として、イギリス政府は“UK’s Carbon Footprint”という報告書²⁶⁾を毎年発行しており、国内の産業連関表を用いて年間の CFP を時系列ごとに推計している。この CFP は①国内の家庭から排出される GHG 排出量、②製品の製造やサービスの提供による GHG 排出量、③輸入品を調達する際に、輸入品が自国に入るまでの GHG 排出量の 3つの項目で内訳を示している。このように、EIOT を用いて国内の GHG 排出量を消費ベースの CFP と見なして報告しているのである。

このように、EIOT を用いて、国内外で国全体の評価や地域・都市に着目した評価、さらにある産業に特化する評価などが行われている。

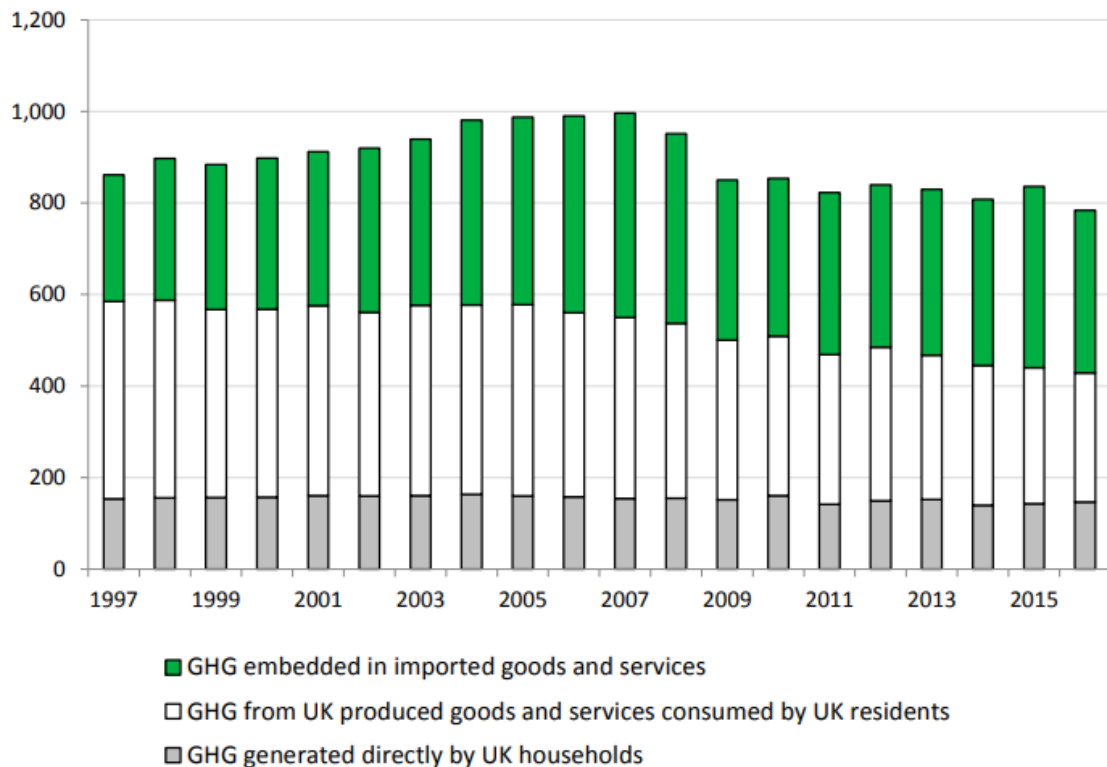


図 1.2.2 イギリスの CFP 推計結果 ²⁶⁾

1.2.1.2 廃棄物産業連関分析

国や地域における廃棄物の発生量や埋立量を把握するために、廃棄物産業連関分析（WIOA：Waste Input-Output Analysis）を用いた研究が行われてきた。これは廃棄物のフローを分析するために、廃棄物と廃棄物処理に関する産業連関表の部門を詳細化した廃棄物産業連関表（WIOT：Waste Input-Output Table）を中村ら（2002）²⁷⁾によって開発された。この手法は、Leontief（1970）²²⁾によって確立された産業連関分析（IOA：Input Output Analysis）の拡張にあたり、廃棄物発生起源をサプライチェーン全体で、評価することを可能とした。これを基に Lenzen et al（2014）²⁸⁾、Reynolds et al（2014）²⁹⁾はオーストラリアを対象に廃棄物のフローを分析するための廃棄物供給使用表（WSUT：Waste Supply-Use Table）の開発を行った。この研究では、各産業から発生する廃棄物量と埋立処分量を直接・間接に分けて影響を分析した。Chen et al（2015）³⁰⁾は台湾における産業廃棄物が副産物の投入とリサイクルによってどれだけ変化するか WIOT を用いて分析した。Beylot et al（2016）³¹⁾はフランスにおける廃棄物を廃棄物処理のみ、リサイクルの導入、廃棄物処理の技術改善を見込むといったシナリオで分析し、シナリオごとに CO₂、SO₂、NO_x の排出量を推計し、廃棄物マネジメントと合わせて大気への化学物質排出を分析した。Tisserant et al（2017）³²⁾は、固形廃棄物の量を貿易まで考慮した全球規模での評価を行うため、国際サプライチェーンを網羅した多地域間産業連関表の一つである EXIOBASE v2³⁾ という統計

データを用いて分析を行った。Tsukui et al (2015)³³⁾は東京都の産業連関表を基に、その他46道府県と国外(Rest of world)との接続を試み、さらに廃棄物と廃棄物処理の詳細化を行うことで、都市レベルでのWIOを推計し、その評価を行った。

このように、既存のIOA手法を応用した廃棄物フローを分析するための手法開発が行われているのが現状である。

1.2.2 統合評価モデル

1.2.2.1 統合評価モデルの種類

統合評価モデル(IAMs: Integrated Assessment Models)とは、対象とする国や地域における人間の経済活動に伴う環境負荷を経済構造やGDP、エネルギー需要をベースに推計することが可能なモデルである。特に将来のGHG排出量を推計することや、GHG推計のための将来社会シナリオの検討に用いられる。これまでの統合評価モデルは様々な研究機関が開発しており、Edmonds et al(2012)³⁴⁾やWang et al(2017)³⁵⁾が既存の統合評価モデルについての整理を行っている。本論では、それらが挙げている代表的なIAMsを表1.2.1に示した。どのIAMsでも将来のGHG排出量を推計している。また、そのGHG排出量は、土地改変により森林面積が変化することが、CO₂を吸収するポテンシャルが変わるという影響も考慮している。対象は全球規模やアジア地域といった広域なものもあれば、国レベルでの評価も可能としている。

表 1.2.1 既存の IAMs の整理

Model name	Institution	Area, Output	Application
Asia-Pacific Integrated Model (AIM)	National Institute for Environmental Science (NIES), Japan	Asia-Pacific, national economic level, GHG emissions	Akimoto et al. (2015) ³⁶⁾
Dynamic Integrated model of Climate and Economy (DICE)	Yale University, USA	Global, industrial and land use CO ₂ , anthropogenic emissions	Su et al. (2017) ³⁷⁾
Global Change Assessment Model (GCAM)	Joint Global Change Research Institute, USA	32 geopolitical regions, global primary energy, price of CO ₂ per ton	Thomson et al. (2011) ³⁸⁾
Integrated Model to Assess the Global Environment (IMAGE)	PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Netherlands	Global and national economic levels, CO ₂ equivalent, land use	Strengers et al. (2008) ³⁹⁾
Model for Energy Supply Strategy Alternatives and Their General Environmental Impact (MESSAGE)	International Institute for Applied Systems Analysis, Austria	Global and national economic levels, global CO ₂ emissions, land-use and land-cover change	Keywan et al. (2011) ⁴⁰⁾

1. 2. 2. 2 統合評価モデルの活用事例

IAMs を用いた代表的な活用事例は IPCC の報告書で議論された代表濃度経路シナリオ (RCP : Representative Concentration Pathways)⁴¹⁾ などの GHG 排出量の推計に用いられている。具体的には、Thomson et al(2011)⁴²⁾ は RCP4.5 のシナリオをベースに 2100 年までの GHG 排出量を推計し、Riahi et al (2011)⁴³⁾ は RCP8.5 シナリオの検討で IAMs を用いた。

日本では、国立環境研究所 (NIES : National Institute for Environmental Science) が開発した AIM : Asia-Pacific Integrated Assessment Model/CGE : Computable General Equilibrium[Japan]⁴⁰⁾モデルを用いて、約束草案が目標年にしている 2030 年の電力エネルギーミックスを検討した。その推計結果を図 1.2.3⁴⁵⁾に示す。2030 年の電力エネルギーミックスは、原子力発電を 10～11%維持し、再生可能エネルギーを全体の約 24.3%にすることで、2030 年の目標 26%削減 (2013 年基準) を達成するということを述べた。

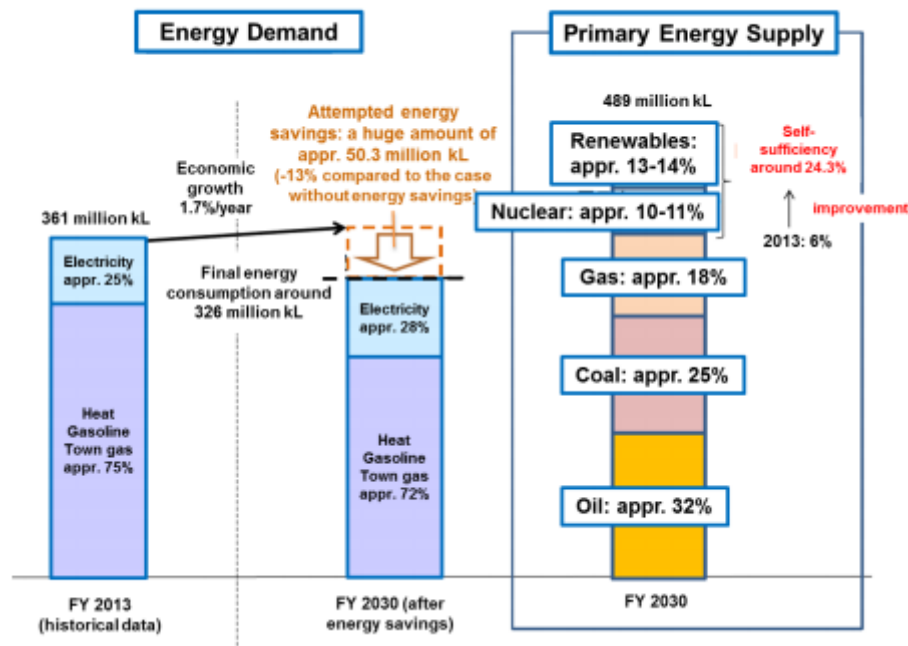


図 1.2.3 2030 年の電力エネルギーミックスの推計⁴⁵⁾

また、藤森ら（2017）が AIM を活用した GHG 排出量の結果を踏まえた気候変動への影響を報告した“Post-2020 Climate Action”⁴⁵⁾を発行した。この中では、約束草案を踏まえ、2050 年の GHG 排出量の将来推計を行っており、日本政府が目標とする 2050 年には GHG 排出量を 80%削減するに至るかどうかを議論した。AIM/Enduse[Japan]モデルを用いた将来推計を行った。このモデルで想定した仮定を表 1.2.2 に示した。ここでは、人口、実質 GDP、粗鋼の生産量、セメントの生産量、エチレンの生産量、紙・パルプの生産量、商業施設の占有面積、輸送についての数値を想定した。2050 年の人口は一億人を下回るが実質 GDP は 4.6 兆 US\$から、8.2 兆 US\$とかなり大幅に経済成長を見込んだシナリオである。結果は図 1.2.4 に示す。ここでは、①約束草案に基づく NDC シナリオ、②NDC より温暖化対策を行うシナリオ、③原子力発電の割合が著しく低いシナリオの 3 つで想定を行っている。②のシナリオが一番低い割合になっているのは、炭素税の導入を 2050 年 80%削減に合わせて設定しているためである。2030 年と 2050 年の推計結果を比較すると、家計由来の負荷が 2050 年でほとんどなくなっていることが読み取れる。これは、省エネルギーの技術革新と電力エネルギーミックスが改善されたことによるものと考えられる。また、2030 年ではほとんど変化がなかった輸送と製造業の部門でも、2050 年では大幅に削減されるという想定になることが分かる。

表 1.2.2 将来推計のための社会経済指標 ⁴⁵⁾

	2010	2030	2050
Population (million)	128	117	97
Real GDP (billion US\$ ₂₀₀₅)	4619	6406	8285
Crude steel production (Mt)	111	120	85
Cement production (Mt)	56	56	47
Ethylene production (Mt)	7.0	5.7	4.3
Paper and pulp production (Mt)	27	27	18
Commercial floor space (billion m ²)	1.83	1.97	1.91
Passenger transport (billion p-km)	1366	1410	1166
Freight transport (billion t-km)	451	520	505

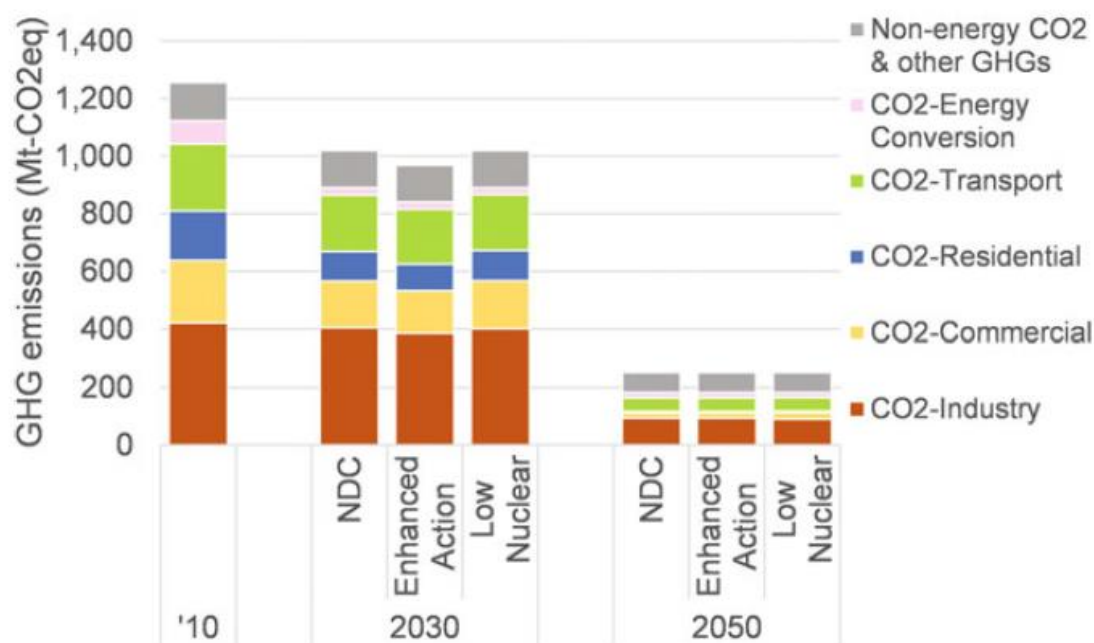


図 1.2.4 2050 年までの GHG 排出量将来推計 ⁴⁶⁾

しかしながら、GHG 排出量の将来推計が IAMs を用いることで実施できるが、部門分類が粗いことにより、具体的にどの製造業やどの輸送、どの家計由来の消費活動が GHG 排出量に大きく貢献できるのかという具体的な分析には至らないのが現状である。さらに、このモデルの限界として、再生可能エネルギーを導入する導入コストを加味しているものの、実際にそのインフラを整備する土地面積の確保、また、材料調達の確保などは必ずしも考慮されていない。具体的には、太陽光発電を整備する場合に、その材料となるシリコンがどれくらい必要で、どこに太陽光パネルを設置するかといった具体的なところまでは考慮しきれていないのである。

1.3 まとめ

本章では社会背景及び研究背景について述べてきた。これまでの内容を以下にまとめる。

□気候変動

パリ協定や IPCC の特別報告書で述べられている GHG 排出量削減のために、国単位で約束草案を作成し環境政策を宣言している。その対策は国化石由来の燃料効率の改善、再生可能エネルギーの導入などが挙げられているが、将来を見据えたサプライチェーンを網羅した評価手法が必要である。

□廃棄物

資源効率化、資源循環に対する需要が高まる一方で、気候変動との関わりも重要視されるようになった。これは、新しい製品を全て新しい素材で作るより、環境負荷が低減するからである。一方で、廃棄物の発生起源での総量を把握し、対策は考えられているものの、それが、家計、事業所、政府といったどの最終需要由来であるのかといった評価が行われていない。

そのうえで、現状行われている LCA の研究分野における産業連関分析 (IOA) を活用した環境フットプリントの既存研究及び統合評価モデル (IAMs) を駆使した GHG 将来推計の既存研究について整理した。これらを踏まえ、IOA と IAMs の利点と課題を以下に示す。

□産業連関分析：IOA

(利点)

- ・ 最終需要による経済波及効果をカバーすることができるので、最終需要までの上流におけるサプライチェーンを網羅した評価が可能である
- ・ 最終需要ごと、産業部門ごとと分析がより詳細に行える
- ・ 国全体の環境フットプリントを推計する際に、消費国側に輸入品に関わる環境負荷を負わせることができる
- ・ 廃棄物と廃棄物処理における部門拡張をすることにより、廃棄物のフローを分析することが可能である

(課題)

- ・ 将来の環境負荷を推計するような、時間軸に対する柔軟な評価は困難であること。

具体的には、日本の産業連関表であれば、基本分類の取引基本表で、行の中間投入と列の中間需要を同じ部門数にするために統合した約 400 部門であれば、約 20 万の要素があり、それらすべての構造を仮定する必要があるため、将来推計が困難である。

□統合評価モデル：IAMs

(利点)

- ・ 将来の経済構造を推計することができる
- ・ 将来の GHG 排出量を推計することができる
- ・ 将来社会シナリオの検討に用いることができる

産業連関分析で困難であった、産業構造の将来推計について、統合評価モデルにより推計が可能な理由は、基準年の消費行動や産業間での取引が最適であったという仮定のもと、家計の効用が最大化することや企業の利潤を最大化するような均衡に基づき、代替の係数は一定として、外生的に与えられた人口、GDP に基づき、将来予測をすることが可能であるためである。このように統合評価モデルを用いた産業構造の将来推計は行われてきたものの、産業連関表のように経済波及を分析するような視点での分析は明示的に行われてこなかったのが現状である。

(課題)

- ・ 家計や事業所から直接排出される環境負荷のみで、財・サービスを購入してくるまでのサプライチェーンを網羅した将来推計は行われていない
- ・ 産業部門が粗く、どの産業部門に着目すべきなのかという解釈が困難である。

参考文献

- 1) IPCC, Global Warming of 1.5°C, Chapter 1, p51, 入手先, (オンライン) <
<https://www.ipcc.ch/sr15/> >
- 2) IPCC, Global Warming of 1.5°C, Chapter 2, p100, 入手先, (オンライン) <
<https://www.ipcc.ch/sr15/> >
- 3) IPCC, Global Warming of 1.5°C, Chapter 2, p110, 入手先, (オンライン) <
<https://www.ipcc.ch/sr15/> >
- 4) IPCC, Global Warming of 1.5°C, Chapter 4, p370, 入手先, (オンライン) <
<https://www.ipcc.ch/sr15/> >
- 5) UNFCCC, NDCs, , 入手先, (オンライン) <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs>>
- 6) Global Carbon Atlas, Territorial (Mt CO₂), 入手先, (オンライン) <
<http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>>
- 7) UNFCCC, China's NDCs, 入手先, (オンライン) <
<https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/China/1/China's%20INDC%20-%20on%2030%20June%202015.pdf>>
- 8) UNFCCC, USA's NDCs, 入手先, (オンライン) <
<https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/United%20States%20of%20America/1/U.S.%20Cover%20Note%20INDC%20and%20Accompanying%20Information.pdf>>
- 9) UNFCCC, India's NDCs, 入手先, (オンライン) <
<https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/India/1/INDIA%20INDC%20TO%20UNFCCC.pdf>>
- 10) UNFCCC, Russia's NDCs, 入手先, (オンライン) <
<https://www4.unfccc.int/sites/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>>
- 11) 環境省, “日本の約束草案”, 入手先, (オンライン), <
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html> >
- 12) World Bank, (2018) (20/9/2018 update) What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 <
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> > 3/6/2019 referred
- 13) 環境省, (2018) (2018.6.19 更新)第四次循環型社会形成推進基本気計画, 入手先, (オンライン), <
<https://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku.html> > 2019.6.3 参照
- 14) 環境省, (2018) (2018.6.19 更新)第四次循環型社会形成推進基本気計画, p5, 入手先, (オンライン), <
<https://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku.html> > 2019.6.3 参照
- 15) 伊坪徳宏, LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法, p15

- 16) ISO14040, 入手先, (オンライン), <<https://www.iso.org/standard/37456.html>>
- 17) ISO14040, 入手先, (オンライン), <<https://www.iso.org/standard/72357.html>>
- 18) Hellweg, S.; Canals, L. M. I. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*. 2014, 344, 1109–1113. <https://doi.org/10.1126/science.1248361>
- 19) The Enviromental Footprint Pilots, European commission, Availabe online: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/footprint/PEF%20methodology%20final%20draft.pdf> (accessed on 8th,Jan,2020)
- 20) Arnold, T.; Tatyana, B.; Stefan, G.; Arjan, D. K.; Stephan, L.; Moana, S; Konstantin, S.; Richard, W. The Global Resource Footprint of Nations. Carbon, woter, land and materials embodied in trade and final consumption calculated with EXIOBASE 2.1. 1st ed.; Jaya Mohan: The Netherlands Organization for Applied Scientific Research, Netherland, 2014; pp. 7–9, 50
- 21) EXIOBASE, EXIOBASE Consortium, Availabe online: <https://www.exiobase.eu/> (accessed on 8th,Jan,2020)
- 22) Leontief, W. Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States, *REV ECON STAT* 1936, 18, 105-125 <https://doi.org/10.2307/1927837>
- 23) Nansai, K. Environmental Input-Output Database Building in Japan, 1st ed.; Springer, Springer Netherlands, 2009 ; pp. 653-688 [<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5737-3>]
- 24) Long, Y.; Yoshida, Y.; Dong L. Exploring the indirect household carbon emissions by source: Analysis on 49 Japanese cities. *Journal of Cleaner Production*. 2017, 167, 571–581. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.159>
- 25) Nansai, K.; Fry, J.; Malik, Arunima.; Takayanagi, W.; Kondo, N. Carbon footprint of Japanese health care services from 2011 to 2015, *Resources, Conservation and Recycling*. 2020, 152, 1–10 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104525>
- 26) Official Statistics UK's carbon footprint, GOV.UK, 2019. Available online: <https://www.gov.uk/government/statistics/uks-carbon-footprint> (accessed on 24th August 2019)tabel
- 27) Nakamura, Shinichiro and Kondo, Yasushi (2002) Input-output analysis of waste management, *Journal of Industrial Ecology* vol.6, No.1, pp39~63
- 28) Lenzen, Manfred and Reynolds, Christian (2014) A supply-use approach to waste input-output analysis, *Journal of Industrial Ecology* vol.18, No.2, pp216~226
- 29) Reynolds, Christian., Piantadosi, Jilia and John, Boland (2014) A Waste Supply-Use Analysis of Australian Waste Flows, *Journal of Economic Structures* vol.3, No.5, pp1~16
- 30) Chen, Pi-Cheng and Ma, Hwong-wen (2015) Using an Industrial Waste Account to

- Facilitate National Level Industrial Symbioses by Uncovering the Waste Exchange Potential, *Journal of Industrial Ecology* vol.19, No.6, pp950~962
- 31) Beylot, Antoine., Vaxelaire, Stephane and, Villeneuve, Jacques (2016) Reducing Gaseous Emissions and Resource Consumption Embodied in French Final Demand, *Journal of Industrial Ecology* vol.20, No.4, pp905~916
 - 32) Tisserant, Alexandre., Pauliuk, Stefan., Merciai, Sefano., Schmidt, Jannick., Jacob Fry., Wood, Richard and Arnold Tukker (2017) Solid Waste and the Circular Economy : A Global Analysis of Waste Treatment and Waste Footprints, *Journal of Industrial Ecology* vol.21, No.3, pp628~640
 - 33) Tsukui, Maiko., Kagawa, Shingemi and Kondo, Yasuhi (2015) Measuring the waste footprint of cities in Japan: an interregional waste input–output analysis, *Journal of Economic Structures* 4, No.18, pp1~24
 - 34) Edmonds, A. James.; Calvin, V. Katherine.; Clarke, E. Leon.; Janetos, C. Anthony.; Kim, H. Son.; Wise, A. Marchall and McJeon, C. Haewon;(2012) Integrated Assessment Modeling https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_359
 - 35) Wang, Z.; Wu, J.; Liu, C.; Gu, G. Integrated Assessment Models of Climate Change Economics, 1st ed.; Springer, Kampong Glam, Singapore, 2017; pp. 2-7
 - 36) Akimoto, K.; Bianka, S. Tehrani.; Sano, F.; Oda, J.; Kainuma, M.; Masui, T.; Oshiro, K. MILES(Modeling and Informing Low Emissions Strategies) Project—Japan Policy Paper: A joint analysis of Japan’s INDC, Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Japan, 2015; pp. 6–11
 - 37) Su, X.; Takahashi, K.; Fujimori, S.; Hasegawa, T.; Tanaka, K.; Kato, E.; Shiogama, H.; Masui, T.; Emori, S. Emission pathways to achieve 2.0° C and 1.5° C climate targets. *Earth’s Future* 2017, 5, 592–604 <https://doi.org/10.1002/2016EF000492>
 - 38) Thomson, A. M.; Calvin, K.V.; Smith, S. J.; Kyle, G. P.; Volke, A.; Patel, P.; Delgado-Arias, S.; Bond-Lamberty, B.; Wise, M. A.; Clarke, L. E.; Edmonds, J.A. RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change* 2011, 109, 77–94 <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>
 - 39) Strengers, B. J.; Van, Minnen J. G.; Eickhout, B. The role of carbon plantations in mitigating climate change: Potentials and costs. *Climatic Change* 2011, 88, 343–366 <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9334-4>
 - 40) International Institute for Applied Systems Analysis, MESSAGE, 入手先, (オンライン), <
<https://www.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/Energy/MESSAGE.en.html>>
 - 41) 全国地球温暖化防止活動推進センター, “将来予測における「RCP シナリオ」”, 入手

- 先, (オンライン), <<https://www.jccca.org/ipcc/ar5/rcp.html>>
- 42) Thomson, A. M.; Calvin, K. V.; Smith, S. J.; Kyle, G. P.; Volke, A.; Patel, P.; Delgado-Arias, S.; Bond-Lamberty, B.; Wise, M. A.; Clarke, L. E. Edmonds J.A.RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100, *Clim. Change* 2011, 109, 77-94 <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>
 - 43) Riahi, K.; Rao, S.; Krey, V.; Cho, C.; Chirkov, V.; Fischer, G.; Kindermann, G.; Nakicenovic, N.; Rafaj, P. RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions, *Clim. Change* 2011, 109, 33-57 <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
 - 44) Asia-Pacific Integrated Model, AIM Project Team All Rights Reserved. 入手先, (オンライン), <<http://www-iam.nies.go.jp/aim/> (accessed on 26 August 2019)>
 - 45) Akimoto, K.; Bianka, S. Tehrani.; Sano, F.; Oda, J.; Kainuma, M.; Masui, T.; Oshiro, K. MILES(Modeling and Informing Low Emissions Strategies) Project—Japan Policy Paper: A joint analysis of Japan’s INDC, Research Institute of Innovative Technology for the Earth, Japan, 2015; pp. 6–11
 - 46) Fujimori, S.; Kainuma, M.; Masui, T. Post-2020 Climate Action Global and Asian Perspective, Springer, Kampong Glam, Singapore, 2017; pp. 143–156

第2章 研究目的

2.1 研究目的

第1章では、気候変動と廃棄物の現状を把握した。それを踏まえ、以下に本研究の研究目的を設定する。

＜研究目的＞

- ① 廃棄物の発生等をライフサイクル全体で網羅的に評価し、廃棄物マネジメントを考えるための情報を提供する。
- ② 廃棄物と気候変動を同じ枠組みで評価し、廃棄物マネジメントと気候変動の対策を考える。
- ③ 国を対象とした環境フットプリントの将来推計を行うこと。

上記の目的を達成するため、既存の産業連関分析の拡張をすることを検討する。

- A) 廃棄物産業連関表を用いて、廃棄物のデータベースを作成し、廃棄物フットプリントを産業連関分析に基づき推計する
- B) IOA と IAMs を組み合わせることにより、将来の産業連関表を推計し、これに基づく環境フットプリントを推計する

さらにこれらにより本研究によって、期待される効果を以下に示す。

＜期待される効果＞

1. 廃棄物マネジメントの検討をより詳細に実施できる
どの産業部門から排出される廃棄物が大きく起因するのかを分析することが可能となり、廃棄物を削減する優先順位をつけることが期待される。
2. サプライチェーンを網羅した廃棄物量の評価
財・サービスの upstream から downstream に至るまでの廃棄物量を網羅することができるため、材料調達、製造、輸送、使用、廃棄・リサイクルといったライフステージごとの環境負荷を分析することが可能となる。
3. 廃棄物の発生量、投入量、埋立量ごとの推計
廃棄物量の発生量だけではなく、投入量を推計することにより、どれくらいの削減効果があったのかを分析することが可能となる。また、発生量と埋立量を比較することで最終的な環境影響を分析することが期待される。

4. 産業連関分析に基づく廃棄物のデータベース構築

産業連関分析に基づく廃棄物のデータベースは、既存研究で述べた同じ手法体系で推計されている GHG 排出量のデータベースと比較することが可能となる。これにより、廃棄物マネジメントと気候変動の環境負荷を比較することが可能となり、より環境政策の意思決定に貢献できると期待する。

5. カーボンフットプリント（CFP）の将来推計

IOA と IAMs を組み合わせることによる CFP の将来推計は、どの最終需要によるフットプリントが大きくなるのかを産業部門ごとに分析することが可能となるで、その主体の活動に対する言及ができると期待される。

6. 産業連関分析に基づく将来推計

統合評価モデルを駆使した産業連関表を将来推計することは明示的に検討されてこなかった。今回はこの既存の方法を将来の環境フットプリントとして結果を示すことで、将来の社会像をイメージした推計結果となるので、想定した社会では、どの産業がどれくらいの総生産となるのかを分析することが可能となる。また、高齢化や経済成長といった社会側面の影響と環境負荷との関わりを分析することが可能となる。さらに、産業部門数がより詳細であるため、既存研究より詳細な解釈が可能で、その対策を言及できることが期待される。

2.2 本研究の構造

本論文の構成を以下に示す。(図 2.2.1)

第3章では、廃棄物産業連関表を駆使した日本の廃棄物フットプリントのデータベースとその推計結果について示した。

第4章では、産業連関分析と統合評価モデルを融合したことによる日本のカーボンフットプリントの将来推計結果を示した。想定したシナリオごとに炭素生産性が各産業でどのくらい変化したのかを分析した。

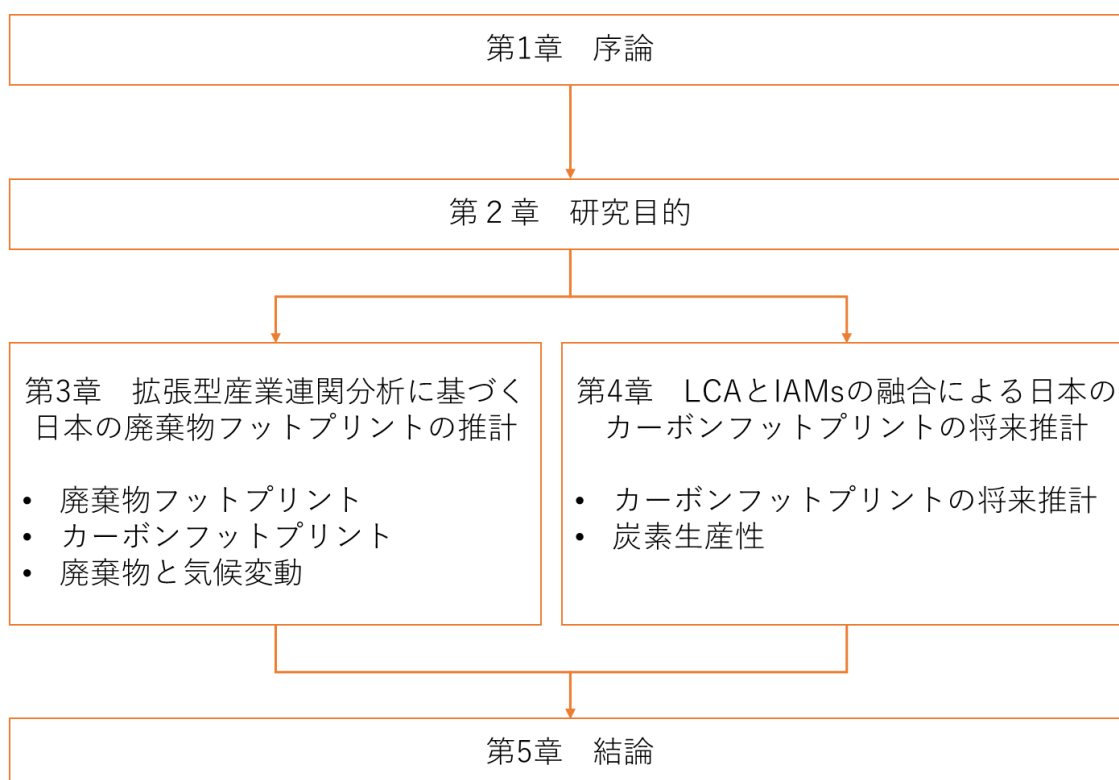


図 2.2.1 本論文の構成

第3章 拡張型産業連関分析に基づく日本の廃棄物フットプリント

本章では廃棄物産業連関表（WIOT：Waste Input-Output Table）に基づく、日本の廃棄物フットプリントの推計及び気候変動を考慮した廃棄物マネジメントについての研究成果を報告する。この研究成果は投稿論文として環境情報科学 学術研究論文集 33¹⁾に掲載された。

3.1 廃棄物フットプリントの定義

ここでは、本研究が対象とする廃棄物フットプリントの定義を説明する。図 3.1.1 は廃棄物フットプリントの範囲を示した図である。廃棄物の排出量に関しては、回収後に処理工場で処理される廃棄物処理量と再資源されて再利用される再生資源量に分けられる。

この三者の関係式は式 3-1 となる。

$$\text{廃棄物排出量} = \text{廃棄物処理量} + \text{再生資源量} \quad (\text{式 3-1})$$

廃棄物の排出量は、各産業の生産活動により排出される産業廃棄物とそれ以外の一般廃棄物に分けられる。一般廃棄物のごみとし尿に分けられる。ごみは一般家庭から排出される家庭系と事業者から排出される事業系の二つに分かれる。産業廃棄物と一般廃棄物は資源化施設や処理工場を経て、再生資源化されるか、最終的に埋め立てられる最終処分量になる。

本研究における廃棄物フットプリントの対象は、

- ① 発生量：一般廃棄物の家庭系ごみ、事業系ごみ、産業廃棄物
- ② 最終処分量：一般廃棄物、産業廃棄物の埋め立て処分量

とする。これらが、家計、企業、政府といった最終需要が行う一年間の経済活動により誘引される発生量及び最終処分量を廃棄物フットプリントと定義する。

災害廃棄物、不法投棄、し尿に関しては本研究では対象外とした。

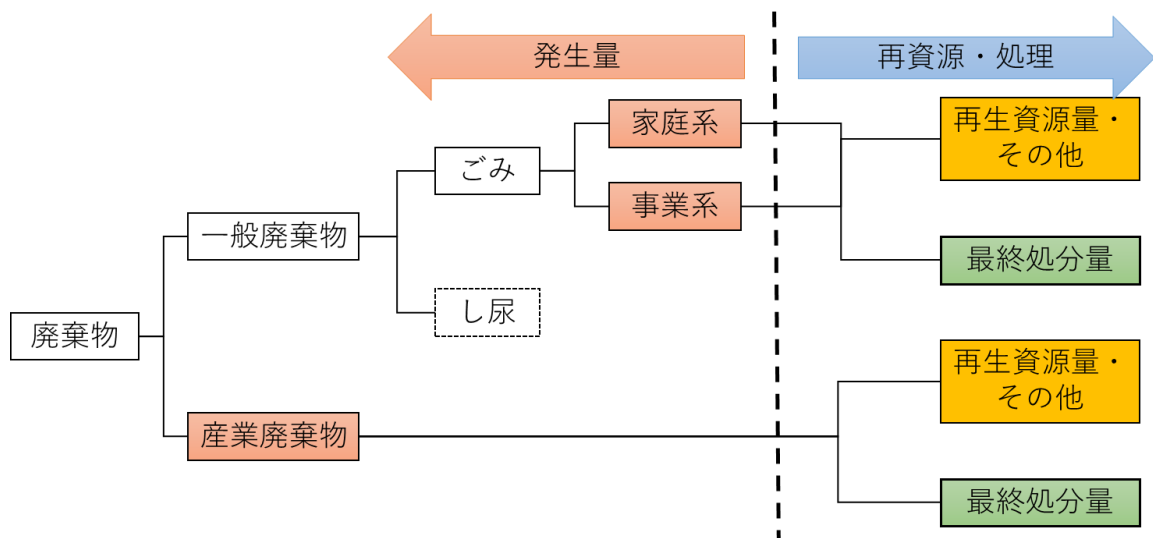


図 3.1.1 廃棄物フットプリントの範囲

3.2 廃棄物フットプリントの推計方法

利用する廃棄物産業連関表(WIO:Waste Input-Output Table)は近藤らが開発した 2011 年表²⁾を用いた。これは、総務省統計局が公開している 2011 年産業連関表における生産者価格の取引基本表 基本分類³⁾のひな型を基に開発されたものである。こちらの表との相違点は、既存の廃棄物処理部門である「廃棄物処理(公営)」「廃棄物処理(産業)」の二部門に対し、行部門では廃棄物の投入と排出を詳細化している。また、列部門では廃棄物処理を詳細化している。各部門に対する廃棄物の投入量、排出量や廃棄物の処分量に関しては、環境省が公開している「産業廃棄物の排出及び所持状況等」⁴⁾、「一般廃棄物の排出及び処理状況等」⁵⁾を基に推計されている。産業廃棄物については、各業種が排出する廃棄物量が統計値として公開されている。一般廃棄物に関しては、各家庭から排出される廃棄物量が統計値として公開されている。また、家電リサイクル法⁶⁾が対象としている、家庭用エアコン、テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機・乾燥機の 4 項目に関しては、含まれていない。

ただし、廃棄物の部門数に対して、廃棄物処理の方が部門数は少ない非正方形となっている。そこで、近藤らが開発した、どの廃棄物がどのように処理されるかを表す配分行列²⁾を用いることで、廃棄物を廃棄物処理と同じ部門数に揃えることで正方化した。これにより、逆行列の分析が可能となる。本研究で用いた WIO のひな型を図 3.2.1 に示す。これを基にレオンチェフの逆行列を求めた。

		動脈部門			廃棄物処理部門			最終需要	国内生産額
		部門I	...	部門N	部門L	...	部門K		
動脈部門	部門I								
	⋮								
	部門N								
廃棄物排出	部門I								
	⋮								
	部門M								
廃棄物投入	部門L								
	⋮								
	部門M								
粗付加価値									
国内生産額									
環境負荷									

		動脈部門			廃棄物処理部門			最終需要	国内生産額
		部門I	...	部門N	部門L	...	部門K		
動脈部門	部門I	X_A			X_T				
	⋮								
	部門N								
廃棄物純排出	部門L	W_A			W_T				
	⋮								
	部門K								
粗付加価値									
国内生産額									
環境負荷									

図 3.2.1 廃棄物産業連関表のひな型（左：内生部門非正方，右：内生部門正方）²⁾

$$Z = \begin{bmatrix} X_A & X_T \\ W_{RA} & W_{RT} \\ W_{TA} & W_{TT} \end{bmatrix} \quad (\text{式 3-2})$$

$$Z' = \begin{bmatrix} X_A & X_T \\ SW_A & SW_T \end{bmatrix} \quad (\text{式 3-3})$$

$$A = \begin{bmatrix} A_A & A_T \\ SG_A & SG_T \end{bmatrix} \quad (\text{式 3-4})$$

$$d_w = \frac{1}{Y_i} \begin{bmatrix} W_{RA} & W_{RT} \\ W_{TA} & W_{TT} \end{bmatrix} \quad (\text{式 3-5})$$

$$\text{Waste Footprint} = d_w \begin{bmatrix} I - A_A & -A_T \\ -SG_A & I - SG_T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F_A \\ F_T \end{bmatrix} + E \quad (\text{式 3-6})$$

それぞれの変数は、 Z ：非正方形の内生部門、 Z' ：正方後の内生部門、 X ：動脈部門の行列、 W ：廃棄物の行列、 S ：配分行列、 G ：純排出量、 Y ：国内生産額、 A ：投入係数行列、 d_w ：直接廃棄物ベクトル、 F ：最終需要である。添え字は A ：中間投入の部門、 R ：廃棄物発生の部門、 T ：廃棄物投入の部門である。 E ：直接廃棄物排出量

式 3-2、3-3 はそれぞれ、非正方形と正方形の内生部門を表し、式 3-4 は内生部門の列を各部門の国内生産額で除すことにより、1 単位あたりの投入係数をまとめた投入係数行列である。式 3-5 は部門別の廃棄物発生量、投入量、最終処分量を国内生産額で除すことで、

得られる係数である。式 3-6 では、式 3-4 で得た投入係数行列を基に、レオンチェフ逆行列を作成し、前から式 3-5 の直接廃棄物ベクトルと後ろから最終需要を乗じることで、廃棄物フットプリントを求めることができる。なお、最終需要に関しては、輸入品を生産するまでに発生した廃棄物の負荷を計上するため、輸入額を含む。ただし、輸入品は国産品と同等のプロセスで得られたものと仮定する。逆に、海外の需要のために生産する輸出品に関しては、海外分の環境負荷と見なすため、今回の対象外とする。家庭から直接排出される一般廃棄物に関しては、 E で考慮する。式 3-6 で最終需要を乗じた値までは、最終需要が購入するまでの廃棄物の発生量を範囲とする。すなわち、購入したものを捨てるところまでは、含まれていないので、 E で考慮することとした。なお、最終処分量に関しては、廃棄物処理部門に埋立処分量に関する列があるので、直接廃棄物ベクトルで考慮されているため、算出することができる。結果の分析を行う際には、各産業の直接分と間接分を含めた廃棄物発生量と廃棄物最終処分量で分析を行う。

また、本研究ではライフサイクルの視点に基づき、製品やサービスにおける材料調達、製造、流通、使用、廃棄・リサイクル別に廃棄物フットプリントを推計する。これにより、廃棄段階だけでなく、最終需要による材料調達から使用段階における廃棄物量を推計することを考えた。式 3-6 における最終需要 F それぞれの各産業との取引額をライフステージ別に分けることを考えた。そのルールを以下の表に示す。なお、式 3-6 における直接廃棄物排出量 E は、使用段階に分類した。

表 3.2.1 廃棄物フットプリントのライフステージの分け方

ライフステージ	部門分類
材料調達	米からその他の鉱物まで(工場で製造されない)
製造	食肉(工場で製造されるもの)～建設まで
流通	卸売、小売、倉庫
使用	サービス産業全般
廃棄・リサイクル	廃棄物排出の部門

3.2.1 CFP の推計

本研究では、WIO で得られる情報を基に CFP の推計を行った。算定式は以下のとおりである。

$$\text{Carbon Footprint} = d_c(I - A)^{-1}f + E' \quad (\text{式 3-7})$$

d_c ：直接 GHG 排出係数[t-CO₂eq/百万円]、 $(I - A)^{-1}$ ：レオンチェフ逆行列、 f ：最終需要[百万円]、 E' ：直接燃焼分 [t-CO₂eq] である。特にこの E' においては、IOA を用いて

最終需要を活動量とした場合、生産者価格ベースの評価であるため、製品を購入したところまでの負荷までが反映される。例えば、自家用車のためにガソリンを購入した場合、購入までの負荷は含まれるが、走行時のガソリン燃焼分負荷が計上されないため、別で計上する必要がある。そこで、最終需要の家計支出、家計外消費支出で投入される燃料の取引額を基に、田原らが開発した IDEA.v2 (Inventory Database for Environmental Analysis : 以下、IDEA.v2)⁷⁾のデータを用いて燃料燃焼の負荷を推計し、この製品使用時の負荷を E' で考慮した。

d_c に関しては、各産業部門から排出される GHG 排出量を生産額あたりで整備する必要がある。本研究では、IDEA.v2 を用いた。このデータベースは約 3800 の製品、サービスに関する環境負荷を算定するためのプロセスデータを格納している。このデータベースは日本標準産業分類と整合性があり、政府が公開している産業連関表の産業分類と同じものを利用しているため、親和性がある。このデータを基に各産業部門における生産額あたりの負荷としてデータ整備を行い、生産額あたりの GHG 排出量である d_c を推計した。また、既存の産業連関表では表現することができていない、WIO で拡張した廃棄物部門、廃棄物処理部門における直接 GHG 排出量は、廃棄物が処分場で処分される際の廃棄物の燃焼に関するプロセスデータを用いることで、推計することができる。これにより、全ての産業部門から直接排出される GHG 排出量とレオンチェフ逆行列を用いた経済波及を考慮した間接排出を含め、 f : 最終需要により誘引される日本の全体の CFP を推計した。

3.3 結果

3.3.1 廃棄物フットプリント原単位

図 3.3.1 は産業廃棄物の原単位を散布図したものである。廃棄物産業連関表では、内生部門の一次産業、二次産業、三次産業（廃棄物処理部門を除く）は生産額あたりの産業廃棄物発生量になるので、単位は[t/百万円]。それに対し、廃棄物処理部門は廃棄物処理量あたりの発生量になっているので[t/t]である。したがって、グラフの単位は[t/Unit]になっている。一次産業においては、畜産業である肉鶏、その他畜産物などが大きな値となっている。これは、動物の糞尿、動物の死がいによるものである。二次産業では、石炭製品の値が大きく、有機性汚泥が主な割合を占める。三次産業では、下水道の原単位が大きな値となり、汚泥が大きな割合を占めている結果となった。

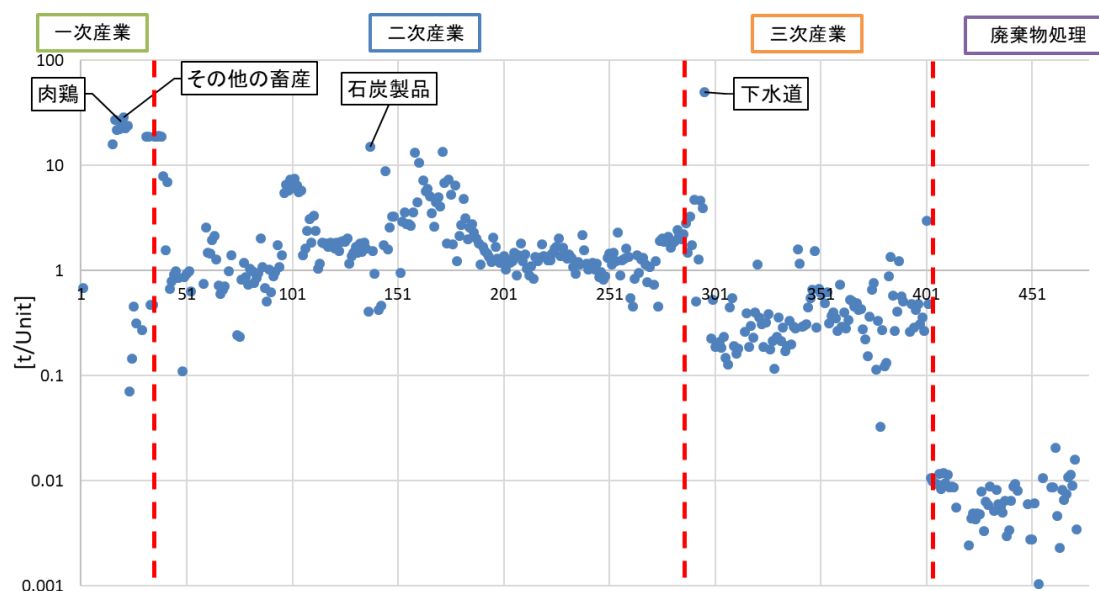


図 3.3.1 産業廃棄物発生量の原単位

図 3.3.2 は図 3.3.1 と同様の形式で一般廃棄物の原単位を散布図したものである。一次産業では、麦類、豆類の原単位が大きく二次産業では、製粉の部門で廃棄物発生量が大きくなっている。ここで考慮されている一般廃棄物は家系ごみではなく、事業系ごみが対象となっている。事業系ごみは、紙・布類の発生量が大きく影響する。麦類、豆類に関しては、国内生産額が他の産業と比較するとそれぞれ、約 400 部門中 13 番目、23 番目に小さい生産額である。これに対し、紙・布類の発生が大きいので、相対的に原単位が大きくなっている。また、製粉は麦類の影響により、発生量の原単位が大きくなっている。

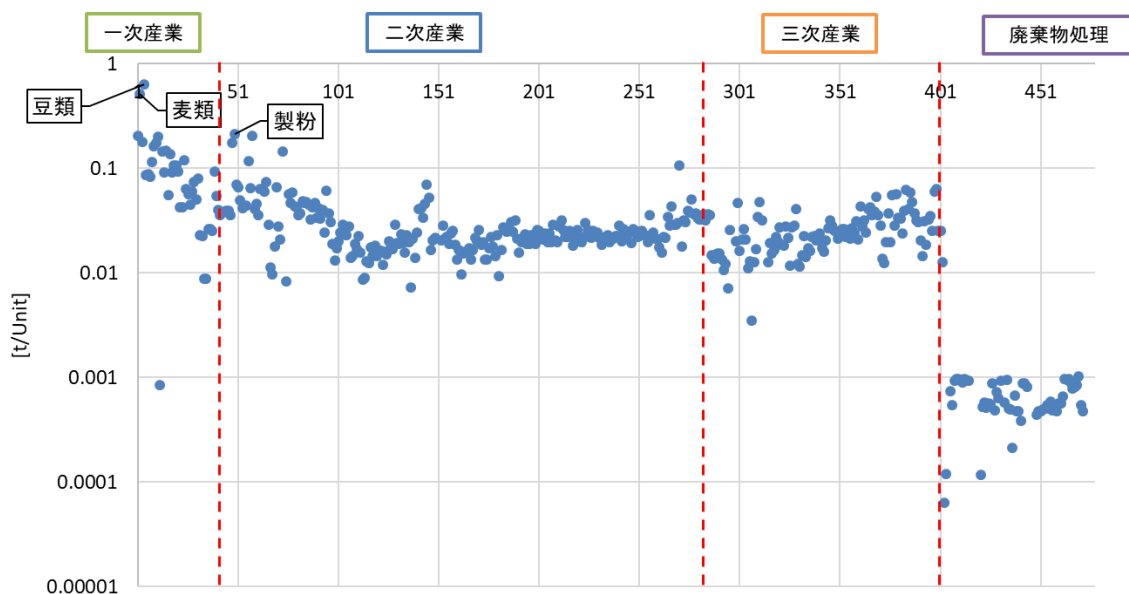


図 3.3.2 一般廃棄物発生量の原単位

本研究で作成した廃棄物フットプリントの原単位は付録①～付録③に示す。産業連関表の統合小分類で各産業の産業廃棄物発生量を付録①、一般廃棄物発生量を付録②、廃棄物の埋立を付録③に示す。

3.3.2 廃棄物フットプリントの推計

図 3.3.3 は廃棄物フットプリントの総量を一般廃棄物、産業廃棄物別で示した結果である。発生量に関しては、発生した量を正値とし、投入は負値として表現し、純排出量はその差分をとった値である。発生量と投入量を比較すると、投入量の総量は発生量の総量の約 20%を占めるといふ推計結果になった。処分量に関しては、発生量と比較すると一廃は約 11%、産廃は約 4%が埋立処分されるということが分かった。

図 3.3.4 は最終需要別の廃棄物フットプリントの結果を示した。さらに図 3.3.5 に発生量の内訳を産業部門別で示した。最終需要別に分析すると家計由来の発生量が全体の約 62%で、次いで固定資本で約 28%占めているという結果になった。

図 3.3.5 の産業部門別で表示した結果と比較すると飲食サービス、下水道の負荷が大きいことが分かる。これは、消費者が外食する負荷により、廃棄物フットプリントが大きくなっていることが分かる。また、非住宅建築（非木造）、住宅建築（木造）が大きくなっているのは、固定資本の最終需要に誘引される廃棄物フットプリントとなっている。

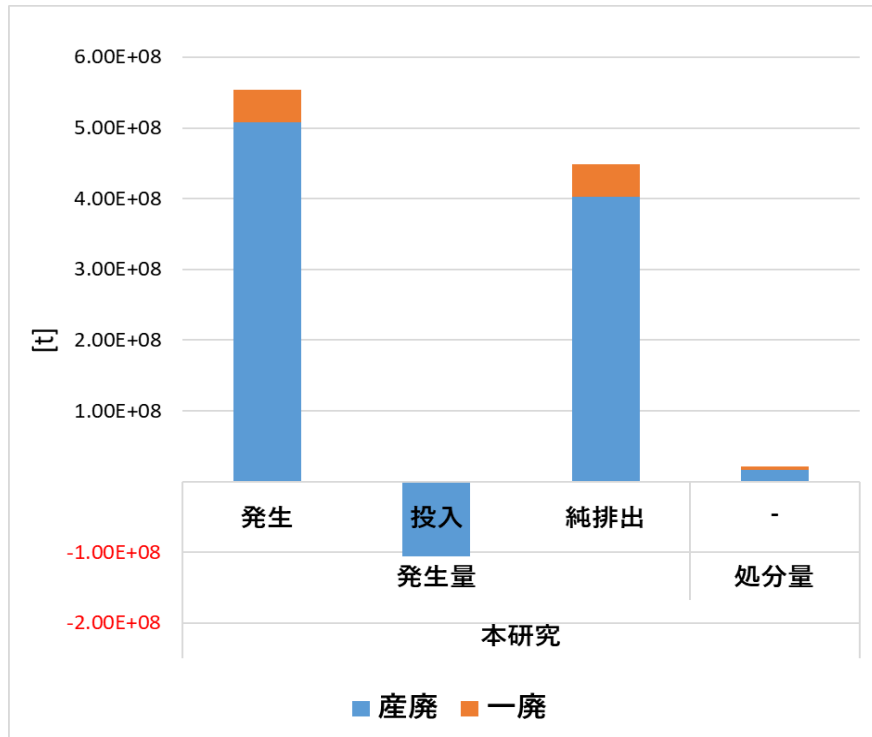


図 3.3.3 廃棄物フットプリント（一般廃棄物、産業廃棄物別）

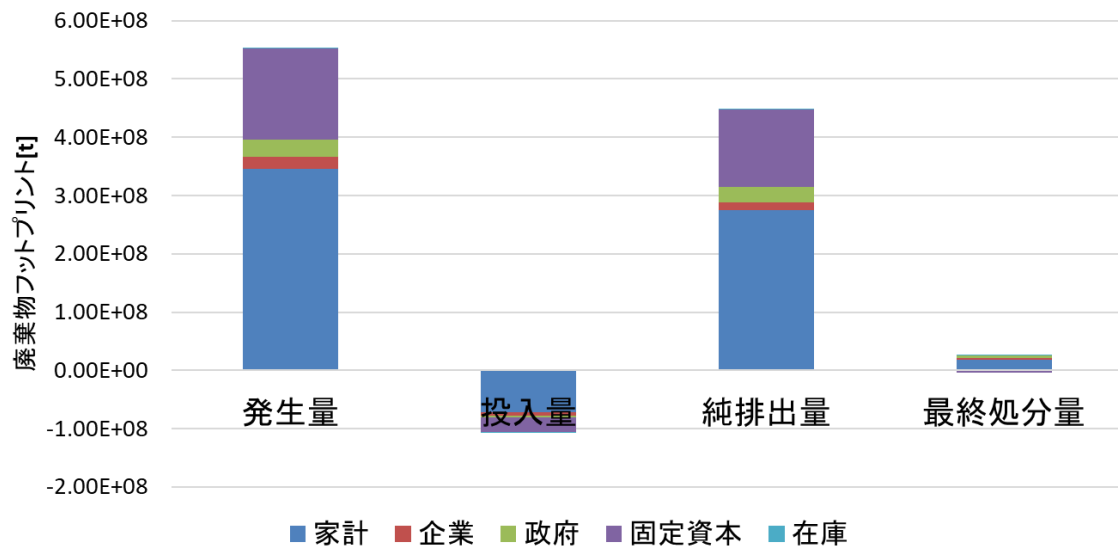


図 3.3.4 廃棄物フットプリント（最終需要別）

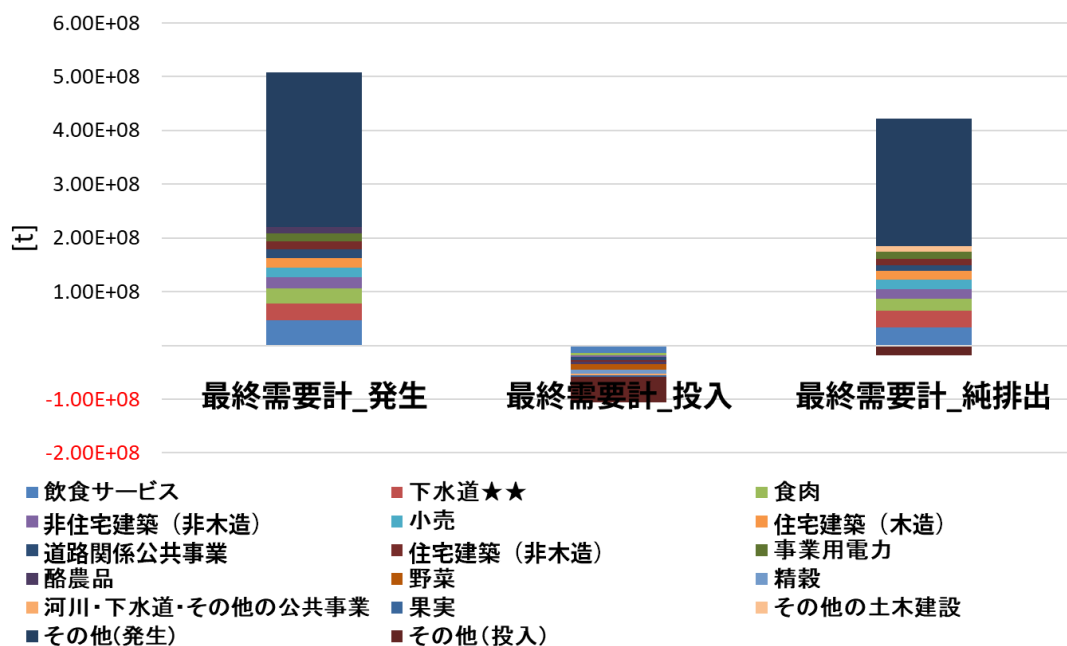


図 3.3.5 廃棄物フットプリント（産業部門別）

3.3.3 家計に着目した廃棄物フットプリント

ここでは、3.3.2 節の廃棄物フットプリントを家計に着目し、ライフステージ別で分析した結果を報告する。図 3.3.6 は家計の廃棄物フットプリントをライフステージ別で図示した結果である。産業廃棄物に関しては、廃棄・リサイクルの段階におけるフットプリントより、製造、使用におけるフットプリントが大きい結果になった。したがって、サプライチェーンを考慮すると、その上流における廃棄物の発生量は無視できるものではないことが言える。また、埋立に関しては、直接廃棄される一廃の値が間接的に廃棄される量より大きくなっている。

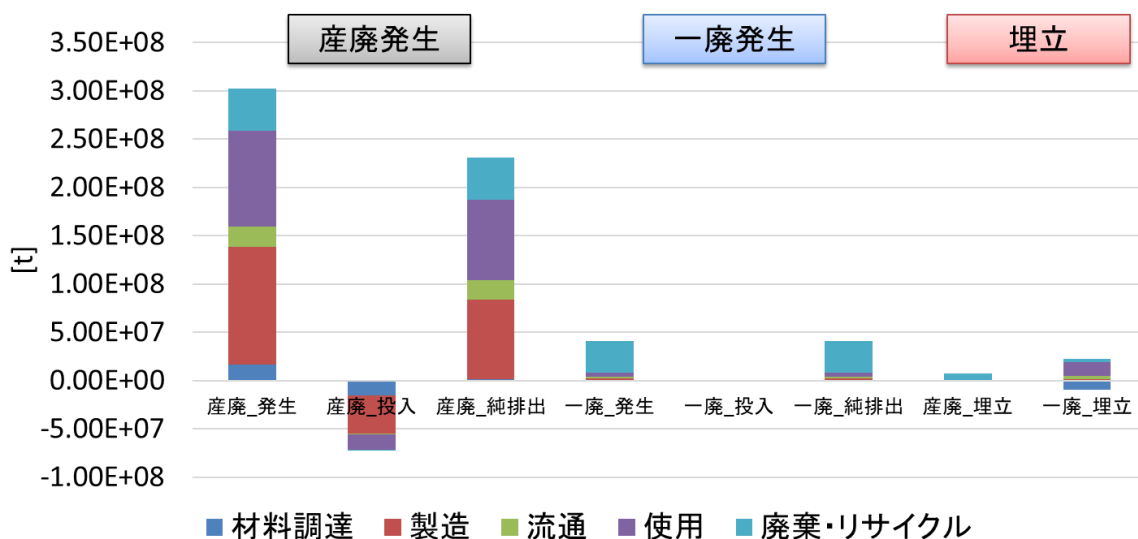


図 3.3.6 家計の廃棄物フットプリント (ライフステージ別)

さらに、ライフステージ別で大きな割合を示した、産業廃棄物の製造段階及び使用段階の純排出量を産業部門別に分析した。その結果を図 3.3.7 に示した。製造段階では、食肉、酪農品、肉加工品が上位を占めており、これは動物の糞尿によるものである。また、乗用車はスラグ、鉄屑の発生に由来する。使用段階では、飲食サービスの値が大きく、これは、厨芥の値が大きく起因している。次いで、事業用電力が大きいのは、家庭で利用する電力を供給するまでに、ばいじんが多く発生することに起因している。住宅賃貸料は紙・布類の影響で大きな割合を示す結果となった。

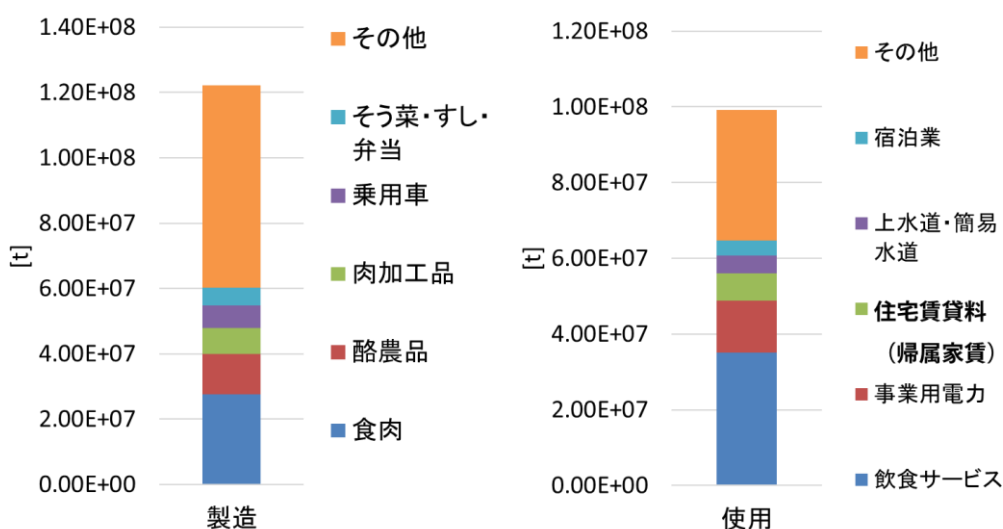


図 3.3.7 家計の廃棄物フットプリント (左図：製造段階、右図：使用段階)

3.3.4 廃棄物フットプリントとカーボンフットプリント

本研究結果は、2011 年を対象とした廃棄物フットプリントの推計値である。廃棄物フットプリントは、一般廃棄物（以下、一廃）と産業廃棄物（以下、産廃）の発生量をそれぞれ MWGF(Municipal Solid Waste Generation Footprint)、IWGF(Industrial Waste Generation Footprint)とし、一廃、産廃の最終処分量をそれぞれ MWLF(Municipal Solid Waste Landfill Footprint)、IWLFI(Industrial Waste Landfill Footprint)とする。

図 3.3.8 は縦軸に CFP[M(million) t-CO₂eq]、横軸に MWGF[M(million) t]の結果で示した散布図で、図 3.3.9 は横軸を IWGF[Mt]にしたものである。散布図の産業部門分類は、政府が公開している産業連関表の統合中分類²⁾で示している。なお、図 3.3.1 の MWGF に関しては、生活系廃棄物が 65%、事業系廃棄物が 35%という内訳であり、本研究の推計では、生活系の廃棄物は「廃棄物サービス」に全て計上されるので、これを除いた結果を示した。両者に共通するのが、「食料品」、「建築」、「飲食サービス」で廃棄物発生量と CFP の双方の値が高かった。表 3.3.1、表 3.3.2 に、これらの内訳上位 3 部門を示した。「食料品」は産廃として食肉を生産する際の家畜から出る「動物の糞尿」が寄与し、一廃では、「飲食サービス」で飲食店などの事業者や自営で食品を製造する自営業が排出する「厨芥」と「飲食サービス」で料理を提供するまでの過程で排出される「紙・布類」寄与するため値が大きくなる。「建築」に関しては、建設時と解体時の「汚泥」と「がれき類」の産廃が大きく結果に起因し、一廃では下請け自営業による「ビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類」、「紙・布類」による影響である。「商業」に関しては、卸売や小売で製品を梱包する際の段ボール、ビニール袋といった包装材の影響によりフットプリントの値が大きくなっている。「医療」においては、家計が一年で消費する支出額の 11%を占めており、「建設」、「商業」について 3 番目に支出額の多い部門である。具体的には診療所で、検診や検査で使用する使い捨ての「紙製品」や、入院時に提供される食事における「厨芥」が寄与している。産廃発生における「水道」は汚泥の処理によるものである。特に汚泥は水分を含んでいる状態であるため、他の廃棄物と比べ、重量が重いことが一つの要因である。また、産廃における「耕種農業」がマイナスの値で表示されているのは、「野菜」を栽培する際に用いられる「動物の糞尿」を肥料として投入しているからである。廃棄物産業連関表では、投入を負値で表現しているので、このような結果となった。

CFP に関しては、一廃と産廃で電力、道路輸送の影響が大きい値である。電力は火力発電での燃料燃焼、道路輸送は走行時の燃料輸送が大きく起因している。一廃の公共事業は建材の輸送及び建材調達の間接負荷が大きく起因している。産廃の廃棄物処理は廃棄物を焼却処理したときの影響である。

この図 3.3.8、図 3.3.9 から、気候変動と廃棄物の影響を二つの指標で比較することで、一廃、産廃ともに、「食料品」、「飲食サービス」が大きく寄与するので、食品廃棄を減らすことが気候変動に対しても貢献できることが分かる。また、「商業」による廃棄物の削減には、製品を包む梱包材の再利用すること、産廃では「建築」における廃棄物は建

材の再利用をするといった取り組みで、廃棄物処理技術の向上と共に気候変動の影響を緩和できるということが言える。

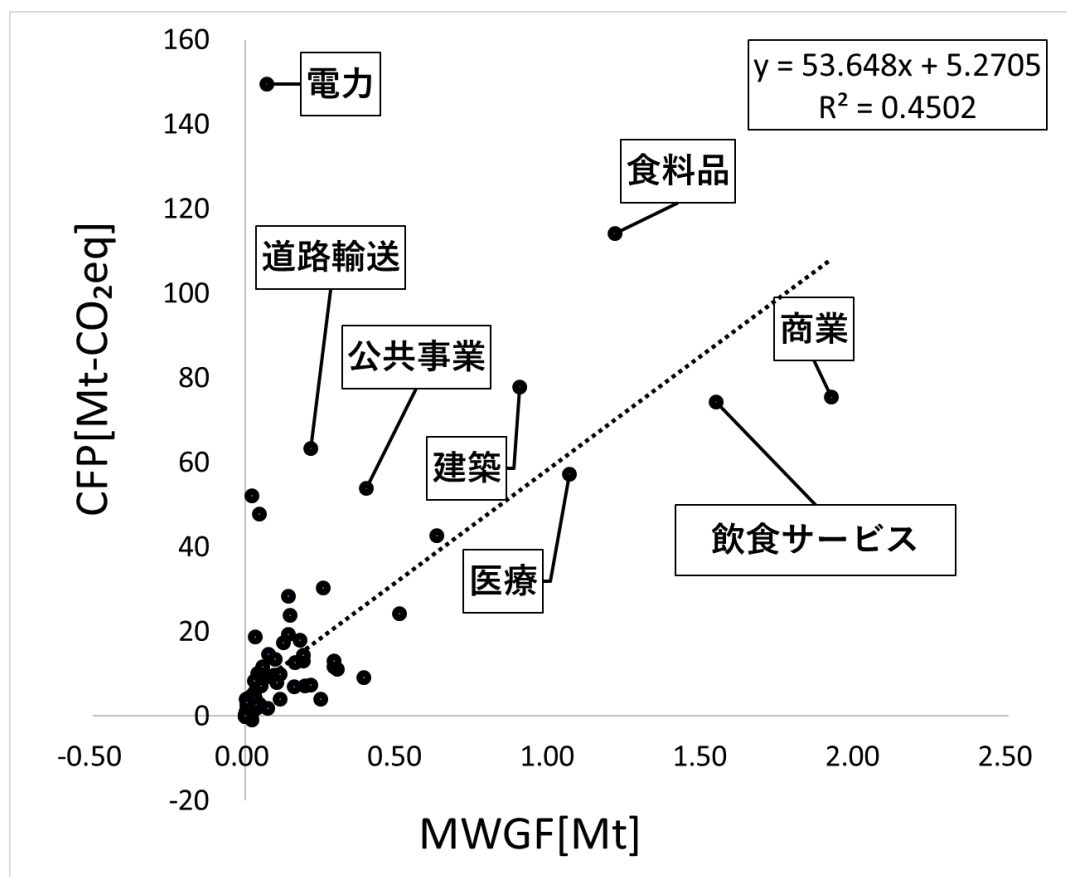


図 3.3.8 CFP と MWGF の比較

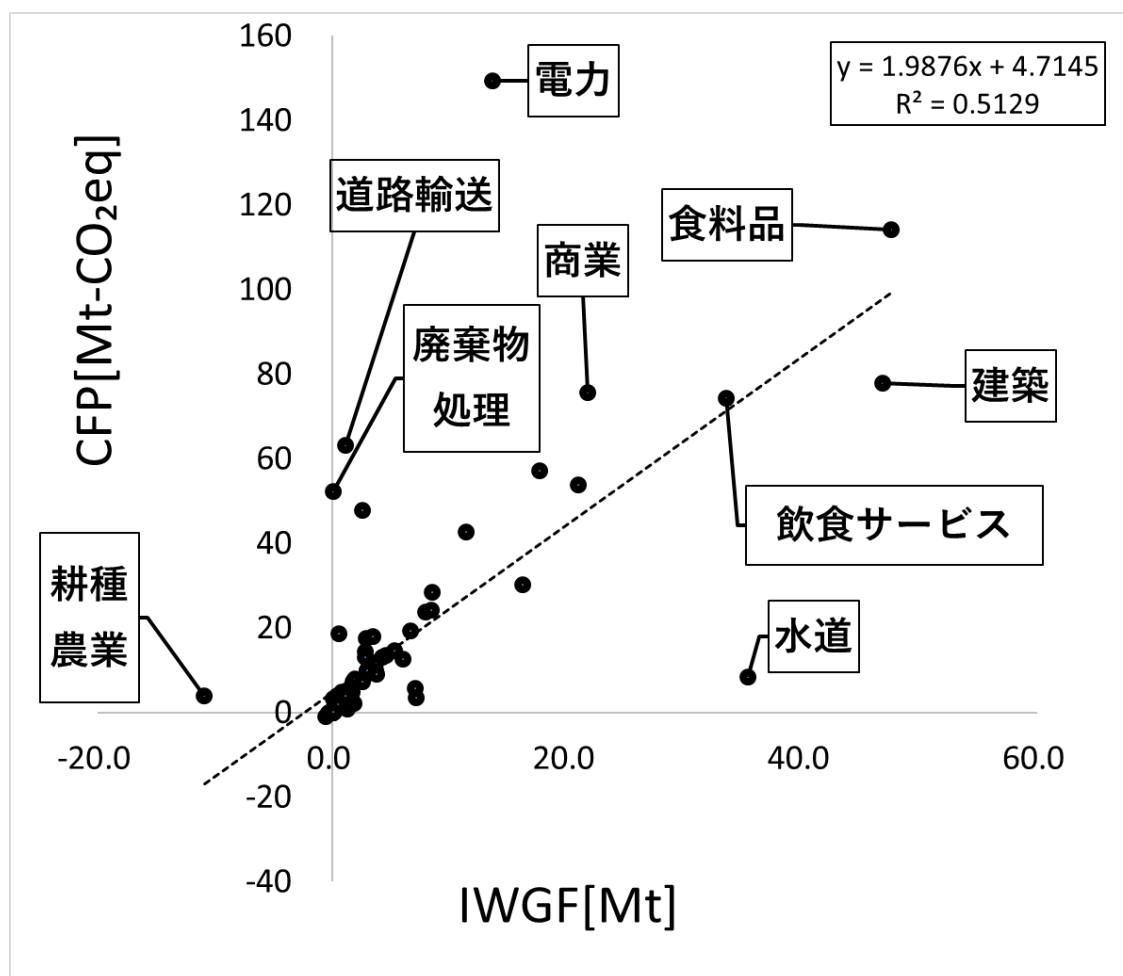


図 3.3.9 CFP と IWGF の比較

表 3.3.3 は一廃発生量の上位 3 項目と、そのうち寄与率が高い上位 3 部門を示した表である。一廃では、「(事業系)紙・布類」「(事業系)厨芥類」「(事業系)ビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類」の 3 項目の構成比が同じ値となった。産業連関表⁵⁾における家計消費における支出の内訳では、「小売」を含む商業が 2 番目に支出額が大きく、次いで「医療」が大きく、「飲食サービス」も上位入っている。このことから、一廃における構成比も同じようになると考えられる。小売では仕入れる際に梱包のために利用していた段ボールなどの紙類の影響で影響が大きいと考える。厨芥類は主に、レストランや入院患者に提供する料理を作る段階での影響が大きいといえる。

表 3.3.3 と同様に表 3.3.4 は産廃発生量の上位 3 項目とその寄与率が高い上位 3 部門を表にした。産廃では、水分を多く含む「汚泥」と重量の重い「がれき類」が上位を占めている。特に「がれき類」は「住宅建設」や「道路交通関係公共事業」によるもので、インフラ整備に関わる部門が主な要因であると考えられる。これまでの結果から分かるように、「汚泥」や「動物の糞尿」のように水分を含む廃棄物と「がれき」のように重量が重い項目が寄与することが分かる。そこで、産廃について「汚泥」、「動物の糞尿」、「がれき」を

除いてさらなる分析をした。「木くず(木材加工品)」は「建築」、「道路交通公共事業」といったインフラ事業影響によりフットプリントは大きくなった。「廃プラ(建設を除く)」は小売店での容器包装や、「食料品」と関わりのある「飲食サービス」での廃棄、医療でも「医療（入院診療）」という食事サービスの提供がある部門での影響が大きく起因することが分かった。結果として、「食料品」、「飲食サービス」、「建設」、「インフラ整備事業」での廃棄物の削減が全体に大きく影響を与えることが分かった。

表 3.3.1 MWGF 内訳上位 3 項目（廃棄物）

産業部門項目	発生量計[百万トン]	寄与する部門	発生量[百万トン]	寄与率
飲食サービス	1.54	紙・布類	0.58	37%
		厨芥類	0.41	27%
		ビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類	0.25	16%
食料品	1.21	紙・布類	0.45	37%
		厨芥類	0.32	27%
		ビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類	0.20	16%
建築	0.90	紙・布類	0.33	37%
		厨芥類	0.24	27%
		ビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類	0.15	16%

表 3.3.2 IWGF 上位 3 項目（産業別）

産業部門項目	発生量計[百万トン]	寄与する部門	発生量[百万トン]	寄与率
食料品	47.5	動物のふん尿	29.7	63%
		汚泥(食品系)	5.71	12%
		無機性汚泥(土砂除く)	3.31	7%
建築	46.8	がれき類(廃コンクリート)	26.5	57%
		無機性汚泥(土砂除く)	14.5	31%
		木くず(木材加工)	2.25	5%
飲食サービス	33.5	動物のふん尿	17.3	52%
		有機性汚泥(下水)	6.01	18%
		無機性汚泥(除別掲)	3.95	12%

表 3.3.3 MWGF 上位 3 項目（廃棄物）

廃棄物項目	発生量計[百万トン]	寄与する部門	発生量[百万トン]	寄与率
(事業系) 紙・布類	5.12	小売	0.58	11%
		飲食サービス	0.57	11%
		医療（入院診療）	0.16	3%
(事業系) 厨芥類	3.69	小売	0.42	11%
		飲食サービス	0.41	11%
		医療（入院診療）	0.11	3%
(事業系) ビニール、合成樹脂、ゴム、皮革類	2.24	小売	0.25	11%
		飲食サービス	0.25	11%
		医療（入院診療）	0.07	3%

表 3.3.4 IWGF 上位 3 項目

廃棄物項目	発生量計[百万トン]	寄与する部門	発生量[百万トン]	寄与率
無機性汚泥 (土砂を除く)	131	事業用電力	9.10	7%
		非住宅建築（非木造）	5.97	5%
		道路関係公共事業	5.29	4%
有機性汚泥(下水)	74.8	下水道	30.2	40%
		小売	7.83	10%
		飲食サービス	6.01	8%
がれき類 (廃コンクリート)	59.8	非住宅建築（非木造）	9.62	16%
		住宅建築（木造）	9.38	16%
		道路関係公共事業	7.04	12%
木くず(木材加工)	4.93	非住宅建築（非木造）	0.82	17%
		住宅建築（木造）	0.80	16%
		道路関係公共事業	0.60	12%
廃プラ類 (建設を除く除)	4.40	小売	0.55	12%
		飲食サービス	0.27	6%
		医療（入院診療）	0.18	4%
ばいじん (有害を除く)	4.27	事業用電力	2.64	62%
		小売	0.76	18%
		乗用車	0.50	12%

3.3.5 廃棄物最終処分量のフットプリント

図 3.3.10 は産廃の最終処分量を産業部門の内訳で示したグラフである。「食肉」や「飲食サービス」部門から排出される食品ロスが埋立処理として結果に表れていることが分かる。「獣医薬」に関しては、医薬品の購入額が多い部門で、医薬品は製造するまでの無機性汚泥を排出する部門であるため、この間接的な影響によるものと考えられる。「野菜」が負値で表示されているのは、堆肥化して再利用した場合の効果が計上されている。

図 3.3.11 は図 3.3.3 と同様に産廃の最終処分量を廃棄物処理の内訳で示したグラフである。産廃は「資源化施設」や「焼却場」といった、廃棄物処理部門が大きな影響を与えている。これは、廃棄物産業連関表の特性上、廃棄物処理部門からの投入が大きくなるからである。「資源化施設」であれば、「容器包装」や「ペットボトル」の事業由来の廃棄物の影響が大きく起因することがわかる。

そこで、表 3.3.5 に MWLF のうち、廃棄物処理を除く産業部門で上位 3 項目を示した。「飲食サービス」、「小売」、「精穀」といった、「食品製造」に関わる部門が全体の最終処分量に影響を与えることが明らかとなった。

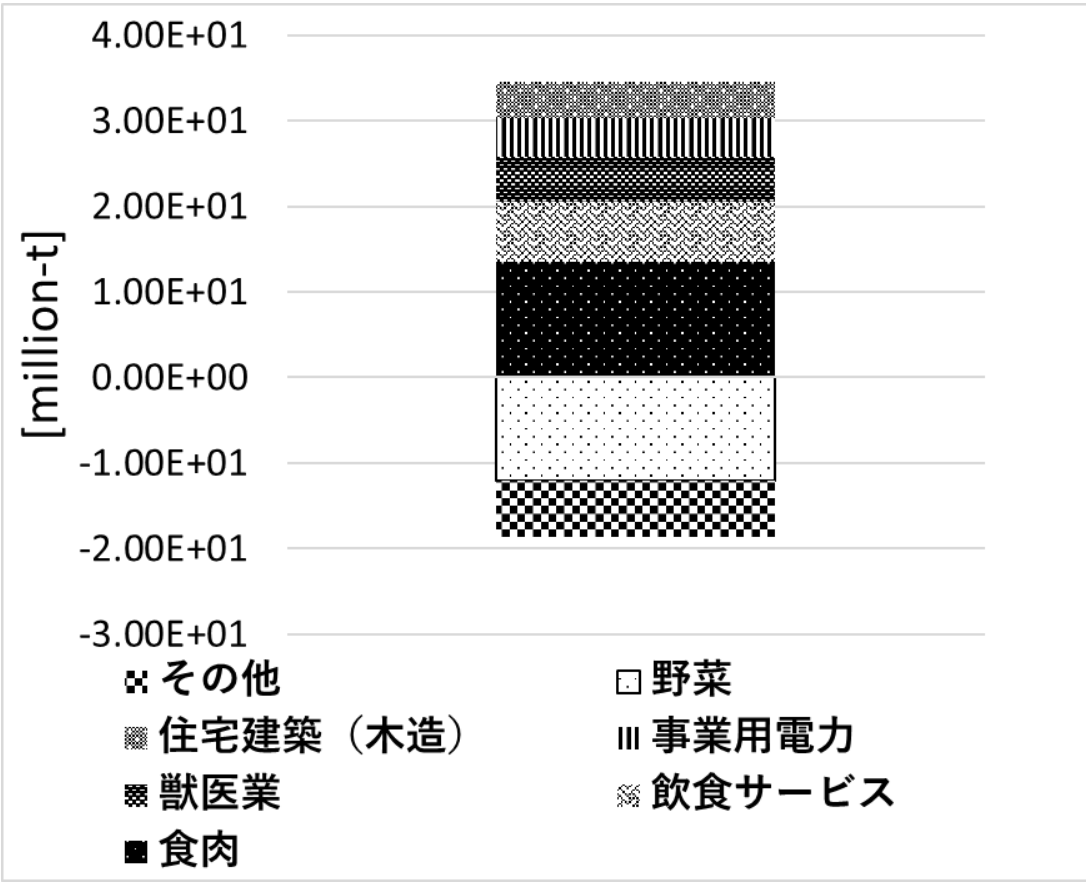


図 3.3.10 IWLF(産業別)

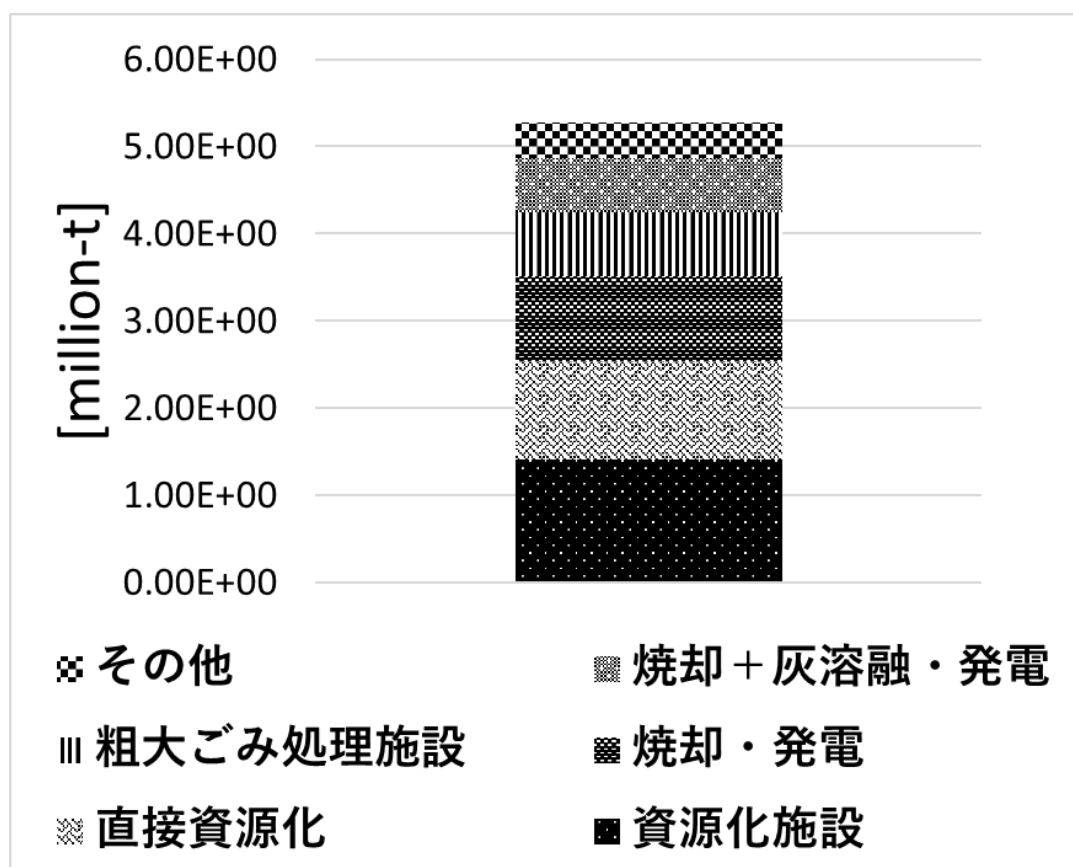


図 3.3.11 MWLF（廃棄物処理別）

表 3.3.5 MWLF 上位 3 項目

廃棄物項目	埋立量[百万t]	寄与する部門	埋立量[百万t]	寄与率
一廃埋立	5.28E+00	飲食サービス	1.46E-01	10%
		小売	1.39E-01	9%
		精穀	3.31E-02	2%

3.4 妥当性の検証

本研究の妥当性を確認するため、廃棄物フットプリントの結果は、環境省が公開している環境白書^{8、9)}の値と比較を行った。CFP は、同じ IOA を用いた GHG データベースである、南斉らが開発した 3EID¹⁰⁾の値と比較を行った。廃棄物フットプリントの結果に着目すると、桁数は同じになり、本研究の方が発生量、処分量の両方で値が大きいということを確認した。発生量に関しては、一廃、産廃ともに 5%以内のズレとなった。最終処分量に関しては、どちらも 10%以上大きな値となった。これは、本研究が消費ベースのフットプリントとして間接負荷を含んだ結果によるものである。CFP の値に関しては、3EID に比べ、本研究の値が小さくなった。これは、本研究で用いた WIO では、屑・副産物の投入が負値で表現されるので、生産額あたりの直接負荷を求めた際に、負値になる項目がある。

したがって、需要が増えるほど、資源消費がおさえられることによる GHG 排出量が削減される、すなわち環境に対してはプラスとなる結果が一部見られた。これらを踏まえて WIO の整理を行うことが重要である。

表 3.4.1 報告書・既存研究との比較⁸⁾

	環境白書	3EID	本研究
一廃発生量[Mt]	4.54E+01	-	4.63E+01
産廃発生量[Mt]	3.81E+02	-	4.01E+02
一廃埋立処分量[Mt]	4.65E+00	-	5.28E+00
産廃埋立処分量[Mt]	1.24E+01	-	1.60E+01
GHG[Mt-CO ₂ eq]	-	1.40E+03	1.31E+03

また、この廃棄物産業連関表で考慮することができていない、家電4品目（テレビ、エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機・衣類乾燥機）とパソコン、自動車の廃棄について、検証をする。環境省が公開している2011年を対象とした環境分野分析用産業連関表¹¹⁾という統計値がある。ここには、廃棄物産業連関表のように、廃棄物の発生量に関する情報がある。この統計表の最終需要部門の家計消費支出には、家電4品目（テレビ、エアコン、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機・衣類乾燥機）及びパソコン、自動車の発生量が記載されている。

その内訳を表3.4.2に示す。なお、自動車に関しては、一台あたりの重量が分からなかったもので、日本LCAフォーラムのデータベース¹²⁾から一台あたりの重量を1037kgと想定し、重量換算をした。合計の発生量は約3.2百万トンであることが分かった。これに対し、本研究における発生量は産廃で約5億トン、一廃の家庭系で約3.2千トン、事業系で1.8千トンである。（表3.4.3参照）したがって、全体に対する割合は1%未満だが、家庭系ごみでは、約10%を占める割合であることがわかった。したがって、これらを考慮するとさらに発生量が増えることがわかる。

表 3.4.2 家電 4 品目とパソコン、自動車の発生量¹¹⁾

項目	統計値	単位	換算後	単位
テレビ（ブラウン管テレビ）	314,910	t	314,910	t
テレビ（液晶・プラズマテレビ）	8,829	t	8,829	t
エアコン	105,620	t	105,620	t
冷蔵庫・冷凍庫	175,440	t	175,440	t
洗濯機・衣類乾燥機	102,980	t	102,980	t
パソコン	3,799	t	3,799	t
自動車	2,415,065	台	2,504,423	t
合計			3,216,001	t

表 3.4.3 本研究と家電 4 品目及びパソコン、自動車の発生量比較

	産廃	一廃		家電 4 品目及びパソコン、自動車
		家庭系	事業系	
廃棄物発生量	5.08E+08	3.26E+07	1.38E+07	3.22E+06

3.5 まとめ

本研究では、拡張型産業連関分析を応用し、最終消費で消費構造を捉えた廃棄物フットプリントの算出を試みた。結果として、廃棄物全体の発生量は 448 百万トンで、最終処分量は 20 百万トンであり、環境白書と整合する結果を得た。また、CFP の結果と比較することにより、「食料品」「商業」「建設」「公共事業」の廃棄物フットプリントを低減させることが、CFP の削減にもつながることが明らかになった。特に、第四次循環型社会形成推進基本計画では、廃棄物処理におけるエネルギー利用効率化について言及していたが、これに加え、産廃では「建築」から発生する廃棄物の削減として、「建材の再利用」を検討すること、一廃では、「食品廃棄による最終処分量の削減」を検討することで、廃棄物の削減と同時に気候変動の緩和を考慮することができるとことが明らかとなった。本研究の結果から、廃棄物マネジメントとして取り組むべき廃棄物の優先度が気候変動への影響と同時に検討することができると考えられるので、G20 で議論されたエネルギー問題を資源循環の観点からも貢献できると考える。WIO は今後も資源循環と気候変動の緩和に対する政策の意思決定に貢献することが期待される。

参考文献

- 1) 一杉佑貴, 近藤康之, 田原聖隆, 伊坪徳宏, 拡張型産業連関分析に基づく日本の廃棄物フットプリント, 環境情報科学 学術研究論文集 33, 2019, p229-234
[https://doi.org/10.11492/ceispapers.ceis33.0_229]
- 2) 近藤康之 (2019), 平成 23 年(2011 年)廃棄物産業連関表の推計, 日本 LCA 学会誌 2019 年 15 巻 1 号, p33-44
- 3) e-stat 政府の統計窓口, (2015.6.15 更新) 平成 23 年 (2011 年) 産業連関表 (確報) <http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/ichiran.htm> 2019.6.3 参照
- 4) 環境省 (平成 25 年 12 月 26 日更新) 産業廃棄物の排出及び処理状況等 (平成 23 年度実績) <<https://www.env.go.jp/press/17554.html>> 2019.9.25 参照
- 5) 環境省 (平成 25 年 3 月 28 日更新) 一般廃棄物の排出及び処理状況等 (平成 23 年度) <<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=16503>> 2019.9.25 参照
- 6) 経済産業省 家電リサイクル法 (特定家庭用機器再商品化法) <https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/kaden_recycle/> 2020.1.8 参照
- 7) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (2014 更新), <<https://www.aist-riss.jp/software/40166/>> 2019.6.3 参照
- 8) 環境省 平成 26 年度版環境白書 (2014.6.6 更新) <<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h26/index.html>>, 2019.6.3 参照
- 9) 環境省 平成 25 年度版環境白書 (2013.6.4) <<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h26/index.html>>, 2019.6.3 参照
- 10) 国立研究開発法人 国立環境研究所 (2018.7.1) 南斉規介 産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) <<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index.html>> 2019.6.3 参照
- 11) 環境省 平成 23 年版環境分野分析用産業連関表 (環境 IO) 入手先, (オンライン) <<https://www.env.go.jp/doc/toukei/renkanhyo.html>>
- 12) 日本 LCA フォーラム, J L C A - L C A データベース 2019 年度 3 版 入手先, (オンライン) <<https://lca-forum.org/database/>>

第4章 LCA と IAMs の融合による日本のカーボンフット

プリント将来推計

本章では、LCA の研究分野で国や地域を対象に環境フットプリントを算定する際に用いられる産業連関分析 (IOA) と統合評価モデル (IAMs) を組み合わせ、日本のカーボンフットプリント (CFP) を推計した研究成果である。この成果は Sustainability の査読付き投稿論文¹⁾として掲載された。

4.1 AIM/CGE[Japan]モデル

この節では、本研究で用いた統合評価モデル (IAMs) の一つである AIM : Asia-Pacific Integrated Assessment Model の説明をする。本研究では、日本を対象とした CFP の将来推計を行うため、増井ら²⁾が開発した AIM/CGE : Computable General Equilibrium [JAPAN]モデルを用いた。将来 CFP 推計のフローチャートを図 4.1.1 に表した。今回の推計は政府が公開している約束草案 (NDC : Nationally Determined Contributions)³⁾に基づき、基準年を 2005 年とし、目標年を 2030 年として推計を行った。基準年を 2013 年ではなく、2005 年に設定した理由は 2005 年の産業連関表⁴⁾は政府が公開していることに対し、2013 年の産業連関表は公開されていないからである。AIM/CGE[Japan]に入力する変数は人口、GDP、電力ミックス、産業連関表、直接 GHG 排出量である。基準年の GHG 排出量は温室効果ガスインベントリオフィスが公開している報告書⁵⁾から引用した。将来における人口は国立社会保障・人口問題研究所が公開している統計値⁶⁾を用いた。さらに、2030 年の GDP、電力ミックスに関しては経済産業省が公開しているシナリオ⁷⁾に基づいて設定を行った。それぞれの変数については、表 4.1.1、表 4.1.2、表 4.1.3 に詳細を記載した。この研究では、3 つのシナリオを想定して結果を算出した。

- ① 基準年 2005 年の再現計算をした結果を現状の成り行き、BAU (Business as Usual)
- ② 成り行きで総人口、GDP が想定される 2030 (BAU)
- ③ ②に加え温暖化対策をとって約束草案に基づく電力ミックスを反映させた 2030 (NDC)

2030 (BAU) と 2030 (NDC) の違いは温暖化対策を行っているか否かである。温暖化対策として考慮されているのは、二酸化炭素貯留システム (CCS : Carbon Capture Storage) の導入及び炭素税の導入である。

AIM/CGE[Japan]モデルでは、家計や産業の経済活動が全て最適化されていたという想定のもと、将来の GDP と技術革新のモデルによって社会構造が決まる。これにより得られるのが社会会計表 (SAM : Social Accounting Matrix) である。

$$MaxU = u(C_i) \quad (式 4-1)$$

$$s.t. \sum_i P_i C_i \leq rK + wL \quad (式 4-2)$$

$$Max\Pi_i = P_i Q_i - rK_i - wL_i \quad (式 4-3)$$

$$s.t. Q_i \leq f_i(K_i, L_i) \quad (式 4-4)$$

U ：家計の効用, Π ：生産者の利潤, P_i ：財 i の生産量, Q_i ：財 i の生産者購入 C_i ：財 i の家計消費, r ：資本価格, K ：資本, w ：賃金, L ：労働を表している。式 4-1 は家計の効用が最大化する式を表しており、その制約式が 4-2 で与えられ、支出が収入を上回らないという条件である。式 4-3 は生産者側の利益が最大化するような等式で、その制約式 4-4 は資本と労働がコストを上回らないという条件である。このような仮定を等式と制約式で用意し、最終的な最適化計算を実施するのである。これを基に作成された SAM から産業連関表を作成する。この最適化の計算を実施する中で、各産業の直接 GHG 排出量も同時に推計されることになる。したがって、将来の産業連関表をベースに産業連関分析を実施することで、将来の CFP を推計することが可能となる。将来の経済構造は、対象年の行動（産業連関表のデータ）が、利潤最大化や効用最大化に基づいた結果であったと仮定して、様々な係数を決めるキャリブレーション法⁸⁾を用いている。今回の研究では、生産関数に CES（Constant Elasticity of Substitution type production function）⁹⁾を用いており、その特殊ケースである、コブ・ダグラス型生産関数⁹⁾で代替性が一定としている。生産効率の変化すなわち投入係数の変化は考慮されている。

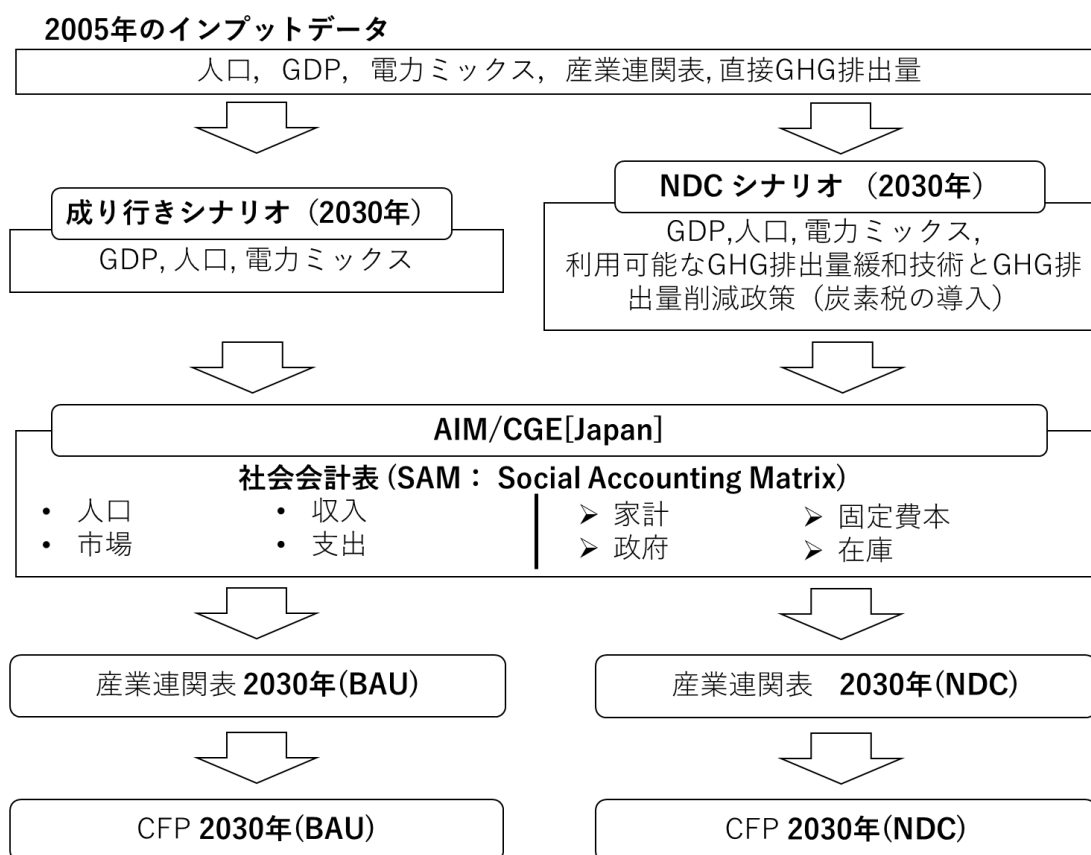


図 4.1.1 将来 CFP 推計フローチャート

表 4.1.1 NDC シナリオにおける GDP、人口、GHG 排出量の想定 ⁷⁾

項目	2005 年	2030 年	変化率 (%)
実質 GDP [兆円 (2005 年基準)]	507	711	40.2
人口 [百万人]	128	117	-8.6
GHG 排出量 [百万 t-CO ₂ eq]	1397	1042	-25.4

表 4.1.2 年齢別人口の推移 ⁶⁾

(単位：百万人)

年齢	2005 年	2030 年	変化率 (%)
総数	128	117	-8
0 歳～14 歳	17	12	-30
14 歳～64 歳	81	69	-15
65 歳以上	30	37	25

表 4.1.3 電力ミックスの設定⁷⁾

項目	2005年 (BAU)	2030年 (BAU)	2030年 (NDC)
最終エネルギー利用料[百万kl]	410	326	326
総電力供給量(10億 kWh)	1149	1056	1056
石炭火力 [%]	24.1	30.4	24.7
ガス火力 [%]	22.0	15.5	18.9
石油火力 [%]	11.8	0.00	1.20
原子力 [%]	27.2	18.4	18.7
再生可能エネルギー [%] (小計)	8.4	30.1	30.6
水力 [%]	6.5	8.7	8.9
太陽光 [%]	1.0	12.5	12.7
風力 [%]		2.2	2.3
地熱 [%]		1.0	1.0
バイオマス (%)		5.7	5.8
自家発電 (%)		5.7	5.8

4.2 カーボンフットプリントの推計方法

4.2.1 カーボンフットプリントの推計

この節では、将来推計された産業連関表をベースに CFP の推計方法を説明する。レオンチェフ逆行列を用いた CFP の推計式は、

$$\text{Carbon Footprint}_s = d_c(I - A)^{-1}f + E' \quad (\text{式 4-5})$$

d_c ：直接 GHG 排出係数[t-CO₂eq/百万円]、 $(I - A)^{-1}$ ：レオンチェフ逆行列、 f ：最終需要[百万円]、 E' ：直接燃焼分 [t-CO₂eq] で、添え字の s で各シナリオの違いを表しており、基本的には、3つのシナリオで違いは無い。活動量として乗じる f は家計、政府、固定資本、在庫がある。しかし、モデルの制限により将来の在庫は推計されない。輸入に関しては、国内の生産技術と同じ技術で生産されると仮定される競争輸入型の産業連関表となっているため、産業連関表の特性上、負値で最終需要に記載されている輸入に関しては、控除せずに CFP を計算する。これにより、自国の需要に伴う CFP を輸入品の調達を含めた値で推計することが可能になる。 E' で考慮される直接燃料燃焼分の GHG 排出量は、各シナリオにエネルギー効率が良くなることから、この値も変化する。

この研究で用いた産業連関表の部門分類を表 4.2.1 に示す。行部門では、石炭、原油、天然ガスが独立しており、石油製品においても自動車用かその他の用途で部門が分かれている。また、列部門において電力の部門が自家発電、原子力、石炭火力、石油火力、ガス火力、水力、太陽光、風力、地熱、バイオマスに分けられている。電力部門に関しては、各

産業が一番コストの低い電力を購入するという想定に基づき、その上限を超えない範囲で購入を行うことになっている。これらの行部門と列部門が一致していない産業部門に関しては、統合して、内生部門は行列ともに 40 部門にして推計を行っている。

表 4.2.1 AIM/CGE[JAPAN]で推計された産業連関表の部門分類²⁾

活動(列部門)		財・サービス(行部門)	活動(列部門)	財・サービス(行部門)	
1	農林水産業	1	農林水産業	24	電力(自家発電)
2	鉱業	2	鉱業	24n	原子力
3	石炭・原油・天然ガス	3c	石炭	24tC	石炭火力
		3o	原油	24tO	石油火力
		3g	天然ガス	24tG	ガス火力
4	飲食料品	4	飲食料品	24H	水力
5	繊維製品	5	繊維製品	24S	太陽光
6	パルプ・紙	6	パルプ・紙	24W	風力
7	化学製品	7	化学製品	24G	地熱
8	石油製品	8m	自動車用石油製品	24B	バイオマス
		8o	その他石油製品	25	都市ガス
9	石炭製品	9	石炭製品	26	熱供給
10	プラスチック・ゴム	10	プラスチック・ゴム	27	水道
11	窯業・土石	11	窯業・土石	28	廃棄物処理
12	鉄鋼	12	鉄鋼	29	商業
13	非鉄金属	13	非鉄金属	30	金融・保険
14	金属製品	14	金属製品	31	不動産
15	汎用機械	15	汎用機械	32	運輸・郵便
16	生産用機械	16	生産用機械	33	情報通信
17	業務用機械	17	業務用機械	34	公務
18	電子部品	18	電子部品	35	教育・研究
19	電気機械	19	電気機械	36	医療・福祉
20	情報・通信機器	20	情報・通信機器	37	その他非営利団体サービス
21	輸送機械	21	輸送機械	38	対事業所サービス
22	その他製造工業製品	22	その他製造工業製品	39	対個人サービス
23	建設	23	建設	40	事務用品・分類不明

4.2.2 生産基準と消費基準のカーボンフットプリント推計方法

産業連関分析では、環境負荷を生産する側の責任として計上する生産基準と財・サービスを購入する側の負荷として見なす消費基準の 2 つの分析方法がある。各々の式を以下に表した。

$$CFP_{production\ side}^k = d^k X + E'^k \quad (k = 1, \dots, 6) \quad (\text{式 4-6})$$

$$X = Lf \quad (\text{式 4-7})$$

$$CFP_{consumption\ side}^k = Y^k f + E'^k \quad (k = 1, \dots, 6) \quad (\text{式 4-8})$$

$$Y^k = d^k L \quad (\text{式 4-9})$$

d^k ：直接 GHG 排出係数[t-CO₂eq/百万円]、 E'^k ：直接燃料燃焼[t-CO₂eq]である。生産基準の推計式は式 4-6 であり、 X が L ：レオンチェフ逆行列と f ：最終需要によって定義

されており、直接負荷に対して間接影響を含んだ需要額を乗じることで、生産側に負荷の責任を荷わせることができる。同様にして、式 4-8 は消費基準 CFP の算定式であり、 Y^k が d^k と L 積で定義されることにより、直接負荷がレオンチェフ逆行列により、間接負荷を含めた値として計算されるので、最終需要側の消費基準で推計することが可能となる。添え字の k は温室効果ガスの物質別（CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆）である。

4.2.3 炭素生産性

炭素生産性とは一単位の CO₂ 排出量あたりの生産額で表され、CO₂ の排出量が少なく、生産額が大きいと数値は大きくなり、炭素生産性が良いすなわち環境に良いという結果が得られる。今回は CFP の結果を用いるので、以下の算定式により炭素生産性を求めた。

$$\text{Carbon productivity}_n = \frac{f_n}{E_n} \quad (n = 40) \quad (\text{式 4-10})$$

E_n : CFP、 f_n : 最終需要、 n は内生部門の数を添え字で表したものである。今回は CFP を分母にしているので、その推計に必要な最終需要を生産額のように見立てて、炭素生産性の推計結果を示すこととした。

4.3 結果

4.3.1 CFP 原単位の比較

図 4.3.1 はシナリオ別 CFP 原単位の比較である。電力ミックスに関しては、2005 年に対して、2030 年 (BAU)、2030 (NDC) で原単位が低減されていることが分かる。これは、電力ミックスが変化したことによる。また、石炭・原油・天然ガス、石炭製品、鉄鋼は 2005 年に比べ、2030 年では原単位が小さくなるものの、BAU と NDC ではほとんど変化がないことが読み取れる。

なお、本研究で AIM/CGE[Japan] を用いて推計したシナリオごとの産業連関表を付録④～付録⑥に記載する。

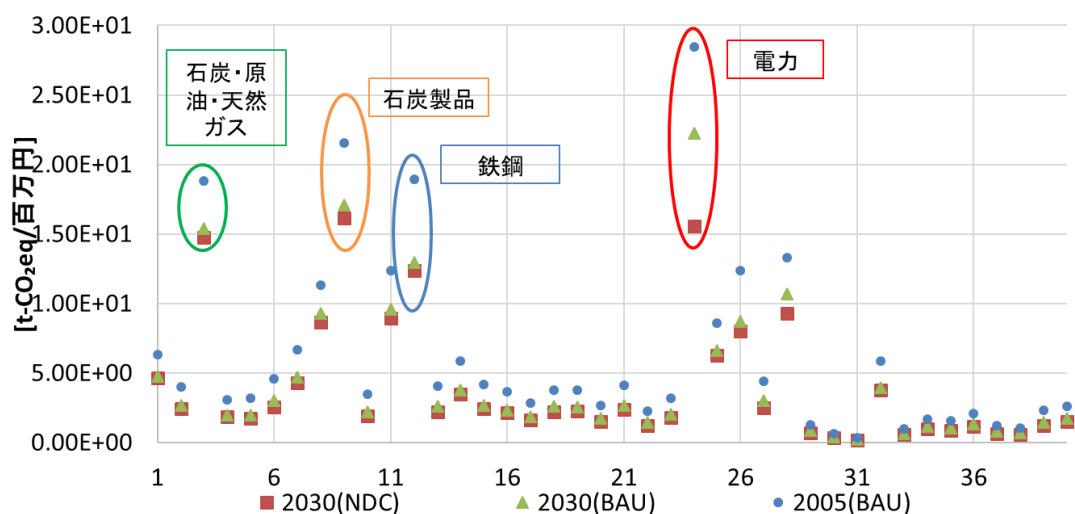


図 4.3.1 シナリオ別 CFP 原単位

4.3.2 CFP 将来推計結果

2030 年の CFP 将来推計結果を図 4.3.2 に示した。また、CFP の総量と人口データから 1 人あたりの CFP を算定した。FY2005 年 (BAU) では CFP が 1535[Mt-CO₂eq]であった。FY2030 (BAU) では 1251[Mt-CO₂eq]となった。したがって、成り行きシナリオでもある程度の CFP が低減することが分かる。主要な要因としては、2030 年には人口が約 9% 減少するという想定であるため、一人あたりの活動が 2005 年と同じであれば、CFP も 9% 減少することになる。一方で、CFP の減少率は約 18%である。これは、成り行きでも化石資源由来の火力発電の割合が減少するという仮定のもと電力ミックスが決められていることから、削減されたと考える。さらに温暖化対策をとった FY2030 (NDC) の CFP は 1098[Mt-CO₂eq]であった。FY2030 (BAU) と比較すると約 9%さらに削減されることで、FY2005 に比べ約 28%削減される推計結果となった。これは、温暖化対策として CCS を導入したこと、また、炭素税を導入したことによるものである。また、電力ミックスも再生可能エネルギーの割合が最も大きな割合を占めているからである。

CFP の総量を一人あたりで除した一人あたりの CFP は、FY2005(BAU)、FY2030(BAU)、FY2030 (NDC) はそれぞれ、12.0 トン、10.6 トン、9.34 トンという推計結果となった。2005 (BAU) 基準で考えると、FY2030 (BAU) で約 13%、FY2030 (NDC) では約 23% 減少する結果となった。これは、人口の減少率を上回ったため、人口の変動より CFP の排出量を抑えることが出来ていると判断される。

図 4.3.3 に最終需要額を各シナリオで積み上げたグラフを示す。2005 年と比較すると、2030 年における最終需要額は約 40%増えることが分かる。これは、約束草案のシナリオに基づき、GDP を外生的に与えたからである。家計における最終需要が大きくなるのは、対個人サービスが増えるからである。2005 年の産業連関表の基本分類表によると、対個人サービスで飲食店、宿泊業、遊戯場が上位 3 位を占めることが確認できた。

全体の負荷は家計における最終需要額が増えることが分かる。これは、最終需要ごとに分析をすると家計が締める割合が大きく、削減幅が大きいのもこの値であることが分かる。一方で、建築サービスが大きく関わる、固定資本の CFP はあまり変わらないという結果となりました。

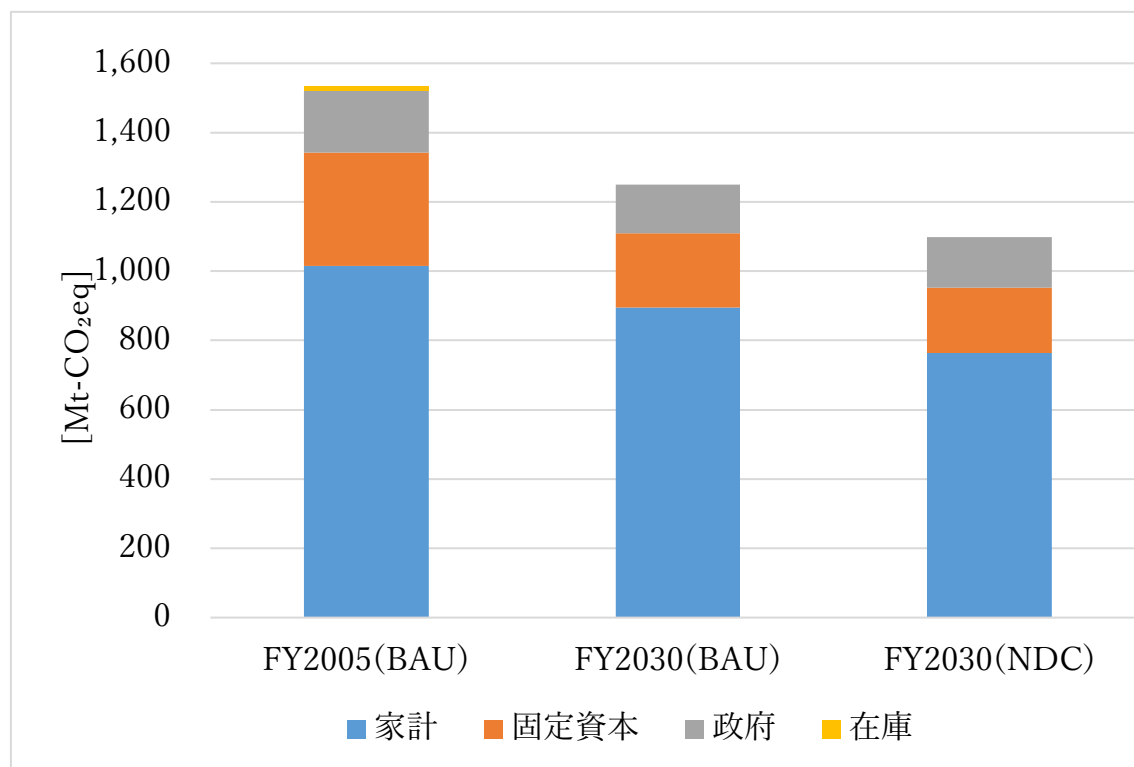


図 4.3.2 日本の CFP 推計結果 (内訳：最終需要)

表 4.3.1 CFP の総量と人口データの比較

Index	FY2005 (BAU)	FY2030 (BAU)	FY2030 (NDC)
CFP [MtCO ₂ eq]	1535	1251	1098
人口[百万人]	128	117	117
CFP per capita [tCO ₂ eq]	12.0	10.6	9.34

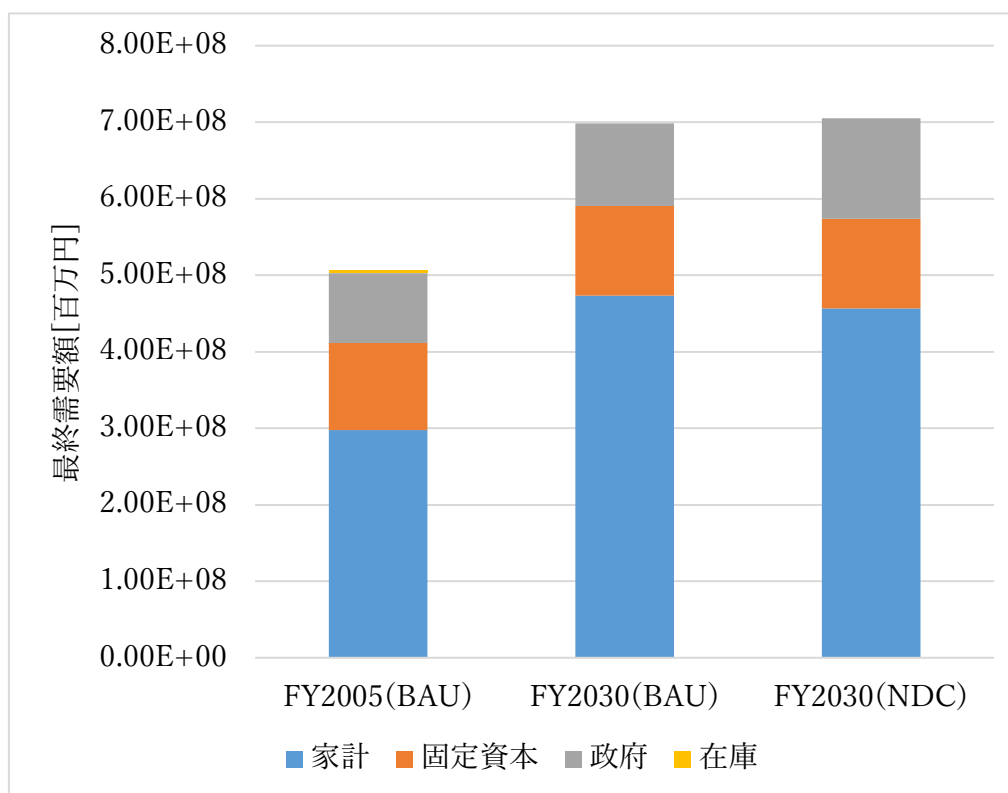


図 4.3.3 シナリオ別最終需要額の比較

図 4.3.4 は全体の CFP を産業部門別で内訳を示し、各シナリオで生産基準、消費基準の CFP を示した。まず、生産基準の内訳を見ると、電力、直接燃料燃焼、石炭・石油・天然ガスといったエネルギー投入に加え、運輸・郵便は物を運ぶ際の影響が大きいと考える。特に鉄鋼、農林水産業といった他の産業に影響を与え得る上流の部門の影響も軽視できないと考えた。また、消費基準だと建築や飲食料品、石油製品、公務の寄与が大きいと判断した。特に、建築においては、上流である建材の間接負荷の影響が大きく起因していると考えた。飲食料品も同様に、農林水産業における間接的な CFP が含まれるからである。また、日本の人口比率では、高齢化の影響により医療・福祉での負荷が消費ベースで現れたと考えた。

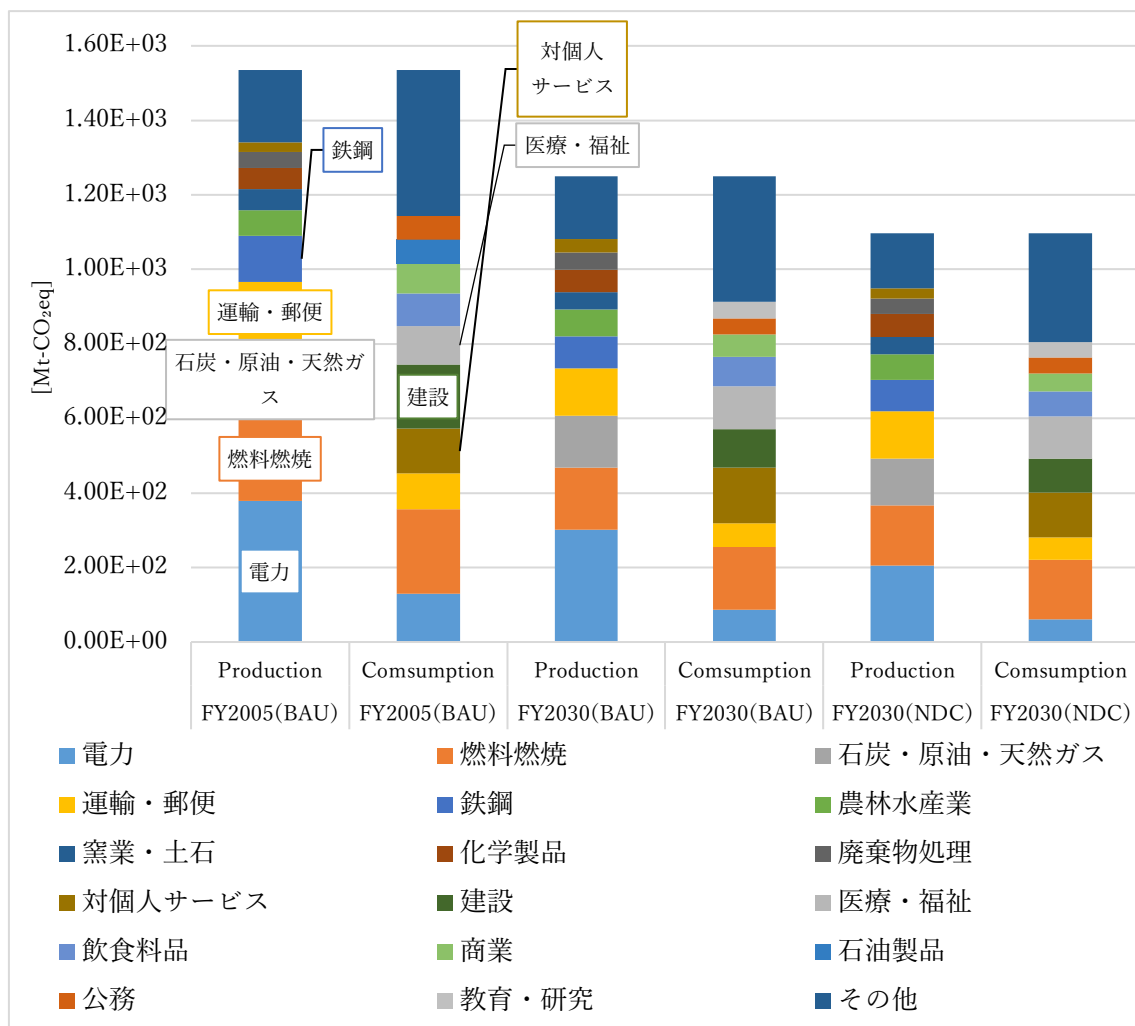


図 4.3.4 全体の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）

4.3.3 家計

図 4.3.5 は家計の CFP を産業部門別で内訳を示し、各シナリオで生産基準、消費基準の CFP を示した。生産基準では、全体のときと同様で、電力、燃料燃焼、石炭・原油・天然ガスといった化石燃料に関わりのある部門からの CFP の寄与が大きい。また、運輸・郵便も同様に、流通段階での燃料燃焼が大きく起因することが分かる。消費基準に着目すると、FY2005 (BAU) に加え、FY2030 (BAU)、FY2030 (NDC) では、対個人サービスの CFP が増加している。これは、現状よりサービス業が発達するという想定のもと需要が増えたからだと考える。また、医療・福祉の CFP が大きくなっているのは、高齢化社会が進むことによる高齢者の増加によるものだと考える。実際に人口データを確認すると 2005 年では 2500 万人で総人口の約 20.1%を占めていたが、2030 年では 3700 万人で全体の約 31.6%が高齢者になるという想定であった。したがって、医療・福祉サービスの需要が高まったということが分かった。飲食料品に着目すると、2030 年で若干減少している。これに関し

ては、一人あたりがとる食事の量は将来も変わらないので、人口減少分の 9%が減少するという結果になった。

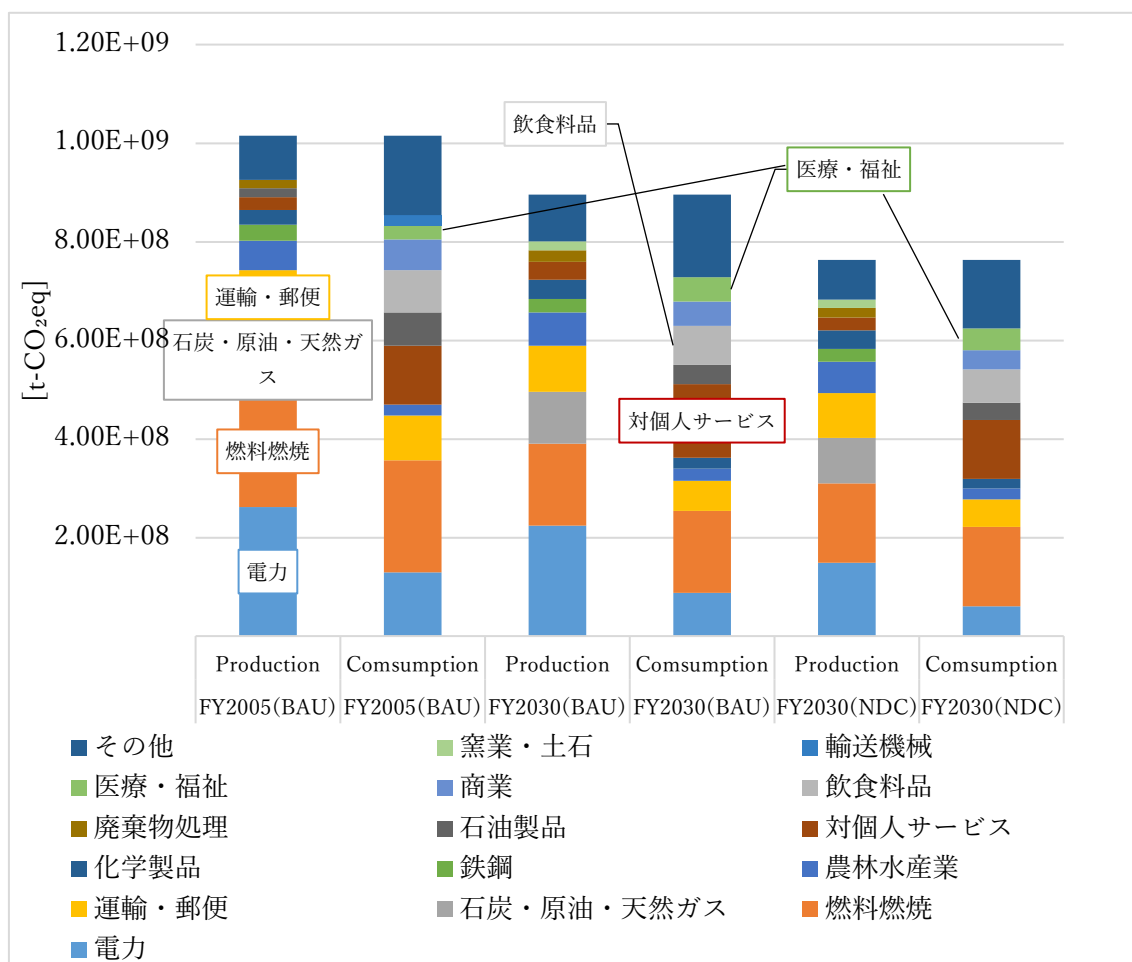


図 4.3.5 家計の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）

4.3.4 固定資本

図 4.3.6 は固定資本の CFP を産業部門別で内訳を示し、各シナリオで生産基準、消費基準の CFP を示した。生産基準では、建材の鉄鋼、建材を作る段階の窯業・土石の CFP が大きくなるという結果になった。電力は建築現場での電力利用が起因していることがわかる。これは、消費基準でみたときの生産用機械及び輸送機械の CFP の占める割合が大きいことからわかる。消費基準で一番大きな割合を占めているのは建設で、生産基準で見たときの鉄鋼、窯業・土石由来の CFP であることが分かる。一般的には消費基準で分析することが多いが、生産基準で分析すると上流まで遡った結果が可視化できる。今回の場合であれば、建築で利用する建材の CFP に注目する必要があることがわかった。

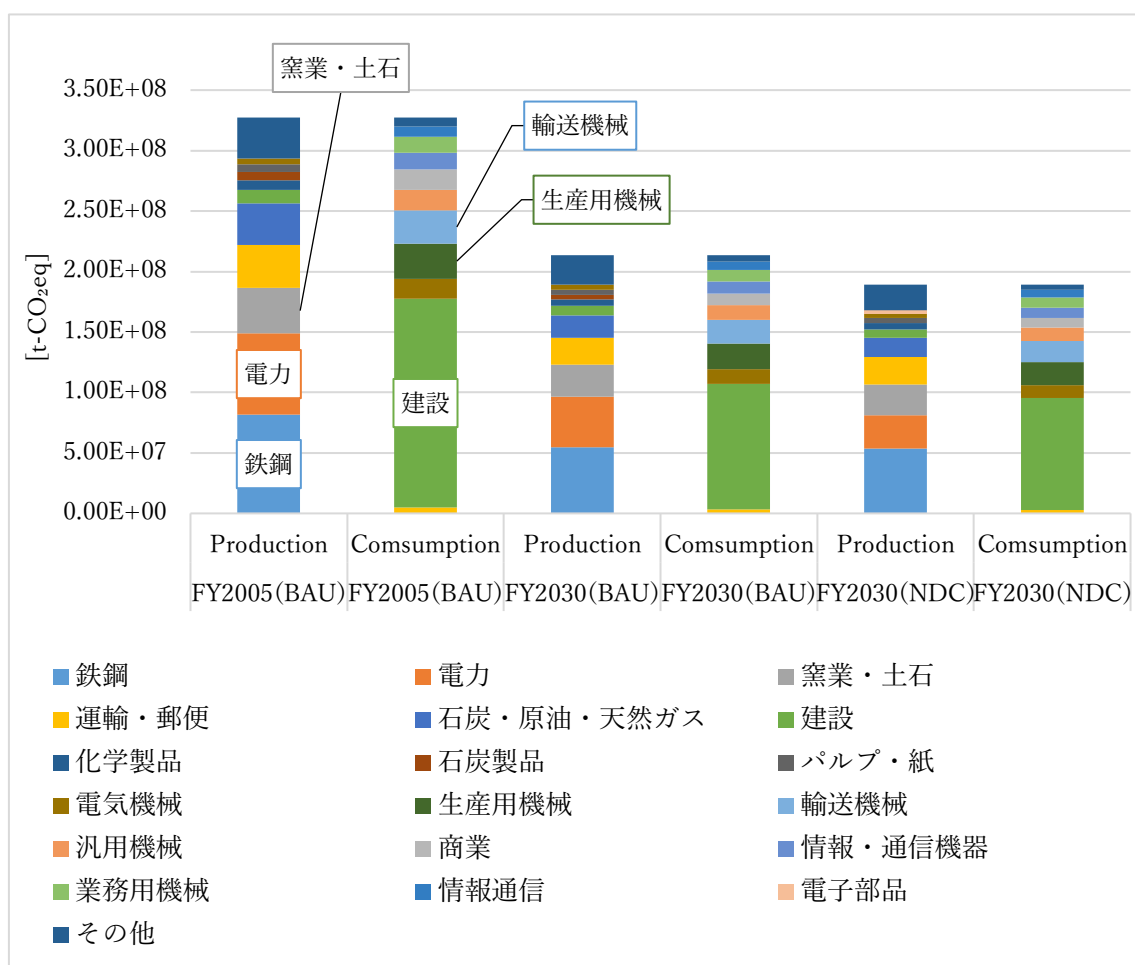


図 4.3.6 固定資本の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）

4.3.5 政府

図 4.3.7 は最終需要部門における政府の CFP を産業部門別で内訳を示し、各シナリオで生産基準、消費基準の CFP を示した。生産基準では、電力、石炭・原油・天然ガスの割合が大きいことが読み取れる。次いで、廃棄物処理の部門が大きな割合を占めている。これは廃棄物処理場で廃棄物を燃焼したときの CFP が含まれており、政府の管轄であることからこのような結果になったと考える。消費基準では、公務、医療・福祉、教育・研究が上位3位までを独占しており、政府の活動に関わりのある部門だからである。FY2030(BAU)と FY2030 (NDC) を比較すると FY2030 (NDC) の方が微増であることが分かる。家計や固定資本では見られなかったこれは温暖化対策の一環で、炭素税を導入したことにより、政府の税収が増える。これにより、政府のできる活動が少し活発になるため、このような結果となっている。

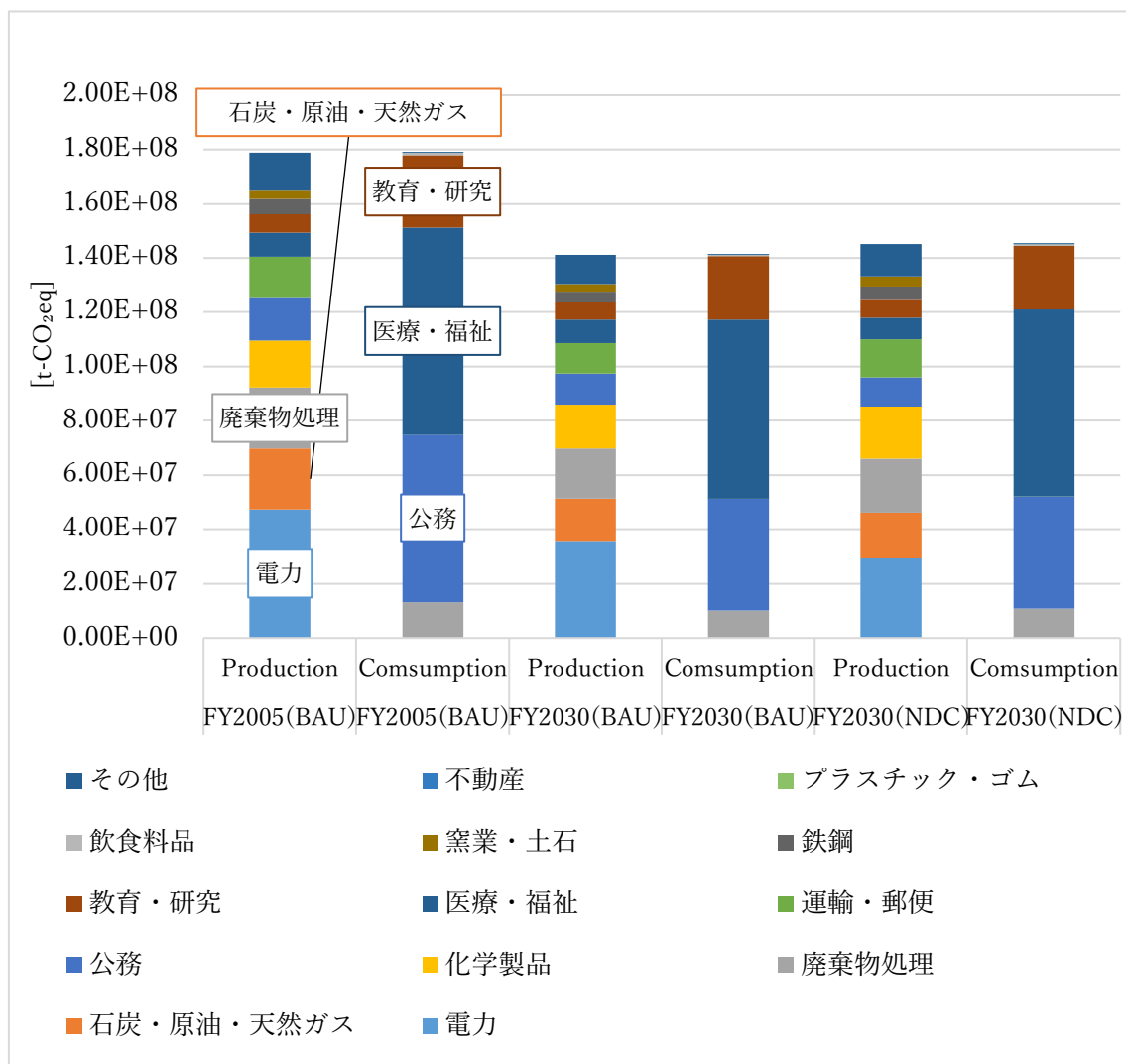


図 4.3.7 政府の CFP 推計結果（内訳：産業部門別）

これまで述べてきた CFP 推計結果の詳細を付録⑦～付録⑨で示す。ここでは、CFP を推計する際に利用した各パラメータの数値を示し、各パラメータの値を視覚的に捉えられるよう、ヒートマップにした。

4.4 炭素生産性の推計

図 4.4.1 は想定した 3 つのシナリオごとの炭素生産性を表示した散布図である。縦軸は産業ごとの最終需要額で、横軸は産業ごとの CFP で表示をしている。個々の点が示すのがその産業での炭素生産性になる。また、各シナリオの回帰直線はそのシナリオ内の平均的な炭素生産性を描いたものと見なす。これにより、FY2005 (BAU)、FY2030 (BAU)、FY2030 (NDC) の順に回帰直線の傾きが大きくなっている。したがって、この散布図から傾きが大きくなることは炭素生産性が高いことになるので、炭素排出量が少なく生産することが

できることを表すので、CFP の相対的な負荷を抑えつつ、経済成長を遂げるという解釈ができる。

電力や石油製品といった化石燃料を直接消費する産業部門は GHG 排出量を直接抑える想定により、CFP が徐々に低くなる左側にシフトしているのが分かる。建設も同様に左側シフトをしている。これは、建材の鉄鋼、窯業・土石での負荷が低減されるからだと考えられる。一方で、飲食料品、商業、不動産に関しては、FY2005 (BAU) から FY2030 (BAU) で左上シフトをしてから、FY2030 (NDC) で左下にシフトする動きを見せている。これは、2030 年での需要が高まり、経済成長が見込まれる部門であり、かつ環境に対する影響が低減されることによる。また、左下にシフトする傾向があるのは、炭素税が導入される FY2030 (NDC) シナリオでは、同じ財・サービスの価格が高くなることにより、購買力が少し低価すると思われる。これにより、炭素税により消費行動を抑えつつ、温暖化への影響を低減するという推計結果が表れた。また、医療・福祉、対個人サービスに関しては、右上にシフトした後、左にシフトすることになる。これは、経済成長が環境負荷低減を上回るスピードであることを示唆する。その後、左にシフトするので最終的な負荷を抑えることが出来ていることが分かる。

この分析により、経済成長と温暖化への影響を同時に考えることができた。

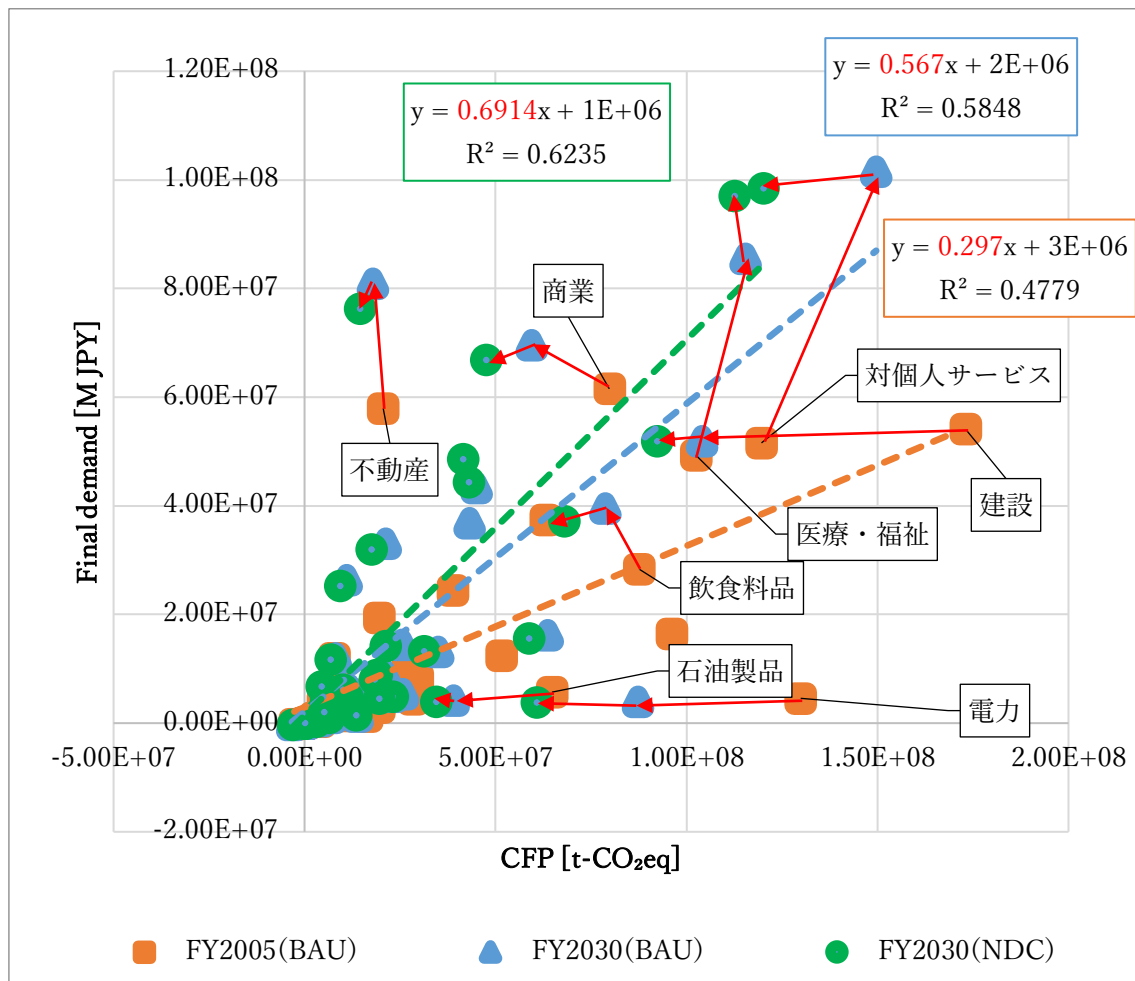


図 4.4.1 各シナリオの炭素生産性

4.5 既存研究との比較

本研究では、2005 年を基準年とし、2030 年の CFP を将来推計した。一般的に将来予測の妥当性を検証するのは困難であるが、基準年の再現計算が既存研究とどのくらい差があるのかを把握することで、将来予測の妥当性を確認するといったことを行う。そこで、今回は、同じ産業連関分析を用いて GHG 排出量のデータベースを構築した南斉らの 3EID¹⁰⁾ と本研究の GHG 排出量を比較した。縦軸に 3EID の GHG 排出量を取り、横軸は本研究で再現した GHG 排出量で散布図を作成した。回帰直線の傾きを確認するとほとんど 1 に近い値であり、 R^2 の値が 0.98 であるため、強い相関関係があることを示した。したがって、本研究の結果の妥当性をある程度確認することができた。GHG 排出量が完全に一致しない理由としては、既存研究は各産業の生産額あたりの GHG 排出量を燃料の投入量からエネルギー量を推計し、GHG 排出係数を用いて推計している。一方で、本研究では将来予測のためのモデルであるため、将来の燃料投入量を推計するのは困難であるため、投

入量は物量ではなく取引金額で表されるので、金額ベースである。したがって、GHG 排出量に変換する際には、価格あたりの GHG 排出量を用いることになるので、必ずしも生産額あたりの GHG 排出量は産業部門ごとで一致はしない。しかし、GHG 排出量の上限を温室効果ガスインベントリオフィス⁵⁾の報告データを基に制約式の中で考慮しているので、全体の GHG 排出量が大きくずれないように工夫をしている。

表 4.5.1 は 2030 年における CFP を大城ら^{11,12)}が行った研究と本研究結果を比較した表である。既存研究では、成り行きシナリオを BAU とし、温暖化対策を行ったシナリオを緩和策 (Mitigation) としている。本研究では、2030 年の成り行きから温暖化対策を取ったシナリオで、約 12%の削減効果が見られたのに対し、大城ら¹¹⁾の結果では 15%削減、もう一つの大城ら¹²⁾の研究結果では 29%削減されるという結果であった。これは、前者の目標年が本研究と同じ 2030 年だったのに対し、後者は 2050 年を目標年にしたときの 2030 年の推計結果である。したがって、本研究の将来予測はある程度の妥当性があることを確認した。それと同時に、2050 年を見据えた評価であれば、さらに温暖化対策を取る必要があるということが分かった。

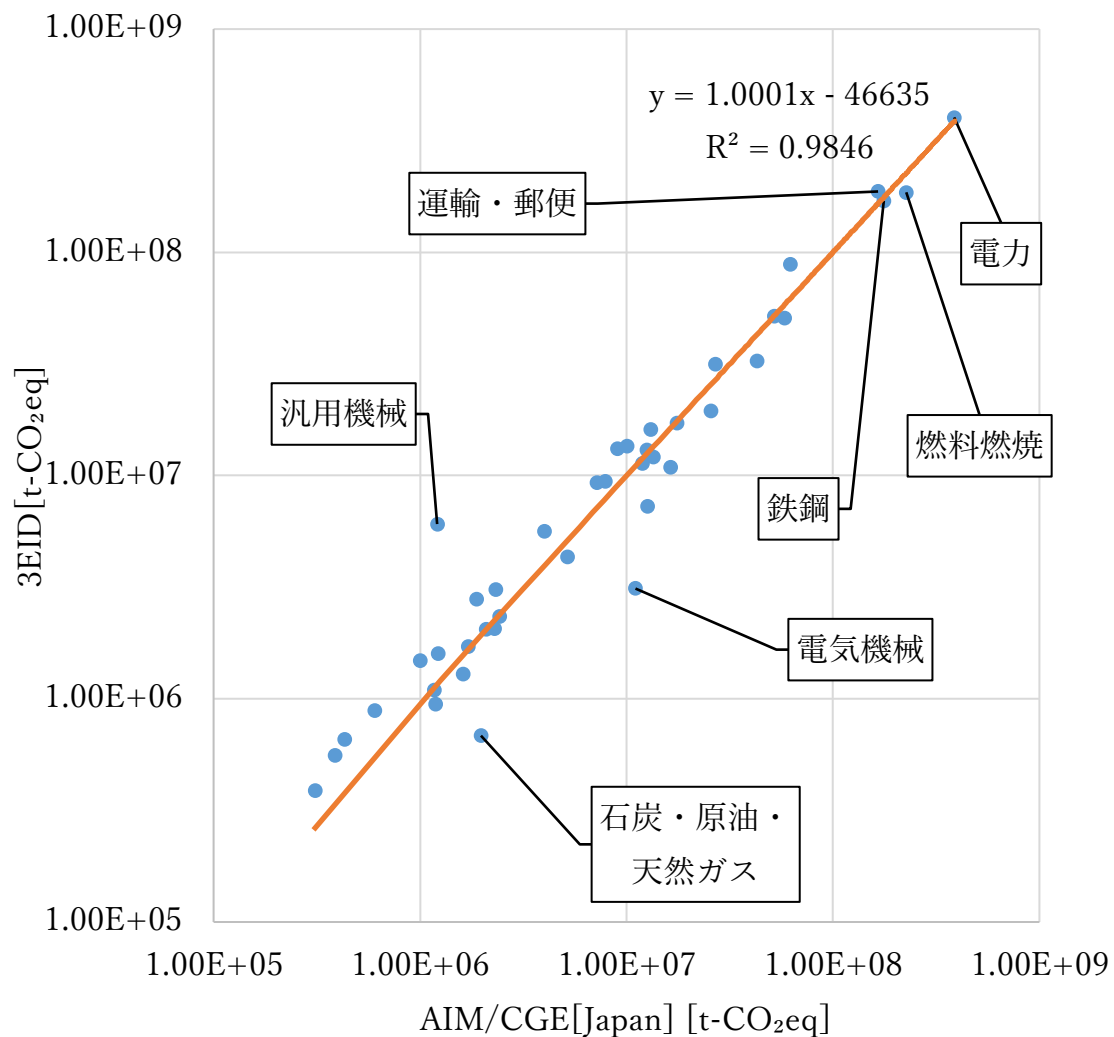


図 4.5.1 既存研究との直接 GHG 排出量比較（内訳：産業部門，2005 年）

表 4.5.1 既存研究と 2030 年 CFP の比較

Index	This study	Oshiro et al ⁽¹¹⁾	Oshiro et al ⁽¹²⁾
BAU (MtCO ₂ eq)	1251	1130	1160
Mitigation (tCO ₂ eq)	1098	960	821
GHG ratio (%)	-12	-15	-29

4.6 まとめ

本研究では、LCA の研究分野で国を対象とした環境負荷を算定する際に用いられる産業連関分析を基に統合評価モデル AIM/CGE[Japan]モデルを用いることにより、CFP の将来推計を実施した。将来シナリオは、成り行きの BAU シナリオと約束草案に基づく NDC シナリオで将来推計結果の比較を行った。CFP の総量は BAU シナリオでも、人口の構成比及び経済構造の変化によりある程度削減されることが分かった。一方で、NDC シナリ

オに基づくと約 28%削減されることが分かったので、約束草案が目標とする 25.4%削減を達成することができることが分かった。

また、利用した産業連関表の部門数は既存研究よりも詳細だったため、各産業の分析を詳細に実施することができた。産業連関分析の特徴であるサプライチェーンを遡る結果の表示を可能としたため、CFP を生産基準、消費基準の二側面で分析することができた。これにより、どの産業の需要がどの産業の供給を誘発するのかを考慮し、その環境負荷の波及を分析することが出来た。さらにその需要は、家計、固定資本、政府の 3 主体を対象とすることができ、個々の CFP を分析することが出来た。

全体の結果から、電力ミックスの変化や化石資源の利用を抑えることが相対的に CFP を減らすことができるというのを生産基準の CFP 結果から確認し、どの産業での削減につながるのかを消費基準で分析することができた。また、エネルギーに関わらない非エネルギーの産業部門に着目すると、固定資本における建設は鉄鋼や窯業・土石由来であることが明確になったため、建材のリサイクルを促進することで、将来の CFP 抑えることができると考える。また、建設時に利用する機体を利用する燃料の負荷も全体に大きく起因することが分かったので、建設時のエネルギー効率に着目することも重要であることが分かった。政府では、消費基準の結果から、医療・福祉、公務、教育・研究と国や自治体と関わりがある部門での影響を確認することができた。また、NDC シナリオでは温暖化対策の一環として、炭素税を導入することにより、税収による最終需要の増加で CFP が成り行きの BAU シナリオよりも微増するという結果を得ることができた。

参考文献

- 1) Ichisugi, Y.; Masui, T.; Karkour, S.; Itsubo, N. Projection of National Carbon Footprint in Japan with Integration of LCA and IAMs. *Sustainability* 2019, 11, 6875, p1-22
- 2) 増井利彦, 日比野剛, 大城賢; 技術選択を考慮した応用一般均衡モデルによる我が国の温室効果ガス排出削減目標, 土木学会論文集 G (環境), vol.7, Issue5, p43-51(2014)
- 3) Submission of Japan's Intended Nationally Determined Contribution (INDC). Available online: https://www.env.go.jp/en/earth/cc/2030indc_mat01.pdf (Accessed on 27 August 2019)
- 4) Portal Site of Official Statistics of Japan. Available online: <https://www.e-stat.go.jp/en/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200603&tstat=000001026283&cycle=0> (Accessed on 27 August 2019)
- 5) Greenhouse Gas Inventory Office of Japan. Available online: http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2016/NIR-JPN-2016-v3.0_rev_web.pdf (Accessed on 27 August 2019)
- 6) National Institute of Population and Social Security Research, Population Projections for Japan (2016–2065), Available online http://www.ipss.go.jp/pp-zenkoku/e/zenkoku_e2017/pp29_summary.pdf (accessed on 27 August 2019)
- 7) Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2015) Long-term energy supply and demand outlook. Available online: https://www.meti.go.jp/english/press/2015/pdf/0716_01a.pdf (accessed on 27 August 2019)
- 8) テキストブック 応用一般均衡モデリング, 細江宣裕, 我澤賢之, 橋本日出男 著 p 277-315
- 9) テキストブック 応用一般均衡モデリング, 細江宣裕, 我澤賢之, 橋本日出男 著 p 23-24
- 10) Nansai, K. Environmental Input-Output Database Building in Japan, 1st ed.; Springer, Springer Netherlands, 2009 ; pp. 653-688 [<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5737-3>]
- 11) Fujimori, S.; Kainuma, M.; Masui, T. Post-2020 Climate Action Global and Asian Perspective, Springer, Kampong Glam, Singapore, 2017; pp. 1–10
- 12) Oshiro, K.; Masui, T. Diffusion of low emission vehicle and their impact on CO₂ emission reduction in Japan, *Energy Policy* 2015,81, 215–225 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.010>

第5章 結論

5.1 本研究の成果

本研究では、気候変動への対策として、資源循環を思考した廃棄物フットプリントの推計と将来の気候変動への影響を CFP の将来推計という二つのアプローチを行った。特に、LCA の研究分野で用いられる、環境型産業連関表の利用方法を廃棄物に特化した表に詳細化した廃棄物産業連関表を利用したこと、将来という時間軸を考慮した将来の産業連関表という二つの側面で拡張を検討した。

第1章では気候変動の現状を整理しつつ将来への影響の推計方法及び、各国の取り組みについて整理した。次に廃棄物の現状を整理し、政府の取り組みと既存研究を整理し、現状の評価方法を確認したうえで、資源循環と気候変動の関係性を整理した。

第2章では序論で整理した背景と既存研究の整理を基に、産業連関分析の拡張という位置づけで、廃棄物産業連関表を用いた廃棄物フットプリントを推計し、同じ手法体系で推計される CFP と比較することで、廃棄物と気候変動の両者を同時に考えるという構想、統合評価モデルをもちいた産業連関表の将来推計という構造の2つのアプローチに至ったことを述べた。

第3章では、最終需要が誘引する廃棄物の発生量、投入量及び処理量を廃棄物フットプリントとして推計を行い、CFP との比較を行った。飲食料品の上流で、家畜の糞尿の影響が大きく起因することや流通における包装で用いられる、紙、プラスチックのフットプリントがホットスポットになっていることが分かった。さらに建設ではがれきのフットプリントが大きく寄与することが明らかになった。したがって、サプライチェーンを網羅した結果、上流側すなわち材料調達の段階での廃棄物発生の低減が気候変動への影響も低減させることができるということが明らかになった。

第4章では、統合評価モデルを用いた産業連関表の将来推計を行い、約束草案のシナリオに基づく CFP の将来推計を行った。部門分類がより詳細であること、家計、固定資本、政府といった最終需要による CFP を生産基準、消費基準で分析することにより、どの活動によりどの産業での CFP なのかを詳細に分析することができた。既存研究からもわかるように、総エネルギー需要を抑えることで CFP の値が下がることを確認しつつ、家計では電力使用量を抑えるための省エネルギーが有効であることに加え、対個人サービスの利用が増えるという予測から、第三次産業での CF の低減にも配慮する必要があるという知見を得た。固定資本では消費基準の約半分が建設業由来であり、建材を調達する段階の鉄鋼や建材を加工する窯業・土石の部門における CFP について検討する必要があるということが分かった。さらに、建設時に用いる重機械を動かすための燃料にも配慮する必要があるということが明らかになった。政府では、主に国や自治体の活動として、公務、医療・福祉、教育・研究が占める CFP がほとんどであった。また、高齢者社会になることから、医療・福祉での CFP が増加することが見込まれた。さらに炭素生産性をプロットした散布

図から、約束草案に基づくシナリオでは、2005 年から 2030 年にかけて経済成長を遂げつつ、炭素税の導入により温暖化への影響を低減させることができるという知見を得た。

5.2 政策への提言

5.2.1 廃棄物マネジメント

本研究では第 3 章にて廃棄物フットプリントの推計結果を示した。これまでは、統計値として公開されていた廃棄物の発生量と最終処分量に対して、本研究では、経済波及効果を考慮した廃棄物フットプリントとして発生量と最終処分量を推計した。これにより、どの最終需要がどの産業による発生量と最終処分量を誘引しているのかを分析することができた。また、廃棄物フットプリントとカーボンフットプリントと比較することを可能にしたことにより、気候変動と合わせて廃棄物マネジメントを考えるための情報を得ることができた。具体的には、廃棄物フットプリントとカーボンフットプリントのどちらも大きい、食料品産業に対する対策が効果的であるといえる。この産業からの発生量は動物の糞尿が大きい割合を占めており、業者が回収・処理を行う。ここに、政府が介入することで、全体の負荷を下げる可以考虑。

また、ライフステージ別に分けた結果により、どのライフステージで誘発される廃棄物が大きいのかを分析することができた。特に、材料調達から使用における廃棄物量は、廃棄段階よりも大きいことが分かる。したがって、各産業の廃棄物量を低減する政策も重要であると考ええる。

5.2.2 将来に向けた CFP 削減の対策

本研究では第 4 章にて将来の CFP を推計した。将来推計の前提条件は、現状の社会で、人口と経済成長（GDP）を変化させたときと、それに加え約束草案に基づく 2030 年の社会を想定した結果との比較を行った。既存研究では、GHG 排出量が産業、業務、輸送といったどのカテゴリーから排出されるかという推計値が報告されていた。これに対して、負荷削減の主な対策は、発電方法を再生可能エネルギーにするといったエネルギー対策と炭素税による規制であった。一方で、この研究では、どのカテゴリーから排出されるといった、直接排出される GHG 排出量だけではなく、産業連関表の最終需要を構成する、家計消費、固定資本、政府によって誘引される GHG 排出量を産業連関分析に基づく経済波及効果を考慮したフットプリントとして算出したことにより、どの産業に対する影響が大きいのかを分析することが可能となった。これにより、直接排出に該当する電力や石炭製品、石油製品といったエネルギーを供給する部門での排出量の削減が再確認できたことに加え、対個人サービスや建設の負荷が大きな割合を占めることが明らかとなった。このことから、対個人サービスの需要に伴う負荷削減が重要であり、建設では建材となる鉄鋼、セメントを含む窯業での負荷を削減することが重要であることが明らかとなった。

約束草案では発電方法に原子力発電を残した状態で、CFP 発生量の低減を見込んでいる

が、実際は原発の事故リスクも考える必要があると考えられるので、他の再生可能エネルギーで原子力発電の分をカバーするようなシナリオで検討を進める必要があると考えられる。

5.3 今後の課題

(1) 輸入品の考慮

本研究で用いた廃棄物産業連関表及び、将来推計した産業連関表は投入における国内品と輸入品を区別しない競争輸入型の表だったため、輸入品の負荷は実体よりも過小評価、もしくは過大評価になっている。この打開策として、多地域間産業連関表（MRIO）を用いたデータベースを利用することで、どの地域で発生した GHG 排出量なのか、廃棄物の発生なのかを評価することが可能であると考えられる。具体的には、先進国が発展途上国に与える影響に関しての分析に用いることが考えられる。

(2) 資源循環による気候変動への削減効果

本研究では、廃棄物フットプリントを CFP と同じ手法体系で推計することにより、二軸で比較することは検討できたものの、資源循環によりどのくらいの CFP を低減することができたかという検証までは行うことが出来なかった。これは、屑・副産物の投入はすでに廃棄物産業連関表で数値があるが、循環が無かった場合を算定する必要がある。この場合は、屑・副産物で代替できなかった資材のフローが必要となり、データの制約上、推計するまでに至らなかった。

(3) 家電リサイクル法が対象とする家電 4 品目

家電リサイクル法が対象とする、エアコン、テレビ、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機・衣類乾燥機に関しては、政府の統計値として、引取台数、再商品化台数、再商品化率などが報告されている。一方で、実際にエアコンやテレビを家庭から廃棄する場合、新しい商品を購入した際に業者が引き取りにくる場合がほとんどである。その引き取られた機器の部品は再利用できるものとそうでないものをメーカーが選別を行う。したがって、この詳細な再資源のフローは、現状の廃棄物産業連関表では考慮できていない。このフローが詳しく分析できることにより、資源循環の貢献度を産業レベルだけではなく、企業の環境マネジメントにも用いることができると考える。

(4) 将来推計における GHG 排出量

本研究で用いた AIM/CGE[Japan]モデルでは、産業部門ごとの GHG 排出量をエネルギー投入部門の取引額から換算して GHG 排出量を求めている。したがって、一つの部門に一つの係数をわりあてる、一物一価の評価になることにより、その値は過大評価もしくは過小評価になってしまうのがこのモデルの限界である。

(5) 将来推計における輸入品

AIM/CGE[Japan]に限らず、輸入品の購入を将来推計するのは困難であり、仮に多地域間産業連関表を用いた推計であっても、基準年の経済構造が最適化されていたという還俗に基づく評価になるため、大幅に輸入率を変えるとといった想定を外生的に与えない限り、その評価を詳細に行うまでには至っていないのが現状である。

(6) 将来シナリオの再検討

本研究では、将来推計のシナリオとして約束草案に基づいた推計を行ったものの、原子力発電を 2030 年でも一定量利用するというシナリオであることや、経済成長が著しく見込まれる GDP の設定であることを踏まえ、シナリオの再検討が必要であると考え。特に序論で述べた、SSP や RCP ごとのシナリオが分析できると、より新たな知見を得ることができ、今後の政策の意思決定に用いることができると考える。

(7) 温暖化対策のシナリオ

温暖化対策のシナリオに関しては、主に、CCS の導入、省エネルギー、炭素税の導入と再生可能エネルギーのシェアを増やすことが考慮されていた。ただし、CCS や再生可能エネルギーの導入に関しては、導入コストを考慮しているのであって、実際の場所やその設備を導入するための資材供給などは含まれていない。炭素税の導入に関しては、税収が増えるという想定で、消費者の購買力が抑えられることに関しては、理解できるプロセスであるが、その税収の全てが医療・福祉、公務に利用されるという想定になってしまう点が課題である。本来であれば、炭素税の税収を再生可能エネルギーの設備投資や CCS 導入といった温暖化対策に用いられるためである。

謝辞

多くの方々からのご支援、ご協力を頂き、本論文を作成することができました。本論文をまとめるにあたり、終始、暖かい激励とご指導、ご鞭撻を頂いた東京都市大学 環境情報学研究科長 教授 伊坪徳宏先生に心より感謝を申し上げます。博士課程では、研究テーマを決めてから論文掲載にいたるまで長い長い道のりとなってしまいましたが、最後の最後まで粘り強くご指導くださり、また、見守ってくださったこと、本当に感謝しております。また、欧州毒物環境科学会（SETAC）では初めての口頭発表をする機会をいただきました。Ecobalance2018 ではポスター発表にて、PEOPLE'S CHOICE POSTER AWARD をいただくことができました。このような成果が得られる機会に巡り会えたこと、本当に感謝いたします。伊坪研究室でなければ、このような素敵な時間を過ごすことはできなかったと確信しております。本当にありがとうございました。

本論文を執筆するにあたりお世話になりました、馬場健司先生、近藤康之先生に心より感謝を申し上げます。ご多忙中、面談する機会を設けていただき、修士論文の構成から、研究目的や成果の利用に至るまで、鋭く的確なアドバイスをしていただけたおかげで、最後まで修士論文が執筆できたのだと思います。本当にありがとうございました。

伊坪研究室のOBの方々、同期の方々、後輩のみんな、特別研究員の小関康雄様、鈴木春生様、秘書の方々、同じ博士課程として苦楽を共に過ごした Selims さん、アミラさん、社会人ドクターの北村さん、中村さん、海外からいらした Seksan さん、に感謝を申しあげます。特に Selim さんは、本論文の一つである Sustainability に投稿した論文にて、既存研究の整理、結果の解釈・妥当性の検証に至るまで大変お世話になりました。本当にありがとうございました。また、同期の中で唯一、修士生活で苦楽を共にした村主さとみ様は修了後も博論についてきにかけてくださり、本当に心強かったです。皆様に支えていただいたことで、ここまで無事に博士論文をまとめられたと確信しております。

最後に、日常生活を支えてくれ、研究生生活を見守ってくれた家族に感謝をいたします。どんな状況でも精神的に支えていただけたおかげで、博士生活を過ごすことができました。

この3年間の博士課程で学んだこと、経験したことを糧に、今後の社会に少しでも貢献できる研究者になれるよう、今後も研究に精進したいと思います。

付録

付録① 廃棄物フットプリントデータベース（産業廃棄物）

部門コード	部門名	産廃（発生） [t/百万円]	産廃（投入） [t/百万円]	産廃（純排出） [t/百万円]
0111	穀類	1.49E+01	-1.50E+01	-9.97E-02
0112	いも・豆類	8.52E+00	-2.32E+01	-1.47E+01
0113	野菜	1.73E+00	-6.72E+00	-4.99E+00
0114	果実	1.91E+00	-4.49E+00	-2.58E+00
0115	その他の食用作物	2.93E+00	-1.10E+01	-8.12E+00
0116	非食用作物	1.07E+00	-1.41E+01	-1.30E+01
0121	畜産	2.51E+01	-5.22E+00	1.99E+01
0131	農業サービス	2.28E+01	-2.70E-01	2.25E+01
0151	育林	7.63E-02	-5.16E-03	7.11E-02
0152	素材	1.57E-01	-1.32E-02	1.44E-01
0153	特用林産物	7.72E-01	-3.14E-01	4.57E-01
0171	海面漁業	7.81E-01	-8.35E-01	-5.40E-02
0172	内水面漁業	9.17E-01	-1.17E+00	-2.52E-01
0611	金属鉱物	1.90E+01	-7.09E-02	1.90E+01
0621	石炭・原油・天然ガス	2.96E+00	-6.06E-02	2.90E+00
0631	砂利・碎石	1.90E+01	-4.52E-02	1.89E+01
0639	その他の鉱物	1.91E+01	-4.20E-02	1.91E+01
1111	食肉	2.28E+01	-3.89E+00	1.89E+01

1112	畜産食料品	1.00E+01	-2.86E+00	7.17E+00
1113	水産食料品	9.86E-01	-1.57E-01	8.29E-01
1114	精穀・製粉	2.88E+00	-5.78E+00	-2.90E+00
1115	めん・パン・菓子類	2.15E+00	-1.19E+00	9.56E-01
1116	農産保存食料品	1.22E+00	-1.29E+00	-6.59E-02
1117	砂糖・油脂・調味料類	1.42E+00	6.26E-02	1.48E+00
1119	その他の食料品	2.85E+00	-1.31E+00	1.54E+00
1121	酒類	9.36E-01	-2.57E-01	6.79E-01
1129	その他の飲料	1.62E+00	-1.02E+00	6.02E-01
1131	飼料・有機質肥料（別掲を除く。）	1.48E+00	-4.43E+00	-2.96E+00
1141	たばこ	4.67E-01	-2.24E-01	2.43E-01
1511	紡績	1.19E+00	-9.52E-01	2.34E-01
1512	織物	1.19E+00	-1.20E-01	1.07E+00
1513	ニット生地	9.46E-01	-2.04E-01	7.42E-01
1514	染色整理	1.11E+00	-6.49E-02	1.04E+00
1519	その他の繊維工業製品	1.14E+00	-1.55E-01	9.85E-01
1521	衣服	7.00E-01	-2.72E-02	6.73E-01
1522	その他の衣服・身の回り品	1.06E+00	-1.03E-01	9.57E-01
1529	その他の繊維既製品	1.09E+00	-1.91E-01	9.04E-01
1611	木材	7.64E-01	-3.84E-02	7.26E-01
1619	その他の木製品	9.21E-01	-3.12E-02	8.90E-01
1621	家具・装備品	4.22E-01	-1.05E-02	4.12E-01

1631	パルプ	5.49E+00	-4.65E-02	5.44E+00
1632	紙・板紙	6.60E+00	-6.63E-02	6.53E+00
1633	加工紙	6.89E+00	-6.29E-02	6.83E+00
1641	紙製容器	6.90E+00	-3.79E-02	6.86E+00
1649	その他の紙加工品	5.68E+00	-3.79E-02	5.65E+00
1911	印刷・製版・製本	1.42E+00	-2.64E-02	1.39E+00
2011	化学肥料	1.71E+00	-8.15E-02	1.63E+00
2021	ソーダ工業製品	2.42E+00	-3.30E-02	2.39E+00
2029	その他の無機化学工業製品	2.69E+00	-1.89E-01	2.50E+00
2031	石油化学基礎製品	1.17E+00	-3.94E-02	1.13E+00
2041	脂肪族中間物・環式中間物	1.83E+00	-3.68E-02	1.80E+00
2042	合成ゴム	1.72E+00	-4.42E-02	1.68E+00
2049	その他の有機化学工業製品	1.84E+00	-8.81E-02	1.75E+00
2051	合成樹脂	1.78E+00	-4.17E-02	1.74E+00
2061	化学繊維	2.04E+00	-7.19E-02	1.97E+00
2071	医薬品	1.26E+00	-8.73E-02	1.17E+00
2081	油脂加工製品・石けん・界面活性剤・化粧品	1.56E+00	-8.58E-02	1.47E+00
2082	塗料・印刷インキ	1.73E+00	-1.00E-01	1.63E+00
2083	写真感光材料	1.87E+00	-5.53E-02	1.81E+00
2084	農薬	1.56E+00	-4.17E-02	1.52E+00
2089	その他の化学最終製品	1.79E+00	-1.37E-01	1.65E+00
2111	石油製品	4.52E-01	-4.39E-02	4.08E-01

2121	石炭製品	1.58E+01	-5.54E-02	1.57E+01
2211	プラスチック製品	9.73E-01	-3.70E-02	9.36E-01
2221	タイヤ・チューブ	9.64E-01	-1.11E+00	-1.48E-01
2229	その他のゴム製品	8.67E-01	-3.92E-01	4.74E-01
2311	革製履物	1.98E+00	-2.37E-01	1.75E+00
2312	なめし革・毛皮・その他の革製品	6.28E-01	-2.15E-02	6.06E-01
2511	ガラス・ガラス製品	2.86E+00	-2.93E-02	2.83E+00
2521	セメント・セメント製品	-3.10E+01	4.17E+02	3.86E+02
2531	陶磁器	2.96E+00	-3.23E-02	2.93E+00
2591	建設用土石製品	3.38E+00	-1.10E-01	3.27E+00
2599	その他の窯業・土石製品	3.07E+00	-7.41E-02	2.99E+00
2611	銑鉄・粗鋼	4.79E+00	-7.18E-01	4.07E+00
2621	熱間圧延鋼材	7.99E+00	-7.15E-01	7.28E+00
2622	鋼管	6.12E+00	-4.41E-01	5.68E+00
2623	冷延・めっき鋼材	5.94E+00	-3.86E-01	5.55E+00
2631	鋳鍛造品	3.69E+00	-2.16E-01	3.48E+00
2699	その他の鉄鋼製品	4.39E+00	-2.31E-01	4.16E+00
2711	非鉄金属製錬・精製	3.13E+00	-1.83E-02	3.11E+00
2721	電線・ケーブル	5.67E+00	-4.17E-02	5.63E+00
2729	その他の非鉄金属製品	3.55E+00	-2.82E-02	3.52E+00
2811	建設用金属製品	3.41E+00	-2.46E-01	3.16E+00
2812	建築用金属製品	2.12E+00	-1.16E-01	2.00E+00

2891	ガス・石油機器・暖厨房機器	2.71E+00	-1.35E-01	2.57E+00
2899	その他の金属製品	2.36E+00	-1.42E-01	2.22E+00
2911	ボイラ・原動機	1.64E+00	-8.80E-02	1.55E+00
2912	ポンプ・圧縮機	1.54E+00	-9.01E-02	1.45E+00
2913	運搬機械	1.44E+00	-8.27E-02	1.36E+00
2914	冷凍機・温湿調整装置	1.27E+00	-5.16E-02	1.22E+00
2919	その他のはん用機械	1.93E+00	-1.23E-01	1.81E+00
3011	農業用機械	1.41E+00	-1.13E-01	1.29E+00
3012	建設・鉱山機械	1.32E+00	-1.27E-01	1.20E+00
3013	繊維機械	1.29E+00	-7.13E-02	1.22E+00
3014	生活関連産業用機械	1.46E+00	-8.51E-02	1.38E+00
3015	基礎素材産業用機械	1.20E+00	-7.20E-02	1.12E+00
3016	金属加工機械	1.33E+00	-8.18E-02	1.25E+00
3017	半導体製造装置	9.42E-01	-4.96E-02	8.93E-01
3019	その他の生産用機械	1.50E+00	-8.35E-02	1.42E+00
3111	事務用機械	1.02E+00	-3.77E-02	9.85E-01
3112	サービス用機器	1.17E+00	-5.69E-02	1.11E+00
3113	計測機器	8.73E-01	-3.61E-02	8.37E-01
3114	医療用機械器具	1.38E+00	-3.54E-02	1.34E+00
3115	光学機械・レンズ	1.25E+00	-2.60E-02	1.22E+00
3116	武器	1.39E+00	-5.05E-02	1.34E+00
3211	電子デバイス	1.36E+00	-2.97E-02	1.33E+00

3299	その他の電子部品	1.60E+00	-3.45E-02	1.56E+00
3311	産業用電気機器	1.53E+00	-5.96E-02	1.47E+00
3321	民生用電気機器	1.42E+00	-5.30E-02	1.37E+00
3331	電子応用装置	1.12E+00	-2.73E-02	1.09E+00
3332	電気計測器	9.60E-01	-2.65E-02	9.34E-01
3399	その他の電気機械	1.61E+00	-4.12E-02	1.57E+00
3411	民生用電子機器	1.13E+00	-3.33E-02	1.10E+00
3412	通信機械	1.12E+00	-3.38E-02	1.09E+00
3421	電子計算機・同附属装置	9.44E-01	-2.80E-02	9.16E-01
3511	乗用車	1.42E+00	-8.20E-02	1.34E+00
3521	トラック・バス・その他の自動車	1.57E+00	-1.11E-01	1.46E+00
3522	二輪自動車	1.21E+00	-6.34E-02	1.14E+00
3531	自動車部品・同附属品	1.35E+00	-6.50E-02	1.29E+00
3541	船舶・同修理	2.29E+00	-1.61E-01	2.13E+00
3591	鉄道車両・同修理	1.72E+00	-1.10E-01	1.61E+00
3592	航空機・同修理	5.31E-01	-1.65E-02	5.14E-01
3599	その他の輸送機械	1.39E+00	-9.31E-02	1.30E+00
3911	がん具・運動用品	1.26E+00	-6.57E-02	1.20E+00
3919	その他の製造工業製品	1.27E+00	-5.63E-02	1.22E+00
3921	再生資源回収・加工処理	4.68E-01	-1.22E-02	4.56E-01
4111	住宅建築	2.29E+00	-3.26E-01	1.96E+00
4112	非住宅建築	2.41E+00	-4.04E-01	2.01E+00

4121	建設補修	2.48E+00	-3.75E-01	2.10E+00
4131	公共事業	2.54E+00	-7.83E-01	1.76E+00
4191	その他の土木建設	2.72E+00	-4.73E-01	2.25E+00
4611	電力	2.89E+00	-4.75E-02	2.84E+00
4621	都市ガス	5.65E-01	-5.68E-02	5.08E-01
4622	熱供給業	1.31E+00	-2.66E-02	1.29E+00
4711	水道	2.18E+01	-4.31E-02	2.17E+01
5111	卸売	2.34E-01	-9.19E-03	2.25E-01
5112	小売	5.43E-01	-1.45E-02	5.29E-01
5311	金融	1.95E-01	-7.57E-03	1.88E-01
5312	保険	2.11E-01	-7.11E-03	2.04E-01
5511	不動産仲介及び賃貸	1.97E-01	-1.23E-02	1.85E-01
5521	住宅賃貸料	1.64E-01	-1.73E-02	1.47E-01
5531	住宅賃貸料（帰属家賃）	1.54E-01	-2.55E-02	1.29E-01
5711	鉄道旅客輸送	4.68E-01	-2.30E-02	4.45E-01
5712	鉄道貨物輸送	5.77E-01	-2.62E-02	5.51E-01
5721	道路旅客輸送	1.88E-01	-1.19E-02	1.76E-01
5722	道路貨物輸送（自家輸送を除く。）	1.95E-01	-1.21E-02	1.83E-01
5741	外洋輸送	2.80E-01	-2.04E-02	2.60E-01
5742	沿海・内水面輸送	4.23E-01	-2.69E-02	3.96E-01
5743	港湾運送	2.02E-01	-1.36E-02	1.88E-01
5751	航空輸送	3.20E-01	-2.21E-02	2.98E-01

5761	貨物利用運送	2.44E-01	-1.25E-02	2.32E-01
5771	倉庫	4.17E-01	-1.88E-02	3.98E-01
5781	こん包	1.18E+00	-2.50E-02	1.15E+00
5789	その他の運輸附帯サービス	3.45E-01	-2.76E-02	3.18E-01
5791	郵便・信書便	1.21E-01	-5.21E-03	1.16E-01
5911	電気通信	3.19E-01	-1.24E-02	3.07E-01
5919	その他の通信サービス	3.14E-01	-2.72E-02	2.87E-01
5921	放送	2.72E-01	-3.76E-02	2.34E-01
5931	情報サービス	2.07E-01	-7.93E-03	1.99E-01
5941	インターネット附随サービス	3.10E-01	-1.75E-02	2.92E-01
5951	映像・音声・文字情報制作	1.20E+00	-2.71E-02	1.17E+00
6111	公務（中央）	3.09E-01	-1.48E-02	2.95E-01
6112	公務（地方）	3.17E-01	-1.80E-02	2.99E-01
6311	学校教育	3.59E-01	-9.67E-03	3.49E-01
6312	社会教育・その他の教育	7.67E-01	-7.46E-02	6.93E-01
6321	学術研究機関	7.13E-01	-5.03E-02	6.63E-01
6322	企業内研究開発	4.09E-01	-4.06E-02	3.69E-01
6411	医療	4.58E-01	-3.32E-02	4.25E-01
6421	保健衛生	3.57E-01	-1.38E-02	3.43E-01
6431	社会保険・社会福祉	5.62E-01	-9.88E-02	4.63E-01
6441	介護	5.36E-01	-8.67E-02	4.49E-01
6599	その他の非営利団体サービス	3.01E-01	-2.76E-02	2.74E-01

6611	物品賃貸業（貸自動車業を除く。）	2.36E-01	-1.33E-02	2.23E-01
6612	貸自動車業	1.64E-01	-1.09E-02	1.53E-01
6621	広告	3.89E-01	-2.50E-02	3.64E-01
6631	自動車整備	7.63E-01	-1.10E-01	6.53E-01
6632	機械修理	7.93E-01	-3.67E-02	7.56E-01
6699	その他の対事業所サービス	1.58E-01	-7.31E-03	1.51E-01
6711	宿泊業	1.21E+00	-3.35E-01	8.79E-01
6721	飲食サービス	1.92E+00	-5.64E-01	1.36E+00
6731	洗濯・理容・美容・浴場業	5.29E-01	-1.53E-02	5.14E-01
6741	娯楽サービス	4.36E-01	-1.05E-01	3.31E-01
6799	その他の対個人サービス	4.39E-01	-7.02E-02	3.68E-01
6811	事務用品	3.00E+00	-3.95E-02	2.97E+00
6911	分類不明	5.39E-01	-5.65E-02	4.82E-01

付録② 廃棄物フットプリントデータベース（一般廃棄物）

部門コード	部門名	一廃（発生） [t/百万円]	一廃（投入） [t/百万円]	一廃（純排出） [t/百万円]
0111	穀類	4.62E-01	-	4.62E-01
0112	いも・豆類	9.86E-01	-	9.86E-01
0113	野菜	8.62E-02	-	8.62E-02
0114	果実	1.15E-01	-	1.15E-01
0115	その他の食用作物	1.94E-01	-	1.94E-01
0116	非食用作物	1.60E-01	-	1.60E-01
0121	畜産	8.69E-02	-	8.69E-02
0131	農業サービス	4.27E-02	-	4.27E-02
0151	育林	1.18E-01	-	1.18E-01
0152	素材	6.29E-02	-	6.29E-02
0153	特用林産物	5.68E-02	-	5.68E-02
0171	海面漁業	6.22E-02	-	6.22E-02
0172	内水面漁業	7.32E-02	-	7.32E-02
0611	金属鉱物	2.29E-02	-	2.29E-02
0621	石炭・原油・天然ガス	1.07E-02	-	1.07E-02
0631	砂利・碎石	2.64E-02	-	2.64E-02
0639	その他の鉱物	2.52E-02	-	2.52E-02
1111	食肉	9.31E-02	-	9.31E-02
1112	畜産食料品	4.23E-02	-	4.23E-02

1113	水産食料品	3.76E-02	-	3.76E-02
1114	精穀・製粉	1.77E-01	-	1.77E-01
1115	めん・パン・菓子類	5.73E-02	-	5.73E-02
1116	農産保存食料品	4.31E-02	-	4.31E-02
1117	砂糖・油脂・調味料類	1.69E-02	-	1.69E-02
1119	その他の食料品	6.42E-02	-	6.42E-02
1121	酒類	1.77E-02	-	1.77E-02
1129	その他の飲料	3.35E-02	-	3.35E-02
1131	飼料・有機質肥料（別掲を除く。）	1.27E-02	-	1.27E-02
1141	たばこ	8.33E-03	-	8.33E-03
1511	紡績	5.66E-02	-	5.66E-02
1512	織物	5.47E-02	-	5.47E-02
1513	ニット生地	4.27E-02	-	4.27E-02
1514	染色整理	3.58E-02	-	3.58E-02
1519	その他の繊維工業製品	3.73E-02	-	3.73E-02
1521	衣服	5.01E-02	-	5.01E-02
1522	その他の衣服・身の回り品	4.73E-02	-	4.73E-02
1529	その他の繊維既製品	4.02E-02	-	4.02E-02
1611	木材	4.07E-02	-	4.07E-02
1619	その他の木製品	3.33E-02	-	3.33E-02
1621	家具・装備品	3.63E-02	-	3.63E-02
1631	パルプ	3.05E-02	-	3.05E-02

1632	紙・板紙	1.83E-02	-	1.83E-02
1633	加工紙	1.85E-02	-	1.85E-02
1641	紙製容器	2.71E-02	-	2.71E-02
1649	その他の紙加工品	2.33E-02	-	2.33E-02
1911	印刷・製版・製本	2.76E-02	-	2.76E-02
2011	化学肥料	1.40E-02	-	1.40E-02
2021	ソーダ工業製品	1.46E-02	-	1.46E-02
2029	その他の無機化学工業製品	1.66E-02	-	1.66E-02
2031	石油化学基礎製品	8.82E-03	-	8.82E-03
2041	脂肪族中間物・環式中間物	1.26E-02	-	1.26E-02
2042	合成ゴム	1.44E-02	-	1.44E-02
2049	その他の有機化学工業製品	1.74E-02	-	1.74E-02
2051	合成樹脂	1.42E-02	-	1.42E-02
2061	化学繊維	1.82E-02	-	1.82E-02
2071	医薬品	1.69E-02	-	1.69E-02
2081	油脂加工製品・石けん・界面活性剤・化粧品	2.06E-02	-	2.06E-02
2082	塗料・印刷インキ	1.99E-02	-	1.99E-02
2083	写真感光材料	1.95E-02	-	1.95E-02
2084	農薬	1.57E-02	-	1.57E-02
2089	その他の化学最終製品	1.99E-02	-	1.99E-02
2111	石油製品	7.32E-03	-	7.32E-03
2121	石炭製品	2.17E-02	-	2.17E-02

2211	プラスチック製品	2.42E-02	-	2.42E-02
2221	タイヤ・チューブ	4.07E-02	-	4.07E-02
2229	その他のゴム製品	3.07E-02	-	3.07E-02
2311	革製履物	4.57E-02	-	4.57E-02
2312	なめし革・毛皮・その他の革製品	5.00E-02	-	5.00E-02
2511	ガラス・ガラス製品	1.83E-02	-	1.83E-02
2521	セメント・セメント製品	4.98E-01	-	4.98E-01
2531	陶磁器	2.84E-02	-	2.84E-02
2591	建設用土石製品	2.15E-02	-	2.15E-02
2599	その他の窯業・土石製品	2.18E-02	-	2.18E-02
2611	銑鉄・粗鋼	1.30E-02	-	1.30E-02
2621	熱間圧延鋼材	1.55E-02	-	1.55E-02
2622	鋼管	1.61E-02	-	1.61E-02
2623	冷延・めっき鋼材	1.66E-02	-	1.66E-02
2631	鍛造品	1.68E-02	-	1.68E-02
2699	その他の鉄鋼製品	2.53E-02	-	2.53E-02
2711	非鉄金属製錬・精製	1.23E-02	-	1.23E-02
2721	電線・ケーブル	1.69E-02	-	1.69E-02
2729	その他の非鉄金属製品	1.28E-02	-	1.28E-02
2811	建設用金属製品	2.73E-02	-	2.73E-02
2812	建築用金属製品	2.58E-02	-	2.58E-02
2891	ガス・石油機器・暖房機器	2.46E-02	-	2.46E-02

2899	その他の金属製品	2.97E-02	-	2.97E-02
2911	ボイラ・原動機	1.83E-02	-	1.83E-02
2912	ポンプ・圧縮機	2.06E-02	-	2.06E-02
2913	運搬機械	2.34E-02	-	2.34E-02
2914	冷凍機・温湿調整装置	1.90E-02	-	1.90E-02
2919	その他のはん用機械	2.18E-02	-	2.18E-02
3011	農業用機械	2.28E-02	-	2.28E-02
3012	建設・鉱山機械	1.89E-02	-	1.89E-02
3013	繊維機械	2.57E-02	-	2.57E-02
3014	生活関連産業用機械	2.54E-02	-	2.54E-02
3015	基礎素材産業用機械	2.12E-02	-	2.12E-02
3016	金属加工機械	2.27E-02	-	2.27E-02
3017	半導体製造装置	1.98E-02	-	1.98E-02
3019	その他の生産用機械	2.59E-02	-	2.59E-02
3111	事務用機械	2.91E-02	-	2.91E-02
3112	サービス用機器	2.20E-02	-	2.20E-02
3113	計測機器	2.21E-02	-	2.21E-02
3114	医療用機械器具	2.53E-02	-	2.53E-02
3115	光学機械・レンズ	2.40E-02	-	2.40E-02
3116	武器	1.84E-02	-	1.84E-02
3211	電子デバイス	2.26E-02	-	2.26E-02
3299	その他の電子部品	2.61E-02	-	2.61E-02

3311	産業用電気機器	2.38E-02	-	2.38E-02
3321	民生用電気機器	2.03E-02	-	2.03E-02
3331	電子応用装置	2.19E-02	-	2.19E-02
3332	電気計測器	2.30E-02	-	2.30E-02
3399	その他の電気機械	2.14E-02	-	2.14E-02
3411	民生用電子機器	2.24E-02	-	2.24E-02
3412	通信機械	2.36E-02	-	2.36E-02
3421	電子計算機・同附属装置	2.28E-02	-	2.28E-02
3511	乗用車	2.19E-02	-	2.19E-02
3521	トラック・バス・その他の自動車	2.26E-02	-	2.26E-02
3522	二輪自動車	2.50E-02	-	2.50E-02
3531	自動車部品・同附属品	2.30E-02	-	2.30E-02
3541	船舶・同修理	2.02E-02	-	2.02E-02
3591	鉄道車両・同修理	2.14E-02	-	2.14E-02
3592	航空機・同修理	1.68E-02	-	1.68E-02
3599	その他の輸送機械	2.19E-02	-	2.19E-02
3911	がん具・運動用品	2.99E-02	-	2.99E-02
3919	その他の製造工業製品	3.19E-02	-	3.19E-02
3921	再生資源回収・加工処理	3.08E-02	-	3.08E-02
4111	住宅建築	3.83E-02	-	3.83E-02
4112	非住宅建築	3.73E-02	-	3.73E-02
4121	建設補修	3.72E-02	-	3.72E-02

4131	公共事業	3.33E-02	-	3.33E-02
4191	その他の土木建設	3.55E-02	-	3.55E-02
4611	電力	1.48E-02	-	1.48E-02
4621	都市ガス	1.34E-02	-	1.34E-02
4622	熱供給業	1.07E-02	-	1.07E-02
4711	水道	1.72E-02	-	1.72E-02
5111	卸売	2.02E-02	-	2.02E-02
5112	小売	4.66E-02	-	4.66E-02
5311	金融	1.62E-02	-	1.62E-02
5312	保険	2.10E-02	-	2.10E-02
5511	不動産仲介及び賃貸	2.09E-02	-	2.09E-02
5521	住宅賃貸料	1.28E-02	-	1.28E-02
5531	住宅賃貸料（帰属家賃）	3.48E-03	-	3.48E-03
5711	鉄道旅客輸送	1.26E-02	-	1.26E-02
5712	鉄道貨物輸送	1.68E-02	-	1.68E-02
5721	道路旅客輸送	4.12E-02	-	4.12E-02
5722	道路貨物輸送（自家輸送を除く。）	3.18E-02	-	3.18E-02
5741	外洋輸送	1.26E-02	-	1.26E-02
5742	沿海・内水面輸送	1.93E-02	-	1.93E-02
5743	港湾運送	1.54E-02	-	1.54E-02
5751	航空輸送	1.67E-02	-	1.67E-02
5761	貨物利用運送	2.20E-02	-	2.20E-02

5771	倉庫	2.01E-02	-	2.01E-02
5781	こん包	2.73E-02	-	2.73E-02
5789	その他の運輸附帯サービス	2.08E-02	-	2.08E-02
5791	郵便・信書便	4.06E-02	-	4.06E-02
5911	電気通信	1.19E-02	-	1.19E-02
5919	その他の通信サービス	2.23E-02	-	2.23E-02
5921	放送	1.54E-02	-	1.54E-02
5931	情報サービス	2.21E-02	-	2.21E-02
5941	インターネット附随サービス	2.24E-02	-	2.24E-02
5951	映像・音声・文字情報制作	2.17E-02	-	2.17E-02
6111	公務（中央）	1.71E-02	-	1.71E-02
6112	公務（地方）	1.60E-02	-	1.60E-02
6311	学校教育	2.22E-02	-	2.22E-02
6312	社会教育・その他の教育	2.85E-02	-	2.85E-02
6321	学術研究機関	2.21E-02	-	2.21E-02
6322	企業内研究開発	2.11E-02	-	2.11E-02
6411	医療	2.56E-02	-	2.56E-02
6421	保健衛生	2.97E-02	-	2.97E-02
6431	社会保険・社会福祉	3.68E-02	-	3.68E-02
6441	介護	4.71E-02	-	4.71E-02
6599	その他の非営利団体サービス	2.84E-02	-	2.84E-02
6611	物品賃貸業（貸自動車業を除く。）	1.38E-02	-	1.38E-02

6612	貸自動車業	1.23E-02	-	1.23E-02
6621	広告	1.98E-02	-	1.98E-02
6631	自動車整備	3.69E-02	-	3.69E-02
6632	機械修理	1.96E-02	-	1.96E-02
6699	その他の対事業所サービス	2.54E-02	-	2.54E-02
6711	宿泊業	3.92E-02	-	3.92E-02
6721	飲食サービス	6.25E-02	-	6.25E-02
6731	洗濯・理容・美容・浴場業	4.43E-02	-	4.43E-02
6741	娯楽サービス	2.25E-02	-	2.25E-02
6799	その他の対個人サービス	3.85E-02	-	3.85E-02
6811	事務用品	2.50E-02	-	2.50E-02
6911	分類不明	1.28E-02	-	1.28E-02

付録③ 廃棄物フットプリントデータベース（埋立量）

部門コード	部門名	産廃（埋立） [t/百万円]	一廃（埋立） [t/百万円]
0111	穀類	5.85E-02	-9.94E+00
0112	いも・豆類	1.47E-01	-2.54E+01
0113	野菜	4.20E-04	-8.20E+00
0114	果実	7.97E-03	-5.01E+00
0115	その他の食用作物	2.61E-02	-1.28E+01
0116	非食用作物	2.33E-02	-1.80E+01
0121	畜産	6.11E-03	1.11E+01
0131	農業サービス	2.43E-03	1.62E+01
0151	育林	1.82E-02	-4.45E-03
0152	素材	7.28E-03	2.38E-02
0153	特用林産物	7.18E-04	-1.41E-01
0171	海面漁業	5.01E-03	-7.88E-01
0172	内水面漁業	7.85E-03	-1.14E+00
0611	金属鉱物	-2.23E-03	4.05E+00
0621	石炭・原油・天然ガス	-3.63E-03	6.08E-01
0631	砂利・碎石	-7.96E-04	4.05E+00
0639	その他の鉱物	-4.43E-04	4.08E+00
1111	食肉	7.78E-03	1.11E+01
1112	畜産食料品	-7.82E-04	2.99E+00

1113	水産食料品	-5.07E-04	5.32E-02
1114	精穀・製粉	2.36E-02	-6.00E+00
1115	めん・パン・菓子類	3.15E-03	-5.69E-01
1116	農産保存食料品	-3.27E-03	-1.37E+00
1117	砂糖・油脂・調味料類	-8.70E-03	5.22E-01
1119	その他の食料品	4.53E-03	-1.95E-01
1121	酒類	-1.25E-02	-9.03E-02
1129	その他の飲料	-6.72E-03	-7.25E-01
1131	飼料・有機質肥料（別掲を除く。）	-1.08E-01	-2.03E+02
1141	たばこ	-3.57E-04	-1.99E-01
1511	紡績	-2.68E-01	-8.85E-01
1512	織物	-1.76E-02	1.40E-01
1513	ニット生地	-4.94E-02	-2.42E-02
1514	染色整理	6.05E-04	1.85E-01
1519	その他の繊維工業製品	-6.78E-03	1.17E-01
1521	衣服	9.93E-03	1.63E-01
1522	その他の衣服・身の回り品	-1.02E-02	2.17E-01
1529	その他の繊維既製品	-2.53E-02	9.68E-02
1611	木材	2.99E-03	2.44E-01
1619	その他の木製品	-6.38E-04	-5.88E-01
1621	家具・装備品	9.62E-04	1.27E-02
1631	パルプ	1.38E-03	6.09E-01

1632	紙・板紙	-1.65E-01	4.58E-01
1633	加工紙	-1.95E-01	3.42E-01
1641	紙製容器	-9.78E-02	4.33E-01
1649	その他の紙加工品	-3.30E-02	4.47E-01
1911	印刷・製版・製本	-2.97E-02	1.60E-01
2011	化学肥料	-2.06E-03	2.41E-01
2021	ソーダ工業製品	-2.88E-03	5.25E-01
2029	その他の無機化学工業製品	-4.35E-03	5.23E-01
2031	石油化学基礎製品	-4.64E-03	2.26E-01
2041	脂肪族中間物・環式中間物	-3.21E-03	3.62E-01
2042	合成ゴム	-3.18E-03	3.28E-01
2049	その他の有機化学工業製品	-2.26E-03	3.22E-01
2051	合成樹脂	-3.00E-03	3.32E-01
2061	化学繊維	-2.84E-03	3.42E-01
2071	医薬品	-9.58E-03	1.56E-01
2081	油脂加工製品・石けん・界面活性剤・化粧品	-2.08E-02	1.93E-01
2082	塗料・印刷インキ	-2.27E-03	2.77E-01
2083	写真感光材料	-9.33E-03	3.18E-01
2084	農薬	-9.44E-03	2.86E-01
2089	その他の化学最終製品	-2.86E-03	3.02E-01
2111	石油製品	-5.93E-03	8.19E-02
2121	石炭製品	-1.61E-03	3.39E+00

2211	プラスチック製品	-1.64E-02	1.97E-01
2221	タイヤ・チューブ	2.36E-03	-1.21E+00
2229	その他のゴム製品	-6.14E-03	-2.63E-01
2311	革製履物	-3.39E-04	7.79E-01
2312	なめし革・毛皮・その他の革製品	-2.38E-03	5.97E-02
2511	ガラス・ガラス製品	-4.49E-01	1.02E+00
2521	セメント・セメント製品	1.02E+01	5.63E+02
2531	陶磁器	-6.86E-03	9.92E-01
2591	建設用土石製品	-1.54E-02	1.05E+00
2599	その他の窯業・土石製品	-4.76E-03	1.03E+00
2611	銑鉄・粗鋼	-1.07E-01	7.56E-01
2621	熱間圧延鋼材	-1.06E-01	2.08E+00
2622	鋼管	-6.42E-02	2.19E+00
2623	冷延・めっき鋼材	-5.59E-02	2.21E+00
2631	鍛造品	-2.78E-02	1.32E+00
2699	その他の鉄鋼製品	-3.15E-02	1.85E+00
2711	非鉄金属製錬・精製	6.69E-03	8.07E-01
2721	電線・ケーブル	-9.21E-03	1.12E+00
2729	その他の非鉄金属製品	-3.90E-03	7.92E-01
2811	建設用金属製品	-3.28E-02	1.03E+00
2812	建築用金属製品	-1.37E-02	7.28E-01
2891	ガス・石油機器・暖房機器	-2.26E-02	7.83E-01

2899	その他の金属製品	-1.73E-02	7.73E-01
2911	ボイラ・原動機	-1.11E-02	5.31E-01
2912	ポンプ・圧縮機	-1.10E-02	4.78E-01
2913	運搬機械	-1.19E-02	4.47E-01
2914	冷凍機・温湿調整装置	-7.81E-03	3.61E-01
2919	その他のはん用機械	-1.63E-02	5.43E-01
3011	農業用機械	-1.08E-02	3.98E-01
3012	建設・鉱山機械	-9.98E-03	3.56E-01
3013	繊維機械	-7.59E-03	3.87E-01
3014	生活関連産業用機械	-9.39E-03	4.53E-01
3015	基礎素材産業用機械	-8.08E-03	3.55E-01
3016	金属加工機械	-1.03E-02	4.01E-01
3017	半導体製造装置	-5.82E-03	2.78E-01
3019	その他の生産用機械	-9.52E-03	4.51E-01
3111	事務用機械	-1.13E-02	2.34E-01
3112	サービス用機器	-9.82E-03	3.06E-01
3113	計測機器	-9.39E-03	2.18E-01
3114	医療用機械器具	-6.43E-03	3.00E-01
3115	光学機械・レンズ	-1.23E-01	3.51E-01
3116	武器	-5.35E-03	2.97E-01
3211	電子デバイス	-7.87E-03	3.01E-01
3299	その他の電子部品	-1.12E-02	3.63E-01

3311	産業用電気機器	-7.86E-03	3.87E-01
3321	民生用電気機器	-1.20E-02	3.64E-01
3331	電子応用装置	-1.52E-02	2.61E-01
3332	電気計測器	-5.56E-03	2.25E-01
3399	その他の電気機械	-1.63E-02	3.82E-01
3411	民生用電子機器	-1.54E-02	2.75E-01
3412	通信機械	-6.39E-03	2.56E-01
3421	電子計算機・同附属装置	-7.72E-03	2.22E-01
3511	乗用車	-1.41E-02	4.13E-01
3521	トラック・バス・その他の自動車	-1.27E-02	4.45E-01
3522	二輪自動車	-5.32E-03	3.36E-01
3531	自動車部品・同附属品	-6.64E-03	3.94E-01
3541	船舶・同修理	-2.24E-02	6.81E-01
3591	鉄道車両・同修理	-2.36E-02	5.12E-01
3592	航空機・同修理	-9.31E-03	1.63E-01
3599	その他の輸送機械	-9.42E-03	4.19E-01
3911	がん具・運動用品	-1.14E-02	3.09E-01
3919	その他の製造工業製品	-1.33E-02	2.83E-01
3921	再生資源回収・加工処理	2.64E-03	1.37E-01
4111	住宅建築	-1.91E-02	1.06E-01
4112	非住宅建築	-2.41E-02	-1.50E-01
4121	建設補修	-2.10E-02	1.15E-02

4131	公共事業	-3.25E-02	-1.40E+00
4191	その他の土木建設	-2.07E-02	1.67E-01
4611	電力	-2.91E-03	9.59E-01
4621	都市ガス	-3.10E-03	7.08E-02
4622	熱供給業	-2.91E-03	2.32E-01
4711	水道	-2.87E-03	1.98E+00
5111	卸売	4.83E-04	2.94E-02
5112	小売	4.17E-03	8.22E-02
5311	金融	3.52E-04	2.27E-02
5312	保険	5.00E-04	2.60E-02
5511	不動産仲介及び賃貸	7.31E-04	2.70E-02
5521	住宅賃貸料	-9.24E-04	1.31E-02
5531	住宅賃貸料（帰属家賃）	-1.23E-03	-2.16E-03
5711	鉄道旅客輸送	-2.10E-03	8.23E-02
5712	鉄道貨物輸送	-2.36E-03	1.33E-01
5721	道路旅客輸送	4.98E-03	3.05E-02
5722	道路貨物輸送（自家輸送を除く。）	2.79E-03	3.60E-02
5741	外洋輸送	-1.72E-03	6.03E-02
5742	沿海・内水面輸送	-1.56E-03	7.03E-02
5743	港湾運送	-3.25E-04	3.84E-02
5751	航空輸送	-2.98E-03	6.79E-02
5761	貨物利用運送	-5.57E-04	3.49E-02

5771	倉庫	-1.37E-03	7.82E-02
5781	こん包	-1.77E-02	1.19E-01
5789	その他の運輸附帯サービス	8.11E-05	4.01E-02
5791	郵便・信書便	5.35E-03	2.60E-02
5911	電気通信	-9.91E-04	4.57E-02
5919	その他の通信サービス	-4.93E-04	3.25E-02
5921	放送	-6.20E-04	9.84E-03
5931	情報サービス	3.82E-04	2.96E-02
5941	インターネット附随サービス	-1.83E-04	4.16E-02
5951	映像・音声・文字情報制作	-1.96E-02	1.03E-01
6111	公務（中央）	-1.11E-04	5.91E-02
6112	公務（地方）	-9.12E-06	3.43E-02
6311	学校教育	8.53E-04	4.52E-02
6312	社会教育・その他の教育	-1.24E-04	1.04E-01
6321	学術研究機関	-7.66E-03	1.17E-01
6322	企業内研究開発	-1.86E-03	4.54E-02
6411	医療	2.51E-04	6.37E-02
6421	保健衛生	-1.62E-03	5.19E-02
6431	社会保険・社会福祉	2.35E-03	3.45E-02
6441	介護	5.26E-03	3.61E-02
6599	その他の非営利団体サービス	7.64E-04	1.77E-02
6611	物品賃貸業（貸自動車業を除く。）	-5.28E-04	5.21E-02

6612	貸自動車業	-5.33E-04	3.51E-02
6621	広告	-3.25E-03	3.25E-02
6631	自動車整備	-3.44E-03	1.24E-01
6632	機械修理	-6.64E-03	1.95E-01
6699	その他の対事業所サービス	1.56E-03	2.37E-02
6711	宿泊業	2.51E-03	8.26E-02
6721	飲食サービス	5.92E-03	2.88E-01
6731	洗濯・理容・美容・浴場業	4.34E-03	7.46E-02
6741	娯楽サービス	6.87E-04	-2.94E-02
6799	その他の対個人サービス	4.03E-03	1.77E-02
6811	事務用品	-3.88E-02	2.69E-01
6911	分類不明	-7.36E-02	5.50E-02

付録④ 2005(BAU) AIM IO (2018 年 12 月更新)

2009(BAU)	Y-F	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
コード	部門	法人番号	法人名称	法人種別	法人形態	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種	法人業種																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

付録⑤ 2030(BAU) AIM_IO (2018 年 12 月更新)

2020(BAU)	コード	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521</
-----------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

付録⑥ 2030(NDC) AIM_IO (2018 年 12 月更新)

[illegible]

付録⑦ 2005(BAU)CFP (2018 年 12 月更新)

No.	Sectors	Direct emission	Product price	Direct emission coefficient	CFP intensity	Household	Fixed capital	Government	Total	Household	Fixed capital	Government
		[t-CO ₂ eq]	[MJPY]	[t-CO ₂ eq/MJPY]	[t-CO ₂ eq/MJPY]	[MJPY]	[MJPY]	[MJPY]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]
1	Agriculture, forestry and fishery	5.19E+07	1.32E+07	3.94E+00	6.33E+00	3.56E+06	1.98E+05		2.38E+07	2.26E+07	1.25E+06	
2	Mining	6.02E+05	8.87E+05	6.79E-01	4.00E+00	-1.51E+04	-8.43E+03		-9.41E+04	-6.03E+04	-3.37E+04	
3	Coal mining, petroleum and Natural gas	1.97E+06	1.25E+05	1.58E+01	1.88E+01	2.30E+01			4.33E+02	4.33E+02		
4	Beverages and Foods	1.01E+07	3.63E+07	2.77E-01	3.09E+00	2.77E+07		3.28E+05	8.69E+07	8.59E+07		1.01E+06
5	Textile products	1.87E+06	4.36E+06	4.30E-01	3.16E+00	3.90E+06	2.66E+05		1.32E+07	1.23E+07	8.42E+05	
6	Pulp and paper	1.30E+07	1.28E+07	1.02E+00	4.59E+00	5.93E+05	3.50E+05	1.68E+03	4.33E+06	2.72E+06	1.61E+06	7.72E+03
7	Chemical products	5.82E+07	2.74E+07	2.12E+00	6.68E+00	2.82E+06			1.89E+07	1.89E+07		
8	Petroleum products	2.69E+07	1.92E+07	1.40E+00	1.13E+01	5.89E+06			6.68E+07	6.68E+07		
9	Coal products	1.26E+07	1.25E+06	1.01E+01	2.16E+01	1.36E+03			2.93E+04	2.93E+04		
10	Plastic and rubber	2.42E+06	1.41E+07	1.72E-01	3.48E+00	1.82E+06	-3.86E+02	4.28E+03	6.34E+06	6.33E+06	-1.34E+03	1.49E+04
11	Ceramic, stone and clay	6.21E+07	7.14E+06	8.70E+00	1.24E+01	2.56E+05			3.17E+06	3.17E+06		
12	Iron and steel	1.76E+08	2.53E+07	6.98E+00	1.90E+01	-3.27E+04	-1.86E+05		-4.15E+06	-6.20E+05	-3.53E+06	
13	Non-ferrous metals	3.99E+06	7.30E+06	5.46E-01	4.07E+00	1.08E+05	2.61E+04		5.47E+05	4.40E+05	1.06E+05	
14	Metal products	2.32E+06	1.25E+07	1.86E-01	5.88E+00	3.51E+05	2.70E+05	5.08E+02	3.65E+06	2.07E+06	1.59E+06	2.99E+03
15	General-purpose machinery	1.21E+06	1.16E+07	1.04E-01	4.16E+00	1.74E+04	4.13E+06		1.72E+07	7.21E+04	1.72E+07	
16	Production machinery	1.17E+06	1.46E+07	7.98E-02	3.65E+00	2.93E+04	7.93E+06		2.90E+07	1.07E+05	2.89E+07	

17	Business oriented machinery	4.29E+05	7.94E+06	5.40E-02	2.86E+00	6.00E+05	4.62E+06	1.26E+02	1.49E+07	1.71E+06	1.32E+07	3.60E+02
18	Electronic components	9.05E+06	1.61E+07	5.61E-01	3.75E+00	2.41E+05			9.03E+05	9.03E+05		
19	Electronic machinery	1.11E+07	1.57E+07	7.02E-01	3.75E+00	2.91E+06	4.37E+06		2.73E+07	1.09E+07	1.64E+07	
20	Information and communication electronics equipment	3.11E+05	1.10E+07	2.84E-02	2.69E+00	4.97E+06	5.17E+06		2.72E+07	1.33E+07	1.39E+07	
21	Transportation equipment	7.89E+06	5.28E+07	1.49E-01	4.13E+00	5.57E+06	6.63E+06		5.04E+07	2.30E+07	2.74E+07	
22	Miscellaneous manufacturing products	1.22E+06	1.12E+07	1.09E-01	2.27E+00	2.10E+06	1.13E+06	1.40E+01	7.35E+06	4.78E+06	2.58E+06	3.18E+01
23	Construction	1.25E+07	6.33E+07	1.98E-01	3.20E+00		5.41E+07		1.73E+08		1.73E+08	
24	Electricity	3.86E+08	1.65E+07	2.34E+01	2.84E+01	4.57E+06			1.30E+08	1.30E+08		
25	Gas supply	3.88E+05	2.74E+06	1.41E-01	8.61E+00	1.32E+06			1.14E+07	1.14E+07		
26	Steam and hot water supply	1.00E+06	1.56E+05	6.41E+00	1.24E+01	5.08E+03			6.29E+04	6.29E+04		
27	Water supply	7.17E+06	4.57E+06	1.57E+00	4.39E+00	1.53E+06			6.74E+06	6.74E+06		
28	Waste management service	4.27E+07	3.76E+06	1.14E+01	1.33E+01	2.42E+05		9.93E+05	1.64E+07	3.21E+06		1.32E+07
29	Commerce	1.75E+07	1.03E+08	1.71E-01	1.30E+00	4.86E+07	1.28E+07	6.87E+03	7.95E+07	6.30E+07	1.66E+07	8.91E+03
30	Finance and insurance	1.19E+06	4.16E+07	2.85E-02	6.49E-01	1.19E+07			7.75E+06	7.75E+06		
31	Real estate	1.71E+06	6.64E+07	2.57E-02	3.55E-01	5.79E+07		3.71E+04	2.06E+07	2.06E+07		1.32E+04
32	Transport and postal services	1.65E+08	5.19E+07	3.19E+00	5.85E+00	1.56E+07	8.06E+05	3.60E+03	9.58E+07	9.10E+07	4.71E+06	2.11E+04
33	Information and communications	2.09E+06	4.41E+07	4.73E-02	1.00E+00	1.10E+07	8.41E+06	3.59E+04	1.95E+07	1.10E+07	8.44E+06	3.60E+04
34	Public administration	1.63E+07	3.85E+07	4.23E-01	1.69E+00	7.87E+05		3.66E+07	6.31E+07	1.33E+06		6.18E+07
35	Education and research	1.34E+07	3.63E+07	3.70E-01	1.59E+00	7.61E+06		1.68E+07	3.88E+07	1.21E+07		2.67E+07
36	Medical, health care and welfare	1.19E+07	5.02E+07	2.38E-01	2.08E+00	1.27E+07		3.66E+07	1.02E+08	2.64E+07		7.61E+07
37	Miscellaneous non-profit services	1.61E+06	5.03E+06	3.21E-01	1.23E+00	3.90E+06			4.79E+06	4.79E+06		

38	Business services	5.15E+06	6.38E+07	8.07E-02	1.04E+00	4.62E+06	2.81E+06		7.74E+06	4.81E+06	2.93E+06	
39	Personal services	2.56E+07	5.21E+07	4.91E-01	2.32E+00	5.16E+07			1.20E+08	1.20E+08		
40	Office supplies and activities not elsewhere classified	2.29E+06	6.49E+06	3.53E-01	2.63E+00	2.63E+04			6.93E+04	6.93E+04		
41	Fuel combustion	-	-	-	-	-	-	-	2.26E+08	2.26E+08		

付録⑧ 2030(BAU)CFP (2018 年 12 月更新)

No.	Sectors	Direct emission	Product price	Direct emission coefficient	CFP intensity	Household	Fixed capital	Government	Total	Household	Fixed capital	Government
		[t-CO ₂ eq]	[MJPY]	[t-CO ₂ eq/MJPY]	[t-CO ₂ eq/MJPY]	[MJPY]	[MJPY]	[MJPY]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]
1	Agriculture, forestry and fishery	5.96E+07	1.85E+07	3.23E+00	4.77E+00	5.16E+06	2.21E+05		2.57E+07	2.46E+07	1.05E+06	
2	Mining	6.20E+05	1.23E+06	5.04E-01	2.69E+00	-1.92E+04	-9.42E+03		-7.67E+04	-5.14E+04	-2.53E+04	
3	Coal mining, petroleum and Natural gas	1.68E+06	1.25E+05	1.35E+01	1.54E+01	1.81E+01			2.79E+02	2.79E+02		
4	Beverages and Foods	1.10E+07	5.46E+07	2.02E-01	1.99E+00	3.92E+07		3.14E+05	7.88E+07	7.81E+07		6.26E+05
5	Textile products	1.62E+06	5.11E+06	3.16E-01	1.98E+00	5.60E+06	2.97E+05		1.17E+07	1.11E+07	5.88E+05	
6	Pulp and paper	1.17E+07	1.52E+07	7.67E-01	3.00E+00	1.01E+06	3.91E+05	1.62E+03	4.21E+06	3.03E+06	1.17E+06	4.85E+03
7	Chemical products	6.40E+07	3.87E+07	1.66E+00	4.71E+00	4.85E+06			2.28E+07	2.28E+07		
8	Petroleum products	1.73E+07	1.59E+07	1.09E+00	9.27E+00	4.20E+06			3.89E+07	3.89E+07		
9	Coal products	6.68E+06	8.06E+05	8.29E+00	1.71E+01	1.85E+02			3.17E+03	3.17E+03		
10	Plastic and rubber	2.33E+06	1.74E+07	1.34E-01	2.22E+00	2.72E+06	-4.31E+02	4.11E+03	6.06E+06	6.05E+06	-9.58E+02	9.13E+03
11	Ceramic, stone and clay	5.32E+07	7.42E+06	7.16E+00	9.57E+00	3.98E+05			3.81E+06	3.81E+06		
12	Iron and steel	1.64E+08	3.06E+07	5.36E+00	1.30E+01	-4.61E+04	-2.08E+05		-3.29E+06	-5.97E+05	-2.69E+06	
13	Non-ferrous metals	5.65E+06	1.35E+07	4.19E-01	2.58E+00	2.18E+05	2.91E+04		6.38E+05	5.63E+05	7.51E+04	
14	Metal products	1.92E+06	1.39E+07	1.38E-01	3.76E+00	3.95E+05	3.01E+05	4.87E+02	2.62E+06	1.48E+06	1.13E+06	1.83E+03
15	General-purpose machinery	1.50E+06	1.94E+07	7.70E-02	2.68E+00	3.26E+04	4.62E+06		1.24E+07	8.73E+04	1.23E+07	
16	Production machinery	1.07E+06	1.78E+07	5.99E-02	2.34E+00	5.07E+04	8.85E+06		2.09E+07	1.19E+05	2.07E+07	

17	Business oriented machinery	3.82E+05	9.38E+06	4.07E-02	1.86E+00	1.06E+06	5.15E+06	1.21E+02	1.16E+07	1.98E+06	9.61E+06	2.25E+02
18	Electronic components	5.09E+06	1.07E+07	4.74E-01	2.59E+00	4.04E+05			1.05E+06	1.05E+06		
19	Electronic machinery	1.23E+07	2.12E+07	5.81E-01	2.54E+00	3.28E+06	4.87E+06		2.07E+07	8.34E+06	1.24E+07	
20	Information and communication electronics equipment	2.03E+05	9.34E+06	2.17E-02	1.75E+00	8.69E+06	5.77E+06		2.53E+07	1.52E+07	1.01E+07	
21	Transportation equipment	1.15E+07	1.06E+08	1.09E-01	2.65E+00	5.79E+06	7.41E+06		3.50E+07	1.53E+07	1.96E+07	
22	Miscellaneous manufacturing products	1.25E+06	1.55E+07	8.03E-02	1.43E+00	3.46E+06	1.26E+06	1.34E+01	6.78E+06	4.96E+06	1.82E+06	1.93E+01
23	Construction	9.19E+06	6.41E+07	1.43E-01	2.00E+00		5.20E+07		1.04E+08		1.04E+08	
24	Electricity	3.41E+08	1.75E+07	1.95E+01	2.22E+01	3.92E+06			8.72E+07	8.72E+07		
25	Gas supply	2.85E+05	2.66E+06	1.07E-01	6.64E+00	1.03E+06			6.86E+06	6.86E+06		
26	Steam and hot water supply	8.05E+05	1.62E+05	4.98E+00	8.70E+00	4.00E+03			3.48E+04	3.48E+04		
27	Water supply	8.49E+06	6.91E+06	1.23E+00	3.00E+00	2.23E+06			6.69E+06	6.69E+06		
28	Waste management service	4.67E+07	4.93E+06	9.48E+00	1.07E+01	3.43E+05		9.53E+05	1.39E+07	3.67E+06		1.02E+07
29	Commerce	1.47E+07	1.13E+08	1.30E-01	8.53E-01	5.85E+07	1.12E+07	5.13E+03	5.94E+07	4.99E+07	9.51E+06	4.37E+03
30	Finance and insurance	1.39E+06	6.65E+07	2.10E-02	4.17E-01	2.63E+07			1.10E+07	1.10E+07		
31	Real estate	1.79E+06	9.54E+07	1.87E-02	2.21E-01	8.09E+07		3.56E+04	1.79E+07	1.79E+07		7.87E+03
32	Transport and postal services	1.39E+08	6.11E+07	2.28E+00	3.92E+00	1.54E+07	7.94E+05	3.05E+03	6.36E+07	6.05E+07	3.11E+06	1.19E+04
33	Information and communications	2.33E+06	6.70E+07	3.48E-02	6.40E-01	2.21E+07	1.09E+07	3.44E+04	2.12E+07	1.42E+07	6.97E+06	2.20E+04
34	Public administration	1.24E+07	3.83E+07	3.23E-01	1.17E+00	1.69E+06		3.52E+07	4.31E+07	1.98E+06		4.11E+07
35	Education and research	1.48E+07	5.50E+07	2.69E-01	1.04E+00	2.09E+07		2.24E+07	4.50E+07	2.17E+07		2.33E+07
36	Medical, health care and welfare	1.52E+07	8.79E+07	1.73E-01	1.35E+00	3.67E+07		4.89E+07	1.15E+08	4.95E+07		6.60E+07
37	Miscellaneous non-profit services	1.95E+06	8.46E+06	2.31E-01	7.85E-01	6.65E+06			5.21E+06	5.21E+06		

38	Business services	5.17E+06	8.67E+07	5.96E-02	6.71E-01	8.85E+06	3.14E+06		8.04E+06	5.94E+06	2.10E+06	
39	Personal services	3.81E+07	1.09E+08	3.48E-01	1.47E+00	1.02E+08			1.50E+08	1.50E+08		
40	Office supplies and activities not elsewhere classified	2.10E+06	8.19E+06	2.57E-01	1.71E+00	4.57E+04			7.82E+04	7.82E+04		
41	Fuel combustion	-	-	-	-	-	-	-	1.67E+08	1.67E+08		

付録⑨ 2030(BAU)CFP (2018 年 12 月更新)

No.	Sectors	Direct emission	Product price	Direct emission coefficient	CFP intensity	Household	Fixed capital	Government	Total	Household	Fixed capital	Government
		[t-CO ₂ eq]	[MJPY]	[t-CO ₂ eq/MJPY]	[t-CO ₂ eq/MJPY]	[MJPY]	[MJPY]	[MJPY]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]	[t-CO ₂ eq]
1	Agriculture, forestry and fishery	5.54E+07	1.71E+07	3.23E+00	4.65E+00	4.72E+06	2.21E+05		2.30E+07	2.20E+07	1.03E+06	
2	Mining	5.33E+05	1.08E+06	4.94E-01	2.42E+00	-1.91E+04	-9.41E+03		-6.91E+04	-4.63E+04	-2.28E+04	
3	Coal mining, petroleum and Natural gas	1.48E+06	1.12E+05	1.33E+01	1.48E+01	1.80E+01			2.66E+02	2.66E+02		
4	Beverages and Foods	9.82E+06	5.15E+07	1.91E-01	1.83E+00	3.68E+07		3.83E+05	6.80E+07	6.73E+07		7.00E+05
5	Textile products	1.50E+06	5.09E+06	2.95E-01	1.72E+00	5.36E+06	2.97E+05		9.74E+06	9.23E+06	5.11E+05	
6	Pulp and paper	1.02E+07	1.49E+07	6.86E-01	2.54E+00	9.36E+05	3.91E+05	1.97E+03	3.37E+06	2.37E+06	9.92E+05	4.99E+03
7	Chemical products	6.15E+07	3.81E+07	1.61E+00	4.32E+00	4.51E+06			1.95E+07	1.95E+07		
8	Petroleum products	1.38E+07	1.51E+07	9.16E-01	8.67E+00	3.97E+06			3.44E+07	3.44E+07		
9	Coal products	4.35E+06	5.50E+05	7.91E+00	1.62E+01	1.74E+02			2.82E+03	2.82E+03		
10	Plastic and rubber	2.02E+06	1.70E+07	1.19E-01	1.91E+00	2.58E+06	-4.31E+02	5.00E+03	4.94E+06	4.93E+06	-8.21E+02	9.53E+03
11	Ceramic, stone and clay	5.04E+07	7.34E+06	6.87E+00	8.96E+00	3.44E+05			3.08E+06	3.08E+06		
12	Iron and steel	1.52E+08	2.90E+07	5.26E+00	1.23E+01	-4.61E+04	-2.08E+05		-3.13E+06	-5.69E+05	-2.57E+06	
13	Non-ferrous metals	4.91E+06	1.24E+07	3.98E-01	2.21E+00	2.05E+05	2.91E+04		5.18E+05	4.53E+05	6.44E+04	
14	Metal products	1.75E+06	1.37E+07	1.28E-01	3.46E+00	3.91E+05	3.01E+05	5.93E+02	2.40E+06	1.35E+06	1.04E+06	2.05E+03
15	General-purpose machinery	1.37E+06	1.90E+07	7.24E-02	2.43E+00	3.07E+04	4.61E+06		1.13E+07	7.46E+04	1.12E+07	
16	Production machinery	1.00E+06	1.78E+07	5.64E-02	2.13E+00	4.82E+04	8.85E+06		1.89E+07	1.02E+05	1.88E+07	

17	Business oriented machinery	3.62E+05	9.51E+06	3.80E-02	1.63E+00	1.01E+06	5.15E+06	1.47E+02	1.00E+07	1.65E+06	8.38E+06	2.39E+02
18	Electronic components	4.62E+06	1.09E+07	4.25E-01	2.20E+00	3.89E+05			8.55E+05	8.55E+05		
19	Electronic machinery	1.15E+07	2.16E+07	5.35E-01	2.25E+00	3.25E+06	4.87E+06		1.83E+07	7.33E+06	1.10E+07	
20	Information and communication electronics equipment	1.83E+05	9.33E+06	1.96E-02	1.49E+00	8.41E+06	5.77E+06		2.11E+07	1.25E+07	8.60E+06	
21	Transportation equipment	1.04E+07	1.04E+08	1.00E-01	2.36E+00	5.82E+06	7.40E+06		3.13E+07	1.38E+07	1.75E+07	
22	Miscellaneous manufacturing products	1.12E+06	1.54E+07	7.30E-02	1.24E+00	3.29E+06	1.26E+06	1.63E+01	5.66E+06	4.09E+06	1.57E+06	2.03E+01
23	Construction	8.37E+06	6.41E+07	1.31E-01	1.78E+00		5.19E+07		9.23E+07		9.23E+07	
24	Electricity	2.31E+08	1.72E+07	1.35E+01	1.56E+01	3.90E+06			6.08E+07	6.08E+07		
25	Gas supply	2.47E+05	2.30E+06	1.07E-01	6.26E+00	1.03E+06			6.42E+06	6.42E+06		
26	Steam and hot water supply	6.64E+05	1.32E+05	5.04E+00	8.03E+00	3.98E+03			3.19E+04	3.19E+04		
27	Water supply	7.27E+06	6.78E+06	1.07E+00	2.48E+00	2.04E+06			5.05E+06	5.05E+06		
28	Waste management service	4.34E+07	5.23E+06	8.30E+00	9.27E+00	2.89E+05		1.16E+06	1.34E+07	2.68E+06		1.08E+07
29	Commerce	1.12E+07	1.09E+08	1.03E-01	7.11E-01	5.57E+07	1.11E+07	6.24E+03	4.75E+07	3.96E+07	7.93E+06	4.44E+03
30	Finance and insurance	1.20E+06	6.46E+07	1.86E-02	3.65E-01	2.52E+07			9.21E+06	9.21E+06		
31	Real estate	1.69E+06	9.04E+07	1.87E-02	1.89E-01	7.62E+07		4.34E+04	1.44E+07	1.44E+07		8.21E+03
32	Transport and postal services	1.35E+08	5.91E+07	2.29E+00	3.77E+00	1.48E+07	7.93E+05	3.71E+03	5.88E+07	5.58E+07	2.99E+06	1.40E+04
33	Information and communications	2.28E+06	6.59E+07	3.46E-02	5.49E-01	2.10E+07	1.09E+07	4.19E+04	1.76E+07	1.16E+07	5.98E+06	2.30E+04
34	Public administration	1.16E+07	4.58E+07	2.53E-01	9.69E-01	1.61E+06		4.28E+07	4.30E+07	1.56E+06		4.14E+07
35	Education and research	1.40E+07	6.16E+07	2.28E-01	8.52E-01	2.13E+07		2.73E+07	4.14E+07	1.82E+07		2.33E+07
36	Medical, health care and welfare	1.33E+07	9.97E+07	1.33E-01	1.16E+00	3.76E+07		5.95E+07	1.12E+08	4.35E+07		6.89E+07
37	Miscellaneous non-profit services	1.53E+06	8.65E+06	1.77E-01	6.59E-01	6.83E+06			4.50E+06	4.50E+06		

38	Business services	4.56E+06	8.62E+07	5.29E-02	5.82E-01	8.55E+06	3.14E+06		6.80E+06	4.98E+06	1.83E+06	
39	Personal services	2.81E+07	1.06E+08	2.64E-01	1.22E+00	9.85E+07			1.20E+08	1.20E+08		
40	Office supplies and activities not elsewhere classified	1.90E+06	8.20E+06	2.32E-01	1.50E+00	4.32E+04			6.46E+04	6.46E+04		
41	Fuel combustion	-	-	-	-	-	-	-	1.61E+08	1.61E+08		