名古屋市中心部における4d-GISを用いた 都市の経年変化によるMSFAに関する研究

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 特任講師 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail:k.sugimoto@nagoya-u.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

建築物や道路などの社会基盤構造物を建設する際には大量の資材が投入されており、都市に蓄積された物質は構造物が取り壊される際に廃棄される。このように大量の物質が移動する際には投入や廃棄処理を効率的に行う必要があり、マテリアルフローを定量的に把握することは、循環型社会の形成を考える上で不可欠である。本研究では、名古屋市の中心部をケーススタディ対象地として、1970年、1980年、1990年、1997年、2003年、2009年の6年代で構築された4d-GISを用いて用途地域別や、大規模な建物更新があったエリアを対象にMSFA(Material Stock and Flow Analysis)を行った。その結果、対象エリア内のマテリアルストックは増加傾向にあり、特に商業地域において物質が高密度に分布していることが分かった。さらに、用途地域などの都市構造の変化が物質代謝に影響を与えていることを示した。

Key Words: material stock, material flow, Geographic Information System, 4d-GIS, Nagoya

1. はじめに

経済活動には大量の資材の投入・廃棄が伴う。環境省(2014)¹⁾によると、平成23年度の日本の総物質投入量は15.7億トンであり、廃棄量は5.6億トンである。廃棄量のうち2.4億トンは循環利用されている。このように人間活動には大量の物質移動が伴い、資材の採取から運搬、投入、廃棄処理に至る各過程において環境への負荷が生じている。また、我が国では高度成長期に大量に建設された社会インフラがこの先耐用年数を迎え、多くの廃棄物や建設副産物が発生する事が予想されており、それらを処理する機能も十分でないことから、都市における物質の投入と排出といったマテリアルバランスの崩壊が危惧されている。こうした将来のマテリアルバランスの変化を予測し、適切な維持管理を行うためには、過去や現在のマテリアルフローを定量的に把握するMSFA(Material Stock and Flow Analysis)が重要である。²⁾

MSFAに関する既往研究として先述の環境省(2014)¹⁾

は、製造や輸出入に関する統計情報から、日本全国の実行を行った。また、Hashimoto *et al.*(2007)³⁾は建設活動に関わる統計情報をもとに日本国内のマテリアルストック・フローを分析した。さらに、長岡ら(2009)⁴⁾は建築物・道路・下水道に関する統計資料から、日本全国に蓄積されている資材量を推計した。このように、様々な統計情報を用いることで日本全国や各都道府県におけるマテリアルストック・フローの把握が可能である。

しかし、都市における物質循環の様子は、個々の都市の成長や衰退といった変化と密接に関係しており、都心部からのアクセスの利便性や、山地なのか海沿いなのかといった地理的な特性や、商業エリアや工業エリア、住居エリアといった都市構造の違いなどもマテリアルストック・フローの性質に影響を与えていると考えられる。そのため、日本全国や都道府県などの比較的大規模なスケールでの推計は、全体の量を把握するためには有効であるが、都市内部での発展度合いや地域性の違いによるマテリアルストック・フローへの影響を考慮することが

できない。都市の性質と物質循環との関連を詳細に分析することで、今後ある地域の都市計画を遂行する際に、将来の物質投入量、廃棄量への影響を定量的に予測し、考慮することができる。また、現存都市の将来廃棄量を推計して、適切な廃棄物処理計画などに役立てることも可能である。都市におけるマテリアルストック・フローと都市の性質にみられる関連を分析するためには、行政による土地利用規制である用途地域ごとの推計を行うことが有効である。用途地域は全国で広く使用されている点で汎用性もあり、過去の履歴情報を得ることも比較的容易である。用途地域とマテリアルストック・フローの関連を分析することにより、例えばある地域を住居地域から商業地域に指定を変更することに伴う、今後生じる物質移動の様子を予測することができる。それにより、将来の都市におけるマテリアルバランスが適切に保たれるように計画や維持管理を行うための指針となりうる。

GIS(Geographic Information System)により、一つ一つの建築物や道路、下水道や港湾施設などをデータベース化し、ボトムアップの推計を行うことで、広範囲から詳細なエリアまで、地理的な条件を考慮に入れた推計が可能となる。また、経年のGISデータベースを使用して時系列での分析をすることで、統計情報だけでは把握が困難な、ある期間における投入・廃棄などのマテリアルフローの空間分布を推計することも可能である。このような時系列の推計を行うために、4d-GISと呼ばれる、様々な属性情報や地理情報を持ち、さらに時間軸を加えたGISデータベースが用いられる。4d-GISを用いたMSFAとして、Tanikawa and Hashimoto (2009) ⁵⁾は、和歌山市とマンチェスター市を対象に4d-GISを構築し、建築物や道路、鉄道などのマテリアルストック・フローや建築物の耐用年数を推計した。また、谷川ら (2001) ⁶⁾は、北九州市における経年データベースを構築し、住宅地建設における総物

質必要量を推計した。

本研究では、青柳ら (2014) ⁷⁾で構築された名古屋市における5年代で約30年間の4d-GISに、さらに年代を過去に遡り、6年代で約40年間の4d-GISを構築してMSFAを行った。さらに、新たに1年代を加えたのみでなく、各建築物の建築面積や構造種別の推計により詳細な仮定を設定するなどデータベースの改善を施した。さらに対象年代間で用途地域の変更や大規模な建築物の変化があった区画を対象にMSFAを行い、都市の構造とマテリアルストック・フローの関連を分析した。

2. 研究手法

(1) ケーススタディ対象区域

本研究では、図-1に示す名古屋市の中心部の、JR名古屋駅を西端、栄地域を東端とした面積約12km²の区域をケーススタディの対象とした。図-1には2009年時の用途地域を色分けして示している。また、表-1に対象エリア内の建築物棟数、表-2に用途地域別に集計した合計延床面積の変化をそれぞれ示す。対象地域のうち南半分は商業地域が占めており、高層の商業ビルが多く存在する、名古屋の中心街と言える活気のあるエリアである。また、北半分は名古屋城を含む商業地域、近隣商業地域、準工業地域、第一種住居地域、第二種住居地域が混在した地域である。対象エリアの用途地域は、本研究で対象としている約40年の間では大きな変更はないものの、一部で用途地域が変更されたエリアもある。変更されたエリアから3つのエリアを抽出して、図-1中のAエリア、Bエリア、Cエリアとし、各エリア内でのマテリアルストック・フローの推移を推計した。表-3に、用途地域の変更された年と変更内容を示す。また、甲エリア、乙エリア

図-1 ケーススタディ対象区域 (左-用途地域による色分け、右抽出エリア)

表-1 用途地域別の建築物棟数

	1970	1980	1990	1997	2003	2009
商業地域	14414	12143	11470	9941	13038	11974
近隣商業地域	4198	3651	3579	3759	5160	4850
第一種住居地域	4185	3652	3645	3285	4612	4480
第二種住居地域	1001	733	778	890	1397	1390
準工業地域	4901	4521	4246	3197	4536	4383
合計	28699	24700	23718	21072	28743	27077

表-3 各エリアの変更内容

	変更年	変更内容
A エリア	1994 年	商業地域→近隣商業地域
B エリア	1994 年	準工業地域→第二種住居地域
C エリア	1994 年	住居地域→近隣商業地域
甲エリア		市営南押切荘建設
乙エリア		市営城北団地建設

では期間内にそれぞれ大規模な市営団地が建築されており、それぞれのエリアで集計することで、マテリアルストックへの影響を推計した。

(2) 使用データ

本研究で使用了4d-GISは、青柳ら（2014）⁷⁾で整備された、1980年、1990年、1997年、2003年、2009年の5年代のデータベースに、新たに1970年を追加したものである

表-2 用途地域別の合計延床面積（km²）

	1970	1980	1990	1997	2003	2009
商業地域	7.41	9.62	11.12	11.10	12.97	14.79
近隣商業地域	0.98	0.95	1.24	1.30	1.43	1.45
第一種住居地域	0.82	0.77	0.92	0.85	1.21	1.27
第二種住居地域	0.45	0.47	0.71	0.77	1.13	1.17
準工業地域	0.90	0.81	1.02	0.78	1.11	1.20
合計	10.57	12.63	15.01	14.80	17.85	19.88

（図-2）．これらのデータベースは、エリア内の建築物一棟一棟がポリゴンになっており、ゼンリンのZ-map⁸⁾や住宅地図⁹⁾、航空写真¹⁰⁾などをもとに構築されている．それぞれのポリゴンには様々な属性情報が付加されており、本研究で使した属性情報は、「建物名称」「階数」「建築面積」「構造種別」「用途地域」である．以下に詳細を説明する．

a) 建物名称

Z-map や住宅地図に記載されている建物名称を全てポリゴンに付与した．

b) 階数

各建築物の階数は、Z-map や住宅地図に階数の記載があるものはその値を使用した．記載のない場合は、当時の航空写真などの資料から階数を決定した．

図-2 名古屋市中心部における 4d-GIS 一部拡大図

c) 建築面積

GIS のジオメトリ演算機能によって各ポリゴンの面積を算出し、それを建築面積とした。ただし、1997 年以前の住宅地図では、所有敷地の形で建築物が表現されているため、ポリゴンの面積に修正を加えたものを建築面積として仮定している。具体的には、ポリゴンの面積にその区画の建ぺい率を乗じたものを建築面積としている。ただし、ケーススタディエリア内の商業地域の一部は防火地域に指定されており、防火地域では建ぺい率の規制が緩和されるため、建築物が敷地いっぱいまで立地していると仮定し、敷地の面積の値をそのまま建築面積として採用している。また、ケーススタディエリア内には公開空地を設けることで建ぺい率の規制が緩和されている建築物も複数存在しており、それらについても同様に敷地面積の値を建築面積として推計を行った。

また、本研究では延床面積として建築面積と階数を乗じた値を用いているが、一般的に、斜線制限やデザイン上の理由から各階層が同一の形状でない建築物は多く、建築面積と階数の積を集計した値が実際の合計延床面積よりも大きな値となることがこれまでも指摘されている。これまでに、大場（2000）¹¹⁾は千葉縣市川市を、阪田ら（2002）¹²⁾は、東京都 M 市を対象として、それぞれ GIS データから推計した値と実際の延床面積を比較し補正式を算出しているが、これらは特定地域のサンプルを用いて得られた式であり、本ケーススタディエリアである名古屋市中心部の建築物にこれらの補正式を適用するのは、

妥当性に疑問が残る。よって、本研究では建築面積と階数の積を延床面積として採用する。

d) 構造種別

構造種別は、木造、鉄骨造、RC 造の 3 種類に分類している。SRC 造の建築物は、整備されている資材投入原単位が存在しないため、RC 造として分類した。Z-map や住宅地図には構造種別の記載がない。しかし、現存していない建物なども含めて全ての建築物に対して 1 棟 1 棟調査を行うことは現実的でないため、各建築物の構造種別は建築着工統計¹³⁾を集計した結果から、表-4 のように仮定し、分類した。建築着工統計によると、2007 年度の日本全国における着工建築物を階数別に集計すると、6 階以上になると RC 造または SRC 造である建築物の割合が 8 割を超える（図-3）。よって本研究では 6 階以上の建築物は全て RC 造と仮定したが、大規模な超高層ビルなどは推計結果に大きく影響を与えることが考えられるため、公開されている情報や図面などから構造種別を一棟一棟入力した。具体的には対象エリア内で 150 メートルを超える超高層ビルである「ミッドランドスクエア」「JR セントラルタワーズ」「スパイラルタワーズ」「ルーセントタワー」の 4 棟である。

e) 用途地域

国土交通省によって公開されている国土数値情報¹⁴⁾と、名古屋市の過去の用途現況図¹⁵⁾より、各年代における用途地域を入力した。

表-4 構造種別の仮定

戸建住宅	木造
1～2 階建ての戸建住宅以外の建築物	鉄骨造
3～5 階建てで、かつ建築面積が 150m ² 以下である商業用建築物	
その他の 3～5 階建ての建築物	RC 造
6 階建て以上の建築物

図-3 2007 年度着工建築物の階数別構造割合

(3) マテリアルストック・フローの推計方法

各建築物のマテリアルストックは、次に示す式(1)で推計される。

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

$MS_{s,m}$: 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

式(1)中の資材投入原単位は単位延床面積あたりの資材蓄積量で、本研究では表-5 に示す東岸ら（2008）¹⁶⁾によって推計された値を使用した。この値は、一般的な木造、鉄骨造、RC 造の建築物の図面や写真を元に、各資材の蓄積量を推計して、延床面積で除したものである。表-5 から分かるように、RC 造の資材投入原単位の値が他の構造の建築物よりも大きい値となっており、さらに資材別に見るとコンクリートの値が大きい割合を占めている。

また、各年代間で、滅失した建築物、新築した建築物のみを抽出してマテリアルストックを集計することで、

その期間でのマテリアルフローを推計することができる。本研究では、各年代間における建築物の残存・減失は建物名称と航空写真による建物形状から判断した。具体的には、各年代の航空写真を見比べて明らかに変化している場合は、建物名称が変化していなくても更新したと判断し、逆に航空写真から明らかに同一の建物であることが見て取れる場合は単なる名称変更であり、更新していないと判断した。

表-5 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

表-6 資材別マテリアルストック (Mt)

	1970	1980	1990	1997	2003	2009
砂利・石材	1.12	1.47	1.80	1.82	2.33	2.65
コンクリート	10.92	17.00	22.31	23.33	31.06	36.40
モルタル	0.66	0.74	0.84	0.80	0.95	1.05
木材	0.29	0.27	0.27	0.24	0.20	0.17
ガラス	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
陶磁器	0.13	0.13	0.15	0.14	0.13	0.12
鉄	0.89	1.13	1.35	1.34	1.69	1.92
アルミニウム	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
その他	0.20	0.21	0.24	0.22	0.22	0.23
合計	14.26	21.01	27.02	27.94	36.64	42.60

3. 結果および考察

(1) マテリアルストックの推計結果

表-6 に、ケーススタディエリア全域におけるマテリアルストックの推計結果を示す。マテリアルストックは一様な増加傾向にあるが、表-1 に示した建築物棟数を見ると、建築物棟数は減少している期間も見られる。建物棟数が減少する一方でマテリアルストックが一様に増加している原因として、建築物の高層化と、それに伴う木造の減少、および単位面積あたりの資材投入量の大きい RC 造の増加したことが挙げられる。資材別に見ると、コンクリートのストックが全体の 8 割以上を占めていることが分かる。

また、表-7 に各用途地域のマテリアルストック密度を示す。ここで、マテリアルストック密度とは、各用途地域で集計したマテリアルストックを、その用途地域の面積で除したものである。商業地域におけるマテリアルストック密度が他の地域に比べて大きく、他用途地域の 3~4 倍程度となっている。商業地域においては、建築物の平均階数が高く、RC 造の割合が大きいいため、マテリアルストック密度が大きくなる。また、他の用途地域

表-7 用途地域別マテリアルストック密度 (t/m²)

	1970	1980	1990	1997	2003	2009
商業地域	1.83	2.77	3.66	3.81	4.80	5.64
近隣商業地域	0.59	0.83	1.06	1.16	1.54	1.66
第一種住居地域	0.44	0.64	0.69	0.67	1.23	1.38
第二種住居地域	0.52	0.66	0.73	0.78	1.20	1.29
準工業地域	0.63	0.74	0.83	0.65	1.16	1.40
全体	1.19	1.76	2.26	2.34	3.06	3.56

表-8 用途地域別マテリアルフロー密度 (kg/m²)

		1970~1980	1980~1990	1990~1997	1997~2003	2003~2009
商業地域	増加量	1270.1	618.1	506.8	1083.6	884.2
	減少量	-255.9	-167.9	-151.3	-600.3	-303.8
	蓄積純増	1014.2	450.2	355.5	483.2	580.4
近隣商業地域	増加量	390.4	101.0	134.4	227.1	178.6
	減少量	-189.4	-102.5	-82.5	-110.2	-104.5
	蓄積純増	201.0	-1.5	51.8	116.8	74.0
準工業地域	増加量	195.7	51.3	48.7	349.1	305.7
	減少量	-108.8	-99.0	-83.1	-128.5	-114.3
	蓄積純増	86.9	-47.7	-34.4	220.6	191.5
第一種住居地域	増加量	336.7	72.5	59.6	244.5	167.5
	減少量	-145.5	-64.9	-52.2	-75.0	-84.7
	蓄積純増	191.2	7.6	7.4	169.5	82.9
第二種住居地域	増加量	190.0	62.0	59.8	114.5	62.0
	減少量	-60.9	-53.4	-50.9	-80.9	-30.7
	蓄積純増	129.0	8.6	8.8	33.6	31.4

図-4 A, B, C エリアのマテリアルストック密度

では大差がなく、微小な増加傾向が見られた。

(2) マテリアルフロー密度の推計結果

表-8 に各用途地域のマテリアルフロー密度を示す。マテリアルフロー密度とは、各年代間でのマテリアルフローを用途地域ごとに集計し、それぞれの用途地域の面積で除したものである。マテリアルフロー密度は、マテリアルストック密度と同様に商業地域が大きな値を示している。商業地域における建築物は、高層でさらに RC 造である割合が大きく、加えて建築年が新しい建築物でその傾向が強い。このことから、商業地域においては資材の物質代謝が活発に行われていることが分かる。

(3) 用途地域の変更によるマテリアルストック密度の変化

用途地域が変更になった A エリア、B エリア、C エリアにおけるマテリアルストック密度の変化を図-4 に示す。図-4 から、A エリアのマテリアルストック密度は増加傾向にあり、特に 1997 年以降で急激に増加している。A エリアでは、1994 年に商業地域から近隣商業地域に用途地域が変更された影響で、それ以降の年代で多くの RC 造の高層マンションが新築された。それによって、1997 年以降で急激にマテリアルストック密度が増加している。B エリアでは、1994 年に準工業地域から第二種住居地域に変更され、その後中高層のアパートなどが建てられたことから、1997 年以降に大きく増加している。C エリアでは、住居地域から近隣商業地域に変更されたものの、建築物の構成に大きな変化は見られず、マテリアルストック密度は緩やかな増加傾向にあった。A エリアと C エリアでは、どちらも近隣商業地域に変更されたものの、マテリアルストック密度の大きさや変化率には大きな違いが見られた。これは、同じ近隣商業地域でも建ぺい率、容積率の指定が異なること、A エリアは周囲が商業地域で高層の建築物も多く、交通アクセ

図-5 甲, 乙エリアのマテリアルストック密度

スも良いこと、C エリアは周囲が住宅地域で低層の建築物の多いエリアであることにより、このような違いが見られた。

また、大規模市営団地の建設によって都市構造が変化した甲エリア、乙エリアにおけるマテリアルストック密度の変化を図-5 に示す。図-5 から、甲エリアと乙エリアはマテリアルストック密度はどちらも増加傾向にあるが、急激に増加するタイミングはずれていることがわかる。甲エリアでは 1980 年代から 1990 年代にかけて RC 造の市営団地の建設が徐々に進められ、戸建住宅が大幅に減少した。それによって、建築物の棟数は減少したが、マテリアルストック密度は 1980 年から 1990 年の間に著しく増加した。乙エリアでは、1960 年代から 1970 年代にかけて市営住宅の建設による戸建住宅の減少と高層で RC 造の建築物の増加、さらに 2003 年から 2009 年の間に団地の一部が建て替えられた。それぞれの期間で、マテリアルストック密度が大きく増加している。

このように、都市構造の大きな変化があった場所のみを抽出して詳細な分析をすることで、行政などによる大規模な都市の改変がそのエリアにどのように影響を与えるかを、マテリアルストック・フローの観点から分析することが可能である。

4. おわりに

本研究では、名古屋市における 6 年代の 4d-GIS を用いて詳細なエリアでの MSFA を行った。その結果、次のようなことが示された。

- ・ 対象エリアではマテリアルストックは年々増加傾向にあり、2009 年時には 1970 年時の約 3 倍となっている。
- ・ マテリアルストックの増加要因として、建築物棟数の変化ではなく、一棟一棟の高層化に伴う木造の減

少や RC 造の増加など、一棟あたりの延床面積の増加や構造種別の変化が挙げられる。

- ・ 用途地域別にマテリアルストック密度を比較すると、建築物の平均階数が高いことや、RC 造の建築物が多いことから、商業地域が他の地域と比較して大きい。
- ・ マテリアルフロー量は、用途地域別に見るとマテリアルストック密度と同様に商業地域が他地域よりも大きな値をとる。
- ・ 商業地域から近隣商業地域に変更された A エリアでは、用途地域の変更により RC 造のマンションが多く建てられ、マテリアルストック密度が急激に増加した。
- ・ 大規模な団地計画のあった甲エリアや乙エリアでは、その影響がマテリアルストック密度に表れた。

1 章で述べたように、今後都市において物質循環が適切な状態で保たれるように維持管理を行うためには、現状や過去の都市形成の履歴と物質循環の関連を分析することが重要である。今後の課題として、都市の特性とマテリアルストック・フローの関連をより深く分析するためには、名古屋市以外の都市でも同様の推計を行い、比較することが必要である。それにより、都市の規模や発展具合などの特徴が物質代謝にどのように影響しているかを分析することが可能となる。また、都市の成長の様子と関連づけるためには、戦後の復興期まで含むような、より長期間のデータベースを構築し、MSFA を行うことが必要である。十分長いスパンでのデータベースを使用することで、建築物の耐用年数などを推計することもできる。さらに、より多くの種類の建築物に対応できる資材投入原単位を作成し使用することが必要である。本研究のように原単位法を用いて行う推計では、原単位の値が結果に大きく影響することから、資材投入原単位の精緻化が必要である。また、本研究では詳細なエリアの性質として用途地域を取り上げたが、A エリアと C エリアのように、同じ用途地域でも過去の変遷や周囲の環境によってマテリアルストック・フローの大きさや様子が異なる場合があるため、今後はより多くの、都市の特徴を表す要素を取り入れた MSFA が必要である。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費(1-1402)、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B) 26281056)、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) 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検討，環境システム研究論文集，Vol.38，pp.413-419，2010。
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) Tanikawa,H. and Hashimoto,S. :Urban stock over time : spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Research & Information,37 (5), pp.483-502, 2009。
- 6) 谷川寛樹，井村秀文：都市建設にともなう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-，土木学会論文集，No.671，pp.35-48，2001。
- 7) 青柳淳之介，杉本賢二，奥岡桂次郎，谷川寛樹：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，第 42 回環境システム研究論文発表会講演集，pp.1-6，2014。
- 8) 株式会社ゼンリン：Zmap-TOWNII 1997,2003,2009，2011.<http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmaptown.htm>，最終アクセス日：2015.03.15
- 9) 株式会社ゼンリン：ゼンリン住宅地図 1990，1980，1970。
- 10) 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス，2015.3.15 閲覧。<http://www.gsi.go.jp/index.html>
- 11) 大場亨：建築面積及び地上階数からの延べ面積の予測，「日本都市計画学会学術研究論文集」，35，1033-1038，2000。
- 12) 阪田知彦，吉川徹：東京都 GIS 建物ポリゴンから推定した事業所系延べ床面積の補正について，GIS-理論と応用，Vol.10(No.1) 85-94，2002。
- 13) 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。
- 14) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス，2015.3.15 参照。<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 15) 財団法人名古屋都市センター：名古屋都市計画史（大正 8 年～昭和 44 年）図集編，1999。
- 16) 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。

(2015.8.13 受付)

A STUDY ON MATERIAL STOCK AND FLOW ANALYSIS OVER TIME USING 4d-GIS IN NAGOYA CITY

Junnosuke AOYAGI, Kenji SUGIMOTO, Keijiro OKUOKA and Hiroki TANIKAWA

A large amount of minerals become material flows in and out of urban areas when buildings and infrastructure, such as roads, are constructed and reconstructed. In order to do effective management of materials in a sound material-cycle society, it is necessary to estimate and grasp these material flows. This study describes a comparative MSFA (Material Stock and Flow Analysis) using 4d-GIS in the Nagoya city center for 1970, 1980, 1990, 1997, 2003, and 2009. Material stock in the case study area was found to be increasing, with large material accumulation in the commercial area. Additionally, it was clarified that changes in the urban structure system has huge impacts on urban metabolism.