

複数年の建築物 GIS データベースを用いた 資材量推計および耐用年数推計に関する研究 —和歌山市中心部におけるケーススタディ—

東岸 芳浩¹・谷川 寛樹²・橋本 征二³

¹学生員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

E-mail: s084040@sys.wakayama-u.ac.jp

²正会員 和歌山大学准教授 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)

³正会員 (独) 国立環境研究所 主任研究員 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

戦後から現在にかけ日本では大量生産、大量消費、大量廃棄といったフロー型社会構造を形成してきた。建設部門においても例外ではなく、高度経済成長期に大量に投入された建築資材が今後大量に排出される恐れがある。しかし建設廃棄物の再利用率が高い土木工事は減少傾向にあり、最終処分場の残余容量が減少しているなか、今後持続可能な社会を目指すためには既存のストックの中で、将来必要・不要となる物質質量およびその排出時期を知り、物質を効率よく循環させる社会システムを構築することが重要である。そこで本研究では GIS を用いて建築物の時系列 GIS データベースを構築し建築物の資材別蓄積量を推計する。また各年代間での空間情報比較を行い、建築物の滅失推移を推計することで耐用年数を推計する。

Key Words : Material Flow Analysis, Geographical Information Systems, Lifespan of Structure

1. はじめに

循環型社会形成推進基本法が平成 13 年 1 月に施行され本格的な循環型社会構築への取り組みが行われつつある¹⁾。建設部門においても建設リサイクル法の制定により建設副産物の抑制やリサイクル率の向上といった対策がとられ、アスファルトやコンクリートにおいては高いリサイクル率を実現しているが、依然として排出量は高い水準にあるのが現状である。また、戦後から高度経済成長期にかけて蓄積されてきた建築構造物が耐用年数を迎えることにより、近く大量の構造物が解体され新たなフローを生み出すと予測される。さらに建築副産物の再利用先として有効な土木工事が減少傾向にあり、最終処分場が現状では飽和状態にあるため、適切な対策がとられなければ今後循環型社会の持続が困難となる可能性がある。

循環型社会白書によると日本のマテリアルフロー推計は総物質投入量が 19.4 億 t、建築物や社会インフラとしての蓄積純増が 8.3 億 t、エネルギー消費や廃棄物としての環境排出量が 10.7 億 t である²⁾。こうした日本全体を俯瞰するために、統計情報に基づいたマテリアルフロー分析 (以下、MFA) を行うことは有効で、MFA を活用した指標作りに役立つ

っている。

ここで統計ベースの MFA において、建築物における耐用年数を推計する際には信頼性理論に基づく故障密度関数として対数正規分布およびワイブル分布を用いるのが一般的である。既存研究においても同様に対数正規分布、ワイブル分布を用い、建築年次別床面積、将来解体床面積といった統計情報により耐用年数の推計がなされている³⁾⁴⁾⁵⁾。

また MFA において資材別のフローを推計する際には産業連関表を用いたマテリアルストック推計 (以下 MSA) を用いるのが一般的である。既存研究においては産業連関表をもとに域内への流入量および域外への流出量をもとに MSA がなされている。

しかしながら日本の MFA など広範囲の MFA がどの地域にも適応するわけではなく、一連のフローおよび蓄積純増には地域間の偏りが見られるため MFA を行うためには面的な推計を行う必要がある。

本研究では地域レベルでの MFA を行うため、建築物の位置情報を考慮した GIS (Geographical Information Systems: 地理情報システム) データベースの構築を行う。また各建築物の建築属性から属性ごとの MSA を行い、さらに経年的な GIS データベースを構築することで建築物の変遷をとらえ建築属性ごとの耐用年数推計を行う。

2. 研究手順

本研究では地域の MFA を行うための基礎として、経年的 GIS データベース構築を行ない、年代間の GIS 差分データを作成し耐用年数推計を行う。地域における建設系マテリアルフローのうち、本研究の対象とするフローの境界条件を図-1 に示す。

本研究では、都市構造物の一つである建築物（木造、非木造 [S 造, RC 造, SRC 造]）に焦点を当て、それらが社会的、物理的要因により滅失し、建設副産物となる一連の都市代謝を考える。

本研究における研究手順を図-2 に示す。まず、航空写真をもとに建築物の形状データを作成し GIS データベースの構築を行う。複数年分について構築した GIS データベースを元に経年的にデータベースを連結し、同一座標上での空間比較を行うことで差分データを作成する。この差分データを用い、建築物の各年代における実際の現存率の推移を定量化し、耐用年数を推計する。

和歌山市は戦時中空襲によって市内のおよそ60%の家屋が焼失し、戦後から高度経済成長期において近現代型都市構造物が多くストックされた⁶⁾。そのため、現代の都市構造物の代謝状況を把握しやすいと考え、和歌山市中心部をケーススタディ対象地区として選定する。また和歌山市都市計画課より、過去の都市計画基本図、航空写真データの提供を得られたことも、対象地区として選定した理由の一つである。対象とした地域は、和歌山城を中心とした都市部、4.5km²、建築物棟数は10,246件(2004年時点)である。本研究の対象地域を図-3に示す。

また、本研究で用いたデータの空間座標系は、和歌山市都市計画基本図デジタルマップデータ（以下、DM データ）の座標（平面直角座標系，世界測地系，第 6 系）を基準とする。過去の航空写真は、スキャナによるデジタル化を行い、DM データと同一の座標系を与え処理を行う。さらに航空写真による作業を補うため、同年代の和歌山市国土基本図および和歌山市都市計画図をスキャンして用いる。

本研究では、和歌山市中心部を対象に 6 つの年代 (1947 年, 1958 年, 1976 年, 1987 年, 2002 年, 2004 年) のデータベース構築を行なった。

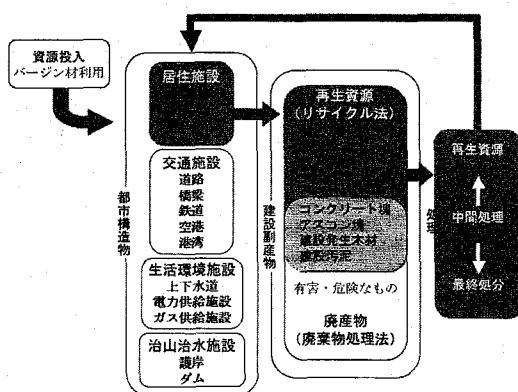


图-1 境界条件⁷⁾

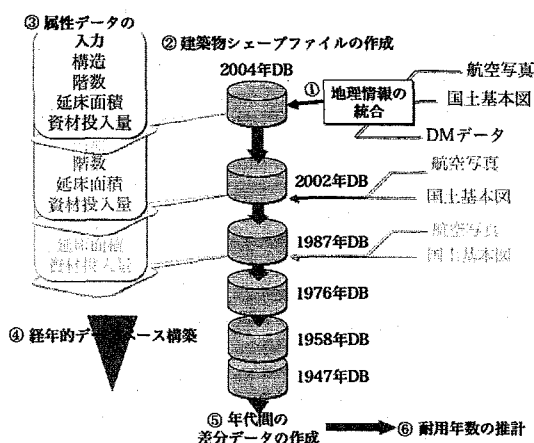


図-2 研究手順



图-3 研究对象地域

3. 経年的 GIS データベースの構築

(1) 地理情報の統合

現在の地理情報については、多くの地域で空間情報基盤の整備が進み、国土地理院等から比較的入手しやすい状況にある。しかし、過去の空間情報についてはほとんど存在せず、都市構造物の変遷を把握するためには、過去の航空写真や都市計画基本図などを元に、デジタル化し、ベクトルデータの構築を行う必要がある。航空写真に関して、本研究ではデジタル化された航空写真データ（2004 年）と、アナログの航空写真（1947 年、1958 年、1976 年、1987 年、2002 年）を用いる。アナログの航空写真は、スキャナで取り込みデジタル化を行い位置情報の付加を行う。スキャン後の画像データは位置座標情報を保持しておらず、座標情報を与えるために DM データを用い、幾何補正（アフィン変換）を行う。処理方法はソースデータにおける地形的特徴（橋梁・道路の交差点、地目）と航空写真から判読できる地形的特徴を見比べ、3 点以上の地点をリンクさせ幾何学的な補正を行ない、それぞれの地理情報を同一座標空間に統合する。

ここで、DM データは、変換処理を行い、ポリゴン形状のシェープファイルを作成することができる。変換した DM データを用い、過去の航空写真、国土基本図、都市計画図を幾何補正し、参照データとする。各年代のベクトルデータは航空写真をベースに構築を行い、判別しにくい箇所は国土基本図や都市計画図を用いて情報の補完を行う。最新の DM データをベースに、最も近い過去の航空写真を参照しながら、航空写真撮影年の建築物シェープファイルの作成を行う。

(2) 建築物シェープファイルの作成

幾何補正を行った最も近い過去の航空写真データと、DM データを複製したシェープファイルとをレイヤ表示により重ね合わせ、航空写真の撮影年と同じ年の建築物シェープファイルとしてデータを構築する。具体的には、DM データ上の建築物が、航空写真上に存在しているか見比べ、航空写真に建築物が存在していない場合にはポリゴンデータを削除する。また、航空写真に、DM データと違う建築物が存在している場合には、屋根伏ラインをトレースし新規ポリゴンを作成しデータに追加する。対象地域内において同作業をすべての建築物について行い、年代ごとに上記作業を繰り返すことで、経年的な建築物のシェープファイルの構築を行う。

(3) 属性データの入力

都市構造物のストックの推移を推計するために必要とされる属性データは、建築物構造および階層である。これらの情報は、航空写真から容易に判読できる箇所とそうでない箇所がある。例えば、撮影時に隣の建築物の影にかかっている建築物は、航空写真では構造や階層を判読することが難しい。このような場合、建築物が現存する場合は、現地調査を行い情報の補完を行い、現存しない場合は、当時の都市計画基本図や国土基本図、現地図書館の保有する写真などを参考に情報の補完を行う。建築物構造は、木造、非木造として区分した。シェープファイル作成時にこれらの属性データを逐次追加し属性データを持った建築物ポリゴンとして作成する。またすべてのポリゴンを作成した後、ポリゴンごとに形状の面積を演算し属性データに追加する。さらに、階層データと面積データより延床面積を算出し、同様に属性データとして建築物ポリゴンに追加する。延床面積データと建築物構造データ、建築構造別資材投入原単位を掛け合わせることで各建築物の資材別重量データを属性データとして追加する。表-1 に、建築構造別の資材投入原単位を示す。

(4) 年代間の差分データの作成

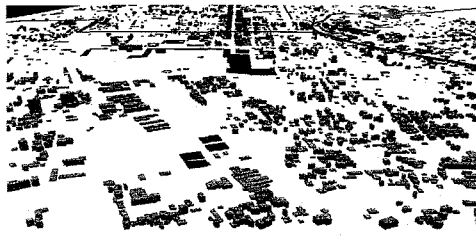
6 つの年代のシェープファイルをレイヤ表示し重ね合わせることで建築物の位置、形状情報の比較を行う。作成したデータは同一座標空間において経年的に作成を行ってきたために建築物の取り壊しが行われていない限りは同一に同形状で存在している。また、同一年代間に一度取り壊され、全く同じ形状の建築物を建て直した場合は、その変化を抽出することができない。また、建築物形状を同じくしたりフォーム等も抽出できないため、本研究での推計にて、これらの要因を考慮することができなかった。

表-1 建築物資材投入原単位^{*)}

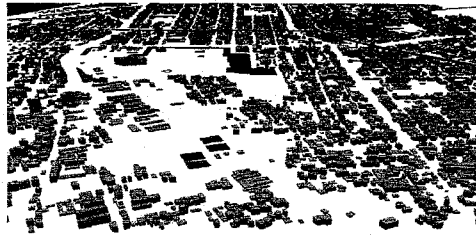
材料	原単位 kg/m ²	
	木造	非木造
砂利・石材	431.7	1117.8
木材	137.7	14.9
ガラス	3.1	3.5
セメント	48.9	173.8
陶磁器	66.0	18.0
鉄	11.6	137.5
アルミニウム	3.1	3.1
その他	2.9	9.9
合計値	705.0	1478.3

表-2 年代別建築物件数推移 (単位: 件数)

	1947	1958	1976	1987	2002	2004
木造	2,168	5,910	5,935	5,328	4,807	4,790
非木造	1,970	5,620	6,547	6,342	5,515	5,456
合計	4,138	11,530	12,482	11,670	10,322	10,246



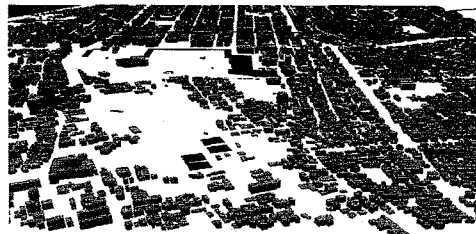
1947 年



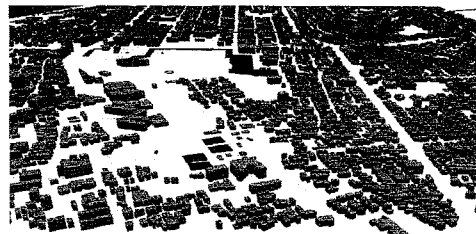
1958 年



1976 年



1987 年



2004 年

図-4 GIS データベースの視覚化

そのため、本研究では、空間検索(正確に一致するポリゴンの検索)を行うことで、同一座標に存在する同一形状のポリゴンは別の構造で無い限りは前年代から現存し続けていると仮定する。また一度滅失した建築物が以降の年代において同一座標に同一形状ポリゴンで存在する場合は別の建築物とみなし、建て直されたものとした。年代別の建築物数の推移を表-2 に示す。

(5)経年的 GIS データベースの視覚化

GIS データベースの視覚化を行なうことで、地域内でのマテリアルストックの大きさやその偏りを把握することができる。また階層データをもとにポリゴンの立体化を行ない、立体的かつ経年的に表示することでマテリアルストックの変遷をわかりやすく表現することができる。図-4 に GIS により視覚化を行った一部を示す。

4. データベースを用いた耐用年数の推計

(1) 近似曲線を用いた耐用年数の推計

建築年代・滅失年代区分をもとに建築物データの差分抽出を行ない、区分別建築物の数量の経年的推移を定量化する。建築物が建造された年代における棟数を基準とし、以降の年代における建築物の現存数より、現存率を求め、現存率の推移を近似曲線にあてはめる。本研究では比較的計算を行いやすい一般的な成長曲線(ロジスティック曲線)を用いた式(1)。成長曲線として知られるロジスティック曲線は、そのまま変数変換を行なっても線形化できないため、あらかじめ設定した収束値(飽和定数:K)の値を変化させながら相関係数や分散比が最も高くなる飽和定数を決定し、その他のパラメータ(a, b)を求めることで近似曲線の特定を行った。

$$L_{(t)} = \frac{K}{1 + \exp(b + at)} \quad (1)$$

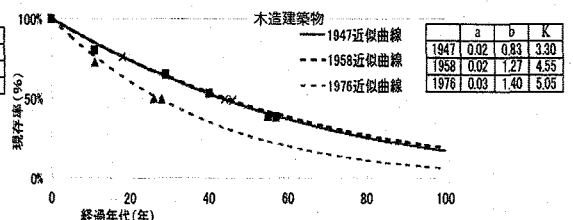
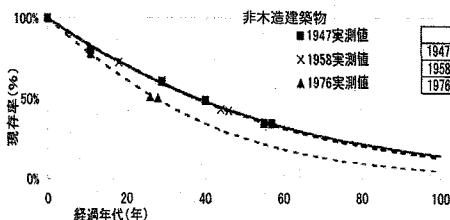


図-5 近似曲線による耐用年数推計

(2)耐用年数の推計結果

構造別（木造・非木造）に、成長曲線を用いた近似曲線のあてはめを行った結果を図-5 に示す。現存率が 50%に減失する年数が平均的な耐用年数と考えられる。そこで、建築物の構造別の平均耐用年数を、経年 GIS データを用いて推計した結果、和歌山市中心部（4.5km²）では木造 38 年、非木造 35 年となった。このエリアは神社仏閣が多く、長期にわたり整備され続けているため木造建築物の推計結果が大きいのと考えられる。また非木造建築物については 1947 年以降に地域内の工業地域において非木造工場の解体が大規模に行われ減失数が急激に増え、耐用年数が低い数字を示したと考えられる。

(3) マテリアルストックの変遷

都市構造物の経年的な GIS データベースの構築と耐用年数の面的な推計を行うことができると、マテリアルストックの変遷およびその代謝について数量化・視覚化できるようになる。今回は限られた地域で分析を行い、ストックの推移は単位面積あたりとして表示する⁹⁾。図-6 は、構築した経年 GIS データベースを用い、対象地区内の建築ストックの推移を、構造別・資材別に示したものである。

また資材別に見るとコンクリートの蓄積量が最も多く、重量比では各年平均で全体の 72.56%を占めている。重量ベースとして高い値を示す砂利・石材の使用量が多くなっていることが、資材重量が増加した原因であると考えられ、その背景として戦後非木造建築、特に RC 造建築物が増加したことが影響していると考えられる。

ここで本研究によるストック量を対象エリア面積で除し、単位面積あたりの建築物 MSA を行う。また対象地域内の人口推計をもとに単位人口あたりの MSA を図-7 に示す。単位面積あたりの MSA (kg/m²) において、建築物のストック量は 1947 年 0.15 t/m²から 2004 年 1.25 t/m²の間に重量割合で 8.08 倍となる。一人あたりの MSA (kg/cap) においては各年代での人口の変動に伴い、戦後の人口増加と高度経済成長期以降の人口減少という社会情勢のなかストック量は 1947 年 12.67t/cap から 2004 年 146.04t/cap かけ 11.53 倍となる。

この地域におけるストックの伸び率を図-8 に示す。ストックの伸び率は単位面積あたりでは戦後から現在にかけて緩やかに増加しているが 80 年代から顕著に伸び率が低下している。これは戦後建築された建築物の減失時期とバブル崩壊後の新規建築の伸び悩みが影響していると考えられる。また一人あたりのストック伸び率は戦後から一定の伸びを保

ち続けている。これは高度経済成長期以降、和歌山市が人口減少化に転じ、それに伴い一人あたりのストック量が相対的に増加したためと考えられる。今後も人口の減少が続くことになれば、この地域において余剰分のストックが発生し、結果的に社会的要求を満たさない建築物として本来の耐用年数を迎える以前に取り壊され、新たなフローを生み出す可能性がある。

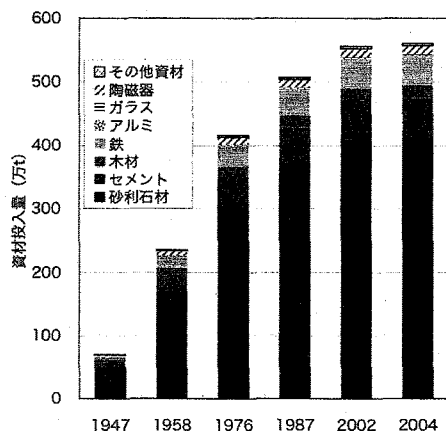


図-6 資材別マテリアルストック推移

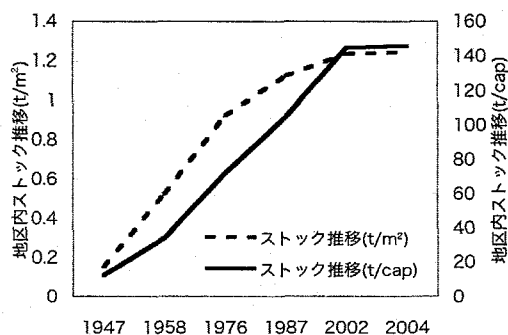


図-7 地区内ストック推移

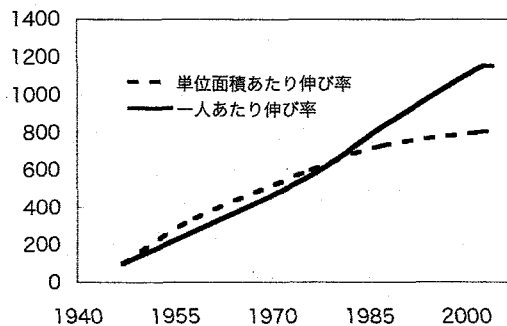


図-8 地区内ストック伸び率（1947年=100）

5. まとめ

和歌山市中心部における GIS データベース構築を行ない、現在蓄積されている建築資材ストックの体積、重量、位置、建造されてからの経過年数について視覚的に表現し、経年的な建築資材ストックの変遷を明らかにすることができた。今後さらに建築属性を追加していくことで詳細な建築物の物質代謝を把握することができると考える。

当該地域において建築物件数の増加に伴うストックの増加が近年 40 年ほどの間に 8.08 倍に及んでいることが分かった。また資材別に見るとコンクリートの蓄積量が最も多く、重量比では全体の各年平均 72.56% を占めていることが分かった。

今回の MSA においては地上部分 (GL 以上) の資材についてのデータベース構築を行なったが、地上部の増加に伴った地下資材投入量の増加も MFA において大きな意味を持つと考えられるため地下部分の MSA を考慮していく必要がある。また、差分データを用いた耐用年数推計では推計に用いるデータが少なく有意な結果を得ることができなかった。

今後さらに細かい年代でのデータ、綿密な現地調査を行なう必要がある。今回構造区分に用いた分類では木造、非木造という判定であり、今後非木造建築物の判定においては鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造といったさらに細かい分類を行なっていく必要があるため、現地調査とともに行政の所有する固定資産台帳から情報を入手し、データベースに反映していく必要がある。

謝辞：本研究の成果の一部は環境省廃棄物処理科学研究費補助金「物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物・資源管理戦略研究」（研究代表・橋本征二）によるものである。本研究データ取得にあたり和歌山市都市計画部の岩本氏には資料提供のご協力をいただいた。また本データベース作成にあたり、和歌山大学谷川研究室生の稲津氏、藤原氏、元森氏、上羽氏、門前氏、森本氏、妙中氏に尽力いただいた。ここに記し深謝する。

参考文献

- 1) 環境庁：循環型社会形成推進基本法，2006。
- 2) 環境省編：循環型社会白書 平成 19 年版，pp.165，2007。
- 3) 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，No. 811/7 -38，pp.132，2006。
- 4) 財団法人 電力中央研究所：電力中央研究所報告 インフラストラクチャー構築の資源使用量と環境負荷，pp.30，1996。
- 5) 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。
- 6) 石井一郎編：建設副産物一建設廃棄物の処理とリサイクル，pp.179，1998。
- 7) 郷土出版社：和歌山市今昔写真帖，pp.147，2004。
- 8) 斉藤章恵，谷川寛樹：都市構造物に関する資材投入原単位の定量化に関する研究，土木学会全国大会，pp.7 168 1-2，2003。
- 9) 谷川寛樹，井村秀文：全国都市のマテリアルストック推計に関する研究，九州大学工学集報，第 73 巻第 3 号，pp.247-253，2000。

ESTIMATION OF MATERIAL STOCK AND LIFESPAN USING HISTORICAL GIS DATA OF URBAN STRUCTURE —CASE STUDY OF WAKAYAMA CITY IN JAPAN—

Yoshihiro TOHGISHI, Hiroki TANIKAWA and Seiji HASHIMOTO

In the near future, a huge amount of material stock during a period of rapid growth in Japan will cause the new material flow as waste. It is necessary to estimate existing stock and its attribute. Therefore, accounting spatial material stock and assessment of metabolism speed of urban structures are necessary to analyze material flow. Historical GIS data based on the aerial photos and city-scale map is established for estimating material stock. Historical GIS database can identify age and scale of structure, so it helps to quantify pattern of metabolism of the city. This study provides the method of lifespan estimation using time series GIS database. This study reveals lifespan of wooden structure at this case study area is 38 year and un-wooden structure is 35 year.