

ERTS-1 データを用いた首都圏の人口密度の推定

Estimation of Population Density in Tokyo Districts from ERTS-1 Data

村 井 俊 治*・恒 松 浩*

Shunji MURAI and Hiroshi TSUNEMATSU

地球資源探査衛星 (ERTS-1) の画像を利用して、東京首都圏の人口密度の推定を行った。ERTS 画像の 4 つのマルチスペクトルバンドのうち、波長 0.6 μ~0.7 μ の赤バンド (MSS 5) では、都市部はスペクトル反射強度が大きく、森林部および河海はスペクトル反射強度が小さい。波長 0.8 μ~1.1 μ の赤外バンド (MSS 7) では、都市部はスペクトル反射強度が小さく、森林部は大きい。このようなスペクトル特性を用いて二次画像空間内での画像濃度と人口密度との相関を求め、画像濃度から人口密度を推定するための決定領域を定めた。これにより 90 数パーセントの精度で人口密度の推定が可能である。

はじめに

わが国では 5 年毎に国勢調査が行われ、人口に関する調査がきわめて精度よく行われる。しかしながら、都市計画や地域開発に役に立つ人口密度の分布図として利用されるまでには多くの時間と労力が要求される。たとえば、もっとも利用するのに便利な 1 km メッシュの首都圏の人口密度図は、昭和 45 年の国勢調査から 4 年経過しても入手不可能であった。首都圏への人口集中と開発速度はきわめて大きく、都市計画者に可能な限り迅速に精度のよい人口密度図を提供する必要がある。このような要請から、本研究では、昭和 47 年 11 月 26 日に撮影された首都圏の地球資源探査衛星の画像から人口密度の推定を行おうとした。

まず最初に ERTS 写真の MSS 5 と MSS 7 の画像濃度をメッシュ状に数値化し、同時に昭和 40 年の首都圏の人口密度を画像と対応するように数値化した。昭和 45 年の国勢調査による人口密度は、本研究が行われた時点で入手不可能であったため、昭和 40 年のものを用いた。つぎに、人口密度を 4 段階のクラスに分け、それぞれのクラスに対して二次元の画像空間内での濃度ヒストグラムを求め、本文にのべるように、人口密度を推定するための 7 つの決定領域を定めた。

人口密度の推定は、ERTS 写真内の全域、50 km 圏および 30 km 圏の三ケースに対して行われた。

1. 首都圏の人口調査

首都圏内への人口流入の傾向はきわめて大きく、表 1 からわかるように、昭和 40 年から昭和 45 年の 5 年間に約 469 万人の増加があった。同じ 5 年間に、日本全国で約 545 万人の増加があったことを見れば、いかに首都圏内への人口流入が大きかったかがわかる。この増加は、昭和 40 年の人口に対して日本全国では 5 年間で 5.4% の増加率であるのに対して、首都圏では 5 年間で 17.8% の増加率に相当する。

表 1 首都圏の人口増加

地 区	面 積 (km ²)	昭和 40 年		昭和 45 年		増加率
		人口 (千人)	人口密度 (人/km ²)	人口 (千人)	人口密度 (人/km ²)	
東 京	2,141	10,869	5,077	11,579	5,409	1.065
神 奈 川	2,386	4,430	1,837	5,895	2,471	1.330
埼 玉	3,799	3,015	794	4,221	1,111	1.400
千 葉	5,079	2,701	532	3,656	720	1.353
茨 城	6,088	2,056	338	2,214	364	1.076
栃 木	6,413	1,521	237	1,630	254	1.071
群 馬	6,355	1,605	253	1,692	266	1.054
首都圏合計	32,261	26,200	812	30,889	958	1.178
日 本	377,400	99,209	266	104,665	280	1,054

特に神奈川県、埼玉県、千葉県の東京都に隣接した三つの県での人口増加は激しく、5 年間で 33% から 40% の増加率を示している。これに対して東京都の人口増加は、5 年間で 6.5% であり、関東地方 7 県のうちでは、群馬県について少ない。

以上の人口動態を人口密度で示すと、表 1 からわかるように、昭和 45 年において東京都が 54.0 人/ha で断然大きく、次いで神奈川県 24.7 人/ha、埼玉県 11.1 人/ha、千葉県 7.2 人/ha となり、茨城県、栃木県、群馬県は、日本全国平均の 2.8 人/ha とほぼ同じである。

人口密度を表 2 に示すような 5 つのクラスに分け、昭和 40 年の人口密度を ERTS 写真の画像濃度のメッシュと一致するように、全体で 180×160=28,800 の 1 km メッシュに分割した。

図 1 は、首都圏内の 10 万以上の都市の分布を用いた

表 2 人口密度のクラス分け

クラス	人口密度 (人/km ²)	記号	点数	特徴	代表地域
1	10,000以上	A	618	過 密	大都市
2	9,999~1,000	B	3,161	中 密 度	住宅都市
3	999~100	C	13,212	低 密 度	町 村
4	99~1	D	1,456	過 少 密 度	山 野
5	0	空白	10,353	無 人	海、湖

* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

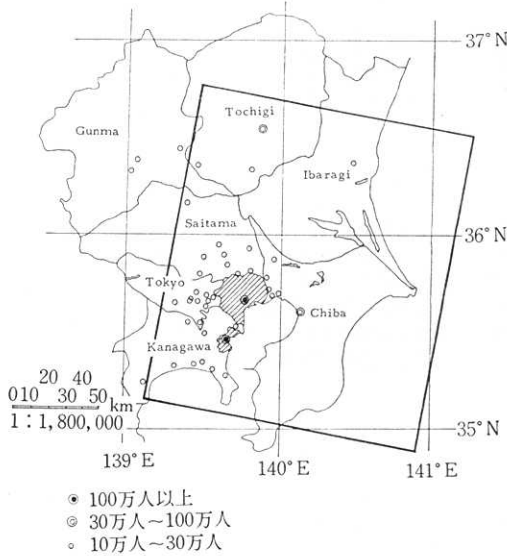


図 1 首都圏とテスト地域

ERTS 写真および数値化した人口密度の範囲を示したものである。

図 2 は、数値化した人口密度をラインプリンタで打出したものである。

2. 人口密度の推定に用いられた ERTS-1 データ

人口密度の推定に用いられた ERTS 写真は、昭和 47 年 11 月 26 日の MSS 5 および MSS 7 のネガフィルムである。また MSS 7 については、海や湖沼と陸地を区別するために、補助的に 9.5 インチのポジフィルムも併用して使用された。9.5 インチの ERTS 写真は、縮尺が 100 万分の 1 の地図に相当する大きさであり、1 mm メッシュが陸上のスケールで 1 km メッシュに相当する。

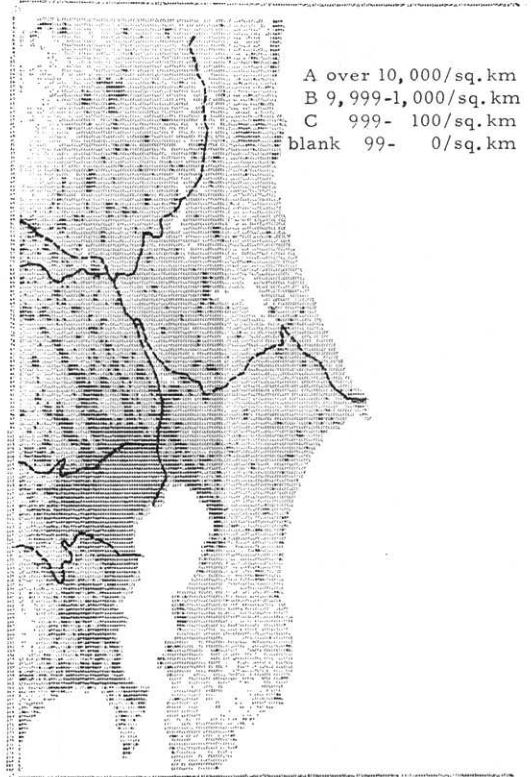


図 2 人口密度のデジタルマップ

1 km メッシュの人口密度データと対応させるために、9.5 インチの ERTS 写真に 1 mm のメッシュを切り、それぞれのメッシュの写真をフォトマイクロデンシトメータを用いて測定し、濃度 0.01 の単位で数値化した。

図 3 は用いられた ERTS 写真であり、図 4 はそのネガ写真濃度を数値化したものをラインプリンタで打出したものである。

表 3 は、水域を除いた人口密度の 4 つのクラスに対す

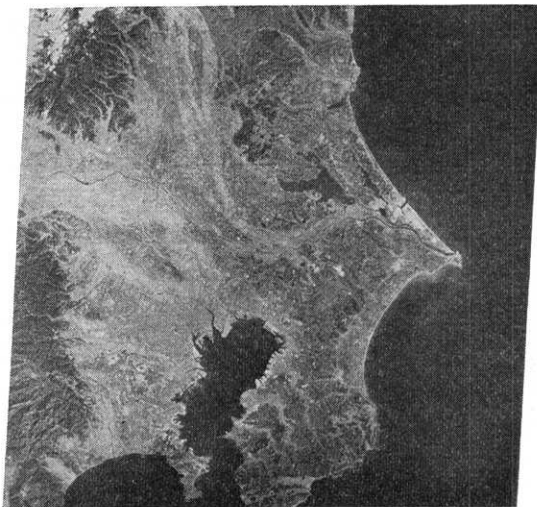


図 3a 昭和 47 年 11 月 26 日の ERTS 写真 MSS5 バンド

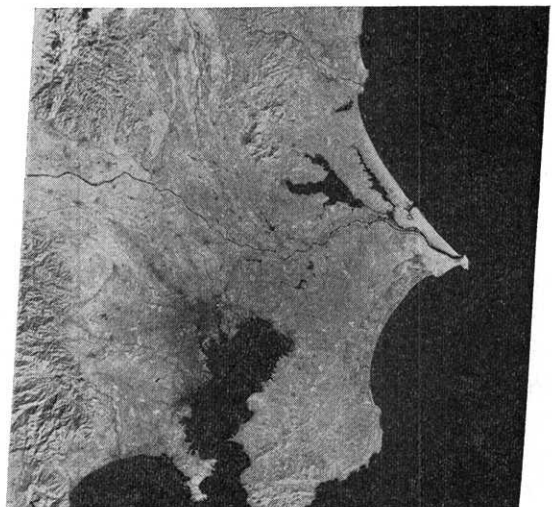


図 3b 昭和 47 年 11 月 26 日の ERTS 写真 MSS7 バンド

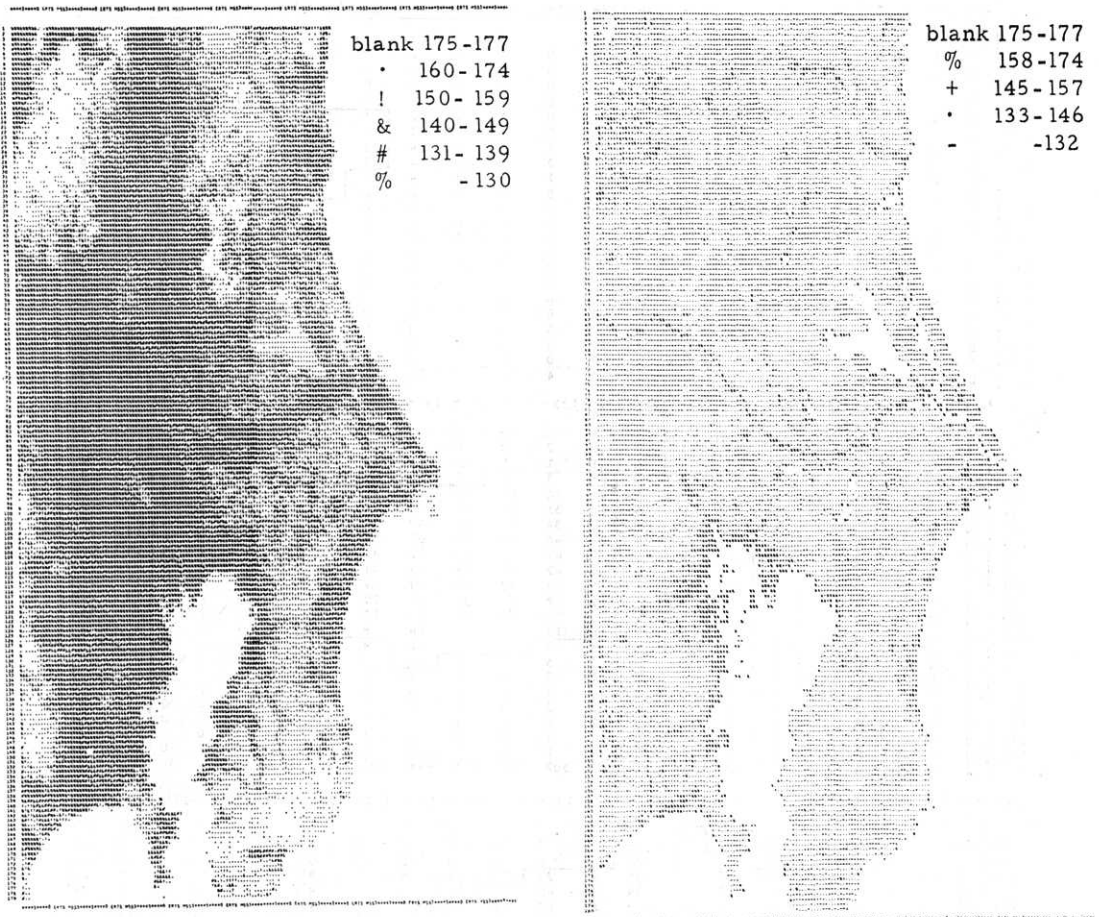


図 4a ERTS MSS5 バンド写真濃度値ラインプリンタ出力図 図 4b ERTS MSS7 バンド写真濃度値ラインプリンタ出力図

表 3a 人口のヒストグラム MSS5

HOR.AXIS=MSS 5BAND VER.AXIS=POPULATION

	-98	99-103-107-111-	115-	119-	123-	127-	131-	135-	139-	143-	147-	151-	155-	159-163-167-171-175-	TOTAL								
1	0	0	0	3	17	38	90	181	170	67	32	12	3	2	1	0	0	0	0	0	0	1	617
2	10	22	57	154	260	348	395	450	427	269	213	144	115	57	55	32	39	30	11	14	37	3139	
3	134	148	261	321	473	512	689	699	880	852	908	948	922	955	870	804	674	532	498	397	568	13045	
4	38	8	7	8	12	12	18	21	22	11	27	26	41	38	48	70	89	106	153	182	519	1456	
TOTAL	182	178	325	466	762	910	1192	1351	1499	1199	1180	1130	1081	1052	974	906	802	668	662	593	1125	18257	

表 3b 人口のヒストグラム MSS7

SOKAHI HYD HOR.AXIS=MSS 7BAND VER.AXIS=POPULATION

	-98	99-103-107-111-	115-	119-	123-	127-	131-	135-	139-	143-	147-	151-	155-	159-163-167-171-175-	TOTAL							
1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	10	15	15	31	37	41	46	64	81	270	617	
2	1	0	0	4	6	23	42	96	156	227	302	380	475	446	301	182	133	59	56	34	216	3139
3	18	3	10	21	71	256	477	761	1400	2030	2269	1805	1362	872	433	263	174	108	91	74	547	13045
4	26	0	2	4	9	14	26	40	77	135	200	152	106	120	110	60	52	50	33	23	217	1456
TOTAL	45	3	12	29	86	293	545	897	1634	2394	2775	2347	1958	1453	875	542	400	263	244	212	1250	18257

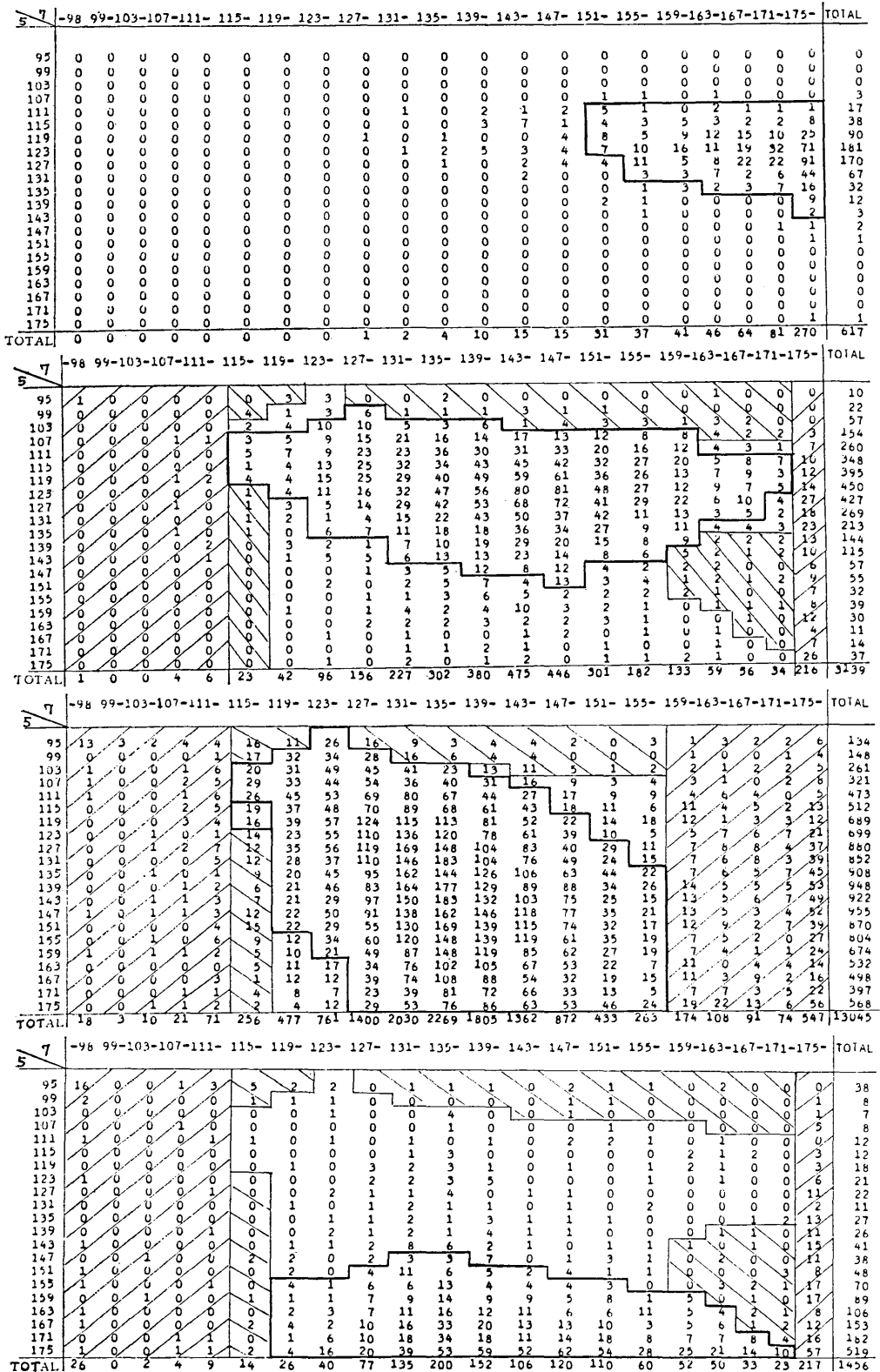


図5 人口密度の4つのクラスに対する二次元ヒストグラム
(上から クラス 1, 2, 3, 4)

る MSS5 と MSS7 の画像濃度のヒストグラムを示している。

人口がゼロである水域部は、MSS7 のネガで濃度 175×10^{-2} 以上でかつ MSS7 のポジで濃度 15×10^{-2} 以下のところを水域とみなした。これによって水域とみなされた点数は、10,353 点であり、実際の水域に対応する 10,543 点に対して 98.2% の精度で水域の判読が可能である。

表 3 のヒストグラムを見ると大略つぎのことがいえる。

- (1) 人口密度が高い程赤外バンドである MSS7 のネガにおける濃度が大きい。したがって図 3 の ERTS 写真の MSS7 では都市部ではややうす黒いパターンとなってあらわれる。
- (2) MSS5 のネガフィルムでは、人口密度が小さいところ程濃度が大きい。したがって図 3 の ERTS 写真の MSS5 では森林は黒いパターンとなっている。
- (3) ヒストグラムはほぼ正規分布に近い分布を示しているが、人口密度の低いクラス 3 およびクラス 4 においても、MSS7 の濃度の大きいものの度数が少しある。これは、海岸線または湖岸線の境界に接したところが、水域と陸地の合成平均濃度になるからである。このような点に対する濃度は、あとに示す方法によって自動的に除外し、人口密度の推定からはずした。

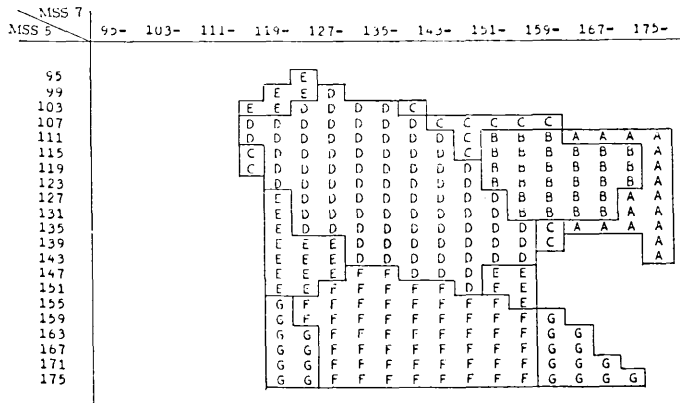


図 6 人口密度の推定のための決定領域

3. 人口密度推定のための決定領域

表 3 に示した 2 つのバンドに対するヒストグラムをならびかえ、人口密度の 4 つのクラスに対する MSS5 と MSS7 の画像濃度を二次元の画像空間に写しかえて、二次元のヒストグラムを作成した。図 5 は、4 つの人口

表 4 人口密度推定のための決定領域クラス分け

推定階級	人口密度区分	人口密度(人/km ²)
A	クラス 1	10,000以上
B	クラス 1 とクラス 2	1,000以上
C	クラス 2	9,999~1,000
D	クラス 2 とクラス 3	9,999~100
E	クラス 3	999~100
F	クラス 3 とクラス 4	999~1
G	クラス 4	99~1

表 5a 全 域

CLASS RANK	1	2	3	4	SEA	TRUE	TOTAL	RATIO (%)
A	316	25	0	4	0	316	345	91.594
B	240	448	108	16	0	688	812	84.729
C	8	164	115	3	0	164	290	56.552
D	53	2026	6594	104	0	8620	8777	98.211
E	0	53	801	24	0	861	938	91.791
F	0	108	3898	834	0	4732	4840	97.769
G	0	8	105	160	0	160	273	58.608
SEA	1	22	167	0	10353	10353	10543	98.198

表 5b 50 km 圏内

CLASS RANK	1	2	3	4	SEA	TRUE	TOTAL	RATIO (%)
A	315	17	0	2	0	315	334	94.311
B	234	366	46	11	0	600	657	91.324
C	8	127	49	2	0	127	186	68.280
D	47	1405	2416	27	0	3821	3895	98.100
E	0	18	121	1	0	121	140	86.429
F	0	36	1004	89	0	1093	1129	96.811
G	0	2	4	12	0	12	18	66.667
SEA	1	10	35	0	949	949	995	95.377

密度のクラス別の二次元のヒストグラムである。図中の太線枠内は約 93% の確率密度の領域であり、斜面を施した部分は、水域境界部やエラーデータと見なして棄却する領域である。

図 5 の 4 つのヒストグラムを重ねると、図 6 に示すように 7 つの決定領域が得られる。7 つの決定領域は、表 4 に示すように 2 つのクラスの共有領域を含んでいる。たとえば、図 6 における B の領域は、クラス 1 の人口密度とクラス 2 の人口密度

表 5c 30 km 圏内

CLASS RANK	1	2	3	4	SEA	TRUE	TOTAL	RATIO (%)
A	292	8	0	1	0	292	301	97.010
B	213	209	12	8	0	422	442	95.475
C	7	70	15	2	0	70	94	74.468
D	35	534	401	4	0	935	974	95.996
E	0	1	7	1	0	7	9	77.778
F	0	8	70	3	0	73	81	90.123
G	0	0	0	5	0	5	5	100.000
SEA	0	4	13	0	644	644	661	97.428

表 5 3 つのケースに対する人口密度推定の精度

の共有領域である。この研究が、異なる物体の識別を目的としているわけではないこと、精度を下げてもディスクリートの階級分類をする必要がない理由から、敢えて B 領域を A や C のいずれかの領域に含ませて、A と C に区別することは行わなかった。

4. 人口密度の推定とその精度

人口密度の推定は、ERTS 写真の全域、50 km 圏内および 30 km 圏内の三つの領域に対して行われた。人口密度の推定は、つぎに示す手順で行われた。

(1) 前記のべた方法により、海、湖沼、河の水域を除外する。図 7 ではブランクとなっている。

(2) 水域境界部およびエラーデータは、それぞれのクラスに対してつぎに示す領域にあるものとしてこれらを除去した。

クラス 1: 除去せず

クラス 2: MSS 7 で 175 以上か 114 以下の領域
図 6 の A から G までの全共有領域以外の領域

これにより、クラス 2 に属する点の 9.8% すなわち 307 点が除去され、図 7 では (の印で示される。

クラス 3: MSS 7 で 159 以上か 114 以下の領域
図 6 の A から G までの全共有領域以外の領域

これにより、クラス 3 に属する点の 10.5% すなわち 1,364 点が除去され、図 7 では / の印で示される。

クラス 4: MSS 7 で 175 以上の領域
図 6 の A から G までの全共有領域以外の領域

これにより、クラス 4 に属する点の 21.4% すなわち 311 点が除去され、図 7 では) の印で示される。

(3) 以上の除去を行った上で、二次の画像座標が図 6 に示したどこの領域におちいるかによって、人口密度推定のための A から G までのランクを決定する。図 7 は、全域、50 km 圏内および 30 km 圏内の人口密度の推定を行ったものを、ラインプリンタで記号化したものである。

(4) 人口密度の精度を検討する。すなわち、人口密度推定のランクと人口密度のクラスとの対応で精度を求めた。表 5 は、全域、50 km 圏、30 km 圏に対する推定の精度を求めたものである。

表 5 からわかるように、C および G のランク以外のランクに対しては、85% ないし 98% の高い精度で人口密度の推定が可能である。C および G のランクの精度が 60% 程度である理由は、サンプル数が少ないことと、C

と G の決定領域が図 6 に示した決定領域のうち確率密度の少ない領域であるためである。

5. 結 論

以上に示した研究結果を考察して、以下にのべる結論が得られた。

(1) 植物とコンクリートやアスファルトなどの人工構造物とのスペクトル反射特性の差異が失われていない季節に撮影された地球資源衛星写真から、大都市およびその周辺の人口密度の推定が高い精度で可能である。

(2) 今回の研究では、フィルム写真の画像濃度を数値化したものを用いたが、オリジナルなデータとして作成されている ERTS 磁気テープに格納されたデータを用いれば、人口密度推定の精度はさらに向上する。これは、磁気テープに収められたデータの解像力が地上のスケールで約 57 m × 76 m であることと、バンド毎の幾何学的レジストレ



図 7a 首都圏全域人口密度推定図



図 7b 首都圏 50 km 圏内人口密度推定図

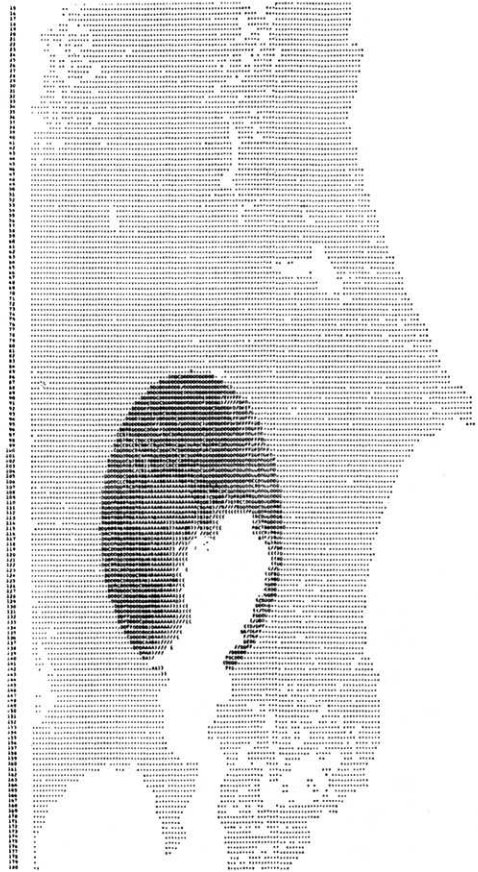


図 7c 首都圏 30 km 圏内人口密度推定図

ーションがはるかに良いことによる。これによって、水域境界近くの点の除去や、エラーデータの除去がきわめて容易になる。

- (3) 多次元画像空間につくられる人口密度推定のための決定領域は、互いに独立な領域をつくらずに、一般に共有領域をつくる。今回の研究では、この共有領域を無理にどちらかの決定領域に含ませずに、新しい決定領域として認めた。画像濃度から人口密度の大小を推定する場合には、その階級の境界に一線を画すのではなく、ある幅の境界を認めるべきである。しかし、人口密度のクラス分けを変えることによって、この共有領域を小さくすることは可能であろう。

- (4) 人口密度の高いところ程、赤外バンドの画像濃度との相関が強く、人口密度の低いところ程、赤外バンドの画像濃度との相関が強い。
- (5) 本研究で示した ERTS 映像の解析方法によって、大都市周辺の都市開発の程度を示す新しい指標を人口密度に関連して求めることが可能である。これにより、きわめて迅速に“開発度図”ともいべきものの主題図の作成が可能となる。
- (6) 今回は、作業量を少なくするために赤バンドと赤外バンドの二バンドを用いたが、4つのバンドを用いることも可能である。おそらくこの方がさらに精度が向上するであろう。

(1974年4月25日 受理)

