

平成 28 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 29 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

1. 研究の背景と目的
2. 3年間の研究計画及び実施方法
3. 3年間の研究実施体制
4. 本研究で目指す成果
5. 研究成果による環境政策への貢献

II. 平成28年度の研究計画および進捗状況と成果

1. 平成28年度の研究計画
2. 平成28年度の進捗状況および成果（概要）
3. 対外発表等の実施状況
4. 英文サマリー
5. 平成28年度の進捗状況と成果（詳細）

(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・経済面での定量評価

① 分析・評価手法の検討

- ・ トップダウン手法とボトムアップ手法の比較

② 個別事例に基づくケーススタディ

- ・ 物質ストックの機能性評価
- ・ 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
- ・ 製品寿命データの作成

(3) 蓄積された物質ストックの状況の把握

③ 統計処理方法の確立

- ・ 物質ストック・フロー図の作成

④ 実務ベースの物質ストック把握手法の検討

- ・ 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
- ・ ストック・フロー指標の検討

III. 今後の研究方針

IV 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）

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、国土の強靱化、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随時更新可能な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。

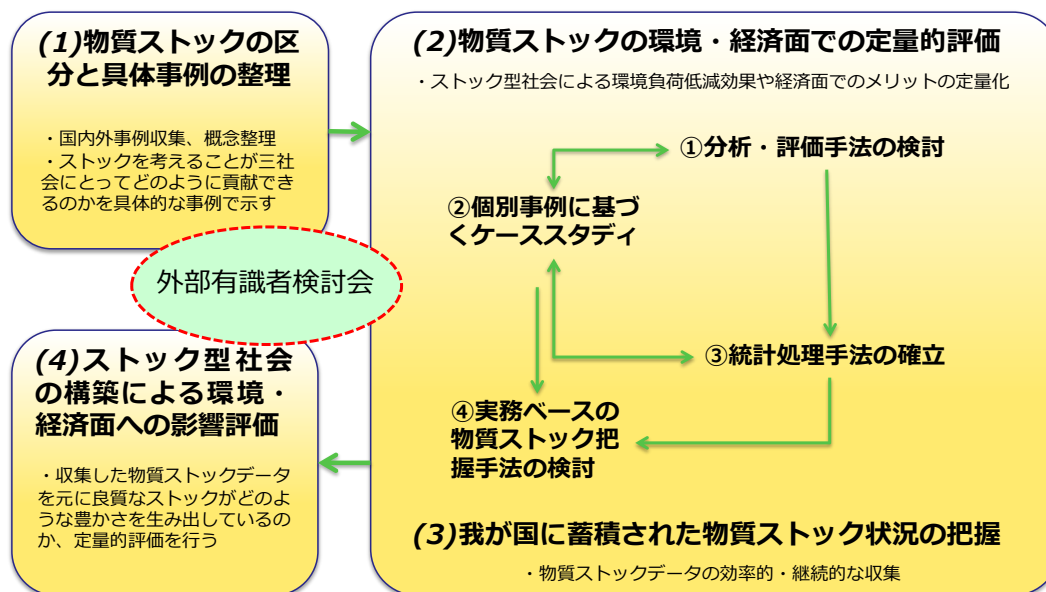


図-1 本研究の構成

(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。

(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随時更新可能な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。また、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、エネルギーや低炭素化、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(3)「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

	2015年(H27)	2016年(H28)	2017年(H29)
(1)物質ストックの区分と具体事例の整理	更新	更新	更新
(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	見直し	見直し	見直し
②個別事例に基づくケーススタディ	更新	更新	更新
(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		見直し	見直し
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			

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ストラクチャー、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る。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の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 28 年度の研究計画及び進捗状況と成果

1. 平成 28 年度の研究計画

本研究の構成を図-1 に示しており、平成 28 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。

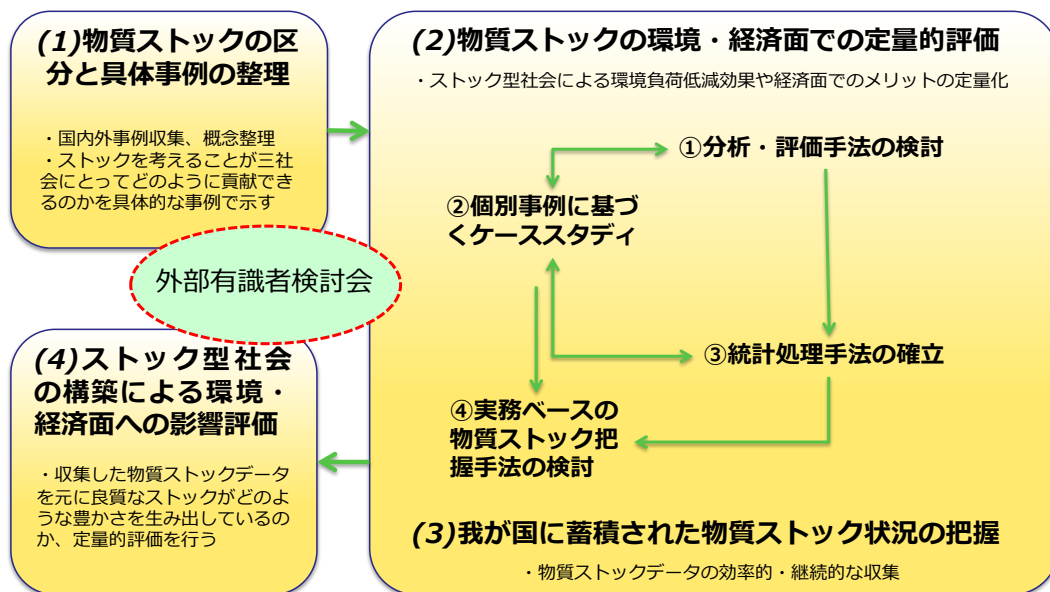


図-1 本研究の構成

(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、物質フローや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）。

(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（オーストラリア 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。

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) 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。

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。

2. 平成 27 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。

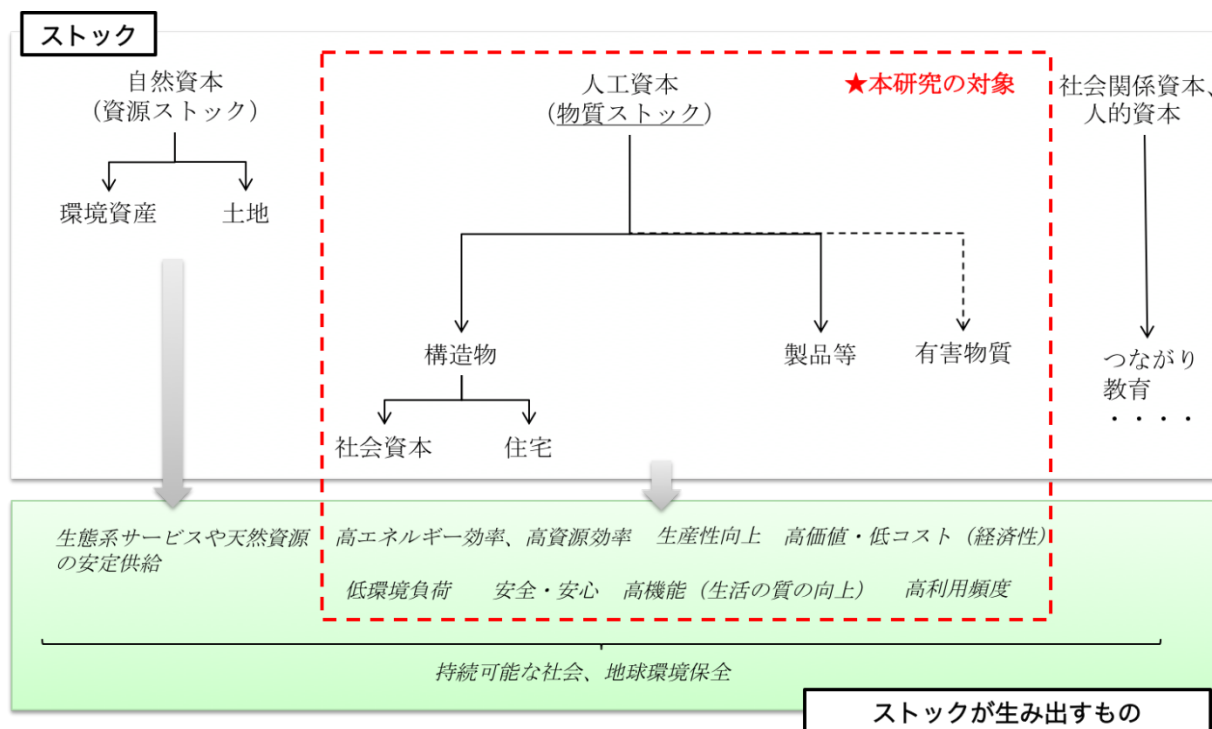


図-1 ストックの区分整理

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。なお、ストックの区分は研究対象とするストックや研究の目的に応じて異なると考えられる。表-1 に使用価値と資源化価値に応じた物質ストックの事例整理を示す。表-1 では、価値の種類に応じて豊かさを生み出す物質ストックと適切に管理する必要がある物質ストックを整理した。

ただし、表に示した事例はある対象物を各評価軸で見た場合のものであり、実際には複数の評価軸で見る必要がある。例えば、中山間地にある利用頻度の低い道路を考えた場合に、生産性や利用頻度で見ると低い評価となるが、ライフライン（機能）の視点で見た場合には高い評価になる可能性がある。

表-1 物質ストックの評価軸および事例

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	・クリーンエネルギー自動車	・高燃費自動車
		・高気密・高断熱住宅	
		・高効率発電所	
	資源効率	・希少金属の回収が容易な使用済み 小型家電（都市鉱山）	・・・・・・・・
	環境負荷	・・・・・・・・	・フロン類
	生産性	・投資効率の高い社会インフラ	・未利用・低利用道路
	価値・コスト	・住宅（低コスト）	・空き家（住宅）
	機能	・ライフライン	・・・・・・・・
	利用頻度	・高利用頻度な建築物	・未利用・低利用道路（インフラ）
安全・安心	・・・・・・・・	・最終処分場	
資源化価値		・廃小型家電（希少金属回収可能）	・アスベスト、PCB含有製品

(2) 物質ストックの環境・経済面での定量評価

(2)-1 物質ストックの定量化

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-2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-2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-3、図-4)。図-3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-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。

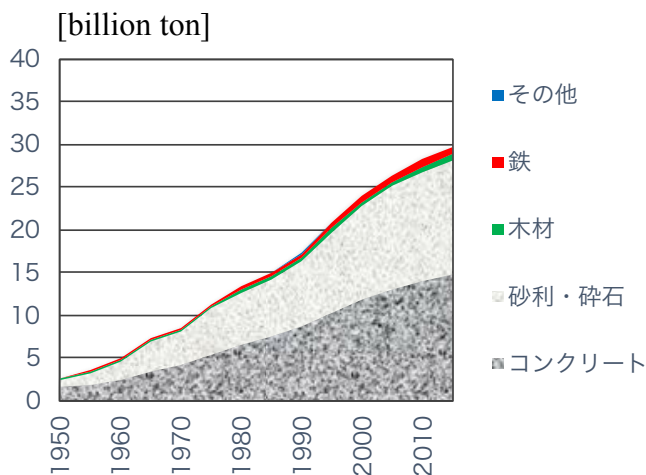


図-2 Top-down による物質ストック量

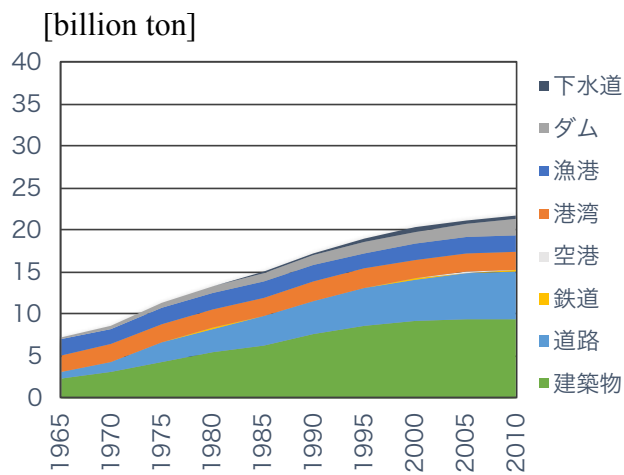


図-3 Bottom-up による物質ストック量

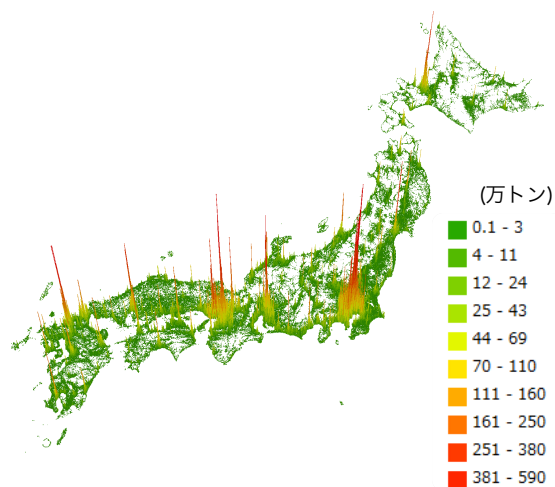


図-4 日本の建築物ストック量分布

(2)-2 建築物ストックの機能量評価

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。平衡論の見地から、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 $|ΔG|$ 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1によって表した。

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 1 m^2 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-5に示す。熔融 Zn めっきに比べ高耐食性をもつ ZAM の C_{ene} が、熔融 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。

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-6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。

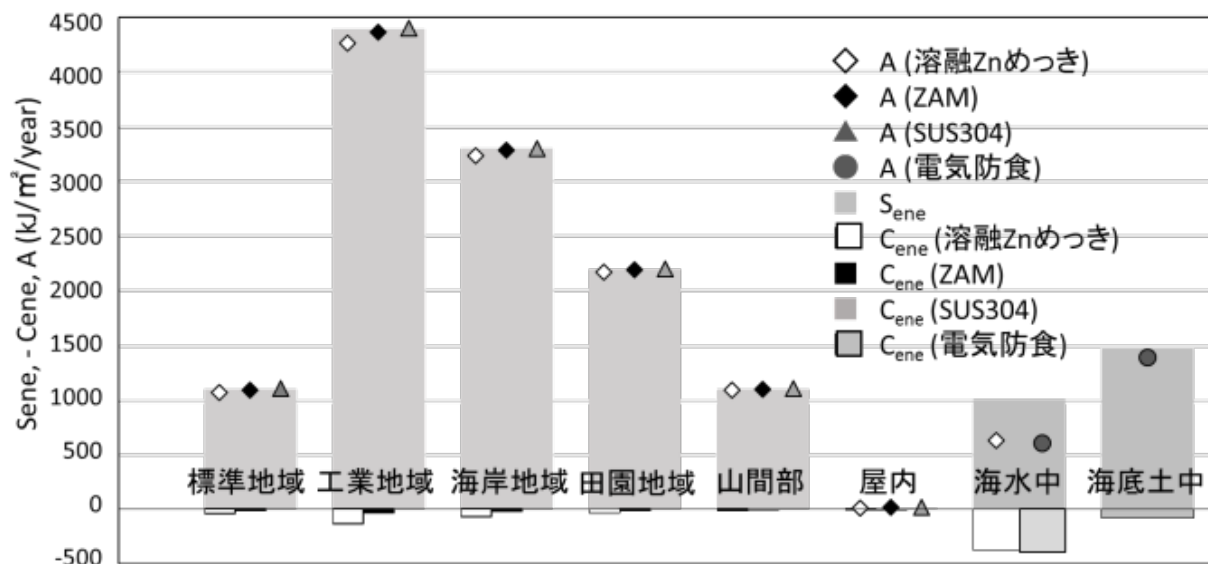


図-5 各防食機構の防食面積 1 m² 当たりの正味エクセルギー損失回避量

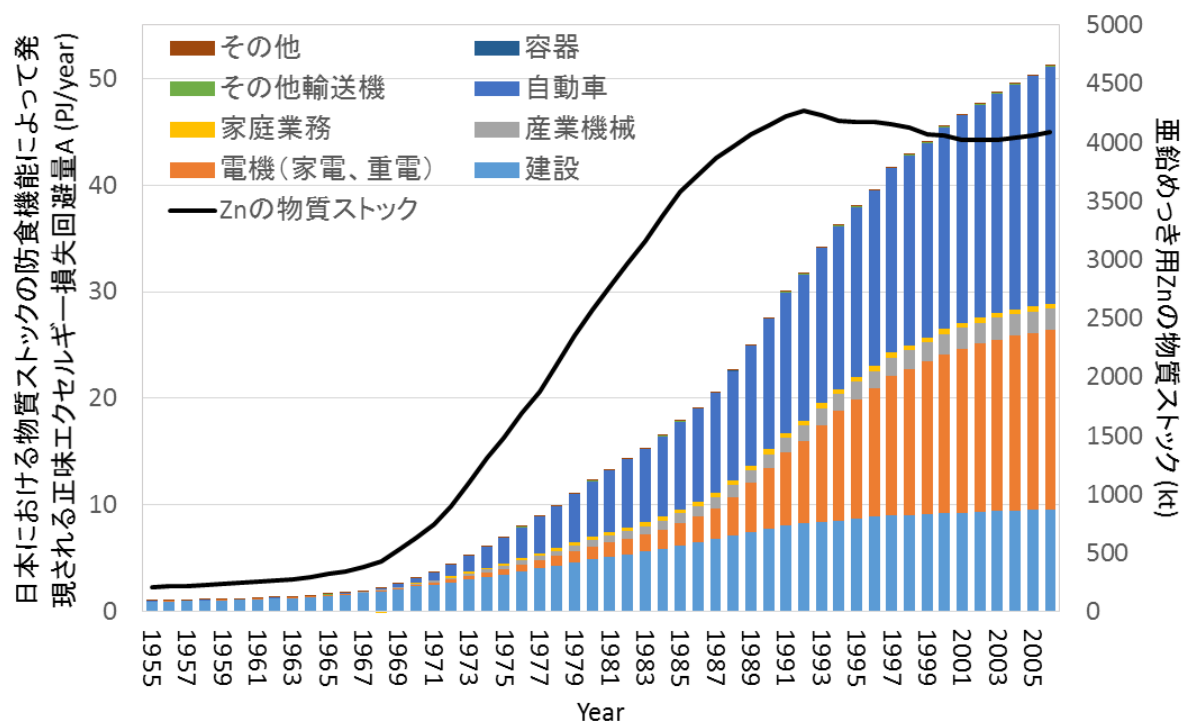


図-6 日本における物質ストックの防食機構による正味エクセルギー損失回避量の推移

(2)-3 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。

(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-7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-8)。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。

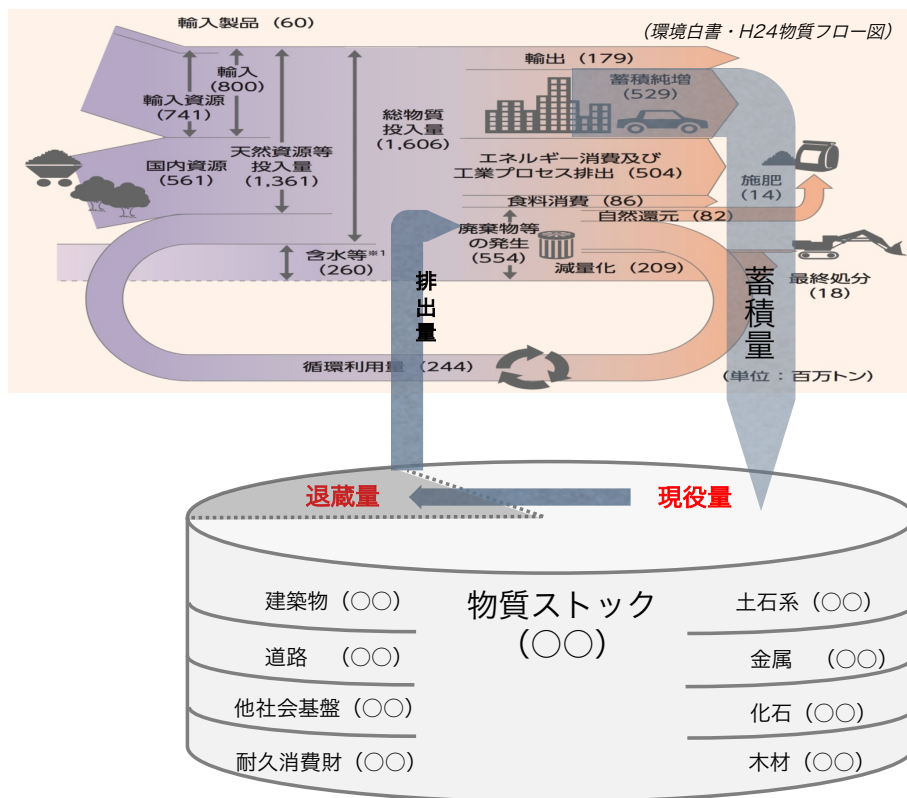
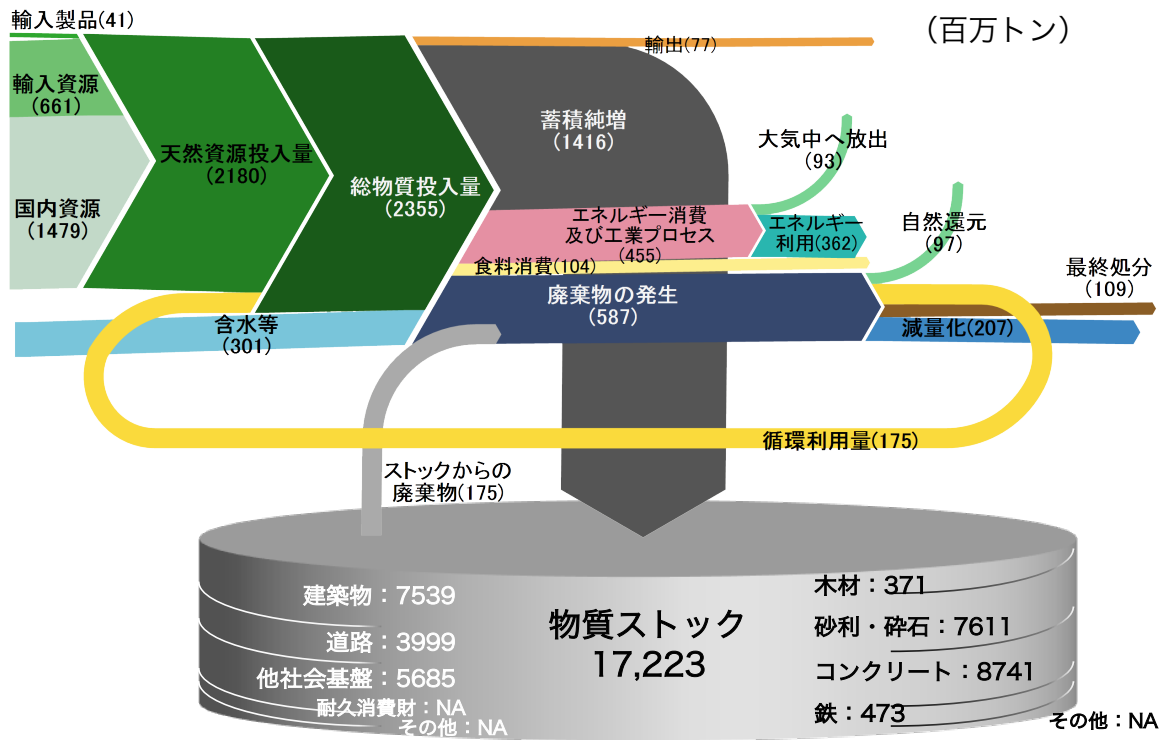
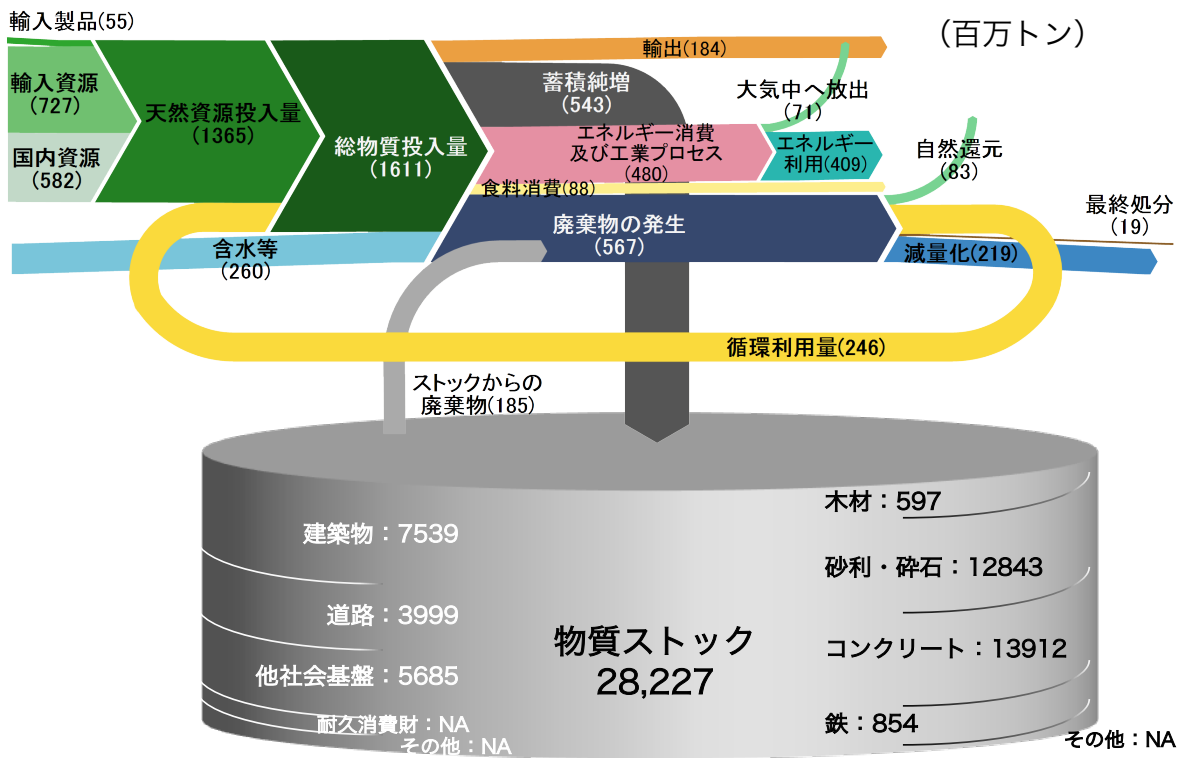


図-7 「物質ストック・フロー図」の概念



(a) 1990年



(b) 2010年

図-8 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 直接観測による主要耐久消費財のストック量・退役量の把握

今年度は、上記で整理したアプローチのうち直接観測を用いて、主要な耐久消費財のストック量および退役量を把握、作成した。今年度推計対象とした品目は、家電4品目（冷蔵庫、洗濯機、ルームエアコン、テレビ）、携帯電話、乗用車、貨物車の7品目である。なお、冷蔵庫はフリーザーを除く、テレビはブラウン管式および薄型の合計、携帯電話はPHSを除く、乗用車および貨物車は軽自動車も含む定義とした。

各品目について、推計対象年度の販売台数から年度当初と年度末のストック台数の差分、すなわち社会全体の正味の買い増し台数を差し引いて、各年度の退役台数を推計した。販売台数には、冷蔵庫および洗濯機については一般社団法人電機工業会、ルームエアコンについては一般社団法人日本冷凍空調工業会、テレビおよび携帯電話については一般社団法人電子情報技術産業協会の自主統計による国内出荷台数データを、乗用車および貨物車については一般財団法人自動車検査登録情報協会による新車登録台数データおよび一般社団法人全国軽自動車協会連合会による販売台数データを用いた。推計したストック台数および退役台数をそれぞれ図-9、図-10に示す。

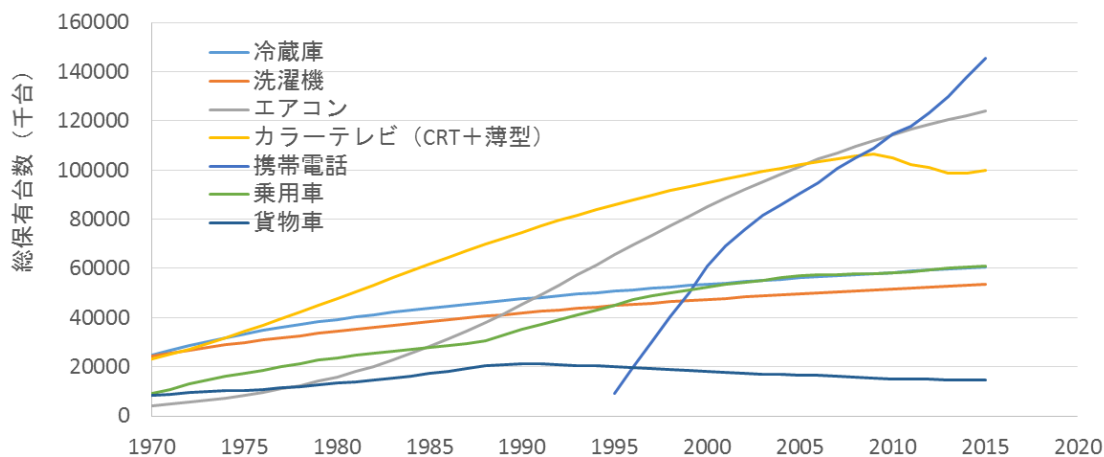


図-9 主要耐久消費財のストック台数推移

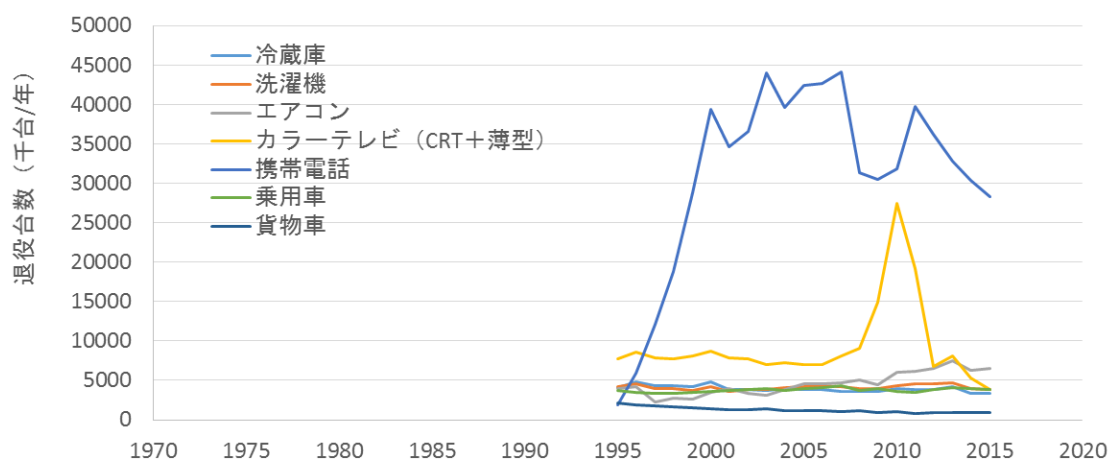
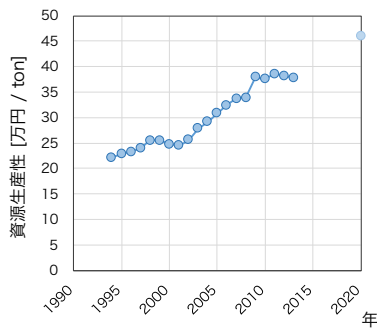


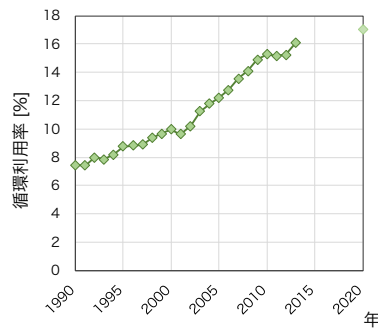
図-10 主要耐久消費財の退役台数推移

(4)-2 物質ストック・フロー指標の検討

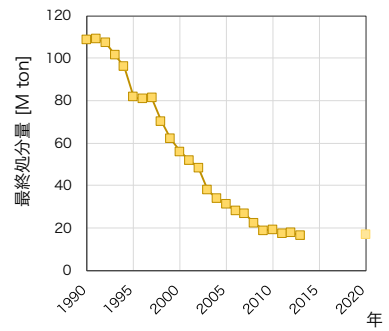
(1)と(3)で検討した物質ストック・フロー図より、物質フロー指標に追加して、物質ストック指標を整理・検討した。物質フロー指標は環境省の循環型社会形成基本計画にて達成目標として掲げられているが、本研究の目的でもある物質ストックは物質フローと密接に関わっている。そこで、図-12に示す、3つの物質ストック・フロー指標の検討を行った。「(i)フローとストックの関係」はストックの増大に伴うインフローの変化を表しており、3段階の変化が示される。インフローの急激な増大が示される経済成長の段階、その後の安定的なインフローが保たれる段階、インフローが減少し、蓄積量が飽和に向かう段階、の3段階が示された。今後の予想としては、インフローの減少が一定値に収束し、蓄積量も飽和することが望まれる。「(ii)ストックとGDPの関係」は、ストックの成長とGDPの増加の相関を表したものであり、インフローとGDPにのみ着目して資源の有効利用を表す「資源生産性」に物質ストックの視点を加える指標である。指標の傾きに大きな変化は現れないが、本指標により、物質ストックの充実によりGDPを生み出す関係性が示された。将来的にはストックが飽和した経済社会においてもGDPが成長するパスを示す指標となり得る。「(iii)物質の入れ替わり」では、インフローとストックの比を表しており、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、物質ストックには空き家等の効用を發揮していない構造物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。



①資源生産性

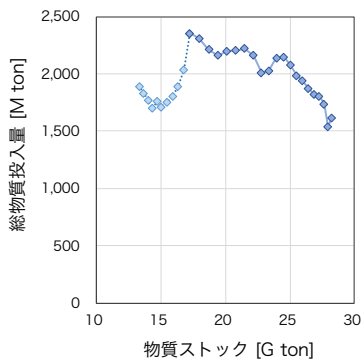


②循環利用率

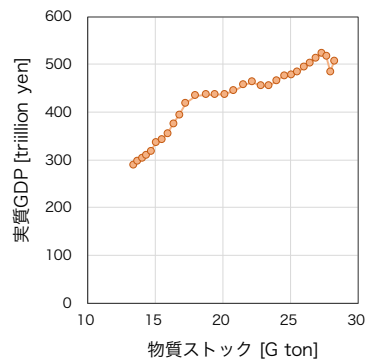


③最終処分量

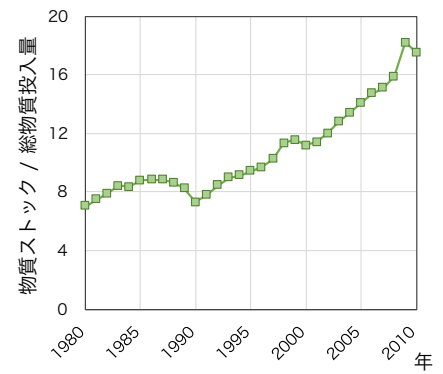
図-11 3つの物質フロー指標



(i) フローとストックの関係



(ii) ストックと GDP の関係



(iii) 物質の入れ替わり

図-12 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。

環境省原課担当者会議

<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。

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) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 金城鐘頭、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.
- 7) Ichiro Daito: Material Stock and the End-of-life Recycling Rate of Steel, *Steel Construction: Today & Tomorrow*, No.46, pp.9-12, 2015.
- 8) 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.

<口頭発表（国際学会）>

- 1) 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

- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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

- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 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
- 16) 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
- 17) 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
- 18) 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
- 19) 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

<口頭発表（国内学会）>

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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

- 5) 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
- 6) 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
- 7) 小野聡, 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
- 8) 野中一鴻, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 人口推移を考慮した建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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 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

4. 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 o 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マ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的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。)

5. 平成 28 年度の進捗状況と成果（詳細）

(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。

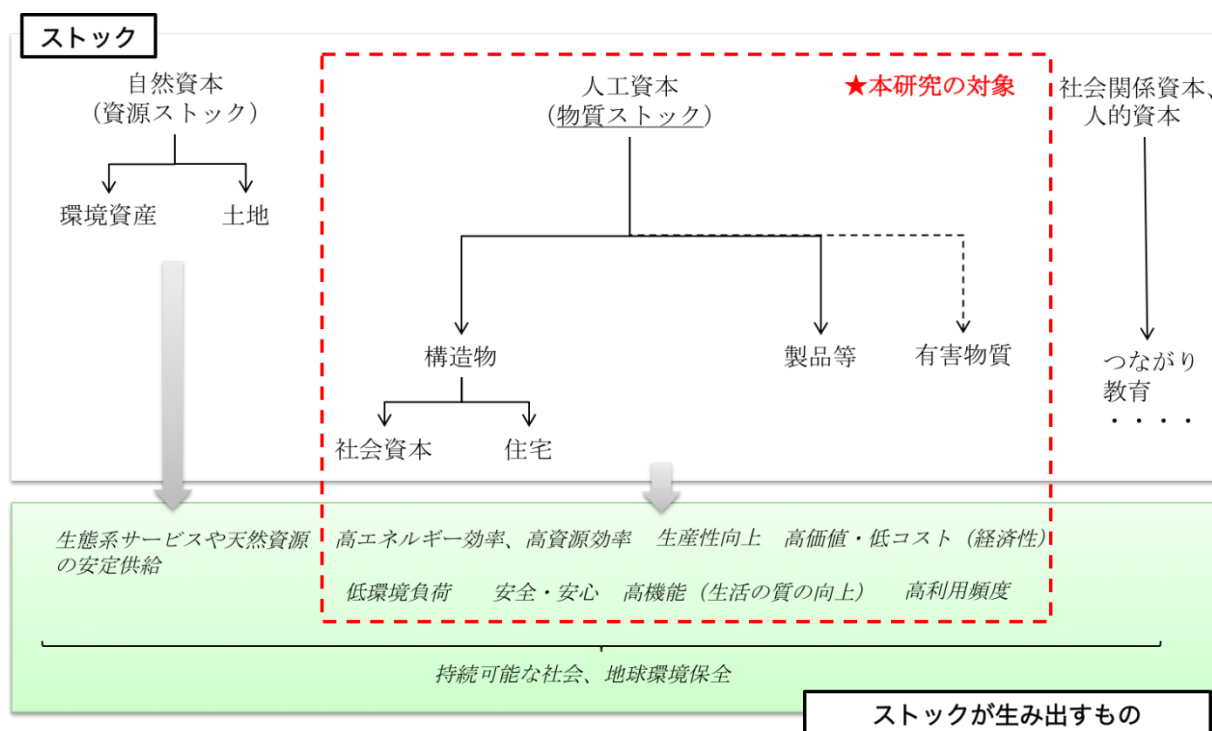


図-1 ストックの区分整理

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。なお、ストックの区分は研究対象とするストックや研究の目的に応じて異なると考えられる。表-1 に使用価値と資源化価値に応じた物質ストックの事例整理を示す。表-1 では、価値の種類に応じて豊かさを生み出す物質ストックと適切に管理する必要がある物質ストックを整理した。

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-2, 図-3, 表-2 に示した。

表-1 物質ストックの評価軸および事例

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	・クリーンエネルギー自動車	・高燃費自動車
		・高気密・高断熱住宅	
		・高効率発電所	
	資源効率	・希少金属の回収が容易な使用済み 小型家電（都市鉱山）	・・・・・・・・
	環境負荷	・・・・・・・・	・フロン類
	生産性	・投資効率の高い社会インフラ	・未利用・低利用道路
	価値・コスト	・住宅（低コスト）	・空き家（住宅）
	機能	・ライフライン	・・・・・・・・
	利用頻度	・高利用頻度な建築物	・未利用・低利用道路（インフラ）
安全・安心	・・・・・・・・	・最終処分場	
資源化価値		・廃小型家電（希少金属回収可能）	・アスベスト、PCB含有製品

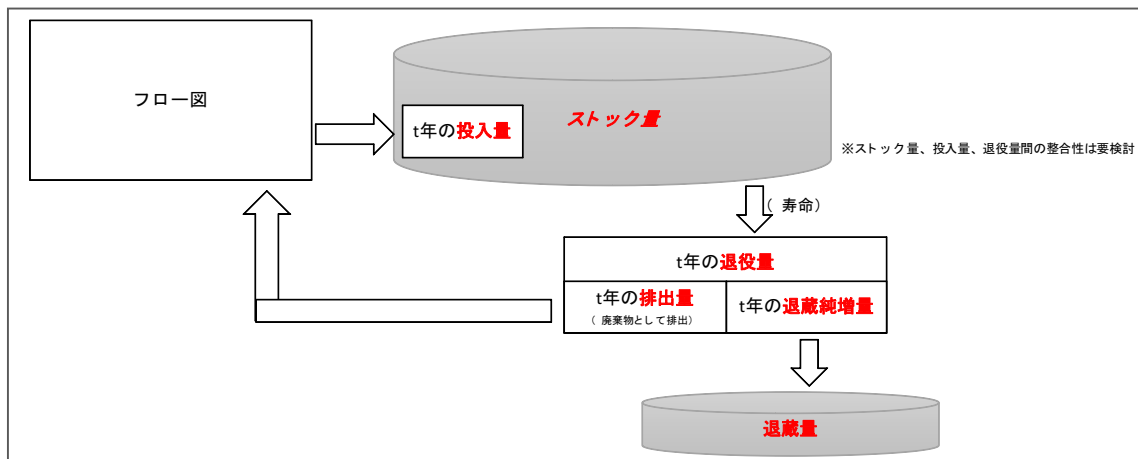


図-2 物質フロー・ストック図に関する考え方・言葉の整理結果 1

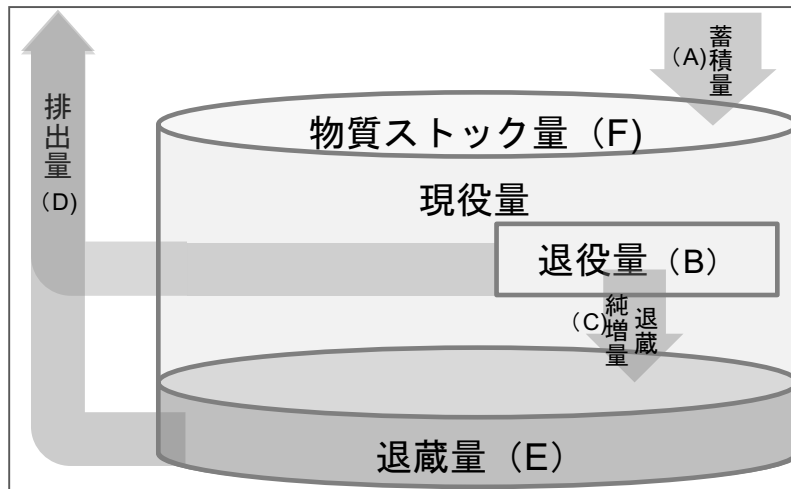


図-3 物質フロー・ストック図に関する考え方・言葉の整理結果 2

表-2 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 物質ストックの定量化

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。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-3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-3 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	電池	一次電池
	ネットワーク		二次電池
その他社会基盤	ダム		太陽電池モジュール
	海岸保全施設	その他製品	家具等
輸送機器	自動車		その他機械（産業用他）
	鉄道車両		
	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とした。

表-4 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の方法で推計を行った。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ったが、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-5の通りとなっている。そして、この分類基準を更に分類し大分類を、更にその内訳の中分類を設定し、表-6のとおり、99分類し集計されている。

表-5 分類基準

基本分類	分類基準	
内需	最終用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
	最終用途を追求しないもの	次工程用（中間用途）
	最終用途の判明しないもの	最終用途不明の再加工用
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

99分類の各項目に何が含まれるのかは、「鉄鋼用途別・地域別受注統計の手引き」（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）に記述があるため、その内容を基に本推計での対象とするかどうか、対象とする場合はどの項目に割り振るのかを決定した。本統計での分類と推計対象の分類が異なることから、判断が難しいものもあるが、可能な限り類似している場所へ振り分けた（表-6）。なお、推計対象品目に分類することが難しいものについては、「その他」項目として計上した。99分類のうち1～95までの内需用は「33. 輸出向け鉄構物」を除き全て今回推計に加え、輸出（96）及び鉄鋼業の内部流通（97～99）は加えていない。「33. 輸出向け鉄構物」は統計上は内需であるが、輸出向として鉄骨、橋梁、タンク等の鉄構物に加工されるものであり、物質ストックという趣旨上加えることは適切ではないと判断し、加えていない。

なお、本統計は1958年から存在するが、用途区分が1959年、1963年、1968年に3回変更されており、本推計では1968年以降の用途の区分を用いている。よって、1958年から1967年の値については

現在の 99 分類への割り振った値を利用している。この値は、「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」（舟田亨史・醍醐市朗・後藤芳一著、Development Engineering Volume21,2015）での結果を提供いただいたものである。

表-6 用途別分類一覧及び本推計での利用箇所

分類基準	大分類	中分類	本推計の対象箇所*
最終用途 の判明し ているも の	建設用	1. 住宅（基礎杭）	A
		2. 住宅（その他用）	A
		3. 鉱工業・農林水産業建築物（基礎杭）	A
		4. 鉱工業・農林水産業用建築物（その他用）	A
		5. 商業・サービス業用建築物（基礎杭）	A
		6. 商業・サービス用建築物（その他用）	A
		7. 公務・文教・公益・その他建築物（基礎杭）	A
		8. 公務・文教・公益・その他建築物（その他用）	A
		9. 橋梁（道路用）	B
		10. 橋梁（その他用）	C(6)
		11. タンク（石油精製業用）	E(1)
		12. タンク（化学工業用）	E(1)
		13. タンク（ガス業用）	E(1)
		14. タンク（その他用）	E(1)
		15. 鉄塔	C(6)
		16. 工業（含原油・天然ガス生産業）	E(1)
		17. 鉄鋼業	E(1)
		18. 造船業	E(1)
		19. 石油精製業・化学工業	E(1)
		20. その他民間土木	E(1)
		21. 道路	B
		22. 港湾	C(3)
		23. 治山・治水	C(1)
		24. 鉄道	C(2)
		25. 電力業・通信業	C(6)
		26. ガス業	C(5)
		27. 水道業	C(4)
		28. その他公益及び公共事業	C(6)
		29. 建築金物	A

分類基準	大分類	中分類	本推計の対 象箇所*
		30. 建築用付属資材	A
		31. 仮設材・コンクリート製品製造用及びその他 建材用	A
		32. 建設業者向	A
		33. 輸向け鉄構物	対象外
	産業用機械・器具 用	34. 一般産業機械・器具	E(2)
		35. ボイラーおよび原動機	E(2)
		36. 鉱山・建設機械・器具	E(2)
		37. 金属加工機械及び金属工作機械	E(2)
		38. 農業用機械・器具	E(2)
		39. 化学機械（国内向）	E(2)
		40. 化学機械（輸向け）	E(2)
		41. 繊維機械・器具	E(2)
		42. パルプ製紙機械・器具	E(2)
		43. 食料品加工機械・器具	E(2)
		44. その他産業用機械・および用途不明	E(2)
		電機機械器具用	45. 回転電機
	46. 静止電機		D(4)
	47. 家庭用電気機械・器具		D(5)
	48. 通信機械		D(7)
	49. その他電気機械・器具及び用途不明		D(6)
	家庭用及び業務用 機械・器具用	50. 精密機械	D(7)
		51. 家具	D(7)
		52. 厨房機械（業務用）	D(7)
		53. 厨房機器（家庭用）	D(7)
		54. 台所および食卓用品	E(3)
		55. ガス器具・石油器具	D(7)
		56. 刃物	E(3)
		57. 事務用機械・器具およびその他家庭用業務用 機器	D(7)
船舶用	58. 貨物船	D(3)	
	59. タンカー	D(3)	
	60. バルクキャリアー	D(3)	
	61. その他船	D(3)	

分類基準	大分類	中分類	本推計の対象箇所*	
		6 2. 部品・機関、船舶の改造・修理用および用途不明	D(3)	
	自動車用	6 3. トラック	D(1)	
		6 4. バス	D(1)	
		6 5. 乗用車	D(1)	
		6 6. 小型トラック	D(1)	
		6 7. 軽四輪車	D(1)	
		6 8. 自動二輪車	D(1)	
		6 9. その他自動車	D(1)	
		7 0. 部品・機関、修理用および用途不明	D(1)	
	鉄道車両用	7 1. 貨車	D(2)	
		7 2. その他の鉄道車両	D(2)	
		7 3. 部品・機関、車両の改造修理用および用途不明	D(2)	
	その他輸送用機械	7 4. その他輸送用機械	D(4)	
	容器用	7 5. 食缶	E(4)	
		7 6. 18 リットル缶	E(4)	
		7 7. 一般缶	E(4)	
		7 8. 王冠	E(4)	
		7 9. ドラム缶	E(4)	
		8 0. 高压容器	E(4)	
		8 1. その他容器及び用途不明	E(4)	
	その他の諸製品	8 2. その他の諸製品	E(4)	
	最終用途を追求しないもの	次工程用（中間用途）	8 3. 線材二次製品用	E(5)
			8 4. みがき形棒鋼用（冷延形棒鋼用を除く）	E(5)
8 5. ボルト・ナット・リベット・ねじ釘用			E(5)	
8 6. ばね用			E(5)	
8 7. 歯車用			E(5)	
8 8. 鍛工品用			E(5)	
8 9. 軸受け用			E(5)	
9 0. 切削工具用			E(5)	
9 1. 金型用			E(5)	
9 2. その他の次工程用			E(5)	

分類基準	大分類	中分類	本推計の対象箇所*
最終用途の判明しないもの	最終用途不明の再加工用	93. 最終用途不明の再加工用	E(6)
	販売業者向（店売用）	94. 販売業者向け	E(6)
		95. シヤースリット業者向け	E(6)
輸出	輸出	96. 輸出	対象外
鉄鋼生産会社間の内部流通	非報告者向	97. 鋼管製造用	対象外
		98. 鋼塊・半成品およびその他鋼材製造用	対象外
	報告者間取引	99. 鋼塊・半成品及び鋼材製造用(報告者間取引)	対象外

*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)：その他最終用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（最終用途不明）（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（ λ 、 α ）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。なお、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。

設定したパラメーターは表-7のとおりである。

表-7 残存率に用いたパラメーター

本推計の分類・細分類	選択項目（論文中項目名）	λ	α
A：建築、	Office Building	35.4	1.61
B：道路	Paved roadways	23.9	1.52
C：他社会基盤	Recreation/training facilities	46.5	1.87
C-1：海岸保全施設	Recreation/training facilities	46.5	1.87
C-2：交通インフラ	Paved roadways	23.9	1.52
C-3：ライフライン	Oil/gas tank facilities and pipelines	33.8	1.81
C-4：他社会基盤	Electric power plants	26.3	1.73
D：耐久消費財	Other vehicles for own use	19.4	2.31
D-1：輸送機器	Other vehicles for own use	19.4	2.31
D-2：家電	Other household electric appliances	14.0	1.84
D-3：電池・照明等	Electric lighting fixture	15.9	1.49
D-4：他耐久消費財	Metal furniture and furnishing, fixtures	14.6	1.68
E：その他	Other metal products	15.2	1.81
E-1：その他（製品用原材料等）	Other metal products	15.2	1.81
E-2：その他（次行程用）	Other metal products	15.2	1.81
E-3：その他（最終使途不明）	Other metal products	15.2	1.81

出典：「Measurement of Depreciation Rates based on Disposal Asset Data in Japan」(Koji Nojima and Fumio Momose, September 29, 2008) より作成

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 3 R 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。利用した組成は表-8 のとおり。

表-8 乗用車の品目別組成割合（本推計用の仮値）

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）	他
73.0%	7.8%	8.2%	2.5%	8.5%

＊鉄については、(1)で記述のとおり、別途鉄鋼需要量から推計を行っており、ダブルカウントとなることから、本推計では対照としていない。

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。これらから本推計で仮定した組成は、表-9 のとおり。

表-9 家電の品目別組成割合 (本推計用の仮値)

品目	金属 (鉄) *	非鉄金属 (銅+ アルミニウ ム)	化石 (プラ スチック)	土石 (ガラス)	他 (非鉄・ 鉄など混合 物)
冷蔵庫	55 %	3%	26%	—	16%
洗濯機	51%	3%	32%	—	14%
エアコン	31%	20%	13%	—	36%
品目	金属 (鉄) *	非鉄金属	化石 (プラ スチック)	土石 (ガラス)	その他
携帯電話	6.4 %	16.9%	69.0%	7.5%	0.3%

*鉄については、(1)で記述のとおり、別途鉄鋼需要量から推計を行っており、ダブルカウントとなることから、本推計では対照としていない。

また、家電各品目の 1 台あたり重量は、既往研究で設定している重量に準じた (表-10)。

表-10 家電の 1 台あたり重量 (本推計用の仮値)

品目	1 台あたり重量 (kg/台)
冷蔵庫	70
洗濯機	70
エアコン	40
携帯電話	0.1

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を投入量とした。ただし、LEDについては統計上2012年値からしかないと、それ以前のデータには含まれていない。

なお、本来であれば「出荷（販売）量」のデータを用いることが望ましいが、統計データがより古くから揃いやすい「生産量」を本推計では用いている。生産量と出荷（販売）量の差は、近年大きくなっており、2015年には出荷（販売）量は生産量の約160%となっていることから、今後は出荷（販売）量への切り替えが課題となる。

4資源に区分するための組成については、社団法人日本電球工業会の「蛍光ランプ及び使用済み蛍光ランプに関するQ&A（2011年7月8日改正）」に記載の種類ごとの組成を用いた。（表-11）なお、本資料では、部位別の素材重量が記載されているが、素材別に全て重量を分けることのできない資源も多いため、3種類の金属での合計重量が書いてある場合は当分とみなす等、資料をもとに一定の仮定をおいている。また、分けることが難しい部分は除外している部分もある。更に、電球の種類やサイズ等に応じて組成は異なるが、投入量データが種類・サイズ等別でない。しかし、試算として、本推計では、全て「電球型蛍光ランプ、A型60W相当（15形）」の組成（表-12）で推計をした。

表-11 電球の組成（電球型蛍光ランプ、A型60W相当（15形））

部位	素材	量 (g)	備考
外管グローブ	ソーダ石灰ガラス	30	
拡散膜	炭酸カルシウム	1	
発光管	鉛フリーガラス	19	一部鉛ガラス製もあり（鉛 22-29%）
蛍光体	希土類蛍光体	1	
電極 (コイル)	タングステン	0.67	重量は電極内で3つに当分
電極 (内部導入線)	ニッケル-鉄	0.67	鉄+ニッケルメッキ線もあり 重量は電極内で3つに当分
電極 (外部導入線)	銅	0.67	銅合金もあり 重量は電極内で3つに当分
水銀	水銀	0.005	
	ビスマス		

部位	素材	量 (g)	備考
	インジウム		
封入ガス	アルゴン	300- 400(P a)	他の希ガスもあり
樹脂ホルダ	難燃性樹脂 (PBT,PET)	5	
電子安定器	トランジスタ	17	
	ダイオード		
	電解コンデンサ		
	フィルムコンデンサ		
	抵抗		
	チョークコイル		
	プリント基板		
	鉛はんだ		鉛フリーはんだ化が進展
接着剤	シリコン系樹脂	5	
樹脂ケース	難燃性樹脂 (PBT,PET)	12	
口金	黄銅	8	黄銅+ニッケルメッキもあり
サイドはんだ	鉛フリーはんだ又はプラズマ溶接	0.4	重量はサイドはんだとトップはんだで当分
トップはんだ	鉛フリーはんだ又はプラズマ溶接	0.4	

出典：社団法人日本電球工業会の「蛍光ランプ及び使用済み蛍光ランプに関する Q&A (2011年7月8日改正)」を用いて加工・作成

表-12 電球の組成 (本推計用の仮値)

土石 (ガラス)	化石 (PBT,PET,等)
54g	17g

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。

2012 年以降は、統計の取り方により、以下 2 パターンを用意した。

●モジュールのみの値

2012 年及び 2013 年は「日本における四半期ごとの太陽電池モジュールの出荷量推移」、2014 年及び 2015 年は「日本における太陽電池の出荷量 年度集計」を用いた。

セルの値は含まない。

●セル及びモジュールの合計値（ただし重複あり）

2012 年～2015 年について「太陽電池出荷統計の各四半期の詳細」を用いた。ただし、2013 年～2015 年の値については重複排除がされていないことから、重複を含み、過剰値となっている。

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。

表-13 太陽電池モジュールの組成（本推計用の仮値）

(単位 : kg/kW)

土石（ガラス）	化石（EVA,PET,等）	非鉄金属（アルミニウム,銅,等）
100 (81%)	15 (12%)	8 (7%)

* () 内は構成割合

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：平成二八年三月三十一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 (λ 、 α) 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。

建築物（住宅除く）

住宅を除く建築物について推計を行った。なお、住宅に関しても、同様の手法で住宅についても推計は可能であるが、後述のとおり課題が残されているため、本推計ではまずは建築物について試算を行っている。

①投入量

国土交通省の「建築着工統計調査報告 時系列一覧【建築物】建築主別・用途別・構造別 床面積」を用いた。木造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造の分類のほか、非木造建築物合計から非木造内訳（鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造）を減じた値を「その他」として、5区分で推計を行った。

4資源別には、国土交通省「建設資材・労働力需要実態調査」の「面積原単位（建築、全国）」を用いて分けた。ただし、本調査は、おおよそ3年に1度の調査となるため、調査のない年度の値

（H13,H14,H16,H17,H19,H20,H22,H24）については、その前後の調査の結果から内挿してデータを作成した。さらに、H26,H27年度の値については、H25年度値を仮値として用いた。区分による原単位の違いは、木造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造についてはそれぞれ対応する面積原単位を利用し、「その他」は「建設総合」の面積原単位を利用した。また、本調査の面積原単位は、生コンクリート、骨材・石材、木材はそれぞれ m^3 あたりのものとなっているため、生コンクリートは $2.35\text{t}/\text{m}^3$ 、骨材・石材は $2.35\text{t}/\text{m}^3$ 、木材は $0.6\text{t}/\text{m}^3$ の換算係数を用いて換算した値を本推計では仮定として用いた。

なお、国土交通省「建設資材・労働力需要実態調査」はアンケート結果に基づくものであり、面積原単位のブレが大きい年がある点には留意が必要となる。また、生コンクリート、骨材・石材及びセメントの全ての原単位を用いると、ダブルカウントになると考えられることから、本推計では生コンクリートは除外して推計を行った。

②退役量

「都市建設に伴う総物質必要量の定量化と評価に関する研究—住宅地整備のケーススタディ—（谷川寛樹、井村秀文、土木学会論文集 NO.671/VII-18,35-48,2001.2）」における残存率を用いて推計を行った。

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。

なお、ストック量は、初期値が重要となる。初期値の設定及び開始年で大きく値が異なる結果となるが、建築物の着工床面積は古くからデータがあるが、4資源別のデータがあり且つ循環型社会形成推進基本法の施行年である2000年を基準として試算を行った。

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

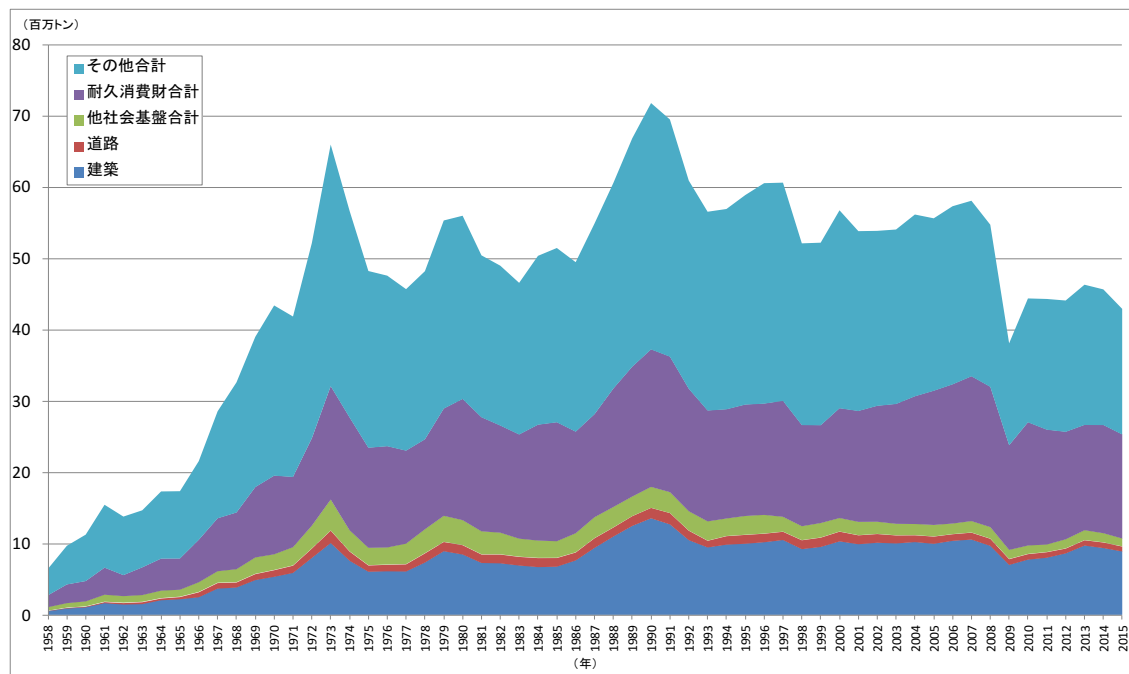


図-4 分類別投入量

表-14 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