

## 地域を対象とした環境資源勘定体系の構築に関する研究

谷川, 寛樹

<https://doi.org/10.11501/3175087>

---

出版情報 : 九州大学, 2000, 博士 (工学), 論文博士  
バージョン :  
権利関係 :

## 第3章 自治体レベルでのマテリアルフロー分析

### 3.1 はじめに：広域でのMFA

都市における豊かな生活を享受するためには、社会基盤施設の充実が必要不可欠である。社会活動を形成・維持するためには、さまざまな施設・構造物の建設、維持・管理にともなう多量の資材・エネルギーの投入が必要である。わが国の1990年における総資源投入量は22.8億トンと算定されているが、そのうち11.0億トン(48%)は建設資材であった。また、投入資源のうちの13.0億トンが建造物や製品の形で蓄積されたが<sup>1)</sup>、その相当部分は都市内の構造物のストックとなっている。耐用年数経過後、これら構造物のストックは解体され、廃棄物としてフローを引き起こすことが考えられる。持続可能な社会を構築するためには、豊かさを維持しつつ、この廃棄物のフローを小さくし、廃棄物の発生を少なくするだけでなく、物質投入量を少なく抑えることが重要である。

このような大規模な物質の流れを評価する方法として、MFA (Material Flow Analysis: マテリアルフロー分析) がある。MFAは、自然環境と経済活動との間での物資やエネルギーのフローを定量的に把握するものである。現在、日本全体のMFAが、環境庁により行われており、平成5年度版の環境白書から日本のマテリアルバランスが掲載されるようになった<sup>2)</sup>。しかし、地域の環境管理施策へMFAを生かすためには、行政単位でのMFAを行う必要がある。そこで、筆者らの研究グループでは、都市におけるエネルギー・マテリアルフローの定量化を行ってきた<sup>3)4)</sup>。

一方、持続可能な発展を示す指針として、Eco-Efficiency (環境効率) の概念が提唱されている<sup>5)</sup>。物質投入やそれに伴い発生する環境負荷と、享受できるサービスを比較するものである。具体的な目標としては、より少ない物資・環境負荷で、より大きいサービスを得るというFactor10<sup>6)</sup>、Factor 4<sup>7)</sup>という概念が提唱されている。

図3-1に示すように、都市構造物に関しては、建設用地に建設資材が投入され、ストック(建設構造物)になり、サービスの発生が始まる。サービスは、構造物の耐久年数が経過するまで発生し続け、都市の生産力の向上・維持に貢献する。ここで、サービスと物質投入との比較を行うためには、サービスの発生が長期間におよぶため、時

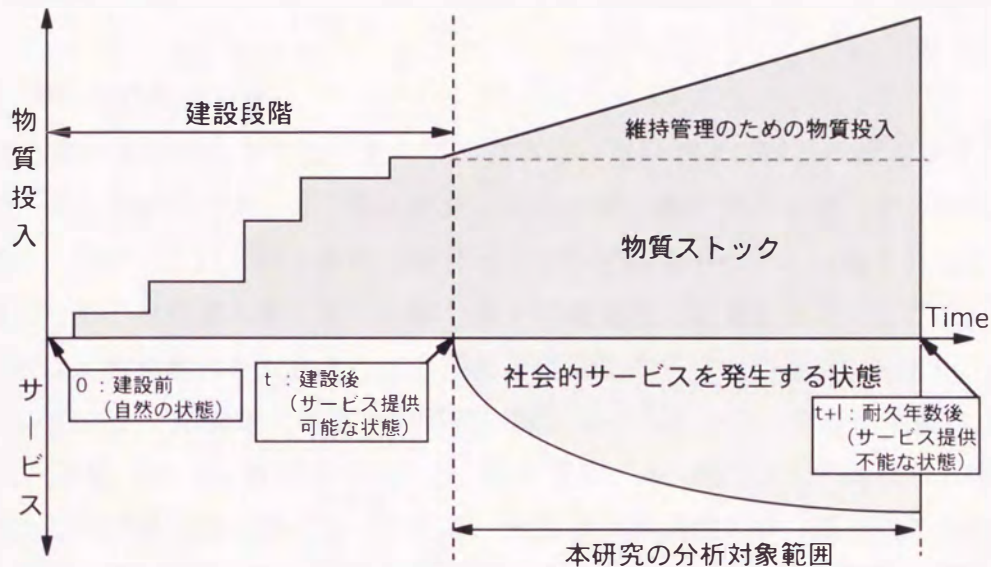


図 3-1 建設活動におけるマテリアルフローとサービス発生概念図

系列での分析が必要となる。そこで、本章では、以下の項目を行うことを目的とする。

- (1) 全国都道府県・政令指定都市におけるマテリアルストックの推計（時系列）。
- (2) 都市におけるマテリアルフローの定量化。
- (3) 都市におけるマテリアルストック増加の特性をもとに都市を類型化。
- (4) 各都市の総生産とマテリアルストックを比較。
- (5) 都市における MIPS 評価指標の作成。

具体的には、各都道府県および政令指定都市の統計書より、都市構造物に関するデータを時系列に整理し、そのデータを元に各都市のマテリアルストックを推計する。その際、建築物のストックを統計で把握できない都市に関しては、ワイブル分布を用いて、マテリアルストックの推計を行う。さらに、1 都市内におけるマテリアルフローの定量化も行う。次に、都道府県を対象に、クラスター分析により都市の類型化を行い、類型ごとの都市構造物のストックと県民総生産の特性を定量化する。さらに、都市構造物のストックの伸びと総生産の伸びとの比較を行い、その都市ごとのストック集積特性を明らかにする。最後にマテリアルフロー分析で得られたデータに基づき、都市構造物の MIPS 評価指標の作成を行う。



## 3.2 全都道府県におけるマテリアルストックの推計

### 3.2.1 ストック推計手法

図3-2に、本研究におけるマテリアルストック推計および評価手順を示す。まず、統計データより都道府県と政令指定都市における都市構造物のマテリアルストックを推計する。次に、それぞれの都市の特性とマテリアルストックを比較することで、基盤整備のための物質投入量と都市内総生産との関連性を定量化する。ここで、電力中央研究所は、関東地方を対象として各種都市構造物の素材使用量について以下のように推計している<sup>9)</sup>。関東地方の都市構造物に関する一人あたりの素材使用量は、建築物51t/人、道路17t/人、都市ガス4t/人、上水道2t/人、電力2t/人となり、建築物と道路による素材使用量が多くなっている。そこで、本研究では、都道府県や政令都市においても建築物と道路による素材使用量が多くなると仮定し、建築物と道路を推計の対象とする。道路のマテリアルストック推計では、都道府県については道路統計年報<sup>9)</sup>、政令指定都市については大都市比較統計年報<sup>10)</sup>のデータを用いる。建築物のマテリアルストック推計では、都道府県については建築統計年報<sup>11)</sup>、政令指定都市については大都市比較統計年報<sup>10)</sup>のデータを用いる。

建築物のストックを推計するためには、現存する建築物の構造別延床面積のデータが必要である。政令指定都市については、大都市比較統計年報<sup>10)</sup>に建物の棟数、構造別延床面積の情報が記載されているが、都道府県のデータについては、同様のデータを入手できないのが現状である。そこで、都道府県の建築物ストックに関しては、建築物の現存量を把握するために建築物着工データを用いて推計するものとする。ここでは、建築物は、建設された年次に関係なくある一定の確率分布で滅失していくと考え、滅失スケジュールは、信頼性理論に基づく故障密度確率関数としてワイブル分布に従うものとして推計を行う。

$$R(x) = \exp \left[ - \left\{ \frac{(x - \delta)}{\eta} \right\}^m \right] \quad (1)$$

ここで、 $R(x)$ : 残存率,  $x$ : 築年数,  $m$ : 形状パラメータ,  $\eta$ : 尺度パラメータ,  $\delta$ : 位置パラメータである。



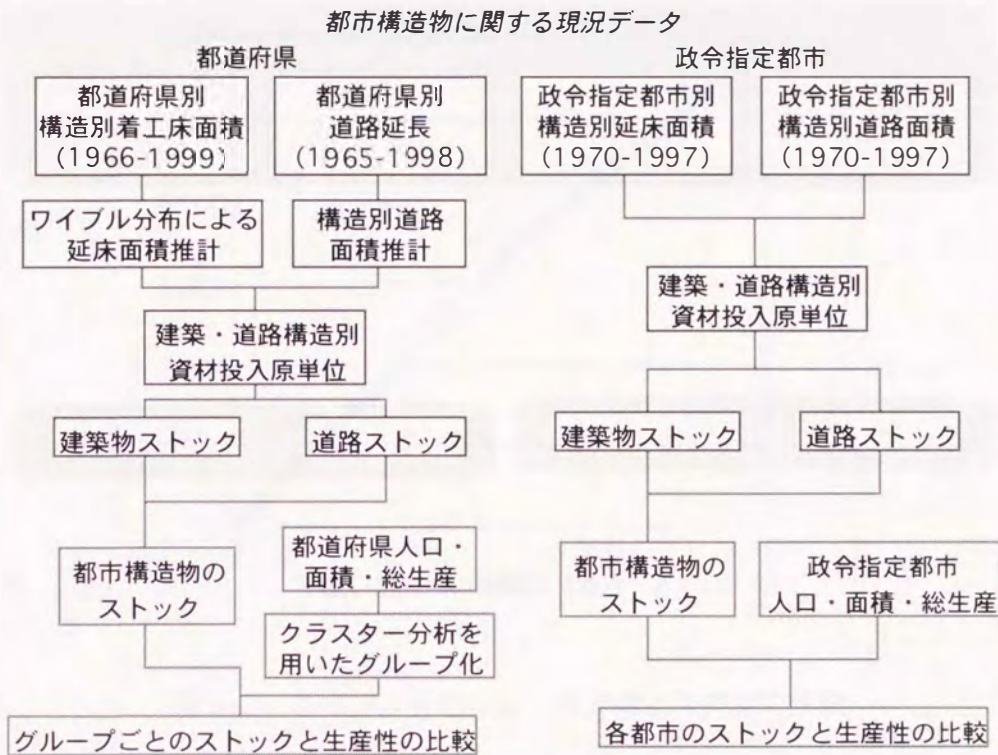


図3-2 マテリアルストック推計および評価手順

この残存率を用いて延床面積は、式(2)のように表すことができる。

$$S_i = \sum_{k=0}^i R(x) I_{i-k} \quad (2)$$

ここで、 $S_i$ :  $i$ 年に現存する床面積、 $R(x)$ : 残存率、 $I_i$ :  $i$ 年における着工床面積である。

式(1)中の各パラメータの値は、電力中央研究所<sup>8)</sup>より、 $m=2.367$ 、 $\eta=36.143$ 、 $\delta=-1.672$ とする。このパラメータの有効性を検証するため、実際の延べ床面積の増加量(着工床面積と減失床面積の差)と、推計された床面積の増加量とを比較した(図3-3)。その結果、実際値と推計値との間には、ほとんど差がないことが分かった。

野城<sup>12)</sup>によると、少なくとも1952年時点では544,215,606坪(約18億 $m^2$ )の建築物が確実に現存していたと報告している。そこで、この値を初期値として、式(2)を用い、全国の床面積の推移を推計したものが図3-4である。さらに、推計された全国値をもとにした減失スケジュールを用いて、各都道府県における床面積の算定を行う。

次に、推計された床面積(政令指定都市の場合は統計値)に、単位面積あたりの素

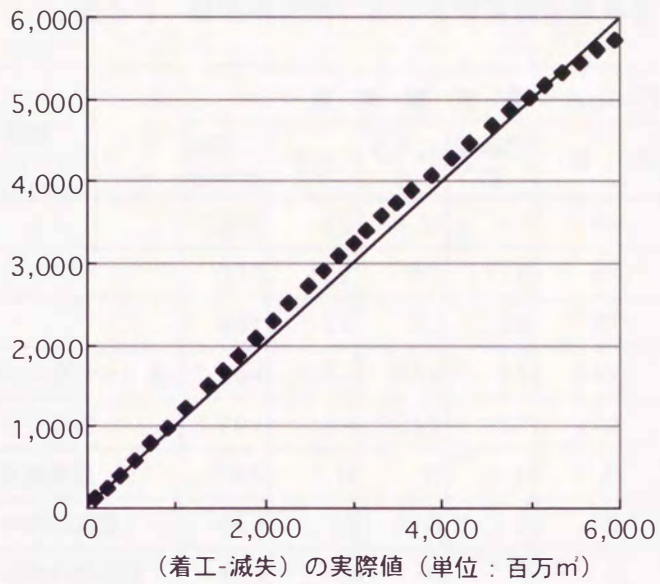


図3-3 ワイブル分布による推計値と実際値の比較

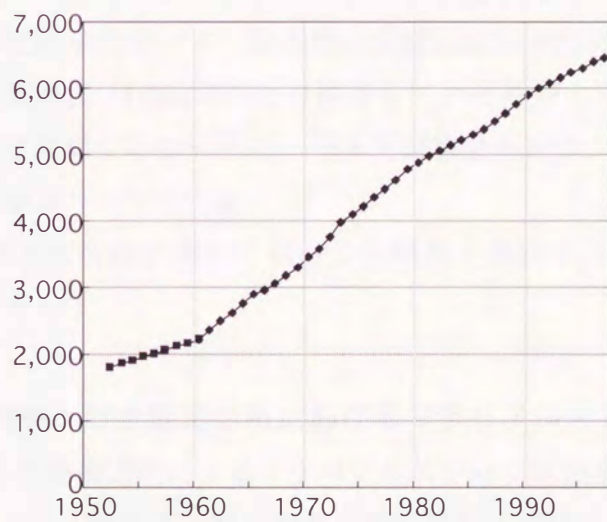


図3-4 延床面積の推移（全国，推計値）



表3-1 都市構造物における資源固定原単位

| 構造物 | 構造           | 資源固定量 (kg/m <sup>2</sup> ) |     |          |          |     |     |       | 備考・出典  |
|-----|--------------|----------------------------|-----|----------|----------|-----|-----|-------|--|
|     |              | 砂利・<br>石材類                 | 木材  | セメン<br>ト | 陶磁器<br>類 | 鉄   | その他 | 合計    |  |
| 建築物 | 建築平均         | 1,127                      | 78  | 128      | 82       | 85  | 22  | 1,522 | 参考文献13   |
|     | 木造           | 939                        | 162 | 93       | 116      | 39  | 23  | 1,372 |  |
|     | 鉄骨造          | 847                        | 22  | 92       | 68       | 99  | 19  | 1,147 |  |
|     | 鉄骨・鉄筋コンクリート造 | 1,564                      | 37  | 189      | 61       | 143 | 26  | 2,020 |  |
|     | 鉄筋コンクリート造    | 1,701                      | 49  | 215      | 57       | 114 | 25  | 2,161 |  |
| 道路  | 高級舗装, 幹線道路   | 565                        | 0   | 0        | 0        | 0   | 235 | 800   | 「その他」<br>にはアス<br>ファルトを<br>計上<br><br>参考文献14<br>参考文献15 |
|     | 高級舗装, 準幹線道路  | 455                        | 0   | 0        | 0        | 0   | 118 | 573   |  |
|     | 簡易舗装, 補助幹線道路 | 319                        | 0   | 0        | 0        | 0   | 94  | 413   |  |
|     | 簡易舗装, 専用道路   | 319                        | 0   | 0        | 0        | 0   | 94  | 413   |  |
|     | 簡易舗装, 区画道路   | 319                        | 0   | 0        | 0        | 0   | 94  | 413   |  |
|     | 簡易舗装, 歩行者用道路 | 319                        | 0   | 0        | 0        | 0   | 94  | 413   |  |

材使用量を乗じることで、マテリアルストックの算定を行う。表3-1にマテリアルストック推計に用いた原単位を示す。建築物の資源固定原単位については、日本の平均的な値として産業連関表（1985年）より推計している酒井ら<sup>13)</sup>の推計値を用いる。また、道路の資源固定原単位については、日本道路協会が設計、施工の標準としてとりまとめている舗装要項<sup>14)15)</sup>を用いる。

以下に都道府県と政令指定都市における建築物と道路を対象としたマテリアルストックの推計結果を示す。

### 3.2.2 全国都道府県・政令指定都市におけるマテリアルストックの状況

1995年における都市構造物によるマテリアルストック集積量について推計した結果を表3-2に示す。また、表3-3に推計結果の詳細を示す。1995年における全国のストック総量は約140億トンとなり、ストック集積量が最も多かったのは東京都で約10億トン（全国総量の7%）であった。一方、ストック集積量が少なかったのは、鳥取県で約8800万トンであった。

全国都道府県・政令指定都市における都市構造物（建築物・道路）整備による一人



表3-2 都道府県における都市構造物におけるストック（1995年）

| ストック<br>上位5県           | 構造物ストック<br>(単位：1000t) | 増加率％<br>(1975/1995) | ストック<br>下位5県 | 構造物ストック<br>(単位：1000t) | 増加率％<br>(1975/1995) |
|------------------------|-----------------------|---------------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| 東京都                    | 1,018,063             | 145%                | 鳥取県          | 88,255                | 153%                |
| 愛知県                    | 783,514               | 161%                | 高知県          | 102,505               | 181%                |
| 大阪府                    | 751,216               | 133%                | 佐賀県          | 106,007               | 191%                |
| 神奈川県                   | 735,441               | 156%                | 福井県          | 112,652               | 170%                |
| 北海道                    | 709,488               | 182%                | 島根県          | 112,844               | 173%                |
| 全国計 13,971,000 (1000t) |                       |                     |              |                       |                     |

あたりマテリアルストック（1995年）を図3-5に示す。全国平均は111トン/人（建築物78トン/人，道路45トン/人）であった。一人あたりマテリアルストックが最も多かったのは，和歌山県で170トン/人（建築物75トン/人，道路95トン/人），次いで大分県162トン/人（建築物85トン/人，道路77トン/人）であった。一方，一人あたりマテリアルストックが最も少なかったのは，埼玉県84トン/人（建築物67トン/人，道路17トン/人），次いで大阪府85トン/人（建築物68トン/人，道路17トン/人）であった。このように，一人あたりマテリアルストックで比較した結果，建築物ストックの差より道路ストックの差が大きいことが分かった。一方，政令指定都市では，平均が93トン/人（建築物78トン/人，道路15トン/人）と推計されたが，全国平均値との差は，道路ストックによるものであった。

次に，全国都道府県・政令指定都市における都市構造物（建築物・道路）整備による単位面積あたりマテリアルストック（1995年）を図3-6に示す。全国平均は66kg/m<sup>2</sup>（建築物48kg/m<sup>2</sup>，道路18kg/m<sup>2</sup>）であった。単位面積あたりのマテリアルストックが最も多かったのは，東京都で497kg/m<sup>2</sup>（建築物417kg/m<sup>2</sup>，道路80kg/m<sup>2</sup>），次いで大阪府397kg/m<sup>2</sup>（建築物318kg/m<sup>2</sup>，道路79kg/m<sup>2</sup>）であった。一方，最も少なかったのは北海道で9kg/m<sup>2</sup>（建築物6kg/m<sup>2</sup>，道路3kg/m<sup>2</sup>），次いで岩手県12kg/m<sup>2</sup>。

表3-3 都道府県における都市構造物におけるストック（詳細）

| 10 <sup>6</sup> t (Gt) | 1970年 | 1971年 | 1972年 | 1973年 | 1974年 | 1975年 | 1976年 | 1977年 | 1978年 | 1979年 | 1980年  | 1981年  | 1982年  | 1983年  |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 北海道                    | 276   | 286   | 301   | 347   | 370   | 390   | 414   | 434   | 457   | 479   | 499    | 508    | 520    | 534    |
| 青森                     | 66    | 71    | 78    | 88    | 94    | 100   | 107   | 114   | 121   | 127   | 133    | 137    | 137    | 141    |
| 岩手                     | 76    | 81    | 83    | 91    | 99    | 104   | 102   | 109   | 115   | 122   | 129    | 133    | 137    | 141    |
| 宮城                     | 114   | 120   | 129   | 143   | 151   | 157   | 164   | 170   | 178   | 187   | 195    | 202    | 209    | 213    |
| 秋田                     | 75    | 80    | 81    | 87    | 93    | 100   | 112   | 121   | 129   | 136   | 133    | 137    | 135    | 139    |
| 山形                     | 73    | 76    | 79    | 83    | 88    | 93    | 98    | 103   | 109   | 114   | 118    | 122    | 125    | 127    |
| 福島                     | 92    | 99    | 109   | 117   | 125   | 133   | 140   | 148   | 156   | 163   | 167    | 172    | 177    | 181    |
| 茨城                     | 137   | 152   | 163   | 179   | 194   | 205   | 217   | 227   | 238   | 248   | 256    | 263    | 271    | 278    |
| 栃木                     | 88    | 93    | 101   | 112   | 117   | 123   | 131   | 142   | 149   | 155   | 159    | 165    | 169    | 175    |
| 群馬                     | 106   | 112   | 119   | 130   | 140   | 147   | 154   | 162   | 173   | 179   | 184    | 189    | 195    | 201    |
| 埼玉                     | 236   | 258   | 289   | 302   | 320   | 332   | 346   | 359   | 374   | 387   | 404    | 416    | 423    | 432    |
| 千葉                     | 232   | 254   | 277   | 296   | 312   | 327   | 337   | 348   | 369   | 383   | 399    | 408    | 418    | 428    |
| 東京                     | 610   | 642   | 671   | 690   | 695   | 702   | 716   | 734   | 753   | 767   | 780    | 792    | 805    | 819    |
| 神奈川                    | 394   | 409   | 429   | 447   | 456   | 470   | 481   | 491   | 502   | 515   | 528    | 542    | 555    | 565    |
| 新潟                     | 160   | 170   | 178   | 189   | 199   | 212   | 221   | 227   | 237   | 248   | 252    | 262    | 269    | 276    |
| 富山                     | 68    | 73    | 79    | 88    | 95    | 102   | 101   | 107   | 113   | 118   | 123    | 124    | 129    | 133    |
| 石川                     | 78    | 82    | 90    | 97    | 103   | 110   | 110   | 114   | 119   | 123   | 126    | 129    | 126    | 129    |
| 福井                     | 50    | 53    | 57    | 60    | 63    | 66    | 69    | 72    | 74    | 78    | 80     | 83     | 86     | 88     |
| 山梨                     | 34    | 37    | 39    | 45    | 49    | 53    | 60    | 64    | 68    | 72    | 77     | 79     | 81     | 84     |
| 長野                     | 139   | 149   | 158   | 170   | 178   | 187   | 197   | 208   | 217   | 226   | 231    | 238    | 245    | 253    |
| 岐阜                     | 87    | 93    | 99    | 107   | 116   | 122   | 130   | 137   | 144   | 151   | 159    | 164    | 169    | 176    |
| 静岡                     | 226   | 237   | 253   | 272   | 287   | 301   | 312   | 321   | 334   | 347   | 364    | 377    | 386    | 396    |
| 愛知                     | 389   | 406   | 432   | 455   | 471   | 488   | 502   | 516   | 533   | 556   | 577    | 590    | 610    | 623    |
| 三重                     | 99    | 107   | 111   | 118   | 125   | 130   | 136   | 141   | 146   | 151   | 154    | 160    | 164    | 172    |
| 滋賀                     | 87    | 93    | 97    | 101   | 107   | 112   | 115   | 118   | 122   | 125   | 129    | 132    | 136    | 139    |
| 京都                     | 149   | 154   | 163   | 177   | 181   | 184   | 184   | 188   | 192   | 197   | 204    | 208    | 208    | 209    |
| 大阪                     | 492   | 506   | 531   | 553   | 559   | 566   | 573   | 583   | 593   | 607   | 616    | 623    | 630    | 643    |
| 兵庫                     | 283   | 304   | 320   | 336   | 348   | 359   | 375   | 385   | 397   | 411   | 423    | 434    | 440    | 449    |
| 奈良                     | 59    | 67    | 78    | 77    | 84    | 90    | 95    | 99    | 104   | 107   | 113    | 115    | 119    | 122    |
| 和歌山                    | 84    | 90    | 100   | 107   | 114   | 121   | 126   | 131   | 135   | 140   | 147    | 150    | 154    | 158    |
| 鳥取                     | 42    | 45    | 49    | 51    | 55    | 58    | 61    | 64    | 66    | 69    | 70     | 72     | 74     | 75     |
| 島根                     | 46    | 49    | 52    | 57    | 61    | 65    | 69    | 73    | 75    | 79    | 83     | 87     | 89     | 90     |
| 岡山                     | 91    | 104   | 116   | 128   | 138   | 150   | 149   | 155   | 163   | 172   | 187    | 192    | 196    | 200    |
| 広島                     | 185   | 198   | 217   | 234   | 238   | 244   | 245   | 250   | 258   | 269   | 276    | 282    | 288    | 295    |
| 山口                     | 98    | 104   | 107   | 114   | 121   | 124   | 132   | 138   | 142   | 149   | 153    | 157    | 160    | 156    |
| 徳島                     | 40    | 45    | 49    | 53    | 57    | 61    | 65    | 71    | 76    | 80    | 83     | 85     | 87     | 92     |
| 香川                     | 61    | 66    | 68    | 69    | 73    | 79    | 83    | 85    | 85    | 88    | 91     | 93     | 94     | 97     |
| 愛媛                     | 85    | 94    | 99    | 105   | 111   | 116   | 122   | 127   | 131   | 135   | 137    | 140    | 142    | 148    |
| 高知                     | 42    | 43    | 46    | 51    | 54    | 57    | 60    | 63    | 66    | 69    | 72     | 74     | 75     | 77     |
| 福岡                     | 224   | 236   | 242   | 264   | 279   | 294   | 307   | 318   | 331   | 343   | 353    | 362    | 370    | 383    |
| 佐賀                     | 37    | 39    | 43    | 48    | 52    | 55    | 59    | 62    | 66    | 69    | 72     | 75     | 77     | 80     |
| 長崎                     | 84    | 91    | 100   | 108   | 114   | 122   | 128   | 134   | 143   | 151   | 159    | 166    | 173    | 176    |
| 熊本                     | 75    | 79    | 89    | 98    | 108   | 117   | 128   | 139   | 148   | 158   | 164    | 169    | 175    | 182    |
| 大分                     | 86    | 93    | 103   | 113   | 120   | 127   | 133   | 139   | 146   | 154   | 158    | 161    | 168    | 171    |
| 宮崎                     | 62    | 65    | 71    | 77    | 83    | 90    | 94    | 99    | 105   | 111   | 114    | 118    | 121    | 124    |
| 鹿児島                    | 67    | 73    | 83    | 90    | 97    | 105   | 111   | 121   | 126   | 134   | 139    | 145    | 152    | 157    |
| 沖縄                     |       |       | 18    | 25    | 32    | 39    | 44    | 49    | 55    | 59    | 63     | 66     | 71     |        |
| 全国計                    | 6,387 | 6,781 | 7,226 | 7,746 | 8,123 | 8,482 | 8,814 | 9,157 | 9,529 | 9,906 | 10,230 | 10,496 | 10,734 | 10,997 |



表3-3 都道府県における都市構造物におけるストック（詳細，つづき）

| 1984年  | 1985年  | 1986年  | 1987年  | 1988年  | 1989年  | 1990年  | 1991年  | 1992年  | 1993年  | 1994年  | 1995年  | 1996年  | 1997年  | 10 <sup>6</sup> t (Gt) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------|
| 546    | 557    | 571    | 585    | 603    | 624    | 643    | 659    | 672    | 686    | 699    | 709    | 723    | 733    | 北海道                    |
| 142    | 145    | 146    | 146    | 150    | 153    | 156    | 159    | 163    | 166    | 170    | 173    | 176    | 179    | 青森                     |
| 144    | 148    | 150    | 151    | 158    | 161    | 165    | 169    | 172    | 175    | 179    | 182    | 185    | 187    | 岩手                     |
| 219    | 222    | 227    | 236    | 247    | 254    | 260    | 265    | 269    | 273    | 278    | 282    | 288    | 292    | 宮城                     |
| 142    | 144    | 144    | 146    | 149    | 152    | 154    | 155    | 158    | 160    | 162    | 164    | 167    | 168    | 秋田                     |
| 130    | 130    | 132    | 135    | 137    | 139    | 142    | 144    | 147    | 149    | 151    | 153    | 156    | 158    | 山形                     |
| 187    | 193    | 199    | 211    | 218    | 223    | 230    | 235    | 240    | 244    | 249    | 253    | 259    | 262    | 福島                     |
| 286    | 294    | 303    | 312    | 322    | 332    | 340    | 349    | 356    | 362    | 367    | 372    | 377    | 383    | 茨城                     |
| 180    | 185    | 191    | 196    | 205    | 211    | 217    | 223    | 228    | 232    | 236    | 239    | 244    | 247    | 栃木                     |
| 206    | 211    | 217    | 245    | 251    | 256    | 262    | 267    | 271    | 274    | 278    | 280    | 284    | 286    | 群馬                     |
| 443    | 454    | 465    | 481    | 497    | 510    | 524    | 534    | 545    | 555    | 563    | 570    | 578    | 584    | 埼玉                     |
| 435    | 442    | 452    | 468    | 482    | 498    | 513    | 522    | 532    | 540    | 548    | 553    | 560    | 565    | 千葉                     |
| 836    | 851    | 872    | 897    | 919    | 936    | 965    | 982    | 996    | 1,003  | 1,012  | 1,018  | 1,027  | 1,033  | 東京                     |
| 577    | 590    | 605    | 628    | 645    | 661    | 690    | 699    | 708    | 721    | 727    | 735    | 744    | 745    | 神奈川                    |
| 282    | 287    | 293    | 304    | 314    | 322    | 329    | 334    | 338    | 342    | 347    | 351    | 356    | 359    | 新潟                     |
| 136    | 139    | 141    | 143    | 147    | 149    | 154    | 157    | 161    | 163    | 165    | 168    | 170    | 171    | 富山                     |
| 131    | 131    | 133    | 135    | 138    | 141    | 143    | 145    | 147    | 149    | 151    | 152    | 154    | 156    | 石川                     |
| 91     | 93     | 94     | 96     | 99     | 102    | 104    | 105    | 107    | 109    | 111    | 113    | 115    | 117    | 福井                     |
| 86     | 89     | 93     | 99     | 103    | 106    | 109    | 111    | 112    | 114    | 116    | 117    | 119    | 120    | 山梨                     |
| 262    | 269    | 273    | 286    | 294    | 300    | 306    | 312    | 317    | 322    | 327    | 331    | 337    | 342    | 長野                     |
| 180    | 188    | 195    | 203    | 211    | 215    | 221    | 226    | 230    | 234    | 239    | 243    | 248    | 251    | 岐阜                     |
| 403    | 415    | 423    | 427    | 439    | 449    | 457    | 465    | 469    | 474    | 479    | 483    | 487    | 491    | 静岡                     |
| 635    | 650    | 663    | 681    | 699    | 716    | 731    | 745    | 756    | 765    | 776    | 784    | 792    | 800    | 愛知                     |
| 178    | 182    | 188    | 194    | 199    | 205    | 211    | 216    | 221    | 225    | 229    | 234    | 239    | 243    | 三重                     |
| 142    | 145    | 148    | 153    | 158    | 162    | 166    | 169    | 171    | 174    | 176    | 178    | 182    | 184    | 滋賀                     |
| 212    | 213    | 215    | 226    | 229    | 233    | 236    | 239    | 240    | 243    | 245    | 248    | 252    | 254    | 京都                     |
| 654    | 662    | 671    | 680    | 693    | 705    | 717    | 725    | 732    | 738    | 745    | 751    | 759    | 765    | 大阪                     |
| 456    | 460    | 467    | 480    | 495    | 506    | 519    | 528    | 537    | 544    | 551    | 562    | 577    | 588    | 兵庫                     |
| 126    | 129    | 133    | 136    | 139    | 141    | 143    | 145    | 146    | 148    | 149    | 151    | 152    | 153    | 奈良                     |
| 161    | 163    | 169    | 171    | 172    | 174    | 176    | 178    | 180    | 181    | 182    | 183    | 185    | 186    | 和歌山                    |
| 76     | 77     | 78     | 79     | 81     | 82     | 83     | 84     | 85     | 86     | 87     | 88     | 89     | 91     | 鳥取                     |
| 92     | 94     | 97     | 98     | 100    | 101    | 103    | 104    | 108    | 109    | 111    | 113    | 114    | 115    | 島根                     |
| 204    | 208    | 211    | 218    | 224    | 229    | 235    | 239    | 242    | 245    | 249    | 251    | 255    | 259    | 岡山                     |
| 303    | 308    | 312    | 319    | 329    | 334    | 340    | 345    | 349    | 352    | 357    | 359    | 363    | 365    | 広島                     |
| 159    | 161    | 163    | 168    | 173    | 175    | 178    | 180    | 182    | 184    | 186    | 187    | 189    | 192    | 山口                     |
| 96     | 100    | 102    | 105    | 107    | 109    | 111    | 112    | 113    | 115    | 117    | 119    | 120    | 122    | 徳島                     |
| 100    | 102    | 103    | 108    | 110    | 112    | 115    | 117    | 118    | 120    | 122    | 124    | 126    | 127    | 香川                     |
| 151    | 155    | 158    | 162    | 164    | 167    | 169    | 172    | 174    | 176    | 178    | 180    | 182    | 184    | 愛媛                     |
| 79     | 81     | 83     | 90     | 92     | 94     | 95     | 96     | 97     | 98     | 101    | 103    | 104    | 105    | 高知                     |
| 391    | 398    | 404    | 416    | 425    | 433    | 444    | 452    | 459    | 466    | 473    | 476    | 482    | 486    | 福岡                     |
| 83     | 85     | 86     | 88     | 91     | 93     | 95     | 97     | 99     | 102    | 104    | 106    | 108    | 110    | 佐賀                     |
| 179    | 182    | 184    | 189    | 193    | 198    | 200    | 203    | 206    | 208    | 210    | 213    | 214    | 215    | 長崎                     |
| 189    | 192    | 197    | 202    | 207    | 211    | 216    | 220    | 224    | 228    | 231    | 235    | 238    | 241    | 熊本                     |
| 174    | 177    | 179    | 181    | 184    | 187    | 190    | 191    | 194    | 196    | 198    | 200    | 203    | 204    | 大分                     |
| 129    | 133    | 134    | 137    | 141    | 144    | 147    | 149    | 153    | 155    | 157    | 160    | 162    | 164    | 宮崎                     |
| 162    | 168    | 173    | 178    | 182    | 186    | 191    | 194    | 198    | 201    | 205    | 207    | 210    | 212    | 鹿児島                    |
| 75     | 80     | 85     | 89     | 93     | 97     | 101    | 104    | 108    | 111    | 114    | 116    | 119    | 120    | 沖縄                     |
| 11,247 | 11,482 | 11,721 | 12,077 | 12,410 | 12,688 | 12,998 | 13,220 | 13,428 | 13,618 | 13,806 | 13,971 | 14,171 | 14,314 | 全国計                    |



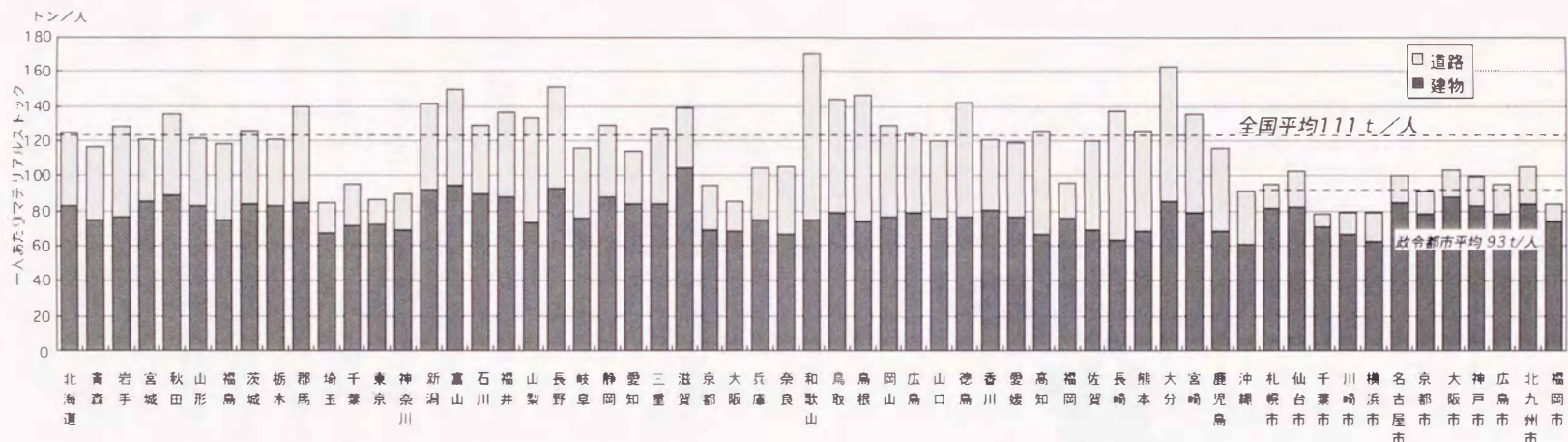


図3-5 都市構造物（建築物・道路）整備による一人あたりマテリアルストック 1995年

-52-

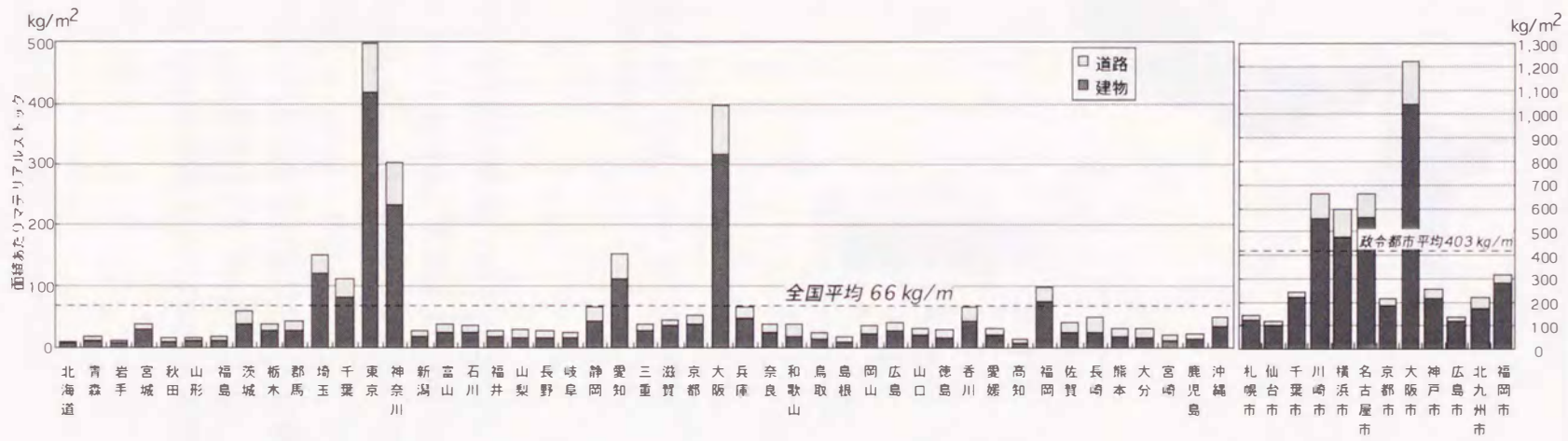


図3-6 都市構造物（建築物・道路）整備による単位面積あたりマテリアルストック 1995年

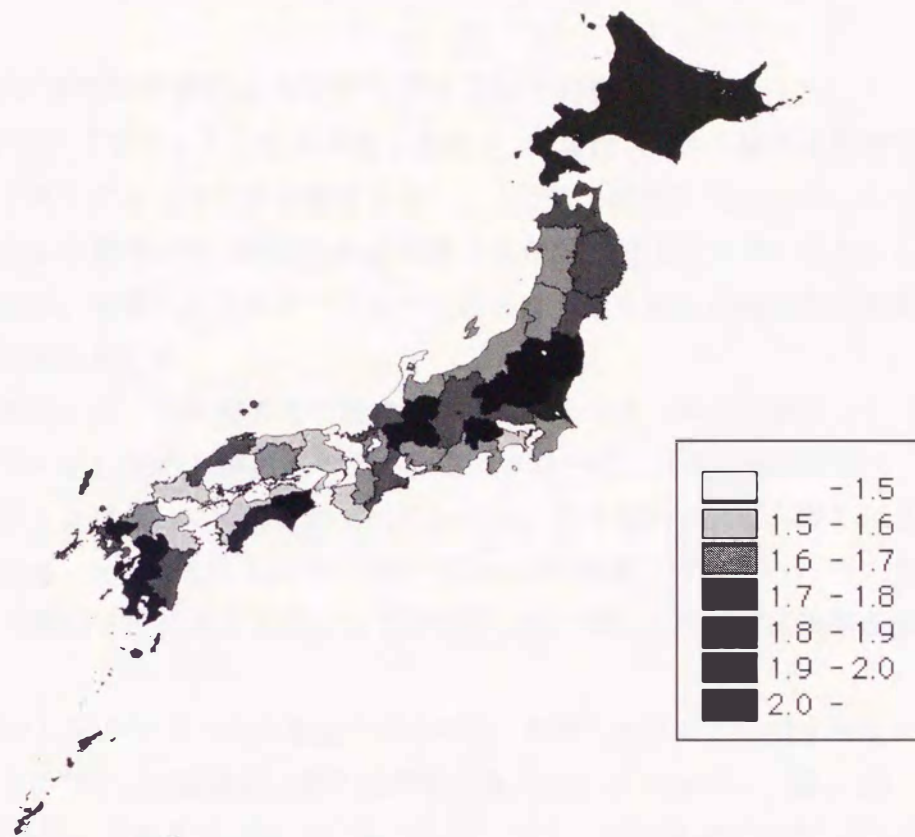


図3-7 都市構造物整備による単位面積あたりマテリアルストックの伸び  
(1975年と1995年の比)

m<sup>2</sup> (建築物 7 kg/m<sup>2</sup>, 道路 5kg/m<sup>2</sup>) であった。同程度の面積 (約 5,000km<sup>2</sup>) でストックを比較すると、愛知県 153kg/m<sup>2</sup> (面積: 5,114km<sup>2</sup>), 千葉県 111kg/m<sup>2</sup> (面積: 4,996km<sup>2</sup>), 福岡県 98kg/m<sup>2</sup> (面積: 4,836km<sup>2</sup>), 和歌山県 39kg/m<sup>2</sup> (面積: 4,724km<sup>2</sup>) と、ストック量に大きな隔たりがあることが分かった。

図3-7に都市構造物整備に伴う1975年と1995年の単位面積あたりストック量の比を示す。最近20年間で、都市構造物によるストック重量が最も増加したのは、沖縄県で3.6倍、次いで山梨県2.2倍であった。また、増加が少なかったのは、大阪府や東京都といった大都市であった。



### 3.3 都市レベルでのマテリアルフローの定量化

#### 3.3.1 トップダウン方式によるマテリアルフローの推計

3.2では、マテリアルストックの推計に加えて、物質投入、排出量の推計を行うことで、都市のマテリアルフローを定量化する。ここでは、福岡市（1990年）をケーススタディ対象として取り上げ、地域内外の物質エネルギー収支をフローとストックの両面から定量化し、物質・エネルギーフローにともなう環境負荷の相互依存関係を明らかにすることを目指した。

都市全体について、統計書等を利用することによるマクロ的分析を行った（トップダウンアプローチ）。統計書等の経年データにはフロー量に関するものが多く、ストックに関するデータは十分に整備されていないため、マクロ的分析にも限界がある（この点については、次章でのボトムアップアプローチを参考にされたい）。そのため、隠れたフロー（HMF）を推計することはできなかつたため、推計値は直接物質投入量である。

個々のマテリアルフローを定量化するために、物質・エネルギー収支勘定表の作成を行った。ここでは、建設資材・耐久消費財（表3-4）、エネルギー（表3-5）、廃棄物（表3-6、表3-7）、水資源<sup>16)</sup>（表3-8）について、マトリクス形式で表現した。さらに、環境負荷発生量については、エネルギーフロー・廃棄物フローより、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>などの地球温暖化物質・大気汚染物質について求めた。また、水資源フロー<sup>16)</sup>により、BOD、COD、TN、TPなどの水質汚濁物質について求めた。

#### 3.3.2 福岡市でのケーススタディ

図3-8に、福岡市の物質・エネルギー収支および環境負荷発生量をまとめたものを示す。また、その詳細な数値を掲載したものを図3-9に示す。

福岡市（1990年）に投入される資材は561万トン、電力は350万Gcalで、排出される廃棄物は195万トンであった。さらに、91万トン（炭素換算）のCO<sub>2</sub>を排出している。このCO<sub>2</sub>の値は炭素に換算したものであるため、実際には91万トンの炭素に加えて、242万トンの酸素が自然界から投入されたことになる。つまり、CO<sub>2</sub>として大気中に排出された量は、333万トンとなり、廃棄物発生量の1.7倍である。一方、都市内のストックは約1億トンあり、年々蓄積する傾向にある。都市内でのリサイクル量は14万トン資材投入量の2.4%とマテリアルフローの中では極めて少ないことが分かる。



第3章 自治体レベルでのマテリアルフロー分析

表3-4 建設資材・耐久消費財のフロー

(1000t)

|       | 期首STOCK | IN    | OUT   | 期末STOCK |
|-------|---------|-------|-------|---------|
| 総量    | 100,481 | 4,680 | 2,136 | 102,795 |
| 土木    | 12,967  | -     | -     | 13,221  |
| 建築    | 86,974  | 4,540 | 2,073 | 88,958  |
| 耐久消費財 | 540     | 140   | 63    | 616     |
| 鉄     | 4,958   | 365   | 156   | 5,167   |
| 土木    | 1       | -     | -     | 1       |
| 建築    | 4,675   | 280   | 118   | 4,836   |
| 耐久消費財 | 282     | 85    | 38    | 329     |
| 木材    | 4,421   | 156   | 97    | 4,480   |
| 土木    | -       | -     | -     | -       |
| 建築    | 4,405   | 155   | 96    | 4,463   |
| 耐久消費財 | 16      | 1     | 0     | 17      |
| セメント  | 7,651   | 413   | 182   | 7,404   |
| 土木    | 25      | -     | -     | 24      |
| 建築    | 7,627   | 413   | 182   | 7,380   |
| 耐久消費財 | -       | -     | -     | -       |
| 砂利石材  | 78,791  | 3,499 | 1,574 | 80,964  |
| 土木    | 12,827  | -     | -     | 13,080  |
| 建築    | 65,964  | 3,499 | 1,574 | 67,884  |
| 耐久消費財 | -       | -     | -     | -       |
| フロンガス | 0.649   | 0.132 | 0.052 | 0.728   |
| 土木    | -       | -     | -     | -       |
| 建築    | -       | -     | -     | -       |
| 耐久消費財 | 0.649   | 0.132 | 0.052 | 0.728   |

表3-5 エネルギー・資源投入量

| 部門分類   | 中間消費  |     |       |       |     |     |    |     |       |    |     |       |    |       | 最終消費  |    |     |       | 除外     |         |
|--------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|----|-----|-------|----|-----|-------|----|-------|-------|----|-----|-------|--------|---------|
|        | 1     | 2   | 3     | 4     | 5   | 6   | 7  | 8   | 9     | 10 | 11  | 12    | 13 | 14    | 15    | 16 | 17  | 18    | 19     | 20      |
| 資源投入   | 農林水産物 | 鉱産物 | 畜産物   | 水産物   | 電力  | 熱   | 金  | 不   | 運     | 通  | 公   | サ     | 分  | 内     | 出     | 費  | 輸   | 修     | 輸      | 入       |
| エネルギー  | 0     | 0   | 599   | 0     | 300 | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 899   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 3,973   |
| 石油系    | 0     | 0   | 187   | 0     | 8   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 44    | 0  | 239   | 2     | 0  | 0   | 0     | 1,723  | -4,936  |
| 石炭系    | 0     | 0   | 79    | 0     | 162 | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 15    | 4  | 63    | 0     | 0  | 58  | 2,179 | -1,468 | -1,342  |
| 原子力    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 18     | 1,698   |
| バイオマス  | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 熱      | 1     | 0   | 3     | 19    | 1   | 0   | 0  | 0   | 39    | 11 | 9   | 41    | 3  | 127   | 2,568 | 0  | 21  | 1,016 | -22    | -792    |
| 電力     | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 14,399 | -15,803 |
| 熱      | 11    | 0   | 73    | 97    | 42  | 506 | 11 | 105 | 34    | 51 | 38  | 711   | 0  | 1,632 | 1,072 | 0  | 25  | 999   | -414   | -778    |
| 石炭     | 6     | 1   | 17    | 191   | 11  | 18  | 1  | 12  | 1,988 | 0  | 29  | 300   | 2  | 2,577 | 61    | 0  | 55  | 2,284 | -466   | -1,779  |
| 石油     | 248   | 0   | 245   | 76    | 174 | 647 | 2  | 37  | 228   | 44 | 95  | 279   | 1  | 2,076 | 0     | 0  | 4   | 1,710 | -167   | -1,332  |
| 原子力    | 77    | 0   | 229   | 9     | 55  | 0   | 0  | 0   | 645   | 0  | 0   | 3     | 5  | 1,022 | 0     | 0  | 138 | 3,844 | -1,005 | 2,995   |
| バイオマス  | 0     | 0   | 0     | 0     | 51  | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 51    | 0     | 0  | 0   | 2,086 | -1,620 | -1,625  |
| 液化石油ガス | 1     | 0   | 78    | 3     | 525 | 0   | 15 | 6   | 734   | 2  | 12  | 335   | 1  | 1,711 | 996   | 0  | 1   | 982   | -1,324 | -765    |
| 都市ガス   | 0     | 0   | 72    | 49    | 83  | 81  | 19 | 28  | 30    | 11 | 10  | 309   | 1  | 692   | 1,071 | 0  | 0   | 471   | -0     | -367    |
| 電力     | 6     | 2   | 420   | 173   | 276 | 855 | 52 | 149 | 314   | 93 | 117 | 1,073 | 3  | 3,533 | 1,517 | 0  | 4   | 2,988 | -1     | -2,327  |
| 鉱物資源   | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 金属鉱物   | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 非金属鉱物  | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 畜産物    | 0     | 0   | 3     | 595   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 1  | 600   | 0     | 0  | 9   | 1,354 | -0     | -1,053  |
| 水産物    | 0     | 0   | 1,281 | 2,095 | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 1     | 0  | 0     | 0     | 0  | 5   | 3,991 | -22    | -3,109  |
| 畜産物    | 0     | 0   | 1,465 | 4,318 | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 2     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 4,847 | -0     | -3,776  |
| 水産物    | 0     | 0   | 78    | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 78    | 0      | 59      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 44     | -42     |
| 水産物    | 1     | 0   | 10    | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 11    | -10    | -9      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 35    | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 33    | -36    | -26     |
| 水産物    | 0     | 0   | 1     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 1     | -5     | -4      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 水産物    | 0     | 0   | 6     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 11    | -0     | -9      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 28    | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 4     | 0  | 32    | 3     | 0  | 1   | 28    | -0     | -24     |
| 水産物    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 畜産物    | 0     | 0   | 1     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 4     | 0  | 5     | 7     | 0  | 0   | 2     | -3     | -2      |
| 水産物    | 0     | 0   | 5     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 5     | 0  | 10    | 11    | 0  | 0   | 7     | -3     | -5      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 2     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 13    | 0  | 15    | 12    | 0  | 0   | 7     | -2     | -6      |
| 水産物    | 0     | 0   | 4     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 5     | 0  | 9     | 46    | 0  | 0   | 7     | -0     | -5      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 19    | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 19    | 96    | 0  | 0   | 175   | -27    | -136    |
| 水産物    | 0     | 0   | 108   | 0     | 0   | 1   | 1  | 0   | 2     | 0  | 0   | 20    | 0  | 132   | 8     | 0  | 3   | 108   | 6      | 84      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 25    | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 1     | 0  | 0   | 0     | 0  | 26    | 0     | 0  | 1   | 28    | -2     | -61     |
| 水産物    | 0     | 0   | 9     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 9     | 0     | 0  | 0   | 577   | -25    | -449    |
| 畜産物    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 水産物    | 0     | 0   | 18    | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 18    | 0     | 0  | 0   | 762   | -0     | -594    |
| 畜産物    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 11    | -5     | -9      |
| 水産物    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 3     | -1     | -2      |
| 畜産物    | 0     | 0   | 0     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 0     | 0     | 0  | 0   | 0     | 0      | 0       |
| 水産物    | 0     | 0   | 2     | 0     | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 2     | 0     | 0  | 1   | 38    | -21    | -29     |
| 畜産物    | 0     | 0   | 296   | 113   | 0   | 0   | 0  | 3   | 0     | 0  | 0   | 1     | 0  | 412   | 0     | 0  | 28  | 572   | -19    | -446    |
| 水産物    | 0     | 0   | 1     | 1,755 | 0   | 0   | 0  | 0   | 0     | 0  | 0   | 0     | 0  | 1,756 | 0     | 0  | 0   | 1,364 | 0      | -1,062  |

表3-6 廃棄物の物質収支（一般廃棄物）

(1000 t)

| 種類<br>1992年 | OUT<br>発生量 | IN<br>資源化量 | FINAL OUT |      |       |
|-------------|------------|------------|-----------|------|-------|
|             |            |            | 計         | 減量化量 | 埋立処分量 |
| 合計          | 712        | 9          | 703       | 489  | 214   |
| 紙           | 253        | 0          | 253       | 208  | 45    |
| プラスチック      | 102        | 0          | 102       | 84   | 18    |
| 木           | 42         | 0          | 42        | 35   | 8     |
| 布           | 21         | 0          | 21        | 17   | 4     |
| 金属          | 40         | 5          | 35        | 0    | 35    |
| ガラス         | 32         | 4          | 28        | 0    | 28    |
| その他         | 222        | 0          | 222       | 145  | 77    |
| 可燃物         | 559        | 0          | 559       | 460  | 99    |
| 不燃物         | 153        | 9          | 144       | 29   | 115   |

表3-7 廃棄物の物質収支（産業廃棄物）

単位：1000 t

| 種類<br>1992年 | OUT<br>発生量 | IN<br>資源化量 | FINAL OUT |       |       |       |
|-------------|------------|------------|-----------|-------|-------|-------|
|             |            |            | 計         | 減量化量  | 埋立処分量 | 海洋投入量 |
| 合計          | 2,433      | 423        | 2,010     | 1,334 | 639   | 35    |
| 燃え殻         | 0          | 0          | 1         | 0     | 1     | 0     |
| 汚泥          | 1,599      | 35         | 1,564     | 1,279 | 248   | 34    |
| 廃油          | 4          | 2          | 2         | 2     | 0     | 0     |
| 廃酸          | 1          | 1          | 0         | 0     | 0     | 0     |
| 廃アルカリ       | 1          | 0          | 1         | 1     | 0     | 0     |
| 廃プラスチック類    | 19         | 2          | 17        | 12    | 5     | 0     |
| 紙くず         | 7          | 6          | 3         | 1     | 2     | 0     |
| 木くず         | 109        | 72         | 34        | 34    | 0     | 0     |
| 繊維くず        | 0          | 0          | 0         | 0     | 0     | 0     |
| 動・植物性残さ     | 8          | 5          | 3         | 3     | 0     | 0     |
| ゴムくず        | 0          | 0          | 8         | 0     | 8     | 0     |
| 金属くず        | 20         | 12         | 25        | 0     | 25    | 0     |
| ガラス・陶磁器くず   | 31         | 6          | 6         | 0     | 6     | 0     |
| 鉱さい         | 6          | 0          | 1         | 0     | 0     | 0     |
| 建設廃材        | 625        | 280        | 345       | 1     | 344   | 0     |
| ばいじん        | 0          | 0          | 0         | 0     | 0     | 0     |
| 感染性産業廃棄物    | 1          | 0          | 1         | 1     | 0     | 0     |



表3-8 水資源利用勘定表 (千 m<sup>3</sup>/年)

| 福岡市    |       |        | 表流水<br>A | 地下水<br>B | 水道水<br>C | 雨水<br>D | 合計<br>E | 回収水<br>F |
|--------|-------|--------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| 取<br>水 | 域内    | 1      | 123,394  | 7,151    | -8,542   | 129,274 | 251,277 | —        |
|        | 移入    | 2      | 90,624   | —        | —        | —       | 90,624  | —        |
|        | 取水計   | 3      | 214,018  | 7,151    | -8,542   | 129,274 | 341,901 | —        |
| 転<br>換 | 域内    | 4      | 64,401   | 0        | 64,401   | —       | —       | —        |
|        | 移入    | 5      | 90,624   | —        | 90,624   | —       | —       | —        |
|        | 転換計   | 6      | 155,025  | 0        | 155,025  | —       | —       | —        |
| 消<br>費 | 農業    | 7      | 55,292   | 1,128    | —        | 129,274 | 185,694 | —        |
|        | 製造業   | 8      | 3,701    | 6,022    | 8,445    | —       | 18,169  | 43,785   |
|        | 産業部門計 | 9      | 58,993   | 7,151    | 8,445    | 129,274 | 203,863 | 43,785   |
|        | 家庭用   | 10     | —        | —        | 91,157   | —       | 91,157  | —        |
|        | 業務用   | 11     | —        | —        | 46,881   | —       | 46,881  | 10,076   |
|        | 民生部門計 | 12     | —        | —        | 138,038  | —       | 138,038 | 10,076   |
| 消費計    | 13    | 58,993 | 7,151    | 146,483  | 129,274  | 341,901 | 53,861  |          |
| 排<br>水 | 農業    | 14     | —        | —        | —        | —       | 185,694 | —        |
|        | 製造業   | 15     | —        | —        | —        | —       | 18,169  | 10,346   |
|        | 下水    | 16     | —        | —        | —        | —       | 218,712 | —        |
|        | 合併    | 17     | —        | —        | —        | —       | 4,740   | —        |
|        | 単独    | 18     | —        | —        | —        | —       | 5,592   | —        |
|        | 非水洗化  | 19     | —        | —        | —        | —       | 8,414   | —        |
| 排水計    | 20    | —      | —        | —        | —        | 451,666 | —       |          |





図3-8 福岡市マテリアルフロー（1990年）

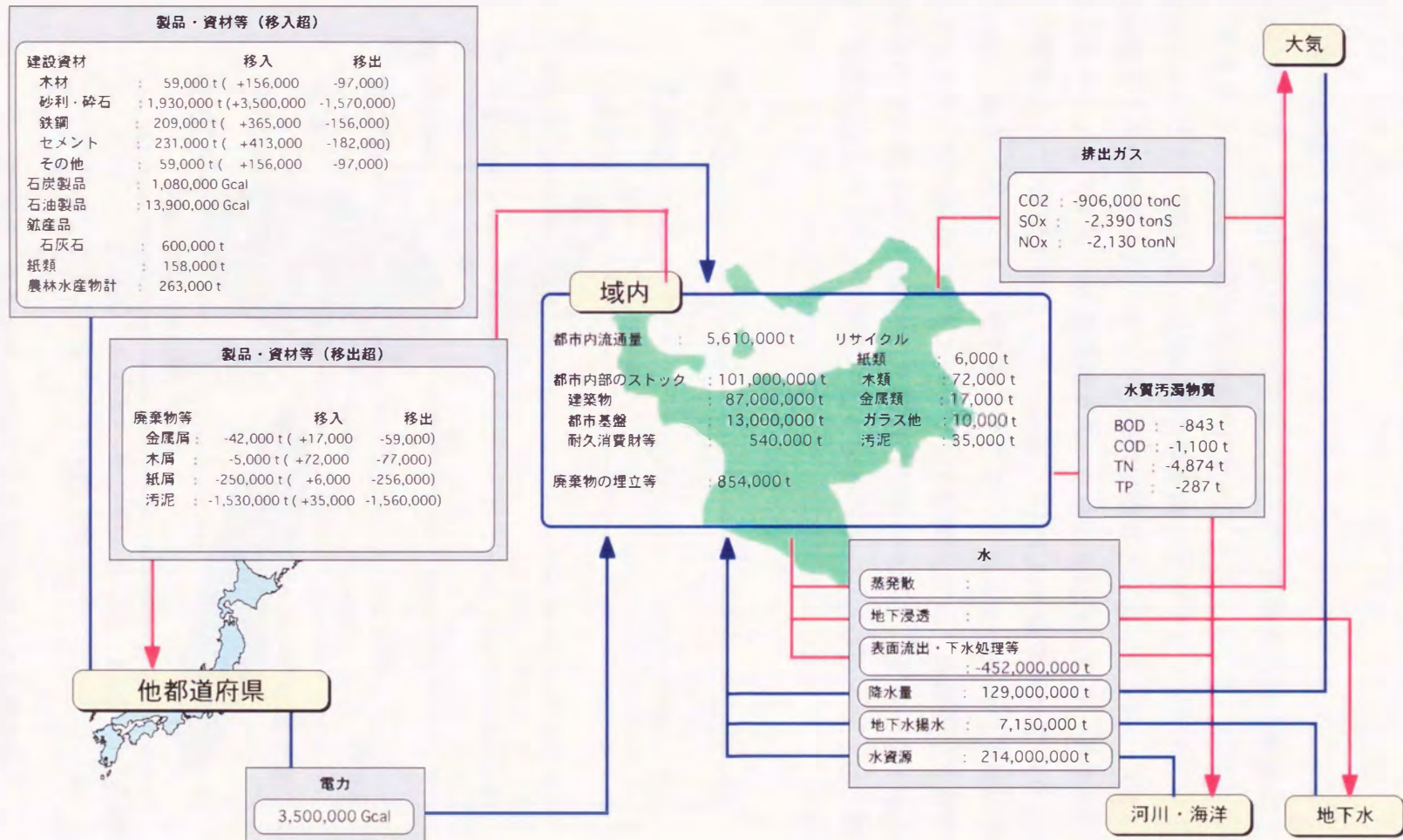


図 3-8 福岡市マテリアルフロー (詳細, 1990年)



### 3.4 マテリアルストックからみた都市の特性

#### 3.4.1 都市規模による類型化

3.2において、大都市ではマテリアルストックの面積あたりの集積が大きくなる一方、一人あたりのストック量は地方都市に比べて小さくなることが分かった。また、地方都市においても、同じような地理的条件を持つ都市でもマテリアルストックの集積傾向は違うことが分かった。そこで、都市規模ごとに都市をグループ化し、グループごとのマテリアルストック集積傾向からみた特性を定量化する。具体的には、クラスター分析を用いて、都道府県の人口と面積について近い値を持つ都市をグループ化し、いくつかの都市グループを作成する。ここで、クラスター分析の手法はWard法を用い、クラスター間の距離は平方ユークリット距離とする。各指標は正規化データを用い解析を行う。図3-9に分類された都市の分布図を示す。グループ1は、東京都、大阪府、神奈川県といった大都市を中心とするグループ、グループ3は、岩手県、福島

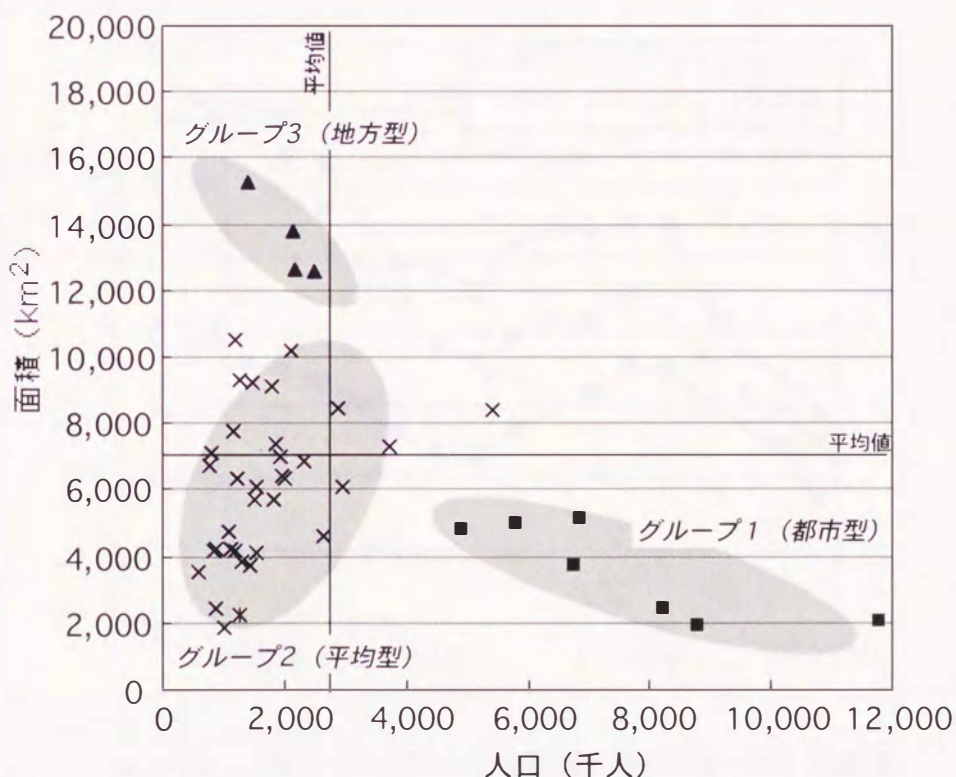


図3-9 クラスター分析による都市規模による類型化

県、新潟県といった地方都市を中心とするグループ、グループ2は上記以外の平均的な都市のグループであった。

### 3.4.2 マテリアルストック集積傾向と都市特性

都市グループごとの移動5年平均を用いた資源投入量の増加率の推移を図3-10に示す。経年変化で投入量の増加率を見ると、3グループとも減少傾向にある。大都市を中心とするグループ1は、ストックの伸びが低い状態で推移している。それに対し、グループ2およびグループ3は、ストックの伸びはグループ1に比べて高いものの、徐々に伸びが低下し、グループ1に近づいていることが分かる。

都市グループごとのマテリアルストックの増加率と県内総生産の増加率を1975年を基準年としてプロットしたものが、図3-11である。プロットされた点は、グループ3→2→1の順に45°の線から徐々に離れていることが分かる。これは、県内総生産の増加に伴うマテリアルストックの増加が低くなっているためであり、大都市になるほど物質投入が飽和状態に近づき、ストックを活用しつつ、県内総生産を増加させてい

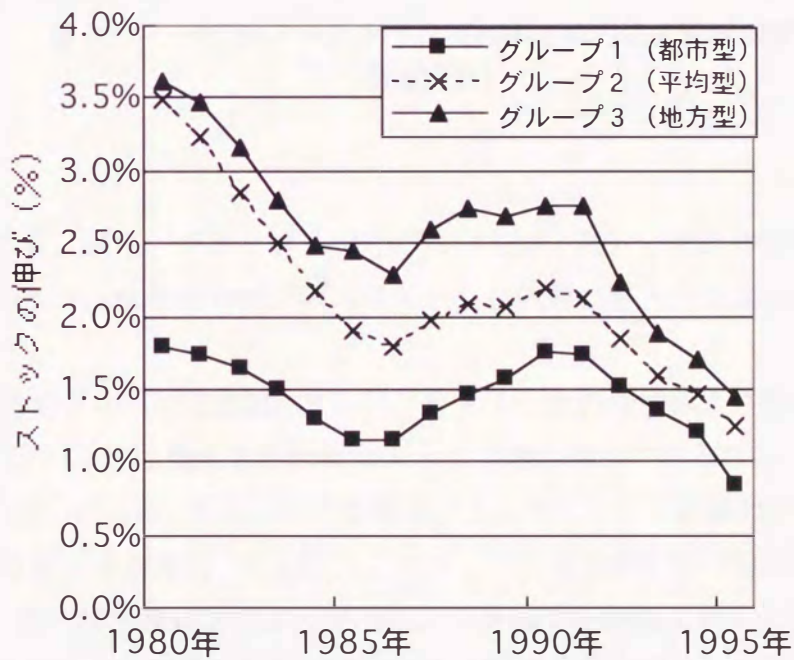


図3-10 マテリアルストック増加率（移動5年平均）の推移



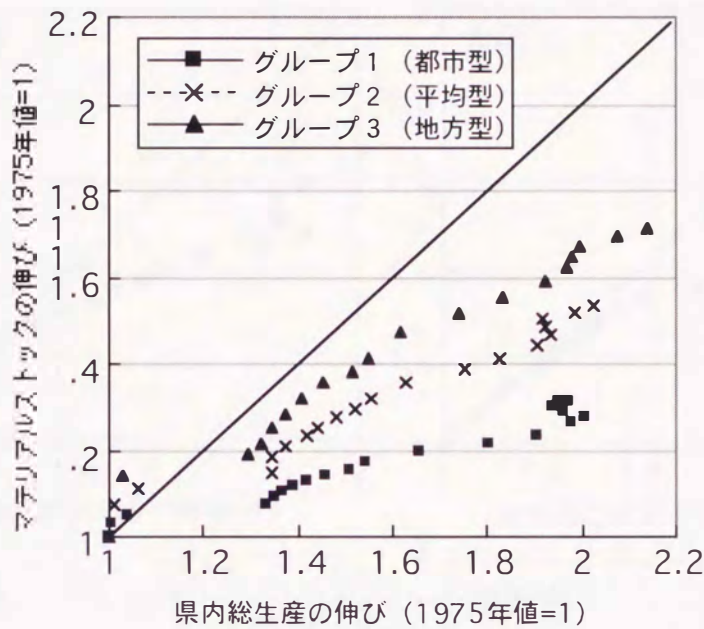


図3-11 マテリアルストック増加率と県内総生産増加率  
(都道府県)

ると考えられる。また、グループ2、3については、ストックの伸びは鈍りつつも増加を続けているが、総生産の伸びの方がストックの伸びを上回る傾向にあることが分かる。

大都市を含むグループ1では、マテリアルストックの増加率より県内総生産の増加率が大きくなっており、投入された資源ストックを活用していることが図3-11により明らかになった。そこで、都市における資源ストックについて詳細に分析するため、全国12政令指定都市を対象に、マテリアルストックの増加率と市内総生産の増加率の比較を行った。市内総生産はデフレーターにより平成2年価格に補正を行った。12都市のうち、グループ1と同様の傾向が見られた4都市（名古屋市、大阪市、神戸市、福岡市）についての結果を図3-12に示す。各都市とも、概ねマテリアルストックの伸びは鈍化傾向にあることがわかる。

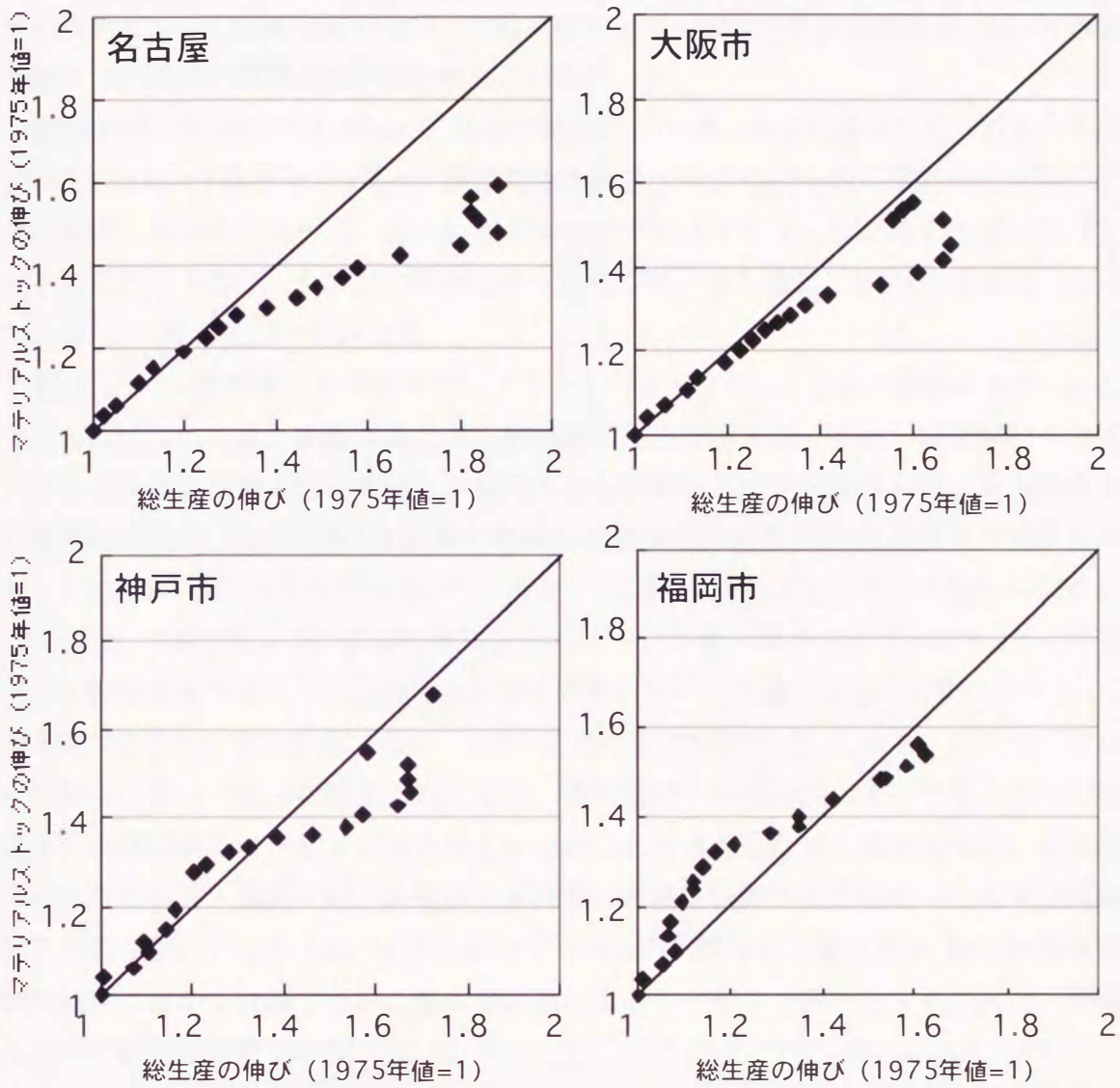


図3-12 マテリアルストック増加率と市内総生産増加率  
(政令指定都市)



### 3.4.3 都市整備における MIPS 適用のケーススタディ

ここでは、得られたマテリアルストックのデータをもとに、北九州市をケーススタディ対象として、市域全体の道路、建築物についてのMIPS評価を試みる。MIPS評価手法については、前章2.5.2を参考とされたい。

評価地域の面積は482.95km<sup>2</sup>、建築物数342,419棟、居住世帯392,623世帯、人口1,017,733人(平成8年)である。評価対象を統計データの得られた建築物と道路の2つに限定し算定を行なった。北九州市全体でのマテリアルストックは128×10<sup>6</sup>t(人口1人あたり126t)、インフラ整備に伴うエネルギー投入量は2.94×10<sup>7</sup>Gcal(人口1人あたり28.9Gcal)であった。

図3-13に、建築物に関するマテリアルストック・フロー、人口の推移を示す。ここで、人口については、評価対象とする建築物が住宅だけでなく業務・商業施設も含まれることから、来訪人口を考慮し、昼間人口と夜間人口の平均を用いる。北九州市では建築物のストックは1963年以降、連続して増加しており、1996年のマテリアルストックは1963年の3.1倍である。その反面、人口はほとんど変化がみられない。図3-13下部に、2.5.2式(12)により算定されたサービス量の推移を示す。図3-14に北九州市の建築物を対象としたMIPSカーブを示す。サービス量(分母)の変化が少なく、投入量(分子)の増加が多い場合、MIPSはわずかに増加する。しかし、ここでのサービス量は居住サービスに限定されており、業務施設や商業施設のような住宅以外の用途をもつ構造物のサービスは含まれていないことを考慮しなければならない。北九州市のような百万人都市では、大規模な業務施設や商業施設の割合が高いため単位面積あたりのマテリアルストックが増加したこともMIPS増加の一因である。評価対象を建物用途別に細かく分類するか、都市構造物によるサービスを細分化することで、詳細なMIPS算定が可能である。

次に、道路を対象としたマテリアルストック・フローの推計と旅客輸送によるサービス量の算定を行った。ここで、サービス量としては、2.5.2で述べた通り、「何人がどれだけ道路を利用したか」というサービス量を定量化するために「道路利用年数×道路利用人数×道路利用距離」(単位は年・人・キロ)を算定した。ここで、「道路利用人数×道路利用距離」(人・キロ)は旅客輸送量であるが、詳細な輸送量の把握にはOD調査やPT調査が必要である。ここでは、道路のサービスとして輸送量を算定する際に、対象地域でのOD調査やPT調査のデータが得られなかったことから、代替案として、全国平均値から推計した自動車輸送量を用いる。本ケーススタディでは、全国の旅客

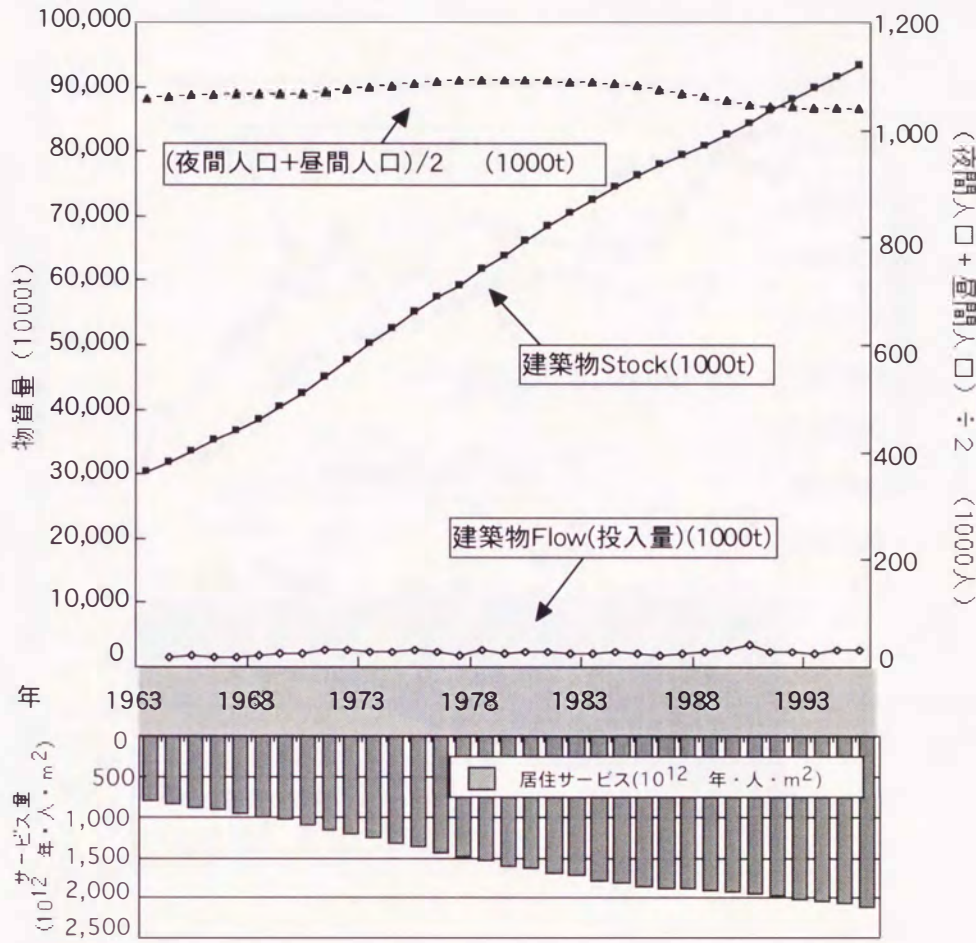


図3-13 北九州市域における建築物のマテリアルストック・フローとサービスの発生量の経年変化

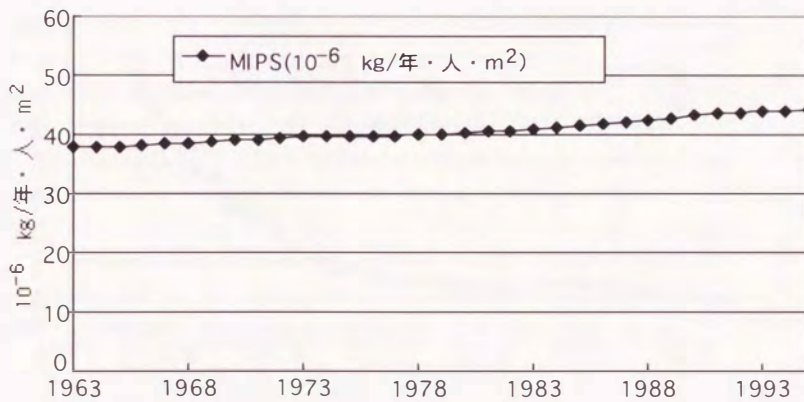


図3-14 北九州市域における建築物のMIPSカーブ



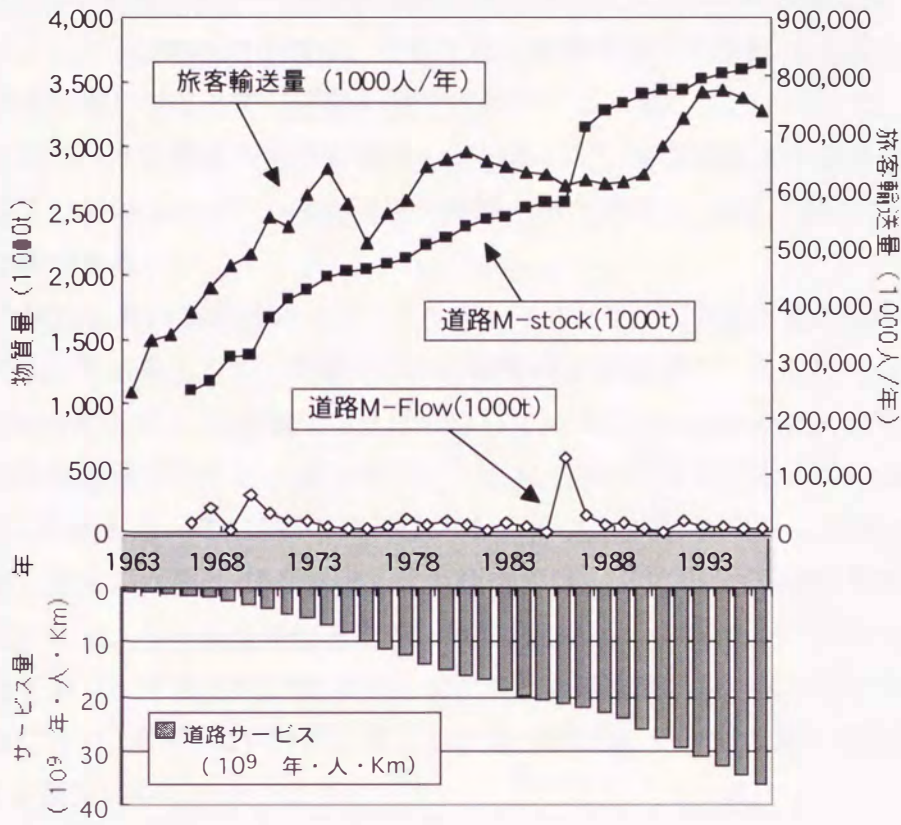


図3-15 北九州市域における道路のマテリアルストック・フローとサービスの発生量の経年変化

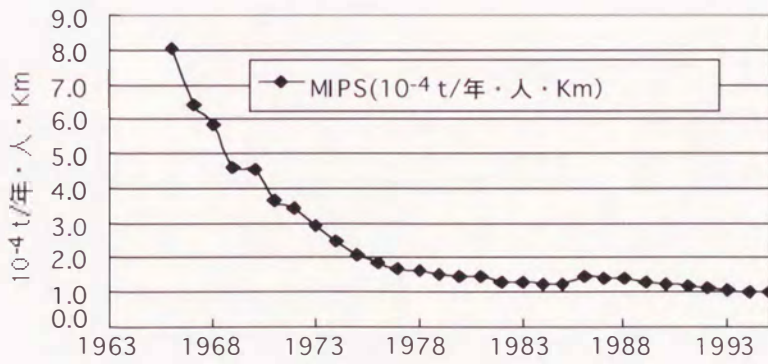


図3-16 北九州市域における道路のMIPSカーブ

輸送人キロ<sup>17)</sup>を自動車保有台数<sup>17)</sup>で除することにより、1台あたりの旅客輸送人キロを算定し、対象地区内の車種別保有台数を乗じることで、旅客輸送量(人・キロ)とした。さらに、道路利用年数は、その年の自動車平均使用年数<sup>18)</sup>を用い、その値を旅客輸送量に乗じることで、道路の発生するサービス量とした。ここで、対象地区内で登録されている自動車を対象に算定しているため、対象地区での通過交通は評価の対象に含まれていない。この通過交通を把握するためには、前述の通りOD調査やPT調査が必要である。

北九州市における道路のマテリアルストックとサービス発生量の経年変化を図3-15に示す。計算結果として、市域全体の道路建設によるマテリアルストックは、1966年から1996年までの30年間で3.3倍になっていることがわかった。また、自動車の普及とともに道路のサービス量も増加し、同30年間で27倍になっていることがわかった。算定結果を用いて、道路のマテリアルストックを道路のサービス量で除したMIPSを算定したものが図3-16である。北九州市では、1966年から1985年までは道路利用の増大に伴い、サービス単位あたりの物質量は減少していたが、1985年から1986年にかけて新バイパスや新規建設道路が次々と供用を開始し、ストックが急激に増大したことにより、MIPSは一時的に増大したが、その後、サービス量も増加したことから、MIPSは減少に転じた。



### 3.5 まとめ

本章において、都道府県および政令指定都市を対象に都市のマテリアルストックに関する解析を行い、以下のことが明らかになった。

(1) 全国都道府県および政令指定都市の建築物・道路を対象としたマテリアルストックの集積量が明らかになった。1995年の全国におけるマテリアルストックは約140億トン(111 t/人)となった。ストック集積量が最も多かったのは東京都で約10億トン(全国総量の7%)、最も少なかったのは、鳥取県で約8800万トンであった。

(2) マテリアルストックの集積傾向からみた都市の特性を定量化するために、クラスター分析を用いて都市規模による類型化を行い、全国の都道府県を3グループに分け、それぞれの特性を明らかにした。その結果、大都市では、マテリアルストックの増加率より県内総生産の増加率が大きくなる傾向が強くなっていることが分かった。これは、大都市における物質投入が飽和状態に近づきつつあり、資源ストックの活用効率を上げていることが分かった。また、地方都市においては、マテリアルストックの伸びは大都市に比べて高いものの、徐々にストックの伸びが低くなっていることが分かった。

(3) 都市におけるマテリアルフローを推計した結果、福岡市(1990年)に投入される資材は561万トン、電力は350万Gcalで、排出される廃棄物は195万トンであった。さらに、91万トン(炭素換算)のCO<sub>2</sub>を排出している。このCO<sub>2</sub>の値は炭素に換算したものであるため、実際には91万トンの炭素に加えて、242万トンの酸素が自然界から投入されたことになる。つまり、CO<sub>2</sub>として大気中に排出された量は、333万トンとなり、廃棄物発生量の1.7倍である。一方、都市内のストックは約1億トンあり、年々蓄積する傾向にあることが分かった。

(4) 面積482.95km<sup>2</sup>、人口1,017,733人(平成8年)、マテリアルストックは128×10<sup>6</sup>t(人口1人あたり126t)の北九州市全域にMIPS評価を適用した。建築物を対象としたMIPS値として、建築物のマテリアルストックと「居住年数×居住人口×居住面積」の推移を比較すると、MIPSの値は増加しており、サービスの増加よりもストックの増加の方が大きいことがわかった。北九州市全域の道路を対象とした推計では、1966年から1996年までの30年間で、マテリアルストックが3.3倍、道路のサービス量が27倍になっていることがわかった。

本章では、自治体レベルでのマテリアルフロー分析を行ったが、今後の課題として、以下の3点が明らかになった。

(1) 本研究では、都市を類型化する際、クラスター分析を用いて人口・面積データから都道府県単位で分類を行った。地域の環境管理施策にマテリアルフロー分析を用いるための基礎データとしては、地域の特性を考慮した、市町村レベルでの推計を行う必要がある。また、マテリアルストックの増加率と総生産の増加率を比較する際、景気の影響を考慮する必要がある。

(2) 対象外の都市構造物：本論文で算定の対象外となった都市構造物（鉄道、上水道、電力供給施設、都市ガス供給施設、堤防・防波堤等）についても同様の算定を行い、都市構造物ごとのMIPSの傾向を国内外の複数の都市について調査し、比較を行うことでMIPSの絶対値についての検討を行うことが必要である。また、都市の特性を変数の一部として取り入れ、更新のシナリオや新技術の導入による効果をMIPSにより算定し、持続可能な都市づくりへの方向性を検討していくことが必要である。

(3) サービスの定量化：MIPSを算定するに当たって、評価対象の物質投入量は定量化する事は可能であるが、そのサービスを特定することには慎重な議論が必要である。今回の算定では2.5.2に示した手法でサービスの定量化を行い、「何人がどれだけ利用したか」という概念を定式化した。しかし、式中に、居住施設整備による住みやすさや、道路整備による時間短縮効果といったサービスの質がこの指標ですべて表されているわけではない。そこで、居住年数の増加に伴う快適性の低下率や、道路拡幅や立体交差の導入による可能交通容量の増大率といった変数を式中に導入するなどの工夫が必要である。また、今回行った道路のサービス量算定において除外した貨物輸送のように、最終消費者が都市構造物を間接的に利用している場合、2.5.2で定義した算定式ではサービス量が評価されない。例えば、貨物輸送のための都市構造物（貨物鉄道や港湾）は多大なマテリアルストックがあるのに直接的にはサービスは発生しておらず、間接的にサービスを発生しているということになる。そこで、今回2.5.2で定義した方法に加えて間接的なサービス量を定量化する手法を検討する必要がある。

(4) 自然資源による便益や、農地における生産性といった環境資源勘定体系全体から得られる結果を用いて、マテリアルストックの総合評価を行う必要がある。今回行った評価では、マテリアルストックとそれから得られる直接的なサービス量を用いたため、自然資源の減少や農地生産の減少などは考慮に入っていない。そのためには、今後、マテリアルストックの増減を質的側面からとらえて、環境資源勘定体系の構築を行う必要がある。



## 参考文献

- 1) 日本開発銀行：調査-建築系廃棄物の発生量予測とその対応策-，第175号，1993.
- 2) 環境庁：平成11年度版環境白書，PP95-97，1999.
- 3) 谷川寛樹，藤倉良，井村秀文：都市の物質収支と環境資源勘定に関する研究：建設用資材の投入と建設副産物，環境システム研究，Vol.23，pp.274-278，1995.
- 4) 白浜康弘，谷川寛樹，松本亨，井村秀文：GISを利用した都市内エネルギー及びマテリアルストックの推計，環境システム研究，Vol.25，PP269-275，1997.
- 5) OECD：ECO-EFFICIENCY，OECD PUBLICATIONS，1998.
- 6) F・シュミット＝ブレーク，(佐々木建訳)：ファクター10-エコ効率革命を実現する-，シュプリングー・フェアラーク東京，1997.
- 7) エルンスト・U・フォン・ワイツゼッカー，エイモリー・B・ロビンス，L・ハンター・ロビンス(佐々木建訳)：ファクター4-豊かさを2倍に資源消費を半分に-，省エネルギーセンター，1998.
- 8) 電力中央研究所：都市インフラストラクチャー構築の資源使用量と環境負荷，調査報告Y95011，1996.
- 9) 建設省道路局企画課：道路統計年報，全国道路利用者会議，1965-1998.
- 10) 大都市統計協議会：大都市比較統計年報，1970-1997.
- 11) 建設省建設経済局調査情報課：建築統計年報，建築物価調査会，1966-1999.
- 12) 野城智也：建設量と現存量の比較に基づく建物の寿命分布の試算，日本建築学会計画形論文集，第464号，p 151-160，1994.
- 13) 酒井寛二：建築活動と地球環境-建築のライフサイクル環境負荷-，空気調和・衛生工学会新書，1995.
- 14) 日本道路協会：アスファルト舗装要項，1999.
- 15) 日本道路協会：簡易舗装要項，1999.
- 16) 大平晃司，上野賢仁，中口毅博，三渡了，井村秀文：地域の水資源に着目した環境資源勘定の構築に関する研究，環境システム研究，Vol.23，pp.321-325，1995.
- 17) 運輸省運輸政策局：自動車輸送統計年報，1995.
- 18) 運輸省自動車交通局，自動車検査登録協力会：平成7年版 わが国の自動車保有動向，1995.

## 第4章 街区レベルにおけるマテリアルフロー分析

### 4.1 はじめに：都市建設における総物質投入量

前章では、都市レベルにおけるマテリアルフロー分析を行いトップダウン方式による推計を行った。本章では、さらに詳細な推計を行うため、対象範囲を絞りボトムアップ方式を用いてマテリアルフロー分析を行う。

都市の整備及びその活動維持のためには、さまざまな施設・構造物の建設、維持・管理にともなう多量の資材・エネルギーの投入が必要である。わが国の1990年における総資源投入量は22.8億トンと算定されているが、そのうち11.0億トン(48%)は建設資材であった。また、投入資源のうちの13.0億トンが建造物や製品の形で蓄積されたが、その相当部分は都市内の構造物のストックとなっている。建設資材としては鉄、セメント、木材が大部分を占めるが、この外に、建設工事、建設用資材生産及びこれらのために消費されるエネルギー生産(たとえば、石炭の採掘)に際してさまざまな地表改変が行われるので、これにともなう土の移動量も大きい。

こうした資源移動量は、人間活動の規模とそれが環境に及ぼす影響を評価する指標として注目されている。たとえば、土の移動量は、土地利用変化のような他の指標とあわせて見ることによって、人間活動が自然環境に及ぼすインパクトを評価する上で有用である。ここで、このような資源移動量を評価する手法として最近開発されたのがMFA(Material Flow Analysis/Accounting: マテリアルフロー分析/勘定)である<sup>2)</sup>。これは、経済活動と自然環境の相互関係を、両者の間の資源移動量によって定量化し、経済指標では表されない環境へのインパクトを評価しようとするものである。MFAでは、まず、自然界から経済活動への資源の実投入量DMI(Direct Material Input: 直接資源投入量)を定量化する。次いで、「土の移動」「非商品としての森林伐採」のように、人間活動によって引き起こされながらも、経済財としては扱われない「隠れたフロー量HMF(Hidden Material Flow: 隠れたフロー, エコロジカルリユクサック)」を定量化する。さらにDMIとHMFを合計したTMR(Total Material Requirement: 総物質必要量)を算定することで、資源消費量及び資源採掘に伴う自然改変量を定量化する。



ある都市（地域）についてMFAが算定されれば、その都市の活動を維持するために必要な資源のフローとストックが、都市の内部及び外部における直接的・間接的な物質投入量として示され、都市活動にともなう環境インパクトを評価する上で有用である。他方、資材製造から廃棄段階までのライフサイクルでの物質投入量（物質集約度）を定量化する分析としてMAIA（Material Intensity Analysis：物質集約度分析）が開発されており、これを応用すれば、都市が提供するさまざまなサービスの水準と資源投入量の関係をMIPS（Material Input per unit of Service：単位サービスあたりの物質集約度）として表示することが可能となる<sup>31)</sup>。

ここで、物質移動量とエネルギー消費量は密接に関係していると考えられる。最近、都市を構成するさまざまな土木・建築構造物についてのライフサイクルアセスメントが活発に行われているが、これまでの多くの研究での採用指標はライフサイクルエネルギー（LC-E）やライフサイクルCO<sub>2</sub>（LC-CO<sub>2</sub>）に限定されがちであった。ライフサイクルでの物質投入量を定量化することで、LC-EやLC-CO<sub>2</sub>と物質移動を合わせたより包括的な指標を構築することができる。

このようにMFAは有意義であるが、実際にそれを実行するには複雑な物質循環の定量化が必要であり、現在、国の経済システム全体や特定の産業部門を対象として物質収支を計量する研究が行われているところである。日本全体を対象としたMFAは、森口ら<sup>25)</sup>(1997)によって実行され、国内でのTMR（1990）は約56億トン、1人あたり約46トンと報告されている。また、A.Adriaanseら<sup>6)</sup>(1997)は、ドイツ、オランダ、日本、アメリカの4カ国のTMRを比較した。それによれば、年間人口1人あたり総物質需要量（1990年）は、ドイツ84トン、日本46トン、オランダ85トン、アメリカ83トンである。また、天野ら<sup>7)</sup>(1998)は、セメント・コンクリート産業についてのMFAを行った。その結果、生コンクリート1トンあたり、TMR2.5トン（1990年）であることを示した。また、地域を対象としたMFAの例として、守田ら<sup>8)</sup>(1999)は、東京都におけるマテリアルバランスを物流の面から定量化している。同研究では東京都の物質投入量を約12トン/人（1994年）と推計している。

これらの既往研究では、評価対象を国あるいは地域全体とし、マクロ的なデータを用いたトップダウン型のマテリアルフロー分析を行っている。しかし、マテリアルフロー分析を地域の環境管理施策に反映させるためには、対象地域の環境特性を考慮した上で、評価対象物がどれだけの環境資源を利用し、どれだけのサービスを生み出しているかを定量化する必要がある。そのためには、地域ごとの特性を反映したミクロ

なデータを用いたボトムアップ型の詳細な分析を行い、地域における環境の量的・質的变化を捉えることが必要である。前章では、都市におけるマテリアルストックに着目し、都市構造物整備（建築物・道路）に伴う資材蓄積量を推計した結果、福岡市78トン／人（1990年）、北九州市126トン／人（1996年）であることが明らかになった。

本章では、MFAの対象を都市内住宅地の街区レベルに設定することで、ボトムアップ型の分析による推計を試みる。また、HMFとしてカウントされる「建設工事による掘削量」や、DMIとしてカウントされる「資材投入量」は、建設プロジェクトごとの工事で発生するため、評価対象を住宅地建設プロジェクトとすることで、必要な物質量の算定を行う。このように、評価対象街区での直接物質投入(DMI)だけでなく、経済活動に表れない物質投入(HMF)の算定を行うことで、自然界に及ぼしている環境インパクトに関する1つの評価指標を提示する。そのために、建設資材として主要な3素材（鉄、コンクリート、木材）について、製品1トンあたりのマテリアルフローを定量化し、DMI、HMF原単位を作成する。さらに、推計手法を適用するために、日本の都市開発の標準ケースを満たしている住宅地を選定し、標準的な住宅地建設工事に対してマテリアルフロー分析を行う。評価対象地区の開発前後における物質ストックの変化量を算定することで、都市内住宅地整備にともなう資源消費をマテリアルフロー図とともに環境資源勘定表（物量ベース）として表現する。また、本研究で構築を行ったTMR推計手法を用いて、建設用地が丘陵地であった場合と平地であった場合のTMRの違い、住宅形態が戸建住宅の場合と集合住宅の場合のTMRの違いを分析する。



## 4.2 宅地造成による TMR 推計手法

### 4.2.1 分析フレーム

都市構造物のライフサイクルでのマテリアルフローの概念図を図4-1に示す。建設活動は、資材の投入により環境状態の改変を行い、環境ストックを変化させ、社会的サービスの提供を可能とする。このような建設活動に伴い、HMFが発生する。HMFは、経済的価値を持たない物質移動量であるが、具体的に宅地造成工事においては、建設地での環境状態改変量（土壌移動量、森林伐採量）と、資材生産に伴う国内外での環境状態改変量（土壌移動量、森林伐採量）に大別される。さらに、資材を生産するために行った直接投入量（DMI）とHMFを合計したものが総物質投入量（TMI）である。そこで、都市建設におけるTMIは、以下のように表現することができる。

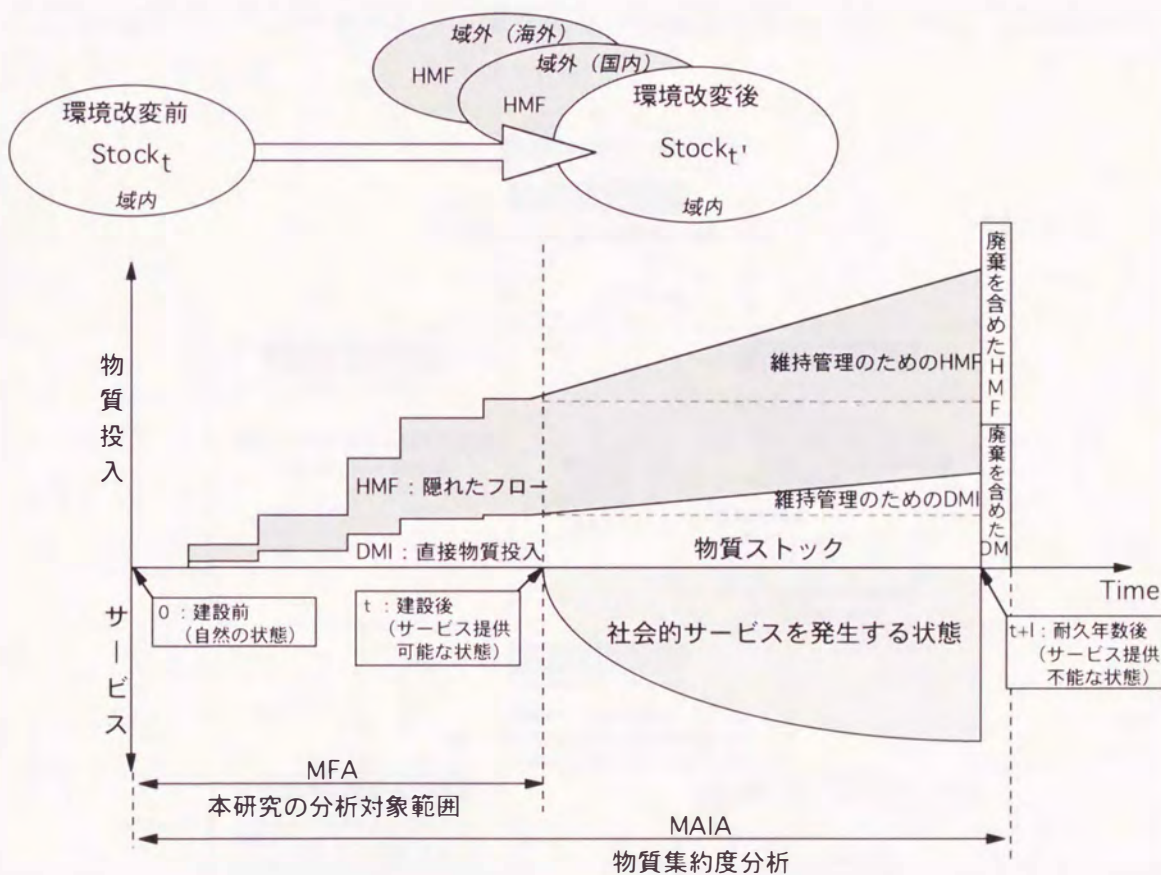


図4-1 建設活動におけるマテリアルフロー分析の概念

$$TMR = \sum_i (DMI_{STOCK_i} + HMF_{STOCK_i}) + \sum_j (HMF_{CONSTRUCTION_j}) \quad (1)$$

ここで、 $DMI_{STOCK_i}$ ：都市構造物iの資材固定量に対するDMI， $HMF_{STOCK_i}$ ：都市構造物iの資材固定量に対するHMF， $HMF_{CONSTRUCTION_j}$ ：都市構造物整備のための工事jに対するHMF（土工事による掘削量や造成工事による森林伐採量など）である。

本研究では、サービスが発生するまでのTMRを推計することを目的とし、HMFは3つの評価ステージ（域内、国内、海外）に分類し、宅地造成に伴って発生したHMFの場所を明確にする。また、本研究は、既往研究と違い単年ごとのMFAを行うものではなく、1つの最終製品（団地）がサービスが発生させるまでの期間についてMFAを行う。

本研究において宅地を対象としたMFAの分析フローを図4-2に示す。まず、評価対象団地として選定した地区内の物質ストック量を建設資材別に定量化する。次に建設資材生産に伴うDMI，HMF（域外HMF）を建設資材別に定量化し、投入資材に伴うMFAを行う。評価対象地区内の環境状態の改変を定量化（域内HMF）するために、

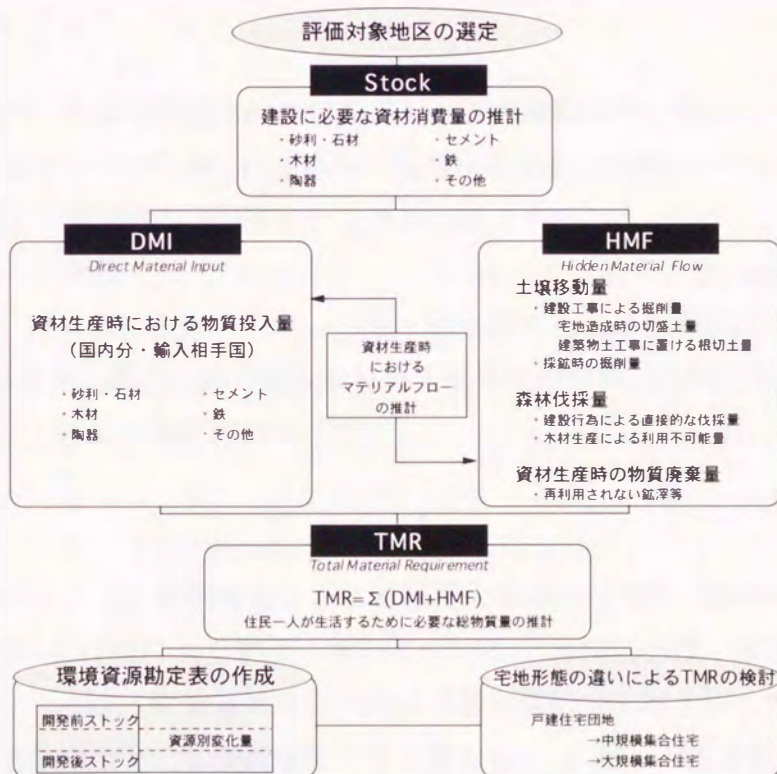


図-2 本研究における分析フロー



建設前後の土地被覆状況の変化、標高の変化から、森林伐採量、土壌移動量（切盛土量）の算定を行う。また、建築物の構造別・敷地面積別の根切量を推計することで、住宅建築に伴う土壌移動について定量化する。さらに、推計されたDMI、HMFの合計によりTMIを算定する。実際の算定システムでは、行政が整備しているGISデータベースを活用し、不足分のデータは、評価対象地区の設計図面からGISデータを作成し補うことで詳細な推計を行う。

MFAの結果を表現する手段として、一般的に用いられているフロー図形式と、環境資源勘定表形式を用いて物質フロー、物質収支の表現を行う。

MFAを用いた評価の例として、本研究で構築したTMR推計手法を用い、同団地（戸建住宅団地）が中規模集合住宅団地、大規模集合住宅団地であった場合の比較を行い、MFAから見た住宅地の建設方法の評価を行う。

#### 4.2.2 建設による資材蓄積量（STOCK）の推計

評価地区内の建設資材ストックの推計を行うために、以下の式を用いて、評価対象域内における構造物別の資源蓄積量の推計を行う。

$$Stock^{(n)} = \sum_i (\gamma_i^{(n)} \cdot S_i^{(n)}) \quad (2)$$

ここで、 $Stock^{(n)}$ ：評価対象域内における施設nの資源蓄積量（施設nとは建築物、道路等）、 $\gamma_i^{(n)}$ ：施設nの構造物iに対応した面積または延長距離あたりの建設資材投入量、 $S_i^{(n)}$ ：施設nの構造物iの面積または延長距離である。

建設資材投入原単位  $\gamma_i^{(n)}$  については、以下のa)～g)に示す通り、居住施設、道路、電力供給施設、ガス供給施設、上水・下水・雨水排水施設の各施設について整理・調査を行った。表4-1に構造物別の建設資材投入原単位の整理・調査結果一覧を示す。以下に各構造物における原単位について記す。

##### (1) 居住施設

居住施設については、建築構造ごとに資源投入原単位を整理、調査を行った。建築業協会<sup>12)</sup>は、積み上げ法により構造・建築用途別に11分類に分けて固定資源量を推計している。酒井<sup>13)</sup>らは、産業連関表を利用し「限定間接需要算入法」を用いて、代表的な4種類の建築構造別に基礎資材使用量を算定した。これらの原単位に合わせて、独自に住宅メーカーにヒアリングを行い、建築構造別の資材使用量及び実際の土工事で

行われる根切量（埋戻量・残土処分量）について調査を行った。ここで、ヒアリング項目として建築構造の中に「木質系プレハブ造」、「軽量鉄骨プレハブ造」を追加し、上記2つの原単位を補完するものとした。根切量については、4.2-(4)-d)で詳しく述べる。

建築物の資源固定量は、構造物ごとの構造にあった上記の原単位に、その延床面積を乗じることで推計を行う。構造別の延床面積は、行政において整備されている建築物GISデータより抽出する。

### (2)道路

一般に道路構造は、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<sup>14)</sup>や簡易舗装要項<sup>15)</sup>により、構造決定までのプロセスが細かく提示されている。住宅地の中の道路種類としては、幹線道路、準幹線道路、補助幹線道路、専用道路、区画道路、歩行者用道路の6種類があげられる。本研究では、幅員、車線数、計画交通量、設計時CBRの状況から、幹線道路を高級舗装（アスファルト層10cm、上層基盤10cm、下層基盤15cm）、準幹線道路を高級舗装（アスファルト層5cm、上層基盤10cm、下層基盤10cm）、残りを簡易舗装（アスファルト層4cm、上層基盤7cm、下層基盤7cm）として推計を行う。また、密度については、アスファルト舗装修繕技術<sup>16)</sup>より、アスファルト層2.35t/m<sup>3</sup>、砂利石材（上層基盤）2.35t/m<sup>3</sup>、砂利石材（下層基盤）2.20t/m<sup>3</sup>とする。評価地区内の道路網における計画交通量や幅員については、行政が整備している高速道路・国道・県道・市道データベースを用いる。

### (3)電力供給施設

電力供給施設として、評価地区内の電線と電柱を算定対象とする。発電所は域外にあるため評価対象とはしない。電線については延長距離を算定し、単位長さあたりの金属重量を乗じることにより、評価地区における物質ストックを算定する。電柱についても同様の算定を行う。算定に用いた原単位は、電線メーカーや電力会社からのヒアリングを元に作成した。評価地区内の電線網については、現地調査をもとにGISデータを作成し、物質投入量の算定を行う。

### (4)ガス供給施設

ガス供給施設として、評価地区内のガス管を算定対象とした。ガス管は延長距離をGISデータベースより管径別に算定し、単位長さあたりの資材重量を乗じることによ



#### 第4章 街区レベルにおけるマテリアルフロー分析

り、評価地区における物質ストックを算定する。ガス管は上水管、下水管、雨水管（場所による）と地中に埋設しているため、埋設深さから掘削量を推計しHMFとしてカウントする。算定に用いた原単位は、ガス供給会社からのヒアリングを元に作成した。現在では、幹線管に鋼管またはダクタイル鋳鉄管、各世帯に供給する管としてポリエチレン管を用いることが多いので、表中の通り、重量的には小さな値となる。評価地区内のガス管網については、施工時の設計図面をもとにGISデータを作成し、物質投入量の算定を行う。

##### (5)上水道

上水道については、評価対象地区内の上水管に使われる資材量の推計を行う。上水管メーカーにヒアリング調査を行った結果、上水管にはダクタイル鋳鉄管を用いていることが分かった。その管径別の重量は、表4-1に示す通りである。評価地区内の上水管網については、施工図面をもとに管径、材質、埋設深さを含むGISデータを作成し、物質投入量の算定を行う。

##### (6)下水道

下水道については、評価対象地区内の下水管に使われる資材量の算定を行う。ここで用いた資材投入原単位は、下水管メーカーにヒアリング調査を行い作成した。下水管としては、塩化ビニル管、陶管が用いられており、それぞれの管径別重量を表4-1に示す。評価地区内の下水管網については、施工図面をもとに管径、材質、埋設深さを含むGISデータを作成し、物質投入量の算定を行う。

##### (7)雨水管

雨水管にはヒューム管が用いられ、その原材料は、セメント、砂利石材、鉄である。それぞれ重量を管径ごとに表4-1に示す。ここでの原単位は、ヒューム管を生産している企業にヒアリング調査を行い、まとめたものである。評価地区内の雨水管網については、施工図面をもとに管径、材質、埋設深さを含むGISデータを作成し、物質投入量の算定を行う。

第4章 街区レベルにおけるマテリアルフロー分析

表4-1 構造物別の資源固定原単位

| 構造物          | 調査           | 構造                | 単位                | 資源固定量   |       |       |       |       |         |                       | 備考   | 出典  |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-----------------------|--|-----|
|              |              |                   |                   | 砂利・石材類  | 木材    | セメント  | 陶磁器類  | 鉄     | その他     | 合計                    |  |     |
| 建築物          | 建築業協会        | 木造、住宅             | kg/m <sup>2</sup> | 432.1   | 131.7 | 74.3  | 62.7  | 16.0  | 13.0    | 729.8                 | 建築業協会<br>我が国の建設分野における活動による環境負荷と関連活動の実態調査結果および業界としての今後の活動の方向について、1992 <sup>17)</sup>  |     |
|              |              | 木造、事務所            | kg/m <sup>2</sup> | 391.4   | 100.9 | 66.0  | 37.5  | 16.2  | 9.6     | 621.6                 |  |     |
|              |              | 鉄骨造、事務所           | kg/m <sup>2</sup> | 521.0   | 1.0   | 98.4  | 15.0  | 183.2 | 22.3    | 840.9                 |  |     |
|              |              | 鉄骨造、工場            | kg/m <sup>2</sup> | 481.0   | 1.0   | 92.7  | 8.1   | 141.4 | 13.6    | 737.8                 |  |     |
|              |              | 鉄骨・鉄筋コンクリート造、住宅   | kg/m <sup>2</sup> | 1,273.0 | 20.9  | 246.8 | 23.7  | 131.5 | 22.5    | 1,718.4               |  |     |
|              |              | 鉄骨・鉄筋コンクリート造、事務所  | kg/m <sup>2</sup> | 1,624.1 | 3.2   | 301.0 | 40.4  | 207.4 | 35.4    | 2,211.5               |  |     |
|              |              | 鉄筋コンクリート造、住宅      | kg/m <sup>2</sup> | 1,315.9 | 19.7  | 254.3 | 37.6  | 112.0 | 26.0    | 1,765.5               |  |     |
|              |              | 鉄筋コンクリート造、事務所     | kg/m <sup>2</sup> | 1,448.5 | 4.7   | 273.7 | 33.4  | 146.7 | 28.3    | 1,935.3               |  |     |
|              |              | 鉄筋コンクリート造、店舗      | kg/m <sup>2</sup> | 1,457.4 | 2.2   | 279.4 | 20.3  | 114.8 | 23.1    | 1,897.2               |  |     |
|              |              | 鉄筋コンクリート造、校舎      | kg/m <sup>2</sup> | 1,493.8 | 8.8   | 286.2 | 32.6  | 152.9 | 19.1    | 1,993.4               |  |     |
|              | 鉄筋コンクリート造、工場 | kg/m <sup>2</sup> | 1,804.5           | 0.7     | 353.3 | 23.9  | 120.1 | 16.3  | 2,318.8 |                       |  |     |
|              | 酒井ら          | 建築平均              | kg/m <sup>2</sup> | 1,127.0 | 78.0  | 128.0 | 82.0  | 85.0  | 22.0    | 1,522.0               | 酒井真二<br>建築活動と地球環境<br>建築のライフサイクル環境負荷-、空気調和・衛生工学会<br>観音、1995 <sup>18)</sup>            |     |
|              |              | 木造                | kg/m <sup>2</sup> | 939.0   | 162.0 | 93.0  | 116.0 | 39.0  | 23.0    | 1,372.0               |  |     |
| 鉄骨造          |              | kg/m <sup>2</sup> | 847.0             | 22.0    | 92.0  | 68.0  | 99.0  | 19.0  | 1,147.0 |                       |  |     |
| 鉄骨・鉄筋コンクリート造 |              | kg/m <sup>2</sup> | 1,564.0           | 37.0    | 189.0 | 61.0  | 143.0 | 26.0  | 2,020.0 |                       |  |     |
| 鉄筋コンクリート造    |              | kg/m <sup>2</sup> | 1,701.0           | 49.0    | 215.0 | 57.0  | 114.0 | 25.0  | 2,161.0 |                       |  |     |
| ヒアリング        | 木造           | kg/m <sup>2</sup> | 215.1             | 140.3   | 50.1  | 2.1   | 3.8   | 0.0   | 411.4   | 住宅供給メーカー大手2社へのヒアリング調査 |  |     |
|              | 鉄骨造          | kg/m <sup>2</sup> | 535.3             | 11.5    | 124.7 | 5.1   | 92.5  | 0.0   | 769.2   |                       |  |     |
|              | 鉄骨鉄筋コンクリート造  | kg/m <sup>2</sup> | 1,281.7           | 14.8    | 298.6 | 1.0   | 135.1 | 0.0   | 1,731.0 |                       |  |     |
|              | 鉄筋コンクリート造    | kg/m <sup>2</sup> | 1,163.7           | 22.4    | 271.1 | 2.0   | 91.1  | 0.0   | 1,550.3 |                       |  |     |
|              | 軽量鉄骨造        | kg/m <sup>2</sup> | 147.3             | 28.9    | 34.3  | 0.0   | 25.4  | 0.0   | 235.8   |                       |  |     |
|              | 木質系プレハブ造     | kg/m <sup>2</sup> | 7.9               | 38.4    | 1.8   | 4.1   | 0.0   | 0.0   | 52.3    |                       |  |     |
|              | 軽量鉄骨系プレハブ造   | kg/m <sup>2</sup> | 475.8             | 61.1    | 110.8 | 6.9   | 90.6  | 0.0   | 745.3   |                       |  |     |
| 道路           | 舗装要項         | 高級舗装、幹線道路         | kg/m <sup>2</sup> | 565.0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 235.0   | 800.0                 | 「その他」にはアスファルトを計上<br>日本道路協会<br>アスファルト舗装要項 <sup>14)</sup> 、簡易舗装要項 <sup>15)</sup> 、1999 |     |
|              |              | 高級舗装、準幹線道路        | kg/m <sup>2</sup> | 455.0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 117.5   | 572.5                 |  |     |
|              |              | 簡易舗装、補助幹線道路       | kg/m <sup>2</sup> | 318.5   | 0     | 0     | 0     | 0     | 94.0    | 412.5                 |  |     |
|              |              | 簡易舗装、専用道路         | kg/m <sup>2</sup> | 318.5   | 0     | 0     | 0     | 0     | 94.0    | 412.5                 |  |     |
|              |              | 簡易舗装、区画道路         | kg/m <sup>2</sup> | 318.5   | 0     | 0     | 0     | 0     | 94.0    | 412.5                 |  |     |
|              |              | 簡易舗装、歩行専用道路       | kg/m <sup>2</sup> | 318.5   | 0     | 0     | 0     | 0     | 94.0    | 412.5                 |  |     |
|              |              | 電力・電話             | 電力                | kg/m    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0       | 3.4                   |  | 3.4 |
| 電力・電話        | 電線、電話        | kg/m              | 0                 | 0       | 0     | 0     | 0     | 1.1   | 1.1     |                       |  |     |
| 電力・電話        | 長電柱          | kg/本              | 1,170.3           | 0       | 272.6 | 0     | 69.4  | 0     | 1,512.3 |                       |  |     |
| 電力・電話        | 短電柱          | kg/本              | 476.7             | 0       | 111.0 | 0     | 28.3  | 0     | 616.0   |                       |  |     |
| カス管          | ヒアリング        | ポリエチレン管、管径50cm    | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0.9     | 0.9                   | 「その他」にはポリエチレンを計上<br>大手ガス会社へのヒアリング調査  |     |
|              |              | ポリエチレン管、管径75cm    | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 2.1     | 2.1                   |  |     |
|              |              | ポリエチレン管、管径100cm   | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 3.4     | 3.4                   |  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径100cm  | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 22.6  | 0       | 22.6                  |  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径150cm  | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 32.6  | 0       | 32.6                  |  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径200cm  | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 43.0  | 0       | 43.0                  |  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径300cm  | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 50.0  | 0       | 50.0                  |  |     |
|              |              | 鋼管、管径50cm         | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 5.3   | 0       | 5.3                   |  |     |
|              |              | 鋼管、管径80cm         | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 8.8   | 0       | 8.8                   |  |     |
|              |              | 鋼管、管径150cm        | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 19.8  | 0       | 19.8                  |  |     |
| 上水管          | ヒアリング        | ダクタイル鑄鉄管、管径75cm   | kg/m              | 1.7     | 0     | 0.5   | 0     | 17.6  | 0       | 19.8                  | 日本ダクタイル鉄管協会 便覧、1999  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径100cm  | kg/m              | 2.3     | 0     | 1.0   | 0     | 23.1  | 0       | 26.3                  |  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径200cm  | kg/m              | 5.8     | 0     | 1.4   | 0     | 53.5  | 0       | 60.7                  |  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径300cm  | kg/m              | 15.7    | 0     | 1.7   | 0     | 95.0  | 0       | 112.4                 |  |     |
|              |              | ダクタイル鑄鉄管、管径400cm  | kg/m              | 21.0    | 0     | 3.7   | 0     | 139.8 | 0       | 164.4                 |  |     |
| 下水管          | ヒアリング        | 塩化ビニル管、管径20cm     | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 0     | 0     | 7.1     | 7.1                   | 「その他」には塩化ビニルを計上<br>建設物価調査会 建設物価、1999   |     |
|              |              | 陶管、管径25cm         | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 54.0  | 0     | 0       | 54.0                  |  |     |
|              |              | 陶管、管径35cm         | kg/m              | 0       | 0     | 0     | 95.0  | 0     | 0       | 95.0                  |  |     |
| 雨水管          | ヒアリング        | L型側溝              | kg/m              | 220.8   | 0     | 25.1  | 0     | 0     | 0       | 245.8                 | 大手セネコンへのヒアリング調査  |     |
|              |              | ヒューム管、管径300cm     | kg/m              | 62.7    | 0     | 14.6  | 0     | 1.7   | 0       | 79.0                  |  |     |
|              |              | ヒューム管、管径500cm     | kg/m              | 143.8   | 0     | 33.5  | 0     | 3.6   | 0       | 180.9                 |  |     |
|              |              | ヒューム管、管径900cm     | kg/m              | 474.6   | 0     | 110.6 | 0     | 14.0  | 0       | 599.1                 |  |     |
|              |              | ヒューム管、管径1200cm    | kg/m              | 807.0   | 0     | 188.0 | 0     | 30.1  | 0       | 1,025.1               |  |     |
|              |              | ヒューム管、管径1500cm    | kg/m              | 1,042.7 | 0     | 242.9 | 0     | 42.1  | 0       | 1,327.6               |  |     |
|              |              | ヒューム管、管径1800cm    | kg/m              | 1,413.4 | 0     | 329.2 | 0     | 55.9  | 0       | 1,798.6               |  |     |



### 4.2.3 単位資材生産量あたりの DMI, HMF の推計

建設資材投入量のうち、建設工事において資源消費量の多い、鉄、コンクリート、木材の3項目について資材生産量あたりの DMI, HMF を整理、推計した。

#### (1)粗鋼

粗鋼生産におけるマテリアルフローを図4-3に示す。粗鋼生産プロセスは3段階に大別される。

第1段階は資源採掘段階である。ここでは自然界から原料（鉄鉱石）を取り出す段階である。1995年における鉄鉱石の海外依存度は100%であるため、資源採掘にともなう HMF はすべて輸入相手国で発生している。A.Adriaanse ら<sup>6)</sup>(1997)によると、1994年における鉄鉱石の輸入量116百万トン、それに伴う土壌侵食などによる HMF は277百万トンと算出している。つまり鉄鉱石輸入量1トンあたりの HMF 原単位は2.39トン/トンとなる。本研究での対象年は1995年であるが、A.Adriaanse ら<sup>6)</sup>の研究では1994年までの算定を行っているので、1994年の原単位を1995年の算定に代用した。

第2段階は、高炉処理を行い、銑鉄を製造する段階である。銑鉄を製造するためには、原料である鉄鉱石に石灰石とコークスを加え、高炉処理を行う。この処理前後での物質収支は、1995年産業連関表<sup>17)</sup>の物量表やコンクリート総覧<sup>18)</sup>をもとに算定を行った。

第3段階は転炉や電炉を用いて粗鋼を生産する段階である。転炉は高炉で生産した銑鉄から連続して生産し、電炉は主に鉄屑等を原料とし粗鋼として再資源化する。粗鋼を生産する転炉と電炉の割合は、全国平均で転炉68%、電炉32%であるが<sup>19)</sup>、それぞれに投入される物質量を1995年産業連関表<sup>17)</sup>の物量表より整理した。その結果、粗鋼1トン生産すると、汚泥0.11トン、スラグ0.11トン、ダスト0.02トンの物質が生成される。さらに、一連の工程において再資源化処理がなされており<sup>20)</sup>、その結果、粗鋼1トンあたり、再資源化量0.62トン、廃棄量0.25トンとなる。この廃棄量と第一段階で発生した HMF を加えると粗鋼1トンあたりの HMF は2.38トンになることが分かった。

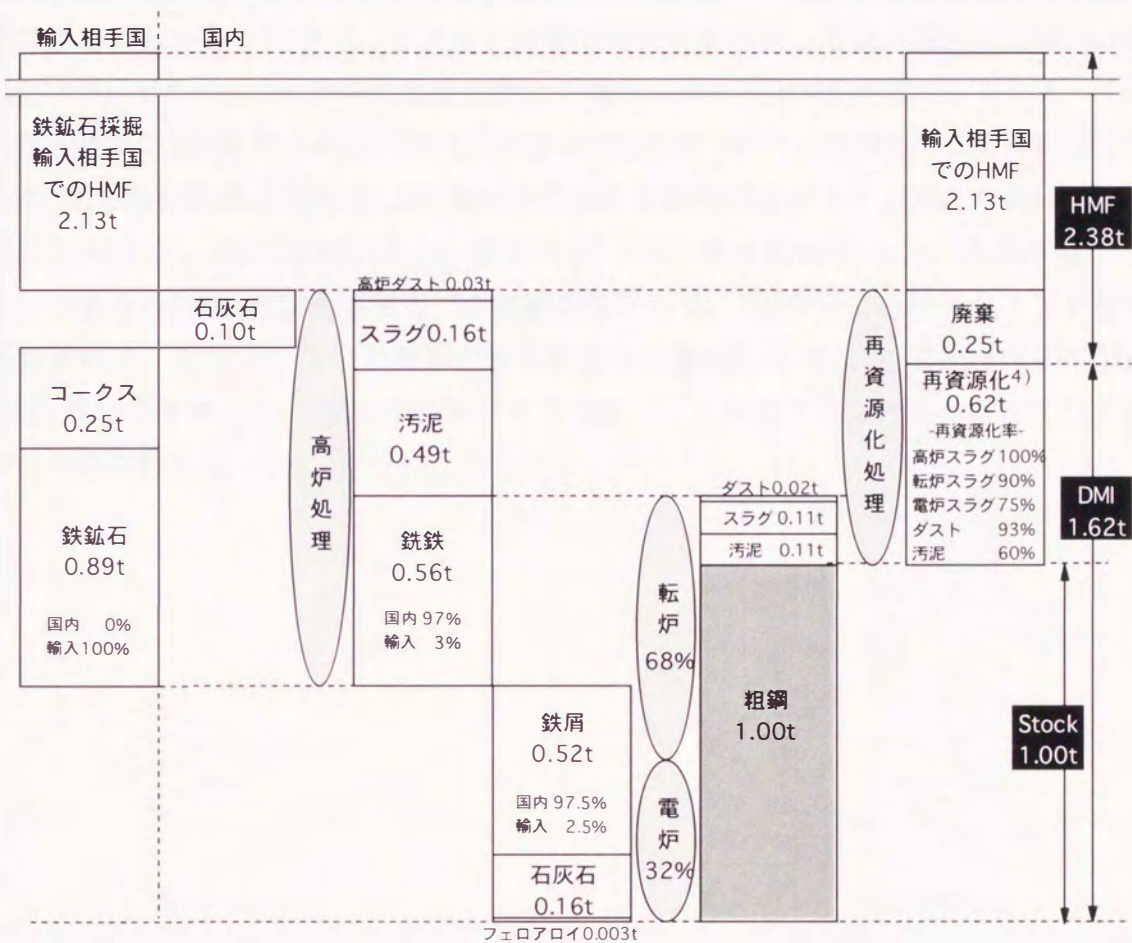


図-3 粗鋼のマテリアルフロー  
(粗鋼生産1トンあたり)(1995年)



## (2)コンクリート

コンクリート生産におけるマテリアルフローを図4-4に示す。コンクリートの原料となるのは、砂利石材、セメントである。さらにセメントの原料となるのは、石灰石、粘土、石膏である。このことから分かるように、原料のほとんどは日本国内で供給可能である。しかしその中で、セメント産業が利用する石炭・重油が海外依存度100%（1995年）であり、この原料の生産に伴って海外においてHMFが発生している。この石炭・重油のHMFや石灰石、粘土、石膏のHMFについて、天野ら<sup>7)</sup>は推計を行っている。天野らの結果より算定した1994年における原料別DMI 1トンあたりのHMFは、石炭7.61トン、石灰石0.05トン、粘土0.18トン、ケイ石0.05トン、天然石膏0.01トンである。1995年産業連関表<sup>17)</sup>の物量表を用いて、1995年におけるセメント産業の物質収支、生コンクリート産業の物質収支を定量化したうえで、1994年のDMI、HMF原単位を用いて、1995年におけるコンクリート生産1トンあたりのマテリアルフローを推計した。

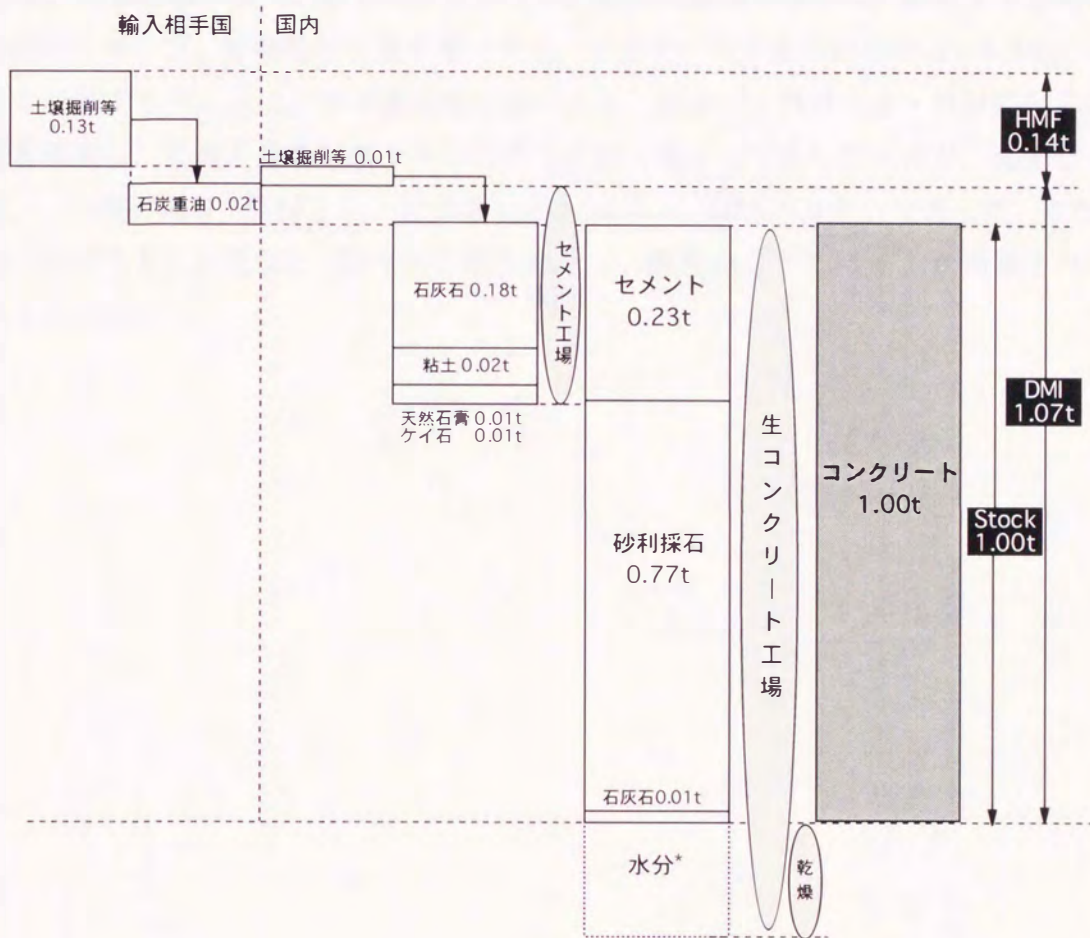


図4-4 コンクリートのマテリアルフロー  
(コンクリート生産1トンあたり)(1995年)



### (3)木材

木材におけるマテリアルフローを図4-5に示す。木材需給表によると、日本において流通している製材は、国内起源のものが32%、海外起源のものが68%（1995年）となっている<sup>21)</sup>。このうち建材として使われる木材について、杉をモデルとした原木1本から作られる製材、チップ、林地残材を推計した。

まず、林業白書<sup>22)</sup>より、杉立木1本あたりの製品供給量を参考に、製材1トンあたりの立木、チップ、林地残材の量を算出する。ここで、スギの気乾密度は、 $0.38\text{g}/\text{cm}^3$ として計算する<sup>23)</sup>。次に、木材需給報告書<sup>21)</sup>より、国産材・外材丸太・外材製材の流通量を調査し、各流通量を製材1トンあたりの投入量として表したものが、図4-5である。この推計より、製材1トンにつきDMI1.86トン、HMF0.8トンであった。また、国内で製材を1トン使うと、国内の立木0.91トン、海外の立木1.71トンが消費されていることが分かる。

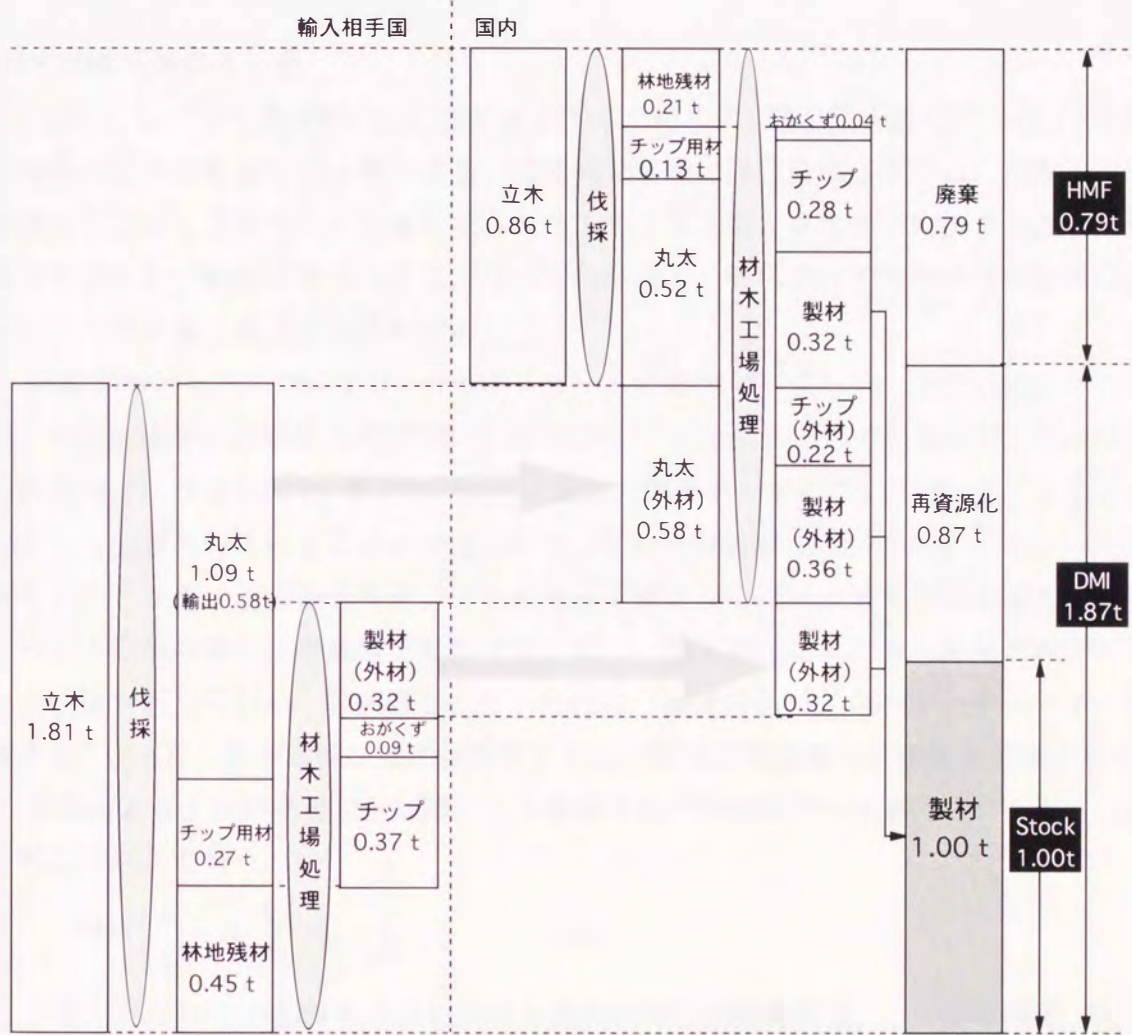


図4-5 木材のマテリアルフロー  
(木材生産1トンあたり)(1995年)



#### 4.2.4 域内における資材生産を伴わないHMFの推計

宅地造成工事区域内において、資材生産を伴わないHMFとして、宅地造成時の土工量、宅地造成時の原生林伐採、管渠敷設時の掘削、住宅建設時の掘削の4つを取り上げ、それぞれの物質量の推計を行う。

##### (1)宅地造成時の土工量

HMFとして宅地造成時の土工量を算定するためには、建設残土量だけでなく、移動土量そのものを把握する必要がある。宅地開発事業に伴う造成工事では、地盤安定や地盤沈下に対して安全上の配慮がなされた上で、切土量と盛土量が均衡するように計画されるのが一般的である。ここでは、宅地造成前の等高線と宅地造成後の等高線を用いて、切土量と盛土量を推計する。

利用するデータについては、デジタルデータがあれば好ましい。現在の標高データは、各自治体が土地利用基本図(1/2500)のデジタル化を進めているので、その中から等高線データを抽出し、推計に用いる。過去の標高データについては、デジタルデータとして整備されていることは少ないので、土地利用基本図(1/2500)をもとに作成することとする。過去の等高線データの作成手順としては、土地利用基本図をスキャナーにより読み取り、等高線を取得する。次に、幾何補正により現在の等高線データとの位置合わせを行い、等高線をベクトル化し、線情報としてGISデータベースに保存する。さらに、各等高線に標高情報を入力し、現在の等高線との比較を可能にする。

造成による土砂移動量は、上記により整備された等高線データをもとに、以下の式を用いて推計を行う。

$$HMF^{(Soil)} = \rho \cdot \sum_i (V_{0,i} - V_{1,i}) \quad (3)$$

ここで、 $HMF^{(Soil)}$ : 評価対象地区における造成に伴う土砂移動量、 $\rho$ : 土砂密度、 $V_{0,i}$ : 地点*i*における造成前の体積、 $V_{1,i}$ : 地点*i*における造成後の体積である。

体積 $V_{0,i}$ 、 $V_{1,i}$ を推計は、以下のような作業により行う。まず、2時点での等高線データにおいて、TIN(Triangulated Irregular Network)によるサーフェスの作成を行い、等高線情報を立体化する。つぎに、立体化された造成前と造成後の標高情報をもとに、5mメッシュに区切られた地域の体積の算定を行う。さらに、式(3)の通り、2時点での体積差をそれぞれのメッシュにおいて計算し、土壌移動量と土壌移動分布を推計する。図4-6は、式(3)をもとに推計した体積変化による土壌移動分布である。こ

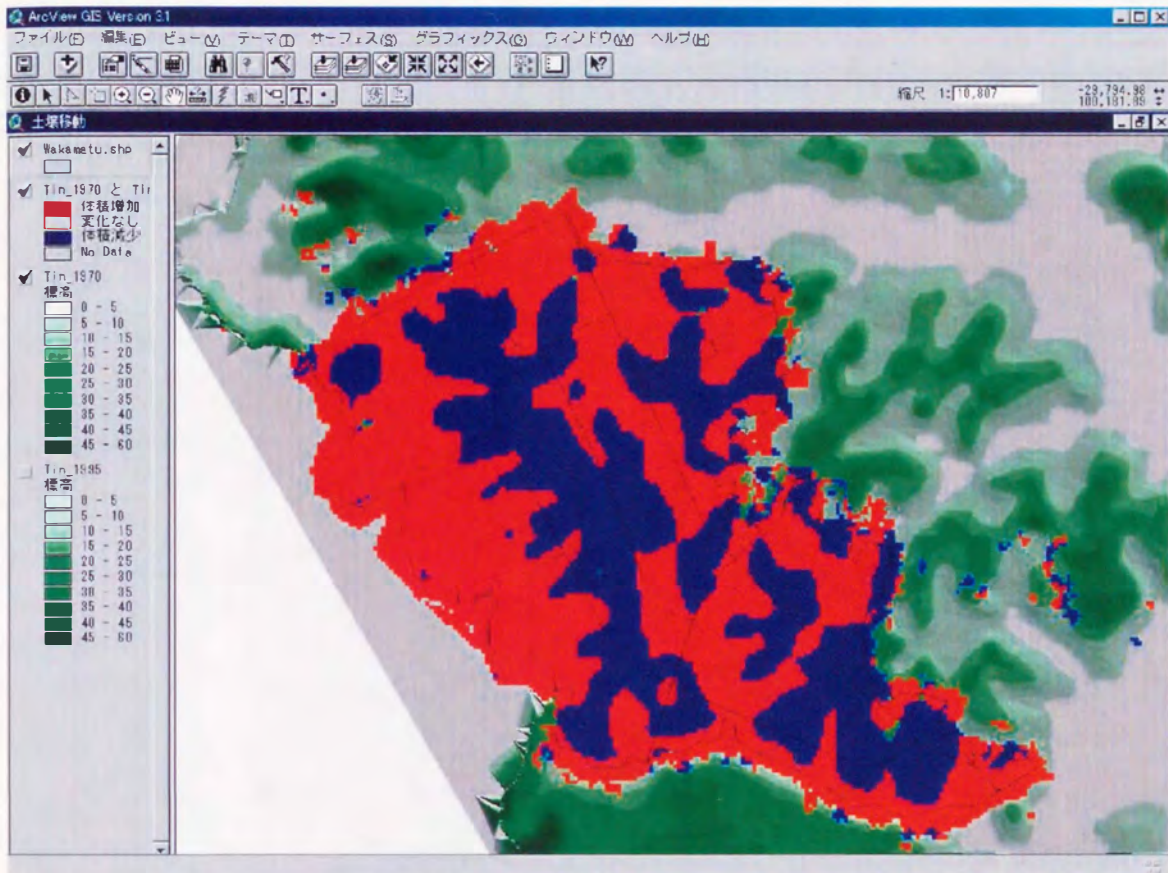


図4-6 体積変化による土壌移動分布  
(ケーススタディ地区における推計画面)

ここで、工事設計条件として、 $\rho$ を $1.8t/m^3$ と仮定し、推計を行った。

## (2) 宅地造成時の原生林伐採量

宅地造成の準備工として、開発地域の伐採・焼却が行われる。域内での伐採量は、資源生産を伴わないため、HMFに分類される。そこで、伐採量を重量で定量化するため、以下の方法で推計を行った。まず、対象地区と対象地区周辺の宅地造成以前の土地利用基本図をGISデータとして入力する。この土地利用基本図を現在のものと比較し、宅地造成周辺で土地利用が変化していない地域を抽出する。次に現地調査により、抽出された過去の原生林が残っている地区の樹高を調査し、GISデータとして入力する。これらのデータをもとに、造成に伴う原生林伐採量 $HMF^{(wood)}$ を以下のように推計する。

$$HMF^{(Wood)} = \sum_i (\rho_w \cdot H_i \cdot S_i) \quad (4)$$



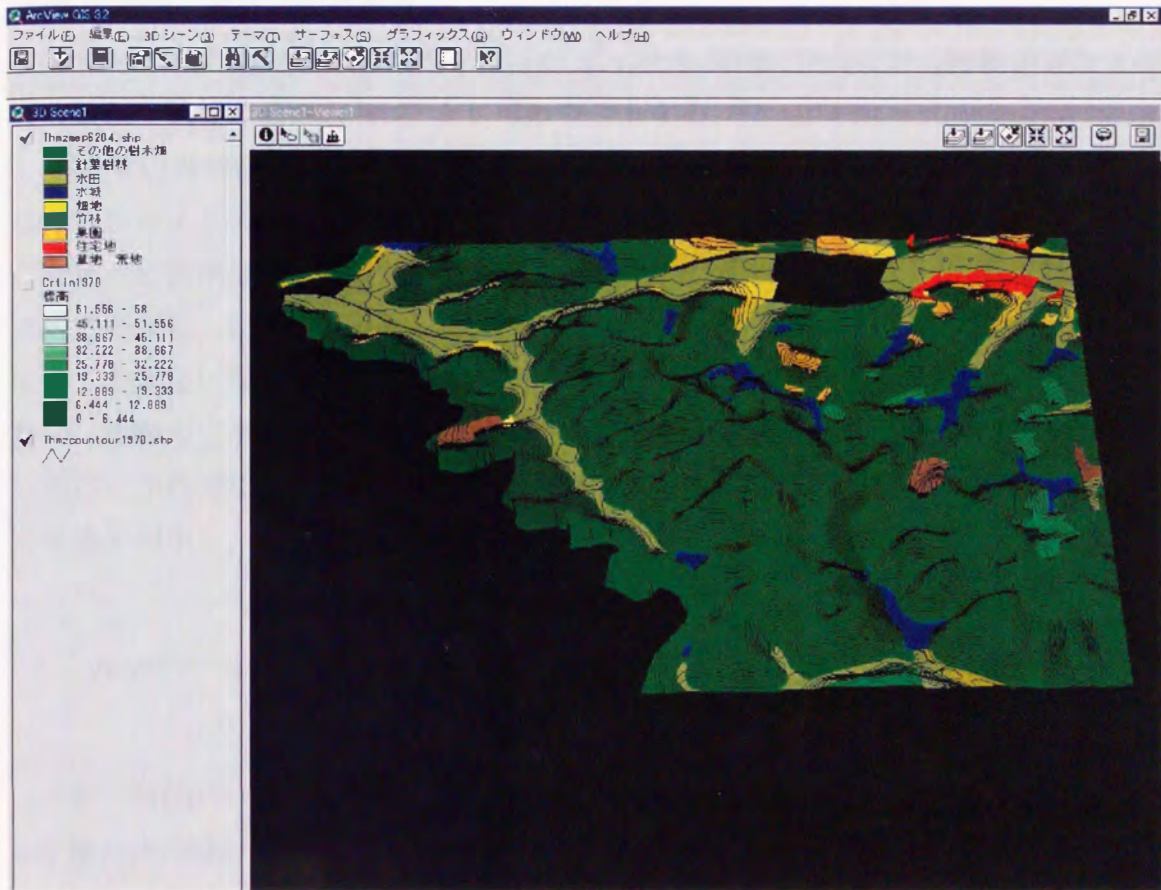


図4-7 原生林の植生  
(ケーススタディ地区における画面)

ここで、 $HMF^{(wood)}$ : 評価対象地区における造成に伴う原生林伐採総量、 $\rho_w$ : 現存量密度<sup>24)</sup>、 $H_i$ : 地区*i*における樹高、 $S_i$ : 地区*i*の面積である。

式(4)は、森林体積を算定し、森林地上部の現存量密度を乗じることで、伐採重量の算定を行うが、現存量とは、単位土地面積当たりの乾物重量で表し、森林の地上部の現存量密度とは、土地面積と上層木樹高がつくる立体的空間内の単位空間当たりの現存量を表す。また、現存量密度は、樹種や樹高による違いはあまりなく、平均して  $1.0 \pm 0.5 \text{ kg/m}^3$  であり、生育段階が進むにつれて、幹や根の現存量は増加するが、葉の現存量は比較的早い段階で最大値をもち、その後の変化は少ない<sup>24)</sup>。本論では、現存量密度を中間値より  $1.0 \text{ kg/m}^3$  として推計を行う。図4-7に推計に用いた植生データを示す。

**(3) 管渠敷設に伴う土砂移動量**

粗造成が終わると管渠の敷設を行うが、このとき掘削に伴う土砂の移動が発生する。この土砂移動量を域内のHMFとしてカウントする。

埋設管の種類は、ガス管、上水管、下水管、雨水管の4種類がある。これらの管渠は、将来のメンテナンスのために、必ず公共用地に敷設されることになっている。ここで言う公共用地とは、道路部分のことを指し、造成が完了すると、市に移管され公共用地となる。整備を行ったGISデータを見ると、ガス管、上水管、下水管は、ほぼすべての道路に埋設されているが、雨水管はすべての道路に埋設されているわけではない。実際の工事では、3管または4管の標準断面を組み合わせた共同掘削方式を用いることから、GISデータベースにより、3管が埋まっている道路と4管が埋まっている道路を抽出し、それぞれにおいて掘削量  $HMF^{(pipe)}$  の定量化を行う。

$$HMF^{(pipe)} = \begin{cases} \sum_i \rho \cdot S_u \cdot l_i & , (n=4) \\ \sum_i \rho \cdot S_3 \cdot l_i & , (n=3) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、 $HMF^{(pipe)}$ : 管渠敷設による土壌掘削量、 $\rho$ : 掘削時の土砂密度、 $S$ : 3管または4管埋設時の設計断面積、 $l_i$ : 道路*i*の延長距離である。

工事設計条件として  $\rho = 1.8t/m^3$ 、 $S_1 = 6.6m^2$ 、 $S_3 = 4.8m^2$  と仮定し、推計を行った。

**(4) 住宅建築時における土砂移動量**

住宅建築時の土工事において、根切りを行う際に土砂の移動が発生する。域内において発生土砂の処理ができない場合、残土処分として域外に搬出される。また、土質改良などの目的で土砂の搬入が行われる場合もある。そこで、建築時の土壌移動量  $HMF^{(bid)}$  を以下のように定義する。

$$HMF^{(bid)} = \sum_i (\rho^0 \cdot S_i^0 + \rho^m \cdot S_i^m) \quad (6)$$

ここで、 $HMF^{(bid)}$ : 住宅建設時の土壌移動総量、 $\rho^0$ : 掘削時における土砂密度、 $\rho^m$ : 搬入時における土砂密度、 $S_i^0$ : 住宅*i*建設時の土工事における根切量(体積)、 $S_i^m$ : 住宅*i*建設時の土工事における搬入土量(体積)である。

建築物の土工量については、住宅メーカーやゼネコン数社に、建築物の構造・延床面積ごとの発生残土量、根切土量、搬入土量についてヒアリング調査を行った。さら



表4-2 ヒアリング調査による住宅建築時の土壌移動量

| 構造   | 用途   | 階数 |    | 延床面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 土工量                       |   |  | 構造別延床面積<br>あたりの<br>根切土量S <sup>0</sup><br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | 構造別延床面積<br>あたりの<br>搬入土量S <sup>in</sup><br>(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | ρ <sup>0</sup> S <sup>0</sup> +ρ <sup>in</sup> S <sup>in</sup><br>(t/m <sup>2</sup> ) |
|------|------|----|----|---------------------------|---------------------------|---|--|--|---|---|
|      |      | 地上 | 地下 |                           | 建設残土<br>(m <sup>3</sup> ) | 根切土量S <sup>0</sup><br>(m <sup>3</sup> ) | 搬入土量S <sup>in</sup><br>(m <sup>3</sup> ) |  |   |   |
| 木造   | 戸建住宅 | 2  | 0  | 52                        | 3                         | 8                                       | 0  | 0.25   | 0.00  | 0.44  |
| 木造   | 戸建住宅 | 3  | 0  | 196                       | 35                        | 53                                      | 0  |  |   |   |
| S造   | 集合住宅 | 2  | 0  | 257                       | 107                       | 327                                     | 0  | 0.61   | 0.00  | 1.09  |
| S造   | 集合住宅 | 3  | 0  | 663                       | 191                       | 231                                     | 0  |  |   |   |
| SRC造 | 集合住宅 | 13 | 1  | 19,735                    | 3,780                     | 4,253                                   | 3,780                                    | 0.54   | 0.18  | 1.30  |
| SRC造 | 集合住宅 | 15 | 1  | 28,010                    | 19,580                    | 21,580                                  | 4,747                                    |  |   |   |
| RC造  | 集合住宅 | 2  | 0  | 147                       | 87                        | 101                                     | 0  | 0.29   | 0.00  | 0.53  |
| RC造  | 集合住宅 | 6  | 0  | 6,894                     | 1,917                     | 3,454                                   | 0  |  |   |   |
| RC造  | 集合住宅 | 8  | 0  | 3,343                     | 1,211                     | 1,415                                   | 395                                      |  |   |   |
| RC造  | 集合住宅 | 38 | 1  | 77,975                    | 20,300                    | 20,760                                  | 0  |  |   |   |
| 軽鉄ブ造 | 戸建住宅 | 2  | 0  | 141                       | 27                        | 82                                      | 0  | 0.58   | 0.00  | 1.05  |

ρ<sup>0</sup>=1.8, ρ<sup>in</sup>=1.8

にヒアリング調査の結果をもとに、式(6)により建築時の土壌移動量を推計した結果を表4-2示す。ここで、工事設計条件としてρ<sup>0</sup>、ρ<sup>in</sup>を1.8t/m<sup>3</sup>と仮定し、推計を行った。

### 4.3 住宅団地における TMR 推計結果

#### 4.3.1 分析対象地区の概要

住宅団地におけるTMR推計を行うため、日本の都市開発の標準ケースを満たしている北九州市T団地をケーススタディ対象として取り上げた。同団地の戸建住宅の画地規模は、平均260㎡であり、同市の開発行為許可要項で示す標準画地規模の150㎡～300㎡を満たしている。さらに、建築面積においても、同市の基本構想・長期構想の提唱する建築規模（100㎡）を満たしている。このように標準的な住宅団地であること、建設時からの標高・道路・下水道・建築物のデータが残っていることが同団地の選定理由である。開発前の土地利用状況は山林62%、原野23%、残りの15%が田・畑・宅地である。また、開発前の地形は、海に近い低丘陵地内で、標高は0m～70mと全体的になだらかな起伏を呈していた。評価地区の面積は1,312,945㎡、1997年の建築物数1757棟、居住世帯数2,042世帯、居住人口7,535人の大規模な新興住宅団地である。

#### 4.3.2 推計に使用したGISデータベース

推計に使用したデータベースの概要を図4-8に示す。自然地形データ、構造物データ、土地利用分類データが、実際の立体的な位置情報を持ったまま階層構造をなしており、固定資産データが各構造物データにリンクしている。推計に際して、ESRI社ArcView3.1、Microsoft社Access2000を用いてGISデータベースの構築、TMRの推計を行った。なお、ArcView3.1には、ArcView 3D Analyst、ArcView Spatial Analystをエクステンションとして加え、本推計に用いた。

評価対象地区の開発前後の状況をGISにより再現したものが、図4-9（1970年）、図4-10（1995年）である。図4-10は、1995年の3D画像であるが、この画像からサーフェス情報を外すと地下の状況を見ることができ、下水管やガス管、上水管等の埋設状況が、図4-11のように見ることができる。図4-12は1995年における評価対象地区の全景である。



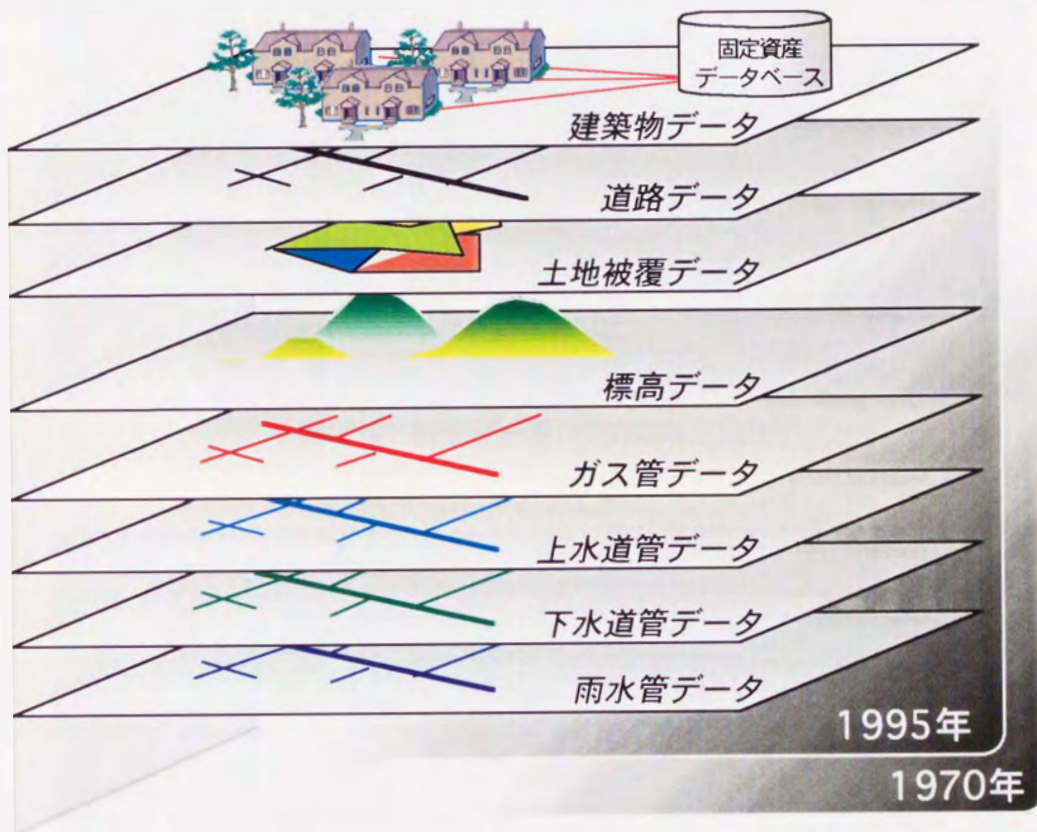


図 4-8 データ構造

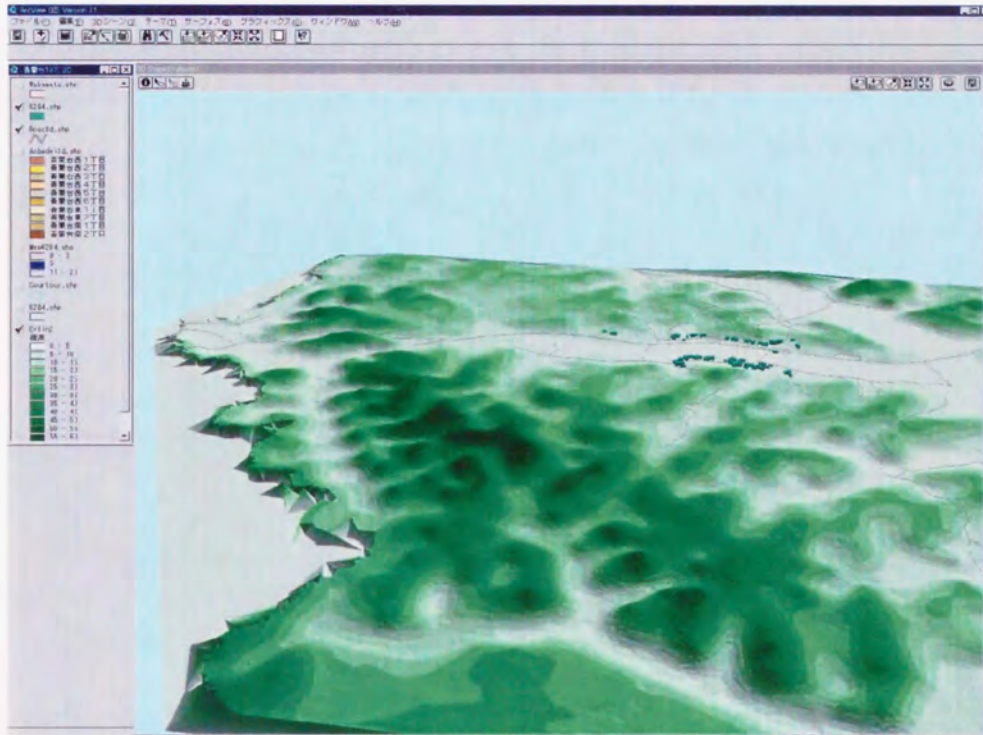


図4-9 GISデータ (1970年, 3D)

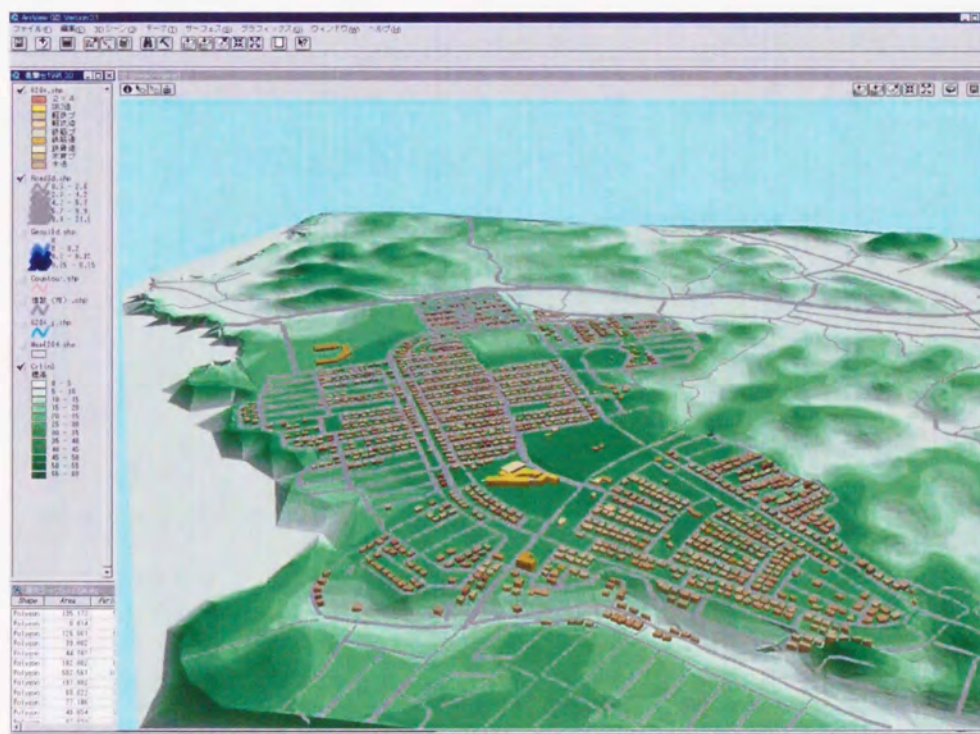


図4-10 GISデータ (1995年, 3D)



第4章 街区レベルにおけるマテリアルフロー分析



図4-11 GISデータ(1995年, 詳細3D)

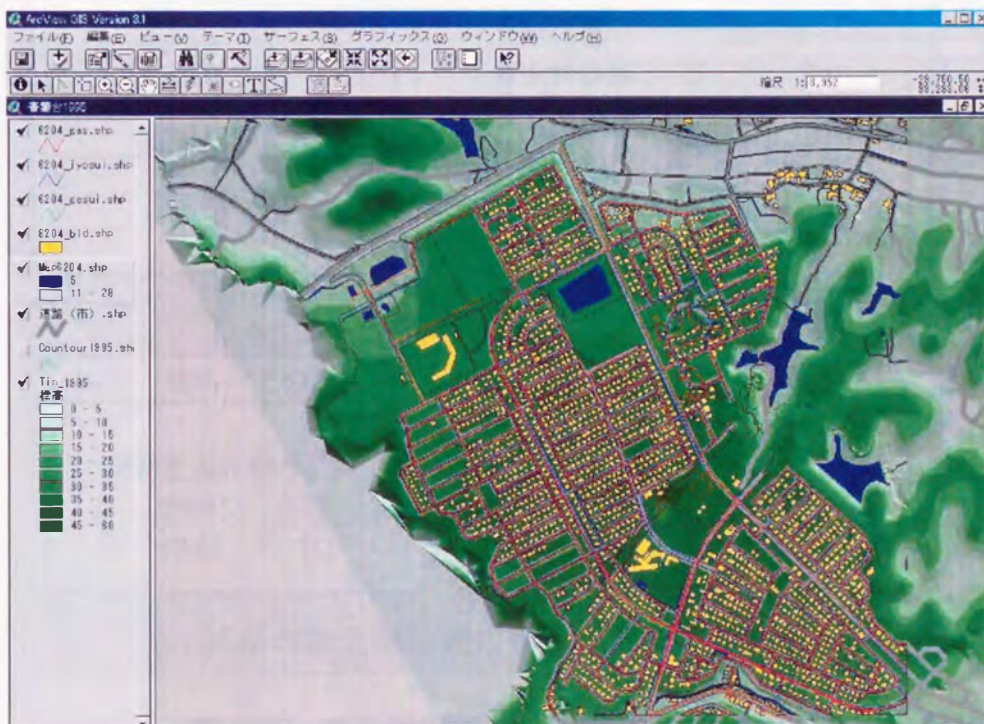


図4-12 GISデータ(1995年, 全景2D)



4.3.3 評価対象地区における TMR 推計結果

TMR（総物質投入量）を推計するために、構造物による素材別資源固定量の推計，素材別DMI（直接物質投入量）・HMF（隠れたフロー）の推計，評価地域内の資材生産を伴わないHMFの推計を行う。

表4-3に、2-(2)の推計手順に従って推計した建造物による素材別資源固定量を示す。推計結果によると、建築物18万トン（57%）、道路12万トン（38%）、その他2万トンとなり、合計32万トンとなった。素材別に見ると、砂利石材が圧倒的に多く、22万トン（67%）、次いでセメント2.4万トン（8%）、木材2.0万トン（6%）、鉄1.3万トン（4%）であった。個別に見ると、木造建築を行うときに使う砂利石材の量が最も多く4.8万トン、次いで軽量鉄骨プレハブ造の砂利石材量が3.6万トンであった。

上記の結果に、素材別DMI・HMF，評価地域内の資材生産を伴わないHMFを合わせて整理し、TMR（総物質投入量）を推計した結果を図4-13に示す。住宅地建設に伴

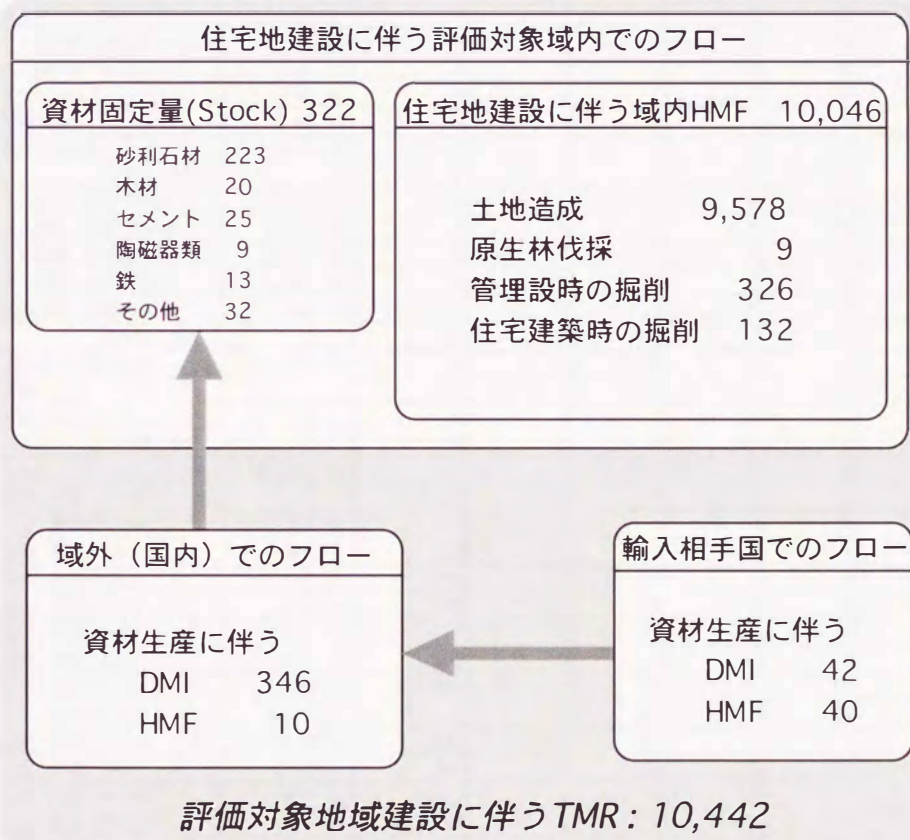


図4-13 住宅地建設に伴うマテリアルフロー  
(単位 : 1000 トン)



第4章 街区レベルにおけるマテリアルフロー分析

表4-3 ケーススタディ対象地区における構造物による資源固定量

| 構造物   | 構造                | 総面積, 総延長               | 資源量(単位はトン) |        |        |       |        |        |         |
|-------|-------------------|------------------------|------------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
|       |                   |                        | 砂利・石材類     | 木材     | セメント   | 陶磁器類  | 鉄      | その他    | 合計      |
| 建築物   | 木造                | 111,384 m <sup>2</sup> | 48,129     | 14,669 | 8,276  | 6,984 | 1,782  | 1,448  | 81,288  |
|       | 鉄骨造               | 985 m <sup>2</sup>     | 513        | 1      | 97     | 15    | 180    | 22     | 828     |
|       | 鉄骨・鉄筋コンクリート造      | 0 m <sup>2</sup>       | 0          | 0      | 0      | 0     | 0      | 0      | 0       |
|       | 鉄筋コンクリート造         | 24,995 m <sup>2</sup>  | 32,891     | 492    | 6,356  | 940   | 2,799  | 650    | 44,129  |
|       | 軽鉄プレハブ造           | 76,910 m <sup>2</sup>  | 36,592     | 4,700  | 8,524  | 533   | 6,971  | 0      | 57,320  |
|       | 建築物 合計            |                        | 118,125    | 19,863 | 23,253 | 8,472 | 11,733 | 2,120  | 183,565 |
| 道路    | 高級舗装, 幹線道路        | 40,994 m <sup>2</sup>  | 23,162     | 0      | 0      | 0     | 0      | 9,634  | 32,795  |
|       | 高級舗装, 準幹線道路       | 25,791 m <sup>2</sup>  | 11,735     | 0      | 0      | 0     | 0      | 3,030  | 14,766  |
|       | 簡易舗装, 補助幹線道路      | 17,992 m <sup>2</sup>  | 5,731      | 0      | 0      | 0     | 0      | 1,691  | 7,422   |
|       | 簡易舗装, 専用道路        | 13,823 m <sup>2</sup>  | 4,403      | 0      | 0      | 0     | 0      | 1,299  | 5,702   |
|       | 簡易舗装, 区画道路        | 122,426 m <sup>2</sup> | 38,993     | 0      | 0      | 0     | 0      | 11,508 | 50,501  |
|       | 簡易舗装, 歩行者用道路      | 27,558 m <sup>2</sup>  | 8,777      | 0      | 0      | 0     | 0      | 2,590  | 11,368  |
|       | 道路 合計             |                        | 92,800     | 0      | 0      | 0     | 0      | 29,753 | 122,553 |
| 電力・電話 | 電線, 電力            | 32,482 m               | 0          | 0      | 0      | 0     | 0      | 109    | 109     |
|       | 電線, 電話            | 32,482 m               | 0          | 0      | 0      | 0     | 0      | 36     | 36      |
|       | 長電柱               | 148 本                  | 173        | 0      | 40     | 0     | 10     | 0      | 224     |
|       | 短電柱               | 1,008 本                | 481        | 0      | 112    | 0     | 28     | 0      | 621     |
|       | 電力・電話 合計          |                        | 654        | 0      | 152    | 0     | 39     | 146    | 990     |
| ガス管   | ポリエチレン管, 管径50cm   | 20,302 m               | 0          | 0      | 0      | 0     | 0      | 19     | 19      |
|       | ポリエチレン管, 管径75cm   | 3,524 m                | 0          | 0      | 0      | 0     | 0      | 7      | 7       |
|       | ポリエチレン管, 管径100cm  | 1,512 m                | 0          | 0      | 0      | 0     | 0      | 5      | 5       |
|       | ダクタイル鑄鉄管, 管径100cm | 85 m                   | 0          | 0      | 0      | 0     | 2      | 0      | 2       |
|       | ダクタイル鑄鉄管, 管径150cm | 2,852 m                | 0          | 0      | 0      | 0     | 93     | 0      | 93      |
|       | ダクタイル鑄鉄管, 管径200cm | 2,444 m                | 0          | 0      | 0      | 0     | 105    | 0      | 105     |
|       | ダクタイル鑄鉄管, 管径300cm | 1,811 m                | 0          | 0      | 0      | 0     | 91     | 0      | 91      |
|       | 鋼管, 管径50cm        | 644 m                  | 0          | 0      | 0      | 0     | 3      | 0      | 3       |
|       | 鋼管, 管径80cm        | 60 m                   | 0          | 0      | 0      | 0     | 1      | 0      | 1       |
|       | 鋼管, 管径150cm       | 649 m                  | 0          | 0      | 0      | 0     | 13     | 0      | 13      |
|       | ガス管 合計            |                        | 0          | 0      | 0      | 0     | 307    | 32     | 339     |
| 上水管   | ダクタイル鉄管, 管径100cm  | 26,453 m               | 45         | 0      | 14     | 0     | 464    | 0      | 524     |
|       | ダクタイル鉄管, 管径150cm  | 3,003 m                | 7          | 0      | 3      | 0     | 69     | 0      | 79      |
|       | ダクタイル鉄管, 管径200cm  | 3,173 m                | 18         | 0      | 4      | 0     | 170    | 0      | 192     |
|       | ダクタイル鉄管, 管径250cm  | 269 m                  | 4          | 0      | 0      | 0     | 26     | 0      | 30      |
|       | ダクタイル鉄管, 管径300cm  | 621 m                  | 13         | 0      | 2      | 0     | 87     | 0      | 102     |
|       | 上水管 合計            |                        | 88         | 0      | 24     | 0     | 816    | 0      | 927     |
| 下水管   | 塩化ビニル管, 管径200cm   | 26,298 m               | 0          | 0      | 0      | 0     | 0      | 187    | 187     |
|       | 陶管, 管径250cm       | 581 m                  | 0          | 0      | 0      | 31    | 0      | 0      | 31      |
|       | 陶管, 管径300cm       | 55 m                   | 0          | 0      | 0      | 5     | 0      | 0      | 5       |
|       | 下水管 合計            |                        | 0          | 0      | 0      | 37    | 0      | 187    | 224     |
| 雨水管   | 側溝                | 33,729 m               | 7,447      | 0      | 845    | 0     | 0      | 0      | 8,292   |
|       | ヒューム管, 管径300cm    | 306 m                  | 19         | 0      | 4      | 0     | 1      | 0      | 24      |
|       | ヒューム管, 管径350cm    | 30 m                   | 2          | 0      | 1      | 0     | 0      | 0      | 3       |
|       | ヒューム管, 管径400cm    | 369 m                  | 35         | 0      | 8      | 0     | 1      | 0      | 45      |
|       | ヒューム管, 管径450cm    | 450 m                  | 52         | 0      | 12     | 0     | 1      | 0      | 66      |
|       | ヒューム管, 管径500cm    | 1,375 m                | 198        | 0      | 46     | 0     | 5      | 0      | 249     |
|       | ヒューム管, 管径600cm    | 1,562 m                | 322        | 0      | 75     | 0     | 10     | 0      | 406     |
|       | ヒューム管, 管径700cm    | 1,096 m                | 308        | 0      | 72     | 0     | 8      | 0      | 388     |
|       | ヒューム管, 管径800cm    | 1,067 m                | 390        | 0      | 91     | 0     | 11     | 0      | 492     |
|       | ヒューム管, 管径900cm    | 1,118 m                | 531        | 0      | 124    | 0     | 16     | 0      | 670     |
|       | ヒューム管, 管径1000cm   | 970 m                  | 556        | 0      | 130    | 0     | 21     | 0      | 707     |
|       | ヒューム管, 管径1100cm   | 537 m                  | 365        | 0      | 85     | 0     | 14     | 0      | 464     |
|       | ヒューム管, 管径1200cm   | 437 m                  | 353        | 0      | 82     | 0     | 13     | 0      | 448     |
|       | ヒューム管, 管径1350cm   | 464 m                  | 458        | 0      | 107    | 0     | 19     | 0      | 584     |
|       | ヒューム管, 管径1500cm   | 260 m                  | 271        | 0      | 63     | 0     | 11     | 0      | 345     |
|       | ヒューム管, 管径1600cm   | 248 m                  | 304        | 0      | 71     | 0     | 12     | 0      | 387     |
|       | ヒューム管, 管径1800cm   | 102 m                  | 144        | 0      | 34     | 0     | 6      | 0      | 184     |
|       | 雨水管 合計            |                        | 11,757     | 0      | 1,849  | 0     | 148    | 0      | 13,755  |
| 総計    |                   |                        | 223,423    | 19,863 | 25,278 | 8,508 | 13,043 | 32,237 | 322,352 |

表4-4 ケーススタディ対象範囲における  
宅地造成に伴う物質収支表（単位：1000トン）

|           | 域内  |     |             |         | 域外（国内）  | 輸入相手国 |     |
|-----------|-----|-----|-------------|---------|---------|-------|-----|
|           | 構造物 | 木   | 土<br>(自然地形) | 合計      |         |       |     |
| STOCK1970 | 0   | 9   | 0           | 9       | -       | -     |     |
| FLOW      | 搬入量 | 322 | -           | 0       | 322     | 42    | 0   |
|           | 搬出量 | -   | -           | 0       | 0       | -322  | -42 |
|           | 発生量 | -   | -           | 10,036  | 10,036  | 304   | 0   |
|           | 処理量 | -   | -9          | -10,036 | -10,046 | -10   | -40 |
| STOCK1995 | 322 | 0   | 0           | 322     | 13      | -82   |     |

う総物質必要量は、1,040万トンであった。この中で、土地造成に伴う土壌掘削量が最大で、958万トン（92%）であった（掘削体積5,321,000 m<sup>3</sup>、掘削土砂密度1.8t/m<sup>3</sup>）。域内に固定される資材量は32万トン、その資材固定のために国内で発生するマテリアルフローは、DMI 35万トン（固定資材量含む）、HMF 5万トン、さらに海外でのマテリアルフローはDMI 4万トン、HMF 4万トンであった。DMI、HMFの算定に際しては、4.2-(3)において推計した粗鋼、コンクリート（砂利石材、セメント）、木材の値のみ使用している。その他の建設資材については、DMI=Stock量、HMF=0として推計しているので、その分が過小推計になっていると考えられる。

ケーススタディ対象範囲における宅地造成に伴う物質量を収支表形式で表したものが、表4-4である。評価対象域内の開発前後の物質量は、9千トンから32万トンに増加していることが分かる。それに伴う、国内のストック変化は、+1.4万トンであるが、これは資材生産時の副産物をリサイクルしたものである。また、輸入相手国のストックは、8.2万トン減少している。これは、資材・原材料輸出によるストック減と、資材・原材料生産に伴う廃棄物量、土壌掘削量を合計したものである。

居住人口一人あたりの物質投入量を表したものが、図4-13である。この表は、図-12の推計結果を評価対象地区の居住人口で除したものである。住民一人が居住するために投入された資材量は54トン/人であった。その背後で行われる資材生産や原料採取、宅地建設に関わる自然の改変を合計すると、住民一人あたり1586トン/人になることが分かった。



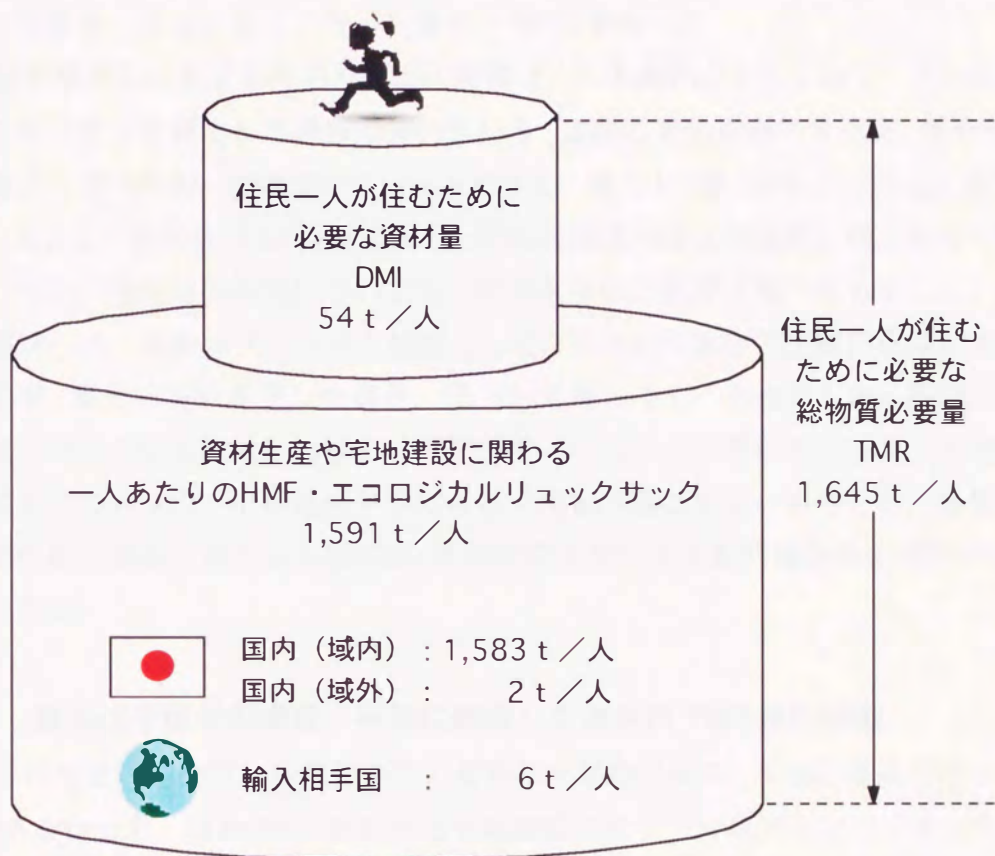


図4-14 住民一人に必要な物質

## 4.4 住宅形態変更による TMR 推計

### 4.4.1 算定条件

4.3により、戸建住宅団地でのMFAを行った結果、最も物質量が多い項目は、土地造成に伴う土砂移動量であることが分かった。そこで、建設面積が少ない集合住宅に変更した場合、平地に建設を行った場合のMFAを行った。

評価対象地区における住宅の総延床面積は、214,000 m<sup>2</sup>であるので、この面積に相当する集合住宅を建設した場合の検討を行う。建築基準法を満たすため、集合住宅は、耐火構造を持つ鉄筋・鉄骨コンクリート造とし、地上11階、居住エリアは2階から11階とした。この集合住宅を10棟建設し、居住面積は戸建住宅団地と同じ条件であるとした。また、団地内の道路についても、建築基準法の制限を受けるものとし、道路仕様を幅員12m、高級アスファルト舗装とした。現状の戸建住宅団地の面積は131万m<sup>2</sup>であるが、集合住宅に変更した場合、35万m<sup>2</sup>を用いるものと仮定した。推計方法については、現状の住宅団地と同様のGISデータベースにより推計を行った。平地に建設した場合については、宅地造成工事による土地掘削量は少ないものとし、建築工事による掘削量と道路工事による掘削量、管渠敷設工事による掘削量のみを域内HMFとして計上する。

### 4.4.2 集合住宅団地の場合、平地に建設した場合の TMR 推計結果

住宅形態を戸建住宅から集合住宅に変更した場合のMFA、平地に建設を行った場合のMFAを行った。図4-14に集合住宅団地建設に伴うマテリアルフローを示す。集合住宅団地の場合、戸建住宅団地に比べて、建築床面積縮小に伴って団地全体の建設エリアも縮小されるため、住宅地建設における土地造成工事による土砂移動量が667万トン減少し、290万トンになった。一方、木造中心の戸建住宅から、単位重量の重い鉄筋鉄骨コンクリート造の集合住宅に変更したことにより、評価対象域内の資材固定量は9万トン増加し、41万トンになった。その中でも鉄をより多く使うため、輸入相手国のHMFが4万トン増加し、8万トンになった。このように、戸建住宅団地から集合住宅団地に変更した場合、建設面積縮小により域内の自然改変は押さえることができるが、建設資材増加により、輸入相手国での自然改変は増加させてしまうことがわかった。

住宅形態を戸建住宅から集合住宅に変更した場合、平地に建設を行った場合の



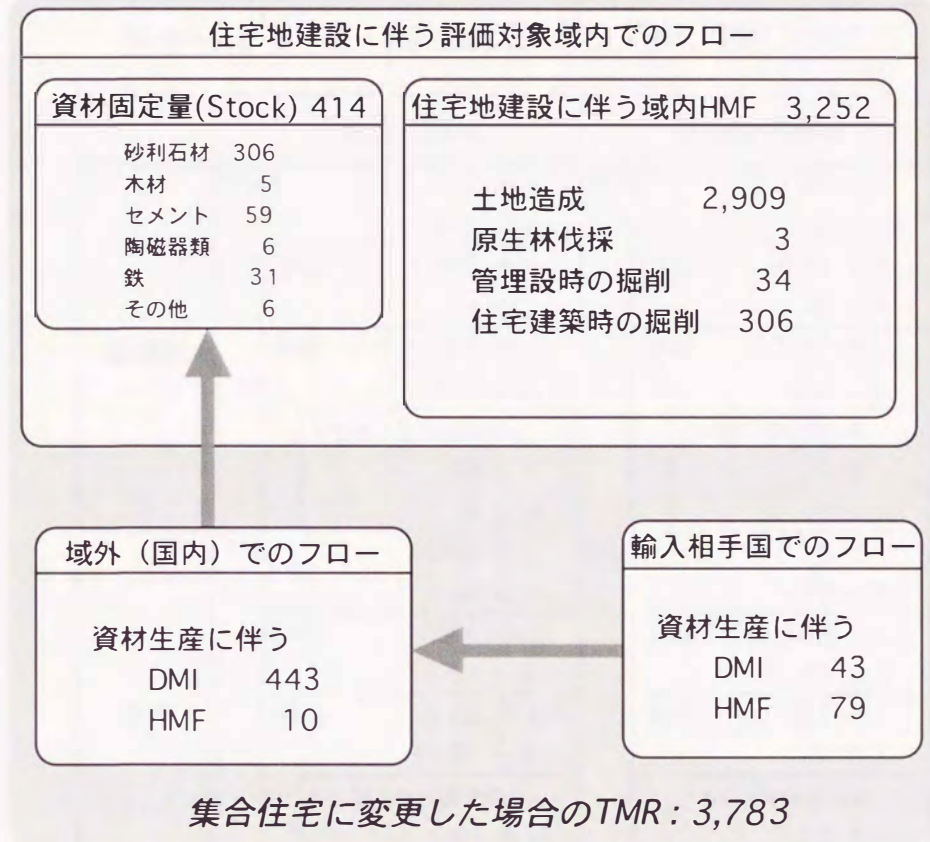


図4-15 住宅形態変更に伴うマテリアルフロー  
(単位: 1000トン)

TMR, DMI, HMFを表4-5に示す. 平地に建設した場合の推計では, 宅地造成工事による土地掘削量がないために, 大幅にHMFが減少し, 結果としてTMRも減少しているが, 都市近郊農地を宅地転換した場合に当てはまるものと考えられる.

#### 4.5 まとめ

住宅団地建設に伴う総物質必要量を明らかにするために, 街区レベルでのマテリアルフロー分析手法を提案し, ケーススタディ地区を対象に総物質必要量の推計を行った. 推計を行うために, 造成前と造成後のGISデータベースを構築し, 土壌移動量, 原生林伐採量, 建築物・土木構造物による資源固定量を定量化し, さらに資材利用に伴

表 4-5 住宅形態・建設地変更に伴う TMR, DMI, HMF

|     | 戸建住宅団地     |                         | 集合住宅団地     |                      |
|-----|------------|-------------------------|------------|----------------------|
| 丘陵地 | TMR        | 10,442 千 t<br>1,645 t/人 | TMR        | 3,783 千 t<br>596 t/人 |
|     | DMI        | 346 千 t<br>54 t/人       | DMI        | 443 千 t<br>70 t/人    |
|     | HMF        | 10,096 千 t<br>1,591 t/人 | HMF        | 3,340 千 t<br>526 t/人 |
|     | うち輸入相手国HMF | 40 千 t<br>6 t/人         | うち輸入相手国HMF | 79 千 t<br>12 t/人     |
| 平地  | TMR        | 863 千 t<br>136 t/人      | TMR        | 874 千 t<br>138 t/人   |
|     | DMI        | 346 千 t<br>54 t/人       | DMI        | 443 千 t<br>70 t/人    |
|     | HMF        | 518 千 t<br>82 t/人       | HMF        | 431 千 t<br>68 t/人    |
|     | うち輸入相手国HMF | 40 千 t<br>6 t/人         | うち輸入相手国HMF | 79 千 t<br>12 t/人     |

う国内、海外でのフローを検討し、以下の結論を得た。

- (1) 居住施設に関連する構造物の資源固定原単位について、既存文献からの調査に合わせて、企業等にヒアリング調査した結果を表 4-1 にまとめた。
- (2) 建設における基本資材である鉄、コンクリート、木材について、資材 1 トンあたりの MFA を行った。その結果、鉄については、DMI 1.62 トン、HMF 2.38 トン、コンクリートは、DMI 1.07 トン、HMF 0.14 トン、木材は、DMI 1.87 トン、HMF 0.79 トンであった。3 つの資材のうち、製品 1 トンに関わる物質量が最も多いのは鉄であった。
- (3) 面積 1,312,945 m<sup>2</sup>、建築物数 1757 棟、居住世帯数 2,042 世帯、居住人口 7,535 人の大規模な新興住宅団地をケーススタディ対象として、住宅団地建設の MFA を行った結果、TMR は 1,040 万トンであった。このうち最も多くを占めたのは、住宅地建設における土地造成工事で 958 万トンであった。



- (4) 評価対象地区の物質収支表(表4-4)によると、域内でのストック増加は、9千トンから32万トンに増加していることが分かる。それに伴う国内のストック変化は、+1.4万トン、輸入相手国のストック変化は、-8.2万トンであることが分かった。
- (5) 住民一人が居住するために投入された資材量は54トン/人であった。その背後で行われる資材生産や原料採取、宅地建設に関わる自然の改変を合計すると、住民一人あたり1,586トン/人になることが分かった。
- (6) 住宅形態を戸建住宅から集合住宅に変更した場合のMFAを行った。その結果、建築床面積縮小に伴って住宅地も建設エリアも縮小されるため、住宅地建設における土地造成工事が290万トンに減少した。一方、構造を変更し、鉄をより多く使うため、輸入相手国のHMFが増加し8万トンになった。集合住宅に変更した場合、域内の自然改変は押さえることができるが、輸入相手国での自然改変は増加させてしまうことが明らかになった。

本章の課題として、以下の3点が挙げられる。

- (1) 過小推計の見直しを行うことが必要である。原因は以下の3点が考えられる。
  - 1点目は、発電所・上水場・下水処理場の建設重量の配分の問題がある。今回は電線や配管についてのみの算定を行った。しかし、実際には発電所、下水処理施設、浄水処理施設をMFAに含めることが必要である。2点目は、建設に伴う燃料消費(ガソリン等)のHMFを計上していない点である。これは、HMF原単位が把握できなかったことが原因である。3点目は、資材別のDMI、HMFのデータが少ないことである。本研究において資材別のDMI、HMFを代表的な3資材(鉄、コンクリート、木材)のみに絞ったが、その他の資材についてもDMI、HMFを算定し、正確な算定を行うことが必要である。また、同じ材料でも、リサイクル資材とバージン資材の違いのように、物質投入量・エネルギー投入量が違うことから、今後はこれらを考慮に入れ、正確なマテリアルフロー分析を行うことが必要である。
- (2) マテリアルフロー分析とLC-CO<sub>2</sub>分析との相関関係を定量化することが必要である。物質移動とエネルギー消費は密接に関係していると考えられるが、その相関性を定量化することで、現在行われているLC-CO<sub>2</sub>分析とマテリアルフロー分析を合わせた新しい指標体系を構築することができる。LC-CO<sub>2</sub>は、地球環境へ

の負荷を定量化する指標として用いられているが、大規模な自然改変等を評価することができるマテリアルフローとリンクすることで、環境管理施策に新たな指標を提供することができる。

- (3) TMR 推計結果について、宅地を建設する際、丘陵地に作るより平地に作る方が、良いように見える。しかし、実際には、農地等から宅地へ土地利用の転換を行っていたり、貴重な自然資源を犠牲にして宅地造成しているケースがある。このような要因を考慮に入れて総合的に評価するためには、自然資源から得られる便益（サービス）や、農地の生産性を定量化し、議論することが必要である。環境資源勘定体系には、自然資源ストックの変化や、それに伴う便益（サービス）の変化を記述するプロセスが含まれているので、今後、体系全体を用いて評価することが必要である。



参考文献

- 1) 日本開発銀行：調査-建築系廃棄物の発生量予測とその対応策-，第175号，1993.
- 2) 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.
- 3) S.Bringeze, H.Stiller, F.Schmidt-Bleek : Material Intensity Analysis-A Screening Step For LCA, The Second International Conference on EcoBalance, Japan, 1996.
- 4) F.シュミットブレーク (佐々木建訳)：ファクター10，シュプリングァーフェアラーク東京，1997.
- 5) 森口祐一，吉田雅哉：マテリアルフロー勘定と資源輸入の環境負荷分析，第13回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，pp.37-42，1997.
- 6) A.Adriaanse, S.Bringezu, A.Hammond, Y.Moriguchi, E.Rondenburg, D.Rogich, H.Schuetz : Resource Flows-The Material Basis of Industrial Economies, WRI, 1997.
- 7) 天野耕二，村田真樹：マテリアルフロー分析を用いたセメント・コンクリート産業の環境負荷評価，環境システム研究，Vol.26，pp.391-396，1998.
- 8) 守田優，田淵勲：東京の物質収支の内部構造とその経年変化について，環境システム研究，Vol.27，pp.623-628，1999.
- 9) 谷川寛樹，藤倉良，井村秀文：都市の物質収支と環境資源勘定に関する研究：建設用資材の投入と建設副産物，環境システム研究，Vol.23，pp.274-278，1995.
- 10) 白浜康弘，谷川寛樹，松本亨，井村秀文：GISを利用した都市内エネルギー及びマテリアルストックの推計，環境システム研究，Vol.25，pp.269-275，1997.
- 11) 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，環境システム研究，Vol.27，pp.347-354，1999.
- 12) 建築物協会：我が国の建設分野における活動による環境負荷と関連活動の実態調査結果および業界としての今後の活動方向について-建設業にかかわる地球環境問題の研究その二-，1992.
- 13) 酒井寛二：建築活動と地球環境-建築のライフサイクル環境負荷-，空気調和・衛生工学会新書，1995.
- 14) 日本道路協会：アスファルト舗装要項，1999.
- 15) 日本道路協会：簡易舗装要項，1999.
- 16) 山之口浩，丸山暉彦：アスファルト舗装修繕技術，山海堂，1997.
- 17) 総務庁：1995年産業連関表-計数編(2)-，全国統計協会連合会，pp.563-592，1999.
- 18) 笠井芳夫：コンクリート総覧，技術書院，pp.218，1999.
- 19) 矢野恒太郎記念会：日本国勢図会，国勢社，1999.

#### 第4章 街区レベルにおけるマテリアルフロー分析

- 20) 鈴木胖：リサイクル工学－循環型社会の構築を目指して－，エネルギー・資源学会，pp.75-87，1996.
- 21) 農林水産省：木材需給報告書－平成7年，農林統計協会，1996.
- 22) 林野庁：林業白書平成7年版，pp.26，1995.
- 23) 岡野健ら：木材居住環境ハンドブック，朝倉書店，pp.15，1995.
- 24) 太田猛彦ら：森林の百科事典，丸善，pp.260，1996.