

写真測量と地上測量とを結合した誤差調整手法の開発 (その 7)

A Development of Error Adjustment Methods in Combined Photogrammetry and Land Surveying

近津博文*・村井俊治**

Hirofumi CHIKATSU and Shunji MURAI

1. はじめに

筆者らは地上測量から得られる斜距離あるいは角等の測定値と写真測量の測定値とを同時に調整する方法¹⁾²⁾³⁾に対して、さらにGPS (Global Positioning System) より得られる測定値をも同時に調整する方法の開発を行い、以下に述べる1)の方法について検討を行った⁴⁾。

ところで、GPSの航空写真測量への利用には大きくわけて次の2つの方法が考えられる。

- 1) GPSを空中基準点として利用する方法。
- 2) GPSを地上基準点として利用する方法。

また、GPSによる測位方法には1点測位法と相対測位法とがあり、1)の場合には1点測位法が用いられる。2)の場合には1点測位法と相対測位法とを単独に用いる場合と両方を併用する場合とが考えられる。

そこで、本報告では、2)の方法を採用する場合、GPSから得られる成果を想定して航空写真測量の標定誤差を、シミュレーションにより評価した。

2. GPSを考慮した同時調整法

距離(空間距離)は地上における距離測定、あるいはGPSによる相対測位法からも知ることができるため、GPSを取り入れた一般的な同時調整法は距離を採用して(1)式で表すことができる⁴⁾。

いま、測点の地上座標を $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ 、対応する写真座標を $p_i(x_i, y_i)$ 、撮影点の地上座標を (X_0, Y_0, Z_0) 、また x 軸、 y 軸および z 軸の周りの写真の回転角をそれぞれ ω 、 ϕ および κ とする。

一方、写真座標、基準点および撮影点の地上座標に対する各補正量をそれぞれ $\Delta x_i, \Delta y_i; \Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i; \Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ とし、さらに2点 P_i, P_j 間の距離の補正量を Δl_{ij} とすると、結局この場合の各補正量は最小二乗法の原理に従って次の重み付き関数 G_0 を最小とする値として求めることができる。

$$G_0 = \{ [p_0(\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)] + [p_1 \Delta l_{ij}^2] + [p_2(\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta Z_i^2)] + [p_3(\Delta X_0^2 + \Delta Y_0^2 + \Delta Z_0^2)] \} \quad (1)$$

ただし、[] ; ガウスの総和記号

p_0 ; 写真座標に関する重み

p_1 ; 測定斜距離に関する重み

p_2 ; 基準点の座標に関する重み

p_3 ; 撮影点の座標に関する重み

3. シミュレーション

先に示した2通りのGPSの利用方法の内、1)の方法はGPSのレシーバーを航空機に搭載した場合であり、航空機以外に地上にもレシーバーを設置することによりGPSの利用方法が増えるほか、ディファレンシャル測位法⁵⁾あるいはGPSとINS (Inertia Navigation System) との併用⁶⁾が可能となり空中・地上基準点の座標値および距離が高い精度で得られる。

しかし、GPSは現在開発途上にあり、利用できる衛星の数が少ない⁷⁾ことを考慮すると、各受信地点の平面座標あるいは受信点間の距離を使った同時調整法の開発が現状に即しているものと思われる。

そこで、GPSの2)の利用法に関しては以上のことを考慮して次の2通りにつきシミュレーションを行うこととする。

なお、前報のシミュレーションをI)とするのに対して本報告ではそれぞれII)およびIII)とする。

II) 地上受信点の平面座標と空中基準点の3次元座標とが与えられる場合。

III) 地上受信点の平面座標と各受信点間の距離とが与えられる場合。

なお、計算は以下の点を考慮してすべての組み合わせに対して行うものとする。

1) 撮影点の3次元座標には絶対値が同量の誤差が含まれているものとし、その大きさを1m, 5m, 10mおよび50mの4通りとする。そこで、各誤差のすべての符号の組み合わせである8通りの場合を考える。

*東京電機大学理工学部

**東京大学生産技術研究所 第5部

表-1 基準点の地上座標および写真座標

基準点	地上座標			写真座標				
	$X_0(m)$	真 値 $Y_0(m)$	$Z_0(m)$	$X(m)$	観測値 $Y(m)$	$Z(m)$	$x(mm)$	$y(mm)$
A	-13615.222	-30414.893	85.292	-13615.230	-30414.890	85.270	43.904	-38.124
B	-13392.607	-30265.466	36.820	-13392.609	-30265.476	36.826	87.126	44.361
C	-13586.767	-30619.308	36.251	-13586.772	-30619.301	36.238	79.763	-93.777
D	-13779.863	-30512.109	37.345	-13779.877	-30512.115	37.315	4.279	-89.571
E	-13642.382	-30113.646	63.152	-13642.360	-30113.660	63.180	-13.429	56.145

2) 地上受信点の各平面座標に対しても上と同様にその誤差の絶対値を0.05m, 1m, 5m, 10mおよび50mの5通りとする。一方, この場合の各誤差に対する組み合わせは4通りとなる。

3) 重みは原則的に測定機械の最小読定値に反比例するものとする。すなわち最小読定値1 μ mのコンパレータを用いた写真座標の重みは単位をmmに統一して1000, またGPSおよび光波測距儀を用いた距離に対する重みは最小読定値を1mmとして1とする。

ところで, これらの重みは基準点の座標に数cmの誤差を想定した重みを便宜上1とした場合に対応したものであり, 基準点に対して想定したその他の誤差の大きさの場合には, まず想定誤差の2乗に反比例する値を1としてそれに対する比の値とする。同様に, 撮影点および平面座標に対する重みはそれらに対して想定された誤差の2乗に反比例する量を, 基準点に対する重みを1とした場合に対する値として算出される値とする。

また, 使用したシミュレーションデータは測量に用いられた例をもとに理論値を求め, さらにランダム誤差を加えて作成したものである。また, 地形モデルは図-1とする。

一方, 表-1~3に基準点の真値, 観測値, 写真座標, 外部標定要素の真値および距離の測定値を示す。

なお, 上記の真値および測定値等は以下のようにして定めた。

まず, 写真座標は正しいものとして単写真標定を行い,

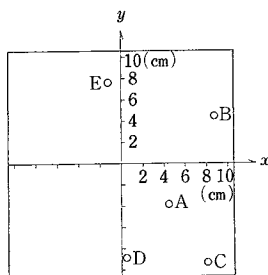


図-1 基準点の配置

表-2 外部標定要素の真値

$X_0 = -13673.473m$	$\omega = 0^\circ 14' 23.7''$
$Y_0 = -30270.038$	$\phi = -0 15 22.1$
$Z_0 = 660.029$	$\kappa = 25 50 4.0$

表-3 測線の長さ

測 線	測定値 (m)
AB	272.467
AC	212.133
AD	197.108
AE	303.280

各写真の外部標定要素を求める。次に, 先に定めた5点に対する3次元座標を算出し, これを各基準点に対する理論上の真値とする。なお, 最初に与えられた各座標値を観測値とし, また単写真標定より算出された値を外部標定要素の観測値とする。

一方, 各基準点の理論上の真値を用いて算出される外部標定要素および距離の各値をそれぞれの理論上の真値とする。また, 距離の測定値は算出された理論上の真値に各距離の標準偏差に従った正規乱数を加算したものである。

4. シミュレーション結果

図-3および図-4は測点の座標に関するシミュレーションII, IIIの結果を示したものである。同様に図-2は前報の結果である。なお, 図-2の場合には撮影点に対して $\pm 100m$ の誤差を想定した場合には計算が不安定であった。同様に図-3の場合には平面座標に対して $\pm 5m$ かつ撮影点に対して $\pm 50m$ 以上の誤差を想定した場合, また図-4の場合には撮影点に対して $\pm 5m$ 以上の誤差を想定した場合には計算が不安定となる場合が存在した。

これらの図より以下のことが理解される。

空中基準点として利用する場合(図-2)。

- 1) 1点測位法により撮影点の位置が $\pm 10m$ 程度の精度で得られるならば, 地上における2点の基準点の座標値と4つの測線(AB, ASC, AD, AE)に対する距離の測定値とより算出される測点の座標値は比較的良好な結果で

研 究 速 報

あると思われる。

2) INSとの併用等により撮影点の位置が±1m程度の精度で得られるならば、上記と同じ条件でも算出される測点の3次元座標は良い結果であると思われる。

また、撮影点の精度が±1m程度であるならば基準点数がわずかに1点の場合でも上記と同程度の結果が得られることが確かめられた。ただし、この場合には4測線の距離の測定値のほかには各測点の標高の測定値が必要となる。

地上基準点として利用する場合(図-3、4)。

3) GPSにしる光波測距儀にしる距離測定を行うか否かによりシミュレーションはIIとIIIに区分されるが、距離測定を行わない場合にはGPSを利用する観点から撮影点の条件が必要となる。この場合平面座標の精度が±数cmでかつ撮影点の精度が±1m程度であるならば算出される測点の3次元座標の値は比較的良好な結果であると思われる(図-3)。

4) 一方、距離測定を行う場合にはレシーバーを複数個設置することにより距離および受信地点の平面座標を合理的かつ精度良く知ることができ、平面座標の精度が±数cmで得られるならば、それを用いて計算される測点の座標値は非常に良い結果であると思われる(図-4)。

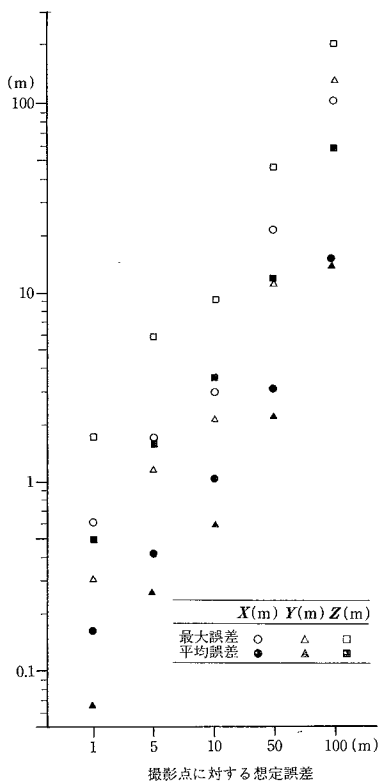


図-2 測点の座標に対する誤差 (シミュレーション I)

5. GPSの航空写真測量に対する評価

ディファレンシャル測位法あるいはINSを併用した方法等を便宜的に厳密測位法と称し、本報告および前報で検討したGPSの利用方法を細分化すると表-4のようになるとと思われる。

図-2、3、4および表-4より主に次のことがわかる。

まず、精度的な面から航空写真測量に対するGPSの利用法を検討した場合、シミュレーションI)の厳密測位法とIII)の相対測位法とが有効であると思われる。

一方、Pコード等の利用をも考慮して、撮影点の座標が±10mで得られるならば、シミュレーションI)の1点

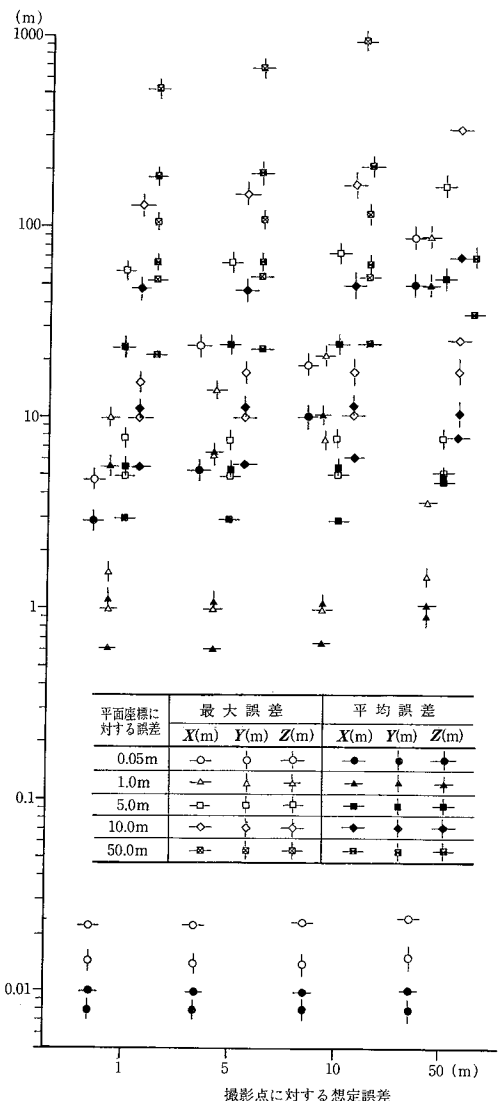


図-3 測点の座標に対する誤差 (シミュレーション II)

表-4 GPSの評価

利用方法	空中基準点		地上基準点			
	(I)		(II)		(III)	
シミュレーション						
測位方法	厳密測位法	1点測位法	相対測位法	1点測位法	相対測位法	1点測位法
その他の測定	距離測定基準点測定	距離測定基準点測定	撮影点の位置測定	撮影点の位置測定	距離測定	距離測定
			厳密測位法	1点測位法	厳密測位法	1点測位法

6. 今後の課題

本報告および前報でGPSの航空写真測量への利用について検討を行ってきた。

とところで、GPSの有効利用および実用化のためにレシーバーを車⁷⁾、船舶⁸⁾、航空機⁹⁾および人工衛星⁹⁾等に搭載した場合の報告が多くみられる。そのうち、特にレシーバを人工衛星に搭載した例に着目し、またSPOT等の人工衛星から宇宙写真が撮影されていることを考慮すると、さらにGPSの宇宙写真測量への利用が考えられる。

そこで、次報ではGPSの宇宙写真測量への利用方法とその実用性について検討することとする。

(1987年8月26日受理)

参考文献

- 1) 近津博文・村井俊治：距離測定を制約条件にした空中三角測量，昭和61年度秋季学術講演会論文集，日本写真測量学会，pp. 1~4, 1986
- 2) 近津博文・村井俊治：写真測量と地上測量とを結合した誤差調整手法の開発(その3)，生産研究，VOL. 39, NO. 1, pp. 21~24, 1987
- 3) 近津博文・村井俊治：写真測量と地上測量とを結合した誤差調整手法の開発(その4)，生産研究，VOL. 39, NO. 3, pp. 35~38, 1987
- 4) 近津博文・村井俊治：写真測量と地上測量とを結合した誤差調整手法の開発(その6)，生産研究，VOL. 39, NO. 8, pp. 27~30, 1987
- 5) 木村小一：NAVSTAR/GPSの開発とそのシステム，NAVSTAR/GPS<全世界測位システム>—その展望と利用技術の確立に向けて—，ジャパン・インダストリアル・パブリッシング，pp. 3~41, 1987
- 6) K.P. Schwarz, C.S. Fraser, P.C. Gustafson; AEROTRIANGULATION WITHOUT GROUND CONTROL, ISPRS CONGRESS, COMMISSION I, RIO DE JANEIRO, pp. 237~250, 1984
- 7) 山田耕司・山岡登ほか：GPS航法装置，日本無線技報，NO.24, pp. 16~23, 1986
- 8) 沖田利通・伊賀章ほか：GPS受信機の車両及び船舶搭載実験，昭和60年度電子通信学会総合全国大会講演論文集，pp. 7-233~7-234, 1985
- 9) 伊賀章・藤田雅博：Global Positioning Systemとその受信機，電子情報通信学会，スペクトル拡散通信研究会，SS 87-3, pp. 8~17, 1987

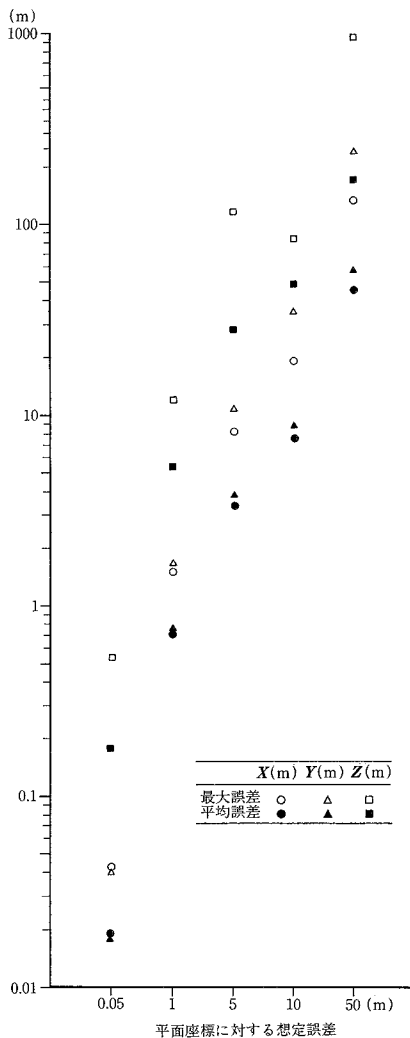


図-4 測点の座標に対する誤差 (シミュレーションIII)

測位法は地上基準点数が不十分な場合には有効な方法であると思われる。

また、多くのレシーバーを必要とするけれども、測量作業の省力化と言う点からはシミュレーションIIIが適した方法であると思われる。なお、この方法を採用して得られる測点の座標に対する結果は表-4に示したすべての利用方法中最も良いことがわかった。

シミュレーションの結果に対する判断は目的により異なるべき性質のものであると思われる。しかし、GPSの航空写真測量に対する利用方法を考えた場合、精度的にも、測量作業の省力化という点からも、またその応用範囲からもIII)の相対測位法を採用するのが最も合理的であると思われる。