# 平成３０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

平成３１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
2.1.1 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） ..... 1
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） ..... 2
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
2.2.1 AI、IoT を活用した生産性向上の技術的課題の検討 ..... 2
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 ..... 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 ..... 6
5．研究成果による環境政策への貢献 ..... 7
II. 平成３０年度の研究計画及び研究状況と成果 ..... 8
1．平成３０年度の研究計画 ..... 8
2．平成３０年度の研究状況及び成果（概要） ..... 9
3．対外発表等の実施状況 ..... 12
3.1 環境省との打ち合わせ ..... 12
3.2 研究者同士のミーティング ..... 12
3.2.1 AI、IoT の勉強会 ..... 12
3.2.2 産業組織論研究会 ..... 12
3.2.3 その他 ..... 13
3.3 対外報告 ..... 13
3.3.1 研究論文 ..... 13
3.3.2 学会報告 ..... 13
3.3.3 その他 ..... 14
3.4 外部有識者 ..... 14
4．平成３０年度の研究状況と成果（詳細） ..... 15
4.1 序論 ..... 15
4.1.1 諸外国における高齢化 ..... 15
4.1.2 我が国廃棄物処理業の生産性 ..... 18

4.2 本論 ..... 20
4.2.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究 ..... 20
4.2.1.1 研究の概要 ..... 20
4.2.1.2 産業廃棄物処理業の現況 ..... 23
4.2.1.3 人口構造の変化が地域経済に与える負荷 ..... 32
4.2.1.4 産業連関モデルの枠組み ..... 35
4.2.1.5 富山県を対象とした数量分析－分析に用いるデータについて－ ..... 45
4.2.1.6 試算結果 ..... 52
4.2.1.7 おわりに ..... 60
4.2.2 機械学習による予測方法の考え方 ..... 63
4.2.2.1 機械学習と将来予測 ..... 63
4.2.2.2 空間データ特有の問題 ..... 68
4.3 AI、IoT を活用した生産性向上の技術的課題の検討 ..... 71
4.4 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 ..... 79
4.4.1 情報技術活用とトレーサビリティの経済分析 ..... 79
4.4.2 廃棄物産業へのイールドマネジメント手法の導入について ..... 88
4.4.2.1 導入 ..... 88
4.4.2.2 イールドマネジメントとは ..... 88
4.4.2.3 航空業界におけるイールドマネジメントの概要 ..... 93
4.4.2.4 結語 ..... 101
4.3 結論 ..... 102
III. 今後の研究方針 ..... 103
IV. 添付資料 ..... 104
1. 廃棄物処理の従業者数の地理的分布 ..... 104
2. AI、IoT、BC 勉強会資料 ..... 118

図　目次

図表 I- 1 ..... 4
図表 I- 2 ..... 5

図表 II- 1：　産業連関モデルの概要 ..... 9
図表 II- 2：　アジア地域の年齢別人口の推移 ..... 16
図表 II- 3：　欧米主要国の年齢別人口の推移 ..... 17
図表 II- 4　主な産業の労働投入指数の推移 ..... 18
図表 II- 5 主な産業の資本投入指数の推移 ..... 19
図表 II- 6：　人口構造の変化が経済に与える負荷 ..... 21
図表 II- 7：　産業連関分析の枠組み ..... 22
図表 II- 8：　産業廃棄物排出量の推移 ..... 24
図表 II- 9：　都道府県別にみた産業廃棄物の排出量（2015 年） ..... 24
図表 II- 10：　産業別にみた産業廃棄物の排出量（2011 年） ..... 25
図表 II- 11:　日本標準産業分類中分類「88 廃棄物処理業」の小分類と細分類 ..... 25
図表 II- 12：　常用雇用者数別に見た産業廃棄物処理業（民営）の事業所数（平成 28 年） ..... 26
図表 II- 13：　常用雇用者数別に見た産業廃棄物処理業（民営）の従業者数（平成 28 年） ..... 27
図表 II- 14：　産業廃棄物処理業の細分類でみた事業所数、従業者数内訳（平成 28 年） ..... 27
図表 II- 15：　従業者規模別に見た事業従事者 1 人あたり付加価値額（平成 28 年） ..... 28
図表 II- 16：　都道府県別に見た産業廃棄物処理業の従業者数（平成 28 年） ..... 28
図表 II- 17：　都道府県別に見た産業廃棄物処理業従業者の特化係数（平成 28 年） ..... 29
図表 II- 18：　都道府県別に見た県内総生産と比較した産業廃棄物排出量（平成 27 年） ..... 29
図表 II- 19：　廃棄物処理業就業者の年齢階級別分布（平成 27 年） ..... 30
図表 II- 20：　廃棄物処理業就業者の年齢階級別分布（平成 22 年と平成 27 年） ..... 30
図表 II- 21：　産業廃棄物排出量の集中度曲線 ..... 31
図表 II- 22：　都道府県別に見た人口変化率と産業廃棄物処理業の従業者特化係数 ..... 32
図表 II- 23：　産業連関表 ..... 35
図表 II- 24：　最終需要の類型 ..... 38
図表 II- 25：　富山県産業連関表のあらまし（平成 23 年表） ..... 46
図表 II- 26：　富山県の人口と将来推計 ..... 46
図表 II- 27：　富山県の従業者総数に関する試算値 ..... 47
図表 II- 28：　富山県における教育、介護、医療に対する消費需要（平成 23 年） ..... 47
図表 II- 29：　対象人口あたり教育消費 ..... 47

図表 II- 30： 要介護（要支援）認定者数と認定率 ..... 48
図表 II- 31： 要介護者あたりの消費支出ベクトル ..... 48
図表 II- 32： 年齢階級別医療消費支出推計額 ..... 48
図表 II- 33： 公務従業者数（平成 26 年） ..... 49
図表 II- 34： 一般政府消費支出の部門別推計（平成 23 年度） ..... 49
図表 II- 35： 道府県歳出関数の推計結果 ..... 50
図表 II- 36： 市町村歳出関数の推計値 ..... 51
図表 II- 37： 市町村別の歳出構成比（平成 23 年度） ..... 51
図表 II- 38： 非市場需要の変化に関する試算（富山県） ..... 52
図表 II- 39： 総額でみた非市場需要の変化に関する試算（富山県） ..... 53
図表 II- 40： 一般行政サービス需要の変化（富山県） ..... 53
図表 II- 41： 歳出関数と県内市町村の歳出理論値（富山県） ..... 54
図表 II- 42： 一般政府消費支出（教育、介護、医療を除く）の変化に関する試算（富山県） ... 54
図表 II- 43： 労働の需要量と供給量に関する試算（富山県） ..... 55
図表 II- 44： 基準年と比較した所得・支出ギャップの変化額（$\boldsymbol{\Delta BIO}$）（富山県） ..... 56
図表 II- 45： 基準年と比較した人口あたり所得・支出ギャップの変化額（$\boldsymbol{\Delta BIO}$）（富山県） ... 57
図表 II- 46： 県内純生産の推移（富山県） ..... 57
図表 II- 47： 県内生産額の推移（富山県） ..... 58
図表 II- 48： 県内就業者数の推移（富山県） ..... 59
図表 II- 49： 廃棄物処理部門における生産額の変化（富山県） ..... 59
図表 II- 50：廃棄物処理業における就業者数の変化に関する試算（富山県） ..... 60
図表 II- 51 ..... 66
図表 II- 52 ..... 70
図表 II- 53： Moises A. Resende-Filho and Brian L. Buhr（2008）のモデルのイメージ ..... 80
図表 II- 54： モデルのタイミング ..... 81
図表 II- 55： トレーサビリティシステムの効果 ..... 81
図表 II- 56： 計算に用いられる数値 ..... 83
図表 II- 57： トレーサビリティの精度の精肉業者のコスト ..... 83
図表 II- 58：トレーサビリティシステムの価値の計算 ..... 84
図表 II- 59： モデルの概要 ..... 85
図表 II- 60： 階層構造のイメージ ..... 86
図表 II- 61： ICT の効果 ..... 87
図表 II- 62 ..... 98

図表 IV- 1 ..... 104
図表 IV- 2 ..... 105
図表 IV- 3 ..... 105
図表 IV- 4 ..... 106
図表 IV- 5 ..... 106
図表 IV- 6 ..... 107
図表 IV- 7 ..... 107
図表 IV- 8 ..... 108
図表 IV- 9 ..... 108
図表 IV- 10 ..... 109
図表 IV- 11 ..... 109
図表 IV- 12 ..... 110
図表 IV- 13 ..... 110
図表 IV- 14 ..... 111
図表 IV- 15 ..... 112
図表 IV- 16 ..... 112
図表 IV- 17 ..... 113
図表 IV- 18 ..... 113
図表 IV- 19 ..... 114
図表 IV- 20 ..... 114
図表 IV- 21 ..... 115
図表 IV- 22 ..... 115
図表 IV- 23 ..... 116
図表 IV- 24 ..... 116
図表 IV- 25 ..... 117
図表 IV- 26 ..... 117

サマリー

本研究の主要部分であるパート(1)a では、本年度は人口減少や人口構成の変化が産業構造の変化に与える影響を数量的に捉えるための予備的な分析を行った。分析の結果、産業廃棄物処理業の事業所や従業者数、産業廃棄物の排出量の動向より、高齢社会に対応した産業廃棄物処理業のあり方を考えるためには、地方圏における産業廃棄物処理業の動向が重要であることがわかった。このことより、今後の分析にあたっては可能な限り都道府県単位での分析が望ましいとの結論を得た。パート(1)b は、今後の日本における人口動態を踏まえつつ地域別にどの程度の労働力の変化が産業廃棄物処理業において想定されるかを整理することである。平成 30 年度は、こうした将来予測の基盤となる、統計的な推計方法を中心に検討した。本研究では、統計モデルを中心とした機械学習（machine learning）の手法を中心としつつ、こうした将来予測を提示することを計画しているが、(1)機械学習の分野で発展してきた方法論と、(2)利用する具体的なデータの特性に応じたモデルのチューニングやバイアスの排除、推定方法に関連する方法論の両者が必要になることが明らかになった。特に(2)については、都道府県や自治体レベルで記録されたデータのような地理空間上の位置情報をもつ空間データ（spatial data）を用いた統計解析・予測に固有の問題への対処も必要になるが、その対応についても統計ソフト R を用いて実装する方法に一定の目処がついた。

パート(2)a では、AI、IoT の先端技術を研究の参画者である廃棄物・経済学の専門家により深く理解してもらうことを目的として、勉強会を3回実施した。結果として、参加者からは AI、IoT 等の先端技術への理解が格段に深まったというフィードバックを得た。また、これまで想定していた電子マニフェストそのものへの BC の活用というよりもその周辺分野において、より生産性向上に資する導入の可能性があるという新たな切り口が得られたことも大きな収穫である。パート(2)b では、情報の非対称という切り口から廃棄物処理のビジネスを産業組織論的に捉え直すことを主眼とした。廃棄物での適用事例がないため、関連分野として、食品業界でトレーサビリティを高める取り組みを経済学的に分析した論文について詳細にレビューを行なった。その結果、非対称情報下でトレーサビリティシステムを導入することによって、一定の条件のもとで経済厚生が増加することがわかった。また別の切り口として、先端技術を生かした生産性の向上についての文献レビューおよび生産性アップの手段としてイールドマネジメントの適用事例を検討した。こうした新しいアプローチの導入には、AI を含む先端技術の活用と、これに携わる新たな人材の活用が必要となる。こうした一連の変化は廃棄物処理業界全体の雇用・賃金の増加と、生産性の向上をもたらすと考えられる。このことは、就業者の確保にもつながると考えられ、今後のさらなる高齢化が進むと想定される地域においては有効な手段になると考えられる。

Summary

As described in Part (1)a, the main part of this research, we conducted a preliminary analysis during this fiscal year to obtain a quantitative understanding of the impact of declining population and demographic shifts on changes in industrial structure. This analysis showed that regional development is important when considering what type of industrial waste treatment industry is best suited to an aging society and that such development is more important than trends in the number of business establishments, employees, or waste volumes. This result led to the conclusion that it would be desirable to conduct analyses at the prefectural level as much as possible in the future. In Part (1)b, we estimated changes in the labor force in the industrial waste treatment industry by region given Japan's future demographic trends. In fiscal year 2018, we primarily investigated statistical estimation methods that would form the basis for future forecasts. Our research mainly used statistical models and other machine learning methodologies, and we plan to report future forecasts. However, it became clear that we would need two estimation methodologies: (1) methodology developed in the field of machine learning and (2) models that have been tuned and had bias removed in accordance with the characteristics of the specific data to be used. With respect to the latter consideration in particular, it is necessary to address issues specific to statistical analysis and forecasting involving the use of spatial data, including geospatial location data recorded at the prefectural and local government levels. Using R statistical software has promising prospects for this task.

As described in Part (2)a, we held three seminars with the aim of giving experts in waste treatment and economics who were participants in the research a deeper understanding of advanced technologies such as artificial intelligence (AI) and the Internet of Things. They reported a markedly improved grasp of these cutting-edge technologies after these seminars. Furthermore, we obtained a significant finding: rather than applying blockchain to electronic manifests themselves, the presumed approach to date, a new approach involving the possibility of adopting something from peripheral fields would better enhance productivity. The main objective in Part (2)b was to use industrial organizational theory to rethink the waste treatment business from the perspective of information asymmetry. Due to a lack of waste treatment examples, we conducted a detailed review of papers on economic analysis that addressed initiatives to enhance traceability in the food industry, which is a related sector. We found that introducing traceability systems under information asymmetry increased economic welfare

under certain circumstances. From another perspective, we reviewed the literature on leveraging advanced technologies to enhance productivity and investigated case studies of using yield management to improve productivity. The adoption of these new approaches entails the use of cutting-edge technologies such as AI and new human resources associated with such technologies. We believe that these changes should increase employment and wages and enhance productivity in the waste treatment industry as a whole, which would help secure workers and would be useful in regions where further aging of the population is expected.

# I. 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 1900 万人で 2015 年の 1 億 2700 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 6800 万人であり、2015 年の 7700 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、バッズの取引は、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、バッズ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 | | | | | | | | 報告書 |
| 伊藤岳 | | | | | | 就業者予測の精査 → | | | | | 視覚化 | | 報告書 |
| **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 |
| 吉田雄一朗・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・アドバイザリボード(AB)・学会・協議会** | | | | | | 環境省 | | 協議会 | | | 環境省 | AB | 国際 |

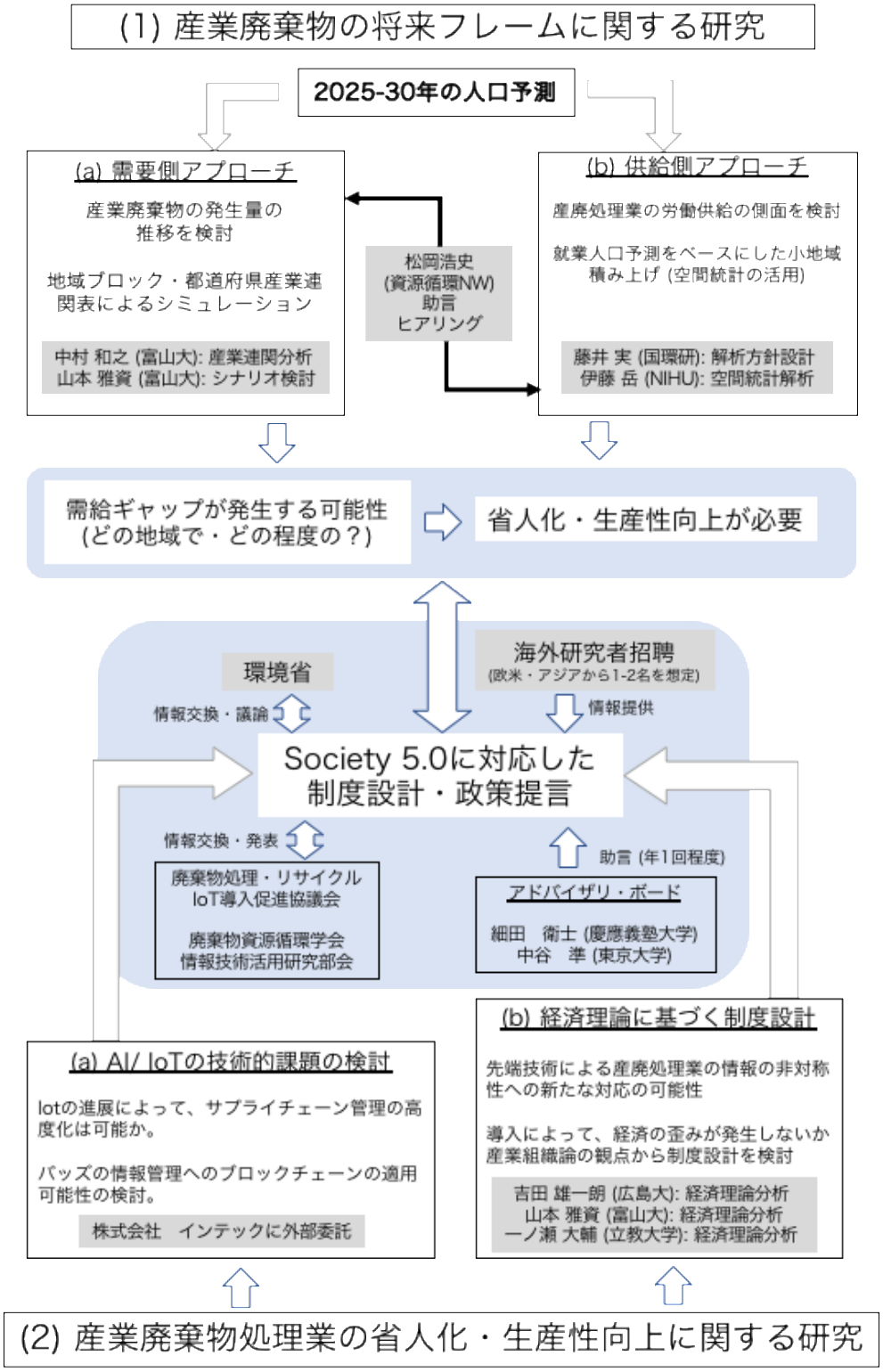
| 2019年度 | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **廃棄物処理業の将来フレーム** | | | | | | | | | | | | | |
| 中村和之・山本雅資 | 1a | 新年度ミーティング | 産廃処理業の将来フレーム試算 → | | | | | | 中間報告 | 結果の擦り合わせ | | 全体打合せ | 報告書 |
| 松岡浩史 | | | | | 打合せ | | ヒアリング | | 打合せ | ↕ | | | |
| 藤井実 | 1b | | 打合せ | | | | | | 打合せ | | | | 報告書 |
| 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 | | | 報告書 |
| **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 |
| 吉田雄一朗・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・アドバイザリボード(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 | → | | | | 報告書 |
| 伊藤岳 | | | 就業者数予測見直し → | | | | 中間報告 | 論文作成 | → | | | | 報告書 |
| **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 |
| 吉田雄一朗・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・アドバイザリボード(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<br>（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**<br>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**<br>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 雄一朗 | 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 | 富山大学・極東地域研究センター・訪問研究員 → 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 | (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３０年度の研究計画及び研究状況と成果

### １．平成３０年度の研究計画

平成30年度の計画は大きく以下の4つに分かれている。

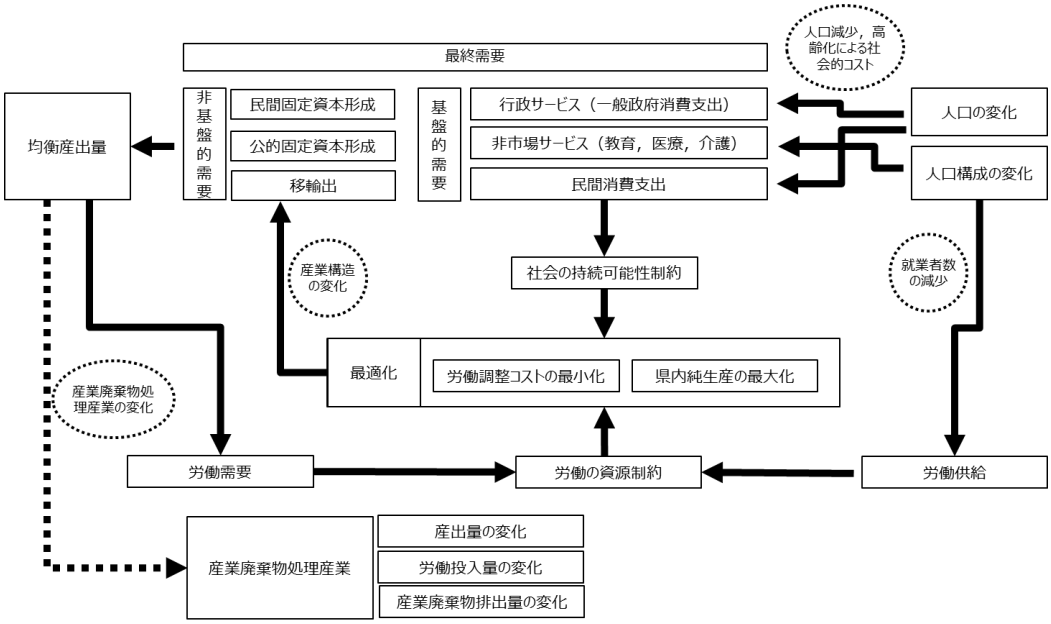
1. 国立社会保障・人口問題研究所の人口予測をベースとして、産業廃棄物発生量の将来推計を地域別に行うため、経済産業省による地域間産業連関表(全国を9地域に分割)、環境省による環境分野分析用産業連関表、環境省による産業廃棄物排出・処理状況調査等の統計情報等を用いて、過去の産業廃棄物の発生量の実績値を最も適格に説明するシナリオを検討する。
2. 『産業廃棄物処理業の振興方策に関する提言』によれば、産業廃棄物処理業の許可事業者は、アクティブな事業者に限ると約 11 万者、全国産業資源循環連合会会員事業者に限ると約 1.5 万者、優良産廃処理業者認定制度における認定を受けている事業者に限っても1千者あると言われており、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、労働政策研究・研修機構による都道府県別の就業者数の将来予測等の情報等を用いて、地域別にどの程度の労働力の変化が想定されるかを推計する方法論を検討する。
3. 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ため、AI、IoT の先端技術を本研究の参画者である廃棄物・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を学習する。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(以下、BC)の理論的背景について、学術的背景も含めて学ぶものする。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。
4. 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、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っていくために、平成 30 年度はバッズの情報の非対称性の問題がどのように市場に歪みを生み出すか、(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に関するこれまでの研究の到達点を整理する。
5. 平成 32 年度の政策提言に向けて、上記の検討内容を整理する。また、取りまとめにおいて、海外研究者を招いての情報収集、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、研究成果の政策への還元を進めること。

## ２．平成３０年度の研究状況及び成果（概要）

本研究の主要部分であるパート(1)a の最終目標は、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ことである。本年度は人口減少や人口構成の変化が産業構造の変化に与える影響を数量的に捉えるための予備的な分析を行った。他の産業と同様に、産業廃棄物処理への需要もまた人口、社会要因とは無縁ではない。とりわけ、産業廃棄物は企業の生産活動を通じて排出されるので、産業全体を俯瞰できる枠組みが求められる。これらを考慮して具体的には以下の諸点に取り組んだ。

第一に、社会における人口構造や人口構成の変化が、経済社会に与える影響を考察するための理論モデルを構築した。モデルでは、人口減少や人口構成の変化が生産要素の賦存量を変化させると言う供給側と、医療や介護、教育といった非市場財の需要に与える効果を考慮している。これによって、家計の効用水準を従前と同じ水準に保つために必要とされる所得の変化を考え、人口減少や人口構成の変化が社会に与える負荷を考えることができる。

第二に、理論モデルに基づき、数量的分析を可能とするような産業連関モデルを構築した。モデルは、地域経済を想定し、産業連関分析の均衡産出高モデルに人口動態に関する供給側の制約と、医療、介護、教育、行政サービス等に関する需要側の制約を組み込んだものである。産業連関分析の枠組みでモデルを構築することで、廃棄物の排出や処理の分析に際して環境省による環境 IO 表や国内外の研究者による数多くの先行研究の成果を踏まえた分析が可能となる。




図表Ⅱ-１：　産業連関モデルの概要

本モデルでは、総人口や若年人口の減少は、域内の就業者数を減少させ、労働供給を減少させる。一方、国や地方自治体が提供する公共サービスは、公共サービスの非競合性故に、人口の減少率と比較して緩慢にしか減少しない。さらに、医療や介護といった非市場型の対個人サービスは、人口の高齢化によって相対的な比率が高まっていく。このような需要側の制約は、供給側の制約と相俟って地域の産業構造に影響を与える。

本年度の研究で以下のような知見を得た。第一に、産業廃棄物処理業の事業所や従業者数、産業廃棄物の排出量の動向より、高齢社会に対応した産業廃棄物処理業のあり方を考えるためには、地方圏における産業廃棄物処理業の動向が重要

であることがわかった。このことより、今後の分析にあたっては可能な限り都道府県単位での分析が望ましいとの結論を得た。

第二に、このような視点から理論モデルを構築、分析した結果、人口が減少し、高齢化が進行する地方圏においては、社会を維持するための基盤的サービスが供給面で相対的に高い比重を持つことになり、このことが地域の経済成長の隘路となり得ることや、地域の利用可能な資源に関する制約がよりタイトになる可能性が示された。

第三に、構築した産業連関モデルにおいて、富山県の人口動態や医療や介護、教育、公共サービスに関するパラメータを与えて所得や労働需要の動向を分析した結果、同県のような地方圏では、基盤的なサービスへの需要は人口の減少ほどは減少せず、民間部門における労働制約がタイトになる結果、人口減少や高齢化が経済活動に負荷を与える可能性が示された。ただし、産業間の労働移動がスムースに行われる場合には、総額で見た県内純生産は減少するものの 1 人あたりの県内純生産は増加することも示された。同時に富山県のような地方圏において人口減少や高齢化に適確に対応できた場合はもとより、労働市場の硬直性に起因して経済活動が停滞した場合においても、廃棄物処理業には一定水準の需要が存在することがわかった。

パート(1)b が3年間で目指すことは、今後の日本における人口動態を踏まえつつ、特に供給側から国立社会保障・人口問題研究所の人口予測や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産業廃棄物処理業において想定されるかを整理することである。

平成 30 年度は、こうした将来予測の基盤となる、統計的な推計方法を中心に検討した。本研究では、統計モデルを中心とした機械学習(machine learning)の手法を中心としつつ、こうした将来予測を提示することを計画している。本研究が念頭に置くような問題について適切な将来予測を提示するためには、(1)機械学習の分野で発展してきた方法論と、(2)利用する具体的なデータの特性に応じたモデルのチューニングやバイアスの排除、推定方法に関連する方法論の両者が必要になることが明らかになった。特に(2)については、都道府県や自治体レベルで記録されたデータのような地理空間上の位置情報をもつ空間データ(spatial data)を用いた統計解析・予測に固有の問題への対処も必要になるが、その対応についても統計ソフト R を用いて実装する方法に一定の目処がついた。

パート(2)a では、AI、IoT の先端技術を研究の参画者である廃棄物・経済学の専門家により深く理解してもらうことを目的として、勉強会を3回実施した。第1回は、IoT、AI 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。

結果として、参加者からは AI、IoT 等の先端技術への理解が格段に深まったというフィードバックを得た。また、詳細は本論に譲るが、これまで想定していた電子マニフェストそのものへの BC の活用というよりもその周辺分野において、より生産性向上に資する導入の可能性があるという新たな切り口が得られたことも大きな収穫である。

パート(2)b では、情報の非対称という切り口から廃棄物処理のビジネスを産業組織論的に捉え直すことを主眼とした。産業廃棄物処理業の取引は多くの場合、逆有償である。逆有償とは財・サービスを購入する消費者がお金を支払うと同時にモノも手放すような取引である。適正処理が必要な産業廃棄物の排出者は、その廃棄物を産業廃棄物処理の処理業者に処理を委託するが、その際にお金も支払う。これは通常の財がお金を支払った対価としてモノを手元に得ることとは対照的である。モノが手元に残れば、その財の質が本来想定されているものに満たない場合、消費者は簡単に取引相手にアピールすることができる。ところが、モノが手元に残らない逆有償の取引では、実際に約束されたサービス(例えば適正な廃棄物処理)がなされたかどうかを確認することは非常にコストがかかる。そのため、逆有償取引には「情報の非対称」の問題が発生するので

ある。

情報の非対称性の問題は、経済学において契約理論と呼ばれる分野で扱われているため、はじめに契約理論のテキストを輪読し、産業廃棄物の逆有償取引が契約理論の情報の非対称性の問題として捉えることができるかを厳密に確認した。その結果、やはり、逆有償取引は情報の非対称性の問題がそのままあてはまることがわかった。

次に廃棄物分野において、この情報の非対称性の問題を扱っている既存文献がないか検索したが、見つけることができなかった。そこで、関連分野として、食品業界でトレーサビリティを高める取り組みを経済学的に分析した論文について詳細にレビューを行なった。その結果、非対称情報下でトレーサビリティシステムを導入することによって、一定の条件のもとで経済厚生が増加することがわかった。その一方、食肉業での適用事例であることから、実際に産業廃棄物処理業に適用するためには、適正処理の発生確率や、一般的な廃棄物処理費用、さらに廃棄物処理取引にトレーサビリティを導入する場合のシステムの精度やコストのデータがあらためて必要となることが課題である。

また別の切り口として、先端技術を生かした生産性の向上についての文献レビューも行なった。これについても廃棄物分野の文献を見つけることができなかったので一般的な設定での ICT 導入の組織への効果を論じた論文と航空業界に代表されるイールドマネジメントの導入の効果について調査を行なった。前者の論文では、プリンシパルが m 人のエージェントを雇って生産を行う状況を想定している。エージェントは階層構造 (ex. 会社の上下関係)を形成し、n 個の情報アイテムと呼ばれる業務をこなすことになるが、この際、エージェントは情報アイテムの処理に際して特別な努力を投入するか否かを選択することができ、特別な努力を投入した場合、高い生産水準を実現できる可能性が高くなるという設定である。結論として、ICT の導入がどのような場合でも生産性を高めるのではなく、一定の条件が必要であることが示される。一般的に日本の廃棄物処理においては一つの大きな組織の中でエージェントが階層構造を構築し、作業を分担して生産活動を行うという状況は現実的妥当性に欠けると言わざるを得ない。しかし、本モデルの各エージェントをひとつの組織内の存在としてではなく、廃棄物処理という一連の流れの中に関与する独立した主体、すなわち運搬事業者、中間処理業者、最終処分事業者等、として捉えなおすことによって廃棄物処理取引の分析への応用の可能性がある。

次に生産性アップの手段としてイールドマネジメントの適用事例を検討した。限られた生産設備容量を適切に割り当てるプロセスであるイールドマネジメントの手法は、主に航空やホテルなどの交通産業で導入され、大きな成果を上げている。その一方で、廃棄物産業においてはまだまだイールドマネジメントの手法を導入している企業は少ない。しかし、本論で示したようにイールドマネジメントの導入は交通産業の生産性を劇的に変化させており、イールドマネジメントの導入は廃棄物処理業を営む企業の収益の増大に大きく貢献すると考えられる。この新しいアプローチの導入には、AI を含む IT 技術の活用と、これに携わる新たな人材の活用が必要となる。こうした一連の変化は廃棄物処理業界全体の雇用・賃金の増加と、生産性の向上をもたらすと考えられる。このことは、就業者の確保にもつながると考えれ、今後のさらなる高齢化が進むと想定される地域においては有効な手段になると考えられる。

## 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

8/29 (水) キックオフミーティング @ 環境省会議室

12/26 (水) 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

#### 3.2.1 AI、IoT の勉強会

第 1 回　　2018 年 8 月 30 日(木)　IoT、AI の現状と可能性、今後の課題

第 2 回　　2018 年 10 月 16 日(火)　ブロックチェーンの仕組みと可能性、今後の課題

第 3 回　　2018 年 12 月 26 日(水)　各種 IT 技術の適用可能性とメリット、デメリット、課題整理

(会場はいずれもインテック東京本社)

#### 3.2.2 産業組織論研究会

第 1 回　　2018 年 10 月 16 日(火)　契約理論の確認 @ 立教大学

第 2 回　　2018 年 11 月 30 日(金)　情報技術やトレーサビリティ向上がもたらす経済効果のレビュー @ 立教大学

第 3 回　　2018 年 12 月 28 日(金)　イールドマネジメントの廃棄物処理業への適用可能性について @ 広島大学

### 3.2.3 その他

・現地調査・排出事業者ヒアリング等（5 件）

・研究論文打ち合わせ（4 回）

## 3.3 対外報告

### 3.3.1 研究論文

Katsufumi Fukuda, Rofiq Isdwiyani, Keisuke Kawata, and Yuichiro Yoshida. “Measuring the Impact of Modern Waste Collection and Processing Service Attributes on Residents’ Acceptance of Waste Separation Policy Using a Randomized Conjoint Field Experiment in Yogyakarta province, Indonesia,” *Waste Management and Research*, 36(9), August 22, 2018, pp. 841–8.

藤井実, リサイクル分野での IoT, AI 導入の展望, 環境浄化技術 2019 年 1・2 月号.

Abbott, A., Hosoda, E., Nandeibam, S., O’Shea, L. and M. Yamamoto (2019) “Who is most cost effective in waste management? : Evidence from Japan,” Working Paper.

### 3.3.2 学会報告

一ノ瀬大輔, “On the Choice of Precaution and Production Level with Endogenous Assets,” 環境経済・政策学会 2018 年大会（上智大学）

Nakamura, K. “Distribution of factor endowments and non-cooperative provision of public inputs” 日本財政学会第 75 回全国大会（香川大学）報告, 2018 年 10 月.

中村和之「北陸地域における経済循環の持続可能性– 産業連関表を用いた試算–」第 9 回北陸地域政策研究フォーラム((富山大学)報告, 2019 年 3 月 9 日.

### 3.3.3 その他

20018 年 5 月 23 日 山本 雅資 廃棄物資源循環学会 研究部会企画セミナー「IoTとAI等情報技術は何を生み出すか！」登壇

2018 年 8 月 2 日 山本 雅資 廃棄物処理・リサイクル IoT 導入促進協議会「第 1 回ロジスティックス WG」にて話題提供

2018 年 11 月 6 日 藤井実, Creating Sound Material Cycles Society using IoT and AI Technologies, 海外産業人材育成協会 IT 活用型革新的生産管理研修, 海外産業人材育成協会関西研修センター（大阪）.

## 3.4 外部有識者

- アドバイザリボード(細田衛士(慶應義塾大学)、中谷準 (東京大学))によるアドバイザリ会合・2月 26 日
  - 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く。
- 外国人研究者による制度・現状に関する報告と国際比較 (2019 年 3 月 20 日)
  - Dr. Thomas Kinnaman (Professor, Bucknell University, USA)
  - Dr. Lucy O'Shea (Senior Lecturer, University of Bath, UK)

# ４．平成３０年度の研究状況と成果（詳細）

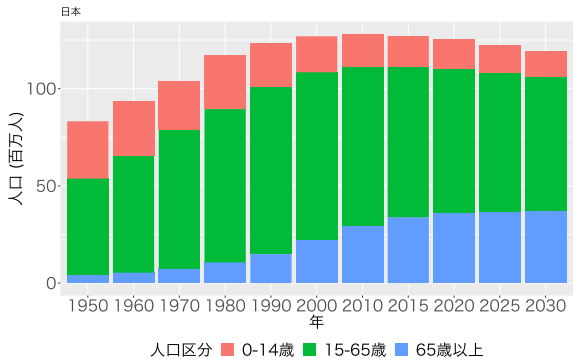
## 4.1 序論

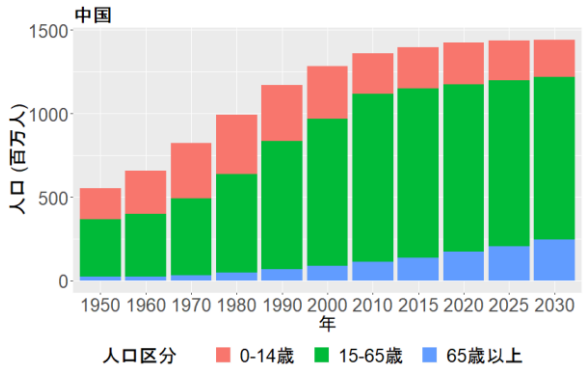
### 4.1.1 諸外国における高齢化

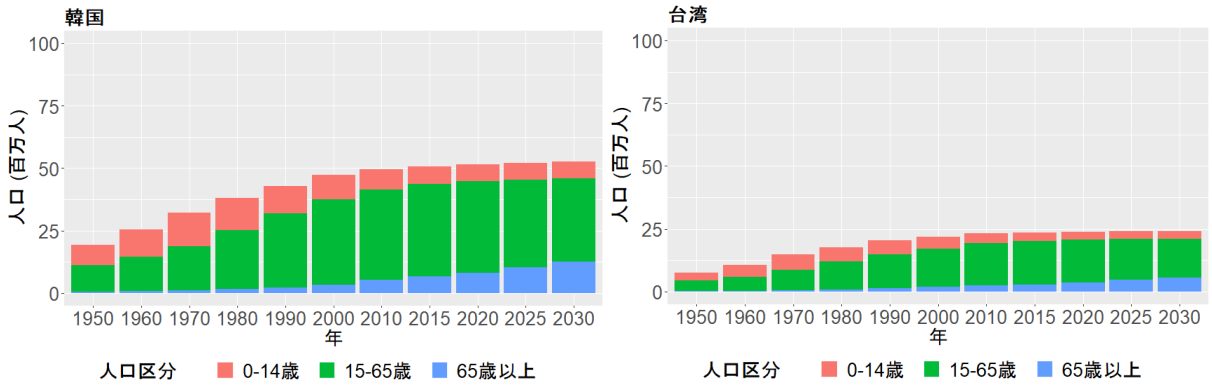
産業廃棄物処理業は我々の生活に欠かせない重要なインフラの一つであるが、少子高齢化で働き手の確保や事業継承の難しさ等の課題を抱えている。これは産業廃棄物処理業だけの問題ではなく、全ての産業において差し迫った「危機」であり、省人化等による生産性向上が求められている。政府としても第四次産業革命による「Society5.0」の実現に向け IoT 等の導入を進めているところだが、産業廃棄物分野における AI や IoT による省人化や生産性向上に関する研究はほとんど存在しない。そこで本研究プロジェクトでは、重要インフラである産業廃棄物処理業の生産性向上に向けた課題を主として経済学の観点から分析を行う。

本論に先立って、あらためて本問題の背景となっている少子高齢化の問題を概観する。我が国の人口に占める65歳以上人口は 1950 年にはわずか 5.3%であり、1985 年に 10.3%となるまで全体の1割を切る水準であった。少子化のトレンドが加速する中で 2017 年には 27.7%という過去最高の水準を記録している。すなわち、現代の我が国では、4人に1人以上が非生産年齢人口となっているのである。

下図はアジア主要国における年齢別の人口推移および 2030 年までの予測値を示したものである。この図からもわかるように日本の人口は 2010 年をピークに減少していく。それに合わせて、65歳以上人口が占める割合も増加し、2030 年には、全体の 31.2%が65歳以上になると予測されている。



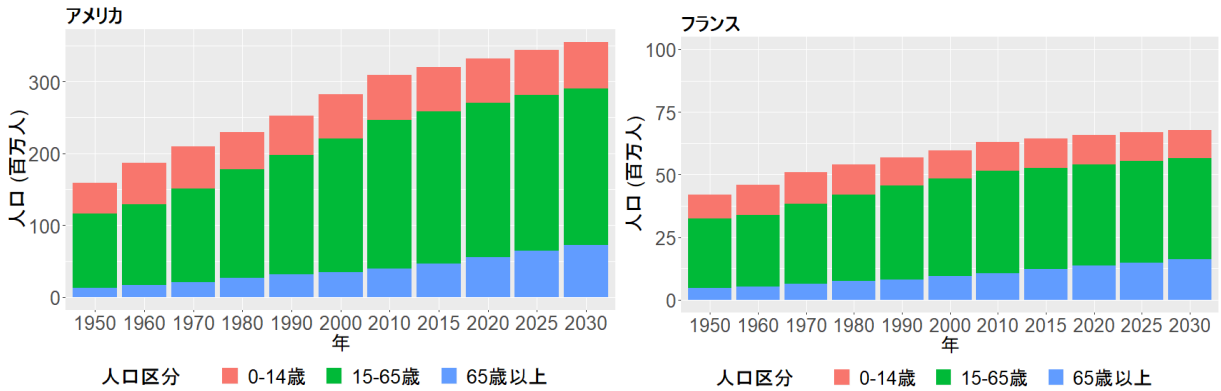


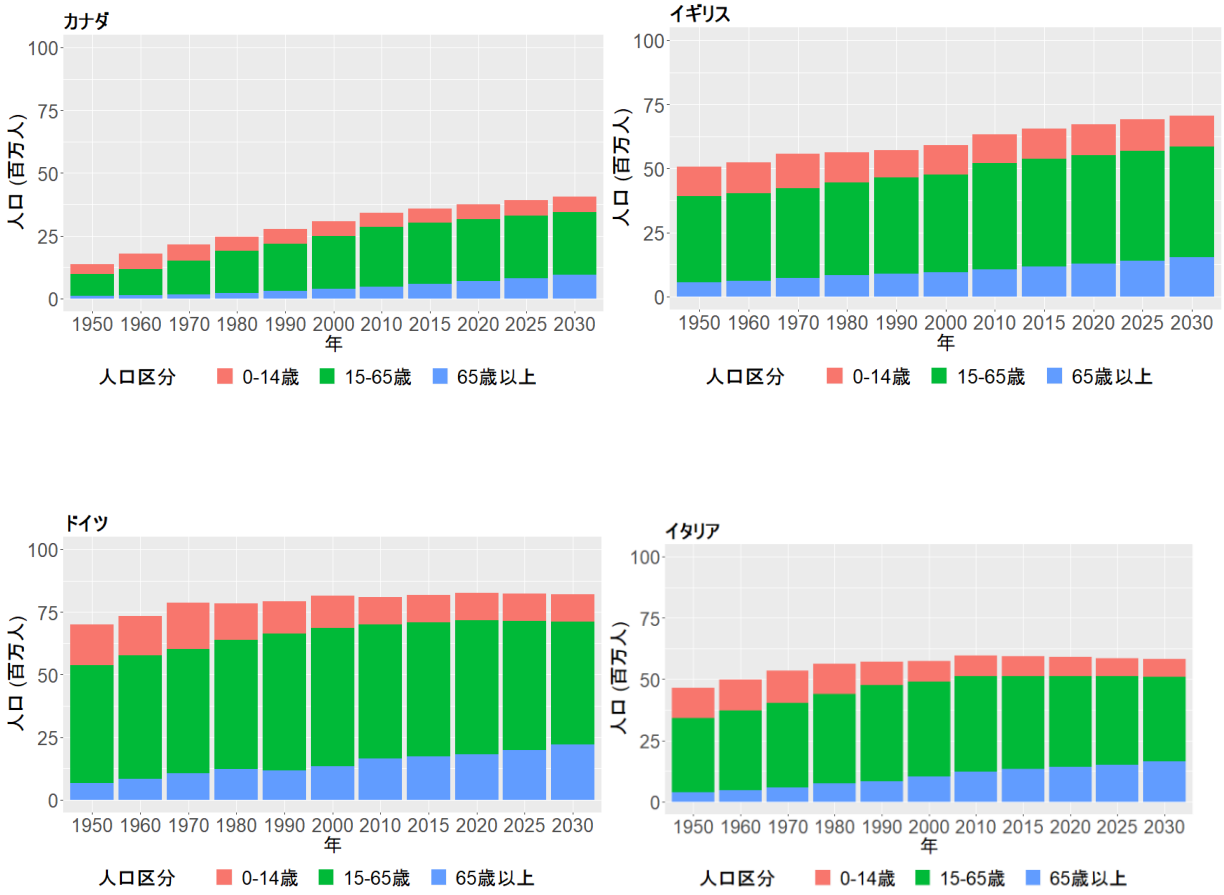

図表 II-2： アジア地域の年齢別人口の推移

図において他の東アジアの国をみると、中国の人口規模が圧倒的に大きいことがあらためて実感できる。中国の人口動態は 1979 年から 2015 年までの一人っ子政策により、2030 年にむけて総人口は増加するものの、その増加率は次第に緩やかになっている。引き続き生産年齢人口は規模は大きいものの、65 歳以上の人口が増え続けていることに注意が必要である（1950 年の 2456 万人が、2015 年には 1 億 3518 万人、2030 年には 1950 年の約 10 倍の 2 億 4590 万人になると予測されている。）

他の二国（韓国、台湾）についても日本とは似て非なる推移をみせている。韓国は日本を上回るペースで少子化が進んでいる。2017 年の合計特殊出生率は、1.05 で世界で3番目に低い数値となっている。そのため、韓国の 15 歳以下の人口は、1950 年から 1970 年にかけて増加したものの、それ以降は一貫して減少している。また、15–65 歳の人口は、1950 年から増え続けていたが、2020 年以降は減少するとみられている(この期間に 65 歳以上は一貫して増加している)。 台湾の 15 歳以下の人口は、1960 年から 2000 年にかけて着実に増加してきたが、以後減少している。一方、生産年齢人口(15–65 歳)と 65 歳以上に関しては、一貫して増加し続けている。

次に欧米主要国の動向をみてみると、アメリカでは 0–14 歳の年齢層は 1950 年に 4260 万人だったのが 2015 年には 6147 万人（1950 年の約 1.5 倍）、15–65 歳では 1950 年に 1 億 317 万人だった人口が 2015 年には 2 億 1162 万人（1950 年の約 2 倍）となっている。65 歳以上の人口を比べてみると、1950 年は 1304 万人だったが、2015 年には約 3 倍の 4684 万人になった。2030 年には 1950 年の約 4 倍の 7224 万人が予想されており、かなり高齢化が進むとみられるが、移民の流入もあり、生産年齢人口は堅調に推移しているのが特徴である。






図表 II-3： 欧米主要国の年齢別人口の推移

カナダの 15 歳以下の人口は 1950 年に 408 万人だったのが、10 年後に約 200 万人増え 605 万人となった。その後はほぼ横ばい状態が続いている。しかし、移民が比較的多いこともあり、15–65 歳と 65 歳以上の人口に関しては順調に増え続けており、それぞれ 1950 年と比べて 2015 年では 3 倍・5 倍の人数となっている。

フランスは主要先進国の中で最も合計特殊出生率が高く、2016 年に 1.92 を記録している。しかし、国際比較では高いものの時系列でみると低下傾向であるため、フランスの 15 歳以下の人口は 1950 年から 1970 年にかけてかなり増えた後、ほぼ横ばいとなっている。(1950 年が 949 万人、1960 年が 1205 万人、1970 年が 1259 万人だった。1980 年以降は 1100 万人台で落ち着いている)。15–65 歳は大きな変化はなく、65 歳以上に関しては 1950 年の 477 万人から 2015 年には約 3 倍の 1221 万人となっている。今後も増加が見込まれ、2030 年には 1950 年の約 4 倍の 1623 万人が予想されている。

イギリスは 15 歳以下は 1950 年からほぼ横ばいが続いている。しかし、15–65 歳の年齢層と 65 歳以上は増加し続けており、特に 65 歳以上に関しては 1950 年の 548 万人から 2015 年には約 2 倍の 1051 万人だった。(更に、2030 年には 1950 年の約 3 倍の 1550 万人が予想されている。)

ドイツ、イタリアは少子高齢化が進んでいる。ドイツの 15 歳以下の人口は、1950 年から 1970 年にかけては少し増加したものの、1980 年以降は少子化が進んでいる(ただし、2025 年以降は少しずつ増えると予想されている)。15–65 歳はほぼ横ばいではあるものの、65 歳以上の人口に関しては、1950 年に 676 万人だったのが 2015 年には約 3 倍の 1726 万人となり、今後も増え続けると予想されている。 イタリアは、15–65 歳の生産年齢人口に関しては、3000 万人台でほぼ横ばい状態が続いているものの、1950 年に 1244 万人いた 15 歳以下の人口は 2015 年には 817 万人まで減り、1950 年には 377 万人だった 65 歳以上人口が、2015 年には 1331 万人にまで増えている。今後もトレンドをみても、少子高齢化社会がますます進むと予想さ

れている。

上記の主要先進国の年齢別人口推移を比較してみると、高齢化はほとんどの国で進展しているものの、総人口の減少が既に始まっている国はほとんどなく、生産年齢人口の低下と高齢化率の上昇を同時に進行させている日本の現状は深刻であり、迅速な対応が求められる。

### 4.1.2 我が国廃棄物処理業の生産性

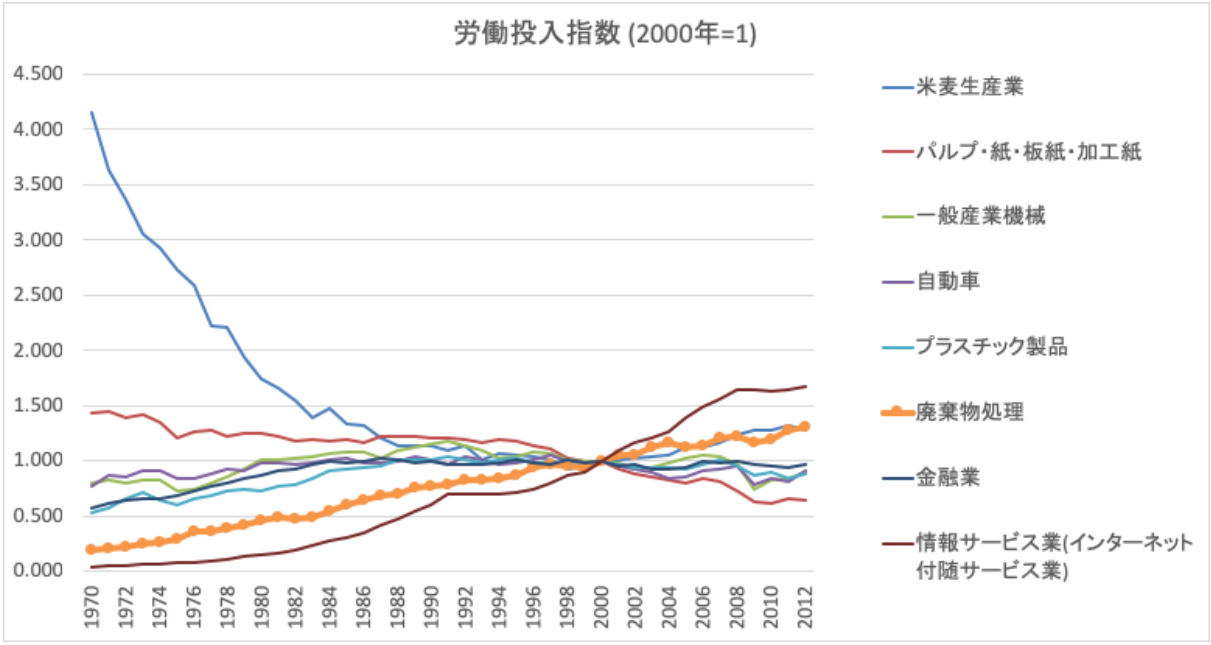
生産性という言葉は一般にも広く利用されているが経済学では、以下の式で表される関係をいうことが多い。

$$\text{生産性} = \frac{\text{生産量}}{\text{要素投入}}$$

すなわち、1年間、1ヶ月など定められた期間の生産量とその生産に費やした労働や資本などの投入量の比率を指す。投入された要素によって異なる生産性指標ができるが、もっともよく使われる指標は、労働生産性である。

$$\text{労働生産性} = \frac{\text{生産量}}{\text{労働投入}}$$

この指標が改善されれば、生産活動が対象期間により効率的に行われたと解釈できる。図1は主要産業の 1970 年以降の労働投入指数を 2000 年を1として比較したものである。この指標は労働生産性の分母の部分の変化をみるものであるから、生産量が一定であればこの指標が増加する場合は労働生産性が低下することになる。

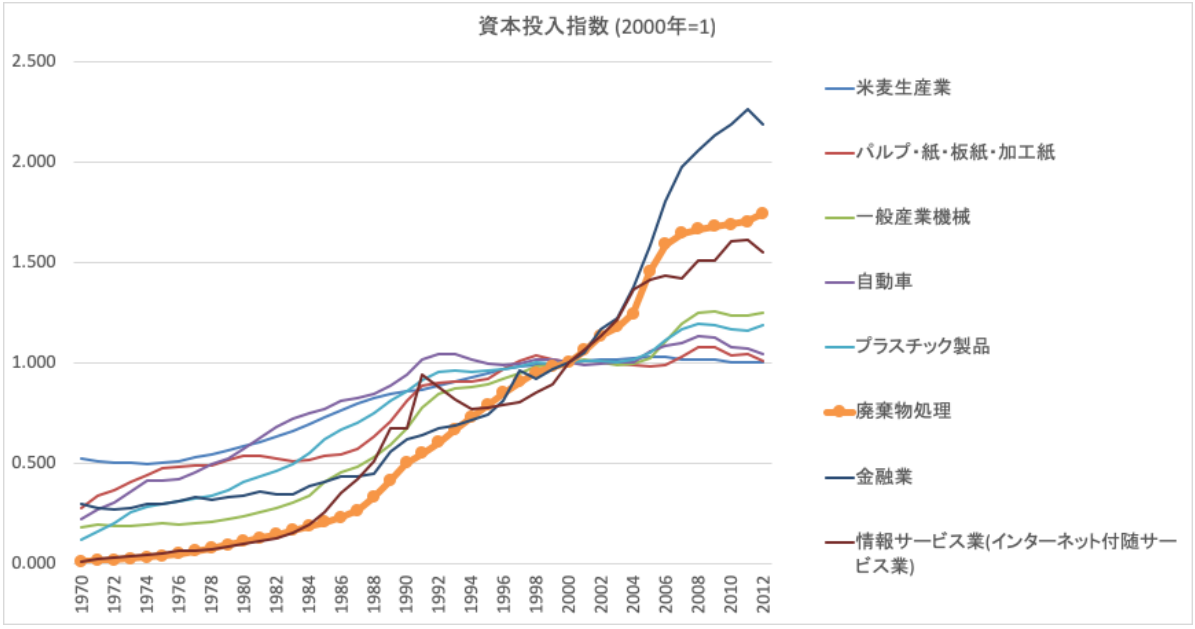



図表 II- 4　主な産業の労働投入指数の推移

出所：　独立行政法人経済産業研究所「日本産業生産性（JIP）データベース 2015」

図1をみると、農業において 1970 年には 2000 年の4倍近い労働力を投入していたが、その後急速に労働投入を減らしていることがわかる。しかし、2000 年以降はわずかに上昇に転じている点にも注意が必要である。また、パルプ関連産業も1970 年には 2000 年の 1.5 倍近くの労働を投入していたが、足元では 2000 年のほぼ半分の水準にまで減少している。
情報サービス(インターネット付随サービス業)は 1970 年代には存在しないか、生産水準が非常に小さかったと考えられるため、1990 年代から急速に労働投入が増加しているが、これに合わせて生産水準が飛躍的に上昇している。

一方、廃棄物処理業をみると、他の製造業やサービス業よりも情報サービス業に近い動きを示している。1970 年から一貫して上昇傾向にあり、2000 年代以降では、情報サービス業を除くともっとも労働指数が大きくなっている。産業廃棄物の排出量自体は横ばいであるから、リサイクル率アップの目標やより高度な処理を行うために、労働集約的な形で産業廃棄物処理に取り組む企業が増加したことが背景にあると考えられる。高度なより環境にやさしい処理を行うことは重要であるが、少子高齢社会が進む我が国において、今後もこのようなトレンドを維持することは不可能であり、省人化による労働生産性の向上が重要な産業の一つであることがわかる。




図表 II- 5 主な産業の資本投入指数の推移

図2は主要産業における資本投入指数の推移を示したものである。これをみると、ほぼ全ての産業において、1970 年以降資本投入が一貫して増加していることがわかる。特に、金融業、情報サービス業および廃棄物処理業において、2000 年以降、急速に資本投入が増えている。上記の2つについては、経済のグローバル化および足元で急速な Fintech の普及で大規模な投資が求められていることが関係していると考えられる。また、廃棄物処理については、循環型社会形成推進基本法や各種個別リサイクル法があいついで 2000 年前後に導入された結果であろう。

ここで注目すべきことは、歴史が浅く規模の拡大が続いている情報サービス業は別として、金融業は資本投入を増加させる中で労働投入を減少させているのに対し、廃棄物処理業はその両方を増やしている点である。この点をどのように解明するかは生産性向上に資する政策提案の鍵になると考えられるので、本研究全体を通じて大きなテーマとしていきたい。

## 4.2 本論

序論では、日本の産業の根幹をなす生産年齢人口が急激に減少していること及び排気部処理業の生産要素投入が増加していることを確認した。それらを踏まえ以下では、大きく二つの視点から産業廃棄物処理業を分析する。一つ目は、人口減少社会において、産業廃棄物の発生量がどのように推移していくかという視点である。もう一つは、産業廃棄物処理業においてAI、IoTなどを活用した生産性向上を進めるためにはどのような方向性が考えられるかというものである。

本年度の調査は次年度以降の分析のための基礎調査として位置づけられており、現状がどのようになっているかをデータを使って把握することと、経済学者や廃棄物の専門家になじみの薄い情報処理に関する最新動向について整理することに重点をおいて研究を行なった。

### 4.2.1 産業廃棄物の将来フレームに関する研究

#### 4.2.1.1 研究の概要

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り、経済原則に基づいて廃棄物を処理している。近年、当該業界においても他の産業と同様に従業員の高齢化が進むことや、それに伴う事業継承の難しさ等の課題を抱えている。また、政府全体で第四次産業革命による「Society5.0」の実現に向けIoT等の導入を進めているところだが、産業廃棄物処理業界の労働力需要予測とIoTによる省人化や生産性向上との比較などは既存の研究では少ない。

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1億1900万人で2015年の1億2700万人の約93%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6800万人であり、2015年の7700万人から10%以上減少する. 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。

これらの日本全体が抱える課題に対応して、重要なインフラ産業である産業廃棄物処理業界においても、今後直面する構造的な課題とその対応等について研究を行い、社会コストの最適化に向けた道筋を見出すことは重要である。

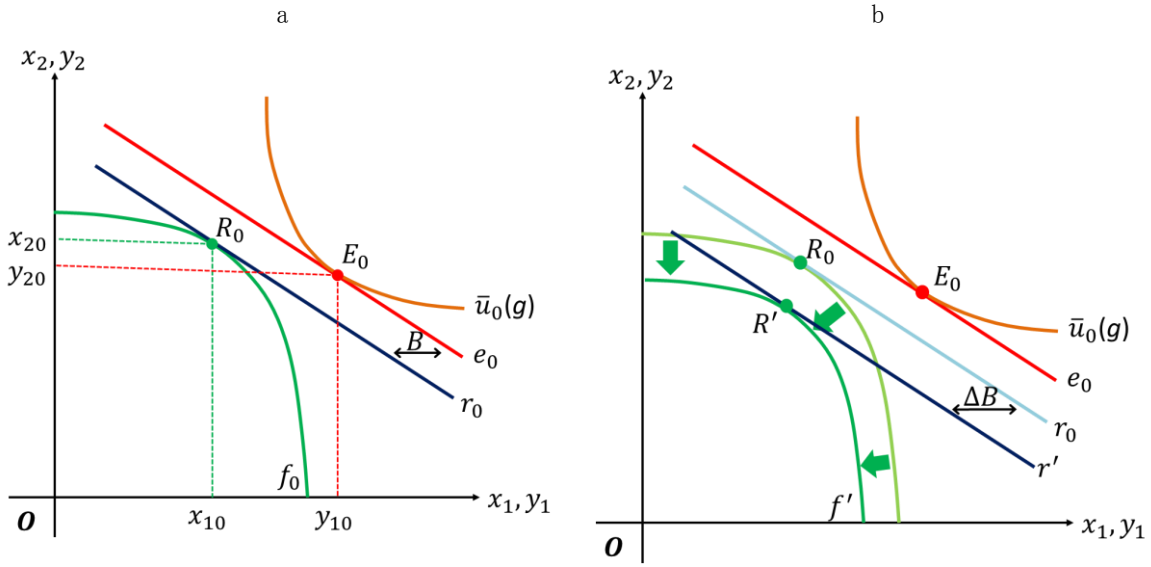
このような問題意識の下で、本研究は、国内の人口動態及び産業廃棄物処理業界の実態把握を踏まえ、同業界の産業としての構造的変化予測を提案するとともに、当予測から導かれる必要な政策・技術的進展についての課題を整理し、政策立案の方向性を決定するために必要な情報を得ることを目指す。

このうち、パート(1)aでは、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。このために、経済産業省による地域間産業連関表(全国を9地域に分割)、環境省による環境分野分析用産業連関表、各都道府県による地域産業連関表、環境省による産業廃棄物排出・処理状況調査等の統計情報等を用いて、過去の産業廃棄物の発生量の実績値を最も適格に説明するシナリオを検討する。

このために、本年度は人口減少や人口構成の変化が産業構造の変化に与える影響を数量的に捉えるための予備的な分析を行った。他の産業と同様に、産業廃棄物処理への需要もまた人口、社会要因とは無縁ではない。とりわけ、産業廃棄物は企業の生産活動を通じて排出されるので、産業全体を俯瞰できる枠組みが求められる。これらを考慮して具体的には以下の諸点に取り組んだ。

第一に、社会における人口構造や人口構成の変化が、経済社会に与える影響を考察するための理論モデルを構築した。モデルでは、人口減少や人口構成の変化が生産要素の賦存量を変化させると言う供給側と、医療や介護、教育といった非市

場財の需要に与える効果を考慮している。これによって、家計の効用水準を従前と同じ水準に保つために必要とされる所得の変化を考え、人口減少や人口構成の変化が社会に与える負荷を考える。



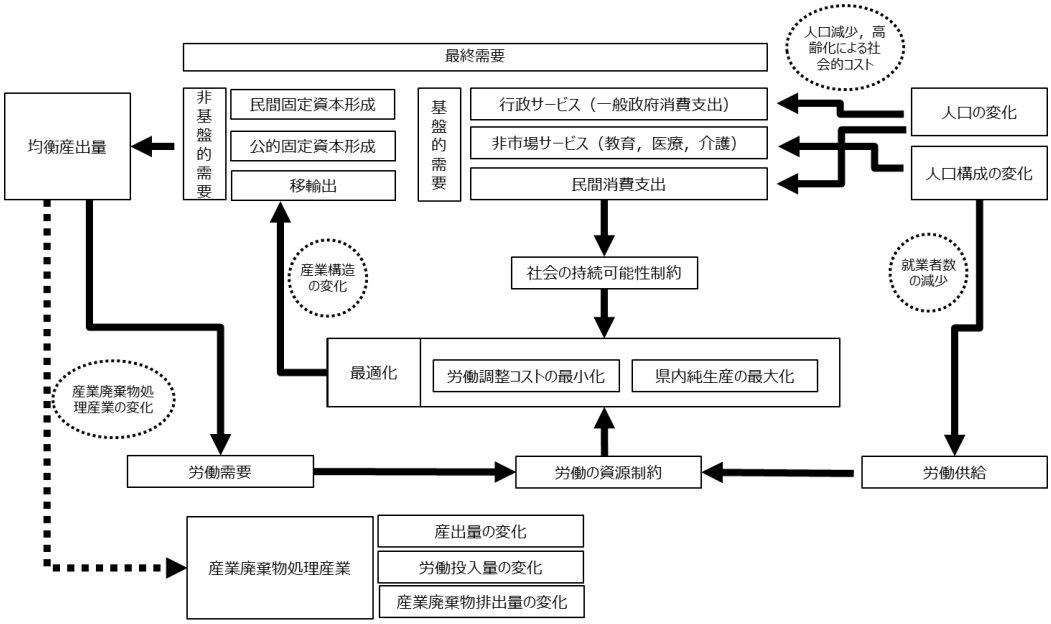

図表 II- 6： 人口構造の変化が経済に与える負荷

モデルのエッセンスは図表 II-6 で表される。財価格が与件であるような小地域であり、2 つの民間財と 1 つの非市場財が存在する経済を考える。非市場財の供給は政策的に決定される。民間財の生産可能性フロンティアが図表 II-6a の曲線 $f_0$ で表される。このとき、地域の可処分所得を最大化する財の生産の組合せは、その傾きが民間財の価格比を表す直線 $r_0$ と生産可能性フロンティア上の一点が接する $R_0$ となり、$(x_{10}, x_{20})$ のように各財が生産される。一方、第 1 財で測った他地域からの所得移転が図の $B$ で表されるとすれば、この地域に居住する家計の予算制約が $e_0$ で表され、家計の選択は $E_0$ となり、$(y_{10}, y_{20})$ のように各財が消費される。

地域において労働力人口の減少や高齢化率の上昇といった変化が生じたとする。このとき、生産可能性フロンティアが図表 II-6b の $f'$ に収縮する。労働力人口の減少が直接に生産可能性フロンティアを収縮させることに加えて、人口構成の変化に伴い非市場財供給に必要とされる生産要素投入量が増加することも考えられる。この結果、民間財の生産(産業構造)は $R_0$ から $R'$ に変化するとともに、地域の家計の効用水準を $u_0$ に保つには $\Delta B$ だけの所得が必要とされ、この $\Delta B$ を人口構造の変化が経済に与える負荷と捉え、モデル分析を通じてその定性的な性質を明らかにする。

第二に、理論モデルに基づき、数量的分析を可能とするような産業連関モデルを構築した。モデルは、地域経済を想定し、産業連関分析の均衡産出高モデルに人口動態に関する供給側の制約と、医療、介護、教育、行政サービス等に関する需要側の制約を組み込んだものである。産業連関分析の枠組みでモデルを構築することで、廃棄物の排出や処理の分析に際して環境省による環境 IO 表や国内外の研究者による数多くの先行研究の成果を踏まえた分析が可能となる[1]。

[1] 廃棄物を考慮した産業連関分析については、Nakamura & Kondo (2009), Kagawa (2012), Murray & Lenzen eds.(2013) 等を参照。




図表Ⅱ-７： 産業連関分析の枠組み

モデルの基本的な考え方は、図表Ⅱ-7 にまとめられている。まず、総人口や若年人口の減少は、域内の就業者数を減少させ、労働供給を減少させる。一方、国や地方自治体が提供する公共サービスは、公共サービスの非競合性故に、人口の減少率と比較して緩慢にしか減少しない。さらに、医療や介護といった非市場型の対個人サービスは、人口の高齢化によって相対的な比率が高まっていく。このような需要側の制約は、供給側の制約と相俟って地域の産業構造に影響を与える。

モデルでは、産業構造の変化を考えるにあたって二つの側面を考慮した。第一は、労働の調整費用であり、労働の部門間移動や各産業への就業には調整コストが発生すると考える。たとえば、特定の産業において労働投入量を大きく変化させようとすれば、部門に固有な技術の修得や就業地への移動といった費用が発生する。このため、各産業においては一定程度の労働投入の硬直性が生ずると考える。第二に、市場経済の下で民間部門は経済合理性にしたがって行動するわけであるから、地域経済全体においてもその行動原理が反映されるはずであり、付加価値の最大化を目指すような産業構造の変化を想定する[2]。

第三に、上述の産業連関モデルを富山県経済にあてはめ、その結果と振る舞いを確認し、次年度以降の研究に向けた課題を検討した。分析対象として富山県を選択した理由は、同県の産業廃棄物排出量が経済活動規模と比較して大きく、産業廃棄物処理業（民営）の従業者数が相対的に大きいことに加え、日本の地方圏の典型として将来に渡って総人口、特に若年人口の減少が予想されていると言う意味で、本研究の主目的に合致すると考えたためである。具体的には、2011 年富山県産業連関表や関連する諸統計に基づき、モデルのパラメータを設定して、所得と支出のギャップや各部門の産出量の変化、廃棄物処理部門の産出量や雇用量の変化を試算した。

本年度の研究で明らかとなったことを予め述べると以下のようになる。第一に、産業廃棄物処理業の事業所や従業者数、産業廃棄物の排出量の動向より、高齢社会に対応した産業廃棄物処理業のあり方を考えるためには、地方圏における産業廃棄物処理業の動向が重要であることがわかった。このことより、今後の分析にあたっては可能な限り都道府県単位での分析が望ましいとの結論を得た。

[2] 産業連関モデルの枠組みにおける最適化問題の考え方や定式化については、宮沢(2002)、環太平洋産業連関学会編(2010)、Vogstad(2009)、ten Raa (2005)などを参照。また、廃棄物分野への応用は、Kondo & Nakamura (2005) を参照。

第二に、このような視点から理論モデルを構築、分析した結果、人口が減少し、高齢化が進行する地方圏においては、社会を維持するための基盤的サービスが供給面で相対的に高い比重を持つことになり、このことが地域の経済成長の隘路となり得ることや、地域の利用可能な資源に関する制約がよりタイトになる可能性が示された。

第三に、構築した産業連関モデルにおいて、富山県の人口動態や医療や介護、教育、公共サービスに関するパラメータを与えて所得や労働需要の動向を分析した結果、同県のような地方圏では、基盤的なサービスへの需要は人口の減少ほどは減少せず、民間部門における労働制約がタイトになる結果、人口減少や高齢化が経済活動に負荷を与える可能性が示された。ただし、産業間の労働移動がスムースに行われる場合には、総額で見た県内純生産は減少するものの 1 人あたりの県内純生産は増加することも示された。

第四に、富山県のような地方圏において人口減少や高齢化に適確に対応できた場合はもとより、労働市場の硬直性に起因して経済活動が停滞した場合においても、廃棄物処理業には一定水準の需要が存在することがわかった。

もちろん、本年度は予備的かつ基礎的な調査・研究に留まっており、今後に向けたいくつかの課題も明らかとなった。

第一に、本年度の研究で構築したモデルは、現在の産業構造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、これをそのまま将来予測に用いることはできない。また、分析は平成 23 年版の産業連関表の諸係数に依拠しており、将来予測のためにはモデルにおけるパラメータの精査はもとより、数量分析が可能であり、かつ、現実を反映したシナリオの構築が求められる。

第二に、本年度の研究は富山県産業連関表をベースとしているが、これを他地域に拡大していく場合、都道府県間で産業連関表の表彰形式が同一ではなく調整が必要となる。また、これらの地域産業連関分析の結果をどのように地域間の交易効果を考慮した形で分析することが必要である。既に都道府県産業連関表をもとに地域間産業を推計する試みはなされているが、本年度の研究では単一地域の分析に留まっている[3]。

第三に、本年度の研究では産業廃棄物処理部門についての詳細な分析を行っていない。産業としての産業廃棄物処理部門と他産業から排出される産業廃棄物の関係も含めた分析が求められる。

次節では、産業廃棄物処理業の現況を本研究と関わりある部分を中心に概観する。第 3 節では、人口構造の変化が経済に与える影響を理論モデルで考える。第 4 節では、数量分析のための産業連関モデルを提示する。第 5 節では富山県を対象とした数量分析のためのデータについて解説する。第 6 節では分析結果とその課題を述べる。第 7 節ではまとめと次年度以降の研究課題を述べる。

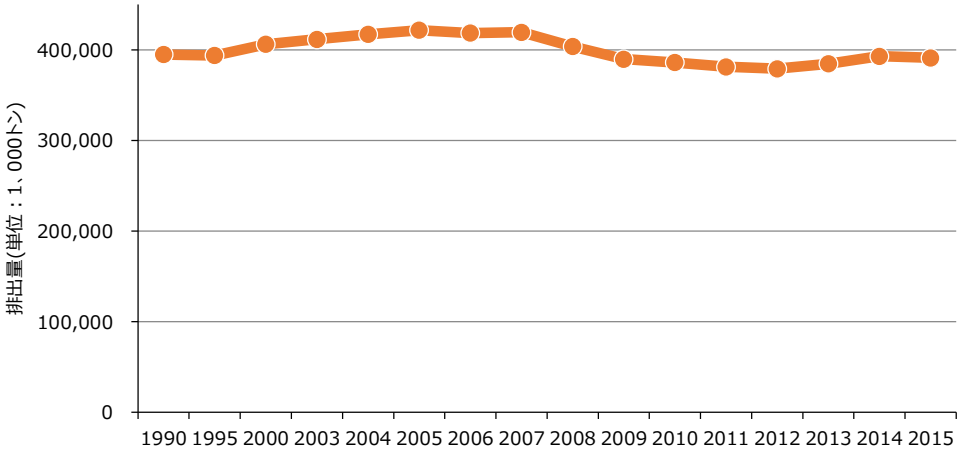
### 4.2.1.2 産業廃棄物処理業の現況

本節では、産業廃棄物処理業の現状を簡潔に述べるとともに、その態様を踏まえて本研究で焦点をあてるべき点を明らかにする。

廃棄物の処理及び清掃に関する法律において産業廃棄物とは、事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類その他政令で定める廃棄物を指す。また、産業廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして政令で定めるものは、「特別管理産業廃棄物」と言われる。図表 II-8 に示されている通り、近年では全国で年間 4 億トン弱の産業廃棄物が排出されている。

---

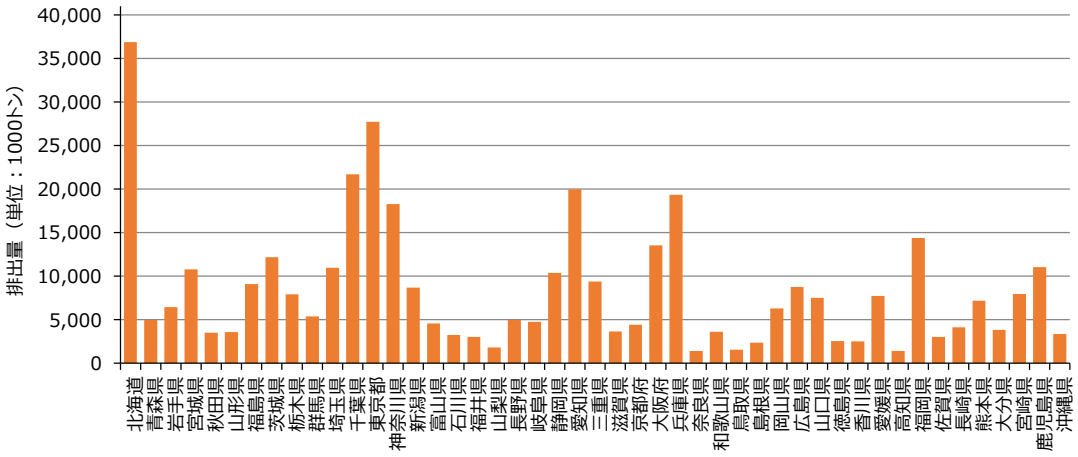
[3] わが国の都道府県を対象とした地域間産業連関表の推計には、石川・宮城(2003)、人見・Pongsun(2008)、萩原(2011)などがある。




図表 II-8： 産業廃棄物排出量の推移

資料:環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査」

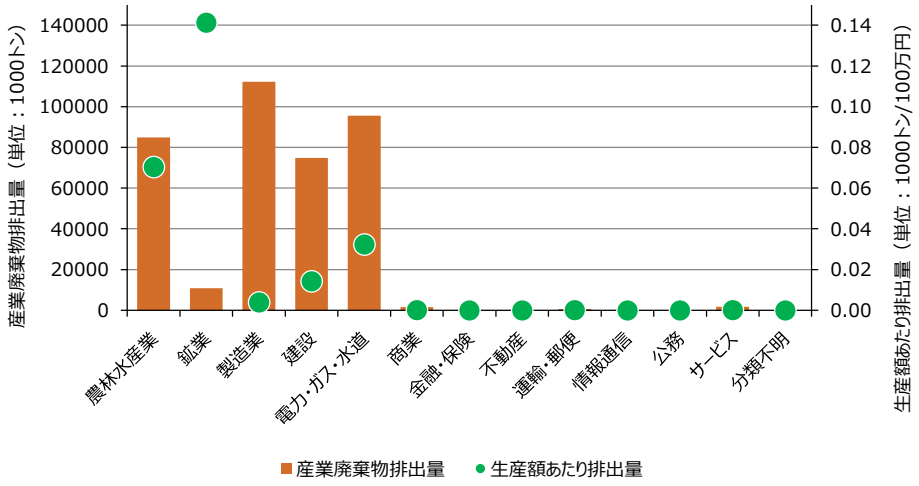
図表 II- 9 は都道府県別の産業廃棄物排出量の推移を図示している。2015 年において最も排出量が大きい都道府県は北海道であり、以下、東京都、千葉県、愛知県の順である。このような地域間の相違は、産業構造や経済規模の違いに求められる。




図表 II-9： 都道府県別にみた産業廃棄物の排出量（2015 年）

資料:環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査」

図表 II- 10 は環境省による環境 IO 表より、産業連関表の 13 部門分類にしたがって産業別の産業廃棄物排出量を図示したものである。排出量の総量で見れば製造業が最も多く、生産額あたりで見れば、鉱業や農業の値が高い. 電力・ガス・水道を除く第 3 次産業は規模、比率ともに小さい。




図表 II- 10： 産業別にみた産業廃棄物の排出量（2011 年）

資料:環境省「環境 IO 表」

以下では、産業廃棄物処理業の事業所数や従業者数などを経済センサス等の統計に基づき概観する。

産業廃棄物処理業の事業所、従業者数

日本標準産業分類に従えば、産業廃棄物処理業は大分類「R サービス業（他に分類されないもの）」、中分類「88 廃棄物処理業」に分類される。

| 小分類 | 細分類 |
|---|---|
| 880 管理、補助的経済活動を行う事業所（88 廃棄物処理業） | 8800 主として管理事務を行う本社等<br>8809 その他の管理、補助的経済活動を行う事業所 |
| 881 一般廃棄物処理業 | 8811 し尿収集運搬業<br>8812 し尿処分業<br>8813 浄化槽清掃業<br>8814 浄化槽保守点検業<br>8816 ごみ処分業<br>8817 清掃事務所 |
| 882 産業廃棄物処理業 | 8821 産業廃棄物収集運搬業<br>8822 産業廃棄物処分業<br>8823 特別管理産業廃棄物収集運搬業<br>8824 特別管理産業廃棄物処分業 |
| 889 その他の廃棄物処理業 | 8891 死亡獣畜取扱業<br>8899 他に分類されない廃棄物処理業 |

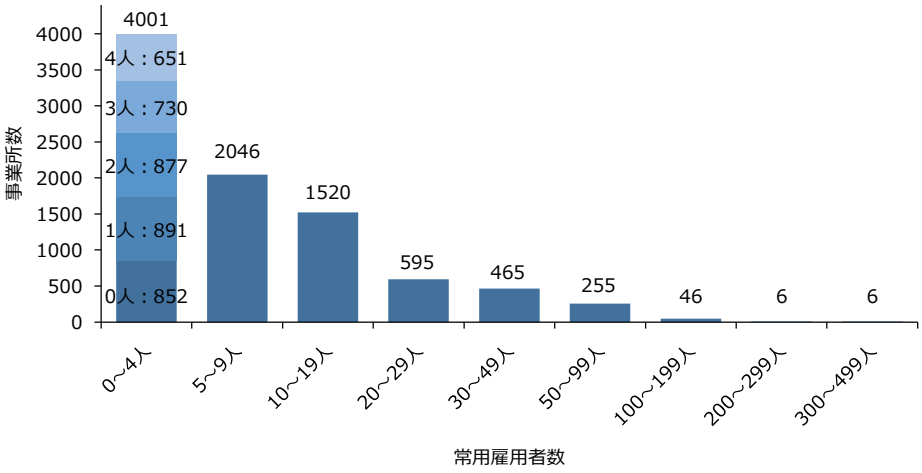
図表 II- 11: 日本標準産業分類中分類「88 廃棄物処理業」の小分類と細分類

資料:総務省「日本標準産業分類（平成 25 年 10 月改定）（平成 26 年 4 月 1 日施行）－分類項目名」

産業廃棄物処理業の経済活動の実態を知るためには産業の小分類レベルの統計が必要となる。事業者の事業活動や個人の就業状況に関する統計は、国勢調査や経済センサス、就業構造基本調査などがある。このうち、経済センサスのみが産

業廃棄物処理業に関する統計(事業所数、従業者数、売上額、付加価値額など)を掲載している[4]。経済センサスのうち、基礎調査はすべての事業所が対象であり、同活動調査は民営事業所を対象とした調査である。以下では、主として経済センサスを用いて産業廃棄物処理業の現況を概観する。

図表 II- 12 は直近の経済センサスである平成 28 年経済センサス(活動調査)による全国ベースでみた産業廃棄物処理業(民営)の常用雇用者規模別事業所数である[5]。平成 28 年の産業廃棄物処理業の事業所総数は 8、940 事業所であり、このうちの約 68%が常用雇用者 10 人未満の事業所である。




図表 II- 12： 常用雇用者数別に見た産業廃棄物処理業（民営）の事業所数（平成 28 年）

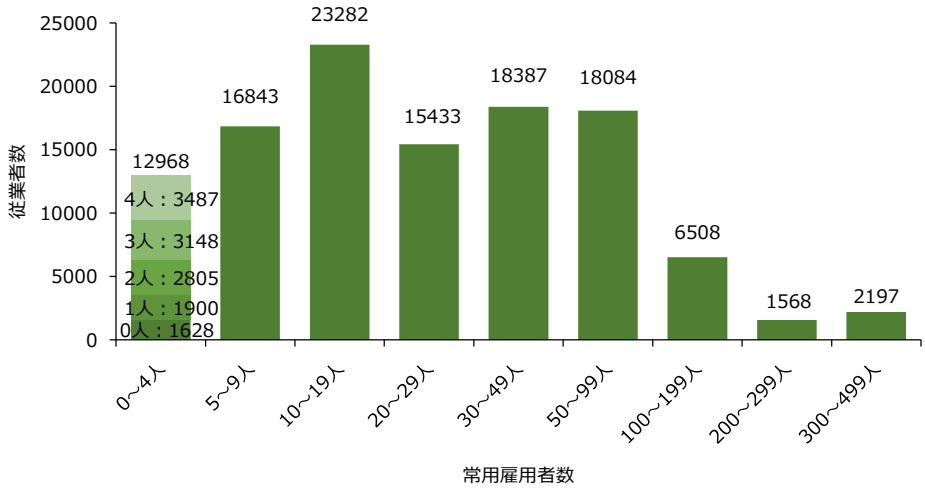
資料: 平成 28 年経済センサスに基づき作成

常用雇用者規模別でみた従業者数が図表 II- 13 で示されている[6]。平成 28 年における産業廃棄物処理業の従業者数は、115,270 人(男 93,823 人、女 20,801 人)である。ここから、全体の約 60%の従業者が常用雇用規模で見て 30 人未満の事業所で就業していることがわかる。

[4] 国勢調査や就業構造基本調査においても小分類ベースの統計が公表されているが、廃棄物処理業については、小分類を統合した形のみの公表となっている。

[5] 各事業所の産業への格付けは、基本的に事業所の主な事業の種類（原則として過去 1 年間の収入額又は販売額の多いもの）による。

[6] 経済センサスにおける従業者とは、「調査日現在、当該事業所に所属して働いている全ての人」を指し、「他の会社や下請先などの別経営の事業所へ出向又は派遣している人」も含まれる。一方、「当該事業所で働いている人であっても、他の会社などの別経営の事業所から出向又は派遣されているなど、当該事業所から賃金・給与（現物給与を含む。）を支給されていない人は従業者に含めない」とされている。個人経営の事業所の家族従業者は、賃金・給与を支給されていなくても従業者として集計されている。

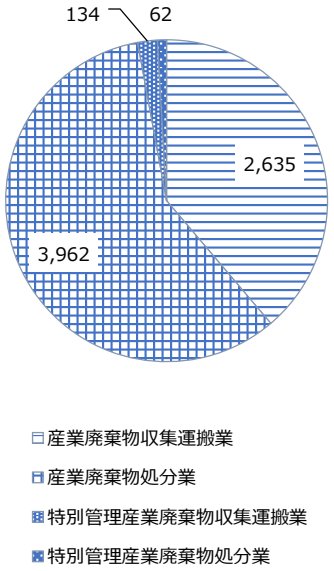



図表 II- 13： 常用雇用者数別に見た産業廃棄物処理業（民営）の従業者数（平成 28 年）

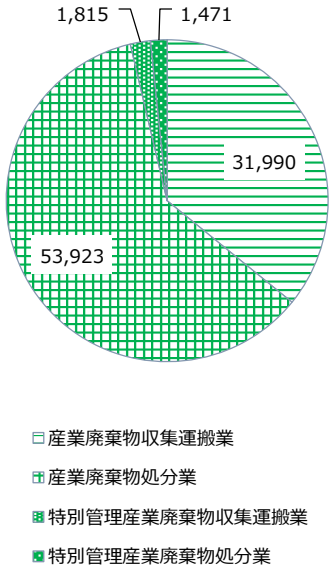
資料：平成 28 年経済センサス(活動調査)に基づき作成

図表 II- 14 は細分類でみた産業廃棄物処理業の事業所数(2-5a)と従業者数(2-5b)の内訳を示している。ここから明らかなように、産業廃棄物処理業の太宗はその収集運搬と処分であり、特別管理産業廃棄物の運搬、処分の比率は小さい。

a 事業所数



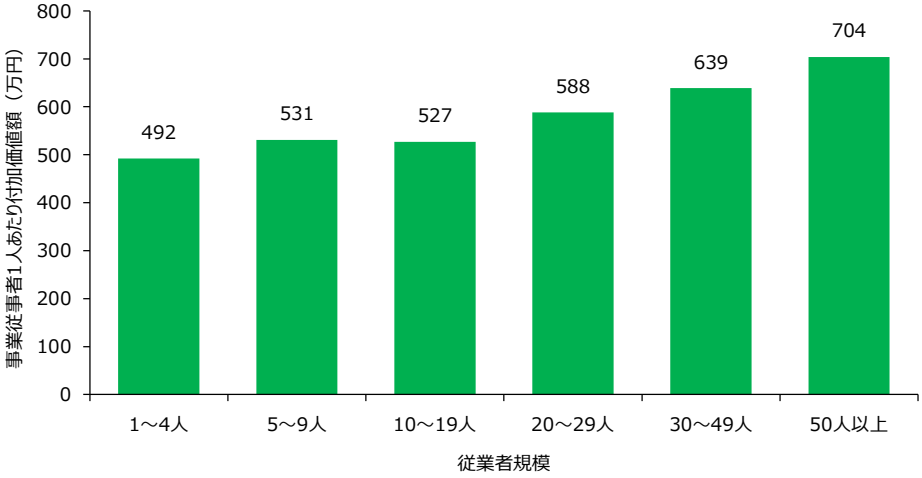

b 従業者数(人)




図表 II- 14： 産業廃棄物処理業の細分類でみた事業所数、従業者数内訳（平成 28 年）

資料：平成 28 年経済センサス(活動調査)に基づき作成

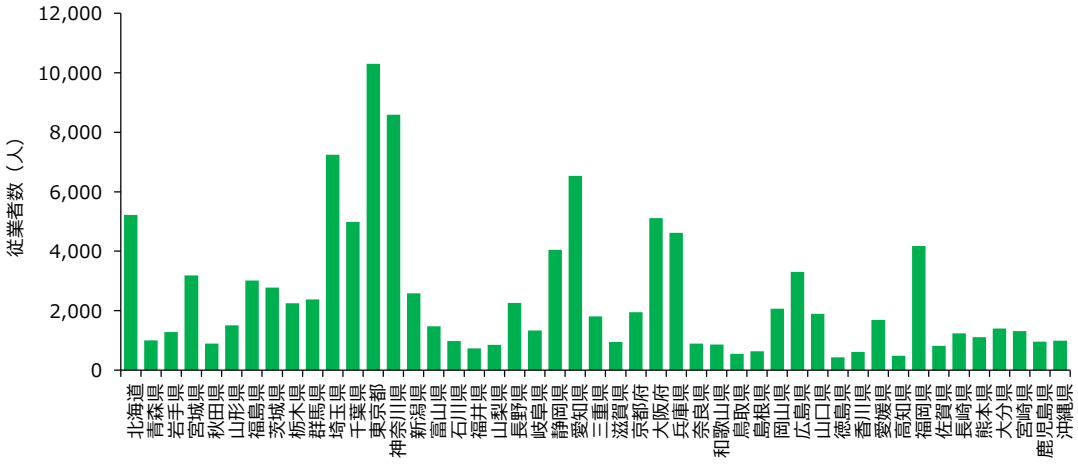
規模の小さい事業所が多いことは、生産性を改善する余地が大きいことを示唆する。図表 II- 15 は、事業従事者あたりでみた付加価値額を従業者規模別に図示している。従業者規模が 4 人以下の事業所と 50 人以上の事業所では 1 人あたり付加価値額に約 1.4 倍の差がある。




図表Ⅱ-15：　従業者規模別に見た事業従事者１人あたり付加価値額（平成 28 年）

資料：平成 28 年経済センサス（活動調査）に基づき作成．出向・派遣従業者のみの事業所を除く。

都道府県別にみた産業廃棄物処理業の従業者数を図表Ⅱ－16 でまとめている。ここから、東京都を中心とする首都圏や、中京圏、関西圏における従業者が多いが、このことは当該地域の人口や経済活動規模が大きいことを反映している。




図表Ⅱ-16：　都道府県別に見た産業廃棄物処理業の従業者数（平成 28 年）

資料：平成 28 年経済センサスに基づき作成

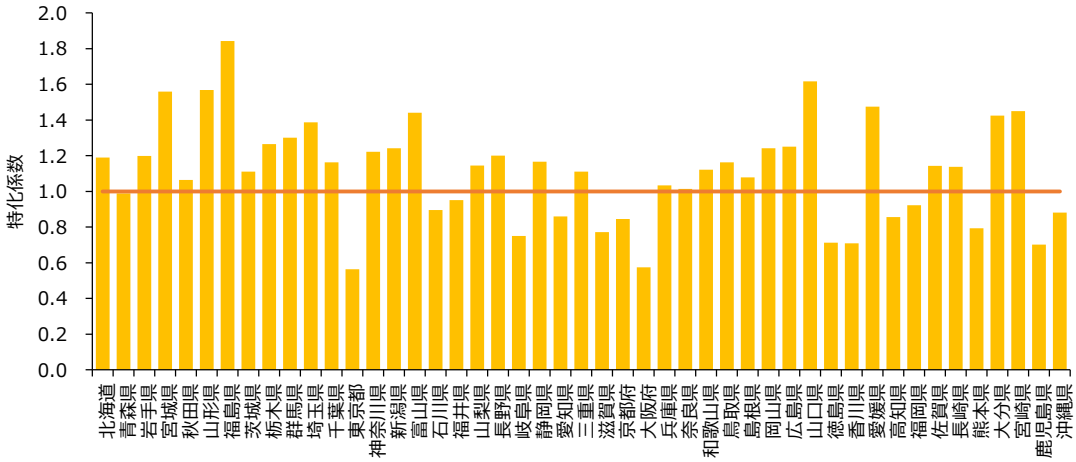
各都道府県における産業廃棄物処理業の相対的な規模を考えるため、従業者数の特化係数を都道府県別に求めて図示したものが図表Ⅱ－16 である。特化係数は、

J 県の産業廃棄物処理業従業者数の特化係数

＝J 県の総従業者に占める産業廃棄物処理業従業者数の構成比

÷全国の総従業者に占める産業廃棄物処理業従業者数の構成比、

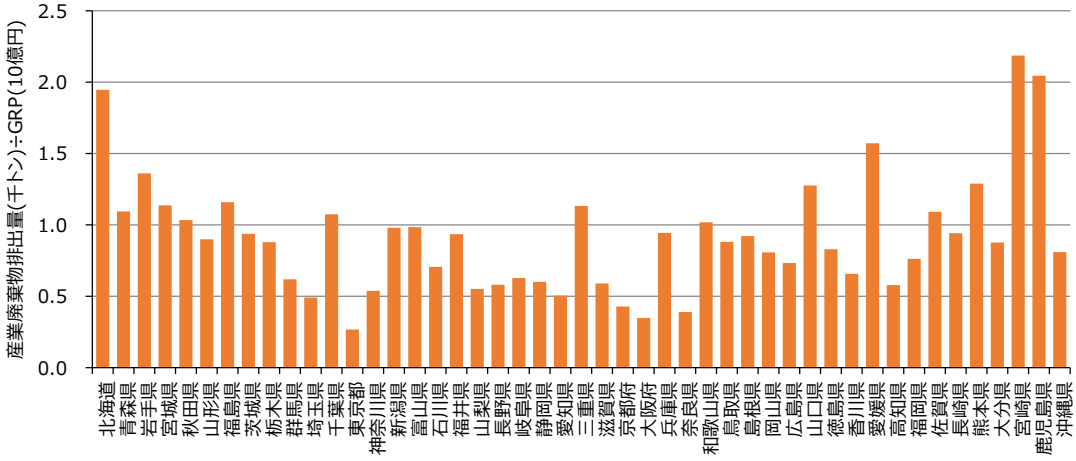
によって求めている。ある都道府県の特化係数が 1 よりも高いことは、当該都道府県において産業廃棄物処理業が従業者数でみて集積していることを意味する。図表 II- 17 より、東京都や愛知県、大阪府といった大都市を抱える都道府県の特化係数は低い。一方、第一次産業や第二次産業の構成比が高い地方圏において特化係数は 1 よりも大きい。




図表 II- 17： 都道府県別に見た産業廃棄物処理業従業者の特化係数（平成 28 年）

資料：平成 28 年経済センサスに基づき作成

経済活動水準と比較した産業廃棄物の排出量も地方圏において大きい。図表 II- 18 は 2015 年の産業廃棄物排出量を同年の県内総生産（GRP）で除した値を都道府県別に示したものである。このように、産業廃棄物処理業が地域経済に占める役割は、地方圏においてより大きい。このような地域間の差異は、図表 II- 17 と同じく、産業構造の相違にその理由が求められる。

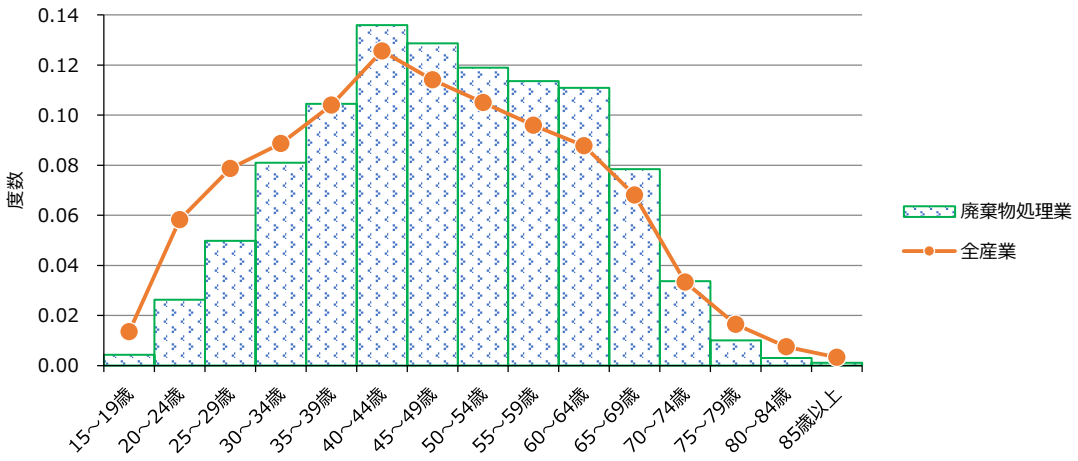



図表 II- 18： 都道府県別に見た県内総生産と比較した産業廃棄物排出量（平成 27 年）

資料：環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査」、内閣府「県民経済計算」に基づき作成

次に、廃棄物処理業における就業者の高齢化の状況を概観する。国勢調査では産業廃棄物処理業を含む廃棄物処理業の就業者数を知ることができる。ただし、国勢調査では抽出詳細集計において小分類別の就業者数が推計されているが、産

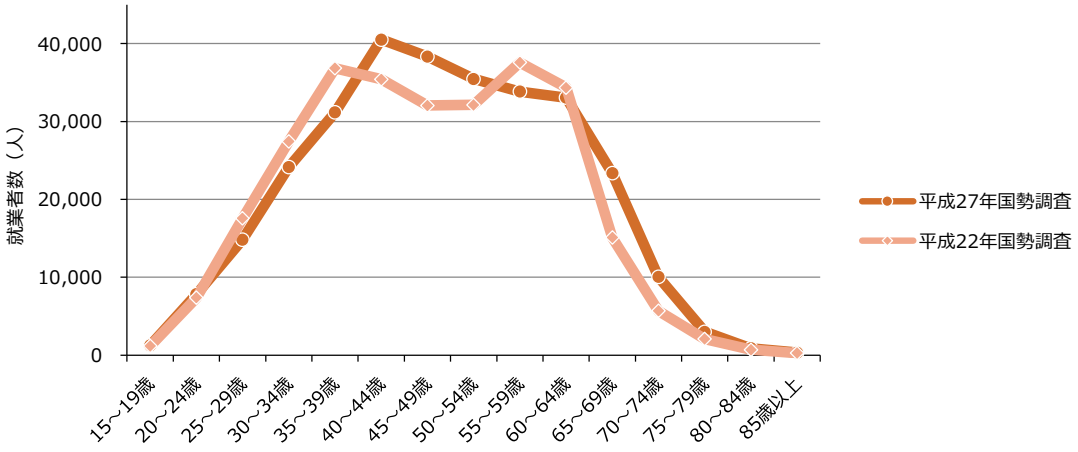
業廃棄物処理業は、小分類を統合した「88a　廃棄物処理業」に含まれており、産業廃棄物処理業の就業者数を知ることはできない。その代わり、国勢調査では年齢階級別の就業者数を知ることができる。以下では、廃棄物処理業全体でみた就業者の年齢構成を考える。




図表 II- 19：　廃棄物処理業就業者の年齢階級別分布（平成 27 年）

資料：平成 27 年国勢調査に基づき作成

図表 II- 19 は、産業廃棄物処理業を含む廃棄物処理業全体の年齢階級別構成比を、産業合計の構成比とともに図示している。他産業と比較して廃棄物処理業では 20 歳代～30 歳代前半の就業者が相対的に少ない一方で 40 歳代～60 歳代の就業者が相対的に多く、端的に言えば高齢化が進んでいる。実際、全産業の就業者の平均年齢は 46.9 歳であるのに対して、廃棄物処理業では 49.0 歳であった。




図表 II- 20：　廃棄物処理業就業者の年齢階級別分布（平成 22 年と平成 27 年）

資料：平成 22 年、平成 27 年国勢調査に基づき作成

図表 II- 20 は平成 22 年度と平成 27 年度の二時点の廃棄物処理業における年齢階級別の就業者数を比較している。平成 22 年の就業者の平均年齢は 47.7 歳であり、平成 22 年から 27 年にかけて就業者の分布は右方にシフトしており、高齢化が

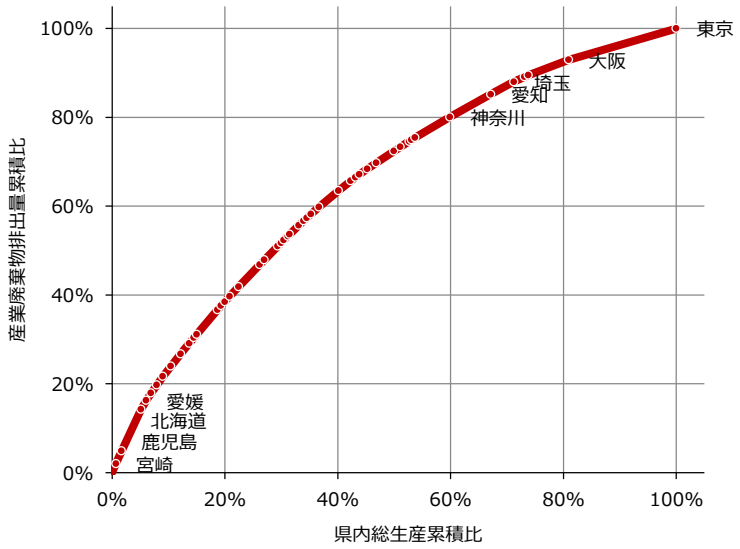
進んでいる。また、両年度の分布の比較から、廃棄物処理業においては 50 歳代前半までコーホートで見た就業者の増加が観察される。

産業廃棄物処理業の現況を踏まえた研究の方向性

以上、産業廃棄物処理業の現状を概観してきた。ここから、今後の研究の方向性に関していくつかの示唆を得る。

第一に、今後の産業廃棄物処理業のあり方やフレームを考える上では、地方圏における産業廃棄物処理業の動向に注目することが重要である。既にみたように、産業廃棄物処理業の地域経済における相対的なウェイトは地方圏において高い。

図表 II-21 は、都道府県別の産業廃棄物排出量について、県内総生産との関係でみた集中度曲線を図示している。集中度曲線とは、各都道府県を県内総生産額あたりの産業廃棄物排出量の降順に並べ、横軸に県内総生産累積比、縦軸に産業廃棄物排出量累積をとって、両者の関係を図示したものである。図に例示したように、宮崎県や鹿児島県、北海道、愛媛県など地方圏では経済活動に占める産業廃棄物排出量の割合が高く、国全体で見た総生産の 20%を占める地域で産業廃棄物の 40%が排出されている。一方、東京都や大阪府、埼玉県、愛知県、神奈川県といった大都市圏は国全体の総生産の 40%を占めるが、産業廃棄物の総排出量に占める割合は 20%に留まる。



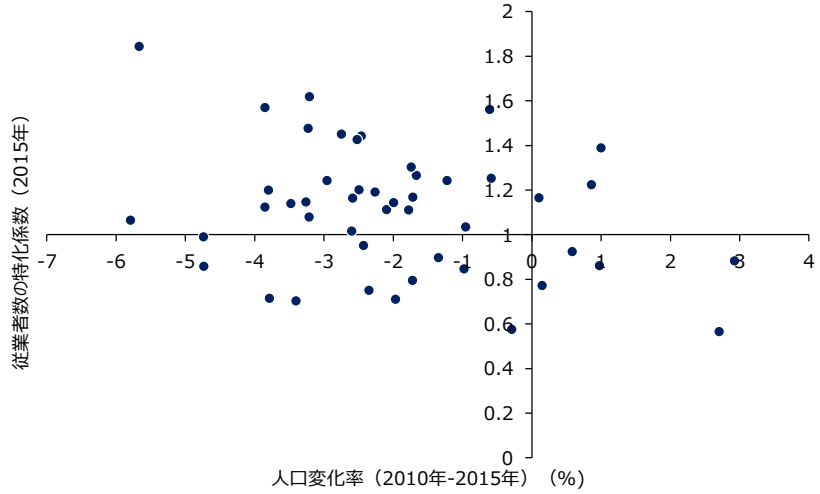

図表 II-21： 産業廃棄物排出量の集中度曲線

資料:環境省「産業廃棄物排出・処理状況調査」、内閣府『県民経済計算』に基づき作成。

このことより、分析においては大都市圏以外の地方圏の動向を可能な限り反映できるようなフレームワークを構築することが望まれる。本研究では将来的な人口動態や産業構造を考えるために、複数の都道府県をまとめた地域単位ではなく、第一次的には都道府県単位で接近する。

第二に、地方圏における産業廃棄物処理業の動向を地域経済の中で捉えるには、人口減少と高齢化が地域経済に与える負荷を適確に反映するような枠組みが必要である。図表 II-22 は縦軸に産業廃棄物処理業従業者の特化係数をとり、横軸に平成 22 年から 27 年にかけての人口変化率をとって、各都道府県の値を散布図で表したものである。ここからわかるように、特化係数が 1 を超えるような産業廃棄物処理業が地域の雇用において相対的に大きな役割を担っている都道府県の多くは、人口減少に直面している。

これらの地域では、人口減少とそれに伴って生ずる若年人口の減少や高齢化率の上昇などが、産業廃棄物処理業のみならず他産業や公共部門の活動も含めた社会全体に大きな影響を与える。本研究では、人口構造の変化が経済活動に与える制約をできる限り地域経済の実態に即した形で組み込んだうえで、これが経済に与える負荷を明らかにする。これによって、産業廃棄物処理業の将来フレームを考える枠組みを構築する。




図表 II- 22: 都道府県別に見た人口変化率と産業廃棄物処理業の従業者特化係数

資料: 人口変化率は国勢調査による。特化係数は前掲表による。

次節では、本節の検討を踏まえて人口構造の変化と経済活動の関係を分析するためのモデルを提示する。

### 4.2.1.3 人口構造の変化が地域経済に与える負荷

モデル

財価格が外生的に与えられている小地域開放経済を考える。地域の人口は$n$であり同質的な住民から構成されているものとする。住民は$N$種類の市場財と$S$種類の非市場財から効用を得る。市場財は排除性と競合性を持つ私的財だとする。個人の市場財に対する支出関数を以下の様に定義する。

$$E(\mathbf{p},u,\mathbf{z})=\min_{\mathbf{y}}\left\{\mathbf{py}:u\geq u_0,z_j=\phi_j(\mathrm{g_j},\mathbf{m}),j\in\{1,\dots,S\}\right\}. \quad (1)$$

支出関数は通常の性質を満たすことを仮定する。ここで、$\mathbf{p}=(p_1,\dots,p_N)$,は市場財の価格ベクトルであり、$u$は効用水準を表す[7]。私的財の消費量は、$\mathbf{y}=(y_1,\dots,y_N)^T$,によって表され、$\mathbf{z}=(z_1,\dots,z_S)$は非市場財によってもたらされる C-output である[8]。非市場財は、その直接産出物（D-output）である、$\mathbf{g}=(g_1,\dots,g_S)$と、$Q$種類の人口・社会要因からなるベクトル、

[7] 以下では価格ベクトルは原則として行ベクトルで、数量変数は列ベクトルでそれぞれ定義する。

[8] 上付き添え字$T$でベクトル、行列の転置を表す。

$\mathbf{m} = (m_1, \ldots, m_Q)$,によって、$\phi_j(g_j, \mathbf{m})$,のような変換関数を経て産出される[9]。分析の便宜のため、$\partial\phi_j(g_j, \mathbf{m})/\partial g_j > 0$,とする。

市場財と非市場財は、$M$種類の生産要素を投入して規模に関して収穫一定の技術で生産される。市場財は貿易財であり、民間部門が供給する。非市場財は非貿易財であり、政府が財源を調達して供給する。第 j 非市場財の単位費用関数を、$c_j = c_j(\mathbf{w})$,と表す[10]。ここで、$\mathbf{w} = (w_1, \ldots, w_M)$,は要素価格ベクトルである。民間部門の生産活動は以下の収入関数によって表される。

$$R(\mathbf{p}, \mathbf{v}(\mathbf{m}) - \mathbf{C}_w\mathbf{g}) = \max_{\mathbf{x}}\{\mathbf{px}: \mathbf{x} \in F(\mathbf{v}^P), \mathbf{m} = \mathbf{m}_0\}. \quad (2)$$

収入関数もまた通常の性質を満たすものとする。ここで、$\mathbf{v} = \left(v_1(\mathbf{m}), \ldots, v_M(\mathbf{m})\right)^T$は、地域の要素賦存量を表す。短期的には地域の要素賦存量は固定されており、家計や企業はこれを与件として行動する。しかし、長期では、人口・社会要因の変化によって要素賦存量は変化し得るので、この関係を、$v_i(\mathbf{m})$,と表す。また、$\mathbf{C}_w$は$M$行$S$列の非市場財に関する投入係数行列であり、その第 i 行 j 列は、$\partial c_j(\mathbf{w})/\partial w_i$,である。したがって、$\mathbf{v}^P = \mathbf{v}(\mathbf{m}) - \mathbf{C}_w\mathbf{g}$,は市場財の生産に投入できる生産要素を表す。また、$F(\cdot)$は市場財の生産可能集合である。

地域における域内総生産(GRP)は、非市場財の単位費用ベクトルを、$\mathbf{c} = \left(c_1(\mathbf{w}), \ldots, c_S(\mathbf{w})\right)$,として、以下ようになる。

$$GRP = R(\mathbf{p}, \mathbf{v}(\mathbf{m}) - \mathbf{C}_w\mathbf{g}) + \mathbf{cg}. \quad (3)$$

非市場サービスを非貿易財だとしていることを考慮しつつ、域外からの所得移転の受取を$B$とすれば、地域の所得支出制約は、$nE(\mathbf{p}, u, \mathbf{z}) = R(\mathbf{p}, \mathbf{v}(\mathbf{m}) - \mathbf{C}_w\mathbf{g}) + B$,となる。ここで、左辺は市場財への支出額を表し、右辺は域外からの所得移転を含めた民間部門の可処分所得である。

非市場財の D-output から C-output への変換関数は$g$に関して単調増加だと仮定していたので、変換関数を$g$について、$g_j = \varphi_j(z_j, \mathbf{m})$,のように解くことができて、これを所得支出制約に代入、整理すれば、

$$B = nE(\mathbf{p}, u, \mathbf{z}) - R\left(\mathbf{p}, \mathbf{v}(\mathbf{m}) - \mathbf{C}_w\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{z}, \mathbf{m})\right), \quad (4)$$

となる。ただし、$\boldsymbol{\varphi}(\mathbf{z}, \mathbf{m}) = \left(\varphi_1(z_1, \mathbf{m}), \ldots, \varphi_S(z_S, \mathbf{m})\right)^T$,である。上式より、$B$の値は域際移輸出入収支の赤字額に等しい。以下では、(4)式で定義された$B$を「所得・支出ギャップ」と呼ぶ。

比較静学

上式の$B$の変化を手掛かりに地域経済の持続可能性を考える。もしも、人口・社会構造の変化によって、住民の効用水準を一定に保つためには域外からの所得移転を増やさざるを得ない状況に陥ったとしよう。このような地域の経済基盤の脆弱化は、長期的には厚生水準の低下や人口減少の加速化につながり、地域経済の持続可能性を損なう。

社会経済要因の変化が所得・支出ギャップに与える影響を整理する。人口・社会要因の変化を、$dm = \left(dm_1, \ldots, dm_Q\right)^T$,

---

[9] C-output とは消費者の関心となるサービスの産出結果（consequence output）を言う（能勢 1982）.
非市場サービスにおける C-output と D-output に関する概念的な整理は、能勢(1982)や林(2002)を参照。

[10] 市場が完全競争的であることと要素集約度に関する条件が与えられれば、生産要素価格は財価格の関数として表され、財価格が外生であるような小地域では要素価格は一定になる。

と表す。収入関数の性質から、$R_v = \mathbf{w}$,であり、非市場財が規模に関して収穫一定の技術で生産されていることから、$R_v\mathbf{C}_w = \mathbf{c}$,である。ここで、C−output の水準と効用を一定に保ちながら、人口社会要因の変化を考えると以下を得る。

$$dB = [E(\mathbf{p}, u, \mathbf{z})\mathbf{n}_m - \mathbf{w}\mathbf{V}_m + \mathbf{c}\mathbf{\Phi}_m]dm. \qquad (5)$$

ここで、$\mathbf{n}_m = \left(\partial n/\partial m_1, \dots, \partial n/\partial m_Q\right)$,は、人口・社会要因の変化による総人口の変化を表し、$\mathbf{V}_m$は、$\partial v_i/\partial m_j$,を第 i 行第j列要素とする行列であり、第j人口・社会要因の変化に伴う第i要素賦存量の変化を表す。また、$\mathbf{\Phi}_m$も同様に、$\partial\varphi_i/\partial m_j$,を第i行第j列要素とする行列であり、第j人口・社会要因が変化したときにC−output で評価した非市場財を一定に保つために必要とされるi番目の D−output の変化を表す。

(5)式において、もしも、$dB > 0$,であれば、そのような人口・社会要因の変化の下で厚生水準を一定水準に保つためには、域外からの所得移転を増やさざるを得ないという意味で地域経済に負荷を与える。(5)式で表現される所得・支出ギャップの変化を地域の厚生水準の変化に帰着させると、$-nE_u du|_{dB,\mathbf{dz=0}} = dB|_{du,\mathbf{dz=0}}$,であるから、(5)式左辺の値は、人口・社会要因が変化したときの厚生水準の変化を貨幣タームで測定した値だと理解できる。

(5)式の右辺第 1 項は、人口の変化が地域の市場財の総支出に与える影響を表している。もしも人口が減少すれば域内の消費は減少するので、人口減少に対してこの項は所得・支出ギャップを縮小させる方向に働く。第 2 項は、要素賦存量の変化に起因する分配所得の変化を表している。人口や就業者数の減少が生ずると、この項は所得・支出ギャップを拡大させる方向に作用する。第3項は、人口・社会要因の変化が非市場サービスの D−output の生産に与える影響を表している。この項は、非市場サービスの態様によってその符号や大きさが変化する。たとえば、政府が供給する純粋公共財であれば人口構造の変化は影響を及ぼさないであろうし、医療や介護といった対個人サービスであれば、その対象となる年代の人口が増えると、所得・支出ギャップを拡大させる方向にはたらく。

いくつかのあり得る状況における所得・支出ギャップの変化を示す。すべての生産要素は住民が均等に保有しているとしよう。最初に人口が減少するケースを考える。また、政府が供給している非市場財は純粋公共財だとする。この場合、

$\mathbf{n}_m dm = dn < 0$,であり、かつ、$\mathbf{V}_m dm = \left(\frac{1}{n}\right)\mathbf{v}dn$、$\mathbf{\Phi}_m dm = \mathbf{0}$,であるから、(5)式は

$$dB = \left[E(\mathbf{p}, u, \mathbf{z}) - \frac{1}{n}\mathbf{w}\mathbf{v}\right]dn = \frac{1}{n}(B - \mathbf{c}\mathbf{g})dn, \qquad (6a)$$

となり、域外からの所得移転が非市場財の供給費用に満たない($B < \mathbf{c}\mathbf{g}$)ならば、人口減少は所得・支出ギャップを拡大させる[11]。もしも、公共財が存在しないならば、住民の厚生を一定水準に維持するための所得移転額は人口減少率に比例して、$(1/n)Bdn$、だけ減少する。一方、純粋公共財が存在する場合、C−output ベースで見たその供給量を一定に保つには、非競合性に起因して減少前と同水準の D−output を生産せねばならず、住民あたりの負担は、$-(1/n)\mathbf{c}\mathbf{g}dn$,だけ増加する。後者の効果が支配的であるとき、これを補うような所得移転の増加が必要となる。

もしも、非市場財が純粋な公共財ではなく、混雑効果を持つような準公共財であれば、非市場財生産量の変化を、$\mathbf{\Phi}_m dm = \boldsymbol{\varphi}_n dn$,ただし、$\boldsymbol{\varphi}_n = (\partial\varphi_1/\partial n, \dots, \partial\varphi_S/\partial n)^T$,のように表すことができて、所得・支出ギャップの変化は以下のようになる。

$$dB = \left[E(\mathbf{p}, u, \mathbf{z}) - \frac{1}{n}\mathbf{w}\mathbf{v} + \mathbf{c}\boldsymbol{\varphi}_n\right]dn = \frac{1}{n}\left[B - \sum_{i=1}^{S}(1 - \sigma_i)c_i g_i\right]dn. \qquad (6b)$$

---

[11] ここで、$\mathbf{w}\mathbf{v} = R(\mathbf{p}, \mathbf{v} - \mathbf{C}_w\mathrm{g}) + \mathbf{c}\mathbf{g}$,であることを用いている。

ここで、$\sigma_i = (n/g_i)(\partial\varphi_i/\partial n)$,は、非市場財供給の人口に対する弾力性を表す。(6a)式は$\sigma_i = 0$であるようなケースであり、$\sigma_i \in (0,1)$ならば準公共財、$\sigma_i = 1$,ならば公的に供給される私的財である。(6b)式から明らかなように、$dn < 0$,のもとで以下が成り立つ。

$$B \gtreqless \sum_{i=1}^{S}(1-\sigma_i)c_i g_i \Leftrightarrow dB \gtreqless 0,$$

総人口は変化しない($dn = 0$)が、高齢化などの要因で労働投入量が減少するとともに、医療や介護等の非市場財への需要が増加する場合を考える。$Q = 1$として、非市場サービスの利用者数が $dm(>0)$ だけ増加すると同時に、労働の賦存量が $-dm(<0)$ だけ減少するとしよう。ただし、総人口は変化しないので、$\mathbf{n}_m dm = 0$,である。また、賃金率を $w_L$ とすれば、$\mathbf{wV}_m dm = -w_L dm$,であり、$\mathbf{c\Phi}_m dm \geq 0$,である。したがって、

$$dB = (w_L + \mathbf{c\Phi}_m)dm > 0. \qquad (6c)$$

となり、所得・支出ギャップは必ず拡大する。

以上、本節では簡単な地域モデルを用いて、人口・社会要因の変化が地域経済の持続可能性に及ぼす影響を考えた。今後、多くの地方圏では、総人口が減少しながら労働賦存量もまたそれ以上に減少すると言う意味で、上述の状況が同時に生ずるとも言える。ここでの分析は、人口や労働賦存量の減少、或いは非市場財への需要増などによって地域経済における資源制約がよりタイトになり、持続可能な経済循環の基盤が損なわれることに注意せねばならないことを示している。

### 4.2.1.4 産業連関モデルの枠組み

前節で示したモデルのエッセンスを産業連関表ベースで考える。産業連関表をベースに考えることで、廃棄物処理業をはじめとする産業別の数量分析が可能になる。具体的には、市場財の人口あたり消費を基準時点と同水準に保ち、なおかつ、比較時点における人口・社会動態を反映した非市場財需要と資源制約の下で、所得・支出ギャップや県内総生産、廃棄物処理業における生産や労働需要を考える。

産業連関表は、図表 II-23 のように 1 国あるいは 1 地域内の産業間の取引を行列形式の表によって表し、各産業の投入構造や生産された財サービスの販路を示すものである。産業連関表によって各産業の技術構造が明らかになると同時に、ある産業における消費や投資などの最終需要が増加したとき、これが他産業に及ぼす影響を知ることができる。

| 供給部門＼需要部門 | | 中間需要 | | | 中間需要計 | 域内最終需要 | 域外への移輸出 | 域外からの移輸入 | 域内生産額 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 部門 1 | ・・・ | 部門 $N$ | | | | | |
| 中間投入 | 部門 1 | $x_{11}$ | ・・・ | $x_{1N}$ | $\sum_{i=1}^{N} x_{1i}$ | $f_{D1}$ | $e_{X1}$ | $-m_1$ | $x_1$ |
| | ： | ： | ・・・ | ： | ： | ： | ： | ： | ： |
| | 部門 $N$ | $x_{N1}$ | ・・・ | $x_{NN}$ | $\sum_{i=1}^{N} x_{Ni}$ | $f_{DN}$ | $e_{XN}$ | $-m_N$ | $x_N$ |
| 中間投入計 | | $\sum_{i=1}^{N} x_{i1}$ | ・・・ | $\sum_{i=1}^{N} x_{iN}$ | $\sum_{i=1}^{N}\sum_{i=1}^{N} x_{ij}$ | $f_D$ | $e_X$ | $-m$ | $x$ |
| 粗付加価値 | | $v_1$ | ・・・ | $v_N$ | $v$ | | | | |
| 域内生産額 | | $x_1$ | ・・・ | $x_N$ | $x$ | | | | |

図表 II-23： 産業連関表

図表 II-23 において $x_{ij}$ は第 j 産業において中間財として投入された第 i 産業の財を表す。また、$v_j$ は第 j 部門の粗付加価値、$f_{Di}$ は第 i 部門で生産された財の域内最終需要、$e_{Xi}$ は第 i 部門で生産された財の域内外への輸出、$m_i$ は第 i 部門の域外からの移輸入をそれぞれ表す。図表 II-23 を列方向(縦)に見ると、各部門の生産とその投入構造がわかる。すなわち、$x_j = \sum_{i=1}^{N} x_{ij} + v_j$,が成り立つ。一方、図表 II-23 を行方向(横)に見ると、各部門で生産された財・サービスの販路がわかる。すなわち、$x_i = \sum_{j=1}^{N} x_{ij} + f_{Di} + e_{Xi} - m_i$,である。

均衡産出高モデル

地域経済を$N$部門から構成される産業連関モデルによって描写する。地域における産出を$N$次元の列ベクトル $\mathbf{x}$ で表し、投入係数行列を $\mathbf{A}$,域内最終需要ベクトルを $\mathbf{f}_D$,域外への移輸出ベクトルを $\mathbf{e}_X$,域外からの移輸入ベクトルを $\mathbf{m}$ とすれば、産業連関モデルにおける財市場の需給均衡条件は以下で与えられる。

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f}_D + \mathbf{e}_X - \mathbf{m}. \tag{7}$$

上式のうち、域内最終需要は、家計外消費支出(列)、民間消費支出、一般政府消費支出、一般政府消費支出(社会資本等減耗分)、国内総固定資本形成(公的)、国内総固定資本形成(民間)、在庫純増、調整項より構成されている[12]。

このうち、粗付加価値部門にも同額が計上されている家計外消費支出は生産活動に伴って発生するとみなして内生化する。各産業の家計外消費支出(行)の付加価値係数から構成されるベクトルを、$\mathbf{v}_{OH} = (v_{OH_1}, \dots, v_{OH_N})$として、家計外消費支出(列)の支出構成比をベクトルを、$\boldsymbol{\delta}_{OH} = \left(\delta_{OH_1}, \dots, \delta_{OH_N}\right)^T$,として、$N$行$N$列の行列を、$\boldsymbol{\Delta}_{OH} = \boldsymbol{\delta}_{OH}\mathbf{v}_{OH}$,とすれば、各産業の生産量が与えられたときの家計外消費支出(列)は、$\mathbf{f}_{OH} = \boldsymbol{\Delta}_{OH}\mathbf{x}$,となる。

また、資本減耗のうち、資本減耗引当(社会資本等減耗分)も同額が列部門(最終需要)に一般政府消費支出(社会資本等減耗分)として計上されており、これについても社会基盤を維持するための費用と考えて内生化する。各産業の資本減耗引当(社会資本等減耗分)の付加価値係数から構成されるベクトルを、$\mathbf{v}_{SD} = (v_{SD_1}, \dots, v_{SD_N})$,として、最終需要部門の一般政府消費支出(社会資本等減耗分)の支出構成比からなる列ベクトルを、$\boldsymbol{\delta}_{SD} = \left(\delta_{SD_1}, \dots, \delta_{SD_N}\right)^T$,と表し、$\boldsymbol{\Delta}_{SD} = \boldsymbol{\delta}_{SD}\mathbf{v}_{SD}$,とすれば、各産業の生産量が与えられたときの一般政府消費支出(社会資本等減耗分)は、$\mathbf{f}_{SD} = \boldsymbol{\Delta}_{SD}\mathbf{x}$,となる。

以下では、これらふたつの最終需要項目を控除した域内最終需要ベクトルを $\tilde{\mathbf{f}}_D$ とする。すなわち、

$$\tilde{\mathbf{f}}_D = \mathbf{f}_D - \mathbf{f}_{OH} - \mathbf{f}_{SD}, \tag{8}$$

である。また、家計外消費支出と資本減耗引当(社会資本等減耗分)に関する係数行列を合計した行列を $\boldsymbol{\Delta}$ として、以下のように定義する。

$$\boldsymbol{\Delta} = \boldsymbol{\Delta}_{OH} + \boldsymbol{\Delta}_{SD}. \tag{9}$$

域外からの移輸入は標準的な非競争輸入型の産業連関モデルで想定されるように、域内需要に比例すると考えて内生化する。このために、基準時点(0 期)の産出量、最終需要と移輸入をもとに、

[12] なお、次節以降では、主に中分類の産業連関表に拠りつつ数量分析を行うので、以下の産業や最終需要部門、付加価値部門の分類や記法は中規模分類のそれに準ずる。

$$\mathbf{M} = \Gamma\left(\text{diag}\left[(\mathbf{A}+\mathbf{\Delta})\mathbf{x}_0 + \tilde{\mathbf{f}}_{D(0)}\right]\right)\text{diag}(\mathbf{m}_0), \quad (9)$$

のように各財の域内需要に対する移輸入比率から構成される対角行列を定める[13]。この行列を用いて、t 期の移輸入量を t 期の域内需要に比例する形で以下の様に定式化する[14]、

$$\mathbf{m}_t = \mathbf{M}\left[(\mathbf{A}+\mathbf{\Delta})\mathbf{x}_t + \tilde{\mathbf{f}}_{D(t)}\right], \quad (10)$$

(10)式を(7)式に代入して産出量について解くと、周知の均衡産出高モデルを得る[15]。

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{B}\left[(\mathbf{I}-\mathbf{M})\tilde{\mathbf{f}}_{D(t)} + \mathbf{e}_{X(t)}\right], \quad (11)$$

ここで、$\mathbf{B}$はレオンチェフ逆行列であり、以下のように定義される。

$$\mathbf{B} = [\mathbf{I} - (\mathbf{I}-\mathbf{M})(\mathbf{A}+\mathbf{\Delta})]^{-1}. \quad (12)$$

(12)式の逆行列は、通常の開放型逆行列と比較して、家計外消費支出と資本減耗引当(社会資本等減耗分)を反映した $\mathbf{\Delta}$ の部分だけ乗数効果が大きい。すなわち、最終需要を満たすために財・サービスが生産され、その付加価値として発生した家計外消費支出や資本減耗引当が需要となって各財の生産をさらに誘発するというケインズ的な乗数過程を含む。通常のレオンチェフ乗数過程では付加価値誘発係数は閉鎖経済では 1、開放型逆行列の下では 1 以下になるが、(12)式の逆行列では付加価値誘発係数が 1 以上になることもあり得る。

ここまでの定式化によって、均衡産出高モデルで外生変数として与える域内最終需要($\tilde{\mathbf{f}}_D$)は、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、の合計となる。

以下ではこれらの域内最終需要を、非市場領域で供給される現物給付型の財・サービス、一般政府によって供給される行政サービスや家計の消費支出といった住民生活の基盤をなすもの($\tilde{\mathbf{f}}_B$)と、その他($\tilde{\mathbf{f}}_{NB}$)に分解する[16]。すなわち、

$$\tilde{\mathbf{f}}_{D(t)} = \tilde{\mathbf{f}}_{B(t)} + \tilde{\mathbf{f}}_{NB(t)}, \quad (13)$$

である。このうち、基盤的な需要については、人口・社会動態を踏まえて、基準年の厚生水準を維持するような形で与える。その他の域内で需要される財・サービスの生産は、域外への移輸出とともに人口などの資源制約を踏まえて与える。

以下で考察するサービスの類型化と産業連関表の最終需要項目における対応は図表 II-24 の通りである。

---

[13] 以下で、$\text{diag}(\mathbf{y})$は、ベクトル$\mathbf{y}$の第 i 要素を第 i 対角要素とする対角行列である。また、$\Gamma(\mathbf{Y})$は、対角行列$\mathbf{Y}$の第 $i$対角要素$y_{ii}$がゼロならば、その第 $i$対角要素はゼロ、それ以外は$1/y_{ii}$をとる対角行列を表す。

[14] 定義から、$(\mathbf{A}+\mathbf{\Delta})\mathbf{x} + \tilde{\mathbf{f}}_{D0} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{f}_{D0}$,なので、移輸入係数の値は通常の域内需要比例型の移輸入係数と全く同じである。

[15] 以下で$\mathbf{I}$は単位行列である。

[16] ここでは「基盤」という用語を、地域経済学の Economic base theory とは異なり、地域住民の消費活動を支えるような活動として用いている。

| | | 需要の態様 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 基盤的 | 非基盤的 | 内生 |
| 供給の態様 | 市場供給 | 民間消費支出(教育、介護、医療を除く) | 域外への移輸出<br>国内総固定資本形成(民間) | 家計外消費支出<br>域外からの移輸入 |
| | 非市場供給 | 民間消費支出(教育、介護、医療)<br>一般政府消費支出 | 国内総固定資本形成(公的)<br>在庫純増<br>調整項 | 一般政府消費支出(社会資本等減耗分) |

図表 II- 24： 最終需要の類型

最初に、基盤的なサービスについて述べる。このうち、非市場領域で供給される現物給付型サービスは、所得再分配や価値財の供給、社会保障といった側面から、民間が一部分を負担しつつも主として政府が供給する属人型のサービスと定義する。その最終需要は該当部門に計上された一般政府消費支出と民間消費支出となる。本稿では、教育、介護、医療の 3 部門を非市場領域で供給される現物給付型サービス生産部門と考える。これらのサービスへの需要は給付対象となる人々の人口に依存するので、各期の需要はサービス対象の年齢別人口動態を反映して与える。以下では、これらのサービスへの最終需要ベクトルを $\tilde{\mathbf{f}}_{NM(t)}$ とする。

一般政府によって供給される行政サービスは、前述の教育、介護、医療の各分野を除いた一般政府消費支出である。これらの行政サービスは中央政府と地方政府によって供給され、地方政府はさらに都道府県と市町村に類型化される。一般政府が供給する行政サービスは、程度の差こそあるものの非競合性を持っており、属人的な要因と属地的な要因によって、家計が実際に享受できるサービス水準が定まる。行政区域には経年的に大きな変化はないが、人口動態によって一定水準の C-output を提供するために必要な D-output の供給量は異なり得る。以下では、D-output ベースで見たこれらのサービスの最終需要ベクトルを $\tilde{\mathbf{f}}_{G(t)}$ とする。

非市場領域で供給される現物給付型サービスや一般行政サービスが一定水準に保たれていたとき、厚生水準を一定に保つために必要な民間消費支出は、人口あたりでみて一定となり、その総額は人口規模に依存する[17]。以下では、教育、介護、福祉への支出を除いた民間消費支出の最終需要ベクトルを $\tilde{\mathbf{f}}_{PC(t)}$ とする。

したがって、t 期の基盤的サービスの最終需要合計は、以下のように表される。

$$\tilde{\mathbf{f}}_{B(t)} = \tilde{\mathbf{f}}_{NM(t)} + \tilde{\mathbf{f}}_{G(t)} + \tilde{\mathbf{f}}_{PC(t)}. \tag{14}$$

これらの最終需要がいずれも基準時点における厚生水準を維持するように供給されるとすれば、その時の各部門における産出量($\mathbf{x}_{B(t)}$)は、(11)式より以下のようになる。

$$\mathbf{x}_{B(t)} = \mathbf{B}(\mathbf{I} - \mathbf{M})\tilde{\mathbf{f}}_{B(t)}. \tag{15}$$

また、$\mathbf{x}_{B(t)}$ だけの財・サービスを生産するために必要な産業別の労働投入量($\mathbf{l}_{B(t)}$)は、各部門の労働投入係数からなるベクトルを、$\mathbf{a}_L = \left(a_{L_1}, \ldots, a_{L_N}\right)$,として、以下で表される。

$$\mathbf{l}_{B(t)} = \mathrm{diag}(\boldsymbol{a}_L)\mathbf{x}_{B(t)}, \tag{16}$$

[17] 住民の年齢構成や世帯構成も消費支出に影響を与えると考えられるが、本稿では第一次接近として、消費支出は人口規模のみに依存すると考える。ただし、世帯の年齢構成が大きい影響を与えると思われる教育や医療、介護については非市場的に供給されるサービスとして、年齢構成を加味して需要を与えている。

一方、各期の人口動態や就業状況等から、t 期の総労働供給量が $l_t$ であったとすれば、非基盤的な財・サービス生産に投入できる労働の総量($l_{NB(t)}$)は、

$$l_{NB(t)} = l_t - \hat{\mathbf{e}}_A \mathbf{l}_{B(t)}, \tag{17}$$

となる[18]。非市場供給の対人給付サービス、一般行政サービス、民間消費支出以外の域内最終需要($\tilde{\mathbf{f}}_{NB(t)}$)は、固定資本形成(民間)、固定資本形成(公的)、在庫純増、調整項から構成される。この域内需要分に移輸出を加えた最終需要が、$\tilde{\mathbf{f}}_{NB(t)} + \mathbf{e}_{X(t)}$,のように与えられると、この需要を満たすような各部門での産出が、

$$\mathbf{x}_{NB(t)} = \mathbf{B}\left[(\mathbf{I} - \mathbf{M})\tilde{\mathbf{f}}_{NB(t)} + \mathbf{e}_{X(t)}\right], \tag{18}$$

のように定まる。ただし、(17)式を考慮すれば、各部門に投入される労働($\mathbf{l}_{NB(t)}$)は、

$$\hat{\mathbf{e}}_A\left(\mathbf{l}_{B(t)} + \mathbf{l}_{NB(t)}\right) \leq l_t, \tag{19}$$

という制約を満たさねばならない。ここで、$\mathbf{l}_{NB(t)} = \mathrm{diag}(\boldsymbol{a}_L)\mathbf{x}_{NB(t)}$,である。

また、t 期における各部門の生産は、基盤的な部門と非基盤的な部門の合計であるから、

$$\mathbf{x}_{(t)} = \mathbf{x}_{B(t)} + \mathbf{x}_{NB(t)}$$

となる。

産業廃棄物の排出量、廃棄物部門における労働需要

上述の枠組みを用いて産業廃棄物処理業の活動を考えるにあたって、本研究では 3 つの観点から試算する。

第一は、廃棄物処理産業における産出額である。この値は、最終需要を与えることによって、(11)式によって内生的に求めることができる。ただし、産業連関表で用いられる産業分類においては、廃棄物処理部門は公的、民間の分類があるだけで産業廃棄物と一般廃棄物、事業系と家庭ごみの区別はなされていない。本年度の分析では、まず産業廃棄物処理を含むより広範な形で廃棄物処理産業の動態を検討する。この結果を踏まえて、次年度以降の分析において産業廃棄物処理に関する活動を抽出する。

第二の視点は、産業廃棄物処理部門における労働需要である。労働需要についても、各期の最終需要が与えられ、産出額が求まると、これに雇用係数を乗ずることによって労働需要を求めることができる。さらに、別途推計される労働供給量との関係を見ることによって産業廃棄物処理業における持続可能性を考えることができる。

第三の視点は、各部門の生産活動に伴う産業廃棄物の排出量である。既に環境省は平成 23 年環境 IO 表を公表しており、この係数を援用することによって各期における産業廃棄物の排出量を推計できる。産業廃棄物が W 種類に類型化されるとして、$\delta_{ij}^W$ を第 j 部門における第 i 廃棄物の排出係数を表し、第 j 部門における各産業廃棄物の排出係数からなるベクトル、$\boldsymbol{\delta}_j^W = \left(\delta_{1j}^W, \ldots, \delta_{Wj}^W\right)^T$,を定義すれば、均衡における産業廃棄物排出量は、$\boldsymbol{\delta}_j^W x_{(t)j}$ と表される。これを、$\boldsymbol{\Delta}_W = [\boldsymbol{\delta}_1^W, \ldots, \boldsymbol{\delta}_N^W]$,として行列形式で表現すれば、以下を得る。

[18] 以下で$\hat{\mathbf{e}}_A$はその要素のすべてが 1 であるようなベクトルを表す。

$$\mathbf{G}_W = \mathbf{\Delta}_W \mathrm{diag}(\mathbf{x}_{(t)}).$$

ここで行列 $\mathbf{G}_W$ の第 i 行第 j 列要素は、第 i 産業廃棄物の第 j 産業における排出量を表す。したがって、$\hat{\mathbf{e}}_A^T \mathbf{G}_W$ によって j 産業における産業廃棄物排出量の総量が表され、$\mathbf{G}_W \hat{\mathbf{e}}_A$ によって当該期における産業廃棄物 i の総排出量が求められる。

ただし、各地域における産業廃棄物の排出量は地域固有の事情にも依存するので、全国レベルの環境IO 表のみによって排出量を推計することは困難である。そこで、これについては次年度以降の課題とする。

労働投入量と最終需要の変化に関するシナリオ

以下の試算においては、まず、基盤的なサービスへの需要を与え、(14)-(16)式の過程を経てその需要を満たすために必要な労働投入量を求め、残りの労働資源で生産が可能な非基盤的財・サービスへの最終需要を求める。ただし、(19)式を満たすような生産計画を与える最終需要は一意に定まらない。数量分析においてはいくつかのあり得るシナリオの下で最適化問題を解くことによって最終需要を与える。

もっとも単純な想定として、域内の付加価値を最大にするような生産計画が考えられる。ただし、産業連関分析では生産要素のうち、労働だけが雇用表によってその投入量や総量を知ることができる。資本や土地、経営に必要な無形の資源等は産業連関表から知ることはできない。したがって、産業連関表で利用できる労働投入量だけを制約として与え、付加価値の最大化問題を解くと、その他の資源に関する制約が無視されてしまい、非現実的な生産計画が示されてしまいかねない。

そこで、以下では資源の制約として労働だけを考えるが、各部門における労働投入量の変更にあたっては調整費用が発生すると考える[19]。調整費用は、各産業において労働投入量を変更しようとすれば、教育訓練や熟練の形成といった面で費用が発生することや、雇用規模の変化に伴い他の生産要素の投入量も変化させる必要があるが、これらは労働よりも緩慢な形でしか調整できない、といった理由で生ずると考える。

以下では、まず、非基盤的な最終需要を満たすための生産はもっぱらこの調整費用を最小化するように計画されると考える。その後、他の要因も考慮した最適化問題を検討する。

労働の調整費用最小化

労働の調整費用とは、$(t-1)$期に $l_{i(t-1)}$ だけの労働が投入されているような部門 i において、今期の労働投入量を $l_{i(t)}$ としたとき、その投入量が前期と異なっている限りは発生するような費用である。各部門の調整費用関数($C_{L_i}$)を以下のように定義する。

$$C_{L_i(t)} = C_{L_i}(\gamma_i, l_{i(t)} - l_{i(t-1)}). \qquad (20)$$

ここで、$\gamma_i \geq 0$は部門 i における労働調整の潜在価格である。労働の調整関数は前期からの労働投入量の変化量に関して凸関数、かつ、$C_{L_i}(\gamma_i, 0) = 0$,だとする。

以下では最も単純な形として、

$$C_{L_i(t)} = \gamma_i \left(l_{i(t)} - l_{i(t-1)}\right)^2, \qquad (20)'$$

とする。また、労働調整費用の価格は、最もシンプルな形として、

[19] 調整費用については Hamermesh & Pfann (1996) による展望論文を参照。

$$\gamma_i = \begin{cases} \dfrac{1}{l_{i(t-1)}} & if\ l_{i(t-1)} \neq 0, \\ 0 & othewise, \end{cases} \tag{21}$$

を考える。この場合、何も制約がなければ限界的な調整費用は、$\partial C_{L_i(t)}/\partial\, l_{i(t)} = 2\big(l_{i(t)} - l_{i(t-1)}\big)/l_{i(t-1)}$,であるから、費用最小化の結果、均衡では労働投入量の変化率は等しくなる。社会全体での調整費用、$CL_t = \sum_{i=1}^{N} C_{L_i(t)}$,は、

$$CL_{(t)} = \big(\mathbf{l}_{(t)} - \mathbf{l}_{(t-1)}\big)^T \mathbf{H}\big(\mathbf{l}_{(t)} - \mathbf{l}_{(t-1)}\big), \tag{22}$$

と表される。ただし、$\mathbf{H} = \mathrm{diag}(\boldsymbol{\gamma})$、$\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1, \dots, \gamma_N)$,である. (21)式を展開すれば調整費用は以下の様に表される。

$$CL_{(t)} = \mathbf{l}_{(t)}^T \mathbf{H}\mathbf{l}_{(t)} - 2\mathbf{l}_{(t-1)}^T \mathbf{H}\mathbf{l}_{(t)} + \mathbf{l}_{(t-1)}^T \mathbf{H}\mathbf{l}_{(t-1)}. \tag{22'}$$

ここで、t 期の最終需要を与えれば、これを満たすような生産計画をもとに労働投入量が決まり、労働の調整費用が定まる。以下では基盤的な財、サービスの生産量を確保しながら、(21)’式を最小にするような最終需要を考える。

本稿では生産者価格評価による産業連関表を用いるので、最終需要を与える際には付随して発生する商業マージンと輸送コストを内生的に計上せねばならない。各部門の生産に伴って発生する商業マージンや物流コストを該当部門に帰着させるための変換行列は以下の様に定義できる。

$$\boldsymbol{\Theta} = \left( \mathbf{I} + \sum_j \mathbf{E}_j \mathrm{diag}(\boldsymbol{\theta}_j) \right). \tag{23}$$

(23)式の、$\boldsymbol{\theta}_j = \big(\theta_{1j}, \dots, \theta_{Nj}\big)^T$,は、第 i 産業における第 j 商業、物流部門のマージン率を $\hat{\theta}_{ij}$ として、各部門の生産者価格評価の産出額を購入者価格に変換した上で該当部門のマージン率を乗じた、

$$\theta_{ij} = \frac{\hat{\theta}_{ij}}{1 - \sum_{j=1}^{N} \hat{\theta}_{ij}}.$$

を第 i 要素とするベクトルである。また、$\mathbf{E}_j$ は該当する流通・物流部門(行)がすべて 1 であり他は 0 であるような行列であり、各部門で発生するマージンを当該商業・物流部門に集計するための行列である[20]。

したがって、t 期において各部門に域内生産を誘発するような最終需要が生産者価格評価で $\hat{\mathbf{f}}_t$ だけ与えられると、商業部門や物流部門への最終需要も含んだ域内生産部門への最終需要($\mathbf{f}_t$)が、

$$\mathbf{f}_t = \boldsymbol{\Theta}\hat{\mathbf{f}}_t, \tag{24}$$

[20] 具体的には、流通部門として商業、物流部門として鉄道、道路、沿海内水面、港湾運送、航空、利用運送、倉庫の各マージンを考え、それらを鉄道輸送、道路輸送（自家輸送を除く）、自家輸送、水運、航空輸送、貨物利用運送、倉庫の各部門に帰着させる。

のような形で求められる。すなわち、ここで与えられる最終需要は、移輸入を控除した域内最終需要と域外への移輸出の合計額である。

最終需要が与えられるとレオンチェフ乗数過程を通じて部門別の産出量が定まり、労働投入量が、$\mathbf{l}_{(t)} = \mathrm{diag}(\mathbf{a}_L)\mathbf{B}\mathbf{f}_{(t)}$, となる。これを(21)'式に代入するとともに、$\mathbf{l}_{(t-1)}$ は t 期において既知の値であることを考慮すれば、労働の調整費用は、最終需要の 2 次関数として以下のように表される。

$$CL_{(t)} = \hat{\mathbf{f}}_t^T \hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{f}}_t - \mathbf{q}_{(t)} \hat{\mathbf{f}}_t + \rho_t. \tag{25}$$

ただし、

$$\hat{\mathbf{H}} = (\mathrm{diag}(\mathbf{a}_L)\mathbf{B}\boldsymbol{\Theta})^T \mathbf{H} (\mathrm{diag}(\mathbf{a}_L)\mathbf{B}\boldsymbol{\Theta}),$$

$$\mathbf{q}_{(t)}^T = 2\left(\mathrm{diag}(\mathbf{a}_L)\mathbf{B}\boldsymbol{\Theta}\hat{\mathbf{f}}_{t-1}\right)^T \mathbf{H} (\mathrm{diag}(\mathbf{a}_L)\mathbf{B}\boldsymbol{\Theta}),$$

$$\rho_t = \mathbf{l}_{(t-1)}^T \mathbf{H} \mathbf{l}_{(t-1)},$$

である。

ここまでの議論を踏まえると、社会全体での労働の調整費用を最小化する問題は、t-1 期の就業者数($l_{t-1}$)と部門別労働投入量($\mathbf{l}_{t-1}$),t 期の総就業者数($l_t$)と基盤的サービスへの最終需要($\tilde{\mathbf{f}}_{B(t)}$)を与件として、t 期の最終需要の選択を通じて労働の調整コスト最小化を図る 2 次計画問題として、以下のように定式化できる。

P1 労働調整コスト最小化問題

$$\min_{\hat{\mathbf{f}}_t} \hat{\mathbf{f}}_t^T \hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{f}}_t - \mathbf{q}_{(t)} \hat{\mathbf{f}}_t, \tag{26}$$

subject to

$$\mathbf{e}_A^T \mathrm{diag}(\mathbf{a}_L)\mathbf{B}\boldsymbol{\Theta}\hat{\mathbf{f}}_t = l_t, \tag{27a}$$

$$\mathrm{diag}(\mathbf{e}_F)\hat{\mathbf{f}}_t = \bar{\mathbf{f}}, \tag{27b}$$

$$\boldsymbol{\Theta}\hat{\mathbf{f}}_t \geq (\mathbf{I} - \mathbf{M})\tilde{\mathbf{f}}_{B(t)}. \tag{27c}$$

ここで、$\mathbf{e}_F$は、第 i 部門の基準時点における最終需要がゼロまたは基盤的支出該当項目のみに計上されているならば 1、それ以外であれば 0 を、その第 i 要素の値とするベクトルである。また、$\bar{\mathbf{f}}$ は、第 i 部門の最終需要が先験的に制約されている場合にはその最終需要の値を、それ以外は 0 を、その第 i 要素とするベクトルである。

等式制約(27a)は、各部門の労働投入量の合計が総労働供給量に等しいことを求める制約である。等式制約(27b)は、本来、

先験的に域内の生産に対する最終需要がゼロであるような財に最終需要を与えないための制約である[21]。不等式制約(27c)は、各部門において厚生水準を一定に保つために必要な非市場供給や一般政府支出、民間消費需要を満たすための労働投入は確保されるべきことを示しており、いくつかの部門における労働投入量の下限制約を与えている。

もしもすべての部門において労働の下限制約 (27c) 式が有効でなく、生産計画が実行可能であれば、就業者数が減少する下での最適解は、すべての部門の労働投入を同じ比率で削減することに帰着する。制約が有効な場合、各部門における最終需要と労働投入量の関係に依存して部門間の労働投入量の変化が定まる。

たとえば、部門 j の最終需要が $\Delta f_j$ だけ増加したとする。この最終需要はレオンチェフ逆行列を介して、部門 i の労働需要を、$\Delta l_i = a_{L_i} b_{ij} \Delta f_j$,だけ増加させる。ここで $b_{ij}$ はレオンチェフ逆行列の第 i 行第 j 列要素である。この結果、労働の調整費用は、

$$\frac{\Delta CL}{\Delta f_j} = \sum_{i=1}^{N} \left( \frac{l_{i(t)} - l_{i(t-1)}}{l_{i(t-1)}} \right) a_{L_i} b_{ij}$$

のように変化する。したがって、労働の投入係数が大きい産業への生産誘発効果が大きい産業ほど限界的な労働の調整費用は大きくなる。また、労働供給の総量に関する制約が有効であれば、(27a)式より、このような最終需要の変化は、

$$\sum_{j \in \mathcal{NB}} \sum_{i=1}^{N} \left( \frac{l_{i(t)} - l_{i(t-1)}}{l_{i(t-1)}} \right) a_{L_i} b_{ij} \, \Delta f_j + \sum_{j \in \mathcal{B}} \sum_{i=1}^{N} \left( \frac{l_{i(t)} - l_{i(t-1)}}{l_{i(t-1)}} \right) a_{L_i} b_{ij} \, \Delta f_j = 0$$

を満たさねばならない。

(P1)を解くことによって、解 $\hat{\mathbf{f}}_t^*$ が得られ、ここから各期の部門別の産出額が以下のように求まる[22]。

$$\mathbf{x}_t^* = \mathbf{B}\boldsymbol{\Theta}\hat{\mathbf{f}}_t^*. \tag{28}$$

これに付加価値係数を乗ずると生産面から捉えた GRP が求まる。さらに、部門別の労働投入量が、$\mathbf{l}_t^* = \mathrm{diag}(\mathbf{a}_{\mathrm{L}})\mathbf{x}_t^*$,のように求まる。

経済成長も考慮した試算

先の問題(P1)は、もっぱら労働の調整費用が最小となるように各部門の最終需要を与えるものである。一方で、限られた労働資源を有効に使うために、付加価値の最大化を目指すような政策と、その下での産業構造のあり方を考えることも必要であ

[21] たとえば、平成23年富山県産業連関表では、建設補修、自家輸送、事務用品の各部門で最終需要がゼロである。これらの産業はもっぱら中間財を生産しており、その産出額が他産業の最終需要に依存して内生的に決定される。また、金属鉱物、石炭・原油・天然ガス、たばこ、石油化学基礎製品、の各部門では域内生産額がゼロであり、域内需要のすべてを移輸入でまかなっている。産業連関モデルの仮定より、移輸入した財をそのまま移輸出することは排除されており、結果的に域内生産される最終需要はゼロとなる。また、住宅賃貸料（帰属家賃）は、そのすべてが民間消費支出と一般政府消費支出として需要されており、公務も最終需要のすべてが民間消費支出、一般政府消費支出、資本減耗引当（社会資本減耗）に計上されているので、その値を各年の基盤的支出で設定した値に固定する。

[22] これまで定義してきた最終需要との間には、$\mathbf{f}_t^* = \boldsymbol{\Theta}\hat{\mathbf{f}}_t^* = \left[(\mathbf{I} - \mathbf{M})\left(\tilde{\mathbf{f}}_{B(t)} + \tilde{\mathbf{f}}_{NB(t)}\right) + \mathbf{e}_{X(t)}\right]$,のような関係がある。すなわち、$\mathbf{e}_A^T \mathbf{f}_t$ は支出面での GRP から家計外消費支出と資本減耗引当（社会資本）を控除した値に等しい。

ろう。

このような視点から、経済成長も目的関数に加味した最適化問題を考える。ただし、瞬時的な経済厚生を一定水準に維持すると言う枠組みは変えない。また、経済成長については、経済の持続可能性を考えると言う本稿の視点に沿って、資本投入の費用と考えられる資本減耗を除いた県内純生産に着目する。

最終需要が与えられると、県内純生産は以下で与えられる。

$$NRP_t = \mathbf{v}_N \mathbf{B\Theta} \hat{\mathbf{f}}_t. \tag{29}$$

によって与えられる。ここで、$\mathbf{v}_N = \left(v_{N_1}, \dots, v_{N_N}\right)$,は産業連関表の雇用者所得、営業余剰、間接税（関税・輸入品商品税を除く）、（控除）経常補助金の係数を合計した値である[23]。

最適化問題における最小化すべき目的関数は、労働の調整費用と域内純生産（に−1 を乗じた値）の加重和で定義し、労働の調整費用に対するウェイトを、$\alpha \in [0, 1)$,で表す。すると、費用最小化問題の目的関数は、

$$\begin{aligned} \alpha CL_{(t)} - (1-\alpha) NRP_t &= \alpha\left(\hat{\mathbf{f}}_t^T \hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{f}}_t - \mathbf{q}_{(t)} \hat{\mathbf{f}}_t + \rho_t\right) - (1-\alpha) \mathbf{v}_J \mathbf{B\Theta} \hat{\mathbf{f}}_t \\ &= \alpha \hat{\mathbf{f}}_t^T \hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{f}}_t - \alpha \mathbf{q}_{M(t)} \hat{\mathbf{f}}_t + \alpha \rho_t, \end{aligned} \tag{30}$$

で与えられる。ここで、

$$\mathbf{q}_{M(t)}^T = 2\left[\left(\mathrm{diag}(\mathbf{a}_L)\mathbf{B\Theta}\hat{\mathbf{f}}_{t-1}\right)^T \mathbf{H}\,\mathrm{diag}(\mathbf{a}_L) + \frac{(1-\alpha)}{2\alpha}\mathbf{v}_J\right]\mathbf{B\Theta},$$

である。調整費用は非貨幣的なものであり、付加価値は貨幣単位で測られているので、両者のウェイトの解釈は注意が必要であり、その設定については改めて論じる。

二次計画法としてこの問題を定式化すれば以下のようになる。

P2 労働調整費用とNRP の最適化問題

$$\min_{\hat{\mathbf{f}}_t} \hat{\mathbf{f}}_t^T \hat{\mathbf{H}} \hat{\mathbf{f}}_t - \mathbf{q}_{M(t)} \hat{\mathbf{f}}_t. \tag{31}$$

subject to (26a)–(26c).

<u>所得・支出ギャップ</u>

前節のモデルに即してここまでの諸係数を解釈すると、(4)式に相当する所得・支出ギャップは、$\tilde{\mathbf{v}}_A = (v_1, \dots, v_N)$,を粗付

[23] 但し、産業連関表の各部門のうち、「分類不能」については、そこでの産出量等の変化に経済学的意味を与えることが困難であるため、その純付加価値係数をゼロとして最適化問題を定式化している。また、これまで定義してきた最終需要との間には、$\mathbf{f}_t^* = \mathbf{\Theta}\hat{\mathbf{f}}_t^* = \left[(\mathbf{I}-\mathbf{M})\left(\tilde{\mathbf{f}}_{B(t)} + \tilde{\mathbf{f}}_{NB(t)}\right) + \mathbf{e}_{X(t)}\right]$,のような関係がある。すなわち、$\mathbf{e}_A^T \mathbf{f}_t$ は支出面でのGRP から家計外消費支出と資本減耗引当（社会資本）を控除した値に等しい。

加価値係数ベクトルとして、以下のように表される。

$$B_{IO} = \hat{\mathbf{e}}_A^T \mathbf{f}_{PC} - \tilde{\mathbf{v}}_A(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{NM} - \mathbf{x}_G). \quad (32)$$

上式において、$\hat{\mathbf{e}}_A^T \mathbf{f}_{PC}$ は各期の市場財の 1 人あたり消費を基準年と同一に保つために必要とされる消費額を表し、(4)式の $nE(\mathbf{p}, u, \mathbf{z})$ に相当する。また、$\tilde{\mathbf{v}}_A(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{NM} - \mathbf{x}_G)$ は市場財の供給から得られる粗付加価値(要素所得)であり、(4)式の $R\big(\mathbf{p}, \mathbf{v}(\mathbf{m}) - \mathbf{C}_w \boldsymbol{\varphi}(\mathbf{z}, \mathbf{m})\big)$ に相当する。所得・支出ギャップは家計の消費、非市場サービスの消費、一般行政消費の各支出項目を家計の厚生水準を一定に保つようにしたときの所得と支出の差異を示している[24]。

基準年と比較した所得・支出ギャップの変化は、

$$\Delta B_{IO(t)} = B_{IO(t)} - B_{IO(0)}, \quad (33)$$

と表され、前節の理論モデルで言えば(5)式に相当する。また、各期の人口あたりでみた所得・支出ギャップの変化は、$\Delta\big(B_{IO(t)}/n\big) = \big(B_{IO(t)}/n_{(t)}\big) - \big(B_{IO(0)}/n_0\big)$,である。

前節の理論モデルでは非市場財・サービスや一般政府支出は非貿易財としていたが、産業連関表では一部は域際間取引も存在する。また、前節のモデルは静学モデルであり、貯蓄や投資といった通時的な選択を含まないので、(4)式で定義した所得・支出ギャップと(20)式は同一ではない。しかし、基準時点における私的財や非市場財の消費によってもたらされる厚生水準を一定に保ちながら、所得・支出ギャップを測定する点では本質的に同じであり、上式の $B_{IO}$ の増加は地域社会の持続可能性を低下させると言う意味は変わらない。

#### 4.2.1.5 富山県を対象とした数量分析－分析に用いるデータについて－

本節では、富山県を対象として、前節の産業連関モデルをあてはめ、人口構造の変化が経済に与える影響を数量的に考えるためのデータ構築について述べる。

分析は、富山県産業連関表に基づく。利用できる直近の推計である平成 23 年表を用いる。図表 II-25 は富山県の産業連関表のあらましをまとめたものである。以下の分析では中分類に相当する 108 部門表を用いる。商業、運輸マージンは富山県において公表されている産業連関簡易分析ツールに掲載されている計数を用いる。労働投入量については、各県で付帯表として公表されている雇用表の総従業者数を用いる。以下の分析では、人口の将来推計を踏まえて域内需要の変化を考える[25]。

---

[24] モデルにおいて、総需要と総供給はそれぞれ、$AD = \hat{\mathbf{e}}_A^T\big[(\mathbf{A} + \boldsymbol{\Delta})\mathbf{x} + \tilde{\mathbf{f}}_B + \tilde{\mathbf{f}}_{NB} + \mathbf{e}_X\big], AS = \hat{\mathbf{e}}_A^T(\mathbf{A} + \boldsymbol{\Delta})\mathbf{x} + \tilde{\mathbf{v}}_A\mathbf{x} + \hat{\mathbf{e}}_A^T\mathbf{m}$,となる。均衡では $AD = AS$ であることに注意すれば(32)式は、$B_{IO} = \hat{\mathbf{e}}_A^T(\mathbf{m}_M - \mathbf{e}_X - \mathbf{f}_{NB})$,と書き換えることができる。ここで、$\mathbf{m}_M = \mathbf{m} - \mathbf{M}\big(\tilde{\mathbf{f}}_{NM} + \tilde{\mathbf{f}}_G\big)$,は市場部門の移輸入を表す。したがって、所得・支出ギャップは、市場部門の域際間取引の赤字に等しい。

[25]分析には当該年度の係数を反映した延長産業連関表を用いることも考えられる。しかし、本稿では基準時点の経済社会で享受できる厚生水準を達成するために必要な資源を明らかにすると言う視点に立ち、基準時点の産業連関表に体現された技術をそのまま推計に用いる。

（単位:10億円）

| | | 需要 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 中間需要 | 県内最終需要 | 県内需要 | 移輸出 | 総需要 |
| | 中間投入 | 4,333 | 4,409 | 8,742 | 3,568 | 12,310 |
| 供 | 粗付加価値 | 4,792 | | | | |
| | 県内生産 | 9,126 | | | | |
| 給 | 移輸入 | 3,185 | | | | |
| | 総供給 | 12,310 | | | | |

図表Ⅱ-25： 富山県産業連関表のあらまし（平成23年表）

資料:平成23年富山県産業連関表

人口、就業者数の推計

（単位:千人）

| | | 2011年 | 2015年 | 2020年 | 2025年 | 2030年 | 2035年 | 2040年 | 2045年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 富山県 | 人口 | 1,088 | 1,066 | 1,035 | 996 | 955 | 910 | 863 | 817 |
| | 変化率 | | −0.020 | −0.030 | −0.037 | −0.042 | −0.047 | −0.051 | −0.053 |

図表Ⅱ-26： 富山県の人口と将来推計

注:2011年の人口は平成23年10月時点の各県推計人口。2015年は平成27年国勢調査（年齢不詳者を含む）。2020年以降は国立社会・人口問題研究所「将来推計人口」による。変化率は対前期変化率。

将来人口推計については、図表 Ⅱ-26 に示されるような国立社会保障人口問題研究所による「地域別将来推計人口 平成30年推計」に依拠する。また、同推計は全国の市町村別に2015年国勢調査人口をもとに2045年までの年齢階級（5歳区分）別の推計人口が示されているのでこの値を用いる。

一方、推計対象年度における労働供給量を平成 23 年の富山県産業連関表の雇用表をベースに推計する。平成 27 年の産業連関表ベースの従業者総数（$l_1$）は、平成 22 年国勢調査と平成 27 年国勢調査の間での就業者数の変化を年率換算して、平成23年から平成27にかけての変化率を求め、これを平成23年の産業連関表の従業者総数（$l_0$）に乗じて求めた。

以後の年度については、まず、平成 27 年国勢調査のデータより、労働力状態不詳者を除いて、各年齢階級別の総人口に対する就業人口の比率（$\boldsymbol{\delta}_{CENSUS}$）を求め、これを年齢階級別の社人研推計人口（$\mathbf{n}_t$）に乗じて、社人研推計人口ベースでみた就業者数の変化率を求めた。さらに、これを平成27年の産業連関表ベースの従業者総数に乗じて産業連関表ベースの従業者数を求めた。すなわち、

$$l_t = \frac{\hat{\mathbf{e}}_A^T \mathrm{diag}(\boldsymbol{\delta}_{CENSUS})\mathbf{n}_t}{\hat{\mathbf{e}}_A^T \mathrm{diag}(\boldsymbol{\delta}_{CENSUS})\mathbf{n}_1} l_1.$$

したがって、将来にわたって年齢階級別の就業率は変化しないことを仮定している[26]。実際には、年齢階級別にみた就業率は上昇傾向にあり、ここでの推計は将来の労働供給量を過小に見積もっている可能性がある。

図表 Ⅱ-27 はこのようにして試算した産業連関表の雇用表ベースで見た総従業者数である。図表 Ⅱ-26 と比較すればわかるように、就業者数は総人口よりも大きな割合で減少する。

[26] また、産業連関表の雇用表に掲載されている従業者数等は、アクティビティをもとに計上されており、1人が複数の事業所で就労している場合は、それぞれの事業所が属するアクティビティ上に重複計上される。したがって、国勢調査等の統計から得られた就業者の変化を産業連関表ベースの従業者の変化にそのままあてはめていることは、各年齢階級における複数事業所で就労する者の比率が年度間で等しいことを仮定していることになる。この仮定は実際には満たされないと思われるが、近似的な値として考える。

（単位:千人）

| | | 2011年 | 2015年 | 2020年 | 2025年 | 2030年 | 2035年 | 2040年 | 2045年 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 富山県 | 従業者総数 | 639 | 632 | 599 | 570 | 539 | 506 | 472 | 438 |
| | 変化率 | | −0.011 | −0.051 | −0.049 | −0.053 | −0.062 | −0.067 | −0.071 |

図表Ⅱ-27： 富山県の従業者総数に関する試算値

注:基準年(2011年)の産業連関表(雇用表)の従業者総数をベースに、その後の従業者総数の変化を本文に記載の方法で試算したもの。変化率は対前期比の単純変化率. 筆者による試算。

基準年から 2015 年にかけてと 2015 年以降では減少率が異なっているが、これは前述の要因によって就業者数の減少を過大に見積もっている可能性がある。

基盤的財・サービス需要の推計

最終需要は、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、の合計となる。このうち、民間消費支出と一般政府消費支出の教育、介護、医療産業への最終需要は、地域の年齢階級別の人口構成を反映させて推計する。以下では、非市場財・サービス、一般行政サービス、民間消費支出について最終需要の設定の考え方と推計方法を述べる。

推計対象となる教育、介護、医療の民間と一般政府における消費需要額は図表Ⅱ-28 においてまとめられている。

（100万円）

| | 富山県 | |
|---|---|---|
| | 民間<br>消費支出 | 一般政府<br>消費支出 |
| 教育 | 25,448 | 152,258 |
| 介護 | 8,380 | 84,879 |
| 医療 | 66,698 | 276,025 |

図表Ⅱ-28： 富山県における教育、介護、医療に対する消費需要（平成 23 年）

資料:平成 23 年富山県産業連関表

教育

教育に対する最終需要は 19 歳以下人口に比例すると考える. このため、基準年における産業連関表の行部門「教育」の民間消費支出と一般政府消費支出の最終需要額の合計値($f_{e0}$)を同年における 19 歳以下人口で除して、基準年における 19 歳以下人口 1 人あたり教育支出額($p_e$)を求めた。これをもとに、年齢階級別の 1 人あたり教育支出ベクトルを、$\mathbf{p}_e = (p_e, \dots, p_e, 0, \dots, 0)$,として、t期の年齢階級別の人口ベクトル($\mathbf{n}_t$)を乗ずることによって、t 期における教育需要を以下のように与える。

$$f_{e(t)} = \mathbf{p}_e \mathbf{n}_t.$$

図表Ⅱ-28 で示されている富山県の教育消費支出額を平成 23 年における同県の 19 歳以下人口で除すると図表Ⅱ-29 のようになり、これを $p_e$ の推計値とする。

（千円）

| | |
|---|---|
| 富山県 | 932 |

図表Ⅱ-29： 対象人口あたり教育消費
平成23年富山県産業連関表に基づき推計

介護

介護の最終需要は、要介護者あたり費用×介護認定率×人口、によって求められる。各地域における基準年の年齢階級別の要介護認定者数と人口から 65-74 歳と 75 歳以上の要介護認定率($\mathbf{q}_c$)を求めた。これに当期の年齢階級別人口を乗じて要介護者数を求め、さらに各年齢階級別にみた要介護者 1 人あたりの介護費用ベクトル($\mathbf{p}_c$)を乗ずることによって、介護への最終需要額($f_{c(t)}$)が以下のように推計される。

$$f_{c(t)} = \mathbf{p}_e \mathrm{diag}(\mathbf{q}_c)\mathbf{n}_t.$$

基準時点における要介護認定者数と認定率は厚生労働省『平成 23 年度介護保険事業状況報告』と人口統計より図表 II-30 の様に表される。

(単位:人)

| | | 65～74歳 | 75歳以上 |
|---|---|---|---|
| 富山県 | 認定者数 | 5,112 | 46,159 |
| | 認定率 | 0.038 | 0.304 |

図表 II-30： 要介護（要支援）認定者数と認定率

資料:『平成23年度介護保険事業状況報告』、富山県推計人口に基づき作成

さらに、都道府県別の支援、介護段階別の介護費用をもとに産業連関表で計上されている介護部門の消費支出とスケール調整することによって、年齢階級別にみた要介護者 1 人あたりの介護費用ベクトル($\mathbf{p}_c$)を図表 II-31 の様に設定する。

(単位:千円)

| | 65-74歳 | 75歳以上 |
|---|---|---|
| 富山県 | 1,751 | 1,826 |

図表 II-31： 要介護者あたりの消費支出ベクトル

医療

医療についても介護と同様に、各地域における基準年の年齢階級別 1 人あたり医療費ベクトル($\mathbf{p}_m$)に、t 期の年齢階級別人口を乗ずることで以下のように求められる。

$$f_{m(t)} = \mathbf{p}_m \mathbf{n}_t.$$

年齢階級別医療費は、国民医療費の年齢階級別 1 人あたり国民医療費に各県の年来階級別人口を乗じた値を、産業連関表で推計されている医療の消費支出でスケール調整して図表 II-23 の様に求めた。

(単位:千円)

| | 年齢階級 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0-4 | 5-9 | 10-14 | 15-19 | 20-24 | 25-29 | 30-34 | 35-39 | 40-44 | 45-49 | 50-54 | 55-59 | 60-64 | 65-69 | 70-74 | 75-79 | 80-84 | 85- |
| 富山県 | 226 | 124 | 87 | 68 | 75 | 95 | 111 | 121 | 138 | 172 | 216 | 278 | 361 | 464 | 608 | 751 | 876 | 1,004 |

図表 II-32： 年齢階級別医療消費支出推計額

資料:平成23年度国民医療費、平成23年富山県産業連関表に基づき推計

非市場サービスの最終需要の推計

上の手順にて求めた推計需要額を各産業の最終需要部門に割り振ることによって、各期の人口構成に準じた推計需要額とする。すなわち、

$$\mathbf{f}_{NM(t)} = (\hat{\mathbf{e}}_e\mathbf{p}_e + \hat{\mathbf{e}}_c\mathbf{p}_c\mathrm{diag}(\mathbf{q}_c) + \hat{\mathbf{e}}_m\mathbf{p}_m)\mathbf{n}_{(t)},$$

である。ここで、$\hat{\mathbf{e}}_j$は、支出項目 j に関係する産業に該当する行のみが 1 でその他は 0 をとる列ベクトルである。

一般行政サービス、民間消費支出に関する設定

教育、介護、医療を除いた一般政府消費支出は、国、県、市町村の消費支出から構成される。産業連関表の最終需要部門における政府の消費支出ベクトル（教育、介護、医療を除く）は、中央政府（国）、県、市町村の最終需要に分割できると考える。すなわち、

$$\mathbf{f}_G = \mathbf{f}_{GN} + \mathbf{f}_{GN} + \mathbf{f}_{GN}.$$

ここで、$\mathbf{f}_{GN}$は国、$\mathbf{f}_{GN}$は県、$\mathbf{f}_{GN}$は市町村の政府消費支出ベクトルを表す。

まず、基準年における各政府の最終需要額を求める。産業連関表の一般政府消費支出を従業者数で按分することで最終需要額とした。従業者数と構成比は図表 II-33 のようになる。

（人）

| | | 国家公務 | 地方公務 | | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 都道府県機関 | 市町村機関 | |
| 富山県 | 従業者数 | 2,176 | 4,626 | 6,928 | 13,730 |
| | 構成比 | 0.158 | 0.337 | 0.505 | 1.000 |

図表 II-33： 公務従業者数（平成 26 年）

資料：平成26年経済センサス

上表の構成比にしたがって、産業連関表の一般政府消費支出（但し、教育、介護、医療を除く）を国、都道府県、市町村に按分した額は図表 II-34 のようになる。

（単位：百万円）

| | 中央政府 | 地方政府 | | 合計 |
|---|---|---|---|---|
| | | 県 | 市町村 | |
| 富山県 | 32,554 | 69,206 | 103,645 | 205,405 |

図表 II-34： 一般政府消費支出の部門別推計（平成 23 年度）

注：教育、医療、介護部門の消費支出は除く。
資料：富山県産業連関表と経済センサスに基づき推計

次に、推計対象期間中の各政府の消費支出を設定する。

国の消費支出

国の支出相当分については期間中定額だとする。国が供給する行政サービスは国家的な公共財であり、少なくとも都道府

県レベルでは非競合性を備えていると考えた。したがって、t 期の国の一般政府消費支出は以下のように表される。

$$\mathbf{f}_{GN(t)} = \mathbf{f}_{GN(0)}.$$

県の消費支出

県の消費支出は、人口あたり歳出額($g_{P_i}$)を以下の歳出関数を推計して求めた[27]。すなわち、$r_i$を道府県 i の可住地面積として、

$$\ln g_{P_i} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln n_i + \alpha_2 (\ln n_i)^2 + \alpha_3 \ln r_i,$$

を最小二乗法により推計した。推計対象年度は 2015 年度とし、福島県と東京都を除く 45 道府県が対象である。推計の結果は図表 II-35 にまとめられている。

| | const. | ln*n* | (ln*n*)$^2$ | ln*r* |
|---|---|---|---|---|
| coefficients | 34.453 | −3.998 | 0.120 | 0.252 |
| t value | 2.471 | −2.062 | 1.834 | 3.569 |
| $R^2$ | 0.630 | | | |
| *N* | 45 | | | |

図表 II-35： 道府県歳出関数の推計結果

この結果に基づき、人口規模に関する 1 人あたり歳出の弾力性を、

$$\eta_{P_i} = \frac{\partial \ln g_{P_i}}{\partial \ln n_i} = \alpha_1 + 2\alpha_2 \ln n_i,$$

で求めた。その上で、t 期の県レベルの一般政府消費支出($f_{GP(t)} = n_t g_{P_i(t)}$)を、

$$f_{GP(t)} = \left(1 + \eta_{P_i} \hat{n}_t\right)(1 + \hat{n}_t) f_{GP(t-1)},$$

として試算した。ここで、$\hat{n}_t = (\hat{n}_t - \hat{n}_{t-1})/\hat{n}_{t-1}$は人口変化率を表す。ここで、もしも、$\eta_{P_i} = 0$,ならば、消費支出は都道府県人口に比例して変化する。一方、$\eta_{P_i} = -1/(1 + n_t)$,ならば、消費支出は人口規模に関して不変にとどまる。

このようにして求めた消費支出総額に、基準時点における(教育、介護、医療を除く)一般政府消費支出構成比ベクトル($\boldsymbol{\delta}_G$)を乗じて、t 期の一般政府消費支出ベクトルとした。

$$\mathbf{f}_{GP(t)} = f_{GP(t)} \boldsymbol{\delta}_G.$$

市町村の消費支出

市町村の消費支出も人口と面積に依存するとして推計した。対象は東京都特別区と福島県の楢葉町、富岡町、大熊町、双

[27] 総務省『都道府県別決算状況調』より、おおむね消費支出に相当するものとして、議会費、総務費、民生費のうち社会福祉費、生活保護費、災害救助費の合計、衛生費、労働費、農林水産業費、商工費、警察費を取り上げた。

葉町、浪江町、葛尾村、飯舘村を除く1711市町村である。

推計の結果は図表Ⅱ-36にまとめられている。

| | constant | ln$n$ | (ln$n$)$^2$ | ln$r$ |
|---|---|---|---|---|
| Coefficients | 14.490 | −1.577 | 0.061 | 0.165 |
| t value | 64.007 | −35.213 | 27.417 | 29.287 |
| $R^2$ | 0.805 | | | |
| N | 1711 | | | |

図表Ⅱ-36： 市町村歳出関数の推計値

市町村の消費需要は以下の方法で推計した。前述のような形で従業員比率により按分された各県の一般政府消費支出(市町村分)を、図表Ⅱ-37にある平成23年の各県内市町村の推計対象歳出額の構成比で按分して、基準年度における市町村ごとの消費支出額を求めた。

| 富山市 | 高岡市 | 魚津市 | 氷見市 | 滑川市 | 黒部市 | 砺波市 | 小矢部市 | 南砺市 | 射水市 | 舟橋村 | 上市町 | 立山町 | 入善町 | 朝日町 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.317 | 0.141 | 0.036 | 0.055 | 0.031 | 0.054 | 0.054 | 0.031 | 0.086 | 0.094 | 0.004 | 0.022 | 0.029 | 0.024 | 0.022 |

図表Ⅱ-37： 市町村別の歳出構成比（平成23年度）

注:議会費、総務費、民生費のうち社会福祉費、生活保護費、災害救助費の合計、衛生費、労働費、農林水産業費、商工費、消防費の合計に基づき算出。資料:総務省『市町村別決算状況調』。

その後、各市町村の推計人口変化率と歳出関数の推計により求めた弾力性を用いて、試算時点における消費需要額を求めた。すなわち、市町村$M_i$のt期における消費支出額を、

$$f_{GM_i(t)} = \left(1 + \eta_{M_i}\hat{n}_t\right)(1 + \hat{n}_t)f_{GM_i(t-1)},$$

のような形で求め、その合計額に一般政府消費支出の構成比を乗じて県内市町村のt期における消費支出額とした。すなわち、

$$\mathbf{f}_{GM(t)} = \boldsymbol{\delta}_G \sum_{i \in J} f_{GM_i(t)}.$$

民間消費支出

教育、介護を除いた民間消費支出は人口規模に比例するものと考え、基準時点での各財の人口あたり民間消費支出額、$(1/n_0)\,\tilde{\mathbf{f}}_{PC(0)}$,に各期の人口を乗じて推計する。すなわち、

$$\tilde{\mathbf{f}}_{PC(t)} = (n_t/n_0)\,\tilde{\mathbf{f}}_{PC(0)},$$

である。

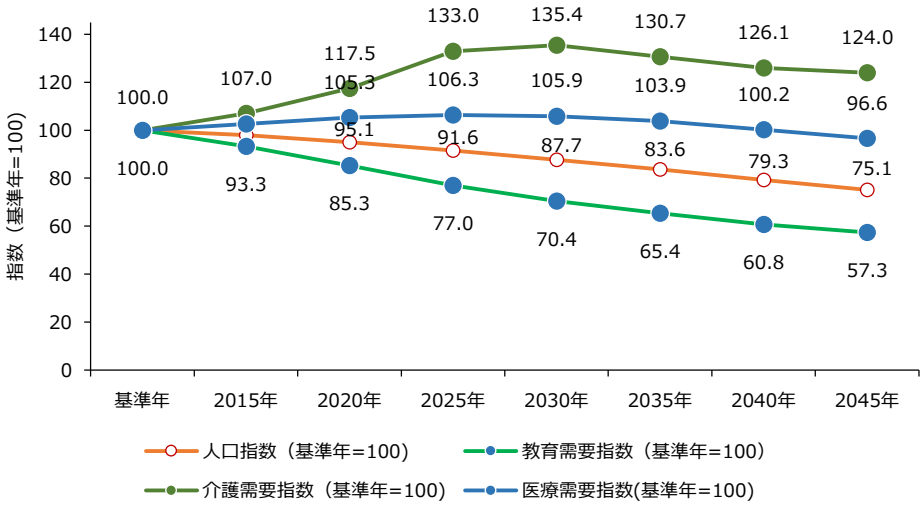
### 4.2.1.6 試算結果

前節では、非市場財、一般行政サービス、民間消費のそれぞれについて基礎となるデータと最終需要の推計方法を述べた。本節では、最終需要の経年的な変化のあらましを示すとともに、これらの最終需要を与件として、最適化問題を解くことによって得られた、所得・支出ギャップや県内純生産、廃棄物処理部門の生産量や労働投入量について述べる。

予備的な結果

非市場需要の変化

まず、非市場サービスである教育、介護、医療の富山県における最終需要の変化を示したものが図表 II-38 である。図の縦軸は各最終需要の基準年(平成 23 年)における値を 100 とした指数をとっている。また、期間中の総人口の変化も併せて示している。

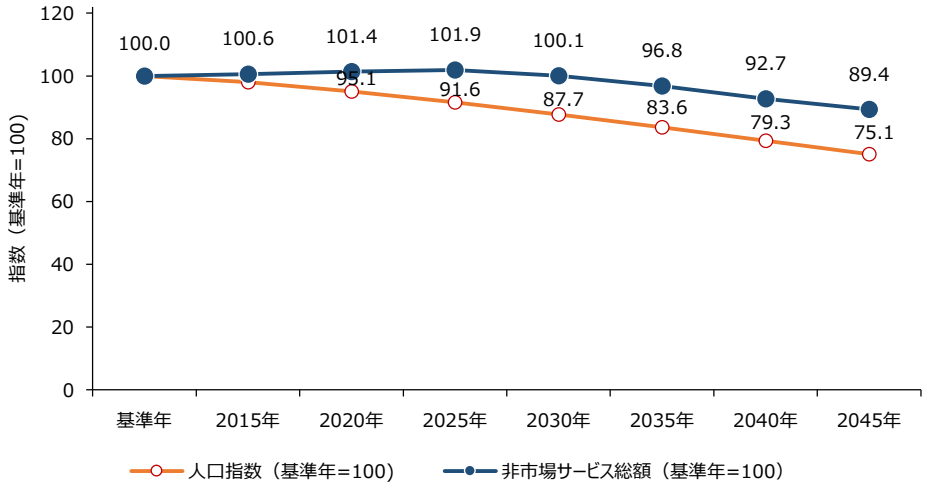



図表 II-38： 非市場需要の変化に関する試算（富山県）

資料:筆者による試算。

図からわかるように、教育需要については対象となる年齢階級の人口が大きく減少することによって人口の減少率よりも大きな値で減少する。介護需要は、団塊世代が後期高齢者となる 2030 年には基準時点の約 1.3 倍の需要が生ずると予測される。この年をピークとして需要は減少するが、2045 年においても基準年の 1.2 倍強の需要が予想される。医療についても 2025 年をピークとする同様の傾向が観察されるが、推計期間の最終年度では基準年の需要を下回る。ただし、人口の減少ほど需要は減少しない。

これらの 3 つの最終需要を合計した非市場サービス全体の需要の変化が、図表 II-39 で表されている。この 3 項目の中で需要規模が最も大きい項目は医療であり、全体の動向も医療の動向を反映している。加えて、教育需要の減少も最終需要の減少に寄与しているが、人口規模に見合った形での教育サービスの供給体制が整わなければ、最終需要の減少が緩慢なものになる可能性もある。



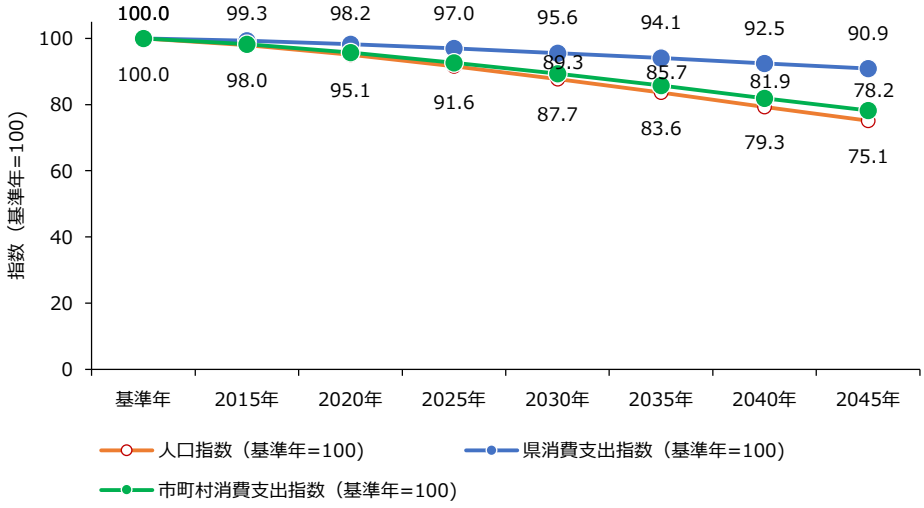

図表 II- 39： 総額でみた非市場需要の変化に関する試算（富山県）

資料:筆者による試算。

政府需要の変化

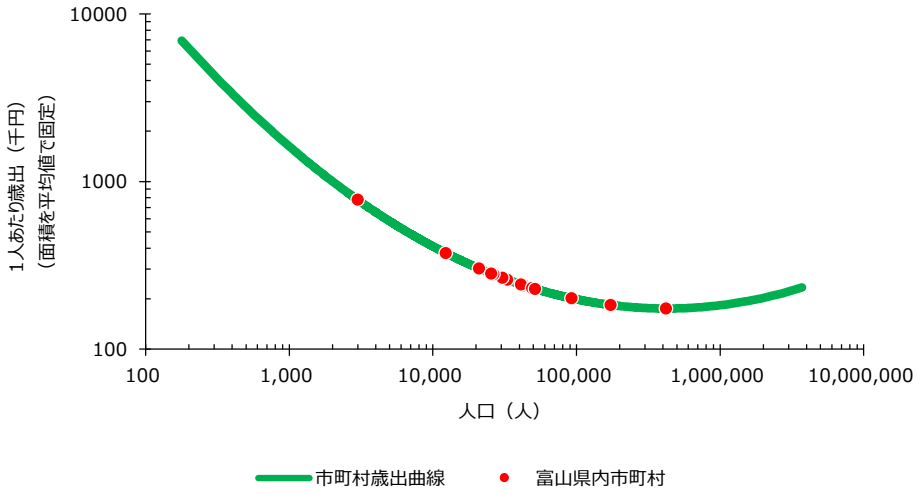
次に、一般行政サービスの需要動向を図示したものが図表 II-40 である。前掲図と同じく基準年を 100 とした指数で県、市町村のそれぞれについて図示している。中央政府(国)については対象期間中同額だとしているので表記を省略している。

人口は、2045 年には基準年(2011 年)比で約 3/4 になるが、都道府県の支出規模は 10%減にとどまる。一方、市町村の支出規模は人口の減少にほぼ比例する。これは、歳出関数の推計結果を反映している。図表 II-37 にある通り、富山県では富山市の人口比率が高く、歳出規模も大きい。図表 II-41 は図表 II-36 で示されている歳出関数の推計結果に基づき、各市町村の面積を推計対象の平均値に置き換えた上で、人口規模と歳出関数より導かれる歳出規模の関係をプロットしている。図が示すように、富山市では人口 1 人あたり歳出の人口規模に関する弾力性(歳出曲線の接線の傾き)が小さく、ほぼ人口比例的に歳出が変化する。




図表 II- 40： 一般行政サービス需要の変化（富山県）

資料:筆者による試算。



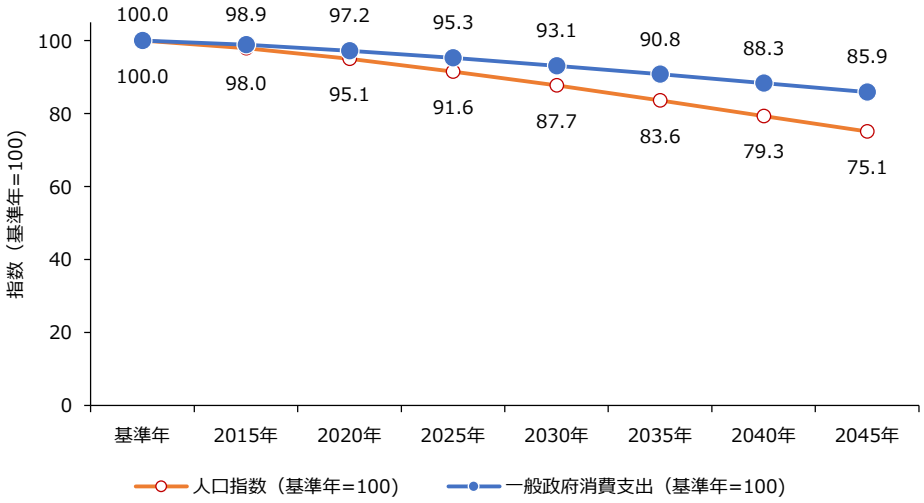

図表 II-41： 歳出関数と県内市町村の歳出理論値（富山県）

注:図表 II-36 で示されている推計式のうち、面積を平均値に置き換えて、人口規模と 1 人あたり歳出額の関係を図示した。

資料:筆者による試算。

ただし、個別の市町村ごとに見れば、人口規模の小さい市町村では人口減少に伴う行政需要の減少が 1 人あたりで見た歳出額の増加によって相殺されてしまい、歳出圧力が相対的に高まる可能性がある。

中央政府(国)、県、市町村を合わせた一般政府消費支出(ただし、教育、介護、医療を除く)にかかる最終需要額の推移が図表 II-42 で示されている。国の消費支出は人口に関わらず一定としているので、その分だけ需要の減少率が小さくなっている。



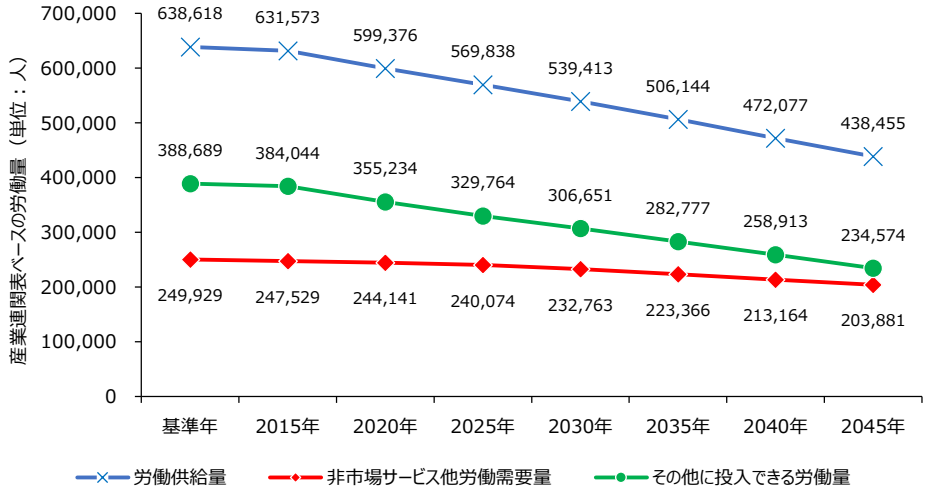

図表 II-42： 一般政府消費支出（教育、介護、医療を除く）の変化に関する試算（富山県）

資料:失社による試算。

労働供給の変化

図表 II-43 は、非市場財や民間消費支出の需要を外生的に与えたときの労働需要量の合計を(15)式のような形で求め、図

示したものである。また、図表 II-27 で求めた産業連関表ベースの労働供給量も併せて示している。これを見れば、非市場サービスや一般行政サービス、民間消費支出の域内生産分の生産に必要な労働投入量は、労働供給量よりも緩慢にしか減少しない。その結果、その他の生産活動に投入可能な労働量はより大きく減少する。




図表 II- 43： 労働の需要量と供給量に関する試算（富山県）

資料:筆者による試算。

試算結果

シナリオの設定

第 4 節の()式で定義された所得支出ギャップの試算結果を示す。人口や就業者数、基盤的な財・サービスへの需要などが与えられたとしても、試算結果は、人口が減少したときの産業間の労働調整費用や、最適化問題において最終需要を決定する際に経済成長を目的関数に含めるか、といった点に依存する。ここでは、次年度以降に取り組むシナリオ構築に資するために予備的な 3 つのシナリオを想定した。

第一は、(25)式で定義された労働調整費用関数の最小化のみを目的関数とした最適化問題(P1)を解くケースである。このケースでは、経済成長をもたらすような産業構造の変化は考えない。同時に、労働の限界的な調整費用は労働投入量の変化率に比例すると言う意味で、すべての産業において同じ程度の流動性を以て調整がなされるケースを想定している。以下では、これを基本ケースとする。

第二に、労働の調整費用は先のケースと同じだとして、最適化問題の目的関数に域内純生産の最大化を加えた(30)式の形を考える。ただし、そのウェイトについては理論的に導出することはでない。以下では、最適化問題(P2)を解いた結果、得られる 2011 年から 2015 年にかけての県内純生産の伸び率が、実際の伸び率に等しくなるようなウェイトを求め、これを用いて 2045 年までの係数を求めた。富山県の同期間の県内純生産の伸び率は 1.008 であり、ウェイトは 0.42 であった。以下ではこれを成長ケースと言う。

第三に、人口減少に伴う産業間の調整が上手く機能しない場合を想定した。本稿では技術進歩や部門内の生産性の向上等は考えていないので、生産性が低い部門から高い部門に労働投入がシフトすることが、域内の経済成長をもたらす唯一の源泉である。基本ケースでは他の事情に変化がなければ、どの産業においても同じ限界費用で一定率の労働資源をシフトさせることが可能であった。これに対して、ここでは労働生産性が低い産業ほど、労働調整の限界費用が大きくなる形で調整

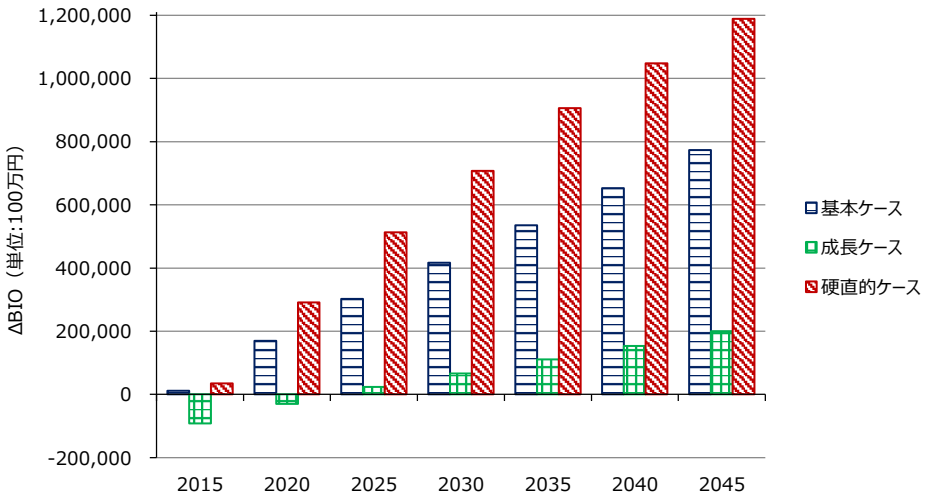
費用の価格を設定する。具体的には、各部門の雇用者報酬と営業余剰の合計額を総従業者数で除した値($h_i$)の逆数を調整価格に乗じる。すなわち、(21)式に代えて、

$$\gamma_i' = \frac{1}{\omega(h_i) l_i'},$$

とする[28]。以下ではこれを硬直的ケースと呼ぶ。

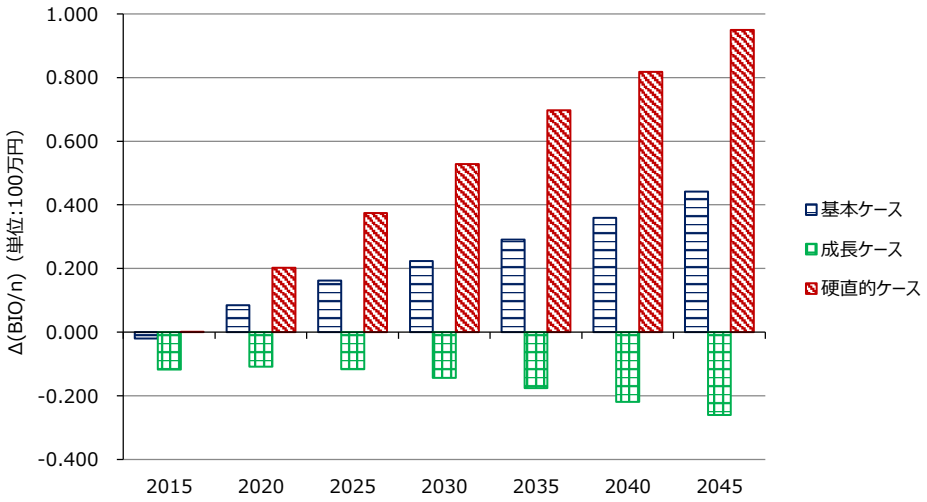
試算結果

図表 II-44 は所得支出ギャップの値を基準年との差額($\Delta B_{IO}$)で表している。基本ケースでは $\Delta B_{IO}$ は年々増加している。たとえば、試算期間の最終年次である 2045 年では、基準年と比較して約 7,731 億円の所得が補われなければ、県内の厚生水準は基準年の水準に維持できない。言い換えれば、人口減少に起因する厚生コストが 7,731 億円に相当する。この厚生コストは硬直的ケースにおいてさらに大きい。一方、経済成長も考慮して産業構造の変化を考える成長ケースでは、2020 年まで所得支出ギャップは減少する。その後は増加に転ずるものの、最終年次においてもギャップは約 2,000 億円にとどまる。




図表 II-44： 基準年と比較した所得・支出ギャップの変化額（$\Delta B_{IO}$）（富山県）
資料:筆者による試算。

[28] ただし、ここでは $h_i$ を $\omega(h_i)$ によって平均と分散がともに 1 となるよう正規化している。また、労働投入量がゼロの部門は、$\gamma_i' = 0$, としている。



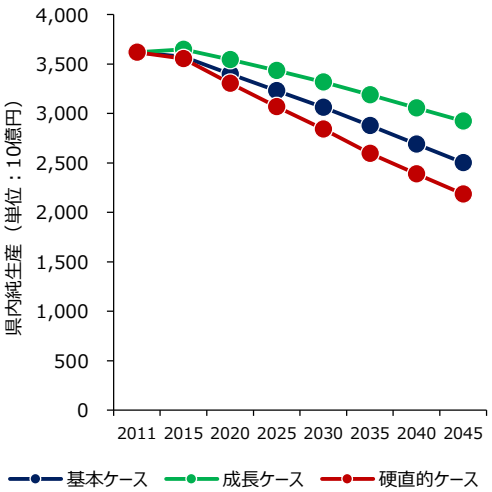

図表 II- 45： 基準年と比較した人口あたり所得・支出ギャップの変化額（$\Delta B_{IO}$）（富山県）

資料:筆者による試算。

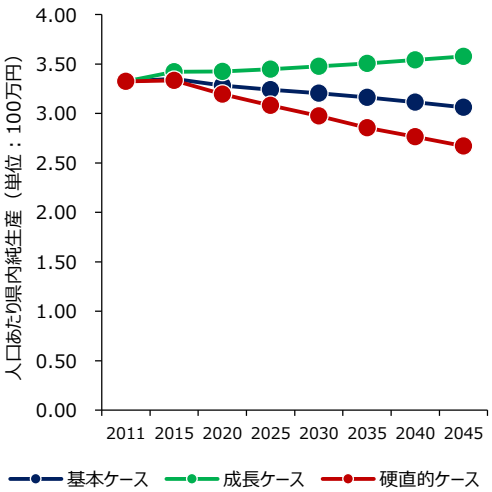
図表 II-45 は、各期のギャップを当該期の推計人口で除した、1 人あたりの所得支出ギャップについて、基準年度との増減を表したものである。各ケース相互の大小関係は総額ベースでみた場合と同じであるが、成長ケースでは将来において人口が減少する分だけ、基準年度よりも厚生が改善される。

図表 II-46a、b は各ケースにおける県内純生産(NRP)の推移を示したものである。総額でみた NRP は、基本ケースと硬直的ケースでは基準年以降、減少が続く。成長ケースでは 2015 年以降の各年で減少する。人口あたりで見ても基本ケースと硬直的ケースでは 2015 年以降は減少する。すなわち、人口の減少率よりも高い率で県内純生産が減少する。一方、成長ケースでは一貫して 1 人あたり NRP は増加する。

(a) 総額




(b) 人口あたり



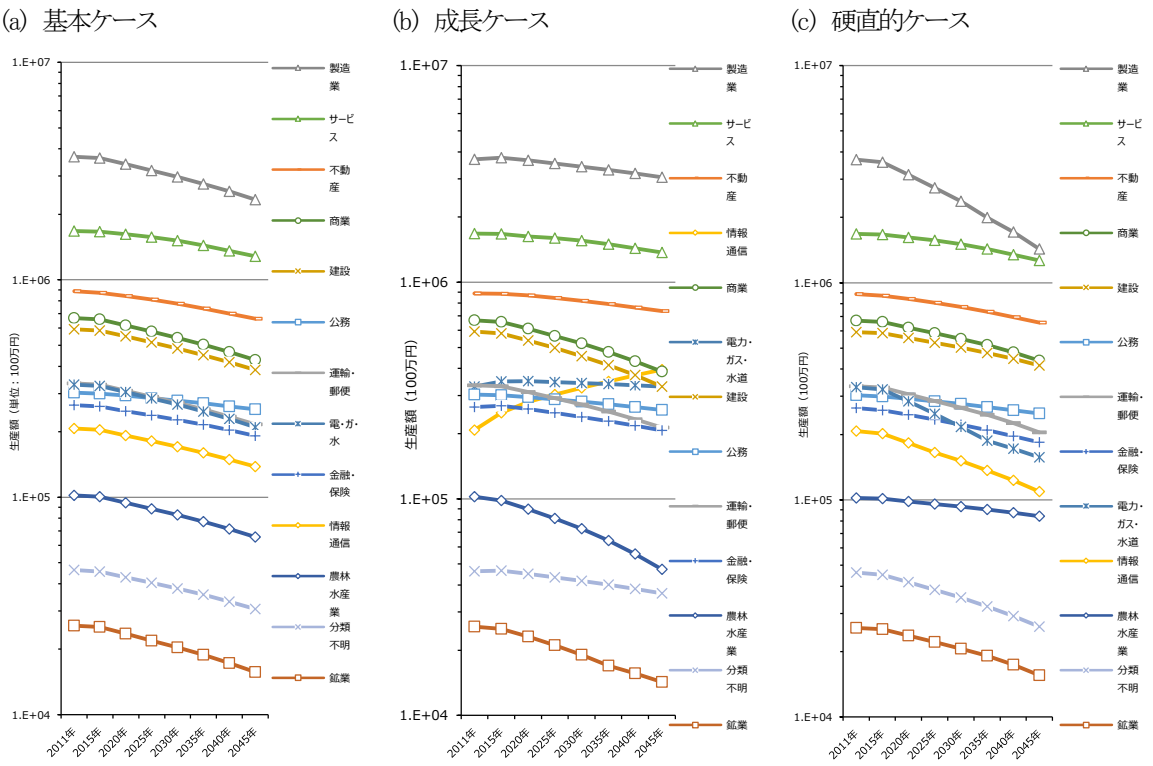

図表 II- 46： 県内純生産の推移（富山県）

資料:筆者による試算。

このような所得・支出ギャップや県内純生産の背後にある産業構造の変化をみておく。図表 II-47 はそれぞれのケースについて部門別の生産額の推移を示したものである。また、図表 II-48 は各産業における従業者の変化を表している。本稿での試算には 108 部門表を用いているが、図では見やすさのために 13 部門に統合して表示している。図では生産額を対数軸で表示しているので、各産業のグラフの傾きが生産額や従業者数の変化率を近似的に表している。

図表 II-47a を見ると、基本ケースでは、外生的に生産量が与えられている公務を除くと、各産業の生産額は似通った比率で減少している。基本ケースでは、労働の調整費用の合計額を最小化するような最適化問題を解いているので、何も制約がなければ、すべての産業で同一の率で労働投入量が減少する。一方、成長ケースでは製造業の生産額減少率が相対的に低く、農林水産業の減少率が高くなっている。これとは逆に、硬直的ケースでは製造業の生産額が大きく減少する一方、農林水産業の減少率は相対的に低い。また、情報通信においても対照的な結果が現れている。

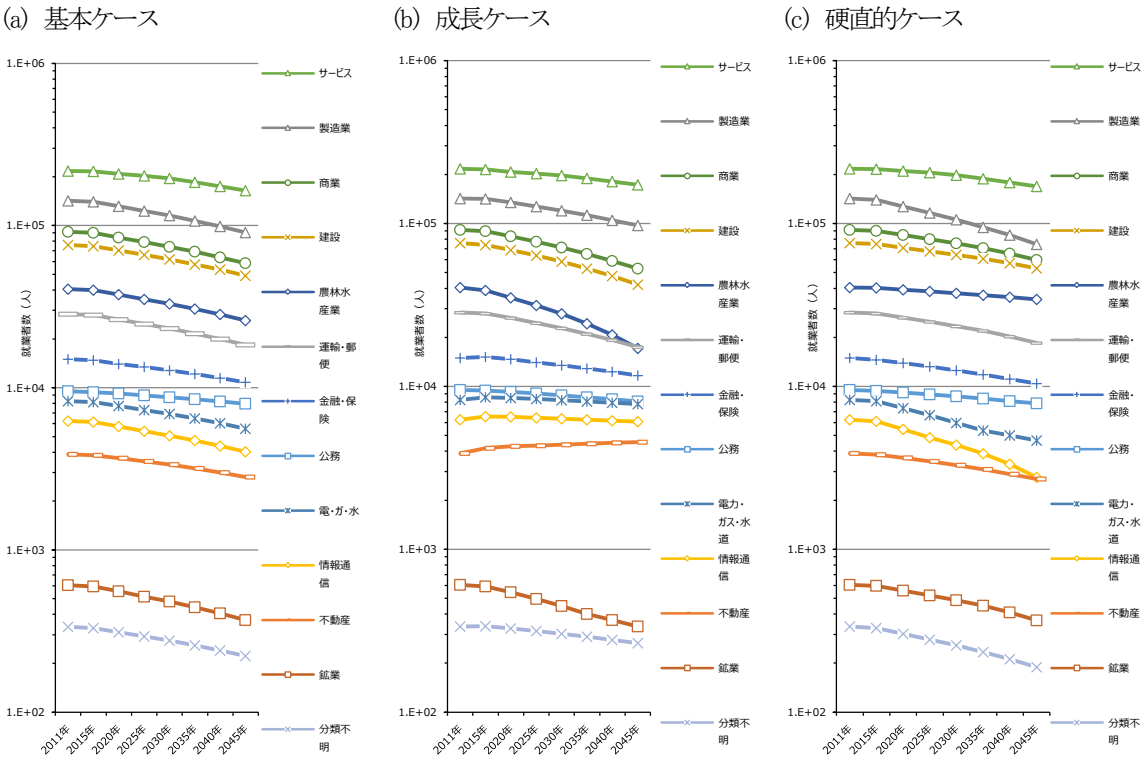
硬直的ケースでは、労働生産性の低い部門の調整費用を高く設定している。このため、就業者人口が総数で減少する局面では、これらの部門の従業者数はそれほど減少せず、生産額の減少も小さい。一方、労働調整費用が相対的に低い部門では大きく労働投入量が減少し、その結果、生産額も大きく減少する。一方、成長ケースでは、県内純生産を増加させるためには生産性の高い部門へのシフトが求められ、硬直的ケースとは逆の結果が生ずる。




図表 II-47： 県内生産額の推移（富山県）

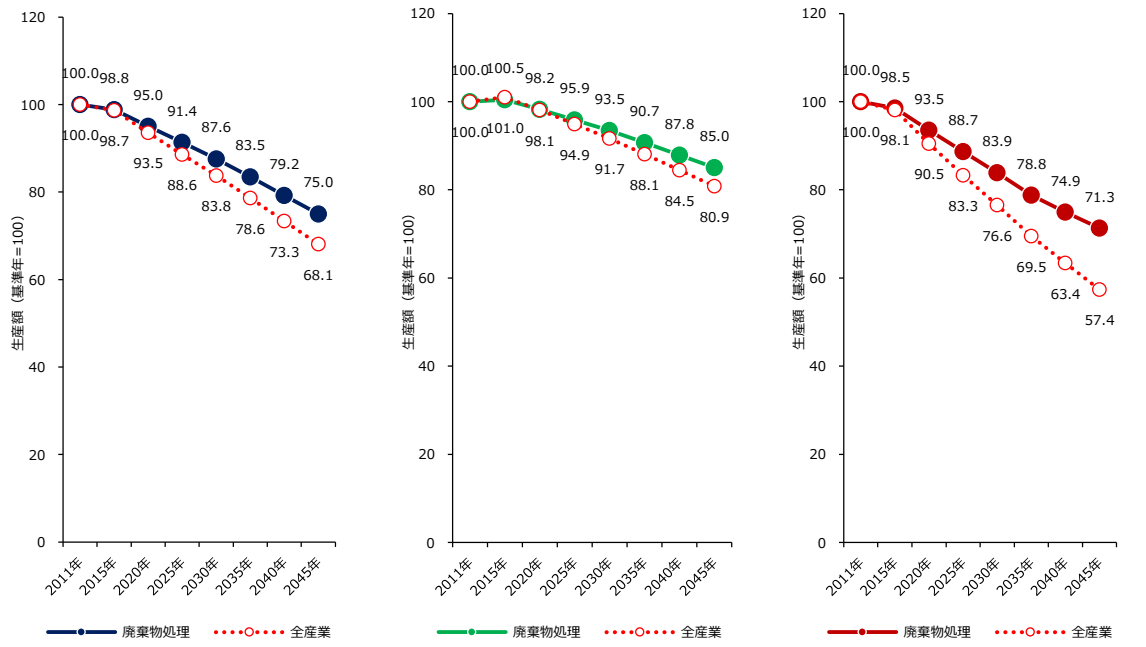
資料：筆者による試算。

図表 II-48 は、従業者数に関する試算結果をまとめている。各部門の生産額に雇用係数を乗じた値が労働投入量となるので、基本的には、従業者数の変化は生産額のそれと同じ動きを示す。ただし、図表 II-47、II-48 は 108 部門で求めた生産額や従業者数を 13 部門に統合しているので、大分類(13 部門)内の部門間で生産額の変化率が異なる場合には、生産額と従業者数の変化は異なる動きを示す。




図表 II- 48： 県内就業者数の推移（富山県）

資料:筆者による試算。



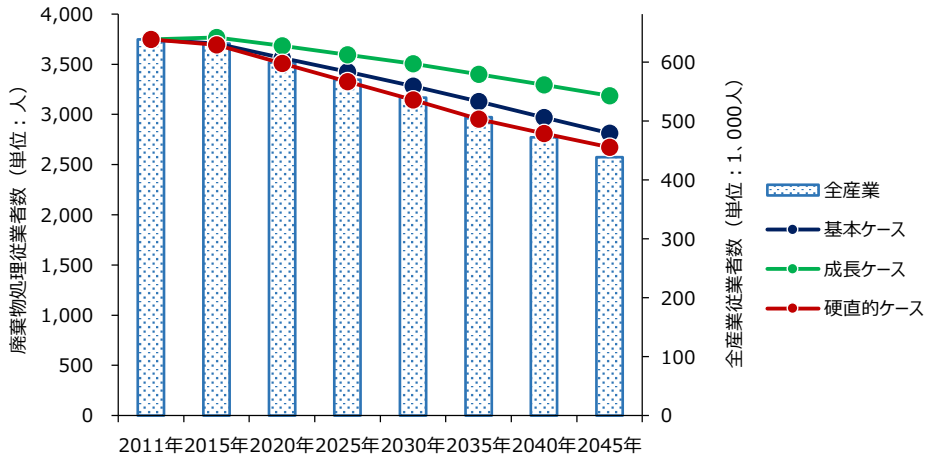

図表 II- 49： 廃棄物処理部門における生産額の変化（富山県）

資料:筆者による試算。

続いて、図表 II-49 は試算結果の中から廃棄物処理部門を取り出して、基準年度を 100 とした生産額の変化を図示している。比較のために、それぞれのケースにおける全産業の生産額の変化も併せて図示している。

いずれのケースのいずれの年度においても廃棄物処理部門の生産額は基準年度と比較して減少する。しかし、その減少率は全産業と比較して小さい。この理由としては、廃棄物処理部門は公共サービスとして供給される家庭の一般廃棄物処理を含むことがあげられる。モデルの設定では、家計の一般廃棄物はどのケースにおいても県内市町村の人口動態を反映した形でその需要にしたがって処理されると考えている。したがって、労働供給の制約を受ける他産業と比較してその減少率は小さくなる。

また、硬直的ケースでは、全産業の基準年度比でみた生産額は最終年度に約 43%減少するが、廃棄物処理部門での減少率は約 28%強に留まる。硬直的ケースでは、生産額あたりの産業廃棄物排出量が大きい農林水産業の生産額の減少額が比較的小さい。この結果、産業廃棄物処理に対する需要は全体でみた需要の減少量と比べて小さいことも考えられる。




図表 II- 50：廃棄物処理業における就業者数の変化に関する試算（富山県）

資料:筆者による試算。

図表 II-50 は、各ケースにおける廃棄物処理部門での労働投入量を示している。比較のために、県内での労働供給の総量をスケール調整して示している。各ケースにおける労働投入量は前述の生産額に雇用係数を乗じた値であるから、その動向は生産額と変わらない。総労働供給量との関係を見ると、基本ケースや成長ケースにあっては、廃棄物処理部門の相対的な雇用規模が人口減少や産業構造の変化に伴って高まることを表している。また、最も従業者数が減少する硬直的ケースにおいても、その減少率は総労働供給量と類似している。このことは、産業構造の変化に直面したときにあっても、産業廃棄物処理部門を含む廃棄物処理部門には経済活動を支えるインフラとしての一定水準の役割が求められること示唆するものである。

### 4.2.1.7 おわりに

本年度の研究では、産業廃棄物処理業における将来フレームを構築するための予備的分析を行った。分析の主な結果と課題は冒頭にまとめた通りである。

次年度は、富山県を対象とした本年度の分析を他地域にも拡大して、人口減少や高齢化が経済社会に与える負荷を明らかにしたい。また、本年度の分析で得られた課題を踏まえて、より現実的なシナリオの下で産業廃棄物処理業への需要動向を分析する。

同時に、次年度は産業廃棄物処理業に焦点をあてて分析する。本年度の研究においては産業連関モデルを用いて分析する際に、産業廃棄物処理業だけを抽出することはせず、廃棄物処理部門として一括して扱っていた。既に、産業廃棄物の排出については環境省 IO 表による詳細な推計が存在する。この分析も用いながら、産業としての産業廃棄物処理業の将来動向を分析できる枠組みを構築したい。

参考文献・資料


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構造の分析」日本地域学会『地域学研究』34(1), 139-152 頁.

宍戸駿太郎(監), 環太平洋産業連関分析学会(編)(2010)『産業連関分析ハンドブック』東洋経済新報社.

能勢哲也 (1982)『財政の計量分析』創文社.

萩原泰治 (2011)「47 都道府県間接続産業連関表の作成と分析」『神戸大學經濟學研究年報』58, 33-46 頁.

林正義 (2002)「地方自治体の最小効率規模―地方公共サービス供給における規模の経済と混雑効果―」『フィナンシャル・レビュー』61, 59-89 頁.

人見和美・B. Pongsun (2008)「47 都道府県多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.

宮沢健一(編) (2002)『産業連関分析入門(新版)』日本経済新聞社.

Hamermesh, D. S. & G. A. Pfann (1996) "Adjustment Costs in Factor Demand" *Journal of Economic Literature* 34(3) pp. 1264-1292.

Kagawa, S. (2012) *Frontiers of Environmental Input-Output Analysis*. Routledge.

Kondo, Y & S. Nakamura (2005) "Waste Input-Output Linear Programming Model with its Application to Eco-Efficiency Analysis" *Economic Systems Research* 17 (4), 393-408.

Murray, J. & M. Lenzen eds. (2013) *The Sustainability Practitioner's Guide to Multi-Regional Input-Output Analysis*. Champaign, Ill. : Common Ground Pub.

Nakamura, S. & Y. Kondo (2009) *Waste Input-Output Analysis: Concepts and Application to Industrial Ecology*. Springer.

ten Raa, T. (2005) *The Economics of Input-Output Analysis,* Cambridge: Cambridge University Press.

Vogstad, K. (2009) "Input-Output Analysis and Linear Programming" in S. Sangwon (ed), *Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology*. Springer, Ch. 36.

総務省統計局「平成 28 年経済センサス(活動調査)」< https://www.stat.go.jp/data/e-census/2016/index.html>(平成 31 年 1 月参照).

総務省統計局「平成 26 年経済センサス(基礎調査)」< https://www.stat.go.jp/data/e-census/2014/index.html>(平成 31 年 1 月参照).

総務省統計局「平成 22 年国勢調査」< https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/>(平成 31 年 1 月参照).

総務省統計局「平成 27 年国勢調査」< https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/>(平成 31 年 1 月参照).

国立社会保障・人口問題研究所『日本の地域別将来推計人口(平成 30(2018)年推計)』< http://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson18/t-page.asp>(平成 31 年 1 月参照).

環境省『産業廃棄物排出・処理状況調査』各年版.（平成31年1月参照）.
環境省『平成 23 年版環境分野分析用産業連関表(環境 IO)』< https://www.env.go.jp/doc/toukei/renkanhyo.html>(平成 31 年1月参照).
内閣府『県民経済計算』各年版(平成31年1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>(平成31年1月参照).
厚生労働省『平成 23 年度 介護保険事業状況報告』< https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/11/index.html>(平成31年1月参照).
厚生労働省『平成23年度国民医療費』(平成31年1月参照).
総務省『都道府県別決算状況調』< http://www.soumu.go.jp/iken/kessan_jokyo_1.html>(平成31年1月参照).
総務省『市町村別決算状況調』< http://www.soumu.go.jp/iken/kessan_jokyo_2.html>(平成31年1月参照).

### 4.2.2 機械学習による予測方法の考え方

本研究は、今後の日本における人口動態を踏まえつつ、産業廃棄物処理業の将来フレームについて需要と供給の両面から推計を行い、政策立案の基礎となる情報を提供することにある。特に供給側からのアプローチでは、国立社会保障・人口問題研究所の人口予測、および労働政策・研修機構によ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、こうした将来予測の基盤となる、統計的な推計方法を中心に検討した。本研究では、統計モデルを中心とした機械学習(machine learning)の手法を中心としつつ、こうした将来予測を提示することを計画している。本研究が念頭に置くような問題について適切な将来予測を提示するためには、(1)機械学習の分野で発展してきた方法論と、(2)利用する具体的なデータの特性に応じたモデルのチューニングやバイアスの排除、推定方法に関連する方法論の両者が必要になる。特に(2)については、都道府県や自治体レベルで記録されたデータのような地理空間上の位置情報をもつ空間データ(spatial data)を用いた統計解析・予測に固有の問題への対処も必要になる。

以下では、本研究が念頭に置いている機械学習あるいは統計的学習の手法と、都道府県・自治体レベルのような空間データを扱う上で注意を要する問題への対処法を概観・提示する。

#### 4.2.2.1 機械学習と将来予測

一般に機械学習(machine learning)とは、過去のデータの中からパターンやルールを機械的に見つけ出し、現在や将来のデータについて、過去のデータから学習したパターンやルールに基づいて分類・予測を行わせることをいう[29]。いわば、過去のデータにパターンを見つけ出すことで「データが何を言っているのか(what the data says)」を理解する、「データからの学習(learning from data)」を機械的に行う手法といえる[30]。機械学習を計算機(コンピュータ)に実装する具体的な基盤は必ずしも統計学に限らないが(機械学習と計量経済学・統計学はイコールではないが)、統計的推論や確率論は機械学習の柱の一つとなっている。

いわゆるビッグデータの整備や日本政府が推進するオープンデータ化の中で、機械学習、あるいは特に統計学的なアプローチに基づく統計的学習(statistical learning)は、学界・産業界をはじめ多様な分野で活用されるようになっている。たとえば、統計的学習の代表的な教科書の一つである T. Hastie、 R. Tibshirani、 and J. Friedman. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining*、 *Inference*、 *and Prediction*(邦題:『統計的学習の基礎:データマイニング・推論・予測』)は冒頭で、機械学習・統計的学習が活用できる典型的な学習問題として、いくつかの例を挙げている(邦訳 1 頁、下線追加)。

- 心臓発作で入院している患者が、再び心臓発作を起こすかどうかを予測する。この予測は、その患者に対する人口統計学的、食事療法的、臨床的な測定結果に基づくものである。
- 企業の業績と経済情勢のデータをもとにして、6 ヶ月後の株価を予測する。
- スキャンされた画像から、手書きの郵便番号の数字を認識する。

---

[29] 照井伸彦. 2018.『ビッグデータ統計解析入門:経済学部/経営学部では学ばない統計学』日本評論社, 12 頁.

[30] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman. 2009. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, 2nd edition. New York: Springer, xi (邦訳:杉山将ほか訳. 2014.『統計的学習の基礎』共立出版, vii)

また、この他にも、社会科学分野では選挙結果、武力紛争や体制変動の予測へも機械学習の応用が進み、学界のみならず産業界でも存在感を増している。

上記の問題の共通点は、問題には「入力(input)」となる変数と、結果あるいは「出力(output)」となる変数が存在することにある(後述の「教師あり学習」にあたる)[31]。ここで、「入力」とはその値が事前に定まり出力に影響を与える変数を指し、「出力」は入力から影響を受けて定まる変数(結果)を指す。いずれの問題でも、ある入力を用いた機械学習によって、出力について予測値を得ることに目的がある。

こうした学習問題あるいは予測問題は、出力となる変数の種類によって 2 つに大別される。すなわち、量的な出力を予測する問題は「回帰(regression)」と呼ばれ、質的な出力を予測する問題は「分類(classification)」と呼ばれる。たとえば、上述の問題のうち、6 ヶ月後の株価予測のような予測問題は回帰の問題と、スキャン画像からの手書き郵便番号認識のような予測問題は分類の問題と呼ばれる。

これらの学習問題のうち特に下線を付した 2 つ目の問題(回帰の予測問題)は、将来の人口動態を踏まえた地域別の労働力の変化や産業廃棄物発生量の将来推計という本研究プロジェクトの目標にも類似する。過去の企業業績・経済情勢のデータを入力に用いて将来の株価を予測する(出力を得る)という問題と同様に、過去の人口動態・産業廃棄物等のデータを入力として用いてパターンを見つけ出し、将来推計を出力として得ることも、機械学習の手法を応用できる典型的な学習問題(回帰の予測問題)と言える。

本研究では、機械学習の手法と、過去の人口動態・産業廃棄物のデータや関連する指標や経済学的なモデルを入力として用いて、適切な将来予測を提示する。

機械学習の 2 つのクラス:教師あり学習と教師なし学習

一般に、機械学習・統計的学習を用いた予測モデルの構築手法は、「教師あり学習(supervised learning)」と「教師なし学習(unsupervised learning)」に大別できる。上述の「入力」と「出力」の表現を用いれば、教師あり学習は「入力を用いて出力を予測する機械学習」と、これに対して教師なし学習は(予測したい出力は存在せず)「入力のみを用いて入力値同士の関係性やパターンを縮約・整理する機械学習」といえる[32]。

多くの場合、教師あり学習では手元のデータの一部のみを訓練データ(training data)として用いて、予測モデルの構築や予測のためのパターンを抽出するために用いる。次いで、手元のデータのうち、訓練データ以外の部分をテストデータ(test data)として、訓練データから構築した予測モデルを用いてテストデータの入力から出力(予測値)を推定する。こうして得た予測値(たとえば予測株価)とテストデータの観測値(実際の株価)との間のテスト誤差が小さければ、「よい」予測を与えるモデルと評価できる。つまり、教師あり学習は、訓練データとして与えられた「例」あるいは「教師」を参照して予測のためのルールや統計モデルを作成し、得られたルール・モデルを用いて新たなデータに対して予測を提供する機械学習といえる。例えて言えば、「計算機(生徒)が教師(分析者)から正解を教わって例題(訓練データ)を解くことで解き方(パターン)を見出し、まだ教わっていない問題(テストデータ)について正しい回答(予測)を提供できるように学習する仕組み」とも表現できる[33]。たとえば、上述の企業業績・経済情勢を入力とした株価予測の問題も、教師あり学習の問題となる。

このような手順を踏む教師あり学習に対して、教師なし学習では先見的に明確な出力を想定しない。教師なし学習では、株

---

[31] 以下の 2 段落の内容は、前掲『統計的学習の基礎』11-12 頁に基づく。

[32] 前掲『統計的学習の基礎』viiI 頁。

[33] 具体的な表現は異なるが、「教師」と「生徒」の例えは、前掲『統計的学習の基礎』560 頁に基づく。

価や産業廃棄物量のような明確な出力（予測対象）を想定せず、入力のみを用いて入力値間に何らかのパターンを見出すことに目的がある。たとえば、コンビニでの購買データから同時に購入される傾向にある商品をグループ化することや、購買パターンに基づいて顧客をいくつかのグループに分類することが、教師なし学習の例である。前述の Hastie らの例えを使えば、教師なし学習は、いわば生徒が独習を通して（教師に頼らず）例題として与えられたデータに何らかのパターンを見出す学習の仕組みともいえよう[34]。

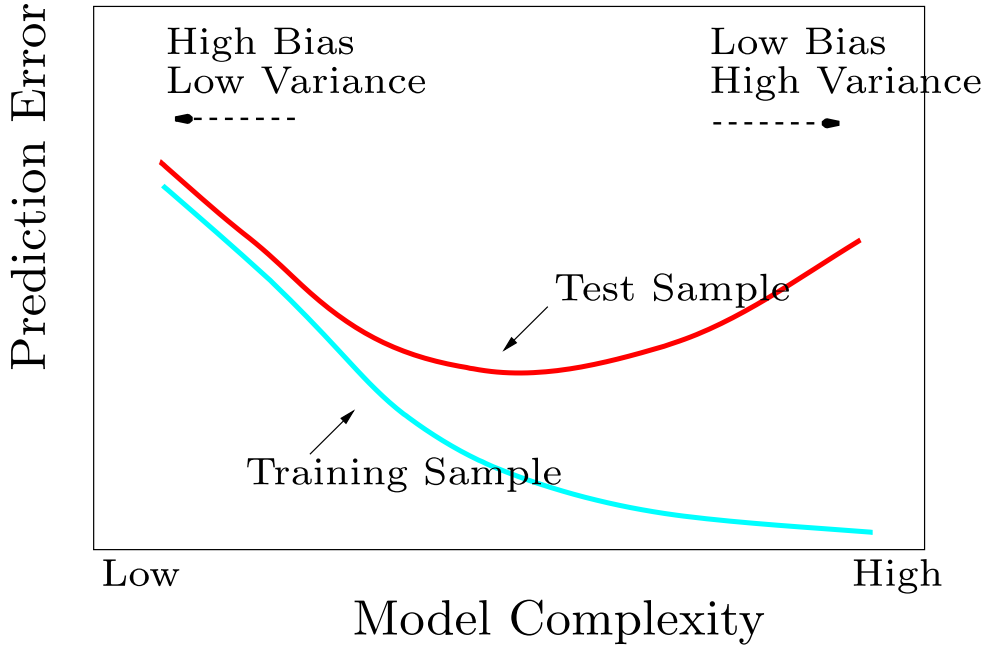
本研究のように、過去の人口動態・産業廃棄物等のデータを入力として、その背後にあるパターンを見つけ出し、将来推計を出力として得ることを目的とした機械学習の応用は、典型的な教師あり学習となる。

予測・学習における過剰適合・過少適合の問題と汎化性能

教師あり学習において予測モデルを構築し、その予測精度を評価する上では、対処が必要ないくつかの方法論的な問題が知られている。特に重要な課題として、訓練データに対する予測モデルの過剰適合（overfitting）・過少適合（underfitting）と、モデルの汎化性能（generalization performance）の問題がある。一般的に、ある（訓練）データを与えられたとき、そのデータを説明・予測するためのモデルを複雑にすればするほど（モデルを特徴付けるパラメータの数を増やせば増やすほど）、モデルから得た推定値と実際の観察値との間の誤差は小さくなる傾向があり、モデルを単純にするほど誤差が大きくなる傾向がある。誤差が小さくなることは一見好ましくも思えるが、「特定のデータ」を説明するためだけにモデルを過度に複雑にしてしまうと、新たに与えられた未知のデータを説明・予測する力が小さくなってしまう。上述の訓練データとテストデータに対応付けると、訓練データを説明することに過度に特化したモデルは、訓練データに対する予測誤差（訓練誤差）を小さくすることはできても、新たに与えられたテストデータに対する予測誤差（テスト誤差）を小さくすることはできず、汎化性能が低くなってしまう。こうした訓練データに過度にモデルが特化してしまう問題を、過剰適合の問題と呼ぶ。言い換えれば、データを生成し、予測に際して有益な／系統的なパターンのみならず、ある訓練データに特有の（idiosyncratic）振る舞いや傾向にまでモデルが適合してしまい、新たなデータを与えられたときの予測力が低い（汎化性能が低い）モデルが作られてしまう。よい予測モデルは、訓練データの背後に潜む「シグナル」（説明・予測に役立つパターン）を抽出するが、過剰適合した複雑なモデルはシグナルだけでなく手元の訓練データに特有の「ノイズ」まで拾い上げてしまい、未知のデータに対する説明・予測力が低くなる. このような過剰適合の問題をもつモデルでは、過去のデータを説明することはできても、将来の政策の基盤となる適切な将来推計を提示できない。

一方で、モデルが過度に単純化され、データを説明するための十分な複雑度をもっていなければ、これまたデータの振る舞いを適切に説明・予測できず、予測値に大きなバイアスを与えてしまう。予測モデルを過度に複雑化してしまうことから生じる過剰適合に対して、モデルを過度に単純化してしまうことから生じるこの問題を、過少適合と呼ぶ。いわば、手元のデータに固有の「ノイズ」を拾い上げる過剰適合のモデルも予測精度に問題がある一方で、「シグナル」を十分に抽出できない過少適合のモデルも現実のデータを的確に説明・予測できない。当然ながら、過剰適合のモデルも過少適合のモデルも、政策の基盤となる的確な予測を提供できない。

[34] 同上。




図表 II-51

図表 II–51：モデルの複雑さと訓練データ・テストデータに対する予測誤差。横軸は予測モデルの複雑さを示し、縦軸は訓練データ・テストデータに対する予測誤差を示す。出所：T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman. 2009. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, 2nd edition. New York: Springer, p.38, Figure 2.11.

上記の Hastie らは、こうした過剰適合と過少適合の問題を、図 II–51 に引用した図を用いて説明している[35]。図表 II–51 は、横軸にモデルの複雑度を、縦軸に訓練データとテストデータそれぞれに対するモデルの予測誤差を示している。青の実線はモデルの複雑さと訓練データに対する予測誤差の関係を示し、赤の実線はモデルの複雑さとテストデータに対する予測誤差の関係を、それぞれ示す。学術的に込み入った詳細は省略するが、この図は上述の過剰適合と過少適合の問題に関連する 3 つの点を明らかにしている。第 1 に、図の右半分から読み取れるように、モデルの複雑性を増加させることは、「訓練データのみに対する予測誤差」を小さくすることはできても、「テストデータに対する予測誤差」を小さくすることはできず、かえって誤差を増加させることさえある。つまり、モデルを複雑化させることで手元のデータ「だけ」を説明・予測できる（訓練データに対する予測誤差が小さい）モデルを構築することはできても、そうした複雑過ぎるモデルは訓練データに過剰適合している傾向があり、新たなデータを適切に説明・予測できない（テストデータに対する予測誤差が大きくなってしまう）。

第 2 に、図の右半分から読み取れるように、モデルをあまりに単純化することも過少適合に繋がってしまい、訓練データ・テストデータいずれに対する説明・予測力を低下させてしまう。訓練データに対する予測誤差とテストデータに対する予測誤差の両者ともに、モデルが最も単純な図の左端で最も大きくなり、モデルから得た予測が正確な予測から乖離することを示している。第 3 に、図の中央部分からよみ取れるように、新たなデータに対する予測誤差（テスト誤差）を最小にするような、中程度に複雑なモデルがある。こうした中程度に複雑なモデルは、過剰適合・過少適合の両者を避け（バランスさせ）、高い汎化性能を実現していると解釈できる。

---

[35] Hastie et al., p.38, Figure 2.11.

実際の研究でも、こうした中程度に複雑な、汎化性能の高いモデルを構築する必要がある。問題は、モデルのベースとなる予測方法と訓練データが与えられたとき、どのようにモデルの複雑度を決定するかにある。以下で導入するように、計量経済学や統計的学習の分野では、こうした問題に対処するための理論・方法が提案されている。本研究でも、こうした理論・方法を用いて過剰適合・過少適合の問題に対処し、汎化性能の高い予測モデルを構築していく。

モデル選択・予測力検証の方法

上述のような予測モデルの過剰適合・過少適合の問題は教師あり予測における一般的な問題であり、対処法についても議論・研究の蓄積がある。本研究でも、将来推計のための予測モデルの構築・評価について、こうした知見を踏まえた手順をとる。具体的には、過剰適合と過少適合の問題に対処する方法の一つに、クロスバリデーション（cross validation、 交差確認）法がある。そもそも、上述のような問題、特に過剰適合が生じる原因の一つは、モデルの構築とその予測精度の評価に同じデータを用いることにある。つまり、訓練データのみを用いてモデル構築と予測精度評価を行ってしまうと、図表 II-35 の右半分のように過剰適合の問題が生じてしまう。こうした問題は、訓練データとは独立なテストデータを別に用意し、モデルの構築には訓練データを、予測精度の評価にはテストデータを用いることで回避できる。

とはいえ、手元のデータ以外に新たなデータを別に入手できるとは限らない。たとえば、本研究のような将来予測においては（新たなデータや「正解」は将来にしか入手できないため）、現在入手可能なデータのみを用いて予測モデルを構築し、その予測精度を評価する必要がある。クロスバリデーション法は、手元のデータをいくつかの部分集合に分割することで、新たなデータが入手できない（しばしば現実的な）状況においてモデル構築と予測精度評価を適切に行う手法といえる。

具体的には、クロスバリデーション法では次のステップでモデル構築と予測精度評価を行う。まず、(1) 手元のデータをいくつかの（$k$ 個の）部分集合に分割する。たとえば、1,000 の観察があるデータについて $k$=5 個とする場合は、全体のデータを各々200 の観察からなる 5 つの部分集合に分割する。次いで、(2) 5 つの部分集合のうち 4 つを訓練データとして用いてモデルを構築し、除外しておいた 1 つの部分集合をテストデータに用いてモデルの予測性能を評価する。モデルを構築する際には最後の 1 つの部分集合（テストデータ）に含まれる情報は一切参照されていないため、モデルにとってテストデータは「新たに得られたデータ」となり、モデルの予測精度・汎化性能を評価する「新たな問題」として用いることができる。さらに、(3) この作業をテストデータとして用いる部分集合を変更して 5 回繰り返す。つまり、5 つの部分集合のうち、「1 つ目の部分集合をテストデータして用いる場合、2 つ目の部分集合をテストデータして用いる場合・・・」といった具合に、それぞれの部分集合をテストデータとして（その他の 4 つの部分集合を訓練データとして）用いたモデル構築・予測精度評価を繰り返す。なお、(4) 5 つの部分集合への分割の仕方は多様に考えられるため、(1) から (3) の作業をデータの部分集合への分割の仕方を無作為に変えて多数回繰り返すことで「特定の分割の仕方」が予測精度の評価結果を左右することを避ける。最後に、こうして得られた予測精度評価の結果を、平均や分散を用いて要約する。

こうした作業により、「新たなデータ」や「将来のデータ」を実際に入手することなく、手元にあるデータのみを用いてモデルの予測精度・汎化性能を適切に評価することができる。本研究でも、以下に詳述するようなデータの空間構造の問題にも配慮した上で、こうしたクロスバリデーション法のような手法を用いて将来推計のための予測モデルを構築・評価する。

#### 4.2.2.2 空間データ特有の問題

ここまでに論じた予測モデルの構築・評価の一般的な課題に加えて、都道府県や地域レベルのような地理的に分解された／非集計化された（disaggregated）単位の空間データ（spatial data）の解析・モデル化に特有の問題もある。一般に、空間データとは緯度経度のような位置情報を含むデータを指し、典型的には地理情報システム（geographical information system、 GIS）などを用いて作成・管理される。空間データの解析では、近隣自治体同士が相互に類似した特徴をもっていたり、ある自治体における政策が当該自治体だけでなく近隣自治体にも影響を与えたり、「地域性」のような観察不可能／困難な要因が政策とその結果両方に影響を与えたりといった、統計解析や予測上配慮が必要な空間的影響や空間的依存生への対処が必要になる。

予測モデルの特定におけるデータの空間構造の配慮

伝統的な計量経済学や統計学のモデルでは非空間的なデータが想定されることが多く、標本／データに含まれる個々の観察単位は空間的には独立（上記のような空間的影響はない）と想定される。しかし、空間データの解析では、空間的影響・依存性をもつデータの構造をモデル化し、予測モデルを構築・評価する必要がある。データの空間構造を踏まえた解析は、モデルから欠落した変数・要因を排除しバイアスのない予測を得る上でも、モデルの予測精度を適切に評価する上でも重要になる。モデルを構築する上でデータの空間構造を無視すれば、モデルから得られた予測値にバイアスが生じかねない。同様に、モデルの予測精度を評価する上でデータの空間構造を無視すれば、モデルの予測精度を過大に評価してしまう。特に、後者の予測精度評価の問題は、上述のクロスバリデーションのような標準的な手法を適用するだけでは対処できないことも知られている。

こうしたデータの空間構造の問題に対処するため、本研究では 2 つのアプローチを用いる。第 1 に、空間構造をもつデータを扱うために近年急速に発展している、空間計量経済学・空間統計学のモデルを導入し、データの空間構造を踏まえた予測モデルを構築する。伝統的なモデルとは異なり、空間計量経済学・空間統計学では、データを構成する個々の観察単位（たとえば都道府県や自治体）間の空間的な近接性や互いに影響を与える経路を、追加的な変数やモデルの誤差を評価する要素として加える。こうしたアプローチによって、データの空間構造を踏まえた予測モデルを構築でき、上述のようなバイアスを回避できる。なお、空間計量経済学と空間統計学はしばしば同義に用いられるが、前者は行政区画のような離散的な観察単位を念頭に発展してきたのに対し、後者は地理空間上での連続的な観測地点を念頭に発展してきたという違いがある。本研究では主に都道府県のような（空間的に離散的な）観察単位を扱うため、主に空間計量経済学のアプローチを用いる。

予測精度の検証におけるデータの空間構造の配慮

第 2 に、モデルの予測精度を評価する上でも、伝統的な手法を拡張した、データの空間構造を踏まえた検証手法を用いる。伝統的な計量経済学や統計学と同様に、上述のようなモデルの予測精度を評価する標準的な枠組みは、データの空間構造を明示的に踏まえないことが多い。もっとも、予測モデル自体についてはデータの空間構造を踏まえたモデルを構築することもあるが、構築したモデルの予測精度を評価する上では上記のクロスバリデーション法のような非空間的な枠組みを用いることが一般的となっている。

しかし、モデルの空間構造を看過した検証手法は、モデルの予測精度を過大に評価してしまう。これは、訓練データのみを用いてモデルを構築し、その予測精度を評価してしまうと、モデルが訓練データに過度に適合してしまうという、上記の過剰適合の問題に類似する。空間構造を持たないデータであれば、訓練データとは独立のテストデータを用いてモデルの予測精度を評価するということで、過剰適合の問題を回避できる。たとえば、上述のクロスバリデーション法のような手法を用いることが考えられる。これに対して、データが空間的な構造をもつ場合には、こうした標準的な手法だけでは過剰適合の問題に対処できない。

これは、データが空間的な構造をもつ場合、たとえばクロスバリデーション法を用いて手元のデータを訓練データとテストデータに無作為に分割したとしても、訓練データとテストデータが「空間的に」相互に関連してしまい、独立とならないという問題に由来する。そもそも、クロスバリデーション法のような予測精度評価手法の有効性は、テストデータが訓練データとは独立しているため、予測モデルの構築にはテストデータに含まれる情報が使用されないということによる。訓練データとテストデータの独立性故に、訓練データを用いて構築した予測モデルが、新たなデータを与えられたときにどの程度汎化可能な予測能力をもつかを(テストデータという擬似的な「新たなデータ」を使って)評価できる。

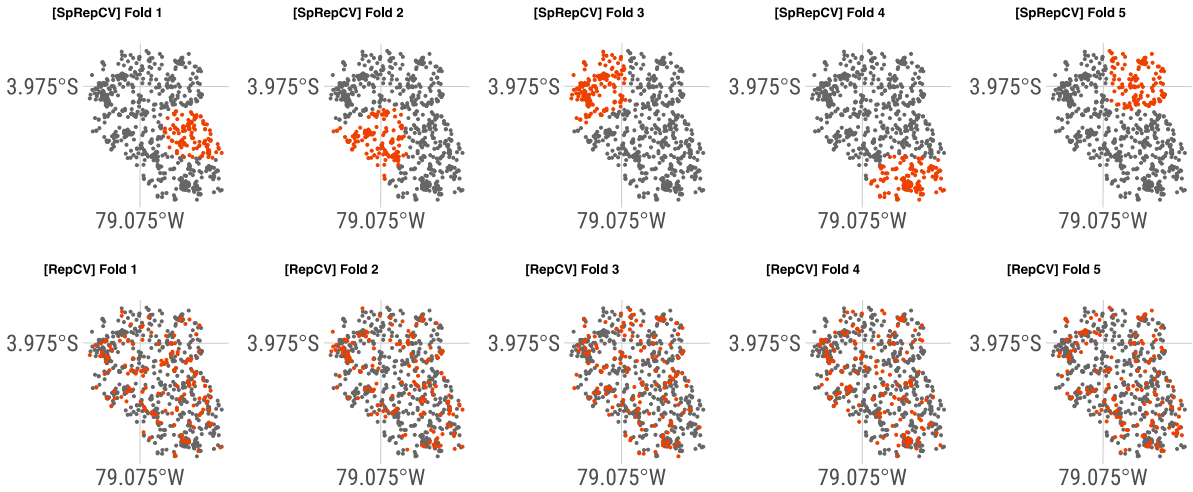
したがって、訓練データとテストデータに含まれる観察単位が相互に独立していなければ、当然クロスバリデーション法による予測精度評価の妥当性も失われてしまう。地理的に近接する観察単位が類似する特徴をもっていたり、互いに影響し合ったりといった空間的影響・相互依存が存在する空間データでは、手元のデータを単純に(訓練データとテストデータに)無作為に分割しただけでは、訓練データとテストデータの独立性を担保できない。たとえば、訓練データに含まれる観察単位 $i$ (たとえば、ある自治体)が、テストデータに含まれる他の観察単位 $j$ の近隣に位置する場合、観察単位 $i$ に含まれる情報が(データの空間構造の故に)地理的に近接する他の観察単位 $j$の情報を部分的に含んでしまう。こうした空間的構造が存在する場合、本来はテストデータにのみ含まれるべき情報が訓練データの中に含まれてしまい、(訓練データとテストデータの独立性が失われ)モデルの予測精度を適切に評価できなくなってしまう。

空間データを用いる際に生じるこうした問題に対処するため、本研究ではデータの空間構造に配慮した予測精度の検証手法を応用する。具体的な手法としては、たとえば、A. Brenning が提案した空間的クロスバリデーション法がある[36]。空間的クロスバリデーション法は上述の標準的なクロスバリデーション法をデータの空間構造に配慮する形で拡張したもので、上述のクロスバリデーション法の一般的な 4 ステップのうち、特に「(1)手元のデータをいくつかの($k$ 個の)部分集合に分割する」ステップを、空間的な情報を反映する形で拡張する。具体的な拡張方法はいくつか提案されているが、典型的には観察単位の(幾何中心点の)緯度経度のような位置情報を、データ全体を部分集合に分割する上で活用する。すなわち、データに含まれる観察単位を、その位置情報を反映させつつ(近接する観察単位が同じ部分集合に入る形で)$k$ 個の部分集合に分割する。図表 II-51 には、統計処理言語 R 向けの mlr パッケージとサンプルデータを用いて、空間的クロスバリデーション法と通常の(非空間的)クロスバリデーション法それぞれにおけるデータの部分集合への分割の様子を図示した[37]。

---

[36] A. Brenning. 2012. Spatial cross-validation and bootstrap for the assessment of prediction rules in remote sensing: the R package 'sperrorest'. 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 23-27 July 2012, 5372-5375.

[37] Bernd Bischl, Michel Lang, Lars Kotthoff, Julia Schiffner, Jakob Richter, Erich Studerus, Giuseppe Casalicchio, and Zachary M. Jones. 2016. "mlr: Machine Learning in R." *Journal of Machine Learning Research* 17(170): 1-5.




図表 II- 52

図表 II-52:標準的なクロスバリデーション法と空間的クロスバリデーション法によるデータの部分集合への分割。各図の点はデータに含まれる観察を、縦軸と横軸は、それぞれ緯度と経度を示す。また、オレンジの点はテストデータに含まれる観察を、グレーの点は訓練データに含まれる観察を示す。

図表 II-52 下の行に示した 5 つの図のように、データの空間構造を無視して部分集合に分割してしまうと、上述のように訓練データとテストデータの独立性が失われてしまい、モデルの予測精度を過大評価してしまう。空間的クロスバリデーション法では、図表 II-52 上の行に示した 5 つの図のような要領で部分集合への分割方法にデータの空間構造に配慮することで、テストデータのみに含まれるべき情報が訓練データに反映されてしまう問題を回避する。

こうした手法の社会科学分野への応用は未だ進んでいないが、本研究では扱うデータの構造・特徴に配慮し、空間的クロスバリデーション法のような手法を応用することで予測モデル構築と予測精度評価の妥当性を向上させる。

## 4.3 AI、 IoT を活用した生産性向上の技術的課題の検討

AI、IoT を活用した生産性向上の検討に向けた勉強会

サブテーマの業務内容

このサブテーマでは、AI、IoT といった先端技術を活用して、省人化・生産性向上につながる方策を検討するために、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・経済学の専門家により深く理解してもらうことを目的として、勉強会を3回実施した。第1回は、IoT、AI 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。

| | | |
|---|---|---|
| 第 1 回 | 2018 年 8 月 30 日(木) | IoT、AI の現状と可能性、今後の課題 |
| 第 2 回 | 2018 年 10 月 16 日(火) | ブロックチェーンの仕組みと可能性、今後の課題 |
| 第 3 回 | 2018 年 12 月 26 日(水) | 各種 IT 技術の適用可能性とメリット、デメリット、課題整理 |

勉強会実施内容

(1)第 1 回勉強会

| | |
|---|---|
| テーマ | IoT、AI の現状と可能性、今後の課題 |
| 日時 | 2018 年 8 月 30 日(木) 14:00～17:10 |
| 場所 | (株)インテック 東京本社 610 会議室 |
| 参加者 | 14 名(講師、オブザーバ含む。1 名は高岡から TV 会議参加) |
| 内容 | (a)IoT の現状と可能性<br>講師 (株)インテック 先端技術研究所 古瀬、樋口<br>(b)AI(画像、ニューラルネットワーク、ディープラーニング)の手法と可能性<br>講師 (株)インテック 先端技術研究所 青木<br>(c)AI(機械学習全般)の手法と可能性(ディープラーニング以外)<br>講師 (株)インテック 先端技術研究所 橋本<br>(d)適用アイディアの議論(効率化、省力化、有効性、実現性) |

＜概要＞

(a) IoT の現状と可能性

IoT(Internet of Things)とは、いろいろなモノがインターネットに接続し、相互に情報をやり取りすることである。これまでインターネットにつながっていなかったモノがつながるようになった。

・人(スマホ/ウェアラブルなど)

・各種センサー（温度/湿度/加速度/人感/二酸化炭素など）

・家電機器や機械（エアコン/自動車/工場設備など）

・その他いろいろ

さまざまなモノを統合的に管理するために、IoT プラットフォームが使用されることが一般的である。ネットワークの末端（エッジ側）のセンサーやアクチュエーターの制御と、センター側のデータベース(DB)や分析ツールを利用して、ビッグデータの収集・蓄積から分析・可視化を可能とする。

IoT を利用することのメリットは、次の 2 点がある。

・必要なタイミングで情報のやり取りが可能

モノの状態を知る。モノを制御する

・正確な情報収集と作業の自動化・省力化が可能

正確な時刻、正確な測定値、人に依存しない自動処理

IoT の課題は以下が考えられる。

・標準が存在しない。

複数規格の並存。やってみないと分からない

・セキュリティ対策が必須

専用機器が多く、セキュリティ対策が確立されていない

・電源が必要

外部電源はほとんど無く、バッテリーの交換が必要

・多様なデータの収集と保存が大変

多種類のデータ種別、大量のデータ量

データ量削減の工夫が必要

IoT に課題はあるものの、データの活用は今後も進むと考えられる。活用ステップは、1)まず可視化から始め、2)AI との連携や予兆保全への活用、3)サイバー空間と物理空間の相互連携・シミュレーションへと進むと考える。

データ収集・蓄積の技術について説明する。データソースには公共性の高いオープンデータや民間企業が販売するデータ（例えば気象データ）が利用可能である。これらに加えて自社で独自にデータを収集することになる。既存機器からデータを収集できるかどうかは確認が必要であり、多くの場合は新たにセンサーを設置することになる。

| | |
|---|---|
| 主なセンサーの種類 | 温度、湿度、気圧<br>電流、電圧、磁気、方位<br>速度、加速度(振動)、角速度<br>光（可視光/赤外線/紫外線など）<br>音（周波数、強度など）<br>ガス(CO2/爆発性/毒性など）<br>画像(色判別/キズ検知など） |

機器から収集したデータは施設のゲートウェイで一旦集約され、通信によってセンター側に送信される。通信規格は多数あり、用途に応じて通信規格を選定する。

| 通信距離 | 無線通信規格 |
|---|---|
| WAN(>km) | SIGFOX<br>LoRaWAN<br>NB-IoT<br>LTE<br>5G |
| LAN(100m) | Wi-SUN<br>Wi-Fi |
| PAN(10m) | ZigBee<br>Z-Wave<br>Bluetooth |
| BAN(1m) | NFC |

【参考】https://businessnetwork.jp/Portals/0/Data/2017/01/19/lpwa001.gif

センサーデータの種別は多数になることが考えられる。温度などは収集間隔が長く、モーターの回転数は収集間隔が短くデータ量が大量になる。データ収集に際しては、データの種別や時間情報を付加して、必要なデータをセンター側に送信する。センター側のデータ蓄積は、従来のリレーショナルデータベースよりも時系列データベースが適する。蓄積したデータを活用して、可視化・統計処理・機械学習といった分析が行われる。

廃棄物処理へのIoT活用には以下が考えられる。

| | |
|---|---|
| 収集・運搬 | 集積量の検出(センサー、画像)<br>回収スケジュール予測<br>回収ルート最適化<br>収集量測定、積卸し量測定 |
| 処理場 | 施設稼働率予測<br>設備稼働の適正測定<br>CO2 排出権の管理 |

ただし、センサー設置環境が厳しいことが予想され、

- 耐水/防水、防塵、防爆
- 配線可否(電源:バッテリー/太陽電池、通信:無線/有線)
- 電磁ノイズ

の考慮が必要である。

(b)AI(画像、ニューラルネットワーク、ディープラーニング)の手法と可能性

AI(Artificial Intelligence)とは、コンピュータ上などで、人工的に人間と同様の知能を実現させようという試み、および、そのための一連の基礎技術(Wikipediaより)を指す。

応用が期待される技術として、会話処理、画像認識、音声認識、自然言語処理、検索技術、ロボット制御、機器制御、画像解

析、予測技術、言語変換、推論処理など多数に渡る。

AI ブームは過去に 2 度あり、現在第 3 次 AI ブームと言われ、2030 年の国内市場規模は約 87 兆円と予測されている(EY 総合研究所)。

現在の AI ブームを牽引しているのはディープラーニング(DL)に依るところが大きい。DL によって一般物体の認識が可能になり、これまでの画像認識手法に比べて 10%以上エラー率が向上した。これまでの画像処理手法では、人が特徴を見つけたり特徴の閾値を見つけて記述していた。DL では、コンピュータが特徴や閾値を学習して見つけることができるようになった。DL を使った画像処理の応用分野には、医療画像分野、手書き文字認識、製品検査(傷や不良品)、防犯(不審な動き)、自動運転(危険な物体の認識)が期待されている。しかしながら、

・特定の条件下では人を超えるが、その条件の外では使いものにならない

・教え込むのが大変

・教え込んだ以外のことはできない

といった課題があり、解決に向けて取り組まれている。

AI は何でも得意なわけでなく、従来手法の画像処理と比べて得手不得手がある。現在は限られた条件のもとでしか性能を発揮できないが、今後の労働力不足に対して AI の導入は避けられない。AI を上手く使っていくことが重要である。

(c)AI(機械学習全般)の手法と可能性(ディープラーニング以外)

学問としての人工知能は明確な定義があるわけでなく、認知科学、ロボティクス、機械学習、最適化理論、パターン認識技術、自然言語処理など多くの分野の複合的な学問領域と言える。機械学習は、人工知能における学習にフォーカスした研究分野で、データに潜む規則や構造を抽出することにより、未知の現象に対する予測やそれに基づく判断を行うための計算技術の総称である。

機械学習の特徴には以下がある。

・機械学習はデータからパターンやルールを見つけ出す手法

・機械学習の精度は 100%ではない

・機械学習にはデータが重要

・機械学習が不得意な問題がある

機械学習は、大きく教師あり学習と教師なし学習に分類できる。教師あり学習の主要な応用は、回帰と分類がある。回帰問題の具体例には、不動産賃貸物件の条件と賃料の推定、広告予算と売り上げの推定がある。分類の具体例には、手書き文字認識、迷惑メール識別、クレジットカード不正利用検知がある。教師なし学習の主要な応用は、クラスタリング、次元削減、異常検出がある。クラスタリングの具体例には、購買パターンと顧客層の分類、がん細胞遺伝子の病態分類がある。次元削減の具体例には、アンケート結果の分類がある。異常検出の具体例には、ネットワークへの侵入検知がある。

| 分類 | 主要な応用 | 具体例 |
|---|---|---|
| 教師あり学習 | 回帰 | ・不動産賃貸物件の条件と賃料の推定<br>・広告予算と売り上げの推定 |
| | 分類 | ・手書き文字認識<br>・迷惑メール識別<br>・クレジットカード不正利用検知 |
| 教師なし学習 | クラスタリング | ・購買パターンと顧客層の分類 |

| | | |
|---|---|---|
| | | ・がん細胞遺伝子の病態分類 |
| | 次元削減 | ・アンケート結果の分類 |
| | 異常検出 | ・ネットワークへの侵入検知 |

機械学習の代表的な手法には以下がある。

| 分類 | 応用分野 | 代表的な手法 |
|---|---|---|
| 教師あり学習 | 回帰問題 | ・線形回帰<br>・スパース推定<br>・その他の回帰手法 |
| | 分類問題 | ・ロジスティック回帰<br>・ナイーブベイズ<br>・線形判別分析<br>・サポートベクトルマシン<br>・決定木<br>・ランダムフォレスト<br>・ニューラルネットワーク |
| 教師なし学習 | クラスタリング | ・k-means<br>・階層的クラスタリング<br>・DBSCAN |
| | 次元削減 | ・主成分分析<br>・多様体学習 |
| | 異常検出 | 局所異常因子<br>One Class SVM |
| | その他の手法 | 相関ルール分析 |

⑵第２回勉強会

| | |
|---|---|
| テーマ | ブロックチェーンの仕組みと可能性、今後の課題 |
| 日時 | 2018 年 10 月 16 日(火) 15:00～17:40 |
| 場所 | (株)インテック　東京本社　103 プレゼンルーム |
| 参加者 | 12 名(オブザーバ含む) |
| 内容 | (a)ブロックチェーンの仕組みと可能性<br>講師 (株)インテック　先端技術研究所　古瀬<br>(b)質疑、意見交換 |

＜概要＞

ブロックチェーンの仕組みと可能性

ブロックチェーンは、価値の交換を実現した分散台帳技術である。

- 価値の取引を中央管理者なしで実現した
- 止まらない、改ざん困難、監査性がある

といった特徴を持つ。金融以外の分野にもユースケースが広がっており、将来の市場規模は 67 兆円と言われている。

元々はビットコインを実現するために考案されたデータ記録のしくみであるが、ビットコイン以外の応用が検討されている。ビットコインのブロックチェーンはパブリック型であるが、高速性、拡張性を付加するために、コンソーシアム型ブロックチェーンが開発されている。また、信頼できる取引を可能とするために、スマートコントラクトという契約を自動執行する機能が付加されたブロックチェーンが開発されている。

ブロックチェーンでは、楕円曲線暗号方式、ハッシュ関数、デジタル署名といった暗号技術により安全性が実現されている。

ビットコインのブロックチェーンは最初のブロックチェーンであり、基本形のブロックチェーンと言える。P2P ネットワークの上で Proof of Work(PoW)による合意形成が行われ、不特定多数が参加しても取引の安全性が確保される。その反面、処理速度が遅く、拡張性が低いという欠点を持つ。

イーサリアムはスマートコントラクトの実行を可能とするブロックチェーンである。エスクロー取引の代替や証券取引への応用が期待されている。スマートコントラクトの実行には仮想通貨イーサーが必要である。これによって無限ループになっても処理が停止するとともに、不正な攻撃を防ぐことができる。反面、スマートコントラクトの実行にはどうしてもイーサーが必要になり、コスト負担となっている。

Hyperledger Fabric は上記の欠点を改善して企業での利用を企図したブロックチェーンである。処理の高速性やアクセス権限による秘匿性を確保するとともに、スマートコントラクト(チェーンコード)の実行を可能としている。

ブロックチェーンは非中央集権的な分散台帳を持ち、改ざんしにくさと透明性を確保したデータ記録の仕組みである。処理速度や拡張性を改善する取り組みが行われており、金融分野だけでなく、流通分野、マスターデータ、シェアリングエコノミー、リーガル分野、ヘルスケア、行政サービスへの応用に向けて様々な取り組みが行われている。

⑶第 3 回勉強会

| | |
|---|---|
| テーマ | 各種 IT 技術の適用可能性とメリット、デメリット、課題整理 |
| 日時 | 2018 年 12 月 26 日(水) 14:00～16:50 |
| 場所 | (株)インテック　東京本社　609 会議室 |
| 参加者 | 12 名(オブザーバ含む) |
| 内容 | (a) 各種 IT 技術のサプライチェーン応用事例の紹介<br>講師 (株)インテック　先端技術研究所　古瀬<br>(b)意見交換 |

＜概要＞

各種 IT 技術のサプライチェーン応用事例の紹介

「産業廃棄物処理業の振興方策に関する提言」(環境省、2017 年)では、人口減少による労働力不足、中長期的な廃棄物発生量の減少、資源循環率の向上が予測されている。一方で、不法投棄の抑制、労働環境の改善といった課題が指摘され、安直な価格競争に陥らずに生産性向上に取り組むべきとの提言がなされた。

廃棄物の処理過程はサプライチェーンマネジメント(SCM)と捉えることができ、動脈での取り組みが参考になると考える。SCM では、個別の IT システムを連携させ、

- リードタイムの短縮

- 在庫の最適化
- 売上げの最大化
- コストの最小化
- 需要変動への素早い対応

を図っている。より高度な製造業のデジタル化を目指して、ドイツの Industry 4.0、アメリカの Industrial Internet が提唱され、日本では Connected Industries（コネイン）が提唱されている。

コネインでは、様々な業種、企業、人、機械、データなどがつながって AI 等によって、新たな付加価値や製品・サービスを創出し、生産性を向上する。ひいては高齢化、人手不足、環境・エネルギー制約などの社会課題を解決することを目指している。その取り組みの一つに、IVI(Industrial Value Chain Initiative)では、IVI 未来プロジェクトと銘打ち、個社の知財を守りつつ情報連携を実現するゆるやかな標準作りを行っている。

サプライチェーンにおける企業間の情報連携の方法として、ブロックチェーン(BC)を利用した実証実験さらには実業務への適用が進められている。代表的な例では、食品トレーサビリティ、貿易取引がある。また、再生エネルギー取引にスマートコントラクトを利用する取り組みが行われている。

廃棄物分野における IT システムは、公的なシステムとして電子マニフェスト、産廃処理業者検索「さんぱいくん」がある。また、各処理業者は廃棄物情報管理システムを導入しており、個々に IT 化を進めている。先進的な取り組みでは、AI 分別ロボットの導入、廃棄物収集量のカメラ画像認識がある。

勉強会意見交換で得られた方向性

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 IT システムの活用アイディアとして以下が上がった。

| 対象 | 内容 | 補足 |
|---|---|---|
| 契約 | 契約の電子化 | 更新、監査の効率化 |
| | 優良業者の BC 記録 | 「さんぱいくん」のエビデンスとしての BC 記録<br>排出事業者が使うためのメリットも必要 |
| 収集 | 集積量の検出（センサー、画像） | 量の見積りと収集タイミングの導出 |
| | 回収スケジュールの AI 予測 | |
| | 高機能分別 BOX | IoT で投入分別する |
| | 廃棄物センシング | 廃棄物内容のスキャン。危険物検知<br>品目別回収量推定 |
| | 電子マニフェスト入力端末の使用 | 紙並みの手軽な入力 |
| | 電子マニフェストの IoT 化（自動入力） | |
| 運搬 | 回収ルートの 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) | 運搬量の適正確認 |
| | 収集量測定、積卸し量測定(センサー、画像) | 運搬量の適正確認 |
| | IoT によるトレーサビリティ | |
| | 家庭ごみの有料シールの画像認識 | 人の負担を軽減する |
| | 運搬のエスクロー取引(スマートコントラクト) | 正しく処理されたら決済される |
| 処理場 | 施設稼働率予測 | |
| | 設備稼働情況の監視 | |
| | BC と連携した CO2 排出権の管理 | |
| | 品目別在庫管理(空きの確認)<br>空き情報の公開 | 過剰な受け入れ防止<br>契約先の状況確認 |
| | 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) | |
| | 処分ラインの IoT センシング | 適正処理の担保 |
| | ドローンによる最終処分場モニタリング | |
| 全般 | BC による処理過程記録(業者間情報共有) | 業者が情報を入れるメリットが必要<br>BC による処理過程の見える化 |
| | BC による適正処理記録 | 「さんぱいくん」のエビデンスとしての BC 記録<br>保険額との連携 |
| | 電子マニフェストの部分利用 | 紙マニフェストとの併用 |
| | 電子マニフェストの代行 | 零細業者に代わって適正に処理する |
| | マニフェスト報告フォーマットの統一化 | |

現場へ IT 技術を応用するには現場の意見も重要であることから、廃棄物処理業者や有識者にヒアリングして、ニーズ、重要度、効果、実現性、課題、法規制、環境負荷、コストなどについて次年度に検討する予定である。

## 4.4 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

### 4.4.1 情報技術活用とトレーサビリティの経済分析

廃棄物処理における重要な問題の一つとして情報の非対称性があげられる。廃棄物処理の取引においては、適正な処理を行ったか否かなどの処理の内容に関する情報は処理事業者が保有し、排出事業者がそれを知ることは難しい。これは不適正処理を行ったとしてもそれが発覚する確率が低いという事実につながるため、情報の非対称性の存在は処理事業者にとって不適正処理を行いやすい環境を生み出している。また、廃棄物処理を適正に行うためには、処理される廃棄物の組成に関する正しい情報を得る必要がある。しかし、廃棄物の組成に関する情報は多くの場合、排出事業者が一方的に保有し、それを処理事業者が調査することは費用的にも技術的にも困難である。このような状況のもとでは、排出事業者が組成についての情報を処理事業者に正しく伝えない誘因が存在する。たとえば、排出事業者が処理事業者に処理を委託する廃棄物のなかに特別な処理が必要な廃棄物が含まれている場合、それを正しく処理事業者に伝えることは処理費用の増加につながるため、排出事業者には組成についての情報を処理事業者に伝えないインセンティブが存在する。このように廃棄物処理の取引では、処理に関する情報が特定の主体に偏在するいわゆる情報の非対称性が存在し、それが廃棄物処理の適正化を困難にしている。

このような情報の非対称性に起因する問題を解決しうるものとして注目されているのが近年急速に進歩している情報通信技術(ICT)の廃棄物処理取引への導入である。仮に、排出事業者が排出した廃棄物の行方を追跡することのできるシステムが導入されれば、処理の内容についての情報の非対称性の問題は解消され、不適正処理の抑制に寄与することが期待できる。また、現状廃棄物の流れはマニフェスト制度によって管理される仕組みになっているが、それは人間の手で記入・入力する仕組みが基本であり、実態の把握が難しいのが現状である。このような状況で、処理施設において自動的に重量を測定する装置を導入し、それをネットワークにつなぐことで、廃棄物の動きを正確に把握し、廃棄物処理の透明化を促すことができる可能性もある。このように ICT は廃棄物処理の適正化に大きく貢献できる可能性を秘めており、この導入が廃棄物処理にかかわる各主体の行動にどのような影響を与えるのかを経済学的に明らかにすることは社会的にも非常に重要な課題であるといえる。

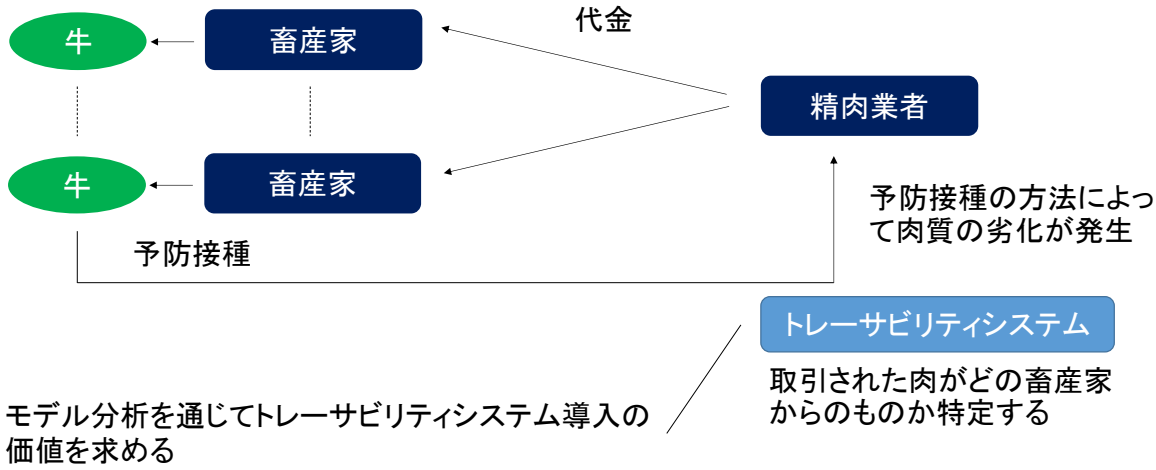
1970 年代以降、経済学の分野では情報の非対称性について盛んに研究が進められてきた。しかし、その一方で ICT を明示的に取り扱った研究はいまだ発展途上にあるといえる。本プロジェクトでは ICT の導入が廃棄物処理取引にかかわる主体の行動に与える影響、及びそれが処理の適正化に影響を与えるか否かについて分析を行うことを目的としているが、廃棄物処理における ICT の導入の効果の分析を検討した先行研究は管見の限り存在しない。そこで本年度においては廃棄物処理に対する ICT 導入の効果の経済学的分析を行うための準備として、経済学において ICT がどのように分析されたのかについて整理を行った。

ICT についての経済学的な研究に関しては、ICT の導入が企業の生産性や一国経済の成長に与えた影響について、実際のデータを用いた実証研究が比較的多く行われてきた。一方で、本プロジェクトの目的である経済学の理論を用いたモデル分析は ICT 研究の分野ではこれまで十分に行われてこなかった。ICT を取り上げた数少ない理論的な経済学研究の中で注目されるのが、農業経済学の分野で行われてきたトレーサビリティの研究と、産業組織論の文脈のなかで行われている ICT が組織構造や組織の生産性に与える影響の分析である。本プロジェクトでは、廃棄物処理取引市場における ICT 導入効果を分析する経済モデルを構築するための準備として、2018 年度は先行研究において ICT が経済学的にどのように扱われて

いるのかの整理を行った。以下ではこの本プロジェクトで注目した 2 つのモデルの概要を示し、廃棄物処理研究への応用の可能性について整理を行った。

トレーサビリティシステムの経済学的分析

まず、農業経済学の分野におけるトレーサビリティの研究で注目されるのが、Moises A. Resende-Filho and Brian L. Buhr (2008)である。本研究は精肉取引におけるトレーサビリティシステムの導入に注目し、経済理論モデルを基礎にトレーサビリティシステムの導入によってもたらされる経済的な価値の導出を行っている。図表 II-53 はこの分析が想定している状況をイメージにしたものである。




図表 II- 53： Moises A. Resende-Filho and Brian L. Buhr（2008）のモデルのイメージ

プレイヤーとしては精肉業者と畜産家を想定し、精肉業者が畜産家から牛肉を購入する状況を考えている。畜産家は牛を育てるが、その際に病気を防ぐための予防接種を牛に施し精肉業者に出荷する。

畜産家の行動

$a_1$: 後ろ足へ注射（肉としての価値が高い部位が痛む可能性・実施コスト低い）

$a_2$: 首へ注射(肉としての価値が低い部位が痛む可能性・実施コスト中程度)

$a_3$: needle free technique の利用（コストは高いが肉を痛めない・実施コスト高い）

予防接種は病気を防ぐことができる一方、出荷後に肉の劣化を引き起こす可能性がある。注射には、後ろ足への注射、首への注射、針を使わない注射の 3 つが存在し、それぞれ実施費用と劣化の発生確率に違いが存在する。ただし、精肉業者は劣化を引き起こした肉を生産した畜産家を特定することができず、どのタイプの予防接種が用いられたのかを知ることもできない。なお、畜産家は仮にその行動が精肉業者から観察されない場合には最もコストの安い後ろ足への注射を選択することになる。

トレーサビリティのモデル化

本研究においてトレーサビリティシステムは、畜産家から牛肉が精肉業者に引き渡された後にその牛肉がどの畜産家が生産

したものかを確かめることが可能になるものであると定義されている。ただし、このシステムのもとで精肉業者は常に正確に畜産家を判別できるわけではなく、tという確率で正しく生産者の追跡が可能になるとしている。以上の設定のもとでモデルの概要は図表 II-54 のようになる。

**モデルの設定**

- トレーサビリティ
  - 精肉業者が導入する情報技術
  - 取引された肉を生産した畜産家を正しく特定する確率 $t$ として表現

- モデルのタイミング
  - 精肉業者がトレーサビリティシステムの精度と畜産家への支払いを決定
  - 精肉業者と畜産家が取引契約を結ぶ
  - 畜産家はトレーサビリティの精度と支払い契約の内容を知っている状態で注射を行う
  - 精肉の過程で注射による肉の劣化が明らかになる
  - 実際の金銭のやり取りが行われる

図表 II-54： モデルのタイミング

トレーサビリティシステムの有無と取引契約

トレーサビリティシステムが無い場合、精肉業者は仕入れた牛肉がどの畜産家によって出荷されたものかが判別できないため、条件に応じた支払契約を結ぶことができず、肉質劣化の結果によらず一律の料金を畜産家に対して支払うことになる。一方、トレーサビリティシステムが導入され、出荷元の畜産家を精肉業者が特定し、用いられた注射のタイプも観察できる場合、畜産家の行動タイプに応じた代金の支払いが可能となる（図表 II-55 参照）。

**トレーサビリティシステムあり**

精肉業者：畜産家の行動に応じた支払契約を選択することができない

**トレーサビリティシステムなし**

精肉業者：畜産家の行動に応じた支払契約を選択することができる

図表 II-55： トレーサビリティシステムの効果

トレーサビリティシステム導入の価値の導出

本研究ではトレーサビリティシステム導入の価値を「トレーサビリティシステムがない場合に精肉業者が牛一頭を購入する際に負担する費用と、トレーサビリティシステムがある場合に精肉業者が牛一頭を購入する際に負担する費用の差」と定義し、プリンシパルエージェントモデルを基にした分析枠組みを用いてこれを計算している。

この際、トレーサビリティシステムがない場合の精肉業者の費用負担額に関しては実際の取引における牛一頭当たりの値段である 960 ドルをベースにし、費用を計算している。この場合、畜産家の行動は精肉業者から観察されないため、畜産家

はコストが最も安い後ろ足への注射を選択し、それによって発生する肉の劣化の期待費用を足し合わせた、963.29ドルをトレーサビリティシステムがない場合の期待費用としている。

次にトレーサビリティシステムが存在するもとでの精肉業者の費用負担額を求める。このため、精肉業者の行動を定式化する。最初に基準として、対称情報のもとでの精肉業者の問題を考える。この場合、精肉業者の問題は以下のように定式化される。

対称情報のもとでの精肉業者の問題

$$\min E_C^{SB}(I^{FB}, |a_i, t)$$
$$U(a_i|t, I_{lj}) \geq \bar{U}$$

ただし、$E_C^{SB}(I^{FB}, |a_i, t)$は対称情報のもとでの精肉業者の牛肉 1 頭当たりの期待コスト、$I^{FB}$は精肉業から畜産家への支払い、$a_i$は畜産家の行動、$t$はトレーサビリティシステムの精度、$U(a_i|t, I_{lj})$は畜産家の効用、$\bar{U}$は畜産家の留保効用をあらわす。対称情報の場合、精肉業者は畜産家の行動を観察できるため、精肉業者にとって費用が最も低くなる行動を畜産家に取らせることができ、その契約は畜産家の参加制約のみを持たせばよいことになる。なお、$E_C^{SB}(I^{FB}, |a_i, t)$および$U(a_i|t, I_{lj})$に関しては以下のように関数を特定化して計算を行う。

$$E_C^{SB}(I^{FB}, |a_i, t) = 2\left[I^{FB} + P_c p_c + P_r p_r + P_{(c,r)}(p_c + p_r) + P_s p_s + P_{(s,r)}(p_s + p_r) + P_{(s,r,c)}(p_s + p_r + p_c)\right]$$

$$U(a_i|t, I_{lj}) = -\mathrm{e}^{-k(I_{l,(j)} - c_a)}$$

このうち、精肉業者の期待費用に関しては、牛肉の代金と、劣化した肉の廃棄コストから構成されており、畜産家の効用はプリンシパルエージェントモデルのベースとなる先行研究である Grossman and Hart (1983)の仮定 1 を利用している。

一方、非対称情報のもとでトレーサビリティシステムがある場合の精肉業者の問題は以下のように定義される。

非対称情報のもとでの精肉業者の問題

$$\min E_C^{SB}(I_{lj}, |a_i, t)$$
$$U(a_i|t, I_{lj}) \geq \bar{U}$$
$$U(a_i|t, I_{lj}) \geq U(a_{-i}|t, I_{lj})$$

ただし、$E_C^{SB}(I_{lj}, |a_i, t)$は非対称情報のもとでの精肉業者の牛肉 1 頭当たりの期待コスト、$I_{lj}$,は精肉業者から畜産家への支払い、$a_{-i}$は$a_i$以外の畜産家の行動をあらわす。非対称情報の場合、精肉業者は畜産家の参加制約だけでなく、上記第三式で表される誘因両立制約を満たす必要がある。なお、非対称情報下でトレーサビリティシステムが存在する場合の精肉業者の費用負担を求めるために、現実に得られた各種データをモデルに組み込み、数値として$E_C^{SB}(I_{lj}, |a_i, t)$を導出する。具体的には図表 II-56 に示したような各種数値をモデルに代入している。

**Table 2. Expected Cost to the Principal, Income Transfers to Agents, and Probability of Injection-Site Lesions Based on Agent's Injection Method Under Symmetric Information**

| | Probability of Injection-Site Lesion Occurrence (%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Agent's Injection | $P_0$ | $P_c$ | $P_r$ | $P_{(c,r)}$ | $P_s$ | $P_{(c,s)}$ | $P_{(r,s)}$ | $P_{(c,r,s)}$ |
| In leg | 77.856 | 8.627 | 9.919 | 1.099 | 1.996 | 0.221 | 0.254 | 0.028 |
| In neck | 76.086 | 16.140 | 5.238 | 1.111 | 1.100 | 0.233 | 0.076 | 0.016 |
| Needle free | 83.026 | 9.200 | 5.716 | 0.633 | 1.200 | 0.133 | 0.083 | 0.009 |

| Agent's Injection | Expected Cost to the Principal, $E_c^{FB}$ ($/head) | Income Transfers, $I_{FB}$ ($/Carcass Side) |
|---|---|---|
| In leg | 963.29 | 480.00 |
| In neck | 962.81 | 480.17 |
| Needle free | 962.50* | 480.20 |

Note: For $P_j$, $j = 0$ for no lesion, $j = c$ for lesion in chuck, $j = r$ for lesion in bottom round, $j = s$ for lesion in sirloin. Combinations indicate multiple lesions. An asterisk (*) denotes the overall minimum expected cost to the principal.

図表 II- 56： 計算に用いられる数値

出典: Moises A. Resende-Filho and Brian L. Buhr (2008).

また、トレーサビリティシステムの精度、すなわち牛肉を生産した畜産家を正確に特定する確率 t に関しては、1 から 100 までを精肉業者が自由に選択できるのではなく、過去の研究から得られた実際のデータを用いている。具体的には、t について 38.9%、43.7%、95%の 3 つの精度のシステムを取り上げ、それぞれのもとでの精肉業者の費用を計算している。この結果を示したものが以下の図表 II-57 である。

**Table 3. First-Step Results to the Principal-Agent Game with Traceability**

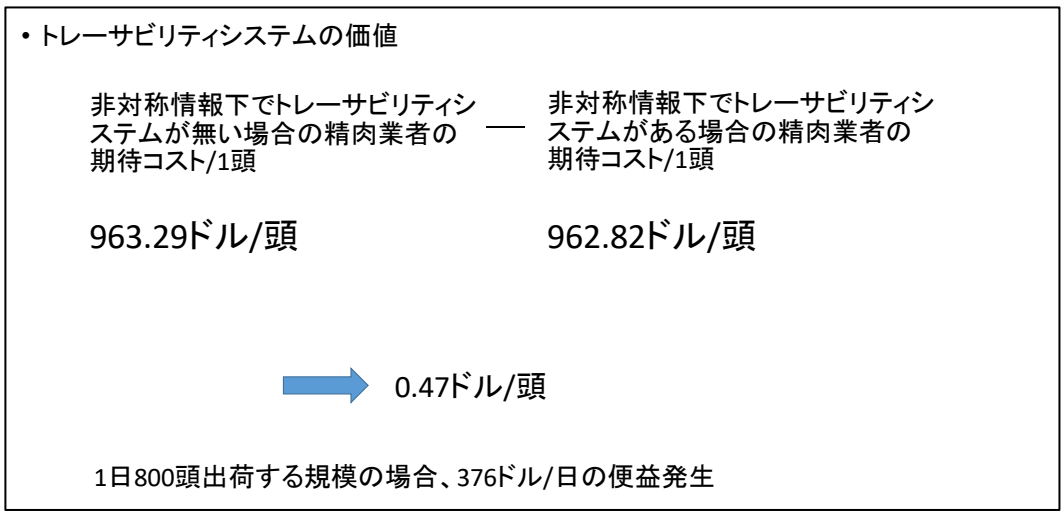
| Agent's Action | Traceability System's Expected Traceback Rate of Success (%) | Expected Cost, $E_c^{SB}$ ($/head) |
|---|---|---|
| (1) | 38.9 | 963.40 |
| (2) | 38.9 | 963.08 |
| (3) | 38.9 | 962.82* |
| (1) | 43.7 | 963.43 |
| (2) | 43.7 | 963.11 |
| (3) | 43.7 | 962.84 |
| (1) | 95.0 | 963.95 |
| (2) | 95.0 | 963.62 |
| (3) | 95.0 | 963.35 |

Note: (1) denotes the action of giving all injections in the rear leg, (2) refers to the action of giving all injections in the neck area, and (3) stands for the action of giving all injections with a needle-free technique. An asterisk (*) denotes the overall minimum expected cost to the principal.

図表 II- 57： トレーサビリティの精度の精肉業者のコスト

出典: Moises A. Resende-Filho and Brian L. Buhr (2008).

図表 II-57 には右端の列に状況に応じた精肉業者の費用が示されている。これからわかるように、精肉業者の費用が最小になるのは畜産家の行動が(3)(針を用いない注射/needle-free 技術を畜産家が用いる)、トレーサビリティシステムの精度が38.9%のときであり 962.82 ドルになる。したがって、トレーサビリティシステムの価値は、非対称情報下でトレーサビリティシステムが無い場合の費用 963.29 ドルとシステムが存在する場合の 962.82 ドルの差額である牛一頭当たり 0.47 ドルになる。




図表 II- 58：トレーサビリティシステムの価値の計算

廃棄物処理取引の分析への応用の可能性

結論として本研究では非対称情報下でトレーサビリティシステムがない場合に精肉業者が牛 1 頭当たりに支払う費用と非対称情報下でトレーサビリティシステムがある場合に精肉業者が牛1頭当たりに支払う費用の差額を、トレーサビリティシステム導入による便益であると定義し、この額を牛 1 頭当たり 0.47 ドルと導いている。また、一般的な精肉業者として 1 日 800 頭を出荷する規模を想定し、この場合トレーサビリティシステム導入の便益が 1 日当たり 376 ドルと計算している。

以上の研究は精肉業界を取り上げたものであるが、そこでのトレーサビリティシステムの扱い方、および便益の計算の仕方は廃棄物処理取引における ICT 導入分析にも応用することが可能であると考えられる。ただし、精肉業界と廃棄物処理業界は取引の形態が異なる点があるため、廃棄物処理のモデルを検討する際の課題として以下の点が浮かび上がった。

・精肉取引の場合、精肉業者が入荷した牛肉の状態を見て自ら問題の発生を認識するが、廃棄物処理取引の場合、排出事業者は一般的に不適正処理という問題の発生を自らが最初に認識するとは考えにくい。

・不適正処理の発生確率や、一般的な廃棄物処理費用、さらに廃棄物処理取引にトレーサビリティを導入する場合のシステムの精度やコストのデータが必要となる。

このうち 1 点目の課題については、先行研究のモデルの構造に修正を加えることで対応が可能であると考えられる。一方、2 点目に関しては現状これらの情報を明らかにした先行研究は管見の限り存在しない。そのため、このような分析をする場合には実証実験などを通して各種データを収集する必要がある。

参考文献一覧

Moises A. Resende-Filho and Brian L. Buhr (2008), A Principal-Agent Model for Evaluating the Economic Value of a Traceability System: ACase Study with Injection-Site Lesion Control in Fed Cattle, *American Journal of Agricultural Economics,* Vol 90, pp 1091-1102.

SJ Grossman、 OD Hart (1983), An analysis of the principal-agent problem, Econometrica, Vol 51, pp. 7-45.

ICT と組織構造に注目した研究

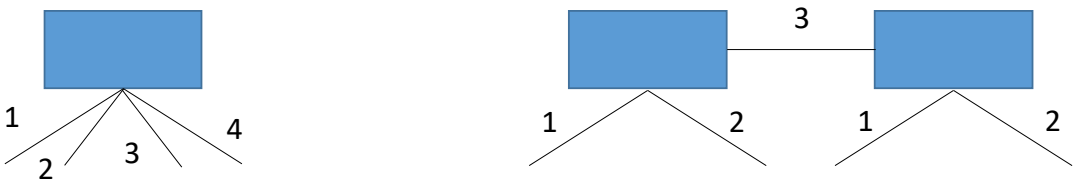
ICT に注目した経済学的な研究としてもう一つ注目されるのが、ICT と組織の構造について扱った研究である。この分野はいまだ発展途上であるため、関連する研究はそれほど多くはないが、ここではそのなかでも基礎的な研究である Hans Peter Grüner (2009) で扱われているモデルを検討し、廃棄物処理研究への応用の可能性を考える。

本研究のモデルではプリンシパルが m 人のエージェントを雇って生産を行う状況を想定する。エージェントは階層構造を形成し、n 個の情報アイテムと呼ばれる業務をこなすことになるが、この際、エージェントは情報アイテムの処理に際して特別な努力を投入するか否かを選択することができ、特別な努力を投入した場合、高い生産水準を実現できる可能性が高くなる。モデルの概要は図表 II-59 の通りである。

- プリンシパルがm人のエージェントを雇う
- エージェントは階層構造のなかでn個の情報アイテムを扱う
- 各エージェントは情報アイテムを扱う際に通常の努力か特別な努力のどちらかを投入するか選択
- 通常努力の費用はゼロ、特別な努力の費用はc
- 特別な努力を施すアイテムの数をa、それ以外をb(=n-a)と定義
- エージェントが通常努力を施したか否かは観察可能
- 階層構造の産出物$x$は0か1のいずれかの値をとり、1をとる確率を$\pi$とする

図表 II- 59： モデルの概要

本モデルには大きく分けて 2 つの特徴がある。一つはエージェントが情報アイテムを処理する際に階層構造を構成することを想定している点である。図表 II-60 は情報アイテムの数が 4 の場合、一人のエージェントで処理を行うケースと二人のエージェントで処理を行うケースのイメージを示したものである。図の左側はエージェントが一人で処理を実行する状況を示しており、この場合、一人のエージェントがすべての情報アイテムの処理をすることになる。一方、右側はエージェント二人で処理を実行する状況を示している。この場合、各エージェントがそれぞれ 2 つの情報アイテムを処理することになる。さらに、処理を分担した場合、各エージェントが処理を行った情報を統合するという作業が必要になり、図表 II-60 右側の 3 というナンバリングをされた水平線が各エージェントの情報統合作業を表している。




図表 II- 60： 階層構造のイメージ

もう一つの大きな特徴は、エージェントが情報アイテムを扱う際に一定の時間を要するという状況を想定していることである。具体的には図表 II-60 において一人のエージェントが処理を行う場合には、情報アイテム 1 単位を処理するのにそれぞれ 1 単位の時間を要するため、合計 4 単位の時間を要することになる。一方、二人のエージェントで処理を行う場合、各エージェントが 2 つのアイテムを処理する作業は同時に行われるため、2 単位の時間が必要となる。さらに、二人のエージェントの情報を統合するためにも 1 単位の時間がかかることを仮定する。したがって合計で 3 単位の時間がこの場合にはかかることになる。以上の想定のもと ICT の導入が組織構造や生産性に与える影響を本研究では検討している。その他の分析枠組みの詳細については以下の通りである。

1 単位の情報アイテムが処理される場合、確率的に 1 単位の生産物を得ることができるが、投入される努力のタイプによって 1 単位の生産物を得られる確率が変化する状況を考える。この確率を$\pi$で表し、具体的には以下のような特定化を行う。

$$\begin{aligned} \pi &= ap + bq - f(d) && \text{if } a + b = n \\ &= 0 && \text{if } 0 \end{aligned}$$

ここで$a$は特別な努力量、$b$は通常の努力量で$p > q$を仮定し、特別な努力を投入したほうが、生産物が得られる確率が上昇する状況を考えている。また、$d$は作業に要する時間を表し$f(d)$は所要時間に起因する費用を表し、具体的には以下のような関数を想定する。

$$f(d) = 0 \quad if \quad d \leq D$$
$$f(d) = -\infty \ if \ d > D$$

これは、作業時間に関して最大許容可能な閾値$D$を想定し、実際の作業に要した時間がこれ以下であれば作業時間のコストはゼロ、これを超える場合にはそもそも生産が行われないという状況を想定している。なお分析では$D = 4$を想定している。また、情報アイテム 1 単位を処理するのに要する時間を$\delta$で表し、以下のように具体化して考える。

$$\delta = 1 + \varepsilon$$

ただし、$\varepsilon$は十分小さい正の数を表している。このような想定のもとで ICT の導入が組織構造を変化させ、生産性を上昇させる場合があることを示していく。

ICT のモデル化

本研究において ICT はエージェントが情報アイテムの処理に要する時間の短縮を実現するものというかたちでモデル化さ

れている。具体的には、ICT がない状況では 1 単位の作業当たり$1+\varepsilon$の時間がかかっていたものが、ICT が導入された場合には$1-\varepsilon$に短縮されるというモデル化を行っている。

$$\delta = 1+\varepsilon \quad \longrightarrow \quad 1-\varepsilon$$

このように定義される ICT が存在する場合と存在しない場合で起きうる結果を整理したものが下の図表 II-61 である。ここで示されることは、第一に ICT の存在が組織構造を変化させうることである。本モデルでは、ICT が存在しない場合、一人のエージェントで作業を行う状況は存在しえない。なぜならば、一人のエージェントで作業をした場合、それに要する時間が最大許容時間$D$を超過してしまうためである($D=4$を仮定)。一方、ICT が存在する場合、作業時間が短縮され、一人のエージェントで生産活動を行うことが可能になる。これは、ICT の導入が組織構造を簡潔にし、作業に必要なエージェントの数を減らすことができることを示している。

| | ICT無し2エージェント | ICTあり1エージェント |
|---|---|---|
| 産出 | $4q$ | $4p$ |
| 遅延 | $3+3\varepsilon$ | $4-4\varepsilon$ |
| 時間当たり産出 | $4q/(3+3\varepsilon)$ | $4p/(4-4\varepsilon)$ |
| 時間当たり余剰 | $4q/(3+3\varepsilon)$ | $(4p-4c)/(4-4\varepsilon)$ |

図表 II-61： ICT の効果

また、このモデルからは ICT の導入が産出量や余剰を増加させる可能性があることも示している。単位時間当たりの産出および余剰は図表 II-61 示した通りであるが、これを見るとパラメータ次第では ICT 導入時のほうが高い生産性を実現できることが示されている。

廃棄物処理取引の分析への応用の可能性

本研究は一つの組織内で階層構造が構成され生産活動が行われる状況を想定している。一般的に日本の廃棄物処理においては一つの大きな組織の中でエージェントが階層構造を構築し、作業を分担して生産活動を行うという状況は現実的妥当性に欠けると言わざるを得ない。しかし、本モデルの各エージェントをひとつの組織内の存在としてではなく、廃棄物処理という一連の流れの中に関与する独立した主体、すなわち運搬事業者、中間処理業者、最終処分事業者等、として捉えなおすことによって廃棄物処理取引の分析への応用の可能性が見えてくる。次年度以降の研究では、廃棄物処理についての ICT の導入が最も効果を発揮するのがどのような状況なのかを精査したうえで、それに適した理論モデルの構築を進めていく。

参考文献

Hans Peter Grüner (2009), Information technology: Efficient restructuring and the productivity puzzle, Journal of Economic Behavior & Organization, Volume 72, Issue 3, December 2009, Pages 916–929.

### 4.4.2 廃棄物産業へのイールドマネジメント手法の導入について

#### 4.4.2.1 導入

限られた生産設備容量を適切に割り当てるプロセスであるイールドマネジメントの手法は、主に航空やホテルなどの交通産業で導入され、大きな成果を上げている。その一方で、廃棄物産業においてはまだまだイールドマネジメントの手法を導入している企業は少ない。イールドマネジメントの導入は廃棄物処理業を営む企業の収益の増大に大きく貢献すると考えられる。この新しいアプローチの導入には、AIを含むIT技術の活用と、これに携わる新たな人材の活用が必要となる。こうした一連の変化は廃棄物処理業界全体の雇用・賃金の増加と、生産性の向上をもたらすと考えられる。そこで本節ではまずイールドマネジメントについて概説したのち、その導入について先行する航空業界におけるイールドマネジメントのあり方についての詳細について述べることによって、廃棄物処理産業における導入の可能性について一定の定性的な分析を行う。

#### 4.4.2.2 イールドマネジメントとは

基本的に、イールドマネジメントは、収益を最大化するために、適切な種類の顧客に適切な価格で適切な種類の生産設備容量を割り当てるプロセスである。イールドマネジメントは、洗練された電子生産設備管理システムを備えた多くのホテルや航空会社の標準的な販売管理手順の一部になりつつある。イールドマネジメントシステムは、サービスを提供する企業に合わせて適切に調整されているため、一般的に収益を増加させ、販売管理の決定から多くの不確実性を取り除くと考えられる。

しかし、こういった管理のしくみが適切な土台を構築しない場合、イールドマネジメントシステムを設置することは問題を引き起こす可能性がある。本節では、ホテルや航空会社の経営を例に挙げつつイールドマネジメントが企業の生産設備に適しているかどうかを判断する際に事業者が考慮すべき問題を取り上げ、そのようなシステムの採用を成功させるために経営主体が取るべき対策について解説する。

たとえばホテルの場合、イールドマネジメントはさまざまな料金レベルで売られるべき部屋の数に関係している。そこでは明らかに、次のようなトレードオフが存在する。経営者はすべての部屋をできるだけ高いレートで売ることを望むがこれが実現可能であることはほぼないので、この方針に従うと部屋が空室になり収入が失われる可能性がある。逆に、ホテルが低価格の顧客でその部屋をすべて販売した場合、より高い料金から得られたかもしれない収益は失われる。イールドマネジメントの目的は、これらのトレードオフがどうあるべきかを定義することである。

Orkin(1988)は、イールド統計値を稼働率に料金効率を乗じたものとして定義した。ここで料金効率とは、平均宿泊料金を最大宿泊料金で割ったものである。Orkinが指摘したように、ホテルの管理者は、高い稼働率や高い平均宿泊料金だけに焦点を当てるのではなく、収益を最大化することに関心を持つ必要がある。航空業界から借りてきたイールドマネジメントのもう1つの定義は、利用可能な部屋あたりの収入を最大化することである。そもそも最大宿泊料金は定義するのが難しいため、イールドを測る統計値としてはこちらのほうがより適切な定義であるとも言える。

イールドマネジメントは、部屋在庫管理と価格設定という2つの別々ではあるが関連する部分から成る。在庫管理プロセスでは、さまざまなタイプの部屋を需要に割り当てる方法を考慮する。価格設定の手順は、さまざまな状況で設定するべき最適な価格にも関係している。本節では主に、ホテルや航空業界におけるイールドマネジメント上の販売在庫管理の側面に注目する。

イールドマネジメントの発祥地は航空業界であると考えられている。1970年代後半の規制緩和後、航空会社の競争は激化し、収益向上と利益確保のために航空会社は可能な限り効率的に飛行機を運航しようとした。イールドマネジメントは、このような状況において航空会社が競争上の優位性を高め、収益を増やすための方法として開発された方法の1つである。航空業界においては、イールドマネジメントは、収益を最大化するために、適切な顧客に適切な座席を適切な価格で販売することを意図している。

航空業界やホテル業界には、イールドマネジメントシステムの理想的な候補となるいくつかの共通点がある。どちらも生産可能容量が比較的固定されていて、少なくとも短期的には新たに飛行機を購入したりホテルを建設したりすることによって容量を増やすというのはかなり難しく、大きな費用がかかる。そのため、イールドマネジメントの根底にある考えは、可能な限り最善の、最も収益性の高い方法で自社の（固定的な）生産能力を活用することである。

イールドマネジメントが必要な状況

イールドマネジメントの手法は一般に、企業が比較的固定された生産可能容量で稼働している場合、市場を明確に識別されたいくつかの需要区分に分割できる場合、在庫が不可能あるいは困難である場合、製品を前もって販売したり予約したりすることが可能な場合、需要が時間や季節によって大幅に変動する場合、および限界売上コストは低いが限界生産コストは高い場合に適用可能であると言える。

**市場を需要のタイプ別に区分する能力**　イールドマネジメントプログラムが効果的であるためには、企業は市場をさまざまな種類の顧客に区分できなければならない。たとえば、航空会社であればビジネス客と旅行者は別々のグループに比較的簡単に分割できる。またホテルであれば販売管理者は異なるタイプの顧客に対して異なるマーケティング計画を立てる必要がある。ホテル経営者は、各々の顧客のニーズに最も合った部屋を売ることができることを望んでいる。たとえば旅行者の場合は、一定期間先に予約する必要がある低価格の客室が最も適切であり、ビジネス客には時間的なペナルティのないより高価な料金が最適である。

**在庫不可能性**　明らかに、ホテルの部屋や航空機の座席は在庫不可能な製品、サービスである。たとえばある部屋がある晩について売り切れない場合、その部屋のその夜の収益機会は永遠に失われ、ホテルの管理者は別の時間に使用するためにそれを在庫に入れることができない。ホテルや航空会社のほかにも、レンタカー会社なども同様の問題に直面している。

**事前販売可能性**　一時的なホテルの中には、利用日の数日前にほとんどの客室を販売している場合があるが、状況によっては、利用日よりだいぶ前に予約が行われることもある。とくに団体販売の場合などは、数年前に利用を予約することもできる。製品を事前に販売することが可能であるときには、経営者は不確実性に直面する。ある特定の時点で、数ヶ月先の利用日の予約について、低料金を支払いたいグループは受け入れられるべきか、それともより高額の顧客が現れることにかけて販売を待つべきか、あるいは、いわゆる「スーパーセーバールーム」はいくつ販売する必要があるか、などが取り組むべき問題である。これらの問題の一端には、もっと高い料金を支払う人が、同じ部屋を予約したいと思うかもしれないという不確実性が存在している。優れたイールドマネジメントシステムは、このような実際的な質問に解答を与える。

**変動する需要**　ホテルや航空などの観光業は、大きく変動する需要パターンに直面している。需要は、季節にごとに、月ごとに、そして曜日ごとに異なる。イールドマネジメントは、価格を下げることによって需要が低いタイミングに利有率を上げるのを助け、価格を上げることによって需要が高いタイミングに収益を増やすのを助けることによって、需要変動の一部を緩和するのに役立つ。需要のピークと谷がいつ発生するかを販売管理者が知っている場合、管理者はそれらの計画を立てることができる。

**低い限界売上原価** 一度生産設備が開発され、一定数の部屋が売られると、ホテルとスタッフはすでに配置されており固定費用は短期的には埋没しているため、追加的に別の部屋を売るのにそれ以上の費用はかからない。このような場合にはもう1つの部屋を販売するか否かで、総費用の面で大きな違いはない。

**高い限界生産コスト** 反対に、ホテルや航空会社では限界生産容量コストが高くなる。たとえば、物件が一杯であるのにもかかわらず顧客が部屋を望んでいる場合、固定費が大きいために追加的に部屋をその生産容量に簡単に追加することはできない。これらの業界では需要のパターンが慎重に検討された後で初めて、生産容量が決定される。

イールドマネジメントシステムの要件

経営者は、イールドマネジメントが販売管理部門において自発的に発足することは期待するべきではない。イールドマネジメントを実施するためには慎重な計画と訓練が必要である。

異なる業界において、さまざまな種類のイールドマネジメントシステムが存在するが、ほとんどが同じ種類の情報を必要とする。たとえば市場の各需要セグメントごとに顧客が予約を作成するパターンに関する豊富な情報を持っていなければならず、またオーバーブッキングポリシーが明確に定義されていなければならない。もちろん、データへの迅速かつ完全なアクセスを可能にする優れた情報システムも必要である。

**予約パターン** ほとんどのイールドマネジメントシステムでは、特定の利用日の予約の発生パターンに関する情報が必要である。たとえば、特定の利用日に関する予約の発生パターンについていえば、利用日の3か月前から毎日、各市場セグメントには予約がいくつ行われるのか、という問題に注目する。図1は、あるホテルにおける個人利用客の予約状況を示している。一方で図2は、利用日のかなり前から予約が行われているグループベースの予約の発生パターンを示している。イールドマネジメントシステムは、これらの情報を使用して、実際に行うべき最適な予約パターンに対比させて、現在の販売管理の状況を評価する。

**市場セグメント別の需要パターン** イールドマネジメントシステムを運用するには、企業は市場セグメント別の過去の需要情報を入手する必要がある。この情報は、一年のうちの季節や、週間における曜日によっても分類されなければならない。たとえば、夏の火曜日の夜に通常いくつどのタイプの在庫が販売されるべきか、などである。これらの履歴データは、各市場セグメントの需要予測を作成するために使用される。需要予測は、イールドマネジメントの基本要素の1つであり、それがなければ、イールドマネジメントシステムは適切に機能できない。

**オーバーブッキングポリシー** ほとんどのホテルや航空会社にはある種のオーバーブッキングポリシーが存在する。イールドマネジメントシステムでは、オーバーブッキングの方針を明確に提示する必要がある。企業経営者による戦略上重要な決定事項の一つが、各生産設備の各利用日についてのオーバーブッキング許容レベルの設定である。

**価格変動の影響** 販売管理者は、価格の変更が特定のクラスの設備の需要にどのように影響するかを把握しておく必要がある。販売管理者は競争力のある価格と、価格変更が需要に与える影響の両面に注意する必要がある。

**販売管理情報システム** 上記の情報をすべて得るために、ホテルは優れた情報システムを持っている必要がある。ホテルが中央予約システムの一部である場合は、資産管理システムと中央予約システムを統合する必要がある。このようにして、予約が受信され、空室状況が変化すると、両方の予約システムは最新の情報を知るようになる。このタイプの予約システムを持っていないと、低

すぎる価格で部屋を売ったり、特定の種類の部屋の空室状況を知らないなど、多くの問題が発生する可能性がある。

異なる業界において考慮されるべきイールドマネジメントに関する問題

航空業界で開発されたイールドマネジメントの技術は、常に他の業界にそのまま適用できるわけではない。たとえばホテルのイールドマネジメントシステムでは、複数泊の滞在や、ホテルの他の付随する機能（食事の提供など）に対する客室の相乗効果、さまざまなタイプの客室の予約リードタイム、そもそも業界として明確な料金の欠如などの問題に対処する必要がある。

**サービスの補完性の問題** 航空会社のイールドマネジメントシステムでは、ハブアンドスポークシステム内のさまざまな乗り継ぎフライトを含む発着区間ごとの予約リクエストを処理する必要がある。一方、ホテルでは、複数の夜にわたって滞在するゲストを処理する必要がある。利用者が需要の低い日に到着し、需要の高い数日間滞在したい場合は、どのくらいの料金を提示する必要があるか、は複雑なイールドマネジメントの問題である。明らかにマネージャーは需要の低い日に部屋を売却したいが、需要の高い日についてより高い価格を提示すれば、このような需要区分の利用を不要に阻害する可能性がある。このようなトレードオフは、より複雑なイールドマネジメントシステムによって対処される必要がある。

**乗数効果** そのほか、ホテルで販売されているのは部屋だけではない。レストラン、コンベンションスペース、その他のサービスがホテルの収益に大きく貢献する可能性がある。ホテルの部屋機能のみに集中することはこれら他の部分における収益機会を無視することになるが、この追加機能をイールドマネジメントシステムは包含することができる。

**予約のリードタイム** ある特定の顧客、たとえばグループは利用日のはるか前に予約を行うので、販売管理者は各利用日、各需要セグメントごとにどれくらいのリードタイムを許容する必要があるかを決定しなければならない。グループ事業はイールドマネジメントシステムの一部として扱われるべきか、それとも別の事業体として扱われるべきか、各需要セグメントごとにどのくらいの期間リードタイムを考慮する必要があるか、などは各業界特有の問題である。

**明示された正規料金の不在** 現在、ホテルや航空会社では正規料金による利用は販売される生産容量のうちの大きなシェアを持っていない。実際には同じサービスについて複数の異なる価格が存在し、それぞれ異なる容量が設定されている。これら多様な料金体系は各企業のイールドマネジメントシステムの採用により開発されたものである。これらの多様な料金体系の導入によって、イールドマネジメントシステムを採用した企業はより多くの利益を得ている。

**情報システム** 上述したように、良く整備された情報システムはイールドマネジメントプログラムに不可欠である。生産設備に関する情報を集約された予約情報と組み合わせるいくつかの手段をシステムに組み込む必要がある。

イールドマネジメントに関する経営上の重要性について

イールドマネジメントを使用すると、企業は競争力と収益力を獲得できるが、顧客の印象と従業員の士気の低下の問題につながる可能性もある。さらに、イールドマネジメントシステムを効果的に使用するには、集中的な従業員の訓練が必要である。これを実際にするためには、他のさまざまなビジネスの新しいアプローチと同様に、経営トップの確固たるコミットメントが不可欠である。

**価格差別により顧客を疎外する可能性** 航空業界においては、航空会社が航空券の購入者や制限に応じて料金を差別することに対して消費者は諦観しているようであるが、他の業界において顧客はこのような差別的な価格設定方法を受け入れるかどうか

は不明である。航空業界は少数の主要な競合相手で構成されており、顧客が豊富な選択肢を持つことはめったにない。一方、ホテルには多数の競合企業が存在する。このようなとき顧客は、数週間前に予約した誰かよりも高い料金を部屋に支払うのは不公平だと考えるかもしれない。このように、顧客が同じ部屋に異なる料金を支払うという価格差別を避ける傾向が強い場合には、企業は競争にさらされうる。したがって価格差別を行うにあたっては、企業は顧客教育の必要性の問題に直面する可能性がある。

**従業員の士気の問題** イールドマネジメントシステムは、いくつの在庫をどのくらいの値段で売るかという問題の大部分を取り扱う販売担当者や受注員の仕事からその業務上の判断責任の一部を取り除く。その一方で、採用されたイールドマネジメントシステムが、これら従業員がある程度の判断を下せるように構成されていない場合、それを使用しなければならない人々は、システムに対して順応できない、あるいはしないことを選択する可能性がある。

**インセンティブと報酬システム** イールドマネジメントシステムは、グループセールス営業部門にも問題を引き起こす可能性がある。ホテル業界などでは通常、グループセールス営業部門の営業担当者は彼らが行う売上高に応じて報酬を受け取る。しかし、イールドマネジメントシステムは全体の収益の最大化のために、ある期間に低価格でのグループセールを受け入れることを拒否する可能性がある。このような場合、グループセールス営業部門のインセンティブシステムが変更されない限り、グループセールス部門の従業員による決定は、最適なイールドマネジメント戦略に反する可能性がある。同様に、販売管理者は多くの場合、占有率または平均宿泊料金のどちらかに基づいて報酬を受ける。最適なイールドマネジメントシステムでは、管理者はこれらの要素の両方を考慮する必要がある。これを反映するようにインセンティブシステムが変更されない限り、経営者はイールドマネジメントシステムを採用しても利潤の最大化が図れない。

**従業員研修** 他の新しいシステムと同様に、イールドマネジメントシステムについても、その導入にあたり、全従業員の広範なトレーニングが必要になる。従業員は、イールドマネジメントの目的や、それが本質的にはどのように機能し、自分の仕事にどのように影響するかを明確に理解する必要がある。トップマネジメントは、イールドマネジメントが販売管理部門から自然発生的に生まれることを想定することはできない。その開発と運用には慎重な計画と訓練が必要である。

**イールドマネジメント機能の組織化** 明らかに、独立した生産設備からなる企業では、イールドマネジメントシステムをその施設レベルで配置する必要がある。一方、複数の生産設備をもつ企業、たとえばホテルチェーンなどは分散化されているため、イールドマネジメントシステムは多くの場合、物件レベルで配置するのが最善であるが、中央予約システムに結び付ける必要がある。また、どの部門がイールドマネジメントシステムに責任を負うべきかという点については、販売、運営、予約といったいくつかの部門について可能性が想定できる。理想的には、企業活動の全エリアがイールドマネジメントプログラムに関与することになり、かつ、これが起こった時にだけ、イールドマネジメントプログラムは最も成功すると言える。

**トップマネジメントのコミットメント** トップマネジメントのコミットメントがなければ、イールドマネジメントシステムは失敗する運命にあるかもしれない。すべての従業員が、イールドマネジメントシステムが会社の成功に不可欠であると考えていることを認識していない限り、最高経営陣が思っているよりもそれほど真剣にそれを扱わない傾向がある。イールドマネジメントシステムを使用している企業は、最小限の投資で大幅な収益の増加を報告している。しかしイールドマネジメントシステムが機能するためには、経営者はそれに強い責任を持ち、必要なデータを持ち、そして強力な情報システムを持っていなければならない。経営者は、イールドマネジメントシステムに関連する経営上の影響を十分に認識している必要があり、必要な調整を行う立場にいる必要がある。

#### 4.4.2.3 航空業界におけるイールドマネジメントの概要

本節では、航空会社のイールドマネジメントの座席在庫管理の側面について、主に理論的な側面から議論する。これまでの航空会社の実務に関する調査では、座席の在庫管理は主として体系的な分析ではなく人間の判断に基づいていることが示されている。そしていま航空業界のイールドマネジメントは移行期にあり、人間の専門知識と職人的な勘にほとんど頼っている芸術という状況から、より体系的な分析と意思決定技術を採用する科学へと進化している。この分野における数学的方法の開発に関する過去の研究は、大規模な最適化モデルおよび問題の単純化された表現に焦点を当ててきた。定量的意思決定ツールを組み込んだ実用的なソリューションアプローチが依然として必要である。このような背景を受けて、本節の目的は、座席在庫管理における航空会社の活動の概要を提供することである。最初に問題の所在を概説し、続いて現在の航空会社の業務について説明します。最後に座席在庫管理問題を解くためのいくつかの数学モデルについて詳説する。

航空業界におけるイールドマネジメントの手法、すなわち「あなたの支払い意思額を支払えばチケットを販売します」という考え方に基づく運賃制度は長らく「可変料金」航空運賃と呼ばれてきた。多くの航空会社は、価格に敏感な旅行者を対象とした大幅に割引された運賃や、より高価なエコノミークラスや、ビジネス、ファーストクラスの運賃など、単一都市ペア市場でのさまざまな運賃を提供している。この価格戦略は、規制緩和以降、少なくともその一部は大手航空会社による低価格の新規参入航空会社との価格競争への対応によって発展してきた。最低運賃で限られた数の座席を提供することによって、確立された在来航空会社は少なくとも新規参入企業と価格競争力があるように見え、これらの低価格で刺激された需要によって空席を埋めてきた。

座席在庫管理は、総旅客収入および/または搭乗率を最大化するために、1つのフライトで受け入れられる割引および正規運賃予約の数をバランスさせる方法である。割引料金でより多くの座席が利用可能になると搭乗率が増加する可能性がある一方で、低運賃での販売座席数が多すぎると乗客1人当たりの収入（イールド）が低下する可能性があり、高運賃の乗客のより手頃な価格の低運賃への転換により総収入が減少する可能性がある。このような収益の希薄化を防ぐには、価格設定と座席在庫管理の両方を含む効果的なイールドマネジメントが必要である。

料金は航空会社のイールドマネジメントの重要な要素であるが、フライトで提供される運賃レベルは、ほとんどの場合、同じ都市ペア市場の競合他社の運賃と一致するように競争圧力によって決定される。座席在庫管理により、航空会社は、所定の価格構造内で、フライトごとにイールドと総収益に影響を与えることができる。したがって、特定のフライトで販売される運賃の組み合わせを制御することは、実際の料金よりもはるかに重要な運賃競争の最も重要な側面であると見なされる。効果的な座席在庫管理により、規制緩和前からの既存航空会社は、個々の競合他社および/または特定の市場における値下げに対してより合理的に対応することができる。

効果的なイールドマネジメントが収益を劇的に増加させることができるという認識は、規制緩和以降、ほとんどの航空会社が座席在庫管理プロセスの実質的にあらゆる側面への改善を検討することを促した。座席在庫の販売を管理するためのより良い方法を見いだすための競争が激化する中で、航空会社は担当部署を拡大し再編成し、予約システムをアップグレードし、そして洗練された意思決定支援システムを開発している。そして、こうした効果的な座席在庫管理からの収益面での見返りはかなり金額になる。たとえばデルタ航空では、割引運賃ではなく正規運賃で座席を売るだけで年間売上高が5000万ドル以上増加すると見積られる。

座席在庫管理の問題

特定のフライトの座席在庫管理問題は、航空会社のスケジュール計画プロセスで行われるキャパシティ割り当てと機器使用率の決定によって、大部分が定義される。予想される需要と航空機のサイズが正確に一致する可能性が低いことを考えると、最初から、フライトルーティングで特定の種類の航空機を運航するという決定は、座席在庫管理に影響を与える。特定のフライト出発の総需要に対する座席数の大幅な超過または不足は、それぞれニーズを減らすか増やすということになる。こうして座席在庫管理は、本質的に航空会社のスケジュール設計の不完全性を調整する機会を提供する。

座席在庫を管理する最も簡単な方法は、航空会社の全フライトネットワークで座席割り当てを最適化するのではなく、各フライトレグを個別に処理することである。座席在庫管理の目的で単一の飛行区間が分離されている場合でも、問題は同じ航空機上に異なる出発地-目的地(Origin-Destination、 OD)の旅程を持つ旅客がいることに関係する。したがって、たとえ単一飛行区間の座席在庫問題であってもそれは、例えば航空機の共通の客室を共有する複数の運賃クラスに座席を割り当てることだけがその本質ではない。より低い利回りの運賃クラスでその席を売るのではなくより高い運賃クラスの座席を売ることや複数の区間または接続乗客にこれらの座席を販売することの、収益の観点からの望ましさを正確に推し量る必要があるということを意味する。

座席在庫管理問題の複雑さは、単一飛行区間レベルの分析であっても、ほとんどの大手航空会社によるハブアンドスポークのルートネットワークの発展とともに著しく増大している。大規模航空会社は1日に1000便以上運航し、数千ものOD市場にサービスを提供し、各市場で複数の運賃クラスを提供している。たとえばアメリカン航空は、規制緩和前の約800路線と比較して現在では2700以上のOD市場にサービスを提供している。たとえばダラス-フォートワースのハブへの1便の出発では、通常5つ以上の運賃クラスのいずれかに予約可能である。50の目的地があればしたがって、そのようなフライトレグで利用可能な各座席には、250を超える可能な運賃クラス/目的地の組み合わせがあり得、それぞれの収入、利回り、および航空機の負荷の観点から、航空会社にとって望ましいレベルはそれぞれ異なる。将来のフライトの予約は11か月前までに受け付けられているため、現実の座席在庫管理の問題の複雑さは手に負えないものになる可能性がある。

明らかに、毎日提供している何万もの価格/製品の組み合わせのそれぞれについて個別の座席在庫管理決定を下すことができる航空会社はありえない。効果的な座席在庫管理プロセスの開発における取り組みの多くは、問題のサイズを管理可能に保つために必要なOD市場および/またはフライトで提供される運賃クラスの集約と、実際の競合他社の行動への対応に必要な各航空会社の特定の市場における特定の運賃クラスの在庫の適切な変更を可能とする程度の詳細さのバランスをどう取るか、という点に関わる。

個々のフライトレグのレベルでは、座席の在庫決定は航空会社のネットワーク、スケジュールおよび予約手順によって課される制約内でなされなければならない。特定のフライト出発に割り当てられた航空機は所与であり、そして次に、エコノミーキャビン内の各運賃クラス間で共有される座席の数は、固定量と見なすことができる。将来のフライトで利用可能な予約スペースの在庫を管理することは、所定の出発時間および航空機の種類に関して発生し、一般に、航空機の物理的区画の搭載スペースの配分および目標とする容量決定に従属するプロセスである。

最も単純な将来のフライト出発の座席在庫管理は、そのフライトの予約プロセスの開始時に一度だけ割引運賃クラスに予約制限を設定するだけで予約が受け付けられてもそれ以上の変更を行わない、という静的なものである。一方、より洗練された方法としては、過去のデータと現在の予約の傾向を監視し、当該フライトの今後の予約の予測の分析を行うことによって得られる情報を考慮に入れ、割引運賃クラスの制限を適宜調整して総フライト収益またはフライト負荷を最大化するする動的な方法がある。

特定の航空会社が採用している座席在庫管理システムは、その航空会社の路線網の特性とその運賃体系によって左右される。ノ

ンストップでポイントトゥーポイント市場にサービスを提供しているフライトの全座席に単一の運賃レベルを提供するような航空会社であれば、高度な座席在庫管理技術を導入する必要はないだろう。もう一方の極端な例では、大きなコネクティングハブネットワークへの出入りのフライトで複数の運賃クラスを持つ航空会社は、改善された座席在庫管理から非常に大きな利益を得ることができる可能性がある。大部分のレガシー航空会社（すなわち規制緩和前から存在する航空会社）は後者により近いところにあり、彼らはイールドマネジメントのあらゆる面に大きな関心を持つ。そのような航空会社の間では、すでに座席在庫管理に投入された資源、そしてすでに達成された成果の蓄積が存在する。この分野における現在の慣行について次節で説明する。

座席の在庫管理に関する実態調査

Belobaba（1987）は1985年8月から12月にかけて、北米の大手8社の航空会社をインタビューし、各航空会社の座席在庫管理の現在および将来の状況を確認した。航空会社の担当者は、座席の在庫管理に使用される予約制限やその他の基準に関する詳細を提供することに躊躇してはいたが、イールドマネジメントに関係する組織構造、予約システム、データ検索機能、および割引運賃レベルでの予約の監視および座席の販売の管理に使用される方法など、各航空会社が採用するプロセスについての理解を深めることは可能であった。

座席在庫管理とイールドマネジメントは、価格設定、マーケティング、販売、予約、オーバーブッキング、航空機内区画管理など、航空会社の企業構造におけるその他のさまざまな機能と密接に関係している。調査対象の航空会社の中にはこれらのうちいくつかの方向に動いているものもあるが、航空会社がイールドマネジメントに不可欠なこれらすべての機能を1つのユニットにまとめることは困難である。価格設定とオーバーブッキングの管理は、多くの航空会社におけるイールドマネジメントユニットに組み込まれた機能で、それらのマーケティング部門または市場計画部門に存在した。実際には、予約制限の設定、監視、調整を担当する担当者、在庫管理担当者が、ほとんどのイールドマネジメント単位で最大のグループを構成している。これら担当者の数と担当者が特定の市場に責任を負う度合いの両方に関して、各航空会社間で実質的な違いがあった。座席在庫管理に従事する担当者が比較的少ない航空会社では、予約制限の監視と調整はほぼ完全にアドホックなプロセスで決められていた。これに対しより多くのイールドマネジメント担当者を持つ航空会社は、担当者のチームが複数市場のグループおよび/またはフライトレグにより体系的なアプローチを取っていた。

座席在庫管理は、航空会社の予約システムの機能に大きく依存している。共通の座席在庫を共有する運賃クラスが予約システムで構成される方法は航空会社によって異なる。厳密に独立した（“スタンドアローン”）運賃クラスは、最も単純な予約システム構造を表す。ほとんどの航空会社は、割引運賃クラスが最高運賃クラス内に入れ子となるかたちに「ネスト」され、同じ座席在庫を共有する予約システムを持つ。エコノミーキャビンの座席在庫のこれらのサブクラスはこのように、大きく分けて、それ自体が互いに独立しているか、または収量の降順で直列にネストされている、という2つの可能性がある。

ほとんどの航空会社予約システムの主な制限は、予約を記録できる各運賃クラスの座席数である。航空機の物理的区画の各々については、少なくとも1つの運賃クラスが必要である。残りの運賃クラスは、ほとんどの航空会社でコンパートメントを共有するサブユニットとして使用されている。現在、ほとんどのシステムではフライトレグによる運賃クラスの予約が制限されており、また一部のシステムでは、より多くの総収入を生み出す乗り継ぎ旅客を優先して単区間の乗客への販売を制限するといったことも可能である。各々の単一フライト区間についてそれを利用する多数の運賃商品/ OD市場の組み合わせることにより、航空会社は多くの運賃クラスを「ネスト」して予約を取ったり、あるいは必要に応じて特定の市場での販売を制限するといったことができるようになっている。

旅客のOD旅程別に座席在庫を管理するためにより多くの運賃クラスのカテゴリを利用しようとする航空会社の試みは、既存の標準化された流通システムによって妨げられてきた。旅行代理店が使用する主要予約システムは、フライトレグ別の座席の空き状況を表示し、最大でたかだか5つのカテゴリで予約を受け付けるに止まる。空席状況や予約情報を他の予約システムと交換する必要があることから、航空会社はこの旅行代理店の予約システムの標準化を維持する必要性によって独自のシステムを改善することに対して強い制約を受けてきた。

しかしながら、いくつかの航空会社はすでに最大40の予約カテゴリで予約を受け入れられるように予約システムをアップグレードしている。この「新世代」予約システムの一例では、8つの運賃クラスが特定のOD市場における割引運賃予約を管理するため最大5つの下位カテゴリを有することになる。拡張された予約システムにより航空会社は、追加の予約のために運賃クラス全体を閉鎖することなくたとえば超低価格の座席クラスの販売だけを停止すること、などが可能となる。

乗り継ぎ客と単区間の乗客の判別をするというようなODベースの予約システムの開発は、調査対象の航空会社のいくつかにとって、イールドマネジメントの分野においての最優先事項である。つまり、異なる旅程をもつ旅客が同乗するある一区間でこれら旅客が生み出す収入に関して、運賃クラスごとの在庫を最適に管理することが彼らの目標である。この目標を達成するために必要な意思決定モデルは、単純な単一区間による座席在庫管理に必要な意思決定モデルよりはるかに複雑である。

航空会社の予約システムも、座席在庫管理のための意思決定支援を提供する上で重要な役割を果たしていると言える。予約開始時に設定された各運賃クラスの予約制限は、実際の予約と予測需要に基づいてのちに修正が必要になる可能性がある。初期制限と需要予測はどちらも、同じまたは類似のフライトの過去の予約パターンと交通量データから少なくとも部分的に導き出される。したがって、関連する履歴データを取得して需要を予測する機能は、在庫管理を行うために非常に重要である。

調査を行ったすべての航空会社は、座席在庫管理のための効率的で使いやすい意思決定支援システムの重要性を認識しており、そのようなシステムが自社で開発されているか、単に「パッケージ」として購入されているかにかかわらず、航空会社の経営陣はイールドマネジメントのこの側面への投資をとくに重要と考えている。実際、座席在庫管理プロセスを改善することに関心がある航空会社から現在最も多くのリソースと努力を受けている分野は、予約と意思決定支援システムであると言える。

航空会社のイールドマネジメントユニットの組織構造とそれに利用可能な意思決定支援ツールは、運賃の予約制限を設定、監視、および調整するタスクの基盤となり、航空収入を最大化すると期待される。事実、洗練度の点で航空会社間の違いが最も明白であるのは、イールドマネジメントプロセスのこの要素である。

現在の座席在庫管理の慣行での重点は、運賃クラスの予約制限に対する実際の予約の監視にある。監視機能は、航空会社の予約システムを介して簡単に自動化できる。最も単純なシステムでも、受け入れ可能な予約数が運賃クラスの予約制限に近づく将来のフライトをリストしたレポートを生成するようにプログラムすることができる。調査を行ったすべての航空会社がこの機能を実行できる報告システムを持っているが、すべての航空会社が監視報告を十分に活用できるようにシート在庫管理プロセスを備えているわけではない。

一方、調査したすべての航空会社におけるイールドマネジメントと座席在庫管理の最も進んでいない側面は、フライト収益を最大化するための予約制限の調整であった。このタスクは座席在庫管理の最も重要な要素であるが、体系的な分析ではなく人間の判断に左右されるとも言える。航空会社の予約監視システムが、実際の予約が制限またはそのフライトに設定されたしきい値のいずれかに近づいているフライトにフラグを立てる場合、関連する運賃クラスの座席の空席状況を増やすことをシステムに許可するか、追加予約を閉じるかを決定する必要がある。意思決定支援ツールの継続的な開発は、関連する推測作業の量を減らすように

設計されているが、この決定は現在調査対象の各航空会社の経験と判断に基づいて個人または個人のグループによって行われているという状況であった。

少なくとも2社は、予想されるフライト収益を最大化する運賃クラスの予約制限を見つけるためのアルゴリズムを開発することによって、この調整プロセスを改善することを望んでいた。しかしそのようなアルゴリズムは必ずしも、座席在庫管理における人間の判断の必要性を完全に排除するものではない。最適解は本質的に確率論的であり、過去のデータに基づく予測から導き出されるからである。航空市場の競争環境の急激な変化やフライト予約に影響を与える予期せぬ出来事の発生など、そのようなアルゴリズムでは説明できない変数が常に存在する。座席在庫管理の最適化モデルを開発する目的は、日常業務をより体系的にすることによって、イールドマネジメント担当者がこれらの変数の正確な把握に努力を集中できるようにすることである。

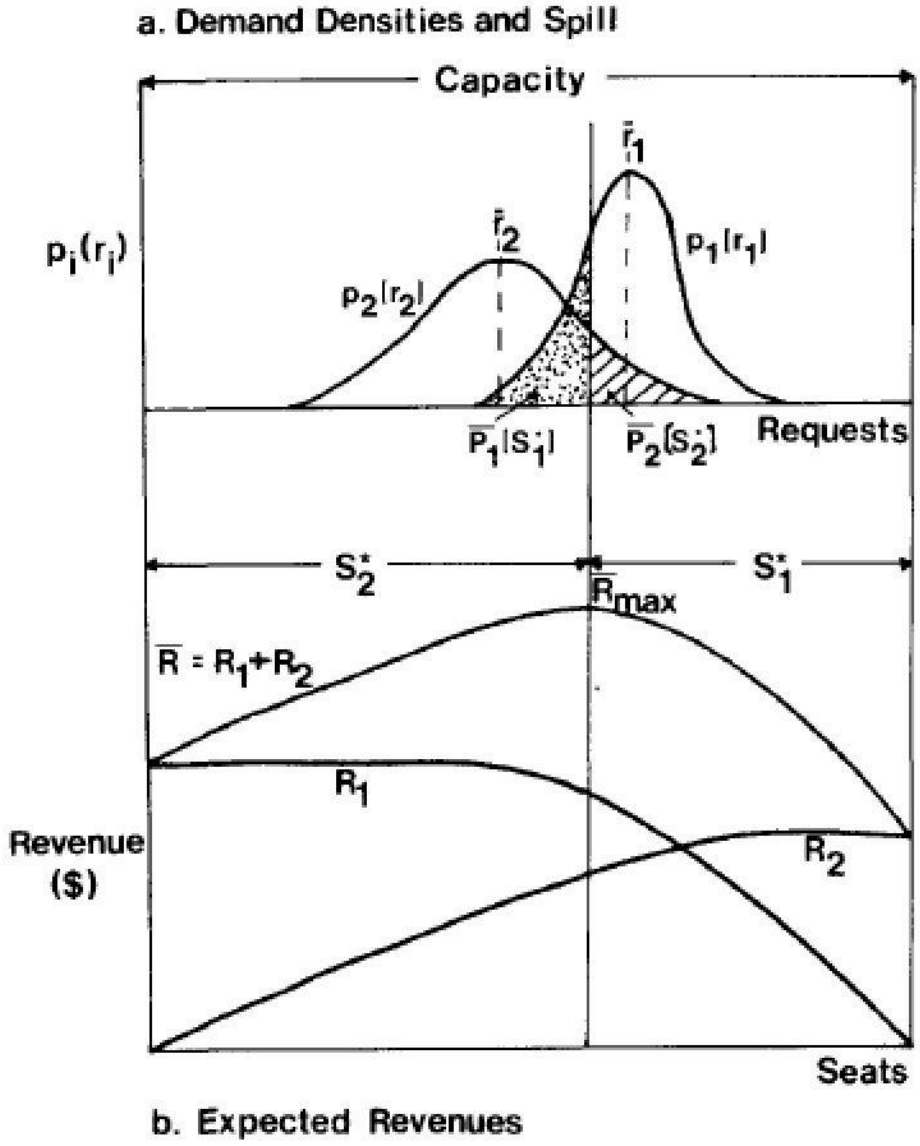
座席在庫管理のための数学モデル

航空会社が実施している運賃クラスの予約制限の設定および調整のタスクにおける洗練度の低さの理由の大部分は、最適な決定を下すための実用的なモデルの欠如に起因している。各運賃クラスに割り当てる座席数を決定するための最適化モデルを開発するために必要な理論的および実証的研究は、規制緩和以降の航空業界での急速な競争条件の変化に取り残されてきた。実際、有用なモデルの存在は最近までほとんどの航空会社で認められていなかった。

本節では、したがって航空会社の座席在庫管理に関連する数学的概念、理論、および解決方法を概説する。ここでの議論は、1970年代初頭に国際市場での事前購入ツアー（APEX）運賃の導入とともに開始された過去の作業に焦点を当てて行う。最適な座席割り当てを見つける際の運賃クラス別の予想限界収入の使用について最初に説明し、次に独立したカテゴリを持つ予約システムで予約制限を最適化するための期待限界収益アプローチを利用するソリューションアルゴリズムを解説する。

航空会社の座席在庫管理問題には、確率的要素と動的要素の両方がある。航空会社が将来のフライトの座席について、より具体的にはそのフライトで提供されるさまざまな運賃クラスについて受け取る最終的な需要表明数については不確実性があるという意味において、問題は確率的である。また、フライトで受け付けられる予約リクエストの総数は日々変化し、かつ、今後のリクエストの見積もりに影響を及ぼし、ひいては運賃クラス間の残りの座席の最適な割り当てに影響を与える可能性があるという意味において、問題は動的である。

確率的需要の概念は、各運賃クラスに対する予想される需要表明数を過去の需要分布から推定する必要があるため、航空会社の座席在庫管理問題の中心となる。また、フライトレグで利用可能な座席の総数に対する容量の制限も重要である。特定の運賃クラスに割り当てられた座席数がその運賃クラスの需要表明数を下回る場合も考えられる。その結果、一定以上の需要が拒否される、つまり「スピル」が発生する。




図表 II- 62

図表II-62は、単純化された2クラスの座席在庫管理の例について、これらの概念を図式的に示している。この問題の数学的モデリングに対するこれらの確率的概念の意味を明らかにするために収益最大化モデルを以下で展開する。具体的には、総容量制約を条件として、2つの独立した運賃クラス間の座席の最適な割り当てを決定するために使用することができる座席在庫管理問題の静的モデルを想定する。ここで、$p_i(r_i)$を、スケジュールされたフライトレグ出発の予約プロセスの終了までにクラスiの座席について航空会社が受け取った予約要求の総数$r_i$の確率密度関数として定義し、各運賃クラス間で共有する客室の合計容量をCとすれば、

$$C = \sum_i S_i \qquad (1)$$

と書ける。すなわち、運賃クラス1に対する$S_1^*$以上の要求を受信する確率は、$p_1(r_1)$の下の網掛け部分で示されているように、$P_1(S_1^*)$となる。また、fを各運賃クラスの予約要求が受け入れられたときに航空会社が受け取る平均運賃または相対収入、bを座席

割り当てが与えられた場合の各クラスにおける予想予約数とすると期待総収入Rとすると、

$$\bar{R}_i(S_i) = f_i \cdot \bar{b}_i(S_i), \text{ for all i}$$

$$\bar{R} = \sum_i \bar{R}_i \qquad (2)$$

となる。

2クラスの例では、相対運賃の異なる各運賃クラスに割り当てられた座席容量(S1とS2)は、合計してCとなる総座席数を共有する必要がある。これらの制約のもとでフライトの期待総収入Rを最大化するS1およびS2の値を見つけるには、S1を基準にしてRを微分し、これをゼロに設定することで得られる。

すなわち、座席は、各クラスの追加座席に関する限界予想総収入がゼロになるように、運賃クラス間で割り当てられる。最適状態では、クラス1から座席を取り、代わりにクラス2に割り当てることで、総予想飛行収入を増やすことはできないことを意味する。結果として各クラスの予想限界座席収入(EMSR)は、すべての関連する運賃クラスにわたって等しくなるが、課される容量の制約のため、必ずしもゼロにはならないことに注意が必要である。

各運賃クラスの座席の予想限界席収入は、各クラスの平均運賃レベルにS以上の予約要求を受ける確率を掛けたものとして表される。したがって、上記の最適条件は次のように表すことができる。

$$f_1 \cdot \overline{P_1}(S_1^*) = f_2 \cdot \overline{P_2}(S_2^*)$$

各クラスの座席容量の最適値S*は、各運賃クラスに対する予想需要の確率密度、相対運賃、および利用可能な総容量のパラメータに依存する。このモデルから導き出されたS*の値は、各運賃クラスの予想需要レベルに基づく、独立したカテゴリへの利用可能な座席の最適な割り当てを表す。こうして決定されたS*の値は、各運賃クラスの需要は他のクラスの需要とは無関係であり、最適な座席割り当てはフライトの予約期間の開始時に一度だけ行われると想定される。実際には、1つの運賃クラスに対する需要が別の運賃クラスに対する需要に関連する可能性があるため、異なる種類の運賃に対する需要は独立していない可能性がある。

さらに重要なことに、この静的座席在庫管理モデルは、フライトに対して受け入れられた実際の予約が、予想される最終的な需要表明数に関する貴重な追加情報を提供する可能性がある予約プロセスの動的性質を考慮していない。そこでフライト区間の収入最大化座席割り当てを見つけるために2つの運賃クラスのそれぞれで限界収入を等しくするというアプローチは、Littlewood(1972)によって動的予約モデルの文脈に適用された。別の低運賃の座席を販売することからの特定の収入がより高い運賃でその同じ座席を売ることの期待される収入を超過するときに限り、低運賃クラスへの追加の予約は受け入れられる、という必要がある。すなわち、

$$f_2 \geq \overline{P_1}(S_1) \cdot f_1$$

という場合に限り、低運賃を支払う乗客は受け入れられることになる。

Littlewoodのモデルの拡張は、1982年にLufthansaのRichterによって提案された。しかし、この拡張モデルも、元のモデルと本質的

に同等であることが証明された。Richterのモデルでは、低運賃の乗客に追加の座席を割り当てたことによる収入が、予想される高運賃の乗客からの座席要求を拒否することからの期待損失と等しくなるという結果が得られる。一般的にはこれは、低運賃と高運賃の両方の要求に対する要求の確率密度が含むが、Richterはさらに、ネストされた運賃クラス構造によって高運賃への予約要求が拒否されない場合には、低運賃シートの最適な制限は低運賃需要の関数ではないことを証明した。こうして得られる最適条件はしたがって、Littlewoodのモデルでの結果と同値となる。

これらのモデルを導出する際に行われた仮定の妥当性をテストするための作業も行われている。これらの前提条件のうち最も重要なものは次のとおりである。

1. 低運賃の乗客は常に最初に予約する

2. 予約のキャンセルはない

3. 拒否された需要は航空会社によって失われた収入と考える

これらの仮定の下での単純なモデルの感度分析は、1976年にEl AlのMayerによって行われた。この分析では、異なるクラスでの価格の差が大きいほど、総期待飛行収入が座席配分により敏感であることを示した。また低額旅客に割り当てられる座席数が座席数が少なすぎる場合よりも、多すぎる場合に期待収入の減少は小さくなることも示された。

低運賃の乗客が最初に予約するという仮定の妥当性が、最適な座席割り当てと予想される収益レベルにどのように影響するかという問題も、Mayerらによって解決された。TitzerとGriesshaberはさらに一歩先を行き、出発日が近づくにつれて、「早割」の仮定と、低額運賃の予約要求の割合が減少し、高額運賃の予約要求の割合が増加する並列予約プロセスを比較した。両方の分析は、各運賃クラスの需要が独立していると仮定される限り、モデルによって決定されるように予約行動の仮定が最適な座席割り当てに大きな影響を与えるものではないことを示した。

期待限界収入アプローチは、1982年にルフトハンザのBuhrによって複数の飛行レグをもつ旅程について座席を割り当てる問題に適用された。AからBを経由しCに至るという旅程の予約について、彼はAからCに飛んでいる乗客に追加の座席を割り当てることから予想される「残余の」収入$E_{AC}$を次のように定義した。

$$E_{AC}(S_{AC}) = \overline{P_{AC}}(S_{AC}) \cdot f_{AC}$$

各OD市場の需要は独立していると想定されているため、最適化問題は各区間の座席を2区間通して利用する旅客および一区間だけの利用の旅客にそれぞれ割り当てることと叙述される。Buhrは、次の場合に総フライト収益が最大化されると導出した。

$$E_{AC}(S_{AC}) = E_{AB}(S_{AB}) + E_{BC}(S_{BC})$$

したがって、このBuhrの帰結は、上述した期待限界収入アプローチによるものと本質的に同質である。

以上、本節でまとめた最適化モデルでは、同じ市場の各運賃クラスの需要レベルと、航空会社予約システムの運賃クラス予約「カテゴリ」の両方が独立していると仮定している。前者の仮定は経験的に分析が行われているが、ほとんどの航空会社予約システムがネストした、または相互に依存した運賃クラス構造を持っていることを考えると後者の仮定は明らかに妥当ではない。イールドマ

ネジメント手法の改善に着手した航空会社は、座席在庫管理が相互に関連するいくつかの要素を含むだけでなく、それが航空会社内の他の機能とも密接に関連していることも見出している。これらの要素を包括するように予約システムの機能を変更し、それらをイールドマネジメントのニーズに関連付けることは、ほとんどの航空会社にとってより長期的な目標となる。航空会社のイールドマネジメント部門では、それを使用することによって座席在庫管理の意思決定を支援する実用的な価値をもつより現実的なモデルが求められている。したがって抽象的な数学モデルがもつこれらの制約を緩和し、より現実に即したモデルの構築が望まれる。

#### 4.4.2.4 結語

上述したイールドマネジメント手法の導入は、廃棄物産業においても企業の収益性向上への重要な効果をもつと考えられる。航空会社業界における座席在庫管理改善の程度は個々の航空会社間で大きく異なるが、多くの航空会社が必要な意思決定支援ツールの改善に投資するようになり、数学的最適化および予測手法の助けを借りてプロセスをより系統的にする可能性を模索している。廃棄物産業においても航空産業にならって、各企業がこうしたアプローチを導入することが望まれる。

イールドマネジメントによる意思決定支援システムのうちデータ入出力に関する部分の改善は、比較的短時間で実現でき得る。たとえば航空会社であれば、大部分の予約システムによって格納されている膨大な量の履歴予約および運航データを利用可能とするような意思決定支援システムを自社で購入または開発することが可能である。しかしイールドマネジメントを最適化するための最も複雑で長期的な目的は、将来の需要を予測し、収益を最適化するためのより実用的な数学的意思決定モデルの開発である。意思決定分析と数理計画法のツールは収益最大化問題に非常に適しているが、ここにさらに予約システムの機能、データの可用性、および業界固有の競争慣行の性質など、実際的な制約を反映させたより現実的な仮定を取り入れ、また必要な入力データの精度を改善することによって、時々刻々と変化する生産能力と在庫管理の状況に合わせてつねに現実妥当性のある意思決定情報を提供するようなモデルを開発することが重要である。

これらの課題を克服し、より複雑な状況への拡張を行ったより効率的な解法アルゴリズムの開発と動的在庫管理問題へのそれらの応用は、潜在的に大きな実用的利益をもたらす。航空産業について言えば、一マイルの有償座席提供あたり1セントの収益の増加は、比較的大規模な航空会社であれば数億ドルの総収入の増加を意味する。航空業界のみならず廃棄物産業に属する企業にとってもイールドマネジメント手法の導入は大きな収益機会をもたらすと考えられる。さらにこうしたイールドマネジメント手法の導入によるより良い収益管理方法の探求は、人員およびITへの多大な投資を伴うため、これを通じて廃棄物産業全体の新しいかたちでの発展につながると考えられる。

## 4.3 結論

本年度の研究は大きくパート 1 とパートに分かれているが、それらの結論をまとめると以下のようになる。

はじめに、パート1の産業廃棄物発生量の将来フレームに関する研究からは、地方圏における産業廃棄物処理業の動向が重要であることがあらためて浮き彫りになった。そのため、来年度以降の分析にあたっては可能な限り都道府県単位での分析をおこなっていく。また、高齢化が進行する地方圏においては、社会を維持するための基盤的サービスが供給面で相対的に高い比重を持つことになり、このことが地域の経済成長の隘路となり得ることや、地域の利用可能な資源に関する制約がよりタイトになる可能性が示された。地方圏において人口減少や高齢化に適確に対応できた場合はもとより、労働市場の硬直性に起因して経済活動が停滞した場合においても、廃棄物処理業には一定水準の需要が存在することがわかった。その意味でも、人手不足に対応して産業廃棄物処理業が一定の生産性を維持するための方策が不可欠であるため、次年度は都道府県等に分けて、その課題を検討する。

次にパート 2 の廃棄物の産業組織についての研究では、以下の3点が明らかになった。第1に、BC 導入が必ずしも電子マニフェストの代替ではないということである。当初は電子マニフェストを代替するようなものをイメージして始まった研究であるが、電子マニフェストの制度は大変うまくできていることとその周辺に様々な機能を組み込むことができることから、代替というよりは、産業廃棄物のサプライチェーン管理に向けて補完的な機能として、BC や IoT などの先端技術を組み込むことで生産性の向上につながる可能性が高いと考える。第2に、サプライチェーンの管理に IoT や BC を導入することは省人化につながる可能性が高いが、それらを導入している他分野の事例からトレーサビリティの向上は、うまく設計することではじめて経済厚生を高めることができるということが明らかになった点である。先端技術を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重要である。第3に先端技術を活用した生産性向上の可能性は、トレーサビリティあるいは情報の非対称性の解消にとどまらないということである。具体的には交通産業等で導入されているイールドマネジメントなどの考え方は廃棄物処理業ではこれまでほぼ実施されておらず、導入によって利益率の向上、ひいては従業員の待遇向上、人手不足の解消につなげることができる可能性を秘めている。

適正処理の担保は大原則であり最も重要な点であるが、トレーサビリティの向上が「守りの経営」であるとすれば、イールドマネジメント等の導入は「攻めの経営」であり、今後ますます高齢化が進んでいく我が国においては、産業廃棄物処理業もこのバランスを十分に考える必要がある。

## Ⅲ. 今後の研究方針

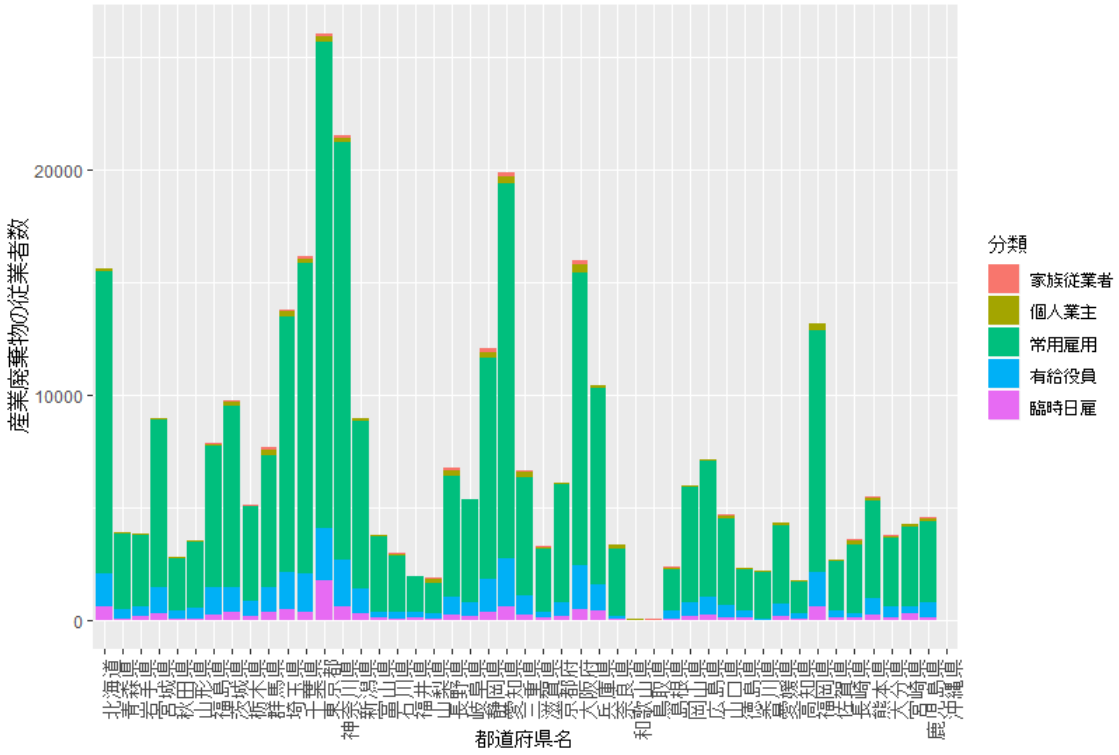
パート1では、政策立案に直接的に貢献できる本研究計画の中で最も重要なパートである。本年度は予備的かつ基礎的な調査・研究を実施する計画としていたが、今後に向けたいくつかの課題も明らかとなった。第一に、本年度の研究で構築したモデルは、現在の産業構造を前提として人口構造の変化が産業に与える因果連関を試算するものであり、これをそのまま将来予測に用いることはできない。また、分析は平成 23 年版の産業連関表の諸係数に依拠しており、将来予測のためにはモデルにおけるパラメータの精査はもとより、数量分析が可能であり、かつ、現実を反映したシナリオの構築が求められる。第二に、本年度の研究は富山県産業連関表をベースとしているが、これを他地域に拡大していく場合、都道府県間で産業連関表の表彰形式が同一ではなく調整が必要となる。また、これらの地域産業連関分析の結果をどのように地域間の交易効果を考慮した形で分析することが必要である。既に都道府県産業連関表をもとに地域間産業を推計する試みはなされているが、本年度の研究では単一地域の分析に留まっている。第三に、本年度の研究では産業廃棄物処理部門についての詳細な分析を行っていない。産業としての産業廃棄物処理部門と他産業から排出される産業廃棄物の関係も含めた分析が求められる。

また産業廃棄物処理業の従業者数についても将来フレームを検討することが本研究における目的の一つである。今年度の研究により、機械学習を導入した従業者数の予測についても方法論についての理解が深まったので、次年度は都道府県レベルでの予測作業を試験的に実行する。

パート 2 では、以下の2点に取り組む。まず、本年度の研究で先端技術についての共通理解ができたので、産業廃棄物処理のフローにおいて、具体的な適用事例を検討し、主として実務面からの導入の可能性を探る。また、先端技術の導入が必ず経済厚生を高めるとは限らないため、入念な制度設計が求められる。そこで次年度は産業組織論の観点から経済モデルを構築し分析を行い、最終年度の政策提言に基礎情報としてインプットできるようにすることを目指す。

# Ⅳ. 添付資料

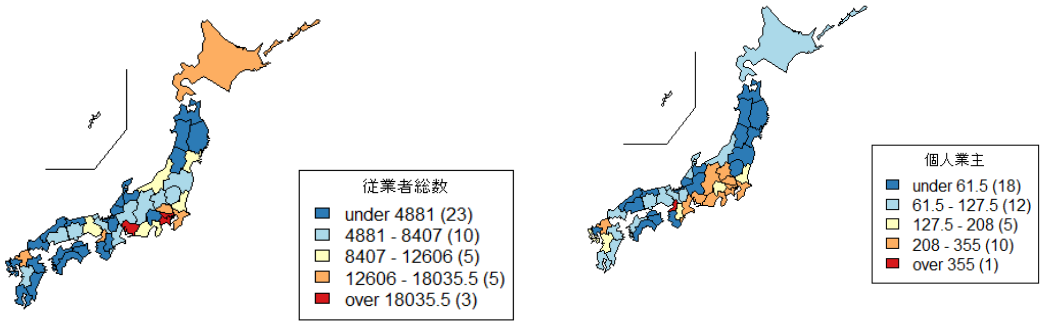
## 1. 廃棄物処理の従業者数の地理的分布




図表Ⅳ-1

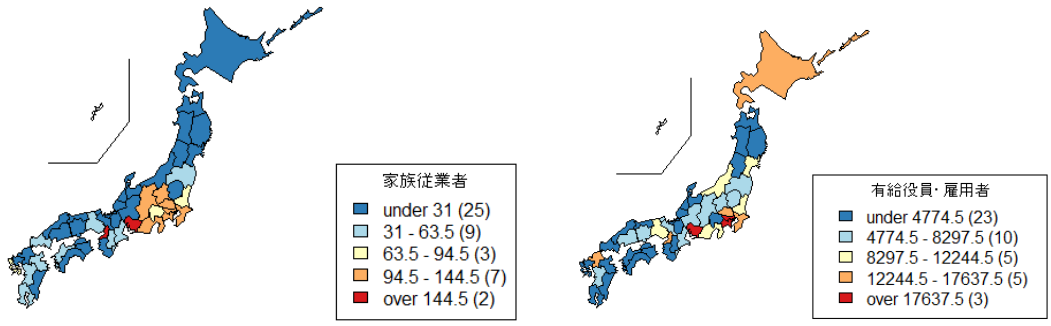
## 産業廃棄物処理　従業員数

（沖縄県は除く。）



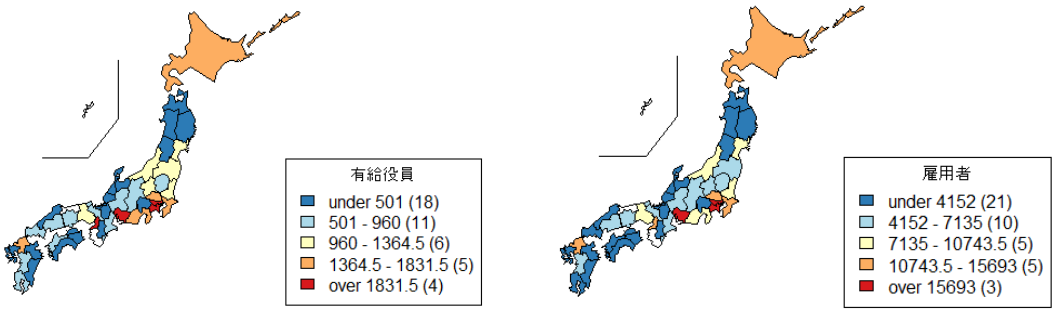

図表Ⅳ-2

従事者総数が多いのは東京都（26,061 人）、少ないのは、鳥取県（1,567 人）となっている（鳥取県は再生資源回収・加工処理の従業員総数も最も少ない）。 個人業主が多いのは大阪府（400 人）、少ないのは鳥取県（7 人）となっている。（再生資源回収・加工処理の個人業主数も鳥取県が最少である。）大阪の個人業主数は他の都道府県と比べて格段に多い。



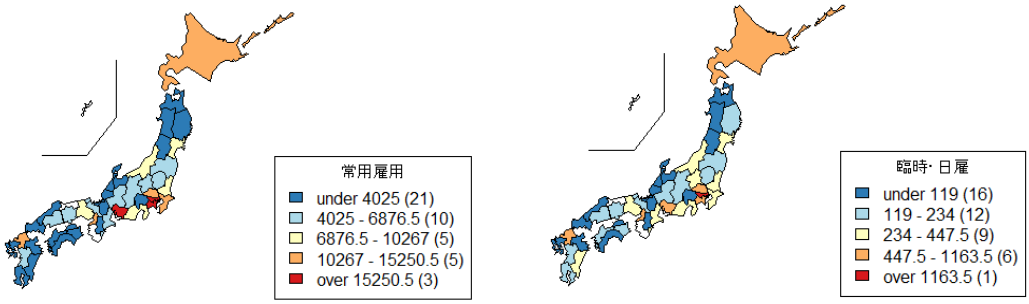

図表Ⅳ-3

家族従業者が多いのは愛知県（185 人）、少ないのは岐阜県（2 人）となっている。（再生資源回収・加工処理における家族従業者数も愛知県がトップである。）関東周辺の都道府県は家族従業者数が比較的多い傾向。有給役員・雇用者が多いのは東京都（25,706 人）、少ないのは鳥取県（1,551 人）となっている。（再生資源回収・加工処理の有給役員・雇用者数の最多も東京都で最少が鳥取県である。）




図表Ⅳ-4

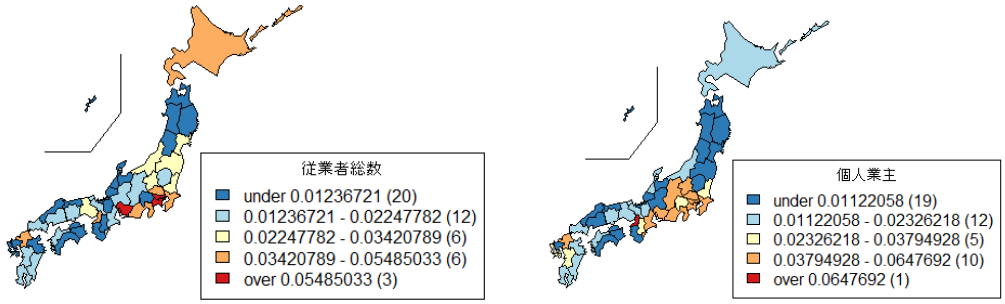
有給役員が多いのは東京都（2,369 人）、少ないのは香川県（27 人）となっている。香川県だけが唯一 100 人以下である（香川県の次に少ないのは奈良県の 127 人）。雇用者は際立って多いのが東京都（23,337 人）、少ないのは山梨県（1,398 人）となっている。




図表Ⅳ-5

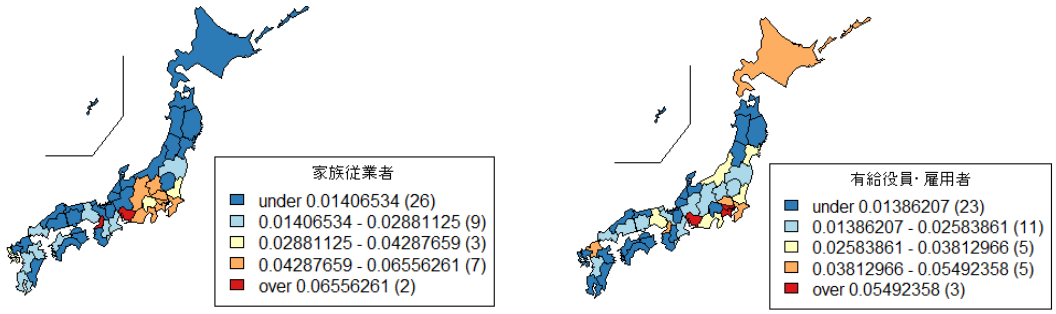
常用雇用が多いのは東京都（21,615 人）、少ないのは山梨県（1,330 人）となっている。臨時・日雇が最も多いのは東京都（1,722 人）。少ないのは香川県（1 人）となっている。

産業廃棄物処理　従業員数比率



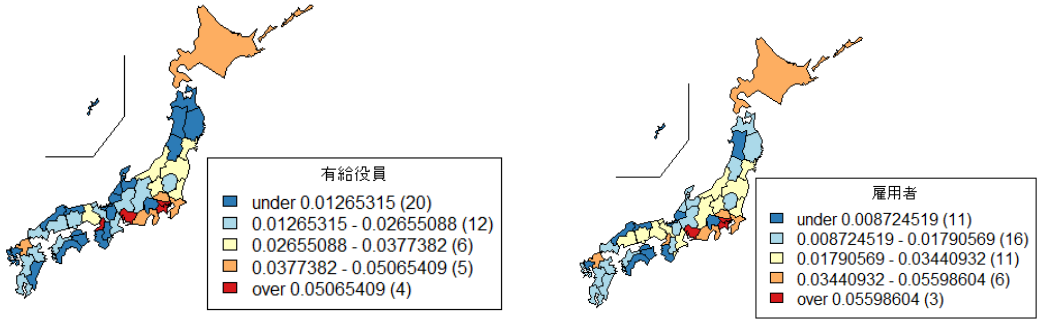

図表Ⅳ-6

廃棄物処理の従業者総数率が最も高いのは東京都(約 8%)、低いのは鳥取県(約 0.5%)となっている。個人業主率が高いのは大阪府(約7%)、低いのは鳥取県(約0.1%)となっている。



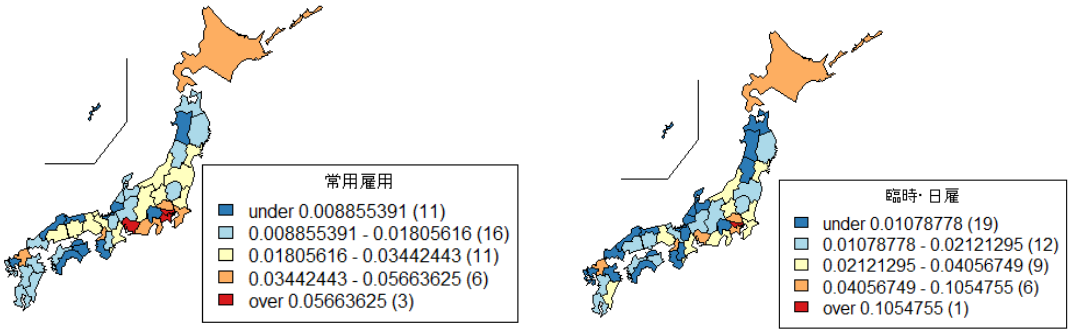

図表Ⅳ-7

家族従業者率が高いのは愛知県(約8%)、低いのは岐阜県(約0.09%)となっている。(再生資源回収・加工処理の従業員比率も愛知県が最も多い。)有給役員・雇用者率で高いのは東京都(約8%)、低いのは鳥取県(約0.5%)となっている。




図表Ⅳ-8

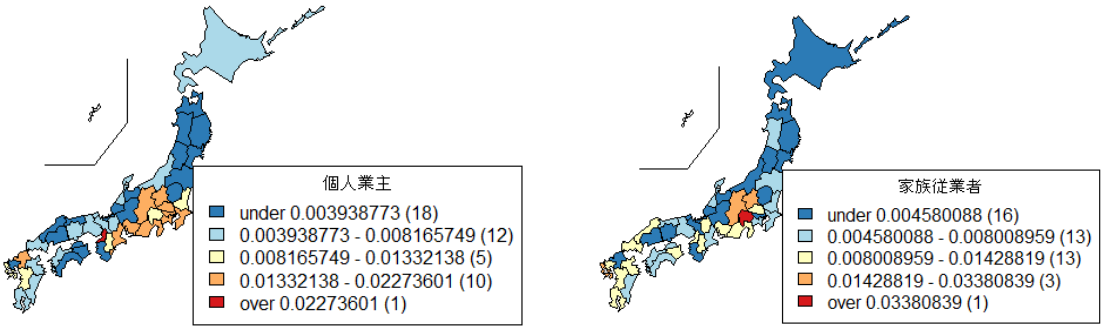
有給役員率が高いのは東京都(約 7%)、低いのは香川県(約 0.08%)となっている。雇用者率が高いのは東京都(約 8%)、低いのは山梨県(約0.5%)となっている。




図表Ⅳ-9

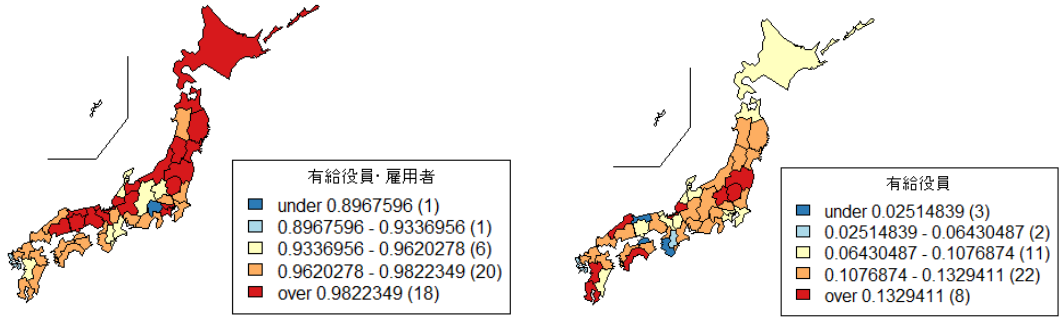
常用雇用率が高いのは東京都(約 8%)、低いのは山梨県(約 0.5%)となっている。臨時・日雇率が高いのは東京都(約16%)、低いのは奈良県(約0.4%)となっている。

雇用形態別の産業廃棄物従業員数率



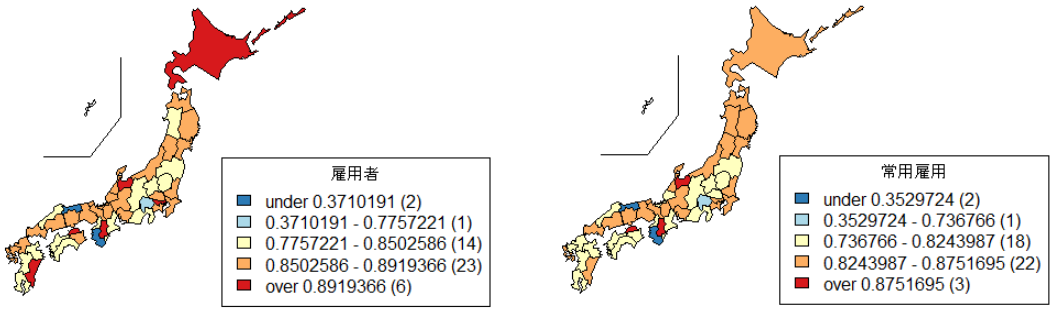

図表 IV- 10

個人業主率が高いのは大阪府(約 2.6%)、低いのは島根県(約 0.3%)となっている。(全国平均値は約 2.2%)家族従業者の割合が高いのは山梨県(約 4.5%)、低いのは岐阜県(約 0.04%)となっている。(全国平均値は約 0.9%)



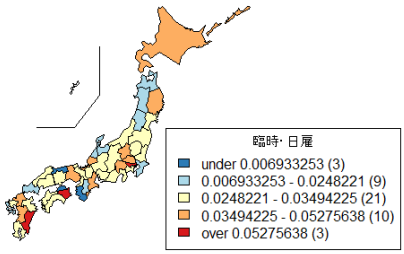

図表 IV- 11

有給役員・雇用者率が高いのは広島県(約 99.6%)、低いのは山梨県(約 87.1%)となっている。(全国平均値は約 96.9%)有給役員率が高いのは福島県(約 16.0%)、低いのは香川県(約 1.2%)となっている。(全国平均値は約 11.5%)




図表Ⅳ- 12

雇用者率が高いのは香川県(約 96.3%)、少ないのは山梨県(約 74.2%)となっている。(全国平均値は約 85.4%)常用雇用率が高いのは香川県(約96.3%)、低いのは山梨県(約70.6%)となっている。(全国平均値は約82.1%)

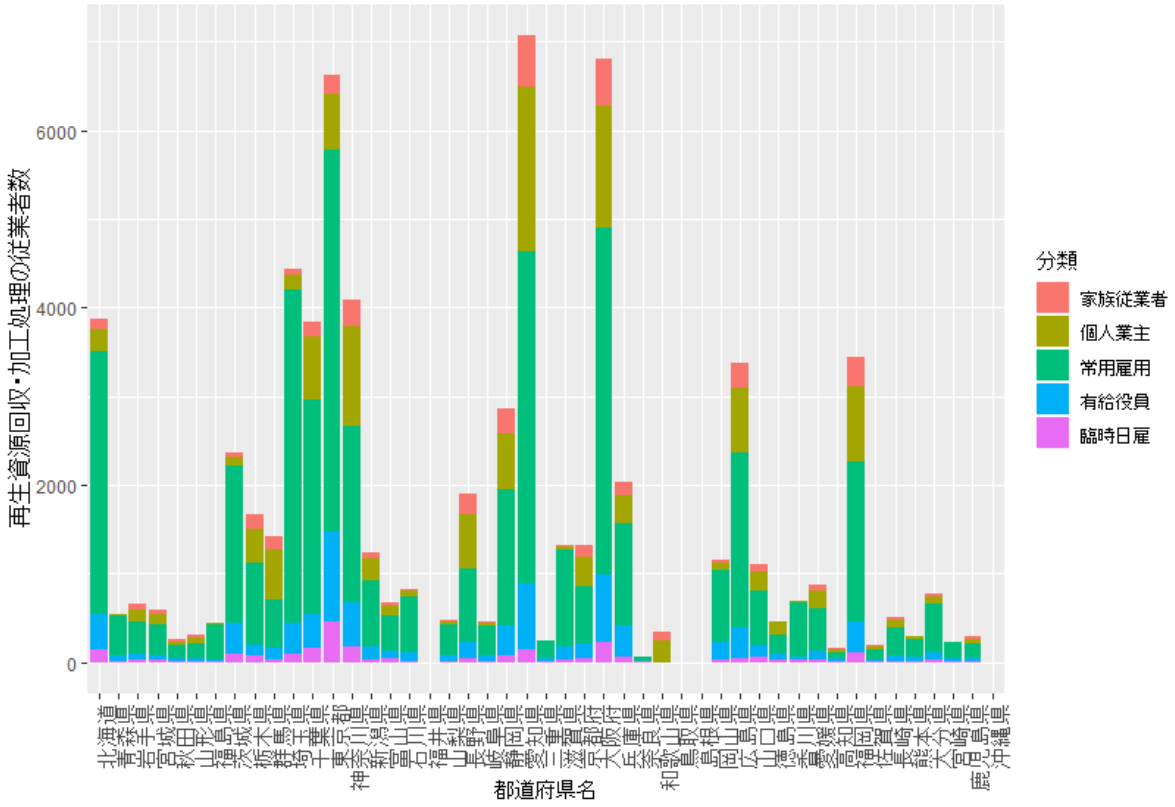



図表Ⅳ- 13

臨時・日雇率が高いのは東京都(約6.6%)、低いのは香川県(約0.05%)となっている。(全国平均値は約3.3%)

再生資源回収・加工処理

再生資源回収・加工処理の従業員数

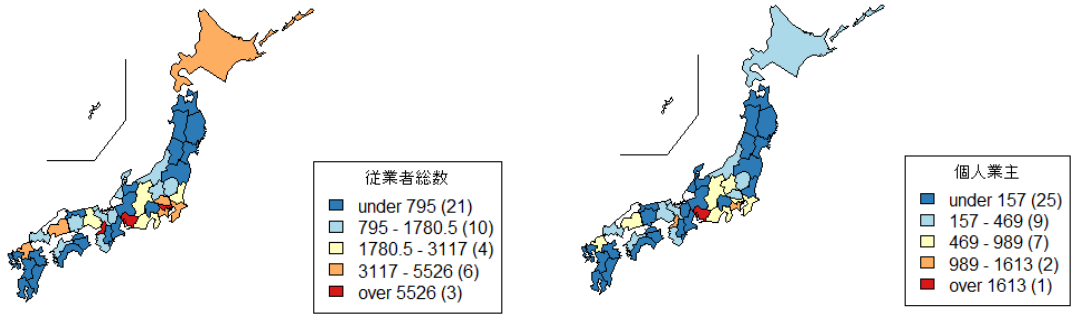



図表 IV- 14

## 再生資源回収・加工処理　従業員数

（福井県・島根県・沖縄県を除く。）

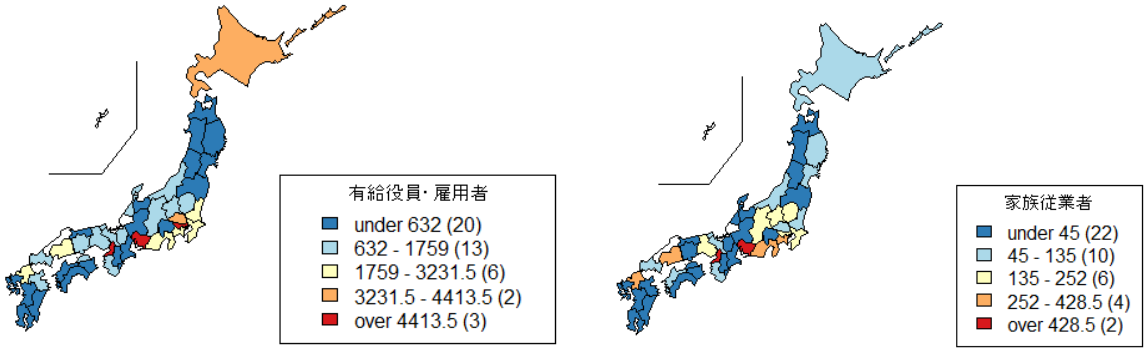
・　従業者総数




図表 IV- 15

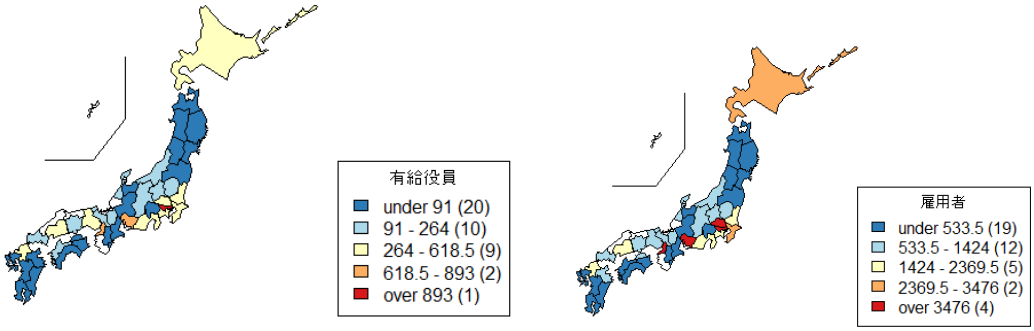
従業者総数が多いのは愛知県（7,068　人）。少ないのは鳥取県（47　人）となっている。（鳥取県は廃棄物処理の従業者総数も最も少ない。）

個人業主は愛知県（1,861　人）。少ないのは鳥取県（0　人）となっている。（鳥取県は廃棄物処理の個人業主も最も少ない。）個人業主が 10 人以下なのは、鳥取県も含め 4 県である。



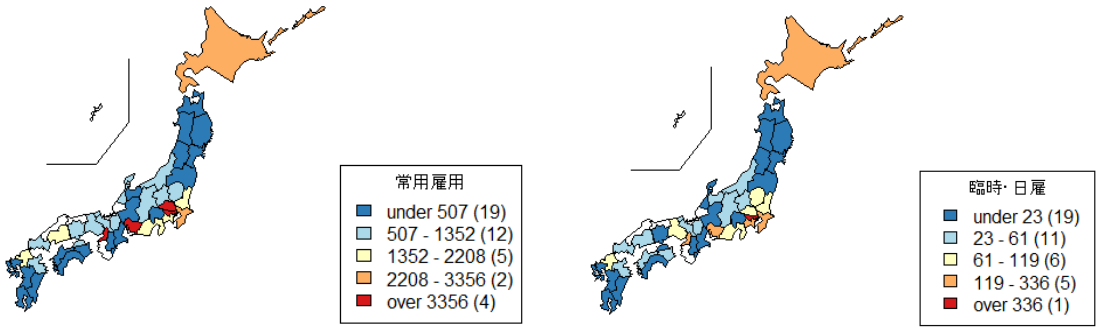

図表 IV- 16

家族従業者が多いのは愛知県（579 人）。少ないのは奈良県と鳥取県（0 人）となっている。（愛知県は廃棄物処理の家族従業者数も一番多かった。）奈良県と鳥取県を含め、9 県で家族従業者数が 10 人以下となっている。有給役員・雇用者が多いのは東京都（5,781　人）。少ないのは鳥取県（47　人）となっている。（廃棄物処理の有給役員・雇用者も同様に最多が東京都、最少が鳥取県となっている。）




図表Ⅳ- 17

有給役員が多いのは東京都(1,021 人)。少ないのは奈良県(10 人)となっている。雇用者が多いのは東京都(4,760 人)。少ないのは奈良県(52 人)となっている。

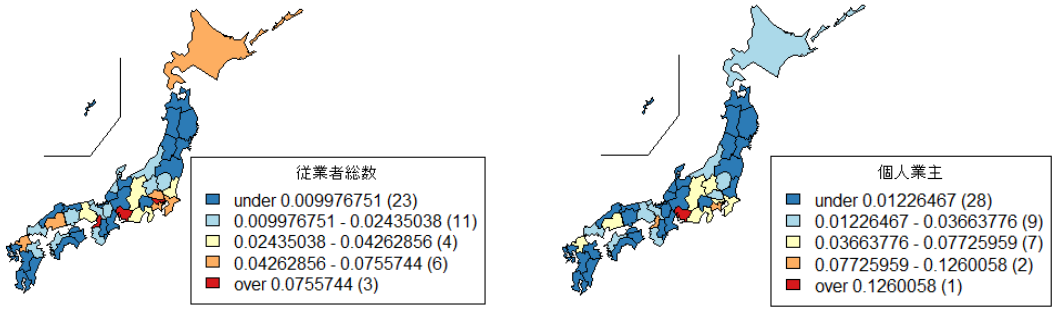



図表Ⅳ- 18

常用雇用が多いのは東京都(4,309 人)。少ないのは奈良県(49 人)となっている。臨時・日雇が多いのは東京都(451 人)。少ないのは奈良県(3 人)となっている。

## 再生資源回収・加工処理　従業員数比率

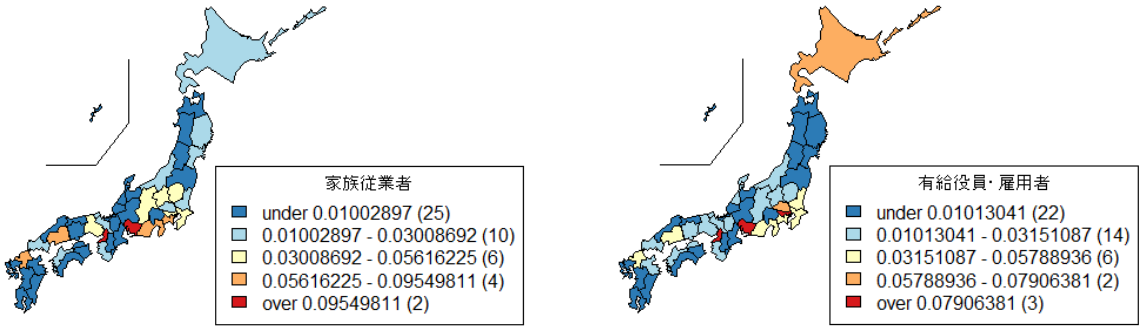
・　従業員総数




図表 IV- 19

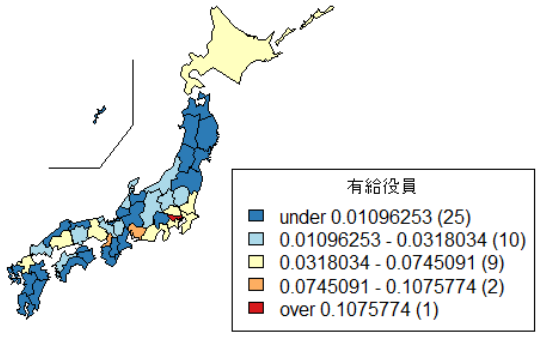
従業者総数率が高いのは愛知県(約 10%)、低いのは鳥取県(約 0.06%)となっている。個人業主率が高いのは愛知県(約 15%)、低いのは鳥取県(0%)となっている。

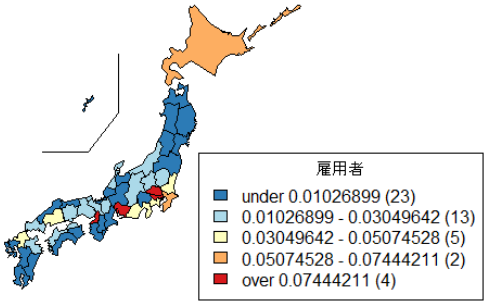
・　家族従業者




図表 IV- 20

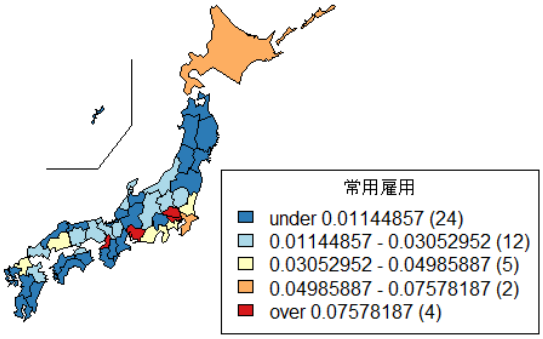
家族従業者率が高いのは愛知県(約 13%)、低いのは奈良県と鳥取県(0%)となっている。有給役員・雇用者率が高いのは東京都(約 10%)、低いのは鳥取県(約 0.08%)となっている。

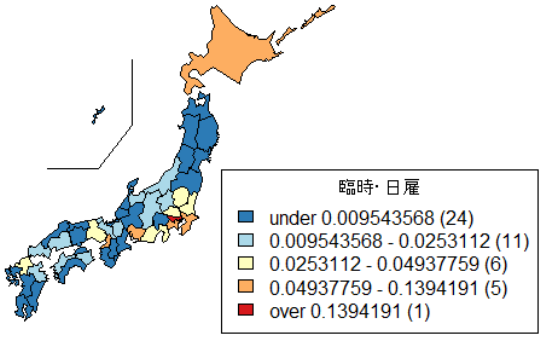



図表Ⅳ-21

有給役員率が群を抜いて高いのは東京都(約12%)、低いのは奈良県(約0.1%)となっている。雇用者率が高いのは東京都(約10%)、低いのは奈良県(約0.1%)となっている。

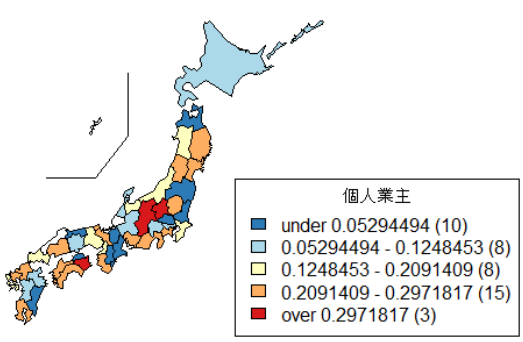


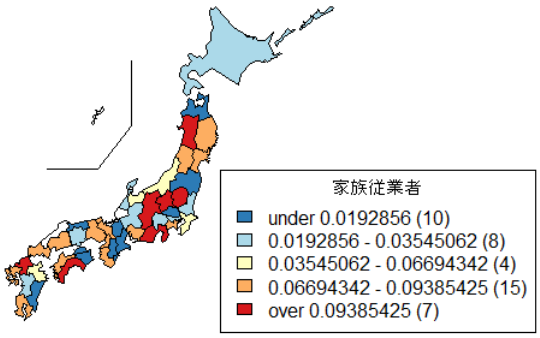




図表Ⅳ-22

常用雇用率が高いのは東京都(約 10%)、低いのは奈良県(約 0.1%)となっている。臨時・日雇率が高いのは東京都(約19%)、低いのは奈良県(約0.1%)となっている。

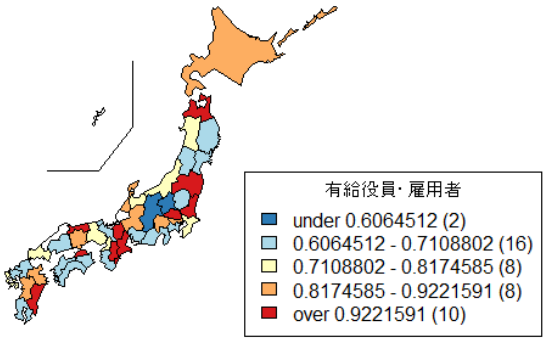
雇用形態別の再生資源回収・加工処理従業員数率

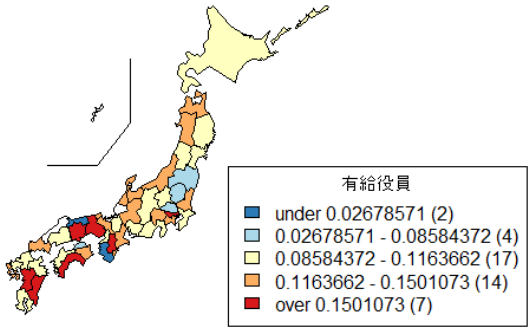



図表 IV- 23

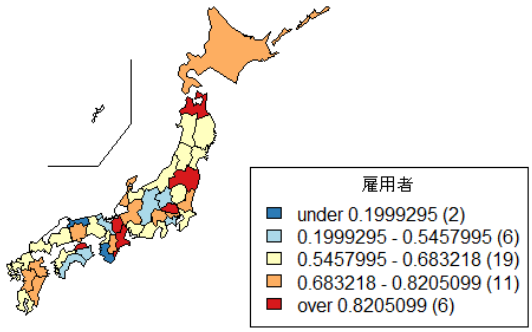
個人業主率が高いのは長野県(31.9%)、低いのは三重県(0.8%)となっている。(全国平均値は約 21.8%)家族従業者数が高いのは長野県(約 12%)、低いのは福島県(0.2%)となっている。(全国平均値は約 8.4%)

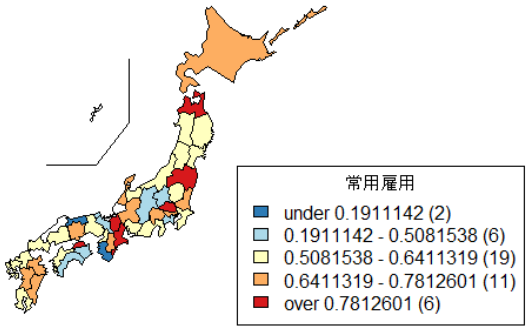



図表 IV- 24

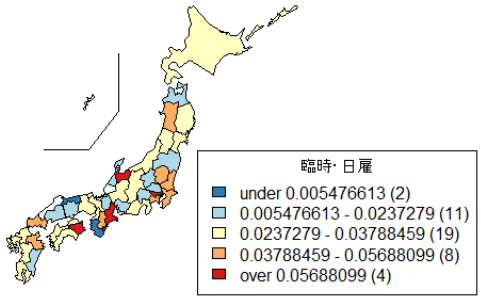
有給役員・雇用者率で高いのは三重県(約 99%)、低いのは群馬県(約 49%)となっている。(全国平均値は約 69.8%)有給役員率で高いのは高知県(約 18%)、低いのは福島県(約 5%)となっている。(全国平均値は約 10.9%)




図表Ⅳ-25

雇用者率が高いのは福島県(約91%)、低いのは群馬県(約40%)となっている。(全国平均値は約59%)常用雇用率が高いのは福島県(約90%)、低いのは群馬県(約38%)となっている。(全国平均値は約55.8%)




図表Ⅳ-26

臨時・日雇率が高いのは徳島県(約8%)、低いのは広島県(約1%)となっている。(全国平均値は約3.2%)

## 2. AI、IoT、BC 勉強会資料

第 1 回　　2018 年 8 月 30 日(木)　「IoT、AI の現状と可能性、今後の課題」

INTEC TIS INTEC Group | Go Beyond

# IoTの現状と可能性

2018年8月30日

株式会社インテック
先端技術研究所

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

INTEC TIS INTEC Group | Go Beyond

## 目次

1. IoTの概要
2. データ収集・蓄積
3. 産業廃棄物処理へのIoT適用（イメージ）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

# IoTの概要

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

## IoTとは

IoT（Internet of Things）

- いろいろなモノがインターネットに接続し、相互に情報をやり取りすること

  いままでインターネットにつながっていなかったモノがつながる
  - 人（スマホ/ウェアラブルなど）
  - 各種センサー（温湿度/加速度/人感/Co2など）
  - 家電機器や機械（エアコン/自動車/工場設備など）
  - その他いろいろ

- 日本語では「モノのインターネット」と訳されることがある

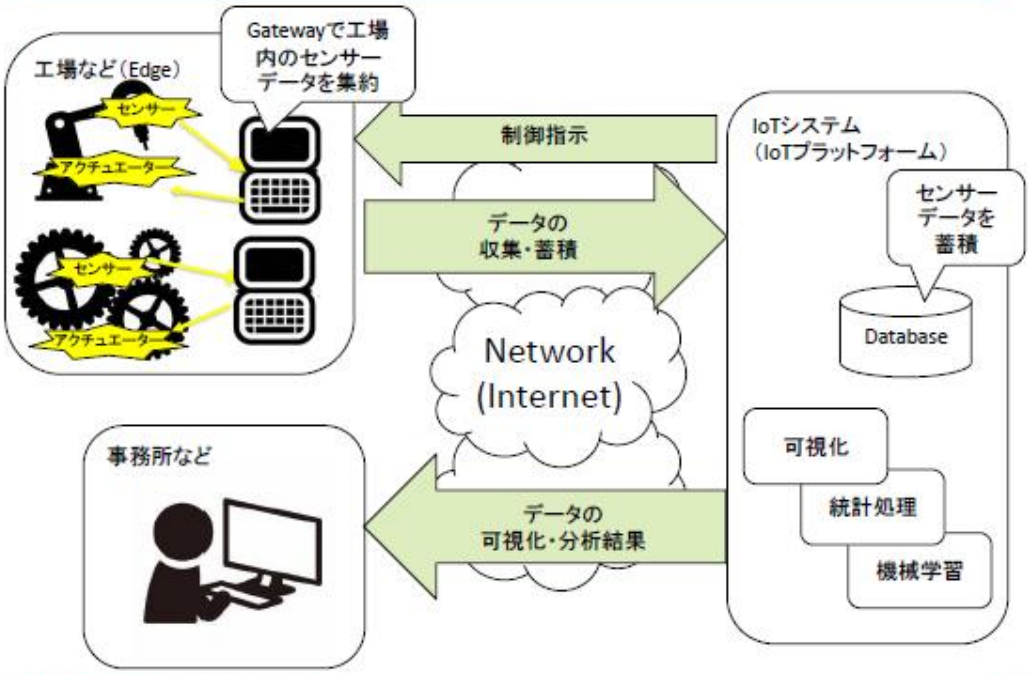
【参考】M2M（Machine-to-Machine）

- 機械が相互に情報をやり取りすること

  インターネットの介在は必須ではない

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## IoTシステム構成イメージ

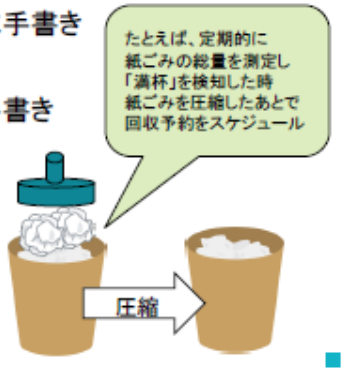



Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## メリット

- インターネットに接続しており、必要なタイミングで情報のやり取りが可能
  - 情報のやり取り
    - モノの状態を知る
    - モノを制御する(状態を変化させる)
- 正確な情報収集と作業の自動化・省力化可能
  - 正確な時刻を記録可能(測定や実施時刻)
    - 以前は、担当者が目視した時刻を作業記録に手書き
  - 正確な値を測定可能
    - 以前は、担当者が目視した値を作業記録に手書き
  - 正確で同じ手順で操作・制御可能
    - 以前は、担当者が手順書に従い作業を実施




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## デメリット

- 標準（デファクトスタンダード）が存在しない
  - 様々な規格が存在している（≒成長している）分野
  - PoC(Proof of Concept:概念検証)やPoT(Proof of Technology:技術検証)が必要
- セキュリティ対策が必須
  - 専用（≒独自、≠汎用）の機器を使っていることが多い
  - 汎用品でないため、PCのようなサービスが提供されていない
- センサー用電源の確保(バッテリーの交換)が必要
  - 外部電源なく稼働するセンサーは（ほとんど）無い
- 多種・多量な収集データの保存
  - 収集データ種別、サンプリング間隔に影響を受ける
  - 特徴量のみ保存するなどの工夫が必要
  - データ生成場所近くでデータ処理（エッジコンピューティング）も検討

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## IoT収集データの活用

1. 可視化（まずは、ここから開始）
   - 稼働監視（現状把握）
     - 生産性の向上や品質の向上につなげる
2. AIとの連携や活用（データが蓄積されたら／収集データ項目に漏れは無いか？）
   - 蓄積した稼働情報をもとに機械学習
     - 正常状態からの逸脱は、外乱(ノイズ)の影響を受けるが検知可能
     - めったに生じない事象は、学習データが少なく検知は（ほぼ）不可能
   - 予防保全（定期保守）から予兆保全へ移行
3. デジタルツイン（将来／製造ラインの組み換えなどをシミュレーション）
   - 実際の装置/機器をコンピュータ（Cyber）空間に構築
   - 収集データをもとに予測保全（シミュレーション）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## データ収集・蓄積

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## データの種別

- オープンデータ（公共性の高いデータなど）
  - 誰でも自由に使える
  - 利用や再配布に制限が無い
  - 最近では、政府や地方自治体が提供している
- 民間企業データ
  - 民間企業が販売を目的に作成している
  - 情報に対する対価の支払いが発生する
  - たとえば、民間の気象情報企業が顧客向けに提供している
- 独自収集データ（※これから説明）
  - 自社の企業活動によって収集蓄積
  - （多くの場合）外部に提供されることは無く、内部で活用することも稀
  - （多くの場合）収集データの種類は少なく、収集頻度も低い

(多くの場合)本当に必要なデータは、これから収集することになる

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## データ収集（既存設備など）

PLC(programmable logic controller)

- 制御機器(PLC)など
  - ネットワーク接続可否を確認
    - 不可の場合は、かなり難しい
    - 可能な場合は、要調査
      - 通信プロトコル（PCとの接続が考慮されているのか？）
      - 通信速度・性能（他の処理を行える余裕があるのか？）

- アナログメーター・デジタルメーターなど
  - コンピュータが扱える形式への変換が必要
    - たとえば、カメラ撮影と画像処理を組み合わせる
    - 値の正確性に課題（針の振れ、デジタル値の切替り）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



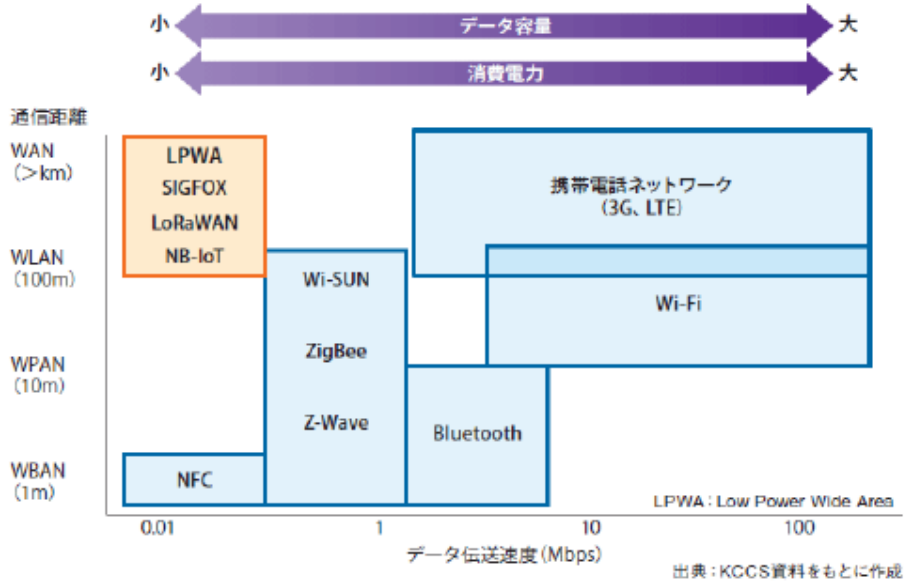
## データ収集（センサー）

- 製品として販売されている物は少なく、用途に合わせて機器を組み合わせて製作が必要
- 主なセンサーの種類
  - 温度、湿度、気圧
  - 電流、電圧、磁気、方位
  - 速度、加速度(振動)、角速度
  - 光（可視光/赤外線/紫外線など）、音（周波数、強度など）
  - ガス(CO2/爆発性/毒性など)
  - 画像(色判別/キズ検知など)
- ゲートウェイへの送信
  - 無線ネットワーク接続：配線不要で自由に配置可能
  - 有線ネットワーク接続：周辺ノイズに強い

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 無線通信規格の比較

- デファクトは無く、用途に応じた通信規格を選定する




出典：KCCS資料をもとに作成

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

【引用】https://businessnetwork.jp/Portals/0/Data/2017/01/19/lpwa001.gif



## データ収集(ゲートウェイ)

- センサーデータの収集
  - センサーデータに情報を付加
    - データ種別(例えば、温度情報なのか？回転数情報なのか？)
    - 機器識別(例えば、プレス設備なのか？破砕設備なのか？)
    - データ収集日時(例えば、年/月/日-時:分:秒.ミリ秒)
  - 温度などは、収集間隔が長い
    →収集データ件数が少ない → 全データ保存
  - モーターの回転数や消費電力などは、収集間隔は短い
    →収集データ件数が多い(冗長、大きなデータサイズは送信に不適)
    →特長量(最大/最小/平均/最頻値など)を算出し保存
    ※必要であれば、巨大サイズとなっても全データを保存する
- センサーデータの集約と送信
  - 適度なタイミング(分/時/日単位など)でデータを集約
  - IoTシステム(IoTプラットフォーム)への送信

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 蓄積データ

- IoTで収集・蓄積するデータの特性
  - 数値型
    - 状態を表す文字列などは、離散値に置き換えることで数値型で取扱可能
    - [例外]ログなどは、文字列型の場合あり
  - ストリームデータ(終わりなくデータが生成され続けるデータ)
    - たとえば、気温(23.4度)やモーターの回転数(1234rpm)など
- IoTで参照するデータ
  - ある時間幅(1時間/1日など)におけるデータの変化
  - データとデータの関連(リレーション)を扱うことはまれ
- IoTで使用されるデータベース種別
  - × RDBMS(リレーショナルデータベース)
    - たとえば、PostgreSQL / MySQL / Oracle
  - ○ 時系列データベース
    - たとえば、InfluxDB

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## IoTプラットフォームとは

- IoTシステム(サーバ側)の構築に必要な機能を提供
  - ゲートウェイデバイスの管理(認証含む)
  - 収集データ格納
  - 可視化、各種分析、etc.
- AWS/Azureなどクラウドサービスが有名
  - IoTシステムのPoC(スモールスタート、使った分だけ課金など)は、クラウドサービスが得意とする分野
  - 規模の拡大(スケールアウト)にも柔軟に対応可能
  - 機械学習(モデル構築)でのクラウド利用は検討が必要
    - 大量の生データ転送が必要な場合
      - → クラウド利用は不適
      - → オフライン分析を検討してはどうか？

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

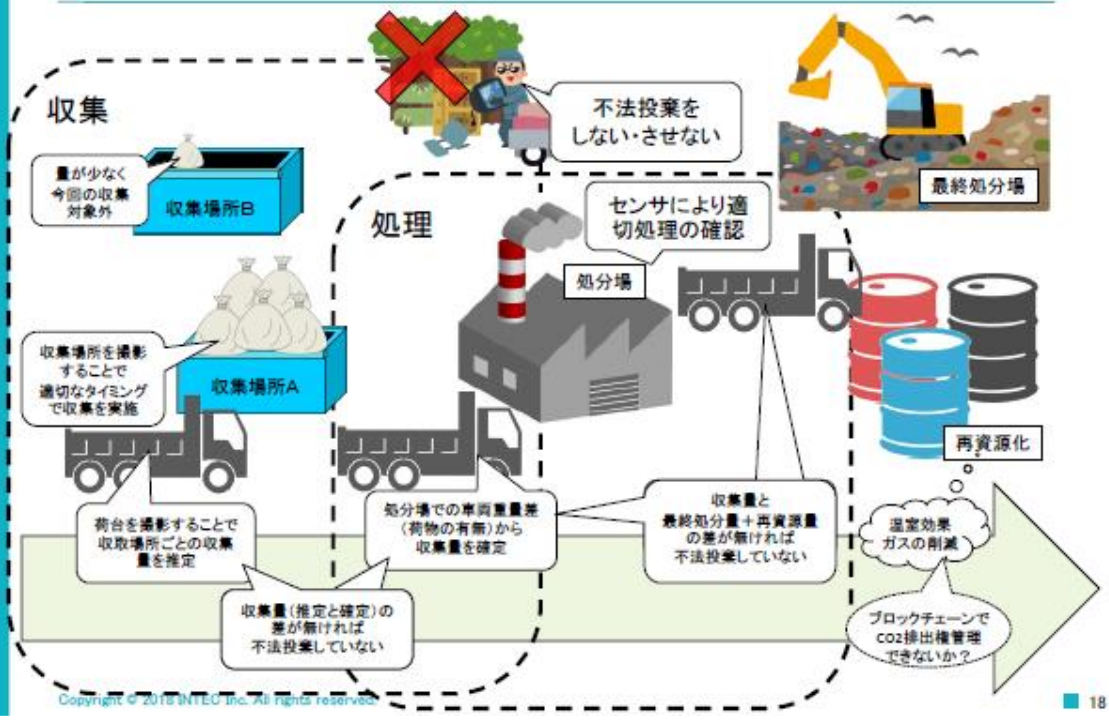
# 産業廃棄物処理へのIoT適用（イメージ）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

## 産業廃棄物処理（全体イメージ）




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 産業廃棄物処理（収集場所）

- 収集場所を撮影することで適切なタイミングで収集
  - どのような物が、どれくらい溜まったかがわかる
  - 日々の廃棄物の増加情報から、回収スケジュール調整が可能
- 複数の収集場所を巡回して効率良く収集
  - 巡回ルートを調整することで、トラックの荷台を満載可能
  - 荷台をカメラ撮影し、収集量を推定する（課金情報として使える？）
- 収集の際、荷台をカメラ撮影する
  - 収集したことの確証を残す（＝不法投棄していないことの証明）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 産業廃棄物処理（処分場）

- トラックの荷下ろし前後の車両重量の差から、廃棄物重量がわかる
- 処分場内設備の稼働状況から、設備稼働率(設備余裕)がわかる
- 搬入された廃棄物量と処分結果（最終処分量、再資源量）の差から、適切に処分が行われたことを示すことができる
- 処分結果（再資源量）から、CO2削減が期待できる
  - ブロックチェーンで「CO2排出権」を管理できないか？

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 課題

- 処分場内において、電気的なノイズによる無線通信障害の可能性
- センサー設置場所環境
  - 耐水/防水、防塵、防爆
  - 配線可否（電源：バッテリー/太陽電池、通信：無線/有線）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



THANK YOU

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

# 第１回　産業廃棄物勉強会（機械学習全般）

2018年８月30日

株式会社インテック
先端技術研究所

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

## 目次

1. 人工知能（AI）と機械学習
2. 機械学習の分類
   - 教師あり学習と教師なし学習
   - 教師あり学習の主要タスク
   - 教師なし学習の主要タスク
3. 機械学習の代表的な手法
4. まとめ
5. 参考文献

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 1．人工知能（AI）と機械学習

学問としての「人工知能」は明確な定義や他の分野との境界線を持つわけではなく、認知科学、ロボティクス、機械学習、最適化理論、パターン認識技術、自然言語処理などの多くの分野と近接した**曖昧で複合的**な学問領域です。

- 人工知能（AI）は様々な技術の複合体として実現されるものですが、要素となる個々の技術が人工知能（AI）と呼ばれているケースもあります。
- 機械学習は人工知能における「学習」にフォーカスした研究分野ですが、応用的な観点では次のような定義が実態に合っているように思われます。

**機械学習とは、データに潜む規則や構造を抽出することにより、未知の現象に対する予測やそれに基づく判断を行うための計算技術の総称**

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 1．人工知能（AI）と機械学習

機械学習にはどんな特徴があるのかを以下に示します。

- **機械学習はデータからパターンやルールを見つけ出す手法**
  簡単にいうとデータからパターンやルールをコンピュータ自身に見つけさせる仕組みです。そのパターンやルールに基づいて、人が行うような判断を行わせることが目的です。
- **機械学習の精度は100%ではない**
  効果的なパターンやルールを発見しても、100%の精度は達成することはほとんどできません。
- **機械学習にはデータが重要**
  データの量や質（予測対象に影響を与える情報が含まれているか）により、精度は大きく変わってきます。
- **機械学習が不得意な問題がある**
  機械学習は万能のツールではありません。次のような課題は予測が困難と言われています。
  - ✓ 偶発的に起こるもの（サイコロ／ルーレットの出目）
  - ✓ 現象が起こるメカニズムが複雑／現象を説明するデータが取得できないもの（地震、メガヒット商品の予測）
  - ✓ 過去のデータがないもの（新しい施策の効果、新商品の販売数）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 2．機械学習の分類

### 1）教師あり学習と教師なし学習

機械学習の手法は、大まかに分けて教師あり学習、教師なし学習に分類できます。この分類は、コンピュータに与えられる**入力データ**と出力に対する**教師信号（正解データ）**に関する分類です。
手法を選択する立場で見れば、手元にあるデータに正解データがあるのか、何を目標をするのかで、どちらを選ぶかを判断することになります。

■ **教師あり学習**

- 例えると、生徒（コンピュータ）が知識豊富な教師（人間）に質問をし、正解を教わることにより学習するような仕組みです。
- コンピュータに問題と正解のセットをいくつか教えることにより、まだ教わっていない問題にも正しく回答できる**汎化能力**をコンピュータに獲得させることが目標です。

■ **教師なし学習**

- 例えると、教師が不在の状態で生徒が一人で学習するような仕組みです。（コンピュータが自動的に有益な知識を得ることに対応）
- 教師あり学習のように正解がある問題を解くとは限らないので、学習の目標が必ずしもはっきりと決まっているわけではありません。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 2．機械学習の分類

### 2）教師あり学習の主要タスク（何ができるか）

教師あり学習の主要なタスクには、**回帰**と**分類**があります。
回帰は、入力データと実数値を対応付ける関数を近似する問題です。分類は、入力データとその該当クラス（分類・カテゴリ）を識別する問題です。
手法を選択する立場で見ると、教師信号（正解データ）が実数値かクラスかで、どちらを選ぶかを判断することになります。

■ **回帰の具体例**

- 不動産賃貸物件に対して、最寄り駅からの距離、床面積等の情報から、賃料を推定
- 媒体ごとの広告予算から、商品の売り上げを推定
  ※逆に媒体毎の広告効果を評価

■ **分類の具体例**

- 手書き文字の認識
- メールの本文やタイトルから、迷惑メールを識別
- クレジットカードの不正利用の検出

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 2．機械学習の分類

### 3）教師なし学習の主要タスク（何ができるか）

教師なし学習の主要なタスクには、**クラスタリング**、**次元削減**、**異常検出**があります。入力データ同士の関係性（距離、類似度、統計的な性質等）に基づいてデータを分類したり（クラスタリング）、入力データの次元（項目数）を減らしたり（次元削減）、教師信号がない状態で異常データの識別（異常検出）を行います。

■ **クラスタリングの具体例**
- 商品の購買パターンから、顧客を複数の購買層に分類
- がん細胞の遺伝子の発現パターンから、病態を分類

■ **次元削減の具体例**
- アンケート結果から、商品のポジショニングを表現
  ※多数の回答項目から低次元のマップを生成する

■ **異常検出**
- ネットワークへの侵入検知

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 3．機械学習の代表的な手法

### 3－1．教師あり学習

- 回帰問題
  - ✓ 線形回帰
  - ✓ スパース推定
  - ✓ その他の回帰手法
- 分類問題
  - ✓ ロジスティック回帰
  - ✓ ナイーブベイズ
  - ✓ 線形判別分析
  - ✓ サポートベクトルマシン
  - ✓ 決定木
  - ✓ ランダムフォレスト
  - ✓ ニューラルネットワーク

### 3－2．教師なし学習

- クラスタリング
  - ✓ k-means
  - ✓ 階層的クラスタリング
  - ✓ DBSCAN
- 次元削減
  - ✓ 主成分分析
  - ✓ 多様体学習
- 異常検出
  - ✓ 局所異常因子
  - ✓ One Class SVM
- その他の手法
  - ✓ 相関ルール分析

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－1－1．線形回帰

教師あり／回帰

一般に、識別や予測を行う対象を「**目的変数**」と呼び、識別や予測を行うために必要な変数（項目）を「**説明変数**」と呼びます。
線形回帰は「重み」と呼ばれる係数と説明変数を掛け合わせ、各項目を足し合わせたものを予測値とする手法です。

### ◆線形回帰の例

ある商品の売上（目的変数）が、気温と湿度（説明変数）によって変化する、という仮説の下で、線形回帰を適用した例です。
重みパラメータと定数は学習データから推定します。
推定には「**最小二乗法**」というアルゴリズムを用います。

$$z = a \times x + b \times y + c$$

目的変数（売上予測）

定数

重みパラメータ

説明変数（気温、湿度）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 3－1－2．スパース推定

教師あり／回帰

線形回帰の「**正則化**」により、次のような課題を解決したものです。
・データ数よりも説明変数の数が多い（高次元データ）
・説明変数同士の相関が高い（多重共線性）
線形回帰では、このような条件下で重みパラメータと定数の最適解を得ることができません。

### ◆線形回帰との違い

予測に用いる数式は同じですが、定数と重みパラメータの決め方に差があります。
線形回帰では、**予測誤差**が最小になるよう定数と重みパラメータを決定します。

$$\sum_{n=1}^{N}\left\{y_n - \left(w_0 + \sum_{j=1}^{M} w_j x_j\right)\right\}^2$$

$y_n$ ：目的変数
$x_j$ ：説明変数
$w_0$ ：定数
$w_{i..M}$ ：重みパラメータ

**予測誤差は目的変数と予測値の差を２乗して合計したものです。**

スパース推定は、これに「**正則化項**」を加えた式を最小化するようにパラメータを決定します。

$$\sum_{n=1}^{N}\left\{y_n - \left(w_0 + \sum_{j=1}^{M} w_j x_j\right)\right\}^2 + \lambda \sum_{j=1}^{M} |w_j|$$

**正則化項（あるいは罰則項）**
**λを正則化パラメータと呼びます。**

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－1－3．その他の回帰手法

教師あり／回帰

分類問題に適用される手法には、回帰問題にも応用できるものがあります。
分類問題における目的変数は何らかの該当クラス（分類・カテゴリ）ですが、目的変数を実数値として回帰問題に適用します。
以下に掲げるものは、いずれも**非線形**な問題に適用できます。

◆**分類問題の手法を回帰に応用した例**

① **決定木　⇒　回帰木**
目的変数を実数値とし、値が近いもの同士でグループを形成し、各グループの平均値を予測値とします。

② **ランダムフォレスト　⇒　ランダムフォレスト回帰**
回帰木を使ったランダムフォレストです。各回帰木から得られる予測値の平均を最終的な予測値とします。

③ **サポートベクターマシン　⇒　サポートベクター回帰**
基本的な考え方はサポートベクターマシンと同様ですが、分類問題を線形回帰に置き換えて応用するものです。

④ **ニューラルネットワーク　⇒　ニューラルネットワーク回帰**
ニューラルネットワークの出力層を1つのノードで構成し、実数値を出力させます。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 3－1－4．ロジスティック回帰

教師あり／分類

「ロジスティック回帰」という名称ですが、分類問題に適用されます。
どの項目が分類に大きな影響を与えているかが明確なので、結果を解釈しやすい点がメリットです。３クラス以上の分類にも拡張可能です。

◆**ロジスティック回帰による表現例**

喫煙量により肺がんになるかどうかを判断する問題を考えます。

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(\underbrace{-(w_0 + w_1 x_1)}_{\text{この部分は線形回帰と同じ}}\right)}$$

$f(x)$ ：肺がんになる確率（リスク）
$x$ ：喫煙量
$w_0$ ：定数
$w_1$ ：重みパラメータ

確率f(x)の閾値を定めて肺がんになるかならないかを分類します。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－1－5．ナイーブベイズ

教師あり／分類

ベイズの定理を単純に適用し、逆向きの推論を行います。
仕組みが単純な割に精度が高く、結果の解釈がしやすい点がメリットです。
スパムメールの分類などに利用されています。

### ◆ナイーブベイズの適用例

単語の出現確率を使って、スパムメールか否かを分類します。

| | $w_1$:"original" | $w_2$:"free" | $w_3$:"your" |
|---|---|---|---|
| $P(w_i\|z=1)$:スパム | 0.05 | 0.60 | 0.30 |
| $P(w_i\|z=0)$:正常 | 0.30 | 0.10 | 0.01 |

スパムメールが届く確率$P(z=1)$を0.1とし、受信したメールに「free」「your」という単語が含まれていたとすると、スパムメール確率と正常なメールの確率はそれぞれ

$$P(z=1|w_1=0,w_2=1,w_3=1)$$
$$\propto P(w_1=0|z=1)P(w_2=1|z=1)P(w_3=1|z=1)\times P(z=1)$$
$$=(1-0.05)\times 0.60\times 0.30\times 0.1=0.017$$

$$P(z=0|w_1=0,w_2=1,w_3=1)$$
$$\propto P(w_1=0|z=0)P(w_2=1|z=0)P(w_3=1|z=0)\times P(z=0)$$
$$=(1-0.30)\times 0.10\times 0.01\times(1-0.1)=0.00063$$

赤枠の値を比較し、スパムの可能性が高いと判断します。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

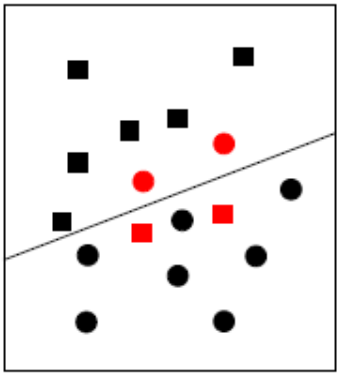


## 3－1－6．線形判別分析

教師あり／分類

データを高次元の空間とみなし、空間を平面で分割することにより分類を行います。分離平面を決める際、学習データを最も小さい誤差で分類するよう決定します。

### ◆線形判別分析のイメージ



参考：書籍「Rによるデータサイエンス」

分離平面は一般的に次のような式で表現されます。

$$f(\boldsymbol{x})=w_0+w_1x_1+\cdots+w_Nx_N$$
$$\boldsymbol{x}=(x_1,\cdots,x_N)$$

誤分類（左図の赤色）の数が最も小さくなるように定数・重みパラメータ$(w_0,w_1,\cdots,w_N)$を決定します。

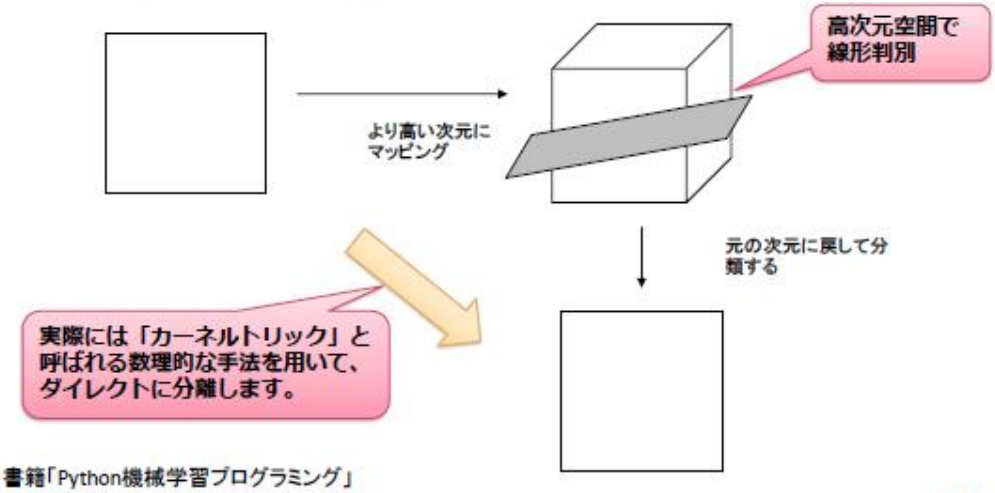
Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－1－7．サポートベクトルマシン

教師あり／分類

概念的には、データをより高い次元の空間へマッピングし、その空間で平面分割した後、元の空間に結果を戻します。平面で分割できない場合でも分類が可能になります。

◆サポートベクトルマシンの実行イメージ




参考：書籍「Python機械学習プログラミング」

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

15

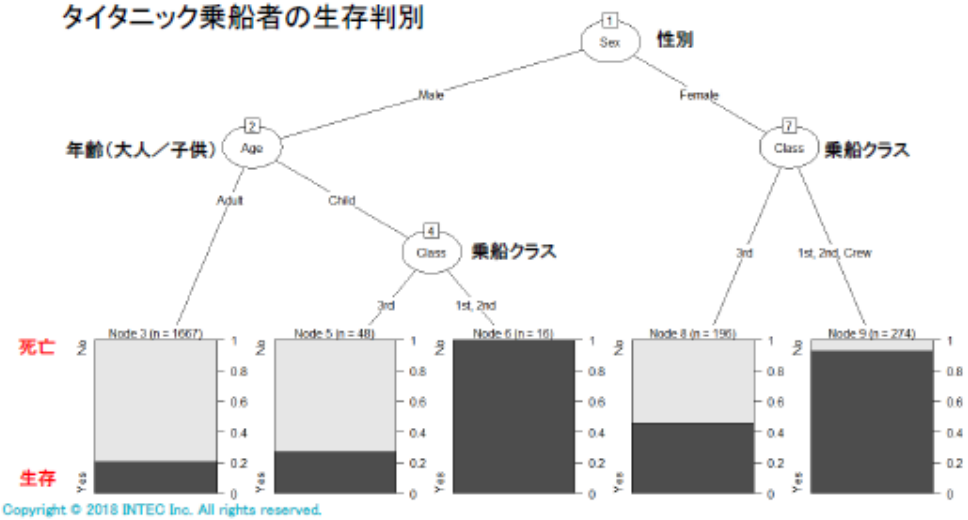
## 3－1－8．決定木（分類木）

教師あり／分類

教師データを用いて説明変数をある基準に従って分割し、樹木状のモデルを作って分類していく方法です。モデルの構造自体が分類のロジックを表現しています。結果の解釈がしやすい点がメリットです。

◆決定木の実行例

タイタニック乗船者の生存判別




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

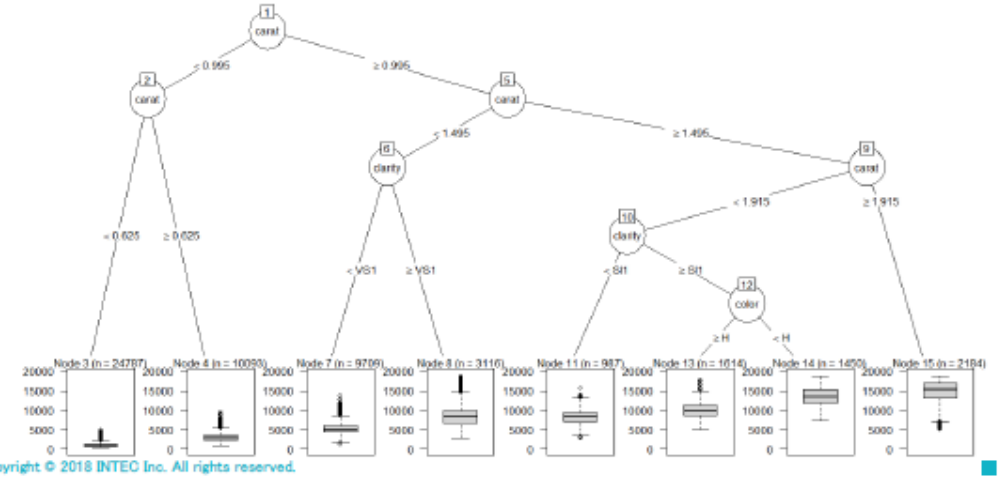
16

## 3－1－8．決定木（回帰木）

教師あり／回帰

決定木を回帰問題に応用する場合、目的変数が実数値になります。
各グループにおける目的変数のばらつきが小さくなるようにグループ分けを行います。目的変数の予測値として、各グループの平均値を用います。

◆**決定木の実行例**
ダイヤモンドの価格推定



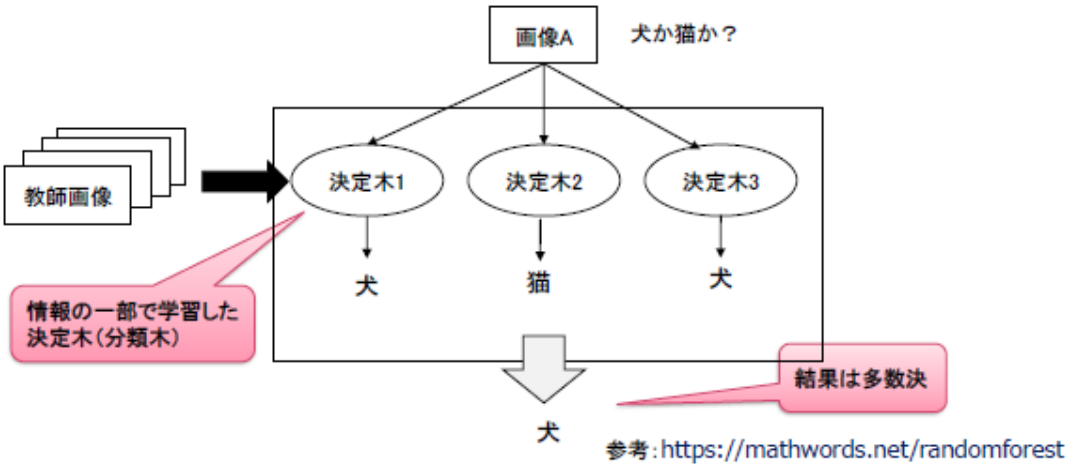

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 3－1－9．ランダムフォレスト

教師あり／分類

説明変数の一部を使って分類問題を解く決定木をたくさん作ります。
それぞれの決定木が出力した結果の多数決により最終結果を出力します。
精度が高く、並列化による高速な計算が可能です。

◆**ランダムフォレストのイメージ**
画像に写っている動物の種類を判別する問題の例です。




参考：https://mathwords.net/randomforest

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

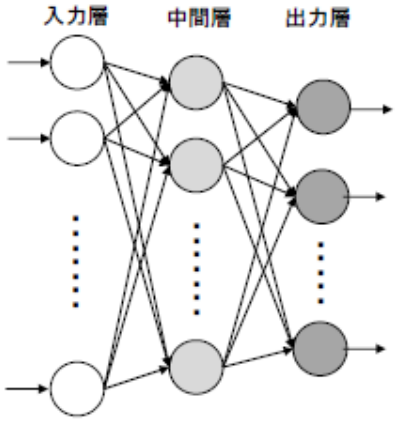
## 3－1－10．ニューラルネットワーク

教師あり／分類

**人間の神経細胞とそれらが構成する神経回路を数理的にモデル化**したものです。近年、中間層（隠れ層）を多層化することで精度を飛躍的に向上させた深層学習（ディープラーニング）の応用が急速に広がっています。

### ◆ニューラルネットワークのイメージ

3層完全結合を持つ階層型ニューラルネットワーク




深層学習はアルゴリズムによって得意な分野が異なります。

- **畳み込みニューラルネットワーク**
  （CNN：Convolutional Neural Network）
  画像認識・音声認識が得意
- **再帰型ニューラルネットワーク**
  (RNN: Recurrent Neural Network)
  時系列データが得意

参考：「Rによるデータサイエンス」

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 3－2－1．k-means

教師なし／クラスタリング

k-meansは、最も単純で広く用いられているクラスタリングアルゴリズムです。比較的少ない計算量で結果が得られるので、大規模データのクラスタリングに向いています。

### ◆k-meansクラスタリングの概要

① クラスタ数を決める（ここではk個とします）
② k個のクラスタ重心をランダム決める
③ 全サンプルについてk個のクラスタ重心との距離を求め、最も近い重心のクラスタに分類する
④ 形成されたクラスタの重心を求める
⑤ クラスタの重心が変化しなくなるまで③④を繰り返す。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－2－2．階層的クラスタリング

教師なし／クラスタリング

階層的クラスタリングは、サンプル間の類似度あるいは非類似度（距離）に基づいて、最も近いもの同士からクラスタを作っていく方法です。クラスタが作られていく様子を右下の図のような樹形図で表現することができます。

### ◆階層的クラスタリングの例

① 科目別のテストの結果を用いて、生徒をクラスタリングした例です。
② 最初は各個人をそれぞれクラスタとみなします。
③ 全ての組合せでクラスタ間の距離を計算します。
④ 距離が最も近い2つを1つのクラスタとし、クラスタの重心を決めます。
⑤ ③④を繰り返します。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 3－2－3．DBSCAN

教師なし／クラスタリング

k-meansや階層的クラスタリングはサンプル間の距離に基づいてクラスタを形成しますが、DBSCAN(Density-based Spatial Clustering of Applications with Noise)はサンプルの密度に基づいてクラスタを形成します。

### ◆DBSCANの概要

- 以下の条件に基づいて各サンプルを分類します。
  - ✓ 半径εに定められた数(MinPts)以上の隣接点がある点をコア点とします。
  - ✓ 半径εの隣接点の数がMinPtsに満たない点をボーダー点とします。
  - ✓ コア点でもボーダー点でもない点をノイズ点とします。
- 次のステップを繰り返してクラスタを作ります。
  - ① コア点同士の距離がε以下なら同じクラスタ、εを超えていたら別のクラスタとします。
  - ② ボーダー点を半径ε内にあるコア点が属するクラスタに割り当てます。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－2－4．主成分分析

教師なし／次元削減

高次元のデータがあるときに、次元数を減らすために実施する手法です。
サンプル間のばらつきが大きくなるように座標軸を取り直すことで、少数の座標軸でデータを近似し、次元の削減を行います。

### ◆主成分分析の基本的な考え方

2変数のデータを例として基本的な考え方を示します。

- 2次元データ$(x_1, x_2)$があるとします（左下の表）。$x_1$を横軸、$x_2$を縦軸とした座標軸上の散布図が図(a)になります。
- この散布図を図(b)のような、$z_1, z_2$の座標系に変換すると1変数（$z_1$）のみでデータを表現することができます。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 3－2－5．多様体学習

教師なし／次元削減

多様体とは局所的にみると線形空間と見なせるような空間です。
主成分分析よりも複雑なマッピングを行うことが可能です。主に可視化に使われる手法で、探索的なデータ分析に向いています。

### ◆多様体学習のアルゴリズムによる次元削減の例

左側にあるS字型に分布するデータを次元削減した例です。
MDSは主成分分析と同様の手法で、他は多様体学習の様々な手法の適用例です。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－2－6．局所異常因子

教師なし／異常検出

局所異常因子（LOF：Local Outlier Factor）は、データのかたまりから外れた点を異常値とみなす異常検出手法です。異常サンプルがなくても利用できる教師なしの手法ですが、密度を評価するパラメータを利用者が調整する必要があります

◆**局所異常因子の例**

各サンプル（×印）を囲む円の大きさが、異常値らしさを示しています。
周辺に他のサンプルが数多く存在している（密度が高い）と円は小さく、
他のサンプルが少ない（密度が低い）と円は大きくなっています。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 3－2－7．One Class SVM

教師なし／異常検出

ほぼすべての学習用サンプル（正常値のみ）を含むような球（円）を求め、その球に含まれないサンプルを異常値とみなします。サポートベクトルマシン同様、カーネルトリックを用いることで非線形な問題を扱うことができます。

◆**One Class SVM（Support Vector Machine）のイメージ**

- 正常値のみからなる学習用サンプル（×）を含む円をモデル化し、そこに含まれないサンプル（○）を異常値と判断します。（左下の図）
- カーネルトリックを用いることで非線形な問題への応用が可能です。（右下の図）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 3－2－8．相関ルール分析

教師なし／その他

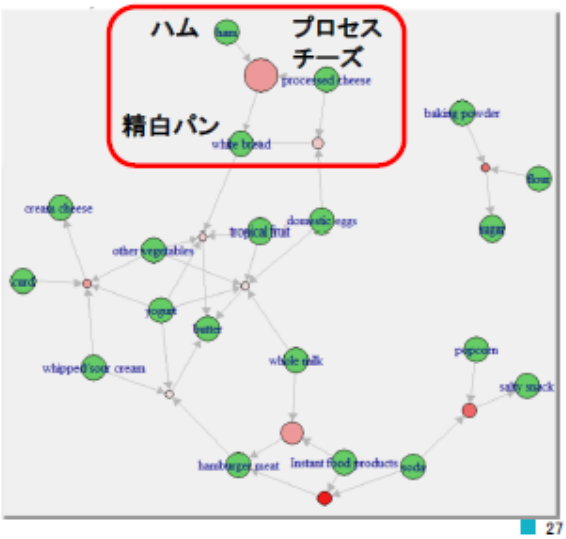
相関ルール分析（アソシエーション分析、マーケットバスケット分析）は売上向上施策によく使われています。統計的にみて強い関係を持つ事象間の関係（ルール）を抽出するデータマイニング手法です。

◆ **相関ルール分析の例**

**【食料品店の購買パターン】**

全商品の組合せに対し、商品Aと商品Bが同時に購入される確率（**支持度**）を求め、さらに商品Aに関するルールの内、商品Bを含む確率（**確信度**）を求めることで、意味のあるルールを導き出します。

赤枠内のグラフは、ハムとプロセスチーズを同時に購入した人は、精白パンを購入する確率が高いことを示しています。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 4．まとめ

- 機械学習には、教師あり学習と教師なし学習があります。
  - **教師あり学習**
    教師信号（正解）を教わることにより学習（正解データが必要）
    何らかの予測を行うことが目的
  - **教師なし学習**
    正解がわからない状態で、コンピュータが自動的に知識を獲得

- 教師あり学習は、正解データ（目的変数）が実数値かクラス（カテゴリ）かで、**回帰**と**分類**に分けられます。また扱う問題が**線形か非線形**かによって適した手法があります。

- 教師なし学習の代表的な手法に、**クラスタリング**、**次元圧縮**、**異常検知**があります。教師あり学習と同様、扱う問題が**線形か非線形**かによって適した手法があります。

- いずれについても、解決したい課題やデータの量・性質によって適切な手法を選択する必要があります。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 5．参考文献


- 書籍「イラストで学ぶ人工知能概論」
- 書籍「イラストで学ぶ機械学習」
- 書籍「ベイズ推論による機械学習入門」
- 書籍「統計的学習の基礎　データマイニング・推論・予測」
- 書籍「ベイズ推論による機械学習入門」
- 書籍「いちばんやさしい機械学習プロジェクトの教本」
- 書籍「はじめてのパターン認識」
- 書籍「パターン認識と機械学習」
- 書籍「データサイエンス講義」
- 書籍「Rによるデータサイエンス」
- 書籍「Rによるデータマイニング入門」
- 書籍「Python機械学習プログラミング」
- 書籍「Pythonデータサイエンスハンドブック」
- 書籍「データ・アナリティクス実践講座」
- 「ランダムフォレストの概要を大雑把に解説」
  https://mathwords.net/randomforest


Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

産業廃棄物政策研究(2-a)勉強会

# ブロックチェーンの仕組みと可能性

2018年10月16日
株式会社インテック
先端技術研究所

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 目次


- ブロックチェーンの可能性
- 　ブロックチェーン技術への期待
- 　金融分野、非金融分野
- ブロックチェーンとは
- 　ブロックチェーンの種類
- 　パブリック、コンソーシアム／プライベート
- 　コンセンサスアルゴリズム
- 　拡張する取り組み
- ブロックチェーンの暗号技術
- 　公開鍵暗号
- 　ハッシュ関数
- 　デジタル署名、PKI
- ビットコインのブロックチェーン
- 　ビットコインの動作、構造
- 　Proof of Work、ナンス、ターゲット
- 　アドレス
- 　トランザクション
- 　特徴と課題


※本稿では、分散台帳技術もブロックチェーンと呼ぶ。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 目次


- イーサリウムのブロックチェーン
- 構成要素
- アカウント
- トランザクション
- スマートコントラクト
- ファブリックのブロックチェーン
- アーキテクチャ
- トランザクション
- チャネル
- ブロックチェーンの課題と新しい取り組み
- スケーラビリティ問題
- オフチェーン取引


Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

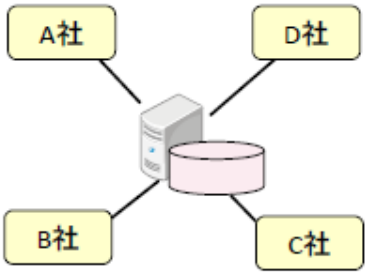


## 1．ブロックチェーンの可能性

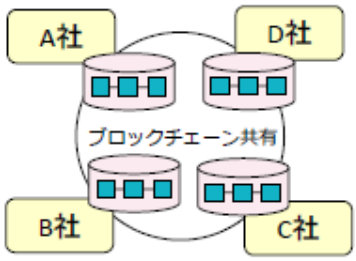
Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ブロックチェーン技術への期待

- 価値の交換を実現した分散台帳テクノロジー
  - 価値の取引を中央管理者なしで実現した
  - 止まらない、改竄困難、監査性がある




【従来】中央集権型アーキテクチャ




分散台帳型アーキテクチャ

参考　日経BP「FinTech革命（増補改訂版）」(2016.10.16)

**仮想通貨にとどまらず、様々な分野での利用が考えられる新技術**

**①価値交換の方法を変える**
**②信用の仕組みを変える**
**③ゆくゆくは組織の構造やあり方まで変えていく**

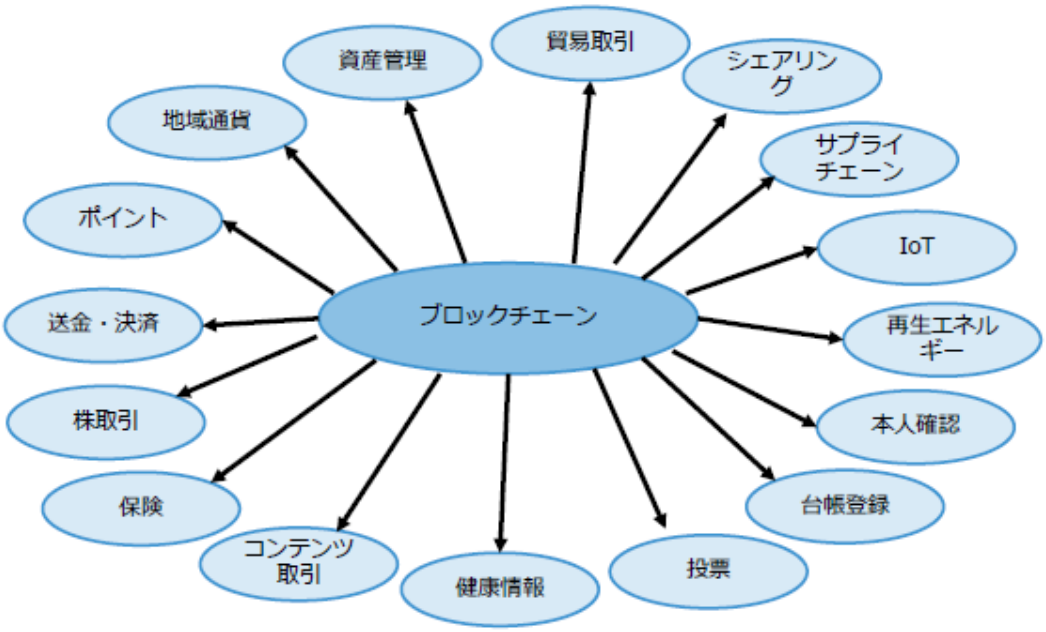
**インターネット2.0**

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## ブロックチェーンの応用分野

- 金融以外の分野にユースケースが広がっている。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

# ブロックチェーンが社会経済に与えるインパクト

- 市場だけでなく、産業構造へ影響を与える可能性がある
  1. **価値の流通プラットフォーム**のインフラ化
     - ポイントが転々流通することで通貨に近い利用が可能となる。
  2. **権利証明行為の非中央集権化**の実現
     - 土地の登記や特許など、国管理のシステムをオープンな分散システムで代用可能になる。
  3. 高効率**シェアリング**の実現
     - 入場券、客室、レンタカー、レンタルビデオ等の利用権限管理が効率化される。
     - C2Cシェアリングエコノミープラットフォームが構築される。
  4. オープン・高効率・高信頼な**サプライチェーン**の実現
     - 小売店(川下)、卸(川中)、製造(川上)で分断されている在庫情報や、川下に集中していた商流情報が共有される。
     - 最終消費者への販売後のアフターマーケットビジネスへの転換が容易になる。
  5. **プロセス・取引の自動化**・効率化の実現
     - 各企業におけるバックオフィス業務（契約や取引の執行、支払・決済、稟議などの意思決定フロー等）の大半を置きかえることが可能。**契約自動執行、自律分散組織**
     - IoTとスマートコントラクトによるマイクロペイメントを組み合わせることで、受益者負担をより正確に反映した公共サービス等のコスト負担の仕組みが構築可能。（例えば、ゴミの量や道路の利用量に応じた課金による税徴収等）

経済産業省「我が国経済社会の情報化・サービス化に係る基盤整備」報告書(2016.4.28)

Linux Foundationの
Hyperledgerプロジェクト

ISOの「ブロックチェーンと電子分散台帳技術に係る専門委員会」設立

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



# ブロックチェーン技術の展開が有望な事例とその市場規模

- 市場規模67兆円

経済産業省「我が国経済社会の情報化・サービス化に係る基盤整備」報告書(2016.4.28)

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 2．ブロックチェーンとは

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## ブロックチェーンとは

- 「ビットコイン」を実現するために考案されたデータ記録のしくみ
  - **ビットコインの本質はブロックチェーン（信頼不要な合意形成システム）**
  - 取引の塊（ブロック）をチェーンのように繋いで記録する
  - 状態変化の記述と公知化
  - P2Pネットワーク上で通信され、停止しない、改竄困難　という特長を持つ
  - 暗号通貨以外への応用が期待されている
- DBのパラダイムシフト
  - 非機能要件の担保にお金をかけなくてよくなる
    （数10億円が1/10になるかも）
  - 可用性（多重化）、セキュリティ（非改竄）、パフォーマンス（遅延処理）

ブロックチェーン ≠ ビットコイン

P2P（Peer-to-Peer）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ブロックチェーンの定義

- 日本ブロックチェーン協会による定義

- １）「ビザンチン障害を含む**不特定多数のノード**を用い、時間の経過とともにその時点の**合意が覆る確率が0へ収束するプロトコル**、またはその実装をブロックチェーンと呼ぶ。」
- ２）「**電子署名とハッシュポインタを使用し改竄検出が容易なデータ構造**を持ち、且つ、当該データをネットワーク上に**分散する多数のノードに保持**させることで、高可用性及びデータ同一性等を実現する技術を広義のブロックチェーンと呼ぶ。」

http://jba-web.jp/

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## ブロックチェーンの種類

| ビットコインのブロックチェーン | 派生したブロックチェーン | 別のブロックチェーン |
|---|---|---|

- 公開範囲の観点
  - パブリック（不特定多数）
  - コンソーシアム（特定組織）
  - プライベート（単一組織）
- 信用の観点
  - トラストレス（参加者間の信頼不要）
  - トラステッド（参加者間の信頼に基づく）
- 権限管理の観点
  - パーミッションレス（権限制御なし）
  - パーミッションド（権限制御あり）

ビットバンク株式会社＆『ブロックチェーンの衝撃』編集委員会、ブロックチェーンの衝撃、日経BP、2016

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## パブリック型とコンソーシアム型

- パブリック型とコンソーシアム型／プライベート型がある
  - パブリック型
    - 誰でも参加できる、非中央化、7トランザクション/s、6千名参加、機能追加困難
  - コンソーシアム型／プライベート型
    - 許可されたノードのみ、中央集権、1000トランザクション/s、プライバシー維持（トランザクション非公開）、機能追加容易
- 処理を高速化するために、公開性をなくしてプライベート型にしている。
- プロジェクトの多くはプライベート型をターゲットにしている

| | パブリック型 | コンソーシアム型 | プライベート型 |
|---|---|---|---|
| 管理主体 | なし | 複数組織 | 単一組織 |
| ノード参加 | 自由 | 許可制（身元判明） | |
| コンセンサス方式 | Proof of Work<br>（厳格さが必要） | 他の方式<br>（厳格さは任意） | |
| ファナリティ | ない | あるものとないもの | |
| トランザクション処理時間 | 長い<br>例 10分 | 短い<br>例 数秒 | |
| ユースケース | 仮想通貨 | 銀行間送金、証券取引 | |

参考　増島雅和、TechCrunch Japan、2015.10.19
http://jp.techcrunch.com/2015/10/19/blockchain/

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## ブロックチェーンの構成要素

| | |
|---|---|
| 分散台帳 | 参加者が同じデータを共有する<br>追加のみ可能で改竄が困難 |
| 暗号技術 | 電子署名、ハッシュで取引の正当性を確保<br>ハッシュチェーンによるデータの整合性 |
| 合意形成 | 参加者間で取引の正当性を保証する仕組み<br>（Proof of Workと呼ばれる。コンセンサスアルゴリズム） |
| スマートコントラクト | ブロックチェーン上で動くプログラム<br>条件が成立すれば契約を自動実行する |

参考　高城勝信、Hyperledgerプロジェクトの可能性と未来について、ブロックチェーンハブセミナー、2016.7.22

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## コンセンサスアルゴリズム

- 参加者間で取引の正当性を保証する仕組み
- PoWに替わるアルゴリズムが提案されている

| | PoW | PoS | PoI |
|---|---|---|---|
| 特徴 | 仕事量による合意形成 | 所有量による合意形成 | 重要度による合意形成 |
| 概要 | ハッシュの計算競争 | 参加者のコイン保有量と保有期間によって競争が有利になる | 参加者のコイン保有量と取引量によって競争が有利になる |
| メリット | 取引の改ざんに強い | PoWのデメリットを解消している（コスト、51%攻撃リスク） | 流動性を確保 |
| デメリット | 承認までに時間がかかる<br>確定しない<br>膨大な電力消費<br>51%攻撃リスクがある | 流動性を損なう<br>貧富の格差が生まれる | 貧富の格差が生まれる |
| 採用通貨 | BTC・現ETH<br>Monero・Zcash | 次期ETH | NEM |

PoW(Proof of Work)
PoS(Proof of Stake)
PoI(Proof of Importance)

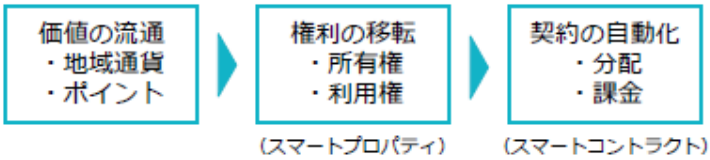
参考 https://www.newscrypto.jp/articles/2612

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



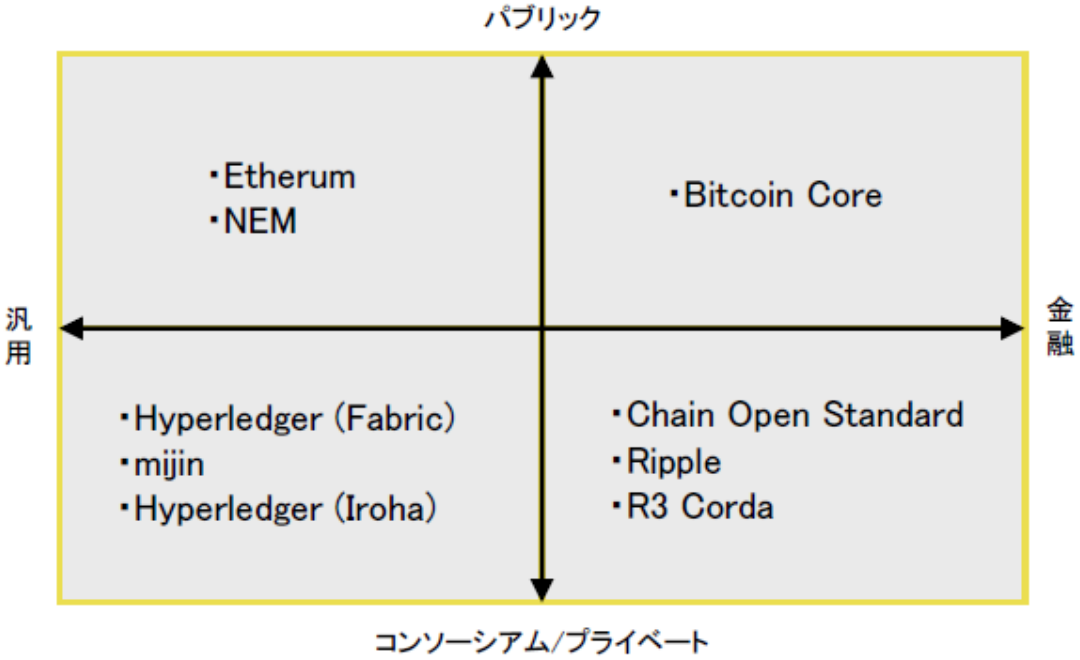
## ブロックチェーンを拡張する取り組み

- オルトコイン
  - ライトコイン、ドージコイン、モナーコイン
- 取引内容の拡張
  - アセットの拡張：　株式、債券の自動取引<br>ドメイン名取引
  - スマートコントラクト：自動車や不動産などの所有権移転<br>契約の自動執行
- PoW(Proof of Work)の代替提案
  - PoS(Proof of Stake)：マイニング成功確率は保有コイン量に依存する
  - PoI(Proof of Importance)：重要なノードに優先権を与える（難易度の低いハッシュ計算を割り当てる）
  - PoC(Proof of Consensus)：事前に参加者から選ばれた承認者による合意
- 応用領域




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ブロックチェーンの分類



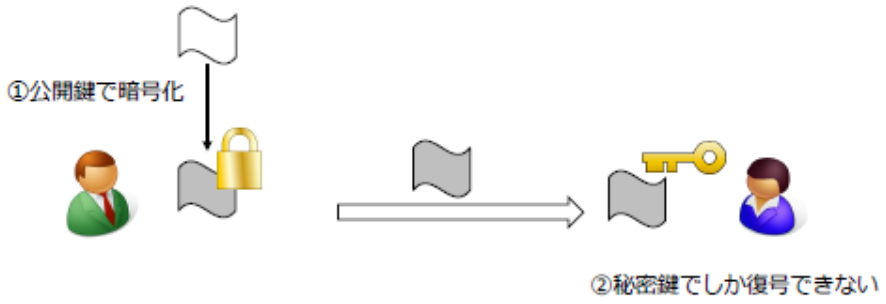

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 3. ブロックチェーンの暗号技術

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 公開鍵暗号

- 秘密鍵と公開鍵のペアを使用し、暗号化、復号化で異なる鍵をを使う暗号方式。
- 共通鍵暗号における鍵配送問題を解決した。
- 共通鍵暗号より処理が遅い。
- RSA暗号方式（素因数分解の困難性を利用）が有名。
- ビットコインは楕円曲線暗号方式（楕円曲線上の乗算の逆演算の困難性を利用）。
  RSAに比べて鍵のビット長を少なくできる。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 楕円曲線暗号方式

- 楕円曲線

$$y^2 = x^3 + ax + b$$

  - 例

$$y^2 = x^3 + 7$$

- 楕円曲線上のスカラー倍
  - 点G（既定）の接線と楕円曲線との交点のx軸対称点　→　2G
  - k回繰り返す　→　K = kG
  - k,からKを計算できるが、Kからkを見つけることが困難
    （楕円曲線上の離散対数問題）
    G:生成元　k:秘密鍵　K:公開鍵
- ビットコインの楕円曲線

$$y^2 \bmod p = (x^3+7) \bmod p$$

$$p = 2^{256} - 2^{32} - 2^9 - 2^8 - 2^7 - 2^6 - 2^4 - 1 \quad \text{（素数）}$$

  - 剰余計算なので整数の格子点上で計算される

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ハッシュ関数

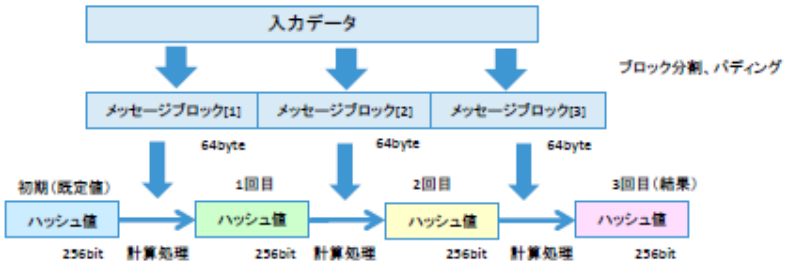
- 入力データを一定の長さのビット列（ハッシュ値）に変換する関数
  - メッセージダイジェスト関数、メッセージダイジェスト
- ハッシュ値を使ってデータの正真性を確認できる。
  - パスワードのチェック、ソフトウェアの改竄検出、連想配列
- ハッシュ関数の性質
  - 1.ハッシュ値から元のデータを復元することが困難（一方向性）
    - ハッシュ値の計算は容易で高速
  - 2.異なるデータで同じハッシュ値を生成することが困難
    - データを変更するとハッシュ値が大きく変わる
  - 3.同じハッシュ値に変換される2つのデータを見つけ出すことが困難
- SHA-256
  - NISTで作られたSHA-2シリーズの一つ。（SHA-256, SHA-384, SHA-512）
  - 出力256bit(32byte)
- RIPEMD-160
  - 互換性維持以外の目的では推奨されていない。
- ビットコインでの利用
  - 公開鍵からビットコインアドレスを生成する
  - 前のブロックのハッシュ値を次のブロックに含めることでデータの改竄が困難になる

SHA(Secure Hash Algorithm)
NIST(National Institute of Standards and Technology)
RIPEMD(RACE Integrity Primitives Evaluation Message Digest)

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## SHA-256の概要

- 一方向ハッシュ関数の一種。「Secure Hash Algorithm 256-bit」
  - 入力データから一定の長さの値（256bit）を計算する。
  - 変換前のデータに復号することは出来ない（一方向性）。
- ハッシュの計算処理
  - ①入力データを64byteの倍数に合わせる（ブロック分割とパディング）
  - ②初期ハッシュ値にハッシュ計算処理（演算ローテーションを64回）を適用
  - ③中間ハッシュ値にハッシュ計算処理を適用。ブロック数分繰り返す



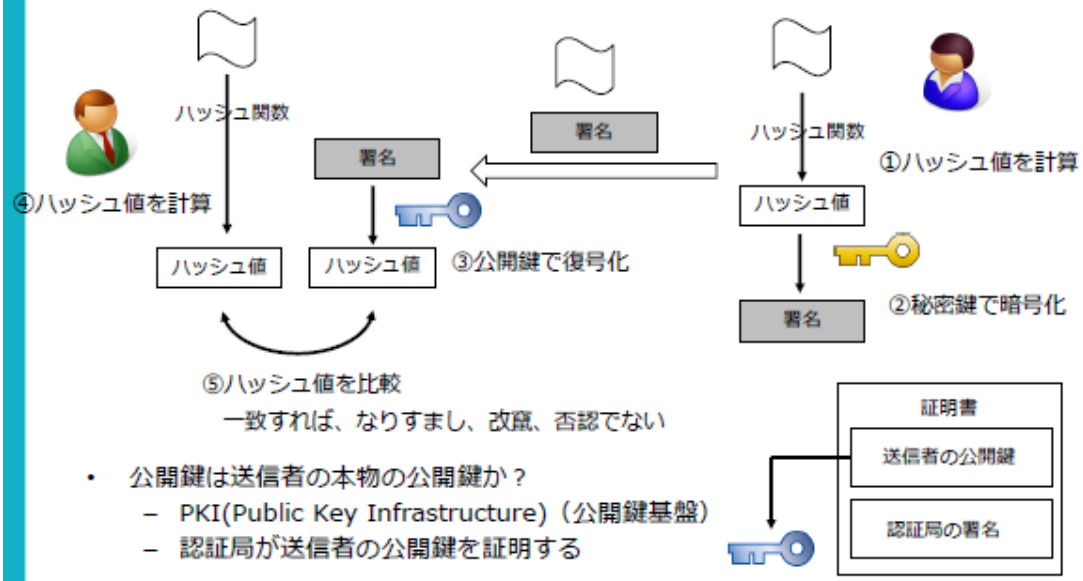

計算処理：ハッシュ値をメッセージブロックを使って変化（加算、シフト、XORなど）させ、新しいハッシュ値を算出

http://gaiax-blockchain.com/sha-256
http://wiz-code.net/vb/algorithm/sha256/

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## デジタル署名とPKI

- なりすまし、改竄、否認を防止する技術（文書の秘匿化が目的ではない）
- ハッシュ値を秘密鍵で暗号化する。文書とハッシュ値を送付する。
  - 当人が文書を作成し、改竄されていないことが分かる。







- 公開鍵は送信者の本物の公開鍵か？
  - PKI(Public Key Infrastructure)（公開鍵基盤）
  - 認証局が送信者の公開鍵を証明する

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 4. ビットコインのブロックチェーン

～最初のブロックチェーン～

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ビットコインとは

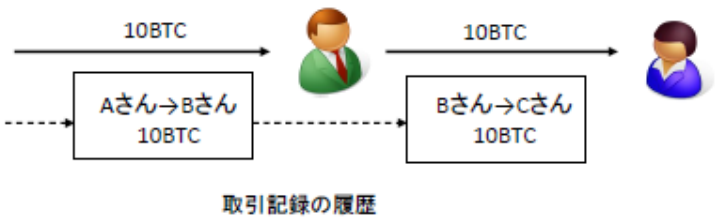
- ビットコインとは
  **特定の管理者に依存することなく**、不正を排除した形で**価値のやり取りを正しく証明**できるP2Pネットワーク上の暗号通貨。

- ビットコインの構成要素
  - P2Pネットワーク
    - 中央管理者がいない
    - 止まらない
  - Proof of Work（作業の証明）　←**ビットコインの安全性の根拠**
    - 合意形成
    - マイニング（報酬）
  - ブロックチェーン
    - 電子署名
    - 取引の公知化
    - 改竄困難

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## ビットコインの取引

- **数値の取引履歴をコインとして扱う**。
- アドレス（公開鍵のハッシュ値を元にした可変長文字列）が持ち主や送り先の識別子（口座番号に相当）
  - 例　189uUJwXB76e4XHs85fmirRkPCa29JR7oN
- PUSH型の取引のみ
- 取引量の最小値は1億分の1BTC（1satoshi）
- ブロックチェーンが確定するまで取引が確定しない（10分）。

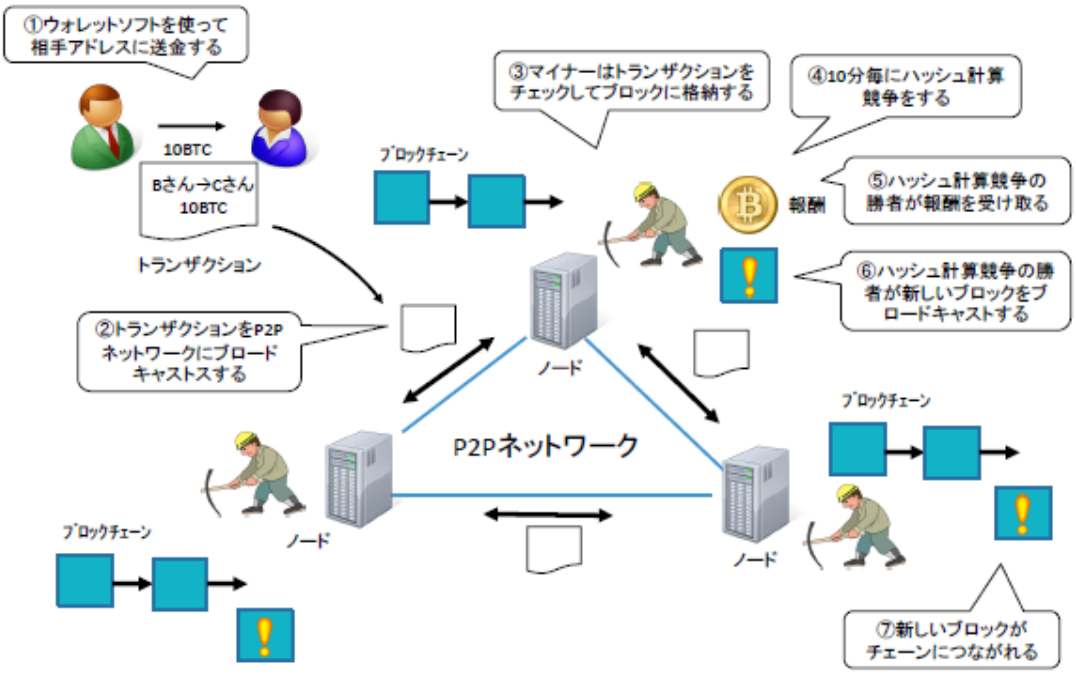



取引記録の履歴

※手数料は省略

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ビットコインの全体像

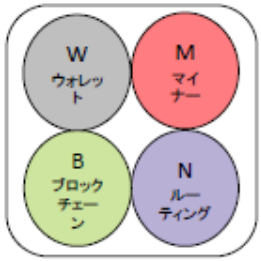



Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

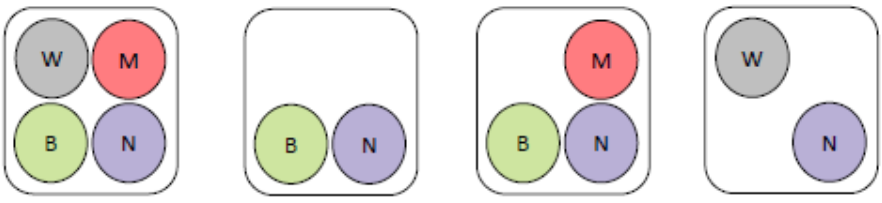


## ビットコインのノード

- ネットワークノード機能は4種
  - ウォレット
  - マイナー：PoW
  - ブロックチェーン：台帳蓄積
  - ネットワークルーティング：ブロードキャスト




- ノードタイプ



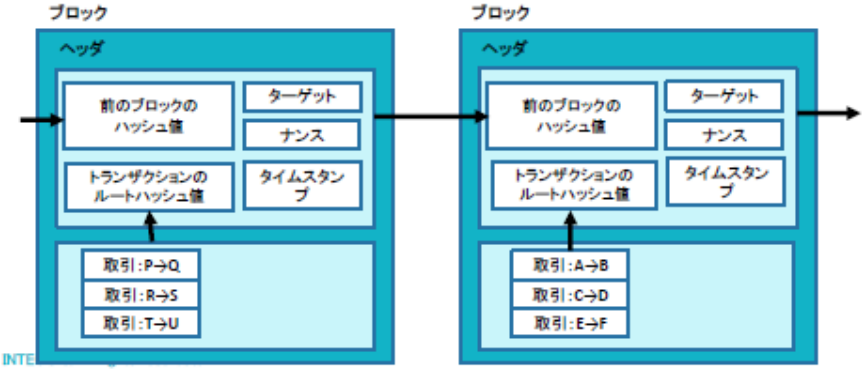

SPV(Simplified Payment Verification)

アンドレアス・M・アントノプロス、ビットコインとブロックチェーン、NTT出版、2016

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ビットコインのブロックチェーンの構造

- ブロックは、5つの要素で作成する。
  - 多数のトランザクション（数百件）。ヘッダにはルートハッシュ値を格納
  - ナンス(Nonce)：ハッシュの先頭に0が並ぶようにするための値
  - ターゲット：求めるハッシュ値の条件
  - 直前ブロックのヘッダのハッシュ値。256bit
  - タイムスタンプ。誤差は2時間許容
- 「仕事の証明(Proof of Work)」
  - 10分に1回
  - 数百のトランザクションを格納。
  - ハッシュ計算競争の勝者がブロックを作成できる。

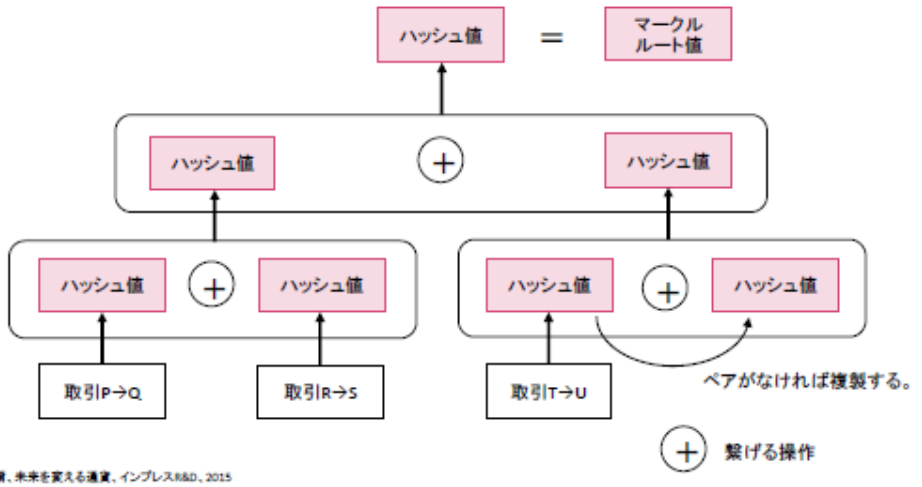



Copyright © 2018 INTE



## マークル木

- トランザクションのルートハッシュ値はマークル木という手法で求める。
  - 2つのハッシュ値を繋げたものに対してハッシュ値を得ることを繰り返す。
- 参照済みで不要になったトランザクションのデータを削除できる。
  - ウォレットでの改竄検出では、自身の取引データと他者の途中枝のハッシュ値を持つだけでよい。




斎藤賢爾、未来を変える通貨、インプレスR&D、2015

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ビットコインのProof of Work（作業の証明）

- ハッシュ値(256bit)がターゲット以下（最初のnビットがすべて0）になるまでナンスを変えて試す。

**ブロック #408061のハッシュ値**

| | |
|---|---|
| ハッシュ | 00000000000000000e07334691c8a70a663db83d9eeb349a76a72819cbac0b5 |

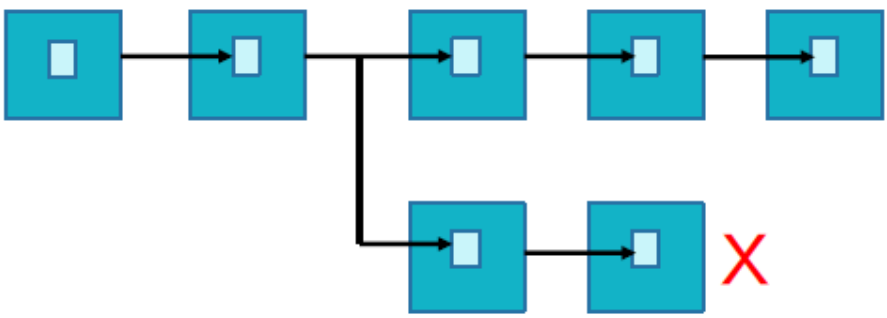
https://blockchain.info/ja/

- ハッシュ値が見つかったら新しいブロックとしてブロードキャストする。
- 他のマイナーは正しければ承認する（ブロックにつなげる）。
- 勝者には報酬が与えられる。
  - 現在12.5BTC
  - 21万ブロック毎（約4年毎）に、マイナーの報酬は半減
- 新しいブロックを作るまでの時間が10分になるようにターゲットが調整される。
- 調整は2016ブロック生成ごとに行われる（2週間）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## ビットコインのブロックチェーンの構造

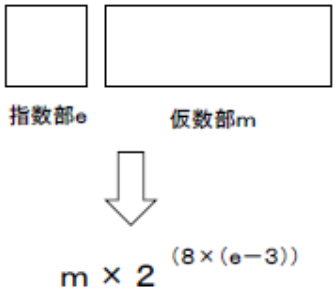
- ブロックチェーンの分岐
  - 分岐点から先がより長いほうのブロックチェーンを正しいブロックチェーンとして認める。
  - チェーンが確定するまでトランザクションが確定しない。
  - 無効になったブロックから未確定のトランザクションが取り出され、新たなブロックに格納される。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ターゲットの表現

- 指数形式を32bitで表現。
- 256bitに整形してハッシュ値と比較。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## ターゲットの調整

- 新しいブロックを作るまでの時間が10分になるようにターゲットが調整される。
  - 調整は2016ブロック生成ごとに行われる（2週間）

- 新しいターゲット＝
  現在のターゲット
  ＊（過去2016ブロック作成に要した秒数／2週間の秒数）

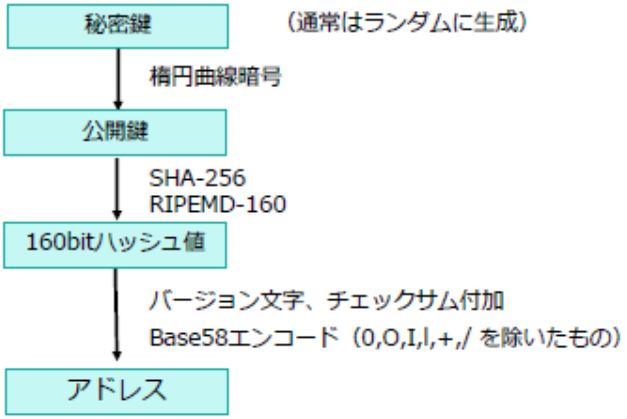
  ただし、現在のターゲットからの変化は　4倍以内、1/4以上に丸める。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ビットコインアドレス

- アドレス＝口座番号に相当
- 秘密鍵＝コイン所有者であることを確認する暗証番号に相当
  - 紛失すると自分のコインであっても送金操作できない
- アドレスはウォレットソフト内で処理され、ユーザは知らなくても構わない

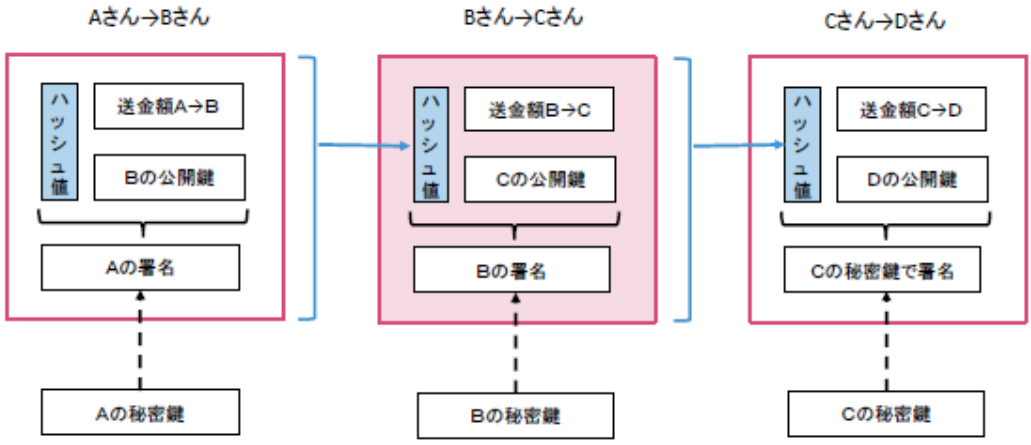
- アドレス作成の流れ




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## ビットコインのトランザクション

- トランザクションのチェーン
- コインの取引履歴
- チェーンを辿ってコインの二重使用がチェックされる
- 二度目の使用は無効（ブロックに格納されない）




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ハードフォーク

- マイニングにおけるフォークは普通に発生している
- ソフトフォーク
  - ソフトウェアの互換性のあるブロックチェーンの分岐
- ハードフォーク
  - ソフトウェアの互換性のないブロックチェーンの分岐
  - 機能拡張の対立から2017年8月にハードフォークが発生してBCHが作られた

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## ビットコインの特徴、課題

- 特徴
  - **中央機関に依存していない**。価値の保証はない。
  - 送金は国際送金より早くて手数料は安い。
  - **台帳が公開**されている。（二重支払防止、監査できる）
  - **改竄が困難**
  - **止まらない**、消えない（P2P）
  - 非機能要件（可用性、セキュリティ（改竄）、パフォーマンス（遅延））の担保にお金をかけなくてよい。**手数料を安価**にできる
  - トランザクションが**すぐに確定しない**（遅延処理）。実時間性がない。
  - 集計処理に弱い。
- 課題
  - 価格変動が激しく投機的側面がある。
  - セキュリティが不安視されている（アルゴリズムの危殆化）
  - プライベートキーの紛失・漏洩対策の欠如
  - マイニング報酬が下がった時の安全性が未知数。（前回は平穏）
  - スケーラビリティがネックになる（ブロックサイズが大量取引に十分でない）
  - プライバシーを確保できない。
  - 将来に渡って仕組みが永続的に続くかどうかわからない。（関係者の対立）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ビットコインのブロックチェーンの特徴と課題

- ビットコインのブロックチェーンの特徴
  - 中央管理者が不在
  - 取引が公開
  - 改竄が困難
  - 止まらない

- 課題
  - 取引処理に10分かかる
  - 取引が確定しない
  - 取引件数がスケールしない（ブロックサイズの制限）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


# 5. イーサリアムのブロックチェーン

～スマートコントラクトの実現～

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## イーサリアム(Ethereum)

- 分散型アプリケーション(DApp)の構築環境を目指すプラットフォーム。
  - 電子契約の自動執行（スマートコントラクト）のプラットフォーム
  - キャッチフレーズ「World Computer」
- パブリックチェーン
- 任意のプログラムを記述できる（チューリング完全）。高水準言語Solidityで記述
- 承認時間平均13秒。
- 内部通貨「Ether」(ETH)。ビットコインに次ぐ時価総額。
- プログラムの実行に仮想通貨を使用。無限ループでも仮想通貨が無くなれば止まる。Dos攻撃を防ぐ。
- 2015年運用開始。
- 2017.10.15 最新バージョン「Byzantium」がリリース。
- 現在PoW。PoSに移行予定。
- マイクロソフト社がBaaS(Blockchain as a Service)を提供(2015.11)
- 2016.7.20 THE DAOハッキング事件にともないハードフォーク実施
  - Ethereum Classic(ETC)発生

DApp(Decentralized Application):分散型アプリケーション
DoS攻撃(Denial of Service attack)
PoW(Proof of Work)
PoS(Proof of Stake)

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## Ethereumのロードマップ

- フロンティア(Frontier)(2015年7月)
  - 開発者向けテスト版プラットフォーム
- ホームステッド(Homestead)(2016年3月)
  - 2016年3月15日リリース
  - フロンティアの安定バージョン。取引手数料の引き上げ、採掘難易度（difficulty)の調整
  - 2016年6月THE DAO事件発生。Ethereum Classic分岐
- メトロポリス(Metropolis)(2017年10月)
  - 2017年10月15日ビザンチウム(Byzantium)
  - 匿名性の強化
  - 2018年？コンスタンティノープル(Constantinople)
  - マイニング難易度の強化
  - スマートコントラクトを簡単実装できる仕組みづくり
  - PoS移行への準備
- セレニティ(Serenity)
  - PoS「キャスパー(Casper)」へ移行

PoS(Proof of Stake)

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 想定されている用途

- エスクロー取引
- デリバティブ
- 信託、預託
- 株券、債権
- ドメイン名
- デジタルコンテンツ
- 利用券、クーポン
- お金
- ストレージ
- 投票
- 分散型組織(DAO)

DAO(Decentralized Autonomous Organizarion)

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



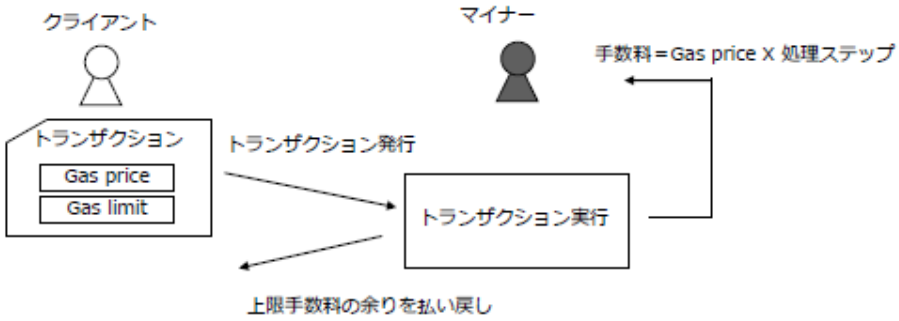
## イーサリアムの構成要素

- イーサリアムの構成要素
  - ブロック
  - アカウント
  - アカウントステート、ワールドステート
  - ガスと手数料
  - トランザクション
  - トランザクション実行

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 手数料とGas

- トランザクションの実行にはGasと呼ぶ手数料が必要。GasはEtherで支払われる。
  - ユーザが支払いレートを設定できる　Gas price
  - 手数料＝Gas price X 処理ステップ
  - 手数料の高いトランザクションが優先して実行されやすい。
- 手数料の上限を設定できる。
  - 上限手数料＝Gas price X Gas limit
  - 実行した結果、余れば払い戻し。
  - 処理途中でGas不足になれば、処理は中断する。
    状態は元に戻る。手数料は戻らない。
- Gasのメリット
  - 無限ループになっても止まる。
  - DoS攻撃を防げる。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## トランザクション

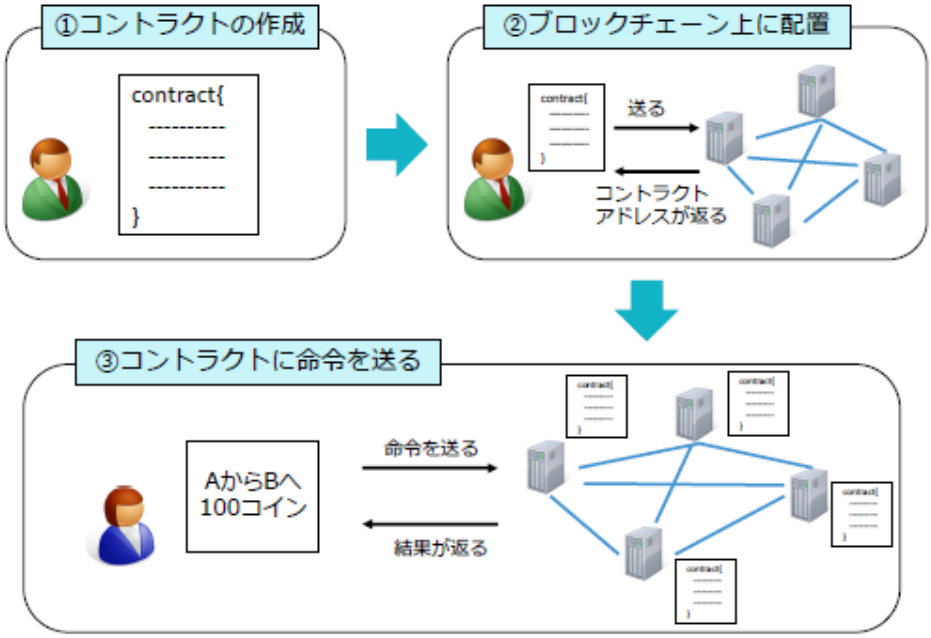
- 外部アカウントからトランザクションを送信することで、各アカウントの状態が変化する。
- 2種類のトランザクション
  - Message call と Contract creation

  - nonce：そのアカウントが送信した累積トランザクション数
  - Gas price：支払いレート
  - Gas Limit：手数料の上限
  - to：トランザクションを受ける側のアドレス（contract creationの場合は空）
  - value：Etherの送金量
  - v, r, s：contract creationの場合の署名データ
  - Init：Contract creationの場合の初期コード
  - Data：Message call の場合のコントラクトへの引数

- コントラクトアカウントの生成　外部アカウント→
- メッセージ送信
  - コントラクトコード実行　外部アカウント→コントラクトアカウント<br>コントラクトアカウント→コントラクトアカウント
  - 送金　外部アカウント→外部アカウント

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## コントラクトの作成・配置・実行




志茂博、ブロックチェーンハブセミナ、「スマートコントラクトのビジネス応用例」、2016.5.13

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## マイニング

- ビットコイン同様、Etherの報酬を目当てにブロックの採掘競争を行う。
- 平均して 12秒に1回 採掘されるように、毎回Difficultyがが調整される。
- 採掘が成功時の報酬
- - 採掘の報酬は固定で5 Ether
- - ブロックに含まれる全てのコントラクトコードを実行した際のGas手数料のEther
- - ブロックに含んだ1つのUncleブロック当たり1/32 Ether
- ブロックに含んだUncleブロックの採掘者への報酬送金
- Nanceによる計算競争
- ブロックの生成

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## スマートコントラクトは契約か？

- 「契約」の要素
  - 契約者は法的能力のある２者以上か？
  - 合理的な用語の定義はあるか？
  - 合法的な目的はあるか？
  - 相互の同意（申込と承諾）はあるか？

- →ほとんどは法律的な契約とはいえない思われる
- →法律を変えないといけない場合が多い
  - 土地登記は、法務局に登記が必要

- 単にブロックチェーン上で動作するプログラムである

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## イーサリアムの課題

- スケーリング問題
  - トランザクションが詰まる
  - スループットが悪い
- コントラクトの実行がノード全てで行われて非効率
- コントラクトの欠陥を修正できない
  - ブロックチェーンの特徴でもある

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

# 6. ファブリックのブロックチェーン

～コンソーシアム型ブロックチェーン～

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## Hyperledgerプロジェクト

- プロジェクト立ち上げ(2015.12.17)
  - 複数の業界で利用可能なブロックチェーンプラットフォームの構築に取り組む。
    - 金融、製造、保険、不動産契約、IoT、ライセンス管理、エネルギー取引など。
  - 220社以上。日本からは富士通、日立製作所、NEC、NTTデータのIT大手4社が参加
  - 2017年5月ソラミツ社参加
  - https://www.hyperledger.org/
  - IBM系Fabric
  - Intel系Sawtooth Lake
  - ソラミツ系Iroha
- いろいろなデバイス・人とやりとりするには標準化が必要である
- プライベートチェーンを対象

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ファブリックの技術的メリット

- 許可制メンバーシップの採用
- パフォーマンスの向上
  - 1000TPS
- チャネルによる秘匿性の実現
- ファイナリティあり
  - ブロックは分岐しない
  - 小規模なネットワークでブロックを覆されることがない
- チェーンコードのアップデートが可能
  - ブロックチェーンの特徴が薄れるが・・・
- モジュール式アーキテクチャ
  - コンセンサスアルゴリズムの変更
  - 内部DBの変更

https://www.ibm.com/developerworks/jp/cloud/library/cl-top-technical-advantages-of-hyperledger-fabric-for-blockchain-networks/index.html
https://qiita.com/hakozaki/items/f849f2035e4140b720e0

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



# 7. ブロックチェーンの課題と新しい取り組み

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ブロックチェーンの特徴

- 特徴
- 非中央集権的な分散台帳を持つ
- 高い可用性とデータ同一性を持つ
- 改竄耐性または改竄検出容易性に優れている

- 適する業務
- 複数の当事者が同じ情報を共有する業務の効率化
  - 貿易金融
  - 保険申込
- 取引履歴を長期間保存する業務に向く　　透明性、説明責任
  - 不動産登記
  - ダイヤモンド取引履歴
  - 食品流通経路
  - サプライチェーン
- スマートコントラクトを利用できる業務
  - 条件付き契約の自動執行
  - 仲介者を減らすことによるコスト削減

https://qiita.com/hakozaki/items/9c7d1e00c4cf486e8f1f
http://www.soumu.go.jp/main_content/000550975.pdf

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## ブロックチェーンの課題

- スケーラビリティ問題、遅延
- 低スループット
- 51%攻撃
- ファイナリティがない
- トランザクション秘匿性
- ユーザ匿名性

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## DAppの未来

- DApp(Decentralized Application)
- ブロックチェーン技術によって構築された分散型のアプリケーションサービスのこと
- 従来の集中型アプリケーションと違い、単一障害点がなく、データの透明性が高い
- 現在イーサリアム上のDAppは約1000種類存在し、稼働しているDAppはおよそ300アプリケーション。（参考：https://www.stateofthedapps.com/）
- Dappアプリケーションのダウンロードサイトが用意されている。

- パブリックで、クリプトキティーズのようなキラーコンテンツが登場するかは未定。
- スマートコントラクトを実装したアプリケーションが拡大すると思われる。

https://consensysmediajapan.com/3531.html?doing_wp_cron=1539432566.6073520183563232421875

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## ブロックチェーンのビジネスへの影響

- 企業がブロックチェーンに期待すること
  - 1.価値を扱う複雑なシステムを安価に置き換えたい
  - 2.中央管理者を経由せず効率的に取引したい
  - 3.業務を自動化してコストを削減したい
  - 4.直接参加型の新しいサービスを構築したい

- 金融分野
  - 金融資産交換、リアルタイム決済、低コスト決済
- 流通分野
  - サプライチェーン、トラッキング、デジタルコンテンツ
- マスターデータ管理
  - 安全に保管、監査性
- シェアリングエコノミーとIoT
  - スマートシティ、交通、ヘルスケア
- リーガル分野
  - 契約の自動執行、分散自律組織（DAO;Decentralized Autonomous Organization）
- ヘルスケア
  - 健康記録とデータ閲覧制御
- 行政サービス
  - 登記、投票、電子ID

参考 ビットバンク株式会社＆『ブロックチェーンの衝撃』編集委員会、ブロックチェーンの衝撃、日経BP、2016

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

第3回　　2018年12月26日(水)　「各種IT技術の適用可能性とメリット、デメリット、課題整理」

## 目次

- 産業廃棄物分野の現状と課題
- 「産業廃棄物処理業の振興方策に関する提言」より
- 産業廃棄物分野の課題（私見）
- サプライチェーンの取り組み
- サプライチェーンマネジメント(SCM)
- 経済産業省の取り組み（コネイン）
- IVIの取り組み
- サプライチェーンとブロックチェーン
- 電力取引とブロックチェーン
- 産業廃棄物分野のITシステム
- マニフェスト制度、電子マニフェスト
- 産廃処理業者検索「さんぱいくん」
- 産業廃棄物処理業者向け情報管理システム
- AI、IoT、BC適用の意見交換
- アイディア

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 1．産業廃棄物分野の現状と課題

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

# 産業廃棄物分野の現状と課題

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

## 産業廃棄物処理業の振興方策に関する提言より

産業廃棄物処理業の振興方策に関する検討会、2017年3月
https://www.env.go.jp/press/104001-print.html

別紙

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



# 産業廃棄物分野の課題（私見）

INTEC TIS INTEC Group Go Beyond

- 提言を元に私見を追加
  - 雲はIT的な対策が可能な項目

Copyright © 2018 INTEC

## 2．サプライチェーンの取り組み

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## サプライチェーンマネジメント(SCM)

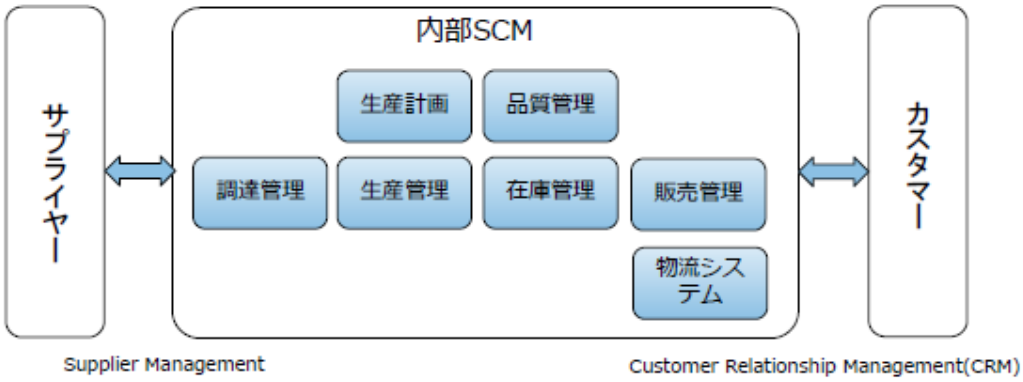
- メリット
  - リードタイムの短縮
  - 在庫の最適化
  - 売上げの最大化
  - コストの最小化
  - 需要変動への素早い対応

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

https://www.sbbit.jp/article/cont1/34345

## SCMを支えるITシステム

- 個別のITシステムを組み合わせて実現される。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

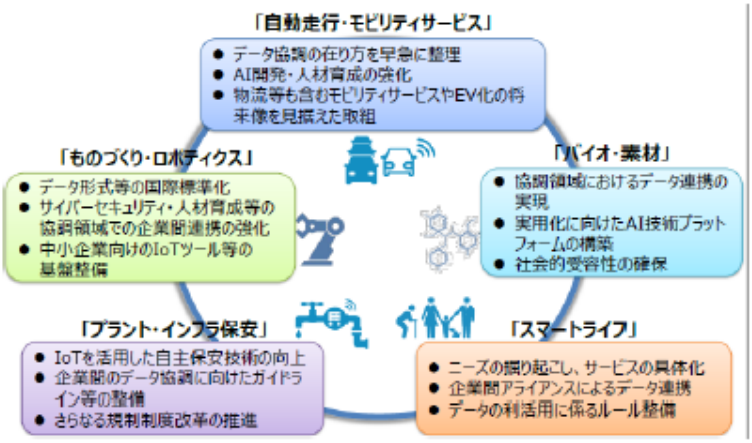
http://www.itmedia.co.jp/im/articles/0908/18/news097.html



## Connected Industries（コネイン）

- 日本の産業が目指す姿を示すコンセプト［経済産業省］
- 様々な業種、企業、人、機械、データなどがつながって
  AI等によって、新たな付加価値や製品・サービスを創出し、生産性を向上する。
- ひいては高齢化、人手不足、環境・エネルギー制約などの社会課題を解決する。

- ５つの重点取組分野

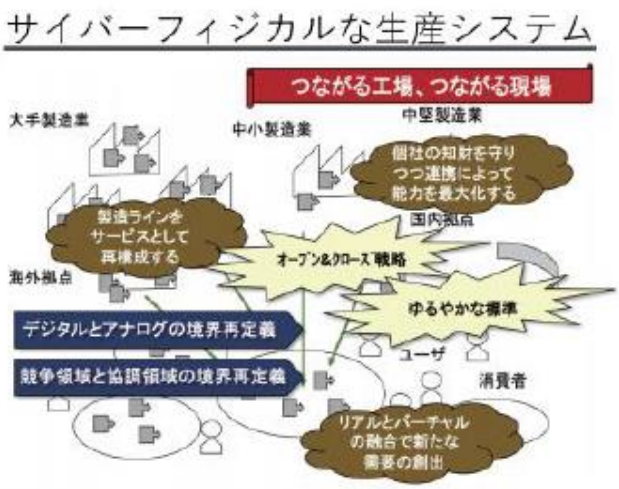



http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/connected_industries/index.html

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## IVIの取り組み

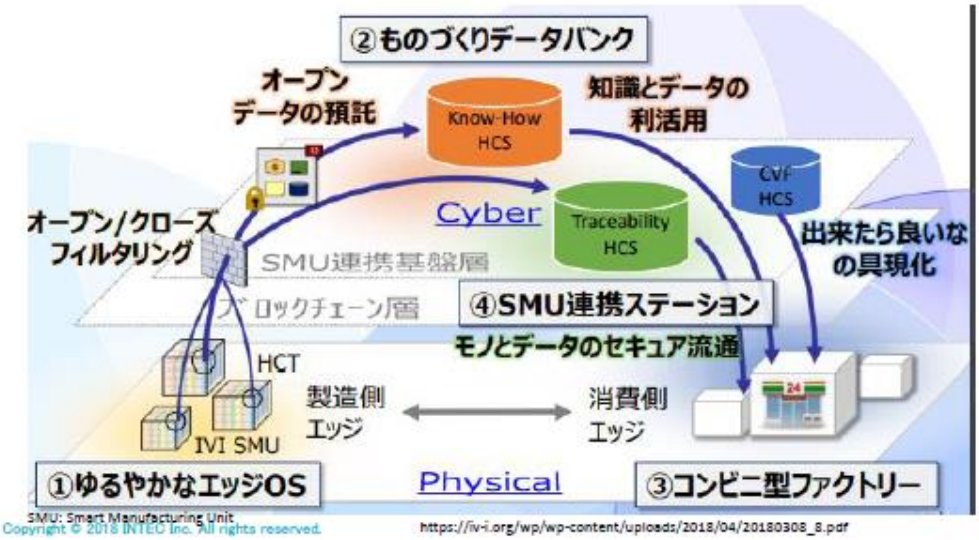
- IVI(Industrial Value Chain Initiative)
- ものづくりとITが融合したあたらしい社会をデザインし、あるべき方向に向かわせるための活動を、それぞれの企業が連携して活動するフォーラム
- ゆるやかな標準を介して企業のノウハウを連携し、新しい価値を創造する。




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.
http://iv-i.org/wp/wp-content/uploads/2017/10/IVI-leaflet-201709-jp-r.pdf


## IVI未来プロジェクト

- サプライチェーン両エッジ(製造現場、最終顧客)をつなぐ究極のエッジ生産
- ゆるやかなエッジＯＳ：他システムとゆるやかに連携する工作システム
- もづくりデータバンク：ノウハウの流通取引
- コンビニ型ファクトリー：個別ニーズに合わせたカスタマイズ生産
- ＳＭＵ連携ソリューション：サプライチェーンデータの連携




SMU: Smart Manufacturing Unit
Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.
https://iv-i.org/wp/wp-content/uploads/2018/04/20180308_8.pdf

## サプライチェーン　IoT技術との連携

- ウォルマート　食品トレーサビリティ実証実験
  - 食品管理の安全性向上とコスト削減
  - 中国から米国に輸送される豚肉を、農場から店頭まで追跡する
  - 問題が発覚した場合、食品の特定と回収が容易となる

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## サプライチェーン　食の安全

- 大手食品企業のアライアンス
  - ウォルマート、ネスレ、ユニリーバ、ドール、など10社
- 正確な電子記録をブロックチェーンに保持する
- 生産／加工／卸／小売まで食品のトレーサビリティを向上させる

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 貿易取引へのブロックチェーンの適用

- 貿易取引は関係者が多く、書類による取引が行われている。
  - 信用状、船荷証券、保険証書など
- 書類を共有することにより、手続きの迅速化が期待できる。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## エネルギー取引　IoT技術との連携

- NY Brooklyn Microgrid　Project
- ブロックチェーンで余剰電力をご近所で売買する
- 加入者はブロックチェーンに対応したスマートメーターを設置し、自宅の発電量と消費量を記録する。
- 自動的に記録される「スマート契約」機能により、近所の住民同士で電力を取引する一方、取引データはブロックチェーンで記録される。
- Ethereumを使用

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

# 3．産業廃棄物分野のITシステム

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## マニフェスト制度

- マニフェスト：産業廃棄物管理表
  - マニフェストに産業廃棄物の種類、数量、運搬業者名、処分業者名などを記入し、業者から業者へ、産業廃棄物とともにマニフェストを渡しながら、処理の流れを確認するしくみ。
  - 委託処理する産業廃棄物はマニフェストで管理することが法律で義務づけられている。

産業廃棄物の種類

| | |
|---|---|
| 1. 燃えがら | 焼却残灰など |
| 2. 汚泥 | 工場廃水処理や物の製造工程などから排出される泥状のもの |
| 3. 廃油 | 潤滑油、洗浄用油、食用油などの不要になったもの |
| 4. 廃酸 | 酸性の廃液 |
| 5. 廃アルカリ | アルカリ性の廃液 |
| 6. 廃プラスチック類 | プラスチック類の不要になったもの |
| 7. 紙くず | 建設業、紙製造業、製本業などの特定の業種から排出されるもの |
| 8. 木くず | 木材製造業などの特定の業種から排出されるもの |
| 9. 繊維くず | 建設業、繊維工業から排出されるもの |
| 10. 動植物性残さ | 食品製造業などの原料として使用した動植物で不要になったもの |
| 11. 動物系固形不要物 | と畜場等から発生した動物に係わる固形状の不要物 |
| 12. ゴムくず | 天然ゴムくずのみを含むもの |
| 13. 金属くず | 鉄鋼または非鉄金属の切削くず、金属片など |
| 14. ガラス・コンクリート・陶磁器くず | ガラス、陶磁器くず、コンクリートのくずなど |
| 15. 鉱さい | 製鉄所の炉の残さいなど |
| 16. がれき類 | 工作物の新築、改築又は除去に伴って生じたコンクリートの破片など |
| 17. 動物のふん尿 | 畜産農業から排出されるもの |
| 18. 動物の死体 | 畜産農業から排出されるもの |
| 19. ばいじん | 工場の排ガスを処理して得られるばいじん |
| 20. 上記の19種類の産業廃棄物を処分するために処理したもの（コンクリート固形化物など） | |

財団法人 食品産業センター
http://www.shokusan.or.jp/manifest/

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## マニフェストの流れ

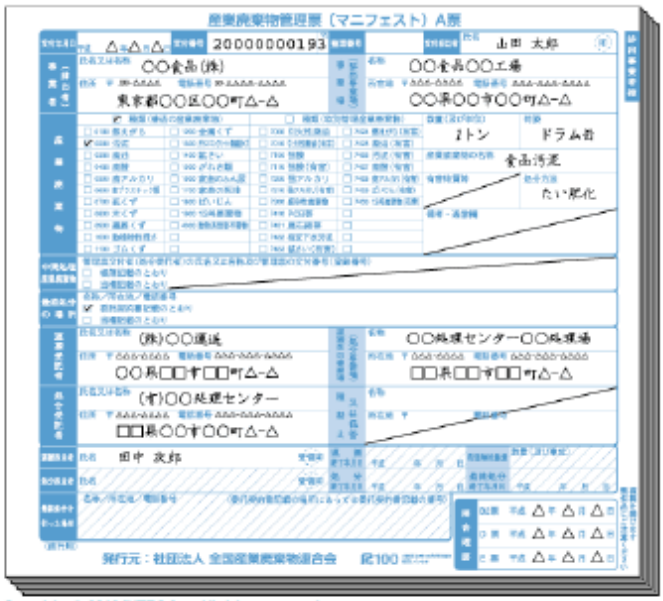
- 業者から業者へ、産業廃棄物とともにマニフェストを渡して行く。
- 排出事業者は、それぞれの処理終了後に、各業者から処理終了のマニフェストを受け取ることで、委託内容どおりに廃棄物が処理されたかが確認できる。

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## マニフェストの記入方法

- 産業廃棄物管理票は、各都道府県の産業廃棄物協会で購入できる。
- 5年間保存する義務がある。




財団法人 食品産業センター
http://www.shokusan.or.jp/manifest/

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

# 電子マニフェスト

- 平成10年12月から導入
- 公益財団法人日本産業廃棄物処理振興センターが全国で唯一運営。
- 導入メリット
  - 「事務処理の効率化」、「データの透明性の確保」、「法令の遵守」を徹底。
  - 年1回都道府県へ報告は不要。
- 電子マニフェスト年間登録件数
  - 28,402千件（平成29年12月～平成30年11月）
  - 電子化率　57%（※年間総マニフェスト数を5,000万として算出）

利用料金

| 料金区分 | A料金 | B料金 | C料金（団体加入） |
|---|---|---|---|
| 基本料金（1年間） | 25,920円 | 1,944円 | 不要 |
| 使用料（登録1件につき） | 10.8円 | （90件まで無料）91件から21.6円 | 21.6円 |
| 利用区分の目安（年間登録件数） | 2,401件以上 | 2,400件以下 | － |

公益財団法人 日本産業廃棄物処理振興センター
http://www.jwnet.or.jp/jwnet/index.shtml



# 電子マニフェスト

- 紙マニフェストと電子マニフェストの比較

| | 紙マニフェスト | 電子マニフェスト |
|---|---|---|
| コスト | 安い | 電子マニフェスト利用料金（基本料＋使用料） |
| マニフェストの返送 | 必要 | 不要 |
| 処理終了報告 | 終了後10日以内 | 終了後3日以内 |
| 情報把握の即時性 | 遅い | 早い |
| 保存義務 | 5年間 | 不要（センターが管理） |
| 保存スペース | 必要 | 不要 |
| 帳簿への記載 | 必要 | 入力項目以外は必要 |
| 行政への実績報告 | 必要 | 不要（センターが実施） |
| 現場での使い勝手 | 良い | |
| 利用者の合意 | | 全員が使用する |
| 向き不向き | 低頻度発生向き | 大量高頻度発生向き |

参考　尾上雅典、産廃処理の基本と仕組みがよ～くわかる本、秀和システム、2011

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 産廃処理業者検索「さんぱいくん」

- 優良処理業者の検索サイト
- 処理業者自らが登録する。
- 排出事業者が全国の優良な処理業者を検索する。
  - 委託先の最新の公表情報確認
  - 排出地での委託したい廃棄物の許可情報の検索

http://www.sanpainet.or.jp/about_us.php?id=5

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 産業廃棄物情報管理システム

- 自社導入型（オンプレ型）、ネット型（クラウド型）がある。
- 主な機能（複数システムの機能より）

| 処理名 | 機能概要 |
|---|---|
| 産業廃棄物管理 | ・電子マニフェストEDI連携<br>・マニフェストの作成/印刷（直行用、積替用、建設系）<br>・マニフェスト一元管理<br>・行政年次報告書の印刷（運搬実績） --- 各自治体様式に対応<br>・各種帳簿、集計表の印刷<br>・各マニフェストの返送日/回収日、返送先の入力と管理<br>・封筒宛名印刷、送り状印刷 |
| 契約書作成 | ・委託基本契約書の作成/印刷/管理<br>（収集運搬、処分、収集運搬および処分、建設系）<br>・契約内容、契約期限管理 |
| 許可証管理 | ・許可品目管理<br>・許可期限管理 |
| 排出事業者管理 | ・排出事業者の管理 |
| 営業受発注 | ・見積書・納品書・受領書・請求書・発注書の作成/印刷<br>・売上・仕入管理／回収・支払管理<br>・各種一覧表、集計表の印刷 |
| 経理 | ・伝票入力/現金出納帳入力<br>・各種集計表の確認/印刷 |

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 産廃処理・リサイクル販売管理システムCle2(くるくる)

- 産廃・リサイクル業に特化した機能を装備
- オプション群によりリサイクル全業務をカバー
  - Webカメラ連動 …… 計量時のトラック画像（車番、荷台）の履歴管理
  - スマートフォン・タブレット端末対応 …… 実績照会や計量入力が可能
  - 見積・受注管理 …… 見積作成から受注までの履歴・決裁管理
  - 回収・配車管理 …… 回収業務をスケジュール管理し、配車を管理
  - 運賃管理 …… 運送会社を使用した際に発生する運賃の支払・残高を管理

Copyright © 201



## AI分別ロボット

- 埼玉・深谷のシタラ興産
- フィンランドのゼンロボティクス社製
- 紙くず、木くず、がれき類、廃プラ、石膏ボード、ガラス・陶器くずの選別工程
- 18人を2人（最後のチェック用）まで削減
  - 最後のチェック：スプレー缶、乾電池、使い捨てカイロの除去
- 採用に有利になった

https://www.youtube.com/watch?v=W7Tk1cW5qvI (1:07)

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 廃棄物カメラ認識

- 白井グループ
- H29年度東京都環境局
  「持続可能な資源利用に向けたモデル事業」
- 袋数を自動認識する。

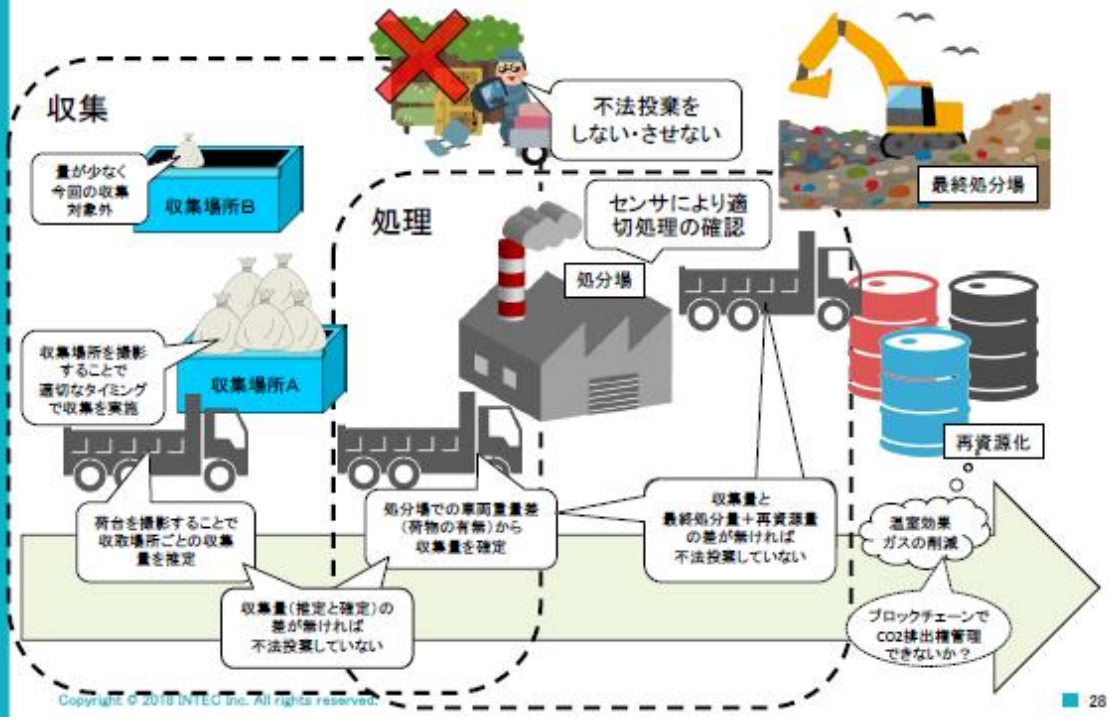
Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.


## 4．AI、IoT、BC適用の意見交換

アイディア

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 産業廃棄物処理（全体イメージ）




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.



## 産業廃棄物処理（収集場所）

- 収集場所を撮影することで適切なタイミングで収集
  - どのような物が、どれくらい溜まったかがわかる
  - 日々の廃棄物の増加情報から、回収スケジュール調整が可能
- 複数の収集場所を巡回して効率良く収集
  - 巡回ルートを調整することで、トラックの荷台を満載可能
  - 荷台をカメラ撮影し、収集量を推定する（課金情報として使える？）
- 収集の際、荷台をカメラ撮影する
  - 収集したことの確証を残す（＝不法投棄していないことの証明）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 産業廃棄物処理（処分場）

- トラックの荷下ろし前後の車両重量の差から、廃棄物重量がわかる
- 処分場内設備の稼働状況から、設備稼働率(設備余裕)がわかる
- 搬入された廃棄物量と処分結果（最終処分量、再資源量）の差から、適切に処分が行われたことを示すことができる
- 処分結果（再資源量）から、CO2削減が期待できる
  - ブロックチェーンで「CO2排出権」を管理できないか？

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

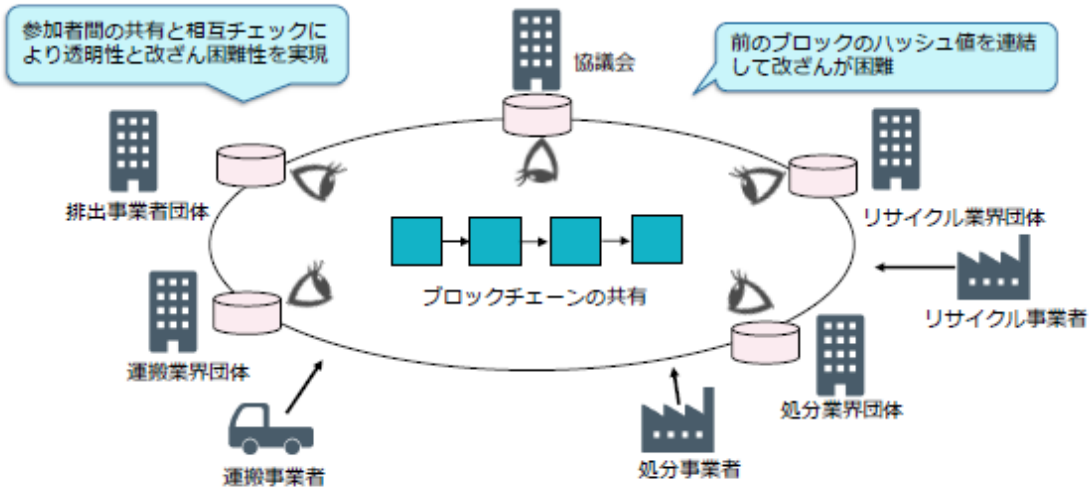

## 課題

- 処分場内において、電気的なノイズによる無線通信障害の可能性
- センサー設置場所環境
  - 耐水/防水、防塵、防爆
  - 配線可否（電源：バッテリー/太陽電池、通信：無線/有線）

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## ブロックチェーンへの期待

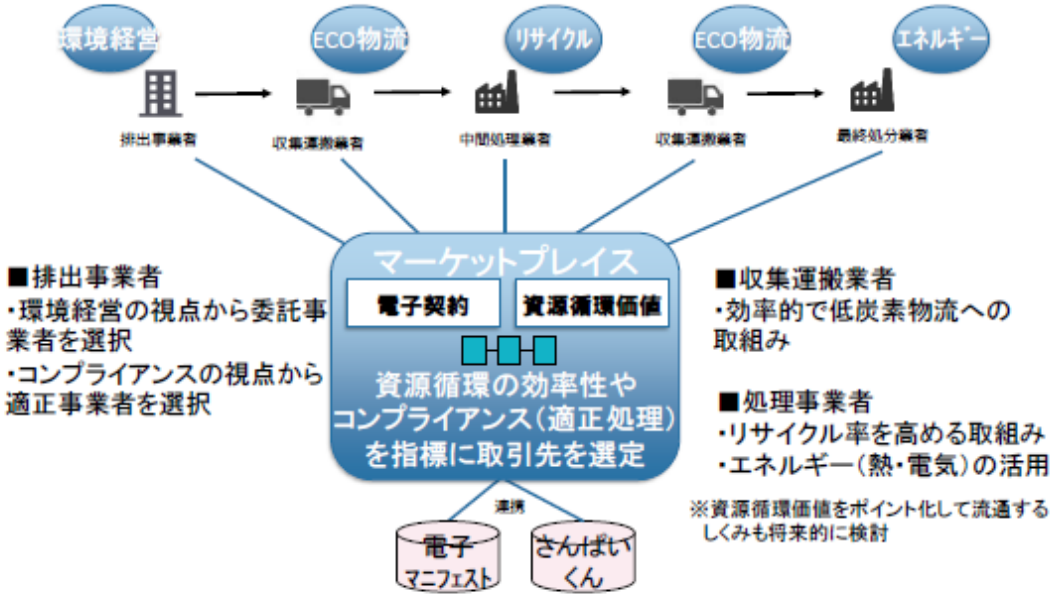
- 業界で共有する分散台帳技術
  - 透明性：参加者間で同じ情報を共有
  - 信頼性：ブロックの連結構造と参加者の相互チェックにより改ざん困難
  - 追尾可能性：追記型台帳に基づく履歴記録の共有
  - ただし、アクセス権制御による秘密保持は必要




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 循環型社会を形成する電子プラットフォーム

各企業の資源循環への取り組みを「資源循環価値」として、マーケットプレイス上に「見える化」して経済活動と結びつける。資源循環意識の高い企業を選ばれる仕掛けで循環型社会の形成をはかる




■排出事業者
・環境経営の視点から委託事業者を選択
・コンプライアンスの視点から適正事業者を選択

■収集運搬業者
・効率的で低炭素物流への取組み

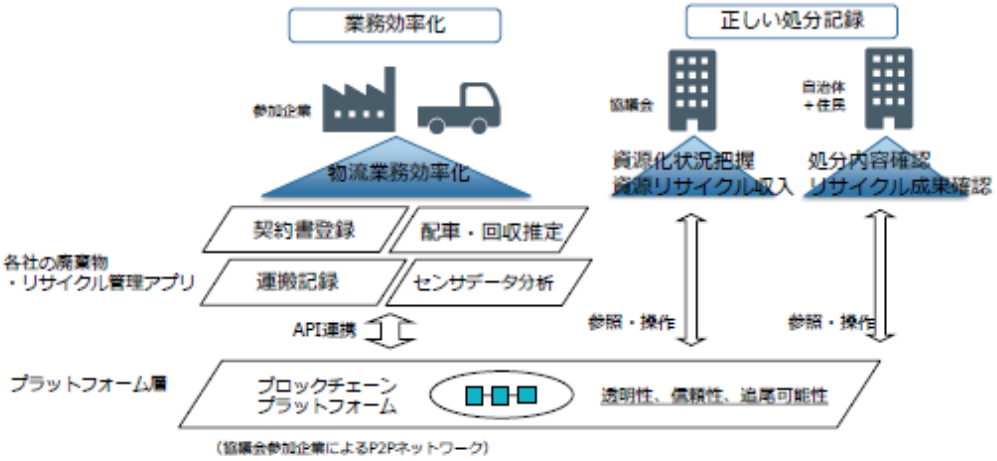
■処理事業者
・リサイクル率を高める取組み
・エネルギー（熱・電気）の活用

※資源循環価値をポイント化して流通するしくみも将来的に検討

Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.

## 地域協議会による「廃棄物・リサイクル物流改革システム」の構築

- ブロックチェーンの信頼できる処理記録に基づいて、地域の企業同士で業務効率化を目指す。
- センサ技術・AI技術を利用して静脈物流を効率化する。
  - 集積量の検知、回収物の内容・重量の推定、回収経路の提示
- ブロックチェーンにより処理過程を正しく記録する。（透明性、信頼性、追尾可能性）
  - 契約情報と処分内容の妥当性チェック
  - 参加企業同士がチェックする信頼できる処分記録
  - 資源リサイクル状況の見える化




Copyright © 2018 INTEC Inc. All rights reserved.