

# 長期間の都市構造物データベース構築に基づく 物質ストック分析 -名古屋市中心部におけるケーススタディ-

野中 一鴻<sup>1</sup>・奥岡 桂次郎<sup>2</sup>・谷川 寛樹<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)  
E-mail:nonaka.ikko@b.mbox.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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

循環型社会の構築に向けて、廃棄物の発生源となる物質蓄積や、都市構造物の更新頻度である物質フローを詳細に把握することが重要である。人口の増減といった社会的背景や、地理的要因の違いについても考慮する必要がある。そこで、本研究では名古屋市中心部(約12km<sup>2</sup>)を対象に、戦後約60年にわたる各構造物単位(建築物、道路、鉄道、地下鉄)での都市構造物データベースを構築した。この結果、対象エリア内における構造物別の物質ストック量は8割以上を建築物が占めることが分かり、その量は、7.3Mt(1949年)、16.6Mt(1970年)、35.8Mt(1990年)、45.7Mt(2009年)のように単調な増加傾向を示した。さらに、居住人口の動態が建築物の物質ストック量に影響を与えていることを示した。

**Key Words** : *Urban Metabolism, Material Stock, Building Life-span, 4d-GIS*

## 1. はじめに

我が国において、特に高度経済成長期に大量の資源を投入・廃棄することで生活水準を向上させ物質的に豊かな生活を享受してきた。環境省(2017)<sup>1)</sup>の作成した物質フロー図によると、2014年度の総物質投入量は16.5億トン、廃棄量は5.6億トンである。廃棄量5.6億トンのうち2.6億トンは循環利用されており、蓄積純増量は年間5.3億トンである。このように膨大な物質フローに伴う環境負荷が危惧される。また、総物質投入量や循環利用量の大半は土石系資源であり、これらを投入することにより建築物や道路などの社会インフラが整備されてきた。こういった都市構造物を建設・維持する際に大量の物質フローが発生し、鋼材・コンクリート・木材といった建築資材が蓄積している。また、各都市の人口等の社会的背景も様々であり、それに伴い建築資材が蓄積した年代や成長傾向も異なる。そして今後、耐用年数を迎えた建築資材が、大量に廃棄物となって排出される可能性がある。

循環型社会の構築に向けて、廃棄物の発生源となる物質ストックや、都市構造物の更新頻度である物質フロー

を過去から現在まで詳細に把握することが重要である。さらに、人口の増減といった社会的背景や、地理的要因の違いについても考慮する必要がある。人口を考慮した物質ストック・フローを詳細に分析する手段としてマテリアルストック・フロー分析(Material Stock Flow Analysis)が挙げられる。

MSFAに関する既往研究としては、環境省(2017)<sup>1)</sup>が様々な産業の製造・輸出入の統計情報から全国での物質フローの推計を行っている。Hashimoto *et al.*(2007)<sup>2)</sup>は建設活動に関わる統計情報に基づき、土木構造物を対象として日本全国の物質ストック・フローを分析した。さらに、田中ら(2013)<sup>3)</sup>は統計情報とGIS(Geographic Information System)データを用いることで県単位での土木構造物のMSFAを行った。しかし、都市を中心とした物質循環の様態は各都市の主力産業や居住人口といった経済的要因や、都市部への交通機関の利便性といった地理的要因が複雑に関係していると考えられる。そのため、日本全国や都道府県単位でのマクロスケールでの推計では、上記のような経済的要因や地理的要因を考慮することができない。都市の特性と物質ストック・フローの関係を分析することで、将来の物質投入量・廃棄量を定量化し都市

計画において重要な指標となりうる。

GIS(Geographic Information System)の利用により、建築物や道路といった各構造物単位での詳細な推計を行うことで、様々なスケールでの MSFA が可能となる。このような詳細な都市構造物データベースを過去から現在に至るまで時系列で分析し可視化することで、物質ストック・フローの空間分布やその他のデータレイヤーとの比較を実現できる。このように、ベクターデータに GIS による地理情報と属性情報を持たせ、さらに経年で比較できるように時間軸を追加したデータベースを 4d-GIS(4 dimension - Geographic Information System)と呼ぶ。

4d-GIS に関する既往研究として、青柳ら(2015)<sup>9)</sup>は名古屋市中心部について、建築物を対象に 1970 年、1980 年、1990 年、1997 年、2003 年、2009 年の 6 年代で GIS データベースを構築し、MSFA を行なった。その結果、用途地域の変更が物質ストック・フローに与える影響を定量的に明らかとした。また、Tanikawa and Hashimoto(2009)<sup>9)</sup>は和歌山市中心部について、建築物を対象に 1947 年、1958 年、1974 年、1987 年、2004 年、5 年代の GIS を利用したデータベースを構築し、MSFA を行なった。また、各構造物別に建築物の残存率を推計した。

本研究では、青柳ら(2015)<sup>9)</sup>で構築された名古屋市中心部における 6 年代に 1960 年、1949 年を追加し、60 年間にわたる 8 年代の 4d-GIS を構築した。また、土木構造物として建築物だけでなく道路・鉄道を加えることで、より詳細な都市構造物の MSFA を行なった。特に本研究では、60 年間の詳細な人口移動をデータベース化することで、小学区ごとに一人あたりに利用している戸建住宅の物質ストックを定量化した。また、戦後直後の都市構造物の構造決定の過程を精査し、新しい仮定を加えている。

## 2. 推計手法

### (1) 対象エリア

本研究では、図-1に示す名古屋市中心部(約12km<sup>2</sup>)を対象エリアとした。名古屋市は3大都市圏の一つに当たる中京圏の行政・経済の中核である。名古屋市の中でも特に都市基盤として行政機関や商業施設の集約しているエリアを選定した。本研究の対象エリアは名古屋城や県庁・市役所といった行政機関、地下鉄やJR在来線及び新幹線などの交通機関が集まる名古屋の中心的な地域である。対象エリア内の南部は名駅から栄まで商業地域に分類され、現在では断続的に高層のビルが立ち並ぶ繁華街である。また、対象エリア内の北部は、約半分が住居系地域として利用されており、名古屋城を含んだ商業・工

業・住居系地域が混在するエリアである。



図-1 対象エリア(名古屋市中心部)

### (2) 都市構造物データベース

今回構築した4d-GISは、建築物・道路・鉄道の都市構造物を対象とした。都市構造物ごとに入力されている属性情報やデータの性質が異なるため、その詳細を以下の以下の「建築物」、「道路」、「鉄道」に示す。

#### a) 建築物

建築物について、エリア内の各建築物の外形をベクターデータで表現している。1997年、2003年、2009年に関しては株式会社ゼンリンのZ-map TOWN II<sup>9)</sup>から、対象エリアを切り出したものを利用した。1997年以前については整備されたGISデータが存在しないため、住宅地図<sup>7)</sup>、航空写真<sup>8)</sup>等からデータベースを構築した。また1949年に関しては住宅地図<sup>7)</sup>が1960年以前のもの整備されておらず、航空写真<sup>8)</sup>や、都市計画基本図<sup>9)</sup>を参考にデータベースを構築した。

建築物の建て替えと構造種別を判断する際には、Z-map TOWN II<sup>9)</sup>や住宅地図<sup>7)</sup>に記載される「建築名称」を各ポリゴンに入力した。建築物の構造種別については以下の表-2に示すように木造、鉄骨造、RC造の3種類に分類した。「建築名称」より個人宅と考えられる建築物を「戸建住宅」として木造と定義し、事務所や工場として利用されていると考えられる建築物は鉄骨造と定義した。戸建住宅以外で階数が1~2階の建築物は建築着工統計<sup>10)</sup>から建築面積ごとの構造種別の着工棟数の割合を引用し、表-2のように分類した。また1960年以前の年代については、建築着工統計<sup>10)</sup>より1950年代の構造種別の割合を算出し、適応させることで構造種別を判断した。

表-2 建築物の構造種別に用いた仮定

年代	1949年～1960年	1970年～2009年
木造		戸建住宅
鉄骨造	1957年、1959年の建築物着工統計より、木造、S造、RC造の着工割合を算出し、適合させた。	1~2階建ての戸建て住宅以外の建築物 3~5階建てで、かつ建築面積が150m <sup>2</sup> 以下である商業用建築物
RC造		その他の3~5階建ての建築物 6階建以上の建築物



### 3. 推計結果および考察

#### (1) 都市構造物データベース(4d-GIS)

本研究で整備した都市構造物データベース(4d-GIS)を図-2に示す。

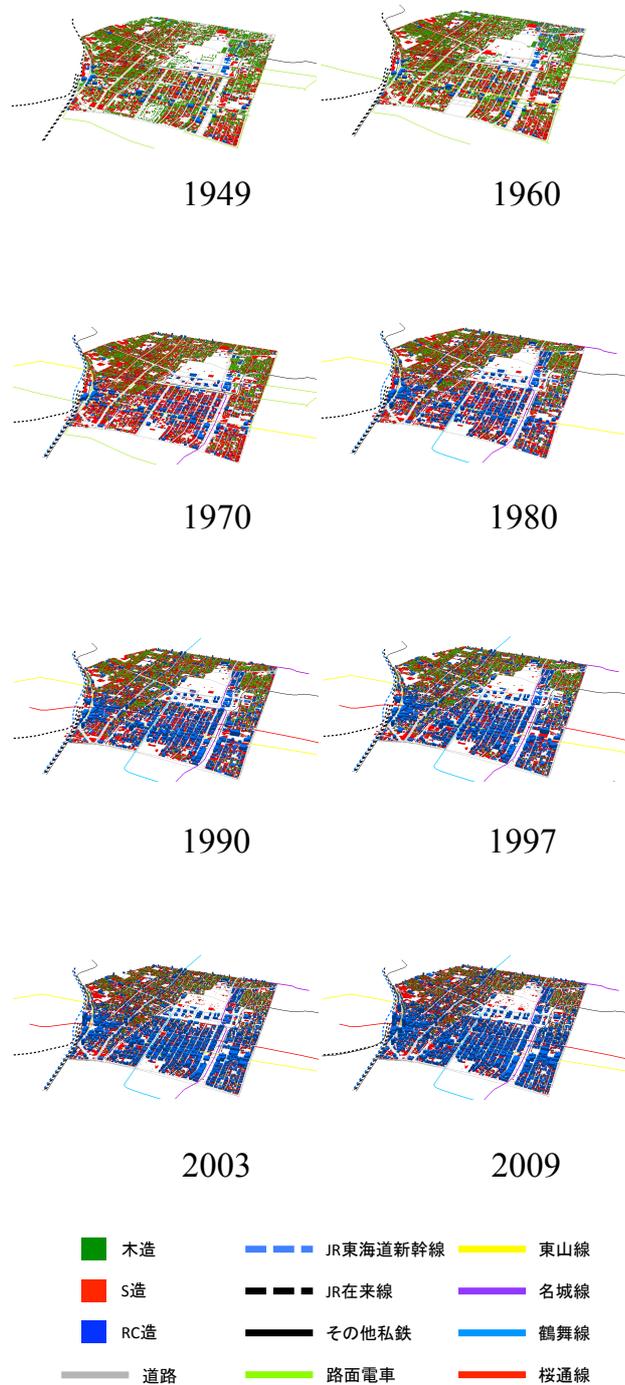


図-2 都市構造物データベース(4d-GIS)

建築物の高さ情報に関しては属性情報内の「階数」を使用した。建築物、鉄道に関しては構造種別に色分けをしている。北側には木造住宅、南側にはRC造や鉄骨造

が集中している。年代が更新される度に高層のRC造が増加していることが見て取れる。道路は1990年には対象エリア南端、東端に 高速道路が建設された。鉄道は1970年代までは路面電車が街に行き交っていたが、1980年代以降は路面電車が解体され、地下鉄が交通手段として発展した。

このように4d-GISを構築することで、経年での構造種別の変化や、都市構造物の利用形態が可視化された。

#### (2) 物質ストックの推計結果

本研究における対象エリア内の都市構造物別の総建築面積及び総延長を表-4に示す。建築物は、1949年から1990年にかけて建築面積が増加した。また、1997年から2009年にかけて建築面積は減少し、2003年には3.79km<sup>2</sup>と通年で最小の値を示したが2009年には増加に転じた。建築物の構造種別に着目すると、木造・S造が減少する中で、RC造の建築面積は通年で増加の傾向を示した。4d-GISにより視覚的に確認されたRC造建築物の増加が定量化された。

表-4 都市構造物別総建築面積及び総延長

	1949	1960	1970	1980	1990	1997	2003	2009	
建築物の建築面積 (km <sup>2</sup> )	木造	2.26	2.28	1.61	1.52	1.53	1.37	0.77	0.63
	S造	1.75	1.84	2.56	2.33	2.22	1.81	1.56	1.53
	RC造	0.26	0.32	0.59	1.01	1.32	1.38	1.46	1.65
	合計	4.27	4.44	4.75	4.87	5.07	4.57	3.79	3.81
道路面積 (km <sup>2</sup> )	国道	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
	県道	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	市道	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	その他道路	1.43	1.43	1.44	1.44	1.44	1.44	1.45	1.45
道路の総延長 (km)	高速道路	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.22	0.22	0.32
	合計	2.00	2.00	2.01	2.01	2.24	2.24	2.24	2.33
	JR	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74
	私鉄	5.94	5.94	5.94	5.45	5.45	5.45	5.45	5.94
鉄道の総延長 (km)	新幹線	0.00	0.00	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
	地下鉄	0.00	3.11	6.31	9.39	16.01	16.01	16.01	16.01
	路面電車	20.60	21.21	17.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合計	31.28	35.00	36.98	22.28	28.90	28.90	28.90	29.39

各都市構造物別の物質ストックの内訳を表-5に示す。各都市構造物で比較すると、建築物の物質ストックが通年で8割以上を占め最も割合が大きいことが示された。建築物の物質ストックは1949年の5.8Mt(1949年)から42.4Mt(2009年)と、60年間で約7倍にまで増加した。また、通年で物質ストックは増加傾向を示した。表-4の建築面積と比較すると1980年までは増加したが、1990年から減少に転じていることから、対象エリアにおける著しい高層化と資材投入原単位の大きいRC造の割合の増加が考えられる。

道路について、1.4Mt(1949年)から3.2Mt(2009年)と、60年間で1.6Mtの物質ストックの増加が確認された。また、通年で物質ストックは増加傾向を示した。道路の構造種別の変化はあまり見受けられず、道路面積に比べ道路の物質ストックの増加が著しいことから、物質ストックの変化は年代ごとの資材投入原単位の増加による物質ストックの増加が大きいと考えられる。

鉄道について、0.02Mt(1949年)から0.13Mt(2009年)と、60年間で0.1Mtの物質ストックの増加が確認された。他の都市構造物の物質ストックより微妙な変化であったが、対象エリア内の60年間で鉄道の利用形態は劇的に変化している。1970年代まで路面電車が利用されていたが1980年には廃止、その後地下鉄と名古屋鉄道が整備された。鉄道総延長は1970年が最も長い一方で物質ストックは通年で増加し、鉄道形態の変化により1980年から1990年にかけて、約0.04Mt増加した。

資材別物質ストックの内訳を表-6に示す。最も多く物質ストックとして対象エリアに蓄積している資材は通年でコンクリートであった。また、変化の割合が最も大きい資材もコンクリートである。表-3の建築物の原単位表からわかるように、RC造の建築物に大量に利用されるコンクリートが最も大きな値を示した。RC造の建築物の増加が全体の物質ストックの増加に大きく影響していると考えられる。

表-5 都市構造物別の物質ストック(Mt)

	1949	1960	1970	1980	1990	1997	2003	2009
建築物	5.78	8.92	14.33	23.43	33.19	34.25	36.77	42.41
道路	1.44	1.44	2.18	2.15	2.45	2.96	2.96	3.15
鉄道	0.02	0.04	0.07	0.09	0.13	0.13	0.13	0.13
合計	7.25	10.41	16.58	25.67	35.77	37.34	39.86	45.69

表-6 資材別の物質ストック(Mt)

	1949	1960	1970	1980	1990	1997	2003	2009
砂利・石材	2.05	2.43	3.79	4.33	4.95	5.39	5.40	5.86
コンクリート	3.33	5.55	10.03	18.00	26.88	28.12	30.76	35.80
モルタル	0.35	0.45	0.69	0.84	0.99	0.94	0.95	1.05
木材	0.26	0.41	0.32	0.31	0.34	0.30	0.19	0.16
ガラス	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
陶磁器	0.17	0.25	0.19	0.20	0.21	0.20	0.14	0.13
鉄	0.55	0.71	1.10	1.46	1.75	1.71	1.78	2.00
アルミニウム	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
アスファルト	0.33	0.34	0.19	0.20	0.27	0.32	0.32	0.34
セメント	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06
その他	0.16	0.22	0.21	0.24	0.27	0.25	0.22	0.23
合計	7.25	10.41	16.58	25.67	35.77	37.34	39.86	45.69

## (2) 建築物の平均滞留年数の推計結果

最も物質ストックの割合の大きい建築物に対して、構造物別に建築年を算出することで、それぞれの残存率を求めた。残存率が0.5となる経過年数を建築物の平均滞留年数と定義して表-7に示す。

木造、S造の建築物は着工年代が新しい程、平均滞留年数が短くなった。一方で、1970年代から増加の傾向の著しいRC造の建築物は平均滞留年数が1960年代で64.7年と最長となり、他の構造物と比較すると長く滞留することが明らかとなった。

また、建築物の残存率はその年代の経済状態や居住人口、世帯収入等様々な要因が複雑に関係していると考えられる。今回は経過年のみで残存率の集計を行ったが、各年代の経済状況等を考慮した分析が必要と考えられる。

表-7 各建築着工年代の平均滞留年数

着工年代	構造種別	木造	S造	RC造
1949年	K	1.00	1.00	1.00
	a	0.08	0.09	0.07
	b	-2.40	-3.35	-3.39
	平均滞留年数	28.9年	37.3年	49.2年
1960年	K	1.00	1.00	1.00
	a	0.06	0.08	0.07
	b	-1.39	-1.76	-4.56
	平均滞留年数	22.8年	22.2年	64.7年
1970年	K	1.00	1.00	1.00
	a	0.08	0.09	0.10
	b	-1.59	-1.48	-4.68
	平均滞留年数	19.4年	15.7年	49.0年

## (3) 人口と物質ストックの推移

図-3に1km<sup>2</sup>あたり人口、図-4に一人あたりの戸建住宅ストックを示す。1949年の人口密度は名古屋駅周辺の地域に集まっており、2009年にはこのエリアの人口が減少した。特に北東のエリアでは、人口密度の大きな変化はみられなかった。一方、一人当たりの戸建住宅ストックは1990年には人口減少により一人当たりの物質ストックが大きな値を示した。2009年には戸建住宅の減少と共に低い値を示しているが、南側商業エリアにおけるRC造の高層マンションの出現により、このエリアにおいて戸建住宅に住む人口が減っていることが示唆される。

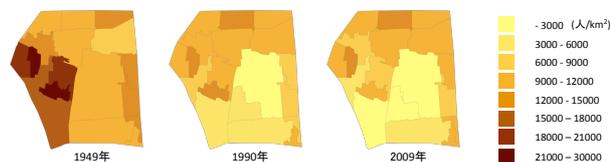


図-3 1km<sup>2</sup>あたり人口(人/km<sup>2</sup>)

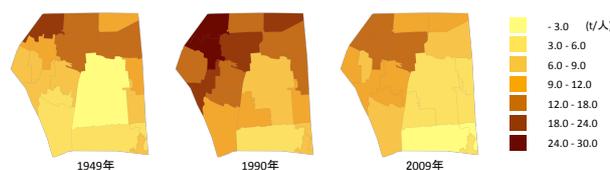


図-4 一人あたりの戸建住宅ストック(戸人)

## 4. おわりに

本研究では、名古屋市中心部において8年代の都市構造物データベースを構築し、各年代の人口統計と比較する等、詳細なMSFAを行った。その結果、得られた主要な研究成果は以下の通りである。

- 対象エリアにおける物質ストックは通年で増加傾向にあり、建築物の物質ストックが全体の8割以上を占めた。
- 建築物の物質ストック増加が他の都市構造物より

- 大きく、2009年には1949年の約7倍であった。
- 建築物の中でもRC造の建築面積の増加が全体の物質ストックの増加に大きく影響していることが明らかとなった。
- 建築物の平均滞留年数を推計し、構造種別ごとに平均滞留年数の値や、着工年代ごとの建て代わりの傾向の違いが定量化された。
- 小学校区ごとの人口統計と、それに対応した一人あたりの戸建住宅の物質ストックを定量化した。
- 各小学校区で戸建住宅の変化の傾向の違いが明らかとなった。1990年においては、ドーナツ化現象による人口減少が、一人当たり物質ストックの増加に大きく影響していることが考えられる。

居住人口から分かるように名古屋市の対象エリアでは近年で人口の増加傾向にある。今後名古屋市の人口は名古屋市総合計画2018<sup>13)</sup>によると、40年後には平成22年の226万人から184万人まで減少すると推計されている。また、名古屋市の「まち・ひと・しごと創生総合戦略」<sup>14)</sup>には、名古屋市のさらなる人口増加のシナリオが述べられている。人口の動態と物質ストックとの関係を明らかにすることで、今後処理する必要のある廃棄量や、新たに必要となる資源量、さらに都市計画に関わる環境負荷を定量化することが可能となる。

本研究で推計された建築物の平均滞留年数は着工後の経過年から残存率を推計しているが、実際は各年代の経済状態や世帯年収、人口といったパラメータが複雑に関係していると考えられる。今後は現在の残存率の推計モデルに人口や経済状態の変化を考慮し、推計する必要がある。

また、建築物の構造種別の決定は各年代において建築着工統計や各種統計からの精査が不十分であり、今後の課題として構造決定を詳細に定義する必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、環境省 環境研究総

合推進費(2-1711)、第Ⅲ期 環境経済の政策研究、平成29年度CO<sub>2</sub>テクノロジーアセスメント推進事業委託業務の支援を受けている。

#### 参考文献

- 1) 環境省：環境・循環型社会・生物多様性白書，p169，2017.
- 2) S. Hashimoto, H. Tanikawa, Y. Moriguchi: 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) 田中健介, 早川容平, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹：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, 環境システム研究論文集, Vol.41, pp.25-34, 2013.
- 4) 青柳淳之介, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹：名古屋市中心部における 4d-GIS を用いた年の経年変化による MSFA に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.43, pp.467-II\_474, 2015.
- 5) H. Tanikawa, S. Hashimoto: Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Research & Information, Volume 37,(5)(6),483-502,2009.
- 6) 株式会社ゼンリン：Z-map TOWNII, 1997,2002,2009.
- 7) 株式会社ゼンリン：ゼンリン住宅地図 1990,1980,1970,1960.
- 8) 国土交通省国土地理院：地図・空中写真観覧サービス, <http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>.
- 9) 名古屋市住宅都市局都市計画課 名古屋市都市計画情報提供サービス：<http://www.tokei-gis.city.nagoya.jp/>.
- 10) 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, 2009,1959,1957.
- 11) ESRI ジャパン株式会社(2011)：ArcGIS Data Collection プレミアムシリーズ道路網 2011.
- 12) 総務省統計局：平成 27 年, 平成 22 年, 平成 17 年, 平成 12 年, 平成 2 年, 昭和 60 年, 昭和 55 年, 昭和 50 年, 昭和 45 年, 昭和 40 年, 昭和 35 年国勢調査結果.
- 13) 名古屋市総務局企画部企画課：名古屋市総合計画 2018.
- 14) 名古屋市総務局企画部企画課：名古屋市まち・ひと・しごと創生総合戦略.

(2017.8.25 受付)

## An ANALYSIS of LONG-TERM ACCUMULATION of CONSTRUCTIONS to ASSEMBLE THE STOCK DATABASE in CENTER-AREA of NAGOYA

Ikko NONAKA, Kejiro OKUOKA and Hiroki TANIKAWA

Qualitative and quantitative analysis material stocks which will be future demolition waste, and material flow which represents construction life-span are necessary in order to build sound material society. Additionally, population transition and geographical characteristics would be large factors for the sound material society. In this study, we construct urban structure database of buildings, roads, railways and subways in the center of Nagoya city (about 12 km<sup>2</sup>) for 60 years since world war II. The results show that buildings material stocks occupy more than 80 % of material stock in the area. The stock transition shows monotonic increase that 7.3 M ton in 1949, 16.6 M ton in 1970, 35.8 M ton in 1990, 45.7 M ton in 2009. The results also show resident population change has influences for residential building material stocks.