

DEMを使った単写真測量の検討

田中良明・山口智・鈴木秀典・中澤昌彦・吉田智佳史・岡勝（森林総研）

要旨：2mDEMを使った単写真測量を検討した。方法は、2本の測線を設けて、各測線の3次元位置をDEM上で一致させることによりカメラの位置を決定、撮影方向を画像上で対話的に決定するものである。カメラを水平にして撮影することにより撮影角度の推定を簡略化した。結果、カメラのパラメータを、DEMの平面直角座標系で推定することができた。DEMを使った単写真測量では、DEMと実際の地表面の高さの差が一致するところでは測定が可能であるが、地表面とDEMとの差が数十cm程度であっても、大きな誤差が生じることが明らかになった。

キーワード：デジタルカメラ、DEM、GPS、単写真測量

I はじめに

伐出作業や路線開設作業の作業分析では、測量によって現地の地形図を作成して、作業分析に必要な距離や地形傾斜の情報を得ている。見通しの悪く、傾斜の急な森林での地形測量は、能率の悪い、困難な作業である。近年、航空機レーザーによる1mや2mメッシュのDEMが使用されるようになり林道の設計に応用した例も見られる(1)。こうしたメッシュのDEMには、作業分析に必要な地形情報は、十分含まれていると考えられ、DEM上で単写真測量が実施できれば、立木、作業員、林業機械等の位置が計測できることとなり、作業分析に応用できる。

この研究の目的は、作業分析に必要な距離、傾斜情報をDEMより取得するために、DEMを用いた単写真測量の可能性を検討することである。

II 方法

1. DEMを使った単写真測量 DEMを使った単写真測量とは、図-1に示すように、DEMが作成されている地表面に置かれた杭等の測定対象をカメラで撮影することにより行われる。測定対象を画像上でポイントすることにより、カメラの撮影位置と画像上の点を結ぶ直線がDEMと交わることから、その交点を測定対象の位置とするものである(2)。必要な条件は、カメラの撮影位置と撮影角度がDEMの座標系で求められていることである。撮影位置、撮影角度以外のカメラのパラメータ推定は、文献(2)と同様の方法で行った。使用したカメラはRICOH社のGR DIGITAL IIで、画像のサイズは2048×1536ピクセルである。使用したDEMは航空機レーザーより作成された2mメッシュである。

2. 水準器を使った撮影角度の推定 撮影角度はXYZの3軸方向でのカメラの回転角度であるが、今回の測定では、カメラの一脚とカメラ本体の間に、金属板を設け

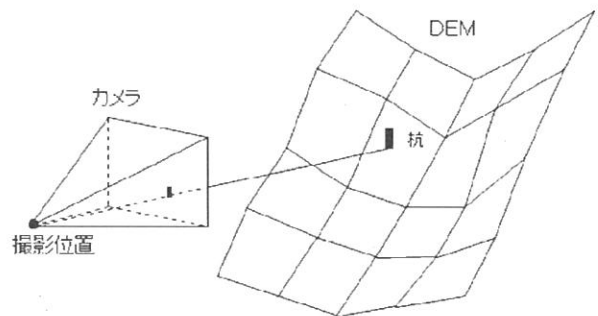


図-1 DEMによる単写真測量



図-2 水準器を使った撮影

て、その上に水準器を設置して、カメラをなるべく水平に近づけて撮影を行うこととした(図-2)。これにより、3つの撮影角度のうち2つをゼロで近似できることとなり、残るのは、鉛直軸周りの撮影方向のみとなる。

3. 2本の測線を使った撮影位置の推定 まずカメラの撮影位置を決定し、その位置の地表面に杭を設ける。DGPSを使って、その杭の平面直角座標XYを求めておく。杭からその地点での最急勾配の方向に向かって30~40mの測線を設ける。さらに、90度程度回転した、別の方向にも同様の測線を設ける。この測線を2.5m間隔でトータルステーションで測定、また5m間隔に目印

Yoshiaki TANAKA, Satoshi YAMAGUCHI, Hidenori SUZUKI, Masahiko NAKAZAWA, Chikashi YOSHIDA, and Masaru OKA (For. and Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687)

Measurement of the points on DEM using a single camera

となる杭を設けた。先に決定した撮影位置から、カメラの撮影方向がそれぞれの測線に向くように撮影を行った。

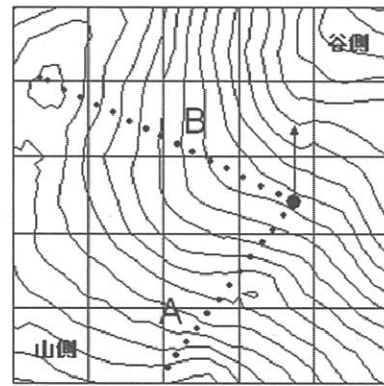
トータルステーションで測定した測線は、撮影位置をXYの原点とする座標系であるが、座標軸は測定時に初期化された任意の方向を向いており、DEMの平面直角座標系とは異なる。そのため、各測線の座標に、平行移動と回転移動を行ってDEMの座標系に一致させる必要がある。原点の平行移動量は、DGPSによって、おおよそその初期値をもとめることができる。回転角度は、DEMにより等高線の入った平面図を作成すれば、最急勾配方向の測線を、等高線におおよそ直角の方向とすることによって、初期値を推定することができる。こうして測線の各測点の平面直角座標系の座標値の近似値を得ることができる。DEMはその周辺の地形を示すものである。一方で、各測線は撮影位置から2方向の地形の断面を測定したものであるため、測線とDEMがより正確に一致する撮影位置と回転角があるはずである。そのためにDGPSで得られた撮影位置と、等高線をもとに推定した回転角度を中心に、位置をXYそれぞれの方向に10cmごと、回転角度は1度ごとに、測線とDEMが、より正確に一致する位置と角度を探索した。それぞれの位置と角度で測線のXY座標変換を実施したあとで、測線の原点のZ座標をDEMから計算したZ座標に一致させる変換を行う。変換後のZ座標と、各測線のXY座標から計算されるZ座標との差をもとめて、測線の点すべての2乗和を計算する。もっとも最小の2乗和を与える位置と回転角を求めて、その変換を行えば、測線の座標系はDEMのものとはほぼ一致すると考えられ、その原点のXY座標がカメラの撮影位置のXY座標となる。Z値はDEMから求めたZ値に撮影時に計測するカメラの撮影の高さを加えたものとした。

DEMから任意のXY座標点のZ値を求める方法は、2mの格子を2つの三角形にわけて、それぞれの平面の方程式からZ値を求めるものである。

4. 撮影方向の推定 残る変数は、カメラの一脚の軸周りの回転角度であるが、これも、測線の方向に向かって撮影を行ったので、おおよその推定値は得られる。図-3、4に示すような平面図上で、カメラの撮影方向を対話的にそれぞれの測線へ向けることによって、近似値は得られる。しかし、測線の方向とカメラの撮影方向は、正確には一致していない。そこで撮影方向の近似値と前節でもとめた撮影位置から、目印となる杭の画像上の座標を計算して画像上に描画すれば、対話的に撮影角度を決定することができる。

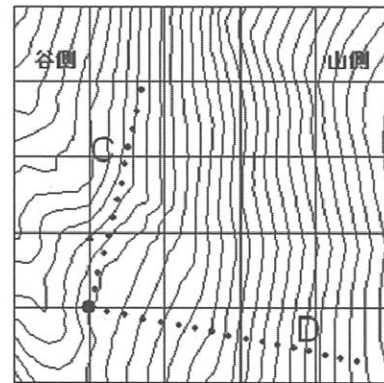
III 結果

試験は茨城森林管理署管内の国有林の2カ所で行った。それぞれをP1、P2とする。尾根地形を含む場所P1の最急勾配方向の測線をAとして、もう一方の測線をB(図-3)、谷を含み、傾斜の変換線のある場所P2の測線を同様にC、Dとする(図-4)。それぞれの図には探索の結果、確定した測線を示している。



格子は10m, コンターは1m間隔

図-3 P1の平面図



格子は10m, コンターは1m間隔

図-4 P2の平面図

測線A~Dのそれぞれの断面の比較、つまり実際の測量による断面とDEMより得られた断面を図-5~8に示す。図-9は、対話的に撮影角度を定めた様子を、画像に示したものである。直角三角形の最も鋭角の頂点が、最終的に、カメラのパラメータから推定された杭の位置である。

VI 考察

図5~8は、実際の地形計測による断面とDEMから作成した断面が、それぞれの地点の2方向において、おおむね一致していることを示している。最急勾配の方向である断面Aと断面Cでは勾配の程度は、実測とDEM

で一致している。断面 A の DEM では小起伏が斜面上にあるが実測値にはそのような断面が見られない。

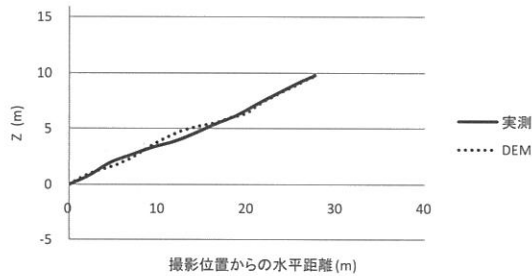


図-5 測線 A の断面図

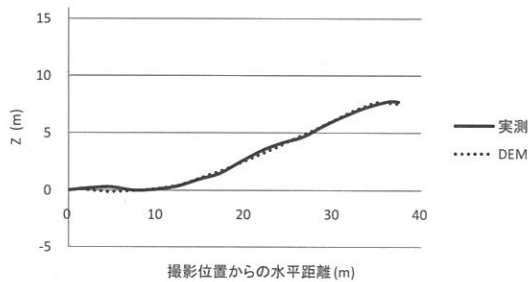


図-6 測線 B の断面図

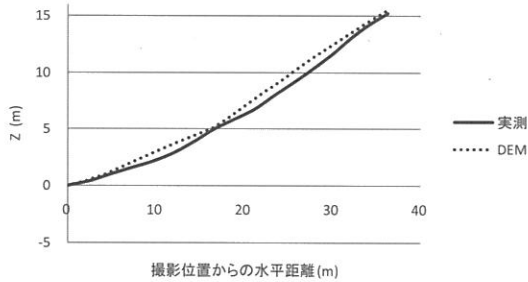


図-7 測線 C の断面図

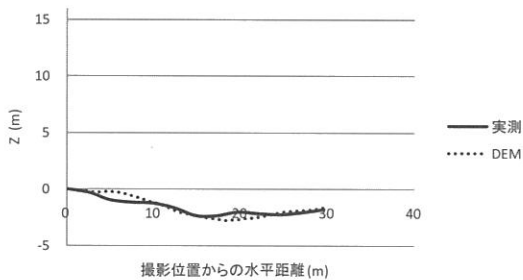


図-8 測線 D の断面図

測線 C は DEM にも実測値にも傾斜の変化点が認められ

るが、DEM のほうが全体的に高い。測線 B は手前の部分をのぞいて、おおむね実測と DEM が一致、尾根部の変化もとらえている。断面 D では、実測値は 2カ所の凸地をとらえている。DEM の断面は 1つの凹地が示されているのみであるが、全体の傾向はとらえている。こうしたことから、使用した 2mDEM は、調査個所の地形の特徴をとらえているが、場所によって最大で数十 cm 程度、実測による地表高との差が含まれていることがわかる。



図-9 パラメータの推定結果

図-9 は断面 C の画像に、最終的に推定されたパラメータから計算された杭の位置を画像上に記入したものである。画像上の杭とパラメータから計算した杭の画像上の位置は、ほぼ一致している。このことから、カメラのパラメータが良好に推定されたこと、水準器を使ってカメラを水平に保って撮影することによって 2 方向の撮影角度をゼロとしたことが有効であったことがわかる。図-9 には DEM の格子も描かれており、DEM とカメラの位置関係は図-1 のように確定したことがわかる。これによって画像中に DEM の作成された任意の地点をポイントすれば、その点の 3次元座標が、平面直角座標系で得られるはずである。なお、撮影位置を変えずに任意の方向で撮影した画像でも、撮影方向が確定できるように測線が撮影されておれば、カメラのパラメータは確定できるので、撮影位置を中心に、測線が撮影できる範囲内で、単写真測量が可能となる。

断面 B と断面 C で、手前から 4 本の杭をポイントした結果、測定された 3 次元座標と、トータルステーションによって測定され、平面直角座標に変換された座標とを比較した (表-1)。

表-1 杭の単写真測量の結果

点	X誤差	Y誤差	Z誤差
B1	-1.360	0.640	0.045
B2	0.060	-0.046	-0.003
B3	0.280	-0.177	-0.079
B4	-0.070	-0.034	0.023
C1	-0.398	0.081	-0.140
C2	-2.613	0.551	-0.933
C3	-3.570	0.699	-1.174
C4	-1.697	0.380	-0.934

単位m

表-1 から、断面 B において、特に B2 と B4 において cm 単位の精度を得ていることがわかる。一方で、断面 C では C1 はともかく、その他の点では誤差が大きい。

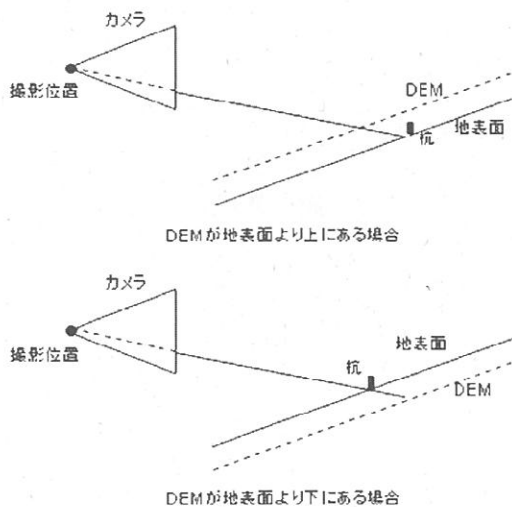


図-10 カメラ、DEM と地表面の関係

これは、断面 C では、図-7 からわかるように、DEM の示す断面が実際の地形よりも上側に存在することによる。杭をポイントしても、撮影位置と画像上の点を結ぶ線は、実際の地表面との手前で DEM と交わることになり、XYZ それぞれの座標に誤差が発生する (図-10)。B 断面では、図-6 からわかるように、測量による断面と DEM の断面がよく一致しており、比較的、正確な計測が行われたことがわかる。B1 において誤差が大きいのは、図-6 に示されている通り、距離 10m 程度までは、実際の地形が DEM の上側にあるためである。この場合には撮影位置からの直線は地表面よりも奥で DEM と交

わることになり、同様に測定誤差を発生させる (図-10)。このことより、DEM と実際の地形との断面がよく一致している場合には、単写真測量が実施できるが、DEM と実際の地表面の差が数十 cm でも離れていれば、図-1 のように単純な単写真測量は、実行できないことがわかる。

DEM と地形が一致したところでは精度良く値が求められていることから、カメラは平面直角座標の中で、DEM に対してかなり正確に位置と角度が推定されていると考えられるので、付加的な情報を使って立木等の位置が確定できないか、さらに検討を加えたい。

また今回は、最急勾配方向ともう 1 方向の測線によって撮影地点を探索したが、地形変化の乏しい場所ではこうした探索がうまくいかない場合も考えられる。こうした場所でのカメラのパラメータの決定方法についても検討が必要である。

引用文献

- (1) ARUGA, K SESSIONS, J and AKAY, A (2005) : Application of an airborne laser scanner to forest road design with accurate earthwork volumes : J. For. Res. 10:113-123 (2) 田中良明・山口智・鈴木秀典・中澤昌彦・吉田智佳史・岡勝 : デジタルカメラを用いた路面横断形状の測定法 : 日林関東支論 61 : 253-256, 2010 (3) 田中良明 : DTM とデジタルフォトグラメトリによる森林内の位置測定法 : 森林利用研究会講演要旨集 4 : 22, 1997