

4d-GISデータの自動分析を目指した 同一性判定システムによる主要都市での 建築物更新量の推計精度の検証

朝隈 友哉¹・奥岡 桂次郎²・谷川 寛樹³

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 : asakuma.tomoya@j.mbox.nagoya-u.ac.jp

²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

³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

循環型社会形成に向けて、空間情報を考慮した都市における詳細な物質ストック分布を時系列で広範囲に渡って把握することが急務である。本研究では、建築物を対象として、任意の時点間、既存データを用いて4d-GISデータの構築を可能とするシステム開発を行う。さらに、政令指定都市をケーススタディ対象として年代間建築物の同一性判定による建築物更新量の推計精度の検証を行う。本システムによる結果の一例として、2000年から2005年の北九州市八幡西区での同一性判定による着工総面積は2,766千m²、解体総面積は2,560千m²、着工棟数は11,881棟、解体棟数は7,152棟と推計された。手作業により構築したデータでは着工総面積は1,210千m²、解体総面積は1,267千m²、着工棟数は3,250棟、解体棟数は5,261棟と推計された。本システムによって得られた総面積のずれは、着工は128%、解体は102%であり、ずれの原因として戸建住宅の付帯構造物などの無壁構造物なども影響した。

Key Words : Identification of building , Material stock and flow analysis, urban planning, geographic information system

1. はじめに

環境省第三次循環基本計画¹⁾では物質フローにおいて、「入口」、「循環」、「出口」に関する三つの指標について目標を設定している。目標達成に向けて、天然資源投入量 5.82 億トンのうち 85%を占め、循環利用率に与える影響が大きい土石系資源について適切な管理が重要となる。第四次循環基本計画²⁾では、地域循環共生圏の形成に向けた、地域の資源生産性向上の必要性を述べている。我が国では戦後から大量の資源を都市へ投入したため、既に都市部に大量の物質ストックが蓄積されており、将来廃棄物となって排出される。投入された建設資材は都市に蓄積され、インフラなどのようなサービス提供の場や経済基盤となるため、生産性の向上や生活の質の向上のために長期的機能を発揮する質の高い材料がストックとして蓄積される必要がある。サービスを長期間提供するような質の高いストックが蓄積され経済効率が向上することは、デカップリングを促しストック型社会の構築に繋がる。蓄積されたスト

ックを適切に管理し長期的に利用することは、資源生産性、循環利用率、最終処分量に関して重要性が高い。他方、都市にはサービスを提供していない空き家などのストックもあり、空間配置を把握することは非常に重要である。以上の議論より、都市全体のストックを適切に管理するために、ストックを空間的、時間的に把握することが求められる。マテリアルストック・フローに関する分析である、MSA(Material Stock Account/Analysis)、MFA(Material Flow Account/Analysis)は近年、産業エコロジー研究の重要な論点の一つであり、MSA、MFAによって、蓄積資源が潜在的に有する便益の正負の把握が可能となり、将来の環境負荷の予測につながる。

MFAについては1900年から2005年までの世界全体での物質フロー(Krausmann et al.³⁾)など比較的長期的なデータが充実している。データの入手難度が低いためフローについての研究が多く存在するが、我々はすでに都市に多量の資材を投入し、最も重要な資材はすでに都市に存在するためMFAのみでは都市動態の分析には不十分である。また、MSAの中

でもトップダウン手法による国家単位のス톡・フローに関する研究は多く存在するが、都市での詳細な空間的分析は可能でない。ボトムアップ手法によって得られる空間情報を詳細に持ったス톡データベースの構築やそれについての分析・議論は非常に先進的であり、重要である。

MFAに関する既往研究では、森口ら⁴⁾は東京都を対象にして、構造的寿命と外的要因の双方を考慮した残存率モデルを構築した。その結果、木造建築物のス톡量は2033年頃、滅失は2047年頃にピークを迎えることを示した。MSAでは、Hashimoto et al.⁵⁾が産業連関表の投入額を用いて建設活動量を求め、単位建設活動量当たり投入される建設資材を建設活動量に乗じることにより日本のマテリアルス톡を推計し、さらに建設物の寿命を考慮しながら2030年までの蓄積量、排出量を予測した。田中ら⁶⁾は建築物、道路、鉄道、空港、港湾、漁港、ダム、下水道を対象として統計データから全国のマテリアルス톡を都道府県単位で経年の推計を行った。

GIS(Geographic Information System/地理情報システム)を利用した推計では、物質ス톡の空間分布や都市内の局地的な変化傾向を捉えたと共に、人口、GDP、土地利用といったさまざまなデータと比較が可能になる。青柳ら⁷⁾は建築物を対象に名古屋市中心部において時系列GISデータベース(4d-GIS)を構築しマテリアルス톡を用途地域ごとに推計した。2009年には1960年の約4倍の物質が蓄積されていることを示し、用途地域など都市の性質を決定する要素が物質ス톡や物質フローに影響を与えることを示した。一方で、GISデータベースを時系列に構築するには多大な労力と時間が必要であるため、推計範囲が限定的な既往研究が多い。従来の研究手法は汎用的であるとは言えず、広域に適用する場合、推計手法を自動化する必要がある。熊谷ら⁸⁾は南関東全域を対象に3次元的に時系列データベースを構築し、n-gramを用いて名称から年代間の建築物の同一性判定を行った。名称のみに依存するシステムであるため、店舗・事業所のみを対象とし、資材重量での分析を行っていない。本研究では、建築物を対象として、任意の時点間、既存データを用いて4d-GISデータの構築を可能とするシステム開発を行う。さらに、政令指定都市をケーススタディ対象として年代間建築物の同一性判定による建築物更新量の推計精度の検証を行った。

2. 建設資材蓄積量及び更新量推計方法

(1) ケーススタディ対象地域

本研究では、ケーススタディ対象として、政令指定都市のうち、さいたま市、千葉市、横浜市、川崎市、北九州市を設定した。さいたま市、千葉市、横浜市は東京都の衛星都市であり、川崎市、北九州市は日本有数の工業地帯である。東京都などの大都市におけるMSFAは多く行われているが、衛星都市の分析を行っている既往研究は少ない。衛星都市の物質動態についても把握することは重要である。日本はフロー型社会からス톡型社会へと移行傾向にあるが、高度経済成長時に建設された建築物の多くは東京都市圏に集中しているため、将来これらの適切な処理が必要とされ、既存のス톡について把握する必要がある(長岡ら⁹⁾)。

(2) 建設資材ス톡・フロー推計方法

本研究で実施した建設資材ス톡・フロー推計の手順を、図-1に示す通り下記に記載する。

広範囲地域を対象とする詳細な建設資材ス톡のGISデータベースを作成するために、日本全国を対象とする詳細な建築物の形状・分布を有するデータが必要である。本研究では、株式会社ゼンリン(福岡県北九州市戸畑区、東京都千代田区)が提供する「Zmap-TOWNII(2003, 2009, 2014)」を基盤データとして利用した。建設資材重量の推計に原単位法(東岸ら¹⁰⁾)を用いるには、各建築物の延床面積と構造種別の情報が必要である。利用するZmap-TOWNIIにはそれらの情報に不備があるため、平川ら¹¹⁾による手法を用いてデータ補正を行った。格納された、ポリゴンの形状、建築物種などの属性情報及び統計情報を利用することで不足する階数、延床面積、構造、用途のデータを補正した。

本研究の建設資材ス톡推計では、各建築物の

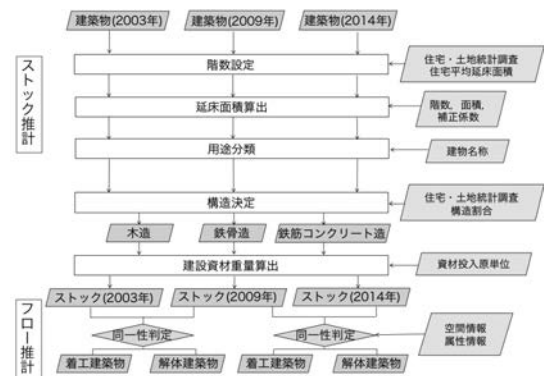


図-1 研究フロー図

延床面積に、単位延床面積当たり投入される建設資材量(資材投入原単位)を乗じることにより、各建築物に蓄積されている建設資材ストックを推計した。推計式を式(1)に示す。

$$MS_{s,m} = GA_s \cdot MI_{s,m} \quad (1)$$

$MS_{s,m}$: 建物構造種別 s である建築物の、建設資材 m の蓄積量 (建設資材ストック) [kg]

GA_s : 建物構造種別 s である建築物の延床面積 [m^2]

$MI_{s,m}$: 建物構造種別 s である建築物の単位延床面積当りに投入される、建設資材 m の投入量 (資材投入原単位)[kg/ m^2]

式(1)を用いて、Zmap-TOWNII(2003, 2009, 2014)に含まれる各建築物の資材重量を推計し、4d-GISデータベースを構築した。データベースは各建築物を最小空間単位とするため、行政界、地域メッシュ、鉄道駅周辺など任意の空間単位で結果を集計することが可能である。

推計した建設資材ストックを用いて建築物の同一性判定を行うことで、建設資材のフローを推計した。同一性判定を用いて、使用するデータにおいて年代間で同一の建築物を認識する。同一と認識された建築物以外を、各年代間において着工、滅失した建築物とした。

(3) 同一性判定方法

本研究では、年代間で同一の建築物を機械的に判定することで、着工・解体建築物の推計を行った。GIS上の機能である空間検索機能及び属性検索機能についてプログラミング言語pythonを用いて連続処理することで、年代間で同一建築物を判定するアルゴリズムを作成した。整備した4d-GISデータベースに対してpythonを用いた自動判定を適応することで各政令指定都市における建設資材フローの推計を行った。本研究で用いたシステムは、GIS上で独立した機能を一連のアルゴリズムとして処理することで、位置情報や建物形状などの空間情報、建物名称などの属性情報を同時に考慮して同一性判定を行った。以下に、年代間建築物での同一性判定の手順を示す。

- i) 異なる2年代間の建築物ポリゴンの属性を、位置情報に基づいて結合し、時系列データを構築する
- ii) 各建築物について、残存、着工(解体)を示す属性を追加し、全ての建築物に着工(解体)を示す“1”を定義する
- iii) 空間検索機能を用いて、年代間で建築面積の誤

差が5%以下である建築物を抽出し、該当した建築物の属性を、残存を示す“0”に変更する

- iv) 属性検索機能を用いて、年代間で階数が同一であり、かつ建物名称において同一の文字列を含む建築物の属性を、残存を示す“0”へ変更する

同一性判定の推計精度は、使用するデータのポリゴン形状の正確性に依存する。ポリゴン形状の正確性が極めて高い場合には、年代間で建築物形状が完全に一致する場合のみを同一と認識することが可能である。しかし、都心部から離れるほど、また時点が古くなるほど、ポリゴン形状の正確性は低くなる。年代間で建築物形状が完全一致する場合のみを同一性判定基準に用いると、フローが過剰に推計される原因となる。iii)については、青柳ら⁷⁾の研究手法を参考にし、年代間で建築面積の誤差が5%以下のものはデータ精度による建築ポリゴンの形状変化と見なした。iv)については、年代間建築物の同一性の判定基準に空間情報のみを利用する場合では、同一の建築物を判断しきれず、着工、解体建築物数が過剰に判定される。同一性判定基準に属性情報も利用することでデータ精度が低い場合においても名称から同一性の判断が可能となる。名称が同一の文字列を含んでいる場合であっても階数が同一であるという条件が含まれているため、階数が異なる場合の増築や、建替えされた建築物は同一と認識されない。

(4) 推計精度の検証方法

本研究で用いた、年代間建築物での同一性判定の推計精度を検証することで信頼性、利点、限界を明らかにした。

さいたま市、千葉市、横浜市、川崎市は各市で整備されている区ごとの建築物統計データと、同一性判定による推計値を比較し、推計精度を検証する。各市で整備されている統計データを表-1に示す。滅失統計データはケーススタディ対象地域では、十分に揃っていないため、区ごとの着工総面積について各都市推計精度を検証する。

統計値は行政区域ごとに構造・用途ごとに正確な値が得られ、工事費予定額も把握できるため景気の先行指標にも用いられる。一方で、建築基準法に基

表-1 各市で整備されている統計データ

(市区町村コード)		着工総面積
さいたま市 (11100)	2003-2009	-
	2009-2014	○
千葉市 (12100)	2003-2009	-
	2009-2014	○(市単位のみ)
横浜市 (14100)	2003-2009	○
	2009-2014	○
川崎市 (14130)	2003-2009	○
	2009-2014	○

づく届出が基礎になっているため、延床面積が 10m^2 以下の建築物は統計値に含まれない。統計値に含まれない構造物の例として車庫、小さな倉庫、ビニールハウス、公衆トイレ、石碑、雨よけに加え、タンクのような工場の付帯設備などが挙げられる。本研究で用いたシステムは、地理情報を用いて各建築物単位で推計を行うため、全ての構造物の変化を捉えることが可能である。さらに、同一性判定システムは任意の時点間、集計単位でデータが作成可能である。統計値との比較に際しては、無壁構造物及び建築面積が 10m^2 以下の建築物を本研究の推計結果から除外した。

北九州市八幡西区は2000年から2005年において、手作業によって構築された詳細データと比較することで推計精度を検証する。空間情報による同一性判定条件の適当な基準を得るため、ポリゴン形状が年代間で完全一致する場合を同一と認識する条件、ポリゴンの面積誤差が年代間で10%以下となる場合を同一と認識する条件についても比較、検証をした。

3. 結果および考察

(1) 統計情報との比較・検証結果

各年代間でのそれぞれの推計値と統計値の比較結果を図2-図6に示す。

さいたま市では、着工総面積は2009年から2014年にかけて 9.30 百万 m^2 と推計された。概ね統計値に近い値が推計されているが、岩槻区、北区で過大な値を示し、緑区では過少な値を示した。岩槻区、北区は北部に位置しており、都心から距離のある宅地となっている。緑区は市内最大規模の区画整理事業が行われており、開発が進んでいる。

千葉市は着工総面積が2009年から2014年にかけて 7.56 百万 m^2 と推計された。統計値は 4.76 百万 m^2 であり、推計値は 59.0% 過大となった。

横浜市では着工総面積は、2003年から2009年に 24.9 百万 m^2 、2009年から2014年に 24.6 百万 m^2 と推計された。推計値は各年代間ともに瀬谷区、磯子区、泉区で統計値に対して過大な値を示し、都筑区、戸塚区、青葉区、港北区で過少な値を示した。瀬谷区、磯子区、泉区は郊外に位置し宅地が多い。特に泉区は横浜市の行政区の中でも持ち家比率、一戸建て率が最も高い。都筑区、港北区は東海道新幹線を通る新横浜駅を中心にマンションや新興住宅地の開発が進んでいる。開発の進んでいる行政区ではデータ精度が高く、同一と認識する建築物が多くなり推計結果が過少に出ると考えられる。また、郊外

ではデータ精度が低いいため、同一と認識する建築物数が少なくなり推計結果が過剰に出ると考えられる。

川崎市では、着工総面積は2003年から2009年に 12.8 百万 m^2 、2009年から2014年に 10.3 百万 m^2 と推計された。重相関係数は2003年から2009年に 0.94 、2009年から2014年に 0.88 であり強い正の相関を示した。各年代間ともにケーススタディ対象地域の中で最も統計値に近い値が推計された。工業地帯を含む川崎区は統計値に対して過剰に推計された。

推計精度はポリゴン形状や建物名称などのデータ精度に依存する。年代間で同一の建築物に関して、全てのポリゴン形状の変化に対応すること、名称の表記揺れを正確に判定することは困難である。同一性判定に際して、年代間での建築物ポリゴンの僅かな変化に対して同一と認識する基準は基盤データの時点や地域による。

本研究では各政令指定都市を対象に同一性判定のケーススタディを行ったが、統計データは一定の期間で更新され、集計する空間単位など、情報にばらつきがある。滅失統計についてはほとんど公開されていない。本システムを用いることで、建築物1棟単位から任意の期間、集計単位で推計が可能となる。

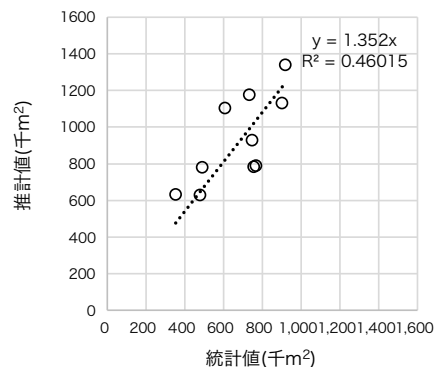


図-2 さいたま市着工総面積比較(2009-2014)

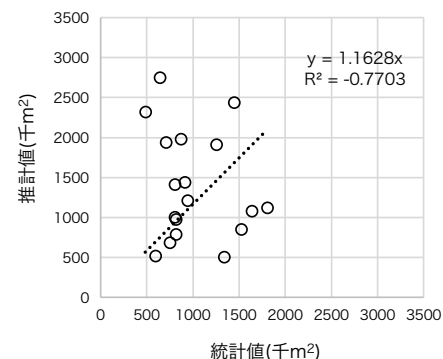


図-3 横浜市中着工総面積比較(2003-2009)

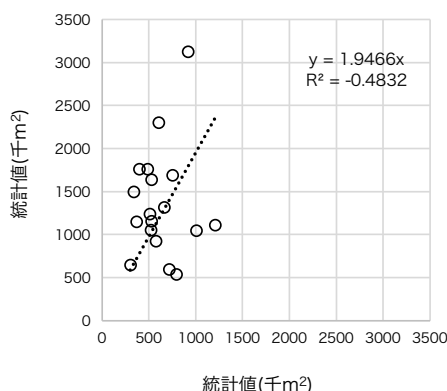


図-4 横浜市着工総面積比較(2009-2014)

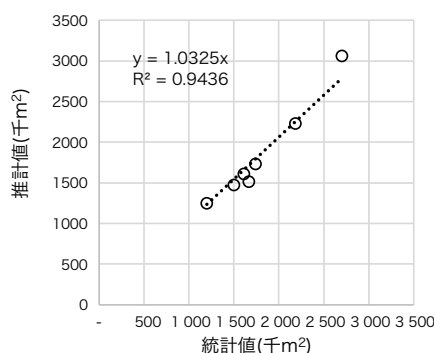


図-5 川崎市着工総面積比較(2003-2009)

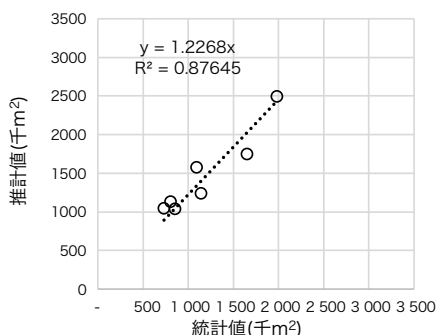


図-6 川崎市着工総面積比較(2009-2014)

(2) 北九州市八幡西区における推計精度の検証結果

詳細データによって推計された着工建築物との比較を図-7に示す。2000年から2005年の北九州市八幡西区のデータに含まれている建築物数は84,149棟である。年代間建築物の同一性判定によって、着工総面積は2,766千 m^2 、解体総面積は2,560千 m^2 、着工棟数は11,881棟、解体棟数は7,152棟と推計された。手作業により構築した詳細データでは着工総面積は1,210千 m^2 、解体総面積は1,267千 m^2 、着工棟

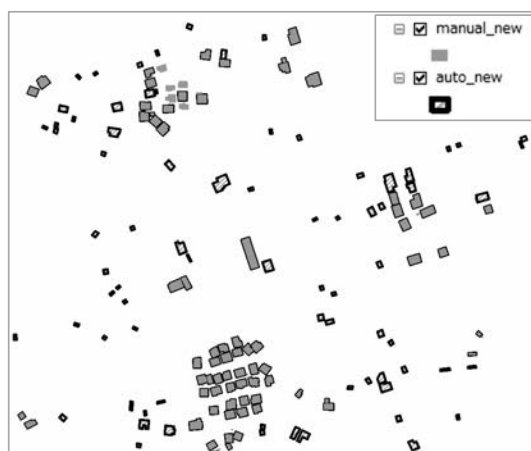


図-7 詳細データとの着工建築物比較

数は3,250棟、解体棟数5,261棟と推計された。本システムによって得られた総面積のずれは統計値に対して、着工は128%、解体は102%過剰であり、2倍程度の値が推計された。無壁構造物を除いた場合、着工棟数の推計値は11,751棟であり、130棟の無壁構造物はずれに影響した。また、建築面積の小さい建築物は名称が含まれていないことが多く、ポリゴン形状のずれが不規則であり同一と認識することが困難であると考えられる。

ポリゴン形状が年代間で完全に一致する場合を同一と認識する条件を用いた場合、着工された建築物数は22,498棟と推計された。ポリゴンの面積誤差が年代間で10%以下となる場合を同一と認識する条件を用いた場合、着工された建築物数は12,205棟と推計された。空間情報については年代間で完全一致を同一と認識する条件では、過剰に推計されることが示された。

4. おわりに

本研究では、政令指定都市をケーススタディ対象地域として年代間建築物の同一性判定による建築物更新量の推計精度の検証を行った。

2000年から2005年の北九州市八幡西区での同一性判定による着工総面積は2,766千 m^2 、解体総面積は2,560千 m^2 、着工棟数は11,881棟、解体棟数は7,152棟と推計された。手作業により構築したデータでは着工総面積は1,210千 m^2 、解体総面積は1,267千 m^2 、着工棟数は3,250棟、解体棟数5,261棟と推計された。本システムによって得られた総面積のずれは、着工は128%、解体は102%であり、ずれの原因として戸建住宅の付帯構造物などの無壁構造物な

どが影響した。

今後は、人口密度やGDPなどと今回得られた統計値とのずれを比較することで、データ精度の判断基準となる要素を考える。同一性判定による推計値のずれの傾向に合わせて条件を変更し、推計精度を上げる必要がある。

謝辞：本研究は、環境省・環境研究総合推進費(2-1711)、環境研究総合推進費補助金(3K163011)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 25 年度第三次循環型社会形成推進基本計画，20p，2013.
- 2) 環境省：平成 30 年度第四次循環型社会形成推進基本計画，pp.2-3，2018.
- 3) Fridolin Krausmann, Simone Gingrich, Nina Eisenmenger, Karl-Heinz Erb.: Growth in global materials use; GDP and population during the 20th century, *Ecological Economics*, 68, pp. 2696-2705, 2009.
- 4) 小泉裕靖，中谷隼，森口祐一：東京都における木造建築物のフロー・ストックの時系列的変化に関する研究，土木学会論文集G(環境) vol.72, No.6, 環境システム研究論文集第44巻，pp. II_249-II_256，2016.
- 5) Seiji HASHIMOTO, Hiroki TANIKAWA, Yuichi MORIGUCHI(2007) : Where will large amount 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.
- 6) 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，土木学会論文集G(環境) vol.69, No.6, 環境システム研究論文集第41巻，pp. II_25-II_34，2013.
- 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，土木学会論文集 G(環境) vol.71, No.6 環境システム研究論文集第43巻，pp.467-pp.474，2015.
- 8) 熊谷潤，秋山祐樹：デジタル地図と電話帳データの統合による日本全土における都市の店舗・事業所変化の時空間解析，平成21年度国土政策関係研究支援事業最終成果報告書，2009.
- 9) 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.
- 10) 東岸芳浩，稲津亮，内藤瑞枝，谷川寛樹，橋下征二：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，vol.19, pp. 147-149，2008.
- 11) 平川隆之，黒岩史，鬼頭祐介，田中健介，谷川寛樹：東日本大震災により失った建設ストックの推計，日本LCA学会誌，vol.7, No.4, pp.374-378，2011.
- 12) 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.
- 13) 株式会社ゼンリン：Zmap TOWNII，2003，2009，2014
- 14) 環境省：平成29年度版環境・循環型社会・生物多様性白書
- 15) 統計局：平成20年住宅土地統計調査，2011

(2018. 8. 24 受付)

VERIFICATION OF THE ACCURACY TO ESTIMATE BUILDING TURNOVER FOR ESTABLISHING OF AN AUTOMATED 4D-GIS SYSTEM

Tomoya ASAKUMA, Keijiro OKUOKA and Hiroki TANIKAWA

In order to achieve a sound material-cycle society, it is required to understand the detailed spatial distribution of material stock in urban areas for a given period. In this research, we establish an automated 4d-GIS system for buildings at any time. Furthermore, we verify the estimation accuracy of the building turnover amount through automated identification system for buildings, in time series, in Japanese designated cities. Our case study of Yahata West District of Kitakyushu City from 2000 to 2005, contain a total construction area of 2,766 thousand m², the total disassembled area of 2,560 thousand m². The number of construction buildings was 11,881, and the number of demolition buildings was estimated to be 7,152 buildings. When data was collected manually, the total construction area was 1,210 thousand m², the total disassembled area was 1,267 thousand m², the number of construction buildings was 3,250, and the number of demolition buildings was 5,261. The deviation of the total area estimated by this system was 128% for construction and 102% for demolition. The cause of the deviation was influenced by the non-wall structure such as the accessory structure of the detached house.