

# 4d-GISによる建築物 マテリアルストック・フロー分析 - 名古屋市中心部を対象としたケーススタディ -

杉本 賢二<sup>1</sup>・青柳 淳之介<sup>2</sup>・谷川 寛樹<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 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:k.sugimoto@urban.env.nagoya-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 名古屋大学工学部社会環境工学科 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町D2-1)

<sup>3</sup>正会員 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)

都市には建築物や道路、橋梁といった社会インフラの形として物質が蓄積されており、インフラが耐用年数を迎えることにより蓄積されてきたコンクリートや木材などの建設資材が廃棄物として排出される。本研究は、都市における物質ストックの空間分布や廃棄物となるタイミングを推計することを目的として、名古屋城を中心とした名古屋市中心部における建築物を対象として、時系列での高さ情報を持つ空間データである4d-GISの構築を行い、各年代におけるマテリアルストック・フロー量の推計を行った。その結果、建物の高層化・集約化に起因してストック量は年々増加傾向にあり、1990年の25 [百万トン] から2009年の43 [百万トン] に増加しており、マテリアルフロー量についてみると、各年代におけるストック増加量は、廃棄物であるストック減少量の3倍にもものぼることが推計された。

**Key Words :** material stock, material flow, time-series GIS, building material, Nagoya

## 1. 研究の背景と目的

都市には建築物や、道路や鉄道、橋梁といった社会インフラの形として物質が蓄積しており、環境省によれば、総物質投入量のうち38%が蓄積純増として都市にストックされている<sup>1)</sup>。こうしたインフラが耐用年数を迎えることによって、建設時に投入されたコンクリートや木材、鉄骨材などの建設資材が廃棄物として排出されるため、今後の循環型社会を形成するためには、資材投入計画だけでなく、適切な廃棄物処理計画を立てることが重要である。そのためには、都市に蓄積されている物質ストックについて、どのくらいの量があり、どのような空間分布で、どのようなサイクルで投入・廃棄されているかを把握する必要がある、それにはマテリアルストック・フロー分析 (Material Stock and Flow Analysis; MSFA) が有効である。

統計情報を利用したMSFAに関する研究としてこれまでに、藤川ら (2006)<sup>2)</sup>、醍醐ら (2007)<sup>3)</sup>、長岡ら (2009)<sup>4)</sup>、大西ら (2010)<sup>5)</sup> などにより、物質ストック量・フロー量の推計が行われてきた。しかし、これらの研究は、統計データの集計単位である日本全体や、都道府県・市区町

村単位での推計であるために、地域内における活動的/衰退的なエリアの推定や長期的な都市の変化など、地域特性や空間特性を考慮することは困難である。

一方で、Tanikawa and Hashimoto (2009)<sup>6)</sup>、谷川ら (2010)<sup>7)</sup>、矢野ら (2011)<sup>8)</sup> など、近年整備が進んでいるGISデータを利用した研究がなされている。詳細なGISデータを用いることにより、長期的な各構造物の視覚化だけでなく、任意の空間解像度での物質ストック量の推計を行うことができ、また、その空間分布や地域特性について可視化を行うことできる。加えて、筆者らにより、名古屋市の都心街区群における建築物ストック・フロー量の推計が行われており<sup>9)</sup>、さらに広域での時系列GISデータの構築やそれを活用したMSFAにより、物質ストックフロー量の把握のみならず、都市における地域特性についても知ることが可能となる。

本研究では、適切な物質投入・廃棄計画に資するマテリアルストック・フロー量を目的として、名古屋市中心部を対象地域として、建築物に関する時系列GISデータである4d-GISの構築を行う。対象年代はデータの利用制約から1990、1997、2003、2009年の4年代とした。また、構築された4d-GISを用いて、マテリアルストック量と、

各年代におけるストック増減であるフロー量について、空間的・時間的な推計を行う。

## 2. 4d-GISの構築

### (1) ケーススタディ対象地域

本研究では、名古屋市の中心部である、名古屋城を中心とした、面積約11km<sup>2</sup>をケーススタディ対象地域とした。この地域には名古屋城や名古屋駅、栄地区、100メートル道路などが含まれる、全国でも非常に活動的な都市地域である。また、江戸時代から名古屋城の城下町として発展し、現在でも名古屋の都市計画における主要地区であることから、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く、また都市空間の変化なども大きく、時間的な変化の影響をふまえた分析がしやすいと考えられることなどから決定した。

対象地域は、図1に示すように、名古屋市の5つの区の一部ずつを合わせた区域である。このうち、中区エリアは、栄地区や錦地区などの繁華街を含み、ケーススタディ対象地区の中でも特に賑やかな地区である。そのため、商業ビルが多くあり、高さもある建物が多い。中村区エリアは名古屋駅を含む地区で、範囲は狭いが、近年になって100mを越す超高層ビルの建築が集中している地域である。西区エリアは一番範囲が広く、建物数においても全体の半数以上を占めるが、戸建住宅などの低層階建物が多く分布している。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。

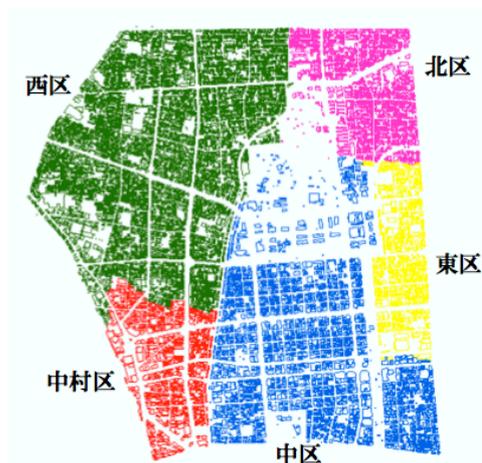


図-1 対象地域と各区の構成

表-1 各区における建築物棟数の推移

|      | 東区    | 北区    | 西区     | 中村区   | 中区    | 合計     |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 1990 | 1,334 | 2,835 | 13,434 | 1,983 | 4,150 | 23,736 |
| 1997 | 1,220 | 2,539 | 11,692 | 1,484 | 4,160 | 21,095 |
| 2003 | 1,629 | 3,515 | 16,118 | 1,873 | 5,607 | 28,742 |
| 2009 | 1,535 | 3,378 | 15,342 | 1,653 | 5,181 | 27,089 |

単位：棟

### (2) 建築物GISデータの作成

建築物4d-GISを構築するために使用したデータは、1997、2003、2009年についてはゼンリンによるZmap TOWN II<sup>10)</sup>を用いた。また、1990年については、1997年のZmapをもとにして住宅地図<sup>11)</sup>との重ね合わせにより、ポリゴンの追加や消去、編集など、空間データの修正を行い作成した。表1に対象地域における各区の建築物棟数の推移について示す。対象地域内には2万から3万棟弱の建築物があり、この中には後述のように空間データと紙媒体である住宅地図とのズレによる棟数の変化も含まれているが、全体として棟数は増加傾向にある。

各建築物のポリゴンには物質ストック量の推計の際に必要な、建物名称、階数、建物構造種別、建物面積に関する属性情報が付与されている。これらの属性情報のうち、後述のマテリアルストック量の推計の際に必要な建物情報である、(a)階数、(b)構造種別、(c)延床面積の算出もしくは決定方法について説明する。

まず、(a)階数について、住宅地図には一部のテナントビルやマンションなどについては詳細な階数・部屋別情報が記載されているため、ある程度階数を知ることができるが、すべての建物についての情報が記載されているわけではない。また、Zmapでは、3階未満の建物に関しては階数情報がすべて0となっているため、すべて2階建てとした。

次に、(b)構造種別については、実際に一つ一つの建物について構造を調べていくことが確実であり、正確ではあるが、棟数が多いことに加えて現存していない建物もあることから現実的ではない。したがって、本研究では各建築物の構造種別について以下のように決定した。

- 建物名称などから戸建住宅であることが明らかな建物：「木造」
- それ以外の建物のうち、4階以上の建物：「RC(鉄筋コンクリート)造」
- それ以外の建物：「S(鉄骨)造」

表2に対象地域における建物構造種別棟数の推移について示す。木造は1990年には全体の約半数である1.1万棟であったが2009年には全体に占める割合が約30%まで減少している。その一方で鉄骨造とRC造は増加傾向にあり、特に鉄骨造は2009年に全体の52.5%を占めるまでになっている。

最後に、(c)延床面積は、GISの演算機能による建物ポリゴンの面積に、階数を乗じたものとした。しかし、各年代において同一の建物であってもズレや面積が生じている。これは、Zmapでは建物の外周が建物ポリゴンとなっているが、住宅地図では一部の高層ビルを除いて建物ではなく敷地として表現されている。年代によって固有の誤差があれば、推計された物質ストック量を時系列で適切に比較することが困難である。したがって、各

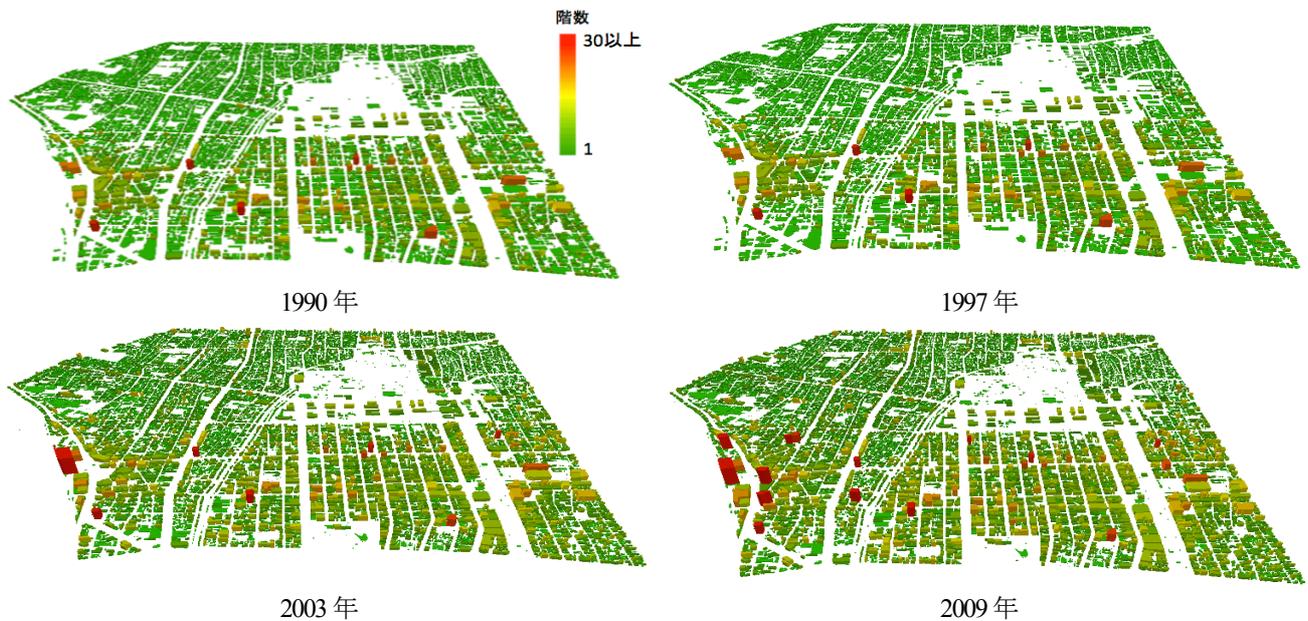


図-2 各年代の建築物3d-GIS

年代間で共通している建物を抽出し、合計面積の比により建物面積の修正を行った。

具体的には、東区において、1990年と1997年で共通している建築物総建物面積はそれぞれ、1,349 [千m<sup>2</sup>]、1,167 [千m<sup>2</sup>]であることから、1990年の建物面積には書く建築物ポリゴンについてGISの演算機能により算出した値に、これらの比である0.865を乗じた面積を建物面積として修正した。

### (3) GISデータの可視化

構築した建築物GISデータについて、図2に階数情報によりポリゴンを3dに立ち上げ可視化したイメージを示す。対象地域の北側にあたる西区などでは、戸建住宅の割合が多いために低層階の建物が広く分布しているが、南側に位置している、名古屋駅から栄地区にかけての東西方向において高層ビルが建築されており、さらにそれが集

中していることが見て取れる。

また、表3に各区における建築物の平均階数の推移について示す。低層階の戸建住宅の多い北区や西区においても2.1から2.5階まで増加しており、一方でオフィスビルなどの商業ビルが林立している中村区や中区では平均で4階を超えている。ケーススタディ地域全体としても1990年の2.4階から2.97階まで20%の高層化が見られる。

## 3. 物質ストック・フロー量の推計

### (1) 推計方法

各建築物の物質ストック量の推計方法として、原単位法を用いた。原単位法では建物の延床面積に、構造種別ごとの面積あたり資材投入量を乗じて算出する。

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

ここで、 $MS$ ：建築物の物質ストック量、 $TFA$ ：建築物の延床面積、 $MI$ ：面積あたりの資材投入量、であり、添字の $s$ は建物構造種 (木造、RC造、S造)を、 $m$ は建設資材の種類をそれぞれ表している。

本研究では資材投入原単位は、東岸ら(2008)<sup>12)</sup>によって推計された値を使用した。これは、各構造種別の一般的な建築物の設計図面を用いて、各資材の使用量を計算し延べ床面積で除することで推計された値である。資材投入原単位は、建物の建てられた年代によって建築基準法などの法規によって定められた資源投入量などが異なるため、建築年代ごとに合わせた原単位の値も推計されている。しかし、本研究では、4d-GISの期間が約20年程度と比較的短期間であり、全ての建築物に対しては建築

表-2 建物構造種別棟数の推移

|      | 単位：棟   |        |       |        |
|------|--------|--------|-------|--------|
|      | 木造     | 鉄骨造    | RC造   | 合計     |
| 1990 | 11,127 | 10,475 | 2,134 | 23,736 |
| 1997 | 10,183 | 7,905  | 2,545 | 21,095 |
| 2003 | 9,820  | 14,553 | 4,369 | 28,742 |
| 2009 | 8,121  | 14,234 | 4,734 | 27,089 |

表-3 平均階数の推移

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

表4 建築物マテリアルストック量の推移

単位：100万トン

|      | 東区   | 北区   | 西区   | 中村区  | 中区    | 平均    |
|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 1990 | 2.44 | 1.24 | 5.02 | 4.20 | 12.26 | 25.16 |
| 1997 | 2.87 | 1.51 | 6.02 | 4.96 | 14.62 | 29.99 |
| 2003 | 3.65 | 1.49 | 6.02 | 5.83 | 15.95 | 32.94 |
| 2009 | 4.14 | 1.75 | 7.82 | 8.57 | 20.48 | 42.76 |

表5 東区におけるマテリアルフロー量

| 年代          | ストック量    |       |       | 建築物数 |     |
|-------------|----------|-------|-------|------|-----|
|             | 増加量      | 減少量   | 純増量   | 新築数  | 減失数 |
|             | (100万トン) |       |       | (棟)  |     |
| 1990 → 1997 | 0.559    | 0.127 | 0.432 | 172  | 285 |
| 1997 → 2003 | 0.840    | 0.251 | 0.589 | 443  | 278 |
| 2003 → 2009 | 0.718    | 0.214 | 0.503 | 167  | 280 |

年代を割り出すことが出来ないため、ストック量の推計には2000年の値を使用した。

## (2) 建築物マテリアルストック量の推移

4d-GISを用いて、前述の原単位法により推計された建築物マテリアルストック量の推移について推計を行った。表4に各区におけるマテリアルストック量の推移について示す。対象地域では1990年の25.16[百万トン]から2009年の42.76[百万トン]までストック量が70%増加しているが、中区と中村区における蓄積量の増加がその要因として挙げられる。もちろん、建物棟数の多い西区でもストック量が多くはなっているが、中区と中村区における開発によって建物が高層化し、より多くの面積あたり資材投入量を要するRC造(木造は487.5kg/m<sup>2</sup>、S造は957.6kg/m<sup>2</sup>であるが、RC造は1843.7kg/m<sup>2</sup>である)が建築されたことがストック量の増加につながっている。

また、図3に投入資材別のマテリアルストック量の推移について示す。建設資材ではコンクリートがもっとも大きな割合を占めており、全体の蓄積量のうち80-85%である。これは、他の構造種別に比べて資材原単位が大きいRC造が増加したことに加えて、RC造の資材原単位の多くを占めているコンクリートの投入が増加しているためであると考えられる。また、超高層ビルの建設が都市におけるマテリアルストックに与える影響は非常に大きく、例えば、中村区における名古屋駅前に建設された、「ミッドランドスクエア(47階建)」、「セントラルタワーズ、2棟(51,52階建)」、「スパイラルタワーズ(36階建)」は全て高さ100mを超える超高層ビルであるが、この4棟だけで物質ストック量は200万トンを超えており、中村区の合計量のうち23%を占めている。

## (3) マテリアルフロー量の推計

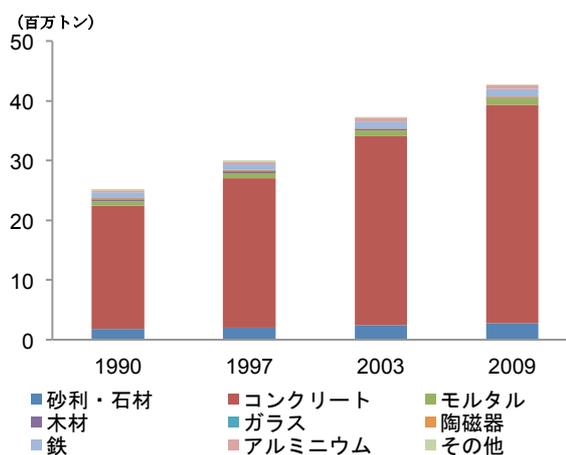


図3 建設資材別マテリアルストック量の推移

4d-GISを用いることで、経年でのストック量の推移だけでなく、各年代間に増加、あるいは減少したストック量であるフロー量についても推計することができる。以下では、東区におけるマテリアルフロー量について示す。

二時点におけるマテリアルフロー量 $\Delta MS$ 、すなわち年代間のストック量の差分は、

$$\begin{aligned} \Delta MS &= MS_t - MS_{t-1} \\ &= gMS - dMS \end{aligned} \quad (2)$$

により計算される。ここで、 $gMS$ ：ストック増加量、 $dMS$ ：ストック減少量(廃棄物量)であり、添字の $t$ は時間を表している。

表5に東区におけるマテリアルフロー量の推移について示す。どの期間においてもストック増加量は廃棄物である減少量の3倍程度の大きさになっており、建替えや用途変更などによって建築物が減失した以上にストック量が増加していることがわかる。しかし、増加した建物数(表中、新築棟数)と減少した建物数(表中、減失数)を比較すると、減少分のほうが多くなっている。無くなった建築物と出来た建築物の構造種別の違いから、階数の低い木造の建物が減り、階数の大きいRC造の建物が増えることで、差し引きで建物の数が少なくなっても、ストックは大きく増加するのである。

加えて、マテリアルフローの推計により、標準的な耐用年数を想定した場合に排出される廃棄物量を推定することができる。小松ら(1992)<sup>13)</sup>によるRC造の耐用年数である30年を仮定すると、2020年ごろに、1990から1997年までの増加量のうち半数が廃棄されると推定できる。なお、日本における建築物の標準的な耐用年数が30年程度であることから、処分場の検討などを含めた廃棄物管理には、さらに長期的な4d-GISを構築する必要がある。

#### 4. 結論および今後の課題

本研究では、適切な物質投入・廃棄計画に資するマテリアルストック・フロー量を目的として、名古屋市中心部を対象地域として、建築物に関する時系列GISデータである4d-GISの構築を行った。また、構築された4d-GISを用いて、マテリアルストック量と、各年代におけるストック増減であるフロー量について、空間的・時間的な推計を行った。

推計結果についてまとめると、以下のとおりである。

- 1) 対象地域におけるマテリアルストック量は1990年の25 [百万トン]から2009年の43[百万トン]まで増加した。
- 2) ストック量の増加には、建物の高層化により、より多くの資源投入を要するRC造建物の増加が大きく影響している。
- 3) 木造建築物の割合は減少傾向にあるが、全体として棟数は減少しており、建物の集約化が進んでいる。
- 4) ストック増加量は廃棄物量であるストック減少量の3倍となり、都市への物質蓄積が進行している。

また、今後の課題として、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。また、今回構築したようなデータベースを、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できると考えられる。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセ

ス（代表：加藤博和）」の支援を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 環境省：平成 24 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書, 2012.
- 2) 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G, Vol.62, No.1, pp.53-60, 2006.
- 3) 醍醐市朗, 五十嵐佑馬, 松野泰也, 足立芳寛：日本における鉄鋼材の物質ストック量の導出, 鉄と鋼, Vol.93, No.1, pp.66-70, 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) 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.
- 6) Tanikawa, H. and S. Hashimoto : Urban stock over time : spatial material stock analysis using 4d-GIS, *Building Research and Information*, Vol.37, pp.483-502, 2009.
- 7) 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, pp.413-419, 2010.
- 8) 矢野桂司, 中谷友樹, 河角龍典, 田中覚 (編) : 京都の歴史 GIS, ナカニシヤ出版, 2011.
- 9) 杉本賢二, 谷川寛樹, 森田紘圭, 加藤博和：4d-GIS による都心街区群における建築物ストック量の時系列分析—名古屋市中区錦二丁目を対象として—, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.47, CD-ROM, 2012.
- 10) ゼンリン：Zmap TOWN II, 1997/1998 年度版, 2003/2004 年度版, 2008/2009 年度版, 2011.
- 11) ゼンリン：ゼンリン住宅地図名古屋市中区, 北区, 西区, 中村区, 中区, 1990 年版, 1990.
- 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, 第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.147-149, 2008.
- 13) 小松幸夫, 加藤裕久, 吉田倬郎, 野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告, 日本建築学会計画系論文報告集, No.439, pp.101-110, 1992.

(2011.3.5.7 受付)

## BUILDING MATERIAL STOCK AND FLOW ANALYSIS USING 4d-GIS - A CASE STUDY IN THE CENTER OF NAGOYA CITY -

Kenji SUGIMOTO, Junnosuke AOYAGI and Hiroki TANIKAWA