

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

山本 大睦¹・奥岡 桂次郎²・谷川 寛樹³

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 学生 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail: yamamoto.hiromu@i.mbox.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 助教 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail: okuoka@nagoya-u.jp

³正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 教授 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail: tanikawa@nagoya-u.jp

地域循環共生圏の形成に向け、従来のフロー型社会からストック型社会へ移行が重要であり、物質ストックの定量化に加え、どれだけのストックが機能を果たしているのか把握する必要がある。物質ストック本研究では退蔵ストック推計に向け、廃棄率を建築年代で変化させ、建築物の動的廃棄率の推計を行った。2016年の木造建築物の滅失床面積は3508万m²で統計値と近い値を示した。また、推計した廃棄率を用いて延床面積を推計したところ、2015年の延床面積は建築物全体で74.6 m²と判明した。今後、動的廃棄率を物質ストック推計に用いることで退蔵ストック定量化する必要がある。

Key Words : *Stock-type society, Obsolete Stock, Lifespan of Buildings, Lost floor area, Probability density function*

1. はじめに

環境白書(2018)より、地域循環共生圏の創造が目標に掲げられ、資源循環に関して、技術的・経済的に可能な範囲で環境負荷の低減を最大限考慮し、各地域・各資源に応じた適切な規模で循環させることが必要とされた。地域循環共生圏の創造に向け、日本は従来の大量生産・大量消費を伴うフロー型の社会から脱却し、社会に構造物や製品として滞留している物質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への移行することが必要不可欠である。日本ではOECD諸国の中でも少子高齢化が最も進み、人口減少に転じているにもかかわらず、住宅戸数を例に見ても増加の一途を辿っている。このまま都市のメタボリズムが進めば、建築物や社会基盤施設が必要以上に社会に蓄積し、資源投入が過剰に陥り、退蔵した施設からの排出量が膨大なものとなる。日本において資材循環の適切な管理は喫緊の課題であり、物質ストックの定量化を行い、社会に蓄積した物質ストックを把握することに加え、どれだけの物質ストックが社会にサービスを提供し機能を果たしているのか把握することは物質ストックを適切量に抑え、物質投入量をコントロールするというストック型社会への移行に重要な役割を果たす。

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。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

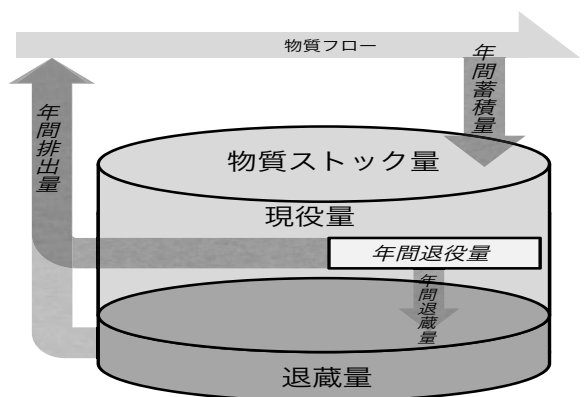


図-1 物質ストックの区分

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。谷川ら(2017)は日本全体の物質ストック型社会の構築に向け、物質ストックの区分(図-1)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、年間蓄積量、現役量、年間退役量、退蔵量、年間排出量と整理を行っている。

各既往研究で物質ストック・フローの把握が行なわれているが谷川らによる区分に着目した研究はなされていない。本研究の最終的な目的は谷川らの区分に従い、建築物の退蔵ストックの定量化を行うことである。退蔵ストック推計のアプローチとして2種の滞留推計モデルを用いてその差分から退蔵ストックを推計する方法がある。蓄積増分法は式(1.1)に示すように着工面積と建築物の解体などに伴う滅失床面積から延床面積を算出する手法である。

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

ここで TF : 延床面積合計(m^2), CF : 着工面積(m^2), DF : 滅失床面積(m^2), t : 推計する年代, k : 着工された年代, i : 構造種とする。

使用年数モデル法は式(2)に示すように建築物が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算出する。

$$TF_{i,t,k} = \sum_{k=1945}^t (R_i(t-k) \times CF_{i,k}) \quad \text{式(2)}$$

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 : 造種, t : 推計する年代, k : 着工された年代とする。

使用年数モデル法によるストックは利用に供すると推計された建築物を合計した値であるのに対し、蓄積増分法による蓄積量は着工と滅失の対応により算出されており、現状に即した値であると示唆される。2つの蓄積量の差分は利用を終えたがが解体されずに滞留している建築物であり、退蔵ストックのポテンシャルを示すと仮定できる。

使用年数モデル法に関して小松ら(1992)が検討した建築物の構造種別(木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄骨造、コンクリートブロック造、その他の構造種)に整備された確率故障密度関数に依存しており、小松らが検討した1987年当時の基準でパラメータが推計されている。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。建築基準法の改正や住宅のリフォームが一般化していることや災害等により廃棄される建築物を考慮すれば、時代とともに建築物の廃棄率は変化していくと示唆される。そこで本研究では小松らが整備したパラメータを滅失床面積から補正することで退蔵ストックの定量化に向けた動的廃棄率の推計を行った。

2. 推計方法

建築物の廃棄率について、大方ら(2012)の手法を参考に固定資産の価値等の概要調書より算出できる滅失床面積(以後、実滅失床面積とする)と着工面積に小松ら(1992)における廃棄率から算出する滅失床面積の誤差二乗和が最小となるように各パラメータを変化させた。実滅失床面積について式(3)に示すように1974年から2016年の固定資産の価値等の概要調書における毎年の延床面積の差から蓄積純増を算出し、着工面積と蓄積純増の差から毎年の滅失床面積を算出した。

$$DF'_t = CF_t - (TF'_t - TF'_{t-1}) \quad \text{式(3)}$$

ここに 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), DF' : 実滅失床面積(m^2), t : 推計する年代, k : 着工された年代, i : 構造種とする。

小松ら(1992)の故障確率密度関数を用いた滅失床面積は式(4)に示すように算出し、木造については対数正規分布、木造以外についてはワイブル分布を用いた。小松ら(1992)により推計されたパラメータを表-1に示す。

$$DF_{i,t,k} = \sum_{k=1945}^t ((1 - R_i(t-k)) \times CF_{i,k}) \quad \text{式(4)}$$

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。

実滅失床面積のデータが得られる1975年から2016年において、実滅失床面積と小松らにおける滅失床面積の誤差二乗和が最小となるように、各種構造別に10年ごとに各パラメータを変化させ、滅失床面積を推計した。またパラメータを変化させた残存

表-1 構造種別廃棄曲線パラメーター一覧

構造	寿命分布関数	パラメータ				
		μ	σ	m	η	δ
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
C造	ワイブル分布	-	-	2.368	36.14	-1.673

率を用いて各種構造別に延床面積を算出し、考察を行った。

3 結果および考察

(1) 滅失床面積

1975年から2016年までの木造建築物について本研究で推計した滅失床面積を図-2に示す。推計した木造建築物の滅失床面積は2016年で3508万 m^2 となり、実滅失床面積3523万 m^2 と近い値を示した。また、小松らにおける滅失床面積は1999年以降実滅失床面積と値が大きく乖離していたのに対し、本研究で推計した滅失床面積は実滅失床面積に近い値となった。年代ごとにパラメータを変化させることでより精度の高い滅失床面積が推計できると示唆される。また大方ら(2012)は滅失床面積が景気が良くなれば更新需要が喚起され、増加することを指摘しており、滅失床面積を反映した本研究のモデルは経済状況を反映した動的な廃棄率となりうると示唆される。

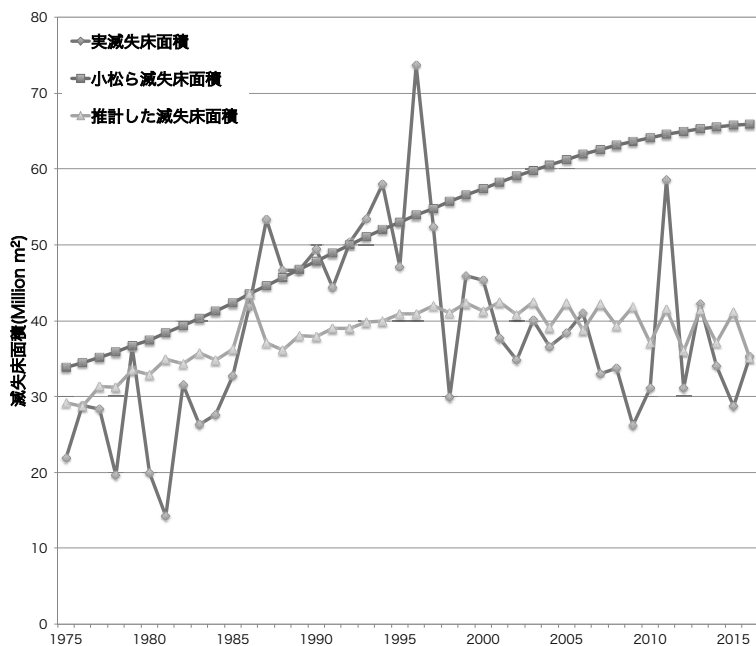


図-2 木造建築物の滅失床面積

(2) 延床面積

各種構造別に建築年代別に推計した建築物の延床面積を図-3から図-7に示す。2015年の延床面積は建築物全体で74.6万 m^2 と判明し、構造種別に木造34.3億 m^2 、SRC造0.6億 m^2 、RC造13.0億 m^2 、S造26.3億 m^2 、C造0.4億 m^2 であった。木造、S造、RC造は増加傾向にあり、SRC造は近年横ばいで、C造は減少傾向であった。固定資産の価値等の概要調書における建築物全体の延床面積は84.7億 m^2 で木造建築物が42.1億 m^2 であり、本研究で推計した値が統計値と比べ過少であった。

木造建築物は他の構造種に比べ、建築年代の古い建物が多く残っており、建築物寿命が長いことがわかる。木造以外の構造種では建築年代の古い建築物はほとんど残っておらず、建築年代の古い建築物ほど建築物寿命が短く、建築年代の新しい建築物ほど建築物寿命が長くなっている。

SRC造やRC造において建築年代間で不自然な凹凸が見られたが、これは年代間での実滅失床面積と小松らにおける滅失床面積の誤差が大きく変化したためであると考えられる。今回の廃棄率の推計では10年代ごとにパラメータを変化させたが、特に木造建築物は統計値との乖離が大きく、この年代幅は今後も検討する必要がある。

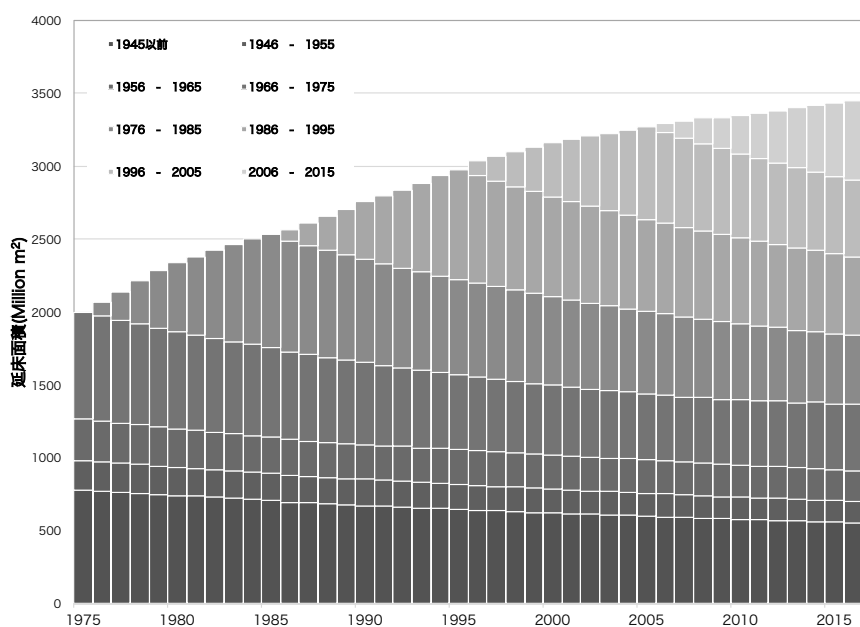


図-3 木造建築物の延床面積

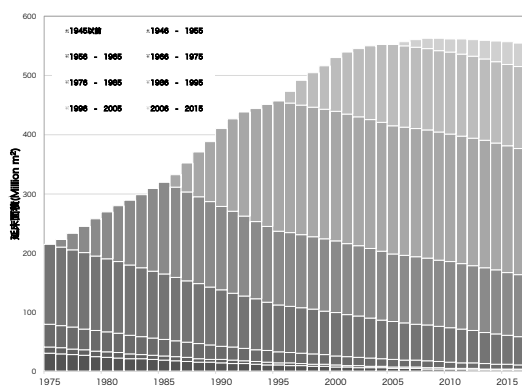


図-4 SRC造建築物の延床面積

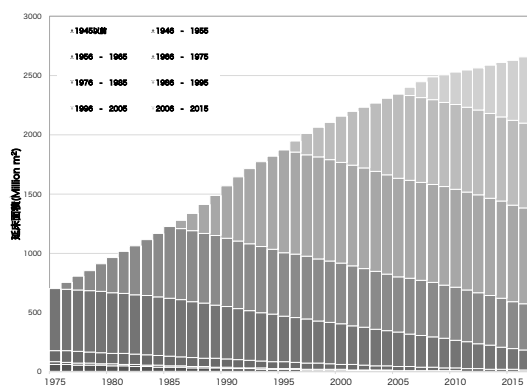


図-5 S造建築物の延床面積

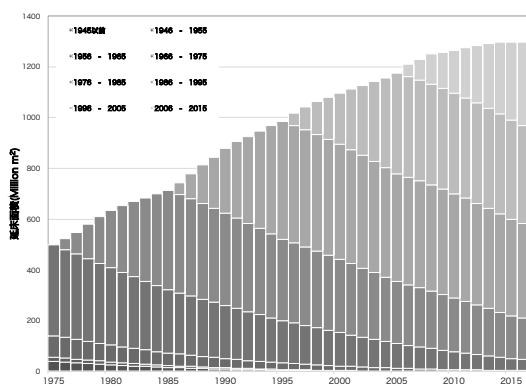


図-6 RC造建築物の延床面積

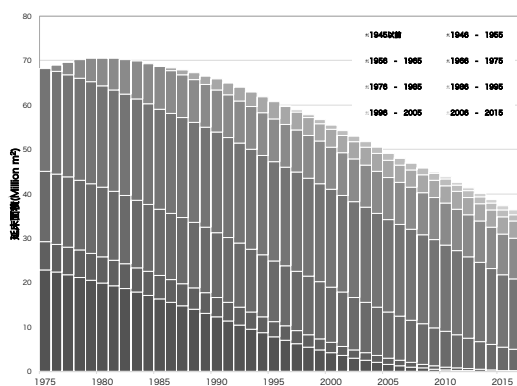


図-7 C造建築物の延床面積

4 おわりに

本研究では退蔵ストックに向けた建築物の動的廃棄率の推計を行った。推計した木造建築物の滅失床面積は2016年で3508万 m^2 となり、実滅失床面積3523万 m^2 と近い値を示した。また推計した廃棄率から算出した建築物全体の延床面積は74.6万 m^2 と判明した。今後の課題として10年代で変化させたパラメータについて他の年代幅で変化させることの検討が必要なことや推計した廃棄率を用いて物質ストックを推計する必要がある。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費(2-1711)、環境研究総合推進費補助金(3K163011)の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 小松幸夫, 加藤裕久, 吉田倬郎, 野城智也: 我が国における各種構住宅の寿命に関する調査報告, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 439 号, pp101-110, 1992
- 2) 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
- 3) 小見康夫, 栗田紀之: 長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション, 日本建築学会計画系論文集, Vol.75, No656, pp2459-2465, 2010
- 4) 大方郁巳, 醍醐市朗, 松野泰也, 足立芳寛: 経済状況による廃棄確率の変化を考慮した使用済み素材

- 回収率, 日本LCA学会研究発表会講演要旨集, D1-04, pp.2-06, 2012
- 5) 田中健介, 早川容平, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹(2013): 都道府県における建築物・社会基盤施設の経年マテリアルストック推計に関する研究, 土木学会論文集G(環境), Vol69, No.6(環境システム研究論文集 第41巻), pp.II_25-II34, 2013
- 6) 谷川寛樹, 醍醐市朗, 小口正弘, 奥岡桂次郎, 高木重定: 物質ストック・フローに着目したストック型社会構築に向けた指標, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.28, No.6, 431-437, 2017
- 7) Daniel B. Muller : Stock dynamics for forecasting material flows-Case study for housing in the The Netherlands, ECOLOGICAL ECONOMICS, Vol.59, pp142-156, 2006
- 8) 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
- 9) Alessio Miatto, Heinz Schandle, Hiroki Tanikawa : How important are realistic building lifespan assumptions for material stock and demolition waste accounts?, Resources Conservation and Recycling, Vol.122, pp.143-154, 2017
- 10) 環境省: 平成30年度版環境・循環型社会・生物多様性白書
- 11) 国土交通省: 建築着工統計年報(1960-2016)
- 12) 総務省: 固定資産の価値等の概要調査(1974-2016)
- 13) 統計局: 住宅土地統計調査(2008, 2013)

(2018. 8. 24受付)

ESTIMATION OF THE LIFESPAN OF BUILDING THROUGH DYNAMIC MODEL FOR QUANTIFYING THE OBSOLETE STOCK

Hiromu YAMAMOTO, Keijiro OKUOKA and Hiroki TANIKAWA

- 1) Transition from conventional flow-type society to stock-type society is important for the formation of sound material-cycle society, and in addition to quantifying material stocks, it is necessary to grasp how much stocks are performing their functions. In this research, we estimated the lifespan of buildings using dynamic model by changing the disposal rate according to the building age, in order to estimate obsolete stock. The loss and floor area of wooden buildings in 2016 was 350.8 million m^2 , which was close to the statistical value. Also, when the estimated floor by using the estimated waste rate, the total floor area in 2015 was found to be 74.6 m^2 for the entire building. From now on, it is necessary to quantify material stock and obsolete stock by using this lifespan of buildings