

都市構造物のフロー及びストックに関する国際比較：都市レベルの資源消費効率に向けた検討
International Comparison of Stock Levels and Flows in Urban Infrastructures: An Investigation into Material
Consumption Intensity at the Urban Level

高尾 彰¹ 中山 裕文² 松本 亨³ 谷川 寛樹⁴
Akira Takao Hirofumi Nakayama Toru Matsumoto Hiroki Tanikawa

ABSTRACT: In nations such as China, where infrastructural improvement is now entering the full-scale implementation phase, it is expected that the amount of material input will exhibit a phenomenal rise. In addition, as urbanization continues and the societies and economies of Asian cities continue to shift toward mass-consumption, mass-disposal systems, this material flow is expected to have a major impact on the global environment. In this sense, it can be said that the search for a viable pattern of sustainable consumption, or a pattern of development with a "dematerialization" approach, to replace the current policy modeled after the industrialized Western nations, is an issue with global significance. This paper offers a comparative analysis of urban infrastructures in major cities in China, Japan, Korea, America and selected European nations, with the objective of analyzing the relationships between urban structures, infrastructure and material consumption in the process of economic development. Results indicate that there is an increase in urban infrastructural stock during economic growth, and that the flow growth rate tends to flatten out after a certain level of stock is reached. While residential results are quite similar for all nations surveyed, non-residential results reflect the different growth strategies adopted by each nation.

KEYWORDS: material flow analysis, material intensity, dematerialization, urban infrastructure, china

1. はじめに

都市構造物の整備と環境問題の関係は、都市構造物の整備水準（ストック）に起因する問題と、都市構造物の整備及び廃棄行為（フロー）に起因する問題に分けて考えることができる。ストックに関連する問題としては、都市構造物の整備不足によるものと、整備後に社会を規定してしまうことによる影響がある。フローによる影響としては、開発行為による自然破壊の他、大量の資源・エネルギー消費、建設廃棄物の問題が挙げられる。後者は、特に発展途上にある都市では、その発展・拡大局面において大量の資源・エネルギーが投入されることが問題となる。都市を舞台とした資源の大量消費、大量廃棄は、先進工業国の社会経済活動の根幹を成してきた。自然環境と人間活動の間での物質移動は、自然環境がもつ資源の再生能力や浄化能力をはるかに凌駕し、これが今日の多くの環境問題の本質的な原因となっていることはいうまでもない。マテリアルフロー分析（以下、MFA）は、こうした自然環境と人間活動、あるいは経済主体間の資源やエネルギー

¹ 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 Division of Urban and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyushu University

² 九州大学大学院 工学研究院環境システム科学研究センター Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University

³ 北九州市立大学助教授 国際環境工学部環境空間デザイン学科 Department of Environmental Space Design, Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu

⁴ 和歌山大学 システム工学部環境システム学科 Department of Environmental Systems, Faculty of System Engineering, Wakayama University

の流れを定量的に把握する手法として有効である¹⁾。ここで、急速な経済発展の途上にあるアジア諸国に目を向けると、住宅や都市インフラ等の整備は、先進諸国と比較するとまだ低水準にある。中国のように、インフラ整備がこれから本格化する国では、今後資源投入量が飛躍的に伸びることは容易に想像できる。また、本格的な大衆消費社会の到来を控えていることを考えあわせると、アジア諸都市のさらなる経済発展、都市化の進行に伴う物質消費は、地球環境全体に大きなインパクトをもたらす。つまり、先進工業国追随型ではない、持続可能な消費パターン、あるいは、脱物質型 (dematerialization) 発展パターンの模索は、全地球的課題といえる。MFAに関する国際比較に関しては、日本を含む先進5カ国について国レベルの比較分析^{2), 3)}が実施されているが、途上国も含めた比較分析はほとんど行われていない。さらに、生産・消費活動の中心である都市レベルの研究も重要であるが、日本の都道府県レベルを対象としたいくつかの分析事例があるものの^{4), 5)}、複数の都市を対象とした国際比較研究は行われていないのが現状である。そこで本研究では、今後も急速な経済成長と都市開発が進むと見られる東アジア、特に中国の諸都市に焦点をあて、都市の発展に伴う建築物及び都市インフラの整備、資源消費の関係について分析することを目的とする。そのために、中国のみならず、日本、韓国、欧米諸国の主要都市も含め、フロー指標とストック指標の関係性、ストック指標と経済指標との関係性等について比較分析を行う。なお、フロー指標として住宅、業務用ビル等の年間着工面積、舗装道路の年間拡張面積、ストック指標として床面積、舗装道路面積、下水道延長距離を採用する。

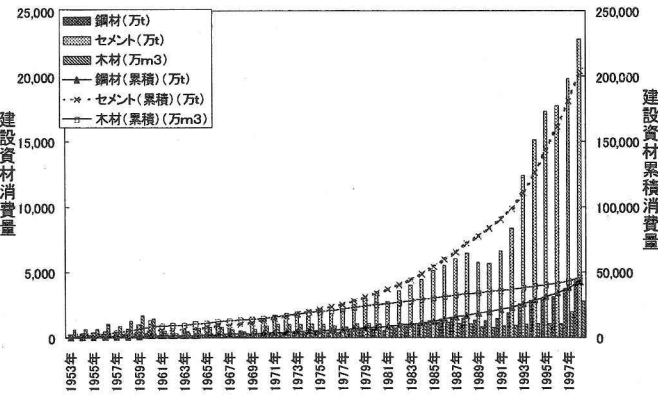


図-1 中国における建設資材の消費量
出所 参考文献 (6)、(8)、(16)、(23)

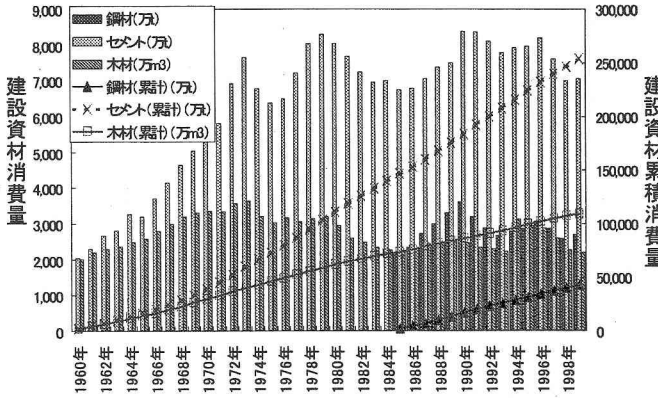


図-2 日本における建設資材の消費量
出所 参考文献 (10) ～ (13)

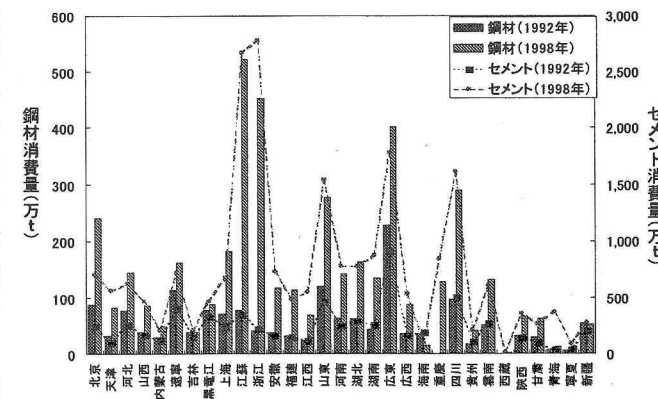


図-3 中国における省別の建設資材 (鋼材、セメント) の消費量
出所 参考文献 (7)、(16)

2. 中国における都市建設にともなう資源投入量の推移

まず、国レベル、省レベルのマクロな視点からみた建設資材消費量の経年的変化傾向について分析した。

(1) 国レベルでの建設資材消費量の推移：建設資材消費量と経済活動との関係性

図-1は、1952年～1997年における中国の建設用資材（ここでは、鋼材、セメント、木材をあげた）の消費量の推移および、1952年のストックをゼロとした場合の累積消費量を示したものである。

これをみると、70年代後半までは、鋼材、セメント、木材の累積消費量は、一定割合でほぼ直線的に増加しているが、70年代後半を境に急激な増加に転じているのがわかる。1978年以降の20年間で、鋼材は約7倍、セメントは約9倍、木材が約3倍に増加している。この時期は、改革開放政策によって中国の経済発展が開始した時期にあたり、建築物や都市インフラが急速に整備されはじめた時期でもある。この期間において、特にセメント、鋼材消費量の増加が大きいことから、改革開放政策の開始時期を境に、中国では鉄筋コンクリート造の建築物が多く建設された始めたことがうかがえる。図-2に、日本における建設用資材の年間消費量、累積消費量を示す。日本では、1960年代つまり高度経済成長期に建設資材の消費量が急増しており、その後、オイルショック、バブル崩壊時期を境に減少に転じている。これらのことから、中国、日本ともに、資材投入量と経済活動水準との間に密接な相関関係があることがうかがえる。

(2) 中国の建設資材消費量の地域的格差

図-3、4に省別に見た中国の建設資材消費量を示す。1992年から1998年にかけて、ほとんどの省で建設資材消費量が増加しているが、その中で、江蘇省では約7倍、浙江省では10倍以上に増加している。また、これに次いで山東省、広東省、四川省など、主に沿海部、長江沿岸部における増加量が大きい。その他の内陸部の省では、建設資材消費の増加量は相対的に小さく、地域的格差が広がっている。

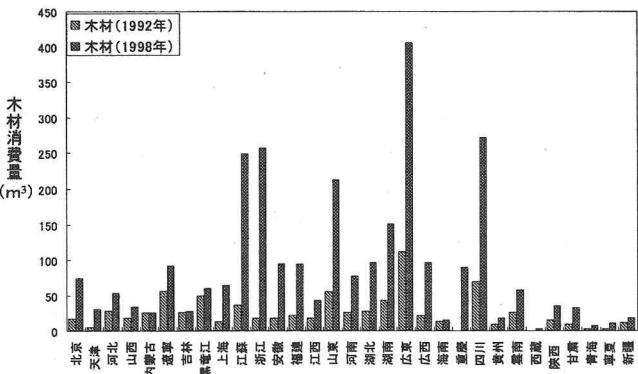


図-4 中国における省別の建設資材（木材）の消費量
出所 参考文献(7)、(16)

3. 都市構造物のフローとストックに関する都市間比較分析

次に、建築物及び都市インフラの整備状況について、中国、日本、韓国、欧米諸国の主要都市を対象とした比較分析を行った。具体的には、フロー指標として住宅、業務用ビル等の年間着工面積、舗装道路の年間拡張面積、ストック指標として床面積、舗装道路面積、下水道延長距離を取り上げ、それらの関係性や経済指標との関係性を分析した。

3.1 分析対象都市、分析データについて

本研究で対象とした都市の一覧を表-1に示す。日本は東京都区部及び政令指定都市、中国は省会都市（省政府のある都市）及び計画単列都市（経済特区、経済区）、韓国はソウル特別市及び広域都市、欧米諸国は各国の首都もしくは主要都市のうちでデータをそろえることができた都市を採用した。中国の都市データは「中国城市統計年鑑」¹⁹⁾を中心に、個別都市の統計年鑑、その他の統計書^{8)～9)、14)～23)}を用いた。日本のデータは、主に「大都市比較統計年表」²⁴⁾の値を用いた。韓国のデータ

表-1 分析対象都市

中国	日本	韓国	欧米
北京	札幌	ソウル	ウィーン
天津	青島	釜山	プラハ
石家荘	鄭州	千葉	ベルリン
太原	武漢	東京都区部	ハンブルグ
呼和浩特	長沙	仁川	ミュンヘン
沈陽	広州	光州	ローマ
大連	南寧	大田	ミラノ
長春	海口	京都	ワルシャワ
哈爾濱	成都	大阪	ブカレスト
上海	重慶	神戸	バルセロナ
南京	貴陽	広島	ベオグラード
杭州	昆明	北九州	モスクワ
寧波	西安	福岡	サンクトペテルブルグ
合肥	蘭州		デトロイト
福州	西寧		フィラデルフィア
厦門	銀川		モントリオール
南昌	烏魯木齊		

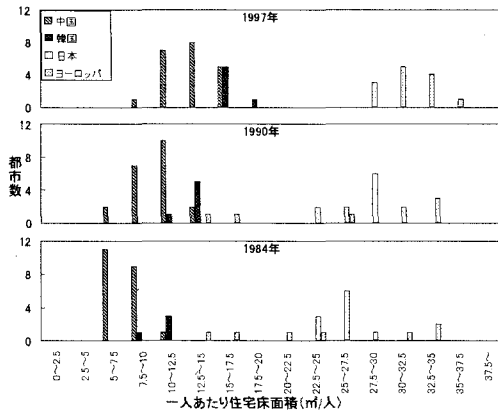


図-5 一人あたり住宅床面積のヒストグラムの推移
出所 参考文献 (15) ~ (21)、(24) ~ (27)、(29)

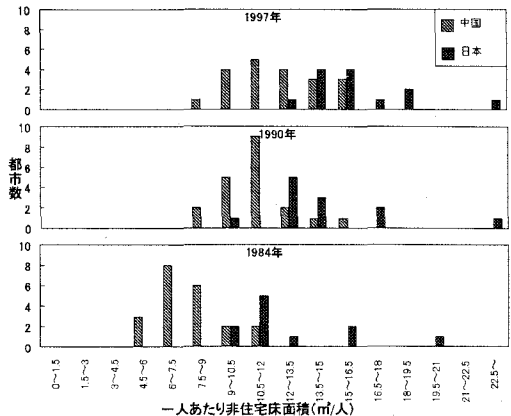


図-6 一人あたり非住宅床面積のヒストグラムの推移
出所 参考文献 (15) ~ (21)、(24)

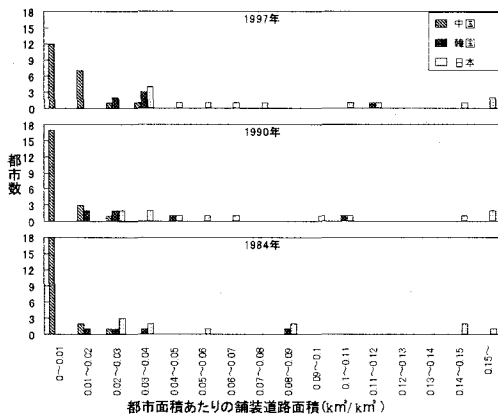


図-7 都市面積あたりの
舗装道路面積のヒストグラムの推移
出所 参考文献 (15) ~ (21)、(24)、(26)

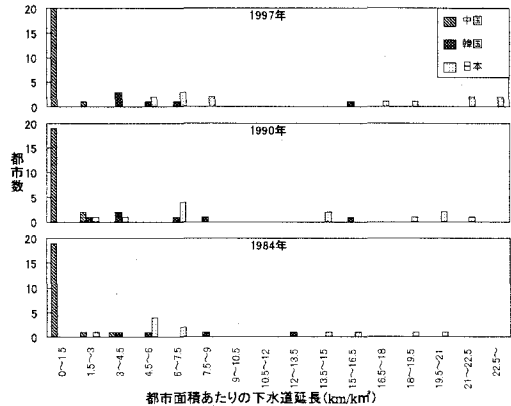


図-8 都市面積あたりの
下水道延長のヒストグラムの推移
出所 参考文献 図-7に同じ

は、基本的には参考文献^{24)~29)}によるが、住宅床面積のデータは記載されておらず、坪単位で何坪~何坪までの間に住宅が何戸存在するという記述であり、正確な床面積が得られなかった。そのため、1戸あたりの平均床面積を設定することにより、総床面積を推計した。欧米のデータ²⁵⁾に関しては、住宅の床面積、個数と新規建設面積のデータのみ入手できた。なお、本研究において用いた住宅とは日本においては専用住宅、アパートの他、併用住宅等も含んでおり、非住宅とは、事務所、工場、店舗等を含む。また、着工面積は延べ床面積10 m²以上の建築物で増改築分も含んでいる。

3. 2 都市構造物の一人当たりストック量に関する比較

(1) 住宅

図-5は、縦軸に都市数、横軸に一人あたり住宅床面積をとったヒストグラムであり、1984年、1990年、1997年における日本、韓国、中国の都市の住宅床面積を年度別に比較したものである。まず、日本の都市をみると、一人あたり住宅床面積は増加傾向にあり、その増加率は、84~90年のほうが90~97年よりも大きい。これは、両期間を通じて住宅床面積の平均増加率はほぼ同じだが、人口増加率は90~97年のほうが小さいことに起因している。対象都市の中で、唯一広島市だけが84~90年において一人あたり住宅床面積が

減少しているが、これは同期間の人口増加率が16%と住宅床面積の増加よりも大きな動きを示したためである。一方、韓国においては、いずれの都市においても同程度の伸びを示しているが、増加率は日本の都市よりも大きい。中国の一人あたり住宅床面積は、84年には、どの都市も低い水準にとどまっていたが、その後、90、97年になると、都市間に顕著な差があらわれ始めている。平均増加率で見た場合、84～90年は40%、90～97年は31%であるが、その内容を個別にみると、増加率10%程度の都市から60%を超える都市もあり、都市間の格差が広がりつつある。北京は、84年時点ですでに韓国の都市と同程度の水準であり、その増加率も同程度である。また、中国の都市において増加率が特に大きかったのは、上海、大連、広州などの都市である。

(2) 非住宅（事務所、工場、店舗等）

一人あたり非住宅床面積（図-6）をみると、中国の都市と日本の都市の差が、住宅と比べて小さいことが見て取れる。年度別に見た場合、84年においては中国の都市と日本の都市の間に多少の開きがあるが、年が経過するに従ってその差は小さくなっている。中国の非住宅床面積は日本の水準に達しつつあるといえる。ただし、中国の都市を個別に見た場合、都市によっては大きく増加している都市と、一方で減少している都市があり都市間の格差は住宅と同様に大きくなっている。

(3) 舗装道路、下水道

都市面積あたりの舗装道路面積と下水道延長（図-7，8）をみると、住宅、非住宅面積に比べ、依然として中国と日本の間の差が大きい。特に、中国の都市の下水道延長距離は、どの都市において小さく、図-8をみるとほぼすべての都市が最小の水準（0～1.5km/km²）に集中している。これは、中国の都市における下水道普及率が低いことに加えて、行政区域によって「都市」に規定されている地域の面積が日本と比較して大きく、また人口密度の分布が大きいことが影響している³¹⁾。一方、舗装道路面積に関しては、少数ではある

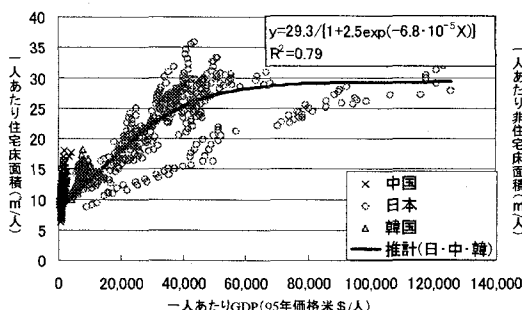


図-9 一人あたり GDP と住宅床面積の関係

出所 参考文献 (15)～(21)、(24)、(26)～(30)

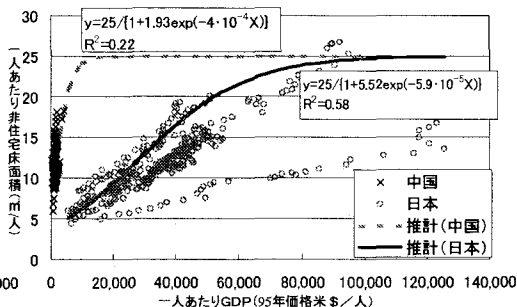


図-10 一人あたり GDP と非住宅床面積の関係

出所 参考文献 (15)～(21)、(24)

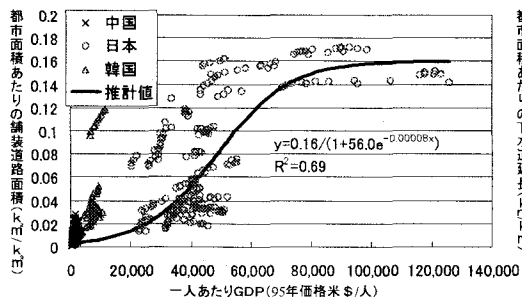


図-11 一人あたり GDP と

都市面積あたりの舗装道路面積の関係

出所 参考文献 (15)～(21)、(24)、(26)、(30)

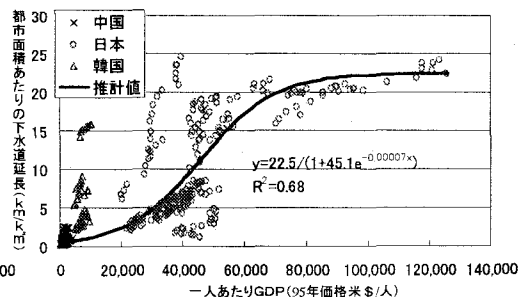


図-12 一人あたり GDP と

都市面積あたりの下水道延長の関係

出所 参考文献 図-11に同じ

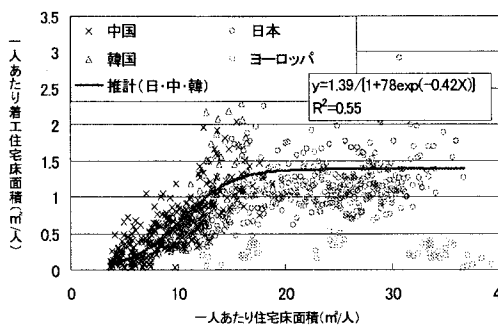


図-13 一人あたり住宅床面積と着工住宅床面積の関係
出所 参考文献 (9)、(15)～(21)、(24)～(29)

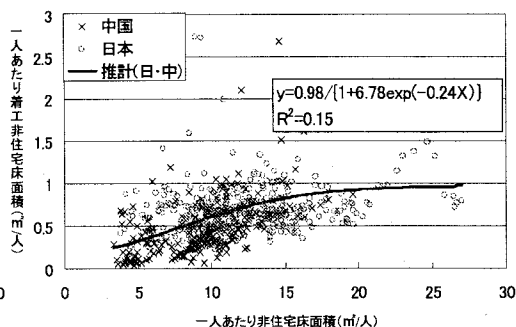


図-14 一人あたり非住宅床面積と着工非住宅床面積の関係
出所 参考文献 (9)、(15)～(21)、(24)

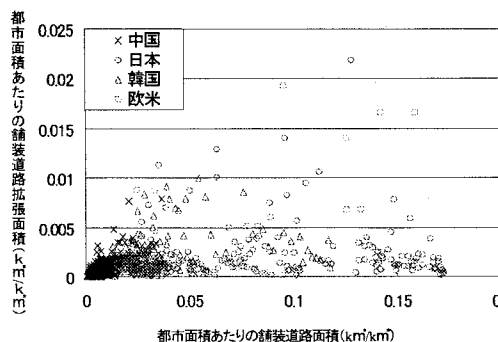


図-15 都市面積あたりの舗装道路面積と
舗装道路拡張面積の関係
出所 参考文献 (15)～(21)、(24) (26)

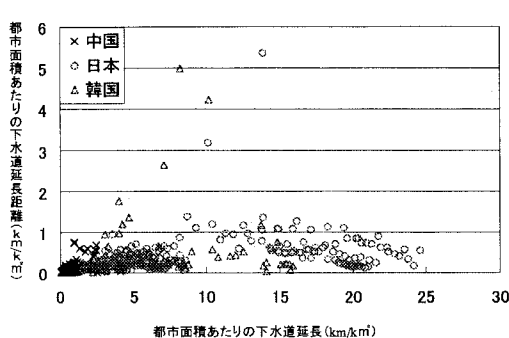


図-16 都市面積あたりの下水道延長と
下水道延長距離の関係
出所 参考文献 図-15に同じ

が中国においても日本の水準に近づきつつある都市がいくつか存在する。

3. 3 都市構造物のストック指標と経済指標との関係

各都市に関して、経済水準（一人あたりGDP（95年米ドル換算））と構造物のストック量（住宅・非住宅床面積、道路面積、下水道延長）との関係性を分析する。図-9は、横軸に一人あたりGDP、縦軸に住宅床面積をとり、散布図にしたものである。これをみると、一人あたりGDPが増加するにつれ住宅床面積は増加するが、その伸びははだいに鈍化することがわかる。現時点では、中国の都市の経済水準は日本と比べて低いが、経済成長によって一人あたりGDPが増加し、さらに中国の住宅が日本と同様の経路をたどって整備される場合、今後中国の住宅面積は急速に拡大していくことになる。図-10は、同様に一人あたりのGDPと非住宅床面積（業務用ビル、店舗、病院、工場等）の関係を示したものである。これを見ると、中国と日本では傾向がかなり異なっており、中国の都市は一人あたりGDPに比して非住宅床面積が大きいことがわかる。これは、産業生産設備が住宅より優先的に整備されていることがうかがえる。ただし、中国では、都市構造物の新規建設は重視されているが、既存ストックの更新、改修はあまり進んでおらず、多くの工場において旧式の生産設備を使用しつつ考えていると考えられる³⁾。ここで、図-10において、日本の都市は縦軸方向の分布の幅が大きい。これは、東京都区部と大阪市が他の日本の都市と異なる傾向を示しているためであり、産業構造の違いを反映しているものと考えられる。図-11は、一人あたりGDPと都市面積あたり舗装道路面積の関係である。中国は舗装道路の整備が日本、韓国に比べて遅れていることがわかる。

3. 4 都市構造物のストック指標とフロー指標との関係

(1) 一人あたり床面積と一人あたり着工床面積の関係

ここでは、構造物のストック（床面積）とフロー（着工床面積）の関係を分析した。図-13 に、住宅のストックとフローの関係を、図-14 に、非住宅のストックとフローの関係を示す。住宅、非住宅の両指標ともに、ストック量が増加するにしたがいフローの伸びが鈍化することがわかる。住宅床面積においては、依然として日本と中国の都市の間には大きな格差がある。これと比べると、非住宅床面積においては、中国と日本の格差は小さい。なお、日本及び韓国フローデータは、新規建築、増築、改築を含んでいるが、中国、欧米は新規建築分のみであることを留意する必要がある。図-13 において、欧米の都市のフローが日韓の都市に比べ小さい値を示しているのは、各国統計データの着工面積の定義の違いに加え、住宅構造の違いや耐用年数の違いが影響しているものと考えられる。

(2) 都市面積あたりの舗装道路面積と舗装道路年間拡張面積

図-15 に、都市面積あたり舗装道路面積（ストック）と、毎年の拡張面積（フロー）の関係を示す。ここでは、道路の拡張面積が得られなかったため、ストックの差を計算し、これをフローとして用いた。同様に、図-16 は都市面積あたり下水道延長と、毎年の下水道延長の増加量の関係をグラフにプロットしたものである。これらの結果においては、ストックとフローとの間には相関がみられなかった。本来は、道路拡張面積のみをフローとするのではなく、維持管理のための張替え面積分を考慮する必要がある。

4. まとめ

本研究では、都市の発展に伴う建築物及び都市インフラの整備、資源消費の関係について明らかにするために、日本、韓国、中国、欧米諸国の都市データを用いて、建設資材消費量の推移状況や、都市構造物のフロー指標とストック指標の関係性、ストック指標と経済指標との関係性等について比較分析を行った。以下に、主要な分析結果をまとめる。

- 1) 中国では、改革開放以降の急速な経済成長に伴い、建設用のセメント、鋼材等の資材消費量が増加している。日本においても、高度経済成長期において建設資材消費量が増加し、オイルショック、バブル崩壊時期には減少しており、資材投入量と経済活動水準との関係がうかがえる。
- 2) 中国の建設資材消費量を地域別に見た場合、沿海地域、長江沿岸地域において消費量が大幅に増加する一方で、その他の内陸部での増加量は相対的に小さく、地域格差は大きくなっている。
- 3) 経済成長にともない都市構造物のストック量は増加すること、ある程度ストックが蓄積されると、フローの伸びは鈍化する傾向にある。この関係を日本、中国、韓国の都市における構造物の整備状況についてみると、住宅においては各国とも同様の傾向を示している一方で、非住宅については国によって成長経路が異なる。
- 4) 中国の都市における経済水準は日本と比較して相対的に低い、都市における工場、事業所など非住宅系建築物のフロー、ストックは、近年日本の水準に近づきつつある。その一方で、住宅整備は進んでいないことから、産業生産設備が住宅より優先的に建設されていることが推測される。

今回の研究では、日本、韓国、中国における都市構造物のフロー及びストックについて比較考察したが、その建設のために資源がどれだけ消費されているのかを、都市レベルにブレイクダウンして分析することまでは至っていない。そのためには、各国における各構造物別の資源投入原単位を推計する必要がある。また、欧米諸国の都市データの整備をさらに進めることで、先進国間の成長経路の違いを明らかにすることも課題である。

謝辞： 本研究は、旭硝子財団自然科学系第3分野・奨励研究「東アジアの都市マテリアルフロー及びストックの国際比較と都市シミュレータの開発研究（代表：松本亨）」の補助を受けて行った成果の一部である。記

して謝意を表する。

参考文献

- 1) 森口祐一: マテリアルフロー分析からみた人間活動と環境負荷, 環境システム研究, Vol. 25, pp. 557-568, 1997
- 2) A. Adriaanse et al.: The Material Basis of Industrial Economies, World Resources Institute, 1997
- 3) Emily Matthews et al.: The Weight of Nations -material outflows from industrial economy-, World Resources Institute, 2000
- 4) 守田優、田淵勲、佐藤祐介: 東京における物質代謝フローについて、環境システム研究、Vol. 26、pp377-38
- 5) 藤江幸一、後藤尚弘: 地域のゼロエミッションを目指した対策と物質フローの解析手法、品質管理 June 1999、Vol. 50、No. 6、pp541-547
- 6) 中国国家统计局: 中国固定資産投資統計年鑑 1950～1995、中国統計出版社
- 7) 国家統計局貿易物産統計司: 中国生産資料市場統計年鑑、中国統計出版社
- 8) 中国国家统计局: 中国経済・産業データハンドブック 96、98年版、株式会社アジア産業研究所
- 9) 国家統計局国民経済総合統計司: 新中国五十年統計資料汇编、中国統計出版社、1999
- 10) 国土交通省総合政策局建設振興課労働資材対策室資材係: 平成13年度主要建設資材需要見通し、<http://www.mlit.go.jp/oukeijouhou/chojou/h13syuyousizai.htm>
- 11) 社団法人セメント協会: セメント・コンクリートNo167～No653
- 12) 農林水産省経済局統計情報部: 木材需給累年報告書、財団法人農林統計協会
- 13) 農林水産省経済局統計情報部: 木材需給報告書 平成8年、11年、財団法人農林統計協会
- 14) 中国城市建设年鑑編委会: 中国城市建设年鑑 1986～1987、中国建筑工業出版社
- 15) 中国国家统计局: 中国城市統計年鑑 1985、1988～1999、中国統計出版社
- 16) 中国国家统计局: 中国統計年鑑 1997～1999、中国統計出版社
- 17) 大連市、成都市、南寧市、貴陽市、烏魯木齊市、南京市、南昌市、唐山市、青島市、天津市、杭州市、寧波市、重慶市、廈門市、西安市、石家庄市、蘭州市、鄭州市、哈爾濱市、合肥市、福州市、長春市、濟南市、武漢市、長沙市、沈陽市、広州市、上海市、北京市の各市統計年鑑、中国統計出版社
- 18) 天津市統計局: 天津四十年 1949～1989、中国統計出版社
- 19) 江蘇省、福建省、江蘇省 陝西省、吉林省の各省の統計年鑑、中国統計出版社
- 20) 北京市統計局: 北京五十年、中国統計出版社
- 21) 国家統計局人口与就業統計司: 中国人口統計年鑑、中国統計出版社
- 22) 株式会社総研、中国国家统计局: 中国富力 97年版、99年版、株式会社NECクリエイティブ
- 23) 国家統計局工業交通統計司: 中国能源統計年鑑 1997、中国統計出版社
- 24) 大都市統計協議会: 大都市比較統計年表 昭和33年～平成9年、大都市統計協議会
- 25) 東京都総務局統計部: 世界大都市比較統計年表 1987～1991、1993、1994、東京都総務局統計部
- 26) MINISTRY OF GOVERNMENT ADMINISTRATION & HOME AFFAIRS: MUNICIPAL YEARBOOK OF KOREA 1973～1998
- 27) National Statistical Office Republic of Korea: KOREA STATISTICAL YEARBOOK 1996、1999
- 28) SEOUL METROPOLITAN GOVERNMENT: SEOUL STATISTICAL YEARBOOK 1997
- 29) NATIONAL STATISTICAL OFFICE REPUBLIC OF KOREA: REGIONAL STATISTICS YEARBOOK 1988、1999
- 30) National Statistical Office Republic of Korea: Gross Regional Domestic Product 1997
- 31) 金子慎治、白雪 梅、今井 晃、中山裕文、井村秀文: 日韓中3国の都市の規模と環境関連指標に関する比較分析、環境システム研究論文集28、pp. 399-410、2000