

天體觀測高度程式之開發¹

The Developed Program for Observed Altitude of Celestial Bodies

陳志立 Chih-Li Chen²

謝宗軒 Tsung-Hsuan Hsieh³

翁國祐 Guo-Yu Weng³

摘要

天體觀測高度是決定天文觀測船位的關鍵變數，而航海者一般都採用航海曆作為查表計算之工具。在人工查閱航海曆的過程中，存在著複雜、耗時與準確度受限等眾多缺失，然而在目前海事教育及海上實務作業裡，計算方法卻不是主要的求解方式，此引發本論文的研究動機。另外，發現在美國地理空間情報局的網站上，其程式缺乏完整性，而美國海軍所開發的 STELLA 軟體又不對外公開。針對上述缺憾，本論文採用 MATLAB[®] 程式語言中內建的使用者圖形介面成功地開發出天體觀測高度程式，此自行開發程式均透過例題確認無誤。

關鍵詞：航海曆、天體觀測高度程式、天文觀測船位

ABSTRACT

Navigators usually used the nautical almanac as a tool to obtain the observed altitude of celestial bodies, and it is a key variable to determine astronomical vessel position. It is known that several shortcomings have arisen in artificial process, such as complexity, time-consuming, and/or limited precision. However, computational approaches are not dominant solving tools in the currently maritime education or practical operation and thus, it leads to the motivation of this article. Besides, it is also found that the observed altitude program posed at NGA website is not complete and the U.S. Navy's STELLA software is not available to the public. Aimed at these drawbacks, the Graphical User Interface, built in the MATLAB[®] is adopted to develop the program, namely the ObsAlt, to obtain observed altitude of celestial bodies. This self-developed program is verified with several examples presented in artificial process.

¹ 本文為行政院國家科學委員會專題研究計畫 (編號: NSC 96-2628-E-019-022-MY3) 之部份成果, 承蒙補助特此致謝。

² 國立台灣海洋大學商船學系 副教授 (聯絡地址: 20224 基隆市中正區北寧路二號; E-mail: clchen@mail.ntou.edu.tw; 電話: 2462-2192 轉 3029)。

³ 國立台灣海洋大學商船學系所 碩士。

Keywords: Nautical almanac, Observed altitude program, Astronomical vessel position.

壹、緒論

運輸(transportation)係使用運具(vehicle)將貨物或人員，從一地移至另一地，安全且經濟的過程。就海運的觀點，在大洋航行時，掌握船位是航海者的首要工作，而船位的決定大致有二，一為先進的衛星全球定位系統(satellite global positioning system, GPS)，另一則是古典的天文觀測定位(astronomical vessel positioning, AVP)，然全球定位系統，無論是美國國防部架設的 GPS、獨立國協架設的 Glonass 或歐盟架設中的 Galileo 等，均受到建構單位密碼開放程度的限制，而天文觀測定位雖然無此困擾，卻由於其計算過程繁瑣，導致目前航海者大多偏好使用 GPS 定位。可是，龐大的船東組織，如石油公司國際海事論壇(oil companies international marine forum, OCIMF)已在船舶檢查報告計畫(ship inspection report programme, SIRE)中要求所屬會員公司之船舶的當值甲板官員，在每一當值班至少使用兩種以上的定位方法，且不可過於依賴自動導航設備(automated navigational equipment)，並應保存測天記錄簿，以備安全檢查[12]。綜言之，天文觀測定位有其存在的價值，而在目前科技的基礎下，研發人性化之天文觀測船位系統(astronomical vessel position system, AVPS)是學術工作者的責任，此亦為本文研究動機之根源。

天文觀測定位即使用六分儀(sextant)觀測天體高度，並紀錄觀測時間，當擁有兩筆以上資料，再透過測天解算法(sight reduction method)如高高度觀測法(high-altitude observation, HAO)、截距法(intercept method, IM)及球面三角法(spherical triangle method, STM)等，直接圖解、計算暨圖解及直接計算以決定船位。其中，不論使用哪一種測天解算法，皆必須藉由天體觀測高度(observed altitude, H_o)作為輸入變數，然而經由六分儀觀測天體所得的六分儀高度(sextant altitude, h_s)與自地心量度所得的天體觀測高度(H_o)有所落差，必須透過高度修正理論求解。目前，航海實務與教育訓練對於天體觀測高度皆採用查表法解算，亦即查閱航海曆(nautical almanac, NA)求得各個修正量，再計算出天體觀測高度^[4,6,7,8,10]。然而，查表法不但解算過程繁瑣、費時且其精確度受到查表限制等缺失。據此，引發吾人期望運用電腦工具取代查表計算的動機。另外，在搜尋國內外天體觀測高度程式後，發現美國地理空間情報局(National Geospatial-Intelligence Agency, NGA)網站上只提供空氣溫度、大氣壓力與水平傾角(dip of the horizon, Dip)等修正計算模組，且尚未整合為完整之程式^[11]；而美國海軍開發的 STELLA(system to estimate latitude and longitude astronomically)目前亦不對外販售^[10]；至於我國則無相關計算程式。這種期望和實際的落差，更加深吾人開發天體觀測高度程式的強烈動機。

實際上，航海曆內提供各個修正變數的製表公式^[9]，若能建立天體觀測高度之計算程序，以此為基礎，使用程式語言開發天體觀測高度程式，則可改善查表法之缺點。必須強調的是，太陽的視半徑修正量(semi-diameter, SD)及月球、金星與火星的水平視差修正量(horizontal parallax, HP)皆與天體視位置息息相關，其係屬於天體視位置預測理論之範疇，可參考翁國祐的碩士論文^[3]，本文對此並不詳加討論。

本文除本節緒論外後續章節安排如下：第二節說明六分儀高度修正理論、整理查表法之查表來源，並建立天體觀測高度之計算程序，進而在第三節利用 MATLAB®程式語言開發天體觀測高度程式，並於第四節藉由例題驗證本文所開發的程式。最後，第五節提出結論。

貳、天體觀測高度之查表法與計算程序

2.1 六分儀高度修正理論

如圖 1 所示，藉由六分儀所測得的六分儀高度(hs)為觀測者眼睛所見的視水平面(visible horizon)與天體視線之夾角，而吾人所欲求的天體觀測高度(Ho)為自天水平面(celestial horizon)量度至天體中心的高度，兩者有所落差。其修正變數可歸納為儀器誤差、幾何誤差、大氣誤差與天體中心位置修正等，本文彙整於表 1。

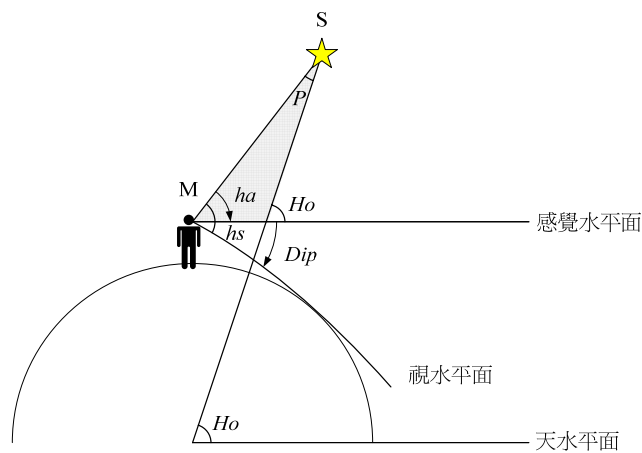


圖1 天體觀測高度幾何示意圖

表 1 六分儀高度修正變數分類表

修正變數分類	修正變數名稱	說明
儀器誤差	器差修正量 (instrument correction, I)	六分儀無法調整之誤差總和。
	指標修正量 (index correction, IC)	調整六分儀後所剩餘之殘差。
幾何誤差	水平傾角 (dip of the horizon, Dip)	為感覺水平面與視水平面之夾角，其修正量恆為負值。
	視差 (parallax, P)	觀測者至天體中心與地心至天體中心之夾角，其修正量恆為正值。
大氣誤差	折射 (refraction, R)	光線經過大氣層介質折射作用，使得視高恆大於實高，其修正量恆為負值。
	空氣溫度與大氣壓力 (air temperature and atmospheric pressure, TB)	折射係隨大氣密度而微變。
中心位置修正	視半徑 (semi-diameter, SD)	觀測太陽或月球時，難以判定其中中心位置，故選擇觀測其上緣或下緣。

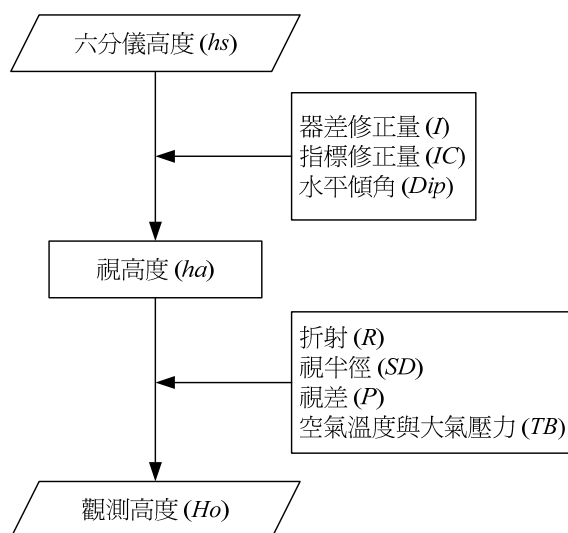


圖 2 天體觀測高度修正程序圖

天體觀測高度程式之開發

進一步說明，如圖 2 所示，六分儀高度(hs)經由器差修正量(I)、指標修正量(IC)與水平傾角(Dip)等變數修正之後可求得視高度(apparent altitude, ha)；而視高度(ha)再透過折射(R)、視半徑(SD)、視差(P)與空氣溫度與大氣壓力修正量(TB)等變數之修正，即可獲得天體觀測高度(Ho)。

2.2 查表法之查表來源

查表法即查閱航海曆(NA)求得修正變數之修正量，再經由修正程序計算出天體觀測高度。本文針對不同天體修正變數之查表來源彙整於表 2；並進而說明如下：

表 2 不同天體修正變數之查表來源

天體	變數	來源	註解
太陽	I	六分儀盒蓋證明書。	
	IC	檢驗六分儀。	
	Dip	航海曆 A ₂ 頁。	水平傾角修正量恆為負。
	R	航海曆 A ₂ 頁(☆-p cor.)。	折射修正量恆為負。
	SD	航海曆每日頁。	觀測下緣，修正量為正； 觀測上緣，修正量為負。
	P	ha 小於 65°， P 為 (+) 0.1'。	視差修正量恆為正。
	TB	航海曆 A ₃ 頁及 A ₄ 頁。	ha 小於 10° 時加作該修正。
月球	I	六分儀盒蓋證明書。	
	IC	檢驗六分儀。	
	Dip	航海曆 A ₂ 頁。	水平傾角修正量恆為負。
	R	航海曆封底內頁，即月球高度修正量表，xxxiv 頁與 xxxv 頁。	觀測月球上緣時，尚需扣除 30.0'。 (i.e. Add'l cor. = -30.0')
	SD		
	P		
	TB	航海曆 A ₄ 頁。	ha 小於 10° 時加作該修正。
金星、火星	I	六分儀盒蓋證明書。	
	IC	檢驗六分儀。	
	Dip	航海曆 A ₂ 頁。	水平傾角修正量恆為負。
	R	航海曆 A ₂ 頁(☆-p cor.)。	折射修正量恆為負。
	SD	無。	
	P	航海曆 A ₂ 頁(☆-p Add'l cor.)。	視差修正量恆為正。
	TB	航海曆 A ₃ 頁及 A ₄ 頁。	ha 小於 10° 時加作該修正。
木星、土星 及恆星	I	六分儀盒蓋證明書。	
	IC	檢驗六分儀。	
	Dip	航海曆 A ₂ 頁。	水平傾角修正量恆為負。
	R	航海曆 A ₂ 頁(☆-p cor.)。	折射修正量恆為負。
	SD	無。	
	P	無。	外行星與恆星距離地球較遠， 故視差可忽略。
	TB	航海曆 A ₃ 頁及 A ₄ 頁。	ha 小於 10° 時加作該修正。

1. 月球與其他天體之折射(R)修正量，其查表來源不同
 - 觀測月球：查閱月球高度修正量表(*altitude correction tables—moon*，xxxiv 頁與xxxv頁)，其折射(R)、視半徑(SD)與視差(P)一併修正。
 - 觀測太陽、行星與恆星：查閱恆星與行星修正量表(*stars and planets cor.*，☆-p cor.，A2頁)。
2. 太陽與月球之視半徑(SD)修正量，其查表來源不同

航海曆中所列天體位置均以各天體中心為準，然而觀測太陽或月球時，難以判定其中心位置，故必須選擇觀測其上緣或下緣。亦即，唯有觀測太陽或月球時，才需做視半徑(SD)修正。

 - 觀測太陽：查閱航海曆每日頁。
 - 觀測月球：查閱月球高度修正量表(*altitude correction tables—moon*，xxxiv 頁與xxxv頁)，其折射(R)、視半徑(SD)與視差(P)一併修正。
3. 不同天體的視差(P)修正量，其查表來源不同

由於視差涉及地心至天體中心之距離，據此，不同天體之視差修正量，其查表來源亦不同。

 - 觀測太陽：當視高度(ha)大於 65° 時，不作修正；而視高度小於 65° 時，視差為 (+) $0.1'$ 。
 - 觀測月球：查閱月球高度修正量表(*altitude correction tables—moon*，xxxiv 頁與xxxv頁)，其折射(R)、視半徑(SD)與視差(P)一併修正。
 - 觀測金星與火星：查閱恆星與行星附加修正量表(*stars and planets additional cor.*，A2頁)。
 - 觀測木星、土星與恆星：離地球較遠，可忽略不計。
4. 航海曆之修正量表有其限制與誤差
 - 航海曆所列水平傾角(Dip)之查表引數(眼高)僅列 2.4 公尺至 21.4 公尺。
 - 溫度壓力修正量表(*altitude correction tables—additional corrections*，A4 頁)與月球高度修正量表(*altitude correction tables—moon*，xxxiv 頁與 xxxv 頁)等修正量表皆採用內插計算。

2.3 建立天體觀測高度之計算程序

查表法過程不但繁瑣、費時，且精確度亦受到查表限制。據此，本文採用航海曆製表公式直接建立計算程序^[9]，該步驟整理如下：

步驟 1：計算水平傾角修正量(Dip)

$$Dip = 0^\circ.0293 \times \sqrt{he} \quad (1)$$

其中， he ：眼高，單位公尺(m)； Dip ：水平傾角。

步驟 2：計算天體視高度(ha)

$$ha = hs \pm I \pm IC - Dip \quad (2)$$

其中， hs ：六分儀高度； I ：器差修正量； IC ：指標修正量； Dip ：水平傾角； ha ：視高度。

步驟 3：計算折射修正量(R_o , R)

- 標準溫度(10°C)與標準壓力(1010 mb)下的折射修正量，公式如下：

$$R_o = \frac{0^\circ.0167}{\tan \left[ha + \left(\frac{7.32}{ha + 4.32} \right) \right]} \quad (3)$$

其中， ha ：視高度； R_o ：標準溫度與標準壓力下之折射修正量。

- 若已知溫度為 $T^\circ\text{C}$ 、壓力為 B mb，則折射修正量公式如下：

$$R = \left(\frac{0.28 \times B}{T + 273} \right) \times R_o \quad (4)$$

其中， B ：壓力，單位為毫巴(millibar)； T ：溫度，單位為攝氏溫度(Celsius temperature)； R_o ：標準溫度與標準壓力下之折射修正量； R ：已知溫度與壓力下之折射修正量。

步驟 4：計算視半徑修正量(SD)

- 太陽：採用航海曆每日頁之視半徑修正量，或由天體視位置預測理論求得視半徑修正量。
- 月球：採用航海曆每日頁內最接近觀測時間的視半徑修正量，或由天體視位置預測理論求得水平視差(HP)，代入 $SD = 0^\circ.2724 \times HP$ ，即可計算出視半徑修正量。
- 航海用行星與恆星：天體中心點較容易判定，忽略不計。

步驟 5：以水平視差和視高度求視差修正量(P)

$$P = HP \times \cos(ha) \quad (5)$$

其中， HP ：水平視差； ha ：視高度； P ：視差修正量。

- 太陽： HP 以 $0^{\circ}.0024$ 代入式(5)計算視差修正量。
- 月球：查閱航海曆每日頁內最接近觀測時間的水平視差，或由天體視位置預測理論求得水平視差，代入式(5)計算視差修正量。
- 金星與火星：查閱航海曆第 259 頁之水平視差，或由天體視位置預測理論求得水平視差，代入式(5)計算視差修正量。
- 木星、土星與航海用恆星：因距離地球較遠，不考慮視差修正量。

步驟 6：求天體觀測高度(H_o)

$$H_o = ha - R \pm SD + P \quad (6)$$

其中， ha ：視高度； R ：折射修正量； P ：視差修正量； SD ：視半徑修正量，觀測下緣時， SD 為正；觀測上緣時， SD 為負； H_o ：天體觀測高度。

參、開發天體觀測高度程式

本文使用 MATLAB[®]做為開發天體觀測高度的程式語言。其原因在於 MATLAB[®]程式語言的運算能力、語法的簡便與便於偵錯(debugger)，且可開發為使用者圖形化介面(graphic user interface, GUI)，大大縮短人機距離，增加程式的可用性。另外，亦可與在 Excel、C/C++或 VB 等環境下開發之系統整合使用^[1,2,5]。

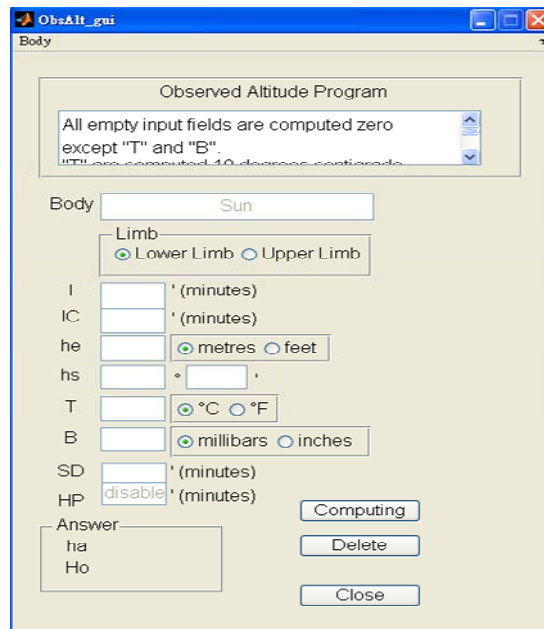


圖3 天體觀測高度程式之使用者圖形介面外觀

天體觀測高度程式之開發

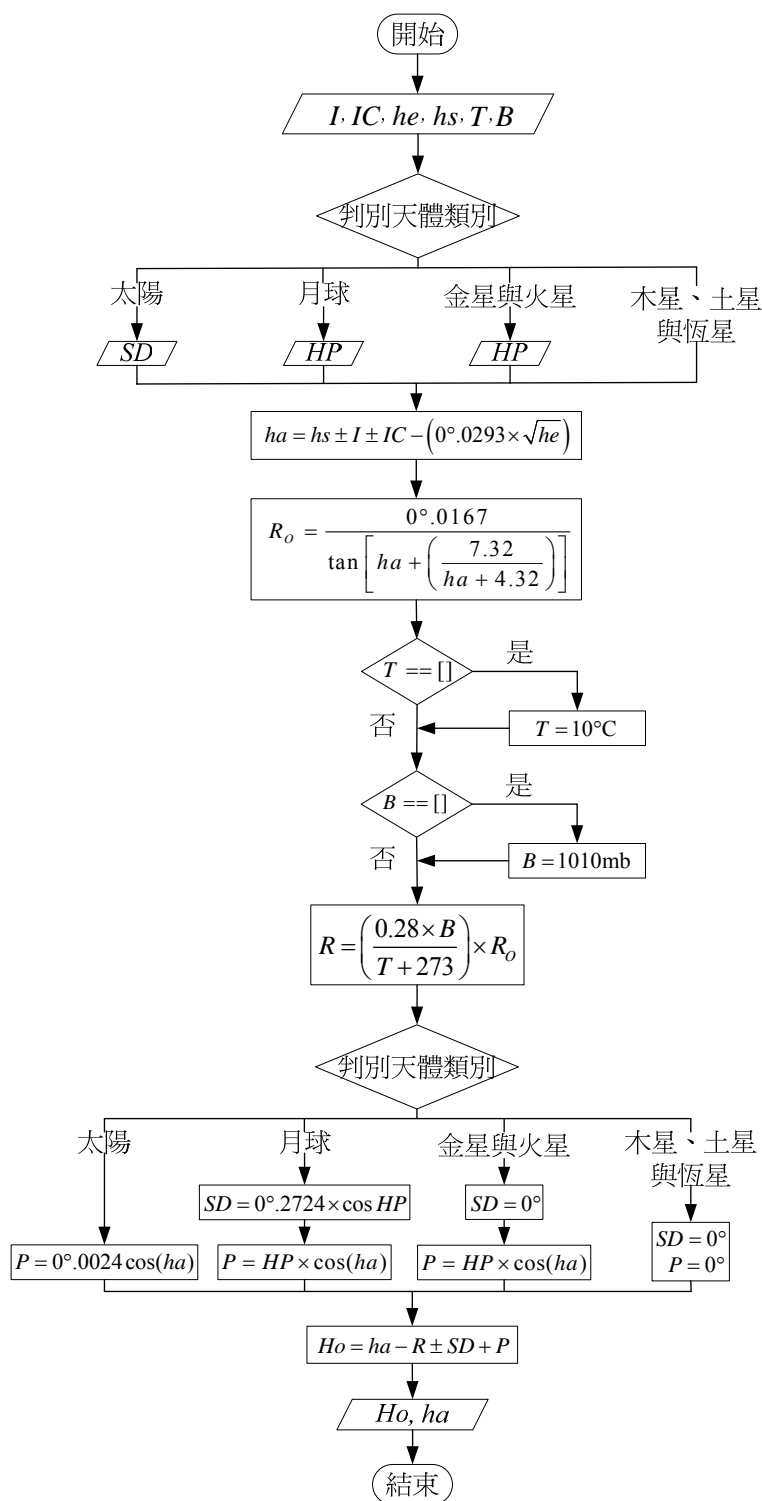


圖4 天體觀測高度程式流程圖

本文以 2.3 節建立之計算程序為基礎，開發程式，並命名為**天體觀測高度程式(observed altitude program, 簡稱 ObsAlt)**，其使用者圖形介面外觀如圖 3 所示；而流程圖如圖 4 所示。

肆、例題驗證

本文例題主要參考航海教材內之例題^[7,10]，並配合 2008 年之航海曆^[9]分別設計例題 1 的視半徑修正量(*SD*)與例題 2 及例題 3 的水平視差(*HP*)。

例題 1：

2008 年 6 月 5 日，航海者使用六分儀測得太陽上緣高度 $51^{\circ}58.4'$ ，其器差修正量為 $-0.2'$ ，指標修正量為 $2.2'$ ，眼高 48 呎(feet)，視半徑修正量為 $15.8'$ ，求其天體觀測高度^[10]？

[方法]

1. 使用查表法。
2. 使用天體觀測高度程式(ObsAlt)。

[結果]

使用查表法，可得視高度(*ha*)為 $51^{\circ}53.7'$ ，天體觀測高度(*Ho*)為 $51^{\circ}37.2'$ ，查表計算過程整理如表 3 所示。另外，透過本研究開發的天體觀測高度程式(ObsAlt)，可得視高度為 $51^{\circ}53.7'$ ，天體觀測高度為 $51^{\circ}37.2'$ ，操作結果如圖 5 所示。由表 3 與圖 5 可發現，查表法與天體觀測高度程式(ObsAlt)之計算結果完全相同。

天體觀測高度程式之開發

表 3 使用查表法計算之天體觀測高度(例題 1)

	+	□	-
<i>I</i>			0.2'
<i>IC</i>	2.2'		
<i>Dip</i>			6.7'
Sum	2.2'		6.9'
Corr.		-4.7'	
<i>hs</i>		51°58.4'	
<i>ha</i>		51°53.7'	
<i>R</i>			0.8'
<i>SD</i>			15.8'
<i>P</i>	0.1'		
Sum	0.1'		16.6'
Corr.		-16.5'	
<i>ha</i>		51°53.7'	
<i>Ho</i>		51°37.2'	

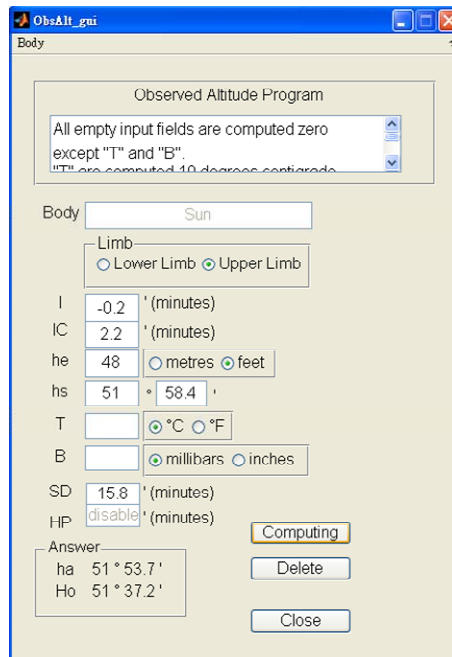


圖 5 使用天體觀測高度程式之計算結果(例題 1)

例題 2：

2008 年 10 月 6 日，航海者於大西洋(Atlantic)上使用六分儀測得月球下緣高度 $75^{\circ}34.7'$ ，其器差修正量為 $0.2'$ ，指標修正量為 $1.3'$ ，眼高 2.5 公尺，此時水平視差(HP)為 $55.2'$ ，空氣溫度(T) 5°C ，大氣壓力(B) 990mb ，求天體觀測高度^[7]？

[方法]

1. 使用查表法。
2. 使用天體觀測高度程式(ObsAlt)。

[結果]

使用查表法，可得視高度(*ha*)為 $75^{\circ}33.4'$ ，天體觀測高度(*Ho*)為 $76^{\circ}02.0'$ ，查表計算過程整理如表 4 所示。另外，透過本研究開發的天體觀測高度程式(ObsAlt)，可得視高度為 $75^{\circ}33.4'$ ，天體觀測高度為 $76^{\circ}02.0'$ ，操作結果如圖 6 所示。由表 4 與圖 6 可發現，查表法與天體觀測高度程式(ObsAlt)之計算結果完全相同。

表 4 使用查表法計算之天體觀測高度(例題 2)

	+	<u>☾</u>	-
<i>I</i>	$0.2'$		
<i>IC</i>	$1.3'$		
<i>Dip</i>			$2.8'$
Sum	$1.5'$		$2.8'$
Corr.		$-1.3'$	
<i>hs</i>		$75^{\circ}34.7'$	
<i>ha</i>		$75^{\circ}33.4'$	
1 st Corr.	$24.8'$		
<i>L</i>	$3.8'$		
<i>TB</i>			$0.0'$
Sum	$28.6'$		$0.0'$
Corr.		$28.6'$	
<i>ha</i>		$75^{\circ}33.4'$	
<i>Ho</i>		$76^{\circ}02.0'$	

天體觀測高度程式之開發

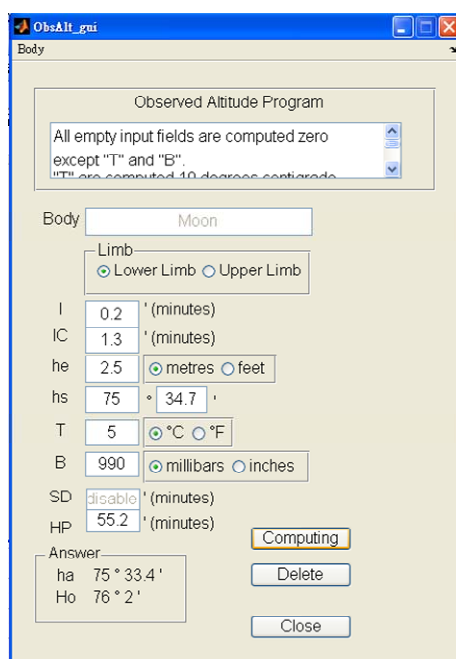


圖 6 使用天體觀測高度程式之計算結果(例題 2)

例題 3：

2008 年 12 月 6 日，航海者使用六分儀測得金星(Venus)之高度為 $41^{\circ}17.6'$ ，其器差修正量為 $0.0'$ ，指標修正量為 $-0.5'$ ，眼高 16.5 公尺，此時水平視差(HP)為 $0.2'$ ，求其天體觀測高度^[10]？

[方法]

1. 使用查表法。
2. 使用天體觀測高度程式(ObsAlt)。

[結果]

使用查表法，可得視高度(ha)為 $41^{\circ}10.0'$ ，天體觀測高度(Ho)為 $41^{\circ}09.0'$ ，查表計算過程整理如表 5 所示。另外，透過本研究開發的天體觀測高度程式(ObsAlt)，可得視高度為 $41^{\circ}10.0'$ ，天體觀測高度為 $41^{\circ}09.0'$ ，操作結果如圖 7 所示。由表 5 與圖 7 可發現，查表法與天體觀測高度程式(ObsAlt)之計算結果完全相同。

表 5 使用查表法計算之天體觀測高度(例題 3)

	+	♀	-
<i>I</i>			0.0'
<i>IC</i>			0.5'
<i>Dip</i>			7.1'
Sum			7.6'
Corr.		-7.6'	
<i>hs</i>		41°17.6'	
<i>ha</i>		41°10.0'	
<i>R</i>			1.1'
<i>P</i>	0.1'		
Sum	0.1'		1.1'
Corr.		-1.0'	
<i>ha</i>		41°10.0'	
<i>Ho</i>		41°09.0'	

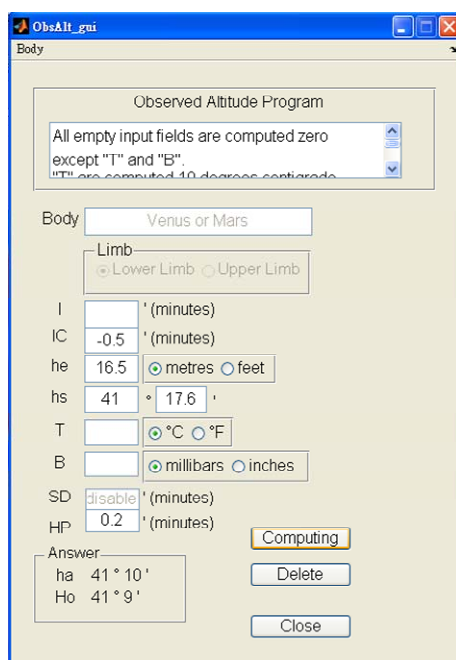


圖 7 使用天體觀測高度程式之計算結果(例題 3)

例題 4：

對天秤星座(Libra)中一顆雙星，即氐宿一(Zubenelgenubi)，航海者使用六分儀測得其高度為 $65^{\circ}52.7'$ ，器差修正量 $0.0'$ ，指標修正量 $1.7'$ ，眼高 12 公尺，求其天體觀測高度^[10]？

[方法]

1. 使用查表法。
2. 使用天體觀測高度程式(ObsAlt)。

[結果]

使用查表法，可得視高度(ha)為 $65^{\circ}48.3'$ ，天體觀測高度(Ho)為 $65^{\circ}47.9'$ ，查表計算過程整理如表 6 所示。另外，透過本研究開發的天體觀測高度程式(ObsAlt)，可得視高度為 $65^{\circ}48.3'$ ，天體觀測高度為 $65^{\circ}47.9'$ ，操作結果如圖 8 所示。由表 6 與圖 8 可發現，查表法與天體觀測高度程式(ObsAlt)之計算結果完全相同。

表 6 使用查表法計算之天體觀測高度(例題 4)

	+ ☆ -
<i>I</i>	0.0'
<i>IC</i>	1.7'
<i>Dip</i>	6.1'
Sum	1.7' 6.1'
Corr.	-4.4'
<i>hs</i>	$65^{\circ}52.7'$
<i>ha</i>	$65^{\circ}48.3'$
<i>R</i>	0.4'
Corr.	-0.4'
<i>ha</i>	$65^{\circ}48.3'$
<i>Ho</i>	$65^{\circ}47.9'$

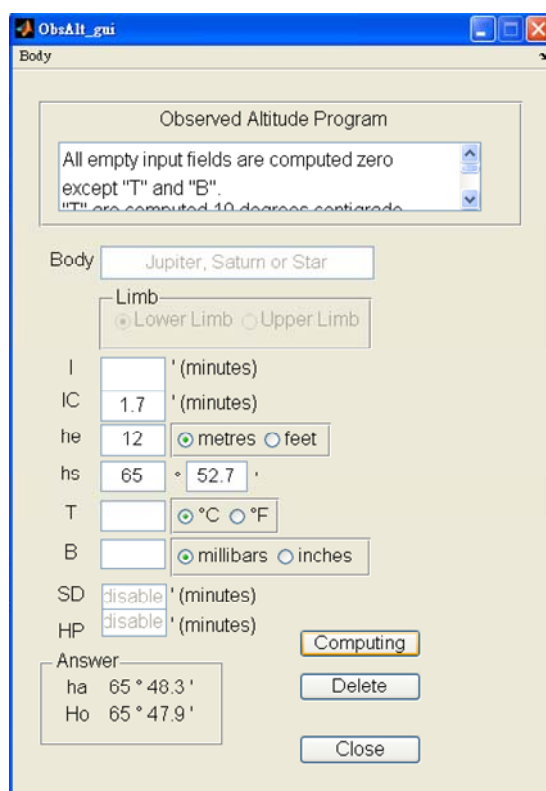


圖 8 使用天體觀測高度程式之計算結果(例題 4)

從例題中可驗證天體觀測高度程式(ObsAlt)之正確性。若從計算速度與簡單性兩項指標看來，本文所開發的程式不僅迅速，且頗具人性化，即使用簡便。

伍、結論

目前航海實務與教育訓練對於天體觀測高度皆採用查表法解算，然而實際上，查表法不但過程繁瑣、費時且精確度受到查表限制。鑑此，本文以航海曆製表公式建立天體觀測高度的計算程序，並開發天體觀測高度程式(ObsAlt)，經例題驗證，其計算結果完全正確。未來將該程式編譯為執行檔，並置於網頁上，以便於航海者自行下載並使用。

參考文獻

1. 李顯宏，“Matlab 7.X 介面開發與編譯技巧”，文魁資訊股份有限公司，台北，1996。
2. 洪維恩，“Matlab7 程式設計”，旗標出版股份有限公司，台北，2006。
3. 翁國祐，“航海用天體視位置之計算軟體開發”，臺灣海洋大學商船研究所

- 碩士論文，2007。
4. 陳志立、張建仁，“天文觀測定位之演進及其省思”，2006 海洋文化研討會，國立台灣海洋大學，頁 1-24，2006。
 5. Chapman, S. J. 著，張聖明譯，“MATLAB 程式設計與應用”，全華科技圖書股份有限公司，台北，2006。
 6. Bauer, B., *The Sextant Handbook*, Second Edition, International Marine, Camden, Maine, 1995.
 7. Bowditch, N., *American Practical Navigator*, National Imagery and Mapping Agency, Washington, DC, 2002.
 8. Breach, M., *Celestial Navigation When Your GPS Fails*, Trafford, Victoria, British Columbia, 2004.
 9. Her Majesty's Nautical Almanac Office, Rutherford Appleton Laboratory and the Nautical Almanac Office of the US Naval Observatory, 2008 Nautical Almanac, Commercial Edition, Paradise Cay Publications and Celestaire Inc., 2007.
 10. Maloney, E. S., *Dutton's Navigation and Piloting*, Naval Institute Press, Annapolis, Maryland, 1985.
 11. National Geospatial-Intelligence Agency, Retrieved April 21, 2009, website: http://www.nga.mil/portal/site/maritime/?epi_menuItemID=0feacf38cf96a8b21b2079106327a759&epi_menuID=e106a3b5e50edce1fec24fd73927a759&epi_baseMenuID=e106a3b5e50edce1fec24fd73927a759
 12. Oil Companies International Marine Forum, Retrieved March 3, 2009, website: http://www.ocimf.com/view_document.cfm?id=1078