

都市建設に関連するマテリアルストック分析 における地理情報システムの活用

谷川 寛樹

正会員 和歌山大学准教授 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: tanikawa@sys.wakayama-u.ac.jp

都市のマテリアルストック分析を行う際、地理情報および履歴情報を地理情報システム (GIS) に入力することにより可能になる事象を整理し、今後、地域のGISデータベースの整備が進んだ際に可能となる分析を提案することを目的とする。具体的には、1) 経年的な都市ストックの推計手法、2) 物質滞留年数の地理分析手法、3) 代謝パターン推計による廃棄物発生量の予測、について具体的な事例とともに整理を行う。その結果、今後のGISデータの整備とともに可能になるマテリアルストック分析とその手法を明らかにする。

Key Words : *Material Flow/Stock Analysis, Accumulation, Life time, Building, Infrastructure*

1. はじめに

我が国の平成16年度における直接物質投入量19.4億トンのうち、約半分にあたる8.3億トンが建築物や社会インフラストラクチャーといった耐久財として社会に蓄積されている¹⁾。直接物質投入量に対する蓄積純増の割合は、ここ20年間ほどで若干減少しているものの、ほぼ半分程度で推移している。一方、廃棄物の発生量は若干増加傾向にあるものの、6億トン弱で推移している。つまり、社会の物質バランスとしては蓄積傾向にあり、将来、廃棄物としてフローを引き起こす可能性のある耐久財が社会に滞留していることが分かる。Brunner(2004)²⁾は、一旦社会に投入された物質は冬眠 (Hibernate) していることを指摘している。さらに橋本ら(2006)³⁾は、国レベルのマテリアルフロー分析 (Economy Wide MFA, EW-MFA) に加え、蓄積・冬眠している潜在的な資源の動向について分析を行うために物質ストック勘定 (Material Stock Account: MSA) 体系の構築に向けて基礎的な検討を行っている。物質ストックは、潜在的な資源もしくは潜在的な廃棄物であるため、廃棄物の適正管

理、資源の有効利用、廃棄物の再資源化、といった観点から、物質ストックの定量化は重要である。

一方、“潜在的な”廃棄物の適正管理、“潜在的な”資源の有効利用、“潜在的な”廃棄物の再資源化を具現化し、施策として実現するためには、現実社会での物質ストックの定量化が不可欠である。地域社会において、物質ストックの地理情報とともに投入・蓄積・排出履歴が明らかになれば、今後排出される可能性のある資源量を考慮し、施策に活かすことが可能となる。現在の物質循環に関わる地域環境行政は、公害防止や廃棄物処理、リサイクル促進が中心であるが、物質ストックの把握によりこれらの施策を地域の情勢に合わせ戦略的に組み合わせることができる。

さらに、地理情報システム (Geographical Information System: GIS) の普及とともに、地方公共団体においても、固定資産管理部局や建設部局を中心にGISデータが整備されつつある。しかし市内のGISデータは各部局・各課が独自に保有・利用している場合が多く、当初の目的以外の利用に使われることは少ない。しかし、物質ストックを把握する上で必要となる地理情報の整備は着実に進んでお

り、今後のGISデータの更新とともにその利用可能性はますます高まると考えられる。また、地理空間情報活用推進基本法（2007年5月30日公布、同年8月29日施行）の推進を背景に、同法律により地方公共団体の空間情報の整備・利活用に関する責務が明記されており、社会へ空間情報の普及が加速すると考えられる。

地域社会において物質ストックの地理情報を把握することは、将来の廃棄物計画や持続可能性を考慮する上で必要不可欠である。地理情報により「どこ」に「どのような」物質が「どのくらい」滞留しているのか把握し、これまでの投入・排出履歴を把握することで、資源・資材の滞留年数についても考慮することができる。そこで、本論では、都市・地域の建設資材に関連したMSAを行う際、地理情報および履歴情報をGISに入力することにより可能になる事象を整理し、今後、地域のGISデータベースの整備が進んだ際に可能となる分析を提案することを目的とする。具体的には、都市の空間情報整備の歴史や普及状況を明らかにしながら、1) 経年的な都市ストックの推計手法、2) 物質滞留年数の地理分析手法、3) 代謝パターン推計による廃棄物発生量の予測、について具体的な事例とともに整理を行う。

2. 都市の空間情報整備の沿革

都市建設に関連した物質ストックをGISを用いて定量化するためには、都市構造物の形状およびその属性を把握することが必要である。また都市構造物の滞留年数は一般の耐久消費財に比べても長いいため、長期での投入・排出履歴を調査する必要がある。そのため、必要とされる都市の空間情報は日本の構造物の耐用年数を考慮して過去数十年から百年ほどが必要となる。本章では、主に日本における過去および現代の空間情報整備状況と入手・利用可能性を整理する。

(1) 紙媒体による都市の空間情報

日本地図は江戸時代中期1779年に緯度経度の記載が入った「改正日本輿地路程全図」（通称：赤水図、縮尺約1/130万）が長久保赤水により刊行されている。その後、伊能忠敬らが1800年から21年の歳月をかけて「大日本沿海輿地全図」を測量調

査・編纂し、縮尺が1/36000と精度の高い日本地図を構築している。当時の沿岸部・都市部の地形をはじめ、主要街道の位置等を知ることができる⁴⁵⁾。江戸後期になると都市内の詳細な地図も製作されるようになり、主要都市では、中心市街地の絵図も精度が増し、現在の都市内の様子と比較することができ、これらは地域の博物館や地方公共団体の文書所蔵館等に保管されていることが多い。数多く残る当時の町の様子を描いた絵図等を合わせて参照することで、当時の物質ストックの様子を推測することが可能である。

明治・大正期になると、政府により近代的な1/50000地形図の作成が行われるようになり、1890年（明治23年）から整備が進められ1916年（大正5年）に日本全国の地形図が作成された。1/50000地形図を用いて都市の様子を見ると、主要建物の概形は描かれているものの、市街地は斜線で記されており、すべての建物の概形を知ることにはできない。道路については精度は低いものの幅員も推測できるが生活道路等、幅員の狭い道路については記載されていない。

1910年（明治43年）になると1/25000地形図が国土の基本図となるようになり、1/50000地形図に比べると都市の建築物や道路の情報は細くなった。しかし、主要な建物を除く市街地は斜線で記されており、本地形図のみで、物質ストックの推計を行うことは困難である。

空中写真が本格的に整備されたのは1947年（昭和22年）米軍撮影によるものである。空中写真を用いることで地上建築物の高さ情報や道路の幅員等、様々な都市の空間情報を知ることができる。上記の1/25000地形図に加え航空写真を利用できれば、大まかな都市の物質ストックの推計を行うことが可能となる。現在の1/25000地形図は国土地理院が航空写真測量を用いて製作している。

市町村の基本図となる1/2500基本図・都市計画基本図の整備時期は都市により違いがあるものの、1961年（昭和36年）頃から作られるようになっており、市町村の都市計画部局で入手可能な場合がある。市町村によっては保管スペースに限りがあるため処分もしくは紛失されている場合も多い。この1/2500基本図と航空写真との組み合わせにより、都市の詳細な様子を知ることができる。

ちなみにイギリスでは、都市によっては1800年頃より1/2500基本図の入手が可能である。イギリ

表-1 建設ストックに関連した地域MSAに利用可能な基本地図

地図情報名	作成者	刊行年	縮尺	媒体	都市詳細情報 建築物・道路開道	地域MSA への利用	備考
改正日本輿地路程全図	長久保赤水ら	1779年	約1/130万	紙	全国図	×	
大日本沿海輿地全図	伊能忠敬ら	1821年	1/3.6万	紙	地形、主な街道	△	1821年は完成した年。参考文献4), 5)
各藩による都市絵図・古地図	各藩	1800年頃	-	紙	建物概形、道路	△	幾何補正が必要であるが、古地図のため、位置関係が正確とは限らない。
1/50000地形図	国土地理院	1890年より現在	1/5万	紙・CD	主要建築物概形、主要道路	△	込み入った市街地は斜線で記されているため、別途資料が必要。
1/25000地形図	国土地理院	1910年より現在	1/2.5万	紙・CD	主要建築物概形、主要道路	△	込み入った市街地は斜線で記されているため、別途資料が必要。
空中写真	米軍、国土地理院	1947年より現在	-	紙・CD	建物階数高さや道路幅員が把握可能	○	過去の情報については、都市、場所により整備されている。
1/2500基本図	各地方公共団体	1961年より現在	*1/2500	紙・CD	建物形状、道路形状等属性情報が詳細	○	各地方公共団体の都市計画課、または固定資産管理課等がDM形式で所有していることが多い
数値地図25000	国土地理院	1997年より現在	1/2.5万	紙・CD	主要建物形状、主要道路幅員属性が入手可能	△	参考文献11)
数値地図2500	国土地理院	1997年より現在	*1/2500	紙・CD	主要建物形状、主要道路幅員属性が入手可能	△	参考文献11)
住宅地図、Z-map townsll	ゼンリン	1952年より現在	*1/1500-	紙・CD	建物形状・階数(商業・集合住宅)、道路幅員	○	参考文献12), 14)
Mapple, Mapple デジタル	昭文社	より現在	*1/2500-	紙・CD	建物形状・階数(4F以上)、道路幅員	○	参考文献13, 14)

ス陸地測量部(Ordnance Survey)により1894年頃出版された1/2500基本図が残されており、現在ではHistoric Digimapとしてスキャンした基本図(ラスターデータ、画像データ)がインターネットを通じて入手可能である⁶⁾。

(2) デジタル媒体による都市の空間情報

日本全体における細密な空間情報の整備は、昭和40年代から進められ、現在ではデジタルデータとして利用することが可能になっている。メッシュを用いた地域の統計情報は、昭和40年以降、国勢調査や事業所統計調査に合わせて作成されており⁷⁾、最新のものはデジタル化されGISで利用可能な形式でオンラインで入手可能である⁸⁾。また、同サービスでは市町村および統計区の境界線のベクトルデータ(地物を点・線・面のベクトルで表現したデータ)も配布されており、利用価値の高いものである。メッシュの土地利用やベクトルデータの河川、道路などを含む国土数値情報は、昭和49年より旧国土庁が整備を進め、現在ではオンラインでデータが入手可能である⁹⁾。最新情報の定期的な更新は少なく、データの変換等を通してGISでの利用が可能となる。上記の空間情報は都市内部の概形(建築物形状や道路幅員等)を把握することは不向きであるが、都市の社会的側面を表す情報として利用価値が高い。

一方、都市内の建築物の形状や道路幅員等、都市の物質ストック推計につながる情報が把握できるデジタルデータの整備は、GISの普及に伴い1990年代以降進められてきた。地方公共団体では都市計画部局が紙媒体の1/2500都市計画基本図をGISデータとして更新しつつある。上下水道部局も詳細な配管計画・管理のために、1/500程度の精度を持つ大縮尺地図をGISを用いて導入する自治体も増えている。また、固定資産管理に関係する部局では、固定資産管理業務自動化のため、空中写真閲覧機能を付加し同業務に特化したGISを導入する事が多い。自治体によっては各部局のGISデータ導入時に統合しコストの削減を行っている場合もあるが、GISデータを必要とする部局が独自の予算で整備するケースが多い。その場合、データやシステムを製作・納入する企業が独自のシステムを採用することもあり、他のシステムとの統合は困難である。データのフォーマットに関しては、国土交通省国土地理院より地理情報標準フォーマット¹⁰⁾が示されており、DM(Digital Mapping)形式、もしくは拡張DM形式にて各部局に納品されるため、汎用GISにて変換後に利用可能である。

一般に入手しやすい都市空間情報として国土交通省国土地理院による数値地図(空間データ基盤)¹¹⁾があげられる。すべての建物の属性情報は入っていないものの、道路の幅員等の属性情報は含まれているため、都市空間のデータベースを構築する際の

基本図としての利用価値は高い。これらの数値地図は都市により発刊時期に差があるものの、古いもので1997年より刊行されている。

民間では、住宅地図製作会社が独自の調査を元に住宅地図を製作していたが、これらをGISでも利用できる形式にて販売している¹²⁾¹³⁾。建築物の形状や階数、道路幅員等の情報が入手できるため、地方公共団体において詳細な空間情報の整備がなされていない場合、これらの地図をベースに分析を進めることが可能である。日本におけるGISソフトウェアやデータの整備・販売状況については、文献14)を参照されたい。

また、前述の通りイギリスでは過去の1/2500基本図がラスターデータとして入手可能であるが、現在のデータに関しては、1/2500基本図ベースのGISベクトルデータが入手可能である⁹⁾。

3. 都市の空間情報を用いたマテリアルストック分析の可能性

第2章では、都市空間情報整備の沿革とそれらの入手可能性、マテリアルストック分析における利用可能性について整理した。本章では、今後整備がさらに進むと考えられる都市の空間情報を用いてどのようなマテリアルストック分析が可能となるのか提案するとともに、いくつかの研究事例を示す。

(1) 1時点の詳細な都市空間情報を用い可能になるマテリアルストック分析

1時点での詳細な都市のGISデータが揃っている場合、以下のMSAに関する解析が可能となる。

a) 資源ストックの推計と分布：空間分析

都市における建築物や道路、その他インフラストラクチャーの属性情報を含むGISデータを用いることで、その時点での物質ストックを推計することができる。ここでいう属性情報とは建築物の規模や構造、建築年、道路の幅員や計画交通量、上下水道管の敷設深や管径・管種などの情報である。これらの属性情報に適合するよう資材投入原単位を整備することで、各構造物の物質ストックを推計することが可能となる。この推計により、都市・地域においてどのような種類の物質（建設資材）がどのくらい蓄積されているのか知ることができる。さらに、GISを用いて分析を行っているため、都市の各エリ

アごとに資材投入・蓄積の特徴を地理的特徴とともに把握することができる。

$$Stock = \sum_n \sum_i (\gamma^{(n)} S_i^{(n)}) \quad (1)$$

ここで、Stock:評価対象都市内における施設種 n （施設種とは建築物、道路、上下水道等）の資材蓄積量、 S :施設種 n の構造物 i の規模（面積または延長距離）、 γ :建設資材投入原単位である。

GISデータの整備が1990年代前半から進んでいた北九州市を対象に行った事例研究¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾では、物質ストックとともにエネルギー投入についても推計し、都市全体の建築物のマテリアルストックが56百万トン、道路が22百万トン、下水道が2百万トンのストックがあることが分かった。また、物質ストックの分布についても知ることができるため、近い将来発生する建設副産物の対策を考慮する上で貴重な資料になると考えられる。この種の推計は、詳細な都市空間情報を有する多くの地方公共団体で可能である。

b) 地域メッシュ統計との連携による指標

資材ストックを推計し、GIS上で国勢調査結果や事業所統計調査⁹⁾と重ね合わせることで、一人あたりのマテリアルストックやストック密度など推計することができる。また、GIS上で様々な主題図と重ね合わせることが可能となるため、例えば防災関連情報の震度予測図とマテリアルストック推計結果図、各構造物の耐震性能とを重ねて表示すると被害規模の予測や防災復興のための資源流動を予めシミュレートすることができる。また、普段気にすることのない社会インフラや都市の重さ（Weight of the Cities）について推計することができ、環境教育の一材料として活用することができる。

北九州市を対象に行った事例研究¹⁵⁾¹⁶⁾では、マテリアルストックの推計結果と交通量や人口などの社会情報を重ね合わせることで、サービスあたりの物質投入量（Material Input per Unit of Service: MIPS）という概念を用いて、物質投入（蓄積）とそれによるサービス量とを比較し、物質投入の効率性について推計を行っている。

c) 地下ストックおよび未回収資材量の推計

建築物やインフラストラクチャーの更新・撤去を行う際、一般的に地上より地中に埋まっている部分の処理は難しい。一例を挙げると、土地の所有者が変わらず老朽化したビルが駐車場になるような場

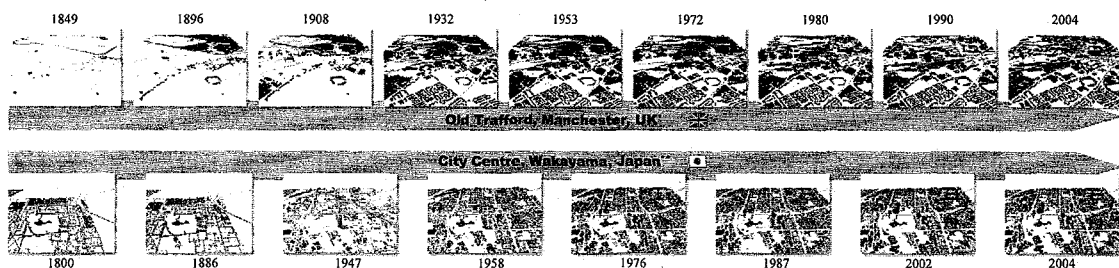


図-1 時系列の都市空間情報の構築例（上：英国マンチェスターOld Trafford地区，下：和歌山市中心部）

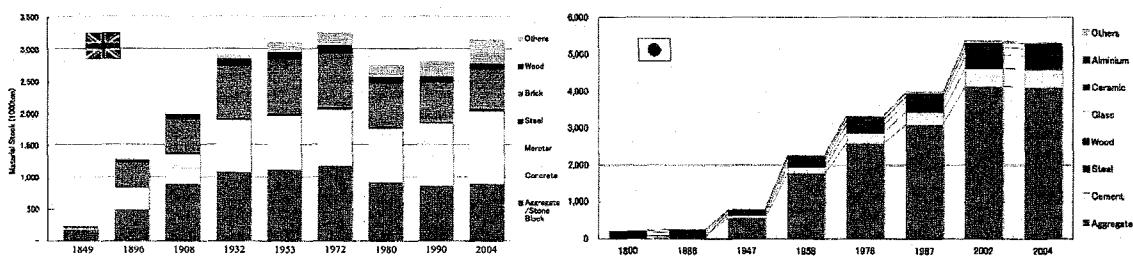


図-2 建設資材物質ストックの変化（左：英国マンチェスターOld Trafford地区，右：和歌山市中心部）

合、地下にあった基礎部分や基礎杭といった構造物が取り残されることもある。また、東京のような大都市の中心部では、高層ビル同士が近接しているため、建て替えの際、隣接する高層ビルの基礎を保護するため、既存の基礎を残したまま、新しいビルを建設することもある。

詳細な都市の空間情報に基づくマテリアルストック分析を行えば、構造物の建設年代、規模、構造などの属性情報を元に地中部分のストックを推測することができる。特に建築物は建築基準法により基礎や基礎杭の詳細が決められているため、構造物の属性情報が充実していれば地下ストックおよび未回収となりうるストックの量を推計可能である。

事例研究¹⁸⁾では、和歌山市中心部の建築ストックを対象に、地上と地下のストックに分けて推計を行っている。このような地下のストックの推計を行うことで、都市の被覆および地下がコンクリートに変化してゆくことを表す“都市石化指数”の分布を推計でき、都市気象やヒートアイランド現象の解明に資する可能性もある。

（2）都市空間情報の蓄積に伴い可能となる分析

今後、地理空間情報活用推進基本法の後押しもあり、継続的な都市空間情報の整備が行われてゆくことは確実である。本節では、都市空間情報が複数年分蓄積されるであろう近い将来、どのようなストック分析が可能となり、社会にどのようなメリットを提供するのか示しゆきたい。

a) 経年的な分析：空間時系列分析

2章にて、これまで整備されてきた都市空間情報について整理したが、過去の情報を活かし、今後整備する情報と併せて様々な分析を行うことが可能となる。その一つに、空間的な時系列分析をあげることができる。3 (1) b)で述べた単年度のストック分析が蓄積されると都市のエリアごとの物質ストックの増減を把握することが可能となる。また、社会統計情報と合わせることで、社会の変動と物質ストックの推移、排出物の発生予測等につなげることができる。2020年以降になると、蓄積される都市空間情報も複数年分になると考えられ、この情報を活用する分析が多く見られると考えられる。

事例研究として、約200年間の都市の変遷からマテリアルストックを推計したものを図-1に示す。基礎となる空間情報取得に恵まれた2都市を対象とした。一つはイギリス・マンチェスターであり、同市は全域において1850年頃から1/2500基本図の整備を進めており、ベクトルデータにはなっていないものの、スキャンングすることで十分ベクトルデータの作成が可能であった。データベース構築を行った面積は7.5km²である。もう一つの都市は和歌山市中心部であり、徳川御三家として江戸時代から急速に発展したエリアである。対象面積は4.5km²である。このGISデータベースを用い、建築物、道路、鉄軌道の物質ストックを建設資材別に推計した結果が、図-2である。これらの結果より当該地区の物質投入・蓄積・排出履歴を把握できるとともに、後述

にもある通り、近い将来のストック起源の排出量の推計に用いることができる。また、地区内のどのエリアへの投入・蓄積が多いか地理的特性とともに把握できる。

b) 時系列空間情報を用いた耐久年数の推計

建設廃棄物の将来予測を行う際、構造物の耐用年数の設定は重要なファクターである。予め構造物の耐用年数を設定し分析を行うよりも、対象地区の特性を考慮し、特徴のあるエリアごとに耐用年数（使用年数もしくは滞留年数）の推計を行う方が実情に即している。具体的に構造物の滞留年数をその廃棄理由から考慮すると、物理的な理由（構造物自体が利用不可能）により廃棄される“耐久年数”と、社会的な理由（土地の利用目的の変化）により廃棄される“使用年数”に分類できる。時系列の空間情報を用いることで、同種・同規模の構造物であっても地理的位置による耐用年数の違いを抽出可能である。図-1のような時系列の空間情報の整備が進めば、“単純な”耐用年数ではなく、空間的要素も含んだ耐用年数の推計が可能になる。

4. まとめ

本研究は都市建設に関わるマテリアルストック分析を行うために、都市空間情報の整備・入手状況の整理を行った上で、今後整備が進むと考えられる都市内の詳細な空間情報を用いた際に可能となるマテリアルストック分析について提案を行った。今後は列挙した可能性を実現化してゆきたい。

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。

参考文献

- 1) 環境省：平成19年度版 環境・循環型社会白書，2007。
- 2) Brunner, P.H.: Material flow analysis and the ultimate sink, *Journal of Industrial Ecology*, 8(3), pp.4-7, 2004.
- 3) 橋本征二，醍醐市朗，中島謙一，布施正暁，村上進亮，横山一代，山末英嗣，玉城わかな，谷川寛樹，梅澤修：物質ストック勘定（Material Stock Accounts）体系の構築に向けた基礎的検討，第17回廃棄物学会研究発表会講演集，2006。
- 4) 日本地図センター：伊能大図総覧（上）（下），河出書房，2006。
- 5) 国土交通省国土地理院：伊能大図彩色図，<http://www.gsi.go.jp/>
- 6) University of Edinburgh: EDINA map and data place, <http://edina.ac.uk/maps/>
- 7) 総務省統計局：地域メッシュ統計，昭和40年-平成17年
- 8) 総務省統計局：統計GISプラザ，<http://gisplaza.stat.go.jp/GISPlaza/>
- 9) 国土交通省国土計画局：国土数値情報，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 10) 国土交通省国土地理院：地図情報レベル2500データ作成の製品仕様書（案），2004。
- 11) 国土交通省国土計画局：数値地図2500（空間データ基盤），数値地図25000（空間データ基盤）
- 12) ゼンリン：Zmap 地図データベース，2007。
- 13) 昭文社：MAPPLEデジタルデータ，2007。
- 14) 日本建設情報総合センター：GISデータブック-日本の地理情報システムの紹介，2005
- 15) 谷川寛樹，松本亨，井村秀文：都市構造物に関連したマテリアルストックの推計・評価に関する研究，土木学会環境システム研究，Vol.27, pp.347-354, 1999。
- 16) 谷川寛樹，井村秀文：都市建設にともなう総物質必要量の定量化と評価に関する研究-住宅地整備のケーススタディ-，土木学会論文集，No.671/VII-18, pp.35-48, 2001。
- 17) 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，No18, pp.271~276, 2004。
- 18) 稲垣さや香，谷川寛樹，橋本征二：建築物解体時における未回収建設資材の推計に関する研究，土木学会環境システム研究発表会講演集，No.34, pp.291~296, 2006。

UTILIZATION OF GIS DATA FOR CITY-SCALE MATERIAL STOCK ANALYSIS RELATED TO CONSTRUCTION SECTOR

Hiroki TANIKAWA

Sustainability and dematerialization is the key factor of urban / regional environment planning. Construction sector use more than half weight of material input to Japanese society. Successive estimation of Material Stock of city/region leads to clarify level of sustainability and dematerialization. This paper shows future contribution of GIS for Material Stock Accounts. Material Stock of urban infrastructure were estimated using 4-D GIS (fourth dimensions geographical information systems), which includes spatial 3-D GIS with time scale. With using Historical Spatial Information, we could know 1) successive change of material stock, 2) life span of urban structures, 3) future projection of material balance of city.