

電子航海曆與天體識別網頁介面之研究

A Study on the Development of a Web Interface for Star Identification Based on the Electronic Nautical Almanac

李家豪¹、蔡金城²、曾維國³、孫逸家⁴、何展帆⁵

摘要

本研究旨在開發一套自主研發之網頁式介面，整合電子航海曆(Electronic Nautical Almanac, ENA)與天體識別(Star Identification, SI)功能，以取代傳統紙本航海曆與星圖，並提升天文定位訓練與實務操作之效率與可靠性。研究方法係基於 FK5 星表(Fifth Fundamental Catalogue, FK5)，建立電子航海曆以提供 57 顆航海用恆星之赤緯與時角；觀測者則透過六分儀觀測實際天體(Observed Celestial Body, OCB)之觀測高度與天體方位，再轉換為赤緯與時角，並與電子航海曆資料進行內積比對，以判斷所觀測天體。此網頁介面由 JavaScript 作為程式語言並透過圖形化使用者介面(Graphical User Interface, GUI)呈現，並結合動態幾何代數軟體(Dynamical Geometry Algebra Software)進行天體視覺化。研究驗證結果顯示，內積值皆接近 1，能準確辨識觀測天體(如 Vega、Achernar 與 Antares)，證明方法具備高度精確性與可行性。研究成果回應國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)與美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)推動之航海數位化政策方向，未來可進一步應用於海事教育、船員訓練及航行實務，提供更有效率且可靠的天體識別與天文定位工具。

關鍵詞：電子航海曆、天體識別、天文航海之訓練與實務應用

This study aims to develop a self-designed web-based interface that integrates an Electronic Nautical Almanac (ENA) with a Star Identification (SI) function, intended to replace traditional printed almanacs and star charts while improving the efficiency and reliability of celestial navigation training and practice. Based on the FK5 catalog, the Electronic Nautical Almanac provides the declination and hour angle of 57 navigational stars. The observer uses

¹ 李家豪 Jia-Hao Li，國立臺灣海洋大學商船學系碩士班研究所。

² 蔡金城 King-Cheng Tsai，國立高雄科技大學航運技術系助理教授。地址：805 高雄市旗津區中洲三路 482 號(旗津校區)，國立高雄科技大學航運技術系；電話：07-8100888 分機：25115。Email: kctsai@nkust.edu.tw。(通訊作者)

³ 曾維國 Wei-Kuo Tseng，國立臺灣海洋大學商船學系教授。

⁴ 孫逸家 Yi-Jia Sun，國立臺灣海洋大學附屬基隆海事高級中等學校航海科專任教師。

⁵ 何展帆 Jan-Fan Ho，國立臺灣海洋大學商船學系碩士在職專班。

a sextant to measure the observed altitude and azimuth of an Observed Celestial Body (OCB), which are then converted into declination and hour angle for comparison. A dot product is applied to match the observed body with the reference stars. The interface is developed in JavaScript, presented through a graphical user interface (GUI), and incorporates Dynamical Geometry Algebra Software for celestial visualization. Validation results show dot-product values consistently close to 1, accurately identifying observed stars such as Vega、Achernar and Antares, thereby confirming the precision and feasibility of the method. The findings align with IMO and NOAA's initiatives toward digitalized navigation and demonstrate potential applications in maritime education, seafarer training, and practical navigation, providing a more efficient and reliable tool for star identification and celestial positioning.

Keywords: Electronic Nautical Almanac, Star Identification, Celestial Navigation Training and Practice

壹、緒論

自 2019 年美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)首次提出停止發行傳統紙本海圖之規劃，並計畫於 2025 年至 2027 年間，逐步以電子航海圖(ENC)全面取代船舶上原有之紙本海圖，同時並同步將其他紙本航海資料逐步轉型為電子形式，此一轉型將為航海領域帶來新的挑戰與影響[1, 2]。

然而，在推動數位化同時，《國際海事組織》(IMO)規範中，仍將天文航海(Celestial Navigation)視為航海人員所需掌握之重要定位技能之一。並於《1978 年航海人員訓練、發證與當值標準國際公約》(International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW 78/95/10) 2010 年修正案中，Part B(建議部分)之 Chapter II 第一章第 19 條「天文航海訓練要求」及第 20 條「天文航海訓練可使用電子航海曆以及計算軟體」中，明文建議航海人員應具備相關能力[3-5]。

天文定位方法之研究歷史悠久，相關學者貢獻豐富，惟針對航海曆書(Nautical Almanac, NA)及天體識別(SI)兩者結合的研究與開發卻相對匱乏。航海曆書涉及複雜的數學推導與天文學中的雙體及三體問題(Two and Three-Body Problem)，因此需每年重新編算與出版，以確保數據之精確性與實用性。此外，根據《國際海上人命安全公約》(International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS)規定，船舶每年須配置最新版航海曆書，並受港口國管制員(Port State Control, PSC)檢查後，船舶才具有適航性[5, 6]。由此可見，航海曆書不僅為天文定位不可或缺之工具，亦為國際海事法規所明訂之法定裝備，具備高度之實務價值與法規重要性。

在當前海事教育與商船實務中，航海員仍以紙本航海曆與星圖進行天文觀測與天體識別。然此類人工操作方式程序繁瑣、易受人為誤差影響，且在惡劣天候下難以準

確辨識恆星。特別是恆星在亮度、位置與顏色上相近，僅憑目視難以精確判別。為輔助天體識別，現行多採用星圖(Star Chart)與尋星盤(Star Finder)等工具，然而其仍需使用者進行人工比對與推算，限制了效率與精度。

為回應 NOAA 及 IMO 推動航海資料電子化之政策方向，本研究參考多本知名天文演算法書籍、學術論文及多項航海電子試算表[7-14]，建立以 FK5 星表為基礎建立之恆星電子航海曆(ENA)，並以 JavaScript 為開發語言，整合天體識別功能，建構一套自主研發之網頁式操作介面。此外，結合動態幾何代數軟體，如 GeoGebra(GGB)進行天體三維視覺化模擬，呈現天赤道與天水平座標之空間關係。本研究成果可應用於海事教育、船員訓練與航行實務，不僅可取代傳統紙本航海曆與星圖，亦能提升天文定位訓練之效率與精度，補足現行研究之不足。

貳、恆星視位置

本研究在恆星視運動計算上，採用國際天文聯合會(International Astronomical Union, IAU)編製的「第五基礎星表」(FK5)作為主要依據。FK5 採用標準曆元 J2000.0 的儒略世紀(T)為時間標準，提供約 1535 顆恆星的高精度赤經與赤緯，廣泛應用於天文曆書、觀測導航與天體位置推算模型中。本研究將重點集中於航海用 57 顆恆星，這些恆星具備亮度高、可見性強的特質，參考相關文獻與線上資源來計算[7, 11, 15]。

本研究所使用之時間相關概念與計算公式均彙整於附錄 A，供後續研究者查考。惟其內容繁多且推導冗長，故本文正文中不再逐一列述。

2.1 格林威治視恆星時

格林威治視恆星時(Greenwich Apparent Sidereal Time, $GAST$)是天文觀測中一項關鍵參數，可用來精確推算出天體視位置。同時也考慮了地球自轉造成的歲差與章動的影響。在計算 $GAST$ 之前，必須先計算出格林威治平恆星時(Greenwich Mean Sidereal Time, $GMST$)、歲差與章動，以及地球傾角的修正量。

格林威治平恆星時($GMST$)以恆星時間為基準，格林威治天子午線與平春分點(Mean Vernal Equinox)之間的角度差。該角度反映地球自轉相對於天球背景的進度，為計算天體視位置與當地恆星時的重要參數。公式如下[7, 11]：

$$GMST = 280.46061837 + 360.98564736629 \cdot (JD - 2451545.0) + 0.000387933T^2 - \frac{T^3}{38710000}, \quad (1)$$

然而，地球自轉軸的方向並非完全固定，其變化主要受到兩項天文現象的影響，分別為歲差(Precession)與章動(Nutation)。其中，歲差是由太陽、月亮及其他天體的引力所引起，導致地球自轉軸產生長週期的圓錐形移動，完整週期約為 26,000 年，平均每 72 年移動約 1 度。

章動則是疊加於歲差之上的短期周期性擺動，振幅較小，卻在高精度天文觀測中不可忽視，章動可分為兩個分量，單位為“角秒”(arcseconds)：

1. 黃經章動(Nutation of Longitude, $\Delta\Psi$)：為沿黃道方向，影響春分點視位置，進而影響赤經與恆星的計算。

$$\Delta\Psi = -17.2\sin(\Omega_{Moon}) - 1.32\sin(2L) - 0.23\sin(2dL) + 0.21\sin(2\Omega_{Moon}) \quad (2)$$

2. 傾角章動(Nutation of Obliquity, $\Delta\varepsilon$)：傾角章動將影響真黃赤交角(ε)，即天赤道平面與黃道平面之間的夾角，進而影響天赤道座標系統與黃道座標系統之間的轉換精度與結果。

$$\Delta\varepsilon = 9.2\cos(\Omega_{Moon}) + 0.57\cos(2L) - 0.1\cos(2dL) - 0.09\cos(2\Omega_{Moon}) \quad (3)$$

式(2)及(3)中， L 為太陽平黃經(Sun's Mean Longitude)、 dL 為月亮平黃經(Moon's Mean Longitude)、 Ω_{Moon} 為月球軌道升交點平黃經(Mean Longitude of the Ascending Node of the Moon's Orbit)。如下所示，單位為“度”(degrees)[7, 11]。

$$L = 280.4665 + 36000.76983 \cdot T \quad (4)$$

$$dL = 218.3165 + 481267.8813 \cdot T \quad (5)$$

$$\Omega_{Moon} = 125.04452 - 1934.136261 \cdot T \quad (6)$$

真黃赤交角(ε)，即天赤道平面與黃道平面之間的夾角。為此須先求得平黃赤交角(Ecliptic's Mean Obliquity, ε_0)，公式如下，單位為“度”(degrees)[7, 11]。

$$\varepsilon_0 = 23.4392911 + \left(\frac{-46.815 \cdot T - 0.00059 \cdot T^2 + 0.001813 \cdot T^3}{3600} \right) \quad (7)$$

真黃赤交角(ε)，公式如下[7, 11]：

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon, \quad (8)$$

由於格林威治平恆星時(GMST)是根據春分點「平均位置」來定義，因此在計算格林威治視恆星時(GAST)，必須進一步考慮章動(Nutation)對春分點實際位置所造成的影響，以更準確求出春分點在當前時刻的實際位置。

章動所引起的角度變化，包含黃經章動($\Delta\Psi$)、傾角章動($\Delta\varepsilon$)，以及真黃赤交角(ε)的變化。以上修正因素稱春分點修正量(Equation of the Equinoxes)，公式如下[7, 11]。

$$\Delta\Psi \cdot \cos(\varepsilon) \quad (9)$$

最後，將格林威治平恆星時($GMST$)與春分點修正量相加，即可得出格林威治視恆星時($GAST$)，公式如下[7, 11]。

$$GAST = \text{Wrap}(GMST + \Delta\Psi \cdot \cos(\varepsilon)) \quad (10)$$

格林威治視恆星時($GAST$)是天文觀測中用來準確判斷天體位置的關鍵參數。 $GAST$ 同時考量了地球自轉軸在歲差與章動變化下所產生的影響，因此能提供精確的天文座標。 $GAST$ 通常以是恆星時間(時、分、秒)表示，其角度表示方式則稱為春分點格林威治時角(Greenwich Hour Angle of the Equinox, $GHA\Upsilon$)。

2.2 太陽之真黃道經度及相關參數

在計算恆星視位置之前，需先求得太陽真黃經(True Ecliptic Longitude of the Sun, Θ)。本研究以太陽幾何平黃經(Geometric Mean Longitude of the Sun, L_0)為基礎，假設太陽以等速度沿著黃道運行，不考慮章動、光行差與光行時等微小修正，其計算過程如下[7, 11]。

1. 計算太陽幾何平黃經(L_0)

$$L_0 = \text{Wrap}(280.46646 + 36000.76983 \cdot T + 0.0003032 \cdot T^2) \quad (11)$$

2. 計算太陽平近點角(M_{Sun})

$$M_{Sun} = \text{Wrap}\left(357.5291092 + 35999.0502909T - 0.0001536T^2 + \frac{T^3}{24490000}\right) \quad (12)$$

3. 計算太陽中心差(Sun's equation of the center, C_{Sun})：

$$\begin{cases} c1 = 1.914602 - 0.004817 \cdot T - 0.00014 \cdot T^2 \\ c2 = 0.019993 - 0.000101 \cdot T \\ c3 = 0.000289 \end{cases} \quad (13)$$

$$C_{Sun} = (c1 \cdot \sin M_{Sun}) + (c2 \cdot \sin 2M_{Sun}) + (c3 \cdot \sin 3M_{Sun}) \quad (14)$$

根據上式，可得出太陽真黃經(Θ)[7, 11]。

$$\Theta = L_o + C_{Sun} \quad (15)$$

2.3 恆星之最終座標

由於恆星視位置需經歲差(precession)、章動(nutation)及光行差(aberration)等效應修正，其相關修正原理與推導公式已彙整於附錄 B。鑒於內容繁複，本文正文中不再逐一列述。

在對恆星視位置進行修附錄 B 正後，即可推導出恆星視位置，計算方法如下[7, 11]。

$$\alpha_{Stars} = \alpha_{prec} + \Delta\alpha_{nuta} + \Delta\alpha_{aber} \quad (16)$$

$$\delta_{Stars} = \delta_{prec} + \Delta\delta_{nuta} + \Delta\delta_{aber} \quad (17)$$

$$SHA_{stars} = \text{Wrap}(360 - \alpha_{Stars}) \quad (18)$$

$$GHA_{stars} = \text{Wrap}(GHA_{\Upsilon} - \alpha_{Stars}) \quad (19)$$

式中， α_{Stars} ：恆星赤經(Star's Right Ascension)； δ_{Stars} ：恆星赤緯(Star's Declination)； SHA_{Stars} ：光行差常數(Sidereal Hour Angle of the Stars)； GHA_{Stars} ：恆星格林威治時角(Greenwich Hour Angle of the Stars)。

參、天體識別

進行天文定位前，航海人員透過六分儀觀測天體得到觀測高度(Observed Altitude, Ho)與天體方位(Azimuth, Zn)，再經查詢該天體之航海曆(NA)中所列之格林威治時角(GHA)或恆星時角(SHA)與赤緯(δ)後方可求解天文定位。然而，此一過程之前提在於能夠正確識別所觀測之天體，若無法確認天體，則無從查表並完成定位，因此「天體識別(SI)」在天文定位上極為重要。

就實務而言，天體識別常以目視。識別太陽與月亮並無困難，然恆星在識別上則有一定難度，無法透過位置、光度、顏色加以辨別。若再遇天氣不佳或雲層密佈情境中，無法預先確定天體的狀況下，目視觀測可能導致天體識別錯誤。為補助天體識別，現今航海實務普遍採用星圖(Star Chart)與尋星盤(Star Finder)。常見星圖包刮航海曆星圖(NA Star Chart)、道頓星圖(Dutton's Star Chart)及鮑氏星圖(Bowditch's Star Chart)，可依據觀測時間與地點，提供天體於天球中之方位分布，供航海員比對確認。

其中，最廣泛使用之尋星工具為 H.O. 2102-D 尋星盤，此為美國海岸防衛隊 C.T. Rude 上校所發明，專為天體識別而製。H.O. 2102-D 尋星盤係提供航海人員於任意時間與任意地點定出航海曆(NA)中採用之 57 顆恆星，透過觀測者觀測天體高度與天體方位縱而得知實際觀測天體(OCB)名稱。

目前海事教育與商船實務中仍普遍採用上述傳統方法尋找天體。然而，為呼應美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)及國際海事組織(IMO)推動去紙本化與發展電子化工具之目標。本研究採用 GGB 與 JavaScript 兩項關鍵工具，開發一套網頁式天體識別介面，整合電子航海曆與天體識別功能，提供使用者更便捷且精確的操作工具。

其中，GGB 主要用於以三維方式呈現天赤道座標與天水平座標之間的空間關係與轉換，觀測者只需輸入緯度(Lat)、觀測高度(Ho)及天體方位(Zn)即可計算出天體赤緯(δ)與當地時角(LHA)。由於 GGB 可透過動態幾何的方法呈現天體視運動及觀測者位置變化，為天體識別提供了精確的數學模型。然而 GGB 本質上是單天體計算工具，僅能同時處理單一目標天體的數據，無法直接呈現航海用途所需的 57 顆導航恆星之完整數據，因此在應用範圍上有一定的限制，如圖 1 所示。

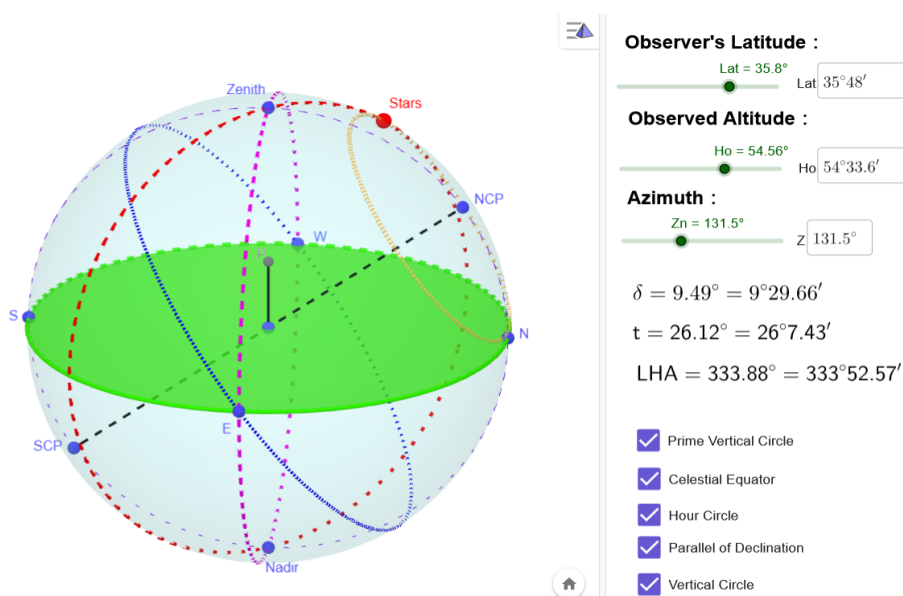


圖 1. GGB 天體識別

Produced by GeoGebra®

為此，本研究同時以 JavaScript 開發使用者介面(Graphical User Interface, GUI)網頁式天體識別，允許觀測者只需輸入基本觀測參數，即可自動計算並識別所有可見實際觀測天體赤緯(Declination of the Observed Celestial Body, δ_{OCB})與當地時角(Local Hour Angle of the Observed Celestial Body, LHA_{OCB})，並自動比對觀測數據以識別最符合條件的天體名稱，如圖 2 所示。其流程如圖 3 所示：

Star Identification

Date: Latitude: °' Zn: ZT: :: Longitude: °' Ho: °' Decimal Point: submit

Star Identification Data

Star Identification Data for 2017 Jun 17 at 4:55:30

GMT:2017-06-16 20:55:30	JD:2457921.371875	JDE:2457921.372688056	GST:14.6124878699°	GHA Ψ :219°11.2390829622'
Name	Dec	LHA	SHA	Inner Product
Venus	12° 27.924611901' N	301° 36.691260676'	320° 55.4521777137'	0.3300563694
Mars	24° 8.4421464105' N	241° 50.3242334871'	261° 9.0851505249'	-0.2052136215
Jupiter	3° 59.1877842055' S	147° 55.2739037198'	167° 14.0348207576'	-0.4672002626
Saturn	21° 57.9679997115' S	76° 43.5551607747'	96° 2.3160778124'	0.0549230045
Acamar	40° 14.1378108712' S	295° 57.9037861179'	315° 16.6647031557'	0.9322376586
Achernar	57° 8.7856048544' S	316° 6.434709534'	335° 25.1956265717'	0.9999747496
Acrux	63° 11.956028585' S	153° 47.2469931947'	173° 6.0079102324'	0.5203940104
Adhara	28° 59.9896568666' S	235° 52.0110927178'	255° 10.7720097555'	0.4935724173
Aldebaran	16° 32.3911518997' N	271° 27.8596114221'	290° 46.6205284598'	0.1327171464
Alioth	55° 52.2733811984' N	146° 59.5195609317'	166° 18.2804779694'	-0.9935383787

Celestial Equator

GHA Ψ : 219° 11.2390829622'

t: 44° 33.7073910335'E

LHA: 315° 26.2926089664'

SHA: 334° 45.0535260041'

Dec: 57° 19.9653703997' S

Star: Achernar

圖 2. GUI 天體識別

Produced by JavaScript®

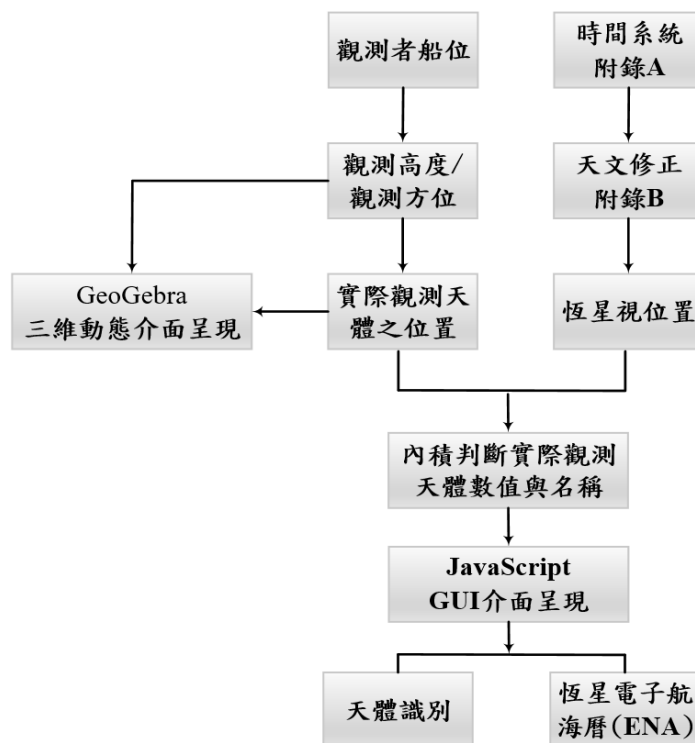


圖 3. 本研究流程圖

Produced by Visio®

其計算流程如下：

- 1 觀測者透過羅經可獲得天體方位(Zn)，然而在計算時為了判別象限，必須將其轉換為天體方位角(Azimuth Angle, Az)。

$$Az = \begin{cases} Zn_E, 0^\circ \leq Zn \leq 90^\circ \\ (180^\circ - Zn)_E, 90^\circ \leq Zn \leq 180^\circ \\ (Zn - 180^\circ)_W, 180^\circ \leq Zn \leq 270^\circ \\ (360^\circ - Zn)_W, 270^\circ \leq Zn \leq 360^\circ \end{cases} \quad (20)$$

- 2 觀測者將觀測天體所得之觀測高度(Ho)及天體方位角(Az)透過球面三角學之四部公式與餘弦公式求取實際觀測天體子午角(meridian angle, t_{OCB})與天體赤緯(δ_{OCB})，如下所示：

$$t_{OCB} = \text{atan2} \left(\begin{matrix} \cos(Lat)\cos(Ho) - \sin(Lat)\cos(Ho)\cos(Az) \\ \cos(Ho)\sin(Az) \end{matrix} \right) \quad (21)$$

$$\delta_{OCB} = \text{asin}(\sin(Lat)\sin(Ho) + \cos(Lat)\cos(Ho)\cos(Az)) \quad (22)$$

其中，實際觀測天體子午角(t_{OCB})，為天體相對於當地時角之角距，為求進一步應用於天體識別，還需再轉換為實際觀測天體當地時角(LHA_{OCB})，其轉換過程如下：

$$LHA_{OCB} = \begin{cases} t_{OCB}, 180^\circ \leq Zn \leq 360^\circ \\ 360^\circ - t_{OCB}, 0^\circ \leq Zn \leq 180^\circ \end{cases} \quad (23)$$

- 3 天體赤緯(δ_{Stars})可透過第四章之 4.3 節之式(17)計算出。
- 4 由於天體當地時角(LHA_{Stars})無法直接獲取，本研究需依據式(10)計算春分點格林威治時角($GHA\Upsilon$)，再結合觀測者所在經度進行修正，換算為春分點當地時角(Local Hour Angle of the Equinox, $LHA\Upsilon$)。其計算步驟如下：

$$LHA\Upsilon = \text{Wrap}(GHA\Upsilon \pm long) \quad (24)$$

- 5 為求得天體當地時角(LHA_{Stars})，本研究依據式(18)先計算天體恆星時角(SHA_{Stars})，再加上春分點當地時角($LHA\Upsilon$)，即可獲得所需結果。其計算步驟如下：

$$LHA_{Stars} = \text{Wrap}(SHA_{Stars} + LHA\Upsilon) \quad (25)$$

目前海事教育中，天體識別多採用紙本航海曆進行比對與排查，操作流程繁瑣且易受人為誤差影響。本研究採用內積(Dot Product)方法作為天體識別之判別依據。首先，透過式(22)與式(23)計算實際觀測天體之當地時角(LHA_{OCB})與赤緯(δ_{OCB})；再由式(25)與式(17)計算電子航海曆中 57 顆恆星天體當地時角(LHA_{Stars})與天體赤緯(δ_{Stars})，進行內積運算，其內積值最接近 1 者，即可判定為觀測者所觀測之天體，縱而達成天體識別之目的。

- 6 將實際觀測天體(OCB)與電子航海曆(ENA)之當地時角(LHA)與赤緯(δ)轉換為笛卡爾座標，如下所示：

$$\mathbf{OCB} = [x_{\text{OCB}} \quad y_{\text{OCB}} \quad z_{\text{OCB}}] = [\cos(\delta_{\text{OCB}})\cos(LHA_{\text{OCB}}) \quad \cos(\delta_{\text{OCB}})\sin(LHA_{\text{OCB}}) \quad \sin(\delta_{\text{OCB}})] \quad (26)$$

$$\mathbf{ENA} = [x_{\text{Stars}} \quad y_{\text{Stars}} \quad z_{\text{Stars}}] = [\cos(\delta_{\text{Stars}})\cos(LHA_{\text{Stars}}) \quad \cos(\delta_{\text{Stars}})\sin(LHA_{\text{Stars}}) \quad \sin(\delta_{\text{Stars}})] \quad (27)$$

- 7 再以向量內積判別天體，如下所示：

$$\mathbf{SI} = \mathbf{OCB} \cdot \mathbf{ENA} \quad (28)$$

式中，SI 為實際觀測天體與電子航海曆恆星向量之內積結果。透過比對 57 顆恆星之內積值，其內積值最接近 1 者，即為觀測者所觀測之天體。

其演算法流程如圖 4 所示：

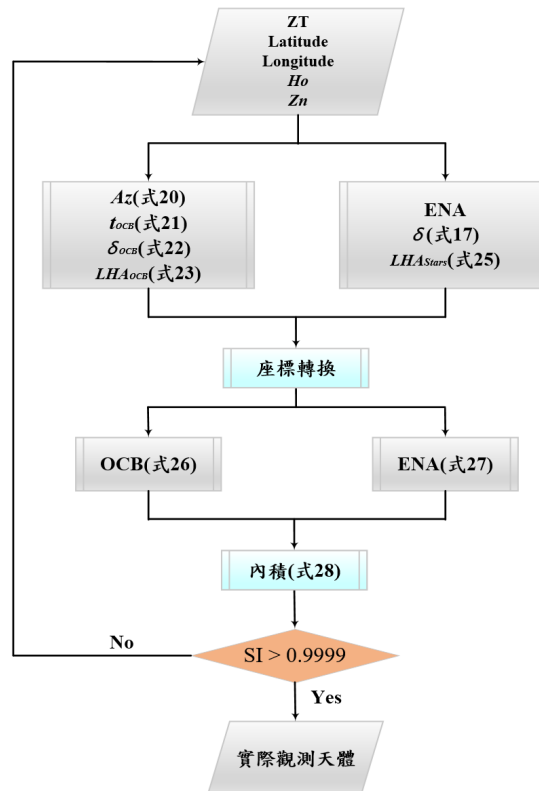


圖 4. 演算法流程圖

Produced by Visio®

肆、數值測試與分析

例題一

2017 年 2 月 25 日，觀測者於 ZT06-16-02， $L45^{\circ}10.0'N$, $\lambda 30^{\circ}15.0'W$ ，其 $Ho: 66^{\circ}47.1'$ 、 $Zn: 095^{\circ}$ ，試問該天體為何？

1 執行 GeoGebra 繪圖軟體

如圖 5 所示，將觀測者緯度、觀測高度與天體方位輸入後即可獲得實際天體之赤緯(δ) $38.87^{\circ}=38^{\circ}52.04'N$ ；子午角(t) $30.29^{\circ}=30^{\circ}17.27'E$ ，其換算實際天體之當地時角(LHA) 329.71° ，即 $329^{\circ}42.73'$ 。

2 執行 GUI 程式

如圖 6 所示，右側為實際觀測天體赤緯(δ_{OCB}) $38^{\circ}52.04068'N$ ；實際觀測天體子午角(t_{OCB}) $30^{\circ}17.26808'E$ ，其換算實際觀測天體當地時角(LHA_{OCB}) $329^{\circ}42.73191'$ ；實際觀測天體恆星時角(SHA_{OCB}) $80^{\circ}34.04939'$ 。

3 電子航海曆

如圖 6 所示，左側為電子航海曆，透過電子航海曆可以得知天體赤緯(δ_{Stars}) $38^{\circ}47.89110'N$ ；天體當地時角(LHA_{Stars}) $329^{\circ}46.18643'$ ；天體恆星時角(SHA_{Stars}) $80^{\circ}37.50390'$ 。

表 1. 結果比較

物件	δ	LHA	內積值	觀測天體
GGB	$38^{\circ}52.04'N$	$329^{\circ}42.73'$	0.9999989651	Vega
GUI	$38^{\circ}52.04068'N$	$329^{\circ}42.73191'$		
電子航海曆(ENA)	$38^{\circ}47.89110'N$	$329^{\circ}46.18643'$		

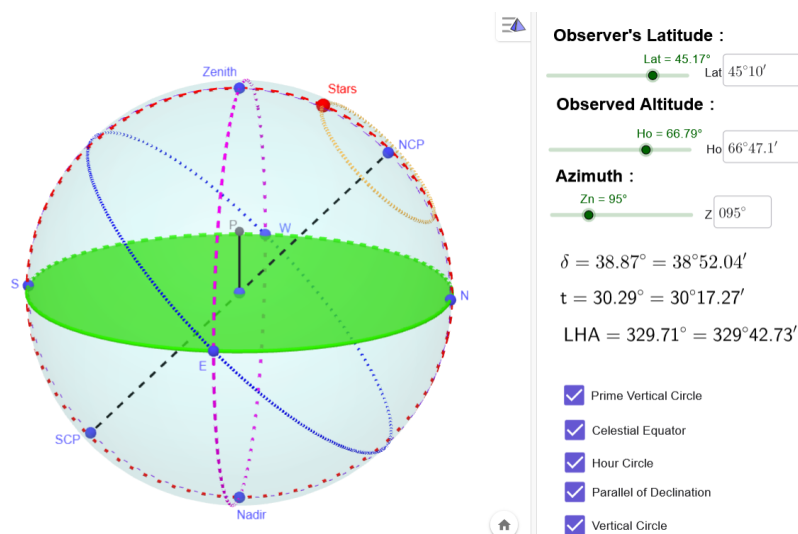


圖 5. 例題一 GGB 天體識別

Produced by GeoGebra®

Star Identification

Date: 2017/02/25 Latitude: 45°10'N Zn: 095
ZT: 6:16:02 Longitude: 30°15'W Ho: 66 47.1 Decimal Point: 10 submit

Star Identification Data

Star Identification Data for 2017 Feb 25 at 6:16:02

GMT:2017-02-25 08:16:02
JD:2457809.8444675924
JDE:2457809.84527866
GST:18.6263139142°
GHA φ :279° 23.682522783'

Nautical Almanac for Stars					Star Identification
Name	Dec	LHA	SHA	Inner Product	
Venus	10° 6.5874360673' N	240° 13.2003055502'	351° 4.5177827672'	0.116945013	GHA φ : 279° 23.682522783'
Mars	8° 5.4074413551' N	229° 56.0975669181'	340° 47.4150441351'	-0.0425934387	t: 30° 17.268082358'E
Jupiter	7° 23.1560796377' S	47° 42.2920217257'	158° 33.6094989427'	0.0799647484	LHA: 329° 42.7319176419'
Saturn	22° 5.2092270228' S	342° 54.8113496618'	93° 46.1288268787'	0.4664434725	SHA: 80° 34.0493948589'
Acamar	40° 14.6171296101' S	204° 25.2923459398'	315° 16.6098231567'	-0.7487492071	Dec: 38° 52.0406800859' N
Achernar	57° 9.3748110469' S	224° 34.084831982'	335° 25.4023091989'	-0.6375303314	Star: Vega
Acrux	63° 11.4781589181' S	62° 14.4570266503'	173° 5.7745038672'	-0.5755653576	
Adhara	29° 0.126929244' S	144° 18.9988277254'	255° 10.3163049424'	-0.9821963058	
Aldebaran	16° 32.3790587391' N	179° 55.1521822149'	290° 46.4696594319'	-0.4663941211	
Alioth	55° 51.8530146281' N	55° 26.8519979558'	166° 18.1694751728'	0.5518948602	
Alkaid	49° 13.5088751696' N	42° 5.3569918653'	152° 56.6744690822'	0.6291564694	
Al Na'ir	46° 52.6884747759' S	276° 49.8242859772'	27° 41.1417631942'	-0.1368565134	
Alnilam	1° 11.8005519516' S	164° 52.4034240006'	275° 43.7209012175'	-0.7644423052	
Alphard	8° 44.2023469847' S	107° 1.9933533192'	217° 53.3108305362'	-0.66107369	
Alphecca	26° 39.3482571729' N	15° 17.5260538728'	126° 8.8435310898'	0.7685585764	
Alpheratz	29° 11.0189514871' N	246° 49.8739489457'	357° 41.1914261627'	0.3902292711	
Altair	8° 54.8245344216' N	311° 14.7342706359'	62° 6.0517478529'	0.8268227345	
Ankaa	42° 13.0378576897' S	242° 22.3549457337'	353° 13.6724229506'	-0.3948931498	
Antares	26° 27.9510324918' S	1° 31.8691650563'	112° 23.1866422732'	0.3125937662	
Arcturus	19° 5.5251234877' N	35° 1.9633083903'	145° 53.2807856073'	0.5124696373	
Atria	69° 3.0135447462' S	356° 31.4989744885'	107° 22.8164517054'	-0.337579287	
Avior	59° 34.181305436' S	123° 25.0603294704'	234° 16.3778066873'	-0.8946253143	
Bellatrix	6° 21.6072328985' N	167° 37.9110847503'	278° 29.2285619673'	-0.6667556898	
Betelgeuse	7° 24.3161457133' N	160° 7.139471217'	270° 58.456948434'	-0.6785267867	
Canopus	52° 42.7555418494' S	153° 3.4390783985'	263° 54.7565556155'	-0.9701419307	
Capella	46° 0.8159094752' N	169° 39.3044439001'	280° 30.6219211171'	-0.0567997835	
Deneb	45° 20.4279878703' N	298° 38.8255005563'	49° 30.1429777733'	0.91513581	
Denebola	14° 28.452950805' N	71° 39.5081848331'	182° 30.8256620501'	0.0007942783	
Diphda	17° 53.810442012' S	238° 2.3527858199'	348° 53.6702630368'	-0.2144706012	
Dubhe	61° 39.3846110189' N	82° 56.7522436036'	193° 48.0697208205'	0.4064710534	
Elnath	28° 37.1227524497' N	167° 18.0239313407'	278° 9.3414085576'	-0.3509577092	
Eltanin	51° 29.0739902216' N	339° 53.8719724278'	90° 45.1894496447'	0.9682097797	
Enif	9° 57.1647899816' N	282° 53.6576770001'	33° 44.9751542171'	0.6332510393	
Fomalhaut	29° 32.0045368067' S	264° 30.3175985347'	15° 21.6350757517'	-0.0252458969	
Gacrux	57° 12.3987337772' S	61° 6.191646497'	171° 57.509123714'	-0.5377480375	
Gienah	17° 38.2418375516' S	64° 58.0896649291'	175° 49.4071421461'	-0.2581042232	
Hadar	60° 27.01595651' S	37° 52.5290995162'	148° 43.8465767331'	-0.4030668741	
Hamal	23° 32.4528054521' N	217° 6.7734716805'	327° 58.0909488975'	-0.0236695436	
Kaus Aust.	34° 22.3183119838' S	332° 49.3796648382'	83° 40.6971420551'	0.2874278459	
Kochab	74° 4.9216905786' N	26° 28.4819337086'	137° 19.7994109255'	0.7205008228	
Markab	15° 17.754876893' N	262° 44.8253090263'	13° 36.1427862432'	0.4594100889	
Menkar	4° 9.1355063452' N	203° 21.2111964593'	314° 12.5286736763'	-0.414935923	
Menkent	36° 27.0471008613' S	37° 13.0034121507'	148° 4.3208893676'	-0.1332076372	
Miaplacidus	69° 47.4617759665' S	110° 46.7346856088'	221° 38.0521628258'	-0.7981097968	
Mirfak	49° 55.278652164' N	197° 45.5000161397'	308° 36.8174933567'	0.1450224441	
Nunki	26° 16.3229026776' S	325° 4.133095916'	75° 55.450573133'	0.4181206575	
Peacock	56° 40.5807584612' S	302° 24.568824472'	53° 15.8863016889'	-0.1442567425	
Pollux	27° 58.8887932418' N	132° 33.0765536467'	243° 24.3940308637'	-0.3625472554	
Procyon	5° 10.5805740918' N	134° 5.5598220573'	244° 56.8772992742'	-0.6901740911	
Rasalhague	12° 32.8708992472' N	345° 12.9219977276'	96° 4.2394749445'	0.8686833809	
Regulus	11° 52.8224597881' N	96° 49.2286118222'	207° 40.5460890391'	-0.3304990135	
Rigel	8° 11.2865619452' S	170° 18.254771168'	281° 9.5722483849'	-0.810798274	
Rigel Kent.	60° 54.012359465' S	28° 55.5641490623'	139° 46.8816262793'	-0.3544993628	
Sabik	15° 44.5829182486' S	351° 18.4203139555'	102° 9.7377911725'	0.5265332109	
Schedar	56° 37.8903483721' N	238° 46.7152669815'	349° 38.0327441984'	0.5170952985	
Shaula	37° 6.6625380101' S	345° 27.3200788506'	96° 18.6375560675'	0.2189961947	
Sirius	16° 44.761992787' S	147° 39.9900097786'	258° 31.3074869956'	-0.9259134495	
Spica	11° 15.0097731107' S	47° 37.0578077595'	158° 28.3752849764'	0.0375776019	
Suhail	43° 30.3605319532' S	111° 58.8197935789'	222° 50.1372707958'	-0.8786319346	
Vega	38° 47.8911009079' N	329° 46.1864307281'	80° 37.503907945'	0.9999989651	
Zuben'ubi	16° 6.597263113' S	26° 11.3652458791'	137° 2.682723096'	0.238986099	

圖 6. 例題一 GUI 天體識別

Produced by JavaScript®

例題二

2017 年 6 月 17 日，觀測者於 ZT04-55-30， $L31^{\circ}10.0'S, \lambda 121^{\circ}30.0'E$ ，其 $Ho: 49^{\circ}53.0'$ 、 $Zn: 144^{\circ}$ ，試問該天體為何？

1 執行 GeoGebra 繪圖軟體

如圖 7 所示，將觀測者緯度、觀測高度與天體方位輸入後即可獲得實際天體之赤緯(δ) $-57.33^{\circ}=57^{\circ}19.97'S$ ；子午角(t) $44.56^{\circ} = 44^{\circ}33.71'E$ ，其換算實際天體之當地時角(LHA) 315.44° ，即 $315^{\circ}26.29'$ 。

2 執行 GUI 程式

如圖 8 所示，右側為實際觀測天體赤緯(δ_{OCB}) $57^{\circ}19.96537'S$ ；實際觀測天體子午角(t_{OCB}) $44^{\circ}33.70739'E$ ，其換算實際觀測天體當地時角(LHA_{OCB}) $315^{\circ}26.29260'$ ；實際觀測天體恆星時角(SHA_{OCB}) $334^{\circ}45.05352'$ 。

3 電子航海曆

如圖 8 所示，左側為電子航海曆，透過電子航海曆可以得知天體赤緯(δ_{Stars}) $57^{\circ}8.78560'S$ ；天體當地時角(LHA_{Stars}) $316^{\circ}6.43470'$ ；天體恆星時角(SHA_{Stars}) $335^{\circ}25.19562'$ 。

表 2. 結果比較

物件	δ	LHA	內積值	觀測天體
GGB	$57^{\circ}19.97'S$	$315^{\circ}26.29'$	0.9999747496	Achernar
GUI	$57^{\circ}19.96537'S$	$315^{\circ}26.29260'$		
電子航海曆(ENA)	$57^{\circ}8.78560'S$	$316^{\circ}6.43470'$		

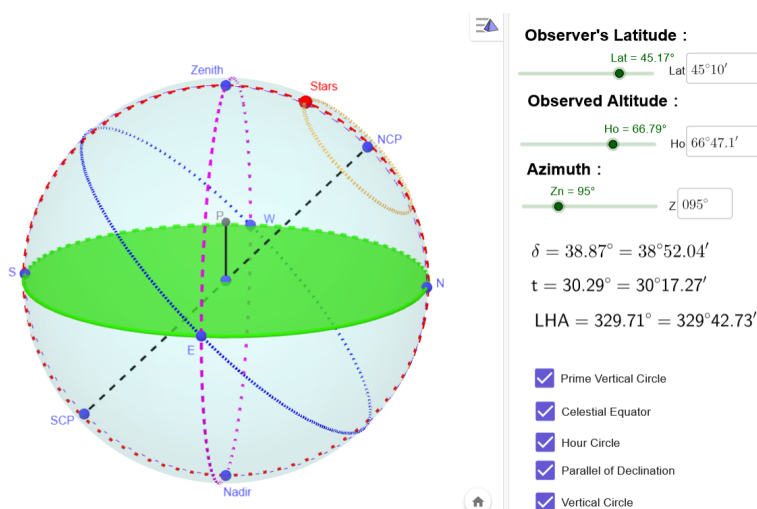


圖 7. 例題二 GGB 天體識別

Produced by GeoGebra®

Star Identification

Date: Latitude: ° (S▼) Zn:

ZT: :55:30 Longitude: ° (E▼) Ho: ° Decimal Point:

Star Identification Data

Star Identification Data for 2017 Jun 17 at 4:55:30

GMT:2017-06-16 20:55:30
JD:2457921.371875
JDE:2457921.372688056
GST:14.6124878699°
GHA φ :219°11.2390829622'

Nautical Almanac for Stars

Name	Dec	LHA	SHA	Inner Product
Venus	12° 27.924611901' N	301° 36.691260676'	320° 55.4521777137'	0.3300563694
Mars	24° 8.4421464105' N	241° 50.3242334871'	261° 9.0851505249'	-0.2052136215
Jupiter	3° 59.1877842055' S	147° 55.2739037198'	167° 14.0348207576'	-0.4672002626
Saturn	21° 57.9679997115' S	76° 43.5551607747'	96° 2.3160778124'	0.0549230045
Acamar	40° 14.1378108712' S	295° 57.9037861179'	315° 16.6647031557'	0.9322376586
Achernar	57° 8.7856048544' S	316° 6.434709534'	335° 25.1956265717'	0.9999747496
Acrux	63° 11.956028585' S	153° 47.2469931947'	173° 6.0079102324'	0.5203940104
Adhara	28° 59.9896568666' S	235° 52.0110927178'	255° 10.7720097555'	0.4935724173
Aldebaran	16° 32.3911518997' N	271° 27.8596114221'	290° 46.6205284598'	0.1327171464
Alioth	55° 52.2733811984' N	146° 59.5195609317'	166° 18.2804779694'	-0.9935383787
Alkaid	49° 13.9262338515' N	133° 37.8089285691'	152° 56.5698456068'	-0.9898465743
Al Na'ir	46° 52.3168843784' S	8° 21.4908710226'	27° 40.2517880603'	0.836862
Alnilam	1° 11.6790575592' S	256° 25.2179191189'	275° 43.9788361567'	0.2953426264
Alphard	8° 44.1905688196' S	198° 34.8743779846'	217° 53.6352950223'	-0.1131504211
Alphecca	26° 39.631014383' N	106° 49.6750374459'	126° 8.4359544836'	-0.8012004061
Alpheratz	29° 10.9642451781' N	338° 21.9513298994'	357° 40.7122469371'	0.0235489588
Altair	8° 54.9884418709' N	42° 46.5588315498'	62° 5.3197485875'	-0.1057096085
Ankaa	42° 12.5357370287' S	333° 54.4564092474'	353° 13.2173262851'	0.9447717386
Antares	26° 28.0616204495' S	93° 3.8195673305'	112° 22.5804843682'	0.0182381504
Arcturus	19° 5.7377266742' N	126° 34.3056129647'	145° 53.0665300024'	-0.7793609531
Atria	69° 3.3583531633' S	88° 2.6087854169'	107° 21.3697024546'	0.6555910285
Avior	59° 34.2305335641' S	214° 58.6000255676'	234° 17.3609426053'	0.6762230879
Bellatrix	6° 21.6885610606' N	259° 10.7017230312'	278° 29.462640069'	0.2046767964
Betelgeuse	7° 24.3880844816' N	251° 39.969560715'	270° 58.7304777528'	0.1280358949
Canopus	52° 42.532422877' S	244° 36.737746666'	263° 55.4986637037'	0.7771307855
Capella	46° 0.6500689558' N	261° 12.1876065899'	280° 30.9485236276'	-0.3865651794
Deneb	45° 20.49354575' N	30° 10.4911664906'	49° 29.2520835283'	-0.4989186857
Denebola	14° 28.5968874253' N	163° 12.1748551856'	182° 30.9357722233'	-0.6728933447
Diphda	17° 53.4625572325' S	329° 34.548358396'	348° 53.3092754337'	0.7567135717
Dubhe	61° 39.7068980381' N	174° 29.8812534159'	193° 48.6421704536'	-0.9398810771
Elmath	28° 37.0679957488' N	258° 50.837869857'	278° 9.5987868948'	-0.1423107428
Eltanin	51° 29.3659774954' N	71° 25.5861605011'	90° 44.3470775389'	-0.8059864155
Enif	9° 57.3088713956' N	14° 25.5391737329'	33° 44.3000907706'	0.1283792897
Fomalhaut	29° 31.6325011024' S	356° 2.2361068973'	15° 20.997023935'	0.7714811194
Gacrux	57° 12.8443421935' S	152° 38.8912642307'	171° 57.6521812684'	0.4285231451
Gienah	17° 38.3627174189' S	156° 30.694912063'	175° 49.4558291008'	-0.2248873578
Hadar	60° 27.4982390345' S	129° 24.7694393476'	148° 43.5303563853'	0.4677188637
Hamal	23° 32.4060271132' N	308° 39.1460530848'	327° 57.9069701225'	0.155159405
Kaus Aust.	34° 22.3259558479' S	64° 21.0844717604'	83° 39.8453887981'	0.3308560892
Kochab	74° 5.4074416097' N	118° 0.6069560196'	137° 19.3678730573'	-0.9507419119
Markab	15° 17.8427034701' N	354° 16.8114239258'	13° 35.5723409635'	0.1834153116
Menkar	4° 9.2636241211' N	294° 53.7287568683'	314° 12.4896739061'	0.4431231501
Menkent	36° 27.3453471292' S	128° 45.3040861699'	148° 4.0650032077'	0.0690238244
Miaplacidus	69° 47.6555376684' S	202° 20.7220590533'	221° 39.4829760911'	0.7168911557
Mirfak	49° 55.0119195301' N	289° 18.1023667528'	308° 36.8632837905'	-0.3320732679
Nunki	26° 16.2545696687' S	56° 35.8760764558'	75° 54.6369934935'	0.2789255236
Peacock	56° 40.4025278244' S	33° 55.8612670456'	53° 14.6221840833'	0.7625430525
Pollux	27° 58.9339849429' N	224° 6.0249687088'	243° 24.7858857465'	-0.4061082364
Procyon	5° 10.6439160255' N	225° 38.468798403'	244° 57.2297154407'	-0.0740615883
Rasalhague	12° 33.0503741329' N	76° 44.852179731'	96° 3.6130967687'	-0.4567198116
Regulus	11° 52.9194695526' N	188° 22.0563211643'	207° 40.817238202'	-0.4917225251
Rigel	8° 11.1146590049' S	261° 51.0520425067'	281° 9.8129595444'	0.4369885358
Rigil Kent.	60° 54.4769674465' S	120° 27.6296967826'	139° 46.3906138203'	0.4820927417
Sabik	15° 44.5781813473' S	82° 50.3400480459'	102° 9.1009650836'	-0.0871402739
Schedar	56° 37.6032345736' N	330° 18.7266111801'	349° 37.4875282179'	-0.4160391826
Shaula	37° 6.7623031484' S	76° 59.0695210254'	96° 17.8304380631'	0.2827451558
Sirius	16° 44.6346932823' S	239° 12.9245178472'	258° 31.685434885'	0.3656156522
Spica	11° 15.0755865016' S	139° 9.4920948111'	158° 28.2530118488'	-0.3640211173
Suhail	43° 30.4581253178' S	203° 31.947887286'	222° 50.7088043237'	0.4334987692
Vega	38° 48.1201404332' N	61° 17.9602176669'	80° 36.7211347046'	-0.6424747549
Zuben'ubi	16° 6.6873703915' S	117° 43.5807152697'	137° 2.3416323075'	-0.2603682995

Star Identification

GHA φ : 219° 11.2390829622'
t: 44° 33.7073910335'E
LHA: 315° 26.2926089664'
SHA: 334° 45.0535260041'
Dec: 57° 19.9653703997' S
Star: Achernar

圖 8. 例題二 GUI 天體識別

Produced by JavaScript®

57



 www.safetysea.org

 Taiwan Association of Maritime Safety & Security

例題三.

2017 年 8 月 30 日，觀測者於 ZT18-20-30， $L32^{\circ}05.0'S$ ， $\lambda 005^{\circ}30.0'W$ ，其 $Ho: 84^{\circ}15.9'$ 、 $Zn: 350.8^{\circ}$ ，試問該天體為何？

4 執行 GeoGebra 繪圖軟體

如圖 9 所示，將觀測者緯度、觀測高度與天體方位輸入後即可獲得實際天體之赤緯(δ) $-26.42^{\circ}=26^{\circ}25.08'S$ ；子午角(t) $-1.02^{\circ}=001^{\circ}01.33'W$ ，其換算實際天體之當地時角(LHA) $1^{\circ}01.2'$ ，即 $001^{\circ}01.33'$ 。

5 執行 GUI 程式

如圖 10 所示，右側為實際觀測天體赤緯(δ_{OCB}) $26^{\circ}25.07945'S$ ；實際觀測天體子午角(t_{OCB}) $001^{\circ}01.33086'W$ ，其換算實際觀測天體當地時角(LHA_{OCB}) $001^{\circ}01.33086'$ ；實際觀測天體恆星時角(SHA_{OCB}) $112^{\circ}16.04406'$ 。

6 電子航海曆

如圖 10 所示，左側為電子航海曆，透過電子航海曆可以得知天體赤緯(δ_{Stars}) $26^{\circ}28.08362'S$ ；天體當地時角(LHA_{Stars}) $001^{\circ}8.03290'$ ；天體恆星時角(SHA_{Stars}) $112^{\circ}22.74609'$ 。

表 3. 結果比較

物件	δ	LHA	內積值	觀測天體
GGB	$26^{\circ}25.08'S$	$001^{\circ}01.33'$	0.9999980946	Antares
GUI	$26^{\circ}25.07945'S$	$001^{\circ}01.33086'$		
電子航海曆(ENA)	$26^{\circ}28.08362'S$	$001^{\circ}8.03290'$		

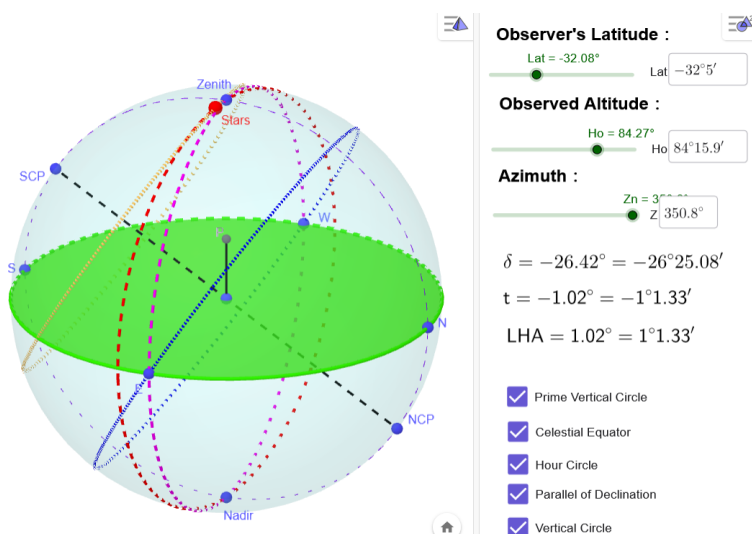


圖 9. 例題二 GGB 天體識別

Produced by GeoGebra®

Star Identification

Date: 2017 / 08 / 30
Latitude: 32 5 S
Zn: 350.8
ZT: 18 20 30
Longitude: 5 30 W
Ho: 84 15.9
Decimal Point: 10
submit

Star Identification Data

Star Identification Data for 2017 Aug 30 at 18:20:30

GMT:2017-08-30
18:20:30
JD:2457996.264236111
JDE:2457996.2650501668
GST:16.9503186675°
GHA φ :254°
15.2868007868°

Nautical Almanac for Stars

Name	Dec	LHA	SHA	Inner Product
Venus	18° 54.9578696325' N	120° 55.3237241884'	232° 10.0369234016'	-0.5665541268
Mars	13° 48.1262546848' N	99° 41.8270854971'	210° 56.5402847102'	-0.237320733
Jupiter	7° 27.821314842' S	48° 12.8764091979'	159° 27.589608411'	0.6612129884
Saturn	21° 59.0500588882' S	348° 14.6139858875'	99° 29.3271851006'	0.9764386194
Acamar	40° 13.9221447778' S	204° 1.3346388157'	315° 16.0478380289'	-0.3419944123
Achernar	57° 8.6908039697' S	224° 9.6473643573'	335° 24.3605635705'	0.0192145223
AcruX	63° 11.8132782589' S	61° 51.9148467001'	173° 6.6280459132'	0.5938658233
Adhara	28° 59.6914130457' S	143° 55.800181235'	255° 10.5133804481'	-0.4091662911
Aldebaran	16° 32.5069173741' N	179° 31.4123080134'	290° 46.1255072265'	-0.984886975
Alioth	55° 52.1684970724' N	55° 4.0249939015'	166° 18.7381931147'	-0.0732485307
Alkaid	49° 13.9073004432' N	41° 42.2807459008'	152° 56.9939451139'	0.1065195191
Al Na'ir	46° 52.4180008124' S	276° 25.0603224015'	27° 39.7735216146'	0.3822884426
Alnilam	1° 11.5051142569' S	164° 28.8686405065'	275° 43.5818397197'	-0.8490705075
Alphard	8° 44.0405832683' S	106° 38.8924216746'	217° 53.6056208878'	-0.1708721087
Alphecca	26° 39.7476366551' N	14° 53.9807056557'	126° 8.6939048688'	0.5773316528
Alpheratz	29° 11.2477056826' N	246° 25.4866836783'	357° 40.1998828914'	-0.5424129559
Altair	8° 55.1905965704' N	310° 50.4985990868'	62° 5.2117983'	0.4975768978
Ankaa	42° 12.4811647255' S	241° 57.8774682118'	353° 12.5906674249'	-0.0232801976
Antares	26° 28.0836253058' S	1° 8.0329003422'	112° 22.7460995554'	0.9999980946
Arcturus	19° 5.7877035837' N	34° 38.6034070086'	145° 53.3166062217'	0.5591591732
Atria	69° 3.574894951' S	356° 7.1702384452'	107° 21.8834376584'	0.7344344973
Avior	59° 33.8564916696' S	123° 2.6330483124'	234° 17.3462475256'	0.1430511703
Bellatrix	6° 21.8279751144' N	167° 14.3287987608'	278° 29.041997974'	-0.9137382641
Betelgeuse	7° 24.5096091612' N	159° 43.6330359055'	270° 58.3462351187'	-0.8848282068
Canopus	52° 42.167187359' S	152° 40.4300243548'	263° 55.1432235679'	-0.1236605228
Capella	46° 0.5873718197' N	169° 15.632504747'	280° 30.3457039602'	-0.9290458622
Deneb	45° 20.8794711515' N	298° 14.3900010084'	49° 29.1032002216'	-0.028635162
Denebola	14° 28.6041790042' N	71° 16.3714841731'	182° 31.0846833863'	0.1817871725
Diphda	17° 53.3063433766' S	237° 38.0690434744'	348° 52.7822426875'	-0.3323466641
Dubhe	61° 39.4652684407' N	82° 34.2272617902'	193° 48.9404610033'	-0.3290946281
Elnath	28° 37.0878603975' N	166° 54.4049880242'	278° 9.1181872373'	-0.9755257559
Eltanin	51° 29.6653669697' N	339° 29.9061848177'	90° 44.6193840309'	0.1705245564
Enif	9° 57.5449604749' N	282° 29.2945386972'	33° 44.0077379104'	0.0983998737
Fomalhaut	29° 31.5967934862' S	264° 5.8184828086'	15° 20.5316820218'	0.125308839
Gacrux	57° 12.7050584772' S	60° 43.4310505822'	171° 58.1442497954'	0.6187071021
Gienah	17° 38.247294578' S	64° 34.9347037984'	175° 49.6479030116'	0.5148237431
Hadar	60° 27.4881887803' S	37° 29.3982773326'	148° 44.1114765458'	0.7421821924
Hamal	23° 32.606537608' N	216° 42.6186668484'	327° 57.3318660616'	-0.8445573364
Kaus Aust.	34° 22.4211866663' S	332° 25.1375378565'	83° 39.8507370696'	0.9001628333
Kochab	74° 5.4312405599' N	26° 5.9498984493'	137° 20.6630976624'	-0.2055219501
Markab	15° 18.1069193302' N	262° 20.4491326997'	13° 35.1623319128'	-0.2477996602
Menkar	4° 9.4591078538' N	202° 57.247021855'	314° 11.9602210682'	-0.8608285749
Menkent	36° 27.3022097755' S	36° 49.6528925223'	148° 4.3660917354'	0.848559474
Miaplacidus	69° 47.3002255679' S	110° 25.0592680912'	221° 39.7724673043'	0.3147685783
Mirfak	49° 55.0758040902' N	197° 21.389893929'	308° 36.1030931422'	-0.8937853949
Nunki	26° 16.2985811505' S	324° 39.8728057018'	75° 54.5860049149'	0.8436660652
Peacock	56° 40.6224020743' S	301° 59.6107977244'	53° 14.3239969375'	0.6249487509
Pollux	27° 58.8706720472' N	132° 9.8234456061'	243° 24.5366448193'	-0.7290843206
Procyon	5° 10.7360331409' N	133° 42.2958516645'	244° 57.0090508776'	-0.6448251381
Rasalhague	12° 33.2112370129' N	344° 49.0043536262'	96° 3.7175528394'	0.7427258548
Regulus	11° 52.9350072323' N	96° 26.1181262008'	207° 40.8313254139'	-0.1742834352
Rigel	8° 10.9042303508' S	169° 54.6813292902'	281° 9.3945285033'	-0.8065235598
Rigil Kent.	60° 54.5137038792' S	28° 32.2575166443'	139° 46.9707158575'	0.7749661434
Sabik	15° 44.5582096773' S	350° 54.4943929509'	102° 9.207592164'	0.9692978265
Schedar	56° 37.8755288224' N	238° 22.0091975805'	349° 36.7223967936'	-0.6373635258
Shaula	37° 6.8610999737' S	345° 3.2152016627'	96° 17.9284008759'	0.9550670914
Sirius	16° 44.3973587527' S	147° 16.687604227'	258° 31.4008034401'	-0.5849853697
Spica	11° 15.0004732808' S	47° 13.756665984'	158° 28.4698651971'	0.6946740016
Suhail	43° 30.1402839366' S	111° 36.0184624071'	222° 50.7316616202'	0.0779492731
Vega	38° 48.4265973767' N	329° 22.1082678854'	80° 36.8214670986'	0.3152339393
Zuben'ubi	16° 6.6413291782' S	25° 47.8499385169'	137° 2.5631377301'	0.9046693201

Star Identification
GHA φ : 254° 15.2868007868°
t: 1° 1.330864171°W
LHA: 1° 1.330864171°
SHA: 112° 16.0440633842°
Dec: 26° 25.079457163° S
Star: Antares

圖 10. 例題三 GUI 天體識別

Produced by JavaScript®

伍、工具比較

為比較本研究所提之方法論與介面之準確性與效用性，本研究參考由 Frank Reed 所創建之網頁版航海曆(USNO web app clone)[16]與網路匿名資料(ASTRON：Integrated Astro Navigation Software)[17]作為對照工具，其性能如表 4 所示。

USNO 雖具備操作簡易的介面，但僅提供基礎航海曆資訊，尚無天體識別功能，如圖 11 所示；ASTRON 則同時提供航海曆與天體識別模組，惟其介面設計較為複雜，使用上難以操作，且於天體識別時僅顯示實際觀測天體名稱，尚未提供對應之天體參數，如圖 12 所示。除此之外，兩項工具在航海曆與定位相關數值之呈現上皆僅精確至小數點後一位，若直接應用於後續天文定位計算，恐造成定位誤差放大，進而限制其作為精密定位工具之實務價值。

表 4. 工具比較

物件	航海曆(ENA)	天體識別(SI)	位數選擇
USNO	✓		
ASTRON	✓	✓*	
本研究介面	✓	✓	✓

*ASTRON 僅提供天體識別功能，無提供天體數值。

本章沿用前章例題一中的觀測資料作為比較基準，其工具數值比較如表 5 所示。由圖表可知，本研究所開發之介面無論在操作便利性或數值精確度上，均優於上述兩項工具。此外，本研究介面可於離線環境下運作；反觀 USNO 與 ASTRON 均須依賴網際網路，而在大洋航行時往往無法取得穩定連線。因此，本研究介面在操作簡易度、高精確性與離線可用性等面向，皆展現出更佳之實務應用價值。

表 5. 工具數值比較

物件	δ	LHA	GHA	天體
USNO	38°47.9'N	—	000°01.1'	—
ASTRON - ENA	38°47.9'N	329°46.2'	000°01.2'	Vega
ASTRON - SI	—	—	—	
本研究 ENA	38°47.89110'N	329°46.18643'	000°01.18643'	Vega
本研究 SI	38°52.04068'N	329°42.73191'	359°57.73191'	

USNO web app clone

Created by [Frank Reed](#), Clockwork Mapping / [ReedNavigation.com](#). First version live: May 2004.

Body: Date: GMT/UT:
 DETAILS + AP: N W

Celestial Navigation Data

Celestial Navigation Data for 2017 Feb 25 at 8:16:02 UT									
For Assumed Position: Latitude N 45 10.0 Longitude W 30 15.0									
Object	Almanac Data				Altitude Corrections				
	GHA ° ' "	Dec ° ' "	Hc ° ' "	Zn ° ' "	Refr "	SD "	PA "	Sum "	
SUN	300 45.2	S 8 58.3	- 5 59.8	96.7	-37.4	16.2	0.1	-21.1	
MOON	316 20.1	S13 24.3	+ 1 28.1	110.8	-19.3	15.6	57.2	53.4	
JUPITER	77 57.3	S 7 23.1	+22 17.7	232.4	-2.4	0.0	0.0	-2.3	
SATURN	13 09.8	S22 05.2	+20 58.0	163.0	-2.5	0.0	0.0	-2.5	
ALIOH	85 41.8	N55 51.9	+54 13.8	307.8	-0.7	0.0	0.0	-0.7	
ALKAID	72 20.4	N49 13.5	+61 29.5	293.5	-0.5	0.0	0.0	-0.5	
ALPHECCA	45 32.5	N26 39.3	+67 48.8	218.6	-0.4	0.0	0.0	-0.4	
ALPHERAT	277 04.8	N29 11.0	+ 5 56.8	53.8	-8.4	0.0	0.0	-8.4	
ALTAIR	341 29.7	N 8 54.8	+34 41.2	115.4	-1.4	0.0	0.0	-1.4	
ANTARES	31 46.9	S26 27.9	+18 21.2	181.4	-2.9	0.0	0.0	-2.9	
ARCTURUS	65 17.0	N19 05.5	+51 02.0	239.6	-0.8	0.0	0.0	-0.8	
CAPELLA	199 54.3	N46 00.8	+ 1 38.2	352.8	-18.5	0.0	0.0	-18.5	
DENEB	328 53.8	N45 20.4	+47 54.1	66.9	-0.9	0.0	0.0	-0.9	
DENEbola	101 54.5	N14 28.5	+23 05.0	267.5	-2.3	0.0	0.0	-2.3	
DUBHE	113 11.8	N61 39.4	+41 42.1	320.9	-1.1	0.0	0.0	-1.1	
ELTANIN	10 08.9	N51 29.1	+75 16.8	57.4	-0.3	0.0	0.0	-0.3	
ENIF	313 08.6	N 9 57.2	+16 06.8	92.0	-3.4	0.0	0.0	-3.4	
GIENAH	95 13.1	S17 38.2	+ 3 58.9	239.9	-11.4	0.0	0.0	-11.4	
KAUS AUS	3 04.4	S34 22.3	+ 6 44.3	157.7	-7.6	0.0	0.0	-7.6	
KOCHAB	56 43.5	N74 04.9	+58 46.0	346.4	-0.6	0.0	0.0	-0.6	
MARKAB	292 59.8	N15 17.8	+ 5 48.6	74.1	-8.6	0.0	0.0	-8.6	
MENKENT	67 28.0	S36 27.1	+ 1 44.1	209.1	-18.1	0.0	0.0	-18.1	
MIRFAK	228 00.5	N49 55.3	+ 6 20.0	11.4	-8.0	0.0	0.0	-8.0	
NUNKI	355 19.1	S26 16.3	+11 47.7	148.4	-4.6	0.0	0.0	-4.6	
RASALHAG	15 27.9	N12 32.9	+55 02.0	154.2	-0.7	0.0	0.0	-0.7	
REGULUS	127 04.2	N11 52.8	+ 3 40.4	283.2	-12.1	0.0	0.0	-12.1	
SABIK	21 33.4	S15 44.6	+28 34.8	170.5	-1.8	0.0	0.0	-1.8	
SCHEDAR	269 01.7	N56 37.9	+23 01.9	30.7	-2.3	0.0	0.0	-2.3	
SHAULA	15 42.3	S37 06.7	+ 6 40.9	168.4	-7.7	0.0	0.0	-7.7	
SPICA	77 52.0	S11 15.0	+19 08.0	230.1	-2.8	0.0	0.0	-2.8	
VEGA	0 01.1	N38 47.9	+66 47.7	95.2	-0.4	0.0	0.0	-0.4	
ZUBENELG	56 26.2	S16 06.6	+24 16.2	207.7	-2.2	0.0	0.0	-2.2	
POLARIS	236 11.3	N89 20.4	+44 34.3	0.4	-1.0	0.0	0.0	-1.0	
ARIES	279 23.7								

Moon phase is waning, 2% illuminated.

圖 11. USNO 介面顯示

Intercepted by USNO web app clone®

ASTRON: Integrated Astro Navigation Software Home Page V25.02 17 June 2025 User Notes

Date and Time Input

Year	Month	Day	Hour	Minute	Second	Watch Corr	Time Zone	Daylight Saving
2017	02	25	08	16	02	0	0.00	None

Body Data

Body:	Magnitude	GHA of	SHA of	GHA of	Dec of
VEGA	0.0	Aries	VEGA	VEGA	VEGA
α Lyrae		279° 23.7'	080° 37.5'	000° 01.2'	N38° 47.9'

Apparent Body Position

Assumed Latitude	Assumed Longitude	Set Geolocation	Set Current Time
45 Deg	030 Deg		
10.0 M.m	15.0 M.m		
N	W		
N45° 10.0'	W030° 15.0'		

Altitude Corrections

Sextant	Index	Observer Alt	MSL Temp	MSL Press	SD	HP
Altitude (Hs)	Correction (IC)	0	Metres	Celsius	hPa	
66 Deg	(Off Arc +ve)	Eye Height (HoE)	(std 10°C)	(std 1010 hPa)	0.0'	0.0'
47.1 M.m	0.0 M.m	0.0	10	1010	0.0'	0.0'
Hs: 66° 47.1'	H1: 66° 47.1'	H2: 66° 47.1'		H3: 66° 46.7'	H4: 66° 46.7'	H5: 66° 46.7'
Dip Corr: 0.0'		Horizon: 0.0nm		Refr Corr: -0.4'		

Azimuth and Intercept

095.2° 1.0nm Away	Shore Dist (nm):	66° 48.1'
		Time Sync: OFF

Log / Plotter **Add sight?** **Planner / Sky Chart** **Time Almanac** **Day Almanac** **Settings** **Lunar Sight** **Mer. Passage**

圖 12. ASTRON 介面顯示

Intercepted by ASTRON®

陸、結論

本研究順應國際海事組織(IMO)及美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)推動航海數位化之政策方向，成功開發一套以恆星電子航海曆(ENA)為核心的網頁式天體識別(SI)介面。系統結合 JavaScript 與動態幾何代數軟體 GeoGebra 進行演算與視覺化，建立可即時運算與操作之互動式平台。研究方法係先依觀測者輸入之緯度、觀測高度(Ho)與天體方位(Zn)，計算觀測天體之赤緯(δ)與當地時角(LHA)，再轉換為直角座標，與電子航海曆中 57 顆航海恆星之資料進行向量內積比對，以內積值最接近 1 者判定為實際觀測天體(OCB)。

實證結果顯示，其內積值均極接近 1，例題一、例題二與例題三分別正確辨識為 Vega、Achernar 與 Antares，證實本研究方法具備高度精確性與可行性。相較傳統依賴紙本航海曆與星圖進行人工比對之方式，本研究開發之系統可大幅減少人為誤差、簡化操作流程，並有效提升天體識別與天文定位之效率與可靠性。

此外，本研究介面在操作便利性與數值精確度上皆優於現有 USNO 與 ASTRON 等常用工具；尤其重要的是，本介面可於離線環境下完整運作，而 USNO 與 ASTRON 均須依賴網際網路，於大洋航行時實務價值受限。因此，本研究成果不僅展現高度精度、操作簡易與可離線等優勢，亦具有作為未來天文定位輔助系統之應用潛力，對提升航海教育與實務運用均具實質貢獻。

參考文獻

1. Vasyliiev, D. and R. Ocheretny, *END OF LIFE OF NAUTICAL PAPER CHARTS*. National University "Odessa Maritime Academy", 2022: p. 52.
2. Wu, J., J. Thorne-Large, and P. Zhang, *Safety first: The risk of over-reliance on technology in navigation*. Journal of Transportation Safety & Security, 2022. **14**(7): p. 1220-1246.
3. Bowditch, N., *American Practical Navigator, 2019 Edition*. Vol. I. 2019: National Geospatial-Intelligence Agency.
4. IMO, *1978 International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping for seafarers (STCW/78/95/10)*. 2010.
5. Liubarets, I., *CELESTIAL NAVIGATION AS THE EMERGENCY GNSS BACKUP: ENHANCING NAVIGATIONAL RELIABILITY*. Scientific Journal of Gdynia Maritime University, 2024(129): p. 7-21.
6. SOLAS, *International Convention for the Safety of Life at Sea*. Consolidated ed. 2020: IMO, London, UK.
7. Meeus, J., *Astronomical Algorithms*. 1991.
8. Lawrence, J.L., *Celestial Calculations: A Gentle Introduction to Computational Astronomy*. 2019: MIT Press.
9. de Iaco Veris, A., *The Central Gravitational Force and Its Perturbations*, in *Practical Astrodynamics*. 2017, Springer. p. 323-569.
10. Chapront-Touzé, M. and J. Chapront, *The lunar ephemeris ELP 2000*. Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 124, no. 1, July 1983, p. 50-62., 1983. **124**: p. 50-62.
11. Anonymity, *Navigation Spreadsheets*. 2010.
12. Bretagnon, P. and G. Francou, *Planetary theories in rectangular and spherical variables-VSOP 87 solutions*. Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361), vol. 202, no. 1-2, Aug. 1988, p. 309-315., 1988. **202**: p. 309-315.
13. Weng, G.-Y., *Software Development on Computing the Apparent Position of Celestial Bodies for Navigation*. 2007: [Master's Degree, National Taiwan Ocean University].
14. King, C.-T., *The Novel Celestial Navigation-Using Web Mapping, Virtual Globe and Dynamical Geometry Algebra Software to Assist in Teaching*. 2024: [Doctor's Degree, National Taiwan Ocean University].
15. Fricke, W., et al., *Fifth fundamental catalogue (FK5). part 1. the basic fundamental stars*. Veroeffentlichungen des Astronomischen Rechen-Instituts Heidelberg, 1988. **32**: p. 1-106.
16. Reed, F. *USNO web app clone*. 2004; Available from: https://clockwk.com/apps/USNOclone/?OT=U&B=MS-p*-nav&D=25_Fre_2017&hrs=08_16_02&Lat=45%C2%B0_10.0_&NS=N&Lon=030%C2%B0_15.0_&EW=W&npass=5&sys=zh-TW_Win32.
17. Anonymity, *ASTRON: Integrated Astro Navigation Software*. 2025.
18. Contributors, W. *Universal Time*. 2025; Available from: In Wikipedia, the free encyclopedia. Retrieved 12 Jan from https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Time.
19. Contributors, W. *Terrestrial Time*. 2025; Available from: In Wikipedia, the free encyclopedia. Retrieved 20 Jan from https://en.wikipedia.org/wiki/Terrestrial_Time.
20. Kirk, M.S. *Polynomial Expressions for Delta T. National Aeronautics*. 2007; Available from: <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/deltatpoly.html>.
21. Contributors, W. *Julian Day*. 2025; Available from: In Wikipedia, the free encyclopedia. Retrieved 8 Feb from https://en.wikipedia.org/wiki/Julian_day.
22. Contributors, W. *Aberration (astronomy)*. 2025; Available from: In Wikipedia, the free encyclopedia. Retrieved 28 Mar from [https://en.wikipedia.org/wiki/Aberration_\(astronomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Aberration_(astronomy)).

附錄 A-時間

A1 世界時與地球時

現今全球廣泛採用的時間標準為世界時(Universal Time, UT)，是一種根據地球自轉所定義的時間尺度，用來表示地球相對於太陽的位置。具體而言， UT 是以「假想的平均太陽」在天球赤道上以均勻速度運行的概念為基礎，作為一天長度的平均參考。由於 UT 能夠反映日夜交替與地球自轉的實際情況，因此被廣泛應用於日常生活、航海導航與天文觀測等領域[18]。

地球時(Terrestrial Time, TT)為現代天文學中所採用之標準時間，由國際天文聯合會(International Astronomical Union, IAU)正式定義。 TT 是一種以國際原子時(International Atomic Time, TAI)為基礎所建立的均勻時間尺度，主要用於從地球表面進行天文觀測之時間測量所設計，廣泛應用於高精度的天文觀測與天體位置計算[19]。

世界時(UT)與地球時(TT)之間的時間差，如下所示[20]。

$$\Delta t = TT - UT \quad (A\ 1)$$

計算 Δt 是為了根據地球時(TT)推算出儒略日(JD)，進而計算出格林威治視恆星時($GAST$)，最終求出格林威治時角(GHA)。

本研究採用美國國家航空暨太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)在網站發佈的多項式來計算[20]，本研究僅列出 2005 年到 2050 年之間，公式如下：

$$\Delta t = 62.92 + 0.32217t - 0.005589t^2 \quad (A\ 2)$$

當時間介於 1986 年到 2050 年之間時，計算 t 的公式如下

$$t = year + \frac{month - 0.5}{12} - 2000 \quad (A\ 3)$$

A2 儒略日與儒略星曆日

為滿足天文觀測、計算對時間精度與連續性之需求，並能反映地球自轉週期，於 1583 年由瑟夫·斯卡利傑(Joseph Scaliger)發展出一種獨立於曆法的時間計算系統，即儒略日(Julian Day, JD)。儒略日於格里曆制下的西元前 4713 年 1 月 1 日正午 12 時開始，並以「天」為單位進行累加，其時間基準採用世界時(UT)。此系統可將任意一個曆法日期轉換為單一的連續數值，從而使天文現象的計算與分析變得更加簡潔與精確[21]。

由於世界時(UT)受地球自轉不均勻影響，導致天文計算存在時間精度不足之問題，國際天文聯合會(IAU)採用由國際原子時(TAI)所建立之地球時(TT)作為新基準，並發展出

以儒略日(*JD*)基準之儒略星曆日(Julian Ephemeris Date, *JDE*)，以確保計算不受地球自轉不規則性所造成之時間偏差影響。

本研究引用[7]所著《Astronomical Algorithms》一書中所提供之儒略日(*JD*)計算公式。該方法適用於西元前後的正負年份，但不適用於負值的儒略日。其計算過程包括將曆法日期轉換為標準格式後，依據特定數學公式推導出對應的儒略日(*JD*)數值，計算過程如下：

1. 自訂變數：

假設 *y* 代表年份，*m* 代表月份(1 表示一月、2 表示二月，以此類推至 12 表示十二月)，*dayF* 則為日期，可包含小數部分，以表示更精確的時間。

2. 設定常用函數：

a. 整數 INT(*x*)函數

此函數輸入值為實數 *x*，其功能是將數值向下取至最接近的整數，不論 *x* 為正或負，皆會取小於或等於該數值的最大整數。例如：INT(7.7) = 7，INT(-6.6) = -7，此函數構思廣泛應用於各種程式語言中。

b. 角度歸一 Wrap(*x*)函數

此函數用於將角度 *x* 限制在 0°至 360°之間，即移除其 360°的倍數，使任一角度歸一至一個完整週期內($0^\circ \leq x \leq 360^\circ$)，其定義如下：

$$\text{Wrap}(x) = 360 \left[\left(\frac{x}{360} \right) - \text{INT} \left(\frac{x}{360} \right) \right] \quad (\text{A } 4)$$

3. 月份調整：

若 $m > 12$ ，即日期在三月或之後，則年份 *y* 和月份 *m* 不需進行調整；

若 $m = 1$ 或 2 ，即日期為一月或二月，則需將年份 *y* 減去 1，並將月份 *m* 加上 12。也就是若日期落在一月或二月，則將其視為前一年中的第十三月或第十四月來處理。

4. 計算程序：

後續天體視位置之計算將依據目前通用的格里歷(Gregorian Calendar)進行，並採用世界時(*UT*)作為時間基準[7]

$$A = \text{INT}\left(\frac{y}{100}\right)$$

$$B = 2 - A + \text{INT}\left(\frac{A}{4}\right) \quad (\text{A } 5)$$

5. 儒略日(*JD*)計算：

$$JD = \text{INT}(365.25(y + 4716)) + \text{INT}(30.6001(m + 1)) + \text{dayF} + B - 1524.5 \quad (\text{A } 6)$$

式中，4716 用來處理負年份時產生問題的常數值，常用於略日轉換中。而 *dayF* 則表示當天的日期，其中包含時、分、秒，並以小數形式呈現，如下式所示[7, 11]。

$$\text{dayF} = d + \frac{(\text{hours} \times 3600) + (\text{minutes} \times 60) + (\text{seconds})}{86400} \quad (\text{A } 7)$$

儒略星曆日(*JDE*)，只需將第 2.1 節所提到之 Δt 修正值加入原有的「秒數」，即可得出結果。

$$JDE = JD + \frac{\Delta t}{86400} \quad (\text{A } 8)$$

A3 儒略世紀

儒略世紀(*Julian Century, T*)指自標準曆元 J2000.0(即西元 2000 年 1 月 1 日 12 時，地球時 *TT*)起，每經過 36,525 天所定義的一個時間單位。此參數廣泛應用於地球歲差(*Precession*)與章動(*Nutation*)模型、太陽、月亮與行星的視位置預測，以及格林威治平恆星時(*GMST*)等相關天文計算中。

如式(A 6)所示，儒略日(*JD*)的計算僅將日期轉換為連續的儒略日數，尚未納入地球歲差與章動等天文參數的修正。然而，在進行天體視位置的高精度推算時，這些因素對觀測結果具有顯著影響，必須納入考量。為此，需以標準曆元 J2000.0 為時間基準，計算該觀測時刻相對於 J2000.0 的儒略世紀數值(*T*)，做為後續歲差與章動模型套用之依據，進一步修正天體在天球上的位置變化，如下所示[7, 11]。

$$T = \frac{JD - 2451545}{36525} \quad (\text{A } 9)$$

A4 儒略千禧年

儒略千禧年(*Julian Millennia, \tau*)指自標準曆元 J2000.0(即西元 2000 年 1 月 1 日 12 時，地球時 *TT*)起，每經過 365,250 天(即 1,000 儒略年)所定義之時間單位。此參數常應用於高精度的行星視運動模型中，如 VSOP87，該模型以 τ 作為時間變數，用以描述行星軌道參數(如黃經、近日點、傾角等)隨時間之變化。

為求得天體視位置的相關參數，需先計算出標準曆元 J2000.0 起的儒略千禧年(τ)，如下所示[7, 11]。

$$\tau = \frac{JDE - 2451545.0}{365250} \quad (\text{A } 10)$$

附錄 B-歲差、章動效應與光行差之修正值

本研究根據 FK5 星表與相關線上資料，可以獲得恆星在標準曆元 J2000.0 為基準之赤經(Right Ascension, Referenced to J2000.0, α_{2000})與赤緯(Declination, Referenced to J2000.0, δ_{2000})，為推算出恆星在任一時刻精確位置，需先根據該時刻對應的儒略年份(Julian Year, τ_0)，計算出自 J2000.0 起經過的時間，再進行自行速率修正，最後再修正歲差(Precession)、章動效應(effect of nutation)與光行差(Aberration)，經修正後即可得出該時刻的赤經與赤緯座標，其計算過程如下所示[7, 11, 15]。

1 計算儒略年份

$$\tau_0 = \tau \cdot 1000 \quad (\text{B } 1)$$

2 每年自行速度(Proper Motion)修正量

$$\Delta\alpha = \left(\frac{RA_{FK5}}{100} \right) \cdot \tau_0 \quad (\text{B } 2)$$

$$\Delta\delta = \left(\frac{Dec_{FK5}}{100} \right) \cdot \tau_0 \quad (\text{B } 3)$$

3 修正自行速度後的赤經(α_0)與赤緯(δ_0)

$$\alpha_0 = \alpha_{2000} + \Delta\alpha \quad (\text{B } 4)$$

$$\delta_0 = \delta_{2000} + \Delta\delta \quad (\text{B } 5)$$

4 歲差修正

根據 IAU 於 1976 年所制定的歲差模型，歲差參數可分為三個主要角度： ζ 表示赤經方向的歲差角變化，對應於地球自轉軸在赤道平面內的旋轉運動； z 表示黃經方向的歲差角，反映地球自轉軸在黃道平面內的旋轉行為； θ 則表示黃赤交角的變化，用以描述地球自轉軸相對於黃道平面的傾斜程度隨時間的變化。本研究採用 J2000.0 標準曆元，對應三個歲差角參數表示如下[7, 11, 15]。

$$\zeta = 2306.2181'' \cdot T + 0.30188'' \cdot T^2 + 0.017998'' \cdot T^3 \quad (B\ 6)$$

$$z = 2306.2181'' \cdot T + 1.09468'' \cdot T^2 + 0.018203'' \cdot T^3 \quad (B\ 7)$$

$$\theta = 2004.3109'' \cdot T - 0.42665'' \cdot T^2 - 0.041833'' \cdot T^3 \quad (B\ 8)$$

經過自行運動與歲差修正後，即可推算出恆星在指定時刻的參數，其轉換方式如下所示[7, 11, 15]。

$$A_{prec} = \cos(\delta_0) \cdot \sin(\alpha_0 + \zeta) \quad (B\ 9)$$

$$B_{prec} = \cos(\theta) \cdot \cos(\delta_0) \cdot \sin(\alpha_0 + \zeta) - \sin(\theta) \cdot \sin(\delta_0) \quad (B\ 10)$$

$$C_{prec} = \sin(\theta) \cdot \cos(\delta_0) \cdot \cos(\alpha_0 + \zeta) + \cos(\theta) \cdot \sin(\delta_0) \quad (B\ 11)$$

考慮自行速度與歲差影響後的赤經(α_{prec})與赤緯(δ_{prec})可依下列公式計算[7, 11, 15]。

$$\alpha_{prec} = \text{atan2}(B_{prec}, A_{prec}) + z \quad (B\ 12)$$

$$\delta_{prec} = \text{asin}(C_{prec}) \quad (B\ 13)$$

5 章動效應修正

章動效應(effect of nutation)會對恆星視位置造成細微擾動，對於需要高精度的天文觀測、導航與衛星定位等應用而言，這些微小的變化不可忽略。將章動效應納入考量，可使計算出的赤經與赤緯更接近天體的實際位置，縱而提升定位精度。

由於恆星的視位置通常以天赤道座標系統表示，修正章動效應最直接方法，是將其加至恆星的黃道經度，以修正其平均位置。為進一步提升視位置計算的精度，須將黃經章動($\Delta\Psi$)與傾角章動($\Delta\varepsilon$)轉換為對應的天赤道座標修正量，即對赤經(α_{prec})與赤緯(δ_{prec})進行修正，其計算方式如下[7, 11, 15]。

$$\begin{aligned} \Delta\alpha_{nuta} = & (\cos(\varepsilon) + \sin(\varepsilon) \cdot \sin(\alpha_{prec}) \cdot \tan(\delta_{prec})) \Delta\Psi \\ & - (\cos(\alpha_{prec}) \cdot \tan(\delta_{prec})) \Delta\varepsilon \end{aligned} \quad (B\ 14)$$

$$\Delta\delta_{nuta} = (\sin(\varepsilon) \cdot \cos(\alpha_{prec})) \Delta\Psi + \sin(\alpha_{prec}) \Delta\varepsilon \quad (B\ 15)$$

6 光行差修正

光行差(Aberration)是指，由於觀測者本身具有運動速度，如地球自轉與公轉，導致觀測到的天體光線方向與其實際方向產生微小的偏差現象。此現象將使天體的觀測位置與實際位置出現差異，因此在高精度的天文計算中，必須對光行差進行修正[22]。本節所計算之光行差屬於周年光行差(Annual Aberration)，其修正公式如下所示[7, 11]。

$$\Delta\alpha_{aber} = \frac{e_{Earth} \cdot K \cdot \cos(\alpha_{prec}) \cdot \cos(\pi) \cdot \cos(\varepsilon) + \sin(\alpha_{prec}) \cdot \sin(\pi)}{\cos(\delta_{prec})} - \frac{K \cdot \cos(\alpha_{prec}) \cdot \cos(\Theta) \cdot \cos(\varepsilon) + \sin(\alpha_{prec}) \cdot \sin(\Theta)}{\cos(\delta_{prec})} \quad (B 16)$$

$$\Delta\delta_{aber} = e_{Earth} \cdot K \left[\begin{aligned} &\cos(\pi) \cdot \cos(\varepsilon) (\tan(\varepsilon) \cdot \cos(\delta_{prec}) - \sin(\alpha_{prec}) \cdot \sin(\delta_{prec})) \\ &+ \cos(\alpha_{prec}) \cdot \sin(\delta_{prec}) \cdot \sin(\pi) \end{aligned} \right] - K \left[\begin{aligned} &\cos(\Theta) \cdot \cos(\varepsilon) (\tan(\varepsilon) \cdot \cos(\delta_{prec}) - \sin(\alpha_{prec}) \cdot \sin(\delta_{prec})) \\ &+ \cos(\alpha_{prec}) \cdot \sin(\delta_{prec}) \cdot \sin(\Theta) \end{aligned} \right] \quad (B 17)$$

式中， K ：光行差常數(Aberration Constant)，反應地球公轉速度相對於光速所造成的最大角度偏移量，其值約為 20.49552 角秒。