

DSM およびオルソフォト作成に 空中写真のスキャン条件が与える影響

後藤 智哉

大学院地理・地域論コース（博士）在学

I. はじめに

空中写真は、地物の情報が多く撮影されているため、森林や斜面崩壊地の調査に欠かすことができないものとなっている。空中写真からは、近年発達したデジタル写真測量を使用することにより、Digital Surface Model（以下 DSM）と呼ばれる地形モデルを抽出したり、オルソフォトを作成したりすることが、簡単にできるようになった。DSM とは建物や樹木などを含む高さデータがピクセルに格納されているデジタルデータで、日本語でデジタル表層モデルと呼ばれているものである。オルソフォトとは、中心投影である空中写真の歪みを取り除いた、正射空中写真のことである。デジタル写真測量は、GIS、リモートセンシングとともに空間情報工学の重要な技術として挙げられる。

また、近年上空から地物を詳細に観察可能なデータとして、より広範囲を撮影している高解像度人工衛星画像が登場しているが、地上分解能と平方キロメートルあたりの価格においては、空中写真に優位性があるといえる。

筆者は斜面崩壊の調査にオルソフォトを基図として使用するため、デジタル写真測量を行っている（後藤、2002）が、その解析作業のなかで、空中写真のデジタル化には高価な空中写真読み取りスキャナを使用することは困難であった。そのため、密着焼写真で購入した空中写真を、一般的なフラットベッド型 CCD スキャナによってデジタル化している。しかし、林・小口（2001）によって写真測量の地形学への応用例がまとめられたな

かで、空中写真のスキャン条件によって誤差が生じることが指摘されている。

2004 年から、国土地理院より空中写真読み取り専用スキャナによるデジタルデータの提供が開始され、一般でも簡単に高解像度空中写真データを扱うことが可能となった。しかし、土居原・内田（1999）で述べられているように、高解像度データはデータ量が大きいため作業効率を下げてしまう問題がある。パソコンの処理能力に応じて作業効率を考慮するためには、調査対象の解析に最適な解像度でスキャンをおこなうことが重要である。

そこで、スキャン条件の異なる同一時期の空中写真から DSM およびオルソフォトを作成して誤差を検証する。そして、斜面崩壊地の抽出を例に、最適な解像度を求めた。

II 空中写真測量の概要

日本では第二次世界大戦以降、地図を作成する方法として空中写真測量の技術を使用することが標準的となっている。空中写真測量は、アナログ図化機や解析図化機で 2 枚のステレオペア空中写真から図化する方法が 1980 年代まで取られていたが、1990 年代以降はコンピュータの処理能力向上と写真測量技術の発展により、デジタル写真測量を簡単に行う環境が整ってきた。空中写真のデジタル化には、撮影時にデジタルカメラによって直接取得する方法と、高精度の走査が可能であり高価な写真測量専用スキャナでフィルムを読み取る方法とが用いられ、1 ピクセルあたりのサイズが 1693~2540dpi（15~20 μm ）で解析される

のが主流である（秋山、2001）。

空中写真は、国土地理院・林野庁・都道府県・民間企業によって撮影されているが、その対象地域は、国土地理院は主に都市部を、林野庁は山間部を担当している。同一地点の撮影間隔は、原則的に5年周期である。購入窓口は、主に都市部を対象に撮影した国土地理院や民間企業の空中写真は（財）日本地図センターで、山間部を対象とした林野庁撮影の物は（社）日本林業技術協会となっている。

従来、国土地理院撮影の空中写真は、密着焼印画や二倍引伸印画などアナログデータとして提供されていた。そのため、空中写真をデジタル写真測量で使用するには、スキャナによるアナログデジタル変換作業が必要である。スキャン時の読み取り解像度は、CCD の能力に依存する。後藤（2002）では、地理学教室所有のフラットベット型 CCD スキャナにて解像度 600dpi で読み取り使用していた。

しかし、2004 年から国土地理院より高価な空中写真読み取り用スキャナを使用した空中写真画像データが tiff 形式で提供されるようになり、より精度の高い解析が可能になったと考えられる。なお、購入可能な解像度は 847dpi、1270dpi、1693dpi、2540dpi の 4 種類あるが、国土地理院では解像度 1693dpi、2540dpi のカラー高解像度空中写真データを利用する場合、3 GB 以上のメモリを搭載した PC での利用を推奨している。

そこで本稿では、まず同時刻に同一地点を撮影されている撮影縮尺 1 万 5 千分 1 空中写真を選択し、従来のフラットベット型 CCD スキャナでデジタル変換したデータと国土地理院提供空中写真画像データという異なるスキャン条件を比較した際、どれだけの誤差を生じるのかを明らかにしたい。

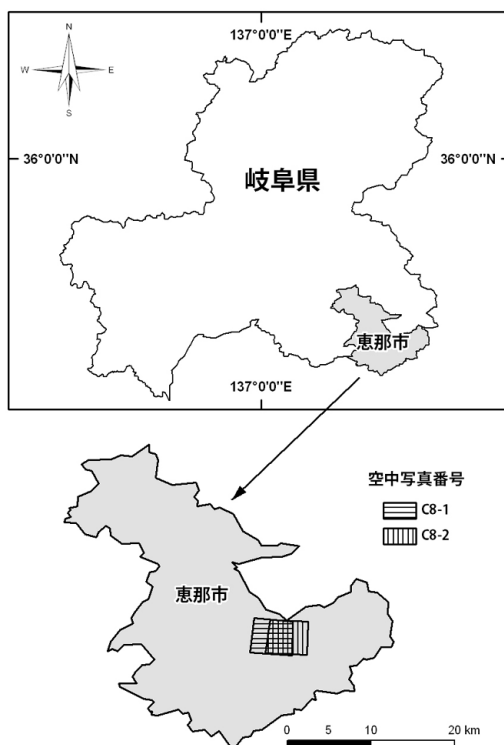


図1 使用した空中写真の撮影位置

Ⅲ 使用する機材とデータ

使用する空中写真は、岐阜県恵那市上矢作の矢作川源流域が撮影された山間部のものを使用した（図1）。国土地理院によって1976年に撮影されたカラー空中写真で、中津川地区1万5千分1空中写真標定図内の、コース8の写真番号1と2を使用した。この隣接する2枚の60%オーバーラップ部分でDSMとオルソフォトが作成可能である。

密着焼空中写真のスキャンには、エプソン社製「ES-8500」CCDスキャナを使用した。「ES-8500」の光学解像度は1600dpiで、読み取り可能領域は310mm×437mmである。230mm×230mmの密着焼空中写真はそのままスキャン可能となっている。国土地理院提供空中写真画像データは、空中写真読み取り専用スキャナVexcel社製「UltraSCAN」が使用されている。

両者のスキャン解像度は、使用するコンピュータの処理能力を考え 1270dpi とした。撮影縮尺が 1 万 5 千分 1 であるため、地上分解能は約 40cm である。

DSM およびオルソフォトを作成するためには、空中写真のほかにカメラキャリブレーション情報と、グランドコントロールポイント(以下 GCP)と呼ばれる地上基準点が必要である。

カメラキャリブレーション情報は、それぞれの空中写真および標定図から得た。空中写真とカメラキャリブレーション情報の詳細を表 1 に示す。

GCP の水平方向データは、岐阜県農山村整備局より提供を受けた縮尺 5 千分 1 の森林計画図を、デジタル化して参照した。森林計画図はアナログ写真測量によって作成されたものである。GCP の鉛直方向データは、国土地理院刊行の数値地図 50m メッシュ（標高）を参照した。数値地図 50 m メッシュは、2 万 5 千分 1 地形図の等高線より作成されているデータである。

デジタル写真測量の作業および前処理に使用したソフトウェアは、Leica Geosystems 社の LPS

9.1 と ESRI 社の ArcInfo9.1 である。

IV スキャン条件の違いによる誤差の検証

コンピュータに取り込んだデジタル画像からのオルソフォトの作成と DSM の抽出には、まず内部標定を行なう必要がある。内部標定は、撮影時のカメラの内部的な幾何構造を構築するためもので、その際必要なのは撮影したカメラのキャリブレーション情報（主点・焦点距離・写真指標・レンズ歪）である。2 種類の空中写真データとも焦点距離情報および写真指標座標値は入手できたが、主点とレンズ歪についての情報は入手できなかったため、本稿では以下のように仮定し使用した。

主点とは、写真面に直角に入射してきた光線が、レンズ系を通過して写真面に結像する点である。今回は、理想的なカメラと仮定し、写真の中心とした。レンズの歪みについては無いものとした。これらの情報により、フィルムの座標が得られる。

CCD スキャナで読み取った空中写真データと、国土地理院から購入した空中写真データとを、同一のカメラキャリブレーション情報を使用し、LPS9.1 で内部標定をおこなった。

カメラキャリブレーション情報の入力後、空中写真の 4 隅に焼きこまれている写真指標の中心を選択し、求められた RSME（二乗平均平方根誤差）を表 2 に表す。RSME で表された数値は、元画像と変換後画像とのピクセル距離である。この数値が低いほどスキャン時の歪みが少ないといえる。この内部標定の結果は、同一のカメラキャリブレーション情報を使用したのにもかかわらず

表 1 使用した空中写真の詳細

撮影地域	恵那市上矢作
コース	8
写真番号	1,2
撮影日	1974 年 9 月 15 日
カメラ	RC-10
撮影高度 (m)	3400
撮影縮尺	1 / 15,000
焦点距離 (mm)	151.42
指標座標値 (mm)	No.1 (106.00, 106.00) No.2 (106.00, -106.00) No.3 (-106.00, -106.00) No.4 (-106.00, 106.00)
デジタル化解像度	1270dpi (20 μ m)

表 2：内部標定の結果

	写真 8-1		写真 8-2	
使用スキャナ	ES-8500	UltraSCAN	ES-8500	UltraSCAN
RMSE	4.89pixels	0.80pixels	5.21pixels	0.88pixels
残差 x	2.133	0.742	1.068	0.667
残差 y	4.410	0.313	5.109	0.581

「UltraSCAN」でスキャンしたデータに比べ、「ES-8500」でスキャンしたデータの歪みが大きい。x, y の残差を見ると、「ES-8500」は特にスキャン時のライン方向に歪みが大きいことがわかった。

一般的に指標残差は、0.02mm 以下が望ましいとされているが（中村他 2004）、空中写真スキャン専用「UltraSCAN」の結果が基準に達していないのは、スキャナの読み取り能力が足りなかったのではなく、内部標定時に詳細なカメラキャリブレーション情報を使用できなかったからだと思う。

次に、スキャン条件の異なる 2 種類の空中写真データを使用して空中三角測量を実施し、DSM とオルソフォトを作成およびその誤差を求めた。外部標定に使用する GCP は、森林計画図から 6 点計測したもので、比較する両画像ともに同じ GCP を利用した。GCP は隣接する 2 枚の空中写真の 60% オーバーラップ内で、均等に分布するように配置してある。写真番号 8-2 上に使用した 6 点の GCP 示す（図 2）。

ステレオマッチング技術を使用し、自動的にタイポイントを取得した。そのマッチングパラメー

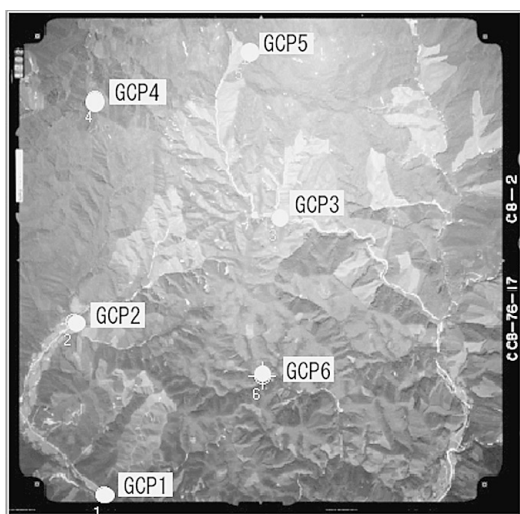


図 2 GCP 6 点の位置

タは、検索ウィンドウサイズ 30、相関ウィンドウサイズ 10、最小二乗ウィンドウサイズ 25 と設定した。両写真とも 290～300 ポイントを自動相関で求めた後、タイポイントの取得がまばらな地点のみ手動操作でタイポイントを追加した。

その後、空中三角測量をおこない RMSE を求めた（表 3）。内部標定時と同じように「ES-8500」でスキャンした画像の誤差は大きく、スキャン精度が品質を左右すると言える。なお「UltraSCAN」でスキャンした画像においても鉛直方向の誤差が大きく見られが、これは GCP の鉛直情報に 50mDEM を内挿したデータを使用しているため、実際の標高との違いが大きかったからであると予想される。

空中三角測量後、それぞれ地上解像度 10m の DSM を作成した（図 3）。また、抽出した DSM を利用し、オルソフォトの作成もおこなった。

以上の結果をまとめると次のようになる。

- ・デジタル写真測量に使用する空中写真データには、空中写真を読み取る専用のスキャナを使用すべきである。
- ・専用スキャナが使用できない場合は、内部評定を行なう前にスキャン画像の補正処理を施す必要がある。
- ・空中写真スキャンの高解像度化に合わせ、GCP も高精度データを使用しなくてはならない。

V 斜面崩壊地抽出のために必要な空中写真の解像度

次に、空中写真から斜面崩壊地を抽出する場合、崩壊地が判別可能かつ DSM が作成可能な解像度

表 3 空中三角測量の誤差

使用スキャナ	ES-8500	UltraSCAN
総合 RMSE	6.3961m	2.4619m
地上 x	5.1710m	4.4682m
地上 y	8.8093m	6.5178m
地上 z	14.6977m	11.2848m

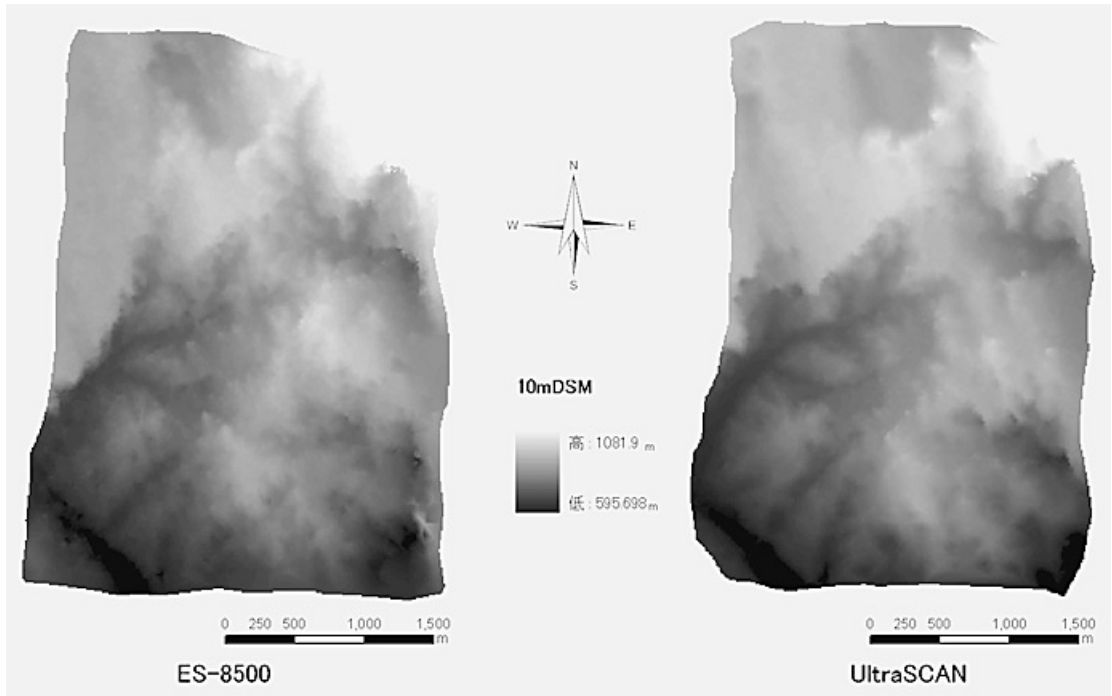


図3 作成した地上分解能 10m の DSM

を求めた。

空中写真を解像度 1270dpi でスキャンした場合、tiff 形式で保存したデータ容量は 1 枚 400MB 程度となる。数組のステレオペアであれば、データ量を気にせず作業が可能である。しかし、数コースの空中写真をモザイクするような広範囲の写真測量作業では、データが膨大な量になるため、慎重に作業計画を立てなければ効率的に解析がおこなえない。

そこで、第 4 章で使用した密着焼空中写真を、「ES-8500」を使用し解像度 600dpi に低下させてスキャンした。読み込んだデータは、tiff 形式で約 100MB であった。1270dpi の写真データで利用したカメラキャリブレーション情報と GCP を用い、同様の手順で写真測量をおこない検証した。

空中三角測量の結果、総合 RMSE は 5.0507m となり、解像度 10m の DSM ほどの精度を求めなければ、地形データを抽出可能であった。この DSM から作成したオルソフォトと、前章で作成

したオルソフォトとを拡大し比較した (図 4)。

オルソフォトの地上解像度は、1270dpi 写真が 37cm、600dpi 写真が 80cm である。斜面崩壊地について解像度 1270dpi のオルソフォトから判読すると、5 ヶ所の斜面崩壊地が見られる。内訳は幅 5 m 長さ 10m 程度の崩壊が 2 ヶ所、幅 5 m 長さ 5 m 程度の崩壊地が 3 ヶ所である。一方、解像度 600dpi のオルソフォトでは、2 ヶ所の崩壊地は判読できるが、小さな 3 ヶ所の崩壊地は不鮮明である。また植生の判読については、高解像度スキャン画像は地上解像度が 37cm あるため、針葉樹植林地と、ササ地や広葉樹林の区分だけでなく、植林本数を数えることも可能である。しかし、低解像度スキャン画像では林種境が不鮮明で、林種をデジタイズする場合は注意が必要である。

撮影縮尺 1 万 5 千分 1 空中写真を使用した場合の最適な画像解像度をまとめると、次のようになる。

- ・崩壊地の抽出時、崩壊地を点として表現する場

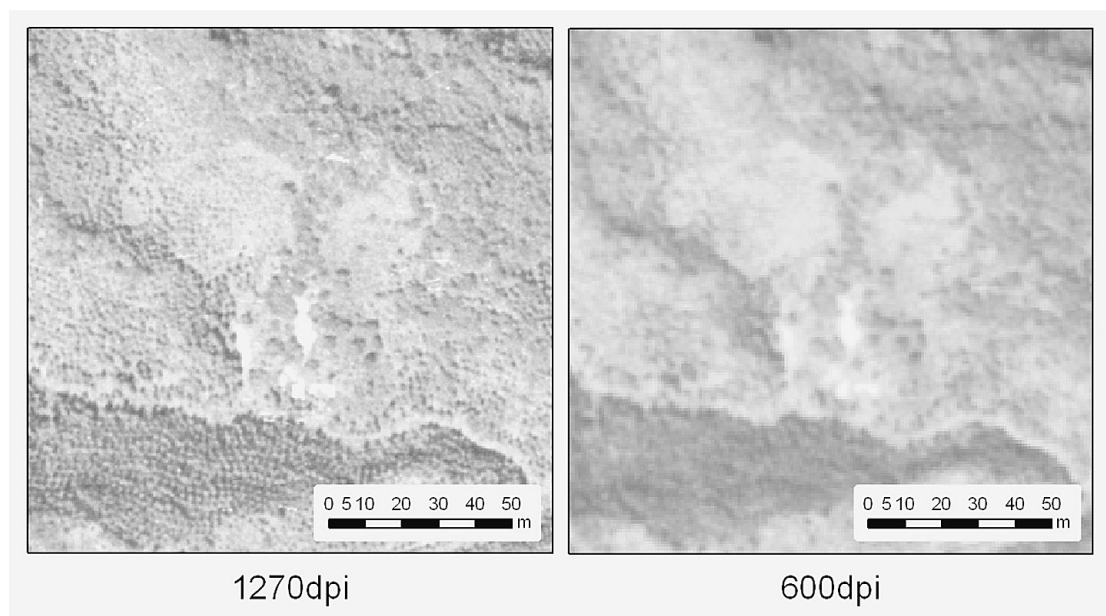


図4 解像度の比較

合は解像度 600dpi（地上解像度 80cm）程度でもよいが、面積計測を行なうなど正確な形状が必要な場合は解像度 1270dpi（地上解像度 37cm）以上が必要であった。

- ・植生の区分を行なうには、解像度 1270dpi（地上解像度 37cm）以上が必要であった。
- ・解析に使用するコンピュータの処理能力が高い場合は、デジタル写真測量で主流とされる 1693dpi～2540dpi の高解像度でスキャンした空中写真を使用することが望ましい。

VI おわりに

本稿では、DSM およびオルソフォト作成に空中写真のスキャン条件が与える影響について報告した。これまでの密着焼写真を CCD スキャナにより読み込みオルソ化した場合の誤差は、スキャン時の読み取り誤差の影響に、その後のデジタル空中写真測量作業での誤差が加算された状態であった。可能であれば、空中写真読み取り専用のスキャナを使用して作られた国土地理院の空中写真画像

データを使うことが、DSM およびオルソフォトの誤差を減少させる方法といえる。しかし、写真測量の誤差は複合的なものであり、水平方向および鉛直方向の誤差を減少させるためには、空中写真のスキャン条件だけを向上するだけでなく、サブメーター精度の GPS 測量によって取得した水平および高さ情報を GCP として使用するなど、使用するデータ精度全体のバランスをとることが必要である。

また、オルソフォトを利用して斜面崩壊地を抽出する場合、高解像度画像であれば多くの情報を引き出せるが、データ容量が増加し、効率的な作業の支障となる場合がある。コンピュータの処理能力と、対象物を解析するために最低限必要な精度を把握し、画像解像度の設定をすることが求められる。

参考文献

- 秋山実(2001)：「写真測量」，山海堂。
後藤智哉（2002）：人工林と天然林における斜面

崩壊の発生頻度の違いー岐阜県上矢作町の矢作川源流部を事例としてー. 国土館大学人文科学研究科地理・地域論系修士論文, 52p.

土居原・内田修(1999)：情報技術と露天採掘ーGPS, デジタルカメラ, データベースの応用. 日本砕石協会, 6-13.

林舟・小口高(2001)：地形学における写真測量法の応用ー欧米の事例を中心にー. 地学雑誌, 111(1), 1-15.

中村考之・渡辺信之・下野隆洋・大木章一・登坂昇・須崎哲典(2004)：デジタルステレオ図化機の精度検証. 国土地理院時報, 105, 35-40.