

複数年の GIS データを用いた道路における 物質ストックの推定に関する研究

稲津 亮¹・谷川 寛樹²・橋本 征二³

¹学生員 和歌山大学システム工学部 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930 番地)

E-mail:s094005@sys.wakayama-u.ac.jp

²正会員 和歌山大学准教授 環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷 930 番地)

³正会員 (独)国立環境研究所 主任研究員 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

過去から現在の間に都市構造物として大量の物質がストックされている。都市構造物は耐用年数を過ぎると、解体され建設廃棄物として新たなフローを発生させる。都市構造物に投入された物質ストック量を把握することで、将来発生する二次資源として利用可能なリサイクル量を推定できる。道路は土木構造物の中でも地下構造物として潜在的なストック量の割合が高く、将来発生するフロー量も多い。したがって、本研究では、GIS を用い、江戸時代から現在までにおける道路に関する経年的なストック量の推定を行い、潜在的に蓄積しているストック量を明らかにする。江戸時代 (1800 年) と現在 (2004 年) を比較すると、道路の資材ストック量は 4.7 倍に、昭和 22 年 (1947 年) と現在を比較すると、3.0 倍に増加していることがわかった。

Key Words : Material Flow Analysis, GIS(Geographical Information System), Urban Infrastructure(Roadway)

1. はじめに

都市の成長に伴い、過去から現在の間に都市構造物として大量の建設資材が投入されている。循環型社会白書¹⁾によると 2004 年における日本の経済社会に投入されている物質は約 19 億トンであり、様々な形で環境に排出される物質と輸出される物質の量は約 11 億トンである。残りの約 8 億トンは経済社会にストックされる。経済社会にストックされる物質は建設鉱物によるものが多く、その中で最も高い割合を占めるのが建築物であり、全体の約 25% である。次に高い割合を占めるのが道路であり、全体の約 20% である²⁾。

都市構造物の中において建築物は耐用年数を過ぎると、解体され新たなフローを発生する。しかし、土木構造物は建築物と異なり、一旦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ストックされることになる。過去から現在までに蓄積している物質ストック量及びその内訳を把握することにより、将来発生するフローの中から廃棄物として現れる量、あるいは二次資源として利

用可能なリサイクル量を推定することが可能である。これは将来の廃棄物・資源管理を行っていく上で重要である。また、物質ストック量を推定することによって、都市の物質代謝構造を把握することができれば、将来の廃棄物・資源管理を行っていく上で有効な資料となり得る。さらに、長期間の歴史的なスケールで物質ストックの推定を行うことができれば、より詳細な都市の物質代謝構造を把握することが可能となる。

2000 年には循環型社会形成推進基本法が成立し、建設物廃棄物の抑制とリサイクル率の向上が図られている。この法律により、解体され廃棄物となった構造物は建設副産物となり、再生資源として主に道路の路盤材に使用されるようになった。しかし、近年では道路の新規事業の減少により、建設副産物の受け入れ先が減少する一方で戦後から高度経済成長期に大量に投入された建設物が耐用年数を迎えるにあたり、大量の建設副産物が出ると予測されている。このため、マテリアルバランスの崩壊が危惧されている。そこで本研究では、土木構造物の中でも道路に焦点を当てた物質ストックの経年的な推定を

行う。道路は大部分が地下部分に資材が投入されており、地下構造物として潜在的な物質ストック量の割合が高く、経済社会に投入されている割合も高いため、将来発生するフロー量も多い。

なお、本研究のケーススタディ地域として和歌山市中心部を取り上げた。詳細なデータの入手が可能であったことに加え、和歌山市は和歌山城周辺を中心に発展しており、和歌山城の変遷とともに都市の物質代謝構造を把握することが最適であった。このため、和歌山市をケーススタディ地域として選択した。

2. 道路に関する物質ストックの推定方法

図-1 に道路に関する物質ストックの推定方法を示す。道路に関する物質ストックの推定を行う上で重要となる資材投入原単位は各種舗装要綱や文献を参考にし、 1m^2 当たりの単位重量を推定する。本研究ではより正確な物質ストックの推定を行うために、年代ごとに異なる資材投入原単位を推定する。同時に道路の面的な把握であるが、道路データを時系列で比較する必要があるため、空間の比較するツールとして利用される GIS (Geographical Information System) を使用する。江戸時代から現在にいたるまでの 8 年代 (1800 年, 1886 年, 1913 年, 1947 年, 1958 年, 1976 年, 1987 年, 2004 年) において、航空写真や絵地図と比較を行いながら、道路に関するラインデータを作成していき GIS データベースの構築を行う。次に作成した GIS データベースより、道路面積を取得し、道路面積と推定した 1m^2 当たりの単位重量とを乗じることにより、道路に関する物質ストックの推定を行う。

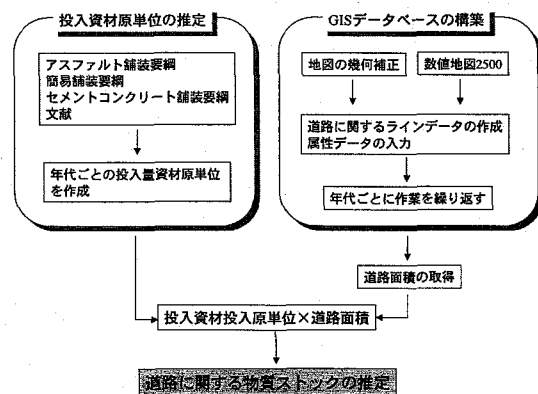


図-1 道路に関する物質ストックの推定方法

3. 資材投入原単位の推定

現在、道路構造は一般に高級舗装、簡易舗装及びセメントコンクリート舗装に分けられ、それぞれ戦後に発刊が始まったアスファルト舗装要綱³⁾、簡易舗装要綱⁴⁾やセメントコンクリート舗装要綱⁵⁾により舗装に必要な資材や構造決定までの過程が詳細に提示されている。道路構造を決定する大きな要因は CBR 値 (路盤の支持力)、計画交通量であるが、個々の道路に対してこれらのデータを入手することは困難である。また各種舗装要綱も時代の変革に伴い、その時代の道路事情に合わせた内容に改訂が行われているため、時代ごとに投入されている資材や投入量が変化している。各種舗装要綱の発刊、及び改訂年を表-1 に示す。

アスファルト舗装要綱や簡易舗装要綱が発行される以前はアスファルト舗装そのものが大都市における一部の主要道路のみにしか施行されておらず、僅かしか普及しておらず、大部分が砂利舗装であった。そのため、1947 年以前の年代では道路舗装を全て砂利舗装と仮定して推定を行った。ただ、砂利舗装であっても時代ごとの施工法に差異が見受けられる。このため、時代ごとに投入されている資材や投入量が変化している。

したがって、本研究ではこのような点を考慮して文献⁶⁾⁷⁾や各種舗装要綱より代表的な値をもって仮定を行い、それらより 1m^2 当たりの単位重量を推定し、年代ごとで異なる原単位を使用した。これにより、年代ごとにより詳細な道路に投入された物質ストック量を把握することができる。年代ごとに使用した資材投入原単位を表-2 に示す。

表-1 アスファルト舗装要綱、簡易舗装要綱ならびにセメントコンクリート舗装要綱の沿革

発刊, 改訂年	アスファルト舗装要綱	簡易舗装要綱	セメントコンクリート舗装要綱
1950年	○ (発刊)		
1955年			○
1961年	○ (改訂)		
1964年		○ (発刊)	○ (発刊)
1967年	○ (改訂)		
1968年		○ (改訂)	
1972年			○ (改訂)
1975年	○ (改訂)	○ (改訂)	
1976年			○ (改訂)
1978年	○ (改訂)		
1979年		○ (改訂)	
1980年			○ (改訂)
1984年			○ (改訂)
1988年	○ (改訂)		
1992年	○ (改訂)		

表2 道路に関する資材投入原単位の変遷

年代	アスファルト舗装					簡易舗装	セメントコンクリート舗装	砂利舗装		
1800年	道路区分							人馬道	街道	一般道
	重量 (kg/m ²)							768.0	465.0	121.2
1886年	重量 (kg/m ²)							404.0		
1913年	重量 (kg/m ²)							404.0		
1947年	道路区分							主要道	一般道 (3車線以上)	一般道 (1, 2車線)
	重量 (kg/m ²)							938.4	701.3	363.6
1958年	交通量区分	A	B	C						
	重量 (kg/m ²)	784.1	936.3	1173.4				1300.4		
1976年	交通量区分	A	B	C	D					
	重量 (kg/m ²)	1052.5	1262.5	1527.0	1756.0	347.1		1300.4		
1987年	交通量区分	L	A	B	C	D				
	重量 (kg/m ²)	844.5	1258.5	1378.0	1752.0	2004.0	358.8	1506.4		
2004年	交通量区分	L	A	B	C	D				
	重量 (kg/m ²)	844.5	1153.5	1378.0	1752.0	2004.0	358.8	1506.4		

4. GIS データベースの構築

(1) 地図の幾何補正

使用する地図としては、戦後は航空写真、戦前は古地図や絵地図である。特に戦前における地図は紙データであるため、スキャナによるデジタル化を行った。したがって、統一された空間情報が与えられていないので、基準となる座標系と異なる。これを補正するために幾何補正を行う。基準となる座標系を持つデータと補正を行うデータにおいて対応する点を重ね合わせる作業を繰り返し行っていく。重ね合わせる点としては、年代間で変化の少ない特徴的な地形を用いる。具体的には道路の交差点・寺社仏閣の塀角などが挙げられる。

(1) ラインデータの作成

国土地理院が発行する数値地図 2500 を基準として最も年代の新しい 2004 年のラインデータより作成を行っていく。2004 年のデータが完成すれば、複製を行い同一の座標系を持ったデータとし、このデータに修正を加えていくことで 1987 年のデータを作成していく。同様の作業を繰り返すことにより、時系列におけるラインデータを作成していく。修正方法としては、GIS 上において年代間で地図の比較を行い、古い年代で道路が滅失していればデータを削除し、古い年代にのみ存在している道路に対してはラインデータが道路の中心線となるように新しくラインデータを作成していく。

(1) 属性データの入力

基準となる数値地図 2500 には幅員のデータが入力されているが、時系列のデータを作成する場合、古い年代においては幅員のデータは入力されていないため、2004 年のデータ作成時より、一定の基準の元で幅員を推定す

表3 道路区分と幅員の関係

道路の存する地域	道路種別	区分	車線の幅員 (m)	特例値 (m)
地方部	高速道路及び自動車専用道路	第 1 種	第 1 級	3.5
			第 2 級	3.5
			第 3 級	3.5
			第 4 級	3.25
都市部	高速道路及び自動車専用道路	第 2 種	第 1 級	3.5
			第 2 級	3.25
地方部	その他の道路	第 3 種	第 1 級	3.5
			第 2 級	3.25
			第 3 級	3
			第 4 級	2.75
都市部	その他の道路	第 4 種	第 1 級	3.25
			第 2 級	3
			第 3 級	3

る必要がある。

a) 道路幅員の推定 (車線数が半断可能な場合)

道路は道路法 30 条に基づき、政令で定められた道路構造令の第 3 条において区分されている (表-3)。本研究対象地域である和歌山市中心部は都市部として区分されており、さらに高速道路や自動車専用道路は存在していないため、全てが第 4 種道路に該当する。表-3 に示す特例値とは特に交通量の多い場合に適用される。したがって、交通量の増加に伴い道路の幅員も広くなるので、本研究で使用した 1 車線あたりの幅員は、国道が 3.5m、主要県道及び地方道が 3.25m、その他一般道が 3.0m として仮定した。航空写真より車線数を勘定し、仮定した幅員と勘定した車線数を乗じることにより、属性データとして入力を行っていく。

b) 道路幅員の推定 (車線数が半断不可能な場合)

年代が古くなるにつれて、航空写真であっても車線数の判断が困難になる。また、戦前の古地図や絵地図はそもそも車線数が描かれておらず、車線数の判断は不可能である。したがって、この場合は GIS 上で計測ツールを用いて道路ごとに幅員を計測していき、計測した値を属

性データとして入力を行っていく。

c) 道路延長及び道路面積の推定

ラインデータ作成後、VBA Script を用いてラインデータの長さを求めることにより道路延長を求めていく。最後に道路幅員と道路延長を乗じることにより道路面積の推定を行う。

5. 道路に関する物質ストック量の推移

(1) 物質ストック量の推定結果

本研究対象地域は和歌山市中心部（和歌山城周辺地域 3km×3km, 9km²）として行い、この範囲内における道路に関する物質ストック量を推定していく。ケーススタディ地域内における道路に関する物質ストック量を経年的に推定した結果を表-4 に示す。江戸時代（1800 年）における物質ストック量は 162 万トンであり、現在（2000 年）における物質ストック量は 884 万トンであった。江戸時代と現在との物質ストック量を比較すると、4.7 倍に増加している。また、終戦直後である 1947 年における物質ストック量は 295 万トンであり、現在の物質ストック量と比較すると、3.0 倍に増加している。高度経済成長期以降に資材が大量に投入され、大量の物質がストックされたといえる。これは、高度経済成長期以降における道路構造が砂利舗装によるものからアスファルト舗装に変化したため、単位面積あたりの重量が増加したと考えられる。また、交通量の増加に伴い、舗装厚が増加し、そのため単位面積あたりの重量が増加したことも挙げられる。さらに、社会資本整備として道路建設を積極的行った結果、道路面積が増加したこともあり、以上の 3 点から高度経済成長期以降に大量に物質ストックが増加したと考えられる。

ケーススタディ地域内の物質代謝構造を把握するために、人口と物質ストック量の比較を行う。ケーススタディ地域内における人口は統計資料⁸⁾⁹⁾や文献¹⁰⁾から推定し、推定した人口数を表-5 に示す。ケーススタディ地域内における人口は 1958 年までは増加しており、1958 年に最も多くなっており、1958 年以降は逆に減少している。ここで、ケーススタディ地域内における物質ストック量と人口の関係を図-2 に示す。2004 年における人口はピーク時であった 1958 年における人口と比較すると、68,708 人から 38,402 人へ減少している。しかしながら、物質ストック量は 536 万トンから 884 万トンへ 1.7 倍に増加している。

表-4 対象地域内における物質ストック量

年代	ストック量 (千t)
1800年	162.0
1886年	185.0
1913年	242.1
1947年	294.5
1958年	535.5
1976年	708.3
1987年	807.6
2004年	883.8

表-5 対象地域内における人口

年代	人口数 (人)
1800年	26550
1886年	47721
1913年	56279
1947年	54815
1958年	68708
1976年	57697
1987年	48266
2004年	38402

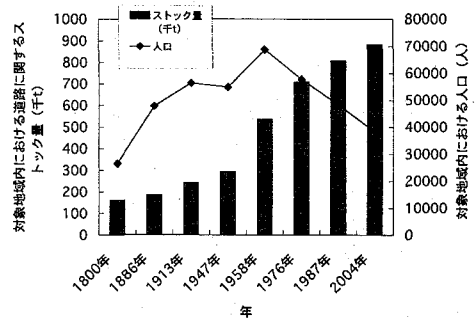


図-2 対象地域内における物質ストックと人口の関係

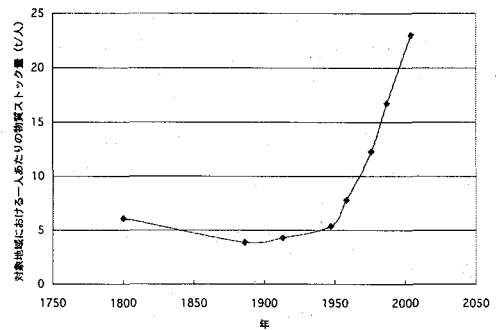


図-3 対象地域内における一人あたりの物質ストックの関係

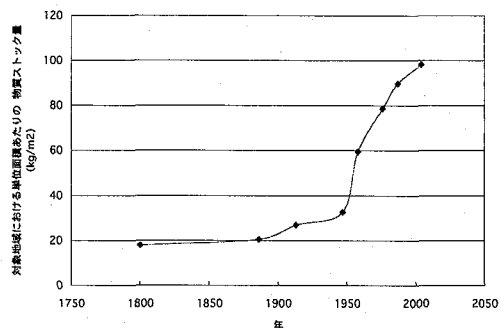


図-4 対象地域内における単位面積あたりの物質ストックの関係

次に、ケーススタディ地域内における一人あたりの物質ストック量を図-3 に示す。一人あたりの物質ストック量は江戸時代において 6.1 トンと 1886 年から 1947 年における物質ストック量と比較すると、大きい値を示している。これは、江戸時代と 1886 年における物質ストック量と比較すると、わずかに 1886 年の物質ストック量が増加している一方で、人口は明治期に入り、急激に増加しているためである。1886 年以降、物質ストック量は増加しており、一人あたりの物質ストック量が最も少ない 1886 年は 3.8 トン/人であるが、最も多いのは 2004 年であり、23 トン/人であるので、6.1 倍に増加している。1958 年以降、一人あたりの物質ストック量の増加率が高くなっている。この背景には、1958 年以降、物質ストック量は増加している一方、人口は都市における居住環境が深刻化していく中で、郊外に人々が流出したため、都市中心部の人口は減少したと考えられる。一人あたりの物質ストック量の増加率について比較すると、1947 年以降、一人あたりの物質ストック量の増加率は急激に高くなっている。1886 年から 1947 年までの増加率と 1947 年から 2004 年までの増加率について比較すると、1947 年から 2004 年までの増加率が 3.7 倍高くなっている。

また、ケーススタディ地域内における単位面積あたりの物質ストック量を図-4 に示す。単位面積あたりの物質ストック量は江戸時代以降 2004 年まで増加している。江戸時代では $18\text{kg}/\text{m}^2$ であるが、2004 年では $98\text{kg}/\text{m}^2$ であり、5.4 倍に増加している。1913 年から 1947 年における単位あたりの物質ストック量の増加率が低い値となっている。この期間中は幾度も戦争が行われていたため、国家の方針として社会資本整備よりも軍需産業の拡大に重点が置かれていたのではないかと考えられ、戦時中の特徴的な傾向が見られる。

ケーススタディ地域内における一人あたりの物質ストック量と単位面積あたりの物質ストック量における今後の推移について比較を行う。一人あたりの物質ストック量については今後も増加すると予測される。一方、単位面積あたりの物質ストック量についてはグラフの形状より、2004 年時点でストック量の飽和状態に近づいているので、今後、大幅に増加することはないと予測される。つまり、長年にわたり続けられてきた社会資本整備がほぼ終了しているためであると考えられる。

(2) 推定結果と全国都道府県・政令指定都市における物質ストック量との比較

道路に関する物質ストックからケーススタディ地域内

におけるより詳細な物質代謝構造を把握するために、全国都道府県・政令指定都市における物質ストック量¹¹⁾と比較を行う。

1995 年において、道路に関する一人あたりの物質ストック量の全国平均は 45 トン/人である。ケーススタディ地域内では 2004 年において、23 トン/人であるから、全国平均値とは 1.9 倍の差がある。また、政令指定都市における平均は 15 トン/人あり、ケーススタディ地域内における物質ストック量と近い値を示している。ケーススタディ地域は和歌山市中心部にあるため、大都市と類似した物質ストック量が推定されたと考えられる。

次に、単位面積あたりの物質ストック量の比較を行う。1995 年において、道路に関する単位面積あたりの物質ストック量の全国都道府県・政令指定都市における平均は $18\text{kg}/\text{m}^2$ である。ケーススタディ地域内では 2004 年において、 $98\text{kg}/\text{m}^2$ であるから、全国平均値とは 5.4 倍の差がある。この値と類似しているのは東京都 ($80\text{kg}/\text{m}^2$) や大阪府 ($79\text{kg}/\text{m}^2$) であり、どちらも大都市である。ケーススタディ地域内における物質ストック量が東京都や大阪府の値よりも大きくなっているのは、ケーススタディ地域が土木構造物のより密集している都市中心部であるからと考えられる。全国平均値はケーススタディ地域内における江戸時代の物質ストック量と等しい値を示している。したがって、ケーススタディ地域内では江戸時代において、単位面積あたりの物質ストック量がすでに全国平均値と同等であった。2004 年時点では、大都市の平均値を上回る物質ストック量が単位面積あたりに蓄積していることになる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、和歌山市中心部における道路に関する物質ストック量を推定することができた。これにより、和歌山市中心部における物質代謝構造を把握することができた。和歌山市中心部では、江戸時代以降、現在に至るまで道路に関する物質ストック量は増加している。また、道路に関する一人あたりの物質ストック量や単位面積あたりの物質ストック量も増加しており、2004 年における一人あたりの物質ストック量は政令指定都市における平均値と比較すると、1.5 倍に、単位面積あたりの物質ストック量と東京都や大阪府の値と比較すると、1.2 倍に増加している。それだけ、和歌山市中心部は土木構造物の密集度が高いことがわかった。

今後の課題は以下の3点が挙げられる。

(1) 投入資材原単位の推定に関して、各種舗装要綱が発刊され始めた1958年以降については資料が豊富にあるため、正確な資材投入原単位の推定が可能である。しかし、1947年以前は資料数が限られており少ないため、正確な資材投入原単位の推定が困難である。今後、資料数を増やし、より正確な資材投入原単位の推定が必要となる。

(2) 本研究では道路に関する物質ストックの推定を行ったが、土木構造物は道路以外にも下水道をはじめ多岐に渡っている。都市の物質代謝構造をより正確に把握するためには、道路以外の土木構造物に関する物質ストックの推定が必要となる。また、得られた物質ストック量より将来の廃棄物の発生予測につなげる必要がある。

(3) 道路は維持、補修を繰り返しながら、長期間に渡り使用が行われる。そのため、維持、補修が行われる際にも資材の出入りがあり、物質ストック量に影響を及ぼしている。したがって、今後は正確な物質ストック量の推定に道路に関して維持、補修を考慮に入れる必要がある。

謝辞：本研究は環境省廃棄物処理等科学研究費補助金による「物質ストック勘定体系の構築とその適用による廃棄物・資源管理戦略研究」(研究代表者 橋本征二)の成果の一部である。関係各位に深く感謝する。

参考文献

- 1) 環境省編：循環型社会白書，平成19年版，2007。
- 2) 橋本征二，谷川寛樹，森口祐一：建設鉱物のマテリアルバランス～失われるマテリアルストックと再生砕石の需給に関する検討，第31回環境システム研究発表会議録集，pp.497-502，2003。
- 3) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，1950-1992。
- 4) 日本道路協会：簡易舗装要綱，1964-1979。
- 5) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，1955-1984。
- 6) 日本道路協会：日本道路史(Ⅲ)技術編及索引，pp.1069-1074，1977。
- 7) 武部健一：道，pp.100-109，法政大学出版社，2003。
- 8) 和歌山市：国勢調査基準人口世帯数，1950-2004。
- 9) 和歌山県：和歌山県統計書，1888-1913。
- 10) 三尾功：近世都市和歌山の研究，思文閣出版，1994。
- 11) 谷川寛樹，井村秀文：全国都市のマテリアルストック推計に関する研究，九州大学工学集報，第73巻第3号，pp.247-253，2000。

ESTIMATION ON ROADWAY HISTORICAL CHANGE OF MATERIAL STOCK BY USING HISTORICAL GIS DATA

Ryou INADU, Hiroki TANIKAWA, Seiji HASHIMOTO

A large amount of material has been stocked as urban structures from the past through the present. Urban structures are demolished and generate new flows as construction wastes when they exceed its life span. The amount of recycling that can be used as second resources that will generate in the future is estimated by grasping material stock related urban structures. In roadway, the rate of basement structures is high and the large amount of flow generates in the future. Therefore, the purpose of this study is to estimate the amount of historical material stock related roadway. In addition, it is to reveal the amount of potential material stock from the period of Edo through present by using historical GIS data. The example results of this study are as follows: (1) The amount of material stock related road increases in 4.7 times compared the period of Edo (1800) with present (2004). (2) The amount of material stock related road increases in 3 times compared 1947 with 2004.