

名古屋市中心部の4d-GISの構築による マテリアルストック分析

青柳 淳之介¹・杉本 賢二²・谷川 寛樹³

¹学生会員 名古屋大学工学部社会環境工学科 (〒464-8603 名古屋市中種区不老町D2-1)

E-mail:junnosuke.aoyagi@gmail.com

²正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 研究員 (〒464-8601 名古屋市中種区不老町D2-1)

E-mail:k.sugimoto@urban.env.nagoya-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学大学院環境学研究科 教授 (〒464-8601 名古屋市中種区不老町D2-1)

E-mail:tanikawa@nagoya-u.jp

わが国では建築物に対し、コンクリートや木材、鉄など、さまざまな資材が投入されている。環境省によると、2010年の日本の総物質投入量は16.1億トンであり、そのうち7.1億トンが建築物や社会基盤などの形で蓄積されている。これらの蓄積量やその分布を把握することは循環型社会の形成において重要である。本研究は、4d-GISを構築することでマテリアルストックの量や分布を推計することを目的とし、名古屋市中心部をケーススタディ対象区域として、1980年、1990年、1997年、2003年、2009年などの年代で4d-GISデータベースを構築した。また、構築した4d-GISを用いてマテリアルストックを推計した。その結果、マテリアルストックは、年々増加傾向にあることが示された。

KeyWords: material stock, material flow, Geographic Information System, 4d-GIS, buildings

1. はじめに

都市の建築物には、コンクリートや鉄骨材、木材など様々な資材が大量に投入されて成り立っている。環境省(2013)¹⁾によると、わが国の平成22年度における総物質投入量は16.1億トンである。そのうち建築物や社会基盤として都市に蓄積されているのは7.1億トンである。これは、将来廃棄物となる物質が都市に大量に蓄積されていることを意味する。これらのマテリアルストックの量や分布、時間的な推移を分析するマテリアルストック・フロー分析は、今後循環型社会を構築する上で重要である。

マテリアルストックに関する研究は、様々な方法で広く行われている。環境省¹⁾は、製造や輸入、輸出に関する統計情報から、前述したマテリアルストック・フローの値を報告した。Hashimotoら(2007)²⁾は各種統計情報を用いて、建設活動量と資材投入原単位から日本国内に蓄積されたマテリアルストックを推計した。長岡ら(2009)³⁾は統計情報を用いて建築・道路・下水道について1975年から2005年までの経年的なストック推計を行い、ストック密度や一人当たりのストック量などを算定した。大西ら(2010)⁴⁾は、統計情報からマテリアルストックを求め、人口とGDPの将来予測からストックの将来推計を行った。

このような、対象とする空間単位が全国単位や都道府県単位の比較的広範囲での推計は、全体的なスケールなどの把握はしやすいが、詳細な地域の特徴とマテリアルストック・フローとの関係がとらえにくい。そのため、建築物一つ一つのマテリアルストックに注目した詳細な推計を行い、検討を行うことも必要である。そこで、本研究ではGISを用いた推計・分析を行った。

GIS(Geographic Information System/地理情報システム)とは、地図上にさまざまな属性を持たせ、空間的な分析を可能にする技術であり、都市計画や環境分析などの分野において広く利用される。本研究では、GISを使用して建築物一つ一つの3dポリゴンを配置した3d-GISを作成し、さらに年代ごとに構築した3d-GISを重ねることで4d-GISを構築した。各ポリゴンには階数や名称などの属性情報が付加されており、それらを使用してマテリアルストック・フローの量や分布、時間的な変化を推計した。

4d-GISに関する主な既往研究としては、次に挙げるようなものがある。谷川ら(2002)⁵⁾は、北九州市の団地を対象として、マテリアルフロー分析を行った。矢野ら(2006)⁶⁾は京都市を対象として、住宅地図などのデータから4d-GISを構築し、各年代の京都のバーチャル空間を再現した。内藤ら(2008)⁷⁾は和歌山市の中心部を対象として、

DM(Digital Mapping)データと航空写真から 4d-GIS データを構築し、ストックの変遷を示した。Tanikawa and Hashimoto ら(2009)⁸⁾は、イギリスのマンチェスター市を対象として、約 150 年の間で 4d-GIS を構築し、マテリアルストック・フローを推計した。谷川ら(2010)⁹⁾は、4d-GIS によって建物のストックとそれに伴うエネルギーの消費形態との関連を示し、シナリオ分析を行った。

上記のような中規模都市地域では 4d-GIS が構築されているが、マテリアルストック・フローの変化が日本においてより大きいと予想される東京・大阪・名古屋などの大都市を対象とした詳細な分析は行われておらず、より多くの地域での比較・検証が必要である。

本研究の目的は、4d-GISを構築することにより、各年代ごとのマテリアルストックの量や分布を可視化することとする。ケーススタディ対象地は名古屋市の中心部とし、対象年代は1980年、1990年、1997年、2003年、2009年とする。また、対象区域内の一部でマテリアルフローの計算を行っている。

2. 研究手法

(1) ケーススタディ対象区域

本研究のケーススタディ対象区域である名古屋市中心部を、図-1 に示す。対象地域は、名古屋城や名古屋駅を含んだ面積約 11 km²の区画である。区域内の総建物棟数は、2009 年時で 27089 棟である。この地域は江戸時代から名古屋城の城下町であったこともあり、当時の地図などが現存しているものもある。このように、データベース構築のための地図や写真などの情報が集めやすいことや、また、これまでの名古屋における都市計画の主な対象地であったことから、都市の空間変化も大きく、時間軸を導入しての分析がしやすいと思われることなどから決定した。対象区域は、5 つの区の一部ずつを合わせた区域である。

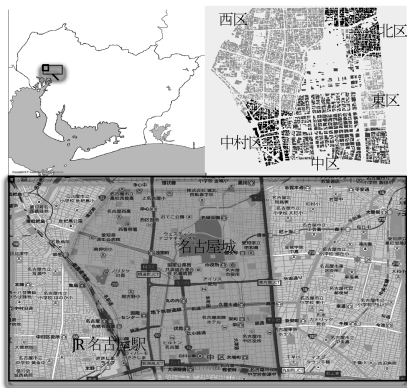


図-1 ケーススタディ対象区域

図-1 の、中村区エリアは名古屋駅を西端に含む地区である。広くはないが、100mを越す名古屋の超高層ビルはこの地区に集中している。中区エリアは、栄地区や錦地区を含み、名古屋の中でも特に活気のあるエリアであり、商業ビルが多く建ち、高層のものが多く。北西の西区エリアは範囲が一番広く戸建住宅の割合が多い。建物数においては対象区域全体の半数以上を占めるが、階数の低い建物が多い。北区・東区エリアは、商業ビルが多い他、県庁や市役所などの公共建築がある。

(2) 使用データ

本研究では、データベースの構築に住宅地図や航空写真など各種のデータを使用した。2009 年、2003 年、1997 年に関しては、株式会社ゼンリン¹⁰⁾によって作成され配布されている住宅地図データベース「z-map」から、必要な区域を抽出して使用した。1990 年に関しては、1997 年のデータと当時の住宅地図¹¹⁾をスキャンしたデータを重ね合わせ、建物の位置や建物の名称などのから判断して、両年代間で変化している部分を修正していくことで作成した。同様に、1980 年のデータは 1990 年のデータをもとに作成した。

(3) 属性情報の決定

構築した 3d-GIS データのポリゴン一つ一つには、建物名称、階数、構造種別、建築面積などの属性情報が付加されている。マテリアルストックの計算をする際には、

- ・階数
- ・構造種別
- ・延床面積

の 3 つの情報を用いて計算を行う。各属性情報の決定方法を以下に説明する。

a) 階数の決定

データを構築する際、住宅地図に階数が記載されているなどして、判断できる場合はその値を用いる。記載されていない場合は、周りの建物と同程度の階数を入力した。また、「z-map」では、2 階以下の建物は全て一律で階数 0 と入力されているため、本研究では階数 0 の建物はすべて 2 階建てとして計算を行った。

b) 構造種別の決定

建築物の構造種別によって、後で説明する資材投入原単位が異なるため、構造種別を決定する必要がある。しかし、現存しない建物の一つ一つの構造種別を全て調べていくことは困難であるため、次のように仮定して構造種別を決定した。

- ・戸建住宅は木造
- ・4 階以上の建物は RC (鉄筋コンクリート) 造
- ・それ以外は鉄骨造

これは、建設物調査会(2009)¹²⁾による建築着工統計の情報によると、戸建住宅は木造である割合が大きいことや、4階以上の建物になるとRC造の割合が大きくなることなどから、妥当と思われる仮定をおいている。

c) 延べ床面積の決定

各建物の延床面積を、建築面積と階数を乗することで決定した。建築面積は、GISによるポリゴンの面積演算機能によって得た値を使用した。

(4) 建築面積の修正

「z-map」による1997年のデータと、1990年の住宅地図とを重ねて比べると、「z-map」では建物自体の輪郭が分かるが、住宅地図の方では庭や駐車場なども含めた敷地の形しか分からないものが多い。その場合、両年代ともに存在する同一の建物を示していても、1990年のポリゴンの方が大きくなってしまっているというケースが多々ある。これはマテリアルストックの推計に大きく影響してくるため修正を行った。具体的には、1997年と1990年のどちらにも存在する建物のポリゴンのみを抽出し、それらのポリゴンの総面積を計算して両年代で比較し、平均的な面積の差異の割合を計算した。その結果、1997年の方が平均0.865倍小さいことが分かった。また、1990年の住宅地図と1980年の住宅地図の差異は微小である。よって今回は、1990年と1980年のデータは「ポリゴンの面積×0.865」を建築面積として採用する。

(5) マテリアルストック・フロー推計方法

各建築物のマテリアルストックは、延床面積と各構造種別ごとの資材投入原単位を乗ずる原単位法で推計した。

$$MS_{s,m} = TFA_s \times MI_{s,m}$$

$MS_{s,m}$ ：建物構造種別 s である建築物の、建設資材 m の建設資材ストック

TFA_s ：建物構造種別 s である建築物の、延床面積

$MI_{s,m}$ ：建物構造種別 s である建築物の、建設資材 m の資材投入原単位

表-1 資材投入原単位量

資材投入原単位量 (kg/m ²)	木造	鉄骨造 (2階建て)	鉄骨造 (3階建て)	RC造
砂利・石材	78	100	214	138
コンクリート	221	587	416	2227
モルタル	3	109	146	44
木材	88	20	4	0
ガラス	5	3	1	1
陶磁器	52	1	1	3
鉄	7	118	178	97
アルミニウム	2	2	1	2
その他	32	22	0	9
合計	488	962	961	2521

資材投入原単位とは、単位延床面積あたりのマテリアルストック量である。本研究で使用した資材投入原単位を表-1に示す。東岸ら(2008)¹³⁾によって推計されたこの値は、一般的な建築物のサンプルを抽出し、その図面を用いて、使われている資材の量を合計し、延床面積で除したものである。資材投入原単位は、建築年代によって建築基準などが異なることからその値が変わってくる。しかし今回は、さかのぼった年代が約30年と比較的短期間であることから、全ての年代で同一の資材投入原単位を使用して計算した。また、構築した4d-GISを使用して、2つの年代間で消失した建物や、新しく出来た建物のみを抽出してマテリアルフローの推計を行うことが可能である。今回は、対象区域内の中村区エリア（約1.1km²）において、09-03、03-97、97-90、90-80の4期間でマテリアルフローの計算を行った。

3. 結果および考察

(1) 3d-GIS構築結果

図-2に構築した4d-GIS(1990年～2009年)の名古屋駅周辺の一部分を示す。この期間中に建築物全体が高層化し、何棟かの高層ビルも建てられていることが分かる。

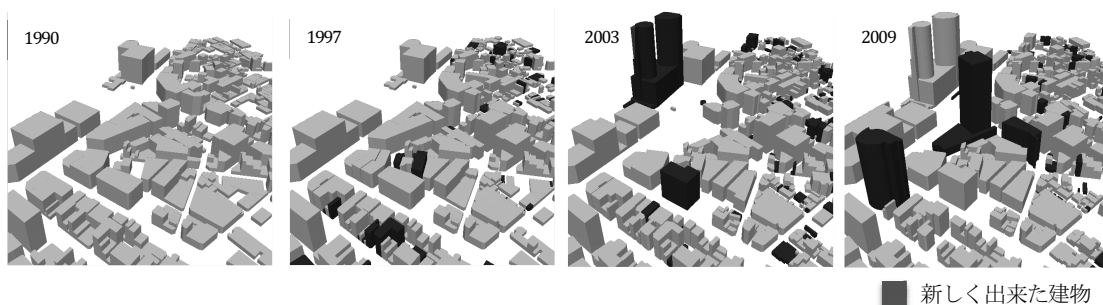


図-2 1980年と2009年の3d-GIS（名古屋駅周辺）の比較

(2) マテリアルストック推計結果および考察

図-3と表-2から、対象区域のマテリアルストックは増加傾向にあることが分かる。しかし、建物の合計棟数（表-3）は一概に増加傾向にあるとは言えない。また、資材別に見ると、全ての年代で合計ストックの80%以上をコンクリートが占めている。合計ストックの増加分も、ほぼコンクリートの増加分がそのまま反映されていると言える。これには、使用した資材投入原単位の値と、建物の高層化が大きく影響している。各構造別の原単位の比は表-1より、木造：鉄骨造2階建：鉄骨造3階建：

RC造＝2：5：4：10程度であることが分かる。さらに、RC造の原単位のうち、約88%がコンクリートの原単位量である。それにより、各構造種別の棟数割合（表-3）で見るとRC造の数は多くないものの、全体に対するストック量はRC造の占める割合がかなり大きくなる。また、表-4から分かるように、全体の建物が年々高層化している。今回は4階建て以上を全てRC造として計算しているため、単位面積あたりの資材投入量が多いRC造の建物は常に増加傾向にあり、合計棟数では減少している期間でも、ストックが増加するのである。

表-2 マテリアルストック推計結果 (Mt)

	砂利・石材	コンクリート	モルタル	木材	ガラス	陶磁器	鉄	アルミニウム	その他	合計 (Mt)
1990	1.80	20.60	0.81	0.31	0.03	0.16	0.92	0.39	0.14	25.16
1997	2.00	25.00	0.85	0.31	0.03	0.18	1.00	0.47	0.14	29.99
2003	2.40	31.63	0.98	0.19	0.03	0.13	1.20	0.58	0.09	32.94
2009	2.81	36.46	1.08	0.17	0.03	0.12	1.34	0.66	0.09	42.76

表-3 各構造種別の棟数

	木造	鉄骨造	RC造	合計 (棟)
1990	11127	10475	2134	23736
1997	10183	7905	2545	21095
2003	9820	14553	4369	28742
2009	8121	14234	4734	27089

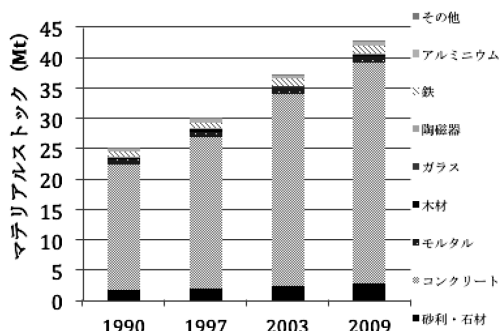


図-3 マテリアルストック推計結果

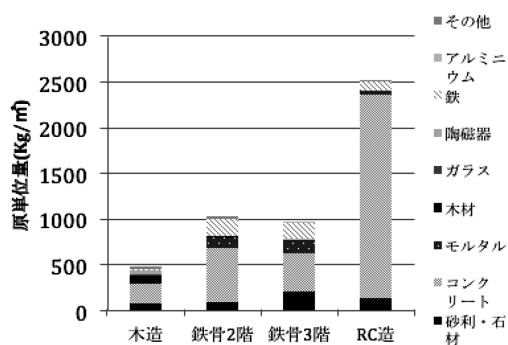


表-4 各エリアの平均階数

	中区	中村区	東区	西区	北区	全体 (階)
1990	3.31	2.68	2.70	2.13	2.14	2.42
1997	4.04	3.08	3.00	2.20	2.21	2.67
2003	3.97	3.41	3.20	2.36	2.34	2.79
2009	4.40	3.97	3.53	2.45	2.39	2.97

表-5 中村区エリアにおけるマテリアルフロー

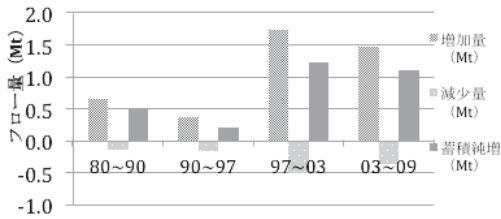


図-5 マテリアルフロー推計結果

(3) マテリアルフロー推計結果および考察

作成した 4d-GIS の情報から求めたマテリアルフローの推計結果を図-5 と表-5 に示す。ここでは、ケーススタディ対象区域のうち、中村区エリアについてマテリアルフローを推計している。表-5、図-5 における「増加量」は、期間内に新築されたものの合計ストック量を、「減少量」は期間内に取り壊されたものの合計ストック量を指す。また「蓄積純増」は、その年代間でのストックの合計の増加量である。つまり

「蓄積純増」＝「増加量」－「減少量」

である。どの期間においても増加量が減少量を上回り、ストックが増加していることが分かる。蓄積純増は各期間でばらつきがあり、具体的には 97～03 間と 03～09 間の増加量が見て取れる。これは、年代が新しくなるにつれて、先述したように高層化により、増加する建物も RC 造の割合が大きくなり、ストックの増加量も大きくなることによるものである。それに加え、この 2 つの期間中にこのエリアに超高層ビルが数棟建てられたことによる影響が非常に大きい。具体的には、97～03 の期間には、「セントラルタワーズ（52 階建て）」が、03～09 の期間には、「ミッドランドスクエア（47 階建て）」「スパイラルタワーズ（36 階建て）」などが建てられたが、これらのストックを計算すると、「セントラルタワーズ」0.88Mt、「ミッドランドスクエア」0.32Mt、「スパイラルタワーズ」0.18Mt となり、どちらの期間でもこれらの超高層ビルだけで全ストック増加量のかかなりの割合を占めている。中村区エリアは、特に高層化や建物更新が激しいエリアであるので、他のエリアでも同様のフロー推計を行い、比較・分析していく必要がある。このように推計したマテリアルフローの情報を、ケーススタディ対象地の周辺情報と組み合わせることで、廃棄物のフローやリサイクル量の推計・分析など、環境システムに関する研究に活用することができると考えられる。

4. 結論および課題

本研究では、名古屋市の中心部を対象に 4d-GIS を構築し、1990 年、1997 年、2003 年、2009 年におけるマテリアルストックと、1980 年を加えた 4 期間での中村区エリアにおけるマテリアルフローを推計した。結果について以下のように示された。

- ケーススタディ対象地区全体における 1990 年のマテリアルストックは約 25Mt、2009 年のマテリアルストックは約 43Mt であり、その間も年々増加傾向にあった。
- 建築物のマテリアルストックはコンクリートのストック量が大半を占め、これは建物の高層化、RC 造の増加などにより増える。
- 木造建築物の割合は減少傾向にあるが、RC 造、鉄骨造の割合は増加傾向にあるため、全体の建物棟数が減少している期間でも、ストック量は増加傾向にあった。
- 中村区エリアにおける 5 年代間のストックの増加量と減少量を推計することでフローを求め、合計のストック増加量だけでなく、その内訳も明らかにした。

また、今回は 1980 年までのデータベースを構築するにとどまったが、今後はさらに過去の年代にまでさかのぼって構築していくことが必要である。特に戦争前後の、都市構造の変化の大きい時代での推計は重要である。しかし、今回使用した住宅地図などのデータは過去 60 年分ほどしか無く、それ以前の明治時代や江戸時代などは、古地図を使用するなどして作成することが考えられる。また、地図の他にも、航空写真データや都市計画図などの情報もデータベースを構築するための資料となる。その場合、本研究のように建物一つ一つについて詳細なデータを得ることはできないため、どのようにして精度の高いデータベースを構築していくかが課題となる。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費(1E-1105)、環境省循環型社会形成推進科学研究費補助金(3k113002)、文部科学省グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレン

ス(GRENE)事業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) 環境省：環境白書，2013.
- 2) Hashimoto, S., Tanikawa, H., Moriguchi, Y : Where will large amounts 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.
- 3) 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, Vol.23, pp.83-88, 2009.
- 4) 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.
- 5) 谷川寛樹, 井村秀文：都市建設にともなう総物質必要量の定量化と評価に関する研究-住宅地整備のケーススタディ-, 2001.
- 6) 矢野ら：歴史都市京都のバーチャル時・空間の構築, E-journal Geol-0, p12-21, 2006.
- 7) 内藤瑞枝, 東岸芳浩, 谷川寛樹, 大西暁生, 東修, 井村秀文, 柴田学：4d-GIS を用いた建設物の地下ストックの空間分布の推計, 第 22 回環境研究発表会ポスターセッション, pp.118-119, 2008.
- 8) Tanikawa,H.Hashimoto,S:Urban stock over time : spatial material stock analysis using 4d-GIS , Building Research & Information,37 (5),483-502, 2009.
- 9) 谷川寛樹, 山末英嗣, 稲津亮, 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.
- 10) 株式会社ゼンリン：Zmap-TOWNII2003,2009, 2011. <http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmaptown.html>
- 11) 株式会社ゼンリン：ゼンリン住宅地図 1990, 1980.
- 12) 一般財団法人建設物価調査会：建築着工統計建築工事価格データファイル, DISC1・2, 2009.
- 13) 東岸芳浩, 稲津亮, 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.

(2013.7.19 受付)

MATERIAL STOCK ANALYSIS BY ESTABLISHMENT OF A 4d-GIS IN NAGOYA CITY

Junnosuke AOYAGI, Kenji SUGIMOTO and Hiroki TANIKAWA

Buildings in Japan have been constructed by input of various kinds of materials such as concrete, wood, steel, and so on. According to a study by the Ministry of the Environment, in 2010 the total construction material input in Japan was 16.1 billion tons, and 7.1 billion tons of them were accumulated as buildings or social infrastructure. Understanding of the quantity and distribution of material stock is important for the establishment of material balance society. This study estimated the quantity and distribution of material stock by establishing 4d-GIS database in Nagoya for 1980, 1990, 1997, 2003, and 2009. Moreover, material flow was estimated with this 4d-GIS database, which showed that material stock increased year by year.