衛星画像を利用した都市域の不浸透面積率の推定

出口近士*・杉尾 哲*

Evaluating the Percentages of Impervious Area in Urban Area by Using Satellite Imagery

Chikashi DEGUCHI*, Satoru SUGIO*

abstract

This paper deals with the estimation for the percentage of impervious area by land-use categories classified from the satellite remote sensing imagery. The test area is KOMATU watershed, 4.64km², located in MIYAZAKI city. The area is divided into 14 zones for the estimation.

The percentages are also manually interpreted from aerial photographs observed in 1962, 1966, 1973, 1983, and 1987. Then, these results are compared each other to check the accuracy of estimation.

From this investigation, the followings are clarified;

- 1) The overall percentages of impervious area in the whole test area change rapidly from 42% to 77% in the observed terms of aerial photographs.
- 2) The manually interpreted percentages from the aerial photograph contain about 10% error caused by the misjudgment.
- 3) High multiple-correlation coefficients are obtained between the percentages derived from the aerial photograph and one from the satellite imagery; 0.74 for LANDSAT-MSS, 0.81 for MOS-MESSR and 0.91 for SPOT-HRV.
- 4) The discrepancies between them are 16% for LANDSAT-MSS, 19% for MOS-MESSR, 13% for SPOT-HRV in the worst sub-area and less than 10% except for the zones where contain the error caused by the misjudgment of aerial photograph and the geometric error of imagery.

From these results, it is confirmed that the satellite imagery is useful for the evaluation of groundwater recharge.

Key words: groundwater recharge, percentage of impervious area, satellite imagery

* 宮崎大学工学部土木環境工学科

Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Miyazaki University

1. はじめに

宅地開発などの土地利用変化は、緑地の減少や雨水排水網の整備あるいは人工物の構築による不浸透域の拡大などに伴う地下水かん養量の減少などを通じて、都市水文システムを変容させる。虫明ら(1990)は、都市流出の立場から、流域の開発を、植生の除去ならびに表土の置換と輾圧、および不浸透域の拡大、すなわち土地被覆条件と表層土層の変化として捉え、このうち土地被覆条件は、森林の有無および不浸透域の割合として表現できるとしている。また都市域における地下水流動モデルでは、降雨量は浸透域と不浸透域の面積比率で分配され、これらがモデルの入力値となる。したがって、水循環システムにおける地下水かん養に関わる諸問題を取り扱う場合、土地被覆情報の入手が不可欠となる。

従来、これらの土地被覆情報は、主として航空写真の判読による方法で実施されてきており(新井ら、1987)、現在では航空写真の判読の自動化も行われている(Draper & Rao, 1986)。しかしながら、これらの方法は労力や費用がかかるので、土地の改変が少ない地域では、一度調査を実施すれば、その後にはわたってその調査結果をそのまま利用することが多い。しかし都市近郊では、宅地が造成されたり、建築物、道路、駐車場などが築造されるなど地表面や土地利用の改変が急速に進むため、モデルの入力変数である土地被覆情報も適宜、更新する必要がある。

近年、これらの地表面の土地被覆情報の有効な収集方法として、人工衛星からのリモートセンシングが利用されてきている。受動型の画像は、太陽光による電磁波の地表面の反射強度をいくつかの波長帯域(バンド)に分けて捕捉したものであり、ハンド毎の反射強度が数値として磁気テープ(CCT)に記録されたものであり(以下、CCTに記録された反射強度をCCTデジタル値と呼ぶ)、種々の分類アルゴリズムを通じて、水域系、裸地系(田畑地・空地・荒地・グランド等)、緑地系(針葉樹林・広葉樹林・野草地)、市街地系(商業地・住宅地あるいは高・中・低密度市街地)などの土地被覆情報へ変換される。

人工衛星によるリモートセンシングの特徴は観測の広域性・周期性であり、都市域のように土地被覆の変化が著しい場所の最新情報の収集には最適である。都市水文への衛星データの利用は、Ragan &

Jackson (1975)がランドサット・データを用いて都市河川流域の土地被覆を分類し、不浸透域の面積率の推定について検討して以来、多くの研究者によって検討されている(Engman & Gurney, 1991)。

近年は、複数の人工衛星が地表面を観測しているが、搭載されているセンサーの分解能はそれぞれ異なっている。そこで本研究では、3つの人工衛星によるリモートセンシング・データ(LANDSAT-MSS、MOS-MESSR および SPOT-HRV)を用いて、不浸透域の面積比率の推定を検討することとした。すなわち、宮崎市小松川の流域4.64km²を解析対象に選んで、まず1962年から1987年に撮影された航空写真を目視で判読して、不浸透域の面積率を算定した。ついで、3つの人工衛星によるリモートセンシング・データから土地被覆情報を抽出し、これを利用して不浸透面積率を推定するとともに、これらの値を航空写真の判読結果と比較することによって、精度を検討した。

なお、不浸透域の面積比率(percentage of impervious area)の用語については、不浸透面積率(角屋、1983)や不透水性面積率(新井ら、1987)など、研究者によって異なって用いられているが、本論文では不浸透面積率を用いることとした。また、従来の研究では、市街地の土地被覆は商業地や住宅地などの用途別に分類されているが、本来リモートセンシング・データが内蔵する情報は単に、地表面の電磁波の反射特性という物理的特性であり、人間の活動に基づいて定義される商業地あるいは業務地や住宅地といった土地利用形態とは合致しにくいこと、さらに、本論で対象とする地域が雨水排水施設が設けられないままに市街化した地域であるため、用途別の分類は適当でないと判断して、高密度市街地・中密度市街地・低密度市街地に分類することにした(Ragan & Jackson, 1980)。

リモートセンシング・データの土地被覆情報からの不浸透面積率の推定は2通りの方法を用いた。すなわち、①市街地(高・中・低密度)への分類画素から直接的に推定する方法と、②各ゾーンの市街地(高・中・低密度)への分類画素数の占有率を説明変数とした重回帰式による推定方法について検討した。

2. 解析方法

2.1 解析対象地域

解析対象とした宮崎市の小松川流域のゾーン区分を図-1に示す。宮崎市の人口は約29万人であり、市の中心を大淀川が流れている。小松川はその支川であり、晴天時には本流の大淀川から合計 $1\text{ m}^3/\text{s}$ の水量をポンプアップして水質維持を図っている典型的な都市小河川である。流域は都心部の西に位置し、県道(那珂・宮崎線)を東側分水界とし、西側の大淀川に囲まれた南北に細長い形状になっている。

解析は、図-1に示すように下流から上流部へ延長約3.5kmの範囲を対象とし、それを約500m毎に7区間に区切って、各区間を右岸・左岸に分けて計14ゾーンとした。

2.2 航空写真による不浸透域の判読

表-1に、目視判読に利用した航空写真の縮尺と土地被覆分類に利用したリモートセンシング・デー

表-1 不浸透域の判別に利用したデータ

Table 1 Imagery used for the classification of imperviousness

観測年	解 析 デ ー タ	縮尺・分解能
1962	航空写真(白黒)	1/10,000
1966	航空写真(白黒)	1/10,000
1971	航空写真(白黒)	1/23,000
1983	航空写真(白黒)	1/22,000
1984.10	LANDSAT-MSS	80 m
1987	航空写真(カラー)	1/13,000
1988.10	MOS-1-MESSR	50 m
1988.12	SPOT-1-HRV (© CNES1988)	20 m

タの地上分解能(宇宙開発事業団、1987およびリモートセンシング技術センター、1989)を示す。なお、いずれのリモートセンシング・データもバルク補正済みのデータである。

解析では、まず航空写真を目視で判読することによって不浸透域の面積を測定した。なお不浸透域は、建築物・道路・駐車場などの人工構造物とし、浸透域は森林・緑地・草地・公園・空地などとした。不浸透域の判読および不浸透面積率の算定方法は以下のとおりである(新井ほか、1987)。

まず、航空写真の上にアニメーション用の透明フィルムを貼り、その上から不浸透域と判断される人工構造物を黒く塗りつぶす。この際、白黒航空写真の場合、矩形のものを建築物(住宅やアパート)に、連続性のある白っぽい線を道路と判読した。ついで、この方法で作成した白黒フィルムの上に1mm目盛りのトレース用方眼紙を固定し、1マスに半分以上黒が占める場合そのマスを黒く塗りつぶし、新たに不浸透域と浸透域の白黒判別図を作成した。最後に、この白黒判別図より、各ゾーンに対応する区画内の黒マスの数を集計して、不浸透面積率を求めた。

これらの結果を図-2に示す。図から、この地域においては1966年から1971年にかけて急激に都市化が進行し、その後都市化の進行は鈍化してきていることがわかる。また、1971年の航空写真では不浸透域と目視判断された区画の中には、その後、浸透域と判断されたものもあることが読み取れる。これは、航空写真を用いた不浸透域の判別が簡単ではないことを示しており、特に白黒で小縮尺の写真を用いる場合には誤判読が含まれ易いと判断される。

図-1 小松川流域と分割ゾーン

Fig.1 KOMATU watershed and divided zones for analysis

図一 2 航空写真から目視判読された不透水域

Fig.2 Impervious areas manual-interpreted from aerial photographs

2.3 人工衛星画像を利用した土地被覆分類

リモートセンシング・データを用いた土地被覆分類には様々な手法があるが、本論では1画素のCCTデジタル値を変量としたクラスタリング・アルゴリズムに基づいた手法を採用した。すなわち、以下の方法で土地被覆分類を実施した。

1) CCT から、座標変換式を用いて地形図に対応するよう幾何学補正を施して、解析対象地域を包含する地域の画像を切り出す。本論では、約10km 四方の地域とした(以下、この地域をサンプル地域と呼ぶ)。

2) この画像から200画素程度をサンプリングする。これらサンプリングされた画素について、各バンドのCCTデジタル値を変量としたワード法によりクラスター分析し、30個程度のクラスターを構成する(以下、これらのクラスターを核クラスターと呼ぶ)。

3) 核クラスターについて、各バンドを横軸に、CCTデジタル値を縦軸にとってグラフ表示した分光特性図を出力する。

4) これらの分光特性図の類似性を解析者が判断して、他のクラスターに類似し、かつ構成画素が少ないクラスターを核クラスターから除外する。

5) 核クラスターの各バンドのCCTデジタル値から計算されるユークリッド距離を基準とした最近隣法により、サンプル地域の画素を分類し、これをキャ

ラクターで表示した図面(以下、クラスター・マップと呼ぶ)を出力する。

6) クラスター・マップと地形図や航空写真を比較して、分類内容が確認できないクラスターは核クラスターから除外する。

7) 満足する結果が得られるまで、5)、6)の手順を繰り返し、最後に残った核クラスターを教師データとして、最近隣法によりサンプル地域の土地被覆分類を実施した。

本論では、この手順により、MSS、MESSR および SPOT データにおいて、それぞれ18、20、24個の核クラスターが得られた。そこで、MSS、MESSR および SPOT データ間の分類結果、特に市街地に関する分類結果の経時的な安定性をクラスター・マップで確認することによって、表2に示す分類項目を設定した。なお、表の右欄は分類項目の核クラスターの個数である。

このサンプル地域の土地被覆分類図から流域の各ゾーンを認識するためには、ゾーンを閉じた領域として認識することが必要になる。この方法は、2万5千分の1の地形図にゾーンの境界線を記入し、それをディジタイザーで読み取る方法(出口ほか、1986)で行った。

図一3は、この方法で作成した小松川流域のMESSR 画像による土地被覆分類図であり、市街地以外の分類は“—”記号で表示した。キャラクター

表-2 人工衛星画像分類の土地被覆項目

Table 2 Categories of land-cover defined for the classification of satellite imagery

大分類	小分類	分類内容	核クラスターの 個数		
			MSS	MESSR	SPOT
水域	水域	海・池・川・影	1	2	2
	水際	水陸境界・干潟・影	1	1	1
森林	森林	針葉樹・広葉樹・竹林	2	3	3
	裸地	運動場・造成地(白色系)	2	2	2
空地	野草地	草地・雑種地	2	2	4
	田畑地	田地・畑地(茶色系)	4	6	4
市街地	高密度	人工物が密集した市街地	2	2	3
	中密度	人工物・自然物の混交	2	1	2
	低密度	自然物が多い市街地	2	1	3

で表示しているために若干見にくいですが、市街地は前出の図-2の1987年の不浸透域と概ね対応していることが読み取れる。なお、森林や野草地などの植生に関する土地被覆情報は、浸透域の土壌など表土帯の水分保留や地下水かん養に関する情報を内包していると考えられ、興味ある事項であるが、本論の解析は不浸透域のみを対象とした。

上記の方法で抽出した流域のリモートセンシング・データには、土地被覆分類誤差の他に幾何学的誤差、すなわち閉じた領域(ゾーン)を認識する際の位置ずれが生じる。本論の場合、これは、(1)地形図に対応するように画像をCCTから切り出す際に生じる誤差と、(2)流域の各ゾーンを認識する際に生じる誤差との2つに大別される。

1次の線形式の座標変換式の一つであるアフィン変換式を使った場合、(1)の誤差は、概ね1.5画素程度に収まる(出口ほか、1982)。一方、(2)の誤差は、ユニバーサル横メルカトル座標などで数値化した境界線を、リモートセンシング・データの座標(ライン値、カラム値)に置き換えて認識する場合、必然的に生じる。したがって、この誤差は画素の大きさ(地上分解能)とほぼ同一となり、ゾーンの面積が狭い場合には相対的に大きくなる。

図-4は、ゾーンNo. 11とNo. 13のMSS土地被覆分類図である。図中の網掛け部分で示したように、両ゾーンとも堤防に面した左縁および下縁から1画素から2画素程度、連続して野草地や田畑地に分類されている。ところが、同じ境界線データを用いて作成した前出の図-3のMESSR土地被覆分類図にはこれらの項目に対応する画素は見あたらない。このことから、距離にして約100m程度のこの

図-3 小松川流域の MESSR 土地被覆分類図

Fig.3 Land-cover map of KOMATU watershed classified from MESSR imagery

図-4 ゾーン No. 11 と No. 13 の MSS 土地被覆分類図

Fig.4 land-cover map of zone-11 and zone-13 classified from MSS imagery

位置ずれは(1)の誤差に起因するものと判断される。この種の誤差はリモートセンシング・データを利用する場合、必ず生じるものであるが、実用に当たっては、画像データの切り出し時にグランド・コントロール・ポイントを厳選すること、あるいは高次の多項式を使って座標変換を行うことなどによって、1画素程度にまで小さくすることができるものと考えられる。

3. 解析結果と検討

3.1 航空写真判読による不透水面積率

表-3は、航空写真から判読した各ゾーンの不透透面積率(%)の変化を示したものである。表からまず、対象地域全体の不透透面積率が上記期間において42%から77%に急増していることがわかる。アンダーラインは経年的に減少した値を表している。表中、不透透面積率が減少しているゾーンもあるが、全体的な都市化の進行傾向と、2.2で述べた不透透域の算定方法を考慮すれば、これらの値は航空写真

表-3 航空写真判読による不透透面積率

Table 3 Percentages of impervious area obtained by manual-interpretation of aerial photographs

ゾーン	面積 (km ²)	不透透面積率 (%)				
		1962	1966	1971	1983	1987
1	0.34	11.8	22.5	70.8	75.7	83.3
2	0.34	24.7	31.8	74.0	75.8	<u>62.8</u>
3	0.15	20.2	22.8	67.3	76.7	<u>82.4</u>
4	0.09	14.6	22.9	54.2	71.8	72.9
5	0.23	19.5	20.7	29.1	52.6	<u>49.5</u>
6	0.88	41.0	43.4	67.7	67.7	<u>67.2</u>
7	0.36	34.3	40.3	69.7	71.1	<u>77.7</u>
8	0.44	54.9	<u>46.5</u>	75.9	79.5	81.7
9	0.39	42.9	54.4	66.9	80.9	82.5
10	0.13	50.4	58.8	75.5	79.6	87.2
11	0.44	52.3	53.4	87.2	<u>82.6</u>	<u>82.5</u>
12	0.51	60.8	67.7	84.5	86.7	<u>84.1</u>
13	0.14	79.6	<u>73.1</u>	84.3	89.8	91.2
14	0.13	72.3	65.1	85.5	91.0	91.6
全体	4.64	41.9	45.3	72.0	76.2	76.6

の誤判読と考えられ、その最大はゾーン No. 8 において約10%程度になっている。現地調査からは、このゾーンには大規模な施設も無いことが確認されており、航空写真の目視判読においてはこの程度の誤差を生じるものと判断してよいものと考えられる。

なお、ゾーンNo. 2の1987年の不透透面積率の減少については、宮崎大学農学部に移転に伴う校舎の取り壊しによる減少であることが確認されている。

3.2 人工衛星画像情報による不透透面積率の直接的推定

ここでは1.で述べた①の方法、すなわち不透透面積率を、市街地(高・中・低密度)への分類画素から直接的に推定した結果について述べる。なお、1983年と1984年(MSS)、1987年と1988年(MESSR・SPOT)のように、航空写真とリモートセンシング・データの観測年にそれぞれ1年の差異があるが、以下本論ではこれらを見直し、航空写真判読による不透透面積率を基準値として解析した。

図-5 航空写真判読とMSS画像分類から推定した不透透面積率の比較

Fig.5 Comparison between the percentages of impervious areas derived from aerial photographs and the ones estimated from MSS imagery

図-6 航空写真判読と MESSR 画像分類から推定した不浸透面積率の比較

Fig.6 Comparison between the percentages of impervious areas derived from aerial photographs and the ones estimated from MESSR imagery

図-7 航空写真判読と SPOT 画像分類から推定した不浸透面積率の比較

Fig.7 Comparison between the percentages of impervious areas derived from aerial photographs and the ones estimated from SPOT imagery

利用したリモートセンシング・データの地上分解能は約80m～20mであるため画素の多くはミクスチャである。したがって、高密度市街地と判別・分類された画素にも空地や野草地などの浸透域が含まれることになる。また逆に、空地や野草地と分類された画素にも不浸透域が含まれている。

図-5は、航空写真判読により求めた不浸透面積率の測定値と MSS 土地被覆分類から推定した値について、前者を横軸に、後者を縦軸にとって比較したものである。■印で示した値は、高密度市街地・中密度市街地・低密度市街地と判別した画素の中が全て不浸透域で占められると仮定して計算した値、すなわち各ゾーンにおいて、高密度市街地・中密度市街地・低密度市街地と判別した画素の数を、ゾーン内の全画素数で除して求めた不浸透面積率であり、ここでは原データと呼ぶことにする。

一方、□印は、高密度市街地・中密度市街地・低密度市街地と判別された画素のうち、それぞれ100%・95%・90%が不浸透域として修正・計算した不浸透面積率であり、修正データと呼ぶことにする。また、図中の左上の凡例の横に記した数値は、航空写真判読による測定値を基準値として計算した残差2乗和である。以下、図-6および図-7も同様である。

MSSおよびMESSRとSPOTでは若干の感知波長帯域(バンド)の差異と、バンド数の差異(MSSおよびMESSRは4バンド、SPOTは3バンド)の差異があり、このため厳密には分類結果を詳細に検討する必要があるが、これらの図と残差2乗和の値からみれば、分解能が高くなるとともに推定精度も概ね上がっている。またMSSの場合、原データと修正データの残差2乗和の値には差異が見られないものの、MESSRおよびSPOTでは修正データの値がかなり小さくなり、推定精度が向上している。

なお、上記の100%・95%・90%の修正係数は、以下の方法で決定した。すなわち、100%・95%・90%・85%の値からなる10組の係数を与えて不浸透面積率を計算し、これと航空写真から得た不浸透面積率から、残差2乗和を算出し、これを最小にした係数を採用した。これらの修正係数の組み合わせと残差2乗和の値を表-4に示す。なお、残差2乗和はMSS、MESSR、SPOTの値の総計である。

表から、今回採用したCase-5の残差2乗和とCase-4およびCase-6の値の差異は、それほど大き

表－4 土地被覆情報の不透透面積への修正係数と
残差 2 乗和

Table 4 Coefficient for transforming the land-
cover to impervious area and residual
sum of squares

ケース	高密度 市街地	中密度 市街地	低密度 市街地	残差 2 乗和 の総計
Case- 1	100	100	100	3642
Case- 2	100	100	95	3220
Case- 3	100	95	95	2767
Case- 4	95	95	95	2707
Case- 5	100	95	90	2675
Case- 6	95	95	90	2684
Case- 7	95	90	90	2967
Case- 8	95	90	85	3178
Case- 9	90	90	85	3587
Case-10	90	85	85	4606

くはないことがわかる。修正係数の値は、設定した土地被覆分類項目および対象地域の土地被覆状況に関連し、また、表中の Case-4、Case-5、Case-6 の残差 2 乗和の差異から判断すれば、宮崎市と同程度に都市化した他の地域に応用する場合、高密度市街地については、100%～95%、低密度は95%～90%の範囲で変わる可能性があることを意味している。したがって、今回得られた修正係数については、これらの修正係数を使って他の地域の不透透面積率を推定するなどして、妥当性を検証することが課題として残る。

また、本推定法に関して、市街地を高密度市街地・中密度市街地・低密度市街地の 3 つの分類項目に分ける意義については、表中の残差 2 乗和の値から判断する限り、すなわち各分類項目の修正係数間に 5 % の差異のある Case-5 (100%・95%・90%) が最小の残差 2 乗和を与えたという意味において、これを否定する結果は得られなかった。

3.3 人工衛星画像情報による不透透面積率の回帰推定

ここでは 1. で述べた ② の方法、すなわちゾーンの市街地 (高・中・低密度) への分類画素数の占有率を説明変数とし、航空写真判読による不透透面積率を目的変数とした重回帰式によって不透透面積率を推定した。その際に得られたパラメータを表－5 に示す。表中、 A_1 、 A_2 、 A_3 は高・中・低密度市街地の

表－5 不透透面積率の重回帰分析結果

Table 5 Results of multi-regression analysis for
the percentages of impervious areas

センサー	偏 回 帰 係 数				重相関 係数 R	残 差 2 乗和
	A_0	A_1	A_2	A_3		
MSS	47.1	0.75	0.35	0.37	0.74	561
MESSR	31.0	0.83	0.41	0.63	0.81	589
SPOT	20.5	0.77	0.72	0.49	0.91	313

図－8 航空写真判読と MSS 画像分類から重回帰
推定した不透透面積率の比較

Fig.8 Comparison between the percentages
of impervious areas derived from aerial
photographs and the ones estimated by
multi-regression analysis using MSS
imagery

偏回帰係数であり、 A_0 は定数項である。サンプル数が 14 と少ないため検討の余地は残るものの、重相関係数は MSS でも 0.74 と比較的高く、また MSS→MESSR→SPOT と分解能が上がるにつれて向上しており、この推定方法の妥当性が確認できる。

図－8、図－9 および図－10 は、航空写真判読により求めた不透透面積率の測定値と、この回帰手法で推定した値について、前者を横軸に、後者を縦軸にとって比較したものである。これらの図より、ゾーン No. 5 (MSS・MESSR・SPOT) および No. 11・

図-9 航空写真判読と MESSR 画像分類から重回帰推定した不浸透面積率の比較

Fig.9 Comparison between the percentages of impervious areas derived from aerial photographs and the ones estimated by multi-regression analysis using MESSR imagery

図-10 航空写真判読と SPOT 画像分類から重回帰推定した不浸透面積率の比較

Fig.10 Comparison between the percentages of impervious areas derived from aerial photographs and the ones estimated by multi-regression analysis using SPOT imagery

No. 13(MSS) において大きい誤差が認められる。それらの相対誤差の最大は、図-8のゾーンNo. 13において約16%、図-9のゾーンNo. 5において約19%、図-10のゾーンNo. 5において約13%になっている。

ゾーンNo. 11・No. 13は、前出の図-4に示したように、今回のMSS土地被覆分類は最大2画素程度、野草地・田畑地(浸透域)に位置づれを生じており、したがって、これらのゾーンでは相対的に不浸透域が過小評価されたことによるものと考えられる。

ゾーンNo. 5は、前出の表-3で指摘したように航空写真の結果にも誤判読があると考えられること、さらにこのゾーンの大半は農林試験場の果樹園であり、衛星画像による土地被覆分類の際に市街地へ誤分類していることが考えられる。誤分類の理由としては、教師データを作成するためのクラスター分析を行う際に、サンプルデータを作成するが、都市域では相対的に面積比率の小さい果樹園に該当する画素がこのサンプルデータに含まなかったことによるものと考えられる。

以上、これらの3ゾーン以外は±10%以下の相対誤差に収まっており、リモートセンシング・データを利用することによって、航空写真利用の場合と同等の精度で不浸透域面積率を推定できることが確認できた。

提案した2つのいずれの方法も、幾つかテストゾーンを設定して推定結果を航空写真の判読結果などで確認した後、解析対象地域全体へ拡大して不浸透域面積率を推定する方法であるが、①の方法はサンプル数が少なくて済むという特長を持ち、更に都市化の程度別に解析を重ねていくことにより、普遍的な修正係数を算定できる可能性がある。一方、②の方法は、①の方法よりサンプル数が多く必要であるが、統計的に推定精度を確認できるという利点がある。したがって、今後はこれらの点に着目して解析を進める必要があるものと考えられる。

4. 結論

本研究は、宮崎市小松川流域4.64km²を解析対象として、人工衛星からのリモートセンシング・データから土地被覆情報を抽出し、これを利用して不浸透域面積率を推定するとともに、航空写真の判読結果

と比較することによって推定精度を検討した。その結果、航空写真を利用した場合と同じく概ね10%以内の誤差で不透透面積率を推定可能であり、その精度はMSS→MESSR→SPOTの順で高いことが確認できた。リモートセンシング・データは、広域性・周期性・解析の迅速性を特長とするものであり、地下水かん養問題に対して利用できるものと考えられる。

なお、解析に用いたLANDSAT (MSS)、MOS-1 (MESSR)およびSPOT (HRV)は、宇宙開発事業団地球観測センターで受信・処理されたデータであり、財団法人リモート・センシング技術センターを通じて入手したものである。また解析には、本学学部生の岩切洋昌君(現在、宮崎県)および岩崎敏彦君(現在、大学院生)の協力を得た。ここに、記して謝意を表します。

参 考 論 文

新井 正、新藤静夫、市川 新、吉越昭久(1987)：都市の水文環境、共立出版、pp.10-14。
宇宙開発事業団(1987)：地球観測センターニュース、No.

21.
角屋 睦(1983)：新住宅地の不透透面積率、京大防災年報、26b-2、pp. 225-230。
出口近士、沼田 實、池上正春、横山 巖(1982)：ランドサット・データの都市計画への適用—土地被覆分類—、九州大学工学集報、Vol. 55、No. 6、pp. 561-568。
出口近士、沼田 實、松尾和巳(1986)：ランドサットMSSデータの土地利用調査への適用に関する基礎的研究、日本リモートセンシング学会誌、Vol. 6、No. 1、pp. 49-64。
虫明功臣、石崎勝義、吉野文雄、山口高志(1990)：水環境の保全と再生、山海堂、pp. 27-54。
リモートセンシング技術センター(1989)：地球観測データ利用ハンドブック—SPOT編—、pp. 1-1-4。
Draper, S. E. and Rao, S. G.(1986): Runoff Prediction Using Remote Sensing Imagery. Water Resource Bulletin 22, 941-9。
E.T. Engman and R. J. Gurney (1991): Remote Sensing in Hydrology. CHAPMAN AND HALL, pp. 107-109。
R. M. Ragan and T. J. Jackson (1975): Use of Satellite Data in Urban Hydrologic Models. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 101-HY12, pp. 1469-1475。
R. M. Ragan and T. J. Jackson (1980): Runoff Synthesis Using Landsat and SCS Model. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 106-HY5, pp. 667-678。
(受付：1992年9月3日、受理：1992年11月11日)