

名古屋市中心部の4d-GISによる用途地域ごとの マテリアルストック・フロー分析

青柳 淳之介¹・杉本 賢二²・奥岡 桂次郎³・谷川 寛樹⁴

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: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 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail:k.sugimoto@nagoya-u.ac.jp

³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

⁴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

都市が形成される際、大量の資材を都市に投入することで、建築物や社会基盤構造物として蓄積され、将来に廃棄物となって排出される。この大量の物質代謝を把握することは、循環型社会の形成に向けて重要である。本研究では、名古屋市の中心街における建築物を対象とした1980年、1990年、1997年、2003年、2009年の5年代の4d-GISを用いて、用途地域別にマテリアルストック・フロー分析を行った。その結果、対象エリア全体の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。また、用途地域別のマテリアルストック密度は、商業地域が他地域よりも3〜4倍大きいことが分かった。また、各年代間のマテリアルフローを推計し、各用途地域でどれだけの物質が増加・減少してきたかを示した。

Key Words: material stock, material flow, Geographic Information System, 4d-GIS, land use type

1. はじめに

都市を形成する要素である建築物や、道路をはじめとするインフラストラクチャーなどを建設する際には、コンクリートや木材、鉄骨材をはじめとする様々な資材が大量に投入される。それらの資材は都市にストックされ、建設物が取り壊される際に廃棄される。このようなマテリアルフローを正確に把握することは、今後循環型社会を形成するために、計画的に物質の投入や廃棄を行っていく上で極めて重要である。

マテリアルストック・フローに関する研究は多く行われている。環境省 (2013) ¹⁾は、製造・輸入・輸出に関する統計情報から、日本全体のマテリアルストック・フローの量を推計した。その結果、平成23年度の日本における総物質投入量は15.7億トンであり、建築物や社会基盤として蓄積されているのが5.1億トンであることが示された。また、Hashimoto *et al.* (2007) ²⁾は建設活動量と資材投入原単位から、各種統計情報を利用して日本全国のマテリアルストックを推計した。このように統計情報を用

いた全国単位、あるいは都道府県単位でのマテリアルストック分析では、比較的小規模な地域レベルでの成長や衰退具合との関連を把握することが困難である。そのため、ケーススタディ区域を決定し、そのエリアの都市構造の変遷とマテリアルストックとを関連させ、詳細に分析することが必要である。その場合に有効であるのが、GIS (Geographic Information System) を用いる方法である。GISを用いて都市に存在する一つ一つの建築物や道路、上下水道などを、様々な属性情報を持たせたポリゴンデータやラインデータとして扱うことで、マテリアルストックの量や地理的分布の変遷を把握することが可能である。GISによる3Dマップデータを時系列で重ねて、時間的变化を分析することを目的としたデータベースを4d-GISと呼ぶ。

4d-GISを用いてマテリアルストック・フロー分析を行った研究としては、次のようなものがある。谷川ら (2002) ³⁾は、北九州市を対象として、用途地域や構造種別、建築年数など様々な属性情報を持たせた詳細な4d-GISを構築し、マテリアルストック・フロー分析を行

った。内藤ら (2008) ⁴⁾は、和歌山市の中心部を対象に明治時代から現代までの4d-GISを構築し、都市構造とマテリアルストックの変遷を示した。Tanikawa and Hashimoto (2009) ⁵⁾は、マンチェスター市を対象にして、同様に約150年間でのマテリアルストック・フロー分析を行った。青柳ら (2013) ⁶⁾は、名古屋市の中心街の建築物を対象に、1990年から2009年までの約20年間で、マテリアルストックの変化と、建築物の棟数や構造、平均階数の変遷を示した。

このように特定の都市において詳細な4d-GISが構築され、マテリアルストック・フロー分析が行われているが、それらを比較・分析するためには、より多くの地域、年代、属性情報のデータベース構築が必要である。本研究では、名古屋市の中心部をケーススタディ対象区域として、青柳ら (2013) によって構築された1990年、1997年、2003年、2009年の4年代の4d-GISに、1980年を追加した5年代を対象とした4d-GISを用いてマテリアルストック・フローを推計した。また、特に都心部では行政によって用途地域が定められていることが多く、用途地域の指定によってその地域の都市構造の大枠が決定されている。用途地域の指定の変遷とマテリアルストック・フローの変化を関連させることで、都市計画の決定が物質代謝に与える影響を分析することができる。それにより、今後の都市計画を進めていくにあたり、都市環境への影響を考慮する際の参考とすることが可能となる。そこで本研究では、青柳ら (2013) においては考慮がなされなかった、ケーススタディエリア全域のマテリアルフローの推計を行い、さらに用途地域の指定とマテリアルストック・フローとの関連を分析した。

2. 研究手法

(1) ケーススタディ対象区域

本研究でケーススタディの対象としているのは、図-1に示す、名古屋城や JR 名古屋駅を含む名古屋市の中心街の面積約 12 ㎢の区域である。対象区域内では、商業地域、近隣商業地域、準工業地域、第一種住居地域、第二種住居地域の5種類の用途地域に分かれており、それぞれの年代における建物棟数は表-1 になっている。対象区域の南側半分の名古屋駅前エリアや栄エリアなどは、ほぼ全て商業地域に指定されており、名古屋を代表する繁華街として商業ビルが多く建てられ、高層の建築物が多い。北側半分は住居地域や準工業地域、近隣商業地域が大半を占めており、一部大通り沿いで商業地域に指定されている部分がある。本研究で対象年代としている1980年から2009年の約30年の間では、大幅な



図-1 ケーススタディ対象区域

表-1 用途地域別の建築物棟数

	1980	1990	1997	2003	2009
商業地域	11622	11121	9960	13038	11976
近隣商業地域	4309	4244	3760	5160	4852
準工業地域	3683	3744	3198	4536	4385
第一種住居地域	3661	3661	3287	4613	4485
第二種住居地域	972	965	890	1397	1390
合計	24259	23735	21095	28744	27088

用途地域指定の変更は無いものの、一部の住居地域が準工業地域に変わるなどの変更がなされている区域もある。

(2) 使用データ

本研究では、青柳ら (2013) によって構築された名古屋市内における1990年、1997年、2003年、2009年の4d-GISに、さらに1980年を追加した5年代の4d-GISを構築した。これらの各年代の建築物GISデータは、株式会社ゼンリンの「z-map」⁷⁾や各年代の住宅地図⁸⁾、航空写真⁹⁾などを元に構築されている。1980年のデータは、1990年のデータベースを1980年の住宅地図、航空写真と重ね、変化のあった部分を修正することで構築した。このデータベースを使用して、マテリアルストック・フローの推計・分析を行った。

使用した4d-GISの一部拡大したものを図-2に示す。図に示したのは名古屋駅の周辺であり、年代を経るごとに木造が減少し、高層でRC造の建物が増えていく様子が見てとれる。

(3) 4d-GISの概要

本研究で使用した4d-GISには、一つ一つのポリゴンに様々な属性情報が付加されている。今回推計・分析に使用した属性情報は、(a)階数、(b)構造種別、(c)延床面積、

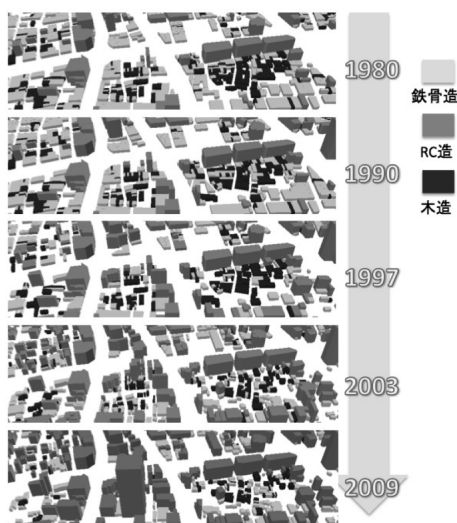


図-2 名古屋駅周辺における4d-GIS

(d)用途地域，である．以下に，それぞれの属性情報の詳細を説明する．

(a) 階数

z-map や住宅地図に階数の記載がある建築物はその値を使用した．記載の無い建物は，当時の航空写真を参考に影の長さから階数を判断した．また，z-map では2階以下の建物は全て0階と入力されており，低層の建物は航空写真による階数の判断も困難であるため，2階以下の建築物は全て一律で2階としてある．

(b) 構造種別

建設物調査会（2009）¹⁰⁾の建築着工統計によると，戸建住宅は木造である割合が大きく，4階以上の建物はRC造である割合が大きいことから，本研究では戸建住宅は木造，4階以上の建物はRC造，それ以外は鉄骨造と仮定した．

(c) 延床面積

GISソフトウェアのジオメトリ演算により各建築物の建築面積を求め，階数を乗じたものを延床面積として採用した．ただし，1990年と1980年の建築物GISデータは，紙媒体の住宅地図を元にポリゴンを作成しており，1997年，2003年，2009年のデータはゼンリンのz-mapのポリゴンを使用している．その際，住宅地図では建物の輪郭ではなく敷地の形状しか分からず，z-mapでは建築物のみの輪郭が分かるというケースが多くある．そのため，同一建築物でも年代によってポリゴン形状や大きさが異なる建築物が多く存在している．そこで，1990年と1997年のどちらにも共通して存在している建築物のみを抽出してそのポリゴン面積を比較したところ，1997年の方が1990年の面積に比べて，

平均して0.865倍であることが分かった．よって，本研究では1990年と1980年のみ，ポリゴン面積を0.865倍したものを建築面積として採用している．

(d) 用途地域

国土交通省の国土数値情報¹¹⁾による用途地域のシェープファイルを使用して，用途地域の情報を各ポリゴンに付加した．国土数値情報には現在の用途地域しか記載が無いため，年代をさかのぼるごとに変更のあった部分は当時の都市計画図などの資料を元に修正し，すべての年代における用途地域情報を入力した．

(4) マテリアルストック・フロー推計方法

対象エリア全体のマテリアルストックは，原単位法を用いて建築物一つ一つのマテリアルストックを求め，それらを集計することで推計した．原単位法では，式(1)に示すように建築物の延床面積に資材投入原単位を乗じることで，マテリアルストックを算出する．

$$MS_{s,m} = TFA_s \times MI_{s,m} \quad (1)$$

$MS_{s,m}$ ：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

資材投入原単位とは，建築物が単位延床面積あたりに持つマテリアルストック量であり，建築物の構造種別や建築年代ごとにそれぞれ与えられている．本研究で用いたのは，表-2に示す，東岸ら（2008）¹²⁾によって推計された資材投入原単位である．これらの値は，各構造種別の一般的な形式の建築物の図面や写真を参考にし，各資材が一棟にどれだけの各資材が蓄積されているかを算出し，延床面積で除したものである．

表-2 資材投入原単位

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

また、隣接した2つの年代を重ねて比較することで、その年代間で新しく建設された、あるいは減失した建築物のみを抽出し、マテリアルストックを算出して集計することで、各年代間のマテリアルフローを推計した。それにより、正味の増減量だけでなく、新規のストック増加量や減少量を分析することができる。

表-3 資材別マテリアルストック (Mt)

	1980	1990	1997	2003	2009
砂利・石材	1.39	1.76	2.03	2.38	2.70
コンクリート	15.12	20.98	25.47	31.43	36.46
モルタル	0.72	0.83	0.90	0.98	1.09
木材	0.31	0.31	0.32	0.19	0.17
ガラス	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03
陶磁器	0.16	0.17	0.18	0.13	0.12
鉄	1.06	1.31	1.49	1.73	1.97
アルミニウム	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04
その他	0.23	0.25	0.26	0.22	0.23
合計	19.05	25.66	30.71	37.13	42.80

3. 結果および考察

(1) マテリアルストック推計結果および考察

表-3 にケーススタディエリアにおけるマテリアルストックを資材別に集計した値を示す。マテリアルストックは年々増加傾向にあり、どの年代においてもコンクリートの占める割合が大きいことが分かる。これは表-2 か

表-4 用途地域別マテリアルストック密度 (t/m²)

	1980	1990	1997	2003	2009
商業地域	2.43	3.26	3.97	4.93	5.76
近隣商業地域	0.88	1.31	1.47	1.51	1.60
準工業地域	0.75	1.02	1.08	1.02	1.22
第一種住居地域	0.70	0.99	1.10	1.15	1.27
第二種住居地域	0.63	0.75	0.90	1.19	1.26

表-5 新規着工および減失建物割合(%)

		1980~1990	1990~1997	1997~2003	2003~2009
商業地域	着工建物割合	11.9	8.0	19.1	9.3
	減失建物割合	19.8	21.3	24.9	10.6
近隣商業地域	着工建物割合	12.6	5.1	18.8	11.3
	減失建物割合	13.9	16.2	17.0	11.7
準工業地域	着工建物割合	10.8	5.1	21.3	9.9
	減失建物割合	10.1	19.4	17.6	10.7
第一種住居地域	着工建物割合	19.4	5.4	17.5	9.8
	減失建物割合	19.39	15.0	14.5	9.0
第二種住居地域	着工建物割合	8.7	6.2	15.0	11.4
	減失建物割合	18.0	14.7	16.2	9.8

表-6 用途地域別マテリアルフロー密度 (kg/m²)

		1980~1990	1990~1997	1997~2003	2003~2009
商業地域	増加量	618.1	441.2	1086.6	881.1
	減少量	-125.0	-134.3	-574.7	-305.4
	蓄積純増	493.1	306.9	512.0	575.7
近隣商業地域	増加量	99.0	101.0	229.8	176.2
	減少量	-78.4	-101.9	-114.7	-101.8
	蓄積純増	20.6	-0.9	115.0	74.3
準工業地域	増加量	71.8	51.3	317.6	284.9
	減少量	-71.2	-102.1	-143.5	-110.5
	蓄積純増	0.6	-50.8	174.0	174.4
第一種住居地域	増加量	117.2	72.5	233.1	160.2
	減少量	-87.8	-72.1	-93.5	-74.8
	蓄積純増	29.4	0.3	139.5	85.4
第二種住居地域	増加量	11.5	62.0	108.6	55.4
	減少量	-39.6	-38.8	-85.7	-31.7
	蓄積純増	-28.1	23.3	22.9	23.7

ら分かるように、RC 造の資材投入原単位が木造の約 5 倍、鉄骨造の約 2.5 倍と他の構造に比べて大きく、さらにそのうち約 88%がコンクリートであることに大きく依っている。さらに、年代が進むごとに高層化し、それに伴って RC 造の割合が大きくなるのが、マテリアルストックが増加する主な要因である。

表-4 に各用途地域ごとのマテリアルストック密度を示す。マテリアルストック密度とは、1 m²あたりのマテリアルストックの量である。どの用途地域においても、増加傾向がみられる。商業地域におけるマテリアルストック密度は、他の地域に比べて約 3~4 倍程度大きくっており、増加傾向も他の地域に比べ著しい。これらの値から、年代を経るたびにマテリアルストックが商業地域に密集されていることが分かる。商業地域には高層の商業ビルなどが多く、反対に住居の割合が少ない。したがって、低層の建築物や木造の建築物が少なく、高層の建築物や RC 造の建築物が多くなり、マテリアルストック密度の量が他の地域と比べ、大きくなるのである。その他の地域では、緩やかな増加が見られ、近隣商業地域では僅かに減少している年代間も見られる。

(2) マテリアルフロー推計結果および考察

表-5 に各用途地域の更新建物割合の推計結果を示す。更新建物割合は、各年代間で着工・滅失した建物の棟数を集計し、それぞれの年代での各用途地域の総建物数で除したものを、着工建物、滅失建物に分けて示したものである。また、表-6 にマテリアルフロー密度の推計結果を示す。マテリアルフロー密度は、各年代間で増加・減少した建物のみを抽出してマテリアルストックを推計し、用途地域別に集計して各用途地域の総面積で除したものである。蓄積純増は、増加量から減少量を減じたものである。表-5 から、更新建物割合は、どの用途地域でも大差が無く、10~20%前後の割合で建物が更新していることが分かる。第二種住居地域が、他の用途地域に比べやや小さい値となっているが、このケーススタディエリアにおいては、第二種住居地域は大半が名古屋市の敷地内と市役所や県庁などの官庁エリアとなっているため、他地域に比べ、建築物の更新割合が少ないのである。また表-6 から、マテリアルフロー密度の値は、マテリアルストック密度と同様に商業地域が他地域に比べ大きな値となっている。これは、先述したように商業地域は他地域に比べ高層の建物が多く、RC 造の割合が大きいため、一棟一棟の建物のマテリアルストックが大きい。加えて商業地域では特に、年代が新しくなるにつれて、着工される建物も高層化していく傾向がある。そのため、更新建物割合が他の地域と大差が無くても、マテリアルフローの値は大きくなる。

4. おわりに

本研究では、名古屋市の中心街を対象に構築された 4d-GIS を用いて、都市におけるマテリアルストック・フローの経年変化を用途地域別に推計・分析した。以下にその結果をまとめる。

- ・ 対象区域におけるマテリアルストックは、全ての用途地域で様な増加傾向にあり、それは建物の高層化とそれに伴う RC 造の増加に依るところが大きい。
- ・ 用途地域別に単位面積あたりのマテリアルストックを見ると、商業地域のマテリアルストック密度が他の地域に比べ 3~4 倍程度大きく、他の地域は大差がない。
- ・ 用途地域別に 1980 年から 2009 年までのマテリアルフローを推計することで、都市計画と都市の物質代謝との関連を分析した。
- ・ 各年代間で新しく着工された、あるいは滅失した建物の数の割合はどの用途地域も大差がないが、商業地域は高層で RC 造の建物が多いため、マテリアルストック・フロー密度が大きくなる。

また、本研究では 1980 年から 2009 年までの間の 5 年代における 4d-GIS を使用したが、この期間にケーススタディエリア内で用途地域が変更された部分は少ない。しかし、用途地域や容積率の指定とマテリアルストックの関連を分析するためには、用途地域や容積率が指定、あるいは変更された時点からマテリアルストックがどのように変化しているかを推計することが重要である。そのため、今後の課題として、さらに年代をさかのぼり、用途地域や容積率の変化とマテリアルストック・フローの変化とを照らし合わせていく必要がある。さらに、本研究で使用した原単位は 100m を超えるような超高層ビルなどを想定して推計された値ではないため、正確に推計を行うためには、全体のマテリアルストックに大きな影響を与える高層ビルなどに適した原単位の整備などを今後進めていく必要がある。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費(1-1402)、日本学術振興科学研究費補助金(基盤研究(B)25281065)、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：平成 26 年度版 環境・循環型社会・生物多様性白書，2014.
- 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, 2007.
- 3) 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.
- 4) 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 を用いた建設鉱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，2008.
- 5) Tanikawa,H.Hashimoto,S:Urban stock over time：spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Research & Information,37 (5), 2009.
- 6) 青柳淳之介，杉本賢二，谷川寛樹：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，第 41 回環境システム研究論文発表会講演集，2013.
- 7) 株式会社ゼンリン：Zmap-TOWNII2003,2009，2011 .
<http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmaptown.htm>
- 8) 株式会社ゼンリン：ゼンリン住宅地図 1990，1980.
- 9) 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス，2014.8 閲覧.
<http://www.gsi.go.jp/index.html>
- 10) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス，2014.3 参照.
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 11) 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，2009.
- 12) 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.19，2008.

(2014.7.11受付)

MATERIAL STOCK AND FLOW ANALYSIS BY 4d-GIS IN NAGOYA CITY BY LAND USE TYPE

Junnosuke AOYAGI, Kenji SUGIMOTO, Keijiro OKUOKA and Hiroki TANIKAWA

Large amount of construction minerals are input to urban as buildings or social infrastructure when it was constructed. And finally the materials are disposed as waste. Grasping the quantity and distribution of material balance society. This study, material stock flow analysis is conducted by establishing 4d-GIS database in center area of Nagoya for 1980, 1990, 1997, 2003 and 2009. The results show that material stock is gradually increasing in the whole research area. On the other hand, material stock density of commercial districts is 3 to 4 time larger than other areas. In addition to this, the trend of material increase and decrease of each land use type are shown by estimating the 4period material flow.