

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。

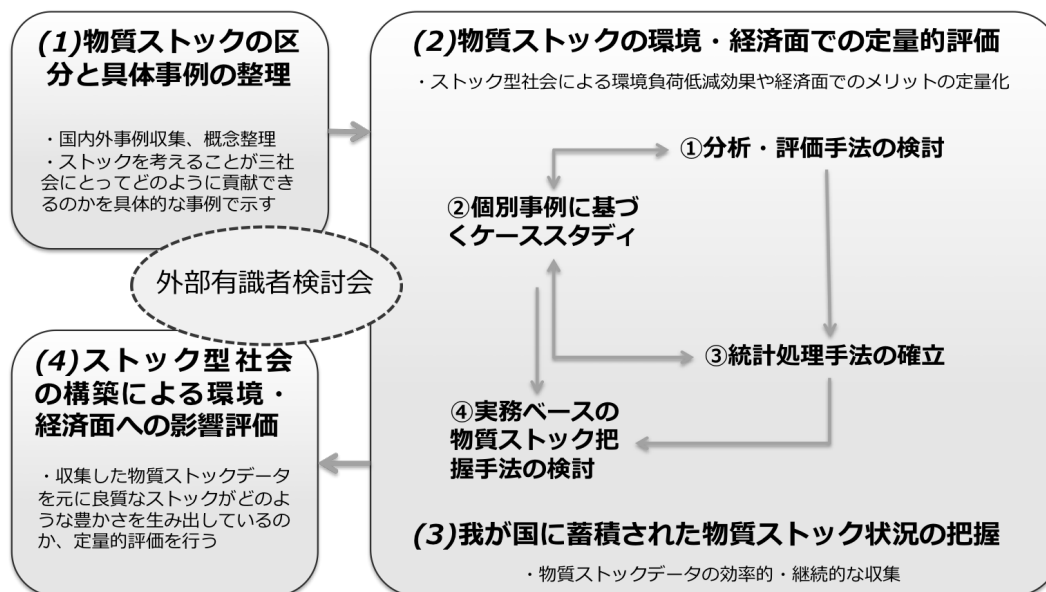


図-1 本研究の構成

(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。

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。

(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「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、豊かさや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 →		
(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 →		
②個別事例に基づくケーススタディ	→		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 →		
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 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。

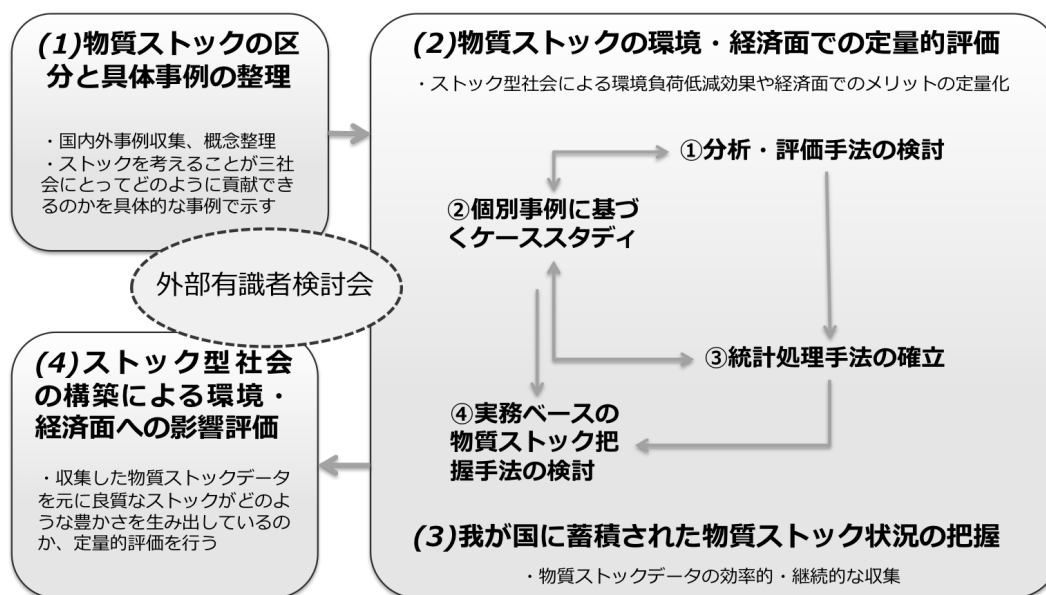


図-1 本研究の構成

(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。

(a) 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。

(b) 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。

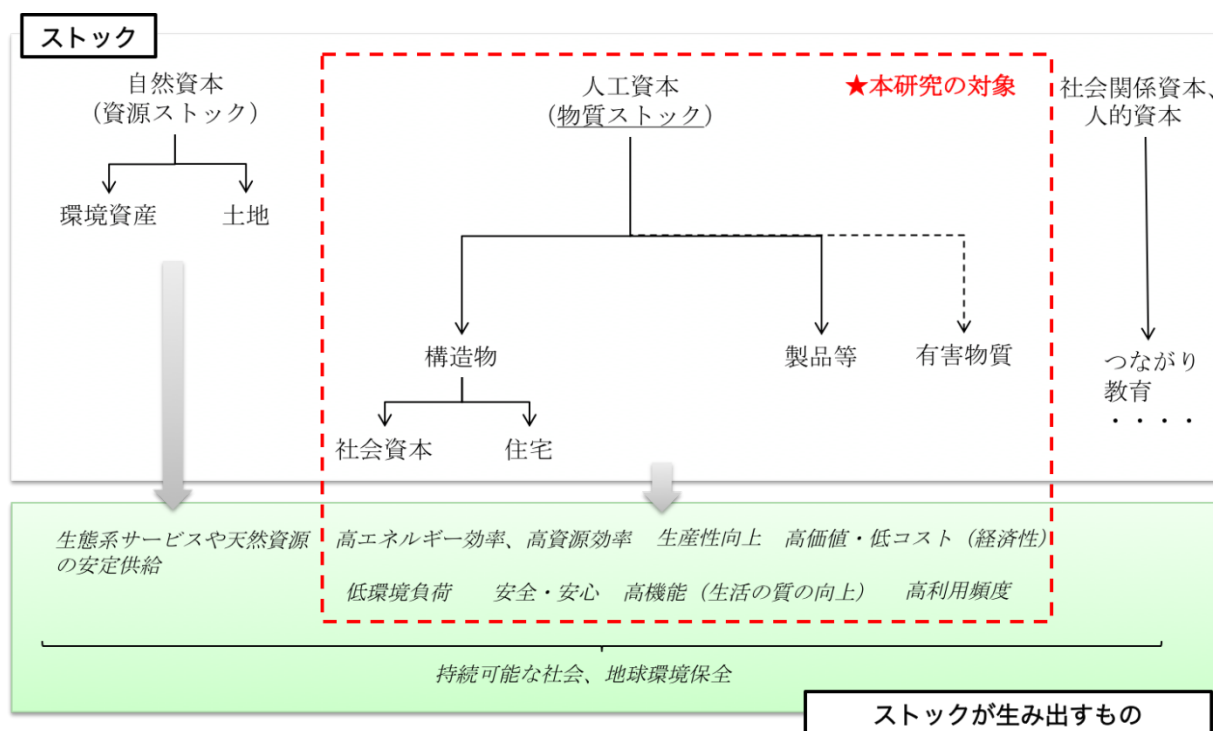


図-1 ストックの区分整理

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】 → できるだけ長く使い続け、使い終わった後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】 → 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】 → 退職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】 → 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。

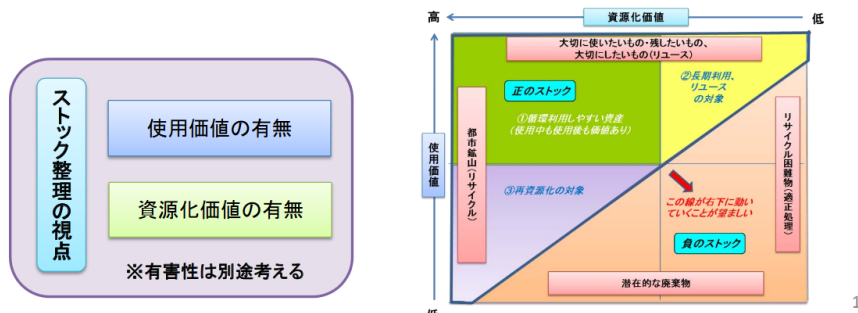


図-2 物質ストックの概念の整理

(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・形成を目的としており、自然資本・人工資本に加え国民の健康を衛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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 価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	国土 ※「環境の質」の視点もある	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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?)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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)	— (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)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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)にとつ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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 物質ストックの定量化の考え方が記載 	

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

に示した施策に係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、以上の検討で挙げ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"> 次世代自動車 高気密・高断熱住宅 高効率発電所 	<ul style="list-style-type: none"> 高燃費自動車
	資源効率	<ul style="list-style-type: none"> 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） 長期利用住宅、長期利用製品 	<ul style="list-style-type: none">
	環境負荷	<ul style="list-style-type: none"> 環境配慮設計製品 	<ul style="list-style-type: none"> 耐久財および耐久消費財に含有される有害物質 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）
	生産性	<ul style="list-style-type: none"> 投資効率の高い社会インフラ 	<ul style="list-style-type: none"> 未利用・低利用道路
	価値・コスト	<ul style="list-style-type: none"> 住宅（低コスト） 	<ul style="list-style-type: none"> 空き家（住宅）
	機能	<ul style="list-style-type: none"> ライフライン 	<ul style="list-style-type: none">
	利用頻度	<ul style="list-style-type: none"> 高利用頻度な建築物 シェア経済 	<ul style="list-style-type: none"> 未利用・低利用道路（インフラ）
	安全・安心	<ul style="list-style-type: none"> 	<ul style="list-style-type: none"> 最終処分場（残余状況）
資源化価値		<ul style="list-style-type: none"> 廃小型家電（希少金属回収可能） 	<ul style="list-style-type: none"> アスベスト、PCB 含有製品

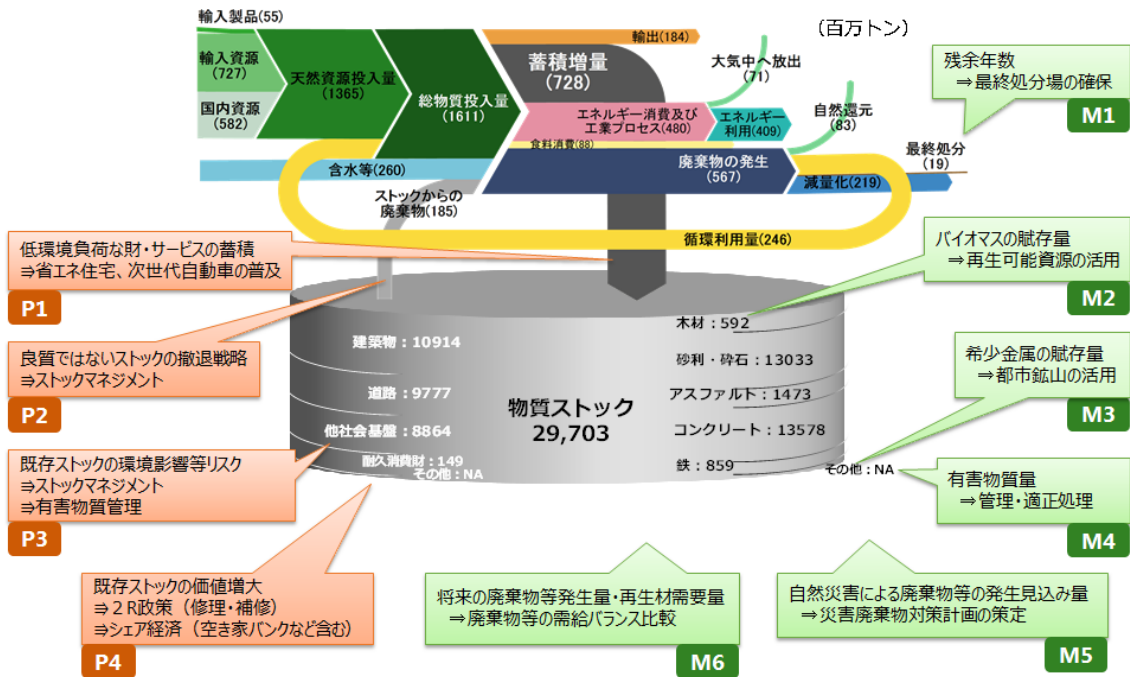


図-3 環境政策の視点からみた物質ストックデータの活用イメージ

（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-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

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。

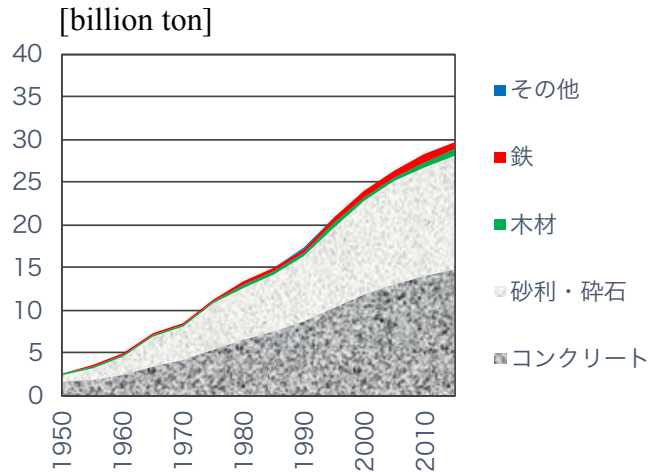


図-4 Top-downによる物質ストック量

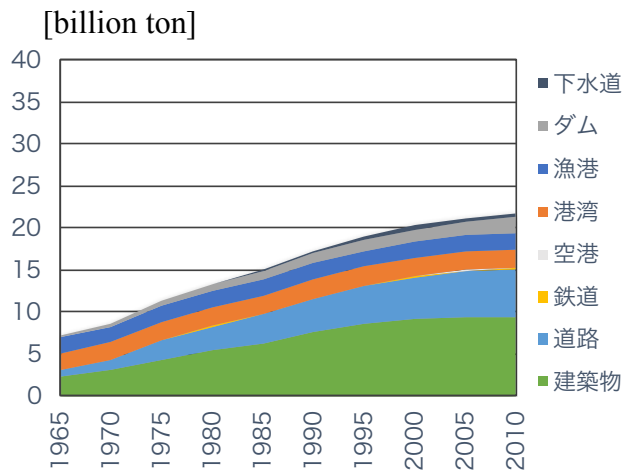


図-5 Bottom-upによる物質ストック量

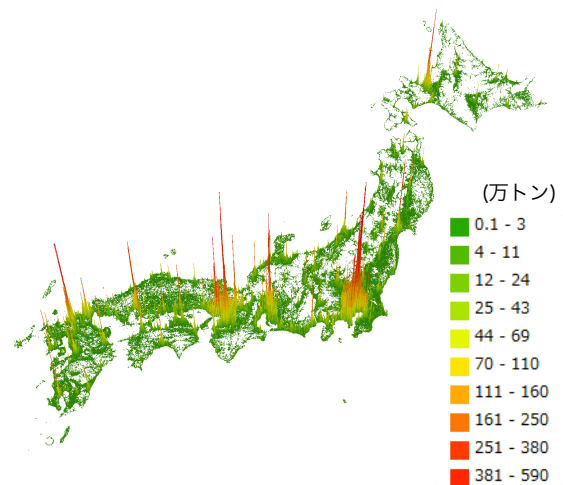


図-6 日本の建築物ストック量分布

(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、材料の用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、用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、材料特性間に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も多い。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、同一用途内において相対的に比較可能であり、異なる用途間では比較できないと考え、機能ごとに達成しうる用途ごとに群を形成した。用途の同一性は、機能の有無、又は特性値の最大値や最小値によって、用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の用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規格上で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ったが、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用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-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。

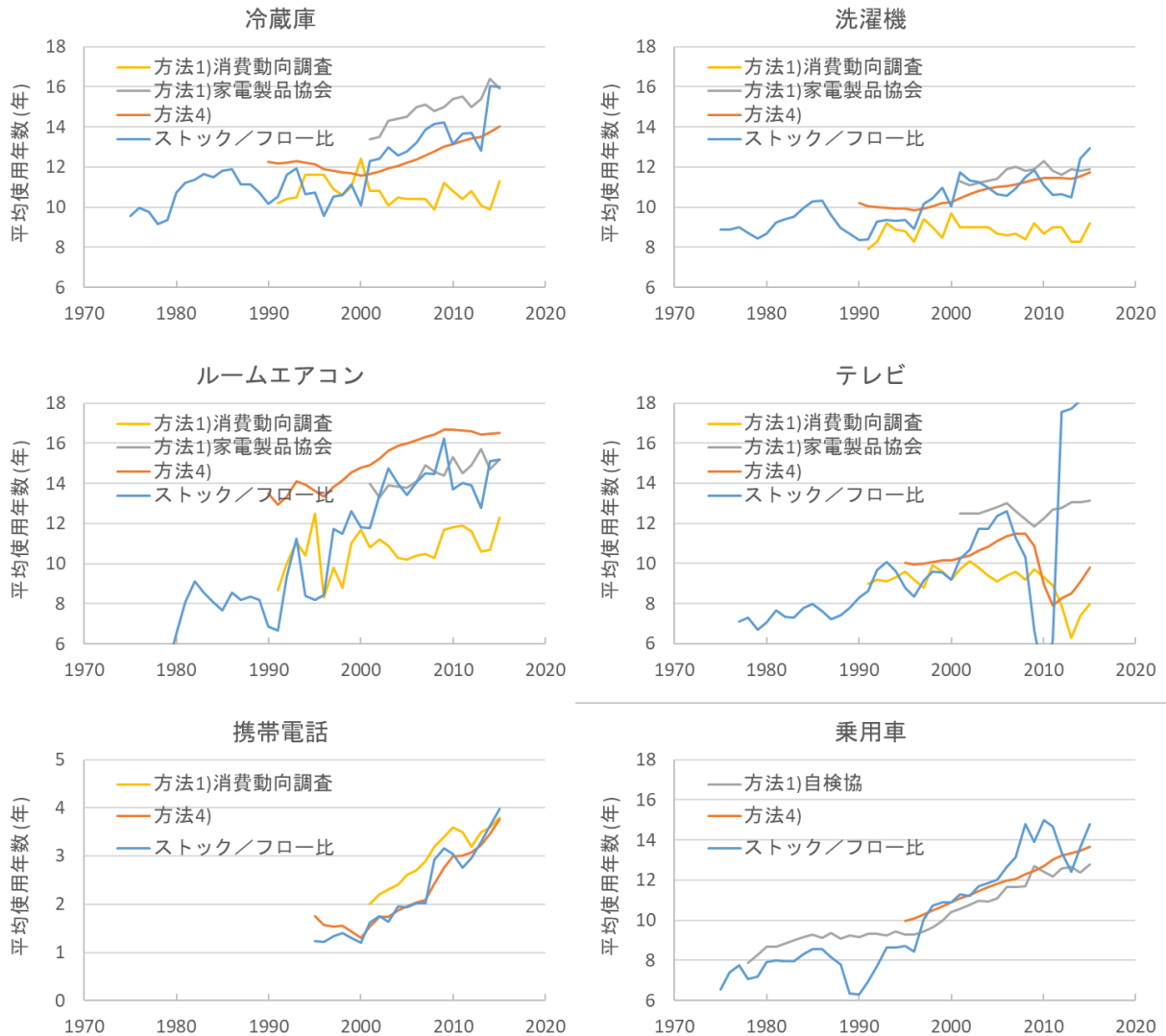


図-7 平均使用年数の調査・推定値およびストック／フロー比

(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=10¹⁵g）、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。

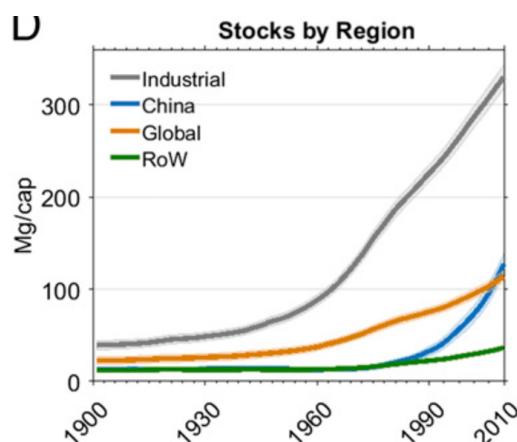


図-8 世界における一人あたり物質ストック量の推移 (Kurasman et. al より引用、筆者加筆)

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-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。

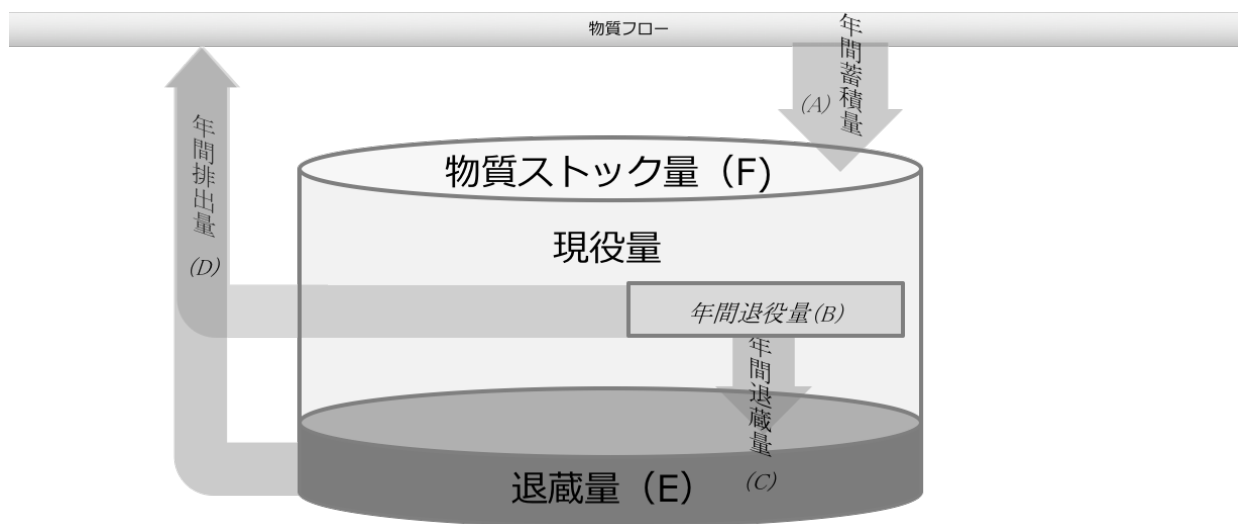


図-9 物質ストックの利用度別の区分（概念図）

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				投入量及び寿命関数から推計				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	—	—	—	6.7	—	—	—	—	—	591	261.5	—
道路	168.2	—	—	0.8	—	—	—	1.1	—	—	—	—	—	—	24.1	—
交通インフラ	—	—	—	0.3	—	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	10.6	—
ライフライン	—	—	—	0.1	—	—	—	0.2	0.02	—	—	—	—	—	5.9	0.94
その他	104.4	—	—	0.8	—	—	—	1.4	—	—	—	—	—	—	42.1	—
輸送機器	0.1	0.4	—	15.7	0.4	0.1	0.4	13.6	0.4	—	—	—	—	—	257.9	5.7
家電	0.0003	0.23	—	0.7	0.09	0.0002	0.20	1.2	0.07	—	—	—	—	—	13.0	1.26
電池・照明等	0.11	0.02	—	0.5	0.01	0.001	0.0001	0.5	0.0001	—	—	—	—	—	8.2	0.03
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	7.93

* 退役量は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。

* 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。

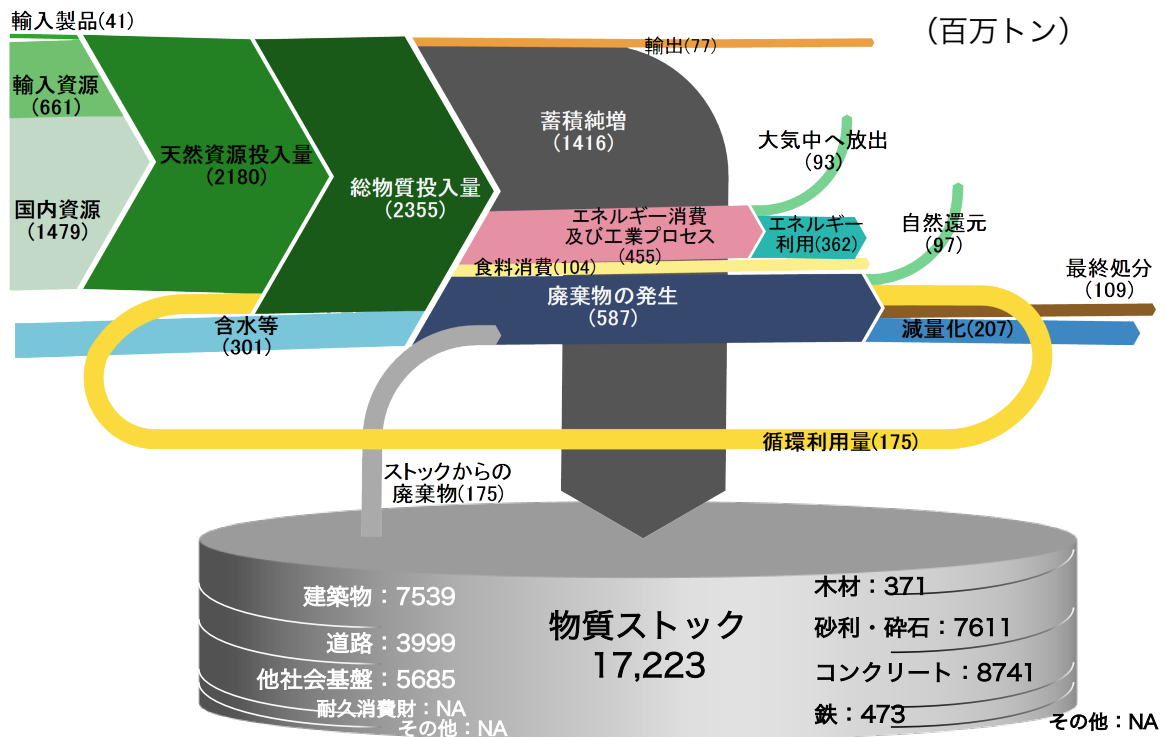
* 金属（鉄）は大分類で計算したときの値。

* 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。

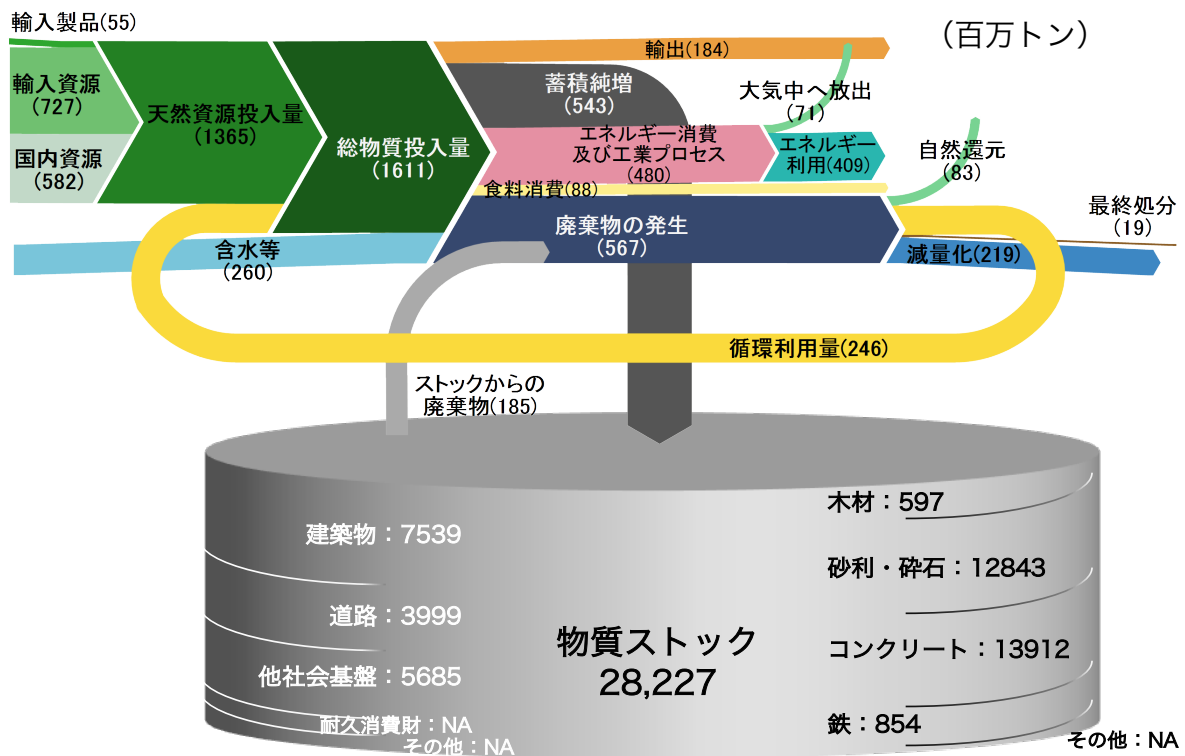
(3) 我が国に蓄積された物質ストック状況の把握

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ない、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。

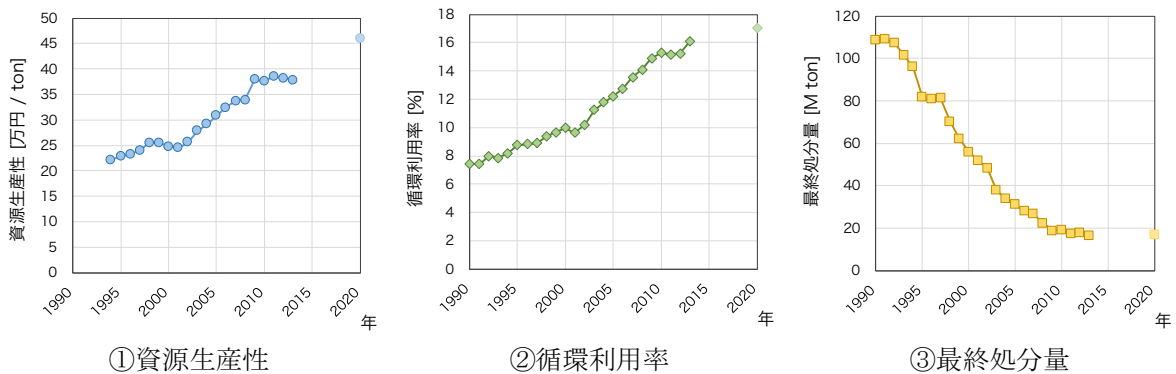


図-11 3つの物質フロー指標

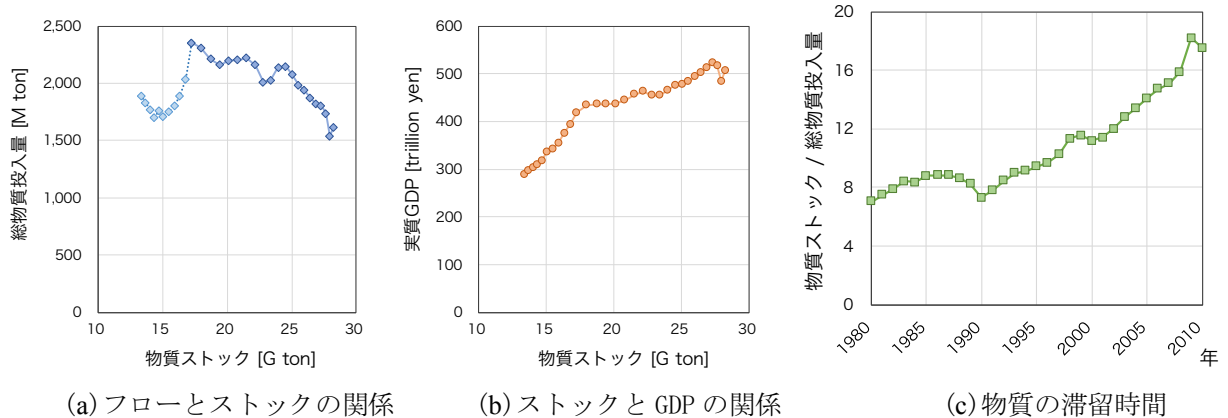


図-12 物質ストック・フロー指標

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。

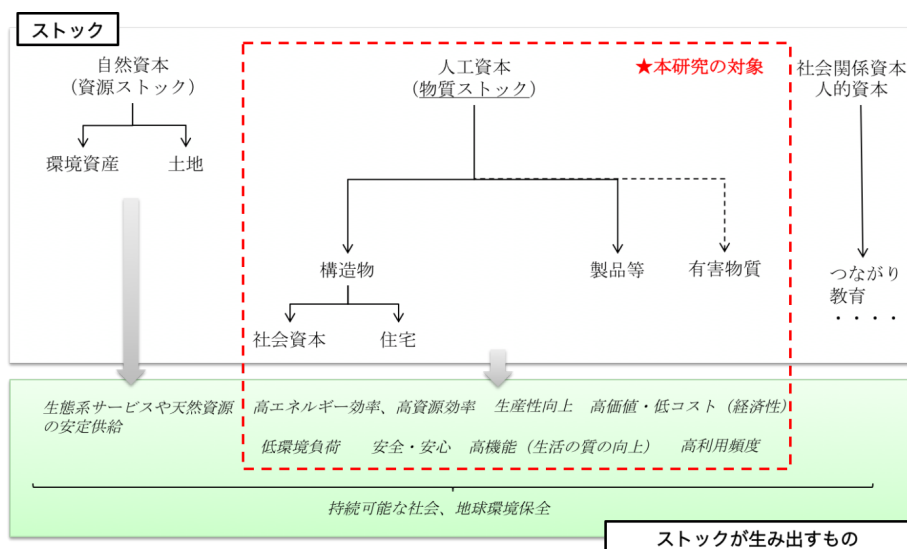


図-1 ストックの区分整理

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、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)。

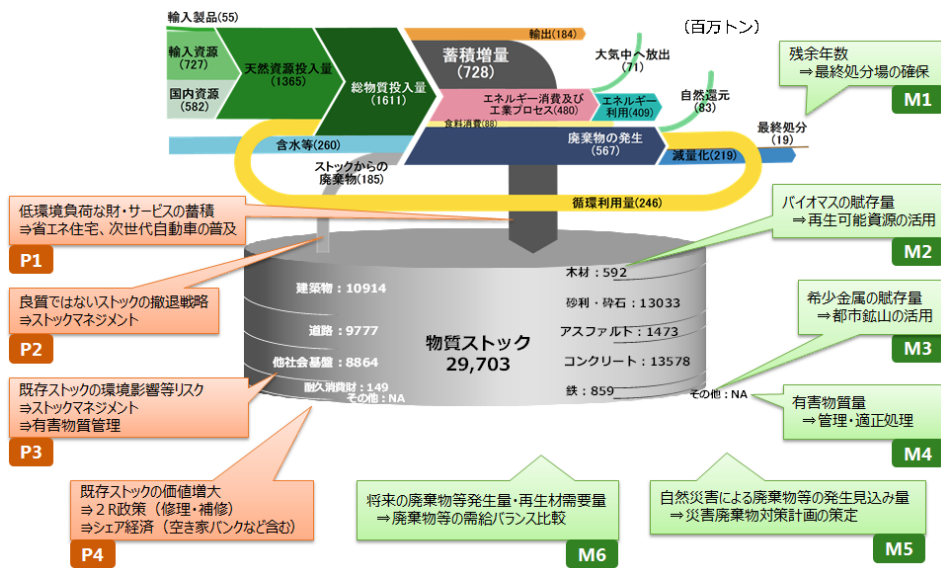


図-2 環境政策の視点からみた物質ストックデータの活用イメージ

（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。

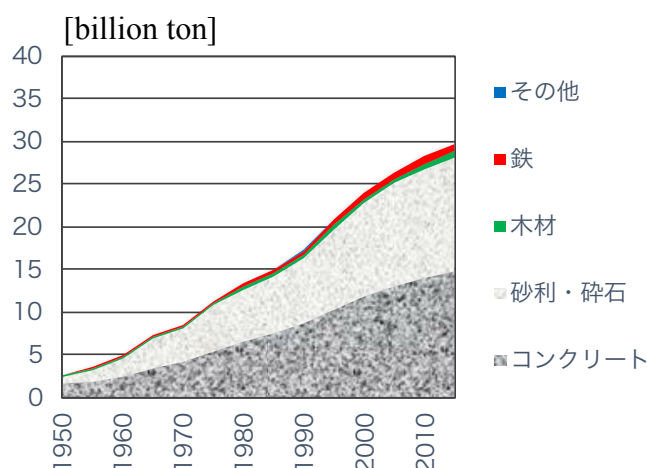


図-3 Top-downによる物質ストック量

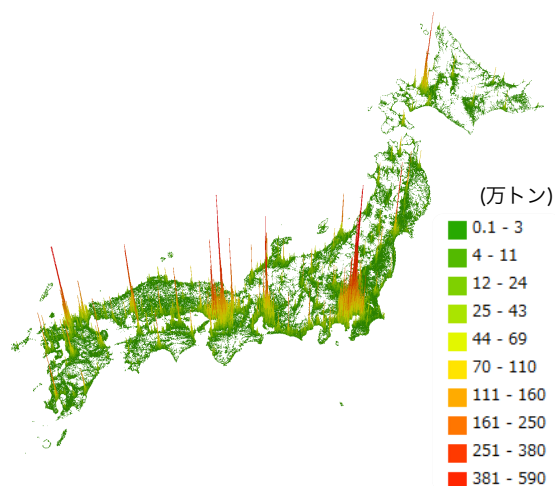


図-4 日本の建築物ストック量分布

(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を比(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。