

平成31年度 環境経済の政策研究

(今後の高齢社会に対応した産業廃棄物処理業に関する調査・研究)

研究報告書

令和2年3月

富山大学・広島大学・立教大学・株式会社インテック・

国立環境研究所・資源循環ネットワーク

目次

I. 研究計画・成果の概要等	1
1. 研究の背景と目的	1
2. 三年間の研究計画及び実施方法	1
2.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究	1
2.2 産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究	2
2.3 政策提言に向けた取りまとめ	3
3. 3年間の研究実施体制	5
4. 本研究で目指す成果	7
5. 研究成果による環境政策への貢献	7
II. 平成31年度の研究計画及び研究状況と成果	8
1. 平成31年度の研究計画	8
1.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究	8
1.2 産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究	8
1.3 政策提言に向けた取りまとめ	9
2. 平成31年度の研究状況及び成果（概要）	10
3. 対外発表等の実施状況	15
3.1 環境省との打ち合わせ	15
3.2 研究者同士のミーティング	15
3.3 対外報告	16
3.4 外部有識者	17
4. 平成31年度の研究状況と成果（詳細）	18
4.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究	18
4.2 新たな情報技術を活用した望ましい制度設計に関する産業組織論的研究	109
4.3 既存企業における現状認識ヒアリング結果	136
III. 今後の研究方針（課題含む）	159
IV. 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）	161
1. 廃棄物・リサイクルIoT推進協議会との協力	161
1.1 評価指標と情報技術の適用範囲	161
1.2 廃棄物分野での産官学連携による情報技術活用に向けた協働	162
1.3 2019年の協議会活動内容（一部抜粋）	163
1.4 協議会メンバーによる最新事例	164

サマリー

本年度は、地域間の取引の中で廃棄物処理業の活動を捉えるために、都道府県間産業連関表を新たに作成して、廃棄物処理部門の特徴を考察した。廃棄物処理部門は相対的に地方に集積している傾向があるが、後方連関効果や前方連関効果といったリンケージを各都道府県の廃棄物処理部門ごとに計測することで、大都市圏での最終需要を満たすために地方圏において財・サービスが生産され、その過程で地方における産業廃棄物を含む廃棄物処理部門の活動が誘発されるという経済構造があることが明らかになった。さらに人口減少や高齢化による需給ギャップの大きさは、絶対額でみると人口規模の大きい大都市圏で大きいものの、労働供給の試算値に対する労働需要の試算値の比率で見れば、地方圏でより深刻なギャップが生じ得ることも示された。これは、廃棄物処理部門における生産性の改善や技術革新が、人口減少や高齢化の中であって地域内の産業の持続可能性を高めることにつながることを示唆するものである。

また、応用マイクロ経済学によるモデル分析でバズ固有の情報の非対称性の問題を分析したが、契約理論における基本モデルではこの問題の解決は困難であることが明らかになった。これは、排出事業者が処理後の産業廃棄物の質を検証可能になるようなトレーサビリティの拡充を図ることが最も有効な政策であるということの意味するが、これは既存の電子マニフェスト制度が想定していることである。そして、主として、地方圏の産業廃棄物処理事業者に対するヒアリングでも、電子マニフェストとの情報連携の拡充に対する高いニーズがみられたこととも整合的である。

企業ヒアリングで得られた他のニーズとしては、排出企業と処理企業の間取引の効率性を高めることの必要性がある。企業間の効率的な取引関係に最も適したインターフェースは価格情報である。そこで、ICT技術の発展で現実的に使われる機会が増えているダイナミックプライシングが廃棄物処理業にも導入できないか検討を始めた。ダイナミックプライシングとは、時間とともに変化する需要と供給を適切にマッチさせるための手法であり、多くの産業で使われるようになっている。ダイナミックプライシングを適切に行うには、公的機関による政策の策定が欠かせない。本年度の研究では、ダイナミックプライシングに関して一定の研究蓄積をもつ交通セクターの知見にもとづいて、その基礎的な理論についてレビューをおこなった。背景にある基本的な考え方は、需要と供給をよりつぶさに観察して少しでも保有資源の利用に無駄が生じないように価格を通じて取引をコントロールすることである。その結果、企業の収益力が増加することが見込まれ、生産性の向上に寄与することが期待できる。こうした現代のICT技術の発達之恩恵を受けた新しい政策を支えるデータベースとしても電子マニフェストには大きな潜在力があり、さらなる拡張の可能性を検討していく余地がある。

Summary

In this study, a new inter-prefectural input-output table was created to examine the characteristics of the waste treatment sector in order to capture the activities of the waste treatment business reflecting trade of goods and services among 47 prefectures. Although the waste treatment sector tends to be relatively concentrated in rural areas, by measuring the linkage such as the backward linkage effect and the forward linkage effect for each waste treatment sector in each prefecture, it has become clear that there is an economic structure in which goods and services are produced in rural areas are triggered waste treatment business sector.

The magnitude of gap between demand and supply due to population decline and aging is large in metropolitan areas where the population is large in absolute terms. However, it has also been shown that more serious gaps can occur in rural area if we measure the gap by ratio. This suggests that productivity improvements and technological innovations in the waste management sector will increase the sustainability of local industries in the era of declining and aging populations.

In addition, we analyzed asymmetric information problem specific to waste issues by using applied microeconomics, and found that it was difficult to solve this problem with the basic model in contract theory. This means that the most effective policy is to enhance traceability so that the discharger can verify the quality of the treated industrial waste as much as possible. This is what the existing electronic manifest system has aimed at.

Another finding gained from interviews to waste management business is the need to increase the efficiency of transactions between waste discharging companies and waste treatment companies. Theoretically speaking, the most suitable interface for efficient business relationships between these two types of companies is price information. Therefore, we began to study whether dynamic pricing, which is increasingly used in practical applications due to the development of ICT technology, can be introduced into the waste treatment industry. Dynamic pricing is a technique for appropriately matching supply and demand that changes over time, and is being used in several industries. In order to properly implement dynamic pricing, it is essential for public institutions to formulate policies.

In this year's research, we reviewed the basic theory based on the knowledge of the transportation sector, which has a certain amount of research on dynamic pricing. The basic idea behind it is to closely control supply and demand and to control transactions through prices so that any use of resources is not wasted. As a result, the profitability of the company is expected to increase, and it can be expected to contribute to an improvement in productivity. Electronic manifests system in Japan has great potential as a database to support new policies that have benefited from the development of these modern ICT technologies, and we believe that there is a room for further expansion possibilities.

1. 研究計画・成果の概要等

1. 研究の背景と目的

廃棄物処理、とりわけ産業廃棄物の処理は欠くことのできない社会インフラである。環境省が 2017 年に公表した「産業廃棄物処理の振興方策に関する提言」(以下、「振興方策」と略)によれば、高齢化による生産人口の減少に加えて、産業構造の変化による産業廃棄物の発生量の減少により、産業廃棄物処理業界は大きな変革の時期にさしかかっている。経営環境の大きな変化は企業に対応を求める。リスクを取りながらも積極的に先端技術(e.g. ロボット選別等)を導入して生産性を高めようとする企業もあれば、2016 年の食品廃棄物不正の事例のように不適正処理の道を選んでしまう場合もある。産業廃棄物には潜在汚染性の高いものも含まれており、業界全体が生産性を高め、社会構造の変化への迅速な対応していくことが求められている。

2. 三年間の研究計画及び実施方法

2.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究

国立社会保障・人口問題研究所の推計(平成 29 年)によれば、2030 年の日本の総人口は約 1 億 1,900 万人で 2015 年の 1 億 2,700 万人の 93%程となる。高齢化の影響は労働力の変化により如実に表れており、生産年齢人口は、2030 年の中位推計値は 6,800 万人であり、2015 年の 7,700 万人から 10%以上減少することになる。現在も労働力不足の影響が懸念されていることを考慮すれば、第五次循環基本計画では更なる対応が求められる。そこで、産業廃棄物処理業の将来フレームについて需要、供給の両面から推計を行うことで、政策立案における基礎的情報を提供する。

2.1.1 需要側からのアプローチ（主として産業廃棄物の発生量の推移を検討）

国立社会保障・人口問題研究所の人口予測をベースとして、産業廃棄物発生量の将来推計を地域別に行う。使用する産業連関表は経済産業省が発表している地域間産業連関表(全国を9地域に分割)を想定している。廃棄物発生源単位は、環境省による環境分野分析用産業連関表を用いる。将来予測は一定の仮定に基づいて行う必要があり、複数のケース別の推計結果を試算する。平成 30 年度は、過去の実績値を最もよく説明するケースはどのようなものであるかを代表的な都道府県の産業連関表と環境省による「産業廃棄物排出・処理状況調査」及び「環境分野分析用産業連関表」を合わせて分析することで検討する。平成 31

年度以降はこの知見をもとに全国9地域の地域間産業連関表に基づいて、将来予測を行う(ただし、データ制約等で一部都道府県の産業連関表を対象とする可能性もある)。

2.1.2 供給側からのアプローチ（主として労働供給の側面を検討）

「振興方策」によれば、産業廃棄物の許可事業者は、アクティブな企業に限っても約 11 万者、全産連加入者で 1.5 万者、優良認定されている事業者だけでも1千者あると言われている。生産年齢人口の減少傾向を考慮すれば、すべての都道府県でこの規模を維持していくことは現実的ではない。そこで、国立社会保障・人口問題研究所の人口予測をベースに、労働政策・研修機構が推計している都道府県別の就業者数の将来予測を用いて、地域別にどの程度の労働力の変化が想定されるかを整理する。平成 30 年度は推計方法の検討を中心に行う。

2.2 産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究

他の先進諸国と異なり、我が国の産業廃棄物処理業は小規模事業者が多数存在しており、分権的な市場原理の有効活用が不可欠である。しかしながら、バズスの取引は、1)排出後にどのように処理されたかを正確に知ることは困難、2)処理事業者は廃棄物の組成を正確に把握できないことが多い、という二つの情報の非対称性が避けられない。市場の失敗を避けるためにも市場を外から支えるレジームが必要であるが、AI、IoT といった先端技術を活用して、情報の非対称性による問題を回避しつつ、省人化・生産性向上につながる方策を検討する。

2.2.1 AI、IoT を活用した生産性向上の技術的課題の検討

日進月歩の AI、IoT といった先端技術の本質をきちんと理解することは専門家以外には簡単なことではない。そこで、平成 30 年度は、AI、IoT の先端的技術を廃棄物・経済学の専門家により深く理解してもらうことを目的とした勉強会を3回程度(1回約3時間)実施する。第1回は、IoT、特にセンサー技術について、現状の到達点と今後の課題について、学習する。第2回は仮想通貨だけでなく、スマートコントラクトなど多くの分野に応用されているブロックチェーン技術(BC)の理論的背景について、学術的背景も含めて学ぶものとする。第3回は、産業廃棄物のサプライチェーン管理に向けてこうした先端技術をカスタマイズすると、どのようなメリットとデメリットがあるか議論し、その課題を整理する。

2.2.2 新たな情報技術を活用した望ましい制度設計に関する産業組織論的研究

2a において検討される BC に代表される先端技術は省人化・生産性向上に大きく貢献する可能性を秘めているが、このことは必ずしも社会全体の経済厚生を高めることになることを保証しない。そこで、バズスの情

報の非対称性の問題が BC の導入によって、一部克服された場合、市場均衡においてどのような結論が得られるかを検討する。また、産業廃棄物のサプライチェーンがもつ機能に着目して、産業組織論の観点から望ましい制度のあり方について検討し、具体的な政策提言を行う。

2.3 政策提言に向けた取りまとめ

2.1 の将来にフレームについては、平成 30 年度は方法論の検討を中心に行うが、平成 31 年度には 1a と 1b の結果を比較して、都道府県別の需給ギャップをとりまとめる。その上で、2.2 の結果から、最終年度までに高齢社会に対応出来る新たな制度設計を提案する。この過程において、海外研究者を招いて情報収集するとともに、別途設置する廃棄物政策の専門家から成るアドバイザリボードから助言を得るものとする。また、廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会や廃棄物資源循環学会の情報技術活用研究部会との情報交換・交流を積極的に行い、研究成果の政策への還元を進める。

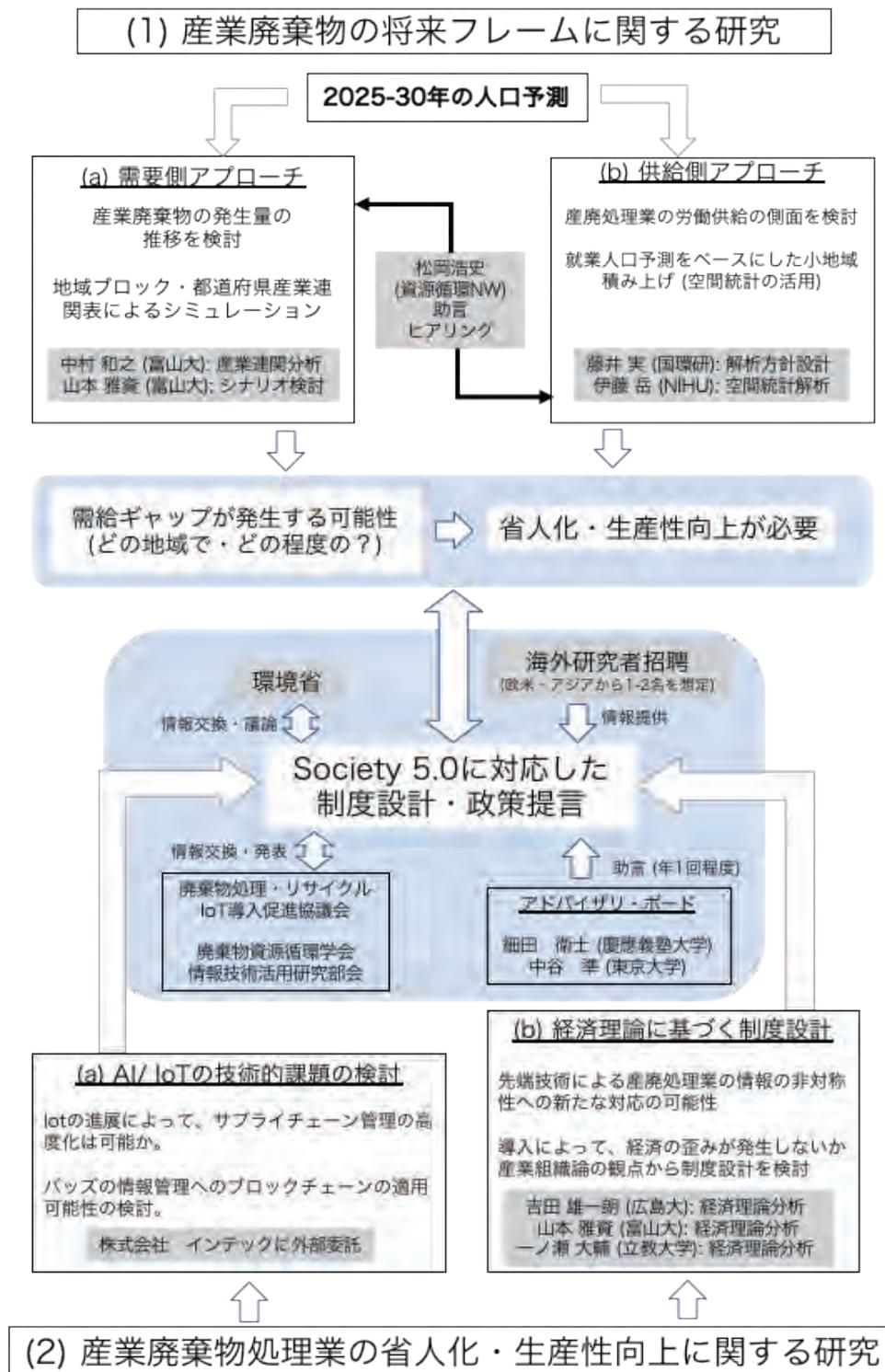
各パートについての具体的なスケジュールは以下の通りである。

2018年度		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
廃棄物処理業の将来フレーム																
中村和之・山本雅資	1a	キックオフミーティング			廃棄物処理の将来フレーム試算の方法論の検討						→	全 体 打 合 せ	報告書			
松岡浩史					打合せ		ヒアリング		ヒアリング		打合せ					
藤井実	1b				打合せ											
伊藤岳						就業者予測の精査	→			視覚化						
産廃処理業の省人化・生産性向上に関する研究																
インテック	2a							勉強会1		勉強会2				勉強会3		報告書
吉田雄一郎・山本雅資・一ノ瀬大輔	2b							関連論文レビュー			→		成果報告	打合せ		報告書
環境省・アドバイザーボード(AB)・学会・協議会									環境省		協議会				環境省	AB	国際
2019年度		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
廃棄物処理業の将来フレーム																
中村和之・山本雅資	1a	新年度ミーティング			産廃処理業の将来フレーム試算				→	中間報告	結果の擦り合わせ		全 体 打 合 せ	報告書		
松岡浩史						打合せ		ヒアリング		打合せ	↑ ↓					
藤井実	1b				打合せ				打合せ							
伊藤岳					打合せ	産廃業の就業者数将来予測	→		中間報告	結果の擦り合わせ						
産廃処理業の省人化・生産性向上に関する研究																
インテック	2a							産廃SCへのBC適用可能性の検討				→		中間報告		報告書
吉田雄一郎・山本雅資・一ノ瀬大輔	2b							理論モデルの構築				→		中間報告	打合せ	報告書
環境省・アドバイザーボード(AB)・学会・協議会						学会			環境省		協議会				環境省	AB
2020年度		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
廃棄物処理業の将来フレーム																
中村和之・山本雅資	1a	新年度ミーティング			将来フレーム見直し			→	中間報告	論文作成	→		全 体 打 合 せ	報告書		
松岡浩史					打合せ	論文作成	→	中間報告	論文作成	→						
藤井実	1b				打合せ	論文作成	→	中間報告	論文作成	→						
伊藤岳					就業者数予測見直し	→	中間報告	論文作成	→							
産廃処理業の省人化・生産性向上に関する研究																
インテック	2a							BCを用いた実証実験の設計				中間報告		論文作成		報告書
吉田雄一郎・山本雅資・一ノ瀬大輔	2b							BCを用いた制度設計				中間報告		論文作成		報告書
環境省・アドバイザーボード(AB)・学会・協議会									環境省		協議会				環境省	AB

図表 I- 1

3. 3年間の研究実施体制

本研究の実施体制は以下の通りである。



図表 I- 2

本研究の代表者および分担者の所属・主要な担当は以下の通りである。

氏名	所属 (所属機関名・部局・役職名 など)	主な担当する分担項目
研究代表者 山本雅資	富山大学・極東地域研究センター・教授	
研究分担者 中村 和之	富山大学・経済学部・教授	(1a)産業廃棄物の将来フレームに関する研究
吉田 雄一郎	広島大学・国際協力研究科・教授	(2b) 新たな情報技術を活用した望ましい制度設計に関する産業組織論的研究
一ノ瀬 大輔	立教大学・経済学部・准教授	(2b) 新たな情報技術を活用した望ましい制度設計に関する産業組織論的研究
伊藤 岳	広島大学国際協力研究科・助教	(1b)産業廃棄物の将来フレームに関する研究
藤井 実	国立環境研究所・環境社会イノベーション研究室 室長	(1b)産業廃棄物の将来フレームに関する研究
古瀬 正浩	株式会社インテック	(2a) AI/IoT を活用した生産性向上の技術課題の検討
松岡 浩史	資源循環ネットワーク	(2a) AI/IoT を活用した生産性向上の技術課題の検討
福田 勝文	富山大学・極東地域研究センター・研究員	(1a)産業廃棄物の将来フレームに関する研究

4. 本研究で目指す成果

本研究では大きく二つの成果を目指している。一つは、今後の少子高齢化を反映した産業廃棄物の地域別発生量の将来フレーム(主として、2030-40年周辺をターゲットとする)を推計することである。日本社会全体としてさらなる高齢化は避けられないが、その進度には大きな地域差があるのも事実である。高齢化の進展により、介護を中心に確実に労働需要の増加が見込まれる産業があることから、産業廃棄物発生量の推計結果について、産業廃棄物を処理する側の労働力確保の問題についても地域別に検討を行う。また、予測に際しては従来型の計量経済学に基づく方法論に加えて、機械学習やその近隣分野の知見の活用についても可能性を検討する。

二つ目は、AIやIoT、BCといった情報技術の導入により、産業廃棄物処理業にどのような変化が生じるか、その結果として社会厚生にどのような影響が発生するかを経済モデルを使って理論的 and/or 実証的に分析することである。平成30年度はそのための下準備として関連文献調査およびIoT等の先進技術の学習を進めたが、今後はこれらの知見に基づいて経済分析を行っていく。

5. 研究成果による環境政策への貢献

「産業廃棄物の将来フレームに関する研究(1a及び1b)」はあらゆる産業廃棄物の関係する政策形成において、基礎的情報として活用できるものである。また、平成30年度に策定予定の第4次循環型社会基本計画において、「ICT・AI技術の活用による資源循環・適正処理の高度化」が推進されている。「産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究(2a及び2b)」の成果はこの方針に沿ったものであると言え、直接的に政策形成に貢献できる可能性が高い。さらに、来年度以降の循環計画フォローアップや平成35年前後に策定される第5次循環型社会基本計画の策定に向けた議論においても政策形成時のベンチマークとして活用が期待出来る。

II. 平成 31 年度の研究計画及び研究状況と成果

1.平成 31 年度の研究計画

1.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究

国立社会保障・人口問題研究所の推計(平成 29 年)によれば、2030 年の日本の総人口は約 1 億 1,900 万人で 2015 年の 1 億 2,700 万人の 93%程となる。高齢化の影響は労働力の変化により如実に表れており、生産年齢人口は、2030 年の中位推計値は 6,800 万人であり、2015 年の 7,700 万人から 10%以上減少することになる。現在も労働力不足の影響が懸念されていることを考慮すれば、第五次循環型社会形成推進基本計画では更なる対応が求められる。そこで、産業廃棄物処理業の将来フレームについて需要、供給の両面から推計を行うことで、政策立案における基礎的情報を提供する。

平成 30 年度の研究で構築したモデルは、現在の産業構造(=平成 23 年版の産業連関表の諸係数)を前提として人口構造の変化が産業に与える因果連関を試算するものであり、そのまま将来予測に適用した場合の課題について検討し、必要に応じてモデルに合理的な修正を加える。また、各都道府県の産業連関表の表彰形式が同一ではなく、相互比較をするために、表彰形式の一元化の調整を行う。また、理想的な分析に近づくよう、適正な仮定の下で都道府県間の交易効果を考慮しモデル化することを検討する。また、上記の検討に基づいて、都道府県別の産業廃棄物排出量の将来フレームを試算する。また、産業廃棄物処理業における都道府県レベルでの従業者数の予測を試験的に行う。その上で従業者数と上記で示される産業廃棄物の排出量の予測のギャップがどの程度みられるかを視覚的に捉えやすい形に整理する。

1.2 産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究

他の先進諸国と異なり、我が国の産業廃棄物処理業は小規模事業者が多数存在しており、分権的な市場原理の有効活用が不可欠である。しかしながら、バズの取引は、1)排出後にどのように処理されたかを正確に知ることは困難、2)処理事業者は廃棄物の組成を正確に把握できないことが多い、という二つの情報の非対称性が避けられない。市場の失敗を避けるためにも市場を外から支えるレジームが必要であるが、AI、IoT といった先端技術を活用して、情報の非対称性による問題を回避しつつ、省人化・生産性向上につながる方策を検討する。

平成 30 年度に行った先行研究レビューによって、1)先端技術は単に導入するだけでなく社会システムとしてうまく組み込むことが経済厚生を高めるために重要であること、2)先端技術を活用した生産性向上の可能性は産業廃棄物の情報の非対称性の解消にとどまらないことが明らかになったため、これらを考慮した経済モデル分析を行い、望ましい政策のあり方について提言でき

る根拠を提供する。また、平成 30 年度に実施した「AI、IoT を活用した生産性向上の技術課題の検討」を踏まえ、AI、IoT、BC(ブロックチェーン)を産業廃棄物 SC(サプライチェーン)に適用することの可能性を検討する。具体的には、産業廃棄物処理業者への現場ヒアリングを実施し、現場業務に基づいた課題を抽出し、上記適用可能性や備えるべき要件を検討する。

1.3 政策提言に向けた取りまとめ

平成 32 年度（2020 年度）の政策提言に向けて（1）及び（2）の検討内容を整理する。また、取りまとめにおいて、別途設置する廃棄物政策の専門家から成るアドバイザリボードからの助言獲得、研究内容に関わる協議会や学会等との情報交換・交流等を積極的に行い、研究成果を政策提案へつなげる形へと深化させる。

2. 平成 31 年度の研究状況及び成果（概要）

本研究プロジェクトは、高齢化社会に備え、我が国の産業廃棄物処理業における生産性向上を目的としたものである。図 2-1 は、我が国の産業廃棄物の排出量の経年変化を 2002 年を 100 としてプロットしたものである(=LINE2)。これをみると 2005-06 年後に上昇するものの、直近の 2017 年度には 2002 年度の 90%程度となっている。同様に 2002 年を 100 とした GDP(=LINE1)は 2017 年度には 2002 年度よりも 10%程度増加している。この排出量の減少の要因を Levinson (2015)¹の方法にならって分解したものが、LINE3 と LINE4 である。LINE3 は composition effect と呼ばれるもので、経済がより廃棄物を出さない構造に変化したことによる要因を示したものである。また、LINE4 は technique effect と呼ばれるもので、産業廃棄物に関する技術革新によって減少した分を示すものである。これをみると過去 15 年程度の産業廃棄物の排出減少は、ほとんど composition effect によるものであることが分かる。これは、シェアリングエコノミーなどの経済構造の変化から、汚染産業が他国移動しただけといった「汚染輸出」のような影響も含む。一方で technique effect はほとんど貢献していないことが分かる。

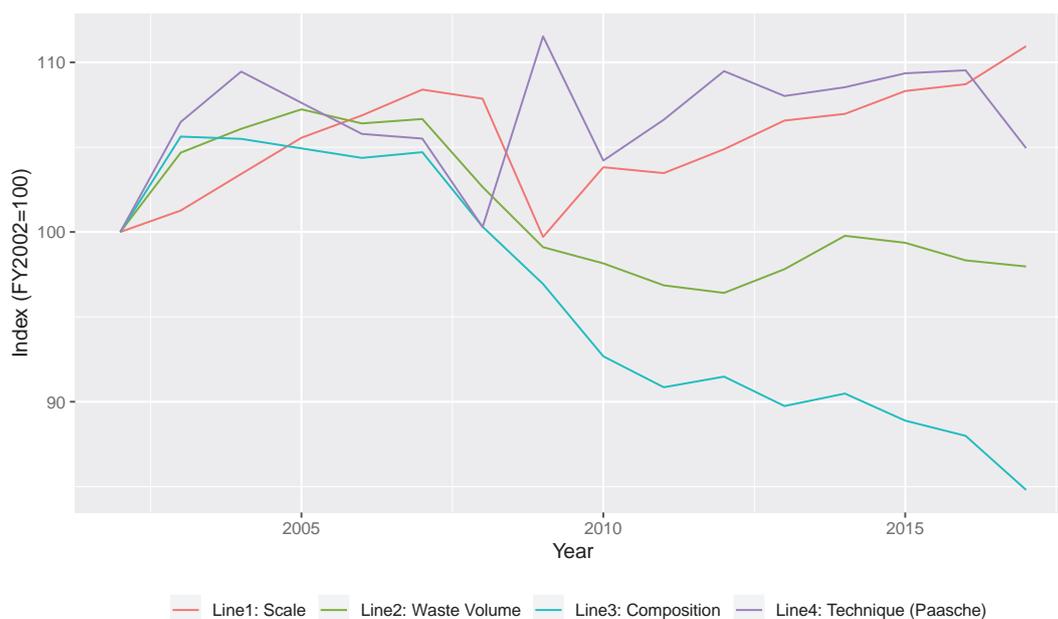


図 2-1：産業廃棄物の排出量の変化要因

今後も一定の経済の成長を想定すれば、composition effect だけに頼ることは困難であり、産業廃棄物の発生抑制にむけた技術革新は不可欠である。本研究では主として、ICT を活用した生産性向上に資する技術革新について検討していく。

¹ Levinson, A. (2015) “A Direct Estimate of the Technique Effect: Changes in the Pollution Intensity of US Manufacturing, 1990-2008,” *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 2, pp.43-56, Chicago University Press.

図 2-2 は、平成 31 年度の研究状況をまとめたものである。成果（詳細）のパートにおいては、都道府県間産業連関表の構築によって可能になった産業廃棄物の将来フレームについての分析、バズ固有の情報の非対称性に関する応用マイクロ経済学による分析、企業ヒアリングの順で説明している。

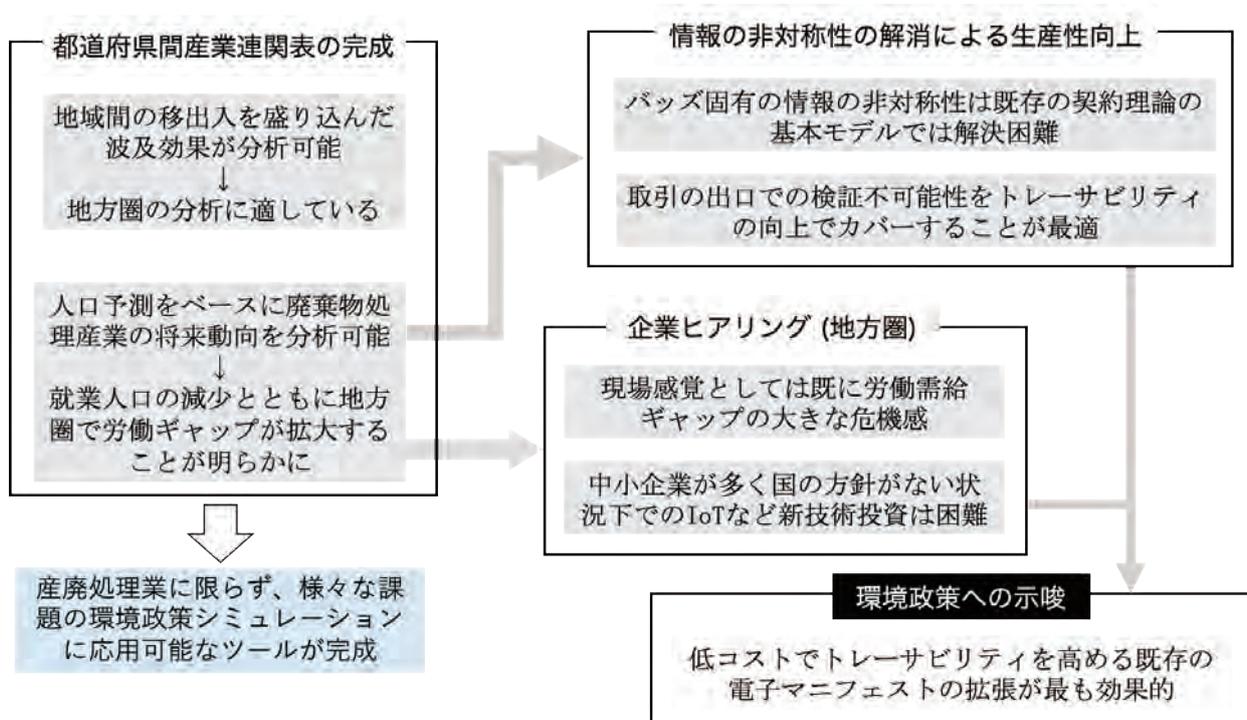


図 2-2: 平成 31 年度の研究成果の概要

本年度の研究では、はじめに産業廃棄物処理を含む廃棄物処理部門の活動を産業連関分析の中で捉えることを試みた。まず、全国表をベースに、廃棄物処理部門の産業での位置づけや波及効果の態様を検討した。その結果、産業廃棄物処理のアクティビティを完全に分離して抽出することは難しいが、産業の中間投入部分に着目すれば事業系一般廃棄物と共に産業廃棄物処理の活動も捉えられることを指摘した。さらに、リンケージに注目した分析を行うことで、廃棄物処理部門では後方連関よりも前方連関が大きいことが確認でき、廃棄物処理業の社会インフラとしての重要性を確認できた。

続いて、地域間の交易の中で廃棄物処理業の活動を捉えるために、都道府県間産業連関表を新たに作成して、そこでみられる廃棄物処理部門の特徴を考察した。特に、廃棄物処理部門は相対的に地方に集積している傾向を、生産額や従業者総数の特化係数の推計を通じて確認することができた。さらに、都道府県間産業連関表に基づき、後方連関効果や前方連関効果といったリンケージを各都道府県の廃棄物処理部門ごとに計測することで、大都市圏では後方連関効果の値が前方連関効果よりも大きく、地方圏では逆の関係が観察されることを見出した。このことは、大都市圏での最終需要を満たすために地方圏において財・サービスが生産され、その過程で地方における産業廃棄物を含む廃棄物処理部門の活動が誘発されるという経済構造を意味する。この意味

で廃棄物処理部門そのものの地域間交易だけでなく、財・サービスの地域間交易を通じた間接的な廃棄物処理の取引を考えることが重要であることを確認できた。

このような産業の連関を踏まえるとともに、今後、加速することが予想される人口減少や高齢化が地域間の産業連関や地域での労働需給に与える影響を、都道府県間産業連関表を用いた均衡産出高モデルによって、2011年から2045年を対象期間として試算した。その結果、以下の天が明らかになった。

1. 就業者数の将来推計を行い国全体としてみたときに就業者数が減少することとともに都道府県間で大きな差異を伴って就業者数が減少する。
2. 人口構成の高齢化によって医療や介護への需要が増加することによって、労働需要は、労働供給ほどには減少せず、労働の需給ギャップが拡大を続ける。
3. 人口減少や高齢化による需給ギャップの大きさは、絶対額で見ると人口規模の大きい大都市圏で大きいものの、労働供給の試算値に対する労働需要の試算値の比率で見れば、地方圏でより深刻なギャップが生じ得る。
4. このことは経済全体のみならず、廃棄物処理部門だけを抽出してもあてはまり、特に、地方圏においてその傾向が強いことが示され、地方圏を中心として廃棄物処理部門の生産技術や生産性の改善が必要である。

さらに、人口減や高齢化に起因する労働供給の制約と、家計や政府の最終需要において高齢化に起因した医療や介護等への需要圧力の存在をともに考慮できるモデルを、都道府県間産業連関表をベースとして構築した。モデルでは各地域の労働投入量は各地域の労働供給量によって制約されることと、医療・介護といった社会サービスを供給するために労働が必要されると言う需要面の制約より生ずるクラウドディング・アウト効果を分析した。分析結果は、各地域の資源制約の存在によって、都道府県間の産業廃棄物処理部門の将来における活動規模の差異を際立たせることになった。このことは、廃棄物処理部門における生産性の改善や技術革新が、人口減少や高齢化の中にあって地域内の産業の持続可能性を高めることにつながることを示唆するものである。

以上の分析からは、産業間の繋がりの中で廃棄物処理の問題を考えることの重要性が浮かび上がった。産業連関分析の枠組み自身は、マクロ或いはメゾマクロの視点に立つものであり、廃棄物処理部門における活動の詳細に立ち入るものではない。しかしながら、地域や産業間の連関を組み込んだ分析から得られた結果には、その背景に地域の人口社会要因や産業構造が存在しており、この点を深く考えることで、より豊かな政策的含意を得ることができると考える。

次に、応用ミクロ経済学の視点から、バズ固有の情報の非対称性の問題を分析した。具体的には、タイプの異なる2社の企業(費用構造から不法投棄や不適正処理を起こしやすいかどうかで区別)が存在し、それらの企業のタイプは仕事を頼むプリンシパル(=産業廃棄物の排出事業者)には分からない状況を想定した。

完全情報の場合には、産業廃棄物処理の質に応じて、限界便益と限界費用が等しくなる水準を選ぶことが社会厚生を最大化する。しかしながら、情報の非対称性が存在する場合に市場競争均

衡では仕事を引き受けるエージェント（＝産業廃棄物の処理事業者）は、自らのタイプを偽って処理を行うインセンティブが存在する。

この問題を回避するためには、排出事業者はインセンティブ制約と呼ばれる条件をクリアする形で処理事業者への報酬を設計する必要がある。その結果、排出事業者は社会的最適の場合に比べて、情報レントと呼ばれる分だけ、効率性の高いタイプの企業に多くの支払いをする必要がある。情報レントという呼称は、この効率性の高いタイプの企業が情報優位にたっていることに起因するためである。適切な情報レントを設定すれば、社会的最適と同様の処理の質を、少なくとも効率的な処理事業者に行わせることができる。

しかしながら、このような契約の設計は、アウトカムとなる処理の質について、検証可能であるということを仮定している。効率性の高い処理企業は必ずそのような処理を行うと仮定することは長期的な視点に立たなくても現実的でない。結果として観察可能でないアウトカムを契約に盛り込むことになり、情報の非対称の問題を解決するための契約理論の基本モデルでは、バズ固有の情報の問題は解決困難であることがわかる。

以上の分析から明らかになったことは、排出事業者が処理後の産業廃棄物の質を検証可能になるようなトレーサビリティの拡充を図ることが最も有効な政策であるということである。これはまさに既存の電子マニフェスト制度が想定していることである。現状の電子マニフェストを想定したモデル分析においても、電子マニフェストの普及が進むほど不法投棄・不適正処理が減少することが示される。

主として、地方圏の産業廃棄物処理事業者に対するヒアリングでは、ICT化の仮説（アイディア）を設定し、それに対してヒアリングし、実現性、改善可能性、必要要件を確認した。その結果から仮説を再検討し、導入に向けた課題を整理するという方法で進めた。その際には、省人化・生産性向上につながるシステムといっても、1つのシステムで生産性が大幅に向上するとは考えられないため、複数の小さなシステムを積み上げることで生産性向上を果たすことを想定した。

ヒアリングの結果、廃棄物処理業者には以下の ICT 導入ニーズがあることが分かった。

1. 回収ルート効率化
2. AI 選別ロボット
3. 電子マニフェストの活用と情報連携（許可情報、トレーサビリティ）
4. IoTによる処理の見える化、自動化
5. 排出側との情報連携

このうち、「AI 選別ロボット」と「IoTによる処理の見える化・自動化」は技術的側面の強いニーズである。それ以外の3つのニーズの一つに「電子マニフェストの活用」があり、これは上記の理論的分析と整合的である。さらには、環境省が平成30年度後半に電子マニフェスト普及のためのロードマップを公表しており、この方針と本年度の本研究の結論も方向性が一致している。企業ヒアリングでは、中小企業の多い産業廃棄物処理業界で、ICTの大きな新規投資は困難であるとの意見が多く、その意味でも電子マニフェストの拡充は需要があると考えられる。残った2点は、いずれも排出企業と処理企業間の取引の効率性を高めることの必要性についての意見で

ある。効率的な取引関係を築くために最も適したインターフェースは価格情報である。そこで本研究では、ICT 技術の発展で現実的に使われる機会が増えているダイナミックプライシングが廃棄物処理業にも導入できないかを検討することとした。

ダイナミックプライシングとは、時間とともに変化する需要と供給を適切にマッチさせるための手法であり、多くの産業で使われるようになってきている。たとえば交通セクターでは、航空券の価格は同じ座席種別であっても、購入するタイミングによって異なる価格がつけられるようになって久しいが、最近ではスポーツ観戦や観劇のチケットなどが、チーム成績や天候などを反映する形の AI を利用したダイナミックプライシングを採用するようになってきた。

ダイナミックプライシングは、適切に行えば、社会厚生を向上させる効果をもつ。これは、その需要が時間的に変動する廃棄物処理産業についても言える。動脈産業の財の需要に季節性があることから時間を通じた廃棄物の発生パターンは大きく変動している。実際、12月の季節変動は年平均の1割程度の上振れがあるのに対し、2月には下方に同程度下振れすると指摘する研究もある。

ダイナミックプライシングを適切に行うには、公的機関による政策の策定が欠かせない。もしも利潤最大化を目指す民間企業などの主体がこれを行えば、必ずしも社会的に望ましい資源配分が達成されるとは限らないためである。そのため、本年度の研究では、ダイナミックプライシングに関して一定の研究蓄積をもつ交通セクターの知見にもとづいて、その基礎的な理論についてレビューをおこなった。具体的には、ダイナミックプライシングの古典的な例であるボトルネックモデルを紹介し、そこにおける社会的に最適な資源配分の考え方についてまとめた。背景にある基本的な考え方は、需要と供給をよりつぶさに観察して少しでも保有資源の利用に無駄が生じないように価格を通じて取引をコントロールすることである。その結果、企業の収益力が増加することが見込まれ、生産性の向上に寄与することが期待できる。こうした現代の ICT 技術の発達之恩恵を受けた新しい政策を支えるデータベースとしても電子マニフェストには大きな潜在力があり、さらなる拡張の可能性を検討していく余地がある。

3. 対外発表等の実施状況

(ミーティング開催(環境省、研究者同士のミーティング含む)、論文発表等も含む)

3.1 環境省との打ち合わせ

10/02(水) キックオフミーティング @ 立教大学会議室

12/06(木) 中間報告会 @ 環境省会議室

3.2 研究者同士のミーティング

2019年4月23日 「産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究#1」 @ 立教大学

2019年4月25日 「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#1」 @ 富山大学

2019年5月29日 「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#2」 @ 富山大学

2019年6月14日 早稲田大学 近藤先生によるセミナー @ 富山大学

2019年7月4日 「企業ヒアリングに関する打ち合わせ#1」 @ 富山大学

2019年7月25日 東北大学 大野先生によるセミナー @ 富山大学

2019年8月2日 「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#3」 @ 富山大学

2019年9月24日 「産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究#2」 @ 立教大学

2019年10月10日 「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#4」 @ 富山大学

2019年10月22日 「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#5」 @ 富山大学

2019年10月28日 「企業ヒアリングに関する打ち合わせ#2」 @ 富山大学

2019年11月7日「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#6」@富山大学

2019年11月28日「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#7」@富山大学

2019年12月14日「産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究#3」@立教大学

2019年12月25日「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#8」@富山大学

2020年1月9日「産業廃棄物の将来フレームに関する研究#9」@富山大学

3.3 対外報告

3.3.1 研究論文

Hosoda, E.B., Yamamoto, M. (2020) "Transportation costs of vehicle recycling under Hotelling's Duopoly competition," *Journal of Industrial and Business Economics* (forthcoming): <https://doi.org/10.1007/s40812-020-00148-9>.

3.3.2 学会報告

山本雅資・一ノ瀬大輔・古瀬正浩「経済学からみる廃棄物ビジネスの特徴：なぜICT・IoT・BCが必要か?」、廃棄物資源循環学会 春の討論会セミナー、2019年6月6日、川崎市産業振興会館。

Yamamoto, M. The 24th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists (EAERE)、Manchester、UK、June、2019.

Fujii M., Okadera T., Goto N., Ohnishi S., Maki S., Sun L, Possibility to Building Smart Energy Sharing Network in an Industrial Park Through the Information Sharing, The 14th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES) 、Hotel Valamar Lacroma Dubrovnik (Dubrovnik、Croatia)、October、2019.

Fukuda, K., Nakamura, K. and M. Yamamoto, 3R International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management, Tsukuba, Japan, March, 2020.

Fukuda, K., Nakamura, K. and M. Yamamoto, The 4th International Conference on Economic Structures, Kyoto, Japan, March, 2020.

3.3.3 その他

山本雅資、経済学からみる廃棄物ビジネスの特徴とブロックチェーン、マルチバリューチェーン研究会、2019年5月20日。

藤井実、循環経済の高度化と情報技術活用の可能性、FBC 広東 2019 ものづくり商談会 in 南海、インターコンチネンタルホテル仏山（中国・仏山市）、2019年7月25日。

藤井実、廃棄物の有効利用と情報技術の活用について、日本技術士会環境部会講演会、機械振興会館（東京）、2019年9月26日。

藤井実、廃棄物のエネルギー利用の高度化とIoT活用の可能性、愛知臨海環境整備センター講演会、今池ガスホール（愛知）、2019年11月20日。

3.4 外部有識者

- 2019年12月27日に、細田衛士(中部大学)、中谷準（東京大学）によるアドバイザリ会合を実施した。
 - 本報告書（仮）についての専門家として改善点を指摘していただいた。

4. 平成 31 年度の研究状況と成果（詳細）

4.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究

4.1.1 研究の概要

本年度は、昨年度の研究成果を踏まえて、わが国の将来推計人口を考慮しながら、産業廃棄物処理業の将来像を展望することを目指した。昨年度の研究では、地方圏での人口減少と高齢化が労働供給の減少を招くとともに、高齢化によって医療や介護といったサービスへの労働需要が増加することによって、産業廃棄物処理業を含む民間産業における労働の需給ギャップが顕在化する可能性を論じた。この可能性を産業単位でより明確に捉えるために、産業連関表をベースとしたモデルを構築して、人口減少と高齢化が既に進行しつつある富山県を取り上げて将来の産業構造に関する試算を行った。

本年度は、注力した研究の第一は、独立して作成された各都道府県の産業連関表に地域間取引を組み込んで連結させた「都道府県間産業連関表」の作成である。昨年度に構築した産業連関モデルは単一の地域のみを対象とした枠組みであった。しかし、産業廃棄物の地域間移動はもとより、最終財需要の生産誘発効果を経由した廃棄物処理業への需要とそれに起因する労働需要を分析するためには、地域間取引を明示的に取り込んだ地域間産業連関表をベースとしたモデル構築が必要となる。

今回新たに推計した都道府県間産業連関表は、既に各都道府県が公表している地域産業連関表をベースとして各都道府県内の各産業の生産額や粗付加価値額、最終需要額はできる限り変更を加えないこととして、既存の都道府県表を用いた分析との整合性を保っている。また、今回の作成では地域間取引の推計を、最もシンプルな gravity RAS 法によって行っているが、これを、商品流通調査や廃棄物移動にかんする調査結果を踏まえてより精緻な分析へと拡張することも容易である。

本年度の研究における第二の取り組みは、作成した都道府県間作業連関表を用いて、わが国の廃棄物処理業の投入・産出構造を捉えることである。産業連関表は経済活動を詳細な活動単位で分析できる優れたツールであるが、廃棄物処理業に関しては、産業廃棄物と一般廃棄物の区別がなされておらず、また、通常分析で用いられる統合分類による産業連関表では、公営と民営（産業）の区別もされていない。このため、廃棄物処理部門の経済活動を捉えるためには、産業連関表での廃棄物処理の扱いやそこで掲載されている産業間の取引を注意深く検討する必要がある。さらに、各都道府県の廃棄物処理業の規模や投入・産出構造を分析することも、将来フレームを構築する上で重要である。本年度の研究では、全国表も参考にしながら、廃棄物処理業の産業連関表でみた特徴と都道府県ごとの特性を分析した。さらに、所謂、均衡産出高モデルを用いて各都道府県の最終需要と生産誘発効果を求めて、動脈側である製造業やサービス業と静脈側である廃棄物処理業の産業間・地域間の連関を可視化した。

第三の研究目的として、作成した産業連関表をもとに将来人口や就業者の推計、医療、介護、教育、一般行政サービスといった非市場領域で生ずる需要や人口減に伴う民間消費支出の変化を考慮しながら、各都道府県の廃棄物処理業で生じ得る労働の需給ギャップを試算した。前述の諸要因の変化を将来人口推計に基づいて設定するとともに、投資や輸出は基準時点の規模を維持するとの前提で試算を行っている。その結果、すべての都道府県において労働の需要が労働の供給を上回ること、ギャップの率で見れば、労働力の不足は地方圏でより深刻となり得ることが示された。

このような試算を踏まえて、労働供給が制約される下で各産業の生産が決定される供給制約型のモデルを構築して、廃棄物処理業の将来に関する試算を行った。これは、供給制約型モデルと均衡産出高モデルの混合型だと考えることができる。産業連関分析において、供給制約モデルとしてはGoshによるモデルが良く知られている。しかし、Goshモデルでは配分係数が不変であることや中間投入に関する完全代替が仮定されるなど、今回の分析にはそぐわない面も多い。そこで、本年度の研究では、前年度に構築した2次計画法を用いた最適化モデルを都道府県間産業連関分析の枠組みに拡張した試算を試みた。

次節では、産業連関表の中での廃棄物処理業の位置づけを述べるとともに、総務省『平成23年産業連関表』に基づき、廃棄物処理業の後方連関効果と前方連関効果を求めることで、国全体の経済活動の中でみた廃棄物処理業の特徴を明らかにする。第3節では、今回構築した都道府県間産業連関表から廃棄物処理部門の地域間の差異や特徴を考える。第4節では、都道府県間産業連関表を用いて廃棄物処理部門の地域間の繋がりを考える。第5節では人口減少と高齢化が廃棄物処理部門に与える影響を、均衡産出高モデルを用いて検討する。第6節では労働の供給制約と高齢化に伴う需要制約を同時に考慮したモデルによって、人口減少や高齢化による資源制約の中での廃棄物処理部門の活動について試算する。最後にまとめと課題を記したい。

4.1.2 産業連関表からみた廃棄物処理業

4.1.2.1 産業連関表における廃棄物処理業の位置づけ

最初に、廃棄物処理業の活動が産業連関表の中でどのように位置づけられているかを述べるとともに、国全体で見た廃棄物処理業の活動規模を総務省『平成23年産業連関表』（以下、全国表と言う）に基づき俯瞰する。全国表については既に平成27年表が公表されているが、本研究で作成した都道府県間産業連関表は平成23年の各都道府県産業連関表をベースとしているので、平成23年表に沿って述べる。

産業連関表において廃棄物処理業の活動は、最も詳細な基本分類において「廃棄物処理（公営）」と「廃棄物処理（産業）」に分類される。いずれも、対象となる活動は、し尿収集・処理、ごみ収集・処理、産業廃棄物収集・処理等の活動である。前者は地方公共団体による活動を

指し、後者は地方公共団体の委託事業を含む民営事業所による活動を指す²。産業連関表では一般廃棄物と産業廃棄物処理の区別はなされておらず、産業廃棄物処理の実態を産業連関表から直接に知ることはできない³。そこで、産業連関表の計数の中から産業廃棄物処理を含む活動を抽出する必要がある。

廃棄物処理業の産出（販路）は他産業の中間需要と最終需要に大別できる。中間需要のうち、製造業やサービス業など民間の産業における中間投入としての需要は、産業廃棄物処理と事業系の一般廃棄物処理だと考えられる。中間需要のうち、産出先が公務であるものは、同部門が廃棄物処理を中間投入として公務サービスを生産し、これを地方政府が集合的消費支出の形で消費する。これは、「地方政府が経済的に意味のない価格で提供する集合的なサービス（議会・警察などの社会全体に対するサービス）に関する支出のうち、地方政府自身が負担した費用」であり、家庭系一般廃棄物の処理に相当するものと考えられる。また、廃棄物処理業自身の国内最終需要は家計消費支出（公営、産業）と、地方政府集合的消費支出、地方政府集合的消費支出（社会資本等減耗分）（公営のみ）であり、これらは家庭系一般廃棄物の処理やそのために用いられる固定資本の減耗分だと考えられる。この他に、国外との取引として、輸出（特殊貿易）、輸入（特殊貿易）が計上されている⁴。

表 4-1-1 は上述の關係に焦点をあてて廃棄物処理業の取引關係を、平成 23 年の全国表（基本分類）ベースで見たものである。ただし、廃棄物処理と公務に関する活動以外はその他として一括計上している。

ここから、廃棄物処理業の生産額は公営（9,224 億円）と産業（2 兆 8,427 億円）を合せて約 3 兆 7,651 億円である。このうち、中央と地方を合せて 8,505 億円が公務の中間需要として産出されており、これらは、公務部門の集合的消費支出として産出されている⁵。この他に、廃棄物処理部門の生産は公務部門を経由することなく、公営と産業合せて 2,186 億円が家計消費支出として需要されるとともに、地方政府集合的消費支出として 6,260 億円が産出されている。また、廃棄物処理（公営）においては、地方政府集合的消費に係る固定資本減耗として 1,421 億円が計上されている。

公務を除いた部門における廃棄物処理の中間投入額は、公営（1,106 億円）と産業（1 兆 8,145 億円）を合せて 1 兆 9,257 億円である。これらは、主として事業系一般廃棄物と産業廃棄物だと考えられる。したがって、産業廃棄物の処理活動を産業連関表の枠組みで捉えるためには、公務を除いた産業の中間投入に着目することが必要である。

² 総務省『平成 23 年（2011 年）産業連関表（一総合解説編一）』を参照。

³ また、基本分類以外の統合分類では廃棄物処理の公営と産業の区別もできない。

⁴ 特殊貿易とは「居住者と非居住者間におけるサービス及び普通貿易に計上されない財の取引」を範囲とし、日本銀行が作成する国際収支表のうち、居住者と非居住者の間で提供し合うサービスの対価の受取・支払を記録するサービス収支から以下の①「輸入（直接購入）」の推計範囲、②建物サービス等を控除したものにほぼ一致する」とされている。

⁵ 公務部門の産出先として中間需要が 5,826 億円（中央）、5,540 億円（地方）計上されているが、いずれも分類不明部門の中間投入であり、公務部門の産出の太宗は集合的消費支出だと考えて良い。

表 4-1-1 全国表でみた廃棄物処理の取引関係

単位：10 億円

	中間需要					最終需要							国内生産額
	廃棄物処理 (公営)	廃棄物処理 (産業)	公務 (中央)	公務 (地方)	その他産業	家計 消費支出	地方政府集 合的消費支出	社会資本 等減耗分	その他 国内需要	輸出(特殊 貿易)	輸入(特殊 貿易)	その他 輸出入	
中間 投入	廃棄物処理 (公営)	0.0	0.0	4.1	10.3	110.6	29.3	626.0	142.1	0.0	0.0	0.0	922.4
	廃棄物処理 (産業)	0.0	0.0	8.2	827.9	1814.5	189.3	0.0	0.0	0.0	3.1	-0.2	2842.7
	公務 (中央)	0.0	0.0	0.0	0.0	582.6	22.5	0.0	0.0	11902.4	0.0	0.0	12507.4
	公務 (地方)	0.0	0.0	0.0	0.0	554.0	1092.6	15584.3	8860.5	806.2	0.0	0.0	26897.8
	その他産業	317.1	710.9	4478.2	7144.6	446206.6	275163.5	4.9	82.9	174612.1	8458.9	-8140.2	896504.5
租付加価値部門計	605.3	2131.8	8016.9	18915.0	447236.2								
国内生産額	922.4	2842.7	12507.4	26897.8	896504.5								

平成 23 年産業連関表に基づき作成

4.1.2.2 後方連関効果と前方連関効果から見た廃棄物処理業

産業連関表からさらに詳しい産業間の繋がりを分析する手法に、連関効果 (Linkage) の計測がある。上表は極めて簡略化された産業連関表である。実際には詳細な産業分類に基づいた産業連関表が公表されており、産業間の繋がりの特徴を知ることができる。以下では、全国表を手掛かりに、リンケージの計測を通じて廃棄物処理業の産業としての特徴を考える。

連関効果は後方連関 (Backward Linkage) と前方連関 (Forward Linkage) に大別できる⁶。ある産業の後方連関効果とは、当該部門における生産活動が原材料やエネルギーなど中間投入財への需要をもたらす効果を指す。前方連関効果とは、当該部門で生産された財が他部門の中間投入として用いられ、その部門での生産に貢献する効果を意味する。逆行列係数表より求められる影響力係数や感応度係数はそれぞれ、後方連関効果や前方連関効果を表す指標である。

より包括的には、仮想的抽出法 (Hypothetical Extraction Method) を用いて後方連関と前方連関を考察できる⁷。簡単な例で仮想抽出法の考え方を説明しよう。今、連関効果を知りたい産業を第 1 部門としてその他の産業 (インデックスを 2 で表す) をまとめてベクトルの形で書けば、産業連関表を横方向に読んで以下の関係が導かれる。

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 a_{ij} は第 i 部門の財・サービスの第 j 部門における投入係数であり、 $a_{ij} = x_{ij}/x_j$ 、である。また、 $a_{12} = (a_{12}, \dots, a_{1N})$ 、他の部門で投入される第 1 部門で生産された財の投入係数、また、 $a_{21} = (a_{21}, \dots, a_{N1})^T$ 、は、第 1 部門で投入される他の部門の財・サービスの投入係数か

⁶ たとえば金子(1990)第 6 章を参照。

⁷ 仮想抽出法による連関効果の測定には、連関効果の定義や解釈を巡って様々な考え方があり、数多くの指標が提案されている。ここでは Song et al (2006, a, b) に沿って連関効果を解説、測定する。他に、Clements(1990)、鈴木 (2008) も参照。

らなるベクトルである。また、 \mathbf{A}_{22} は第1部門以外の部門で投入される第1部門以外の財・サービスの投入係数から構成される $(N-1) \times (N-1)$ の行列である。 \mathbf{f}_1 は第1部門の最終需要、 $\mathbf{f}_2 = (f_1, \dots, f_N)$ 、は第1部門以外の最終需要を表す。

今、最終需要が与えられると、分割行列の逆行列に関する周知の関係を用いて、以下のような形で最終需要を満たすような生産活動が行われる。

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & \mathbf{a}_{12} \\ \mathbf{a}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h & h\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22} \\ \mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}h & \mathbf{B}_{22}(\mathbf{I} + \mathbf{a}_{21}h\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、 $h := (1 - a_{11} - \mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21})^{-1}$ 、 $b_{11} = (1 - a_{11})^{-1}$ 、 $\mathbf{B}_{22} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{22})^{-1}$ 、である。これを書き下すと、 $x_1 = hf_1 + h\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}f_2$ 、 $x_2 = \mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}hf_1 + \mathbf{B}_{22}(\mathbf{I} + \mathbf{a}_{21}h\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22})f_2$ 、となる。

これらの直観的な意味を述べておくと、まず、第1部門の生産のうち、第1部門の最終需要によって生ずる部分は hf_1 で表される。第1部門で1単位の生産を行うには、当該部門への中間投入が a_{11} 単位だけ発生するとともに、第1部門での生産のために他部門の中間投入が \mathbf{a}_{21} 単位だけ発生し、これを満たすためにさらに他部門の財が必要されると言うレオンチェフ乗数効果を通じて $\mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}$ 単位だけその他部門での生産に対する需要が発生する。この需要を満たすために、 $\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}f_2$ だけの需要が発生する。結局のところ、第1部門で1単位の財を生産するには、 $a_{11} + \mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}$ 単位の財が第1部門で生産されねばならない。これだけの生産を行うには再び同じプロセスを経て第1部門の財が生産されねばならない。 h はこのような過程の乗数を表している。

その他の部門の最終需要(f_2)によって誘発される第1部門の生産についても同じように考えることができる。その他部門での最終需要に対して $\mathbf{B}_{22}f_2$ だけ、その他部門における生産が誘発され、これを満たすために第1部門において $\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}f_2$ だけ需要が発生する。これを第1次的なインパクトとして、以下、前述と同じプロセスが繰り返されるので、最終的には $h\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}f_2$ だけの生産が誘発される。

その他部門の生産についても同様に考えることができる。まず第1部門の最終需要がその他の部門の生産を誘発する効果は、第1部門全体の乗数効果を含めて h 単位の生産が誘発されると、これを満たすためには、その他部門において $\mathbf{a}_{21}h$ だけの需要が第1次的インパクトとして生じて、その結果、 $\mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}hf_1$ だけの生産が誘発される。その他部門の最終需要に対する効果も、直接的な需要 \mathbf{B}_{22} と第1部門の生産を通じて跳ね返る需要 $\mathbf{B}_{22}h\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}$ より構成される。

このような産業連関の中で第1部門が果たしている役割を考えよう。このために、まず、第1部門の生産活動において投入されるその他部門の財・サービスのすべてが外国からの輸入で賄われたとしよう。すなわち、国内で後方への波及が中断される場合である。これは、第1部門における他部門の投入係数がすべてゼロになる、 $\mathbf{a}_{21} = \mathbf{0}$ 、と表現できるから、そのときの各部門の生産は以下のように表される。

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{11}\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22} \\ \mathbf{0} & \mathbf{B}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 $b_{11} = (1 - a_{11})^{-1}$ 、である。たとえば、第 1 部門の最終需要が第 1 部門の生産を誘発する効果は、 h から b_{11} になる。これは、第 1 部門の生産活動において国内のその他部門への需要が生じず、 $\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21} = \mathbf{0}$ となり、産業間の連関が途切れてしまい、レオンチェフ乗数が小さくなることを意味している。このような第 1 部門における波及効果の中断による影響は、 $BL_1 = \mathbf{x}_1 - \bar{\mathbf{x}}_1$ 、と表される。

これらをすべての部門で合計すれば第 1 部門の後方連関効果を求めることができ、以下のよう表される。

$$BL = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 - \bar{\mathbf{x}}_1 \\ \mathbf{x}_2 - \bar{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h - b_{11} & (h - b_{11})\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22} \\ \mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}\mathbf{H} & \mathbf{B}_{22}\mathbf{a}_{21}\mathbf{H}\mathbf{a}_{12}\mathbf{B}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{f}_1 \\ \mathbf{f}_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

前方連関効果を見るためには、Ghosh モデルを用いる⁸。産業連関表の費用構成面に着目すれば、以下の関係が成立する。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 & \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 & \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{a}}_{11} & \tilde{\mathbf{a}}_{12} \\ \tilde{\mathbf{a}}_{21} & \tilde{\mathbf{A}}_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

ここで、 \mathbf{v}_i は第 i 部門の付加価値額を表す。 $\tilde{\mathbf{a}}_{ij}$ は配分係数と呼ばれ、第 i 部門で生産された財・サービスが第 j 部門に産出（供給）される比率を表しており、 $\tilde{\mathbf{a}}_{ij} = \mathbf{x}_{ij}/\mathbf{x}_i$ 、である。また、 $\tilde{\mathbf{a}}_{ij}$ や $\tilde{\mathbf{A}}_{22}$ はこの配分係数を要素とするベクトルや行列である。この式を生産量について解けば、以下のようなになる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 & \mathbf{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{a}}_{11} & \tilde{\mathbf{a}}_{12} \\ \tilde{\mathbf{a}}_{21} & \tilde{\mathbf{A}}_{22} \end{bmatrix} \right)^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{h} & \tilde{h}\tilde{\mathbf{a}}_{12}\tilde{\mathbf{B}}_{22} \\ \tilde{\mathbf{B}}_{22}\tilde{\mathbf{a}}_{21}\tilde{h} & \tilde{\mathbf{B}}_{22}(\mathbf{I} + \tilde{\mathbf{a}}_{21}\tilde{h}\tilde{\mathbf{a}}_{12}\tilde{\mathbf{B}}_{22}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

ただし、 $\tilde{h} := (\mathbf{1} - \tilde{\mathbf{a}}_{11} - \tilde{\mathbf{a}}_{12}\tilde{\mathbf{B}}_{22}\tilde{\mathbf{a}}_{21})^{-1}$ 、 $\tilde{b}_{11} = (\mathbf{1} - \tilde{\mathbf{a}}_{11})^{-1}$ 、 $\tilde{\mathbf{B}}_{22} = (\mathbf{I} - \tilde{\mathbf{A}}_{22})^{-1}$ 、である。付加価値額は供給能力を表すから上式は、供給能力と供給された財・サービスの販路を与件としたときの各財の生産量を表している。

ここで、第 1 部門で生産された財がすべて外国への輸出に振り向けられたとしよう。すなわち、 $\tilde{\mathbf{a}}_{12} = \mathbf{0}$ 、である。すると、各財の生産は、

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}_1 & \tilde{\mathbf{x}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{b}_{11} & \mathbf{0} \\ \tilde{\mathbf{B}}_{22}\tilde{\mathbf{a}}_{21}\tilde{b}_{11} & \tilde{\mathbf{B}}_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

となる。この時に生ずる各財の生産の減少を前方連関効果とよび、後方連関効果の場合と同様に、初期の産出量との差で捉える。すなわち、前方連関効果は、以下のように表される。

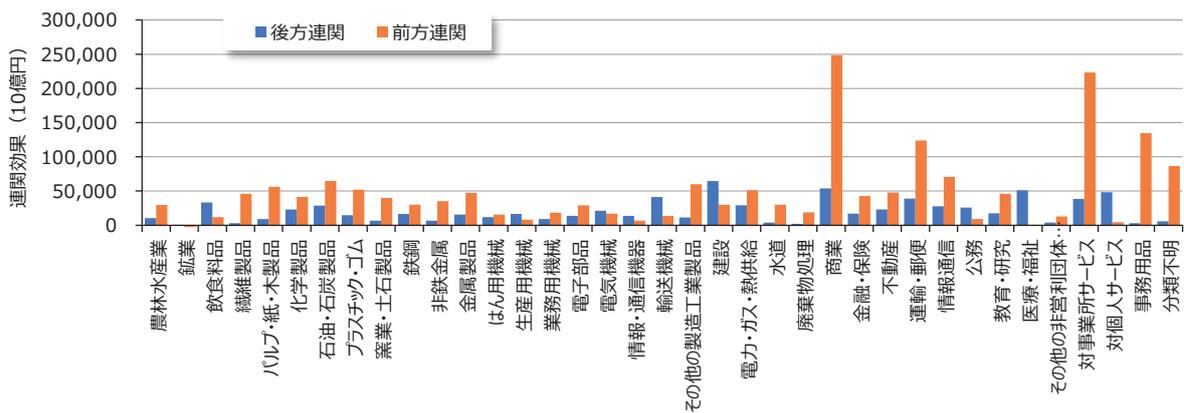
⁸ いわゆるレオンチェフモデルが投入係数を一定として、最終需要を与件として均衡生産高を求める構造になっているのに対して、Ghosh モデルは生産物の販路（配分係数）を一定として、付加価値額を与件として生産高を求める構造になっている。たとえば、Miller and Blair (2009)、Ch. 12 を参照。

$$FL = [x_1 - \tilde{x}_1 \quad x_2 - \tilde{x}_2] \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = [v_1 \quad v_2] \begin{bmatrix} \tilde{h} - \tilde{b}_{11} & \tilde{h}\tilde{a}_{12}\tilde{B}_{22} \\ \tilde{B}_{22}\tilde{a}_{21}(\tilde{h} - \tilde{b}_{11}) & \tilde{a}_{21}\tilde{h}\tilde{a}_{12}\tilde{B}_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

後方連関効果と前方連関効果の大きさから、各部門を特徴づけることができる。たとえば、多くの中間財を投入して最終財を生産するような産業は、 \tilde{a}_{21} が大きく \tilde{a}_{12} が小さいので、後方連関効果が大きく、前方連関効果は小さくなる。一方、数多くの産業に販路を持つ、言い換えれば、数多くの産業において中間財として投入されるような財・サービスを生産する部門では前方連関効果が大きくなる。

平成23年の全国表（基本大分類）をもとに、上述の後方連関効果と前方連関効果を産業別に測定したものが図4-1-1である。容易に予想されるように、いわゆる裾野が広いと言われる建設や輸送機械部門、飲食品部門、最終需要が中心である医療福祉や対個人サービスにおいて後方連関効果が高い。一方でほとんどの生産活動において投入される商業や対事業所サービス、運輸と言った部門の前方連関効果は大きい。製造業では、各種の機械のような組立型産業で後方連関効果が高く、素材型の産業で前方連関効果が大きくなっている。

図4-1-1 平成23年産業連関表（全国表）からみた後方連関効果と前方連関効果⁹



総務省『平成23年産業連関表』に基づき作成

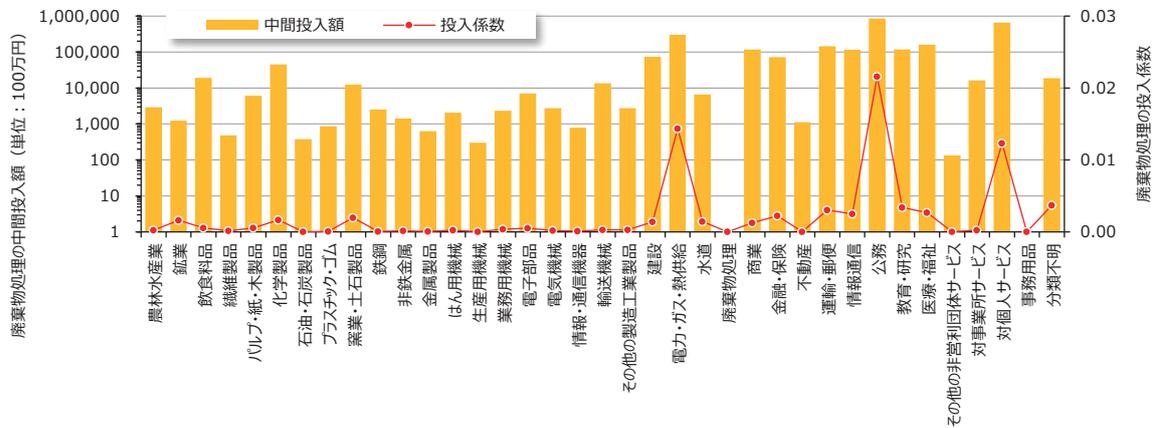
廃棄物処理業は前方連関効果が大きい。その後方連関効果は2兆2,682億円であるのに対して、前方連関効果は18兆7,356億円である。このことは、廃棄物処理業はしばしば静脈産業であると言われることを表現している。また、電力・ガス・熱供給や水道など前方連関効果が相対的に大きい産業と同様に、廃棄物処理業は社会インフラとしての側面を強く持っていることもわかる。人口減少や高齢化の進展により、廃棄物処理業での供給能力が損なわれることは幅広い産業に直接、間接に影響を及ぼす。

それでは、廃棄物処理業の活動は実際にどの部門で投入されているのだろうか。図4-1-2は、全国表ベースで見た産業（大分類）別の廃棄物処理の中間投入額と1円の当該財・サービスを生産するために必要な廃棄物処理部門の投入額（投入係数）を示している。公務を除けば、対個人

⁹ 鉱業は前方連関効果がマイナスとなったため、表示を省略している。

サービスや電力・ガス・熱供給といった部門は額で見ても投入係数で見ても大きな値を示している。また、製造業は額、投入係数のどちらで見てもその値は相対的に小さい。

図 4-1-2 全国表ベースで見た各産業における廃棄物処理の中間投入額



総務省『平成 23 年産業連関表』に基づき作成

以上、本節では産業連関表からみた廃棄物処理業の姿を部門間の投入・産出関係や連関効果から概観してきた。ただし、産業間のリンクージュやこのように、各産業における廃棄物処理に対する中間需要は大きく異なる。したがって、地域間の産業構造の違いを反映して、廃棄物処理部門への需要もまた地域間で異なったものとなる。さらには、地域の産業を支える人口・社会動態もまた地域間で異なる様相を呈することを考えると、地域単位で産業連関分析の枠組みを構築することが求められる。

4.1.3 都道府県間産業連関表からみた廃棄物処理業

4.1.3.1 都道府県間産業連関表のあらまし

都道府県間産業連関表は地域間産業連関表の形式に沿って 47 都道府県の都道府県間取引を非競争移出入の形式で表章した産業連関表である。今回の分析のために、平成 23 年を基準にした都道府県間産業連関表を独自に推計した¹⁰。地域間産業連関表にはいくつかの形式があるが、本研究では表 4-1-1 のような「地域間非競争移入・競争輸入型表」を用いる。以下では、これを単に「都道府県間表」と呼ぶ。

¹⁰ わが国の都道府県を対象とした地域間産業連関表の作成については、石川・宮城（2003）、萩原（2012）、人見（2008）など先行研究が存在する。本研究では各都道府県が作成した都道府県産業連関表に基づき、新たに都道府県間産業連関表を推計した。推計の詳細は補論を参照されたい。

表 4-1-2 地域間非競争移入・競争輸入型産業連関表（ひな型）

		中間需要				最終需要					輸入 (控除)	生産額
		A 地域	B 地域	...	N 地域	A 地域	B 地域	...	N 地域	輸出		
中間 投入	A 地域	\mathbf{X}^{AA}	\mathbf{X}^{AB}	...	\mathbf{X}^{AN}	\mathbf{F}^{AA}	\mathbf{F}^{BA}	...	\mathbf{F}^{AN}	\mathbf{e}^A	\mathbf{m}^A	\mathbf{x}^A
	B 地域	\mathbf{X}^{BA}	\mathbf{X}^{BB}	...	\mathbf{X}^{BN}	\mathbf{F}^{BA}	\mathbf{F}^{BB}	...	\mathbf{F}^{BN}	\mathbf{e}^B	\mathbf{m}^B	\mathbf{x}^B
	:	:	:	...	:	:	:	...	:	:	:	:
	N 地域	\mathbf{X}^{NA}	\mathbf{X}^{NB}	...	\mathbf{X}^{NN}	\mathbf{F}^{NA}	\mathbf{F}^{NB}	...	\mathbf{F}^{NN}	\mathbf{e}^N	\mathbf{m}^N	\mathbf{x}^N
粗付加価値		\mathbf{v}^A	\mathbf{v}^B	...	\mathbf{v}^N							
生産額		$(\mathbf{x}^A)^T$	$(\mathbf{x}^B)^T$	...	$(\mathbf{x}^N)^T$							

表 4-1-2 は N 地域からなる地域間産業連関表のひな型である。ここで、 \mathbf{X}^{IJ} は J 地域内の産業において投入される I 地域で生産された財・サービス、すなわち、I 地域から J 地域への中間財の移出、を産業ごとに行列形式で表している。また、 \mathbf{F}^{IJ} は J 地域内の最終需要のうち、I 地域からの移入によって賄われた財・サービスを最終需要項目ごとに行列形式で表している。また、 \mathbf{e}^I は I 地域から海外への輸出であり、 \mathbf{m}^I は I 地域への海外からの輸入を表すベクトルである。J 地域の各産業における粗付加価値は行列 \mathbf{V}^J によって表される。

I 地域の各産業における生産額をベクトル \mathbf{x}^I とすれば、通常の産業連関表と同じく、費用面と販路面の恒等関係が成り立つ。すなわち、

$$\mathbf{i}^T \left(\sum_{j=1}^N \mathbf{X}^{Ij} \right) + \mathbf{i}^T \mathbf{V}^I = \mathbf{x}^I = \left[\left(\sum_{j=1}^N \mathbf{X}^{Ij} \right) \mathbf{i} + \left(\sum_{j=1}^N \mathbf{F}^{Ij} \right) \mathbf{i} + \mathbf{e}^I - \mathbf{m}^I \right]^T \quad (9)$$

ここで、 \mathbf{i} はその要素がすべて 1 であるような適切な次元の列ベクトルである¹¹。

4.1.3.2 都道府県間産業連関表から見た廃棄物処理業

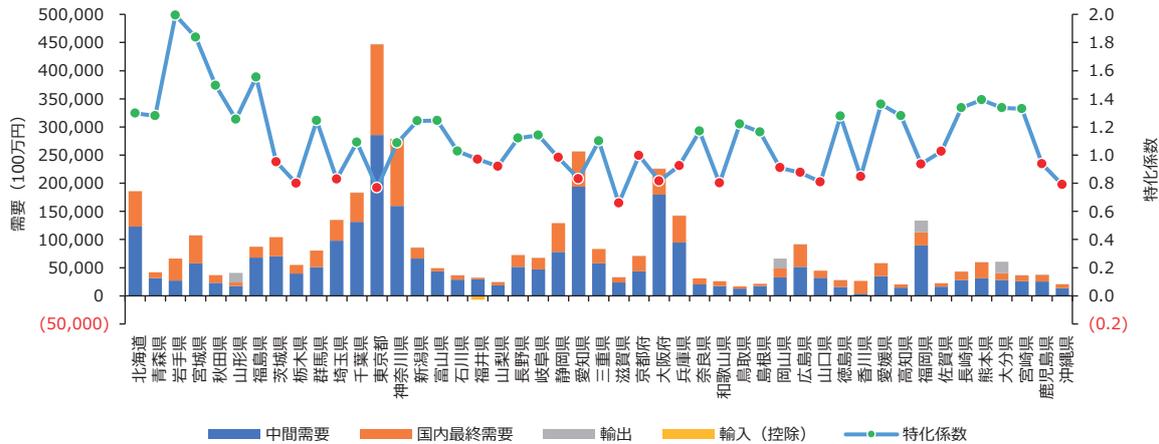
4.1.3.2.1 廃棄物処理業の生産額と需要部門

以下では、今回推計した都道府県間表から見た廃棄物処理業のあらましを述べる。図 4-1-3 は、需要項目別にみた各都道府県の廃棄物処理業の生産額を表している¹²。

¹¹ 上付き添え字 T は、行列やベクトルの転置を表す。

¹² 各都道府県の生産額は国内他地域への移出を含み、国内他地域からの移入は含まない。ただし、非競争輸入型の産業連関表であるため、中間需要と国内最終需要には海外からの輸入が含まれる。

図 4-1-3 廃棄物処理業の需要項目別生産額（平成 23 年）



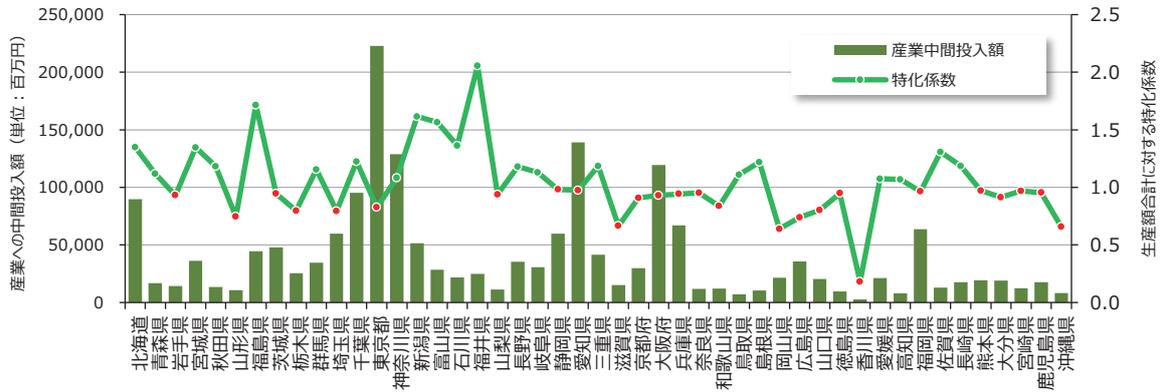
資料: 都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-3 からわかるように、廃棄物処理業の生産額は人口規模の大きい大都市圏で大きくなっている。今回推計した都道府県間産業連関表に拠れば、国内の廃棄物処理業全体の生産額を単純に合計すれば約 4 兆円であり、すべての産業の生産額合計の約 0.4%に相当する¹³。ただし、すべての地域において廃棄物処理業の相対的な規模が同一という訳ではない。図 4-1-3 の折れ線は、各地域の廃棄物処理業の特化係数を示している。特化係数は、J 地域の廃棄物処理業の特化係数 = J 地域の廃棄物処理業の生産額構成比 ÷ 全国でみた廃棄物処理業の生産額構成比、によって定義される。特化係数が 1 よりも大きい（図では緑丸 ● で図示）ならば、当該地域において廃棄物処理業が生産額で見ても相対的に集積していることを意味する。東京都や愛知県、大阪府や福岡県といった大都市圏の特化係数は 1 を下回っており（図では赤丸 ● で図示）、相対的な規模で言えば廃棄物処理業は地方圏に集積している。

図 4-1-4 は、公務を除く各産業において中間投入として需要される廃棄物処理部門の投入額を図示している。前述のように、産業連関表では産業廃棄物処理業と一般廃棄物処理業の区別はなされていないが、廃棄物処理業の生産額のうち、最終需要を構成するものはほぼ一般廃棄物の処理に相当すると思われる。加えて、中間需要を構成するもののうち公務部門に向けた産出もまた一般廃棄物の処理に関するものだと考えられる。

¹³ 都道府県間表における廃棄物処理業の生産額合計は 3,990,535 百万円である。ちなみに、総務省による国レベルの産業連関表（全国表）における廃棄物処理業の生産額合計は、3,765,124 百万円となっている。

図 4-1-4 産業（公務を除く）に対する廃棄物処理の中間投入額と特化係数



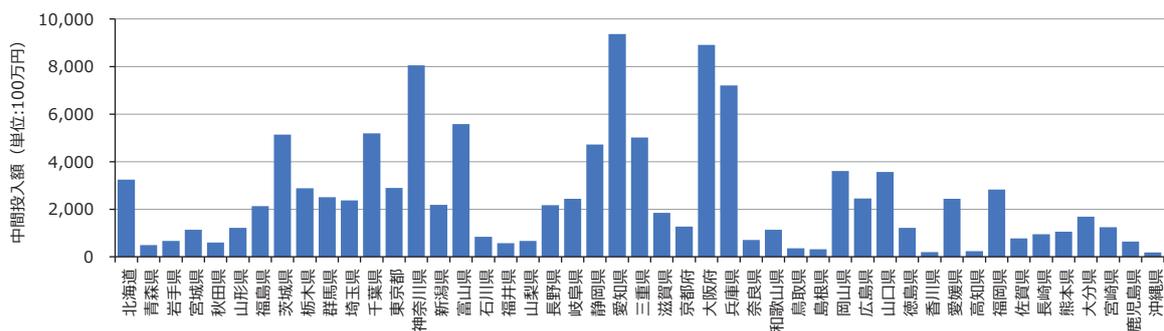
資料: 都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-4 を見れば、東京都、愛知県、大阪府など大都市圏において、大きな中間投入が廃棄物処理部門によってなされている。ただし、これらの地域における廃棄物処理部門の中間投入額を生産額の合計に対する比率でみれば、その規模は相対的に小さい。むしろ、東北地方や北陸地方、山陰地域のいくつかの県において特化係数の値が1を超えている。

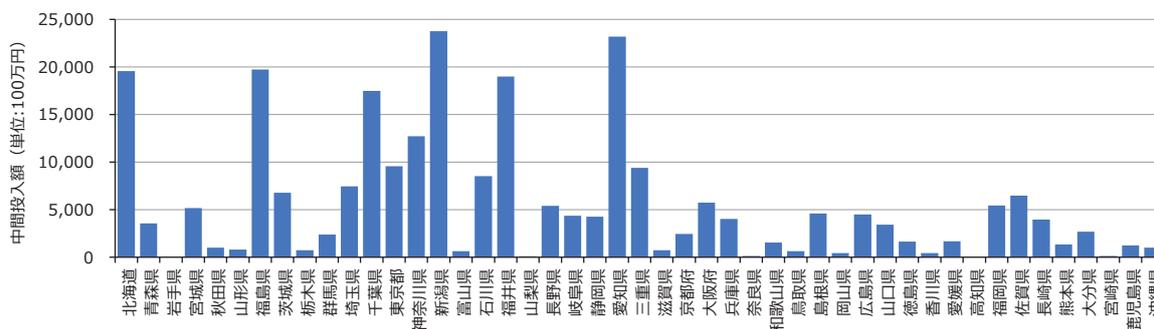
このような都道府県間の廃棄物処理業に対する中間需要の違いは各地域の産業構造に求められる。図 4-1-5 は全国表ベースで見て廃棄物処理を多く投入している電力・ガス・熱供給と対個人サービス、それに製造業の合計の各産業について、廃棄物処理の中間投入額を都道府県別に見たものである。

図 4-1-5 主要部門における都道府県別にみた廃棄物処理の中間投入額

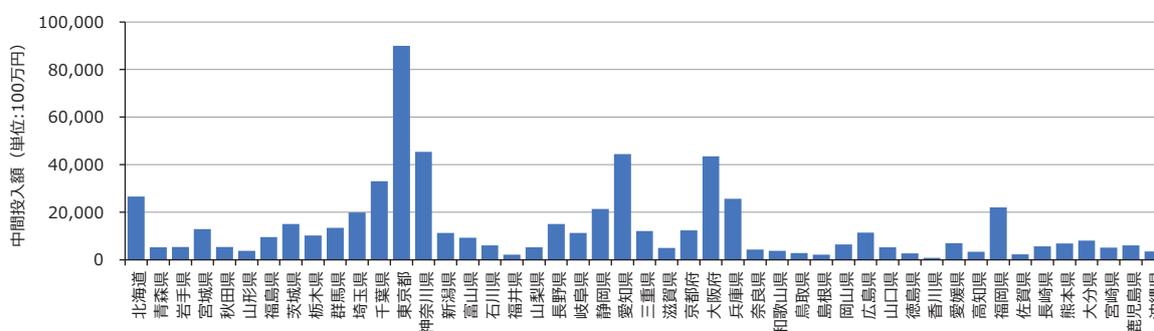
製造業



電力・ガス・熱供給



対個人サービス



資料: 都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-5 上段のグラフは各都道府県の製造業における廃棄物処理の中間投入を图示している。前述のように製造業での廃棄物処理の投入量はそれほど多くはない。しかし、都道府県間で見れば若干の違いが存在する。千葉県や神奈川県、愛知県、大阪府、兵庫県といった大都市圏に加えて、茨城県や富山県など、製造業が集積している地域において廃棄物処理の投入量が大きくなっている。一方、東京都は全都道府県のうちで 11 番目である。

図 4-1-5 中段のグラフは電力・ガス・熱供給部門における中間投入である。北海道、福島県、千葉県、新潟県、福井県、愛知県といった道県において中間投入額が大きい。これらは、主として電源の立地に対応していると考えられる。特に、図 4-1-5 において福島県や新潟県、福井県が高い特化係数を示していた要因はこの部門における廃棄物処理が影響していると考えられる。ここでも、東京都の値はそれほど大きくない。

図 4-1-5 下段のグラフは対個人サービス部門における廃棄物処理業の中間投入額を示している。ここでは東京都の投入規額が際立って大きい。図 4-1-4 で示された、東京都における廃棄物処理の投入規模が大きい理由はここに求められる。また、投入額は東京都の半分以下であるものの神奈川県や愛知県、大阪府の投入額も相対的に大きい。これは、対個人サービスを含むサービス業が大都市圏に集積している事実を反映している。

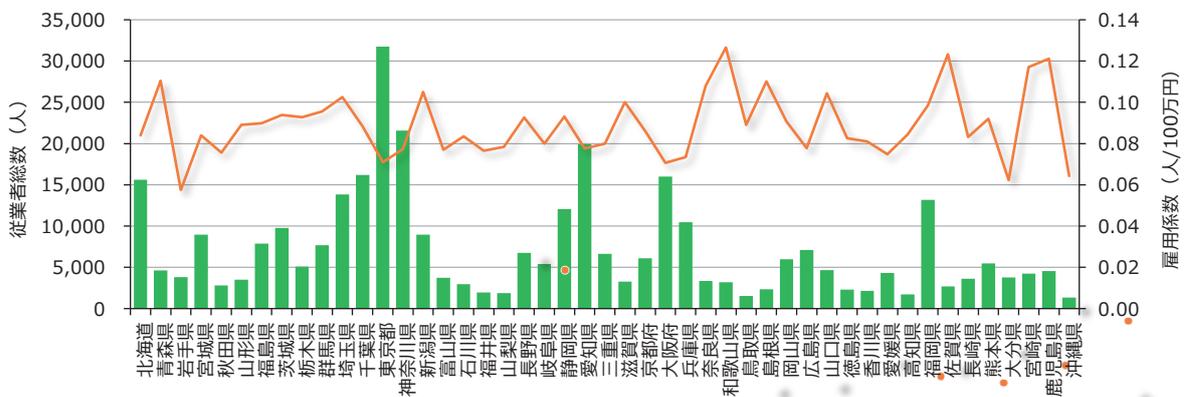
リンケージの分析で示されているように、廃棄物処理は静脈産業であり、各都道府県における態様は当地の動脈産業の構成に大きく依存する。このことは、需要側や供給側のショックによる

波及効果が各都道府県に対して定性的にも量的にも異なった影響をもたらすことを示唆する。

4.1.3.2.2 廃棄物処理業の労働投入と生産性

続いて、廃棄物処理業における労働投入についてみておく。都道府県間産業連関表の作成にあたって、各都道府県の都道府県表の雇用表の従業者総数に基づき雇用表を作成した。これに拠れば、廃棄物処理業における従業者総数は336,524人であり、その都道府県別内訳は図4-1-6のようになっている¹⁴。また、図4-1-6の折れ線グラフで示されている雇用係数とは、従業者総数÷生産額（単位：100万円）、で定義されており、100万円分の廃棄物処理を行うために必要な労働投入量を表している。

図4-1-6 廃棄物処理部門における労働投入量



資料: 都道府県間産業連関表に基づき作成

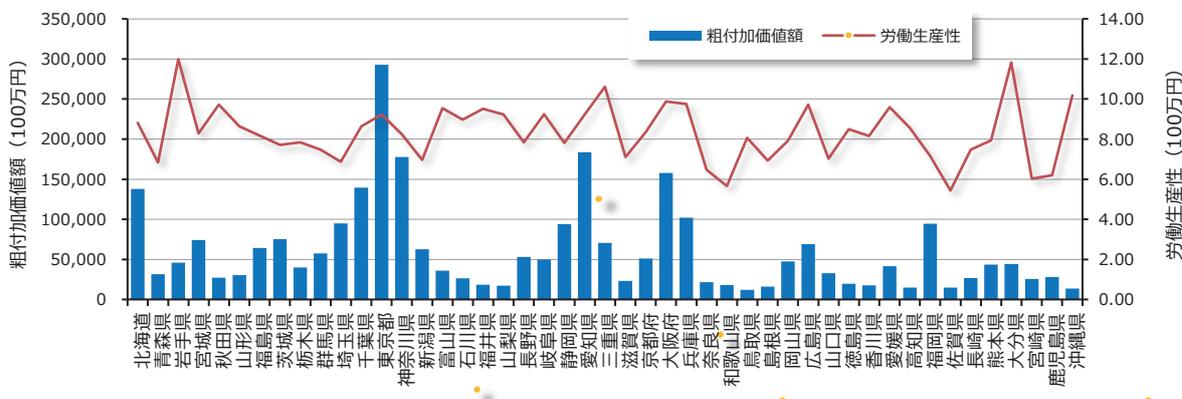
図4-1-6からわかるように従業者総数は東京都が最も多く神奈川県、愛知県といった県で従業者総数は大きい。各県の従業者総数は概ねそこでの生産額に比例しているが、雇用係数を見れば若干の差異も観察できる。雇用係数が最も低い岩手県（雇用係数=0.058）と最も高い和歌山県（同0.127）では、2倍以上の差がある。これは10億円分の廃棄物を処理する際に岩手県では58人の雇用で対応できるが、和歌山県では127人の雇用が必要となることを意味する。このような差異が生ずる要因には、処理する廃棄物の種類、各地域の自然・社会的条件の違い、各地域の廃棄物処理業での生産技術の違いといった要因が考えられる。

従業者総数の分布を特化係数でみると図4-1-7のようになる。ここでの特化係数は、（当該県の廃棄物処理業の従業者総数÷当該県の全産業の従業者総数）÷（廃棄物処理業の従業者総数の全国計÷全産業の従業者総数の全国計）、で求められている。特化係数が1よりも高いと、その

¹⁴ 各都道府県で付帯表として公表されている雇用表の値をそのまま用いている。ただし、東京都雇用表に掲載されている本社部門における従業者は、各産業における本社部門の投入額で按分・帰属させている。また、沖縄県については沖縄県統計課より提供を受けた。ちなみに、全国表ベースの雇用表では、廃棄物処理部門の従業者総数は358,856人となっている。

が大きいことも生産額に注目した分析（図 4-1-3）と共通している¹⁶。労働生産性が最も低い佐賀県（544 万円）と最も高い大分県（1,183 万円）では 2 倍以上の差異が存在する。

図 4-1-9 廃棄物処理業の都道府県別粗付加価値額（平成 23 年）

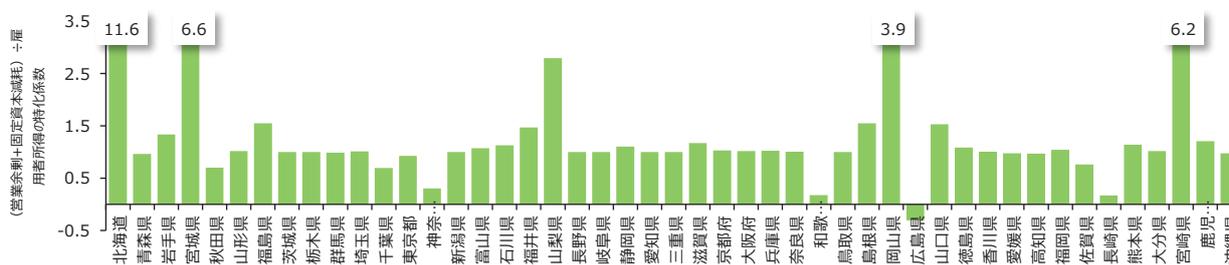


資料: 都道府県間産業連関表に基づき作成

このような労働生産性の違いは資本と労働の構成によって生ずる。産業連関表では資本ストックの値は計算されていない。そこで、粗付加価値のうち、資本に対する報酬だとみなされる営業余剰と固定資本減耗の合計を雇用者所得で除した値を各都道府県の廃棄物処理業について求め、そのそれぞれを全国表に掲載されている同様の値で除した指標を作成した。この指標は、要素価格が地域間で同一という仮定の下で、全国表での資本投入量と労働投入量で正規化した資本労働比率（労働 1 単位当たりの資本ストック）だと考えることができる。

図 4-1-10 は上記のような手順で求めた労働投入と資本投入の関係を図示している。もしも全国表の値と都道府県表の値が同じであればこの指標は 1 をとる。全国表以上に資本を投入している場合には 1 以上、逆の場合は 1 以下の値となる。

図 4-1-10 廃棄物処理業における要素投入



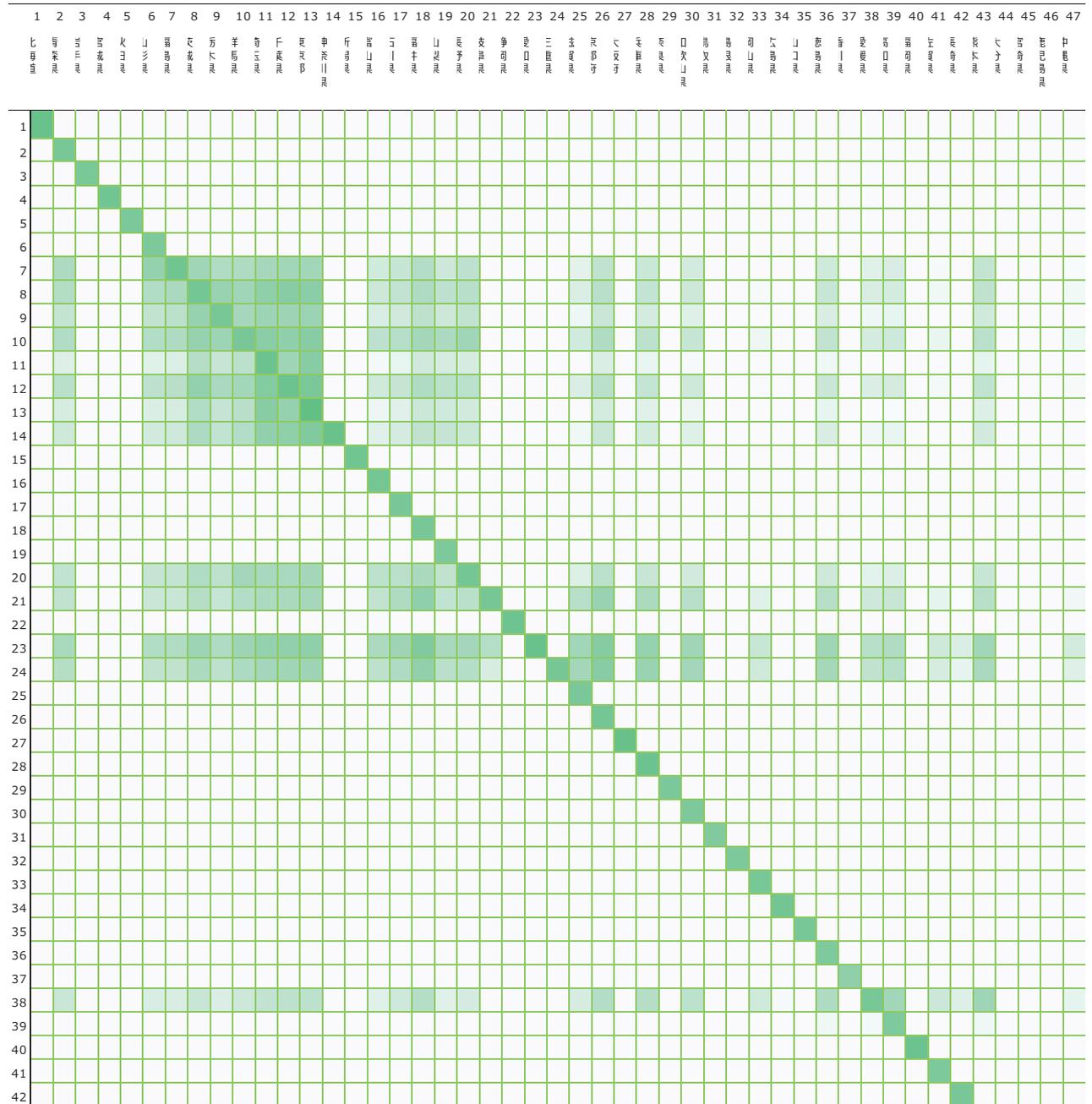
資料: 都道府県間産業連関表に基づき作成

¹⁶ 定義より、図 4-1-6 で示されている雇用係数の逆数が従業者 1 人あたりの生産額になる。

4.1.3.2.3 廃棄物処理部門の移出入

前節でみたとおり、廃棄物処理部門の海外との取引は少ないが、国内の都道府県間の移出入は一定量存在する。廃棄物処理のうち、一般廃棄物は市町村が処理主体であるから、移出入の大部分は産業廃棄物だと考えられる。図4-1-11は都道府県間産業連関表より廃棄物処理部門の都道府県間の移出入を抽出して、その大きさを各セルの濃淡で表している。同表の*i*行*j*列のセルは都道府県*i*から都道府県*j*への廃棄物処理部門の移出額（都道府県*j*の都道府県*i*からの移入額）を表す。また、図の対角（*i*行*i*列）の値は、自都道府県内での処理を表す。

図4-1-11 廃棄物処理の地域間移出入



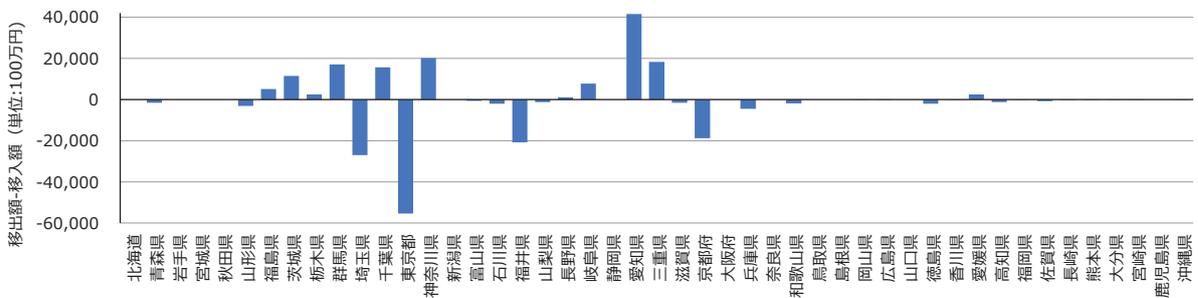


資料:都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-11 をみれば明らかなように、すべての都道府県において対角要素の値が大きく、廃棄物処理部門全体で見れば、自都道府県内での取引が主体であることがわかる。ただし、東北から関東地方にかけては双方向の移出入が観察される。

図 4-1-12 は都道府県別にみた廃棄物処理部門の移出入差額 (=移出額 - 移入額) を表している。産業連関表は金額ベースで表章されているので、廃棄物処理業における移入とはサービスの購入 (他地域へ廃棄物処理を依頼する) を意味する。

図 4-1-12 廃棄物処理部門の移出入



資料:都道府県間産業連関表に基づき作成

廃棄物に関する地域間取引を考える上では、間接的な取引も重要である。図 4-1-11 や図 4-1-12 で示されているのは、生産や消費活動に伴って発生した廃棄物の地域間取引である。一方、他地域の需要を満たすために生産される財・サービスが、その過程で当該地域において産業廃棄物を発生・排出させ、その処理のために当該地域の廃棄物処理部門に中間需要が生ずることも考えられる。この点は、均衡産出高モデルを用いて次節で検討する。

4.1.4 廃棄物処理部門の地域連関

4.1.4.1 均衡産出高モデルからみた生産誘発効果の地域連関

本節では、都道府県間産業連関表を用いて廃棄物処理業の生産活動がどの地域のどのような産業の需要に誘発されているのかを明らかにする。このために、産業連関分析における均衡産出高モデルを用いる。均衡産出モデルとは、経済において消費や投資、輸出といった最終需要が与え

られた時、この需要を満たすための各産業の生産活動を求めるものである。廃棄物処理業はいわゆる静脈産業であり、他産業の家計・政府などの消費・投資活動によって需要が生ずる。

特に、産業廃棄物は産業の生産活動に伴い需要が発生するのであるから、最終需要の発生にともなって産業間の連関を辿りつつ、廃棄物処理産業への需要を明らかにすることが求められる。都道府県間産業連関表を用いることによって、各都道府県の最終需要を満たすためにどの地域において廃棄物処理業への需要が発生するかを明らかにできる。

分析に用いる基本モデルについて述べる。地域数を N として地域（都道府県）を表すインデックスを I, J とす。都道府県 J における各部門の生産額を要素とするベクトルを \mathbf{x}^J で表す。地域 I で生産された財・サービスの地域 J 内の各産業における投入係数を要素とする行列を \mathbf{A}^{IJ} によって表す。また、 \mathbf{f}^J を地域 I で生産された財・サービスの地域 J 内で生ずる最終需要を表すベクトルとする¹⁷。ただし、投入係数行列や最終需要の対角ブロックである \mathbf{A}^{JJ} や \mathbf{f}^{JJ} には海外からの輸入が含まれる。

都道府県間産業連関表における需給均衡式は、以下のように表すことができる。

$$\mathbf{x}^I = \mathbf{A}^{II}\mathbf{x}^I + \sum_{J \neq I} \mathbf{A}^{IJ}\mathbf{x}^J + \mathbf{f}^{II} + \sum_{J \neq I} \mathbf{f}^{IJ} + \mathbf{e}^I - \mathbf{m}^I \quad (10)$$

ここで、海外からの輸入は、当該地域の国内需要に比例すると考え、国内需要に対する輸入性向を対角要素とする行列を以下のように定義する¹⁸。

$$\hat{\mathbf{M}}^I := [\text{diag}(\mathbf{A}^{II}\mathbf{x}^I + \mathbf{f}^I)]^{-1}\mathbf{m} \quad (11)$$

すると、需給均衡式は以下のように表される。

$$\mathbf{x}^I = (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}^I)\mathbf{A}^{II}\mathbf{x}^I + \sum_{J \neq I} \mathbf{A}^{IJ}\mathbf{x}^J + (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}^I)\mathbf{f}^I + \sum_{J \neq I} \mathbf{f}^{IJ} + \mathbf{e}^I \quad (12)$$

これをすべての地域について積み上げれば以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}^N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{A}}^{11} & \dots & \mathbf{A}^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{A}^{N1} & \dots & \hat{\mathbf{A}}^{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}^N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{f}}^{11} \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{f}}^{N1} \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} \mathbf{f}^{1N} \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{f}}^{NN} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{e}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{e}^N \end{bmatrix} \quad (13)$$

ただし、 $\hat{\mathbf{A}}^{JJ} := (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}^J)\mathbf{A}^{JJ}$ 、 $\hat{\mathbf{f}}^{JJ} := (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}}^J)\mathbf{f}^{JJ}$ 、である。ここで上式右辺第 1 項の係数行列を、

¹⁷ 実際には、最終需要はいくつかの項目より構成されているので、その行列を \mathbf{F}^{IJ} とすれば、 $\mathbf{f}^{IJ} = \mathbf{F}^{IJ}\mathbf{i}$ 、である。

¹⁸ 地域間産業連関モデルの標準的な仮定に従い、地域外から移輸入された財・サービスはそのまま他地域に移輸出されることはないものとする。

$$\widehat{\mathbf{A}} := \begin{bmatrix} \widehat{\mathbf{A}}^{11} & \cdots & \mathbf{A}^{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{A}^{N1} & \cdots & \widehat{\mathbf{A}}^{NN} \end{bmatrix} \quad (14)$$

として国内産業への最終需要ベクトルを $\hat{\mathbf{f}}$ とすれば、均衡産出高モデルを以下のようにまとめることができる。

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}})^{-1} \hat{\mathbf{f}} \quad (15)$$

逆行列の定義からわかるように、今回推計した都道府県間産業連関表では、国内の都道府県間取引においては非競争移入型、海外との取引については競争輸入型になっている。

均衡産出高モデルで想定されている地域間の因果連関を直観的に説明しておく。このために、焦点をあてる地域をJ地域として、その他地域をRとする。すると上式は、

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}^J \\ \mathbf{x}^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ} & -\mathbf{A}^{JR} \\ -\mathbf{A}^{RJ} & \mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{RR} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{f}}^J \\ \hat{\mathbf{f}}^R \end{bmatrix} \quad (16)$$

のように表される。さらに、分割行列に関する周知の公式を用いると、上式の右辺の逆行列は以下のように求められる。

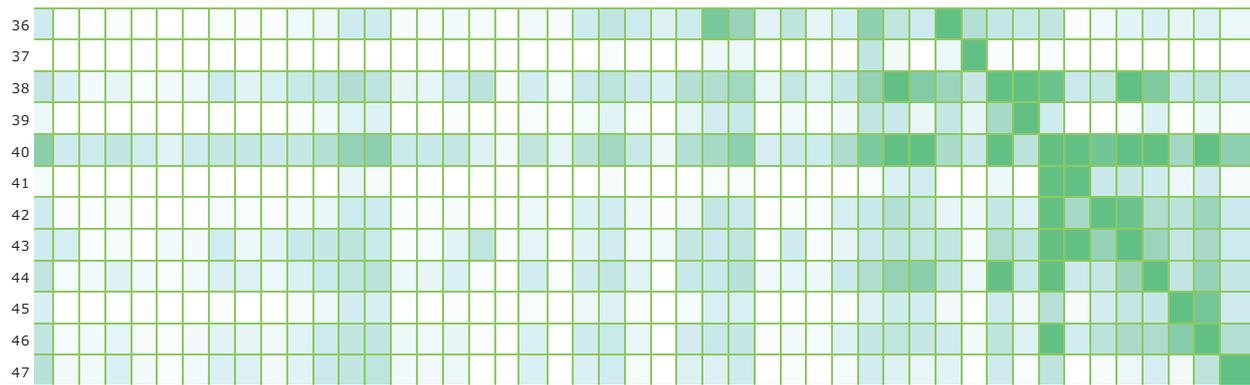
$$\begin{bmatrix} \mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ} & -\mathbf{A}^{JR} \\ -\mathbf{A}^{RJ} & \mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{RR} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1} [\mathbf{I} + \mathbf{A}^{JR} \mathbf{S}^{-1} \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}] & (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1} \mathbf{A}^{JR} \mathbf{S}^{-1} \\ \mathbf{S}^{-1} \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1} & \mathbf{S}^{-1} \end{bmatrix} \quad (17)$$

ただし、 $\mathbf{S} := \mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{RR} - \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1} \mathbf{A}^{JR}$ 、である。ここで $(\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}$ はJ地域の産業に需要が発生したときのJ地域内における乗数効果（レオンチェフ乗数）を表し、 \mathbf{S}^{-1} はその他（R）地域の産業に1単位の需要が発生したときの乗数効果を表す。

たとえば、J地域において最終需要が $\hat{\mathbf{f}}^J$ だけ与えられると、J地域内では第1次的なインパクトとして $\hat{\mathbf{f}}^J$ だけ需要が増加する。その需要に応えるためにはJ地域内で $(\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1} \hat{\mathbf{f}}^J$ だけの生産が行われねばならない。そのためにR地域で生産される財に対して $\mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1} \hat{\mathbf{f}}^J$ 単位の需要が発生する。この需要に応えるためにはR地域内で $\mathbf{S}^{-1} \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}$ だけの財が生産されねばならず、そのためにはJ地域で生産される財に対して $\mathbf{A}^{JR} \mathbf{S}^{-1} \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}$ だけの需要が発生する。

結果的に、上式右辺の左上ブロックのIが直接的な需要増に相当し、 $\mathbf{A}^{JR} \mathbf{S}^{-1} \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}$ がR地域を経由した跳ね返り効果による需要を意味する。これらを合計した、 $\mathbf{I} + \mathbf{A}^{JR} \mathbf{S}^{-1} \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}$ がJ地域で最終需要が1単位増加したときに同地域内の産業に生ずる需要であり、これを満たすためには、第1次的な需要にレオンチェフ乗数を乗じた、 $(\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1} [\mathbf{I} + \mathbf{A}^{JR} \mathbf{S}^{-1} \mathbf{A}^{RJ} (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}]$ 、だけの生産がJ地域で行われる。

その他地域での需要増がJ地域の生産に与える効果も同様に考えることができる。R地域内で $\hat{\mathbf{f}}^R$ 単位の需要が生ずると、この需要を満たすためR地域内で $\mathbf{S}^{-1} \hat{\mathbf{f}}^R$ 単位の生産が行われる。その

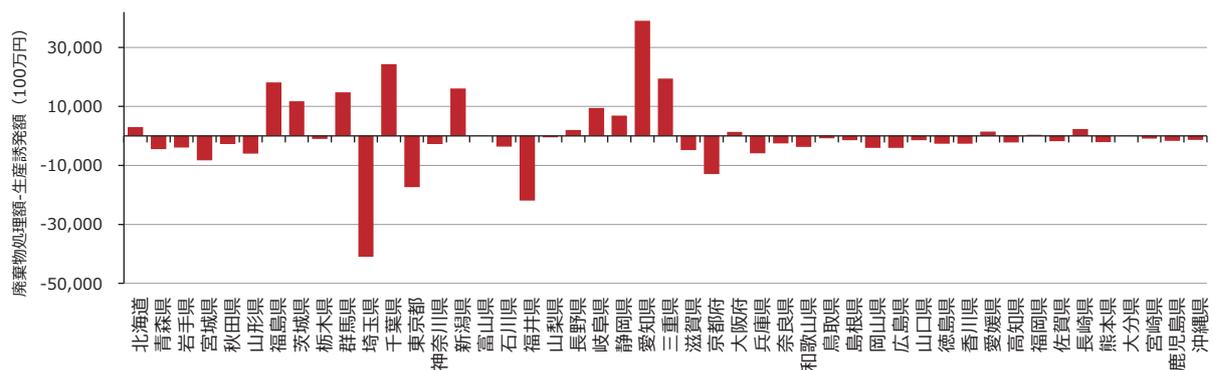


資料:都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-13 の i 行 j 列の値は j 列の都道府県の最終需要によって誘発された i 行の県の廃棄物処理業での生産額を表す。色が濃いセルほど生産額が多い。図 4-1-13 をみれば、直接的な廃棄物処理部門における移出入を表した図 4-1-12 よりも都道府県間の繋がりが広がっていることがわかる。特に、首都圏、中京圏、関西圏、九州北部といった地域では廃棄物処理の相互連関が観察される。

図 4-1-14 は図 4-1-13 で求められた廃棄物処理業の生産額（各行の合計）から最終需要によって誘発される他県も含む廃棄物処理業への需要（列の合計）を差し引いた値を示している。この値が正であれば、当該県では自県の最終需要によって誘発される廃棄物処理サービスの額以上に廃棄物処理サービスを供給していることになり、生産活動の連関も含めて考えたときに廃棄物処理を移出していると考えられる。一方で、負の値を示す都道府県では上記の意味では廃棄物処理サービスを移入していると考えられる。

図 4-1-14 都道府県別にみた廃棄物処理業の生産額と生産誘発額の差



資料:都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-14 からわかるように埼玉県や東京都、福井県、京都府などは上記の意味で廃棄物処理サービスを移出している。一方、福島県や千葉県、愛知県や三重県などは廃棄物処理サービスを移出している。理論モデルに即して言えば、東京都のような大都市圏では、自地域の最終需要額が大きく、これを満たすために他県内での生産活動も大きくなるため、東京都を J 地域としたと

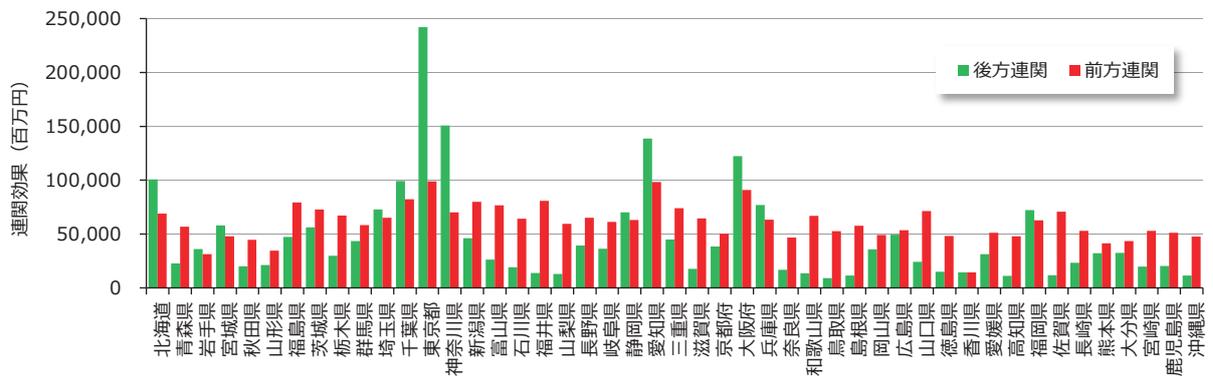
きの()式で言う左下ブロック $(\mathbf{S}^{-1}\mathbf{A}^{RJ}(\mathbf{I}-\hat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}\hat{\mathbf{f}}^J)$ の値が、右上ブロック $((\mathbf{I}-\hat{\mathbf{A}}^{JJ})^{-1}\mathbf{A}^{JR}\mathbf{S}^{-1}\hat{\mathbf{f}}^R)$ の値よりも大きくなる。また、同じ大都市圏であっても愛知県では、製造業を中心として他地域への移出が大きく、東京都とは逆に右上ブロックの値が大きくなるため、廃棄物処理の移出県となることが考えられる。

4.1.4.2 後方連関効果と前方連関効果からみた廃棄物処理部門の構造

第2節では全国表をベースとした産業間のリンケージを考え、廃棄物処理業においては前方リンケージが相対的に強く観察されることをみた。ただし、地域単位で考えればその様相は異なり得る。第一に、都道府県間産業連関表では廃棄物処理において地域間の移出入が存在する。第二に、ある地域での最終需要が後方連関効果を通じて他地域に波及してそこでの廃棄物処理業への需要をもたらすことも考えられる。このような効果は後方連関効果として捉えられる。第三に、廃棄物処理業の投入係数は産業間で異なるので、各地域の産業構成に応じて前方連関効果と後方連関効果の大きさは異なり得る。

そこで、2.2節で述べた仮想抽出法を都道府県間産業連関表に適用して、地域間交易を踏まえた廃棄物処理業の特性を考える。前節の各地域の最終需要による生産誘発効果と比較して、リンケージによる分析は、廃棄物処理部門が持つ投入・産出の技術的構造と地域間交易により焦点をあてるものである。生産誘発効果による分析では、各都道府県の最終需要を与えて生産誘発効果を考えていた。その結果、各地域の連関は、技術的特徴とともに最終需要の規模や構造にも依存する。これに対して、後方連関効果や前方連関効果の分析では全国の最終需要合計を与えてそれぞれの効果を考える。また、生産誘発効果の計測では国外からの輸入を内生化した競争輸入型の都道府県間産業連関表を用いていたが、ここでは、産業の技術的特性に着目するため、閉鎖経済型の逆行列を考える。

図 4-1-15 都道府県における廃棄物処理部門の後方連関効果と前方連関効果



資料: 都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-15 は都道府県間産業連関表に基づき、各県の廃棄物処理部門の後方連関効果と前方連関効果を 2 節の(4)式と(8)式のような形で測っている¹⁹。都道府県間取引は非競争移入型で定式化しているので、同じ廃棄物処理部門であっても都道府県が異なれば異なる産業として扱われている。図を見れば、都道府県によって後方連関と前方連関の相対的な関係が異なっていることがわかる。首都圏（埼玉県や千葉県、東京都、神奈川県）や東海地方（静岡県や愛知県）、阪神地区（大阪府、兵庫県）、福岡県などでは後方連関効果が前方連関効果よりも大きくなっている。一方、北陸や中国、福岡県を除いた九州地方では前方連関効果が後方連関効果よりも大きい。

4.1.4.3 産業連関表からみた廃棄物処理業の課題

このような廃棄物処理業における連関構造を考えたとき、人口減少や高齢化は社会の持続可能性に大きな課題をもたらすと予想される。後で見るように今後の都道府県別の人口動態を考えたとき、後方連関効果が大きい大都市圏での需要はそれほど減少しない一方、前方連関効果が大きい地方圏では相対的に大きな人口の減少が予想される。加えて、これらの地域では高齢化の進行に伴い医療や介護といった社会サービスへの需要がますます高まることが予想される。このことは地方圏における廃棄物処理部門が直面する労働供給制約の深刻化をもたらし、社会インフラとしての廃棄物処理業の持続可能性が懸念される。次節では、このような状況を考慮して、地域の人口動態と廃棄物処理業への需要を比較したい。

4.1.5 今後の人口減少と高齢化にともなう労働需給に関する試算

4.1.5.1 分析の目的と枠組み

本節では、今後の人口減少や高齢化による社会構造の変化を踏まえて、廃棄物処理業における労働需給のギャップを試算する。人口減少や高齢化は、労働市場はもとより財市場にも大きな影響を与えると考えられる。本節では以下の諸点に着目した。

第一は、言うまでもなく人口減少や高齢化を背景とした就業者数の減少である。もしも、年齢階級別の就業率が現在と大きく変化しないならば、人口減少率以上に高齢化によって就業者数が減少することが懸念される。第二に、高齢化に起因する医療や介護といった非市場型サービスへの需要増である。特に、医療費や介護保険の認定率は後期高齢者世代での増加が顕著であり、団塊世代が後期高齢者となり、団塊ジュニア世代が高齢者となる将来には、少なからぬ労働需要が

¹⁹ 前方連関効果を求める際に Ghosh 型の配分係数行列の逆行列が特異に近く、結果が不安定であったため、各県の 37 部門を 13 部門（全国表の 13 部門分類のうち、「電力・ガス・水道」から廃棄物処理を分離するとともに、公務とサービス業を 1 部門に統合）に縮約した都道府県間産業連関表をもとに連関効果を計測している。

新たに発生することが予想される。第三に、これらの変化を地域ごとに見たとき、その態様は異なることが考えられる。

したがってこれらの社会動態の変化と廃棄物処理業の地域特性を合わせた形で、廃棄物処理業の労働投入で生ずる需給ギャップを試算したい。ただし、労働供給が制約されている。

具体的には、都道府県間産業連関表に体现された基準年(平成 23 年)の経済構造(投入係数、消費以外の最終需要)を前提として、本研究の主課題である人口減少と高齢化による最終需要の変化を反映させ、産出額や労働需要を推計する。分析の枠組みは、前節で取り上げた都道府県間産業連関表に基づく均衡産出高モデルである。t 年の各都道府県の国内向け最終需要から構成されるベクトルを、 $\hat{\mathbf{f}}_t = ((\hat{\mathbf{f}}_t^1)^T, \dots, (\hat{\mathbf{f}}_t^{47})^T)^T$ 、として、都道府県 J における雇用係数ベクトルを、

$\mathbf{a}_L^j := (a_1^j, \dots, a_{37}^j)$ 、としてさらに各都道府県の雇用係数ベクトルを対角ブロックに持つ行列を、

$$\mathbf{A}_L = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_L^1 & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{a}_L^{47} \end{bmatrix} \quad (18)$$

とすれば、各都道府県の労働需要は以下のように求めることができる。

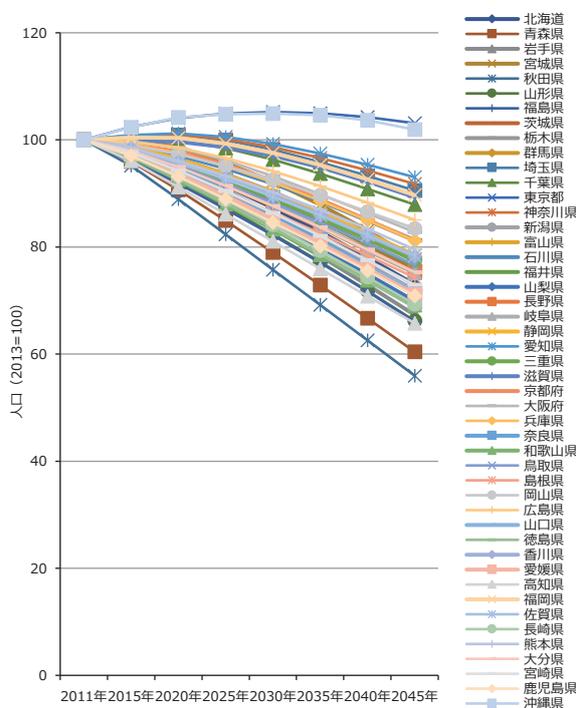
$$\mathbf{I}^D = \mathbf{A}_L \mathbf{x} = \mathbf{A}_L (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}})^{-1} \hat{\mathbf{f}} \quad (19)$$

以下では、(19)式の最終需要に、各都道府県の人口動態を踏まえた最終需要を与える。その最終需要を満たすような均衡産出高を求め、これに雇用係数を乗じて各都道府県の労働需要を試算する。一方、各都道府県の年齢階級別の人口動態から労働供給量を試算する。これらと比較することによって各都道府県の廃棄物処理部門における労働の需給ギャップを考えようとするものである。

4.1.5.2 人口動態について

図 4-1-16 は、都道府県別にみた 2045 年までの推計人口を、基準年（2011 年）を 100 とする指数で表している²⁰。わが国の人口は 2015 年の国勢調査段階より減少局面に入ったとされている。ただし、都道府県間で見ると今後の人口減少率には大きな差異がある。東京都と沖縄県は 2025 年頃までは人口は増加し、その後の減少も他の都道府県と比べて緩慢である。また、神奈川県や愛知県、広島県、福岡県といった政令市を抱える県では人口は減少を続けるものの、その減少率は非確定低い。一方で、その他の県ではあ急激に人口が減少することが予想されている。2045 年における 2011 年比でみた人口は、最も大きい東京都の 103 から秋田県の 56 まで 47 ポイントの差がある。

図 4-1-16 都道府県別の将来推計人口



総務省人口推計、社人研将来人口推計に基づき作成。

²⁰ 2011 年の人口は総務省統計局の人口推計による。また 2015 年以降の推計人口は国立社会保障人口問題研究所の推計人口による。

図 4-1-17 は、都道府県別に見た 65 歳以上の高齢者の人口を同じく 2011 年を 100 として集数の形で図示したものである。人口減少が顕著な地方圏では、2025 年前後を境に 65 歳人口の総数が減少に転ずるところもある。一方で、東京都や神奈川県など大都市圏では、所謂団塊ジュニア世代が 65 歳に到達し始める 2025 年頃より急激に同世代の人口が増加する。このように、高齢者人口の推計に関しても、都道府県間での差異が大きい。全体に地方圏ではその増加率は緩慢であるが、それらの地域では総人口が 65 歳以上人口よりも高い率で減少するので、高齢者が人口に占める割合は今後とも高まっていく。

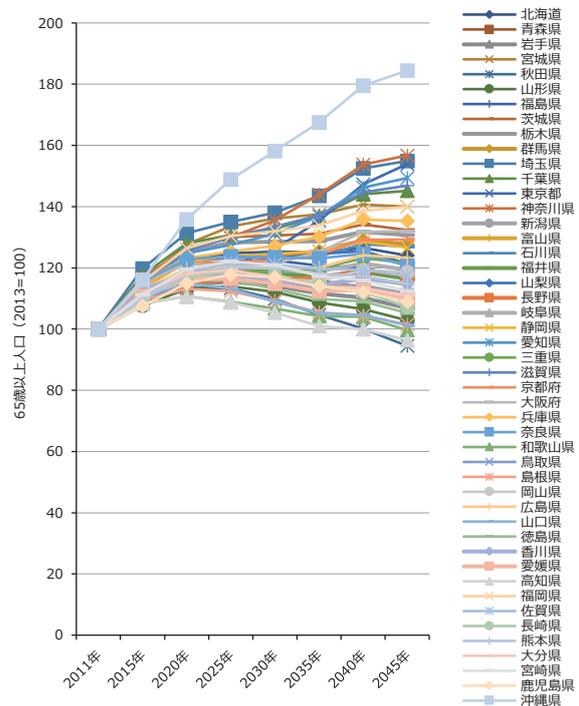
人口減少と人口構成の高齢化は就業者数や医療や介護といった社会サービスへの需要を通じて産業の経済活動に影響を与える。次に、このような人口構造の変化を踏まえた労働供給や需要の変化を概観する。

4.1.5.3 就業者数の変化

人口構成の変化に伴って、当然、就業者数も変化するが、そこにはいくつかの要因が関係しており、確たる見通しを得ることは難しい。ここでは、直近の平成 27 年国勢調査における就業率を参考にして都道府県別にみた就業者の機械的な将来推計を行う²¹。

具体的には、まず、平成 27 年の国勢調査より各都道府県の年齢階級別ごとに、 $\text{就業率} = \text{就業者数} \div (\text{労働力人口} + \text{非労働力人口})$ を求めた。続いて、社人研推計による都道府県別年齢階級別推計人口にこの各年齢階級別の就業率を乗じて常住地別の就業者数を推計した²²。この推計値は、産業連関モデルを用いた分析において、労働供給を試算する際に用いる。このために、常住地ベースの就業者数を従業地ベースに変換する必要がある²³。そこで、平成 22 年国勢調査をもとに常住地別にみた就業者の従業地を求めることによって、常住地ベースの就業者数を従業

図 4-1-17 都道府県別の 65 歳以上推計人口



総務省人口推計、社人研将来人口推計に基づき作成。

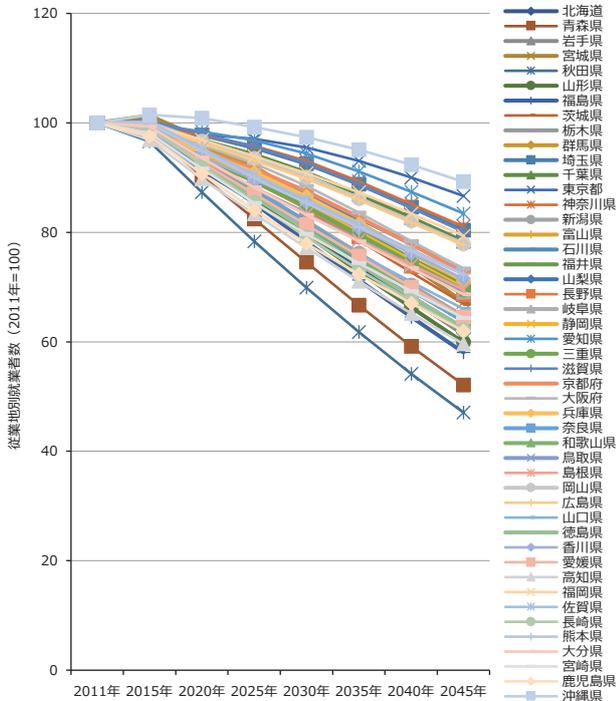
²¹ ここでは、2045 年までの長期かつ都道府県別に就業者数の見通しを得たいことを踏まえ、最も簡便な現状をそのまま投影した形での機械的試算を行う。

²² 社人研による 2015 年の年齢階級別人口は国勢調査を基にしているが、年齢不詳を按分した推計値（国勢調査では参考表として公表）であるので、ここで推計した就業者数は国勢調査掲載値よりも大きくなっている。

²³ このことは地方圏ではあまり大きな問題とはならないが、首都圏や中京圏、関西圏などでは県境をまたぐ通勤者が存在する。たとえば、平成 22 年国勢調査に拠れば、埼玉県に常住する就業者の約 37%が東京都

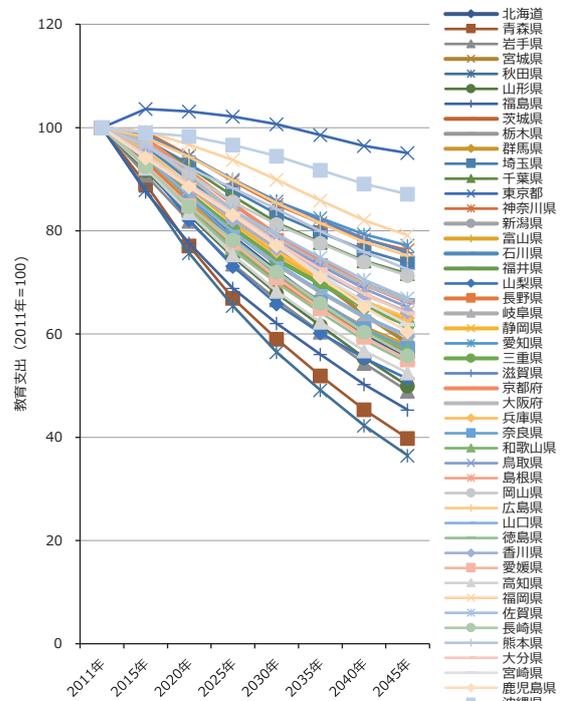
地ベースに変換する行列を作成した。変換行列は推計期間中不変とした。これに乗じて、従業者の都道府県別に見た従業者数の推計値とした。

図 4-1-18 従業者数に関する試算値



総務省人口推計、社人研将来人口推計に基づき筆者推計

図 4-1-19 教育に関する最終需要の試算



都道府県間産業連関表に基づき作成

図 4-1-18 はこのようにして試算した従業者地別に見た従業者数を 2011 年=100 として指数の形で描いている。ここから、すべての都道府県で従業者数が減少することがわかる。また、その推移はほぼ人口推計と類似した動きを示している。すなわち、沖縄県や東京都の減少率は相対的に小さく、次いで、神奈川県や愛知県、広島県といった政令市を擁する地域の減少率が低い。秋田県と青森県を除く地域が概ね 2011 年比で見て 2045 年の従業者数が 60%から 75%弱の範囲に分布している。図 4-1-17 で示された高齢者人口が総人口よりも緩慢にしか変化しないことから予想されるように、従業者数は人口の減少率よりも高い率で減少する。これまでの推計手順から明らかかなように、ここでの従業者数は現在、もしくは今後生ずる高齢者や女性の就業率の上昇と言った要因は考慮していない。したがって、将来の従業者数を過小に見積もっている可能性はある。

で従業している。

4.1.5.4 教育、医療、介護に対する需要の推計

教育や医療、介護といった社会サービスはその供給対象者の人口規模によって需要が定まると考えられる。また、これらは社会を維持するための基盤的なサービスであるから、劇的な削減は困難であろう。したがって、これらのサービスは、各都道府県の人口構成に応じて需要が発生して、その需要を満たすためにサービスが生産されると考える。そのためには、労働が投入されるので、労働需給の制約がタイトになることが想定される。

4.1.5.4.1 教育

個別のサービスについて、産業連関表での需要の設定方法を述べる。まず、教育サービスの需要は、各都道府県の19歳以下の人口に比例して変化すると考えた。具体的には基準時点（2011年）における各都道府県の民間消費支出と政府消費支出の教育に関する支出をベースとして、その後の各年度の人口の変化に比例して各時点の教育に対する需要が発生するものとした。ただし、分析に用いる37部門産業連関表（統合大分類）では、教育は教育・研究として一括して表章されているので、各都道府県表のより詳細な係数表より教育・研究に関する民間消費支出と政府消費支出を抜き出している²⁴。

図4-1-19はこのようにして試算した都道府県別の教育支出の変化を基準時点を100として表示している。教育支出は19歳以下人口に比例するとしていたので、図19の推計値は19歳人口の変化を指数表示したものに他ならない²⁵。教育については年少人口の減少に伴い、ほぼすべての都道府県で需要は減少する。年少人口の減少が緩慢な沖縄県と東京都ではそれほど大きな減少は予想されない。一方で、青森県や秋田県では2045年には2011年比の約40%まで減少する。ただし、教育サービスは部分的に非競争性を持っているので、対象人口に比例して需要額が減少するとは限らず、ここでの推計は将来の教育支出に関する需要を過小に見積もっている可能性がある。

4.1.5.4.2 医療

都道府県別の医療費の推計についても将来推計人口をもとに人口あたりの医療支出を乗じて基準年の推計値としている。教育と同様に37部門表では医療は保健衛生、社会保険・社会福祉とともに医療・福祉として表章されているので、より詳細な各都道府県表より医療のみを抽出した。一方、医療の単価については平成23年の国民医療費に掲載されている年齢階級別の人口あ

²⁴ 産業連関表（中分類）の教育はさらに学校教育と社会教育に分類されるが、一部の都道府県で学校教育に関する支出データを得ることができなかつたため、社会教育を含んだ形で考えている。

²⁵ 基準時点における19歳以下人口あたりの教育支出額は平均で105万円であり、最大は171万円（神奈川県）、最小は76万円（岐阜県）であった。

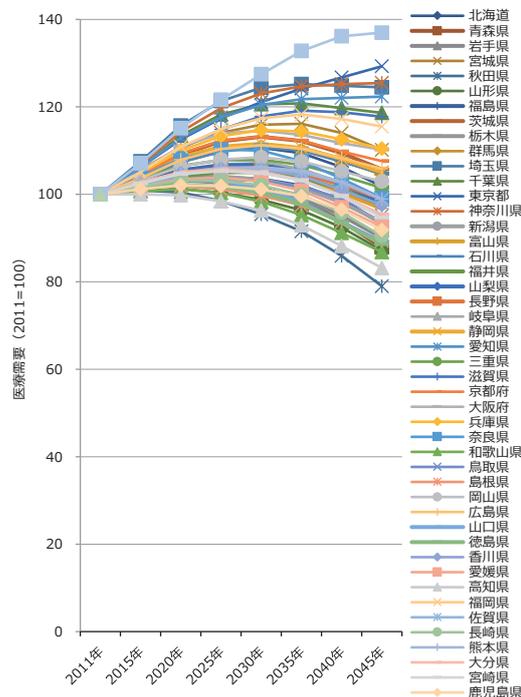
たり医療費に各都道府県の年齢階級別人口を乗じて国民医療費ベースの医療支出額を求めた。これをすべての年齢階級について合計した値を都道府県間産業連関表に掲載の医療支出（民間消費支出と一般政府消費支出の合計）と一致するようにスケール調整を施して、基準年の各都道府県における産業連関表ベースの年齢階級別人口あたり医療費とした²⁶。基準年以降の試算値はこのようにして求めた年齢階級別の人口あたり医療費に各年齢階級の将来推計人口を乗じて求めた。

図 4-1-20 はこのようにして求めた都道府県別の医療支出（民間消費支出額と一般政府消費支出額の合計）推計額を指数形式で表したものである²⁷。ほとんどの都道府県では 2025 年頃まで医療支出は増加するが、多くの地方圏ではそれ以降減少に転じる。ただし、東京都や神奈川県、愛知県など大都市圏では高齢者人口の増加が地方圏よりも遅れて生ずるので、医療需要は推計期間を通じて増加する。また、医療費が減少する地方圏においても高齢者の比率が高まるので、人口減少ほどには医療需要は減少しない。

4.1.5.4.3 介護

介護サービスについても医療と同様の方法でその将来需要を試算した。前述のように介護部門も 37 部門表では医療・福祉として他の部門と一括して表章されているので、その民間消費支出と一般政府支出を、都道府県表を用いて抽出した。最初に厚生労働省『平成 29 年度介護保険事業状況報告（年報）』より、被保険者の年齢階級を 40～64 歳、65 歳～74 歳、74 歳～に区分したうえで、同統計より要介護認定率と認定者あたりの介護費用を都道府県ごとに求めた。これに、各都道府県の年齢階級別人口を乗ずることで、都道府県単位で見た介護サービスの支出額が求められる。これを産業連関表に掲載されている介護への最終需要と一致するようにスケール調整を施し、産業連関表ベースでみた認定者あたりの単価を求めた。この単価と認定率が将来にわたって不変であるとしたうえで、各都道府県の年齢階級別人口を乗じて将来の推計値としている。

図 4-1-20 医療に関する最終需要の試算



都道府県間産業連関表、将来人口推計に基づく試算

²⁶ 年齢階級別の人口あたり国民医療費は全国ベースの値を用いているので、この段階では都道府県間の医療単価の差異は考慮されていない。ただし、産業連関表に掲載されている医療支出額と一致するようにスケール調整を行うことで、地域間の医療支出の差異を反映している。

²⁷ 産業連関表ベースで推計した人口あたり医療費の平均値は 32 万円であり、最大値は 40 万円（山口県）、最小値は 26 万円（埼玉県）であった。

図 4-1-21 は、このようにして推定した介護費用の将来推計値を、2011 年の水準を 100 とする指数で表している²⁸。推計結果を見れば、地方圏では 2030 年頃をピークとして介護の需要は減少に転じる。他方、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県と言った大都市圏では 2030 年以降、需要が増加する。これは、団塊ジュニア世代が高齢世代となるためだと思われる。介護サービスへの支出は医療と比べると人口あたり単価は低いものの、前述のような大都市圏では需要が急増して基準年の 1.6 倍から 1.8 倍になることが指摘できる。

4.1.5.4.4 教育・医療・介護を除いた家計消費支出

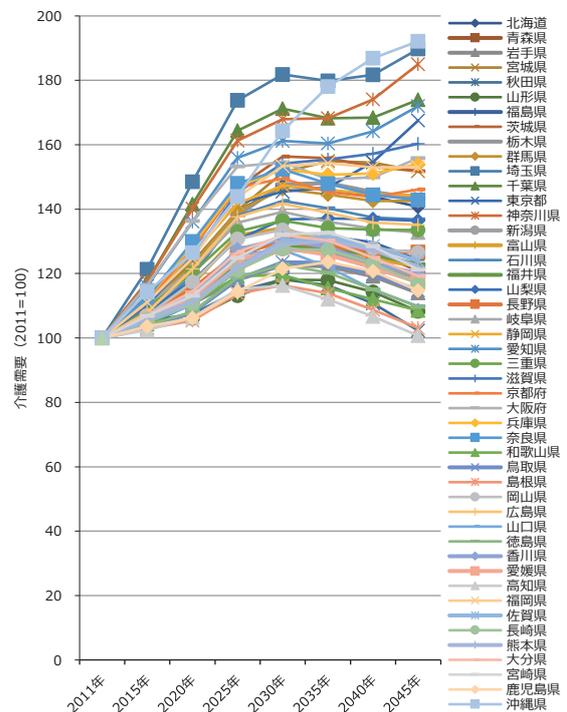
上述の諸項目を除いた民間消費支出については、基準時点での人口あたり消費支出を求め、常住人口の将来推計に比例して変化するものとした。本来であれば、世帯構成や年齢などを考慮して推計すべきであるが、世帯構成に関する将来推計が困難であること、年齢別の消費行動を都道府県別に推計するための統計が十分でないことなどから、第 1 次接近としてこのような簡便化された方法で推計する。したがって各都道府県の家計消費支出の変化は図 4-1-16 に示されている将来推計人口と同じになる。

4.1.5.4.5 一般政府消費支出

一般政府消費支出の将来需要は国（中央政府）と都道府県、市町村にわけて推計した。このために、平成 26 年経済センサス基礎調査より、都道府県ごとに国家公務、都道府県機関、市町村機関の従業者数を求め、その比率で一般政府消費支出（但し、教育、医療、介護を除く）を按分して国（中央政府）、都道府県、市町村の消費支出額とした。このうち、国の支出については、国国家的な公共財の供給に使われていると考え、公共財の非競争性を考慮して推計期間中はその水準が不変にとどまるものとした。

都道府県と市町村の消費支出については、それぞれ、財政統計をもとに人口あたり歳出に関する歳出関数を推計した。まず、都道府県の歳出関数は、一般政府消費支出を近似していると思われる、議会費、総務費、社会福祉費、生活保護費、災害救助費、衛生費、労働費、農林水産業費、商工費、警察費の基準年における合計額を人口で除した人口あたり歳出額（対数）を被説明変数として、人口（対数）、面積（対数）、東京都と福島県のダミーを説明変数として推計し

図 4-1-21 介護に関する最終需要の試算



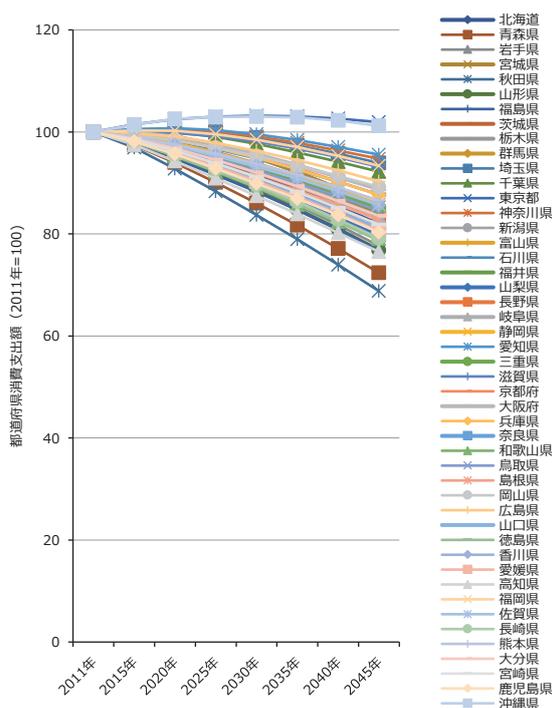
都道府県間産業連関表に基づき試算

²⁸ 産業連関表ベースでみた基準年における都道府県の総人口あたり介護需要の平均値は 6.4 万円であり、最大値は 9.8 万円（島根県）、最小値は 4.5 万円（埼玉県）であった。

た。その結果、人口規模に関する弾力性（ $=d\ln1$ 人あたり歳出/ $d\ln$ 人口）が -0.377 と推計（ t 値は 7.874 ）されたので、この値と各年度の都道府県の人口変化率を求めて、推計年度の都道府県レベルでの歳出額を求めた。弾力性の推計値は負であるから、人口が減少すれば1人あたり歳出は増加する。また、推計値が1よりも小さいので、人口が1%減少しても都道府県の歳出総額の減少は1%未満にとどまる。

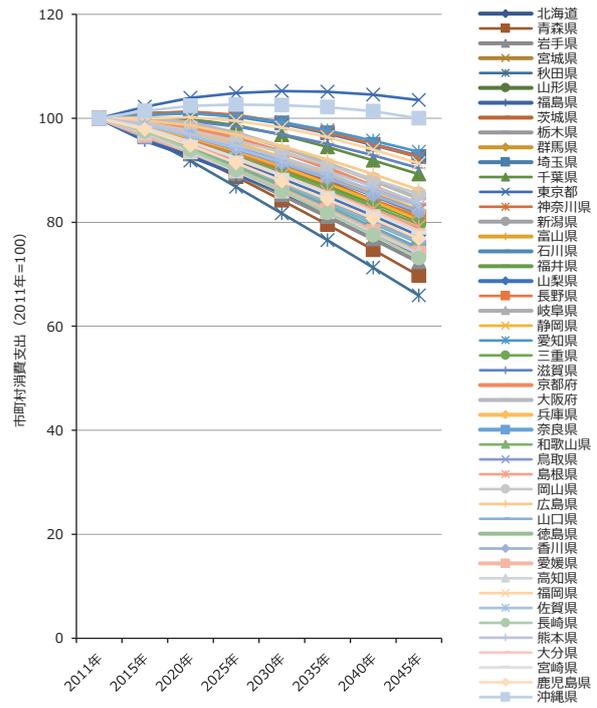
市町村の消費支出については、歳出関数の推計対象とする費目を、議会費、総務費、民生費一部（社会福祉費、生活保護費、災害救助費）、衛生費、労働費、農林水産業費、商工費、消防費として財政統計ベースの消費支出相当額とした²⁹。これらの支出の都道府県内での構成比によって産業連関表ベースの一般政府消費支出（市町村分）を按分して、基準年における各市町村の産業連関表ベースの消費支出額とした。また、財政統計ベースでみた人口あたり歳出額（対数）を被説明変数として、人口（対数）、人口（対数）の二乗、人口（対数）と面積（対数）の交差項、を説明変数とする推計式のパラメータを最小二乗法で求め、各市町村歳出の人口に対する弾力性をもとに推計対象年度の人口変化率を用いてその後の人口あたり歳出を試算した。

図 4-1-22 政府消費支出(都道府県)の推移



筆者による試算

図 4-1-23 政府消費支出(市町村)の推移



筆者による試算

図 4-1-22 は都道府県、図 4-1-23 は市町村に関する消費支出の試算値をまとめて図示している。どちらも類似した傾向を示しており、人口減少に伴って消費支出の総額は減少するものの、人口や就業者数ほどは減少しないことが読み取れる。

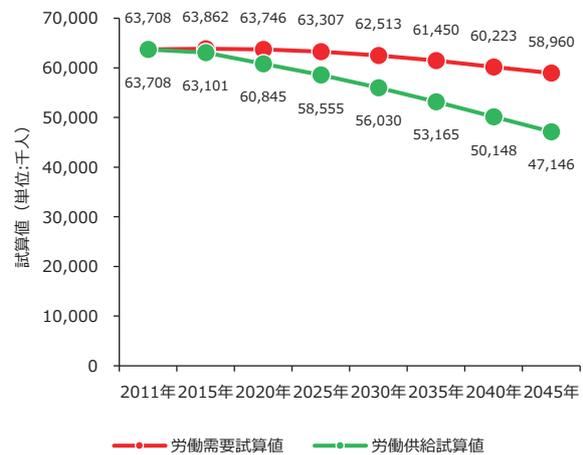
²⁹ これらは『市町村別決算状況調』に掲載された 2011 年度の値を用いた。

4.1.5.5 廃棄物処理業に対する需要と都道府県別就業者の変化に関するギャップ

ここまでの定式化によって、将来の人口減少や高齢化による就業者数の試算値と、このような社会経済環境の下で生ずる社会サービスへの需要を考えた。そこで、以下ではこれらの需要を外生的に与えたときの廃棄物処理部門への需要を満たすために必要とされる労働投入量（需要）を、就業者数（供給）の変化と重ねあわせることによって、各都道府県で発生する廃棄物処理部門での労働需給のギャップを考える。

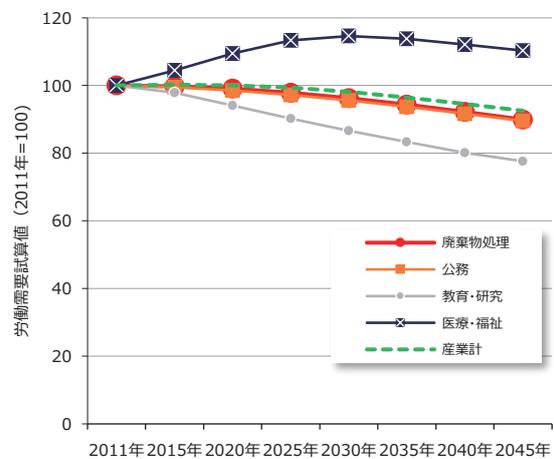
図 4-1-24 は上述のような形で最終需要を与えたときの、国全体での労働需要と労働供給の産業合計の推移をまとめている。容易に予想されるように、労働需要の試算値が労働供給の試算値を上回っており、試算のような前提条件の下では労働力不足が経年的に発生する。今回の試算の条件に従えば労働供給は試算期間最終年の 2045 年には産業連関表の従業者総数ベースでみて 4,714 万人となり、1,656 万人減少する。これに対して労働需要は民間消費の減少があるものの、2045 年度では基準年から 475 万人減の 5,896 万人に留まる³⁰。これはもちろん、消費支出以外の需要を基準年の値に固定していることも影響している。ただし、モデルは線形関係で構築されている産業連関モデルであり、基準時点と各年度の労働需要の差である 475 万人が、本論で想定している人口減少や人口構成の高齢化が労働需要に与える影響を過不足なく表している。これに対して、労働供給は 1,656 万人減少するので、経済全体で消費支出以外に投入できる労働が 1,181 万人 (=656 万人-475 万人) だけ減少することになる。

図 4-1-24 労働需要と労働供給の試算値（全国・全産業計）



筆者による試算値

図 4-1-25 産業別労働需要の試算値（全国計）



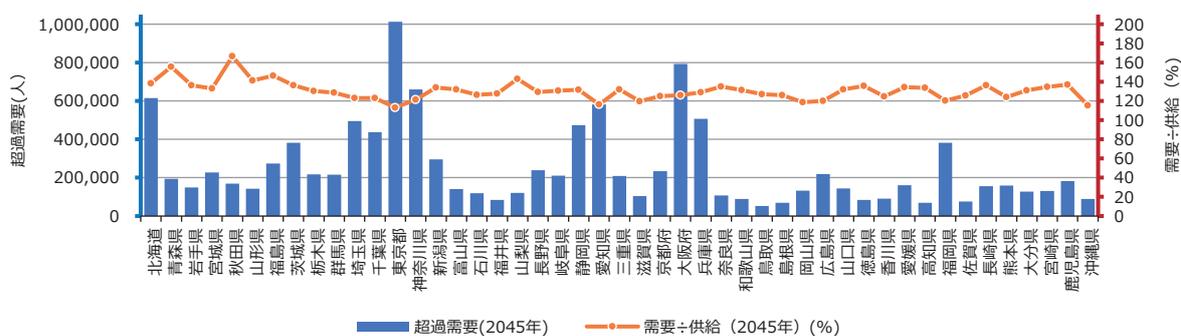
筆者による試算値

³⁰ ここでの従業者総数は都道府県表を単純に合計した値をベースにしているため、全国表の値とは異なる。今回推計された都道府県間産業連関表での従業者総数の全国計は 6,371 万人であるが、全国表（付帯表）で公表されている従業者総数は 6,657 万人である。また、産業連関表の労働投入はアクティビティベースで測定されているので、国勢調査等の就業者数とも異なることに注意。

人口減少や高齢化が廃棄物処理業に与える影響を図示したものが図 4-1-25 である。また、ここでは併せて教育・研究や医療・福祉、公務と言った人口減少や高齢化と関連する部門での雇用量を図示している。図からわかるように、廃棄物処理業での労働需要は産業全体の労働需要の減少と類似した動きで推移する。推計の最終年度では基準年と比較して労働需要が約 10%減少する。一方、年少人口の減少を反映して教育・研究部門での労働需要は最終年度で約 22%減少する。対照的に医療・福祉部門ではピークとなる 2030 年においては基準年度よりも 15%増加する。

図 4-1-26 は、このような労働需給の変動を、その最終年次(2045 年)を対象として都道府県別に示している。図で示されている超過需要とは、各都道府県における 2045 年の労働需要試算値から同年の労働供給試算値を差し引いたものであり、人口減少や高齢化に伴う労働需給への影響を表している。また、図の折れ線グラフは、2045 年の労働需要試算値÷2045 年の労働供給試算値を表している。

図 4-1-26 都道府県別にみた労働需要試算値と労働供給試算値の差（2045 年）



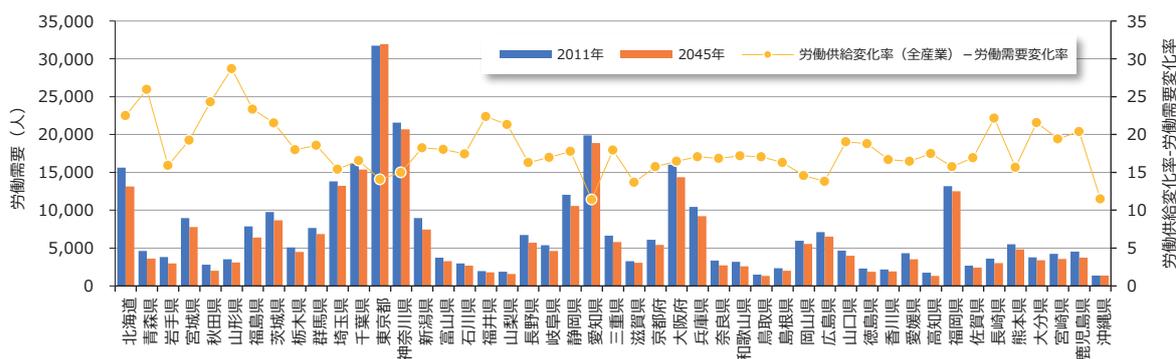
資料:都道府県間産業連関表に基づき筆者試算

図 4-1-26 より、規模（従業者総数）で見れば東京都や大阪府、神奈川県といった人口規模が大きな都府県において超過需要は大きい。一方、比率で見れば、東京都や愛知県といった都市部での値は相対的に低く、地方圏での対供給比でみた労働需要が大きい傾向にある。たとえば、東京都ではその比は 113%であるが、最も高い秋田県では 166%に達する。このような地域間の差異は、労働の供給側と需要側のそれぞれの要因から説明できる。供給側で見れば人口減少と高齢化によって就業者数が減少する。需要側では、このような人口減少によって域内の民間消費支出が減少するものの、高齢化によって医療や介護といった需要が相対的に増加する。したがって、人口減少や高齢化の程度の違いを反映して、労働の需要は地域間で大きく異なる影響をもたらす。

図 4-1-27 は廃棄物処理業を抽出して、その 2011 年における労働投入量と 2045 年の労働投入量を都道府県ごとに図示している。また、図の折れ線は、2011 年から 2045 年にかけての都道府県ごとに集計した労働供給の変化率(絶対値、%)から、廃棄物処理業における労働需要の変化率(絶対値、%)を控除した値を示している。この値が大きいほど、当該地域内の長期的に見た廃棄物処理業における労働力不足は深刻だと言える。

図 4-1-27 を見れば、東京都においては基準時点よりも 2045 年において労働需要量は若干であるが増加している。これは、東京都においては労働供給の減少が緩やかである一方、推計年度の後半には高齢者人口が急増し、廃棄物処理部門に対する投入係数が比較的高い医療・福祉部門の需要が増加するためだと考えられる。このような絶対量で見た労働需要の増加は労働の需給ギャップを拡大させるが、東京都では労働供給の減少事態が軽微にとどまるので、他道府県と比べて相対的な意味での需給ギャップ（労働供給と労働需要の変化率の差）は小さい。

図 4-1-27 都道府県別にみた労働需要試算値（廃棄物処理部門）と労働供給試算値の差（2045 年）



資料: 都道府県間産業連関表に基づき試算

一方で、東北地方や愛知県を除いた中部地方、四国地方や福岡県と沖縄県を除く九州地方では労働需給における変化率の差は大きく、これらの地方圏では、廃棄物処理業における労働力確保や生産技術の変化が求められることとなる。

4.1.6 供給制約と需要制約を考慮した分析

4.1.6.1 分析の視点

前節では、2045 年までの人口減少と人口構成の高齢化が産業の生産活動に与える影響を、都道府県間産業連関表を用いて試算した。分析は、産業連関分析の波及効果の計測において最もよく用いられる均衡産出高モデルに依拠している。すなわち、人口減少をはじめとする社会環境の変化を踏まえた最終需要を与えて、その下での労働需要とあらかじめ推計された労働供給を比較して労働の需給ギャップを明らかにした。

言うまでもなく、本研究で焦点をあてている人口減少や人口の高齢化は第 1 義的には労働供給に影響を与える。したがって、労働の供給制約を考慮して廃棄物処理部門のサービス生産やそれに伴う労働需要の変化を明らかにすることが求められる。経済に対して供給側のショックが生じ

たときの波及効果を分析する試みはいくつか存在する。それらの多くは Ghosh モデルやその拡張によって、供給が制約された時の経済活動への影響を考察しようとしている。

一方で、本研究での問題意識には、人口減少や高齢化に伴って需要側の制約が顕在化することにもある。すなわち、医療・介護をはじめとする社会サービスへの増加する需要や、人口が減少する中でもナショナルミニマムとしての地方公共サービスへの需要が一定量存在することは、これらのサービスを生産するための需要側の制約だと考えることができる。

このような、人口減少や高齢化がもたらす供給側と需要側の双方の制約を考慮して、廃棄物処理部門への影響や問題点を考察するため、以下では、供給側の制約と需要側の制約の双方を考慮した産業連関モデルを構築してその波及効果を分析する。分析のためのモデルは前年度の研究において構築したモデルを都道府県間産業連関表にも適用できるように拡張したものである。すなわち、各都道府県の労働供給量が将来に渡って制約されており、同時に、教育、医療、介護、行政サービスの需要もまた人口動態を反映して制約されている時、都道府県単位で労働の需給が一致するような各産業の生産額を、最適化問題を解くことによって求める。

そこで見出された各都道府県の各産業の生産や労働投入量の変化から、人口減少、高齢化が廃棄物処理部門に与える影響を見出そうとするものである。本節のモデルによって、人口減少と高齢化によって、労働が希少になって需要制約が課されている部門以外での生産が押しのけられるというクラウディング・アウト効果を考えることができる。本年度の研究では、このような枠組みの政策分析への適用可能性を考えるため、最もシンプルなモデル構造と試算に関する設定で、モデルの振る舞いを確認することとした。

4.1.6.2 分析のためのモデル

モデルの基本構造は前年度の本研究で構築したものにしている。経済全体の生産量と労働需要の関係は、以下のように表すことができる。

$$\mathbf{l}_D = \mathbf{A}_L \mathbf{x} \quad (20)$$

ここで、 \mathbf{l}_D は労働投入量を都道府県単位で集計したベクトル、 \mathbf{A}_L は各産業で \mathbf{x} だけの生産をするために必要な労働投入量を都道府県単位で集計するための行列、 \mathbf{x} は経済全体での生産を表すベクトルであり、それぞれ、以下のように定義される。

$$\mathbf{l}_D = \begin{bmatrix} l_D^1 \\ \vdots \\ l_D^N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A}_L = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_L^1 & \cdots & \mathbf{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \mathbf{a}_L^N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} := \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{x}^N \end{bmatrix}$$

都道府県ごとの労働需要と労働供給が均衡している状態は、 $\mathbf{l}_S = [l_S^1, \dots, l_S^N]$ 、を、都道府県ごとの労働供給を要素とするベクトルだとして、 $\mathbf{l}_S = \mathbf{l}_D = \mathbf{A}_L \mathbf{x}$ 、で表される。

今、生産者価格評価でみて $\hat{\mathbf{f}}$ だけの最終需要が与えられれば、いくつかの部門では商業や運輸マージンの形で商業部門や運輸部門に需要が発生するので、これらも含めた最終需要と生産額の関係は以下のように表される。

$$\mathbf{x} = \mathbf{B}\mathbf{\Theta}\hat{\mathbf{f}} \quad (21)$$

ここで、 \mathbf{B} は都道府県間産業連関表におけるレオンチェフ逆行列である。また $\hat{\mathbf{f}}$ は各都道府県の産業に対して生ずる最終需要を積み上げたベクトルである。

$$\mathbf{B} := \begin{bmatrix} \mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}}^{11} & \cdots & -\mathbf{A}^{1N} \\ & \ddots & \\ -\mathbf{A}^{N1} & \cdots & \mathbf{I} - \hat{\mathbf{A}}^{NN} \end{bmatrix}^{-1}, \quad \hat{\mathbf{f}} := \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{f}}^1 \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{f}}^N \end{bmatrix}$$

また、 $\mathbf{\Theta}$ は商業、運輸部門マージンを商業や運輸部門の需要として計上するための変換行列である。

ここまでの定式化によって労働供給に関する制約と社会サービスの需要に関する制約を以下のように表すことができる。以下では時間を下付き添え字の (t) で表す。まず、 t 期の都道府県別にみた労働供給量を $\mathbf{l}_{S(t)}$ とすれば、 t 期の最終需要 $(\hat{\mathbf{f}}_{(t)})$ は、以下を満たすものでなければならない。

$$\mathbf{l}_{S(t)} := \mathbf{A}_L \mathbf{B} \mathbf{\Theta} \hat{\mathbf{f}}_{(t)} \quad (22)$$

また、医療や介護、行政サービスなど予め需要が制約されている財やサービスの国内産業に対する最終需要額を $\bar{\mathbf{f}}_{B(t)}$ とすれば、需要側の制約は以下になる。

$$\mathbf{\Theta} \hat{\mathbf{f}}_{(t)} \geq \bar{\mathbf{f}}_{B(t)} \quad (23)$$

すなわち、社会全体の最終需要は供給側の制約(22)式と需要側の制約(23)式をともに満たす必要がある。

以下では、これらの制約を満たすような最終需要ベクトルの中で、労働投入の変化に係る調整費用が最小となるような最終需要を求める。ここで言う労働の調整費用とは、ある地域のある部門が労働投入量を変化させようとするれば、その増減いずれの場合においても費用が発生すると考えるものである。

ここでは最も単純な形の調整費用関数として、都道府県 J 内の第 i 部門の t 期における労働の調整費用 $(c_{i(t)}^J)$ を以下のような形で考えた。

$$c_{i(t)}^J = \frac{(l_{i(t)}^J - l_{i(t-1)}^J)^2}{l_{i(0)}^J} \quad (24)$$

ここで $l_{i(t)}^J$ は都道府県J内の第i部門のt期における労働の投入量であり、 $l_{i(0)}^J$ は基準時点のそれである。この調整関数は前期と比較した労働投入量の増減量が2倍になれば調整費用が2倍以上になる凸関数である。また、労働の投入量の増減量が同じであれば初期の労働投入量が少ない産業ほど調整費用が大きくなる。

各都道府県ごとにみた労働の調整費用は、

$$C_{(t)}^J = \sum_{i=1}^n \frac{(l_{i(t)}^J - l_{i(t-1)}^J)^2}{l_{i(0)}^J} = (\mathbf{l}_{D(t)}^J - \mathbf{l}_{D(t-1)}^J)^T \mathbf{H}^J (\mathbf{l}_{D(t)}^J - \mathbf{l}_{D(t-1)}^J) \quad (25)$$

となる。ただし、 $\mathbf{l}_{D(t)}^J = [l_{1(t)}^J, \dots, l_{n(t)}^J]^T$ 、である。さらにこれを都道府県について集計すれば、国全体で見た労働の調整費用が、

$$C_{(t)} = (\tilde{\mathbf{l}}_{D(t)} - \tilde{\mathbf{l}}_{D(t-1)})^T \mathbf{H} (\tilde{\mathbf{l}}_{D(t)} - \tilde{\mathbf{l}}_{D(t-1)}) = \tilde{\mathbf{l}}_{D(t)}^T \mathbf{H} \tilde{\mathbf{l}}_{D(t)} - 2\tilde{\mathbf{l}}_{D(t-1)}^T \mathbf{H} \tilde{\mathbf{l}}_{D(t)} + \tilde{\mathbf{l}}_{D(t-1)}^T \mathbf{H} \tilde{\mathbf{l}}_{D(t-1)} \quad (26)$$

のように表される。ここで、

$$\tilde{\mathbf{l}}_{D(t)} := \begin{bmatrix} \mathbf{l}_{D(t)}^1 \\ \vdots \\ \mathbf{l}_{D(t)}^N \end{bmatrix}$$

は、t期の各産業の労働投入（需要）をすべての都道府県について積上げたものである。最終需要を与えればそれを満たすように各部門の生産が決まり、その時の労働投入量が求まるのであるから、t-1期の最終需要が与えられれば、t期の労働の調整費用はt期の最終需要の関数として、以下のように表すことができる。

$$C_{(t)} = \hat{\mathbf{f}}_{(t)}^T \hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{f}}_{(t)} - \mathbf{q}_{(t)}^T \hat{\mathbf{f}}_{(t)} + \rho_{(t)} \quad (27)$$

ここで、

$$\hat{\mathbf{H}} := (\hat{\mathbf{A}}_L \hat{\mathbf{B}} \Theta)^T \hat{\mathbf{H}} (\hat{\mathbf{A}}_L \hat{\mathbf{B}} \Theta), \quad \mathbf{q}_{(t)} = 2(\hat{\mathbf{A}}_L \hat{\mathbf{B}} \Theta \hat{\mathbf{f}}_{(t-1)})^T \hat{\mathbf{H}} (\hat{\mathbf{A}}_L \hat{\mathbf{B}} \Theta), \quad \rho_{(t)} := \tilde{\mathbf{l}}_{D(t-1)}^T \mathbf{H} \tilde{\mathbf{l}}_{D(t-1)}$$

であり、また、 $\hat{\mathbf{A}}_L$ は、各都道府県の雇用係数ベクトルを対角要素とする対角行列であり、以下のように定義されている。

$$\hat{\mathbf{A}}_L := \text{diag}([\mathbf{a}_L^1, \dots, \mathbf{a}_L^N])$$

結果的に、労働の供給制約と社会サービスの需要制約の下で、就業者数の変化に伴って発生する労働の調整費用を最小化する問題は、以下のように定式化できる。

$$\min_{\hat{\mathbf{f}}(t)} \hat{\mathbf{f}}(t) \mathbf{H} \hat{\mathbf{f}}(t) - \mathbf{q}(t) \hat{\mathbf{f}}(t) \quad (28)$$

Subject to

$$\mathbf{A}_L \hat{\mathbf{B}} \mathbf{\Theta} \hat{\mathbf{f}}(t) = \mathbf{l}_{S(t)} \quad (22)$$

$$\mathbf{\Theta} \hat{\mathbf{f}}(t) \geq \bar{\mathbf{f}}_{B(t)} \quad (23)$$

上の最適化問題は2次関数の最小化を目的関数とする標準的な2次計画問題であり、基準年を0期として逐次的に解くことができる。

4.1.6.3 データと分析結果

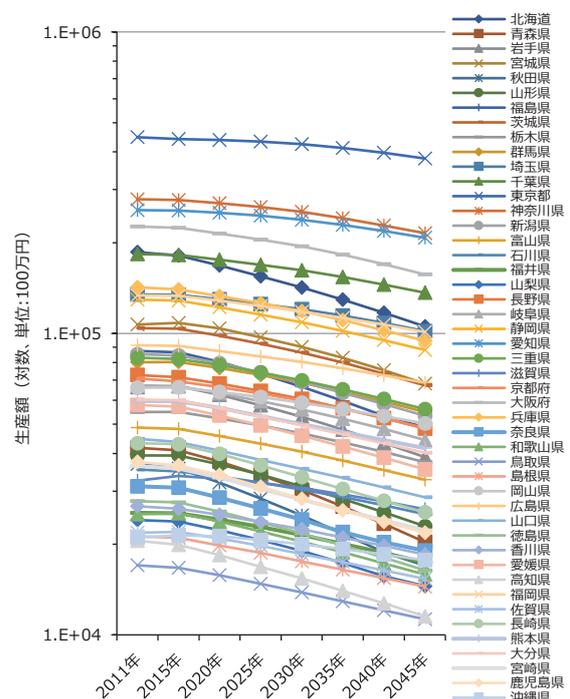
従業者総数や用いたデータはすべて前節の推計に拠っている。ただし、需要制約を課す最終需要項目は、教育、医療、介護、一般政府消費支出（都道府県分）、一般政府消費支出（市町村分）として、民間消費支出は内生的に決まると考えた。これらはすべて前節の推計値をそのまま用いている。また、商業、運輸マージンは富山県統計調査課が波及効果分析用に作成したものを基に作成している。

図4-1-28は推計期間中の各都道府県における廃棄物処理業の生産額を示している。図は対数軸で表されているので各年の折れ線の傾きが変化率を近似している。図からすべての都道府県で生産額は減少しているが、東京都や愛知県、神奈川県などの減少率は低い。一方、北海道や東北各県の減少率は高い。

試算期間の初年度と最終年度だけを取り出

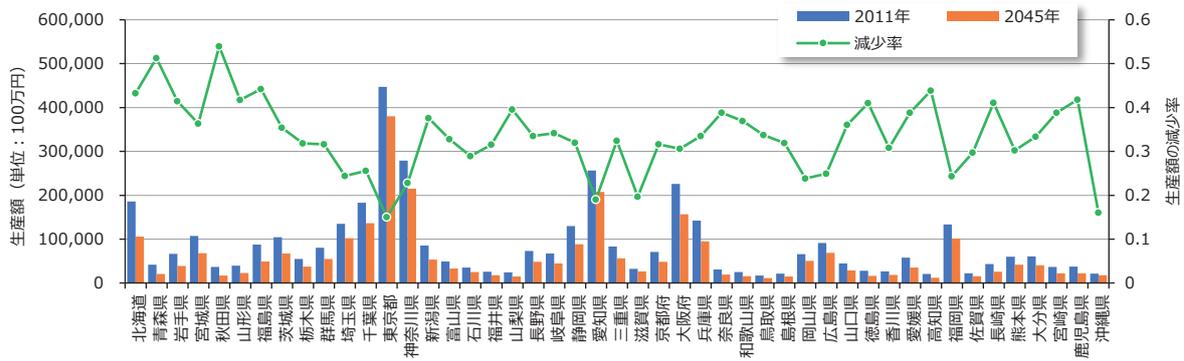
して、都道府県別の生産額と減少率（正值で定期しており、値が大きいほど減少率が高い）をみたものが図4-1-29である。図4-1-29を見れば明らかのように、生産額の減少率は大都市圏で小さく、地方圏で大きい。供給制約と需要制約を同時に考慮した枠組みにおいても、人口減少や高齢化は地方圏の廃棄物処理部門に相対的に大きな負荷を課す。

図 4-1-28 廃棄物処理部門の生産額の変化



筆者試算

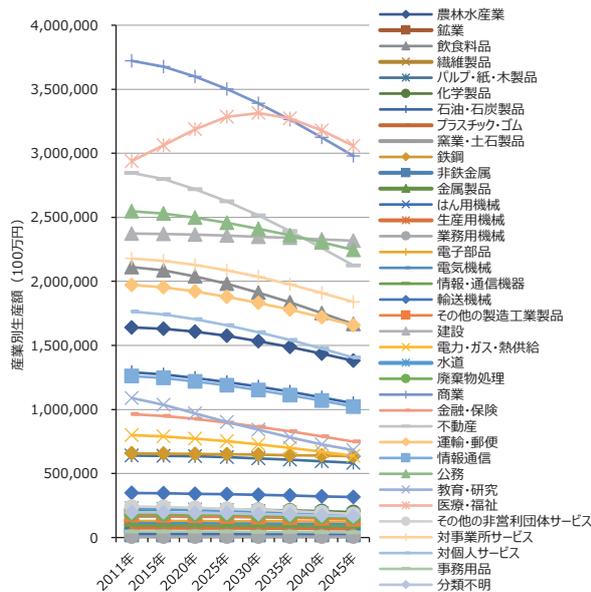
図 4-1-29 廃棄物処理部門の生産額の変化（2011年と2045年）



筆者試算

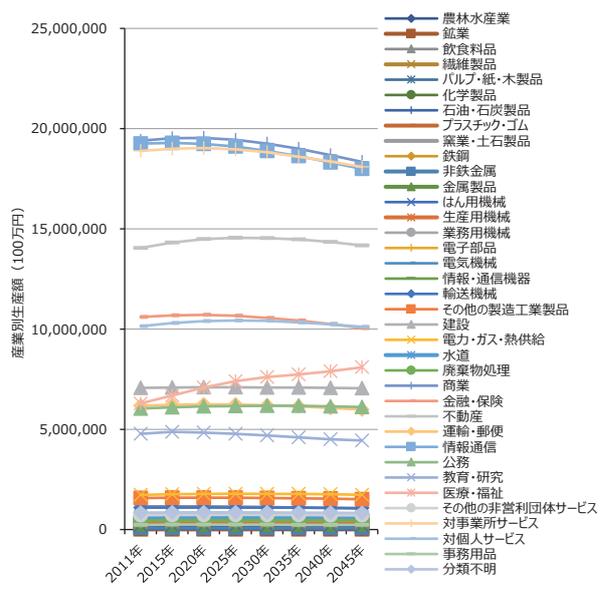
このような廃棄物処理部門における変化の背後にある各地域における産業間の生産額の推移を、いくつかの都道府県を取り上げてみておく。

図 4-1-30(a) 生産額の推移（北海道）



筆者試算

図 4-1-30(b) 生産額の推移（東京都）



筆者試算

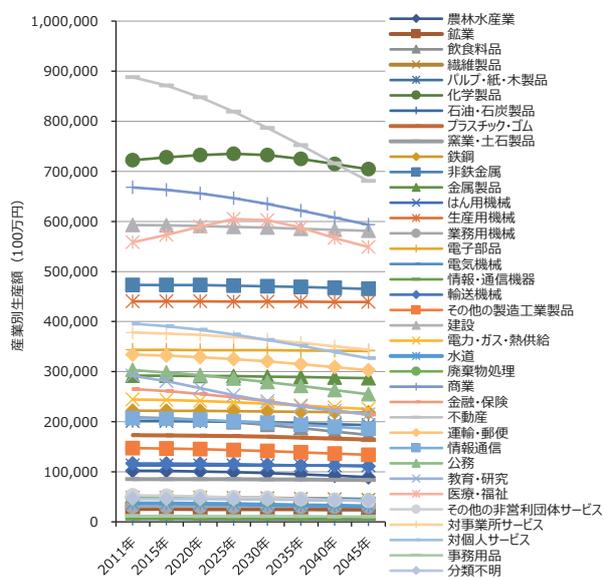
図 4-1-30(a)は北海道における試算期間中の産業別の生産額を表している。北海道では医療・福祉部門の構成比が高いが、2030年にかけてその生産が大きく増加する。一方で、初期時点では生産額が最も大きい商業はそのウェイトを大きく下げると試算されている。北海道では廃棄物処理部門の減少率が相対的にみて高いが、これには、医療福祉部門における需要増が他部門の生産を押しつけてしまうクラウドニング・アウト効果の影響があると思われる。

図 4-1-30(b)は東京都における試算結果である。前述のように、東京都では医療・介護に対する需要は推計期間を通じて増加するものの、元来、その構成比は他道府県と比較して小さく、労働資源におけるクラウドイング・アウト効果も相対的に小さいと考えられる。

図 4-1-30(c)は富山県について同様の推移を見たものである。富山県は製造業が集積していると言われるが、医薬品を含む化学製品の構成比が高く、2030年をピークとして緩やかながらその生産額は微増を示している。これは、他の都道府県の医療部門の生産増による後方連関効果だと考えられる。化学製品の生産における廃棄物処理サービスの投入係数は製造業の中では比較的高く、このことから廃棄物処理部門への需要増も一定量存在すると考えられる。一方で医療・福祉サービスの生産も多くの県と同様に2030年まで増加を続け、これらの効果が相殺して廃棄物処理部門での生産減少率が中位に位置していると考えられる。

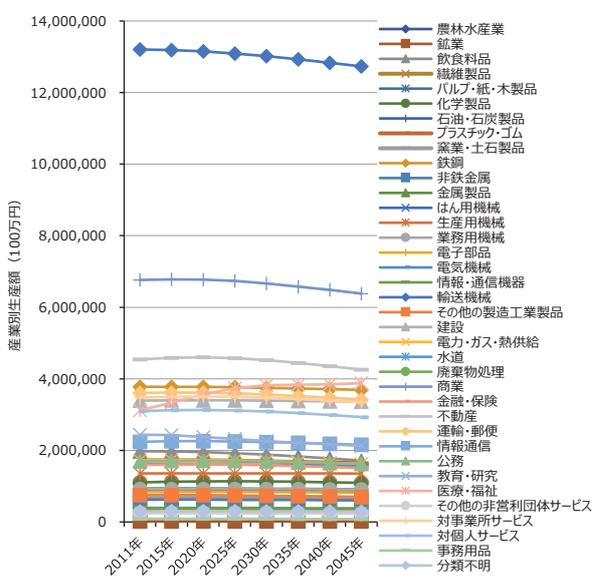
図 4-1-30(d)は愛知県の生産額の推移を表している。愛知県も製造業が集積しているが、とりわけ輸送機械の比率が高い。輸送機械の生産における廃棄物処理の投入係数はそれほど高くなく、同県における廃棄物処理部門の特化係数が1よりも低い結果につながっていると考えられる。同県においても東京都と同様に医療・福祉部門の生産は試算期間中を通じて増加するが、元来、生産額に占めるシェアはそれほど高くなく、クラウドイング・アウト効果も想定的に低いと考えられる。その結果、廃棄物処理部門の生産額減少率も軽微に留まっていると考えられる。

図 4-1-30(c) 生産額の推移（富山県）



筆者試算

図 4-1-30(d) 生産額の推移（愛知県）



筆者試算

労働需給が閉じていない前節のモデルと比較すれば、クラウドイング・アウト効果の存在によって、都道府県間の産業別にみた生産活動の差異が際立つ結果となった。また、廃棄物処理部門が前方連関効果を強く持っていることを考えあわせると、人口減少や高齢化が進展する中での廃棄物処理部門の重要性を改めて認識させる結果となった。

4.1.7 まとめ

本セクションでは、産業廃棄物処理を含む廃棄物処理部門の活動を産業連関分析の中で捉えることを試みた。まず、全国表をベースに、廃棄物処理部門の産業での位置づけや波及効果の態様を検討した。その結果、産業廃棄物処理のアクティビティを完全に分離して抽出することは難しいが、産業の中間投入部分に着目すれば事業系一般廃棄物と共に産業廃棄物処理の活動も捉えられることを指摘した。さらに、リンケージに注目した分析を行うことで、廃棄物処理部門では後方連関よりも前方連関が大きいことが確認でき、廃棄物処理業の社会インフラとしての重要性を確認できた。

続いて、地域間の取引の中で廃棄物処理業の活動を捉えるために、都道府県間産業連関表を新たに作成して、そこでみられる廃棄物処理部門の特徴を考察した。特に、前年度の分析でも示唆された通り、廃棄物処理部門は相対的に地方に集積している傾向を、生産額や従業者総数の特化係数の推計を通じて確認することができた。さらに、都道府県間産業連関表に基づき、後方連関効果や前方連関効果といったリンケージを各都道府県の廃棄物処理部門ごとに計測することで、大都市圏では後方連関効果の値が前方連関効果よりも大きく、地方圏では逆の関係が観察されることを見出した。このことは、大都市圏での最終需要を満たすために地方圏において財・サービスが生産され、その過程で地方における産業廃棄物を含む廃棄物処理部門の活動が誘発されるという経済構造を意味する。この意味で廃棄物処理部門そのものの地域間取引だけでなく、財・サービスの地域間取引を通じた間接的な廃棄物処理の取引を考えることが重要であることを確認できた。

このような産業の連関を踏まえるとともに、今後、加速することが予想される人口減少や高齢化が地域間の産業連関や地域での労働需給に与える影響を、都道府県間産業連関表を用いた均衡産出高モデルによって、2011年から2045年を対象期間として試算した。まず、就業者数の将来推計を行い国全体としてみたときに就業者数が減少することとともに都道府県間で大きな差異を伴って就業者数が減少することがわかった。同時に、人口構成の高齢化によって医療や介護への需要が増加することによって、労働需要は、労働供給ほどには減少せず、労働の需給ギャップが拡大を続けることを示した。人口減少や高齢化による需給ギャップの大きさは、絶対額で見ると人口規模の大きい大都市圏で大きいものの、労働供給の試算値に対する労働需要の試算値の比率で見れば、地方圏でより深刻なギャップが生じ得ることがわかった。このことは経済全体のみならず、廃棄物処理部門だけを抽出してもあてはまり、特に、地方圏においてその傾向が強いことが示され、地方圏を中心として廃棄物処理部門の生産技術や生産性の改善が必要であることを改めて示す結果となった。

さらに、人口減や高齢化に起因する労働供給の制約と、家計や政府の最終需要において高齢化に起因した医療や介護等への需要圧力の存在をともに考慮できるモデルを、都道府県間産業連関表をベースとして構築した。モデルでは各地域の労働投入量は各地域の労働供給量によって制約されることと、医療・介護といった社会サービスを供給するために労働が必要であるという需要面の制約より生ずるクラウドニング・アウト効果を分析した。分析結果は、各地域の資源制約の存在によって、都道府県間の産業廃棄物処理部門の将来における活動規模の差異を際立たせるこ

とになった。このことは、廃棄物処理部門における生産性の改善や技術革新が、人口減少や高齢化の中であって地域内の産業の持続可能性を高めることにつながることを示唆するものである。

本セクションの分析からは、産業間の繋がりの中で廃棄物処理の問題を考えることの重要性が浮かび上がった。産業連関分析の枠組み自身は、マクロ或いはメゾマクロの視点に立つものであり、廃棄物処理部門における活動の詳細に立ち入るものではない。しかしながら、地域や産業間の連関を組み込んだ分析から得られた結果には、その背景に地域の人口社会要因や産業構造が存在しており、この点を深く考えることで、より豊かな政策的含意を得ることができると考える。

本セクションで構築したモデルは、きわめてシンプルなものであり、今後の拡張に向けた余地がある。たとえば、人口動態や高齢化に関してはより都道府県間の異質性を考慮することも求められよう。さらに、労働供給推計の手法についても精緻化の余地がある。また、廃棄物処理部門の活動をより詳細に考えることで、本研究の主眼である産業廃棄物を巡る課題により適確に接近できると思われる。

また、今回作成した都道府県間産業連関表は、現時点でのデータの制約からいくつかの点で簡略化されたものであり、精度を上げることは可能だと思われる。特に地域間取引の推計にあたっては、商品流通調査や産業廃棄物の移動統計を活用することによって改善が期待できる。次年度は、本年度の研究をベースとして、産業廃棄物処理の将来フレームを考える枠組みとシナリオを構築して政策提言に繋げることを目指す。

参考文献

- 浅利一郎・土居英二（2016）『地域産業連関分析の理論と実際』日本評論社。
- 石川良文・宮城俊彦（2003）「全国都道府県間産業連関表による地域間産業連関表構造の分析」日本地域学会『地域学研究』34(1)、139-152頁。
- 井出眞弘（2003）『Excelによる産業連関分析入門』産業能率大学出版部刊。
- 内田忠夫・辻村江太郎・宮沢健一・宮下藤太郎編（1968）『近代経済学講座 産業連関分析』有斐閣。
- 金子敬生（1990）『産業連関の経済分析』勁草書房。
- Clemens, B. J. (1990) "On the Decomposition and Normalization of Interindustry Linkages," *Economics Letters* 33(4), pp. 337-340.
- 宍戸駿太郎監修 環太平洋産業連関分析学会（2010）『産業連関分析ハンドブック』東洋経済新報社。
- 鈴木将之（2008）「産業分析における Linkage の分析方法」産業連関 16(3)、87-98.
- Song, Y., C. Liu, and G. Longston. (2006) "Linkage Measures of Construction Sector Using the Hypothetical Extraction Method," *Construction management and Economics* 24 (6), 579-589.

- Song, Y., C. Liu, and G. Longston. (2006) "A Linkage Analysis of the Real Estate Sector Using the Hypothetical Extraction Method," *Journal of Applied Input-Output Analysis* 11&12(6), 25-47.
- 土居英二・浅利一郎・中野親徳 編著 (2019) 『はじめよう 地域産業連関分析 Excel で初歩から実践まで [改訂版]』日本評論社.
- 仁平耕一 (2008) 『産業連関分析の理論と適用』白桃書房.
- 萩原泰治 (2011) 「47 都道府県間接続産業連関表の作成と分析」『神戸大学経済学研究年報』58、33-46.
- 人見和美・B、Pongsun (2008) 「47 都道府県他地域産業連関表の開発－内部・外部乗数による都道府県間生産誘発構造の分析－」電力中央研究所研究報告書 Y07035.
- Miller R.E. and P.D. Blair. (2011) *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*. Cambridge University.
- 宮沢健一編 (2002) 『産業連関分析入門<新版>』日本経済新聞社.
- 総務省他 9 府省庁共同編集「平成 23 年(2011 年) 全国産業連関表」<<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200603&tstat=000001073129&cycle=0>>(令和 1 年 5 月参照).
- 総務省他 9 府省庁共同編集「平成 23 年(2011 年) 産業連関表(一総合解説編一)」<https://www.soumu.go.jp/main_content/000368487.pdf>(令和 1 年 5 月参照).
- 総務省統計局 「人口推計」 <<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.html>>(令和 1 年 5 月参照).
- 国立社会保障・人口問題研究所 「将来推計人口・世帯数」 <<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp>>(令和 1 年 5 月参照).
- 厚生労働省老健局介護保険計画課「平成 29 年度介護保険事業報告(年報)」<<https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/17/index.html>>(令和 1 年 5 月参照).
- 愛知県県民生活部統計課「平成 23 年愛知県産業連関表」<<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/toukei/0000029902.html>>(令和 1 年 5 月参照).
- 青森県企画政策部統計分析課「平成 23 年青森県産業連関表」<<https://opendata.pref.aomori.lg.jp/dataset/search/?utf8=%E2%9C%93&s%5Bkeyword%5D=%E7%94%A3%E6%A5%AD%E9%80%A3%E9%96%A2>>(令和 1 年 5 月参照).
- 青森県企画政策部統計分析課「平成 23 年青森県雇用表」<<https://opendata.pref.aomori.lg.jp/dataset/dataland-206.html>>(令和 1 年 5 月参照).
- 秋田県企画振興部調査統計課「平成 23 年秋田県産業連関表」<<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/31259>>(令和 1 年 5 月参照).
- 石川県県民文化スポーツ部県民交流課統計情報室「平成 23 年 石川県産業連関表」<http://toukei.pref.ishikawa.jp/search/detail.asp?d_id=3212#download>(令和 1 年 5 月参照).
- 茨城県政策企画部統計課「平成 23 年 茨城県産業連関表」<<http://www.pref.ibaraki.jp/kikaku/tokei/fukyu/tokei/betsu/sangyo/io23/>>(令和 1 年 5 月参照).
- 岩手県政策地域部 調査統計課 「平成 23 年 岩手県産業連関表」<<http://www3.pref.iwate.jp/webdb/view/outside/s14Tokei/tkItiran.html?tyosa=I015>>(令和 1 年 5 月参照).

愛媛県企画振興部統計課「平成23年 愛媛県産業連関表」〈<https://www.pref.ehime.jp/toukeibox/datapage/sanren/sanren-p01.html>〉(令和1年5月参照).

大分県統計調査課「平成23年大分県産業連関表」〈<https://www.pref.oita.jp/site/toukei/sangyo.html>〉(令和1年5月参照).

大阪府総務部統計課「平成23年 大阪府産業連関表」〈<http://www.pref.osaka.lg.jp/toukei/sanren/>〉(令和1年5月参照).

岡山県総合政策局統計分析課「平成23年 岡山県産業連関表」〈<http://www.pref.okayama.jp/page/detail-16600.html>〉(令和1年5月参照).

沖縄県企画部統計課「平成23年 沖縄県産業連関表」〈[https://www.pref.okinawa.jp/toukeika/io/2011/io\(2011\)top.html](https://www.pref.okinawa.jp/toukeika/io/2011/io(2011)top.html)〉(令和1年5月参照).

香川県政策部統計調査課「平成23年 香川県産業連関表」〈<https://www.pref.kagawa.lg.jp/content/etc/subsite/toukei/keizai/23io.shtml>〉(令和1年5月参照).

鹿児島県企画部統計課「平成23年 鹿児島県産業連関表」〈<http://www.pref.kagoshima.jp/ac09/tokei/bunya/keizai/renkan/keisu.html>〉(令和1年5月参照).

鹿児島県企画部統計課「平成23年 鹿児島県産業連関表付帯表(雇用表)」〈<http://www.pref.kagoshima.jp/ac09/tokei/bunya/keizai/renkan/koyohyo.html>〉(令和1年5月参照).

神奈川県企画分析課「平成23年神奈川県産業連関表」〈<http://www.pref.kanagawa.jp/docs/x6z/tc20/sanren/latest.html>〉(令和1年5月参照).

岐阜県統計課「平成23年 岐阜県産業連関表」〈<https://www.pref.gifu.lg.jp/kensei/tokei/tokei-joho/11111/kohyoshiryo/keizai/renkan/renkankekka2011.html>〉(令和1年5月参照).

京都府政策企画部企画統計課「平成23年 京都府産業連関表」〈<http://www.pref.kyoto.jp/toukei/cycle/sanren/sanrentop.html>〉(令和1年5月参照).

熊本県企画振興部統計調査課「平成23年 熊本県産業連関表」〈https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_8525.html〉(令和1年5月参照).

群馬県統計課「平成23年 群馬県産業連関表」〈<https://toukei.pref.gunma.jp/gio/gio2011.htm>〉(令和1年5月参照).

高知県総務部統計分析課「平成23年高知県産業連関表」〈<https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/111901/sanren23.html>〉(令和1年5月参照).

佐賀県総務部統計分析課「平成23年佐賀県産業連関表」〈<https://www.pref.saga.lg.jp/toukei/kiji00347216/index.html>〉(令和1年5月参照).

滋賀県総合企画部統計課「平成23年 滋賀県産業連関表」〈<https://www.pref.shiga.lg.jp/kensei/tokei/sonota/sangyou/12823.html>〉(令和1年5月参照).

静岡県経営管理部統計利用課「平成23年 静岡県産業連関表」〈<https://toukei.pref.shizuoka.jp/search?keyword=&sYear=&sMonth=&eYear=&eMonth=&cycle=&area=&class=15&invest=15050&ext=&sort1=&pageNo=2>〉(令和1年5月参照).

島根県政策企画局統計調査課「平成23年島根県産業連関表」〈<http://pref.shimane-toukei.jp/index.php?view=19534>〉(令和1年5月参照).

千葉県総合企画部統計課「平成23年 千葉県産業連関表」〈<https://www.pref.chiba.lg.jp/toukei/toukeidata/sangyou/h23/23data.html>〉(令和1年5月参照).

東京都統計部「平成 23 年東京都産業連関表」〈<http://www.toukei.metro.tokyo.jp/sanren/2011/sr11t1.htm#data>〉(令和 1 年 5 月参照).

徳島県政策創造部統計データ課「平成 23 年徳島県産業連関表」〈<https://www.pref.tokushima.lg.jp/statistics/year/io/>〉(令和 1 年 5 月参照).

栃木県統計課「平成 23 年栃木県産業連関表」〈<http://www.pref.tochigi.lg.jp/c04/pref/toukei/toukei/io.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

鳥取県令和新时代創造本部 統計課「平成 23 年鳥取県産業連関表」〈<https://www.pref.tottori.lg.jp/259409.htm>〉(令和 1 年 5 月参照).

長野県企画振興部情報政策課「平成 23 年長野県産業連関表」〈<https://tokei.pref.nagano.lg.jp/statistics/5815.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

富山県統計調査課「平成 23 年富山県産業連関表」〈<http://www.pref.toyama.jp/sections/1015/lib/renkan/index.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

長崎県統計課「平成 23 年長崎県産業連関表」〈<https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/kenseijoho/toukeijoho/renkan/23io/249959.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

奈良県統計分析課「平成 23 年奈良県産業連関表」〈<http://www.pref.nara.jp/16380.htm>〉(令和 1 年 5 月参照).

新潟県統計課「平成 23 年新潟県産業連関表」〈<https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/tokei/1356838844961.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

兵庫県企画県民部ビジョン局統計課「平成 23 年兵庫県産業連関表」〈https://web.pref.hyogo.lg.jp/kk11/ac08_2_00000020.html〉(令和 1 年 5 月参照).

広島県統計課「平成 23 年広島県産業連関表」〈<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/toukei/sangyorenkanhyo.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

福井県統計情報課「平成 23 年福井県産業連関表」〈<http://www.pref.fukui.jp/doc/toukei-jouhou/sanren.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

福岡県調査統計課「平成 23 年福岡県産業連関表」〈<http://www.pref.fukuoka.lg.jp/dataweb/search-1-1025.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

福島県統計課「平成 23 年福島県産業連関表」〈<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11045b/sangyorenkan25.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

北海道開発監理部開発計画課「平成 23 年 北海道産業連関表」〈<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/ki/keikaku/u23dsn0000001mmi.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

三重県戦略企画部統計課「平成 23 年三重県産業連関表」〈<http://www.pref.mie.lg.jp/DATABOX/00006816699.htm>〉(令和 1 年 5 月参照).

宮崎県総合政策部統計調査課「平成 23 年 宮崎県産業連関表」〈<https://www.pref.miyazaki.lg.jp/tokeichosa/kense/toke/tokeihyo.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

山形県統計企画課「平成 23 年山形県産業連関表」〈<https://www.pref.yamagata.jp/ou/kikaku/shinko/020052/tokei/h17sangyorenkan.html>〉(令和 1 年 5 月参照).

山口県総合企画部統計分析課「平成 23 年山口県産業連関表」〈<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a12500/sangyorenkan/>〉(令和 1 年 5 月参照).

山梨県統計調査課「平成 23 年 山梨県産業連関表」〈https://www.pref.yamanashi.jp/toukei_2/DB/EDD/dbkeizai06.html〉(令和 1 年 5 月参照).

和歌山県企画部企画政策局調査統計課「平成 23 年和歌山県産業連関表」〈<https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/020300/sangyo/>〉(令和 1 年 5 月参照).

4.1.8 付録1 地域間産業連関表の作成方法

4.1.8.1 産業連関表とは

産業連関表は縦に見ると各産業がどのような産業の財を用いて生産を行っているのか、横に読むと生産したものがどのような産業に販売されたのかを説明する内生部門、雇用者所得や営業余剰や資本減耗引き当てや出張にともなう宿泊や手当などを含む家計外消費支出から構成される。付加価値部門、最終需要はそれ以上加工されることのないサービスや財を意味し、国内最終需要と輸出と輸入から構成される最終需要部門からなる。産業連関表では付加価値部門と最終部門は外生部門と呼ばれ、2つの部門間の取引は記載しないが、内生部門間の取引を行列表示した会計データである。産業連関分析の大きな特徴としてマクロ経済では分析できない産業、アクティビティ（生産設備、使用原材料等によって分類される）レベルの分析を可能にする。総務省によって全国産業連関表が5年ごとに作成公表されている³¹。それにともない各都道府県も都道府県表を作成公表している。直近では平成23年(2011年)に作成、公表されている。

地域間産業連関表は多地域の経済活動を記述する産業連関表である。地域は外国と取引するだけでなく、他地域との取引を行う。ある地域の経済活動がどのように他地域に影響を与え、間接的に自地域に影響を与えるのかを分析できる。総務省によって北海道・東北・関東・中部・近畿・中国・四国・九州・沖縄の9地域から構成される産業連関表が平成では平成2年、平成7年、平成17年のデータで作成公表されている。本研究では47都道府県を対象とした地域間非競争移入・競争輸入型都道府県産業連関表である。

4.1.8.2 国の産業連関表

以下では、都道府県間産業連関表の基礎となる1国の産業連関表と地域間産業連関表の見方について簡単に解説を行う。産業の数が2の場合の1国経済の産業連関表(表4-A-1)を簡単に説明する³²。

表 4-A-1 産業連関表のひな型

		中間需要		最終需要	生産額
		部門1	部門2		
中間投入	部門1	x_{11}	x_{12}	f_1	x_1
	部門2	x_{21}	x_{22}	f_2	x_2
租付加価値		v_1	v_2		
国内生産額		x_1	x_2		

³¹ 全国表の内生部門、付加価値部門、最終需要部門の部門分類は付録1、2、3を参照。

³² 井出(2003)、内田・辻村・宮沢・宮下編(1968)、宮沢編(2002)、仁平(2008)、宍戸(2010)、浅利・土居(2016)、土居・浅利・中野(2019)を参考にした。

各産業*i*、*i* = 1、2 の生産物 x_i は産業*j*、*j* = 1、2 の中間財として用いられるか最終財 f_i として用いられる。部門 1 の行を例にとると、部門 1 で x_{11} 、部門 2 で x_{12} 中間財として需要され、最終財として f_1 だけ需要される。均衡生産量に関する恒等式が以下のように成立する。

$$x_i = \sum_{j=1}^2 x_{ij} + f_i$$

ただし、各産業 *j*、*j* = 1、2 の財を 1 単位生産するのに必要な各産業 *i*、*i* = 1、2 の財の量は投入係数とよばれ、以下のように定義される。

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j}$$

各産業の生産量ベクトル \mathbf{x} 、投入係数行列 \mathbf{A} 、最終需要ベクトル \mathbf{f} 、単位行列 \mathbf{I} は以下のように定義される。

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}, \mathbf{f} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}, \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

これらの行列を用いると、均衡生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f}$$

と表せる。上式は、最終需要 \mathbf{f} を所与として、生産量が求められる。上式を書き換えると、各産業の生産量ベクトルは

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}$$

となる³³。この式で最終需要ベクトルを与えると、誘発される各産業の生産量が求められる。特に、 $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ はレオンチェフ乗数またはレオンチェフ逆行列と呼ばれる。この行列はある産業の最終需要が 1 単位増えた時(ベクトル \mathbf{f} で表されるとする)に、ある産業の生産量が直接的に 1 単位増大 ($\mathbf{I} \cdot \mathbf{f}$) する。この生産量の増大が間接的に当該産業及び他産業の生産量の増大 ($\mathbf{A} \cdot \mathbf{f}$) をもたらす。この間接効果はさらなる間接効果($\mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{f} + \mathbf{A}^3 \cdot \mathbf{f} + \dots$)を連続的にもたらす。レオンチェフ行列に \mathbf{f} を乗じたものは直接効果と間接効果の総和($\mathbf{I} \cdot \mathbf{f} + \mathbf{A}^2 \cdot \mathbf{f} + \mathbf{A}^3 \cdot \mathbf{f} + \dots = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}$)を表している。レオンチェフ逆行列は以下のように求められる。

³³ 各産業の生産量が非負であるための条件としてホーキンス・サイモン条件やソロー条件が知られている。宮沢 (2002)の 99 ページに説明があるので参照されたい。

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \frac{1}{(1 - a_{11})(1 - a_{22}) - a_{12}a_{21}} \begin{bmatrix} 1 - a_{22} & a_{12} \\ a_{21} & 1 - a_{11} \end{bmatrix}$$

レオンチェフ逆行列は第 2 (1) 産業の最終需要を一定として、第 1 (2) 産業の最終需要のみが 1 単位増加した時、第 1 産業と第 2 産業の生産量がそれぞれ、 $\frac{1 - a_{22}}{(1 - a_{11})(1 - a_{22}) - a_{12}a_{21}}$ $\left(\frac{a_{12}}{(1 - a_{11})(1 - a_{22}) - a_{12}a_{21}}\right)$ 単位と、 $\frac{a_{21}}{(1 - a_{11})(1 - a_{22}) - a_{12}a_{21}}$ $\left(\frac{1 - a_{11}}{(1 - a_{11})(1 - a_{22}) - a_{12}a_{21}}\right)$ 単位だけ増加することを意味する。

次に、行列の縦は何を意味するのかを説明する。列 1 を見ると、部門 1 x_1 を生産するのに産業 1 を x_{11} 、産業 2 を x_{21} をそれぞれ投入し、付加価値として v_1 だけ消費者や企業や政府に分配されていることがわかる。

4.1.8.3 開放経済の産業連関表

ここからは開放経済を考える。開放経済は輸入の扱いによって 2 種類の異なる産業連関表が存在する。1 つは同一部門の輸入された財と国内で生産された財を区別しない競争輸入型の産業連関表(表 4-A-2 を参照)、いま 1 つは同一部門の輸入された財と国内で生産された財を別々の財として内生部門と最終需要部門で区別する非競争輸入型の産業連関表である。

表 4-A-2 競争輸入型の産業連関表

		中間需要		最終需要			
		部門1	部門2	最終需要	輸出	輸入	生産額
中間投入	部門1	x_{11}	x_{12}	f_1	e_1	$-m_1$	x_1
	部門2	x_{21}	x_{22}	f_2	e_2	$-m_2$	x_2
粗付加価値		v_1	v_2				
国内生産額		x_1	x_2				

まず、競争輸入型の産業連関表を以下に説明する。輸入は国内最終需要に比例するものとする。最終需要ベクトル \mathbf{f} から輸出 \mathbf{e} を差し引いたものを国内最終需要 $\mathbf{f}_D (\equiv \mathbf{f} - \mathbf{e})$ 、 i 部門の輸入を m_i とすると、その産業別輸入係数 \hat{m}_i は

$$\hat{m}_i = \frac{m_i}{\sum_{j=1}^2 x_{ij} + F_{Di}}$$

と定義される。輸入係数を対角成分とする対角行列³⁴ $\hat{\mathbf{M}}$ を以下のように定義する。

³⁴ 対角行列の定義は対角(1行1列と2行2列)要素以外の要素が全て0の行列。

$$\widehat{\mathbf{M}} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

輸入係数の対角行列を用いると、均衡生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D + \mathbf{e} + \widehat{\mathbf{M}}(\mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D)$$

書き換えると、各産業の生産量ベクトルは

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1}[(\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{M}})\mathbf{f}_D + \mathbf{e}]$$

この式は、国内最終需要のうち輸入を差し引いた分と輸出の合計が国内で生産され、中間需要の一定割合が輸入されることを仮定した時の生産量を求めたものである。ただし、最終財と中間財の輸入割合が同一である点に注意。この式を用いて、最終需要ベクトルの変化 $\Delta \mathbf{f}_D$ や輸出ベクトルの変化 $\Delta \mathbf{e}$ が生産量に与える変化 $\Delta \mathbf{x}$ を分析できる。

$$\Delta \mathbf{x} = [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1}[(\mathbf{I} - \widehat{\mathbf{M}})\Delta \mathbf{f}_D + \Delta \mathbf{e}]$$

次に、非競争輸入型の産業連関表を以下に説明する。非競争輸入型の産業連関表は競争輸入型と異なり、中間財の輸入割合と最終財の輸入割合が産業によって異なることを明示的に考慮できる。中間財の投入係数 \mathbf{A} は国内財 \mathbf{A}^d と輸入財 \mathbf{A}^m に分けて以下のように仮定する。

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}^d + \mathbf{A}^m$$

最終需要 \mathbf{f} も同様に、国内財への需要 \mathbf{f}^d と輸入財への需要 \mathbf{f}^m に分けて以下のように仮定する。

$$\mathbf{f} = \mathbf{f}^d + \mathbf{f}^m$$

均衡国内生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D + \mathbf{e} + \mathbf{m}$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^d \mathbf{x} + \mathbf{e} + \mathbf{f}_D$$

輸入ベクトルは

$$\mathbf{M} = \mathbf{A}^m \mathbf{x} + \mathbf{f}^m$$

均衡国内生産量に関する恒等式を書き換えると、

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^d]^{-1}[\mathbf{f}_D + \mathbf{e}]$$

と求められる。この生産量ベクトルを輸入ベクトルに代入すると、輸入ベクトルが求められる。最終需要ベクトルや輸出ベクトルが変化したときに生産量の変化は次のように表される。

$$\Delta \mathbf{x} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^d]^{-1}[\Delta \mathbf{f}_D + \Delta \mathbf{e}]$$

それゆえ、輸入の変化は生産量の変化を通じて以下のように求められる。

$$\Delta \mathbf{M} = \mathbf{A}^m \Delta \mathbf{x} + \Delta \mathbf{f}^m$$

4.1.8.4 地域産業連関表

地域産業連関表は地域の経済活動を記述する産業連関表である。地域は外国と取引するだけでなく、国内の他地域との取引を行う。前者は輸出・輸入として処理され、後者は自地域で生産され他地域で消費される移出 \mathbf{e}_c 、他地域で生産され自地域で消費される移入 \mathbf{n} として処理される。

地域産業連関表には大別すると2つの種類が存在する。1つは1つの地域を対象とする地域内産業連関表であり、いま1つは自地域だけでなく他地域も対象とする地域間産業連関表である。以下では、説明の簡便化のために2地域存在する例を説明する。

4.1.8.4.1 地域内産業連関表

以下では地域内産業連関表を説明する。移入の取り扱いによって2種類の地域内産業連関表が存在する。国内財と他地域・他国でされた財を同一財とみなす競争移輸入型地域内産業連関表（表4-A-3）と国内財と他地域・他国でされた財を異なる財とみなす非競争移輸入型地域内産業連関表（表4-A-4）である。

表 4-A-3 競争移輸入型の産業連関表

	部門1	部門2	域内最終需要	移出	輸出	移入	輸入	生産額
部門1	x_{11}	x_{12}	f_1	e_{c1}	e_1	$-n_1$	$-m_1$	x_1
部門2	x_{21}	x_{22}	f_2	e_{c2}	e_2	$-n_2$	$-m_2$	x_2
租付加価値	v_1	v_2						
国内生産額	x_1	x_2						

表 4-A-4 非競争移輸入型の産業連関表

	部門1	部門2	域内最終需要	移出	輸出	移入	輸入	生産額
部門1	x_{11}^d	x_{12}^d	f_1^d	e_{c1}	e_1			x_1
部門2	x_{21}^d	x_{22}^d	f_2^d	e_{c2}	e_2			x_2
移入部門1	x_{11}^n	x_{12}^n	f_1^n			$-n_1$		
移入部門2	x_{21}^n	x_{22}^n	f_2^n			$-n_2$		
輸入部門1	x_{11}^m	x_{12}^m	f_1^m				$-m_1$	
輸入部門2	x_{21}^m	x_{22}^m	f_2^m				$-m_2$	
粗付加価値	v_1	v_2						
国内生産額	x_1	x_2						

まず、競争移入型の地域内産業連関表から説明する。競争移入型の均衡生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{X} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D + \mathbf{e} + \mathbf{e}_C - \mathbf{m} - \mathbf{n}$$

ただし、最終需要 \mathbf{f} から輸出 \mathbf{e} を差し引いたものを国内最終需要 $\mathbf{f}_D (\equiv \mathbf{f} - \mathbf{e})$ 、移出を \mathbf{e}_C 、移入を \mathbf{n} と表している。産業別移入係数 \hat{n}_i は

$$\hat{n}_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^2 x_{ij} + f_{Di}},$$

移入係数を対角成分とする対角行列 $\hat{\mathbf{N}}$ を以下のように定義する。

$$\hat{\mathbf{N}} = \begin{bmatrix} n_1 & 0 \\ 0 & n_2 \end{bmatrix}$$

移入係数の対角行列を用いると、移入は

$$\mathbf{N} = \hat{\mathbf{N}}(\mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D)$$

と表される。輸入と移入を代入すると、均衡生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D + \mathbf{e} + \mathbf{e}_C - \hat{\mathbf{M}}(\mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D) - \hat{\mathbf{N}}(\mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D)$$

さらに書き換えると、均衡生産量は

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} - \hat{\mathbf{N}})\mathbf{A}]^{-1}[(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}} - \hat{\mathbf{N}})\mathbf{f}_D + \mathbf{e} + \mathbf{e}_C]$$

次に、非競争移入型の地域内産業連関表を説明する。中間財の投入係数 \mathbf{A} は国内財 \mathbf{A}^d と輸入財 \mathbf{A}^m と移入財 \mathbf{A}^n に分けて以下のように仮定する。

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}^d + \mathbf{A}^m + \mathbf{A}^n$$

最終需要 \mathbf{f} も同様に、国内財への需要 \mathbf{f}^d と輸入財への需要 \mathbf{f}^m と移入財 \mathbf{f}^n に分けて以下のように仮定する。

$$\mathbf{f} = \mathbf{f}^d + \mathbf{f}^m + \mathbf{f}^n$$

均衡国内生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^d \mathbf{x} + \mathbf{f}^d + \mathbf{e} + \mathbf{e}^C$$

輸入ベクトルは

$$\mathbf{m} = \mathbf{A}^m \mathbf{x} + \mathbf{f}^m$$

移入ベクトルは

$$\mathbf{n} = \mathbf{A}^n \mathbf{x} + \mathbf{f}^n$$

均衡国内生産量に関する恒等式を書き換えると、

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^d]^{-1} [\mathbf{f}^d + \mathbf{e} + \mathbf{e}^C]$$

と求められる。この生産量ベクトルを移入ベクトルと輸入ベクトルにそれぞれ代入すると、移入ベクトルと輸入ベクトルがそれぞれ求められる。最終財ベクトルや輸出ベクトルや移出ベクトルが増大すると、生産量は次のように変化する。

$$\Delta \mathbf{x} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^d]^{-1} [\Delta \mathbf{f}^d + \Delta \mathbf{e} + \Delta \mathbf{e}^C]$$

生産量の変化を通じて、移入ベクトルや輸入ベクトルに対する影響は以下のようにも求められる。

$$\Delta \mathbf{m} = \mathbf{A}^m \Delta \mathbf{x} + \mathbf{f}^m$$

$$\Delta \mathbf{n} = \mathbf{A}^n \Delta \mathbf{x} + \mathbf{f}^n$$

経済構造を精密に分析可能である点で優れているが内生部門の同一産業内の財が生産された場所によって異なった財として取り扱われ、自地域と他地域の投入比率が一定でないなど、投入係数の安定性に問題が生じる。

4.1.8.4.2 地域間産業連関表

地域間産業連関表は2つ以上の地域を対象とした産業連関表である。地域間産業連関表によって、ある地域の経済の変動が移出や移入を通じて自地域及び他地域への波及効果を分析できる。

まずは、非競争移入型の地域間産業連関表を説明する。この表4-A-5の地域間非競争移入型産業連関表の読み方を最初に説明する。地域1で生産された産業1 x_1^1 を例にする。第1行を見ると、地域1において、産業1と産業2の生産に x_{11}^{11} と x_{12}^{11} それぞれ投入され、最終財として f_1^{11} 需要され、地域2において、産業1と産業2の生産に x_{11}^{12} と x_{12}^{12} それぞれ投入され、最終財として f_1^{12} 需要される。以上から、 x_{11}^{12} 、 x_{12}^{12} 、 f_1^{12} が地域1から2への移出に相当することが確認できる。外国に e_1^1 輸出し、外国から m_1^1 輸入している。次に、第1列を見ると、 x_1^1 を生産するために、第1地域の財1と2を x_{11}^{11} 、 x_{21}^{11} をそれぞれ投入し、第2地域の財1と2を x_{11}^{21} 、 x_{21}^{21} をそれぞれ投入していることが確認できる。さらに、付加価値を v_1^1 として分配していることも確認できる。以上から、地域1の地域2からの産業1の移入量は第1地域の産業1の列を見ると確認できる。第2地域の産業1から x_{11}^{21} と産業2から x_{21}^{21} それぞれ移入していることがわかる。

表4-A-5 地域間非競争移入型産業連関表

		1地域			2地域			輸出	輸入	地域内生産額
		産業1	産業2	最終需要	産業1	産業2	最終需要			
1地域	産業1	x_{11}^{11}	x_{12}^{11}	f_1^{11}	x_{11}^{12}	x_{12}^{12}	f_1^{12}	e_1^1	$-m_1^1$	x_1^1
	産業2	x_{21}^{11}	x_{22}^{11}	f_2^{11}	x_{21}^{12}	x_{22}^{12}	f_2^{12}	e_2^1	$-m_2^1$	x_2^1
2地域	産業1	x_{11}^{21}	x_{12}^{21}	f_1^{21}	x_{11}^{22}	x_{12}^{22}	f_1^{22}	e_1^2	$-m_1^2$	x_1^2
	産業2	x_{21}^{21}	x_{22}^{21}	f_2^{21}	x_{21}^{22}	x_{22}^{22}	f_2^{22}	e_2^2	$-m_2^2$	x_2^2
	粗付加価値	v_1^1	v_2^1		v_1^2	v_2^2				
	地域内生産額	x_1^1	x_2^1		x_1^2	x_2^2				

非競争移入型産業連関表では、同じ産業でも生産されている地域が異なれば異なる財として扱う。したがって、内生部門の数は4(=2地域×2産業)である。投入係数ベクトルは、地域ごとに4分割した投入係数ベクトルを要素とする。すなわち、

$$A = \begin{bmatrix} A^{11} & A^{12} \\ A^{21} & A^{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}^1 a_{12}^1 & 0 & 0 \\ a_{21}^1 a_{22}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{11}^2 a_{12}^2 \\ 0 & 0 & a_{21}^2 a_{22}^2 \end{bmatrix}$$

とする。ただし、 $A^{ij} = \begin{bmatrix} a_{11}^{ij} & a_{12}^{ij} \\ a_{21}^{ij} & a_{22}^{ij} \end{bmatrix}$ 、である。産出量ベクトルは

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{x}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ x_1^2 \\ x_2^2 \end{bmatrix}$$

同様に、地域別輸出ベクトルや地域別輸入ベクトルを

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}^1 \\ \mathbf{e}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1^1 \\ e_2^1 \\ e_1^2 \\ e_2^2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{m} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}^1 \\ \mathbf{m}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1^1 \\ m_2^1 \\ m_1^2 \\ m_2^2 \end{bmatrix}$$

と定義する。最終需要ベクトルも地域 i ($i = 1, 2$) で生産されて地域 j ($j = 1, 2$) で最終財として需要された最終需要ベクトル \mathbf{fd}^{ij} $i, j = 1, 2$ に分割し、以下のように表される。

$$\mathbf{f}_D = \begin{bmatrix} \mathbf{fd}^{11} + \mathbf{fd}^{12} \\ \mathbf{fd}^{21} + \mathbf{fd}^{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1^{11} \\ f_2^{11} \\ f_1^{21} \\ f_2^{21} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1^{12} \\ f_2^{12} \\ f_1^{22} \\ f_2^{22} \end{bmatrix}$$

均衡生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{f}_D + \mathbf{e} - \mathbf{m}$$

書き換えると、

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}(\mathbf{f}_D + \mathbf{e} - \mathbf{m})$$

と求められる。地域 k の第 i 産業の輸入係数は

$$m_i^k = \frac{m_i^k}{\sum_{j=1}^2 x_{ij}^k + f_i^{kk}}$$

各地域の輸入係数を対角要素とする対角行列を地域ごとに並べた輸入係数行列は

$$\widehat{\mathbf{M}} = \begin{bmatrix} m_1^1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_1^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_2^2 \end{bmatrix}$$

自地域向けの投入係数ベクトルからなる対角行列 \mathbf{A}^* と自地域向けの最終需要 \mathbf{f}_D^* はそれぞれ次のように定義される。

$$\mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 & 0 & 0 \\ a_{21}^1 & a_{22}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{11}^2 & a_{12}^2 \\ 0 & 0 & a_{21}^2 & a_{22}^2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f}_D^* = \begin{bmatrix} f_1^{11} \\ f_2^{11} \\ f_1^{22} \\ f_2^{22} \end{bmatrix}$$

これらのベクトルを用いて、輸入ベクトルは

$$\mathbf{m} = \widehat{\mathbf{M}}(\mathbf{A}^*\mathbf{x} + \mathbf{f}_D^*)$$

と表させる。それゆえ、均衡生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f}_D + \mathbf{e} - \widehat{\mathbf{M}}(\mathbf{A}^*\mathbf{x} + \mathbf{f}_D^*)$$

さらに、

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A} + \widehat{\mathbf{M}}\mathbf{A}^*)^{-1}(\mathbf{f}_D + \mathbf{e} - \widehat{\mathbf{M}}\mathbf{f}_D^*)$$

と導出できる。

非競争移入型の地域内産業連関表と同様に、地域間非競争移入型産業連関表は経済構造を精密に分析可能である点で優れているが、内生部門の同一産業内の財が生産された場所によって異なった財として取り扱われ、自地域と他地域の投入比率が一定でないなど、投入係数の安定性に問題が生じる。

次に、競争移入型の地域間産業連関表を説明する。

表 4-A-6 競争移入型の地域間産業連関表

	中間需要		最終需要			移入	輸入	産出高	
	産業1	産業2	域内	移出	輸出				
地域1	産業1	x_{11}^1	x_{12}^1	f_1^1	ec_1^{12}	e_1^1	$-n_1^{21}$	$-m_1^1$	x_1^1
	産業2	x_{21}^1	x_{22}^1	f_2^1	ec_2^{12}	e_2^1	$-n_2^{21}$	$-m_2^1$	x_2^1
	粗付加価値	v_1^1	v_2^1						
	地域内生産額	x_1^1	x_2^1						
地域2	産業1	x_{11}^2	x_{12}^2	f_1^2	ec_1^{21}	e_1^2	$-n_1^{12}$	$-m_1^2$	x_1^2
	産業2	x_{21}^2	x_{22}^2	f_2^2	ec_2^{21}	e_2^2	$-n_2^{12}$	$-m_2^2$	x_2^2
	粗付加価値	v_1^2	v_2^2						
	地域内生産額	x_1^2	x_2^2						

地域間非競争移入型産業連関表の投入係数の不安定性を克服するために、競争移入型の地域間産業連関表(表 4-A-6)では地域間交易係数が新たに導入された。地域間交易係数は第 i 産業の地域 j の地域内需要に対する第 i 産業の地域 k から地域 j への移出の比率である。次のように定義される。

$$t_i^{kj} = \frac{N_i^{kj}}{\sum_{j=1}^2 x_{ij}^{jj} + F_i^{jj}}$$

地域間交易係数を要素とする地域間交易係数行列は、

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_1^{11} & 0 & t_1^{12} & 0 \\ 0 & t_2^{11} & 0 & t_2^{12} \\ t_1^{21} & 0 & t_1^{22} & 0 \\ 0 & t_2^{21} & 0 & t_2^{22} \end{bmatrix}$$

地域間交易係数を導入することで、他地域で生産されて自地域の産業の生産に用いられた産業を投入係数で考える必要がなくなる。いいかえると、投入係数は自地域で生産されてかつ産業の生産に用いられた産業のみに依存し上記の投入係数の不安定性を解決できる。投入係数は

$$A = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^{11} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}^{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}^1 a_{12}^1 & 0 & 0 \\ a_{21}^1 a_{22}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{11}^2 a_{12}^2 \\ 0 & 0 & a_{21}^2 a_{22}^2 \end{bmatrix}$$

とする。輸入ベクトルは

$$\mathbf{M} = \widehat{\mathbf{M}}(\mathbf{T}^* \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{T}^* \mathbf{f}_D^*)$$

ただし、自地域向けの地域間交易係数のみを要素とする地域交易係数行列は

$$\mathbf{T}^* = \begin{bmatrix} t_1^{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & t_2^{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & t_1^{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_2^{22} \end{bmatrix}$$

であり、自地域の要素のみからなる投入係数行列と最終需要行列はそれぞれ

$$\mathbf{T} \mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} t_1^{11} a_{11}^1 & t_1^{11} a_{12}^1 & 0 & 0 \\ t_2^{11} a_{21}^1 & t_2^{11} a_{22}^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & t_1^{22} a_{11}^2 & t_1^{22} a_{12}^2 \\ 0 & 0 & t_2^{22} a_{21}^2 & t_2^{22} a_{22}^2 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}^* \mathbf{F}_D^* = \begin{bmatrix} t_1^{11} F_1^{11} \\ t_2^{11} F_2^{11} \\ t_1^{22} F_1^{22} \\ t_2^{22} F_2^{22} \end{bmatrix}$$

で表される。投入係数行列と地域間交易行列を用いると、地域別の移入を考慮した投入係数行列が

$$\mathbf{T} \mathbf{A} = \begin{bmatrix} t_1^{11} a_{11}^1 & t_1^{11} a_{12}^1 & t_1^{12} a_{11}^2 & t_1^{12} a_{12}^2 \\ t_2^{11} a_{21}^1 & t_2^{11} a_{22}^1 & t_1^{12} a_{21}^2 & t_1^{12} a_{22}^2 \\ t_1^{21} a_{11}^1 & t_1^{21} a_{12}^1 & t_1^{22} a_{11}^2 & t_1^{22} a_{12}^2 \\ t_2^{21} a_{21}^1 & t_2^{21} a_{22}^1 & t_2^{22} a_{21}^2 & t_2^{22} a_{22}^2 \end{bmatrix}$$

均衡生産量に関する恒等式は

$$\mathbf{x} = \mathbf{T} \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{T} \mathbf{f}_D + \mathbf{e} - \mathbf{m}$$

上で求めた輸入ベクトルを代入して書き換えると、産出量は以下のように求められる。

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - (\mathbf{T} \mathbf{A} - \mathbf{M} \mathbf{T}^* \mathbf{A})]^{-1} [(\mathbf{T} \mathbf{F} - \mathbf{M} \mathbf{T}^* \mathbf{A}) + \mathbf{e}]$$

4.1.9 付録 2 平成 23 年度 47 都道府県間表の作成

4.1.9.1 作成方法

本研究では 47 都道府県表を作成するために、2011 年の 47 都道府県(図表 8)の産業連関表を用いた。各都道府県が 2011 年(平成 23 年)に発行している都道府県表の性質を出来るだけ残しつつ 2011 年の総務省が発行している全国表に統一化させることから始めた。各都道府県表は各都道府県の相対的に得意な産業に多くの部門を設定し、得意な産業を詳細に説明する特徴がある。それゆえ、内生部門の部門数、部門構成が各都道府県で異なる。さらに、最終需要部門も各都道府県によって異なるので調整する必要がある。移出・輸出、移入・輸入の按分を行い、37 部門からなる統一化された産業連関表を構築した。その後、地域間交易を推定し 47 都道府県間産業連関表を作成した。各部門の雇用者を推定する必要があるので雇用表も 37 部門分類にしたがって統一化した。以下では詳細に説明を行う。

4.1.9.2 各都道府県間表の統一作業

4.1.9.2.1 内生部門の統一作業

まず、内生部門を統一することから始めた。東京都と沖縄県以外は(部門数は道府県ごとに異なるが) 統合中分類表を総務省の全国表の統合大分類表部門にしたがって 37 部門に統一した。ただし、沖縄県は 14 部門表、35 部門表、401(行)×343(列)部門表が公表されているので、35 部門表を 37 部門に変換することも可能であるが、より正確な表を作成するために 401(行)×343(列)表を総務省の全国表の部門分類表にしたがって統合大分類表 37 部門に変換した。また、東京都表は東京都表と他の道府県表と異なり独自に本社部門を作っている。それゆえ、総務省の全国表の部門分類表と整合的にするために、各産業の本社部門の額に応じて他産業に按分(比例分配)を行い、本社部門を除去した。第 2 に、最終需要も他の道府県と異なるので他の道府県と同一になるように調整を行った。

また現時点では行っていないが、今後の分析では 47 都道府県の合計値の産出額が総務省の全国表の産出量と等しくなるように調整を行う可能性があるので東京都には地域内表も存在するが、地域間表を分析に用いた。

4.1.9.2.2 付加価値部門の統一化

次に、付加価値部門の統一化について説明を行う。全国表の付加価値部門の統合大分類には企業が支払う交際費、接待費、出張旅費(日当、宿泊費)、福利厚生費などを表す家計外消費支出(行)、雇用者の労働に対する賃金を表す雇用者所得、営業利益、支払い利子、不動産の賃貸料、特許料、のれん料などの支払い、個人業主所得を含む営業余剰、構築物、設備、機械などの有形固定資産の摩耗を含む資本減耗引当、間接税(関税・輸入品商品税を除く)、政府の政策目的によって政府から産業に対して一方的に給付され受給者は収入として処理する(控除)經常補助金、粗付加価値部門計、国内生産額などがある。47都道府県のデータを統一化するために、家計外消費支出(行)、雇用者所得、営業利益、支払い利子、不動産の賃貸料、特許料、資本減耗引当、間接税、經常補助金、粗付加価値部門計、国内生産額などに全国の産業連関表の付加価値部門の部門分類にしたがって統一化した。具体的には、各都道府県表の統合中分類から全国表の統合大分類に調整を行った。したがって、資本減耗引当と資本減耗引当(社会資本等減耗分)について分離している都道府県と未分離の都道府県が存在するが、合計して資本減耗引当とした。

4.1.9.2.3 最終需要部門の統一化

次に、最終需要部門の統一化を説明する。最終需要部門の統合大分類には全国表の企業の支払う交際費や接待費、出張旅費、福利厚生費を含む家計外消費支出(列)、家計消費支出と対家計民間非営利団体消費支出の合計である民間消費支出、中央政府や地方政府の経費から家計や企業への販売額を差し引いた一般政府消費支出、政府や企業や家計が機械や建物などの取得を意味する国内総固定資本形成(公的)、在庫の増加分を意味する在庫純増、輸出業者の国内取引に関する消費税の支払いを意味する調整項、消費、投資、在庫増減の合計を意味する国内最終需要計、国内需要合計、海外の家計や訪日観光客の日本の財・サービスの購入を表す輸出、輸出計、最終需要計、需要合計、控除(輸入)、控除(関税)、輸入品に対する消費税を表す(控除)輸入品商品税、控除(輸入計)、最終需要部門計、卸売りマージンと小売マージンの合計の商業マージン、貨物運賃、国内運賃が計上されている³⁵。しかし、都道府県によっては関税や輸入商品税を計上していない都道府県もあるので輸入とこれらの合計を輸入計として計上した。それゆえ、最終需要部門の統合大分類の部門分類に従ったうえで、家計外消費支出、民間消費支出、一般政府支出(社会資本等減耗含む)、固定資本形成(公的)、固定資本形成(民間)、在庫純増、調整項、最終需要計、需要合計、移出系、輸出計、最終需要計、需要合計、控除(移入)、輸入計(関税、輸入商品税)、最終需要部門計、生産額を最終需要部門に計上した。

また、移入と輸入計、移出と輸出がそれぞれ分離されている都道府県とそれぞれの合計値である移輸入計と移輸出計のみが計上されている都道府県が存在する。分離されている都道府県のデータはそのまま用いた³⁶。

³⁵ 家計消費支出は家計の財とサービスの消費支出から中古品などの販売額を差し引き、海外から受け取った現物の額を足し、日本人が海外における消費を足したもの。対家計民間非営利団体消費支出は非営利団体のサービスから収入から費用が負になり、その負の額を消費支出とみなす。

³⁶ 分離県は、北海道、青森県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、千葉県、東京、神奈川県、新潟県、山梨

未分離県は RAS 法を用いて移入と輸入計、移出と輸出計にそれぞれ分離した。RAS 法とは何かを概説する。RAS 法は初期値を与え、行と列の合計値が整合的になるように繰り返し計算により修正しながら計算する方法である³⁷。基準年 B の中間財取引 x_{ij}^B 、 $i, j = 1, 2$ 、中間需要合計 $\sum_{j=1}^2 x_{ij}^B$ 、 $i, j = 1, 2$ 、各財の生産量 X_j^B 、 $j = 1, 2$ 、中間投入計 $\sum_{i=1}^2 x_{ij}^B$ 、 $i, j = 1, 2$ 。比較年 T の中間需要合計 $\sum_{j=1}^2 x_{ij}^T$ 、 $i, j = 1, 2$ 、各財の生産量 X_j^T 、 $j = 1, 2$ 、中間投入計 $\sum_{i=1}^2 x_{ij}^T$ 、 $i, j = 1, 2$ は既知であるのに対して中間財取引 x_{ij}^T 、 $i, j = 1, 2$ と投入係数 a_{ij}^T 、 $i, j = 1, 2$ が不明とする。2つの年の間に、原材料間の代替を表す行方向と原材料投入率や加工度の変化を表す列方向の変化が生じたとする。すなわち、第 i ($i=1, 2$) 行方向の変化は列に関わらず r_i ($i = 1, 2$) であるとする。具体的には、基準年の第 i 財の投入係数、 (a_{i1}^B, a_{i2}^B) 、 $i = 1, 2$ が比較年の第 i 財の投入係数、 $(r_i a_{i1}^B, r_i a_{i2}^B)$ 、 $i = 1, 2$ に変化する。同様に、第 j ($j=1, 2$) 列方向の変化は行に関わらず s_j ($j = 1, 2$) であるとする。具体的には、基準年の第 j 財の投入係数 (a_{1j}^B, a_{2j}^B) 、 $j = 1, 2$ 、が比較年の第 j 財の投入係数 $(s_j a_{1j}^B, s_j a_{2j}^B)$ 、 $j = 1, 2$ に変化する。比較年の投入係数は $a_{ij}^T = r_i a_{ij}^B s_j$ と書ける。実際に、比較年の投入係数を求めるために以下のような作業を行う。まずは、基準年の投入係数と比較年の産出量を用いて、各財の中間需要計 Z_i^T 、 $i = 1, 2$ を求める。

$$\begin{bmatrix} Z_1^T \\ Z_2^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}^B & a_{12}^B \\ a_{21}^B & a_{22}^B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^T \\ X_2^T \end{bmatrix}$$

この中間需要計を用いると、行・列ともに比較年の中間需要計・産出額の値と合わない。それゆえ、以下で行と列の乖離率を求めてその乖離率をかけることによって調整を行う。

第 1 に、行方向の調整を行う。行方向の乖離率は以下のように定義される。

$$r_i^1 \equiv \frac{Z_i^T}{Z_i^1}, \quad i = 1, 2$$

乖離率を各財の中間需要計にかけることによって、行方向の乖離を除去する。

$$\begin{bmatrix} Z_1^2 \\ Z_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^1 a_{11}^B & r_1^1 a_{12}^B \\ r_2^1 a_{21}^B & r_2^1 a_{22}^B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^T \\ X_2^T \end{bmatrix}$$

第 2 に、列方向の乖離率を求めて乖離の除去を行う。列方向の乖離率は以下のように定義される。

県、長野県、静岡県、岐阜県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、徳島県、愛媛県、高知県、長崎県、熊本県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県、である。未分離県は岩手県、宮城県、秋田県、山形県、富山県、石川県、福井県、和歌山県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、香川県、福岡県、佐賀県、大分県である。

³⁷ RAS 法の解説は宮沢(2002)、横倉(1988) にしたがった。

$$s_j^1 \equiv \frac{\sum_{i=1}^2 a_{ij}^T X_j^T}{r_1^1 a_{1j}^B + r_2^1 a_{2j}^B}, \quad j = 1, 2$$

乖離率を各財の中間需要計にかけることによって、列方向の乖離を除去する。

$$\begin{bmatrix} Z_1^3 \\ Z_2^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1^1 a_{11}^B & s_2^1 a_{12}^B \\ s_1^1 a_{21}^B & s_2^1 a_{22}^B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1^T \\ X_2^T \end{bmatrix}$$

この調整を行うと、列方向の乖離は除去されるが再び行方向の乖離が生じる。行と列方向の乖離度がある一定の値よりも少なくなるまで以上の方法で内生部門の調整を順番に繰り返す方法がRAS法と言われる。

4.1.9.2.4 海外交易と国内交易の分離

以下では、県表レベルで移輸出や移輸入が分離されている都道府県を分離県と言い、海外交易と国内交易が分離されていない府県を非分離県と言う。分離にあたっては、都道府県間取引の整合性をとるために、各都道府県表の計数を改変する必要がある。改変は以下の方針に拠った。

第一に、分離県、非分離県問わず、各都道府県表の各部門における生産額と粗付加価値額はCTと考え、元来の計数から変化させない。

第二に、分離県、非分離県問わず、各部門の支出ベースで見た県内総支出（＝県内最終需要＋移輸出－移輸入）も元来の計数から変化させない。

第三に、各県の各産業における移輸入額（＝輸入額＋移入額）と移輸出額（＝輸出額＋移出額）も、元来の計数から変化させない。ただし、都道府県間取引の整合性を確保し難い時や、産業連関表の概念に照らし合わせて調整する必要がある場合には、移輸入額や移輸出額の変化を最終需要項目の中に吸収させる。

非分離県における各産業の移輸入額に占める輸入額の割合（以下、輸入比率と言う）と、各産業の移輸出額に占める輸出額の割合（以下、輸出比率と言う）は、非分離県の間で等しいと考える。

その上で、以下のような制約条件付きの最適化問題を解く。

$$\min_{\rho_{Mi}, \rho_{Ei}, \sigma_{Mi}, \sigma_{Ei}} (\rho_{Mi} - 1)^2 + (\rho_{Ei} - 1)^2 + w_{Mi}(\sigma_{Mi} - 1)^2 + w_{Ei}(\sigma_{Ei} - 1)^2$$

s. t

$$(1 - \rho_{Mi})M_{DFi}^J - (1 - \rho_{Ei})E_{DFi} + (1 - \sigma_{Mi})\tilde{M}_{Fi} - (1 - \sigma_{Ei})\tilde{E}_{Fi} = \tilde{E}_{Di} - \tilde{M}_{Di}$$

$$\underline{\rho}_{Mi} \leq \rho_{Mi} \leq \bar{\rho}_{Mi}$$

$$\underline{\rho}_{Ei} \leq \rho_{Ei} \leq \bar{\rho}_{Ei}$$

$$\underline{\sigma}_{Mi} \leq \sigma_{Mi} \leq \bar{\sigma}_{Mi}$$

$$\underline{\sigma}_{Ei} \leq \sigma_{Ei} \leq \bar{\sigma}_{Ei}$$

ここで ρ_{Mi} は、非分離県全体で見た i 産業の移輸入額に占める輸入額の割合を表す。すなわち、 M_{Fi}^J を都道府県 J の産業 i における輸入額として非分離県全体の輸入額を、 $M_{Fi} = \sum_{J \in NS} M_{Fi}^J$ 、として、 M_{DFi}^J を同じく移輸入額として非分離県全体の移輸入額を、 $M_{DFi} = \sum_{J \in NS} M_{DFi}^J$ 、とすれば、

$$\rho_{Mi} := \frac{M_{Fi}}{M_{DFi}^J}$$

である。上式右辺の分母は既知の値であり、分子が最適化問題の実質的な変数となる。同様に、 ρ_{Ei} は、非分離県全体で見た i 産業の移輸出額に占める輸出額の割合を表し、 $E_{Fi} = \sum_{J \in NS} E_{Fi}^J$ によって非分離県全体の輸出額、 $E_{DFi} = \sum_{J \in NS} E_{DFi}^J$ によって非分離県全体の移輸出額を表すと、

$$\rho_{Ei} := \frac{\sum_{J \in NS} E_{Fi}^J}{\sum_{J \in NS} E_{DFi}^J}$$

である。

また、 σ_{Mi} は、分離県の県表に掲載されている産業 i の輸入額を修正するための係数を表す。修正後の分離県における産業 i の輸入額を \tilde{M}_{Fi}^* として、分離県の県表に掲載されている産業 i の輸入額を \tilde{M}_{Fi} とすれば、

$$\sigma_{Mi} := \frac{\tilde{M}_{Fi}^*}{\tilde{M}_{Fi}}$$

である。この値についても、県表掲載の輸入額は既知であるから、制約条件を満たすような分離県における新たな輸入額を求めるための変数となっている。同様に、 σ_{Ei} は、分離県の県表に掲載されている輸出額を修正するための係数を表し、修正後の分離県における産業 i の輸出額を \tilde{E}_{Fi}^* として、分離県の県表に掲載されている産業 i の輸出額合計を \tilde{E}_{Fi} とすれば、以下のようになる。

$$\sigma_{Ei} := \frac{\tilde{E}_{Fi}^*}{\tilde{E}_{Fi}}$$

さらに、 $\tilde{E}_{Di} = \sum_{J \in S} E_{Di}^J$ 、 $\tilde{M}_{Di} = \sum_{J \in S} M_{Di}^J$ 、はそれぞれ分離県における i 部門の移出総額と移入総額を表す。 w_{Mi} は、それぞれ分離県の輸入額と輸出額を変更する際のペナルティを表す。

制約条件のうち、等式条件は各産業において移出額の合計が移入額の合計と等しいことを求めるものである。

最適化問題の解より非分離県の輸出率と輸入率が求まるので、これを各非分離県の移輸出額に乗じて輸出率を求め、残差を移出額とした。非分離県の移輸入額の分離も同様の方法で行った。また、最適化問題の解である σ_{Ei} と σ_{Mi} を各分離県の輸出額と輸入額にそれぞれ乗じた値に各分離

県の輸出額を修正するとともに、修正前後での差額を当該県移出と移入に加えた。すなわち、 $(\sigma_{Ei} - 1)\tilde{E}_{Fi}^J$ 、 $J \in S$ 、だけ分離県に属する J 県の輸出を変化させるとともに、 $(1 - \sigma_{Ei})\tilde{E}_{Fi}^J$ 、だけ移出に加算する。

このような操作だけで国内取引と国外取引の分離ができない部門（平成 23 年表では建設部門と事務用品部門）については、その残差を最終需要部門に振り替えた。

4.1.9.3 都道府県間交易の推計

4.1.9.3.1 都道府県間交易推定の基本方針

都道府県間取引に関する取引行列の推計は、Gravity RAS 法を用いて推定した³⁸。以下では地域間交易係数の求め方について解説を行う。推計にあたっては、まず、関係資料や統計に拠りつつ、地域間交易の大よその態様を示す取引行列（初期値）を作成する。この暫定的な取引行列の行和と列和が、既に推計した各都道府県の各財の移出額と移入額と整合的になるように、RAS 法を用いて修正することによって都道府県間取引を推計する。

4.1.9.3.2 地域間移出と地域間移入の推定

山田・大脇(2012)によって提案された Gravity RAS 法について説明する³⁹。まず、各産業の移出入額と都道府県間距離に基づくグラビティ・モデルを用いて初期値を設定する。グラビティ・モデルの考え方にしたがって、都道府県 I から都道府県 J への移出額は以下のように決まると考える。

$$T_i^{IJ} = k_i \frac{T_i^I T_i^J}{(D^{IJ})^2}$$

ここで、 T_i^{IJ} は都道府県 I から都道府県 J への第 i 財の移出額を表し、 $T_i^I := \sum_{J=1}^{47} T_i^{IJ}$ 、は地域 I の第 i 財の移出総額、 $T_i^J := \sum_{I=1}^{47} T_i^{IJ}$ 、は都道府県 I における第 i 財の移入額である。また、 D^{IJ} は都道府県 I と都道府県 J の距離を表し、 k_i は正の定数である⁴⁰。

すると、都道府県 J における都道府県 I からの移入率を以下のように求めることができる。

³⁸ 本来ならば、農林水産業、鉱業は『平成 22 年全国貨物純流通調査』、製造業は『平成 23 年の商品流通調査』などを用いて推定を行うべきであるが、推計上の煩雑さを避けるために、より簡便な Gravity RAS 法を用いた。

³⁹ 製造業についての推定方法は付録 5 で詳細に説明を行っている。

⁴⁰ 都道府県間の距離は各都道府県庁間の距離として、国土地理院による計算値（回転楕円体 (GRS80) における最短距離（測地線長））を用いた。

$$t_i^{IJ} = \frac{T_i^{IJ}}{T_i^{J\cdot}} = \frac{k_i \frac{T_i^{I\cdot} T_i^{J\cdot}}{(D^{IJ})^2}}{\sum_{i=1}^{47} k_i \frac{T_i^{I\cdot} T_i^{J\cdot}}{(D^{IJ})^2}} = \frac{k_i \frac{T_i^{I\cdot} T_i^{J\cdot}}{(D^{IJ})^2}}{k_i T_i^{J\cdot} \sum_{i=1}^{47} \frac{T_i^{I\cdot}}{(D^{IJ})^2}} = \frac{T_i^{I\cdot}}{\sum_{i=1}^{47} \frac{T_i^{I\cdot}}{(D^{IJ})^2}}$$

この移入率を都道府県 J の第 i 財の移入額に乗じて、都道府県 I から都道府県 J への移出額の初期値とする。言い換えれば、各地域間の交易は距離の二乗の逆数で重みづけられた国全体の交易量に占める都道府県 I のシェアを初期値としている。ここではすべての産業に Gravity RAS を適用することを想定している。

4.1.9.3.3 RAS 法による推計

上述の手順を適用して都道府県間交易に関する暫定値を求めると、これに RAS 法を用いて、移出総額と移入総額が等しくなるように修正を施す。RAS 法による修正は、収束が保障されているわけではないので、もしも、収束の精度が良好でなかった場合には、他の方法による修正を考えねばならない。

4.1.9.3.4 非競争移入型の投入係数行列と最終需要の推計

前節までの作業によって得られた都道府県間交易をもとに、都道府県表の県内需要を構成する各項目から、他県からの移入分を都道府県別に控除し、都道府県間交易を表す該当欄に計上する。このとき、すべての産業の中間投入や県内最終需要項目には、他県からの移入が等しい割合で含まれていると考えて、比例的に按分する。

最終的には、以下のような表章形式の都道府県間産業連関表が完成する。

表 4-A-7 都道府県間産業連関表

		中間需要				最終需要					生産額	
		北海道	青森県	...	沖縄県	北海道	青森県	...	沖縄県	輸出		輸入
中間投入	北海道	$X^{1,1}$	$X^{1,2}$	...	$X^{1,47}$	$F^{1,1}$	$F^{1,2}$	...	$F^{1,47}$	e^1	m^1	$(x^1)^T$
	青森県	$X^{2,1}$	$X^{2,2}$	...	$X^{2,47}$	$F^{2,1}$	$F^{2,2}$	...	$F^{2,47}$	e^2	m^2	$(x^2)^T$
	:	:	:	...	:	:	:	...	:	:	:	:
	沖縄県	$X^{47,1}$	$X^{47,2}$	...	$X^{47,47}$	$F^{47,1}$	$F^{47,2}$	...	$F^{47,47}$	e^{47}	m^{47}	$(x^{47})^T$
粗付加価値		v^1	v^2	...	v^{47}							
生産額		x^1	x^2	...	x^{47}							

ここで、行和や列和が生産額と等しくなっているかといったチェックを経て、分析のための投入係数表や逆行列係数表を作成することになる。

4.1.9.4 雇用表の統一化

雇用表は1年間に雇用された有給役員、雇用者数、個人業主、家族従業者数を取引基本表の列部門ごとに示した表であり、産業ごとの就業構造が把握できる。2011年(平成23年)の総務省の全国表は付帯表として基本分類(393部門)、184部門、105部門の雇用表が作成公表されている。それゆえ、取引基本表の37部門分類にしたがって各都道府県表を調整した。いくつかの都道府県では、取引基本表の統合大分類の全国表の産業分類と整合的な統合大分類の雇用表を加工もしくはそのまま用いた⁴¹。産業分類が異なるケースも存在し、統集中分類の表を全国表の産業分類に基づいて37部門に調整を行った⁴²。また、東京都表に関しては各産業の本社サービス投入量に比例して本社部門の雇用を他産業に按分、本社部門を除去した。沖縄表に関しては、35部門表を37部門に按分するという作業を行った。この作業によって各部門の労働者数を求めた。

4.1.10 付録3 東京都産業連関表における本社部門の組み替えについて

4.1.10.1 はじめに

東京都が作成する東京都産業連関表では、同地域の経済構造を反映して「本社」部門を特掲している。このことは、東京都の産業構造や波及効果を推計する上では有用であるが、他地域との比較を行う際には注意を要する。

ここでは、都道府県表をもとに地域間表を作成するために、東京都の本社部門を他の産業に帰属させるための手順を述べる。本社部門が果たす役割や規模を考えれば、他の道府県の産業連関表に本社部門を特掲する方法も考えられる。しかしながら、現在、公表されている地域産業連関表において本社を表章しているのは東京都だけであり、他の道府県の産業連関表で本社部門を特掲するには資料の制約が大きい。そこで、東京都産業連関表に基づき、本社部門を他の財・サービス部門に帰属させる。また、東京都産業連関表では他道府県表と異なる形式で消費支出や最終需要を表章されており、この組み替えの手順についても考える。

⁴¹ 該当するのは、宮城、秋田、山形、茨城、栃木、群馬、千葉、東京、神奈川、新潟、山梨、長野、静岡、富山、石川、岐阜、愛知、三重、福井、滋賀、京都、大阪、兵庫、和歌山、鳥取、島根、岡山、広島、山口、徳島、香川、愛媛、高知、福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島、の各府県である。

⁴² 該当するのは、北海道、青森、岩手、福島、奈良、である。

4.1.10.2 東京都産業連関表

東京都産業連関表（以下、「東京都表」とする）では、「企業の本社活動は、全国各地の事業所に本社サービスを提供し、その生産活動を支援している。東京都産業連関表は、東京都及びその他地域の本社活動を独立部門としてそれぞれ特掲し、財・サービスの生産部門との経済取引を明らかにしている」とされている。

次頁の表 4-A-8 は 7 部門東京都表である⁴³。本社部門は、都内においてはもっぱら中間投入に用いられ、都内の最終需要はゼロである。域外との取引に着目すれば、一部の本社サービスは都外に移出されるとともに、一部は都外から移輸入されている。また、本社の中間投入部門の対角要素はゼロ（自部門投入がゼロ）である。

東京都では、次頁の表 4-A-9 のような形で、通常の産業連関表に合わせて、国内他地域との取引を非競争移入型で表した「東京都産業連関表 地域間表」（以下では、「東京都地域間表」と言う）も推計・公表されている。こちらについても、域内の最終需要はゼロであり、自部門投入もゼロとなる。

⁴³ 一部の項目を省略している。

ここでは以下のような方針と手順で本社部門の他部門への帰属を行う。まず、東京都地域間表を用いて、本社部門の生産を、これを中間投入として用いている他産業に帰属させる。これによって本社部門を削除した中間投入行列と付加価値が求まる。次に、東京都地域間表を用いて、東京都地域とその他地域の最終需要を求める。この段階で本社部門を取り除いた東京都地域間表が完成する。続いて、東京都地域間表を非競争移入型の東京都表に準じた形式に組み替える。最後に、東京都に独特な最終需要項目の表章形式を他道府県と整合的になるように調整する⁴⁴。

4.1.10.3 本社部門の他産業への帰属

説明の便宜のために、最も小さなサイズである 7 部門表を用いて手順を解説する。付加価値部門は K 個の項目から構成されているとする。

東京都地域間表における各部門の中間投入額、付加価値額ならびに生産額を以下の記号で表す。まず、 X_{ij}^{TT} で東京都内の第 j 財の生産者が、中間投入として用いる東京都内で生産された第 i 財の投入額を表す。また、 X_{ij}^{RT} は、同じく東京都内の生産者が、中間投入として用いる他地域で生産された第 i 財の投入額を表す。以下、 X_{ij}^{TR} 、 X_{ij}^{RR} は、他地域の第 j 財の生産者が投入する東京都内もしくは他地域で生産された第 i 財の投入額である。

また、 V_{kj}^T は東京都内の第 j 財生産部門における第 k 項目の付加価値額を表す。他地域においては、これを V_{kj}^R と表す。

東京都内で生産された第 j 財の生産額を X_j^T 、他地域で生産された第 j 財の生産額を X_j^R と書くことにすれば、

$$X_j^T = \sum_{i=1}^7 X_{ij}^{TT} + \sum_{i=1}^7 X_{ij}^{RT} + \sum_{k=1}^K V_{kj}^T,$$

$$X_j^R = \sum_{i=1}^7 X_{ij}^{RT} + \sum_{i=1}^7 X_{ij}^{RR} + \sum_{k=1}^K V_{kj}^R,$$

となる。以下では必要に応じて、第 J 地域の産業で投入された第 I 地域で生産された第 j 財の中間投入額の合計を、 $X_j^{IJ} := \sum_{i=1}^7 X_{ij}^{IJ}$ 、また、第 J 地域における第 j 財生産部門の粗付加価値総額を、

⁴⁴ 東京都産業連関表では、最終需要項目として、「都事業所家計外消費支出」、「他県事業所家計外消費支出」、「民間消費支出（他県民支出を除く）」、「他県民支出」、「一般政府消費支出」、「都内総固定資本形成」、「在庫純増」、「調整項」、「都内最終需要計*」、「都内需要合計*」、「輸出」、「輸出計*」、「移出」、「移輸出計*」、「最終需要計*」、「需要合計*」、「(控除) 輸入」、「(控除) 輸入計*」、「移入」、「都事業所家計外消費支出」、「都民支出」、「(控除) 移輸入計*」、「最終需要部門計*」が掲載されている（このうち*は集計項目）。一方、一般的な地域産業連関表では、「家計外消費支出（列）」、「民間消費支出」、「一般政府消費支出」、「県内総固定資本形成（公的）」、「県内総固定資本形成（民間）」、「在庫純増」、「調整項」、「県内最終需要計*」、「県内需要合計*」、「移輸出」、「最終需要計*」、「需要合計」、「(控除) 移輸入」、「最終需要部門計*」のような分類が多い。

$V_j^I := \sum_{k=1}^K V_{kj}^I$, $I, J \in \{T, R\}$, のように略記する。また、これをベクトル表記すれば以下のようになる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}_j^T \\ \mathbf{V}_j^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_j^{TT} \\ \mathbf{X}_j^{RT} \\ \mathbf{V}_j^T \end{bmatrix} := (X_{1j}^{TT}, \dots, X_{7j}^{TT}, X_{1j}^{RT}, \dots, X_{7j}^{RT}, V_{1j}^T, \dots, V_{Kj}^T)^t,$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}_j^R \\ \mathbf{V}_j^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_j^{TR} \\ \mathbf{X}_j^{RR} \\ \mathbf{V}_j^R \end{bmatrix} := (X_{1j}^{TR}, \dots, X_{7j}^{TR}, X_{1j}^{RR}, \dots, X_{7j}^{RR}, V_{1j}^R, \dots, V_{Kj}^R)^t.$$

次に、各産業の投入係数を以下のように表す。

$$a_{ij}^{IJ} = \frac{X_{ij}^{IJ}}{X_j^I}.$$

たとえば、 a_{ij}^{TR} は、その他地域に立地する第 j 産業における、東京都内で生産された第 i 財の投入係数である。

付加価値係数についても、

$$v_{kj}^J = \frac{V_{kj}^J}{X_j^J},$$

のように表す。たとえば、 v_{kj}^T は、東京都内に立地する第 j 産業における第 k 付加価値項目の付加価値係数である。

投入係数、付加価値係数の定義から、

$$\sum_{i=1}^7 a_{ij}^{IJ} + \sum_{k=1}^K v_{kj}^J = 1,$$

である。

投入係数と付加価値係数をベクトル表記する。第 J 地域に立地する第 j 財生産部門の投入係数と付加価値係数をベクトル表記すれば以下のようになる。

$$\mathbf{x}_j^T := \begin{bmatrix} \mathbf{a}_j^{TT} \\ \mathbf{a}_j^{RT} \\ \mathbf{v}_j^T \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_j^R := \begin{bmatrix} \mathbf{a}_j^{TR} \\ \mathbf{a}_j^{RR} \\ \mathbf{v}_j^R \end{bmatrix}.$$

ただし、 $\mathbf{a}_j^{JJ} = (a_{1j}^{JJ}, \dots, a_{7j}^{JJ})^t$ 、 $\mathbf{a}_j^{IJ} = (a_{1j}^{IJ}, \dots, a_{7j}^{IJ})^t$ 、 $\mathbf{v}_j^J = (v_{1j}^J, \dots, v_{7j}^J)^t$ 、である。

本社を表す添え字を HQ として、東京都内と他地域に立地する本社部門の投入係数と付加価値係数のベクトルをそれぞれ、以下のように表す。

$$\mathbf{x}_{HQ}^T := \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{HQ}^{TT} \\ \mathbf{a}_{HQ}^{RT} \\ \mathbf{v}_{HQ}^T \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_{HQ}^R := \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{HQ}^{TR} \\ \mathbf{a}_{HQ}^{RR} \\ \mathbf{v}_{HQ}^R \end{bmatrix}.$$

また、第 J 地域に立地する第 j 部門において投入される第 I 地域で生産された本社サービスの中間投入額を X_{HQj}^{IJ} とする。たとえば、 X_{HQj}^{TR} は、他地域に立地する第 j 財産業で投入される東京都内で生産された本社サービス額である。

今、他地域のある産業 j で X_{HQj}^{TR} だけの本社サービスが投入されていたとすれば、東京都内でこの本社サービスを生産するために、金額ベースで見て、 $\mathbf{x}_{HQ}^T X_{HQj}^{TR}$ 、だけ各財や生産要素が投入される。東京都地域間表では、本社サービスは国内の移出入だけが想定され、海外との取引はない。また、本社サービスは中間投入としてのみ用いられるとともに、自部門投入はゼロ（本社サービスを生産するために本社サービスが投入させることはない）である。したがって、本社サービスの販路構成は、以下のように表される。

$$X_{HQ}^T = \sum_{j \neq HQ} X_{HQj}^{TT} + \sum_{j \neq HQ} X_{HQj}^{TR},$$

$$X_{HQ}^R = \sum_{j \neq HQ} X_{HQj}^{RT} + \sum_{j \neq HQ} X_{HQj}^{RR}.$$

そこで、各部門における本社サービスの中間投入額に本社サービスの投入係数と付加価値係数を乗じて、これを当該産業の中間投入額と付加価値額に加えることで、本社サービスを各部門に帰属させる。第 J 地域に立地する第 j 財産業の第 I 地域で生産される財・サービスの中間投入ベクトル (\mathbf{X}_j^{IJ}) から第 I 地域の本社部門の中間投入を取り除いたベクトルを $\mathbf{X}_{(-HQ)j}^{IJ}$ と書く。たとえば、

$$\mathbf{X}_{(-HQ)j}^{IT} = (X_{1j}^{IT}, \dots, X_{6j}^{IT})^t,$$

である。

本社部門を各産業に帰属させた後の、東京都内に立地する第 j 財部門の中間投入額 ($\tilde{\mathbf{x}}_j^{IT}$) と付加価値額 ($\tilde{\mathbf{v}}_j^T$) を、以下のように求める。

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}_j^{TT} \\ \tilde{\mathbf{x}}_j^{RT} \\ \tilde{\mathbf{v}}_j^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{(-HQ)j}^{TT} \\ \mathbf{X}_{(-HQ)j}^{RT} \\ \mathbf{v}_j^T \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{HQ}^{TT} \\ \mathbf{a}_{HQ}^{RT} \\ \mathbf{v}_{HQ}^T \end{bmatrix} X_{HQj}^{TT} + \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{HQ}^{TR} \\ \mathbf{a}_{HQ}^{RR} \\ \mathbf{v}_{HQ}^R \end{bmatrix} X_{HQj}^{RT}.$$

同様に、他地域に立地する第 j 財部門については、以下の形で求める。

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}_j^{TR} \\ \tilde{\mathbf{x}}_j^{RR} \\ \tilde{\mathbf{v}}_j^R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{(-HQ)j}^{TR} \\ \mathbf{X}_{(-HQ)j}^{RR} \\ \mathbf{v}_j^R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{HQ}^{TT} \\ \mathbf{a}_{HQ}^{RT} \\ \mathbf{v}_{HQ}^T \end{bmatrix} X_{HQj}^{TR} + \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{HQ}^{TR} \\ \mathbf{a}_{HQ}^{RR} \\ \mathbf{v}_{HQ}^R \end{bmatrix} X_{HQj}^{RR}.$$

この結果、第 J 地域の産業によって投入される第 I 地域で生産された中間財を財・サービスごとに集計したベクトルは、

$$\tilde{\mathbf{x}}_{\Sigma}^{IJ} = \sum_{j=1}^6 \tilde{\mathbf{x}}_j^{IJ},$$

のようになる。また、中間投入行列は以下のようになる。

$$\tilde{\mathbf{X}}^{IJ} = [\tilde{\mathbf{x}}_6^{IJ}, \dots, \tilde{\mathbf{x}}_6^{IJ}].$$

このような組み替えによっても本社を除いた各産業の総生産額は組み換え前と変わらない。言い換えれば、産業連関表全体で見たとき、本社部門の生産額分だけ総生産額が減少する。これは、各産業において中間投入として用いられている本社サービス額を、本社の列部門に比例する形で各産業に帰着させているからである。また、行方向について考えても、本社サービスはすべて国内産業の中間投入として用いられており、総生産額=内生部門における中間投入額計、が成立するため、本社サービスの生産に投入される各部門の中間投入額が過不足なく、その他の部門に按分されることになる。

但し、この組み替えによって東京都とその他地域における付加価値額の比率は変化する。東京都地域間表を見れば、東京都の本社部門はその他地域に多額の本社サービスを提供している。組み換えにより東京都で生産された本社サービスを付加価値も含めて他地域の産業に帰属させるため、他地域の付加価値は組み換え前と比較して増加し、東京都の付加価値は組み換え前よりも減少する。そこで、最終需要ブロックの調整が必要となる。

4.1.10.4 最終需要ブロックの調整

ここまでの作業によって、各列部門の中間投入額と付加価値額の調整が終わった。この調整によって本社部門以外の各商品の生産額は変化しないものの粗付加価値は変化する。したがって、産業連関表をバランスさせるためには最終需要部門の調整が必要となる。東京都地域間表は地域を統合すれば総務省産業連関表を再現するように推計されている。このような整合性を可能な限り保ちつつ、最終需要ブロックの調整を行いたい。このために、東京都地域とその他地域の最終需要の増減は両地域間の移出入で吸収させる。また、最終需要項目のうち、家計外消費支出は各地域における付加価値項目の家計外消費支出（行）とその総額が等しくなければならないので、この点も考慮する。

最初に、家計外消費支出（最終需要）を調整する。東京都地域間表における家計外消費支出（最終需要）は以下のように分類されている。

表 4-A-10 東京都地域間表における家計外消費支出の分類

	東京都地域		その他地域	
	都事業所 家計外消費支出	他県事業所 家計外消費支出	都事業所 家計外消費支出	他県事業所 家計外消費支出
東京都地域	\mathbf{CB}_T^{TT}	\mathbf{CB}_R^{TT}	\mathbf{CB}_T^{TR}	\mathbf{CB}_R^{TR}
その他地域	\mathbf{CB}_T^{RT}	\mathbf{CB}_R^{RT}	\mathbf{CB}_T^{RR}	\mathbf{CB}_R^{RR}
合計	\mathbf{eCB}_T^T	\mathbf{eCB}_R^T	\mathbf{eCB}_T^R	\mathbf{eCB}_R^R

ここで、 \mathbf{CB}_J^I は J 地域に立地する事業所が I 地域において支出した家計外消費支出のベクトルであり、以下のように表される。

$$\mathbf{CB}_T^T = \begin{bmatrix} \mathbf{CB}_T^{TT} \\ \mathbf{CB}_T^{RT} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{CB}_R^T = \begin{bmatrix} \mathbf{CB}_R^{TT} \\ \mathbf{CB}_R^{RT} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{CB}_T^R = \begin{bmatrix} \mathbf{CB}_T^{TR} \\ \mathbf{CB}_T^{RR} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{CB}_R^R = \begin{bmatrix} \mathbf{CB}_R^{TR} \\ \mathbf{CB}_R^{RR} \end{bmatrix}.$$

たとえば、 \mathbf{CB}_T^{RT} は東京都に立地する事業所が、東京都内において家計外消費支出として支出したその他地域で生産された財・サービスを表すベクトルであり、書き下すと、

$$\mathbf{CB}_T^{RT} = (CB_{T1}^{RT}, \dots, CB_{T6}^{RT})^t,$$

である。同様に、 \mathbf{CB}_R^T はその他地域に立地する事業所が東京都内で行った家計外消費支出であり、それは、東京都内で生産された財サービスに対する支出（ \mathbf{CB}_R^{TT} ）と、その他地域で生産された財・サービスに対する支出（ \mathbf{CB}_R^{RT} ）から構成される。

第 J 地域の付加価値部門における家計外消費支出（行）の総額を、 $\tilde{V}_C^J = \sum_{i=1}^6 \tilde{V}_{Ci}^J$ と表すことにすれば、最終需要部門の家計外消費支出との間には以下の関係が成立する。

$$\tilde{V}_C^T = \mathbf{CB}_T^T + \mathbf{CB}_T^R,$$

$$\tilde{V}_C^R = CB_R^T + CB_R^R,$$

ただし、 $CB_J^I = \mathbf{e}CB_J^I$ 、であり、 $\mathbf{e} := (1, \dots, 1)$ 、である。

本社部門の組み替えに伴う家計外消費支出を調整するために、組み換え前において東京都内に立地する企業の東京都内地域における家計外消費支出の構成比を、

$$\beta_{CB}^T = \frac{CB_{T(0)}^T}{CB_{T(0)}^T + CB_{T(0)}^R},$$

によって求め、その他地域に立地する企業についても、

$$\beta_{CB}^R = \frac{CB_{R(0)}^R}{CB_{R(0)}^T + CB_{R(0)}^R},$$

とする。添え字の（０）は、組み換え前の東京都地域間表に掲載された値であることを示す。さらに、各家計外消費支出項目の商品ごとの構成比を、

$$\mathbf{cb}_T^I = (cb_{1T(0)}^{TT}, \dots, cb_{6T(0)}^{TT}, cb_{1T(0)}^{RT}, \dots, cb_{6T(0)}^{RT})^t = \frac{1}{CB_{J(0)}^I} \mathbf{CB}_{J(0)}^I,$$

のように表す。これを用いて、本社部門組み換え後の家計外消費支出についての暫定値を以下のようにして求める。

$$\mathbf{CB}_T^T = \beta_{CB}^T \tilde{V}_C^T \mathbf{cb}_T^T, \quad \mathbf{CB}_T^R = (1 - \beta_{CB}^T) \tilde{V}_C^T \mathbf{cb}_T^R,$$

$$\mathbf{CB}_R^T = (1 - \beta_{CB}^R) \tilde{V}_C^R \mathbf{cb}_R^T, \quad \mathbf{CB}_R^R = \beta_{CB}^R \tilde{V}_C^R \mathbf{cb}_R^R.$$

すなわち、組み換え後に求められた各地域の家計外消費支出（行）の総額を、組み換え前の各家計外支出（最終需要）の構成比にしたがって按分する。

この調整された家計外消費支出を代入して得られる東京都地域とその他地域の財市場の需給均衡式は以下ようになる。

$$\tilde{\mathbf{X}}_\Sigma^{TT} + \tilde{\mathbf{X}}_\Sigma^{TR} + \mathbf{CB}^{TT} + \mathbf{CB}^{TR} + \mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{TT} + \mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{TR} + \mathbf{E}^{TT} + \mathbf{E}^{TR} - \mathbf{M}^T + \mathbf{\Delta}^T = \mathbf{X}_{(-HQ)}^T,$$

$$\tilde{\mathbf{X}}_{\Sigma}^{RT} + \tilde{\mathbf{X}}_{\Sigma}^{RR} + \mathbf{CB}^{RT} + \mathbf{CB}^{RR} + \mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{RT} + \mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{RR} + \mathbf{E}^{RT} + \mathbf{E}^{RR} - \mathbf{M}^R + \Delta^R = \mathbf{X}_{(-HQ)}^R.$$

ここで、 $\mathbf{CB}^{IJ} := \mathbf{CB}_T^{IJ} + \mathbf{CB}_R^{IJ}$ 、は地域 I の産業に対して地域 J において発生する家計外消費支出需要である。また、 $\mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{IJ}$ は、地域 I の産業に対する地域 J における家計外消費支出を除いた域内最終需要項目を集計したベクトルを表す。 \mathbf{E}^{IJ} は地域 I の産業に対する地域 J からの輸出額を表し、 \mathbf{M}^I は地域 I において生ずる輸入額を表す。

上式左辺最終項の Δ^I は、このようにして得られた各財・サービスの需要と域内の総生産の差分である。前項における中間財の調整から明らかなように、各産業に対する中間需要額は本社部門の組み換えによって変化しない。また、組み換えによって付加価値項目の東京地域とその他地域との合計額も変化しない。その他の最終需要と移輸入も組み換え前の値である。したがって、 $\mathbf{e}(\Delta^T + \Delta^R) = \mathbf{0}$ 、が必ず成り立つ。ただし、 $\Delta^T + \Delta^R \neq \mathbf{0}$ 、である。

この差分は以下のような形で調整する。東京都地域について生じている差分 (Δ^T) は、その他地域への移出 ($\Delta^T > \mathbf{0}$ の場合) もしくは、その他地域からの移入 ($\Delta^T < \mathbf{0}$ の場合) として、東京都地域間表を非競争移入型の東京都表に組み替える際に付け加える。すると、移輸入の定義から、 $-\Delta^T$ がその他地域において東京都地域からの移輸入もしくは東京都地域への移輸出として計上される。その上で、 $\Delta^T + \Delta^R$ だけの額をその他地域における他県事業所の家計外消費支出 (\mathbf{CB}_R^{RR}) に付け加えることによって、その他地域の財市場の需給を均衡させる。すなわち、その他地域においては以下のような形で需給均衡を図る。

$$\tilde{\mathbf{X}}_{\Sigma}^{RT} + \tilde{\mathbf{X}}_{\Sigma}^{RR} + \mathbf{CB}^{RT} + \widehat{\mathbf{CB}}^{RR} + \mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{RT} + \mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{RR} + \mathbf{E}^{RT} + \mathbf{E}^{RR} - \mathbf{M}^R - \Delta^T = \mathbf{X}_{(0)}^T.$$

ここで、 $\widehat{\mathbf{CB}}^{RR} = \mathbf{CB}^{RR} + \Delta^T + \Delta^R = \mathbf{CB}_T^{RR} + (\mathbf{CB}_R^{RR} + \Delta^T + \Delta^R)$ 、とする。このような調整によって、各地域の付加価値が各地域の総支出と等しくなるとともに、各財・サービスごとの需給均衡が成立する。

ここまでの組み換えで以下のような地域間表が完成する。

表 4-A-11 東京都地域間表における最終需要

		中間需要		東京都地域最終需要			その他地域最終需要			仮設部門	生産額
		東京都地域	その他地域	域内最終需要	輸出	輸入	域内最終需要	輸出	輸入		
中間投入	東京都地域	$\tilde{\mathbf{X}}^{TT}$	$\tilde{\mathbf{X}}^{TR}$	\mathbf{F}_d^{TT}	\mathbf{E}^{TT}	\mathbf{M}^T	\mathbf{F}_d^{TR}	\mathbf{E}^{TR}	$\mathbf{0}$	Δ^T	$\mathbf{X}_{(-HQ)}^T$
	その他地域	$\tilde{\mathbf{X}}^{RT}$	$\tilde{\mathbf{X}}^{RR}$	\mathbf{F}_d^{RT}	\mathbf{E}^{RT}	$\mathbf{0}$	\mathbf{F}_d^{RR}	\mathbf{E}^{RR}	\mathbf{M}^R	Δ^R	$\mathbf{X}_{(-HQ)}^R$
粗付加価値		$\tilde{\mathbf{V}}^T$	$\tilde{\mathbf{V}}^R$								
生産額		$(\mathbf{X}^T)^t$	$(\mathbf{X}^R)^t$								

4.1.10.5 非競争輸入から競争輸入への組み換え

前節では東京都地域間表を用いて本社部門を他産業に帰属させた。これを他の道府県の産業連関表と比較可能な形にするには、非競争輸入型の地域間表を競争輸入型である東京都表に組み替える必要がある。

東京都地域間表と東京都表に現れる最終需要項目の相互関係は以下の通りである。

表 4-A-12 東京都地域間表と東京都表における最終需要項目の対応

	東京都地域間表		東京都表
1	都事業所家計外消費支出（東京都地域）*+都事業所家計外消費支出（その他地域）*	=	都事業所家計外消費支出+都事業所家計外消費支出（移入）（控除）
2	他県事業所家計外消費支出（東京都地域）*+他県事業所家計外消費支出（その他地域）*	=	他県事業所家計外消費支出
3	民間消費支出（他県民支出を除く）（東京都地域）+民間消費支出（他県民支出を除く）（その他地域）	=	民間消費支出（他県民支出を除く。）+都民支出（移入）（控除）
4	他県民支出（東京都地域）+他県民支出（その他地域）	=	他県民支出
5	一般政府消費支出（東京都地域）+一般政府消費支出（その他地域）	=	一般政府消費支出
6	都内総固定資本形成（東京都地域）+都内総固定資本形成（その他地域）	=	都内総固定資本形成
7	在庫純増（東京都地域）+在庫純増（その他地域）	=	在庫純増
8	調整項（東京都地域）+調整項（その他地域）	=	調整項
9	都内最終需要計（東京都地域）*+都内最終需要計（その他地域）*	=	都内最終需要計+都事業所家計外消費支出（移入）（控除）+都民支出（移入）（控除）
10	輸出（東京都地域）+輸出（その他地域）	=	輸出
11	中間需要内生部門計（東京都-その他地域）*+他地域内最終需要計（東京都-その他地域）*+輸出（東京都-その他地域）	=	移出
12	（控除）輸入（東京都地域）	=	（控除）輸入
13	（東京都地域-その他地域）内生部門計+都：最終需要（その他地域）	=	移入

まず、中間投入については東京の列部門を以下のように統合することによって、非競争輸入型の中間投入（生産者価格評価表）を得る。すなわち、東京都に立地する財 j 生産部門の中間投入額を、

$$\tilde{\mathbf{X}}_j = \tilde{\mathbf{X}}_j^{TT} + \tilde{\mathbf{X}}_j^{RT},$$

として、生産者価格表表（行列）は、

$$\tilde{\mathbf{X}} = [\tilde{\mathbf{X}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{X}}_6],$$

のようになる。後の分析のために、中間投入を財・サービスごとに集計したベクトルを、 $\tilde{\mathbf{X}}_{\Sigma} := \sum_{j=1}^6 \tilde{\mathbf{X}}_j$ 、と表す。このような集計と同時に、 $\tilde{\mathbf{X}}_j^{RT}$ を産業について集計した額（ \mathbf{M}_b^j ）を国内他地域からの移入に計上する。

$$\mathbf{M}_D^I = \sum_{j=1}^6 \tilde{\mathbf{X}}_j^{RT}.$$

また、「列部門の他地域ー行部門の東京都」のブロック ($\tilde{\mathbf{X}}^{TR}$) を集計して、国内他地域への移輸出に計上する。

$$\mathbf{E}_D^I = \sum_{j=1}^6 \tilde{\mathbf{X}}_j^{TR}.$$

最終需要ブロックでは、東京都地域の都内最終需要を、

$$\mathbf{F}^d = \mathbf{F}_d^{TT} + \mathbf{F}_d^{RT},$$

とする。また、 $\mathbf{F}_\Sigma^d = \mathbf{eF}^d$ 、で都内最終需要の集計値を表す。ここで、 $\mathbf{F}_d^{TT} = [\mathbf{CB}^{TT}, \mathbf{F}_{d(-BC)}^{TT}]$ 、 $\mathbf{F}_d^{RT} = [\mathbf{CB}^{RT}, \mathbf{F}_{d(-BC)}^{RT}]$ 、であり、家計外消費支出も含めた東京都内で発生する域内最終需要行列を表す。この中で $\mathbf{F}_{d(-BC)}^{RT}$ は東京都で発生する J 地域産業の家計外消費支出を除いた最終需要項目から構成される行列である。同時に、域外の産業に対して東京都内で発生する最終需要を移入に計上する。すなわち、

$$\mathbf{M}_D^d = \mathbf{CB}^{RT} + \mathbf{F}_{d\Sigma}^{RT} + \mathbf{E}^{RT}.$$

ここで、 $\mathbf{F}_{d\Sigma}^{RT} = \mathbf{eF}_d^{RT}$ 、である。さらに、東京都内で発生する輸出についても、

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}^{TT} + \mathbf{E}^{RT},$$

としたうえで、他地域で生産された財の東京都における輸出 (\mathbf{E}^{RT}) を移入に計上する。

$$\mathbf{M}_D^{ex} = \mathbf{E}^{RT}.$$

その他地域で発生した東京都で生産された財・サービスに対する域内最終需要は、これを集計してその他地域への移出に計上する。また東京都で生産された財・サービスがその他地域において輸出される場合もこれを東京都から他地域への移出 (\mathbf{E}_D^d) に計上する。したがって、

$$\mathbf{E}_D^d = \mathbf{CB}^{TR} + \mathbf{F}_{d(-BC)\Sigma}^{TR} + \mathbf{E}^{TR},$$

である。

まとめると、前節で求めた東京都地域間表をベースに、東京都地域内において需要されるその他地域の生産を都内の経済活動に加えるとともに相当分を移入として計上し、同様に、その他地域において需要される東京都内の生産活動を移出として計上している。

ここまでの作業によって、形式上は東京都表に準ずる表章形式で非競争移入型の産業連関表が完成したが、家計外消費支出と民間消費支出についてさらなる調整が必要である。

最初に家計外消費支出の調整を行う。前節で求めた最終需要部門における家計外消費支出は属地概念に対応している。しかしながら、付加価値に計上されている家計外消費支出（行）は属人的な概念なので、これを調整する。このために、東京都地域間表に東京都地域における「都事業所家計外消費支出」として計上されている値に、その他地域における「都事業所家計外消費支出」の東京都地域における生産とその他の地域における生産を合計したベクトルを加えて、属人ベースの家計外消費支出を求める。その上で、その他の地域における「都事業所家計外消費支出」を移入（控除）に計上する。すなわち、前項までの組み換えにより都事業所の家計外消費支出は、 $\mathbf{CB} = \mathbf{CB}_T^{TT} + \mathbf{CB}_T^{RT}$ 、として求められているが、これに、 $\mathbf{CB}_T^{TR} + \mathbf{CB}_T^{RR}$ 、を加えて、属人ベースで見た東京都の家計外消費支出を、

$$\widetilde{\mathbf{CB}} = \mathbf{CB} + \mathbf{CB}_T^{TR} + \mathbf{CB}_T^{RR}、$$

とする。これによって、行部門の家計外消費支出と、列部門における家計外消費支出の合計が等しくなる。すなわち、 $\widetilde{\mathbf{V}}_C^J = \mathbf{e}\widetilde{\mathbf{CB}}$ 、が成り立つ。このような操作により、家計外消費支出が増加するので、需給をバランスさせるために、 $\mathbf{M}_D^{CB} = \mathbf{CB}_T^{TR} + \mathbf{CB}_T^{RR}$ 、を「都事業所家計外消費支出」として移入項目（控除）に計上する。

民間の消費支出についても同様に調整する。東京都地域間表では、民間消費支出を以下のように分類している。

表 4-A-13 東京都地域間表における民間消費支出の分類

	東京都地域		その他地域	
	民間消費支出 (他県民支出を除く)	他県民支出	民間消費支出 (都民支出を除く)	都民支出
東京都地域	\mathbf{C}_T^T	\mathbf{C}_R^{TT}	\mathbf{C}_T^{TR}	\mathbf{C}_R^{RR}
その他地域	\mathbf{C}_R^{RT}	\mathbf{C}_R^{RT}	\mathbf{C}_T^{RR}	\mathbf{C}_R^{RR}
合計	\mathbf{eC}_T^T	\mathbf{eC}_R^T	\mathbf{eC}_T^R	\mathbf{eC}_R^R

ここまでの組み換えで、「民間消費支出（他県民支出を除く）」は、

$$\mathbf{C}_T^T = \mathbf{C}_T^{TT} + \mathbf{C}_T^{RT}、$$

のように求められていた。ここで、 \mathbf{C}_T^{TT} は東京都地域間表において東京都で生産された財・サービスに対する東京都地域における「民間消費支出（他県民支出を除く。）」を表し、 \mathbf{C}_T^{RT} はその他地域で

生産された財・サービスに対する東京都地域における「民間消費支出（他県民支出を除く。）」である。

東京都地域間表のその他地域における最終需要には、東京都民が他道府県において行った消費支出を「都民支出」として、それが生産された財・サービスの地域別に、 $[\mathbf{C}_T^{TR}, \mathbf{C}_T^{RR}]^t$ のように計上している。これらは属人ベースで見た東京都（民）の最終需要だと考えられるので、これらを、 $\mathbf{C}_T^R = \mathbf{C}_T^{TR} + \mathbf{C}_T^{RR}$ 、のような形でまとめた上で、東京都の民間消費支出（他県民支出を除く。）」に加えて東京都民の民間消費支出 \mathbf{C}^T とする。すなわち、

$$\mathbf{C}^T = \mathbf{C}_T^T + \mathbf{C}_T^{TR} + \mathbf{C}_T^{RR}.$$

この結果、最終需要は増加するので需給をバランスさせるため、 $\mathbf{M}_D^C = \mathbf{C}_T^{TR} + \mathbf{C}_T^{RR}$ 、を（その他地域における）「都民支出」として移輸入項目（控除）に計上する。

ここまでの組み換え作業によって、東京都地域間表を非競争移入型である東京都表の表章形式に準じた形に組み替えることができた。

まとめると、消費支出の調整によって、都内の最終需要は、

$$\tilde{\mathbf{F}}_\Sigma^d = \mathbf{F}_\Sigma^d + \mathbf{C}\mathbf{B}_T^{TR} + \mathbf{C}\mathbf{B}_T^{RR} + \mathbf{C}_T^{TR} + \mathbf{C}_T^{RR},$$

のようになる。また、他地域への移出は、

$$\tilde{\mathbf{E}}_D = \mathbf{E}_D^I + \mathbf{E}_D^d + \Delta^T,$$

となり、他地域からの移入は、

$$\tilde{\mathbf{M}}_D = \mathbf{M}_D^I + \mathbf{M}_D^d + \mathbf{M}_D^{ex},$$

のようになる。また、東京都表では、「都事業所家計外消費支出」（ \mathbf{M}_D^{CB} ）と「都民支出」（ \mathbf{M}_D^C ）は移輸入とは別掲されている⁴⁵。

このようにして得られた非競争移入型の需給バランスは、

$$\tilde{\mathbf{X}}_\Sigma + \tilde{\mathbf{F}}_\Sigma^d + \mathbf{E} + \tilde{\mathbf{E}}_D - \mathbf{M} - \tilde{\mathbf{M}}_D - \mathbf{M}_D^{CB} - \mathbf{M}_D^C = \mathbf{X}$$

と表される。ただし、 $\mathbf{X} := \mathbf{X}_{(-HQ)}$ 、である。

付加価値は、前節で求めた組み換え後の東京都の粗付加価値（ $\tilde{\mathbf{V}}_j^T$ ）をそのまま利用できる。したがって、費用面（列）でのバランス式は、以下ようになる。

⁴⁵ これらを含めた移入を東京都表では「移入計（控除）」としている。

$$e\tilde{X} + e\tilde{V}_j^T = X_{(-HQ)}^t.$$

4.1.10.6 最終需要項目の組み換え

東京都表や東京都地域間表は、最終需要を消費支出も含めて属地概念で集計している。他地域の道府県産業連関表においては、消費支出を属人概念で集計した上で属地ベースの産業連関表との整合性を確保するために、移輸入でこれを調整している。たとえば、富山県民が他県で観光や出張等で1万円の消費活動を行った場合には、産業連関表の民間消費支出や家計外消費支出に1万円が計上されるとともに、移輸入に1万円が計上される。逆に他県の家計が富山県内で消費を行った場合には、その額を消費ではなく移輸出に計上する。

一方、東京都表においては消費支出に、「他県事業所家計外消費支出」や「他県民支出」を計上して都内最終需要を構成する要素としている。これらは、他道府県の産業連関表では移出と見做されるべき項目であるので、都内最終需要から移出に振り替える。

この結果、都内最終需要の合計は以下ようになる。

$$F_{\Sigma}^d = \tilde{F}_{\Sigma}^d - CB_R^{TT} - CB_R^{RT} - C_R^{TT} - C_R^{RT}.$$

また、移出は以下のように表される。

$$E_D = \tilde{E}_D + CB_R^{TT} + CB_R^{RT} + C_R^{TT} + C_R^{RT}.$$

移入は以下で表される。

$$M_D = \tilde{M}_D + M_D^{CB} + M_D^C.$$

このような組み替えによって、標準的な表章形式による東京都産業連関表を得ることができ、それは以下のようなひな型で表される。

表 4-A-14 東京都産業連関表

	中間需要	都内最終需要	輸出	移出	輸入	移入	生産額
中間投入	\tilde{X}	F^d	E	E_D	M	M_D	X
粗付加価値	\tilde{V}						
生産額	X^t						

4.1.11 付録3: 産業廃棄物の都道府県間移動についての分析

産業廃棄物は一般廃棄物に比べると都道府県間の移動が格段に多いのが特徴である。環境省は「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書」を公開しており、広域移動の現状把握を行っている。都道府県間産業連関表による産業廃棄物処理業の分析を進めるにあたり、広域移動の現状について、分析を行う。

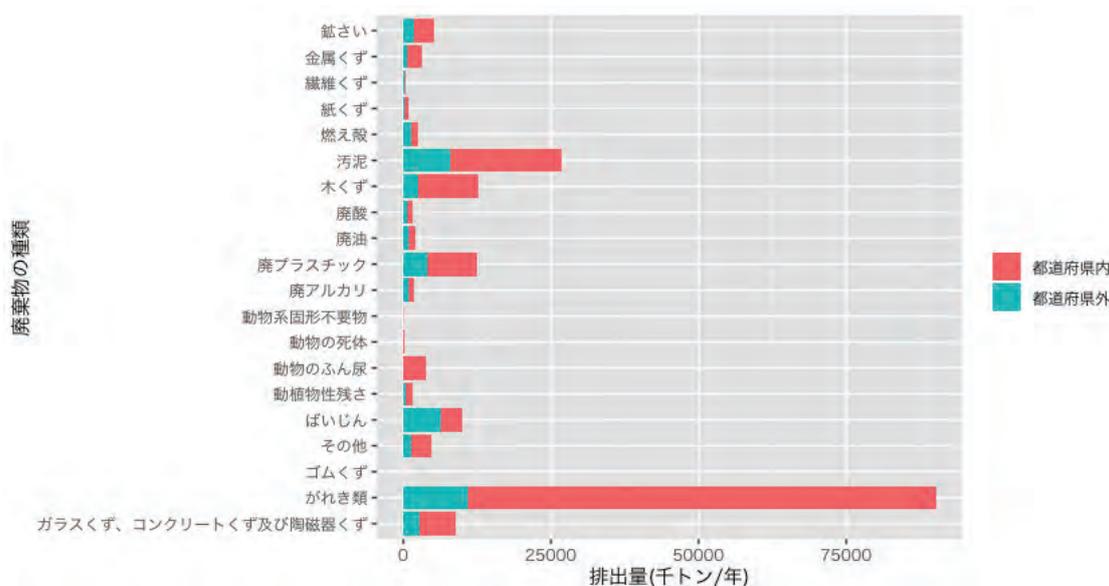


図 4-A-1：広域移動報告書における産業廃棄物の移動

出所:環境省 (2019)「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書」.

図 4-A-1 は環境省の報告書において示された移動量を産業廃棄物の種類ごとに集計したものである。赤い棒グラフは都道府県内の排出量であり、緑の棒グラフが広域移動の量を示している。棒グラフの合計をみると、産業廃棄物の排出量の大きさと異なっていることがわかる。これは、広域移動調査では自家処理は含まれておらず、委託処理された量のみが集計されているためである。環境省から公開されている統計 (47x47=2209 の都道府県マトリックス) をみると、ほとんどの産業廃棄物において、自治域内での処理 (=対角要素) が最も多く、取引のない都道府県がほとんどである。以下では、都道府県 i から都道府県 j への廃棄物の移動のうち、上位 20 の移動を図式化した結果を概説する。各図において、時計の 3 時の方向から都道府県番号順に選ばれた上位の取引先が並んでいる。矢印は取引の方向を表し、色のついた円周の長さは取引の大きさを示している。また、一部の産業廃棄物は広域移動が少ないため、上位 20 ではなく、上位 10 のみを選択している。

はじめに、図 4-A-2 の燃え殻をみると、全国的に広域移動がみられる傾向にあることが分かる。また、特徴的な点としては、兵庫県以南の西日本では、そのほとんどが福岡県に移出されており、全体の約 4 分の 1 を占めている。

燃え殻 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

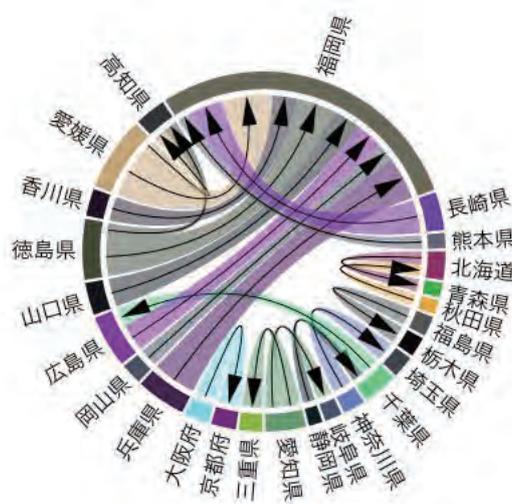


図 4-A-2：廃棄物の広域移動（燃え殻）

次に、図 4-A-3 の汚泥をみると、東京都と神奈川県及び大阪府からの移動発生量が多いことがわかる。特に東京都は全体の 5 分の 1 近くを占めており、近隣の千葉県、埼玉県に移出している。この 2 県は他の関東地方の県からも汚泥を受けて入れている。また、関西をみると、大阪も同様に近隣の兵庫県や京都府などに排出していることがわかる。

汚泥 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

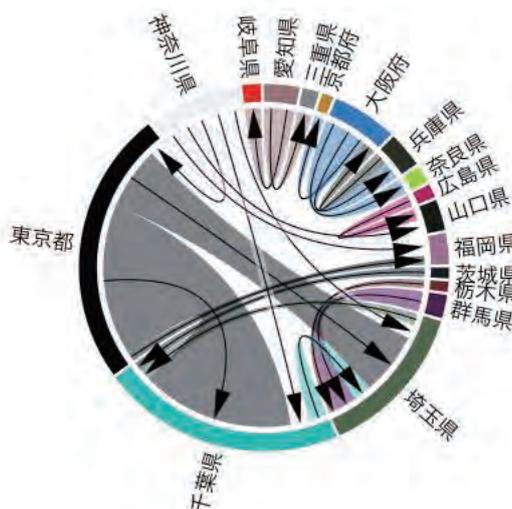


図 4-A-3：廃棄物の広域移動（燃え殻）

図 4-A-4 は、廃油の上位 20 をプロットしたものである。これを見ると、関東地方では栃木県と千葉県、中部地方では愛知県、関西地方では兵庫県、九州では福岡県が、それぞれ大きな排出先となっている。

廃油 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

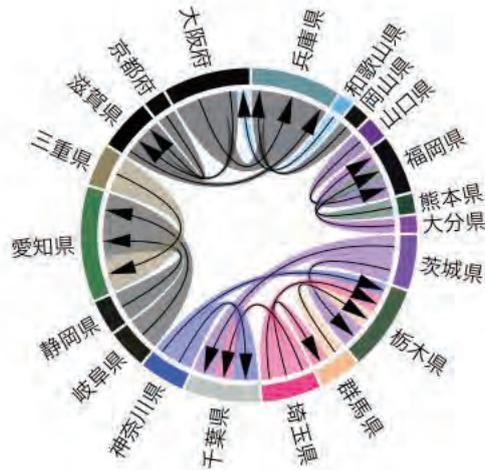


図 4-A-4：廃棄物の広域移動（廃油）

図 4-A-5 は、廃酸の広域移動である。廃酸は廃油と同様に広域移動の絶対量は非常に小さいが、多くの都道府県間で取引がある。特に福島県、茨城県、千葉県が排出先として広く選択されているが、ほとんどが近隣からの移動である。

廃酸 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

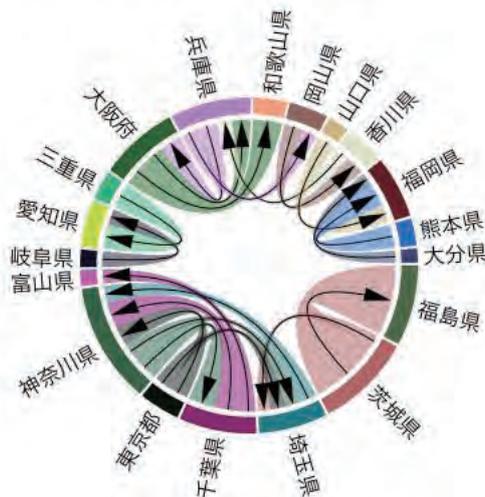


図 4-A-5：廃棄物の広域移動（廃酸）

図 4-A-6 は、廃アルカリの広域移動である。これを見ると関東地方の主要な受け入れ先は埼玉県と
なっている。また、中部地方で岐阜県と愛知県が大口移動先であるが、互いのやりとりもみられるこ
とが特徴的である。

廃アルカリ (2017年度のトップ20、単位：千トン)

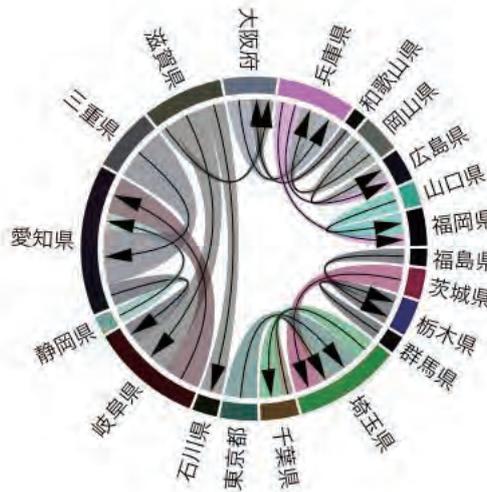


図 4-A-6：廃棄物の広域移動（廃アルカリ）

図 4-A-7 は、廃プラスチックの広域移動である。廃プラスチックの広域移動は全体の中でも重量ベ
ースで4番目に多い廃棄物である。図をみると、関東地方における取引が全体の4分の3を占めてい
ることが特徴的である。受け入れ側としては、埼玉県が突出しており、全体の5分の1近くを占めて
いる。

廃プラスチック類 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

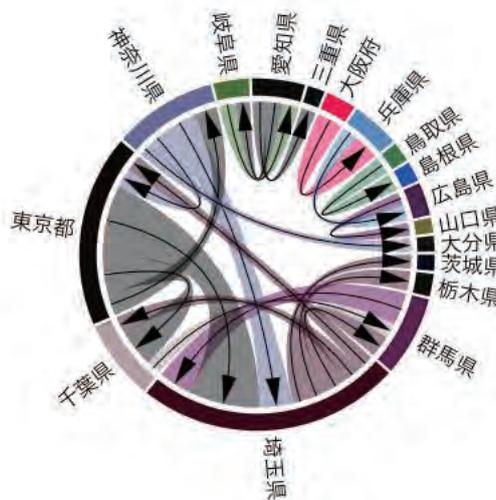


図 4-A-7：廃棄物の広域移動（廃プラスチック）

図 4-A-8 は紙くずの広域移動の上位 20 である。これをみると埼玉県及び東京都が排出者として大きなシェアを占めていることがわかる。特徴的な点としては、埼玉県の排出の多くが新潟県に向かっている点である。また、受け入れとしては千葉県も大きなシェアを持っている。

紙くず (2017年度のトップ20、単位：千トン)

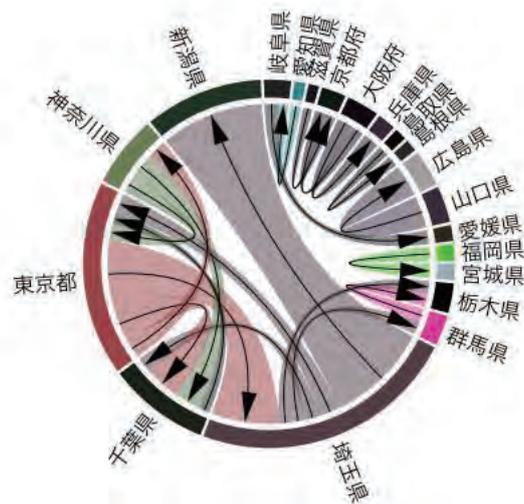


図 4-A-8：廃棄物の広域移動（紙くず）

図 4-A-9 は木くずであるが、全体の移動量は上位 3 番目の規模となっている。その中で福島県と関東地方の 1 都 6 県で全体の約 4 分の 3 の取引を占めている。受け入れ側としては、群馬県、埼玉県、千葉県などが上位である。

木くず (2017年度のトップ20、単位：千トン)

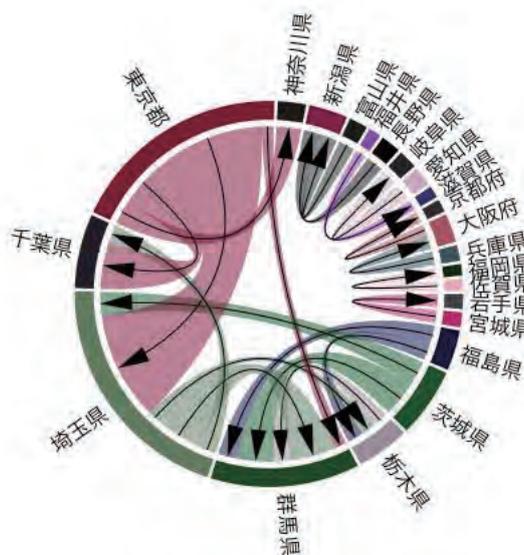


図 4-A-9：廃棄物の広域移動（木くず）

図 4-A-10 は、繊維くずである。関東地方で特に取引が多いが、埼玉県は受け入れと広域移動がほぼ同レベルであることが特徴的である。

繊維くず (2017年度のトップ20、単位：千トン)

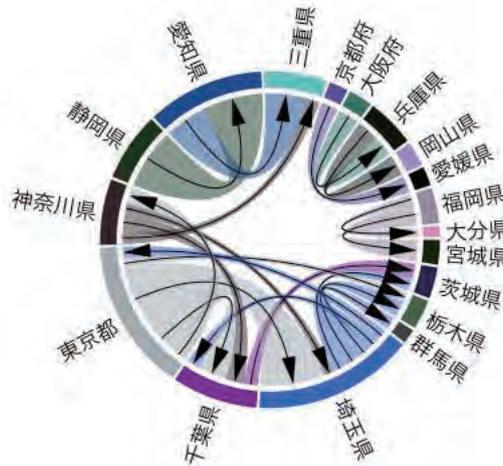


図 4-A-10：廃棄物の広域移動（繊維くず）

図 4-A-11 は、動植物性残さの上位 20 の広域移動である。これをみると、千葉県、栃木県、愛知県が受け入れ側として上位に位置している。東京都からの排出が少ないことも特徴である。

動植物性残さ (2017年度のトップ20、単位：千トン)

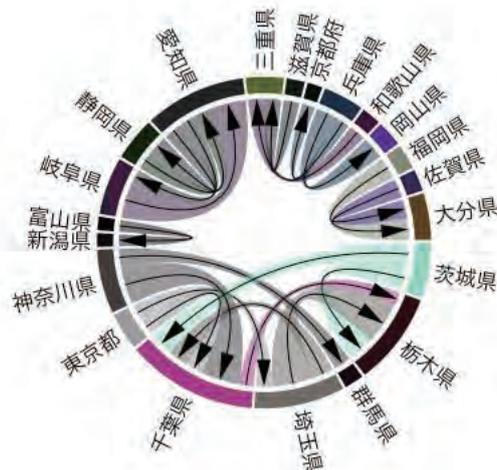


図 4-A-11：廃棄物の広域移動（動植物性残さ）

図 4-A-12 は、動物系固形不要物である。動物系固形不要物とは、と畜場などで獣畜などを解体した際に出る固形状の不要物のことである。これをみると、青森県、東京都、愛知県、山口県が受け入

れ先として上位に位置している。発生側をみると、広島県、宮城県、岐阜県などが多くなっていることがわかる。

動物系固形不要物 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

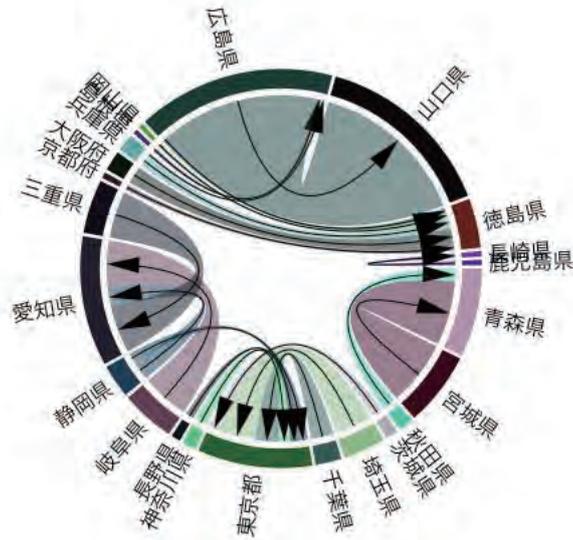


図 4-A-12：廃棄物の広域移動（動物系固形不要物）

図 4-A-13 はゴムくずである。これをみると、取引のほぼ半分が関東地方に集中していることがわかる。東京都、埼玉県が主要な発生地であり、千葉県や神奈川県がこれを受け入れている。

ゴムくず (2017年度のトップ20、単位：千トン)

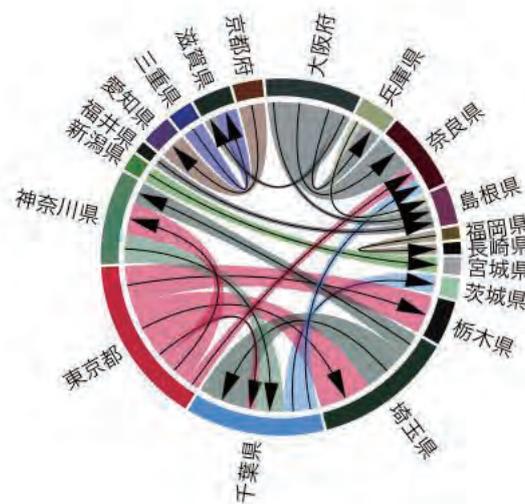


図 4-A-13：廃棄物の広域移動（ゴムくず）

図 4-A-14 は、金属くずの上位 20 の取引である。これをみると全体の約 4 分の 1 が東京都で発生していることがわかる。その受け入れ先は埼玉県、千葉県である。また、大阪府と兵庫県の間でも一定規模の取引がみられる。

金属くず (2017年度のトップ20、単位：千トン)

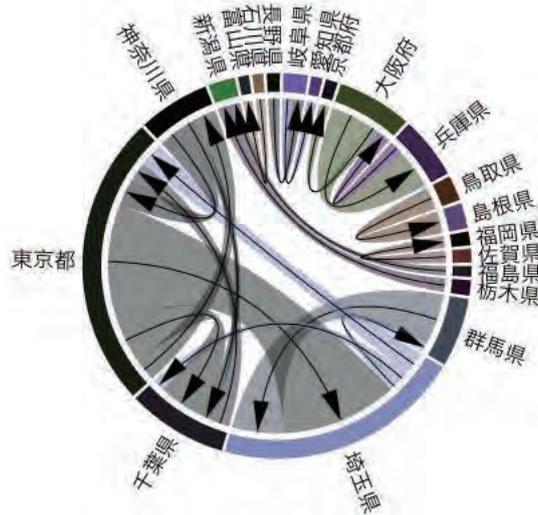


図 4-A-14：廃棄物の広域移動（金属くず）

図 4-A-15 はガラス、コンクリート及び陶磁器くずである。全体の移動量としても上位に位置しているがその排出の 80% 近くが関東地方に集中していることが特徴である。東京都と神奈川県からの排出を千葉県、栃木県が中心に受け入れている構造である。

ガラス、コンクリート及び陶磁器くず (2017年度のトップ20、単位：千トン)

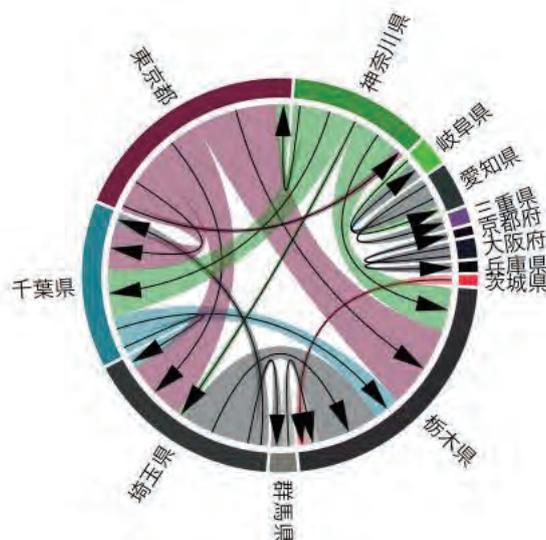


図 4-A-15：廃棄物の広域移動（ガラスくず他）

図 4-A-16 は鉋さいである。これを見ると全国で幅広く取引が行われていることがわかる。受け入れでは福岡県がやや突出しているものの多くの府県が受け入れをおこなっている。

鉋さい (2017年度のトップ20、単位：千トン)

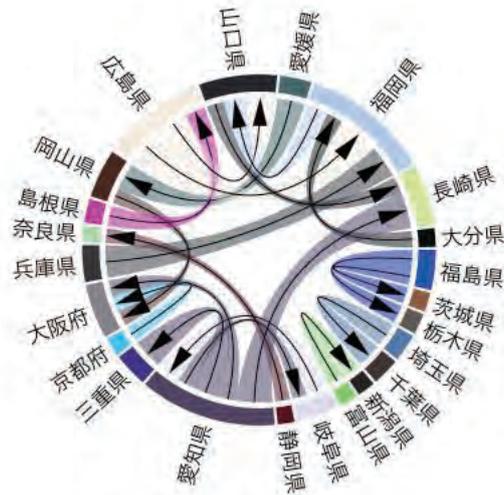


図 4-A-16：廃棄物の広域移動（鉋さい）

図 4-A-17 はがれき類の上位 20 であるが、がれき類は都道府県間移動だけで最も取引の多い廃棄物である。これを見ると東京都が全体の約 3 分の 1 を占める移動排出量となっていることがわかる。これを千葉県と埼玉県で引き受ける構造である。

がれき類 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

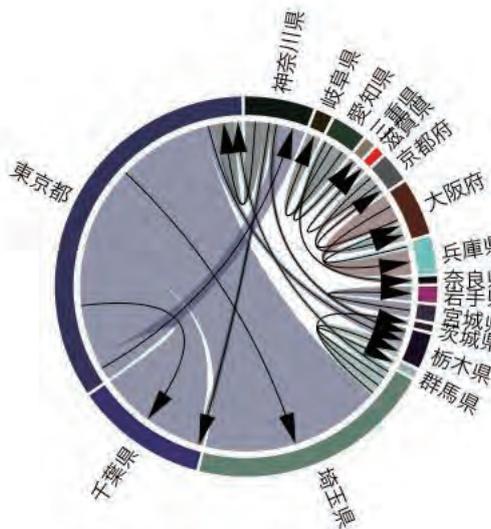


図 4-A-17：廃棄物の広域移動（がれき類）

図 4-A-18 は動物のふん尿である。これを見ると、畜産の盛んな南九州地方における取引が多くなっていることがわかる。特に鹿児島県から熊本県への取引が全体で突出して大きくなっている。

動物のふん尿 (2017年度のトップ10、単位：千トン)

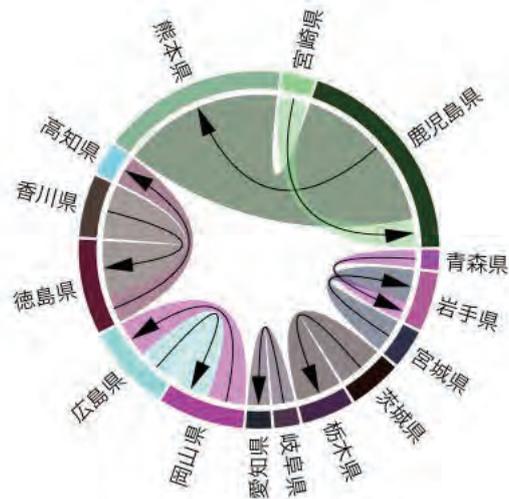


図 4-A-18: 廃棄物の広域移動(ふん尿)

図 4-A-19 は動物の死体である。最も特徴的なのは取引の約半分を東北地方で占めていることである。これは他の産業廃棄物ではみられないものである。青森県を除く東北地方から青森県に移動するという構造になっている。

動物の死体 (2017年度のトップ10、単位：千トン)

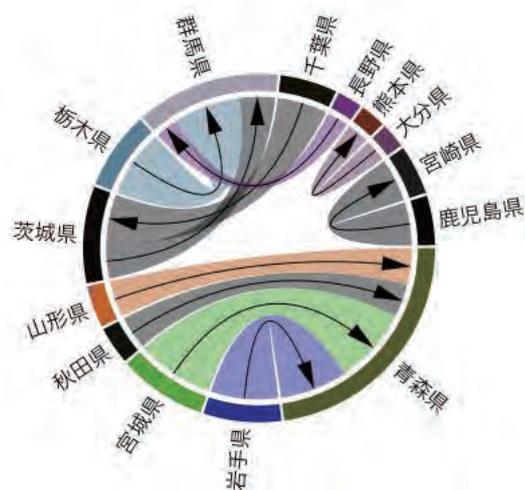


図 4-A-19: 廃棄物の広域移動(動物の死体)

図 4-A-20 は、ばいじんの上位 20 をプロットしたものである。これを見ると、移動量の発生としては福島県が最も多いことがわかる。受け入れ側では、山口県、福岡県、大分県などが上位となっている。

ばいじん (2017年度のトップ20、単位：千トン)

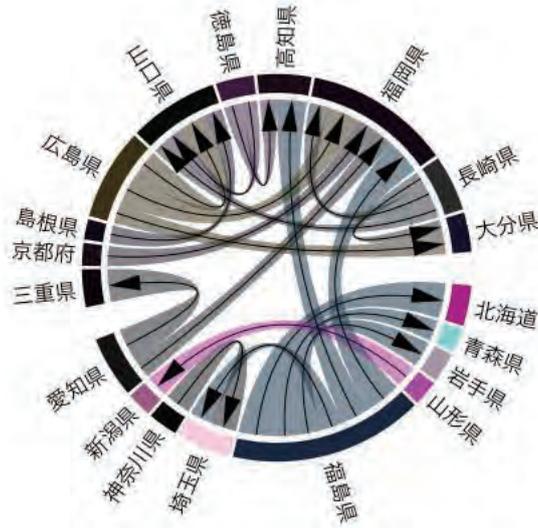


図 4-A-20: 廃棄物の広域移動(ばいじん)

図 4-A-21 はその他の廃棄物の広域移動を示したものであるが、重量ベースでの量も少なく実態も不明であるが、東京都から福岡県、大阪府から岡山県への移動が存在感を示している。

その他 (2017年度のトップ20、単位：千トン)

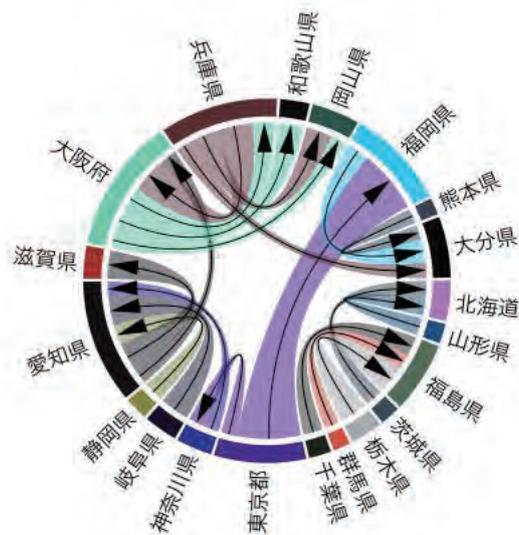


図 4-A-21 : 廃棄物の広域移動 (その他)

4.2 新たな情報技術を活用した望ましい制度設計に関する産業組織論的研究

4.2.1 産業廃棄物処理における情報の非対称解消の課題

バズとなっている産業廃棄物は情報の非対称性の問題があるため、純粋な市場メカニズムの中で取引することは効率的ではない。使用済み製品を産業廃棄物処理会社に引き渡した後にその製品がどのように処理されるかを把握することは膨大なコストが必要であるか、あるいは不可能である。この点が通常財と異なる点であり、経済学の中で情報の非対称と呼ばれている問題である。

この問題を企業間の契約に関する問題を扱うマイクロ経済学の理論を応用して考える⁴⁶。契約理論の作法に倣い、産業廃棄物の排出事業者をプリンシプル（仕事を頼む人）、処理事業者をエージェント（依頼を受ける人）と呼ぶ。ここで、廃棄物処理の質を q で表すものとする。 q が高いほど質の高い処理（リサイクルも含む）が施されたものとする。排出事業者にとって、 q という質で産業廃棄物を処理してもらうことの価値は $S(q)$ とする。ただし、 $S'(q) > 0$ かつ $S''(q) < 0$ を仮定する。また、単純化のために、処理事業者は限界費用 θ について以下の2種類のタイプがあるものとする。

$$\theta = \{\bar{\theta}, \underline{\theta}\}, \text{ with } \Delta\theta = \bar{\theta} - \underline{\theta} > 0 \quad (1)$$

後に述べるように、情報の非対称がない場合、限界費用の小さい企業（=効率的な企業）の方がより質の高い処理を提供し、限界費用の大きな会社は相対的に低い質の処理を提供する。ここで言う効率性 θ は費用構造のような直接的なものだけでなく、質の高い廃棄物処理に対する企業倫理の高さなど間接的なものを含めて考えてもよい。

排出事業者にとっての課題は、この効率性の違いを完全には知ることができないということである（=情報の非対称性）。実際の処理委託においても、工場視察などを行えば一定程度の評価をすることはできるものの、24時間365日の間、企業を監視することは出来ないため不確実性は残る。以下では、確率 v で非効率的な企業、確率 $1-v$ で効率的な企業が存在しているものとする。このとき、処理企業の費用は以下のように表されるものとする（ F は固定費）。

$$\begin{cases} C(q, \bar{\theta}) = \bar{\theta}q + F & \text{with probability of } v \\ C(q, \underline{\theta}) = \underline{\theta}q + F & \text{with probability of } 1 - v \end{cases} \quad (2)$$

はじめにベンチマークとして、情報の非対称性がない状況を考える。このとき、最適な処理の質は、排出事業者の限界便益と処理事業者の限界費用が一致するような q である。すなわち、

⁴⁶ 本節の理論的展開は、Laffont, J. and D. Martimort (2002) *The theory of incentives: the principal-agent model*, Princeton University Press に基づいている。

$$s'(q^*) = \underline{\theta} \quad \text{あるいは} \quad s'(\bar{q}^*) = \bar{\theta} \quad (3)$$

ここで、 $S(\cdot)$ に関する仮定から、 $q^* > \bar{q}^*$ である。すなわち、効率的な企業のもたらす処理の質は、非効率的な企業にとっての最適な質よりも高くなる。よって、情報の非対称性がある状況で、いかに効率的な企業が q^* を選択するような政策をデザインするかが重要となる。

次に完全情報のもとでの市場競争均衡について確認する。契約が実際に処理企業によって締結されるためには、処理企業が参加するインセンティブが必要である。これは参加制約と呼ばれ、産業廃棄物の排出企業（プリンシパル）から処理企業（エージェント）に対する報酬を t とすると、以下のよう表現される。

$$\begin{aligned} \underline{t} - \underline{\theta}q &\geq 0 \\ \bar{t} - \bar{\theta}\bar{q} &\geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

これは、企業が受け取る報酬が q という質を提供する各企業の費用と同じかあるいは大きければ、処理企業は委託を引き受けるということを意味している。以下では排出企業が 100%の交渉力を持っているものと仮定するが、このとき (4) 式は等号で成立する。よって、完全情報のもとでの最適契約は、

$$(\underline{t}^*, \underline{q}^*) \text{ if } \theta = \underline{\theta} \quad \text{あるいは} \quad (\bar{t}^*, \bar{q}^*) \text{ if } \theta = \bar{\theta} \quad (5)$$

となる。これは、図 4-2-1 で A^* 及び B^* として表現されている。この A^* 及び B^* は、プリンシパルの便益を示す V とエージェントの等効用曲線（図では直線）である U が接する点である。

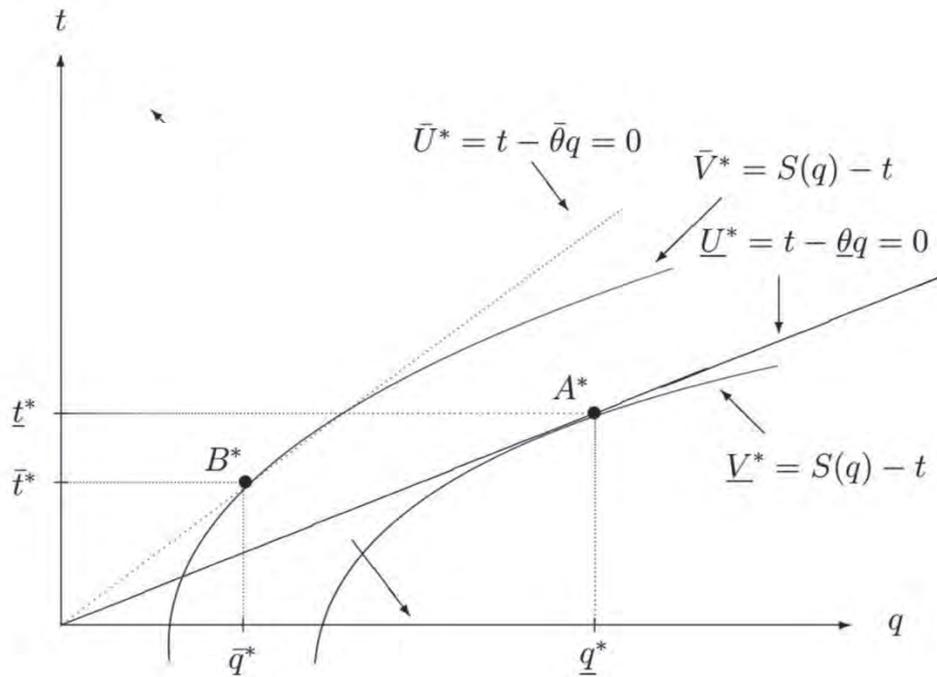


図 4-2-1：完全情報下でのファーストベストの解

出所：Laffont and Martimort (2002)

図 4-2-1 における A^* 及び B^* の二つの選択肢を比較すると、どちらのタイプの企業にとっても明らかに B^* の方が魅力的な契約である。よって、情報の非対称性があり、処理企業がどちらのタイプか排出企業からみて分からない場合、効率的な企業（＝限界費用が θ の企業）も自らを偽り、 B^* を選択する。よって、情報の非対称性がある場合に各タイプの企業に正しい契約を選んでもらうためには、以下のインセンティブ制約を満たす必要がある。

$$\begin{aligned} \underline{t} - \underline{\theta}q &\geq \bar{t} - \underline{\theta}\bar{q} \\ \bar{t} - \bar{\theta}\bar{q} &\geq \underline{t} - \bar{\theta}q \end{aligned} \quad (6)$$

(6) 式と参加制約（＝(4) 式）の制約をどちらも満たすことが情報の非対称がある場合には重要なのである。

情報の非対称性がある場合の最適契約を理解する上で必要なもう一つの概念が情報レント (information rent) である。情報が完全な場合は、排出事業者は 100% の交渉力があり、(4) 式の参加制約を等号で成立させることができたが、情報が非対称な場合は不可能である。既に述べたように効率的な企業が非効率であると偽ることで以下を得ることができる。

$$\bar{t} - \underline{\theta}\bar{q} = \bar{t} - \bar{\theta}\bar{q} + \Delta\theta\bar{q} = \bar{U} + \Delta\theta\bar{q} \quad (7)$$

これは、処理事業者が情報優位にあるがゆえに生まれた正の値であるため、情報レントと呼ばれている。なお、 $\theta = \bar{\theta}$ である非効率な企業にとっては、情報レントは引き続き $\bar{U} = 0$ である。このとき、排出事業者の問題は、

$$\max v(S(\underline{q}) - \underline{t}) + (1-v)(S(\bar{q}) - \bar{t}) \text{ subject to IC and PC} \quad (8)$$

となる。ここで、ICはインセンティブ制約(= (6)式)、PCは参加制約(= (4)式)を表す。さらに情報レントを用いて変形すると、

$$\begin{aligned} \max v(S(\underline{q}) - \underline{\theta q}) + (1-v)(S(\bar{q}) - \bar{\theta q}) - (v\underline{U} + (1-v)\bar{U}) \\ \text{s.t. } \underline{U} \geq \bar{U} + \Delta \theta \bar{q}, \quad \bar{U} \geq \underline{U} - \Delta \theta \underline{q}, \quad \underline{U} \geq 0, \quad \text{and } \bar{U} \geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

となる。この式の目的関数の前半は分配の効率性の期待値であり、後半は情報レントの期待値であると解釈することができる。この問題の解が情報の非対称のもとでのセカンドベスト解となる。(9)式をそのまま解くことも一つの解法と考えられるが、既にみてきた企業行動を用いて問題のスコープを絞ることができる。具体的に問題となるのは、 $\theta = \bar{\theta}$ となる非効率な企業ではなく、 $\theta = \underline{\theta}$ である効率的な企業が自らを偽ることである。このこと自身が(9)式の制約のうち、非効率な企業に関する $\bar{U} \geq \underline{U} - \Delta \theta \underline{q}$ と言う制約が無関係であることを意味する。また、 $\underline{U} \geq \bar{U} + \Delta \theta \bar{q}$ と $\bar{U} \geq 0$ が成立していれば、 $\underline{U} \geq 0$ は必ず満たされる。よって、4つの制約は、

$$\underline{U} = \Delta \theta \bar{q} \text{ 及び } \bar{U} = 0 \quad (10)$$

と絞ることができる。(10)式を(9)式の目的関数に代入すれば、以下を得る。

$$\max_{\bar{q}, \underline{q}} v(S(\underline{q}) - \underline{\theta q}) + (1-v)(S(\bar{q}) - \bar{\theta q}) - v \Delta \theta \bar{q} \quad (11)$$

これを解くと、

$$S'(\underline{q}^{SB}) = \underline{\theta} \Leftrightarrow \underline{q}^{SB} = \underline{q}^* \quad (12)$$

および

$$(1-v)(S'(\bar{q}^{SB}) - \bar{\theta}) = v \Delta \theta \Leftrightarrow \bar{q}^{SB} < \bar{q}^* \quad (13)$$

となる。(12)式は効率的な処理企業は最適解と同じ質を生み出すことを意味している。その一方で、非効率な処理企業は最適解よりも低い質を生み出す結果になっている。また、(1

1) 式の最後の項に示されているように、プリンシパルにとっては最適解よりもちょうど情報レントの分だけコストが高くなっている。

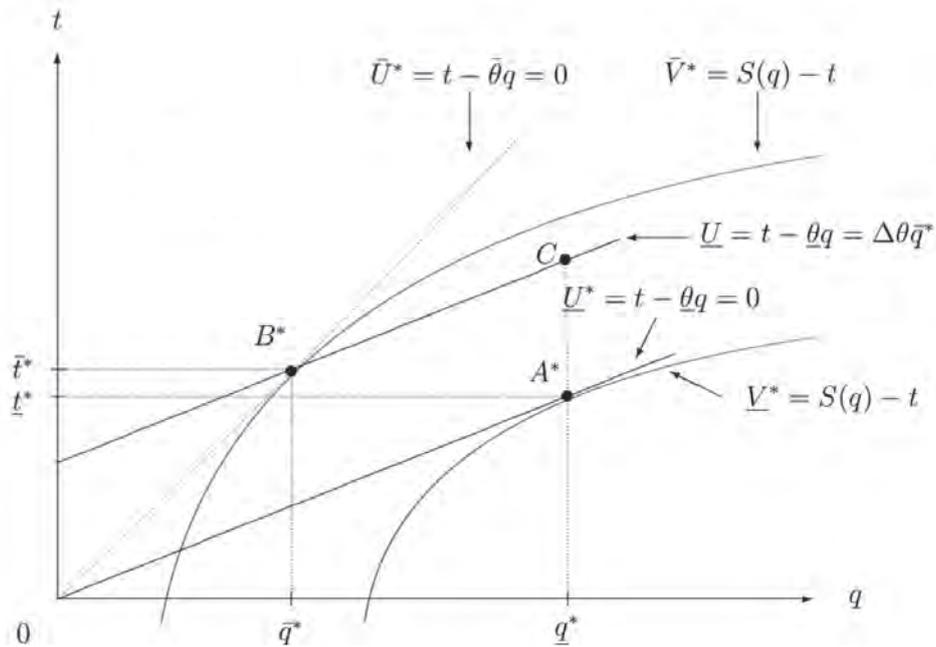


図 4-2-2：ファーストベストと同じ質を得るために必要な情報レント

出所：Laffont and Martimort (2002)

この情報レントの存在（背景にはインセンティブ制約がある）によって、効率的な処理企業が $q^{SB} = q^*$ を選択しているのである。さらに、図 4-2-3 の B^{SB} のように非効率的な企業の生み出す質をわずかに小さくすることで、情報レントを大きく減少することができる。質(= \bar{q}^*)と情報レントのトレードオフが生じているが、 \bar{t}^{SB} と \bar{q}^{SB} の組み合わせによっては、 $B^{SB}=0$ とすることも可能であり、その場合には $q^{SB} = q^*$ を情報レントがゼロで達成できることになる。

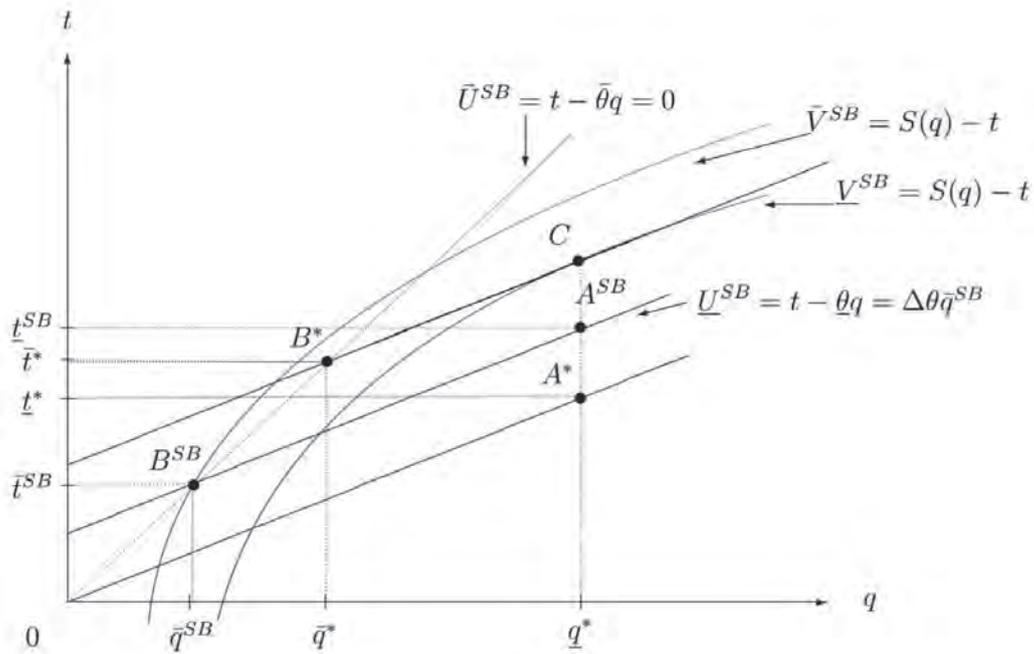


図 4-2-3： セカンドベストの最適契約

出所：Laffont and Martimort (2002)

ところが一般解としてのセカンドベストの契約をバズである廃棄物の問題に適用すると、あらたな問題が明らかになる。それは、 q と t が観察可能 (observable)で検証可能 (verifiable)であるということが仮定されているということである。排出企業から処理企業にバズが輸送されるタイミングでは q と t は観察可能であり検証可能である。ところが一旦処理企業の中に入ってしまうとその後どのような q となったのか、本当に契約上で定められている処理の質が担保されたのかどうかは確認が極めて困難である。そのため、 $\underline{q}^{SB} = \underline{q}^*$ となって質の高い処理が担保できるセカンドベストの契約も実効性が乏しいものになってしまう。上記で紹介したプリンシパル=エージェントモデルは、これまで様々な経済活動に適用されてきたものであり、情報の非対称性の問題を考える基本的モデルとして広く利用されてきた。しかし、産業廃棄物処理における問題の解決には至らないことが明らかになった。

4.2.2 電子Manifestoのもたらす効果

4.2.2.1 電子Manifestoを取り巻く現状

産業廃棄物の情報の非対称性の問題は結局のところ、処理企業の入り口と出口での検証可能性、すなわち、トレーサビリティが決定的に重要である。これは、(電子)Manifesto制度が目指していることそのものであり、バズの特徴を考えると、シグナリングのような既存の情報

の非対称性に対する解決手段よりも、（電子）マニフェスト制度の拡充が最も効果的に適正処理と生産性の向上に資するものと考えられる。

本年度の企業ヒアリングの過程でも議論となったが、既存の電子マニフェスト制度は、データベースとしては非常に優れた機能を備えており、拡張のポテンシャルも大きい。これは、本研究が当初想定していたような全く新しいトレーサビリティのデータベースをIoTやブロックチェーンを使って構築することは有効な施策ではないということを示している。さらに、環境省が今後の電子マニフェストの高度活用についてのロードマップを昨年度後半に公表しており、このロードマップに対して、本研究の成果をインプットしていく方向が費用対効果を考えても目指すべき方向であると考える。

図4-2-4に示したこのロードマップに沿ってしてみると、「電子マニフェスト情報の有効活用の検討」がトレーサビリティの向上の観点から重要である。特に「許可情報と電子マニフェストシステムの連携」は本研究の企業ヒアリングにおいても要望が多く、排出事業者にとってはコスト削減の観点から魅力的な連携である。コスト削減が進むとなれば加入者も一段と増加し、トレーサビリティも向上する。さらに、自由度の高いオプション的な形の付加情報を検証可能な形で企業が自ら発信することができるような余地を残す形でデータベースとしての電子マニフェストを拡張していくことが望ましい。処理業者への搬入と処理後の搬出をIoTなどを利用してセンサーが確実に捕捉し、そのデータを改竄できない形でブロックチェーンを用いて分散的に入力することができれば、優良事業者としての証明としてのラベリング効果も期待できる。

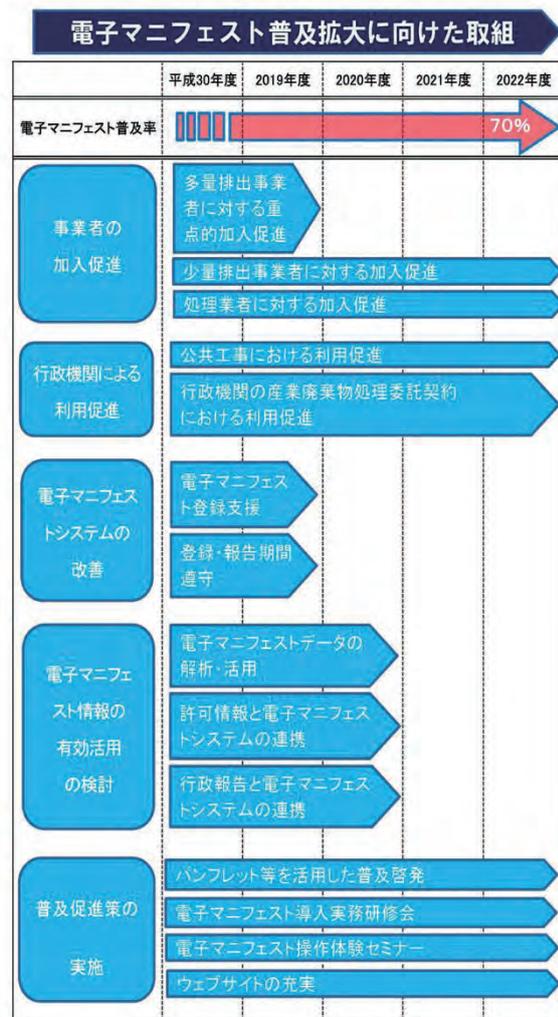


図4-2-4: 電子マニフェストロードマップ

4.2.2.3 電子マニフェスト導入の効果

産業廃棄物処理に課されているマニフェストを紙から電子化する状況を考える。廃棄物1単位当たり適正処理費用を c^L 、廃棄物1単位当たり不適正処理費用を c^I とし、 $c^L > c^I$ を仮定する。また、不適正処理割合を x とする。電子マニフェストの導入の効果はパラメータ γ で測れるものとする。すなわち、電子化により γ が増加することを想定する。電子化パラメータが高いほどインシヤルコスト高い、すなわち、性能が高いシステムほど導入費用高いものとし、そのコストを、 $M(\gamma)$ で表す。

産業廃棄物の不適正処理は $q(x, \gamma)$ の確率で発覚するものとし、発覚した場合は、 F の罰金を支払う。また、発覚確率について、 $q_x > 0$ 及び $q_{xx} > 0$ を仮定する。トレーサビリティが向上すると、不適正処理の発覚確率が上昇すること考え、 $q_\gamma > 0$ とする。また、トレーサビリティが向上すれば不適正処理が増えた場合の発覚確率の上昇幅も増加するものとし、 $q_{\gamma x} > 0$ を仮定する。

企業ヒアリングから紙マニフェスト管理のコストが課題になっていることから、電子マニフェストの導入はマニフェスト1単位当たりの適正処理を減少させるものとし、1単位当たりの適正処理コストは $c_\gamma^L < 0$ とする。

以上の設計のもとで、廃棄物処理を行う主体の費用最小化問題を以下のように定義する。

$$\min c^L(\gamma)(1-x) + c^I x + q(\gamma, x)F + M(\gamma) \quad (14)$$

このとき、一階の条件は、

$$-c^L(\gamma) + c^I + q_x(\gamma, x)F = 0 \quad (15)$$

よって、電子マニフェストの導入が不適正処理の割合 x に与える効果は、

$$\frac{dx}{d\gamma} = \frac{-c_\gamma^L + q_{x\gamma}}{q_{xx}F} < 0 \quad (16)$$

となる。よって、電子マニフェストの導入によるトレーサビリティの向上は不規制処理を減少させる効果が期待できる。

4.2.2.4 小括

本節では、電子マニフェスト普及率向上の効果を検討したが、既存の産業廃棄物のバリューチェーンにない視点としては、IT技術の進展で近年利用が進んでいる価格メカニズムのリアルタイムでの活用がある。これはダイナミックプライシングと呼ばれており、インターネットショッ

ピングなどのネット空間での利用だけでなく、公共交通などの社会インフラでも導入が進みつつある。インターネットをはじめとする IT 技術がなかった時代には取引費用が高すぎて「机上の空論」に過ぎなかったが、その壁は乗り換えられたのである。そこで、次節では活用が進んでいる公共交通の事例に基づいて、ダイナミックプライシングの理論的背景を解説する。就業人口がますます減少する中で、産業廃棄物処理業界も生産性向上は最重要課題であり、ダイナミックプライシングは大きな可能性を秘めていると考えられる。今後の産業廃棄物処理業への応用を念頭に、次節ではこのダイナミックプライシングの基本的な仕組みについて概説する。

4.2.3 情報技術を生かした価格指標による効率性向上

近年いわゆるダイナミックプライシングが、時間とともに変化する需要と供給を適切にマッチさせるための手法として多くの産業で使われるようになってきている。たとえば交通セクターでは、航空券の価格は同じ座席種別であっても、購入するタイミングによって異なる価格がつけられるようになって久しいが、最近ではスポーツ観戦や観劇のチケットなどが、チーム成績や天候などを反映する形の AI を利用したダイナミックプライシングを採用するようになってきた。

ダイナミックプライシングは、適切に行えば、社会厚生を向上させる効果をもつ。これは、その需要が時間的に変動する廃棄物処理産業についても言える。たとえば、枝や落ち葉、オフィスゴミの排出には大きな季節変動や祝祭日などの日変動があるなど、時間を通じた廃棄物の発生パターンは大きく変動している。小泉、荒井、河野ら(小泉 明、荒井康裕、河野裕和、「都市における月別ごみ量の時系列分析に関する一考察」、土木学会第 56 回年次学術講演会 VII-002、平成 13 年 10 月)は、通年を基準とした場合に、12月の季節変動は1割程度の上振れがあるのに対し、2月には下方に同程度下振れすることを、フーリエスペクトルを用いたモデルを通じて予測している。

ダイナミックプライシングを適切に行うには、公的機関による政策の策定が欠かせない。もしも利潤最大化を目指す民間企業などの主体がこれを行えば、必ずしも社会的に望ましい資源配分が達成されるとは限らない。したがって本章では、ダイナミックプライシングに関して一定の研究蓄積をもつ交通セクターの知見にもとづいて、その基礎的な理論と社会的最適の概要について解説する。具体的には、ダイナミックプライシングの古典的な例であるボトルネックモデルを紹介し、そこにおける社会的に最適な資源配分の考え方について詳述する。

4.2.3.1 ボトルネックモデルの概要

本節ではボトルネックモデルの概要を解説する。ボトルネックモデルでは、需要超過により渋滞する箇所、いわゆるボトルネックを持つ高速道路ネットワークを想定する。単位期間中、たとえば一日のうちに、この高速道路ネットワークを移動する一定の自動車交通需要、たとえば数万台の通勤乗用車といった総交通需要を想定する。さらに、これらの利用者はすべて同一の希望到着時間、すなわち始業時刻を持つと仮定する。(もちろんこの仮定は緩和することも可能であり、そのような先行研究も多数存在するが、理論の本質的な含意は変わらないので、ここでは単純化のために同一の希望到着時刻の仮定を採用する。)

上述した通り、この高速道路上にはボトルネックが存在する。一例としては料金所などをイメージすると良いかもしれない。このボトルネックにはサービス供給制約が存在する。そのため、単位時間あたり一定数の需要しか処理できない。裏を返せば、数万台という日々の総自動車交通需要を処理するためには一定程度の時間、たとえば数時間という時間が必要となる。このことは、希望到着時刻に目的地に到達できるのは数万人の利用者のうちたった一握りのみであり、その他の多くの利用者は希望到着時刻以前あるいは以後に到着することを余儀なくされる、ということを意味する。

一部の人々は希望到着時刻あるいはその近傍の時刻に到着する一方、他の人々は早着や遅刻を余儀なくされる。この状況は不公平である。すなわち、均衡とはなりえない。なぜなら、早着や遅刻を余儀なくされている人は、希望到着時刻あるいはその近傍に到着するように行動を変更する強いインセンティブを持つからである。

結果として、希望到着時刻周辺には、交通が集中し、ひどい渋滞が発生する。希望到着時刻に到着する一部の人々は、長い渋滞を経る必要がある。それに対し、早着や遅刻をする利用者は、それほど大きな渋滞を経験しない。

これがボトルネックにおける均衡の概要である。希望到着時刻に到着する人々は、早着や遅刻の費用、いわゆるスケジュール遅延費用を支払わない一方、大きな渋滞の時間費用を支払う。早着や遅刻をする人々の支払う渋滞時間費用は小さいが、早着や遅刻の費用が大きい。こうして均衡においては、どの時刻に到着することを選んだとしても、結果として各利用者が支払う利用者費用はすべて同じになる。この個別の利用者費用を総利用者数で乗じたものが、均衡における社会的費用である。

このボトルネックにおける均衡はじつは社会的には望ましい状態とは言えない。結論から言えば、ダイナミックプライシングを行うことによって、社会的費用を半減させることができる。その理由は、ダイナミックプライシングが、社会的費用のうち、渋滞の時間費用の部分を高速道路利用料金というかたちで当局への移転に置き換えるからである。

ボトルネックモデルにおけるダイナミックプライシングでは、各利用者が支払う渋滞の時間費用に相当する額を、高速道路利用料金として徴収する。したがって、希望到着時刻に到着する利用者がもっとも高額な利用料を支払う。また、もっとも早着あるいは遅着する利用者は、そもそも渋滞に直面しないため、支払う利用料もゼロである。

上述した、希望到着時刻あるいはその近傍に到着する利用者と早着や遅刻する利用者との間の不公平というのは、スケジュール遅延費用だけを比較したために生じたものである。この不公平を、直面する渋滞時間費用の差異ではなく、利用料の差異で補填しよう、というのがダイナミックプライシングの本質的意義である。

ボトルネックモデルは、社会的に望ましいダイナミックプライシングにおいては利用料金を刻一刻と連続的に変化させることが最適であることを示唆する。しかし実際にはそれを行うことは政策的、実務的、あるいは政治的に難しいことも多い。

日本では長らく、見かけ上は同じサービスを受けていながら異なる料金を支払うことに対する間違った意味での不公平感が強いこともあってか、道路交通における渋滞緩和を目的としたダイナミックプライシングの導入は、その理論的研究蓄積の歴史の割には進んでいるとは言えない。たとえば、首都高速などの同一路線において、朝のラッシュアワーに都心に向かう上り線と都心から郊外へ出る下り線で同じ料金体系であることなどからもそれが伺える。この背後には需要が価格弾力的である場合には、こうした混雑課金の導入によって社会的厚生は改善するが、利用者が支払う費用も上昇するため、政治的な困難に直面している可能性もあるのかもしれない。「ただでさえ混んでいるのに、さらに高い料金を課すとは何事だ」という利用者の感情である。そこには、各利用者の、自らの行動が他の利用者に及ぼす負の外部生、いわゆる限界外部費用に対する無知がある。

しかし海外に目をやれば、たとえばシンガポールが都心部におけるコードンプライシングに時間可変ブロック料金制度を組み合わせるなど、きめの細かい交通需要管理政策が行われている。こうした政策を、本邦における廃棄物処理産業においても先んじて応用することができれば、変動する需要に対する限られた処理能力という供給制約のもとで社会的に望ましい資源配分を達成することができると考える。

次節以降では、ボトルネックモデルをはじめて厳密に定式化した Arnott らによる研究 (Arnott, Richard, André De Palma, and Robin Lindsey, "Economics of a bottleneck." *Journal of urban economics* 27.1 (1990): 111-130.) を紹介することにより、こうした需要と供給の時間軸上のミスマッチの問題とそれを是正するダイナミックプライシング政策の理論とその含意を、社会的最適な連続可変料金制度だけでなくブロック料金制度などの、いくつかの政策のケースに分けて詳述していく。

4.2.3.2 ボトルネックモデル論文への導入

本論文は、朝のラッシュ時(道路の需要のピーク時)に自宅から職場まで、利用者が車で通勤する際に発生する渋滞を、(Vickrey (Amer. Econ. Rev. 59, 251-261 (1969)) 等の先行研究を参考にして、最も簡易的なボトルネックモデルによる経済分析を行っている。このモデルでは、すべての利用者にかかる通勤費用は一定であるという前提でその通勤費用を大きく二つに分類している。一つ目は、渋滞に嵌ってしまい発生した通勤時間費用(渋滞時間費用)である。二つ目はスケジュール費用(早着時間費用・遅着時間費用)である。スケジュール費用は、職場への到着時刻が始業時刻ぴったりでない場合に発生する費用(始業時刻より早く着いた場合は早着時間費用、遅く着いた場合は遅着時間費用)である。本論文は、ボトルネック入口で発生する渋滞を解消するために、現実的に実施が難しい社会的最適な通行料金(ダイナミックプライシングー動的通行料設定)の代わりに、実施可能な次善な通行料金システム(ラッシュ時間のピーク)で自動車通勤者出発時刻の頻度分布を分散させ、通勤時間費用を減少させることにより、社会全体の費用から通勤費用の一部を節約させたこと点で先行研究を拡張させている。

多くの都市経済学者は、flow congestion (渋滞している道路に車一台(個人)が進入することで周囲の車(個人)の費用が増加する問題)を処理する rush-hour traffic models (ラッシュ時交通モデル)に精通している (Strotz [35]、Vickrey [37, 38]、Mohring [29] inter alia、and reviewed in Arnott [3])。このモデルの中で最もシンプルなものは、朝の通勤ラッシュ時に N 人の同質な利用者が、自宅から職場まで一本の道路で通勤することを想定している。利用者の通勤時間 T は $T = T(N, w)$ (w は道路幅、 $\partial T / \partial N > 0$ 、 $\partial T / \partial w < 0$) で与えられる。ここでは、通勤ラッシュ時間の長さは外部性であり、交通量の流入はラッシュ時間全体で均一であることが暗示されている。このようなモデルを 'naive' flow congestion model と呼び、交通エンジニアが採用する明示的に交通流量の物理量を扱うより高度な flow congestion model と対比する。このモデルは、弾力性のある通勤需要への対応 (e.g., Wilson [40])、複数のモード (e.g., Mohring [30]) および単一中心の都市モデルへの組込み (e.g., Arnott [2]、Kraus [24]) など広く拡張されている一方、利用者がいつ自宅を出発するかという意思決定を処置するという概念上の弱点を克服できなかった。この決定を行う際、利用者はトレードオフに直面する。このトレードオフを通勤時間費用スケジュール費用(早着時間費用・遅着時間費用)の観点でモデル化する最もシンプルな方法である。

本論文では、都市の自動車交通渋滞を調査しているが、本モデルは、通信や航空旅行ネットワーク、送電網、コンピューター、スイミングプール等の公共施設など、ピーク負荷需要がある他の混雑可能な施設を処理する分野にも適応および拡張することが可能であると考ええる。

4.2.3.3 モデル

本モデルでは、毎朝、通勤ラッシュ時に N 人という決まった数の利用者が、自宅(A)と職場(B)の間を車で通勤している。自宅(A)と職場(B)は一本の道路で結ばれており、その途中に渋滞が発生するボトルネックという箇所がある。このボトルネックでは単位時間あたり最大 s 台の車が通行可能(フローの上限: s)であり、それを超えるとボトルネックを通過するためにボトルネック入口で順番を待つ利用者が累積する。ここで発生した待ち行列がボトルネック渋滞である。また自宅(A)と職場(B)の間ではボトルネック以外で渋滞が発生しないものとする。

自宅(A)から職場(B)への通勤時間は

$$T(t) = T^f + T^v(t) \quad (1)$$

T^f は、自宅(A)から職場(B)の通勤にかかる固定通勤時間。 $T^v(t)$ は、ボトルネックで渋滞に嵌った際に発生する可変通勤時間(渋滞時間)。 t は自宅(A)を出発した時刻である。ここで制限なしに $T^f = 0$ とし、自宅(A)からボトルネック、ボトルネックから職場(B)までは通勤時間が発生しないものとする。ボトルネックにおける待ち行列時間(渋滞時間)は

$$T^v(t) = \frac{D(t)}{s}; \quad (2)$$

$D(t)$ はボトルネックにおける渋滞の待ち行列の長さ(渋滞長さ)、 s はボトルネックでの単位時間あたり通行可能な利用者=フローの上限である。 \hat{t} は渋滞による待ち行列がなくなった最新の時刻であり、 $r(t)$ は時刻 t における自宅(A)からボトルネックへ出発する利用者数を表す関数である。

$$D(t) = \int_{\hat{t}}^t r(u) du - s(t - \hat{t}), \quad (3a)$$

$$\dot{D}(t) = r(t) - s \quad \text{for } D(t) > 0, \quad (3b)$$

$\dot{D}(t)$ は $D(t)$ の導関数である。本論文では簡略化のため、すべての利用者が始業時刻 t^* に職場(B)に到着したいと仮定しており、 \tilde{t} に自宅(A)を出発すれば始業時間 t^* に職場(B)に到着できる。

$$\tilde{t} = t^* - T^v(\tilde{t}) \quad (4)$$

$t < \tilde{t}$ で自宅(A)を出発する場合、 $t^* - t - T^v(\tilde{t})$ だけ始業時間より早く到着する。 $t > \tilde{t}$ のとき、 $t + T^v(\tilde{t}) - t^*$ だけ始業時間より遅く到着する。Vickrey [38]が、通勤費用 C は通勤時間費用とスケジュール費用(早着時間費用・遅着時間費用)と線形の関係であると想定したように

$$\begin{aligned}
C &= \text{通勤時間費用} + \text{早着時間費用} + \text{遅着時間費用} \\
&= \alpha(\text{通勤時間}) + \beta(\text{早着時間}) + \gamma(\text{遅着時間})
\end{aligned} \tag{5}$$

α は通勤時間のシャドウ値であり、 β と γ は早着時間と遅着時間のシャドウ値である。本論文では $T^f = 0$ のため通勤時間＝渋滞時間となる。

4.2.3.4 通行料金なしでの均衡

本モデルの均衡は、利用者が出発時間を変更するインセンティブを持たない状況で行動すること仮定している。また本モデルでは利用者の性質は同一であり、どの時刻に自宅(A)から職場(B)に出発しても、すべての利用者に対して同一の通勤費用Cが発生する。 $\alpha > \beta$ の状況下では、最初と最後を除くすべての利用者が待ち行列時間(渋滞)を経験し、自宅(A)からボトルネックへ出発する利用者数の関数 $r(t)$ は区分的に一定であり以下の式のようになる。

$$r(t) = \begin{cases} s + \frac{\beta s}{\alpha - \beta} & \text{for } t \in [t_q, \tilde{t}] \\ s - \frac{\gamma s}{\alpha + \gamma} & \text{for } t \in (\tilde{t}, t_{q'}] \end{cases} \tag{6}$$

t_q および $t_{q'}$ は、それぞれ通勤ラッシュ時の開始時刻と終了時刻であり、この結果の根底にあるのは、 $r(t)$ は、出発を後らせることによる単位時間当たりの限界利益が限界費用と等しくなければならないということである。時刻 \tilde{t} までに自宅を出発する場合、出発を遅らせることによる限界利益は早着時間費用： $\beta(1 + \dot{D}/s)$ を減少させることであり、限界費用は通勤時間費用： $\alpha\dot{D}/s$ を増加させることである。(3b)より $t \in [t_q, \tilde{t}]$ における $r(t)$ を求めることができる。 $t \in (\tilde{t}, t_{q'}]$ については通勤時間費用を減少させ、遅着時間費用を増加させることである。一方、職場への到着率はラッシュ時を通して s で一定である。このように、待ち行列(渋滞)は t_q から \tilde{t} までは直線的に増加し、 \tilde{t} から $t_{q'}$ の間に直線的に消散する。

次の3つの方程式に従って、 t_q 、 $t_{q'}$ 、 \tilde{t} を計算する。

$$(\tilde{t} - t_q) \left(s + \frac{\beta s}{\alpha - \beta} \right) + (t_{q'} - \tilde{t}) \left(s - \frac{\gamma s}{\alpha + \gamma} \right) = N \tag{7a}$$

$$(\tilde{t} - t_q) \frac{\beta s}{\alpha - \beta} = (t_{q'} - \tilde{t}) \frac{\gamma s}{\alpha + \gamma} \tag{7b}$$

$$\tilde{t} + \frac{\beta}{\alpha - \beta} (\tilde{t} - t_q) = t^* \tag{7c}$$

(7a)は出発するの利用者の総数がNであり、(7b)は待ち行列(渋滞)が $t_{q'}$ で消失することを、(7c)は \tilde{t} の定義より導かれていることを示している。これらの方程式を解くと、

$$t_q = t^* - \left(\frac{\gamma}{\beta + \gamma} \right) \left(\frac{N}{s} \right) \tag{8a}$$

総通勤時間(総渋滞時間)は、 $\int_{t_q}^{t_q'} D(t)dt$ として計算できる(FIG.1.の三角形 OBD の面積)。また総早着時間

は、 $\int_{t_q}^{t_q^*} s(t^* - t) dt$ である(FIG.1.の三角形 OAC=OCF の面積)。および総遅着時間は $\int_{t_q^*}^{t_q'} s(t - t^*) dt$ であ

る(FIG.1.の三角形 DCE の面積)。これらの面積と(8)より総通勤時間費用(総渋滞時間費用)(TTC)と総スケジュール費用(総早着時間費用・総遅着時間費用)(SDC)を計算できる。

$$TTC^e = SDC^e = \frac{\beta\gamma}{2(\beta+\gamma)} \left(\frac{N^2}{s} \right) \quad (12)$$

(11)と(12)より TTC^e 、 TTC^e 、 SDC^e はすべて α より独立していることがわかる。ラッシュ時間の長さも α より独立している。 t_q と t_q' に自宅(A)を出発する利用者の通勤費用はスケジュール費用のみである。それらは均衡下では等しくなるため、 t_q における早着時間費用と t_q' における遅着時間費用は等しくなければならない。またラッシュ開始時刻: t_q とラッシュ終了時刻: t_q' も α より独立していることが(8a)と(8b)より確認できる。総通勤費用は、総通勤時間費用(総渋滞費用)から総スケジュール費用(総早着時間費用・総遅着時間費用)を引いたものに等しいため、これらも α より独立していることがわかる。通勤時間(渋滞時間)のシャドウ値の α が増加すると、総通勤時間(総渋滞時間)が同じ比例量だけ減少するため、総通勤時間費用(総渋滞時間費用)は一定となる。

4.2.3.5 社会的最適状態と通行料金なしでの均衡の比較

本論文では、総通勤費用が最小限に抑えられる社会最適点をヒューリスティックに導き出している。第一に、待ち行列時間(渋滞時間)は純粋な死重損失(デッドウェイトロス)であり、社会的最適状態下では待ち行列(渋滞)はなく総待ち行列時間費用(総渋滞時間費用)は0である。第二に、通勤はラッシュ時間中、連続して発生する(そうでなければ総スケジュール費用(総早着時間費用・総遅着時間費用)の合計が不必要に大きくなる)。第一・二は、ラッシュ時間における利用者の単位時間あたりの出発数と到着数が s であることを意味している。第三に、ラッシュ開始時刻とラッシュ終了時刻の利用者のスケジュール費用(早着時間費用と遅着時間費用)は同じである(そうでなければ、費用の低い方に利用者を転送することにより、総スケジュール費用を削減することができる)。ボトルネックは社会的最適状態下と料金所なしでの均衡下で同一であるため、ラッシュ時間にわたって利用者数が同一の場合はラッシュ時間の長さは両者で同じとなり、ラッシュ開始時刻とラッシュ終了時刻の利用者のスケジュール費用(早着時間費用と遅着時間費用)も同じとなる。以上より、ラッシュ開始時刻と終了時刻、および累積到着自動車通勤者(個人)数の関数は、社会的最適状態下と料金所なしでの均衡下において同じであることを意味する。以下のように、時刻に応じて通行料を採用すること(ダイナミックプライシングー動的通行料設定)により、待ち行列(渋滞)を社会的最適状態まで分散させることができる。

$$\tau^o(t) = \begin{cases} 0 & t < t_q \\ a - (t^* - t)\beta & t \in [t_q, t^*) \\ a - (t - t^*)\gamma & t \in [t^*, t_q] \\ 0 & t > t_q' \end{cases} \quad (13)$$

$a \leq (\beta\gamma/(\beta + \gamma))(N/s)$ 、上付き文字 o は社会的最適状態(社会的最適な通行料金)を示す。通行料金なしの時と比較して、社会的最適な通行料金(ダイナミックプライシングー動的通行料設定)を適用すると、総スケジュール費用(総早着時間費用・総遅着時間費用)は同じであるが、総通勤時間費用 TTC(総渋滞時間費用)を排

除することができる。すなわち社会から渋滞をなくし総渋滞時間費用を節約することができる。しかしながら、(13)のようにラッシュ時間内にわたり連続して通行料金の変動するダイナミックプライシングは、各パラメーターを得ること以上に運営費用も非常に高くなる可能性があり社会実装することは事実上困難である。De Palma and Arnott [10]は、時間に応じてではなく待ち行列長さ・時間(渋滞長さ・渋滞時間)に応じた通行料金を提案した。恣意的に通行料金が高く設定されている場合、待ち行列(渋滞)に参加する利用者はおらず、すべての死重損失(デッドウェイトロス)が排除され、社会的最適が達成される。

4.2.3.6 次善な通行料金

上述のような社会的最適な通行料システム(ダイナミックプライシング—動的通行料設定)は、実社会では見られない代わりに、多くの通行料は1日を通して均一であるか、階段関数のものである。本モデルで移動需要が非弾性である以上、均一な通行料は効果がないため、このセクションでは、ラッシュ時間内のどこかのタイミングで通行料を適用することで社会から総通勤時間費用 TC (総渋滞時間費用)を節約する次善な通行料金 ρ^c について調べる。

次善な通行料金 ρ^c は、時間間隔 $[t^+, t^-]$ に亘り待ち行列(渋滞)の先頭で課金され、 t^+ は次善な通行料課金開始時刻、 t^- は課金終了時刻、上付き文字のcはthe optimal coarse toll equilibrium(次善)を示している。本セクションでは、次善な通行料金 ρ^c と時間間隔 $[t^+, t^-]$ を見つけることを目的とし結果をシンプルに提示している。また厳密な計算と証明は、要望に応じて著者から入手可能である。

平衡の定性的性質は、 $\gamma \begin{matrix} > \\ = \\ < \end{matrix} \alpha$ のどの関係かに依存しており、経験的推定(Small [32])は1分の遅着時間のシャドウ値が通勤時間(渋滞時間)のシャドウ値よりもかなり大きいことより、 $\gamma > \alpha$ であると提案している。本論文でも、 $\gamma > \alpha$ の場合に次善な通行料金 ρ^c を適用した時に社会費用に与える定性的な効果のみを扱う。

Fig.2.にその効果を示す。まず、次善な通行料金 ρ^c はラッシュ時間内の時刻 $t^+ \in (t_q, t^*)$ で適用開始され、時刻 $t^- \in (t^*, t_{q'})$ で適用終了する。ラッシュ時間内以外では適用されない。次に、 ρ^c と t^+, t^- は、 t^+ 時刻と t^- 時刻時点で待ち行列長さ(渋滞長さ)が0となるように決定される。また、その通行料金 ρ^c が最適であるかどうかにかかわらず、通行料金 ρ^c の適用開始時刻 t^+ 前の ρ^c/α 間に自宅(A)を出発する利用者がいない一方で、適用終了時刻 t^- 直後には、 $2sp^c/(\alpha + \gamma)$ もの利用者たちが自宅(A)を一斉に大量出発する。

以下、上述の理由を説明する。ラッシュ時間を通してボトルネック箇所は利用者でいっぱいになるため、通行料金 ρ^c が適用されて最初に職場(B)に到着する利用者は、通行料金 ρ^c が適用される前、最後の利用者の次に職場(B)に到着する。

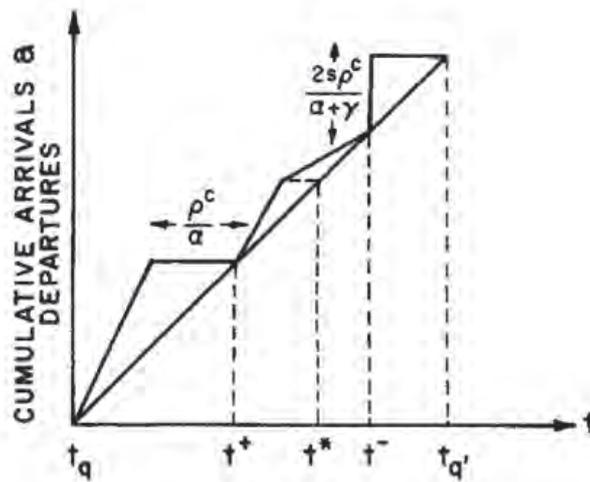


FIG. 2. Traffic flow over the rush hour with an optimal coarse toll and $\gamma > \alpha$.

【引用】RICHARD ARNOTT, ANDRE DE PALMA, and ROBIN LINDSEY (1987) "Economics of a Bottleneck"
: JOURNAL OF URBAN ECONOMICS 27, 120 (1990)

そのため、両者の利用者のスケジュール費用(早着時間費用)は、ほぼ同一になる。また、すべての利用者に対して、同じ通勤費用が発生する。通行料金 ρ^c が適用されて最初に職場(B)に到着する利用者は、通行料金 ρ^c を支払うため、通行料金 ρ^c が適用される前、最後の利用者は通行料金の適用開始時刻 t^+ の ρ^c/α 前に出発しなくてはならない。通行料金 ρ^c の適用終了時刻 t^- 直後に利用者たちが一斉に大量出発する現象も同様で、通行料金 ρ^c が終了する直前と終了した直後の利用者には同じ通勤費用が発生する。通行料金 ρ^c 終了直前の利用者は通行料金 ρ^c を支払っているため、通行料金 ρ^c 終了直後の利用者には ρ^c に相当する通勤時間費用(渋滞費用)が発生する必要がある。これは、通行料金 ρ^c が終了した直後に利用者が大量出発しない限り上述の状態は起こりえない。ここで、通行料金 ρ^c が終了した直後に発生する待ち行列(渋滞)での利用者の列内での順序はランダムであると想定しているため、大量出発した利用者の総数が、 $2s\rho^c/(\alpha+\gamma)$ であることがわかる。均衡下での最後の特徴は、大量出発後に誰も出発しないことである。

次善な通行料金 ρ^c は以下の方程式より、

$$\rho^c = \frac{\beta\gamma}{2(\beta+\gamma)} \left(\frac{N}{s}\right) \quad (14a)$$

$$t_q^c = t^* - \frac{\gamma}{\beta+\gamma} \left(\frac{N}{s}\right) + \frac{(\gamma-\alpha)\rho^c}{(\beta+\gamma)(\alpha+\gamma)} \quad (14b)$$

$$t^+ = t_q^c + \frac{\rho^c}{\beta} \quad (14c)$$

$$t^- = t_q^c + \frac{N}{s} - \frac{2\rho^c}{\alpha+\gamma} \quad (14d)$$

セクション VI で最適容量を決定するために以下を計算する。第一にスケジュール費用 SDC^c は、

$$SDC^c = \frac{\beta s}{2} (t^* - t_q^c)^2 + \frac{\gamma s}{2} \left(t_q^c + \frac{N}{s} - t^*\right)^2 \quad (15)$$

t_q^c は(14b)より与えられる。第二に総通行料金利益 R^c は(14)より、

$$R^c = \rho^c s(t^- - t^+) \quad (16)$$

第三に総通勤費用 TC^c は、

$$-\frac{R^c}{N} + \beta(t^* - t_q^c) = \frac{TC^c}{N} \quad (17)$$

これは総通行料金利益 R^c が均等にすべての利用者 N へ再分配される場合、最初に出発する人の通勤費用 ((17)の左辺)が平均通勤費用((17)の右辺)に等しいという関係を利用して計算している。以上より、 $TTC = TC - SDC$ となる。Table 1.に計算結果を示す。

TABLE 1
Some Aggregates

Case	SDC	TTC	TC
No toll	ϕ	ϕ	2ϕ
Social optimum	ϕ	0	ϕ
Optimal coarse toll			
$\gamma > \alpha$	$\chi\phi$	$(\psi - \chi)\phi$	$\psi\phi$

Note.

$$\phi \equiv \frac{\beta\gamma}{2(\beta + \gamma)} \left(\frac{N^2}{s} \right), \quad \chi \equiv 1 + \frac{\gamma\beta(\gamma - \alpha)^2}{4(\beta + \gamma)^2(\alpha + \gamma)^2},$$

$$\psi \equiv \frac{3}{2} - \frac{(\gamma - \alpha)\beta}{2(\beta + \gamma)(\alpha + \gamma)}.$$

【引用】RICHARD ARNOTT、ANDRE DE PALMA、and ROBIN LINDSEY (1987) "Economics of a Bottleneck"
: JOURNAL OF URBAN ECONOMICS 27, 121 (1990)

$TC^e > TC^c > TC^o$ となる。 $\gamma > \alpha$ で次善な通行料金 ρ^c を適用した場合、ラッシュ終了時刻 $t_{q'}^c$ で自宅(A)を出発する利用者はいない。これは、 $C(t_q^c) < C(t_{q'}^c)$ であることを意味しており、この理由のため Fig.3.では

$t_q^c > t_q^e = t_q^o$ 、 $t_{q'}^c > t_{q'}^e = t_{q'}^o$ となっている。また、 SDC はラッシュ時間内で最初の利用者と最後の利用者が同じになる条件下で最少となる。通行料金なしでの均衡時はこの条件を満たすため、 $SDC^c > SDC^e$ となり、 $SDC^c > SDC^e = SDC^o$ となる。上述の不等式と $TTC^o = 0$ より、 $TTC^c > TTC^e > TTC^o$ となる。

Table 1.の結果に基づいて、総通勤時間費用とスケジュール費用の比率や、次善な通行料金 ρ^c を適用した際の社会的節約などを計算できる。

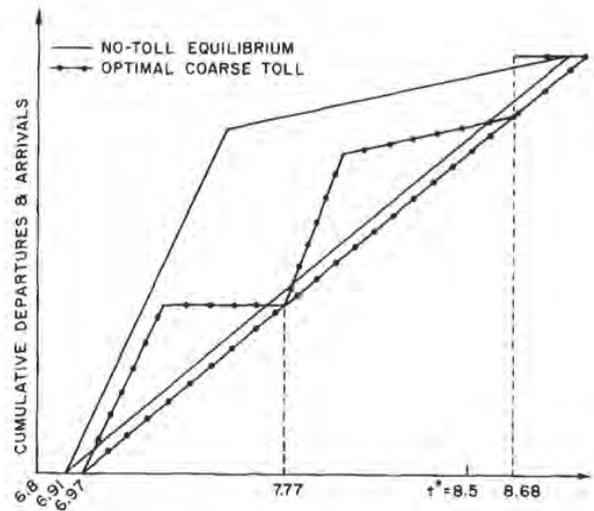


FIG. 3. Cumulative departures and arrivals. Example: $N/s = 2$, $\alpha = 6.4$, $\beta = 3.9$, $\gamma = 15.21$.

【引用】RICHARD ARNOTT、ANDRE DE PALMA、and ROBIN LINDSEY (1987) “Economics of a Bottleneck”

4.2.3.7 事例

このセクションでは Small [32]に基づいて、ラッシュ時間が2時間続き始業時刻が8時半($t^* = 8.5$ AM)の場合の事例を考える。通勤時間、早着時間、および遅着時間のシャドウ値(α 、 β 、 γ)は、それぞれ\$ 6.40 /時間、\$ 3.90 /時間、および\$ 15.21 /時間である。ここで、 $\gamma > \alpha$ で次善な通行料金 ρ^c を適用した場合 (14)より $\rho^c = 3.10$ 、 $t_q = 6.97$ 、 $t^+ = 7.77$ AM、 $t^- = 8.68$ AMである。通行料金なしでの均衡下と次善な通行料金 ρ^c を適用した場合の利用者の累積発着数を Fig.3.に示す。セクション IV で説明したよう $t_q^c > t_q^e = t_q^o$ 、 $t_{q'}^c > t_{q'}^e = t_{q'}^o$ となっている。

一人当たりの集計結果を Table 2.に示す。 $t^+ = 7.77$ AMから $t^- = 8.68$ AMの間に次善な通行料金 ρ^c を課すと、通勤料金なしの均衡下に比べて通勤費用は1人あたり平均\$1.68削減する。通勤時間費用(渋滞時間費用)が平均\$1.70削減し、平均スケジュール費用が\$ 0.02増加する。一方、社会的最適な通行料金(ダイナミックプライシングー動的通行料金設定)の適用では、通勤費用は1人あたり\$3.10削減する。この事例では、次善な通行料金 ρ^c は社会的最適な通行料金で削減できる通勤費用の54.2%を削減できる。

$$eff^c = \frac{TC^e - TC^c}{TC^e - TC^o} \quad (18)$$

TABLE 2
Example: Per-capita Aggregates, Capacity Fixed

Case	SDC/N	TTC/N	TC/N
No-toll equilibrium	\$3.10	\$3.10	\$6.21
Social optimum	\$3.10	0	\$3.10
Optimum coarse toll	\$3.12	\$1.40	\$4.53

【引用】RICHARD ARNOTT、ANDRE DE PALMA、and ROBIN LINDSEY (1987) “Economics of a Bottleneck”
: JOURNAL OF URBAN ECONOMICS 27, 123 (1990)

本モデルの通行料の課金による渋滞削減(社会費用の節約)を、先行研究から得られた数値を当てはめて比較することは興味深く、以下に各先行研究の主な概要を説明する。また先行文献の中で、Small [33、 e.g.]を除くすべての先行文献では 'naive' flow congestion model を採用している。

各論文は、どのマージンが通行料に影響を与えるかによって区別されている。最初に、Arnott and MacKinnon [5]と Segal and Steinmeier [31]は、通行料の課金を固定 CBD かつ固定トリップ頻度の単一中心都市モデルに当てはめて、その効果がロットサイズの選択のみに影響を与えること、平均世帯収入の 0.07%および 0.08%の効率向上という結果を得ている。(効率の向上を交通費の割合として報告する論文もあれば、収入の割合として報告する論文もあるので、本論文では、交通費は収入の 10%であると概算して、効率の向上は引き続き交通費の割合として提示する)次に、Sullivan [36]は、CBD のサイズが内生的に決定されるより洗練された単一中心都市モデルに当てはめて、8%に等しい効率の向上を得ている。第三に、Kraus et al.[25]は、高速道路において最適な差動ピークおよびオフピーク料金を課すことによる最適な交通流量と最適な均一通行料金が課金される状況を比較して、効率向上を推定した。パラメーター値(価格の弾力性を含む)に応じて、彼らは 0.1 から 1%の範囲の効率向上の推定範囲を取得した。マージン調整は、2期間の通勤数である。第四に、Mohring [30]は、全体の交通需要が固定されている場合に、バスと車の間で代替政策の影響を調査した。ボリュームと容量の比率が有り、バス専用レーンがないこと、両モードの社会的費用の限界価格設定から得られるピーク時間の効率向上は自動車通行料金が無料でバス運賃がゼロに設定されている平衡状態で通勤費用のほぼは 50%になることを発見した。第五に、Kraus[24]は、これまでの中で最も豊かなモデルで、単一中心都市での非就労頻度とモデル選択の両方を内生的にし、約 8%の最大福祉利益を得た。Small [33]と上述の論文の結果を組み合わせることで、通行料課金による効率向上の大部分は、通行料課金がモード選択へ与える影響から得られると主張した。

本論文のボトルネックモデルでは、通行料は利用者の出発時刻のパターンにのみ影響し、これは、上記先行文献で論ぜられていないマージンである。社会的最適な通行料システムでは、効率の向上は、総変動通勤費用の 50%である。このように部分的な社会費用節約に対する金銭的影響は大きい。上記の例で、利用者 200,000 人が 1 年間に 200 日、朝のラッシュ時に通勤すると仮定する。またその時の割引率は 5%とする。朝のラッシュ時に次善な通行料金 p^c を適用した場合、節約できる社会費用のグロスの現在価値は、\$1,344,000,000 (\$6,720 per car) である。通行料金徴収の費用(管理、設備、料金徴収に起因する渋滞費用)を差し引いた後

でも、節約できる社会費用のネットは依然として印象的かもしれない。本モデルは非常にシンプルであり、上記の他のすべての調整マージンを無視するだけでなく、すべての利用者が同一で、すべての利用者が始業時刻 t^* に職場 (B) に到着したいと仮定している。実際、企業に期待する渋滞への対策として、始業時刻の分布を選択しフレックスタイムを導入することがある。これにより、ラッシュのピーク時に通勤時間のシャドウ値が低い利用者が、ラッシュの終了時にシャドウ値の高い人が利用者の選択で広がる。これらの効果は、通常、渋滞による効率の損失を削減させ、通行料金を課すことによる潜在的な効率の向上をもたらします。反対に、本論文のモデルは、Henderson[17]が提唱する通行料のもう一つの有益な効果、ラッシュ時間の延長を無視している。全体としてとして、Vickrey [37]で言及されている数値とははずれていないが、次善な通行料金 ρ^c を課金することによる総効率向上の上記の数値は高すぎるようだ。それにもかかわらず、このモデルは、都市交通料金の実施のための技術的に高度なスキームが、これまでに受けたものよりも深刻な注目に値することを示唆している。

4.2.3.8 費用対効果分析と最適容量

このモデルでは通勤需要が一定という前提のため、最適キャパシティ \hat{s} は、総通勤費用 TC と容量費用 $k(s)$ の合計を最小化したものである。

$$\hat{s} = \operatorname{argmin}(TC(s) + K(s)) \quad (19)$$

TABLE 3
Optimal Capacity

	No toll	Social optimum	Optimal coarse toll
\hat{s}	$\sqrt{2} \hat{s}$	\hat{s}	$\sqrt{\psi} \hat{s}$

Note.

$$\hat{s} \equiv N \left(\frac{\beta \gamma}{2(\beta + \gamma)k} \right)^{1/2} \quad \psi \equiv \frac{3}{2} - \frac{(\gamma - \alpha)\beta}{2(\beta + \gamma)(\alpha + \gamma)}$$

分析を簡素化するため、容量拡張には一定の容量費用 $k(s) = ks$ がかかると仮定し、Table 3.に3つ料金体系下での最適容量を示す。

次の不等式が成り立つ、

$$\hat{s}^e > \hat{s}^c > \hat{s}^o \quad (20)$$

\hat{s}^o とは、社会的最適な通行料システム(ダイナミックプライシング—動的通行料設定)つまり、ラッシュ時間内にわたり通行料金が細かいほど渋滞が少なくなるため、容量拡張による限界利益が低くなり、最適容量が小さくなる。ここで容量を扱うため前セクションの事例を拡張してラッシュ時間長さを2時間と仮定する。このとき実際選

択された容量は総通勤費用 TC と通行料金なしでの均衡における容量費用 $k(s)$ の合計値を最小化するものである。これは Table 3. から、 $k = 12.42$ 。この k の値と以前に仮定したパラメーター値を使用して、Table 4. が得られる。

TABLE 4
Example: Per Capita Aggregates, Capacity Optimal

Case	$\frac{\hat{s}}{N}$	$\frac{TC}{N} \Big|_{\hat{s}}$	$\frac{k\hat{s}}{N}$	$\frac{TC + k\hat{s}}{N}$
No-toll equilibrium	0.500	\$6.21	\$6.21	\$12.42
Social optimum	0.354	\$4.39	\$4.39	\$8.78
Optimum coarse toll	0.427	\$5.30	\$5.30	\$10.60

【引用】RICHARD ARNOTT, ANDRE DE PALMA, and ROBIN LINDSEY (1987) "Economics of a Bottleneck"
: JOURNAL OF URBAN ECONOMICS 27, 126 (1990)

また、ラッシュ時間は社会的最適下で最長であり、通行料金なしでの均衡で最短である。次に、TC が s の homogeneous of degree minus one であるため (Table 1. 参照)、最適容量 \hat{s} の 1 階の条件は $TC'(\hat{s}) + \kappa = 0$ となる。これは $-TC/\hat{s} + \kappa = 0$ であり $TC = k\hat{s}$ (総通勤費用 = 容量費用) を意味する。第三に、次善な通行料の適用による社会的節約は、通勤あたり約 \$ 1.82 であり、社会的最適な通行料システム (ダイナミックプライシングー動的通行料設定) を適用するとき節約できる費用の約 49.7% となる。これは以下の式より計算する。

$$eff^c = \frac{(TC + \kappa \hat{s})^e - (TC - \kappa \hat{s})^c}{(TC + \kappa \hat{s})^e - (TC - \kappa \hat{s})^c} \quad (21)$$

4.2.3.9 結論

本論文は、単一なボトルネックでの渋滞の経済性を調べ、次善な通行料金と最適容量を調べることにより、先行研究を拡張した。ラッシュ時間内に、社会的最適な通行料システム (ダイナミックプライシングー動的通行料設定) を適用することにより、利用者の自宅 (A) からの出発時刻の頻度分布が変化する。これから得られる社会費用の削減量は、より身近な 'naive' flow congestion mode を使用した際の削減量よりも大幅に大きくできる。さらに、次善な通行料金システムは社会的最適な通行料システム (ダイナミックプライシングー動的通行料設定) よりも通行料金徴収の費用 (管理、設備、料金徴収に起因する渋滞費用) を抑えて実施することができる。これは社会的最適な通行料システム (ダイナミックプライシングー動的通行料設定) よりも費用効率が高く、研究するに値する。しかし、現在の費用対効果分析は、総スケジュール費用と総通勤時間費用は同じ大きさであるにも関わらず、スケジュール費用を軽視する傾向があり誤った結果をもたらす可能性がある。本ボトルネック渋滞モデルは

総スケジュール費用と総通勤時間費用の関係からスケジュール費用の重要性を把握することができ、適切に拡張すると下記(a)~(f)を含む都市ラッシュ時間の交通フローについてよく説明できると考える。

(a) 利用者の異質性

(de Palma et al. [11])より利用者は、自分自身で出発時刻を選んでいる。例として、「工場労働者」と「専門家」を比較する。「工場労働者」の場合は、工場の稼働時間は生産計画など決まっており、職場(B)に到着したとしても給与に反映されないし、遅延した場合は、最悪工場が稼働できないなど周りに迷惑をかける可能性がある。反対に「専門家」は、工場のように稼働時間が決まっておらず、到着した場合、すぐに仕事に取り掛かれるし、遅着しても、遅着時間分遅くまで仕事すればよい。よって通勤時間のシャドウ値 α と到着時間と遅着時間のシャドウ値 β 、 γ の関係(α/β 、 α/γ)は「工場労働者」は低く「専門家」は高い傾向となる。これは、「工場労働者」はラッシュのピーク付近に到着するように出発(渋滞時間を気にしない)し、「専門家」はラッシュの始まりと終わり付近に到着する(渋滞時間をさける)傾向がある。しかし、道路幅を大きくする・料金所の数を増やすなどの容量拡張の利点を費用対効果分析する際、一般的には平均時間のシャドウ値が使用されます。この分析結果は、利用者の異質性(de Palma et al. [11])を考慮しておらず、道路へ過剰投資するというバイアスが生じる場合がある。利用者の出発時刻の分布に関する交通政策を策定する場合、利用者の異質性についても考慮する必要がある。

(b) 確率的な容量と需要

例えば、カナダのような厳しい冬がある国の場合、道路が雪に埋まってしまうなど道路の容量を変動させたり、利用者数が事故や帰宅できなくなる危険性を考慮して出勤をやめるなど道路の需要を変動させたりする。こういった変動性は、利用者の通勤時の情報量や知識によるものである。例えば、帰宅時に吹雪になることを事前に知っている通勤者は出勤を控えるかもしれないなど。(De Van and Saving [14])は、'naive' flow congestion mode かつ確率的な交通需要、利用者は交通需要(道路の混み具合)のみ知っている場合についてこの問題を調査した。しかし確率的な容量と需要を費用対効果分析する際、一般的には年間で最も渋滞する時間などの理想的な条件下で節約された通勤時間に基づいて大まかに容量を選択されている(Highway Research Board [21])。よって今後は、容量と需要の変動性が通行料金課金システムや最適容量を設定する際にどういった影響を与えるか考慮する必要がある。

(c) 流動ネットワーク

理論を社会実装する前に、道路ネットワーク(出発地、目的地とそのルートのつながり)についても考慮する必要がある。なぜなら、交通システムの変更は、道路ネットワーク全体に影響を及ぼす(ラッシュ時間内の利用者の使用する道路)ためである。予備的な結果は、(Mahmassani and Herman [27] and de Palma et al. [12, 13])を参照。通行料金課金が道路ネットワークのどこまで影響を与えるか。その範囲を考慮することも必要である。

(d) 超混雑(Hypercongestion)

渋滞は交通量の増加によって速度が低下することにより現れるのだが、道路の容量(道路容量)を超えて利用者が流入してこようとすると、道路に流入できない利用者が待ち行列を形成する。このとき速度は0になる。この領域のことを超混雑という。たとえばラッシュ時間に一斉に道路に利用者が流入し、道路という道路が車で埋め尽くされて全く動けない状態(速度=0)のグリッドロック現象なども超混雑である。大都市の渋滞による効率の

損失の大部分は、この超混雑に起因すると推測する。本論文では、グリッドロック現象の解決策などの超混雑について述べてないため、今後拡張する必要があると考える。

(e) 労働時間の変動性

本モデルでは、すべての企業が同じ始業時刻としているが、実際には、企業によって労働時間は異なる。Hendrickson and Kocur [18] and Henderson [17]) が、従業員の勤務時間が異なる場合、ラッシュ時間の交通量がどのように変化するかを調べているように、一部の企業が労働者に労働時間(フレックスタイム)の選択肢を与えている場合などを踏まえて本モデルを拡張する必要があると考える。

(f) 不均衡

本モデルでは利用者がラッシュ時間やピーク時刻などパーフェクトな情報を持っていることを前提としていたが、実際、利用者は個人の経験から渋滞を予測して出発時刻を決定している。経験が増えるとの時刻に出発すればよいかは正確になってくる。De Palma et al. [12] and Ben-Akiva et al. [6、7、8] が、この適応行動をシミュレーションするコンピューターモデルについて研究しているように拡張する必要がある。

以上述べてきたボトルネックモデルは、自動車通勤以外にも、通信や交通などのインフラ、送電網、公共施設など、ピーク負荷需要がある他の混雑可能な施設を処理する分野にも適応および拡張することが可能である。したがって、以上の知見を、廃棄物処理産業においても行政が積極的に応用し、適切なダイナミックプライシング政策を策定することが、社会全体の費用の最小化と資源配分の最適化において必要であると考えられる。

参考文献

1. A. S. Alpha and D. L. Mirth、 A stochastic model for the temporal distribution of traffic demand-The peak hour problem、 Transp. Sci. 13、 315-324 (1979).
2. R. Arnott、 Unpriced transport congestion、 J. Econ. Theory 21、 294-316 (1979).
3. R. Arnott、 Some issues related to the economics of non-stationary state traffic flow、 Revue Econ. 36、 11-43 (1985) [in French].
4. R. Arnott、 A. de Palma、 and R. Lindsey、 “Economics of a Bottleneck、” Queen’s University、 Institute for Economic Research、 discussion paper #636 (1985).
5. R. Arnott and J. MacKinnon、 Market and shadow land rents with congestion、 Amer. Econ. Rev. 68、 588-600 (1978).
6. M. Ben-Akiva、 A. de Palma、 and P. Kanaroglou、 Capacity constraints in traffic models with elastic demand、 “Proceedings of the 10th planning and research colloquium、” The Netherlands (1983).
7. M. Ben-Akiva、 M. Cyna、 and A. de Palma、 Dynamic model of peak period congestion、 Transp. Res. 18B、 339-355 (1984).
8. M. Ben-Akiva、 A. de Palma、 and P. Kanaroglou、 Dynamic model of peak period traffic congestion with elastic arrival rates、 Transp. Sci. 16、 164-181 (1986).

9. C. Daganzo, The uniqueness of a time-dependent equilibrium distribution of arrivals at a single bottleneck, *Transp. Sci.* 19, 29-37 (1985).
10. A. de Palma and R. Amott, Usage-dependent peak-load pricing, *Econ. Lett.* 20, 101-105 (1986).
11. A. de Palma, M. Ben-Akiva, C. Lefevre, and N. Litinas, Stochastic equilibrium model of peak period traffic congestion, *Transp. Sci.* 17, 430-453 (1983).
12. A. de Palma, C. Lefevre, and M. Ben-Akiva, A dynamic model of traffic congestion in a corridor, *Int. J. Comput. Math. Appl.* 14, 201-223 (1987).
13. A. de Palma, P. Hansen, and M. Labbé, "Commuters' paths with penalties for early or late arrival time," The Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science, Northwestern University, discussion paper 727 (1987).
14. A. De Vany and T. Saving, "Competition and highway pricing for stochastic traffic," *J. Bus.* 53, 45-60 (1980).
15. P. H. Fargier, "Influence du mode de choix de l'heure de depart sur la congestion du traffic routier," Institut de Recherche des Transports, Arcueil, France (1981).
16. J. V. Henderson, "Economic Theory and the Cities," Chap. 8, Academic Press, New York (1977).
17. J. V. Henderson, The Economics of Staggered Work Hours, *J. Urban Econ.* 9, 349-364 (1981).
18. C. Hendrickson and G. Kocur, Schedule delay and departure time decisions in a deterministic model, *Transp. Sci.* 15, 62-77 (1981).
19. C. Hendrickson and E. Planck, The flexibility of departure times for work trips, *Transp. Res. A* 18, 25-36 (1984).
20. A. Herman, Remarks on traffic flow theories and the characterization of traffic in cities, in "Self-Organization and Dissipative Structures" (C. S. Gwinn and P. M. Allen, Eds.), Univ. of Texas Press, Austin (1982).
21. Highway Research Board, "Highway Capacity Manual," Special Report 87 Highway Research Board, Washington, D.C. (1965).
22. V. F. Hurdle, Equilibrium flows on urban freeways, *Transp. Sci.* 15, 255-293 (1981).
23. Institute of Traffic Engineers, "Traffic Engineering Handbook," Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1976).
24. M. Kraus, The welfare gains from pricing road congestion using automatic vehicle identification and on-vehicle meters, *J. Urban Econ.* 25, 261-281 (1989).
25. M. Kraus, H. Mohring, and T. Pinfold, The welfare costs of nonoptimum pricing and investment policies for freeway transportation, *Amer. Econ. Rev.* 66, 532-547 (1976).
26. R. Lindsey, "Non-steady-state Traffic Flow," mimeo (1980).
27. H. Mahmassani and R. Herman, Dynamic user equilibrium departure time and route choice on idealized traffic arterials, *Transp. Sci.* 18, 362-384 (1984).
28. D. McFadden, A. Talvitie, et al., "Demand Model Estimation and Validation," The Urban Travel Demand Forecasting Project, Phase I Final Report Series, Vol. V, mimeo (no date).
29. H. Mohring, "Transportation Economics," Ballinger, Cambridge, MA (1976).
30. H. Mohring, The benefits of reserved bus lanes, mass transit subsidies, and marginal cost pricing

- in alleviating traffic congestion, in "Current Issues in Urban Economics" (P. Mieszkowski and M. Straszheim, Eds.), Johns Hopkins Press, Baltimore (1979).
31. D. Segal and T. Steinmeier, The incidence of congestion and congestion tolls, *J. Urban Econ.* 7, 42-62 (1980).
32. K. Small, The scheduling of consumer activities: Work trips, *Amer. Econ. Rev.* 72, 467-479 (1982).
33. K. A. Small, The incidence of congestion tolls on urban highways, *J. Urban Econ.* 13, 90-111 (1983).
34. M. J. Smith, The existence and calculation of traffic equilibria, *Transport. Res.* 17B, 291-303 (1983).
35. R. H. Strotz, Urban transportation parables, in "The Public Economy of Urban Communities" (J. Margolis, Ed.), Resources for the Future, Washington, D.C. (1965).
36. A. M. Sullivan, Second-best policies for congestion externalities, *J. Urban Econ.* 14, 105-123 (1983).
37. W. S. Vickrey, Pricing in urban and suburban transport, *Amer. Econ. Rev.* 53, 452-465 (1963).
38. W. S. Vickrey, Congestion theory and transport investment, *Amer. Econ. Rev.* 59, 251-261 (1969).
39. W. Wheaton, Price-induced distortions in urban highway investment, *Bell J. Econ.* 9, 622-632 (1978).
40. J. Wilson, Optimal road capacity in the presence of unpriced congestion, *J. Urban Econ.* 13, 337-357 (1983).

4.3 既存企業における現状認識ヒアリング結果

AI、IoT を活用した生産性向上の技術的課題の検討

4.3.1 背景と目的

産業廃棄物処理業は生活を支える重要なインフラの一つであるが、他の産業と同様に従業員の高齢化や人手不足、事業承継等の課題を抱えている。今後人口減少に伴う廃棄物発生量の減少が予想される一方で、廃棄物は一定量が発生するものであり、確実に処理ができる産業の安定性が求められる。さらには、循環型社会の形成に向けて資源循環業としての役割が必要と言える。これらに対して、第四次産業革命による「Society5.0」の実現に向け、ICTによる省人化や生産性向上が期待されている。

研究パート1の「産業廃棄物の将来フレームに関する研究」の試算によると、2045年の労働力需給のギャップ(需要÷供給)はおおよそ130%となることから、産業廃棄物処理分野においても130%の生産性向上が必要と考えている。

研究パート2では、今後必要な政策・技術的進展についての課題を整理し、政策立案に資する情報を得ることを目的としている。AI、IoTを活用して、情報の非対称による問題(排出事業者と処理業者間で情報が非共有)を回避しつつ、省人化・生産性向上につながる方策を検討する。

4.3.2 平成30年度の活動

平成30年度は、省人化・生産性向上につながる方策を検討する準備段階として、AI、IoTといった先端技術の勉強会を行った。

AI、IoTの先端技術を研究の参画者である廃棄物・経済学の専門家がより深く理解することを目的として、勉強会を3回実施した。第1回は、AI、IoT技術について、現状の到達点と今後の可能性を学習した。第2回は、仮想通貨だけでなく、スマートコントラクトなど多くの分野に応用されているブロックチェーン技術(以下、BC)の理論的背景について、学術的背景も含めて学習した。第3回は、産業廃棄物のサプライチェーン管理に向けてこうした先端技術をカスタマイズすると、どのようなメリットとデメリット、可能性があるかを議論した。

表 4-3-1 平成30年度勉強会

第1回	AI、IoTの現状と可能性、今後の課題
第2回	ブロックチェーンの仕組みと可能性、今後の課題
第3回	各種ICT技術の適用可能性とメリット、デメリット、課題整理

3回の勉強会および「廃棄物処理・リサイクルIoT導入促進協議会」での意見から、廃棄物分野でのICTシステムの活用アイデアとして以下が挙げられた。

ICT システムの活用アイデア

- ・高機能分別 BOX
- ・集積量の検出（センサー、画像）
- ・廃棄物センシング
- ・品目別回収量推定
- ・回収量測定、積卸し量測定（センサー、画像）
- ・家庭ごみの有料シールの画像認識
- ・電子マニフェスト入力端末
- ・電子マニフェストの IoT 化（自動入力）
- ・回収スケジュールの AI 予測
- ・回収ルート of AI 最適化
- ・回収車の自動運転
- ・回収ルート共同運行（業者間情報共有）
- ・IoT によるトレーサビリティ
- ・収集運搬のエスクロー取引（スマートコントラクト）
- ・施設稼働率予測
- ・設備稼働状況の監視
- ・品目別在庫管理（空きの確認）
- ・廉価版分別ロボットの開発
- ・積み替え保管の量推定（センサー、画像）
- ・処理ラインの IoT センシング
- ・ドローンによる最終処分場モニタリング
- ・BC による処理過程記録（業者間情報共有）
- ・BC による適切処理記録
- ・優良業者の BC 記録
- ・BC と連携した CO2 排出権の管理
- ・電子マニフェストの部分利用
- ・電子マニフェストの登録代行
- ・マニフェスト報告フォーマットの統一
- ・契約の電子化

4.3.3 平成 31 年度の調査概要

ICT による省人化・生産性向上に向けて、平成 31 年度は ICT システムの提案と導入に向けた課題整理を目的とした。まず ICT 化の仮説（アイデア）を設定し、それに対して廃棄物処理業者にヒアリングし、実現性、改善可能性、必要要件を確認する。その結果から仮説を再検討し、導入に向けた課題を整理した。省人化・生産性向上につながるシステムといっても、1 つのシステムで生産性が大幅に向上するとは考えられないため、複数の小さなシステムを積み上げることで生産性向上を果たすこ

とを考えた。

廃棄物処理業者へのヒアリングは以下の6社に実施した。

表 4-3-2 廃棄物処理業者へのヒアリング

	日程	会社	事業内容
1	8/29	A社	収集運搬、汚泥処理、リサイクル加工
2	10/4	B社	破碎機、AI選別機、RPF(リサイクル固形燃料)製造機等の設計、製造、販売、設置
3	10/11	C社	収集運搬、中間処理、最終処分、リサイクル
4	10/28	D社	収集運搬、中間処理、古紙リサイクル
5	10/28	E社	収集運搬、中間処理、最終処分
6	11/26	F社	収集運搬、中間処理、リサイクル

ヒアリングの結果、廃棄物処理業者には以下のICT導入ニーズがあることが分かった。

- ・回収ルート効率化
- ・AI選別ロボット
- ・電子マニフェストの活用と情報連携(許可情報、トレーサビリティ)
- ・IoTによる処理の見える化、自動化
- ・排出側との情報連携

一方、排出情報を共有して収集運搬を業者間で融通し合ったり、運搬を効率化するために他社と施設稼働情報を連携するニーズは無い。また、運搬、選別の人手不足には関心が高いことが分かった。このことから、現場改善のシステムのニーズは、AIによる回収ルート効率化や選別ロボットの導入、情報連携のシステムのニーズは、電子マニフェストとの情報連携や排出側との情報連携にまとめられた。

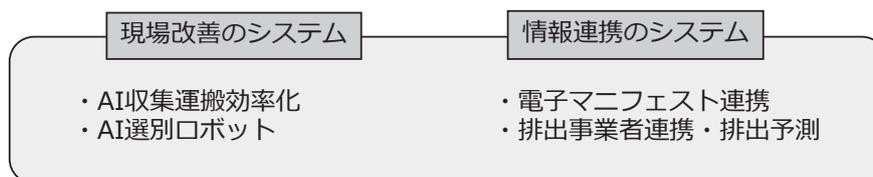


図 4-3-1 ヒアリング結果でのICT導入ニーズ

4.3.4 平成 31 年度の活動

4.3.4.1 仮説設定

1 つの ICT システムで生産性が大幅に向上するとは考えられないため、複数の小さなシステムを積み上げることで生産性向上を果たすことを考え、そのためのシステムアイデアを列挙した。その際、無条件にシステム化するのではなく、次のビジョンを設定して廃棄物処理分野に関わるシステムアイデアを列挙した。

ビジョンの設定

廃棄物処理産業の連携高度化と製造分野へのバリュー提供
：生産性向上、適切処理実現、リサイクル品質向上

列挙したシステムアイデアを資料 1 に示す。

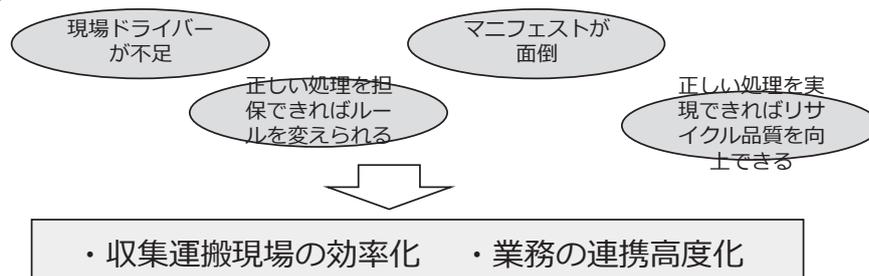
様々な領域のシステムアイデアから、メンバー内で検討して以下の 4 つを仮説として設定した。

- ・現場ドライバーが不足
- ・マニフェストが面倒
- ・正しい処理を担保できればルールを変えられる
- ・正しい処理を実現できればリサイクル品質を向上できる

ドライバーが不足しているのは運輸業に限らず廃棄物処理業でもよく聞く話である。その解決策は省人化に有効である。マニフェストの処理が面倒なのは予想できる話であるが、電子マニフェストが簡単に利用できるのであれば、生産性向上に有効である。排出者責任が重視されている中で、積み替え保管や運搬再委託が好まれない状況となっている。もし排出者責任が十分担保されるのであれば柔軟に収集運搬のルールを変えられる可能性があり、省人化・生産性向上に有効である。製造分野ではアルミやプラスチックなどリサイクル原料の利用に取り組まれている。正しく処理することでリサイクル原料の品質を担保できるのであれば、廃棄物処理業の利益向上に有効である。

これらの仮説が収集運搬現場の効率化と情報連携の高度化を実現し、省人化・生産性向上に資するものと考えた。具体的にシステム化の対象となるのは図の下の部分である。収集運搬において、配車、ルート効率化、廃棄物の内容認識、排出量の推定、マニフェスト登録の簡便化、他社との共同運行、これらを実現するための改ざんされないデータ記録などのシステム化を対象と考えた。合わせて処理施設の自動化もシステム化の対象とする。情報連携は、電子マニフェストを核にサプライチェーンの高度化を実現しようとするものである。許可情報の正しさ、排出予測、排出物の内容把握、IoT を使用した処理過程の記録、トレーサビリティ、これらを実現するための改ざんされないデータ記録などのシステム化を対象と考えた。

・ 仮説



・ 対象分野

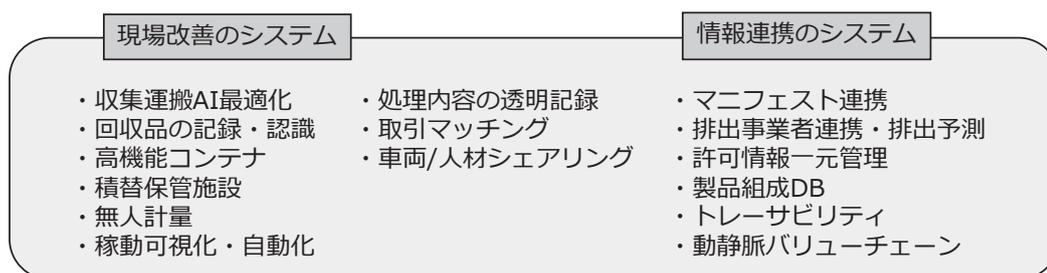


図 4-3-2 仮説とその対象部分

現場改善の AI、IoT システムのアイデアを下図に示す。AI、IoT を使用することでデータ分析と最適化が期待できる。また、ブロックチェーン(BC)に処理内容を記録することで、正しく処理されたことが記録される。収集の段階では、センサーや画像により集積量を把握し、AI を利用して収集ルートを効率化する。収集の際に画像認識で収集量を測定し、処理工場入庫時の積卸し量との差から不正な運搬を検知する。処理工場では、センサーによる処理の見える化を行うとともに、データを利用した自動運転が行われる。これらの情報は改竄されない情報としてブロックチェーンに格納し、トレースに利用される。

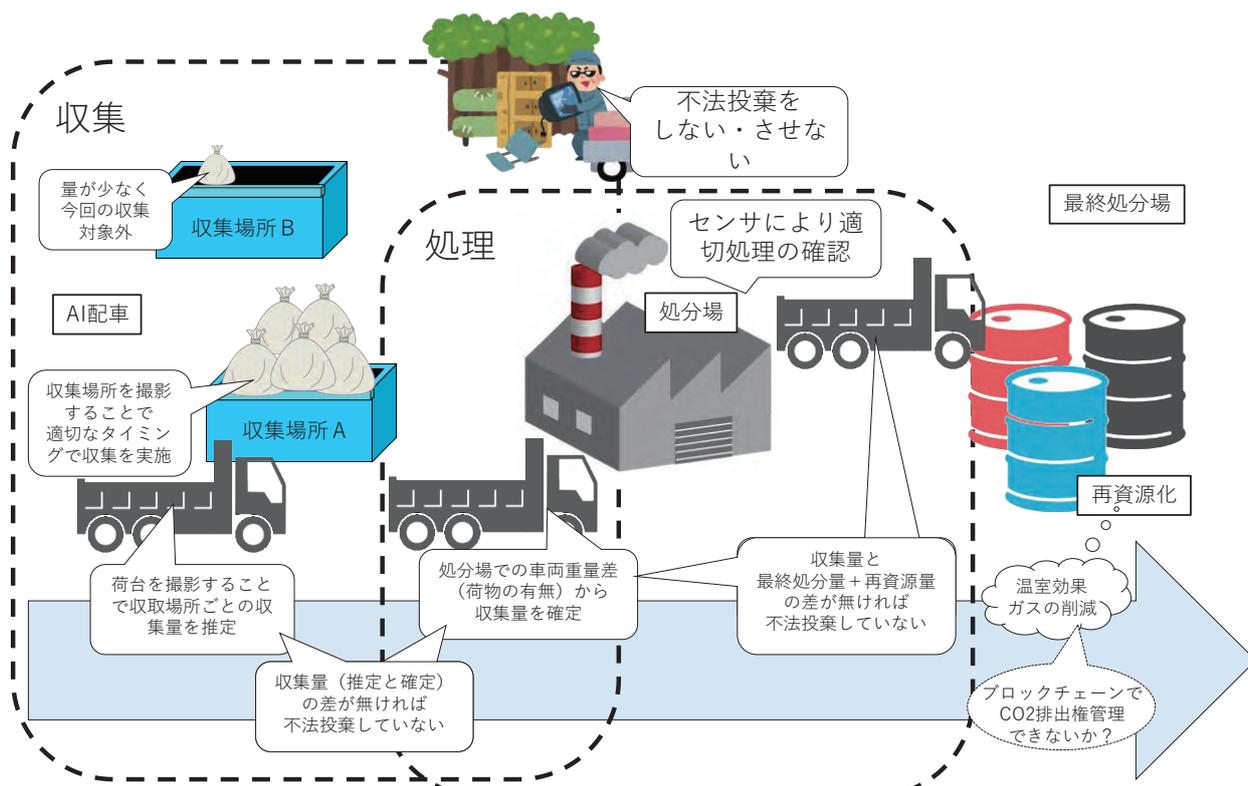


図 4-2-3 AI、IoT を使用したシステムのアイデア

情報連携プラットフォームのシステムアイデアを下図に示す。廃棄物処理産業における高度な情報連携と製造分野に向けたバリューの提供を狙うプラットフォームである。情報連携を実現する上で、電子マニフェストを核としている。廃棄物処理の電子情報は JWNET に集約されており、この情報をうまく利用し、不足する情報を補完する利用を考えている。廃棄物の加工処理が適切であることの裏付けおよびトレーサビリティ、適切に処理している優良処理業者であることの根拠、適切に処理されていることによるリサイクル原料の品質根拠に利用できる。効率的に処理を行い、リサイクル品質を高めるためには、製造側からの素材情報の提供や、排出者からの排出計画や排出物の情報と連携することが必要である。

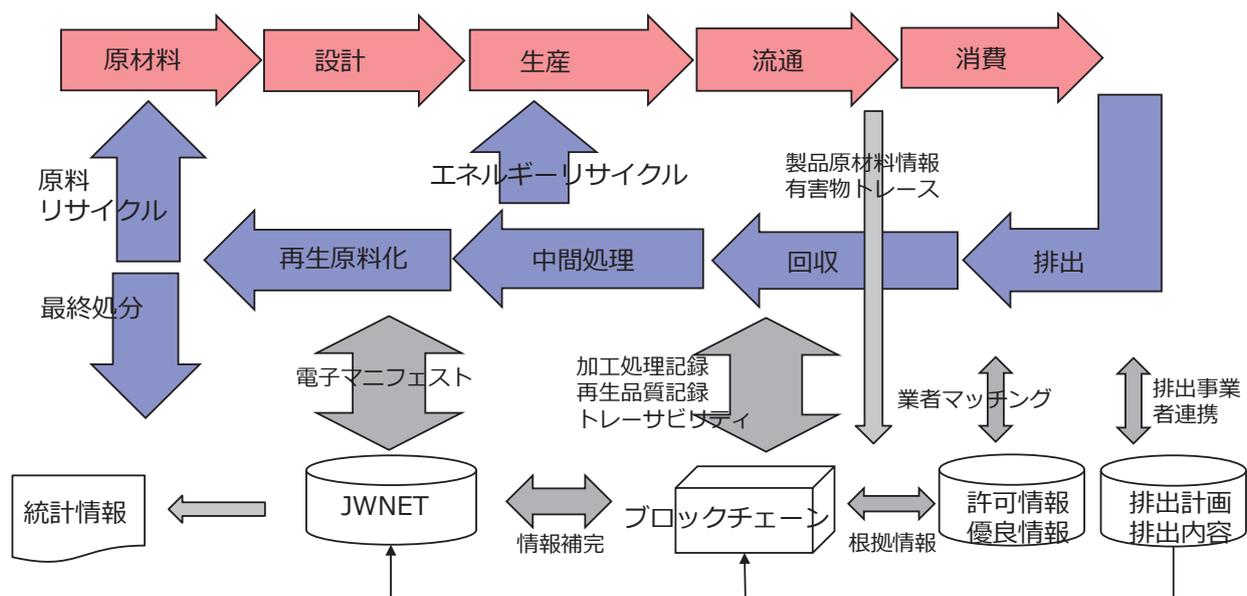


図 4-3-3 情報連携のシステムアイデア

4.3.4.2 ヒアリング項目

4 つの仮説とそれに基づくシステムアイデアを使用して、実際に廃棄物処理業者に実現性や課題をヒアリングした。ヒアリングでは、処理業者が ICT 関連で取り組んでいる内容も併せて伺った。

表 4-2-3 ヒアリング項目

基本情報	社名 応対者 業務概要
注目課題 ICT化取り組み内容	課題内容 取り組み内容 導入課題 期待効果・成果 次なる課題
仮説に対する意見交換	改善可能性 改善見込み量 必要要件（機能、性能、精度） 課題（制度面、安全面、環境面、技術面）
その他の意見交換	他者と情報連携が有望な業務は？ その他のICT化アイデア？ 廃棄物処理業界の未来のために？ その他の要望（施策、制度、補助金、業界、やり方、技術、ICT）

4.3.4.3 ヒアリング結果

各社のヒアリング結果を資料 2 に示す。注目すべき意見を抜粋して以下に示す。

表 4-3-4 ヒアリング結果抜粋

ICT化取り組み内容	デジタコドラレコによる運搬管理(A社,C社,D社,E社,F社) 処理設備の自動化(C社) 業務管理システムの導入(D社,F社) 電子マニフェスト化の推進(D社,F社)
仮説に対する意見	発生源の情報は重要(A社) ごみの発生予測があると良い(C社) メーカー側の素材情報があれば処理しやすい(C社) 排出物の内容が分かると良い。事故が怖い(E社,F社) AI配車システムが高価であれば導入は困難(C社) 回収ルートの効率化をしたい。15台稼働を14台にしたい(D社) AI配車の効果は無い(F社) マニフェストと廃棄物、契約書が一致しない(A社) 許可情報の一元化が必要(E社) 電子マニフェストのタブレット操作が良い(E社) マニフェストのトレースができると良い(E社) 紙マニフェストの返送を軽減したい。32人日/月(F社) ASPが乱立して不便。経費もかかる(F社) 他社との稼働情報連携ニーズは無い(E社) 人手の選別だと入社する人はいない(B社) スピードアップに取り組んでいる(B社) ロボットが高価なのが欠点(B社) 業界では採算性と耐久性を見ている人が多い(B社) AI選別ロボットは精度向上と小型化が必要(D社,F社)
その他の意見	計量は強制化すべきである(A社) プラゴミの焼却を進めるべき(B社) 運搬は再委託できると良い(A社,C社) 電子マニフェストは無料化して強制しないと普及しない(F社) センサ寿命は5年～7年必要(F社)

(表 4-3-2 再掲)

	日程	会社	事業内容
1	8/29	A社	収集運搬、汚泥処理、リサイクル加工
2	10/4	B社	破碎機、AI 選別機、RPF(リサイクル固形燃料)製造機等の設計、製造、販売、設置
3	10/11	C社	収集運搬、中間処理、最終処分、リサイクル
4	10/28	D社	収集運搬、中間処理、古紙リサイクル
5	10/28	E社	収集運搬、中間処理、最終処分
6	11/26	F社	収集運搬、中間処理、リサイクル

各社の ICT 化の取り組みでは、全ての廃棄物処理業者でドライブレコーダ（ドラレコ）による運搬管理が行われていた。廃棄物処理各社は処理設備の自動化に取り組んでいるが、そのレベルは様々で

ある。自動化のハードルが高いために、見える化を手始めにできるところから取り組んでいる状況である。D社・F社は近年基幹システムを更新し、業務効率化の効果が出ているとのことである。また、顧客に電子マニフェスト化の依頼をしているが、なかなか応じてもらえない状況である。

現場改善のシステムアイデアについて、ニーズや課題を聞いた。ドライバー不足および配車計画の属人化が発生していることから、AI配車による回収効率化が期待されていた。D社の意向では15台稼働している所を14台にしたいとのことなので、-6%の効果も期待されている。ただし、スポット回収の比率が高いF社はAI配車の効果は低いと判断されている。AIと関係ないが、収集運搬を再委託できれば効率化できるとの意見があった。

廃棄物処理業者はAI選別ロボットへの期待は高く、各社は独自に調査を進めている。選別の現場は過酷な環境であるため、作業員の負担を減らす効果は大きいと期待されている。また、人手の選別だと入社する人がいないとの意見があった。反対に、先進導入したS社は採用に有利に働いているとの情報がある。期待は高いものの各社は採算性と耐久性の様子を見ている段階である。ロボットアームの取りこぼしがまだまだ多いため、もう一段の精度向上と低価格化を要望されていた。また、狭い選別場でも設置できるよう、小型化も要望されていた。

マニフェストの管理は各社とも負担が大きいことから電子マニフェスト化に取り組んでいる。電子マニフェスト化すると、紙マニフェストの管理負担が軽減され、返送作業もなくなることから、廃棄物処理業者にとってもメリットがある。極端な試算であるが、毎月8,000件のマニフェストを毎週8人がかりで返送している場合、32人日/月、郵送料67.2万円/月の削減効果が期待できる。しかしながら、小さな店舗が電子マニフェストを操作するとは考えられないため、無料化して強制すべきとの意見があった。処理業者にとって困るのは紙と電子の両方が残ることである。マニフェストの内容と実際の廃棄物が違ったり、契約内容と異なることがあるので、チェックする仕組みがあると都合が良い。また、電子マニフェストの登録が面倒との意見があり、アルバイトでも簡単に電子マニフェストの登録ができたり、現地でタブレットを使ってマニフェスト登録できるよう簡便化できると良いとの意見があった。また、マニフェストは3次以上もありえるが、どこまで行ったかいちいち確認する手間が発生している。ブロックチェーンで共有・トレースできれば、どんな処理がされたか分かるので役に立つとの意見があった。電子マニフェスト化されている場合であっても、ASP(Application Service Provider)が乱立して不便との意見があった。排出事業者からASPを指定され、それが10本にもなる。画面操作を覚えるのも大変だし、それぞれ使用料がかかっており、不条理と感じている。また、自社の業務システムのマスターデータと簡単には紐付けられないため非効率となっている。

排出側との情報連携についてもニーズがあった。一番の理由は、不適切な物が排出されると事故につながるため、それを避けたいというものである。また、適切な処理をするために、どのような状況で排出されたのか、廃棄物の素材情報の開示が必要との意見もある。二番目は、排出予測をするための情報連携である。排出予定が分かれば、回収計画に反映できるだけでなく、処理施設の稼働計画にも反映できる。

マニフェストは廃棄物処理の基本情報であることから、情報連携においては電子マニフェストを中心に据え、足りない情報を補完する形で廃棄物処理の情報連携プラットフォームを構築するのが妥当と思われる。それにより処理記録のトレーサビリティが可能と思われる。

情報連携のユースケースとして、排出情報を共有して収集運搬を業者間で融通し合うというニーズは無かった。また、中間処理施設の稼働状況を考慮して搬入先を調整し、運搬を効率化するというニ

ーズは無かった。排出事業者との情報連携のニーズはあるが、ライバル社と情報連携するニーズは無いという結果であった。

4.3.4.4 現状における ICT 化ニーズ

ヒアリング結果を踏まえて、現状における ICT 化ニーズをまとめると以下である。

- 収集運搬の効率化
 - －AI 配車
 - －ルート短縮
 - －再委託
- AI 選別ロボット
 - －人手不足対策に必須
 - －精度向上、低価格化、小型化が必要
- 電子マニフェストとの情報連携
 - －電子マニフェストの強制使用と無料化
 - －電子マニフェストと廃棄物、許可情報、契約書の結び付き確保
 - －電子マニフェストの簡単操作（タブレット利用、アルバイトでも可能にする）
 - －電子マニフェストと結びついた処理記録（トレーサビリティ）
- IoT による処理設備の見える化、自動化
- 排出側との情報連携
 - －発生源の情報
 - －排出内容の情報

ライバルとなる他社との情報連携のニーズは無かった。また、人手不足に対する関心は高く、運搬、選別の省力化システムには一様に関心があった。

4.3.5 ヒアリング結果を考慮したシステム検討

4.3.5.1 仮説システムの変更

現状における ICT 化ニーズのうち、収集運搬の効率化、電子マニフェストとの情報連携、排出側との情報連携について下図に示す。AI 選別ロボットおよび IoT による処理設備の見える化・自動化はそれぞれのメーカー企業が注力している分野であることから、ここでは触れない。

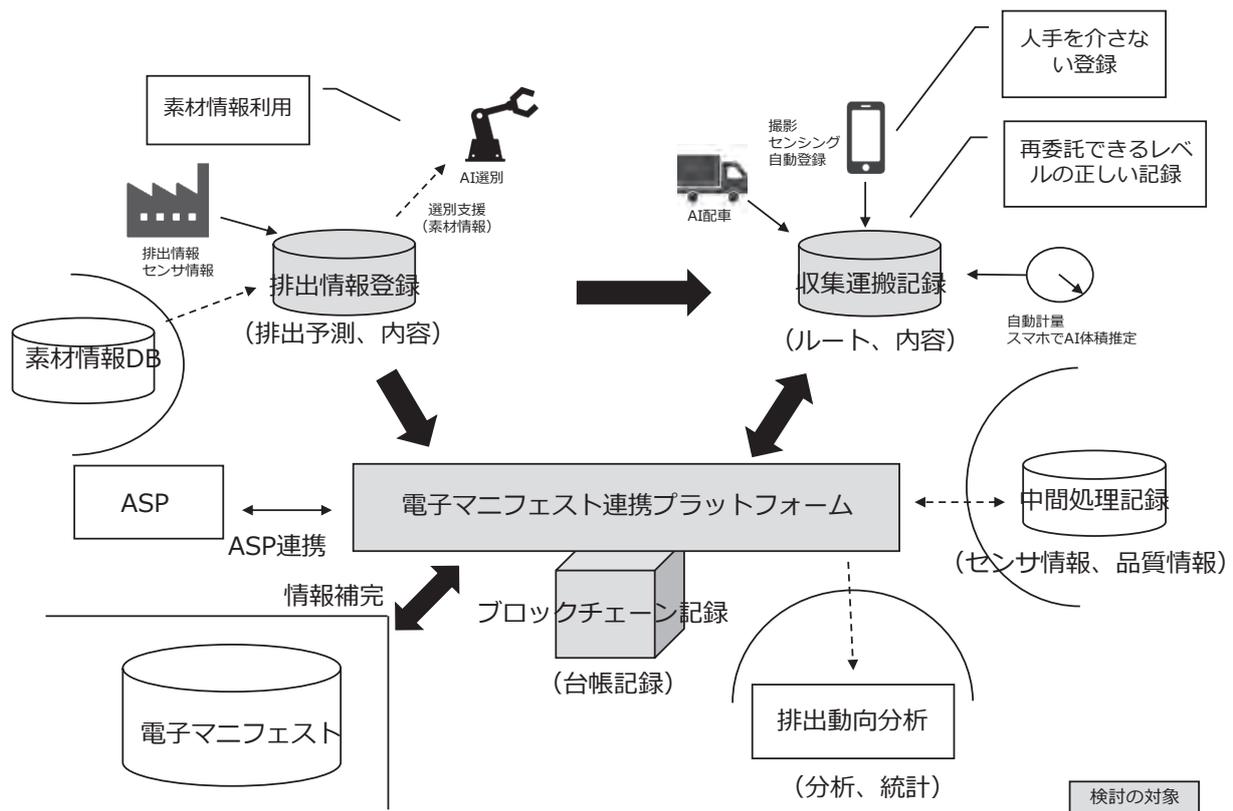


図 4-3-4 現状における検討システム

図は収集運搬と情報連携のプラットフォームのイメージ図である。排出事業者と収集運搬業者が情報連携することで、排出計画の作成を容易にするとともに、どのような排出物かをデータベースに記録する。排出事業者と処理業者で情報を共有することになり、情報の非対称性を回避できる。人手を介して登録するのではなく、排出事業者の業務システムとの連携登録が望ましい。この情報は、AI配車への入力となる。将来的には中間処理業者の処理自動化にも利用可能とする。AI配車システムは、排出時期、内容、量といった排出情報を元に回収ルート効率化を実現する。単純な排出物であれば、スマホによる画像認識や体積推定によりManifest情報の登録を自動化できることを期待する。収集運搬を効率化できれば、ドライバーの負担を減らすとともに、CO2削減にも効果が期待できる。収集運搬の記録は電子Manifest連携プラットフォームのブロックチェーンに記録して、適切に処理されたことを記録する。将来、中間処理施設のセンサー情報と連携できるようになれば、中間処理が適切に処理されたことも記録する。それぞれの処理が完了したタイミングでJWNETの電子Manifestと連携するとともに、補完情報はプラットフォーム側で管理する。初期段階では廃棄物処理記録の正しさを担保するだけであるが、将来的には他システムと連携して廃棄物処理の効率化と高度化に活用される情報を記録する。例えば、排出動向分析の統計や、中間処理におけるリサイクル品質の担保に使用する。

この情報連携プラットフォームは、廃棄物の発生から中間処理にわたるサプライチェーンシステムと言える。各業務ではそれぞれのシステムが動作し、各業務をつなぐための情報連携を実現するシステムである。一つの巨大なシステムを構築するのではなく、情報を共有したい関係者が共通のデータ

を格納する分散型の仕組みを想定している。企業グループ、業界団体が共通レジストリを持つ形である。将来的に仮説アイデアで示した動静脈連携システムまで到達できれば、廃棄物業界全体の生産性向上のみならず、製造分野も巻き込んだ循環型経済の実現に資すると考えている。

情報の共有範囲は収集運搬から中間処理、最終処分に渡るが、それぞれ考え方が違うため、全体を俯瞰した上で管理内容を定める必要がある。また様々な企業が利用するため、誰でも使えるインタフェースにすべきであり、困った時のフォロー体制も充実することが望まれる。

4.3.5.2 導入により期待される効果と実現性及び課題

現状における検討システム(図 4-5)について検討した。正しい排出情報が登録されれば、事故防止に役立つ。また、AI による回収計画に利用できる。排出情報登録はサプライチェーンの起点であり、以後の情報連携の大本の情報であるため、簡便に登録できる必要があるし、正しい情報が登録されることが課題である。登録された情報は電子マニフェストへの入力に使えたり、以後の処理過程を正しく実施するための精度向上に役立つ。

回収運搬記録は AI 配車システムのデータベースの一部である。排出情報を利用して回収ルート効率化できれば、ルート短縮、頻度減少を実現できる。車両 15 台を 14 台に減らすことができれば、-6%の効率化を実現できる。さらに、適切な運搬記録を担保できれば、再委託による作業分担が可能となるかもしれない。まずは正しい記録を残す必要があるため、IoT による自動登録が必要であり、仮に手入力した場合でもその情報が正しいことを検証できる機能が必要である。

情報連携プラットフォームは電子マニフェストの補完情報を管理するとともに、トレーサビリティ機能を提供する。電子マニフェストの内容と実際の廃棄物の内容、許可情報、契約情報との整合性を確かにすることで、業務の無駄を減らす。トレーサビリティ機能を提供することで進捗確認と法律の要求を満たすことができる。もし紙マニフェストを電子マニフェストに移行できれば、それだけで返送作業が-32 人日/月、返送料が-67.2 万円/月の削減効果がある。そのためには JUNET とのインタフェースが最も重要である。また、電子マニフェスト利用料の低額化は重要な要素である。当然ながら、個々の情報は企業間のビジネス情報であるため、関係者だけがアクセスできるよう制限をかける必要がある。また、ASP 会社が乱立しても処理業者に負担をかけないよう統一的な操作が可能になるようシステム側でサポートしなくてはならない。

AI 選別ロボットは過酷な労働環境から作業員を解放し、24 時間稼働して生産性向上に役立つ。少なくとも、人より精度良く選別できれば導入効果があると言える。現在はまだ高価であるため、低価格化と小型化が必要である。また塵埃環境でも動作し続ける耐久性も求められる。

IoT を活用して処理設備を見える化・自動化できれば生産性は大きく向上する。また、職人技の技術伝承の負担を軽減する。自動化は理想であるがハードルは高い。過酷な環境でも動作するようセンサーの耐久性が求められる。

表 4-3-3 導入により期待される効果と課題

システム	機能	効果	課題
排出情報登録	排出時期の把握 排出内容の把握 マニフェスト入力の 簡単化・自動化	電マニ促進 回収計画への反映 選別AIへの入力 事故防止	簡単な登録方法 業務システム連携 登録内容の信頼性の確保
回収運搬記録	回収ルート of 把握 荷姿映像の紐づけ 重量体積記録 AI配車	適切ルートの確認 (再委託による) ルート短 距離化 ドライバー削減の期待効果 -6%*	回収内容のセンシング方法 重量体積のAIセンシング 手入力データの検証 再委託解禁
情報連携プラットフォーム	マニフェスト情報の 補完 (内容、許可情 報、契約書) 簡単入力 (タブレッ ト、アルバイト) マニフェストトレ ース ASPサポート	適切な契約履行 電マニ促進 進捗確認が容易 紙マニ返送作業の期待効果 -32人日/月* 紙マニ返送料の期待効果 -67.2万円/月*	JWNETとのインタフェース、 利用料金 アクセス制御 ASP乱立への対応
AI選別ロボット	AI選別	生産性向上 労働環境改善	低価格化、小型化 精度向上、速度向上
IoTプラント	自動運転	生産性向上 属人化回避	センサの耐久性(5年~7年) 低価格化

※ドライバー削減：15台から1台減らす場合
 ※紙マニ返送作業：週1日8人掛りがなくなる
 ※紙マニ返送料：月8000件84円がなくなる

導入への課題を Society5.0 の参照モデルに対比させて整理した。情報連携システムは情報の共有と流通が主要機能であるため、データ標準化や API 標準化により流通しやすい仕組みを作る必要がある。また、情報が簡便に正しく登録される必要があることから、データ取得や自動入力など、IoT の活用が必要になる。AI 選別ロボットと処理設備の見える化・自動化は、AI、IoT の性能が直接影響する部分である。AI の精度向上が必要であるし、IoT センサーの耐久性や低価格化が必要である。ネットワークに関しては、セキュリティの確保は当然として、5G の様な多接続・低遅延なネットワークが広域かつ移動が発生するビジネスには有効と考えられる。ビジネスレイヤにおいては、安全と効率のために、排出側からの正しい情報提供が必要である。静脈系が安定して機能することによって、初めてスマートシティが砂上でなく堅牢なインフラの上に構築できると言える。

Society5.0 参照モデル

戦略・政策	ビジョン 重点分野
ルール	法律 規則
組織	組織間調整 体制
ビジネス	業務プロセス 業務ルール
利活用機能	カタログ、検索、AI、解析
データ	データ項目定義、データセット定義 コード
データ連携	データ収集、データ統合 データクレンジング、デバイス管理
アセット	センサー、アクチュエーター ハードウェア、ネットワーク

セキュリティ・認証

省人化・生産性向上の導入に向けた課題

資源循環業への転換	
再委託解禁 電マニ低額化	
広域連携 排出側情報提供	
廃棄物センシング・計測 入力自動化 データ標準化	AIの精度向上
データ流通 標準API JWNETインタフェース	IoT耐久性 ロボット低価格化 他接続・船遅延

認証・アクセス制限

※内閣官房IT総合戦略室資料より

図 4-3-5 導入に向けた課題

4.3.6 導入に向けた方策

現場改善のシステムとして、AI 配車、AI 選別ロボット、IoT 処理設備自動化、情報連携のシステムとして、排出情報連携、回収運搬記録連携、情報連携プラットフォームが有効であると考えている。技術的にまだ開発すべき点があるため、技術開発のステップが必要である。ある程度技術が使えるようになれば、実証実験を実施して課題を抽出し、社会実装につなげるというステップが妥当と考える。行政の対応は、技術開発の支援と実証実験のサンドボックス試行の支援が必要である。将来的にはルール変更を実施すべきである。

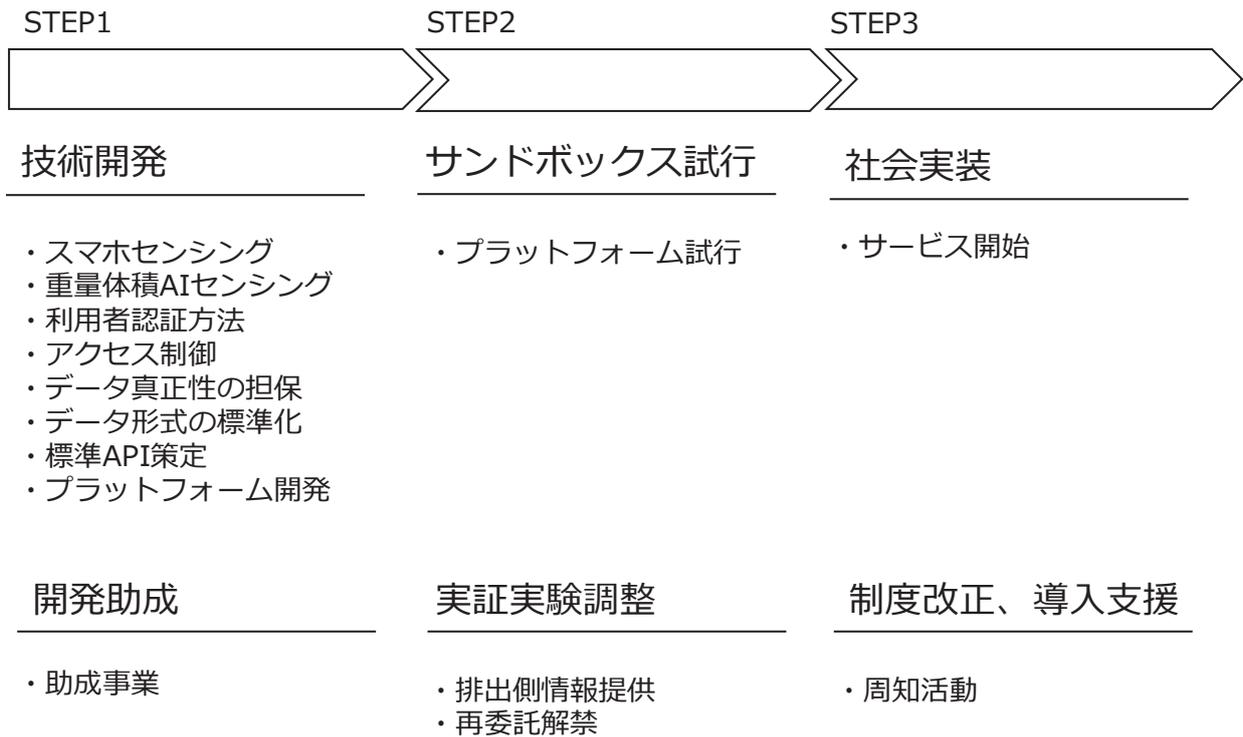


図 4-6 導入に向けた方策

STEP1 の技術開発の対象を列挙する。

<ul style="list-style-type: none"> ・スマホによる廃棄物センシング 内容認識、重量推定、体積測定 ・利用者認証 生体認証、行動による認証 ・ブロックチェーン運用 ・情報連携のためのデータ標準化 ・標準 API 開発 ・AI 配車アルゴリズム開発 ・AI 選別アルゴリズム開発

4.3.7 令和 2 年度の研究に向けて

この研究パートのゴールは、ICT による省人化や生産性向上に向けて、現場の状況に即した ICT 化を検討するとともに、課題解決に向けたシナリオ提案を行うことである。平成 31 年度は、省人化・生産性向上のための ICT システムの仮説を設定し、廃棄物処理業者にヒアリングして、実際に有効なシステムが何かを検討した。令和 2 年度では、検討したシステムを深掘りして、システム構築のための要

件設定とコスト試算を行い、導入に向けた方策を改めて整理する計画である。

- ・システムの要件設定（機能面、非機能面）
- ・コスト試算
- ・効果と課題の整理
- ・導入に向けた方策の整理

資料 1 廃棄物処理分野の ICT 化アイデア

- 人手不足解消に役立ちそうな ICT 化アイデアを列挙した。
- 廃棄物 DX (Digital Transformation) の実現：可視化、自動化、高生産性、3K イメージ払拭
- CE (Circular Economy) への展開：高品質リサイクル、動静脈連携

	発生・依頼	収集・運搬	中間処理	最終処分	リサイクル	契約・決済
現場作業	現地分別装置 現地分別AI 内容認識クラウド 蓄積量自動発報 スケール付コンテナボック ス 歩留り改善 (発生削減) 遠隔立会い代行	集積検知 (センサ、画像) 収集のAI最適化 (予測、時期、 ルート、過積載判定) トレーサビリティ 自動運転 自走運搬 回収品画像認識 (種類、量、 質)、音声認識 高機能分別コンテナの標準化 回収状況監視 ドローン輸送 積替保管施設 共同運行	廉価版分別AIロボット 加工自動化 保管効率化 入出荷効率化 加工処理センサ 稼働可視化・最適化・予 測 プラント自動運転 搬送ロボット パワードスーツ 分別AI共同センター 設備故障予知 無人計量・検品	ドローン測量 ドローンモニタ リング 3D処分記録 周辺環境調査 (監視) 設備故障予知 無人計量・検品	高粉砕装置 高選別装置,SBS 解体ロボット リサイクル効率化 在庫量検知・最適化 稼働可視化・最適化 処理記録 品質監視	
オフィス業務	許可業者検索 優良業者検索 取引マッチング 共同収集プラットフォーム (受付一元化)	積替保管透明化 車両/人材シェア (融通) 県またぎマッチング	受入状況共有 処理依頼マッチング	処分場マッチン グ	価値販売のAI予測 売価推移のAI予測 価値販売のポイント支払 い	取引の透明性 監査性 許可申請簡単化 契約自動更新
他システム連携	排出事業者の管理システ ムとの連携 排出計画 排出予測	運搬のエキスクロー取り	マーケットプレイス 製品組成DB		マーケットプレイス 製品組成DB 資源取引マッチング エネルギー需給マッチン グ	電子契約 電子申請 QRコード決済 (個 人向け、小企業向 け)
電子マネーエスト 連携	自動連携登録 報告形式統一	紙マネーエスト連携 OCR登録 入力端末、自動入力	情報連携 BCに付加情報追記 (重量 など)			
全体	BCによる処理過程記録 (サブライチエーン)、動静脈一体バリューチェーン、廃棄物処理統計の向上、再生素材・品質情報共有					
その他	導入支援事業、イノベーション支援事業、優良業者優遇 環境負荷軽減に対するポイント制度 外国人雇用促進 (多言語化、自動翻訳、技能認定) ユニバーサルデザイン 承継マッチング 再生原料品質規格					

※SBS (Sensor Based Sorting)、BC (Blockchain)、OCR (Optical Character Recognition/Reader)

資料2 ヒアリング結果詳細

(A)

相手先	A社
事業概要	収集運搬、主に汚泥処理、リサイクル品加工販売。難物処理の能力が高い。
保有車両	13台
実施日	2019年8月29日
注目課題とICT取り組み	
(1)センサー利用とリモート監視	プラントをリモート管理。新入社員の入社が難しいため内部で人材育成している。
(2)デジタコ利用	イレギュラーな取引が発生しないよう経路確認する。
仮説に対する意見交換	
(1)情報連携プラットフォーム	適切に処理できているかの監視を全過程について見る必要がある。 発生源の情報は重要。
その他の意見交換	
	電子マニフェストと廃棄物が一致しない事がある。 発生源の情報は重要。 計量は強制化すべきである。 マニフェストと契約書が結び付いていない。 収集効率化には再委託可能にするのが良い。 動脈側に法律が軽い。 海外企業の進出は脅威である。事業戦略を考えたい。

(B)

相手先	B社
事業概要	破碎機、AI選別機、RPF(リサイクル固形燃料)製造機等の設計、製造、販売、設置
実施日	2019年10月4日
注目課題とICT取り組み	
(1)選別の省力化・全自動化	米国企業と提携してAI選別ロボットを開発した。 現時点の精度は人がやるより効率的であれば良い。 スピードアップに取り組んでいる。 高価なのが欠点。 大手しか導入できない。 業界では採算性と耐久性を見ている人が多い。 人手の選別だと入社する人はなくなる。
仮説に対する意見交換	
	(上記参照)
その他の意見交換	
	プラゴミの焼却を政策で強制すべきである。

(C)

相手先	C社
事業概要	産業廃棄物の収集運搬、中間処理、最終処分、リサイクル 液状廃棄物の処理に技術優位性を持つ。
保有車両	10種・100台
実施日	2019年10月11日
注目課題とICT取り組み	
(1)日報電子化と統計分析	日報を電子化し統計分析して、処理の効率化と安全性を改善する。
(2)処理設備の自動化	処理設備のセンサデータを集約し、工場オペレータの自動化に取り組む。
(3)デジタコによる管理	車両の現在位置を把握するとともに、危険運転への警告、健康管理、勤怠管理に利用。
仮説に対する意見交換	
(1)運行管理のAI化	効果は期待できるが、高価格であれば導入は困難。高価なため断念したことがある。
(2)製造側との情報連携	ごみの発生予測(需要予測)があると嬉しい。 緊急事態における廃棄物の発生情報があると対応しやすい。 薬剤の処理が難しくなっているので、メーカー側の情報があれば処理が楽になる可能性がある。
その他の意見交換	
	AI選別ロボットに関心がある。 運搬は再委託できると良い。 メーカーは処理しやすい材料を使ってほしい。 センサーは価格と耐久性が難点。

(D)

相手先	D社
事業概要	産業廃棄物の収集運搬、中間処理。古紙回収リサイクルが主
保有車両	約75台
実施日	2019年10月28日
注目課題とICT取り組み	
(1)デジタコによる管理	安全運転のために利用。
(2)リサイクルポイントシステム	スーパーに設置して回収とポイント発行をするシステム。喜ばれている。
(3)業務管理システムの統合	顧客DB一元化して手間とミスが削減できる。
仮説に対する意見交換	
(1)運行管理のAI化	回収ルート作成の負担が減る。 AI配車で15ルート15台から1台減らしたい。
(2)AI選別ロボット	労働環境改善のために関心はある。 精度がまだ不足している。 設置場所を確保できるか不安。小型化が必要。
(3)他社との情報連携	他社と連携するニーズは無い。
その他の意見交換	
	電子マニフェスト化と回収ルート効率化に関心がある。 AI選別ロボットは今後必要になる。 電子マニフェスト化を顧客に依頼しているが、なかなか進展しない。

(E)

相手先	E社
事業概要	産業廃棄物の収集運搬、中間処理、最終処分
保有車両	61台
実施日	2019年10月28日
注目課題とICT取り組み	
(1)GPSによる管理	マニフェストの管理情報に経路情報を付加。 ドラレコを搭載してヒヤリハットの分析に使用。 全車GPS搭載するには費用がかかる。
仮説に対する意見交換	
(1)AI選別ロボット	人材確保が難しくなっており、情報収集している。
(2)許認可情報の一元化	必要。
(3)電子マニフェスト化	進めるべき。 タブレットで出来るのが望ましい。 郵送代がばかにならない。返信の封筒入れに1日半かかっている。 3次以上の進捗確認が負担。ブロックチェーンで共有できたら良い。 マニフェストの記載内容と違う事がある。
(3)他社との情報連携	工場、焼却炉の空き情報を共有するニーズは無い。 排出事業者の排出情報があると嬉しい。チャレンジした事はあるが、1日前でないと確定しなかった。 排出物の内容が分かる事は重要。事故につながるのが怖い。
その他の意見交換	
	電子決済を検討したことがあるが、難しいので保留にした。 最終処分場で搬入品の撮影とドローン測量。どこに何があるか記録しておく。 ドライバー不足に取り組みたい。ルート短縮に取り組む。 単に溜まった溜まらないでなく、排出事業者とコミュニケーション前提の情報共有が望ましい。

(F)

相手先	F社
事業概要	産業廃棄物の収集運搬、中間処理、リサイクル。焼却施設を保有
保有車両	11種
実施日	2019年11月26日
注目課題とICT取り組み	
(1)ドラレコによる管理	免許証携帯確認、危険運転の警告
(2)業務管理システムの導入	パッケージを導入。請求業務が9時間→7時間に短縮。
(3)焼却炉建設	熱、発電のリサイクルが可能。 IoTを活用した運転効率化に取り組んでいる。
仮説に対する意見交換	
(1)AI配車	スポット回収が多いため、効果は無い。
(2)AIロボット	まだ精度が足りない。
(3)電子マニフェスト化	月間8000件返信している。封入に毎週8人でほぼ1日かかる。減らしたい。
(4)他社との情報連携	いろんな人がつなぐなら、現場の人も誰でも使えるシステムにすべき。 無料化して強制しないと普及しない。 排出物の素材情報は大事。事故が怖い。埋めれない。
その他の意見交換	
	電子マニフェストはASPが乱立してしわ寄せが処理業者に来ている。 ASPのマスターと連携できなくて非効率。 電子マニフェスト普及には無料化が良い。 経団連にとって良い事が施策になっている。 RPA、AI-OCRをやってみたい。 高齢者にパワードスーツを着けたい。 カメラでコンテナの中身をスキャンできると良い。 センサ寿命は5年～7年必要。

III. 今後の研究方針（課題含む）

III.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究

産業連関表は産業間の相互依存関係を分析することに適していることから、国レベルの生産者価格表をもとにして様々な分析がこれまでに行われてきた。また、地域の分析においても、1つの都道府県や市町村などを単独で切り出した地域内産業連関表は都道府県レベルではすべて提供されており、簡単に分析が可能となっている。

本研究では、既存研究と異なり、各都道府県の地域内産業連関表をすべて結合して作成した都道府県間産業連関表を用いている。この都道府県間産業連関表を用いることによって、産業間の相互依存関係のみでなく、地域間の相互依存関係も考慮した分析が可能となる。今年度の成果である都道府県間産業連関表によって準備は整ったことから、今後は環境分野分析用産業連関表をはじめとする物量に関するデータを組み合わせることによって、産業廃棄物発生量の将来推計を都道府県別に行っていく。その際には、将来予測は一定の仮定に基づいて行う必要があり、複数のケース別の推計結果を試算する。

III.2 産業廃棄物処理業の省人化・生産性向上に関する研究

今年度の研究では、経済理論の観点からも事業者ヒアリングによる業務効率化の観点からも、電子マニフェストの有効活用が産業廃棄物のサプライチェーン管理の高度化に最も効果があることが明らかになった。また、環境行政の方針も有効活用に向けた方針を示している（環境省環境再生・資源循環局「電子マニフェスト普及拡大に向けたロードマップ」平成30年10月）。

そこで今後は、事業者ヒアリングの結果でシステム化の需要が高かった排出情報連携（動脈連携も含めたプラットフォーム等）やAI選別ロボット（既にメーカーによる事例が多いプラント向けIoTセンサーは除く）等について、システム化する場合の必要要件や課題を検討する。マニフェストそのものは年間に5000万件以上の取引があるものであるから、慎重な制度設計が求められるため、将来的に実証実験をする場合に求められる仕様についても合わせて提案を行う。

また、電子マニフェストが本当に産業廃棄物の適正処理および生産性向上に資するかどうかについてのエビデンスはこれまでにほとんど提供されていない。トレーサビリティを高めることがバツズの取引で重要であることは本年度の研究からも明らかになっているが実証的な研究は進んでいない現状がある。そこで、近年、方法論が大きく進歩している因果推論の枠組みと応用マイクロ計量経済学の方法論を用いて、その効果について検証する。

III.3 政策提言に向けた取りまとめ

将来フレームについては、都道府県別の結果を提示することが可能となり、地域に見合った政策提言が可能となるが、そのとりまとめについては廃棄物政策の専門家から成るアドバイザリボードから助言

を得るものとする。電子マニフェストの効果については、エビデンスに基づいて、今後の有効活用におけるあるべき姿を提案する。また、廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会や廃棄物資源循環学会の情報技術活用研究部会との情報交換・交流を積極的に行い、研究成果の政策への還元を進める。

IV 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）

1.廃棄物・リサイクルIoT 推進協議会との協力

1.1 評価指標と情報技術の適用範囲

高齢化社会への移行に対応して、産業廃棄物処理業の省人化や生産性向上を意図して、情報技術の活用を検討する際には、事業計画の立案や評価において、定性的な判断ではなく、より定量的な判断を行うことが、これまで以上に求められる。まず、どの評価範囲において、何を事業の成功や改善の指標にし、その指標の良否をどのような基準で判断するかを決定する必要がある。それに合わせて、センサーを設置する工程、設置するセンサーの種類、情報収集頻度、情報を保存する期間等を定めることになる。広範囲から詳細なデータを取得し、長期間保存して活用しようとするほどコストが掛かることになるため、費用対効果に見合う範囲で決定する必要もある。

様々な方法がある廃棄物のリサイクルの中では、アップサイクルという言葉が使用されることもあるが、純粹にリサイクルによる資源消費の削減効果やそれに伴う環境負荷削減効果を議論するのであれば、廃棄物がそれ自身より高度な機能を発揮し、より多くの資源消費を削減するということは起こらない。特別な製品としての使用履歴が大きな経済的価値を生むケースや、環境意識の高まりにより、環境負荷削減に繋がる材料であるという事実が、経済的な価値を生むケースはある。あくまで消費者がより大きな（経済的）価値を見出しているということであり、資源消費の削減効果は、廃棄物自身と同じ素材のバージン材を代替するケース、すなわち水平リサイクルされるケースが理論的な最大値である。このことから、リサイクルの最大理論効率を定めることができる。熱力学がエアコン（ヒートポンプ）の理論最大効率を示し、技術開発の方向性や到達度を理解する上で役立つように、リサイクルにおいて適切な目標を設定し、その到達度を知るためにも、理論最大効率を踏まえておくことには意義があると考えられる。熱力学の理論最大効率が、現実には達成不可能な究極の理想的条件下で得られるのと同様、リサイクルの最大理論効率も、究極的理想条件を前提に、以下のように定義できる。

リサイクルの理論最大効率：廃棄物 1kg が、その素材と同じバージン素材 1kg を、追加的な物質やエネルギーの投入ゼロで代替できる場合の効率。

上記の場合に節約できる資源消費や、環境負荷がリサイクル効果の最大値となる。最大理論効率と比較した容器包装プラスチックのリサイクルの効率（化石燃料の消費削減量）を、図 A-1 示す。ここでは、焼却発電を行う場合との相対比較を行い易くするため、化石燃料消費削減量の算定値を元に、各種リサイクルの効果を発電効率に例えて表現している。ポリエチレンやポリプロピレンなどのプラスチックのリサイクルの最大理論効率は、発電効率に例えると 60%程度になる。例えるならば、最新のガス火力発電所の発電効率に匹敵する効率である。しかし、実際の容器包装プラスチックのマテリアルリサイクルの効率(図中の紫色の棒グラフ)は、質の

違いによって 30%弱～45%超まで幅が大きい(極端な例を挙げれば更に幅は広がるものと考えられる)。効率の低いケースの効率(30%)は、理論最大効率に対して半分程度であり、改善余地が大きいとも言えるが、どれだけ費用を掛けてマテリアルリサイクルのプロセスの高度化を図ったとしても、せいぜい 2 倍の効率にしかならないと見ることもできる。異種材料などが混合する低品質な廃プラスチックにどこまで費用を掛けるのが妥当であるかの判断は、理論最大効率と比較することによって、ある程度の示唆を得ることができる。一方、焼却をするケースであっても、発電であればその発電効率は効率の高いケースでも 20 数%に留まるが、焼却熱を、高い温度の熱需要のある産業(工場)で利用することができれば、熱回収の効率は発電効率に例えて 40%程度の効率となり、発電の 2 倍程度の化石燃料消費削減効果を得ることができる。これは、一部のマテリアルリサイクルの効率を凌駕する効率であり、理論最大効率の 2/3 程度の効率である。焼却炉における焼却であれば、極めて質の悪い廃プラスチックも利用可能であり、厨芥などと一緒に焼却され、助燃剤としての役割も果たしつつ、廃棄物の衛生的な処理に貢献する。食品や他の素材と混在する質の悪い廃プラスチックでも、理論最大効率の 2/3 を達成できるということは、資源節約や環境面で大きな効果があると判断することができる。

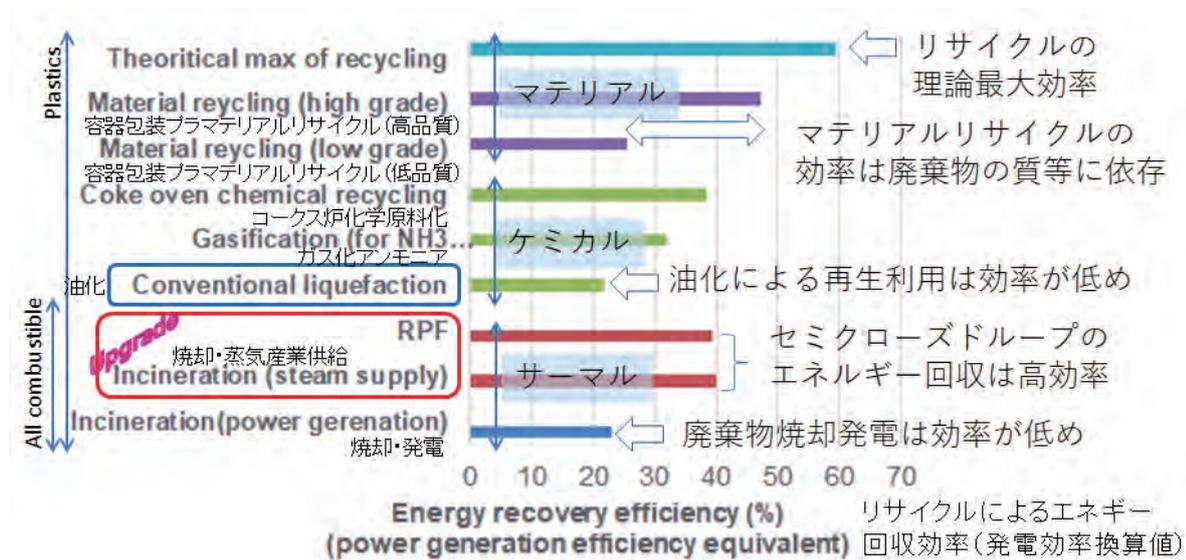


図 A-1 プラスチックのリサイクル方法別のエネルギー回収効率 (発電効率換算値)

日本容器包装リサイクル協会、プラスチック製容器包装再商品化手法に関する環境負荷等の検討 (2007)を参考に筆者作成

1.2 廃棄物分野での産官学連携による情報技術活用に向けた協働

第 4 次産業革命や Society 5.0 など、情報技術の活用は様々な分野で進展しているが、廃棄物処理・リサイクル分野においてはその導入が必ずしも進んでいない。廃棄物処理・リサイクルの分野は、労働集約的な工程が多いため、少子高齢化に伴う労働力不足が顕著に表れやすい分野でもある。そのため、「廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会(事務局:資源循環ネットワーク)」が 2016 年に設立され、廃棄物分野に関連する企業、自

治体、政府、学術機関などと、情報技術を提供する側の企業などが会して、勉強会や意見交換会、先進事例の見学会などを実施するとともに、一部の会員により先進的な実証事業や研究が開始されている。廃棄物の発生から収集、選別、前処理、輸送、利用、最終処分などの各工程において、また対象となる廃棄物の各種類について、どのような情報技術が適用可能であり、どのような効果が見込めるのかについて、最新動向に関する情報共有を行うとともに、会員間で新たな応用分野や利用方法について意見交換を行っている。検討が具体化したものは、後述する先進事例の取組に繋がっている。

1.3 2019年の協議会活動内容（一部抜粋）

(1) 環境省・経済産業省への提言書の提出

環境省

日時:2019年5月7日 9:30～10:30

場所:環境省局長室

環境省出席者(敬称略):

環境再生・資源循環局長 山本昌宏

環境再生・資源循環局総務課制度企画室廃棄物規制課総括補佐 小岩真之

環境再生・資源循環局総務課

循環型社会推進室 奥山航

経済産業省

日時:2019年5月7日 11:00～12:00

場所:経済産業省会議室

経済産業省出席者(敬称略):

産業技術環境局資源循環経済課長 福地真美産業技術環境局資源循環経済課 大沼満

産業技術環境局資源循環経済課

企画調整係長 佐竹正洋

(2) 令和元年度第1回廃棄物処理・リサイクル IoT ビジネスセミナー

開催日時:令和元年6月20日(木) 14:00～16:35

開催会場:TKP 虎ノ門駅前カンファレンスセンター カンファレンスルーム 9A

セミナー1:『サーキュラーエコノミーにおける金属リサイクル技術の動向』

講師:大和田 秀二氏(早稲田大学 教授)

セミナー2:『Circular Economy が拓く日本の未来』

講師:張田 真氏(ハリタ金属株式会社 代表取締役)

(3) 令和元年度第2回廃棄物処理・リサイクル IoT ビジネスセミナー

開催日:令和元年11月26日(火) 14:00～16:30

開催会場:TKP 新橋カンファレンスセンター カンファレンスルーム 15B

セミナー1:『循環型社会実現に向けたビジネスへの挑戦』

師: 正木 弾氏 (小田急電鉄株式会社 経営戦略部 課長)

セミナー2:『Circular Economy が拓く日本の未来』

講師: 柴田 一栄氏 (三機工業株式会社 R&D センター環境システム開発部環境システム2課長)

1.4 協議会メンバーによる最新事例

(1) 平成 30 年度廃棄物収集運搬・処理業務最適化プラットフォーム実用化可能性調査事業

(地域循環圏・エコタウン低炭素化促進事業／川崎市)

概要:川崎エコタウンにおける資源循環と低炭素化を推進するため、複数の廃棄物収集処理事業者が共同で利用できる AI 等を活用した収集運搬・処理業務の最大化を支援する情報プラットフォームを活用したサービスの実用化とその効果について検証する。

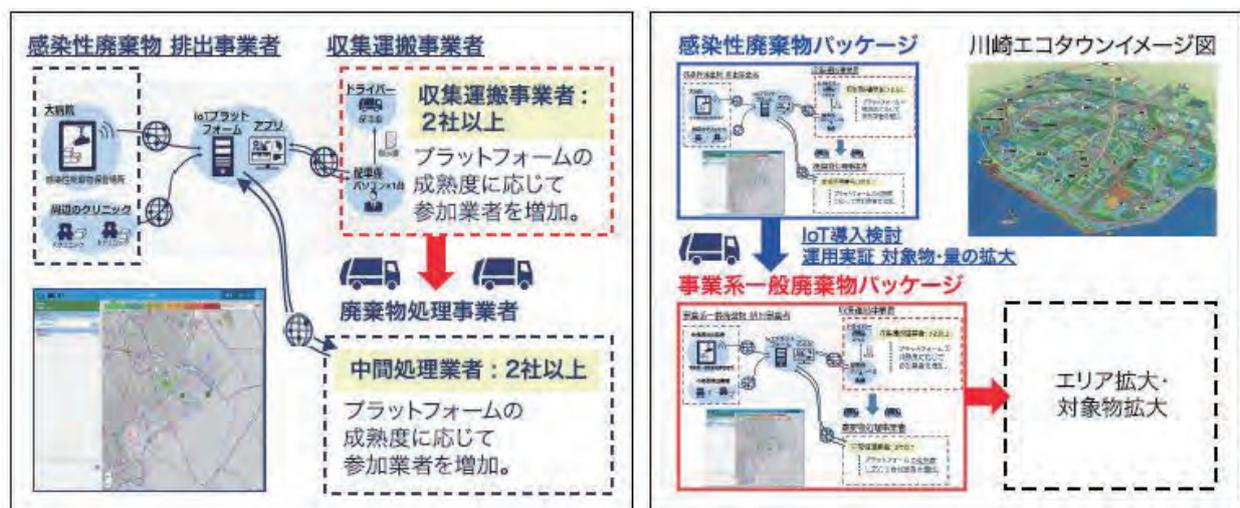


図 A-2 先進事例 1

出典:廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会令和元年度総会資料

(2) 収集運搬及び建廃リサイクルデータ共有・マッチング当を通じた低炭素化モデル事業

(地域循環圏・エコタウン低炭素化促進事業／北九州市)

概要:収集運搬分野及び建廃リサイクル分野において、各種データのシェアリングを進め、データを元に設備のシェアリングやサービスのマッチングの最適化を実現し、収集運搬の輸送効率化や建廃リサイクルの最適化を通じた地域の資源循環の高度化及び低炭素化の効果及びその他の効果について検証する。

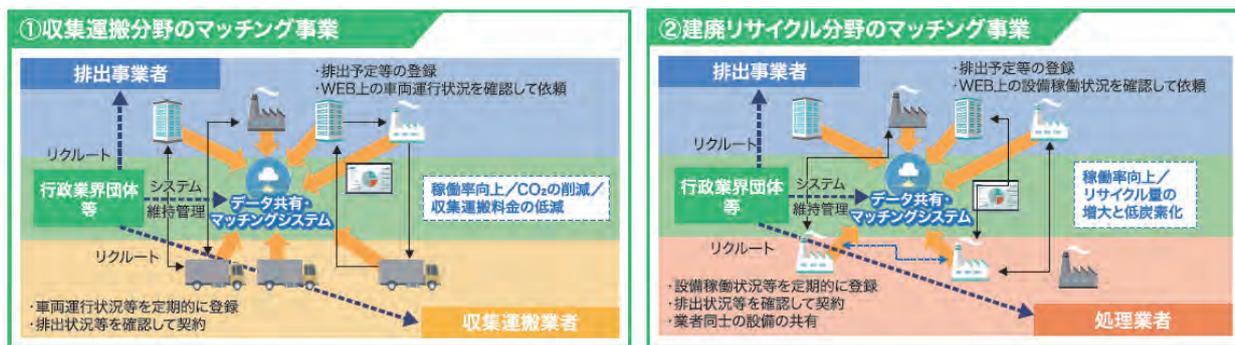


図 A-3 先進事例 2

出典：廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会令和元年度総会資料

(3) 静脈系サプライチェーンマネジメントのための情報通信技術の導入可能性と効果分析

(2019 年度環境研究総合推進費／北九州市立大学、国立環境研究所、和歌山大学、立命館大学 等)

概要：産業廃棄物の発生から選別・加工・再利用に至るプロセスを静脈系サプライチェーンと位置付け、その最適マネジメントのために適用可能な ICT・AI 導入ポテンシャルを探索した上で、具体的導入ステージを想定したシステム開発と導入による効果を、4つのサブテーマ（図 A-4 参照）によって環境面、経済面、安全面から評価する。さらに、その展開可能性と導入効果についての拡大評価についても実施する。

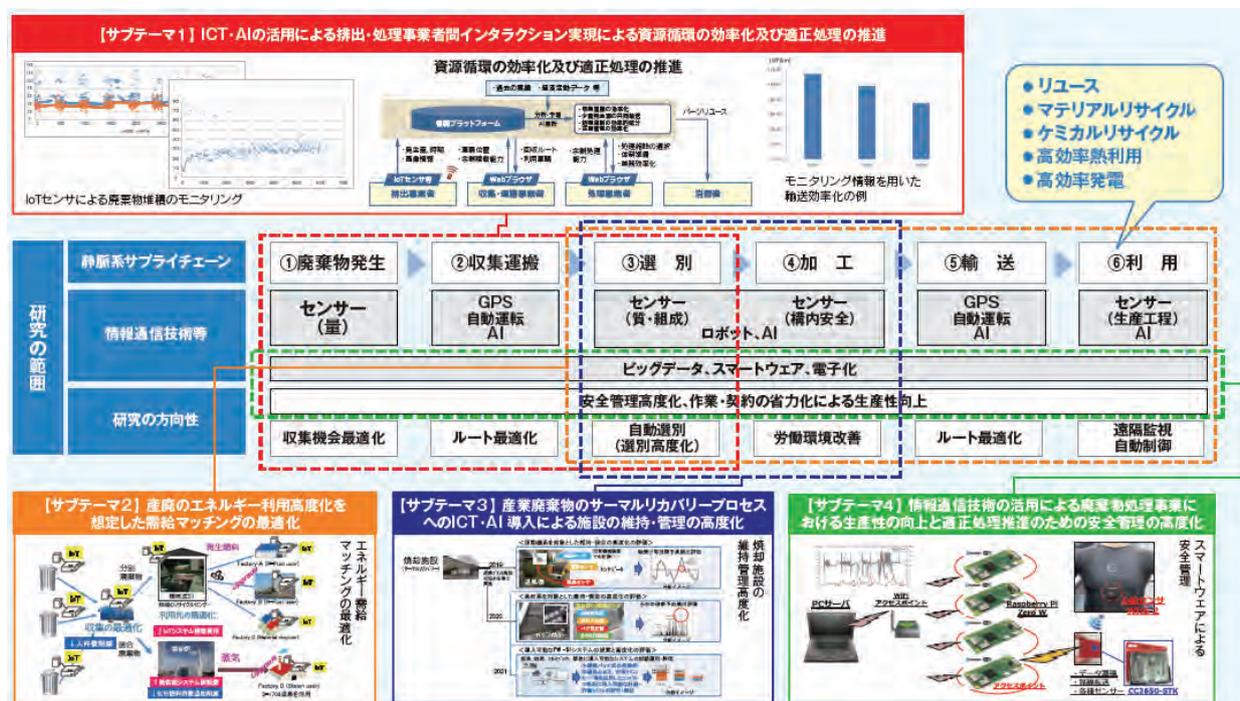


図 A-4 先進事例 3

出典：廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会令和元年度総会資料

(4) 地域循環圏の構築に貢献する AI・IoT を活用したダイナミックカーボンマネジメント開発・実証事業

(2019 年度 CO₂ 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業／大栄環境株式会社)

概要：大栄環境グループの産業廃棄物事業拠点を活用し、AI や IoT を活用した以下の内容の技術開発および実証を行うことで CO₂ 排出量の削減を目指す。

- AI・IoT を利用した収集運搬者の自動配車システムの技術開発・実証
- CO₂ 排出量を最小化する電力調達システムの技術開発・実証
- ダイナミックカーボンマネジメントシステムのプロトタイプ of 技術開発・実証

また、本技術開発・実証の成果を一般化し、産業廃棄物事業拠点以外での活用も目指す。

