

# 玉山正高測量

## Determination of the orthometric height of Mt. Jade (Yushan)

吳萬順<sup>1</sup>、曾耀賢<sup>2</sup>、黃金維<sup>3</sup>

Wu, Wan-Shun<sup>1</sup>、Tseng, Yao-Hsien<sup>2</sup>、Hwang, Cheinway<sup>3</sup>

### 摘要

台灣地區於2001、2003年重新測設一等一級及一等二級水準網，其中一等二級水準點沿新中橫公路佈設，於玉山登山口附近設置點號X121水準點，自該點沿登山步道至玉山主峰約14.5公里，內政部土地測量局(以下簡稱本局)於2003年，完成全線水準測量，得到目前為止玉山主峰最精密的高程測量成果。

玉山正高測量成果係以水準測量逐段高差，加上正高改正，求得玉山主峰三角點正高為3951.798公尺，並以各段水準測量往返閉合差作為精度評估之依據，估計本成果精度約為0.072公尺。

本作業部分路段尚辦理GPS測量、三角高程測量，供作資料檢核。另考量高山地區地形起伏較大，經以交通大學2002年研究之嚴密平均重力約化法計算正高改正，其結果與Helmert法有相當差異，且與GPS測量、三角高程測量成果更為相符，這部分亦在文中作一比較分析。

**關鍵詞：**玉山，正高，水準測量，正高改正

### Abstract

A new first-order first-class and a new first-order second-class vertical control networks of Taiwan were established in 2001 and 2003, respectively. In the first-order second-class network, benchmarks (BM) along a provincial route near Mt. Jade were deployed and the closest BM to Mt. Jade is X121, which is about 14.5 km to Mt. Jade along a trekking route. In 2003 the Land Survey Bureau (LSB) finished the leveling survey along this trekking route. A most precise possible orthometric height of Mt. Jade was obtained.

The orthometric height of Mt. Jade is 3951.798 m. That was obtained by correcting the differential heights from leveling and gravity data for OC. The standard error of this orthometric height is 0.072 m, which was based on the misclosures of leveling and the error of OC.

GPS and trigonometric data were also collected to verify the leveling result. Because of the complex terrain, a rigorous procedure was used to compute OC, yielding a result that is significantly different from the result computed with the Helmert orthometric correction, but provides orthometric heights better matching the GPS and trigonometric results.

**Key words:** Mt. Jade, orthometric height, leveling, orthometric correction

<sup>1</sup> 內政部土地測量局局長 Director, Land Survey Bureau, Ministry of the Interior

<sup>2</sup> 內政部土地測量局課長 Section Chief, Land Survey Bureau, Ministry of the Interior

<sup>3</sup> 國立交通大學土木工程學系教授 Professor, Department of Civil Engineering, NCTU

## 一、緣起

玉山為台灣最高峰，亦是東北亞最高峰，山勢挺拔俊美，向為台灣精神表徵。其高程 3952.382 公尺，係 1978 年辦理台灣地區三角點測量時，一併以三角高程測量方法測量結果。

內政部於 2000 年起重新辦理全國精密水準測量、重力測量等作業，分別於 2001、2003 年完成一等一級及一等二級水準網，其中一等二級水準點沿新中橫公路，於玉山登山口塔塔加遊客中心附近設置點號 X121 水準點，該點沿登山路徑到玉山主峰約 14.5 公里，且由於玉山國家公園成立後，在國家公園管理處加強登山路徑維護下，登玉山已成為熱門登山路線，結合水準測量、衛星定位測量及重力測量等技術，精密測量玉山之正高高程，似已具備可行性。

## 二、測量作業

本作業從構想萌起，經初步評估可行，即配合本局辦理宜蘭、花蓮地區三等控制點觀測時機，選擇新中橫公路靠近玉山主峰處之六個水準點與玉山主峰進行 24 小時同步 GPS 觀測。接著進行實地選點及測量規劃作業，計沿登山路徑選設 YS01、YS02…YS17 等十七個點位，將沿線分十八段，並依據路徑行進困難度分別規劃辦理水準測量及 GPS 測量施測高程差，以及辦理各點位重力測量等作業。辦理期間再依據已測量成果分析後，為提高整體測量精度，將原先因路段陡峭崎嶇而規劃採 GPS 測量高程差部分的路段，增加辦理該等路段之水準測量及三角高程測量，最後全線均完成水準測量。原先已採 GPS 測量及三角高程測量部分，提供資料比較分析。各項作業辦理時間及作業內容如表一，點位位置及高程請參考圖一、圖二。

## 三、資料計算分析

### 3.1 水準點 24 小時 GPS 觀測成果處理

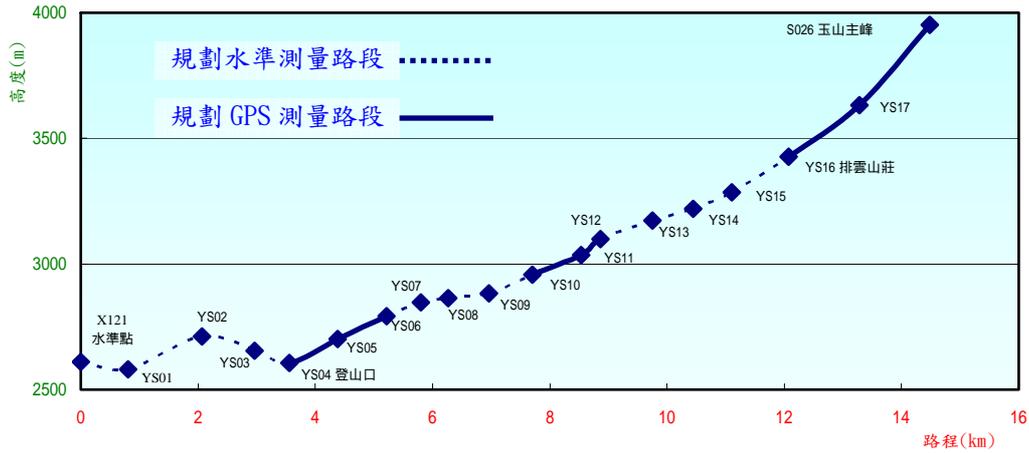
GPS 觀測結果以精密星曆及 Bernese 解算得各水準點點位坐標與橢球高(h)，與水準點高程(H)相減可得各點位大地起伏(N)。此為精確之測量值，可用以檢核各點位利用大地水準面模型(Geoid Model)計算大地起伏值之差異量。另以本作業測得各點位與玉山主峰之橢球高差( $\Delta h$ )，減去大地起伏差( $\Delta N$ )成為正高差( $\Delta H$ )，再以各點高程加上正高差即可推估玉山正高高程。

以本方法六個水準點推算玉山正高平均值為 3950.446 公尺，與水準測量結果仍有 1.4 公尺之差異，主要是該地區地表起伏太大，Geoid Model 在該地區仍有相當大改善空間。

### 3.2 重力測量資料計算

以 GravMaster 重力計算軟體計算，其中參考橢球體為 WGS84 系統，坐標投影為 UTM 投影，重力網形採用 International Gravity Standard Net，計算出各測站重力值及改正值，供作正高改正計算。(重力測量及資料計算係由國防部軍備局生產製造中心測量隊協助辦理)





圖二 玉山正高測量點位路程高度圖

- 3.3 各段高程差水準測量中 YS06-YS07、YS07-YS08、YS08-YS09、YS09-YS10、YS10-YS11 五段，因路徑位置距登山口遙遠，基於作業時程安排以二次同向觀測，並比較其結果符合往返閉合差要求即予以採用，並以二次測量平均值作為各段高差；其餘各段均實施往返測並取其平均值，結果詳如表二。各段往返閉合差，除 YS17-S026 登頂段為 57mm 外，其餘各段均介於 0mm-14mm 之間。至 YS17-S026 段部分，其閉合差 57mm 已超過作業規劃之  $30\text{mm}\sqrt{K}$  要求，惟經以沿途所設七個檢核點，分八段檢查，各分段閉合差分別為 9、4、3、2、6、16、10、7mm。分析該結果，(一)全段均採條碼電子讀數，出錯機率較低，且分段檢查並未發現明顯錯誤，(二)閉合差最大者 16mm 係在主北岔路口前防落石柵欄路段，次大之 10mm 係位於主北岔路口之風口處，應係受作業時高達 6 級之強勁風力及間隙甚密的柵欄導致水準尺擺設困難等影響，再衡量本路段之作業困難度，決定接受本次測量成果。
- 3.4 塔塔加至玉山主峰三段 GPS 測量(各四小時)部分，分別以二相鄰點觀測資料及精密星曆，以 GPSurvey 作基線計算，得二點之橢球高差( $\Delta h$ )。並依據所測得點位經緯度，以 Hwang Geoid model 內插得各點大地起伏值，依  $\Delta H = \Delta h - \Delta N$  修正 GPS 高差為正高差，結果詳表三。
- 3.5 三角高程測量部分，各段均採對向觀測。惟因觀測時並未現場量測氣壓及氣溫及於儀器上設定之，後經蒐集玉山北峰氣象站資料，並依各測段平均高度與北峰氣象站高度差，按氣壓梯度-0.09584mbar/m(北峰與海平面氣壓差除以北峰高度 3850m 而得)及氣溫梯度-0.006°C/m 估算各段之測距大氣改正(PPM)，修正原測得斜距及高差值。另考慮大氣折光及地球曲率因素，分別作大氣折光改正( $r = 0.16(S^2/2R)$ )及地球曲率改正( $\Delta h = S^2/2R$ )後，再取平均值，結果如表三。
- 3.6 正高改正計算：本作業正高改正採用與內政部辦理一等水準測量時相同之 Helmert 法，計算式如下：

$$OC_{AB} = \sum_{i=1}^k \frac{g_i - g_0}{g_0} \delta n_i + \frac{\bar{g}_A - g_0}{g_0} H_A - \frac{\bar{g}_B - g_0}{g_0} H_B \dots\dots\dots(1)$$

表二 水準測量成果表

起訖點號		兩點距離(m)	水準高差(m)	閉合差(mm)
X121	YS01	803.445	-29.182	+6
YS01	YS02	1267.415	130.237	+4
YS02	YS03	892.475	-55.259	+14
YS03	YS04	584.690	-49.070	+2
YS04	YS05	822.160	94.241	+9
YS05	YS06	837.010	91.501	+14
YS06	YS07	580.635	55.352	0
YS07	YS08	471.845	15.969	3
YS08	YS09	691.535	20.474	3
YS09	YS10	740.005	73.213	0
YS10	YS11	836.120	79.031	9
YS11	YS12	327.855	62.627	+2
YS12	YS13	888.315	73.343	+4
YS13	YS14	691.495	46.528	+1
YS14	YS15	657.955	66.390	+1
YS15	YS16	975.090	140.599	+10
YS16	YS17	1201.385	205.068	+6
YS17	S026	1153.805	320.403	+57

(註)閉合差值前無正負號者，表示係二次同向施測之差值。

其中 A、B：為起迄點位，

$g_0$ ：為台灣地區之平均重力值，

$H_A$   $H_B$ ：A、B 點近似正高，

$i$ ：A 點到 B 點的第  $i$  個水準測站，

$\delta n_i$ ：第  $i$  個水準測站測得之高差，

$g_i$ ：第  $i$  個水準測站之重力值，可由 A、B 二點重力值內插而得，

$\bar{g}_A$   $\bar{g}_B$ ：A、B 點沿鉛垂線至大地水準面的平均重力。

有關平均重力值採用下式(Heiskanen and Moritz 1976)：

$$\bar{g} = g - \left( \frac{1}{2} \frac{\partial g}{\partial h} + 2\pi K\rho \right) H \quad \dots\dots\dots(2)$$

上式按  $\partial g / \partial h = -0.3086 \text{ mgal m}^{-1}$ ，取地球平均密度  $\rho = 2.67 \text{ g cm}^{-3}$ 、K 為牛頓引力常數，其值為  $66.7 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2}$  (c. g. s 制)，則(2)式變為：

$$\bar{g} = g + 0.0424H \quad \dots\dots\dots(3)$$

又實際作業中，每段水準測量距離均在 0.3km 至 1.2km 之間，可假設其間之重力值是隨距離線性變化，則(1)式的第一項可予以簡化如下

$$\sum_{i=1}^k \frac{g_i - g_0}{g_0} \delta n_i = \frac{1}{g_0} \left( \frac{g_A + g_B}{2} - g_0 \right) \Delta n_{AB} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中  $\Delta n_{AB}$  為 A 至 B 點之水準高差， $g_A$ 、 $g_B$  為 A、B 點地表重力值，

如此，(1)式變化為

$$OC_{AB} = \frac{1}{g_0} \left( \frac{g_A + g_B}{2} - g_0 \right) \Delta n_{AB} + \frac{g_A + 0.0424H_A - g_0}{g_0} H_A - \frac{g_B + 0.0424H_B - g_0}{g_0} H_B \dots\dots(5)$$

本作業水準測量係由 X121 一等二級水準點引測，考量測量成果之系統一致性，正高改正採上式計算，文中以 OC1 表示之。另亦採交通大學黃金維教授研究考量重力異常及地形改正、布格改正之嚴密平均重力約化法(黃金維, 2002)計算點位平均重力值，再據以計算正高改正(簡稱 OC2)。OC1 與 OC2 計算結果詳如表三。

表三 玉山正高測量各項測量成果彙整表

點號	正高高程	採用高差 (水準+OC1)	正高改正 (OC1)	正高改正 (OC2)	兩點距離	水準高差	GPS 高差	三角高程 高差	GPS 高差 (N 改正)	大地起伏 N
X121	2609.609									27.029
YS01	2580.414	-29.195	-0.013	-0.055	803.45	-29.182				
YS02	2710.701	130.287	0.050	-0.037	1267.42	130.237				
YS03	2655.425	-55.276	-0.017	0.024	892.48	-55.259	-2.993		3.241	
YS04	2606.330	-49.095	-0.025	0.009	584.69	-49.070				27.277
YS05	2700.623	94.293	0.052	0.076	822.16	94.241	94.303	94.223	94.217	27.363
YS06	2792.157	91.534	0.033	0.004	837.01	91.501	91.566		91.477	27.452
YS07	2847.539	55.382	0.030	0.027	580.64	55.352				
YS08	2863.510	15.971	0.002	0.098	471.85	15.969				
YS09	2883.985	20.475	0.001	-0.006	691.54	20.474				
YS10	2957.234	73.249	0.036	0.009	740.01	73.213				27.741
YS11	3036.299	79.065	0.034	0.036	836.12	79.031	79.104		78.968	27.877
YS12	3098.951	62.652	0.025	0.004	327.86	62.627	62.628	62.624	62.610	27.895
YS13	3172.303	73.352	0.009	0.076	888.32	73.343				
YS14	3218.847	46.544	0.016	0.012	691.50	46.528				
YS15	3285.261	66.414	0.024	0.018	657.96	66.390				
YS16	3425.932	140.671	0.072	0.026	975.09	140.599				28.158
YS17	3631.117	205.185	0.117	0.015	1201.39	205.068	205.073	205.033	204.996	28.235
S026	3951.798	320.681	0.278	-0.034	1153.81	320.403	320.313	320.339	320.285	28.263
			0.724	0.302	14423.2	1341.465				

#### 四、測量成果及精度評估

玉山高度之計算，由 X121 水準點之高程，累加各段水準高差及正高改正值(OC1)而得。測量結果，玉山正高高程為 3951.798 公尺。本成果較民國六十七年以三角高程測量所得之 3952.382 公尺減少了 0.584 公尺。事實上，兩者在數字上的差異並不是代表這期間玉山高度有那麼大的變化，主要係因為測量方法不同導

致測量結果的差異，茲列舉本次測量成果包含之幾項特點如下：

1. 本次測量成果係基於 2001 台灣高程基準，且由高精度之一等二級水準點引測。
2. 自水準點至玉山主峰全程採用精度較高之水準測量。
3. 考量水準面之不平行特性，測量各點位重力值，據以進行正高改正。
4. 正高改正計算採用與一等水準測量相同公式，測量成果之玉山高度值符合我國所採用之正高系統。

由於地形限制，本次水準測量路段未能成環狀閉合，無法以平差方法計算權單位中誤差、未知數中誤差等精度評估指標。僅能以水準測量各段往返閉合差(同向觀測者採二次測量差)來推估水準測量成果之精度，各段閉合差平方合開根號為全段累積誤差。各點位間計十八段之水準測量往返閉合差，除最後 YS17-S026 段達 57mm(因地形陡峭及強風等因素)，其餘十七段往返閉合差介於 0mm-14mm 之間(詳表二)，惟採保守估計，將閉合差小於 10mm 者，均以 10mm 替代，則計算所得全段累積誤差為 72mm。

玉山主峰三角點高程 3951.798m，係由 X121 水準點之高程 2609.609 公尺，加上 X121 至玉山主峰之水準高差 1341.465 公尺，加上正高改正 0.724 公尺而得，如下式：

$$\begin{aligned}
 H_{\text{玉山}} &= H_{X121} + \Delta H_{X121-S026} + OC1_{X121-S026} \\
 &= 2609.609 + 1341.465 + 0.724 = 3951.798 \text{ m}
 \end{aligned}$$

依上式，本作業玉山正高高程成果之精度應包含(1)X121 水準點之誤差、(2)X121 至 S026 水準測量誤差及(3)正高改正誤差。其中(1)X121 水準點之誤差，按一等二級水準網平差結果 X121 之高程精度為 7mm，(2)X121 至 S026 水準測量誤差部分按前述估計值為 72mm，(3)正高改正誤差部分分析如下

按(5)式，推估正高改正部分誤差如下：

$$\begin{aligned}
 \sigma_{OC}^2 &= \left( \frac{\partial OC}{\partial g_A} \right)^2 \sigma_{g_A}^2 + \left( \frac{\partial OC}{\partial g_B} \right)^2 \sigma_{g_B}^2 \\
 &= \left( \frac{\Delta n_{AB} + 2H_A}{2g_0} \right)^2 \sigma_{g_A}^2 + \left( \frac{\Delta n_{AB} + 2H_B}{2g_0} \right)^2 \sigma_{g_B}^2 \dots\dots\dots(6)
 \end{aligned}$$

依據(6)式採  $g_0 = 978868.3 \text{ mgal}$ 、 $\sigma_{g_A} = \sigma_{g_B} = 0.2 \text{ mgal}$ ，計算  $\sigma_{OC} = 3.73 \text{ mm}$ 。故玉山主峰三角點高程精度估計如下：

$$\sigma_{H_{S026}} = (\sigma_{H_{X121}}^2 + \sigma_{\text{水準}}^2 + \sigma_{OC}^2)^{1/2} = (7^2 + 72^2 + 3.73^2)^{1/2} \cong 72 \text{ mm}$$

也就是說，玉山高度的標示應為 3951.798m±0.072m。

本作業部分路段同時採用了水準測量、GPS 測量及三角高程測量等二種以上不同測量方式，成果可供比較及檢核，彙列如表四。有關本作業中正高改正部分，考量與國家高程系統之一致性，採用與一等水準測量所採之正高改正模式，即所謂的 Helmert Height(本報告中之 OC1)。惟 Helmert Height 之模式係基於地球質量平均，及地表坡度均勻之地形假設，以台灣地區而言，基本上高度在 2000 公尺以下地區，該假設尚不至於影響正高改正計算結果，但本次作業位處地形起伏相當大之玉山山區，高度介於 2600-4000 公尺之間，前述地質地形假設就與實

地有相當大差異。

我們發現自排雲山莊到主峰之間(高度 3400m-4000m)，水準測量加上 OC1 正高改正值後，與三角高程測量、衛星定位測量等成果有顯著差異。我們另以交通大學黃金維教授所研究方法，利用 DTM 及重力異常網格等資料以嚴密平均重力約化法計算正高改正(OC2)，其結果併列於表四。比較其結果，有以下現象：

1. 水準測量成果採傳統方式計算之正高改正(OC1)與採嚴密平均重力約化法正高改正(OC2)在 YS16-YS17 段及 YS17-S026 段差異高達 0.102m 及 0.312m。其餘各段採 OC1 與 OC2 較無顯著差異。
2. X121-YS04 段，GPS 高差若不上大地起伏(N)改正，其結果與水準測量結果(+OC1)相差達 0.286m，加上大地起伏改正後，差值縮小為 0.038m。
3. 從 YS16-YS17 段及 YS17-S026 段資料，水準測量採用傳統正高改正(OC1)之成果，與 GPS 高差及三角高程高差均有相當大之差異，而該差異主要就是來自過大的正高改正值，而採用嚴密平均重力約化法正高改正(OC2)後，結果與 GPS 高差及三角高程高差之間顯得較為合理，顯示在此海拔 3400m 以上高度地區，嚴密平均重力約化法正高改正有其優越性。
4. 由表三，全線二種模式正高改正總和分別為 0.724m(OC1)、0.302m(OC2)，差異達 0.422m，遠大於測量成果精度估計值 $\pm 0.072m$ ，也就是說 $\pm 0.072m$  主要係反應 X121 至玉山主峰高差測量之精度，並不包含採用不同正高改正模式所產生的差異量。

表四 不同類型測量成果比較表

起訖點號	水準高差	水準高差+ OC1	水準高差+ OC2	GPS 高差 $\Delta h$	GPS 高差 +N 改正	三角高程 高差
X121-YS04	-3.274	-3.279	-3.333	-2.993	-3.241	
YS04-YS05	94.241	94.293	94.316	94.303	94.217	94.223
YS05-YS06	91.501	91.534	91.505	91.566	91.477	
YS10-YS11	79.031	79.065	79.067	79.104	78.968	
YS11-YS12	62.627	62.652	62.631	62.628	62.610	62.624
YS16-YS17	205.068	205.185	205.083	205.073	204.996	205.033
YS17-S026	320.403	320.681	320.369	320.313	320.285	320.339

## 五、玉山高度變化記載

玉山為東北亞最高峰，其高度備受矚目，以往各時期地圖及測量成果中有起伏的變化，說明如下：

1. 1896 年日本測出玉山高於富士山，遂予以改名為新高山。
2. 1897、1910、1927 日本人測繪之地圖上，標示之玉山高度經化算分別為 3945 公尺、3962 公尺、3950 公尺。其差異之原因除各時期測量儀器精度不同所致外，期間是否有因大地震造成大位移現象，已難以查考。
3. 1957 年美軍測繪的五萬分之一地圖上標示玉山高度 3997 公尺。這應是某段時期大家以為玉山頂加上三公尺高的于右任銅像即為 4000 公尺的由來。至於如

- 何測得 3997 公尺成果，已難以查考。
4. 目前大家熟知的 3952 公尺，是 1978 年內政部委託聯勤測量隊辦理台灣地區三角點檢測時的測量成果，成果簿標示為 3952.382 公尺。
  5. 1995 年，內政部辦理一、二等衛星控制點測量，採用 GPS 衛星定位測量方法測得玉山「橢球高」為 3978.613 公尺。正高高程係以當時 Geoid Model 估算大地起伏值後換算，為 3950.767 公尺。
  6. 1999 年 10 月，921 集集大地震後，內政部以 GPS 檢測結果，玉山橢球高為 3978.454 公尺。與 1995 年測量結果比較下降約 16 公分。
  7. 本次玉山測量成果，正高高程 3951.798 公尺與 1978 年之 3952.382 公尺比較，減少約 0.584 公尺。我們認為，兩者在數字上的差異並不完全表示這期間玉山高度的變化，主要還是因為測量方法不同所得測量結果的差異。
  8. 本次測量亦有 GPS 衛星測量資料，經計算玉山橢球高為 3978.544 公尺，與地震後測得之橢球高 3978.454 公尺比較，上升約 9 公分(兩次觀測約差 3 年 8 個月)。推測這應係版塊運動造成的影響。

## 六、結語

玉山高度一值是國人甚至東亞地區國家所矚目，施測前從大地水準面模型及之前內政部 GPS 觀測等資料來看，應該會低於原有的 3952.382 公尺。本次作業從原先規劃依地形分別採水準測量、GPS 衛星定位測量來測量各段高程差，後來經逐次修正計畫，最後全程採用了作業上最辛苦但也是可靠度及精度最高的水準測量，所得玉山的正高為  $3951.798 \pm 0.072$  公尺，仍是東北亞第一高峰。

本測量成果有關正高改正計算部分，雖然從理論及三角高程測量、GPS 測量等相關測量成果比較，採用交通大學嚴密平均重力約化法計算之正高改正較為合理，但經本局邀請大地測量學者專家及相關機關代表討論結果，仍以系統一致性為考量前提，決定採傳統公式計算之成果(即 Helmert Height)，其結果自有其正當性且具唯一性。

經過參與測量作業同仁齊心協力不辭勞苦，終於完成各項測量任務。同仁們不下十餘回於登山步道上往返施測，調整作業時間以適應山區多變的氣候，且數次與颱風擦身相會，冒著風雨完成任務，精神實在令人感動。山徑步道上的水準測量作業是最為辛苦的，尤其增辦原來考量高差太大而採 GPS 測量之路段，路徑更是崎嶇陡峭，最後能克服困難推進到高度 3952 公尺的玉山主峰三角點，提供了完整一致的測量成果。

中國大陸 1966-1968 年為測量珠穆朗瑪峰(聖母峰)高度，完成自崗噶(高程 4390m)至東絨布河口(高程 5693m)約 70km 公里水準測量，再以三角高程方法交會山頂高度 8849m，1975 年更派員攜帶規標立於山頂，測得精密高度為 8848.13m；日本於 1993 年，以 38.6 公里水準測量作業，完成富士山正高測量。相較之下本次玉山正高測量的水準測量總長為 14.5 公里，困難度並不比珠峰及富士山測量作業高，惟其難能可貴之處在於該項作業一開始並非屬於本局年度工作計畫，卻能在初步規劃後，徵召本局成大測量系畢業同仁為主力，並逐步修正作業計畫，最後終於完成全線水準測量，得到目前為止最精確的玉山高度值，對東北亞最高峰的正名，有相當重要的貢獻。

## 七、參考資料

- 內政部地政司衛星測量中心全球資訊網，<http://www.gps.moi.gov.tw/index.html>。
- 中央研究院玉山國家公園電子文化與自然資源地圖網站，  
<http://gis210.sinica.edu.tw/ysnp/ecai/index.htm>。
- 黃金維、蕭宇伸，2002，嚴密正高改正，第21屆測量學術及應用研討會。
- 張赤軍，2003，珠峰高程測定中的有關問題及思考，武漢大學學報信息科學版，第28卷第6期，12:675-678。
- Heiskanen, W. A. and Moritz, H., 1967, Physical Geodesy, W. H. Fredman and company, San Francisco and London.
- Hwang, C., 1997, Analysis of some systematic errors affecting altimeter-derived sea surface gradient with application to geoid determination over Taiwan, J. Geod, 71: 113-130.
- Hwang, C., Wang, C. G. and Lee, L. H., 2002, Adjustment of relative gravity measurements using weighted and datum-free constraints, Computers and Geosciences, 28: 1005-1015.
- Hwang C, Hsiao YS (2003) Orthometric corrections from leveling, gravity, density and elevation data: a case study in Taiwan, J Geod, 77: 279-291.
- Yoichiro, F., 1998, Evaluation of Orthometric Height of Mt. Fuji, Central Japan: A Geodetic Expedition, Western Pacific Geophysics Meeting Taipei.