都市構造物の滞留年数に関する概念整理及び寿命区分に基づく物質ストックの定量化

松代竜毅[1]・山下奈穂[2]・白川博章[3]・谷川寛樹[4]

1．学生会員　名古屋大学博士前期課程　環境学研究科都市環境学専攻
（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 D2-1(510)）
E-mail: matsushiro.tatsuki@c.mbox.nagoya-u.ac.jp
2．学生会員　名古屋大学博士後期課程　環境学研究科（同上）
3．正会員　名古屋大学准教授　環境学研究科（同上）
4．正会員　名古屋大学教授　環境学研究科（同上）

日本では空き家や空きオフィスなど退蔵ストックと呼ばれる建設ストックが増加しており，都市構造物の適正な建設計画に向けて退蔵ストックを含む物質ストックの定量化が重要である．本研究は，物質ストックの定量化に使用される都市構造物の寿命について，既存の文献に基づいた寿命区分の整理と，各寿命区分に則った用途別・構造種別の都市構造物の物質ストック推計を行うことを目的とする．

本研究では，都市構造物の寿命を大きく経済的・機能的・物理的の三種類に分類し，ストックを各寿命の境界に基づき整理した．また建築物のうち住宅と事務所について，各寿命区分に基づき物質ストック推計と比較を行ったところ，2020年時点での木造住宅ストックは17.6億トン（経済的），37.6億トン（機能的），32.6億トン（物理的）で，S造住宅ストックは16.5億トン（経済的），77.6億トン（機能的），116億トン（物理的）で寿命区分による変化が見られた．

Key Words : *material stock analysis, lifetime, urban built structure, vacant house, renovation*

1．はじめに

近年，日本では空き家や空きオフィスなど非利用ストックの増加が深刻化している．このようなストックは退蔵ストック（Obsolete stock）と呼ばれ，社会における潜在的な廃棄物量と捉えられる．今後も退蔵ストックの増加が懸念され，将来の最終処分量や再生利用量の推計及び適正な処理計画を考える上で，退蔵ストックを含む物質ストックの定量化・定質化を詳細に行うことが重要である．しかし，既往研究では物質ストックを算出する際に都市構造物の寿命を一義的に捉えており，二次利用できる可能性を残した物質ストックなど，社会に残存するストックを詳細に考慮できておらず，退蔵する理由を考慮した寿命設定が行われていないことが課題であった．本研究は，都市構造物の寿命に関する概念を整理することを目的とする．

小松ら（1992）[3)] は区間残存率推計法を用いて建築物の寿命を推計し，木造住宅は 38.2 年， RC 造住宅は 40.6 年と示した．一方，日本建築学会は，建築物全体が大規模な改造・改築または除却が必要になると予測されるまでの年数を耐用年数と定め，木造住宅は 40 年以上， RC 造住宅は 60 年以上と設定した．都市構造物の寿命設定には想定する資材や品質による差があるが，寿命の考え方の違いは物質ストック量・解体廃棄物量の推計に影響しうる．都市構造物ストックの詳細な把握に向け，社会に物質が留まる期間である滞留年数に関する概念の定義及び明確な境界設定に基づく推計を行うことが望ましい．

日本の住宅は欧州の住宅に比べ平均使用年数が 30 年以上も短く，日本における住宅の使用年数が短い要因の一つとして，長期間の使用による都市構造物の価値の低下が大きく関係している．築後年月が経過した建築物を解体し，同じ場所に建築物を新築するスクラップ・アンド・ビルドの考え方は，日本の経済成長に大きく貢献した．しかし，政府が新築

を推奨したことで，建築物の維持管理を前提とした長期間の使用が社会に浸透せず，建築物のライフサイクルが短いことによる持続可能な資源利用・自然環境への悪影響が懸念された．また，長期間使用した建築物の価値を適切に評価する仕組みが不十分であり，中古建築物は売買の対象になり難いという経済的な問題も生じている．高度経済成長期に資源を大量投入・大量消費して建設された都市構造物について，近年空き家や空きオフィスとして社会に残存する退蔵ストックの増加が喫緊の課題となっている．これらのストックは解体にもコストがかかるため放置されるケースが多く，循環型社会構築の大きな妨げとなっている．

循環型社会形成推進基本法にもあるように，資源投入量の抑制および 3R の推進による持続発展可能な社会の実現に向け，適切な寿命設定に基づく都市構造物ストック量の把握及び将来の廃棄物量の予想を行うことが重要である．本論文では，用途別・構造種別の都市構造物の適切な寿命を設定し，各寿命設定に基づき都市構造物の物質ストックを推計し，比較・検討を行うことで将来の健全な都市計画の策定に寄与することを目的とする．

2. 研究手法

(1) 都市構造物の寿命に関する境界設定

本研究では，都市構造物の寿命の概念整理に際して，建築物や社会基盤施設の寿命に関する既存の文献を調査した．都市構造物それぞれについて想定される事例を挙げ，概念の範囲及び関係性を明らかにする概念図を作成した．また，設定した寿命境界に基づき，都市構造物の寿命に関する既存の資料を参考に住宅と非住宅及び社会基盤施設について寿命を定義した．なお，非住宅については，国土交通省の建築物着工統計にも記載の 1）事務所，2）店舗，3）工場及び作業場、4）倉庫，5）学校の校舎，6）病院・診療所の 6 つの区分に従って分類を行った．

本研究では，都市構造物の寿命を大きく経済的・機能的・物理的寿命の三種類に分類し，各寿命の境界に基づき都市構造物のストックを区分した．経済的寿命は補修費用が改築・解体費用を上回る年数，機能的寿命は周辺環境の変化により都市構造物本来の役割を失う年数を指している．例えば，廃駅や廃校の一部は本来の用途を終えた後に別の用途（観光資源など）として利用され，機能的寿命を迎えたが経済的寿命は迎えていないストックとして区分される．また，物理的寿命は部材の経年劣化などによって耐久性を発揮できなくなる年数と定義した．

建築物について，経済的寿命は国税庁の公表する減価償却資産の耐用年数表 [1] をもとに定め，機能的寿命は小松(2008) [4] の論文を，物理的寿命は日本建築学会の発行する「建築物の耐久計画に関する考え方」[2] に記載の建築物全体の望ましい耐用年数の級を参考に定めた．小松(2008)は用途別の平均寿命の算出を行ったがその種類は限られていたため本論文では 2）店舗，5）学校の校舎，6）病院・診療所の機能的寿命については扱わない．

社会基盤施設は超長期間の使用を前提としており，設計の段階で解体が想定されていない．工種も「新設工事」と「維持・修繕工事」に分類されている [9]．従って，社会基盤施設については基本的に目的の用途で利用されなくなることはないと仮定した．また，物理的寿命を耐久性の低下によって補修されるまでの年数と定義すると，社会基盤施設は定期的に維持管理を行い，税法上の耐用年数を迎える場合に補修されるという前提があり，物理的寿命は経済的寿命と等しくなると考えられる．

(2) 各寿命設定に基づく物質ストックの定量化

(1) で設定した各寿命に基づき、建築物のうち住宅と事務所について延床面積の推計を行ったのち，資材投入原単位を乗じて物質ストックの定量化を行った．推計に用いた資材投入原単位は，国土交通省の建設資材・労働力需要実態調査 [11] で扱われているセメント，生コン，骨材・石材，木材，鋼材主要資材の資材投入原単位である．セメント，骨材・石材，木材については谷川ら(2020) [5] が 1991 年から 2009 年の全用途合計原単位を用いており，本推計を行うにあたり，1982 年から 1988 年，2010 年から 2017 年の資材投入原単位を追加した．資材投入原単位は年次によらず安定しているため，データのない年次については前後の原単位から連続的に予測した値を用い，1981 年以前と 2018 年以降についてはそれぞれ 1982 年と 2017 年の資材投入原単位を用いた．また，生コンと鋼材についてはデータが不足していたため，2018 年（平成 30 年度）の国土交通省の建設資材・労働力需要実態調査に記載の資材投入原単位を一括

で適用した.

推計範囲は，住宅は建築物着工統計[10]で住宅の着工床面積のデータが存在する 1966 年から 2020 年までを対象とし，事務所についても同統計に基づき 1988 年から 2020 年までを対象とした．推計開始年以前の物質ストック量はデータがなかったため，推計開始年以後の新規物質ストック量を結果として示す. 推計に用いたのは小松ら(1992)[3]が示した残存率関数で，山下ら(2021)[6]が着工床面積の算出に利用している Fishman et al. (2014,2019)[7][8]によって作成された動的物質フロー分析の計算式を用いて延床面積の算出を行った．今回定義した寿命をそれぞれの関数に変数として代入する際は，小松ら(1992)の算出したパラメータを用いて変換を行った. 構造種別・用途別で推計に用いた残存率関数が異なるため，用途別・構造種別の確率密度関数の分布系の対応表を**表-2.1** に示す．最後にセメント，生コン，骨材・石材，木材，鋼材の重量を合計した値を物質ストックとして比較した.

表-2.1　推計に用いた残存率関数の分布形

用途	構造種	残存率関数の分布系
住宅	木造	対数正規分布
	SRC 造	正規分布
	RC 造	正規分布
	S 造	ワイブル分布
事務所	木造	正規分布
	SRC 造	対数正規分布
	RC 造	対数正規分布
	S 造	ワイブル分布

出典：小松ら（1992）[3]

3. 結果と考察

(1) 都市構造物の寿命に関する概念図と具体例

寿命の分類を示す概念図を**図-3.1** に，各寿命区分における都市構造物の状態と具体例を**表-3.1** に示す. 建設物の寿命は，資産としての価値が経年で償却することによる経済的寿命と，目的の用途で利用されなくなる機能的寿命，建物全体としての耐久性の低下で構造物としての利用が難しくなる物理的寿命の大きく 3 つに分類され，概念図に示すように一部が重複する関係にある．また，寺社仏閣などの歴史的建造物は宗教的・文化的価値の保存そのものを目的

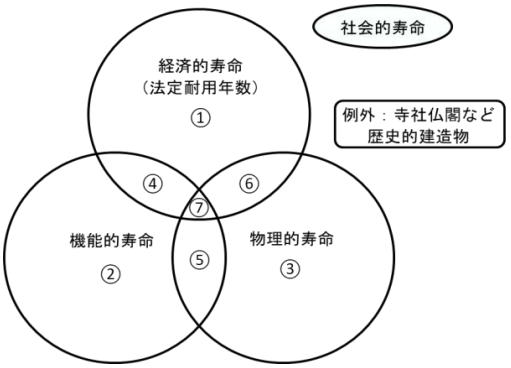

図-3.1　都市構造物の寿命区分に関する概念図

表-3.1　各寿命区分における都市構造物の状態と具体例

領域	寿命区分	状態（具体的な例）
①	固定資産の減価償却により経済的寿命を迎えた都市構造物	法定耐用年数を経過したストック
②	周辺環境の変化（人口増減など）によって機能的寿命を迎えた都市構造物	人口減少など社会的要因により利用されなくなったストック 例：廃ダム，廃駅
③	部材の経年劣化（腐食や風化）によって物理的寿命を迎えた都市構造物	適切な補修を施した上で引き続き利用できるストック 例：築後年月が経過した橋梁，トンネル
④	物理的寿命は迎えておらず，新たな用途で利用できる可能性がある都市構造物	新たな買い手を募集しているストック 例：空き家，空きオフィス
⑤	経済的寿命は迎えていないが，補修しても機能を発揮できない都市構造物	災害などで指定された立ち入り禁止区域に存在するストック
⑥	機能的寿命は迎えておらず，解体にも費用がかかるなどして残置される都市構造物	利用されておらず，構造を保持するためのストック 例：山奥の極端に利用が少ないトンネル
⑦	取り壊されるべき都市構造物	倒壊寸前で危険度の高いストック

にしている場合が多く，改修工事によって維持管理され，基本的に退蔵ストックとはならないため例外として考える．

既存の研究では，推計による物質ストックから発生する廃棄物量と，国が統計として開示している廃棄物量に差異が生じるなどの問題点が生じている．社会に存在する物質ストックの中には，現在使用中であるものから，売り出し中など一時的に利用されていないもの，今後も使用される見込みがないものや，本来の用途とは異なる目的で活用されているものなど様々な状態が想定される．物質ストックのそれぞれの利用状況について，図に示す分類で都市構造物の寿命を定義することが必要である．

建築物における各構造種別・用途別の寿命を**表-3.2** に示す．用途の同じ建築物でも構造種によってその寿命に差が生じ，またその逆で同じ構造種でも用途によって寿命が異なることが判明した．特に，日本建築学会の定める建築物全体の望ましい耐用年数の級に基づく物理的寿命については，1988 年時点で設定された寿命であるため，技術革新による資材強度の向上や建築基準の変更により現在の状況と異なる可能性がある．

表-3.2　寿命区分に基づく用途別・構造種別の寿命

用途	寿命区分	木造	SRC 造	RC 造	S 造
住宅	経済的	22	47	47	34
	機能的	54.00	56.76	56.76	51.85
	物理的	40	60	60	60
事務所	経済的	24	50	50	38
	機能的	－	51.39	51.39	41.70
	物理的	40	60	60	60
店舗	経済的	22	39	39	34
	物理的	40	60	60	60
工場及び作業場	経済的	15	38	38	31
	機能的	－	－	－	45.81
	物理的	25	25	25	25
倉庫	経済的	15	38	38	31
	機能的	－	－	－	45.81
	物理的	25	25	25	25
学校の校舎	経済的	22	47	47	34
	物理的	60	60	60	60
病院・診療所	経済的	17	39	39	29
	物理的	40	60	60	60

出典：国税庁　減価償却資産の耐用年数表[1]，小松（2008）[4]，
日本建築学会「建築物の耐久計画に関する考え方」[2]

（2）用途別・構造種別の物質ストック量の推計

各設定に基づき，住宅の物質ストックの定量化を行った結果を**図-3.2～3.5** に示す．2020 年時点での木造住宅の物質ストック量は 17.6 億トン（経済的），

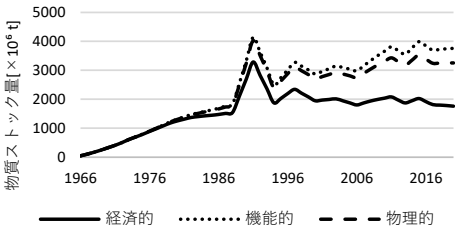

図-3.2　木造住宅の物質ストック量の推移

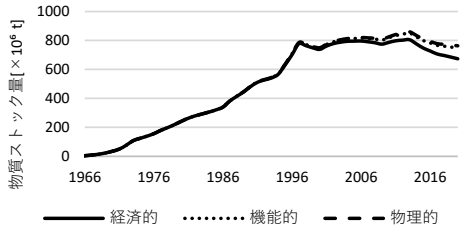

図-3.3　SRC 造住宅の物質ストック量の推移

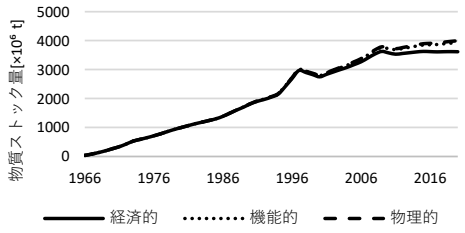

図-3.4　RC 造住宅の物質ストック量の推移

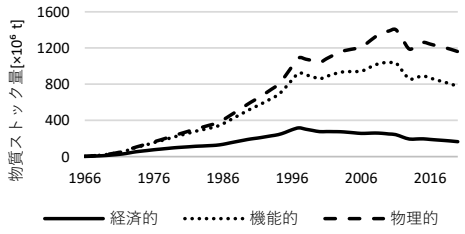

図-3.5　S 造住宅の物質ストック量の推移

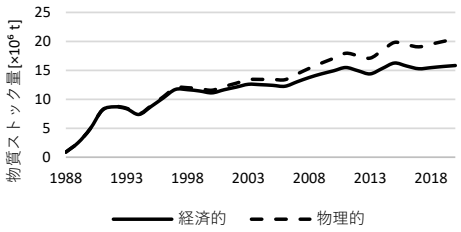

図-3.6 木造事務所の物質ストック量の推移

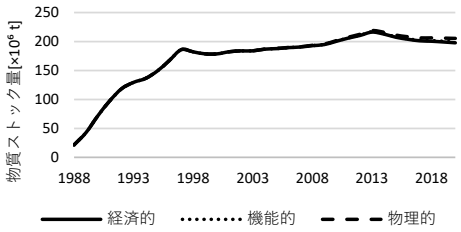

図-3.7 SRC 造事務所の物質ストック量の推移

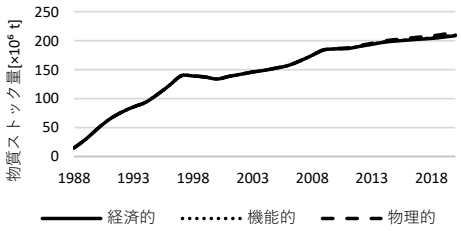

図-3.8 RC 造事務所の物質ストック量の推移

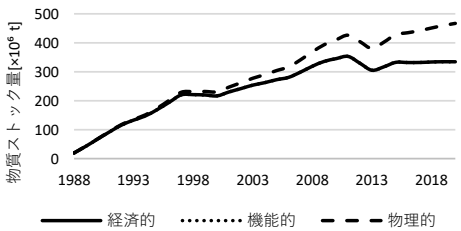

図-3.9 S 造事務所の物質ストック量の推移

37.6 億トン（機能的），32.6 億トン（物理的）であることが判明した．1991 年時点での物質ストック量のみ大きな変化が見られたが，木材住宅に使用される割合の大きい木材の資材投入原単位が影響している．RC・SRC 造住宅については，木造住宅と比較すると寿命区分による大きな差異は生じなかったが，S 造住宅の 2020 年時点での物質ストック量は 16.5 億トン（経済的），77.6 億トン（機能的），116 億トン（物理的）で経済的寿命を用いた推計に大きな乖離が見られた．これは，S 造住宅の残存率関数がワイブル分布に従うため，パラメータによる変数の変換が影響していると考えられる．経済的寿命に従う場合，2000 年前後から木造住宅の物質ストック量は減少傾向にあるという結果が得られたが，実際に減少しておらず，その原因として前述した空き家や二次住宅の増加が問題となっていると考えられる．

次に，事務所についても住宅と同様の推計を行った．事務所の物質ストック量の推計を行った結果を**図-3.6～3.9** に示す．事務所ストックは住宅ストックとは異なり，S 造が大きな割合を占めていることが示された．最も大きな割合を占める S 造事務所について，2020 年時点での物質ストック量は 3.34 億トン（経済的），3.34 億トン（機能的），4.67 億トン（物理的）であると判明した．

このことから，単純に物理的耐久性のみを評価するとまだ利用できる事務所が多いものの，経済的価値の損失などが原因で利用されなくなり，退蔵ストックとして社会に滞留していることが示唆された．寿命区分によって住宅と事務所の物質ストック量の推計結果が異なることから，建築物の寿命は物質ストック推計に大きな影響を与える要素であることが確認された．

4. おわりに

本研究は，都市構造物の寿命に関する既存の文献を調査し，大きく経済的・機能的・物理的寿命の 3 つに分類したのち，各寿命区分に基づき物質ストック量の推計を行い，過去の推計と比較した．以下に結論を示す．

1) 寿命の定義が曖昧な，建築物や土木構造物を含む都市構造物について，建設目的などを鑑みた寿命の境界設定を行った．

2)物質ストック定量化に関する既存の研究では都市構造物の寿命が一義的に捉えられていた．本研究では近年増加している空き家や空きオフィスなど，多様な利用度を考慮した寿命区分に基づく推計を行い，より現実に即した推計を試みた．

3) 住宅と事務所の物質ストック量推計は，寿命区分によって結果に大きな差が見られた．特に S 造事務

所は経済的・機能的寿命に比べ物理的寿命が長く，物理的耐久性を考慮するとまだ利用可能なはずのストックが，維持管理の費用増大などの要因によって利用されなくなり，退蔵ストックとして社会に滞留している可能性が高いことが示唆された．

今後の課題としては，1）技術の発展などに伴い都市構造物の物理的寿命が向上していると予想されることから，各都市構造物について近年の動向を調査する必要があること，2）建造物の二次利用を考慮した建設サイクルの構築に寄与する都市構造物ごとの適正な寿命を設定すること，3）物質ストック推計の際，生コンと鋼材については資材投入原単位を一括で適用しており，原単位の詳細化が不足していたため，今後修正が必要であることが挙げられる．本研究で得られた知見をもとに，建設資材の新規投入量の抑制及びリサイクル率の増加，都市構造物のリユースシステムの構築など，将来的な都市計画策定への貢献が期待される．

謝辞：本研究は，鉄鋼連盟教育研究助成を受けて行われたものである．ここに感謝の意を記す．

参考文献

1） 国税庁，減価償却資産の耐用年数表
2） 日本建築学会（1988）建築物の耐久計画に関する考え方
3） 小松幸夫・加藤裕久・吉田倬郎・野城智也（1992）我が国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告．日本建築学会計画計論文報告書，439，91-99.
4） 小松幸夫（2008）1997 年と 2005 年における家屋の寿命推計，日本建築学会計画系論文集，第 73 巻，第 632 号，2197-2205
5） 谷川寛樹・山本大陸・山下奈穂・白川博章（2020）日本全国の利用度別物質ストックの定量化－住宅におけるケーススタディー．土木学会論文集 G（環境），76，II_9-II_16.
6） 山下奈穂・加用千裕・谷川寛樹（2021）木造住宅と森林の木材受給を考慮した炭素ストックのシナリオ分析．環境科学会誌 34（4）：184-195.
7） Fishman T., H. Schandl, H. Tanikawa, P. Walker and F. Krausmann (2014) Accounting for the material stock of nations. Journal of Industrial Ecology, 18(3), 407-420.
8） Fishman T. and T.E. Graedel (2019) Impact of the establishment of US offshore wind power on neodymium flows. Nature Sustainability, 2(4), 332-338.
9） 浜田成一・杉原栄作・貝戸清之・水谷大二郎（2016）社会基盤施設の維持・修繕工事における専門工事企業の役割と制度設計．土木学会論文集 F4（建設マネジメント），Vol. 72，No. 3，84-101
10） 国土交通省（1966-2020）建築物着工統計
11） 国土交通省（1976-2018）建設資材・労働力実態調査（建設部門）業務調査

?

?

REVIEW ON CONCEPTS OF URBAN BUILT STRUCTURE LIFETIME AND MATERIAL STOCK QUANTIFICATION BASED ON ITS CLASSIFICATION

Tatsuki MATSUSHIRO, Naho YAMASHITA, Hiroaki SHIRAKAWA, Hiroki TANIKAWA

In Japan, the obsolete stock such as vacant houses and offices has been increasing, and it is important to quantify the material stock including obsolete stocks for appropriate construction planning of urban structures. This study is to quantify the material stock of buildings by different use and structure types based on the existing literature about the life span of built environment.

In this research, the lifespan of urban structure was classified into three major categories: economic, functional, and physical lifespan, and the material stock of urban structures was organized based on each lifespan category. The stock of wooden housing is 1.76 billion tons (economic), 3.76 billion tons (functional) and 3.26 billion tons (physical) in 2020, and the stock of steel structure housing is 1.65 billion tons (economic), 7.76 billion tons (functional) and 7.76 billion tons (physical) respectively.