

統計情報および地理空間情報を用いた 資材ストック量の推計と その妥当性評価に関する研究 —道路構造物におけるケーススタディー—

早川 容平¹・韓 驥²・白川 博章³・谷川 寛樹⁴

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)
E-mail:yohei.haya@gmail.com

²正会員 助教 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)

³正会員 准教授 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)

⁴正会員 教授 名古屋大学大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)

本研究では道路構造物に着目し、統計データ・地理空間情報(GISデータ)を用いて建設資材ストック量および着工量を推計し、着工量の推計値と砕石統計の道路用砕石出荷量を比較することで推計値の妥当性の評価を行うことを目的とする。対象範囲は1981年から2008年における北海道を除く日本全国で、推計には道路構造物の規模(幅員・面積)に応じた原単位法を用いた。その結果、砕石出荷量および着工量の推計値の増減は概ね似た傾向となった。一方、推計値はピーク時の1990年において砕石出荷量が約2.5億トンであるのに対し、着工量の推計値は約1.8億トンとなった。

Key Words :road infrastructure, material stock, Geographic Information System, Annual Report of Road Statistics, Crushed Stone Statistics

1. はじめに

我が国では、平成20年において約7.5億トンの輸入資源、約6.8億トンの国内資源、併せて14.3億トンを消費した。そのうち約6.6億トンの資源は建築物、道路、橋梁、港湾設備などの社会基盤として都市に投入された。一方都市から排出された建設副産物は6,400万トンであり、そのうち約6,000万トンは道路建設の際の路盤材として再利用されている。その結果、建設副産物からの最終処分・不法投棄の発生量はそれぞれ400万トン・4万トンと低く抑えられている¹⁾。

しかし、都市に存在する建築物・社会基盤は耐用年数を迎えると改修、補修あるいは取り壊す必要があり、そのすべてが潜在的な建設副産物であるといえる。平成17年において、日本には建築物・道路・下水道として約136億トンもの物質が蓄積されていることが長岡ら²⁾によ

り報告されており、今後これらの高齢化や人口減少などを背景に、大量の建設副産物の発生が予測されている。そのため建設副産物が不法投棄・最終処分として大量に発生してしまう前に、それぞれの都市に蓄積されている建設資材の物質量を把握し、適切な維持・管理の計画を提案することが必要である。

建設資材ストック推計に関する既往研究に関しては、統計データを利用した日本全国・都道府県・市町村といった大きな空間単位を対象としたものや、地理情報システム(Geographic Information System, GIS)を利用した詳細な空間単位を対象とした推計が行われている。特に道路構造物の建設資材ストック推計として、Hashimotoら³⁾は建設活動に関わる各種統計より建設活動量を求め、単位建設活動量当りに投入される建設資材量(資材投入原単位)を建設活動量に乗じることにより、建築物・土木構造物として日本国内に蓄積されている物質量を推計し、さら

に各種構造物の寿命の確立密度関数を利用して2030年までの蓄積量・排出量を推計した。その結果、2000年には約4億トンの物質が廃棄され、2030年には約10億トンの物質が廃棄されることを推計した。また今後仮に道路関係工事の需要が減少しないとしても、2030年の廃棄量は需要量を上回る可能性があるとし、道路関係工事が縮小されるとすれば、再生砕石の需給バランスが近い将来問題となると指摘した。長岡ら³⁾は統計情報を用いて建築物・道路・下水道として蓄積している建設資材ストックを、建設活動量に対する原単位法を用いて推計した。また稲津ら⁴⁾は和歌山市中心部を対象に建築物・道路・下水道の複数年のGISデータを作成し、原単位法を用いて建設資材ストック量の推計を行った。また建築物の耐用年数および将来発生する建築物の建設副産物を推計し、それを道路の維持・更新時に使用した場合に排出量と投入量のバランスが保たれるかどうかの検討を行った。しかし、これらの建設資材ストック量の推計結果を他の目的に適用していく上で、その推計方法の有効性、推計値の妥当性・信頼性の検討は非常に重要であるが、これまであまり行われていないのが現状である。

そこで本研究では、道路構造物に着目し、道路網の地理空間情報を格納したGISデータおよび道路統計年報^{5) 6) 7)}による統計データを利用した建設資材ストック量および着工量を推計し、着工量と道路用砕石出荷量を比較することでその妥当性の評価を行うことを目的とする。

2. 研究方法

建築物・各種インフラストラクチャーの建設資材量の推計には原単位法が多く用いられる。本研究においても原単位法を用いる。建設資材ストック推計における原単位法とは、構造種別ごとの各構造物の規模（道路構造物であれば道路面積）と、各種構造物の単位量あたりに投入される建設資材量すなわち資材投入原単位のデータを整備し、これらに乗じることによって建設資材ストック量を推計する方法である。図-1に本研究における道路建設資材ストック量および道路着工量の推計方法のフレーム

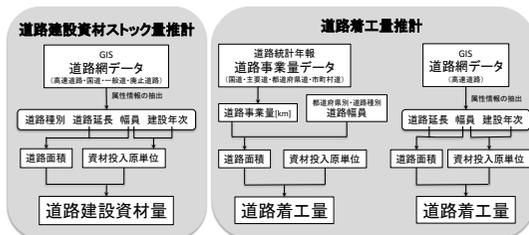


図-1 道路建設資材ストック量および道路着工量の推計方法のフレームワーク

ワークを示す。本章ではまず(1)節で統計情報を用いた道路建設資材ストック量、道路着工量（図-1道路着工量推計，左方）の推計方法を説明し、(2)節ではGISデータを用いた道路建設資材ストック量（図-1道路建設資材ストック量推計）、道路着工量の推計方法（図-1道路着工量推計，右方）を説明する。次に(3)節で推計に用いる資材投入原単位、(4)節で道路着工量の推計値と比較する道路用砕石出荷量について述べる。

(1) 統計情報を用いた建設資材量の推計

国や都道府県といったマクロな空間単位で建設資材量の把握を行う際には、詳細な統計データを入手することが容易である場合が多いため、統計データを用いた推計が行われることが多い。

a) 統計情報

本研究では統計情報として道路統計年報^{5) 6) 7)}を利用した。道路統計年報はわが国唯一の道路に関する統計資料で、昭和24年の初版から現在に至るまで毎年発行されており、道路整備計画の基礎資料として、道路、橋梁およびトンネルの現況と、投入された道路事業費、道路事業費を基に算出した換算完成延長（道路事業量）などを収録したものである。また対象とする道路は道路法に定義される道路のみで、私道・港湾道路・農道・林道などは含まれていない。

b) 道路建設資材ストック量の推計

1章で述べたように、長岡ら³⁾は日本全国を対象に都道府県単位で道路建設資材ストックの推計を行った。推計方法は道路統計年報(1965-2007)^{5) 6) 7)}より道路の総延長及び道路幅から面積を求め、資材投入原単位を乗じる原単位法である。

c) 道路着工量の推計

道路統計年報(1983-2010)^{5) 6) 7)}の道路事業量データより着工量の推計を行った。道路事業量データは都道府県ごとに一般国道、主要地方道、一般都道府県道、市町村道について道路改良、舗装新設、舗装補修、砂利道補修の4つの種別内訳ごとに事業量(km)のデータが収録されている。この事業量データは道路事業費から算出した換算完成延長で、これは事業中の区間のうち、全体事業費に占める当該年度の投入事業費の割合を事業区間延長に乗じることにより換算した、当該年度の完成延長とみなすことができる延長である。本研究では道路建設における砂利石材の資材量に着目するため、前述の4道路種別に対して道路改良の事業量を推計に用いた。

推計方法は建設資材ストック量の推計と同じ原単位法である。そのため道路面積を計算する必要があるが、この事業量データには幅員の値が存在しない。そこで各都道府県、各道路種別ごとに当該年と前年の道路敷面積の差分を実延長の差分で除したものを当該年における着工

の平均幅員と仮定した。この平均幅員と事業量、資材投入原単位を乗じることで着工量の推計を行った。推計には以下の式を用いた。

$$MF_y = \sum_{n,i} MF_{y,n,i} = \sum_{n,i} (L_{y,n,i} \times W_{y,n,i} \times MI_{y,n,i}) \quad (1a)$$

$$W_{y,n,i} = \frac{A_{y,n,i} - A_{y-1,n,i}}{D_{y,n,i} - D_{y-1,n,i}} \quad (1b)$$

ここで、 MF_y はy年における着工量(t)、 $MF_{y,n,i}$ はy年における都道府県nの道路種別iの着工量(t)、 $L_{y,n,i}$ はy年における都道府県nの道路種別iの事業量(km)、 $W_{y,n,i}$ はy年における都道府県nの道路種別iの着工の平均幅員(km)、 $MI_{y,n,i}$ はy年における都道府県nの道路種別iの道路資材投入原単位(t/km^2)、 $A_{y,n,i}$ はy年における都道府県nの道路種別iの道路敷面積(km^2)、 $D_{y,n,i}$ はy年における都道府県nの道路種別iの実延長(km)を表す。

(2) 地理空間情報を用いた建設資材量の推計

近年GISの普及に伴い建築物や道路網といった社会基盤のGISデータの整備も進んでいる。同一都道府県・市町村内でも建設活動が活発な地域とそうでない地域の偏りが存在する。GISデータを用いることで、よりミクロな空間単位での推計が可能になるため、このような地域差を考慮した推計を行うことが可能となる。

a) 道路網GISデータ

本研究では、道路網情報が空間情報(ラインデータ)として保存されている道路網GISデータを利用した。

(図-2) これは名古屋以東の本州を対象に国土地理院地理情報部の明野⁹⁾が作成したものと、これに追加する形で20万分の1地形図^{9), 10)}を基に名古屋以西の地域を対象

に作成したものである。データタイプはラインデータで、時間的範囲は1905年から2008年、属性情報として道路種別、幅員などの他に発生・消滅年次の時間属性をもつ。

しかし基となる地形図の縮尺が小さいため幅員3.0m以下の道路がデータ作成時に省略されているという制約がある。実際に高速道路、国道、その他一般道の道路延長を道路統計年報^{5), 6), 7)}の実延長と比較したところ、統計値に対する比率は高速道路が102%、国道が92%、その他一般道が14%となった。このように道路種別によりGISデータ整備の程度は異なる。高速道路については、道路統計年報の事業量データに含まれていないため、GISデータを着工量推計のベースとした。

b) 道路建設資材ストック量の推計

前項で述べた道路網GISデータを用いて道路構造物の物質質量推計を行った。まず各道路の延長と幅員の属性情報から規模(面積)を計算する。次に幅員および建設年次に対応する資材投入原単位を乗じることで推計した。また道路網GISデータと行政区やメッシュなどのポリゴンをオーバーレイすることで任意の空間単位で推計を行うことが可能である。道路構造物の舗装にはアスファルト舗装とコンクリート舗装があるが、GISデータではそれらの区別が困難なため、トンネルのみをコンクリート舗装と仮定し、その他はすべてアスファルト舗装と仮定した。推計には以下の式を用いた。

$$MS_y = \sum L_i \times W_i \times MI_y \quad (2a)$$

$$(S.Y_i < y < E.Y_i) \quad (2b)$$

ここで、 MS_y はy年における道路物質ストック(t)、 L_i は道路iの道路延長、 W_i は道路iの幅員(km)、 MI_y はy年における道路資材投入原単位(t/km^2)、 $S.Y_i$ は道路iの発生開始属性(年)、

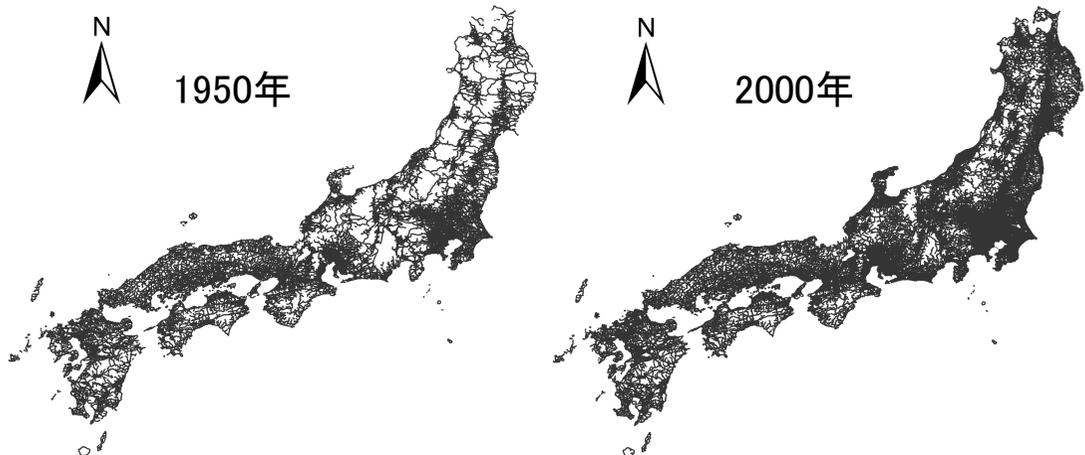


図-2 日本の道路網の変遷 (GIS 道路網データ)

E_i は道路*i*の消滅確定属性（年）を表す。

c) 道路着工量の推計

道路統計年報^{9) 7)}の事業量のデータには高速道路のデータは収録されていない。そこで高速道路の着工量の推計はGISデータを用いて行った。推計方法は前項と同じく原単位法である。まずGISデータは建設年次の属性情報を持つので、当該年と建設年次が同じ道路のみを抽出する。そして抽出した各道路の規模（面積）を計算し、原単位を乗じ集計することで、当該年の着工量とした。

推計には以下の式を用いた。

$$MF_y = \sum L_i \times W_i \times MI_y \quad (3a)$$

$$(S.Y_i = y) \quad (3c)$$

ここで、 MF_y は*y*年における着工量(t)、 L_i は道路*i*の道路延長、 W_i は道路の幅員(km)、 MI_y は*y*年における道路資材投入原単位(t/km^2)、 $S.Y_i$ は道路*i*の発生開始属性（年）を表す。

(3) 道路資材投入原単位

道路構造は一般に高級舗装と簡易舗装に分けられ、それぞれアスファルト舗装要項や簡易舗装要項により、構造決定までの過程が細かく提示されている。道路構造を決定する大きな要因はCBR（路床支持力）、計画交通量であるが、個々の道路に対してこれらの情報を入手することは非常に困難である。そこで坂本ら¹¹⁾は舗装業者へのヒアリング調査をもとに決定したCBRの値から求めた舗装厚を利用し、この舗装厚と $1m^3$ あたりの単位重量をもとに高級アスファルト舗装、簡易アスファルト舗装、コンクリート舗装に分類し、構造別に資材投入原単位の推計を行った。しかし構造物の経年変化については考慮されていないため、稲津ら⁴⁾は道路構造ごとにアスファルト舗装要綱(1961-1994)、セメントコンクリート舗装要綱(1972,1984)、簡易舗装要綱(1964,1970,1979)により構造が制約されており、交通量の増加とともに改正され、資材投入量が増加する傾向にあることから、法律や要綱が変更および改訂された年代ごとに一般的に使用される図面を

もとに資材投入原単位の推計を行った。（表-1）

本研究では稲津らにより推計された年代別道路資材投入原単位を用いて道路建設資材ストック、着工量の推計を行った。

(4) 砕石統計年報

砕石統計年報^{12) 13)}は砕石業を営む企業に属する事業所について、骨材の生産および需給の実態を把握することにより、行政上必要とする基礎的資料の作成を目的として昭和52年(1977年)に調査が開始され、平成19年より砕石等統計年報と改称された。調査の対象となるのは石灰石・ケイ石・ドロマイトの砕石を行っている全国の事業所および砕石業を営む企業のうち再生骨材を製造する事業所で、約1,300の事業所である。調査事項の1つに出荷先都道府県別内訳（道路用・コンクリート用・その他用）別出荷量がある。本研究ではそのうち1981年から2008年における都道府県別の道路用砕石出荷量を整理し利用した。

3. 道路建設資材量の推計結果

(1) 道路建設資材ストック量の推計結果

GIS道路網データを利用した道路建設資材ストック量

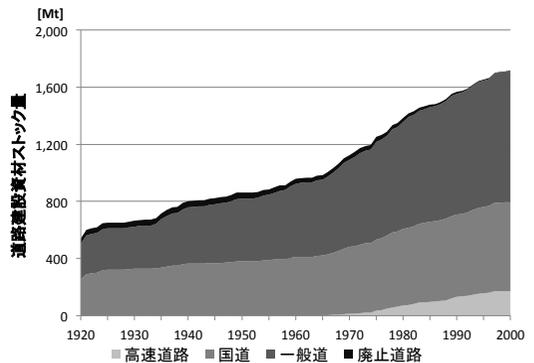


図-3 道路建設資材ストック量の変遷

表-1 道路資材投入原単位(kg/m²)

出典：稲津ら(2009)

舗装区分	道路区分	地上・地下	資材1/年次	～1950	1961	1964	1967	1970	1972	1975	1978	1979	1984	1988	1994	
簡易アスファルト舗装	市町村道 (幅員<5.5m)	地上	アスファルト			35.3	→	35.3	→	→	→	47	→	→	→	
		地下	骨材		223.4	→	→	311.8	→	→	→	→	311.8	→	→	→
高級アスファルト舗装	一般道 (5.5m≦幅員<13m)	地上	アスファルト		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5	
		地下	アスファルト		117.5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
		地上	骨材		549.1	→	825.1	→	→	→	928.1	→	→	928.1	928.1	
		地下	骨材		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5	
	一般道 (13m≦幅員<19.5m)	地上	アスファルト		117.5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100.5	100.5
		地下	アスファルト		117.5	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
		地上	骨材		701.2	→	1035.1	→	→	1035.1	1035.1	→	→	1144.1	1144.1	
		地下	骨材		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5	
国道・一般道 (幅員≧19.5m)	地上	アスファルト		117.5	→	100.5	→	→	100.5	100.5	→	→	100.5	100.5		
	地下	アスファルト		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5		
	地上	骨材		938.4	→	1293.1	→	→	1293.1	1396.1	→	→	1518.1	1518.1		
	地下	骨材		117.5	→	117.5	→	→	117.5	117.5	→	→	117.5	117.5		
高速道路	地上	アスファルト		117.5	→	100.5	→	→	100.5	100.5	→	→	100.5	100.5		
		骨材		938.4	→	1522.1	→	→	1522.1	1459.1	→	→	1770.1	1770.1		
	地下	アスファルト		117.5	→	100.5	→	→	100.5	100.5	→	→	100.5	100.5		
		骨材		938.4	→	1522.1	→	→	1522.1	1459.1	→	→	1770.1	1770.1		
コンクリート舗装	全ての道路	地上	セメント						571.4	→	→	→	571.4	→	→	
		鉄							3	→	→	→	→	→	→	
		地下	骨材						729	→	→	→	935	→	→	

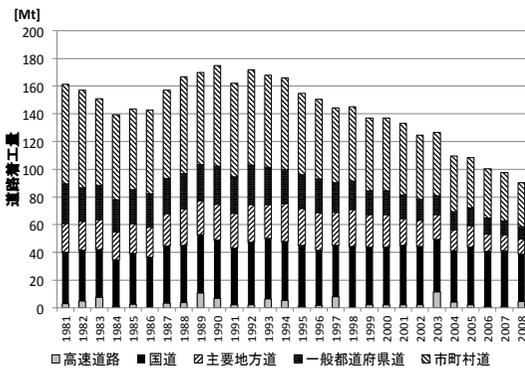


図-4 道路着工量の変遷

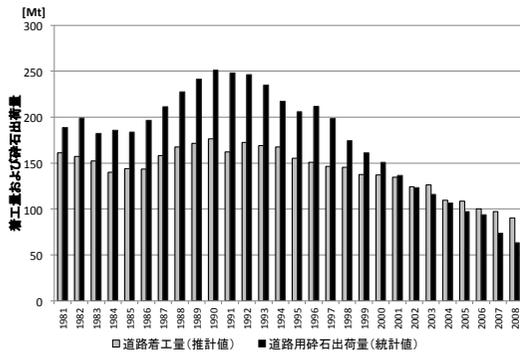


図-5 道路着工量及び道路用砕石出荷量の比較

の推計結果を図-3に示す。推計の対象は1920年から2000年における北海道を除く全国である。その結果、1920年で5.4億トン、1960年で約9.6億トン、2000年では約17億トンとなった。このように日本における道路建設資材ストックはこれまで蓄積傾向にあり、特に高度経済成長期以降、高速道路の建設も始まり急激に増加していることがわかる。また長岡ら³⁾による道路統計年報^{5) 6) 7)}の統計情報を利用した道路建設資材ストック量の推計値と比較した結果、2000年においてGISデータを利用した場合が約17億トン、統計情報を利用した場合が約33億トンであり過小となった。これは2章で前述した通り高速道路、国道以外のその他一般道のデータ量が不足しているためであると考えられる。

(2) 道路着工量の推計結果

道路統計年報^{5) 6) 7)}の道路事業量データを用いて一般国道、主要地方道、一般都道府県道、市町村道の着工量を、GIS道路網データを用いて高速道路の着工量を推計した結果を図-4に示す。推計の対象は1981年から2008年における北海道を除く日本全国である。その結果、1986年から着工量は減少から増加に転じ、1990年にピークを迎え約1.8億トンとなり、その後再び減少に転じ2008年には約0.9億トンとなった。また高速道路の着工量については、

年次によって推計値に大きなばらつきが出る結果となった。

(3) 道路着工量と道路用砕石出荷量の比較

前項で示した着工量の推計値と砕石統計年報^{12) 13)}による道路用砕石出荷量との比較を図-5に示す。比較の対象は1981年から2008年における北海道を除く全国である。その結果、増減の傾向は概ね似たものとなった。しかし、値の比較については2002年から2008年ではわずかに着工量の推計値の方が大きくなったが、その他の年次では着工量の推計値が過小となった。特にピーク時の1990年では、推計値が約1.8億トンであるのに対し、砕石出荷量は約2.5億トンとなった。

過小となってしまった原因の一つとして、着工量の推計に用いた道路統計年報^{5) 6) 7)}と道路用砕石出荷量のデータ元である砕石統計年報で扱う道路の違いが挙げられる。2章(1)節a)項で述べたように、道路統計年報で扱う道路は道路法で定義される道路のみであり、私道、港湾道路、農道、林道などは含まれていない。また着工量の推計に対して道路統計年報の道路事業量データを利用したが、これには幅員の情報が含まれていない。そのため今回は仮定により幅員を与えており、推計結果への影響も少なからず考えられる。そして原単位もその値によって推計結果が大きく左右されるため、重要な要因として考えられる。

4. おわりに

本研究では、道路構造物に着目し、道路網の地理空間情報を格納したGISデータおよび道路統計年報による統計データを利用した建設資材ストック量および着工量を推計し、着工量と砕石統計年報による道路用砕石出荷量を比較することでその妥当性の評価を行った。

その結果、GISデータを用いて推計した建設資材ストック量については、高度成長期以降急激に蓄積量が増大したことがわかった。しかし、道路統計年報による統計情報を利用した推計値との比較では、2000年における北海道を除く全国でGISデータを利用した場合が過小となった。その原因として市町村道および県道のデータ量の不足が考えられるが、高速道路、国道については十分なデータ量を有しているため、これらの道路に着目した大局的な分析に対しては有用であるといえる。

また、統計情報およびGISデータを用いて推計した道路着工量と砕石統計年報による道路用砕石出荷量の比較については、増減の傾向は概ね似たものとなったが、推計値は1981年から2001年において統計値に対して過小となった。その原因として道路統計年報と砕石統計年報で

扱う道路の違いや幅員の値に仮定を用いていること、また原単位の影響などが挙げられる。

本研究では推計値と統計値が似た傾向を示した点において、統計情報あるいは地理空間情報を用いた原単位法による建設資材ストック量推計の手法について一定の有効性を示せたといえる。しかし、推計値自体の有効性を精緻に評価していく上で、前述した要因による推計幅の検討、他の統計との比較を今後更に行っていく必要がある。

謝辞：本稿は、環境省地球環境研究総合推進費（S-6-4）、文部科学省グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス(GRENE)事業の一環によって行われたものである。記して感謝する。

参考文献

- 1) 環境省：環境白書，日本のマテリアルフロー，pp.213, 2011.
- 2) Seiji HASHIMOTO, Hiroki TANIKAWA, Yuichi MORIGUCHI, 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.
- 3) 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23, pp.83-88, 2009.

- 4) 稲津亮, 谷川寛樹, 大西暁生, 東修, 石峰, 井村秀文：複数年の空間情報を用いた都市重量の変化に関する研究—建築物・道路を対象とした和歌山市中心部でのケーススタディー，環境情報科学論文集23, pp.89-94, 2009.
- 5) 建設省道路局企画課：道路統計年報，建設省道路局企画課，1982, 1983.
- 6) 建設省道路局企画課：道路統計年報，全国道路利用者会議，1984-2000.
- 7) 国土交通省道路局企画課：道路統計年報，全国道路利用者会議，2001-2010.
- 8) 明野和彦, 星野秀和, 安藤暁史：旧版地図を利用した時空間データの試作，国土地理院時報，No.99, pp.89-102, 2002.
- 9) 国土地理院，20万分の1地形図，1905-2008.
- 10) 国土地理院，数値地図200000 日本-II・日本-III, 2008.
- 11) 坂本辰徳, 谷川寛樹, 橋本征二, 森口祐一：地域マテリアルフロー推計に用いる都市構造物の資材投入原単位と耐久年数の推計，環境情報科学論文集18, pp.271-276, 2004.
- 12) 経済産業省：砕石統計年報，1981-2006.
- 13) 経済産業省：砕石等統計年報，2007, 2008.

(2012.7.18受付)

ESTIMATION AND EVALUATION OF MATERIAL STOCK USING STATISTICAL AND GEOSPATIAL INFORMATION -A CASE STUDY OF ROAD INFRASTRUCTURE-

Yohei HAYAKAWA, Ji HAN, Hiroaki SHIRAKAWA, Hiroki TANIKAWA

This research is focused on road infrastructure. We estimated material stock and flow inputs for road construction using statistical and geospatial data and evaluated its validity by comparing resulted trends with statistical data which is the amount of crushed stone used in road construction. The target area is the whole Japan except Hokkaido and study period is from 1981 to 2008. Results show that the trend of changing of estimated construction amount and the amount of crushed stone used in road construction is quite similar. Nevertheless, estimated value is less than statistical one. Especially in 1990, estimated value is about 180 million ton and statistical one is about 250 million ton.