

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8)

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

筆者らは前報等¹⁾²⁾³⁾においてGPS(Global Positioning System)の航空写真測量への利用について検討を行ってきた。

ところで、1981年4月12日にスペースシャトル1号機のコロンビア号が宇宙への往復飛行を実現させてから⁴⁾、2年後の1983年11月28日のSTS-9の飛行ではコロンビア号に搭載されたカールツァイス社の航測用カメラにより立体写真の撮影が行われ⁵⁾、さらに1984年10月のスペースシャトル・チャレンジャーによる41Gの飛行ではLarge Format Camera(LFC)により合計2160枚の宇宙写真が撮影された⁶⁾。

また、地形図の作成および地形図の最新化を一つの目的として1986年2月にフランス政府により打ち上げられた人工衛星スポットからはCCDカメラによる撮影が行われており⁷⁾、さらに1987年2月19日に打ち上げられたわが国の海洋観測衛星《もも1号》からもCCDカメラによる撮影が行われている⁸⁾。

一方、GPSをスペースシャトルに対する航法援助システムとして利用する方法が検討されたり⁹⁾、また1982年7月16日に打ち上げられた地球探査衛星Landsat 4号では宇宙でのGPSの利用が初めて試みられた⁹⁾ことなどを考慮するとGPSの宇宙写真測量への利用が考えられる。

そこで、本報告では、GPSから得られる成果を想定して宇宙写真測量の標定誤差を、シミュレーションにより評価し、その実用性について検討することとする。

2. シミュレーション

現在宇宙を周回しているスポット、《もも1号》およびランドサット4、5号の視野角はそれぞれ約4.2°、5.4°および14.9°であり¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾、これはスペースシャトルに搭載された航測用カメラが約56°⁵⁾およびLFCが約80°¹³⁾で

あったことを考えると極めて狭い視野角である。また、航測用カメラに対するレンズは一般的に広角であることを考慮すると、結局宇宙写真測量へのGPSの利用を検討することは、狭角レンズに対するGPSの評価という問題になると思われる。ところで、レンズに対する視野角は一般的には表-1のように区分される¹⁴⁾。

そこで、本研究では図-1において撮影高度(H)を240kmとすると、各写真に対する撮影高度(H)と視野範囲(2D_i)との比および視野角(θ_i)をそれぞれ

広角………D₁:H=1:1.5 (θ₁≒86°)

普通角………D₂:H=1:3 (θ₂≒50°)

狭角………D₃:H=1:8 (θ₃≒20°)

とする3種類の写真に対して以下の点を考慮してすべての組み合わせに対してシミュレーションを行うものとする。

表-1 レンズと視野角

レンズ	視野角
広角	60°~80°
普通角	40°~60°
狭角	10°~30°

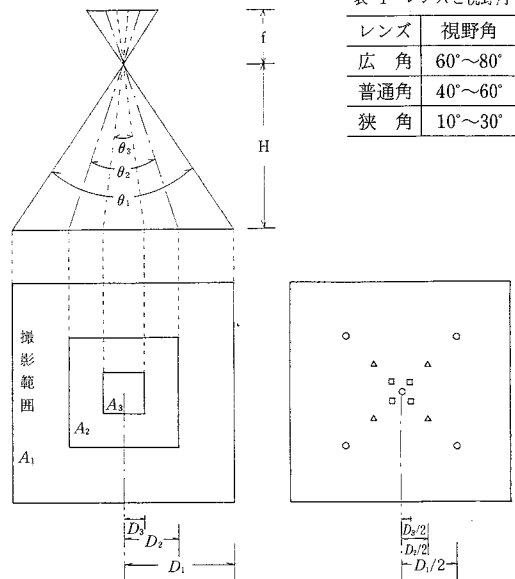


図-1 (a)視野角と撮影範囲 (b)基準点の配置

*東京電機大学理工学部

**東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

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2m, 5m, 10mおよび50mの4通りとする。

2) 地上受信点の各平面座標にも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および10mの3通りとする。

3) 撮影点の3次元座標および基準点の平面座標に対する誤差の分布はランダムなものとし、計算は各組み合わせについてそれぞれ10回繰り返すものとする。

4) 写真座標に対する誤差を3μmと仮定し、各想定誤差の2乗に反比例する無次元量としての重みを算出する。ところで、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Δx_i, Δy_i; ΔX₀, ΔY₀, ΔZ_i; ΔX₀, ΔY₀, ΔZ₀とすると、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G₀を最小とする値として求められる。

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

ただし、[] ; ガウスの総和記号, p₁; 写真座標に関する重み, p₂; 基準点の座標に関する重み, p₀; 撮影点の座標に関する重み

表-2は各写真に対する地上基準点の3次元座標である。また、各点に対する写真座標はf=150mmとして算出される写真縮尺と各D_iを用いて算出される値とする。

3. シミュレーションの結果

表-3はシミュレーションの結果を示したものである。また、図-2は表-3中の撮影点の座標に対する想定誤

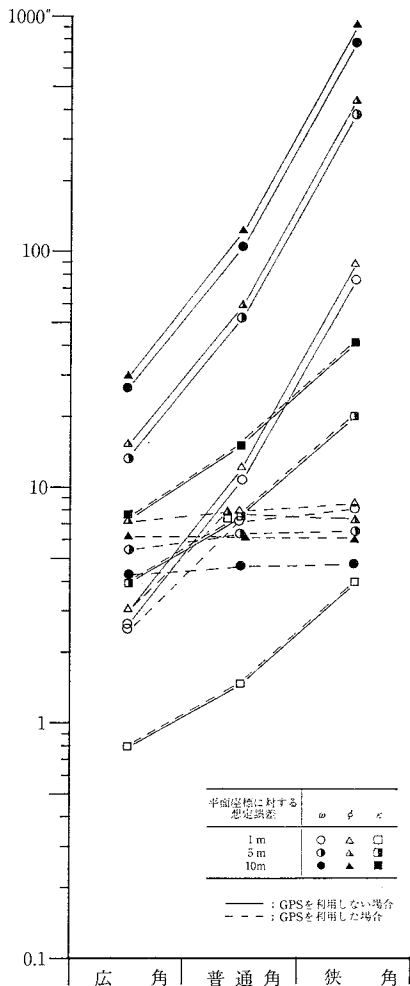


図-2 (a)宇宙写真に対するGPSの評価 (ω, φ, κ)

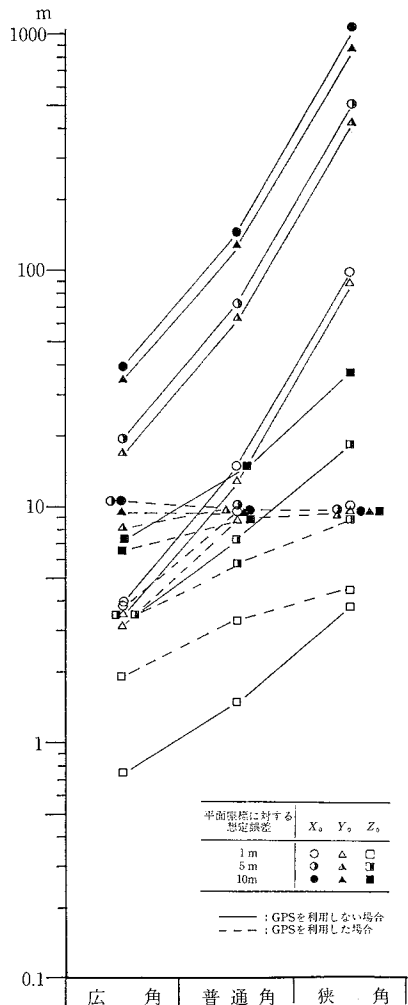


図-2 (b)宇宙写真に対するGPSの評価 (X₀, Y₀, Z₀)

研究速報

表-2 地上基準点の3次元座標

レンズの種類	測点 No.				
	1	2	3	4	5
広角	$(-D_1/2, D_1/2, 0)$	$(D_1/2, D_1/2, 0)$	$(D_1/2, -D_1/2, 0)$	$(-D_1/2, -D_1/2, 0)$	$(0, 0, 0)$
普通角	$(-D_2/2, D_2/2, 0)$	$(D_2/2, D_2/2, 0)$	$(D_2/2, -D_2/2, 0)$	$(-D_2/2, -D_2/2, 0)$	$(0, 0, 0)$
狭角	$(-D_3/2, D_3/2, 0)$	$(D_3/2, D_3/2, 0)$	$(D_3/2, -D_3/2, 0)$	$(-D_3/2, -D_3/2, 0)$	$(0, 0, 0)$

表-3 宇宙写真に対するレンズの種類(広角・普通角・狭角)と標定要素の誤差との関係

(a)地上基準点の座標に対する想定誤差:1.0mの場合

ケース レンズの種類 標定要素	GPSを 利用しない場合		GPSを利用した場合												
			撮影点の座標に対する想定誤差												
			2m			5m			10m			50m			
広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	
ω	2.7"	10.8"	77.2"	1.2"	1.3"	1.3"	2.6"	3.8"	3.9"	2.5"	7.4"	8.2"	6.9"	14.5"	40.7"
ϕ	3.1"	12.4"	87.9"	1.4"	1.5"	1.5"	3.1"	4.0"	4.1"	3.1"	8.1"	8.4"	5.4"	12.1"	43.0"
κ	0.8"	1.5"	4.1"	0.8"	1.5"	4.1"	0.8"	1.5"	4.1"	0.8"	1.5"	4.1"	0.8"	1.5"	4.1"
X_0	4.0m	14.8m	102.7m	2.0m	2.0m	2.0m	4.3m	5.1m	5.0m	4.0m	9.9m	10.1m	6.6m	14.4m	50.5m
Y_0	3.6m	13.0m	90.2m	1.9m	2.0m	2.0m	3.7m	4.9m	5.0m	3.3m	9.2m	10.0m	8.5m	16.9m	48.0m
Z_0	0.8m	1.5m	4.0m	0.8m	1.7m	2.0m	1.7m	1.5m	4.3m	2.0m	3.5m	4.6m	0.8m	1.8m	11.2m

(b)地上基準点の座標に対する想定誤差:5.0mの場合

ケース レンズの種類 標定要素	GPSを 利用しない場合		GPSを利用した場合												
			撮影点の座標に対する想定誤差												
			2m			5m			10m			50m			
広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	
ω	13.5"	54.1"	379.8"	1.1"	1.2"	1.2"	2.2"	2.4"	2.4"	5.5"	6.5"	6.7"	13.2"	30.8"	40.9"
ϕ	15.5"	61.9"	445.0"	1.3"	1.4"	1.4"	3.2"	3.2"	3.1"	7.3"	7.8"	7.5"	15.5"	39.1"	43.9"
κ	3.9"	7.7"	20.7"	3.9"	7.7"	20.6"	3.9"	7.7"	20.6"	3.9"	7.7"	20.6"	3.9"	7.7"	20.6"
X_0	20.0m	74.1m	519.9m	2.1m	2.0m	2.0m	5.5m	5.2m	5.0m	10.6m	10.7m	10.1m	20.1m	47.9m	52.7m
Y_0	17.5m	64.9m	443.8m	2.0m	2.0m	2.0m	4.9m	5.0m	5.0m	8.6m	10.0m	10.0m	17.3m	38.3m	50.0m
Z_0	3.7m	7.5m	19.1m	1.9m	2.0m	2.0m	3.0m	4.5m	5.1m	3.8m	6.2m	9.6m	3.8m	7.6m	19.9m

(c)地上基準点の座標に対する想定誤差:10.0mの場合

ケース レンズの種類 標定要素	GPSを 利用しない場合		GPSを利用した場合												
			撮影点の座標に対する想定誤差												
			2m			5m			10m			50m			
広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	広角	普通角	狭角	
ω	27.1"	107.9"	758.0"	2.5"	2.7"	2.7"	2.1"	2.2"	2.2"	4.3"	4.7"	4.8"	20.5"	35.7"	39.1"
ϕ	30.9"	124.1"	927.0"	1.9"	2.0"	2.1"	2.9"	3.1"	3.1"	6.3"	6.3"	6.2"	26.2"	42.8"	41.5"
κ	7.7"	15.5"	41.6"	7.7"	15.5"	41.3"	7.7"	15.5"	41.3"	7.7"	15.5"	41.3"	7.7"	15.5"	41.3"
X_0	40.0m	148.4m	1082.8m	2.1m	2.0m	2.0m	5.3m	5.0m	5.0m	10.8m	10.3m	10.1m	35.9m	53.7m	51.2m
Y_0	35.5m	129.6m	884.7m	2.0m	2.0m	2.0m	5.0m	5.0m	5.0m	9.9m	10.0m	10.0m	29.1m	46.8m	50.1m
Z_0	7.5m	14.9m	36.8m	2.0m	2.0m	2.0m	4.6m	5.1m	5.1m	6.7m	9.2m	10.2m	8.0m	15.7m	33.1m

研究速報

差が10mの場合の結果を示したものである。

これらの図より以下のことが理解される。

1) 視野角が小さくなるに従って低下する外部標定要素の精度は、GPSを利用することにより著しく向上する。

2) 外部標定要素の精度は、GPSの利用により、視野角の大小による影響を受けなくなる。

4. GPSの宇宙写真測量に対する評価

本報告では割愛するが、本研究ではH=3000mとした場合の航空写真測量に対しても視野角の問題について同様な検討を行った。

その結果、航空写真測量の場合における外部標定要素の精度は狭角の時にだけわずかにGPSの利用による向上が見られるものの、全体としては視野角の大小に関係なくGPSの影響はほとんど認められないことが確かめられた。

以上の結果を考慮すると、宇宙写真測量に対するGPSの利用は、特に外部標定要素の精度の向上にとって極めて有効な方法であると思われる。

5. お わ り に

写真測量と地上測量とを結合した誤差調整手法の開発と題して昨年9月の生産研究¹⁵⁾に第1報を掲載して以来、本報告で第8報に至った。この間、写真座標の測定値と地上測量の測定値とを同時に調整することにより、単写真からでも外部標定要素と測点の地上座標とが同時に求められる同時調整法の開発を行い、さらにこの方法と最近話題になっているGPSとを併用した方法の開発を行う等、一連の研究を通して多くの成果を得ることができた。

最後に、終始編集にご苦勞をおかけした出版掛の皆様へ感謝の意を表す次第です。(1987年11月20日受理)

参 考 文 献

1) 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

2) 近津博文・春日屋伸昌・村井俊治：GPSを利用した単写真の標定，日本写真測量学会，昭和62年度秋季学術講演会発表論文集，pp. 113~116, 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7)，生産研究，Vol. 39, No. 11, pp. 22~25, 1987

4) 竹内均：NEWTON COLLECTION NASA 宇宙開発のバイオニア スペースシャトル／歴史と未来

5) 村井俊治：スペースシャトル用宇宙写真測量カメラ，写真測量とリモートセンシング，Vol. 23, No. 4, pp. 27~31, 1984

6) Frederick J. Doyle: The Large Format Camera on Shuttle Mission 41-G, PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING, Vol. 51, No. 2, pp. 200-206, 198

7) MICHELE CHEVREL, MICHEL COURTOIS AND GILBERT WEILL: The Spot Satellite Remote Sensing Mission, PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING, Vol. 47, No. 8, pp. 1163-1171, 1981

8) W.P. BIRMINGHAM and B.L. MILLER and W.L. STEIN: Experimental Results of Using the GPS for Landsat 4 Onboard, NAVIGATION; Journal of The Institute of Navigation, Vol. 30, No. 3, pp. 244-251, 1983

9) A. Van LEEUWEN and E. ROSEN and L. CARRIER: The Global Positioning System and Its Application in Spacecraft Navigation, NAVIGATION; Journal of The Institute of Navigation, Vol. 26, No. 2, pp. 118-135, Summer 1979

10) 石上 博：SPOTシステムについて，日本リモートセンシング学会誌，Vol. 5, No. 3, pp. 71-77, 1985

11) NASDA：MOS-1 海洋観測衛星1号

12) 宇宙開発事業団：地球観測データ利用ハンドブック—ランドサット編・改訂版—

13) 村井俊治：スペースシャトル搭載LFCによる地形計測，写真測量とリモートセンシング，特集号 I, pp. 11-19, 1987

14) カメラ技術ハンドブック，写真工業出版社

15) 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1)，生産研究，Vol. 39, No. 9, pp. 16~18, 1987