ディジタルステレオ図化機の精度検証
Evaluation of Digital Photogrammetry Workstation

測図部　中村孝之・渡辺信之・下野隆洋・大木章一
Topographic Department　Takayuki NAKAMURA, Nobuyuki WATANABE, Takahiro SHIMONO, Shoichi OKI
北陸地方測量部　登坂昇・須崎哲典
Hokuriku Regional Survey Department　Noboru TOSAKA, Tetsunori SUZAKI

要　旨

ディジタルステレオ図化機（以下､ディジタル図化機）の２万５千分１地形図（以下、地形図）作成、修正への適用を検討するため、その精度検証を行った。具体的には、ディジタル図化機による座標測定、空中三角測量、図化等について検証を行った。併せて、空中写真測量用スキャナの精度検証として、その幾何精度及び再現性精度の検証を行った。本稿では､それらの結果を報告する。

１．はじめに

国土地理院では従来からアナログ図化機や解析図化機を用いて地形図の作成、修正作業を行っている。

近年､アナログ図化機や解析図化機は製造中止が進み、代わって、海外の測量機関や国内外の民間会社などにおいて、ディジタル図化機の導入が進んでいる。中には、数十台単位で導入し、地図の作成、修正作業等を効率的に行っているところもある。

このように、ディジタル図化機が広く使用されるようになっているが、現行の「基本図測量作業規程」（平成７年４月）（以下、作業規程）では、ディジタル図化機について明示されておらず、その使用は難しい。

そこで今回、ディジタル図化機の地形図作成、修正への適用のために必要な検証を行うこととした。

２．ディジタル図化機の構成、機能

ディジタル図化機は、ソフトウェアの他、コンピュータ本体、立体視装置、ディスプレイ、及びマウス（３次元マウス等）又はXYハンドル・Z盤等から構成されるのが一般的である（図－１)。

図－１　ディジタル図化機の構成

雑誌GIM Internationalによる最新のディジタル図化機の製品調査（2003.12）では、17種類の製品について報告がなされており、15年ほどの歴史を持つものもある。

ディジタル図化機には、図化の他、空中三角測量、DEM作成、オルソ画像作成などの機能が備わっているのが標準である。空中写真だけではなく、QuickBird、IKONOS、SPOT5号などの人工衛星画像を扱えるものも存在する。

３．ディジタル図化機の座標測定性能の検証

上述の通り、ディジタル図化機は、多くの機能を有しているが、今回はまず、基本となる座標測定性能について検証試験を行った。

座標測定性能としては、①単画像の画像座標を正確に取得できること、②ステレオ画像の各画像座標を正確に取得し、かつ、その値を元に３次元座標を正確に算出できること、が求められる。

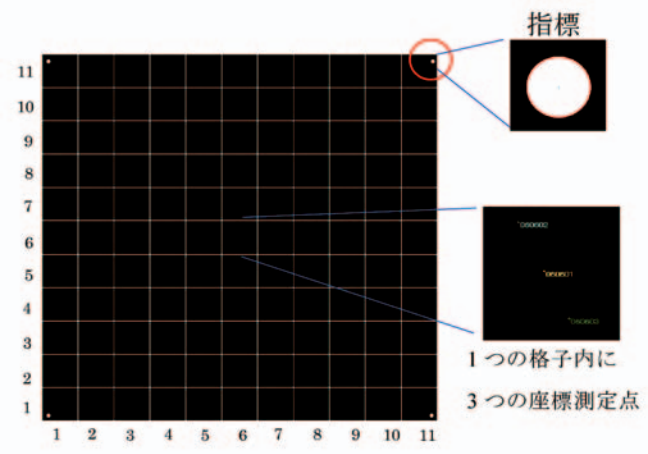
①については、ディジタル空中三角測量を行う際の指標座標の測定、基準点、パスポイント、タイポイントの設定などを正確に行うために重要である。②については、数値図化を行う際に重要となる。

今回、この座標測定性能を検証するため、ディジタル格子板と呼ぶシミュレーション画像を作成し、次の２種類の試験を行った。

単眼測定試験：ディジタル格子板の格子点の２次元座標値を測定し、測定結果とディジタル格子板の検定値を比較する。その較差量で２次元の測定精度を評価する。

実体視測定試験：ディジタル格子板の格子点の３次元座標値を測定し、測定結果とディジタル格子板の検定値を比較する。その較差量で３次元の測定精度を評価する。

※ディジタル格子板とは、撮影点の位置・傾き（X,Y,Z,ω，φ，κ)、カメラデータ（焦点距離、指標データ)、地上座標測点（X,Y,Z）を予め設定して擬似的に作成した空中写真画像である（図－２)。



図－２　ディジタル格子板のイメージ

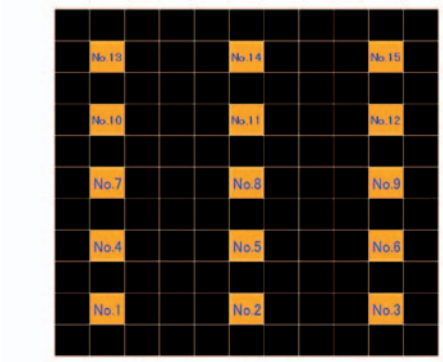
試験対象とするディジタル図化機として、国内で稼動実績のあるものの中から４製品（A～Dとする）を選定した。

今回検証に使用したディジタル格子板の諸元を表１に、単眼測定試験及び実体視測定試験における測定点の配置をそれぞれ図－３、図－４に示す。

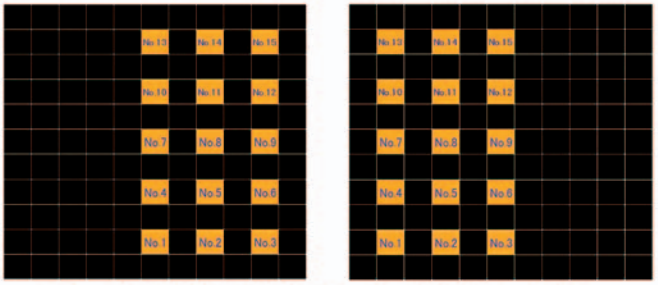
試験結果をそれぞれ表－２、表－３に示す。

表－１　ディジタル格子板の諸元

撮影縮尺		1/10,000
焦点距離		152.96mm
主点位置ズレ・レンズ歪み		無し
主点位置 X,Y,Z(m)	左画像	1000.00,2000.00,1650.00
	右画像	1850.00,2000.00,1650.00
傾き（ω，φ，κ）		すべて0.0
スキャン解像度		14μm、21μmの２種類
対応地上解像度		0.14m、0.21m
指標座標値		No.1　(106.00,106.00) No.2　(106.00,-106.00) No.3　(-106.00,-106.00) No.4　(-106.00,106.00)



図－３　単眼測定試験における測定点の配置



図－４　実体視測定試験における測定点の配置

表－２　単眼測定試験結果

製品	解像度（μm）	単眼測定 RMSE（μm） X	Y	RMSE（pixel換算） X	Y
A	14	1.96	1.59	0.14	0.11
	21	6.25	6.43	0.30	0.31
B	14	2.38	2.52	0.17	0.18
	21	6.72	6.30	0.32	0.30
C	14	2.52	2.38	0.18	0.17
	21	6.72	6.30	0.32	0.30
D	14	2.04	2.71	0.15	0.19
	21	6.79	6.14	0.32	0.39

表－３　実体視測定試験結果

製品	解像度（μm）	実体視測定 RMSE（μm） XY	Z	RMSE（pixel換算） XY	Z
A	14	0.035	0.042	0.25	0.30
	21	0.081	0.051	0.39	0.24
B	14	0.104	0.059	0.74	0.42
	21	0.159	0.051	0.76	0.24
C	14	0.107	0.062	0.76	0.44
	21	0.167	0.047	0.79	0.22
D	14	0.075	0.054	0.55	0.39
	21	0.094	0.075	0.45	0.36

試験の結果、4製品すべてにおいて、数値化解像度1ピクセル以内での測定精度を有していることが確認できた。特に、単眼測定実験では、数値化解像度の0.5ピクセル以内での測定精度が実現できている。

4．ディジタル空中三角測量の検証

次に、ディジタル空中三角測量の検証として、3.で座標測定性能の検証を行った製品の1つであり、また、2003年度に測図部に導入したアジア航測社製「図化名人」を用いて空中三角測量を行い、その結果について検証した。

「図化名人」に組み込まれている空中三角測量プログラムは日本測量協会の検定を受けている。そのため、4.の座標測定性能の結果と合わせ、良好な結果が得られることが期待される。

4．1　検証方法

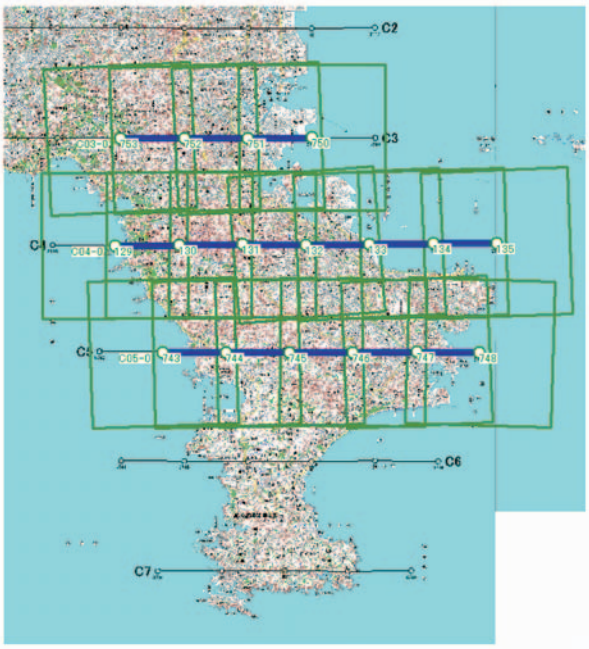
「図化名人」を用い、カラー空中写真画像についてバンドル法を用いて標定し、その結果を確認するとともに、ブロック全体に分布する約40点の検証点について、ステレオ計測値と現地GPS測量結果を比較することで精度検証を行った。

4．2　検証用空中写真画像

今回使用した空中写真画像の仕様は表4のとおりである。撮影の標定図を図5に示す。

表－4　使用した空中写真画像の仕様

枚数	17枚 (3コース14モデル)
スキャニングピッチ	20μm ※写真測量用スキャナを使用してフィルムからスキャン
撮影地域	三浦半島
撮影日	平成15年10月
撮影縮尺	1/30,000
撮影高度	4690m
カメラ	RC30



図－5　撮影の標定図

4．3　現地GPS測量

検証点のGPS測量は、電子基準点を与点とし、2周波GPS機器を用いてファストスタティック方式で1点につき30分間行ったものである（図－6）。

図－6　ファストスタティックGPS測量

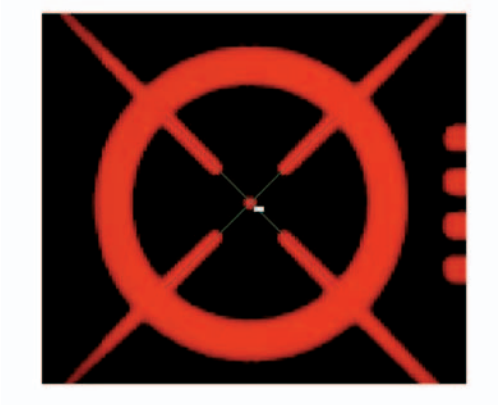
4．4　検証結果

空中三角測量の工程別に精度検証結果を述べる。

4．4．1　内部標定

ディジタル図化機では、内部標定を手動又は自動で行うことが可能である。

今回は、1枚の写真の1つの指標位置を手動で指定し、その情報を元にブロックの全写真の全指標位置を自動取得した。その後、目視で全て確認したところ、いずれも修正の必要が無い位置に取得されていたため(図－7)、そのまま採用することとした。



図－７　指標位置の自動取得結果例

図－８　パスポイントの設定例

指標位置の残差と作業規程の制限は表－５のとおりである。結果は作業規程の制限を満たした。

表－５　内部標定の結果

項目	今回の調整結果	作業規程の制限
指標残差のRMSE	0.012mm	0.02mm
指標残差の最大値	0.019mm	0.03mm

４．４．２　ブロック調整計算

作業規程に則り、基準点、パスポイント、タイポイントを設定し（図－８）、バンドル法により調整を行った。

基準点としては、ブロックの４隅及び中央の合計５点の地上基準点を使用した。地上基準点は､検証点と同様、GPS測量（ファストスタティック方式）を行ったものである。

パスポイントは、各写真のａ、ｂ、ｃ点の周辺に１点ずつ設定し、タイポイントは１モデルに１点ずつ、ジグザグになるように（一直線にならないように）設定した。

ディジタル図化機にはステレオマッチング技術を用いて、自動的にパスポイント及びタイポイントを設定する機能がある。これには２種類ある。

１つは選点も含めてソフトウェアに任せる完全自動のものである。大量の点を取得し、大誤差を持つ点を除去する機能を持つ製品も存在する。

もう１つは、選点は人間が行う半自動のものであり、１枚の写真上で点の位置を指示し、他の写真上の対応点を検索させることができる。

自動で行った後、手動で修正することもできるが、今回は初めからすべて手動で設定した。

バンドル調整を行った結果、表－６のとおり、作業規程（基本図作成編）の制限を満たした。

表－６　バンドル調整の結果

項目			今回の調整結果	作業規程（基本図作成編）の制限
基準点残差	水平			
		RMSE	0.13m	0.94m（対地高度の0.02%）
		最大値	0.18m	1.88m（対地高度の0.04%）
	標高			
		RMSE	0.18m	0.94m（対地高度の0.02%）
		最大値	0.22m	1.88m（対地高度の0.04%）
各写真上での基準点を除く各点の交会残差	RMSE		最大の写真で0.008mm	0.015mm
	最大値		全体で0.0175mm	0.03mm

４．４．３　検証点における較差

44点の検証点において、ステレオ計測値とGPS測量結果を比較した。較差は、水平方向で約0.8m（RMSE)、鉛直方向で約0.9m（RMSE）であった。

地形図の精度（RMSE）は、作業規程で、平面位置17.5m、標高点3.3m、等高線5m以内と定められている。検証点における較差は、地形図の要求精度と比較して非常に小さく、地形図作成に十分に適用可能であると言える。

５．地形図修正作業への適用について

次に、先の検証結果（検証①とする）を基準にしていくつか条件を変えて、地形図修正のための精度を得られるか検証を行った（表－７）。

検証②は地方測量部での修正作業を想定したものである。地形図の部分修正では通常それほど大きなブロックは扱わない。今回は1モデルで検証を行うこととした。

検証③、④では、一般の事務用スキャナで印画紙をスキャンしたものを使用している。これは空中写真測量用スキャナを用いた検証①、②との比較のために行った。

表－7　地形図修正への適用の検証

検証	スキャナ／原稿	モデル数	標定
①	写真測量用／フィルム	14	GPS 測量による標定点5点を使用
②	写真測量用／フィルム	1	図紙標定(NTIS 上で4点計測)
③	事務用／印画紙	1	GPS 測量による標定点4点を使用
④	事務用／印画紙	1	図紙標定(NTIS 上で4点計測)

5．1　検証結果

5．1．1　検証②の結果

検証①と同様、内部標定の結果は作業規程の制限を満たした。

標定点の選択を適切に行うことにより、調整計算後の標定点残差は作業規程（基本図修正編）の制限（地形図の場合、平面位置 12.5m、標高 2.5m 以内）を満たすことができた。

5．1．2　検証③の結果

事務用スキャナで印画紙からディジタル化した画像を、写真測量用スキャナでフィルムからディジタル化した画像と比較したところ、画質が劣るだけではなく、内部標定におけるヘルマート変換処理では、指標の残差が 0.3mm と大きい結果となった。画像全体の歪みを計測したところ、系統的な歪みがみられたため、アフィン変換で画像の補正を行ったところ、指標の残差が 0.03mm 弱に改善された。

調整計算後の標定点残差は、作業規程（基本図修正編）の制限を満たすことができた。

5．1．3　検証④の結果

検証③と同様、画像をアフィン変換で補正し、検証②と同様、標定点の選択を適切に行うことにより、調整計算後の標定点残差は作業規程（基本図修正編）の制限を満たすことができた。

5．2　考察

写真測量用スキャナでディジタル化した場合、高精度の標定点を用いて標定すれば、地形図の作成、修正にディジタル図化機を使用することが可能である。また、従来と同様に、適切な方法で図紙標定を行えば、地形図修正に使用することが可能である。

事務用スキャナで印画紙をディジタル化した場合、画像の補正にアフィン変換を用いるなど精度向上の工夫をし、また、適切な方法で図紙標定を行うことにより、地形図修正の制限を満たすことができた。しかし、常に制限を満たすことができるとは限らず、判読性も著しく低下するため、利用できるとしても限定的なものになると思われる。

6．空中写真測量用スキャナの精度検証

ディジタル図化機で使用するディジタル空中写真画像は、ディジタルカメラを使用して直接取得する方法と、フィルムからスキャンして取得する方法の2通りがある。近年、空中写真測量用のディジタルカメラの開発が進み、国内外で利用され始めているが、現状ではまだ後者の方法が一般的である。

ディジタル図化機を用いる場合、5. でも示したが、精度に最も影響を与えるものの1つがスキャニングの精度（正確度）である。

そこで、空中写真測量用スキャナの機器検定について検討するため、国内で稼動実績のあるものの中から2製品（E、F とする）を選定して精度検証実験を行った。

6．1　検証方法

検証は、服部による論文を参考に、幾何学的歪み、機械的安定性（位置の再現性）の2つの観点から行った。

検証には検定済みの精密格子板を使用した。これは、5×5点以上の格子密度を有し、240mm×240mm 範囲の幾何精度を検定することが可能なものである。

① 幾何精度検証（幾何学的歪みの検証）

数値化した精密格子板の各格子点の中心位置を計測し、精密格子板の検定値と比較した。

② 再現性精度検証（機械的安定性の検証）

幾何精度検証を2回実施し、各格子点について較差を求めた。

6．2　検証結果

結果は表－8の通りであった。両製品とも製品仕様（X,Y 方向それぞれ平均二乗誤差で2 μm 以内）通りの高い幾何精度が得られた。2回の較差も非常に小さく、再現性についても高い精度であることを確認した。

表－８　写真測量用スキャナの精度検証結果

製品		精密格子板の検定値との較差			
		RMSE(μm)		最大値(μm)	
		X	Y	X	Y
E	1回目	1.4	1.3	2.8	-2.6
	2回目	1.1	1.0	2.4	-1.9
	2回の較差	1.2	1.1	2.9	-2.2
F	1回目	0.8	1.0	2.0	2.1
	2回目	1.2	0.7	2.1	2.1
	2回の較差	1.0	0.8	2.1	-1.3

７．今後の課題

今回検証を行ったディジタル図化機については、その検証結果から、従来の図化機の代替として地形図の作成、修正作業に使用することが可能と考えられる。

しかし、ディジタル図化機には非常に多くの種類が存在し、実作業で使用する際には、必要な精度を確保することが可能かを事前に確認しておくことが必要である。

確認のための一つの方法として、今回使用したようなディジタル格子板を用いた機器検定が考えられる。

今後は、地形図の作成、修正作業にディジタル図化機を適切に使用することができるよう、更に検証を進め、基本図測量作業規程の改訂や作業マニュアルの作成などを行う必要がある。

謝　辞

今回、検証に使用した空中写真画像の提供をいただいた共立航空株式会社に感謝いたします。

参　考　文　献

GIM International：2003年No.12

服部進（1987）：いくつかのドラム走査型微小濃度計の位置精度について、情報処理学会論文誌、1987年12月、No.12、Vol.2、pp1318-1327

織田和夫、内田修、坂元光輝、野中秀樹、土居原健（2003）：ソフトコピー図化機の精度検証方法、日本写真測量学会平成15年度年次学術講演会、発表論文集、pp.57-60

Toni Schenk著、（社）日本写真測量学会編（2002）：デジタル写真測量、（社）日本測量協会

渡辺信之、中村孝之、登坂昇、須崎哲典、大木章一（2004）：新技術による基本図測量作業に関する調査研究、国土地理院測図部技術報告第14号