2万5千分の1 LANDSAT Map への実験的研究

田中総太郎*・狩野 弘昭*・菅 雄三**

An Experimental Research for 1:25,000 LANDSAT Map

Sotaro Tanaka, Hiroaki Kano and Yuzo Suga

Abstract: Correct registration of LANDSAT MSS data to the corresponding topographical map has an important role when using LANDSAT data for various purpose. Even if it were so useful information, difficulty of the registration to the map would cause decreasing of the usefulness. Here a method is considered by which easy registration of LANDSAT data with the corresponding topographical map will be enable and a LANDSAT map was made as an application.

Raw LANDSAT MSS CCT data acquired by NASA has two coordinates axes. One is an orbital axis and another is approximately orthogonal one to it. From this raw data, a new LANDSAT CCT array which is suitable for a 1:25,000 topographical map was made. It is called 1:25,000 LANDSAT map temporarily Precision of the registration is estimated about $\pm 40\text{m}$ from residual errors on ground control points.

This paper consists of following contents:

- 1) Method of ground control points selection for LANDSAT image orientation and examples.
- 2) Measurement method of ground control points on a LANDSAT image and the precision.
- 3) Concept of LANDSAT map.
- 4) Algorism for LANDSAT map compilation.
- 5) Trial LANDSAT map and the evaluation.

概 要

LANDSAT データを種々な目的に利用する上で重要な役割を果すのが、地形図との対応である。どんな有益な情報も現地との正確な対応が容易に行えないならば、それを生かすことがむづかしい。ここでは LANDSAT データを正確に容易に地形図と対応づける方法を考察し、実験的に LANDSAT MAP なるものを作成した。

LANDSAT MAP の概要は次のようである。すなわち、米国により収集された LANDSAT による MSS CCT データは軌道方向とそれにほぼ直角な方向とを軸とする斜交座標系の上に並んでいる。このデータから、2万5千分の1地形図と範囲が同じで、しかも、東西に平行な配列を有する実用的な LANDSAT MSS CCT データの作成を試みた。いまこれを

仮に、2万5千分の1 LANDSAT MAP と呼んでいる。

地形図との位置の重なるの程度は地上基準点における画像標定の残差から、 $\pm 40\text{m}$ 以内と推定される。

本論文は次の内容より成りたっている。

- (1) LANDSAT 画像標定のための地上基準点の選
び方およびその実例
- (2) LANDSAT 画像上での地上基準点の位置測定
の方法と標定方法およびその精度
- (3) LANDSAT MAP の概念
- (4) LANDSAT MAP 作成のアルゴリズム
- (5) LANDSAT MAP の試作とその評価

1. はじめに

LANDSAT MSS データが地形図と重なり合うような配列でできていれば非常に使いやすいというのは、その多くの利用者が共通に感じていることと思われる。これを実現するために、MSS CCT データを

* リモートセンシング技術センター, **法政大学工学部
「写真測量とリモートセンシング」Vol.15, No.3 1976

写真-1 画像解析装置 (Image-100 および M-DAS)

得て、そのための方法を考察し、画像解析装置 M-DAS および Image-100を用いて、2万5千分の1地形図と完全に重なり合う LANDSAT MSS データを実験的に試作してみた。

皇居を中心とする2万5千分の1地形図と等大な区画を実験的な図葉を選び、地上基準点によって標定を行い、その係数に従って LANDSAT 1 および 2 についての再配列された MSS 画像を作成した。これを2万5千分の1LANDSAT MAP といっているが、これを作成する過程では、およそ次の三つのことが重要な要素になると思われる。

(i) LANDSAT 画像の標定精度が高くなるような地上基準点の選定および LANDSAT 画像上でのその位置の測定方法

(ii) どのような写像の関係式を用いるのがよいか

(iii) 元の配列から新しい配列へ MSS データ内容に移すときの方法

これらの点を織り込みつつ、LANDSAT MAP の試作品が出来上がるまでについて以下に述べることにする。

2. 実験区画の選定と対応する LANDSAT データ

2万5千分の1地形図が囲む範囲は、経線方向および緯線方向にそれぞれ7'30"と5'00"である。その位置は5万分の1地形図を4等分したそれぞれの部分と規定されている。ここではそのように定義されている2万5千分の1地形図の中でどの図葉を実験例に選び、それに対応する LANDSAT MAP を作成するかを

図-1 地上基準点の配置と LANDSAT MAP の実験区画

検討したが、適当と思われるものが見当らなかった。

ここで試作する MAP にはできるだけわかりやすい地表の対象物が多く存在することを条件として、図-1に示すように北緯35°37'30"から35°42'30"、東経139°41'15"から139°48'45"に囲まれる2万5千分の1地形図と等大な区画を選んだ。この範囲は東京の中心部にあたり、明治神宮、皇居および晴海埠頭等が含まれている。

一方この範囲を撮影している LANDSAT MSS データのなかには、1972年12月14日および1976年7月29日のものがあり、これらのデータからそれぞれ新しい配列の MSS CCT データすなわち LANDSAT MAP を作成することにした。

3. 地上基準点の条件

地形図と LANDSAT 画像との位置合わせは地上基準点を使用して行う。その場合地上基準点として選定されるべき点の条件は、地形図上および LANDSAT 画像上において同時にその位置が正確に決定できることである。

この条件を満たす点は、LANDSAT 画像データに相応する適度な大きさを有するとともに、対称的な形をした地上対象物であることが望ましい。実際に地上基準点として選ばれる対象物の種類は、適当な大きさと形を有する島の中心、適当な橋の中央部および陸上の適当な大きさの池の中心等が考えられる。このような地上基準点として適当と思われる対象物の形は、図-2のように分類される。

図-2 LANDSAT 画像標定のための地上基準点の型

4. 地上基準点の経緯度座標値と LANDSAT 画像上の座標値との関係式

地上基準点の位置は、地形図上では経度・緯度によって読みとられ、LANDSAT 画像上では、ピクセル番号およびライン番号によって読みとられる。従って LANDSAT 画像の標定とは、地上基準点の経・緯度とピクセル・ライン番号との関係を定めることに帰着する。この場合、それぞれの座標系がもつ幾何学的性質を考慮して、座標変換の関係式を求めるのが望ましい。

経緯度は地球上の位置を普遍的に表わすが、その座標系は地球の形を定義している回転楕円体面の上に展開されている。一方、LANDSAT 画像上の点の位置は、ピクセル軸とライン軸よりなる平面の斜交座標系の上に定義されている。楕円体面と平面とは、一般的には第2種楕円積分により関係づけられるが、これについてはすでに経緯度と横メルカトル座標との実用的な等角投影式が存在している。従ってここでは経緯度座標と LANDSAT 座標との関係を次のような2段階にわけて定義することにした。

変換① 経緯度座標⇄横メルカトル座標

変換② 横メルカトル座標⇄LANDSAT 座標

ここで変換②についてであるが、横メルカトル座標は直角座標であり、LANDSAT 座標は斜交座標である。これらの座標系はアフィン変換を用いて関係式を作ることができる。横メルカトル座標値を (u, v) 、LANDSAT 座標値を (x, y) とすると、その間の関

係式は

$$\begin{aligned} u &= p_1x + p_2y + p_3 \\ v &= p_4x + p_5y + p_6 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

となり、6個の係数 $p_i(i=1\sim6)$ は3個以上の互に対応する点により決定できる。

5. LANDSAT 画像の標定時に生ずる地上基準点における誤差

アフィン変換によれば、その係数は3個の地上基準点があれば定まるが、ここでは8個の地上基準点を図-1に示すように設定して、最小二乗法により標定を行い、2種類の誤差を除去するようにつとめた。その誤差とは

- ①地形図上と LANDSAT 画像上での点の位置を単純に取り違えた場合に発生する誤差
- ②地形図上に存在し、LANDSAT 画像上でも、その点が認められるように見える場合に発生する誤差である。

これらの誤差は、誤認と呼ばれる種類の誤差に属するものである。けれども、LANDSAT 画像を地上基準点により標定するとき、しばしば起り易いものである。今回、東京湾を囲む画像を標定する場合も、これらの誤差が認められた。一つは山倉地区に選んだ基準点において認められた。地上基準点として、山倉ダムに流入する狭く部を選んだため、その位置を東西に間違えたものであった。

もう一つは木更津東北にある畔戸の小櫃川にかかる橋を基準点に選んだ時に認められた。この場合は、地図上に存在している橋が、LANDSAT 画像上でも読みとることができるように見えたが、実際の橋の映像ではなかったためと思われる。

地上基準点の位置読取は、地図上では0.2mm程度に行い、0.1"単位で表わした。またそれに対応する LANDSAT 画像上の位置は、Image-100のカラーCRT上に4倍の拡大率でディスプレイし、カーソルを基準点に合致させて、その位置を0.5ピクセルの単位で読みとった。これらの地上基準点が、実際にはどのような映像として、CRT上にディスプレイされているかを、写真2aおよび2bに示しておく。これらの写真は各段それぞれ左より LANDSAT 1の拡大映像、LANDSAT 2の拡大映像および対応する地形図である。

各点の特徴は次のようである。

- ①猿島：標定のためにはやや大きい、この近傍では最も適当と思われる島である。
- ②本牧ふ頭：写真2aの地形図に明かなように、貯木場とふ頭のつけ根にかかる橋である。

写真-2a 東京湾周辺に配置された地上基準点 (その1)

写真-2b 東京湾周辺に配置された地上基準点 (その2)

- ③羽田空港：滑走路の交差点であり、照準が最も容易である。
- ④永代橋：隅田川の適度な川幅のところに、適度な幅員を持った橋として照準できる。
- ⑤八幡海岸通：千葉港南のほぼ直角に曲がる水路であり、照準が容易である。
- ⑥山倉ダム橋：流入する河川の狭さく部にかかる橋

を選んだが、実際には地図と画像とを全体的に照合することによって、その位置に対応づけることができる。

- ⑦畔戸橋：小櫃川にかかる橋であるが、LANDSAT 画像上ではむしろ小さいと思われる。
- ⑧富津港：防波堤突端を延長した交点であり、照準は容易であるが、やや映像が薄い。

表-1 東京湾周辺に配置した地上基準点座標値

No. Name	LADSAT I		LANDSAT II		Ground Position	
	pixel	line	pixel	line	latitude	longitude
1 Sarushima	1192.0	2137.5	1217.0	2320.5	35°16'58.8"	139°41'52.0"
2 Honmokufuto	1079.0	1939.5	1105.5	2122.5	35°25'55.5"	139°40'13.4"
3 Eitaibashi	1147.5	1589.0	1178.5	1768.0	35°40'23.3"	139°47'27.3"
4 Haneda-airport	1168.0	1754.0	1197.0	1935.0	35°33'16.2"	139°46'00.0"
5 Yahata-kaigan	1702.0	1699.0	1735.0	1877.5	35°32'27.8"	140°06'48.7"
6 Yamakura	1766.5	1771.5	1799.0	1950.0	35°29'04.7"	140°08'16.4"
7 Kurotobashi	1458.5	1910.0	1488.5	2091.0		
8 Futtsuminato	1362.5	2068.0	1390.5	2250.5	35°18'53.5"	139°49'09.0"

表-2 地上基準点における標定残差

No. Name	LADSAT II to I		LANDSAT I to GCP		LANDSAT II to GCP		Ground Control Point (SYS No. 9)	
	pixel	line	du(m)	dv(m)	du(m)	dv(m)	u(m)	v(m)
1 Sarushima	-0.5	-0.6	-56.0	-21.1	-9.1	-34.5	-79528.0	-12329.1
2 Honmokufuto	-0.3	0.5	62.2	2.6	21.5	-21.0	-62987.3	-14793.0
3 Eitaibashi	0.3	-0.5	-49.1	-23.6	-13.2	2.5	-36258.8	-3839.3
4 Haneda-airport	-0.2	0.3	15.7	31.1	-6.2	15.8	-49418.1	-6043.2
5 Yahata-kaigan	-0.2	0.3	52.7	9.2	38.2	2.3	-50875.4	25403.3
6 Yamakura	-0.3	-0.2	-42.9	-12.4	-30.9	-22.5	-57127.0	27631.3
7 Kurotobashi	0.5	0.2						
8 Futtsuminato	0.7	0.1	17.5	14.2	-0.2	57.4	-76002.2	-1287.9

表-3 LANDSAT MAP の4隅の座標値

Corner No.	Ground Position		Ground position		LANDSAT I		LANDSAT II	
	latitude	longitude	X (m)	Y (m)	pixel	line	pixel	line
1	35°42'30"	139°41'15"	-32346	-13194	973.6	1562.1	1002.7	1741.8
2	35°42'30"	139°48'45"	-32355	-1885	1163.6	1536.1	1194.9	1715.2
3	35°37'30"	139°41'15"	-41590	-13208	1013.4	1675.1	1041.8	1855.1
4	35°37'30"	139°48'45"	-41600	-1887	1203.6	1649.1	1234.3	1828.4

これらの東京湾周辺に配置した地上基準点の座標値は、表-1に示すとおりである。また LANDSAT 1 の画像から、LANDSAT 2 の画像への位置合せの残差は、およそ0.5ピクセルまたは0.5ライン、LANDSAT の画像から、地形図への位置あわせはおよそ40mであることが、表-2よりわかる。これらの残差の大きさは、2万5千分の1地形図上で約2mmに相当する。

6. LANDSAT MAP という名称について

土地の起伏による水平方向のずれを消去した航空写真図に、等高線や地名・境界等が記入されたものを、

写真地図と呼んでいる。いま水平方向のひずみのない、しかも2万5千分の1地形図や5万分の1地形図とまったく重なりあう LANDSAT 画像を作り、これに等高線や地名・境界等を記入したものを想定し、これに名称をつけるとしたら、LANDSAT MAP がよいと思われる。そしてここでは、その基底図となる LANDSAT 画像の作成までを報告するものである。

7. 今回の LANDSAT MAP の画像上の位置

図-1に示す LANDSAT MAP の実験区画の4隅、

に対応する LANDSAT 画像上の位置は、表-3のよう
に計算できる。これは LANDSAT 画像と地形図
とを対応させるために計算した変換①および変換②の
係数を使うことにより行なわれた。

ここで変換②、すなわち平面直角座標系第9系の座
標値 (X, Y) より LANDSAT 画像座標上の (ピク
セル, ライン) の値へのアフィン変換の係数を示すな
らば、

LANDSAT 1 の画像に対して

$$\text{ピクセル番号} = -0.0043X + 0.0168Y + 1055.4$$

$$\text{ライン番号} = -0.0122X - 0.0023Y + 1136.3$$

LANDSAT 2 の画像に対して

$$\text{ピクセル番号} = -0.0042X + 0.0169Y + 1090.2$$

$$\text{ライン番号} = -0.0123X - 0.0024Y + 1312.7$$

である。

8. LANDSAT MAP 作成のアルゴリズム

LANDSAT MSS CCT より新しく、LANDSAT
MAP の基底となる MSS CCT を作成する場合の概
要は図-3に示すようである。

図-3 LANDSAT CCT から LANDSAT MAP への
MSS データの置数の概要

表-3に示すように座標計算により2万5千分の1地
形図の4隅に対応する LANDSAT 映像上の位置を、

(ピクセル, ライン) によって表わす。この4隅の点
の内部に含まれている MSS 値を取り出して、その配
列を並べなおし、2万5千分の1地形図に対応する長方
形の行列 ($m \times n$) を作成する。これをディスプレイ
すれば、完全に2万5
千分の1地形図と一致
する LANDSAT 画
像が得られる。

図-3においては、こ
れを作成するために、
所定の図葉の4隅の座
標値の対応を表わして
いる。すなわち

$$(X_1, Y_1) \rightarrow (1, 1)$$

$$(X_2, Y_2) \rightarrow (m, 1)$$

$$(X_3, Y_3) \rightarrow (1, n)$$

$$(X_4, Y_4) \rightarrow (m, n)$$

である。平面上の4点
の線形的対応は射影変
換によって可能である
が、表-2の結果から判
断すると、(1)式に示す
アフィン変換を用いれ
ば、位置の精度として
は十分であると思われ
る。

ここで行なった LA
NDSAT CCT データ
から新しい配列データ
への座標変換の流れ図

図-4 MSS データの座標変換
の流れ図

図-5 旧座標上の MSS データ模型

NEW ARRAY	
LINE / PIXEL	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
1	ABCCDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTU
2	ABCCDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTU
3	BBCDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUU
4	BCCDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUU
5	BCCDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUU
6	BCDDDEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUV
7	RCDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUV
8	CCDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUV
9	CDDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUV
10	CDDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUV
11	CDDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUV
12	DDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
13	DDEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
14	DEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
15	DEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
16	DEEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
17	EEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
18	EEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
19	EEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
20	EEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
21	EEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
22	EEFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
23	FFGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV
24	FGGGHHIIJJKLLMNNOPQRRSSTUUVV

図-6 新座標上の MSS データ模型

を図-4に示し、その置数例を図-5、図-6に示す。

また MSS データのリサンプリングの方式には、次のようなものがある。

- Nearest Neighbour 法：所定の点に最も近い点の MSS 値をサンプリングする。
- Bilinear 法：所定の点の周りの 4 点の MSS 値に距離別の重みを与えて加算した値を新しい MSS 値とする。
- Cubic Convolution 法：所定の点の周囲に分布する MSS 値を距離を変数とする 3 次関数によりたたみ込み新しい MSS 値とする。たたみ込み関数の形は、たとえば

$$\begin{aligned} f(x) &= 1 - 2|x|^2 + |x|^3 \quad (0 \leq |x| \leq 1) \\ &= 4 - 8|x| + 5|x|^2 - |x|^3 \quad (1 \leq |x| \leq 2) \\ &= 0 \quad (|x| \geq 2) \end{aligned}$$

である。

図-7 MSS データのリサンプリング方法

- Bendix Restoration 法：Bendix 社が開発したもので、真の地表面上のラジオメトリックな像を最も忠実に再現するように、Point Spread Function を選び周囲のラジオメトリックな分布の影響をたたみ込む方法である。

ここで用いた方法は、これらの中の Nearest Neighbour 法である。計算処理が最も簡単であるために、採用した。

9. LANDSAT MAP の試作

以上の方法を用いて、図-8に示す東京中央部の 2 万 5 千分の 1 地形図と等大な範囲の LANDSAT MAP すなわち、再配列された MSS CCT データを M-D AS 装置により試作した。この新しく作成した MSS データを Image-100 によってディスプレイしたものを写真 3 a、および写真 3 b に示しておく。

写真 3 a は 1972 年の冬に LANDSAT 1 により撮影されたものであり、写真 3 b は 1976 年の夏に LANDSAT 2 によって撮影されたものである。

これら 2 つの画像のサイズは、ともに 300 ピクセル × 240 ラインであり、一画素は地上において約 38.5m × 38.5m である。

図-8 2 万 5 千分の 1 地形図と等大な東京中心部の区画

写真-3 a 1:25,000 LANDSAT MAP (14-DEC-72)
〔カラースライド〕

写真-3 b 1:25,000 LANDSAT MAP (29-JUL-76)
〔カラースライド〕

10. 結論と展望

LANDSAT MSS データと地形図との対応づけという目的を、写真 3 a、3 b のような 2 万 5 千分の 1 地形図と位置的に完全に合致する MSS CCT データ

写真 3a. 1:25,000 LANDSAT MAP (14-DEC-72)

写真 3b. 1:25,000 LANDSAT MAP (29-JUL-76)

の新しい作成ということで達成することができた。

ここではこれに LANDSAT MAP という名称を与えておいたが、今後この画像の上に等高線や地名、境界等を記入したものを作成し、利用分野への検討を加えることにより、その名称にふさわしい LANDSAT MAP が出来上がるものと思われる。

このような地図と整合性のとれた MSS CCT データを作成する上で、最も重要となるのは、地上基準点による位置合わせであるが、その方法を本実験研究をとおして確実なものにすることができた。

すなわち、地上基準点の選び方、MSS 画像上でのその位置の測り方を明らかにすることができ、また画像の標定には、50km平方程度の範囲であれば、アフィン変換を用いるのがよく、その残差を0.5ピクセル以内に収めることができることが明らかになった。

また、写真3 a および 3 b の MSS CCT を Image-100 によって重ね合わせてディスプレイしたところ、両画像間の位置的ずれはほとんど認められないことも確認している。

地図と完全に整合性のとれた LANDSAT MSS

CCT データの作成方法が、ここに完成したので、これを利用した地表の対象物や現象の新しい解析技術や利用の展望がいくつか実用的になると考えられる。

たとえば、このような形式で LANDSAT MSS データを時系列にかつ体系的に収録することによって、環境パターンの変化を正確に容易にモニタリングすることが可能となり、このような応用面が構想の段階から、実施の段階へ移行するものと思われる。

あるいはまた、このような形式で LANDSAT MSS データを収録し、国土全体の基本データの一つとして整備しておくことによって、多くの利用者が、これを地図と同様のレベルで使うことができるようになるとも考えられる。

参 考 文 献

- 1) 武田通治, 測量学概論, 昭和43年, 山海堂
- 2) 坪川家恒・大森又吉, 測地学序説, 昭和44年, 山海堂
- 3) Goddard Space Flight Center, X-563-75-223, Generation and Physical Characteristics of the LANDSAT 1 and LANDSAT 2 MSS Computer Compatible Tapes, November 1975.

(1977. 2. 1受付)