

地球資源探査衛星写真を用いた首都圏の環境調査

A Study on the Environmental Changes in Tokyo Districts Using Earth Resources Technology Satellite Imagery

村井俊治*・加藤洋一*・吉田保博*

Shunji MURAI Youichi KATO and Yasuhiro YOSHIDA

昭和 47 年 7 月に米国の航空宇宙局によって地球資源探査衛星 (Earth Resources Technology Satellite: ERTS) が打上げられて以来, 世界中の地表の映像が驚く程良い精度で得られている。本論文は, 東京首都圏の ERTS 映像を用いて, 都市開発, 大気汚染, 緑の分布など都市環境に関する映像を分析した成果をまとめたものである。

はじめに

限りある地球の資源を管理し, 有効に利用するために, 地球資源探査衛星 (ERTS) が打上げられた。ERTS からは, 地球の刻明な姿のマルチスペクトル映像が送られる。ERTS は, 太陽同期の円軌道を有しており, 18 日毎に同一地点に戻ってくるように設計されているので, 周期的な地球環境の情報が得られる。一枚の映像のカバーする範囲は, 185 km×185 km 四方であり, その解像力は 65 m ないし 100 m である。

ERTS 映像の利用分野は, 農業, 林業, 水資源, 地質および鉱物資源, 海洋資源, 都市, 土地利用, 公害, 地理などほとんどあらゆる分野に利用され, 現在までに数回のシンポジウムでその成果が発表されている¹⁾²⁾。

NASA は, ERTS 映像の有効利用を研究するため, 世界各国にその国際協力をよびかけている。わが国もこの企画に参加し, 著者らも ERTS 映像の有効利用に関する研究を行っている。

本論文は, 東京首都圏の ERTS 映像が 4 回得られたのを利用して, 大規模に地表をはがしている宅地造成あるいはゴルフ場造成の判読, 東京湾臨海工業からの大気汚染検出および都心の緑の調査など都市環境の調査を行った。

以下に ERTS 映像の概要を紹介し, さらに ERTS 映像による首都圏の環境調査の成果を解説してみよう。

1. ERTS 映像の概要

1.1 ERTS の概要

地球資源探査衛星はつぎに示すような諸元をもつ。

- 軌道: 太陽同期円軌道
- 高度: 900 km
- 軌角: 99.114°
- 周期: 103.267 分/回転; 14 回/日
- 搭載機器: マルチスペクトルスキャンナ (MSS)
リターンビームビジコンカメラ (RBV)
データコレクションシステム (DCS)

ERTS は, 1 日後には日本の緯度付近で約 160 km 離れた軌道を取り, 18 日後には再び同じ軌道に戻るようになっている。打上げ後間もなく, RBV は故障して作動していない。従って地球の映像は MSS によって収集されている。DCS は, 地球上の無人観測基地からの測定値を ERTS がリレーして, 地上の中央管理センターに送る装置である。日本にはこのような無人観測基地はまだない。

1.2 ERTS 映像の概要

マルチスペクトルスキャンナ (MSS) からとられた映像の概要はつぎのとおりである。

スペクトルバンド: 4 バンド

スペクトル波長: MSS 4 (0.5 μ~0.6 μ) 緑バンド

MSS 5 (0.6 μ~0.7 μ) 赤バンド

MSS 6 (0.7 μ~0.8 μ) 近赤外バンド

MSS 7 (0.8 μ~1.1 μ) 赤外バンド

地上解像力: 65 m~100 m

映像タイプ: 70 mm フィルム, 9.5 インチフィルム, カラー合成写真, デジタル磁気テープ

撮影範囲: 185 km×185 km

投影座標系: UTM 座標系

撮影時刻: 赤道上で午前 9 時 42 分, 日本では約午前 10 時前後である。

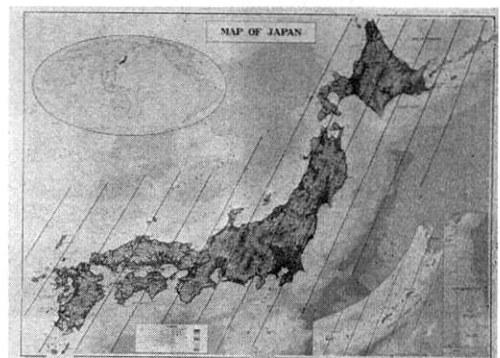


図 1 わが国における ERTS 軌道

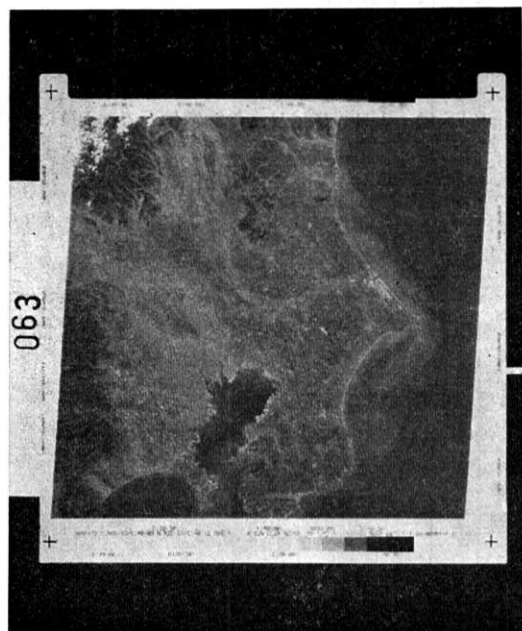
* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

現在わが国に NASA から送られてくる映像は、70 mm フィルムである。

図1は、わが国上空を通る ERTS の軌道図である。この軌道図は、たとえば1月1日に東京上空を通る軌であれば、1月2日にはその西隣りの東海を通る軌道になり、1日毎に西の軌道になり、18日後の1月19日には再び東京上空の軌道になることを示している。

2. 東京首都圏の ERTS 映像

東京首都圏の ERTS 映像は、関東平野がほぼ全域含まれている。NASA から送られてくる 70 mm フィルムの映像は、正確に 336 万 9 千分の 1 の縮尺になっており、3.369 倍すれば 100 万分の 1 の地図に匹敵する映像が得られる。



MSS4 (緑バンド)



MSS5 (赤バンド)



MSS6 (近赤外バンド)



MSS7 (赤外バンド)

図 2 昭和47年11月26日の ERTS 映像

表 1 東京都首都圏の ERTS 映像

番号	撮影年月日	時 刻	覆雲率	備 考
1	'72 11月26日	時 分 9 48.4	10%	極めて良い映像である。
2	'72 12月14日	時 分 9 48.4	20%	同上。
3	'73 1月1日	時 分 9 48.3	50%	北部に雲がある。東京湾は晴れ。
4	'73 1月19日	時 分 9 48.3	45%	北部に雲あり。

表 2 ERTS の MSS 映像の特徴

名 称	バンド	特 徴
MSS 4	緑	濁水, スモッグ等がよくわかる。
MSS 5	赤	同上。森林が黒くうつり, 裸土は白くうつる。
MSS 6	近赤外	水面は黒くうつる。植生部は白くうつる。
MSS 7	赤外	同上。人口密集地は, うす黒くうつる。

表 3 ERTS 写真による判読可能性

対 象 物	ERTS 写真			
	MSS-4	MSS-5	MSS-6	MSS-7
大規模採石場		○		○
宅地造成地	○	◎	△	
港 湾		○	○	◎
埋 立 地		◎	○	○
新設高速道		○		
沿線が開発された道路 または鉄道			△	○
水 田	△	○	○	○
畑	△	○	△	○
森 林 帯	△	◎	○	○
砂(れき)地	◎	○	○	
湿 地			○	◎
河川および水路		△	○	◎
ダムおよびせき			○	◎
湖・沼・池		△	○	◎
大きな防波堤・さん橋	○	◎	△	
水汚濁状況	◎	○		
スモッグの分布状況	○	◎	○	
雲の形態	○	○	○	○
集落密集地			○	◎
大きな都市公園		○	△	○
飛 行 場		○	○	◎
ゴルフ場	△	○	○	◎

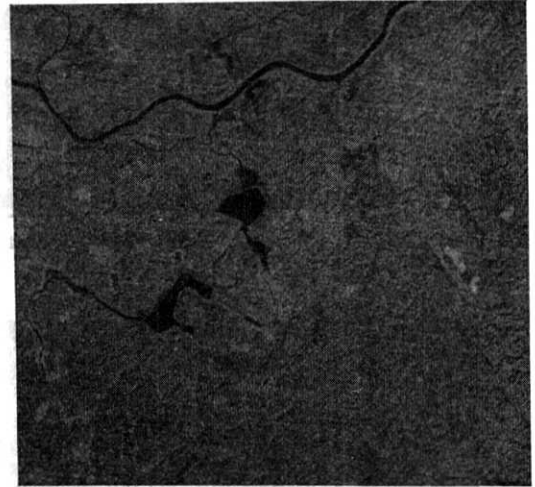
◎ よく判別がつく ○ 判別がつく △ だいたいわかる

ERTS が打上げられた当初に、東京の上空は濃いスモッグに覆われているので鮮明な明像が得られることは極めて困難であるといわれていた。しかし、冬になってから良い映像が得られるようになり、表1に示すように既に4回の映像が得られている。

図2は、昭和47年11月26日に撮影されたERTS映像である。4枚あるのは、まえに述べた4つの異なるスペクトル波長域のマルチスペクトル写真である。それぞれのバンドの映像の特徴をのべると表2のようになる。



MSS 5



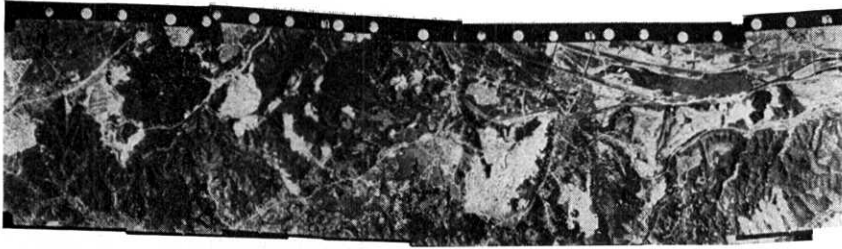
MSS 7



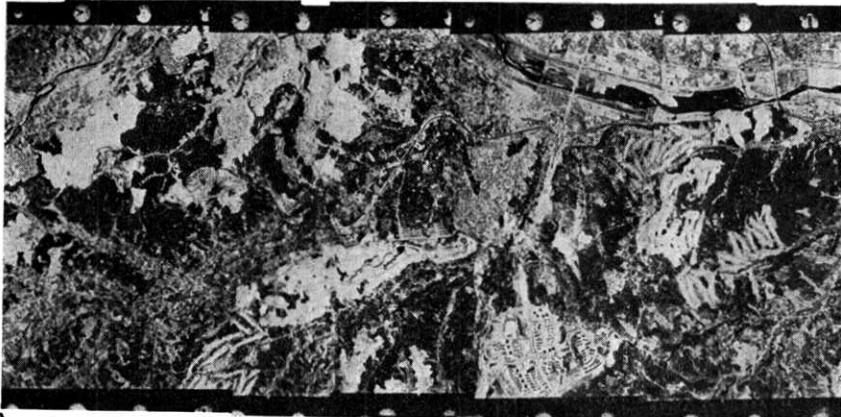
図 3 成田空港付近の工事土地造成

3. ERTS 映像を用いた大規模土地造成工事の判読

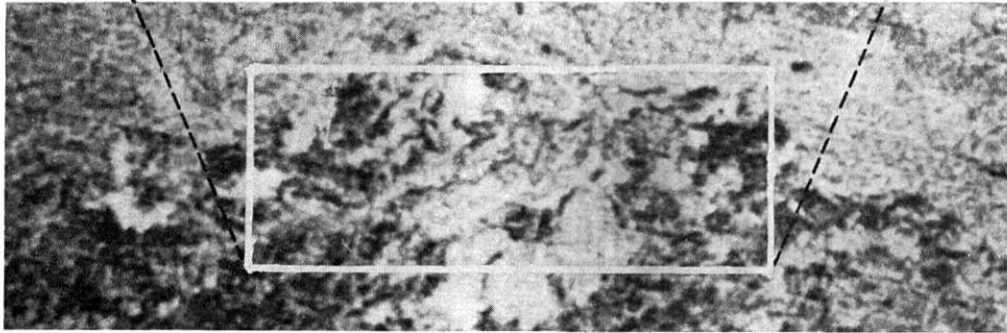
宅地造成ゴルフ場造成および飛行場造成など広大な面積におよぶ大規模な土地造成は、森林破壊、土砂流出、



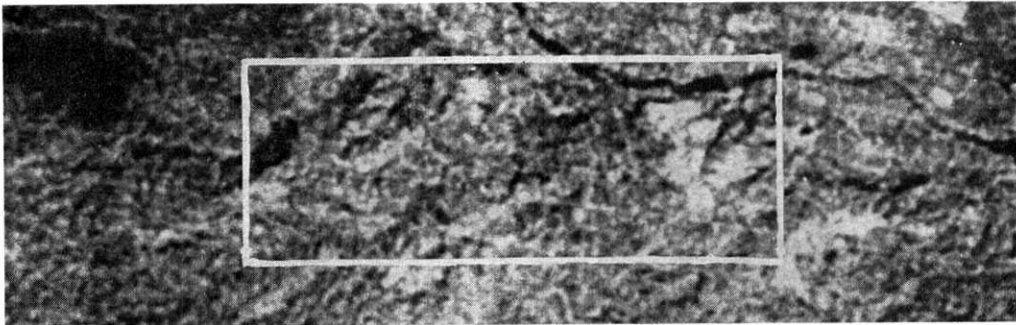
昭和40年7月撮影



昭和46年4月撮影



MSS 5



MSS 7

図 4 航空写真と ERTS 写真に見る宅造地とゴルフ場

洪水出水、地下水の枯涸、景観破壊など数多くの問題をおこす。首都圏内では、100 ha から 500 ha にもおよぶ宅地造成地が、平均 5 m ないし 10 m の切土または盛土の施工を行う。このような宅地造成は丘陵地から山岳地に移行する傾向があり、上記の問題はさらに深刻になる。

ゴルフ場造成も宅地造成同様の問題をおこし始めている。関東一円に現在約 250 のゴルフ場があり、計画中のものを含めると約 800 近くにもなる。

宅地造成やゴルフ場造成などの環境管理は、常に大局のおよび広域的に把握する必要がある、ERTS 映像を利用することはきわめて意義がある。

上記の問題意識をふまえて、首都圏にある主要な地物および構造物が、4 つのスペクトルバンドでどのように判読可能であるかをしらべてみた。

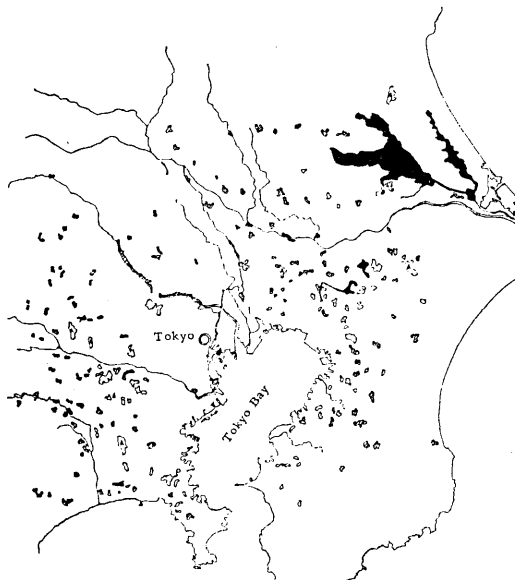
表 3 は、種々の地物が ERTS 映像で判読可能か否かおよびその程度を示したものである。

表 3 からわかるように、宅地造成地およびゴルフ場造成地など地表をはがしたところは、MSS 5 で白い斑点状にうつる。それに対して、MSS 7 では、ゴルフ場のみが白くうつり、宅地造成地はうつらない。このキーから、宅地造成地とゴルフ場造成地とが識別される。

飛行場造成は、宅地造成と同様の傾向を示すが、その形状から識別できる。

立川や横田にある米軍基地は、芝生を広く植えているので、ゴルフ場との識別はできない。

図 3 は、成田空港付近の ERTS 映像の MSS 5 および MSS 7 の拡大写真であり、住宅団地、ゴルフ場およ



○ ゴルフ場
A 飛行場
□ 宅地造成
■ 沼

図 5 ERTS 写真による首都圏の宅地、ゴルフ場、飛行場の判読

び成田空港の映像特性を示している。

図 4 は、多摩市聖跡桜ヶ丘近付の宅地造成およびゴルフ場造成の航空写真および ERTS 写真である。航空写真は昭和 40 年と昭和 46 年に撮影されたもので、6 年の間に宅地およびゴルフ場がいかに急激に新しく造成されているかがわかる。また、航空写真と ERTS 写真を見比べると、ERTS 写真から宅地やゴルフ場の形状がよく対応していることがわかる。

図 5 は、ERTS 写真から首都圏の宅地、ゴルフ場および、飛行場を判読したものをプロットしたものである。このような大規模開発地域の分布図は、都市の適切な開発を計画する重要な情報となる。

4. ERTS 映像に見る大気汚染

首都圏の主要な工業は、東京湾に沿う臨海地帯に分布している。これらの工場が出すスモッグは、東京都、神奈川県および千葉県それぞれの地方公共団体が監視しているが、全体的なスモッグの動態についての調査はほとんどない。

4 回の異なる日時の ERTS 映像を利用して、東京湾臨海工業の出すスモッグをマクロ的に眺めてみよう。

スモッグは、MSS 4 または MSS 5 のバンドの白色調に見ることができる。4 回の ERTS 映像は、いずれも冬に撮影されているので、スモッグは東京湾上に吹き流されている。河川から流出される濁水も MSS 4 または MSS 5 で白色調に見える。海上に見られるスモッグと濁水は、紋様で識別できる。すなわち、濁水は均質の色調の流出パターンになるのに対し、スモッグは綿状の不均質の肌目となる。

図 6 の a, b, c, d は、それぞれ 4 回の異なる日時の ERTS の MSS 5 の拡大写真と、スモッグの状態を判読した図とを組にしたものである。

4 つの映像を見ると、つぎのようなスモッグの特徴を見出すことができる。

- 1) '72, 11月26日の写真: 全体的にはそれほど顕著ではないが、京浜工業地帯に一部スモッグとスモッグ発生源が認められる。(図 6 a 参照)
- 2) '72, 12月14日の写真: 東京湾全体にスモッグが認められる。これは、この日をはさんで約 1 週間、ゴミ処理場である夢の島が火事になり、その煙が東京湾上に広く流れ出したと考えられる。(図 6 b 参照)
- 3) '73, 1月1日の写真: 4 枚の写真の中では、一番スモッグが少ない。これは、正月期間にほとんどの工場が休むためである。しかし、数少ないいくつかの工場から流れ出た煙が糸を引くような線状に見える。おそらく火力発電所など年中無休の工場からの煙であろう。(図 6 c 参照)



図 6 a. 東京湾のスモッグ '72. 11.26

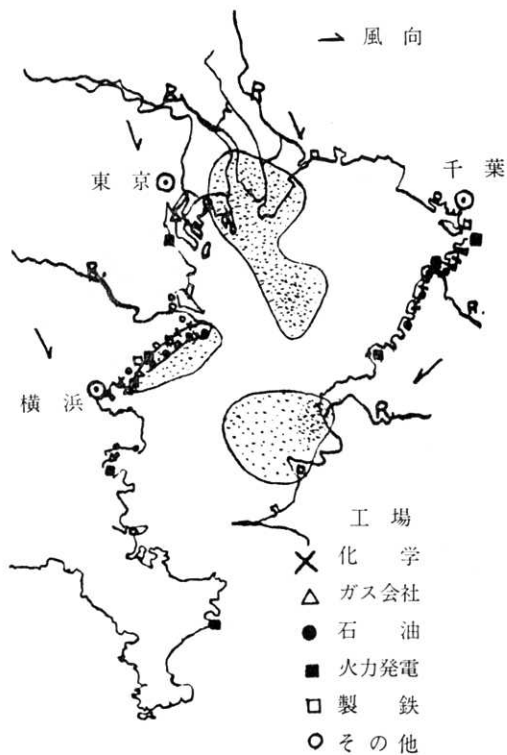


図 6 b. 東京湾のスモッグ '72. 12.14

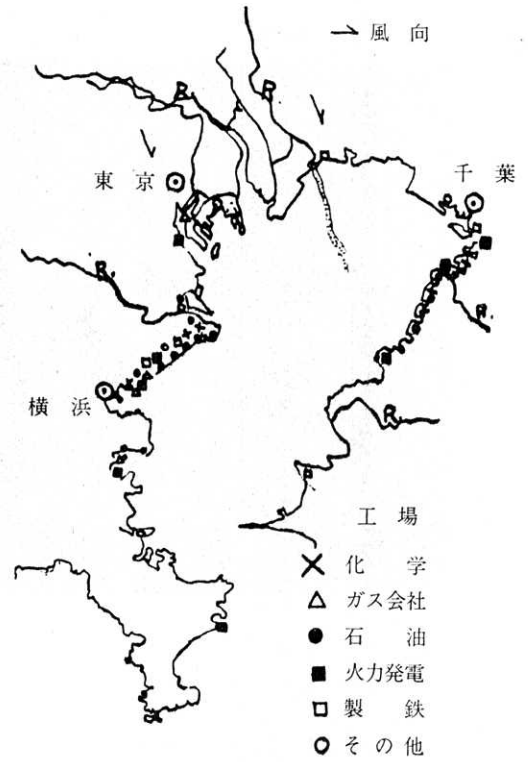


図 6 c. 東京湾のスモッグ '73, 1, 1

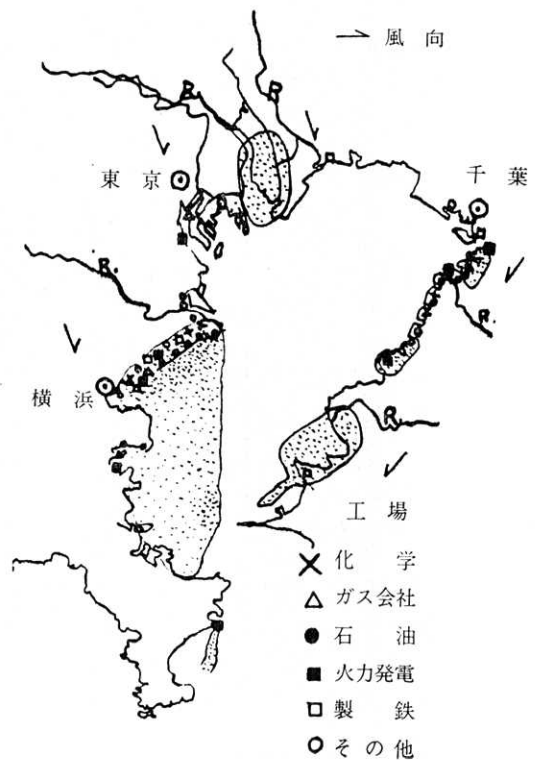
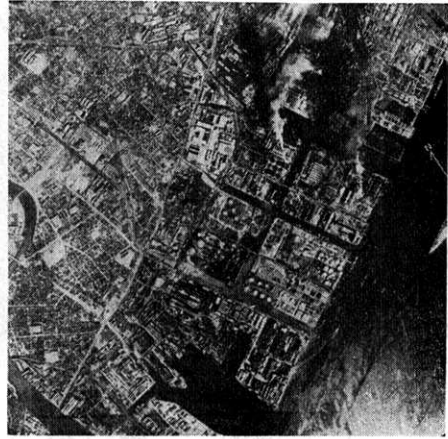


図 6 d. 東京湾のスモッグ '73, 1, 19

(a) MSS 5 1/200,000



(b) 航空写真



(c) 工場配置図



図 7 京浜工業地帯のスモッグ発生源

4) '73, 1月19日の写真: 京浜工業地帯から流れ出したスモッグと、千葉県臨海工業地帯から流れ出したスモッグが合わさり、東京湾上に大スモッグ集団が形成されている。このスモッグ集団は、三浦半島近くまで北西の風に流されている。海上のスモッグは、雲のようなパターンを示しているが、帯状のスモッグ帯をたどってゆくと、京浜工業地帯に行き着くのでスモッグであることがわかる。(図6 d 参照)

スモッグのもっとも激しい'73, 1月19日の ERTS 写真を拡大して、スモッグ発生源を精査してみた。

図7は、京浜工業地帯川崎の埋立地の工場密集地の ERTS 写真の拡大と、航空写真および工場配置図を比較したものである。拡大された写真の中で、白い斑点に見えるものは、航空写真および工場配置図と対応させて見ると、火力発電所またはガス会社の煙突であることがわかる。

ERTS 映像から大気汚染を監視する場合、全体的なスモッグの状態や発生源の検出などが可能である利点がある反面、つぎのような問題がある。

- 1) スモッグが海上に流れ出した場合、単調な背景のなかでのスモッグとしてそのパターンが明瞭にわかるのに対し、風向きが異なり内陸部に流れ出した場合にはそれほどよくわからない。
- 2) スモッグの立体的分布や量を知ることは現在の技術水準ではできない。
- 3) 上に示したように、写真を光学アナログ的に扱う場合には、スモッグのパターンが視覚判断できるが、デジタル磁気テープを用いて自動判読する場合、そのパターン解析のアルゴリズムをつくるのが

困難である。

4) 現在の ERTS のスペクトルバンドのみでは、スモッグの種類がわからない。電力会社、ガス会社、製鉄会社、石油化学会社などの区別は、ERTS 映像のみからでは判別できない。

5. 冬季における都市の緑

葉緑素を含む植物は、図8に示すようなスペクトル反射特性をもつ。木の種類や含水率などによってスペクトル特性曲線は異なるが、特性曲線のパターンはほとんど同じである。この図から、植物は、人間の眼に緑と感じる $0.5 \mu \sim 0.6 \mu$ の波長域のスペクトル反射より $0.7 \mu \sim 1.1 \mu$ の近赤外波長域で数倍大きい反射を示すことがわかる。

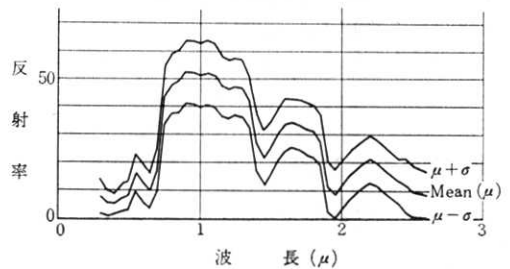


図8 植物のスペクトル反射特性

したがって、植物の存在は、カラー写真で緑のあるところを探すより、赤外領域で反射の大きいところを探す方が簡単にわかる。これが赤外カラー写真によって植物調査が行われる原理となる。

冬季においては、赤外領域でのスペクトル反射は減少



(a) '72 11. 26. MSS7



(b) '73 1. 19. MSS7

図9 落葉前後の ERTS 赤外写真

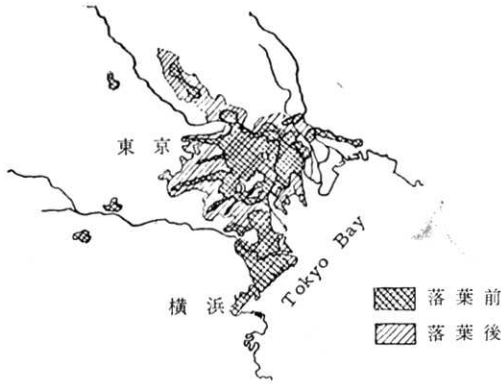


図 10 落葉前後の都心の緑の少ない部分の分布

する。特に落葉後はきわめて少なくなる。

首都圏の ERTS 映像が落葉前の '72, 11 月 26 日と落葉後の '73, 1 月 19 日のものがあるのを利用して、両者の赤外領域でのスペクトル反射特性の差を見てみよう。

図 9 a, b は、それぞれ '72, 11 月 26 日と '73, 1 月 19 日の ERTS の MSS 7 (赤外バンド) である。

2つの映像を比較するとつぎのことがわかる。

- 1) 11 月 26 日の方が 1 月 19 日のものにくらべて、白くうつつている部分、すなわち植物の緑が多い。これは、1 月 19 日には、広葉樹が落葉したためと考えられる。
- 2) 11 月 26 日の映像で、すすのように黒くうつつているところは、コンクリートとアスファルトで固められた人口密集都市である。この時期では、緑地部

と都市部とはコントラストがきわめて大きい。しかし 1 月 19 日の映像では、落葉のために赤外のスペクトル反射が減少したために黒く見える部分が広がっている。

11 月 26 日と 1 月 19 日の映像から、都心部の緑の少ない部分の分布を図にすると図 10 のようになる。

落葉前の ERTS の赤外写真では、緑地部と都市部とがよいコントラストを示すのを利用して、都市の開発度を表わす指標を設定することを試みてみた。都市の開発度を表わす指標として人口密度を考えてみる。

図 11 a, b は、'72, 11 月 26 日の ERTS 赤外バンドと昭和 40 年の国勢調査の結果から作られた人口密度の 1 km メッシュ図である。この両者を比較するときわめて良い相関を示していることがわかる。

現在、ERTS 映像の赤外バンドとの画像濃度と人口密度との相関をデジタルな手法で求める研究をすすめているので、ここでは単に両者を紹介するのにとどめる。

人口密度図は、都市計画あるいは地域計画にきわめて利用価値があるが、5 年毎に行われる国勢調査の結果から人口密度図が作られるには約 3 年かかる。

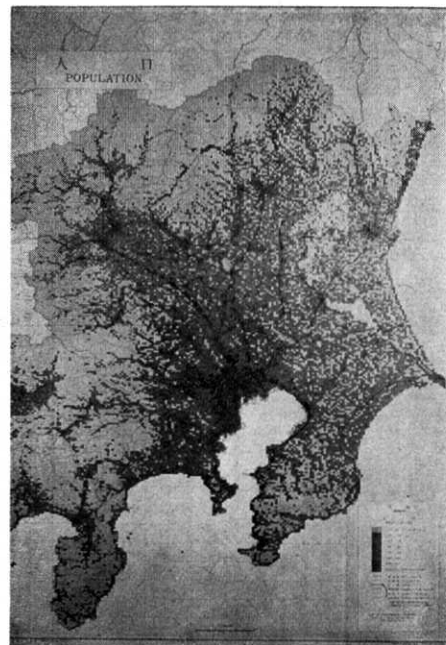
昭和 45 年に行われた国勢調査から人口密度図の 1 km メッシュ図が、本原稿をかいた時点で未だ作成されていない。

したがって ERTS 映像から良い精度で、人口密度が推定できれば、きわめて有意義なことといえる。

また同時に都市の開発と緑との関係が明らかになる。



(a) '72 11.26 MSS 7



(b) メッシュ人口統計地図

図 11 (a) ERTS 赤外映像

(b) 人口密度図 (昭 40)

6. 将来の地球探査衛星と研究課題

いままでの首都圏の ERTS 映像から得られた成果の二、三の例を紹介してきた。地球探査衛星は将来さらに精度のよいリモートセンサーと、その種類も増える傾向にある。将来の地球探査衛星とそれを利用する研究課題を考察してみると、つぎのものがあげられる。

- 1) 行政レベルあるいは実用レベルで利用できる分野の確立と、その利用手法の開発をおこなう。
- 2) 昭和 49 年の末に ERTS-B が打上げられ、さらに地表の温度の情報が得られる。またスカイラブでは、マイクロウェーブ波の映像が得られる。昭和 55 年には、地球観測システム (EOS) やシャトルが打上げられ、さらに多くのリモートセンサーが搭載される。このように増加し続けるリモートセンシングデータを管理し、有効に利用する方法を確立する。
- 3) 人工衛星からのリモートセンシングデータは、アナログの画像のほかに、デジタルな形で利用できる。デジタルな画像信号から、自動判読やパターン認識を行ない、目的に応じた情報図にする手法を確立する。
- 4) 人工衛星から地球をリモートセンシングする時と同じくして、地上調査や航空写真測量を行うと、人工衛星からの映像は、きわめて良い精度の情報となる。

どのようなものの判読には、どの程度のサンプリング調査を行ったらいかにについての統計的実験を行なうことが重要となる。

- 5) 大気汚染や水汚染などのように、時間的にその挙動が変化するような対象の常時観測および定量的観測のリモートセンシングシステムを確立する。

あ と が き

航空機あるいは人工衛星からのリモートセンシングが出現してから、きわめて多くの利用分野が開発されてきた。わが国でのこの分野の歴史はきわめて浅く、これからはますます発展してゆくことと思われる。リモートセンシングの技術を、何のために、どのように用いるべきかを整理することが、今後わが国のリモートセンシングを進展させる基本となる。その意味で本論文が何かの役目を果たせば幸いである。なお、本研究は昭和 48 年度の選定研究費によるものであることをつけ加える。

(1974 年 1 月 10 日受理)

参 考 文 献

- 1) Symposium on significant results obtained from Earth Resources Technology Satellite Volume I, II, III GSFC, NASA, Mar. 1973
- 2) Symposium Proceedings: Management and utilization of remote sensing data, ASP, Oct, 1973
- 3) R. R. Legault: Multispectral Remote Sensing: Univ. of Michigan

