4d-GIS による
建築物ストック・フロー量の時系列分析
−名古屋市中区錦二丁目を対象として−

名古屋大学大学院環境学研究科　杉本　賢二
名古屋大学大学院環境学研究科　森田　紘圭
名古屋大学大学院環境学研究科　加藤　博和
名古屋大学大学院環境学研究科　谷川　寛樹

Time-Series Analysis of Building Material Stock and Flow Using 4d-GIS – Case Study of Nishiki 2-chome, Naka-ku, Nagoya –

Kenji SUGIMOTO
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
Hiroyoshi MORITA
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
Hirokazu KATO
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
Hiroki TANIKAWA
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Abstract:
For analyzing accumulated material stock and flow over time of city building blocks in urban area, we have established 4d-GIS, which is a database of spatial 3d-GIS building data with time scale by using historical residential maps and aerial photos in a case study area of central district in Nagoya City. By utilizing 4d-GIS, it was found that building material stock increased from 0.475 million tons in 1961 to 1.227 million tons in 2010 especially due to increase in Reinforce Concrete (RC) buildings. In addition, a large amount of construction materials as accumulated in building will be released induced by activation of building updates around 2030.

Keywords: *4d-GIS, Building Material, Material Stock, Material Flow Analysis*

著者連絡先　杉本　賢二
〒464-8601　名古屋市千種区不老町 D2-1 名古屋大学大学院環境学研究科
E-mail: k.sugimoto@urban.env.nagoya-u.ac.jp

１．研究の背景と目的

環境省によれば,平成21年度における日本の物質フローは，15.4億トンの総物質投入量のうち35%に当たる5.4億トンが蓄積純増として，建築物や道路，橋梁といった社会インフラの形で国土に蓄積している[1)]．総物質投入量に占める蓄積純増の割合は2002年までは50%を超えており，それ以降は減少傾向にあるものの,社会にはこれまでに大量の物質が投入されている．こうした投入されたコンクリートや鉄，木材といった物質は，社会インフラが耐用年数を迎え取り壊されることにより，廃棄物として排出される．今後の循環型社会の形成に向けて，廃棄物の再資源化などにより建設副産物を減らすこともちろん必要ではあるが，同時に，社会に蓄積している潜在的な廃棄物である物質ストックがどこに分布しており，どのようなタイミングで，どれだけの量が排出されるかを考慮した，適切な廃棄物・循環利用計画も不可欠である．

社会インフラの整備・更新を含む社会経済活動において使用される資源の量とその挙動を把握する手法として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．MSFAによって物質循環の各段階において生じる環境負荷を推計することができるため，より効率的で持続可能な物質利用の検討に有用であり，これまでに，橋本ら(2006)[2)]，長岡ら(2009)[3)]，などで都道府県や市区町村単位でのMSFAが行われてきた．また，Tanikawa and Hashimoto (2009)[4)]や矢野ら(2011)[5)]により,近年整備が進んでいるGISデータを用い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統計データのように集計単位にとらわれない分析が可能であり，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える．加えて，都市におけるそれぞれの地域特性として，建物更新のしやすさを数値化することができる．

しかし，既存研究では京都市や和歌山市など中堅都市地域では4d-GISが構築されているものの，ストック・フローの変化がより大きいと予想される大都市を対象とした詳細なMSFAは行われていない．加えて，より多くの地域において4d-GISを構築することにより，地域間での比較および検証が可能となる．

以上の背景から，本研究では，名古屋市都心部の中区錦二丁目を対象地域として，過去からの建築物ストック・フロー量の推移を時系列で分析することを目的として，住宅地図や航空写真，空間情報データを統合することにより,時系列建築物空間データを構築した．また,構築した4d-GISを用いて対象地域における建築物ストック・フロー量の推計を行った．

２．4d-GISの構築

２－１　対象地区の概要

本研究でケーススタディ対象地域とした名古屋市中区錦二丁目は，戦前は名古屋城の城下町として栄え,戦後は得に長者町と呼ばれる地区が東京の横山町や大阪の丼池筋と並ぶ三大繊維問屋街の一つとして発展してきた歴史を持つ．しかし，産業構造の変化による繊維産業自体の衰退によって問屋の廃業が進んでいる．一方で，交通拠点である名古屋駅と栄地域の間に位置しており，主要幹線道路や地下鉄駅に近いという位置する立地の良さから，繊維問屋跡地にはオフィスビル，あるいは駐車場への転換が多くなっている．

こうした錦二丁目の社会経済的地盤沈下に対し，地権者や繊維業者，大学関係者を中心としてまちづくり協議会が設立され，将来のまちづくり構想案が採択されている[6)]．この構想では，建築物の築年数分布をもとにして古い建物を中心として個別に建て替えや共同更新を行うことが想定されている．

したがって，同対象地域において建築物の4d-GISを構築することにより，建築物の分布とその築年数を把握するだけでなく，建て替え時期とそれに伴い発生する廃棄物量を予測することができるため，計画を検討する際に有用である．

２－２　4d-GISの作成方法

対象地域でにおける建築物4d-GISを,過去の住宅地図[7)8)]，航空写真[9)]，および住宅地図GISデータ[10)]を統合することにより構築した．対象期間は，住宅地図が入手可能な1961年以降の,概ね5年毎に建築物データを作成した．以下にその作成方法について説明する．

まず，現在(2010 年)の建築物空間データについて，ゼンリンの住宅地図データベースである，Zmap TOWN II 2008/2009 年版と，紙媒体の住宅地図の重ね合わせにより作成した．次に，それより前の年代における建築物データは，一世代後のデータを元に住宅地図と航空写真を参照して，建物や屋根の形状，あるいは住宅地図に記載されている建物名称に大きな変更があった場合には建て替えが行われたと判断した．

後述するように，建設時に投入された資源投入量である物質ストック量の水系には，建築物の構造種別に関する情報が必要となるが，Zmap TOWN II や住宅地図にはそうした属性情報が含まれていない．構造種別の判断には，個々の建物について現地調査や固定資産課税台帳などの資料を利用することが確実ではあるが，本研究のように現存していない過去の建築物について実際に確認することは非常に困難である．

したがって，本研究では構造種別について，以下に示す建物名称と階数による条件により設定した．

1. 住宅地図において建物名称として，(a)寺社名が記載されている，(b)個人名が記載されているなど，木造あるいは戸建住宅が明らかな場合 ➔ 木造(W 造)
2. 木造以外の建築物で，階数が 4 階未満の建築物 ➔ 鉄骨造(S 造)
3. それ以外の建築物 ➔ 鉄筋コンクリート造(RC 造)

なお，S 造と RC 造との区分を 4 階とする理由は，表 1 に示す建築着工統計調査より集計した階数・構造種別割合からわかるように，3 階までは木造を除く建築物の 75%が S 造であるが，4–5 階になると RC 造の割合の方が大きくなるためである．

図 1 に 4d-GIS の概要について建物ポリゴンを階数情報で立ち上げた 3d イメージについて示す．また，表 2 に構築した 4d-GIS より集計した，建築物の構造種別棟数の推移について示す．構造種別についてみてみると，1960 年代は鉄骨造の建築物が多く半数以上を占めていたが，それ以降は鉄筋コンクリート造の割合が大きくなり，2010 年には全体の 73%を占めている．また，木造は 10~20 棟前後で推移しており，対象期間において大きな変化が見られない．その理由として対象地域では商店兼住宅の建築物が多くあり，また古くからある寺社などが現存していることが挙げられる．一方で，

表 1　新築建築物の階数・構造種別割合

（単位：%）

階数	構造種別			
	W 造	S 造	RC 造	その他注)
1 階	58.7	34.7	3.8	2.8
2 階	84.2	14.7	1.0	0.1
3 階	68.4	23.0	8.3	0.3
4–5 階	0.0	29.2	69.2	1.6
6–9 階	0.0	13.6	83.6	2.8
10 階上	0.0	6.2	90.3	3.5

資料）建築着工統計調査 2011，2012 年版の全国集計を再集計した．

注）その他は，鉄筋鉄骨コンクリート造，コンクリートブロック造，その他造を含む．

表 2　構造種別棟数の推移（1961–2010 年）

（単位：棟）

	構造種別			合計
	W 造	S 造	RC 造	
1961 年	18	292	171	481
1965 年	19	226	202	447
1970 年	13	174	220	407
1975 年	13	156	230	399
1981 年	18	151	243	412
1985 年	17	142	254	413
1990 年	17	112	254	383
1995 年	15	95	251	361
2000 年	15	91	250	356
2005 年	10	85	236	331
2010 年	8	674	223	305

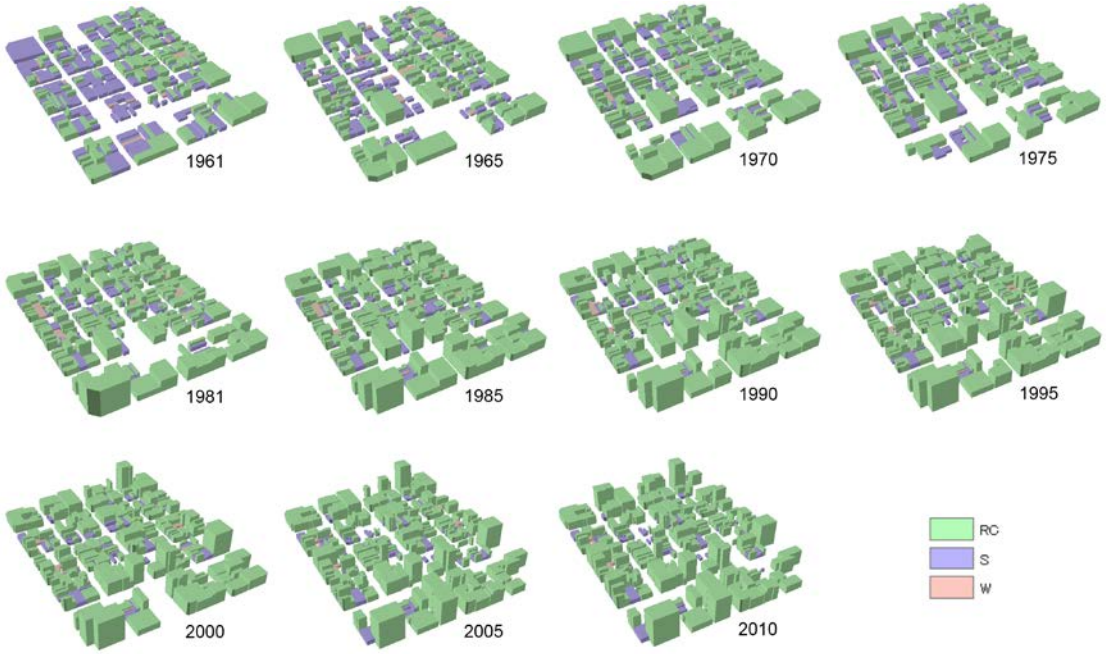

図１　4d-GIS の概要（1961-2010 年）

1

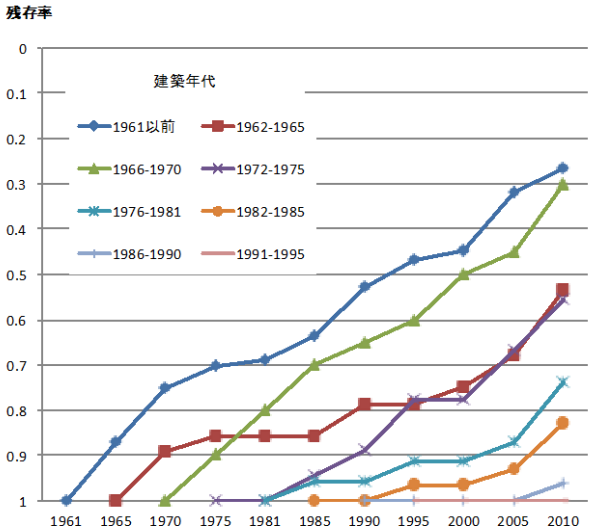

図２　建設年代別の建物残存率

建築物の総数は 1980 年代にやや増加したものの, 全体としては減少傾向にあり, 2010 年には 1961 年の約 64% である 305 棟となっている. こうした棟数の減少には, 容積率を確保するために建物跡地を駐車場として利用することに加えて，鉄筋コンクリート造を建設する際に周辺の建物と共同で更新が行われているためであると考えられる.

２－３　建物残存率の算出

4d-GIS を活用することにより、各世代間で建築物差分を抽出することで、建設年代と消失年代を推定することが可能である．図 2 に、各年代に建設された建築物が、時間経過とともにどの程度残っているかを表す建物残存率について示す．なお、図中において 1995 年以降に建設された建物の残存率は 2010 年までの期間において 1 であることから省略している．建築年代についてみてみると、新しい建設年代と比較して古いほど残存率の傾きが急である傾向が見られるが、表 2 で示したように資材投入量が少ないために、鉄筋コンクリート造よりも耐用年数が短い鉄骨造の割合が多いことで建て替え頻度が短くなっていることが、その理由として考えられる.

３．建築物ストック・フロー量の推計

３－１　ストック量の推計方法

建築物ストック量のデータ自体は存在しないため, 本研究では、その推定手法として原単位法を用いた. 原単位法は、各建築物の延床面積に、延床面積あたりに投入された建設資材投入量(以下､資源投入原単位)を乗じることにより、ストック量を推計する手法であ

る[11].

t 年における建築物ストック量 MS_t は、

$$MS_t = \sum(H_i \times I_j) \quad (1)$$

として推計される．ここで、H:建築物の延床面積(m^2), I：資源投入原単位(kg/m^2)であり，添字の i は建築物, j は構造種別，をそれぞれ表している．

物質ストック量を推計する際に重要となる資源投入原単位は，各年代における法令で定められた耐震基準法などによってその値が異なっている．そのため，本研究では，東岸ら(2009)[12]による，建設年代・構造種別に整備された原単位を用いることで，より実勢に近いストック量の推計を行った．東岸ら(2009)では，コンクリートやガラスなどの資材種類別に原単位が整備されているが，本研究では建築物全体のストック量を推計するために，表 3 に示すように，建設資材種を合計した値を用いた．

３－２　ストック・フロー量の推計

図 3 に，1961-2010 年までの期間における構造種別の建築物ストック量の推移について示す．対象期間において建築物ストックは一貫して増加しており，1961 年には 47.5 万トンであったストックが，2010 年には 122.7 万トンまで増加し, 50 年間で 2.6 倍となっている．ストックの増加要因として前述のように建物の高層化が進んだことにより延床面積が増加したことに加えて，より資材投入量を必要とする鉄筋コンクリート造数が増えたためであると考えられる．

また，図 4 にそれぞれの年代におけるストックの変化量について，建設によるストック増加量と消失によるストック減少量とのフロー量を示す．図 3 に示したようにストックは増加しているが，これは減少量よりも増加量が大きいことに起因している．しかし，その傾向は一様ではない．ストックの増加は 1961-65 年，1975-81 年の大きな変化の後は減少しているが，2000 年以降の 2 年代において 15-20 万トン増加している．それ以前の年代ではストック減少量はそれほど多くなく，2000 年以降に増大していることから，建物更新が活発になることでストックの増加量・減少量ともに増加している．加えて，通常の商業建物の耐用年数である 30 年[13]を仮定すると，同年代に増加したストック

表 3　建築物に関する資材投入原単位

単位：kg/m^2

構造種別	建設年代				
	1959 年	1971 年	1974 年	1981 年	2000 年
W 造	369.4	443.3	443.3	450.6	487.5
S 造(2 階)	751.9	818.3	818.3	818.3	903.1
S 造(3 階)	850.9	850.9	872.8	872.8	957.6
RC 造	1840.5	1843.7	1843.7	1843.7	1843.7

出典）東岸ら(2009)

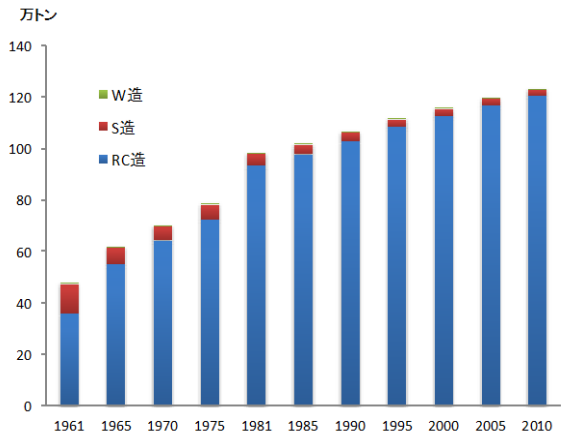

図 3　建築物ストック量の推移

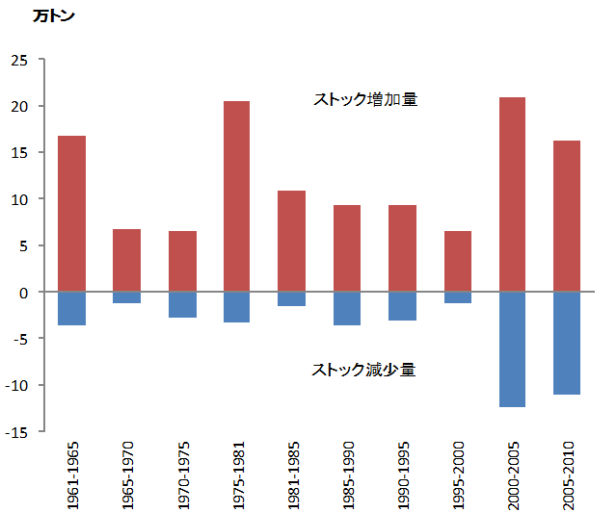

図 4　各年代における建築物フロー量の推移

が 2030 年あたりから廃棄物量が増加することが推測される.

４．まとめと今後の課題

本研究では，名古屋市中区錦二丁目を対象地域として，過去から現在までの建築物更新頻度の把握と，それに伴う物質ストック・フロー量の推計を行うことを目的として，住宅地図と航空写真より建築物の 4d-GIS を構築した．本研究により明らかとなったことは以下の通りである.

- 鉄骨造構造の建築物が減少し，鉄筋コンクリート造が大きな割合を占めるようになっており，建築物の集約化・高層化が進んでいる
- それに伴い建築物ストック量は一貫して増加傾向にあり，1961年から2010年までの50年間で2.6倍に増加している
- 近年，建物更新が活発化しており，建築物ストックの増加だけでなく，解体による廃棄物量が急増している

今後の課題として，都市域でのマテリアルストック･フロー量の推計には更に広域での 4d-GIS を作成剃る必要があること，周辺地域の情報と組み合わせることにより，廃棄物処理やリサイクル性について分析を行うこと，が挙げられる.

引用文献

1) 環境省 (2011) 平成 23 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書.
2) 長岡耕平・谷川寛樹・吉田登・東修・大西暁生・石峰・井村秀文 (2009) 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.
3) 橋本征二・森口祐一・田崎智宏・柳下正治 (2006) 循環型社会像の比較分析，廃棄物学会論文誌，Vol.17, No.3, pp.204-218.
4) Tanikawa, H. and S. Hashimoto (2009) Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Research and Information, Vol. 37, pp.483-502.
5) 矢野桂司・中谷友樹・河角龍典・田中覚（編） (2011) 京都の歴史 GIS，ナカニシヤ出版.
6) 鈴木雄三・宮田将門・村山顕人 (2012) 地区まちづくりにおける環境技術の導入可能性に関する研究，土木計画学研究講演集, Vol.45, CD-ROM.
7) 住宅地図協会（編），全商工住宅案内図帳，名古屋市中区 1961，1965，1970，1975 年版.
8) ゼンリン住宅地図，名古屋市中区 1981，1985，1990，1995，2000，2005，2010 年版.
9) 国土地理院 (2012) 国土変遷アーカイブ　空中写真閲覧（http://archive,gsi.jp/airphoto/）.
10) ゼンリン (2011) Zmap TOWN II 2008/2009 年度.
11) 谷川寛樹・大西暁生・高平洋祐・橋本征二・東修・白川博章・井村秀文 (2010) “ストック型”かつ“低炭素型”社会へ向けた都市構造物の 物質・エネルギー消費の 4D マッピング: 名古屋市の建築物を対象としたケーススタディ，日本 LCA 学会誌, Vol.6, pp.92-101.
12) 東岸芳浩・稲津亮・内藤瑞枝・谷川寛樹・橋本征二 (2008) 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.
13) 小松幸夫・加藤裕久・吉田倬郎・野城智也 (1992) 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.
14) 森田紘圭・戸川卓哉・加藤博和・村山顕人・飯塚悟・林良嗣 (2012) 低炭素まちづくりを支援する街区群評価･デザインシステムの提案，土木計画学研究講演集，Vol.46, CD-ROM.

謝辞

本研究は，環境省・環境研究総合推進費「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（1E-1105)」(代表：加藤博和）の支援により実施された．ここに記して謝意を表する.