

平成 29 年度 環境経済の政策研究

(我が国に蓄積されている資源のストックに関する調査・検討)

研究報告書

平成 30 年 3 月

名古屋大学  
東京大学  
国立環境研究所

I.	研究計画・成果の概要等	3
1.	研究の背景と目的	3
2.	3年間の研究計画及び実施方法	4
3.	3年間の研究実施体制	7
4.	本研究で目指す成果	7
5.	研究成果による環境政策への貢献	8
II.	平成 29 年度の研究計画および進捗状況と成果	9
1.	平成 29 年度の研究計画	9
2-(1).	平成 29 年度の研究状況及び成果（概要）	12
2-(2).	3 年間の研究を通じて得られた成果（概要）	30
3.	対外発表等の実施状況	37
4.	平成 29 年度の進捗状況と成果（詳細）	56
	序論	56
	本論	56
(1)	物質ストックの区分と具体事例の整理	57
(2)	物質ストックの環境・経済面での定量評価	63
(2)-1	分析・評価手法の検討	63
(2)-2	個別事例に基づくケーススタディ	77
i)	物質ストックの機能性評価	77
ii)	耐久消費財のストック量・体液量・排出量の推計アプローチ	86
iii)	建築物の滞留年数推計	89
(2)-3	統計処理方法の確立	95
(2)-4	実務ベースの物質ストック把握手法の検討	99
(3)	蓄積された物質ストックの状況の把握	134
(4)	ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価	138
	結論	140
III.	添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）	141

## I 研究計画・成果の概要等

### 1. 研究の背景と目的

物質ストックとは、社会に滞留し、人々の豊かさを引き出すサービスを提供するもので、耐久消費財や建築物、土木構造物など社会に不可欠なものであるが、国土の強靭化、人口減少・高齢化やインフラの維持管理費の増大といった社会の変化に対応したメリハリのあるストックの適正管理が求められる。既存の物質フローに加えて物質ストックを把握することは、貴重な資源の有効利用や将来の廃棄物量の削減に向けて重要であると同時に潜在的な二次資源を把握することにつながり、循環資源の高度利用と資源確保に資するものである。物質ストックを適正管理し、社会をフロー型からストック型に導くことで、自然資源投入量の低減化による自然環境への負荷低減および低炭素化にもつながり三社会統合化にむけた布石にもなる。

平成15年に始まった循環型社会形成基本計画では、その第三次計画までフローに着目した指標を元に目標を設定し、循環型社会の形成状況を計測してきた。しかし、第三次計画では、物質のフローとともに物質の「ストック」の重要性についても指摘しているが、ストックに関する指標については今後の検討課題として扱われている。循環型社会形成に資するストックに関する国内、海外での研究事例は少なく、循環型のストック型社会形成を目指すための研究が求められている。

以上より、本研究では、我が国に蓄積されている資源のストックに関する知見の必要性から、ストック型社会形成に資する豊かさを生み出す物質ストックを定量的・経年的に推計・評価を行うことを目標とする。具体的には、以下の4項目を中心に調査・検討を行う。

#### (1) 物質ストックの区分と具体事例の整理 :

国内外の資源ストック分析の事例を収集し、日本に適用する場合の検討を行う。豊かさを生み出す物質ストックとはどのようなものか概念的な整理を行った上で、具体的な事例の整理を行う。

#### (2) 物質ストックの環境・経済面での定量的評価 :

具体的な事例整理に基づき、定性的評価から定量的評価へ結びつけるための①分析・評価手法の検討と②個別事例に基づくケーススタディを行う。

#### (3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握 :

物質ストックを定量的かつ経年的に計測するために必要な③統計処理手法の確立し、政策に必要なデータとして隨時更新可能な④実務ベースの物質ストック把握手法を検討する。

#### (4) ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価 :

推計した物質ストックがどのような要因に基づくものであるのか分析し、豊かさと物質ストックとの関係性について環境面、経済面から検討を行う。

これら4項目の作業を実施することで、豊かさを生み出す物質ストックとはなにか、どのように実務的に定量化し、評価するのかを検討し、ストック型社会が三社会構築にどのように貢献できるのか明らかにする。

## 2. 3年間の研究計画及び実施方法

本研究では図-1に示されるよう、以下の4項目に則って計画を実施する。

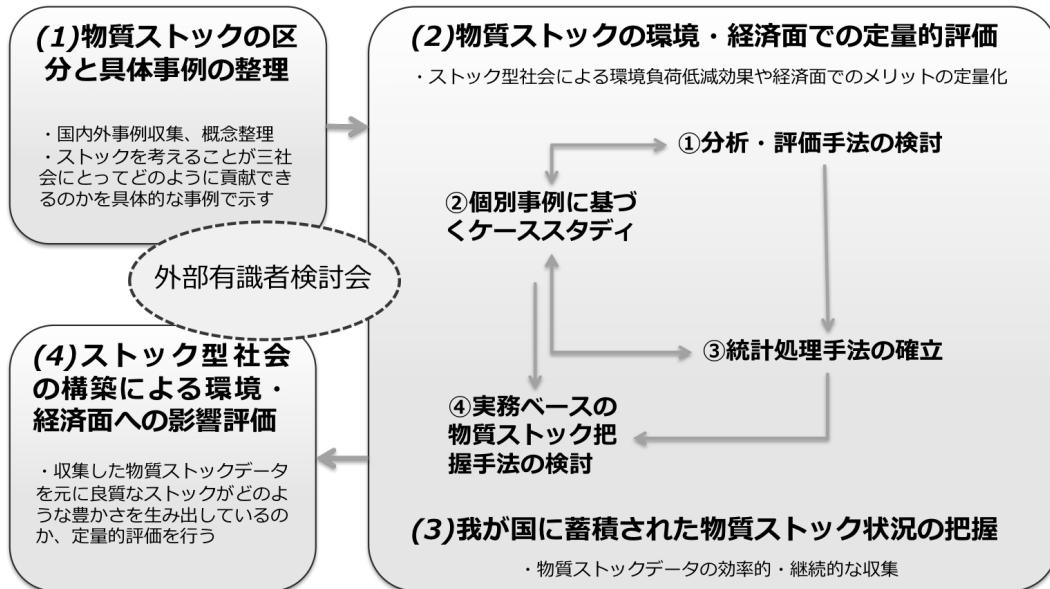


図-1 本研究の構成

### (1) 物質ストックの区分と具体事例の整理

国内外の資源ストック分析の事例を収集し、日本に適用する場合の検討を行う。豊かさを生み出す物質ストックとはどのようなものか概念的な整理を行った上で、具体的な事例の整理を行う。また、環境・経済面から分析を行っている研究者にヒアリングを行い、様々な分野から物質ストックに関する検討・整理を行う。物質ストックの区分は後の作業に大きな影響を与える重要な作業であるため、外部有識者検討会を組織し、継続的な議論・更新・見直しを進める。承諾を頂いている外部有識者検討会のメンバーは次の通りである。森口祐一教授（東京大学）、岡本久人会長（次世代システム研究会）、橋本征二教授（立命館大学）、眞弓浩三教授（徳島大学）、松本亨教授（北九州市立大学）、馬奈木俊介教授（九州大学）。

また、物質フローやストックを学問分野として取り扱う ISIE (Industrial Ecology 国際学会) での動向を同学会のボードメンバーで社会の物質代謝に詳しい H. Schandl 教授（オーストラリア連邦科学産業研究機構）、F. Krausmann 教授（オーストリア IFF 社会環境研究所）にも研究協力を求め、国際的かつ学術的見地から知見の提供を求める。

さらに、ストック型社会に近いと言われている欧州の事例調査及び分析も行い、海外での国富調査の歴史や長寿命型ストックが生活に与える影響についても調査を行う。

### (2) 物質ストックの環境・経済面での定量的評価

具体的な事例整理に基づき、定性的評価から定量的評価へ結びつけるための①分析・評価手法の検討、②個別事例に基づくケーススタディ、を行う。

#### ①分析・評価手法の検討

(1)で整理した研究事例を元にストックを推計する手法をまとめ、推計値を評価するための評価軸の洗い出しを行う。例えば、物質フロー推計をベースに検討している循環計画の3つの目標値（資源生産性、リサイクル率、最終処分量）やUNEP IRPでのDecouplingの議論や欧州が積極的に進めるResource Efficiencyに対して、既存のストックがどの程度関連しているのか検討を行う必要がある。また、物質ストックの地理的分布やストック総体としての便益についても検討を行い、複合的な視点でストックの評価に結びつける。その上で、クオリティの高い物質ストック（クオリティストック）とはどのようなもの・状態であるのか検討を行う。

## ②個別事例に基づくケーススタディ

本研究メンバーが専門とする分野において関連する物質ストックの推計を行い、ストック推計によるメリットをケーススタディで把握する。ここで得られる推計値は③や④で得られた推計結果の検証用として不可欠である。

物質ストックを定量的かつ経年的に計測するために必要な③統計処理手法の確立し、政策に必要なデータとして隨時更新可能な④実務ベースの物質ストック把握手法を検討する。

## ③統計処理手法の確立

研究ベースでストックを精度良く推計するための手法について整理を進めたあと、既存の統計情報を用いる推計手法について整理を行う。ここでは、継続的にデータを得ることが可能な統計情報を用いて物質ストックを正確に推計するための手法を確立することを目的として、②の個別ケーススタディによる推計値と比較しながら手法の検討を進める。

## ④実務ベースの物質ストック把握手法の検討

年次更新される既存の統計を用い、③に近い精度で実務的に物質ストックを推計するための手法を検討する。この実務的手法をマニュアルとして整備することにより、シンプルに物質ストックの推計を行うことを目的とする。

## (3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握

循環型社会形成推進基本計画の点検に用いられている物質フロー図ではストックの概念が含まれていないことから、本研究で推計した物質ストック情報を用いることで物質フロー図にストック情報を加味した物質フロー・ストック図についても検討を行う。

## (4) ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価

推計した物質ストックがどのような要因に基づくものであるのか分析し、豊かさと物質ストックとの関係性について環境面、経済面から検討を行う。(3)で把握した日本全体の物質ストックに関して、(2)で検討した評価手法を用いて環境面及び経済面での影響を評価する。具体的には、豊かさを生み出すストックが増加するストック型社会シナリオ等を想定し、エネルギー・低炭素化、デカップリングについて評価を実施する。

本研究の実施に当たって行う計画を以下に示す。(表-1)

#### 【2015年度】

「(1)物質ストックの区分と具体事例の整理」を実施するとともに、「(2)物質ストックの環境・経済面での定量的評価」を行う。さらに、翌年度より「(3)我が国に蓄積された物質ストック状況の把握」を実施するため、「①分析・評価手法の検討」を始める。また、(1)の実施のために環境・経済面から分析を行っている研究者にヒアリングを行い、様々な分野から物質ストックに関する検討・整理を行う。さらに、研究メンバーにより「②個別事例に基づくケーススタディ」を実施し、個別分野での検討事例を積み重ねるとともに、最終年度に推計結果を得られた時の検証資料として利用する。

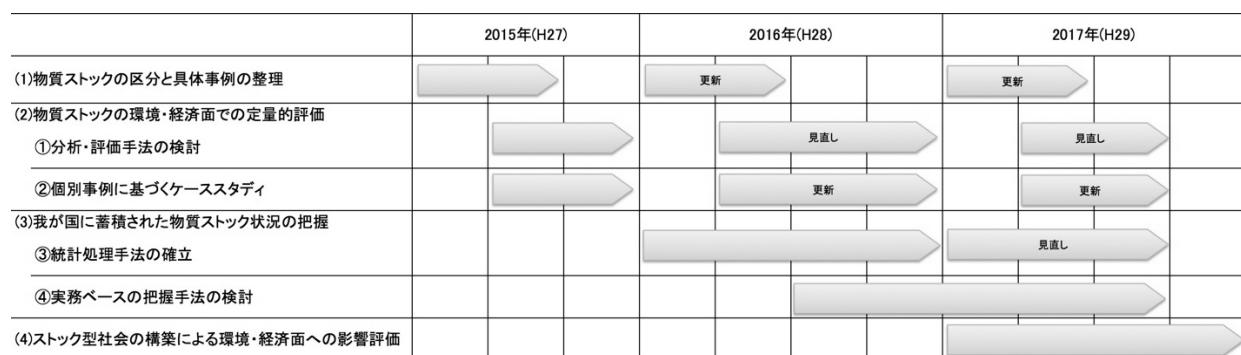
#### 【2016年度】

2015年度に整理した事例をさらに更新しつつ、(2)①の手法の検討の見直しを進め、「(3)我が国に蓄積された物質ストック状況の把握」に着手する。まずは、②のケーススタディを参考に様々なデータから推計を進めつつ、「③統計処理手法の確立」を目指す。さらに、統計処理手法をより入手しやすいデータで整理しつつ「④実務ベースの物質ストック把握手法」の検討を行う。

#### 【2017年度】

(1)~(3)の各項目を見直し、更新するとともに、「(4)ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価」をおこない、③④で推計した物質ストックがどのような要因に基づくものであるのか分析し、豊かさと物質ストックとの関係性について環境面、経済面から検討を行う。

表-1 本研究の工程表



### 3. 3年間の研究実施体制

上記の研究内容を表-2に示す体制で実施する。(1)では、研究参画者による検討に加えて、外部有識者検討会を開催しストックの区分や整理について幅広い意見を考慮しつつ取りまとめを行う。また、②個別事例に基づくケーススタディでは、循環型社会推進基本計画で取り扱う項目のうち、物質ストックとして考慮すべき建築物や土木インフラクチャー、耐久消費財を取り上げると共に、その社会の滞留年数(≒寿命)について検討を行い、研究を進める。

表-2 本研究の実施体制

	谷川	醍醐	小口	奥岡
(1)物質ストックの区分と具体事例の整理	◎	○		○
(2)物質ストックの環境・経済面での定量的評価				
①分析・評価手法の検討	○	◎	○	○
②個別事例に基づくケーススタディ	◎ 寿命	○ 鉄製品	○ 耐久財	○ 建築土木
(3)我が国に蓄積された物質ストック状況の把握				
③統計処理手法の確立	◎	○		○
④実務ベースの把握手法の検討				◎
(4)ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価	◎	○	○	○

### 4. 本研究で目指す成果

本研究では4項目の作業を実施することで、それぞれの項目に対応して、以下の結果が成果として見込まれる。

(1)では、循環型社会形成を進めていく上で増やしていくべき豊かさを生み出す有用なストックを明らかにすることができます。また、既存の物質ストック分析に関する事例集を整理することはストック型社会を目指す上で物質ストックの計測方法の検討に役立つものである。

(2)(3)では、物質ストックの計測に関する推計手法が提供される。具体的には、統計情報等を用いて国レベルでの物質ストック量を推計する手法が確立されることで、我が国のストック型社会への移行状況を把握することが可能となる。また、物質ストックのうち、正のストックが増加することによる環境面・経済面での影響を定量的に示すことで、ストック型社会へ移行していくことの意義を客観的に示すことが可能となる。

(4)では、日本の物質ストックの時系列推計値とその蓄積された物質の内訳、蓄積年数および、蓄積された推移に関して要因分析の結果が提供される。我が国に蓄積されているストックの状況を定量的に示すことでストック型社会形成に向けた今後の施策について具体的に検討することが期待できる。

## 5. 研究成果による環境政策への貢献

第三次循環型社会形成推進基本計画では今後、天然資源の消費の抑制を図るため、製品寿命の長期化やリユース、リフォーム、リサイクル等により、豊かさを生み出す有用ストックが多く蓄積された「ストック型社会」を形成していく必要があるとされている。ストック型社会の形成を促していく観点から、ストック区分に係る整理を進めるとともに、ストックの種類毎の蓄積量、その利用価値等について、検討を進める必要がある。本研究の成果は、次期第四次循環型社会形成推進基本計画における物質ストックの指標検討に資するものである。

## II. 平成 29 年度の研究計画及び進捗状況と成果

### 1. 平成 29 年度の研究計画

本研究の構成を図-1 に示しており、平成 29 年度の計画は以下の通りである。

まず、前年度より継続して、「(1)物質ストックの区分と具体事例の整理」を実施する。物質ストックが包含する内容より、各分野で定義が曖昧な「ストック」というキーワードについて整理を行う。(1)における結果と平行して、「(2)物質ストックの環境・経済面での定量的評価」について昨年度の成果より拡大・改善を行う。物質ストックの定量評価手法について「①分析・評価手法の検討」を開始することで、今後の分析結果からのフィードバックを行う基盤を構築する。また、(1)の実施のために環境・経済面から分析を行っている研究者にヒアリングを行い、様々な分野から物質ストックに関する検討・整理を行う。さらに、研究メンバーにより「②個別事例に基づくケーススタディ」を実施し、個別分野での検討事例を積み重ねるとともに、最終年度に推計結果を得られた時の検証資料として利用する。さらに、「(3)我が国に蓄積された物質ストック状況の把握」について、環境省による物質フロー統計に対応した物質ストック・フロー図を作成する。統計等の収集性の高いデータより、継続的に更新可能なストック・フローデータを構築する。

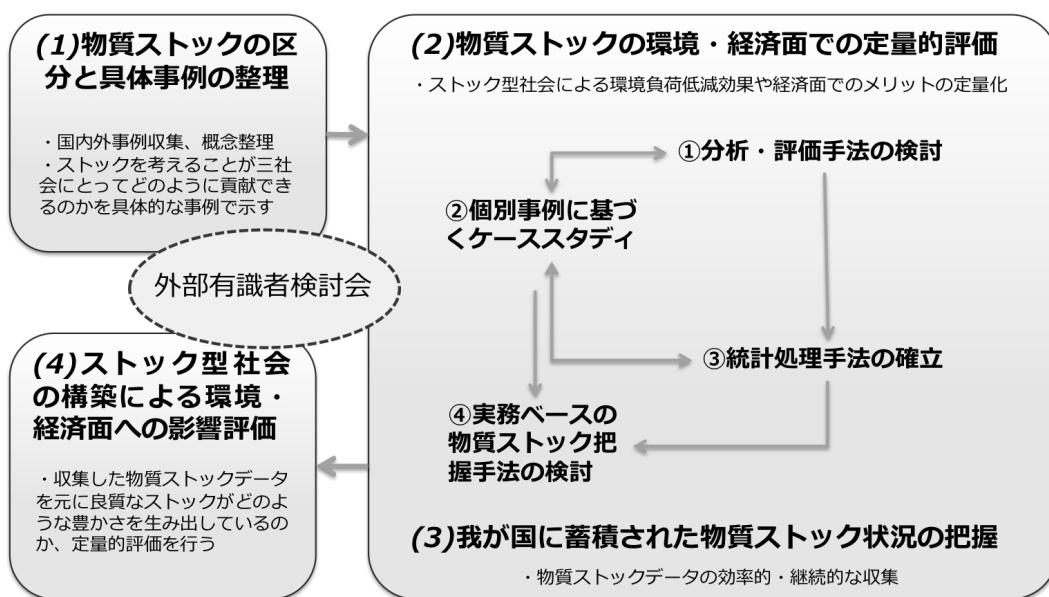


図-1 本研究の構成

#### (1) 物質ストックの区分と具体事例の整理

国内外の資源ストック分析の事例を収集し、日本に適用する場合の検討と、物質フロー・ストックを学問分野として取り扱う海外研究機関の研究調査を行う。

- 豊かさを生み出す物質ストックとはどのようなものか概念的な整理を行った上で、具体的な事例の整理を行う。
- 環境・経済面から分析を行っている研究者にヒアリングを行い、様々な分野から物質ストックに関する検討・整理を行う。物質ストックの区分は後の作業に大きな影響を与える重要な作業である

ため、外部有識者検討会を組織し、継続的な議論・更新・見直しを進める。承諾を頂いている外部有識者検討会のメンバーは次の通りである。森口祐一教授（東京大学）、岡本久人会長（次世代システム研究会）、橋本征二教授（立命館大学）、井村秀文教授（横浜市立大学）。

- (c) 物質フローやストックを学問分野として取り扱う ISIE (Industrial Ecology 国際学会) での動向を同学会のボードメンバーで社会の物質代謝に詳しい H. Schandl 教授（オーストラリア連邦科学産業研究機構）、F. Krausmann 教授（オーストリア IFF 社会環境研究所）にも研究協力を求め、国際的かつ学術的見地から知見の提供を求める。
- (d) ストック型社会に近いと言われている欧州の事例調査及び分析も行い、海外での国富調査の歴史や長寿命型ストックが生活に与える影響についても調査を行う。現地調査としてイタリア北部を訪問し、パドヴァ大学にて建築物の耐用年数と社会経済の関係などの研究調査を実施する。

## (2) 物質ストックの環境・経済面での定量的評価

具体的な事例整理に基づき、定性的評価から定量的評価へ結びつけるための①分析・評価手法の検討と②個別事例に基づくケーススタディを行う。

### ①分析・評価手法の検討

ストックを推計する手法をまとめ、推計値を評価するための評価軸の洗い出しを行う。また、物質ストックの地理的分布やストック総体としての便益についても検討を行い、複合的な視点でストックの評価に結びつける。その上で、クオリティの高い物質ストック（クオリティストック）とはどのようなもの・状態であるのか検討を行う。また、蓄積されたストックのうち、利用されているストックとは別に、利用されなくなった退役と利用に耐えうる機能を失った退蔵ストックを分類し、整理を行う。

### ②個別事例に基づくケーススタディ

専門とする分野において関連する物質ストックの推計を行い、ストック推計によるメリットをケーススタディで把握する。ここで得られる推計値は他の推計結果の検証用として不可欠である。建築物・道路・他社会基盤に関わる物質ストック・フローについて、統計情報より推計を行う。また、物質ストックが有する機能性について、素材ごとに耐力とその保持に関わる特性を比較・検討することで評価する。他方、耐久消費財について、ストック量・退役量・排出量を推計する方法を整理・更新する。また、物質ストックの利用期間に関わる、製品寿命データの作成について、個別の調査を元に耐用年数を推計する。

### ③ 統計処理方法の確立

環境省による物質フロー統計に対応した物質ストック・フロー図を作成する。統計等の収集性の高いデータより、継続的に更新可能なストック・フローデータを構築する。統計情報は生産基盤統計と廃棄関連統計に大別され、建設分野に関わる資材投入量と排出量より物質ストックを推計する。

### ④ 実務ベースの物質ストック把握手法の検討

物質ストックの把握手法について、各分野における詳細な投入情報を整理し、製品ごとに平均耐用年数を設定することで、排出量を推計する。耐用年数については、建築物・道路・他社会基盤施設は既往研究より引用することと併せて、直接観測による主要耐久消費財のストック量・退役量の推計により設定を行った。

(3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握

(1)と(2)で整理された内容を受けて、物質ストックの現況を定量化することで、今後の政策提言に向けた物質ストックデータベースを構築する。

(4) ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価

物質ストックデータベースより、ストック型社会の構築に資する指標を、物質フロー指標に追加して、物質ストック指標として整理・検討する。3つの物質フロー指標を補助し、物質代謝の側面からストック型社会構築に向けた状況を表す指標を提案する。

## 2-(1). 平成 29 年度の進捗状況および成果（概要）

### (1) 物質ストックの区分と具体事例の整理

本研究では、物質ストックの区分について整理を行う。まず「ストック」という言葉が対象とする範囲は多様であり、人工資本だけでなく自然資本や社会関係資本等まで含めた幅広い概念となっている（図-1）。また、ストックの対象範囲によってストックが生み出す価値も多様である。本研究では、このうち構造物や製品等の「人工資本」を対象として検討を行うが、製品中に含まれる有害物質も対象とする。

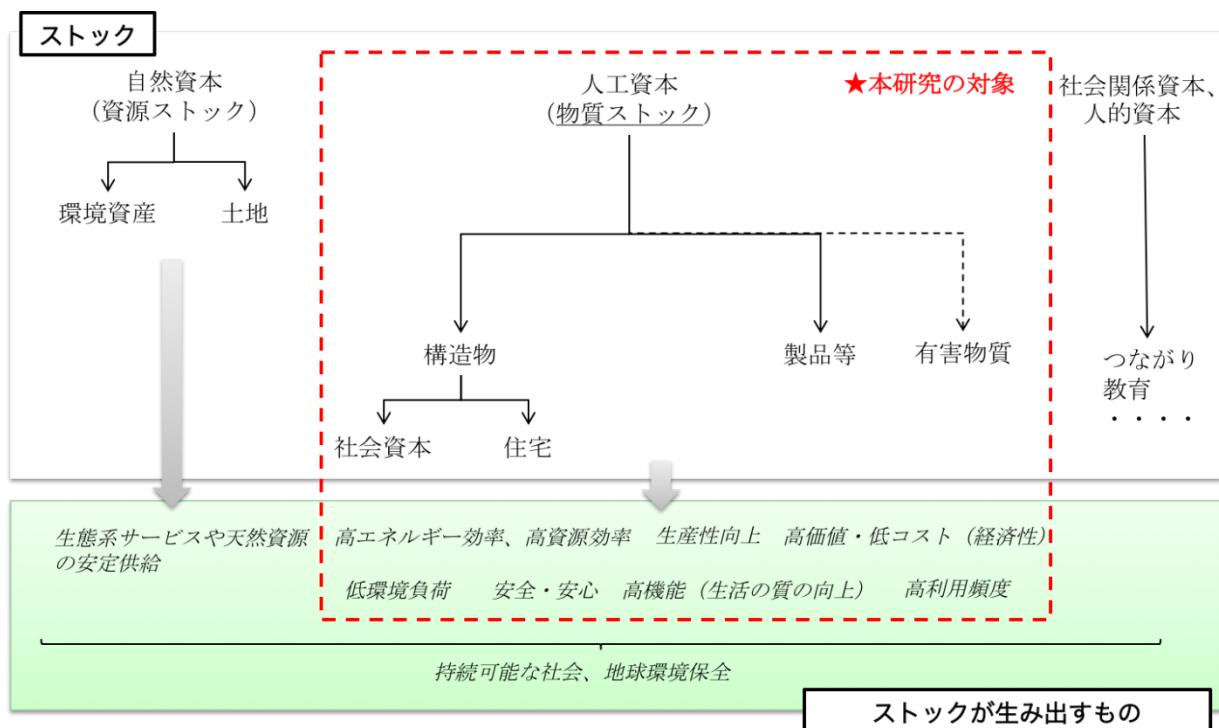


図-1 ストックの区分整理

次に、これまでに整理を行った「物質ストック」に着目したストックの区分方法について紹介する。第三次循環基本計画の策定段階においてはストックの概念について下図のように整理が行われている（図-2）。従来から環境行政では物質ストックについて「豊かさを生み出す有用なストック／潜在的な廃棄物となり得る価値が低い負のストック」、または「使用価値／資源化価値」を評価軸としてストック型社会形成の必要性について強調してきたものの、現時点では具体的な施策に乏しい状況である。そこで、本資料では行政が物質ストックに係るデータをより有効活用することを目的として、具体的な環境行政の施策や指標を整理済みの物質ストックの評価軸に位置づける作業に取り組んだ。

- 循環型社会の構築に当たっては、物質のフローに加え、ストックについても考えていくことが重要。
- 第2次循環型社会形成推進基本計画では、より良いものが多く蓄積され、それを活かした豊かさが生まれる『ストック型社会』の形成が掲げられている。
- そのため、第3次循環型社会形成推進基本計画では、一步踏み込んでストックを取り上げ、政府や国民がストックについて正面から考えるきっかけとしてはどうか。

※ ここで対象としているのは人為的な活動により蓄積されるストック

ストックを整理する視点として、I 使用価値の有無、II 資源化価値の有無、が考えられる。  
 【使用価値 高】&【資源化価値 高】 一できるだけ長く使い続け、使い終わった後には適切にリサイクルすることが求められる。  
 【使用価値 高】&【資源化価値 低】 一中古、賃貸等により継続的に有効活用(長期利用・リユース)することが求められる。  
 【使用価値 低】&【資源化価値 高】 一退避等されている場合は、資源の有効利用(リサイクル)することが求められる。  
 【使用価値 低】&【資源化価値 低】 一適正に管理をするか、廃棄処理を行うなどの取組が求められる。

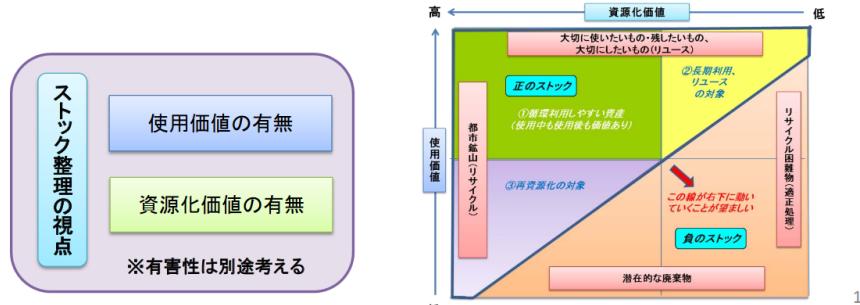


図-2 物質ストックの概念の整理

(出所) 環境省 (2012)

また、物質ストックに係る事例調査に関してまとめたストックの区分整理を表-1に示す。本研究に最も大きく関わる循環基本計画(環境省)における対象は物質ストックであり、前述した概念の整理と同様に使用価値の有無と資源化価値の有無によって、豊かさを産み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」を構築することを目的のひとつと掲げている。他方、同じ環境省での上位計画である環境基本計画では、国土全体を対象として持続可能な社会の基盤となる国土・自然の維持・形成をしており、自然資本・人工資本に加え国民の健康を衛する社会的関係資本なども対象としているが、本研究ではここに示す人工資本を対象としてすることで定量的な評価を展開する。また、日本の社会資本(内閣府)は、国富調査の流れをくみ、限られた財源の本での適切な社会資本サービスの提供を目的として、社会資本を金額ベースで計上している。社会資本の整備水準の把握により、適切な社会資本政策の検討及び生産関数など経済学的枠組みでの基礎的な資料となっているが、物質のストックとフローの対応には用いることが困難である。物質ストック勘定体系の構築とその適応による廃棄物・資源管理研究(橋本征二他)では、物質ストックを対象にフローを統合した物質管理のための指標の開発や物質ストックの定量化手法の開発や体系化、物質ストック勘定の適応を検討している。しかし、算出方法が複雑であり、毎年継続して実施していく点で、実務ベースでの勘定手法としては適応がやや困難である。

以上の通り、事例調査の整理より多様なストックの区分について示されたが、過去から現在、今後について扱いが容易なストック勘定手法については、具体的に提示されておらず、ストックとフローが対応したデータベース整備が必要である。

表-1 事例調査によるストックの区分整理

	目的・狙い	対象	方向性	備考
①循環基本計画(環境省)	豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」	物質ストック	✓ 値値の高い正のストックは増加 ✓ 潜在的な廃棄物となり得る価値の低いストックは抑制・適正処理	使用価値の有無と資源価値の有無でストックを分類
②環境基本計画(環境省)	持続可能な社会の基盤となる国土・自然の維持・形成 ※「環境の質」の視点もある	国土	✓ 国土のストックとしての価値を増大(吸収源や生態系サービス等)→自然資本 ✓ 環境負荷が小さいストックの増加(質を高め、適切に維持管理・更新)→人 工資本 ✓ 良好的な環境の保全(健康と環境を守る支店)	
③低炭素・資源循環・自然共生政策の統合的アプローチによる社会の構築(中央環境審議会)	ストックとしての国土の価値の向上	国土	✓ 気候変動の緩和・適応に対応した空間施策 ✓ 循環共生型の地域づくりと自然との共生を軸とした国土の多様性の維持 ✓ 環境インフラを活用した社会インフラの再構築	
④日本の社会资本(内閣府)	限られた財源のもとでの適切な社会资本サービスの提供	社会资本	✓ 需要創出効果:雇用の誘発、消費拡大 ✓ 整備効果:生産性向上、生活の質の向上	社会资本の整備水準を把握するとともに、将来に向けた社会资本政策を検討するための基礎的な資料
⑤ストック型社会論(次世代システム研究会)	ストック型社会への転換が、生活の豊かさ、経済の安定、資源的自立、地球環境保全に繋がる	? (主に住宅?)	✓ 長寿命型社会资本の世代間蓄積(ゆとりの蓄積) ✓ 資源自立圏形成と次世代の資源的(国家)安全保障 ✓ 持続可能な人間社会と地球環境	現在のフロー型(短寿命型)の社会構造からストック型(長寿命型)の社会構造へ移行
⑥平成25年度環境経済勘定セントラルフレームワークに関する検討作業報告書(内閣府)	一 (環境資産ストックの蓄積及び変化を説明するための多目的な概念的枠組み)	環境資産ストック(土地、自然資源)	✓ 環境と経済を統合し、「持続可能な開発」を実現する見地から、環境と経済の相互関係が把握可能な統計体系の確立	環境経済勘定セントラルフレームワークは、国連統計委員会(UNSC)が2012年に開催した第43回会議において、同委員会により条件付きながら国際基準として採択。環境経済勘定(以下、SEEAという)にとって初めての国際統計基準。
⑦物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物・資源管理研究(橋本征二他)	物質フローの勘定体系と整合した物質ストックの勘定体系の考察(物質ストックの種類について包括的に検討)	物質ストック	✓ 物質ストックの種類:在庫、備蓄、使用中の最終製品、冬眠中の使用済み製品などの製品、管理された埋立地の廃棄物、散逸した物質	フローとストックを統合した物質管理のための指標の開発や物質ストックの定量化手法の開発や体系化、物質ストック勘定の適用を検討。
⑧Economy-wide material flow accounts and derived indicators a methodological guide (European Commission)	国全体のマテリアルフロー会計と指標に関するガイドライン(マテリアルフロー会計におけるストックの位置づけを整理)	物質ストック	✓ 物質ストックの定量化の考え方記載	

続いて、第三次循環基本計画で取り上げられたもう一つの評価軸である「使用価値」と「資源化価値」の組み込みについて検討する。「使用価値」には様々な概念が含まれているので本資料では環境行政の事業のニーズと照らし合わせて以下の8項目に細分化した。

- ・ エネルギー効率
- ・ 資源効率
- ・ 環境負荷
- ・ 生産性
- ・ 価値・コスト
- ・ 機能
- ・ 利用頻度
- ・ 安全・安心

「豊かさを生み出す有用な物質ストック」、「適切に管理する必要がある物質ストック」としてそれぞれ

に示した施策に関する個別の物質ストック（機器、資本など）についてそれぞれ最も関係がある「使用価値」、「使用済価値」へのマッピングを行った（表1）。

さらに、以上の検討で挙がった事例について一部を集約した上で「我が国の物質フロー・ストック図」へ位置づけた（図-3）。

表1 物質ストックの評価軸別の環境政策に関する事例

ストックの評価軸		豊かさを生み出す物質ストックの事例	適切に管理する必要がある物質ストックの事例
使用価値	エネルギー効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 次世代自動車</li> <li>・ 高気密・高断熱住宅</li> <li>・ 高効率発電所</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高燃費自動車</li> </ul>
	資源効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 希少金属の回収が容易な使用済み小型家電（環境配慮設計）</li> <li>・ 長期利用住宅、長期利用製品</li> </ul>	・・・・・
	環境負荷	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境配慮設計製品</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐久財および耐久消費財に含有される有害物質</li> <li>・ 土壌汚染によって価値が低くなった土地（ブラウンフィールド）</li> </ul>
	生産性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 投資効率の高い社会インフラ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 未利用・低利用道路</li> </ul>
	価値・コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 住宅（低成本）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 空き家（住宅）</li> </ul>
	機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ライフライン</li> </ul>	・・・・・
	利用頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高利用頻度な建築物</li> <li>・ シェア経済</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 未利用・低利用道路（インフラ）</li> </ul>
	安全・安心	・・・・・	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最終処分場（残余状況）</li> </ul>
資源化価値		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃小型家電（希少金属回収可能）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アスベスト、PCB 含有製品</li> </ul>

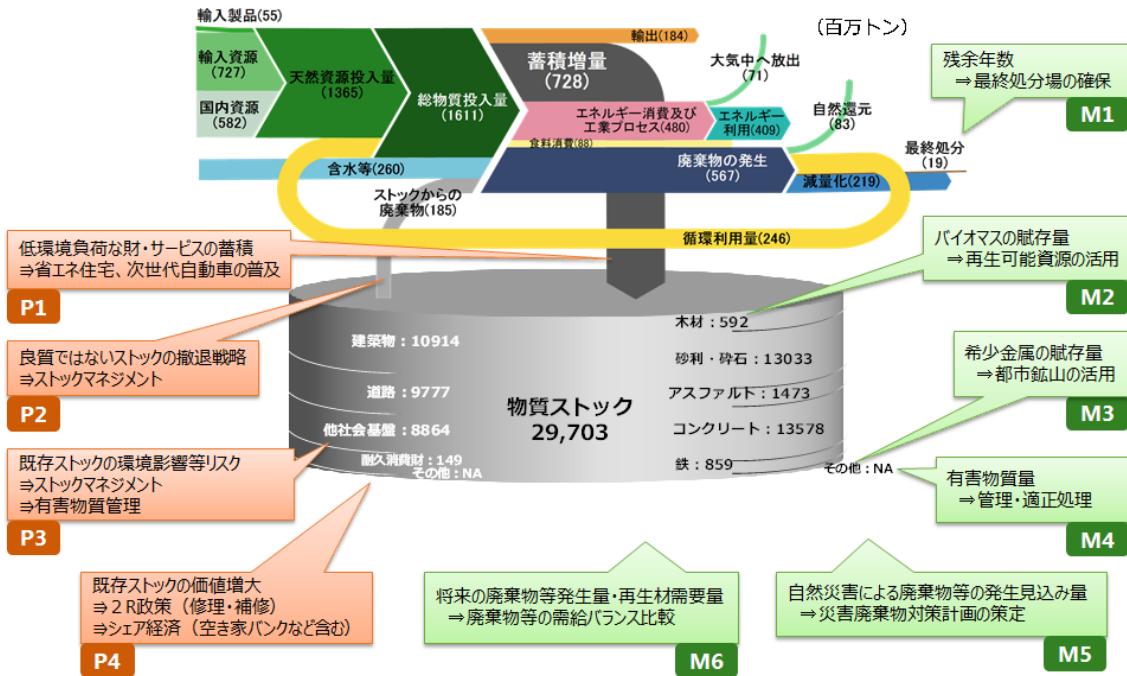


図-3 環境政策の視点からみた物質ストックデータの活用イメージ

## (2) 物質ストックの環境・経済面での定量評価

### (2)-1 分析・評価手法の検討

物質ストックの定量評価を行うには、基盤となるデータベース整備が必要である。上述のように区分整理した人工資本（物質ストック）を対象に、Top-down と Bottom-up にてデータベース整備を行う。Top-down アプローチでは、環境省による日本の物質フローの算定と同様の手法を用いた。貿易統計を中心に、各種統計を基に、生産及び廃棄に係る投入量及び排出量を推計し、素材種ごとに集計を行った。物質フローより、投入量と排出量の差を取ることで社会への蓄積純増を算出し、ストックに関わる排出量よりストックからの廃棄量を推計した。また、建設系の物質ストック・フローについて、生産基盤統計と廃棄関連統計より建設資材投入量と建設資材排出量を推計した。主として排出量のデータ制約より、1990 年から 2015 年までを対象として推計を行った。図-4 に投入量と排出量の差分として推計した蓄積純増により推計した結果を示す。なお、物質ストック（1990 年）の初期値については、山下ら（2015）の結果を用いた。図-4 より、1990 年の 172 億トンと比較すると 2015 年では 297 億トンと 1.7 倍に増加したことが示された。これらは都道府県ごとにも算出しており、地域ごとの比較検討も可能である。

Bottom-up アプローチでは、地理情報システム(GIS)を用いて、物質ストックのうち重量的に多くを占める建築物や社会基盤施設の空間情報を整備し、各種構造物に単位あたりの建設資材投入原単位を乗じることで物質ストックを推計した（図-5、図-6）。図-4 は構造物種別の日本全国の物質ストックの推計結果を時系列に整理したものである。1965 年の 73 億トンと比較すると 2010 年では 218 億トンと 3.0 倍ほど増加しており、日本の発展を支えてきた人工資本（物質ストック）の蓄積の状況が示された。また、図-6 は建築物の 2009 年における物質ストックを 500m メッシュで集計した結果である。建築物は人

人口分布と大きく関係しており、関連する物質ストックも都市部に大きく集積している。このように、物質ストックを地理的に可視化し、時空間における蓄積の動態を明らかにすることで、使用価値と資源化価値の評価に必要なデータベースを構築している。

Top-down アプローチによる推計と Bottom-up アプローチによる推計を比較すると、2010 年で 282 億トンと 218 億トンと、Top-down アプローチによる推計が 1.3 倍という結果となった。

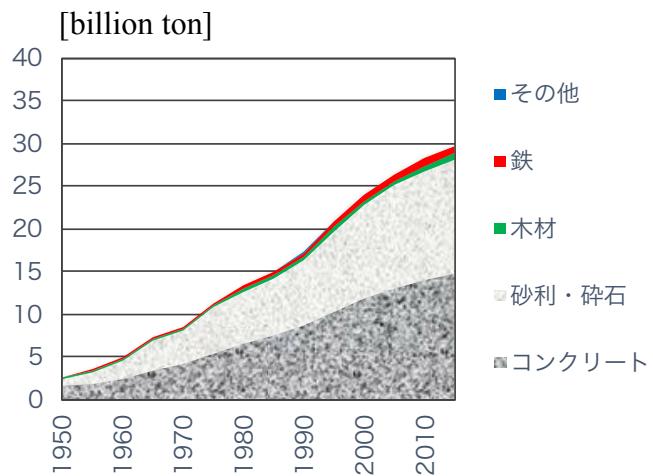


図-4 Top-down による物質ストック量

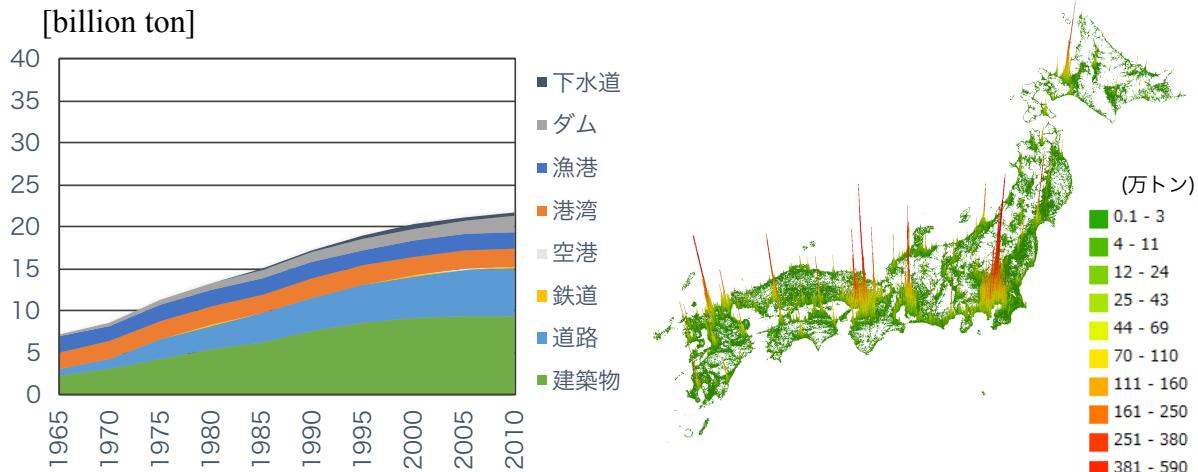


図-5 Bottom-up による物質ストック量

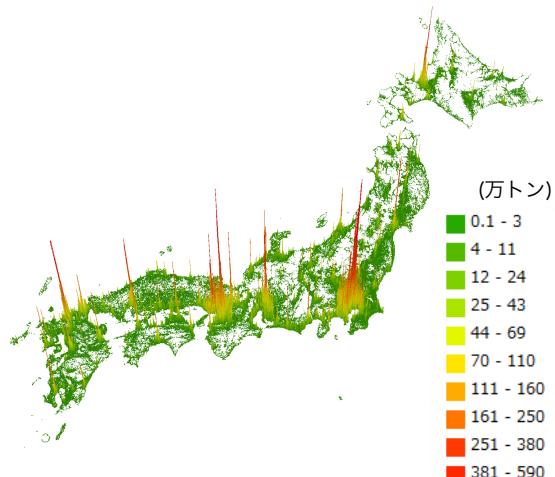


図-6 日本の建築物ストック量分布

## (2)-2 個別事例に基づくケーススタディ

### (i) 物質ストックの機能量評価

機能とは、全体を構成する個々の要素が担う役割のことである。工学分野における機能とは、設計時に、関係式で記述される物理現象に基づいて要求されるものである。本研究では、用いられる物質について、設計時に考慮される物理現象に対し、それを記述する関係式が見出されていることを、物質が工学的機能を有していると定義した。

物質の機能を評価する際には、機能としての正の方向付けとその尺度が必要となる。そこで、機能としての物理現象の関係式を構成する値における、設計での用いられ方を検討した。設計における材料選択において、その選択指標は、機能の定義における物理現象の関係式から導き出された、設計要求値・材料寸法・材料特性値からなる関係式によるとされている[3]。この関係式中において、材料特性値の変化は、選択指標や設計要求値、寸法といった他のパラメータを変化させる。高機能化とは、特性値の変化によるこれらの値の変化が設計にとって望ましい方向へ変化することであるが、材料の使途によって望ましい方向が異なりうることや、設計要求値は複数存在しうることにより、高機能化を定量的かつ一義的に評価するには仮定が必要となる。本研究においては、評価対象となるすべて材料について、一種類の特性値に対し一種類の設計要求値とした。さらに、物質ストック量の変遷を観測するという目的に鑑み、特性値の変化によって変化するパラメータは材料の寸法のみとした。すなわち、寿命や許容応力値といった設計要求値を同一に達成する上で、機能の変化によっていかに投入すべき材料の質量が変化するかを、高機能化として定量評価する枠組みとした。また、選択指標において、材料特性値変化に材料寸法の変化が対応しないと考えられたものは、使途の拡張や変化のみをもたらす高機能化であると考え、定量評価としては対象外とした。

無数の機能を有する材料を、客観的に集約し評価する上で、包絡分析法を応用した評価手法を構築した。包絡分析法とは、評価対象の複数の出力に対して、その属する群における効率を相対的に評価する手法である。群において、ベクトルとしての各出力値により形成される包絡面までに対し、評価対象がどの程度達するかの比( $a/b$ )として評価が行われる。本研究ではこの評価手法を、材料機能の集約評価手法に用いる上で、以下の4点で修正した。

#### ①包絡面の修正

既存の包絡分析法は、各ベクトルが独立な場合を想定するが、材料特性間は強度と導電性のように、両立が困難で従属関係にあることが多い。そこで、包絡面を図1破線のように矩形に形成し、機能の両立を高く評価することとした(a/c)。

#### ②出力値ベクトルの成分

前述の機能尺度に基づき、機能を質量の軽量化効果として定量化できるよう出力値軸を設定した。すべての出力値軸について、出力値と材料質量が反比例するよう設定することで、評価値は包絡面を形成する材料との同機能における質量の比となる。出力値は、物理法則式における特性値と材料の質量の関係から、特性値を変数変換することで設定した。

#### ③等価包絡面の形成

包絡面上の評価対象は、すべてが評価値1として等価に評価されるため、包絡面を形成する材料群の設定は重要となる。本研究では、評価基準としての時代をT年として定め、T年に利用可能な材料のうち包絡面上に存在するものが1の機能量をもつとした。ベクトル成分の違いは材料選択軸に起因するが、各選択軸において基準年に利用可能な最も優秀な材料を等価なものとして扱うことを意味する。時代を拡張し、各年代で利用可能な各材料の評価結果は、T年に利用可能な最も優秀な材料に換算し、何倍の質量と等価であるかを意味する。

#### ④評価群の設定

本手法による高機能化評価は、同一使途内において相対的に比較可能であり、異なる使途間では比較できないと考え、機能ごとに達成しうる使途ごとに群を形成した。使途の同一性は、機能の有無、又は特性値の最大値や最小値によって、使途としての可用性により分類した。同じ群に属する全ての材料種は、評価時の包絡面を形成する材料すべてと代替可能であるものとした。また、基準年より後年に登場した群に属する材料は、すべて1と評価した。

ケーススタディとして、普通鋼と、アルミニウム・銅及びそれらの合金で普通鋼と同一群に属する材料種の高機能化について分析を行った。経年において需要された材料が有していた機能とその特性値の程度は、当該年の設計基準として特性値を参照しうるJISを参照した。3材料に関して、1950年から2017年までに存在した9140種の規格から56種類の特性を抽出し、修正包絡分析法によって、これらの材料種について1964年を基準年として集約評価を行った。28種類の特性の大小及び有無により、普通鋼・アルミニウム(合金)・銅(合金)の規格を163の使途ごとの群に分類した。分類された群に属する特性数は、1種類から7種類であり、3種類の特性を有する群が最も多くみられた。各群に属する材料種の数は1種類から1318種類であった。各年に需要された普通鋼1kg、アルミニウム(合金)1kg、銅(合金)1kgに対し、機機能量として、基準年に利用可能な普通鋼に換算した質量を算出した。1960年から2013年において各規格と対応する需要量統計から、各材料種について1964年を1とした需要質量と機機能量との比を示す。全材料種において軽量化の高機能化が行われたことが観察された。普通鋼の需要機機能量/質量比は2000年まで増加傾向にあった。1971年と1994年に比べ大きく上昇したが、棒鋼の新規格によるものである。棒鋼は全需要中の割合が大きく、影響が大きく表れた。アルミニウムでは、規格改定年以外においても上昇の傾向が見られ、より高機能な品種への選択へと徐々に移行してきたことがわかった。

動的物質フロー分析により、各材料の機能を1964年を基準としたストックとして算出し、普通鋼類機機能量として積算したものと、普通鋼のみの機機能量及びストック質量の1964年との比の変遷を示す。主に建築での高機能化が大きく反映され、1964年の普通鋼を使い続けた場合と比較して2013年までに高機能化によって11.3%のストック量の削減が達成されたと評価できた。建築に次いで割合の大きい自動車では、JIS規格上の高機能化は小さく、本手法では削減効果が大きく評価されなかつたが、実社会ではより軽量化されていると考えられた。また、普通鋼と代替可能な使途に対する普通鋼以外の材の使用割合は、2013年時点での機機能量全体の1.62%であるものの、その割合は増加傾向にあり、将来的には置換によって普通鋼ストックの質量は減少に転ずることも考えられた。

#### (ii) 耐久消費財のストック量・退役量・排出量の推計アプローチ

物質ストックの推計アプローチについては、橋本らによる環境省廃棄物処理等科学研究費補助金研究（物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物・資源管理戦略研究、K1810、K1930、K2031、平成18～20年度）において以下の4つが整理されている。

- 1) 直接観測
- 2) 蓄積増分法

### 3) 使用年数（寿命）モデル法

#### 4) 浸出しモデル法

電気電子機器や乗用車などの耐久消費財については、ストック量に加えて退役量・排出量の把握・推計についてもこれらのアプローチが適用可能である。以下、各アプローチを適用して耐久消費財のストック量、退役量、排出量を把握する際の概要について整理する。

製品の使用年数分布（特に平均使用年数）のデータを作成しておけば、それをパラメータとして上記3)の使用年数（寿命）モデル法によって耐久消費財のストック量、退役量、排出量を継続的に推計することが可能である。特に小型家電等については直接観測によるストック量等に関する情報が提供されていないことから、このアプローチは有用である。ここでは、上記3)使用年数（寿命）モデルを適用する際の重要なパラメータである製品寿命データ、特に製品使用年数分布の作成方法について述べる。

耐久消費財の使用年数分布の作成方法については、Oguchi et al. (2010)において文献レビューに基づく体系的な整理がなされている。その整理によれば、使用年数分布の主な作成方法は以下の4つに大別される。

- 1) 退役または排出製品の使用年数データからある期間における排出割合分布を推定する方法
- 2) 保有製品の使用年数データからある時点における残存割合分布を推定する方法
- 3) 保有製品の使用年数データからある期間における残存割合分布を推定する方法
- 4) 販売、保有、退役・排出の台数収支からある時点における残存割合分布を推定する方法

自動車については前述の通り、登録検査制度によってほぼ完全データが提供されるためいずれの方法も適用可能であり、いずれに方法でも同様の使用年数分布が作成される。電気電子機器などの耐久消費財については、1)、2)の方法がよく用いられている。1)の方法では、リサイクルプラント等での調査または消費者へのアンケート調査による退役または排出製品の使用年数（年式）調査に基づいて推定が行われた事例が多い。2)の方法では、消費者に対するアンケート調査による保有製品の使用年数（年式）調査に基づいて推定が行われることが多い。ただし、前者については、リサイクルプラント等における回収製品が国全体の退役または排出製品に対して偏りを持つ可能性があることや、消費者アンケートでは消費者の記憶に基づいて過去の排出製品の情報を得るために情報の確度が劣ると考えられることから、2)の方法の方が推奨される。

統計等から継続的に得られるデータに基づく使用年数データの入手、推定が可能な方法として、方法1)と4)によって作成するとともに、相互の比較考察を行った。また、ある年の販売量に対するストック量の比（ストック／フロー比）の計算を行い、上記で推定した平均使用年数と比較することで、平均使用年数の簡易指標としての利用可能性を考察した。対象製品は、冷蔵庫、洗濯機、ルームエアコン、テレビ、携帯電話（スマートフォンを含む）、乗用車の6品目とした。

方法1)については、消費動向調査（内閣府）、家電製品協会、自動車検査登録情報協会による平均使用年数の調査・推定値を参照した。これらはいずれも退役または排出製品の使用年数を直接観測したデータに基づくものであり、毎年公表されている。方法4)については、製品の使用年数分布と販売台数から計算される総保有台数が、統計や調査から得られる総保有台数データと一致するように平均使用年数を最適化した。使用年数分布はワイブル分布に従うと仮定し、形状母数は過去の研究事例より電気電子機器は2.4（小口ら）、乗用車は3.6（Oguchi and Fuse 2015）とした。詳細な方法はOguchi and Fuse

(2015)を参照されたい。総保有台数は、冷蔵庫、洗濯機、ルームエアコン、テレビについては消費動向調査（内閣府）および全国消費実態調査（総務省）のデータ（世帯あたりの保有台数に世帯数を乗じた）、携帯電話は電気通信事業者協会による契約数（契約数＝使用中携帯電話の保有台数と見なした）。解約済みの携帯電話は含まれないため推定される平均使用年数は退蔵期間を含まない）、乗用車は自動車検査登録情報協会のデータを用いた。販売台数は、日本電機工業会、日本冷凍空調工業会、電子情報技術産業協会、自動車検査登録情報協会のデータを用いた。また、ストック／フロー比は、上記の総保有台数および販売台数データを用いて計算した。

図-7に、得られた平均使用年数およびストック／フロー比の比較を示す。まず、全体的な傾向として、これら製品の平均使用年数は過去30年間程度にわたり長期化傾向にあることが見てとれる。しかし、方法1)による値のうち、消費動向調査による値は、携帯電話を除く電気電子機器について横ばいの値となっており、他の調査・推定値と異なる傾向を示している。消費動向調査は消費者アンケートで平均使用年数を調査しており、過去1年間に対象製品を買い替えた消費者に対して古い製品を何年間使用していたかを尋ねている。すなわち、結果は消費者の記憶に基づくものとなっており、この点が排出製品や保有製品の年式や台数を直接調査している他の調査・推定と異なっている。この結果より、消費者アンケートに基づいて直接観測された使用年数データは、他の方法によるデータよりも信頼性が劣る可能性があることに注意が必要である。

方法1)のうち家電製品協会による値と方法4)による推定値は、洗濯機とルームエアコンについては良い一致を示している。しかし、冷蔵庫およびテレビについては家電製品協会の調査がより長い平均使用年数を示している。家電製品協会による値は指定引取場所等において実際に引き取られた製品の年式調査に基づいているが、引取製品が国全体の退役または排出製品に対して偏りを持っている可能性がある。特に冷蔵庫やテレビは東南アジア等への中古品輸出も一定程度あると考えられ、比較的年式の新しい製品が輸出に回ることで引取製品の年式分布を高齢化させている可能性がある。この結果より、排出製品（この場合は引取製品）について直接観測された使用年数データも、場合によっては信頼性が劣る可能性があることに注意が必要である。

ストック／フロー比も全体的には増加傾向を示している。また、全体的には平均使用年数の調査・推定値と同程度の値を示しており、平均使用年数の簡易指標として利用できる可能性がある。ただし、各年の値は販売台数の変化に直接影響を受けることから、全体の増減傾向や平均使用年数の目安の把握に利用することが妥当である。一方、ルームエアコンについてはストック／フロー比が方法4)による値よりも短い値を示している。これは、ルームエアコンの保有が日本においてもまだ増加傾向にあることが原因の1つと考えられる。保有台数が増加している、すなわち販売台数に（買い替えだけでなく）買い増し分も含まれているため、ストック／フロー比が平均使用年数の推定値よりも2年程度短くなっているものと考えられる。携帯電話も同様に保有が増加している品目であるが、携帯電話の場合は使用年数そのものが数年と短いためこの影響が顕著に現れていないものと考えられる。

上記の結果から、特に保有が大きく増加していない製品（または使用年数が短い製品）については、平均使用年数の簡易指標として利用できる可能性がある。ストック／フロー比は、ある単年における総保有台数と販売台数データのみから計算が可能で、退役または排出製品や保有製品の年式分布、販売台数の時系列データといった詳細なデータが不要であり、少ない労力で値を得ることができる利点があ

る。特に、今回は他の方法で平均使用年数を推定できるデータが提供されている品目について例を示したが、他の小型家電等はそのようなデータが存在しない場合も多いことから、ストック／フロー比を平均使用年数の簡易指標として製品および物質ストック量の推計に利用することの意義は大きいものと考えられる。

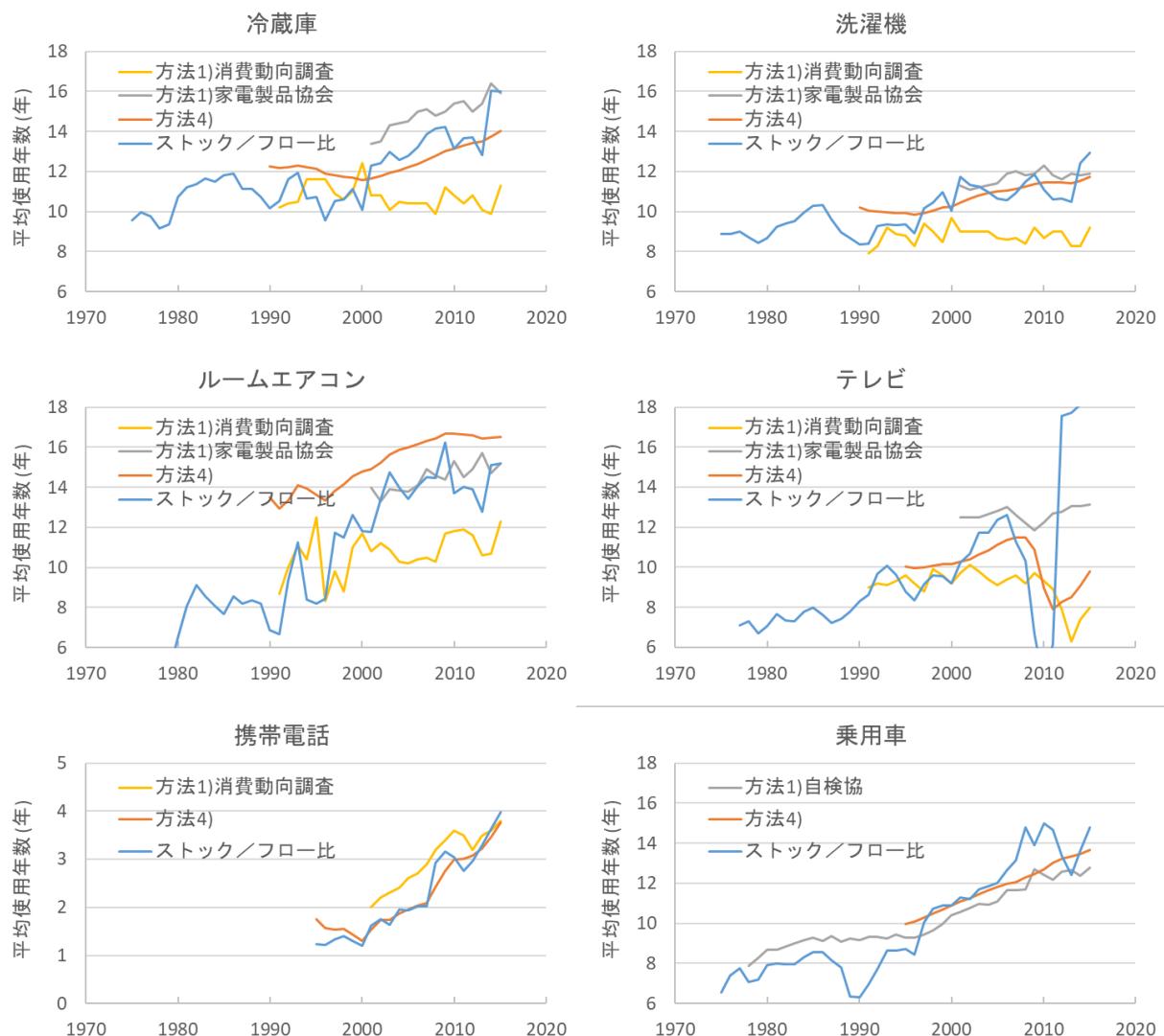


図-7 平均使用年数の調査・推定値およびストック／フロー比

### (2)-3 統計処理手法の確立

「ストック型社会」とは、価値あるものを造り、長期間に渡り利用する社会をいう。社会の物質代謝の観点から解釈すると、ストック型社会では、社会に滞留する物質ストックが高い価値やサービスを長期間発揮し、新規の物質投入や排出物発生量を抑制し、人々の生活を豊かにするものである。大量生産・大量消費・大量廃棄・大量リサイクルといった言葉で表されるフロー型社会と対峙するストック型社会への移行は、フロー量そのものを抑制するため、資源生産性や環境効率といった物質フローに関連

する指標も改善する可能性がある。また、低炭素化の観点からストック型社会を解釈すると、炭素排出強度の高い素材を長期に利用することによる低炭素効果が見込める。その一方で技術革新による大幅な低炭素化が見込める製品については、技術革新の動向や普及状況によりその製品の利用期間を徐々に延ばしていく必要がある。さらに、自然環境保全の観点からストック型社会を解釈すると、長寿命化構造物の増加に伴い、採掘等を伴う自然資源の投入量が減少することより、自然環境の保全にも繋がる可能性がある。これらを考慮すると、ストック型社会の構築は、循環型社会、低炭素型社会、自然共生社会の三社会を統合する安全・安心で持続可能型の社会構築に資すると考えられる。

日本では、平成11年版環境白書（1999年）にて、「ストック活用型の経済社会への転換」と題し、ストック型社会構築による健全な物質循環や、各産業や需要者のストック活用による環境保全について述べられている。また、2008年1月の福田康夫内閣総理大臣の施政方針演説を受けて一気にストック型社会に関連する政策が進み、国土交通省では「超長期住宅先導的モデル事業」（2008-2009年度）や「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」（2009年6月4日施行）をはじめ、住宅政策を中心に議論が活発になった。また、内閣府及び環境省が推進する「環境モデル都市・環境未来都市」構想（2008年～）ではストック型社会の概念が一部取り入れられている。

また、環境省の「第3次循環型社会形成推進基本計画」（2013年5月31日閣議決定）では、今後の検討課題として、物質フローに加えて物質ストックに関してもその状況を把握していくことが重要であるとし、豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積されたストック型社会を形成していくことが必要であるとしている。この循環型社会形成推進基本計画では、わが国の物質フローを的確に把握するために物質フロー指標と関連する補助指標、および循環型社会づくりの取り組みを計測・評価する取組指標を設けている。目標値を持つ物質フローの3指標は、1) GDP（万円）を天然資源投入量（トン）で除する「資源生産性」（万円／トン）、2) 循環利用量（トン）を天然資源投入量と循環利用量の合計で除する「循環利用率」（%）、および3) 「最終処分量」（トン）である。物質フローと物質ストックは表裏一体であるため、前述の同基本計画の取り組み課題に記されているように、ストック型社会の形成を物質代謝の観点から客観的に計測するためには物質フロー指標を補うための物質ストック指標が必要である。そのため、物質ストックに関する指標は、現行の物質フロー指標を補い、ストック型社会構築までの道のりを端的に示すものでなければならない。

国際的には、国連環境計画（UNEP）の国際資源パネル（IRP: International Resource Panel）を中心に戸世界レベルでの物質フローの推計やその環境効率について検討を進めている。世界大でフロー型社会からの脱却を目指し、脱物質化を進めるためには蓄積した資源、即ち物質ストックの利用について議論する必要があるとし、世界レベルでの物質フロー分析データを用い、タンクモデルに近い手法で簡易的に物質ストックの推計を行っている。図-8は、同論文からの引用であるが、世界全体の物質ストックは20世紀中に23倍に増加しており、2010年には792 Pg ( $Pg=10^{15}g$ )、つまり、7,920億トンに達することが明らかとなった。蓄積された物質は、近い将来廃棄物として物質フローに再投入される可能性があることを考慮すると、投入物質に占めるリサイクル量の割合を引き上げる必要がある。また、ストックされている製品や構造物の利用期間を引き延ばすことが重要であることも同論文で指摘している。

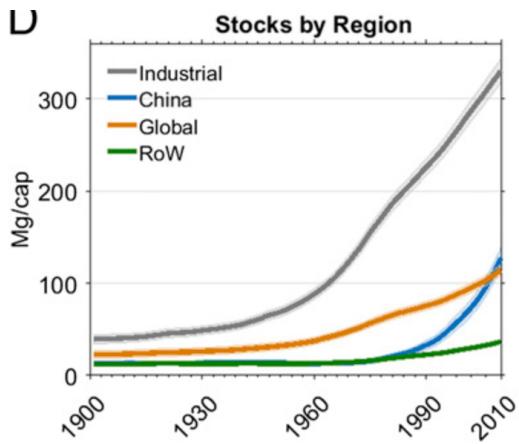


図-8 世界における一人あたり物質ストック量の推移 (Krausman et.al より引用、筆者加筆)

物質ストックを計測する手法は確立されておらず、推計に利用できるデータの制約や推計方法により物質ストック量は異なる。そのため、国レベルでは物質フローの推計と整合性を保つ推計方法で物質ストックを計測することができれば、指標の議論に資することができる。

そこで本稿では、わが国の物質ストック分類やその推計及び指標化について示すとともに、わが国の物質ストックの状況を明らかにする。

「ストック」という言葉は、経済分野をはじめ多方面で使われるが、本稿の「物質ストック」とは人蔵資本として社会に蓄積され、我々の生活に豊かさをもたらすものをいう。第3次循環型社会形成推進基本計画に「今後の検討課題」として示されているように、“豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」を形成”するためには、“価値が高い正のストック”を増やし、“潜在的な廃棄物となり得る価値が低い負のストック”を減らす事が重要である。しかし、様々な物質ストックの価値を正負で一律評価することは困難であるため、まずは、いくつかの視点で物質ストックの整理を行う。

- ・利用形態に基づく区分：利用の形態から物質ストックを概観すると、建築物や道路、自動車等のように社会に蓄積されている最終製品として区分することができる。

- ・物質別の区分：物質ストックからの排出物、およびその物質の再利用を考慮する際、物質別の区分が重要になる。具体的な区分としては、コンクリート、石材、木材、鋼材、非鉄等が挙げられる。

- ・利用度別の区分：物質ストックが、使われているか否か（現役 or 退蔵）、使われない状態（退役）であるか等、利用度、再利用可能性を元に区分する。建築物で例えると、現役として使われている建築物、現役として利用できるが使われていない貸家や空き家、さらにその中でも利用が難しくなり退役しつつあるもの、適正に管理されず放置されており利用ができない廃屋のように区分される。

利用度別の区分については、現役として使われている製品をさらに長寿命型のものやエネルギー消費効率が高いもの、利用効率の優れたもの等に分類することで“良質な”物質ストックを把握することができる。しかし、国全体のストックをそのように分類するためには、現状のストック関連の統計等に加えて、適切な情報を収集する必要がある。そのため、本稿では物質ストックの利用度に基づく区分につ

いて、現役量、退蔵量、退役量に分け、物質ストックの整理を行った。図-9に物質フローと物質ストックの接続および物質ストック内での利用度に基づく区分の概念図を示す。推計対象年にて物質フローから物質ストックとして蓄積されるものを蓄積量(A)、現役量のうち使われていないものを退蔵量(E)、対象年に発生した利用することができない物質ストックを年間退役量(B)、年間退役量のうち退蔵になるものを年間退蔵量(C)、さらに物質ストック量全てを表すものを物質ストック量(F)、年間退役量(B)と退蔵量(E)から物質フローに排出されるものを年間排出量(D)としている。上記の区分に基づき、各構造物や製品別に物質ストックを集計するため、表-3のような集計表を設定する。この集計表では、横方向に上記区分の(A)から(F)までを掲載し、それぞれの区分において、物質・資源別に分類を行う。この集計表に基づき情報を整理することができれば、推計対象年に物質ストックから排出される物質量の内訳を示し、都市鉱山のように都市の中に賦存するリサイクル可能な資源を定量化することができる。また、今後、退役量、退蔵量、物質の滞留期間や排出量等との関係が明らかになると、循環政策をはじめストック型社会の構築に資する情報となり得る。

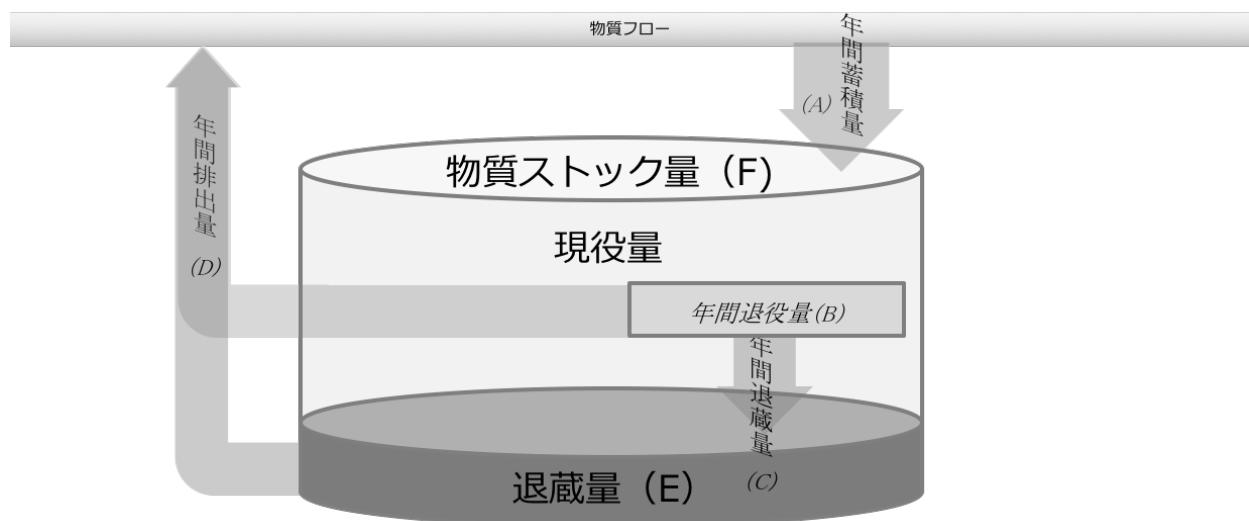


図-9 物質ストックの利用度別の区分（概念図）

表-3 物質ストックの利用度別の区分に基づく集計表

	蓄積量 (A)				退役量 (B)				退蔵純増量 (C)				排出量 (D)				退蔵量 (E)				ストック量 (F)				
	各種統計及び組成情報・資材原単位等				A及び寿命関数から推計				E-D				廃棄物等の統計値				T年分のCの合計値				ストック関連統計およびGIS情報等				
	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	
建築物・住宅																									
交通インフラ																									
……																									
日本全体																									

## (2)-4 実務ベースの物質ストック把握手法

これまでの結果より、2010年の値をまとめると、以下のとおりとなる。

表-4 2010年の物質ストック量等のまとめ

(単位：百万トン)

	投入量（蓄積量）				退役量				排出量				ストック量						
	各種統計及び組成情報・資材原単位等				投入量及び寿命閾数から推計				廃棄物等の統計値				ストック関連統計及びGIS情報等						
	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄			
建築物	82.8	—	9.3	7.8	—	16.4	—	2.7	6.7	—	—	—	9579	—	591	261.5	—		
道路	168.2	—	—	0.8	—	23.0	—	—	1.1	—	—	—	9770	—	—	24.1	—		
其他	交通インフラ	—	—	0.3	—	—	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	10.6	—		
社会基盤	ライフル	—	—	0.1	0.11	—	—	—	0.2	0.02	—	—	—	—	—	5.9	0.94		
その他	104.4	—	—	0.8	—	16.2	—	—	1.4	—	—	—	8734	—	—	42.1	—		
耐久財	輸送機器	0.1	0.4	—	15.7	0.4	0.1	0.4	—	13.6	0.4	—	1.8	6.0	—	257.9	5.7		
消費財	家電	0.0003	0.23	—	0.7	0.09	0.0002	0.20	—	1.2	0.07	—	0.0009	3.98	—	13.0	1.26		
その他	電池・照明	0.11	0.02	—	0.5	0.01	0.001	0.0001	—	0.5	0.0001	—	0.38	0.06	—	8.2	0.03		
その他	—	—	—	0.5	—	—	—	—	0.6	—	—	—	—	—	—	7.9	—		
日本全体	355.6	0.65	9.3	44.4	0.61	55.7	0.6001	2.7	52.8	0.490 <sub>1</sub>	193.5	14.6	308.6	50.4	28,085.2	10.04	591	1011.2	7.93

\* 退蔵量はT年分のCの合計値となるため、2010年のまとめとしては省略。同様に退役純増量も退役量と排出量の差分（日本全国のみ）のため本表では省略。

\* 本表は2010年値としているが、統計により「2010年度」値のものもある。

\* 参考として建築物の土石等についても試算を行ったが、名古屋大学での推計結果が望ましいため、ここでは載せていない。

\* 永久消費財については、国立環境研究所での推計結果との整合はされていないが、本推計で行った結果を載せている。

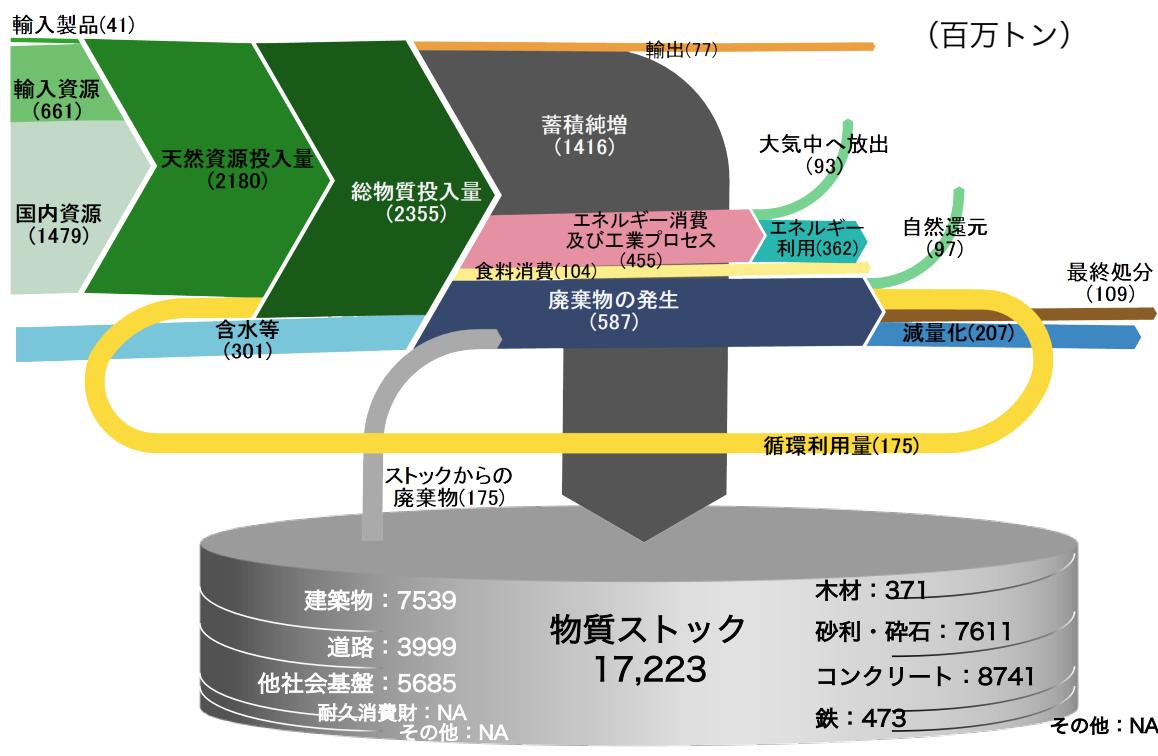
\* 金属（鉄）は大分類で計算したときの値。

\* 金属（鉄）とその他の資源では同じ分類項目でも計算方法が異なるものはある。

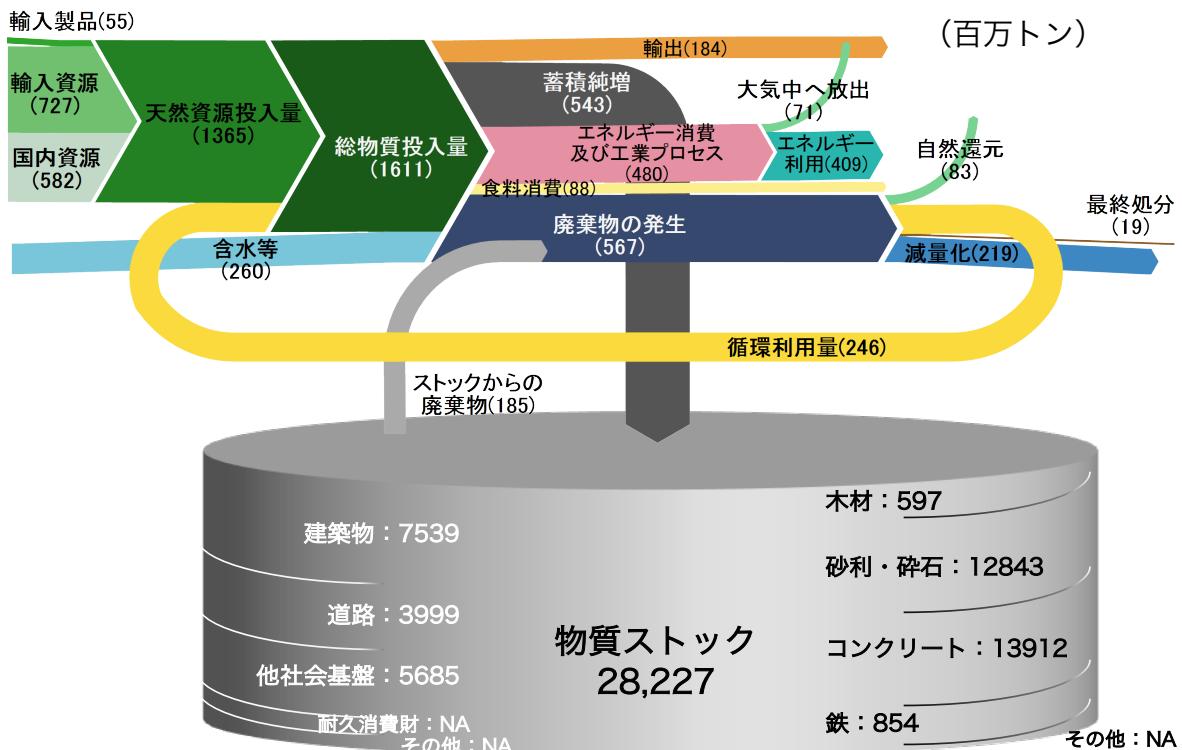
### (3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握

蓄積増分法による物質ストックの推計結果をもとに、既存の物質フロー図と整合するよう物質ストックを表し、物質フロー・ストック図を作成する。ある年の人間活動による物質フローは、それまで蓄積・整備された耐久消費財や建築物、社会基盤施設といった物質ストックが発揮する様々なサービスを活用している。そのため、既存の物質フロー図を拡張し、物質ストックがフローを支えるようなイメージで「物質フロー・ストック図」を作成した（図-10）。また、図中の物質ストックの大きさは円柱の体積で表し、同時に円柱の底面直径の位置と大きさは物質フローにおいて物質ストックが直接関与する範囲に設定している。また、図中の物質ストックの区分は利用形態および物質別の区分を円柱側面部分に示し、物質フロー図部分の上流側にあたる左側に利用形態を、下流側にあたる右側に物質別の総量を示す。これは、リサイクル等の循環再利用を考慮したものである。さらに、利用度別の区分に沿った物質ストック量の内訳については、図中の円柱部分の上面に円グラフとして記述することが可能である。

1990年、2010年の物質ストック・フロー図を図-12に示す。1990年と2010年を比較すると、総物質投入量が約24億トンから約16億トンと6割程度に減少している一方、物質ストックは約172億トンから297億トンと増加している。



(a) 1990 年



(b) 2010 年

図-10 日本の物質ストック・フロー図

#### (4) ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価

##### (4)-1 物質ストック・フロー指標の検討

(1)と(3)で検討した物質ストック・フロー図より、物質フロー指標に追加して、物質ストック指標を整理・検討した。物質フロー指標は環境省の循環型社会形成基本計画にて達成目標として掲げられているが、本研究の目的でもある物質ストックは物質フローと密接に関わっている。そこで、図-11に示す、3つの物質ストック・フロー指標の検討を行った。物質フローおよび蓄積増分法による物質ストックの推計結果を用い、物質フロー指標に追加して、物質ストック指標を整理・検討した。冒頭でも述べたように、持続可能性を高めるためには、価値あるものを造り、長期間に渡り利用し、豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積されたストック型社会を形成していくことが重要である。環境省の循環型社会形成基本計画にて目標値を持つ3つの物質フロー指標「資源生産性」、「循環利用率」、「最終処分量」や、それらの補助指標の中でも物質ストックの状況を示す指標は取り上げられておらず、今後の検討が必要である。

本稿では、3つの物質フロー指標を補助し、物質代謝の側面からストック型社会構築に向けた状況を表す指標として、図-12に示す通り、次の3つの指標例の作成を試みた。図-12(a)に示す「ストックとフローの関係」は物質ストック量と総物質投入量の動態を表している。社会の形成段階では、物質フローのうち物質ストックとして蓄積される物質が多く、同グラフは右上がりに進むが、社会が成熟し、十分な物質ストックを蓄積すると物質総量は飽和状態になり、同グラフは右下がりになる。しかし、物質

ストックを短期間で再構築する社会は、物質ストックを維持するために高い水準で物質投入を続けなければならず、同グラフは上方向に推移すると考えられる。わが国の推移を概観すると右下に向かって推移しているため、ストックは増え続けているものの、投入量は減少しており、比較的良い方向に推移していると考えられる。

図-12(b)「物質ストックとGDP」については、物質ストックとGDPとの関係を図示したものである。物質フロー3指標の一つ「資源生産性」は、GDP（万円）を天然資源投入量（トン）で除したものであるが、GDPが既存物質ストックによるサービスを背景に生み出されたと考えると、両者の関係を把握することは重要である。時系列にするのであればGDPを物質ストック量で除した“物質ストック生産性”でも同様の考察が可能である。既存の物質ストックを活用してより多くのGDPを生み出すことが望ましいため、このグラフはより上方に推移するのが望ましい。将来、物質ストックが飽和しつつ、経済成長が進んでいるかどうかを示す指標となり得る。

図-12(c)「物質の入れ替わり」では、総物質投入量と物質ストック量の比を表している。対象年の物質ストックが同年の総物質投入量の何年分かという数値であるが、物質ストックが飽和した経済社会においては構造物の耐用年数と類似した指標となり得る。しかし、物質ストックには退役や退蔵しているサービスを発揮していないものも含まれているため、現状において、一般的な耐用年数よりも大きな値を示す傾向がある。更新周期が長くなるほど、環境負荷は小さくなると考えられるため、今後の変化を注視する必要がある。政策指標としては、横軸が年になっている方が望ましいとの意見もあり、今後のさらなる検討が必要である。

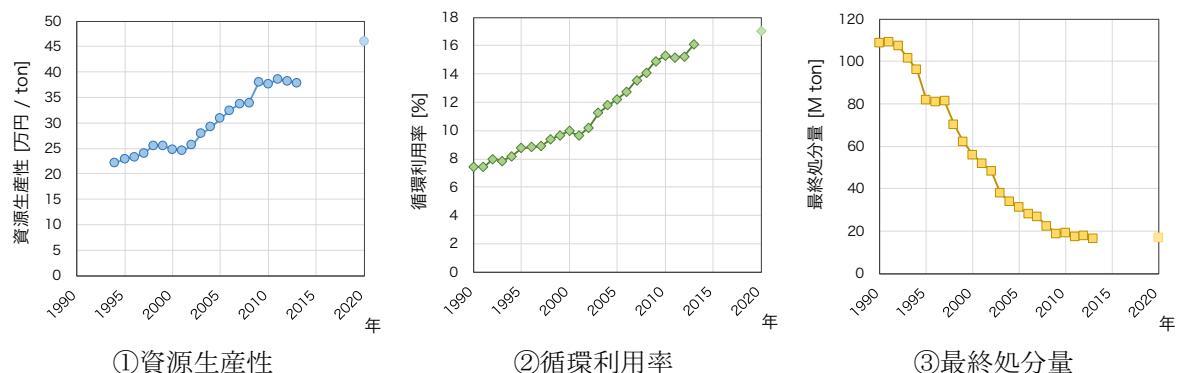


図-11 3つの物質フロー指標

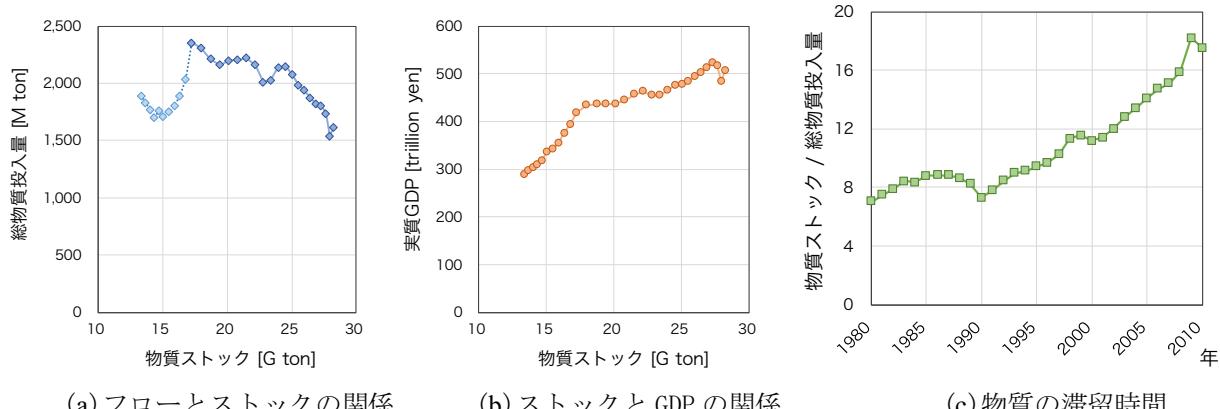


図-12 物質ストック・フロー指標

## 2-(2). 3年間の研究を通じて得られた成果（概要）

### (1) 物質ストックの区分と具体事例の整理

本研究では、物質ストックの区分について整理を行う。一般的に「ストック」という言葉が対象とする範囲は多様であり、人工資本だけでなく自然資本や社会関係資本等まで含めた幅広い概念となっている(図-1)。さらに、ストックの対象範囲により、生み出す価値も多様である。本研究では、構造物や製品等の「人工資本」を対象として検討を行うが、製品中に含まれる有害物質も対象とする。

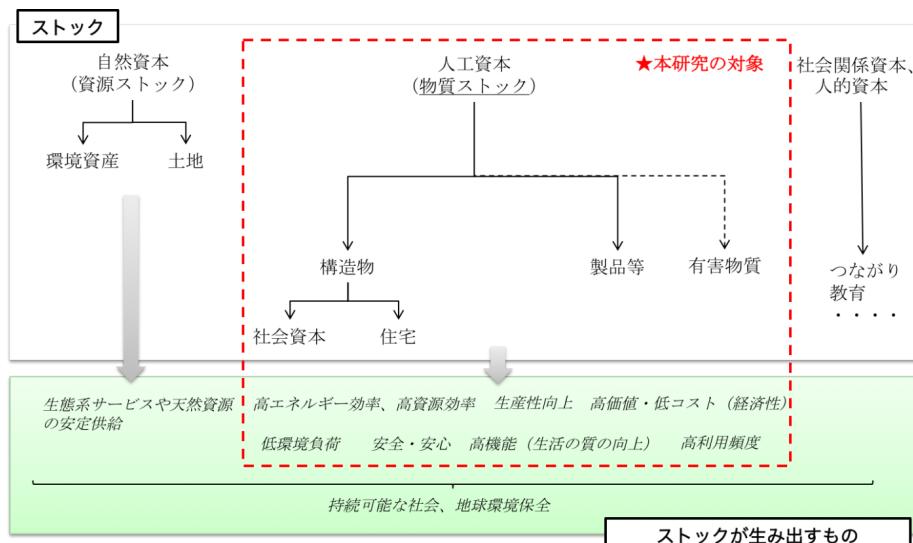


図-1 ストックの区分整理

本研究に大きく関わる循環型社会形成推進基本計画(環境省)における対象は物質ストックであり、前述した概念の整理と同様に使用価値の有無と資源価値の有無によって、豊かさを産み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」を構築することを目的の一つとしている。また、上位計画である環境基本計画では、国土全体を対象として持続可能な社会の基盤となる国土・自然の維持・形成を目的とし、自然資本・人工資本に加え、社会関係資本なども社会資本ストックの対象としているが、本研究では人工資本を対象とすることで定量的な評価を展開する。“物質ストック勘定体系の構築とその適応による廃棄物・資源管理研究(橋本征二他)”では、物質ストックを対象にフローを統合した物質管理のための指標の開発や物質ストックの定量化手法の開発や体系化、物質ストック勘定の適応を検討している。しかし、算出方法が複雑であり、毎年継続して実施していく点で、実務ベースでの勘定手法としては適応がやや困難である。

本研究では、「豊かさを産み出す有用な物質ストック」、「適切に管理する必要がある物質ストック」として、それぞれに示した施策に関する個別の物質ストック（機器、資本など）について、最も関係がある「使用価値」、「使用済価値」へのマッピングを行った。さらに、以上を踏まえて、我が国の物質フロー・ストック図」を新たに構築し、さらに環境政策との位置づけを明確にした（図-2）。

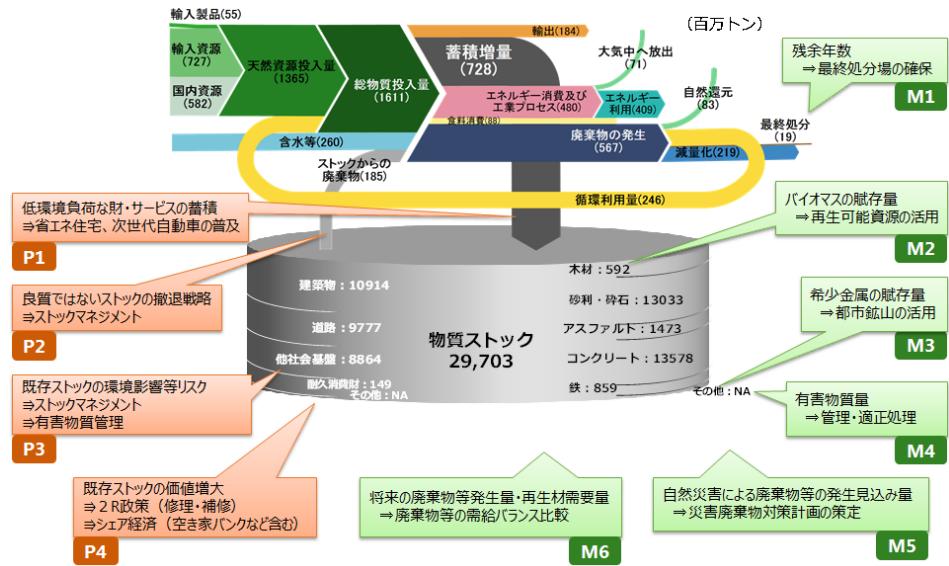


図-2 環境政策の視点からみた物質ストックデータの活用イメージ

## (2) 物質ストックの環境・経済面での定量評価

### (2)-1 分析・評価手法の検討

物質ストックの定量評価を行うには、基盤となるデータベース整備が必要である。上述のように区分整理した人工資本（物質ストック）を対象に、Top-down と Bottom-up にてデータベース整備を行う。

Top-down アプローチでは、環境省による日本の物質フローの算定と同様の手法を用いた。また、建設系の物質ストック・フローについて、生産基盤統計と廃棄関連統計より建設資材投入量と建設資材排出量を推計した。主として排出量のデータ制約より、1990年から2015年までを対象として推計を行った。図-3に投入量と排出量の差分として推計した蓄積純増により推計した結果を示す。なお、物質ストック（1990年）の初期値については、山下ら（2015）の結果を用いた。図-3より、1990年の172億トンと比較すると2015年では297億トンと1.7倍に増加したことが示された。これらは都道府県ごとにも算出しており、地域ごとの比較検討も可能である。Bottom-up アプローチでは、地理情報システム(GIS)を用いて、物質ストックのうち重量的に多くを占める建築物や社会基盤施設の空間情報を整備し、各種構造物に単位あたりの建設資材投入原単位を乗じることで物質ストックを推計した。1965年の73億トンと比較すると2010年では218億トンと3.0倍ほど増加しており、日本の発展を支えてきた人工資本（物質ストック）の蓄積の状況が示された。また、図-4は建築物の2009年における物質ストックを500mメッシュで集計した結果である。建築物は人口分布と大きく関係しており、関連する物質ストックも都市部に大きく集積している。このように、物質ストックを地理的に可視化し、時空間における蓄積の動態を明らかにすることで、使用価値と資源化価値の評価に必要なデータベースを構築している。

Top-down アプローチによる推計と Bottom-up アプローチによる推計を比較すると、2010年で282億トンと218億トンと、Top-down アプローチによる推計が1.3倍という結果となった。

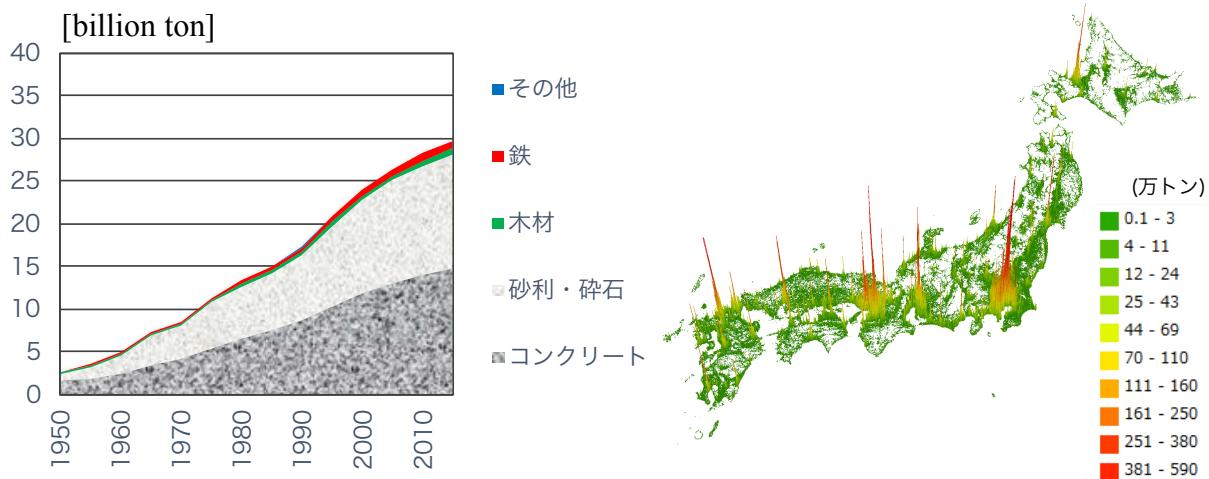


図-3 Top-down による物質ストック量

図-4 日本の建築物ストック量分布

## (2)-2 個別事例に基づくケーススタディ

### (i) 物質ストックの機能量評価

機能とは、全体を構成する個々の要素が担う役割のことである。工学分野における機能とは、設計時に、関係式で記述される物理現象に基づいて要求されるものである。本研究では、用いられる物質について、設計時に考慮される物理現象に対し、それを記述する関係式が見出されていることを、物質が工学的機能を有していると定義した。

無数の機能を有する材料を、客観的に集約し評価する上で、包絡分析法を応用した評価手法を構築した。包絡分析法とは、評価対象の複数の出力に対して、その属する群における効率を相対的に評価する手法である。群において、ベクトルとしての各出力値により形成される包絡面までに対し、評価対象がどの程度達するかの比(a/b)として評価が行われる。本研究ではこの評価手法を、材料機能の集約評価手法に用いる上で、①包絡面の修正、②出力値ベクトルの成分、③等価包絡面の形成、④評価群の設定の4点で修正を行った。ケーススタディとして、普通鋼と、アルミニウム・銅及びそれらの合金で普通鋼と同一群に属する材料種の高機能化について分析を行った。動的物質フロー分析により、各材料の機能について1964年を基準としたストックとして算出し、普通鋼類機能量として積算したものと、普通鋼のみの機能量及びストック質量の1964年との比の変遷を示す。主に建築での高機能化が大きく反映され、1964年の普通鋼を使い続けた場合と比較して2013年までに高機能化によって11.3%のストック量の削減が達成されたと評価できた。

### (ii) 耐久消費財のストック量・退役量・排出量の推計アプローチ

物質ストックの推計アプローチについては、1) 直接観測、2) 蓄積増分法、3) 使用年数（寿命）モデル法、4) 浸出しモデル法、の4つの手法が整理されている。電気電子機器や乗用車などの耐久消費財については、ストック量に加えて退役量・排出量の把握・推計についてもこれらのアプローチが適用可能である。耐久消費財の使用年数分布の作成方法については、Oguchi et al. (2010)において文献レビューに基づく体系的な整理がなされている。その整理によれば、使用年数分布の主な作成方法は以下の4つに大別される。

- 1) 退役または排出製品の使用年数データからある期間における排出割合分布を推定する方法
- 2) 保有製品の使用年数データからある時点における残存割合分布を推定する方法
- 3) 保有製品の使用年数データからある期間における残存割合分布を推定する方法
- 4) 販売、保有、退役・排出の台数収支からある時点における残存割合分布を推定する方法

統計等から継続的に得られるデータに基づく使用年数データの入手、推定が可能な方法として、方法1)と4)によって作成するとともに、相互の比較考察を行った。また、ある年の販売量に対するストック量の比（ストック／フロー比）の計算も行い、上記で推定した平均使用年数と比較することで、平均使用年数の簡易指標としての利用可能性を考察した。対象製品は、冷蔵庫、洗濯機、ルームエアコン、テレビ、携帯電話（スマートフォンを含む）、乗用車の6品目とした。得られた平均使用年数およびストック／フロー比の比較より、まず全体的な傾向として、これら製品の平均使用年数は過去30年間程度にわたり長期化傾向にあることが見てとれる。しかし、方法1)による値のうち、消費動向調査による値は、携帯電話を除く電気電子機器について横ばいの値となっており、他の調査・推定値と異なる傾向を示している。消費動向調査は消費者アンケートで平均使用年数を調査しており、過去1年間に対象製品を買い替えた消費者に対して古い製品を何年間使用していたかを尋ねている。結果から、特に保有が大きく増加していない製品（または使用年数が短い製品）については、平均使用年数の簡易指標として利用できる可能性がある。ストック／フロー比は、ある単年における総保有台数と販売台数データのみから計算が可能で、退役または排出製品や保有製品の年式分布、販売台数の時系列データといった詳細なデータが不要であり、少ない労力で値を得ることができる利点がある。特に、今回は他の方法で平均使用年数を推定できるデータが提供されている品目について例を示したが、他の小型家電等はそのようなデータが存在しない場合も多いことから、ストック／フロー比を平均使用年数の簡易指標として製品および物質ストック量の推計に利用することの意義は大きいものと考えられる。

### (2)-3 統計処理手法の確立

物質ストックを計測する手法は確立されておらず、推計に利用できるデータの制約や推計方法により物質ストック量は異なる。そのため、国レベルでは物質フローの推計と整合性を保つ推計方法で物質ストックを計測することができれば、指標の議論に資することができる。

「ストック」という言葉は、経済分野をはじめ多方面で使われるが、本稿の「物質ストック」とは人工資本として社会に蓄積され、我々の生活に豊かさをもたらすものをいう。第3次循環型社会形成推進基本計画に「今後の検討課題」として示されているように、“豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」を形成”するためには、“価値が高い正のストック”を増やし、“潜在的な廃棄物となり得る価値が低い負のストック”を減らす事が重要である。しかし、様々な物質ストックの価値を正負で一律評価することは困難であるため、下記の視点で物質ストックの整理を行った。

- ・利用形態に基づく区分：建築物や道路、自動車等のように社会に蓄積されている区分
- ・物質別の区分：コンクリート、石材、木材、鋼材、非鉄等の区分
- ・利用度別の区分：物質ストックが、使われているか否か（現役 or 退蔵）、使われない状態（退役）であるか等、利用度、再利用可能性を元にする区分

## (2)-4 実務ベースの物質ストック把握手法

これまでの結果より、2010年の値をまとめると、以下のとおりとなる。

表-1 2010年の物質ストック量等のまとめ

(単位：百万トン)

	投入量（蓄積量）				退役量				排出量				ストック量						
	各種統計及び組成情報・資材原単位等				投入量及び寿命閾数から推計				廃棄物等の統計値				ストック関連統計及びGIS情報等						
	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄			
建築物	82.8	—	9.3	7.8	—	16.4	—	2.7	6.7	—	—	—	9579	—	591	261.5	—		
道路	168.2	—	—	0.8	—	23.0	—	—	1.1	—	—	—	9770	—	—	24.1	—		
其他	交通インフラ	—	—	0.3	—	—	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	10.6	—		
社会基盤	ライフル	—	—	0.1	0.11	—	—	—	0.2	0.02	—	—	—	—	—	5.9	0.94		
その他	104.4	—	—	0.8	—	16.2	—	—	1.4	—	—	—	8734	—	—	42.1	—		
耐久財	輸送機器	0.1	0.4	—	15.7	0.4	0.1	0.4	—	13.6	0.4	—	1.8	6.0	—	257.9	5.7		
消費財	家電	0.0003	0.23	—	0.7	0.09	0.0002	0.20	—	1.2	0.07	—	0.0009	3.98	—	13.0	1.26		
その他	電池・照明	0.11	0.02	—	0.5	0.01	0.001	0.0001	—	0.5	0.0001	—	0.38	0.06	—	8.2	0.03		
その他	—	—	—	0.5	—	—	—	—	0.6	—	—	—	—	—	—	7.9	—		
日本全体	355.6	0.65	9.3	44.4	0.61	55.7	0.6001	2.7	52.8	0.490 <sub>1</sub>	193.5	14.6	308.6	50.4	28,085.2	10.04	591	1011.2	7.93

\* 退蔵量はT年分のCの合計値となるため、2010年のまとめとしては省略。同様に退役純増量も退役量と排出量の差分（日本全国のみ）のため本表では省略。

\* 本表は2010年値としているが、統計により「2010年度」値のものもある。

\* 参考として建築物の土石等についても試算を行ったが、名古屋大学での推計結果が望ましいため、ここでは載せていない。

\* 破壊消費財については、国立環境研究所での推計結果との整合はされていないが、本推計で行った結果を載せている。

\* 金属（鉄）は大分類で計算したときの値。

\* 金属（鉄）とその他の資源では同じ分類項目でも計算方法が異なるものはある。

### (3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握

蓄積増分法による物質ストックの推計結果をもとに、既存の物質フロー図と整合するよう物質ストックを表し、物質フロー・ストック図を作成した。図中の物質ストックの大きさは円柱の体積で表し、同時に円柱の底面直径の位置と大きさは物質フローにおいて物質ストックが直接関与する範囲に設定している。また、図中の物質ストックの区分は利用形態および物質別の区分を円柱側面部分に示し、物質フロー図部分の上流側にあたる左側に利用形態を、下流側にあたる右側に物質別の総量を示す。これは、リサイクル等の循環再利用を考慮したものである。さらに、利用度別の区分に沿った物質ストック量の内訳については、図中の円柱部分の上面に円グラフとして記述することが可能である。

1990年、2010年の物質ストック・フロー図を図-5に示す。1990年と2010年を比較すると、総物質投入量が約24億トンから約16億トンと6割程度に減少している一方、物質ストックは約172億トンから297億トンと増加している。

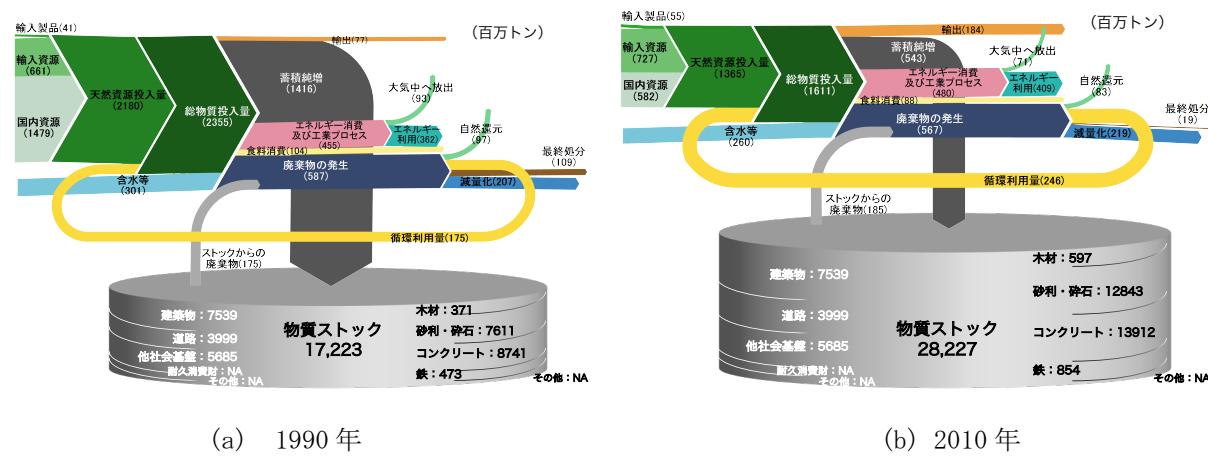


図-5 日本の物質ストック・フロー図

### (4) ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価

#### (4)-1 物質ストック・フロー指標の検討

(1)と(3)で検討した物質ストック・フロー図より、物質フロー指標に追加して、物質ストック指標を整理・検討した。物質フロー指標は環境省の循環型社会形成基本計画にて達成目標として掲げられているが、本研究の目的でもある物質ストックは物質フローと密接に関わっている。本研究では、3つの物質フロー指標を補助し、物質代謝の側面からストック型社会構築に向けた状況を表す指標として、図-6に示す通り、次の3つの指標例の作成を試みた。図-6(a)に示す「ストックとフローの関係」は物質ストック量と総物質投入量の動態を表している。社会の形成段階では、物質フローのうち物質ストックとして蓄積される物質が多く、同グラフは右上がりに進むが、社会が成熟し、十分な物質ストックを蓄積すると物質総量は飽和状態になり、同グラフは右下がりになる。わが国の推移を概観すると右下に向かって推移しているため、ストックは増え続けているものの、投入量は減少しており、比較的良い方向に推移していると考えられる。図-6(b)「物質ストックとGDP」については、物質ストックとGDPとの関係を図示したものである。物質フロー3指標の一つ「資源生産性」は、GDP(万円)を天然資源投入量(トン)で除したものであるが、GDPが既存物質ストックによるサービスを背景に生み出されたと考える

と、両者の関係を把握することは重要である。時系列にするのであればGDPを物質ストック量で除した“物質ストック生産性”でも同様の考察が可能である。既存の物質ストックを活用してより多くのGDPを生み出すことが望ましいため、このグラフはより上方に推移するのが望ましい。将来、物質ストックが飽和しつつ、経済成長が進んでいるかどうかを示す指標となり得る。図-6(c)「物質の入れ替わり」では、総物質投入量と物質ストック量の比を表している。対象年の物質ストックが同年の総物質投入量の何年分かという数値であるが、物質ストックが飽和した経済社会においては構造物の耐用年数と類似した指標となり得る。

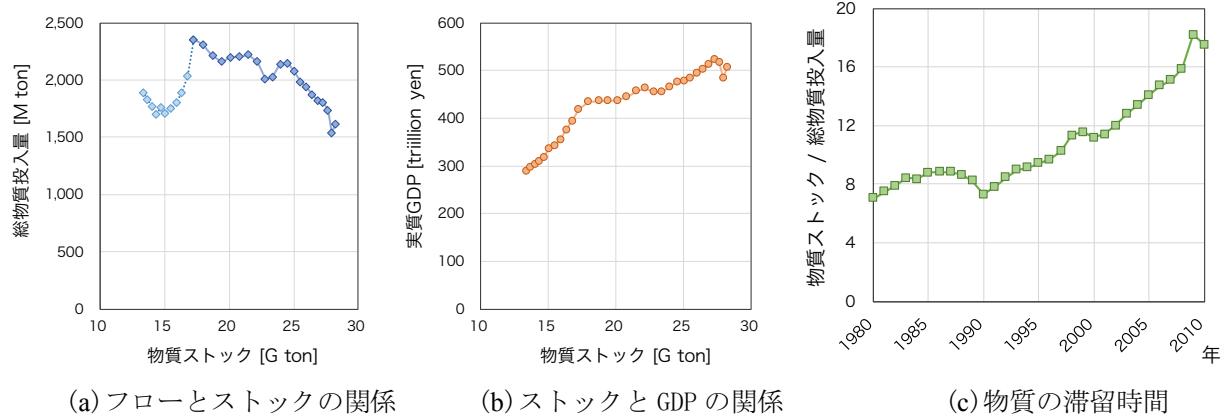


図-6 物質ストック・フロー指標

### 3. 対外発表等の実施状況

本研究では、研究実施に当たり有識者会合の開催を基盤としている。今年度開催した、及び開催予定である会合について、以下に記載する。なお会合回については前年度より通算である。

#### 有識者会合

##### <第1回 物質ストック有識者会合>

日 時：2015.9.12 13:00-18:00

場 所：九州国際大学

参加者：岡本(九州国際大学)、谷川(名大)、醍醐(東大)、奥岡(名大)、高木(みずほ)

議 題：岡本先生と本研究メンバーがストック型社会の概念について議論し、「次世代システム研究会」にて発表を務めた。

##### <第2回 物質ストック有識者会合>

日 時：2015.9.15 13:30-14:30

場 所：

参加者：森口(東大)、橋本(立命館大学)、南齊(国環研)、谷川(名大)、醍醐(東大)、奥岡(名大)、高木(みずほ)

議 題：「ストックとは何か」について、議論を行った。

##### <第3回 物質ストック有識者会合>

日 時：2015.9.24 14:30-18:30、25 11:00-14:00

場 所：伊勢市 千の杜

参加者：橋本(立命館大学)、加河(九州大学)、谷川(名大)、奥岡(名大)

議 題：ストックにかかる事例整理と研究報告を行い、総合的な議論を行った。

##### <第4回 物質ストック有識者会合>

日 時：2015.12.21 14:00-17:00

場 所：名古屋大学

参加者：井村(横浜市立大学)、谷川(名大)、奥岡(名大)

議 題：ストックにかかる事例整理と研究報告を行い、総合的な議論を行った。

##### <第5回 物質ストック有識者会合>

日 時：2016.1.8 14:00-17:00

場 所：九州大学

参加者：加河(九州大学)、谷川(名大)

議 題：ストックにかかる事例整理と研究報告を行い、総合的な議論を行った。

<第6回 物質ストック有識者会合>

日 時：2016.2.2 14:00-18:00

場 所：名古屋大学

参加者：岡本(九州国際大学)、谷川(名大)、奥岡(名大)、高木(みずほ)、田邊(みずほ)

議 題：ストック型社会に向けた諸制度の変更や物質として定量化する視点など、総合的な議論を行った。

<第7回 物質ストック有識者会議>

日 時：2016.3.8 10:00-12:00

場 所：環境省

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、  
Prof. Fridolin Krausmann (IFF / Social Ecology Institute, Alpen-adolia Universtat, Austria)、  
岡本久人教授 (九州国際大学)、谷貝 (環境省)、土屋 (環境省)、谷川 (名大)、醍醐 (東大)、小口  
(国環研)、奥岡 (名大)、高木 (みずほ)、田邊 (みずほ)

議 題：「物質ストック研究」に関する有識者と環境省、本研究メンバーが政策貢献について議論を行った。

<第8回 物質ストック有識者会議>

日 時：2016.3.9 15:00-18:00

場 所：名古屋大学

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、  
Prof. Fridolin Krausmann (IFF / Social Ecology Institute, Alpen-adolia Universtat, Austria)、  
Ms. Chikako Takase (United Nations Center of Regional Development)、谷川(名大)、奥岡(名大)、  
Tomer Fishman(名大)、Alessio Miatto(名大)

議 題：「物質ストック研究」に関する有識者を迎えて本研究メンバーが具体的な取組について議論を行った。

<第9回 物質ストック有識者会合>

日 時：2016.4.25 13:00-15:00

場 所：ダルムシュタット工科大学

参加者：Prof. Liselotte Schebek (ダルムシュタット工科大学)、谷川(名大)、吉田(名大)

議 題：Schebek 教授と本研究メンバーが物質ストック研究について議論し、共同の研究会にて発表を務めた。

<第10回 物質ストック有識者会合>

日 時：2016.5.7 10:00-12:00

場 所：九州国際大学

参加者：岡本久人(九州国際大学)、谷川(名大)

議題：岡本教授とストック型社会の概念について、議論を行った。

<第11回 物質ストック有識者会合>

日時：2016.5.23 13:00-15:00

場所：九州国際大学

参加者：岡本久人(九州国際大学)、谷川(名大)

議題：岡本教授とストック型社会の概念について、議論を行った。

<第12回 物質ストック有識者会議>

日時：2016.6.22 8:30-9:30

場所：Stoweflake Conference Center, Stowe, VT, United States

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、

Prof. Fridolin Krausmann (IFF / Social Ecology Institute, Alpen-adolia Universtat, Austria)、

谷川(名大)、Tomer Fishman(名大)

議題：「物質ストック研究」に関して、有識者と本研究メンバーが環境政策との関連性について議論を行った。

<第13回 物質ストック有識者会合>

日時：2016.7.4 13:00-17:00

場所：九州国際大学

参加者：岡本久人(九州国際大学)、谷川(名大)

議題：岡本教授・ストック型社会研究会メンバー他と、ストック型社会の概念について議論を行い、また研究報告を行った。

<第14回 物質ストック有識者会合>

日時：2016.8.1 11:00-13:00

場所：北九州市役所・環境局

参加者：環境局 環境監視部長（兼）企画調整局 地方創生推進担当課長 谷貝氏、谷川(名大)

議題：本研究の遂行に関して、北九州市と研究メンバーで情報共有と課題の整理がされた。

<第15回 物質ストック有識者会合>

日時：2016.8.17 10:00-12:00

場所：九州国際大学

参加者：岡本久人(九州国際大学)、谷川(名大)

議題：岡本教授とストック型社会の今後の課題について、議論を行った。

<第16回 物質ストック有識者会合>

日 時：2016.9.10 13:00-17:00、11 10:00-12:00

場 所：宮崎県 宮崎市 ラグゼーツ葉

参加者：橋本(立命館大学)、加河(九州大学)、谷川(名大)、奥岡(名大)

議 題：ストックにかかる事例整理と研究報告を行い、総合的な議論を行った。

<第17回 物質ストック有識者会議>

日 時：2016.9.30 11:20-12:40

場 所：名古屋大学 ES 総合館 (ISIE SEM-AP 2016 International Conference 内)

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、岡本久人教授 (九州国際大学)、森口(東大)、橋本(立命館)、谷川 (名大)、醍醐 (東大)、小口 (国環研)、奥岡 (名大)

議 題：「物質ストック研究」に関する研究報告がなされ、本研究メンバーも交えて議論を行った。

<第18回 物質ストック有識者会合>

日 時：2016.10.7 13:00-15:00

場 所：九州国際大学

参加者：岡本久人(九州国際大学)、谷川(名大)

議 題：岡本教授・ストック型社会研究会メンバー他と、ストック型社会の概念について議論を行い、また研究報告を行った。

<第19回 物質ストック有識者会議>

日 時：2016.10.13 13:00-16:00

場 所：Padova University, Italy

参加者：Prof. Mario(Padova University, Italy)、谷川 (名大)、Alessio Miatto (名大)

議 題：長期型の物質ストックに関わる情報共有がなされ、日欧による相違点などストック型社会構築に向けた議論を行った。

<第20回 物質ストック有識者会議>

日 時：2016.11.7 13:00-15:00

場 所：CSIRO, Canberra, Australia

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、谷川 (名大)

議 題：世界全体での物質ストック研究について情報共有を行い、議論を行った。

<第21回 物質ストック有識者会合>

日 時：2016.12.20 13:00-18:00

場 所：名古屋大学

参加者：井村(横浜市立大学)、谷川(名大)、奥岡(名大)

議 題：ストックにかかる事例整理と研究報告を行い、総合的な議論を行った。

<第22回 物質ストック有識者会合>

日 時：2017. 9. 25 10:00-12:00

場 所：九州国際大学

参加者：岡本久人(九州国際大学)、谷川(名大)

議 題：ストック型社会構築に関わる意見交換と、総合的な議論を行った。

<第23回 物質ストック有識者会合>

日 時：2017. 12. 20 16:00-18:00

場 所：名古屋大学

参加者：井村(横浜市立大学)、谷川(名大)、奥岡(名大)

議 題：ストックにかかる事例整理と研究報告を行い、

総合的な議論を行った。

国際ワークショップ

<第1回 国際ワークショップ>

日 時：2016. 3. 8 10:00-12:00

場 所：環境省

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、

Prof. Fridolin Krausmann (IFF / Social Ecology Institute, Alpen-adolia Universtat, Austria)、

岡本久人教授 (九州国際大学)、谷貝 (環境省)、土屋 (環境省)、谷川 (名大)、醍醐 (東大)、小口

(国環研)、奥岡 (名大)、高木 (みづほ)、田邊 (みづほ)

議 題：「物質ストック研究」に関する有識者と環境省、本研究メンバーが政策貢献について議論を行った。

<第2回 国際ワークショップ>

日 時：2016. 3. 9 15:00-18:00

場 所：名古屋大学

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、

Prof. Fridolin Krausmann (IFF / Social Ecology Institute, Alpen-adolia Universtat, Austria)、

Ms. Chikako Takase (United Nations Center of Regional Development)、谷川(名大)、奥岡(名大)、

Tomer Fishman(名大)、Alessio Miatto(名大)

議 題：「物質ストック研究」に関する有識者を迎えて本研究メンバーが具体的な取組について議論を行った。

<第3回 国際ワークショップ>

日 時：2016. 9. 30 11:20-12:40

場 所：名古屋大学 ES 総合館 (ISIE SEM-AP 2016 International Conference 内)

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、岡本久人教授 (九州国際大学)、森口(東大)、橋本(立命館)、谷川 (名大)、醍醐 (東大)、小口 (国環研)、奥岡 (名大)

議 題：「物質ストック研究」に関する研究報告がなされ、本研究メンバーも交えて議論を行った。

<第4回 国際ワークショップ>

日 時：2017. 1. 13 14:00-16:00

場 所：名古屋大学

参加者：Tian Xin(Beijing Normal University)、谷川 (名大)、奥岡 (名大)

議 題：物質ストック研究に関する有識者を迎えて本研究メンバーが具体的な取組について議論した。

<第5回 国際ワークショップ>

日 時：2017. 12. 20 13:00-16:00

場 所：名古屋大学

参加者：Feng Shi, Dr. Sun Lingwen, Dr. Sui Zhenming, Dr. Ma Jun(Shandong Academy of Science)、谷川 (名大)、奥岡 (名大), Alessio Miatto(NU)

議 題：物質ストック研究に関する有識者を迎えて、本研究メンバーが具体的な取組について議論した。

<第6回 国際ワークショップ>

日 時：2018. 3. 20 14:00-17:00

場 所：名古屋大学

参加者：Tomer Fishman(Yale University)、 谷川 (名大)、奥岡 (名大), Alessio Miatto(NU)

議 題：物質ストック研究に関する有識者を迎えて、Industrial Ecology の国際的な議論と日本の現状・取組について討論する。

環境省原課担当者会議

<第1回 環境省原課担当者会議>

日 時：2015. 7. 29 10:00-12:00

場 所：環境省

参加者：環境省担当官、谷川(名大)、醍醐(東大)、小口(国環研)、奥岡(名大)、高木(みずほ)  
議題：本研究の遂行に関して、担当官と研究メンバーで情報共有と課題の整理がされた。

<第2回 環境省原課担当者会議>

日時：2015.2.1 14:00-15:00

場所：環境省

参加者：環境省担当官、谷川(名大)、醍醐(東大)、小口(国環研)、奥岡(名大)、高木(みずほ)、田邊(みずほ)

議題：本研究の進捗状況に関して、担当官と研究メンバーで情報共有と課題の整理がされた。

<第4回 環境省原課担当者会議>

日時：2016.5.18 10:00-13:00

場所：環境省

参加者：環境省担当官、谷川(名大)

議題：本研究の遂行に関して、担当官と研究メンバーで情報共有と課題の整理がされた。

<第5回 環境省原課担当者会議>

日時：2016.8.3 15:30-15:30

場所：環境省 循環室

参加者：環境省担当官 土屋氏、対策官 小岩氏、リサ室兼任 矢野氏、循環室 井上氏、谷川(名大)

議題：本研究の遂行に関して、担当官及び関連担当者と研究メンバーで情報共有と課題の整理がされた。

<第6回 環境省原課担当者会議>

日時：2016.10.11 13:00-15:00

場所：環境省 循環室

参加者：環境省担当官 土屋氏、対策官 小岩氏、リサ室兼任 矢野氏、循環室 井上氏、谷川(名大)

議題：本研究の遂行に関して、担当官及び関連担当者と研究メンバーで情報共有と今後の課題について議論がされた。

<第7回 環境省原課担当者会議>

日時：2017.2.7 11:00-13:00

場所：環境省 循環室

参加者：環境省担当官 室長 田中氏、室長補佐 高林氏、対策官 小岩氏、土屋氏、谷川(名大)

議題：本研究の遂行に関して、担当官及び関連担当者と研究メンバーで情報共有と今年度のとりまとめについて議論がされた。

<第8回 環境省原課担当者会議>

日 時：2017.9.19 16:00-17:30

場 所：環境省 第6会議室

参加者：環境省担当官 前田氏、金田氏、谷川(名大)、醍醐(東大)、小口(国環研)、奥岡(名大)、高木(みずほ)

議 題：本研究の遂行に関して、担当官及び関連担当者と研究メンバーで情報共有と今後の課題について議論がされた。

<第9回 環境省原課担当者会議>

日 時：2017.12.15 14:00-16:00

場 所：環境省 第9会議室

参加者：環境省担当官 前田氏、金田氏、谷川(名大)

議 題：本研究の遂行に関して、担当官及び関連担当者と研究メンバーで情報共有と今後の課題について議論がされた。

その他

<環境科学 2015年会 企画セッション>

日 時：2015.9.7 14:00-16:00

場 所：大阪大学

参加者：橋本(立命館大学)、村上(東大)、谷川(名大)、醍醐(東大)、奥岡(名大)

議 題：地球環境総合研究推進費1-1402に関連した企画セッション「資源価値を考慮したストック・フロー指標体系の構築」にて物質ストックの機能について報告・討議がなされた。

また、本研究の成果報告として以下の内容を外部発表した。

<査読付き論文>

- 1) Marianne Faith G. Martinico-Perez, Heinz Schandl, Tomer Fishman, Hiroki Tanikawa : The Socio-Economic Metabolism of an Emerging Economy: Monitoring Progress of Decoupling of Economic Growth and Environmental Pressures in the Philippines , Ecological Economics, Vol.147, 155-166, DOI:10.1016/j.ecolecon.2018.01.012, 2018.
- 2) 谷川寛樹, 醍醐市朗, 小口正弘, 奥岡桂次郎, 高木重定 : 物質ストック・フローに着目したストック型社会構築に向けた指標, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.28, No.6, 431-437, 2017.
- 3) Hanwei Liang, Liang Dong, Hiroki Tanikawa, Ning Zhang, Zhiqiu Gao, Xiao Luo : Feasibility of a new-generation nighttime light data for estimating in use steel stock of buildings and civil engineering infrastructures, Resources, Conservation and Recycling, Vol.123, 11-23, DOI:10.1016/j.resconrec.2016.04.001, 2017.
- 4) Heinz Schandl, Marina Fischer-Kowalski, JIM WEST, Stefan Giljum, Monika Dittrich, Nina Eisenmenger, ARNE GESCHKE, Mirko Lieber, Hanspeter Wieland, Anke Schaffartzik, Fridolin Krausmann, Sylvia Gierlinger, Karin Hosking, MANFRED LENZEN, HIROKI TANIKAWA, Alessio Miatto, Tomer Fishman : Global Material Flows and Resource Productivity: Forty Years of Evidence, Journal of Industrial Ecology, Vol.22, DOI:10.1111/jiec.12626, 2017.
- 5) Fridolin Krausmann, Dominik Wiedenhofer, Christian Lauk, Willi Haas, Hiroki Tanikawa, Tomer Fishman, Alessio Miatto, Heinz Schandl, Helmut Haberi : Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use, PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), Vol.114, No.8, 1880-1885, DOI: 10.1073/pnas.1613773114, 2017.
- 6) Marianne Faith G. Martinico-Perez, Tomer Fishman, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Material Flow Accounts and Driving Factors of Economic Growth in the Philippines, Journal of Industrial Ecology, Vol.21, No.5, 1226-1236, DOI:10.1111/jiec.12496, 2016.
- 7) Keisuke Yoshida, Tomer Fishman, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Material stock's overburden: Automatic spatial detection and estimation of domestic extraction and hidden material flows, Resources, Conservation and Recycling, Vol.123, 165-175, DOI:10.1016/j.resconrec.2016.09.010, 2016.
- 8) Kyaw Nyunt Maung, Marianne Faith G. Martinico-Perez, Takahiro Komatsu, Sujauddin Mohammad, Shinsuke Murakami, Hiroki Tanikawa : Comparative Studies on Driving Factors of Resource Flow in Myanmar, the Philippines and Bangladesh, Journal of Environmental Economics and Policy Studies, Vol.17, No.3, 407-429, 2015.
- 9) Tomer Fishman, Heinz Schandl, Hiroki Tanikawa: Stochastic Analysis and Forecasts of the Patterns of Speed, Acceleration, and Levels of Material Stock Accumulation in Society, Journal of Industrial Ecology, DOI: 10.1021 / acs.est.5b05790, 2016.
- 10) Alessio Miatto, Heinz Schandl, Tomer Fishman, Hiroki Tanikawa: Global Patterns and Trends for Non-Metallic Minerals used for Construction, Journal of Industrial Ecology, DOI:10.1111/jiec.12471, 2016.

- 11)醍醐市朗、大木慧、後藤芳一：主成分分析による経済の発展に伴う鉄鋼材の需要変遷モデルの構築.  
開発技術 22, 89-100 , 2016.
- 12)Ichiro Daigo, Leo Fujimura, Hideo Hayashi, Eiji Yamasue, Satoshi Ohta, Tran Duc Huy, Yoshikazu Goto:  
Quantifying the total amounts of tramp elements associated with carbon steel production in Japan. ISIJ Int.  
57(2), 2017.
- 13)Ichiro Daigo, Kohei Iwata, Masahiro Oguchi, Yoshikazu Goto: Lifetime distribution of buildings decided by  
economic situation at demolition : D-based lifetime distribution. Procedia CIRP (accepted) 2017.
- 14)金城鐘顕、吉田圭介、奥岡桂次郎、谷川寛樹：鉄軌道輸送システム整備に関わるマテリアルストック・フロー分析，環境情報科学会誌、Vol.45(4), Dec, 2016.
- 15)Ichiro Daito: Material Stock and the End-of-life Recycling Rate of Steel, Steel Construction: Today &  
Tomorrow, No.46, pp.9-12, 2015.
- 16)Oguchi M., Fuse M.: Regional and longitudinal estimation of product lifespan distribution: A case study for  
automobiles and a simplified estimation method, Environmental Science and Technology, Vol.49, pp.1738-1743,  
2015.
- 17)Hiroki Tanikawa, Tomer Fishman, Keijiro Okuoka, Kenji Sugimoto: The Weight of Society Over Time and  
Space: A Comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan, 1945–2010, Journal of Industrial  
Ecology, Vol.19, No.5, pp.778-791, DOI: 10.1111/jiec.12284, 2015.
- 18) Tomer Fishman, Heinz Schandl, Hiroki Tanikawa: Stochastic Analysis and Forecasts of the Patterns of Speed,  
Acceleration, and Levels of Material Stock Accumulation in Society, Journal of Industrial Ecology, DOI:  
10.1021 / acs.est.5b05790, 2016.
- 19)Ichiro Daigo, Kohei Iwata, Ikumi Ohkata, Yoshikazu Goto: Macroscopic Evidence for the Hibernating Behavior  
of Materials Stock, Environ. Sci. Technol, 49 (14), pp 8691–8696, 2015.
- 20)木下卓大, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹：福島県沿岸地域北部におけるフライアッシュの建設資材利用に関する地域循環圏の検討, 土木学会論文集G(環境), Vol.71, No.6, pp.II\_133-II\_138, 2015.
- 21)青柳淳之介, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹：名古屋市中心部における4d-GISを用いた都市の経年変化によるMSFAに関する研究, 土木学会論文集G(環境), Vol.71, No.6, pp.II\_467-474, 2015.
- 22)松井健吾, 長谷川正利, 高木重定, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹：低物質化に向けた日本全国の土石系資源  
ストックフローモデルの構築、土木学会論文集G(環境), Vol.71, No.6, pp.II\_309-317, 2015.
- 23)山下剛弥, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹：マテリアルストックデータベースの拡充とストック効果の検討,  
土木学会論文集G(環境), Vol.71, No.6, pp.II\_319-327, 2015.
- 24)舟田享史、醍醐市朗、後藤芳一：鉄鋼材ストック・フローに着目した日本の高度経済成長期における  
需要量変遷の分析, 開発技術, Vol.21, pp.1-13, 2015.
- 25)Ichiro Daito: Material Stock and the End-of-life Recycling Rate of Steel, Steel Construction: Today &  
Tomorrow, No.46, pp.9-12, 2015.
- 26)Oguchi M., Fuse M.: Regional and longitudinal estimation of product lifespan distribution: A case study for  
automobiles and a simplified estimation method, Environmental Science and Technology, Vol.49, pp.1738-1743,  
2015.

- 27) Oguchi M., Daigo I.: Measuring the historical change in the actual lifetimes of consumer durables. Product Lifetimes And The Environment (PLATE) 2017 Conference Proceedings, 319-323, 2017.

< 口頭発表 (国際学会) >

- 1) Alessio Miatto, Hiroki Tanikawa, Heinz Schandl : Modelling stocks and flows of road networks - Case study of the US 1905-2015, 2017.6.25-29, UIC Forumr
- 2) Keisuke Yoshida, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Anthropogenic Disturbance of Germany, 2017.6.25-29, UIC Forumr, US.
- 3) Bungo Nishio, Kenji Sugimoto, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Inter calibration of Radiance Calibrated Nighttime Lights and Quantification of urban dynamics in Southeast Asia, International Symposium on Remote Sensing 2017, 2017.5.17-19, Nagoya University, Japan
- 4) Keisuke Yoshida, Keijiro Okuoka, Hiroki Taniakwa : Study of Anthropogenic Disturbance with Geomorphologic Change、The 12th Biennial International Conference of EcoBalance、2016.10.3-6, Kyoto, Japan
- 5) Ikko Nonaka : Analyzing the influence of zoning on urban metabolism, using 4d-GIS、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
- 6) Satoshi Ono : An evaluation of efficient usage of herbaceous biomass using the road network、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
- 7) Marianne Faith G. Martinico-Perez (Nagoya University), Tomer Fishman, Emee Tan, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa, Anthony Sf Chiu : Material Flow and Stock Accounts in the Philippines: Drivers and Impacts to the Environment、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
- 8) Keisuke Yoshida, Tomer Fishman, Okuoka Keijiro, Hiroki Tanikawa : Automatic spatial detection and estimation of domestic extraction and hidden material flows、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
- 9) Alessio Miatto, Heinz Schandl, Tomer Fishman, Hiroki Tanikawa : Lifespan modelling uncovers urban stock and flow behaviour、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
- 10) Tomer Fishman, Shohei Kuroda, Keijiro Okuoka, Kenji Sugimoto, Hiroki Tanikawa : Shedding light on material stocks: towards a global database of the built environment using satellite imagery、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
- 11) Yi Dou, Satoshi Ohnishi, Minoru Fujii, Liang Dong, Takuya Togawa, Hiroki Tanikawa, Tsuyoshi Fujita : Regional Planning and Assessment System for Heat Exchange Network between Incineration Facilities and

- Industries: Case of Tokyo Metropolis、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
- 12) Cuc Thi Nguyen, Hiroki Tanikawa, Keijiro Okuoka, Tomer Fishman : Evaluation Material Stock of Roadways: The Case Study of Vietnam、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 13) Dong Yang, Chang Chen, Feng Shi, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa ,Yiling Guo : A Study on Metabolism of Urban Buildings by Using 4D-GIS in Hubei Province, China、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 14) Serika Akiyama, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Analysis of amount and age of material stock in building in Nagoya、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 15) Kengo Matsui, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Construction minerals for a low-carbon society: stocks and flows analysis、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 16) Takaya Yamashita, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Material stock and flow in the “Greater Tokyo”、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 17) Hiroki Sato, Hiroki Tanikawa, Keijiro Okuoka : Spatial Analysis of Building Lifespan and 19 Distribution of Building Age in Kitakyushu City with Geo-information、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 18) Kenji Sugimoto, Shohei Kuroda, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa : Material stock estimation using nighttime lights data、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 19) Chansophea Cheak, Hiroki Tanikawa, Keijiro Okuoka, Tomer Fishman, Suguru Suzugaki : Material and Energy Flow of Electricity Generation in Cambodia、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 20) Mitchell Cua Castillon, Tanikawa Hiroki, Okuoka Keijiro, Yoshida Keisuke : Calculation of Mining Anthropogenic 17 Disturbance Using Remote Sensing in Caraga Region, Philippines 、The International Society for Industrial Ecology (ISIE) joint 12th Socio-Economic Metabolism section conference and 5th Asia-Pacific conference、2016.9.28-30, Nagoya, Japan
  - 21) A. Miatto, T. Fisherman, H. Schandl, H. Tanikawa : Lifespan Modeling Uncovers Urban Stock Accumulation and Outflow Forecast Behaviour、Industrial Ecology Gordon Research Conference 、2016.6.19-24, Vermont, United States of America

- 22) T. Fisherman, H. Schandl, H. Tanikawa : Do Countries Reach a Saturation of Material Stock?、Industrial Ecology Gordon Research Conference 、2016.6.19-24, Vermont, United States of America
- 23) I. Daigo, N. Sekine and Y. Goto: Structure of conditions for recycling from urban mine, International Society for Industrial Ecology 2015 Conference,. Surry, 7-10 July 2015
- 24) I. Daigo: Dynamic change of material flow and cyclic use of steel, Workshop on steel stock, Shenyang, Liaoning, China, 24 Oct. 2015
- 25) Oguchi M., Daigo I.: Measuring the historical change in the actual lifetimes of consumer durables. Product Lifetimes And The Environment (PLATE) 2017, Book of Abstracts, 7, 2017.
- 26) Oguchi M.: Revisiting the models for estimating the end-of-life generation of consumer durables. The 9th biennial conference of the International Society for Industrial Ecology and the 25th annual conference of the International Symposium on Sustainable Systems and Technology, 2017 Joint Conference ISIE and ISSST, 2017.

<口頭発表（国内学会）>

- 1) 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 年代間での建築物一致自動判定を用いた東京都市圏における物質ストック・フロー分析, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, 2018.3.2, 名古屋大学
- 2) 正木晃平, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 北九州市 4d-GIS を用いた年都市物質代謝の推計, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, 2018.3.2, 名古屋大学
- 3) 山本大陸, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 退蔵ストックの推計に向けたボトム型アプローチによる物質ストックの推計, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, 2018.3.2, 名古屋大学
- 4) 小野聰, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 木曽川流域を対象とした木材利用の促進による都市と森林の炭素ストックフローの推計, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, 2018.3.2, 名古屋大学
- 5) 野中一鴻, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 4d-GIS を用いた建築物滞留年推計モデルの構築と物質ストック・フロー分析, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, 2018.3.2, 名古屋大学
- 6) 小野聰, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 木材利用の促進が都市と森林の炭素固定に与える影響 -地理情報を用いた東海三県でのケーススタディ-, 第 31 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 2017.12.8, 日本大学
- 7) 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 建物形状及び建物属性情報を用いた建物一致自動判定による物質ストックの推計, 第 31 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 2017.12.8, 日本大学
- 8) 正木晃平, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 建物解体時の築年数に基づく物質停留年数の要因分析- 北九州市 4d-GIS を用いて, 第 31 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 2017.12.8, 日本大学
- 9) 山本大陸, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 退蔵ストックの推計へ向けたボトムアップ型アプローチにより物質ストックの推計, 第 31 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 2017.12.8, 日本大学
- 10) 野中一鴻, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 長期間の都市構造物データベース構築に基づく物質ストック分析 -名古屋市中心部におけるケーススタディ-, 第 45 回環境システム研究発表会, 2017.10.21-22, 大阪大学

- 11) 藤田恭介, 松井健悟, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 建設資材における蓄積と投入・排出をつなぐ物質ストックデータベースの構築, 環境科学会 2017 年会, 2017.9.14-15, 北九州国際会議場
- 12) 小野聰, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 建築物への木材利用促進による炭素固定効果の評価 -木曽川流域における都市と森林の炭素循環-, 環境科学会 2017 年会, 2017.9.14-15, 北九州国際会議場
- 13) 朝隈友哉, 山下剛弥, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : GIS を用いた東京都市圏における 500m メッシュ毎のマテリアルストック分析, 平成 29 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2017.5.27, 大阪工業大学
- 14) 正木晃平, 佐藤大起, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 4d-GIS による構造物を対象とした北九州市の動態分析, 平成 29 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2017.5.27, 大阪工業大学
- 15) 山本大陸, 藤田恭介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 建設物における素材別マテリアルストック・フロー分析, 平成 29 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2017.5.27, 大阪工業大学
- 16) 藤田恭介, 吉田圭介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 日本のインフラ・建築物ストックにみる地域別検討の可視化, 第 13 回 GIS コミュニティフォーラム, 2017.5.17-18, 東京ミッドタウン
- 17) 松井健悟, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 土石系資源ストックフローの将来推計と物質ストック指標の提案, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017.3.3, 金沢大学
- 18) 野中一鴻, 佐藤大起, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 人口統計を考慮した都市構造物のマテリアルストック・フロー分析一名古屋市中心部と和歌山市中心部を対象として一, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017.3.3, 金沢大学
- 19) 小野聰, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 都市の木質化及び建築物長寿命化シナリオに応じた都市と森林における木材ストックフローの空間分析, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017.3.3, 金沢大学
- 20) 藤田恭介, 松井健悟, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 生産統計を用いた建設資材の物質ストック・フローの推計, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017.3.3, 金沢大学
- 21) 西尾文吾, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 東南アジア諸都市を対象とした衛星夜間光による都市動態の定量化, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017.3.3, 金沢大学
- 22) 鈴垣 優 : 地域別建設資材投入原単位と社会条件・自然条件の比較考察、第 30 回環境情報科学 学術研究論文発表会 第 13 回環境情報科学ポスターセッション, 2016.12.5, 日本大学会館
- 23) 藤田恭介 : 建設に関わる排出フローを考慮した建設資材の物質ストックの定量化、第 30 回環境情報科学 学術研究論文発表会 第 13 回環境情報科学ポスターセッション, 2016.12.5, 日本大学会館
- 24) 西尾文吾 : ハイダイナミックレンジ合成衛星夜間光データの光強度補正と都市活動量の時空間分析、第 30 回環境情報科学 学術研究論文発表会 第 13 回環境情報科学ポスターセッション, 2016.12.5, 日本大学会館
- 25) 朱雀健司 : LiDAR を用いた構造物ストック推計のための建築物データの構築、第 30 回環境情報科学 学術研究論文発表会 第 13 回環境情報科学ポスターセッション, 2016.12.5, 日本大学会館
- 26) 鈴垣優, 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 地域特性と社会経済の状況に応じた建設資材投入原単位、公益社団法人環境科学会 2016 年会, ポスター発表, 2016.9.8-9, 東京都市大学 横浜キャンパス

- 27) 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 秋山祐樹(東京大学), 谷川寛樹: 用途地域における利用容積率の実態と物質蓄積ポテンシャルの把握、公益社団法人環境科学会 2016 年会, ポスター発表, 2016.9.8-9, 東京都市大学 横浜キャンパス
- 28) 小野聰, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 愛知県の木材ストック・フローと炭素固定量の定量化に関する研究、公益社団法人環境科学会 2016 年会, ポスター発表, 2016.9.8-9, 東京都市大学 横浜キャンパス
- 29) 野中一鴻, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 人口推移を考慮した構造物の物質蓄積量と更新に伴う物質フローの比較、公益社団法人環境科学会 2016 年会, ポスター発表, 2016.9.8-9, 東京都市大学 横浜キャンパス
- 30) 西尾文吾, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 衛生夜間光データを用いたアジア諸都市の空間分布と都市動態の定量化、公益社団法人環境科学会 2016 年会, ポスター発表, 2016.9.8-9, 東京都市大学 横浜キャンパス
- 31) 藤田恭介, 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 生産統計に基づく社会基盤・建築物に投入・蓄積された建設資材量の推計、公益社団法人環境科学会 2016 年会, ポスター発表, 2016.9.8-9, 東京都市大学 横浜キャンパス
- 32) 鈴垣優, 稲垣空, 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 建築物の資材投入原単位における構造別・資材別の比較分析、平成 28 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2016.6.11 立命館大学 BKC
- 33) 西尾文吾, 黒田将平, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 衛星夜間光を用いた東南アジアの都市の動態評価、平成 28 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2016.6.11 立命館大学 BKC
- 34) 藤田恭介, 稲垣空, 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 社会基盤施設・建築物における素材別物質ストック・フロー分析、平成 28 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2016.6.11 立命館大学 BKC
- 35) 吉田圭介, 金城鐘顯, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: マテリアルストックに関わる環境負荷～人為的攪拌と隠れたフロー～、第 12 回 GIS コミュニティフォーラム マップギャラリー, ポスター発表, 2016.5.26-27, 東京ミッドタウン
- 36) 野中一鴻, 佐藤大起, 青柳純之助, 黒田将平, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 持続可能な未来をつくる MISO プロジェクト～蓄積された資源を有効活用するために～、第 12 回 GIS コミュニティフォーラム マップギャラリー, ポスター発表, 2016.5.26-27, 東京ミッドタウン
- 37) 黒田将平, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 衛星夜間光を用いた都市域の抽出と空間活動量に基づく建設ストックの推計, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 38) 館文人, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: ストック型社会の形成に向けた建設系マテリアルストック評価指標に関する研究, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 39) Castillon Mitchell Cua, 吉田圭介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: Calculation of Mining Anthropogenic Disturbance Using Remote Sensing in Caraga Region, Philippines, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.

- 40) 佐藤大起, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, 深掘秀敏: 北九州市における地域特徴と建築物平均年齢との関係性, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 41) 金城鐘顕, 吉田圭介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 一都四県の鉄軌道輸送システムを支えるマテリアルストックの推計, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 42) 稲垣空, 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 土石系資源の都道府県別循環利用と二酸化炭素排出量の推計, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 43) 小野聰, 宮川結衣, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 高速道路整備事業に関わる草木資源の処理方法と再資源化の有効利用評価, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 44) 野中一鴻, 青柳淳之介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 土用途地域の経年変化による都市構造物の物質蓄積量・物質代謝の定量化, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2016.
- 45) 稲垣空: 土石系資源を対象とした物質ストック・フローチャートの構築, 第 29 回環境情報科学学術研究論文発表会第 12 回環境情報科学ポスターセッション, 2015.
- 46) 小野聰: 高速道路整備事業に関わる草木資源の処理方法と再資源化の有効利用評価, 第 29 回環境情報科学学術研究論文発表会第 12 回環境情報科学ポスターセッション, 2015.
- 47) 野中一鴻, : 用途地域の変遷に伴う都市構造物の物質代謝の定量化, 第 29 回環境情報科学学術研究論文発表会第 12 回環境情報科学ポスターセッション, 2015.
- 48) 八柳有紗, 谷川寛樹, 橋本征二: ストック型社会に向けたストック使用効率の評価 - 建設物を対象としたケーススタディ-, 第 43 回環境システム研究論文発表会, 2015.
- 49) 木下卓大, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 福島県北部沿岸地域におけるフライアッシュのクリンカ代替利用に関する地域循環圏の検討, 第 43 回環境システム研究論文発表会, 2015.
- 50) 青柳淳之介, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 名古屋市中心部における 4d-GIS を用いた都市の経年変化による MSFA に関する研究, 第 43 回環境システム研究論文発表会, 2015.
- 51) 松井健吾, 長谷川正利, 高木重定, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 低酸素化に向けた日本全国の土石系資源ストックフローの将来シナリオ分析, 第 43 回環境システム研究論文発表会, 2015.
- 52) 山下剛弥, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: マテリアルストックデータベースの拡充とストック利用効率の検討, 第 43 回環境システム研究論文発表会, 2015.
- 53) 谷川寛樹, 森口祐一, 橋本征二, 南斎規介: 資源価値を引き出す次世代マテリアルストックに関する研究, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 54) 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 居住密度に応じた都市圏の建築物需要量と二酸化炭素排出量の将来推計, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 55) 吉田圭介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 地形変化を伴う人為的攪拌に関する研究, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 56) 木下卓大, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 建設資材の地域循環圏形成に関わるフライアッシュの多様な地域循環利用オプションの検討, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 57) 黒田将平, 杉本賢二, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: リモートセンシングを用いたアジア都市の空間活動量の変遷に関する指標化, 環境科学会 2015 年会, 2015.

- 58) 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 低物質・低炭素化に向けた都道府県別土石系ストック・フローの将来シナリオ分析, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 59) 山下剛弥, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 一都三県を対象とした建築物・インフラストラクチャーの変遷に関する基礎的研究, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 60) 佐藤大起, 青柳淳之介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, 深堀秀俊: 都市計画の変遷と建設系マテリアルストック・フローとの関係性, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 61) 金城鐘顕, 吉田圭介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 鉄軌道輸送システム整備に関わる経年マテリアルストック・フロー分析, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 62) 野中一鴻, 青柳淳之介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 用途地域の違いによる都市構造物の物質代謝特性に関する基礎的研究 -4d-GIS を用いた和歌山市中心部におけるケーススタディ-, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 63) 小野聰, 宮川結衣, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 高速道路整備事業に関する草本資源の有効利用ポテンシャル評価, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 64) 稲垣空, 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 建設部門の低物質・低炭素化に向けたセメントのマテリアルストック・フロー分析, 環境科学会 2015 年会, 2015.
- 65) 野中一鴻, 青柳淳之介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 和歌山市中心部をケーススタディとした用途地域別の耐用年数とマテリアルストック・フローの推計, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2015.
- 66) 小野聰, 宮川結衣, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 道路整備事業に関わる草本資源の有効利用ポテンシャル評価, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2015.
- 67) 朱雀健司, 黒田将平, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: リモートセンシングを用いたマテリアルストック推計の手法の検討, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2015.
- 68) 稲垣空, 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 都道府県における土石系資源のマテリアルストックフロー分析, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2015.
- 69) 金城鐘顕, 吉田圭介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: DEM を用いた鉄道整備に関わるマテリアルストック・フローの 3D 解析, 第 11 回 GIS コミュニティフォーラム, 2015.
- 70) 山下剛弥, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: マルチスケール型の経年マテリアルストック推計, 第 11 回 GIS コミュニティフォーラム, 2015.
- 71) 佐藤大起, 青柳淳之介, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 北九州市における 4 次元型建物詳細データを用いた将来廃棄物量の推計, 平成 27 年度廃棄物資源循環学会, 2015.
- 72) 松井健吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 日本全国を対象とした建設廃棄物の道路用再生骨材利用に関するシナリオ分析, 平成 27 年度廃棄物資源循環学会, 2015.
- 73) 松井大輔, 醍醐市朗, 後藤芳一: 引張機能量による普通鋼需要量の評価手法の構築, 日本鉄鋼協会 第 170 回秋季講演大会, 福岡, 16-18.Sep. 2015, PS-18
- 74) 醍醐市朗: ライフサイクル思考に基づく鉄鋼材料の社会的価値を高める 10 の方策, 日本鉄鋼協会 第 170 回秋季講演大会, 福岡, 16-18.Sep. 2015

- 75) 松井大輔, 醍醐市朗: 引張機能量による普通鋼ストック量の評価手法の構築, 環境科学会 2015 年会, シンポジウム-4 (2015 年 9 月)
- 76) 鶴房佑樹, 中谷隼, 森口祐一: 災害廃棄物の発生量推計のための地域別物質ストック分析, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会、柏, 千葉, B2-07. Mar. 2016.
- 77) 松井大輔, 醍醐市朗, 後藤芳一: 物質のライフサイクルを通した機能と機能量の評価手法の構築, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会、柏, 千葉, B2-02, 2-4. Mar. 2016.
- 78) 大木慧, 醍醐市朗, 後藤芳一: 主成分分析による用途別鉄鋼材需要量の時系列変化の分析, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会、柏, 千葉, D2-09, 2-4. Mar. 2016.
- 79) 醍醐市朗, 畑山博樹, 中島謙一, 山末英嗣, 松八重一代, 小林能直: 素材の社会的価値評価のための枠組みの検討, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会、柏, 千葉, P2-32, 2-4. Mar. 2016

## 英文サマリー

In order to better understand the effects of resource consumption on the natural environment, the research field of material flows and stock accounting offers systematic methods of analysis. The material flow in Japan calculated by the Ministry of Environment covers inflow and outflow, and net addition of stock(NAS), however it doesn't indicate the material stock which has been accumulated in society. Material stock is closely related to services provided to society and the resource value recycled from output or demolish of stocks. This research focuses on the importance of material stock to achieve welfare, and aims to evaluate the time-series quantity of material stock in four steps, for the sake of the necessity of knowledge and information to clarify the material stock accumulated in Japan. In the first step, cases and patterns are collected domestically and internationally in order to examine adaptability to Japan. They are segmented and classified on the basis of structural objects and instruments. In the second step, several methodologies to evaluate material stocks quantitatively are presented evolved from the qualitative assessment in the first step. The specific case studies are examined based on each case. In the third step, in order to measure actual mass of material stock by year, a method of statistical processing is established on a high level which fits national census requirements. Additionally, the question of how to figure out material stock is examined at a practical level. In the last step, the establishment of a stock-type society and its effects on environmental and economical aspects is evaluated. Analysis of the driving forces of material stock reveals the linkage between welfare and material stock. The knowledge accumulated with these steps can contribute to integrate three kinds of societies: low carbon society, sound material-cycle society, and natural symbiosis society. This study builds a material stock and flow model, and presents Sankey diagrams for the visualization of the results.

(天然資源の消費による影響をより良く理解するために、物質フロー・ストック勘定の研究領域ではシステム的な分析手法が求められている。環境省による日本の物質フローは資源の投入と排出に加え蓄積純増を網羅的に算出しているが、これまで社会に蓄積された物質ストックは示されていない。物質ストックは社会に提供されるサービスと排出された物資の循環による資源化価値に密接に関わっている。本研究は、豊かさをもたらす物質ストックの重要性に着目し、日本に蓄積された物質ストックを明らかにする知見の必要性のために、四段階においてマテリアルストックの時系列での定量評価を目的とする。第一段階では、国内外の資源ストック分析の事例を収集し、日本に適用する場合の検討を行う。豊かさを生み出す物質ストックとはどのようなものか概念的な整理を行った上で、具体的な事例の整理を行う。第二段階では、物質ストックの環境・経済面での定量的評価として、具体的な事例整理に基づき、定性的評価から定量的評価へ結びつけるための分析・評価手法の検討と個別事例に基づくケーススタディを行う。第三段階では、我が国に蓄積された物質ストック状況の把握として、物質ストックを定量的かつ経年に計測するために必要な統計処理手法を確立し、政策に必要なデータとして実務ベースの物質ストック把握手法を検討する。最後の段階では、ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価として、推計した物質ストックがどのような要因に基づくものであるのか分析し、豊かさと物質ストックとの関係性について環境面、経済面から検討を行う。これら4項目の作業を実施することで、ストック型社会が三社会構築にどのように貢献できるのか明らかにする。)

#### 4. 平成 28 年度の進捗状況と成果（詳細）

##### 序論

物質ストックとは、社会に滞留し、人々の豊かさを引き出すサービスを提供するもので、耐久消費財や建築物、土木構造物など社会に不可欠なものであるが、国土の強靭化、人口減少・高齢化やインフラの維持管理費の増大といった社会の変化に対応したメリハリのあるストックの適正管理が求められる。既存の物質フローに加えて物質ストックを把握することは、貴重な資源の有効利用や将来の廃棄物量の削減に向けて重要であると同時に潜在的な二次資源を把握することにつながり、循環資源の高度利用と資源確保に資するものである。物質ストックを適正管理し、社会をフロー型からストック型に導くことで、自然資源投入量の低減化による自然環境への負荷低減および低炭素化にもつながり三社会統合化にむけた布石にもなる。

平成 15 年に始まった循環型社会形成基本計画では、その第三次計画までフローに着目した指標を元に目標を設定し、循環型社会の形成状況を計測してきた。しかし、第三次計画では、物質のフローとともに物質の「ストック」の重要性についても指摘しているが、ストックに関する指標については今後の検討課題として扱われている。循環型社会形成に資するストックに関する国内、海外での研究事例は少なく、循環型のストック型社会形成を目指すための研究が求められている。

以上より、本研究では、我が国に蓄積されている資源のストックに関する知見の必要性から、ストック型社会形成に資する豊かさを生み出す物質ストックを定量的・経年的に推計・評価を行った。具体的には、以下の 4 項目を中心に調査・検討を行った。

##### (1) 物質ストックの区分と具体事例の整理：

国内外の資源ストック分析の事例を収集し、日本に適用する場合の検討を行った。豊かさを生み出す物質ストックとはどのようなものか概念的な整理を行った上で、具体的事例の整理を行った。

##### (2) 物質ストックの環境・経済面での定量的評価：

具体的な事例整理に基づき、定性的評価から定量的評価へ結びつけるための①分析・評価手法の検討と②個別事例に基づくケーススタディを行った。

##### (3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握：

物質ストックを定量的かつ経年的に計測するために必要な③統計処理手法の確立し、政策に必要なデータとして隨時更新可能な④実務ベースの物質ストック把握手法を検討した。

##### (4) ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価：

推計した物質ストックがどのような要因に基づくものであるのか分析し、豊かさと物質ストックとの関係性について環境面、経済面から検討を行った。

これら 4 項目の作業を実施することで、豊かさを生み出す物質ストックとはなにか、どのように実務的に定量化し、評価するのかを検討し、ストック型社会が三社会構築にどのように貢献できるのか明らかにした。

## 本論

### (1) 物質ストックの区分と具体事例の整理

本研究では、物質ストックの区分について整理を行う。まず「ストック」という言葉が対象とする範囲は多様であり、人工資本だけでなく自然資本や社会関係資本等まで含めた幅広い概念となっている(図-1)。また、ストックの対象範囲によってストックが生み出す価値も多様である。本研究では、このうち構造物や製品等の「人工資本」を対象として検討を行うが、製品中に含まれる有害物質も対象とする。

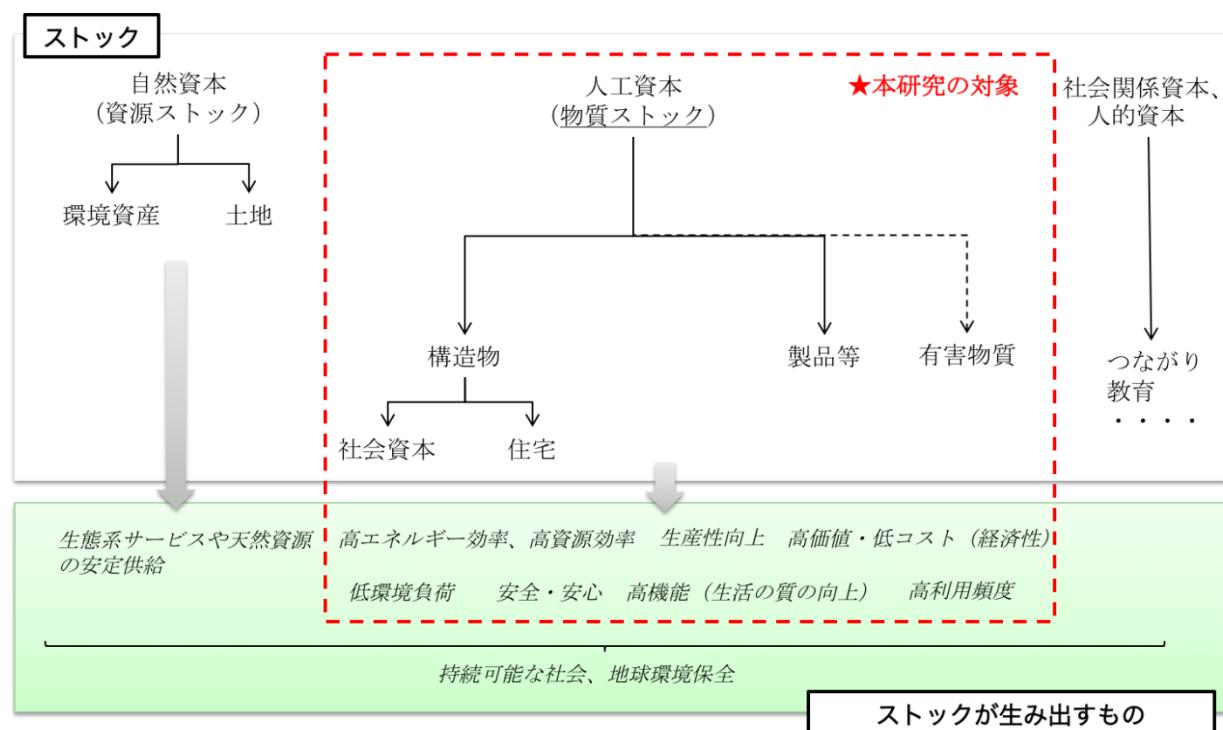


図-1 ストックの区分整理

次に、これまでに整理を行った「物質ストック」に着目したストックの区分方法について紹介する。第三次循環基本計画の策定段階においてはストックの概念について下図のように整理が行われている(図-2)。従来から環境行政では物質ストックについて「豊かさを生み出す有用なストック／潜在的な廃棄物となり得る価値が低い負のストック」、または「使用価値／資源化価値」を評価軸としてストック型社会形成の必要性について強調してきたものの、現時点では具体的な施策に乏しい状況である。そこで、本資料では行政が物質ストックに係るデータをより有効活用することを目的として、具体的な環境行政の施策や指標を整理済みの物質ストックの評価軸に位置づける作業に取り組んだ。

- 循環型社会の構築に当たっては、物質のフローに加え、ストックについても考えていくことが重要。
- 第2次循環型社会形成推進基本計画では、より良いものが多く蓄積され、それを活かした豊かさが生まれる『ストック型社会』の形成が掲げられている。
- そのため、第3次循環型社会形成推進基本計画では、一步踏み込んでストックを取り上げ、政府や国民がストックについて正面から考えるきっかけとしてはどうか。

※ ここで対象としているのは人為的な活動により蓄積されるストック

ストックを整理する視点として、I 使用価値の有無、II 資源化価値の有無、が考えられる。  
 【使用価値 高】&【資源化価値 高】 一できるだけ長く使い続け、使い終わった後には適切にリサイクルすることが求められる。  
 【使用価値 高】&【資源化価値 低】 一中古、賃貸等により継続的に有効活用（長期利用・リユース）することが求められる。  
 【使用価値 低】&【資源化価値 高】 一退廃等されている場合は、資源の有効利用（リサイクル）することが求められる。  
 【使用価値 低】&【資源化価値 低】 一適正に管理をするか、廃棄処理を行うなどの取組が求められる。

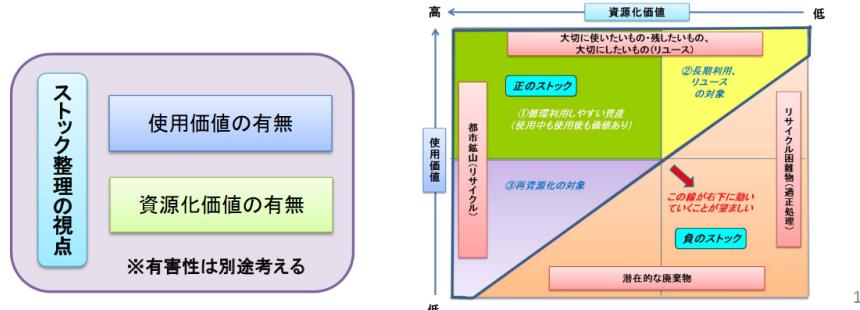


図-2 物質ストックの概念の整理

(出所) 環境省 (2012)

また、物質ストックに係る事例調査に関してまとめたストックの区分整理を表-1に示す。本研究に最も大きく関わる循環基本計画(環境省)における対象は物質ストックであり、前述した概念の整理と同様に使用価値の有無と資源化価値の有無によって、豊かさを産み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」を構築することを目的のひとつと掲げている。他方、同じ環境省での上位計画である環境基本計画では、国土全体を対象として持続可能な社会の基盤となる国土・自然の維持・形成をしており、自然資本・人工資本に加え国民の健康を衛する社会的関係資本なども対象としているが、本研究ではここに示す人工資本を対象としていることで定量的な評価を展開する。また、日本の社会資本(内閣府)は、国富調査の流れをくみ、限られた財源の本での適切な社会資本サービスの提供を目的として、社会資本を金額ベースで計上している。社会資本の整備水準の把握により、適切な社会資本政策の検討及び生産関数など経済学的枠組みでの基礎的な資料となっているが、物質のストックとフローの対応には用いることが困難である。物質ストック勘定体系の構築とその適応による廃棄物・資源管理研究(橋本征二他)では、物質ストックを対象にフローを統合した物質管理のための指標の開発や物質ストックの定量化手法の開発や体系化、物質ストック勘定の適応を検討している。しかし、算出方法が複雑であり、毎年継続して実施していく点で、実務ベースでの勘定手法としては適応がやや困難である。

以上の通り、事例調査の整理より多様なストックの区分について示されたが、過去から現在、今後について扱いが容易なストック勘定手法については、具体的に提示されておらず、ストックとフローが対応したデータベース整備が必要である。

表-1 事例調査によるストックの区分整理

	目的・狙い	対象	方向性	備考
①循環基本計画(環境省)	豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」	物質ストック	✓ 値値の高い正のストックは増加 ✓ 潜在的な廃棄物となり得る価値の低いストックは抑制・適正処理	使用価値の有無と資源価値の有無でストックを分類
②環境基本計画(環境省)	持続可能な社会の基盤となる国土・自然の維持・形成 ※「環境の質」の視点もある	国土	✓ 國土のストックとしての価値を増大(吸収源や生態系サービス等)→自然資本 ✓ 環境負荷が小さいストックの増加(質を高め、適切に維持管理・更新)→人資本 ✓ 良好的な環境の保全(健康と環境を守る支店)	
③低炭素・資源循環・自然共生政策の統合的アプローチによる社会の構築(中央環境審議会)	ストックとしての國土の価値の向上	国土	✓ 気候変動の緩和・適応に対応した空間施策 ✓ 循環共生型の地域づくりと自然との共生を軸とした國土の多様性の維持 ✓ 環境インフラを活用した社会インフラの再構築	
④日本の社会資本(内閣府)	限られた財源のもとでの適切な社会資本サービスの提供	社会資本	✓ 需要創出効果:雇用の誘発、消費拡大 ✓ 整備効果:生産性向上、生活の質の向上	社会資本の整備水準を把握するとともに、将来に向けた社会資本政策を検討するための基礎的な資料
⑤ストック型社会論(次世代システム研究会)	ストック型社会への転換が、生活の豊かさ、経済の安定、資源的自立、地球環境保全に繋がる	? (主に住宅?)	✓ 長寿命型社会資本の世代間蓄積(ゆとりの蓄積) ✓ 資源自立圏形成と次世代の資源的(国家)安全保障 ✓ 持続可能な人間社会と地球環境	現在のフロー型(短寿命型)の社会構造からストック型(長寿命型)の社会構造へ移行
⑥平成25年度環境経済勘定セントラルフレームワークに関する検討作業報告書(内閣府)	一 (環境資産ストックの蓄積及び変化を説明するための多目的な概念的枠組み)	環境資産ストック(土地、自然資源)	✓ 環境と経済を統合し、「持続可能な開発」を実現する見地から、環境と経済の相互関係が把握可能な統計体系の確立	環境経済勘定セントラルフレームワークは、国連統計委員会(UNSC)が2012年に開催した第43回会議において、同委員会により条件付きながら国際基準として採択。環境経済勘定(以下、SEEAという)にとって初めての国際統計基準。
⑦物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物・資源管理研究(橋本征二他)	物質フローの勘定体系と整合した物質ストックの勘定体系の考察(物質ストックの種類について包括的に検討)	物質ストック	✓ 物質ストックの種類:在庫、備蓄、使用中の最終製品、冬眠中の使用済み製品などの製品、管理された埋立地の廃棄物、散逸した物質	フローとストックを統合した物質管理のための指標の開発や物質ストックの定量化手法の開発や体系化、物質ストック勘定の適用を検討。
⑧Economy-wide material flow accounts and derived indicators a methodological guide (European Commission)	国全体のマテリアルフロー会計と指標に関するガイドライン(マテリアルフロー会計におけるストックの位置づけを整理)	物質ストック	✓ 物質ストックの定量化の考え方記載	

続いて、第三次循環基本計画で取り上げられたもう一つの評価軸である「使用価値」と「資源化価値」の組み込みについて検討する。「使用価値」には様々な概念が含まれているので本資料では環境行政の事業のニーズと照らし合わせて以下の8項目に細分化した。

- ・ エネルギー効率
- ・ 資源効率
- ・ 環境負荷
- ・ 生産性
- ・ 値値・コスト
- ・ 機能
- ・ 利用頻度
- ・ 安全・安心

「豊かさを生み出す有用な物質ストック」、「適切に管理する必要がある物質ストック」としてそれぞれ

に示した施策に関する個別の物質ストック（機器、資本など）についてそれぞれ最も関係がある「使用価値」、「使用済価値」へのマッピングを行った（表-2）。

さらに、以上の検討で挙がった事例について一部を集約した上で「我が国の物質フロー・ストック図」へ位置づけた（図-3）。

表-2 物質ストックの評価軸別の環境政策に関する事例

ストックの評価軸	豊かさを生み出す物質ストックの事例	適切に管理する必要がある物質ストックの事例
使用価値	エネルギー効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 次世代自動車</li> <li>・ 高気密・高断熱住宅</li> <li>・ 高効率発電所</li> </ul>
	資源効率	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 希少金属の回収が容易な使用済み小型家電（環境配慮設計）</li> <li>・ 長期利用住宅、長期利用製品</li> </ul>
	環境負荷	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 環境配慮設計製品</li> </ul>
	生産性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 投資効率の高い社会インフラ</li> </ul>
	価値・コスト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 住宅（低コスト）</li> </ul>
	機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ライフライン</li> </ul>
	利用頻度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高利用頻度な建築物</li> <li>・ シェア経済</li> </ul>
	安全・安心	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最終処分場（残余状況）</li> </ul>
資源化価値		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃小型家電（希少金属回収可能）</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アスベスト、PCB 含有製品</li> </ul>

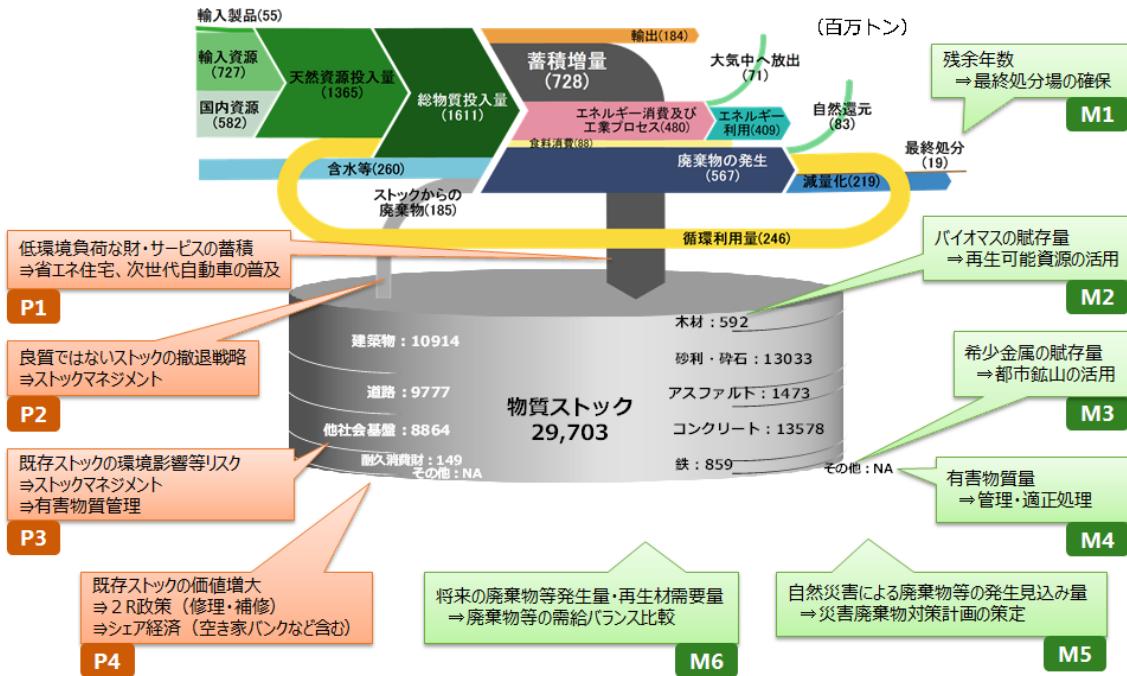


図-3 環境政策の視点からみた物質ストックデータの活用イメージ

また、本調査では、ストック型社会形成に資する豊かさを生み出す物質ストックを定量的・経年的に推計・評価として、情報収集や開催した有識者会合での議論の結果を踏まえ、推計・評価を行う物質ストックの考え方を整理した。物質ストック・フローに関する概念図等を図-4、図-5、表-3に示した。

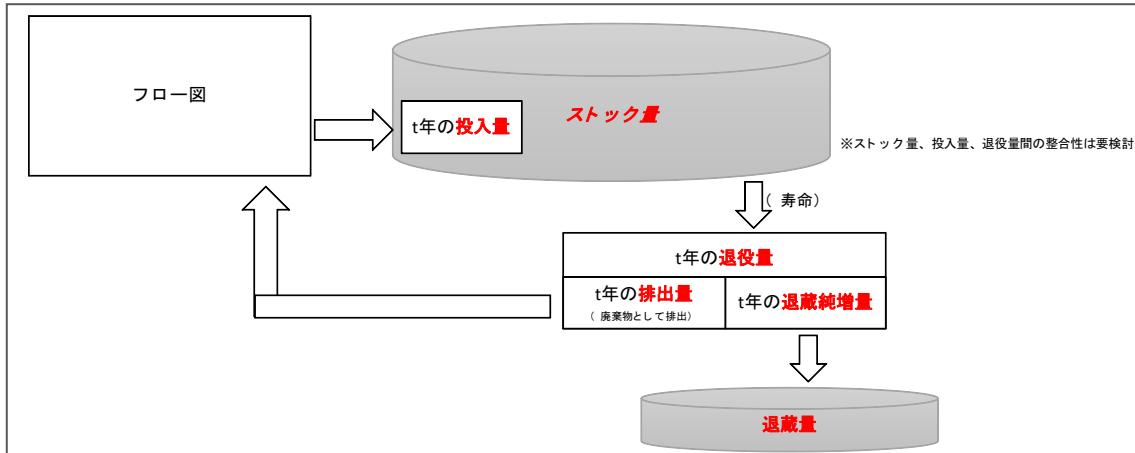


図-4 物質フロー・ストック図に関する考え方・言葉の整理結果 1

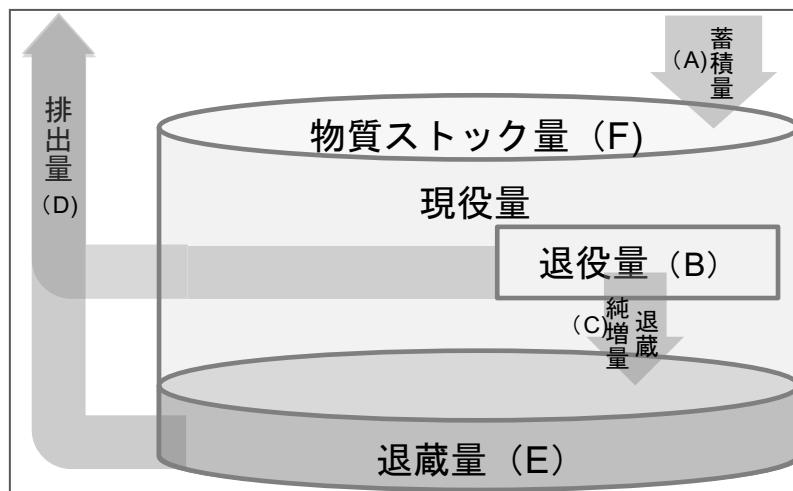


図-5 物質フロー・ストック図に関する考え方・言葉の整理結果2

表-3 物質フロー・ストック図に関する考え方・言葉の整理結果と推計方法

	定義した言葉	推計方法
A	蓄積量（投入量）	各種統計及び組成情報・資材原単位等
B	退役量	A（蓄積量）及び寿命関数から推計
C	退蔵純増量	B（退役量）－D（排出量）
D	排出量	廃棄物等の統計値
E	退蔵量	T年分のC（退蔵純増量）の合計値
F	ストック量	ストック関連統計及びGIS情報等

## (2) 物質ストックの環境・経済面での定量評価

### (2)-1 分析・評価手法の検討

物質ストックの定量評価を行うには、基盤となるデータベース整備が必要である。上述のように区分整理した人工資本（物質ストック）を対象に、Top-down と Bottom-up にてデータベース整備を行う。

Top-down アプローチでは、環境省による日本の物質フローの算定と同様の手法を用いた。貿易統計を中心に、各種統計を基に、生産及び廃棄に係る投入量及び排出量を推計し、素材種ごとに集計を行った。物質フローより、投入量と排出量の差を取ることで社会への蓄積純増を算出し、ストックに関わる排出量よりストックからの廃棄量を推計した。図-6 に推計のフレームワークを示す。

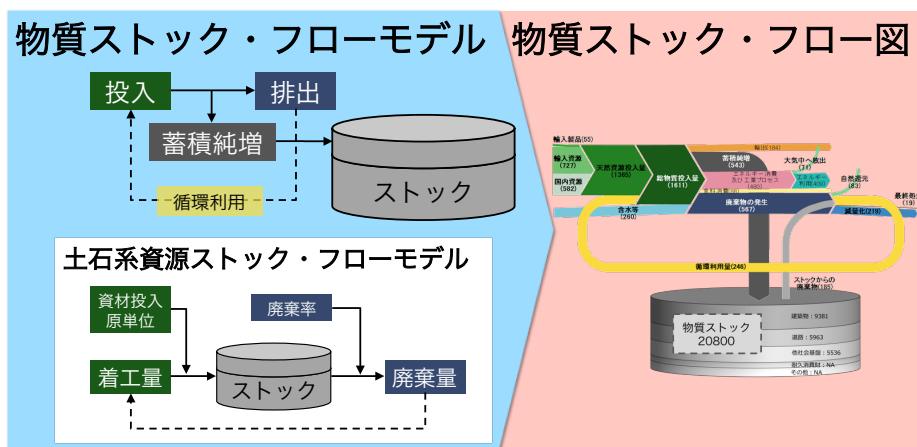


図-6 推計フレームワーク

対象を日本全国とし、物質フローを推計した。物質フローは入口側と出口側があり、入口側の項目を衣類や家具や電気製品などの輸入製品、化石燃料や食料資源などの輸入資源、化石燃料や金属・非金属鉱物、食糧資源、その他資源、農業残さなどの国内資源、天然資源投入量、総物質投入量、廃棄物等の含水がほとんどを占める含水等とし、出口側を鉄鋼や機械類や食料品などの輸出、蓄積純増、エネルギー及び工業プロセス排出、食料消費、廃棄物等の発生、自然還元、循環利用、減量化、最終処分とした。輸入製品、輸入資源、国内資源、輸出、エネルギー消費及び工業プロセス排出は表-4 の統計から推計した。天然資源投入量は輸入製品、輸入資源、国内資源の合計値であり、総物質投入量は天然資源投入量と循環利用量の合計値である。エネルギー消費及び工業プロセスは二酸化炭素や酸素など分離して大気中へ放出されるものと化石燃料などエネルギー利用されるもので分かれる。廃棄物の発生は自然還元、循環利用、最終処分、減量化に分かれる。食糧消費は、食糧・飼料の国内供給量から家畜の排せつ量、下水汚泥量・し尿量、食品廃棄物の減量化量及び最終処分量、食品廃棄物の飼料以外の用途での循環利用量を差し引いて算出した。蓄積純増は、入口側の合計から輸出、エネルギー消費及び工業プロセス、食糧消費、廃棄物等の発生の項目を引いて算出した。また廃棄物の発生のうち、金属くず、ガラスくず及び陶磁器くず、廃プラスチック類、木くず、繊維くず、ゴムくず、がれき類、鉄スクラップ、廃自動車などストックに関連するものを算出し、一旦社会に蓄積されたのちに廃棄されるストックからの廃棄物とした。

表-4 物質フローモデル作成資料一覧

項目	統計資料(1990-2012)
輸入製品	総合エネルギー統計、貿易統計
輸入資源	貿易統計
国内資源	総合エネルギー統計、資源・エネルギー統計年報、資源統計年報、鉱業便覧、碎石動態統計調査、作物統計、野菜生産出荷統計、果樹生産出荷統計、漁業・養殖業生産統計、花き生産出荷統計、木材受給報告書
輸出	総合エネルギー統計、貿易統計
エネルギー消費・工業プロセス排出	総合エネ統計より推計

また、都道府県別に建築部門と道路部門を対象としたストック・フローモデルを作成した。土石系資源の対象を建築部門では碎石、砂利、セメントとし、道路部門では天然資源と再生骨材の2種類の碎石と砂利とし、土石系資源の投入・廃棄量を2010年から2050年まで推計した。以下にモデルの構築に使用した土石系資源のデータに関する記述を行う。セメントは一般社団法人セメント協会の需要部門別販売高の建築(官公需)と建築(民需)の合計値を使用した。碎石は経済産業省製造産業局住宅窯業建材課の碎石等統計年報を使用し、コンクリート用部門をセメントの出荷量と同割合で配分されると仮定して按分した値を建築物の出荷量とし、道路用部門の値をそのまま道路の出荷量とした。砂利は経済産業省製造産業局住宅窯業建材課の砂利採取業務状況報告書の統計のうち玉石、海、他の部門に該当する量は建築や道路に用いられないため除外した。土石系資源のデータのうち砂利のみ単位が体積なため、一般社団法人日本砂利協会へのヒアリングより得られた1m<sup>3</sup>あたり1.6tという値を用いて重量への変換を行った。需用量には参考資料の値をもとに、コンクリート用：道路・道床用=7:3と設定したのち碎石と同様にコンクリート用をセメントの出荷量で按分し、コンクリート用を建築部門の投入量、道路・道床用を道路部門の投入量とした。

建築部門では、土石系資源の出荷量を建設着工面積で除することで資材投入原単位を算出し、原単位に将来床面積を乗じることで将来の土石系資源の投入・廃棄量を推計した。着工面積は建築着工統計の時系列データを使用し、将来床面積は人口問題研究所のパラメータからコーホートモデルを組んで推計し、人口の将来推計値に世帯当たりの人口、世帯当たりの床面積のデータを用いることで推計した。

道路部門では、土石系資源の出荷量を道路面積で除することで資材投入原単位を算出し、原単位に将来道路面積を乗じることで投入・廃棄量を推計した。道路面積は道路統計年報の新規道路改良延長の時系列データを使用し、将来改良延長は将来人口より推計した。

次に、建築物の推計について、手法の違いによる比較を行った。本項でのフレームワークを図-7に示す。使用年数モデル法により推計された建築物の延床面積は建築物の耐用年数の変化から延床面積の乖

離が見られる。そこで1990年以降は統計から減失床面積を追えることから蓄積増分法により延床面積を推計した。蓄積量は原単位法によるボトムアップ方式で推計を行った。

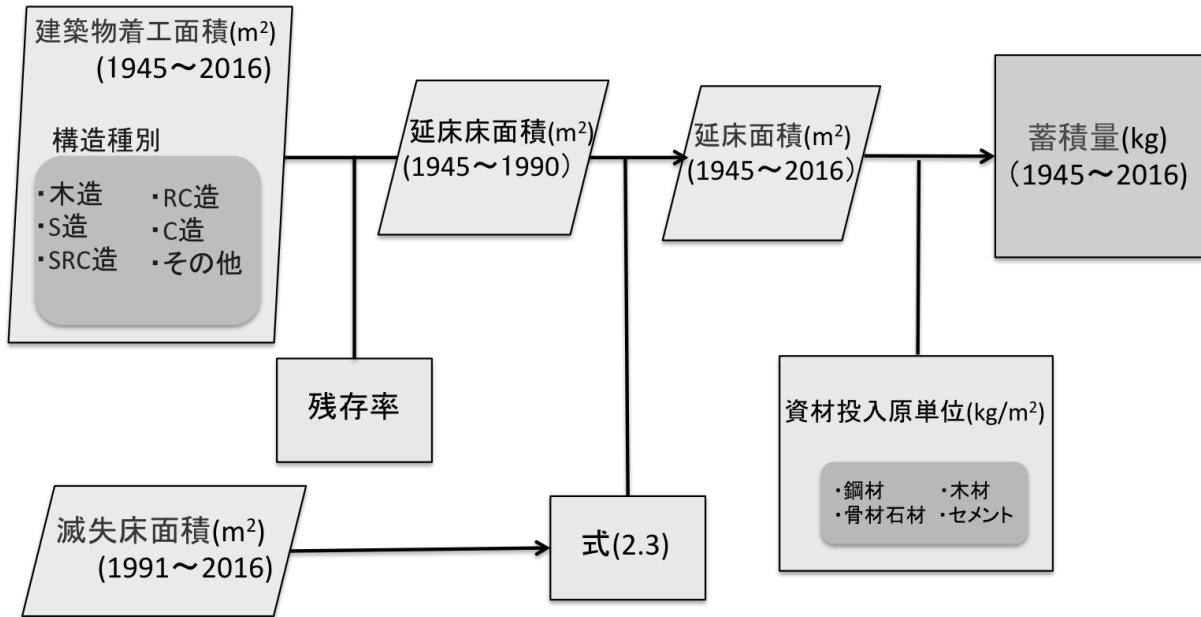


図-7 蓄積量推計フロー

### i) 使用年数モデル法

延床面積に関して、現行の統計から構造別、建設年代別に把握することができないため、長岡ら(2009)の手法に習い、建築物は建設された年次に関係なく、ある一定の確率分布で建築物は解体されていくと仮定し、着工面積と残存率を用いることで延床面積を式(1)により算出した。残存率については小松ら(1992)が検討した建築物の6つの構造種別(木造、鉄筋コンクリート造(RC造)、鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)、鉄骨造(S造)、コンクリートブロック造(C造)、その他の構造)について分類した故障確率密度関数を用いた。木造については対数正規分布(式(2))を、それ以外の構造種についてはワイブル分布(式(3))を使用した。式に用いたパラメータは小松ら(1992)により推計された表-5値を用いた。

$$TF_{i,t,k} = \sum_{k=1945}^t (R_i(t-k) \times CF_{i,k}) \quad (1)$$

ただし、 $TF$ ：延床面積( $m^2$ )、 $R(t-k)$ ：建築物残存率、 $CF$ ：着工床面積( $m^2$ )、 $i$ ：構造種、 $t$ ：推計する年代、 $k$ ：着工された年代とする。

$$R(x) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^x \frac{1}{t} \exp \left\{ -\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} dt \quad (2)$$

ここに、 $R(x)$ ：建設年 $x$ 年における残存率、 $x$ ：築年数、 $\mu$ ：平均値、 $\sigma$ ：標準偏差、とする。

$$R(x) = \exp \left\{ - \left( \frac{x-\delta}{\eta} \right)^m \right\} \quad (3)$$

ただし、 $R(x)$ ：建設年  $x$  年における残存率、 $x$ ：築年数、 $m$ ：形状パラメータ、 $\eta$ ：尺度パラメータ、 $\delta$ ：位置パラメータ、とする。

表-5 構造種別廃棄曲線パラメーター一覧

構造	寿命分布関数	パラメータ				
		$\mu$	$\sigma$	$m$	$\eta$	$\delta$
木造	対数正規分布	3.655	0.633	-	-	-
SRC 造	ワイブル分布	-	-	14.06	154.9	-112.4
RC 造	ワイブル分布	-	-	3.091	61.20	-3.740
S 造	ワイブル分布	-	-	6.747	64.37	-28.44
その他	ワイブル分布	-	-	2.368	36.14	-1.673

出典：小松ら（1992）

### ii) 蓄積増分法

使用年数モデルが統計情報について建築物の着工床面積のみに依存していたのに対し、蓄積増分法は着工床面積と建築物の解体などに伴う減失床面積から延床面積を推計する。減失床面積は式(4)に示すように固定資産の価格等の概要調書における毎年の延床面積の差分を延床面積の蓄積純増とし、蓄積純増と着工面積の差から減失床面積を算出した。延床面積を式(5)で示すように推計年前年の減失床面積を割り振ることで推計年の延床面積を算出した。

$$DF_t = CF_t - (TF'_t - TF'_{t-1}) \quad (4)$$

$$TF_{i,t} = TF_{i,t-1} + CF_{i,t} + \sum_{k=1945}^t (RF_{i,k} - DF_t \times \frac{RF_{i,k}}{TF_{i,t-1}}) \quad (5)$$

ただし、 $TF$ ：延床面積合計( $m^2$ )、 $TF'$ ：固定資産の価格等の概要調書における延床面積( $m^2$ )、 $CF$ ：着工面積( $m^2$ )、 $RF$ ：残存床面積( $m^2$ )、 $DF$ ：減失床面積( $m^2$ )、 $t$ ：推計する年代、 $k$ ：着工された年代、 $i$ ：構造種、とする。

延床面積の推移を1991年以降について蓄積増分法と使用年数モデル法それぞれから推計した延床面積、財務省の固定資産の価格等の概要調書に記された延床面積、国土交通省の建築物ストック統計の延床面積を比較した（表-6）。なお建築物ストック統計は住宅、法人等の非住宅建築物について国土交通省の住宅・土地統計調査、法人土地・統計調査より、公共の非住宅について国有財産一件別情報、公共施設状況調より床面積を総和することで算出されたものである。使用年数モデル法による延床面積では

2007年をピークに減少していた。使用年数モデル法より推計した延床面積と蓄積増分法より推計した延床面積を比較すると、2015年で76.6億m<sup>2</sup>、85.9億m<sup>2</sup>であり、9.3億m<sup>2</sup>蓄積増分法を用いた場合の方が大きかった。総務省の固定資産の価格等の概要調書による延床面積は84.7億m<sup>2</sup>、建築物ストック統計による延床面積は83.5億m<sup>2</sup>で蓄積増分法を用いた場合の延床面積のほうが統計値に近い値が示された。

表-6 全国延床面積の推移比較

100万m <sup>2</sup>	蓄積増分法	耐用年数モデル法	固定資産の価格等の概要調書	建築物ストック統計
1991	6453	6499	6219	
1992	6604	6659	6375	
1993	6740	6799	6527	
1994	6892	6943	6670	
1995	7022	7073	6810	
1996	7172	7232	6927	
1997	7266	7355	7052	
1998	7377	7441	7195	
1999	7491	7521	7310	
2000	7595	7604	7407	
2001	7675	7662	7505	
2002	7757	7708	7595	
2003	7835	7751	7672	
2004	7932	7797	7761	
2005	8020	7843	7844	
2006	8107	7889	7928	
2007	8166	7902	8015	
2008	8260	7907	8112	
2009	8294	7867	8189	7277
2010	8364	7829	8253	7307
2011	8376	7793	8259	7810
2012	8438	7760	8315	8026
2013	8502	7739	8365	8277
2014	8539	7701	8415	8317
2015	8593	7655	8474	8347
2016	8650	7611	8529	8368

次に、資材投入原単位の比較を行った。生産統計による資材投入量、資材投入原単位と国土交通省が公表している建設資材・労働力需要実態調査(建築部門)業務報告書によるそれを用いた。全国を対象とする投入量、原単位の比較・検討については、生コンクリート用セメント、生コンクリート用骨材、鋼材、砂利、碎石、製材、合板の7材料を対象に行った。日本の地域別の投入量、原単位の比較・検討については、生コンクリート用セメント、生コンクリート用骨材の2材料を対象に行った。地域の分類に関しては、建設資材・労働力需要実態調査(建築部門)業務報告書の分類に基づき、地方整備局である北海道・東北・関東・北陸・中部・近畿・中国・四国・九州・沖縄の10地域に分類されたデータを用いた。サンプル調査に基づく資材投入量・資材投入原単位としては、国土交通省が発刊している建設資材・労働力需要実態調査(建築部門)業務報告書を用いて算出した。この報告書は、1985年から2009年まで、3年おきに、実際に該当年に行われた工事にヒアリング調査を行い、構造別・用途別に、対象について先述の地方別・全国で資材投入原単位を整理している。構造・用途の区分に関しては以下の表-7に示す。報告書で算出される原単位には、調査対象資材を単独に算出する単独原単位と複数の資材をグ

ループごとに合算して算出する合算原単位がある。ここでは、最新の合算原単位・単独原単位の構成である2000年以降の構成図を図-8に示す。1991年、1994年、1997年に関しては、それぞれの年で合算原単位・単独原単位の構成に関して相違があるため、付録にまとめる。同報告書による原単位は、全て $10\text{m}^2$ あたりの資材投入原単位として公表されているため、これをすべて $1\text{m}^2$ あたりの原単位に除して整理を行った。また、同報告書においては、原単位は、全国でも、地方別でも、5つの構造別に集計されている。生産統計では、構造を加味しておらず、全構造の総合的な原単位を算出している。比較のために、同報告書の原単位に、建築統計年報による地域別・構造別の時系列着工面積を乗じ、構造別投入量の和を該当年の投入量全量とし、投入量全量を全構造の着工面積で除して、全構造の原単位とした。ここで、建築統計年報の時系列着工面積は、都道府県別に報告されているが、前述の地方整備局区分に基づく地域別の着工面積の整理を行って用いた。用途に関しては、使途総合の原単位を扱った。セメントに関しては、セメント合計の合算原単位では、生コンクリートに用いられるセメント以外に、コンクリート二次製品やセメント単体として扱われるセメントを含む。生コンクリートとして建築物に投入されるセメントを対象としている生産統計による原単位に合わせるため、生コンクリートの原単位に、建築材料(2002)のコンクリート調合値を用いて按分し、生コンクリート分のセメント原単位とした。骨材に関しては、セメント同様に、生コンクリートの原単位に、建築材料(2002)のコンクリート調合値を用いて按分し、生コンクリートに用いられる骨材の原単位を算出した。砂利・碎石に関しては、生産統計で用いている名称と同報告書での名称が異なる。生産統計で用いている砂利・碎石に合わせて、同報告書の生コンクリートの原単位に、東関東生コン協同組合による生コンクリートの砂利・碎石への換算値である0.623を乗じ、砂利・碎石の比重として1.6を乗じて算出した。鋼材に関しては、鋼材合計の合算原単位を用いた。木材に関しては、日本合板工業組合連合会資料により、厚6mm未満の合板には、換算値として $0.0033(\text{m}^3/\text{m}^2)$ 、厚6mm以上の合板には $0.012(\text{m}^3/\text{m}^2)$ を乗じた。さらに、合板は日本合板検査会の公表している代表的な密度として、 $0.55(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、製材は日本木材総合情報センターの公表している代表的な密度として $0.38(\text{g}/\text{cm}^3)$ を用いて乗じ、原単位( $\text{t}/\text{m}^2$ )を算出した。

表-7 用途・構造の区分項目

用途別			構造別
全国	地方別		
居住専用	居住専用	居住専用	木造 (W)
居住産業併用	居住産業併用	居住産業併用	鉄骨鉄筋コンクリート造 (SRC)
事務所	工場・倉庫	工場・作業場	鉄筋コンクリート造 (RC)
店舗		倉庫	鉄骨造 (S)
工場・作業場	事務所・店舗・病院・その他	学校の校舎	補強コンクリートブロック造・その他造 (CB・O)
倉庫		事務所	
学校の校舎		店舗	
病院・診療所		病院・診療所	
その他		その他	

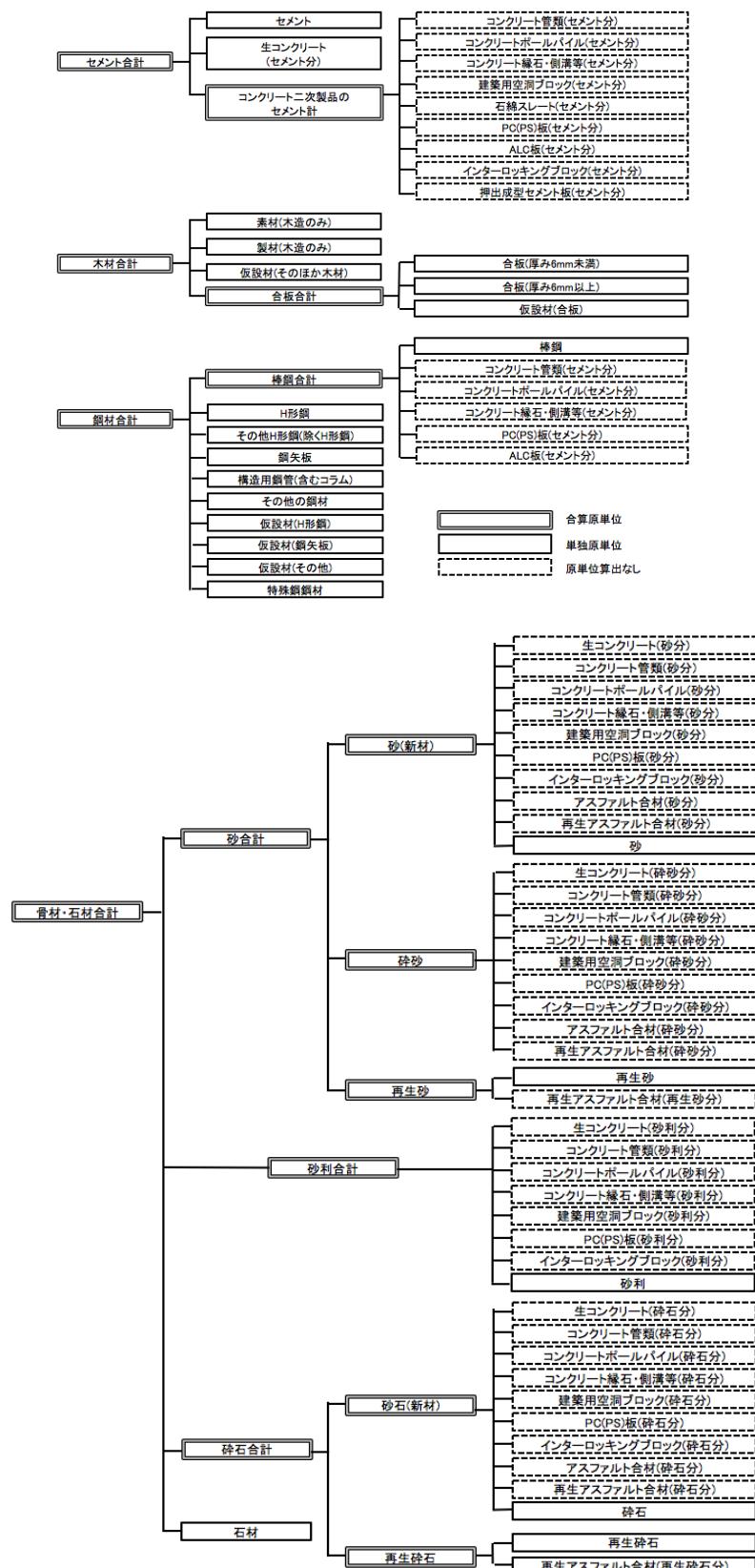


図-8 合算原単位の構成図（2000年、2003年、2006年、2009年）

建設資材・労働力需要実態調査から資材投入原単位の算出を行った。この調査では、地域別に実際の工事へのヒアリングに基づいて資材投入原単位を整理しており、約 50 の資材、10 地域別と全国といった対象範囲、5 構造種、9 用途別に関して合算・単独原単位が整理されている。利用頻度の高い合算原単位について、全国の構造別・時系列での主要な資材投入原単位を表-8 に示す。

ここで、地方別の木造居住専用セメント投入原単位を図-9 に示す。また、鉄骨造と鉄筋コンクリート造の居住専用セメント投入原単位に、それぞれの構造の該当年の地域別着工面積を乗じ、その和を、各構造地域別着工面積の和で除した地域別の非木造居住専用セメント投入原単位を図-10 に示す。その他の構造についての地域別資材投入原単位については付録にまとめて示す。沖縄に関しては、報告書の中で原単位を算出していない年が複数あったため、グラフ作成時に除外した。

木造のセメント原単位は、1985 年では、平均  $64.9 \text{ kg/m}^2$  に対して、2009 年では平均  $80.6 \text{ kg/m}^2$  であり、全体として増加傾向を示した。これは、建築基準法の改正による建物強度の変化が影響と考えられる。同年内においての地域ごとの差は、約  $20\text{--}40 \text{ kg/m}^2$  であった。主に、木造で用いられるセメントは、建築物の基礎部分に用いられている、そのため、地域により地形の違いから、基礎部分に投入されるコンクリート量が異なることが関係しているといえる。しかし、年によって、原単位の大きい地域は変化している。木造のセメント原単位の地域差には地形の差以外の要因も予想される。

非木造のセメント投入原単位については、1985 年の全国平均が  $214.6 \text{ kg/m}^2$  であるのに対し、2009 年では平均  $295.8 \text{ kg/m}^2$  となった。セメント投入原単位の全体の傾向としては、1985 年から 1991 年にかけて増加し、1991 年から 1997 年に減少、その後増加している。1980 年代後半から 1991 年にかけて、日本経済はバブル経済を迎えており、経済成長に伴い、建築物の高層化が進んだことが影響していると考えられる。その後、バブル経済崩壊に伴い、投入量の落ち込みが起ったが、その後、建築基準法改正による建築物の重量化、経済回復の影響で高層化が進んだため、原単位が増加したと考察できる。同年内における地域差は、約  $20\text{--}70 \text{ kg/m}^2$  であり、木造よりも大きい。総量に対する地域差の割合は、非木造の方が木造よりも小さい。地域差の原因には、木造同様に基礎部分へ投入されるコンクリート量が地形により異なることに加え、地域の中での都市の大きさが影響していると考えられる。この調査では、地方整備局で地域を分類しており、対象都道府県に占める大都市の割合が大きな関東・中部に関して、どの年代でも他地域に比べて原単位が大きな値を示しているためである。

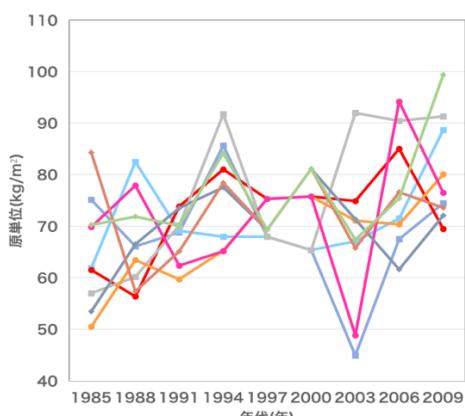


図-9 地域別居住専用木造セメント原単位

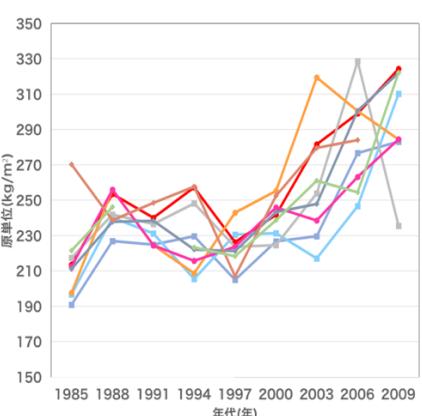


図-10 地域別居住専用非木造セメント原単位

表-8 全国主要な建設資材の資材投入原単位

年	材料名	単位	木造	SRC 造	RC 造	S 造	CB 造
1991	セメント	t/m <sup>2</sup>	0.071	0.294	0.297	0.133	0.191
	骨材・石	m <sup>3</sup> /m	0.318	1.095	1.130	0.580	0.835
	木材計	m <sup>3</sup> /m	0.209	0.029	0.040	0.023	0.063
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.013	0.167	0.110	0.134	0.055
	棒鋼合計	t/m <sup>2</sup>	0.010	0.094	0.102	0.034	0.048
1994	セメント	t/m <sup>2</sup>	0.082	0.287	0.284	0.142	0.257
	骨材・石	m <sup>3</sup> /m	0.346	1.082	1.105	0.604	1.124
	木材計	m <sup>3</sup> /m	0.224	-	-	-	-
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.014	0.161	0.105	0.134	0.058
	棒鋼合計	t/m <sup>2</sup>	0.011	0.090	0.096	0.031	0.058
1997	セメント	t/m <sup>2</sup>	0.083	0.275	0.299	0.145	0.123
	骨材・石	m <sup>3</sup> /m	0.342	1.036	1.148	0.581	0.533
	木材計	m <sup>3</sup> /m	0.222	-	-	-	-
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.014	0.150	0.112	0.133	0.048
	棒鋼合計	t/m <sup>2</sup>	0.011	0.090	0.100	0.032	0.038
2000	セメント	t/m <sup>2</sup>	0.078	0.285	0.294	0.139	0.143
	骨材・石	m <sup>3</sup> /m	0.363	1.085	1.157	0.599	0.624
	木材計	m <sup>3</sup> /m	0.200	0.021	0.028	0.010	0.020
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.011	0.160	0.109	0.134	0.059
	棒鋼合計	t/m <sup>2</sup>	0.010	0.090	0.100	0.027	0.037
2003	セメント	t/m <sup>2</sup>	0.075	0.287	0.300	0.136	0.162
	骨材・石	m <sup>3</sup> /m	0.370	1.050	1.152	0.670	0.646
	木材計	m <sup>3</sup> /m	0.232	0.020	0.023	0.009	0.033
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.012	0.170	0.116	0.129	0.066
	棒鋼合計	t/m <sup>2</sup>	0.010	0.100	0.102	0.031	0.045
2006	セメント	t/m <sup>2</sup>	0.081	0.276	0.287	0.141	0.150
	骨材・石	m <sup>3</sup> /m	0.391	1.045	1.128	0.659	0.985
	木材計	m <sup>3</sup> /m	0.220	0.012	0.028	0.007	0.009
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.014	0.183	0.116	0.129	0.050
	棒鋼合計	t/m <sup>2</sup>	0.012	0.080	0.103	0.029	0.033
2009	セメント	t/m <sup>2</sup>	0.084	0.277	0.353	0.170	0.221
	骨材・石	m <sup>3</sup> /m	0.399	1.003	1.253	0.832	0.915
	木材計	m <sup>3</sup> /m	0.201	0.008	0.016	0.006	0.005
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.016	0.221	0.131	0.139	0.203
	棒鋼合計	t/m <sup>2</sup>	0.014	0.092	0.113	0.030	0.046

全国の建設資材・労働力需要実態調査のセメント投入原単位と、既往研究のそれとの比較・検討を行った。ここでは、既往研究のセメント投入原単位として、寺南ら、長岡ら、松井らの原単位を用いた。寺南らはセメント投入原単位を、木造・非木造といった2つの構造分類で算出しているため、長岡ら・松井らのセメント投入原単位もこれに合わせて整理した。具体的には、非木造のセメント投入原単位について、鉄骨造と鉄筋コンクリート造の2構造の投入量の和を2構造合計の着工面積で除して、整理を行った。また、長岡らでは、建築物を地下構造と地上構造に分けているため、地下・地上合わせてのセメント投入原単位に整理した。松井らは1年毎に算出されていたデータから、5年分の平均を取り、5年毎のデータとして示した。既往研究においては、生コンクリートとして建築物に投入されているセメントを対象としている。建設資材・労働力需要実態調査では、生コンクリートとして投入されているセメントをセメント構造部、生コンクリート以外の状態で投入されているセメントをセメントその他として、木造を図-11、非木造を図-12に示した。

設計図面から資材を、ボトムアップ型で原単位を算出した長岡ら、寺南らのセメント原単位は、木造・非木造のどちらについても、大規模な法改正があったとみられる年の前後でのみ変化をしている。このため、年代変化に伴う資材投入原単位の推移を実態に基づいた形で示すことができていない。需要実態調査による原単位と生産統計による原単位に比較して、経年的に変化がみられないことからも、この傾向は明らかである。松井らでは、生産統計からトップダウン型の算出方法で原単位の算出を行っている。木造に関しては、需要実態調査による原単位とおよそ同じ挙動を示しているが、松井らの原単位は需要実態調査によるセメント構造部の原単位を、約5-20 kg/m<sup>2</sup>ほど下回っている。需要実態調査に関しては、サンプル調査で原単位を算出しているが、全国での原単位にすると、地域ごとの差をならすことになり、地域別で見た際の精緻な値に比べて、多少の誤差が生じると考えられる。全国の平均的な原単位をみると、といった統計的な処理によって生じる誤差が、生産統計による原単位との間に差を生じさせている原因と予測できる。非木造に関しては、松井らの原単位と、需要実態調査によるセメント構造部の原単位は平均10 kg/m<sup>2</sup>ほどの差で推移しており、1985年から1991年に見られる大きな差以外は、およそ一致している。需要実態調査による原単位は、いずれの年もおよそ対象のサンプルの75-85%の回収率で回収しているが、サンプル抽出によって算出をしているため、誤差が生じた可能性がある。

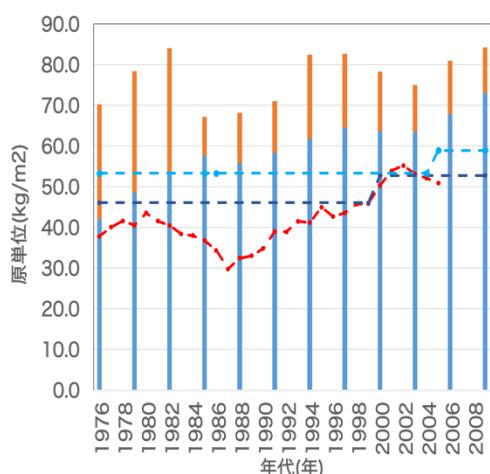


図-11 木造居住専用セメント原単位比較

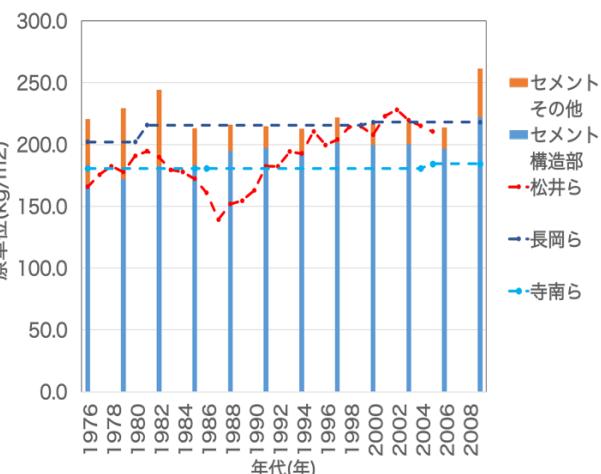


図-12 非木造居住専用セメント原単位比較

以上の結果より、建築物の物質ストックを推計した。建築物における主要な建設資材の蓄積量について1990年までは使用年数モデル法により、それ以降は蓄積増分法により推計した結果を構造種別（図-13）、建設資材別（図-14）に示す。建築物の蓄積量は2015年では110億トンと判明し、高度経済成長期からの増加が顕著であり、近年は緩やかな増加傾向がうかがえ、ストック型社会への移行が進んでいることがわかる。

構造種別ではRC造40.7億トン、S造31.3億トン、木造24.2億トン、SRC造13.0億トン、C造5400万トン、その他の構造1300万トンであった。増加傾向を示すS造、RC造、木造に対し、SRC造は近年横ばい傾向を示すことが判明した。住宅戸数の増加などの観点から建築物のストックは今後も増加が予測され、適切な管理が求められる。建設資材別では2015年で骨材・石材86.2億トン、セメント13.7億トン、鋼材7.1億トン、木材2.7億トンであった。土石系資源が全体の90.8%を占めたことから、土石系資源が建築物ストック量に大きな影響を及ぼしていることが示唆され、土石系資源のストック管理が今後の排出を抑える上で重要になると考えられる。

地域別の木造、RC造、S造の蓄積量の推計結果を図-15に示す。どの構造種においても関東に多くの建築物が蓄積されていることが判明し、次いで近畿、中部に多く資材が蓄積されていた。またどの構造種、地域においても建築物ストックは増加していたが、東北のRC造だけが1993年以降から減少していることが判明した。東京、大阪、愛知などの都市圏を含む地位地域では多くの建築物が存在するため、今後高度経済成長期などに建てられた建築物が寿命により更新を迎え、多くの排出が予測され、この地域における建築物ストックの管理はより重要である。

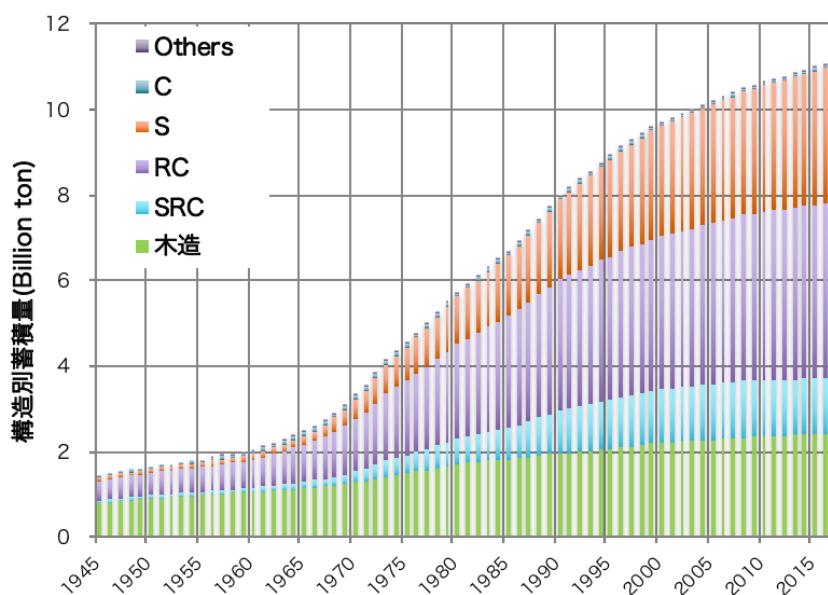


図-13 建築物の構造種別物質ストック

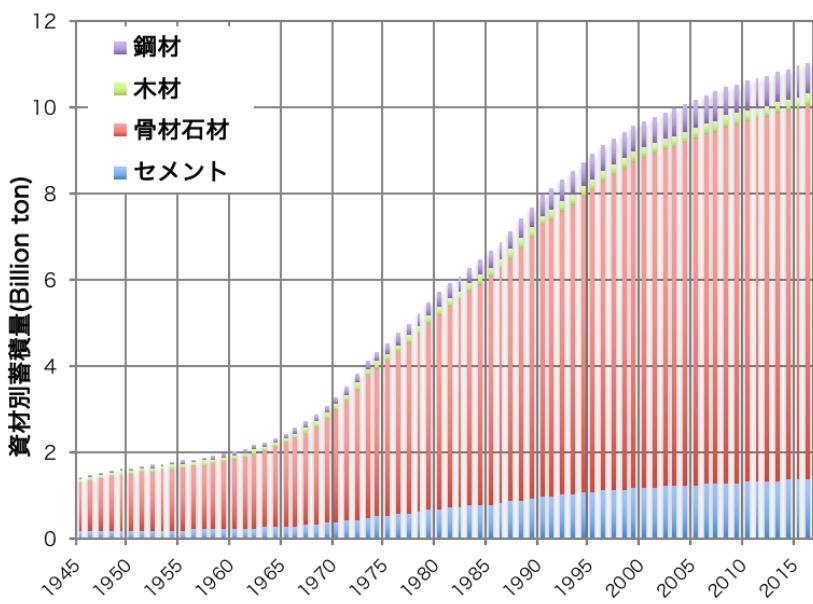


図-14 建築物の建設資材別物質ストック

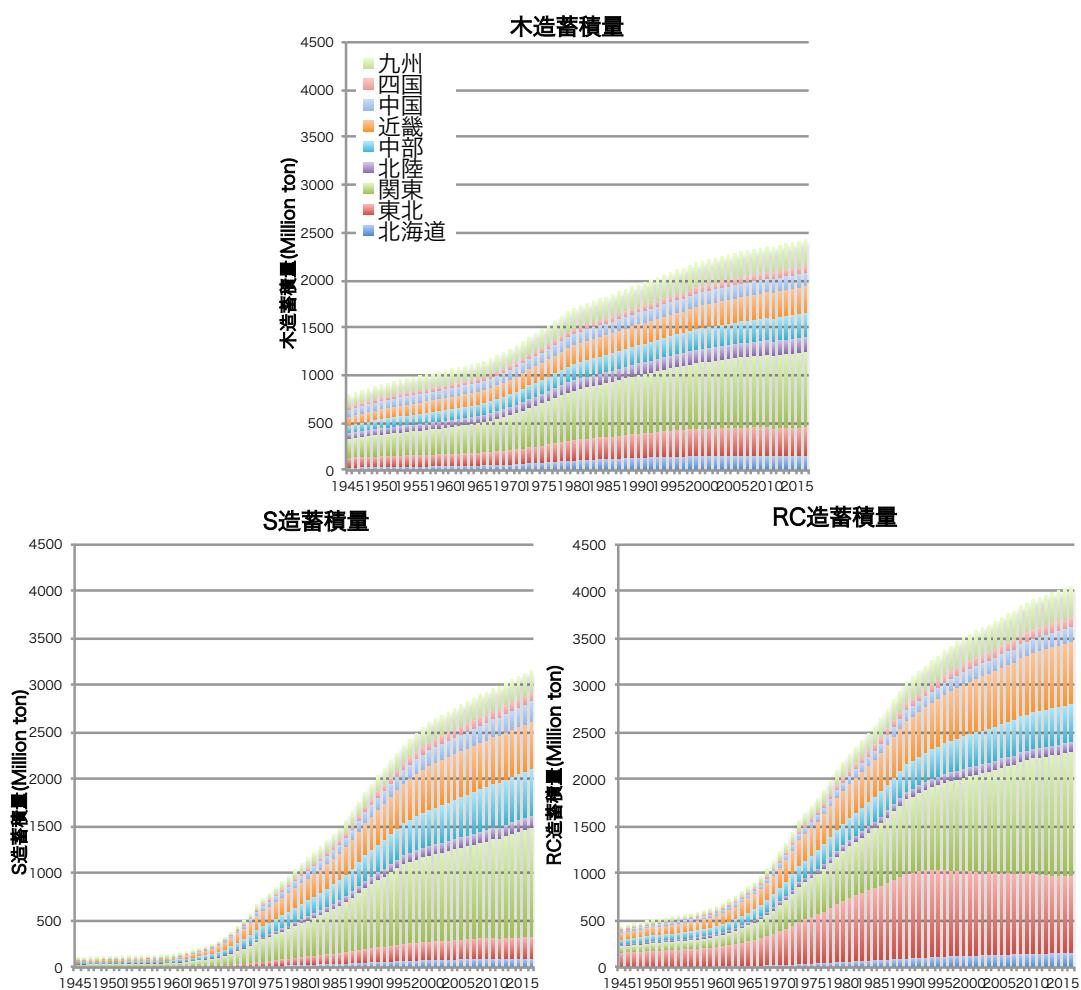


図-15 建築物の地方別別物質ストック

以上の結果より、人工資本（物質ストック）を対象に Top-down と Bottom-up にてデータベース整備を行った。Top-down アプローチでは、環境省による日本の物質フローの算定と同様の手法を用いた。貿易統計を主に、各種統計を基に、生産及び廃棄に係る投入量及び排出量を推計し、素材種ごとに集計を行った。物質フローより、投入量と排出量の差を取ることで社会への蓄積純増を算出し、ストックに関わる排出量よりストックからの廃棄量を推計した。また、建設系の物質ストック・フローについて、生産基盤統計と廃棄関連統計より建設資材投入量と建設資材排出量を推計した。主として排出量のデータ制約より、1990 年から 2015 年までを対象として推計を行った。図-40 に投入量と排出量の差分として推計した蓄積純増により推計した結果を示す。なお、物質ストック（1990 年）の初期値については、山下ら（2015）の結果を用いた。図-16 より、1990 年の 172 億トンと比較すると 2015 年では 297 億トンと 1.7 倍に増加したことが示された。これらは都道府県ごとにも算出しており、地域ごとの比較検討も可能である。

Bottom-up アプローチでは、地理情報システム(GIS)を用いて、物質ストックのうち重量的に多くを占める建築物や社会基盤施設の空間情報を整備し、各種構造物に単位あたりの建設資材投入原単位を乗じることで物質ストックを推計した（図-17、図-18）。図-17 は構造物種別の日本全国の物質ストックの推計結果を時系列に整理したものである。1965 年の 73 億トンと比較すると 2010 年では 218 億トンと 3.0 倍ほど増加しており、日本の発展を支えてきた人工資本（物質ストック）の蓄積の状況が示された。また、図-18 は建築物の 2009 年における物質ストックを 500m メッシュで集計した結果である。建築物は人口分布と大きく関係しており、関連する物質ストックも都市部に大きく集積している。このように、物質ストックを地理的に可視化し、時空間における蓄積の動態を明らかにすることで、使用価値と資源化価値の評価に必要なデータベースを構築している。

Top-down アプローチによる推計と Bottom-up アプローチによる推計を比較すると、2010 年で 282 億トンと 218 億トンと、Top-down アプローチによる推計が 1.3 倍という結果となった。

[billion ton]

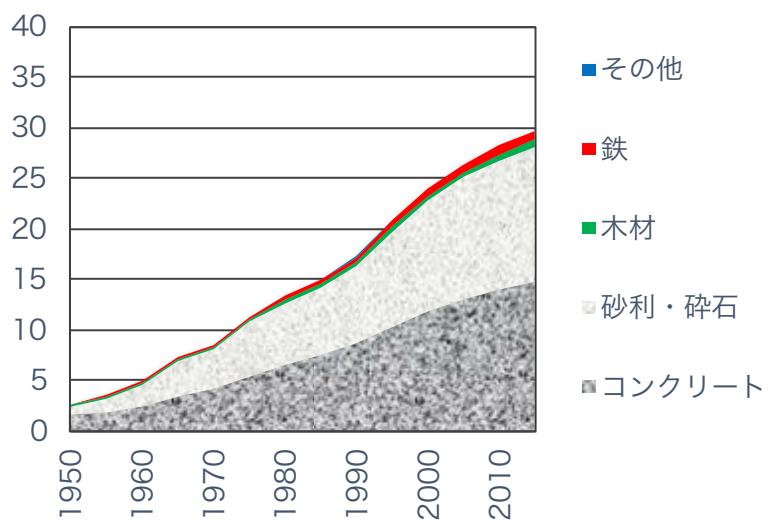


図-16 Top-down による物質ストック量

[billion ton]

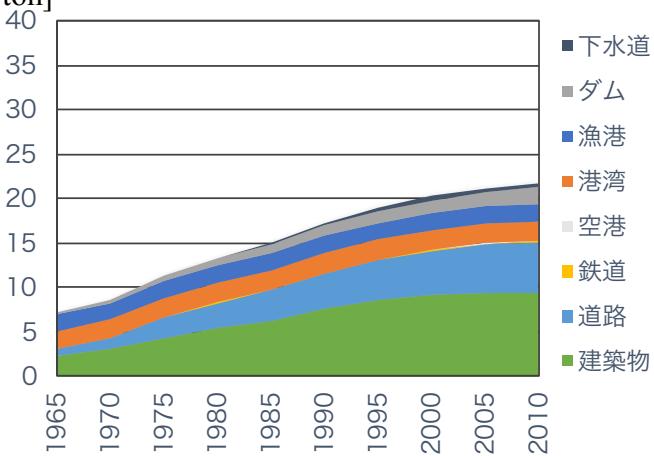


図-17 Bottom-up による物質ストック量

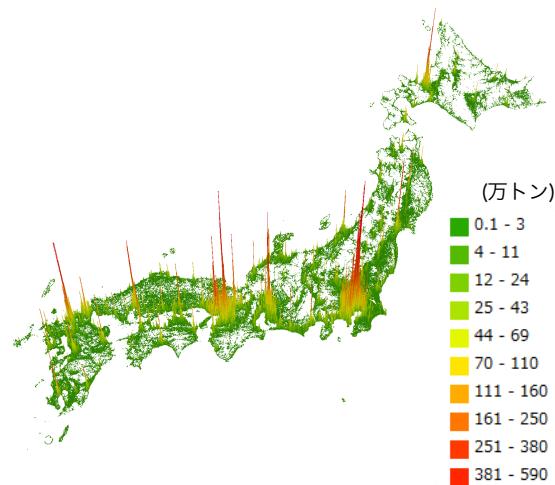


図-18 日本の建築物ストック量分布

## (2)-2 個別事例に基づくケーススタディ

### i) 建築物ストックの機能量評価

天然資源を消費することによって、人間がいかに生活の豊かさを得るかを考える。物質は、天然資源の状態から、素材、最終製品、廃棄物と姿を変える。これは、物質のライフサイクルと呼ばれる。我々は、物質のライフサイクルのうち、最終製品を使用することにより、豊かな生活を送っている。物質が人間にサービスを提供する概念図を図-19に示した。

本研究では、「サービス」を「最終製品が人間に与える効用」と、その効用を定量したもの「サービス量」と定義した。また、「機能」は、「物質の働きのうち、サービスに影響するもの」と定義した。サービスは、人間の使用方法、使用環境などによって変わると考えられるが、製品の機能によって成り立っていると考えた。ひとつの製品機能がそのままサービスとなることもあれば、様々な製品機能が複合したものがサービスにもなりうると考えた。最終製品は、その機能を発現するために、材料機能と製品設計が求められる。そのため、サービスを考える上では、材料機能と製品設計の2つの要素が重要なのではないかと考えられた。

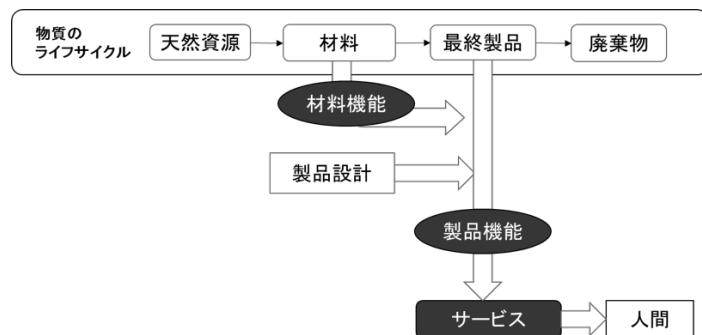


図-19 物質が人間にサービスを提供する概念図

MIPS(Material Intensity per Service)という指標は、単位サービス量あたりに、製品の全生涯にわたる物質消費量として提案された。一方で、物質科学的観点からは、物質は消費時点において何の機能も発現しておらず、その使用時に機能を発現し、価値を提供している。そこで、本課題の主題である物質ストックとしての使用量を material intensityとした MIPS が、従来の MIPS 同様に定義できる。実質上は、製品の製造時の加工歩留まりを無視すれば、製品への消費量と同じである。本研究では、resource decoupling に向けた MIPS 指標を、より詳しく理解し、低減するための政策に結び付けるために、先述の物質の発現する機能（価値）に着目した。材料の提供する機能量を MF と定義し、Material Intensity を MI、Service を S とすると、MIPS 指標は下式のように分解できる。

$$\frac{MI}{S} = \frac{MI}{MF} \times \frac{MF}{S}$$

右辺の第1項は、材料の機能量あたりの質量となり、強度を機能ととると比強度の逆数となる。これは、材料設計に関わる材料技術開発により向上させることのできる指標と言える。一方、右辺の第2項は、製品サービス（価値）量あたりの材料機能量であり、製品設計に依存する指標と言える。また、第2項は、従来の MIPS が質量基準の MIPS (mass-wise MIPS: mwMIPS) とすれば、機能基準の MIPS

(functionality-wise MIPS: fwMIPS) と考えられる。本研究における評価対象製品は、建築物、自動車などの輸送機器、電化製品など躯体構造を持つ製品とした。これらの製品の構造を、本研究では「構造体」、また構造体に用いられる材料を「構造材」と定義した。

本研究で評価対象とした構造体は、「建築物」、「飲料缶」、「乗用車」、「冷蔵庫」とした。建築物については、「木造」、「鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)造」、「鉄筋コンクリート(RC)造」、「鉄骨(S)造」、「コンクリートブロック(CB)造」の5つの構造別に評価を行った。

建築物では木材、鉄鋼材、コンクリート材を、飲料缶ではアルミニウム材を、乗用車では鉄鋼材を、冷蔵庫では鉄鋼材を、各製品を形成する構造材とした。構造体の持つ機能を考える。構造体は、それぞれの製品の形状を維持する機能を持っていると考えられる。建築物を例にあげる。建築物には、風圧力や地震力などの外力が働き、その際、構造を形成する、柱や梁などの部材には曲げが働く。構造体に用いられる構造材には、強度という機能が求められると考えた。本研究では、構造材に要求する機能は、

「引張強さ」とした。建築物に用いられるコンクリート材のみ、データの入手性から、「圧縮強さ」を機能とした。材料機能として、示強変数の強度に材積を乗じた機械的機能量（単位：N・m）を定義して用いた。サービス量には空間を用いた。各構造体の物質投入量、サービス量、密度の推計を行った結果を表-9に示す。以下の値をもとに、MIPS評価を行った。

表-9 各構造体の物質投入量・サービス量・密度の推計結果

構造体	構造材	物質投入量 MI[t]	サービス量 S[m <sup>3</sup> ]	密度 [t/m <sup>3</sup> ]	備考
建築物 (木造)	木材	$3.38 \times 10^6$	$1.45 \times 10^8$	0.424	2009年に着工された建築物の総量
	鉄鋼材	$6.47 \times 10^4$		7.86	
	コンクリート材	$8.57 \times 10^6$		2.1	
	合計	$1.20 \times 10^7$			
建築物 (SRC造)	木材	$5.23 \times 10^4$	$8.26 \times 10^6$	0.424	
	鉄鋼材	$1.27 \times 10^5$		7.86	
	コンクリート材	$3.62 \times 10^6$		2.1	
	合計	$3.80 \times 10^6$			
建築物 (RC造)	木材	$4.35 \times 10^5$	$7.28 \times 10^7$	0.424	
	鉄鋼材	$8.07 \times 10^5$		7.86	
	コンクリート材	$3.05 \times 10^7$		2.1	
	合計	$3.18 \times 10^7$			
建築物 (S造)	木材	$4.26 \times 10^5$	$1.19 \times 10^8$	0.424	
	鉄鋼材	$5.30 \times 10^6$		7.86	
	コンクリート材	$9.25 \times 10^6$		2.1	
	合計	$1.50 \times 10^7$			
建築物 (CB造)	木材	$2.33 \times 10^3$	$2.38 \times 10^5$	0.424	
	鉄鋼材	$4.25 \times 10^3$		7.86	
	コンクリート材	$5.91 \times 10^4$		2.1	
	合計	$6.57 \times 10^4$			
飲料缶	アルミニウム材	$1.54 \times 10^{-5}$	$3.50 \times 10^{-4}$	2.67	1製品あたり
乗用車	鉄鋼材	0.952	8.84	7.85	1製品あたり
冷蔵庫	鉄鋼材	$4.04 \times 10^{-2}$	0.501	7.86	1製品あたり

各構造体中の構造材の平均引張強さ、または平均圧縮強さの推計結果を図-20に示す。

引張強さについては、乗用車用鉄鋼材、建築物用鉄鋼材、冷蔵庫用鉄鋼材、飲料缶用アルミニウム材、木材の順に大きい値を示している。鉄鋼材の中では、乗用車、建築物、冷蔵庫用途の構造材の順に大きい値を示した。乗用車中の鉄鋼材は、車体の各部品に、490～1470 N/mm<sup>2</sup> の最小引張強さを機能として持つ、冷間圧延鋼板などの、高張力鋼板が用いられているため、引張強さの値が大きいと考えられた。建築物用途の鉄鋼材が、冷蔵庫用途の鉄鋼材よりも大きい値を示したことから、容積の大きな構造体ほど、引張強さが多く必要になるのではないか、と考えられた。各構造体中の構造材の平均引張比強度、または平均圧縮比強度の推計結果を図-21に示す。平均引張比強度は、飲料缶用アルミニウム、乗用車用鉄鋼材、建築物用鉄鋼材、建築物用木材、冷蔵庫用鉄鋼材の順に大きな値を示した。

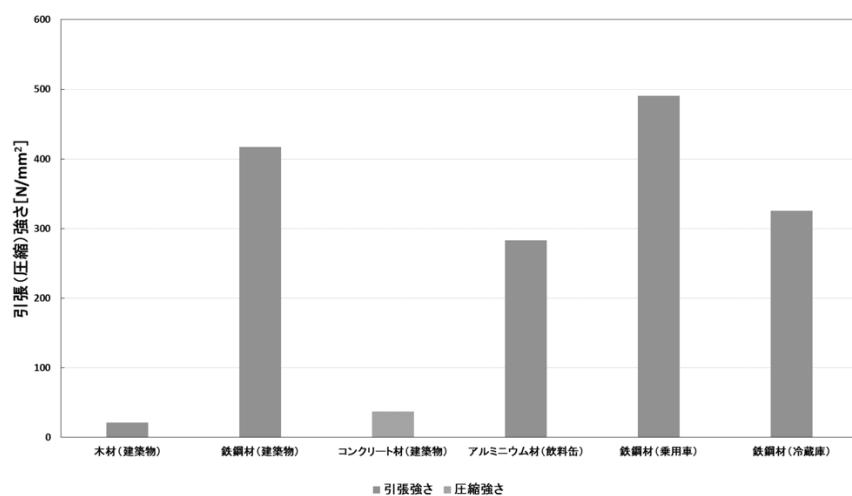


図-20 各構造体中構造体の平均引張（圧縮）強さ

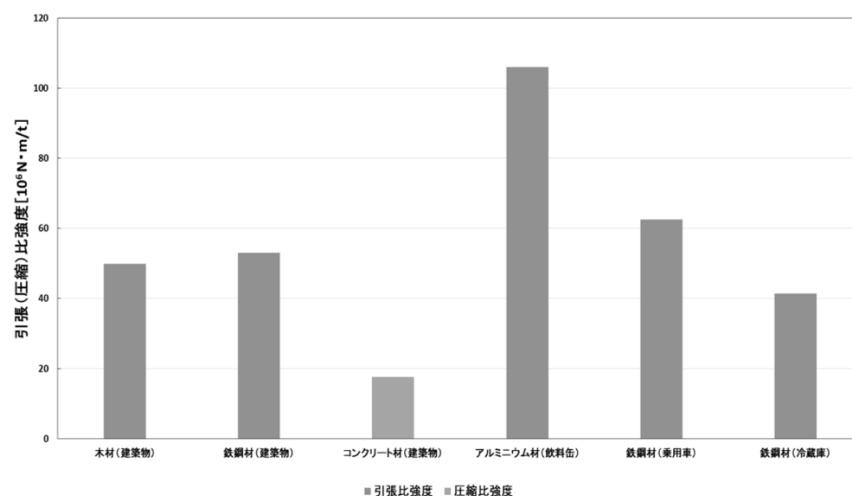


図-21 各構造体中の構造体の平均引張（圧縮）比強度

建築物については構造別（木、SRC、RC、S、CB）に1945年から2009年までの時系列変化を評価した（図-22(a)、(b)）。それらに加え、現在の製品について冷蔵庫、乗用車、飲料缶を評価した（図-23）。図-22(a)と(b)から、建築物の fwMIPS は mwMIPS とほぼ同じ推移をしていることが分かった。これは第1項の材料機能が変化していないことを示唆する。材料技術は進歩しており、高機能材料が開発されてきているものの、建築物に用いられる汎用材の平均的な強度は、評価期間を通して変わっていないことが分かった。新しい用途に向けての高機能材の開発だけでなく、汎用材へ従来と同じ価格で高機能化した材を提供できる技術開発が望まれよう。時系列で MIPS が増加したのは、本評価において製品価値を空間しか評価しなかったため、それ以外の耐震性等の価値の向上によるものと考えられた。図-23は、原点からの傾きが比強度となる。飲料缶や乗用車では、先述のように空間以外の製品価値が要求されるため、大きな比強度になっていると考えられた。複数の価値を複合して評価する枠組みの構築が望まれる。

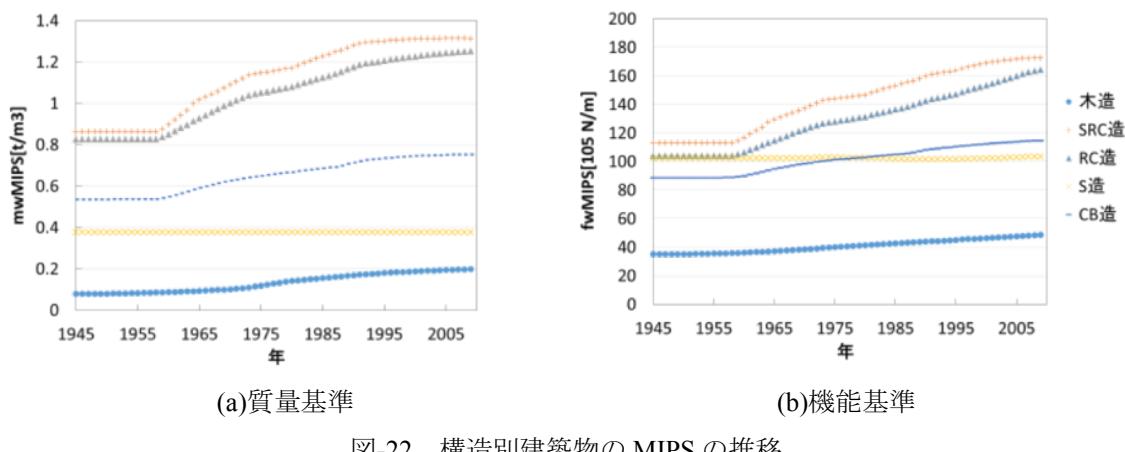


図-22 構造別建築物の MIPS の推移

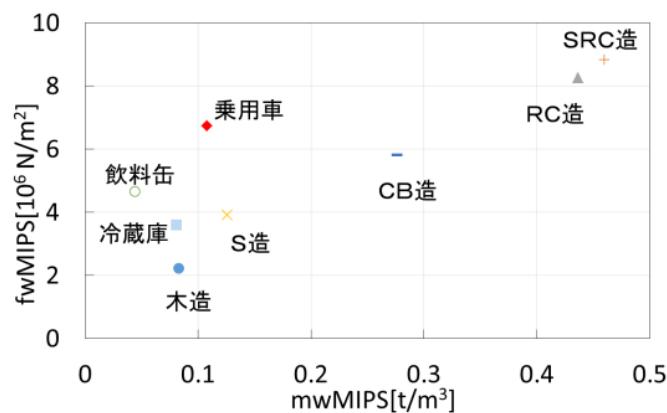


図-23 質量基準の MIPS と機能量基準の MIPS の関係

物質ストックの質の向上には、物質ストックを構成する材料の高機能化が1つの鍵であり、材料工学における技術開発の進歩と、高機能材の普及が望まれる。しかし、今まで個別の技術要素における資源ストックの質の向上は表現できない。そこで、材料を評価対象とし、材料機能の向上が反映される指標として、材料の各機能を定量的に評価できる手法が必要と考えられる。とりわけ金属材料の腐食は、日本における年間腐食コストがGNP比にして約2%にあたると推計されており[1]、生産活動に大きな影響を与えていることが知られている。また、腐食した材料により引き起こされる事故の中には甚大な人的被害をもたらすこともあり、設計段階から腐食損失及び防食対策について十分考慮する必要があるとされている。本稿では、このような物質ストックを健全に保つための要素技術である耐腐食材料をケーススタディとして評価することとした。

既存の腐食コスト[1]は、経済状況等に影響され変動する貨幣価値による評価のため、材料技術の物理的な性能向上に対する評価に適さない。また、防食機構の性能を表す指標として、腐食速度がある。これは、示強性変数であるため加算性がなく、物質ストックを表現する指標とすることができない。そこで、本研究では、物質ストックの質として、物質ストックを健全に保つための金属材料の防食機能が生み出している価値を定量的に評価する新たな評価手法を構築した。

金属材料の腐食には、全面腐食と、孔食やすき間腐食などの局部腐食の大きく異なる2つの形態があることが知られている。局部腐食は、材料の形状や偶発的な損傷などにより大きく異なるため評価が困難であることから、本研究では、腐食形態のうち全面腐食に対する防食機能を評価の対象とした。また、対象とする材料として、物質ストックの多くを占める構造材料として使用される鉄鋼材を選択した。

鉄鋼材料の全面腐食に対する防食機構には、亜鉛めっき等の防食被膜、ステンレス鋼のような不働態金属としての耐食材料、電気防食の3つが主に挙げられる。評価においては、これらの異なる機構を横断的に評価するための機能を定義する必要がある。防食機能が抑制する反応である腐食反応は、化学平衡論または反応速度論に支配される電気化学反応である[2]。防食は、その機構に依らずそれぞれの因子に基づいているため、2つの因子を考慮することとした。防食機能を、母材である金属材料の腐食を防止するために追加的に与えられると考え、本研究では、防食機能を「母材の腐食反応を回避する機能」と定義した。

次に、定義した防食機能に基づき、評価尺度を設定した。平衡論的見地から、腐食反応が等温等圧条件下で進行する時、その反応のGibbsエネルギー変化 $\Delta G$ の電気的な仕事が散逸している。なお、Gibbsエネルギー変化は、外部に取り出すことのできる最大仕事であるため、エクセルギーに対応する。そこで、防食機能により回避された母材の腐食反応によるエクセルギー損失 $S_{ene}$ を防食機能による貢献量とし、Gibbsエネルギーにより評価した。さらに、防食機構自体の反応により散逸したエクセルギー損失を $C_{ene}$ とし、同様にGibbsエネルギーにより評価することで、防食機能の正味エクセルギー損失回避量Aを式(6)によって表した。

$$A = S_{ene} - C_{ene} \quad \cdots(6)$$

構築した評価手法に基づき、前述の3つの防食機構を含む、溶融Znめっき、Zn-5%Al溶融めっき、55%Al-Zn溶融めっき、Zn-Al-Mg合金めっき(ZAM)、SUS304、流電陽極方式による電気防食を対象として評価した。 $S_{ene}(J)$ 、 $C_{ene}(J)$ はそれぞれ、平衡論に基づくGibbsエネルギー変化と速度論に基づく腐食速度から、式(7)、式(8)～(9)により、示量性の仕事として導出されるものとし、平衡論も速度論を反映した評価手法を構築した。

$$S_{ene} = |\Delta G_b| \cdot v_b \cdot 1/M_b \cdot S_b \cdot t \quad \cdots(7)$$

$$C_{ene} = |\Delta G_p| \cdot v_p \cdot 1/M_p \cdot S_p \cdot t \quad \cdots(8)$$

$$C_{ene} = E_e \quad \cdots(9)$$

ここで、 $\Delta G$ は腐食反応のGibbsエネルギー変化(J/mol)、 $v$ は腐食反応の反応速度(g/m<sup>2</sup>/time)、 $M$ は反応する金属元素のモル質量(g/mol)、 $S$ は表面積(m<sup>2</sup>)、 $E_e$ は電気防食によって消費された電気エネルギー(J)である。なお、 $b$ 、 $p$ は母材、防食層を表す添え字とした。式(8)は亜鉛めっきおよびステンレス鋼、式(9)は電気防食に適用される。なお、電気エネルギーは、エネルギーとエクセルギーが等価であるため、式(9)とした。

評価に際しては、各種文献の技術情報を参照し、異なる使用環境における腐食速度の違いを考慮して各防食機構の防食面積1m<sup>2</sup>当たりの年間正味エクセルギー損失回避量を評価した結果を図-24に示す。溶融Znめっきに比べ高耐食性をもつZAMの $C_{ene}$ が、溶融Znめっきの $C_{ene}$ より大きい値を示すことから、 $C_{ene}$ は、防食機構の高機能化を反映する指標であることが確認された。さらに、同一防食機構において、過酷環境であるほど正味エクセルギー損失回避量 $A$ が大きいことから、防食機構の周囲環境による正味エクセルギー損失回避量の違いを評価できることが確認された。本研究で構築した評価手法ならびに結果である指標が、異なる防食機構を横断的に評価でき、防食技術の向上を評価するのに有効であることが示された。

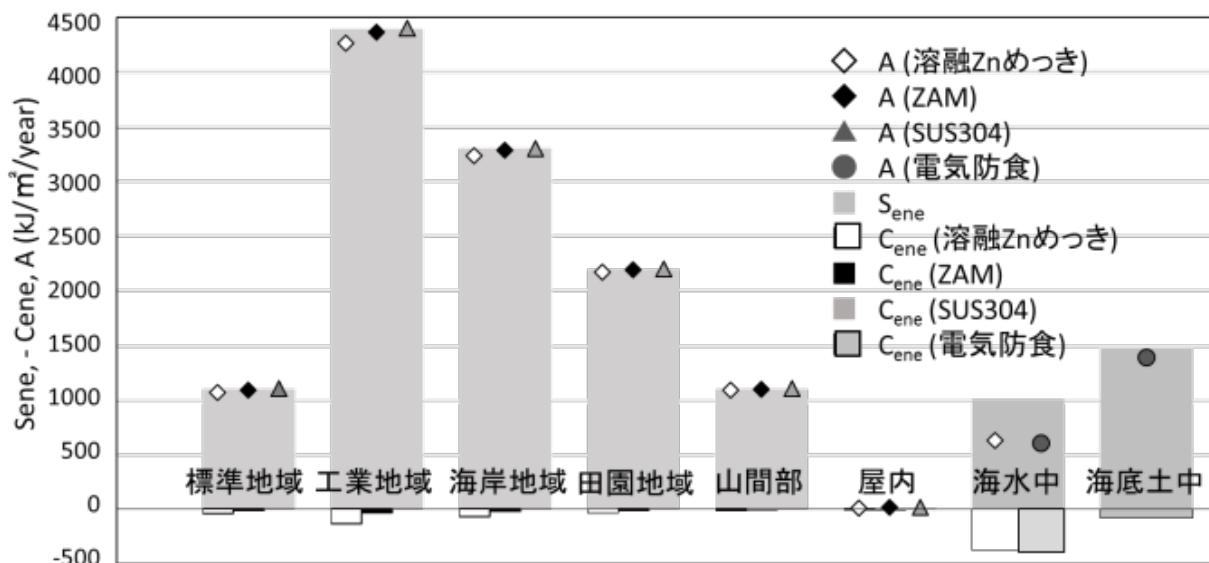


図-24 各防食機構の防食面積1m<sup>2</sup>当たりの正味エクセルギー損失回避量

本手法を用い、亜鉛めっき鋼材ストック、ステンレス鋼材ストック、電気防食を使用する港湾構造物のストックを時系列で推計し、経年による防食技術の高機能化も技術情報[3]を反映し、日本における鉄鋼材料や構造物の物質ストックの防食機能によって発現されている正味エクセルギー損失回避量の推移を算出した結果を図-25に示す。防食機能によって発現された正味エクセルギー損失回避量は、過去から単調に増加してきたことが分かった。また、建設部門や自動車部門において多くの機能を発現していることがわかった。これは、より質の高い物質ストックを形成してきたことの証左と言えよう。エクセルギーにより評価できたことにより、相対的に機能量を評価でき、この約 50 PJ/year は、民生家庭部門における電力消費量の約 5%にあたる。物質ストックを健全に保つことで、多くのエクセルギー消費を回避しており、防食機能の重要性が確認された。

さらに、その防食機構による内訳から、その増加は、亜鉛めっきおよびステンレス鋼による防食面積の増加によるものと考えられた。年間正味エクセルギー損失回避量の約 90%を占める亜鉛めっきについて、亜鉛めっきの防食面積が増加する一方、防食技術の高機能化による亜鉛めっきの目付量の減少により、質量基準での亜鉛の物質ストック量は減少していることが分かった（図-49 右軸）。物質ストックの質が単調に増加してきた一方で、それを発現する物質（ここでは亜鉛）の質量は減少しており、材料技術の開発による資源生産性の向上が明確に観測できた。今後は、データ入手性から本研究では反映できなかった亜鉛めっきの種類や使用環境による正味エクセルギー損失回避量の違いを考慮した日本全体での評価が望まれる。

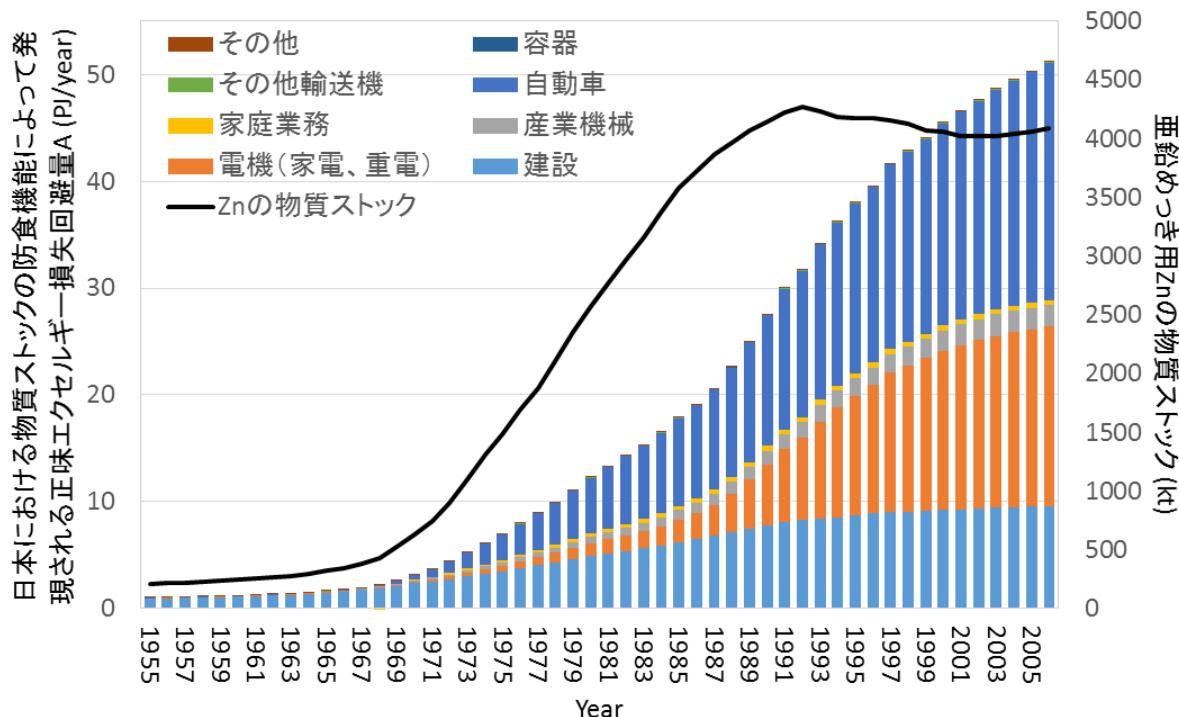


図-25 日本における物質ストックの防食機構による正味エクセルギー損失回避量の推移

機能とは、全体を構成する個々の要素が担う役割のことである。工学分野における機能とは、設計時に、関係式で記述される物理現象に基づいて要求されるものである。本研究では、用いられる物質について、設計時に考慮される物理現象に対し、それを記述する関係式が見出されていることを、物質が工学的機能を有していると定義した。

物質の機能を評価する際には、機能としての正の方向付けとその尺度が必要となる。そこで、機能としての物理現象の関係式を構成する値における、設計での用いられ方を検討した。設計における材料選択において、その選択指標は、機能の定義における物理現象の関係式から導き出された、設計要求値・材料寸法・材料特性値からなる関係式によるとされている[3]。この関係式中において、材料特性値の変化は、選択指標や設計要求値、寸法といった他のパラメータを変化させる。高機能化とは、特性値の変化によるこれらの値の変化が設計にとって望ましい方向へ変化することであるが、材料の使途によって望ましい方向が異なりうことや、設計要求値は複数存在しうることにより、高機能化を定量的かつ一義的に評価するには仮定が必要となる。本研究においては、評価対象となるすべて材料について、一種類の特性値に対し一種類の設計要求値とした。さらに、物質ストック量の変遷を観測するという目的に鑑み、特性値の変化によって変化するパラメータは材料の寸法のみとした。すなわち、寿命や許容応力値といった設計要求値を同一に達成する上で、機能の変化によっていかに投入すべき材料の質量が変化するかを、高機能化として定量評価する枠組みとした。また、選択指標において、材料特性値変化に材料寸法の変化が対応しないと考えられたものは、使途の拡張や変化のみをもたらす高機能化であると考え、定量評価としては対象外とした。

無数の機能を有する材料を、客観的に集約し評価する上で、包絡分析法を応用した評価手法を構築した。包絡分析法とは、評価対象の複数の出力に対して、その属する群における効率を相対的に評価する手法である。群において、ベクトルとしての各出力値により形成される包絡面までに対し、評価対象がどの程度達するかの比(a/b)として評価が行われる。本研究ではこの評価手法を、材料機能の集約評価手法に用いる上で、以下の4点で修正した。

### ①包絡面の修正

既存の包絡分析法は、各ベクトルが独立な場合を想定するが、材料特性間は強度と導電性のように、両立が困難で従属関係にあることが多い。そこで、包絡面を図1破線のように矩形に形成し、機能の両立を高く評価することとした(a/c)。

### ②出力値ベクトルの成分

前述の機能尺度に基づき、機能を質量の軽量化効果として定量化できるよう出力値軸を設定した。すべての出力値軸について、出力値と材料質量が反比例するよう設定することで、評価値は包絡面を形成する材料との同機能における質量の比となる。出力値は、物理法則式における特性値と材料の質量の関係から、特性値を変数変換することで設定した。

### ③等価包絡面の形成

包絡面上の評価対象は、すべてが評価値1として等価に評価されるため、包絡面を形成する材料群の設定は重要となる。本研究では、評価基準としての時代をT年として定め、T年に利用可能な材料のうち包絡面上に存在するものが1の機能量をもつとした。ベクトル成分の違いは材料選択軸に起因するが、各選択軸において基準年に利用可能な最も優秀な材料を等価なものとして扱うこと意味する。時

代を拡張し、各年代で利用可能な各材料の評価結果は、T年に利用可能な最も優秀な材料に換算し、何倍の質量と等価であるかを意味する。

#### ④評価群の設定

本手法による高機能化評価は、同一使途内において相対的に比較可能であり、異なる使途間では比較できないと考え、機能ごとに達成しうる使途ごとに群を形成した。使途の同一性は、機能の有無、又は特性値の最大値や最小値によって、使途としての可用性により分類した。同じ群に属する全ての材料種は、評価時の包絡面を形成する材料すべてと代替可能であるものとした。また、基準年より後年に登場した群に属する材料は、すべて1と評価した。

ケーススタディとして、普通鋼と、アルミニウム・銅及びそれらの合金で普通鋼と同一群に属する材料種の高機能化について分析を行った。経年において需要された材料が有していた機能とその特性値の程度は、当該年の設計基準として特性値を参照しうるJISを参照した。3材料に関して、1950年から2017年までに存在した9140種の規格から56種類の特性を抽出し、修正包絡分析法によって、これらの材料種について1964年を基準年として集約評価を行った。28種類の特性の大小及び有無により、普通鋼・アルミニウム(合金)・銅(合金)の規格を163の使途ごとの群に分類した。分類された群に属する特性数は、1種類から7種類であり、3種類の特性を有する群が最も多くみられた。各群に属する材料種の数は1種類から1318種類であった。各年に需要された普通鋼1kg、アルミニウム(合金)1kg、銅(合金)1kgに対し、機能量として、基準年に利用可能な普通鋼に換算した質量を算出した。1960年から2013年において各規格と対応する需要量統計から、各材料種について1964年を1とした需要質量と機能量との比を示す。全材料種において軽量化の高機能化が行われたことが観察された。普通鋼の需要機能量/質量比は2000年まで増加傾向にあった。1971年と1994年に比が大きく上昇したが、棒鋼の新規格によるものである。棒鋼は全需要中の割合が大きく、影響が大きく表れた。アルミニウムでは、規格改定年以外においても上昇の傾向が見られ、より高機能な品種への選択へと徐々に移行してきたことがわかった。

動的物質フロー分析により、各材料の機能を1964年を基準としたストックとして算出し、普通鋼類機能量として積算したものと、普通鋼のみの機能量及びストック質量の1964年との比の変遷を示す。主に建築での高機能化が大きく反映され、1964年の普通鋼を使い続けた場合と比較して2013年までに高機能化によって11.3%のストック量の削減が達成されたと評価できた。建築に次いで割合の大きい自動車では、JIS規格上の高機能化は小さく、本手法では削減効果が大きく評価されなかつたが、実社会ではより軽量化されていると考えられた。また、普通鋼と代替可能な使途に対する普通鋼以外の材の使用割合は、2013年時点で機能量全体の1.62%であるものの、その割合は増加傾向にあり、将来的には置換によって普通鋼ストックの質量は減少に転ずることも考えられた。

## ii) 耐久消費財のストック量・退役量・排出量の推計アプローチ

物質ストックの推計アプローチについては、橋本らによる環境省廃棄物処理等科学研究費補助金研究（物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物・資源管理戦略研究、K1810、K1930、K2031、平成18～20年度）において以下の4つが整理されている。

- 1) 直接観測
- 2) 蓄積増分法
- 3) 使用年数（寿命）モデル法
- 4) 浸出しモデル法

電気電子機器や乗用車などの耐久消費財については、ストック量に加えて退役量・排出量の把握・推計についてもこれらのアプローチが適用可能である。以下、各アプローチを適用して耐久消費財のストック量、退役量、排出量を把握する際の概要について整理する。

製品の使用年数分布（特に平均使用年数）のデータを作成しておけば、それをパラメータとして上記3)の使用年数（寿命）モデル法によって耐久消費財のストック量、退役量、排出量を継続的に推計することが可能である。特に小型家電等については直接観測によるストック量等に関する情報が提供されていないことから、このアプローチは有用である。ここでは、上記3)使用年数（寿命）モデルを適用する際の重要なパラメータである製品寿命データ、特に製品使用年数分布の作成方法について述べる。

耐久消費財の使用年数分布の作成方法については、Oguchi et al. (2010)において文献レビューに基づく体系的な整理がなされている。その整理によれば、使用年数分布の主な作成方法は以下の4つに大別される。

- 1) 退役または排出製品の使用年数データからある期間における排出割合分布を推定する方法
- 2) 保有製品の使用年数データからある時点における残存割合分布を推定する方法
- 3) 保有製品の使用年数データからある期間における残存割合分布を推定する方法
- 4) 販売、保有、退役・排出の台数収支からある時点における残存割合分布を推定する方法

自動車については前述の通り、登録検査制度によってほぼ完全データが提供されるためいずれの方法も適用可能であり、いずれに方法でも同様の使用年数分布が作成される。電気電子機器などの耐久消費財については、1)、2)の方法がよく用いられている。1)の方法では、リサイクルプラント等での調査または消費者へのアンケート調査による退役または排出製品の使用年数（年式）調査に基づいて推定が行われた事例が多い。2)の方法では、消費者に対するアンケート調査による保有製品の使用年数（年式）調査に基づいて推定が行われることが多い。ただし、前者については、リサイクルプラント等における回収製品が国全体の退役または排出製品に対して偏りを持つ可能性があることや、消費者アンケートでは消費者の記憶に基づいて過去の排出製品の情報を得るために情報の確度が劣ると考えられることから、2)の方法の方が推奨される。

統計等から継続的に得られるデータに基づく使用年数データの入手、推定が可能な方法として、方法1)と4)によって作成するとともに、相互の比較考察を行った。また、ある年の販売量に対するストック量の比（ストック／フロー比）の計算も行い、上記で推定した平均使用年数と比較することで、平均使用年数の簡易指標としての利用可能性を考察した。対象製品は、冷蔵庫、洗濯機、ルームエアコン、テレビ、携帯電話（スマートフォンを含む）、乗用車の6品目とした。

方法1)については、消費動向調査（内閣府）、家電製品協会、自動車検査登録情報協会による平均使用年数の調査・推定値を参照した。これらはいずれも退役または排出製品の使用年数を直接観測したデータに基づくものであり、毎年公表されている。方法4)については、製品の使用年数分布と販売台数から計算される総保有台数が、統計や調査から得られる総保有台数データと一致するように平均使用年数を最適化した。使用年数分布はワイブル分布に従うと仮定し、形状母数は過去の研究事例より電気電子機器は2.4（小口ら）、乗用車は3.6（Oguchi and Fuse 2015）とした。詳細な方法はOguchi and Fuse (2015)を参照されたい。総保有台数は、冷蔵庫、洗濯機、ルームエアコン、テレビについては消費動向調査（内閣府）および全国消費実態調査（総務省）のデータ（世帯あたりの保有台数に世帯数を乗じた）、携帯電話は電気通信事業者協会による契約数（契約数=使用中携帯電話の保有台数と見なした）。解約済みの携帯電話は含まれないため推定される平均使用年数は退蔵期間を含まない）、乗用車は自動車検査登録情報協会のデータを用いた。販売台数は、日本電機工業会、日本冷凍空調工業会、電子情報技術産業協会、自動車検査登録情報協会のデータを用いた。また、ストック／フロー比は、上記の総保有台数および販売台数データを用いて計算した。

図-26に、得られた平均使用年数およびストック／フロー比の比較を示す。まず、全体的な傾向として、これら製品の平均使用年数は過去30年間程度にわたり長期化傾向にあることが見てとれる。しかし、方法1)による値のうち、消費動向調査による値は、携帯電話を除く電気電子機器について横ばいの値となっており、他の調査・推定値と異なる傾向を示している。消費動向調査は消費者アンケートで平均使用年数を調査しており、過去1年間に対象製品を買い替えた消費者に対して古い製品を何年間使用していたかを尋ねている。すなわち、結果は消費者の記憶に基づくものとなっており、この点が排出製品や保有製品の年式や台数を直接調査している他の調査・推定と異なっている。この結果より、消費者アンケートに基づいて直接観測された使用年数データは、他の方法によるデータよりも信頼性が劣る可能性があることに注意が必要である。

方法1)のうち家電製品協会による値と方法4)による推定値は、洗濯機とルームエアコンについては良い一致を示している。しかし、冷蔵庫およびテレビについては家電製品協会の調査がより長い平均使用年数を示している。家電製品協会による値は指定引取場所等において実際に引き取られた製品の年式調査に基づいているが、引取製品が国全体の退役または排出製品に対して偏りを持っている可能性がある。特に冷蔵庫やテレビは東南アジア等への中古品輸出も一定程度あると考えられ、比較的年式の新しい製品が輸出に回ることで引取製品の年式分布を高齢化させている可能性がある。この結果より、排出製品（この場合は引取製品）について直接観測された使用年数データも、場合によっては信頼性が劣る可能性があることに注意が必要である。

ストック／フロー比も全体的には増加傾向を示している。また、全体的には平均使用年数の調査・推定値と同程度の値を示しており、平均使用年数の簡易指標として利用できる可能性がある。ただし、各年の値は販売台数の変化に直接影響を受けることから、全体の増減傾向や平均使用年数の目安の把握に利用することが妥当である。一方、ルームエアコンについてはストック／フロー比が方法4)による値よりも短い値を示している。これは、ルームエアコンの保有が日本においてもまだ増加傾向にあることが原因の1つと考えられる。保有台数が増加している、すなわち販売台数に（買い替えだけでなく）買い増し分も含まれているため、ストック／フロー比が平均使用年数の推定値よりも2年程度短くなっている。

るものと考えられる。携帯電話も同様に保有が増加している品目であるが、携帯電話の場合は使用年数そのものが数年と短いためこの影響が顕著に現れていないものと考えられる。

上記の結果から、特に保有が大きく増加していない製品（または使用年数が短い製品）については、平均使用年数の簡易指標として利用できる可能性がある。ストック／フロー比は、ある単年における総保有台数と販売台数データのみから計算が可能で、退役または排出製品や保有製品の年式分布、販売台数の時系列データといった詳細なデータが不要であり、少ない労力で値を得ることができる利点がある。特に、今回は他の方法で平均使用年数を推定できるデータが提供されている品目について例を示したが、他の小型家電等はそのようなデータが存在しない場合も多いことから、ストック／フロー比を平均使用年数の簡易指標として製品および物質ストック量の推計に利用することの意義は大きいものと考えられる。

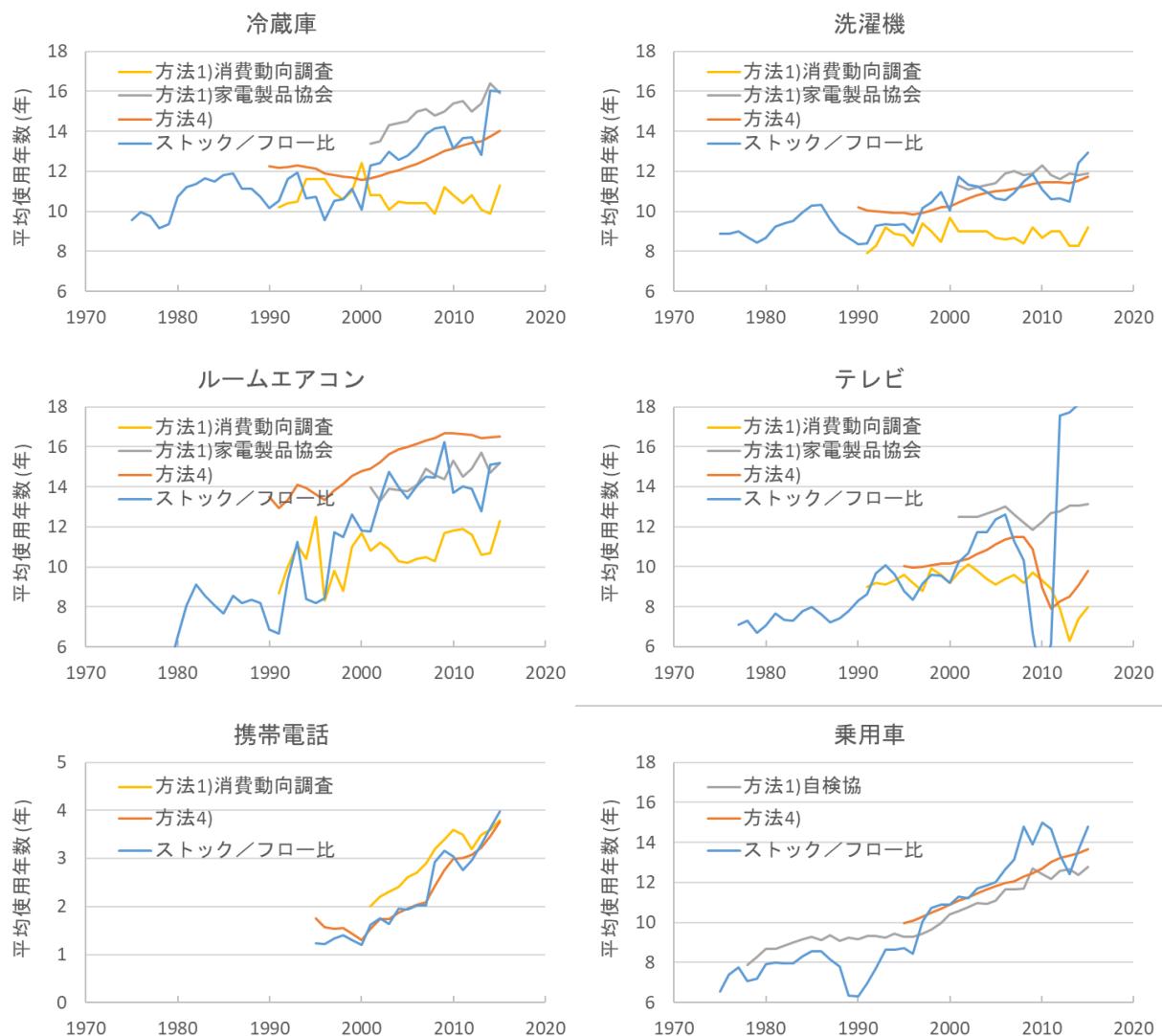


図-26 平均使用年数の調査・推定値およびストック／フロー比

### iii) 建築物の滞留年数推計

耐久消費財や土木構造物と異なり、建築物は法律及び社会的な事象に加えて、土地利用や用途・構造など、空間情報や建物個別の属性が大きく影響する。小松ら(1992)では、建築物の解体割合を複数の確立分布関数を仮定した廃棄率曲線に近似することで、平均耐用年数を推計している。本研究では、現在都市に蓄積されているマテリアルストックが将来廃棄される時期及び量、廃棄物が発生する場所等を把握する上で重要となるとして、都市に留まる建築物として滞留年数の推計を行った。対象地域は、長期的に産業化の影響を受けており、環境的な取組として先駆的な事例の多い、北九州市4区(小倉北区、八幡東区、八幡西区、戸畠区)とした。利用したデータは北九州市都市計画GISデータで、1986年、1995年、2000年、2005年、2010年、2014年の6年代である。建築物が解体される要因として、建築物の老朽化等の物理的要因と家主の意向による建て替えや自治による都市計画、開発等の社会的要因、地震や津波、土砂崩れ等の自然的要因がある。本研究において建築物の滞留年数とは建築物が同位置に留まり存在し続ける年数を意味し、建築物の使用の有無やリフォーム、空き家等の本来の機能を果たしていない建築物の考慮はできない。

建築物の平均滞留年数推計方法は3つあり、①建築物の着工から解体されるまでを追跡する方法、②解体建築物の築年数の平均値を滞留年数とする方法、③小松ら(1992)による区間残存率推計法を用いた方法である。①の方法は東岸ら(2007)が和歌山県和歌山市中心部(4.5km<sup>2</sup>)を対象に1947年から2004年の約60年間分の4d-GISを構築し行った。建築物の着工から解体までを追跡するためには、構造の種類にもよるが約40年分の4d-GISの構築が最低限必要となるが、本研究では約20年分の4d-GISしか構築できないため、困難である。②及び③の方法を用いて推計を行った。

②の推計方法について、5年代のGISデータを同一座標上で比較し、解体建築物のみを位置と形、建築年、建築物名、階数等をもとに抽出した。ただし、全ポリゴンに全ての情報が格納されている訳ではないため、格納されている情報のみで解体建築物かどうかを判断した。抽出した解体建築物を構造別に木造、鉄骨造、RC造の3種類、用途別に戸建住宅、集合住宅、業務施設の3種類の計9種類に分類した後に、対象年代からポリゴンに格納された建築年を減じることで築年数を推計し、平均値を滞留年数とした。

③の推計方法について、②と同様に解体建築物を抽出し、建築年別の解体棟数を算出し、式(10)の区間残存率推計法より残存率を推計した。

$$y(t) = \prod_{x=1}^t \frac{N_x - d_x}{N_x} \quad (10)$$

ここで、 $y$ : 残存率、 $t$ : 経過年数(年)、 $N$ : 現存棟数、 $d$ : 解体棟数、である。

さらに、残存率の推移を近似曲線に当てはめた。近似曲線として比較的計算を行いやすい式(11)の一般的な成長率曲線(ロジスティック曲線)を用いた。

$$y(t) = \frac{K}{1 + \exp(ax + b)} \quad (11)$$

ここで、 $K$ : 飽和定数、 $a$ 、 $b$ : パラメータ、である。ただし、ロジスティック曲線は、そのまま変数変換しても線形化できないため、収束値( $K=1$ )を設定し、最小2乗法によりパラメータ  $a$ 、 $b$ を求ることで推計した。本研究では、残存率が 0.5 の時の経過年数を平均滞留年数とした。

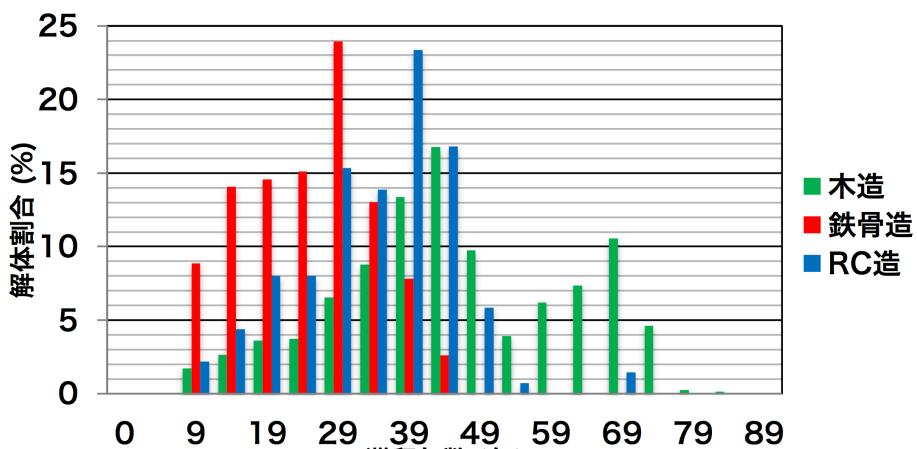
②の推計方法による滞留年数の平均値の推計結果を表-10に示す。全用途、全構造において、年代が新しくなるほど滞留年数が大きくなる結果となった。日本では大地震が発生し壊滅的な被害を被る度に建築物の構造や耐震性が見直され、1950 年に初めて全国すべての建築物に耐震設計を義務付けた建築基準法を施工した。2000 年には 1995 年の阪神・淡路大震災を経て建築基準法が改正、2005 年にも 2004 年の新潟中越地震を経て再度改正され、より厳しい耐震設計が義務付けられたため、建築物の耐震性や耐久性等が昔よりも大幅に向上了ることが滞留年数の増加の要因である。しかし、2010-2014 年における滞留年数の特に大きな増加は 2010-2014 年における解体建築物の棟数が少量なため、正確な値を推計できていない可能性があることが要因だと考えられる。2010-2014 年の値は正確な値でない可能性があるため考慮しないこととすると、全用途において木造の滞留年数が最も大きく、鉄骨造が最も小さくなつた。1950 年以前の建築物は第二次戦争中であることもあり、鉄不足で鉄骨造や RC 造の割合が低く、木造の割合が高いことや瓦造りの屋根等が特徴の昔ながらの民家が現在でも存在していたりすることが木造の滞留年数が最長となった要因と考えられる。RC 造は鉄骨造よりも耐震性、耐久性等が優れており、非常に丈夫な構造であるため、RC 造の滞留年数が鉄骨造よりも大きくなつた。

表-10 滞留年数の平均値(年)

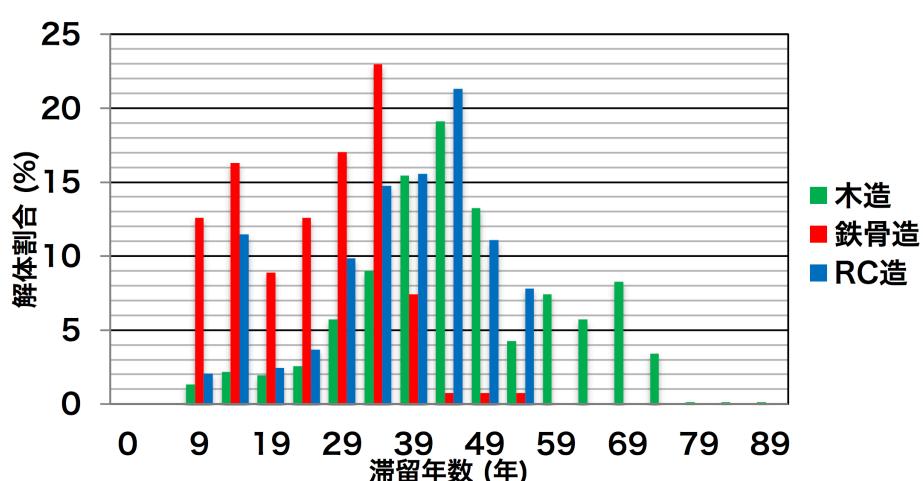
	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2014
戸建住宅	木造 43.2	43.9	43.0	55.5
	鉄骨造 18.8	22.7	27.7	34.7
	RC造 33.6	32.2	35.6	41.6
集合住宅	木造 41.0	44.0	45.4	55.7
	鉄骨造 17.6	22.8	41.1	54.9
	RC造 33.2	33.8	32.1	46.8
業務施設	木造 43.4	40.7	48.6	54.3
	鉄骨造 22.8	24.9	39.3	46.0
	RC造 32.4	35.1	36.1	42.7

2000-2005 年の戸建住宅、集合住宅、業務施設、それぞれにおける構造別の解体割合を図-27 に示す。3 種類の用途それぞれを比較すると、どの構造も似たような形の解体割合グラフとなった。全ての用途において、木造と RC 造は築 30-50 年の建築物が解体傾向にあり、鉄骨造は築 15-40 年の建築物が解体傾向にあった。木造建築物のみが滞留年数 60-70 年の時の解体割合の再度増加があった。鉄骨造が他構造と比較して短い築年数で解体されやすい要因として、鉄骨造戸建住宅の場合、単なる耐久性不足が挙げられ、鉄骨造集合住宅の場合は、アパートやコープ、ハイツ等の鉄骨造集合住宅は低コスト且つ短期間で建築可能であるため、入居者から数十年で元が取れ、老朽化して入居者が居なくなる前に解体される傾向が強いことが挙げられる。鉄骨造業務施設の場合は、1)鉄骨造における体育馆や学校等の他の用途施設より、滞留年が比較的長い文教施設の割合が小さいこと、2)重・軽工業施設等の利用価値が小さいと短期間で解体され易く、滞留年が比較的短い建築物の割合が大きいことが挙げられる。また、

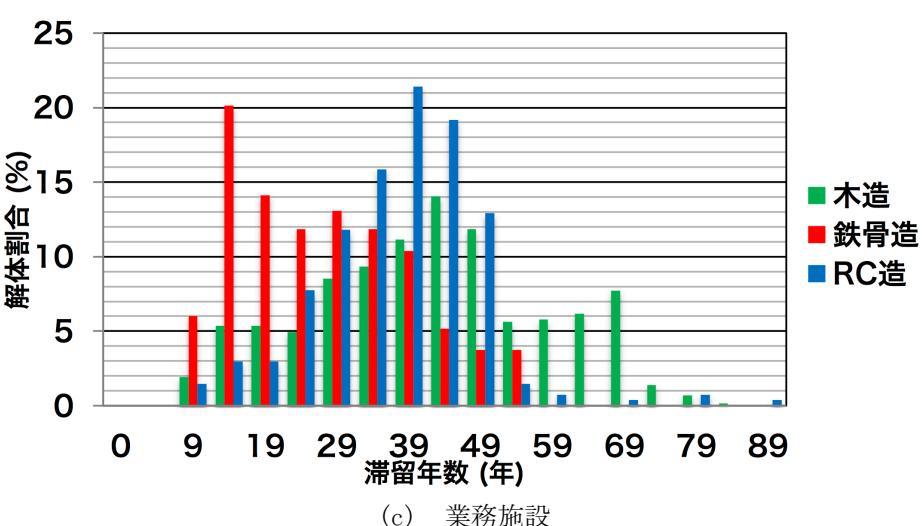
滞留年数が50年以上における木造の解体割合が再度増加した要因として、戸建住宅と集合住宅の場合は、戦争終結以前に建築された多くの木造建築物が老朽化により解体されたことが挙げられ、業務施設については、他構造よりも木造が滞留年数の長い傾向にある病院等の割合が大きく、それらが築50年経過した後に老朽化し、解体されたことが挙げられる。



(a) 戸建住宅



(b) 集合住宅



(c) 業務施設

図-27 各構造における滞留年数別の解体割合 (2000-2005)

③の区間残存率法によって推計された2000-2005年の各用途における各構造の残存率曲線を図-28に示し、それぞれの推計された平均滞留年数(残存率が0.5の時の経過年数)を表-11に示す。戸建住宅の残存率曲線は集合住宅や業務施設と比較して、傾きが緩やかで、木造、鉄骨造、RC造の推計された平均滞留年数もそれぞれ75.1年、64.3年、58.7年と他用途よりも大きい結果となった。集合住宅や業務施設は企業や資産家等が建築・管理していることに対し、戸建住宅は初期費用さえあれば誰でも建築・管理できるため、一般的に建て替えをする経済的余裕がないことが多く、長期間使用され、戸建住宅の平均滞留年数は大きくなり、更新サイクルが長くなった。集合住宅については、木造、鉄骨造、RC造の平均滞留年数がそれぞれ62.3年、50.3年、54.6年と推計された。RC造は耐震性や耐久性等が他構造よりも強く丈夫な構造であるが、平均滞留年数が比較的小さく推計されたことは、八幡製鉄所による製鉄業で栄えた八幡東区では、工業からの産業転換や再開発のため、社宅マンション等の集合住宅の戸建住宅や大学等の業務施設への建て替えが盛んに行われていることが影響したと考えられる。業務施設の残存率曲線は他用途と比較すると最も傾きが急であり、推計された平均滞留年数も木造、鉄骨造、RC造がそれぞれ29.3年、32.1年、46.0年と最も小さい結果となった。業務施設は利益が少ないと不利益を被る前に短期間で移転し、工場等は解体される場合が多いため、平均滞留年数は小さくなり、更新サイクルは短くなった。また、スーパーやコンビニ等の商業・業務施設は長期的な営業を考えていない経営方針や建設コスト等の理由から、費用が安価で撤去が容易な鉄骨造が採用されることが多いことが業務施設における鉄骨造の平均滞留年数の小ささに影響した。

表-11 耐用年数推計結果パラメータ

平均滞留年数（年）	戸建住宅	集合住宅	業務施設
木造	75.1	62.3	29.3
鉄骨造	64.3	50.3	32.1
RC造	58.7	54.6	46.0

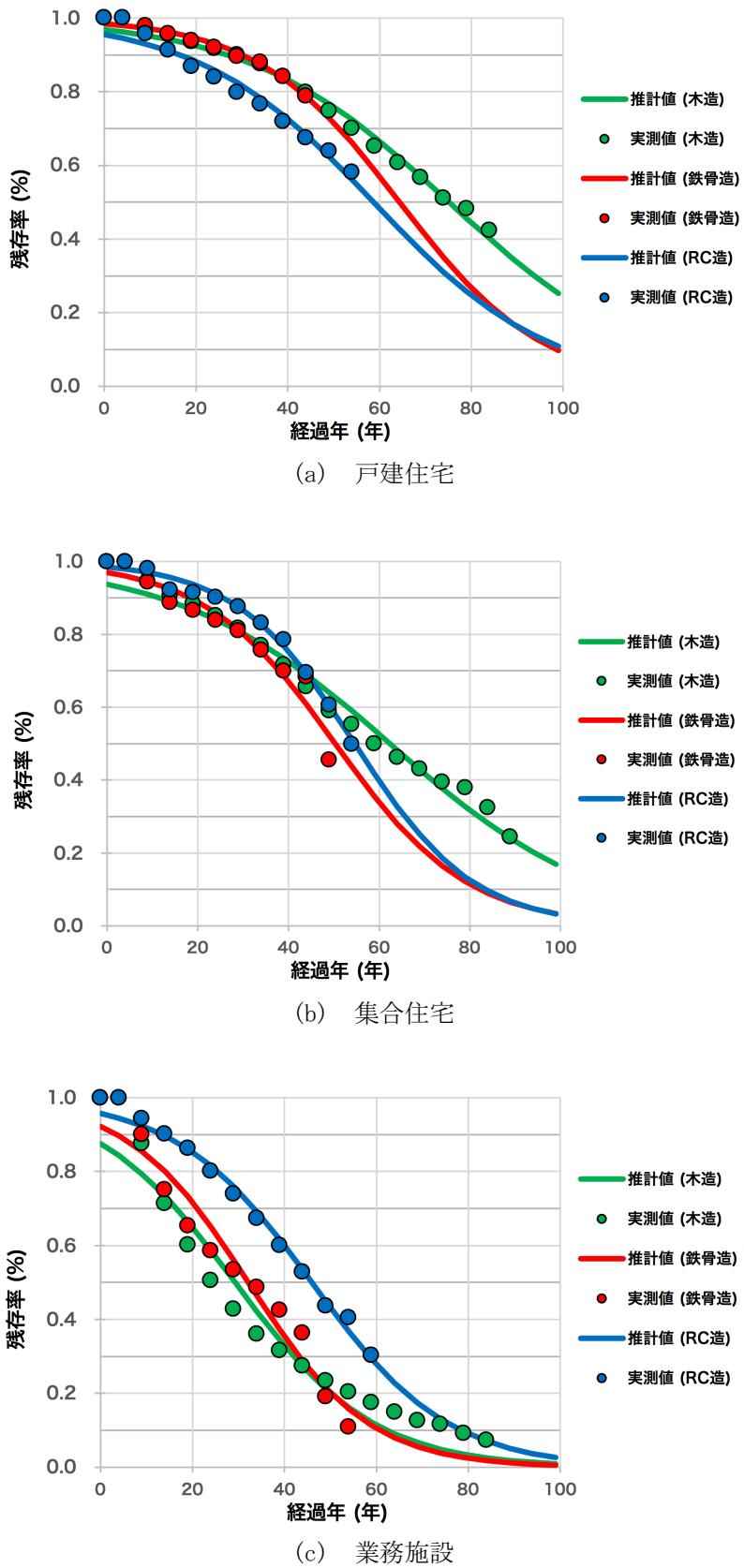


図-28 構造別建築物残存率曲線推計結果(2000-2005)

## (2)-3 統計処理手法の確立

「ストック型社会」とは、価値あるものを造り、長期間に渡り利用する社会をいう。社会の物質代謝の観点から解釈すると、ストック型社会では、社会に滞留する物質ストックが高い価値やサービスを長期間発揮し、新規の物質投入や排出物発生量を抑制し、人々の生活を豊かにするものである。大量生産・大量消費・大量廃棄・大量リサイクルといった言葉で表されるフロー型社会と対峙するストック型社会への移行は、フロー量そのものを抑制するため、資源生産性や環境効率といった物質フローに関連する指標も改善する可能性がある。また、低炭素化の観点からストック型社会を解釈すると、炭素排出強度の高い素材を長期に利用することによる低炭素効果が見込める。その一方で技術革新による大幅な低炭素化が見込める製品については、技術革新の動向や普及状況によりその製品の利用期間を徐々に延ばしていく必要がある。さらに、自然環境保全の観点からストック型社会を解釈すると、長寿命化構造物の増加に伴い、採掘等を伴う自然資源の投入量が減少することより、自然環境の保全にも繋がる可能性がある。これらを考慮すると、ストック型社会の構築は、循環型社会、低炭素型社会、自然共生社会の三社会を統合する安全・安心で持続可能型の社会構築に資すると考えられる。

日本では、平成11年版環境白書（1999年）にて、「ストック活用型の経済社会への転換」と題し、ストック型社会構築による健全な物質循環や、各産業や需要者のストック活用による環境保全について述べられている。また、2008年1月の福田康夫内閣総理大臣の施政方針演説を受けて一気にストック型社会に関連する政策が進み、国土交通省では「超長期住宅先導的モデル事業」（2008-2009年度）や「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」（2009年6月4日施行）をはじめ、住宅政策を中心に議論が活発になった。また、内閣府及び環境省が推進する「環境モデル都市・環境未来都市」構想（2008年～）ではストック型社会の概念が一部取り入れられている。

また、環境省の「第3次循環型社会形成推進基本計画」（2013年5月31日閣議決定）では、今後の検討課題として、物質フローに加えて物質ストックに関してもその状況を把握していくことが重要であるとし、豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積されたストック型社会を形成していくことが必要であるとしている。この循環型社会形成推進基本計画では、わが国の物質フローを的確に把握するために物質フロー指標と関連する補助指標、および循環型社会づくりの取り組みを計測・評価する取組指標を設けている。目標値を持つ物資フローの3指標は、1) GDP（万円）を天然資源投入量（トン）で除する「資源生産性」（万円／トン）、2) 循環利用量（トン）を天然資源投入量と循環利用量の合計で除する「循環利用率」（%）、および3) 「最終処分量」（トン）である。物質フローと物質ストックは表裏一体であるため、前述の同基本計画の取り組み課題に記されているように、ストック型社会の形成を物質代謝の観点から客観的に計測するためには物資フロー指標を補うための物質ストック指標が必要である。そのため、物質ストックに関する指標は、現行の物質フロー指標を補い、ストック型社会構築までの道のりを端的に示すものでなければならない。

国際的には、国連環境計画（UNEP）の国際資源パネル（IRP: International Resource Panel）を中心に世界レベルでの物質フローの推計やその環境効率について検討を進めている。世界大でフロー型社会からの脱却を目指し、脱物質化を進めるためには蓄積した資源、即ち物質ストックの利用について議論する必要があるとし、世界レベルでの物質フロー分析データを用い、タンクモデルに近い手法で簡易的に物質ストックの推計を行っている。図-29は、同論文からの引用であるが、世界全体の物質ストック

クは20世紀中に23倍に増加しており、2010年には792 Pg ( $Pg=10^{15}g$ )、つまり、7,920億トンに達することが明らかとなった。蓄積された物質は、近い将来廃棄物として物質フローに再投入される可能性があることを考慮すると、投入物質に占めるリサイクル量の割合を引き上げる必要がある。また、ストックされている製品や構造物の利用期間を引き延ばすことが重要であることも同論文で指摘している。

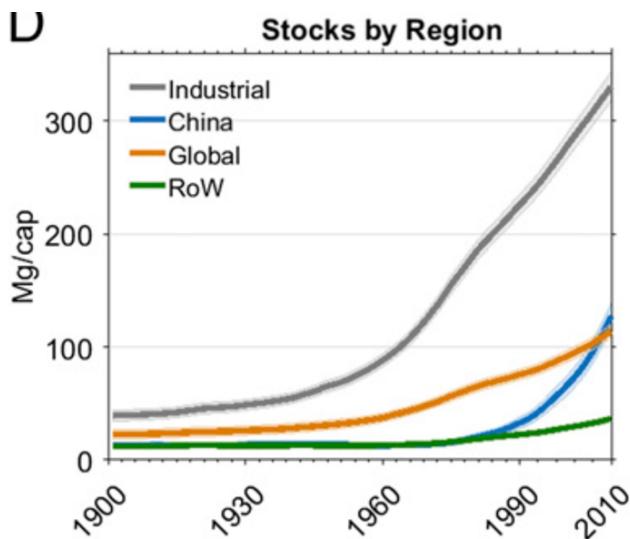


図-29 世界における一人あたり物質ストック量の推移 (Kurausman et.al より引用、筆者加筆)

物質ストックを計測する手法は確立されておらず、推計に利用できるデータの制約や推計方法により物質ストック量は異なる。そのため、国レベルでは物質フローの推計と整合性を保つ推計方法で物質ストックを計測することができれば、指標の議論に資することができる。

そこで本稿では、わが国の物質ストック分類やその推計及び指標化について示すとともに、わが国の物質ストックの状況を明らかにする。

「ストック」という言葉は、経済分野をはじめ多方面で使われるが、本稿の「物質ストック」とは人工資本として社会に蓄積され、我々の生活に豊かさをもたらすものをいう。第3次循環型社会形成推進基本計画に「今後の検討課題」として示されているように、“豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積された「ストック型社会」を形成”するためには、“価値が高い正のストック”を増やし、“潜在的な廃棄物となり得る価値が低い負のストック”を減らす事が重要である。しかし、様々な物質ストックの価値を正負で一律評価することは困難であるため、まずは、いくつかの視点で物質ストックの整理を行う。

- ・利用形態に基づく区分：利用の形態から物質ストックを概観すると、建築物や道路、自動車等のように社会に蓄積されている最終製品として区分することができる。
- ・物質別の区分：物質ストックからの排出物、およびその物質の再利用を考慮する際、物質別の区分が重要になる。具体的な区分としては、コンクリート、石材、木材、鋼材、非鉄等が挙げられる。
- ・利用度別の区分：物質ストックが、使われているか否か（現役 or 退蔵）、使われない状態（退役）であるか等、利用度、再利用可能性を元に区分する。建築物で例えると、現役として使われている建築

物、現役として利用できるが使われていない貸家や空き家、さらにその中でも利用が難しくなり退役しつつあるもの、適正に管理されず放置されており利用ができない廃屋のように区分される。

利用度別の区分については、現役として使われている製品をさらに長寿命型のものやエネルギー消費効率が高いもの、利用効率の優れたもの等に分類することで“良質な”物質ストックを把握することができる。しかし、国全体のストックをそのように分類するためには、現状のストック関連の統計等に加えて、適切な情報を収集する必要がある。そのため、本稿では物質ストックの利用度に基づく区分について、現役量、退蔵量、退役量に分け、物質ストックの整理を行った。図-30に物質フローと物質ストックの接続および物質ストック内での利用度に基づく区分の概念図を示す。推計対象年にて物質フローから物質ストックとして蓄積されるものを蓄積量(A)、現役量のうち使われていないものを退蔵量(E)、対象年に発生した利用することができない物質ストックを年間退役量(B)、年間退役量のうち退蔵になるものを年間退蔵量(C)、さらに物質ストック量全てを表すものを物質ストック量(F)、年間退役量(B)と退蔵量(E)から物質フローに排出されるものを年間排出量(D)としている。上記の区分に基づき、各構造物や製品別に物質ストックを集計するため、表-12のような集計表を設定する。この集計表では、横方向に上記区分の(A)から(F)までを掲載し、それぞれの区分において、物質・資源別に分類を行う。この集計表に基づき情報を整理することができれば、推計対象年に物質ストックから排出される物質量の内訳を示し、都市鉱山のように都市の中に賦存するリサイクル可能な資源を定量化することができる。また、今後、退役量、退蔵量、物質の滞留期間や排出量等との関係が明らかになると、循環政策をはじめストック型社会の構築に資する情報となり得る。

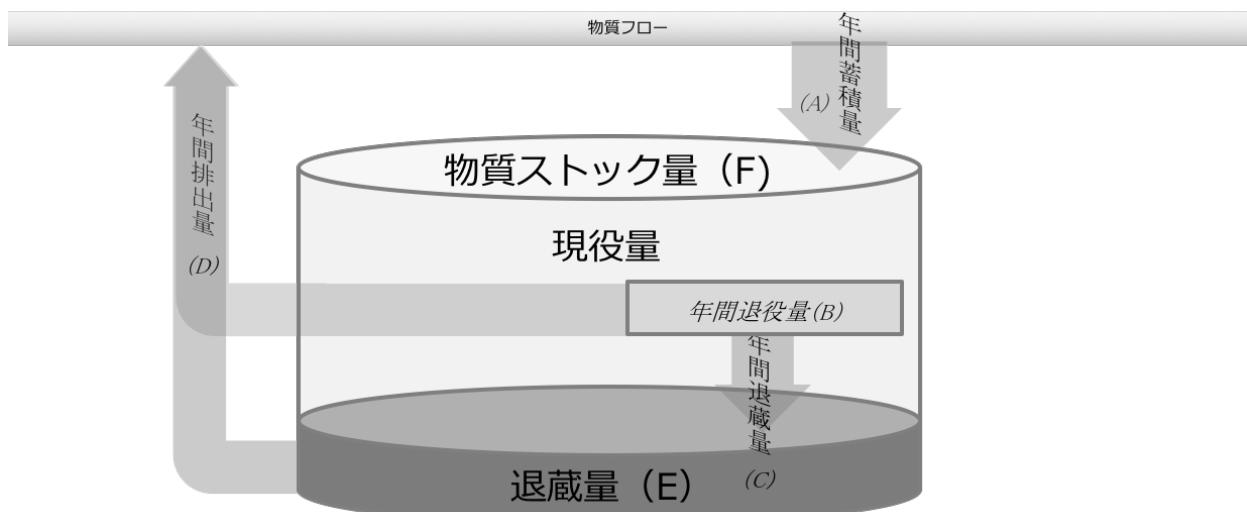


図-30 物質ストックの利用度別の区分（概念図）

表-12 物質ストックの利用度別の区分に基づく集計表

	蓄積量（A）				退役量（B）				退蔵純増量（C）				排出量（D）				退蔵量（E）				ストック量（F）				
	各種統計及び組成情報・資材原単位等				A及び寿命関数から推計				E-D				廃棄物等の統計値				T年分のCの合計値				ストック関連統計およびGIS情報等				
	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	土石	化石	木材	金属	
建築物・住宅																									
交通インフラ																									
.....																									
日本全体																									

## (2)-4 実務ベースの物質ストック把握手法

物質ストックの定量評価を行うには、実務ベースでのデータベース整備が必要である。本パートでは、(1) 物質ストックの区分と具体事例の整理での結果を踏まえ、推計対象は表-13 の通りとした。以下の推計対象について、投入量、退役量及びストック量を求めることとした。

表-13 推計対象

大分類	項目	大分類	項目
建築物	住宅	家電 4 品目	ルームエアコン
	非住宅		パッケージエアコン
交通インフラ	道路		テレビ
	鉄道		冷蔵庫・冷凍庫
	港湾		洗濯機・衣類乾燥機
	漁港	その他家電	携帯電話
	空港		デジタルカメラ
ライフライン	上水道		パソコン
	下水道		その他電子機器
	電力	照明器具	照明器具
	ガス		一次電池
	ネットワーク		二次電池
その他社会基盤	ダム	電池	太陽電池モジュール
	海岸保全施設		その他製品
輸送機器	自動車	家具等	家具等
	鉄道車両		その他機械（産業用他）
	船舶		
	(航空機)		

また、各対象は、可能な限り 4 資源（土石、金属、バイオマス、化石）別で求めることとし、金属については、可能な限り鉄と非鉄金属に分けることとした。

さらに、各分類・項目の推計値の他、日本全体での値を求めることがとした。日本全体での値については、投入量、退役量及びストック量だけでなく、以下のとおり退蔵純増量、排出量も求めることがとした。

表-14 日本全体の推計値の求め方

投入量	退役量	退蔵純増量	排出量	ストック量
表-3 の項目ごとの値の合計	表-3 の項目ごとの値の合計	退役量—排出量	廃棄物統計	表-3 の項目ごとの値の合計

## 金属資源（鉄）

金属資源については、対象項目に寄らず、全ての対象項目について後述①～③の方法で推計を行つた。なお、対象項目別に各種統計を用いて、推計対象の投入原単位に組成を乗じることで求める方法も検討を行つたが、本方法の方が長期間のデータが得られることやバウンダリーの異なる統計の組合せを行わずにすみわかりやすいことから、本方法で行った。

### ①投入量

鉄鋼材の用途別需要量を用いて推計した。

用途別需要量は、「一般社団法人 日本鉄鋼連盟 鉄鋼統計委員会 用途別統計委員会」の鉄鋼用途別・地域別受注統計の「普通鋼鋼材用途別受注統計明細表」の各年計の値を用いた。本統計表は「鉄鋼生産会社間の内部流通及び輸出以外の全ての需要で、特に内需を最終用途別に確実に把握すること」を趣旨としたものであり、分類基準は表-15の通りとなっている。

表-15 分類基準

基本分類	分類基準	
内需	最終使途の判明しているもの	建設用及び同補修用として使用されるもの
		各種製品の製造及び補修用の原材料として使用されるもの
	最終使途を追求しないもの	次工程用（中間用途）
	最終使途の判明しないもの	最終使途不明の再加工用 販売業者向
輸出	輸出	
鉄鋼生産会社間の内部流通	鋼塊、半製品及びその他鋼材製造用	非報告者向
		報告者間取引

本推計の対象箇所の記号は以下を示す。

A : 建築、B : 道路、C : 他社会基盤、C(1) : 海岸保全施設、C(2) : 鉄道、C(3) : 港湾、  
C(4) : 上下水道、C(5) : ガス、C(6) : その他社会基盤、D : 耐久消費財、D(1) : 自動車、D(2) : 鉄道車両、D(3) : 船舶、D(4) : その他輸送機械、D(5) : 家電、D(6) : 電池・照明等、D(7) : その他耐久消費財、E : その他、E(1) : 土木、E(2) : 産業用機械・器具、  
E(3) : 家庭用及び業務用機械・器具、E(4) : 容器及びその他、E(5) : 次行程用（中間用途）、E(6) : その他最終使途の判明しないもの

投入量の推計は、以下の2区分別で行った。

#### ①分類別（以下5分類）

A : 建築、B : 道路、C : 他社会基盤、D : 耐久消費財、E : その他

#### ②細分類別（以下13分類別）

A : 建築、B : 道路、C-1 : 海岸保全施設（C(1)）、C-2 : 交通インフラ（C(2)+C(3)）、

C-3 : ライフライン (C(4)+C(5))、C-4 : 他社会基盤 (C(6))、  
D-1 : 輸送機器 (D(1)+D(2)+D(3) +D(4))、D-2 : 家電 (D(5))、  
D-3 : 電池・照明等 (D(6))、D-4 : 他耐久消費財 (D(7))、  
E-1 : その他 (製品用原材料等) (E(1)+E(2)+E(3) +E(4)))、  
E-2 : その他 (次行程用) (E(5))、E-3 : その他 (最終使途不明) (E(6))

## ②退役量

退役量は、前述の方法で求めた投入量について、経過年数に応じた残存率をかけて求めた。残存率は、一般に用いられることの多いワイブル分布を用い、 $S_n = \text{EXP}[-(n/\lambda)^{\alpha}]$ として求めた。ワイブル分布に用いたパラメーター ( $\lambda$ 、 $\alpha$ ) は、「Measurement of Depreciation Rates based on Disposal Asset Data in Japan」(Koji Nojima and Fumio Momose, September 29, 2008) の「Table 8. Estimated Weibull Distribution and Average Service Lives」より、耐用年数等も勘案の上、近いと思われる項目を選び用いた。更に、選択が難しい場合は、類似項目群の平均的なパラメーターを選ぶ、あるいはその他等の複数項目が混じっているものについては同様に「Other」等から選んでいる。

## ③ストック量

ストック量は、各年の投入量から各年の退役量を減じた値を合計した値であり、前述の①②で求めた値を用いた。

なお、ストック量は、初期値が重要となる。本方法ではデータが 1958 年からとなること、社会基盤等の寿命が長い対象物も多いことから、試算ではあるが、特に 2000 年以前のストック量は過小評価となっている可能性が高い点には留意が必要である。

## 輸送機器

乗用車及び商用車について推計を行った。投入量（販売台数）、（保有台数）、退役量（廃棄台数）の推計値については、国立環境研究所からご提供いただいたデータを利用した。

4資源に区分するための組成については、経済産業省中国経済産業局の「平成22年度3Rシステム化可能性調査事業『廃自動車から発生するワイヤーハーネス中の銅資源および貴金属の高効率回収システム事業化の可能性調査』報告書」の「表-3.1 乗用車に使われた原材料重量の経年変化（単位：kg/台）」の2001年の値を用いた。なお、商用車も乗用車と同じ組成として仮定した。

また、乗用車及び商用車の1台当たり重量は、既往研究で設定している重量に準じ、1000kg/台とした。

## 家電

冷蔵庫、洗濯機、エアコン及び携帯電話について推計を行った。

4資源に区分するための組成については、冷蔵庫、洗濯機及びエアコンについては、一般財団法人家電製品協会の「家電リサイクル年次報告書 平成22年度」の「図表II-9 素材別再商品化の構成比率(品目別)」の値を用いた。なお、本図表中の「その他の有価物」はプラスチックと仮定して利用した。また、携帯電話については、「中島謙一・山本圭介・中野加都子・黒田光太郎・原田幸明・長坂徹也（2006）：関与物質総量(TMR)に基づく使用済み携帯電話リサイクルフロー解析. Journal of Life Cycle Assessment, Japan, 2 (4), 341-346」の「携帯電話の構成成分と化学組成」を利用した。

## 電池・照明等

電池・照明等の項目では、電球及び太陽電池モジュールについて推計を行った。

### ①投入量

#### 【電球】

総務省の「日本の長期統計系列」による電球生産量（原典：経済産業省「機械統計年報」）及び経済産業省「機械統計年報」の電球生産量を用いた。電球類の統計データのうち、白熱電球、蛍光ランプ、LED ランプの生産量を合計したものと投入量とした。ただし、LED については統計上 2012 年値からしかないと認め、それ以前のデータには含まれていない。

電球は、種類による重量や組成の差が大きいが、現時点では組成データとの関係等もあり、電球の種類を考慮していない。今後は、組成データも含めて、できる限り種類別にすることが課題となる。

なお、電球の組成は年代で異なるが、封入しているガスの種類水銀の有無等が大きく、4 資源別の概算投入量への影響は小さいと考えられる。

#### 【太陽電池モジュール】

一般社団法人太陽光発電協会の公式 HP 上にある「太陽電池の出荷統計」の出荷量を用いた。1981 年～2011 年は「日本における太陽電池出荷量の推移」を用いた。この 2011 年までの値は太陽電池セル及び太陽電池モジュールの合計値となる。

また、資源別にするための組成については、「平成 24 年度環境省委託業務 平成 24 年度使用済再生可能エネルギー設備のリユース・リサイクル基礎調査委託業務 報告書（2013 年 3 月 25 日 株式会社三菱総合研究所）」を用いた。また、「太陽光発電設備の素材構成」及び太陽光発電協会の「使用済み太陽電池モジュールの適正処理・リサイクル Q & A（平成 26 年 6 月作成、平成 27 年 10 月追記・改訂、平成 28 年 4 月追記・改訂）」の太陽光発電システムも参考とした。

### ②退役量

#### 【電球】

電球の寿命は種類等により異なるが、本推計では 2 年（2 年たつと全て退役）と仮定して推計を行った。前述のとおり、今後種類別等での検討を行う中で、寿命設定も検討していく必要がある。

#### 【太陽電池モジュール】

太陽電池モジュールは財務省の「減価償却資産の耐用年数等に関する省令（昭和四十年三月三十一日大蔵省令第十五号）（最終改正：平成二八年三月三一日財務省令第二七号）」より、寿命を 17 年（17 年たつと全て退役）と仮定して推計を行った。

### ③ストック量

ストック量は、各年の投入量から各年の退役量を減じた値を合計した値であり、前述の①②で求めた値を用いた。

電球については、前述のとおり、投入量を生産量とし、2年で全て退役という設定としているが、投入量（生産量）が年々減少していることに起因して、本手法ではストック量はマイナス値となってしまう。したがって本手法での評価は適さないことがわかった。また、電球は寿命が短いため、今後は照明器具本体の量について推計を行っていく必要があると考えられる。

太陽電池モジュールについては、平均寿命を17年と設定しているが、本方法では投入量のデータが1981年からとなることから、1998年までは退役量が推計上発生していない。また、有識者より平均寿命の2倍以下のデータではストック量が過小評価となるとのご指摘をいただいていることから、現時点では過小評価となっていると考えられる。

## 電線

アルミ電線及び銅電線について推計を行った。

### ①投入量

一般社団法人日本電線工業会の「統計データ 出荷実績推移 月別、主要部門別」のアルミ電線及び銅電線を用いた。

アルミ電線及び銅電線の投入量は、それぞれ部門別に分かれている出荷量のうち、「通信」及び「電力」の合計値を利用した。これらは輸出が含まれておらず内需用である。

### ②退役量

退役量は、投入量に経過年数に応じた残存率をかけて求めた。残存率は、一般に用いられることが多いワイブル分布を用い、 $S_n = \text{EXP}[-(n/\lambda)^\alpha]$ として求めた。ワイブル分布に用いたパラメーター ( $\lambda$ 、 $\alpha$ ) は、「Measurement of Depreciation Rates based on Disposal Asset Data in Japan」(Koji Nojima and Fumio Momose, September 29, 2008) の「Table 8. Estimated Weibull Distribution and Average Service Lives」より、耐用年数等も勘案の上、近いと思われる項目を選び用いた。ただし、どのパラメーターを利用するかによる影響が非常に大きいことから、本推計方法はあくまでも試算のためであり、今後は寿命設定が課題となる。

利用したパラメーターは、上記論文の「Power wiring systems」であり、 $\lambda = 20.6$ 、 $\alpha = 1.59$ となる。

### ③ストック量

ストック量は、各年の投入量から各年の退役量を減じた値を合計した値であり、前述の①②で求めた値を用いた。

なお、ストック量は、初期値が重要となる。さらに、本推計では投入量のデータが一般社団法人日本電線工業会の公式 HP 上で取得可能な統計データは 2002 年からであったことから、2002 年以降の値で行っているため、ストック量は過小評価となっていると考えられる。

今後は、バウンダリーの違い等を考慮しながら一般社団法人日本電線工業会の「電線統計年報」で可能な限りデータを遡ること等によるデータの充実が課題となる。

これまでに整理した手法に基づいて、推計した結果を下記に示した。

### 金属資源（鉄）

#### ① 投入量

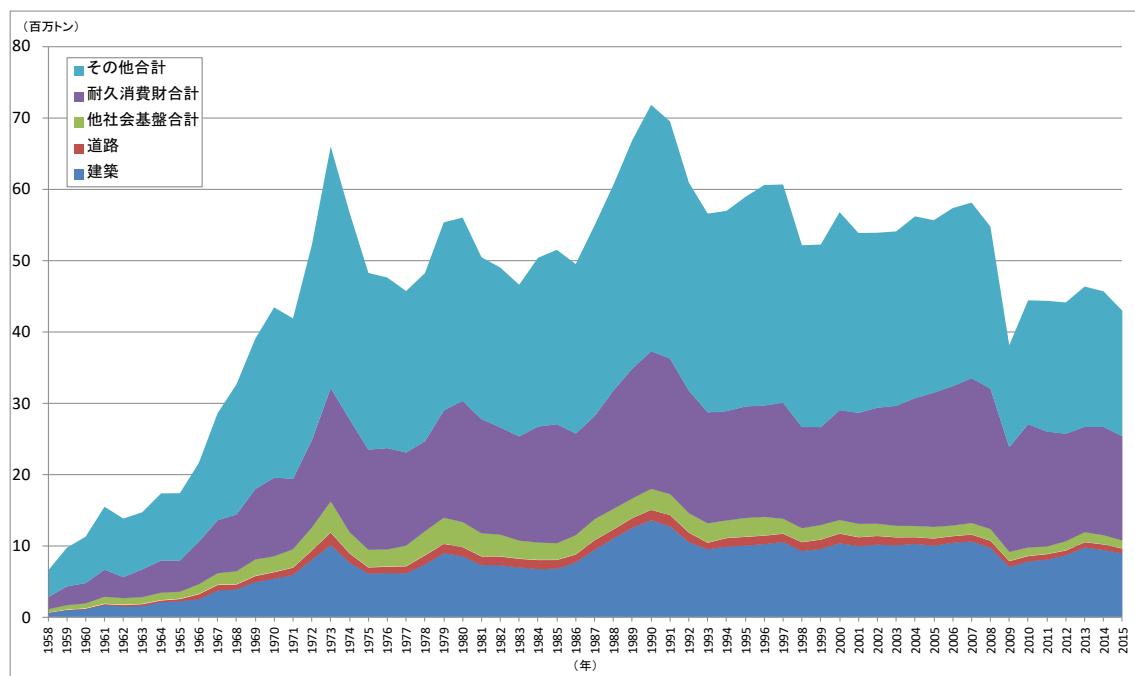
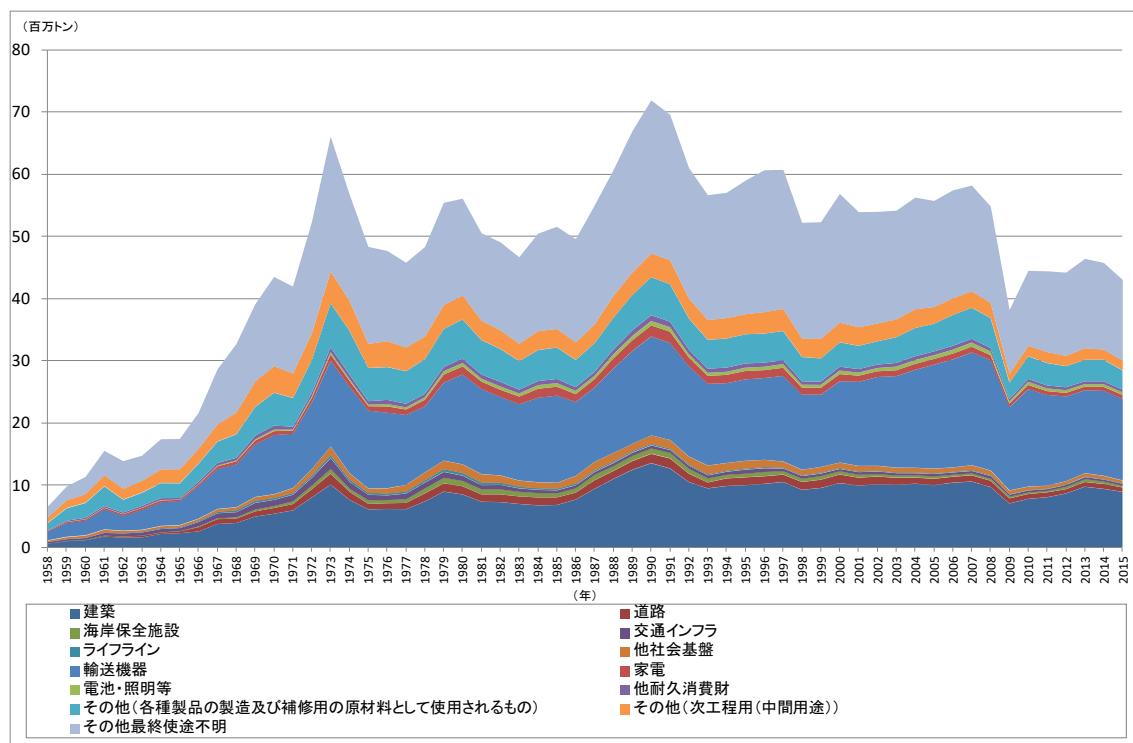


図-31 分類別投入量

表-16 主な年の分類別投入量

(単位：百万トン)

年	建築	道路	他社会基盤	耐久消費財	その他	合計
1990	13.6	1.5	3.0	19.3	34.6	71.8
1995	10.0	1.2	2.7	15.6	29.4	58.9
2000	10.3	1.4	1.9	15.4	27.8	56.8
2005	10.0	1.0	1.6	18.8	24.2	55.7
2010	7.8	0.8	1.2	17.3	17.4	44.4
2014	9.4	0.8	1.3	15.2	19.0	45.7
2015	8.9	0.7	1.1	14.6	17.6	43.0



\*項目ごとに残存率のバラメーターを変えているので、大分類での合計値とは一致しない。

図-32 細分類別投入量

表-17 主な年の細分類別投入量

(単位：百万トン)

年	建築	道路	海岸保全施設	交通インフラ	ライフライ	他社会基盤
1990	13.6	1.5	0.9	0.5	0.2	1.4
1995	10.0	1.2	0.6	0.6	0.2	1.3
2000	10.3	1.4	0.5	0.4	0.1	0.9
2005	10.0	1.0	0.4	0.4	0.1	0.7
2010	7.8	0.8	0.3	0.3	0.1	0.5
2014	9.4	0.8	0.4	0.3	0.1	0.5
2015	8.9	0.7	0.3	0.3	0.1	0.4
年	輸送機器	家電	電池・照明等	他耐久消費財	その他(製品用原材料等)	その他(次工程用)
1990	15.9	1.8	0.7	0.9	6.1	3.8
1995	13.1	1.4	0.5	0.7	4.7	3.2
2000	13.1	1.2	0.6	0.6	3.9	3.2
2005	16.7	0.9	0.6	0.6	4.4	2.7
2010	15.7	0.7	0.5	0.5	3.6	1.7
2014	13.6	0.6	0.4	0.5	3.4	1.6
2015	13.1	0.7	0.4	0.4	3.1	1.5
年	その他(販売業者向け等・最終用途不明)					
1990	24.6					
1995	21.5					
2000	20.7					
2005	17.1					
2010	12.1					
2014	14.0					
2015	13.0					

\*項目ごとに残存率のパラメーターを変えているので、大分類での合計値とは一致しない。

## ②退役量

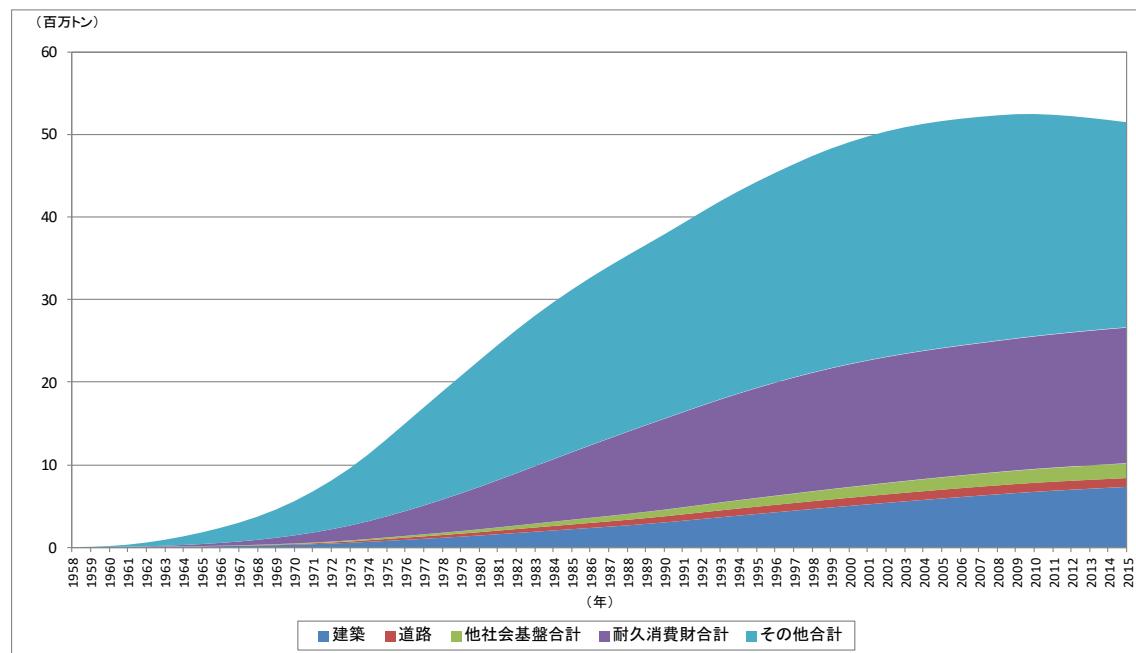
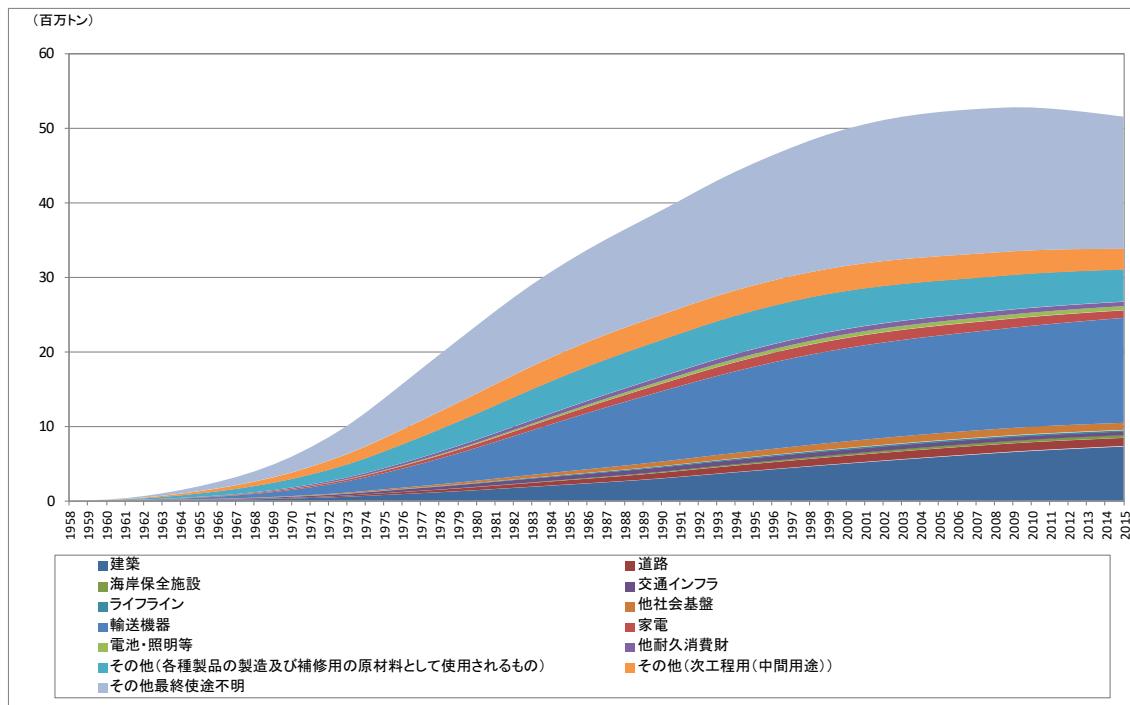


図-33 分類別退役量

表-18 主な年の分類別退役量

(単位：百万トン)

年	建築	道路	他社会基盤	耐久消費財	その他	合計
1990	3.0	0.7	0.8	11.0	22.3	37.9
1995	4.0	0.9	1.0	13.3	25.0	44.3
2000	5.0	1.0	1.3	14.9	26.9	49.1
2005	5.9	1.1	1.5	15.6	27.5	51.6
2010	6.7	1.1	1.7	16.1	26.9	52.5
2014	7.2	1.1	1.8	16.4	25.3	51.8
2015	7.3	1.1	1.8	16.5	24.9	51.5



\*項目ごとに残存率のパラメーターを変えているので、大分類での合計値とは一致しない。

図-34 細分類別退役量

表-19 主な年の細分類別退役量

(単位：百万トン)

年	建築	道路	海岸保全施設	交通インフラ	ライフライ	他社会基盤
1990	3.0	0.7	0.1	0.6	0.2	0.6
1995	4.0	0.9	0.2	0.6	0.2	0.8
2000	5.0	1.0	0.3	0.6	0.2	0.9
2005	5.9	1.1	0.3	0.6	0.2	1.0
2010	6.7	1.1	0.4	0.5	0.2	1.0
2014	7.2	1.1	0.4	0.5	0.2	1.0
2015	7.3	1.1	0.4	0.5	0.2	1.0
年	輸送機器	家電	電池・照明等	他耐久消費財	その他(製品用原材料等)	その他(次工程用)
1990	9.4	1.0	0.4	0.6	4.9	3.4
1995	11.3	1.2	0.5	0.7	5.2	3.4
2000	12.5	1.4	0.5	0.7	5.1	3.4
2005	13.2	1.3	0.5	0.7	4.8	3.3
2010	13.6	1.2	0.5	0.6	4.6	3.1
2014	14.0	1.0	0.5	0.6	4.4	2.9
2015	14.1	1.0	0.5	0.6	4.3	2.8
年	その他(販売業者向け等・最終使途不明)					
1990	14.0					
1995	16.4					
2000	18.4					
2005	19.4					
2010	19.2					
2014	18.1					
2015	17.8					

\*項目ごとに残存率のパラメーターを変えているので、大分類での合計値とは一致しない。

### ③ストック量

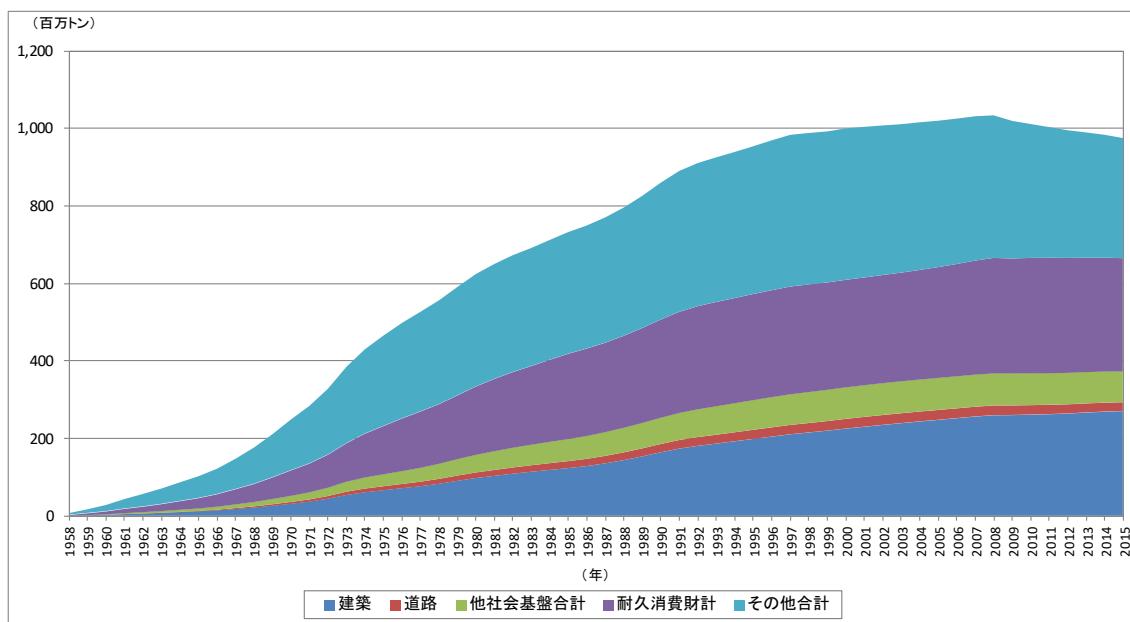
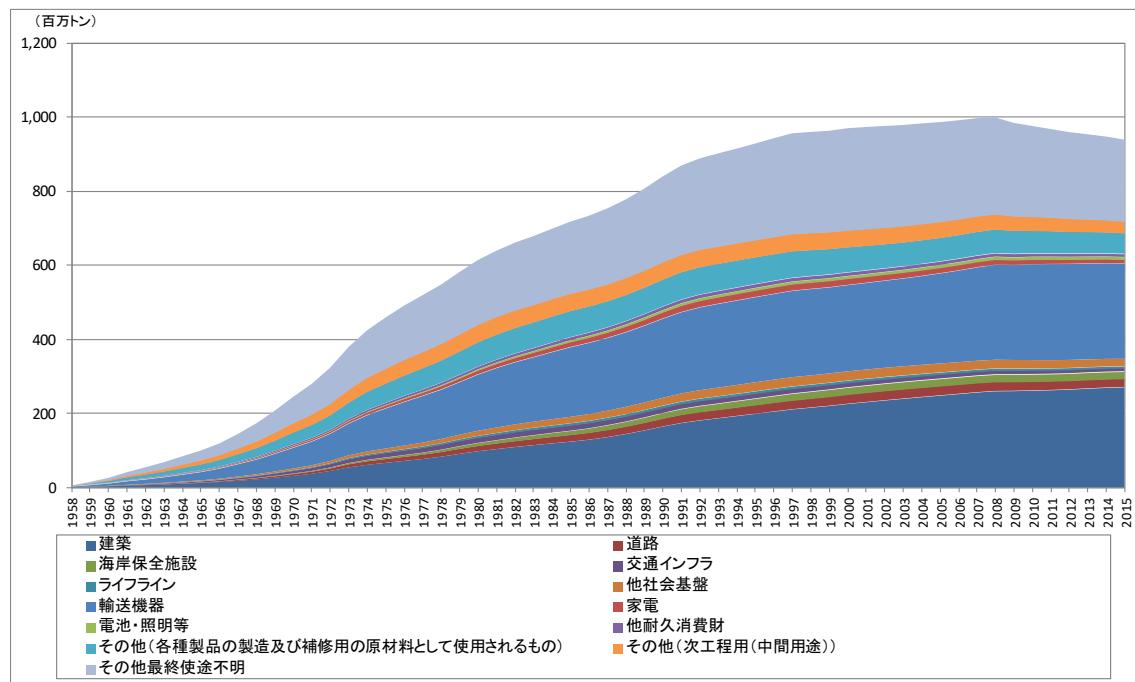


図-35 分類別ストック量

表-20 主な年の分類別ストック量

(単位：百万トン)

年	建築	道路	他社会基盤	耐久消費財	その他	合計
1990	164.2	21.2	68.0	253.0	353.2	859.6
1995	198.7	23.3	76.8	273.5	572.3	953.7
2000	225.4	24.8	81.6	277.1	608.9	999.8
2005	248.0	25.1	83.1	285.5	641.7	1019.6
2010	261.5	24.1	82.4	297.5	345.7	1011.2
2014	269.2	22.7	80.6	293.6	666.1	983.3
2015	270.8	22.3	80.0	291.7	664.8	974.8



\*項目ごとに残存率のパラメーターを変えているので、大分類での合計値とは一致しない。

図-36 細分類別ストック量

表-21 主な年の細分類別ストック量

(単位：百万トン)

年	建築	道路	海岸保全施設	交通インフラ	ライフライ	他社会基盤
1990	164.2	21.2	15.0	13.9	6.9	21.1
1995	198.7	23.3	17.7	13.4	7.0	24.1
2000	225.4	24.8	19.5	12.6	6.8	24.7
2005	248.0	25.1	20.0	11.5	6.3	23.9
2010	261.5	24.1	19.8	10.6	5.9	22.3
2014	269.2	22.7	19.7	9.8	5.5	20.4
2015	270.8	22.3	19.7	9.6	5.3	19.9
年	輸送機器	家電	電池・照明等	他耐久消費財	その他(製品用原材料等)	その他(次工程用)
1990	213.1	16.5	6.9	9.0	72.5	47.7
1995	229.2	17.9	7.6	9.4	72.1	47.4
2000	232.4	17.2	7.8	9.0	67.2	46.6
2005	242.7	15.3	8.1	8.6	63.0	44.3
2010	257.9	13.0	8.2	7.9	60.6	39.0
2014	257.7	11.0	7.8	7.3	56.6	34.0
2015	256.7	10.7	7.7	7.2	55.4	32.7
年	その他(販売業者向け等・最終使途不明)					
1990	233.0					
1995	261.9					
2000	277.0					
2005	270.6					
2010	246.0					
2014	226.6					
2015	221.9					

\*項目ごとに残存率のパラメーターを変えているので、大分類での合計値とは一致しない。

## 輸送機器（乗用車＋商用車）

### ① 投入量

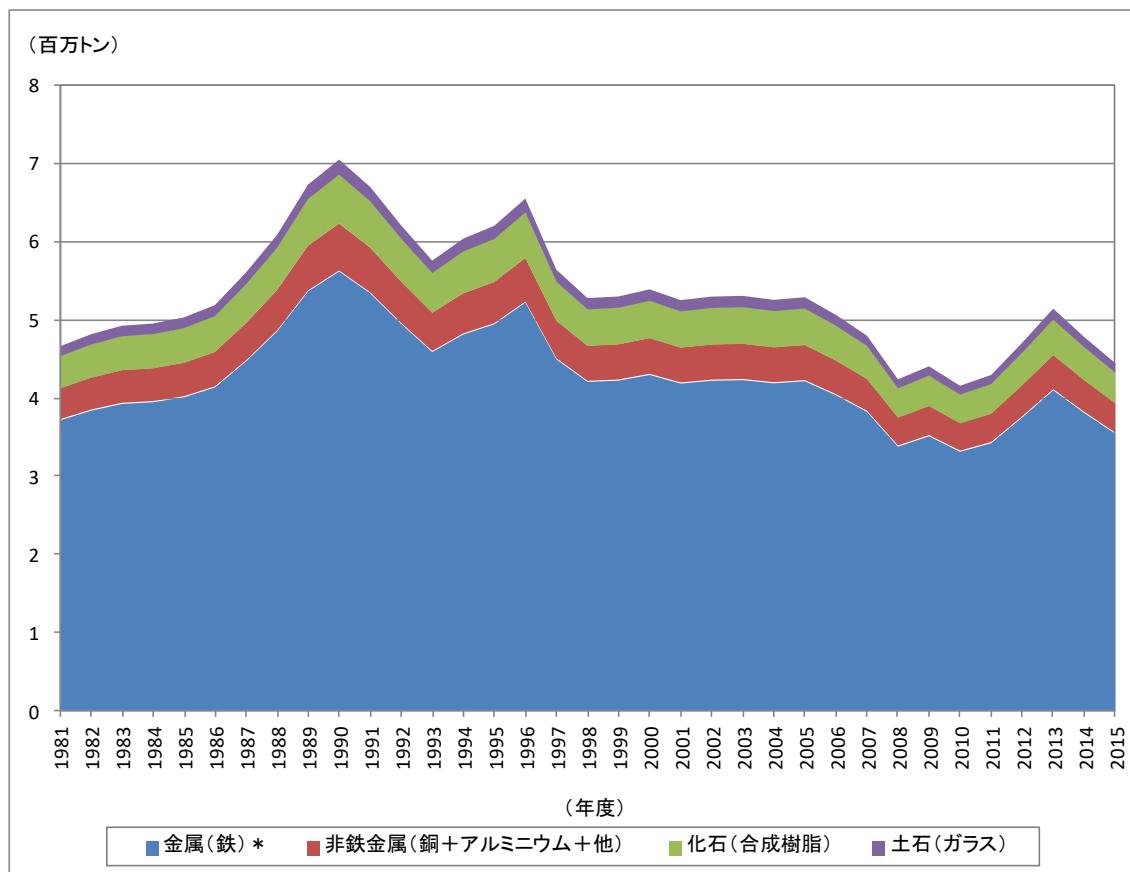


図-37 自動車（乗用車＋商用車）の資源別投入量

表-22 主な年の自動車の資源別投入量

(単位：百万トン)

年度	金属(鉄)*	非鉄金属(銅+アルミニウム+他)	化石(合成樹脂)	土石(ガラス)
1990	5.6	0.6	0.6	0.2
1995	4.9	0.5	0.6	0.2
2000	4.3	0.5	0.5	0.1
2005	4.2	0.5	0.5	0.1
2010	3.3	0.4	0.4	0.1
2014	3.8	0.4	0.4	0.1
2015	3.5	0.4	0.4	0.1

\* 金属(鉄)については重複排除のため合計値としては用いないが、参考として推計しているもの。

## ②退役量

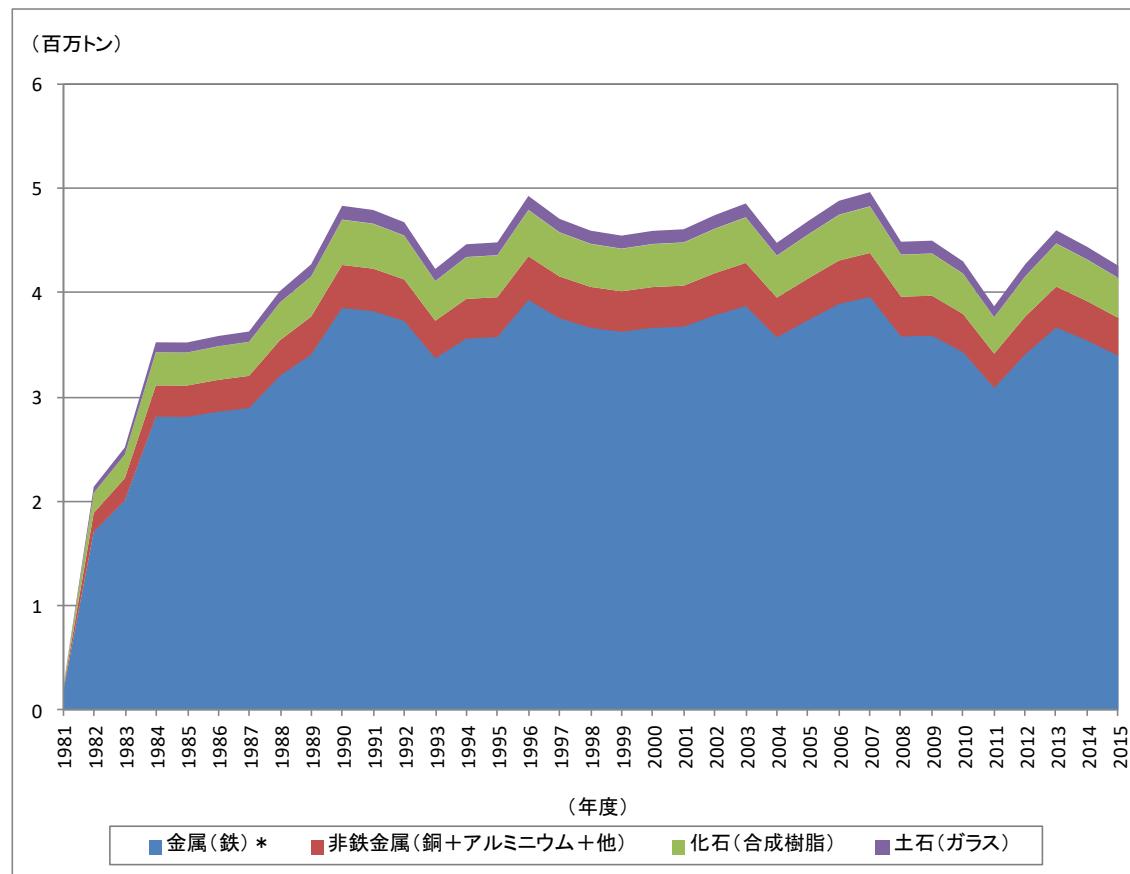


図-38 自動車（乗用車+商用車）の資源別退役量

表-23 主な年の自動車の資源別退役量

(単位：百万トン)

年度	金属（鉄）*	非鉄金属（銅＋アルミニウム＋他）	化石（合成樹脂）	土石（ガラス）
1990	3.9	0.4	0.4	0.1
1995	3.6	0.4	0.4	0.1
2000	3.7	0.4	0.4	0.1
2005	3.7	0.4	0.4	0.1
2010	3.4	0.4	0.4	0.1
2014	3.5	0.4	0.4	0.1
2015	3.4	0.4	0.4	0.1

\*金属（鉄）については重複排除のため合計値としては用いないが、参考として推計しているもの。

### ③ストック量

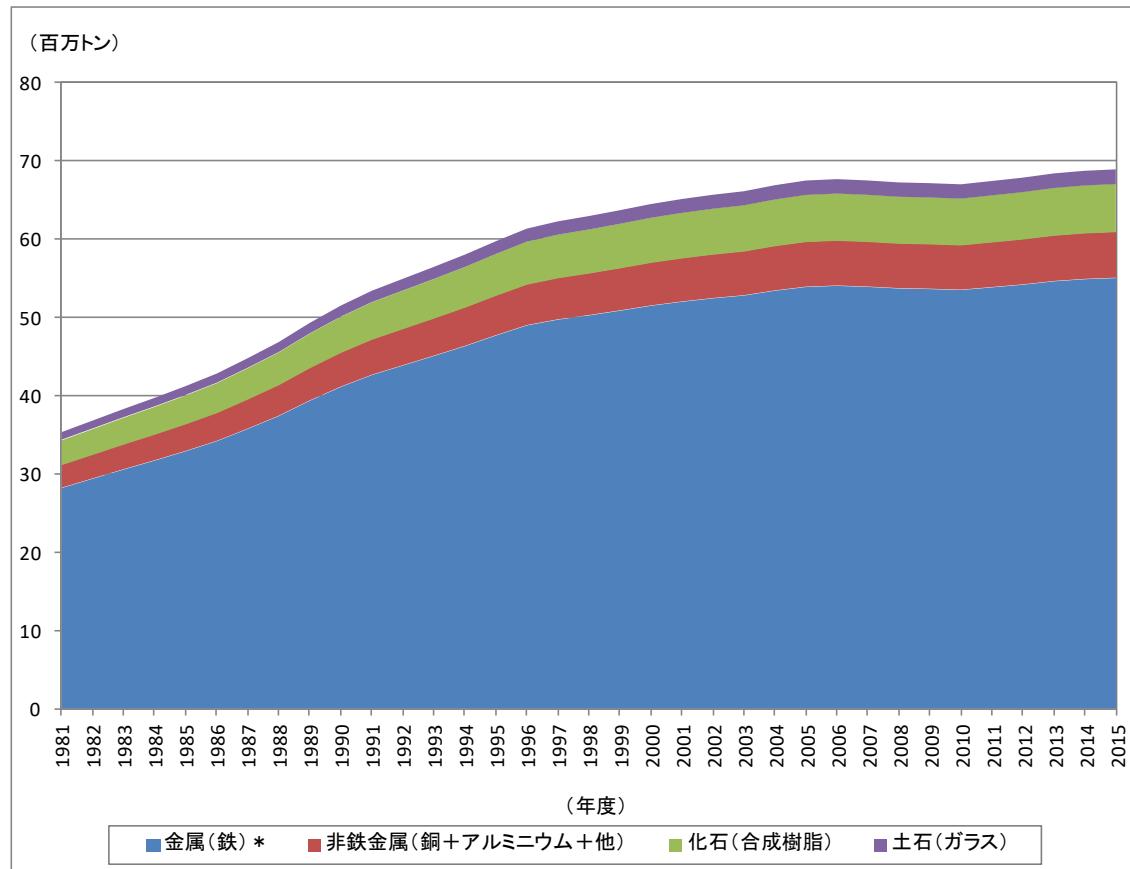


図-39 自動車（乗用車＋商用車）の資源別ストック量

表-24 主な年の自動車の資源別ストック量

(単位：百万トン)

年度	金属(鉄)*	非鉄金属(銅+アルミニウム+他)	化石(合成樹脂)	土石(ガラス)
1990	41.1	4.4	4.6	1.4
1995	47.7	5.1	5.4	1.6
2000	51.5	5.5	5.8	1.8
2005	53.9	5.8	6.1	1.8
2010	53.5	5.7	6.0	1.8
2014	54.9	5.9	6.2	1.9
2015	55.0	5.9	6.2	1.9

\*金属(鉄)については重複排除のため合計値としては用いないが、参考として推計しているもの。

## 家電

### ①投入量

#### 【エアコン】

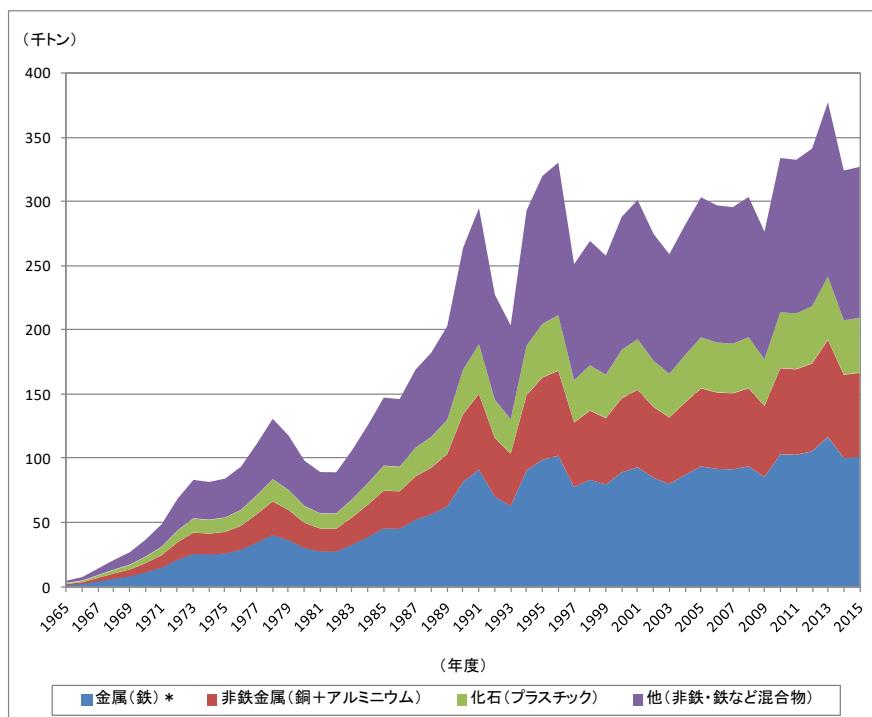


図-40 エアコンの資源別投入量

#### 【冷蔵庫】

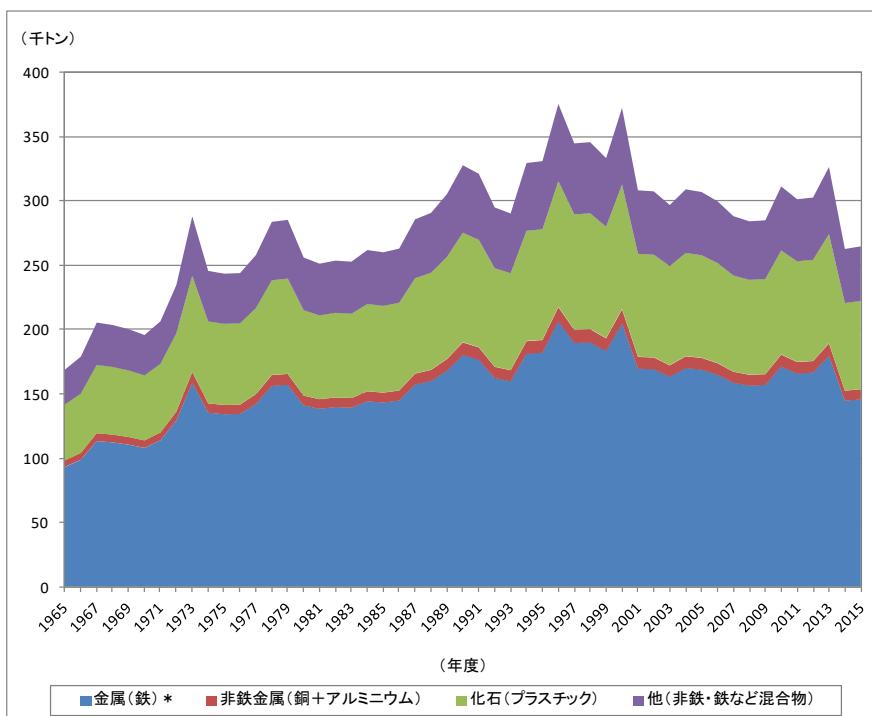


図-41 冷蔵庫の資源別投入量

【洗濯機】

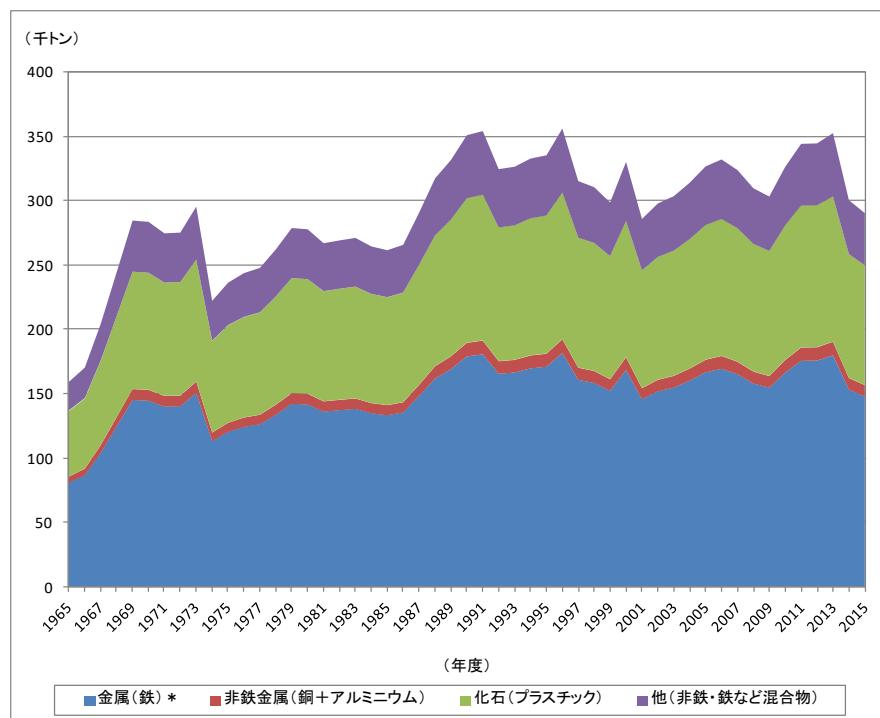


図-42 洗濯機の資源別投入量

【携帯電話】

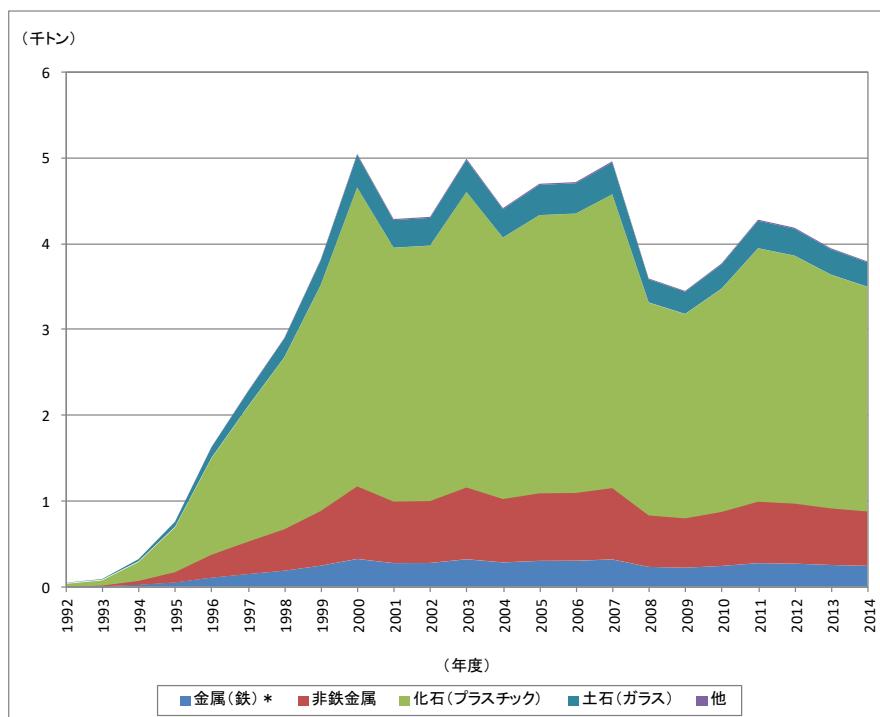


図-43 携帯電話の資源別投入量

### 【家電（エアコン、冷蔵庫、洗濯機、携帯電話）合計】

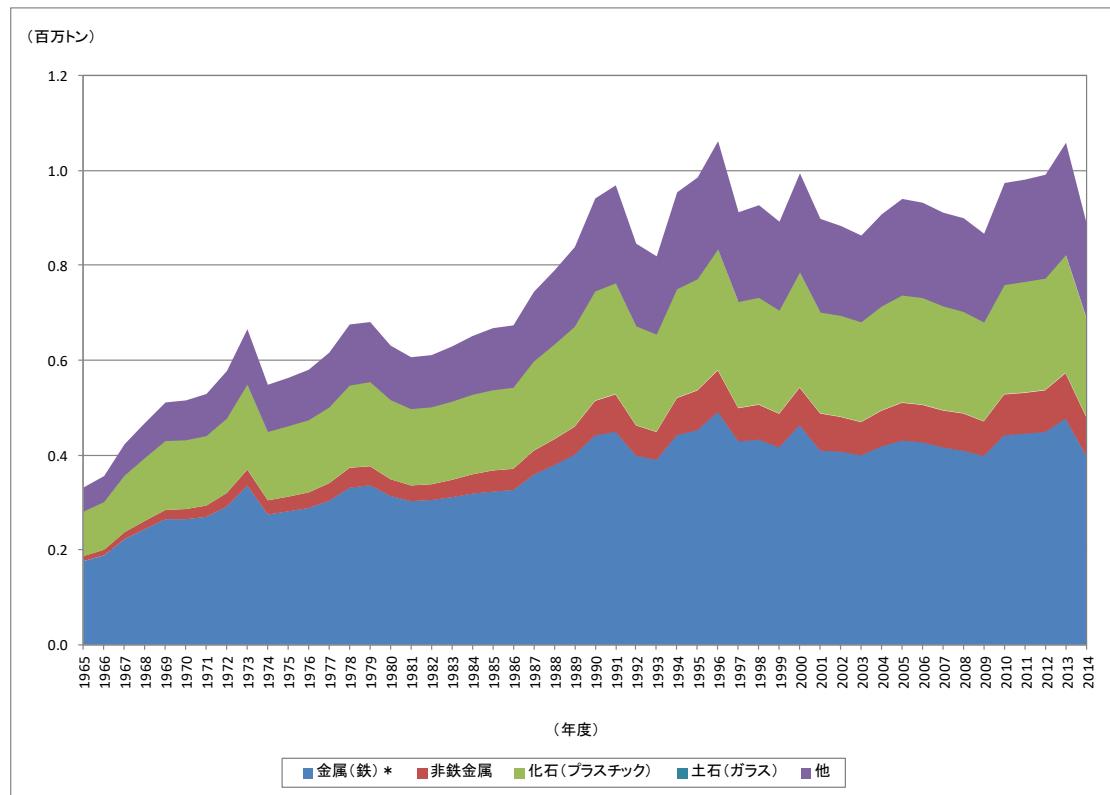


図-44 家電（エアコン、冷蔵庫、洗濯機、携帯電話）の資源別投入量

表-25 主な年の家電の資源別投入量

(単位：百万トン)

年度	金属（鉄）*	非鉄金属	化石 (プラスチック)	土石 (ガラス)	他
1990	0.44	0.07	0.23	—	0.20
1995	0.45	0.08	0.24	0.0001	0.21
2000	0.46	0.08	0.24	0.0004	0.21
2005	0.43	0.08	0.23	0.0004	0.20
2010	0.44	0.09	0.23	0.0003	0.22
2014	0.40	0.08	0.21	0.0003	0.20

\*金属（鉄）については重複排除のため合計値としては用いないが、参考として推計しているもの。

\*その他は、そのほとんどが非鉄金属と鉄の混合物となる。

\*土石は携帯電話からのもののみ。携帯電話は1992年度以降のみのデータとなる。

\*2015年度は携帯電話の投入量がないため2014年度が現時点での最新値。

②退役量

【エアコン】

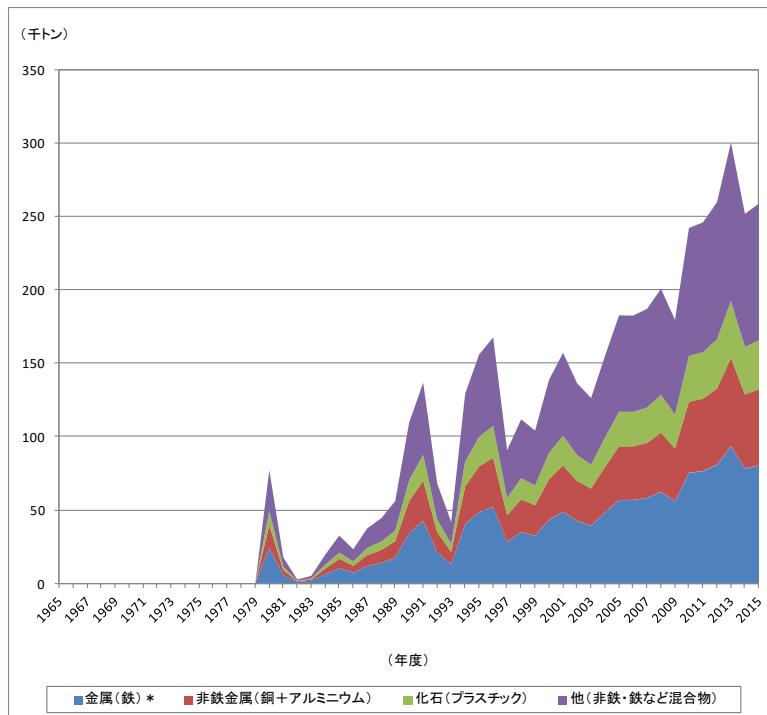


図-45 エアコンの資源別退役量

【冷蔵庫】

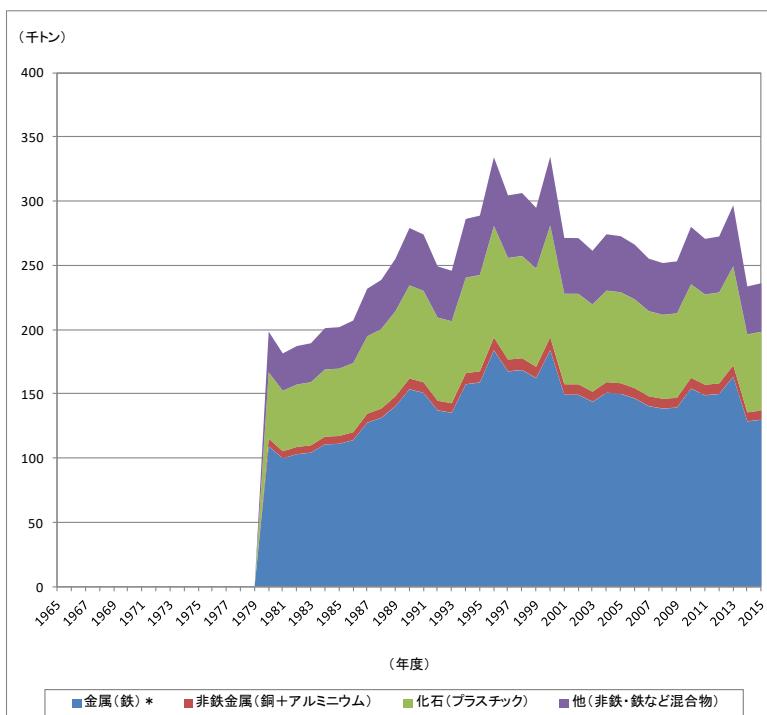


図-46 冷蔵庫の資源別退役量

【洗濯機】

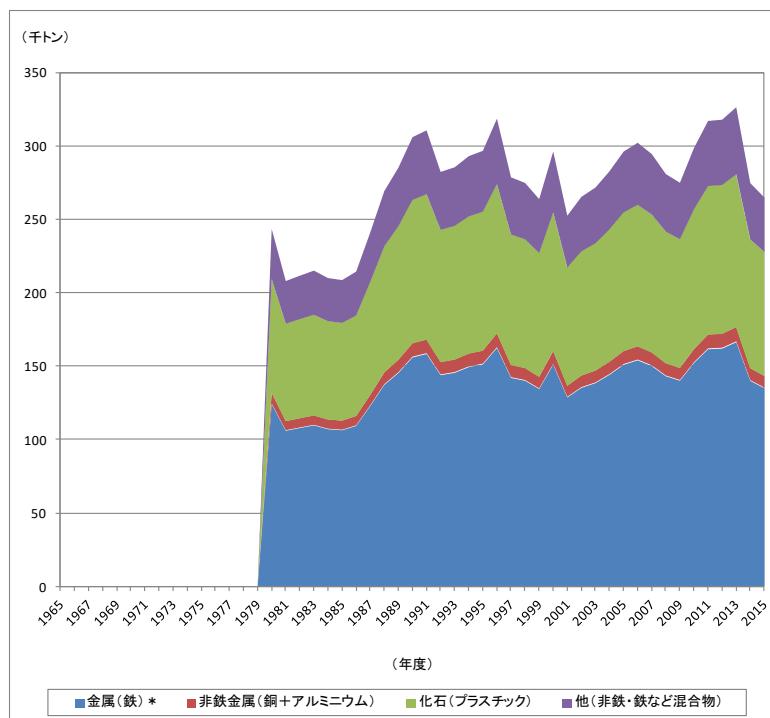


図-47 洗濯機の資源別退役量

【携帯電話】

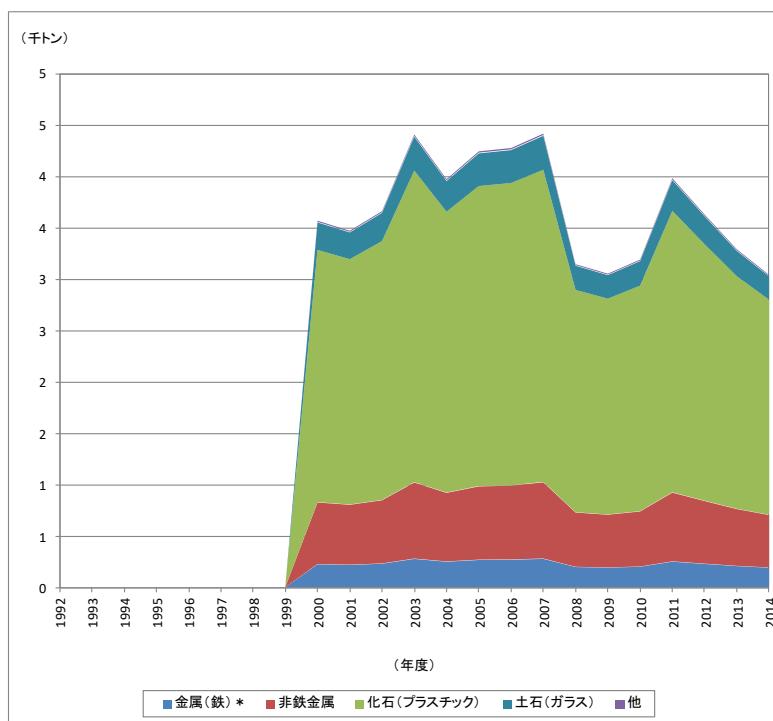


図-48 携帯電話の資源別退役量

### 【家電（エアコン、冷蔵庫、洗濯機、携帯電話）合計】

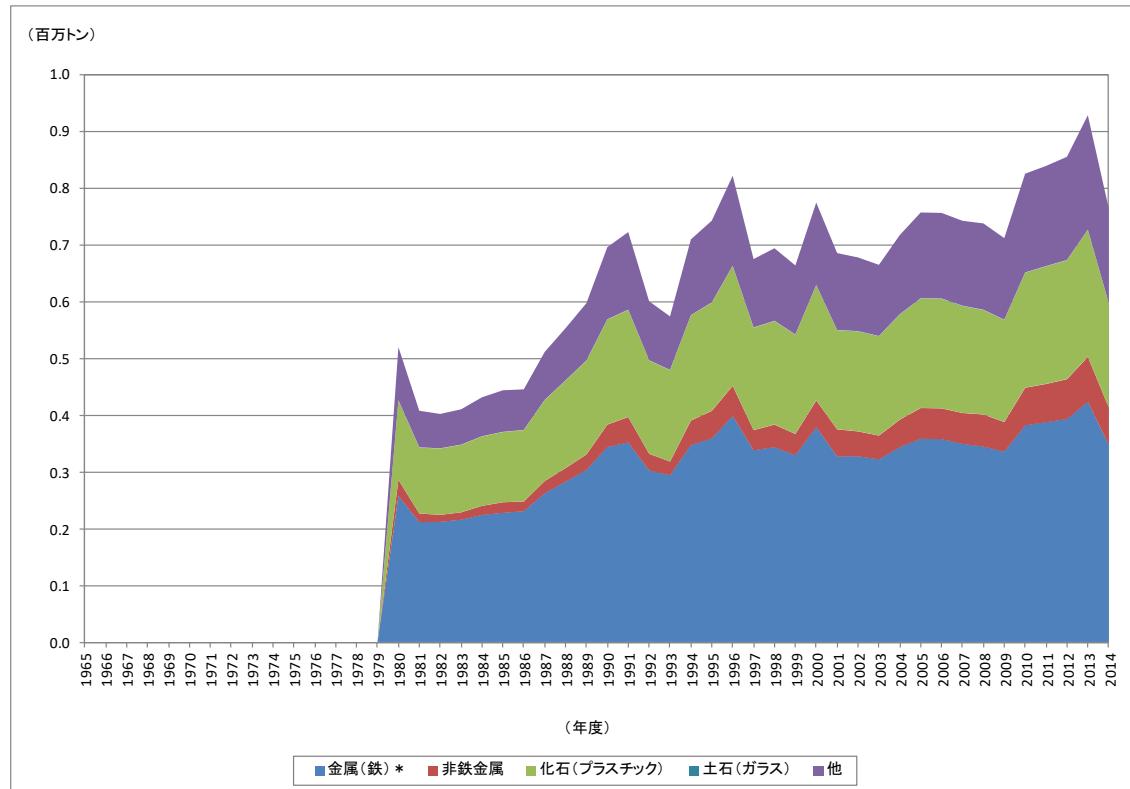


図-49 家電（エアコン、冷蔵庫、洗濯機、携帯電話）の資源別退役量

表-26 主な年の家電の資源別退役量

(単位：百万トン)

年度	金属（鉄） ＊	非鉄金属	化石 (プラスチック)	土石 (ガラス)	他
1990	0.34	0.04	0.18	—	0.13
1995	0.36	0.05	0.19	0.0000	0.14
2000	0.38	0.05	0.20	0.0003	0.15
2005	0.36	0.05	0.19	0.0003	0.15
2010	0.38	0.07	0.20	0.0002	0.17
2014	0.35	0.07	0.18	0.0002	0.17

\*金属（鉄）については重複排除のため合計値としては用いないが、参考として推計しているもの。

\*その他は、そのほとんどが非鉄金属と鉄の混合物となる。

\*土石は携帯電話からのもののみ。携帯電話は1992年度以降のみのデータとなる。

\*2015年度は携帯電話の投入量がないため2014年度が現時点での最新値。

### ③ストック量

#### 【エアコン】

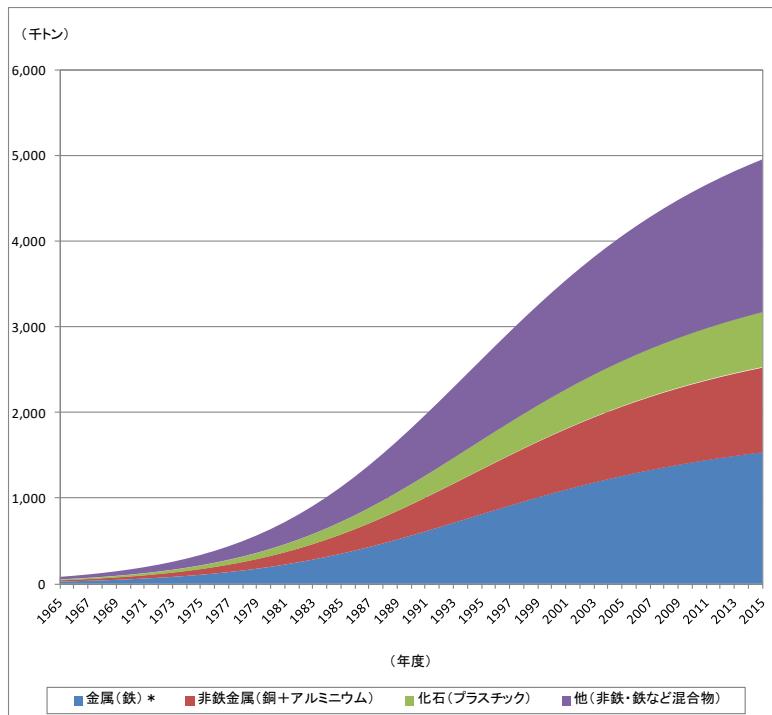


図-50 エアコンの資源別ストック量

#### 【冷蔵庫】

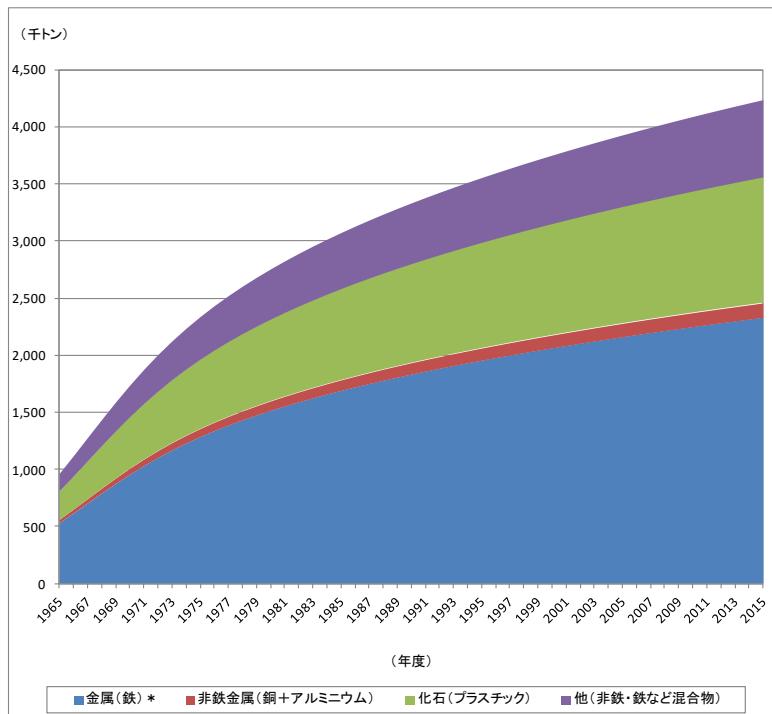


図-51 冷蔵庫の資源別ストック量

【洗濯機】

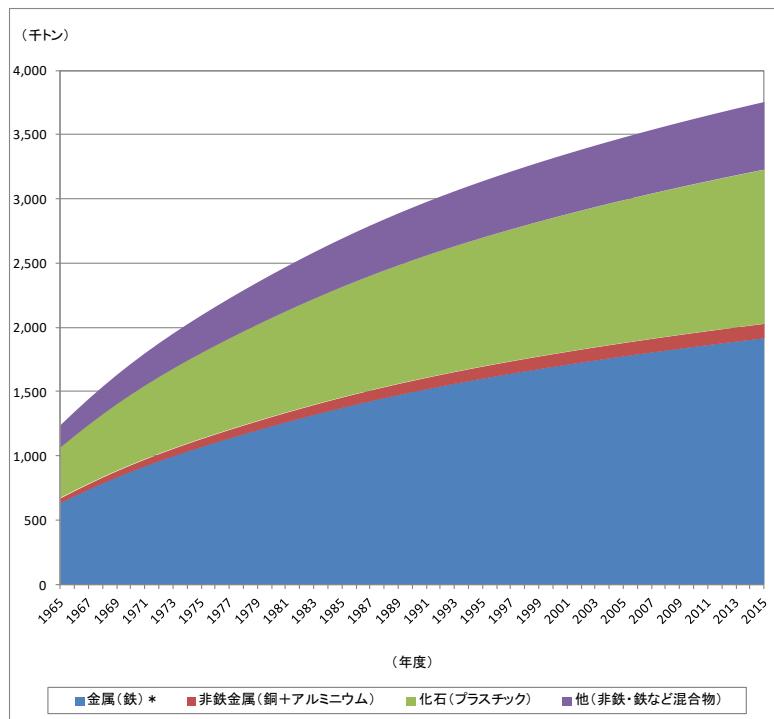


図-52 洗濯機の資源別ストック量

【携帯電話】

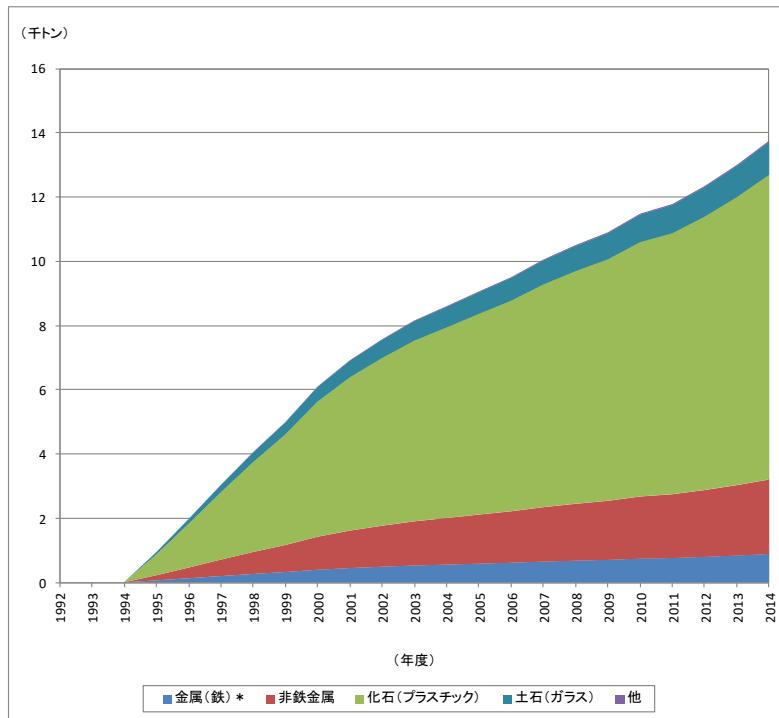


図-53 携帯電話の資源別ストック量

### 【家電（エアコン、冷蔵庫、洗濯機、携帯電話）合計】

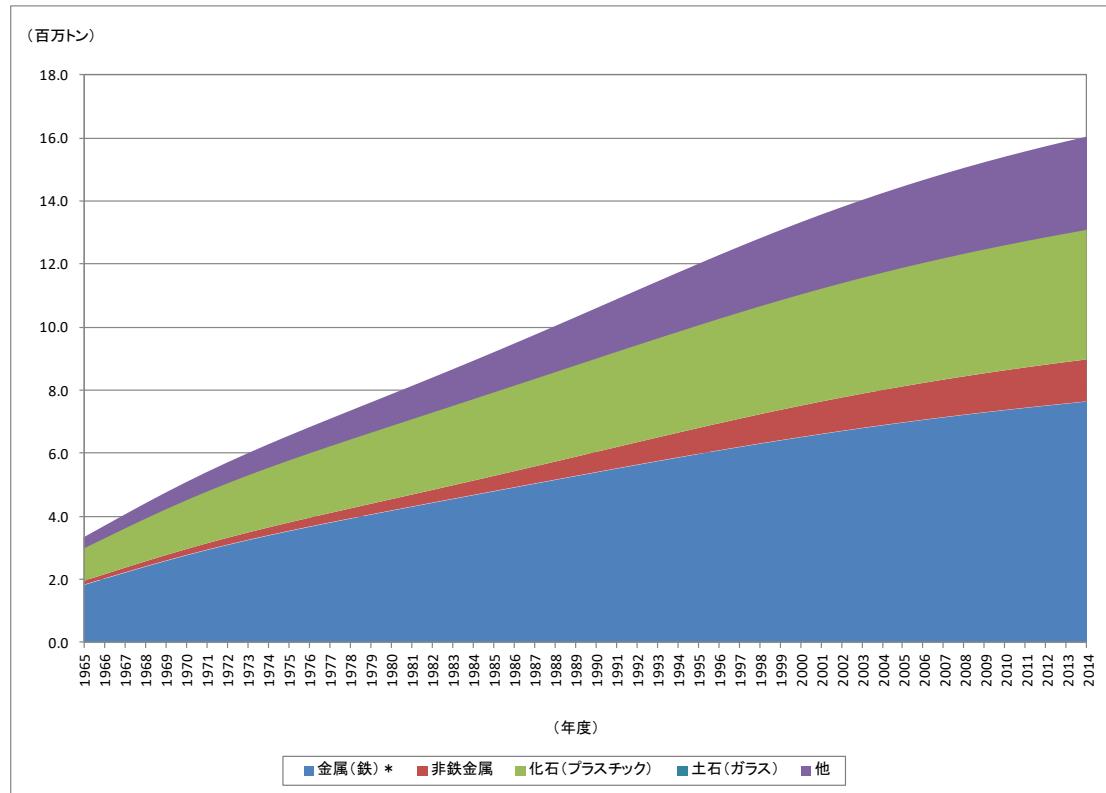


図-54 家電（エアコン、冷蔵庫、洗濯機、携帯電話）の資源別ストック量

表-27 主な年の家電の資源別ストック量

（単位：百万トン）

年度	金属（鉄）*	非鉄金属	化石 (プラスチック)	土石 (ガラス)	他
1990	5.38	0.64	2.98	—	1.60
1995	5.97	0.82	3.27	0.0001	1.95
2000	6.50	0.99	3.54	0.0005	2.29
2005	6.97	1.14	3.78	0.0007	2.58
2010	7.36	1.26	3.98	0.0009	2.81
2014	7.63	1.33	4.12	0.0010	2.96

\*金属（鉄）については重複排除のため合計値としては用いないが、参考として推計しているもの。

\*その他は、そのほとんどが非鉄金属と鉄の混合物となる。

\*土石は携帯電話からのもののみ。携帯電話は1992年度以降のみのデータとなる。

\*2015年度は携帯電話の投入量がないため2014年度が現時点での最新値。

## 電池・照明等

電球については前述のように課題があることからストック量推計には用いていないが、投入量及び退役量については参考として以下に結果を記載する。

### ①投入量

#### 【電球（参考）】

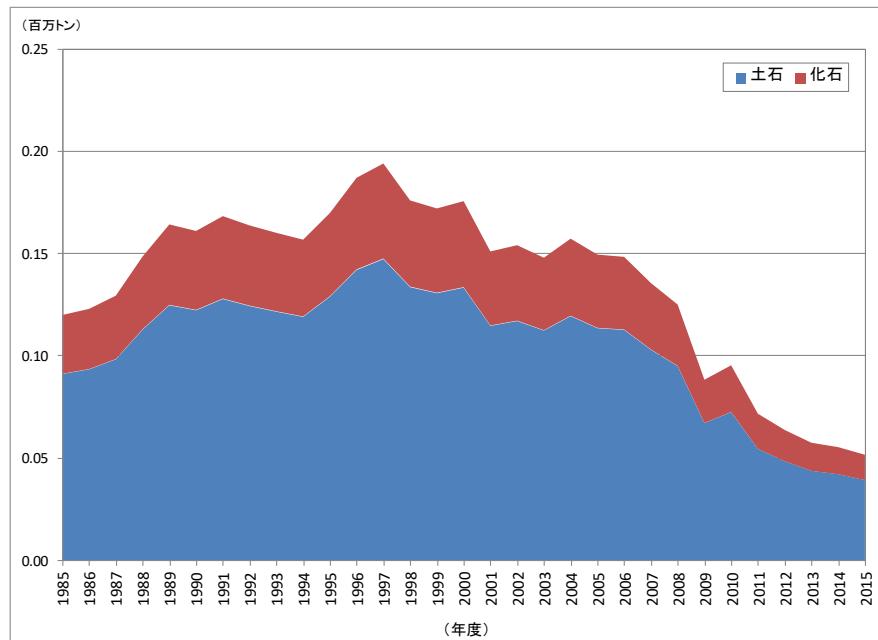
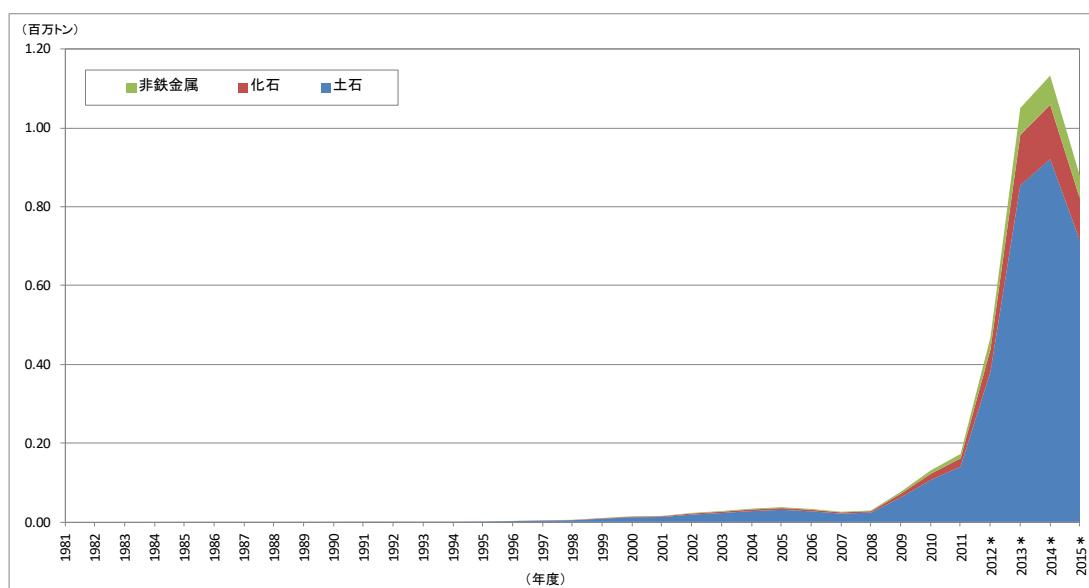


図-55 電球の資源別投入量

#### 【太陽電池モジュール】



\*2012年度～2015年度は太陽電池モジュールのみの値。2011年度以前はセルも含む値。

図-56 太陽電池モジュールの資源別投入量

②退役量

【電球（参考）】

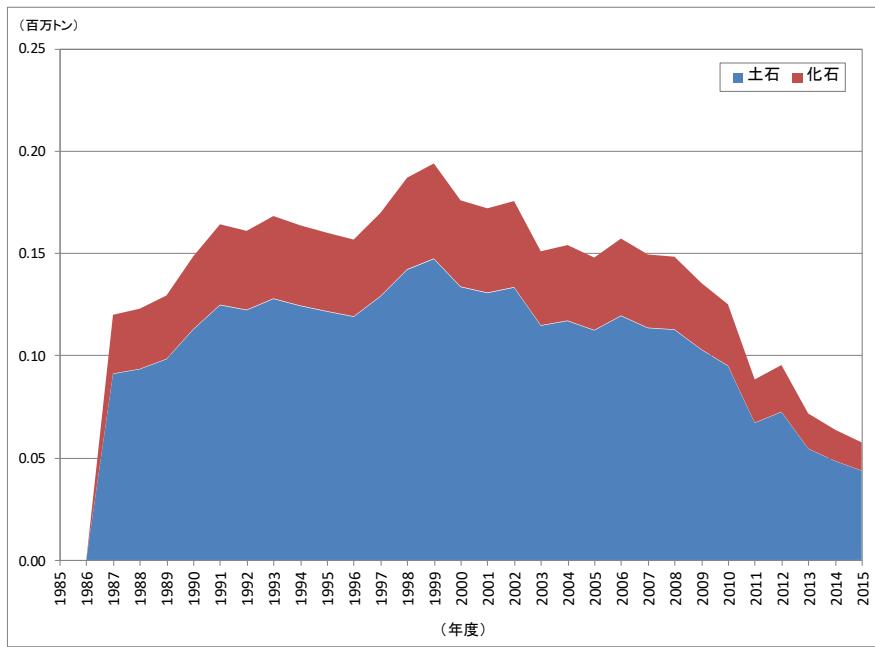


図-57 電球の資源別退役量

【太陽電池モジュール】

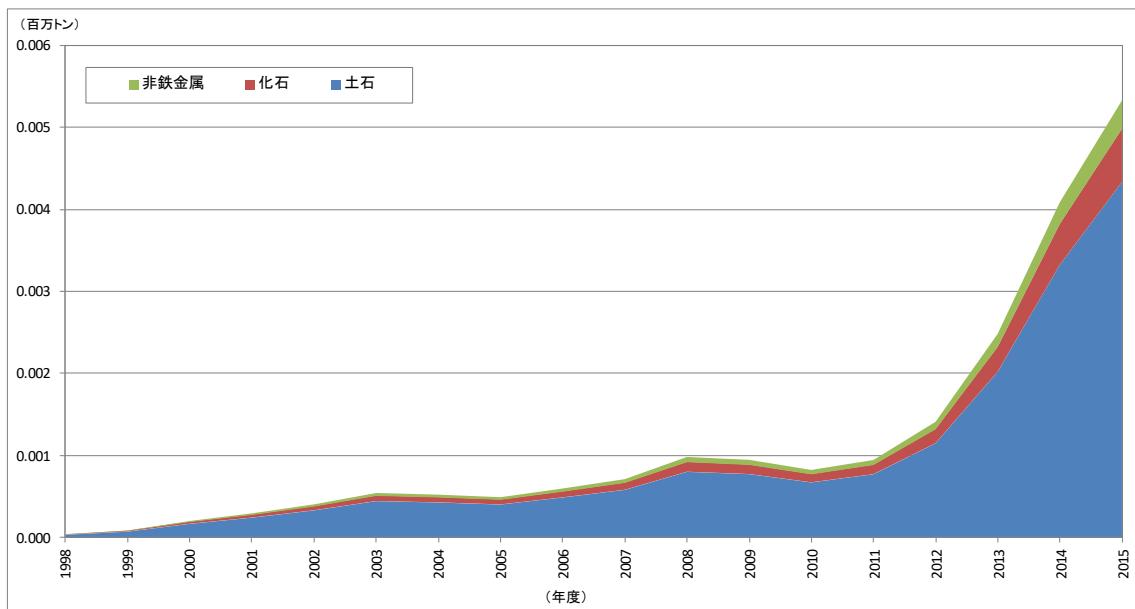
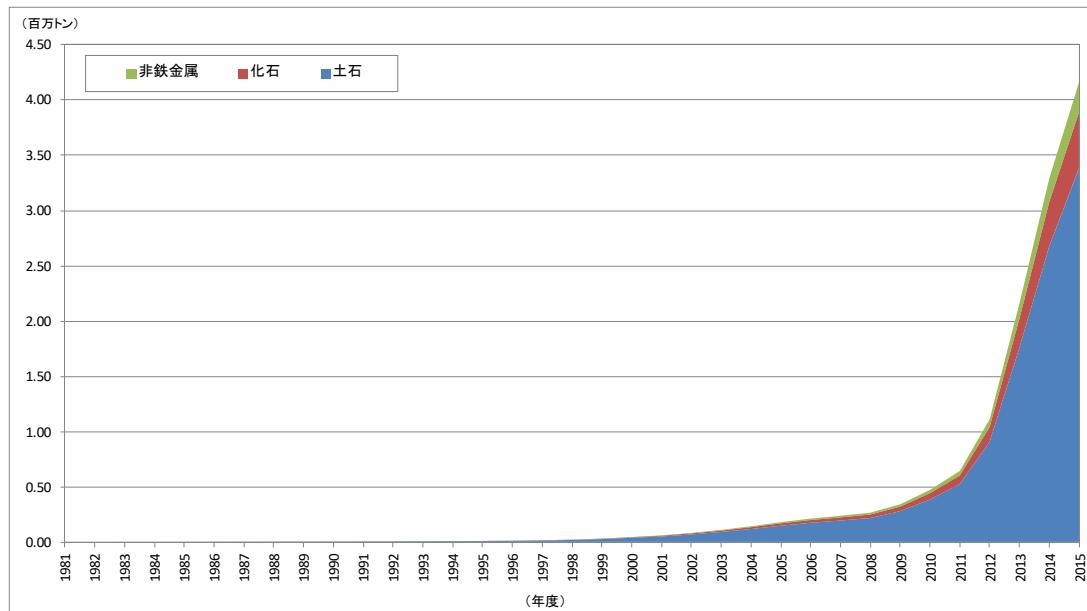


図-58 太陽電池モジュールの資源別退役量

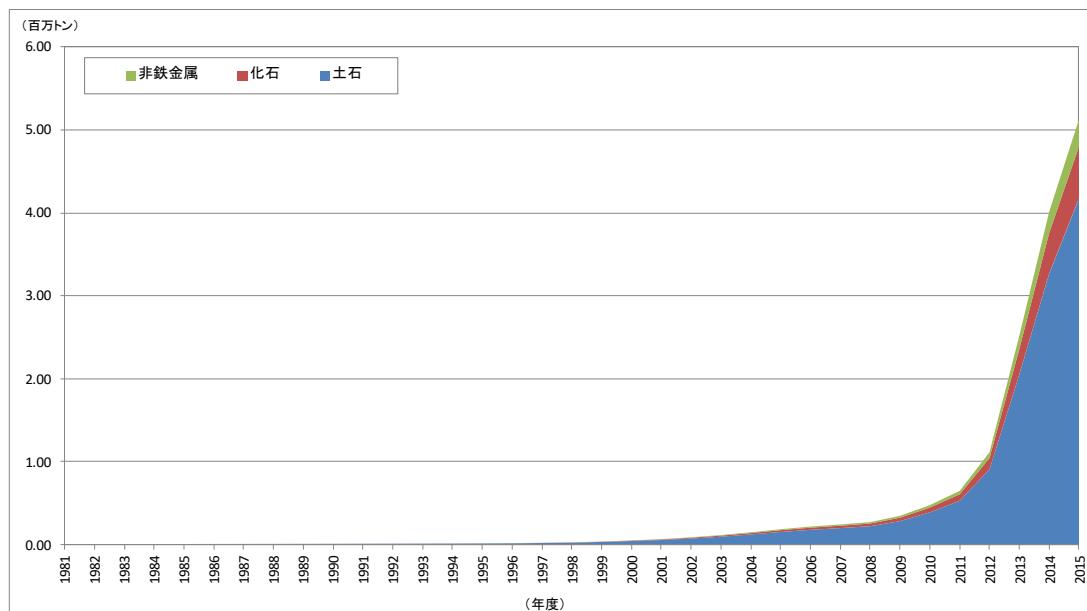
### ③ストック量

#### 【太陽電池モジュール】



\* 2012年度～2015年度は太陽電池モジュールのみの値、2011年度以前はセルも含む値で推計したもの。

図-59 太陽電池モジュールの資源別ストック量-1



\* 全て太陽電池モジュール及びセルの値。2013年度～2015年度は重複があり実際よりも過大となっている。

図-60 太陽電池モジュールの資源別ストック量-2 (参考)

表-28 主な年の太陽電池モジュールの資源別ストック量

(単位：百万トン)

年度	非鉄金属	土石	化石
1990	0.0003	0.003	0.0005
1995	0.001	0.007	0.001
2000	0.003	0.04	0.01
2005	0.01	0.15	0.02
2010	0.03	0.38	0.06
2014	0.21 (0.26)	2.67 (3.26)	0.40 (0.49)
2015	0.27 (0.33)	3.38 (4.17)	0.51 (0.63)

\*2012年度～2015年度は太陽電池モジュールのみの値、2011年度以前はセルも含む値で推計したもの。

\*2014年、2015年度の下段()内の数字は、全て太陽電池モジュール及びセルだが、2013年度～2015年度は重複があり実際よりも過大となっているため参考値。

## 電線

### ① 投入量

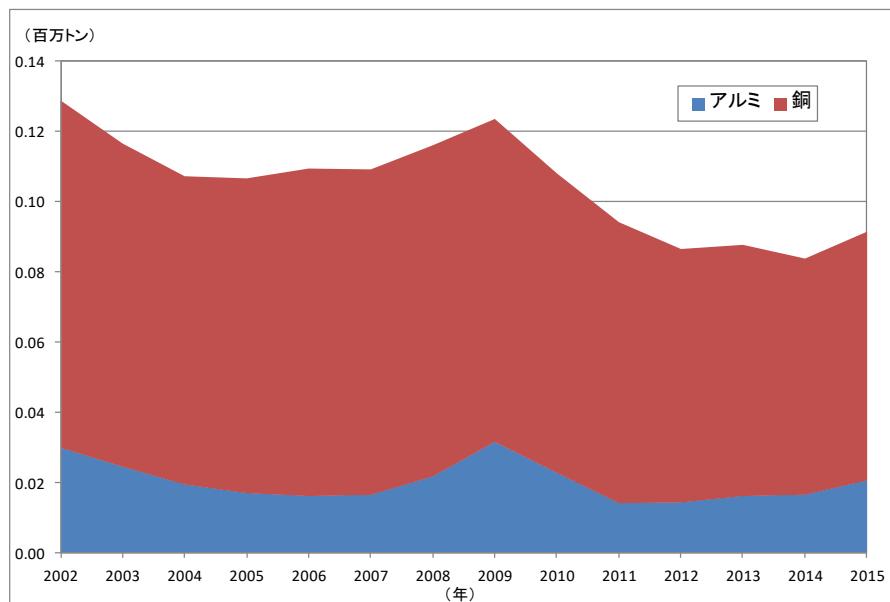


図-61 電線（銅電線＋アルミ電線）の投入量

### ② 退役量

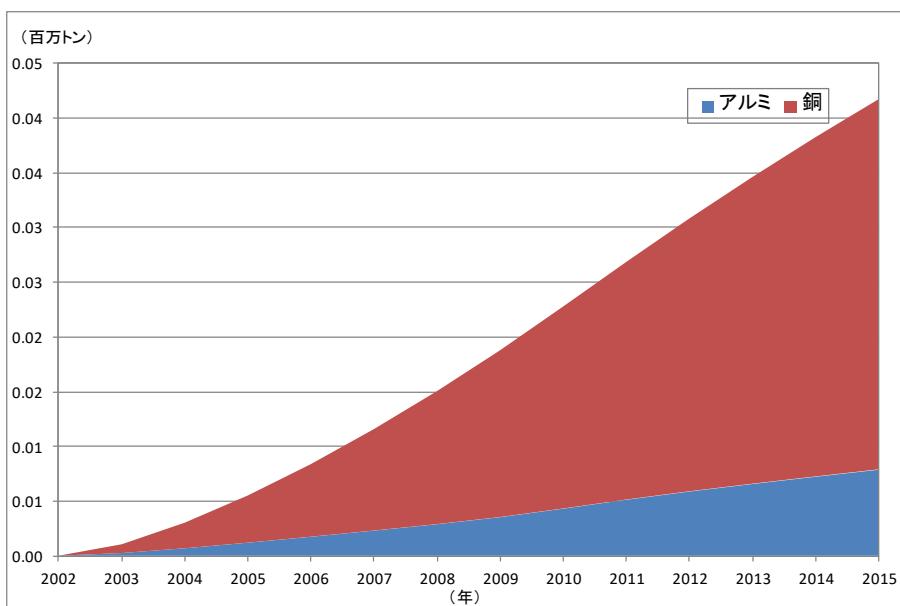


図-62 電線（銅電線＋アルミ電線）の退役量

### ③ストック量

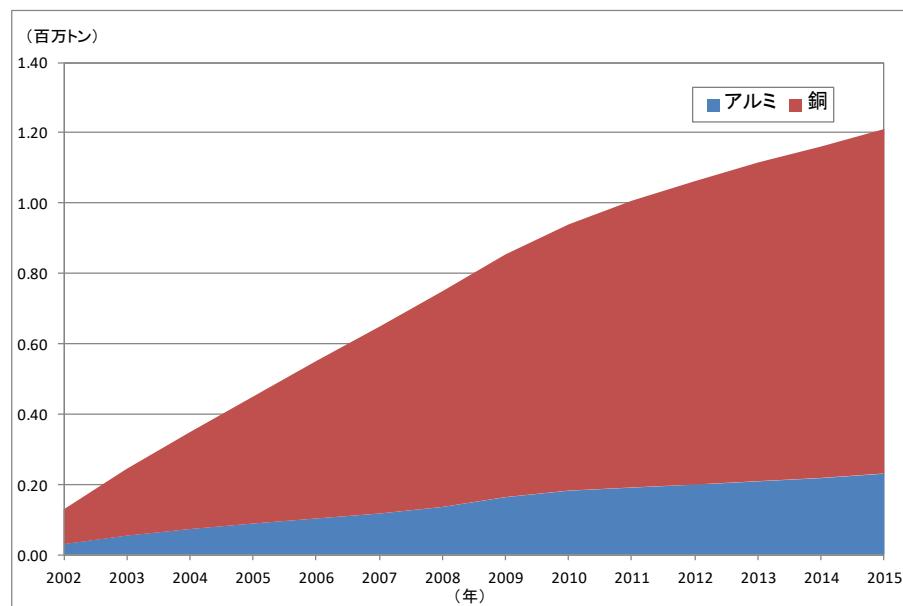


図-63 電線（銅電線＋アルミ電線）のストック量

これまでの結果より、2010年の値をまとめると、以下のとおりとなる。

表-29 2010年の物質ストック量等のまとめ

(単位：百万トン)

	投入量（蓄積量）				退役量				排出量				ストック量			
	各種統計及び組成情報・資材原単位等				投入量及び寿命閾数から推計				廃棄物等の統計値				ストック関連統計及びGIS情報等			
	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄	土石	化石	木材	金属 鉄 非鉄
建築物	82.8	—	9.3	7.8	—	16.4	—	2.7	6.7	—	—	—	9579	—	591	261.5
道路	168.2	—	—	0.8	—	23.0	—	—	1.1	—	—	—	9770	—	—	24.1
交通インフラ	—	—	0.3	—	—	—	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	10.6
社会基盤	104.4	—	—	0.1	0.11	—	—	—	0.2	0.02	—	—	—	—	—	5.9
その他	—	—	0.8	—	16.2	—	—	—	1.4	—	—	—	8734	—	—	42.1
輸送機器	0.1	0.4	—	15.7	0.4	0.1	0.4	—	13.6	0.4	—	—	1.8	6.0	—	257.9
耐久消費財	0.0003	0.23	—	0.7	0.09	0.0002	0.20	—	1.2	0.07	—	—	0.0009	3.98	—	13.0
電池・照明等	0.11	0.02	—	0.5	0.01	0.001	0.0001	—	0.5	0.0001	—	—	0.38	0.06	—	8.2
その他	—	—	0.5	—	—	—	—	—	0.6	—	—	—	—	—	—	7.9
その他	—	—	—	17.4	—	—	—	—	26.9	—	—	—	—	—	—	345.7
日本全体	355.6	0.65	9.3	44.4	0.61	55.7	0.6001	2.7	52.8	0.490 1	193.5	14.6	308.6	50.4	28,085.2	10.04
															591	1011.2
																7.93

\* 退蔵量はT年分のCの合計値となるため、2010年のまとめとしては省略。同様に退役純増量も退役量と退役純増量も本表では省略。

\* 本表は2010年値としているが、統計により「2010年度」値のものもある。

\* 参考として建築物の土石等についても試算を行ったが、名古屋大学での推計結果が望ましいため、ここでは載せていない。

\* 耐久消費財については、国立環境研究所での推計結果との整合はとれていないが、本推計で行った結果を載せている。

\* 金属（鉄）は大分類で計算したときの値。

\* 金属（鉄）とその他の資源では同じ分類項目でも計算方法が異なるので含まれているものは異なる。

### (3) 蓄積された物質ストックの状況の把握

物質ストックは社会に蓄積された人工資本で使われた物質の総計であり、毎年の蓄積純増の累計である。蓄積純増は、物質フロー算定の結果として算出されており、ストックからの廃棄物がしめる廃棄物の発生の割合は高いことから、物質ストックと物質フローは相互に深い関係にある。物質フローについては、環境省・環境白書により物質フロー図として公表されているが、ストックとの関連を示した図は報告されていない。本研究課題では、物質ストックの状況の把握を目的として、既存の物質フロー図を拡張し、「物質ストック・フロー図」を作成した。図-64 のように物質ストックはフローを支えるようなイメージで図示しており、蓄積純増や廃棄物の発生と関わっている様子を表している。さらに物質ストックの内訳として、製品別と素材別の物質量を記述することで国全体の様子を分かりやすく示している。(2) により定量化された値を整理し、日本の物質ストック・フロー図を作成した(図-65)。1990年と2010年を比較すると、総物質投入量が約24億トンから約16億トンと6割程度に減少しており、循環利用量は1億7500万トンから2億4600万トンと増加している。その一方で、物質ストックは約172億トンから282億トンと増加しているが、年々ストック増加のスピードは低減しており、ストック量は飽和の傾向にあるとも読み取れる。蓄積された物質ストックが物質フローを支えており、資源効率が拡大していることが示唆される。

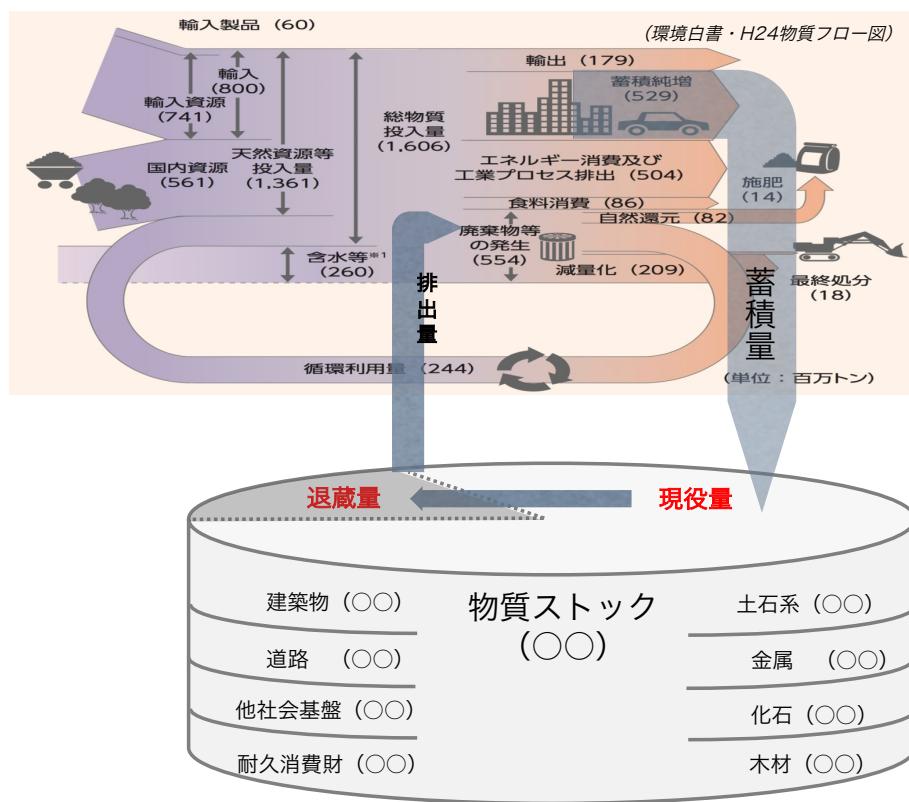
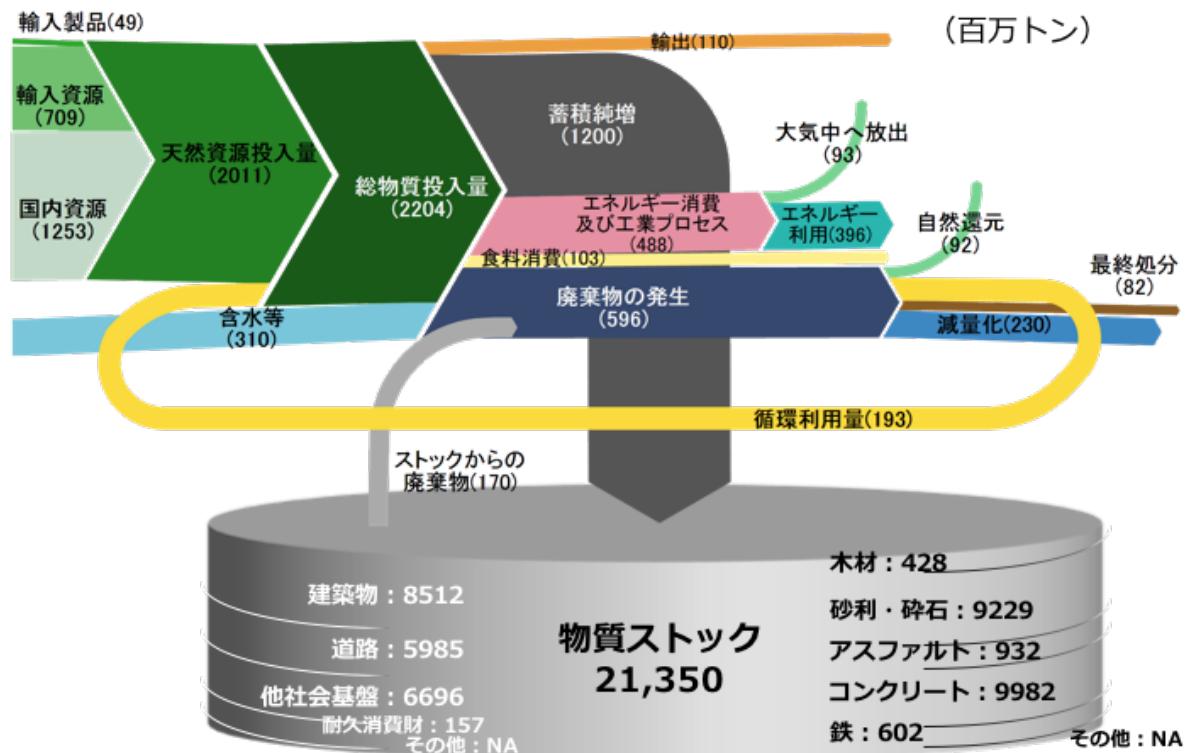
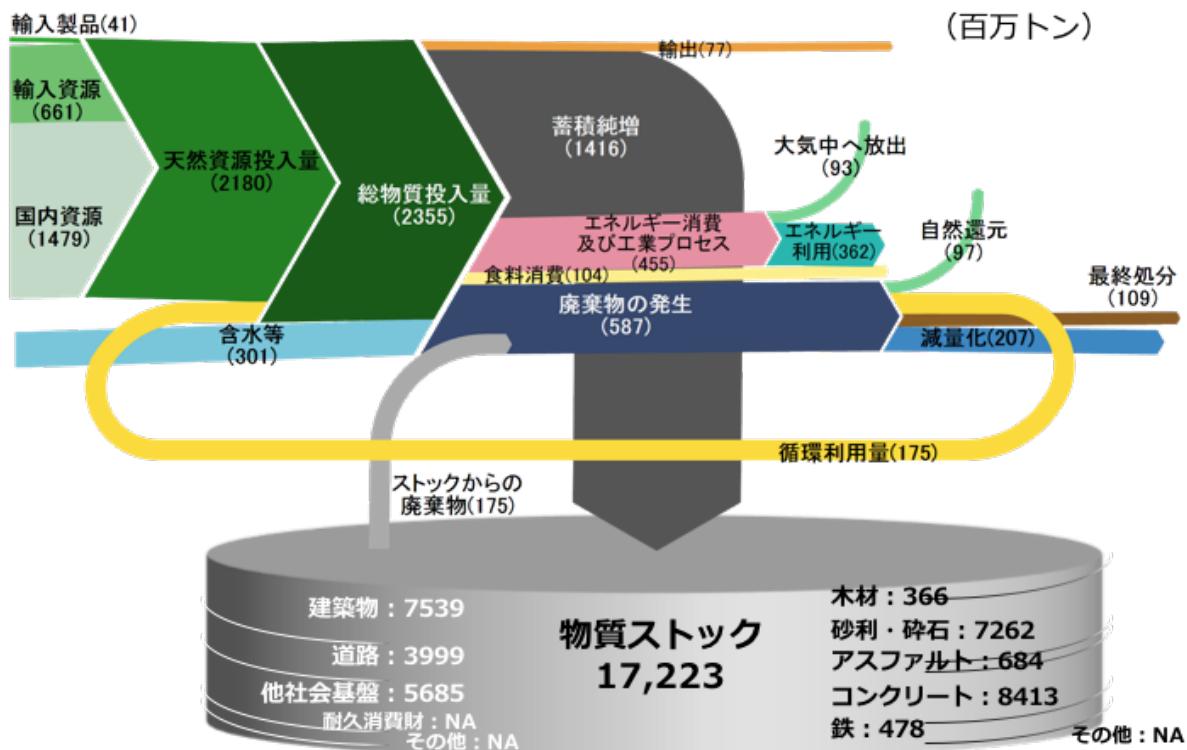
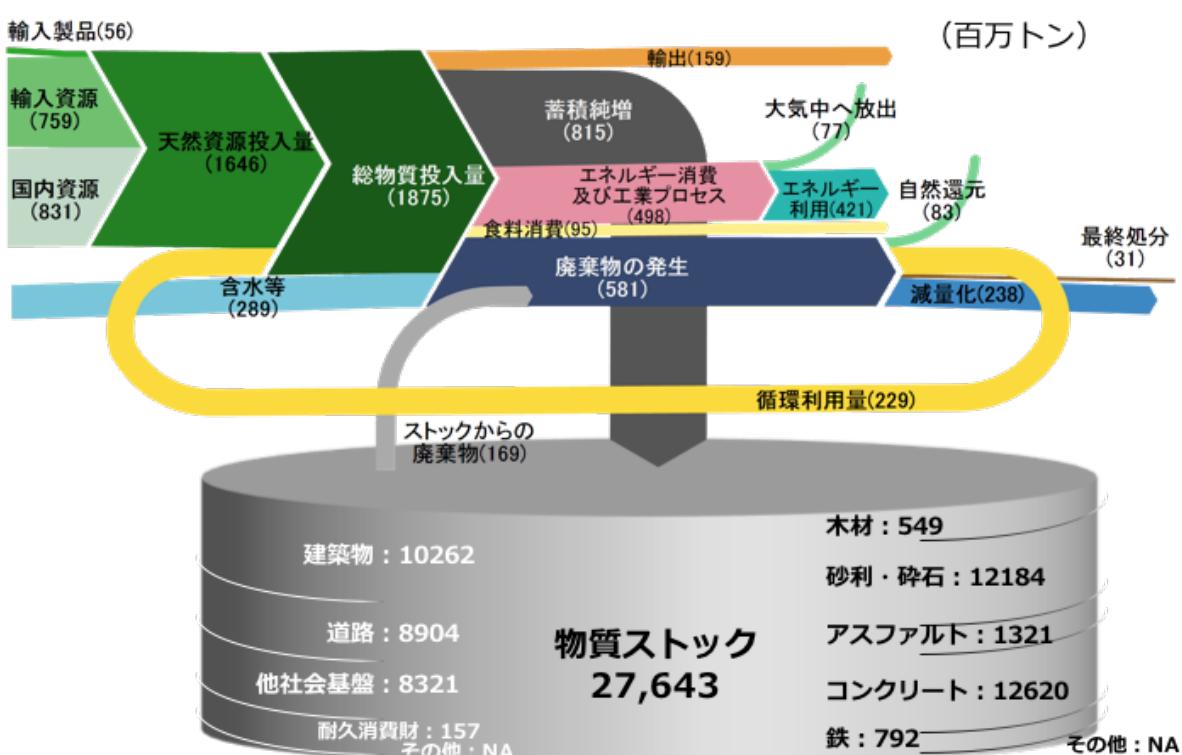
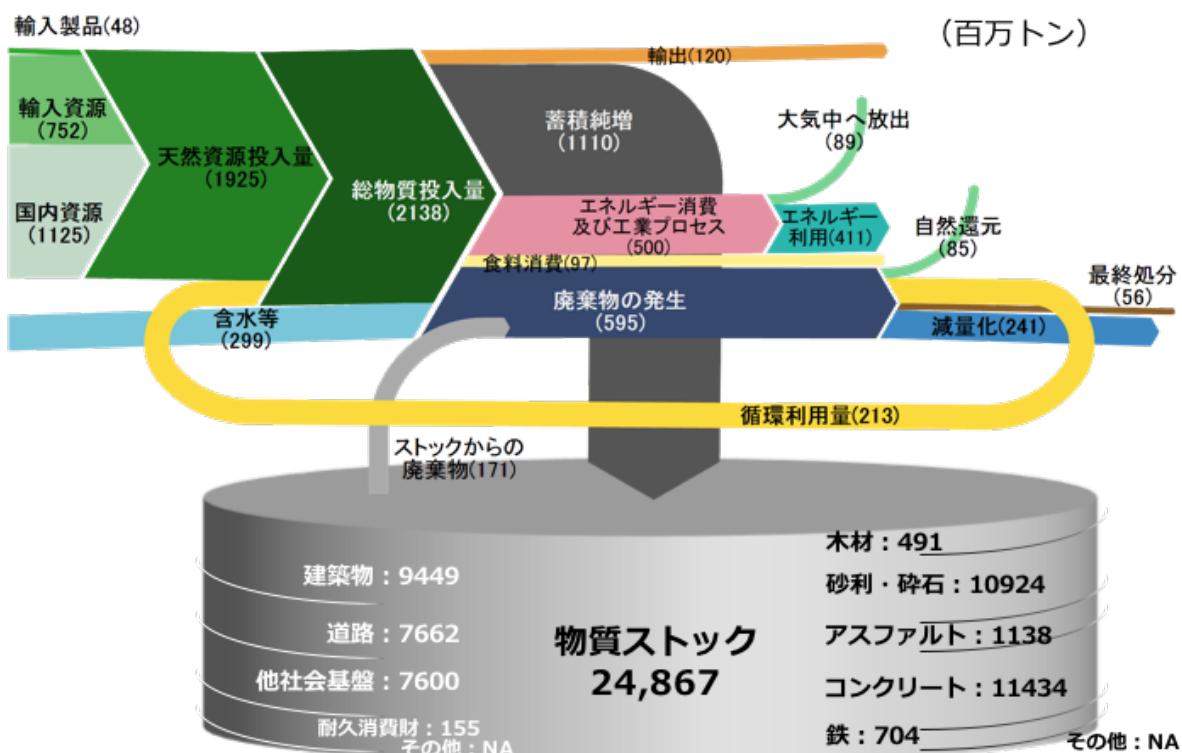
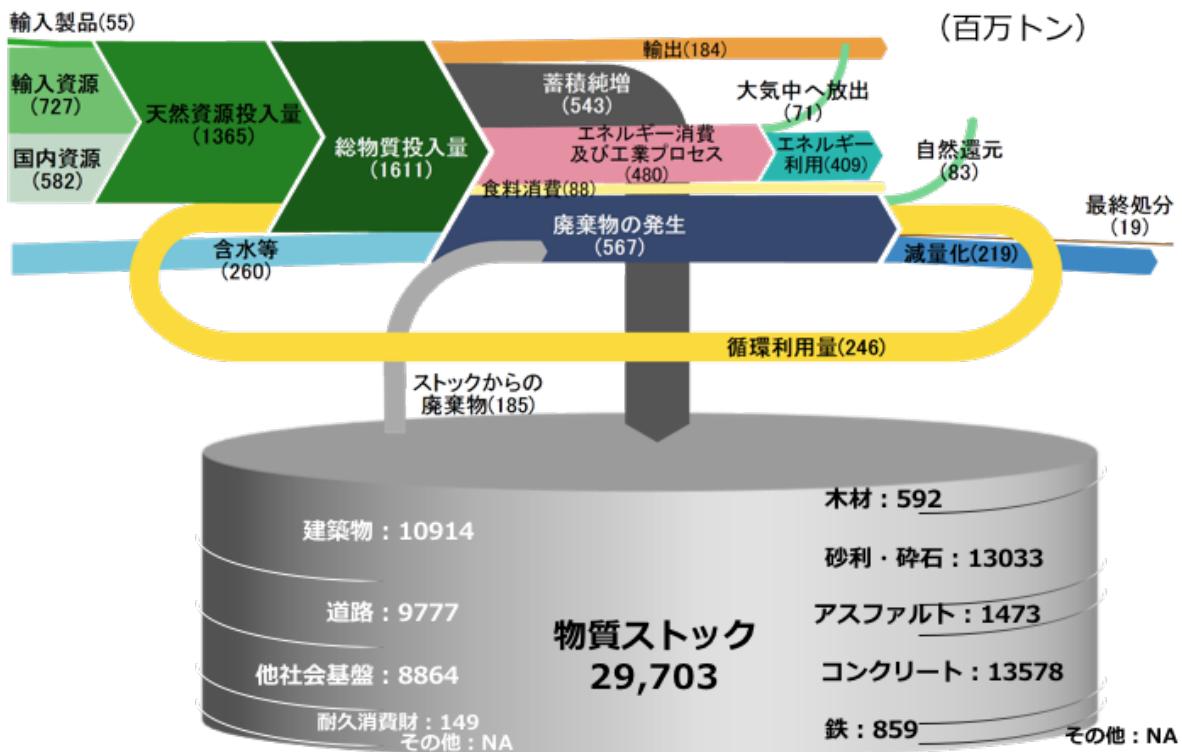


図-64 「物質ストック・フロー図」の概念







(e) 2010 年

図-65 日本の物質ストック・フロー図

#### (4) 実務ベースの物質ストック把握手法の検討

##### (4)-1 物質ストック・フロー指標の検討

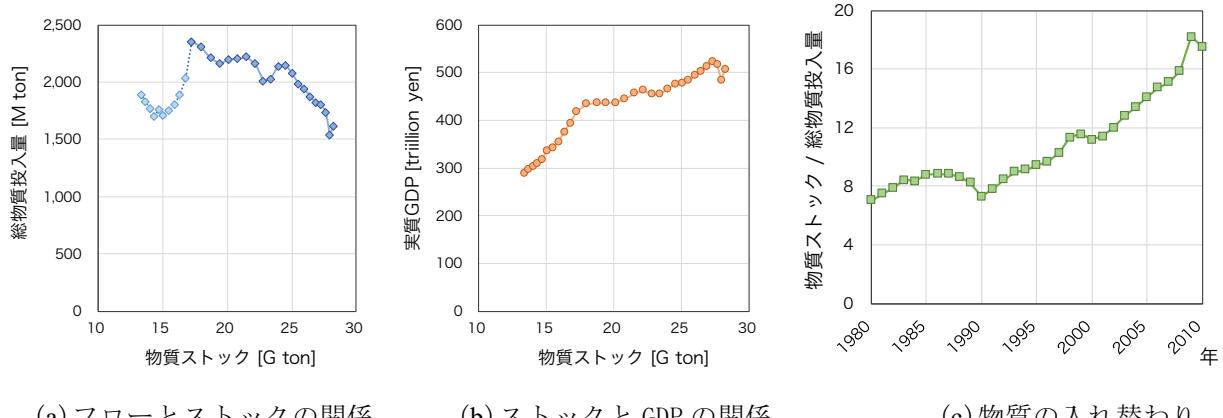
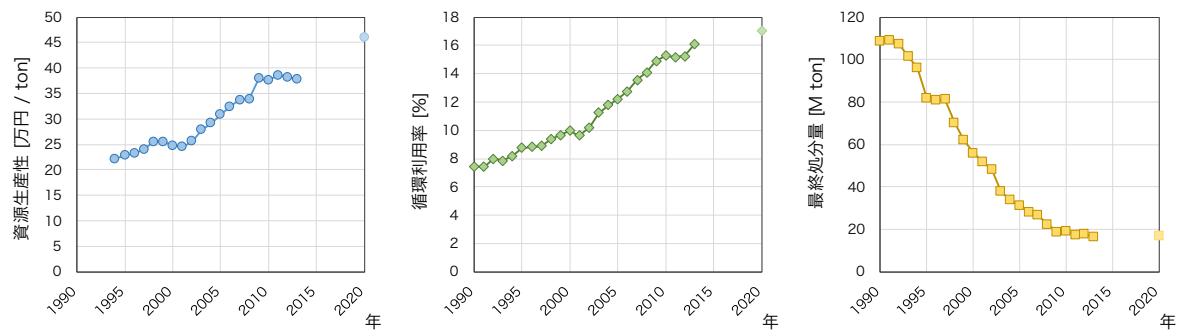
(1)と(3)で検討した物質ストック・フロー図より、物質フロー指標に追加して、物質ストック指標を整理・検討した。物質フロー指標は環境省の循環型社会形成基本計画にて達成目標として掲げられているが、本研究の目的である物質ストックは物質フローと密接に関わっている。そこで、図-66、図-67に示す、3つの物質ストック・フロー指標の検討を行った。物質フローおよび蓄積増分法による物質ストックの推計結果を用い、物質フロー指標に追加して、物質ストック指標を整理・検討した。冒頭でも述べたように、持続可能性を高めるためには、価値あるものを造り、長期間に渡り利用し、豊かさを生み出す有用なストックが多く蓄積されたストック型社会を形成していくことが重要である。環境省の循環型社会形成基本計画にて目標値を持つ3つの物質フロー指標「資源生産性」、「循環利用率」、「最終処分量」や、それらの補助指標の中でも物質ストックの状況を示す指標は取り上げられておらず、今後の検討が必要である。

本稿では、3つの物質フロー指標を補助し、物質代謝の側面からストック型社会構築に向けた状況を表す指標として、図-67に示す通り、次の3つの指標例の作成を試みた。

図-67(a)に示す「ストックとフローの関係」は物質ストック量と総物質投入量の動態を表している。社会の形成段階では、物質フローのうち物質ストックとして蓄積される物質が多く、同グラフは右上がりに進むが、社会が成熟し、十分な物質ストックを蓄積すると物質総量は飽和状態になり、同グラフは右下がりになる。しかし、物質ストックを短期間で再構築する社会は、物質ストックを維持するために高い水準で物質投入を続けなければならず、同グラフは上方向に推移すると考えられる。わが国の推移を概観すると右下に向かって推移しているため、ストックは増え続けているものの、投入量は減少しており、比較的良い方向に推移していると考えられる。

図-67(b)「物質ストックとGDP」については、物質ストックとGDPとの関係を図示したものである。物質フロー3指標の一つ「資源生産性」は、GDP（万円）を天然資源投入量（トン）で除したものであるが、GDPが既存物質ストックによるサービスを背景に生み出されたと考えると、両者の関係を把握することは重要である。時系列にするのであればGDPを物質ストック量で除した“物質ストック生産性”でも同様の考察が可能である。既存の物質ストックを活用してより多くのGDPを生み出すことが望ましいため、このグラフはより上方に推移するのが望ましい。将来、物質ストックが飽和しつつ、経済成長が進んでいるかどうかを示す指標となり得る。

図-67(c)「物質の入れ替わり」では、総物質投入量と物質ストック量の比を表している。対象年の物質ストックが同年の総物質投入量の何年分かという数値であるが、物質ストックが飽和した経済社会においては構造物の耐用年数と類似した指標となり得る。しかし、物質ストックには退役や退蔵しているサービスを発揮していないものも含まれているため、現状において、一般的な耐用年数よりも大きな値を示す傾向がある。更新周期が長くなるほど、環境負荷は小さくなると考えられるため、今後の変化を注視する必要がある。政策指標としては、横軸が年になっている方が望ましいとの意見もあり、今後のさらなる検討が必要である。



## 結論

本研究では、我が国に蓄積されている資源のストックに関する知見の必要性から、ストック型社会形成に資する豊かさを生み出す物質ストックを定量的・経年的に推計・評価を行った。具体的には、以下の4項目を中心に調査・検討を行った。

(1) 物質ストックの区分と具体事例の整理：

国内外の資源ストック分析の事例を収集し、日本に適用する場合の検討を行った。豊かさを生み出す物質ストックとはどのようなものか概念的な整理を行った上で、具体的な事例の整理を行った。ストックを考えることが循環型社会もしくは低炭素社会・自然共生社会を含めた三社会にとって貢献するための具体的な事例について、物質ストック・フロー図における位置づけを行った。

(2) 物質ストックの環境・経済面での定量的評価：

具体的な事例整理に基づき、定性的評価から定量的評価へ結びつけるための①分析・評価手法の検討と②個別事例に基づくケーススタディを行った。ケーススタディでは、物質ストックの機能量が経年で増加傾向にある事、及び耐用年数・滞留年数が増加傾向にある事を示した。また、物質ストックを定量的かつ経年的に計測するために必要な③統計処理手法の確立し、政策に必要なデータとして隨時更新可能な④実務ベースの物質ストック把握手法を検討した。

(3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握：

(2) にて評価した物質ストックより、物質ストック・フロー図を作成した。本図は、環境白書の物質フロー図に対応しており、ストック型社会を考慮する上で次期第四次循環型社会形成推進基本計画に貢献する。

(4) ストック型社会の構築による環境・経済面への影響評価：

推計した物質ストックがどのような要因に基づくものであるのか分析し、物質フロー指標を支える物質ストック・フロー指標をまとめた。フロー指標だけでは捉えられない視点から、循環型社会及び三社会の構築に貢献することが期待される。

これら4項目の作業を実施することで、豊かさを生み出す物質ストックとはなにか、どのように実務的に定量化し、評価するのかを検討し、ストック型社会が三社会構築にどのように貢献できるのか明らかにした。

物質ストックの機能量や耐用年数・滞留年数が増加したことでの物質フローが減少していることが示唆されており、今後は豊かさを生み出すストックの事例を整理する必要がある。また、有用なストックを定量化するために、相対的に退役・退蔵ストックを評価する指標を構築しており、人口減少社会において、空き家等の退蔵ストックがどのように影響・関係するかを明らかにすることが、今後の循環計画に貢献することが期待される。物質ストック・フローデータベースについて、ストックの細分化との対応が必須であり、将来のリサイクル可能性、環境影響などフローに対応したストックの評価を進めることができ、今後の政策への貢献から本研究を継続して実施することが重要である。

### III 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）

#### 参考文献

- 1) 青柳淳之介・杉本賢二・奥岡桂次郎・谷川寛樹(2015)：名古屋市中心部における4d-GISを用いた都市の経年変化によるMSFAに関する研究土木学会論文集G(環境), Vol.71, No.6, pp. II467-II474.
- 2) 小見康夫・栗田紀之(2010)：長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 656, pp. 2459-2465.
- 3) 加用千裕, 荒巻俊也, 花木啓祐(2008)：木材資源フローに着目した温室効果ガス排出削減政策シナリオ評価フレームの構築, 土木学会論文集, Vol. 64, pp207-220.
- 4) 坂本辰徳, 谷川寛樹, 橋本征二, 森口祐一(2004)：地域マテリアルフロー推計に用いる都市構造物の資材投入原単位と耐久年数の推計, 環境情報科学論文集18, pp.271-276.
- 5) 小松幸夫 (1992)：建物寿命の年齢別データによる推計に関する基礎的考察, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 439, pp. 91-99.
- 6) 小松幸夫・加藤裕久・吉田偉郎・野城知也(1992)：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 439, pp. 101-110.
- 7) 杉本賢二・森田紘圭・加藤博和・谷川寛樹(2013)：4d-GISによる建築物ストック・フロー量の時系列分析—名古屋市中区錦二丁目を対象として—, 日本環境共生学会第16回(2013年度)学術大会発表論文集, pp. 99-104
- 8) 谷川寛樹・大西暁生・高平洋祐・橋本征二・東 修・白川博章・井村秀文(2010)：ストック型”かつ“低炭素型”社会へ向けた都市構造物の物質・エネルギー消費の4Dマッピング：名古屋市の建築物を対象としたケーススタディ, 日本LCA学会誌, Vol. 6, No. 2, pp. 92-101.
- 9) 醍醐市朗, 五十嵐佑馬, 松野泰也, 足立芳寛(2007)：日本における鉄鋼材の物質ストック量の導出, 鉄と鋼, Vol.93, No.1, pp.66-70.
- 10) 田中健介, 早川容平, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹(2013)：都道府県における建築物・社会基盤施設の経年マテリアルストック推計に関する研究, 土木学会論文集G(環境), Vol.69, No.6(環境システム研究論文集 第41卷), pp.II\_25-II34
- 11) 堤洋樹・小松幸夫(2002)：居住者の改善行為から見た戸建住宅の建て替え要因に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 556, pp. 289-295
- 12) 堤洋樹・小松幸夫(2002)：メンテナンスと建て替えの関係から見た戸建住宅の寿命に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 559, pp. 223-239
- 13) 堤洋樹・小松幸夫(2004)：1980年以降における木造専用住宅の寿命の推移, 日本建築学会計画系論文集, No. 580, pp. 169-174
- 14) 堤洋樹・海川拓也・水出有紀(2013)：住宅の都市別平均寿命の推計手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 78, No. 693, pp. 2355-2361
- 15) 寺南智弘・谷川寛樹・深堀秀敏(2009)：4d-GISによる用途地域変更を考慮した建築物耐用年数の推計, 土木学会環境システム研究論文集, Vol. 37, pp. 221-226.
- 16) 東岸芳浩・谷川寛樹・橋本征二(2007)：複数年の空間情報を用いた建築物の耐用年数の推計手法の提案, 環境情報科学論文集, Vol. 21, pp. 37-42.

- 17) 萩島理・谷本潤・片山忠久, 熊本健(2002) : 地域特性を考慮した建築解体廃棄物の発生量の将来予測に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 562, pp. 75-82.
- 18) 谷川寛樹, 醍醐市朗, 小口正弘, 奥岡桂次郎, 高木重定(2017) : 物質ストック・フローに着目したストック型社会構築に向けた指標, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.28, No.6, 431-437.
- 19) Alessio Miatto, Heinz Schandl, Hiroki Tanikawa(2017) : How important are realistic building lifespan assumptions for material stock and demolition waste accounts?, Resources Conservation and Recycling, Vol.122, pp.143-154
- 20) Daniel B. Muller(2006) : Stock dynamics for forecasting material flows-Case study for housing in the The Netherlands, ECOLOGICAL ECONOMICS, Vol.59, pp142-156
- 21) Fridolin Krausmann, Simone Gingrich, Reza Nourbakhch-Sabet(2011) : The Metabolic Transition in Japan-A Material Flow Account for the Period From 1878 to 2005, Journal of Industrial Ecology, Vol.15, No.6, pp.877-891
- 22) Seiji HASHIMOTO, Hiroki TANIKAWA, Yuichi MORIGUCHI(2007) : Where will large amount of materials accumulated within the economy go?-A material flow analysis of construction minerals for Japan, WASTE MANAGEMENT, Vol.27, No.12, pp.1725-1738.
- 23) Seiji HASHIMOTO, Hiroki TANIKAWA, Yuichi MORIGUCHI(2007) : Where will large amount of materials accumulated within the economy go?-A material flow analysis of construction minerals for Japan, WASTE MANAGEMENT, Vol.27, No.12, pp.1725-1738.
- 24) Tanikawa, H・Fishman, T・Okuoka, K・Sugimoto, K(2015) : The Waste of Society Over Time and Space A comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan,1945-2010, Journal of Industrial Ecology, Vol.19, No.5, pp.778-791
- 25) Tanikawa, H. Hashimoto, S. (2009) : Urban stock over time : spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Research & Information, 37 (5), pp. 483-502.
- 26) 環境省(2014) : 資源がもっと生きる未来へ, 6p.
- 27) 環境省(2017) : 平成 29 年度版環境・循環型社会・生物多様性白書, 173p.
- 28) 環境省(2018) : 循環型社会形成推進基本法, <http://www.env.go.jp/recycle/circul/recycle.html>
- 29) 環境省(2017):環境統計集, 我が国の物質フロー指標の推移
- 30) 環境省(2013):第三次循環型社会形成推進基本計画(平成 25 年度).
- 31) 環境省(2008):第二次循環型社会形成推進基本計画(平成 20 年度).
- 32) 環境省(2010): 第三次循環型社会形成推進基本計画(平成 25 年度), 日本の物質フロー(2010), 23p.
- 33) 環境省(2012):産業廃棄物の排出及び処理状況調査 (平成 22 年度実績), 18p
- 34) 国土交通省(1960-2016) : 建築着工統計年報
- 35) 国土交通省(1976-2009) : 建設資材・労働力実態調査(建設部門)業務調査
- 36) 国土交通省国土政策局国土情報課 : 国土数値情報ダウンロードサービス,  
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 37) 総務省統計局 : 国勢調査, [https://www.e-stat.go.jp/stat-search/database?page=1&toukei=00200521&result\\_page=1](https://www.e-stat.go.jp/stat-search/database?page=1&toukei=00200521&result_page=1)

本研究では、研究実施に当たり有識者会合の開催を基盤としている。今年度開催した、以下に、本研究に関わり開催された有識者会議及び現地調査の結果について付録を記載する。

#### <第1回 物質ストック有識者会合>

日 時：2015.9.12 13:00-18:00

場 所：九州国際大学

参加者：岡本(九州国際大学)、谷川(名大)、醍醐(東大)、奥岡(名大)、高木(みずほ)

議 題：岡本先生と本研究メンバーがストック型社会の概念について議論し、「次世代システム研究会」にて発表を務めた。

内 容：

ストック型社会の構築に向けた論点（環境面から見た視点）

- ストックの定義は幅広い（自然資本、人工資本、社会関係資本、金融）
- ストック型社会の構築によるメリットを環境分野においても期待している
  - 具体的なメリットや構築のための具体的方策がわからない
  - 有用なストックとは具体的に何か。定量化できるのか。
- 有用なストックを選択する理由は多様（環境・経済・社会）
  - 携帯マグ：温度保持（機能性） vs ペットボトル：飲む量（機能性）や荷物（利便性）
  - 中古住宅：コスト（経済性） vs 新築住宅：文化・価値観（新品信仰）（社会性）
- 有用なストックの評価軸も多様（機能、価値、稼働率、耐用年数、・・・）
- 有用なストックを増やすためには多様な政策が必要
  - 金融政策（リフォームと固定資産税、耐震性と税制）
  - 国土政策（立地論）
  - 農林水産政策（自然資本の維持・管理）
  - 環境政策（省エネ製品への優遇措置）

同時開催：次世代システム研究会第90回定例研究会

<第2回 物質ストック有識者会合>

日 時：2015.9.15 13:30-14:30

場 所：サピアタワー 5階 501

参加者：森口(東大)、橋本(立命館大学)、南斎(国環研)、谷川(名大)、醍醐(東大)、奥岡(名大)、高木(みずほ)

議 題：「ストックとは何か」について、議論を行った。

内 容：

ストックとは何か、ストック型社会とは何か

循環型社会という言葉自体では新しいことは生み出さない

Sound material cycle society と

北九州での事例

ストック型社会の方が通りが良い、まちづくり系の人たちであるため

循環型社会の受けはあまり良くないが

ストック特区を設けることも一案

シュリンクしながら高級住宅を準備しなくてはならない

有用なストックとは何か

経済性だけでなく

どう評価する？

単純にあると良いストック

レジリエンスに効果がある

負のストックの取扱について

災害時にネガティブになる

鬼怒川付近でも同様の問題があった

建設廃棄物がポテンシャルで見ると少ないと

壊さないのか、壊すモノがないのか

バブル時に解体&着工をしそぎた

当時は付加価値を生むためであった

長寿命化を単純に評価すると後の世代に負担を押しつける

生産を挙げられる、付加価値とセットで

長寿命化とリサイクルは進めないと

安易に聞き心地の良いキーワードに乗つかってはいけない

最終的なとりまとめについて

三社会統合とストックフローの考えを結びつけられるように

ストック型社会の概念自体が未整理

指標化をしても使ってもらえないれば意味が無い

物質面での価値を評価する

最終的にはストックとフローを結びつけて絵を作成する必要がある

<第7回 物質ストック有識者会議>

日 時：2016.3.8 10:00-12:00

場 所：環境省

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、Prof. Fridolin Krausmann (IFF / Social Ecology Institute, Alpen-adolia Universtat, Austria)、岡本久人教授（九州国際大学）、谷貝（環境省）、土屋（環境省）、谷川（名大）、醍醐（東大）、小口（国環研）、奥岡（名大）、高木（みずほ）、田邊（みずほ）

議 題：「物質ストック研究」に関する有識者と環境省、本研究メンバーが政策貢献について議論を行った。

内 容：

- ・日本は、循環型社会と持続可能な社会に向けた政策立案に有効な指標群を整備した先駆的な国である。まだ知見として基礎が充実していないために、ゼロからコンセプトを構築していく必要がある。
- ・日本は、資源循環の指標をリードする存在であり、高い水準の政策目標を掲げている。資源生産性・循環利用率・最終廃棄物残余年数の3指標は追随されるべきであると考える。
- ・循環型社会形成推進に向けて、物質ストックに関わる指標を新しく考慮する必要があり、低炭素社会、生物多様性を含んだ高い水準の政策のために相乗効果とトレードオフを整理すると良い。ストックの情報は、経済活動や人々の暮らしなど社会の健全性に大きく関わるため、政策として相乗効果が期待できる。
- ・資材投入原単位をどのように評価していくかに課題は残るが、物質ストックの経済効率に関する指標化は日本経済の真の資源生産性を評価可能にする。
- ・ストックの指標化は、消費に関する物質のフットプリントや資材投入原単位に大きく関わる。
- ・物質ストックの定量化により、廃棄と循環のポテンシャルを評価できるため、長期にわたる日本経済の動態と、将来の3指標の目標設定にも関連が深い。
- ・構造物や住宅、交通と移動、農業と食料、上下水道と水、などのサービスに対応したシステムとして物質ストックを評価することは重要である。ストックが環境負荷全体に対しておよそ80%影響しており、物質ストックフローをモニタリングすることで、環境負荷の削減の方策をより効率よく評価できる。
- ・供用されるストックの耐用年数は、日本の循環効率に密接に関わり、長期化することで経済も含めた循環性のポテンシャルを引き延ばせる。
- ・物質ストック指標の構築は、伝統的な環境政策や経済や都市計画、厚生など一側面からみた政策を超えた、政策課題と問題解決の具体化を強める。
- ・日本の国際的なリーダーシップの期待値の成長は、G7での循環経済と3Rの推進であり、アジア太平洋地域の持続可能な発展には日本の環境政策が達成した成果の貢献が不可欠である。



<第8回 物質ストック有識者会議>

日 時：2016.3.9 15:00-18:00

場 所：名古屋大学

参加者：Prof. Heinz Schandl (Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、Prof. Fridolin Krausmann (IFF / Social Ecology Institute, Alpen-adolia Universtat, Austria)、Ms. Chikako Takase (United Nations Center of Regional Development)、谷川(名大)、奥岡(名大)、Tomer Fishman(名大)、Alessio Miatto(名大)

議 題：「物質ストック研究」に関する有識者を迎えて本研究メンバーが具体的な取組について議論を行った。

開催した有識者会合の議論内容における議論の結果は以下のとおりである。

①目指すべき方向性について及び②推計で考慮すべきストックの範囲について、議論を行った。主な議論は以下のとおり。

①目指すべき方向性について

・今後、物質フロー・ストック図をきっちりとつくり、ストックをどう使っていくのかというところまで示せたらよい。

・何を指標としていくか。

⇒サービスに寄ると取り込んでいくものが多く作業も大変であり、また国の取組・指標としては使い難いかも知れない。

⇒横軸をストックにし、縦軸をサービスにすることも考えらえる。ストックが増えることでサービスが減るとよいのではないか。

⇒「ストック／△ストック」を縦軸にし、年を横軸にすることも考えられる。これが上がっていけば望ましい。

⇒まだ質の評価と物質的な評価を統合するところまでは難しいかも知れない。機能量自体も量とストックがある。

⇒「よいストック」を測るものとして機能や質を測る指標と、物質量でみる指標と、多面的に見ていないと考えるとよいのではないか。

・ストックとフローの関係性整理が必要ではないか

⇒サービスのクオリティが上がったことで必要となるストックインフラも変わり、フローも変わる。

⇒ストックに対するフローは、時間経過を伴うものや、ストックを構築するためのフローと今運用するためのフロー、出て行くフロー、と色々なフローがある。

⇒ストックとフローの関係がきちんと整理できるだけでも意味がある。

⇒色々なサービスとのつながりがあるのでフローともつながる。

・今後詳しく定量化することも考えられる。

⇒ストックに入れているフローとストックが生み出しているフローは I0 の固定資本マトリックスを使って定量化可能ではないか。四種別程度で定量化してもよいかも知れない。

②推計で考慮すべきストックの範囲について

・建築物は統計からできる。

- ・家電は台数ベースだが、それを使って物質量に換算可能。小型家電はストック量があまりないため、調査ベースであるデータを使える。小型家電は保有台数調査があるので精度を別にすれば行いやしい。
  - ・小型家電なども入ると、個別リサイクル法につながり、個別リサイクル法の検討に使える。PCB が最近話題になっているが、やはりストックの正しい把握は重要である。ストック調査の有用性は将来の処理を考える意味でもあり、これは安心安全かもしれないが、政策的とのつながりはよい。  
⇒どこにどのような有害物質があるのかということがデータ整備されようとしているので、そういうものを使って見せていくこともできる。
  - ・現在考えている物質フロー・ストック図は、左側がサービス・製品、右側が素材別になる。
  - ・素材別は、鉄、土石、木材。小型家電を行うのであれば、貴金属がわけてあると都市鉱山とのつながりなどを考えてもよいのではないか。
  - ・粗くてもまずはざっくり出してよいのではないか。
  - ・鉄道は、線路のデータはあるが、更新がわからないのでフローがない。また、車両のデータないで、車両効率性向上等の部分はわからない。
  - ・軌道は新幹線かどうかなどで違うので、鋼材をつくる企業は少ないので、細かくみればわけることはできるかもしれない。
  - ・鉄道は日本でほとんどつくられて古いものは輸出もされると思うのでデータがつくれればおもしろいだろう。
  - ・船舶は日本で使っていても船籍は日本でないものが多く、ストックの定義次第では日本でのストックは少ないのではないか。
  - ・船舶は、ストックの定義をどう考えるかによるので、興味深いが難しいか。
  - ・飛行機は今後の課題とする。
  - ・まずは「今後埋められる可能性があるもの」を入れて作業を進めていく。
- ③その他
- ・効率性の高い機器への更新は「質」の話にも近づく。長寿命化とのバランスも見ていく。
  - ・物質フロー・ストックの考え方を議論し、言葉の整理を行った。
  - ・概念を以下の 6 つの言葉に整理し、それぞれ定義づけることで整理を行い、今後これらについて推計を行うこととなった。
- ①投入量、②ストック量、③退役量、④排出量、⑤退蔵純増量、⑥退蔵量
- ・上記の①～⑥の推計方法について確認を行った。

## 付録

付録 A1 地域別資材投入原単位

			1991	1994	1997	2000	2003	2006	2009
北海道	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.297	0.248	0.268	0.26	0.253	0.294	0.306
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.134	0.992	1.021	1.141	0.956	1.095	1.127
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.039	0	0.024	0.023	0.021	0.021	0.016
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.016	0.015	0.019	0.019	0.013	0.018	0.013
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.106	0.101	0.099	0.106	0.1	0.11	0.132
東北	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.278	0.237	0.268	0.26	0.246	0.273	0.334
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	10.42	0.959	1.021	1.141	1.041	1.112	1.325
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.044	0	0.024	0.023	0.014	0.021	0.01
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.019	0.017	0.019	0.019	0.013	0.008	0.01
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.098	0.094	0.099	0.106	0.096	0.051	0.143
関東	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.308	0.283	0.278	0.29	0.306	0.309	0.355
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.179	1.053	1.047	1.103	1.154	1.176	1.257
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.041	0	0.022	0.028	0.021	0.037	0.02
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.019	0.019	0.017	0.02	0.017	0.022	0.013
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.115	0.101	0.098	0.105	0.134	0.116	0.135
北陸	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.285	0.301	0.268	0.26	0.308	0.345	0.272
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.166	1.18	1.021	1.141	1.457	1.203	1.202
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.038	0	0.024	0.023	0.031	0.022	0.017
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.017	0.77	0.019	0.019	0.026	0.018	0.016
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.108	0	0.099	0.106	0.131	0.127	0.107
中部	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.293	0.267	0.278	0.29	0.369	0.298	0.315
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.083	1.012	1.047	1.103	1.135	1.171	1.139
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.054	0	0.022	0.028	0.016	0.018	0.016
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.021	0.016	0.017	0.02	0.015	0.014	0.013
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.104	0.091	0.098	0.105	0.107	0.112	0.12
近畿	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.284	0.247	0.278	0.29	0.281	0.283	0.312
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.08	0.954	1.047	1.103	1.062	1.013	1.117
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.046	0	0.022	0.028	0.018	0.017	0.014
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.018	0.016	0.017	0.02	0.015	0.013	0.01
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.105	0.091	0.098	0.105	0.122	0.118	0.13
中国	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.294	0.243	0.265	0.279	0.262	0.297	0.337
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.084	0.915	1.032	1.065	1.072	1.157	1.261
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.043	0	0.023	0.023	0.019	0.016	0.016
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.003	0.016	0.018	0.02	0.018	0.013	0.013
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.1	0.098	0.091	0.098	0.111	0.118	0.143
四国	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.289	0.272	0.265	0.279	0.315	0.289	0.31
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	1.067	1.039	1.032	1.065	1.179	1.223	1.25
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.042	0	0.023	0.023	0.016	0.22	0.023
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.021	0.019	0.018	0.02	0.016	0.019	0.02
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.094	0.101	0.091	0.098	0.089	0.105	0.112
九州	セメント計	t/m <sup>2</sup>	0.272	0.246	0.265	0.279	0.308	0.26	0.328
	骨材石材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.982	0.947	1.032	1.065	1.114	1.094	1.194
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.05	0	0.023	0.023	0.021	0.06	0.013
	合板計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.021	0.023	0.018	0.02	0.02	0.017	0.012
	鋼材計	t/m <sup>2</sup>	0.097	0.087	0.091	0.098	0.11	0.099	0.084

付録B1 フレッシュコンクリート製造向け土石系資源の出荷及び消費の推移

年度	セメント製造工程				フレッシュコンクリート製造工程							
	石灰石		高炉スラグ		フライアッシュ		セメント		骨材			
	出荷[万トン]	消費[万トン]	割合	出荷[万トン]	消費[万トン]	割合	出荷[万トン]	消費[万トン]	割合	出荷[万トン]	消費[万トン]	割合
1925	170											
1926	226											
1927	244											
1928	252											
1929	282											
1930	244											
1931	233											
1932	263											
1933	315											
1934	359											
1935	408											
1936	428											
1937	509											
1938	518											
1939	552											
1940	575											
1941	550											
1942	444											
1943	426											
1944	304											
1945	132											
1946	151											
1947	191											
1948	284											
1949	447											
1950	615	595	0.968									
1951	852	770	0.904									
1952	883	814	0.921									
1953	1,113	1,074	0.965									
1954	1,276	1,181	0.926				12					
1955	1,318	1,267	0.961				19					
1956	1,593	1,578	0.990				34					
1957	1,792	1,720	0.960				54					
1958	1,765	1,717	0.973				66					
1959	2,186	2,128	0.973				109					
1960	2,696	2,604	0.966				201					
1961	3,031	2,979	0.983				338					
1962	3,415	3,233	0.947				444					
1963	3,725	3,569	0.958				634					
1964	3,885	3,749	0.965				853					
1965	3,945	3,823	0.969				1,004					
1966	4,642	4,427	0.954				1,303					
1967	5,339	5,012	0.939				1,612					
1968	5,874	5,470	0.931				2,001					
1969	6,616	5,988	0.905				2,451					
1970	7,069	6,664	0.943				2,941					
1971	7,360	6,893	0.937				3,211					
1972	8,520	7,998	0.939				3,962					
1973	9,534	8,820	0.925				4,515					
1974	8,609	8,072	0.938				4,109					
1975	8,031	7,799	0.971				3,891					
1976	8,257	8,072	0.978				4,086					
1977	9,210	9,068	0.985				4,648					
1978	10,327	10,263	0.994				5,302					
1979	10,719	10,689	0.997				5,522					
1980	10,167	10,148	0.998				5,405					
1981	9,750	9,961	1.022				5,188			26,765		
1982	9,279	9,662	1.041				4,888			24,825		
1983	9,169	9,561	1.043				4,762			24,665		
1984	8,489	9,276	1.093				4,790			25,164		
1985	8,094	8,677	1,072				4,590			25,468		
1986	7,807	8,355	1,070				4,652			26,515		
1987	7,912	8,586	1,085				4,898			28,317		
1988	8,291	8,367	1,009				5,178	5,927	1,145	31,246	34,341	1,099
1989	8,806	8,702	0.988				5,350	6,052	1,131	32,319	35,062	1,085
1990	9,541	9,582	1,004	1,223		202	5,887	6,237	1,059	32,940	36,135	1,097
1991	10,029	9,748	0.972	1,350		238	5,874	6,054	1,031	32,785	35,073	1,070
1992	10,203	9,825	0.963	1,356		255	5,601	5,732	1,023	32,339	33,207	1,027
1993	9,895	9,677	0.978	1,310		277	5,398	5,437	1,007	31,058	31,502	1,014
1994	10,037	9,942	0,990	1,286		287	5,576	5,537	0,993	31,204	32,079	1,028
1995	9,927	9,847	0,992	1,249	312	310	5,643	5,535	0,981	31,338	32,070	1,023
1996	10,198	9,951	0,976	1,389	330	340	5,823	5,678	0,975	33,349	32,897	0,986
1997	9,347	9,223	0,987	1,268	323	352	5,415	5,270	0,973	31,818	30,531	0,960
1998	8,362	8,092	0,968	1,135	362	378	4,962	4,829	0,973	28,998	27,979	0,965
1999	8,378	8,089	0,966	1,204	1,145	0,951	413	455	1,102	5,022	4,762	0,948
2000	8,654	8,387	0,969	1,250	1,216	0,973	489	515	1,052	5,088	4,709	0,925
2001	8,281	8,154	0,985	1,177	1,192	1,012	534	582	1,090	4,832	4,397	0,910
2002	8,006	7,894	0,986	1,084	1,047	0,966	608	632	1,039	4,592	4,140	0,902
2003	7,928	7,716	0,973	1,057	1,017	0,963	633	643	1,016	4,314	3,898	0,903
2004	7,652	7,550	0,987	1,006	923	0,918	688	694	1,009	4,161	3,748	0,901
2005	7,921	7,601	0,960	1,038	921	0,888	734	719	0,978	4,291	3,829	0,892
2006	7,861	7,449	0,948	1,016	971	0,956	727	700	0,962	4,328	3,840	0,887
2007	7,593	7,254	0,955	986	930	0,944	768	726	0,945	4,026	3,524	0,875
2008	7,193	6,790	0,944	925	873	0,945	850	715	0,841	3,552	3,182	0,886
2009	6,097	6,116	1,003	788	765	0,970	710	679	0,956	2,975	2,710	0,911
2010	5,884	5,932	1,008	749	741	0,989	713	663	0,931	2,941	2,686	0,913
2011	5,909	6,045	1,023	819	808	0,987	763	670	0,878	3,005	2,771	0,922
2012	6,010	6,127	1,019	833	841	1,009				3,147	2,901	0,922