

論 說 報 告

第 27 卷 第 10 號 昭和 16 年 10 月

射 線 測 角 機 の 精 度

(射 線 法 の 理 論 2)

正會員 武 田 通 治*

要 旨 本稿は射線三角測量の精度に對する吟味の第 2 稿として射線測角機による角の觀測精度を調べた。即ち先づツァイス製の射線測角機と空中寫眞測量會社の移寫測角機との機構を比較して、前者に於ては影像回轉装置によつて垂直視差を水平視差に轉換する装置が精度向上の上に極めて有力であるに反し、原板架或は實體顯微鏡に Y 方向の運動裝置を缺く事に缺點を認め、後者に於ては之を備へて居り又刺針裝置を備へてゐる事が觀測速度向上の爲に極めて有能である事を示した。

次に射線測角機を使つて 1 對の實體空中寫眞の主點基線其の他の觀測精度を調べ、主點基線の精度は最高 $\pm 1 \sim 2$ cg (センチグレード)、普通は ± 3 cg、一般地物は ± 3 cg 位の精度を持つ事を實驗し、其の値から寫眞上に於ける垂直視差確認精度を 0.04 mm、水平視差確認精度を 0.015~0.03 mm と推定し、前に他の方法によつて求めた値と大體一致する事を示し、最後に 2 コース各 7 枚づつの寫眞から成る垂直寫眞を用ひて主點三角鎖を編成し、其の内角和の誤差が大體 ± 4 cg であり、其の大部分を觀測誤差に歸せられる事を推定し、更に將來の研究方向に言及した (但し $1 \text{ cg} \approx 30'$)。

目 次

- | | |
|-------------|-------------|
| 1. 緒 言 | 3. 測 角 精 度 |
| 2. 射線測角機の機構 | 4. 射線三角鎖の精度 |

1. 緒 言

筆者は前稿“輻射線法の理論”(註 1)に於て寫眞機の傾きが $\pm 3^\circ$ 以内の略近垂直寫眞の主點、鉛直點等を中心として寫眞陰畫或は陽畫上で測定する射線角(前稿では輻射角と呼んでゐた)の精度に關する理論的吟味及び水平並びに垂直視差測定による寫眞傾斜角の概算法に就て述べた。其の後航空寫眞機に於ける單レンズ廣角寫眞機(畫角 $= 94^\circ$)の出現及び測圖機に於ける Stereoplanigraph (精密實體測圖機)或は Multiplex (餘色實體測圖機)の完成、特に撮影時に於ける飛行高度差或は傾斜角を決定する補助器材としての自記高度差計 (Statoskop) 或は水平線寫眞機 (Horizontkammer) の發明は、所謂實體寫眞測量法を躍進せしめ射線法の價値に相當な影響を與へた觀がある。併し O. von Gruber も彼の空中三角測量に關する基礎的文獻(註 2)中で互に 40~50% づつ重なつてゐる 2 本の平行コースの寫眞主點間を連絡して形成される射線三角鎖(圖-9)はステレオプラニグラフによる空中三角測量と大體同程度の精度を有すると述べてゐるが、其の後水平線寫眞機の發明によつて正確な鉛直點の決定或は撮影諸元による偏歪修正の可能性が生じて射線法の精度に對しても輝かしい光明を與へたものであり、特に實體寫眞測量の原理が一種の空間的後方交會法に立脚してゐるに對して、射線三角測量は地上測量の三角網測量と同様に三角形の 3 内角を測定出来るといふ大きな長所を持ち、且又飛行機の性能並に航法の進歩及び廣角寫眞機の出現による撮影面積の擴大に伴ふ平行飛行の容易化によつて、此の方面の研究は更に續行す可き形勢にあると考へられる。尙又使用器材の簡便容易さ其の他の理由によつて將來當分は其の生命を保つものと豫想される圖解射線法の基礎としても此の種の研究は充分な價値を有するものである。よつて地上測量に

* 理學士 陸地測量部

於ける経緯儀に相当し射線法の基礎となつてゐる射線測角機 (Radialtriangulator) の性能に就て調査の結果を報告する。

2. 射線測角機の機構

射線測角機は實體寫眞上の同一地點を觀測する爲に實體視を應用してゐる一種の極座標測定機と考ふ可きもので圖-1 の様な外觀を呈してゐる。本機は撮影フィルムから乾板に焼付けた陽晝乾板或は 1 枚毎に切斷した原撮影フィルムを其の儘使用するのが原則であつて、互に 50~60% 重なつて撮影されてゐる寫眞を原板架 L, R に取付け實體顯微鏡 T によつて之を實體視し、T の視野内に見える實體測標 (経緯儀の十字線に相當する) を主點其の他の地點に實體的に接地させる事によつて左右の寫眞上の同一地點を確實に視ひ、寫眞中心から其の點に引いた射線の方法角を左右の原板架の周邊に取付けてある分度盤によつて測定する機構になつてゐる。

射線測角機の代表的なものは大體 3 種で圖-1, 2 に示すもの、他オランダの Schermerhorn (國際寫眞測量學會長 Delft 工業大學教授) の指導下に製作したものがあつて、大體兩者の中間形をなしてゐる。今最も代表的なものとして空中寫眞測量會社 (Photogrametrie G. m. b. H.) の移寫測角機 (圖-1, Übertragungsgerät) とツァイス製の射線角測定機 (Radialtriangulator) との主要な性能を比較すると次の通りである。

1. 移寫測角機 (圖-1)

i 畫形 本機は九鏡玉自動航空寫眞機で撮影した空中寫眞の影像變換陽晝原板を觀測する爲に設計されたもので、晝形 30×30 cm の陽晝乾板を乳劑膜面を上側にして原板架上に取付けて觀測する。

ii 觀測系 ツァイス製の實體座標測定機 (Stereokomparator) と同様に Y 方向に前後する實體顯微鏡 (5) によつて實體觀測を行ふ。但し實體觀測はツァイス製射線測角機と異り同一地點に對しては唯 1 回實施するだけで、實體觀測によつて實體顯微鏡内の實體測標と目標地點とが完全に一致した

圖-1 (A). 移寫測角機

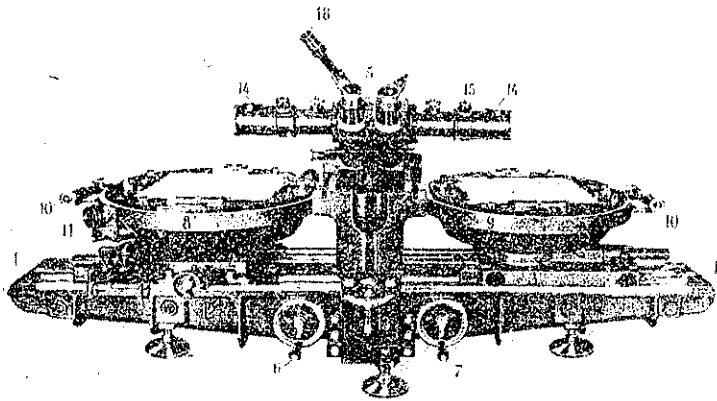
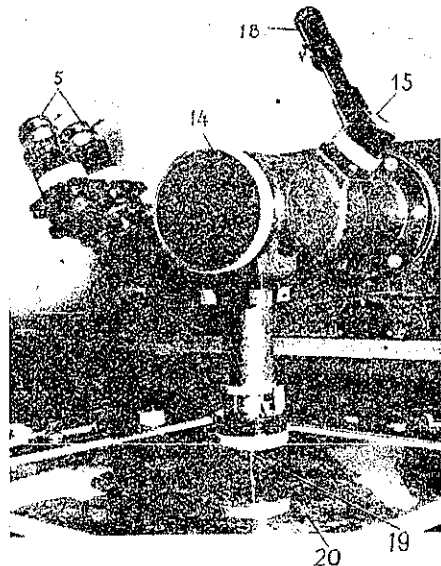


圖-1 (B). 移寫測角機



ならば對物鏡附近からレンズ筒に直角に出てゐる刺針装置 (15) を緩めて刺針が丁度垂直になつた位置で緊束し、刺針 (19) の先で上向になつてゐる乾板 (20) 膜面に直徑 0.5 mm 位の小圓をあける。但し此の小圓の中心が覗つた點に完全に一致する様に豫め機械を調整しておく。

i 一枚の乾板上の凡ての目標點に實體刺針したならば實體顯微鏡の使用をやめ、其の對物鏡の眞上附近に付いてゐる單眼顯微鏡 (18) によつて之等の刺針孔を次々に觀測し寫眞主點を中心とする射線角を測定する。此の間の關係は地上測量で經緯儀を使つて三角點觀標や測旗を觀測するものと全く同様である。此の場合、回轉部の偏心の影響を除く爲に分度盤の 180° 距つた所に各 1 副尺 (11) をおいて角度を讀定し、又經緯儀で測角する場合に望遠鏡を反轉した位置で正反 2 系列の觀測を行ふのと全く同様な意味に於て原板架の回轉中心が對物レンズの右側にある場合と左側にある場合との 2 系列の觀測を行ふ。又原板の中心と原板架の回轉中心を合はせる場合にも此の單眼望遠鏡の測標を原板の中心指標に合はせれば良いのである。

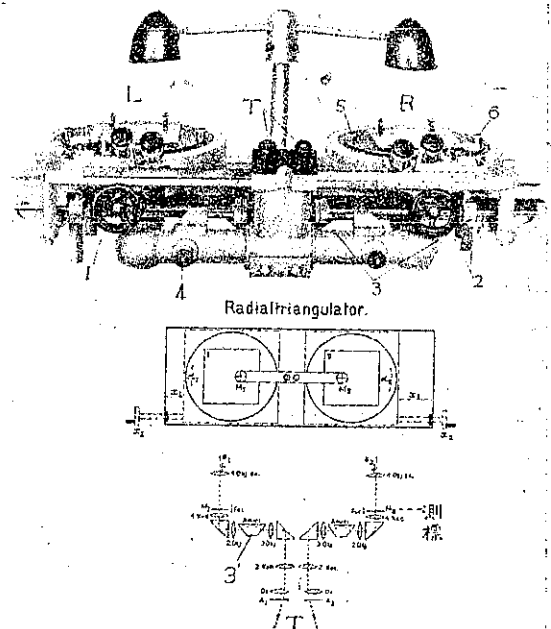
iii 運動系 本機は既述の通り一種の極座標測定機と考へられるから原板の回轉裝置が最も重要な部分をなす事は言ふ迄もないが、其の他に原板上の凡ての點を覗ふ爲に左右の原板架は各 1 把手 (6), (7) によつて互に獨立して X 方向に動く、之に對して Y 方向の運動は把手 (13) によつて實體顯微鏡を動かす。尙又實體觀測によつて左右の原板上の對應點に刺針する場合には最初寫眞を標定する爲だけに原板架を回轉して (10) 調整し、實體標定が済めば最早回轉しない様に固定する。而して任意の地點を觀測するには既述の X, Y 運動を利用して所要の地點の眞上に對物鏡をもつてゆくのである。但し偏歪修正してゐないで、少し傾いて撮影された原板を使用する場合に之を實體視する時主點以外の各點に多少發生する垂直視差を消去する爲に左原板架だけが螺頭 (12) によつて單獨に Y 方向に動く様になつてゐる。

2. ツァイス製射線測角機 (圖-2)

i 畫形 18×18 cm のフィルム又は乾板を使用するのを原則とするが、 18×24 cm 用の原板保持器も製造されてゐる。本機は前者と違つて原板架上に直接原板を固定するのではなくて陽畫乾板或はフィルムを 1 度原板保持器に取付け、原板保持器を 2 個のロック (5), (6) によつて原板架に取付ける。原板保持器の硝子板の上には撮影寫眞機の指標に對應する指標が刻んであつて、之とフィルム或は乾板上に記録されてゐる指標とを合はせて原板のセンターリングを行ふ。尙又兩者を觀測用實體鏡で覗ふ場合に單眼視差 (之は寫眞測量で云ふ視差ではなく、經緯儀の對物レンズの調節が悪い場合に目を少し動かすと、望遠鏡の十字線と目標地點とがちらちら關係運動をする現象を指す) が起らない様にフィルム或は乾板の膜面を下に向けて取付ける。

ii 觀測系並に運動系 前者と異なり固定した實體顯微鏡 T によつて原板の下方から觀測し上部から照明する。倍率 4, 5 倍。刺針裝置及單眼顯微鏡が無いから實體觀測する度毎に角度を測定しておかねばならず、原板架

圖-2. 射線測角機



の正反兩位置に於て一々實體觀測を行ふ事になり觀測精度は向上するが、後述する通り實體觀測の精度は可成り高いから必ずしも此の様に2度も實體觀測を繰返す必要はない様に思ふ。尙又唯1列のコースだけを取扱つてゐる菱形鎖に於ては餘り問題にならぬが、2列以上のコースに跨がる射線三角鎖に於ては後述する通り原板架回轉部、原板保持器の偏心の影響を受けて觀測手續が著しく複雑になり時間的に考へると移寫測角機に及ばぬ様に思はれる。

本機の原板架は左側把手(1)によつて左右同時に、又右側把手(2)によつて右原板架だけがX方向に動き、觀測系、原板架共にY方向には全然動かない。従つて任意の點を觀測する爲には各點毎に其の點の極座標に從つて原板架を回轉し、又中心から其の點迄の射線の長さだけY方向に移動させて其の點を觀測系の射物レンズの眞上に持つて來なければならぬ。従つて移寫測角機の場合の様に1度寫眞を標定しさえすれば垂直視差の範圍内に於て何處でも實體的に見へるのではなく、實體顯微鏡の測標面上に投射される像は左右の原板架の回轉角に應じて勝手な方向に向いて居り、其の儘では直ちに實體視出來ない。其處で本機には影像回轉プリズム(3)が付いてゐて鏡頭(4)をまはして投影像の方向を調整し、我々が普通に寫眞を實體視する様な關係方向にする様に出來て居り、又最新の機械ではステレオブラエグラフ其の他に應用されてゐる正立系と同一原理に從つて自動裝置(3)の作用で原板架の回轉角の1/2に相當するだけ影像回轉プリズムを自動的に回轉して視野内の像が常に正立する様になつてゐる。併し此の裝置によつても左右寫眞上の對應點を探し出す事は實體標定とX、Y運動を利用する移寫測角機の場合と比べると未だ遙かに困難である。

但し本機の特徴は影像回轉プリズムの作用であつて圖-3(a)に示す様に普通の寫眞の向きでは左右の測標 M_L 、 M_R に對して任意の地物例へば家屋の映像が左側では測標と重なつてゐるが右側では其の上側にあるとする。此の距り P_v は所謂垂直視差として作用し、之を實體視する時實體感が甚しく不安定になり之が或程度以上になると全く實體感が生じなくなる。之に反して映像回轉プリズムを回して映像を圖-3(b)の様な關係位置にすると垂直視差が水平視差となつて作用し、此の状態では實體測標は家屋の遙か下にもぐりこんである様に見へる。之に反して左右の測標が嚴密に同一地點を視つてをれば影像回轉プリズムをどの様に回しても常に測標が其の點に接して居る様に見える(圖-4)。而して實體感の不安定度によつて判定する垂直視差の觀測精度は測標と地物との遠近感に

圖-3. 垂直視差がある場合の映像回轉裝置の影響

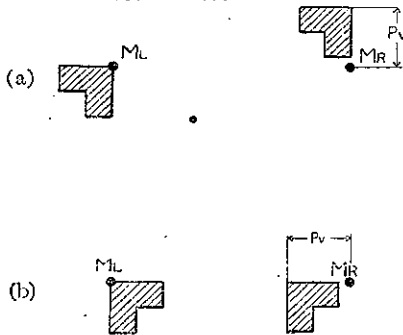
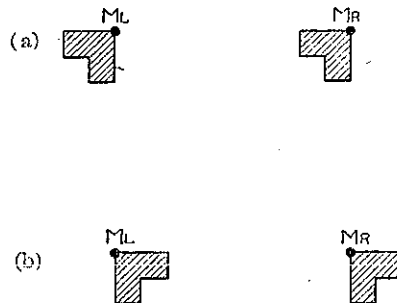


圖-4. 垂直視差がない場合の映像回轉裝置の影響



基く水平視差の觀測精度に比べて約1/3だと云はれて居り R. Finsterwalder は垂直視差の精度を 0.03 mm、水平視差の精度を 0.015 mm と稱してゐる(註3)。何れにせよ後述の實驗が示す様に垂直視差を水平視差に轉換する事によつて同一地點確認の精度が上がる事は確實である。但し射線法に於ては此の垂直視差と水平視差の轉

換の影響は場所によつて異なるもので任意の地點 A に於ける垂直視差 dy の射線角 θ の精度に及ぼす影響は、圖-5 に示す通り \overline{OA} の X 軸 (主點基線) となす角 θ によつて決定するもので、圖-5 に示す通り垂直視差 dy を射線 \overline{OA} に平行成分 dy_r と直交成分 dy_θ に分けて考へると、 θ に及ぼす影響は $dy_\theta = dy \cos \theta$ のみに支配される事がわかるであらう。従つて影像回轉プリズムの恩恵は X 軸上の諸點で最大であつて Y 軸上では 0 になる。併し此の場合にも實體視する隣の寫眞上の對應點に對する射線は X 軸と 185° (X の負方向と 45°) 前後であるから實體視を利用する限り此の轉換の恩恵に全然浴しないといふ場合は全くなくなる。尙又實體觀測の場合に普通状態 (圖-3, 4 (a)) に於ける測角値を重視す可きか、或は又之を直角だけ回した位置 (圖-3, 4 (b)) に於ける値を重視す可きかといふ判断は一に θ の値にかゝつて來るから注意しなければならぬ。

尙又垂直視差を水平視差に變換した場合には水平視差の差は逆に垂直視差となつて實體視差の難易に影響して來る。従つて實體顯微鏡の視野内に於ては土地が平坦で水平視差が大體一定な場合には問題がなく之を 90° 回轉しても垂直視差が發生しないから安定な實體感を得るが (此の他右と左の影像回轉プリズム螺頭回轉の遲速、多寡によつて水平面が色々に傾いて見えるが之は餘り影響しない)、視野内の土地に起伏があると其の水平視差々が垂直視差として作用し、覗つてゐる點以外に於ては實體感が不安定となつて見難くなり思ひがけない錯誤を生ずる場合があるから注意しなければならぬ。

但し最新の射線測角機に於ても自動調整装置と相並んで任意に影像を回轉出来る。Schermenhorn の射線測角機は兩者の混合形と見る可きもので X, Y 方向の運動不可能であるが刺針装置を有せず、影像回轉プリズムを備へてゐるものゝ様である。

3. 測角精度

拙筆者は射線三角測量の誤差理論に對する基礎的數字を得る爲にツァイス製射線測角機に就て次の諸項に關する精度を調べてみた。

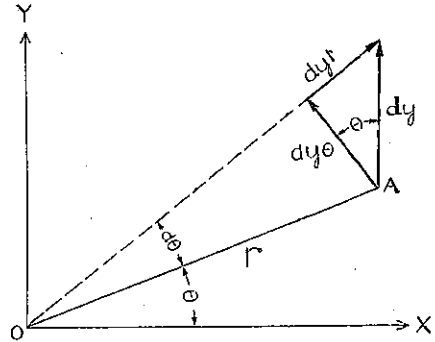
- (1) 硝子板指標、原板保持機、原板架回轉部、分度盤間の偏心
- (2) 主點基線の測角精度
- (3) 任意の地點の測角精度
- (4) 偏歪修正しない寫眞を使った場合の射線三角鎖の精度

よつて以下に於て逐次之を説明する。

1. 偏 心

分度盤の中心、原板架の回轉中心が一致し、原板保持器を取付けるノックが此の中心を通る或る直徑の兩端にあり、原板保持器のノック孔が正確に之に對應し最後に硝子板の中心指標が原板架の中心にあるとすれば、1 度中心指標が測標に重なり合ふ様に機械を調整すれば、原板架をどの様に回轉し或は原板保持器を反轉しても指標が測標を外れる事はない筈である。然るに本機に附屬してゐる 4 個の原板架の何れをとつてみても之を回轉すると指標が測標を中心として直徑 0.2~0.3 mm 前後の圓運動或はトロコイド狀の運動を行ふ。之を製造所に質してみた

圖-5. 射線角の精度に及ぼす垂直視差の影響



處が此の程度の偏心は普通のものゝ様であり、之を匡正する手段も餘り完備してゐない。併し多少無理をすれば調整出来ない事もないので兎に角やつてみた。調整法は經緯儀等の調整と同様であつて1度測標と中心指標とを合はせておいてから原板架を180°回し、其の時表れる測標と中心指標との喰違の半分を測標或はその光路のX及Y方向の偏移で調整し、残りの半分を中心指標のX、Y方向の偏移で調整するのである。本機に於ては測標のX方向の偏移は把手L或はRによる原板架のX方向移動で代用され、又Y方向偏移は圖-2に示す様に光學系の第一對物レンズが偏心軸 F_1 、 F_2 の周りに回轉する時の光學系視準軸の運動中のY方向成分を使用するのである。筆者の經驗によれば多くの射線測角機は後者の調整に際しては殆んどY方向だけに移動する様なリミットの位置に調整されてある様に思はれるが、若しそうでなくてX方向の成分も含む様な位置にある場合には上述のX運動とうまく組合せて利用しなければいけなくなる。又最も新しい形式の機械ではブラウグラフ等の接眼部によく使用されてゐる形式を真似て、對物レンズは固定した儘で其の先に更に楔型硝子板を1枚追加して之を回轉して視準軸を移動させる様になつてゐる。此の形式でも勿論差支ないがただ陽晝乾板を膜面上向で使用する場合異なる使用法によりたい場合に、前者程簡単に對物レンズの焦點調整が出来なくて却つて不便な様に思はれる。

原板保持器の中心指標を調整するには本來は當然原板架のノック及び原板保持器のノック孔のセンターリングを實施しなければならぬわけであるが、之等は機構上一寸手をつけるのが大變なので専ら原板保持器の硝子板の移動のみによつて調整した。但し之とても經緯儀の水準器の様に精密調整装置がついてゐる譯ではなくただ硝子板の固定枠を緩めて硝子板を手で調節し、其の緊め加減に留意するといふ程度の極めて原始的な方法を使用するのである。従つて完全無缺な調整は偶然にでも期待するより仕方がない。併し兎に角少し辛抱すれば原板架を回しても中心指標が測標(直徑0.2mm位)を外れない程度迄には調整出来る。

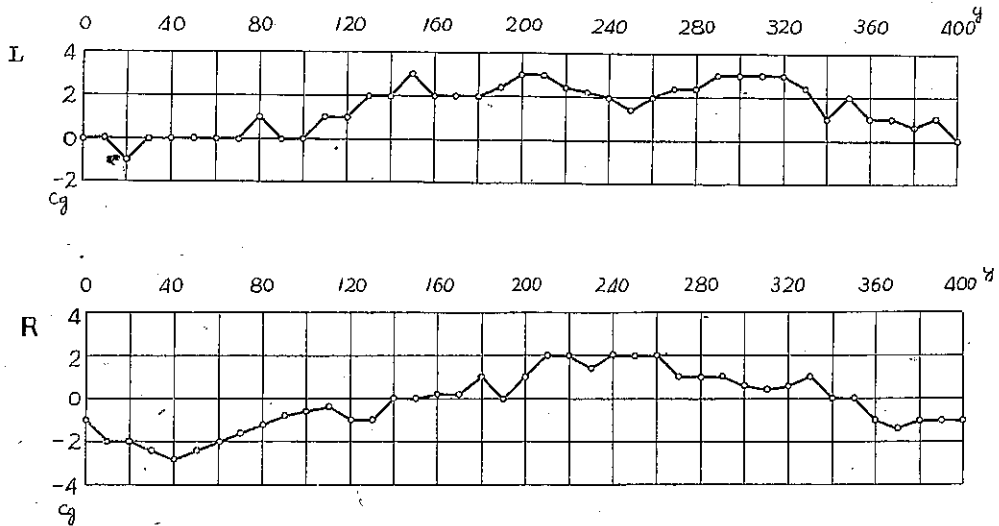
此の様にして凡ての原板保持器を調整したのであるが遺憾ながら調整済みの原板保持器を左右反轉してもとの原板架に取付けた場合にも、或は又左右の原板保持器を交換した場合にも凡て偏心誤差を生ずるに到つた。此の事實はノック或はノック孔のセンターリングを必要とする事を意味する。尙又移寫測角機の様に實體刺針を行はぬ本機に於ては偏心誤差、特に左右の原板架に同一原板保持器をかけた時の角度の誤差は實作業上に可成り影響して来る。即ち單に1列のコース上の寫眞だけを使ふ菱形鎖の場合には〔第1寫眞(左原板架)、第2寫眞(右原板架)〕;〔第2寫眞(右)、第3寫眞(左)〕、……と次々に左右の原板架を交互に使つて1聯の角觀測を完了する事が出来るから差支ないが、2コース以上の寫眞を使つて射線三角鎖を組む場合には同一原板を左或は右原板上にかけただけで全觀測を完了する事は出来ず、此の爲に1對の寫眞間を結ぶ唯だ1本の主點基線の方向を決定する爲だけに少くとも左原板架で0°(正)、180°(反);右原板架で0°(正)、180°(反)と合計4回の觀測を必要とするに至り、實體觀測の精度或は分度盤の最小讀定値1cg(センチグラード)に對して必要以上の手数をかける事になる。

最後に200g(1グラード=180°)距つた所にある2個の副尺の讀みの差をとつて圖示すると圖-6の通りで偏心誤差のある事を示し、何れか一方の副尺の讀みだけで間に合はせる事の出来ない事を示してゐる。

2. 主點基線の觀測精度

次に主點基線其の他の觀測精度を調べてみた。使用原板は知毛地方の陽晝乾板であるが此の寫眞はフィルムの現像を押し過ぎた爲か、或は又現像液の溫度でも高かつた爲かフィルムから直接に密着した寫眞でも既に粒子の荒れが目立つ程度で、更に又陽晝製作に使つた乾板も普通の整色性乾板の少し古くなつて腐りかけの様な

圖-6. 分度盤の對立曲線



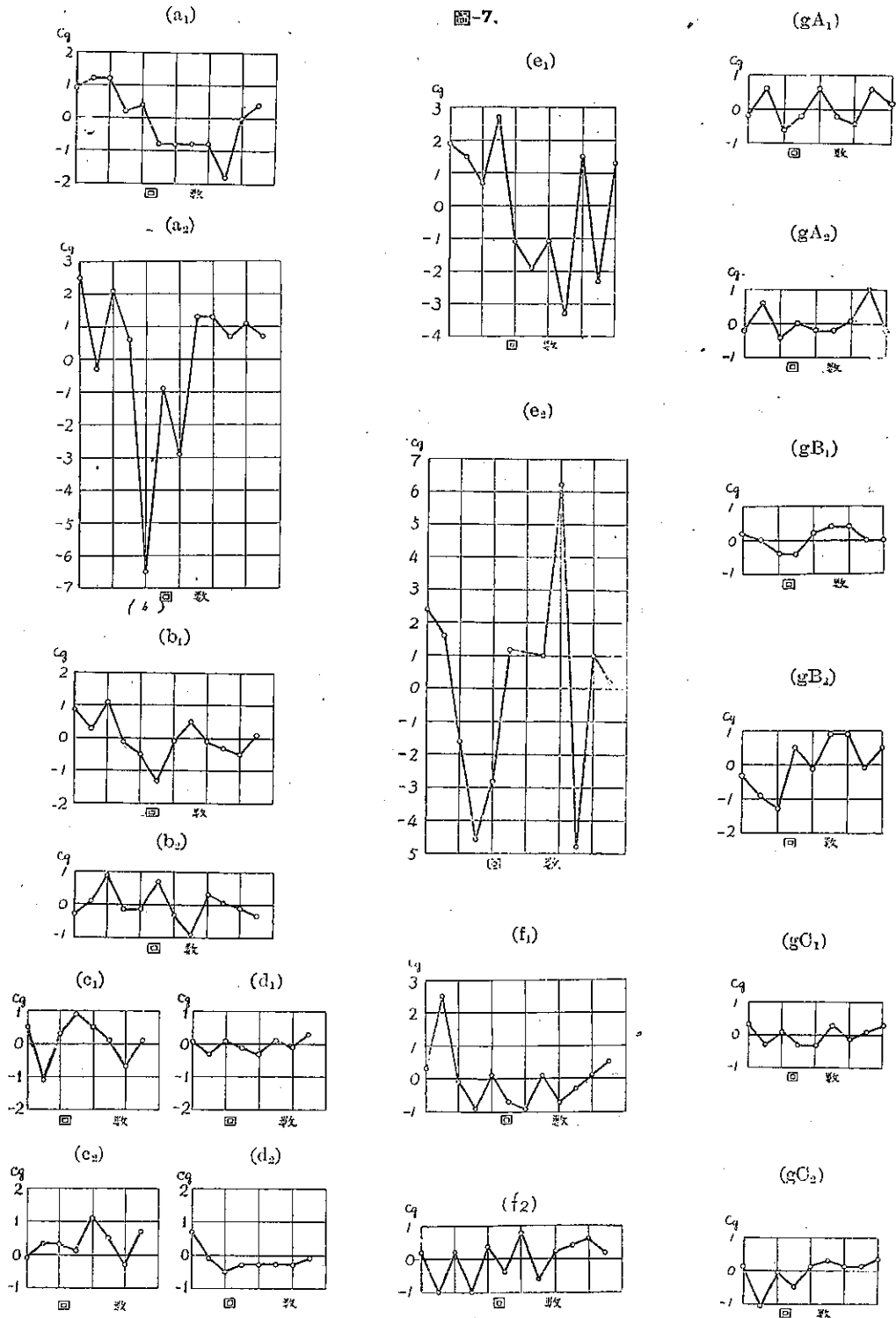
ものであつたので、兎に角餘り上等な條件ではない。壺形は $18 \times 24 \text{ cm}^2$ 、此の撮影に使用した寫真機のレンズは $f=25 \text{ cm}$ のオルソメタル (Orthometar), F: 4.5 で K-3 位の貼合せフィルターをつけて撮影し、飛行高度 = 3750 m 前後で寫真梯尺約 1/1.5 萬である。

先づ主點基線其の他の精度を調べる爲に次の諸條件下に觀測精度を調べた。

- (a) 主點を直接使つて實體感の安定度によつて垂直視差を消去して觀測した場合。
 - (b) 主點基線上に於て主點は近くにある明確な地點を使つて觀測した場合。
 - (c) (b) と同一地點に就て影像回轉装置を用ひて垂直視差を水平視差に轉換して測定した場合。
 - (d) (b) と同一地點に就て (c) の操作のみならず正實體視及反實體視を用ひて地點確認の精度を最高にした場合。即ち影像回轉プリズムを左右同時に回轉しながら其の凡ての状態に於て測標が實體像と接してゐる事を確認する場合。
 - (e) 左右の寫真主點附近を紙で隠し主點基線長の 70% だけが見える様にして其の範圍内の寫真を使つて標定する場合、但し此の重複度は寫真全體を考へると約 30% 重なりになる。
 - (f) (e) の場合に於て映像回轉プリズムを用ひて觀測精度を上げた場合。
 - (g) 主點基線以外の補點に就て (d) の要領に従つて觀測した場合。但し A 點は略々直交した道路の角で確認し易い地點、B は建物の角で判然はしてゐるが反實體視にすると家が深く地面の底に突込んで見へる爲に測標を接地させるのに困難を感じる様な地點、O は道路の交會角が 30° 位の場合である。
- (a)~(g) の觀測結果を横軸に觀測回、縦軸に觀測値をとつて圖示したものは圖-7 (a)~(g) である。又觀測結果から各觀測値の平均値、平均誤差、最大誤差を表にしたものが表-1 である。但し之等の觀測値は凡て左原板架と右厚板架に就て 2 系統の結果を生じてゐる。又主點基線の各種方法による觀測値の平均値の偏差狀況を圖示すると圖-8 となる。

圖-7, 8 及表-1 に於て (a) 或は (b) に對して (c), (d) を比較し或は又 (e) に對して (f) を比較する時、映像回

圖-7.



轉プリズムによる垂直，水平視差轉換によつて觀測の平均誤差及平均值からの最大偏差が著しく小さくなり觀測精度が向上する事が窺はれる。特に (d) の方法即ち映像同轉プリズムの如何なる位置に於ても測標が接地する様にする觀測法の精度が極めて高い事に注目しなければならぬ。又 (e), (f) の結果を比較する時，重複度が 40% 位の場合には是非共映像同轉プリズムを使用する觀測法を用ひねばならぬ事を示してゐる。

圖-8.

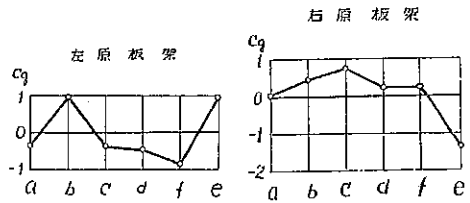


表-1. 各種觀測法による平均值，平均誤差及最大偏差

	方向	目標點	影像同轉裝置使用の有無	觀測回数	平均值	平均誤差	最大偏差		
主點 基線	(a)	C-4→C-5	なし	12	305.888	1.38	- 8.2	C-4は畑の中に入り判定困難なり	
		C-5→C-4	なし	13	305.023	2.34	-17.3		
	(b)	C-4→C-5	主點附近の著明點	なし	12	305.955	0.94	- 6.5	
		C-5→C-4	同上	なし	12	305.045	0.69	+ 4.5	
	(c)	C-4→C-5	(C) と同一點	v.p. 使用	8	305.889	1.17	- 5.9	
		C-5→C-4	同上	v.p. 使用	8	305.061	0.79	+ 3.9	
	(d)	C-4→C-5		v.p. 及正反視使用	7	305.883	0.42	+ 1.7	
		C-5→C-4		同上	8	305.034	0.33	+ 1.6	
	(e)	C-4→C-5	重複度=0.70B	v.p. 及正反視使用	12	305.865	1.32	+12.5	重複部末端が斜の道路の爲標定困難なり
		C-5→C-4	同上	同上	12	305.030	0.87	- 5.0	
	(f)	C-4→C-5	重複度=0.70B	なし	12	305.955	2.91	-16.5	
		C-5→C-4	同上	なし	12	304.957	4.52	+31.1	
一般地點	(g)	C-4→A	v.p. 及正反視使用	9	382.972	0.78	- 3.2		
		C-5→A	同上	9	41.213	0.76	+ 4.7		
		C-4→B	"	9	380.782	0.49	- 2.2		
		C-5→B	"	9	35.475	1.28	- 6.5		
		C-4→C	"	9	385.361	0.44	+ 1.5		
		C-5→C	"	9	31.651	0.75	- 5.1		

原因の判然しないのは (b) の左原板架で平均誤差が非常に小さくなつてゐるにも拘らず觀測の平均値が非常に違つてゐるが其の原因は判らない。

(g) の觀測値を見る時補點は，普通寫眞上に明確に寫つてゐる地點を採用するから可成り正確な觀測が行はれる事を認められる様に思ふ。

以上の結果を綜合すると

(1) 主點基線の精度は映像回轉プリズムの凡ての位置で接地させる観測法を採用すれば

$$\pm 1 \sim 3 \text{ cg} (\cong 30 \sim 60'') \dots \dots (d)$$

(2) 單に垂直視差を水平視差に変換して観測する場合は $\pm 3 \text{ cg} (\cong 1.5') \dots \dots (e)$

(3) 寫眞の重複度が 40% 位の時は (1) と同じ観測法によつても $\pm 7 \text{ cg} (\cong 3.5') \dots \dots (f)$

(4) 補點其の他の著明な地點は $\pm 3 \text{ cg} (\cong 1.5') \dots \dots (g)$

(5) 實體感の安定不安定によつて判定する垂直視差確認の精度は明瞭な地物の場合は $\pm 4 \text{ cg} (\cong 2.0')$ [(b) 参照], 餘り明瞭でない場合は $\pm 6 \text{ cg} (\cong 3')$ [(a) の左原板], 畑の中の様に特徴のある地物のない不確定な場合は $\pm 11 \text{ cg} (\cong 5.5')$ [(a) の右原板] と考へて良い様である。但し上記の値は大體最大偏差の 2/3 位の値を採用した。

以上の観測結果は移高測角機に缺けてゐる映像回轉裝置の價値が極めて高い事を示してゐる様に思ふ。

又 (a)~(d) の観測結果から寫眞上で確認し得る最小精度を計算出来る。即ち主點基線長 B に観測誤差 $\delta\gamma$ を掛け合せた積 $B \cdot \delta\gamma$ は隣の主點に於て主點基線に直交する方向の偏移量即ち不確かさを表はす。而して此の偏移量は (a), (b) に於ては垂直視差の確認精度として表はれ、(c), (d) に於ては映像回轉プリズムの力によつて同じものが水平視差の確認精度として表はれてゐる。然るに此の場合に於て主點基線長 B を實測すると $B = 68 \text{ mm}$ であるから (5) によつて

垂直視差確認精度	明瞭な地點	$68 \text{ mm} \times \frac{4}{6370} = 0.04 \text{ mm}$
	普通の場合	$68 \text{ mm} \times \frac{6}{6370} = 0.06 \text{ mm}$
	不明瞭な場合	$68 \text{ mm} \times \frac{11}{6370} = 0.12 \text{ mm}$

と概算され、又水平視差確認の精度は (2), (1) によつて

$$\text{水平視差確認精度} = 68 \text{ mm} \times \frac{3}{6370} = 0.03 \text{ mm}$$

$$\text{最も良好な場合} = 68 \text{ mm} \times \frac{1.5}{6370} = 0.015 \text{ mm}$$

但し 6370 cg は 1 ラジアン の値である。

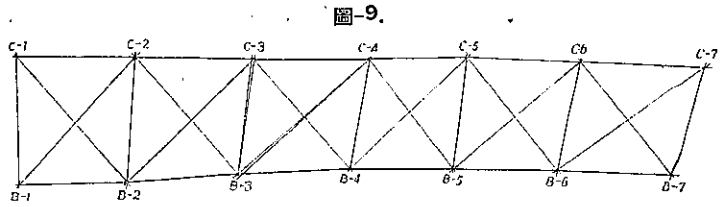
以上の推論は R. Finsterwalder が採用してゐる値即ち水平視差確認精度 = 0.03 mm, 垂直視差確認精度 = 0.015 mm と最良の條件に於て一致し、一般には夫より稍や劣る事を示してゐる。更に又射線測角機の光學系がブラニグラフ等と比べるとレンズや反射面の数が少く寫眞が判然見える事を考慮に入れるとブラニグラフの場合には上記の値の 1.5 倍値と考へておく方が安全の様に思ふ。

又上述の水平視差確認精度 = 0.015 ~ 0.03 mm は既報の“實體視に関する二、三の問題” (科學 10 卷第 1 號, 論述 14 頁以降) 第 3 表中に示した最小收斂角測定値 (第 3 表の較差) と良く一致して居り大體寫眞測量の精度の一般限界を示すものと考へられる。但し前者の測定は 3 名 (第 3 表の (1), (2), (3)) の較差の平均値は 0.022 mm となつて居り、實體鏡の倍率が 1.8 倍となつて居るに對し、今回は倍率が 4 倍となつてゐるから最明確部 (0.015 mm) をとれば大體同程度となり、其の他の一般の場合に對しては其の 2 倍位の不精確度を考へて良い様に思ふ。而して前回の實驗は地上寫眞の極めて明瞭なものを使つてゐるのであるから此の程度に一致してゐれば充分だと思ふ。又一般に空中寫眞の精度が劣る事は高感光度フィルムを使ふ事に基く粒子の荒れ、及び飛行機が急速に進行してゐる爲に起る畫像のブレに大部分の原因があるものと推定される。

4. 射線三角鎖の精度

以上の豫備実験に基いて圖-9 に示す射線三角鎖の精度を吟味した。畫形は既述の通り 18×24 cm²、寫真梯尺約 1/15000、飛行高度約 3750 m.

で陽畫乾板を使用し、1 コース内の寫真重複度は約 60%、コース間重複度は約 2/3 で B-4、C-4 の様に同じ番號の主點は互に隣コースの寫真上に寫つてゐるが B-4、C-



5 の様に斜になる方向線に就ては寫眞の重複度は主點基線長の 90% 位となり相互の主點は寫つてゐない。地形は 1~3 迄は比高 200~300 m の山地、3~6 は平地、6~7 は比高 50 m 位の丘陵地である。撮影當時の氣象状態は大體良好であつたらしいが略、C-3 の眞下になる前鴉頭山頂に笠雲があり附近に可成り激しい上昇氣流があつたものと推定される。之が爲に圖-9 に見る様に C-3、B-3 附近では飛行機が可成り動揺してゐるものと如く主點基線の方角が可成り曲つてゐる。此の區域に數次圖解射線法を實施した結果によつても此の所で大きな示誤三角形を生じてゐる。

觀測には 4 個の原板保持器を使ひ映像回轉プリズムを利用して觀測精度を高め正規の觀測法を實施した。其の

表-2. 射線三角鎖の觀測例

地區	
番號	

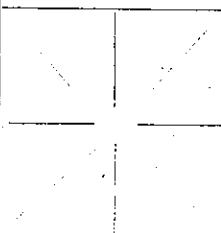
輻射三角測量觀測手簿

(L)

昭和 年 月 日 寫 No. 3

觀 點		觀測角	A	B	平均 方 向		備 考	摘 要	
B-2	1								
	2	R { B-2	253	39	39	253	23.5		355 87.1
	3	"	53	39	36				
	4	L { B-2	53	06	05				
	5	"	253	11	13				
C-2	6	L { C-2	297	17	21	297	36.4 強		0 0
	7	"	97	24	25				
	8	R { C-2	97	48	47				
	9	"	97	55	54				
B-3	10	R { B-3	16	75	71	216	60.4 強		319 24.0
	11	"	216	78	80				
	12	L { B-3	216	41	44				

(R) (表-2の續き)

	観 点		観測角	A	B	平均方向		備 考	摘 要	
B-4	1	L } B-3	16	47	47			266 01.7		
	2	R { B-4	163	54	53	163	38.1弱			
	3	R { "	369	54	52					
	4	L { B-4	369	22	23					
	5	L { "	163	22	25					
C-4	6	L { C-4	107	83	84	107	97.0	210 60.6		
	7	L { "	307	81	85					
	8	R { C-4	308	09	08					
	9	R { "	108	14	12					
	10									
	11								測	
	12								記	

一例は表-2 に示す通りであつて、既述の通り原板架ノック其の他の偏心誤差の影響を受け特に右原板架と左原板架上の讀定値が可成り違ひ、而も三角鎖に於ては1枚の寫眞上で測定す可き方向線を凡て左或は右の原板架だけで測る事は出来ない爲に表に示す様に1本の方向線に對して左と右で各正反、合計4回の觀測を實施せざるを得なくなつた。而して其の平均方向角の算定に當つては寫眞保持器上に刻印されてあるツァイスのマークを目印にして此の側に原板の計器寫像を合はせ、又此のマークを分度盤の0°の讀みに合はせる様にした上でグレード迄の讀みに其の寫眞(今の例ではC-3)が左原板架上にあつて其の重點が左側對物レンズの左側にある位置に於ける讀みを採用し、センチグレードの讀み即ちA、B副尺の讀みだけに4觀測の平均値を採用する形式を採つた。此の觀測法では1度原板保持器から原板を外してから又やり直す事になると前との連絡があつて色々厄介が起るので、其の原板を用ふる觀測が完全に済んだ事を確認してから原板を外す様にしないとイケない。又最後に求める方向角は其の前の寫眞(此の場合はC-2)に對する方向を0gとして統一した。

此の觀測法による時は嫌でも應でも觀測回数が増加するから精度向上には都合が良いが、一々の觀測に前節(1)の觀測法を實施する爲に相當時間がかかる。而も(1)の觀測精度は極めて高く寫眞機の傾き及び土地起伏に原因する射線角の精度より遙かに高いものがあり且又觀測結果の整理にも可成り煩しいものがある。依つて種々考へた結果、B-5の途中からは移寫測角機の流儀を借用して膜面を上側にして原板を取付け、(1)の觀測法によつて左右の寫眞上の同一地點を確認したならば其の點に小さな針穴をあける事にした。併し實體鏡をのぞきながら片手に針を持つて手加減で測標に對應する原板上の地點をさぐりあてる事は、相當難かしく又場所によつては實體鏡の視野内の左右と原板上の左右の關係が平行せず、又下が硝子である爲に針先が滑り易く失敗も少くなかつた。それで種々やつてみた結果、本機の附屬として鉛直點や等角點を原板上に預め刺針する爲に2×1×0.3cm³位の1

(R) (表-3の續き)

	観 点		観測角	A	B	平均方向角		備 考		摘 要
	1									
I	1	B-3	282	08	08	282	08.0	0	0	B-4
"	2	C-4	174	40	40	174	40.0	107	68.0	
"	3	C-5	134	87	86	134	86.5	147	21.5	
"	4	B-5	99	27	26	99	26.5	182	81.5	
II	5	B-5	299	24	24	299	24.0	182	82.5	18 282.0
"	6	C-5	334	85	85	334	85.0	147	21.5	14 721.5
"	7	C-4	374	40	39	374	39.5	107	67.0	10 767.5
"	8	B-3	82	07	06	82	06.5	0	0	0 0
"	9	C-3								
"	10									
"	11									測
"	12									記

ある。

以上の方法によつて観測した結果に基いて次々の三角形の内角の和の正常値 (=300 g) からの偏差を求めると表-4 となる。

之等の寫真中 B-3, C-3 は既述の理由によつて 3° 前後の傾を持つて居る様に見え、又 B-1, C-1 は急旋回によるコース進入直後で飛行機の安定が回復しない間に撮影し始めた爲に 2° 近い傾を持つてゐる様に推察される。之等の判定の基準は主點基線長の長短、其の屈曲度等の工合、實體視した時の水平面の歪み、傾斜概算法の結果等によるもので或程度の信頼をおける。而して其の内最も甚しい寫真即ち B-3, C-3 に關係する三角形 5~12 を除いた三角形を考へると射線三角形の内角の和の誤差は普通の場合即ち寫真傾斜が 1.5 g 以内ならば 2~10 cg と考へて宜しい様に思ふ。本例に於ては 1~4 と 13~24 の 16 個の三角形に就て其の絶対値の平均は 4.6 cg (≠3.3') となり、前節に於て 1 本の方向線の観測精度が 2~3 cg であつた事と比べて案外に良い結果を示し、此の結果だけでは偏差の原因を全く偶然的に起る観測誤差の影響とみて宜しい様である。併し偏差が (+) のものゝみの和が +29.05 cg であり、(-) のものゝ和が -43.95 cg である事は多少定誤差がある事を示すものと考へられる。特に 1~4 の三角形に於ては閉塞差の (+) と (-) のものゝ和が各々 +7.6cg に對して -20.45 cg である事は B-1, C-1 の傾斜の影響を表はすものと斷定してよい様である。但し射線角の誤差に就ては單に寫真の傾だけに止まらず比高の分布關係が最も大きく放いて來るから輕々に斷定は出來ない事に注意しなければならない。元來凡ての誤差は夫が偶然誤差である限り餘り恐しくはないが定誤差ならば充分に戒心しなければならぬ事は事新しく述べ立てる迄もない。而して射線法に於ける偶然誤差とは單に観測誤差のみならず撮影時に於ける傾斜が全く偶然的に任意の方向をとり且又土地の起伏の配置が全く偶然である事、例へばコースの一侧だけに高い山が連つてゐ

表-4. 三角形の閉塞誤差

C-1	102 57.4	B-2	67 55.1	C-4	117 94.0	B-5	75 69.75
B-1	48 07.6	C-2	59 34.8	B-4	39 54.0	C-5	64 01.75
C-2	49 41.5	B-3	72 85.8	C-5	42 54.0	B-6	60 18.00
Σ	200 06.5	Σ	199 75.7	Σ	200 02.0	Σ	199 89.50
誤差	+0 06.5	誤差	-0 24.3	誤差	+0 02.0	誤差	-0 10.50
C-2	85 31.0	B-3	128 41.3	C-5	73 66.25	B-6	117 85.25
B-2	57 52.15	C-3	36 63.1	B-5	62 61.50	C-6	42 12.25
C-1	57 04.45	B-2	34 92.7	C-4	63 69.75	B-5	40 02.75
Σ	199 87.60	Σ	199 97.1	Σ	199 97.50	Σ	200 00.25
誤差	-0 12.4	誤差	-0 02.9	誤差	-0 02.50	誤差	+0 00.25
B-1	94 04.50	C-3	108 63.4	B-4	75 14.50	C-6	114 97.75
C-1	45 24.90	B-3	48 31.0	C-4	54 24.25	B-6	43 86.00
B-2	60 62.55	C-4	43 14.2	B-5	70 68.25	C-7	41 16.25
Σ	199 91.95	Σ	200 08.6	Σ	200 07.00	Σ	200 00.00
誤差	-0 08.05	誤差	+0 08.6	誤差	+0 07.00	誤差	$\pm 0 00.00$
B-2	118 14.7	C-4	88 13.75	B-5	133 29.75	C-7	76 33.50
C-2	35 89.5	B-4	56 55.30	C-5	31 12.25	B-7	69 51.75
B-1	45 96.9	C-3	55 41.10	B-4	35 60.50	C-6	54 13.75
Σ	200 01.1	Σ	200 10.15	Σ	200 02.50	Σ	199 99.00
誤差	+0 01.1	誤差	+0 10.15	誤差	+0 02.50	誤差	-0 01.00
C-2	123 06.4	B-3	95 97.7	C-5	126 31.75	B-6	75 81.25
B-2	32 62.4	C-3	53 22.3	B-5	35 67.00	C-6	60 83.50
C-3	44 12.9	B-4	51 12.2	C-6	37 91.75	B-7	63 39.75
Σ	199 81.7	Σ	200 32.2	Σ	199 90.50	Σ	200 04.50
誤差	-0 18.3	誤差	+0 32.2	誤差	-0 09.50	誤差	+0 04.5
C-3	80 76.0	B-4	107 67.50	C-6	80 04.0	B-7	132 91.50
B-3	55 55.5	C-4	44 99.55	B-6	57 67.2	C-7	35 17.25
C-2	63 71.6	B-3	47 66.70	C-5	62 30.0	B-6	31 95.25
Σ	200 03.1	Σ	200 33.75	Σ	200 01.2	Σ	200 04.00
誤差	-0 13.1	誤差	+0 33.75	誤差	+0 01.2	誤差	+0 04.00

るといふ様な事のない事を意味する。

以上によつて射線法に関する第 2 報を了る。初の考では更に進んで各種の示誤三角形消去法を實驗し其の精度を比べ更に進んでマルチプレクス・プラニグラフ等との比較を實施する豫定であつたが種々の關係で遂に實行する機会を失つた。併し近い將來に於て何等かの形式で此の缺を補へる機会があるものと信じてゐる。

本報告に述べた測定は筆者自身が行ひ助手として小野崎賦君の手をかり、結果の整理には同じく小野崎君と後藤一夫君、直原勝一君を煩した。末筆ながら一言以て感謝の意を表する。

註 1: 武田通治: 輻射三角測量の理論. 土木學會誌, 26 卷 2 號.

註 2: O. von Gruber: Beitrag zu Theorie und Praxis von Aeropolygonierung und Aeronivellement
Bildmessung und Luftbildwesen. Nr. 3 & 4. 1935.

註 3: R. Finsterwalder: Photogrammetrie. S. 42.

空中寫眞では寫眞機の露光中にも飛行機は極めて高速度で移動してゐる爲に精度は少くとも此の 2 倍以上悪化するものと考へねばならず, Finsterwalder の示してゐる値は地上寫眞の場合と推定される。