リモートセンシング画像のデジタル処理 (II)

——関東地方 ERTS-1 データを用いたケーススタディ

東京大学生産技術研究所 村 井 俊 治

リモートセンシング画像は、多数の異なる波長域の画像からなるマルチスペクトル画像であり、多次元画像情報でもある。リモートセンサーの発達により、最近では航空機や人工衛星などのプラットフォームにおいて直接デジタルな形でリモートセンシング画像が得られるようになった。リモートセンシング画像は、大気や太陽光の影響を強くうけるためキャリブレーションなどラジオメトリックな補正が必要であると同時に、幾何学的な変形の補正など前処理が必要となる。また自動判読のためのソフトウェアも必要となる。以下に関東地方の ERTS-1 デジタルデータを用いたケーススタディを紹介してみよう。

1. ERTS デジタルデータの概要

地球資源衛星 (ERTS) には、2つの異なるセンサー、すなわちマルチスペクトルスキャナー (MSS) とリターンビームビジコンカメラ (RBV) が搭載され、それぞれの画像がコンピューター用磁気テープ (CCT) に変換される。さらに、これらのデータは、バルク処理 (bulk processing) とプレジジョン処理 (precision processing) の2つのタイプのデータに分けられる。バルク処理データは、センサーおよびプラットフォームのシステム上のひずみの補正のみが施されており、各種の原因のひずみや誤差が含まれている。プレジジョン処理データは、地上の測地座標系と対応のついた、より精密な補正データである。

わが国の ERTS データは、いずれもバルク処理データである。ERTS-1 は、RBV センサーが故障したため、わが国の画像データとして MSS のバルク処理データのみを提供してくれた。筆者は、ERTS-1 の関東地方の MSS バルク処理 CCT (ID No. 112600484) を入手したので、これを用いたケーススタディを以下に述べることにする。

2. 関東地方の ERTS-1 MSS バルク処理データのフォーマット

ERTS 写真の 100 カイリ×96.3 カイリの 1 画枠分

“Automated Imagery Processing for Remotely Sensed Data (A Case Study Using ERTS-1 Data in Tokyo Districts)” by Shunji Murai (Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Tokyo)

が、図 1 に示すように、25 カイリ×96.3 カイリの4つに分割され、それぞれが、9トラック、800 BPI の磁気テープに収録されている。

1 巻の磁気テープは、図 2 に示されるように、2,342 レコードで構成され、その内容はつぎのようになっている。

- (1) 写真番号レコード (ID. Record): 40 バイト、撮影年月日、写真番号、位置などが記録されている。
- (2) 注記レコード (Annot. Record): 624 バイト、

図 1 ERTS デジタル磁気テープ

図 2 ERTS CCT のレコード構成

写真中心位置, 太陽高度, ティックマーク位置などのデータが収録されている。

- (3) 画像データレコード: 3,296 バイトからなるスキャンラインを1レコードとして, 2,340 本のスキャンライン分が記録されている。

1 スキャンライン分の画像データは, 図 3 に示されるように, 8 バイトグループからなる 405 個の画像データグループ $G_{i,s}$ と総計 56 バイトからなるキャリブレーションデータ, すなわち合計して 3,296 バイトのデータとなる。

8 バイトグループで構成される画像データは, 図 4 に示されるように, 2 画素ずつ 4 つのスペクトルバンドの画像データが並んでいる。1 画素は, 1 バイト, 8 ビッ

トである。そのうちの 1 ビットはパリティチェック用であるので, 画像データのレベルは 7 ビット, すなわち 128 レベルである。

結局, 1 本の磁気テープの 1 スキャンラインには, 810 個の画素が 2 つずつ, 4 つのスペクトルバンドの順に並んでいる。したがって 1 スペクトルバンドについての 1 画枠の画素の総計は, 3,240 個の画素からなるスキャンラインが 2,340 本分, すなわち $3,240 \times 2,340 = 7,581,600$ 画素である。

この画素 1 つ分の大きさを地上の長さの尺度になおすと, 画素間隔 57 m, スキャンライン間隔 76 m となる。

4 つのスペクトルバンドの波長域はつぎのとおりである。

緑 バンド (MSS 4): $0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$

赤 バンド (MSS 5): $0.6 \sim 0.7 \mu\text{m}$

近赤外バンド (MSS 6): $0.7 \sim 0.8 \mu\text{m}$

赤外バンド (MSS 7): $0.8 \sim 1.1 \mu\text{m}$

3. バンド別ヒストグラムの作成

ERTS 4 巻分のデータのうち, 関東中央部の約 $100 \text{ km} \times 120 \text{ km}$ の地域に対応する $1,750$ 画素 $\times$ $1,570$ スキャンライン分の合計 $2,747,500$ 画素のバンド別ヒストグラムを作成し, どのような画像データ分布の特徴があるかを見てみた。

図 5 は, 4 つのバンドに対するヒストグラムである。

表 1 は, 4 つのバンドに対する画像データの平均値, 最小値, 最大値, 標準偏差および頻度数 1,000 以上のデ

図 3 1 スキャン内のデータ

図 4 8 バイト画像データグループ

図 5 ERTS 原データのヒストグラム

表 1 ERTS データの統計値

	バンド 4	バンド 5	バンド 6	バンド 7
最大値	127	127	127	63
最小値	3	0	0	0
平均値	19.56	14.13	16.83	8.18
標準偏差	3.09	4.68	7.53	4.48
実効範囲	12~35	4~33	2~38	0~24

ータの範囲を示している。

画像データは、7ビット分すなわち 128 レベルあるが、どのバンドも雲や雪以外はだいたい 40 以下ぐらいの値である。写真上では、0 が黒、127 が白、中間は灰色になっている。

写真 1 は、図 5 のヒストグラム上で、それぞれのバンドの画像データのレベルを 10 の非線形の濃度階級に分割し、ドットプリンターで出力したものである。この図

は、1:12×18 にデータ圧縮したものである。

写真 2 は、羽田空港付近をデータ圧縮しないで 1 画素ずつドットプリンターで出力したものである。

4. ERTS データの前処理

原データをそのままの形で用いるよりも、ある関数にあてはめて用いる方が、ある対象物の特徴がより強調されることがある。しかしながら、現在のところどのような関数を用いると有効であるかがはっきりわかっていない。一般には、つぎの 4 つの前処理モードが用いられる。

(1) $x_i' = (x_i - \bar{x}) / \sigma_i$ 正規化モード

x_i' : 第 i バンドの前処理データ

x_i : 第 i バンドの原データ

$\bar{x}$: 第 i バンドの原データの平均値

(a) 4 バンド

(b) 5 バンド

(c) 6 バンド

(d) 7 バンド

写真 1 ERTS データの画像化

写真2 羽田空港付近のデータ

σ_i : 第 i バンドの標準偏差

コントラストの低い画像のコントラスト増幅を行うのに有効である。MSS 4 の画像はきわめてコントラストが低いが、写真3は上記の前処理モードにあてはめてコントラストを強調した図である。

(2) $x_i' = x_i / \sum x_i$ 標準化モード

$\sum x_i$: 第 i 画素のすべてのバンドの画像データの和。

バンド単位で考えると、かえってコントラストが減少する。3つのバンドを用いると、色合成の際のB, G, Rの3色係数に対応させることができる。

(3) $x_{ij}' = x_i / x_j$ バンド比モード

x_{ij}' : 同一画素における第 i バンドの画像データ x_i を第 j バンドの画像データ x_j で割った値。

i と j の組み合わせによって強調される対象が異なる。雲による影の影響を除去したり、地質の判読や土壌の含水比を調べたりすることに有効であることが報告されている。しかし、どのような条件下でどの2つのバンドを用いたらよいかは今後の課題である。

(4) $x_{ij}' = \frac{x_i - x_j}{x_i + x_j}$ 差と和の比モード

2つのバンドの微妙な差を強調するモードであるが、このモードもどのような条件下で有効であるかは、今後さらに研究する必要がある。

5. ERTS データの2次元ヒストグラム

ERTS データのスペクトル特性を目で見てよく精査するために、4つのバンドから異なる2つのバンドの組み合わせをつくり、それぞれについて2次元のヒストグラムを作成してみた。紙面の制約もあるので、MSS 4と

写真3 MSS 4の正規化画像(4バンド)

MSS 5, MSS 5とMSS 6, MSS 6とMSS 7の3つの組合せの2次元ヒストグラムを図6の(a), (b), (c)にそれぞれ頻度数の等高線図として示した。この図を見る

図 6 2バンド間の2次ヒストグラム

と、それぞれのヒストグラムにおいて同心楕円状のいくつかの山があり、それぞれの山はほぼ正規分布していると考えられる。また、それぞれの山はおそらくある土地利用に対応しているのであろう。

このように、画像空間内で、同一集団と思われるものをいくつかのグループに分けて、それらが地上の何を意味するかを分析するのが unsupervised classification 法とよぶ。一方、あらかじめ、地上で既知の対象物のスペクトル特性を測定しておき、画像空間内にその対象物の形成する画像識別領域を定めておき、その領域に画像デ

写真 4 (a) バンド4とバンド5の識別領域の画像化

写真 4 (b) バンド5とバンド6の識別領域の画像化

ータが含まれるか否かによってその物体か否かを識別することを supervised classification 法とよんでいる。

写真 4 (a), (b), (c) は unsupervised classification の立場から、図 6 (b) の 2 次元ヒストグラムでいくつかの同一集群に分け、これらを画像化してみた例である。

6. ERTS データの幾何学的補正

ERTS の画像データは、画素番号とライン番号で与えられる均質な 2 次元マトリックスで構成される。このマトリックスの 1 つ 1 つの位置を地上にプロットする

写真 4 (c) バンド6とバンド7の識別領域の画像化

と、つぎに示すような各種の原因によってひずみが生じるために正方格子のグリッドにならない。幾何学的なひずみを誘発する原因にはつぎのものがある。

- (1) 人工衛星の 3 軸の傾き
- (2) 人工衛星の高度変化
- (3) スキャン中の人工衛星の動き
- (4) スキャン中の地球の動き
- (5) 地球の曲率
- (6) スキャンミラーの回転速度の変化

上記の主な原因とひずみの関係を図 7 に示した。

ひずみの原因	幾何学的ひずみ	ひずみの大きさ (m)	ひずみの原因	幾何学的ひずみ	ひずみの大きさ (m)
ローリング		$\Delta X \leq 6,400$	地球の自転によるスキュー		$\Delta Y \leq 6,480$
ピッチング		$\Delta Y \leq 6,400$	スキャン時間内のスキュー		$\Delta Y \approx 210$
ヨーイング		$\Delta Y \leq 969$ $\Delta X \leq 5$	ミラー回転速度		$\Delta X \approx 400$

図 7 ERTS データ幾何学的ひずみ

図 8 座標変換

このような幾何学的ひずみを補正して、地上で正方格子のグリッドに対応する画像データを内挿するには、図 8 に示すように、地図座標から画像座標への座標変換式を求めればよい。

$$\begin{cases} u = f(x, y) = \sum \sum a_{ij} x^i y^j \\ v = g(x, y) = \sum \sum b_{ij} x^i y^j \end{cases}$$

ここで、 (x, y) は地図座標、 (u, v) はその点に対応する ERTS 画像データの 2 次元マトリックス座標である。一般には、上記の座標変換は 3 次の多項式をあてはめれば、ほとんどのひずみは補正可能である。

上記の多項式の係数を求めるには、ERTS 画像の画枠内に、地図および ERTS 画像の両者の上で認識可能な点を 20 点ないし 30 点求め、最小 2 乗法を用いる。

写真 5 は、著者が ERTS 画像の中で選定した基準点で、図 9 はそのなかのひとつの例を示した。基準点は、5 万分の 1 の地図上で秒単位で緯度、経度を読取る。このような基準点を用いると、中等誤差で約 1 画素以下の精度で幾何学的補正が可能である。

写真 5 ERTS 画像上に選定された基準点

写真 6 は、地上で 100 m×100 m のメッシュを作り、このメッシュに対応する ERTS 画像データを原データから内挿し、ドットプリンターで出力したものである。比較のために、5 万分の 1 の地図も横に並べた。図は、千葉港付近の埋立地である。

7. ERTS 画像データの判読

ERTS のデジタルデータを用いて、それらの画像が何を意味するかを判読して、たとえば土地利用図などを作成したい。この場合、どのような物体がどのような画像データとして記録されているかを対応づけておかな

(a) 5 万分 1 の地図

(b) ERTS 画像 MSS 7

図 9 基準点の例 (羽田空港)

写真 6 幾何学的に補正された ERTS 画像

ければならない。わが国の ERTS データの場合、注意しなければならないことは、1つの画素の画像データが単一物体からの反射あるいは放射の結果でなく、いくつ

かの物体からの合成値である場合が多いことであろう。なぜなら、1つの画素は $57\text{ m} \times 76\text{ m}$ の地上解像力、すなわち約 1,300 坪の面積をもつので、複数の物体が混在

表 2 土地利用別最多頻度および第 2 位頻度画像データ

土 地 利 用	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7
海	16.15	7.9	3.4	0.1
商 業 地 区	22.21	15.14	15.19	8.6
工 業 地 区	22.26	20.21	20.19	8.6
ゴルフ場、公園	19.20	15.20	20.18	10.9
田	19.20	15.14	19.20	10.9
畑	19.18	14.13	17.18	8.9
針 葉 樹 森	18.16	13.10	17.18	9.8
広 葉 樹 森	18.19	13.14	19.20	10.11

していると考えられるからである。このような場合、無理にある物体と他の物体とのどちらかにのみ属するような判別を行うことは適切ではない。

ERTS 画像データと土地利用との相関をとるには、つぎの 2 つに対して行うことが望ましい。

- (1) 広い面積にわたって均質な土地利用形態と思われる箇所を画枠内に数多く探し出し、それらの土地利用形態と ERTS 画像データとの相関を求める。
- (2) ある限られた面積の地域を、小メッシュに分け、それらのメッシュ全点の土地利用と ERTS 画像との相関をとる。

著者は、上記の 2 つに対して現在精査中であるので、ここでは詳細について述べるのをさける。

表 2 は、5 万分の 1 の地図の「千葉」の画枠を 100m × 100m の合計 226 × 184 = 41,584 のメッシュに分け、それらのメッシュの土地利用と、ERTS 画像の MSS 4, MSS 5, MSS 6, および MSS 7 の 4 バンドの最多頻度および第 2 位頻度の画像データとの関係を示している。

この表からもわかるように、異なる土地利用が、同じ画像データを共有する頻度はきわめて多い。すなわち、

これは、まえにも述べたように、種々の土地利用の反射または放射スペクトルが合成されたためと考えられる。

8. む す び

米国における判別方法とわが国における判別方法は、ERTS データに関する限りかなり異なったものになるであろう。おそらくより複雑な判別方法が必要になるにちがいない。国土の土地利用計画が立案中のこの時代に、早く、ERTS データが役に立つよう努力したいと考えている。そのためにも、ディジタル処理の研究開発は不可欠である。

(昭和 50 年 1 月 28 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) European Space Research Organization: Data Preprocessing Systems for Earth Resources Surveys, Sep. (1973)
- 2) 村井俊治: リモートセンシングデータの解析, 電学誌, **94**, 11 (1974)
- 3) 日本リモートセンシング研究会: リモートセンシングの原理と応用 (昭 49.10)
- 4) 村井俊治, 辻内延行: 地球資源衛星ディジタルデータの多次元画像解析, 生産研究, **26**, 8 (1974)
- 5) NASA/GSFC: Data Users Hand Book, Sep. (1971)
- 6) NASA/GSFC: Generation and Physical Characteristics of the ERTS MSS System Corrected CCT, July (1973)
- 7) Dr. H. Markarian: Digital Correction for High Resolution Images, Photogrammetric Engineering, Dec. (1973)
- 8) Aerojet Electro Systems Company: Earth Resources Information Processing System, Sep. (1974)
- 9) 村井, 前田, 奥田: ERTS デジタルデータの地理的補正, 写真測量 (1975.3)
- 10) S.S. Rifman: Evaluation of Digitally Corrected ERTS Imagery, ASP Symposium, Oct. (1973)