

平成 30 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の質に関する調査・検討)

研究報告書

平成 31 年 3 月

名古屋大学  
東京大学  
立命館大学  
国立環境研究所

## サマリー

I	研究計画・成果の概要等	4
1.	研究の背景と目的	4
2.	3年間の研究計画及び実施方法	5
3.	3年間の研究実施体制	9
4.	本研究で目指す成果	9
5.	研究成果による環境政策への貢献	10
II.	平成30年度の研究計画および進捗状況と成果	11
1.	平成30年度の研究計画	11
2.	平成30年度の進捗状況および成果（概要）	13
3.	対外発表等の実施状況	17
4.	平成30年度の進捗状況と成果（詳細）	23
(1)	資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理	23
(2)	各要因に関連するデータベースの構築	25
①	物質の入れ替わり	25
i)	我が国全体の物質ストックの入れ替わり	25
ii)	廃棄率曲線による物質ストック滞留推計モデル	75
iii)	耐久消費財の寿命データ推定	86
②	ストックあたりのサービス発生量	92
i)	物質ストックの機能の指標化	92
ii)	二次資源としての供給可能量	103
③	稼働率・利用度	110
i)	建築物の延床面積推計による利用度評価	110
ii)	空間情報データベースを用いた空き家の分布	112
(3)	物質ストック関連指標の提案	120
III.	今後の研究方針（課題含む）	125
IV	添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）	126

## <サマリー>

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様々な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。デカップリングの重要性はUNEPや第五次環境基本計画(H30)にて、指摘されている通りであるが、物質フローは物質ストックと表裏一体であり、総物質消費量、循環利用量、蓄積純増量、廃棄物発生量等は物質ストックの状況に影響を受けている。資源生産性の向上を目指すためには、関連する物質ストックの状況を知る必要がある。物質ストックの定量化研究をベースとして、本研究課題である「物質ストックの質」に関する検討を進める事で、本研究では、資源生産性の向上に資する物質ストックの状況を、経年的に定量化・指標化することを目標とした。

物質ストックが提供している社会サービスには様々な側面があり一概に評価することは難しいため、循環政策への反映を考慮し、資源生産性の向上に寄与する物質ストックに関連する要因について検討を行った。資源生産性を試行的に要因分解し、下記の5項目に分類した。第1項目は、天然資源投入量(DMI)で総物質投入量(DMI+Recycle)を除し、循環利用がどの程度あるのか表した。第2項目は、総物質ストック量を総物質投入量で除し、社会での物質の入れ替わりを年数で表した。第3項目は、実際に使っている物質ストック量を総物質ストック量で除し、物質ストックの稼働率や利用度を示した。第4項目は、現役物質ストックのサービス発生効率を表し、最終項はサービスあたりのGDPを示した。第2項目から第4項目を本研究が対象とし、①物質の入れ替わり、②サービス容量、③稼働率・利用度の側面からデータの収集およびデータベースの構築を行った。

①物質ストックの入れ替わり：建築物の滞留年数の補正・評価モデルについて、小松ら(1992)の廃棄率曲線を減失床面積によりパラメータ補正を行った。その結果、固定資産の価値等の概要調書、着工統計から算出した減失床面積からの2つの誤差二乗和が最小となるように10年ごとでパラメータ変化させることで、建築部ストックの寿命に関する新規成果が得られた。また、耐久消費財についても調査を行った。ここでは、物質ストックの状況変化による物質フロー側への影響を定量化した。2000-2017年度における平均使用年数の長期化による新製品の需要削減効果が明らかになった。ここでは平均使用年数が2000年度の値のまま推移した場合の新製品需要台数を1とした場合の実際の新製品の販売台数の比を示している。

②サービス容量：物質ストックの材料としての機能性を定量化する分析として、材料機能の時系列での変化としてコンクリートの比強度(strength - to - weight ratio, strength/weight ratio)を定量化した。材料技術は進歩しており、高機能材料が開発され上市されてきているものの、実際に建築物に用いられる汎用材の平均的な強度はあまり変わっていないとも言える。高機能材料の多くは、新しい用途に向けての高機能材の開発が多く、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。

③稼働率・利用度：物質ストックが提供するサービスの利用度を比較する一例として、建築物の延床面積(建築ストックが有する潜在サービス)と利用されている延床面積(実際に提供されたサービス)の比率を比較した。その結果、住宅に関しては90%程度の利用度で推移していることが明らかとなった。

## 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様々な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。デカップリングの重要性はUNEPや第五次環境基本計画(H30)にて、指摘されている通りであるが、それにつながる資源生産性は、循環型社会形成推進基本計画(H30)にて既に数値目標が設定されており、毎年度算定が実施されている。資源生産性は「GDP/天然資源投入量」で表されるが、天然資源投入量は物質フロー全体が深く関わっている。実際には、物質フローは物質ストックと表裏一体であり、総物質消費量、循環利用量、蓄積純増量、廃棄物発生量等は物質ストックの状況に影響を受けている。資源生産性の向上を目指すためには、関連する物質ストックの状況を知る必要がある。

循環型社会形成に資する物質ストックに関する国内、海外での研究事例はまだ少なく、物質ストックの定量化に関する研究事例は増えているものの、物質ストックの質に関する知見は少なく、循環型かつストック型の社会形成を目指すための物質ストックの量と質の両面を明らかにする研究が求められている。申請者らの研究グループは、環境省循環計画分析・新指標検討WGを通じて、これまで実施してきた物質フロー・ストックの定量化と関連する資源効率性指標群の研究成果を提供・議論し、環境政策への貢献を続けている。物質ストックの定量化研究をベースとして、本研究課題である「物質ストックの質」に関する検討を一部進めており、本研究を進める環境を既に整えている。

本研究では、申請者らの過去の研究成果や海外の知見を生かし、資源生産性の向上に資する物質ストックの状況を、経年的に定量化・指標化することを目標とする。具体的には、以下の4項目を中心調査・検討を行う。

- (1) 資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理：物質ストックが提供しているサービスと社会への影響を分類し、資源生産性の向上に資する良質なストック、良質ではないストックを明らかにする。「質」には様々な側面があり一概に評価することは難しいため、循環政策への反映を考慮し、資源生産性の向上に寄与する要因について検討を行う。
- (2) 各要因に関連するデータベースの構築：資源生産性の向上に資する重要な柱と考えられる物質ストックの①物質の入れ替わり、②ストックのサービス容量、③稼働率・利用度、に関するデータベースの整備を行う。
- (3) 物質ストック関連指標の提案：(1)(2)に基づき、資源生産性の向上に資する定期的に計測可能な指標について検討を行う。物質ストック指標を定量的かつ経年に計測するために必要な④統計処理手法を確立し、政策に必要なデータとして隨時更新可能な⑤実務ベースの物質ストック関連指標の把握手法を検討する。
- (4) 物質ストックの質の違いによる環境・経済・社会に与える影響：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。環境・経済面からの国内外の有識者によるアドバイザリー会合を実施する。

## 2. 3年間の研究計画及び実施方法

本研究では、下記の項目の通り研究を実施する。

### (1) 資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理

物質ストックが提供している社会サービスには様々な側面があり一概に評価することは難しい。まずは、循環政策への反映を考慮し、資源生産性の向上に寄与する物質ストックに関連する要因について検討を行う。資源生産性を物質ストックに考慮して要因分解を行った例が図-iである。ここでは、資源生産性を試行的に要因分解したものであるが、主に5つの項に分類している。第1項目は、天然資源投入量(DMI)で総物質投入量(DMI+Recycle)を除し、循環利用がどの程度あるのか表している。第2項目は、総物質ストック量を総物質投入量で除し、社会での物質の入れ替わりを年数で表している。第3項目は、実際に使っている物質ストック量を総物質ストック量で除し、物質ストックの稼働率や利用度を示している。第4項目は、現役物質ストックのサービス発生効率を表し、最終項はサービスあたりのGDPを示す。ここで、第2項目から第4項目が物質ストックに関連が深く、本研究が対象とするものである。(2)につながる①物質の入れ替わり、②ストックのサービス容量、③稼働率・利用度の側面からデータの収集およびデータベースの構築を進める。

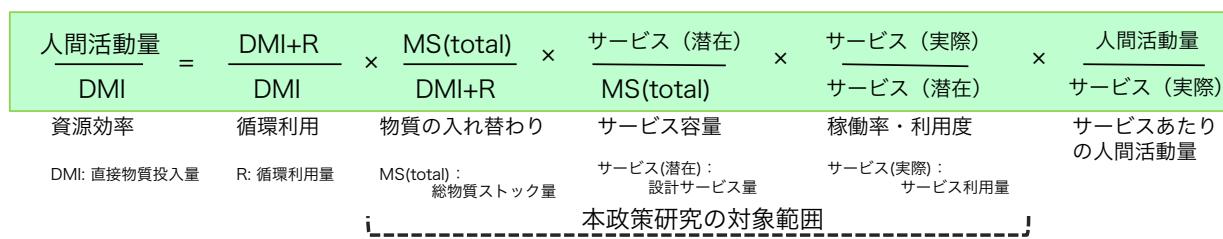


図-i 資源生産性の要因分解

### (2) 各要因に関連するデータベースの構築

資源生産性の向上に資する重要な柱と考えられる物質ストックの①物質の入れ替わり、②ストックのサービス容量、③稼働率・利用度、に関するデータベースの整備を行う。

- ① 物質の入れ替わり：総物質ストック量を総物質投入量（天然資源投入量と循環利用量の合計）で除すると、社会における物質ストックの入れ替わりを表すことができる。資源生産性の向上のためには、この項は上昇することが望ましいが、実社会の状況を知るために、物質ストックの滞留年数や寿命を知ることが不可欠であり、関連するデータベースの構築を行う。
- ② サービス容量：物質ストックから得られるサービスを現役物質ストック量で除すると、蓄積された物質が社会に対して発生しているサービスの発生効率を表すことができる。ここでのサービスは各製品が果たす役割だけでなく、リサイクルや二次資源としての可能性も含み、素材としての性能評価も重要となる。
- ③ 稼働率・利用度：現役である物質ストックの量を総物質ストック量で除すると、社会に賦存する物質ストックのうち有効に利用できている物質ストックの割合を表すことができる。この割合は

高い方が望ましいが、退役量、退蔵量を含めた稼働率を考慮することが必要となる。これらに関連するデータベースの構築を行う。

(4)

### (3) 資源生産性の向上に資する物質ストック関連指標の提案

上記を考慮し、循環政策をはじめ環境政策に資する計測可能な指標について検討を行う。物質ストック関連指標を定量的かつ経年的に計測するために必要な④統計処理手法を確立する。ここでは、(1)において要因分析を行ったことを受けて、環境政策に資する指標について、(2)のデータベース構築を用いて、指標体系の構築を行う。

さらに、環境政策、特に循環型社会形成推進基本計画の推進に必要な情報として、定期的に更新可能な⑤実務ベースの物質ストック指標の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

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。環境・経済面からの国内の有識者検討会の開催に加え、海外の事例とも比較することで、良質な物質ストックによる豊かさ、さらには、低炭素社会・循環型社会・自然共生型社会の三社会統合に資する検討を行う。質的区分を考慮した物質ストックとその社会への影響については、広範囲に渡る環境・経済面からの助言が必要となるため、アドバイザリーボード会合を組織し、継続的な議論・更新・見直しを進める。アドバイザリーボード会合のメンバー（案）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）、眞弓浩三教授（徳島大学）、近藤康之教授（早稲田大学）、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 Heinz Schandl 教授（オーストラリア連邦科学産業研究機構 CSIRO、ISIE 会長）、Fridolin Krausmann 教授（オーストリア IFF 社会環境研究所）、Walter Reinhart 博士（UNEP）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。

本研究の実施に当たって、各年度に行う計画を以下に示す。(図-ii、表-i)

#### 【2018年度】

「(1) 資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理」を実施するとともに、「(2) 各要因に関連するデータベースの構築」を行う。さらに、翌年度より「(3) 物質ストック関連指標の提案」を実施するため、「(3)④指標の統計処理手法」に必要な(2)①②③の暫定結果の整理を行う。また、(1)および(3)の実施のために、環境・経済面から分析を行う研究者を中心に組織したアドバイザリー会合を通じてヒアリングを行い、様々な分野から本研究成果の検証を随時行う。これにより、「内部会合」→「研究成果進捗」→「アドバイザリー会合」→「環境省担当課打合せ」→「内部会合」といったPDCAサイクルにより研究自体の質の向上を目指す

#### 【2019年度】

前年度に整理した事例をさらに更新しつつ、(2)①②③の手法の検討の見直しを進め、その時点での研究成果に基づき、「(3)④物質ストック関連指標の統計処理手法」の検討に着手する。(2)①②③については、データや手法の更新を進め、先のPDCAサイクルにより手法や対象分野を補完しつつ(3)につながるデータの分析を行う。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指標把握手法」の検討を同年後半から開始する。

#### 【2020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」を行い、(2)①②③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外部有識者検討会を通じて環境面、経済面から検討を行う。

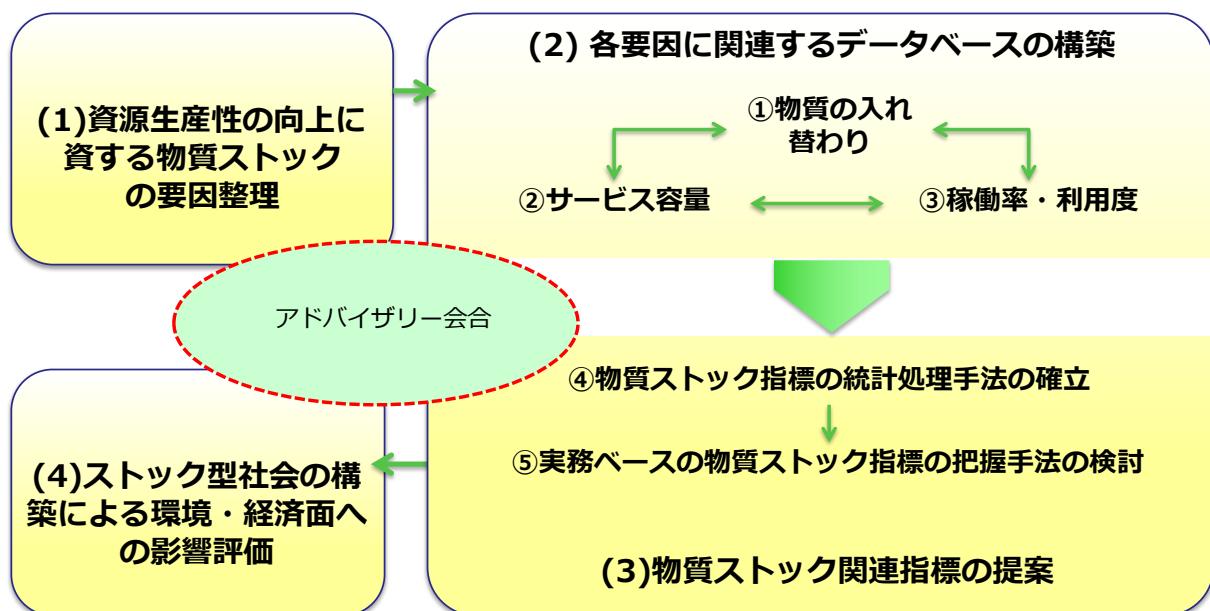


図-ii 本研究の構成

表-i 本研究の工程表

	2018年(H30)	2019年(H31)	2020年(H32)
(1)資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理	↗	見直し ↗	見直し ↗
(2)各要因に関連するデータベースの構築			
①物質入替DB	↗	更新 ↗	更新 ↗
②稼働率・利用度 DB	↗	更新 ↗	更新 ↗
③サービス効率 DB	↗	更新 ↗	更新 ↗
(3)物質ストック関連指標の提案			
④統計処理手法の確立		↗	見直し ↗
⑤実務ベースの物質ストック把握手法			↗
(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-ii に示す体制で実施する。(2)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。(4)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。

表-ii 本研究の実施体制

	谷川	橋本	醍醐	小口	奥岡
(1) 資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理	◎	○	○	○	○
(2) 各要因に関連するデータベースの構築					
①物質入替 DB	○建設		○製品	○耐久財	
②稼働率・利用度 DB	○退役	○二次	○退蔵		
③サービス効率 DB		○木材	○鉄鋼		○土石
(3) 物質ストック関連指標の提案					
④統計処理手法の確立	○	◎			○
⑤実務ベースの物質ストック把握手法	○				◎
(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

本研究を通じて以下のような成果が見込まれる。(括弧番号は上記の研究目的と対応)

- (1)(2)既存の物質ストック推計に資源生産性の向上に資する要因の分析という視点を加え、要因ごとのデータベースの構築を行うことで、物質ストックの状況とその変化を明らかにすることができる。
- (3)(4)定期的に計測できる物質ストックの質に関する指標を提示し、我が国の物質ストックの状況を明らかにする。さらに、統計情報を用いて随時更新する実務的な作業につなげる。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

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、第五次環境基本計画（H30）における重点政策「②国土のストックと指定の価値向上」の実現へ寄与するとともに、第四次循環型社会形成推進基本計画（H30）にて今後の課題とされる物質ストック関連項目の指標検討に資するものである。

## II. 平成 30 年度の研究計画及び進捗状況と成果

### 1. 平成 30 年度の研究計画

本研究の構成を図-1 に示しており、平成 30 年度の計画は以下の通りである。

まず、「(1)資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理」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い、資源生産性の向上に関わる要因分解をすることで、①物質の入れ替わり、②ストックのサービス容量、③稼働率・利用度の側面からデータの収集およびデータベースの構築を進める。(1)における結果と平行して、「(2)各要因に関連するデータベースの構築」を行う。III期のプロジェクトで拡充された物質ストックの定量評価手法を用いることで、(1)で示された 3 要因について定量的な分析を行う。「①物質の入れ替わり」、「②ストックのサービス容量」、「③稼働率・利用度」について、各データベースを構築し、建築、インフラ、耐久財の実寿命、期待寿命・物質/素材としての滞留時間や、金属、土石系、木材に関する素材の高機能化・リサイクル難易度・二次資源供給量を分析し、建築、インフラ、耐久財の稼働率・年間退役量・退蔵量を明らかにする。さらに、「(3)資源生産性の向上に資する物質ストック関連指標の提案」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。

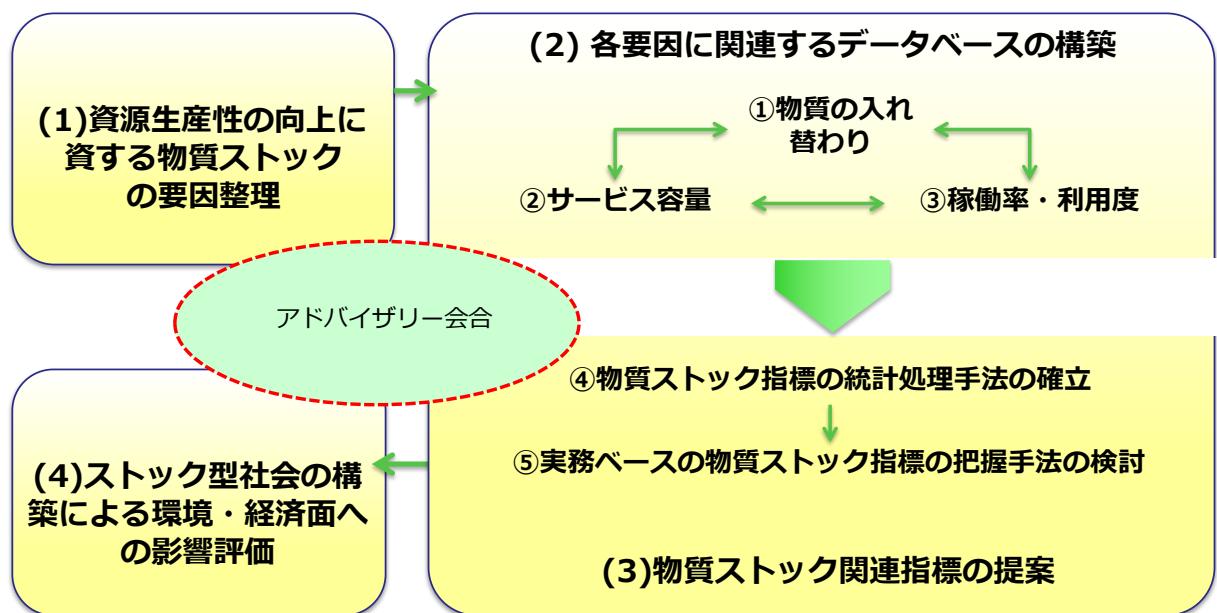


図-1 本研究の構成

#### (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。

- (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、具体的な事例の整理を行う。

- (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・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物質の入れ替わり、②ストックのサービス容量、③稼働率・利用度のデータ整備を行う。

#### (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

今年度の成果より、有識者会議等の成果により、複数の研究分野からのヒアリングを行い、影響を検討した。詳細は引き続き次年度以降に分析を行う。

## 2. 平成 30 年度の進捗状況および成果（概要）

再審査にて頂いたご意見を元に物質ストックの評価に用いる要因分解式をメンバー全員で再検討し修正を行った。循環型社会形成推進基本計画が定める目標指標である、資源生産性、循環利用率、最終処分量の 3 指標はそれぞれ物質ストックの「量」およびその「状況（質）」に深く関わることを念頭に本年度の研究内容について検討を行った。特に資源生産性については、現行の物質フロー指標で分子に GDP を用いていることから、GDP 自身の問題点も資源生産性指標に含まれることになり、同様の議論を物質ストックで行うことは本意ではないことから、本研究では、資源効率を人間活動量と物質投入量として表すこととした。ここで、人間活動量とはあらゆる社会の活動量と仮定した。その上で、物質フローと物質ストックはお互い影響があることを勘案すると、分母部分の物質投入を抑えつつ、分子の人間活動を行うためには、物質ストック側から物質フロー側への影響の要因を考慮する必要がある。本研究は、物質ストックの状況を「物質の入れ替わり」、「サービス容量」、「稼働率・利用度」に集約し、これらを考慮することとした。

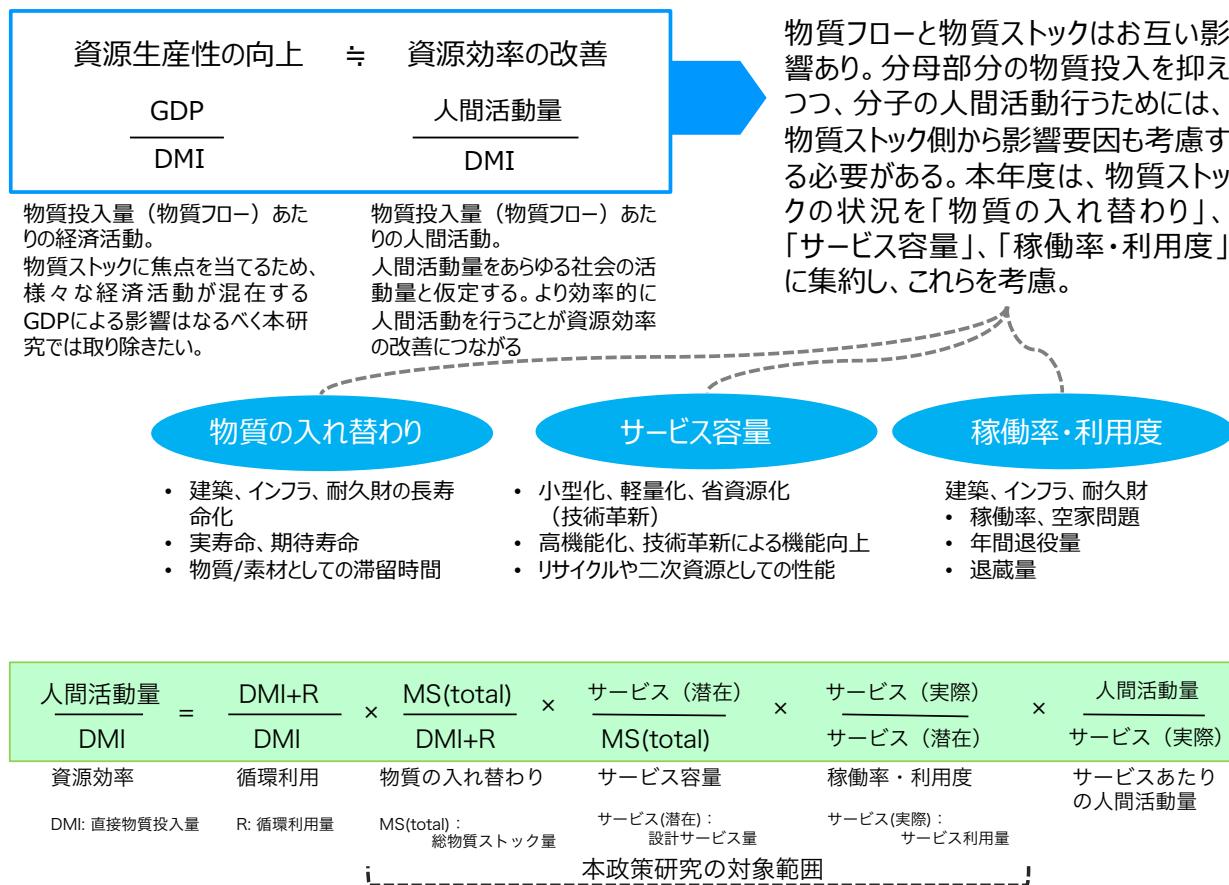


図-2 本研究における物質ストックの状況の把握対象

## (1) 物質ストックの把握

日本全体の物質ストック DB の精緻化・更新と 2015 年版の物質ストックフロー図の構築を行った。

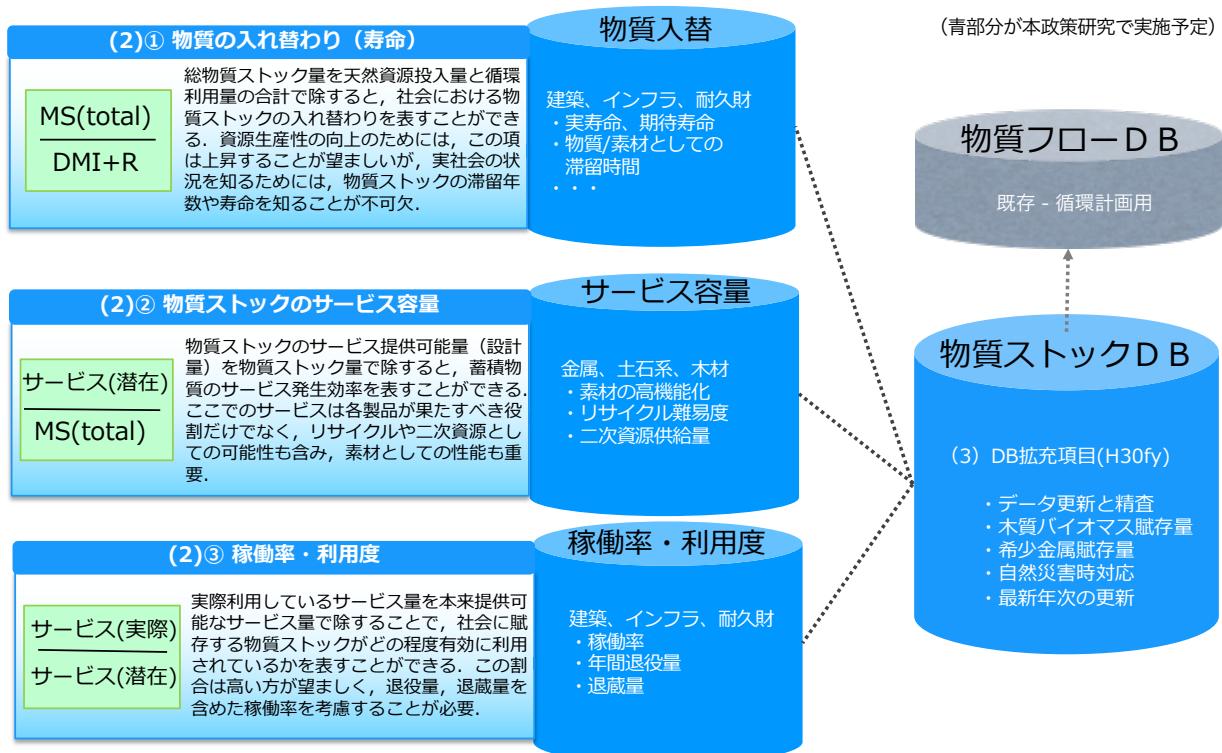


図-3 各要因項に対応するデータベースの構築と既存の物質ストック DB の拡充

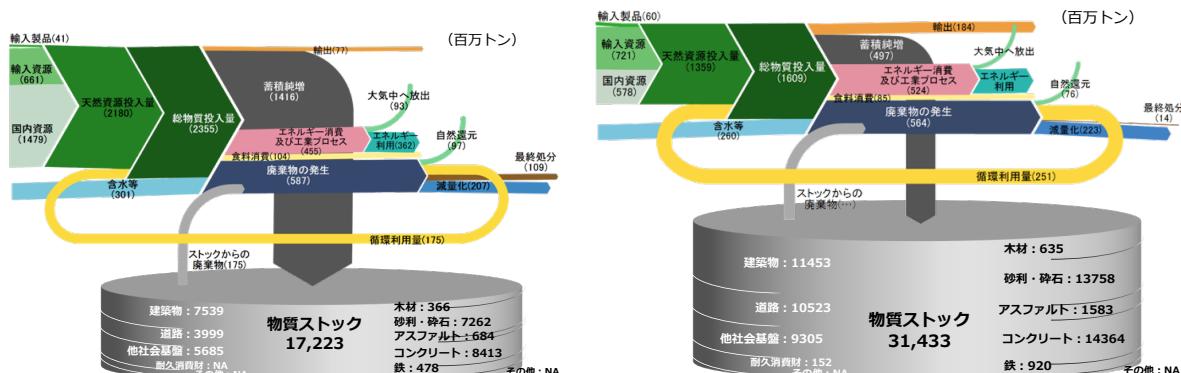


図-4 我が国の物質ストック・フロー

左 : 1990 年 (既往成果) 右 : 2015 年 (H30 成果・新規推計)

(2) ①物質ストックの入れ替わり：建築物の滞留年数の補正・評価モデルについて、小松ら (1992) の廃棄率曲線を減失床面積によりパラメータ補正を行った。その結果、固定資産の価値等の概要調書、着工統計から算出した減失床面積からの 2 つの誤差二乗和が最小となるように 10 年ごとでパラメータ変化させることで、建築部ストックの寿命に関する新規成果が得られた。

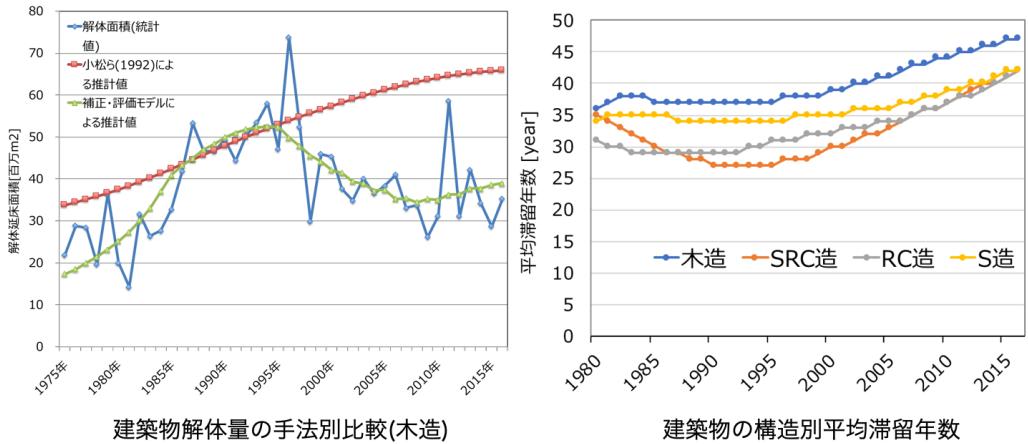


図-5 建築物の滞留年数の補正・評価モデル分析結果

また、耐久消費財についても調査を行った。ここでは、物質ストックの状況変化による物質フローへの影響を定量化した。2000–2017 年度における平均使用年数の長期化による新製品の需要削減効果（下図）が明らかになった。ここでは平均使用年数が 2000 年度の値のまま推移した場合の新製品需要台数を 1 とした場合の実際の新製品の販売台数の比を示している。

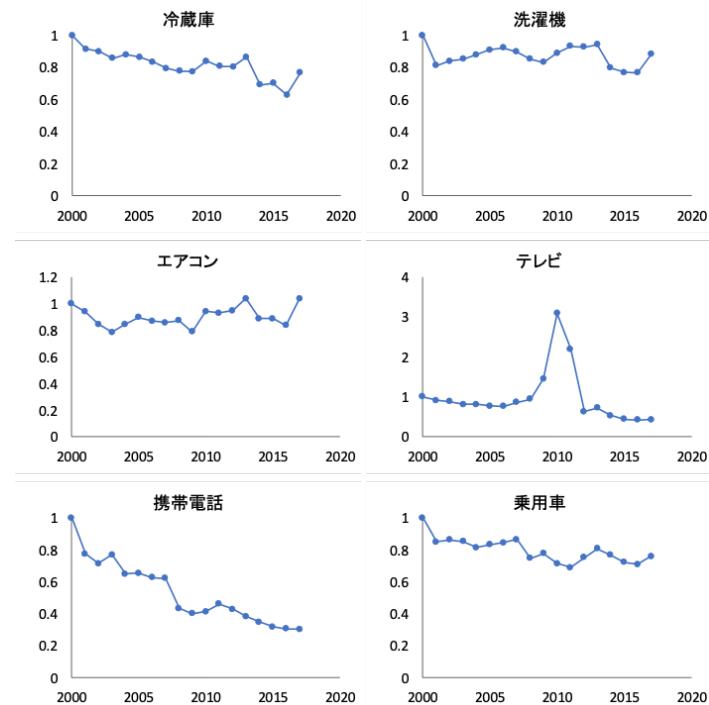


図-6 2000–2017 年度における平均使用年数の長期化による新製品の需要削減効果の分析結果  
(平均使用年数が 2000 年度の値のまま推移した場合の新製品需要台数を 1 とした場合の  
実際の新製品販売台数の比)

### ③物質ストックのサービス容量：物質ストックの機能の定量化

物質ストックの材料としての機能性を定量化する分析として、材料機能の時系列での変化としてコンクリートの比強度（strength - to - weight ratio, strength/weight ratio）を定量化した（下図）。材料技術は進歩しており、高機能材料が開発され上市されてきているものの、実際に建築物に用いられる汎用材の平均的な強度はあまり変わっていないとも言える。高機能材料の多くは、新しい用途に向けての高機能材の開発が多く、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。

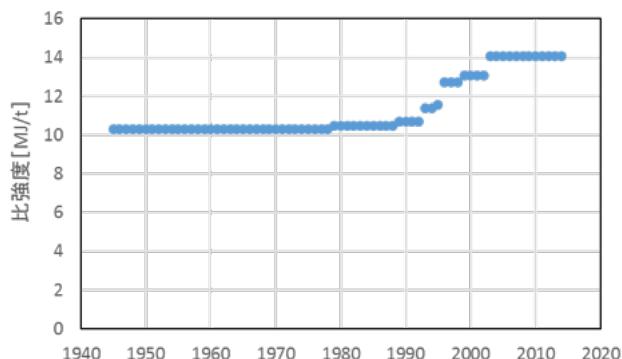


図-8 上市されているコンクリートの平均比強度の推移

### ②物質ストックの稼働率・利用度

物質ストックが提供するサービスの利用度を比較する一例として、建築物の延床面積(建築ストックが有する潜在サービス)と利用されている延床面積(実際に提供されたサービス)の比率を比較した。その結果、住宅に関しては90%程度の利用度で推移していることが明らかとなった。

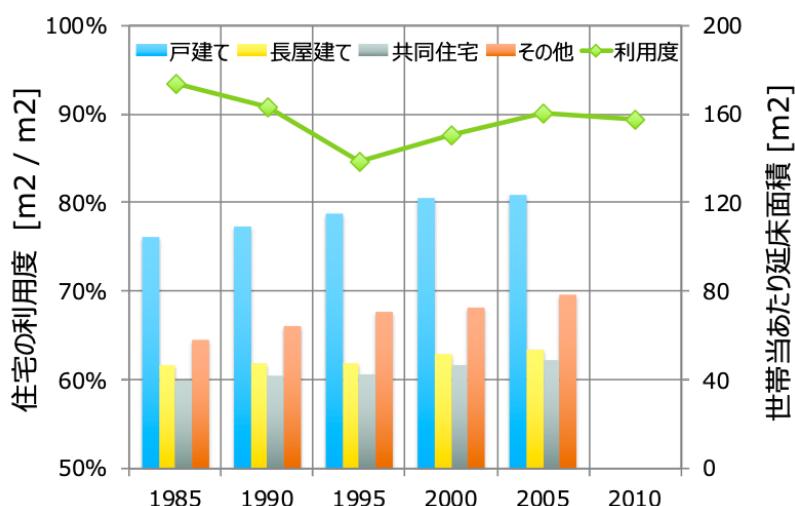


図-7 住宅利用度の推移と世帯当たり延床面積

### 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。

#### 有識者会合

##### <第1回 物質ストック有識者会合>

日 時：2018.9.7 13:00-17:00、8 10:00-12:00

場 所：長崎県 長崎市 i+Land Nagasaki

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2回 物質ストック有識者会議>

日 時：2018.9.13 10:00-12:00

場 所：Shandong Academy of Sciences (SDAS)

参加者：Prof. Heinz Schandl(Commonwealth Scientific Industrial Research Center, Australia)、Shi Feng (山東省科学院)、谷川（名大）、Alessio Miatto（名大）、Marianne Martinico-Perez（名大）、Jing Guo（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3回 物質ストック有識者会合>

日 時：2018.9.21 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4回 物質ストック有識者会合>

日 時：2018.10.15 10:00-12:00

場 所：東京大学

参加者：醍醐市郎(東京大学)、谷川(名大)

議 題：醍醐准教とストック型社会の概念について、議論を行った。

##### <第5回 物質ストック有識者会合>

日 時：2018.11.10 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6回 物質ストック有識者会合>

日 時：2018.11.27 13:00-17:00

場 所：みづほ情報総研

参加者：醍醐市郎准教(東京大学)、小口正弘主任研究員（国立環境研究所）、橋本征二教授（立命館大学）、高木重定主任（みずほ情報総研）、中西翔太郎氏（みずほ情報総研）、谷川(名大)、奥岡(名大)  
議題：本研究メンバーと、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7回 物質ストック有識者会合>

日 時：2018. 12. 11 13:00-16:00

場 所：University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

参加者：Prof. Helmut Haberl (クラーゲンフルト大学)、Prof. Dominik Wiedenhofer (クラーゲンフルト大学)、谷川(名大)、西尾(名大)

議題：Haberl 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8回 物質ストック有識者会合>

日 時：2018. 12. 18 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1回 環境省原課担当者会議>

日 時：2018. 8. 27 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2回 環境省原課担当者会議>

日 時：2018. 12. 7 15:30-15:30

場 所：環境省 循環室

参加者：環境省環境計画課担当官、環境再生・資源循環局 奥山氏、醍醐市郎准教(東京大学)、小口正弘主任研究員（国立環境研究所）、高木重定主任（みずほ情報総研）、中西翔太郎氏（みずほ情報総研）、谷川(名大)、奥岡(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3回 環境省原課担当者会議>

日 時：2019. 1. 18 13:00-15:00

場 所：環境省 循環室

参加者：環境省環境再生・資源循環局 奥山氏、高木重定主任（みずほ情報総研）、中西翔太郎氏（みずほ情報総研）、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。

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, Hiroki Tanikawa: Sustainability indicators from resources flow trends in the Philippines, Resources, Conservation and Recycling, pp.74-86, Vol.138, November 2018.
- 2) Thi Cuc Nguyen, Tomer Fishman, Alessio Miatto, Hiroki Tanikawa: Estimating the Material Stock of Roads: The Vietnamese Case Study, Journal of Industrial Ecology, July, 2018.
- 3) 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, pp, 155-166 Vol.147, May, 2018.
- 4) K. Nakajima, I. Daigo, K. Nansai, K. Matsubae, W. Takayanagi, M. Tomita, Y. Matsuno: Global distribution of material consumption: Nickel, Copper, and Iron. Resources, Conservation & Recycling, 133, (2018) 369-374.
- 5) Ichiro Daigo, Shin Kiyohara, Tomoki Okada, Daisaku Okamoto, Yoshikazu Goto: Element-Based Optimization of Waste Ceramic Materials and Glasses Recycling. Resources, Conservation & Recycling, 133, (2018) 375-384.
- 6) 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 :建築物の年代間での同一性判定を用いた東京都市圏における更新量の推計, 環境情報科学 Vol.32, pp.13-18, Dec, 2018.DOI:10.11492/ceispapers.ceis32.0\_13

<口頭発表（国際学会）>

- 1) Alessio Miatto, Hiroki Tanikawa: Material flow and stock analysis of long lived buildings: the case study of Padua (Italy),The International Society for Industrial Ecology 6th Asia-Pacific Conference 2018, 2018.09.11-14, Qingdao, China.
- 2) Jing Guo, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa: GIS-based analysis of building material stock in Eastern cities of China, The International Society for Industrial Ecology 6th Asia-Pacific Conference 2018, 2018.09.11-14, Qingdao, China.
- 3) Marianne Faith G. Martinico-Perez, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa: Total Material and Energy Flow and Resource Productivity of the Philippines, The International Society for Industrial Ecology 6th Asia-Pacific Conference 2018, 2018.09.11-14, Qingdao, China.
- 4) Alessio Miatto, Hiroki Tanikawa: Revisiting the Weight of Nations, Industrial Ecology Gordon Research Conferences, 2018.05.20-25, Les Diablerets, Switzerland).

- 5) Masato Nakada, Ichiro Daigo, Manabu Enoki: Estimation of dissipative flows during materials' recycling. The International Society for Industrial Ecology 6<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference. 11-14, Sep. 2018, Qingdao, China
- 6) K. Halada, Y. Umeda, I. Daigo, M. Kojima, E. Yamasue: Global Multi-Value Circulation for "Mottainai" society with higher resource efficiency. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, 1-1E-1
- 7) E. Yamasue, I. Daigo, J. Cravioto, S. Kosai, D.-Q. Nguyen, D.-H. Tran, Y. Kishita, Y. Umeda: Estimation of generated E-wastes in Vietnam considering Lifetime Transition. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, 1-1E-4
- 8) I. Daigo, H. Hatayama, Y. Kobayashi, K. Nakajima, E. Yamasue, K. Matsubae: LCI methodologies considering recyclability of materials. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, 2-1F-3
- 9) Hiroki Hatayama, Kiyotaka Tahara, Ichiro Daigo, Shigesada Takagi, Shotaro Nakanishi: Value of Materials within the Sustainable Development Goals. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, P-28
- 10) Masato Nakada, Ichiro Daigo, Manabu Enoki: Core time 2 Estimation of Exported Mixed Metal Scrap for Evaluation of End-of-Life Recycling Rates. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, P-72

<口頭発表（国内学会）>

- 1) 朝隈智哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 4d-GIS のデータを自動分析を目指した同一性判定システムによる主要都市での建築物更新量の推計精度の検証, 第 32 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館
- 2) 大澤啓裕, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 野中 一鴻, 正木晃平 : モンテカルロシミュレーションによる建築物滞留年数の推計-名古屋市中心部及び北九州市小倉の 4d-GIS を用いて-, 第 32 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館
- 3) 松尾佑磨, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 藤田恭介, 山本大陸 : 空港・港湾を対象とした輸送インフラ毎のストック利用効率の推計-旅客数及び貨物量と物質ストックの比較-, 第 32 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館
- 4) Selenge Dima, 西尾文吾, 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : Comparison of New York and Tokyo's material stock of building estimation model using nighttime light data, 第 32 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館
- 5) 藤田恭介, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎 : 建設系物質ストックの利用度に応じた定量化手法の構築に関する研究, 第 46 回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018 年 10 月 20-21 日(土-日) 名古屋大学
- 6) 西尾文吾, 奥岡 桂次郎, 谷川 寛樹 : 東京都市圏を対象とした衛星夜間光データを用いた建築ストックの推計モデルの開発, 第 46 回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018 年 10 月 20-21 日(土-日) 名古屋大学

- 7) 正木晃平, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, 深堀秀俊: 重回帰モデルによる空き家の空間分布に対する影響因子の分析～建築物詳細情報を用いた北九州市のケーススタディ～, 第 46 回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018 年 10 月 20-21 日(土-日) 名古屋大学
- 8) 山本大陸, 奥岡 桂次郎, 谷川 寛樹: 退蔵ストック定量化に向けた建築物の動的廃棄率の推計, 第 46 回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018 年 10 月 20-21 日(土-日) 名古屋大学
- 9) 山下奈穂, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎: 地理空間情報を用いた林地残材を含む齢級別木材資源量の推計 - 木曽川流域におけるケーススタディ-, 第 46 回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018 年 10 月 20-21 日(土-日) 名古屋大学
- 10) 朝隈智哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 4d-GIS のデータを自動分析を目指した同一性判定システムによる主要都市での建築物更新量の推計精度の検証, 第 46 回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018 年 10 月 20-21 日(土-日) 名古屋大学
- 11) 藤田恭介, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎: 時系列道路ネットワークデータベースを用いた, 道路インフラにおける物質ストックの退蔵・退役量の推計, 公益社団法人環境科学会 2017 年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 12) 正木晃平, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 深堀秀敏: 建築物実態調査に基づく空き家の空間分布の推計～北九州市の建築物詳細情報を用いたケーススタディ～, 公益社団法人環境科学会 2017 年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 13) 山本大陸, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 藤田恭介: 建築物滞留モデルを用いた住宅利用料及び空き家に関する退蔵ストックの推計, 公益社団法人環境科学会 2017 年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 14) 山下奈穂, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎: 都市・森林間における木材需要バランスを考慮した最適な輸送システムの検討-木曽川流域におけるケーススタディ-, 公益社団法人環境科学会 2017 年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 15) 朝隈智哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 建築物の構造・用途ごとの建設資材蓄積量及び更新量の推計-東京都及び周辺都市を対象とした同一性判定のケーススタディ-, 公益社団法人環境科学会 2017 年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 16) 大澤啓裕, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 野中 一鴻, 正木晃平: 1994 年から 2014 年における 4d-GI□による都市構造物を対象とした名古屋市中心部における物質ストック・フロー分析, 平成 30 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2018.06.16 神戸大学
- 17) 松尾佑磨, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 藤田恭介, 山本大陸: 空港における物質ストックの量とストック価値の推計, 平成 30 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2018.06.16 神戸大学
- 18) Selenge Dima, 西尾文吾, 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: Assessment of Estimation Model of Material Stock of Buildings with S-NPP VIIRS Nighttime Light Data,, 平成 30 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2018.06.16 神戸大学
- 19) 西尾文吾, 奥岡 桂次郎, 谷川 寛樹: 宇宙からみる夜景～世界の都市はどう変化する?～, 第 14 回 GIS コミュニティフォーラム, ポスター発表, 2018.05.24-25
- 20) 小林能直, 醍醐市朗: リサイクル普通鋼の機能性に関する材料学. 2018 年度日本実験力学会年次講演

会, 2018.8.27-29. 山梨

- 21) 醍醐市朗: 開ループリサイクルシステムにおける材料 LCA. 一般社団法人日本鉄鋼協会 第 176 回秋季講演大会, 2018.9.18-20. 仙台, シンポジウム「鉄鋼材料の負荷の評価から価値の評価へ」

#### 4. 平成 30 年度の進捗状況および成果（詳細）

##### （1）資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理

本研究では、資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理を行う。

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-1.1）。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。

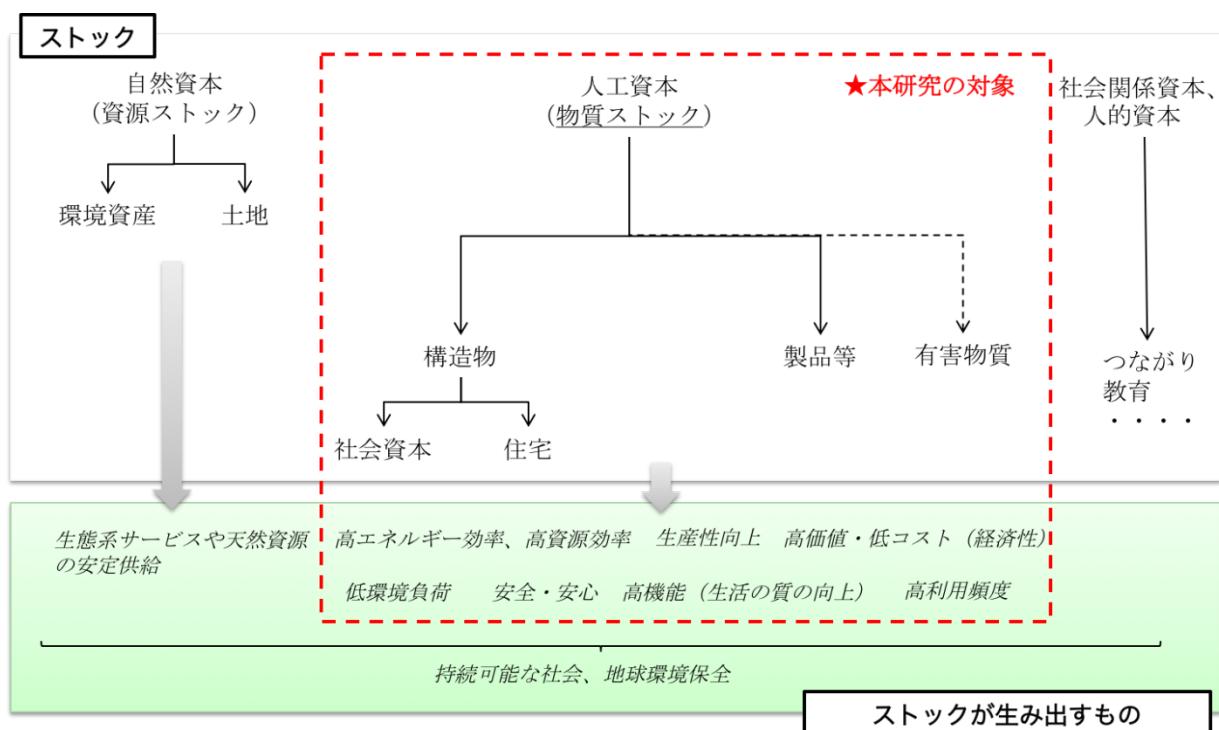


図-1.1 ストックの区分整理

物質ストックが提供している社会サービスには様々な側面があり一概に評価することは難しい。物質ストックを資源として利用することで、社会サービスが提供されて経済活動が成立していると仮定すると、両者の関係を論じる必要がある。国連資源パネルでは、資源利用と経済活動を切り離すデカップリングを引き起こすためには、資源生産性（経済活動／資源投入量）の向上が不可欠としており、循環型社会形成推進基本計画では、デカップリングを表す資源生産性の向上を目指している。「資源の将来的な入手可能性」「資源価格の不確実性と長期的上昇」「再生可能資源の非持続的な利用」「資源採掘・使用に伴う環境影響」はSDGsを達成する上での著しい脅威であり、資源効率性が脅威を低減させるのに中心的役割を果たす。（UNEP IRP(2011) Decoupling SPM）

デカップリングには、Resource Decoupling（資源デカップリング）と Impact Decoupling（環境デカップリング）があり、本研究では前者の議論を中心に、循環政策への反映を考慮することで、資源生産性の向上に寄与する物質ストックに関する要因について検討を行う。資源生産性を物質ストックに考

慮して要因分解を行った例が図-1.2である。ここでは、資源生産性を試行的に要因分解したものであるが、主に5つの項に分類している。第1項目は、天然資源投入量（DMI）で総物質投入量（DMI+Recycle）を除し、循環利用がどの程度あるのか表している。第2項目は、総物質ストック量を総物質投入量で除し、社会での物質の入れ替わりを年数で表している。第3項目は、実際に使っている物質ストック量を総物質ストック量で除し、物質ストックの稼働率や利用度を示している。第4項目は、現役物質ストックのサービス発生効率を表し、最終項はサービスあたりのGDPを示す。ここで、第2項目から第4項目が物質ストックに関連が深く、本研究が対象とするものである。(2)につながる①物質の入れ替わり、②ストックのサービス容量、③稼働率・利用度の側面からデータの収集およびデータベースの構築を進めた。

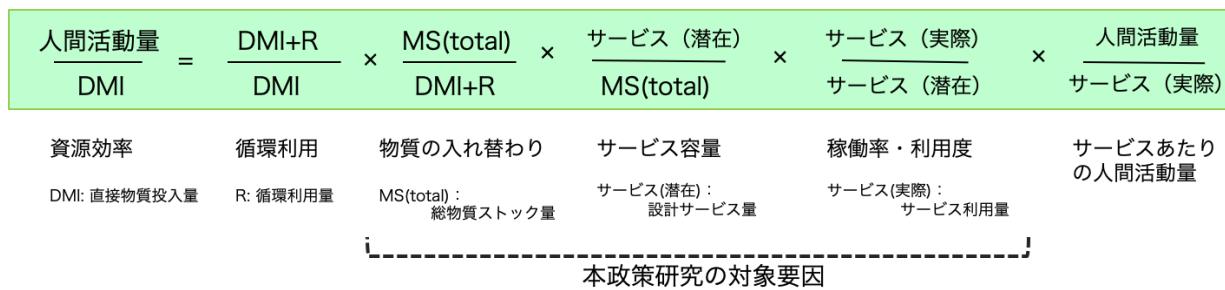


図-1.2 資源生産性の要因分解

## (2) 各要因に関するデータベースの構築

本項では、図-2.1に示される、物質ストックに関する要因項について、各項目ごとにデータベースの整備及び分析を行った。

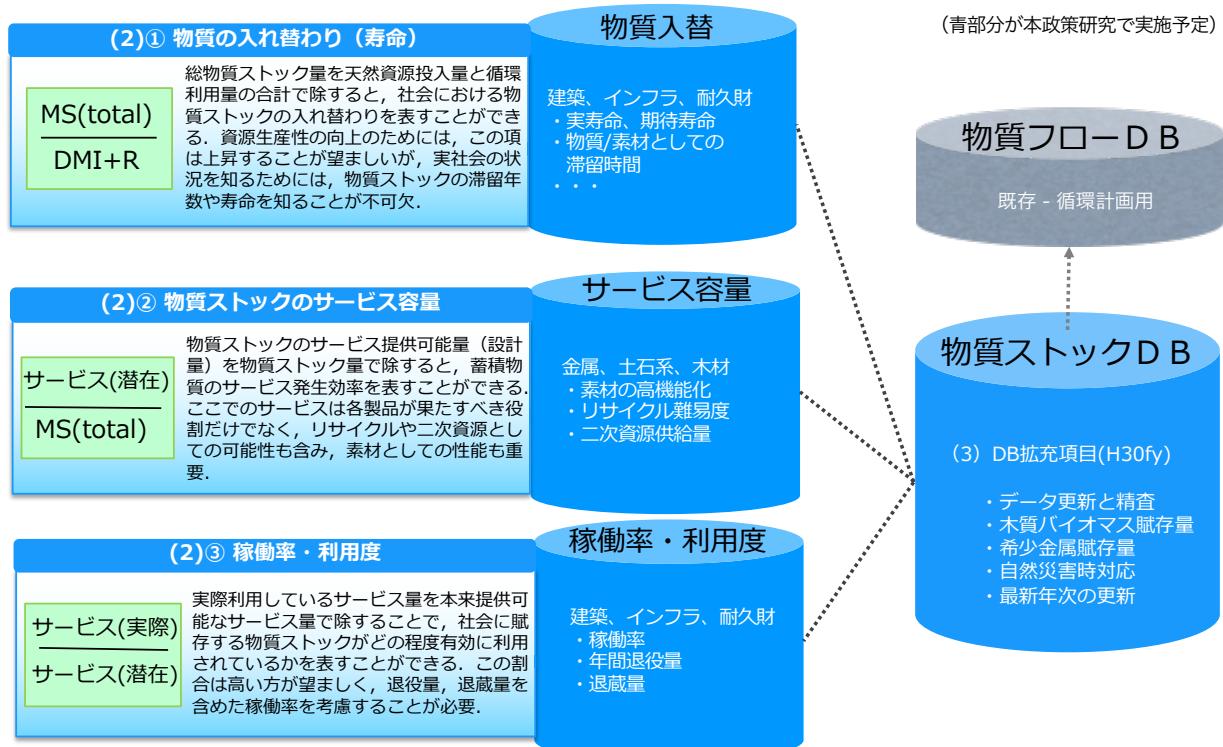


図-2.1 各要因項に対応するデータベースの構築と既存の物質ストックDBの拡充

### (2)-① 物質ストックの入れ替わり

#### (i) 我が国全体の物質ストックの入れ替わり

ストック型社会とはマテリアルストックを把握・管理することで、適切な量の資源を投入し、社会に蓄積・滞留している物質を有効活用する社会であった。日本ではOECD諸国の中でも少子高齢化が最も進み、人口は減少傾向に転じているにもかかわらず、住宅数の推移より住宅戸数は増加の一途を辿っている。換言すると、使われない住宅や使えない住宅が増加しているということである。現に空き家の戸数は2013年で6063万戸の13.5%にあたる819万戸が空き家であり（平成25年住宅土地統計調査）、増加傾向にある。このまま少子高齢化と都市のメタボリズムが進めば、住宅のみならずその他の建築物や社会基盤施設も必要以上に社会に蓄積することになり、資源投入が過剰の状態に陥るとともに、使われなくなり退蔵する施設からの排出も膨大なものとなる。ストック型社会の形成には退蔵ストックが増加することは好ましくなく、減少させ、現役のストックを有効活用することが重要である。

そこで近年ではマテリアルストックを定量化することに加え、マテリアルストックの質を評価することが求められている。つまりサービスを提供する能力を持つストック（Enable-to-use of Stock）とサービスを提供する能力を持たないストック（Obsolete Stock）を定量化する必要がある。上記の Enable-to-use of Stock は現役量で、退蔵量は Obsolete Stock である。なお年間退役量は使われている現役量

の内、その年に使われなくなったストックを表している。本研究ではこのストック区分に着目した物質ストック・フロー分析を行った。

循環型社会、ストック型社会の形成に向けて物質ストック・フローを把握するため、各省庁、研究機関等より様々な物質ストック・フローに関する研究が進められてきた。

日本全体の物質フローに関する研究として、環境省は資源エネルギー統計（経済産業省）や貿易統計（財務省）を基に各年度における日本全体の物質フローを把握し、投入量と排出量の差からその年の蓄積純増については把握しているが、ストックの量については着目されていない。Krausmann (2011) は貿易統計から 1800 年から 2005 年の天然資源について日本への投入量を推計しているがこちらもストックについてはその限りでない。

建築物・社会基盤施設・耐久消費財の物質ストック・フローに関する研究として、Hashimoto et al. (2007) は建設活動に関わる各種統計より建設活動量を求め、建設活動量あたりに投入される建設資材量（資材投入原単位）を建設活動量に乗じることで、日本全体の建築物・社会基盤施設の蓄積量を推計している。さらに、各種構造物の寿命の確率密度関数を用いて 2030 年までの蓄積量・排出量を予測した。推計された建設廃棄物は 2000 年で約 4 億トンであったのに対し、実際には数千万トン程度であり、Hashimoto et al. (2007) はこの理由として耐用年数を迎えることなく使われなくなってしまった構造物の一部が取り壊されることなくその場に残っていると指摘している。加用ら (2008) は建築物について、木材資源フローに関わる政策シナリオを設定し、政策シナリオごとの新築住宅床面積に住宅構造別の木造利用量原単位及び容積密度を乗じて住宅用木材需用量を推計した。住宅ストックに関しては耐用年数を戸建住宅、集合住宅それぞれ一律に設定して推計をしているため、実際のストック量との乖離が見られる。長岡ら (2009) は建築物・道路・下水道として蓄積している建設資材ストックを、建設活動量に対する原単位法を用いて推計している。単位可住地面積当たりの物質ストックを計算した結果、全都道府県の平均値は  $116\text{kg} \cdot \text{m}^2$  であった。小見ら (2010) は建築物の長寿命化を考慮した建築物の残存率についてシミュレーションを行った結果、従来のストック推計について見直しの検討の余地があることを示している。田中ら (2013) は建築物・道路・下水道について各種統計と地理情報を基に都道府県・構造物・資材別に物質ストック量のデータの拡充を行っている。建築物においては着工面積から一定の故障確率密度関数を用い、延床面積を算出することで、それに資材投入原単位を乗じ、蓄積量を推計しているが、算出した延床面積は実際の統計データとの乖離が見られる。Miatto et al (2017) は名古屋市と和歌山市とイギリスのサルフォード市について建築物の廃棄率曲線について様々な確率分布をその市に適した確率分布を現行の統計と比較し、適応することで物質ストックを推計しているが算出した廃棄率曲線は経済的要因や災害を加味していない。

物質ストックの区分に関する研究として醍醐ら (2007) は建築物・社会基盤施設・耐久消費財として社会に蓄積されている鉄鋼材の蓄積量を、鋼材の投入量・排出量を用いて推計する方法と投入量・誠意品寿命を用いた動的手法の二つの方法から推計している。その結果、2000 年において鋼材の蓄積量 12 億トンのうち 3 億トンが将来スクラップとして回収されることのない退蔵物質ストックとなっていることを示している。なお醍醐ら (2007) が定義した退蔵物質ストックと 1 章の 1.2 で記述した退蔵量には定義の違いがある。谷川ら (2017) は日本全体の物質ストックストック型社会の構築に向け、日本全体の物資フローと物質ストックの定量化を行うとともに物質ストックの区分について利用形態別、物質

別、利用度別に区分し、物質ストックが排出される過程について、現役量、退役量、退蔵量、排出量と整理を行っている。

#### (i)-1 トップダウンによる物質ストックデータベース

既往研究ではストックに対応した物質フローの把握が統計的になされておらず、耐用年数など仮定に依存した物質ストック・フローの把握をしている。また都市に蓄積されない建設資材のフローも考慮した詳細な建設資材の物質ストック・フローが把握されておらず、各建設資材の物質ストック・フローをそれぞれ別の手法で推計している。以上を踏まえ、本項では、現実に対応した建設資材の物質ストック・フローを把握するために、主要な建設資材であるセメント、砂利、碎石による土石系資源と鋼材、木材について、投入と排出に関する統計を用いた共通した方法により、投入、蓄積、排出を一貫した建設資材の物質ストック・フローの把握をし、建設部門に関わる土石系資源、鋼材、木材の物質ストック・フロー分析を行った。主要な建設資材であるセメント、砂利、碎石による土石系資源と、鋼材、木材の物質ストック・フローを、統計データを用いることにより推計する。ストックへの投入量は、統計データによる生産量から、製造の過程で排出される製造くずと新築・増改築、修繕などの着工に伴う排出量を減じることで算出する。排出量は、解体によるストックからの排出量に加えて、製造くず、着工くずを考慮して算出する。

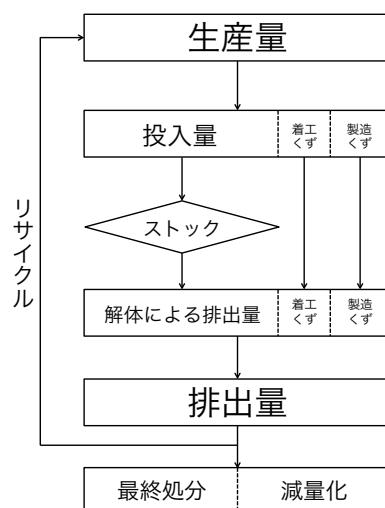


図-2.2 建設資材の物質ストック・フロー推計に関する研究フロー図

蓄積純増はストックへの投入量と、解体によるストックからの排出量の差により算定する。物質ストックは各年の蓄積純増を累計することで算出する。物質ストックの算定式は式(2.1)に示す。右辺第一項は山下ら(2015)により推計された1990年時点の建設資材の物質ストック、右辺第二項は蓄積純増の累計を示す。

$$S(\tau) = S(t_0 - 1) + \sum_{t=t_0}^{\tau} \{ F^{in}(t) - F^{out}(t) \} \quad (2.1)$$

ここで、 $S(\tau)$ :  $\tau$ 期末におけるストック、 $S(t_0 - 1)$ : 初期ストック、 $F^{in}$ : 当期中の投入量、 $F^{out}$ : 当期中の廃棄量、とした。

建設資材の物質ストック・フローの把握に用いた、建設資材の生産量のデータを表-2.1に示す。セメントに関して、建築用は建築(官公需)と建築(民需)の合計を、土木用は鉄道、電力、港湾、土木の合計を、道路用は道路・橋梁を生産量とした。碎石はコンクリート用をセメントの生産量の割合と同じ割合で配分されると仮定し按分することで、建築物、土木の生産量とし、道路は道路用をそのまま生産量とした。砂利は玉石、海、他に該当する量はコンクリート用・道路用に用いられないため除外した。また、データの範囲が体積であるため、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値( $1\text{m}^3=1.6\text{t}$ )を用いて重量への換算を行った。需要部門の記載がなかったため、同協会の参考資料の値をもとにどの年代もコンクリート用:道路・道床用=7:3とし、碎石と同じようにコンクリート用をセメントの生産量で按分し、道路・道床用を道路用の生産量とみなした。その他用は一般社団法人日本碎石協会へのヒアリングより主に鉄道バラスト、港湾工事用等の捨石として使われるため土木用の生産量に含めた。

鋼材に関して、建築用、土木用の普通鋼材の生産量は、普通鋼材生産量に普通鋼材の国内向け出荷量の合計に占める、建設業向け出荷量と二次問屋以降の販売業者向けに出荷された需給調査対象以外の販売業者向け出荷量の合計の割合を乗じることで算出した。土木、建築用の普通鋼材の輸入量は、輸入量の全量を普通鋼材需要部門別消費量で按分することで算出した。

木材に関して、製材品は製材品用途別出荷量の建築用材出荷量を建築用の生産量とし、土木建設用材用を土木用の生産量とした。合板は普通合板用途別生産量の構造用合板の生産量と特殊合板の生産量を建築用の生産量とし、普通鋼材用途別生産量のコンクリート型枠用合板の生産量を土木用の生産量とした。また製材品、合板の生産量の単位は体積であるが、製材品は井道ら(2012)による樹皮側と髓側の比重の平均比重 $0.478(\text{t}/\text{m}^3)$ を、合板は筒本ら(1965)による全乾比重 $0.410(\text{t}/\text{m}^3)$ を乗じることにより、重量による木材の生産量を算出した。さらに木材チップの入手区分別生産量より、解体材・廃材より得られる木材チップのうち、パーティクルボード用へ利用される量をパーティクルボードの生産量とした。

表-2.1 生産に関する建設資材データの概要

	出典	部門		範囲	単位
セメント	一般社団法人セメント協会 「需要部門別販売高」	鉄道、電力、セメント製品、港湾、 道路・橋梁、土木、建築(官公需)、 建築(民需)、自家用、その他		1990- 2015	重量
碎石	経済産業省製造産業局住宅用業建材課 「碎石統計年報」	天然資源	コンクリート用、道路用、 その他	1990- 2015	重量
		再生骨材	コンクリート用、 道路・その他用		
砂利	経済産業省製造産業局住宅用業建材課 「砂利採取業務状況報告書」	なし 採取地別(河、山、陸、海、他) 種類別(砂利、砂、玉石、玉碎)のみ記載		1990- 2014	体積
鋼材	一般社団法人日本鉄鋼連盟 「鉄鋼統計要覧」	普通鋼材	土木 建築	1990- 2015	重量
木材	農林水産省生産流通消費統計課 「木材需給報告書」	製材品	土木 建築	1990- 2015	体積
		合板	土木 建築		

建設資材の排出量のデータを表-2.2に示す。コンクリート塊について、排出区分より公共土木工事、民間土木工事に伴う排出量を土木のストックからの排出量、解体に伴う排出量を建築のストックからの排出量とした。アスファルト・コンクリート塊について、公共土木工事、民間土木工事、解体に伴う排出量の合計を道路からの排出量とした。またコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊における新築・増改築、修繕に伴う排出量はすべて着工くずとした。鋼材について、老廃スクラップ部門別排出量より、土木部門を解体に伴う土木のストックからの排出量、建築部門を解体に伴う建築のストックからの排出量とした。また加工スクラップ排出量を製造くずとした。建設発生木材については、排出区分により、公共土木工事、民間土木工事に伴う排出量をコンクリート型枠などの着工の過程で発生する排出量とし、新築・増改築、修繕、土木工事に伴う排出量を着工くずとした。また解体に伴う排出量を建築のストックからの排出量とした。

表-2.2 排出に関する建設資材データの概要

	出典	部門		範囲	単位
土石系資源 (セメント、砂利、碎石)	国土交通省総合政策局 「建設副産物実態調査」	コンクリート塊	土木、建築 着工	1990– 2012	重量
		アスファルト・ コンクリート塊	土木、建築 着工		
	国土交通省総合政策局 「残コン・戻りコンの発生抑制有効利用に関するアンケート調査」	戻りコンクリート	着工	2005	
鋼材	一般社団法人産業管理協会 「リサイクルデータブック」	加工スクラップ	製造	1978– 2015	重量
		老廃スクラップ	土木 建築		
木材	国土交通省総合政策局 「建設副産物実態調査」	建設発生木材	建築 着工	1990– 2012	重量

#### a) 土石系資源

土石系資源の投入量は、建築用、土木用、道路用のセメント、碎石、砂利の生産量から着工くずである戻りコンクリートの排出量と新築・増改築、修繕に伴うコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊の排出量を減じることにより算出した。土石系資源のセメント、骨材の投入量の内訳は、以下に示す、コンクリート配合をもとに推計した。建築用の土石系資源の生産量は、統計データの整備より、セメントの建築用生産量と碎石、砂利のコンクリート用生産量をセメント生産量で按分した建築用の生産量の合計である。土木用の土石系資源の生産量はセメントの道路以外の土木用生産量に加えて、碎石、砂利のコンクリート用生産量をセメント生産量で按分した土木用生産量と碎石のその他用との合計である。道路用の土石系資源生産量は、セメントの道路・橋梁用の生産量と碎石、砂利の道路用生産量の合計である。また戻りコンクリートの排出量は、ヒアリングよりコンクリート生産量の1.6%として算出した。

排出量は戻りコンクリートの排出量と、新築・増改築、修繕に伴う排出量、解体によるストックからの排出量の合計とした。またコンクリート塊、アスファルト・コンクリート塊に占めるセメント、骨材

の内訳は、表-2.3に示すコンクリートの配合表より算出した。解体によるストックからの排出量について、建築はコンクリート塊の木造、非木造の建築物の解体工事に伴う排出量とし、土木は公共土木工事、民間土木工事に伴う排出量、道路はアスファルト・コンクリート塊の公共土木工事、民間土木工事に伴う排出量とした。

蓄積量は、まず蓄積純増を投入量からストックからの解体に伴う排出量を減じることにより算出し、山下ら(2015)の1990年時点の土石系資源蓄積量に、1991年から2015年の蓄積純増を積算することで算出した。

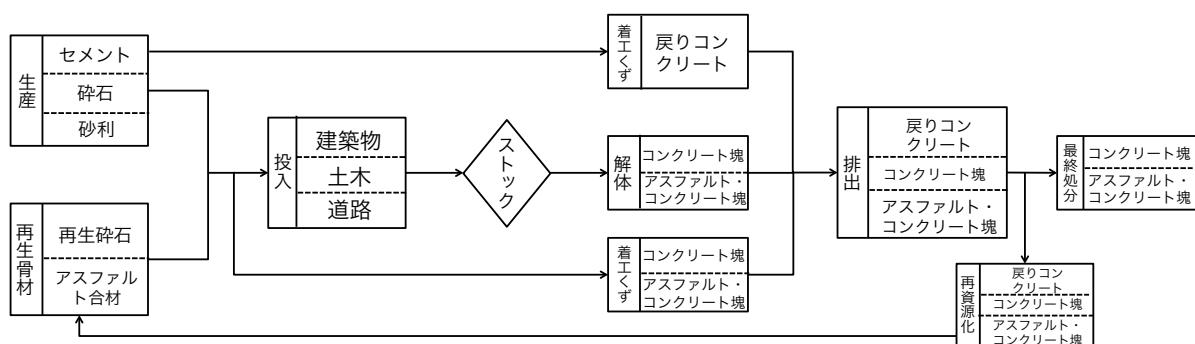


図-2.3 土石系資源推計フロー

表-2.3 コンクリート配合表

コンクリート1m <sup>3</sup> =2300kg		
水	セメント	骨材
160kg	315kg	1825kg

「コンクリート標準示方書」を参考に設定

#### b) 鋼材

鋼材の投入量は、建設業と二次問屋以降の販売業者向けの普通鋼材の生産量と、土木用、建築用の普通鋼材の輸入量の合計から、建設業と二次問屋以降の販売業者向けの普通鋼材の在庫と製造の過程で排出される加工スクラップの排出量を減じることにより算出した。普通鋼材の建築用の生産量は、生産量に普通鋼材需要部門別消費量の土木と建築の合計に占める建築の割合を乗じることにより算出した。土木用についても生産量に土木の割合を乗じることにより算出した。普通鋼材の輸入量は統計データの整備より、普通鋼材需要部門別消費量で按分することで、建築用、土木用普通鋼材の輸入量を算出し、在庫についても同様である。

排出量は、加工スクラップの排出量と解体によるストックからの老廃スクラップ排出量の合計とした。統計データの整備より、老廃スクラップ部門別排出量の土木部門を土木のストックからの排出量とし、建築部門を建築のストックからの排出量とした。

蓄積量は、蓄積純増を投入量からストックからの解体に伴う排出量を減じることにより算出し、山下ら(2015)の1990年時点の鋼材蓄積量に、1991年から2015年の蓄積純増を積算することで算出した。

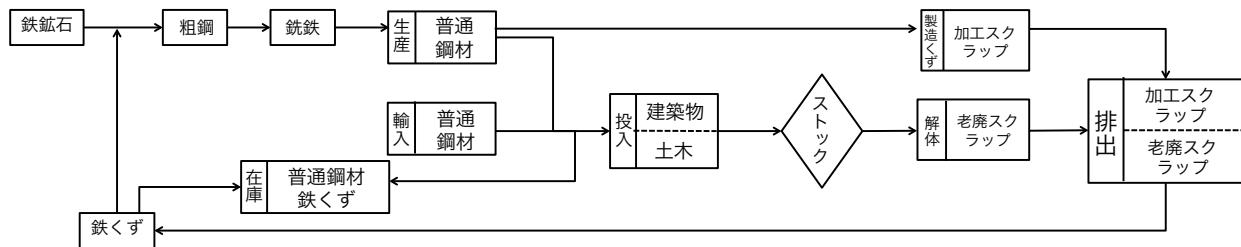


図-2.4 鋼材推計フロー

### c) 木材

木材の投入量は製材品、合板、パーティクルボードの生産量と製材品、合板の輸入量の合計から、公共土木工事、民間土木工事及び新築・増改築、修繕に伴う建設発生木材の排出量と製材品、合板の在庫を減じることによって算出した。統計データの整備より、建築用の生産量は製材品の建築用材と普通合板の構造用合板、特殊合板の合計とし、土木用の生産量は製材品の土木建設用の生産量と合板のコンクリート型枠用生産量の合計である。建築用の製材品の輸入量は、製材品の輸入量の合計を用途別出荷量で按分することで算出した。

排出量は、新築・増改築、修繕に伴う建設発生木材の排出量と解体工事によるストックからの建設発生木材の排出量の合計とした。解体工事の対象は、木造、非木造の建築物である。公共土木工事、民間土木工事における建設発生木材の排出量はコンクリート型枠などであり、土木工事によるストックからの建設発生木材の排出はないと仮定した。

蓄積量は、蓄積純増を投入量からストックからの解体に伴う排出量を減じることにより算出し、山下ら(2015)の1990年時点の木材蓄積量に、1991年から2015年の蓄積純増を積算することで算出した。

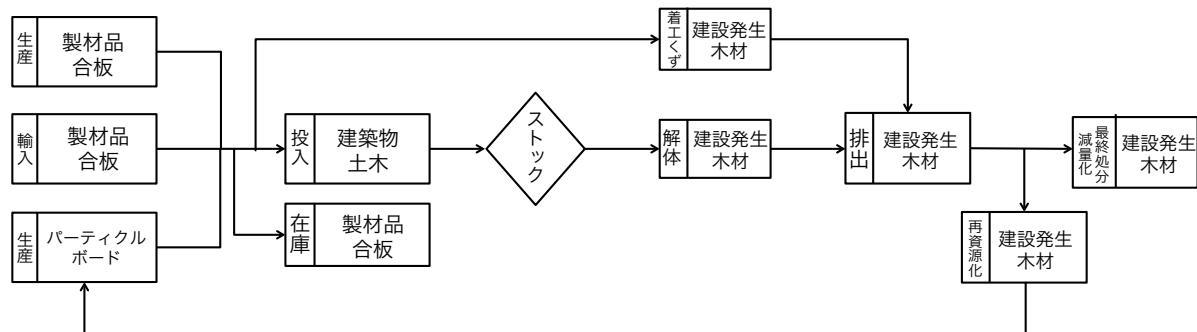


図-2.5 木材推計フロー

### <日本全国における物質ストックデータベース>

2015年における投入量について、骨材は1.46億トン、砂利・碎石は1.44億トン、セメント3469万トン、鋼材は2100万トン、木材は1480万トンであり、建設資材全体で3.58億トンであった。1990年の建設資材投入量の8.29億トンの半分以下になっており、減少傾向である。建設資材別にみても、それぞれ投入量が減少しており、土木構造物・建築物が整備されてきたことがわかる。特に道路用の投入量に着目すると、土木用、建築用に比べ1990年から2015年で最も大きく投入量が減少しており、2015年の投入量は1990年の投入量の3割程度しかない(図-2.7 参照)。土石系資源の骨材と砂利・碎石の投入量の減少が、土石系資源の投入量の減少の大きな要因であり、特に碎石は1990年から2015年で生産量が2.07億トン減少している(図-2.6 参照)。これは道路の整備、特に高速道路の整備がなされることによって道路をつくる敷地が減少することで、道路需要が減少した影響が考えられる。また2008年から2009年で各建設資材の投入量が大きく減少していた。これはリーマン・ショックの経済的影響により、生産量が減少してしまったと考えられる。

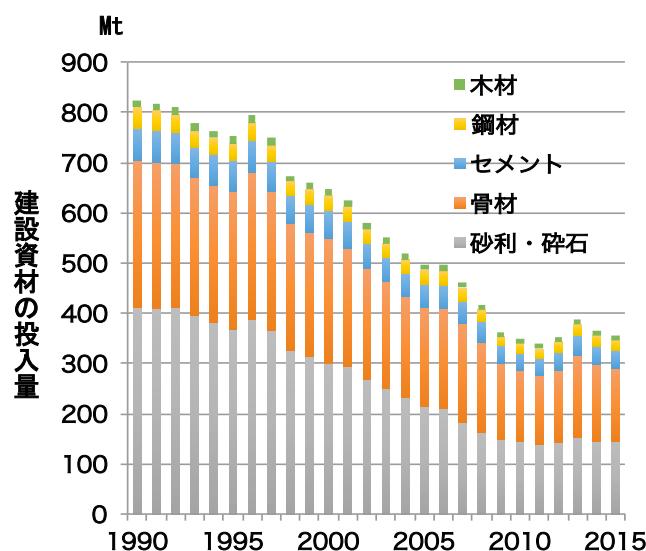


図-2.6 資材別投入量の推移

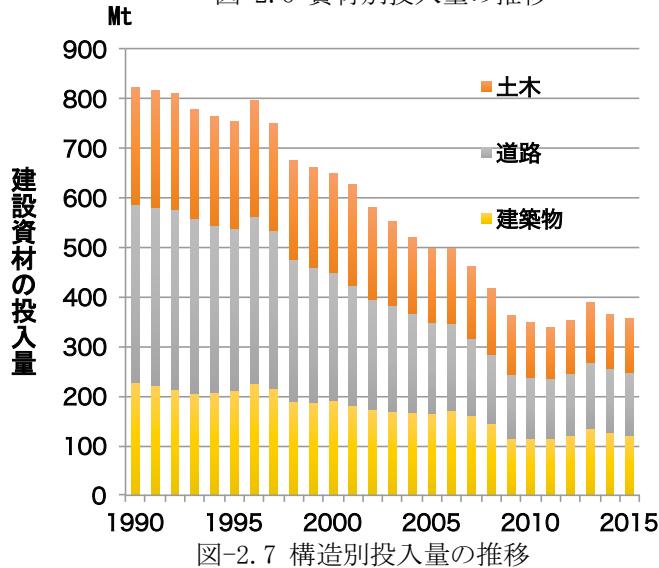


図-2.7 構造別投入量の推移

排出量については、2015年でセメント、骨材によるによる土石系資源排出量は6087万トン、鋼材967万トン、木材310万トンであり、建設資材全体で7364万トンであった。2015年の排出量は2015年の投入量3.61億トンの5分の1倍であった。また1990年での排出量が6750万トン、2000年が8890万トンであり、投入量の推移と比較すると、排出量の推移はなだらかな推移を示した。しかし、今後更新を迎える社会基盤施設・建築物が増えるため、排出量は増加すると考えられる。排出量を解体によるストックからの排出量と着工、加工の過程で排出される着工くず、加工くずの排出量で比較すると(図-2.10参照)、2015年で着工くず、加工くずの割合は全体の排出量の15%であった。着工くず、加工くずと解体くずの割合を資材ごとに比較すると、土石系資源と鋼材は12~13%であるが、木材は55%であった。土石系資源と鋼材はストックからの排出量がほとんどであるが、木材は着工、加工といった物質フローの過程での排出量と解体によるストックからの排出量の割合の差が小さいといえる。

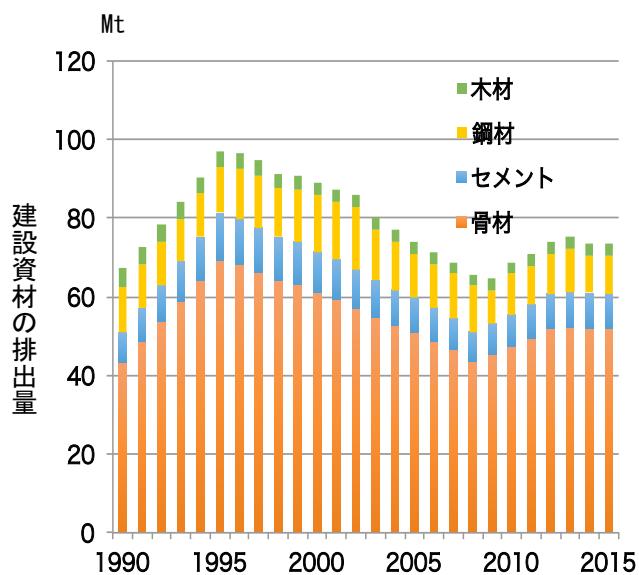


図-2.8 資材別排出量の推移

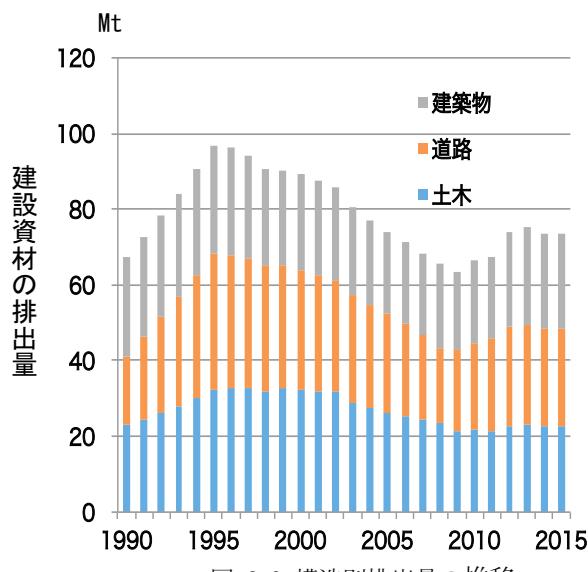


図-2.9 構造別排出量の推移

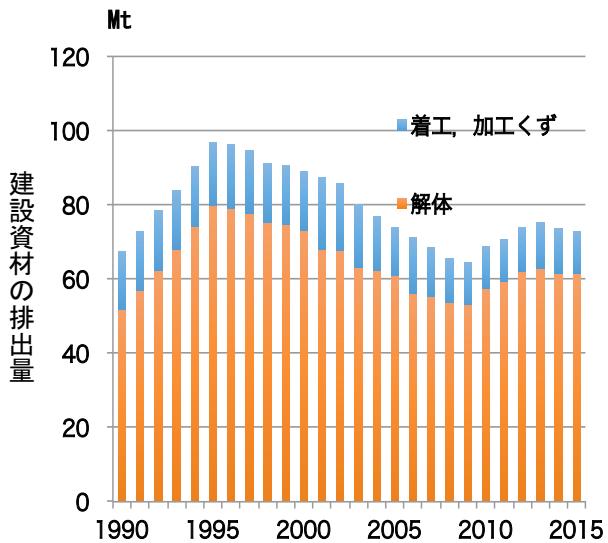


図-2.10 着工、加工くず及び解体に伴う排出量の推移

以上より、推計された物質投入量及び排出量を表-2.4、表-2.5に示した。投入量及び排出量より推計される資源蓄積量の結果を表-2.6及び図-2.11、2.12に示した。図-2.11より2015年の蓄積量が全体で289億トンであった。建設資材別で見ると、セメント22.7億トン、骨材114億トン、砂利・碎石138億トン、鋼材8.68億トン、木材6.35億トンであり、セメント、骨材、砂利・碎石による土石系資源が蓄積量全体の94%を占めていたことから、土石系資源が社会基盤施設・建築物の物質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た。構造別でみると、図-2.12より建築物が117億トン、土木が92.8億トン、道路が82.7億トンであった。蓄積純増に関して、1991年では7.5億トンであったのに対して、2015年の蓄積純増は3億トンであった。建設資材別でみると、図-2.13より2015年でセメント2700万トン、骨材1.02億トン、砂利・碎石1.44億トン、鋼材1241万トン、木材882万トンであった。構造別でみると、図-2.14より2015年で建築物が1.03億トン、土木が8982万トン、道路が1.01億トンであった。

表-2.4 経年での建設資材投入量

百万トン	セメント	骨材	砂利・碎石	鋼材	木材	投入量計
1990	64.46	292.51	411.34	41.52	25.81	828.98
1991	64.29	291.37	408.56	39.00	25.18	828.40
1992	62.20	287.58	410.49	35.81	24.72	820.80
1993	59.59	274.79	396.18	32.49	25.71	788.76
1994	61.37	273.55	381.66	32.44	25.66	774.67
1995	62.41	274.39	367.99	33.37	25.43	763.58
1996	64.39	292.48	387.99	35.14	25.94	805.94
1997	59.54	277.42	365.38	32.24	26.70	761.29
1998	55.07	252.33	326.30	29.01	21.11	683.82
1999	55.70	248.46	313.10	29.39	23.43	670.08
2000	55.83	247.46	300.62	30.62	23.44	657.95
2001	53.58	235.30	294.63	29.15	21.50	634.17
2002	50.83	219.98	269.00	27.90	16.77	584.47
2003	47.66	213.22	250.43	27.22	16.63	555.15
2004	46.01	201.13	231.37	27.84	16.98	523.33
2005	47.46	197.18	213.31	27.82	16.17	501.95
2006	47.65	198.34	210.22	28.09	16.54	500.84
2007	44.80	196.16	183.11	26.23	14.36	464.65
2008	40.25	180.51	161.84	25.25	13.33	421.17
2009	34.31	153.13	147.61	18.68	11.46	365.18
2010	33.72	142.17	144.68	18.56	12.67	351.80
2011	34.17	136.33	138.81	19.08	13.35	341.74
2012	35.99	143.33	143.42	21.04	13.55	357.33
2013	38.61	163.68	152.68	23.00	14.54	392.51
2014	36.93	152.10	145.01	21.90	13.44	369.38
2015	34.69	146.27	144.57	20.89	14.81	361.30

表-2.5 経年での建設資材排出量

百万トン	セメント	骨材	鋼材	木材	排出量計
1990	7.49	43.39	11.72	4.98	67.57
1991	8.39	48.60	11.07	4.76	72.82
1992	9.28	53.78	10.82	4.54	78.42
1993	10.15	58.79	10.70	4.33	83.96
1994	11.06	64.06	11.15	4.11	90.38
1995	11.97	69.33	11.63	3.89	96.81
1996	11.76	68.16	12.71	3.74	96.37
1997	11.43	66.19	13.38	3.64	94.64
1998	11.06	64.06	12.55	3.53	91.21
1999	10.89	63.07	13.31	3.43	90.70
2000	10.53	60.99	14.30	3.33	89.15
2001	10.23	59.25	14.79	3.17	87.44
2002	9.84	57.00	15.89	3.01	85.73
2003	9.45	54.76	13.01	3.02	80.25
2004	9.10	52.70	12.15	3.02	76.97
2005	8.80	51.00	11.15	3.04	73.99
2006	8.42	48.77	11.22	2.93	71.34
2007	8.03	46.51	11.28	2.83	68.65
2008	7.53	43.62	11.67	2.69	65.51
2009	7.83	45.34	8.62	2.78	64.57
2010	8.19	47.43	10.29	2.87	68.77
2011	8.55	49.53	9.67	2.97	70.72
2012	8.95	51.88	10.03	3.08	73.95
2013	9.01	52.21	10.92	3.08	75.23
2014	8.97	51.97	9.67	3.08	73.70
2015	8.96	51.92	9.67	3.08	73.63

表-2.6 経年での建設資材蓄積量

百万トン	セメント	骨材	碎石・砂利	鋼材	木材	蓄積量計
1990	1237.91	7172.01	7261.94	426.12	366.21	16464.19
1991	1294.76	7420.32	7670.51	455.10	387.89	17228.58
1992	1348.67	7659.87	8081.00	481.25	409.43	17980.22
1993	1399.11	7881.65	8477.18	504.22	432.07	18694.23
1994	1450.48	8097.23	8858.83	526.63	454.77	19387.94
1995	1503.11	8315.00	9226.82	549.90	477.34	20072.18
1996	1557.97	8552.22	9614.81	574.28	500.46	20799.75
1997	1608.21	8775.75	9980.19	595.28	524.36	21483.79
1998	1654.10	8974.92	10306.50	613.98	542.70	22092.20
1999	1700.93	9172.04	10619.59	632.66	563.40	22688.63
2000	1748.69	9372.74	10920.21	651.99	584.13	23277.76
2001	1794.36	9562.22	11214.84	669.52	603.25	23844.19
2002	1837.45	9737.39	11483.84	684.86	617.79	24361.34
2003	1877.55	9906.77	11734.27	702.84	632.36	24853.79
2004	1916.15	10064.99	11965.64	721.27	647.36	25315.41
2005	1957.04	10224.07	12178.96	739.97	661.60	25761.63
2006	1998.37	10385.74	12389.18	758.07	676.22	26207.58
2007	2037.12	10546.84	12572.29	773.50	688.72	26618.46
2008	2070.92	10690.03	12734.13	787.71	700.23	26983.01
2009	2098.40	10803.57	12881.74	798.37	709.94	27292.02
2010	2124.89	10903.90	13026.42	807.31	720.88	27583.41
2011	2151.45	10996.13	13165.23	817.51	732.49	27862.81
2012	2179.83	11095.37	13308.65	829.49	744.33	28157.66
2013	2210.82	11214.94	13461.33	842.73	757.14	28486.97
2014	2240.14	11322.94	13606.34	856.15	768.88	28794.46
2015	2267.23	11425.17	13750.92	868.56	781.99	29093.87

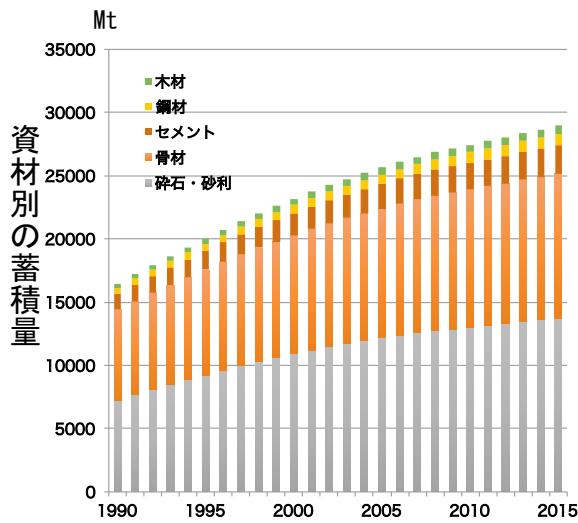


図-2.11 資材別の蓄積量の推移

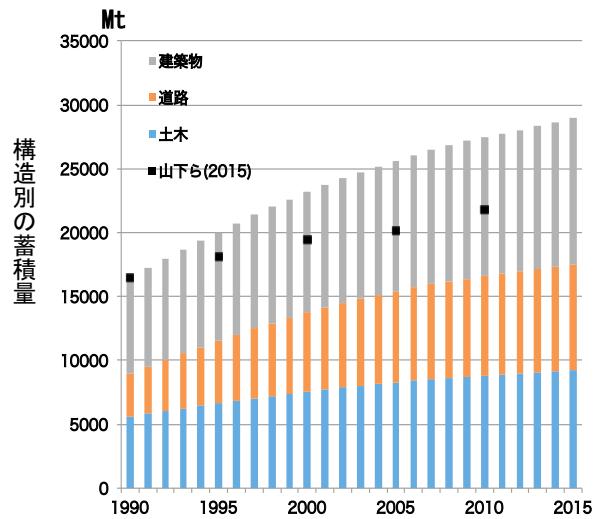


図-2.12 構造別の蓄積量の推

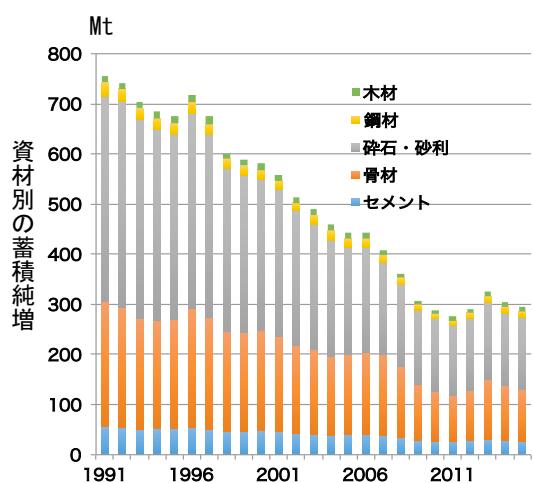


図-2.13 資材別の蓄積純増の推

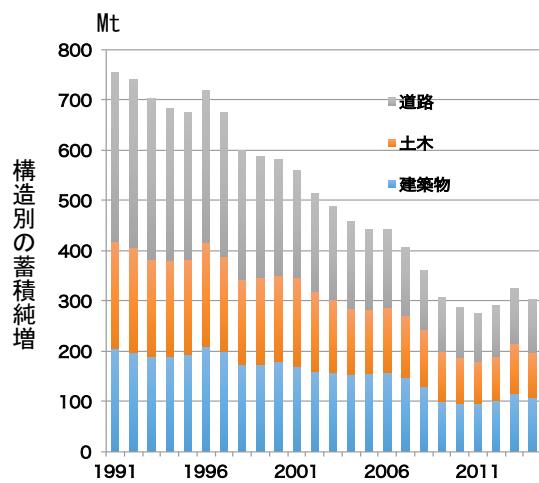


図-2.14 構造別の蓄積純増の推

本研究では、現実に対応した建設資材の物質ストック・フローを把握するために、主要な建設資材であるセメント、砂利、碎石による土石系資源と鋼材、木材について、生産と排出に関する統計を用いた共通した方法により、投入、蓄積、排出を一貫した建設資材の物質ストック・フローの把握をし、建設部門に関わる土石系資源、鋼材、木材の物質ストック・フロー分析を行った。

本研究により得られた結論を以下に示す。

- 1) 1990 年の投入量に関して、セメント、骨材による土石系資源は 7.68 億トン、鋼材は 4200 万トン、木材は 1400 万トン、建設資材全体で 8.23 億トンであった。2015 年は、土石系資源は 3.26 億トン、鋼材は 2100 万トン、木材は 1021 万トン、建設資材全体で 3.57 億トンであることが把握され、建設資材の投入量が減少傾向であることが示された。
- 2) 1990 年の排出量に関して、土石系資源は 5087 万トン、鋼材は 1172 万トン、木材は 497 万トン、建設資材全体で 6756 万トンであった。2015 年は、土石系資源は 6087 万トン、鋼材は 967 万トン、木材は 310 万トン、建設資材全体で 7364 万トンであった。排出量の推移はなだらかな推移を示したが、今後更新を迎える社会基盤施設・建築物が増えるため、排出量は増加すると考えられる。
- 3) 2015 年の蓄積量に関して、セメント 22.7 億トン、骨材 114 億トン、砂利・碎石 138 億トン、鋼材 8.68 億トン、木材 6.35 億トン、建設資材全体で 289 億トンであり、土石系資源が蓄積量全体の 94% を占めていたことから、土石系資源が社会基盤施設・建築物の物質ストックに大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

#### ＜参考文献＞

- 天野耕二、村田真樹、酒井伸一、高月紘：セメント・コンクリート産業を対象とした自然資源消費に関する研究、廃棄物学会研究発表会講演論文集 9、pp. 78–80、1998.
- 井道裕史、長尾博文、加藤英雄：大径丸太から採材された心去りヒノキ製材品および無欠点小試験体の強度性能、森林総合研究所研究報告、Vol. 11、No. 3、pp. 121–133、2012.
- 加用千裕、荒巻俊也、花木啓祐：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、pp. 207–220、2008.
- 坂本辰徳、谷川寛樹、橋本征二、森口祐一：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、2004.
- 醍醐市朗、五十嵐佑馬、松野泰也、足立芳寛：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、2007.
- 筒本卓造、佐藤庄一、柳下正：単板含水率の合板品質に及ぼす影響、林業試験場研究報告、Vol. 176、pp. 152–171、1965.
- 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、土木学会論文集 G (環境)、Vol. 71、No. 6 (環境システム研究論文集 第 43 卷)、II\_319–II\_327、2015.
- Daniel B. Muller : Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in the The Netherlands、ECOLOGICAL ECONOMICS、Vol. 59、pp. 142–156、2006.

Fridolin Krausmann、Simone Gingrich、Reza Nourbakhch-Sabet : 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、2011.

Seiji HASHIMOTO, Hiroki TANIKAWA, Yuichi MORIGUCHI : 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、2007.

一般社団法人産業管理協会：リサイクルデータブック 2015、37p、2015.

一般社団法人セメント協会：都道府県別需要部門別販売高、1990–2015.

一般社団法人日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計要覧、1990–2015.

梅原秀哲：コンクリートを学ぶ-施工編-、理工図書、156p、2011.

環境省：産業廃棄物の排出及び処理状況調査（平成 22 年度実績）、18p、2012.

経済産業省：碎石等統計年報、1990–2015.

経済産業省：砂利採取業務状況報告書、1990–2014.

経済産業省：総合エネルギー統計、2014.

国土交通省：建設副産物実態調査（平成 24 年度）、1990–2012.

国土交通省：残コン・戻りコンの発生抑制、有効利用に関するアンケート調査、5p、2005.

世界銀行：世界開発指標(1990–2015)、1990–2015.

### (i)-2 ボトムアップによる物質ストックデータベース

本項では、ボトムアップによる物質ストックデータベースとして、建築物及び社会基盤構造物を対象とした推計手法及び結果を示す。

#### <建築物>

住宅を含む建築物について、滞留推計モデルを用い、主要な建設資材の物質ストック・フロー分析を行った。日本全国の建築物全体の投入量、蓄積量、排出量を着工年代や構造種別に推計できる原単位法より、着工床面積と減失床面積を用いてボトムアップ方式で推計した。また推計した建築物の蓄積量から建築物の退蔵ストック推計の検討を行った。

本研究のフレームワークを図-2.15に示す。使用年数モデル法と蓄積増分法によりそれぞれ延床面積を推計し、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。蓄積増分法に関しては減失床面積が1991年以降について算出できることから1990年までの延床面積は使用年数モデル法に従い、1991年以降について推計した。

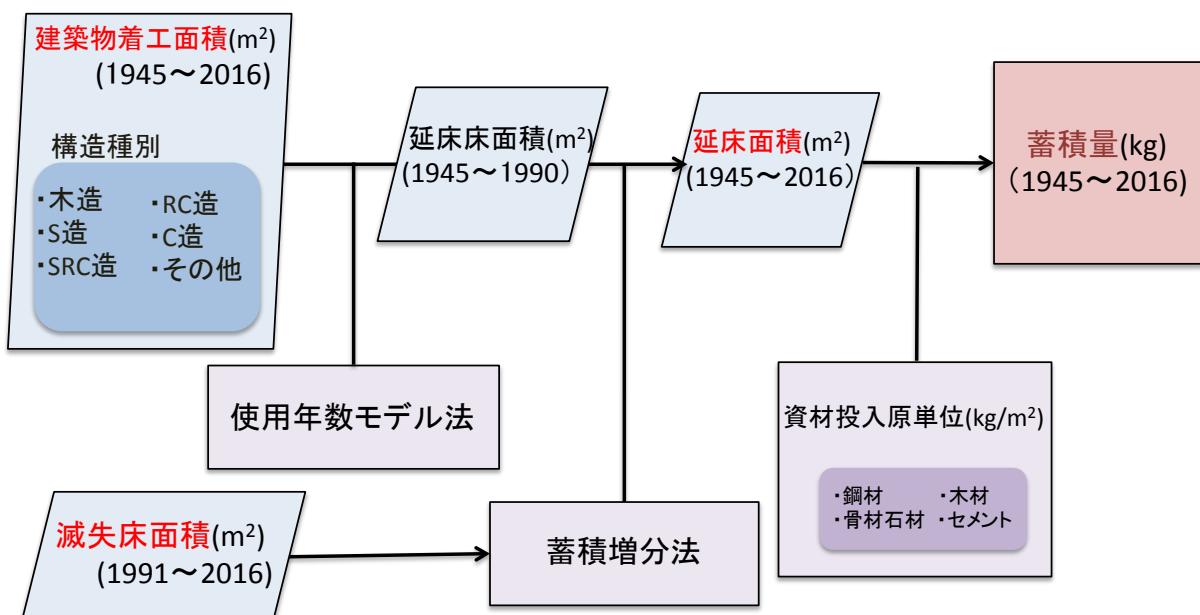


図-2.15 蓄積量推計フロー

#### a) 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(2.2)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(2.3))を、それ以外の構造種

についてはワイブル分布（式（2.4））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-2.7 値を用いた。

$$TF_{i,t,k} = \sum_{k=1945}^t (R_i(t-k) \times CF_{i,k}) \quad (2.2)$$

ここに、 $TF$ ：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。

$$R(x) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^x \frac{1}{t} \exp\left\{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dt \quad (2.3)$$

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。

$$R(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x-\delta}{\eta}\right)^m\right\} \quad (2.4)$$

ここに、 $R(x)$ ：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-2.7 構造種別廃棄曲線パラメータ一覧

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）

### b) 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(2.5)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（2.6）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。

$$DF_t = CF_t - (TF'_t - TF'_{t-1}) \quad (2.5)$$

$$TF_{i,t} = TF_{i,t-1} + CF_{i,t} + \sum_{k=1945}^t (RF_{i,k} - DF_t \times \frac{RF_{i,k}}{TF_{i,t-1}}) \quad (2.6)$$

ここに  $TF$ : 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。

#### d) 資源蓄積量の推計

蓄積量は原単位法に基づき、主要な建設資材（セメント、骨材・石材、木材、鋼材）について建設資材・労働力実態調査を基にサンプル調査より算出された建築物の構造種別、着工年代別に地域別に整備された資材投入原単位を用い、各年代の延床面積に乘じることで算出した。この原単位は実際の工事に基づくため、実態に最も即した資材投入原単位となる。全国主要な建設資材の資材投入原単位を表-2.8に示す。データの制約から1991年以前については1991年の原単位を使用し、2009年以降については2009年の原単位を使用した。地域別の資材投入原単位については付録にて記す。

建築物への建設資材の投入量は、式(2.7)に表すように推計年における着工床面積に資材投入原単位をそれぞれ乗じることで推計した。

$$MI_{i,t} = CF_{i,t} \times I_{i,t} \quad (2.7)$$

ここに  $MI$ : 投入量(ton)、 $CF$ : 着工床面積( $m^2$ )、 $I$ : 資材投入原単位( $ton/m^2$ )、 $i$ : 構造種、 $t$ : 推計する年代とする。

建築物への建設資材の排出量は、式(2.8)に示すように推計年における着工年代別の減失床面積に資材投入原単位をそれぞれ乗じることで推計した。また一律の残存率により算出した場合と統計データより算出した場合の排出量を比較した。

$$MO_{i,t,k} = \sum_{k=1945}^t (DF_{i,t,k} \times I_{i,t,k}) \quad (2.8)$$

ここに  $MO$ : 排出量(ton)、 $DF$ : 減失床面積( $m^2$ )、 $I$ : 資材投入原単位( $ton/m^2$ )、 $i$ : 構造種、 $t$ : 推計する年代、 $k$ : 着工された年代とする。

表-2.8 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 <sup>2</sup>	0.318	1.095	1.130	0.580	0.835
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	0.346	1.082	1.105	0.604	1.124
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	0.342	1.036	1.148	0.581	0.533
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	0.363	1.085	1.157	0.599	0.624
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	0.370	1.050	1.152	0.670	0.646
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	0.391	1.045	1.128	0.659	0.985
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	0.399	1.003	1.253	0.832	0.915
	木材計	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	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

#### e) 延床面積推計結果

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。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  $m^2$ 、85.9 億  $m^2$  であり、9.3 億  $m^2$  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  $m^2$ 、建築物ストック統計による延床面積は 83.5 億  $m^2$  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-2.9 全国延床面積の推移比較

100万 $m^2$	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

#### f) 建設資材の投入量、排出量の推計結果

建築物における建設資材の投入量を図-2.15 に示す。投入量は 2015 年で 1 億 6540 万トンと判明した。1991 年と比較し、投入量は 0.49 倍に減少した。構造種別では S 造 6780 万トン、RC 造 5360 万トン、木造 3780 万トン、SRC 造 500 万トン、その他の構造 120 万トン、C 造 10 万トンで SRC 造への投入量の減少傾向が著しい。また資材別で骨材・石材 1 億 2840 万トン、セメント 2200 万トン、鋼材 1100

万トン、木材 350 万トンで、投入量の 90.9%を土石系資源が占めていた。2008 年から 2009 年で建設資材投入量の急な減少が見られ、これはリーマンショックの経済的な影響により、建設需要が減少したことが考えられる。

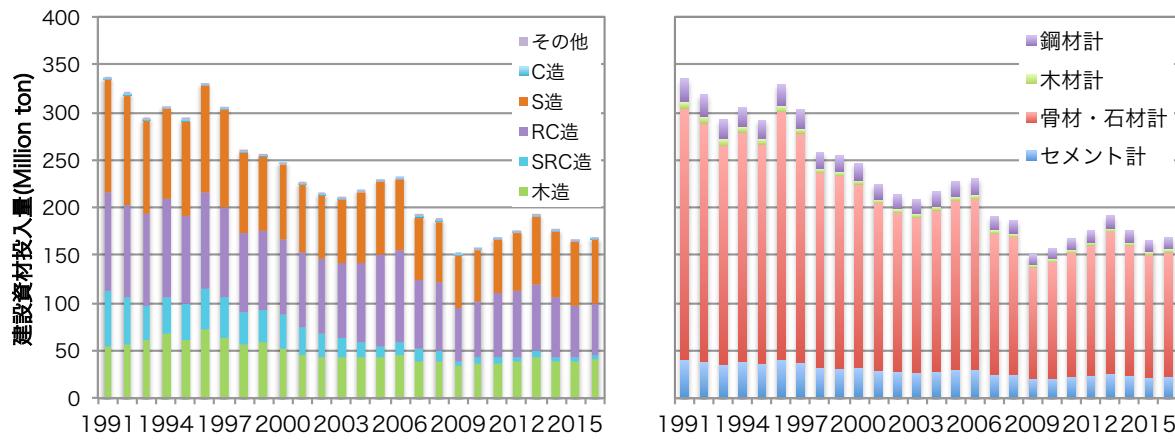


図-2.15 建設資材投入量の推移

建築物における建設資材の排出量を使用年数モデル法により推計したものと蓄積増分法により推計したものとを図-2.16 に示す。使用年数モデル法の場合 2015 年の排出量は全体で 2 億 1710 万トンであったが、蓄積量の増加と投入量を上回っていることから過剰な排出を表していると予測される。また蓄積増分法を用いた場合 2015 年で排出量は全体で 9460 万トンであった。構造別では RC 造 3300 万トン、S 造 3070 万トン、木造 2010 万トン SRC 造 890 万トン C 造 130 万トン、その他の構造 60 万トンと判明した資材別では骨材・石材 7420 万トン、セメント 1170 万トン、鋼材 750 万トン、木材 230 万トンと判明し、土石系資源は 90.8%を占めた。排出量は 2008 年から 2010 年で大きく減少した。これも投入量と同じくリーマンショックによる建設需要の低下による解体の減少であると考えられる。残存率を用いた排出量よりも実際の減失床面積を用いているため、経済的な要因などを加味でき、より信頼性の高い結果であると考えられる。

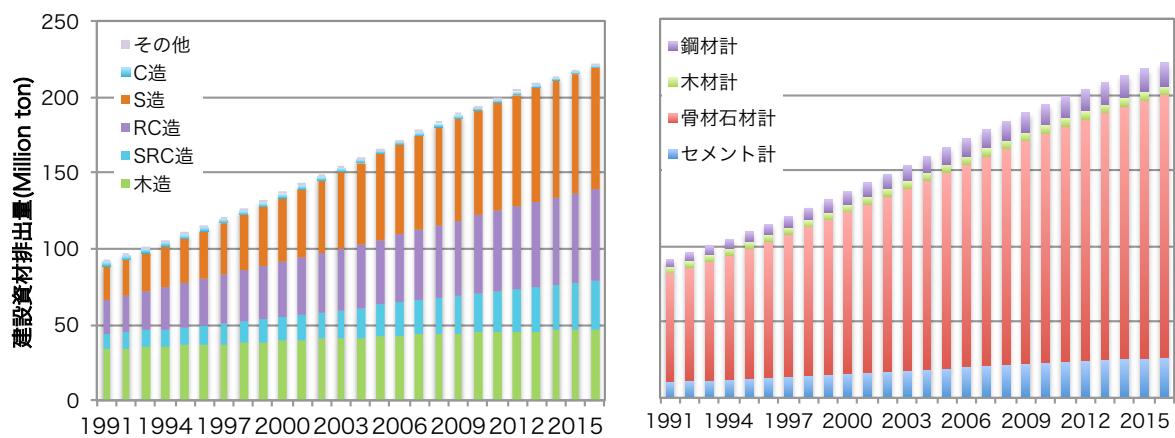


図-2.16 使用年数モデルによる排出量の推移

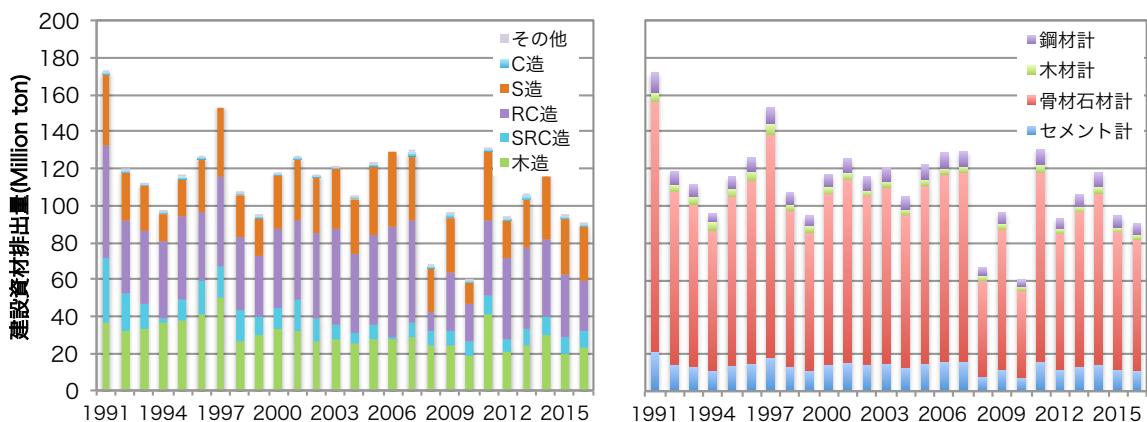


図-2.17 蓄積増分法による排出量の推移

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-2.18）、建設資材別（図-2.19）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-2.20 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。

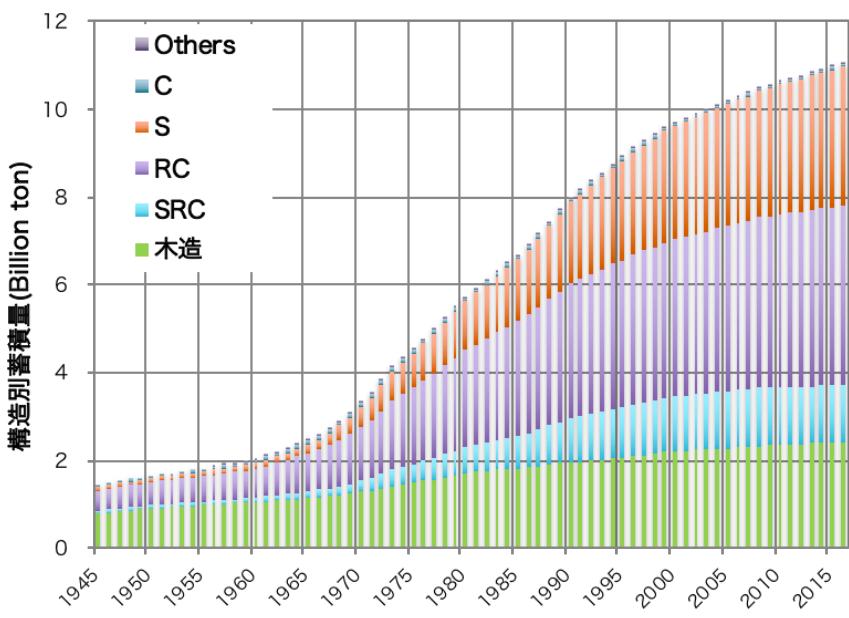


図-2.18 構造種別蓄積量の推移

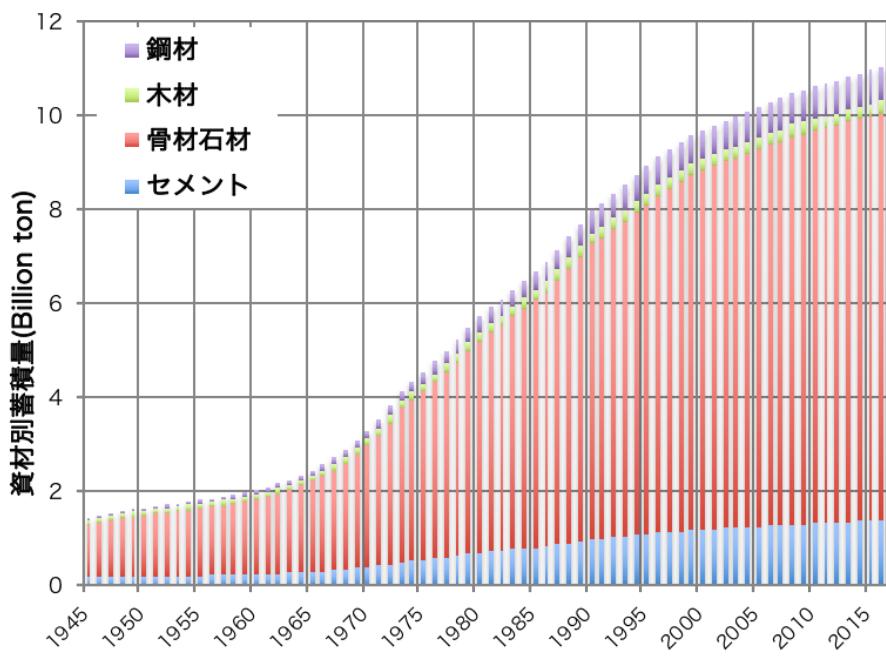


図-2.19 資材別蓄積量の推移

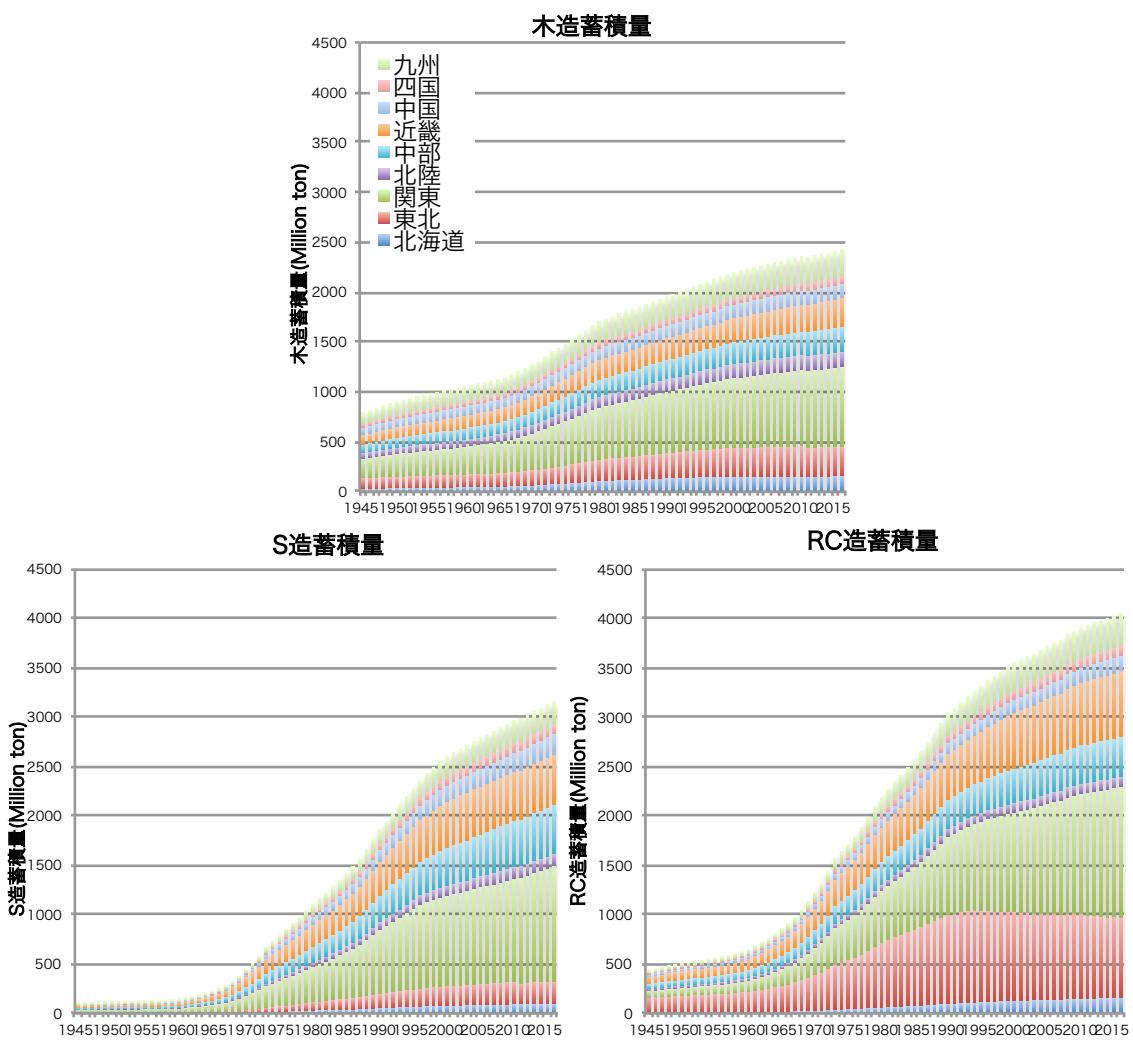


図-2.20 地域別蓄積量の推移

### <社会基盤構造物>

時系列・空間的なマテリアルストック量の把握をすることを目的に、社会に蓄積された有用な物質ストックの定量化について空間データベースを中心に行った。長岡ら(2009)は、対象構造物は限定的であるものの、時系列・空間的に構造物・資材別にマテリアルストックを定量化しており、マテリアルストックを包括的に把握が可能である。本研究では、限定的であった構造物の対象を更に拡げ、可能な限り改善を行うことで推計精度を高め、マテリアルストックの基盤データの拡充を行った。

本研究では、社会基盤構造物として、道路、鉄道、空港、港湾、漁港、ダム、下水道の8種類を推計対象構造物とした。マテリアルストックの定量化にあたり、既存研究で行われた構造設計部に加えて、付帯設備を推計対象とした。社会基盤施設を対象としたマテリアルストックの推計にあたり原単位法を用いた推計が多く行われている。本研究においても、原単位法を用いることでマテリアルストックの推計を行った。原単位法とは対象とする構造物の規模に、構造種別の単位規模（長さ、面積、体積）あたりに投入される建設資材量（以下、資材投入原単位）を乗じることで推計する方法である。

マテリアルストック推計に用いた規模データは、各種統計情報と数値地図情報（地理情報システムデータ、GISデータ）より抽出した。表-2.10にその詳細について示す。本研究で用いた統計は、道路は国土交通省より発行されたものを、下水道は下水道協会から発行された統計を用いた。これらの統計は各年における現況や着工量が記されている。その他の社会基盤施設は国土数値地図情報で公開されているGISデータを用いた。国土数値地情報は国土交通省国土政策局国土情報課が作成、公開しているデータである。

表-2.10 基礎データ一覧

対象構造物	対象施設	規模データ出典	年代
道路 高速道路	車道部	道路統計年報	1963-2015
	付帯設備		
鉄道	軌道部	鉄道時系列データ、鉄道事業者の公式HP、鉄道統計年報、数値地図25000、鉄道要覧	1950-2015
	付帯設備		
空港	滑走路	空港管理状況調書、航空統計要覧、全国空港ターミナルビル要覧、各空港のHP	-2015
	誘導路		
	エプロン帶		
港湾	外郭・係留施設	海図、港湾管理者一覧、日本の港湾、フェリー・旅客船ガイド、平成18年度地方交付税等の算定に用いた数値及び自治体や各施設管理者から収集した資料	-2015
漁港	外郭・係留施設	漁港データ、漁港一覧、平成18年度地方交付税等の算定に用いた数値及び自治体や各施設管理者から収集した資料	-2015
ダム	ダム堤体	数値地図25000、ダム年間	-2015
下水道	下水道管渠	下水道統計	-2015

a) 道路

道路は高速道路と一般道、市町村道、国道の車道部を対象とした。道路種類別に推計を行うことで、道路種類により大きく異なる道路舗装の種類を考慮し、推計精度の向上を図った。道路統計年報より、道路舗装は簡易アスファルト舗装・高級アスファルト舗装・コンクリート舗装と、道路幅員は、5.5m未満、5.5m以上13m未満、13m以上19.5m未満、19.5m以上と分類されている。道路幅員ごとに舗装種類別の道路延長のデータは現状において入手が困難であるため、道路統計年報より、各都道府県における割合を利用して割り振る。幅員5.5m未満に関しては、その規模からそれほど交通量が多くないと考えられることから、簡易アスファルト舗装とみなす。これは道路統計年報に記載されている5.5m未満の道路延長とアスファルト舗装の道路延長を比較して、ある程度整合性がとれている。5.5m以上13m未満、13m以上19.5m未満、19.5m以上の三種の道路幅員は残りの高級アスファルト舗装延長とセメント舗装延長の比率を利用し割り振った。道路延長と幅員を乗じて道路面積を求める際、統計上は具体的な幅員を推定できないため、5.5m未満は5.5m、19.5m以上は19.5m、5.5m以上13m未満と13m以上19.5m未満では中間値の9.25mと16.25mを幅員と仮定した。また、高速道路については場所により大きく幅員が変化しないものとし、道路統計年報に記載されている道路部面積から道路延長を除することで幅員を決定した。

マテリアルストックは式(2.9)に示すように、各道路区分の総延長および幅員から面積を求め、これに道路幅別での舗装種類の割合と資材投入原単位を乗じることで推計した。資材投入原単位については、法律や要項の変更により投入される資材量も変化することを考慮した稻津ら(2009)により推計されたものを用いた(表-2.11)。

$$MS_t^{road} = \sum_{n,i,j} (L_{n,i} \times W_{n,i} \times r_{n,i,j,t} \times I_{i,j,t}) \quad (2.9)$$

ここで、 $MS$ : マテリアルストック [kg]、 $L$ : 道路種別総延長[m]、 $W$ : 道路幅員[m]、 $r$ : 都道府県別道路幅員別での舗装種類割合、 $I$ : 資材投入原単位 [kg/m<sup>2</sup>]、 $n$ : 道路種、 $i$ : 道路幅員区分、 $j$ : 舗装区分、 $t$ : 推計する年代、である。

表-2.11 道路における資材投入原単位 [kg/m<sup>2</sup>]

舗装区分	道路区分	資材	~1961	1964	1967	1970	1972	1975	1978	1979	1984	1988	1994~
簡易 アスファルト 舗装	市町村道 幅員<5.5m	アスファルト	-	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	35.3	47.0	47.0	47.0	47.0
		砂利・碎石	-	223.4	223.4	311.8	311.8	311.8	311.8	311.8	311.8	311.8	311.8
高級 アスファルト 舗装	一般道 5.5m≤幅員<13m	アスファルト	235.0	235.0	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5
		砂利・碎石	549.1	549.1	825.1	825.1	825.1	825.1	928.1	928.1	928.1	926.1	926.1
	一般道 13m≤幅員<19.5m	アスファルト	235.0	235.0	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5	117.5
		砂利・碎石	701.2	701.2	1,035.1	1,035.1	1,035.1	1,035.1	1,035.1	1,035.1	1,035.1	1,144.1	1,144.1
	国道・一般道 幅員≥19.5m	アスファルト	235.0	235.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0
		砂利・碎石	938.4	938.4	1,293.1	1,293.1	1,293.1	1,293.1	1,396.1	1,396.1	1,396.1	1,518.1	1,518.1
コンクリート 舗装	すべての道路	アスファルト	235.0	235.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0	218.0
		砂利・碎石	938.4	938.4	1,522.1	1,522.1	1,522.1	1,522.1	1,459.1	1,459.1	1,459.1	1,770.1	1,770.1
		セメント	-	-	-	-	571.4	571.4	571.4	571.4	571.4	571.4	571.4
		鉄	-	-	-	-	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
		砂利・碎石	-	-	-	-	729.0	729.0	729.0	729.0	935.0	935.0	935.0

出典：稻津ら（2009）

次に、道路部に付帯する設備について、歩道部（歩道舗装、歩道コンクリートブロック）、中央帶（中央分離帶ブロック、ガードレール）、路側帶（路肩）を推計とし、各設計マニュアルや製品情報を基に推計した。

歩道の舗装には、大きく分けてアスファルト舗装とコンクリート舗装がある。わが国では舗装の主流はアスファルト舗装であることから、本研究では、舗装は全てアスファルト舗装であると仮定した。アスファルト舗装要項によると、アスファルト舗装は1967年以前では路盤に碎石層と砂層の二層構造をとっていたが、それ以降は碎石のみの一層構造となった。ゆえに本研究においても、これを考慮し資材投入原単位を作成した（表-2.12）。舗装の厚さは国土交通省中部整備局道路設計要領をもとに図-2.21の値とした。歩道におけるマテリアルストックは作成した資源投入原単位と道路統計年報に記載されている歩道設置道路実延長を乗じて推計した。

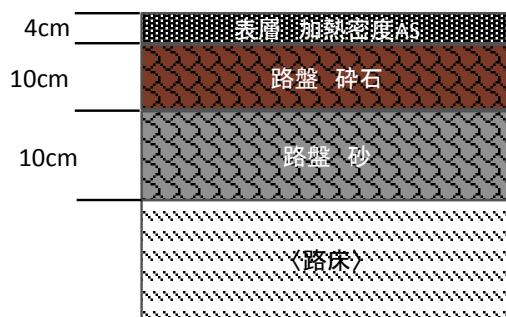
中央分離帶については構造を分離帶ブロック、張コンクリート、ガードレールで構成されていると仮定し、分離帶ブロックについては日本コンクリート株式会社により公開されている重量を、ガードレールについてはJFE建材株式会社と日鐵住金建材株式会社におこなったヒアリング調査を基に資源投入原単位を算出した。中央分離帶幅については設置箇所に異なり、推計が困難ため道路構造令をもとに一般道路と後続道路ごとの下限値を用いた。中央帶におけるマテリアルストックは作成した資源投入原単位と道路統計年報に記載されている中央帶設置道路実延長を乗じて推計した。

路肩の舗装についてもアスファルト舗装とコンクリート舗装に大別される。これらは車道部の舗装により定まると仮定し、道路統計年報より舗装割合を推計し、各都道府県に路肩の舗装割合を算出した。舗装ごとの設計要領は歩道舗装と同様に国土交通省中部整備局道路設計要領を基とした（図-2.22）。路肩におけるマテリアルストックは資材投入原単位と道路統計年報に記載されている路側帶面積、舗装割合を乗じて推計した。

表-2.12 道路の付帯設備における資材投入原単位

構造物		資材	資材投入量	
道路	歩道	アスファルトコンクリート	95.5	kg/m <sup>2</sup>
		砂利	204.1	kg/m <sup>2</sup>
		碎石	258.0	kg/m <sup>2</sup>
	歩道	アスファルトコンクリート	95.5	kg/m <sup>2</sup>
		砂利	244.8	kg/m <sup>2</sup>
		その他	1.2	kg/m <sup>2</sup>
	歩道コンクリートブロック	セメントコンクリート	115.7	kg/m
	中央分離帯	第一種 セメントコンクリート	662.5	kg/m
		第二種 セメントコンクリート	432.5	kg/m
		第三種 セメントコンクリート	375.0	kg/m
		第四種 セメントコンクリート	225.5	kg/m
	ガードレール	路肩用 鉄	16.0	kg/m
		分離帶用 鉄	29.7	kg/m
		高速道路用 鉄	59.2	kg/m
	路肩 (アスファルト舗装)	アスファルトコンクリート	119.4	kg/m <sup>2</sup>
		碎石	367.2	kg/m <sup>2</sup>
		その他	1.2	kg/m <sup>2</sup>
	路肩 (コンクリート舗装)	セメントコンクリート	230.0	kg/m <sup>2</sup>
		碎石	367.2	kg/m <sup>2</sup>
		その他	1.2	kg/m <sup>2</sup>

①1967年以前の舗装



②1967年以降の舗装



プライムコート(PK-3) 1.2L/m<sup>2</sup>

図-2.21 歩道舗装種

①アスファルト舗装



②コンクリート舗装



プライムコート(PK-3) 1.2L/m<sup>2</sup>

プライムコート(PK-3) 1.2L/m<sup>2</sup>

図-2.22 路肩舗装種

## b) 鉄道

鉄道は一般鉄道・新幹線・地下鉄・路面電車の軌道部を対象とした。用いたデータには事業者名、路線名、開業年、廃止年などの情報を含むが、マテリアルストック推計の際に重要となる線数（単線・複線・複々線）の情報が不明である。このため、本研究では日本鉄道旅行地図帳より路線ごとに線数を決定した。

一般鉄道はレール・枕木・道床により構成されている。レールはJIS規格（JIS E1101）に基づき60kg、50kgN、40kgN、37kg、30kg、22kgの種類があり、これをJR（日本旅客鉄道株式会社）については路線ごと、私鉄は事業者ごとに鉄道統計年報のレール重量別営業延長から算出した値を適用した。既に廃線となり、重量別営業延長が不明な路線については最も割合の高いレール重量を適用し、JRは50kgN、私鉄は40kgNとした。枕木は木造またはプレストレストコンクリート（PC）造とし、鉄道統計年報の枕木種類別営業延長から算出した割合を、JRについては路線ごと、私鉄は事業者ごとに営業延長を按分した。なお、既に廃線となっており枕木種類別営業延長が不明な路線はすべて木枕木とした。道床はバラスト道床とコンクリート道床に分類されるが、鉄道統計年報の道床種類別営業延長ではほぼすべてバラストが占めていることから、すべてバラスト道床とした。以上のように路線ごとにレール重量、枕木種類、道床種類を決定した。

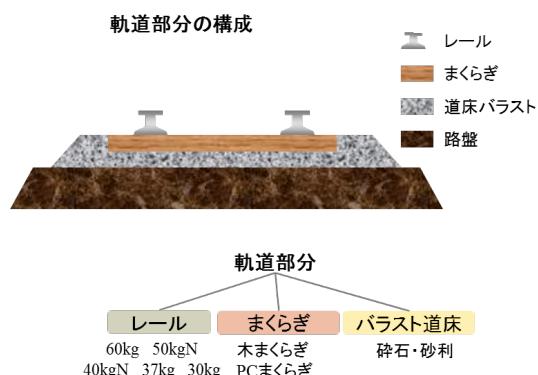


図-2.23 一般鉄道の軌道構成

新幹線も一般鉄道と同様である。レールはJIS規格（JIS E1101）に基づき60kgと50kgTの2種類が採用されている。これは路線ごとに鉄道統計年報のレール重量別営業延長から算出した値を適用した。枕木は鉄道統計年報によりすべてPC枕木とした。道床は一般鉄道と同様に、バラスト道床がほぼすべての割合を占めていることからすべてバラスト道床とした。

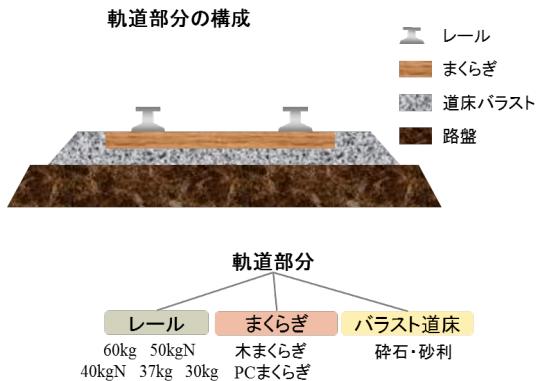


図-2.24 新幹線の軌道構成

地下鉄も一般鉄道、新幹線と同様の構成である。レールは事業者ごとに鉄道統計年報のレール重量別営業延長から算出した値を適用した。また、枕木と道床は、営業延長の大部分の割合を占めていることから、枕木はすべてPC枕木、道床はコンクリート道床とした。

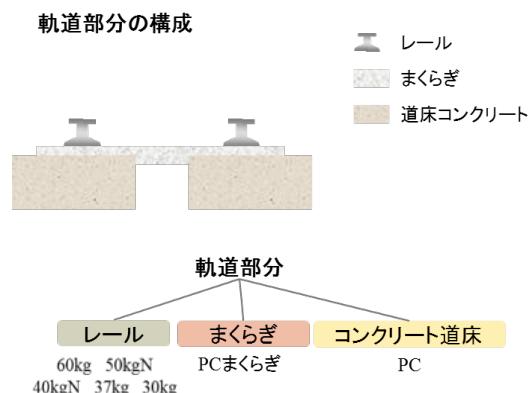


図-2.25 地下鉄の軌道構成

路面電車はレールと枕木により構成されているとした。レールは事業者ごとに鉄道統計年報のレール重量別営業延長から算出した値を適用し、枕木はすべて木枕木とした。

以上のように決定した鉄道種別の構成ごの資材投入原単位を営業延長に乘じマテリアルストックを推計した（式（2.10））。

$$MS_t^{railway} = \sum_{n,i} (L_{n,i} \times I_{n,i,t}) \quad (2.10)$$

ここに、 $MS$ ：マテリアルストック [kg]、 $L$ ：軌道延長 [m]、 $I$ ：資材投入原単位 [kg/m]、 $n$ ：鉄道種、 $i$ ：路線または事業者、 $t$ ：推計する年代、とする。

資材投入原単位については、主に現在の規格を基に算出した（表-2.13）。レールは、JIS 規格（JIS E1101）により、1本/mあたりの重量が決められており、その値を用いた。枕木は、木枕木については一般的な寸法である幅 210cm、厚さ 14cm、長さ 20cm、重量 50kg とする。PC枕木については一般鉄道は JIS 規格（JIS E1201）における 6 号、新幹線は 3T を使用しているとする。敷設本数は設計通過トン数

により決定されるが、旧国鉄（JR）1級線から4級線までの平均値を用いて100mごとに149本敷設されているものとした。道床は、一般鉄道のバラスト道床は矢作建設工業のヒアリング値を、新幹線のバラスト道床は鉄道・運輸機構のヒアリング値を用いた。なお、新幹線は一般鉄道より道床幅が広く設計されており、かつ敷込みバラストが敷かれているため値が異なる。地下鉄のコンクリート道床には矢作建設工業のヒアリング値を用いた。

表-2.13 鉄道軌道における資材投入原単位 [kg/m]

鉄道種	構造部位	種類	砂利・碎石	セメント	鉄	木材
一般鉄道	レール	22kg	—	—	22.3	—
		30kg	—	—	30.1	—
		37kg	—	—	37.2	—
		40kgN	—	—	40.9	—
		50kgN	—	—	50.4	—
		60kg	—	—	60.8	—
	枕木	PC	184.0	29.5	42.0	—
		木	—	—	—	74.5
		道床	バラスト	1,680.1	—	—
新幹線	レール	50kgT	—	—	53.3	—
		60kg	—	—	60.8	—
	枕木	PC	285.0	45.9	65.3	—
		道床	バラスト	2,460.0	—	—
地下鉄	レール	40kgN	—	—	22.3	—
		50kgN	—	—	30.1	—
	枕木	PC	184.0	29.5	42.0	—
		道床	コンクリート	2,167.3	347.7	—
路面電車	レール	22kg	—	—	22.3	—
		30kg	—	—	30.1	—
		37kg	—	—	37.2	—
		40kgN	—	—	40.9	—
		50kgN	—	—	50.4	—
		60kg	—	—	60.8	—
	枕木	木	—	—	—	74.5

出典：JIS 規格等

鉄道における付帯設備では、踏切設備（信号機、遮断機、警報機）を推計対象とし、製造業者・鉄道事業者からのヒアリング値を基に資材投入原単位の推計を行った。また、鉄道統計を基に各設備の設置間隔の平均を算出し、単位延長当たりの重量に換算した。踏切設備におけるマテリアルストックは資材投入原単位と鉄道軌道延長を乗じて推計した。

表-2.14 鉄道の付帯設備における資材投入原単位

構造物		資材	資材投入量	
鉄道	踏切設備（一般鉄道）	鉄	0.3	kg/m
		その他	0.0	kg/m
	踏切設備（路面電車）	鉄	0.2	kg/m
		その他	0.0	kg/m

c) 空港

空港は滑走路を推計の対象とした。用いたデータには各空港の開業年、廃止年、滑走路延長、滑走路本数などの情報を含む。しかし、滑走路の幅員が含まれていないため、各空港や管理自治体により公表されている値を用いた。マテリアルストックは式(2.11)に示すように、各滑走路の面積に資材投入原単位を乗じ推計した。

$$MS_t^{airport} = \sum_i (L_i \times I_i) \quad (2.11)$$

ここに、 $MS$ ：マテリアルストック [kg]、 $L$ ：滑走路延長 [m]、 $I$ ：資材投入原単位 [kg/m]、 $i$ ：滑走路、 $t$ ：推計する年代、とする。

資材投入原単位については、滑走路の舗装種類はアスファルト舗装とし、設計・施行のための港湾・空港ハンドブックの一般的な設計図から舗装厚（表層：4cm、基礎：9cm、上層路盤：16cm、下層路盤：25cm）を求め算出した（表-2.15）。

表-2.15 空港における資材投入原単位

施設名		構造	単位	砂利・碎石	セメントコンクリート	アスファルトコンクリート	鉄
空港	滑走路	アスファルト舗装	kg/m	754	-	312	-
		コンクリート舗装	kg/m	702	70	-	2

また、付帯設備として、誘導路、エプロンも空港が円滑に機能するためには不可欠な設備である。このため本研究の推計の対象とした。推計については一般的な施行マニュアルを基に誘導路はアスファルト舗装、エプロンはコンクリート舗装と仮定し、滑走路に準ずる構造として滑走路における資材投入原単位とした。これらの規模のデータは、各空港と管理自治体から公表されている値を使用した。

表-2.16 空港の付帯設備における資材投入原単位

構造物		資材	資材投入量	
空港	誘導路	アスファルトコンクリート	312.0	kg/m <sup>2</sup>
		骨材	754.0	kg/m <sup>2</sup>
	エプロン	セメントコンクリート	506.3	kg/m <sup>2</sup>
		骨材	265.7	kg/m <sup>2</sup>
		鉄	2.0	kg/m <sup>2</sup>

d) 港湾

港湾は外郭施設と係留施設を推計の対象とし、外郭施設を防波堤、係留施設を岸壁と仮定した。用いたデータには各港湾の港湾種、港湾指定、外郭施設延長及び係留施設延長などの情報を含む。しかし、これには防波堤と岸壁の構造種が含まれていないため、本研究では、それぞれ現在の主流とされている混成堤と矢板式岸壁であると仮定した。消波ブロックも港湾構造物のマテリアルストック量の大きな割合を有していると考えられるが、このサイズの幅は広く、配置場所や自然条件に大きく左右されるため把握が困難である。このため、本研究では対象外とした。マテリアルストックは式(2.12)に示すように、各施設延長に資材投入原単位を乗じ推計した。

$$MS_t^{harbor} = \sum_i (L_i \times I_i) \quad (2.12)$$

ここで、 $MS$ ：マテリアルストック [kg]、 $L$ ：施設  $i$  の延長 [m]、 $I$ ：資材投入原単位 [kg/m]、 $i$ ：防波堤もしくは岸壁、 $t$ ：推計する年代、とした。

資材投入原単位については、港湾構造物の設計に記載される基本設計図をもとに算出した（表-2.17）。

表-2.17 港湾における資材投入原単位

施設名		構造	単位	砂利・碎石	セメント コンクリート	アスファルト コンクリート	鉄
港湾 漁港	防波堤	ケーソン式混成堤	kg/m	1,280,000	58,100	—	17,200
	護岸	海岸護岸	kg/m	90,300	8,170	—	353
	岸壁	鋼矢板式岸壁	kg/m	94,600	3,180	1	3,890

e) 漁港

漁港施設も港湾施設と同様に外郭施設と係留施設を推計と対象とし、外郭施設を防波堤と護岸、係留施設を岸壁と仮定した。用いたデータには各漁港の漁港指定年、外郭施設延長および係留施設延長などの情報を含む。外郭施設の防波堤と護岸の割合については、行政より詳細に公表されている福井県のデータを基に推計した。

マテリアルストックは式 (2.13) に示すように、各施設延長に資材投入原単位を乗じ推計した。

$$MS_t^{fishingport} = \sum_i (L_t \times I_i) \quad (2.13)$$

ここで、 $MS$  : マテリアルストック [kg]、 $L$  : 施設  $i$  の延長 [m]、 $I$  : 資材投入原単位 [kg/m]、 $i$  : 防波堤、護岸もしくは岸壁、 $t$  : 推計する年代、とした。

資材投入原単位については、防波堤と岸壁には港湾と同様のものを用いた。護岸については坂本ら (2004) が積算基準マニュアルより整理した値を用いた (表-2.18)。

表-2.18 漁港における資材投入原単位

施設名		構造	単位	砂利・碎石	セメント コンクリート	アスファルト コンクリート	鉄
港湾 漁港	防波堤	ケーソン式混成堤	kg/m	1,280,000	58,100	—	17,200
	護岸	海岸護岸	kg/m	90,300	8,170	—	353
	岸壁	鋼矢板式岸壁	kg/m	94,600	3,180	1	3,890

f) ダム

ダムは堤体を推計の対象とした。用いたデータには各ダムの形式、用途、堤体積、竣工年などの情報を含む。また、形式は13種に分類されているが、これらを一般的な形式である重力式ダム、アーチダム、フィルダム、アースダムの4種に再分類した。マテリアルストックは式(2.14)に示すように、各堤体の体積に資材投入原単位を乗じ推計した。

$$MS_t^{dam} = \sum_i (V_t \times I_i) \quad (2.14)$$

ここで、 $MS$ ：マテリアルストック [kg]、 $V$ ：ダム形式  $i$  の堤体積 [ $m^3$ ]、 $I$ ：資材投入原単位 [kg/ $m^3$ ]、 $i$ ：重力式ダム、アーチダム、フィルダム、アースダム、 $t$ ：推計する年代、とした。

資材投入原単位は土木工事施工例集5ダム・発電所編に記載されている前述した一般的な形式の施行例と設計図をもとに算出した（表-2.19）。

表-2.19 ダムにおける資材投入原単位

施設名		構造	単位	砂利・碎石	セメント コンクリート	アスファルト コンクリート	鉄
ダム	堤体	重力式ダム	kg/ $m^3$	1,980	318	-	-
		アーチダム	kg/ $m^3$	1,980	318	-	-
		フィルダム	kg/ $m^3$	2,530	-	-	-
		アースダム	kg/ $m^3$	1,920	-	-	-

### <日本全国におけるマテリアルストック>

建築物・社会基盤施設（道路、鉄道、空港、港湾、漁港、ダム、下水道）における構造設計部、建築物・交通系インフラ（道路、鉄道、空港）における付帯設備のマテリアルストックの推計結果のうち、施設種ごとの推計結果を図-2.26、資材種ごとの推計結果を図-2.27に示す。1965年におけるマテリアルストックの総量は約73億トン、2010年では約218億トンとなり、約3倍の増加を示した。また、このうち付帯設備におけるマテリアルストックは1965年では約3.4億トン、2010年では約11億トンであり、2010年において、建築物・交通系インフラにおけるマテリアルストックのうち約9%の割合を示した。本研究結果の精度を検証するため、Hashimoto et al. (2007)との比較を行う。Hashimoto et al. (2007)は2010年におけるマテリアルストックを約340億トンとしており、本研究での推計値はこれを大きく下回っている。これは、対象とした資材や構造物の違うためである。Hashimoto et al. (2007)では建設鉱物を推計対象としいるが、本件研究では、これらに加え鉄や木材も含まれている。しかし、これらは総重量に対して合わせて10%以下の割合であるため、推計結果の差異には別の要因も予想される。

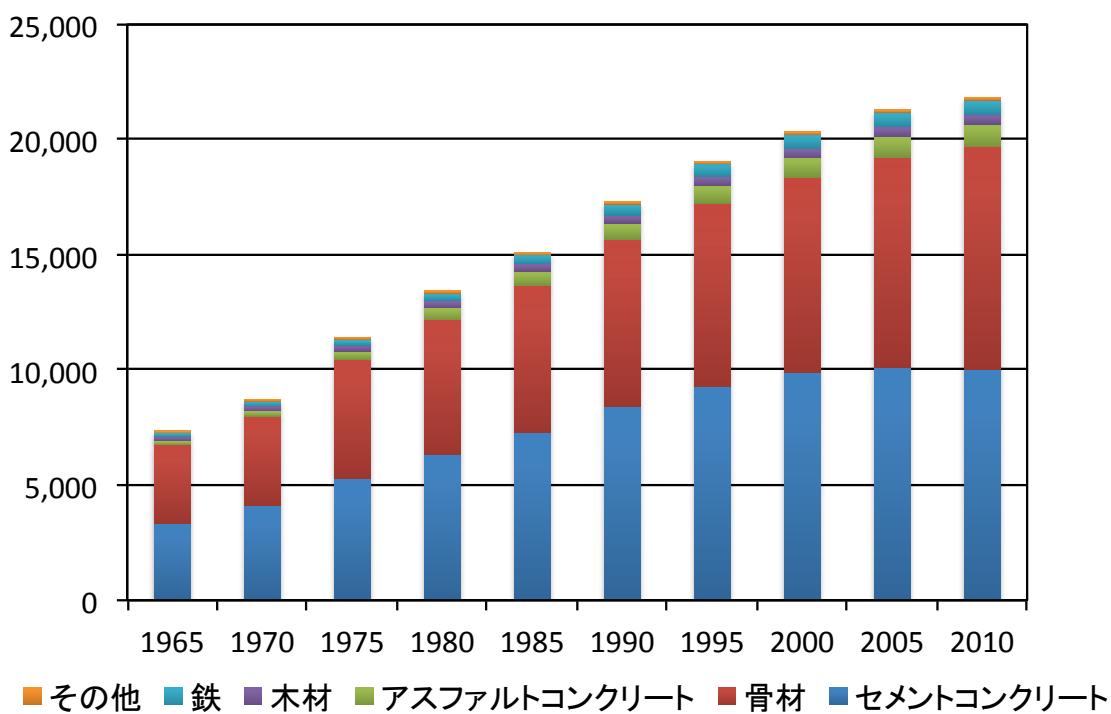


図-2.26 構造物別マテリアルストックの推移

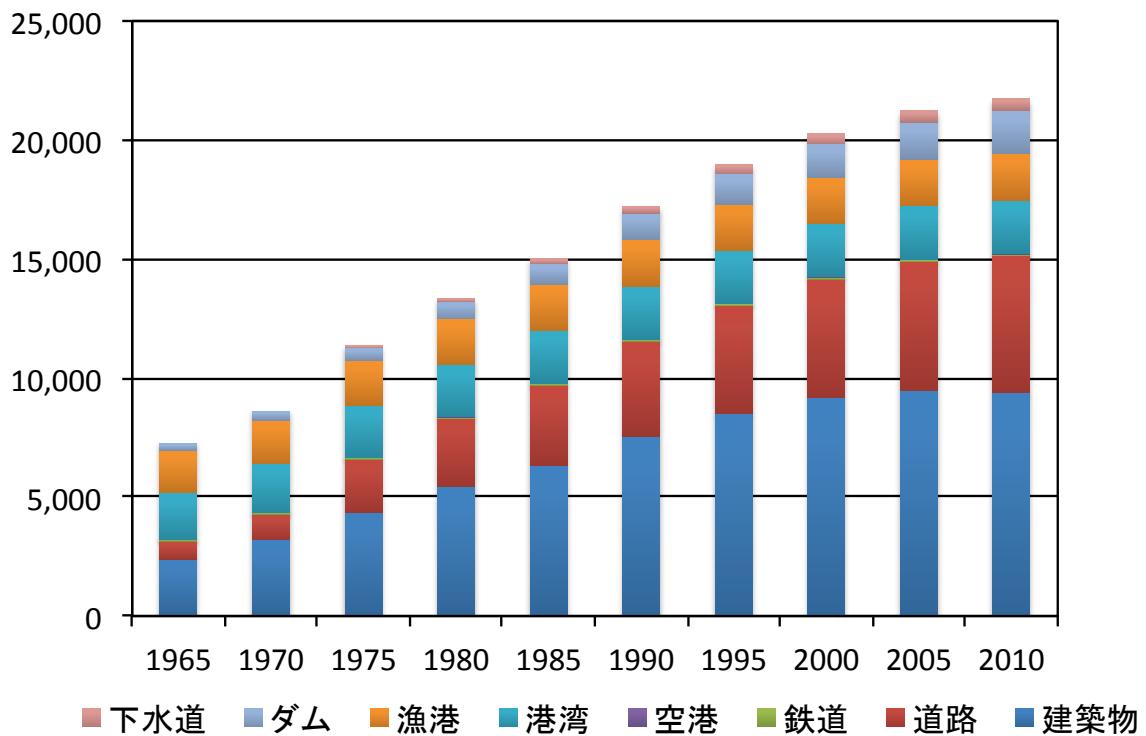


図-2.27 資材別マテリアルストックの推移

表-2.20 造物ごとの推計マテリアルストックを示す。農林水産業、治山・治水を目的とした構造物、下水道・公園においては、本研究での推計対象が Hashimoto et al. (2007) の一部であるため、過小推計となった。また、本研究では空港のターミナルや駅舎なども統計上の分類により、建築物に含まれていることから、建築物において過剰な推計結果が得られたと考えられる。このため、推計とする資材の種類より、推計する構造物の種類が推計結果の差の要因である。

図-2.26 に示すように、1965 年における構造物ごとの割合では建築物が一番大きな割合を占め、続いて港湾、漁港が占めている。しかし、2010 年では、建築物と道路が全体の過半数を占めている。港湾や漁港はこの 45 年間でマテリアルストックの大きな変化が無かったため、2010 年での割合は合わせて 2 割程度に減少している。全体に占める割合が大きく増加したものとして、建築物や道路、ダムが挙げられる。さらに資材別でのマテリアルストックは 1965 年、2010 年ともに骨材とコンクリートの占める割合が非常に大きいことがわかる。2010 年では 1965 年に比べ、セメントコンクリートや鉄といった再生可能資材の蓄積量が増加傾向にある（図-2.27）。桑垣ら（2009）によるとセメントコンクリートは約 250 億トン、経済産業省によると鉄は約 1300 万トンが過去から現在にかけて蓄積されていると報告されている。社会に蓄積されたセメントコンクリートのうち約 40%、鉄のうち約 50% が建築物・社会基盤施設に蓄積してきた。

表-2.20 Hashimoto et al. (2007)との比較 [億トン]

	本研究	Hashimoto et al.(2007)
建築物	93.82	90.00
道路	57.34	50.00
鉄道	0.81	0.90
港湾・空港	22.69	33.00
農林水産業	19.46 ※水産業(漁港)のみ	43.00
治山・治水	18.36 ※ダムのみ	35.00
下水道・公園	4.94 ※下水道のみ	18.00

施設種ごとの1965年と2010年時の資材別のマテリアルストックの推計結果を表-2.21に示す。特に道路は約7.6倍、ダムは約6.4倍、下水道は約6.9倍に増加している。この要因として道路網の拡充と高速道路の整備また下水道普及率の向上(1975年では約23%、2010年では約75%)が挙げられる。ダムについて1965年と2010年では数量の増加は2倍程度である。これに対し、マテリアルストックが6倍以上の増加を示したのは、近年になり大規模ダムの建設が増加したためである。各形式でダムの平均堤体積は、重力式ダムは15.2万m<sup>3</sup>、アーチダムは22.9万m<sup>3</sup>、アーズダムは13.2万m<sup>3</sup>、ロックフィルダムは152.7万m<sup>3</sup>であり、ロックフィルダムには非常に大規模な施設が多い。近年ではロックフィルダムの建設数が増加してきているため、大幅なマテリアルストックの増加が見られた。また、鉄道は新幹線や地下鉄の開通などマテリアルストックが増加する要因があるものの、一般鉄道の廃線が多いいため、総量に大きな変化はない(約1.1倍の増加)。

表-2.21 構造物別・資材別マテリアルストック[百万トン]

(a) 1965年

	骨材	セメント コンクリート	アスファルト コンクリート	木材	鉄	その他	合計	割合 [%]
<b>建築物</b>	160.51	1,947.39	-	187.79	88.41	1.98	2,386.08	32.57
<b>道路</b>	531.25	67.76	159.12	-	0.34	-	758.47	10.35
<b>鉄道</b>	61.29	6.25	-	1.12	3.79	0.00	72.45	0.99
<b>空港</b>	3.40	1.03	1.18	-	0.00	-	5.61	0.08
<b>港湾</b>	1,338.31	589.41	-	-	30.36	-	1,958.08	26.73
<b>漁港</b>	1,151.58	609.43	-	-	24.65	-	1,785.66	24.38
<b>ダム</b>	178.02	108.21	-	-	-	-	286.23	3.91
<b>下水道</b>	45.11	24.65	-	-	1.16	1.40	72.32	0.99
<b>合計</b>	3,469.47	3,354.13	160.30	188.91	148.71	3.38	7,324.90	100.00
<b>割合</b>	47.37	45.79	2.19	2.58	2.03	0.05	100.00	

(b) 2010年

	骨材	セメント コンクリート	アスファルト コンクリート	木材	鉄	その他	合計	割合 [%]
<b>建築物</b>	709.42	7,696.70	-	401.44	563.30	21.32	9,392.18	43.18
<b>道路</b>	4,332.25	406.88	983.16	0.00	7.57	4.65	5,734.51	26.36
<b>鉄道</b>	66.54	9.12	-	0.98	4.13	0.00	80.77	0.37
<b>空港</b>	16.49	6.09	5.50	-	0.02	-	28.10	0.13
<b>港湾</b>	1,531.66	674.73	-	-	34.68	-	2,241.07	10.30
<b>漁港</b>	1,254.87	664.51	-	-	26.85	-	1,946.23	8.95
<b>ダム</b>	1,425.41	410.26	-	-	-	-	1,835.67	8.44
<b>下水道</b>	306.41	169.40	-	-	9.60	9.07	494.48	2.27
<b>合計</b>	9,643.05	10,037.69	988.66	402.42	646.15	35.04	21,753.00	100.00
<b>割合</b>	44.33	46.14	4.54	1.85	2.97	0.16	100.00	

図-2.28 に各都道府県における構造物別マテリアルストックの割合（2010年時）を表-2.22 に 1965 年、2010 年での各都道府県における構造物別マテリアルストックの推計結果を、表-2.23 に 1965 年、2010 年での各都道府県における資材別マテリアルストックの推計結果を示す。その他の年代については付録にて示す。東京都、大阪府、愛知県などの都市圏の中心では、建築物のマテリアルストックが、北海道や東北地方では道路のマテリアルストックが九州地方や中国・四国地方では漁港や港湾などのい沿岸施設のマテリアルストックが大きな割合を示した。

表-2.24 に各都道府県におけるマテリアルストックの総和の推移を示す。多くの都道府県において 2 ～4 倍程度増加しており、各県で様々な傾向が見られる。中でも、栃木県は 8.2 倍、埼玉県は 7.7 倍以增加していることが示された。表-2.22 より、栃木県では道路とダムのマテリアルストックが、埼玉県では建築物のマテリアルストックが大幅に増加しているためであり、都道府県毎にマテリアルストックの増は異なる要因がみられた。次に、図-2.29 に日本全国の都道府県ごとの一人当たりマテリアルストックの分布を示す。人口の集中している東京都、大阪府、愛知県などの大都市圏を含まれる府県における一人当たりマテリアルストックは低く。また、北陸、中国・四国、九州地方では高い傾向にあった。一人当たりマテリアルストックが最も高かったのは 1965 年、2010 年で共に長崎県(214.5t/人、369.3t/人)であった。これは表-2.22 から窺えるように、港湾と漁港でのマテリアルストックが多く存在するためである。このように人口ではなく、大規模施設による影響が特に大きい。このため、一人当たりマテリアルストックが一番低いのは、1965 年と 2010 年共に港湾と漁港が存在しない埼玉県(1965 年：28.3t/人、2010：90.3t/人)であった。1965 年から 2010 年にかけて、一人あたりマテリアルストックは 2 倍～3 倍の成長が見られたが、栃木県(5.8 倍)、群馬県(3.9 倍)、山梨県(4.8 倍)、長野県(4.8 倍)など首都圏周辺の地域では特に大きな成長が見られた。

表-2.22 都道府県別・構造物別マテリアルストック [百万トン]

(a) 1965年

	建築物	道路	鉄道	空港	漁港	港湾	ダム	下水道	施設合計
北海道	100.70	56.64	9.65	0.63	105.46	153.14	13.34	3.50	439.56
青森	32.23	10.80	1.34	0.06	39.05	51.94	1.63	0.47	137.05
岩手	33.44	11.93	1.86	0.07	14.59	48.61	8.76	0.43	119.26
宮城	41.21	13.64	1.21	0.11	24.46	61.90	2.03	1.02	144.56
秋田	12.01	9.65	1.37	0.13	27.54	19.65	10.61	0.33	80.96
山形	28.22	9.44	1.20	0.04	11.66	7.79	3.19	0.13	61.54
福島	39.35	17.34	2.03	-	15.54	17.99	13.43	0.28	105.68
茨城	43.29	25.22	1.26	-	16.27	16.51	0.10	1.61	102.65
栃木	30.88	14.34	1.22	-	-	-	1.85	0.56	48.29
群馬	41.41	16.69	1.11	-	-	-	7.32	0.42	66.53
埼玉	53.48	24.42	1.74	-	-	-	5.73	2.80	85.37
千葉	55.06	36.00	1.88	-	33.68	42.37	3.05	3.13	172.04
東京	242.04	42.26	2.38	1.10	37.59	7.72	6.14	16.30	339.23
神奈川	96.25	25.24	2.40	-	40.20	12.36	6.14	6.02	182.59
新潟	65.90	23.27	2.61	0.25	51.56	39.25	9.88	0.14	192.72
富山	34.30	9.37	0.89	0.05	23.65	17.33	12.75	0.63	98.34
石川	31.21	8.03	0.87	0.24	32.72	54.51	1.59	0.19	129.17
福井	23.18	7.75	0.86	-	20.54	29.64	0.72	0.18	82.69
山梨	16.64	7.25	0.63	-	-	-	1.28	0.17	25.80
長野	54.55	16.06	2.17	0.08	-	-	11.64	0.19	84.50
岐阜	45.96	17.64	1.79	-	-	-	34.25	0.46	99.64
静岡	77.25	27.21	2.59	-	47.88	44.95	4.02	1.17	203.90
愛知	170.48	43.89	2.84	0.25	89.73	53.25	9.91	5.52	370.35
三重	43.92	11.50	1.71	-	53.91	42.08	7.73	0.43	160.85
滋賀	28.91	8.85	1.27	-	-	-	2.77	0.24	41.80
京都	62.82	15.03	1.43	-	25.52	10.71	3.54	1.86	119.05
大阪	169.24	28.80	2.14	0.18	41.65	11.11	3.88	11.12	257.00
兵庫	110.12	33.33	2.53	0.09	91.37	29.86	7.31	3.83	274.61
奈良	20.69	4.60	0.77	-	-	-	5.93	0.45	31.99
和歌山	26.68	7.35	0.77	-	40.59	46.54	4.66	0.13	126.59
鳥取	15.95	6.57	0.54	-	21.01	8.59	1.97	0.14	54.63
島根	22.31	5.07	0.79	-	21.58	43.61	2.38	0.00	95.74
岡山	52.21	11.52	1.34	0.11	56.01	20.02	9.35	0.75	150.56
広島	60.20	15.35	1.43	0.05	140.82	46.45	5.74	1.11	270.04
山口	52.64	13.90	1.56	-	107.67	122.48	6.01	0.52	304.26
徳島	15.72	5.10	0.44	0.13	55.65	23.03	1.93	0.17	102.00
香川	22.74	5.20	0.42	0.20	83.84	33.42	7.12	0.18	152.94
愛媛	33.98	7.06	0.65	0.09	82.55	121.40	8.50	0.25	254.23
高知	17.17	4.66	0.43	0.11	43.24	59.25	4.66	0.23	129.52
福岡	91.02	27.71	2.38	0.25	39.65	36.55	10.18	3.46	207.74
佐賀	16.21	7.59	0.53	-	24.45	26.48	1.22	0.02	76.48
長崎	31.32	11.47	0.58	0.29	120.84	182.39	5.14	0.38	352.03
熊本	37.47	11.27	1.08	0.20	68.10	83.33	1.80	0.27	203.25
大分	29.95	10.34	1.26	0.20	64.89	61.39	5.07	0.14	173.10
宮崎	23.81	13.30	1.06	0.16	25.56	25.23	6.93	0.38	96.05
鹿児島	31.96	18.82	1.43	0.52	117.06	72.83	3.05	0.18	245.67
沖縄	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
全国	2386.08	758.47	72.45	5.59	1958.08	1785.66	286.23	72.32	7252.56

(b) 2010 年

	建築物	道路	鉄道	空港	漁港	港湾	ダム	下水道	施設合計
北海道	436.24	654.47	6.36	3.80	112.20	183.92	171.53	30.77	1599.30
青森	92.99	104.70	1.96	0.41	42.73	57.99	38.67	3.67	343.13
岩手	99.05	152.68	3.03	0.25	14.99	49.44	31.59	4.12	355.15
宮城	180.99	128.43	2.02	0.43	24.90	64.12	52.21	13.10	466.20
秋田	50.23	114.59	1.33	0.42	27.54	23.85	38.85	3.44	260.25
山形	84.12	96.43	1.13	0.25	11.66	7.79	66.58	4.08	272.04
福島	139.55	171.11	2.56	0.31	15.54	17.99	94.79	5.52	447.37
茨城	217.78	178.10	1.31	0.18	19.86	16.92	6.53	11.15	451.83
栃木	148.31	123.38	1.88	-	-	-	112.47	7.74	393.78
群馬	148.76	126.58	1.73	-	-	-	71.30	4.89	353.26
埼玉	433.47	163.89	2.72	-	-	-	23.24	26.05	649.37
千葉	406.30	158.36	2.69	3.11	34.18	46.65	18.38	21.90	691.57
東京	1065.99	120.61	3.63	4.41	38.16	8.05	8.36	46.58	1295.79
神奈川	602.84	122.73	2.71	-	40.20	12.72	25.75	46.41	853.36
新潟	186.64	202.16	3.22	0.42	51.56	42.87	82.22	11.74	580.83
富山	91.36	84.42	0.79	0.14	23.65	17.69	39.79	4.46	262.30
石川	94.19	77.25	0.51	0.35	33.49	61.68	35.96	2.74	306.17
福井	66.58	61.15	0.73	0.04	21.09	29.64	30.86	3.01	213.10
山梨	63.57	53.89	0.63	-	-	-	26.99	3.26	148.34
長野	173.18	174.40	2.53	0.12	-	-	122.19	6.17	478.59
岐阜	144.74	130.70	1.55	-	-	-	125.02	10.20	412.21
静岡	294.28	164.43	2.43	0.31	47.88	45.21	22.11	9.65	586.30
愛知	577.69	240.15	3.27	1.57	90.53	58.51	21.89	30.83	1024.44
三重	141.83	102.35	1.77	-	90.92	44.98	24.86	6.11	412.82
滋賀	121.42	68.12	1.47	-	-	-	47.92	5.45	244.38
京都	175.07	65.82	1.53	-	25.52	12.50	12.06	10.74	303.24
大阪	635.73	116.38	2.74	1.89	69.77	11.11	15.45	47.84	900.91
兵庫	427.92	176.22	3.18	0.63	121.87	29.86	52.17	25.55	837.40
奈良	84.35	43.61	0.79	-	-	-	24.08	5.51	158.34
和歌山	68.06	50.98	0.72	0.11	43.10	48.06	5.72	1.19	217.94
鳥取	41.99	48.47	0.51	0.37	21.43	8.86	16.97	2.62	141.23
島根	50.70	73.80	0.82	0.37	26.16	43.80	8.97	1.07	205.69
岡山	134.18	124.32	1.86	0.43	58.67	20.02	27.48	5.81	372.77
広島	212.46	143.50	2.16	0.50	141.20	46.45	35.48	6.74	588.49
山口	104.98	90.85	2.32	0.26	112.41	126.49	23.09	4.39	464.79
徳島	68.27	50.29	0.42	0.24	55.65	23.03	4.01	0.77	202.68
香川	77.42	51.91	0.48	0.28	85.59	33.67	12.62	2.55	264.52
愛媛	105.27	79.14	0.68	0.29	87.13	121.71	18.43	2.85	415.50
高知	50.66	50.68	0.62	0.23	48.52	61.92	25.99	2.22	240.84
福岡	382.19	174.33	2.46	1.21	67.33	36.82	48.30	26.61	739.25
佐賀	59.60	57.77	0.47	0.21	24.45	29.38	21.85	1.53	195.26
長崎	92.10	75.45	0.46	0.73	145.60	194.19	15.75	2.69	526.97
熊本	121.88	115.33	1.16	0.35	75.67	84.50	21.50	4.74	425.13
大分	96.51	99.15	1.08	0.35	65.54	67.07	31.13	3.60	364.43
宮崎	83.44	83.27	0.93	0.28	27.66	25.23	26.17	3.47	250.45
鹿児島	120.27	134.48	1.29	1.16	122.63	83.03	18.92	4.51	486.29
沖縄	137.01	53.68	0.12	1.79	74.09	48.51	29.47	4.44	349.11
全国	9392.18	5734.51	80.77	28.20	2241.07	1946.23	1835.67	494.48	21753.11

表-2.23 都道府県別・資材別マテリアルストック [百万トン]

(a) 1965年

	骨材	セメント コンクリート	アスファルト コンクリート	木材	鉄	その他	資材合計
北海道	235.73	172.88	15.06	7.83	7.98	0.07	439.56
青森	71.88	57.46	2.70	2.34	2.65	0.02	137.05
岩手	60.55	48.19	2.68	3.19	4.64	0.02	119.26
宮城	71.24	63.75	3.14	3.67	2.74	0.03	144.56
秋田	49.74	26.72	2.46	0.78	1.26	0.01	80.96
山形	23.99	31.04	2.28	3.04	1.17	0.02	61.54
福島	45.44	50.77	3.48	4.16	1.81	0.02	105.68
茨城	43.37	48.79	4.41	4.00	2.05	0.03	102.65
栃木	13.91	27.13	3.19	2.96	1.08	0.02	48.29
群馬	20.28	37.84	3.14	3.87	1.37	0.03	66.53
埼玉	27.99	44.01	6.61	4.82	1.90	0.04	85.37
千葉	84.66	71.55	7.93	4.69	3.17	0.04	172.04
東京	78.33	224.25	10.60	15.00	10.83	0.22	339.23
神奈川	66.01	99.58	5.48	6.56	4.87	0.09	182.59
新潟	87.02	90.67	4.65	7.03	3.31	0.04	192.73
富山	38.82	52.68	2.40	2.48	1.92	0.03	98.34
石川	67.45	54.27	1.94	3.33	2.16	0.02	129.16
福井	41.21	35.88	1.69	2.49	1.41	0.01	82.69
山梨	7.48	15.06	1.11	1.60	0.54	0.01	25.80
長野	25.68	48.29	2.77	6.13	1.61	0.03	84.50
岐阜	45.54	44.89	3.74	3.62	1.81	0.04	99.64
静岡	88.12	100.05	5.10	6.26	4.31	0.06	203.90
愛知	144.70	196.52	9.80	9.58	9.58	0.17	370.35
三重	82.13	70.33	1.84	3.38	3.13	0.04	160.85
滋賀	11.87	24.66	2.03	2.03	1.18	0.03	41.80
京都	42.53	65.83	3.09	4.59	2.95	0.06	119.05
大阪	70.87	162.57	6.94	7.91	8.50	0.20	256.99
兵庫	120.84	132.28	7.43	7.71	6.24	0.11	274.61
奈良	6.72	21.58	0.94	2.03	0.71	0.01	31.99
和歌山	68.57	52.97	0.90	1.80	2.32	0.03	126.59
鳥取	27.78	23.26	1.01	1.60	0.97	0.01	54.63
島根	50.07	40.86	0.97	2.15	1.67	0.02	95.74
岡山	71.26	69.80	2.35	4.07	3.04	0.05	150.56
広島	145.66	110.96	2.81	5.95	4.63	0.04	270.05
山口	170.77	121.97	2.40	3.72	5.35	0.05	304.26
徳島	58.17	39.76	0.81	1.68	1.57	0.01	102.00
香川	89.68	57.64	1.24	1.83	2.52	0.02	152.93
愛媛	149.54	96.20	1.20	3.35	3.93	0.02	254.23
高知	73.68	51.31	0.81	1.73	1.99	0.01	129.53
福岡	87.19	102.22	6.29	7.55	4.43	0.07	207.74
佐賀	41.58	30.64	1.09	1.96	1.20	0.01	76.48
長崎	214.78	127.68	1.04	3.14	5.38	0.02	352.04
熊本	112.59	82.11	1.89	3.04	3.59	0.03	203.25
大分	98.45	67.69	1.05	3.20	2.69	0.02	173.11
宮崎	46.54	43.22	2.47	2.28	1.53	0.02	96.05
鹿児島	143.97	91.70	3.35	2.78	3.85	0.03	245.68
沖縄	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
全国	3433.10	3333.60	160.30	188.91	147.73	1.98	7252.56

(b) 2010 年

	骨材	セメント コンクリート	アスファルト コンクリート	木材	鉄	その他	資材合計
北海道	879.11	530.10	136.59	22.50	29.09	1.90	1599.29
青森	192.81	113.12	20.51	6.30	6.31	4.09	343.13
岩手	197.65	109.61	29.25	6.37	11.95	0.33	355.15
宮城	233.20	185.79	25.21	9.53	11.82	0.66	466.21
秋田	163.74	68.52	21.88	1.58	4.25	0.27	260.24
山形	154.21	87.84	18.98	5.90	4.80	0.31	272.04
福島	250.29	148.48	31.23	8.06	8.86	0.45	447.38
茨城	191.54	205.37	28.36	11.67	14.13	0.77	451.83
栃木	220.05	132.33	23.56	7.75	9.57	0.52	393.78
群馬	163.37	155.45	16.39	8.13	9.44	0.48	353.26
埼玉	193.09	375.41	31.79	21.29	26.31	1.48	649.37
千葉	238.29	378.06	29.53	18.64	25.72	1.32	691.56
東京	209.32	962.12	26.39	27.94	67.06	2.96	1295.79
神奈川	216.30	551.51	23.37	23.66	36.44	2.09	853.37
新潟	307.63	217.43	30.96	12.41	11.70	0.70	580.82
富山	124.71	109.51	16.41	5.11	6.22	0.33	262.30
石川	165.05	113.96	14.66	5.38	6.82	0.30	306.17
福井	114.76	78.36	11.47	3.42	4.85	0.24	213.10
山梨	70.25	64.14	6.60	3.15	3.98	0.22	148.34
長野	259.26	175.88	22.15	10.18	10.54	0.58	478.59
岐阜	235.01	135.57	24.48	6.86	9.72	0.57	412.21
静岡	230.46	297.17	23.50	13.85	20.39	0.92	586.30
愛知	365.00	549.39	46.75	20.64	40.73	1.93	1024.44
三重	203.93	174.62	15.58	6.58	11.63	0.48	412.82
滋賀	114.98	102.41	13.09	5.37	8.13	0.40	244.38
京都	104.03	167.75	12.30	7.41	11.13	0.62	303.24
大阪	227.70	585.73	23.86	17.99	43.46	2.16	900.90
兵庫	328.74	431.37	31.12	15.53	29.18	1.45	837.39
奈良	55.61	86.80	6.32	4.32	4.99	0.30	158.34
和歌山	107.21	96.13	5.62	3.12	5.68	0.18	217.94
鳥取	78.09	49.51	8.11	2.38	2.98	0.16	141.23
島根	109.84	77.42	11.38	2.94	3.94	0.16	205.68
岡山	180.35	158.55	17.17	6.32	9.91	0.47	372.77
広島	278.29	263.23	21.63	8.78	15.91	0.65	588.49
山口	256.30	177.81	15.51	4.79	10.03	0.35	464.79
徳島	94.92	93.81	5.73	2.68	5.38	0.16	202.67
香川	135.32	110.47	8.41	3.40	6.68	0.24	264.52
愛媛	219.03	171.29	10.59	4.97	9.30	0.32	415.50
高知	131.60	95.49	6.45	2.40	4.73	0.16	240.84
福岡	283.84	385.38	29.10	14.39	25.28	1.26	739.26
佐賀	101.65	77.69	8.27	2.96	4.51	0.18	195.27
長崎	295.39	209.90	6.69	4.54	10.17	0.28	526.97
熊本	216.93	178.35	14.12	5.60	9.72	0.40	425.12
大分	195.13	144.20	12.45	4.71	7.63	0.30	364.42
宮崎	124.02	102.63	13.56	4.27	5.70	0.27	250.46
鹿児島	265.64	183.75	21.09	5.50	9.95	0.36	486.29
沖縄	159.42	168.30	10.49	1.15	9.41	0.34	349.10
全国	9643.05	10037.69	988.66	402.42	646.15	35.04	21753.00

表-2.24 都道府県別総マテリアルストックの推移 [百万トン]

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2010/1965
北海道	440	515	734	907	1078	1241	1366	1479	1579	1599	3.64
青森	137	152	187	218	241	271	298	305	332	343	2.50
岩手	119	138	179	217	244	285	311	336	350	355	2.98
宮城	145	164	213	262	304	360	397	433	458	466	3.22
秋田	81	94	126	149	164	190	209	226	239	260	3.21
山形	62	73	101	132	152	205	228	250	262	272	4.42
福島	106	123	179	218	255	325	362	400	442	447	4.23
茨城	103	120	192	240	287	337	381	412	435	452	4.40
栃木	48	66	112	140	173	221	257	281	301	394	8.15
群馬	67	90	136	182	208	274	306	328	343	353	5.31
埼玉	85	127	224	295	365	448	523	582	621	649	7.61
千葉	172	217	317	392	449	529	583	636	671	692	4.02
東京	339	467	648	775	886	1046	1148	1228	1289	1296	3.82
神奈川	183	259	363	460	549	654	735	796	840	853	4.67
新潟	193	216	281	346	394	450	507	544	570	581	3.01
富山	98	110	137	159	175	203	234	249	259	262	2.67
石川	129	148	181	225	240	261	281	294	302	306	2.37
福井	83	109	131	150	161	176	188	198	212	213	2.58
山梨	26	34	52	67	85	104	117	138	145	148	5.75
長野	85	108	164	256	293	334	399	437	476	479	5.66
岐阜	100	117	184	213	237	287	325	349	369	412	4.14
静岡	204	254	332	386	426	489	533	563	579	586	2.88
愛知	370	449	584	674	744	837	923	972	1010	1024	2.77
三重	161	197	262	284	304	338	368	388	404	413	2.57
滋賀	42	58	83	106	123	151	174	191	201	244	5.85
京都	119	149	189	215	235	256	276	296	293	303	2.55
大阪	257	376	513	595	661	747	820	868	890	901	3.51
兵庫	275	344	451	519	578	660	734	806	834	837	3.05
奈良	32	41	65	93	105	123	138	149	157	158	4.95
和歌山	127	142	164	177	186	197	207	214	218	218	1.72
鳥取	55	62	76	87	96	106	117	126	134	141	2.59
島根	96	105	125	139	150	165	180	189	199	206	2.15
岡山	151	167	212	240	268	310	337	360	370	373	2.48
広島	270	298	370	414	454	509	562	583	602	588	2.18
山口	304	322	353	372	390	429	447	457	466	465	1.53
徳島	102	109	129	143	154	177	189	198	202	203	1.99
香川	153	166	185	200	212	230	246	255	262	265	1.73
愛媛	254	273	302	330	348	368	387	405	415	416	1.63
高知	130	144	162	177	202	214	223	233	239	241	1.86
福岡	208	247	360	436	499	589	673	686	715	739	3.56
佐賀	76	84	102	115	137	150	167	178	191	195	2.55
長崎	352	385	412	438	459	481	499	515	524	527	1.50
熊本	203	219	261	295	320	350	377	400	418	425	2.09
大分	173	195	228	252	271	294	314	332	346	364	2.11
宮崎	96	109	136	155	172	191	207	227	242	250	2.61
鹿児島	246	267	306	339	379	415	440	457	479	486	1.98
沖縄	-	-	136	169	202	247	286	312	338	349	2.57
全国	7253	8608	11340	13349	15017	17223	18979	20263	21225	21753	3.00

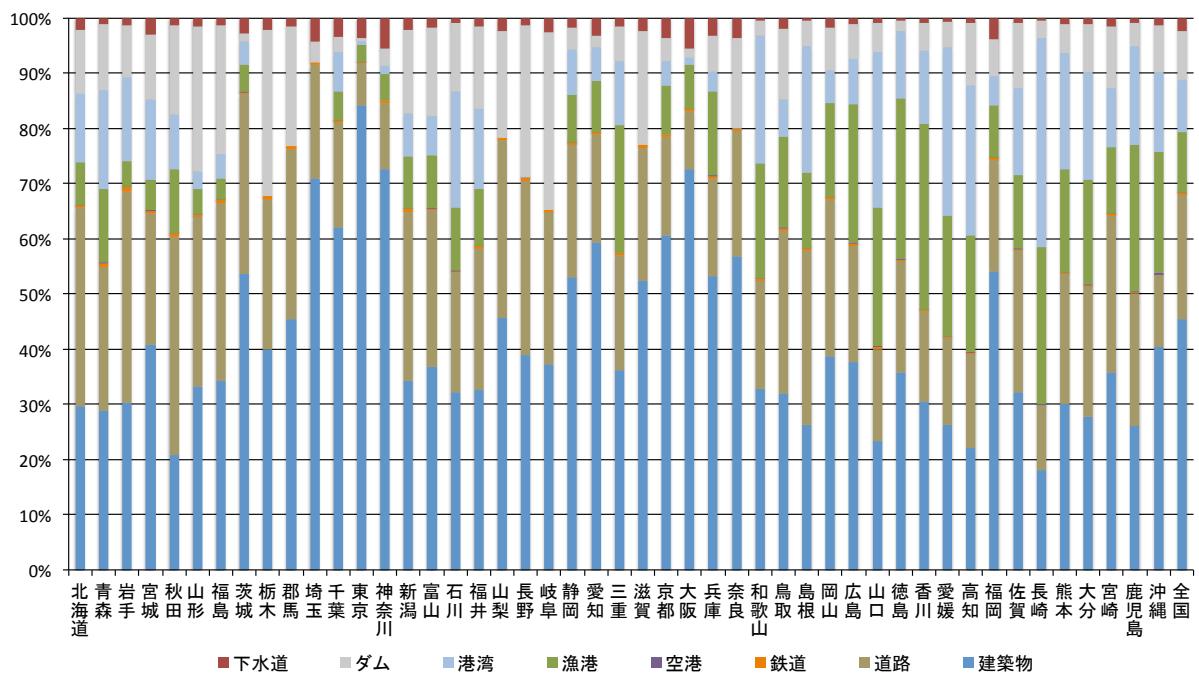


図-2.28 構造物別マテリアルバランス（2010年）

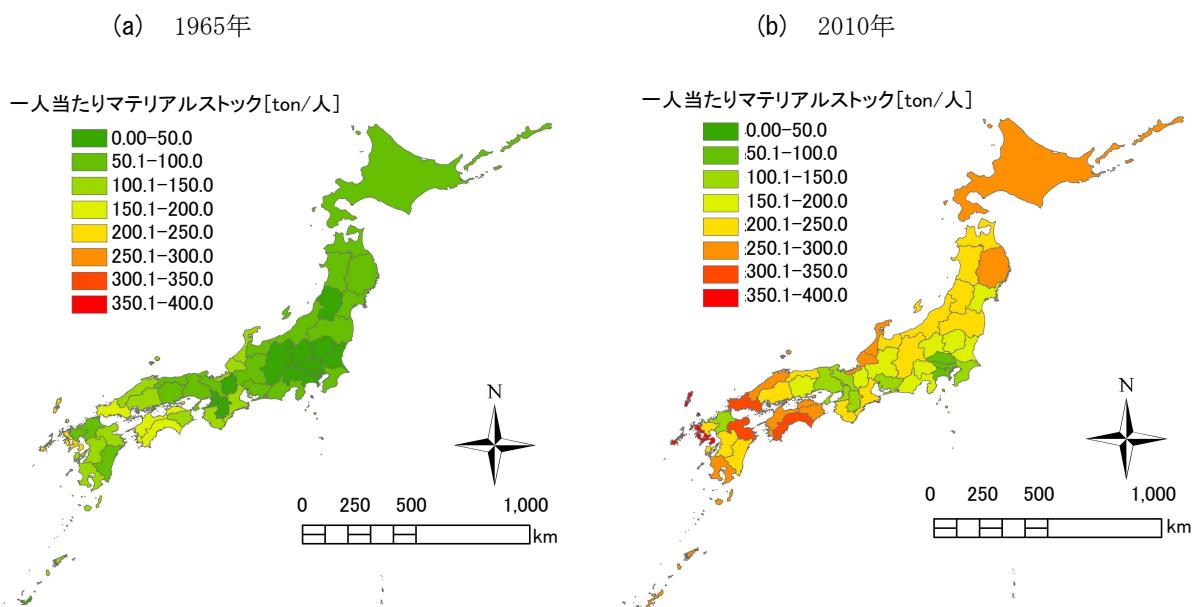


図-2.29 一人当たりマテリアルストック分布の変化

以上の様に、本項ではボトムアップによる物質ストックデータベースを示した。本手法では、空間情報として整備したデータベースを用いることで空間的な動態を扱うことが可能であり、前項のトップダウンによる物質ストックデータベースと併用することで、我が国の物質ストックデータベースの把握を行うことが可能である。

## 参考文献

- 稻津亮、谷川寛樹、大西暁生、東修、石峰、井村秀文：複数年の空間情報を用いた都市重量の変化に関する研究—建築物・道路を対象とした和歌山市中心部でのケーススタディー、環境情報科学論文集 23、pp. 89–94、2009.
- 大西暁生、河村直幸、奥岡桂次郎、谷川寛樹：都道府県別建物ストック需要の将来シナリオ分析、都市計画報告集、Vol. 9–2、pp. 58–63、2010.
- 大西暁生、高平洋祐、平川隆之、谷川寛樹、井村秀文：503 低炭素・低物質社会構築に向けた都市シミュレータの開発：名古屋市の住宅及び商業・業務建物を対象として(E. 都市計画)、東海支部研究報告集、Vol. (48)、pp. 497–500、2010.
- 大場亨：建築面積及び地上階数からの延面積の予測、日本都市計画学会学術研究論文集、No. 35、pp. 1033–1038、2010.
- 桑垣豊：200 億 ton の見えないごみ-コンクリートから見た日本の廃棄物-、廃棄物資源循環学会誌、Vol. 20、No. 3、pp. 124–125、2010.
- 小松幸夫、加藤裕久、吉田倬郎、野城智也：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、第 439 号、pp. 101–110、1992。
- 財団法人電力中央研究所：都市インフラストラクチャー構築の資源使用量と環境負荷
- 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、1996.
- 醍醐市朗、五十嵐佑馬、松野泰也、足立芳寛：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、2007.
- 谷川寛樹、藤倉良、井村秀文：都市の物質収支と環境資源勘定に関する研究；建設用資材の投入と建設副産物、環境システム研究、Vol. 23、pp. 274–278、1995.
- 谷川寛樹、山末英嗣、稻津亮、前新将：4D-GIS を用いた都市重量の変化と建設資材の TMR 指標によるリサイクル性に関する研究、環境システム研究論文集、Vol. 38、413–419、2010
- 東岸芳浩、稻津 亮、内藤 瑞枝、谷川寛樹、橋本征二：都市構造物における経年的資材投入原単位の推計に関する研究、廃棄物学会研究発表会講演論文集、Vo. 19、pp. 147–149、2008.
- 長岡耕平、谷川寛樹、吉田登、東修、大西暁生、石峰、井村秀文：全国都道府県・政令都市における建設資材ストックの集積・分布傾向に関する研究、環境情報科学論文集 23、pp. 83–88、2009.
- 平川隆之、黒岩史、鬼頭祐介、田中健介、谷川寛樹：東日本大震災により失った建設資材ストックの推計、日本 LCA 学会誌、Vol. 7、No. 4、pp. 374–378、2011.

藤川洋平、樋口隆哉、浮田正夫、関根雅彦、今井剛：建設廃棄物の排出量および再生利用量の予測に関する研究土木学会論文集G、Vol. 62、No. 1、pp. 53–60、2006.

Seiji HASHIMOTO, Hiroki TANIKAWA, Yuichi Moriguchi : 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、2007.

Tanikawa、H.、Hashimoto、S. : Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS, BUILDING RESEARCH AND INFORMATION、Vol. 37、No. 5–6、pp. 483–502、2009.

United Nations Environmental Programme : Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth、2011.

今尾恵介：日本鉄道旅行地図帳、新潮社、第1-12号

岡本久人：ストック型社会への転換・長寿命化時代のインフラづくり、鹿島出版会、pp182、2006.

環境省：環境白書、日本のマテリアルフロー、pp. 213、2011.

経済企画長調査局：家計消費の動向–消費動向調査年報–、2010.

経済産業省：鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報

経済産業省：生産動態統計月報

建設省建設経済局調査情報課：建築統計年報

公益社団法人日本下水道協会：下水道統計。

国土交通省：鉄道統計年報(民鉄統計年報・私鉄統計年報)、政府資料等普及調査会、1965–2007.

国土交通省港湾局：港湾施設の維持管理について～現状と課題～、交通政策審議会港湾分科会第1回安全・維持管理部会資料

国土交通省 総合政策局：建設資材・労働力需要実態調査(建築部門)業務調査

国土国交省中国地方整備局：土木工事設計マニュアル、2003.

財務省統計局：日本統計年鑑、日本統計協会

財団法人日本ダム協会：ダム年鑑 2012、財団法人日本ダム協会

設計・施工のための港湾・空港ハンドブック編集委員会 (1974) : 設計・施工のための港湾・空港ハンドブック、建設産業調査会

多田宏行：[新編] 語り継ぐ舗装技術、鹿島出版会、pp223、2011.

土木施工編集委員会：土木工事施工例集 7 港湾編、pp. 129–136、1968.

土木施工編集委員会：土木工事施工例集 5 ダム・発電所編、pp. 257–274、1968.

名古屋市交通局：砂田橋・名古屋大学間工事記録、名古屋市交通局技術本部、pp. 467、2004.

松並仁茂：全建技術シリーズ 27 港湾構造物の設計、社団法人全日本建設技術協会、pp384、1980

環境省：循環型社会形成推進基本計画、<http://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku.html>

国土交通省航空局：航空法施行規則、<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S27/S27F03901000056.html>

国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>、

国土交通省中部地方整備局：道路設計要領、<http://www.cbr.mlit.go.jp/road/sekkeiyouryou/>

国土交通省道路局：道路構造令、<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S45/S45SE320.html>

鉄道・運輸機構 HP : <http://www.jrtt.go.jp/index.html>

内閣府：国民経済計算（GDP 統計）、<http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html>

日本工業標準調査会：JIS 規格データベース検索、<http://www.jisc.go.jp/app/JPS/JPS00020.html>

日鐵住金建材株式会社 HP：<https://www.ns-kenzai.co.jp/>

福井県 HP：福井県 各地の漁港、<http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/suisan/gyokou/0100map.html>

JFE 建材株式会社 HP：<http://www.jfe-kenzai.co.jp/>

JFE スチール株式会社 HP：<http://www.jfe-steel.co.jp/>

(ii) 廃棄率曲線による物質ストック滞留推計モデル

本項では、廃棄率曲線の推計による物質ストック滞留推計モデルの構築について、a)日本全国での統計データを用いた手法、b)GISを用いた当該地域の推計モデル、の2種類について、建築物の分析を行った。

a) 使用年数モデル法の修正による滞留年数推計

本項では、建築物の滞留年数の補正・評価モデルについて、小松ら(1992)の廃棄率曲線を減失床面積によりパラメータ補正を行った。固定資産の価値等の概要調書と着工統計から算出した減失床面積を統計値として、誤差の二乗和が最小となるように10年ごとでパラメータ変化を行い推計した。

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(2.3))を、それ以外の構造種についてはワイブル分布(式(2.4))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-2.7値を用いた。

$$TF_{i,t,k} = \sum_{k=1945}^t (R_i(t-k) \times CF_{i,k}) \quad (2.2)$$

ここに、 $TF$ : 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。

$$R(x) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^x \frac{1}{t} \exp\left\{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} dt \quad (2.3)$$

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。

$$R(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x-\delta}{\eta}\right)^m\right\} \quad (2.4)$$

ここに、 $R(x)$ : 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。

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。

表-2.7 構造種別廃棄曲線パラメータ一覧

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)

図-2.30 は、建築物解体量の手法別の比較について、木造の結果の例示を行った。緑の曲線が補正・評価モデルによる結果であり、赤の小松らの結果と比較して、青の統計値に整合していることが見て取れる。以上の結果を、図-2.31 に構造別の平均滞留年数として示した。構造物別に見ると、木造が 2000 年以降に平均滞留年数が微増していることが明らかである。結果より、小松らによる推計値と比較して、わずかではあるが、滞留年数の増加が示された。

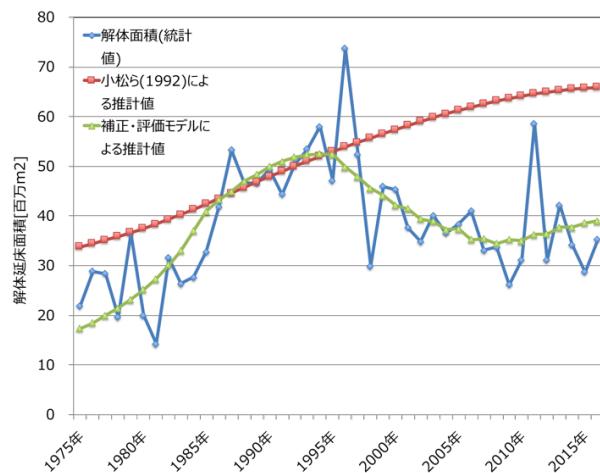


図-2.30 建築物解体量の手法別比較(木造)

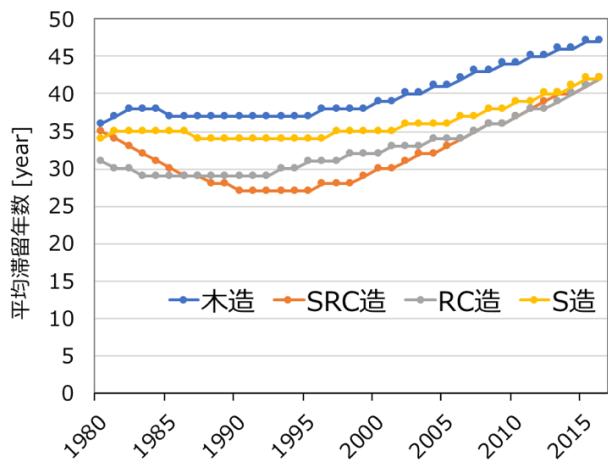


図-2.31 建築物の構造別平均滞留年数

### b) 空間情報データベースを用いた滞留年数推計

基盤となる空間情報については、(株)ゼンリンによる Z-map TOWN II を基盤としてデータベースを整備・拡充した。Z-map では建築物をポリゴンとして格納しており、建築物の属性情報として建築種・用途・階数・建築面積を有している。階数と建築面積を乗じることで延床面積を推計し、建築物の規模を把握することが可能である。

また、都市のより詳細な空間単位で分析を行うために、北九州市をケーススタディとしてデータ整備・拡充を行った。北九州市では、建築物ポリゴンデータに国勢調査と固定資産の統計データを結合し、1 棟 1 棟について、建築年代・構造種・利用世帯種など更に詳細な属性情報を追加することで、用途地域に応じた耐用年数の推計が可能である。また、人口の動態に応じた建築物需要量を推計し、将来分析に用いた。人口の動態は国勢調査に加え、モバイル空間統計を用いて、夜間人口・昼間人口を対象として分析に用いた。本データベースにより、建築物の更新のメカニズムの検討を行い、その結果をケーススタディに用いた。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。

各建築物の用途及び構造について補正を行う。建設資材ストック・フローの分析を行うためには詳細な用途区分があることが望ましいが、Zmap-TOWNII には表-2.2 に示したように用途は詳細ではない。本研究では深堀によって整備された、建築名称から建物用途を判別する手法を用いて各建築物に詳細な用途を設定した。戸建住宅(CODE : 1364)、共同住宅(CODE : 1363)については建物名称が格納されていない

建築物も多いため、Zmap-TOWNII に格納されている用途区分を利用する。名称と用途の対応を表-2.25 に示す。Zmap-TOWNII に保存されている全ての建築物には建物構造に関する情報が含まれていないため、本研究では建築物の建築物種別と階数の情報から以下に示すように建物構造を仮定する。2 階建て以下のビル・アパート・マンションについては、まず住宅・土地統計調査より 2 階建て以下の共同住宅を対象に構造別(木造・鉄骨造)の割合を都道府県ごとに求め、その割合を利用して 2 階建て以下のビル・アパート・マンション内の木造・鉄骨造のものの数を都道府県ごとに決定する。建築面積の小さなものから、算出された木造棟数に達するまでの建築物を木造とし、それ以上のものを鉄骨造とする。また、建築物ストック統計によると、日本全国の戸建・長屋住宅の約 9 割が木造であるため、2 階建て以下の戸建住宅は全て木造と仮定する。3 階建ての建物は全て鉄骨造とし、4 階建て以上の建築物は全て鉄筋コンクリート造と仮定する。

以上のように、地理情報システムを用いて時空間的分析に必要な都市構造物の 4 次元型地理情報データベースの整備を行った。4 次元型地理情報データベースとは構造物の 3 次元情報を時系列に整備したものである。

表-2.25 建物用途-建物名称対応表

用途番号	用途	キーワードとなる建物名称
0	戸建住宅	Zmap-TOWN IIにおいて用途区分が CODE:1364 であるもの
1	業務施設	事務所, 個, 株式会社, 司法書士, 新聞社, (事), 銀行, 証券会社, (有), 有限会社, 税理士, 一级建築士, 自動車中古販売, (事), 事務所, 中国電力, 工務店, タクシー(営), 営業所, 保険, 造園, 会館, 商事, 商工会事務所, NTT, 消毒業, 不動産, 新聞, JA, JT, JA, JT, 会計士, ATM, 信用金庫, 放送局, 塗装, 衛生, 清掃, 商会, 行政書士, イヤア, 農業共同組合, 漁業共同組合, 共同組合, ティマー, 建設, (株), 協同組合, 産業, 信用組合, JR, 設計
2	商業施設	百貨店, デパート, 住宅展示場, 金細工店, カツ, オック, 販売, デルハス, 電気, 専門店, 電機, 卸売店, 間屋, スーパー, アイクリーム, 質屋, 食堂, 喫茶店, コビニ, 菓子店, レスター, オック, ヨップ, 甘味処, 靴の流通センター, 結婚式場, 喫茶, うどん, レタル, 塾, 薬局, 電器, ドラッグ, くすり, そば, 建材, パン屋, 居酒屋, お好み焼き, 材木, 習い, 教室, 貸店舗, たこ焼き, 石材, 囲碁, ラーメン, 将棋, 質舗, カーネン, 占い, 市場, ショップ, カン, エキ, 餃子店, カツ喫茶, レストラン, パーティ, ピザ, 自動車学校, ラーメン, 中華料理, イタリア料理, フレンチ料理, 間屋, 化粧品, コーヒー, 将棋室, 茶道, 文具, カフェ, しゃぶしゃぶ, 寿司, 寿し, 寿し, 書道, 味処, スキヤク, とんかつ, ふぐ料理, カン, 焼き鳥, 焼肉, ろばた焼き, 家具店, クーニング, 書店, 窓元, 焼とり, 英会話スクール, 菓子, 肉, 印刷, 金物店, 時計店, 中古車, 吳服, 学院, 商店, レストラン, 古美術, 教室, 園芸, 電子サービス, 堂, デンキ, ストアー, 食事処, ガラス, 硝子, 湯, やきとり, 水産, 工房塾, 仕出し, スナック, ショップ, 甘味処, 焼きとり, 結婚式場, グッディ, セブンイレブン, ジョイフル, リンガーハット, タバコ, ナフコ, 洋服, 種苗, 庄, 店, ローソン
3	宿泊施設	ホテル, 民宿, 旅館, ビジネス, モーテル, 温泉, ユースホテル, 別館, 分館, ホテル, ビジネス
4	娯楽施設	劇場, 映画館, 飲み屋, ハウス, 料理店, キャバレー, ランジエリー, クラブ, バー, 動物園, 遊園地, カサ, オック, スナック
5	遊戯施設	ボーリング, メート場, ゴルフ練習場, ビリヤード, 麻雀, マジシャン, パチンコ, バーティングセンター, 射的場, ゲームセンター, レーニングセンター, 玉突き場, スイミング, サイクリングセンター, テニススクール, 釣り堀, カツ, 競輪, 競馬, 競艇, パーラー
8	共同住宅	Zmap-TOWN IIにおいて用途区分が CODE:1363 であるもの. または建物名称が以下を含むもの. アパート, コボ, 県営住宅, 市営住宅, マンション, ハウス, ハウス, 職員住宅, 団地, 寮, 荘, 宿舎, 社宅, 下宿, 長屋, アパート, ハイツ
9	店舗併用住宅	米穀店, 理容, 美容, 時計, 酒店, ヘア, 酒房, 酒, 牛乳, クリーニング, パーマ, カット
11	作業所併用住宅	畳, 建具, 表具, 建装, 製めん, 建工, 自転車
12	官公庁施設	県市町府舎, 消防署, 警察署, 国事務所, 県事務所, 裁判所, 税務署, 郵便局, 法務局, 国土交通省, シルバー人材センター, 刑務所, 保健所, 市役所, 区役所, 派出所, 駐在所, 公団事務所, 区民
13	文教	大学, 体育館, 武道館, 予備校, 靈園, カリヨンパーク, 高等専門学校, 競技場, 専門学校, 学院, 柔剣道場, 弓道場, 警察犬訓練場(民間), 市民球場, 研究所, 公会堂, 市民会館, コミュニティ, センター, 小学校, 中学校, 高等学校, 幼稚園, 図書館, 老人ホーム, 保育園, 博物館, 整骨院, 保育所, 児童館, 美術館, 鍼灸院, 診療所, 医院, クリニック, 文化会館, 自然の家, 指圧, 産婦人科, 柔道場, 剣道場, 弓道場, プール, あんま, 歯科, 眼科, 耳鼻咽喉科, 公民館, マッサージ, 美容外科, 集会場, 集会所, リハビリ, はり, 灸, 胃腸科, 神社, 寺, 養護, 教会, 鍾乳洞, 動物病院, 老人憩いの家, 高校, 展望台, ルネッサンス, 納骨堂, お堂, 観音, 老人, 福祉センター, 養護学校, 整形外科, つどいの家, 道場, 公衆浴場, 助産所, 公園, 文化財, お堂
15	運輸倉庫施設	駅, 駅舎, 資材置場, 流通センター, 立体駐車場, 倉庫, ガレージ, 有料駐車場, バスセンター, バスターミナル, 月極駐車場, 運輸, 通運, 倉庫
16	重工業施設	重工業, 石油化学工場
17	軽工業施設	生コン, ドライクリーニング, 吹付工業, 自動車修理工場
18	サービス 工業施設	製材所, 紙工所, 板金工作所, 整備工業所, コンクリート, 印刷所, 製作所, 自動精米所, 自動車修理工場, 自動車商会, 工務店, 製菓工場, 自動車部品, 工業所, 製造所, 作業所, 作業場, 鉄工所, 造船所, 鉄工, 鐵工所, 紙工, 工業
19	室内工業 施設	バイク, 板金, サイクル, 自転車
20	危険物貯蔵処理 施設	給油所, ガソリンスタンド, LPG, ガススタンド, SS, 賽産, 鉱産
21	農林漁業用施設	農業用納屋, 畜産, カントリー, 温室, 牧場, ビニールハウス
22	その他	処理場, 清水場, 火葬場, 発電所, 変電所, 防衛施設, 危険物貯蔵・処理施設, 污水処理場, 下水処理場, 電話交換所, 発電所, 配水池, 自衛隊, 変電所, 火葬場, ガス貯蔵タンク, 変圧所, ポンプ, 中継所, 受電設備, 排水, 净化センター, 排水機場, 清水, 净化センター

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滞留年数の推計を行う。対象地域は北九州市4区(小倉北区、八幡東区、八幡西区、戸畠区)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。

#### a) 平均滞留年数推計方法

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(2.15)の区間残存率推計法より残存率を推計した。

$$y(t) = \prod_{x=1}^t \frac{N_x - d_x}{N_x} \quad (2.15)$$

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。

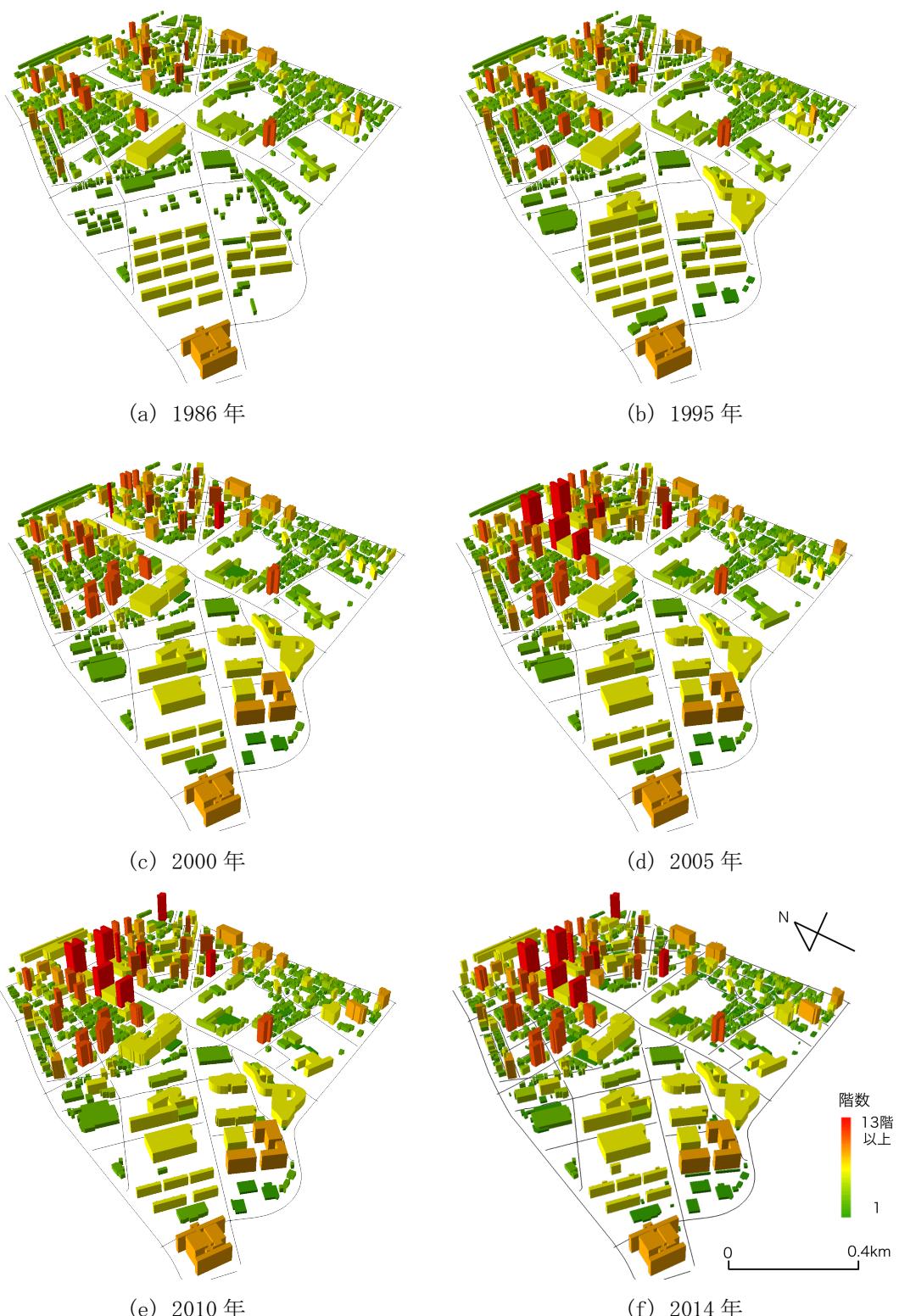
さらに、残存率の推移を近似曲線に当てはめた。近似曲線として比較的計算を行いやすい式(2.16)の一般的な成長率曲線(ロジスティック曲線)を用いた。

$$y(t) = \frac{K}{1 + \exp(ax + b)} \quad (2.16)$$

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 $a$ 、 $b$ を求めることが推計した。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。

#### b) 4d-GIS データベース構築

建築物の動態メカニズムを明らかにするために北九州市を対象にデータ構築を行った。整備・拡充したGISデータベースの例示を図-2.32に示す。



### c) 平均滞留年数推計結果

②の推計方法による滞留年数の平均値の推計結果を表-2.26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した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-2.26 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-2.33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、アパートやコーポ、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館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。

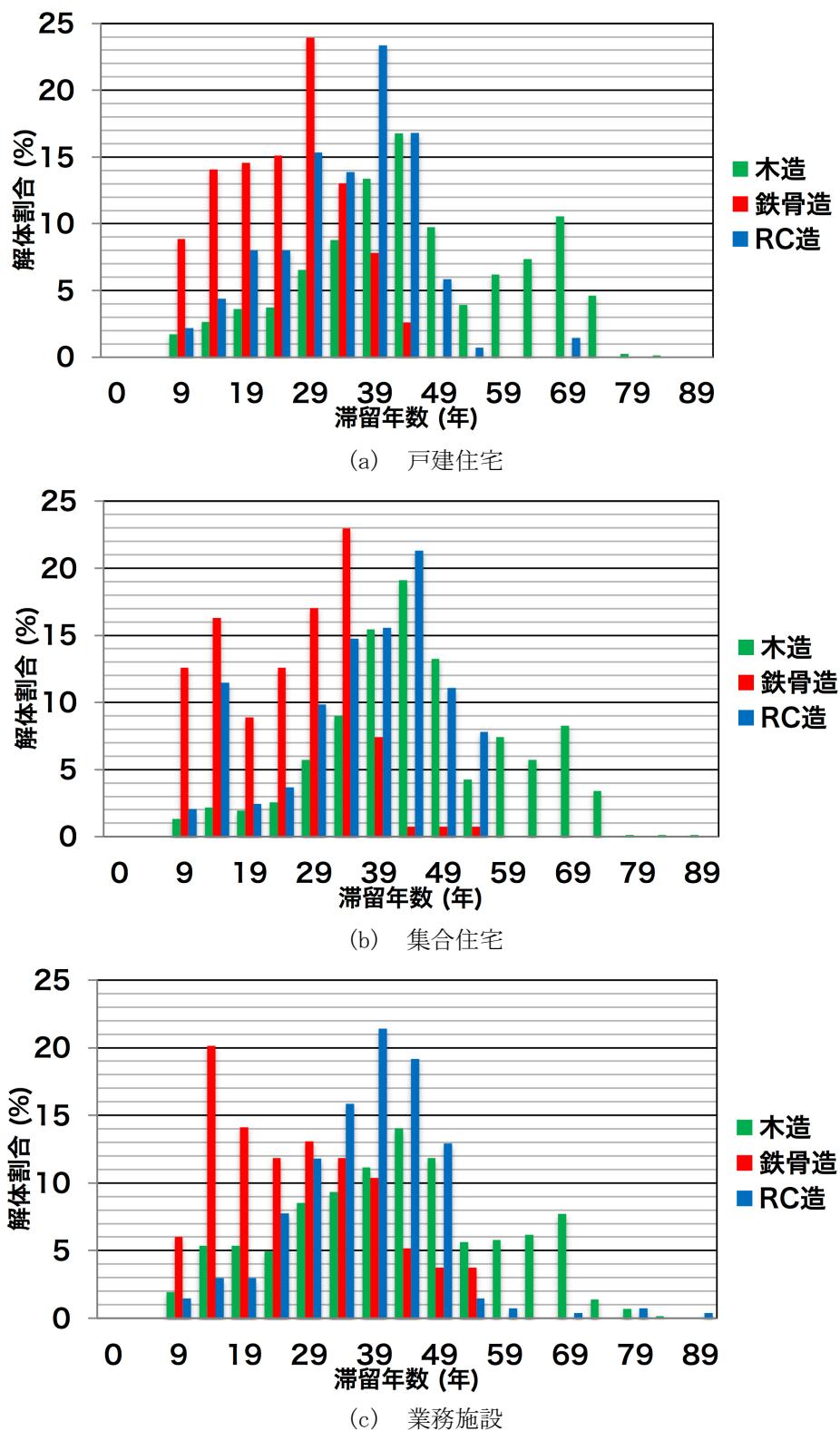
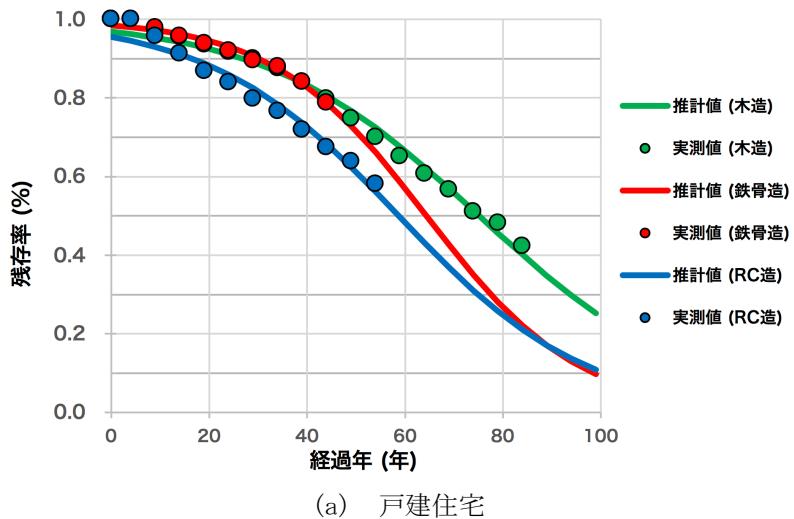


図-2.33 各構造における滞留年数別の解体割合 (2000-2005)

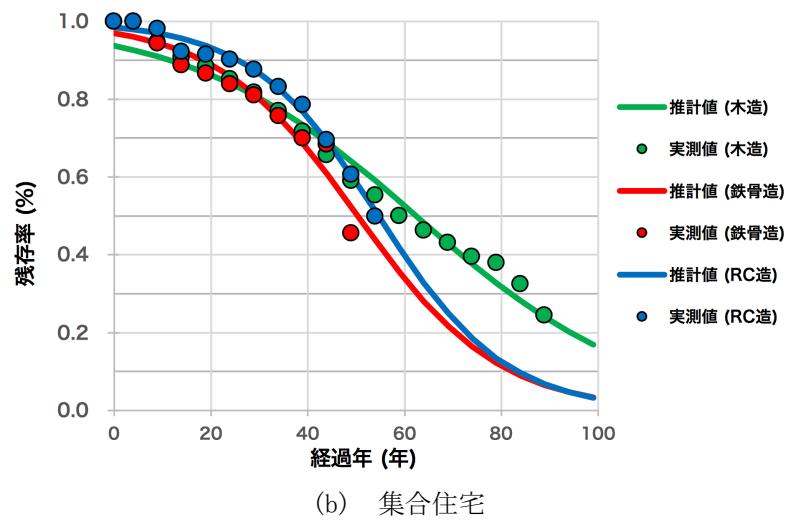
③の区間残存率法によって推計された 2000–2005 年の各用途における各構造の残存率曲線を図-2.34 に示し、それぞれの推計された平均滞留年数(残存率が 0.5 の時の経過年数)を表-2.27 に示す。戸建住宅の残存率曲線は集合住宅や業務施設と比較して、傾きが緩やかで、木造、鉄骨造、RC 造の推計された平均滞留年数もそれぞれ 75.1 年、64.3 年、58.7 年と他用途よりも大きい結果となった。集合住宅や業務施設は企業や資産家等が建築・管理していることに対し、戸建住宅は初期費用さえあれば誰でも建築・管理できるため、一般的に建て替えをする経済的余裕がないことが多く、長期間使用され、戸建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-2.27 耐用年数推計結果パラメータ

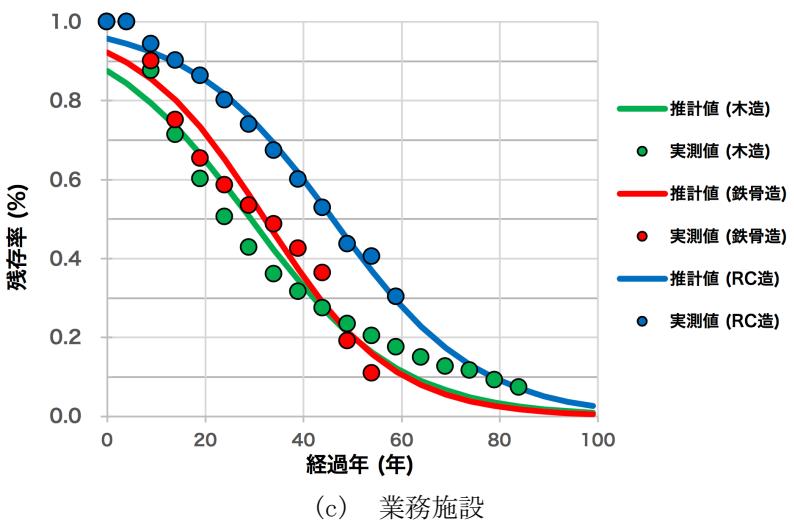
平均滞留年数（年）	戸建住宅	集合住宅	業務施設
木造	75.1	62.3	29.3
鉄骨造	64.3	50.3	32.1
RC造	58.7	54.6	46.0



(a) 戸建住宅



(b) 集合住宅



(c) 業務施設

図-2.34 構造別建築物残存率曲線推計結果(2000-2005)

以上より、建物更新のメカニズムによる建築物の滞留年数の推計を行った。データベース構築により、建物単位での建築物の解体・着工を把握することが可能であり、都市の変遷を可視化した。地理情報システムを用いることで、分析の幅を広げることが可能であり、異なる空間スケールに応じた検討が可能である。滞留年数の推計より、用途別構造別の建築物の解体傾向が異なる傾向を示すことが明らかとなった。戸建住宅の残存率曲線は他用途よりも傾きが緩やかで、各構造の平均滞留年数も最も大きく、建物更新サイクルが長い結果となった。構造関係なく特に戸建住宅が多い住居系地域では建物更新が行われにくく、建設された建築物が長期間に渡って存在し続ける傾向にあることが判明した。北九州市における産業転換及び再開発が影響して、集合住宅の残存率曲線における、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RC造の平均滞留年数が比較的小さいことが示された。

- 1) Tanikawa, H., Hashimoto, S. : Urban stock over time : spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Research & Information, Vol. 37, No. 5, pp. 483-502, 2009.
- 2) 稲津亮、谷川寛樹、大西暁生、東修、石峰、井村秀文：複数年の空間情報を用いた都市重量の変化に関する研究—建築物・道路を対象とした和歌山市中心部でのケーススタディー、環境情報科学論文集23、pp. 89-94、2009。
- 3) 建設省建設経済局調査情報課：建築統計年報、建築物調査会。
- 4) 財務省統計局：日本統計年鑑、日本統計協会。
- 5) 小松幸夫：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、1992。
- 6) 小松幸夫、加藤裕久、吉田倬郎、野城知也：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、1992。
- 7) 萩島理、谷本潤、片山忠久、熊本健：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、2002。

### (iii) 耐久消費財の寿命データ推計

第III期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」において、耐久消費財の使用年数分布（寿命データ）の作成方法として下記の4つが整理されている（第III期環境経済の政策研究報告書）。

- 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

この整理において、自動車に関しては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が、これ以外の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ことが整理されている。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）調査に基づく推定事例、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）調査に基づく推定事例が多いとしている。1)の方法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ところから、確度の高い保有製品に関するデータに基づいて推定されることが多い2)の方法の方が推奨されると整理している。

ただし、2)の方法で必要とされる年式別の保有台数データは自動車以外の耐久消費財については統計データ等で把握されておらず、アンケート調査等によるデータ取得が必要であることから、2)の方法による耐久消費財の寿命データの継続的なデータベース整備は負荷が大きい。3)の方法も年式別の保有台数データを必要とすることから同様である。一方、4)の方法は、総保有台数と販売台数（時系列）のデータから平均使用年数を推定でき、保有製品の年式分布データは不要である。我が国においては、総保有台数データは主要な耐久消費財については消費動向調査等の統計調査で定期的に把握されている。また、それら以外の品目についても年式別の保有台数データよりも低負荷での調査が可能であると考えられる。

また、第III期の研究において、1)と4)の方法による調査・推定データの比較から、1)の方法で調査・推定した平均使用年数は、リサイクルプラントへ搬入される製品の偏りや消費者の記憶に基づく調査の不正確性が懸念されること、また実際の調査・推定値が長期的な平均使用年数の増加傾向を示していないことから、値の信頼性が劣る可能性が指摘されている。

以上から、耐久消費財の寿命データの継続的な把握には4)の方法が適していると考えられる。そこで本研究では、4)の方法を用いて第III期の研究で推定した主要耐久消費財6品目の平均使用年数の推移を最新年分も含めて更新し、使用年数の傾向を示す最新データを作成した。また、第III期の研究で平均使用年数の簡易指標として活用できる可能性を示したストック／フロー比（ある年の販売量に対するストック量の比）のデータも更新した。

さらに、耐久消費財の長期使用による資源効率向上への寄与を評価するためのベースとして、また、ストック利用効率の1つの評価指標としての有用性検討として、推定・更新した平均使用年数データをベースとした平均使用年数の長期化による買替需要の削減効果の定量的な分析を行った。

方法4)による平均使用年数の推定、ストック／フロー比の計算は第III期の研究と同じ方法を用い、最新年度の推定・計算のための一次データ入手、整備してこれを行った。方法4)による平均使用年数推定の概要を図-2.35に示す。具体的には、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品目について、 $t$ 年度末における製品の使用年数分布（残存率分布） $R_t(i)$ と過去の販売台数 $S_{t-i}$ から(2.17)式で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(2.18)式で示すワイブル分布に従うと仮定した。

$$N_t = \sum_i \{S_{t-i} \times R_t(i)\} \quad (2.17)$$

$$R_t(i) = \exp \left[ -\left( \frac{i}{y_{av}} \right)^b \times \left\{ \Gamma \left( 1 + \frac{1}{b} \right) \right\}^b \right] \quad (2.18)$$

ここで、 $y_{av}$ は平均使用年数（ワイブル分布関数の平均値）、 $b$ はワイブル分布関数の形状母数、 $\Gamma$ はガンマ関数である。形状母数 $b$ は過去の研究事例より電気電子機器は2.4（小口ら 2006）、乗用車は3.6（Oguchi and Fuse 2015）とした。推計方法の詳細な方法はOguchi and Fuse (2015)を参照されたい。

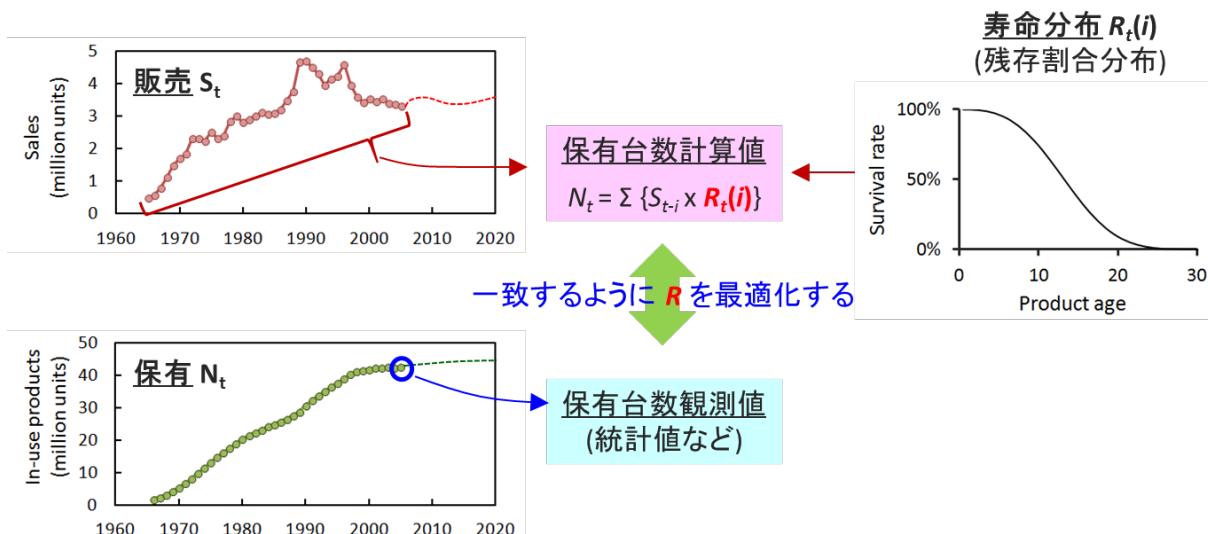


図-2.35 方法4)による耐久消費財の平均使用年数推定方法の概要

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、MM 総研、自動車検査登録情報協会、全国軽自動車協会連合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-2.36 に、方法 4) で推定した平均使用年数およびストック／フロー比の比較を示す。これらの耐久消費財の平均使用年数は、エアコンの平均使用年数が 2010 年度頃から横ばいであることを除けば、第Ⅲ期の研究でも示された通り過去 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。また、今回の最新データ追加により、エアコンを除けば直近年度においてもまだ使用年数の長期化は続いていることが示されている。また、テレビに関しては、2011 年 7 月の地上波アナログ方法終了（とエコポイント制度の実施）の影響と考えられる平均使用年数の一次的な短期化が 2010 年度前後に見られたが、2011 年度以降はまた平均使用年数が長期化し、2017 年度にはそれ以前の水準まで戻っているということが示された。

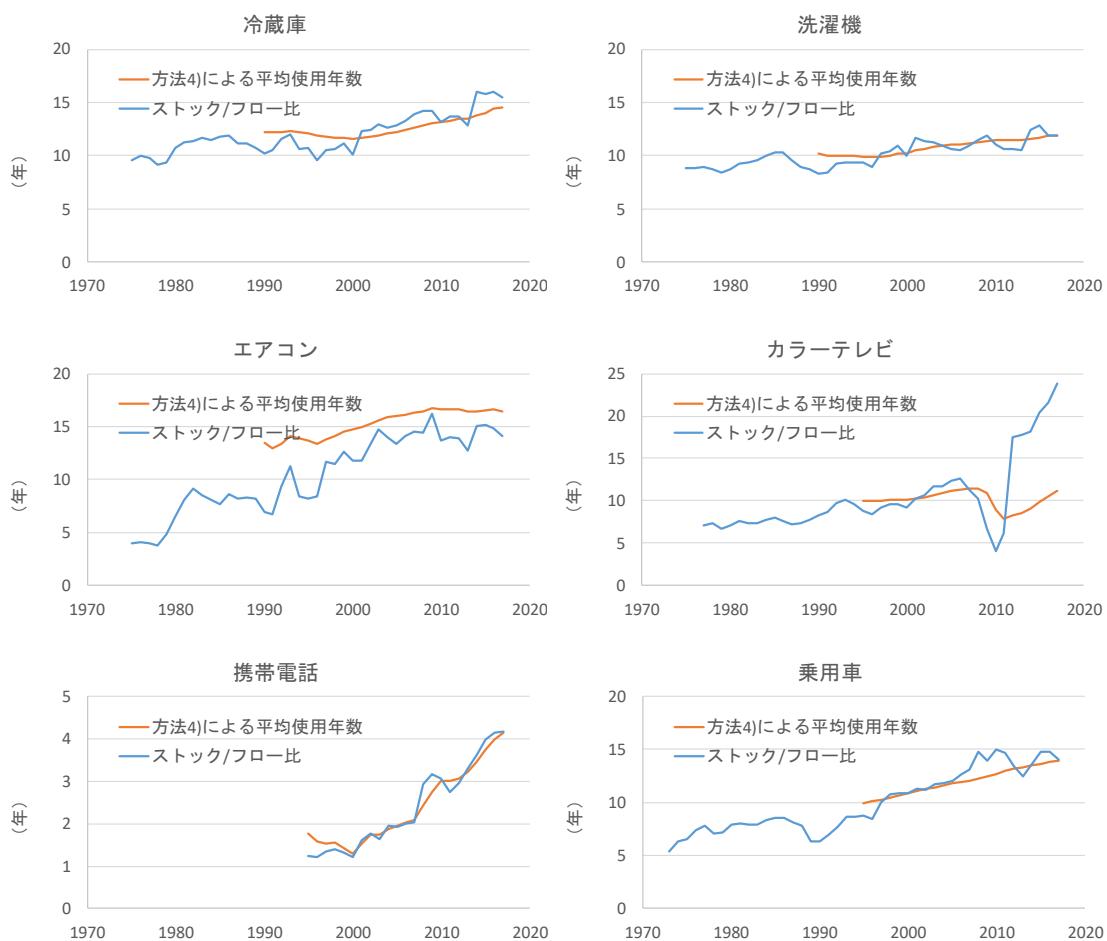


図-2.36 平均使用年数とストック／フロー比の推定・計算方法

ストック／フロー比については、データを追加した最新年度を含めて全体的には平均使用年数の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ことが改めて示された。ただし、ルームエアコン、2011年度以降のテレビに関してはストック／フロー比と方法4)による平均使用年数推定値の間に乖離があり、特に保有台数が一定の増加率を示す品目、アナログ放送流量のような社会的な変化の影響を受けた直後の品目に関しては、全体の増減傾向や平均使用年数の目安を把握するための指標としての利用に限定することが妥当であることが改めて示された。

平均使用年数の長期化は製品の買替需要を減少させることから新製品の製造に伴う資源消費の削減につながり、ひいては資源効率の向上に寄与するものと考えられる。ここでは、耐久消費財の長期使用による資源効率向上への寄与を評価するためのベースとして、また、ストック利用効率の1つの評価指標としての有用性検討として、平均使用年数の長期化による買替需要の削減効果の定量的な分析を行う。

具体的には、図-2.36に示した各品目について、2000年度を基準年度とし、平均使用年数が2000年度の値のまま推移した場合の新製品需要台数を推計し、図-2.36に示した実際の状況（平均使用年数が長期化した現実の状況）における販売台数と比較することで、2000-2017年度における平均使用年数の長期化が新製品の需要削減にどれだけ寄与したかを分析した。分析はポピュレーションバランスモデルを用い、以下に示す手順で行った（また、図-2.37に手順のイメージを示した）。

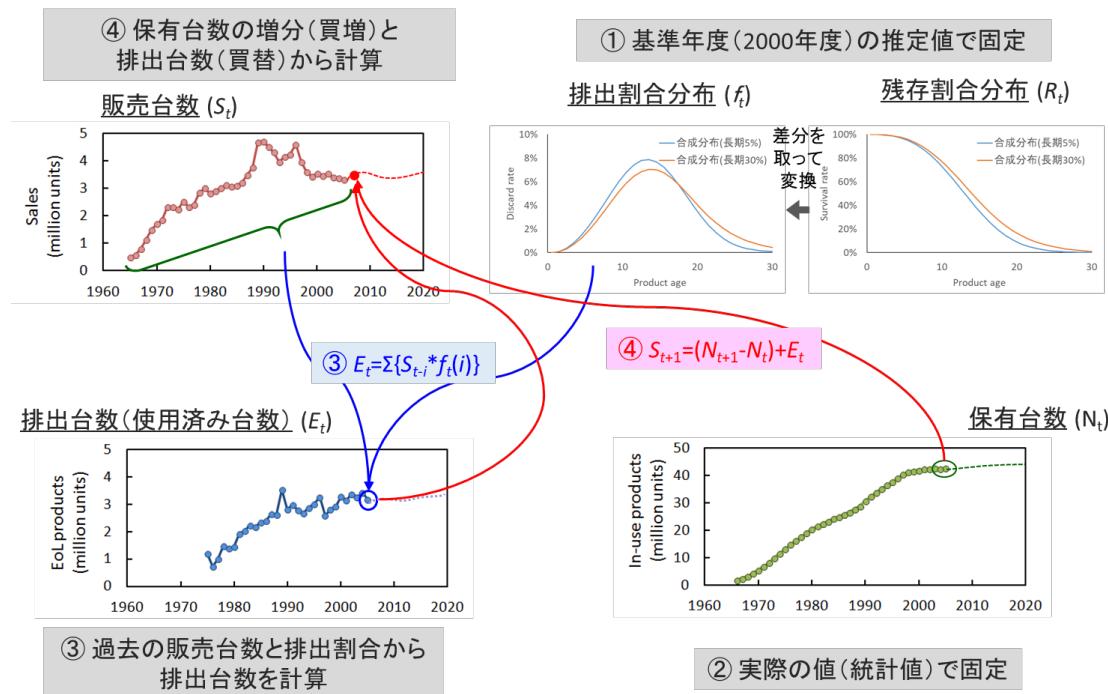


図-2.37 耐久消費財の長期使用による新製品の需要削減効果分析の概要

- ① 使用年数分布は基準年度（2000 年度）の推定値で固定（2000 年度から平均使用年数が変化（長期化）しなかった場合を想定）
- ② 保有台数は実際の値（前述の平均使用年数の推定に用いたデータと同じ）で固定
- ③ 過去の販売台数と使用年数分布（排出割合分布）から対象年度の排出台数を計算
- ④ 保有台数の増分（正味の買増）と③で計算した排出台数から対象年度の販売台数を計算
- ⑤ ③と④を次の年度について行う。以降これを繰り返す。
- ⑥ 以上で得られた結果を実際の販売台数と比較し、平均使用年数の長期化による買替需要の削減効果を評価した。

2000–2017 年度における平均使用年数の長期化による新製品の需要削減効果の計算結果を図-2.38 に示す。図には、平均使用年数が 2000 年度の値のまま推移した場合の新製品需要台数を 1 とした場合の実際の新製品の販売台数の比を示している。

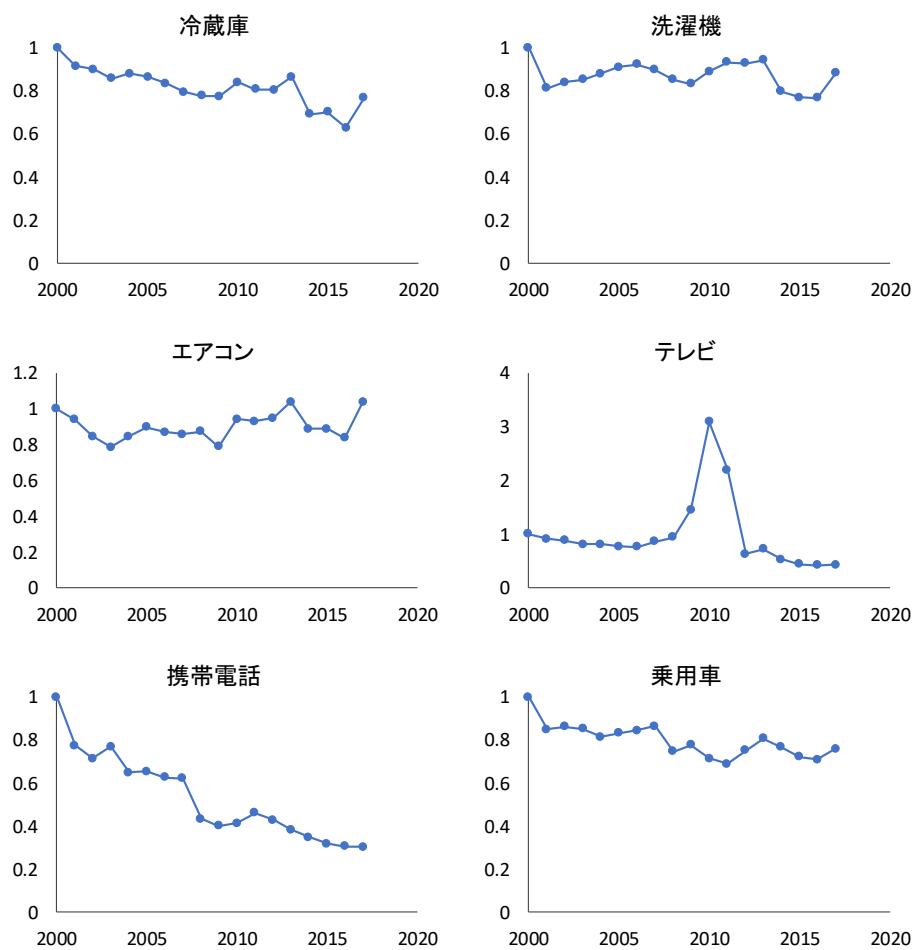


図-2.38 2000–2017 年度における平均使用年数の長期化による新製品の需要削減効果の分析結果  
(平均使用年数が 2000 年度の値のまま推移した場合の新製品需要台数を 1 とした場合の  
実際の新製品販売台数の比)

冷蔵庫、洗濯機、携帯電話、乗用車に関しては、平均使用年数が単調増加傾向にあるため、全ての年度において実際の販売台数が平均使用年数を2000年度の値で固定した場合を下回っており、使用年数延長による需要削減効果が明確に現れている。特に携帯電話に関しては、2000-2017年度において平均使用年数（推定値）は1.3年から4.2年まで大きく延長していることから、その需要削減効果は大きい。エアコンに関しては、平均使用年数が近年横ばいであることに加え、2012年度前後で一時的に平均使用年数が若干短期化していることから、単年度で見れば実際の販売台数が平均使用年数を2000年度の値で固定した場合を上回る年度が見られる。テレビに関しては、2010年度前後に見られた地上波アナログ方法終了（とエコポイント制度の実施）の影響と考えられる平均使用年数の一次的な短期化により、2009-2011年度において実際の販売台数が大きく増加し、平均使用年数を2000年度の値で固定した場合を大きく上回っている（1.5倍から3.1倍）。ただし、表-2.28に整理したように、2000-2017年度の累計ではいずれの品目も平均使用年数の全体的な長期化により新製品の需要削減効果が見られている。分析を行った6品目については、2000-2017年度において平均使用年数が約1~3年長期化しており、これによって累計で6%~51%の新製品の需要削減効果が見られている。平均使用年数の延長の程度は平均使用年数の絶対値にも影響されるので、2000年度の平均使用年数に対する伸び率で見てみると、10%の平均使用年数の延長で2%~10%の新製品の需要削減効果が見られるという結果となった。

以上で示したように、耐久消費財の寿命データを経年的に把握することで、長期使用による新製品の需要削減効果の分析が可能となる。その結果に基づいて新たな資源投入量を計算することで、耐久消費財を対象としたストックの長期使用による資源効率向上の効果分析が可能となる。

表-2.28 2000-2017年度における平均使用年数の長期化による新製品の需要削減効果の分析結果

	2000-2017年度の平均使用年数の変化	2000-2017年度の累計販売台数（万台）		
		実際	平均使用年数が2000年度以降変化しなかった場合	削減効果 (カッコ内は削減率)
冷蔵庫	11.6 → 14.5 (+2.9)	77	94	-18 (-19%)
洗濯機	10.3 → 11.9 (+1.6)	82	94	-12 (-13%)
エアコン	14.8 → 16.5 (+1.7)	140	156	-16 (-10%)
テレビ	10.2 → 11.2 (+1.0)	171	182	-12 (-6%)
携帯電話 (スマートフォン含む)	1.3 → 4.2 (+2.9)	754	1,546	-792 (-51%)
乗用車	10.9 → 14.0 (+3.1)	80	100	-20 (-20%)

#### ＜引用文献＞

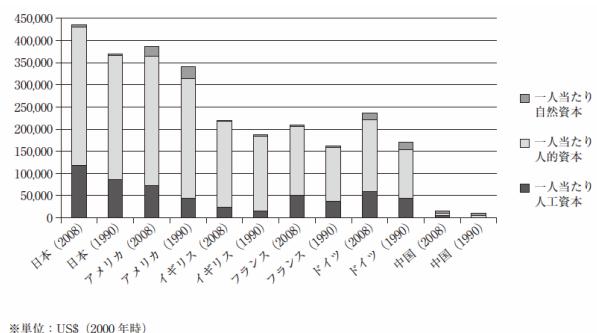
- 第Ⅲ期環境経済の政策研究「我が国に蓄積されている資源のストックに関する調査・検討」, 2018.  
 小口正弘、亀屋隆志、田崎智宏、玉井伸明、谷川昇：電気・電子製品23品目の使用年数分布と使用済み台数の推計、廃棄物学会論文誌、17(1)、50-60, 2006.  
 Oguchi, M., Fuse, M. : Regional and longitudinal estimation of product lifespan distribution: A case study for automobiles and a simplified estimation method, Environmental Science and Technology, 49, 1738-1743, 2016.

## (2)-② ストックあたりのサービス発生量

### i) 物質ストックの機能の指標化

持続可能な発展を実現していく上で、その「豊かさ」を測る指標の作成は非常に重要である。豊かさの指標としてGDPや所得が多く用いられてきたが、豊かさの持続性の判定を行うことについて着目すれば、フロー指標だけではなく、ストックとしての豊かさの視点も重視されてきている。経済理論によって、自然資本や人工資本といったストックの観点から評価し指標化する枠組みが構築されてきた。現代世代と将来世代で、個人の幸福を維持するということを、社会中に存在している富の総量と結びつけたものが資本アプローチである（World bank 2006; Ruta and Hamilton 2007）。ここで指す資本とは、人工資本、自然資本、人的資本、社会関係資本の4つからなるものとすることが一般的である（Ekins et al. 2008）。この資本アプローチの考え方において、「持続可能な発展」とは、「一人当たりの富の量が時間とともに減少しないこと」と考えることができる（諸富 2015）。

経済学的には、これらは一般的に、貨幣価値による評価を重みづけし加算することで「富の総量」を判定しており、代表的な指標としては Inclusive Wealth Index (IWI)として開発されている（小針 2013）。図-2.39 に、IWI によって評価した場合の各国の一人当たりにおける富の総量を示す。資本アプローチでは、社会中に蓄積されている物質（物質ストック）を人工資本として認識して評価されており、図-2.39 のようにわが国は有数の人工資本保有国であることがわかる。



※単位：US\$ (2000 年時)

図-2.39 IWI による各国資本の貨幣評価値

富の総量を、貨幣価値基準で積算するという評価方法に用いられる考え方には、資本間は貨幣価値的側面において代替性があり、ある資本が貨幣価値的に失われても、別の資本が貨幣価値的に増加することで補完し、全体として増加傾向にあるならば、持続的な発展を維持しているという考え方である。しかし、この関係が不可逆的な場合、例えば、自然資本が修復不可能なほどにまで消費し尽くされた場合、自然資本とのやりとりによって得られる人工資本の価値を持続的に増加させていくことは難しい。あるいは、物理的な機能を考えると、科学技術によって材料や製品は常に高機能化してきており、同じ貨幣価値によって小さな天然資源消費によって大きな機能を提供できるようになってきている。

それぞれの資本の貨幣価値と、人々がそれぞれの資本から得られる「真の豊かさ」の関係性も興味の的であるが、その把握も困難である。貨幣価値として計測された富の総量を、「豊かさ」の指標とするために、主観的幸福と結びつけ、それらの相関関係を見出す研究（Engelbrecht 2008）など試みられてきたほか貨幣価値としてではなく、資本の「豊かさ」をとらえ、指標化する試みも行われてきている。他に、Meadows (1998) は、今までのUNCSD (1996) や他の国際的な組織 (OECD 1993) が用いてきた

「pressure-state-impact-response」モデル、「エコロジカルフットプリント」(Wackernagle and Rees 1996)、世界銀行によって開発された指標「four capitals」(Sergeldin, 1996) や「genuine savings」(World Bank 1973) が有効ではあるものの、一部の重要な側面しかとらえられおらず、全体を見通した概念が必要と考え、その 20 年以上前に Herman Daly (1973) によって描かれた図を基に、根本手段から根本目的までの階層構造を図-2. 40 のように提案した。

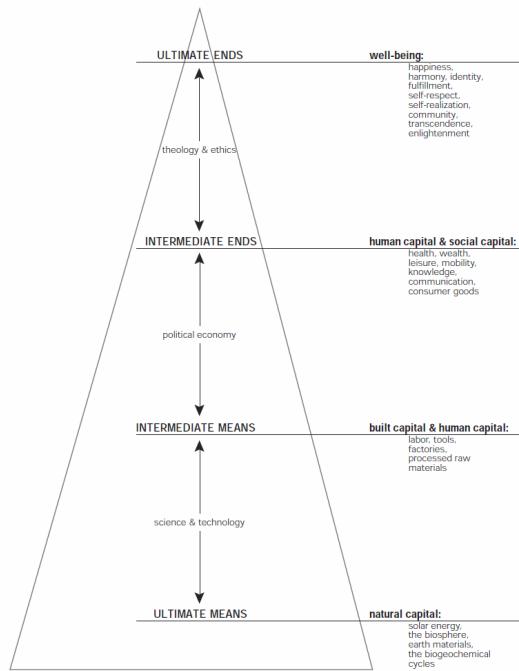


図-2. 40 根本手段から根本目的までの階層構造 (Meadows 1998)

人間は、その行動の「根本目的 (ultimate ends)」として、well-being、すなわち豊かさを追求している。その究極的目的を達成するがために、「中間目的 (intermediate ends)」社会関係資本 (social capital) や人的資本 (human capital) が存在する。さらにその「中間手段 (intermediate means)」として、人工資本 (built capital) が存在し、その「根本手段 (ultimate means)」となりうるのが、自然資本 (natural capital) であると述べている。これら資本間のやり取りは、様々な考え方に基づいているが、根本手段である自然資本は技術によって中間手段に変換され、中間手段は政治経済の関心事であり、中間目的を政府が約束し、経済が提供しようとする。

ここで、中間手段と中間目的にはその下の階層から得られる機能と、その上の階層へ提供する機能があると考えられる。つまり、中間手段と中間目的では、下の階層から得た機能を用いることで、異なる機能を上の階層へ提供するという作用があると考えられる。翻って本研究で対象とする物質ストックの評価を考えると、「中間手段に提供される側から評価した機能」と、「中間手段から提供する側から評価した機能」があると考えられる。中間手段に提供される側から評価した機能は、自然資本として存在する天然資源から質量を伴った物質と一部質量を伴わない再生可能エネルギーの提供を受けることで可能となる。このように考えると、物質ストックをその重量で計測してきた従来の economy-wide materials flow analysis (EW-MFA) に基づいた物質ストック勘定は、人工資本としての物質ストックを「中間手段

に提供される側から評価した機能」として評価していると整理できる。一方、その自然資本から採取された資源に対するプロセスを考えると、材料として生産され、他素材と組み合わされ部品となり、複数の部品が組み合わされ最終製品となり、社会から要求される機能を提供している (Daigo et al. 2014)。例えば、資源そのものは多くの場合、我々が必要とする機能を有している訳ではない。碎石などといわゆる充填材（フィラー）としての路盤材などに用いられる場合や、木材などが家屋の柱や梁として用いられる場合は、物質として化学的な変化は与えないものの、その粒度や形状が調製されることを考えると、それらの場合においても必要とする機能を有する材料として生産されると言えよう。材料として、構造材を例に取ると、構造材に要求される最も重要な機能は強度であるが、構造材を使用する最終製品が社会から要求される機能は強度ではないことがほとんどである。例えば、自動車のホワイトボディは構造部であるため、それを構成する素材には部分によって適切な強度が必要とされるが、最終製品である自動車が社会から要求される機能は、輸送である。上述の例のように、自然資本として存在する天然資源を最初に人工物として人間が必要とする機能を有する物質に変換するプロセスは材料生産である。材料に求められる機能は、その材料が構成される部品や製品の設計に依存する。このように考えると、自然資本と人工資本の間のやり取りの規範が科学技術であることは説得性を持つ。

他方、「中間手段から提供する側から評価した機能」は、先の例で自動車が輸送という機能を提供するとみることができよう。では、その提供される先である「中間目的 (intermediate ends)」からみた提供される機能との関係を考えると、世の中の全ての自動車が人工資本として存在しているものの、存在している時間のうち使用されている期間は5%とも言われている。つまり、提供された機能の最大ポテンシャルのうち、その一部しか機能を果たしていないことになる。自動車では、カーシェアシステムによって稼働率が上ると考えられており、このようなシェアリングエコノミーなどの経済システムによって提供された機能のポテンシャルのうち実際に果たされる機能は変わり得る。同様に、住宅では近年空家が社会的に問題になっているが、これも既存の住宅が提供するポテンシャルの一部が、機能として果たされていない。こちらは、政策などの社会システムによって、そのポンティシャルをなるべく果たしきることが望まれている。このように、中間手段から中間目的への機能の提供は、政治経済によって左右されることも説得性を持つ。

Meadows (1998) は、それぞれの資本間の関係ならびに豊かさとの関係を明示したことによって、持続可能な開発へ向けて、「もし全ての well-being とそれに必要な自然からの搾取量が評価できると仮定するなら、持続可能な開発の中心的な問題に答えることのできる 3 つの指標に近づくことができる」と述べている。なお、3 つの指標とは、

- ①人々は裕福で、満たされ、幸せか？（充足と公平—最上階層）、
- ②最も小さな物質・エネルギー供給で最も可能な well-being が達成されているか？（効率—階層構造の底辺から頂点までの変換機構の）、
- ③物質・エネルギー供給を支える自然界は健全で頑健で完全な進化可能性を有しているか？（持続可能性—最下階層）

である。さらに、これら 3 つの指標から得られる情報システムは全てのレベルでの資本ストックと増減しそれらストックとも関連する様々なフロー量を計量することになる。図-2.41 に Meadows が示したように、人工資本としてのフローやストックは、それぞれに関連している。

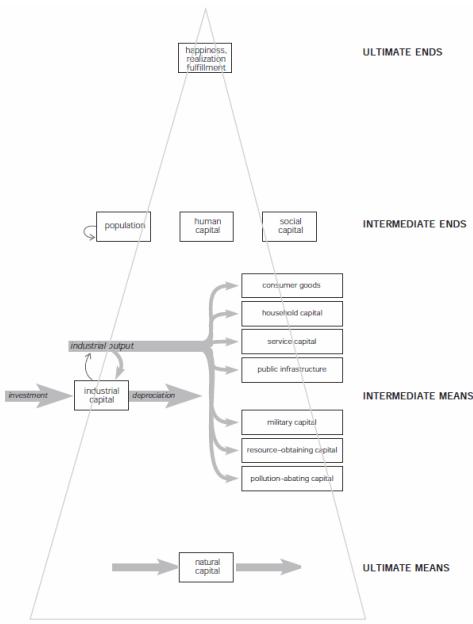


図-2.41 階層構造における資本のストック・フローと  
人工資本のフローとストックの関連性に関する概略図 (Meadows 1998)

資本間の関連や、指標となり得るフロー量やストック量の間の関係性、あるいはそれらの関連する主体について、国立環境研究所社会環境システム研究センターでは、図-2.42 のようにまとめられています。しかし、ここでのフロー量等の指標のほとんどが経済的あるいは社会的な数量であり、一部、自然資本に資源量が観察されるのみである。その意味で、本研究の主題とする物質ストックを通した整理が必要である。

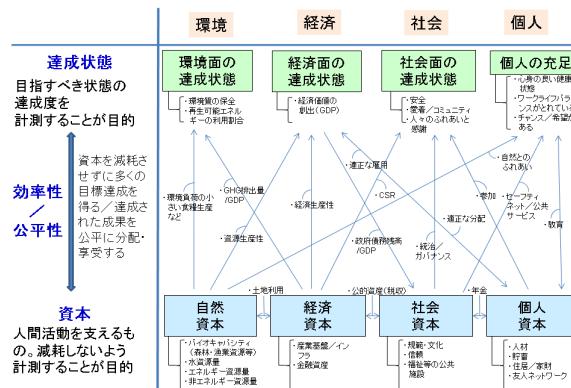


図-2.42 関連性を計測する持続可能な発展の指標体系 (国立環境研究所 2019)

栗島らは、well-being を生み出す要素としての社会関係資本の一部として、人工ストックとの名称にて、物質ストックとしての人工資本に言及している (図-2.43)。しかしながら、人口ストックに関連する既存指標としては、建築物延床面積、道路延長、管路延長の 3 つしか挙げておらず、物質ストックとしての人工資本が今まで、あまりに計量されてこなかったことがわかる。

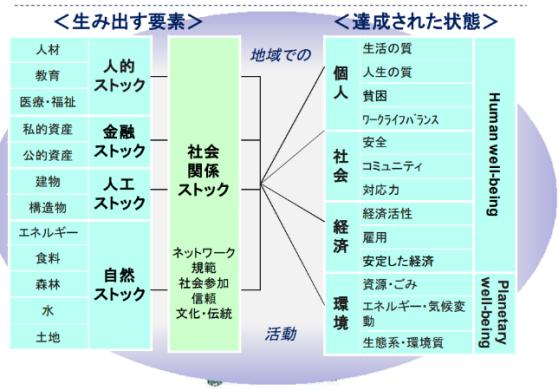


図-2.43 ストックに配慮した指標体系・指標群（栗島ら 2015）

物質ストックならびに、そのライフサイクルの観点から整理すると、自然資本から物質と再生可能エネルギーが提供され、科学技術による制約があるものの、提供された物質と再生可能エネルギーを用いて材料、部品、最終製品を生産することで人工資本を形成する（図-2.44）。次に、それら人工資本としての最終製品やインフラを社会資本として中間手段から中間目的へ機能を提供し、人的資本や社会関係資本の形成に寄与しているとみるとみることができよう。ここで、翻って物質ストックの機能の指標化においては、いくつかの目的と指標の可能性が考えられる。図-2.44 の各要素に付した番号と対応付けて表-2.29 にて機能量をそれぞれの階層にて区分し、各階層における機能の指標例を記した。

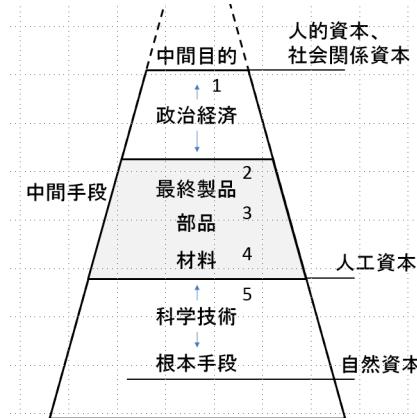


図-2.44 物質ストックならびにライフサイクルの観点から  
階層構造における中間手段を詳述した概念図

表-2.29 異なる階層の機能量と各階層における指標例

機能量の種類	指標例
1. 人工資本から中間目的 への提供機能量	<人輸送機能>人キロ（フロー指標） <貨物輸送機能>トンキロ（フロー指標） <居住機能>居住中住宅床面積（ストック指標）
2. 人工資本の提供機能量 (製品ベース)	<エネルギー・動力>発電容量（フロー指標） <輸送機能>交通容量（フロー指標） <通信機能>通信情報容量（フロー指標） <輸送機能>自動車保有台数（ストック指標） <居住機能>住宅延床面積（ストック指標） <通信機能>通信ケーブル総延長（ストック指標）
3. 人工資本の提供機能量 (部品ベース)	<照明機能>照明容量（フロー指標） <蓄電機能>電池容量（ストック指標）
4. 人工資本の提供機能量 (材料ベース)	<構造機能>摺動可能回数（フロー指標） <構造機能>破断までに吸収可能なエネルギー量（ストック指標）
5. 自然資本から人工資本 への提供機能量	資源採掘量（フロー指標） 累積採掘量（ストック指標）

これら指標の位置づけや計量可能性とは別に、その指標の有用性を考える必要があろう。貨幣価値による評価であれば、計量されたものは全て合算することが可能であるものの、表-2.29のような指標例では、「人工資本の提供機能量（製品ベース）」で示した例の単位は上から順に、kW、台/時、bps、台、m<sup>2</sup>、kmとなり2つとして同じものがないほど多様である。これは提供される機能の種類が異なるため、これら指標が持つ単位も異なると考えられる。先の例では、発電所、道路、通信設備、自動車、建築物、通信ケーブルと、それぞれの機能を発現する製品も異なっている。また、通信ケーブルは通信設備のうちの1つでもあり、1つの部品や最終製品から提供される機能が1つではないこともある。一方、同じ機能を有する製品が複数ある場合もあり、例えば「人工資本から中間目的への提供機能量」で事例として挙げた人キロの人輸送機能は、「人工資本の提供機能量（製品ベース）」では自動車、鉄道、航空機等の様々な輸送モードを積算することとなる。

図-2.41での整理のように、産業における設備やインフラなどの物質ストックは、それが製品の生産に寄与するため、自動車や家電などの家庭の中にある物質ストックの生産（フロー）が設備やインフラなどのストックによって影響を受ける。これらの関係を少し考えてみよう。中間手段の中にもフロー量とストック量があることが分かっているので、それらを区別しつつ、表-2.29にて「人工資本から中間目的への提供機能量」の事例として挙げた3つの中間目的に関連して、網羅はしていないものの関係する中間手段との関係性を図-2.45に記した。図には明示していないものの、鉄鋼材生産量のライフサイクルの上流にあるプロセスを考えると、その生産にともなう鉄鉱石や石炭といった天然資源の消費、あるいは碎石採掘量が自然資本からの提供量であり、このような図示に伴って人工資本と自然資本との関係性も明確になると考えられる。

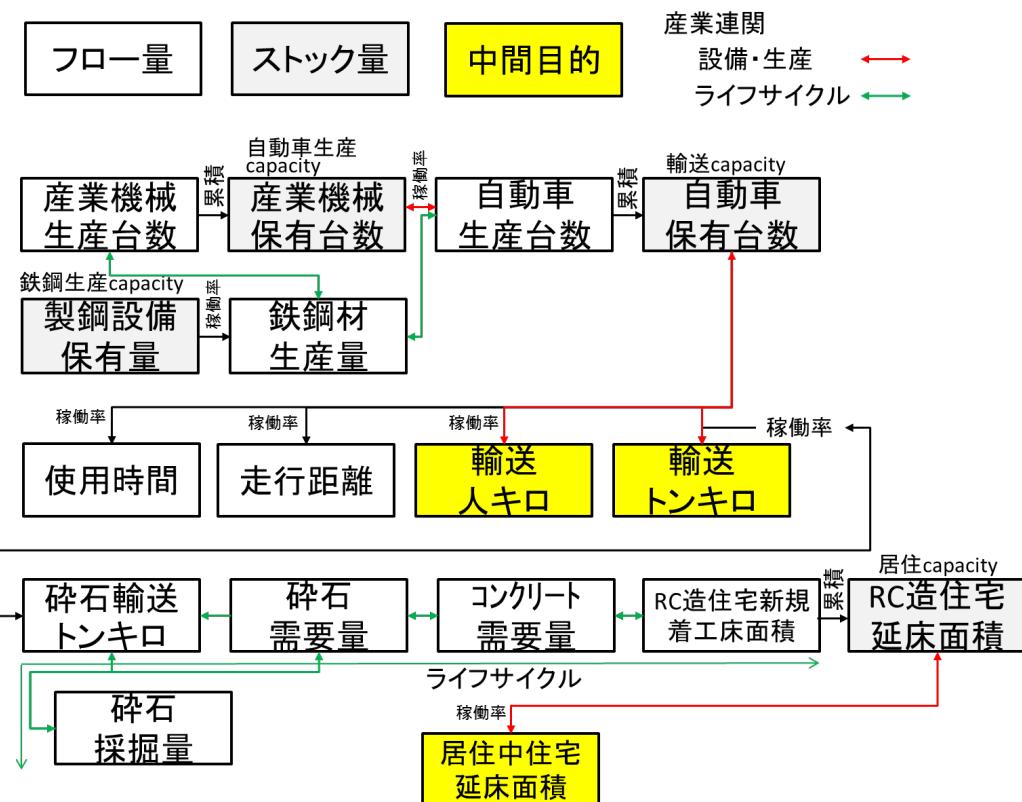


図-2.45 自動車保有台数を例に、関連するフロー量とストック量の相関を記した概略図

ここで、いくつかのフロー量とストック量の異なる関係性が見られた。1つには、生産数に対する、生産の結果、累積された保有数である。実際の数量としては、保有数から廃棄数を除する必要があるものの、耐久財であれば、原則としてフロー量を観測することでストック量が観測されるこの関係性が成り立つ。これは、動的マテリアルフロー分析の考えに通じる。一方、実際の現象としては必ずフロー量の結果としてのストック量であり、計量容易性という観点ではフロー量を計量することが多いと考えられるものの、その保有量の不足や保有物の更新から、生産が要求されることもある。これは、「ストック駆動モデル」による素材の将来需要推計にて用いられている関係である (Hatayama et al. 2010)。特に、保有数が飽和した社会では、その更新が需要を律すると考えられる。その場合は、その物質ストックの耐用年数が必要量を決定するとも言える。長寿命化することにより更新頻度が低下し、生産数、廃棄数も少なくなる。その意味で、ストック型の社会における製品寿命は重要なパラメータであると言えよう。

2つ目に、設備と生産の関係があり、設備が有する生産容量 (capacity) に対する、実生産量がストック量とフロー量の関係となる。ここでは、実際の現象として容量以上に生産できないことから、ストック量がフロー量を律している。また容量に対する生産量は稼働率と言える。一方、先と同様に、実際の現象とは別に、増産するために生産設備を拡充する関係性もあり得る。

ここで、一般に設備とは他の「中間手段」である物質ストックとなるものを生産するための物質ストックであるものの、最終製品もその物質ストックが「中間目的」の設備・インフラとなるように考えら

れる。自動車保有台数が、人キロやトンキロという輸送サービスを律することは明らかである。このようにストック量は、多くの場合 capacity としての機能を有していると考えることもできる。発現できる ready の状態で「いる (being)」ことも、何かを作用する (doing) と同じように機能であると考えることもできる。例えば、電力需要は負荷変動するが、それが変動して大きくなつたときに供給する発電設備の稼働率は低いものの、それがないとシステムとして破たんすることになる。

フロー量どうしの主要な関係として、ライフサイクルの関係が考えられた。ライフサイクルの関係も設備における産品の生産と需要の関係も、それら産業間における中間取引の関係であり、産業連関表にも記述されている。そのため、ライフサイクルアセスメント (LCA) では産業連関表に基づいた産業連関法があるとも言える。さて、この産業間の取引に記述されていない関係が図＊－8には多く記載されており、それが設備と生産の関係である。これは、ある産業の内部における設備の稼働に関する状況であり、取引関係ではないため経済活動としては観測されないためと考えられる。また、生産量と保有量の関係も、登録制度のある自動車と建築物以外では社会として把握されることではなく、物質ストックとは異なるものの企業会計において企業の保有財産において考慮される程度である。

ここまでを小括すると、物質ストックに関する分析において、今まで社会で観測されていなかった関係として、設備やインフラの稼働率、物質ストックとしての社会での保有数などを把握することが、新規性が高いことがわかった。

持続可能な発展、資源循環型社会との関係性においては、それら指標が天然資源消費にどのように影響するかが 1 つの重要な関心事である。資源消費との関係においては、材料生産の階層が欠かせない。さて、ここで材料と部品や製品との関係を整理すると、多くの場合、複数の材料の提供する機能を部品や製品として統合することで、それらのどれとも異なる機能を部品や製品として提供することになる。例えば、電磁特性を有する珪素鋼板と電気伝導性を有する銅線を組み合わせることで、電力を動力に変換する機能を有する装置としてモータという部品がある。あるいは、構造材としての鉄鋼材やコンクリートが提供する機能は強度である。それに対して、それらを構成材料とする RC 造の建築物が提供する機能は強度ではなく、居住空間となる。

1990 年代に Schmidt-Bleek (1997) は、脱物質化に向けて 4 倍の資源利用効率を、さらには 10 倍の資源利用効率を目指すべきとのコンセプトを発表した。その資源効率を計量する指標として、製品の提供するサービスあたりの資源強度という MIPS (Material Intensity per Service) という指標を提案した。一方、物質科学的観点からは、物質は消費時点（つまり素材メーカーが販売しセットメーカーが購買する時）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。これは、電力が消費時に照明や熱として機能を発現するのとは大きく異なる。

Schmidt-Bleek は、資源の使用を考えたが、その後の MFA 研究の進捗や上述のような整理から、耐久消費財や建築構造物のような最終製品においては、物質ストック量が資源の使用量となることが分かる。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。この資源利用効率の向上に向けて、先述のような自動車稼働率や住宅稼働率のように社会システムの変革による方策と、材料の提供する機能の向上によって使用する素材量が減少できる可能性がある。これらの方策を区別するために、製品が提供できる可能性のある総機能量をサービスポテ

ンシャルと考え  $Sp$  と定義し、材料の提供する機能量を  $Mfu$  と定義すると MIPS 指標は下式のように分解できる。なお、元来の MIPS のコンセプトにおけるサービスが、実際に製品が稼働することで発現するサービス量を意図していたかどうかは不明確である。

$$MI/S = MI/Mfu \times Mfu/Sp \times Sp/S \quad (2.19)$$

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。次に、右辺の第 2 項は、製品が提供しうるサービス（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。さらに、右辺の第 3 項は、製品が実際に提供したサービス量あたりの製品が提供しうるサービス量であり、稼働率と認識できる。

ここでケーススタディとして、建築物や容器等の「空間を区切る」という製品価値を有した構造体に着目した。構造体の骨格を構成する材料は構造材と呼ばれ、主要な材料機能として強度が要求される。材料機能として、示強変数の強度では加算性がないため、破断するまでに吸収できるエネルギー量を加算性のある機械的機能量（単位：J）とした。サービス量には区切られた空間を用いた。そのため、ここでサービスとは上述の  $Sp$  であり提供しうるサービス量である。建築物については構造別（木造、SRC 造、RC 造、S 造、CB 造）に、冷蔵庫、乗用車、飲料缶を評価し、空間あたりの機械的機能量を比較した（図-2.46）。ただし、引張強度と圧縮強度では荷重の印加方向が反対ではあるものの、簡便のためこれらは区別せずに加算した。物質ストックの提供する機械的機能量ではなく、物質ストックの質量を分子とした場合の結果も図-2.47 に示す。建物については構造による違いは質量も機械的機能量も相対的に違いは見られなかった。一方、飲料缶と乗用車は質量に比べて機械的機能量は大きくなった。乗用車は、安全という機能を付加するためであり、飲料缶は軽量化による輸送効率の効果が大きいためであると考えられた。それに対し、構造物や冷蔵庫は移動することなく、そのようなインセンティブや要請があまりないためと考えられた。つまり、資源利用効率の向上に対して、向上のノリシロはあると言えよう。

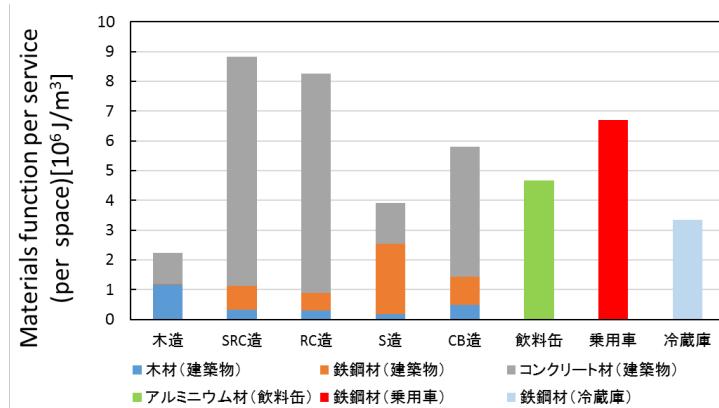


図-2.46 「空間を区切る」サービスを提供する各種製品の区切られた空間あたりの物質ストックとしての構造材の機械的機能量（構成する素材別の積算）

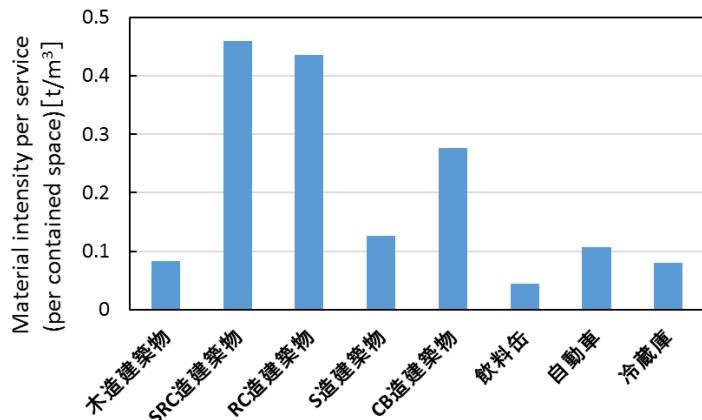


図-2.47 「空間を区切る」サービスを提供する各種製品の区切られた空間あたりの物質ストック質量

最後に、第1項の材料機能の時系列での変化としてコンクリートの比強度 (strength - to - weight ratio, strength/weight ratio) を図-2.48に示した。材料技術は進歩しており、高機能材料が開発され上市されてきているものの、実際に建築物に用いられる汎用材の平均的な強度はあまり変わっていないとも言える。高機能材料の多くは、新しい用途に向けての高機能材の開発が多く、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。また、そのような高機能材を汎用用途にて使うことを促進する仕組みづくりが政策として必要であろう。

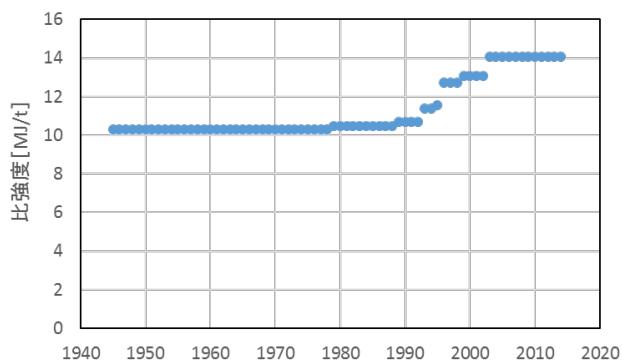


図-2.48 上市されているコンクリートの平均比強度の推移

<参考文献>

- World Bank, "Where is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century," World Bank, 2006.
- G. Ruta, Kirk Hamilton, "The Capital Approach to Sustainability," Handbook of Sustainable Development, 2007.
- P. Ekins, S. Dresner , K. Dahlström, "The Four-Capital Method of Sustainable Development Evaluation," European Environment, 18, 2008.
- 諸富徹, “平成 26 年度 環境経済の政策研究政策展開・評価型の持続的発展指標開発とそれに必要な統計情報の強化に関する研究 最終研究報告書,” 環境省, 2015.
- 小針泰介, “持続可能性指標による国際比較,” レファレンス 平成 25 年 8 月号, 2013.
- H.-J. Engelbrecht, "Average Subjective Well-Being and the Wealth of Nations: Some Insights Derived From the World Bank's Millennium Capital Assessment," Discussion Paper No. 08.04, 2008.
- D. Meadows, "Indicators and information systems for sustainable development," A report to be the Balaton Group, 42, 1998
- Ichiro Daigo, Kenichi Nakajima, Masaaki Fuse, Eiji Yamasue, Koichi Yagi: Sustainable materials management on the basis of The relationship between materials' properties and human needs. *Matériaux & Techniques*. 102 (2014), 506 (DOI: 10.1051/matech/2014034)
- United Nations Department for Policy Coordination and Sustainable Development, 1996: "Work programme on Indicators of Sustainable Development of the Commission on Sustainable Development," February 1996
- OECD 1993: "OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Review," OECD Environment Directorate, October 1993.
- M. Wackernagle and W. Rees, 1996: Our Ecological footprint. Philadelphia; New Society Publishing.
- I. Sergeldin, 1996: Sustainability and the Wealth of Nations: First steps in an Ongoing Journey, World Bank Discussion Draft, Second Edition, March 3, 1996
- World Bank, 1973: Monitoring Environmental Progress: A report on work in progress, ESD series, 1995
- H. E. Daly, Toward a steady-state economy. San Francisco; W. H. Freeman and Company, 1973. P.8.
- Hatayama H. EST 2010
- 国立環境研究所 社会環境システム研究センター ホームページ (2019)  
<http://www.nies.go.jp/social/japansdi/method/framework.html>
- 栗島英明、中口毅博、遠藤はる奈、松橋啓介、田崎智宏、竹内恒夫、松野正太郎、倉阪秀史、中谷隼 (2015) 地域内外の影響を考慮した環境・経済・社会の評価指標と測定手法の開発、最終研究報告書、環境経済の政策研究。 [http://www.env.go.jp/policy/keizai\\_portal/F\\_research/4Presen.pdf#page=10](http://www.env.go.jp/policy/keizai_portal/F_research/4Presen.pdf#page=10)
- Friedrich Schmidt-Bleek, 佐々木 建 (翻訳) 1997: 「ファクター10—エコ効率革命を実現する」 シュプリンガー・フェアラーク東京, pp.373

## ii) 二次資源としての供給可能量

白金族金属(Platinum-Group-Metals: PGM)はPt、Pd、Rh、Ir、Ru、Osの6元素の総称であり、これらの元素の多くが化学的に安定で、高融点、高強度、特異な触媒性を有することから自動車の排ガス処理触媒、窯業のるつぼ、化学・石油工場のプロセス触媒といった工業用品のほか、宝飾品など多くの用途で利用されている。特に自動車の排ガス処理触媒では、排ガス中の環境汚染物質の浄化において重要な役割を担っている。また昨今、次世代のエネルギー源として注目を集めている燃料電池には、反応触媒としてPGMを用いる必要があるため、今後、需要が大幅に増加する可能性がある。しかしながらPGMは、その不安定な供給が指摘されている。特に、鉱石産出国の偏在は深刻な問題であり、上位2カ国の中アフリカとロシアで約8割が生産されている。そのため、過去には南アフリカにおけるストライキによりPGMの供給量が急減したことがあり、供給リスクが大きい物質である。また、鉱石中の濃度が低いために、生産段階でのエネルギー消費やTotal Material Requirement (TMR)も大きい。こうした理由から、PGMのリサイクルを促進することが重要であり、利用可能な二次資源量を把握しておく必要がある。本研究では、PGM需要量の大きい欧州、日本、米国を対象として、製品としてのPGMの蓄積量を推計するとともに、そのうち経済的に回収可能な量である二次埋蔵量の評価を行った。さらに、Hashimoto et al. (2008、2018)が提案する二次資源の類型表を用いて、二次PGM資源の類型を行った。

ここでは、PGMのうち特に需要量が大きく、最終製品のデータが存在するPt、Pd、Rhを対象に検討を行った。また、対象製品は自動車用触媒、電子材、化学、ガラス、歯科、宝飾品、医療、石油、他の9分野、対象年は1980年から2015年とした。対象地域は世界のPGM需要の約6割を占める欧州、日本、米国の3地域とした。なお、欧州はEU-25、ノルウェー、スイスとした。

表-4.30にHashimoto et al. (2008、2018)が提案する二次資源の類型表を示す。二次資源は一次資源と同様、その回収の収益性と二次資源に関する知識の2軸により分類することができる。ここで、縦軸の収益性は、二次資源回収の経済性による分類であり、経済的および准経済的な二次資源がリサイクルの対象となる。横軸は、二次資源の存在量に関する知識による分類であり、製品としての存在量は管理された埋立地の廃棄物や散逸した物質としての存在量よりも知識が豊富であることを示している。

本研究では、収益性が高く存在知識も比較的多い製品の二次埋蔵量および准二次埋蔵量の合計量を二次資源の埋蔵量（二次埋蔵量）として推計した。なお、用いた手法の制約から収益性の軸にある「経済的」と「准経済的」、「非経済的」と「その他」をまとめて推計することとした。

表-4.30 二次資源の類型表

	Final products in/after use		Wastes in managed landfill sites	Dissipated materials
	Emerging in a year	Not emerging in a year		
Economic	Secondary reserves in a year	Secondary reserves in future	(Secondary reserves)	(Secondary reserves)
Marginally economic	Marginal secondary reserves in a year	Marginal secondary reserves in future	(Marginal secondary reserves)	(Marginal secondary reserves)
Sub-economic	Sub-economic secondary resources in a year	Sub-economic secondary resources in future	(Sub-economic secondary resources)	Sub-economic secondary resources
Other	Unrecoverable materials (other)	Unrecoverable materials (other)	(Unrecoverable materials (other))	(Unrecoverable materials (other))

二次PGM資源の類型を行うにあたり、PGMの対象製品ごとの蓄積量および老廃スクラップ発生量を以下の式で推計した。

$$S(t, a) = \sum_i \sum_a (U(i, a) \times R(t-i, a)) \quad (2.20)$$

$$GSEOL(t, a) = \sum_i \sum_a (U(i, a) \times f(t-i, a)) \quad (2.21)$$

ここで、 $S(t, a)$ はt年における対象製品aとしてのPGMの蓄積量(t)、 $GSEOL(t, a)$ はt年における対象製品aとしてのPGMの老廃スクラップ発生量(t/y)、 $U(i, a)$ はi年における対象製品aとしての利用量(t/y)、 $R(y, a)$ はy年後における対象製品aの残存率(-)、 $f(y, a)$ はy年後における対象製品aの廃棄率(-)である。 $U(i, a)$ については、以下の式で算出した。

$$U(i, a) = D(i, a) \times YR(a) + IM(i, a) - EX(i, a) \quad (2.22)$$

ここで、 $D(i, a)$ はi年における対象製品a生産用のPGM需要量(t/y)、 $YR(a)$ は対象製品aとしての歩留り率(-)、 $IM(i, a)$ はi年における対象製品aとしてのPGMの輸入量(t/y)、 $EX(i, a)$ はi年における対象製品aとしてのPGMの輸出量(t/y)である。また、 $R(y, a)$ 、 $f(y, a)$ は以下の式で表される。

$$R(y, a) = \exp [-(y/Y(a))b \times \{\Gamma(I + 1/b)b\}] \quad (2.23)$$

$$f(y, a) = R(y-1, a) - R(y, a) \quad (2.24)$$

ここで、 $Y(a)$ は製品aの平均使用年数(年)、 $\Gamma$ はガンマ関数、 $b$ は分布の幅を表すパラメータである。

Fig.1のFinal products in/after useの列の類型は、以下の式で算出した。

$$SR(t) = \sum_a (S(t, a) \times SRR(a)) \quad (2.25)$$

$$SRe(t) = \sum_a (GSEOL(t, a) \times (1 - DR(t, a)) \times SRR(a)) \quad (2.26)$$

$$SRn(t) = SR(t) - SRe(t) \quad (2.27)$$

$$SSRe(t) = \sum_a (GSEOL(t, a) \times (1 - DR(t, a))) - SRe(t) \quad (2.28)$$

$$SSRn(t) = \sum_a S(t, a) - SR(t) - SSRe(t) \quad (2.29)$$

ここで、 $SR(t)$ は $t$ 年における二次埋蔵量と准二次埋蔵量の合計( $t$ )、 $SSR(t)$ は $t$ 年における非経済的二次資源と回収不可能な二次資源の合計( $t$ )であり、添え字 $e$ は1年以内に発生することを、 $n$ は1年以内に発生しないことをそれぞれ表している。また、 $SRR(a)$ は対象製品 $a$ の二次埋蔵率(-)、 $DR(t, a)$ は $t$ 年における対象製品 $a$ としての散逸割合(-)である。なお、散逸は主に製品の使用段階で発生するが、本研究では計算を容易にするため上式のとおり廃棄段階で設定した。

表-4.30 の Wastes in managed landfill sites、Dissipated materials の列の類型は、以下の式で算出した。

$$WL(t) = \sum t \sum a (GSEOL(t, a) \times (1 - DR(t, a)) \times (1 - SRR(a))) \quad (2.30)$$

$$DM(t) = \sum t \sum a (GSEOL(t, a) \times DR(t, a)) \quad (2.31)$$

ここで、 $WL(t)$ は $t$ 年までに管理された埋立地に蓄積された廃棄物量( $t$ )、 $DM(t)$ は $t$ 年までに散逸した物質量( $t$ )である。なお、本研究では散逸した物質を除いた未回収スクラップは全て管理された埋立地の廃棄物となるものとした。

各地域の二次PGM埋蔵量の推計結果を図-2.49、各地域の対象製品別1人当たりの二次PGM埋蔵量の推計結果を図-2.50に示す。

図-2.49に示すように、2015年における3地域の二次PGM埋蔵量は欧州で1442トン、日本で1450トン、米国で1839トンと推計された。これはそれぞれ、2015年における各地域の需要量の約8.4倍、約15倍、約13倍に相当する。また、2015年における3地域合計の二次PGM埋蔵量4731トンは同年の一次PGM埋蔵量66000トン(USGS、2015)の約7.3%に相当すると推計された。

次に、図-2.50に示すように、2015年における1人当たりの二次PGM埋蔵量は欧州で2.8g(Pt: 1.2g、Pd: 1.4g、Rh: 0.2g)、日本で約11g(Pt: 6.9g、Pd: 4.2g、Rh: 0.2g)、米国で約6.0g(Pt: 1.8g、Pd: 3.8g、Rh: 0.4g)と推計され、いずれの地域においても需要量および平均使用年数の大きい用途での二次埋蔵量が大きかった。一方で、その内訳は地域ごとに異なっており、例えば、日本ではPt宝飾品やPd歯科の二次埋蔵量が大きかった。歯科材料については、米国や欧州でセラミック・プラスチック化が進んでいるのに対し、日本ではPd合金材料がJIS規格になっているため、他地域に比べ需要が大きいためである。また、各地域とも二次埋蔵量の大きい自動車用触媒は、1980年代後半から、Ptより安価なPdが主に用いられている。また、ディーゼル自動車には、Pt用触媒がよく使用されることから、ディーゼル自動車の普及率の高い欧州ではPt触媒の二次埋蔵量も大きくなっている。

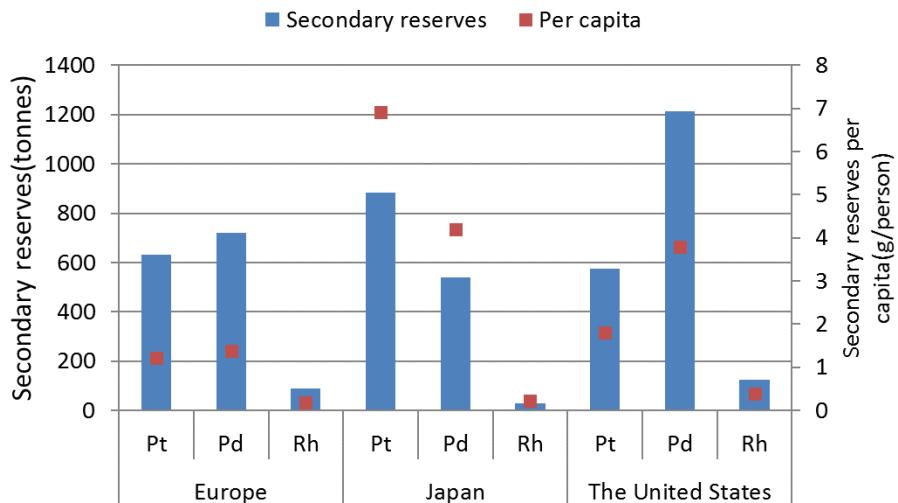


図-2.49 Secondary reserves in 2015

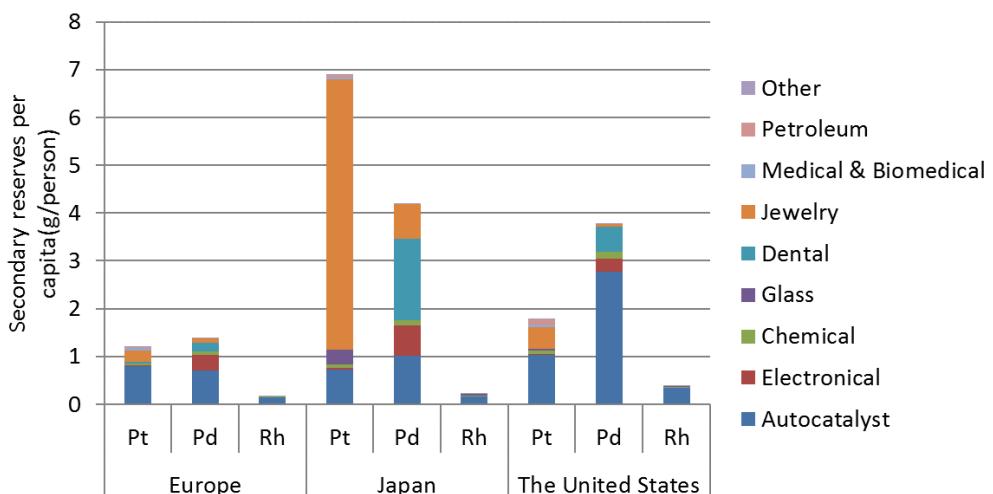


図-2.50 Secondary reserves per capita in 2015

2015年における各地域の二次PGM資源の類型を表-2.31 (a)-(c)に示す。1980年から2015年の間に各地域に投入されたPGM資源の累計量は、欧州で2665トン、日本で2490トン、米国で3442トンであり、このうち二次利用可能な量（二次埋蔵量）はそれぞれ、欧州で1442トン(54.1%)、日本で1450トン(58.2%)、米国で1912トン(55.5%)と推計された。このうち1年内に発生する量は欧州で104トン、日本で69トン、米国で125トンとなり、各地域の需要のそれぞれ61%、69%、82%を二次資源で賄えることが示唆された。これは化学、ガラス、石油などの産業用途ではリサイクルシステムが確立しており、リサイクル率（二次埋蔵率）が非常に大きいためである。一方、使用中の製品のうち二次利用不可能な量は、欧州で626トン(23.5%)、日本で270トン(10.9%)、米国で625トン(18.2%)であった。また、管理された埋立地の廃棄物は、欧州で445トン(16.7%)、日本で597トン(24%)、米国で693トン(20.1%)と推計され、埋立地での蓄積量も一定の割合を占めることが示された、一方、散逸した物質は、欧州で151トン(5.7%)、日本で172トン(6.9%)、米国で212トン(6.2%)と推計された。PGM資源の

散逸の多くは、歯科分野や医療分野におけるもの（義歯が交換されないまま人の死によって散逸するものや薬品の人体への投与によって散逸するもの）であり、今後も回収が困難であると考えられる。管理された埋立地の廃棄物と散逸した物質を合わせて、回収されなかつた PGM 資源はそれぞれ約 22.4%、約 30.9%、約 26.3% となった。

上記のように、比較的多くの PGM 資源が二次利用可能であることが示されたが、今後さらに PGM の利用効率を高めていくには、使用中の製品のうち二次利用不可能な量を減らしていくことが必要であり、埋立地からの回収も検討の余地がある。ここで、自動車用触媒や宝飾品をはじめとする一般消費者向け用途では、中古製品としての輸出や消費者による退蔵があり、本研究ではこれらも二次埋蔵量の中に含めている。特に自動車用触媒は中古自動車や中古部品としての流出量が多いことから、実際に国内でリサイクルされる量は推計された二次埋蔵量より小さくなると考えられる。こうした検討も合わせて行うと、より有益な情報になるものと考えられる。

表-2.31 Classification of secondary PGM resources in (a) Japan,  
 (b) The United States, (c) Europe in 2015

(a) Europe

	Products in/after use		Waste in managed landfill sites	Dissipated materials	Total
	Emerging in a year	Not emerging in a year			
Economic	104t	1338t			
Marginally economic	3. 9%	50. 2%			
Sub-economic	42t	584t	445t	151t	2665t
Others	1. 6%	21. 9%	16. 7%	5. 7%	100%

(b) Japan

	Products in/after use		Waste in managed landfill sites	Dissipated materials	Total
	Emerging in a year	Not emerging in a year			
Economic	69t	1382t			
Marginally economic	2. 8%	55. 5%			
Sub-economic	24t	246t	597t	172t	2490t
Others	1. 0%	9. 9%	24. 0%	6. 9%	100%

(c) The United States

	Products in/after use		Waste in managed landfill sites	Dissipated materials	Total
	Emerging in a year	Not emerging in a year			
Economic	125t	1787t			
Marginally economic	3. 6%	51. 9%			
Sub-economic	46t	579t	693t	212t	3442t
Others	1. 3%	16. 8%	20. 1%	6. 2%	100%

ここでは、欧州、日本、米国の3地域を対象として、製品としてのPGMの蓄積量の推計および二次埋蔵量の評価を行うとともに、二次PGM資源の類型を行った。その結果、2015年における二次PGM埋蔵量は欧州で1442トン、日本で1450トン、米国で1839トンとなり、3地域合計の二次PGM埋蔵量4731トンは世界の一次PGM埋蔵量(66000トン)の約7.3%に相当すると推計された。また、二次PGM資源の類型により、3地域とも社会に投入された累計PGM量のうちの50%以上が二次利用可能であると推計された。

PGMは今後燃料電池材料や自動車用触媒としての需要増加が見込まれているため、製品としての蓄積量も増加すると考えられる。また、需要の増加に伴って、廃棄後に回収されず管理された埋立地に蓄積する量も増えると考えられる。したがって、使用中の製品のうち二次利用不可能な量を減らしていくことが必要であり、埋立地からの回収も検討の余地があると考えられる。

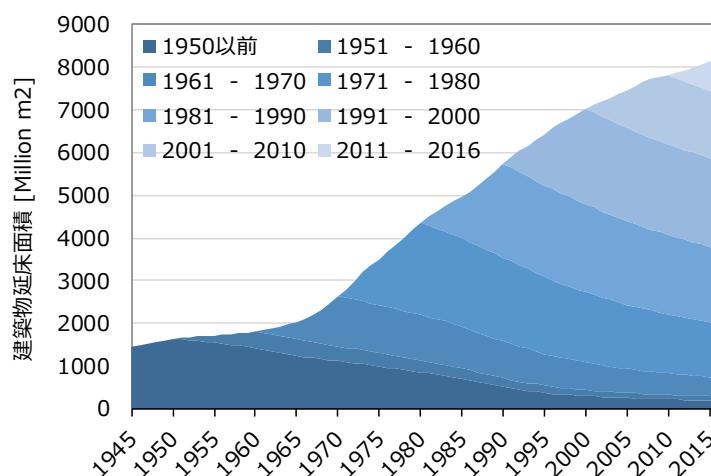
## (2)-③ 稼働率・利用度

本項では、物質ストックデータベースの稼働率・利用度を示す指標として、建築物の利用率を延床面積及び棟数について推計を行った。i)では統計を用いた分析を、ii)ではGISを用いた分析を行った。

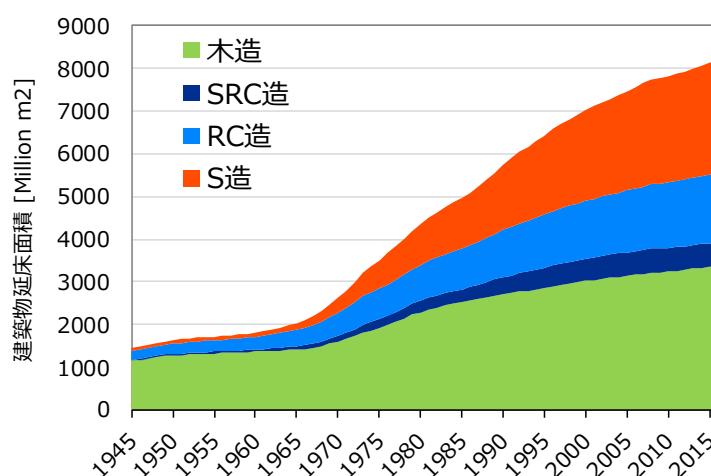
### i) 建築物の延床面積推計による利用度評価

(2)-①で推計された建築物の延床面積は、当該年次における建築物の存在量を示す。他方、国勢調査における世帯ごとの延床面積を合計することで、当該年次の利用されている建築物として、2変数の比率より住宅利用度を推計した。本項では、建築物の延床面積(建築ストックが有する潜在サービス)と利用されている延床面積(実際に提供されたサービス)の比率が住宅利用度を示すとした。

図-2-51に建築物の延床面積を着工年代別、構造種別に示した。



(a) 着工年代別



(b) 構造種別

図-2.51 建築物の延床面積時系列推計結果

次に、推計された延床面積を用いて、住宅の利用度を推計した結果を図2-52に示す。縦軸左側に緑で示した住宅の利用度の推計結果を表示した。住宅利用度は全体としては減少傾向であるが、近年は横ばいである。総務省の空き家率の推移は、1988年で9.4%、1993年で9.8%、1998年で11.5%、2003年で12.2%、2008年で13.1%、2013年で13.5%、と増加の傾向を示しているが、空き家率は戸数の比率のため、規模の実態を示していない。本結果から、縦軸左側に示した世帯当あたり延床面積より増加傾向にある事から、規模の大きい住宅が利用され、規模の小さい住宅が空き家として放置されていることが示唆された。

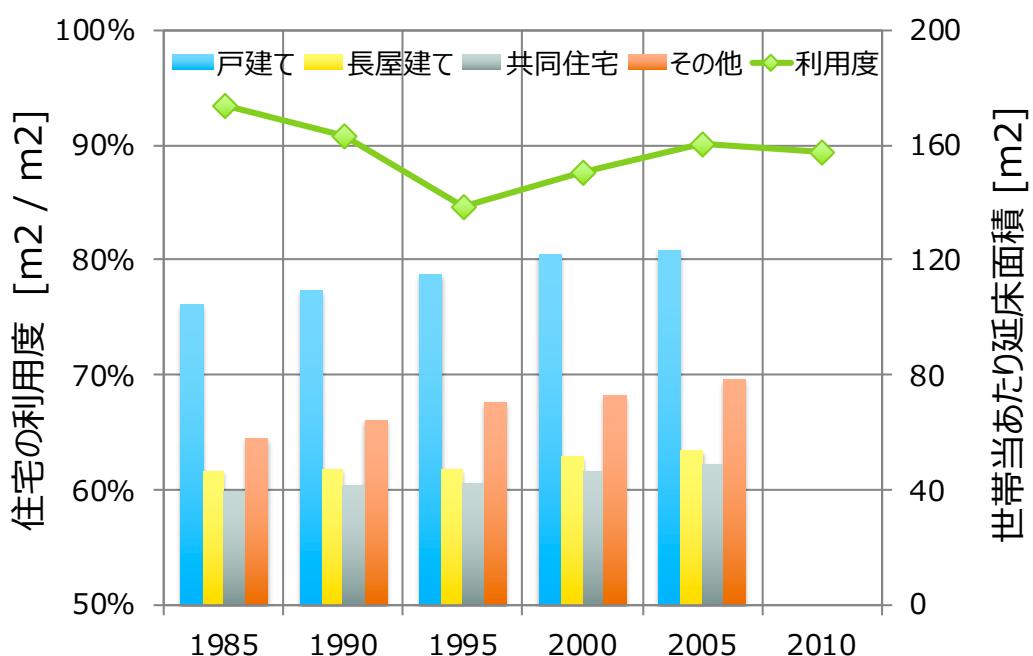


図-2.52 住宅利用度の推移と世帯当あたり延床面積

## ii) 空間情報データベースを用いた空き家の分布

都市において、大量の資源を投入・消費することで発展を遂げると同時に建築物や社会基盤として膨大な量の資源を蓄積してきた。従来のフロー型社会から脱却し、構造物や製品として社会に滞留・蓄積している物質（マテリアルストック）に価値を生み出し、有効活用するストック型社会の形成が必要となる。日本はOECD諸国の中でも少子高齢化が最も進み、人口は減少傾向に転じているにもかかわらず、住宅戸数は増加の一途を辿っている。換言すると、空き家等の「使われない」住宅や「使えない」住宅が増加しており、1988年の約394万棟から2013年の約820万棟に増加し（住宅・土地統計調査3）、約2倍となった。ストック型社会の形成には潜在的な廃棄物となり得る価値が低いストックは適正に処理し、廃棄物発生の抑制を図る必要がある。ストック中の潜在的な廃棄物の量や空間分布を把握することで、適切な廃棄物処理や循環利用の計画がなされ、資源の有効活用及びエネルギー消費の低減につながる。したがって、空き家の空間分布の把握及び要因分析はストック型社会の形成に向けて急務である。

本項では、福岡県北九州市におけるGIS（Geographic Information System / 地理情報システム）を用いて空き家の空間分布の推計及び要因分析を行った。GISとは、空間上の特定の地点又は区域の位置を表す情報（位置情報）を基とした地図データに、様々な事象に関する情報を追加することで、空間的な分析を可能にするシステムである。社会インフラ（道路、上下水道、電気、ガス等）の管理や地震や津波などの自然災害対策、都市計画等の様々な分野において多く利用されている。GISを利用することで、建築物や道路、鉄道、上下水道等の構造物をポリゴンやラインといった形でデータ化し、データに隠された傾向や関係性など、それまで見えなかつた様々な情報を2Dや3D、アニメーションでの可視化が可能である。また、標高や傾斜角度、人口密度等の異なる情報との重ね合わせによって情報の対比をし、関係性の明確化、地図上の位置関係からデータを特定し、定量的な情報の把握が可能である。

空き家に関する既往研究はいくつかあり、対象地域や推計方法の選択、精度は用いる手法に依存する。

総務省統計局による住宅・土地統計調査3)は日本全国を対象に空き家数および空き家率の推計を行った。しかし、推計方法がサンプル調査であるため、結果の精度は低く、空き家の実態とは乖離している部分が多い。したがって、精度の高い空き家数及び空き家率の推計が必要となる。

石河ら（2017）4)は日本全国を対象に国勢調査や住宅・土地統計調査等の統計情報とゼンリンが構築したZmap Town II等のGISデータを用いることで、空き家の詳細地域分布及び将来における空き家分布の推計を行った。空き家分布の推計方法について、Zmap Town IIより抽出した建物ポイントデータの住戸数から国勢調査の世帯数を減じることで空き家数を求めた。ここで、Zmap Town IIでは表札の有無によって「個人の家屋」と「空き部屋」を分類しているため、実際の居住の有無は不明である。アパート等に一人暮らしする学生や社会人で表札を出す者は少なく、「空き部屋」でも実際は居住者がいる可能性は高い。また、空き家の推計に戸建住宅の空き家と集合住宅の空室を区別なく合算して扱っているため、集合住宅において同一建物から多数の空き家が存在することとなり、空き家数を過大に算出していると考えられる。したがって、より精度の高い空き家分布の推計をするためには他の推計方法を用いる必要である。

秋山ら（2018）5)は鹿児島県鹿児島市中心部（約12km<sup>2</sup>）を対象地域とし、戸建住宅の空き家棟数及び空き家率の推計を行った。住民基本台帳情報、建物登記情報及び水道閉栓・停止情報を住宅地図データに空間結合した結果と一部対象地域（戸建住宅約3100棟程度）の現地調査の結果を集計・分析し、空き家分布を推計した。本研究でも水道データを用いており、空き家の特定に水道データの活用は有効であると考えられる。また、北九州市全域（約487km<sup>2</sup>）と鹿児島市中心部の約40倍の広域を対象地域としているため、より精度の高い空き家分布の推計及び要因分析が可能となると考えられる。

本研究の目的は、福岡県北九州市を対象に、空き家の空間分布を推計し、重回帰モデルによって空き家の空間分布に対する影響因子の分析を行う。北九州市全域という広範囲において、水道データ及び現地調査により正確な空き家の空間分布を推計及び精度の高い要因分析が可能となった。また、GISを用いることで詳細地域における分析が可能となった。使用したデータは北九州市の2013年度版水道データ及び北九州市立大学から提供された2017年の北九州市都市計画GISデータである。

#### a) ケーススタディ対象地域

本研究では図-2.53に示す福岡県北九州市をケーススタディ対象地域とした。面積約487km<sup>2</sup>、現在人口約95万人の北九州市は1901年八幡製鉄所の創業とともに発展した北九州工業地域の中心であり、戦後、国の経済復興政策及び高度経済成長期に大きく発達した。1963年の市町村合併により人口が100万人を超える、最大約107万人まで増加したが、近年の少子高齢化の進展により減少傾向にあり、北九州市の高齢化率は全国で1位である。さらに、工業についても、多数の工場等は廃業、撤退を余儀なくされ、市内の工業は衰退したが、今日では、工場跡地の再開発が進んでいる。将来、少子高齢化の影響で日本の他の大都市でも同様な事態に陥ることが予想されるため、北九州市を対象とすることは先駆的といえる。また、北九州市は循環型社会形成を目指したエコタウン事業を行っており、2008年には環境モデル都市にも選定された。

構築した北九州市における3d-GISを図-2.54に示す。図-2.54はケーススタディ対象地域全範囲ではなく、一部（八幡駅周辺）を抜粋したものであり、北九州市全域で3d-GISを構築した。建築物等の詳細情報が格納されたGISを用い、建築物ポリゴンデータについて高さ情報として階数データを用いて平面空間座標に鉛直座標を追加し、2Dから3DのGIS（3d-GIS）として利用した。道路や鉄道についてラインデータとして整備することで利用した。各ポリゴンすなわち建築物には様々な属性データを付加することが可能であり、この機能を利用することで都市を可視化し、都市の性質や空間的分布を分析することが可能となる。



図-2.53 ケーススタディ対象地域（福岡県北九州市）



図-2.54 八幡駅周辺の空間情報表示例

#### b) 空き家の空間分布及び空き家率の推計方法

北九州市における空き家の空間分布及び町丁目別の空き家率の推計を行う。2013年度版水道データによる水道使用状況をもとに、空き家の候補を挙げ、空き家候補の建築物と現在（2017年）の建築物の現状との差異の修正を行う。修正は北九州市における2015年度版都市計画基本図及びGoogle Earthにより、建築物の存在を確認することで行う。また、空き家候補の検証のため、区別に地域を選定し現地調査を行うことで空き家を特定する。水道メーターは冬季に凍結による水道管の破裂が危惧されるため必ず撤去され、完全に水道が使用不可となり、空き家と特定できる。ガスや電気は空き家であってもメーターが撤去されることはあるが空き家の特定は困難である。電話線についても携帯電話が広く普及した近年、固定電話を所有していない家庭は多く空き家の特定は困難である。

町丁目別に、構築した空き家データベースにおける空き家件数から2017年北九州市都市計画GISデータの戸建件数を除することで、町丁目別の空き家率を推計する。

c) 空き家の空間分布に関する分析方法

上記の町丁目別空き家率の推計方法と同様にして北九州市全域において各中学校区別に空き家率を推計した。ここで、町丁目別や小学校区別では空き家率を推計する際に各区における空き家のサンプル数が少量になるため、町丁目や小学校区よりも範囲の広い中学校区を用いた。推計した空き家率を被説明変数とし、空き家率に影響を与えると考える様々な因子を説明変数として、重回帰分析でモデルを作成することで分析を行った。重回帰分析において、重回帰式(2.32)を用いた。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_kx_k + b \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (2.32)$$

ここで、 $y$ ：被説明変数、 $x_k$ ：説明変数、 $a_k$ ：偏回帰係数、 $b$ ：定数項である。また、変数の選択にはステップワイズ法を用いた。表-2.32に分析に用いた23個の説明変数を示す。説明変数としては、構造因子（木造割合、鉄骨造割合、RC造割合等）や社会的因子（人口密度、年齢層別人口割合、道路密度等）、経済的因子（第1次または第2次、第3次産業就業者割合等）、自然的因子（平均傾斜角度、北九州市平均標高からの標高差）がある。

表-2.32 説明変数として検討を行う23項目

説明変数内容		
項目	単位	分母
木造割合	%	各中学校区
鉄骨造割合	%	総戸建件数
RC造割合	%	
その他構造割合	%	
人口密度	人/km <sup>2</sup>	各中学校区総面積
世帯密度	世帯/km <sup>2</sup>	
平均年齢	歳/人	各中学校区総人口
外国人人口割合	%	
0-14歳人口割合	%	
15-64歳人口割合	%	
65歳以上人口割合	%	
労働力人口（15歳以上）割合	%	
非労働力人口（15歳以上）割合	%	
道路密度	-	各中学校区総面積
道路延長密度	/km	
バス停密度	個/km <sup>2</sup>	
平均地価	円/m <sup>2</sup>	
就業者（15歳以上）割合	%	各中学校区総人口
第1次就業者割合	%	
第2次就業者割合	%	
第3次就業者割合	%	
平均傾斜角度	度	
北九州市平均標高からの標高差	m	

#### d) 空き家の空間分布推計結果

北九州市において、戸建の空き家は8,769件と推計された。平成25年住宅・土地統計調査3)によると戸建の空き家は16,980件である。本研究結果と比較すると約2倍の件数であり、住宅・土地統計調査による空き家の推計結果は過剰に多いことが判明した。住宅・土地統計調査はサンプル調査であることが大きな要因であると考えられる。北九州市町丁目別の戸建の空き家率(%)を図-2.55に示す。空き家率が5%以下の地域が北九州市の大部分を占めており、空き家率が5%以上の地域は、ほとんどが都市部に分布していた。この原因として、都市部の町丁目は山林部と比較して小さいため、サンプル数が少なくなり、空き家1件の空き家率に与える影響が大きく空き家率が大きくなることが考えられる。

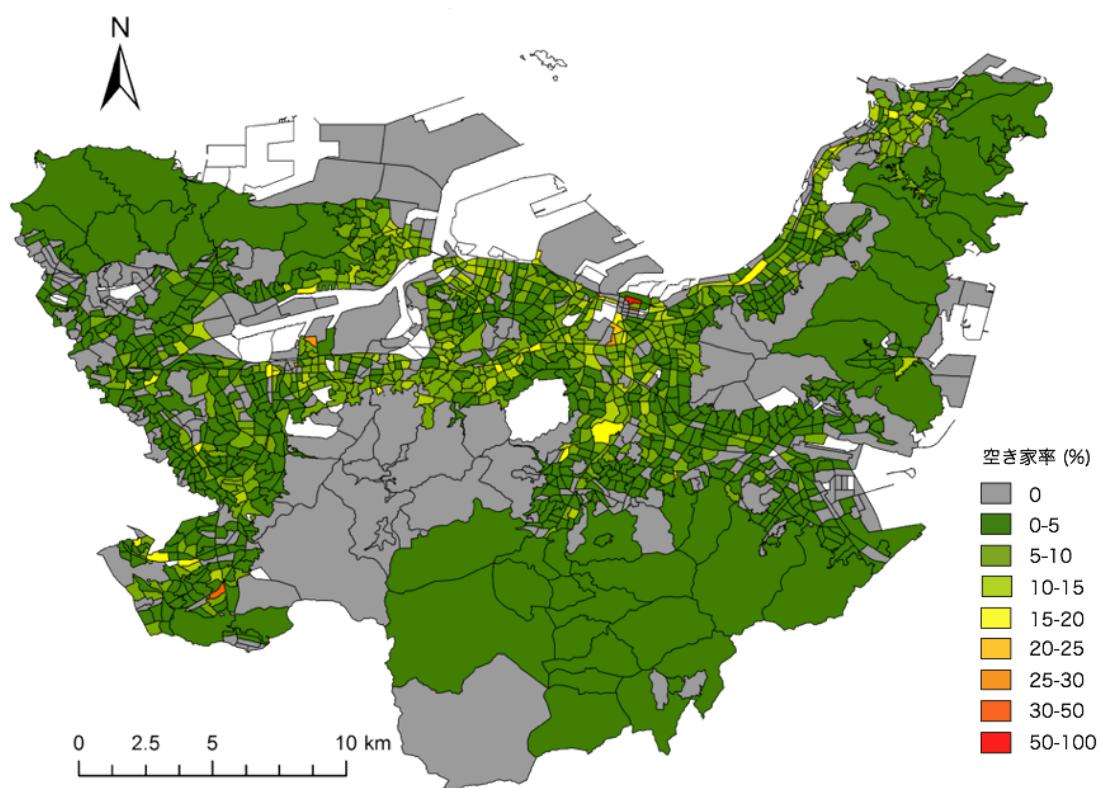


図-2.55 北九州市における町丁別空き家率(%)

#### e) 空き家の空間分布に関する分析結果

北九州市全域において各中学校区別に空き家率を推計した。推計した各中学校区別空き家率を被説明変数とし、考えうる様々な影響因子を説明変数として、重回帰分析でモデルを作成することで分析を行った。結果を表-2.33に示す。ここで、P値はそれぞれの説明変数の有意差判定すなわち重要度を検定することができ、有意水準1%で有意な説明変数を\*\*（ダブルアスタリスク）、有意水準5%で有意な説明変数を\*（アスタリスク）と表記した。偏回帰係数はそれぞれの説明変数の係数を示し、標準偏回帰係数の絶対値は被説明関数に対する説明変数の影響度の大きさを示す。分析結果より、65歳以上人口割合の標準偏回帰係数が0.794と他因子と比較し、絶対値が最も大きいため、空き家率に対し65歳以上人口割合が最も大きな影響を与えていていることが判明した。65歳以上人口割合が1%増加すると空き家率は

0.324%減少する。この要因として近年の生活形態の変化が挙げられる。従来は長男が結婚後も両親の元に残り二世帯家族を形成すると同時に、両親が死去した場合はその家を譲り受け、住み続ける生活形態であった。しかし、近年は親元を離れ一人暮らしする者や核家族世帯が増加傾向にあり、高齢者のみの世帯も増加傾向にある。また、高齢者のみの世帯から高齢者が死去した場合、住居を子供の家族が引き継ぐことも少なくなり空き家になる可能性が非常に高くなった。したがって、65歳以上人口割合が増加するにつれて空き家率も増加すると考えられる。道路延長密度または平均傾斜角度が大きい校区では空き家率が小さくなる傾向にあり、それぞれ1%増加すると空き家率はそれぞれ1.283%、0.088%減少する結果となった。ここで、道路延長密度とは1km<sup>2</sup>当たりの道路延長の長さである。道路延長密度は対象校区の様々な施設等へのアクセシビリティの指標であり、道路延長密度が大きいほどアクセシビリティも大きくなる。道路延長密度が大きい校区にある住居は様々な施設へ徒歩や自動車、自転車等で行き易く、道路延長密度が小さい校区と比較して、住み易い住居であると考えられる。また、傾斜角度が大きい地域では建築物の建設が平地と比較し困難である。仮に空き家が発生したとしても、地震が多発する日本において震度の小さな地震でも地滑りや土砂崩れ等により建築物が崩壊する可能性が高いため、長期間空き家が放置されることはないと考えられる。これらの要因により、道路延長密度または平均傾斜角度が空き家率を減少させると考えられる。

表-2.33 重回帰モデルによる分析結果

		全変数			変数選択		
		偏回帰係数	標準偏回帰係数	(t値)	偏回帰係数	標準偏回帰係数	(t値)
構造因子	木造割合 (%)	-0.061	-0.142	(0.00)			
	鉄骨造割合 (%)	-0.141	-0.323	(0.00)			
	RC造割合 (%)	0.165	0.095	(0.00)			
	その他構造割合 (%)						
社会的因子	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	-0.045	-0.499	(-0.66)			
	世帯密度 (世帯/km <sup>2</sup> )	0.154	0.906	(1.19)	0.128	0.755	(5.75)***
	平均年齢 (歳/人)	0.001	0.002	(0.02)			
	外国人口割合 (%)	0.474	0.134	(1.22)			
	0-14歳人口割合 (%)	0.303	0.355	(1.56)			
	15-64歳人口割合 (%)	0.544	0.939	(2.00)*			
	65歳以上人口割合 (%)	0.915	2.244	(2.91)***	0.324	0.794	(8.33)***
	労働力人口 (15歳以上) 割合 (%)	0.010	0.008	(0.02)			
	非労働力人口 (15歳以上) 割合 (%)	-0.480	-0.970	(-2.00)*			
	道路密度 (-)	4.744	0.140	(0.47)			
経済因子	道路延長密度 (/km)	-0.936	-0.281	(-0.95)	-1.283	-0.385	(-2.73)***
	バス停密度 (個/km <sup>2</sup> )	0.404	0.006	(0.06)			
	平均地価 (円/m <sup>2</sup> )	0.000	0.079	(0.55)			
	就業者 (15歳以上) 割合 (%)	-1.307	-1.051	(-2.39)**			
	第1次就業者割合 (%)	0.581	0.151	(0.94)			
自然因子	第2次就業者割合 (%)	1.053	0.899	(2.65)**			
	第3次就業者割合 (%)	1.260	1.394	(3.14)***	0.367	0.406	(4.34)***
	平均傾斜角度 (度)	-0.052	-0.138	(-0.98)	-0.088	-0.236	(-2.15)**
北九州市平均標高からの標高差 (m)	0.003	0.083	(0.67)				
	定数項	-27.927		(0.00)	-16.337		(-5.07)***
R <sup>2</sup> 値		0.872			0.706		

\* : 0.05 < P値 < 0.1 \*\* : 0.01 < P値 < 0.05 \*\*\* : P値 < 0.01

本研究では、福岡県北九州市全域をケーススタディ対象地域として、地理情報システムにより 2017 年における 3d-GIS を構築し、2013 年度版水道データと関連付けることによって、空き家の空間分布の推計及び空き家分布に対する影響因子の分析を行った。結論と今後の課題は以下の通りである。

結論を以下に示す。

- 1) 北九州市全域で空き家は 8,769 件であることが推計された。平成 25 年住宅・土地統計調査による戸建の空き家は 16,980 件であり、約 2 倍も過剰に推計されていることが示された。
- 2) 空き家の空間分布の推計により、都市部において空き家率は高くなるが、北九州市全域では空き家率は 5% 以下の地域が大部分を占めていた。
- 3) 65 歳以上人口割合が北九州市中学校区別空き家率に対し最も大きな影響を与える因子であった。65 歳以上人口割合が 1% 増加すると空き家率は 0.324% 減少することが示された。
- 4) 北九州市中学校区別空き家率を減少させる因子として、道路延長密度と平均傾斜角度が示された。それぞれ 1 増加すると空き家率はそれぞれ 1.283%、0.088% 減少することが示された。

今後の課題を以下に示す。

- 1) 空き家分布の推計年代を追加することで、都市における空き家分布の空間的変化、時間的変化を可視化し、より精度の高い分析を行うことができる。さらに、将来の空き家分布の推計も可能となる。
- 2) 本研究では、水道データ及び検証を目的とした一部地域の現地調査により空き家を特定したが、水道データは一般的に入手困難であり、また、現地調査は多くの費用と時間を要するため、広範囲を対象とすることは困難である。したがって、日本全国等の広範囲の対象地域を推計精度を可能な限り落とさない空き家の推計方法の検討が必要である。
- 3) 空き家分布に対し影響を与える因子の分析において、23 項目の因子を説明変数として重回帰モデルを作成することで分析を行ったが、空き家分布に対し影響を与える他の因子の追加が分析精度の向上に必要である。また、他モデルによる分析及び比較・検討も必要である。
- 4) 本研究で用いた空き家分布に対する影響因子の値は一時点での値であり、より精度の高い空き家の要因分析を行うためには経年でみていく必要があり、因子における値の変化をみて経年的な分析が必要となる。
- 5) 本研究では北九州市を対象地域として空き家の空間分布について推計及び分析を行ったが、他都市との比較・検討が必要である。

#### <参考文献>

- 1) 環境省：平成 30 年版環境・循環型社会・生物多様性白書、159p、2018。
- 2) 環境省：第四次循環型社会形成推進基本計画、pp. 4-5、2018。
- 3) 総務省統計局：平成 25 年住宅・土地統計調査、2013。
- 4) 石河正寛、松橋啓介、金森有子、有賀敏典：住戸数と世帯数に基づく空き家の詳細地域分布の把握手法、日本都市計画学会都市計画論文集、Vol. 52、No. 3、pp. 689-695、2017。

- 5) 秋山祐樹、上田章紘、大野佳哉、高岡英生、木野裕一郎、久富宏大：鹿児島県鹿児島市における公共データを活用した空き家の分布把握、日本建築学会計画系論文集、Vol. 83、No. 744、pp. 275–282、2018。
- 6) Tanikawa, H., Hashimoto, S. : Urban stock over time : spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Research & Information, 37(5), pp. 483–502, 2009.
- 7) 北九州市：産業経済局北九州市経済・産業データ集、pp. 9–11、2017。

### (3) 物質ストック関連指標の提案

#### (3)-④ 統計処理手法の確立

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-3.1-3.6）。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、2015年の物質ストック・フロー図を図-3.1-3.6に示す。1990年と2015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314億トンと増加している。

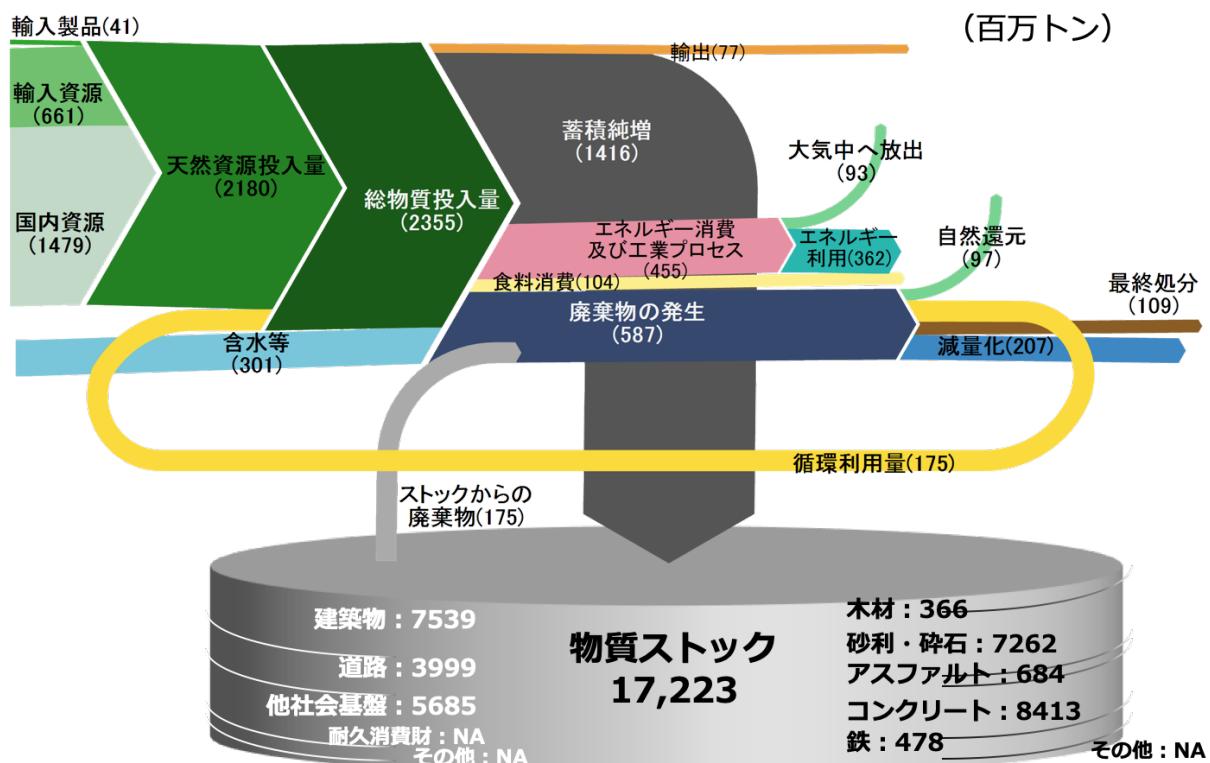


図-3.1 我が国の物質ストック・フロー 1990年

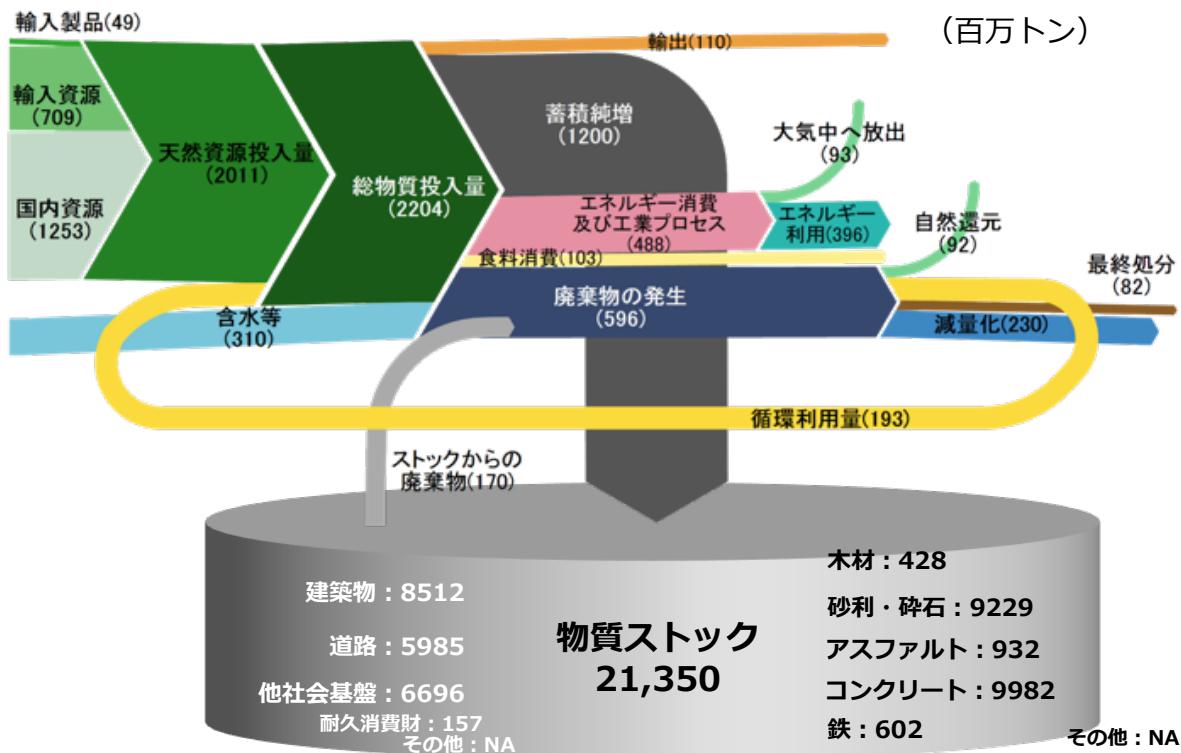


図-3.2 我が国の物質ストック・フロー 1995年

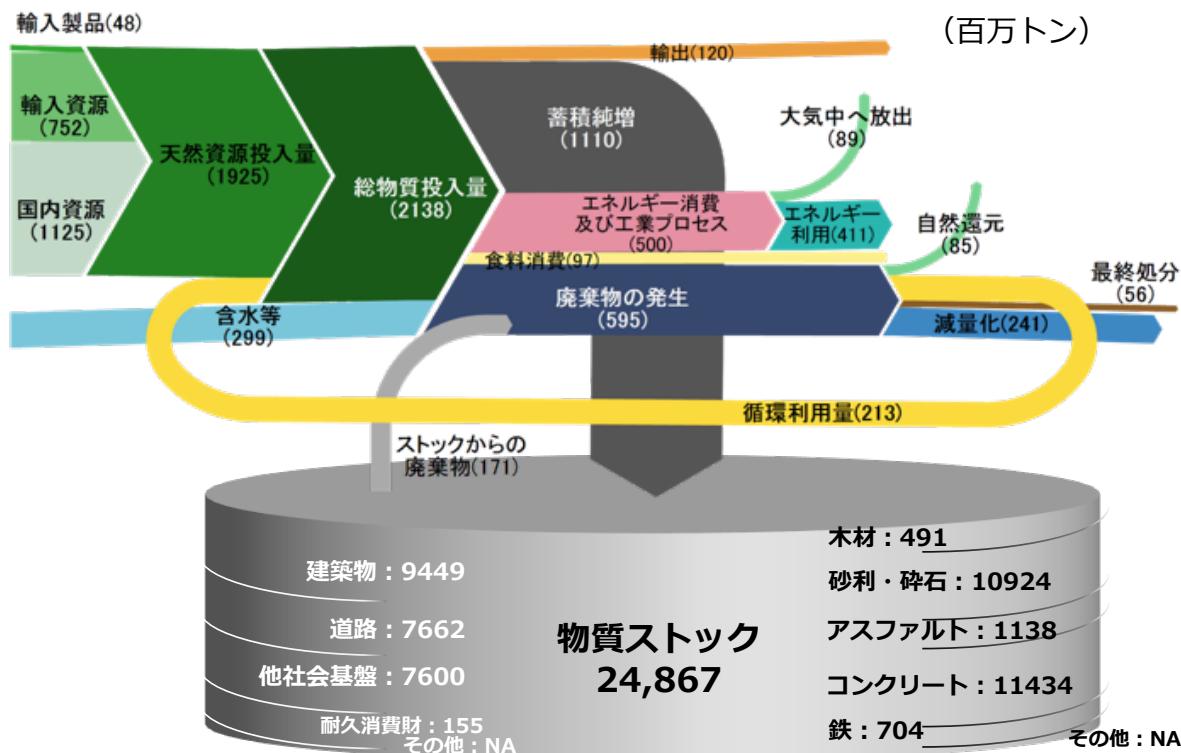


図-3.3 我が国の物質ストック・フロー 2000年

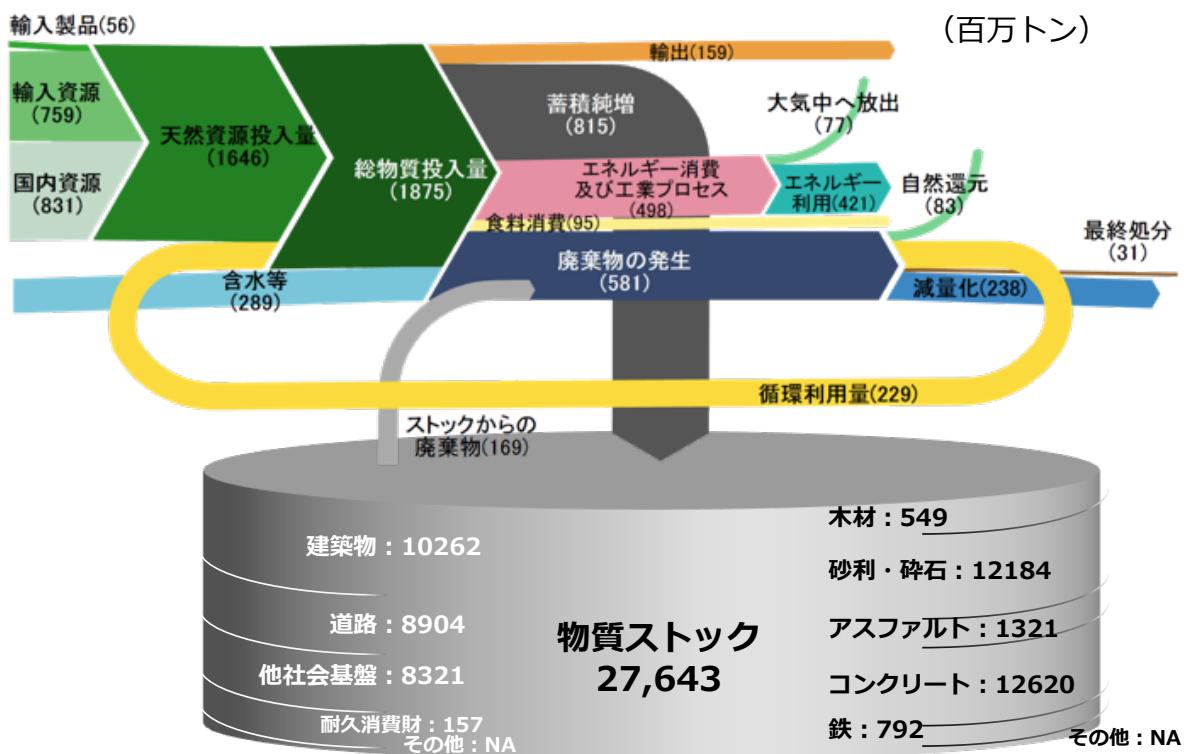


図-3.4 我が国の物質ストック・フロー 2005年

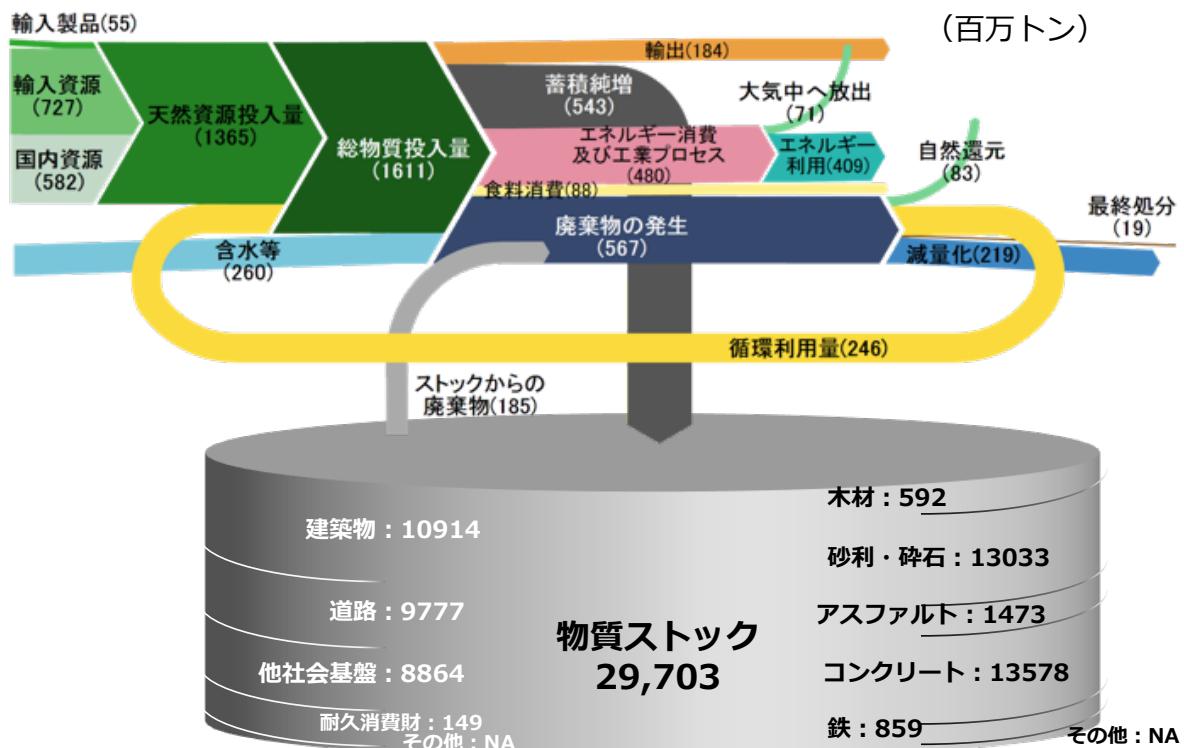


図-3.5 我が国の物質ストック・フロー 2010年

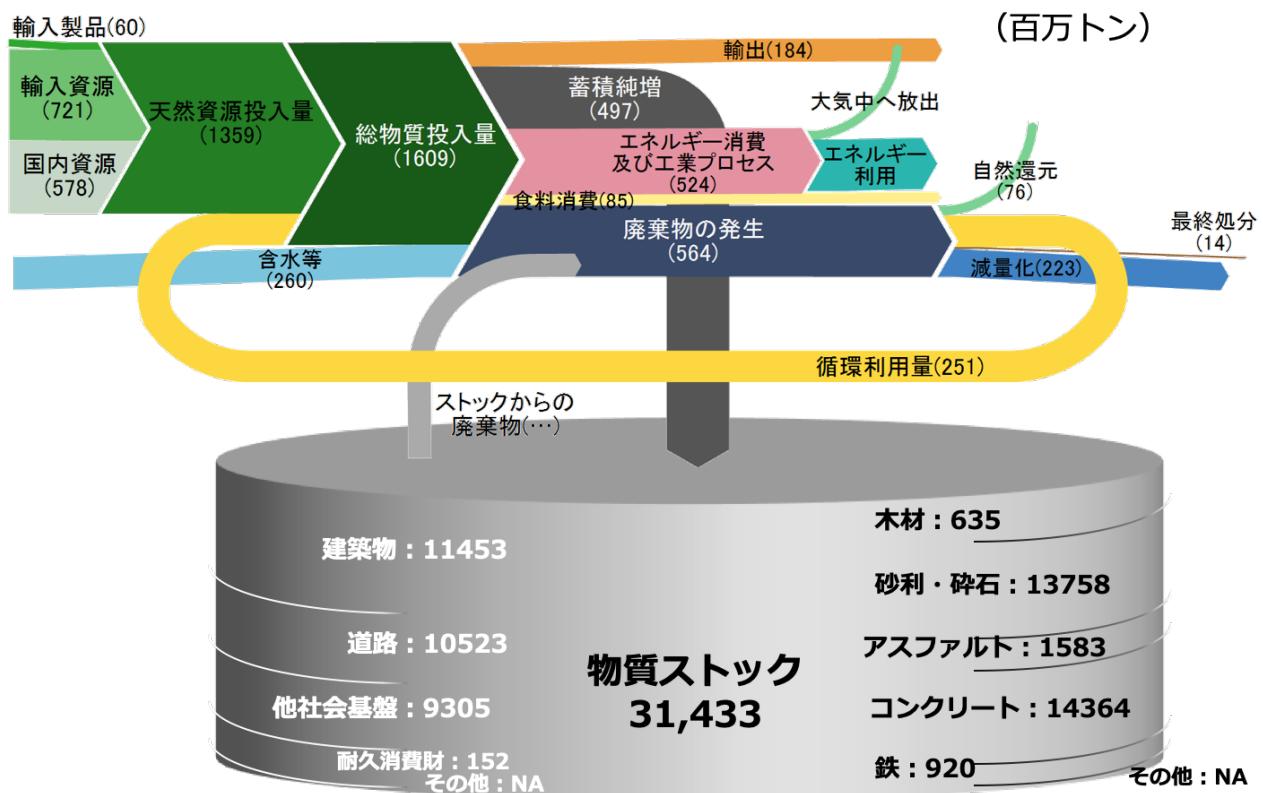


図-3.6 我が国の物質ストック・フロー 2015年 (H30成果・新規推計)

(3)-⑤ 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-3.1 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		土石	化石	木材	金属		土石	化石	木材	金属		土石	化石	木材	金属	
鉄	非鉄	鉄	非鉄	鉄	非鉄	鉄	非鉄	鉄	非鉄	鉄	鉄	非鉄	鉄	非鉄	鉄	鉄	非鉄	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	—
他社会基盤	交通インフラ	—	—	0.3	—	—	—	—	0.5	—						—	—	10.6	—	
ライフライン	—	—	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	—
耐久消費財	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
	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
	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	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	0.4901	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。

\* 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。

### III. 今後の研究方針（課題含む）

今年度の分析では、（1）資源生産性の向上に資する物質ストックの要因整理として、本プロジェクトの研究内容と、循環型社会形成推進基本計画に示される資源循環行政側の目指す方向性、ニーズの結節点について、図-4.1 のように概念図を整理した。また、（2）各要因に関連するデータベースの構築として、要因に対応したデータベースの整備を行った。

本プロジェクトでは1)物質の入れ替わり、2)稼働率・利用度、3)物質ストックのサービス発生効率という3つの指標でデータの整備を進めることとしており、これをDBの整備と呼んでいる。

一方で、循環型社会形成推進基本計画では政策・指標を7本柱に位置づけて体系化している。これらは、例えば、1)物質の入れ替わりとして整備する「機器のストック性能」が7本柱の一つとして位置づけられる「持続可能な社会づくりとの統合的な取組」のうち低炭素社会との統合の部分に貢献する、といったかたちで、本プロジェクトで整備する情報や指標が循環型社会形成に向けた各種の課題のモニタリングや対策検討に貢献するというかたちで相互に関係している。

今後の研究方針としては、図1に示される環境政策との対応関係を整理することで、（3）物質ストックの関連指標の提案について拡充を行い、（4）ストック型社会のこうちくによる環境・経済面への影響評価を行う。

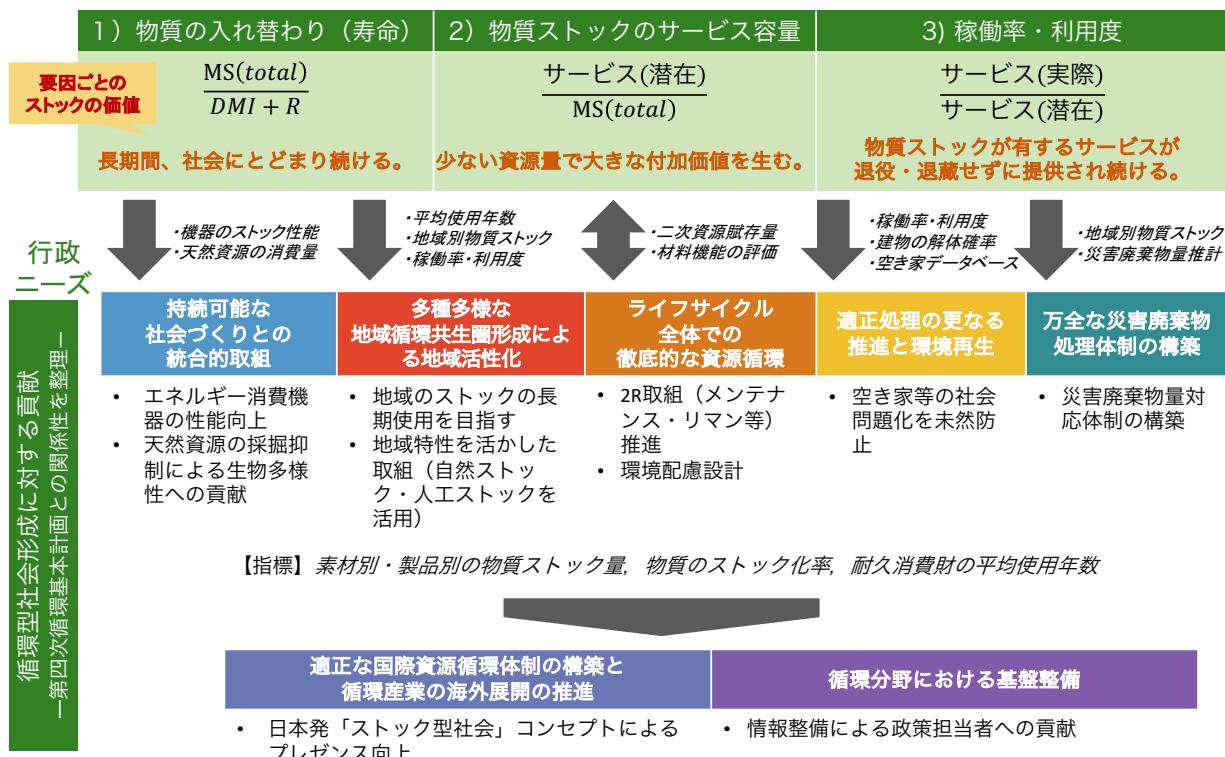


図-4.1 本プロジェクトの成果の資源循環行政に対する貢献イメージ

(出典) 循環型社会形成推進基本計画を参考に作成

#### IV 添付資料（参考文献、略語表、調査票、付録 等）

環境省の第IV期環境経済の政策研究「我が国に蓄積されているストックの質に関する調査・検討」プロジェクトメンバーによる有識者会合を開催し、議事内容を下記の通り整理した。有識者会合の体制は以下の通り。

##### <有識者（プロジェクトメンバー）>

谷川 寛樹 名古屋大学 環境学研究科 教授  
研究代表  
橋本 征二 立命館大学 理工学部 教授  
醍醐 市朗 東京大学大学院 工学系研究科 准教授  
小口 正弘 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員  
奥岡 桂次郎 名古屋大学 環境学研究科 助教

##### <事務局>

高木 重定 みずほ情報総研株式会社環境エネルギー第1部 課長  
中西 翔太郎 みずほ情報総研株式会社環境エネルギー第1部 コンサルタント

有識者会合は全2回実施した。各回の概要を表1に示す。また、プロジェクトの進捗を環境省環境再生・資源循環局総務課循環型社会推進室に報告する打合せに同行し、この会の議事録（全文）を作成したものも併せて示す。

表1 有識者会合の開催概要

	日時・会場	主な論点・備考
第1回	2018年8月20日（火） 17:00~20:00 みずほ情報総研竹橋本社	・ 評価委員会の指摘への対応について
第2回	2018年11月27日（火） 10:00~12:00 みずほ情報総研竹橋本社	・ 評価委員会の指摘への対応の進捗 ・ 物質ストックの分類・物質ストック指標の分類 ・ 環境省への報告に向けた対応
環境省 報告	2019年1月18日（月） 15:30~17:00 環境省	・ 本プロジェクトの目的と意義のご説明 (環境省 今井室長補佐、奥山環境専門員ご出席 / 当方：谷川教授、みずほ情報総研が出席)

(1) 第1回有識者会合の要旨

■ 評価委員会の指摘

- ・ 「質」に関する部分に批判的な指摘が集中している。
  - 「質は何を表すものか。この方法で質が評価できるのか」
  - 「質的区分を3つにしたのはなぜか、どのように選んだのか」
  - 「ストックの質は理解しにくい」
- ・ 上の指摘に応じて、修正後のスライドでは以下の2点を追加した。
  - 資源生産性の恒等式による要因分解
  - 3つの要因・指標の説明
- ・ 要因に分解する経緯が分かりにくいのは間違いないだろう。
  - 3つの要因でストックの質を考える重要性について整理して説明しないといけない。
  - MS in-use から GDP の間を恒等式でつなぐのがサービスなのか。
  - サービスが物質別の機能なのか製品別の機能なのかで範囲が異なる点についても注意が必要だろう。

■ 再審査を受けた検討の方針について

- ・ 再審査に向けて、指標選択の経緯を明確に示す必要がある。
- ・ 「豊かさ」については踏み込まない。そこで、資源生産性に焦点を当てる展開にした。
  - 今回の分析で明らかに出来るところまでを明確に提示することが重要だろう。
  - 豊かさという概念には触れずに、ストックの質は3つの指標で表現すると考える。
- ・ 資源生産性はサービスを引き出すための効率の指標である。
  - 資源生産性は豊かさを直接示す指標ではない。
  - ストックの質を高めることで資源生産性(=資源効率)を産み出すという関係がある。
- ・ 研究の対象範囲は丁寧に説明することとして、ストック、質などの注意が必要な言葉については繰り返し丁寧な書きぶりを心がけるほうがよいだろう。
- ・ 物質ストックの質は豊かさとは異なり、客観的な値しか示されないだろう。

■ 物質ストックの考え方

- ・ フローとストックが組み合わされてサービスが提供されている。物質フローも使用時間が極小のストックと捉えたほうがよいのか。
- ・ 素材とサービスの間のどの段階で物質ストックを捉えるべきか。例えば、建築物に使用されている鉄鋼材の場合は「鉄鋼材→構造物→空間→利用」というフローが想定される。
  - このプロジェクトのなかで利用状況や社会での使われ方にまでは踏み込まないだろう。

■ 資源生産性の扱い

- ・ 資源生産性は一国全体だけでなく、資源別・産業別に推計する。
  - 資源別は物質別、産業別は製品別に、再解釈する。

- 全体の資源生産性と個別の資源生産性の整合性については議論を要するだろう。
- ・ サービスを提供するものが機能量だとすると機能量の総和を取ればよいのではないか。
- ストックは部門を超えて約に立っているものなど、様々なスケールがあり、守備範囲が異なるため、足し上げることは難しいだろう。

## (2) 第2回有識者会合の要旨

### ■ 前回会合の論点の確認

- ・ 評価委員会の指摘への対応としては3つの指標への整理の理由の説明を充実させることと、研究の評価対象が人工ストックに限定されることの説明が重要ということが議論された。
- ・ 総合環境政策におけるストックと資源循環政策におけるストックで直感的に捉えられるものが違う範囲なのだろう。
  - 総合環境政策としては地域循環共生圏や地方版SDGsなどの背景があり、どうしても自然ストックに対する関心が強い。
  - 対応として、九州大学の馬奈木先生の新国富調査の結果と本研究の物質ストックを比較して示すことはできるだろう。傾向の乖離があると評価が面白い。
  - 新国富調査の一サービスとして物質ストックを入れ込むことはできるかもしれない。
  - 工学的な領域を基本の対象とするが、経済的な部分は新国富を利用するといった二段構えがよいかもしれない。
- ・ 資源効率を上げることが資源生産性を上げることにつながるという観点で、対象とする3つの指標の説明を強調することになるだろう。個々の要素が向上することで、全体として資源生産性が向上する。とりわけ物質ストックの効率が重要
- ・ 要因分解の形式の改善は評価委員会の指摘への対応になるだろう。
- ・ 資源循環行政のニーズを踏まえて資源生産性をベースに議論をするという主張をするのだろう。

### ■ 物質ストックの再整理

- ・ 新国富調査では資本を自然資本・人工資本・人的資本の3種類に分類している。
  - 本研究はこのうちの人工資本を対象にするという説明で納得頂けるのではないか。
  - ・ GDPはストックとフローの両側面を持つが、物質ストックとフローをどう対応させるか。
    - ストックと対応させるのはストックに関わるフローだけを取り出すべきではないか。
    - そもそもそのフローは類型にしないと比較できないのではないか。
    - ストックが産み出すサービスは単年で見られる。
  - ・ ストックとフローを比べていることもこの場合は正しいだろう。
  - ・ 消費財だけを対象にすれば、ストックとフローは対応する。
  - ・ ストックになるフローとならないフローがある点は整理が必要だろう。
  - ・ 資料の見せ方として、GDP/DMIをいきなり示すのではなく、いったんGDPを分解する式を示してから、そのなかの項を向上するためのストック効率としてターゲットの3指標を提示するか。
  - ・ 本研究で対象とする部分としては供用期間、機能密度、利用効率となる。

- ・ 資源循環行政の担当官に物質ストックと循環計画の対応について、分かりやすい説明が必要になるだろう。

■ 物質ストックの効率

- ・ 橋本先生が廃棄物学会誌に投稿した論文の整理は資源効率を高める手段としての物質ストックの意味についてわかりやすく説明しているかもしれない。

■ 環境省への報告に向けて

- ・ 本日の議論を踏まえ、追加更新するスライドを作成する。
- ・ 全体の話(改善スライド)と、現状の結果を2枚程度追加。(名古屋大学)
- ・ 滞留年数のモデル補正・評価について1枚追加(名古屋大学)
- ・ 機能量評価について1枚追加(東京大学)
- ・ 資源効率を高める手段について1枚追加(立命館大学)
- ・ 製品の長寿命化による影響評価について1枚追加(国環研)

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>

- 7) Marianne Faith G. Martinico-Perez, Heinz Schandl, Hiroki Tanikawa: Sustainability indicators from resources flow trends in the Philippines, Resources, Conservation and Recycling, pp.74-86, Vol.138, November 2018.
- 8) Thi Cuc Nguyen, Tomer Fishman, Alessio Miatto, Hiroki Tanikawa: Estimating the Material Stock of Roads: The Vietnamese Case Study, Journal of Industrial Ecology, July, 2018.
- 9) 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, pp, 155-166 Vol.147, May, 2018.
- 10) K. Nakajima, I. Daigo, K. Nansai, K. Matsubae, W. Takayanagi, M. Tomita, Y. Matsuno: Global distribution of material consumption: Nickel, Copper, and Iron. Resources, Conservation & Recycling, 133, (2018) 369-374.
- 11) Ichiro Daigo, Shin Kiyohara, Tomoki Okada, Daisaku Okamoto, Yoshikazu Goto: Element-Based Optimization of Waste Ceramic Materials and Glasses Recycling. Resources, Conservation & Recycling, 133, (2018) 375-384.
- 12) 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹:建築物の年代間での同一性判定を用いた東京都市圏における更新量の推計, 環境情報科学 Vol.32, pp.13-18, Dec, 2018.DOI:10.11492/ceispapers.ceis32.0\_13

<口頭発表（国際学会）>

- 11) Alessio Miatto, Hiroki Tanikawa: Material flow and stock analysis of long lived buildings: the case study of Padua (Italy), The International Society for Industrial Ecology 6th Asia-Pacific Conference 2018, 2018.09.11-14, Qingdao, China.
- 12) Jing Guo, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa: GIS-based analysis of building material stock in Eastern cities of China, The International Society for Industrial Ecology 6th Asia-Pacific Conference 2018, 2018.09.11-14, Qingdao, China.
- 13) Marianne Faith G. Martinico-Perez, Keijiro Okuoka, Hiroki Tanikawa: Total Material and Energy Flow and Resource Productivity of the Philippines, The International Society for Industrial Ecology 6th Asia-Pacific Conference 2018, 2018.09.11-14, Qingdao, China.
- 14) Alessio Miatto, Hiroki Tanikawa: Revisiting the Weight of Nations, Industrial Ecology Gordon Research Conferences, 2018.05.20-25, Les Diablerets, Switzerland).
- 15) Masato Nakada, Ichiro Daigo, Manabu Enoki: Estimation of dissipative flows during materials' recycling. The International Society for Industrial Ecology 6<sup>th</sup> Asia-Pacific Conference. 11-14, Sep. 2018, Qingdao, China
- 16) K. Halada, Y. Umeda, I. Daigo, M. Kojima, E. Yamasue: Global Multi-Value Circulation for "Mottainai" society with higher resource efficiency. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, 1-1E-1
- 17) E. Yamasue, I. Daigo, J. Cravioto, S. Kosai, D.-Q. Nguyen, D.-H. Tran, Y. Kishita, Y. Umeda: Estimation of generated E-wastes in Vietnam considering Lifetime Transition. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, 1-1E-4
- 18) I. Daigo, H. Hatayama, Y. Kobayashi, K. Nakajima, E. Yamasue, K. Matsubae: LCI methodologies considering recyclability of materials. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, 2-1F-3
- 19) Hiroki Hatayama, Kiyotaka Tahara, Ichiro Daigo, Shigesada Takagi, Shotaro Nakanishi: Value of Materials within the Sustainable Development Goals. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, P-28
- 20) Masato Nakada, Ichiro Daigo, Manabu Enoki: Core time 2 Estimation of Exported Mixed Metal Scrap for Evaluation of End-of-Life Recycling Rates. EcoBalance2018, 13h The International Conference on EcoBalance, Ryogoku, Tokyo, 9-12 October 2018, P-72

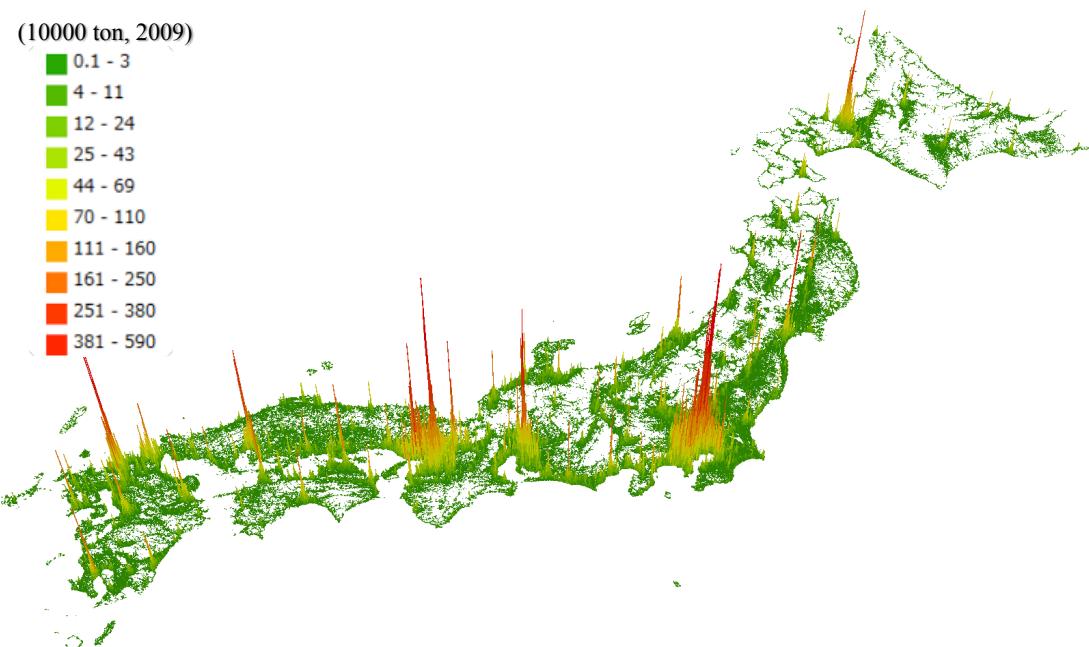
<口頭発表（国内学会）>

- 22) 朝隈智哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 4d-GIS のデータを自動分析を目指した同一性判定システムによる主要都市での建築物更新量の推計精度の検証, 第 32 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館
- 23) 大澤啓裕, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 野中 一鴻, 正木晃平 : モンテカルロシミュレーションによる建築物滞留年数の推計-名古屋市中心部及び北九州市小倉の 4d-GIS を用いて-, 第 32 回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館

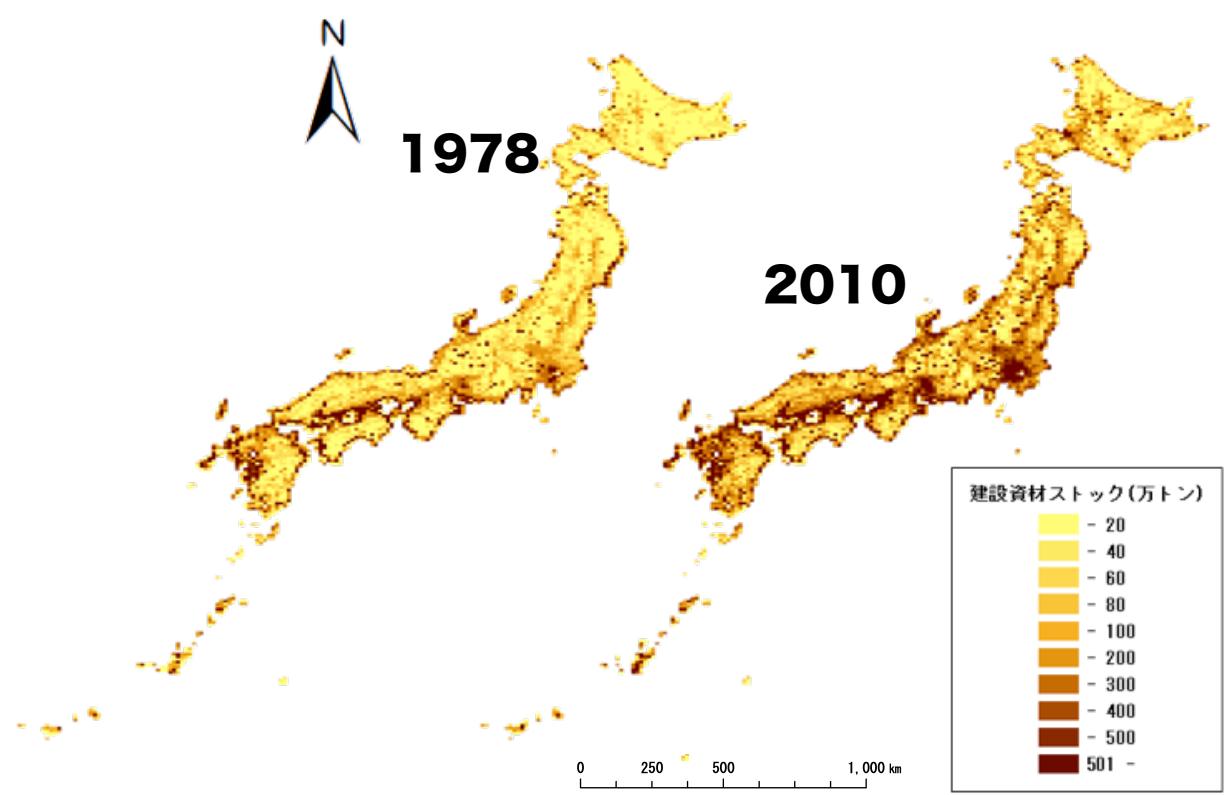
- 24) 松尾佑磨, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 藤田恭介, 山本大陸: 空港・港湾を対象とした輸送インフラ毎のストック利用効率の推計-旅客数及び貨物量と物質ストックの比較-, 第32回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館
- 25) Selenge Dima, 西尾文吾, 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: Comparison of New York and Tokyo's material stock of building estimation model using nighttime light data, 第32回環境情報科学 学術研究論文発表会, 口頭発表, 2018.12.17, 日本大学会館
- 26) 藤田恭介, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎: 建設系物質ストックの利用度に応じた定量化手法の構築に関する研究, 第46回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018年10月20-21日(土-日) 名古屋大学
- 27) 西尾文吾, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 東京都市圏を対象とした衛星夜間光データを用いた建築ストックの推計モデルの開発, 第46回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018年10月20-21日(土-日) 名古屋大学
- 28) 正木晃平, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, 深堀秀俊: 重回帰モデルによる空き家の空間分布に対する影響因子の分析～建築物詳細情報を用いた北九州市のケーススタディ～, 第46回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018年10月20-21日(土-日) 名古屋大学
- 29) 山本大陸, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 退蔵ストック定量化に向けた建築物の動的廃棄率の推計, 第46回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018年10月20-21日(土-日) 名古屋大学
- 30) 山下奈穂, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎: 地理空間情報を用いた林地残材を含む齢級別木材資源量の推計 - 木曽川流域におけるケーススタディ-, 第46回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018年10月20-21日(土-日) 名古屋大学
- 31) 朝隈智哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹: 4d-GIS のデータを自動分析を目指した同一性判定システムによる主要都市での建築物更新量の推計精度の検証, 第46回環境システム研究発表会, ポスター発表, 2018年10月20-21日(土-日) 名古屋大学
- 32) 藤田恭介, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎: 時系列道路ネットワークデータベースを用いた, 道路インフラにおける物質ストックの退蔵・退役量の推計, 公益社団法人環境科学会2017年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 33) 正木晃平, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 深堀秀敏: 建築物実態調査に基づく空き家の空間分布の推計～北九州市の建築物詳細情報を用いたケーススタディ～, 公益社団法人環境科学会2017年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 34) 山本大陸, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 藤田恭介: 建築物滞留モデルを用いた住宅利用料及び空き家に関する退蔵ストックの推計, 公益社団法人環境科学会2017年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 35) 山下奈穂, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎: 都市・森林間における木材需要バランスを考慮した最適な輸送システムの検討-木曽川流域におけるケーススタディ-, 公益社団法人環境科学会2017年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学

- 36) 朝隈智哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : 建築物の構造・用途ごとの建設資材蓄積量及び更新量の推計-東京都及び周辺都市を対象とした同一性判定のケーススタディー-, 公益社団法人環境科学会 2017 年会, ポスター発表, 2018.9.10-1 東洋大学
- 37) 大澤啓裕, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 野中 一鴻, 正木晃平 : 1994 年から 2014 年における 4d-GI□による都市構造物を対象とした名古屋市中心部における物質ストック・フロー分析, 平成 30 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2018.06.16 神戸大学
- 38) 松尾佑磨, 谷川寛樹, 奥岡桂次郎, 藤田恭介, 山本大陸 : 空港における物質ストックの量とストック価値の推計, 平成 30 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2018.06.16 神戸大学
- 39) Selenge Dima, 西尾文吾, 朝隈友哉, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 : Assessment of Estimation Model of Material Stock of Buildings with S-NPP VIIRS Nighttime Light Data, , 平成 30 年度 土木学会関西支部年次学術講演会, 口頭発表, 2018.06.16 神戸大学
- 40) 西尾文吾, 奥岡 桂次郎, 谷川 寛樹 : 宇宙からみる夜景 ~世界の都市はどう変化する?~, 第 14 回 GIS コミュニティフォーラム, ポスター発表, 2018.05.24-25
- 41) 小林能直, 醍醐市朗: リサイクル普通鋼の機能性に関する材料学. 2018 年度日本実験力学会年次講演会, 2018.8.27-29. 山梨
- 42) 醍醐市朗: 開ループリサイクルシステムにおける材料 LCA. 一般社団法人日本鉄鋼協会 第 176 回秋季講演大会, 2018.9.18-20. 仙台, シンポジウム「鉄鋼材料の負荷の評価から価値の評価へ」

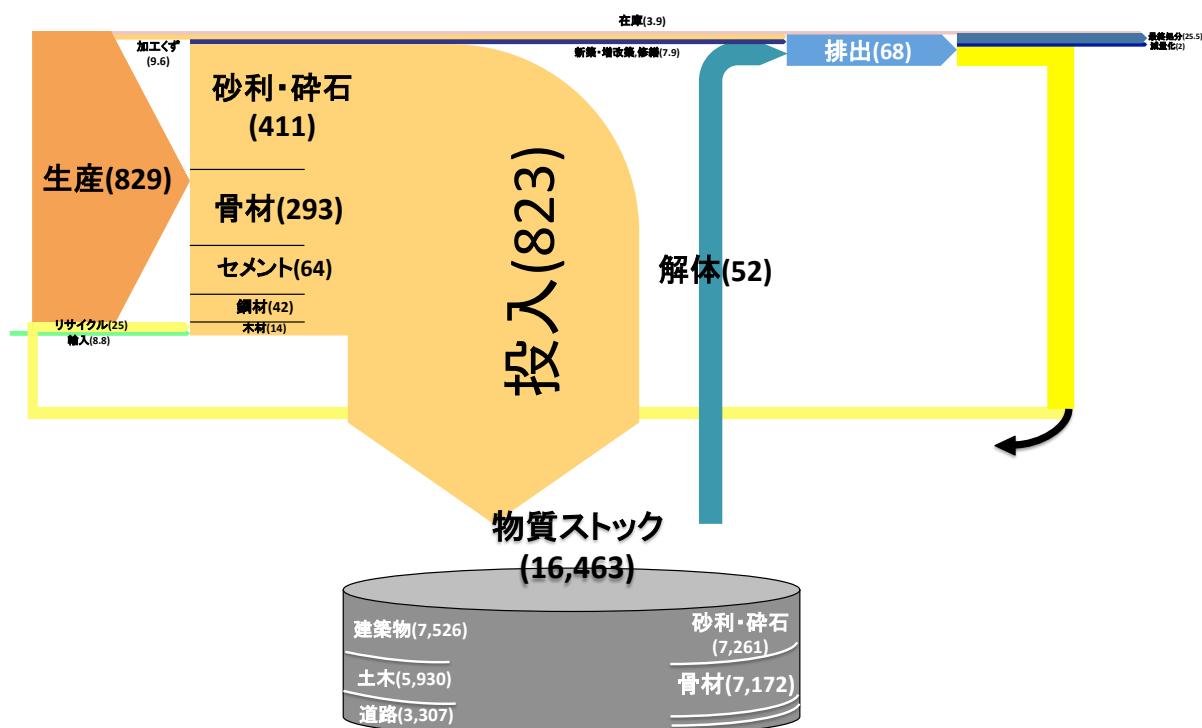
## 付録



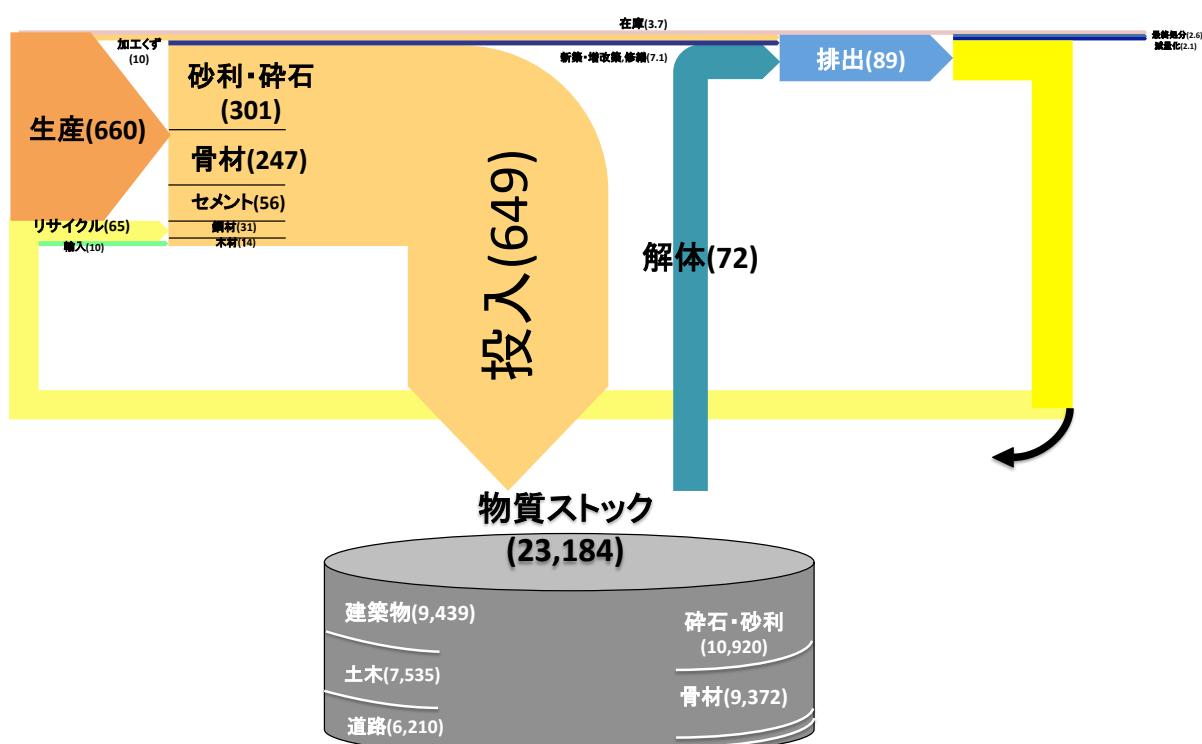
付図-1 建築物の物質ストック空間分布 (1km メッシュ)



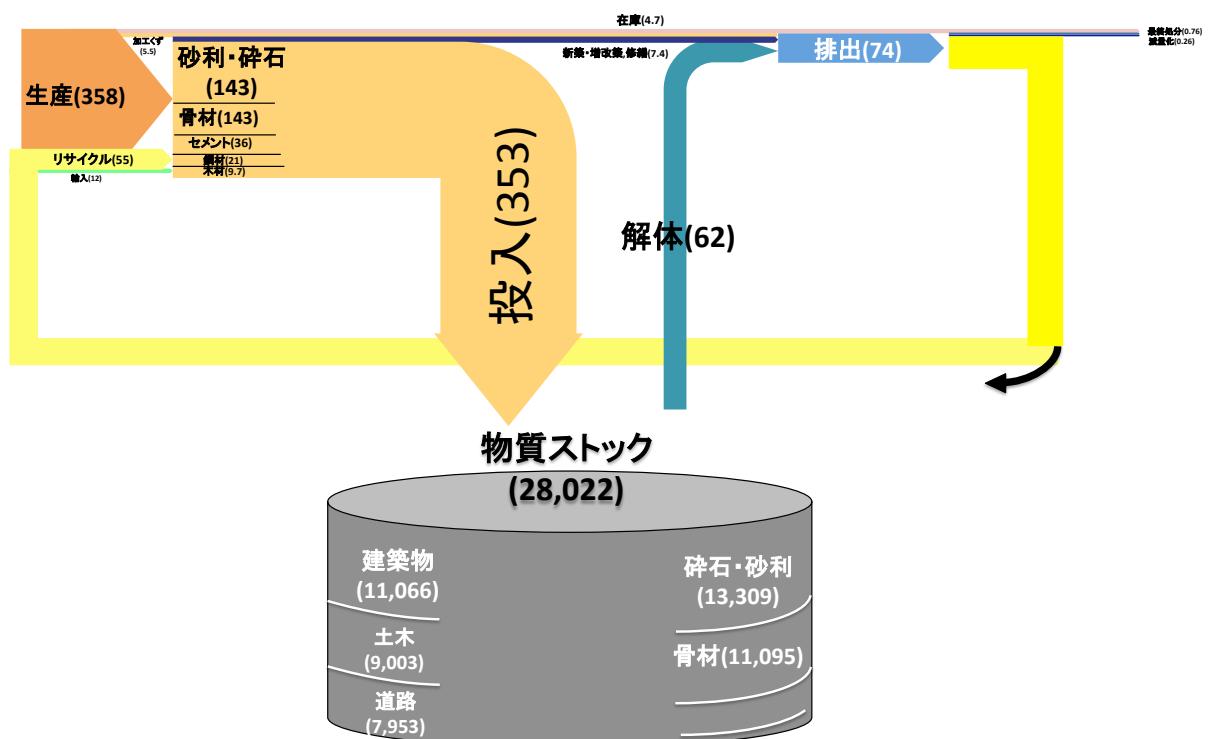
付図-2 社会基盤構造物の物質ストック空間分布 (1km メッシュ)



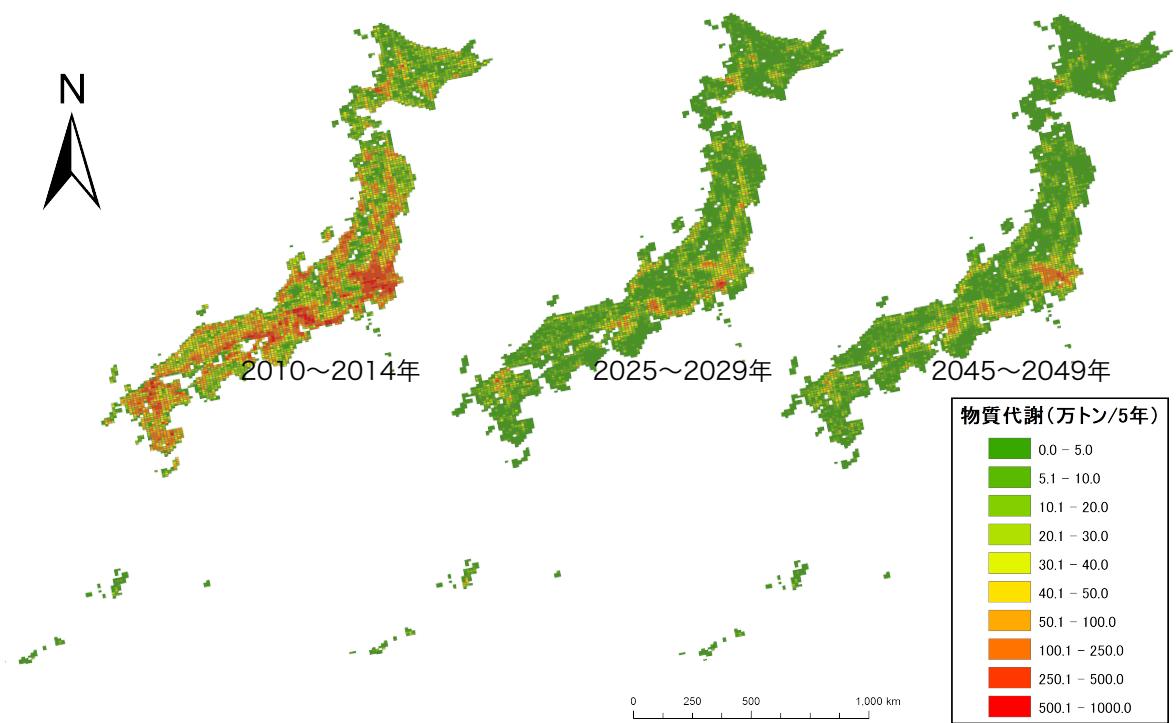
付図-3 1990年の建設資材物質ストック・フロー



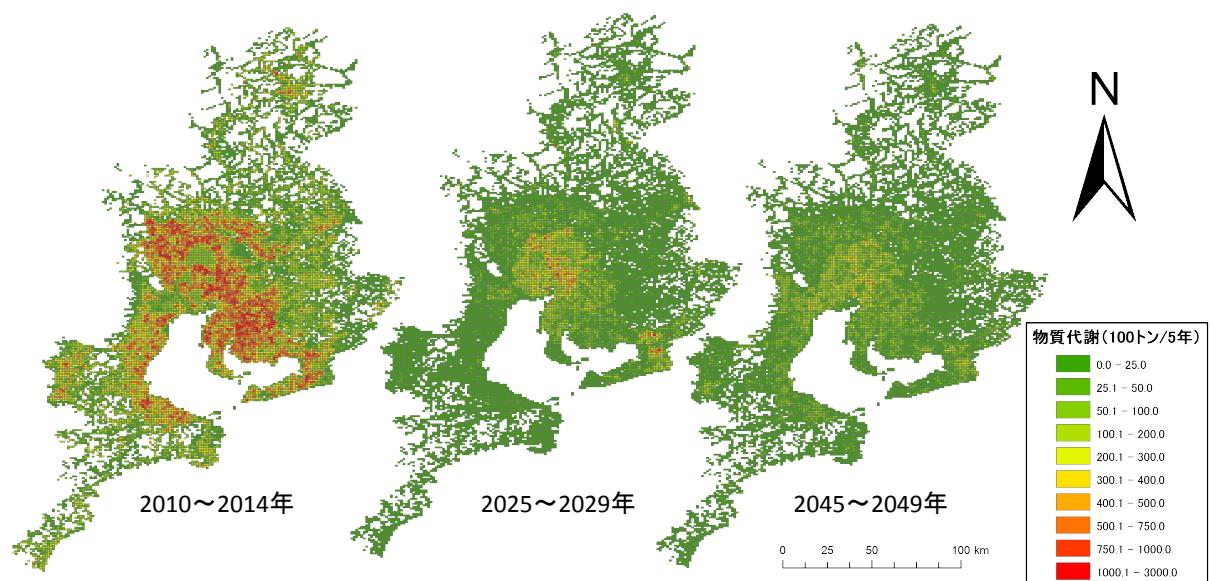
付図-4 2000年の建設資材の物質ストック・フロー



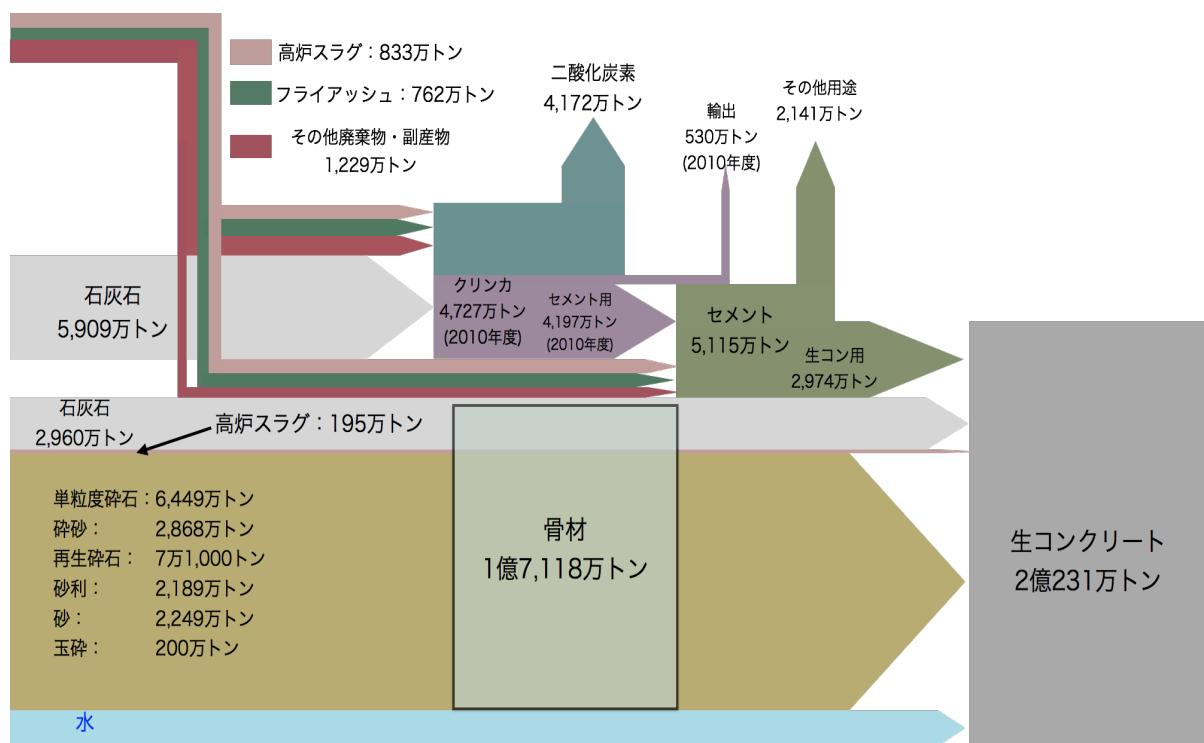
付図-5 2012年の建設資材の物質ストック・フロー図



付図-6 物質代謝の空間分布（日本全国，2次メッシュ）



付図-7 物質代謝の空間分布（東海三県，3次メッシュ）



付図-8 土石系資源フロー図



1949 年



1960 年



1970 年



1980 年



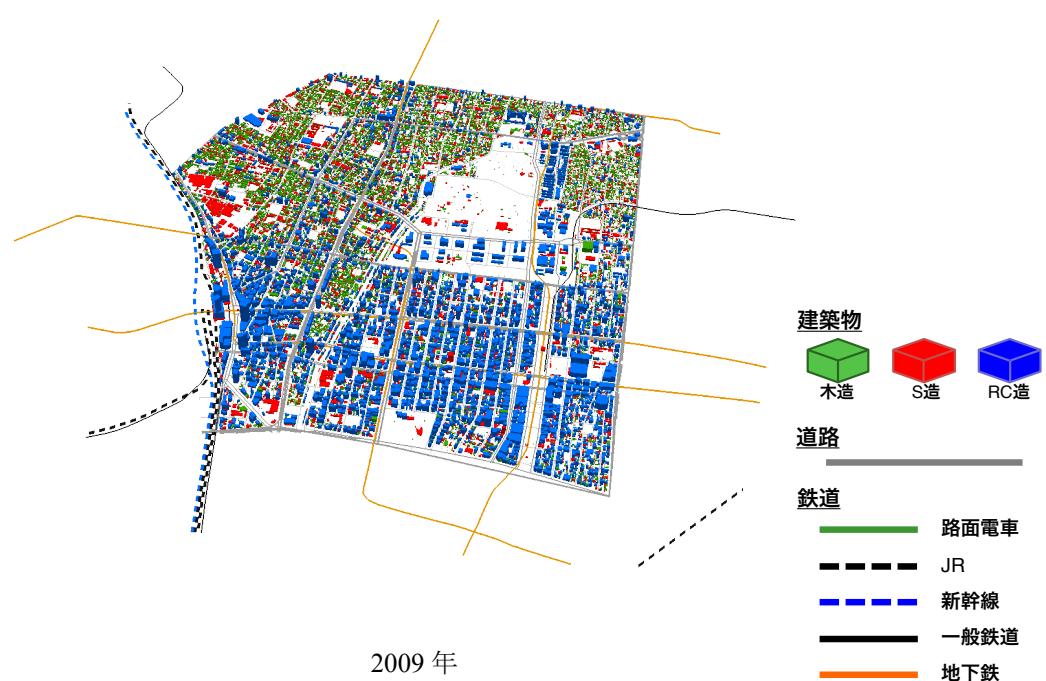
1990 年



1997 年

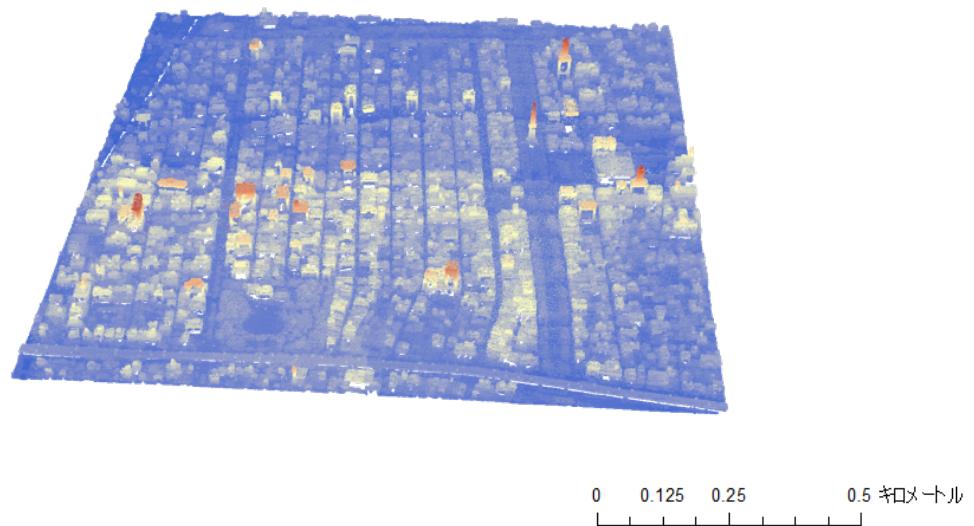


2003 年

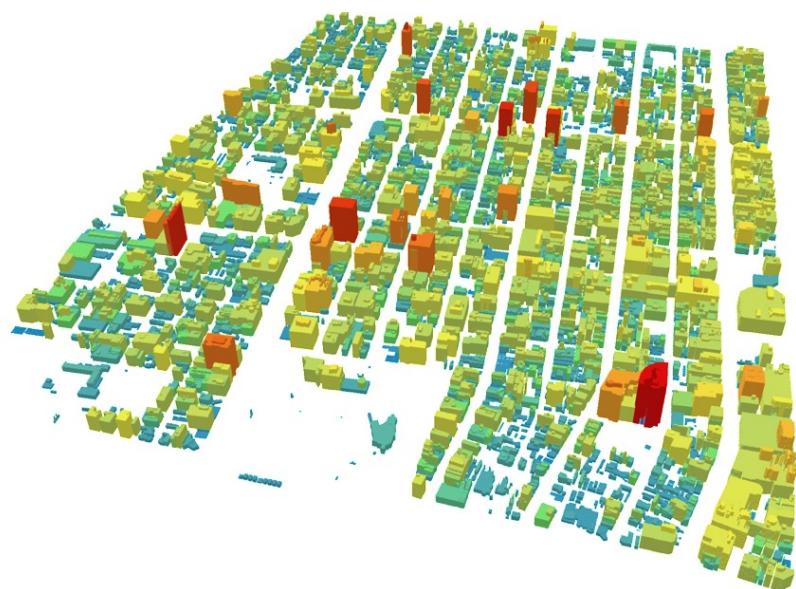


2009 年

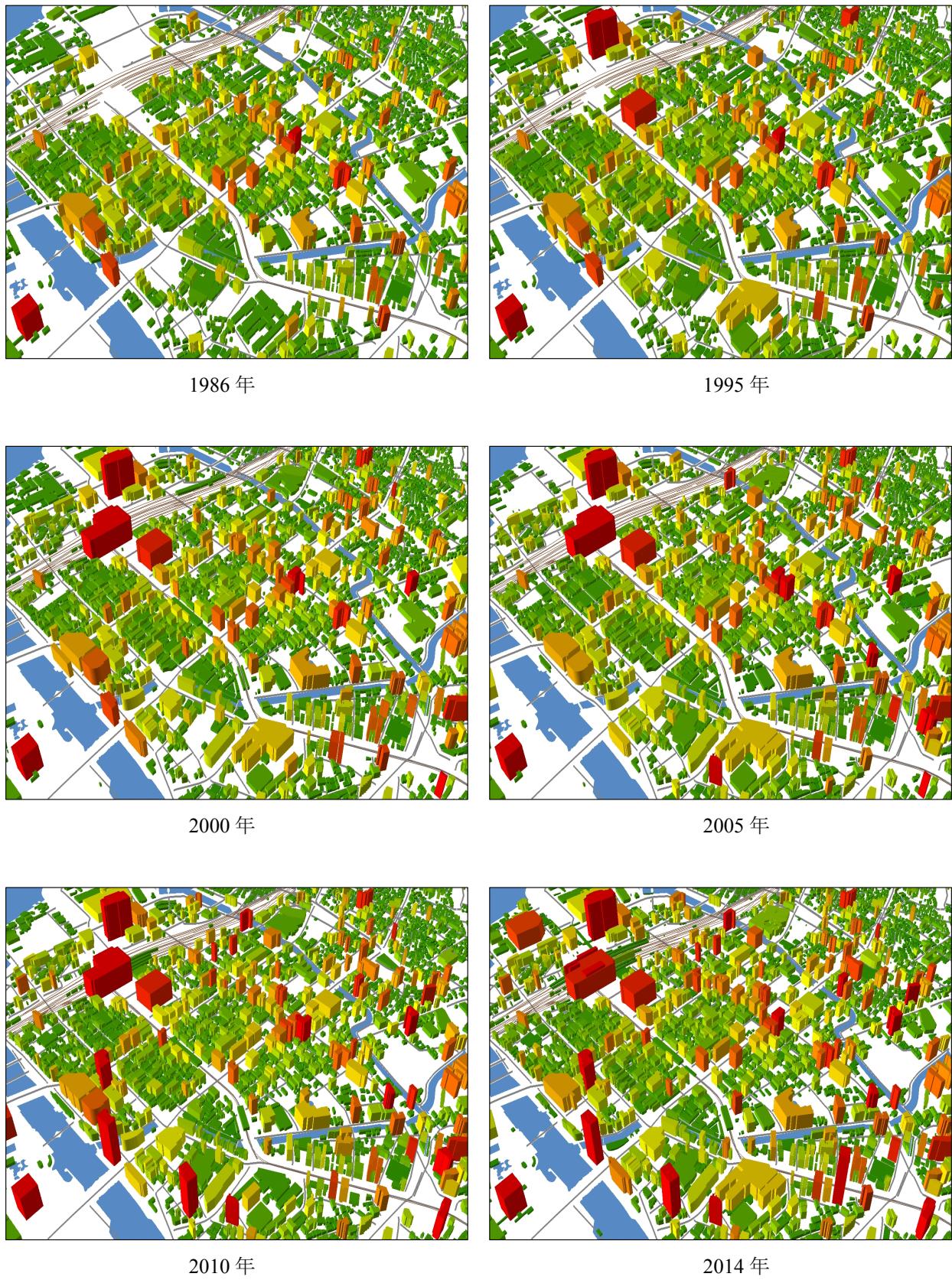
付図-9 名古屋市中心部の 4d-GIS



付図-10 名古屋市中心部の LiDAR データ



付図-11 名古屋市中心部の LiDAR によるポリゴンデータ



付図-12 北九州市小倉駅付近の4d-GISデータ



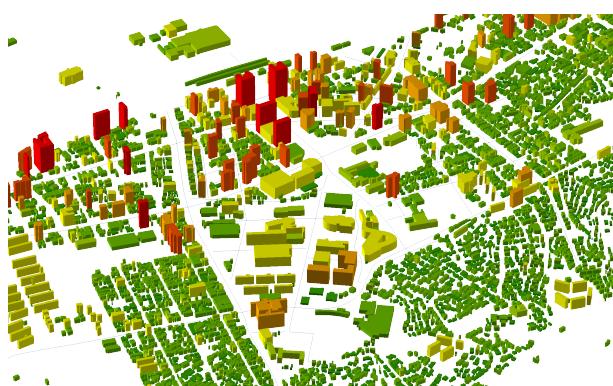
1986年



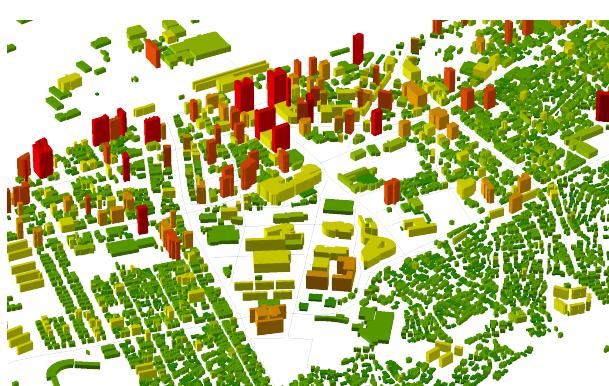
1995年



2000年



2005年

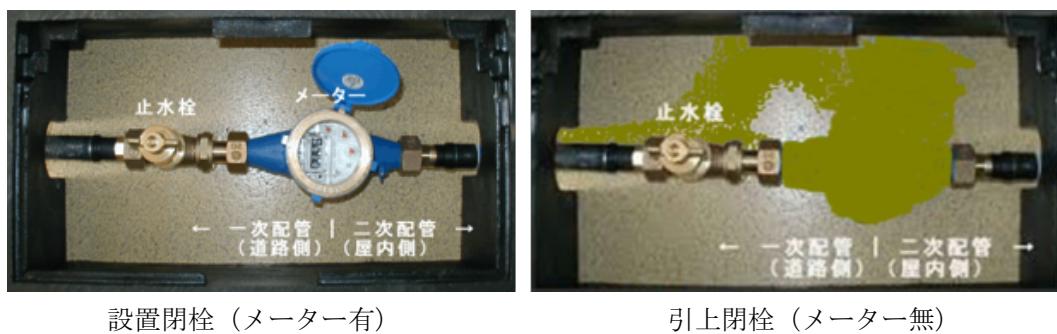


2010年

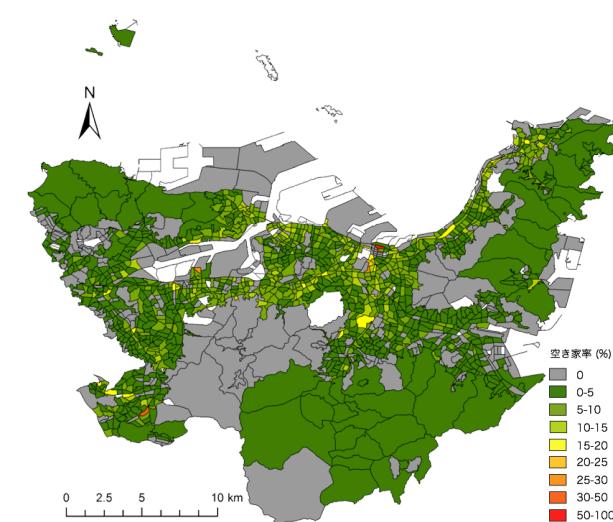


2014年

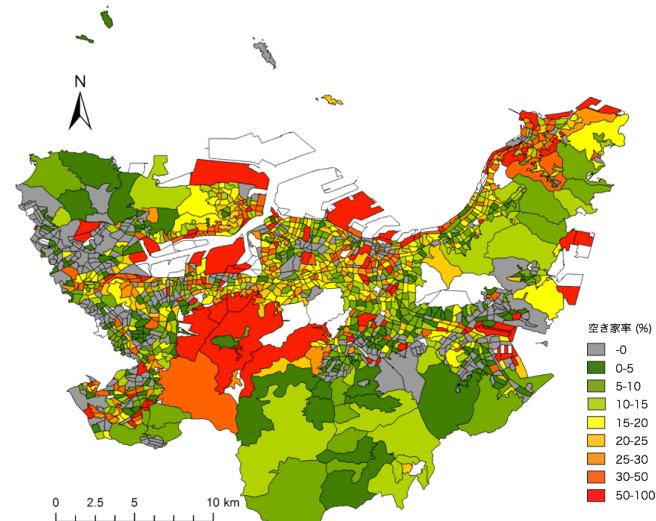
付図-13 北九州市八幡駅付近の4d-GISデータ



付図-14 空き家推計に用いる水道の引上閉栓情報

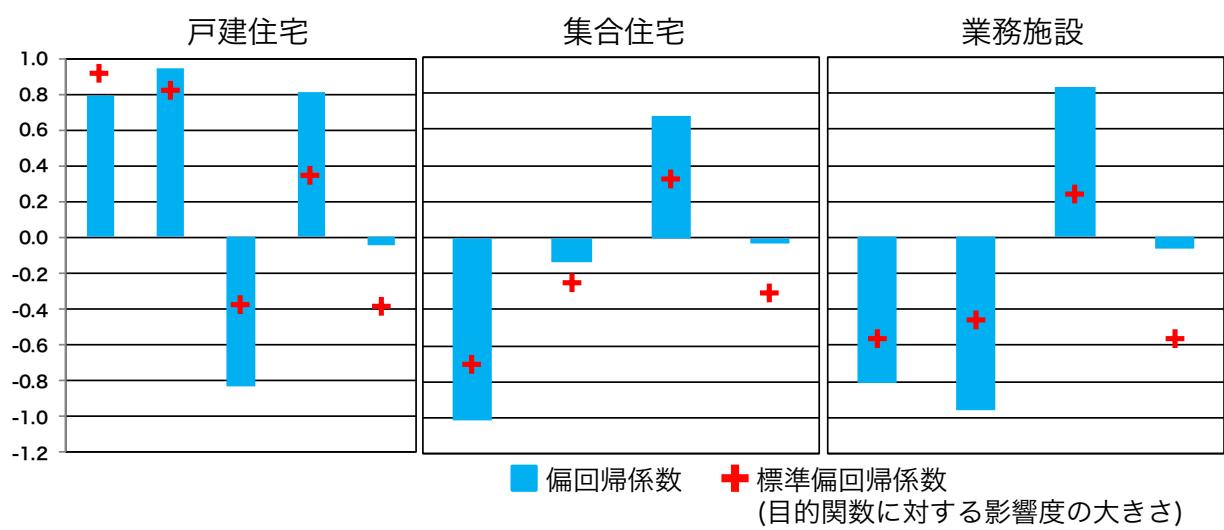
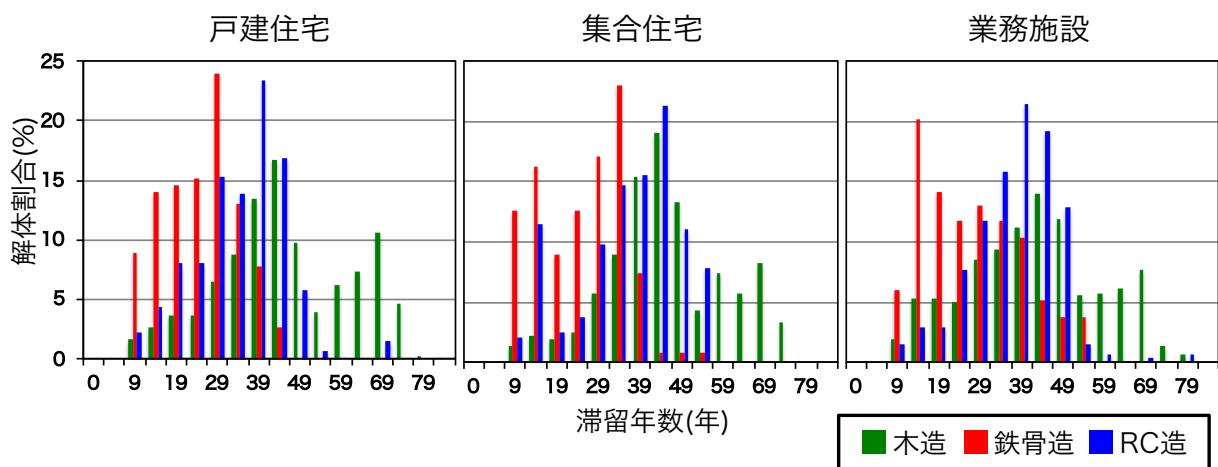


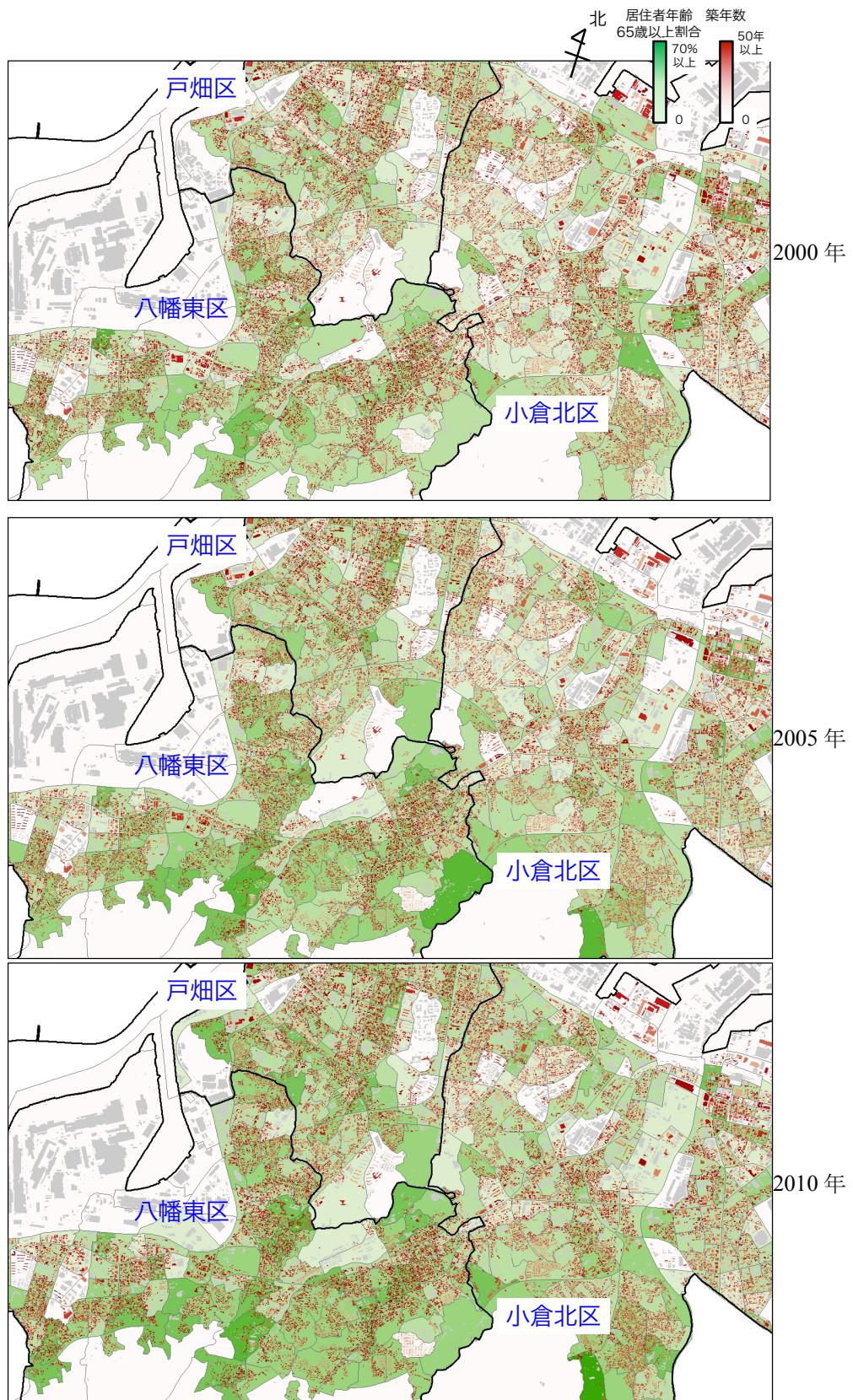
(a) 水道の引上閉栓情報による空き家推計結果の分布



(b) 空間データと国勢調査の比較による空き家推計結果の分布

付図-15 北九州市の空き家推計データの比較





付図-18 居住年齢と建築物築年数の関係