



# 土 木 研 究 所 報 告

第198号

---

原単位法を用いた環境の定量評価  
—地理情報としての土地利用区分の活用—

黒 木 貴 一

---

平成10年11月

建設省土木研究所

Copyright©(1998) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

## 原単位法を用いた環境の定量評価 - 地理情報としての土地利用区分の活用 -

黒木貴一\*

Unit Value Method for the Quantitative Evaluation of Areally Distributed Environmental Elements  
using Geographical Landuse Information  
by Takahito KUROKI

### 要 旨:

本研究は、環境の定量評価を行うために、近似的に均質性が成立する単位空間としての土地利用区分を用いた原単位法を考案し、その妥当性及び有効性について検討したものである。

本研究では、愛知県濃尾平野とタイ国バンパコン地域を事例に、地球温暖化による海面上昇の影響を予測する原単位法の開発を試み、また長野市を事例に、中規模地域におけるエネルギー消費と大気環境負荷量およびそれらの空間分布を把握するために原単位法を適用した。

原単位法の意義をまとめると次の3項目になる。

- (1) 分布論(兼オーバーレイ論)の再構築を行ったこと。
- (2) 環境研究におけるarealな視点の有効性を示したこと。
- (3) 土地利用図の新たな活用例を提示したこと。

従って、原単位法を適用しうる様々な環境問題が存在することを考えれば、本研究は原単位法が行政等の実務的な目的に対しても、現実的かつ有効的に貢献できる可能性を示したものとみえる。

**キーワード:** 原単位法、環境要素、土地利用、空間分布、オーバーレイ

### Synopsis:

This study proposes a unit value method for the quantitative evaluation of environmental elements using unit landuse area which has approximately homogeneous elements. The adequacy and effectiveness of the method were investigated in case studies in the Nobi Plain, Aichi Prefecture, and Bangpakong area, Thailand, in evaluating the socio-economic impact of sea level rise caused by global warming, and in Nagano City for estimating the energy consumption and aero-environmental load and for clarifying these distributions.

The unit value method has the following three properties.

- (1) The theory of the geographical distribution (and the overlay in geography) is reestablished.
- (2) The availability of the areal viewpoint for solving environmental problems is suggested.
- (3) The new method is suitable for use in landuse maps.

From the various environmental problems which can be investigated by the unit value method, this study has demonstrated the capability, efficiency and applicability of the unit value method to various practical purposes.

**Key Words:** unit value method, environmental elements, landuse, distribution, overlay in geography

## 目 次

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 1. はじめに .....                             | 1  |
| 1.1 問題の背景 .....                           | 1  |
| 1.2 単位空間として土地利用区分を用いる意義 .....             | 2  |
| 2. 研究方法 .....                             | 3  |
| 2.1 事例とした地理学的テーマ .....                    | 3  |
| 2.2 環境要素の定量評価に関わる情報の整理法 .....             | 4  |
| 2.2.1 土地利用空間の定量化 .....                    | 4  |
| 2.2.2 読み替え .....                          | 4  |
| 2.2.3 オーバーレイ .....                        | 5  |
| 2.2.4 原単位計算のための単位換算 .....                 | 6  |
| 3. 地球温暖化による海面上昇の影響予測 1 ―濃尾平野の事例― .....    | 7  |
| 3.1 研究の概要 .....                           | 7  |
| 3.1.1 海面上昇に関わる研究 .....                    | 7  |
| 3.1.2 本章の目的 .....                         | 8  |
| 3.1.3 影響予測の方法 .....                       | 8  |
| 3.2 主題の分布を表す情報の整理 .....                   | 11 |
| 3.2.1 土地利用図 .....                         | 11 |
| 3.2.2 地盤高図 .....                          | 11 |
| 3.3 原単位の計算方法 .....                        | 11 |
| 3.3.1 土地利用区分別面積の把握 .....                  | 11 |
| 3.3.2 原単位計算手順 .....                       | 16 |
| 3.3.3 原単位計算の地域区分 .....                    | 19 |
| 3.3.4 地域区分スケールを考慮した原単位による影響予測結果の相違 .....  | 19 |
| 3.4 影響予測結果 .....                          | 24 |
| 3.4.1 土地利用区分別面積を用いた影響予測 .....             | 24 |
| 3.4.2 社会経済的資産の原単位を用いた影響予測 .....           | 25 |
| 3.5 まとめ .....                             | 27 |
| 4. 地球温暖化による海面上昇の影響予測 2 ―バンパコン地域の事例― ..... | 27 |
| 4.1 研究の概要 .....                           | 27 |
| 4.1.1 海面上昇に関わる研究 .....                    | 27 |
| 4.1.2 本章の目的 .....                         | 28 |
| 4.1.3 影響予測の方法 .....                       | 28 |
| 4.2 主題の分布を表す情報の整理 .....                   | 29 |
| 4.2.1 土地利用図 .....                         | 29 |
| 4.2.2 地盤高図 .....                          | 30 |
| 4.3 原単位の計算方法 .....                        | 30 |
| 4.3.1 土地利用区分別面積等の把握 .....                 | 30 |
| 4.3.2 原単位計算手順 .....                       | 34 |
| 4.3.3 原単位と土地利用の関係 .....                   | 38 |

|       |                                     |    |
|-------|-------------------------------------|----|
| 4.4   | 影響予測結果                              | 38 |
| 4.4.1 | 土地利用区分別面積を用いた影響予測                   | 38 |
| 4.4.2 | 社会経済的資産の原単位を用いた影響予測                 | 38 |
| 4.5   | まとめ                                 | 43 |
| 5.    | エネルギー消費と大気環境負荷物質の定量評価－長野市の事例－       | 43 |
| 5.1   | 研究の概要                               | 43 |
| 5.1.1 | 本研究に関わる研究                           | 44 |
| 5.1.2 | 本章の目的                               | 44 |
| 5.1.3 | エネルギー消費量等の定量評価の方法                   | 45 |
| 5.2   | 主題の分布を示す情報の整理                       | 46 |
| 5.2.1 | ランドサットによる土地利用図                      | 46 |
| 5.2.2 | ランドサットによる土地利用図の精度                   | 47 |
| 5.2.3 | エネルギー消費等の分布の考え方                     | 52 |
| 5.3   | 原単位の計算方法                            | 52 |
| 5.3.1 | 土地利用区分別面積の把握                        | 52 |
| 5.3.2 | エネルギー消費の原単位計算手順                     | 52 |
| 5.3.3 | 大気環境負荷物質の原単位計算手順                    | 57 |
| 5.3.4 | ランドサットによる土地利用区分と原単位の対応関係            | 58 |
| 5.4   | エネルギー消費量等の定量評価                      | 58 |
| 5.4.1 | エネルギー消費量等の計算結果の評価                   | 58 |
| 5.4.2 | 統計資料での消費量とランドサット土地利用図での消費量の比較       | 60 |
| 5.4.3 | エネルギー消費量等の推移図                       | 64 |
| 5.5   | まとめ                                 | 64 |
| 6.    | 他の現実的課題への原単位法の展開可能性                 | 70 |
| 6.1   | 法令により区分された土地利用空間への原単位法の展開           | 70 |
| 6.1.1 | 土地利用図の作成                            | 70 |
| 6.1.2 | 原単位の計算                              | 71 |
| 6.2   | 大気環境負荷物質循環の評価への原単位法の展開              | 73 |
| 6.2.1 | 計算概要                                | 73 |
| 6.2.2 | 原単位計算方法                             | 74 |
| 6.2.3 | 長野市のCO <sub>2</sub> の吸収量を考慮した排出量の計算 | 74 |
| 7.    | 考察                                  | 75 |
| 7.1   | 原単位計算のための土地利用面積の把握方法の妥当性            | 75 |
| 7.2   | 原単位法による評価結果の精度                      | 76 |
| 7.2.1 | 資産の原単位を用いた影響予測1（濃尾平野）               | 76 |
| 7.2.2 | 資産の原単位を用いた影響予測2（バンパコン地域）            | 77 |
| 7.2.3 | エネルギー消費量等の原単位を用いた定量評価（長野市）          | 78 |
| 7.3   | 環境要素の定量評価の視点                        | 79 |
| 7.3.1 | 原単位と土地利用図の土地利用区分の対応方法の整理            | 79 |
| 7.3.2 | 環境要素の分布の認知                          | 79 |
| 7.3.3 | 土地利用空間の次元と原単位法の今後                   | 81 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 7.4 本研究のまとめ .....             | 82 |
| 7.4.1 原単位法を用いた環境要素の定量評価 ..... | 83 |
| 7.4.2 本研究の意義 .....            | 84 |
| 謝辞 .....                      | 85 |
| 参考文献 .....                    | 85 |

## 1. はじめに

本研究は、環境の定量評価を行うために、近似的に均質性が成立する単位空間としての土地利用区分を用いた原単位法を考案し、その妥当性及び有効性について検討したものである。ここでは、この原単位法を「ある環境条件を満たす地域において、土地利用に着目した原単位を用いて目的環境要素の定量評価を行い、その空間的な分布を明らかにする一連の空間分析方法」と定義する。

したがって、原単位法には、①原単位の整理、②地理情報のオーバーレイ、③環境要素の定量評価、の3つの要点がある。土地利用に着目した原単位の整理とは、属地的な統計区の一次的な情報を、地域構造の一つである土地利用区分毎の原単位（単位面積当たりの環境の量）という、二次的な情報に読み替える過程である。地理情報のオーバーレイとは、ある地域に用意された定性的区分のなされた複数の主題図（地理情報のレイヤ）の重ね合わせにより、ある環境条件を満たす地域を抽出する過程である。環境要素の定量評価とは、抽出された等質な土地利用空間に存在する環境の量を、その地域の面積に原単位を乗じて明らかにし、その分布を明らかにする過程である。この環境要素の定量評価では、土地利用空間と原単位の対応付けにいくつかのパターンがある。

本研究では、この原単位法を確立し、さらにその適用可能性も検証していくが、その前に、本研究の地理学的意義を見いだした問題の背景を明らかにしておく。

### 1.1 問題の背景

地表面では、質量のあるなしに関わらず様々な「もの」（環境要素とみなす）が行き交っている。近年、その環境要素の動態（形、構成物、動きなど）を示す情報の一部がGIS（Geographical Information System：地理情報システム）情報として整理されつつあり、そのGIS情報の応用の可能性を探ろうという気運も高まってきた。なお、本研究で扱う環境要素を地理学的に表わせば、単位空間を満たしており、空間分布が認められる地理的事象の最小単位と言える。

個々の環境要素はまぎれもなく現実中存在し地表面を行き交っているが、それら動態の情報の整理がなされていたとしても、我々はその動態をつぶさに観察したり統計資料から確認することは物理的に不可能である。従って、我々が環境要素の動態を知りうる情報は、

一般には地形的な自然条件や歴史的あるいは行政的な配慮から任意に設定された、空間的および時間的くくりでまとめられた環境要素の集合の情報にまとめられている。たとえば国勢調査報告書であれば、環境要素の集合の情報は、最小が市区町村単位の統計区、最大が日本国という統計区について、基準日（365分の1年）に存在する微分情報にあたり、地形分類であれば最小は（数千年間変化しながらも存在が認知される）微地形で、最大は（数十～数百万年間変化しながらも存在が認知される）大地形という区分（統計区に相当）の微分情報に相当する。すなわち環境要素の動態を表す情報は適切な時間スケールで微分され、様々な単位を持つ量で整理されていると考えられる。地理学ではこのようなくくり（統計区）中に分布する環境要素の情報を用いて、定量的な分析により地表面の定性的区分である「地域」の研究が進められてきた。

このような分布について松井<sup>1)</sup>は、「2つの事象A、Bがそれぞれ単位又は部分によって構成され、かつAの任意の点がBのいずれかに対応するとき、全体としてのBに対するAの対応をBに対するAの分布という」と定義し、さらに対応されるものとしてのBは分布対象（distributary）、Aは分布事象（distribution）とした。また、松井<sup>2)</sup>は地理学における分布（いわゆる地理的分布）は、有形、無形に関わらず、地域の構成要素による分布事象と、分布対象としての地域の対応関係ととらえられ、諸事象のそれぞれの地理的分布を比較研究することこそ地理学の科学性が存在するとした。

しかし、地理学以外あるいは地理学に近い多くの分野で、諸事象それぞれの地理的分布を経験的な観察に基づく比較検討から、X事象はY事象と関係が深いことを明らかにし、X事象分布をY事象分布に読み替えるという手法を用いた、地理学から見れば応用的な研究成果が多く示されてきている。

たとえば、グレーアム<sup>3)</sup>は、地形と植生、植生と土壌、植生や土壌と生物、生物と土地利用という関係の検討から、地形（X事象）を土地利用（Y事象）に読み替えている。農林省農林水産技術会議事務局編<sup>4)</sup>は、土地分類や土地分級を様々な自然条件から行い、土地利用計画を策定する方法やそのための調査法について言及した。また、井手・武内<sup>5)</sup>は、地形と植生、地形と土壌等の定性的な関係より、自然立地の側面から土地利用計画を考える際の理論と実践法を示した。

人工衛星を用いたりリモートセンシングの分野でもX事象をY事象に読み替える手法を用いた研究は多い。

たとえば、村井・垣松<sup>6)</sup>は、地球資源探査衛星(ERTS-1)のスペクトル反射強度から、首都圏の人口密度を推定することの妥当性を示した。つまり、画像データの数量的特性の分布(X分布)を、人口密度分布(Y分布)に読み替えていることとなる。さらに村井ほか<sup>7)</sup>は、LANDSAT (IHERTS)データの赤バンド( $0.6\sim 0.7\mu$ )及び遠赤外バンド( $0.8\sim 1.1\mu$ )から土地被覆情報を取得し、それを土地利用区分に読み替えている。

このように、人工衛星からの土地被覆情報を読み替えることで土地利用区分を示せることは自然なこととされ、近年のリモートセンシング研究もその延長上にある。たとえば、タイ国プーケット島を対象とし、SPOT (フランスの開発した衛星)のHRV (High Resolution Visible)データ、LANDSAT (アメリカの地球観測衛星)のTM (Thematic Mapper)及びMSS (Multi Spectral Scanner)データ、MOS-1 (日本の地球観測衛星)のMESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer)データ等の多くのデータと地理情報との総合解釈から、土地利用区分精度の向上が可能となるという報告<sup>8)</sup>や、JERS-1 (日本の資源探査衛星)及びERS-1 (ヨーロッパの地球観測衛星)のデータを用いた土地被覆分類の精度向上に関する報告<sup>9)</sup>が見られる。

## 1.2 単位空間として土地利用区分を用いる意義

一方、地理学における地表面空間に関する研究の流れは、諸事象それぞれの比較検討を行うことや、事象間の読み替えを用いた地理的課題の研究などよりは、先に述べたように地表面の定性的区分である「地域」の構造に関する研究に重点が置かれてきたように思われる。中でも土地利用を考慮した地域構造の研究については、都市地理学の研究対象として、都市における土地利用の静的な形態である内部構造の研究と、土地利用の動的な形態である都市化の研究があるとされる<sup>10)</sup>。動的な形態であっても、静的な形態を明らかにした上で、経時的变化を見出す必要があるため、静的な形態を明らかにすることは地域区分の基本である。このような地域構造の静的な形態を説明する基本的な考え方には、似通った地点が寄り集まって形成される地域である等質地域と、互いに異なる地点が機能的に結合して形成される機能地域があるとされる。

本研究で扱う土地利用空間は、そのうちの等質地域に相当し、地理学ではこれまでそのような土地利用空

間に着目した多くの研究が行われてきた。等質地域を見出すことを主眼とした研究には次のようなものを例示できる。北川<sup>11)</sup>は、地価や土地利用を指標として都市内部の構造を明らかにし、その発展系列を考察した。桑島<sup>12)</sup>は、東北地方の五都市のC.B.D. (Central Business District)の持つ土地利用を指標として地域構造を検討した。さらに戸所<sup>13)</sup>は、都市の平面的な土地利用以外に立体的な土地利用にも着目し、都市研究における立体的視点の重要性を示した。また一方、城下町から近代都市への地域構造の変化を明らかにしたもの<sup>14)</sup>や、東京の近郊都市の都心部の機能・構造について、土地利用の変化に着目し機能地域分化・空間利用変化の側面から分析を行ったもの<sup>15)</sup>など、土地利用の動的な形態を明らかにする研究も見られる。

以上のように、これまでは地域分化過程の一時間断面(地域分化の微分情報と見る)である地域構造の形態、あるいは動態を見出すこと(地域区分)に地理学では主眼がおかれていたため、明らかにされた地域構造(地域分化の状態)における地表面の環境要素の分布の検討や、地域構造あるいは土地利用の違いを環境要素の分布量に読み替えた地表面の環境要素の定量的な分析(モニタリング)はまだ行われておらず、ある環境問題の解決において膨大な作業を伴う次のような実態が依然としてある。

例えば、地表面の環境要素の定量的な分析が必要となるものに、風水害による経済被害調査があるが、その場合、ある時間内に、ある空間に存在する個々の環境要素の情報を機械的に積み上げる方法で対処しており、膨大な時間と資金を必要とする。またその手法を容易にこなすためにGIS情報の整理の必要があるものと理解され(碓井<sup>16)</sup>など)、利用目的によってはその認識は当を得ている。

しかし、個々の環境要素の情報を機械的に積み上げる作業というのは、地理学で既知である等質地域や機能地域内で環境要素が似通った状態(存在量や分布)をもつこと、あるいは逆にそのような認識から区分された地域が地表面に存在することをあまり考慮していない。したがって、等質な空間を見いだしてきた地理学的な視点に立てば、地域に存在する環境要素の集合の情報をわざわざ細かく均分して、同じ値を持った情報を何回も加算する作業を行っていると思なせる。そのため、作業量を不用意に大きくしていることが多分にあるものと考えられる。よって、現在用いられる機械的な積み上げ法での環境要素の定量的な分析は、それが堅実であればあるほど、また対象となる範囲が大

きくなればなるほど、作業量が膨大なものになることは自明である。さらにその情報取得のための観測に調査者が用いた時間や基準に差があるため、多大なる労力と時間が費やされるにもかかわらず、統一基準に基づいた結果が出にくいという問題が生じていることは否めない。ところが一方で、行政側の意図する長期的な視点を持った地域計画や、自然災害の迅速な経済被害調査、あるいは環境モニタリングには、個々の環境要素の積み上げ法で時間と資金をつぎ込んで求めた値よりは、効率よく合理的に求めた妥当な推定値およびその推定法を必要とする。

となれば、環境要素の動態をたとえばグリッド等を用いた細かなGIS情報として整理する以外にも、単位地域をくくりとした情報の整理方法やその整理された情報を用いた環境要素の、ある空間における定量的な分析を地理学的に検討する余地がまだ残されていることとなる。

そこで本研究では、県や市町村などの統計区を近似的に機能地域とみなし、またそれぞれの統計区内を土地利用区分して画定された地区を等質地域としてとらえることとし、様々な環境要素の情報を土地利用を基礎単位とした原単位に整理し、その原単位を用いてある地域の環境要素の定量評価を行う。このように原単位法により環境の定量評価を行うことと、その妥当性を検討することに本研究の目的を置くこととし、またその目的を達成することに地理学上の意義を見いだしたものである。

## 2. 研究方法

上記した目的のため、土地利用区分とそれに関わる様々な情報を適切に整理し、事例とした地理学的テーマの解決の過程を記述しつつ考察を進める。

### 2.1 事例とした地理学的テーマ

本研究では次の2つの課題を取り上げ、3つの対象地域を選んで検討する。詳細は各論で述べる。

1つは地球温暖化にともない懸念されている海水面上昇により水没する地域の分布およびその面積の把握と、その地域が被る社会経済的影響の予測である（霞ヶ関地球温暖化問題研究会<sup>17)</sup>）。そのための手法開発およびその手法による結果の評価について、愛知県濃尾平野及びタイ国バンパコン地域を対象に、将来の水没範囲に存在する社会経済的資産の推定を試みた。本課題の解決方法を略述すると次のようになる。

まず土地利用区分毎に資産の原単位を求めた。原単位の項目には、地価、居住人口、就業人口、生産性、償却資産、在庫資産、構造物を選定した。次に土地利用図及び地盤高図をオーバーレイし、海面上昇により水没すると想定される地域に存在する土地利用区分毎の面積や分布を明らかにした。最後に、水没地域の土地利用区分別面積に、それぞれの原単位を乗じ、影響を被る社会経済的資産額を明らかにした。濃尾平野では、主としてよく整備された地理情報を組み合わせ、よりの確かな影響予測手法をまとめた。一方、バンパコン地域では、断片的に存在する地理情報をリモートセンシング技術などで補って、合理的に影響予測する手法をまとめることに主眼をおいた。

2つめは、エネルギーの消費に伴う大気環境変化の地表面でのモニタリングを意図した、中規模地域におけるエネルギー消費量や大気環境負荷量の定量評価である。これは、省資源・省エネルギーの社会的要望から、いかに効率よく資源やエネルギーを消費するかという課題<sup>18)</sup>や、エネルギーの消費に伴って排出される物質が、どの程度地球環境に負荷を与えているかといった課題<sup>19)</sup>に対する国家レベルでの行動指針を検討するのに役立てようとしたものである。そのための手法開発およびその結果の評価について、長野市を対象に、事例に複数の時期のエネルギー消費と大気環境負荷物質排出量（以後、大気環境負荷量とする）を計算し、その分布を明らかにすることを試みた。本課題の解決方法を略述すると次のようになる。

まずエネルギー消費と大気環境負荷量の原単位を土地利用区分毎に求めた。それらの原単位は、エネルギー統計資料の業種別あるいは用途別に整理されたデータを用い、なおかつ様々な換算係数を使って、土地利用区分毎に計算した。次に、各消費及び排出量の分布を、一般の土地利用図、法律にもとづく土地利用計画図、リモートセンシングによる土地被覆情報による土地利用図などの、広義の土地利用図で表現する手法を検討した。その際、原単位の組み合わせを工夫したり読み替えを行うことにより、それぞれの土地利用区分毎に原単位をまとめた。最後に、長野市のエネルギー消費量や大気環境負荷量を計算した。

これらは、ともにある地域に存在するある主題の量を把握するという点で、同じ性格を持つ課題である。そこで本研究では、ある地域を抽出するために地盤高図や行政区分図を、またある主題の分布を明らかにするために土地利用区分の図（土地利用図）を、それぞれ基礎情報とし、両者を重ね合わせることで、目的の

地域に存在する目的の量を把握する。

これら事例研究を通じて、以下のことを提示していく。

- ① 土地利用空間上の環境諸量を単位面積当たり計算して、それを原単位とする各種方法。
- ② 空間上に分布する環境要素の認識において、その観察時間と存在空間の整理を行うことで、原単位は様々な種類の土地利用空間に計算できること。
- ③ 地理情報のオーバーレイにより抽出された目的の空間範囲の面積に原単位を乗じることによって、環境要素の定量評価が可能で、これがGISを用いたオーバーレイによる空間分析の有効な一手法となりうること。

## 2.2 環境要素の定量評価に関わる情報の整理法

本研究では、環境要素の定量評価は、環境要素の分布を示す土地利用区分図を用い、その土地利用区分された空間にある環境諸量を求めていく。そのような評価のための土地利用区分と、それに関わる様々な情報を適切に整理するための基本的な方法、あるいはその考え方を詳述すれば、次の4点にまとめることができる。

### 2.2.1 土地利用空間の定量化

渡辺<sup>20)</sup>によれば、土地利用とは人間の土地に対する営みの状態で、地形、地質、土壤、植生等の要素に制約・促進されつつ人間社会が土地や自然に働きかけた結果であるという。よって、地表面には、自然状態あるいは人為的に働きかけた結果卓越している植物の種の相違、構造物の利用目的や利用時間の相違、あるいは地表面に定められた法律規制などの相違により様々な土地利用区分が設定できる。

本研究ではそれら土地利用区分について、その空間を構成する環境要素を統一基準で細分化し、それぞれの量（以後、環境諸量とする）を示す情報を把握すること、さらに目的の地域の環境要素の定量化を図ることにより、これを地球（地域）環境の基礎情報として活用しようとするものである。

表-2・1では環境要素とその量について、簡単に土地利用区分された空間上に存在する人間や物などの存在量、炭素循環量の百分率を例に、そのイメージを表した。例えば、居住者は住宅地区以外にも、職住混合の見られる商業地区や工業地区などにも存在する。一方、就業者は商業地区や工業地区などに限られるわけでは

なく、内職という就業形態で住宅地区に存在することもある。同様に構造物や商品などの物においても偏在はあるが、住宅地区から水域まで存在することとなる。また、住宅地区、工業地区では、主に化石燃料や電力の消費で示される炭素循環系の一側面があるものの、少ないながらも農業地区や森林と同様に植栽が見られることから、有機物を合成する場所という側面も持っている。表-2・1では、名称は全く別個の空間と認識される土地利用区分であっても共通する環境要素が存在し、それらは偏在するが、人間の利用する空間である限り0%と100%の間で土地利用区分毎に固有の範囲の値をとり、逆にその量の違いが土地利用の特性を表すことを示している。

地理学ではこのような環境諸量も含めて地表面での位置を示す図を分布図と称し、中でも環境要素の総合的な解釈より設定した土地利用区分の位置を示す図を土地利用図と呼ぶのは周知のことである。また、たとえば都市計画のような地理学以外の分野であっても土地利用計画図という一種の土地利用図を用いることがある。

表-2・1 土地利用空間にある環境要素の定量化の考え方の例

(単位：%)

|      | 存 在 量 |     |     |    | 炭素循環量 |     |
|------|-------|-----|-----|----|-------|-----|
|      | 人 間   |     | 物   |    | 有機物   |     |
|      | 居住者   | 就業者 | 構造物 | 商品 | 合成量   | 消費量 |
| 住宅地区 | 50    | 10  | 20  | 5  | 5     | 15  |
| 商業地区 | 20    | 20  | 20  | 15 | 5     | 15  |
| 公共地区 | 10    | 20  | 20  | 5  | 5     | 15  |
| 工業地区 | 10    | 30  | 20  | 40 | 3     | 30  |
| 農業地区 | 6     | 8   | 10  | 15 | 30    | 5   |
| 森林   | 2     | 5   | 5   | 10 | 40    | 5   |
| 水域   | 2     | 7   | 5   | 10 | 12    | 15  |

### 2.2.2 読み替え

質量があるか否かに関わらず、環境要素は様々な性質を示す単位を持った量で記載されている。たとえば、国勢調査の人口のようにある基準日という瞬間において観察される量、経済調査の生産量や出荷量のようにある期間内に観察される量、研究報告に示された実験値のようにある瞬間あるいは時間内に、その特殊環境においてのみ観察される量などである。しかしそれらの情報は、元々土地利用区分に合わせて観察し取得された量ではないため、当然土地利用区分毎に整理されていない。

氷見山<sup>21)</sup>によれば土地利用とは、空間領域、景観、

生態系、資源獲得の場、資産などの存在の状態であるとされる。地理学や農学では、それらの状態を空間的に明らかにする研究が、また行政では事業としての土地利用実態調査が進められてきた。たとえば、事業としての土地利用図作成は、国土の実体を把握し、国土の適切な利用を推進するために、戦後に連合国軍総司令部天然資源課の示唆で地理調査所において始められたものである（小笠原<sup>22)</sup>、赤桐<sup>23)</sup>など）。すなわち、国力、国土資源を把握するためという性格上、元来、土地利用区分と経済調査の情報区分は近似していきべきであるが、時の経過とともに産業構造の変化や、土地利用図の作成目的の多様化により、現在での両者の乖離は作成開始時点より拡大しているものと考えられる。

表-2・2 読み替えの考え方の例

|      | 居住者  | 就業者                                      |
|------|------|------------------------------------------|
| 住宅地区 | 居住人口 |                                          |
| 公共地区 |      | 公務<br>電気・ガス・熱供給・水道業<br>運輸・通信業<br>分類不能の産業 |
| 商業地区 |      | 卸売・小売業、飲食店<br>金融・保険業<br>不動産業、サービス業       |
| 工業地区 |      | 鉱業、建設業、製造業                               |
| 農業地区 |      | 農業                                       |
| 森林   |      | 林業                                       |
| 水域   |      | 漁業                                       |

そこで、情報を土地利用区分と対応できるものに適切に整理し直す必要がある。本研究ではその作業を「読み替え」と呼ぶ。ここでは表-2・2を用いて人間という環境要素の存在量の特定方法を事例に、情報の読み替え方法を示す。いうまでもなく表-2・2の左縦軸には基本的な土地利用区分を示した。人間の存在量は、一般に入手可能な国勢調査から把握でき、住宅地区に存在する居住者は居住人口の情報で一義的に定まる。しかし、土地利用区分毎に整理のなされていない就業人口の情報からは、土地利用区分毎に就業者の存在量を一義的に見いだすことは不可能である。そこで、日本標準産業分類の区分を読み替えることで対応する。たとえば商業地区であれば、卸売・小売業、飲食店、金融・保険業、不動産業、サービス業の就業人口を、農業地区であれば農業の就業人口を、おのおのの土地利用区分の就業者数として対応させる。すなわち、この作業において環境要素が分布事象であり、それを分

布対象である土地利用区分に読み替えることとなる。

### 2.2.3 オーバーレイ

たとえば、地盤高図や行政区分図と土地利用図を重ね合わせ、ある条件を満たす地域を抽出するような作業を「オーバーレイ」と呼ぶ。近年では、これまでの手作業からGISソフトを用いたパソコン上でのオーバーレイが行われる（Burrough<sup>24)</sup>、高坂<sup>25)</sup>など）。図-2・1は様々な主題図のオーバーレイのイメージである。GIS情報にはラスタ型（情報を画素の並びとして表現）とベクター型（位置を平面座標で表現）があり、おのおの位置と属性を持って整理され、主題ごとにレイヤ構造（階層構造）をとっている。よって、たとえば図-2・1の行政区分図と地盤高図をオーバーレイし、「A市の地盤高3m以下の面積はXとなる」といった分析がGISでは容易にできる。そこで本研究では、ラスタ型で整理した複数の情報のレイヤ（主題図）をパソコンおよびコンピュータ上でオーバーレイし、各課題の目的の地域の面積を抽出する。

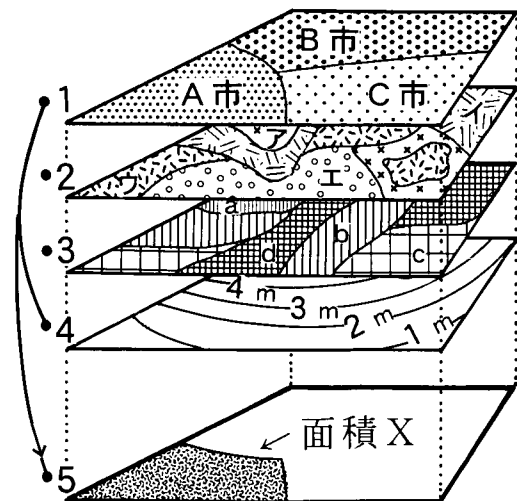


図-2・1 オーバーレイのイメージ

- 1:行政区分図、2:土壌図、3:土地利用図、  
4:地盤高図、5:A市の地盤高3m以下の地域

なお、GISの定義として高坂<sup>25)</sup>は、Burrough<sup>24)</sup>のように「一連の特定の目的のために、実世界から空間データを収集、保存、更新、検索、変換、表示するための手段」とするもの、その他「データの保存、更新、操作、分析、表示を行うシステム」という処理過程を強調したものや、「空間的に分布する事象を、点、線、あるいは域として表現している」というデータベースという意味を強調したものなどがみられるとして

いる。本研究では、Burrough<sup>24)</sup> の定義に従うものとし、GISで扱えるようにデータベース化された情報をGIS情報とする。

#### 2.2.4 原単位計算のための単位換算

GISの利用は情報の整理が主で、その応用として目的地域の面積の算出などがあるとされる<sup>25)</sup>。従って、オーバーレイにより各課題の目的地域の面積を抽出するだけで、ある地域に存在するある環境要素の量を把握したことになる。しかし、本研究ではそれをさらに進め、抽出された目的地域について環境要素の面積以外の定量評価も行い各課題を検討する。それには面積を分母とした「原単位(単位面積当たりの量)」を用意する必要がある。

原単位という語は、専ら環境負荷を表すために用いられることが多く、河村・橋本<sup>26)</sup>では、環境評価に関わる大気と水質に用いられる公害発生源原単位を2大別している。例えば線源とされる乗用車のSO<sub>x</sub>排出係数(0.032g/台・km)、生活雑排水の平均全窒素(25g/人・日)、豚から発生する全燐(25g/頭・日)など、山林から発生する全窒素(10.0g/ha・日)や水田から発生する全燐(0.87g/ha・日)という面源の原単位がある。ただ、このような単位量あたりの環境要素の量という原単位の考え方は、名称こそ違え他の分野にもある。たとえば建設省河川局河川計画課<sup>27)</sup>の、洪水被害の算定に用いられるデフレーターは点的な原単位で、(千円/世帯)、(千円/人)、(千円/戸)の単位

を持ち、特に地理学では、面的な原単位の人口密度(人/km<sup>2</sup>)が用いられている。このように、環境要素の分布量は様々な単位を持った原単位で、頻度としてまたは密度として記載されている。

従って、目的の地域にある環境要素の定量評価は、まず元情報から面積を分母に持つ原単位に「単位換算」し、目的の地域の面積にその原単位を乗じる必要がある。表2・3には単位換算および環境要素の定量評価の考え方を示した。例えば、生活雑排水の平均全窒素の元情報が25(g/人・日)であったものを、人口、統計期間、住宅地区の面積で単位換算し原単位228.126(kg/km<sup>2</sup>)を、農業生産額の元情報が500(千円/人・年)であったものを、人口、統計期間、農業地区の面積で単位換算し原単位2,500(千円/km<sup>2</sup>)を求めるまでが、単位換算の考え方である。さらに、原単位を目的の地域の面積に乘じることにより平均全窒素91.25(kg)、農業生産額1,000(千円)を求めるまでが、環境要素の定量評価の考え方となる。

このように土地利用の単位面積当たりの環境諸量を原単位と呼び、それを地理的事象の最小単位として環境要素の定量評価に用いることが本研究の特色である。ちなみに、濃尾平野とパンパコン地域での海面上昇による影響予測の場合の環境要素は「資産の原単位」で、長野市でのエネルギー消費量等の定量評価の場合の環境要素は「エネルギー消費量あるいは大気環境負荷量の原単位」で示す。

表2・3 単位換算と環境要素の定量評価の考え方の例

|      |            | 環 境 要 素 の 例                 |                          |
|------|------------|-----------------------------|--------------------------|
|      |            | 生活雑排水の平均全窒素                 | 農 業 生 産 額                |
| 各種情報 | 元情報        | ① 2.5g/人・日                  | 500千円/人・年                |
|      | 人 口        | ② 居住者 500 人                 | 就業者 10 人                 |
|      | 期 間        | ③ 365 日                     | 1 年                      |
|      | 面 積        | ④ 住宅地区 2 km <sup>2</sup>    | 農業地区 2 km <sup>2</sup>   |
|      | 原単位        | ⑤ 228.126kg/km <sup>2</sup> | 2,500 千円/km <sup>2</sup> |
|      | 目的の地域の面積   | ⑥ 0.4 km <sup>2</sup>       | 0.4 km <sup>2</sup>      |
|      | 目的の地域の環境諸量 | ⑦ 91.25 kg                  | 1,000 千円                 |

\*⑤=①×②×③÷④÷1,000

\*⑦=⑤×⑥

### 3. 地球温暖化による海面上昇の影響予測 1 —濃尾平野の事例—

#### 3.1 研究の概要

濃尾平野を例に、土地利用区分毎の社会経済的資産の原単位を基礎単位とし、影響を被る社会経済的資産量を指標とする、海面上昇の影響予測を行う。その過程で、原単位法による影響予測が可能なことを示す。この影響予測のための原単位法は、統計資料等の内容の「読み替え」、資料の値の「単位換算」、複数の空間データの「オーバーレイ」で構成される。さらに原単位を設定する適切な地域（範囲）の検討を行うための地域区分案を示すと同時に、それらが予測結果に及ぼす影響について検討する。

社会経済的資産の量は、土地、生産性、居住・就業人口、償却・在庫資産、構造物資産の諸量（円、人）とした。資産の原単位は土地利用区分毎に単位面積当たりの各量（円/km<sup>2</sup>、人/km<sup>2</sup>）とした。

##### 3.1.1 海面上昇に関わる研究

地球環境問題の一つに、沿岸域に洪水、高潮、内水氾濫等による大きな被害が懸念される海面上昇がある。海面上昇は、化石燃料の燃焼による二酸化炭素、またはフロン等の温室効果ガスの放出量の増加が地球温暖化をもたらし、温暖化した大気が海水温を上昇させることで海水の体積を膨張させたり、極地域の氷床を融解させることで海水量が増え、その結果起こるものと考えられているが、はっきりしたメカニズムについてはまだ明確にされてはいない<sup>28)</sup>。しかしBarnett<sup>29)</sup>は、世界全体の験潮データの集計より、地域的に相違はあるが、今世紀において海水面が汎地球的に数十センチ程度上昇していると報告している。またHoffman<sup>30)</sup>は、二酸化炭素やフロン等の温暖化物質の増加、それに伴う降雪や氷床の変化を考慮し、西暦2100年までに少なめに見積もり144cm、多めに見積もると216cmの海面上昇を予測している。

このような地球環境変化への危惧から、1988年にIPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change：気候変動に関する政府間パネル）等の国際機関が海面上昇の影響予測をとりまとめた。霞ヶ関地球温暖化問題研究会<sup>31)</sup>のレポートでは、IPCCの第1回の報告がまとめられた。その中で海面上昇は、2100年までの上昇量が65cmで、その上昇速度は約6 mm/yとして

いる<sup>注1)</sup>。

日本における測地学的手法による海面上昇量の測定の試み<sup>33)</sup>は、まだ精密な測量技術確立の途上にあり、また、験潮データから海面上昇量を抽出しようとする試み<sup>34)</sup>では、西日本では下降し東日本では上昇しているという東西で逆の結果が示されるなど、地球温暖化による海面上昇の確証は得られていない。

東京大学先端科学技術研究センター共同調査チーム<sup>35)</sup>（以後、東大先端科研と略称）は、国土数値情報や細密数値情報などを用いて、東京湾奥部において、0.5、1、2 mの海面上昇時のシミュレーションを行い、浸水範囲及びその面積、浸水地域の損失地価を明らかにし、さらに上昇規模毎に影響を受ける主要施設の列挙を行った。それによれば、1 mの上昇により、約9千5百haが浸水し、約70～80兆円の地価損失が生じるとしている。

また、松井ほか<sup>36)</sup>は、日本の沿岸を満潮水位の違いから日本海、太平洋北部、太平洋南部、潮位差の小さい閉鎖性内湾（東京湾、大阪湾、伊勢湾）、潮位差の大きい閉鎖性内湾（瀬戸内海、有明海）と5区分し、国土数値情報の標高及び土地利用データ等を用いて、各々で浸水する範囲を明らかにして、その面積、被災人口、損失資産（土地などの固定資産）を計算した。それによれば、1 mの上昇により、約680km<sup>2</sup>が浸水し、約180万人が被災し、約53兆円の資産が失われるとしている。

海面上昇の影響予測を行ったこれらの研究は、地盤高分布をもとめ、その地盤高以下に存在する地理情報を整理することで、海面上昇による浸水予測とする前提を置き、粗く全国的規模で、あるいは首都圏に限って詳細に、その影響の様相を先見的に見積もって明らかにしたことに意義がある。しかし、松井ほか<sup>36)</sup>で用いられた地盤高情報の元データは、5 m、10 m単位であり粗いこと、東大先端科研<sup>35)</sup>の影響予測が損失地価のみであることなど課題が残されていた。つまり、日本では平野部に限れば1 mの地盤高情報が整備されていることや、平野部に存在する社会経済的資産のうち、土地などの固定資産のように、海面上昇による水没の影響以外にも、内陸への移動の必要性、土地利用の変化などの様々な影響が想定できることから、海面上昇の影響予測手法には検討の余地が残されている。

高沢<sup>37)</sup>は、高精度の地盤高図を整備し土地利用情報とオーバーレイするという、すなわち地図情報を有効

注1 1995年に発表されたIPCCの第2回の報告では、2100年までに約50cmの上昇が見込まれるとされ、第1回の報告より低めの予測がなされている<sup>32)</sup>

に利用することで、精度良い予測が可能になるという展望を示した。その後、黒木・赤桐<sup>38)</sup>は熊本平野を対象地域とし、1 m間隔の地盤高情報と土地利用情報をオーバーレイし、土地利用区分毎に別途求めた資産の原単位を加味すれば、海面上昇による影響予測が可能になることを明らかにした。その中で、予測精度を高めるには原単位を求める地域区分について吟味する必要があると述べている。

### 3.1.2 本章の目的

海面上昇により水没する地域に存在する社会経済的資産の影響予測を通じて、環境要素の定量評価手法の検討を行う。本章の目的は次の3点に置く。

#### (1) 基本的な原単位計算方法

日本では、土地利用情報を始めとする様々な統計値が様々な基準をもって整備されている。このような背景より、豊富な情報を用いた基本的な原単位計算方法を示す。

#### (2) 影響予測

海面上昇により水没する範囲を明らかにし、原単位法による影響予測が実際に可能かどうかについて確認する。

#### (3) 原単位を定める適切な地域区分

家(敷地面積や建坪)、土地等の単位面積当たりの資産価値は、現時点でも代表地点では情報が整理されている。そのような狭い空間(地域)単位から日本という最大の地域(空間)単位のスケール間で、様々な目的に応じた原単位を設定するための地域区分(案)を示す。

### 3.1.3 影響予測の方法

#### (1) 対象地域

濃尾平野は中部圏の中心都市名古屋市をひかえ、政治、文化、経済の中心的地域である。また名古屋市を取り巻いて緊密なつながりを持つ多くの市町村が存在している。対象地域には、この濃尾平野の愛知県側で地盤高5 m以下約500km<sup>2</sup>(尾西市、一宮市、祖父江町、八開村、佐織町、平和町、立田村、佐屋町、津島市、十四山村、弥富町、飛鳥町、蟹江町、美和町、七宝町、甚目寺町、大治町、新川町、清洲町、稲沢市、西枇杷島町、春日町、西春町、師勝町、東海市、知多市、名古屋市の7市17町3村を含む)を選定した(図-

3・1)。そこでは細密数値情報を始め、各種の社会経済的資料が良くそろっており、かつ過去に洪水被害や地盤沈下等の災害も受けている。濃尾平野は揖斐川、木曽川、長良川の下流に発達した沖積平野で大半が低地盤高域である。また、高度経済成長期の大量の地下水汲み上げによって、昭和30年代からかなりの地盤沈下を記録し大きな被害が発生した。鈴木<sup>39)</sup>は、濃尾平野にはT.P.(東京湾平均海水準)よりも低い0 m地帯が約200km<sup>2</sup>と広大であり、地盤高-3 m以下の地域も存在することを明らかにしている。そのため多くの堰、ポンプ場があって、常に侵入してくる海水や河川水を排出する必要がある。このような背景から、昭和34年には伊勢湾台風襲来時に大きな洪水被害が発生した。

#### (2) 予測方法

影響予測と言っても多様なものがある。そこで本章の予測に際しては一定の条件を定めることとする。以下にそれらを列挙する。

##### a) 海面上昇による水没範囲の取り扱い

海面上昇により海水面下となる範囲は、上昇量が水没範囲を決定づける洪水や高潮と異なり、陸地側の地形の応答により地盤高が変化するため<sup>40)、41)</sup>、現在の地盤高から将来の水没範囲を単純に推定できない。例えば、気候変化に伴う基準面変動が議論される段丘地形<sup>42)</sup>、海水面微変動を記録にとどめる海岸平野の浜堤地形<sup>43)</sup>、温暖な海中で発達する珊瑚礁地形<sup>44)</sup>についての研究を通じて、海水面変動に対する地盤高の変化が既に明らかにされているからである。また、築堤など人為的な地盤高改変も当然あり得る。しかし問題を単純化するために、本章では地形応答を上回る海面上昇量があり、今後人為的な地形改変も行われることなく、現在の地盤高で将来の水没範囲を示せるものと仮定する。また、現存する堤防により囲まれた海水面以下の堤内地は、地盤高が海水面より低いことで、現在においても水没しているものとして取り扱う。ここでは影響予測の目安として、後章も含め、IPCCの予測値である海面上昇量6 mm/yを用いた議論を行う。

なお、用語「水没」は、地表面が海水面下になることであるが、建物や生産設備等はほとんどの場合、実際は「浸水」である。しかし、浸水とはいえ、洪水や高潮などと異なり、資産価値がなくなったり、内陸へ移動しなければならず、被害を一様に受けなければならないことには変わりはない。そこで本章では、以下「浸水」も含めて、「水没」と表現する。

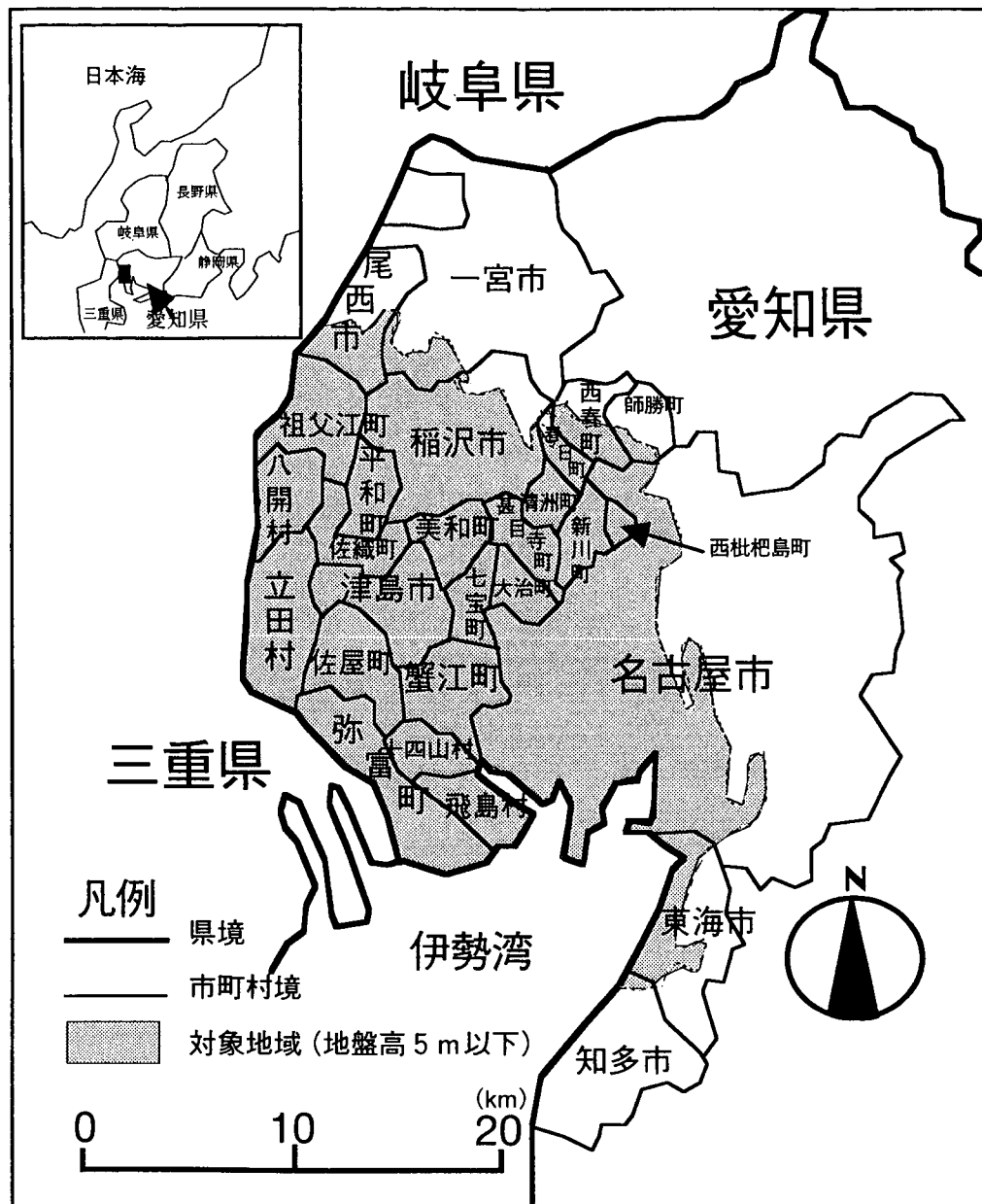


図-3・1 対象地域（濃尾平野）

#### b) 海面上昇による影響の考え方

海面上昇による影響は、沿岸域に洪水、高潮、内水氾濫等の危険性が高まるといった短期的な災害と、水没による半永久的な土地の損失といった長期的な災害の懸念がある。本章では後者を考える。また、水没の影響予測には、水没範囲にある社会経済的資産を考える場合と、そこから波及する経済的な影響まで考慮する場合が考えられるが、本章では前者とする。

東大先端科研<sup>35)</sup>や松井ほか<sup>36)</sup>は、土地や構造物などの移動が不可能で、そのまま海面下にならざるを得

ない不動産を中心に検討を行ったが、地表に見られる社会経済的資産は、それ以外にも様々な影響を受けるものがあるという視点が必要である。例えば、運搬可能で損失のない、家具や自動車等の償却資産および人的資産があり、毎年生産される農産物やサービスの可能性といった不可視的なものもある。ここでは両者を含め、社会経済的資産の影響を「円」や「人」で表現することとする。

海面上昇は1人の人間の活動時間から見れば、超長期に渡って発生する自然現象であるため、陸地側の

土地条件の変化に応じて人間社会が様々な対応行動を行い、土地利用や社会経済的資産の空間分布が変化し、あるいは、時代の変遷により社会経済的資産の資産価値や物価も変化することが想定される。しかし、これらをつきつめた上での影響予測は現時点ではほとんど不可能なので、現時点で可能な第一次近似的な予測を行うため、1) 現在の海岸施設や将来行われる海岸防衛等は一切考慮せず、2) 現在の土地利用や資産価値および物価は将来とも変化しないものと仮定した。

これまで述べた想定されるいくつかの変化から、内容によってはマイナスの影響ばかりではなく、プラスの影響も生じないわけではない。たとえば、海面上昇に伴う地下水位の上昇より水田から蓮田へ、蓮田から養殖場へと高生産性のものへの土地利用の変化があり得るからである。とはいえ、少なくとも一度は水没によって大きなマイナスの影響を被るものと考え、本研究はその必ず一度は被る大きなマイナスの影響を見積もろうとするものである。

#### c) 社会経済的資産の地理的分布の考え方

これまでの影響予測では、データベース化された個別の社会経済的資産を地理情報として扱い、それらを個々に積み上げていくという方法がとられてきた。そこでの地理情報は位置情報とともに整理されているため、その主題の位置に、量に相当するドットを描いたり、コロプレスマップ（行政区毎の地図表現）とすることで地図に地理的分布を示すことができるものである。ちなみに、地図学用語辞典<sup>45)</sup>には、「コロプレス(choropleth)とは、統計区（または行政区）を基礎にして得た統計値を、段階区分して表示する方法。この手法によって作成した地図を、コロプレスマップという。コロプレスの表現では、本来の統計値の大小の判断に、統計区の面積の大小の不当な関与をさけるため、人口密度や単位耕地面積当たりの生産量などの比率を用いて表示するのが常である」とある。

第1章では、地形－植生－土壌－生物－土地利用と関連するもの同士を段階的に読み替えることで、結局は面的な地形分布情報を面的な土地利用分布情報に対応づけられることについて言及した。そのような連関の中で、植物を育む土壌の肥沃度に多様性があることに着目すると、その多様性が生産性（農耕地における牧草や野菜、あるいは森林による生産性）の相違を生むために、土地利用の様々な可能性が見出されることとなる。土地利用の可能性は、そのまま土地の価格（地価）に反映されることとなる。よって、たとえば都市的な土地利用地域では一般に地価は高く、農村的

な土地利用地域では廉価であり、これを土地利用との対応で見れば、傾向として商業地区や公共地区では地価が高く、水田や森林は廉価であるといえる。

このように考えると社会経済的資産の地理的分布を表現する他の手法として、土地利用区分という広がりを持つ空間を用いることも可能である。そこで地価以外の社会経済的資産についても、量的にはほぼ等価と思われる土地利用区分毎に、妥当な資産価値を見いだすことができれば、適切な単位で区切ることによって、個別の社会経済的資産（たとえば家1軒あるいは車1台）を用いなくとも、土地利用を最小単位とした海面上昇の影響予測のできる可能性があることに着目した。

#### d) 社会経済的資産

社会経済的資産の項目を以下に列挙する。

- ① 土地（地表面空間としてのもの）や家屋など、内陸へ移動できずに水没する〔土地〕及び〔構造物資産〕
- ② 内陸に移動できる〔償却資産（家庭用品）：自動車、農機具等〕及び〔在庫資産：未処分の農作物等〕
- ③ 1年間の利益（生産額）で〔生産性〕
- ④ 居住及び就業人口の人的資産で〔撤退人口〕

本章では社会経済的資産のそれぞれを「円」や「人」の単位で表す。また、それらの基礎単位を「資産の原単位」と呼び（以後、原単位と略称）、それを土地利用区分毎の単位面積当たりの各量（円/km<sup>2</sup>、人/km<sup>2</sup>）で表現する。

#### e) 予測手順

本章で扱う予測手順は以下の通りである。

- ① 原単位を求める。
- ② 土地利用図を作成する。
- ③ 地盤高図を作成する。
- ④ 土地利用図と地盤高図をオーバーレイし水没範囲を定める。
- ⑤ 水没範囲の土地利用区分別面積を明らかにする。
- ⑥ 土地利用区分別面積に原単位を乗じる。
- ⑦ 計算結果を土地利用区分毎に、または地盤高毎に評価する。

#### (3) 検討方法

海面上昇による水没範囲を明らかにした後、その地域での影響予測を実際に行う。その際、次の2点について検討を進める。

・影響予測結果

(2)のe)の予測手順に従って計算を進め、事例とする上昇量での影響予測結果を示し、その内容について検討を行う。

#### ・原単位を計算する地域のスケール

行政区域毎の原単位以外に、対象地域全域に共通する原単位、あるいは都市化の程度（人口密度と宅地率を指標）に応じて区分した3地域毎の原単位を求める。次に、それぞれの原単位を用いた予測結果を比較し、原単位を求めるのに適当な空間スケールの認定作業の必要性を示す。

## 3.2 主題の分布を表す情報の整理

### 3.2.1 土地利用図

建設省国土地理院<sup>46)</sup>の細密数値情報を使用し、土地利用分布を明らかにする。建設省国土地理院<sup>47)</sup>によれば、細密数値情報は、「首都圏、近畿圏、中部圏を対象に宅地等の利用の現況及び変化の状況を、高精度の土地利用に関する数値情報として整備し、その活用を図ることにより、今後の宅地関連政策の総合的展開に必要な基礎資料を得ようとするもの」とされている。中部圏では中部圏開発整備法に基づく都市整備区域を中心とする面積約2,700km<sup>2</sup>の範囲において、昭和50、57、62年の計3回実施されている。ここでは昭和62年の土地利用情報を使用した。表-3・1のように土地利用情報は整理されているが、ここでは、分類小区分までを考慮して、原単位把握項目に合わせた土地利用区分に編集し解析した。土地利用区分は居住地（一般居住地、密集居住地）、公共地区、商業地区、工業地区、農地（水田、畑）、森林、水部の7（9）項目である。農地に水田、畑とあり、居住地に一般居住地、密集居住地とあるのは、社会経済的情報にある区分の精度を考慮したものである。この編集より作成した土地利用図は図-3・2の通りである。

### 3.2.2 地盤高図

ある地盤高以下に存在する社会経済的資産を把握し、海面上昇の影響予測を行う場合、現在整備された高精度の地盤高情報からは、少なくとも1m間隔程度（IPCCの予測に従えば約170年間隔に相当）の地盤高分布が得られる。建設省国土地理院<sup>48)</sup>の地盤高図「濃尾平野」には低地域で1m間隔の地盤高情報があるので、そのうち海拔5m以下の範囲について情報をデジタル化し、解析に使用した。この編集の結果作成された地盤高図は図-3・3の通りである。

## 3.3 原単位の計算方法

### 3.3.1 土地利用区分別面積の把握

原単位計算で分母となる各土地利用区分別面積には、国土利用計画の地目区分に沿って各行政区で例年実施される土地利用現況調査の値（愛知県企画部土地利用調査課<sup>49)</sup>）を用いる。このように土地利用の分布の情報（細密数値情報）とは別情報を用いて土地利用区分別面積を把握するのは、土地利用分布情報が高精度に整備されている地域に限られること、国内での原単位法の汎用性を持たせることを考慮したためである。

文献<sup>49)</sup>には地目区分毎の面積が記載されており、その地目を図-3・4のように土地利用区分と関係づけた。

居住地（一般居住地、高層居住地）は地目「宅地」の細区分である「住宅地」の値とする。

公共地区は地目「その他」の内容が鉄軌道用地、ゴルフ場用地、自衛隊用地、空港等とされており、公共的な土地利用区分であることと、「道路」が公共的役割を担っていることから、両者の和とする。

「宅地」の中の細区分である「その他の宅地」には公共地区や施設も含まれているが、それらの分離は不可能であり、また内容が建設省国土地理院<sup>50)</sup>の商業地区と近いので「その他の宅地」を商業地区とする。

工業地区は地目「宅地」の中の細区分である「工業用地」の値とする。

農地（水田、畑）は地目「農用地」の中の「農地」の細区分である「田」、「畑」、「採草放牧地」の和とする。

森林は地目「森林」と「原野」の和とする。

水部は地目「水面・河川・水路」の値とする。

実際、土地利用空間の分布情報から得られる面積値と、土地利用現況調査の面積値の相違は、原単位の値の違いとなり、原単位法による影響予測の精度に大きく関わってくる問題である。そこで、土地利用現況調査の面積値と、細密数値情報の面積値を比較する。

表-3・2は濃尾平野の2種類の情報による面積値を示したものである。Aは土地利用現況調査の値で、Bは細密数値情報の値である。その結果、両者の比（B/A）は最大で工業地区の1.67ポイント、最小で商業地区で0.65ポイントであった。これは、原単位計算での用途地域の土地利用地域への読み替えと、細密数値情報の様々な土地利用区分を、原単位の土地利用区分へと編集する作業が、0.65～1.67の誤差範囲で達成されていたことを意味する。一方、居住地、公共地区、農地

表-3・1 土地利用図の編集

| 土地利用区分 | 細密数値情報分類区分 |              | 土地利用状況                                                                                         | 土地利用区分編集理由                                         |
|--------|------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 森 林    | 農地・山林等     | 山地・荒地等       | 樹林地、竹林、篠地、笹地、野草地（耕作放棄地を含む）、裸地、ゴルフ場等。                                                           | ゴルフ場は丘陵地や海岸の砂防林等を伐採して造成されることが大半である。その他は土地利用状況より。   |
| 水 田    |            | 田            | 水稻、蓮、くわいなどを栽培している水田（短期的な休耕田を含む）をいい、季節により畑作物を栽培するもの。                                            | 土地利用状況より。                                          |
| 畑      |            | 畑・その他の用地     | 普通畑、果樹園、桑畑、茶園、苗木畑、牧場、牧草地、採草放牧地、畜舎、温室等の畑及びその他の農地。                                               | 土地利用状況より。                                          |
| 工業地区   | 造成地        | 造成中地         | 宅地造成、埋立等の目的で人工的に土地の改変が進行中の土地。                                                                  | その労働者が建築業従事者のため。                                   |
| 公共地区   |            | 空地           | 人工的に土地の整理が行われ、現在まだ利用されていない土地及び簡単な施設からなる屋外駐車場、ゴルフ練習場、テニスコート、資材置き場等。                             | どの土地利用にも含めにくい空き地、広い敷地のある運動場のイメージより。                |
| 工業地区   | 宅地         | 工業用地         | 製造工場、加工工場、修理工場、採掘場、採石場、発電所、ガス製造工場などの用地をいい、工場に附属する倉庫、原料置場、生産物置場、厚生施設等。                          | 土地利用状況より。                                          |
| 一般居住地  |            | 一般低層住宅地      | 3階以下の住宅用建物からなり、1区画当たり100m <sup>2</sup> 以上の敷地で、建物の密集していない住宅地をいい、農家の場合は屋敷林を含め1区画。                | 広い敷地で屋敷林等の記載より。                                    |
| 密集居住地  |            | 密集低層住宅地      | 3階以下の住宅用建物からなり、1区画100m <sup>2</sup> 未満の敷地で、建物の密集している住宅地。                                       | 土地利用状況より。                                          |
|        |            | 中・高層住宅地      | 4階建以上の中高層住宅の敷地からなる住宅地。                                                                         | 中高層住宅地は一般的に人口密度が高いことより。                            |
| 商業地区   |            | 商業・業務用地      | 小売店舗、スーパー、デパート、卸売、飲食店、映画館、劇場、旅館、ホテル等の商店、娯楽、宿泊等のサービス業を含む用地及び企業の事務所、銀行、新聞社、放送局、流通施設、その他これに類する用地。 | 土地利用状況より。                                          |
| 公共地区   | 公共公益施設用地   | 道路用地         | 有効幅員4m以上の道路、駅前広場等で工事中、用地買収済の道路用地。                                                              | 土地利用状況より。                                          |
|        |            | 公園・緑地等       | 公園、緑地、動・植物園、墓地、寺社の境内地、遊園地等の公共的性格を有する施設及び総合運動場、競技場、野球場等運動競技を行うための施設用地。                          | 土地利用状況より。                                          |
|        |            | その他の公共公益施設用地 | 公共業務施設、教育文化施設、供給処理施設、社会福祉施設、鉄道用地、バス発着センター、車庫、港湾施設用地、空港等の用地。                                    | 土地利用状況より。                                          |
| 水部     | 河川・湖沼等     |              | 河川（河川敷。堤防を含む）、湖沼・溜池、養魚場、海浜地。                                                                   | 水域は公共的な利用と、養殖場のような第一次産業的な利用があるが陸地ではないので、そのまま水部とする。 |
| 公共地区   | その他        |              | 防衛施設、米軍基地、基地跡地、演習場皇室に關係する施設及び居住地等。                                                             | 公共的な性格を持つため。                                       |
| 水部     | 海          |              |                                                                                                | 水域は公共的な利用と、養殖場のような第一次産業的な利用があるが陸地ではないので、そのまま水部とする。 |

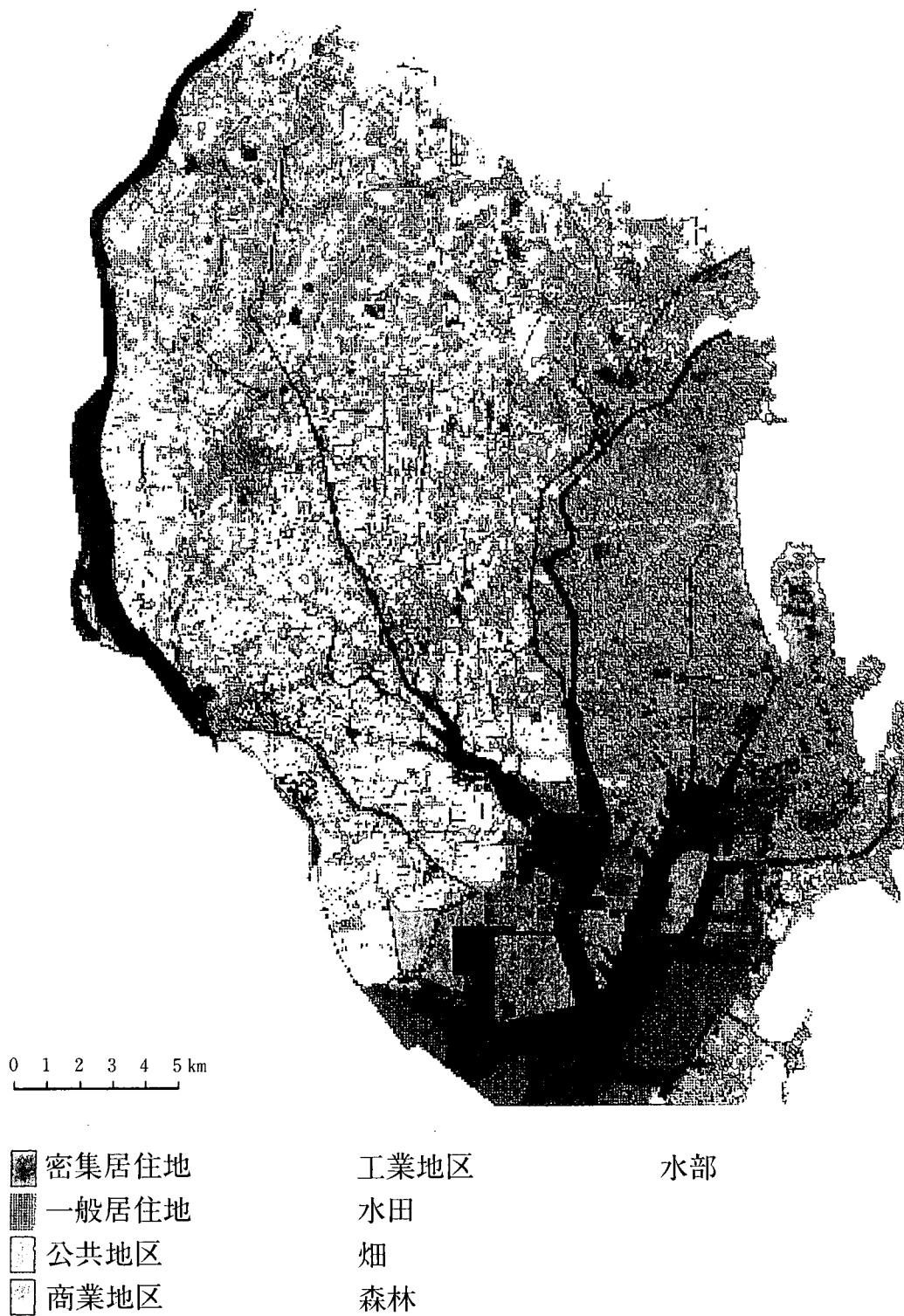


図-3・2 土地利用図

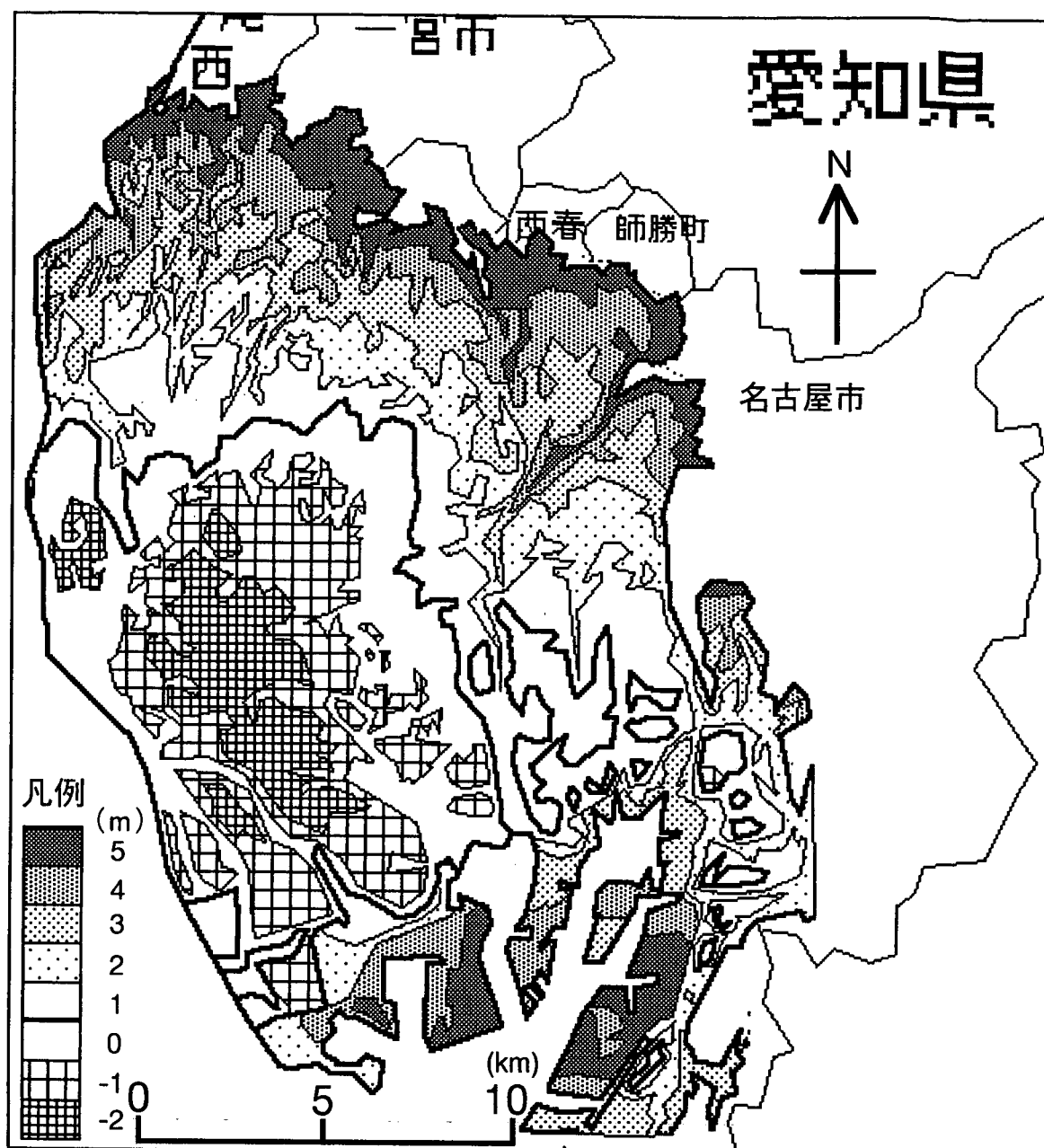


図-3・3 地盤高図

\* 凡例にある例えば2 mは、 $2\text{ m} \leq \text{地盤高} < 3\text{ m}$ の地域を示している。

| 土地利用区分 | 細密数値情報                                       | 土地利用現況調査                 | 都市計画法                          | 新SNA経済活動分類                                              | 日本標準産業分類                                 |
|--------|----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 居住地    |                                              |                          |                                |                                                         |                                          |
| 密集居住地  | 中高層住宅地                                       | 宅地:住宅地                   | 第二種住居専用地域<br>住居地域              |                                                         | *常住人口(国勢調査)                              |
| 一般居住地  | 一般低層住宅地<br>密集低層住宅地                           |                          | 第一種住居専用地域<br>市街化調整区域内:現<br>況宅地 |                                                         |                                          |
| 公共地区   |                                              |                          |                                |                                                         |                                          |
|        | 道路用地<br>公園・緑地等その<br>他の公共公益施設<br>用地<br>その他、空地 | その他<br>道 路               | 近隣商業地域                         | 電気・ガス・水道業<br>運輸・通信業<br>政府サービス生産者<br>対家計民間非営利サービ<br>ス生産者 | 公務<br>分類不能の産業<br>電気・ガス・熱供給・水道業<br>運輸・通信業 |
| 商業地区   |                                              |                          |                                |                                                         |                                          |
|        | 商業・業務用地                                      | 宅地:その他宅地                 | 商業地域                           | 卸売・小売業<br>金融・保険業<br>不動産業<br>サービス業                       | 卸売・小売業飲食店<br>金融・保険業<br>不動産業<br>サービス業     |
| 工業地区   |                                              |                          |                                |                                                         |                                          |
|        | 造成中地<br>工業用地                                 | 宅地:工業用地                  | 準工業地域<br>工業地域<br>工業専用地域        | 鉱業<br>製造業<br>建設業                                        | 鉱業<br>建設業<br>製造業                         |
| 農 地    |                                              |                          |                                |                                                         |                                          |
| 水 田    | 田                                            | 農用地:農地:田                 | 標準地の利用:現況水田                    | 農業                                                      | 農業                                       |
| 畑      | 畑・その他の用地                                     | 農用地:農地:畑<br>農用地:農地:採草放牧地 | 標準地の利用:現況畑                     |                                                         |                                          |
| 森 林    |                                              |                          |                                |                                                         |                                          |
|        | 山地・荒地等                                       | 森林、原野                    | 市街化調整区域内:現<br>況森林              | 林業                                                      | 林業                                       |
| 水 部    |                                              |                          |                                |                                                         |                                          |
|        | 河川・湖沼等、海                                     | 水面・河川・水路                 |                                | 水産業                                                     | 漁業                                       |

図-3・4 土地利用図の土地利用区分と各種情報の整理区分の関係

では1にかなり近い値となっている。このように、土地利用区分によって面積値、および原単位の精度も異なることが明らかである。このことは、これらの数値を用いた試算をどの程度の細かさ、粗さで行うべきかを示唆する。

なお図-3・4には、細密数値情報の土地利用区分、その他、原単位計算の分子を算出する基となる各社会経済的情報にある整理区分である用途や業種区分も記載している。これらについては後述する。

表-3・2 情報による面積値の相違

| 土地利用<br>区分 | A<br>土地利用<br>現況調査 | B<br>細密数値<br>情報 | B/A<br>比 |
|------------|-------------------|-----------------|----------|
| 密集居住地      |                   |                 |          |
| 一般居住地      | 17,342            | 16,309          | 0.94     |
| 公共地区       | 24,548            | 21,518          | 0.88     |
| 商業地区       | 8,706             | 5,651           | 0.65     |
| 工業地区       | 3,985             | 6,663           | 1.67     |
| 農地         | 21,176            | 25,828          | 1.22     |
| 水田         | 14,430            | 16,685          | 1.16     |
| 畑          | 6,746             | 9,143           | 1.36     |
| 森 林        | 1,908             | 3,107           | 1.63     |
| 水 部        | 6,317             | 5,703           | 0.90     |
| 合計         | 83,982            | 84,780          | 1.01     |

### 3.3.2 原単位計算手順

社会経済的資産の情報は経済活動の違いを示す業種や用途区分に従って整理される。従ってその業種及び用途が土地利用区分毎の原単位を計算する為の「読み替え」のキーワードとなる。ここでは社会経済的資産の項目毎に図-3・5に示す文献を用い、さらに各社会経済的資産の用途区分を図-3・4のように土地利用区分に対応させる「読み替え」によって原単位を把握した。

以下、各社会経済的資産の項目毎に計算手順を略記する。

#### (1) 土 地 (地価)

国土庁土地鑑定委員会<sup>51), 52)</sup>の「標準地1平方メートル当たりの価格(円)」、「標準地の利用の状況」、「標準地の周辺の土地の利用の状況」、「標準地に係る都市計画法その他法令の制限で主要なもの」の記載内容により各々の土地利用区分に土地の値段(以後、地価と称す)を対応づけた。対象地域内では415情報あり、森林のみ把握できなかったため対象地域外の9情報を用いた。

地価は土地取引が頻繁に行われる都市計画区域内の標準地について公示され、同時に土地に関わる法規制や景観に関する情報が記載されている。また建築基準法の記載や岩手県土木部都市計画課<sup>53)</sup>には、用途地域の決定方針の中に、景観を考慮した土地利用の基準が記載されている。それらの状況記載を参考にし、編集された土地利用区分に都市計画の用途区分を対応させた。

密集居住地は、既存の中高層住宅地等の第二種住居専用地域と商業地もしくは工業地に接する区域で、用途が混在し、住環境を保護する必要のある区域等の住居地域の地価とする。一般居住地は、既存の低層住宅地等の第一種住居専用地域と、市街化調整区域内において居住用又は商業用の建物の敷地として利用される現況宅地の地価とする。

商業地区は、商業、業務、娯楽等の機能に特化している区域、又は都心、副都心の商業業務地等の商業地域の地価とする。

公共地区は、住宅地に囲まれた区域で、日用品の販売を主とする地区中心的商業地、又は住宅地内の幹線道路沿いで、沿道サービスの施設の立地傾向の著しい区域等の近隣商業地域の地価とする。

工業地区は、「準工業地域で許容される工場と住宅、商業施設が混在立地しており工業専用地域を定めることが困難な区域等の準工業地域」と、「工業地域でなければ許容されない工場と、住宅、商業施設が混在立

地しており、工業専用地域を定めることが困難な区域等の工業地域」と、「通産省指定の工場適地のうち都市計画の観点から適当と認められる区域等の工業専用地域」の地価とする。

水田は、「標準地に係る都市計画法云々」では判断できないので「標準地の利用の現況」の水田の地価とする。畑も水田と同様に「標準地の利用の現況」の畑の地価とする。

森林は市街化調整区域内において用途の転換の可能性を持つ林地である、市街化調整区域内の現況林地の地価とする。

対象地域からは密集居住地191、一般居住地57、商業地区72、公共地区42、工業地区49、水田2、畑2の計415情報(森林は情報なし)を把握できるが、27行政区全てに全土地利用に対応する地価情報があることはまれで、不足する場合には隣接する行政区から外挿した。特に全く情報のない森林は、対象地域に隣接する行政区を検索して得た9サンプルを平均して14,311(円/㎡)を用いた。

#### (2) 生産性

愛知県企画部統計課<sup>54)</sup>には、平成元年度の経済活動別市町村内総生産が新SNA経済活動区分(生産の推計方法に定められた昭和55年から用いられている経済活動別の産業分類)に従って百万円単位で記載されている。ここでは新SNA経済活動区分と土地利用区分を対応づけて原単位を把握した。

居住地は生産性が無いものとする。

公共地区は電気・ガス・水道業、運輸・通信業、政府サービス生産者(電気・ガス・水道業、サービス業、公務)、対家計民間非営利サービス生産者(サービス業)の和とする。

商業地区は卸売・小売業、金融・保険業、不動産業、サービス業の和とする。

工業地区は鉱業、製造業、建設業の和とする。

農地は農業の値とする。

森林は林業の値とする。

水部は水産業の値とする。

対象となる地域毎に土地利用区分毎に把握された総生産は、その地域毎の各土地利用区分別面積で除して生産性原単位とする。

#### (3) 人 口

居住人口は居住地(密集居住地、一般居住地)に存在する。その把握には総務庁統計局<sup>55)</sup>を用いた。

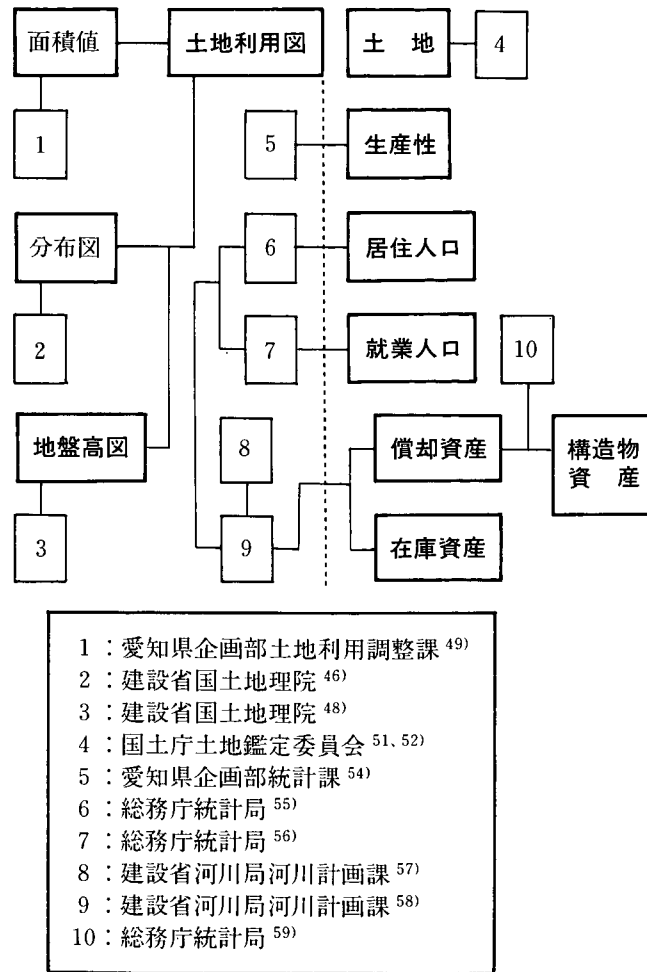


図-3・5 原単位把握の文献組み合わせ

就業人口は従業地（公共地区、商業地区、工業地区、農地、森林、水部）に存在する。その把握には総務庁統計局<sup>56)</sup>の産業大分類別の就業者数を用いた。国勢調査では就業人口情報は居住地ベースと従業地ベースで整理されている。就業者は大都市近郊ほど行政界を越えて通勤している傾向があり、海面上昇によって浸水する地域にある職場を失う状況を適切に表現するには、従業地ベースの情報をを用いる方がよい。

居住地の人口は居住人口のデータを用いる。

公共地区の人口は電気・ガス・熱供給・水道業、運輸・通信業、公務、分類不能就業者の和とする。

商業地区の人口は卸売・小売業、飲食店、金融・保険業、不動産業、サービス業就業者の和とする。

工業地区の人口は鉱業、製造業、建設業就業者の和とする。

農地の人口は農業就業者の値とする。

森林の人口は林業就業者の値とする。

水部の人口は水産業就業者の値とする。

対象となる地域毎に、土地利用区分を単位に把握された人口は、その地域毎の各土地利用区分別面積で除して人口原単位とする。

#### (4) 償却・在庫資産

償却及び在庫資産は移動が可能であり、海面上昇による浸水から避けられるものである。両資産については建設省河川局河川計画課<sup>57)</sup>に具体的な計算方法が示され、建設省河川局河川計画課<sup>58)</sup>には当該年度の両資産値が日本標準産業分類で県別に記載されている。

##### a) 償却資産の内容

農漁家における償却資産は、建物のうちの構築物、自動車、農機具、植物及び動物のことである。

製造業のそれは産業中分類別の従業者10人以上事業所の有形固定資産額である。

製造業以外のそれは産業大分類別の有形固定資産額

(土地を除く)である。

金融・保険業及び公務ではサービス業の値と同一とされる。

#### b) 在庫資産の内容

在庫資産は、農漁家では未処分農作物在庫額及び農業生産資材在庫額である。

製造業のそれは産業中分類別の従業者30人以上事業所の在庫資産額のことである。

製造業以外(卸売・小売業を除く)のそれは産業大分類別の棚卸資産額である。

卸売・小売業では産業中分類別の商品手持額のことである。

金融・保険業及び公務ではサービス業の値と同一である。

#### c) 換算方法

文献<sup>58)</sup>には両資産値が①「千円/世帯」、②「千円/戸」、③「千円/人」の3つの原単位で県別にまとめられているので、それぞれ単位面積あたりの原単位に換算する必要がある。

一般居住地、密集居住地はともに1世帯当たりの家庭用品評価額「千円/世帯」の値を用いる。家庭用品は償却資産として扱う。使用する値は、文献<sup>58)</sup>による「1世帯当たりの家庭用品評価額=5,188千円/世帯」、文献<sup>55)</sup>の「1世帯当たりの人員」である。一人当たりの家庭用品額に居住人口を乗じ、居住地面積で除して居住地の資産の原単位とする。

式

$$5,188 \text{ (千円/世帯)} \div [1 \text{ 世帯当たりの人員} \text{ (人/世帯)} \times [\text{居住人口} \text{ (人)} \div [\text{居住地面積} \text{ (ha)} \div 10,000 \text{ (m}^2/\text{ha)}] = \text{原単位 (円/m}^2\text{)}]$$

水田、畑、森林、水部は第一次産業従事者が働く場所なので、各土地利用に償却資産(耕運機、牛)や在庫資産(種籾等)が分散して常時存在するとみなす。ただし使用する「千円/戸」の単位を持つ情報は「農漁家1戸当たりの償却資産評価額及び在庫資産評価額」で、農業と水産業が分けられていない。

使用する値は、[農漁家1戸当たりの償却資産評価額=3,716千円/戸、及び在庫資産評価額=453千円/戸]、並びに文献<sup>55)</sup>の「1世帯当たりの人員」である。対応する農地、林地、水部の合計面積で除して原単位とする。

式(償却資産)

$$3,716 \text{ (千円/戸)} \div [1 \text{ 世帯当たりの人員} \text{ (人/世帯)} \times [\text{就業人口} \text{ (人)} \div [\text{土地利用区分別面積} \text{ (ha)} \div 10,000 \text{ (m}^2/\text{ha)}] = \text{原単位}$$

(円/m<sup>2</sup>)

\*在庫資産ならば453(千円/戸)を使用。

公共地区、商業地区、工業地区は、「千円/人」の単位を持つ「産業分類別事業所従業者1人当たり償却資産評価額及び在庫資産評価額」の値を使用する。就業者数は文献<sup>56)</sup>の「産業大分類別の就業者数」を使用する。

式

$$A \text{ (千円/人)} \times B \text{ (人)} \div C \text{ (ha)} \div 10,000 \text{ (m}^2/\text{ha)} = \text{原単位 (円/m}^2\text{)}$$

A [産業分類別事業所従業者1人当たり償却資産評価額及び在庫資産評価額]

B [就業者数]

C [土地利用区分別面積]

この計算において、A、B、Cに対応する各々の産業分類や土地利用区分について、商業地区で例示する。

#### 【商業地区】

A [卸売業・小売業] × B [卸売業・小売] = I

A [金融・保険業] × B [金融・保険業] = II

A [不動産業] × B [不動産業] = III

A [サービス業] × B [サービス業] = IV

C = 商業地区面積

原単位(円/m<sup>2</sup>) = (I + II + III + IV) ÷ C

公共地区、工業地区でも同様の計算を行う。

#### (5) 構造物資産

居住地の構造物資産原単位は、文献<sup>58)</sup>の愛知県の家屋1m<sup>2</sup>当たり評価額「151.7(千円/m<sup>2</sup>)」と、文献<sup>59)</sup>の「1住宅当たり延べ面積=92.53m<sup>2</sup>」を使用し、居住地の単位面積あたりの値とする。ちなみに住宅統計調査報告では区と市が最小単位なので、町村情報を把握することは不可能であった。次に「1住宅」を「1世帯」と読み変え、治水経済調査要綱の住宅地区の償却資産原単位との比例計算から、居住地の構造物資産原単位を求める。

式

$$[\text{住宅地区償却資産原単位 (円/m}^2\text{)}] \times ([\text{家屋1m}^2\text{当たり評価額=151.7千円/m}^2] \times [1 \text{ 住宅当たり延べ面積=92.53m}^2/\text{住宅}])$$

$$\div [1 \text{ 世帯当たりの家庭用品評価額=5,188千円/世帯}] = \text{構造物原単位}$$

居住地以外の構造物については、製造業以外の償却資産のデフレーターを整理する過程で、土地を除く有形固定資産額である建物を除く為の除去率<sup>注)2)</sup>0.667を

乗じるとする整理法に着目した。従って各土地利用空間上に存在する居住地以外の構造物は、先に求めた償却資産原単位に0.5 [= (1-0.667) / 0.667] を乗じて求める。

### 3.3.3 原単位計算の地域区分

日本では沿岸域に大都市が集中しており、社会経済的資産の高度集積が見られるが、観察する基準やスケールの違いでその集積度の程度は変わってくる。従って原単位を求める地域のスケールが不適切である場合、目的に対して現実とかけ離れた結果を生むことがある。例えば大都市と郊外が一括される地域で原単位が一つの時、評価したい地域が郊外にあれば、大都市の情報によって大きめに見積もられた原単位のために実際より高く評価される。黒木・赤桐<sup>38)</sup>ではその点を指摘した。そこで、扱う地域のスケールの違いによる影響予測結果のずれを少なくするために、対象地域の地域性を考慮した原単位計算法を検討する。すなわち、対象地域に見られる行政区の機能的な結びつきまで考慮し明らかとなった地域構造から、社会経済的資産の分布密度の相違を反映した原単位の計算を進めるものである。

地理学における行政区の機能的結びつきから地域構造を検討した研究例には、東京大都市圏の生産から加工まで関与する集乳圏が、1次～3次の3階層からなる機能空間構造を持つことを明らかにしたもの<sup>60)</sup>、小売業・サービス業を指標とし中心地階層構造を明らかにしたもの<sup>61, 62)</sup>などがある。近年では、企業の事業所網の展開から見たわが国の都市群システムの空間形態に、3大都市圏、周辺圏、地方圏という3地帯構造と、3大都市、広域中心都市、県庁所在都市という都市の階層構造があることを明らかにし、さらに、その階層形成の要因を検討した西原<sup>63)</sup>がある。このように、日本における地域(都市)空間にも階層構造の存在が指摘されているが、それを背景にして地域に関する実務的な目的を持った分析および地域計画はあまりなされていない実態がある。

本章で使用した情報は、市町村、都市圏、県を地域単位にして整理されている。よってそのままでも対象地域一括と市町村(以後、行政区と称す)各々の2種類の原単位を用いた影響予測が可能である。しかし対象地域一括の原単位では、水没範囲の影響予測結果は、真の値からのずれが大きくなる恐れがあり、一方、各行政区の原単位なら細かい積み上げ法に近いので精度

はよいが、広範な地域を対象にする場合に、非効率となってくる可能性がある。そこで両者の間を埋めるものとして、都市化の程度により対象地域に含まれる行政区を画する区画を変更し、各行政区を3種類に区分し、区分したそれぞれの地域集団に原単位を計算した。なお、河辺<sup>64)</sup>は、そのような階層性を持った都市の集心的配置に関して、東北地方の都市を事例に都市機能と人口規模の相関関係を示している。

地域性を表すものには人口、産業、歴史等様々な指標があるが、定量的に簡便に行政区を3種類に区分するため、まず「人口密度」に着目した。また人口密度のみに頼れば、山地や開発不能な丘陵地を広範囲に含む行政区の場合、平地部が高度利用されていても全体としては低人口密度になることがある。そこで都市化にともなう、農地や開発可能な丘陵地が宅地に変化してきている歴史性から、可住地(宅地の他に畑や水田も含める)面積に対する「宅地面積の比率(宅地率)」にも着目した。

人口密度は、文献<sup>58)</sup>の行政区の人口を、文献<sup>49)</sup>による行政区の面積で除して求めた。宅地率は居住地面積を居住地と農地を加算した面積で除した値とした。ここでは便宜的に人口密度が3500人以上又は宅地率が70%以上をAランク、人口密度が2000人未満又は宅地率が55%未満をCランクに、その中間をBランクと3種類に区分した(図-3・6)。Aランク都市は名古屋市、東海市、西枇杷島町、師勝町、清洲町、新川町、Bランクは一宮市、津島市、尾西市、知多市、西春町、七宝町、美和町、甚目寺町、大治町、蟹江町、Cランクは稲沢市、春日町、祖父江町、平和町、十四山村、飛鳥村、弥富町、佐屋町、立田村、八開村、佐織町である。

従って原単位は「地域一括」のものが1種、「ABCランク」のものが3種、「各行政区」のものが27種あって、それぞれに7つの原単位項目毎に、さらに7つの土地利用区分毎に整理されるものとなる。以上の原単位計算の結果を、土地を表-3・3、生産性を表-3・4、償却資産を表-3・5、在庫資産を表-3・6、居住・就業人口を表-3・7、構造物資産を表-3・8に示す。

### 3.3.4 地域区分スケールを考慮した原単位による影響予測結果の相違

原単位を把握した地域区分スケールの違いによる影響予測結果の違いと、地域区分スケールを考慮した原単位に影響予測に用いる利点について検討を行う。

注2 文献<sup>57)</sup>では、農漁家と製造業では、償却資産のデフレーター<sup>57)</sup>の計算過程で土地及び建物を除く為の除去率0.546を乗じ、製造業以外では建物を除く為の除去率0.667を乗じるとされており、本研究では製造業以外の除去率0.667を用いた。

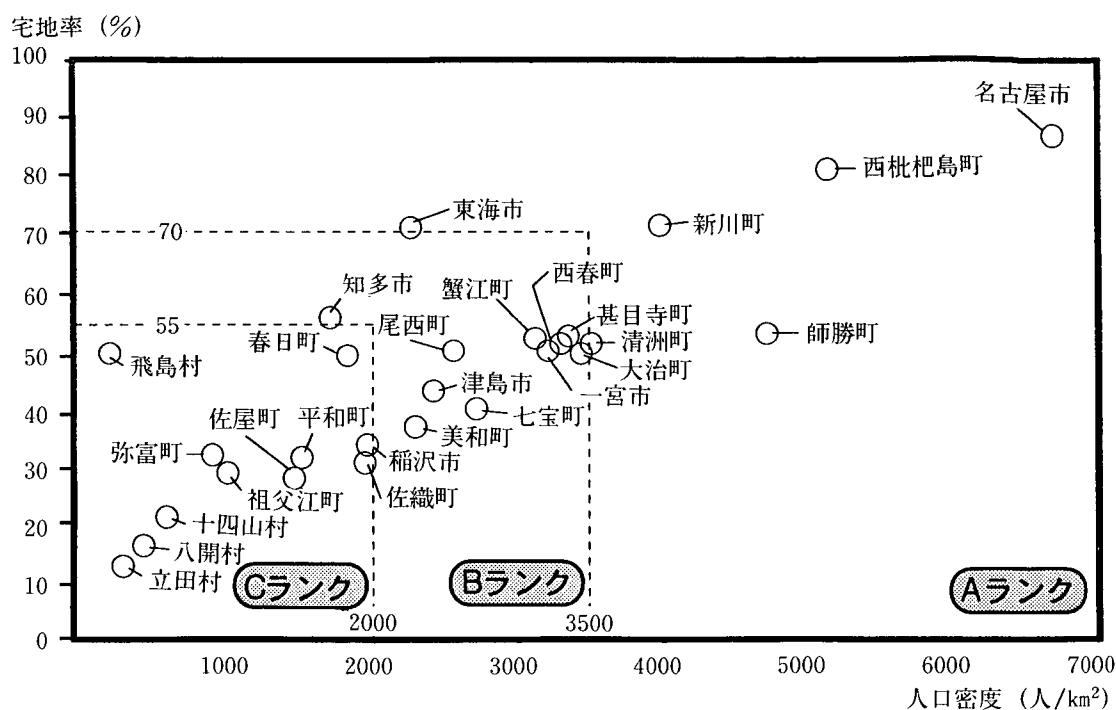


図-3-6 人口密度と宅地率による都市の分類

3.3.3では、3種類（地域一括、ABCランク、各行政区）の原単位を計算した（表-3・3～8）。それによれば、当然、各行政区の値はまちまちであるが、ABCランクでは原単位の大きい順にA→B→Cと並び、都市を3区分した方法は、概ねよい原単位計算結果を出していることが示されている。ちなみに、地域一括の値はBランクの原単位に近い。

ここでは、それら3種類の原単位を用い、地盤高-2～5mの海面上昇による影響予測を社会経済的資産項目毎に行い、次の要領で比較した。

- ① 水没範囲の土地利用区分別面積にそれぞれの原単位を乗じ、社会経済的資産項目毎に合計する。
- ② 合計した結果について、各行政区の原単位による予測結果を基準の100とし、地域一括及びABCランクでの予測結果との比を求める。
- ③ 3者の結果を同じグラフに示す（図-3・7）。

各行政区の原単位を用いた結果を基準の100としたのは、それが社会経済的資産分布の不均一性による誤差を最も多く排除していると考えたからである。

土地に関して言えば基準の予測結果に比べ、他の地域一括及びABCランクでの予測結果が全般的に低い。これは原単位計算過程で地価を単純平均したことによる原因があるものと考えられる。例えば名古屋市では突出している地価が多いにもかかわらず、その情報数

が加味されない（重みづけが不足）ために、基準の予測結果と、他の2者の予測結果との差が開くことになる。生産性は低地盤高域を除き、地域区分スケールによる予測結果の差はあまり生じない。これはどこで働こうが業種にかかわらず、生産性には差がないことを示している。居住人口は人口分布の不均一性のため、地域一括の予測結果が多めに算出されている。しかしABCランクの予測結果では、居住地人口密度で原単位を設定したことより、基準の予測結果とよく一致する。就業人口、償却資産、在庫資産、構造物資産はいずれもABCランクの予測結果が、地域一括の予測結果と比較して全般的に若干低めであるが、その推移は基準の予測結果に次第に接近していく。

これらの結果から、都市化の程度によって行政区を2～3に分類し、各々に原単位を求めることで、行政区毎の原単位を使った予測と同程度の予測ができることが分かった。従って、適切な地域区分毎に設定した原単位からの予測は、GIS情報として整備されつつある膨大な地理情報からの影響予測に比べ、合理的に情報量の軽減を行った、迅速な予測となりうるものと考えられる。また、情報不足の行政区については、その行政区と同程度に都市化した行政区の持つ原単位からの推定が可能であることも示している。

表-3・3 土地の原単位表

単位：1000円/m<sup>2</sup>

|       | 密集居住地 | 一般居住地 | 公共地区  | 商業地区   | 工業地区  | 水田   | 畑    | (農地) | 森林   | 水部 |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|------|----|
| Aランク  |       |       |       |        |       |      |      |      |      |    |
| 名古屋市  | 150.0 | 141.9 | 262.4 | 1529.9 | 130.0 | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 東海市   | 85.0  | 59.5  | 158.0 | 175.0  | 66.4  | 39.2 | 35.4 |      | 14.3 |    |
| 西枇杷島町 | 110.7 | 141.9 | 262.4 | 132.0  | 95.7  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 師勝町   | 99.1  | 141.9 | 262.4 | 844.0  | 106.1 | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 清洲町   | 99.5  | 100.4 | 190.5 | 629.0  | 86.0  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 新川町   | 93.7  | 141.9 | 214.7 | 140.0  | 89.7  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| A平均   | 106.3 | 121.3 | 225.1 | 575.0  | 95.7  | 37.3 | 37.7 |      | 14.3 |    |
| Bランク  |       |       |       |        |       |      |      |      |      |    |
| 二宮市   | 92.7  | 64.5  | 160.7 | 231.7  | 82.8  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 津島市   | 79.3  | 56.3  | 188.0 | 294.0  | 76.0  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 尾西市   | 80.2  | 50.0  | 151.4 | 129.0  | 79.8  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 知多市   | 74.0  | 68.2  | 136.0 | 175.0  | 46.1  | 39.2 | 35.4 |      | 14.3 |    |
| 西春町   | 100.7 | 103.2 | 211.6 | 158.0  | 82.1  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 七宝町   | 83.5  | 74.4  | 205.8 | 912.0  | 103.0 | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 美和町   | 74.2  | 55.3  | 154.5 | 255.5  | 76.0  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 甚目寺町  | 78.4  | 91.7  | 167.0 | 629.0  | 101.9 | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 大治町   | 82.6  | 108.2 | 214.7 | 1529.9 | 130.0 | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 蟹江町   | 75.9  | 77.8  | 188.0 | 912.0  | 81.5  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| B平均   | 82.2  | 75.0  | 177.8 | 522.6  | 85.9  | 37.1 | 37.9 |      | 14.3 |    |
| Cランク  |       |       |       |        |       |      |      |      |      |    |
| 稲沢市   | 102.0 | 58.8  | 142.0 | 217.0  | 78.3  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 春日町   | 83.3  | 88.4  | 188.4 | 534.2  | 95.7  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 祖父江町  | 73.8  | 30.2  | 142.0 | 173.0  | 63.5  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 平和町   | 53.3  | 42.8  | 142.0 | 217.0  | 47.1  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 十四山村  | 67.8  | 23.8  | 188.0 | 118.0  | 38.5  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 飛鳥村   | 106.2 | 31.3  | 225.2 | 824.0  | 38.5  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 弥富町   | 62.3  | 41.1  | 178.9 | 118.0  | 38.5  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 佐屋町   | 65.1  | 38.6  | 188.0 | 206.0  | 76.0  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 立田村   | 67.6  | 19.0  | 178.9 | 206.0  | 76.0  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 八開村   | 68.8  | 19.9  | 178.9 | 224.3  | 67.0  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 佐織町   | 63.8  | 31.7  | 142.0 | 294.0  | 61.6  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| C平均   | 74.0  | 38.7  | 172.2 | 284.7  | 61.9  | 36.9 | 38.2 |      | 14.3 |    |
| 地域平均  | 84.2  | 70.5  | 186.0 | 437.3  | 78.3  | 37.1 | 38.0 |      | 14.3 |    |

表-3・4 生産性の原単位表

単位：円/m<sup>2</sup>

|       | 密集居住地 | 一般居住地 | 公共地区    | 商業地区     | 工業地区     | 水田 | 畑 | (農地)  | 森林    | 水部    |
|-------|-------|-------|---------|----------|----------|----|---|-------|-------|-------|
| Aランク  |       |       |         |          |          |    |   |       |       |       |
| 名古屋市  |       |       | 14539.5 | 186455.5 | 140935.0 |    |   | 234.2 | 37.3  | 0.0   |
| 東海市   |       |       | 8111.5  | 41920.8  | 41249.8  |    |   | 157.6 | 10.5  | 26.6  |
| 西枇杷島町 |       |       | 5423.6  | 92287.8  | 148940.6 |    |   | 111.1 | 0.0   | 0.0   |
| 師勝町   |       |       | 3809.1  | 95539.3  | 122637.5 |    |   | 74.2  | 818.2 | 0.0   |
| 清洲町   |       |       | 3904.7  | 68027.4  | 90021.2  |    |   | 131.2 | 0.0   | 0.0   |
| 新川町   |       |       | 5269.4  | 103564.5 | 86974.0  |    |   | 137.1 | 0.0   | 0.0   |
| A平均   |       |       | 13718.6 | 174344.8 | 107482.3 |    |   | 195.8 | 35.3  | 2.0   |
| Bランク  |       |       |         |          |          |    |   |       |       |       |
| 二宮市   |       |       | 9425.7  | 75866.0  | 64891.9  |    |   | 91.6  | 51.6  | 28.0  |
| 津島市   |       |       | 6620.8  | 59773.3  | 53374.5  |    |   | 72.3  | 0.0   | 11.3  |
| 尾西市   |       |       | 3525.1  | 41977.7  | 53961.1  |    |   | 77.1  | 0.0   | 1.8   |
| 知多市   |       |       | 4960.5  | 104940.9 | 10492.6  |    |   | 100.1 | 3.8   | 0.0   |
| 西春町   |       |       | 7590.2  | 45950.1  | 95899.7  |    |   | 86.7  | 0.0   | 0.0   |
| 七宝町   |       |       | 3764.6  | 50884.1  | 65662.8  |    |   | 56.3  | 0.0   | 0.0   |
| 美和町   |       |       | 3747.2  | 51488.5  | 59482.5  |    |   | 88.1  | 214.3 | 0.0   |
| 甚目寺町  |       |       | 3544.4  | 58501.2  | 98669.7  |    |   | 98.5  | 0.0   | 0.0   |
| 大治町   |       |       | 2969.8  | 63943.4  | 85923.6  |    |   | 97.5  | 0.0   | 0.0   |
| 蟹江町   |       |       | 3883.8  | 52545.2  | 94691.0  |    |   | 97.8  | 0.0   | 15.3  |
| B平均   |       |       | 6558.2  | 65859.8  | 46781.5  |    |   | 87.5  | 11.4  | 10.3  |
| Cランク  |       |       |         |          |          |    |   |       |       |       |
| 稲沢市   |       |       | 8078.1  | 41916.7  | 95556.2  |    |   | 108.5 | 4.4   | 0.0   |
| 春日町   |       |       | 7024.6  | 24429.4  | 177985.7 |    |   | 163.0 | 0.0   | 0.0   |
| 祖父江町  |       |       | 3656.6  | 51582.4  | 30118.7  |    |   | 88.0  | 42.9  | 1.8   |
| 平和町   |       |       | 2053.9  | 38573.0  | 28213.9  |    |   | 133.3 | 266.7 | 0.0   |
| 十四山村  |       |       | 2020.1  | 19047.6  | 59689.3  |    |   | 83.1  | 571.4 | 55.3  |
| 飛鳥村   |       |       | 3287.3  | 3103.7   | 16641.3  |    |   | 85.1  | 141.0 | 39.3  |
| 弥富町   |       |       | 1296.9  | 18591.0  | 3783.6   |    |   | 112.1 | 28.6  | 116.6 |
| 佐屋町   |       |       | 2465.1  | 33151.3  | 42092.3  |    |   | 83.7  | 10.0  | 1.3   |
| 立田村   |       |       | 1004.0  | 21686.6  | 22739.5  |    |   | 157.8 | 40.3  | 7.0   |
| 八開村   |       |       | 1569.1  | 24753.4  | 45306.1  |    |   | 161.3 | 0.0   | 0.0   |
| 佐織町   |       |       | 3876.2  | 53845.6  | 35022.0  |    |   | 83.5  | 0.0   | 0.0   |
| C平均   |       |       | 3767.5  | 19489.8  | 27955.8  |    |   | 111.2 | 36.8  | 32.7  |
| 地域平均  |       |       | 10803.8 | 130048.5 | 73416.3  |    |   | 117.4 | 30.1  | 16.6  |

表-3・5 償却資産の原単位表

単位：円 m<sup>2</sup>

|       | 密集居住地 | 一般居住地   | 公共地区    | 商業地区     | 工業地区    | 水田 | 畑 | (農地)  | 森林    | 水部   |
|-------|-------|---------|---------|----------|---------|----|---|-------|-------|------|
| Aランク  |       |         |         |          |         |    |   |       |       |      |
| 名古屋市  |       | 51915.7 | 12534.8 | 72029.8  | 60265.2 |    |   | 224.7 | 11.5  | 2.7  |
| 東海市   |       | 26870.1 | 8904.9  | 29259.4  | 8094.9  |    |   | 217.3 | 0.7   | 3.8  |
| 西枇杷島町 |       | 35981.1 | 8762.3  | 74215.0  | 30737.5 |    |   | 284.8 | 32.9  | 0.0  |
| 師勝町   |       | 31665.0 | 11854.3 | 98665.8  | 85963.0 |    |   | 137.7 | 0.0   | 4.5  |
| 清洲町   |       | 27639.4 | 6866.3  | 73793.6  | 60999.0 |    |   | 226.6 | 120.3 | 0.0  |
| 新川町   |       | 29102.8 | 6458.3  | 129577.1 | 24271.5 |    |   | 256.5 | 0.0   | 0.0  |
| A平均   |       | 44055.5 | 12157.5 | 69623.5  | 42735.1 |    |   | 204.2 | 9.5   | 2.4  |
| Bランク  |       |         |         |          |         |    |   |       |       |      |
| 一宮市   |       | 21052.3 | 9520.9  | 52896.2  | 57394.2 |    |   | 111.6 | 5.1   | 2.3  |
| 津島市   |       | 19709.8 | 8454.8  | 47421.7  | 39657.8 |    |   | 92.0  | 13.5  | 11.3 |
| 尾西市   |       | 18179.8 | 7785.6  | 46123.5  | 42516.5 |    |   | 97.6  | 0.0   | 0.0  |
| 知多市   |       | 15234.8 | 10036.1 | 112977.7 | 11613.8 |    |   | 123.2 | 0.2   | 1.3  |
| 西春町   |       | 29714.9 | 8221.3  | 39947.2  | 48598.4 |    |   | 185.3 | 30.1  | 0.0  |
| 七宝町   |       | 19961.7 | 12064.6 | 61781.0  | 71502.5 |    |   | 66.5  | 0.0   | 0.0  |
| 美和町   |       | 16315.4 | 13256.0 | 60930.6  | 49505.2 |    |   | 119.8 | 74.6  | 0.0  |
| 甚目寺町  |       | 24302.0 | 7334.2  | 61285.1  | 49652.5 |    |   | 177.8 | 0.0   | 0.0  |
| 大治町   |       | 26731.9 | 13529.7 | 73911.5  | 40408.5 |    |   | 155.7 | 40.0  | 0.0  |
| 蟹江町   |       | 26674.3 | 9423.3  | 53444.0  | 46156.2 |    |   | 73.7  | 30.8  | 3.9  |
| B平均   |       | 20445.6 | 9498.8  | 55341.6  | 36191.3 |    |   | 114.3 | 1.9   | 2.4  |
| Cランク  |       |         |         |          |         |    |   |       |       |      |
| 稲沢市   |       | 19694.7 | 7551.7  | 48349.7  | 28835.9 |    |   | 166.9 | 0.0   | 1.5  |
| 春日町   |       | 17245.9 | 4790.6  | 15570.5  | 29905.3 |    |   | 226.8 | 82.4  | 0.0  |
| 祖父江町  |       | 8050.3  | 5715.8  | 62168.1  | 22121.6 |    |   | 124.8 | 2.3   | 0.0  |
| 平和町   |       | 12353.0 | 10256.7 | 52087.8  | 24119.8 |    |   | 154.8 | 33.6  | 0.0  |
| 十四山村  |       | 7450.5  | 3362.0  | 18691.3  | 13650.1 |    |   | 40.5  | 127.6 | 24.3 |
| 飛島村   |       | 5615.7  | 527.2   | 898.1    | 931.2   |    |   | 47.3  | 0.0   | 21.9 |
| 弥富町   |       | 14619.2 | 2853.3  | 17632.4  | 2966.7  |    |   | 71.7  | 0.0   | 50.3 |
| 佐屋町   |       | 15485.4 | 7025.0  | 45317.5  | 43913.4 |    |   | 78.3  | 10.2  | 11.6 |
| 立田村   |       | 6130.4  | 3579.3  | 32768.3  | 20212.5 |    |   | 111.6 | 0.0   | 0.0  |
| 八開村   |       | 5063.5  | 3042.7  | 37833.8  | 58062.8 |    |   | 120.0 | 8.2   | 0.0  |
| 佐織町   |       | 14846.2 | 13168.6 | 60328.0  | 50475.1 |    |   | 140.4 | 0.0   | 0.0  |
| C平均   |       | 12651.4 | 4770.3  | 20812.9  | 11342.3 |    |   | 111.1 | 4.2   | 13.2 |
| 地域平均  |       | 29112.8 | 10507.9 | 59010.0  | 33208.9 |    |   | 127.8 | 6.6   | 7.4  |

表-3・6 在庫資産の原単位表

単位：円 m<sup>2</sup>

|       | 密集居住地 | 一般居住地 | 公共地区  | 商業地区    | 工業地区     | 水田 | 畑 | (農地) | 森林   | 水部  |
|-------|-------|-------|-------|---------|----------|----|---|------|------|-----|
| Aランク  |       |       |       |         |          |    |   |      |      |     |
| 名古屋市  |       |       | 623.5 | 55002.3 | 74359.2  |    |   | 27.4 | 1.4  | 0.3 |
| 東海市   |       |       | 454.1 | 19867.3 | 9420.1   |    |   | 26.5 | 0.1  | 0.5 |
| 西枇杷島町 |       |       | 527.0 | 61555.7 | 34249.3  |    |   | 34.7 | 4.0  | 0.0 |
| 師勝町   |       |       | 614.3 | 74015.6 | 101392.3 |    |   | 16.8 | 0.0  | 0.5 |
| 清洲町   |       |       | 382.1 | 55691.4 | 68316.0  |    |   | 27.6 | 14.7 | 0.0 |
| 新川町   |       |       | 408.2 | 98676.1 | 26162.7  |    |   | 31.3 | 0.0  | 0.0 |
| A平均   |       |       | 607.8 | 53007.0 | 52325.2  |    |   | 24.9 | 1.2  | 0.3 |
| Bランク  |       |       |       |         |          |    |   |      |      |     |
| 一宮市   |       |       | 479.6 | 38438.4 | 62226.6  |    |   | 13.6 | 0.6  | 0.3 |
| 津島市   |       |       | 432.2 | 34153.7 | 44658.6  |    |   | 11.2 | 1.7  | 1.4 |
| 尾西市   |       |       | 399.5 | 32166.3 | 42684.6  |    |   | 11.9 | 0.0  | 0.0 |
| 知多市   |       |       | 362.3 | 74190.7 | 12948.5  |    |   | 15.0 | 0.02 | 0.2 |
| 西春町   |       |       | 527.5 | 29914.5 | 55633.7  |    |   | 22.6 | 3.7  | 0.0 |
| 七宝町   |       |       | 662.4 | 43546.6 | 84841.8  |    |   | 8.1  | 0.0  | 0.0 |
| 美和町   |       |       | 633.2 | 42701.3 | 56375.1  |    |   | 14.6 | 9.1  | 0.0 |
| 甚目寺町  |       |       | 419.8 | 49357.1 | 57720.0  |    |   | 21.7 | 0.0  | 0.0 |
| 大治町   |       |       | 559.6 | 55008.1 | 53330.7  |    |   | 19.0 | 4.9  | 0.0 |
| 蟹江町   |       |       | 467.3 | 40034.4 | 55067.5  |    |   | 9.0  | 3.8  | 0.5 |
| B平均   |       |       | 457.4 | 39923.3 | 40047.6  |    |   | 13.9 | 0.2  | 0.3 |
| Cランク  |       |       |       |         |          |    |   |      |      |     |
| 稲沢市   |       |       | 429.9 | 33139.6 | 31198.4  |    |   | 20.4 | 0.0  | 0.2 |
| 春日町   |       |       | 342.5 | 13618.2 | 32882.8  |    |   | 27.7 | 10.0 | 0.0 |
| 祖父江町  |       |       | 298.9 | 37818.5 | 22846.1  |    |   | 15.2 | 0.3  | 0.0 |
| 平和町   |       |       | 479.1 | 37168.7 | 25447.3  |    |   | 18.9 | 4.1  | 0.0 |
| 十四山村  |       |       | 169.5 | 11265.3 | 15721.5  |    |   | 4.9  | 15.6 | 3.0 |
| 飛島村   |       |       | 28.9  | 596.2   | 1240.4   |    |   | 5.8  | 0.0  | 2.7 |
| 弥富町   |       |       | 152.4 | 11433.0 | 3484.5   |    |   | 8.7  | 0.0  | 6.1 |
| 佐屋町   |       |       | 368.9 | 31620.2 | 50106.4  |    |   | 9.6  | 1.2  | 1.4 |
| 立田村   |       |       | 154.9 | 20150.2 | 23603.6  |    |   | 13.6 | 0.0  | 0.0 |
| 八開村   |       |       | 153.1 | 22786.0 | 64590.4  |    |   | 14.6 | 1.0  | 0.0 |
| 佐織町   |       |       | 604.4 | 41436.7 | 54750.4  |    |   | 17.1 | 0.0  | 0.0 |
| C平均   |       |       | 254.1 | 14083.4 | 12514.2  |    |   | 13.6 | 0.5  | 1.6 |
| 地域平均  |       |       | 523.0 | 44258.3 | 39348.7  |    |   | 15.6 | 0.8  | 0.9 |

表-3・7 居住・就業人口の原単位表

 単位：人／km<sup>2</sup>

|       | 密集居住地 | 一般居住地   | 公共地区   | 商業地区    | 工業地区    | 水田 | 畑 | (農地)  | 森林    | 水部   |
|-------|-------|---------|--------|---------|---------|----|---|-------|-------|------|
| Aランク  |       |         |        |         |         |    |   |       |       |      |
| 名古屋市  |       | 27118.6 | 903.4  | 18650.9 | 17049.9 |    |   | 163.9 | 8.4   | 1.9  |
| 東海市   |       | 15900.4 | 654.3  | 7582.3  | 2221.6  |    |   | 179.5 | 0.6   | 3.2  |
| 西枇杷島町 |       | 20112.8 | 806.9  | 20687.8 | 8252.7  |    |   | 222.2 | 25.6  | 0.0  |
| 師勝町   |       | 19775.3 | 897.4  | 26658.5 | 23755.8 |    |   | 120.0 | 0.0   | 3.9  |
| 清洲町   |       | 16462.2 | 572.7  | 19940.6 | 16419.5 |    |   | 188.5 | 100.0 | 0.0  |
| 新川町   |       | 18287.4 | 644.6  | 35419.4 | 6409.8  |    |   | 225.0 | 0.0   | 0.0  |
| A平均   |       | 25900.0 | 881.6  | 18058.7 | 12041.6 |    |   | 167.6 | 7.8   | 2.0  |
| Bランク  |       |         |        |         |         |    |   |       |       |      |
| 一宮市   |       | 13918.5 | 693.8  | 14099.6 | 15200.9 |    |   | 103.0 | 4.7   | 2.1  |
| 津島市   |       | 13031.0 | 641.4  | 12752.0 | 10704.4 |    |   | 84.9  | 12.5  | 10.5 |
| 尾西市   |       | 12439.9 | 583.6  | 12405.1 | 10848.9 |    |   | 93.2  | 0.0   | 0.0  |
| 知多市   |       | 10043.0 | 442.5  | 28816.9 | 3119.1  |    |   | 113.4 | 0.2   | 1.2  |
| 西春町   |       | 17698.3 | 818.0  | 10956.8 | 13227.1 |    |   | 154.1 | 25.0  | 0.0  |
| 七宝町   |       | 13582.3 | 1004.6 | 16996.7 | 19821.7 |    |   | 63.2  | 0.0   | 0.0  |
| 美和町   |       | 11195.6 | 907.9  | 16327.8 | 13437.5 |    |   | 114.7 | 71.4  | 0.0  |
| 甚目寺町  |       | 15364.4 | 636.5  | 17200.0 | 13620.2 |    |   | 156.9 | 0.0   | 0.0  |
| 大治町   |       | 17106.7 | 736.2  | 19867.9 | 11851.9 |    |   | 139.1 | 35.7  | 0.0  |
| 蟹江町   |       | 16761.4 | 672.6  | 14645.3 | 12831.1 |    |   | 64.6  | 27.0  | 3.4  |
| B平均   |       | 13359.8 | 651.2  | 14816.5 | 9683.1  |    |   | 104.3 | 1.7   | 2.2  |
| Cランク  |       |         |        |         |         |    |   |       |       |      |
| 稲沢市   |       | 12679.3 | 654.8  | 12590.7 | 7629.5  |    |   | 150.0 | 0.0   | 1.4  |
| 春日町   |       | 11534.9 | 556.2  | 4293.8  | 7976.2  |    |   | 211.8 | 76.9  | 0.0  |
| 祖父江町  |       | 6253.4  | 449.1  | 16413.8 | 5721.5  |    |   | 135.3 | 2.5   | 0.0  |
| 平和町   |       | 8786.1  | 683.5  | 14162.9 | 6303.5  |    |   | 153.7 | 33.3  | 0.0  |
| 十四山村  |       | 5974.2  | 251.3  | 4878.8  | 3726.0  |    |   | 45.3  | 142.9 | 27.2 |
| 飛鳥村   |       | 4557.1  | 44.4   | 236.0   | 274.5   |    |   | 53.6  | 0.0   | 24.8 |
| 弥富町   |       | 9975.4  | 225.8  | 4579.4  | 818.1   |    |   | 68.3  | 0.0   | 47.9 |
| 佐屋町   |       | 10864.9 | 553.9  | 12000.0 | 11931.7 |    |   | 76.7  | 10.0  | 11.3 |
| 立田村   |       | 5104.8  | 219.1  | 8626.9  | 5555.6  |    |   | 129.7 | 0.0   | 0.0  |
| 八開村   |       | 4392.0  | 234.9  | 9849.3  | 15571.4 |    |   | 145.3 | 9.9   | 0.0  |
| 佐織町   |       | 10445.0 | 859.5  | 15691.2 | 13371.9 |    |   | 137.9 | 0.0   | 0.0  |
| C平均   |       | 9437.3  | 380.6  | 5456.5  | 3030.2  |    |   | 115.7 | 4.4   | 13.8 |
| 地域平均  |       | 19696.6 | 761.2  | 15393.0 | 9199.0  |    |   | 120.7 | 6.3   | 7.0  |

表-3・8 構造物資産の原単位表

 単位：円／m<sup>2</sup>

|       | 密集居住地 | 一般居住地    | 公共地区   | 商業地区    | 工業地区    | 水田 | 畑 | (農地)  | 森林   | 水部   |
|-------|-------|----------|--------|---------|---------|----|---|-------|------|------|
| Aランク  |       |          |        |         |         |    |   |       |      |      |
| 名古屋市  |       | 140483.9 | 6267.4 | 36014.9 | 30132.6 |    |   | 112.4 | 5.8  | 1.3  |
| 東海市   |       | 72710.5  | 4452.5 | 14629.7 | 4047.5  |    |   | 108.6 | 0.3  | 1.9  |
| 西枇杷島町 |       | 97364.9  | 4381.2 | 37107.5 | 15368.8 |    |   | 142.4 | 16.4 | 0.0  |
| 師勝町   |       | 85685.5  | 5927.2 | 49332.9 | 42981.5 |    |   | 68.8  | 0.0  | 2.2  |
| 清洲町   |       | 74792.2  | 3433.1 | 36896.8 | 30499.5 |    |   | 113.3 | 60.1 | 0.0  |
| 新川町   |       | 78752.2  | 3229.2 | 64788.5 | 12135.8 |    |   | 128.3 | 0.0  | 0.0  |
| A平均   |       | 119214.2 | 6078.8 | 34811.8 | 21367.5 |    |   | 102.1 | 4.8  | 1.2  |
| Bランク  |       |          |        |         |         |    |   |       |      |      |
| 一宮市   |       | 56967.5  | 4760.4 | 26448.1 | 28697.1 |    |   | 55.8  | 2.5  | 1.1  |
| 津島市   |       | 53334.7  | 4227.4 | 23710.8 | 19828.9 |    |   | 46.0  | 6.8  | 5.7  |
| 尾西市   |       | 49194.5  | 3892.8 | 23061.7 | 21258.3 |    |   | 48.8  | 0.0  | 0.0  |
| 知多市   |       | 41225.4  | 5018.0 | 56488.9 | 5806.9  |    |   | 61.6  | 0.1  | 0.6  |
| 西春町   |       | 80408.5  | 4110.7 | 19973.6 | 24299.2 |    |   | 92.7  | 15.0 | 0.0  |
| 七宝町   |       | 54016.4  | 6032.3 | 30890.5 | 35751.2 |    |   | 33.3  | 0.0  | 0.0  |
| 美和町   |       | 44149.5  | 6628.0 | 30465.3 | 24752.6 |    |   | 59.9  | 37.3 | 0.0  |
| 甚目寺町  |       | 65761.2  | 3667.1 | 30642.6 | 24826.3 |    |   | 88.9  | 0.0  | 0.0  |
| 大治町   |       | 72336.5  | 6764.8 | 36955.8 | 20204.2 |    |   | 77.9  | 20.0 | 0.0  |
| 蟹江町   |       | 72180.7  | 4711.7 | 26722.0 | 23078.1 |    |   | 36.8  | 15.4 | 1.9  |
| B平均   |       | 55325.8  | 4749.4 | 27670.8 | 18095.7 |    |   | 57.1  | 1.0  | 1.2  |
| Cランク  |       |          |        |         |         |    |   |       |      |      |
| 稲沢市   |       | 53293.9  | 3775.9 | 24174.9 | 14418.0 |    |   | 83.5  | 0.0  | 0.8  |
| 春日町   |       | 46667.4  | 2395.3 | 7785.3  | 14952.6 |    |   | 113.4 | 41.2 | 0.0  |
| 祖父江町  |       | 21784.1  | 2857.9 | 31084.1 | 11060.8 |    |   | 62.4  | 1.2  | 0.0  |
| 平和町   |       | 33427.2  | 5128.4 | 26043.9 | 12059.9 |    |   | 77.4  | 16.8 | 0.0  |
| 十四山村  |       | 20161.1  | 1681.0 | 9345.7  | 6825.0  |    |   | 20.2  | 63.8 | 12.2 |
| 飛鳥村   |       | 15196.1  | 263.6  | 449.1   | 465.6   |    |   | 23.7  | 0.0  | 11.0 |
| 弥富町   |       | 39559.6  | 1426.7 | 8816.2  | 1483.4  |    |   | 35.8  | 0.0  | 25.2 |
| 佐屋町   |       | 41903.5  | 3512.5 | 22658.8 | 21956.7 |    |   | 39.2  | 5.1  | 5.8  |
| 立田村   |       | 16588.9  | 1789.6 | 16384.2 | 10106.3 |    |   | 55.8  | 0.0  | 0.0  |
| 八開村   |       | 13701.8  | 1521.4 | 18916.9 | 29031.4 |    |   | 60.0  | 4.1  | 0.0  |
| 佐織町   |       | 40173.8  | 6584.3 | 30164.0 | 25237.6 |    |   | 70.2  | 0.0  | 0.0  |
| C平均   |       | 34234.7  | 2385.2 | 10406.5 | 5671.2  |    |   | 55.6  | 2.1  | 6.6  |
| 地域平均  |       | 78779.2  | 5253.9 | 29505.0 | 16604.4 |    |   | 63.9  | 3.3  | 3.7  |

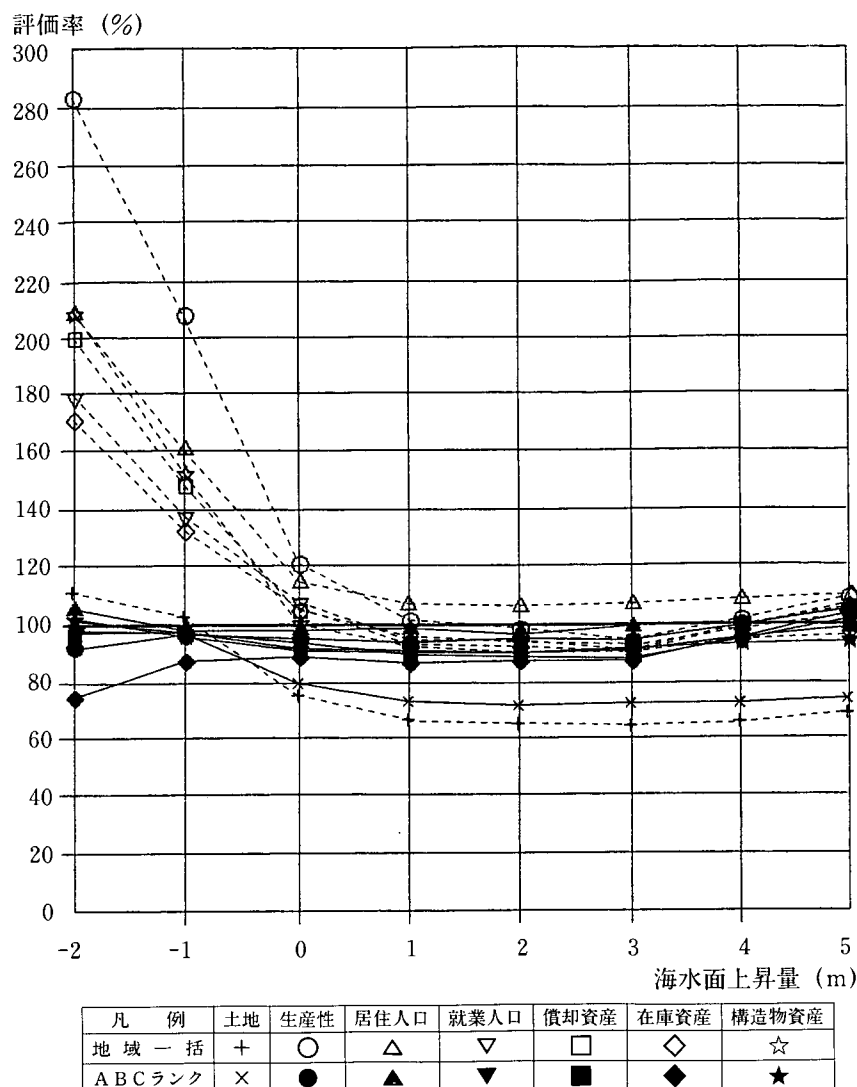


図-3・7 3種類の原単位による影響予測結果の相違

### 3.4 影響予測結果

予測結果は次のシナリオで表現できる。

- ・ X年後にはY mの海面上昇があつてA km<sup>2</sup>の土地が海水面下になる。その結果、評価額L円の土地と評価額C円の構造物資産が水没し、年間生産額V円のサービスや生産物を産み出せなくなり、P<sub>1</sub>人が居住地と、P<sub>2</sub>人が従業地を失い、評価額S円の償却資産と評価額T円の在庫資産を内陸に撤退しなければならなくなる。

ここでは海面上昇による影響予測として、水没地域の土地利用状況の分析と、各行政区の原単位を使った地盤高-2～5 mでの影響予測結果の分析を行った。

#### 3.4.1 土地利用区分別面積を用いた影響予測

図-3・8は地盤高毎の土地利用区分別面積である。低地盤高域では水田がほとんどの面積を占め、一般居住地は0 m付近で最も多く、公共地区は全地盤高で比較的多くの面積を占めていることが目立っている。またすべての土地利用において0～2 m、3～5 mの地盤高域に各々のピークが存在することが多く、その地盤高に海水面が到達した際の影響拡大が予測できる。また、これは自然堤防や段丘等の地形条件に影響された適切な土地利用が図られていることを暗に示している。このように地盤高毎の土地利用区分別面積を分析することによって、海面上昇による水没の影響を面積値で代用して予測できる。しかし土地利用区分別面

積の推移の検討からは、社会経済的資産の定量的な評価は十分にはできない。

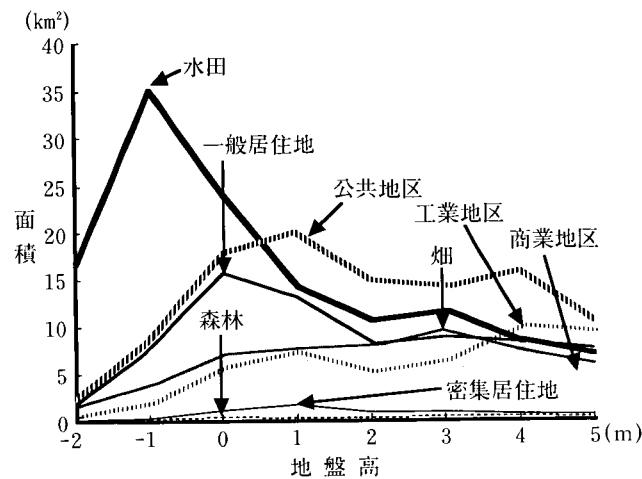


図-3・8 地盤高毎の土地利用区分別面積

### 3.4.2 社会経済的資産の原単位を用いた影響予測

水没する地域の各土地利用区分別面積に対応する原単位を各々乗じ、影響を受ける社会経済的資産の検討を行った。図-3・9は社会経済的資産の影響予測を地盤高毎に整理したものである。

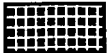
土地では公共地区と商業地区で影響が最も大きい。生産性では商業地区と工業地区で9割の影響を占めている。居住人口では密集居住地よりも一般居住地の方

がその影響を被る割合が圧倒的に多い。これは密集居住地の見られる名古屋市近辺の地盤高が比較的高いことから、5 m程度の海水面上昇ではその影響が現れないことが背景にあるものと考えられる。就業人口ではその傾向は生産性と共通し、商業地区と工業地区での被害がほとんどである。償却資産では一般居住地、公共地区、商業地区、工業地区がほぼ均等に被害を被り、特に低地盤高域で一般居住地の被害の占める割合が高い。在庫資産では商業地区と工業地区で殆ど占められており、その比率が半々となっている。構造物資産は一般居住地の占める割合が80%程度もありその被害は深刻である。

仮に1 mの海水面上昇が発生した場合の影響予測を行えば表-3・9のように整理できる。その際に浸水する範囲は250km<sup>2</sup>にも及び、1990年頃の社会経済的資産価値で見積ると、1年間に3兆5千億円の生産性、36兆円分の土地、4兆6千億円分の構造物資産が失われることになり、76万人が居住地を追われ、42万人が職場を失い、3兆2千億円分の償却資産と1兆3千億円分の在庫資産を内陸に撤退させなければならなくなる。このシナリオは単純に対象地域の合計値で表現したものであり、27行政区別にも同様のシナリオを表現することができるし、土地利用区分毎に別個に整理することもできる。

表-3-9 海水面上昇1mの影響予測

| 社会経済資産 | 土地      | 構造物資産  | 償却資産   | 在庫資産   | 生産性    | 居住人口    | 就業人口    |
|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 単位     | 億円      | 億円     | 億円     | 億円     | 億円/年   | 人       | 人       |
| 密集居住地  | 3,995   | 3,599  | 1,332  | 0      | 0      | 71,044  |         |
| 一般居住地  | 34,033  | 32,504 | 12,011 | 0      | 0      | 685,348 |         |
| 公共地区   | 111,190 | 2,435  | 4,874  | 245    | 4,544  |         | 35,266  |
| 商業地区   | 156,500 | 4,177  | 8,353  | 6,261  | 18,323 |         | 218,118 |
| 工業地区   | 13,082  | 2,819  | 5,636  | 6,807  | 11,551 |         | 157,665 |
| 水田     | 33,558  | 49     | 95     | 20     | 105    |         | 8,927   |
| 畑      | 7,554   | 21     | 33     | 13     | 31     |         | 2,357   |
| 森林     | 109     | 0      | 0      | 0      | 1      |         | 6       |
| 水域     | 0       | 5      | 8      | 1      | 10     |         | 267     |
| 合計     | 360,021 | 45,609 | 32,342 | 13,347 | 34,565 | 756,392 | 422,606 |

\* 1 m以下の面積は  の248.7km<sup>2</sup>である。

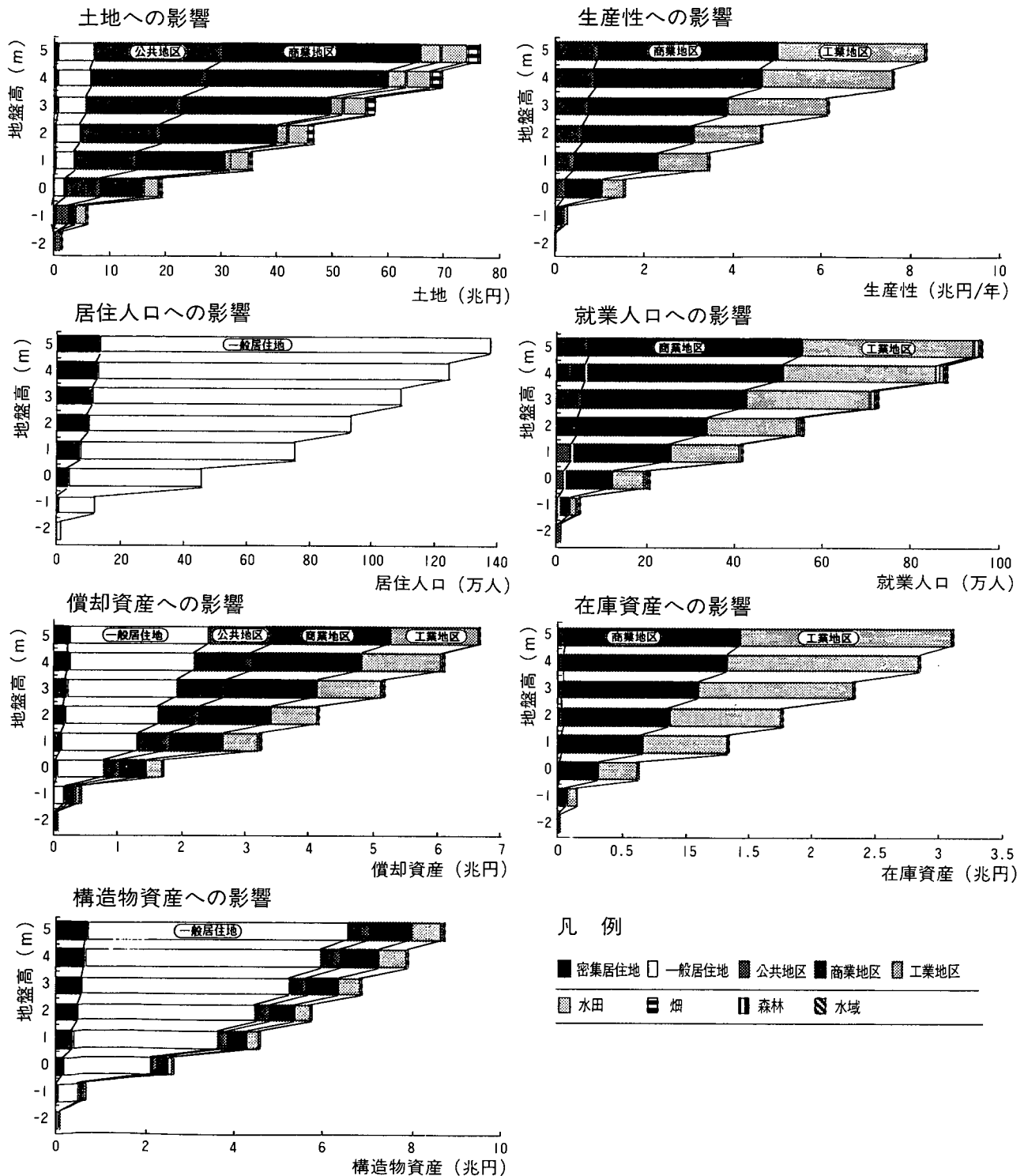


図-3・9 社会経済的資産の影響予測

### 3.5 まとめ

本章では、濃尾平野を例に環境要素を社会経済的資産とし、海面上昇による社会経済的資産の損失を原単位法を用いて定量化した。

前節で示した海面上昇による社会経済的資産の影響予測結果の例は、あくまでも第一次近似的な結果である。すなわち、本章の影響予測結果は、以下の仮定をおいた上での近似値と考えて今後取り扱うべきである。

＜仮定＞

- 地球の温暖化により海面上昇が起こる。
- 海面上昇に対して海岸防御施設は考慮しない。
- 陸部の地形変化が起こらない。
- 土地利用が変化しない。
- 資産価値や物価が変化しない。

多様な社会経済的情報を用いて原単位法による海面上昇の影響予測を濃尾平野を例に検討する過程で次のことが分かった。

- ・日本における海面上昇の影響予測には、次に示す手順を踏むことにより原単位法を用いることができる。
- 海面上昇の影響予測に用いる原単位は、単位面積当たりの社会経済的資産の価値とする。
- 社会経済的資産の項目を、土地、構造物資産、償却資産、在庫資産、生産性、居住者、就業者と整理する。
- 社会経済的資産の各項目について、統計資料にある用途区分等を読み替えることと、情報の単位を換算することで、それぞれの土地利用区分に対応する原単位を計算する。
- 原単位法は、土地利用図と地盤高図のオーバーレイによって抽出された地域について適切な土地利用区分を施し、区分した各土地利用毎に資産の原単位を求め、その上で原単位と対応する土地利用面積を乗じることによって、社会経済的資産量を計算するものとする。
- ・日本では、詳しい情報の使用により、細かくは市町村単位まで原単位を求めることができる。しかし、都市の機能的な結びつきを考慮して、地域を3区分し、それぞれに原単位を計算することで、市町村単位による算出結果と同程度の精度で、社会経済的資産の海面上昇の影響量を算出することができる。
- ・洪水や地震等の自然災害の被害状況把握において、人、家、農地1件1件の被害を積み上げていく集計

に比べ、土地利用空間を単位とした積み上げ法である原単位法は、少ない資金、労力、時間で同程度の被害状況把握が可能である。

## 4. 地球温暖化による海面上昇の影響予測2 —バンパコン地域の事例—

### 4.1 研究の概要

タイ国バンコク市東方のバンパコン川下流域を例に、土地利用区分毎の社会経済的資産の原単位を基礎単位とし、影響を被る社会経済的資産量を指標とする海面上昇による影響予測を行う。その過程で、人工衛星によるリモートセンシング技術を用いて作成した土地利用図の利用方法を検討する。また資料整備状況、資産分布様式、あるいは気候風土の異なる地域で、日本国内で検討された原単位法の考え方を用いて、影響予測が可能かどうかの検討も行う。

前章と同様に、土地利用図と地盤高図をオーバーレイし、ある地盤高以下の各土地利用区分別面積から、海面上昇による社会経済的な影響予測を行った。バンパコン地域では、ランドサットTMデータから土地利用図を作成した。次に社会経済的情報及び土地利用図を用いて、土地利用区分毎の資産の原単位を計算した。

社会経済的資産の量を土地、生産性、居住人口、就業人口の諸量（パーツ（1パーツは現地調査時点の1990年頃で約5円）、人）とし、資産の原単位は土地利用区分毎に単位面積当たりの各量（パーツ/㎡、人/k㎡）とした。

#### 4.1.1 海面上昇に関わる研究

アジアの開発途上国の中には、地盤高の非常に低い地域を主な生活の場としている国も多い。海津<sup>65)</sup>は、海面上昇が発生した場合のアジア南部のデルタ地域について、地形変化、塩害、地盤沈下等の影響を推定し、早急な対策が必要であると指摘した。そのような国にはタイやバングラデシュ、南太平洋の珊瑚礁からなる島国などがある。しかしこれらの国々では、情報整備があまりなされず、今のところ適切な影響予測手法は提示されていない。また、第3章で提示・検討した土地利用区分を基礎単位とした影響予測手法である原単位法が適用できるかどうかの検討もなされていない。

高沢<sup>37)</sup>は、情報の不足する地域では人工衛星を使ったリモートセンシング技術の応用により、ある程度の影響予測が可能になるのではないかという展望を示した。その後、黒木・赤桐<sup>66)</sup>は、日本に比べ情報整備の進んでいないタイ国バンコク市地域を事例に、情報の不足がちな地域であっても、原単位法が利用できるかどうかの予備的な検討を行った。その結果、土地利用図を人工衛星による画像データから作成することで、空中写真と現地調査に基づく従来の手法で作成されたものとほとんど変わらない2割程度の結果数値の違いはあるものの影響予測が可能なることを明らかにした。また、情報が少ないバンコク市郊外での影響予測には、土地利用図の区分と原単位の区分が一致しない場合の手法検討が必要であることが分かった。

#### 4.1.2 本章の目的

海面上昇による水没範囲に存在する社会経済的資産の影響予測を通じて、情報の不足する地域における、環境要素の定量評価手法の検討を行う。本章の目的は次の3点である。

##### (1) 情報の不足する場合の原単位計算方法

様々な統計値が整備されていないことが想定される開発途上国において、少ない情報を用いた原単位計算方法の適用可能性を検討する。

##### (2) 人工衛星による土地利用図作成方法

開発途上国では、土地利用情報が整備されていないことが想定されるため、人工衛星によるリモートセンシング技術の利用方法を検討する。また、日本とは気候や土地利用慣行等の異なる地域における土地利用区分法について現地調査結果をふまえた検討を行う。

##### (3) 土地利用区分と原単位の対応付け

実際に原単位法により影響予測を行う中で、人工衛星による土地利用区分（土地利用図の持つ空間分類）と、原単位を計算できる土地利用区分が一致しない場合の情報の読み替え方法の検討を行う。

#### 4.1.3 影響予測の方法

##### (1) 対象地域

対象地域は図-4・1に示すバンコク市東方（北緯 $13^{\circ}25'$ ～ $13^{\circ}50'$ 、東経 $100^{\circ}45'$ ～ $101^{\circ}10'$ ）のバンパコン地域（BANGKOK METROPOLIS、CHANGWAT CHACHOENGSAO、CHANGWAT

SAMUT PRAKAN、CHANGWAT CHON BURIの4県を含む）であり、バンパコン川（MAE NAM BANG PAKONG）が北東方向から南西に向かって流れている。南及び東は次第に高度を増し山地になっている。北、西方向は低平な平野であって、その傾斜は約0.02%である。バンパコン地域は経済成長が著しいバンコク市と比較すれば都市化は限られ、海岸付近のマングローブ林の伐採、ゴルフ場建設、工業団地の造成等の土地利用改変の盛んな地域が見られる。

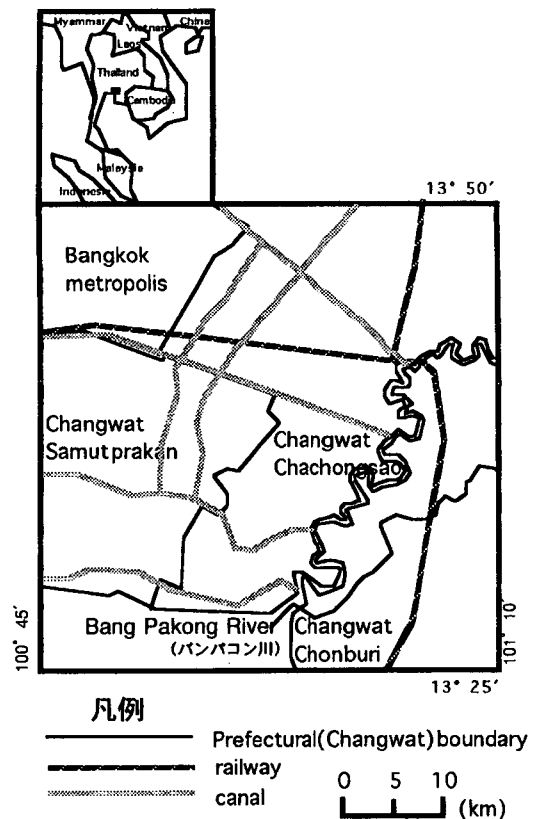


図-4・1 対象地域（バンパコン地域）

##### (2) 予測方法

前章と同様に、影響予測に際し定めた一定の条件を以下に列举する。

##### a) 海面上昇による水没範囲の取り扱い

前章と同様、問題を単純化するため地形応答を上回る海面上昇量があり、人為的な地形改変も行われることなく、現在の地盤高で将来の水没範囲を示せるものと仮定する。したがって、3.1.3でも述べたように、堤内地において地盤高が海水面より低ければ、現在においても水没しているものとして取り扱う。また、現象

としての「浸水」も含め「水没」と表現する。

#### b) 海面上昇による影響の考え方

前章と同様、海面上昇による影響は、水没による半永久的な土地の損失のような長期的な災害を考える。また、水没の影響予測は水没範囲にある社会経済的資産量の見積もり結果を指標とする。その社会経済的資産への影響を「パーツ」や「人」の単位で表現する。また、現在の海岸設備や将来行われる海岸防御等は一切考慮せず、現在の土地利用や資産価値および物価は将来とも変化しないと仮定する。

#### c) 社会経済的資産の地理的分布の考え方

前章と同様、社会経済的資産の地理的分布を、土地利用区分という広がりを持つ空間に読み替えることで、面的に表現されるものとする。

#### d) 社会経済的資産

社会経済的資産の項目は、タイ国における情報入手が困難であることから、日本での検討事例（たとえば第3章）と比べ少ない。それらを以下に列挙する。

- ① 土地（地価）：内陸へ移動できずに水没する空間。
- ② 生産性：1年間の利益（生産額）。
- ③ 撤退人口：居住及び就業人口の人的資産。

本章では社会経済的資産のそれぞれを「パーツ」や「人」の単位で表す。また、それらの基礎単位を「資産の原単位」と呼び（以下、原単位と略称）、それを土地利用区分毎に単位面積当たりの各量（パーツ/m<sup>2</sup>、人/km<sup>2</sup>）で表現する。

#### e) 予測手順

前章と同様、本章で扱う予測手順は以下の通りである。

- ① 原単位を求める。
- ② 土地利用図を作成する。
- ③ 地盤高図を作成する。
- ④ 土地利用図と地盤高図をオーバーレイし水没範囲を定める。
- ⑤ 水没範囲の土地利用区分別面積を明らかにする。
- ⑥ 土地利用区分別面積に原単位を乗じる。
- ⑦ 計算結果を土地利用区分別面積毎に、または地盤高毎に評価する。

#### (3) 検討方法

海面上昇による水没範囲を明らかにした後、その地域での影響予測を実際に行う。その際、次の2点について検討を進める。

・影響予測結果

(2)-e)の予測手順に従って計算を進め、事例とする上昇量での影響予測結果を示し、その内容について検討を行う。

#### ・土地利用図作成の留意点

資料整備状況や資産分布様式等の異なる国で土地利用図を作成し、原単位法を適用する場合の留意点を、対象地域の現地調査結果を例にして検討を行う。

## 4.2 主題の分布を表す情報の整理

### 4.2.1 土地利用図

土地利用図を人工衛星データから作成する。その利点は以下の通りであり、土地利用データの整備されていない地域で、土地利用の分布情報を取得するには有利なものと考えられる。

- ① データに周期性があり、データを取得しやすいこと。
- ② 広域のデータが得られること。
- ③ 直接調査地に立ち入る必要がないこと。
- ④ 迅速にデータが得られること。
- ⑤ スペクトルデータが得られ、様々な分析ができること。

#### (1) 現地調査

社会経済的資産の地表面上の分布を表すものが土地利用図である。人工衛星を使って土地利用図を作成するには現地調査を行って典型的な土地利用景観をもつ場所、すなわち自動分類のトレーニングエリアとして使用する教師データとなる場所を選定する必要がある。1993年1月24日から30日にかけて教師データの収集すなわち土地利用景観の情報の把握を現地で行った。その結果、対象地域の土地利用図凡例を住宅地区、商工業地区、乾田、湿田、果樹園及び畑、マングローブ、養殖場、水域の8区分とした。以下、対象地域における、日本とは異なる土地利用景観を記載する。

住宅地区は水路沿いに分布する伝統的な高床式の木造家屋からなる。

商工業地区は商業、公共、工業という経済活動と、そこで働く従業員のアパート等の住居が共存する地域である。海岸付近では次々に大規模な商工業地区の造成が行われており、ランドサットTM画像からもはっきり判別できる。また工業には伝統的な煉瓦工業地帯や精米工場、海岸付近にみられる造船所が含まれる。

水田は二区分する必要がある。一つは乾田であり灌漑施設が存在しないことにより水田耕作を年一回行う水田である。一つは湿田であり灌漑施設が存在するの

で、年数回の耕作ができる水田である。

果樹園及び畑について、対象地域には日本で言うところの普通畑は少なく殆ど果樹園である。調査中は1ヶ所とうもろこし畑を確認したのみである。果樹園ではパーム、ココナッツ、シュガーパーム、マンゴー等が栽培されている。

マングローブは熱帯の海岸付近と旧河道沿いに見られる汽水生の植物類の総称である。現在では海岸付近の開発のために大規模に破壊されている。

養殖場は水田地域やマングローブ地域を掘込んで造成されたエビ、淡水魚、海水魚の養殖場所である。養殖場の内、エビ養殖場ではローターで海水を養殖場に引き入れている。一方、淡水魚養殖場は淡水で行われるのでローターがない。海岸部には塩田が広がり、同じ地域には土地利用形態の似たエビ養殖場や海水魚養殖場も存在する。浅いものが塩田であり、深いものがエビ養殖場であり現地では区別できる。

水域には河と海が含まれる。

## (2) 衛星データの処理

ランドサットTMデータを用いて8区分の土地利用を分離し、土地利用図とした。使用したデータは以下のとおりである。

- ・衛星 : LANDSAT-5
- ・センサー : TM
- ・分解能 : 30m
- ・バンド数 : 7
- ・撮影日 : 1987年12月9日
- ・PASS-LOW : 129-51
- ・対象地域 : タイ中部地域のバンパコン川流域

データは対応する地形図より基準点の座標を測定し、アフィン変換による地図座標系への変換係数を求め、幾何補正を行った。

ランドサットTMデータから土地利用図を最尤法を用いて作成した。最尤法を簡単に言えば、現地調査によって明らかになった土地利用区分毎の典型的な景観を持つ場所におけるデータを教師データとし、それと同じ特性をもつ場所を抽出する方法である。図4・2は衛星画像上における土地利用の教師とする分類クラスのトレーニングエリアの配置を表したものである。水田は刈り取り後や水を張った状態のもの、住宅地は工場に付随しているアパート状のものから水上家屋まで、その地域性で様々な形態を示すため、なるべく複数のトレーニングエリアを配置した。水田は乾田及び湿田があるが、ランドサットTMデータ取得の時期は

乾田の刈り採り後にあたっている。現地調査時も同様であり、乾田は水が張られておらず乾燥していた。海岸及び海水の遡上する河川沿いにはマングローブ、交通の要衝やバンコク市郊外の開発区には商工業地、バンパコン川上流にはパーム、ココナッツ等の果樹園が見られる。この編集より作成した土地利用図<sup>67)</sup>は図4・3の通りである。

## 4.2.2 地盤高図

1/25万地形図は小縮尺のために記載のある地盤高の情報密度が低い。より縮尺の大きい1/2万地形図には地盤高が記載されていない。また、1/5万地形図はかなりの地盤高情報が記載されており、本研究のための地盤高図作成に用いることができる。しかし、現地調査時に市販では入手できず、タイ国のカウンターパートであるNRCT（タイ国科学技術エネルギー省国家研究評議会（National Research Council of Thailand）の略称）の協力で入手できた。このような事由より、1/25万や1/5万地形図を用いずに、対象地域では1m間隔程度の高精度の地盤高情報はないものとして、地盤高情報を推定する方法を検討した。その方法は、地形分類図<sup>68)</sup>を用いて、赤桐ほか<sup>69)</sup>の推定方法により作成した地盤高図を使用するものであるが、以下で作成方法を略述する。

図4・4は、地盤高図の作成方法を示したものである。まず既存情報として対象地域に隣接するバンコク市地域の地形分類図と、同地域の地盤高図を用意する。両者から地形分類毎の地盤高の傾向を計算する。その計算結果を別途作成したバンパコン地域の地形分類図に適用することで、バンパコン地域の地盤高図とするものである。

なお、推定した地盤高の精度を明らかにするために、現地で実施したGPS測量の結果や既存の地盤高情報と比較した（図4・5）。その結果、推定した地盤高はGPS測量結果や既存地盤高情報と、1m以上は相違しないことが明らかとなっている<sup>69)</sup>。

## 4.3 原単位の計算方法

### 4.3.1 土地利用区分別面積等の把握

#### (1) 行政区域面積

対象地域に含まれる行政区境界と名称はNRCT<sup>70)</sup>から把握した。また、その行政区分図は画像データとして整理した。対象地域には4県（Changwat）がある。

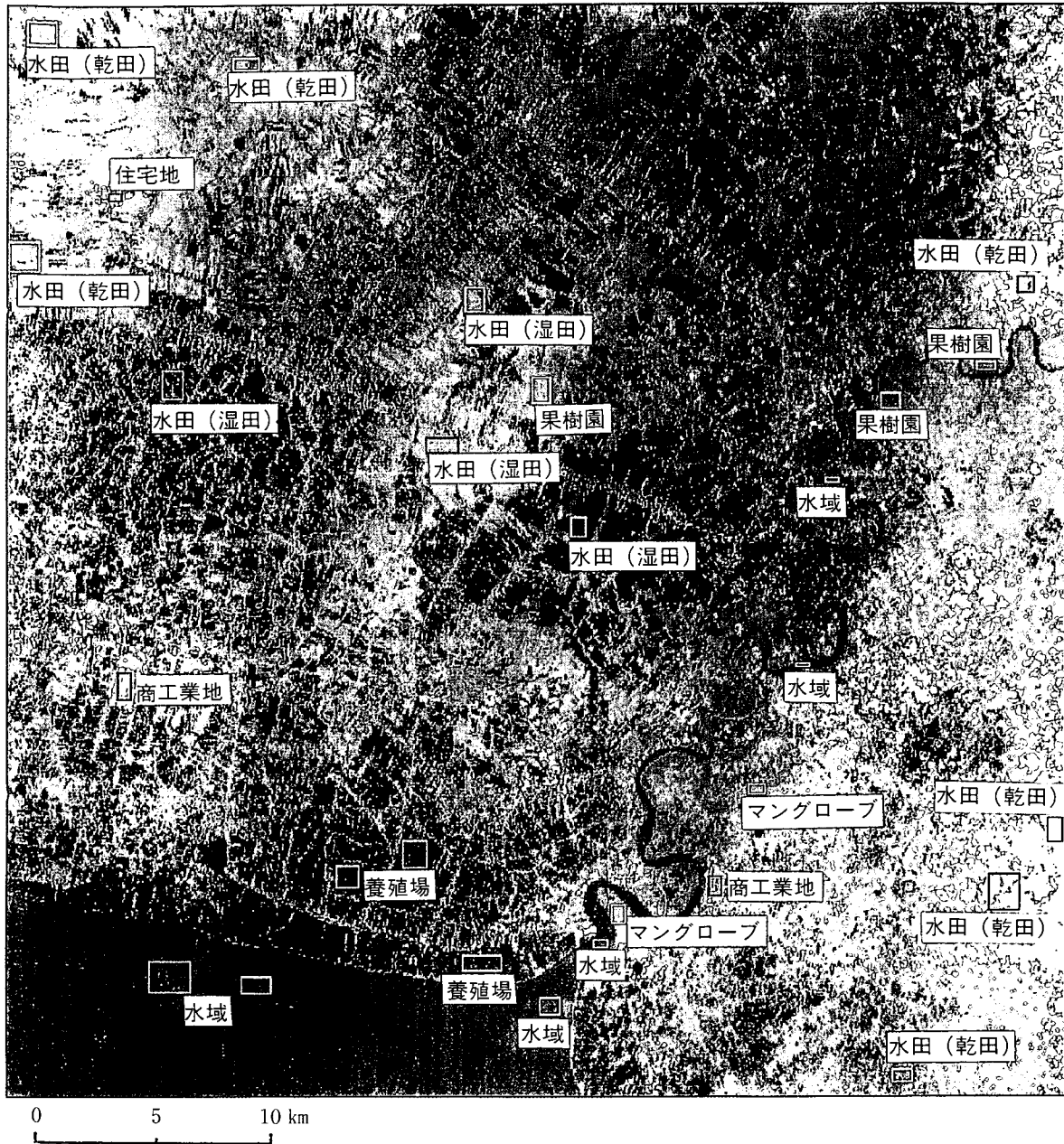
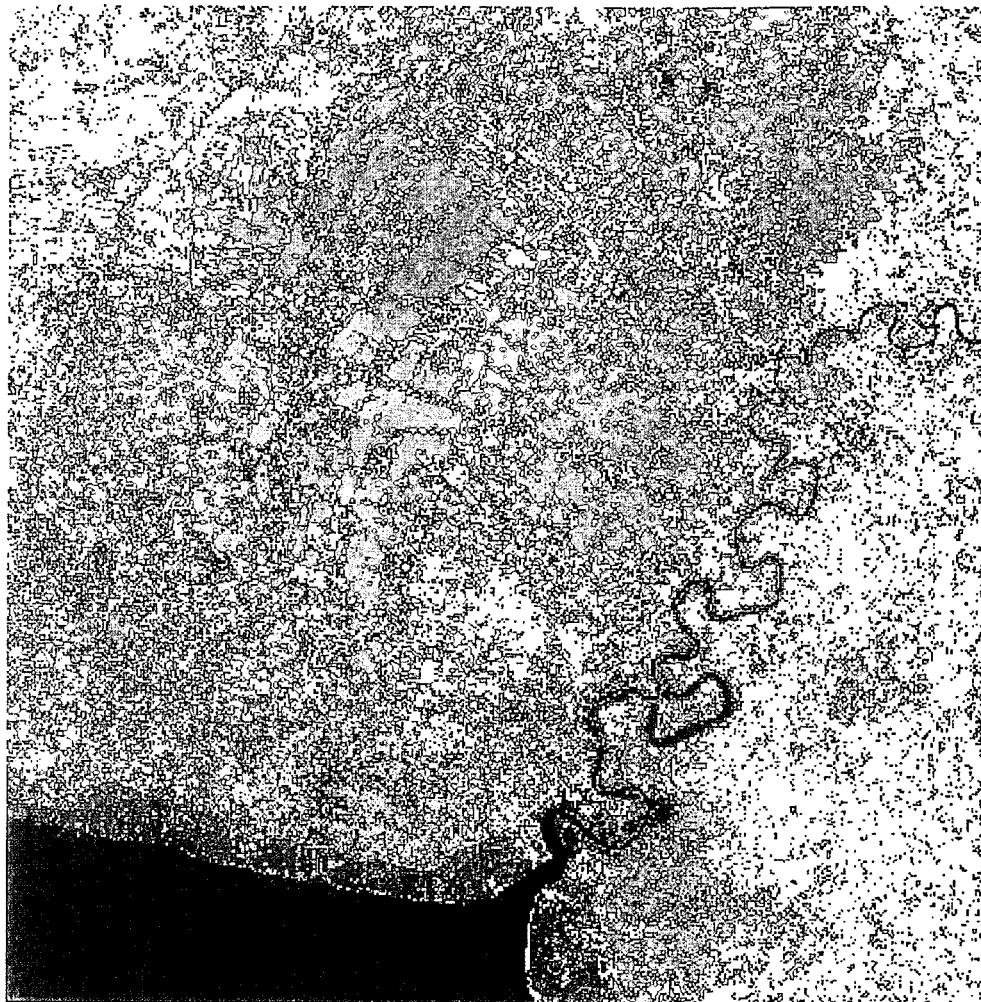


図4・2 土地利用図作成のトレーニングエリア

\*□はトレーニングエリア（教師データとする所）を示し、分類の精度を高めるため、1つの土地利用に対し、複数のエリアを配置している。



0 5 10 km

- |          |          |
|----------|----------|
| □ 乾田     | ■ 河川、海域  |
| □ 湿田     | ■ 養殖場    |
| □ 果樹園    | ■ 商業、工業地 |
| ■ マングローブ | □ 住宅地    |

図-4・3 土地利用図

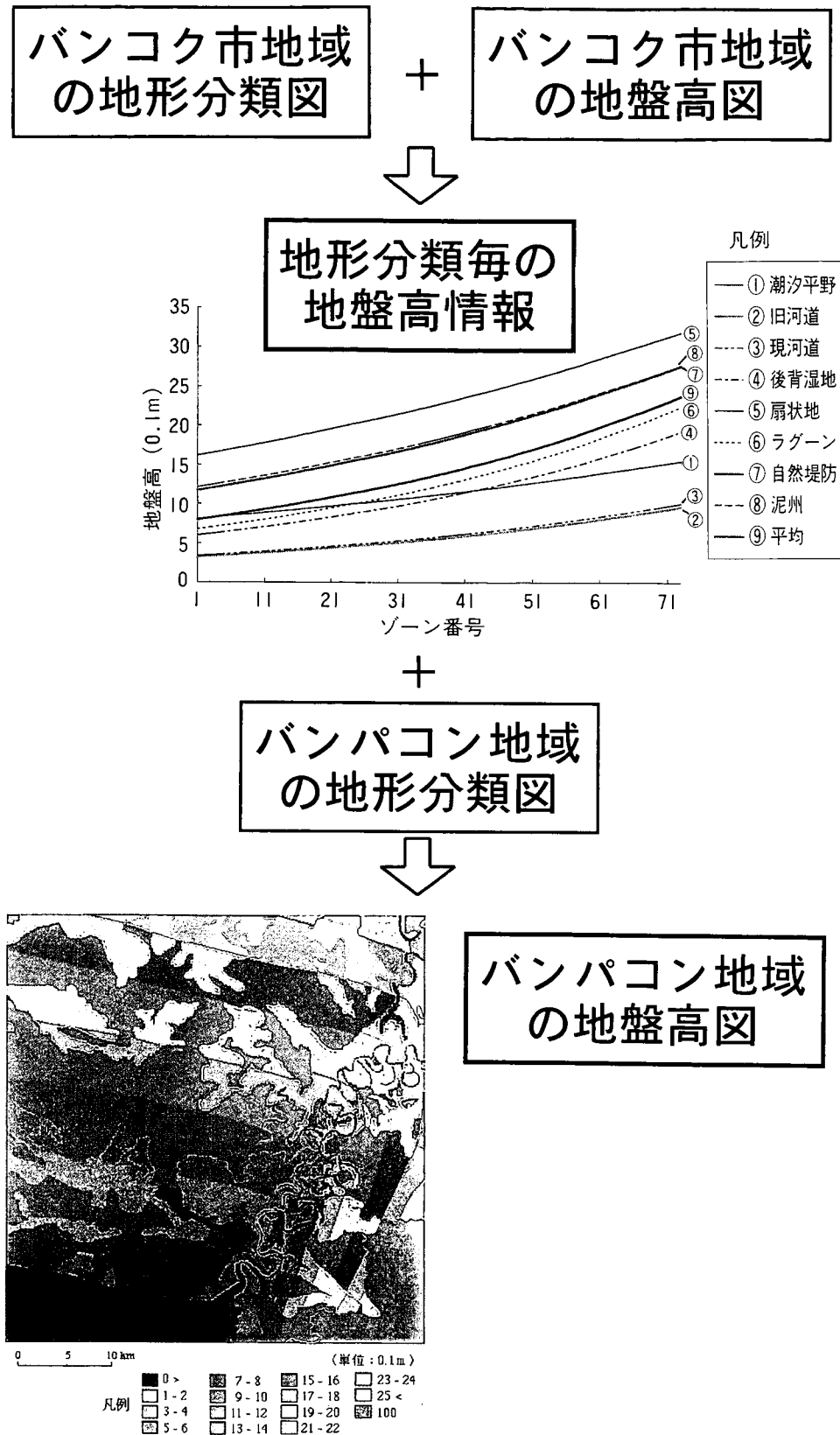


図-4・4 地盤高図の作成方法

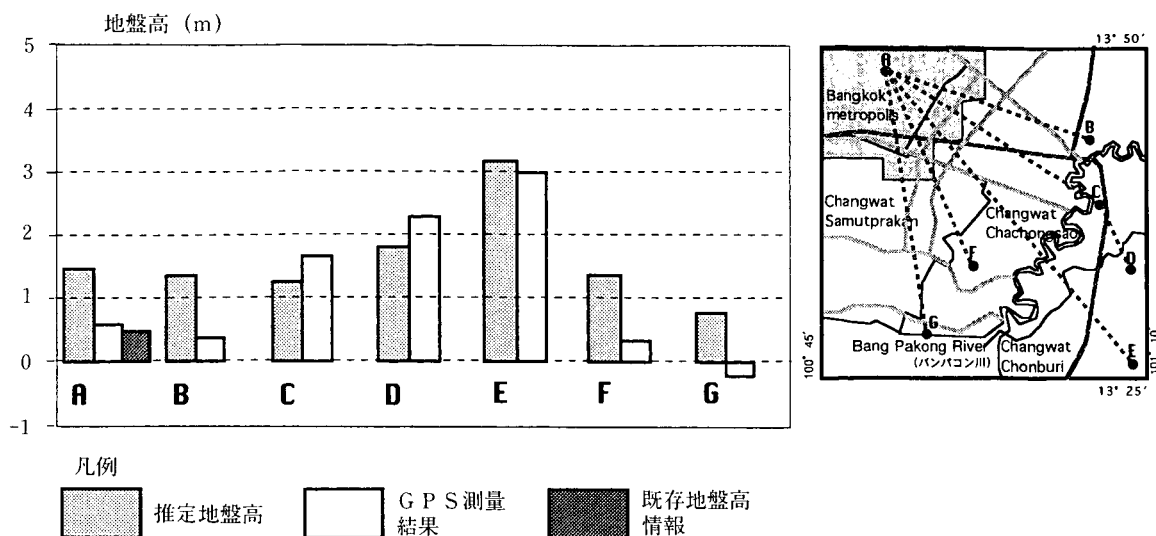


図-4・5 推定した地盤高とGPS測量結果との比較

\*棒グラフにあるA～Gは右図（図-4・1と同範囲）中のGPS測量地点（A～G）に対応する。

\*既存地盤高情報は、右図中の左上の網掛け範囲にある。

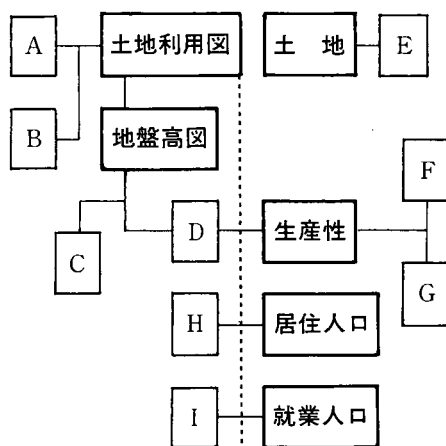
各県は複数の郡部（Amphoe）で構成され、さらに郡部は103の市町村部（Tanbon）で構成される。これらの面積を各行政区の画素数の集計によって求めた。また一部が対象地域にかかる行政区は占有率を別途求めた。占有率は対象地域に含まれる面積が全行政区に占める割合であり、居住人口、就業人口原単位計算に使用する。

## (2) 土地利用区分別面積

対象地域の土地利用区分別面積は、先に作成した土地利用図と行政区分図を重ね合わせて、画素数の集計により行政区域毎に把握した。

### 4.3.2 原単位計算手順

バンパコン地域において情報が取得できた社会経済的資産は土地、生産性、居住人口、就業人口である。各々を単位面積あたりの資産価値（資産の原単位）に「単位換算」する。この原単位計算は図-4・6に示す文献の組み合わせによって行った。以下、資産項目毎に計算手順を略記する。



- A\* 東京大学生産技術研究所<sup>67)</sup>
- B NRCT<sup>70)</sup>
- C\* 東京大学生産技術研究所<sup>68)</sup>
- D 建設省国土地理院<sup>76)</sup>
- E NRCT<sup>73)</sup>
- F Center for Agricultural Statistics Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture & Co-Operatives<sup>74)</sup>
- G Department of Fisheries, Ministry of Agriculture & Co-Operatives<sup>75)</sup>
- H NRCT<sup>71)</sup>
- I NRCT<sup>72)</sup>

\*A及びCは建設省国土地理院<sup>77)</sup>に含まれる。

図-4・6 原単位を求めるための文献組み合わせ

### (1) 居住人口

対象地域に含まれる各市町村の人口は、NRCT<sup>71)</sup> から、情報の最小単位の103の市町村 (Tanbon) 毎にとりまとめた。

居住人口は住宅地区と商工業地区に分布している。住宅地区は自明として、商工業地区に居住人口があるのは、バンパコン地域の商業や工業が職住一致型であり、一方、工業地区は近接する住宅地を工場敷地内に持っている土地利用形態を一般にとっているからである。後者は近年タイ国において外国資本の工場が多く進出し、同敷地内に職員住宅を同時に建設するという地域特性を考慮したものである。

従って居住人口にその行政区の占有率を乗じ、次に住宅地区と商工業地区の合計面積で除算し原単位とする。結果の一部を居住人口とあわせて表-4・1に示した。

表-4・1 居住人口の原単位表

| 市町村(Tanbon)名<br>* 14行政区を例示 | 居住人口<br>(人) | 原単位<br>(人/km <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|-------------|-----------------------------|
| Khet sai kong din          | 4,084       | 2,917.1                     |
| Khet sai kong din tai      | 7,981       | 5,868.4                     |
| Khet mean buri             | 40,794      | 10,550.2                    |
| Khet san sab               | 16,450      | 9,676.5                     |
| Khet kok faed              | 9,848       | 14,589.6                    |
| Khet kra thum rai          | 14,300      | 6,247.6                     |
| Khet tum pak chee          | 6,467       | 16,167.5                    |
| Khet rom toi ting          | 5,420       | 3,763.9                     |
| Khet song tunnum           | 15,429      | 21,281.4                    |
| Khet khlong pra ret        | 3,909       | 5,076.6                     |
| Khet lam pla thuv          | 9,000       | 3,396.2                     |
| Khet lat krabang           | 26,987      | 11,483.8                    |
| Khet tub yao               | 9,272       | 10,536.4                    |
| Khet khum thong            | 4,529       | 9,636.2                     |

### (2) 就業人口

産業別就業人口はNRCT<sup>72)</sup> から把握した。就業人口情報は農業、工業、その他 (商業・公共) で整理されており、その最小単位が郡部 (Amphoe) までなので、郡単位で原単位を求めた。またデータが欠落している郡 (LAT KRABANG) は周辺の隣接する行政区 (MINBURI、NONGCHOK、BANG PHLI、BANG BOO、MUANG CHACHOENGSAO) の就業人口原単位の単純平均で代用した。原単位計算は居住人口と同様に、あらかじめ就業人口に行政区占有率を乗じた上で、対応する土地利用区分別面積で除した。

農業就業者は乾田、湿田、果樹園、養殖場に均等に

分布するものとし、それらの面積合計値で除する。

商工業地区は、商業と工業が分離不能なので、工業就業者は商工業地区に均等に分布しているものと考え商工業地区の面積値で除する。一方、その他 (商業・公共) 就業者も商工業地区に均等に分布しているものと考え商工業地区の面積で除する。

結果は表-4・2に示した。

表-4・2 就業人口の原単位表

| 県 | 郡(Amphoe)          | 原単位 (人/km <sup>2</sup> ) |          |         |
|---|--------------------|--------------------------|----------|---------|
|   |                    | 農業                       | 工業       | その他     |
| ① | MIN BURI           | 12.2                     | 1,451.9  | 254.5   |
|   | HONG CHOK          | 56.3                     | 245.2    | 321.5   |
|   | LAT KRABANG        | 26.8                     | 858.3    | 334.7   |
| ② | BANG PHLI          | 7.2                      | 2,190.4  | 435.1   |
|   | MUANG SAMUT PRAKAN | 1.3                      | 28,986.6 | 8,192.8 |
|   | BANG BOO           | 22.9                     | 192.1    | 318.9   |
| ③ | BANG NAM PRIEO     | 44.0                     | 83.3     | 117.9   |
|   | MUANG CHACHOENGSAO | 35.3                     | 211.9    | 343.6   |
|   | BANG KHLA          | 22.8                     | 35.3     | 36.3    |
|   | BANG PHO           | 15.2                     | 26.5     | 88.1    |
|   | BANG PAKONG        | 8.7                      | 1,575.0  | 159.7   |
| ④ | PHAN THONG         | 14.3                     | 270.3    | 243.0   |
|   | MUANG CHON BURI    | 5.7                      | 307.6    | 84.2    |
|   | PHANAT NIKHOM      | 15.9                     | 50.8     | 17.7    |

①BANGKOK, ②SAMUT PRAKAN,  
③CHACHOENGSAO, ④CHONBURI

### (3) 土地

バンパコン地域では土地利用区分毎の土地の価格 (以後、地価と称す) に関する情報が入手できなかったため、NRCT<sup>73)</sup> のバンコク市及びその周辺域での値を用いて土地利用区分毎に推定した (表-4・3)。また現地調査の結果、バンコク市地域とバンパコン地域では土地利用区分が同じとされても、土地利用形態 (景観) が異なったり、土地利用形態は共通していても今後都市化により土地利用変化が想定できる場所があり、そのような条件を反映していると思われる地価は除外した。

工業地区では、マングローブや水田を造成して設置された近代的な工業と、昔ながらの地場産業的な工業 (煉瓦工場、精米所、木造船所) という土地利用形態の相違がある。バンコク市地域は前者が多いが、バンパコン地域となると後者が一般的である。商業地区では、バンコク市地域のビル街に対し、バンパコン地域

表-4・3 土地の原単位表

単位：パーツ/m<sup>2</sup>

|             |             |            |               |
|-------------|-------------|------------|---------------|
| Paddy       | Shrimp Farm | Orchard    | Barren Land   |
| 10,000      | * 2,000     | 12,500     | 20,000        |
| 5,000       | * 1,250     | 5,000      | 5,000         |
| * 2,000     | * 750       | * 2,000    | 3,750         |
| * 2,000     |             | * 2,000    |               |
| * 1,250     |             | * 1,500    | Others        |
|             |             |            | 7,500         |
|             |             |            | * 2,500       |
|             |             |            | * 2,000       |
| 乾田・湿田       | 養殖場         | 果樹園        | マングローブ        |
| 1,750       | 1,333       | 1,833      | 2,250         |
| Residential | Commercial  | Industrial | * は計算に採用したデータ |
| 45,000      | 50,000      | 50,000     |               |
| 10,000      | * 20,000    | * 20,000   |               |
| 10,000      | * 17,500    | * 15,000   |               |
| 8,750       | * 12,500    | * 15,000   |               |
| * 5,000     | * 12,500    | * 10,000   |               |
| 住宅地         | 商工業地        |            |               |
| 5,000       |             | 15,313     |               |

では小売り店舗的な職住一致型の商業がほとんどである。農業地域やこれまで利用価値のなかったマングローブ地域ならば、バンコク市地域では工業や商業地区に造成される可能性があるのに対し、バンパコン地域では養殖場や塩田に変化する傾向が見られる。

これらの現地調査結果を踏まえ、地価情報がバンコク市及びバンコク市周辺部から得られたものということを念頭に置いて、バンパコン地域の土地利用区分毎に各々1つの地価原単位を整理した。

#### a) 乾田・湿田

乾田と湿田は区別しない。Paddy Fieldに5情報があるが、地価の突出する上位2情報はバンコク市近郊の開発が見込まれた上での地価の可能性があるので削除し、残りを平均した。

#### b) 養殖場

Shrimp Farmに3情報ある。値はほぼ同じであり、しかも湿地で開発に向いておらず、かつ、バンコク市街地から離れた交通の不便な地域に見られることから全情報を平均した。

#### c) 果樹園

Orchardに5情報あるが、地価の突出する上位2情報はバンコク市近郊の開発が見込まれた上での地価の

可能性があるのを削除し、残りを平均した。

#### d) マングローブ

Othersに3情報、Barren Landに3情報ある。対象地域のBarren Landは造成中または造成可能な裸地の景観が多かったため計算から除外し、Othersの地価の突出する1情報もバンコク市近郊の開発が見込まれた上での地価の可能性があるので削除し、残りを平均した。

#### e) 住宅地区

Residentialはバンコク市に見られるアパート、マンション的居住形態を示し、バンパコン地域に一般的にみられる高床式の伝統的な家屋のある土地利用形態は表さないものと考えられる。またバンコク市及びその周辺の住宅地区の居住形態は商工業地区に取り込まれる職住近接型の職員住宅の居住形態を持つ。一方伝統的な住宅地区はマングローブ、水田、果樹園の卓越する地域の特に水路に沿って存在するので、ここではマングローブ、水田、果樹園の地価に最も近い最低の地価とした。

#### f) 商工業地区

Commercialに5情報、Industrialに5情報ある。両者から最も突出する地価を省いた8情報を平均した。

#### (4) 生産性

生産性の情報の最小単位が県 (Changwat) までのので、県単位で原単位を整理した。また、情報が収集できなかったものは、推定又はバンコク市の値を採用したりして、土地利用区分毎に一つの原単位を定めた (表-4・4)。

##### a) 乾田・湿田

乾田 (一期作)、湿田 (二期作) の生産性を算出するために、Center for Agricultural Statistics Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture & Cooperatives<sup>74)</sup> の総生産と面積を使用した。そこには県別に一期作と二期作に分けて収穫面積 (Rai=1600m<sup>2</sup>) と収穫高 (Baht) の情報があるので、県別に収穫高を収穫面積で除して原単位とした。生産性の集計は土地利用が乾田の場合に一期作水田の原単位を、湿田の場合には二期作水田の原単位を適用させた。

##### b) 果樹園

果樹園については情報が収集できなかったので、最も生産性が近いと考えられる一期作、二期作水田の平均を代用した。

##### c) 養殖場

養殖場の原単位は、Department of Fisheries, Ministry of Agriculture & Cooperatives<sup>75)</sup> から県別にエビ養殖場のみ把握できる。しかし、淡水魚も含めた養殖場の情報は収集できない。そこで文献<sup>75)</sup> から全国の「エビ養殖場の生産性」を、文献<sup>74)</sup> から、全国の「エビ養殖場と淡水魚養殖場を含む養殖場の生産性」を計算し、「エビ養殖場の生産性」の「エビと淡水魚養殖場の生産性」に対する割合を計算して補正係数

(0.91) とした。すなわちタイ国のエビ養殖場原単位が 15.56Baht/m<sup>2</sup> に対し、エビと淡水魚の養殖場の原単位は 0.91 倍の 14.20Baht/m<sup>2</sup> なので、県別のエビ養殖場生産性に補正係数を乗じて「養殖場生産性原単位」を推定計算する。

##### d) 商工業地区

商業地区と工業地区は情報がなかったため、建設省国土地理院<sup>76)</sup> にまとめられた BMA (Bangkok Metropolitan Area) の生産性の値で代用した。しかしバンパコン地域の土地利用図は商業地区と工業地区とが分離できず商工業地区として表現されている。そこで海面上昇による影響予測では、工業地区と商業地区各々の原単位に商工業地区の水没面積を乗じ、さらに各々の補正係数を乗じて行った。補正係数は商業地区の場合「商業地区生産性+工業地区生産性」に対する「商業地区生産性」で 0.199、一方、工業地区は「商業地区生産性+工業地区生産性」に対する「工業地区生産性」で 0.801 である。仮に商工業地区が X m<sup>2</sup> 水没した際の影響予測値は次のようになる。

式

商業地区影響予測値 = バンコク市地域商業地区原単位 (1060 バーツ/m<sup>2</sup>) × X m<sup>2</sup> × 補正係数 (0.199)

工業地区影響予測値 = バンコク市地域工業地区原単位 (4260 バーツ/m<sup>2</sup>) × X m<sup>2</sup> × 補正係数 (0.801)

これよりバンパコン地域における商業地区原単位は 210.9 バーツ/m<sup>2</sup> で、工業地区原単位は 3412.3 バーツ/m<sup>2</sup> と考えることができる。

##### e) 住宅地区ほか

バンパコン地域の住宅地区は都市化したバンコク市

表-4・4 生産性の原単位表

単位: Baht/m<sup>2</sup>・y

| 県(Changwat)名  | 乾田   | 湿田   | 果樹園<br>*1 | 養殖場<br>*2 | 商工業地  |         |
|---------------|------|------|-----------|-----------|-------|---------|
|               |      |      |           |           | 商業*3  | 工業*4    |
| BANGKOK       | 1.04 | 1.48 | 1.26      | 2.15      | 210.9 | 3,412.3 |
| SAMUT PRAKAN  | 1.02 | 1.36 | 1.19      | 6.93      |       |         |
| CHACHOENG SAO | 0.81 | 1.53 | 1.67      | 19.41     |       |         |
| CHON BURI     | 0.63 | 0.93 | 0.78      | 3.79      |       |         |

\*1 (乾田+湿田) ÷ 2

\*2 えび養殖場原単位 × 0.91

\*3 バンコク市地域商業原単位 × 0.199

\*4 バンコク市地域工業原単位 × 0.801

地域とは異なり賃貸料からの生産性はあまり期待できないため、生産性は0とした。その他マングローブも生産性は考慮せず0とした。

#### 4.3.3 原単位と土地利用の関係

対象地域における情報量の不足から、原単位の求められた土地利用区分と、ランドサットにより作成した土地利用図の土地利用区分とは、1:1に対応していない。そこで水没範囲の影響予測を行う場合には、4.3.2の原単位計算過程で言及した点を考慮し、水没範囲の土地利用区分別面積に、図-4・7に従って原単位の対応付けを行う必要がある。

中でも土地では乾田、湿田ともに水田の地価原単位を、生産性では商工業地区に商業地区及び工業地区の生産性原単位を、居住人口では住宅地区と商工業地区に居住人口原単位を、就業人口では商工業地区に商業、公共、工業就業人口原単位をそれぞれ対応させるなどの工夫を行った。

このように、社会経済的資産の分布（土地利用図に示された土地利用分布）の解釈を、原単位項目や原単位把握精度に応じて、自在に合理的に「読み替え」解釈し、影響予測できることが原単位法の特色及び利点と考える。

### 4.4 影響予測結果

予測結果は第3章同様、土地、生産性、人口の計算結果から次のシナリオで表現できる。

- ・ X年後にはYmの海面上昇があつてAkm<sup>2</sup>の土地が海水面下になる。その結果、評価額Lパーツの土地が水没し、年間生産額Vパーツのサービスや生産物を産み出せなくなり、P<sub>1</sub>人が居住地と、P<sub>2</sub>人が従業地を失うこととなる。

ここでは海面上昇による影響予測として、水没地域の土地利用状況の分析と、原単位を使った地盤高0～3mでの影響予測結果の分析を行った。

#### 4.4.1 土地利用区分別面積を用いた影響予測

地盤高図と土地利用図の重ね合わせにより水没面積を土地利用区分毎に求めた。ここでは海面上昇量が0.1m毎の面積を算出し、図-4・8に示した。対象地域の総面積は206,550haだが、その内ははじめから水域である部分は17,074haのため、土地利用図上の水没面積上限は189,746haとなる。図では各土地利用とも海面上昇約2.4mまで、水没面積が上昇高とともにほぼ直線的に増加することが示されている。しかし、よく見ると低

地盤高域では湿田の水没面積の増加が顕著で、高地盤高域まで海面上昇が及ぶと、乾田が湿田の面積を逆転することが読み取れる。つまり影響の現れ方は、土地利用配置の特性から、土地利用区分毎にそれぞれ特徴がある。これらの水没面積の推移からでも、水没の影響を面積値で代用して予測できる。しかし土地利用区分毎の資産分布には偏りがあるため、面積のみの検討からは社会経済的資産の十分な評価に及ばない。

#### 4.4.2 社会経済的資産の原単位を用いた影響予測

水没する地域の各土地利用区分別面積に対応する原単位を各々乗じ、影響を受ける社会経済的資産の検討を行った。

居住人口、就業人口の影響予測結果を図-4・9に合せて示す。

居住者は、住宅地と商工業地区に分布する。居住人口への影響は、海面上昇約2mまで影響をうける人口が直線的に増加しており、2.3m付近で頭打ちになる。これは上昇量2.3mまでで、この地域に存在する大半の居住地域（50万人）が水没してしまうことによるものである。

就業者は農業（乾田、湿田、果樹園、養殖場）、工業（商工業地区）、その他（商工業地区）に分布する。就業人口への影響はまず工業就業人口が海面上昇0.8mと1.3m付近で急激に増加することが読みとれる。これはその地盤高が地形条件では泥州（砂州のように沿岸にできる微高地）の分布域にあたり、そこに幹線道路と商工業地区の立地が重なっているためと考えられる。影響を受ける全就業人口も工業就業人口に底上げされ、海水面がその地盤高に達した時点で顕著な増加が認められる。

土地の影響予測結果を図-4・10に示す。

商工業地区は、面積から見ると海面上昇の影響が小さいが、地価（土地の損失額）への影響予測結果では全体の1/4を占め最大となる。一方、水没面積の最も大きい乾田や湿田は、地価における影響予測結果も商工業地区に次いで大きいことが分かる。なお、対象地域全域が水没した場合の土地の損失額は合計8兆パーツとなる。

生産性の影響予測結果を図-4・11に示す。

生産性への影響は住宅地区とマングローブを除く土地利用区分毎に予測した。

まず、養殖場において失われる生産性が最も大きい。これは高収益の養殖場が海岸付近で広い面積を占めているためである。また、広大な面積を占める乾田と湿

| LANDSAT(1987年):タイ国 |       |                |               |      |
|--------------------|-------|----------------|---------------|------|
|                    | 土地    | 生産性            | 居住人口          | 就業人口 |
| 住宅地区               |       |                |               |      |
|                    | 住宅地区  |                | 居住地<br>(住宅地区) |      |
| 商・工業地区             |       |                |               |      |
|                    | 商業地区  | 商業地区           |               | その他  |
|                    | 工業地区  | 工業地区           |               | 工業   |
| マング<br>ローブ         |       |                |               |      |
|                    | 裸地    |                |               |      |
| 養殖場                |       |                |               |      |
|                    | エビ養殖場 | 養殖場            |               | 農業   |
| 果樹園                |       |                |               |      |
|                    | 果樹園   | 一期作水田<br>二期作水田 |               |      |
| 湿 田                |       |                |               |      |
|                    | 水田    | 二期作水田          |               |      |
| 乾 田                |       |                |               |      |
|                    |       | 一期作水田          |               |      |
| 河川・海域              |       |                |               |      |
|                    |       |                |               |      |

図-4・7 土地利用図の土地利用区分と原単位の対応関係

\* 図の縦軸方向が土地利用区分を示し、横軸方向が社会経済的資産項目を示す。

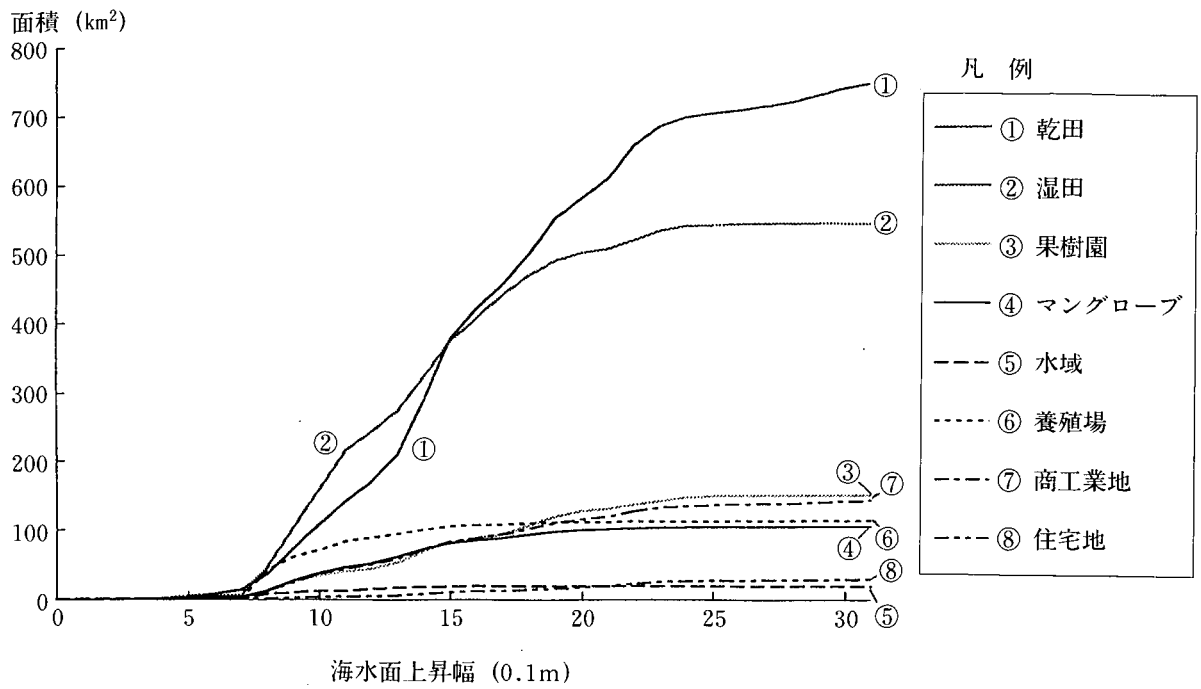


図4・8 土地利用別水没面積の増加

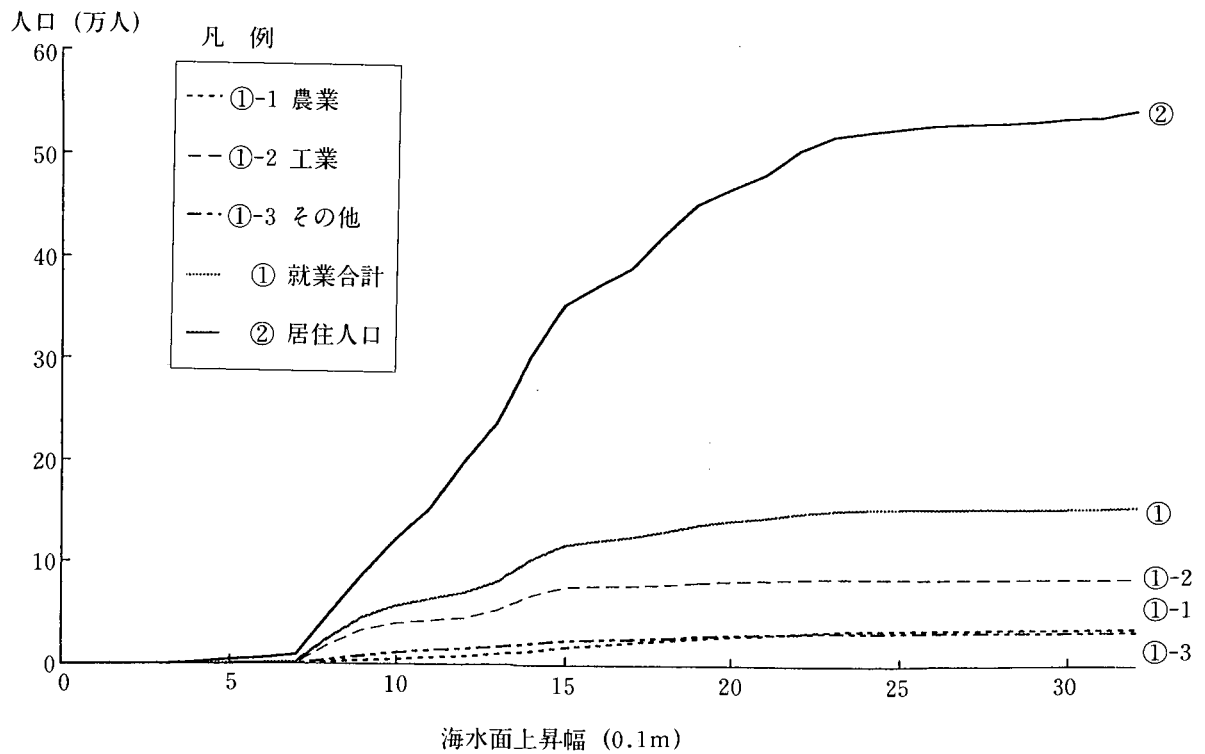


図4・9 影響を被る人口の増加

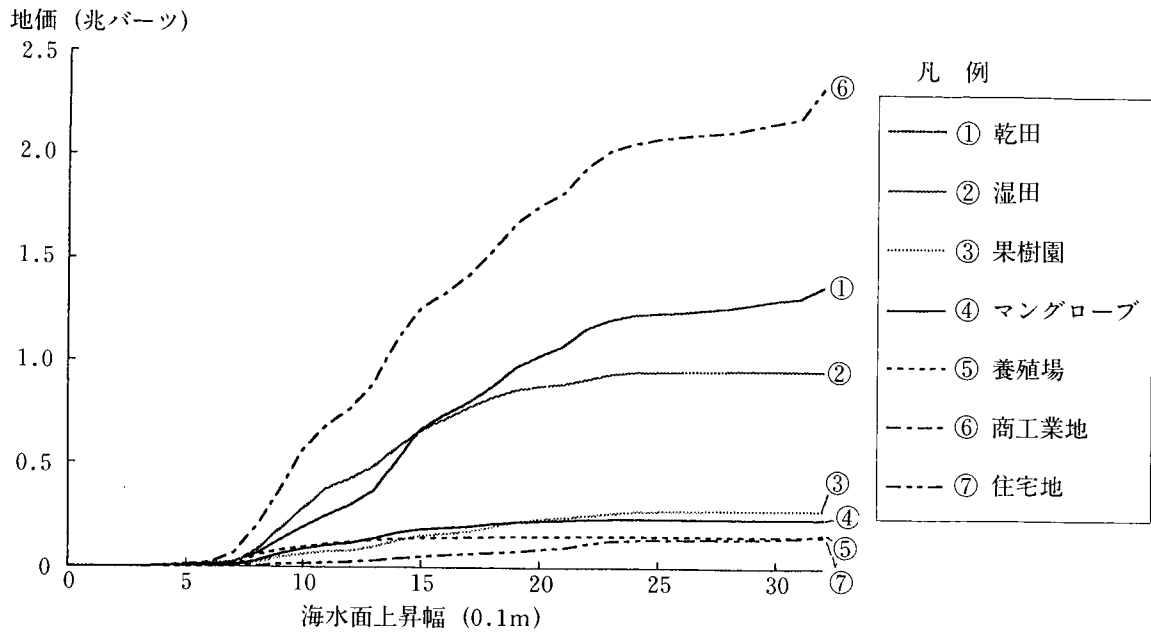


図4・10 影響を被る土地の増加

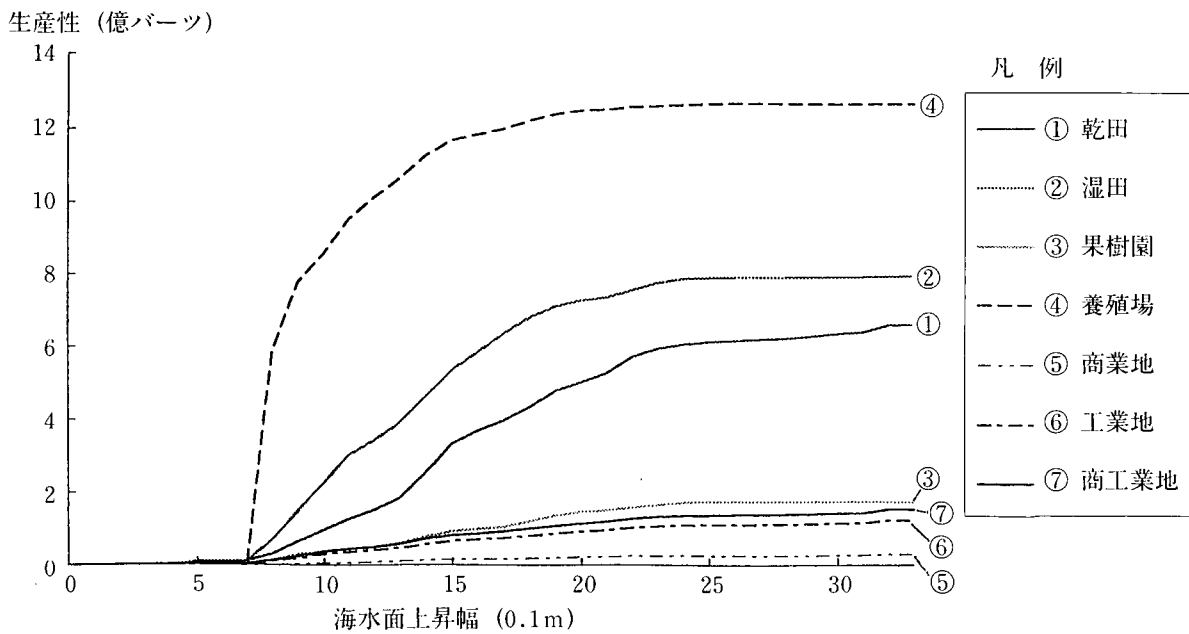


図4・11 影響を被る生産性 (生産性低下) の増加

田を合わせれば、それに対する生産性の影響は、養殖場よりも大きくなることもわかる。なお、対象地域が全て水没すれば、1年間の生産額30億パーツが失われることになる。

仮に1 mの海水面上昇が発生した場合の影響予測を行えば、図4・12の範囲が水没し、その結果は表4・5のようになる。それによれば将来1 mの海水面上昇が発生した際の水没範囲は460km<sup>2</sup>に及び、1990年頃の社会経済的資産価値で見積もると、年当たり12億5千万

パーツの生産性、1兆3千億パーツ分の土地が失われることとなり、12万人が居住地を追われ、5万6千人が職場を失うことになる。なお、1 mの上昇は第3章に述べた仮定に従えば170年後と想定される。

一方、土地の場合はバンコク市の値を準用して推定し、就業人口は郡毎に、居住人口は市町村毎に、生産性は県毎であって、原単位を算出する地域区分スケールが様々であった。従って、濃尾平野での検討結果を考慮すれば、バンパコン地域における原単位法の影響

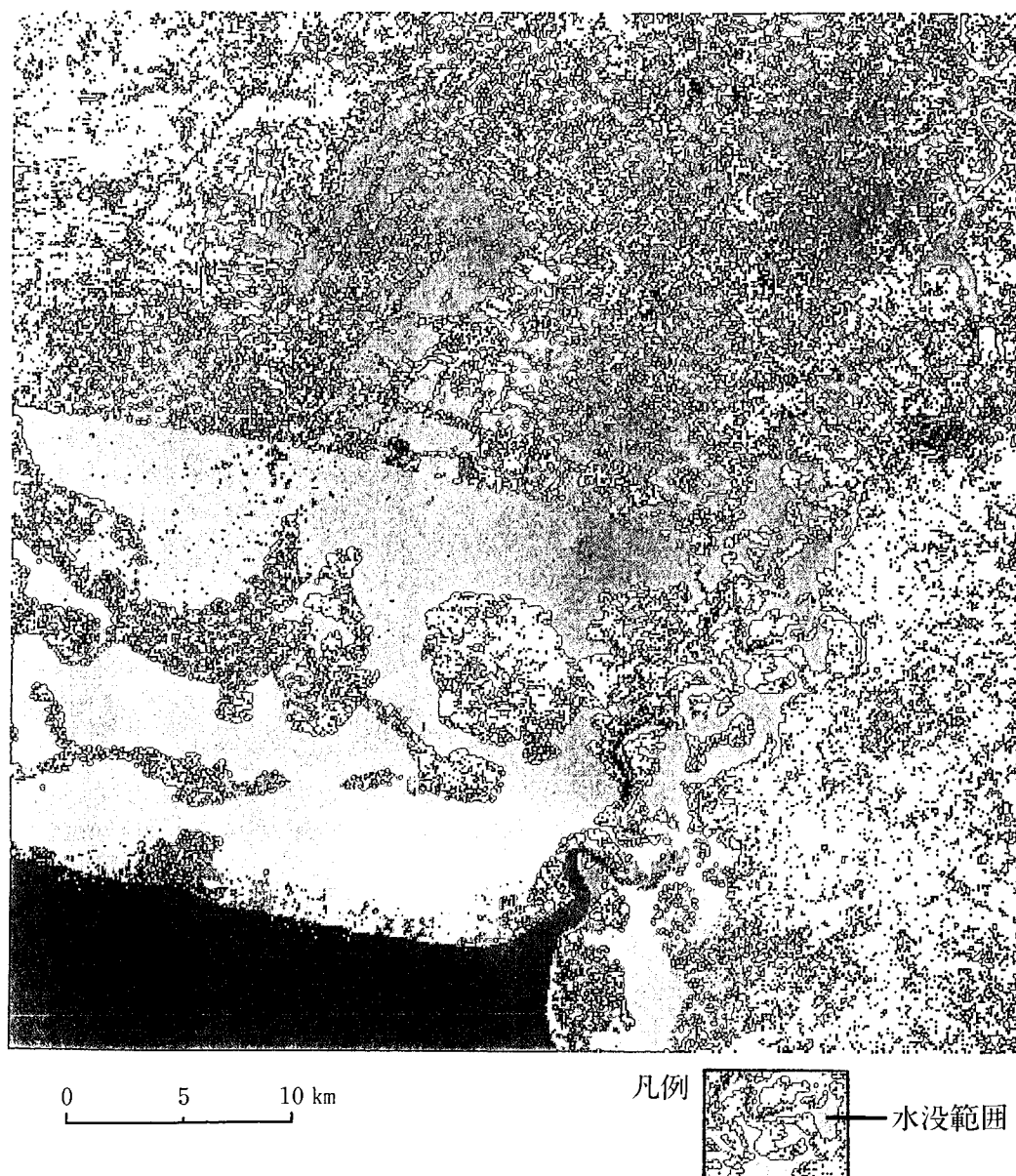


図4・12 海水面上昇1 mの水没範囲

\*背景は土地利用図

表-4・5 海面上昇 1 m の影響予測

| 土地利用区分                   | 乾田              | 湿田    | 果樹園        | 養殖場          | マング<br>ローブ | 商工業地         |             | 住宅地           | 計      |
|--------------------------|-----------------|-------|------------|--------------|------------|--------------|-------------|---------------|--------|
| 原単位項目                    |                 |       |            |              |            |              |             |               |        |
| 地価(10 <sup>8</sup> バーツ)  | 水田<br>1878 2769 |       | 果樹園<br>621 | えび養殖場<br>935 | 裸 地<br>844 | 商工業地<br>5571 |             | 住宅地<br>173    | 12790  |
| 生産性(10 <sup>4</sup> バーツ) | 一期作             | 二期作   | 一期・二期      | *えび養殖場       |            | *商業地         | *工業地        |               |        |
|                          | 9432            | 22396 | 3779       | 85465        |            | 695          | 2888        |               | 124655 |
| 居住人口 (人)                 |                 |       |            |              |            |              |             | 居住地<br>122079 | 122079 |
| 就業人口 (人)                 | 農業<br>4977      |       |            |              |            | その他<br>11703 | 工業<br>39801 |               | 56481  |

\*計算過程で補正係数が必要となる。

予測への適用に関しては、なるべく同じ地域スケールの原単位を用いる方が、各資産項目毎の予測結果の精度が一定となり、誤差の議論も容易になるものと考えられる。ただ原単位の設定された範囲がまちまちであっても、情報が不足するバンパコン地域では、いまのところこのような方法が最も妥当な値を算出しているものとする。

4.5 まとめ

本章では、タイ国での海面上昇による影響予測を事例に、海面上昇により水没する範囲にある社会経済的資産の損失を原単位法を用いて定量化した。

前節で示した海面上昇による社会経済的資産の影響予測結果の例は、あくまでも第一次近似的な結果である。すなわち、本章での影響予測結果も、前章同様にいくつかの仮定をおいた上での近似値と考えて今後取り扱うべきである。

海面上昇の影響予測を、情報の少ないバンパコン地域で原単位法によって行う方法を検討する過程で次のことが分かった。

- ・タイ国における海面上昇の影響予測において、次に示す手順を踏むことにより原単位法を用いることができる。
- ―社会経済的資産の項目を、土地、生産性、居住者、就業者と整理して原単位を求める。
- ―人衛星データ（ランドサットTMデータ）による土地利用図を影響予測に利用する。
- ―社会経済的資産の各項目の原単位は、収集した資

料にある職種区分等を読み替えることと、情報の単位を換算することで求める。

―単一の土地利用に、あるいは複数の土地利用区分に対応する、各項目の原単位を計算する。

・タイ国では、情報の精度や区分が多様なため、地域スケールを統一した原単位をもとめにくく、市町村単位から全国単位までの様々な地域スケールの原単位を混用せざるを得ない。しかし、土地利用区分に対する原単位の読み替えについて、複数の土地利用区分に対し1つの原単位、1つの土地利用区分に対し複数の原単位という解釈の工夫で、少ない情報であっても影響予測が可能となる。

・既存の土地利用図が整備されておらず、統計資料等が少ない地域の場合、収集された情報の地表での分布の解釈と、その結果とリモートセンシングによる土地利用図との対応付けを適切に行うことで、海面上昇による影響予測は十分可能である。また、国の社会経済的な諸特徴に由来する土地利用景観や産業形態を現地調査で把握することで、影響予測の精度を高めることができる。

5. エネルギー消費と大気環境負荷物質の定量評価―長野市の事例―

5.1 研究の概要

第3、4章で検討した「資産の原単位」を用いた原単位法の考え方を、市町村スケールでのエネルギー消

費と大気環境負荷物質の定量評価に適用するための方法の開発を長野市を例に試みる。

エネルギー消費量等がある地域で定量評価する既存の方法については、実地調査を行って把握した1軒の家や1台の車の結果の積み上げによる推定法があり、そこでは多くの資金、労力、時間を費やす。そこで、長野市を例に、土地利用情報と統計資料を組み合わせることで活用することにより、エネルギー消費と大気環境負荷物質を簡便に定量評価するための原単位法を開発する。エネルギー消費量は原油換算量 (kl)、大気環境負荷量は $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{CO}_2$  の質量 (kg、t) で表し、原単位は土地利用区分毎の単位面積当たりの各量 ( $\text{kg}/\text{km}^2$ 、 $\text{t}/\text{km}^2$ ) で表す。

また更新間隔の長い刊行された土地利用図ではなく、時系列的なデータ取得が可能なランドサットTMデータから作成した土地利用図を用い、それに対応した原単位を求め、環境要素を定量評価する。

### 5.1.1 本研究に関わる研究

地球規模での環境問題対策に先立つエネルギー消費量等の実態把握には、行政機関の所有する計測値を使ったり、また計測困難であるならば値の精度を下げてでも現在保有している多様な情報から適切な値を推定する方法があり、すぐに対応できるように思われている。特に市町村段階で、値が整備されていると理解されている。というのも、従来より、建築物や市街地といった領域では、エネルギー消費や大気環境負荷量のモニタリングとして、各消費項目や負荷量（たとえば、車1台、建物一棟、または一室当たりの値）を細かく把握し積み上げる方法で何らかの値が示されてきたからである。

しかし、経済活動が多岐にわたる市・県・国のようなより広い地域に対し、ミクロスケールの値（車、家屋、部屋等の個々の値）を用いてエネルギー消費量等のモニタリングを試みれば、詳細に見ると個々の状態が異なるため、全数把握には膨大な時間と労力が必要で効率が悪い。また、そのような時間を費やして、ようやく結果が出たときには、時の経過により既に状況が変化している可能性もある。一方で、マクロスケールの国あるいは都道府県全体でみると、石油の使用量については、石油の輸入量の統計値を使い、多少の時期のズレを認めれば包括的ではあるがほとんど正確に判明する。最近では伊藤ほか<sup>78)</sup> が、千葉県における重油換算のエネルギー消費量と $\text{CO}_2$ 排出量を試算した例がある。統計区毎にエネルギー消費量等のモニタリン

グを行うには、これまでこの手法で十分とされてきた。

極端な例を挙げれば、鎖国状態あるいは国家統制のために、国家間あるいは市町村間の物資や人の移動が非常に困難な社会ならば、マクロスケールの国単位あるいはミクロスケールの市町村単位で情報が整理されていることにより、各行政区内の諸問題解決のために、その行政区内にある問題の背景（原因）を明らかにすることで十分となろう。しかし、行政区を越えた社会経済活動がこれまで以上に複雑多岐化していこうとしている現在では、ある地域内の諸問題解決には、他地域との結びつきを念頭に置いた問題の背景（原因）を追求する必要がある。ゆえに、市町村と国の中間にある中規模地域でのエネルギー消費等の効率的な評価方法の検討を行う必要がある。

また、市町村等のようなミクロスケールとマクロスケールの間にある中規模地域に対し、マクロスケールの手法を適用すると、マクロスケールでは有効であった統計が、項目により、その存在の有無や値の精度が異なり、適切な数値が見いだせなくなる。従って、実際に統計値の収集を市町村から行くと、「・・・一斉調査」と称するような場合以外は、ほとんどの場合に値は整理されておらず、ある場合でも都道府県や国のものと同じことが多い。仮に値を試算しようとしても、中規模地域の場合には値を得ることが非常に困難であり、特に任意の形態の地域になると値がないと言っても過言ではない。よって、既存の計測値あるいは統計値から、そのような中規模地域における、環境諸量を表す数値への加工方法が必要となる。

黒木・赤桐<sup>79)</sup> は、エネルギー消費や大気環境負荷量の分布に違いを持つ基本的な土地利用区分を基礎単位とし、単位面積当たりの土地利用空間に投入されるエネルギーとその結果排出される大気環境負荷量とを容易に把握する原単位法、および同程度のエネルギー等が分布する地域（共通する経済活動が行われる土地利用空間）の図示方法を検討した。しかし、土地利用情報には様々な種類があり、それら各々の土地利用区分に対応してエネルギー消費量等を見積る方法や、エネルギー消費とは対になる二酸化炭素等の吸収量を原単位法によって求める方法については、未検討のままであった。

### 5.1.2 本章の目的

ある地域でのエネルギー消費量や、それとともに排出される大気環境負荷物質等の定量評価を通じて、環

境要素の定量評価方法の検討を行う。本章の目的は次の2点に置く。

#### (1) 資産の原単位以外の環境要素の原単位の計算方法の検討

資産の原単位の場合、我々はそれらの存在を比較的容易に観察し、例えば構造物や償却・在庫資産のように属地情報として認識することができる。しかし、エネルギーの場合は、その分布と使用する場所とを区別し、また、大気環境負荷物質ならば、発電場所とエネルギーの使用に伴って排出される場所とを区別して考える必要がある。よって、環境要素の分布をどの空間に対応づけるかを整理した上で原単位計算を行う手法の検討を行う。

#### (2) 様々な土地利用区分に原単位法を適用する方法の検討

黒木・赤桐<sup>79)</sup>は、建設省国土地理院発行の土地利用図の基本的な区分毎に原単位を計算した。ここではそれ以外に、人工衛星によるリモートセンシングによる土地利用図にある土地利用区分毎に原単位を計算し、環境要素の定量評価に用いる、原単位法の適用拡大の検討を行う。

### 5.1.3 エネルギー消費量等の定量評価の方法

#### (1) 対象地域

各種の情報が整理され、様々な土地利用も散見される中規模都市という観点より長野市を対象地域に選定した(図-5・1)。長野市は内陸性盆地底に広がる面積404km<sup>2</sup>、人口35万人の都市である。平均気温は8月で24.8℃、1月で-1.2℃、年平均では11.5℃で、日最高気温の月平均値は、8月で30.5℃、日最低気温では1月で-4.9℃と寒暖の差が比較的大きい。

#### (2) 評価方法

エネルギー消費等の環境要素の定量評価には多様な条件設定が必要である。以下にそれらを挙げる。

##### a) エネルギー消費、大気環境負荷物質の考え方

大気環境に影響を与えるエネルギー消費について、化石燃料を中心として検討を進める。また、エネルギーは使用される段階で、一次エネルギーの燃料、二次エネルギーの電力というように異なる形態を持つため、両者を分けて考える。

一次エネルギー項目は都市ガス、LPG、灯油、重油、軽油、ガソリン、天然ガス、石炭とする。二次エ

ネルギーは原子力発電等も含む全電力と、原子力発電等を除外した化石燃料起源の電力とに分けて考える。

エネルギー消費によって大気中に排出される物質には、水蒸気、二酸化炭素、二酸化硫黄などの気体がある。これらが大気環境に負荷を与えるものとみなし、大気環境負荷物質と呼ぶ。本章では大気環境負荷物質として二酸化炭素(以下CO<sub>2</sub>と略称)、窒素酸化物(以下NO<sub>x</sub>と略称)、硫黄酸化物(以下SO<sub>x</sub>と略称)を取り上げる。なお、エネルギーの単位については原油換算量(kl)で統一し、大気環境負荷物質をNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>の質量(kg、t)で表す。また、それらの基礎単位を「エネルギー消費量等の原単位」と呼び(以下、原単位と略称)、それを土地利用区分毎の単位面積当たりの各量(kl/km<sup>2</sup>、kg/km<sup>2</sup>、t/km<sup>2</sup>)で表現する。

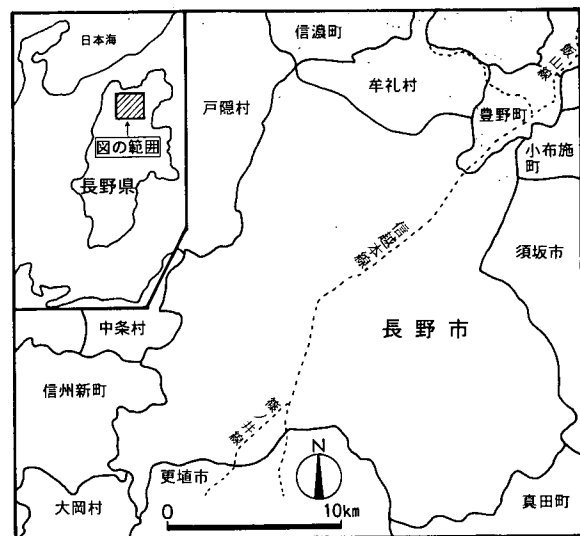


図-5・1 対象地域(長野市)

#### b) 環境要素の地理的分布の考え方

たとえばエネルギーが消費される場所は、暖炉のある家屋、ボイラーのある公共施設、発電所等の固定しているように見える対象物と、自動車や船舶のように移動しているように見える対象物に2大別され、両者の空間分布を同様に扱うことは不可能なように思われる。しかし、これらは我々の観察する時間幅に左右されて状態が異なるように見えるにすぎない。

よって、後者の移動する物体について、通勤や業務等のために、毎日、毎シーズン、あるいは毎年と、一定の規則性を保って同じ土地利用空間上を移動しているものと見なし、その公倍数的なタイムスパンである1年間という観察時間を設定することにより、固定し

ている物体と同様に議論できよう。

そこで本章では観察の時間幅を1年間とし、両者は表面に固定（存在し続ける）している属地的な対象物とみなして同等に扱うこととする。

また、ある土地利用空間を維持するためのエネルギーや大気環境負荷物質の分布について、その土地利用空間と同一空間上での存在事象のほかに、離れた空間上での存在事象も考慮する。すなわち、エネルギー消費とそれに伴う大気環境負荷物質の排出の関係を考慮する必要から、二次エネルギーである電力の発電様式の検討を行ったうえで、それら環境要素の空間への対応付けに関し、複数の地理的分布を考慮する必要があることを示す。これは分布事象と分布対象の関連づけの問題である。

#### c) 原単位を適用する空間

第3、4章で記載したように、原単位法を適用する空間は行政区域の範囲はもとより、任意の範囲に設定することができる。本章では先に述べたように、一例として長野市という行政区域を評価する対象の空間としたものである。

#### d) 評価手順

本章で扱うエネルギー消費量等の評価手順を以下に列挙する。

- ① 原単位を求める。
- ② 土地利用図を作成する。
- ③ 行政区分図などを作成する。
- ④ 土地利用図と行政区分図などをオーバーレイし評価範囲を定める。
- ⑤ 評価範囲の土地利用区分別面積を明らかにする。
- ⑥ 土地利用区分別面積に原単位を乗じる。
- ⑦ 計算結果を土地利用区分毎に評価する。

#### (3) 検討方法

対象地域の原単位が明らかにされた後、そこでの環境諸量を実際に計算する。その際、次の2点について検討を進める。

##### ・環境要素の定量評価結果

(2-d)の評価手順に従って計算を進め、対象地域での評価結果を示し、その内容について検討を行う。

##### ・環境要素の分布の表現法

求められた原単位を用いて、環境要素の分布を地図に示す方法を示す。また、その推移を明らかにすることから、環境モニタリングの利用例を示す。

## 5.2 主題の分布を示す情報の整理

### 5.2.1 ランドサットによる土地利用図

環境要素の分布は各種の土地利用図から把握できるが、建設省国土地理院の土地利用図や細密数値情報などは全国的には整備されておらず、更新間隔が長いため、それらの区分及び精度で土地利用の現況を明らかにするのは容易ではない。その問題に対処するため、広範囲にわたって時系列的なデータ取得の可能なランドサットデータを用いて土地被覆分類を行い土地利用図とした。土地利用図作成の手順を図-5・2に示す。ここでは1992年のランドサットTMデータ（現在の環境要素の分布を明らかにするための情報）とともに実際の土地利用との検証を行うために1979年のランドサットMSSデータ（過去の環境要素の分布を明らかにするための情報）も使用した。1979年のランドサットのセンサーはMSS（Multi Spectral Scanner：分解能80m）、1992年のセンサーはTM（Thematic Mapper：分解能30m）と分解能の異なるセンサーで取得されているが、幾何補正後の1画素の大きさは両者とも50m×50mとそろえている。

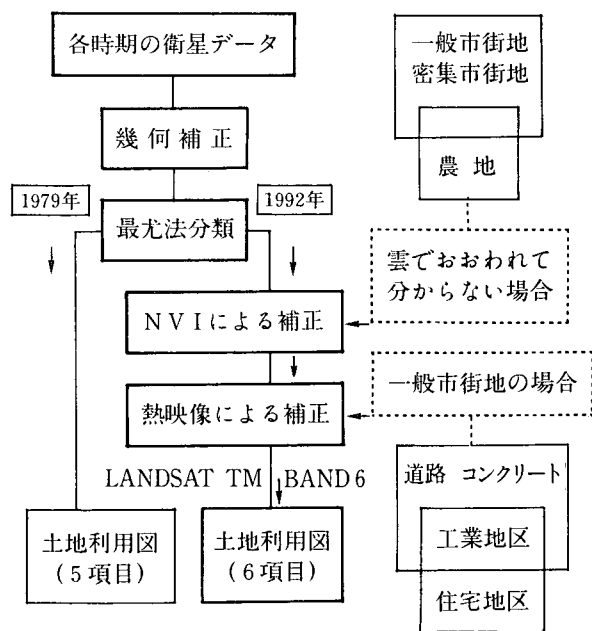


図-5・2 土地利用図作成手順

図-5・2の1992年のデータ処理フローを例に、土地利用図の作成過程を説明する。

まず幾何補正済みの1992年ランドサットTM画像を用いて、分解能の異なるBAND 6（分解能120m）を除く6バンドで教師付き最尤法分類より森林、草地、一

一般市街地、密集市街地、水域に5区分した。これは一般に行われる土地利用区分であり、第4章でも用いた手法である。次に薄雲によって区分が難しい長野市南西部についてNVI(Normalized Vegetation Index: 植物指標)から計算される植物活性度から市街地、草地、森林を分類し補正を行った。NVIは一般的に植物の活性度を表わすものであり、次式によって算出される。

式

$$NVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

ここで、NIR: 近赤外光のCCT値、VIS: 可視光のCCT値

LANDSAT TMの場合、上式を書きかえると次のようになる。

式

$$NVI = [(BAND4 - BAND2) / (BAND4 + BAND2)] \times 100$$

ここで、「 $\times 100$ 」: 画像を見やすくするための補正係数

また、算出されたNVI値は低いほうから、画像判読により市街地 (NVI値: 0~149)、草地 (150~167)、森林 (168~) に分割することができる。

一般市街地には原単位の大きく異なる住宅地区と工業地区が混在しており、両者は将来的には区分されることが望ましいと考える。現段階では明確に両者の違いを示し得ないが、本研究では住宅地区と工業地区の相違点の1つに、工業地域が熱源を持つことがあることを考慮し、熱の分布 (ランドサットTM BAND 6) を用いて、一般住宅地から工業地区の抽出<sup>注3</sup>を試験的に行った。ここでは一般市街地の中で温度の比較的高い地域として約40℃以上の地域を抽出している。従って1992年の土地利用区分は①森林、②草地、③一般市街地 (住宅地区)、④密集市街地、⑤工業地区、⑥水域、である (図-5・3)。なお、BAND 6がない1979年のランドサットMSSデータからは、森林、草地、一般市街地、密集市街地、水域に5区分した土地利用図を作成した (図-5・4)。

### 5.2.2 ランドサットによる土地利用図の精度

ランドサットによる土地利用図作成 (ランドサットMSSデータからの土地被覆分類) の精度を検証する。そこで、テストエリアを設定して、建設省国土地理院<sup>80)</sup>の土地利用図と1979年のランドサット土地利用図を比較した。テストエリアは北緯36度37分~36度40分、

東経138度10分~138度13分の約25km<sup>2</sup>であり、長野市中心部の市街地が多く含まれる地域である。

検証は、原単位を検討した5項目 (森林、草地、一般市街地、密集市街地、水域) のある土地被覆分類図 (図-5・5) とともに、国土地理院の土地利用区分に対応する9項目 (森林、農地、野草地、住宅地区、工業地区、商業業務地区、公共地区、道路、水域) がある土地被覆分類図 (図-5・6) を用いた。国土地理院の土地利用図について、1画素が50m $\times$ 50mとなるようにスキャナー入力を行い、比較の基準となる土地利用図 (図-5・7) とした。

ランドサットによる土地被覆分類図と土地利用図とを重ね合わせ、土地利用図の1つの区分に重なる土地被覆分類面積を計算し、その結果を対比のため並記し棒グラフで示した。図-5・8は9項目の分類における結果を、図-5・9は5項目の分類における結果である。

図-5・8では、森林の把握率は86.9%と高い値を示しているが、それ以外は全体的に低い。また、各分類項目の合計値も土地利用図のそれと比較してばらつきが大きく、画像からもそのことがうかがえる。結局、土地利用図の区分に無理に従った9項目の分類はかなり困難で、土地利用分布を示す図として原単位法に用いることは難しいと考えられる。

一方、5項目における結果は、棒グラフとともにその数値データも表-5・1に示す。結果、どの土地利用も約50%程度の把握率になっている。森林は90%と高率を示す。しかし誤分類もあり密集市街地には一般市街地が40.5%含まれる。一方、一般市街地の場合に密集市街地が28%含まれる結果となった。これは本手法そのものの誤差に加え、市販の土地利用図と人工衛星データからの土地被覆分類図の作成方法の違いも反映している。すなわち土地利用図ではある程度の広さを持つ地域を1つの項目とするのに対し、ランドサットによる分類は画素ごとに占有度の高い被覆が分類されることがあげられる。それは線的な形態をもつ水域での把握率が30%にとどまっていることに良く示されている。しかし、各分類項目の合計値が土地利用画像のそれと比較してかなり接近していること、数値的には50%程度の把握率であること、さらに図-5・5と図-5・7の分布形態がよく似ていることから、両者はかなりよく一致するとしてよいと考える。故に、簡単な土地利用区分が設定され、かつ、それに対応する原単位が適切に求められれば、ランドサットによる土地利用図を原単位法に必要な土地利用分布の把握に用いること

注3 住宅地区と工業地区の相違点の1つの指標となると考えられる熱の分布 (LANDSAT TM BAND6) を用いて、一般住宅地から工業地区の抽出を試みた。ここでは温度の比較的高い地域として画素値178 (約40℃) 以上の地域を抽出し、かつ、最尤法分類において一般市街地に分類された地域を工業地区としている。

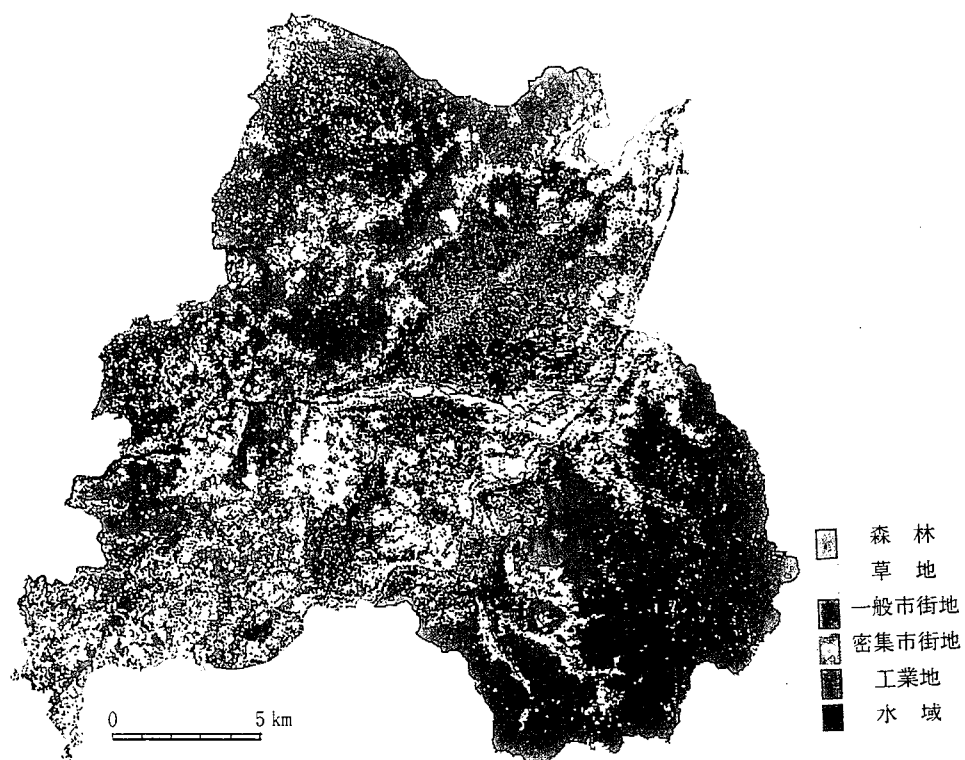


図-5・3 1992年の土地利用図

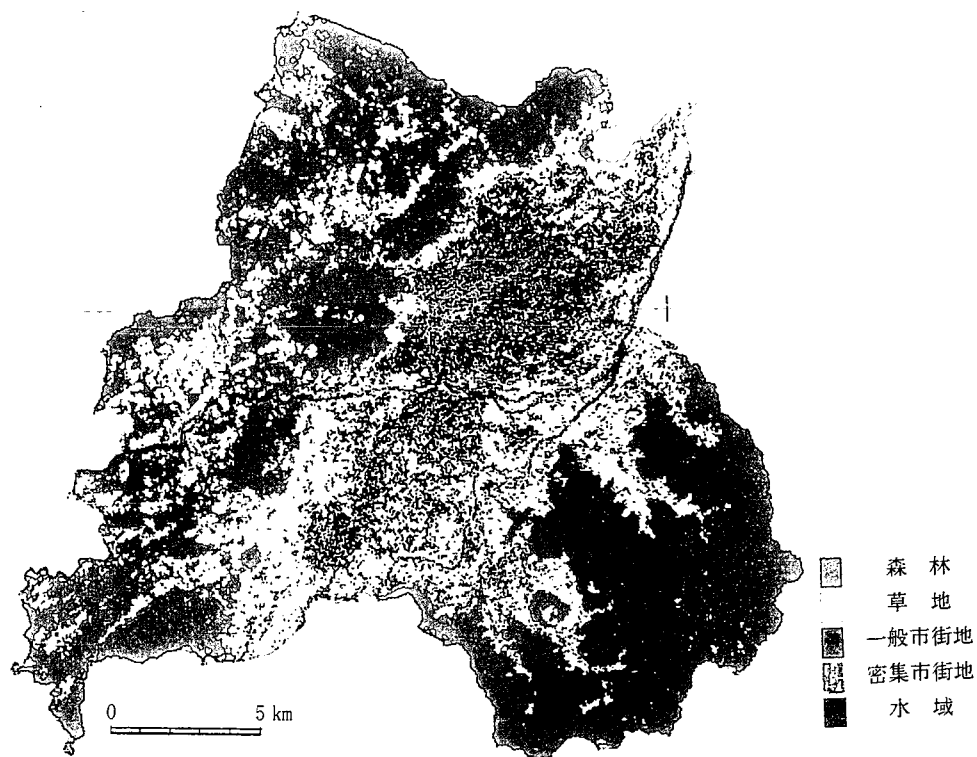


図-5・4 1979年の土地利用図

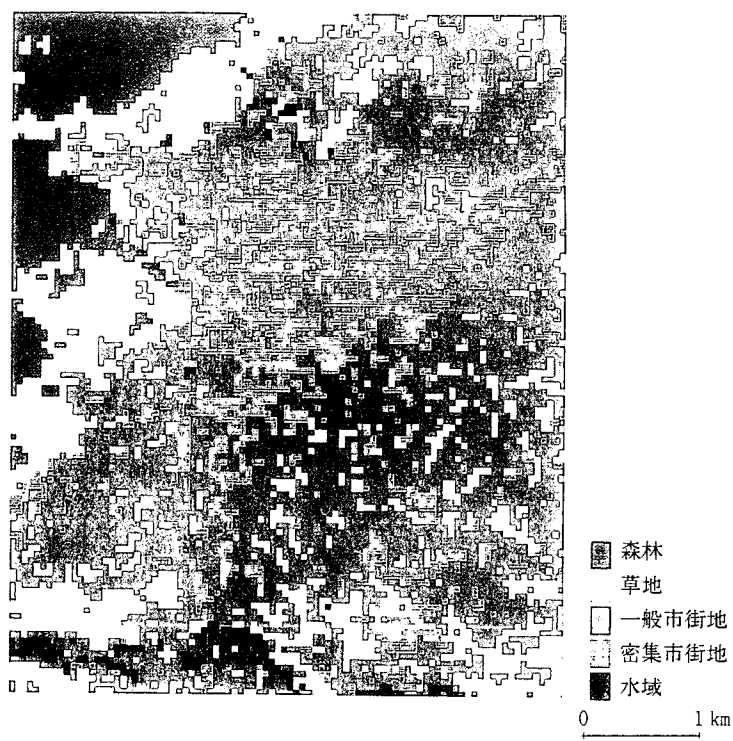


図-5・5 テストエリアにおける土地被覆分類画像（5項目）

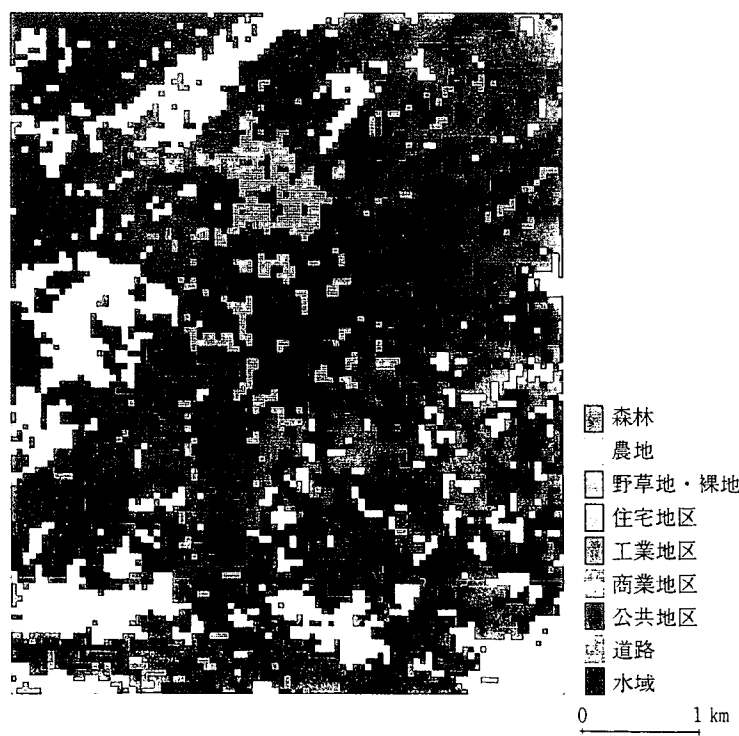


図-5・6 テストエリアにおける土地被覆分類画像（9項目）

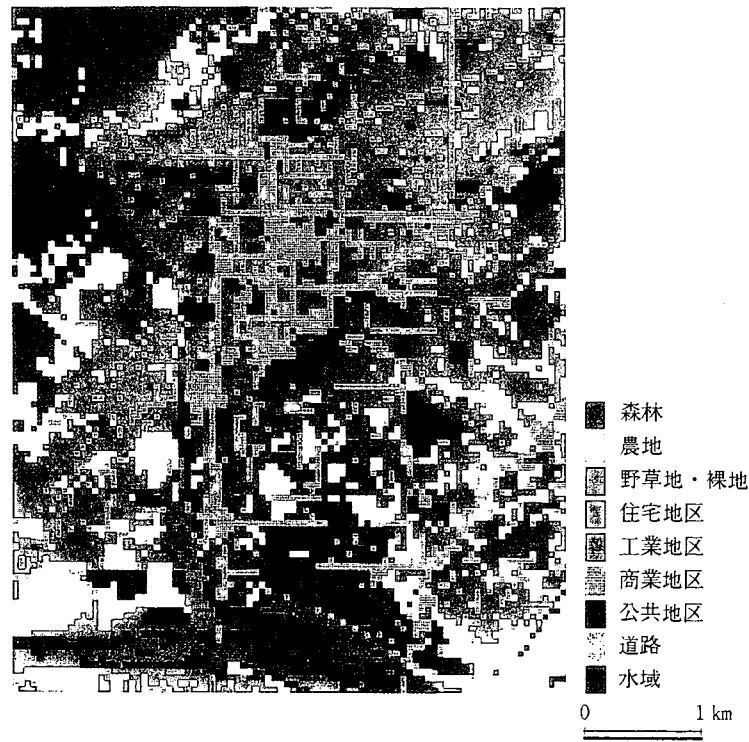


図-5・7 テストエリアにおける土地利用画像

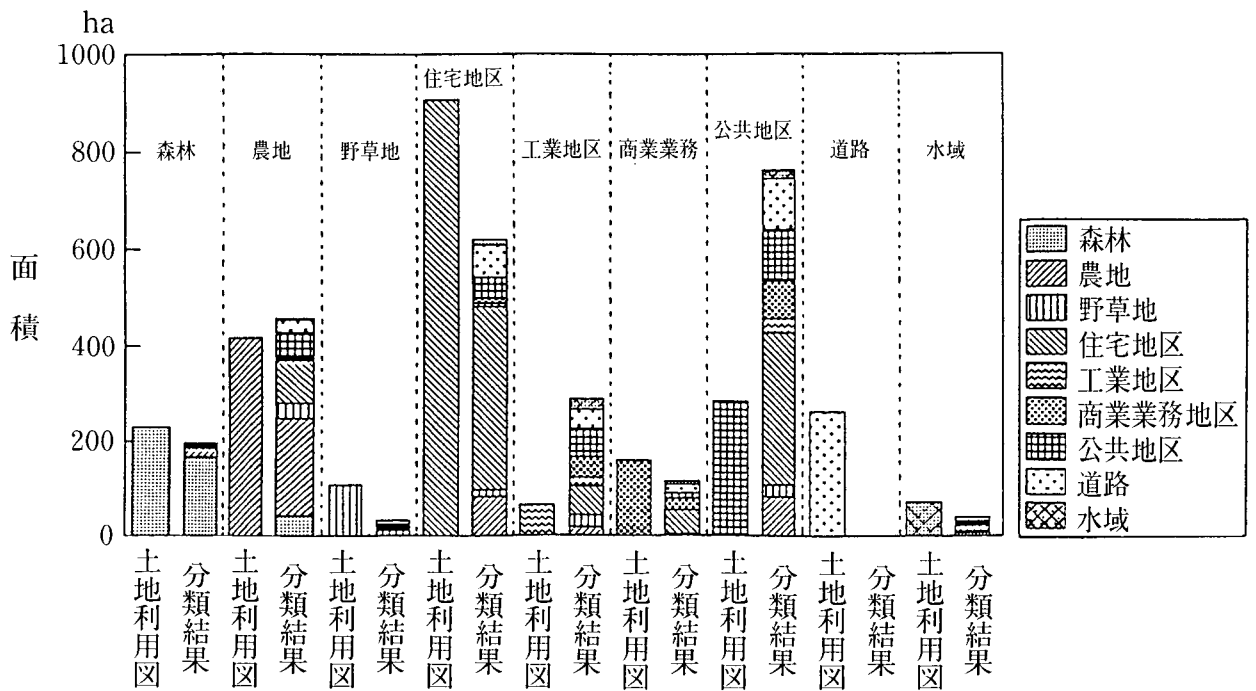


図-5・8 9項目の土地利用分類検証結果

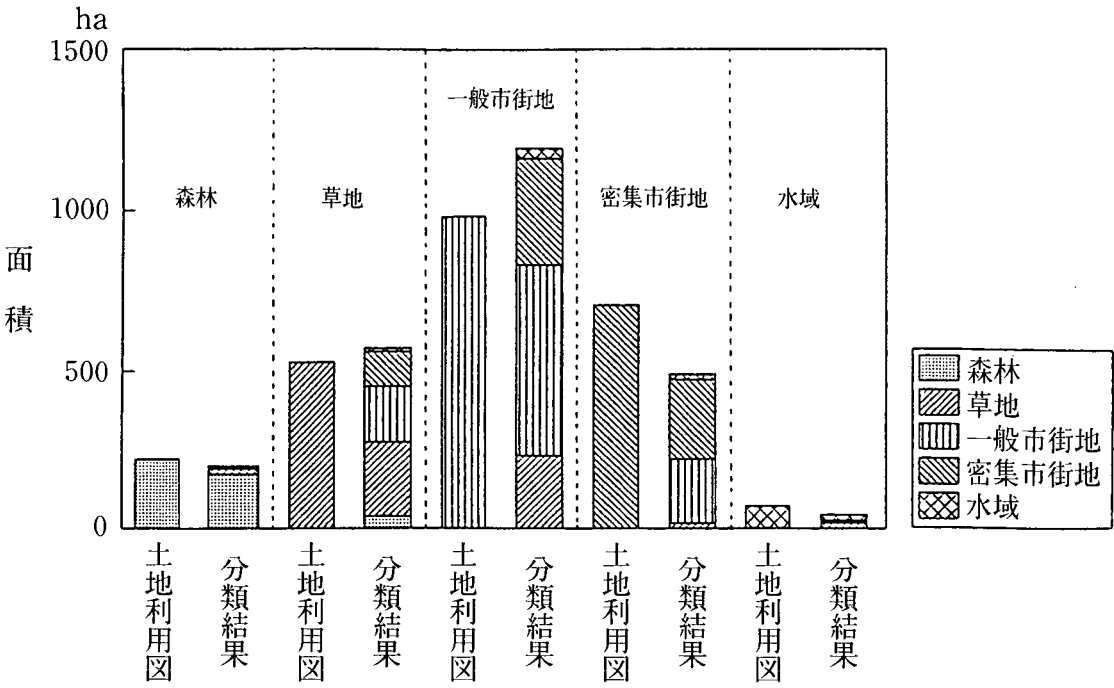


図-5・9 5項目の土地利用分類検証結果

表-5・1 ランドサットによる土地利用図作成の精度

|             |       | 国土地理院土地利用図        |                  |                  |                  |                | 合 計                |
|-------------|-------|-------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|--------------------|
|             |       | 森 林               | 草 地              | 一般市街地            | 密集市街地            | 水 域            |                    |
| 土 地 被 覆 分 類 | 森 林   | 178.25<br>(87.1%) | 15.00<br>(7.3)   | 4.00<br>(2.0)    | 7.25<br>(3.5)    | 0.25<br>(0.1)  | 204.75<br>(100.0)  |
|             | 草 地   | 39.25<br>(6.9)    | 240.75<br>(42.3) | 170.75<br>(30.0) | 106.75<br>(18.7) | 12.25<br>(2.1) | 569.75<br>(100.0)  |
|             | 一般市街地 | 2.5<br>(0.2)      | 230.00<br>(19.3) | 595.25<br>(50.1) | 332.25<br>(27.9) | 29.75<br>(2.5) | 1189.75<br>(100.0) |
|             | 密集市街地 | 0.25<br>(0.1)     | 21.75<br>(4.4)   | 198.50<br>(40.5) | 251.75<br>(51.4) | 17.50<br>(3.6) | 489.75<br>(100.0)  |
|             | 水 域   | 5.75<br>(13.2)    | 14.75<br>(33.9)  | 5.25<br>(12.1)   | 3.25<br>(7.5)    | 14.5<br>(33.3) | 43.50<br>(100.0)   |
|             | 合 計   | 226.0             | 522.25           | 973.75           | 701.25           | 74.25          | 2497.50            |

上段：単位（ha）、下段：把握率（％）

は、概ね5割以上の信頼性を持って把握が可能な手法であるといえる。

また、第4章ではタイ国にて土地利用区分別面積や、土地利用空間の分布の把握にランドサットTMデータを用いた。そこでは、現地調査による土地利用状況の確認を行った上で、土地利用区分を8区分とした。長野市の検討結果で高精度で分類されたものが植生に由来する土地利用区分であることを考えると、タイ国の分類で、8区分のうち6区分が植生や水域の区分のため、長野市以上の分類精度を保っているものと推定される。

### 5.2.3 エネルギー消費等の分布の考え方

3、4章で扱った属地的な環境要素（社会経済的資産）と同様、エネルギーや大気環境負荷物質も5.1.3(2-b)のように属地情報として扱う。その際、ある土地利用空間上に存在するものと、その空間以外にその空間を維持するために存在しているものがあるため、一次エネルギーが使用される場所（使用地）と様々なエネルギーを利用する場所（消費地）との関係、およびエネルギー消費に伴う大気環境負荷物質の排出との関わりを考慮して、次の3通りのエネルギー分類①、②、③を設定する。

エネルギー分類①：その場で使用する一次エネルギーである。消費地で燃料を使用するにあたり、燃焼により大気環境負荷物質がその消費地で排出される。

エネルギー分類②：その場で使用する総エネルギー（燃料、電力（火力発電））である。電力は発電地（燃料使用地）と消費地が異なるため、見方によってはクリーンなエネルギーとされることが多い。しかし、火力発電による大気環境負荷物質は無視できない量がある。よってエネルギー分類①に火力発電分を加えたエネルギー分類②を考える。これは、エネルギーの消費地では排出されないが、燃焼により地球環境中に排出される全大気環境負荷量を考える際に必要な量である。

エネルギー分類③：その場で使用する総エネルギー（燃料、電力（火力・水力・原子力等））である。ここでは水力や原子力等の大気環境負荷物質を生じないエネルギーも考慮する。

以上のエネルギー分類①、②、③についてのエネルギー消費、あるいはエネルギー分類①、②による大気環境負荷物質の分布及びその量の存在は、消費地にあるものとして検討を進める。

## 5.3 原単位の計算方法

### 5.3.1 土地利用区分別面積の把握

原単位計算の分母とする土地利用区分別面積は、長野県<sup>81)</sup>及び長野市<sup>82)</sup>の土地利用現況調査結果より把握した（表-5・2）。表-5・2には土地利用現況調査の地目区分や、建設省国土地理院地理調査部<sup>83)</sup>に設定されている基本的な土地利用中区分と、本章で用いた基本となる原単位を計算する土地利用区分の関係を示す。

ここでは土地利用区分別面積を9区分（住宅地区、商業地区、公共地区、工業地区、農地、林地、道路、水部、裸地）の土地利用区分毎に把握する。原単位計算では、この土地利用区分（裸地は除く）と、統計資料に整理されたエネルギーなどの用途区分を土地利用区分に「読み替え」て対応づける。

現状では、土地利用分布とそれに応じた面積値がセットで整備されている地域はまれなため、原単位法に汎用性を持たせることを考慮し、土地利用の分布の情報（ランドサットによる土地利用図等）とは別の、全国市町村で同基準で把握している面積情報である土地利用現況調査の値を用いることとした。

### 5.3.2 エネルギー消費の原単位計算手順

エネルギー消費の原単位は長野市の1979年（過去）、1990（現在）、2010年（将来）でまとめた。ここでは1990年を例に原単位の計算過程を略述する。エネルギー消費や、後述する大気環境負荷物質の原単位を求めるには「単位換算」するための様々な係数が必要である（表-5・3）。また政府のエネルギー消費予測から2010年のエネルギー消費等の原単位の推定計算方法にも言及する。

#### (1) 現在及び過去の原単位計算方法

本章では、エネルギー統計資料や様々な報告によく見られる容積表示の原油換算値（kl）を用いて、エネルギー消費の原単位を表す。統計に見られるエネルギー消費量は用途別に集計され、その用途と土地利用区分を対応させる（表-5・4）。なお一つの用途に複数の土地利用が対応する場合（例えば燃料の農林業用途は、土地利用の農地と林地に対応）は、その用途の就業人口比によりエネルギー消費量を配分した。

#### a) 灯油、ガソリン、重油、軽油

- ① 資源エネルギー庁長官官房企画調査課<sup>84)</sup>により、対象年次の全国における石油製品別（灯油、ガソリン、重油、軽油）、用途別消費量を整理し、石

表-5・2 長野市（県）の土地利用面積

| 分 類      | 地 目   | 長野市面積<br>(km <sup>2</sup> ) | 長野県面積<br>(km <sup>2</sup> ) | 建設省国土地理院<br>土地利用中区分    | 土地利用区分<br>(編集)       |
|----------|-------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------|
| 農用地      | 水田    | 30.00                       | 699.0                       | 田<br>畑<br>牧場・牧草地、(施設)  | 農 地                  |
|          | 畑     | 55.10                       | 656.0                       |                        |                      |
|          | 採草放牧地 | 0.46                        | 42.1                        |                        |                      |
|          | 小計    | 85.56                       | 1,397.1                     |                        |                      |
| 森 林      | 国有林   | 21.04                       | 3,833.2                     | 林 地<br>林 地             | 林 地                  |
|          | 民有林   | 167.92                      | 6,790.7                     |                        |                      |
|          | 小計    | 188.96                      | 10,623.9                    |                        |                      |
| 原 野      |       | 1.54                        | 25.5                        | 野草地・裸地                 | 裸 地                  |
| 水面・河川・水路 |       | 23.80                       | 351.1                       | 水 部                    | 水 部                  |
| 道 路      |       | 17.09                       | 383.9                       | 道 路                    | 道 路                  |
| 宅地       | 住宅    | 32.96                       | 269.0                       | 住宅地区<br>工業地区<br>商業業務地区 | 住宅地区<br>工業地区<br>商業地区 |
|          | 工場    | 2.18                        | 30.6                        |                        |                      |
|          | その他宅地 | 13.13                       | 132.1                       |                        |                      |
| その他      |       | 39.13                       | 371.5                       | 公共地区、(施設)              | 公共地区                 |
| 合 計      |       | 404.35                      | 13,584.7                    |                        |                      |

油製品別、用途別の消費量割合を求める。

② 長野県全体の石油製品別の販売量を、石油連盟<sup>85)</sup>より整理する。

③ ②で得られた石油製品別の販売量に①の石油製品別、用途別消費量の割合を乗じて、長野県の石油製品別、用途別消費量を算出する。

④ 各用途がそれぞれ土地利用区分と対応するので、③で得られた用途別消費量とその土地利用区分でのエネルギー消費量となる。

⑤ 用途別消費量に石油製品別の平均発熱量を乗じ熱量換算を行った後、原油の発熱量で除して原油換算値を算出する。石油製品の平均発熱量及び原油の発熱量は文献<sup>85)</sup>の値を用いる。

⑥ ⑤では土地利用区分毎に原油換算値が求められ、これらの値を各土地利用区分別面積(表-5・2の長野県の値)で除してエネルギー消費の原単位とする。

上記の手順を簡単に式で示すと次のようになる。

式

長野県の石油製品別の販売量×全国の用途別消費量の割合

＝長野県の石油製品別の用途別の消費量＝(A)

(A)×石油製品別の平均発熱量÷原油発熱量

＝原油換算値

＝(B)

(B)÷土地利用区分別面積＝エネルギー消費量  
原単位

また、原単位計算結果を、灯油について表-5・5に示す。

b) 天然ガス、石炭

① 通商産業省大臣官房調査統計部<sup>86)</sup>より対象年次の用途別消費量を把握する。そこでは鉱業、製造業及び商業の用途で都道府県別の集計値が記載されており、長野県の用途別消費量が把握できる。

② 以下の手順は(1)-a)の④以降と同様である。

c) 都市ガス

① 長野市<sup>87)</sup>に基づき、市を単位としてその消費量を把握する。そこでは家庭用、工業用、商業用及び公務その他の用途別に集計されている。また、都市ガスの需要を考慮すると、この分類では市域の消費量を把握できると考え、その他の用途については考慮していない。

② 以下の手順は(1)-a)の⑤以降と同様だが、分母とな

表-5・3 係数一覧表

| 燃 料   | 平均発熱量<br>kcal/l      | NO <sub>x</sub> 排出<br>係数 kg/kl | 比重or密度<br>kg/l     | 硫黄含有量<br>Wt% | CO <sub>2</sub> 排出係数<br>kg/l |
|-------|----------------------|--------------------------------|--------------------|--------------|------------------------------|
| 原 油   | 9,250                | —                              | —                  | —            | —                            |
| ガソリン  | 8,400                | 1.56                           | 0.75               | 0.008        | 2.359                        |
| 灯 油   | 8,900                | 1.65                           | 0.79               | 0.004        | 2.528                        |
| 軽 油   | 9,200                | 1.71                           | 0.83               | 0.4          | 2.644                        |
| 重 油   | 9,700                | 3.25                           | 0.90               | 1.05         | 2.823                        |
| 都市ガス  | 10,000 <sup>*1</sup> | 1.05 <sup>*3</sup>             | 0.60 <sup>*6</sup> | 0.001        | 2.312 <sup>*7</sup>          |
| 天然ガス  | 9,800 <sup>*1</sup>  | 1.05 <sup>*3</sup>             | 0.60 <sup>*6</sup> | 0.001        | 2.026 <sup>*7</sup>          |
| L P G | 12,000 <sup>*2</sup> | 1.65 <sup>*4</sup>             | —                  | 0.01         | 3.007 <sup>*8</sup>          |
| 石 炭   | 7,700 <sup>*1</sup>  | 53.01 <sup>*5</sup>            | —                  | 0.817        | 2.214 <sup>*8</sup>          |
| 電 力   | 860 <sup>*9</sup>    | —                              | —                  | —            | —                            |

分母の単位：\*1=m<sup>3</sup> \*2=kg \*3=1000m<sup>3</sup> \*4=t \*5=10<sup>8</sup>kcal \*6=Nm<sup>3</sup>  
 \*7=m<sup>3</sup> \*8=kg \*9=MWh

表-5・4 原単位を求める土地利用区分とエネルギー用途との関係

| 土地利用区分  | 燃料*1              | 都市ガス  | LPG   | 天然ガス、石炭    | 電灯・電力 |                                |
|---------|-------------------|-------|-------|------------|-------|--------------------------------|
| 住 宅 地 区 | 家庭用               | 家庭用   | 家庭業務用 |            | 電灯    | 定額<br>従量（甲、乙、丙）<br>臨時、時間帯別     |
| 商業業務地区  | 業務用               | 商業用   |       | 商 業        | 電力    | 業務用                            |
| 公 共 地 区 |                   | 公務その他 |       |            |       |                                |
| 工 業 地 区 | 鉱 業<br>建設業<br>製造業 | 工業用   | 工業用   | 鉱 業<br>製造業 | 電力    | 小口、大口<br>臨時、深夜<br>建設工事用<br>事業用 |
| 農 地     | 農林業               | 自動車用  |       |            | 電灯    | 農事用                            |
| 林 地     |                   |       |       |            | 電力    | 農事用                            |
| 道 路     | 運輸部門              |       |       |            | 電灯    | 公衆街路灯                          |
| 水 部     | 水産業               |       |       |            |       |                                |

\*1はガソリン、灯油、軽油、重油

表-5・5 エネルギー消費量の原単位計算表（例：1990年の灯油）

| 土地利用区分  | 用 途  | エネルギー消費量                |                 |                         | D *2<br>灯油発熱量<br>(kcal/l) | F<br>原油換算<br>(×10³kl) | G<br>面積<br>(km²) | H<br>原単位<br>(kl/km²) |
|---------|------|-------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|
|         |      | 全 国                     |                 | 長 野                     |                           |                       |                  |                      |
|         |      | A *1<br>消費量<br>(×10³kl) | B<br>構成比<br>(%) | C *2<br>消費量<br>(×10³kl) |                           |                       |                  |                      |
| 住 宅 地 区 | 家庭用  | 10,925                  | 46.05           | 359.76                  | 8,900                     | 346.15                | 269              | 1,287                |
| 商業業務地区  | 業務用  | 3,926                   | 16.55           | 121.05                  | E *2<br>原油発熱量<br>kcal/l   | 116.47                | 132              | 882                  |
| 公 共 地 区 |      |                         |                 | 8.24                    |                           | 7.92                  | 371              | 21                   |
| 工 業 地 区 | 工業計  | 5,955                   | 25.10           | 196.10                  | 9,250                     | 188.68                | 31               | 6,166                |
|         | 鉱 業  | 34                      | 0.14            | 1.12                    |                           | 1.08                  | —                | —                    |
|         | 建設業  | 1,236                   | 5.21            | 40.70                   |                           | 39.16                 | —                | —                    |
|         | 製造業  | 4,685                   | 19.75           | 154.28                  |                           | 148.44                | —                | —                    |
| 農 地     | 農林業  | 2,840                   | 11.97           | 92.00                   |                           | 88.52                 | 1,397            | 63                   |
| 林 地     |      |                         |                 | 1.52                    |                           | 1.46                  | 10,624           | 0.137                |
| 道 路     | 運輸部門 | 0                       | 0               | 0                       |                           | 0                     | 384              | 0                    |
| 水 部     | 水産業  | 78                      | 0.33            | 2.57                    |                           | 2.47                  | 351              | 7                    |
| 合 計     |      | 23,725                  | 100.00          | 781.27                  |                           | 751.71                | 13,584           | 55                   |

 注：\*1資源エネルギー庁長官官房企画調査課<sup>84)</sup>の値

 \*2石油連盟<sup>85)</sup>の値

式：C(各々) = C(合計) × B(各々)

$$F = C \times 1000 \times (D \div E) \div 1000$$

$$H = F \div G$$

る土地利用区分別面積は長野市の値になる。

#### d) L P G

- ① L P G消費量は(株)石油化学新聞社<sup>88)</sup>により、県レベルにおける家庭業務用、工業用及び自動車用の用途別に把握する。
- ② 家庭業務用を人口比により、住宅地区、商業業務地区及び公共地区に分離する。
- ③ 以下の手順は(1)a)の⑤以降と同様である。

#### e) 電 力

二次エネルギー（電力）はMWh（メガワット時）単位でその消費量が把握されている。1 Whとは1 Wが1時間働いた電気量と定義される。ここでは電気事業連合会統計委員会<sup>89)</sup>による電気量と熱量の関係を用いて電気量を熱量に換算し、その値を前述の原油の発熱量で除して電力を原油量に換算する。この電力は火

力、水力、原子力等すべての発電様式からのものが含まれる。

- ① 中部電力長野支社<sup>90)</sup>により長野市内における用途別販売電力量を把握する。
- ② 文献<sup>90)</sup>の整理では用途が15区分あり、それらの定義を文献<sup>89)</sup>により確認後、土地利用区分毎の電力消費量を把握する。
- ③ ②において把握された土地利用区分毎の電力消費量を発熱量に換算する。
- ④ ③の値を原油の平均発熱量で除して、原油換算値を求める。
- ⑤ ④で求められた土地利用区分毎の原油換算量を長野市の土地利用区分別面積で除して二次エネルギー消費の原単位とする。

## (2) 現在及び過去の原単位の整理

(1)-a)～d)により燃料別に土地利用区分毎に求められたエネルギー消費の原単位は、エネルギー分類①に相当する。二次エネルギーを生産する発電所のエネルギー源は、火力、水力及び原子力等なので、エネルギー分類①に二次エネルギーを加算したものがエネルギー分類③である。また長野市へ電力を供給している中部電力の発電割合は、資源エネルギー庁<sup>91)</sup>によれば火力75.0%、水力9.5%及び原子力15.5%である。これより大気環境負荷に寄与する火力発電からの電力量は全電力の75%である。よってエネルギー分類①に二次エネルギーを0.75倍した値を加えればエネルギー分類②となる。

表-5・6では長野市における1990年の原単位を整理した。工業地区が最も大きな値を示し、次に商業業務地区が続いているが、両者には一桁の違いがあり、工業地区のエネルギー消費の原単位が突出していることがわかる。住宅地区や道路も商業業務地区と同程度のエネルギー消費を示す。このように、物の生産、販売、流通及び居住という人々が頻繁に利用している土地利用において大きな値を示し、公共地区、農地、森林及び水部等の人々がまれに存在するか又は広大な敷地（陸上競技場や学校のようなもの）を必要とする土地利用では値が小さい。また二次エネルギーの電力とエネルギー分類①を比較すると、工業地区のみ電力が大

幅に上回っている。これは工業地区での環境改善は進んでいるものの、工業地区を維持していくために、結局は他地域での環境汚染を引き起こしているという実態があることを示している。

## (3) 将来の原単位の計算方法

政府による近年のエネルギー消費及び供給予測は「1990年10月23日地球環境保全に関する関係閣僚会議決定」の地球温暖化防止行動計画概要として示された。文献<sup>84)、91)</sup>にはその目標数字が記載されているので、2010年におけるエネルギー消費量と大気環境負荷量の予測が土地利用区分毎にできる。それはエネルギー分類③、②、①の順序で計算できる。

## a) エネルギー分類③

文献<sup>84)</sup>には、「エネルギー需要見通し（最終エネルギー消費）」が記載されている。最終エネルギー消費量とは、原子力も含めた将来の全エネルギー消費量なのでエネルギー分類③に相当する。ここでは「エネルギー需要見通し」の1989年から2010年までの需要の増加を直線近似して1990年のエネルギー分類③に対して2010年が何倍になるかを計算し、将来予測とする。用途の「産業」は土地利用の「工業地区」に対応し1.151倍、「民生」は「住宅地区」、「公共地区」、「商業業務地区」に対応し1.595倍、「運輸」は「道路」、「水部」に対応し1.192倍、残る「農地」、「林地」、「裸地」は増加

表-5・6 エネルギー消費量の原単位表（1990年）

単位：原油kl/km<sup>2</sup>

| 土地利用区分  | ガソリン  | 灯油    | 重油    | 軽油    | LPG | 都市ガス | 電力     | エネルギー  |        |        |
|---------|-------|-------|-------|-------|-----|------|--------|--------|--------|--------|
|         |       |       |       |       |     |      |        | 分類①    | 分類②    | 分類③    |
| 住 宅 地 区 |       | 1,287 |       |       | 436 | 577  | 1,346  | 2,300  | 3,310  | 3,646  |
| 商業業務地区  |       | 882   | 1,055 | 11    | 262 | 821  | 2,298  | 3,031  | 4,755  | 5,329  |
| 公 共 地 区 |       | 21    | 26    | 0     | 6   | 100  | 52     | 153    | 192    | 205    |
| 工 業 地 区 | 73    | 6,166 | 8,694 | 3,717 | 646 | 895  | 45,356 | 20,191 | 54,208 | 65,547 |
| 農 地     |       | 63    | 21    | 27    |     |      | 1      | 111    | 112    | 112    |
| 林 地     |       | 0.137 | 0.046 | 0.058 |     |      | 0.011  | 0.241  | 0.249  | 0.252  |
| 道 路     | 2,234 |       | 124   | 1,345 | 45  |      | 68     | 3,748  | 3,799  | 3,816  |
| 水 部     |       | 7     | 138   | 44    |     |      |        | 189    | 189    | 189    |

しないものとし1.000倍とする。

#### b) エネルギー分類②

文献<sup>84)</sup>の「石油代替エネルギーの供給目標の改訂について」には、石油代替エネルギーの供給目標の基礎となるエネルギー需給の見通しが記載されている。よって「エネルギー供給目標」の2010年における大気環境負荷物質を排出する化石燃料の比率が、全体の73.2%であることが明らかになる。これはエネルギー分類③の73.2%がエネルギー分類②に相当することを示している。

#### c) エネルギー分類①

エネルギー分類①はエネルギー分類②から2010年の「二次エネルギー（火力発電による電力）」を減じて求められる。文献<sup>91)</sup>によれば、長野県をカバーする中部電力は1990年時点でその75%を火力発電に依存している。また文献<sup>84)</sup>の「電力供給目標」からは発電に占める各種燃料使用量の変化が把握でき、1990年に4,057億kWhで2010年に4,690億kWhとあり、2010年は1990年に対し1.156倍になる。よって1990年の長野県の電力量の0.75倍が火力発電によるものであり、さらにその1.156倍が2010年の火力発電による電力となる。2010年のエネルギー分類②は既に把握されているので、エネルギー分類①は火力発電分を減ずれば求められる。その結果はエネルギー分類②、③とあわせて表-5・7に示した。

表-5・7 エネルギー消費量の原単位表（2010年）

単位：原油kl/km<sup>2</sup>

| 土地利用区分 | 分類①    | 電力（火力） | 分類②    | 分類③    |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 住宅地区   | 3,090  | 1,167  | 4,257  | 5,815  |
| 商業業務地区 | 4,230  | 1,992  | 6,222  | 8,500  |
| 公共地区   | 194    | 45     | 239    | 327    |
| 工業地区   | 15,902 | 39,324 | 55,226 | 75,445 |
| 農地     | 81     | 1      | 82     | 112    |
| 林地     | 0.174  | 0.010  | 0.184  | 0.252  |
| 道路     | 3,271  | 59     | 3,330  | 4,549  |
| 水部     | 165    | 0      | 165    | 225    |

### 5.3.3 大気環境負荷物質の原単位計算手順

大気環境負荷物質はエネルギー分類①及び②の消費

により排出されるものである。大気環境負荷物質の原単位は、エネルギー消費量に既存文献から得た排出係数等乗じて大気環境負荷量を把握し、土地利用区分別面積で除して求める。大気環境負荷物質の原単位は窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、二酸化硫黄（SO<sub>x</sub>）、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の単位面積（k m<sup>2</sup>）あたりの質量で表す。

#### (1) NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub>排出量は各燃料消費量に各々の排出係数（表-5・3）を乗じて求め、その原単位は排出量を土地利用区分別面積で除して求める。

- ① 土地利用区分毎の燃料別消費量に、灯油、ガソリン、軽油及び石炭は環境庁大気保全局大気規制課<sup>92)</sup>、重油、都市ガス、LPGは日本気象協会<sup>93)</sup>の排出係数を乗じてNO<sub>x</sub>排出量を求めた。なおガソリン及び軽油の排出係数は、それら燃料の脱硝技術に違いはあるものの、ここでは簡単化のため灯油の排出係数をもとに各燃料の発熱量比に応じて推定している。

- ② ①で求められた排出量を土地利用区分別面積で除して原単位とする。

式

$$\text{NO}_x\text{排出量原単位 (kg/k m}^2\text{)}$$

$$= \text{燃料消費量} \times \text{排出係数} \div \text{土地利用区分別面積}$$

#### (2) SO<sub>x</sub>

燃料中の硫黄分が燃焼して発生するものがSO<sub>x</sub>である。そこでSO<sub>x</sub>排出量は燃料に含まれる硫黄分全てがSO<sub>x</sub>（SO<sub>2</sub>）として排出されるものと考える。排出量原単位はSO<sub>x</sub>排出量を土地利用区分別面積で除して求める。

- ① 土地利用別の燃料別消費量に灯油、軽油、天然ガス、都市ガスは文献<sup>93)</sup>、重油は文献<sup>85)</sup>、ガソリンは東京都環境保全局<sup>94)</sup>による比重又は密度を乗じて容積を重量に換算する。石炭とLPGは初めから重量で整理されている。

- ② ①で求められた土地利用別の燃料別重量に、文献<sup>85, 93, 94)</sup>による燃料別の硫黄分（Wt%）を乗じて硫黄分の排出量を求める。石炭、LPGは文献<sup>93)</sup>の値である。

- ③ ②で求められた硫黄分の排出量を各土地利用区分別面積で除して原単位とする。

式

$$\text{SO}_x\text{排出量原単位} = \text{燃料消費量} \times \text{比重or密度} \times \text{硫黄分} \div \text{土地利用区分別面積}$$

(3)  $\text{CO}_2$ 

$\text{CO}_2$ 排出量は $\text{NO}_x$ と同様、燃料消費量に各々の排出係数を乗じて求める。排出量原単位は $\text{CO}_2$ 排出量を土地利用区分別面積で除して求める。

- ① 土地利用区分毎の燃料別消費量に、灯油、重油、軽油、ガソリン、LPG、天然ガス、石炭は環境庁企画調整局地球環境部<sup>95)</sup>、都市ガスは科学技術庁科学技術政策研究所<sup>95)</sup>による排出係数を乗じて排出量を求める。
- ② ①で求められた排出量を土地利用区分別面積で除して原単位とする。その結果はエネルギー分類①、②の場合で分けて、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ とともに、また別途計算した1979年と2010年の値も含め一覧表として表-5・8に示す。

### 5.3.4 ランドサットによる土地利用区分と原単位の対応関係

基本的な原単位を用いてランドサットによる土地利用区分に対応する二次的な原単位を計算する手順を例示する。

原単位の定められた8区分の土地利用に対し、1992年のランドサット土地利用図の土地利用は6区分と少なく、また住宅地区と工業地区の分離のない1979年の土地利用図では5区分とさらに少ない。従って既存の原単位からランドサットの土地利用区分に合わせた原単位を求める操作が必要となる。そこで、土地利用の8区分に計算された基本的な原単位を組み合わせ新たな原単位を計算することとした。

なお、以後1979年の土地利用図に対しては1979年の原単位を対応させるが、1992年の土地利用図に対しては、1992年の統計情報が十分に収集できなかったため、1990年の原単位を対応づける。

森林、草地、水域の3区分は既存の原単位の土地利用区分と変わらないため林地、農地、水部の原単位をそのまま「読み替え」て用いることができる。しかし密集市街地には商業業務地区、公共地区及び道路が、また1979年の一般市街地には住宅地区、工業地区が含まれており、密集市街地及び一般市街地の原単位を必要とする。

ここでは密集市街地の原単位の計算手順を例示する。基本は、密集市街地を構成する土地利用区分各々の面積占有率により、各原単位を加重平均し合算した原単位とすることである。

式

$$U_m = (U_s \times S_s + U_k \times S_k + U_d \times S_d) \div (S_s + S_k + S_d)$$

ここで、 $U_m$ ：密集市街地の原単位 (kl/km<sup>2</sup>)

$U_s$ ：商業業務地区の原単位 (kl/km<sup>2</sup>)

$S_s$ ：　　　　〃　　　面積 (km<sup>2</sup>)

$U_k$ ：公共地区の原単位 (kl/km<sup>2</sup>)

$S_k$ ：　　　　〃　　　面積 (km<sup>2</sup>)

$U_d$ ：道路の原単位 (kl/km<sup>2</sup>)

$S_d$ ：　　　　〃　　　面積 (km<sup>2</sup>)

エネルギー分類①を例として密集市街地の原単位を求める。

式

密集市街地の原単位：1584 (kl/km<sup>2</sup>)

$$= (3.031 \times 13.13 + 153 \times 39.13 + 3.748 \times 17.09) \div (13.13 + 39.13 + 17.09)$$

このような計算を行って求められた新たな原単位を表-5・9に示す。

## 5.4 エネルギー消費量等の定量評価

### 5.4.1 エネルギー消費量等の計算結果の評価

対象地域の環境諸量を2種類示す。1つは原単位計算過程で算出されたもの(A)、1つはランドサットによる土地利用図を用いて算出されたもの(B)である。

Aは表-5・10-(1)~(4)にそれぞれ1979年、1990年、2010年について、環境諸量の計算結果(エネルギー分類①、②の消費量と、各々に対応する $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{CO}_2$ の排出量)を示した。Bについては表-5・11-(1)~(4)に1979年(ランドサット1979年に対応)を、表-5・12-(1)~(4)に1990年(ランドサット1992年に対応)を示した。両者は土地利用区分が異なりそれぞれの比較はできないが、その総量で見るとほぼ同じ値を示していることが分かる。ここでは、Aの結果を用いた環境諸量の検討を進める。

長野市においては、エネルギー分類①の消費量が1979年で22.5万kl、1990年で24.4万kl、2010年で26.6万klとなる。エネルギー分類②の場合、1979年が28.7万kl、1990年が37.6万kl、2010年が42.0万klと増加していく。しかし内訳の土地利用区分毎に同様の傾向を示しているのではなく各々特徴がある。例えば工業地区ではエネルギー分類①は、減少傾向を示すもののエネルギー分類②は増加傾向を示している。一方、エネルギー分類①、②とも住宅地区や公共地区などは増加傾向である。また、商業業務地区や農地などでは増えたり減ったりしている。総じて言えば、工業地区の一次エネル

表-5・8 大気環境負荷量の原単位表

| 土地利用区分         | 年    | NO <sub>x</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) |         | SO <sub>x</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) |         | CO <sub>2</sub> (t/km <sup>2</sup> ) |         |
|----------------|------|---------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|
|                |      | ①                                     | ②       | ①                                     | ②       | ①                                    | ②       |
| 住宅<br>地区       | 1979 | 2,758                                 | 3,594   | 134                                   | 175     | 4,669                                | 6,084   |
|                | 1990 | 3,322                                 | 4,780   | 158                                   | 227     | 5,834                                | 8,395   |
|                | 2010 | 4,461                                 | 6,147   | 212                                   | 292     | 7,835                                | 10,796  |
| 商業<br>業務<br>地区 | 1979 | 7,229                                 | 9,058   | 15,408                                | 19,306  | 9,849                                | 12,341  |
|                | 1990 | 5,929                                 | 9,303   | 19,191                                | 30,111  | 7,571                                | 11,879  |
|                | 2010 | 8,277                                 | 12,178  | 27,518                                | 40,485  | 10,569                               | 15,550  |
| 公共<br>地区       | 1979 | 199                                   | 250     | 337                                   | 423     | 306                                  | 384     |
|                | 1990 | 221                                   | 278     | 465                                   | 584     | 355                                  | 446     |
|                | 2010 | 280                                   | 346     | 606                                   | 747     | 450                                  | 555     |
| 工業<br>地区       | 1979 | 67,982                                | 104,624 | 327,277                               | 503,679 | 71,942                               | 110,719 |
|                | 1990 | 45,726                                | 122,774 | 182,026                               | 488,740 | 53,911                               | 144,751 |
|                | 2010 | 36,032                                | 125,107 | 146,341                               | 508,111 | 42,482                               | 147,501 |
| 農 地            | 1979 | 99                                    | 99      | 270                                   | 270     | 138                                  | 138     |
|                | 1990 | 220                                   | 222     | 565                                   | 570     | 292                                  | 295     |
|                | 2010 | 161                                   | 163     | 440                                   | 445     | 213                                  | 216     |
| 林 地            | 1979 | 0.354                                 | 0.354   | 0.961                                 | 0.961   | 0.491                                | 0.491   |
|                | 1990 | 0.477                                 | 0.493   | 1.222                                 | 1.262   | 0.635                                | 0.656   |
|                | 2010 | 0.344                                 | 0.364   | 0.941                                 | 0.995   | 0.458                                | 0.485   |
| 道 路            | 1979 | 6,033                                 | 6,045   | 12,385                                | 12,410  | 8,956                                | 8,974   |
|                | 1990 | 6,590                                 | 6,682   | 11,507                                | 11,668  | 9,766                                | 9,903   |
|                | 2010 | 5,753                                 | 5,860   | 11,146                                | 11,354  | 8,526                                | 8,685   |
| 水 部            | 1979 | 415                                   | 415     | 2,284                                 | 2,284   | 397                                  | 397     |
|                | 1990 | 515                                   | 515     | 2,780                                 | 2,780   | 494                                  | 494     |
|                | 2010 | 450                                   | 450     | 2,431                                 | 2,431   | 431                                  | 431     |

注：①及び②はエネルギー分類①及びエネルギー分類②を意味する。

ギー使用は将来に向けて削減される方向であろうが、火力を用いて発電された電力の消費は増加することで、結局は発電所での大気環境負荷量が削減量を上回る。加えて、住宅地区や公共地区でもエネルギー消費量や大気環境負荷量は増加傾向にあるため、都市環境に加え地球環境の観点からも問題が大きくなる。

エネルギー分類①の消費により長野市で排出されるNO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>はともに増加傾向であるが、SO<sub>x</sub>は減少していくようにも見える。これは、工業地区での激減が利いており、内訳を見れば住宅地区や商業業務地区などで増えていることがわかる。エネルギー分類②の消費により長野市を維持するために排出されるNO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>とも増加傾向である。ここでは、SO<sub>x</sub>は

工業地区ではさほど変化がなく、商業業務地区で激増していることが際だっている。

まとめれば、土地利用区分によっては、エネルギー分類①の消費量が減少していくものもあるが、合計値では増加傾向であること、さらに火力発電による電力消費量も加えると、全域で着実に増加することが明らかにされた。また、エネルギー消費に伴って排出される大気環境負荷物質では、SO<sub>x</sub>を除き増加が継続することも明らかになった。この結果は、都市域でのエネルギー分類①のエネルギー消費は減少し、都市環境は改善され、「省エネルギー型のクリーンな都市」が出現はするものの、火力発電に頼る電力消費が増加するため、地球環境には決して良い影響を与えないこと

表-5・9 ランドサットによる土地利用区分に合わせた原単位表

| 土 地 利 用 区 分 →                         |          |                                       | 一般市街地                       |         | 密集市街地  | 森 林   | 草 地   | 水 域   |
|---------------------------------------|----------|---------------------------------------|-----------------------------|---------|--------|-------|-------|-------|
| 土地利用図                                 | 環 境 要 素  |                                       | 住宅地区                        | 工業地区    |        |       |       |       |
| 1979年*1                               | エネルギー分類① | エネルギー (kl/km <sup>2</sup> )           | 3,734                       |         | 1,760  | 0.186 | 52    | 148   |
|                                       |          | NO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) | 7,479                       |         | 3,188  | 0.354 | 99    | 415   |
|                                       |          | SO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) | 23,813                      |         | 6,634  | 0.961 | 270   | 2,284 |
|                                       |          | CO <sub>2</sub> (t /km <sup>2</sup> ) | 9,538                       |         | 4,538  | 0.491 | 138   | 397   |
|                                       | エネルギー分類② | エネルギー (kl/km <sup>2</sup> )           | 5,328                       |         | 2,000  | 0.186 | 52    | 148   |
|                                       |          | NO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) | 10,907                      |         | 3,632  | 0.354 | 99    | 415   |
|                                       |          | SO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) | 36,619                      |         | 7,570  | 0.961 | 270   | 2,284 |
|                                       |          | CO <sub>2</sub> (t /km <sup>2</sup> ) | 13,658                      |         | 5,148  | 0.491 | 138   | 397   |
|                                       | エネルギー分類③ | (kl/km <sup>2</sup> )                 |                             | 5,860   | 2,080  | 0.186 | 52    | 148   |
|                                       | 1992年*2  | エネルギー分類①                              | エネルギー (kl/km <sup>2</sup> ) | 2,300   | 20,191 | 1,584 | 0.241 | 111   |
| NO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) |          |                                       | 3,322                       | 45,726  | 2,871  | 0.477 | 220   | 515   |
| SO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) |          |                                       | 158                         | 182,026 | 6,731  | 1.222 | 565   | 2,780 |
| CO <sub>2</sub> (t /km <sup>2</sup> ) |          |                                       | 5,834                       | 53,911  | 4,040  | 0.635 | 292   | 494   |
| エネルギー分類②                              |          | エネルギー (kl/km <sup>2</sup> )           | 3,310                       | 54,208  | 1,945  | 0.249 | 112   | 189   |
|                                       |          | NO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) | 4,780                       | 122,774 | 3,565  | 0.493 | 222   | 515   |
|                                       |          | SO <sub>X</sub> (kg/km <sup>2</sup> ) | 227                         | 488,740 | 8,906  | 1.262 | 570   | 2,780 |
|                                       |          | CO <sub>2</sub> (t /km <sup>2</sup> ) | 8,395                       | 144,751 | 4,941  | 0.656 | 295   | 494   |
| エネルギー分類③                              |          | (kl/km <sup>2</sup> )                 | 3,646                       | 65,547  | 2,065  | 0.252 | 112   | 189   |

\*1 1979年の土地利用区分には、1979年の原単位を適用した。

\*2 1992年の土地利用区分には、1990年の原単位を適用した。

を示している。

#### 5.4.2 統計資料での消費量とランドサット土地利用図での消費量の比較

原単位を計算する過程で明らかとなる統計資料における消費量と、原単位を再計算してランドサットによる土地利用図に基づき配分した値を集計した消費量とは、完全には一致しない。そこで、主にエネルギー消費量の評価結果を用い、統計資料での消費量と、ランドサットによる土地利用図を用いて計算した消費量の比較検討を行う。

表-5・13は、1990年におけるエネルギー分類①及び②の、土地利用区分毎の消費量とそれらの総量を示す。表-5・13の「ランドサット」の欄に、1992年のランドサット土地利用区分と、その原単位から計算された値を示し、「統計資料」の欄に原単位を計算する過程で求められた値を示した。把握率とは、統計資料の値に対してランドサットの値が何%に当たるのかを示したものである。

これより、エネルギー分類①も②も把握率に24～233%と大きな相違があることが分かる。まず、森林や草地のような土地被覆とよく対応する土地利用では

把握率がよい。しかし、土地被覆と土地利用との関係が多様な住宅地区、密集市街地では、非常に把握率が悪くなっていることが明らかになる。この原因には、両者で扱う原単位計算には欠かせない土地利用区分別面積に相違があること、中でもランドサットによる土地利用の判定誤差に基本的な原因があるものと思われる。

次に、エネルギー消費量等の総量の計算結果について検討を行う。図-5・10は1979年(a)と1990年(b)のエネルギー消費量総量計算結果を示している。「ランドサット」の欄に、1979年及び1992年のランドサット土地利用区分別面積とその原単位から計算された値を示し、「統計値総量」の欄に原単位を計算する過程で求められた値を示した。また、「一次」とはエネルギー分類①、「一次+火力」はエネルギー分類②を示す。ここで明らかになることは、工業地区を分離していない(a)は、(b)に比較し、土地利用区分毎のエネルギー消費量の把握率が大変良好であることが明らかにされている。また、総量では(b)も含め大変よい一致を示している。これは図-5・11のCO<sub>2</sub>、図-5・12のNO<sub>x</sub>、図-5・13のSO<sub>x</sub>でも全く同じ傾向である。

表-5・10 原単位計算過程で算出された環境諸量

(1) エネルギー消費量

| 土地利用区分 | エネルギー総消費量 (kl) |         |         |             |         |         |
|--------|----------------|---------|---------|-------------|---------|---------|
|        | 一次エネルギー        |         |         | 一次エネ+電力(火力) |         |         |
|        | 1979           | 1990    | 2010    | 1979        | 1990    | 2010    |
| 住宅地区   | 53,061         | 75,808  | 101,846 | 69,136      | 109,098 | 140,311 |
| 商業業務地区 | 51,894         | 39,797  | 55,540  | 65,015      | 62,433  | 81,695  |
| 公共地区   | 3,989          | 5,987   | 7,591   | 5,002       | 7,513   | 9,352   |
| 工業地区   | 58,896         | 44,016  | 34,666  | 90,626      | 118,173 | 120,393 |
| 道路     | 48,425         | 64,053  | 55,901  | 48,538      | 64,925  | 56,910  |
| 農地     | 5,174          | 9,497   | 6,930   | 5,174       | 9,583   | 7,016   |
| 林地     | 35             | 46      | 33      | 35          | 47      | 35      |
| 水路     | 3,579          | 4,498   | 3,927   | 3,579       | 4,498   | 3,927   |
| 合計     | 225,053        | 243,702 | 266,434 | 287,105     | 376,270 | 419,639 |

注：2010年の土地利用面積は1990年と同様とした

(2) NO<sub>x</sub>排出量

| 土地利用区分 | 窒素酸化物排出総量 (kg) |         |         |                |         |         |
|--------|----------------|---------|---------|----------------|---------|---------|
|        | 一次エネルギー相当分     |         |         | 一次エネ+電力(火力)相当分 |         |         |
|        | 1979           | 1990    | 2010    | 1979           | 1990    | 2010    |
| 住宅地区   | 76,700         | 109,493 | 147,035 | 99,949         | 157,549 | 202,605 |
| 商業業務地区 | 97,085         | 77,848  | 108,677 | 121,649        | 122,148 | 159,897 |
| 公共地区   | 6,300          | 8,648   | 10,956  | 7,915          | 10,878  | 13,539  |
| 工業地区   | 147,521        | 99,683  | 78,550  | 227,034        | 267,647 | 272,733 |
| 道路     | 85,548         | 112,623 | 98,319  | 85,718         | 114,195 | 100,147 |
| 農地     | 9,851          | 18,823  | 13,775  | 9,851          | 18,994  | 13,946  |
| 林地     | 67             | 90      | 65      | 67             | 93      | 69      |
| 水路     | 10,035         | 12,257  | 10,710  | 10,035         | 12,257  | 10,710  |
| 合計     | 433,107        | 439,465 | 468,087 | 562,218        | 703,761 | 773,646 |

注：2010年の土地利用面積は1990年と同様とした

(3) SO<sub>x</sub>排出量

| 土地利用区分 | 硫黄酸化物排出総量 (kg) |         |         |                |           |           |
|--------|----------------|---------|---------|----------------|-----------|-----------|
|        | 一次エネルギー相当分     |         |         | 一次エネ+電力(火力)相当分 |           |           |
|        | 1979           | 1990    | 2010    | 1979           | 1990      | 2010      |
| 住宅地区   | 3,727          | 5,208   | 6,988   | 4,867          | 7,482     | 9,624     |
| 商業業務地区 | 206,929        | 251,978 | 361,311 | 259,280        | 395,357   | 531,568   |
| 公共地区   | 10,669         | 18,195  | 23,713  | 13,392         | 22,852    | 29,230    |
| 工業地区   | 710,191        | 396,817 | 319,023 | 1,092,983      | 1,065,453 | 1,107,682 |
| 道路     | 175,619        | 196,655 | 190,485 | 175,974        | 199,406   | 194,040   |
| 農地     | 26,865         | 48,341  | 37,646  | 26,865         | 48,769    | 38,074    |
| 林地     | 182            | 231     | 178     | 182            | 238       | 188       |
| 水路     | 55,227         | 66,164  | 57,858  | 55,227         | 66,164    | 57,858    |
| 合計     | 1,189,409      | 983,589 | 997,202 | 1,628,770      | 1,805,721 | 1,968,264 |

注：2010年の土地利用面積は1990年と同様とした

(4) CO<sub>2</sub>排出量

| 土地利用区分 | 二酸化炭素排出総量 (トン) |         |         |                |         |           |
|--------|----------------|---------|---------|----------------|---------|-----------|
|        | 一次エネルギー相当分     |         |         | 一次エネ+電力(火力)相当分 |         |           |
|        | 1979           | 1990    | 2010    | 1979           | 1990    | 2010      |
| 住宅地区   | 129,845        | 192,289 | 258,242 | 169,196        | 276,699 | 355,836   |
| 商業業務地区 | 132,272        | 99,407  | 138,771 | 165,740        | 155,971 | 204,172   |
| 公共地区   | 9,688          | 13,891  | 17,609  | 12,157         | 17,452  | 21,717    |
| 工業地区   | 156,114        | 117,526 | 92,611  | 240,260        | 315,557 | 321,552   |
| 道路     | 126,996        | 166,901 | 145,709 | 127,251        | 169,242 | 148,427   |
| 農地     | 13,731         | 24,984  | 18,224  | 13,731         | 25,240  | 18,481    |
| 林地     | 93             | 120     | 87      | 93             | 124     | 92        |
| 水路     | 9,599          | 11,757  | 10,258  | 9,599          | 11,757  | 10,258    |
| 合計     | 578,338        | 626,875 | 681,511 | 738,027        | 972,042 | 1,080,535 |

注：2010年の土地利用面積は1990年と同様とした

表-5・11 ランドサットによる1979年土地利用図を用いて算出された環境諸量

## (1) エネルギー消費量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>kl/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>kl/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>kl | 一次+火力<br>kl |
| 森 林       | 202.07                | 0.186                         | 0.186                       | 38            | 38          |
| 草 地       | 125.1                 | 52                            | 52                          | 6,505         | 6,505       |
| 一 般 市 街 地 | 56.35                 | 3,734                         | 5,328                       | 210,411       | 300,233     |
| 密 集 市 街 地 | 13.22                 | 1,760                         | 2,000                       | 23,267        | 26,440      |
| 水 域       | 7.25                  | 148                           | 148                         | 1,073         | 1,073       |
| 合 計       |                       |                               |                             | 241,294       | 334,289     |

(2) NO<sub>x</sub>排出量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>kg | 一次+火力<br>kg |
| 森 林       | 202.07                | 0.35                          | 0.35                        | 71            | 71          |
| 草 地       | 125.1                 | 99                            | 99                          | 12,385        | 12,385      |
| 一 般 市 街 地 | 56.35                 | 7,479                         | 10,907                      | 421,442       | 614,609     |
| 密 集 市 街 地 | 13.22                 | 3,188                         | 3,632                       | 42,145        | 48,015      |
| 水 域       | 7.25                  | 415                           | 415                         | 3,009         | 3,009       |
| 合 計       |                       |                               |                             | 479,052       | 678,089     |

(3) SO<sub>x</sub>排出量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>kg | 一次+火力<br>kg |
| 森 林       | 202.07                | 0.961                         | 0.961                       | 194           | 194         |
| 草 地       | 125.1                 | 270                           | 270                         | 33,777        | 33,777      |
| 一 般 市 街 地 | 56.35                 | 23,813                        | 36,619                      | 1,341,863     | 2,063,481   |
| 密 集 市 街 地 | 13.22                 | 6,634                         | 7,570                       | 87,701        | 100,075     |
| 水 域       | 7.25                  | 2,284                         | 2,284                       | 16,559        | 16,559      |
| 合 計       |                       |                               |                             | 1,480,094     | 2,214,086   |

(4) CO<sub>2</sub>排出量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>トン/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>トン/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>トン | 一次+火力<br>トン |
| 森 林       | 202.07                | 0.491                         | 0.491                       | 99            | 99          |
| 草 地       | 125.1                 | 138                           | 138                         | 17,264        | 17,264      |
| 一 般 市 街 地 | 56.35                 | 9,538                         | 13,658                      | 537,466       | 769,628     |
| 密 集 市 街 地 | 13.22                 | 4,538                         | 5,148                       | 59,992        | 68,057      |
| 水 域       | 7.25                  | 397                           | 397                         | 2,878         | 2,878       |
| 合 計       |                       |                               |                             | 617,699       | 857,926     |

表-5・12 ランドサットによる1992年土地利用図を用いて算出された環境諸量

## (1) エネルギー消費量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>kl/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>kl/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>kl | 一次+火力<br>kl |
| 森 林       | 198.4                 | 0.241                         | 0.241                       | 48            | 48          |
| 草 地       | 101.57                | 111                           | 112                         | 11,274        | 11,376      |
| 住 宅 地     | 76.86                 | 2,300                         | 3,310                       | 176,778       | 254,407     |
| 工 業 地 区   | 2.48                  | 20,191                        | 54,208                      | 50,074        | 134,436     |
| 密 集 市 街 地 | 19                    | 1,584                         | 1,945                       | 30,096        | 36,955      |
| 水 域       | 5.69                  | 189                           | 189                         | 1,075         | 1,075       |
| 合 計       |                       |                               |                             | 269,345       | 438,297     |

(2) NO<sub>x</sub>排出量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>kg | 一次+火力<br>kg |
| 森 林       | 198.4                 | 0.477                         | 0.493                       | 95            | 98          |
| 草 地       | 101.57                | 220                           | 222                         | 22,345        | 22,549      |
| 住 宅 地     | 76.86                 | 3,322                         | 4,780                       | 255,329       | 367,391     |
| 工 業 地 区   | 2.48                  | 45,726                        | 122,774                     | 113,400       | 304,480     |
| 密 集 市 街 地 | 19                    | 2,871                         | 3,565                       | 54,549        | 67,735      |
| 水 域       | 5.69                  | 515                           | 515                         | 2,930         | 2,930       |
| 合 計       |                       |                               |                             | 448,648       | 765,183     |

(3) SO<sub>x</sub>排出量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>kg/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>kg | 一次+火力<br>kg |
| 森 林       | 198.4                 | 1.222                         | 1.262                       | 242           | 250         |
| 草 地       | 101.57                | 565                           | 570                         | 57,387        | 57,895      |
| 住 宅 地     | 76.86                 | 158                           | 227                         | 12,144        | 17,447      |
| 工 業 地 区   | 2.48                  | 182,026                       | 488,740                     | 451,424       | 1,212,075   |
| 密 集 市 街 地 | 19                    | 6,731                         | 8,906                       | 127,889       | 169,214     |
| 水 域       | 5.69                  | 2,780                         | 2,780                       | 15,818        | 15,818      |
| 合 計       |                       |                               |                             | 664,904       | 1,472,699   |

(4) CO<sub>2</sub>排出量

| 土地利用区分    | 面積<br>km <sup>2</sup> | 原単位                           |                             | 総量            |             |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
|           |                       | 一次エネルギー<br>トン/km <sup>2</sup> | 一次+火力<br>トン/km <sup>2</sup> | 一次エネルギー<br>トン | 一次+火力<br>トン |
| 森 林       | 198.4                 | 0.635                         | 0.656                       | 126           | 130         |
| 草 地       | 101.57                | 292                           | 295                         | 29,658        | 29,963      |
| 住 宅 地     | 76.86                 | 5,834                         | 8,395                       | 448,401       | 645,240     |
| 工 業 地 区   | 2.48                  | 53,911                        | 144,751                     | 133,699       | 358,982     |
| 密 集 市 街 地 | 19                    | 4,040                         | 4,941                       | 76,760        | 93,879      |
| 水 域       | 5.69                  | 494                           | 494                         | 2,811         | 2,811       |
| 合 計       |                       |                               |                             | 691,455       | 1,131,005   |

表-5・13 環境諸量把握の相違（例：1990年のエネルギー消費量）

単位 (kl)

| ランドサット<br>土地利用区分 | エネルギー分類① |         | 把握率<br>% | エネルギー分類② |         | 把握率<br>% |
|------------------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|
|                  | ランドサット   | 統計資料    |          | ランドサット   | 統計資料    |          |
| 森 林              | 48       | 46      | 101      | 48       | 47      | 102      |
| 草 地              | 11,274   | 9,497   | 119      | 11,376   | 9,583   | 119      |
| 住 宅 地 区          | 176,778  | 75,808  | 233      | 254,407  | 109,098 | 233      |
| 工 業 地 区          | 50,074   | 44,016  | 114      | 134,436  | 118,173 | 114      |
| 密集市街地            | 30,096   | 109,837 | 27       | 36,955   | 134,871 | 27       |
| 水 域              | 1,075    | 4,498   | 24       | 1,075    | 4,498   | 24       |
| 合 計              | 269,345  | 243,702 | 111      | 438,297  | 376,270 | 116      |

注：把握率は統計資料に対するランドサットの百分率である。

このように、総量では近い値が算出されていること、及び単純な土地利用区分のものでは土地利用区分毎の把握率も良好であることは、エネルギー消費量等の定量評価を、ランドサットによる土地利用図を用いた原単位法で行うことが妥当な手法であることを示しているものと考ええる。

#### 5.4.3 エネルギー消費量等の推移図

エネルギー消費量等の環境要素の分布を表現するために、原単位の桁毎に応じて土地利用地域を色分けした地図を作成した。この図は個々のデータの検討に用いるのではなく、広い範囲での環境要素の分布を理解しやすくするために用いることを想定している。

これまで得られた原単位は、各々の土地利用区分の持つ特性により様々な大きさをもっており、土地利用区分によって原単位は何桁も隔たりを持つものがある。また、原単位を得るまでには多くの仮定、条件設定等を含めた計算過程を経ている。このように、真の値が安定しにくいという背景を持つ値を扱う場合、数値そのものに着目すること以外にも、その値の持つオーダーで大別し空間分布を明らかにするような利用が、環境モニタリングでは考えられる。

たとえば長野市におけるエネルギー分類①の場合、原単位のオーダー単位で、土地利用地域を着色したエネルギー消費量の分布図を作成し、1979年と1990年を並記してみる（図-5・14）。これによれば、1990年には工業地区が最も高く表現されること以外に、エネルギ

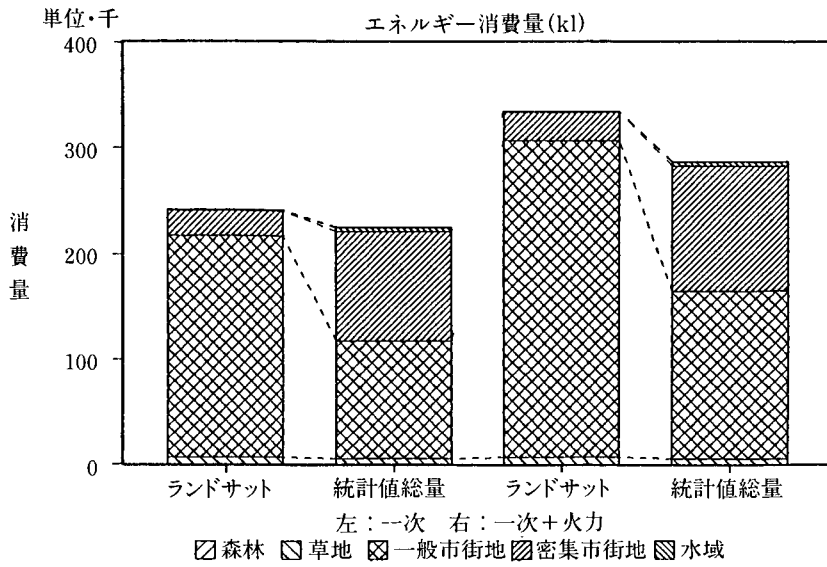
ー消費量の多い地域が拡大している傾向が明示できる。これは、農地でのエネルギー投入量が増加し原単位が1桁増えたことと、都市化にともない土地利用そのものが高エネルギー利用型のものに変化したことに起因すると考えられる。

#### 5.5 まとめ

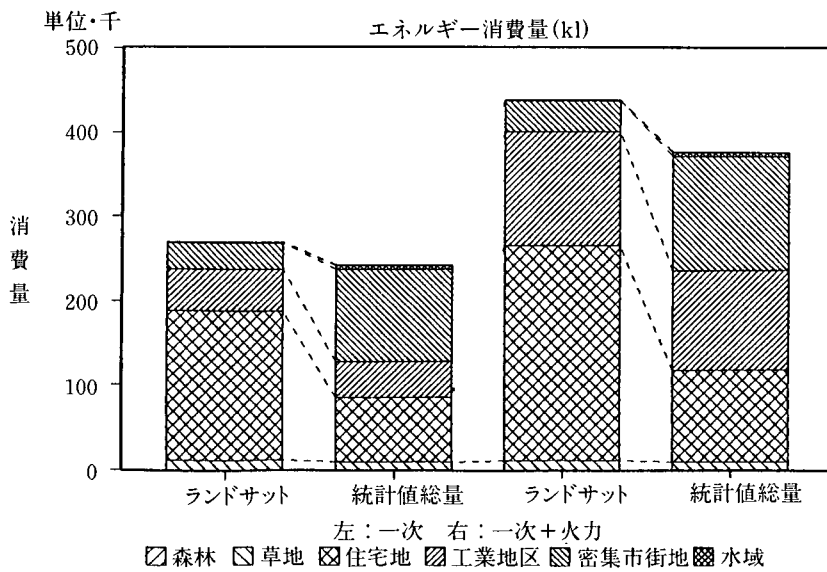
本章では、環境要素をエネルギー消費と大気環境負荷物質とし、ある空間に分布するそれらの環境要素を原単位法を用いて定量化した。この原単位法は、土地利用図に行政区域や任意の地域をオーバーレイすることによって抽出された地域に、土地利用区分各々に計算されたエネルギー消費等の原単位を乗じ、それら環境諸量を計算するものである。

長野市においてランドサットによる土地利用図を用いた定量評価結果で、電力を考慮しない一次エネルギー消費を原単位換算量で例示すると、1979年で約24.1万kl、1990年で約26.9万kl、2010年では約41.3万klの消費量となる。また、電力を考慮する一次エネルギーでは、1979年で約33.4万kl、1990年で約43.8万kl、2010年は約51.4万klである。一方、電力を考慮しない一次エネルギー消費に伴う大気環境負荷量は、1990年では $\text{NO}_x$ が約449 t、 $\text{SO}_x$ が約665 t、 $\text{CO}_2$ が約69.1万 tとなる。ただ、これらの結果は海面上昇の影響予測と同様に、以下の仮定をおいた上での第一次近似的な値と考えて取り扱うべきである。

<仮定>

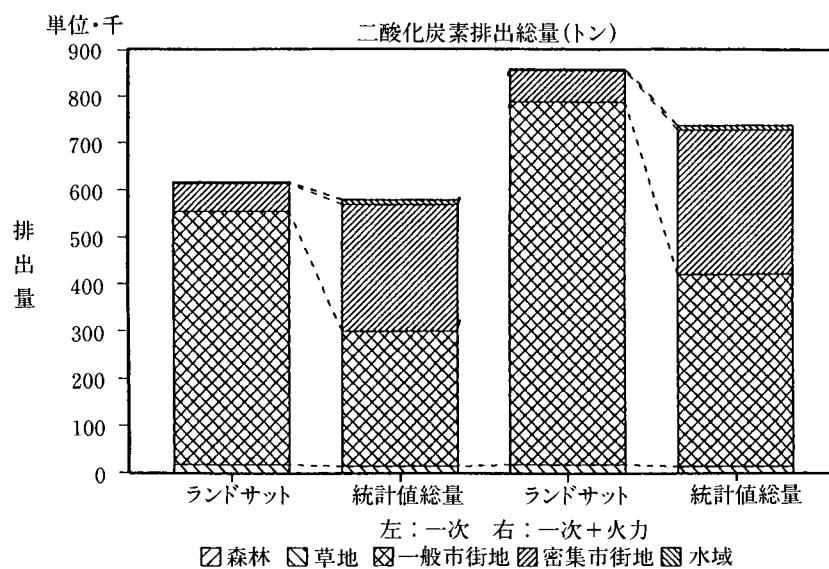


(a) 1979年

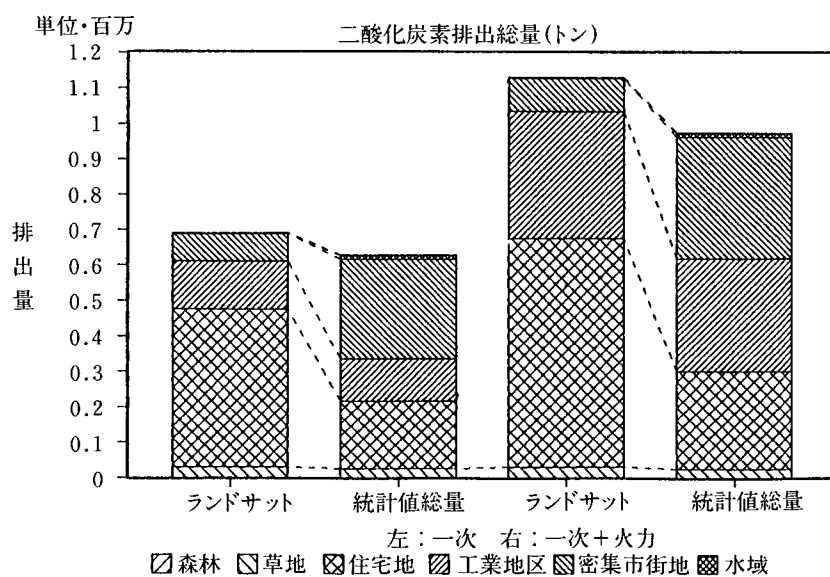


(b) 1990年

図-5-10 エネルギー消費総量の計算結果の比較

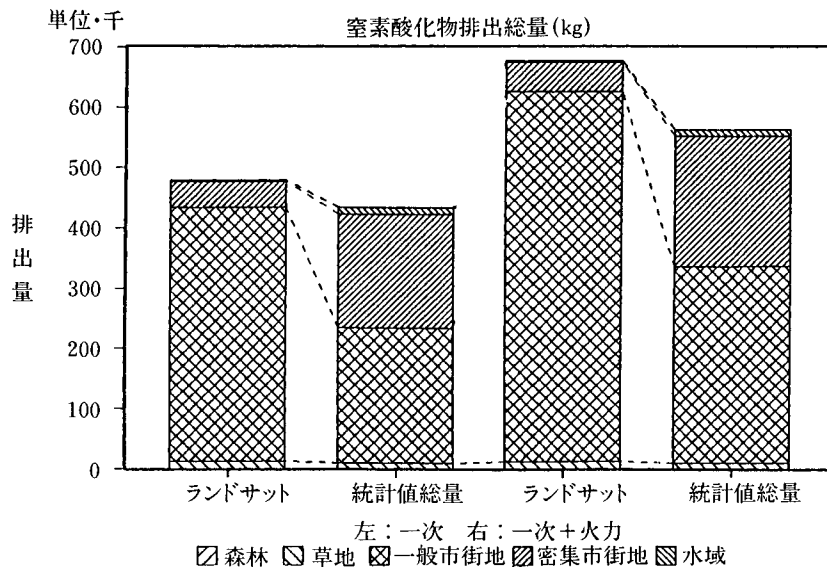


(a) 1979年

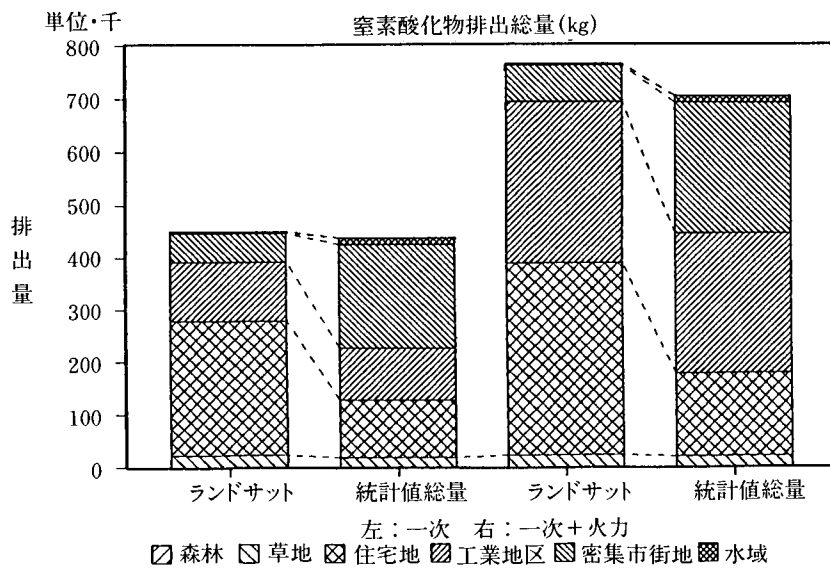


(b) 1990年

図-5-11 CO<sub>2</sub>排出総量の計算結果の比較

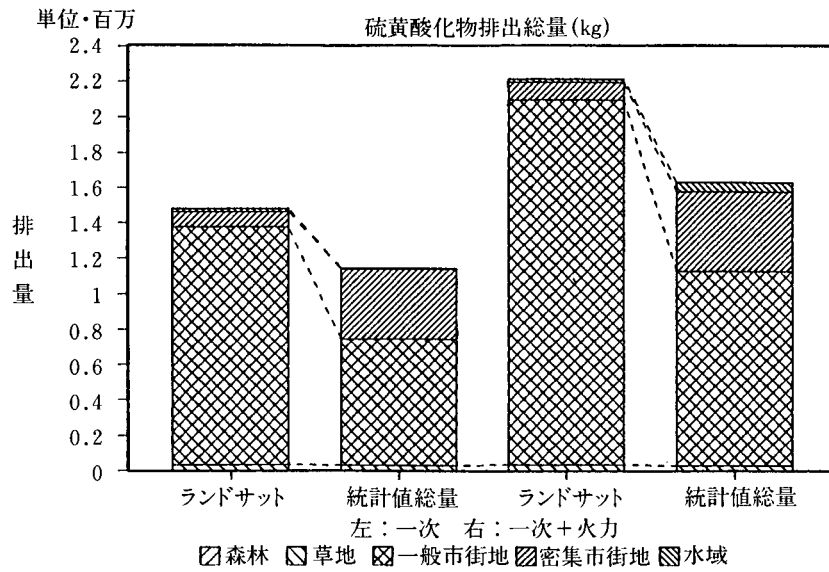


(a) 1979年

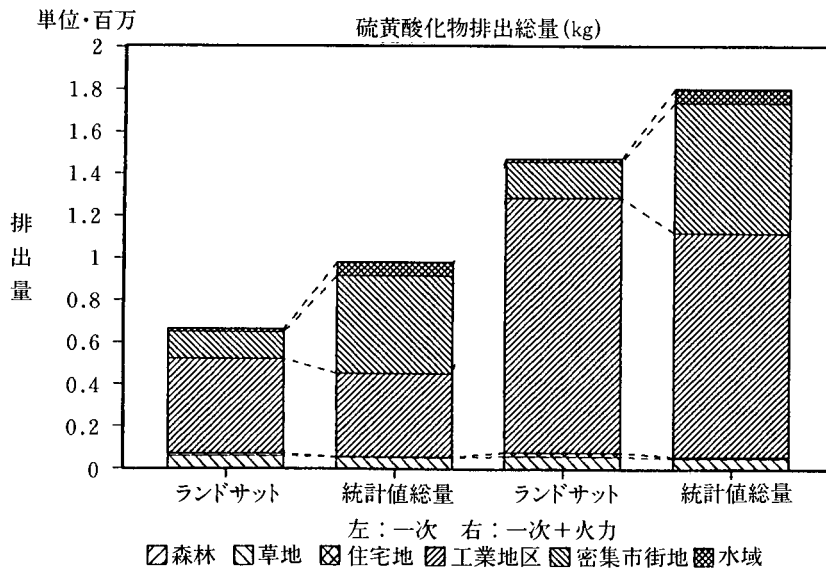


(b) 1990年

図・5・12 NO<sub>x</sub>排出総量の計算結果の比較

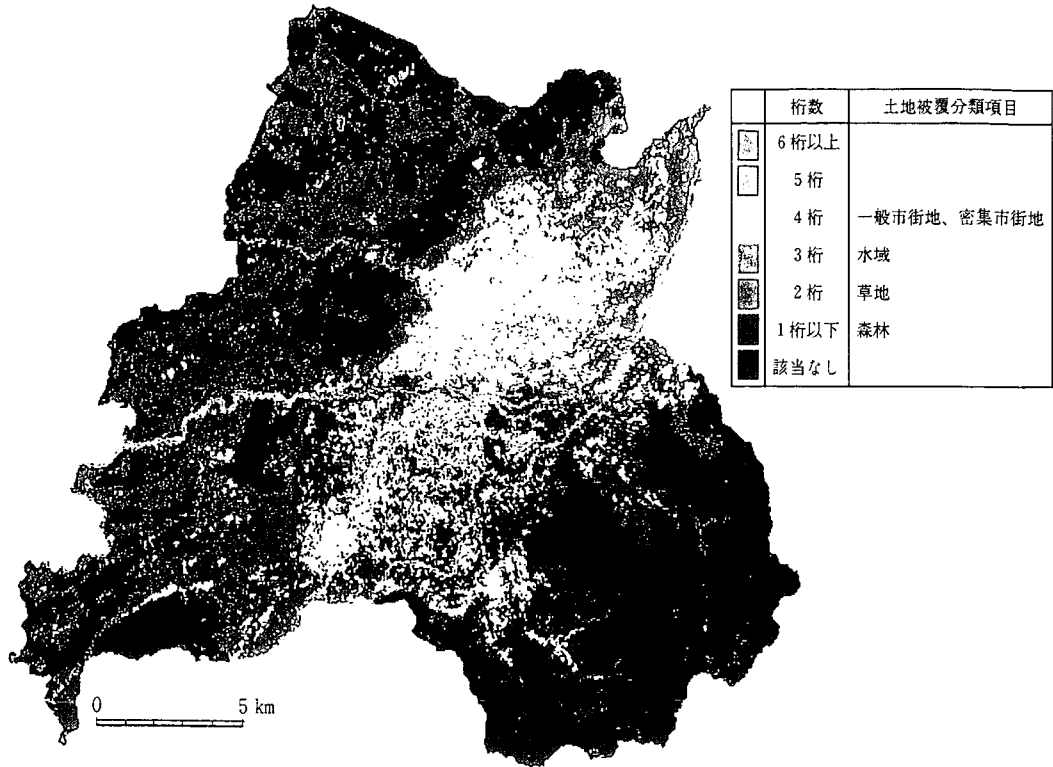


( a ) 1979年

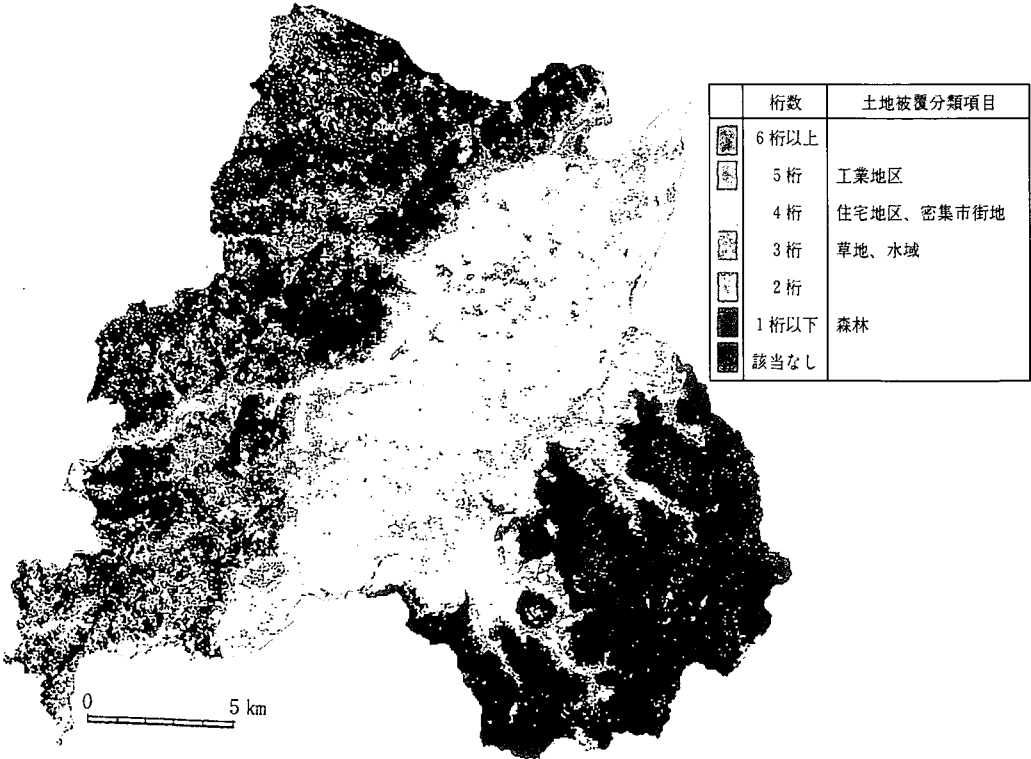


( b ) 1990年

図-5・13 SO<sub>x</sub>排出総量の計算結果の比較



( a )1979年



( b )1990年

図-5・14 エネルギー消費量の分布図（例：エネルギー分類①）

- ー用いた様々な係数には代表性がある。
- ー用いた様々な係数は、過去から将来にわたって通用する。
- ー今後、内燃機関の技術向上はなく、予測通りのエネルギー消費量がある。

原単位法によるエネルギー消費量等の定量評価法についての検討を、長野市を例に進める過程で次のことが分かった。

- ・エネルギー消費等の定量評価において、次に示す手順を踏むことにより原単位法を適用することができる。
- ー原単位の単位を、ある土地利用空間の単位面積当たりのエネルギー消費等の量とする。
- ーエネルギー消費の区分を、エネルギー分類①（その場で使用する一次エネルギー）、エネルギー分類②（その場で使用する総エネルギー（燃料、電力（火力発電））、エネルギー分類③（その場で使用する総エネルギー（燃料、電力（火力・水力・原子力等）））とする。
- ー大気環境負荷物質の区分を、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 、 $\text{CO}_2$ とする。なお大気環境負荷物質は、エネルギー分類①及び②で求める。
- ーエネルギー消費等の各項目について、統計資料にある用途区分等を読み替えることと、情報の単位を換算することで、それぞれの土地利用区分に対応する原単位を計算する。
- ー基本の原単位の組み換えにより、ランドサットによる土地利用区分に新しい原単位を計算する。
- ・土地利用空間と環境要素の存在時間や場所の整理は、属地情報にとらわれない原単位法による環境要素の定量評価を可能にする。
- ・面的な地理情報のオーバーレイと原単位の組み合わせからなる原単位法は、資産の原単位以外であっても、土地利用区分を基礎単位とした環境要素の定量評価に適用できる。

## 6. 他の現実的課題への原単位法の展開可能性

前章までに言及した原単位の土地利用空間への対応付けは、ある土地利用空間に1つの原単位を見いだすものの以外に、各テーマにおける情報量の過不足の関係上、以下のような適用方法の工夫を行い、各章に示した。

- ・1つの原単位を複数の土地利用空間に対応させる

（第4、5章）。

- ・複数の原単位を1つの土地利用空間に対応させる（第4、5章）。
- ・精度を落とすことなく情報数を減らし、かつ効率的に定量評価を行うために、原単位を計算する空間範囲を吟味する（第3章）。

これらより、それぞれの環境問題を議論する空間の広さ、情報の整備状況、求められる精度、与えられた時間や資金に応じて、原単位を計算する空間範囲や土地利用区分を自由に設定できるため、原単位法は、様々な土地利用空間に適用できるものと考えられる。しかし、これらの工夫は環境要素の固定的な認知、土地利用空間を現実存在する実体のあるものとしての認知を行った上での工夫である。したがって、時の経過とともに形を変えて環境を循環するような金属や分子等の環境要素に関して、あるいは時の経過とともに分布を変えてしまう土地利用空間に対してなど、動的なものとしての認知の必要な環境分析への原単位法の展開については検討が残されている。

そこで本章では、計画段階でまだ実体はない土地利用空間へ原単位法を展開した事例と、大気環境負荷物質の吸収を考慮した物質循環の評価へ原単位法を展開した事例について述べる。

### 6.1 法令により区分された土地利用空間への原単位法の展開

第5章のエネルギー消費量等の原単位を用い、前述の適用方法のうち、「1つの原単位を複数の土地利用空間に対応させる場合」と「複数の原単位を1つの土地利用空間に対応させる場合」を併用し、法令による土地利用区分の原単位を用いた定量評価の手順を例示する。

#### 6.1.1 土地利用図の作成

基本的な土地利用区分毎に原単位を計算し、建設省国土地理院の土地利用図や、ランドサットによる土地利用図の持つ土地利用区分に対応させ、そこで求めた諸量を積算することで、環境要素の妥当な地域的定量評価が可能なることをこれまで示してきた。しかし、これらは過去のあるいは現在の土地利用状況での評価である。よって、仮に第5章で求めた将来の原単位を用いたとしても、将来の土地利用分布は決して現在のままではないので、真の意味での予測は困難である。しかし今後の土地利用において、我々は土地利用計画に関わる法令による規制を受けるため、そこから将来の

土地利用をある程度予測できる。実際、第5章の対象地域である長野市には様々な土地利用規制がある。

そこで、将来の環境要素の定量評価に、法令による規制を土地利用区分とした土地利用図を用いる際の原単位の計算方法を例示する。

まず、長野県<sup>97)</sup>の「長野県土地利用基本計画図」および長野市<sup>98)</sup>の「都市計画図」より、法令による土地利用図を作成した(図-6・1)。

「土地利用基本計画」は国土利用計画を基本とし、土地利用の総合的かつ基本的な方向づけを行い、各種計画の総合調整を行う上位計画として位置づけられる計画である。また、都道府県それぞれに、「都市地域」、「農業地域」、「森林地域」、「自然公園地域」および「自然環境保全地域」の5つの地域区分を定めることとされている。長野市には、これらの5地域のうち「自然環境保全地域」を除く4地域がある。これらの地域は相互に重複する部分が存在するために、図-6・1ではその土地利用の性格を考慮し優先度の高いものから地図化した。優先順位は、①自然公園地域(自然公園法)、②森林地域(森林法)、③都市地域(都市計画法)、④農業地域(農業振興地域の整備に関する法律)とした。よって、重複する農用地区域外と市街化調整区域では市街化調整区域を優先的に、重複する市街化調整区域と森林では森林を優先的に表示している。表示した土地利用区分とそれらの内容を列記すると表-6・1になる。

### 6.1.2 原単位の計算

これら4地域(都市地域では用途地域と市街化調整区域について)の原単位は、読み替えのほかに、5.3.4の方法による計算を行って把握する。すなわち、ある土地利用空間に含まれる、原単位を持つ基本的な土地利用の構成面積比率で、原単位を再計算する。

まず、森林地域及び自然公園地域は「林地」の原単位を、農業地域は「農地」の原単位を読み替える。都市地域にある用途地域(8区分)および市街化調整区域内は、各々の面積構成比率によって原単位の再計算を行う。また農業地域のうち農用地区域外は市街化調整区域と重複するところが多いため市街化調整区域と同じ原単位とする。

用途地域及び市街化調整区域の土地利用構成面積比率は、長野市のデータが見いだせなかったので、長野県と気候的にも農業生産物の種類、量の点でも類似している福島県における福島県土木部都市計画課<sup>99)</sup>の、都市計画基礎調査結果の値を便宜的に参照した(表-

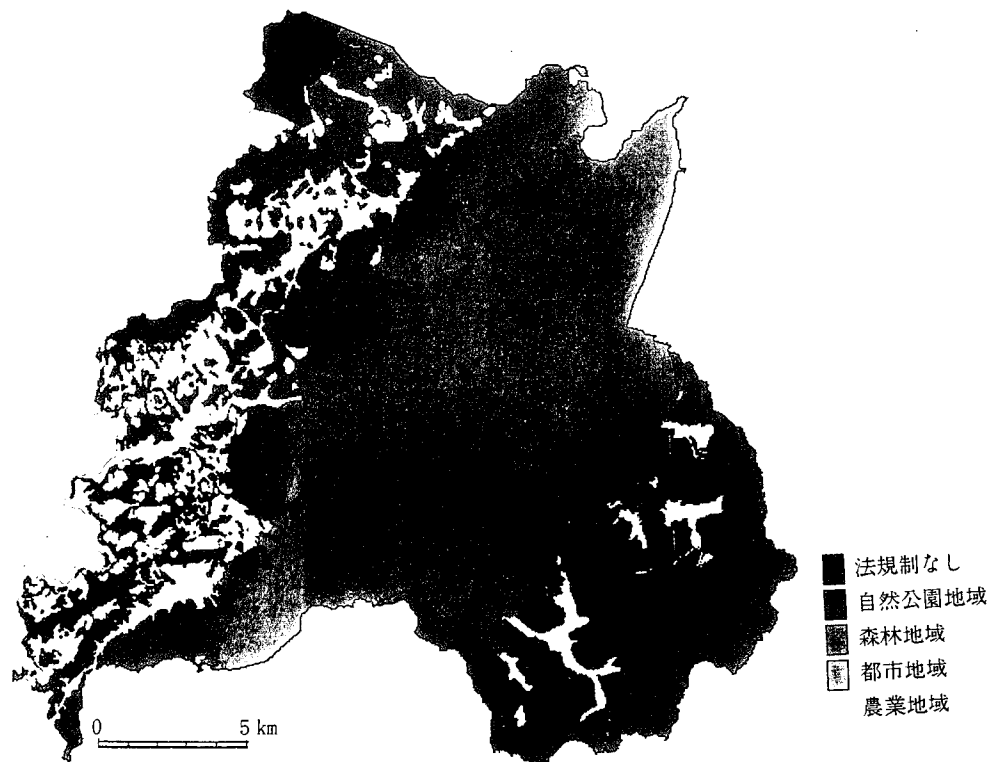
6・2)。実際、土地利用図と都市計画図等の2図面を重ね合わせて図上計測を行い、土地利用構成面積比率を計算することも可能であるが、作業量が大きくなるため、ここでは前述のような簡便なものとした。

表-6・1 土地利用基本計画における各地域と都市計画法の用途地域の概要

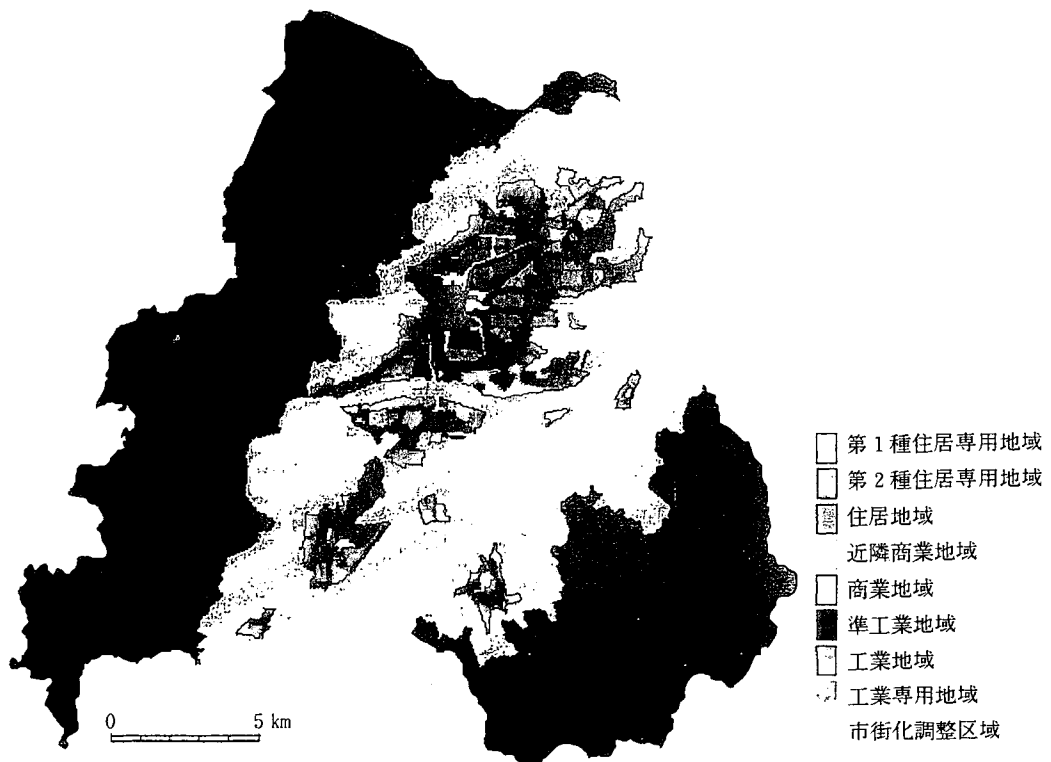
| 名称（規制法）               | 概 要                                                 |                                                          |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 土地利用基本計画<br>（国土利用基本法） | 国土利用計画を基本とし、土地利用の総合的かつ基本的な方向づけを行い、各種計画の総合調整を行う上位計画  |                                                          |
| 都市地域<br>（都市計画法）       | 一体の都市として総合的に開発し、整備し、及び保全する必要がある地域                   |                                                          |
| 市街化区域                 | すでに市街地を形成している区域及びおおむね十年以内に優先的かつ計画的に市街化を図るべき地域       |                                                          |
| 用途地域                  | 第一種住居専用地域                                           | 低層住宅に係る良好な住居の環境を保護するために定める地域                             |
|                       | 第二種住居専用地域                                           | 中高層住宅に係る良好な住居の環境を保護するために定める地域                            |
|                       | 住居地域                                                | 主として住居の環境を保護するため定める地域                                    |
|                       | 近隣商業地域                                              | 近隣の住宅地の住民に対する日用品の供給を行うことを主たる内容とする商業その他の業務の利便を増進するため定める地域 |
|                       | 商業地域                                                | 主として商業その他の業務の利便を増進するため定める地域                              |
|                       | 準工業地域                                               | 主として環境の悪化をもたらすおそれのない工業の利便を増進させるため定める地域                   |
|                       | 工業地域                                                | 主として工業の利便を増進させるため定める地域                                   |
|                       | 工業専用地域                                              | 工業の利便を増進させるため定める地域                                       |
|                       | 市街化調整区域                                             | 市街化を抑制すべき区域                                              |
| 農業地域<br>（農業振興法）       | 農用地として利用すべき土地があり、総合的に農業の振興を図る必要がある地域                |                                                          |
| 森林地域<br>（森林法）         | 森林の土地として利用すべき土地があり、森林の振興又は森林の有する諸機能の維持増進をはかる必要がある地域 |                                                          |
| 自然公園地域<br>（自然公園法）     | 優れた自然の風景地で、その保護及び利用の増進を図る必要があるもの                    |                                                          |
| 自然環境保全地域<br>（自然環境保全法） | 良好な自然環境を形成している地域で、その自然環境の保全を図る必要があるもの               |                                                          |

用途地域等の原単位計算手順を以下に列記する。

- ① 1990年の基本の原単位(例:表-5・6のエネルギー分類①)を、土地利用現況調査の面積値により加重平均し、用途地域及び市街化調整区域内における商業系(商業業務地区、公共地区及び道路)、住居系(住宅地区及び道路)及び工業系(工業地区)の土地利用それぞれの原単位を準備する(表-6・2)。農業系は農地の原単位を読み替える。
- ② 文献<sup>99)</sup>より、用途地域及び市街化調整区域の住



(a)土地利用基本計画



(b)都市計画法

図-6・1 法令による土地利用図

居系、商業系、工業系、農業系の面積占有率を把握する。

表-6・2 用途地域等における土地利用構成

単位：％

|                               | 住居系   | 商業系   | 工業系    | 農業系 |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|
| 第一種住居専用地域                     | 95    | 3     | 2      | 0   |
| 第二種住居専用地域                     | 90    | 5     | 5      | 0   |
| 住居地域                          | 80    | 10    | 10     | 0   |
| 近隣商業地域                        | 60    | 30    | 10     | 0   |
| 商業地域                          | 30    | 60    | 10     | 0   |
| 準工業地域                         | 40    | 30    | 30     | 0   |
| 工業地域                          | 30    | 10    | 60     | 0   |
| 工業専用地域                        | 0     | 5     | 95     | 0   |
| 市街化調整区域                       | 30    | 3     | 2      | 65  |
| 各系の原単位* (kl/km <sup>2</sup> ) | 2,794 | 1,584 | 20,191 | 111 |

\* 1990年のエネルギー分類①を例示した。

- ③ ①で求めた各系の原単位に、②で求めた土地利用区分別面積占有率を乗じ、その結果を合計して新たな原単位とする (表-6・3)。

表-6・3 法令による土地利用区分の原単位

| 法令による土地利用区分 | 原単位 (kl/km <sup>2</sup> ) |
|-------------|---------------------------|
| 森林地域        | 0.241                     |
| 農業地域        | 111                       |
| 都市地域        |                           |
| 第一種住居専用地域   | 3,106                     |
| 第二種住居専用地域   | 3,603                     |
| 住居地域        | 4,413                     |
| 近隣商業地域      | 4,171                     |
| 商業地域        | 3,808                     |
| 準工業地域       | 7,650                     |
| 工業地域        | 13,111                    |
| 工業専用地域      | 19,261                    |
| 市街化調整区域     | 1,362                     |
| 自然公園地域      | 0.241                     |

このように、法令による土地利用規制に基づく土地利用区分を使って、土地利用図を作成することができ、さらにそれらの土地利用区分に対して原単位を計算することが可能である。

まとめれば、農業振興法、森林法、自然公園法、自然環境保全法での土地利用 (農地、林地) は、現在の土地利用が継続するように設定され、かつ用途も農地や森林に限定されているので、エネルギー消費等の定量評価に必要な土地利用を設定するのは容易である。逆に、都市計画法は用途地域の中に特定業種、または特定規模の建造物立地を制限する法律であって、計画法とは言え、都市の将来像を見越したものではないの

で注意を要する。このような背景より、福島県のように用途地域毎にその細分用途の目標値として、それらの充足率を設定している地域はまれと考えられる。従って、現時点で市街化調整区域等の持つ土地利用 (商業系、住居系、工業系) の面積充足率は、将来的には変化していくことを念頭に置く必要がある。

## 6.2 大気環境負荷物質循環の評価への原単位法の展開

地球環境への関心の増大とともに、地表の環境モニタリング (土地被覆の識別と、その変化を明らかにすることが主流) に対する意識は高まってきている。第5章では、そのような地表の環境モニタリングを意図して、エネルギー消費量とそれに伴う大気環境負荷量の検討を行った。しかし、自然界の物質循環を考慮すれば、大気環境負荷として排出された物質の、植物による吸収量までを検討する余地が残されている。そこで、吸収の見られる土地利用として森林、農地、裸地を取り上げ、そこでの吸収量の原単位計算方法を示す。ただし、ここでは植物の葉や枝が地上に落ち微生物により分解されてCO<sub>2</sub>が発生 (負のCO<sub>2</sub>吸収量) することは考慮していない。

ただ、植物による大気環境負荷物質の吸収については、まだ実験室内の議論の段階であり、また植物群落の代表値の選定には様々な前提の必要なのが容易に想像できる。したがって、ここでは地表という一つの閉鎖系で物質循環を考慮した環境モニタリングに対し、原単位法の展開可能性を示すことに主眼をおく。

### 6.2.1 計算概要

吸収量の計算は、まず公害健康被害補償予防協会<sup>100)</sup>による大気環境負荷物質の植物への吸収速度式、只木<sup>101)</sup>や岩城<sup>102)</sup>による植物の純生産量 (Pn) や総生産量 (Pg)、各物質の大気中の濃度測定結果を用いると可能になる。

岩城<sup>103)</sup>には土地利用区分による純生産量 (Pn) が複数記載されており、ここでは、その平均値を求めた。文献<sup>101)</sup>には森林の純生産量 (Pn) / 総生産量 (Pg) が記載されており、その平均値は0.41である。また農地は文献<sup>102)</sup>より0.55、裸地は多年生草本群落 (適当な値がなかったので農地より低い値で代用した) のPn/Pg比の0.50で代用した。以上を整理すると表-6・4になる。

SO<sub>2</sub>及びNO<sub>2</sub>の大気中の濃度は、環境庁大気保全局大気規制課<sup>104)</sup>による長野市内における大気汚染常

時監視測定局平均値を用いた。またCO<sub>2</sub>濃度は一律350ppmとした。さらに吸収速度の算出式では、濃度単位が $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ なので、NO<sub>2</sub>を例にして単位換算式と計算結果を、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>については計算結果のみ、あらかじめ示す。

\* NO<sub>2</sub>濃度=0.012ppm (25℃)

$$=(46 \times 0.012 \times 10^{-6}) / [22.4 \times 10^3 (273 + 25) / 273] = 2.3 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3$$

\* SO<sub>2</sub>濃度=0.006ppm (25℃) =  $1.6 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3$

\* CO<sub>2</sub>濃度=350ppm (25℃) =  $0.63 \mu\text{g}/\text{cm}^3$

表-6・4 植生別の総・純生産量

| 総・純生産量                  | 土 地 利 用 |    |    |
|-------------------------|---------|----|----|
|                         | 森林      | 農地 | 裸地 |
| 純生産量 (Pn) : 乾量 (t/ha・年) | 12      | 11 | 1  |
| 純生産量/総生産量 : (%)         | 41      | 55 | 50 |
| 総生産量 (Pg) : 乾量 (t/ha・年) | 29      | 20 | 2  |

## 6.2.2 原単位計算方法

### (1) CO<sub>2</sub>の吸収量

植物によるCO<sub>2</sub>の吸収量は、文献<sup>100)</sup>のデータに基づいた。植物に吸収されたCO<sub>2</sub>は、植物体を構成する多糖体の原料となる。植物体の乾重量の大部分を占める多糖体 (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) と多糖体を合成する際に取り込まれるCO<sub>2</sub>の重量比は、

$$[6\text{CO}_2] / [\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5] = 264/162 = 1.63$$

となる。植物体内で多糖体に使用されるCO<sub>2</sub>の量は、植物の総生産量 (Pg) と呼吸により植物体外に排出される呼吸量との差、つまり純生産量 (Pn) に比例することとなる。よって上の重量比を用いて、植物によるCO<sub>2</sub>の吸収量を把握する。

$$\text{CO}_2\text{原単位} = 1.63 \times \text{Pn} \times 100$$

$$\text{CO}_2\text{原単位} : \text{CO}_2\text{吸収量 (t/km}^2\cdot\text{y)}$$

$$\text{Pn} : \text{植物の純生産量 (t/ha}\cdot\text{y)}$$

次に文献<sup>103)</sup>の、純生産量からCO<sub>2</sub>の吸収量を算出した。

森林での計算手順を示せば以下のとおりとなる。

[森 林]

$$\text{CO}_2\text{原単位} = 1.63 \times \text{Pn} \times 100$$

$$= 1.63 \times 12 \times 100$$

$$= 1.96 \times 10^3 \text{ (t/km}^2\cdot\text{y)}$$

### (2) NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>の吸収量

文献<sup>100)</sup>のデータにある吸収速度をNO<sub>2</sub>を例にして示すと次式になる。

$$\text{NO}_2\text{原単位} = 15.5 \times \text{NO}_2\text{濃度} \times \text{Pg}$$

$$\text{NO}_2\text{原単位} : \text{NO}_2\text{の吸収速度}$$

$$\text{NO}_2\text{濃度} : \text{大気中のNO}_2\text{濃度 (}\mu\text{g}/\text{cm}^3\text{)}$$

$$\text{Pg} : \text{植物群落の総生産量 (t/ha}\cdot\text{y)}$$

$$15.5 : \text{定数}$$

ここでも森林を例に計算手順を示す。

[森 林]

$$\text{NO}_2\text{原単位} = 15.5 \times 2.3 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3 \times 29\text{t/ha}\cdot\text{y}$$

$$= 0.0103 \text{ t/ha}\cdot\text{y}$$

$$= 1.0 \text{ t/km}^2\cdot\text{y}$$

SO<sub>2</sub>の場合は定数が20.7である。その計算手順を森林で示すと次のようになる。

[森 林]

$$\text{SO}_2\text{原単位} = 20.7 \times 1.6 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3 \times 29\text{t/ha}\cdot\text{y}$$

$$= 0.0096 \text{ t/ha}\cdot\text{y}$$

$$= 0.96 \text{ t/km}^2\cdot\text{y}$$

全てをまとめれば表-6・5になる。

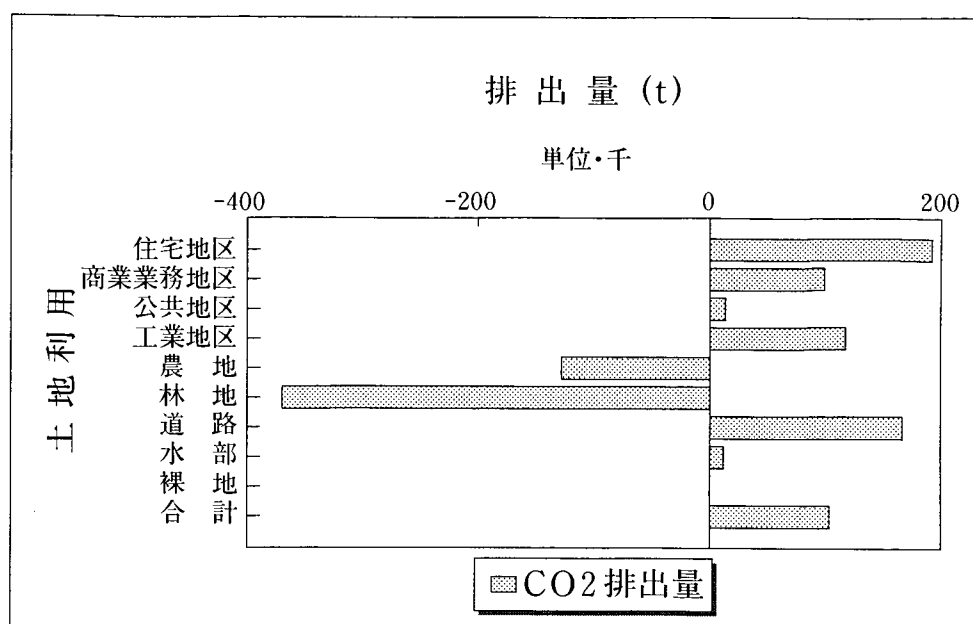
表-6・5 大気環境負荷物質の吸収量原単位

| 土地利用区分 | SO <sub>2</sub><br>t/km <sup>2</sup> ・y | NO <sub>2</sub><br>t/km <sup>2</sup> ・y | CO <sub>2</sub><br>t/km <sup>2</sup> ・y |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 森 林    | 0.96                                    | 1.0                                     | 1,960                                   |
| 農 地    | 0.66                                    | 0.71                                    | 1,790                                   |
| 裸 地    | 0.066                                   | 0.07                                    | 163                                     |

## 6.2.3 長野市のCO<sub>2</sub>の吸収量を考慮した排出量の計算

これまでのところCO<sub>2</sub>吸収量の測定は、植物生育実験でのデータにより植物1本毎または葉1枚毎に、しかも各種の植物によってある条件の下で為されていることが多い。そのような中でファイトマス量に着目して、蓄積されるCO<sub>2</sub>量を計算し、合わせて大気汚染濃度を考慮すればNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>さえも簡単に算出される手法が、文献<sup>100)</sup>によって、本研究の原単位に換算できる形でとりまとめられた。これは、地域スケールを対象にした大気環境負荷量のモニタリングを面的に行う上で大変便利である。すなわち植物群落の性格さえ何らかの手法で把握できれば、リモートセンシング技術によって大気汚染物質の吸収量が容易にかつ空間的に詳細に把握できるということを示しているからである。

次に、長野市のCO<sub>2</sub>排出量と吸収量を関係づけた分析を試みる。ここではエネルギー分類①の原単位に吸収量の原単位を加算し、その値に長野市の土地利用区分別面積を乗じた結果を示す (図-6・2)。図-6・2では

図-6.2 長野市のCO<sub>2</sub>吸収量を考慮したCO<sub>2</sub>排出量

60万 t の排出量に対し50万 t の吸収量が見込まれ、その結果、合計して1年間10万 t の排出量となっていることを読みとることができる。また、エネルギー分類②で同様の計算を行うと、さらに大きい排出量が予想される。

ちなみに、ここで用いた吸収量原単位及びCO<sub>2</sub>排出量の原単位の単位は、ともに1年あたりのものとなっているため、このような物質循環を念頭に置いた計算が可能となった。すなわち、第5章で示したエネルギー消費量や大気環境負荷物質の排出量と、吸収量の単位が共通し、またその単位を持つ土地利用空間が同一であれば、物質循環の一断面を土地利用空間におき、観察の時間幅を1年とした大気環境モニタリングができることになる。

## 7. 考 察

本章では、原単位法の持つ環境の定量評価の精度について検討するとともに、原単位法の意義について議論する。原単位法の持つ精度については、原単位の計算過程に関わる問題と、原単位法による定量評価結果に関わる問題に分けて検討する。

### 7.1 原単位計算のための土地利用面積の把握方法の妥当性

まず、原単位計算での原単位の値の違いは、第3及び5章で検討したように、分母とする土地利用面積の

把握の手法と関係が深い。

第3、4、5章では、土地利用空間の分布は細密数値情報やランドサットデータ、原単位計算の分母とする土地利用区分別面積は土地利用現況調査の情報やランドサットデータより、それぞれ把握した。これは、情報整備の行き届いた特別な場合を除き、土地利用分布の情報とその面積情報が対応づけられて整理されている場合がまれなことを考慮したからである。しかし、分布情報を合わせ持つ面積と、別途把握した面積情報との相違は、原単位の値の違いに大きく関わってくる。

まず、分布情報から得られた面積値（細密数値情報）と、原単位計算に用いた面積値（土地利用現況調査）との比較を第3章で行った。その結果、細密数値情報からの面積値は、原単位計算の分母とした面積値の0.65～1.67倍で把握されており、中でも居住地、公共地区、農地では1倍に近い値であることが明らかにされた。ちなみに、黒木・赤桐<sup>79)</sup>は、建設省国土地理院の土地利用図と土地利用現況調査の面積値の比較を行っており、両者はほぼ一致する値が示されている。

次に、建設省国土地理院の土地利用図と、ランドサットによる土地利用図の各面積値の比較を第5章で行った。その結果、ランドサットからの面積値は数値的には50%程度の把握率であるが、土地利用区分を少なくすることで区分精度が向上することが示された。また、植生に由来する土地利用区分は、さらに精度よく区分できることも示されている。

第5章では、面積値の把握が定量評価結果に与える影響についても検討した。その結果、単純な土地利用区分であれば、土地利用区分毎の評価でも総量評価でも、統計資料の値と近い結果が算出でき、エネルギー消費量等の定量評価を、ランドサットによる土地利用図を用いた原単位法で行う有効性が示された。

以上より、土地利用空間の分布を示す情報（土地利用図など）において、土地利用面積が把握されていない場合、他の面積情報を用いて原単位を計算することや、土地利用図と原単位を組み合わせ環境要素の定量評価を行うことは、ともに妥当な手法であることが示されたものと考えられる。

## 7.2 原単位法による評価結果の精度

本研究の成果を比較検討できる様々な先行研究が、環境に関する諸課題に対して見られる。ここでは、本研究で第一次近似として計算した結果と、先行研究での結果の数量的な差について検討し、原単位法による定量評価の精度について考察する。

### 7.2.1 資産の原単位を用いた影響予測1（濃尾平野）

手法も対象地域も異なる他の研究結果との間接的な比較から、第3章の結果の精度を検討する。

表-7・1は、文献1（松井ほか<sup>36)</sup>）、文献2（東大先

端科研<sup>35)</sup>）、文献3（黒木・赤桐<sup>38)</sup>）を用い、それぞれが提示した海面上昇1mの予測結果を、第3章の濃尾平野での結果と比較したものである。対象とした地域によって、標高1m以下の面積が異なることが予測結果の違いを生んでいるし、また面積以外にも資産価値の違いや手法の違いも結果に少なからぬ影響を与えているものと思われる。そのままでは比較検討できないので、文献1及び2、並びに3の結果が248.7km<sup>2</sup>の地域になされた場合の結果を計算し、さらに第3章の結果に対するそれらの割合（濃尾平野の標高1m以下の面積248.7km<sup>2</sup>での予測結果を1とする）を示した。

まず、文献2による関東平野における標高1m以下の地域に存在する土地の損失を見ると、濃尾平野の4.8～5.7倍となっている。この結果は、関東平野の方が資産価値が高いという現実を適切に示しており、逆に言えば第3章の結果がさほど特異な結果ではないことを間接的に示しているものと考えられる。

次に、熊本平野を対象とした文献3の結果は、濃尾平野に対して土地で0.28、固定資産で0.25、被災人口で0.34と、すべて3割程度の比率を示す。これは中京地区の中心の名古屋市を擁する濃尾平野に対して、熊本市を擁する熊本平野の単位面積当たりの資産価値が3割程度であることを示している。この結果は、熊本平野の方が資産価値が低いという現実を適切に示してお

表-7・1 海面上昇に関する他の研究結果との比較1

| 研 究 名                          | 文献1 <sup>36)</sup> | 文献2 <sup>35)</sup> | 文献3 <sup>38)</sup> | 第3章     |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 対 象 地 域                        | 全 国                | 関東平野               | 熊本平野               | 濃尾平野    |
| 1m以下の面積 (km <sup>2</sup> )     | 678.5              | 98.3               | 9.78               | 248.7   |
| 土地の損失 (円)                      | データ無               | 68.4～80.4兆         | 3,936億             |         |
| 仮に248.7km <sup>2</sup> の場合 (円) |                    | 173.1～203.4兆       | 10.0兆              | 36.0兆   |
| 第3章との比較*1 (倍)                  |                    | 4.8～5.7            | 0.28               | 1       |
| 固定資産の損失 (円)                    | 53.2兆              | データ無               | 4,307億*2           |         |
| 仮に248.7km <sup>2</sup> の場合 (円) | 19.5兆              |                    | 10.9兆              | 43.8兆*2 |
| 第3章との比較*1 (倍)                  | 0.45               |                    | 0.25               | 1       |
| 被災人口 (人)                       | 178万               | データ無               | 1.0万               |         |
| 仮に248.7km <sup>2</sup> の場合 (人) | 65.2万              |                    | 25.4万              | 75.6万   |
| 第3章との比較*1 (倍)                  | 0.86               |                    | 0.34               | 1       |

\*1 第3章の結果を1とした場合の比率。

\*2 文献3及び第3章の固定資産は、土地、償却資産、構造物資産を考慮した。

り、逆に言えば第3章の結果がさほど特異な結果ではないことを間接的に示しているものと考える。

最後に、全国を対象にした文献1で示された固定資産の損失の結果は、濃尾平野の0.45倍であり、濃尾平野の方が約2倍の結果になっている。また、文献1の被災人口の結果は、濃尾平野の0.86倍を示しているが、こちらはかなり近似した値である。ともに濃尾平野よりも低い値であるが、熊本平野よりは濃尾平野の値に近い。

このように見ていくと、濃尾平野を基準として見た各研究の結果の値の大きさが、どの項目でも関東平野→濃尾平野→全国→熊本平野の順に並んでいることが確認できる。このことは海面上昇の影響予測結果の値が、資産の分布密度と密接なつながりがあることを明確に示している。また、そのような資産の分布のある地域を対象に、海面上昇の影響予測を行う場合、地域構造を正しく把握し、適切な原単位を設定して予測する原単位法は妥当な結果を示すことができることが明らかになった。

ただ、全国規模で行われた文献1の固定資産（地価を含む）の損失が、関東平野で行われた文献2の土地の損失よりも小さくなっていることが奇異に感じられ

る。このことはこの種の予測計算において、用いるデータや手法により相当の値の開きを生じる可能性がもともとあることを示している。

## 7.2.2 資産の原単位を用いた影響予測2（バンパコン地域）

松井ほか<sup>36)</sup>や東大先端科研<sup>35)</sup>のような、海面上昇の影響予測を行った先行研究がない場合、既存研究との比較検討は直接には行うことができない。そこで、黒木・赤桐<sup>66)</sup>が行ったバンコク市地域の影響予測結果に加え、日本での原単位法を用いた予測結果の示された第3章、黒木・赤桐<sup>38)</sup>を用いて、第4章の結果の精度を検討する。

表-7・2は、第3章、文献A（黒木・赤桐<sup>38)</sup>）、文献B（黒木・赤桐<sup>66)</sup>）を用い、それぞれが提示した海面上昇1mの予測結果を第4章のバンパコン地域での結果と比較したものである。対象とした地域によって、標高1m以下の面積が異なることが予測結果の違いを生んでいるし、また面積以外にも資産価値の違いや経済力の違いが結果に少なからぬ影響を与えているものと思われる。そのままでは比較検討できないので、第3章及び文献A、並びに文献Bの結果が460km<sup>2</sup>の地域

表-7・2 海面上昇に関する他の研究結果との比較2

| 研 究 名                        | 第3章     | 文献A <sup>38)</sup> | 文献B <sup>66)</sup> | 第4章     |
|------------------------------|---------|--------------------|--------------------|---------|
| 対 象 地 域                      | 濃尾平野    | 熊本平野               | バンコク地域             | バンパコン地域 |
| 1m以下の面積 (km <sup>2</sup> )   | 248.7   | 9.8                | 1,200              | 460     |
| 土地の損失*1 (円)                  | 36.0兆   | 3,936億             | 3,200億             |         |
| 仮に460km <sup>2</sup> の場合 (円) | 66.6兆   | 18.5兆              | 1,227億             | 6.5兆    |
| 第4章との比較*2 (倍)                | 10.2    | 2.8                | 0.019              | 1       |
| 生産性の損失*1 (円)                 | 3.5兆    | 17.5億              | 1.5兆               |         |
| 仮に460km <sup>2</sup> の場合 (円) | 6.5兆    | 821億               | 5,750億             | 62.3億*2 |
| 第4章との比較*2 (倍)                | 1,038.5 | 13.2               | 92.3               | 1       |
| 被災居住人口 (人)                   | 75.6万   | 1.0万               | 277.3万             |         |
| 仮に460km <sup>2</sup> の場合 (人) | 139.8万  | 46.9万              | 106.3万             | 12.2万   |
| 第4章との比較*2 (倍)                | 11.5    | 3.8                | 8.7                | 1       |
| 被災就業人口 (人)                   | 42.3万   | 0.11万              | データ無               |         |
| 仮に460km <sup>2</sup> の場合 (人) | 78.2万   | 5.2万               |                    | 5.6万    |
| 第4章との比較*2 (倍)                | 14.0    | 0.93               |                    | 1       |

\*1 1パーツを5円で日本円に換算した。

\*2 第4章の結果を1とした場合の比率。

になされた場合の結果を計算し、さらに第4章の結果に対するそれらの割合（バンパコン地域の標高1 m以下の面積460km<sup>2</sup>での予測結果を1とする）を示した。

第3章で指摘したように、日本の都市の階層を反映した資産の分布密度の差に起因し、濃尾平野と熊本平野とでの損失額の比は、土地では4：1、生産性では80：1、居住人口では3：1、就業人口では15：1の比率となっている。そこでタイ国のバンコク地域とバンパコン地域の損失額の比を見ると、土地以外で、生産性が92：1、居住人口で9：1となっている。この結果から、首都であるバンコクを含むバンコク地域と日本とは、大変似通った資産の分布密度を反映した結果が示されているものと考えられる。また、土地の損失額の予測結果がバンコク地域で小さすぎる異常値を示していることが奇異であり、バンコク地域での影響予測における機械処理上の計算違いの可能性を否定できない。

さらに、バンパコン地域を基準として見た各研究の結果の値の大きさが、土地を除けばどの項目でも濃尾平野→バンコク地域→熊本平野→バンパコン地域の順に並んでいることが確認できる。よってこれより海面上昇の影響予測は、資料整備状況や原単位を設定する地域スケール等の相違があったとしても、土地利用区分に着目した原単位法で妥当な値を示すことができるものとする。

### 7.2.3 エネルギー消費量等の原単位を用いた定量評価（長野市）

エネルギー消費量等の原単位は、対象地域のエネルギー消費の総量を統計資料から把握した後に、各土地利用区分に振り分けて把握した。よって対象地域内の家一軒のような狭い範囲を見れば、実態にそぐわないように見えるかもしれないが、土地利用区分毎に平均化された値であるという見方をとれば桁違いの値となっているものとは考えにくい。ただ、その値が既存の研究の結果と比較してどの程度妥当なものか、どの程度の誤差を含んでいるのかを確認する必要がある。

しかし、エネルギー消費及び大気環境負荷量調査は、日本国を対象にする一方で、一軒、一台という両極端なスケールでの調査が主流となっていたため、本研究で扱った長野市のような中規模の地域での調査事例が少ない。行われたとしてもサンプル調査の積み上げによる推定手法しかなかったし、調査は様々な機関が別個に、興味の対象である環境要素のみに着目し実施しているので、統一された測定方法、統一した単位での把握はなされてこなかった。従って、本研究での精度を検証するための基準となる研究成果はないといっても過言ではない。ただ、近年の地球温暖化に関わっているとされるCO<sub>2</sub>排出量の研究の中に、一部本研究の成果と比較検討できるものが見受けられた。

そこで、全国におけるCO<sub>2</sub>排出総量をまとめた公害資源研究所地球環境特別研究室<sup>105)</sup>と、全国における道路からのCO<sub>2</sub>排出総量を求めた才木・中沢<sup>106)</sup>の成果、千葉県でのCO<sub>2</sub>排出総量をまとめた伊藤ほか<sup>78)</sup>、茨城県及び土浦市でのCO<sub>2</sub>排出総量をまとめた黒木・赤桐<sup>79)</sup>の結果を用いて、第5章の結果との比較検討を

表-7・3 原単位法による計算結果（CO<sub>2</sub>排出量）と他の研究結果との比較

| 対象地域  | CO <sub>2</sub> 排出総量<br>(百万t) |     |        |     | 人口1990*6<br>(千人) [比率] | 道路からのCO <sub>2</sub> 排出量<br>(百万t) |     |      |    |
|-------|-------------------------------|-----|--------|-----|-----------------------|-----------------------------------|-----|------|----|
|       | 分類①                           | 比率  | 分類②    | 比率  |                       | 分類①                               | 比率  | 分類②  | 比率 |
| 全国*1  | 609.00                        | 967 | —      | —   | 123,611 [356]         | 144.18                            | 848 | —    | —  |
| 千葉県*2 | 85.10                         | 135 | 115.90 | 119 | 5,555 [16]            | 11.70                             | 69  | —    | —  |
| 茨城県*3 | 21.30                         | 34  | —      | —   | 2,845 [8.2]           | 0.76                              | 4.5 | —    | —  |
| 長野県*4 | 8.69                          | 14  | 12.82  | 13  | 2,157 [6.2]           | 3.75                              | 22  | 3.80 | 22 |
| 長野市*4 | 0.63                          | 1   | 0.97   | 1   | 347 [1]               | 0.17                              | 1   | 0.17 | 1  |
| 長野市*5 | 0.69                          | 1.1 | 1.13   | 1.2 | 347 [1]               | —                                 | —   | —    | —  |
| 土浦市*3 | 0.63                          | 1   | —      | —   | 127 [0.4]             | 0.02                              | 0.1 | —    | —  |

\*1 総量：公害資源研究所地球環境特別研究室<sup>105)</sup>、道路：才木・中沢<sup>106)</sup>

\*2 伊藤ほか<sup>78)</sup>

\*3 黒木・赤桐<sup>79)</sup>

\*4 第5章の統計資料からの計算結果

\*5 第5章のランドサットの土地利用図からの計算結果

\*6 総務庁統計局<sup>107)</sup>

行う。そのままでは比較できないので、総務庁統計局<sup>107)</sup>から把握した1990年の人口比を使って検討した(表-7・3)。まず各々を比較しやすいように、第5章の結果のうち、長野市における統計資料からの計算結果及び人口を1とし、それ以外の結果及び人口の比率を求めた。

結論から言えば、各研究結果のCO<sub>2</sub>排出総量が、人口とほぼ共通する割合を持つことが読みとれる。従って、他の研究結果が正しいものとする、第5章の結果は、人口での比較から桁違いの値を示しているとは考えにくく、妥当な数値が算出されているものと考ええる。特に、千葉県の人口は長野県と比べ3倍のところ、そのエネルギー分類①、②のCO<sub>2</sub>排出総量が9倍となっていることは、伊藤ほか<sup>78)</sup>で指摘しているように、千葉県における工業地区でのエネルギー消費量が大きいことを如実に示しているものと思われる。また、同じ原単位法で計算した黒木・赤桐<sup>79)</sup>の研究結果との比較では、同じ人口規模の県全体でみると茨城県が長野県の約3倍の総排出量で、長野市の約1/3の人口を持つ土浦市が、長野市の排出総量と近い値を示している。これより、長野県の県民一人当たりのエネルギー消費量をはじめCO<sub>2</sub>排出量等の環境負荷物質の排出量は、茨城県の1/3であることが明らかとなる。一方、道路からのCO<sub>2</sub>排出量は、黒木・赤桐<sup>79)</sup>の結果以外では、人口とほぼ共通する割合を持つことが読みとれる。原単位法を用いた黒木・赤桐<sup>79)</sup>の結果と第5章の結果が人口比率と大きく異なった比率を示している原因には、換算係数や原単位の求め方の相違や、地域の特性と関わる利用交通機関の相違などがあるものと考えられる。

以上の検討より、エネルギー消費量等の環境要素においても、適切な土地利用図と、その土地利用区分に合わせた原単位を用意することで、海面上昇の影響予測と同様のオーバーレイ法によって、任意の地域の環境諸量の妥当な値を求められることが明らかとなった。

## 7.3 環境要素の定量評価の視点

### 7.3.1 原単位と土地利用図の土地利用区分の対応方法の整理

第3章では、原単位を計算する土地利用区分と土地利用分布を示すための土地利用区分の区分数が等しい、基本的な原単位法について検討した(図-3・4)。

それに対して、第5章や6章では、基本的な原単位を用いて、様々な土地利用区分に新たな原単位を再計

算する手法を明らかにした。その基本的な原単位を計算する土地利用区分と、土地利用分布を示すための土地利用区分との対応関係を示すと図-7・1のようになる。

一方、第4章のバンパコン地域は、原単位を計算する土地利用区分が極端に少なく、かつ社会経済的資産項目毎に原単位を計算する土地利用区分が異なり、さらにそこは土地利用分布を示す土地利用図の土地利用区分も少なかった。そこで、土地利用分布を示す土地利用区分を逆に基本とし、その複数の土地利用に1つの原単位を当てはめる、あるいは1つの土地利用に2つの原単位を当てはめるなどの対応手法を用いた(図-4・7)。これは第3章及び第5章の原単位の用い方をさらに発展させたものである。

つまり、環境要素の定量評価に原単位法を用いる場合、原単位を求める基本的な土地利用区分と土地利用分布を示す土地利用図の区分とが完全に一致する必要はない。一致しない場合に、土地利用分布を示す土地利用図の区分に原単位の計算された土地利用区分を読み替えるか、もしくは土地利用分布を示す土地利用図の区分にあう原単位を、基本的な原単位から再計算するかで対応することが十分可能である。このようなフレキシブルな手法が適用できることも、土地利用に着目した原単位法の特色といえる。このような原単位と土地利用図の区分の対応方法については、黒木<sup>108)</sup>が、国内、海外の6地域で行った研究成果を踏まえた事例紹介をしている。

### 7.3.2 環境要素の分布の認知

土地利用区分(空間)に対して原単位を計算する際には、その土地利用空間内に、目的の環境要素が均質な密度をもって分布するという前提がある。その前提は意味がないと批判されるなら、逆にその土地利用区分を変更する必要がある。また、原単位を計算するのに用いる環境要素の量を示すデータ取得における観察方法と整理方法を再検討する必要もある。つまり、環境要素の分布の認知は、地域区分スケールや時間スケールの相違を十分考慮した上で行わなければならない。

我々の認知する地理的事象の最小のものである家1軒、車1台等々は、社会が営まれ、地球が生きている限り、ある1点の空間上に止まることはない。これは、人文地理学で扱ってきた人間、社会経済的資産、気候学で扱ってきた水や大気環境負荷物質、地形学で扱ってきた砂礫、溶岩等すべてに共通することで、それら

| 基本の原単位 |  | ランドサット<br>(1979年) | ランドサット<br>(1992年) | 国土利用基本法：都市計画法          |                                |          |
|--------|--|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|----------|
| 住宅地区   |  |                   |                   | [ ] は農業振興法、( ) はその他の法律 |                                |          |
| 公共地区   |  | 一般市街地             | 住宅地区              | 住居系                    | 第一種住居専用地域<br>第二種住居専用地域<br>住居地域 | 市 農      |
|        |  |                   |                   |                        |                                |          |
| 商業地区   |  | 密集市街地             | 密集市街地             | 商業系                    | 近隣商業地域<br>商業地域                 | 街 用      |
|        |  |                   |                   |                        |                                |          |
| 工業地区   |  |                   |                   |                        |                                | 化 地      |
|        |  |                   |                   |                        |                                |          |
| 農 地    |  |                   | 工業地区              | 工業系                    | 準工業地域<br>工業地域<br>工業専用地域        | 調 区      |
|        |  |                   |                   |                        |                                |          |
| 林 地    |  | 草 地               | 草 地               |                        | [ 農用地区域 ]                      | 整 域<br>区 |
|        |  |                   |                   |                        |                                |          |
| 道 路    |  | 森 林               | 森 林               |                        | ( 森林法 )<br>( 自然公園法 )           |          |
|        |  |                   |                   |                        |                                |          |
| 水 部    |  |                   |                   |                        |                                | 域 外      |
|        |  |                   |                   |                        |                                |          |
|        |  | 水 域               | 水 域               |                        |                                |          |

図-7・1 基本的な原単位と土地利用分布を示す土地利用区分との対応関係  
\* 図の縦軸方向が土地利用区分を示し、横軸方向が土地利用区分を行った手法等を示す。

の観察条件の設定如何では、認知された存在場所や形態は大きく異なってくる。

例えば、兵庫県南部地震の被害について、その被害程度の認識基準、調査時間、調査方法、担当員数、さらに収集データの解釈方法等の相違により、様々な被害分布が認識されたことがある。中でも、嶋本<sup>109)</sup>が六甲山地南麓の1本の帯状の被害分布があり、「震災の帯」として提唱したことは広く知られている。そのほかにも、個別の被害状況を地図上に表現した建設省国土地理院<sup>110)</sup>、建物被害を中心に被害状況をまとめた財団法人建設工学研究所<sup>111)</sup>や香川<sup>112)</sup>、電柱の被害をまとめた宮田ほか<sup>113)</sup>、道路のクラックに着目した竹村<sup>114)</sup>などにより、様々な被害分布図が示された。中でも、竹村<sup>114)</sup>は、道路のクラックの分布に、被害の少ない帯状の地域が「震災の帯」の中に認められることを示している。それ以外にも、独自のデータを用いた多くの被害分布図が示されたが、一つとして同じ分布とはなっていない。

黒木ほか<sup>115)</sup>は、そのような被害分布形態が異なる原因を検討するため、文献<sup>110)</sup>を基礎データとして、基準のスケールの大きさを変えた編集方法を用いることで、被害分布形態が変化することを明らかにした。また、被害の原因をより正確に議論するには、適切なスケールで編集した被害分布図を用いる必要があることも示した。

すなわち、これまで地理学で様々な分析に用いられてきた情報は、地理情報として我々の認知する最小の事象（例えば、文献<sup>110)</sup>の情報）の、ある程度の小計値（例えば、文献<sup>115)</sup>の編集結果）として整理されてきた。故に整理された結果は、地理的事象の、ある種類における、ある代表サンプルの、ある時間内での観察を、ある空間上で、あるスケールの基準（分解能に例えられる）を設定して把握した数値となる。その際、その空間上では、全種類における、全サンプルの、全時間において、上記条件での観察結果が適用できるという暗黙の了解が存在する。これより、環境要素の分布を地理的事象として認知するには、事象の種類？、代表性？、どこ？、いつ？、どの程度の分解能？、という、環境要素の「単位」と密接に関わる変数を正確に把握するとともに、観察条件の共通の認識が必要となる。

従って、本研究の土地利用に着目した原単位法の議論の中で扱った、環境要素の分布の認知に関わる変数についても、最小の地理的事象の認知方法と同様の整理をすれば、以下ようになる。

「事象」は、社会経済的資産の様々なものや、エネルギー消費量等のいわゆる環境要素に相当する。

「種類」は、土地利用区分の種類に相当する。

「代表性」は、原単位を計算した代表的な空間に相当する。

「どこ」は、ある土地利用空間の単位面積内に相当する。

「いつ」は、第3、4章では永久あるいは1年間に、第5章は1年間に相当する。

まとめれば、原単位法を環境要素の定量評価に用いる場合、「事象の種類」、「代表性」、「どこ」、「いつ」を明らかにした原単位を用いる限り、環境要素の分布の認知において、土地利用図作成の精度（分解能）と関係する土地利用空間の位置及び、土地利用空間の種類の明示された土地利用図を用いることは、十分に妥当な方法であると考ええる。

換言すれば、原単位法は、環境諸要素の地理的分布の認知に関わる各変数を適切に設定することにより、最小の地理的事象の認知方法との単純なアナロジーではなく、各事象の分布原理に関する科学的な論理に基づいた、環境要素（分布事象）と空間（分布対象）との妥当な読み替えを行い、その結果を用いた応用地理学的手法と考える。

### 7.3.3 土地利用空間の次元と原単位法の今後

本研究で用いた原単位は、ある観察年の、ある土地利用空間上の単位面積当たりの静的な値である。また、土地利用図は、ある観察年を通して継続して適用される静的なものと考えた。

しかし、現実の土地利用空間は、①戸所<sup>116)</sup>に示されたように一部では立体的な構造を持ち、また②第5章で検討したように経年変化がある。同時に③原単位は、物価の変動により、あるいは土地利用空間の利用密度の変化により、当然変化していく動的なものである。

①について言えば、地上及び地下空間の利用、さらには宇宙空間の3次元的な利用が無視できなくなった場合に、「単位体積あたり」の原単位を考慮していく必要が生じるであろう。しかし現在は、接地している地表面の「単位面積あたり」で原単位を設定しても問題が生じることは少ないものと考ええる。

②について言えば、すでに永山<sup>117)</sup>により、土地条件を変数とした土地利用空間の変動予測手法の開発が試みられている。また、第6章では、法令の規制による将来の土地利用予測を用いた原単位法の適用例を検

討した。このような土地利用空間の変化は、今後の検討に加えるべきと考える。

③について言えば、将来の経済成長（変動）と密接な関係があるので、時間の関数で原単位を示す必要が生じるかもしれない。現在のところ、第5章のように予測された大まかな数値に合うよう原単位を手計算で求めることで十分対応できるものとする。

このように、原単位法を適用する土地利用空間を平面的な2次元空間から3次元空間へ展開することや、4つめの次元として時間軸を取り入れることなど、社会変化や学問の進歩とともに、原単位法における今後の検討課題は増えていくものとする。

## 7.4 本研究のまとめ

人文地理学のような社会科学で扱う空間を構成する環境要素には、社会経済的資産やエネルギー消費等にとどまらず、より多くの種類やスケールのものが考えられる。よって、これまで情報として整備されてきた家1軒や車1台といった地理的事象の最小のものから、一筆の田畑や住宅の敷地も含めたすべてが環境要素とみなせる。ただし、各々が属する（分布する）空間は、行政区単位として認知されるのみであり、その制約の中でこれまでの地理学的な研究（第1章で述べた地域性を明らかにする研究、あるいは分布や移動に関する研究）が進められてきた。しかし、地理学の科学性がそこに存在するとした松井<sup>2)</sup>による、分布事象と分布対象の比較研究は、あまり注目されなかったように思われる。従って、各事象は共通する社会経済活動によって等質のものが集まり、様々な土地利用空間を形成していることが明らかにされるものの、その空間を単位とした分布状況や量の評価方法がまだ十分に検討されていなかった。

一方、地形学のような自然科学で扱う空間を構成する環境要素には、礫や溶岩等に関わらず、より多くの種類やスケールのものが考えられる。よって、これまで観察、測定されてきたA火山灰層やB礫層といった地理的事象の最小のものから、火砕流台地や扇状地等の地形区分も含めたすべてが環境要素とみなせる。しかし、社会科学と異なり、各々が属する（分布する）空間は、すでに地形区分にあり、これまでその枠組みの中で地理学的な研究（年代、分布、地形形成営力に関する問題）が進められてきた。すなわち地形学では、分布事象の地形に対し、分布対象の気候区（帯）を推定するという多くの研究に代表されるように、地理学の科学性に則した研究の流れが定着していたように見

える。従って、各事象は地形区分内において、その空間を単位とした分布状況や量の評価及び評価方法に関する研究、さらには地形存在の背景にある地球環境の研究が精力的に進められているのが現状と言える。田村<sup>118)</sup>は、そのような地形学の現状についてレビューした。その中で地形には4つの属性「かたち」、「もの」、「うごき」、「とし」があるとしている。地形学では、これらの「かたち」、「もの」、「うごき」、「とし」を認知し、分布事象である地形という空間単位を定め、その地形の空間分布を明らかにして、分布特性や地形構成要素の定量評価などを行いながら、形成要因を推定してきた。このような地形学の手法は、本研究で議論した原単位法において、環境要素の分布の認知に、「事象の種類」、「代表性」、「どこ」、「いつ」を明らかにする必要を認め、そこで明らかになった分布事象を、ある問題の所在する分布対象である空間に読み替え、オーバーレイし定量評価する作業と共通する論理構成を持つものとする。

従って、自然地理学と一線を画するように思われる人文地理学でも、これまで同様、空間構造の研究が進められるとともに、さらにその空間の持つ環境要素の定量評価法、またはその利用法の研究も今後必要になるのではないかと考えられる。少なくとも、土地利用に着目した原単位法における原単位は、行政区分以外の土地利用空間の持つ環境要素の量であり、また、地盤高図や行政区分図を土地利用図にオーバーレイし、目的の空間内にある環境要素の量を明らかにすることは、分布事象と分布対象の関係を科学する地理学の本質に基づいた環境要素の定量評価法の一つとみなせる。

オーバーレイ法は地理学における空間分析のオーソドックスな1手法である。それゆえに、GISの主要な利用法の一つに地理情報のオーバーレイがあり、目的の地域の最小の地理的事象の量的な分析が容易にできるようになってきた。現在の所、それらの情報は、海岸線以外では不可視的な境界線で囲まれる行政区分毎に整理されるのが常である。従って、オーバーレイもその範囲の中でなされる制約がある。しかし、土地利用空間に環境要素の原単位を計算しておけば、土地利用図と行政区分図、土地利用図と地盤高図等のオーバーレイにより、行政区分にとらわれず環境要素の分布を考慮した、新たな空間分析が可能となる。本研究では海面上昇の影響予測とエネルギー消費量の定量評価という問題の解決法として、そのオーバーレイ法を用いた新たな空間分析法を提示した。

なお、田村<sup>118)</sup>は、自然地理学における「地形は可

視的なもの」あるいは「環境とはその主体にとっては何よりも空間的実体・・・」とし、区分される地形は実体のあるものと見ている。一方、人文地理学における実体のあるものによって構成される土地利用空間は、最低1年程度は継続して観察し続けてはじめて可視的なものとなる。従って、地形を観察するような短時間であれば、単に土地利用空間を構成する家、植栽、農作物が見えるだけなので、構造を持った空間の認知は難しい。また、人間、商品、車等の動きのある環境要素の存在場所は、観察する時間と観察者の違いにより、結果が大きく変わってくる。つまり、不確定性理論の導入部で紹介される現象が、地理学における空間認知においても発生する問題であり、観察にいくつかの条件を設定し、かつ観察結果の整理において適切な区分を設定しなければ空間の実体を明らかにできないことは明らかである。

これは、地形を構成する環境要素の存在時間（数千年から数十万年）と、土地利用空間を構成する環境要素の存在時間（車なら数秒、家なら数十年、在庫資産なら数日）の違いと、人間の継続して観察できる時間（アニメーションのコマ送り間隔～1日程度）に由来する。また、地形空間と異なり、土地利用空間内の環境要素の存在時間にばらつきがあることにも由来する。一方で、このような存在時間の相違をあまり考慮せず、地理情報は整備されつつある。本研究では原単位の適用できる土地利用分布がある程度継続するものとして扱うとともに、生産性やエネルギー消費量等の原単位に、土地利用空間で環境要素の存在時間の最小公倍数と考えられる1年間に観察できる数量を表す単位「/1年」を設けることにより、観察における時間スケールを設定した。さらに、第3章のように原単位を求める空間スケールを様々に変える手法も提示した。

#### 7.4.1 原単位法を用いた環境要素の定量評価

本研究で開発した原単位法は、「読み替えや単位換算を用いた原単位の計算」、「地理情報のオーバーレイによる目的地域の抽出」、「原単位と土地利用空間との関係の明示」、「抽出した目的地域について、原単位を用いた定量評価」の4要素から構成される。

これらについて詳述すると以下のようにまとめられる。

- ① 基本的な土地利用区分に対応する原単位を、次の4段階を通じて計算する。

- 1 原単位は単位面積当たりの環境要素の量（環

境諸量）とみなす。

- 2 同じ原単位を適用する地域スケールの吟味を行う。

- 3 環境要素を観察する時間の条件を考慮して、原単位の単位を定める。

- 4 単位空間として基本的な土地利用区分を用い、土地利用区分ごとの環境要素の原単位を、単位換算と読み替えにより計算する。

- ② 定量評価を行う空間を、次の3段階を通じて地理情報のオーバーレイにより抽出する。

- 1 一般的な土地利用図、人工衛星による土地被覆図、土地利用計画図などの各種の土地利用図を用いて環境要素の空間分布を把握する。

- 2 オーバーレイする地理情報に、定量評価の対象とする環境要素の種類に応じて土地利用図、地盤高図、行政区分図などを用いる。

- 3 たとえば土地利用図と地盤高図のオーバーレイにより、海面上昇の影響予測のための空間を、また土地利用図と行政区分図（任意の範囲）のオーバーレイにより、エネルギー消費量などの定量評価のための空間を抽出する。

- ③ 環境要素の定量評価に必要な、土地利用空間と原単位は次の3パターンで対応付ける。

- 1 土地利用図の持つ空間分類と、原単位を求めた土地利用区分が同じ場合：ある土地利用空間に、同じ土地利用種の原単位を対応づける。

- 2 土地利用図が、原単位を求めた土地利用区分よりも少ない空間分類を持つ場合：複数の原単位を組み合わせたり、面積配分したりして新たな原単位を作り、原単位を求められなかった土地利用空間にそれらを対応づける。

- 3 土地利用図が、原単位を求めた土地利用区分よりも多くの空間分類を持つ場合：1つの原単位を、関連する複数の土地利用空間に対応づける。

- ④ 対象の空間の持つ環境要素の定量評価を次の2項目で行う。

- 1 抽出された対象となる空間の土地利用区分別面積に、土地利用区分毎の原単位を乗じ、土地利用区分毎の環境諸量をそれぞれ求める。

- 2 土地利用区分毎の環境諸量を加算し、対象の空間の環境諸量の合計値を求める。

本研究で事例とした課題のA「海面上昇による影響予測」とB「エネルギー消費量等の定量評価」はともに、ある地域に存在するある主題の量を把握すると

いう点で同じ性格を持つ課題であり、ゆえに両者に対して原単位法を適用して問題の解決を図った。しかし、AとBの環境要素の定量評価手法の間には、既述した原単位法を構成する4要素の中で数多くのテクニックの違いがある。代表的なものを挙げれば、次の2点になろう。

まず第一に、Aにおいては原単位は固定的で（対策は無視される）、積み上げ方式に資産の評価を行うが、Bにおいては、原単位も土地利用別面積も変化し、むしろ変化に対応して評価するという違いである。

第二に、Aにおいては環境要素は対応する土地利用空間上に存在すると見なして資産の評価を行うが、Bの環境要素は対応する土地利用空間上以外にも、土地利用空間を維持するために背後に存在するものまで土地利用空間に関連づけて、エネルギー消費量等の評価を行うという違いである。

このように原単位法は、様々な環境問題の解決に対し、原単位法の根幹となる「土地利用空間を媒介とする」ということを変えることなく、極めて自由にかつ大胆に適用方法を変形させることができるという特色を持っていると言える。

#### 7.4.2 本研究の意義

土地利用に着目した原単位を用いた環境要素の定量評価法である原単位法を開発し、その有効性を明らかにしたことの、地理学における意義を項目毎にまとめると次の3点になる。

- ① 環境要素の定量評価が必要な環境問題の解決に、地理情報のオーバーレイで対象空間を抽出し、さらに観察の空間スケールと時間スケールを正確に設定しなければならない原単位の導入を図ったことは、地理学における「分布論（兼オーバーレイ論）の再構築」に位置づけられるものである。
- ② 土地利用空間に環境要素の原単位を計算したことは、「環境研究におけるarealな視点の有効性を示すもの」である。
- ③ オーバーレイを行う地理情報の中で、環境要素の分布を表すものとして土地利用図の利用を図ったことは、「土地利用図の新たな活用例を提示するもの」である。

なお、建設省では、環境の実態とその変動を、位置とともに把握した環境地理情報を整備する必要性から、これまでの土地利用図作成以外に、「地球地図」という地球規模での土地利用情報の整備が進められている<sup>119)</sup>。現在のところ、そのような土地利用情報整備

後の利用手法の検討はなされていないが、将来行政その他の実務側で行われる地球環境問題等の様々な分析に原単位法を用いるようになれば、次のような利点があるものと考ええる。

- A：自然災害や地域計画の経済見積もり等について、最小の地理的事象を個々に扱うのではなく、土地利用空間単位を扱うことで、情報量の軽減ができる。
- B：大まかな地域計画を立案する場合の、様々な環境要素の数値根拠を容易に提示できる。
- C：土地被覆面積以外の環境要素の定量評価を環境モニタリングに導入できる。
- D：現在進められている地理情報のデータベース作成事業に、土地利用空間を基準とした整備の視点を加えることができる。

本研究では、「分布論の再構築」、「環境研究におけるarealな視点」、「土地利用図の新しい活用法」を念頭に置いて、環境の定量評価に用いる原単位法の開発を行った。それを通じて、原単位法の環境問題その他への利用法及びその妥当性についての科学的（地理学的）根拠を示した。したがって、原単位法の利用においてA～Dのような利点があるとすれば、次のように考える。

本研究では「原単位の計算」や「環境要素の定量評価」の過程で極めて単純な四則演算を用いたが、その数値処理に対して機械的操作に著しく偏った印象を与えかねない「計算」という語をあえて適用した。しかしながら、たとえば単純な測器を用いた気象観測であれ、コンピュータを用いた人工衛星による高度なりモートセンシングであれ、把握された元値を少なからず行われる「計算」によって、目的の環境指標に定量化する作業までを含め、その過程全体を「測定」あるいは「観測」と称するのが通常である。したがって、今後、原単位法が環境モニタリングに日常利用されるようになれば、本研究で用いてきた「原単位の計算」は「原単位の測定」とし、「環境要素の定量評価」は「環境要素の観測」と言い換えるのが妥当と考える。

また、アカデミックな地理学が行政その他の具体的な実用目的になかなか貢献せず、一方で行政等実務の立場では地理学の成果を利用しきれないという現実があり、両者の間には大きな乖離がこれまでであった。しかし、行政等実務側の抱える様々な地理学的課題の解決において、原単位法を利用することが上記のような利点を生むと考えられることは、今後、地理学の側から実務側への有効な提言ができる可能性を十分示唆す

るものといえる。

## 謝 辞

近年、自然環境保全の立場から様々な環境問題が注目されている。そのような背景より、平成5年には環境基本法、平成9年には環境影響評価法が制定された。建設省所管事業では、事前に環境影響評価を実施するが、その際に個々の環境要素の位置や分布量の把握とともに、それら環境要素の面的広がり、すなわち空間分布までを明らかにすることが基本的な作業となっている。

本研究は、事例とした環境要素の空間分布（面的な広がり）を表す土地利用区分図を利用し、環境量の合理的な評価方法とその手法の意義を論じたものである。本研究の基本的構想の一つとして、土木研究所地質研究室で実施した兵庫県南部地震の被害分布の原因を地形・地質的条件から究明する研究（行政部費：土木構造物の防災的見地からの第四紀断層に関する研究）の成果があげられる。この研究により、対象とする被害事象や情報の空間密度とともに、どの程度の縮尺で情報の分布をとらえたかによって被害分布形態が様々に変化することが明らかとなり、自然現象の解明およびその評価には目的に応じた適切なスケールの空間認識が必要ことがわかった。このような背景から、本研究では地表面に展開する自然現象の中の人間活動を対象に、その空間分布とそれに伴う環境要素の量を示すために、土地利用空間を利用したことが特色となっている。

本報告で用いた環境に関わる研究事例の各データは、主に建設省国土地理院において取得したものであるが、本報告は筆者が土木研究所環境部地質研究室においてそれらのデータを用いて検討および考察を行ってまとめたものである。

本報告書に関わるデータ取得においては、建設省国土地理院の赤桐毅一地図部部長をはじめとする同院の皆様、東京大学生産技術研究所の村井研究室の皆様、その他多くの公共機関のご協力を賜った。

本報告は平成9年度に東北大学に提出した学位論文の内容を加筆修正してまとめたものである。本研究の重要な指摘事項である地理学における分布論と環境問題との関連性をとりまとめるにあたって、東北大学理学部地理学教室の田村俊和教授に貴重な助言をいただいた。

ここに記して全ての方に謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 松井 勇：地理学における分布論序説。お茶の水女子大学人文科学紀要，6巻，pp1-11，1955。
- 2) 松井 勇：地理学に於ける分布に関する二，三の考察。地理学，9巻，pp962-970，pp1038-1050，pp1212-1220，pp1411-1420，pp1527-1537，pp1699-1707；10巻，pp168-187，(1941,1942)。
- 3) E. H. グレーアム著，上野福男・山元正三訳：土地利用の生態学。(財)農林統計協会，286p，1974。
- 4) 農林省農林水産技術会議事務局：土地利用区分の手順と方法。(財)農林統計協会，432p，1964。
- 5) 井手久登・武内和彦：自然立地的土地利用計画。東京大学出版会，227p，1985。
- 6) 村井俊治・垣松 浩：ERTS-1データを用いた首都圏の人口密度の推定。生産研究，26巻，pp247-253，1974。
- 7) 村井俊治・奥田 勉・建石隆太郎：地球資源衛星データを用いた首都圏の土地利用判読。生産研究，27巻，pp257-262，1975。
- 8) 小出正則・下山泰志：地理情報を補助知識として用いた土地利用分類手法。写真測量とリモートセンシング，30巻4号，pp59-64，1991。
- 9) 中山裕則・稲永麻子・田中総太郎・渡邊眞紀子・木村 宏：JERS-1/SARおよびERS-1/AMIデータによる土地被覆分類精度。RESTEC，No.35，pp68-71，1995。
- 10) 奥野隆史：尾留川正平編，人文地理調査法，2.2 都市の土地利用調査とその分析法，f 都市の土地利用の分析。朝倉書店，pp48-54，1972。
- 11) 北川建次：都市内部における中心地区の分化と発展。地理学評論，35巻，pp130-148，1962。
- 12) 桑島勝雄：土地利用からみたC.B.D.。東北地理，31巻，pp113-122，1979。
- 13) 戸所 隆：名古屋市における都心部の立体的機能分化—中高層建造物を中心に—。地理学評論，48巻，pp831-846，1975。
- 14) 梅林 巖・阿部 隆：旧城下町盛岡の市街地形態の変化と都心地区の形成。東北地理，33巻，pp160-170，1981。
- 15) 山下博樹：東京大都市圏における近郊都市，八王子，町田両都市の都市化の変化。地理学評論，64巻，pp280-295，1991。
- 16) 碓井照子：防災GISと災害データベースの共有化—奈良大学地理学科防災調査団の活動と今後の展望—。日本地理学会予稿集，No.49，p97，1996。
- 17) 霞ヶ関地球温暖化問題研究会：IPCC地球温暖化レポート。中央法規出版，278p，1991。
- 18) 建設省：平成7年 国土建設の現況，第2 国土建設施策の動向，XII 環境施策の展開。pp509-515，1995。
- 19) 環境庁：平成7年版 環境白書，第1部 総説，第3章 次世代から見た日本の環境ストック，第3節 地球温

- 暖化の環境影響. pp183-204, 1995.
- 20) 渡辺 光：土地利用と土地利用図. 地理調査所時報, No.11, pp 3-5, 1951.
  - 21) 氷見山幸夫：序章. 氷見山幸夫・岡本次郎編, 土地利用変化とその問題. 大明堂, pp1-17, 1992.
  - 22) 小笠原義勝：土地利用の概念. 地理調査所地図部編：日本の土地利用. 古今書院, pp11-30, 1955.
  - 23) 赤桐毅一：土地利用図の整備と利用. 氷見山幸夫・岡本次郎編, 土地利用変化とその問題. 大明堂, pp19-40, 1992.
  - 24) P.A.Burrough著, 安仁屋正武・佐藤亮訳：地理情報システムの原理, 土地資産評価への適用. 古今書院, 232 p, 1990.
  - 25) 高阪宏行：行政とビジネスのための地理情報システム. 古今書院, 233 p, 1994.
  - 26) 河村 武・橋本道夫：環境科学Ⅲ, 測定と評価. 朝倉書店, 316 p, 1990.
  - 27) 建設省河川局河川計画課：治水経済調査要項, 各種資産評価単価及びデフレーター. 18 p, 1991.
  - 28) 梶根 勇：海面上昇は起きているか. 科学, 59巻, pp625-628, 1989.
  - 29) Barnett, T.P.: The estimation of "Global" sea level change :A problem of uniqueness. Jour.Geophys.Res., 89-C5, pp7980-7988, 1984.
  - 30) Hoffman, J.S.: Estimates of future sea level rise. "Green house effect and sea level rise" (Barth, M.C. and Titus, J.G. eds.). pp79-103, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1984.
  - 31) 霞ヶ関地球温暖化問題研究会：IPCC地球温暖化レポート. 中央法規出版, 278p, 1991.
  - 32) 三村信男：東アジアにおける海面上昇の海岸への影響. IGCP特別シンポジウム, 最近地質時代の地球環境. IGCP国内委員会, pp 5-8, 1997.
  - 33) 郵政省通信総合研究所・建設省国土地理院：VLBI移動局を用いた験潮所位置の変動測定に関する研究. 地球環境研究総合推進費平成5年度研究報告集(中間報告)(I). pp294-297, 1994.
  - 34) Murakami Kazuo・Yamada Kuniaki: Sea-Level Change along the Japan Coast and its Causes. Coastal Engineering in Japan, Vol.37, pp201-218, 1994.
  - 35) 東京大学先端科学技術研究センター共同調査チーム：地球の温暖化による都市環境へのインパクトー東京湾奥部をケースにしてー. エスシーリサーチセンター. 33 p, 1992.
  - 36) 松井貞二郎・磯部雅彦・三村信男：海面上昇の沿岸域に対する影響評価. '92日本沿岸域会議研究討論会講演要旨集, No. 5, 日本沿岸域会議. pp74-75, 1992.
  - 37) 高沢信司：地理調査手法による海面上昇の社会・経済的影響予測. 第20回国土地理院技術研究発表会資料, pp131-145, 1991.
  - 38) 黒木貴一・赤桐毅一：海面上昇の影響予測に用いた資産の原単位法についてー熊本平野の事例ー. 季刊地理学, 48巻, pp96-114, 1996.
  - 39) 鈴木美奈男：東京・名古屋・大阪地域の地盤高分布とその特徴. 第21回国土地理院技術研究発表会資料, pp49-64, 1992.
  - 40) 吉川虎雄・杉村 新・貝塚爽平・太田陽子・坂口豊：新編日本地形論. 東京大学出版会, 415 p, 1973.
  - 41) 吉川虎雄：湿潤変動帯の地形学. 東京大学出版会, 132 p, 1985.
  - 42) 野上道男：河川縦断面形の発達過程に関する数学モデルと多摩川の段丘形成のシミュレーション. 地理学評論, 54巻, pp86-101, 1981.
  - 43) 森脇 広：九十九里平野の地形発達史. 第四紀研究, 18巻, pp 1-16, 1979.
  - 44) 茅根 創：完新世海面変動とサンゴ礁. 地学雑誌, 100巻, pp1019-1026, 1991.
  - 45) 日本国際地図学会編：地図学用語辞典. p95, 1985.
  - 46) 建設省国土地理院：中部圏宅地動向調査, 1987. (資料)
  - 47) 建設省国土地理院：細密数値情報(首都圏宅地利用動向調査)説明書. 28p, 1988.
  - 48) 建設省国土地理院：地盤高図「濃尾平野」, 1991.
  - 49) 愛知県企画部土地利用調整課：平成3年版, 土地に関する統計年報. 251p, 1992.
  - 50) 建設省国土地理院：土地利用図作成の手引き. 201p, 1981.
  - 51) 国土庁土地鑑定委員会：昭和62年地価公示, 愛知県. pp233-252, 1987.
  - 52) 国土庁土地鑑定委員会：昭和62年地価公示標準地の付近案内図, 愛知県. pp335-434, 1987.
  - 53) 岩手県土木部都市計画課：地域地区決定に関する作業指針. 都市計画事務必携(第1集), pp65-71, 1979.
  - 54) 愛知県企画部統計課：平成元年度市町村所得推計結果報告書. 92p, 1992.
  - 55) 総務庁統計局：平成2年, 国勢調査報告. 第2巻, その2, 23愛知県. 677p, 1991.
  - 56) 総務庁統計局：平成2年, 国勢調査報告. 第3巻, その2, 23愛知県. 447p, 1992.
  - 57) 建設省河川局河川計画課：治水経済調査要綱. 78p, 1985.
  - 58) 建設省河川局河川計画課：治水経済調査要綱, 各種資産評価単価及びデフレーター. 18 p, 1992.
  - 59) 総務庁統計局：昭和63年住宅統計調査報告, 第3巻, その23, 愛知県. 300p, 1990.
  - 60) 斎藤 功：東京集乳圏における酪農地域の空間構造. 地理学評論, 44巻, pp271-283, 1971.
  - 61) 正木久仁：大阪市における中心地体系ー小売業・サービス業を指標としてー. 人文地理, 28巻, pp115-140, 1976.
  - 62) 津川康雄：都市内部の中心地構造ー金沢を例としてー. 人文地理, 30巻, pp276-286, 1978.
  - 63) 西原 純：企業の事業所網の展開から見たわが国の都市群システム. 地理学評論, 64巻, pp1-25, 1991.

- 64) 河辺 宏：Ⅳ地理的分布。木内信蔵・西川治編：朝倉地理学講座Ⅰ。朝倉書店，pp99-114，1967。
- 65) 海津正倫：アジア南部のデルタにおける海面上昇の影響。科学，59巻，pp629-633，1989。
- 66) 黒木貴一・赤桐毅一：「原単位法」を用いた海面上昇の社会経済的影響予測—バンコク地域の事例—。季刊地理学，48巻，pp161-178，1996。
- 67) 東京大学生産技術研究所：LANDSAT(1987)土地利用図，1993。
- 68) 東京大学生産技術研究所：LANDSAT(1987)地形分類図，1993。
- 69) 赤桐毅一・鈴木美奈男・田口益雄・飯田 誠・黒木貴一・永山 透・柴崎亮介・垣内博昭：地球の温暖化による海面上昇等の影響予測に関する研究Ⅰ（第3年次）—リモートセンシングデータを使った地盤高推定について—（タイ国バンパコン地区）—。地理調査部研究報告。No.9，pp106-114，1993。
- 70) NRCT：Subdistrict, District and Province Map of Thailand, 1993。（資料）
- 71) NRCT：The List of “Tambon”，1993。（資料）
- 72) NRCT：Number of Working People Classified by Type of Occupation, 1991, 1993。（資料）
- 73) NRCT：Estimated Land Price in Bangkok and its Vicinity, 1993。（資料）
- 74) Center for Agricultural Statistics Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture & Co-operatives：Agricultural Statistics of Thailand, Crop Year 1990/1991. 271p, 1991。
- 75) Department of Fisheries, Ministry of Agriculture & Co-operatives：Statistics of Shrimp Culture, Year 1988-1989. 30p, 1991。
- 76) 建設省国土地理院：平成3年度地球の温暖化による海面上昇等の影響予測に関する研究作業。223p, 1992。
- 77) 建設省国土地理院：平成4年度地球の温暖化による海面上昇等の影響予測に関する研究作業。第2部（バンパコン地域），238p, 1993。
- 78) 伊藤章夫・依田彦太郎・鈴木将夫：千葉県の原燃料使用量に基づくCO<sub>2</sub>排出量の算出。千葉県環境研究所報告，26巻，pp11-21，1994。
- 79) 黒木貴一・赤桐毅一：土地利用に着目した原単位法によるエネルギー消費・大気環境負荷物質量の把握—土浦市の事例—。季刊地理学，48巻，pp81-95，1996。
- 80) 建設省国土地理院：1:25,000土地利用図「長野」，1977。
- 81) 長野県：土地利用現況調査（資料），1990。
- 82) 長野市：土地利用現況調査（資料），1990。
- 83) 建設省国土地理院地理調査部：土地利用図作成の手引き。201p，1981。
- 84) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課：総合エネルギー統計（平成3年度版）。494p，1992。
- 85) 石油連盟：内外石油資料。148p，1992。
- 86) 通商産業省大臣官房調査統計部：平成2年石油等消費構造統計表。618p，1992。
- 87) 長野市：長野市統計書（平成3年版）。381p，1992。
- 88) (株)石油化学新聞社：LPガス資料年報，27巻。339p，1992。
- 89) 電気事業連合会統計委員会：電気事業便覧（平成3年版），電気事業連合会。380p，1991。
- 90) 中部電力長野支社：電灯・電力需要状況（資料），1991。
- 91) 資源エネルギー庁：原子力発電関係資料。90p，1993。
- 92) 環境庁大気保全局大気規制課：窒素酸化物総量規制マニュアル。公害研究対策センター。302p，1982。
- 93) 日本気象協会：大気汚染に係る環境影響評価マニュアル（案）。333p，1980。
- 94) 東京都環境保全局：東京都内自動車排出ガス排出量算出調査報告書（概要）。25p，1987。
- 95) 環境庁企画調整局地球環境部：地球温暖化防止対策ハンドブック（第5巻，エネルギー編）。第一法規，187p，1992。
- 96) 科学技術庁科学技術政策研究所：アジアのエネルギー利用と地球環境。440p，1992。
- 97) 長野県：長野県土地利用基本計画図（長野県土地利用基本企画書付図），1989。
- 98) 長野市：都市計画図，1992。
- 99) 福島県土木部都市計画課：都市計画用途地域設定基準。60p，1990。
- 100) 公害健康被害補償予防協会：大気浄化植樹マニュアル。pp23-43，1993。
- 101) 只木良也：森の生態，生態学への招待2。共立出版，p110，1971。
- 102) 岩城英夫：陸上植物群落の物質生産Ⅱ—草原—，生態学講座6。共立出版，p44，1973。
- 103) 岩城英夫：わが国におけるファイトマス資源の地域的分布について。環境情報科学，10巻2号，pp54-61，1981。
- 104) 環境庁大気保全局大気規制課：平成3年版日本の大気汚染状況—平成2年度全国常時監視測定局における測定値とその概要—。ぎょうせい，1994p，1991。
- 105) 公害資源研究所地球環境特別研究室：地球温暖化の対策技術。オーム社，329p，1990。
- 106) 才木義夫・中沢 誠：自動車からの二酸化炭素排出量の推定。大気汚染学会誌，26巻。pp45-50，1991。
- 107) 総務庁統計局：平成2年国勢調査報告，第1巻，人口総数。310p，1992。
- 108) 黒木貴一：環境諸量の定量評価を行うための，土地利用情報に基づいた原単位法について。国土地理院時報，No.78，pp41-50，1993。
- 109) 嶋本利彦：震災の帯の不思議。科学，65巻，pp195-198，1995。
- 110) 建設省国土地理院：平成7年兵庫県南部地震災害現況図（第Ⅱ版）。国土地理院技術資料，D・1-No.322，1995。
- 111) 財団法人建設工学研究所：阪神大震災被害状況調査報告書（概要版）。177p，1995。

- 112) 香川貴志：兵庫県南部地震による豊中市の被災状況．  
地理学評論，68巻，pp550-562，1995.
- 113) 宮田隆夫・洪 景鵬・前田保夫：神戸市街地の隠れた  
活断層．シンポジウム「阪神・淡路大震災と地質環  
境」論文集，日本地質学会・環境地質研究委員会，  
pp45-48，1995.
- 114) 竹村厚志：1995年兵庫県南部地震による神戸・芦屋市  
街地の舗装の亀裂．地質学雑誌，103巻，pp21-35，  
1997.
- 115) 黒木貴一・秋山一弥・脇坂安彦：地震による建築物被  
害分布の平均化の方法とその意義－1995年兵庫県南  
部地震を例として－．応用地質，37巻，pp396-409，  
1996.
- 116) 戸所 隆：名古屋市における都心部の立体的機能分  
化－中高層建造物を中心に－．地理学評論，48巻，  
pp831-846，1975.
- 117) 永山 透：海面上昇が沿岸低地に及ぼす影響につ  
いて－地理調査的手法による研究の枠組みと方向性  
について－．地理調査部研究報告，No.10，pp99-108，  
1994.
- 118) 田村俊和：地形研究を通してみた自然地理学．地理  
学評論，66巻，pp763-770，1993.
- 119) 熊木洋太：土地利用データ作成技術の現状と課題．  
国土地理院時報，No.80，pp64-72，1994.



Report  
of  
Public Works Research Institute  
Ministry of Construction

Vol. 198, Nov. 1998

---

CONTENTS

Unit Value Method for the Quantitative Evaluation of Areally Distributed Environmental  
Elements using Geographical Landuse Information  
by Takahito KUROKI

---

**PUBLISHED BY  
PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF CONSTRUCTION**

1, Asahi, Tsukuba-Shi, Ibaraki-ken, 305-0804 Japan