

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

谷川 寛樹¹・山末 英嗣²・稲津 亮³・前新 将⁴

¹正会員 名古屋大学准教授 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)
E-mail:tanikawa@nagoya-u.jp

²正会員 京都大学助教 京都大学大学院エネルギー科学研究科 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail:yamasue@energy.kyoto-u.ac.jp

³学生非会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930番地)
E-mail:s094005@sys.wakayama_u.ac.jp

⁴学生非会員 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)
E-mail:macara.sho@c.mbox.nagoya-u.ac.jp

戦後から高度経済成長期にかけて大量の建設資材が投入されており、近い将来大量の建設副産物が発生することが予測されているが、再利用先の減少に伴い、排出量と投入量のバランスの崩壊が危惧されている。そこで、空間情報を用い過去から現在までの資材蓄積量を推計し、用途地域ごとに耐用年数を推計することで将来におけるマテリアルバランスの変化を予測した。また、排出した建設副産物のリサイクル性についても検討を行った。その結果、資材蓄積量は戦後60年で214万トンから1232万トンへと増加しており、マテリアルバランスに関しては、今後排出量が投入量を大きく上回る傾向が強いことが分かった。建設副産物のリサイクル性について関与物質総量の観点から評価すると、棒鋼に関しては、対象地域の約半分において回収に適していたが、圧延鋼は、回収に適さないことが明らかとなった。

Key Words : material flow analysis, material stock accounts, Geographic Information System, urban mine

1. はじめに

循環型社会白書¹⁾によると2005年における日本のマテリアルフロー推計量は物質投入量が18.2億トンであり、そのうち7.5億トンが経済社会に蓄積される蓄積純増である。蓄積される物質は建設系に由来するものが多く、建築物が全体の24%、道路が22%、下水道が6%を占めている²⁾。建築物は耐用年数を過ぎることで解体され、新たなフローを発生する。一方、道路や下水道のような社会基盤を構成する構造物は、一度使用が始まれば維持・補修を繰り返しながら長期間にわたり蓄積されることになる。これまでに蓄積されている蓄積量およびその内訳を把握することで、将来新たに発生するフローの中から廃棄物となる量、または再生資源として利用可能な量を予測することが可能となる。こうした都市内部にストックとして存在している資源を用いることで循環利用率の向上が期待できる。

2000年には循環型社会形成推進基本法が成立し、建設分野においても「建設工事に係る資材の再資源化等に関

する法律」により、建設副産物の抑制とリサイクル率の向上が図られ、そのリサイクル率は92%となっている³⁾。しかし、今後多くの建築物が耐用年数を迎えるにあたって、大量の建設副産物が発生することを橋本らは定量的に示している³⁾。また、建設副産物の主な受け入れ先となっていた社会基盤整備の減少も予想されるため、発生側と受け入れ側におけるマテリアルバランスの崩壊も危惧される。こうしたマテリアルバランスの変化を予測するためには、物質フロー分析（以下、MFA）や物質ストック勘定（以下、MSA）が有効である。しかし、従来の統計情報を用いたMFAやMSAでは、面的な情報を得ることが難しく、詳細なMFAを行うことが困難である。そこで、地域レベルにおいて詳細なMFAを行う方法として、経年的な地理情報を用いることで面的に様々な分析等を行うことができる4D-GIS（Fourth Dimension Geographic Information System）の利用が挙げられる。複数年のGISデータを互いに分析することで、地域の変化を経年的に把握することが可能となる。

本研究グループでは、これまで地域レベルにおける

MFAやMSAに関して、建築物や道路単体での推計や建築物の耐用年数の推計を行ってきた。本研究では、選定した研究対象地域を従来よりも拡大し、建築物のサンプル数を増やしている。これにより、建築物や道路、さらに下水道を含めた経年的な空間情報を用いて総合的な地域レベルでのMFAおよびMSAを行うことで、有用性の高い分析を目指した。またその上で、大量の発生が懸念される建設副産物のリサイクル性についても検討を行った。したがって、本研究では、都市重量の変化から発生する建設副産物量の予測、さらにその中でリサイクルが有効である資材量の把握を目指し、都市から排出される物質の一連の流れを扱った。

2. 研究手法

(1) 研究手順

本研究では、資材蓄積量やマテリアルバランスを推計する上で必要となる都市構造物の複数年のGISデータを建築物、道路、下水道に関して作成する。作成する年代は1947年、1958年、1974年、1987年、2004年の5年代とした。ただし、下水道に関しては基礎データの収集が可能であった1987年と2004年とした。

GISデータを作成する対象地域は和歌山市中心部(11.25km²)とする。和歌山市は戦争により市内の60%の家屋が焼失した。そのため、戦後から高度経済成長期にかけて大量の構造物が建設され、蓄積してきたという経緯があり、近現代型の都市構造を有している。そのため、将来における都市の物質代謝構造を把握するために適した地域であるといえる。

作成したGISデータより建築物に関する形状データおよび道路、下水道に関するラインデータを取得する。取得したデータに付与されている属性情報から延床面積または延長距離を算出し、資材蓄積原単位を乗じることで資材蓄積量を推計する。また、年代間で同一座標上での

空間比較を行うことで、新規に追加された建築物と滅失した建築物のデータを差分データとして抽出し、差分損率の推移を定量化する。そして用途地域別に耐用年数推計を行う。推計した耐用年数から将来発生する建築物に関する建設副産物量を推計し、発生した建設副産物を道路の維持・補修に使用した場合における排出量と投入量のバランスの変化をみていく。

(2) 経年的GISデータベースの作成

建築物に関するデータの作成は、東岸らの既往研究に準ずる方法とする^{4) 5)}。1998年および2003年の和歌山市DM (Digital Map) の形状データを基準にし、これと過去の航空写真を参照しながら、その年代ごとにシェープファイルを作成する。シェープファイルの属性情報として、建築構造および階数を入力する。

道路に関しても建築物と同様の作業を行う。国土地理院が発行する数値地図2500に基づき、航空写真を参照しながらシェープファイルを作成する。属性情報は航空写真より、幅員を判断し入力する。

下水道については、その対象を和歌山市が管理する公共下水道で、汚水、雨水、合流管および人孔（マンホール）とする。和歌山市より提供のあった下水道計画図のデータより作成し、属性情報として、埋没深さや内径を下水道台帳で補完しながら入力する。

3. 経年的資材蓄積量の変化

(1) 経年的資材蓄積原単位の作成

建築物は建設された年代により構造が変化しており、使用される資材の質や量も変化している。建築物は建築基準法・同施行令（1950-2007）により制約され、耐震基準の改正によりその度に資材投入量が増加する傾向がある。道路に関しても、道路構造によりアスファルト舗装要綱などで制約されており、交通量の増加とともに改正

表1 建築物に関する資材蓄積原単位

		資材蓄積原単位(kg/m ²)						
構造種別			1950年以前	1959年～	1971年～	1974年～	1981年～	2000年～
木質構造	軸組工法 (従来工法)	総量	548.3	552.6	610.0	610.0	611.6	642.1
		鉄骨・鉄筋	3.82	3.82	6.04	6.04	6.23	7.09
		木材	72.84	81.17	81.17	81.17	88.40	88.40
	枠組壁工法	総量	—	—	—	457.8	460.2	480.3
		鉄筋・鉄筋	—	—	—	3.33	3.37	3.94
		木材	—	—	—	48.66	51.59	51.59
鉄筋コンクリート構造	総量	1171.2	1543.9	1554.3	1554.3	1554.3	1554.3	
	鉄筋・鉄筋	49.44	55.35	56.95	56.95	58.81	58.81	
	木材	17.91	17.91	17.91	17.91	17.91	17.91	
鉄骨構造	総量	1012.7	1012.7	1138.0	1138.0	1138.0	1200.7	
	鉄骨・鉄筋	147.16	147.16	148.64	148.64	148.64	150.01	
	木材	10.72	10.72	10.72	10.72	10.72	10.72	

表2 道路に関する資材蓄積原単位

		資材蓄積原単位 (kg/m ²)											
道路種別	道路区分・年→	1950	1961	1964	1967	1970	1972	1975	1978	1979	1984	1988	1994
アスファルト舗装	一般道 (5.5m ≦幅員 <13m)	—	784.1	→	1052.5	→	→	1052.5	1155.5	→	→	1285.5	1153.5
	一般道 (13m ≦幅員 <19.5m)	—	936.3	→	1262.5	→	→	1262.5	1262.5	→	→	1378.0	1378.0
	国道、一般道 (幅員 ≧19.5m)	—	1173.4	→	1527.0	→	→	1527.0	1630.0	→	→	1752.0	1752.0
	高速自動車道、自動車専用道	—	1173.4	→	1756.0	→	→	1756.0	1693.0	→	→	2004.0	2004.0
簡易舗装	一般市道 (幅員 <5.5m)	—	—	258.7	→	347.1	→	347.1	→	358.8	→	358.8	→
セメントコンクリート舗装	—	—	—	—	—	—	1300.4	→	→	→	1506.4	→	→
砂利舗装 (未舗装)	一般市道 (幅員 <5.5m)	223.4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	一般道 (5.5m ≦幅員 <13m)	549.1	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	一般道 (13m ≦幅員 <19.5m)	701.3	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	国道、一般道 (幅員 ≧19.5m)	938.4	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

表3 下水道および人孔に関する資材蓄積原単位

材質	管径 (mm)	重量 (kg/m)	材質	管径 (mm)	重量 (kg/m)
ダクトライ管	700	924.0	硬質塩化ビニル管	150	126.7
強化プラスチック場合管	200	179.3		200	174.4
	200	123.0		250	224.6
	250	154.5		300	277.5
	300	189.5		350	333.0
	350	226.5		400	391.2
	400	268.5		450	452.2
	450	313.8		500	515.9
ヒューム管	500	367.0	マンホール蓋型		
	600	477.4			
	700	603.4	総重量式 (kg)		
	800	740.2			
	900	901.7	X-マンホール深さ (m)		
	1000	1063.1			
	1200	1493.7			
	1650	2668.3			

され、資材投入量が増加する傾向にある。下水道についても下水道施設計画・設計指針と解説により制約されている。そこで本研究では、建設年代に即した資材蓄積原単位を作成し、経年的な資材蓄積量の推計を行う。また、その年代は建築物や道路に関する法律や要綱が変更・改訂された年代とする。ただし、下水道に関しては設計指針の整備が近年になって行われ始めたことや普及が近年に集中しているため、現在における資材蓄積原単位を作成した。作成した資材蓄積原単位を表1～3に示す。なお、実際には資材ごとに資材蓄積原単位を作成したが、本論文では総重量および第5章において触れる鉄と木材に関する原単位のための記載とする。

(2) 経年的資材蓄積量の推計結果

1947年から2004年までの5年代において建築物、道路、下水道における資材蓄積量を資材ごとに推計した結果を図1および図2に示す。全ての構造物における資材蓄積量の合計は、戦後60年間で214万トンから1232万トンとなり、5.7倍に増加している。資材別にみると、セメントコンクリートが最も多く、1947年から2004年にかけて、全体に占める割合も56.0%から68.4%となっている。コンクリート系資材を除くと、鉄関係と木材の占める割合が大きい。1947年から2004年にかけて、鉄関係はコンクリート系資材を除いた全体の36.5%から57.6%、木材が26.5%から17.4%へ変化しており、これらから、木造建築

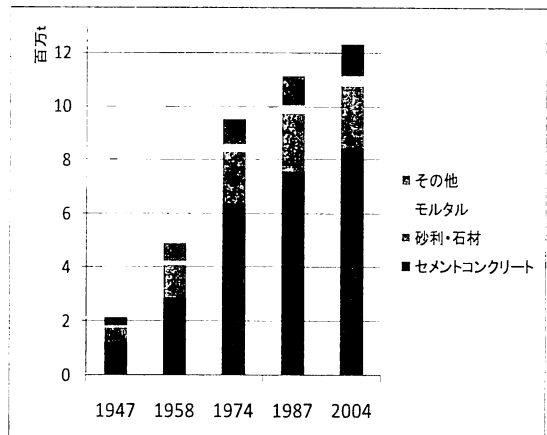


図1 資材別資材全蓄積量

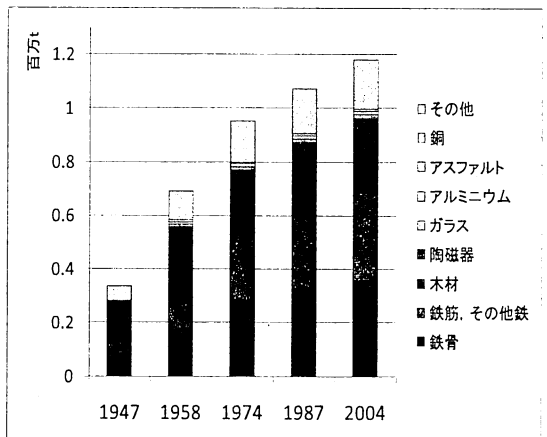


図2 資材別蓄積量 (セメントコンクリート系除く)

物から非木造建築物への転換が図られたことが分かる。

図3に資材蓄積量の合計を対象地域内の夜間人口で除した値 (一人あたりのストック量) を示す。1947年から2004年にかけて35.7トン/人から267.8トン/人と、7.5倍に増加しており、資材蓄積量の増加率よりも大きい。これは、1958年を境に減少に転じている夜間人口が一つの要因と考えられる。このことから、都市中心部において、郊外等へ人口が流出しながらも、大量の資材が投じられ

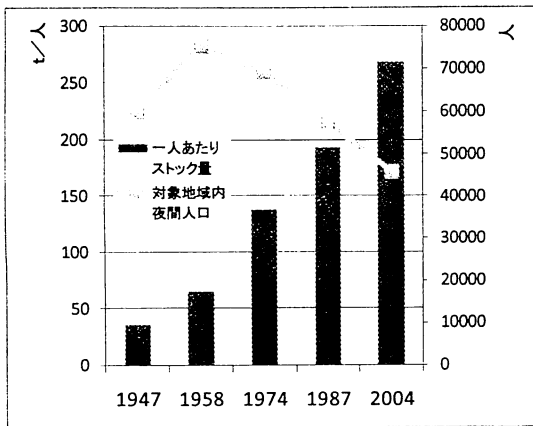


図3 一人あたりストック量

て都市が形成されてきたと考えられるが、ここでは昼間人口が考慮に入られていない。そのため、住宅よりも資材蓄積量の大きい商業ビルが増加するなど、都市中心部における建物用途の変化なども実際は影響を及ぼしていると考えられる。

4. 将来におけるマテリアルバランスの変化

(1) 建築物に関する耐用年数の推計

マテリアルバランスを予測するにあたって、今後どのくらいの建設副産物が発生するのかを予測する必要がある。そこで建築物がいつ解体されるのかを知る指標となる耐用年数の推計を行う。

本研究で作成したGISデータを元に異なる年代間で建築物の差分抽出を行い、属性データ（木造・非木造）別に建築物の棟数の推移を経年的に定量化する。建築物が建造された年代における棟数を基準とし、以降の年代における建築物の現存数より現存率を求め、現存率の推移を近似曲線にあてはめる。建築物の耐用年数を推計するにあたり、選択する近似曲線に関しては信頼性理論に基づく故障密度関数として対数正規分布やワイブル分布を用いる場合もある⁹⁾。本研究では、最も現存率推移に近い近似を得られたという理由から成長曲線（ロジスティック曲線）を採用した（式1）。

$$y = \frac{K}{1 + \exp(b + at)} \quad (1)$$

ここで、 K ：飽和定数、 a 、 b ：パラメータ

y ：残存率、 t ：年

推計結果を表4に示す。推計は用途地域（住居系、商業系、工業系）別に分類を行ったものである。正規確率

表4 耐用年数推計結果

建築年代	1947	1948-1958	1959-1974	1975-1987	1988-2004	平均耐用年数(年)
住居系地域						
K	1.00	0.95	0.95	N.S.	N.S.	
a	3.07	3.94	4.95	-	-	
b	0.04	0.05	0.04	-	-	
耐用年数(年)	26.3	32.0	42.6	-	-	33.6
商業系地域						
K	1.00	0.95	1.00	N.S.	N.S.	
a	1.76	4.13	3.75	-	-	
b	0.05	0.07	0.05	-	-	
耐用年数(年)	11.3	21.7	28.5	-	-	20.5
工業系地域						
K	1.00	0.95	1.00	N.S.	N.S.	
a	6.10	3.27	3.36	-	-	
b	0.07	0.05	0.04	-	-	
耐用年数(年)	27.5	27.8	30.2	-	-	28.5

N.S.: no significance by small sample

分布において、建築物が滅失する確率の最も高い値を平均耐用年数としているが、成長曲線においては傾きが最大となる時点をも50%滅失率と設定した。平均耐用年数が最も長かったのは住居系地域の33.6年で、最も短かったのは商業系地域の20.5年であった。小松らが推計した全国における建築物の平均耐用年数は35.8年であり、これと比較すると、住居系地域で近い値を示す一方、商業系地域ではこれよりもかなり短い結果となった。このことから、用途地域別で明らかに耐用年数の差が生じ、都市計画としての用途地域の設定、変更など、その制限が都市内部における資材蓄積の一つの要因となっていると考えられる。

(2) マテリアルバランスの変化の予測

建設副産物の排出量と道路の維持・補修に必要な資材の投入量から、「排出量－投入量」で求められるマテリアルバランスを推計する。解析期間は2005年から2030年とし、建設副産物の排出量予測に関しては、推計した耐用年数から求める。道路の維持・補修に関しては、道路の供用性を維持する維持・補修スケジュールとして、12年ごとの打ち換え工法と8年ごとの切削オーバーレイ工法の施工がほぼ等価である⁷⁾。本研究では、この事項を踏襲した維持・補修パターンでそれぞれの工法を行うとした。ただし、簡易舗装を用いた道路については、交通量が少なく道路の損傷が起こりにくいと考えられるため、12年ごとの切削オーバーレイ工法のみを行うとした。また、1年ごとに維持・補修を行う面積を対象地域内の12分の1（打ち換え工法）、8分の1（切削オーバーレイ工法）とし、各年代で資材の投入量を同じとした。また、建築物は地上部分と地下部分に分かれており、一般的には地下部分も含めて回収されるが、地下部分の資材が回収されない場合もある。そこで、地上部分のみを回収した場合と地上地下ともに回収した場合の2通りについて予測を行う。

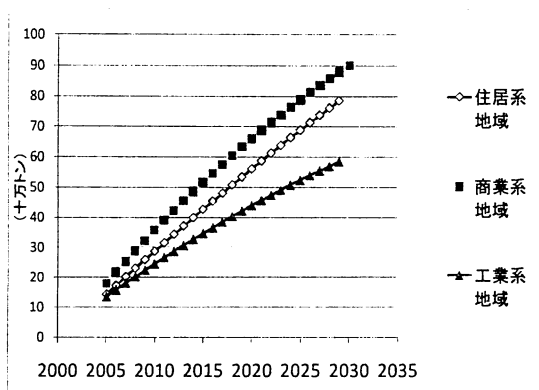


図4 マテリアルバランス（地上、地下ともに回収）

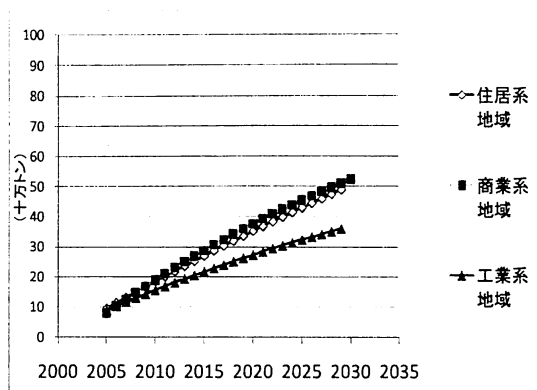


図5 マテリアルバランス（地上のみ回収）

図4、図5に示す予測結果より、いずれの場合においても排出量が投入量を大きく上回り、その傾向は年代が進むごとに顕著となる。地上地下ともに回収する場合、商業系地域における差分値が最も大きく、2005年から2030年にかけて6.2倍に増加している。地上のみを回収する場合、用途地域により大きな差は比較的小さいことが分かった。しかし、これは限定された地域内における推計結果であり、差分値が通常よりも大きくなっていることも考えられる。

5. 建設資材のリサイクル性の検討

(1) 都市鉱山

1988年に東北大学の南条が工業製品の中に含まれるレアメタル類の成分比が鉱石品位（粗鋼品位）より高い場合が多いこと、また金属として組み込まれることが多く製錬・精製に要するエネルギーが少なくすむことを特徴として指摘し、地上に蓄積された工業製品を「都市鉱山（Urban mine）」と名付けた⁸⁾。つまり、都市内部に蓄積している資源を用いることで新たな天然資源を用いずにすみ、環境負荷が小さくなることを示唆している。例えばその量についてであるが、日本国内における都市鉱山としての金は約6800トンで、世界の現有埋蔵量42000トンの約16%におよぶ⁹⁾。

都市鉱山については、量的な評価に関する議論は行われているが、質的な評価に関する議論は、その難しさから、あまりされてこなかった。山末らは、そうした質的な評価の手法を鉱石品位の観点から開発し、提案している¹⁰⁾。この手法では、関与物質総量（Total Material Requirement, TMR）を応用した指標を用い、都市鉱山からリサイクルによって元素1kgを得る際に必要なTMRを「都市鉱石TMR, Urban ore TMR (UO-TMR)」（kg/kg）、自然鉱石から製錬によって元素1kgを得る際に必要なTMRを「自然鉱石TMR, Natural ore TMR (NO-TMR)」（kg/kg）と定義している。このUO-TMRとNO-TMRを比

較検討することで、リサイクル製品から資源を回収する際における環境負荷について議論することが可能となる。既存研究として、携帯電話、ノートPC、家電製品、廃建築物に関して都市鉱石TMRを推計・評価してきたものがある¹¹⁾。

(2) リサイクル性評価方法

リサイクル性の評価は、UO-TMRとNO-TMRの比較により行う。UO-TMRがNO-TMRよりも小さい場合、これは、現在におけるリサイクル方法で都市鉱石からリサイクルを行うことは、自然鉱石から製錬等でそれを得るよりも有効であることを意味する。ここで、TMRは直接投入量、間接投入量、隠れたフローで表わされる。隠れたフローとは、直接および間接的な経済活動に伴伴する物質以外にその活動に伴って起こる物質の移動や攪乱量であることから、TMRが環境に対して攪乱、影響を及ぼしていることの一つの指標として捉えることができる。またUO-TMRおよびNO-TMRフレームワーク¹⁰⁾によると、TMRは鉱石中の元素濃度をベースとしてリサイクルや輸送などのプロセスに必要な物質投入量を負の影響として加味したものとみなすことができ、TMRが小さい値の場合、環境への影響、環境影響量が比較的小さいと考えることができる。このことから、UO-TMRがNO-TMRよりも小さい場合、そのリサイクルが環境に対して負荷が小さく、有効であるといえるのである。これとは逆に、UO-TMRがNO-TMRよりも大きい場合、そのリサイクルは自然鉱石から得るよりも、環境影響量が大きいということになり、有効とはいえない。本研究では、このTMR指標に基づく環境影響量の視点から、リサイクルの有効性をリサイクル性と定義し、評価を行った。したがって、リサイクル性を以下によって判断する。

$UO - TMR < NO - TMR$: 有効

$UO - TMR = NO - TMR$: 等価

$UO - TMR > NO - TMR$: 有効でない

(3) 建設資材におけるリサイクル性の検討

本研究では、廃建築物の資材の中でも蓄積割合の高い鉄について考えていく。建築資材から得られる鉄スクラップのUO-TMRもすでに報告されている^{12) 13)}。それらは、建築構造別で異なる値である。ここで鉄スクラップに純鉄を加える、希釈することで棒鋼や形鋼としてリサイクルできるが、それらのUO-TMRは増加、すなわち環境影響量が増加する。一方、木材をリサイクルすることによりそれらのUO-TMRは減少する。これらの値を建築構造別、木材リサイクル率別、希釈量別で把握し、NO-TMRと比較することで、どの場所から資材をリサイクルすることが有効かを把握することができる。鉄のNO-TMR (=8kg/kg) を超えるとリサイクルは有効でないとした。

一例として、鉄スクラップを棒鋼として使用する際のリサイクル性を可視化したものを図6、図7に示す。色が薄いほどリサイクルが有効であることを表す。都市建築物から得られた鉄スクラップを棒鋼としてリサイクル可能な地域の面積は木材リサイクル率が0%の場合、全体の36.8%となった。木材リサイクル率が50%では全体の53.2%、木材リサイクル率が100%では全体の55.1%の場所において、リサイクルが有効であることが分かった。それらのうち木造建築物が占める割合はいずれにおいても80%から85%で、非木造建築物がリサイクルとしての回収に適さないことが明らかとなった。また、木材リサイクル率が50%と100%の場合で、リサイクル可能な地域の割合はほとんど変化しなかった。これは、木材リサイクル率を50%とした時点で木造建築物の多くがリサイクル有効となること、またリサイクル有効性にあまり寄与しない非木造建築物は木材リサイクルの影響が小さいことが理由として考えられる。

次に、木材リサイクル率を50%に固定し、鉄スクラッ

プを棒鋼、形鋼または圧延鋼としてリサイクルする場合について述べる。棒鋼としてリサイクル可能な地域は、全体の38.9%となったが、形鋼としては、36.0%となった。しかし、圧延鋼としてリサイクルする場合、全ての建築物においてNO-TMRの8kg/kgを上回った。これは圧延鋼としてリサイクルが有効な地域は存在しないことを意味している。すなわち、希釈のための鉄の投入量を増やすと、鉄スクラップの質は良くなるが環境影響量が大きくなる場合があることを示唆していると考えられる。以上より、鉄の希釈量に関しては、回収後どのような用途に使用するか考慮した上で、希釈量に応じて回収する場所を限定していく必要がある。

6. まとめと今後の課題

本研究において、作成したGISデータに基づき和歌山市中心部における経年的な資材蓄積量の推計、将来におけるマテリアルバランスの変化予測、そして建設資材の鉄におけるリサイクル性の検討を行った。

和歌山市中心部における資材蓄積量は1947年から2004年にかけて214万トンから1232万トンと5.7倍に増加していることが分かり、資材別では大半が砂利・石材、コンクリート系資材であることが分かった。

建築物の耐用年数を用途地域ごとに推計した結果、商業系地域と住居系地域で15年の差が出ることが分かり、用途地域により耐用年数に差が生じることが明らかとなった。その上で、将来におけるマテリアルバランスを推計した結果、排出量が投入量を大きく上回ることが分かり、今後もその差は増加する傾向にあることが分かった。

鉄におけるリサイクル性を関与物質総量の観点から評価した結果、棒鋼や形鋼に関しては、対象地域の三分の

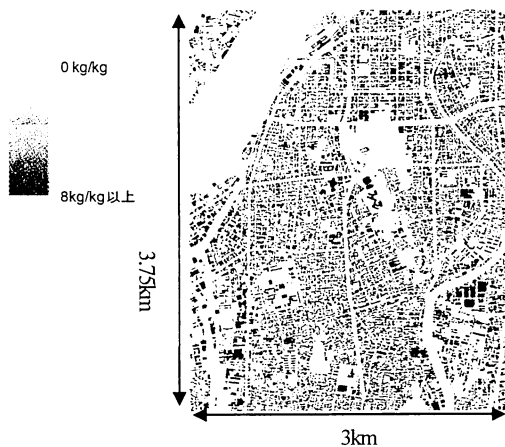


図6 木材リサイクル率0% (棒鋼)

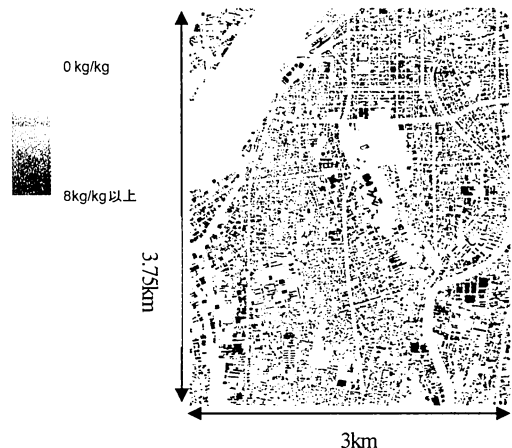


図7 木材リサイクル率100% (棒鋼)

一強の地域から回収に適していることが分かったが、圧延鋼としてのリサイクル回収には適さないことが分かった。

今後の課題として、対象地域の拡大や他地域における分析が挙げられる。本研究では対象地域として和歌山市中心部において分析し、都市の物質代謝構造を部分的に定量化したにすぎない。今後、対象地域を拡大し、また他地域でも同様の研究を行い比較することで、推計結果の妥当性を検証することが可能となるとともに、空間的な資材蓄積分布や耐用年数分布を把握することが可能となる。これは、マテリアルバランスの予測にも重要である。一人あたりのストック量に関しても、夜間人口のみの分析にとどまっており、今後、昼間人口や都市内部における建物用途の分析等を進めていかなければならない。また、耐用年数に関しては既往研究との差異の要因について、まだ分析が完全ではない。これは、他の地域への展開にも関係すると考えられ、要因を検証していかなければならない。さらに、GISデータ作成における建物の構造判別などに関して、完全な手法が提案できていない。都市の物質代謝構造を正確に把握するためには、より精度の高いGISデータを作成することが重要である。建設資材のリサイクル性については、本研究では鉄のみを扱った。建設資材にはアルミニウムや銅等の金属が含まれており、その他の資材についてもリサイクル性を検討し、都市鉱山についてのリサイクルの有効性を把握していくことが求められる。

謝辞：本研究の一部は、環境省地球環境研究総合推進費（Hc-086）および（S6-4）の支援により実施された。関係者各位に深謝致します。

参考文献

- 1) 環境省：平成 21 年版環境・循環型社会・生物多様性白書，2009。
- 2) 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, Volume 27, Issue 12, pp.1725-1738, 2007.
- 3) 橋本征二，河合紘輔，藤井実，加用千裕，稲葉陸太，南斉規介，田崎智宏，大迫政浩：セメント産業における廃棄物・建設副産物利用の今後の可能性，第 5 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，pp.88-89, 2010。
- 4) 東岸芳浩，谷川寛樹，橋本征二：複数年の空間情報を用いた建築物の耐用年数の推計手法の提案，環境情報科学論文集 21, pp.37-42, 2007。
- 5) 寺南智弘，谷川寛樹，深堀秀敏：4d-GIS による用途地域変更を考慮した建築物耐用年数の推計，土木学会環境システム研究論文集，Vol.37, pp.221-226, 2009
- 6) 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 1987 年固定資産台帳に基づく推計，日本建築学会計画論文集報告書，第 439 号，1992。
- 7) 山之口浩，丸山暉彦：アスファルト舗装修繕技術，山海堂，1997。
- 8) 南条道夫：東北大学選鉱製錬研究所彙報，Vol.43, No.2, pp.239-251, 1988。
- 9) 原田幸明，井島清，島田正典，片桐望：日本金属学会誌，第 73 巻，第 3 号，pp.151-160, 2009。
- 10) E.Yamasue, R.Minamino, K.Numata, S.Murakami, I.Daigo, K.Nakajima, S.Hashimoto, H.Okumura and K.N.Ishihara：Trans.Mater. Vol.50 (9), No.6, 2009。
- 11) Yamasue E, Minamino R, Daigo I, Okumura H, Ishihara K.N：Evaluation of total materials requirement for the recycling of elements and materials (Urban 15ore tmr) from end-of-life electric home appliances, Materials Transactions, 50 (9), pp.2165-2172, 2009。
- 12) Eiji Yamasue, Ryota Minamino, Hiroki Tanikawa, Ichiro Daigo, Hideyuki Okumura and Keiichi N. Ishihara：Material Recyclability Evaluation of Urban Structures using Urban-ore TMR, Book of Abstract for International Society of Industrial Ecology conference 2009 (ISIE 2009), pp.193, 2009。
- 13) 山末英嗣，南埜良太，醍醐市朗，谷川寛樹，奥村英之，石原慶一：建築物および都市インフラに含まれる鋼材のリサイクルに伴う関与物質総量の評価，日本鉄鋼協会平成 22 年春季大会（印刷中），2010。

CHANGES OF URBAN METABOLISM AND EVALUATION OF RECYCLABILITY OF CONSTRUCTION MATERIAL BY USING TMR INDEX

Hiroki TANIKAWA, Eiji YAMASUE, Ryo INAZU and Sho MAEARA

A large amount of construction materials has been stocked as urban structures over time. In the near future, materials from demolished structures cause new material flow as it becomes waste. However, the demands of recycling material related to infrastructure improvement have been decreased. Then breakup of material balance is apprehended. Therefore, we estimated the volume of Material Stock Accounts of urban infrastructure over time by using four damnation GIS database. In addition, lifespan of urban structure considering landuse type was estimated for predicting the future construction material balance. We also evaluated recyclability of construction material. Regarding material balance, the amount of construction by-product is more than the demand of roadway's construction.