

1. はじめに

DTM (数値地形モデル) を簡易に作成しようとするれば、地形図によるか国土数値情報によるのが一般的であろう。縮尺1:25000の地形図を用いれば、標高は10m単位で、また後者によれば、250mメッシュの標高値が得られる。しかし、1km²以下の小流域を対象に、これらを適用しようとするれば、精度に不満が残る。空中写真を用いこのような特定域を図化すれば、解消する問題ではあるが、調査の予備手段としては高価過ぎる。

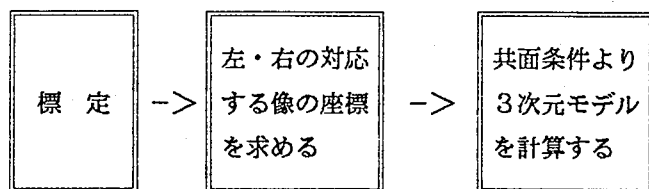
このようなことから、手持ちのパソコンとイメージスキャナを用い、空中写真から簡易DTMを作成する手法の開発を試みた。実用に供するといった段階には未だ到達していないが、一応の結果をみたので以下に報告したい。

2. 解析に用いた機器と写真

解析に用いた機種は、16ビットのパーソナルコンピュータ (画像メモリ768KB、40MBハードDISK付) とイメージスキャナ (A4サイズ、300DPI、RGB各8ビット/画素) である。解析に供した空中写真は、平成2年10月28日撮影、写真縮尺1:16000のモノクロ密着写真 (千頭地域) で、撮影場所は安倍川上流の大谷崩周辺域である。

3. 解析方法

立体写真測量では、「2枚以上の写真の投影中心を通る光束が互いに交わり、その結果として対象物の3次元座標が求められる。」の原理に基づく。すなわち、すべての写真が撮影された時の状態に再現されると (標定が完了すると)、2枚以上の対応する写真の像と投影中心を結ぶ光束は実空間で交差し、立体像が得られる。この手順の概要を簡単に示すと以下ようになる。



3.1 標定方法と手順

今回の標定では、カメラ、フィルムの幾何光学特性による内部標定は行わず、写真位置、傾斜を相対的に考慮する相互標定を行った。標定方法には、縦視差消去法を選び、座標原点は投影中心とした。この場合の標定要素は、左右のカメラ座標系の回転角 κ_1 、 ϕ_1 、 κ_2 、 ϕ_2 、 ω_2 の5つで、回転に関する基本式は、文献¹⁾を参考とした。

3.2 画像のマッチング

標定が完了すれば、左のイメージファイルにある個々の画素(x_l, y_l)に対応する座標を、右(x_r, y_r)のそれから求める必要がある。これには、写真測量でよく使われる面積相関法を用いた。具体的には、左画像上に矩系の相関窓をとり、これをテンプレートとして右画像上に定めた探索窓内を動かし、輝度値を比較して一致度の高い対応を探索する。画像データは標定が済んでいるから、探索方向としてはx方向のみ動かせばよい($y_r=y_l$)。

探索窓の大きさは 20×15 pixelとした。左右の対応点のx方向のズレは、高さを反映するから探索窓の大きさとしては、谷と山地形が含まれるほど大きくしても意味がない。また逆に小さくすれば単に輝度値の類似した箇所を拾うことになり都合がわるい。このようなことから、数回の試行錯誤をへて大きさを決めた。

探索範囲は、標定後の左のイメージファイルの(50,50)から(320,370)とし、x方法に2pixelごと増加させ右イメージファイル上で対応点を求めた。まず、各ラインの最左端点(50, y_l)に対応する右点(x_r, y_l)の探索では、右探索窓を $20 < x_r < 90$ の範囲で移動させ最も相関が大きくなる x_r を求めた。最左端の x_r が定まれば、以降の x_l+2 点に対応する右の x_r+i 点は、少なくとも x_r より2方向右側にあるから、 i を2から10の範囲で移動させ、相関の最も高くなるところを探せばよい。この過程をラインごとに繰り返せば、すべての対応点を求めることができる。右点を決める際の相関係数は、左右探索窓内の輝度値にもよるが、最も低い時で0.4程度、最大は0.9を超え、平均では0.7前後の値を示した。

3.3 モデルの作成

それぞれ対応する左右の座標が定まれば、モデル座標を計算することができる。標定により斜影変換が済めば、画像は鉛直写真に変換されているから、左右それぞれの座標を(x_l, y_l)、(x_r, y_r)とすると、モデル座標 x' 、 y' 、 z' は次式により与えられる¹⁾。

$$x' = x_l / (x_l - x_r), \quad y' = y_l / (x_l - x_r), \quad z' = -c / (x_l - x_r) \quad \dots \dots (1)$$

ここに、 c ：カメラの焦点距離。(1)式は、左右の写真間距離を単位長さとし、 Z はカメラからの距離を表している。したがって、現実の座標(x, y, z)に合わせるには、写真間距離を S 、撮影高度を H とし、次式を用いる。

$$x = x' \cdot S, \quad y = y' \cdot S, \quad z = H + z' \cdot S \quad \dots \dots (2)$$

上記の手順で、空中写真からDTM座標を求めることができる。ただ実際には、画像のマッチングで、コントラストの少ない部分、写真にハーレーションが現れた箇所等では、pixel単位で追跡してもそれなりの誤差があり、そのまま立体表示をすると小刻みなギザギザが現れてしまう。ここでは3点の移動平均をとりスムージングを施した。図-4に、対象域を3次元表示するが、これはスムージング後の結果である。実際の地形図(図-3：1/25000地形図)と比較して、谷部、尾根部はそれなり的高低差をもって表現されているが、砂礫堆積地では、階段状に変化する部分も見られる。これは、後者の画像コントラストが小さく精度の良いマッチングが行えてないことを示す。

すなわちイメージスキャナで左右の写真を読み込んだ後（読み取り精度：100DPI）、これをdisplayに表示し、10点（最低5点）のパスポイントを選び、標定要素を定めた（図-1）。これにはまず、回転角の初期値をゼロとおいて、最小二乗法により逐次近似解を求め、繰り返し計算を行えばよい¹⁾。次に、イメージスキャナで読み込んだ画素データを番地ごとに読みだし、標定後の番地にこれを書き込む。データは1バイトずつ、スキャンする方向から順に記録されているから、ファイルの先頭から順番に回転変換後の画素が書き込まれる。この手順でイメージスキャナで読み込んだデータを書き換えれば、標定後のイメージデータが作られる。図-2には、この様子を示す。表-1には、画像として読み込んだ左右の写真のパスポイントの座標から得られた標定要素の値を示す。

(0, 0)

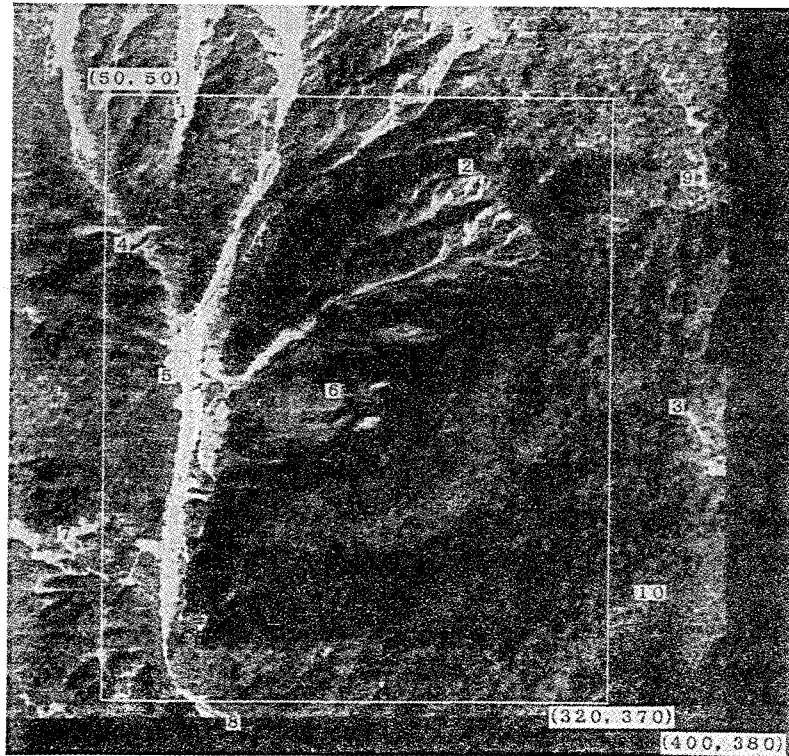


図-1 イメージデータの表示とパスポイント（白枠内は探索範囲）

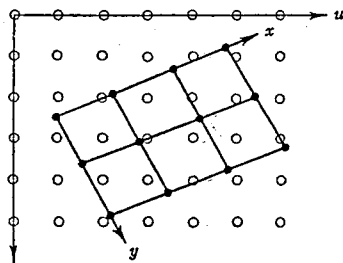


図-2 標定前後のデータの並び
白丸：標定前、黒丸：標定後

表-1 標定要素の値

κ_1	ϕ_1	κ_2	ϕ_2	ω_2
0.0580	0.0074	0.0468	-0.0148	-0.0012

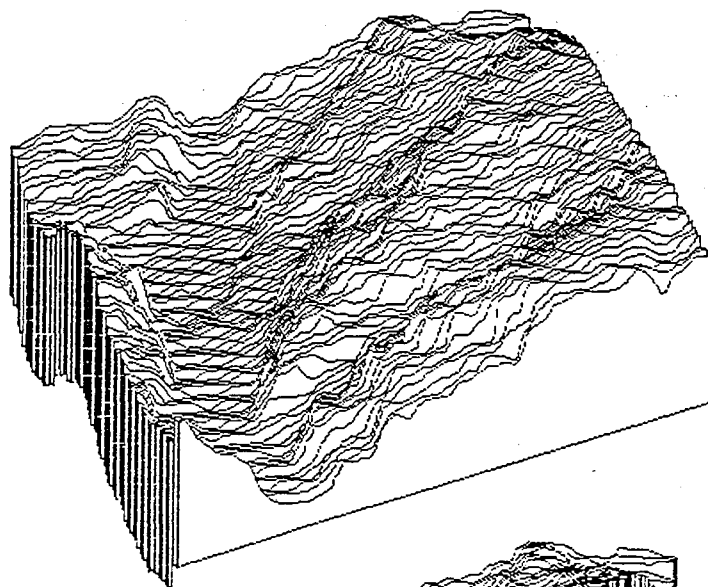
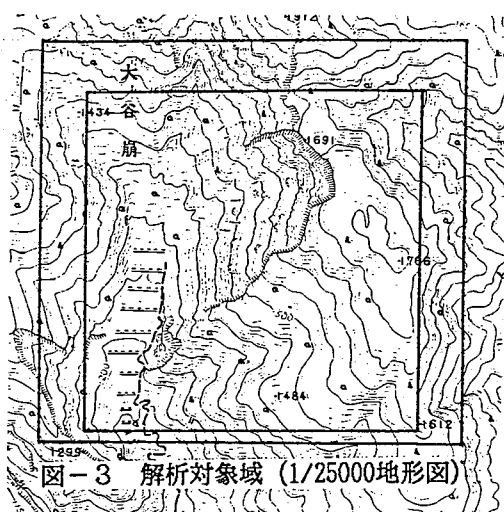
*) ラジアン値

4. おわりに

地形図と今回得たDTMの比高を比べると10～30mほどの違いがある。これは、イメージスキャナの読み込み精度、マッチングの精度等に依存するものと判断されるが、特に後者の影響は大きい。今回用いた写真はモノクロであるゆえ、河川や崩壊地、砂礫堆積地等での輝度分布は単調で、マッチングの精度は劣る。次回では、カラー写真を用いた写真測量解析について報告したい。

参考文献

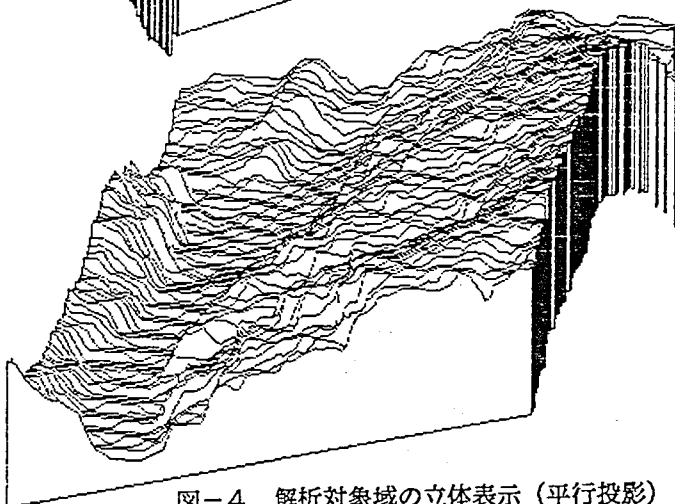
- 1) 日本写真測量学会、解析写真測量、1988



A.

視線方位角 15°

視線ふ角 15°



B.

視線方位角 -15°

視線ふ角 15°

図-4 解析対象域の立体表示 (平行投影)