航 海 學

天

文

部

航 海 學

天文部目錄

第六編

第七編

第八編

Altitude of Moon)。 題解。 恆星位處(Stars Positions)。 恆星到子午線之時(Time of Star's Meridian Passage)。 測恆星在子午線時之高度，以求緯度(Latitude by Meridian Altitude of Star)。 題解。行星(Planets)。 行星到子午線之時 (Time of Planet's Meridian Passage)。 測行星到子午線時之高度。以求緯度(Latitude by Meridian Altitude of Planet)。 題解。 練習題。

第九編

船錶差與差率(Error and Rate of Chronometer) 用報時球以尋船錶差 (Error of Chronometer by Comparison with Time Ball)。 測天象之時角，以求船錶差(Error of Chronometer by Hour Angle of Heavenly Body)。題解。用船錶測求經度 (Longitude by Chronometer)。 題解。 練習題。

第十編

用天象時角,以求其真向,與羅經差(Compass Error by Time Azimuth)。 題解。 測天象高度以求其真向與羅經差 (Compass Error by Altitude Azimuth)。

題解。 測天象出沒方向,以求羅經差(Compass Error by Amplitude)。 題解。 日出與日沒之時(Time of Sunrise and Sunset)。晝與夜之時間(Duration of Day and Night)。 微光之時間(Duration of Twilight)。各題解。 練習題。

第十一編

測天象在極下子午線時之高度,以求緯度 (Latitude by Meridian Altitude below Pole)。 題解。 恆星到極下子午線之時(Time of Star's Lower Meridian Passage)。 測北極星之高度,以求緯度(Latitude bp Altitude of Polaris)。題解。 測天象行近子午線時之高度,以求緯度(Latitude by Ex-Meridian Altitude)。各種校數表(Correction Tables)。 題解。 練習題。

第十二編

蘿謨涅氏之原理(Sumner Problem)。位點線(Line of Position)。 測兩次天象高度,以求緯度與經度(Latitude and Longitude by Double Altitudes)。題解。 練習題。

第十三編

月面之盈虧 (The Moon's Phases)。 潮汐之漲落 (Rising and Falling of Water)。 大潮與小潮(Spring and Neap Tides)。 求某地某日潮漲之時 (Finding the Time of Tides at any Place)。

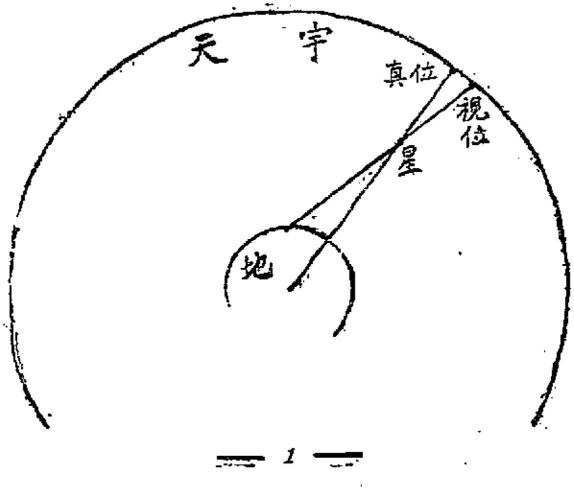
航海學天文部

第六編

定　義

航用天文(Nantical Astronomy)乃觀測天象之高弧度，與其方向，以求測者所在地之經緯度，暨羅經差，船錶差等之學術。

天宇卽天球(Celestial Concave)乃一幻想廣大無窮之圓球。假定地球爲其中心，而宇內萬象皆在其凹面行動也。古謂上蒼者天，實則宇內除日月星外，空無所有，天卽空也。吾人所見數萬里青蒼，形同圓蓋者，僅係地面空氣，受日光而返照耳。



天象(Heavenly Bodies) 卽日月星之統稱。別之,有本體能自發光者,爲太陽,爲恆星,有受光於他星而返射者,爲行星與行星之衛星,以及無數之隕星。據天文家之推測,謂太空之間,在太古時,爲一高熱之氣體。有如汽霧,散漫天際,厥後高熱漸冷,凝縮而成天象。

天象眞位(True Place of Heavenly Body) 乃由地心,設畫一直線穿過該象中心,而伸至天宇之點。

天象視位(Apparent Place of Heavenly Body)乃測者所視該象中心,現像於天宇之點。

天軸(Axis of Heavens)卽地軸之延長,而至天球也。按此卽爲天球假定每日自東而西旋轉之樞軸。

天極(Poles of Heavens)乃天軸之兩端,爲南北二極。

天球赤道(Equinoctial or Celestial Equator)乃地球赤道之平面擴伸截割天球之大圈。

天球子午線(Celestial Meridian)乃通過測者天頂與天球二極之大圈。(詳後圖)

地球軌道(Earth's Orbit)爲地球每年繞日循行一週之橢圓。

天球黃道（Ecliptic）乃地球軌道之平面擴伸截割天球之大圈。按此卽爲太陽假定每年繞地球循行一週之大圈。

黃赤大距(Obliquity of Ecliptic)卽黃道與赤道互交之角。約23度27分。

春秋二分點(Equinoctial Points)卽黃道與赤道互割之二點。

春分點(First Point of Aries) 爲太陽在黃道上，自南而北，行經赤道時之點。時卽春分，約在三月念一日。

秋分點(First Point of Libra)爲太陽在黃道上，自北而南，行經赤道時之點。時卽秋分，約在九月念三日。

夏冬二至點(Solstitial Points)乃黃道距赤道最遠之二點，太陽在北緯最高時曰夏至，約在六月念二日，在南緯最高時曰冬至，約在十二月念一日。

地平天涯(Sensible Horizon) 乃測者所在地之平面與天球交割之圈。

真天涯(Rational Horizon)乃穿過地心，而與地平面平行之面，截割天球之大圈。

茲因天球廣大無窮，以上兩圈。雖相隔四千哩，在天球

上,可謂符合爲一。

視天涯 (Visible Horizon) 乃測者視線接觸地面。或伸至天球，所成之圈。此卽吾人所見天地相連之線也。按測者眼升愈高,此圈愈低而愈大。

天頂(Zenith) 乃測者天涯之上極，卽測者之垂直線上伸至天球之點。

高度圈(Circles of Altitude)乃穿過天頂之各大圈。按該圈各與天涯線交成直角。

天涯平行圈(Parallels of Altitude) 乃與天涯線平行之各小圈。

微光圈(Twilight Parallel)爲真天涯下18度之平行圈。

北點與南點(North and South Points) 卽天球子午線與真天涯互交之兩點。

東點與西點(East and West Points) 乃與子午線交成直角之高度圈,割在真天涯之兩點。

天象高度(Altitude of Heavenly Body)乃介於該象與真天涯間之高度弧。

天象頂距(Zenith Distance of Heavenly Body) 乃介於該象與天頂間之高度弧。按頂距卽高度之餘角。

天緯圈(Circles of Declination)乃穿過天球二極之各大圈。

天赤平行圈 (Parallels of Declination) 乃與天球赤道平行之各小圈。

天象經度(Right Ascension of Heavenly Body) 乃介於春分點與穿過該象之天緯圈間之天赤弧。該經度應由春分點向東,自零時而計及24時也。

天象緯度 (Declination of Heavenly Body) 乃介於該象與天赤間之天緯弧。

天象極距(Polar Distance of Heavenly Body)爲天極與該象間之天緯弧。按此卽天緯之餘弧。

極角(Polar Angle)乃任何兩緯圈互交在天極之角。按此卽兩天象時角之差。其相對之弧。亦卽兩天象經度之差。

天象時角(Hour Angle of Heavenly Body) 乃測者子午線與穿過該象之緯圈互交在天極之角。該角應由極上子午線向西,自零時而計至24時也。

均日(Mean Sun)乃一幻想天象, 假定以平均速率。每年繞行赤道一週,而代真日同時繞行黃道也。蓋因地

球在黃道上行動，快慢不一，有如真日繞行速率不均。且時角應以赤道弧為準。倘將黃道弧移在赤道弧上，長短亦不一致。故若以真日而計時間。每日每時長短俱各不同，是以假定該象以代真日耳。

均午(Mean Noon) 乃均日轉到測者極上子午線之頃，按均午卽時計所指之日間12時也。

真午(Apparent Noon)乃真日中心轉到測者極上子午線之頃，按真午卽用日規所測之午時也。

常用時(Civil Time) 係每日分作兩時間，上午與下午，各12時，每日俱從子時起算。

天文時(Astronomical Time)係每日24時，1925年之前，俱從午時起算，今則亦由子時起算。

均時(Mean Time)乃均日之時角十12時。

真時(Apparent Time)乃真日之時角十12時。

(註)以上兩時角，加12時後，倘多過24時，卽減此24時，以得當日之均時，或真時。

時較(Equation of Time) 乃真時與均時之較。按此卽穿過真日與均日之兩緯圈互交之角。

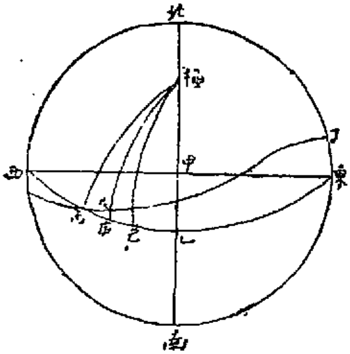
春點午 (Sidereal Noon) 乃春分點轉到測者極上子午

線之頂。卽星時計(Star Clock)所指之零時。

春點時(Sidereal Time)爲春分點之時角。卽星時計所指之時。

天文定義圖解

第一圖



設甲爲測者之天頂，東南西北爲其真天涯。設極爲天極，西乙東爲天球赤道，丙丁爲黃道，丙爲黃赤相交之點，卽春分點。北甲南卽測者之子午線也。

今設戊爲真日在黃道上，已爲該日連帶之均日在赤道上，極丙，極庚，極已爲穿過丙，戊，已之天緯圈，則

丙庚乃真日之經度	已極戊乃真時與均時之較
丙已乃均日之經度	丁丙東乃黃道大距
丙乙乃子午線之經	乙極丙乃測者地位之春點時
庚戊乃真日之緯度	乙極戊＋12時乃測者地位之真時
極戊乃真日之極距	乙極已＋12時乃測者地位之均時

乙極戊乃真日之時角　　甲乙乃測者地位之緯度

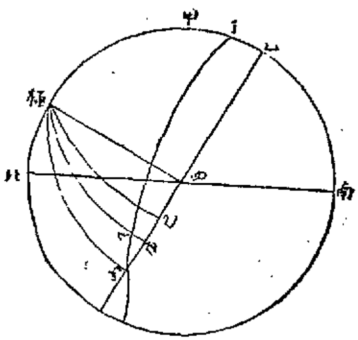
乙極已乃均日之時角　極甲南乃測者極上子午線之弧

極北南乃測者極下子午線之弧

極北弧＝甲乙弧

卽天極之高度＝測者之緯度

第　二　圖



設甲爲測者之天頂，北西南爲其真天涯，設極爲北極，丙西乙爲赤道，丙戊丁爲黃道，甲極北南丁卽其子午線也。今仍設戊爲真日，餘與上同。則丙庚乃真日之經度，其餘亦與上圖皆同。

天象真向(Azimuth of Heavenly Body)乃介於北點或南點與穿過該象之高度圈間之天涯弧。按該向自北點或南點，向東或向西，由零度而計至180度。

天象出沒向(Amplitude of Heavenly Body)乃該象在真天涯時，與東點或西點相距之弧。按該向自東點或西點，向北或向南，由零度而計至90度。

仰角（Angle of Elevation）乃測者仰視物象之視線與地平面互交之角。

俯角(Angle of Depression)乃測者俯視物象之視線與地平面互交之角。

眼高差(Dip)乃測者視天涯之俯角。按測者眼距地面愈高，此差愈大。

半徑差（Semidiameter）乃所測天象圓邊之高度，改為該象中心之高度，應行加減之差。若所測者為下邊(Lower Limb)須加此差，若為上邊(Upper Limb)則須減之。

折光差(Refraction)乃天象光線經過空氣，折曲而入眼簾之視線，與眼對該象之直線，互交之角。按因光線之曲折，致所見天象之位，較高於其本位，故所測之高度必須減去此差也。

視位差(Parallax)乃由天象至地球中心之直線，與由該象至測者眼中之直線，互交之角。天象在天涯時此角最大，在天頂時卽無之。按在地面所測之高度，須加此視位差，方為設在地心所測之高度。

初測高度(Observed Altitude)乃用六分儀（Sextant)

（詳後）由視天涯所測之高度。

現像高度（Apparent Altitude）乃初測高度減眼高差並或加或減以器差與半徑差也。

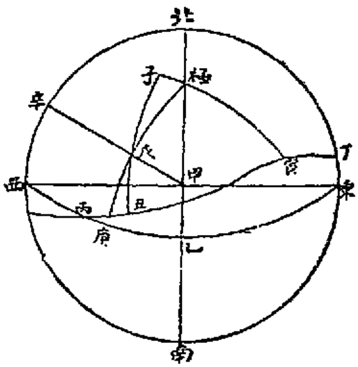
真高度（True Altitude）乃現像高度減去折光差而加以視位差也。

黃道緯圈（Circles of Celestial Latitude）乃穿過黃道兩極之各大圈。

天象黃緯（Celestial Latitude）係介於黃道與該象間之黃緯圈弧。該弧由黃道，向北或向南，自零度而計至90度。

天象黃經（Celestial Longitude）係介於春分點，與穿過該象之黃緯圈間之黃道弧。該弧應由春分點向東，自零度而計至360度。

第　三　圖



如第一圖，設甲爲測者之天頂，餘亦皆同。

今設子爲黃道之極，子極寅爲穿過黃赤兩極之大

圈弧，與黃道互交在寅點。

再設戊爲任何天象，甲戊辛爲穿過該象之高度圈，極戊庚爲天緯圈，子戊丑爲黃道緯圈，則

丙庚乃該象之天經　　戊丑乃該象之黃緯

戊庚乃該象之天緯　　子戊乃該象之黃道餘緯

極戊乃該象之極距　　丙丑乃該象之黃經

甲極戊乃該象之時角　寅點乃黃道上之夏至點

極甲戊乃該象之真向　丙乙乃子午線之天經

辛戊乃該象之高度　　　即測象時之春點時

甲戊乃該象之頂距

格林時(Greenwich Time) 係當測象之頃格林尼區地方之天文時。按格林尼區爲英京天文台所在地，吾人所用航海日歷，皆由該台預測刊行，故凡測象之本地時，均須改爲格林時。

均週日(Mean Solar Day) 乃均日經過同一子午線，接連兩次間之時期此即24時。

真週日(Apparent Solar Day)乃真日經過同一子午線，接連兩次間之時期，每日長短不一。

星週日(Sidereal Day)乃春分點經過同一子午線，接連

兩次間之時期,此爲23時56分4.09秒。

太陽年(Solar Year)乃太陽經過春分點,接連兩次間之時期,即繞行黃道359度59分9.78秒之時期。計共365日5時48分47.808秒。

星週年(Sidereal Year)乃太陽經過黃道上任何定點,接連兩次間之時期,即繞行黃道一週之時期,計共365日6時9分10.71秒。按春秋二分點,在黃道上,每年退後50.22秒弧,故太陽年較星週年稍短。

陰歷月(Synodic Month)乃新月接連兩次間之時期,即日月地三球,同在一向,接連兩次間之時期,計爲29日12時44分2.84秒。

星週月(Sidereal Month)乃月球在軌道上,繞行一週之時期,計爲27日7時43分11.54秒。

陽歷月(Calendar Month)乃各國公認强定之時期,爲31日,或30日,或28日。

第七編

儀器

航用天文應用各種儀器如下:

(1)六分儀亦稱紀限儀(Sextant)

(2)人造地平(Artificial Horizon)

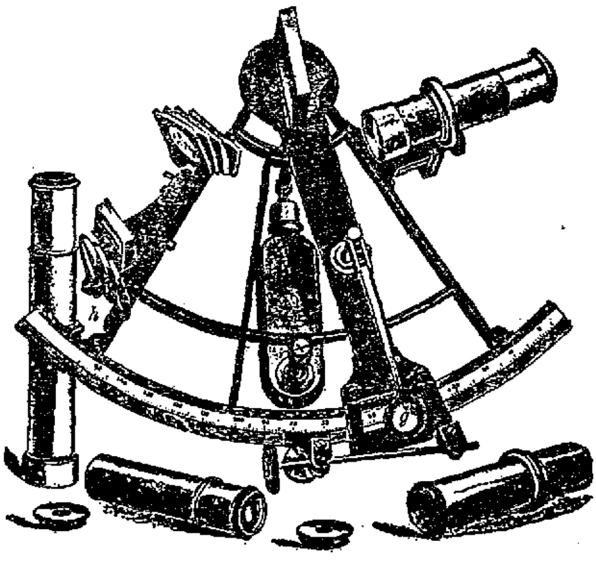
(3)計時儀卽船錶(Chronometer)

(4)測向羅經(Azimuth Compass)

六分儀

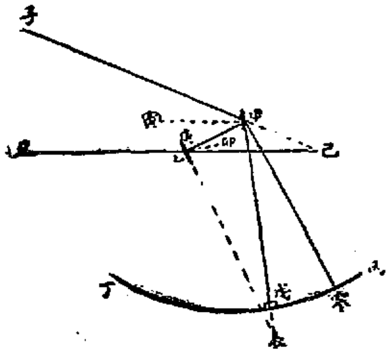
六分儀乃量角度之器，卽量測者視線所到任何兩點交成之角。航海者用之以測天象之高度。

該儀可量最大之角，爲120度，卽二倍於圜週之六分之一，故名六分儀。



是儀之要部列下。(1)指鏡卽活動迴光鏡，此乃一平面方鏡，鑲諸半徑桿之上，旋轉於儀之中心。(2)定鏡或曰天涯鏡，亦一平面方鏡，惟水銀祇蓋其半截。(3)望遠鏡，裝諸儀面頸圈之內。(4)游尺亦稱毫釐尺，緊接於儀之下邊分度弧上。(5)夾緊螺旋，與微動螺旋。(6)顯微鏡。(7)遮光各色玻璃。

六分儀之用法。如欲測量任何兩點之角，應以右手執此儀後之把柄。將儀之平面對於該兩點。先望右點以及其像。後漸轉動此儀，而向左點。同時以左手緩動游尺使右點之像移在左點之上。卽夾緊游尺。是尺所指弧上之度數卽該兩點對測者眼中之角。



如圖。甲爲指鏡，乙爲定鏡，丙丁爲儀弧，戊爲游尺。已爲望遠鏡。

若測天象之高度，須將此儀之平面垂直而執，設子爲天象，丑爲天涯線上該象

直下之點。如將定鏡逕向丑點而望，見子點之像在丑點之上，則子己丑角卽所求之高度。蓋子之光線射至甲鏡，卽返照于乙鏡之上。按光學理射角子甲寅＝返角寅甲乙。今若將指鏡桿在儀弧上緩移至戊點，俟該囘光甲乙復行返照于測者眼中，如乙己線。其射角甲乙卯＝返角卯乙己。是以子之光線映至測者眼中，疊似逕由丑點而來。實則測者見子之像，與丑點互合爲一也。

今特證明子己丑角，應二倍于甲乙兩鏡伸長互交之角，卽二倍于甲辰乙角。此角卽等于該游尺由零點移至戊點之度數也。

（註）游尺在零點時，指鏡與定鏡應互相平行。

如上圖$\frac{1}{2}$子己丑角＝$\frac{1}{2}$(子甲乙－甲乙己)＝寅甲乙－甲乙卯＝(90°－乙甲辰)－(90°－甲乙庚)＝甲乙庚－乙甲辰＝甲辰乙角。則是子己丑角＝2×甲辰乙角

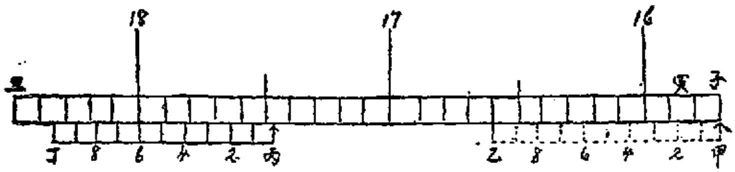
＝2×零戊之弧度

是以若將此儀弧刻畫度數，準確二倍于其應有之弧度，該度數卽爲測者所量之角如子己丑是也。

游尺(Vernier)

六分儀暨測量儀等俱附有游尺，以便指示弧度之精細分秒確數。

游尺之用法與原理如下。



設子丑爲儀弧之任何一部，甲乙爲其游尺，在此位置，以示弧中之九小分，等於游尺中之十小分也。今若將該游尺移至丙丁之位，其指標(↑)介於17.4與17.5之間，如欲知其確數，則祗視尺內之第幾分線，與弧內之任何分線，互相連接即是，如圖，尺之第六分線，與弧之分線符合，是以知指標之確數爲17.46。

今設弧中每小分之長爲寅，又設游尺劃分小段之數爲戊(如圖即10)。

則游尺戊段之長＝弧上(戊－1)段之長＝(戊－1)×寅

是游尺每段之長＝$\frac{戊-1}{戊}$×寅

故弧與尺每小分之差$=寅-\frac{戊-1}{戊}\times寅-\frac{1}{戊}\times寅$

此卽該儀之最小示數也。

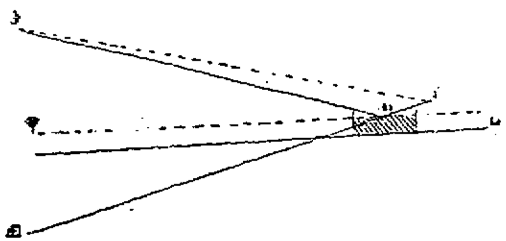
例如上圖，寅卽.1，戊卽10，最小示數乃.01故該弧指數爲$17.4+6\times.01=17.46$。

又如吾人所用之六分儀，寅係10分，戊係60，其最小示數乃$\frac{1}{戊}\times寅=\frac{1}{60}\times10分=10秒$。

人造地平

當測者未能見及天涯時，如欲測量天象之高度須用人造地平，此地平係一長方鉄盤，中盛水銀上面蓋以玻璃，以防風吹搖動。

人造地平乃根據光學原理，卽光線之射角等於返角，並光線與返光線同在一平面也。



如圖，甲乙爲水銀之擴充平面。設子爲太陽，丁爲測者之眼。由水銀盤丙點見太陽之像在丑點。此點距甲乙若干，應與子點相等，今知子丁與子丙約長93,000,000

哩,丙丁僅3或4尺,是以子丁與子丙兩線實可合作一線也。

今用六分儀測得子丁丑角 = 子丙丑角 = 2× 子丙甲角 = 2× 子之高度。

是故如用人造地平,測量天象之高度,先加減器差,後再以2除之,卽得該象由地平天涯所測之高度也。

計時儀卽船錶

計時儀乃一最優時錶,指示格林均時,遍行各地,以便測計經度弧之用。

該錶之每日差率,無論寒暑愈小愈準爲貴。

船錶差係任何一地之均時,與該錶所指之時頃之差。此差稱速稱慢,乃視錶時較大或較小于該地之均時。

差率係船錶差每日遞加或遞減之秒數,此數如稱曰進,則船錶差之速者加多,慢者減少,如稱曰退,則船錶差之速者減少,慢者加多。

經度與時之關係

吾人已知地球自西而東,繞軸旋轉一週,需24時,卽360度經線,越過太陽而週行者,需24時。

故1度經線,越過太陽而週行者,需4分時。

1分經線,越過太陽而週行者,需4秒時。

1秒經線,越過太陽而週行者,需$\frac{1}{15}$秒時。

是以格林之東各地,越過太陽之時,較早于格林。如在東經1度,其真午較格林之真午早4分時。

如在西經1度,其真午較格林之真午遲4分時。

由此觀之,如已知本地之準時,卽可測計格林之準時其法如下。——先將測者之經度乘4,再以60除之,是爲經時,若該地在格林之東,則將本地時減去經時在西則加之。

例題一　設知本地真時爲某月3日下午4時15分16秒。其經度係135度15分40秒東,求格林真時。

經度＝135度15分40秒
　　　　　　　　　　4
6,0)541　2　40
　　　9時　1分2.7秒

本地時＝3日16時15分16秒(天文時)

東經＝　－　9　1　3

格林時＝3日　7時14分13秒

例題二　今知本地均時爲5月31日下午11時,其經度爲65度13分西,求格林均時。

經度＝ 65度13分 0秒

$$\begin{array}{r} 65度\ 13分\ 0秒 \\ \times\ 4 \\ \hline 6,0)\ 26,0\ \ 52\ \ \ 0 \\ \hline 4時20分52秒 \end{array}$$

本地時＝5月31日23時 0分 0秒(天文時)

西經＝　　＋　4　20　52

格林時＝5月31日27時20分52秒

＝6月 1日 3時20分52秒

六分儀器差 (Index Error)

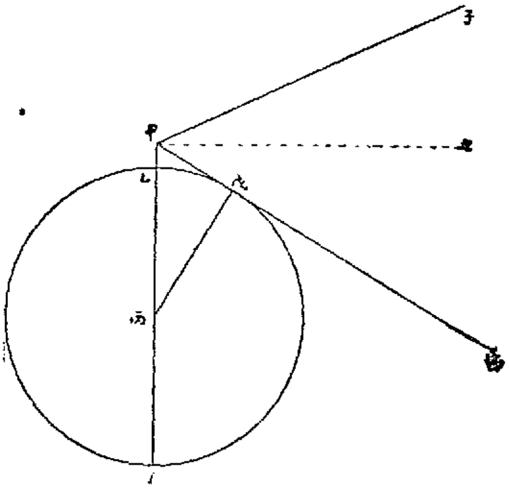
當該游尺之指線(个)移在弧之零度時，儀之定鏡與指鏡應必平行。如欲試驗之，先將該指線準對零度，隨將螺旋夾緊，後由定鏡遙望天涯線，倘此線與其像成一直線，則無器差。惟六分儀俱有此差，不妨聽之，但須時常尋其確數若干。以便測量時併入計算。

測尋器差之法有二(一)由定鏡遠望天涯線，隨將游尺移近零度，徐徐進退俟天涯線與其像成一直線，卽將螺旋夾住，後視該指線示何分秒，卽為器差。該指線若在零度之右，此差曰加，若在其左卽曰減。(二)此法較便，可常用之，卽由定鏡，外加遮光玻璃，逕向太陽而望，亦將游尺漸移近于零度，使太陽與其像兩邊

互切，隨卽夾緊游尺，視其指數幾何，記載簿上。後卽放鬆螺旋，再對太陽而望，漸移游尺，使太陽之像移至對邊互切。亦視其指數幾何，將此兩數相減再以2除之，卽得此儀之器差。指數在零度之右大者爲加，小者爲減。

眼高差(Dip)

設甲爲測者之眼，其高爲甲乙，甲丑爲視平線，今由甲點畫一甲寅直線與地球互切于戊點，此點卽在視天涯也。



今設子爲天象，乙丙丁爲地徑，計長7920哩。

則子甲丑角等於現像高度，子甲寅角爲初測高度，丑甲寅角卽眼高差。

是甲丙戊角＝90度－寅甲丙角＝丑甲寅角＝眼高差。

故眼高差之正切＝$\frac{甲戊}{丙戊}=\sqrt{\frac{甲丁\times甲乙}{丙戊^2}}=$

$\sqrt{\frac{(乙丁+甲乙)\times甲乙}{丙戊^2}}=\sqrt{\frac{2\times丙戊\times甲乙+甲乙^2}{丙戊^2}}$ 因 $\frac{甲乙^2}{丙戊^2}$

爲數極微,儘可删去.故眼高差之正切＝$\sqrt{\frac{2\times甲乙}{丙戊}}=$

$\sqrt{\frac{2\times眼高}{地球半徑}}$

茲因眼高差俱係甚小之角,故其正切可與其弧量(Circular Measure)相等。

卽眼高差之正切＝$\frac{眼高差之分數}{60}\times\frac{\pi}{180}$

是以眼高差之分數＝$60\times\frac{180}{\pi}\times\sqrt{\frac{2\times眼高尺數}{3960\times5280}}=1.063$

$\sqrt{眼高尺數}$

但因折光差之關係,令測者覺得視天涯略高,故須減去

$\frac{3}{40}\sqrt{眼高}$

則是眼高差之分數＝$(1.063-.075)\sqrt{眼高尺數}=.988$

$\sqrt{眼高尺數}$

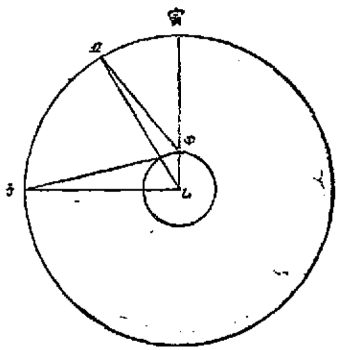
航海表內所載之眼高差,卽以上列公式計之。

半徑差(Seme-diameter)

航海日歷所載之日球與月球之半徑差,係指該象在天涯時,其半徑對于測者眼中之角。

該差逐日不同,緣天象距地遠近隨時漸異。例如一月地球距日最近,七月最遠。故日之半徑差,一月較大于七月也。

惟半徑差之不同,倘有一因,詳如下圖。



設甲爲測者之眼,乙爲地之中心。

設子爲天象在測者之天涯,丑卽該象在任何高度,寅卽該象在測者之天頂。

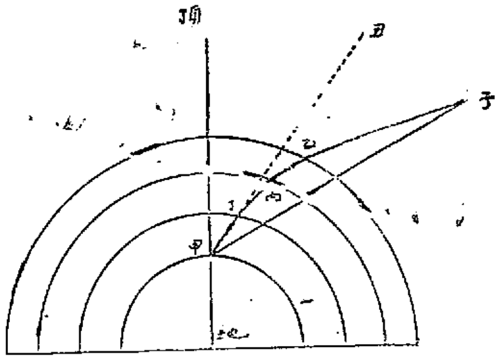
按形學理　甲子>甲丑>甲寅,是天象在天涯時最遠,漸升漸近,至天頂時最近。

故航海日曆所載之半徑差,係指在天涯時最小之角,須按該象高度多少增加若干,方得確數。

太陽與地之距離,較諸地球之半徑,約有2萬餘倍,該差之增減極微,勿庸計及,惟月球之距離,祇60倍于地球之半徑,故半徑差應增之分數卽(Augmentation)應須照加。此數載在航海表中,與月球之高度並列焉。

折光差(Refraction)

設地球之面,空無所有，天象之光線直入吾人眼中，則所見之象卽其真位置也。惟是地面全爲空氣所包圍,最近地面者,每一方吋，有十四磅之壓力,由地上升,逐漸稀薄,約至八十哩而止。按物理學，凡光線通過兩層輕重不同透光物質者，其線必折,例如吾人斜視水底之物;覺似此物離其本位，卽緣水與空氣輕重大異耳。是以天象之光線射入空氣,由稀薄而至濃厚，逐漸曲折如圖。



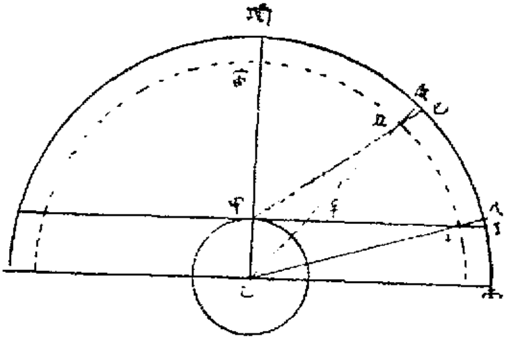
設甲爲測者之眼,甲丁,丁丙,丙乙爲三層輕重不同之空氣。設子爲天象,子乙卽其光線。

該光線射至乙點,卽折如乙丙，及至丙點,又折如丙丁,迨至丁點復折如丁甲,此卽射入測者眼中之光線。故測者覺似甲丁丑爲該象之光線，丑爲該象之位置也。

圖中祇畫三層空氣爲例，實則輕重不同之空氣無數多層,而曲折各線成一弧形，此弧在甲點之切線與子甲直線互交之角，如子甲丑,卽爲折光差。此差隨該象之高度而異。在天涯時最大,漸高漸小。該差之分數與高度之度數，並列於航海表內,任何天象，皆可適用。

視位差(Parallax)

如圖，設甲爲測者之眼，乙爲地心，子丑寅爲天象之每日週行圈，子卽該象在地平天涯時,丑在高度時，寅在天項時各點。乙丙爲真天涯,丙巳項爲天宇。



測者自甲點視子象,覺其在天宇丁點，惟設測者自乙點而視該象,卽覺其在戊點。故丁戊弧或丁子戊角卽甲子乙角爲天涯視位差。由此而推,則巳庚弧或甲丑乙

角卽高度視位差。惟該象在天頂時，無此差也。

今因丑象之眞高度，係丙庚弧或丑乙丙角＝丑辛丁角
＝丑甲丁角＋甲丑乙角。

但丑甲丁角卽己丁弧，乃現像高度，而甲丑乙角乃高度視位差。

故眞高度＝現像高度＋高度視位差。

今特證明高度視位差＝天涯視位差×高度之餘弦。如上圖，在甲乙丑三角中，$\frac{\text{甲乙}}{\text{乙丑}}=\frac{\text{甲丑乙正弦}}{\text{丑甲乙正弦}}$故$\frac{\text{甲乙}}{\text{子乙}}=\frac{\text{甲丑乙正弦}}{\text{丑甲頂正弦}}$卽甲子乙正弦＝$\frac{\text{甲丑乙正弦}}{\text{己甲頂正弦}}$此卽天涯視位差之正弦＝$\frac{\text{高度視位差之正弦}}{\text{該象頂距之正弦}}$

惟因各視位差俱係極小弧度，按三角學理，則天涯視位差之正弦＝天涯視位差之分數×1分之正弦

高度視位差之正弦＝高度視位差之分數×1分之正弦

是以高度視位差＝天涯視位差×頂距之正弦

＝ ,, ,, ,, ,, ×高度之餘弦

太陽之天涯視位差，約僅8.85秒，航海表所列之高度視位差，卽將此數乘以0度，6度，12度，16度，20度等等之餘弦，至於星象之視位差，爲數至微，儘可勿庸計

之。

惟月象因繞地週行，距離時異，故其視位差，變更甚速，航海日歷將其每日始時之天涯視位差，詳列表內。但用時須計及測象時間，該差應行加減若干，後再用此天涯視位差，由航海表內：尋覓月之高度視位差也。

練習題

1.將下列常用時改爲天文時。

(1)8月31日上午5時17分。　答同日5時17分。

(2)12月1日下午11時59分。　答同日23時59分。

2.將下列度數改爲時分秒。

(1)84度42分30秒。　答5時38分50秒。

(2)108度24分22秒。　答7時13分37.4秒。

(3)178度48分45秒。　答11時55分15秒。

3.將下列時數改爲度分秒。

(1)3時52分4秒。　答58度1分0秒。

(2)0時1分2秒。　答0度15分30秒。

(3)15時17分18.4秒。　答229度19分36秒。

4.將下列本地時改爲格林天文時。

	月	日		時	分		度	分		月	日	時	分
(1)	3	7,	上午	3	15,	在東經	15	45。	答	3	7	2	12。
(2)	5	15,	下午	10	35,	在東經	43	5。	答	5	15	19	43。
(3)	6	12,	上午	4	30,	在西經	45	50。	答	6	12	7	33。
(4)	7	1,	上午	5	16,	在東經	90	35。	答	6	30	23	14。
(5)	9	30,	下午	10	25,	在西經	150	15。	答	10	1	8	26。

第八編

測太陽真午高度,以求所在地之緯度

(Latitude by Meridian Altitude of Sun)

設東南西北爲真天涯,東乙西爲天球赤道,甲爲測者之天頂。

先設太陽在子午線時爲子點,其緯度在南,測者在北,即言天緯與地緯名稱各異也。

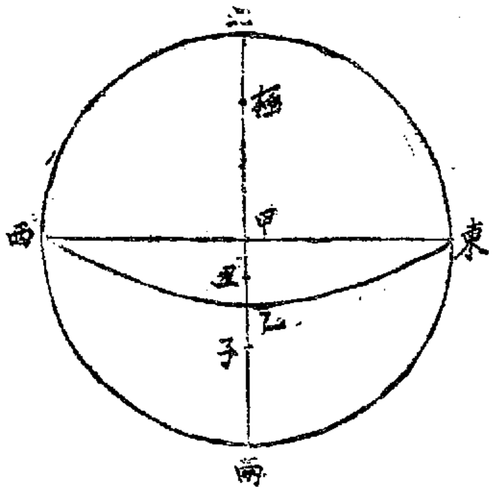
如圖,地緯＝甲乙弧＝甲子－乙子＝項距－天緯。

再設太陽在子午線時爲丑點,即天緯與地緯名稱相同。

則地緯＝甲乙＝甲丑＋丑乙＝項距＋天緯。

是故天象在子午線時,如其緯度與其項距,名稱互同,二者相加卽得測者所在地之緯度,否則以大減小耳。

(註)項距曰北即測者天項在該象之北也。



今設題解二則如下，一用天涯，一用人造地平，所測太陽正午高度，以求地緯。

例題一　1928年,10月3日,在西經41度10分，測得太陽下邊之正午高度爲43度10分15秒,項距在北，器差減3分10秒,眼高22呎,求測者之緯度。

	月	日	時	分
本地時	10	3	12	0
經時	+		2	44.7
格林時	10	3	14	44.7

西經41度10分
4
6)16.4 40
2時44.7分

太陽緯4度0.1分南
\+ .8
4 0 9 南

測高度	43度	10分	15秒
器差－		3	10
	43	7	5
眼高差－		4	37
	43	2	28
半徑差＋		16	1
現像高度	43	18	29
折光併視差－		0	55
眞高度	43	17	34
太陽頂距	46	42	26北
太陽天緯	4	6	54南
故地緯＝	42	41	32北

例題二　1928年2月28日，在東經61度40分，用人造地平測得太陽下邊之正午高度為100度40分，頂距在南，器差減3分20秒，求測者之緯度。

	月	日	時	分
本地時	2	28	12	0
	−		4	6.7
格林時	2	28	7	53.3

東經61度40分
4
6.0)24.6 40
4時6.7分

太陽緯8度25.1分南
− 1.8
8 23.3 南

	度	分	秒
測高度	100	40	0
器差−		3	20
2)	100	36	40
	50	18	20
半徑差 +		16	10
現像高度	50	34	30
折光−視差 −		0	42
真高度	50	33	48
頂距	39	26	12南
天緯	8	23	18
故地緯＝	47	49	30南

（注意）凡測太陽在子午線時之高度，應在真午之頃，即鐘表所示之本地均午，加減以當日之時較，惟測者須于數分鐘前，備便守候耳。

若用視天涯以測太陽，前編已言，由定鏡遙望太陽。隨將其像緩移直下，俟其週之下邊，切在天涯線而止。惟須將六分儀略為搖擺，方知該點確在太陽垂直之下。後則瞭望，如太陽之中心，尚未至子午線。該像與天涯線必漸分離，測者須將游尺輕移前進，使像與線

仍相摩切。候該像正將沉下天涯線之頃，速將螺旋夾緊。此時儀弧所示之度數，卽爲所求之初測高度也。

若用人造天涯，以代水天相連之線，仍如上節所言，將太陽之像。緩移直下，俟其週之下邊，與水銀反映日像之顚倒下邊相切，務須牢記，測時若在上午，兩像下邊相切者，則漸連合。測時若在下午則反是。

六分儀如裝望遠長鏡，以測天象，較爲明顯，惟用此鏡頗難熟識，初學者可勿用之。

如用遮光玻璃，以測太陽，亦須用此玻璃以驗該儀之器差，以防該差或有不同也。

航海時，艦上鐘表應示眞時，而非均時，每日宜於太陽經子午線時，卽將該表撥指12時也。

測月球在子午線時之高度，以求所在地之緯度。

(Latitude by Meridian Altitude of Moon)

按此章原理，與上章所詳測太陽眞午高度，以求地緯之原理相同。

法則

(1) 求月球到測者之子午線時之格林時(詳下)

(2) 由航海日歷 計當該格林時，月之天緯若干。

(3) 由航海日曆，計當該格林時，月之半徑差與天涯視差。

(4) 由航海表，加增此半徑差，並減小此天涯視差。

(5) 將初測高度，改爲現像高度，後由航海表，加以高度視差減去折光差，卽得眞高度與頂距。

(6) 將頂距加減以月之天緯，卽得所求之地緯。

第一法則之詳解

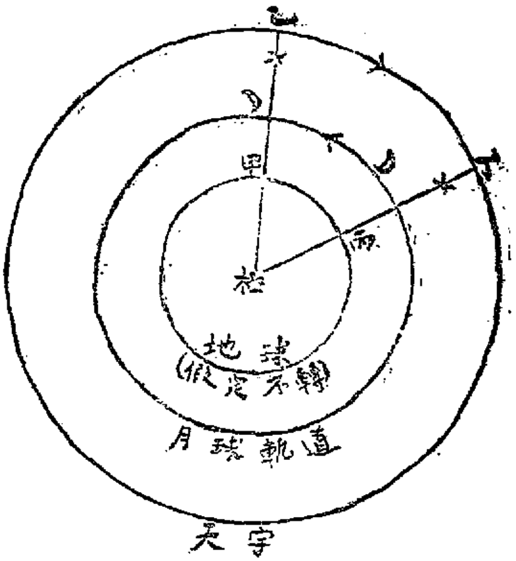
航海日曆，每日俱有預載，月球到格林子午線之時刻，設月球位置不動，則該月到任何子午線，每日俱可與日曆所載者同時，惟是月球繞行地球，自西而東，每月一週，故月到同一子午線，每日較前一日，俱遲平均50分，是以月到格林之東子午線，應按該度多少之比例，將日曆所載者，減去若干分，到格林之西子午線，則加之，詳如下圖。

設甲乙爲格林子午線，丙丁爲紐約子午線，在格林西60度。

今特假定地球停止其每日自西而東之轉動，並設天宇自東而西之旋轉以代之。

設有一星，與該月同時發現于格林子午線，越4時(=60

度)之後，該星卽到紐約子午線，但該月因東行少許，故須遲到若干分也。究竟幾分？答云此數應與其次日遲到之分數之比，等于60度與360度之比，或卽4時與24時之比。



由是而知凡在格林之西者，月到其子午線之本地時，應較遲于當日該月到格林子午線之格林時。凡在格林之東者，同一理由，卽應較早也。

法則。欲求某日某地，月到子午線之時刻，先由航海日歷尋其行到格林子午線之格林時。如測者在東經，卽尋該時與前一日之時之差。若在西經，則尋其與次日之時之差，再將此差乘以測者經度之數，除以360。是

爲校數。倘測者經度在東將日歷所載之格林時,減去校數。若經度在西,則加入之,即得月到測者子午線之本地均時。如再加減以經時,即爲格林均時。

例題　1928年10月2日。在西經121度26分。求月到極上子午線之本地時,與格林時。

	月	日	時	分
月到格林子午線之格林時	10	2	2	4
			+	18.9
月到測者子午線之本地時	10	2	2	22.9
		+	8	5.7
月到測者子午線之格林時	10	2	10	28.6

校數

```
      56分
     121.4
    ------
     728.4
    6070
    ------
  6)6798.4
    ------
 60)1133.1
    ------
      18.9分
```

經時

```
     121度26分
             4
    ----------
  6)485    44
    ----------
       8時5.7分
```

(註) 此種校數,亦可于航海表覓之,如上題已知兩日之時差爲56分,經度爲121,由該表即得校數19分。

今旣知尋求月到任何子午線之時刻,即可測量屆時月之高度,以求測者所在地之緯度。

例題　1928年11月23日，在東經117度15分，測得月到子午線時，其下邊之高度為45度18分40秒，頂距在北，器差加2分，眼高20呎，求測者之緯度。

	月	日	時	分
日歷時	11	23	20	42
校數			−	15
本地時	11	23	20	27
			− 7	49
格林時	11	23	12	38

經　時
東117度15分
4
6)46.9　0
7時49分

月　緯
南　0度56.7分
− 7.8
0　48.9
4)31.3分
−7.8

半徑差
16.1分
+.2
16.3分

視位差
59.1分
−.1
59.0分

	度	分	秒	
測高度	45度	18分	40秒	
器差		+ 2		
	45	20	40	
眼高差		− 4	24	
	45	16	16	
半徑差		+16	18	
現像高度	45	32	34	
視位併折光		40	23	
			0	
真高度	46	12	57	
月頂距	43	47	3	北
月緯	0	48	54	南
故測者地緯＝	42	58	9	北

測恆星在子午線時之高度，以求所在地之緯度。

(Latitude by Meridian Altitude of Star)

按本章原理，與前所詳測太陽真午高度，以求地緯之原

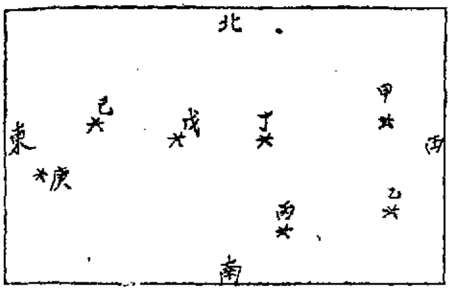
理完全相同。其法則較簡易，緣恆星離地甚遠，其天緯變更極微儘可勿庸校正，亦勿庸尋求其到子午線時之格林時也。

例題　1923年3月2日，測得織女星（Vega）到子午線時之高度爲60度10分40秒，頂距在南，器差減3分15秒，眼高14呎求測者之緯度。

	度	分	秒	
測高度	60	10	40	
器差		−3	15	
	60	7	25	
眼高差		−3	41	
現像高度	60	3	44	
折光差		−	34	
真高度	60	3	10	
星頂距	29	56	50	南
星緯	38	42	36	北
故測者緯度＝	8	45	46	北

（注意）凡測星像，以微光之時爲最佳，緣該時天涯線，較諸昏黑之夜或月光之下，殊覺明晰也。今須詳究若何認識星名，與其方位，暨尋求某星行到子午線之時刻。

1.天空恆星無數，識別自感困難。惟航海家祗擇其最爲顯明而易認者用之，玆特先將空中有兩宿，爲吾人夜間所常見者，列下二圖。



北斗宿或大熊宿(Ursa Major)　　獵戶宿(Orion)

圖中左爲七星北斗,位近北極。右爲獵戶列星,位跨赤道。由此兩宿,便可認出其他各星或列星,詳之如下。

設在北斗宿,由乙星向甲星,畫一線,卽可直指北極星(Polaris)且此星與甲庚兩星距離相等,故甚易認。

再由戊星畫一線,穿過北極星,卽指仙后宿(Cassiopea)此宿形同W字,亦易認識。

又由北極星畫一線,穿過大熊之尾端卽庚星,向南而下,約同一距離,卽得大角星(Arcturus)

如循大熊之尾戊已庚三星,畫一曲線,繼續延長,卽先至大角星,次至帝宿星(Spica)此星與大熊之己星並北極星約成一直線。

雙子星(Twins)乃兩顆顯明之星,介于北斗宿與獵戶

宿之正中。

設由雙子星畫一線，穿過北極星，伸長至約同距離之點，卽得天鵝星(a Cygni)

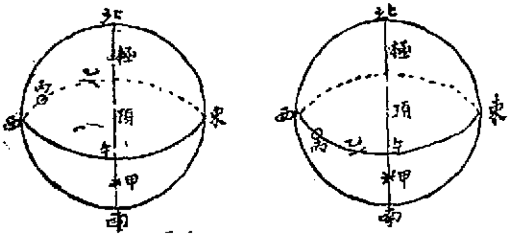
設由北極星向東畫一線，垂直于北極星與大熊星之甲乙兩星相連之線，約長50度，卽得織女星(Vega)此星與北極星並大角星成一直角三角形，其直角卽在織女星之位。

如由北極星畫一線，穿過織女天鵝兩星之正中，伸長至約同距離之遠，卽見三星，其中間最亮一星，卽爲牛郎星亦稱河鼓星(Altair)。

如循獵戶宿中間之三星，向東南畫一線而伸長之。卽指天狗星(Sirius)。

Ⅱ.求某星到子午線之時刻。

如下圖，設東南西北爲測者之天涯，餘與前同。



設甲爲某恆星，在測者子午線上，乙爲春分點，丙爲均日。則午丙弧等于均日之時角，午丙＋12時卽子東丙弧等于本地之均時。

均日時角＝午西丙弧　　均日時角＝午丙弧

＝乙西午－乙丙　　＝乙午＋24時－乙東西丙

＝星天經－均日天經　　＝星天經＋24時－均日天經

是以無論均日與春分點在何位置，欲求某恆星到子午線之本地均時，祇由該星之天經(或加24時)減去均日之天經，卽得均日之時角，再加12時，則爲所求之均時。

(註)航海日歷所載之均日天經，係按格林時而計。故此種題解，須演兩次，先求約略本地時與格林時，便可校正均日之天經後用公式以求本地之均時。倘該均日之時角，多過12時，卽成次日之時，致與答數不合。誠如是，則須用日歷所載前一日之均日天經而校正之。

例題一　1928年3月2日，在西經100度，求天狗星 (Sirius)到子午線之時刻。

(1) 該星天經＝ 6時41分58.8秒
均日天經＝22 38 8.1
大約午後時＝ 8 3 50.7

如用此得數，以備測量高度，自可用之，惟非正確時刻也。

(2)

	日 時 分	西 經	均日天經
本地時	2 20 3.8	100度 0分	22時42分24.4秒
	＋ 6 4.0	4	＋ 6.6
格林時	3 2 43.8	6)400 0	22 42 31.0
		6時40分	

	時	分	秒
天狗星天經＝	6	41	58.8
均日天經＝	22	41	31.0
本地午後時＝	7	59	27.8

故準確天文時＝2日19時59分27.8秒

例題二 1928年4月28日，在西經68度15分，求牛郎星(Altair)到子午線之時刻

	時	分	秒
牛郎天經＝	19	47	16.4
(28日)均日天經＝	2	22	51.7
大約午後時＝	17	24	24.7

以上得數，卽係29日5時，與問題不合。故須重演如下。

	時	分	秒
牛郎天經＝	19	47	16.4
(27日)均日天經＝	2	18	55.1
大約午後時＝27日	17	28	21.3
大約天文時＝28日	5	28	21.3

(註)準確時刻,演法與上題同,從略。

行星(Planets)

行星環日而行,各有定軌,地球其一也。自地上觀之,各行星之方位常有變遷。合日球及環日諸行星,統稱曰太陽系(Solar System)。

恆星距太陽系遠甚,相形之下,覺諸行星之隔離,猶隣居耳。

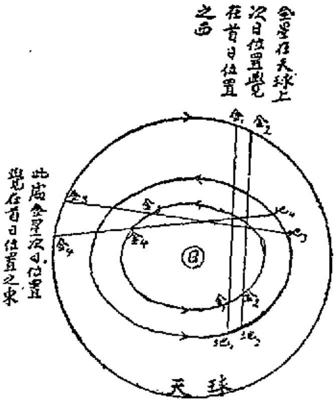
行星之大者,計有八顆,按其距日由近而遠,則爲水星(Mercury),金星(Venus),地球(Earth),火星(Mars),木星(Jupiter),土星(Saturn),天王星(Uranus),海王星(Neptnne)。

水星距日太近,吾人不能見之,惟金星得于黎明或黃昏時出現。蓋金星行近太陽東側,日落之後,現於西方,迨其行近太陽西側,日出之先,現於東方,古人云,東有啓明,西有長庚者,誤矣。因其以爲二星,實則一金星耳。

行星每日過子午線之時刻,遲早不一,月球則日遲一日,行星有遲有早,詳諸下圖。

如圖。外圈爲天球,大橢圓爲地球繞日之軌道,小橢圓

為金星之軌道。



設以地$_1$金$_1$代地球與金星首日之位,以地$_2$金$_2$代其次日之位,今由地$_1$至金$_1$畫一線引伸至天球,卽吾人首日所見之位。又由地$_2$畫一線至金$_2$而引伸之,卽次日所見之位,則次日之位覺在首日之西。故當天球自東轉西時,金星到達子午線,每日提早若干分時。迨後該星與地球各自進行,設以地$_3$金$_3$代地球與金星首日之位,地$_4$金$_4$代其次日之位。則此時吾人所見天球上金星次日位置,覺在首日位置之東,如是,則該星到子午線之時刻每日自較延遲也。

測行星在子午線時之高度,以求所在地之緯度。

(Latitude by Meridian Altitude of Planet)

按本章理法,與前所詳測月球在子午線時之高度,以求地緯之理法,完全相同。惟時刻有早有遲,如上所述耳。至其半徑差與視位差,為數極微,儘可删之。

例題　1928年8月20日，在東經120度，測得木星 (Jupiter) 到子午線時之高度爲60度15分50秒，頂距在北，器差減1分15秒，眼高30呎，求測者之緯度。

	月	日	時	分	校數	經時
日歷時	8	20	4	40	每日早4分	東120度
			＋	1.3	120	4
本地時	8	20	4	41.3	6)480	6.0)480
			− 8	0	6.0)80	8時0分
格林時	8	19	20	41.3	1.3	

木星緯度	每日加.5分		度	分	秒
北13度37.1分	20.7	測高度	60	15	50
＋ .4	4)10.35	器差	−	1	15
北13度37.5分	6)2.59		60	14	35
	43	眼高差	−	5	24
		現像高度	60	9	11
		折光差	−	0	29
		真高度	60	8	42
		星頂距	29	51	18北
		星緯	13	37	30北
		測者緯度＝	43	28	48北

練習題

1. 設太陽下邊之初測高度爲47度32分15秒，器差加2分10秒，眼高15呎，半徑差15分49秒。求太陽中心之真

高度。 答47度45分36秒。

2. 設太陽下邊之初測高度爲38度30分10秒，器差減2分50秒，眼高15呎，半徑差15分55秒。求太陽中心之真高度。 答38度38分41秒。

3. 設太陽上邊之初測高度爲55度57分40秒，器差減3分40秒，眼高19呎，半徑差16分6秒。求太陽中心之真高度。 答55度33分4秒。

4. 設用人造地平測得太陽下邊之高度爲 78 度 35 分30秒。器差加0分50秒，半徑差16分3秒。求太陽中心之真高度。 答39度33分10秒。

5. 4月27日，在西經87度42分，測得太陽下邊之真午高度爲48度42分30秒。頂距在北，器差加1分40秒，眼高18呎。求測者之緯度。 答北緯54度53分。

6. 8月7日，在東經62度11分，測得太陽上邊之真午高度爲41度49分50秒。頂距在北，器差減3分15秒，眼高12呎。求測者之緯度。 答北緯65度0.5分。

7. 7月14日，在東經14度50分，測得太陽下邊之真午高度爲39度58分30秒。頂距在南，器差減1分40秒，眼高18呎。求測者之緯度。 答南緯28度14分。

8. 10月17日，在西經81度27分，測得太陽下邊之真午高度爲52度11分10秒。頂距在南，器差加1分15秒，眼高18呎。求測者之緯度。 答南緯47度6分。

由航海日歷摘錄

格林真午	太陽天緯	每時變更	半徑差
4月27日，	13度43分53秒北，	加47.6秒。	15分55秒
8月 7日，	16度24分 0秒北，	減41.4秒，	15分48秒
7月14日，	21度37分53秒北，	減23.1秒，	15分46秒
10月17日，	9度25分 6秒南，	加54.8秒，	16分 5秒

9. 5月27日，在西經50度。求月到極上子午線之本地均時。 答23時52分36秒。

10. 7月19日，在東經175度。求月到極上子午線之本地均時。 答5時11分6秒。

由航海日歷摘錄
月到格林子午線之格林均時

5月27日，	23時46.3分
5月28日，	24時32.0分
7月18日，	4時49.5分
7月19日，	5時30.1分

11. 11月12日，上午2時20分，在西經60度45分，測得月在子午線時，其下邊之高度爲30度30分40秒。頂距在

北，器差加10分40秒，眼高16呎。求測者之地緯。 答北緯61度11分。

12. 1月10日，下午7時40分，在東經5度30分，測得月在子午線時，其下邊之高度爲10度20分30秒。項距在北，器差減2分20秒，眼高14呎。求測者之地緯。 答北緯56度37.8分。

13. 8月12日，上午5時4分，在東經94度40分，測得月在子午線時，其上邊之高度爲72度20分0秒。項距在南，器差加3分40秒，眼高22呎。求測者之地緯。 答南緯31度53.1分。

由航海日歷摘錄

格林均時	月之天緯	每時改	半徑差	天涯視位差
11月12日 6時，	2度44.3分北，	加13.2分。	15.1分	55.2分
1月10日19時，	22度 1.3分南，	減 6.1分。	16.0分	58.4分
8月11日22時，	14度 4.2分南，	加12.5分。	16.2分	59.1分

14. 5月30日，在西經5度42分求天獅星（Regulus）到子午線之時。 答下午5時28分26秒。

15. 2月3日，在東經12度35分，求大蠍星（Antares）到子午線之時。 答上午7時25分4秒。

由航海日歷摘錄

	格林時	均日天經	每時加	星之天經
	5月30日16時，	4時31分25秒，	9.9秒。	10時 0分9秒
	2月 2日 6時，	20時50分31秒，	10 秒。	16時20分2秒

16. 5月6日，測得處女星 (a Virginis) 到子午線時之高度爲16度52分0秒，頂距在北，器差加1分50秒，眼高20呎。求測者之緯度。 答北緯62度50分。

17. 6月16日，測得天琴星(a Lyrae) 到子午線時之高度爲77度1分50秒，頂距在北，器差加2分10秒，眼高16呎。求測者之地緯。 答北緯51度39分。

18. 7月12日，下午9時36分，在東經30度30分，測得金星(Venus) 到子午線時之高度爲10度10分50秒。頂距在北，器差減4分0秒，眼高10呎。求測者之地緯。 答北緯57度45$\frac{1}{2}$分。

由航海日歷摘錄

	格林午時	星之天緯 度 分 秒	格林午時	星之天緯 度 分 秒
處女星，	5月 6日，	10 23 40南，		
天琴星，	6月16日，	38 38 55北，		
金星，	7月12日，	22 16 10南，	7月13日，	22 15 49南

第九編

計時儀之差與差率

Error and Rate of Chronometer.

第七編已言，計時儀卽船錶，係指示格林之準確均時，遍行各地也。如平常鐘錶，遇有差錯，可將其針撥對。而船錶則不然。非特各針不可撥動，且要每日定時，開挽一次，以防停止。航行之先，必須測求錶時較格林均時相差若干，以及每日差率幾何。其法繁多，今將簡要二法詳述如下。

(1)用時球(Time Ball) 或他種時號，報告所在地之均時。

(2)測天像之時角(Hour Angli) 以求所在地之均時。

(1)各國沿海諸大埠，俱設有時球，每日報告準時一次，多用正午。當數分鐘前，將球拉至桅頂，測者卽須注視其錶所示之時刻，一俟該球落下，則爲本地之均時，加減以經度之時間，卽得格林之均時，此時與錶時相較，卽測者所求之差也。

例題　紐約埠在西經4時55分54秒，置有時球一個，每

日報告上午10時。設當本年三月十一日,該球落下時,船錶指示11時14分20秒。至十六日屆時錶乃指示11時13分55秒。求船錶與格林均時之差與差率。

	月	日	時	分	秒		日	時	分	秒
本地均時	3	11	10	0	0		16	10	0	0
經度		+	4	55	54			4	55	54
格林均時	3	11	14	55	54		16	14	55	54
錶時			11	14	20			11	12	55
故錶較格林時慢			3	41	34	慢		3	41	59

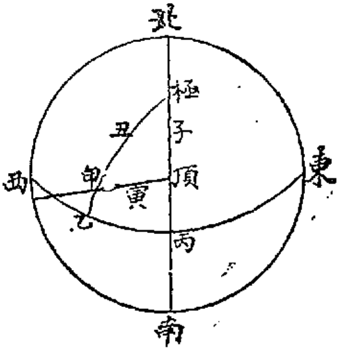
當三月十一日錶慢3時41分34秒

十六日錶慢3時41分59秒

計五日加慢　25秒

是每日差率係退　5秒

(2) 測天象之時角,以求船錶差。



如圖。設東南西北為測者之天涯,餘與前同。

設甲為天象,子為測者之餘緯,丑為該象之極距,寅為該象之頂距。頂極甲角卽該象之時角。

今在極甲頂弧三角中,已

知子寅丑三弧邊,按弧三角學理。

$$\text{時角之餘弦}=\frac{\text{寅之餘弦}-\text{子之餘弦}\times\text{丑之餘弦}}{\text{子之正弦}\times\text{丑之正弦}}$$

$$\text{故}\ 1-\text{時角餘弦}=\frac{\text{子正弦}\times\text{丑正弦}-\text{寅餘弦}+\text{子餘弦}\times\text{丑餘弦}}{\text{子正弦}\times\text{丑正弦}}$$

$$\text{此卽}\quad\text{時角之正矢}=\frac{(\text{子}\sim\text{丑})\text{餘弦}-\text{寅餘弦}}{\text{子正弦}\times\text{丑正弦}}$$

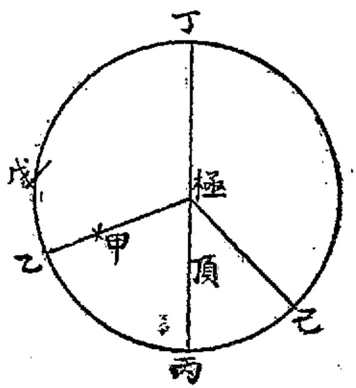
$$=\frac{2\times\frac{1}{2}(\text{寅}+\overline{\text{子}\sim\text{丑}})\text{正弦}\times\frac{1}{2}(\text{寅}-\overline{\text{子}\sim\text{丑}})\text{正弦}}{\text{子正弦}\times\text{丑正弦}}$$

是　時角半正矢

$$=\frac{\sqrt{(\text{寅}+\overline{\text{子}\sim\text{丑}})\text{半正矢}}\times\sqrt{(\text{寅}-\overline{\text{子}\sim\text{丑}})\text{半正矢}}}{\text{子正弦}\times\text{丑正弦}}$$

設該天象爲太陽,如在測者子午線之西,則時角加12時,卽係本地之真時。如在子午線之東,則由12時,減去東時角之時數,卽爲本地之真時。凡真時加減以日歷所得之時較,卽本地之均時也。

設該天象爲星,如圖,丁己戊爲天球赤道,丁極丙爲測者之子午線,甲爲星位,己爲均日之位,戊爲春分點。



則本地均時＝丁己弧

星之時角＝丙乙弧

星之天經 =戊乙弧　　均日天經=戊丙己弧

今知丁己弧= 丁己乙弧+戊乙弧-戊丙己弧

是本地均時=星 時角+12時+星天經-均日天經

(註)用時角法,該 象宜遠離子午線,可得本地之準確均時。加減以測者 之經度時數,即爲格林之均時。由是得船錶之準確差數 今若於次日或越數日,再求此錶之差。兩差相較,則得 此錶之差率耳。

例題一　1928年4月13日,約 上午9時40分,在北緯39度8分,東經117度15分,用人造 地平測得太陽下邊之高度爲94度20分0秒,器差減1分 ,該時船錶指示3時48分29秒。求該錶與格林均時之差。

約本地時4月13日9時40分
經度時　　-7　49
約格林時4月13日1時51分

太陽緯 度=北 8度54.5分
　　　　　- .1分
　　=北 8度54.4分
太陽極距= 81度 5.6分

東經117度15分
　　　　4
6()469　0
　7時49分

每2時減1.9分
9分減 .14分

均時與真時之差
0分41.7秒
2時約 -.1
加于真時0分41.6秒

	度	分	秒
測高度＝	94	20	0
		－1	
2)	94	19	0
	47	9	30
半徑差		＋16	0
現像高度＝	47	25	30
折光一視差			－47
眞高度＝	47	24	43
太陽頂距＝	42	35	17

今用公式如下

$$\text{時角半正矢}=\frac{\sqrt{(\text{寅}+\text{子}\sim\text{丑})\text{半正矢}}\times\sqrt{(\text{寅}-\text{子}\sim\text{丑})\text{半正矢}}}{\text{子正弦}\times\text{丑正弦}}$$

子＝	50度	52分	0秒，	餘割對數＝0.110318
丑＝	81	5	36	餘割對數＝0.005266
	30	13	36	
寅＝	42	35	17	
和＝	72	48	53	√半正矢對數＝4.773446
較＝	12	21	41	√半正矢對數＝4.032015
是時角＝	21時	45分	44.1秒	半正矢對數＝8.921045
	－12			
本地眞時＝	9	45	44.1	
時較		＋0	41.6	
本地均時＝	9	46	25.7	
	－7	49	0	
格林均時＝	1	57	25.7	
錶時	3	48	29.0	
故錶速	1時	51分	3.3秒	

例題二　1928年5月13日，約上午1時45分，在南緯19度

12分，東經76度45分，測得帝宿星(Spica)之高度爲34度39分30秒。器差減3分50秒，眼高22呎，該時星在子午線之西，錶時爲11時50分39.5秒。求此錶與格林時之差。

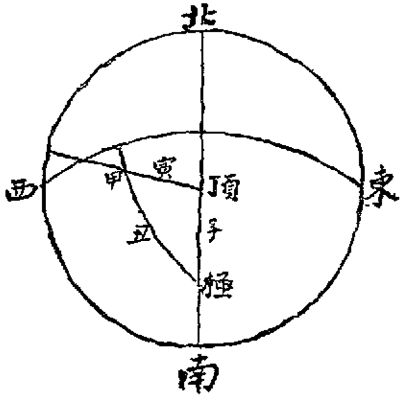
	月	日	時	分
約本地時	5	13	1	45
東經			－5	7
約格林時	5	12	20	38

	時	分	秒
均日經度	=3	18	3.5
		＋3	22.1
	=3	21	25.6

星之緯度＝10度47.3分南
故極距＝79度12.7分

	時	分	秒
星之經度	=13	21	24.9

	度	分	秒
測度度	=34	39	30
器差		－3	50
	34	35	40
眼高差		－4	37
現像高度	=34	31	3
折光差		－1	24
眞高度	=34	29	39
星之項距	=55	30	21



時角同上題

	度	分	秒	
(子)餘緯=	70	48	0	餘割對數=0.024854
(丑)極距=	79	12	42	餘割對數=0.007743
	8	24	42	
(寅)頂距=	55	30	21	
和=	63	55	3	√半正矢對數=4.723704
較=	47	5	39	√半正矢對數=4.601522
星時角=	3時	48分	8.6秒	半正矢對數=9.357824
	+12			
	15	48	8.6	
星經時=	13	21	24.9	
	5	9	33.5	
均日經時=	3	21	25.6	
本地均時=	1	48	7.9	
錶示時=	11	50	39.5	

故錶差= 1時57分28.4秒,較慢于本地均時。

(註)今若于次日或越數日，再測此星或他星之高度,以求該錶之差,兩差之較,卽爲每日或數日之差率。

用船錶測求所在地之經度

(Longitude by Chronometer)

地球每24均時，繞軸旋轉一週360度。卽每均時旋轉15度。故兩地均時之較,以15乘之，則爲該兩地經差之度數。

船錶乃指示格林之均時。故航行時,須預知該錶與格林

均時之準確差數與差率，任何時刻，可計格林之準確均時。再測天象之時角，求本地之均時。兩時相較，以15乘之，即得本地之經度也。

例題一　1928年5月13日，約上午7時15分，在北緯50度50分，經度照駕駛計算在東4度15分。是時船錶指示7時0分20秒，測得太陽之下邊高度爲27度14分10秒，器差減1分20秒，眼高19呎。當4月24日該錶較格林均時慢1分10.5秒，其差率每日加慢5.7秒。求測者之經度。

	月	日	時	分
約本地時	5	13	7	15
東經		−	0	17
約格林時	5	13	6	58

	時	分	秒
船錶時	7	0	20
錶差	+	1	10.5
	7	1	30.5
差率積	+	1	48.3
格林均時13日	7	3	18.8

差率5.7秒
　19日
　513
　57
6)108.3
　1分48.3秒

太陽天緯 = 北18度19.9分
　　　　　　　+ .6
　　　　= 北18　20.5
故極距 = 71度39.5分
時較 = 3分46.6秒
由真時減

	度	分	秒
測高度=	27	14	10
器差		−1	20
	27	12	50
眼高差		−4	17
	27	8	33
半徑差		+15	54
	27	24	27
折光併視差		−1	44
真高度=	27	22	43
太陽頂距=	62	37	17

用公式同上

餘緯=	39	10	0
極距=	71	39	30
	32	29	30
頂距=	62	37	17
和=	95	6	47
較=	30	7	47
太陽時角=	19時	24分	26秒
	−12		
本地真時=	7	24	26
時較		−3	46.6
本地均時=	7	20	39.4
格林均時=	7	3	18.8
	0	17	20.6
	60		
	4)17	20	36
測者經度=	4度	20分	9秒東

餘割對數=0.199573
餘割對數=0.022644

$\sqrt{\text{半正矢對數}}$=4.868021
$\sqrt{\text{半正矢對數}}$=4.414819
半正矢對數=9.505057

例題二　1928年8月19日，約上午0時40分，在北緯50度

20分，經度據駕駛計算在145度東，是時船錶指示2時41分12秒，測得牛郎星（Altair）之高度爲37度2分50秒，在子午線之西，器差加3分30秒，眼高20呎，當7月31日該錶較格林均時慢16分45秒，其差率每日加慢4.3秒，求測者之經度。

	月	日	時	分
約本地時	8	19	0	40
東經			−9	40
約格林時	8	18	15	0

	時	分	秒
船錶時	2	41	12
錶差		+16	45
	2	57	57
差率積		+ 1	22
格林時18日	14	59	19

差率4.3秒
 19
 387
 43
6)81.7
 1分21.7秒

星之天緯	＝北 8度40.8分
故極距	＝ 81度19.2分
星之天經	＝19時47分18.2秒
均日天經	＝ 9時44分26.1秒
	+ 2 27.8
	＝ 9 46 53.9

	度	分	秒
測高度＝	37度	2分	50秒
		+ 3	30
	37	6	20
		− 4	24
	37	1	56
折光差		− 1	17
真高度	37	0	39
	90		
星之頂距＝	52	59	21

求時角之公式同上

	度	分	秒	
餘緯＝	39	40	0	餘割 對數＝0.194962
極距＝	81	19	12	餘割 對數＝0.005002
	41	39	12	
項距＝	52	59	21	

和 $=94\quad 38\quad 33$　　$\checkmark$半正矢對數 $=4.866384$

較 $=11\quad 20\quad 9$　　$\checkmark$半正矢對數 $=3.994593$

星時角 $=2$時38分37.9秒　　半正矢對數 $=9.060941$

求本地均時之公式

本地均時＝星之時角＋12時＋星之天經－均日天經

	時	分	秒
星之時角＋12時	14	38	37.9
星之天經＝	19	47	18.2
	10	25	56.1
均日天經＝	9	46	53.9
本地均時＝19日	0	39	2.2
格林均時＝18	14	59	19
測者經度＝	9	39	43.2
	60		
	4)579	43	12
	＝144度55分48秒東		

練習題

1. 某處置有時球一個，每日報告格林均時下午1時，某日該球落下時，甲號船錶指示4時15分8.4秒，數分鐘後，將甲錶與乙丙兩號船錶比較如下：

乙錶5時10分20　秒　　丙錶3時12分40 秒

甲錶4時18分32.8秒　　甲錶4時19分5 2秒

求乙丙兩錶較格林均時相差幾何。　答乙快4時6分55.6秒丙快2時8分43 2秒。

2. 4月2日，某處時球報告格林均時下午1時，甲號船錶指示2時12分8.4秒，隨卽將此錶與乙丙丁三錶較對如下：

乙10時50分10秒，丙7時20分 0秒，丁1時11分54秒
甲 2時15分4 2秒，甲2時15分56.8，秒甲2時16分20秒

3. 4月5日，與上題同樣測較，當該球落下時，甲錶指示2時12分21.2秒，其與乙丙丁三錶比較如下：

乙10時48分41秒，丙7時18分30秒，丁1時10分26 秒
甲 2時14分1.5秒，甲2時14分30秒，甲2時15分20.1秒

求乙丙丁三錶，當4月2日，與4月5日，較格林均時之差。曁其每日之差率。　答2日，乙慢2時12分45.8秒，丙慢5時43分48.4秒。丁快7分42.4秒。5日，乙慢2時12分59.3秒，丙慢5時43分38.8秒，丁快7分27.1秒。每日差率，乙退4.5秒，丙進3.2秒，丁退5.1秒。

4. 5月10日，上午約8時45分，在北緯50度48分，西經1度6分。用人造地平測得太陽下邊之高度爲78度24分55秒。器差加4分25秒。該時船錶指示8時26分59.7秒。求

該船錶較格林均時之差。 答慢21分4.6秒。

5. 3月25日，下午約3時20分，在北緯52度10分，西經36度58分15秒。該時船錶指示5時40分58秒。用人造地平測得太陽下邊之高度爲50度14分30秒，器差減6分10秒。求該錶與格林均時相差若干。 答錶慢8分42.8秒。

由日曆得格林午時	太陽天緯 度	分	每時改 分	時較 分	秒	每時改 秒	半徑差 分	秒
5月10日	17	35.3北	加0.66	減3	48.3	減 0.12	15	51
3月25日	1	40.9北	加0.98	加6	13.8	減 0.77	16	3

6. 9月23日，下午約4時42分，在北緯50度30分，西經約110度15分。是時船錶指示11時59分30秒，測得太陽下邊之高度爲11度0分50秒，器差減3分20秒，眼高20呎。當8月21日，該錶較格林均時快0分45.5秒，其差率每日退5.7秒。求測者之經度。 答西經110度25分10秒。

7. 4月18日，上午約9時20分，在北緯50度48分，西經約1度0分。是時船錶指示9時27分48秒，測得太陽下邊之高度爲38度13分10秒，器差減1分40秒，眼高20呎。

求測者之經度。當4月1日，該錶較格林均時快1分58.7秒，其差率每日進11.2秒。 答西經1度6分。

由日歷得格林午時	太陽天緯度分	每時改分	時較分秒	每時改秒	半徑差分秒
9月23日	南 0 6.9	加0.97	減7 41.8	加0.87	15 58
4月18日	北1057.8	加0.88	減0 45.1	加0.58	15 56

8. 9月10日，下午約7時15分，在北緯48度20分，東經約32度0分，是時船錶指示5時1分28秒，測得大角星(Arcturus)之高度爲31度3分40秒，在子午線之西。器差減2分10秒，眼高20呎。求測者之經度。當8月25日，該錶較格林均時慢2分40秒。其差率每日進4.3秒。
答東經32度8.5分。

9. 5月24日，下午約11時10分，在北緯50度48分，西經約1度0分。是時船錶指示11時12分12秒，測得織女星(Vega)之高度爲54度50分30秒，在子午線之東。器差減2分45秒，眼高25呎。求測者之經度。當5月14日，該錶較格林均時慢1分15.8秒，其差率每日退7.4秒。
答西經1度6分。

10. 8月20日，上午約0時30分，在北緯50度20分，東經約

142度10分。是時船錶指示2時41分12秒，測得牛郎星(Altair)之高度爲37度3分50秒，在子午線之西。器差加2分30秒，眼高20呎。求測者之經度，當8月1日，該錶較格林均時慢17分45秒，其差率每日退4.3秒。答東經142度14分。

由日曆錄	均日天經			每時加	星之天經			星之天緯		
格林午時	時	分	秒	秒	時	分	秒	度	分	秒
9月10日	11	18	28.1	10	14	8	35	19	59	44北
5月24日	4	8	43.6	10	18	31	42	38	38	24北
8月19日	9	50	46.5	10	19	43	17	8	28	7北

第十編

測天文以求羅經差

(Compass Error by Observation)

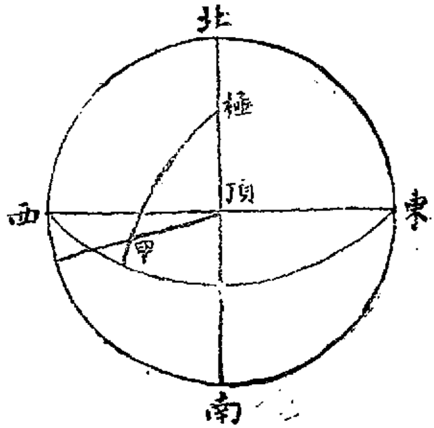
羅經差卽偏差與自差之和。偏差每年各地俱有稍變，不過爲數甚微，且變率穩定，故海圖所載之偏差與差率十餘年之內，當可用之。惟自差隨時隨地隨航向而更改，故航行者必須時常愼重測尋之。今舉簡要三法

如下。

(I)用天象時角,以求其真向與羅經差。

(Csmpass Error by Time Azimnth)

如圖設東南西北爲天涯,餘同前。設甲爲天象,極甲爲穿過該象之緯圈。則頂極甲係該象之時角,極頂甲係其真向也。



今在此頂極甲弧三角中,已知測者之餘緯,極頂,並該象之極距,與其時角,欲求極頂甲之角,可用下列兩公式。

$$(1)\ \frac{\text{頂}+\text{甲}}{2}\text{之正切}=\frac{\frac{\text{極甲}-\text{極頂}}{2}\text{之餘弦}}{\frac{\text{極甲}+\text{極頂}}{2}\text{之餘弦}}\times\frac{\text{極角}}{2}\text{之餘切}$$

$$(2)\ \frac{\text{頂}-\text{甲}}{2}\text{之正切}=\frac{\frac{\text{極甲}-\text{極頂}}{2}\text{之正弦}}{\frac{\text{極甲}+\text{極頂}}{2}\text{之正弦}}\times\frac{\text{極角}}{2}\text{之餘切}$$

(注　　意)

1. 設該天象爲日，則時角由本地之真時得之。如該天象爲星，則

時角＝本地均時±12時＋均日天經－該象天經

2. 設極甲較大于極頂即如上圖，則頂角＝$\frac{1}{2}$(頂＋甲)＋$\frac{1}{2}$(頂－甲)。設極頂較大于極甲，則公式中之極甲與極頂，並頂與甲角，俱須互調。由是頂角＝$\frac{1}{2}$(甲＋頂)－$\frac{1}{2}$(甲－頂)。

3. 測者如在北緯，該象之頂角則由北點起計，向東或向西，即視該象在子午線之東或西也。

4. 頂角即該象之真向，與羅經測向相較，即得羅經之總差。如真向在測向之右，羅經差爲東，真向在測向之左，其差則爲西。

例題　1928年，1月5日，下午3時46分，在北緯52度45分，東經56度15分，用羅經測得太陽在西迤南向，其偏差爲25度50分西。求羅經之自差。

	月	日	時	分		經度	天緯
本地時	1	5	15	46		東56度45分	南22度43.3分
經時			－ 3	45		4	時較
格林時	1	5	12	1	60)	225　0	5分4.6秒＋真時
						3時45分	

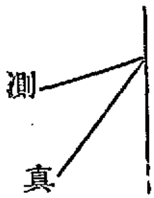
極距＝	112度	43分	18秒
餘緯＝	37	15	0
	149	58	18
	75	28	18
$\frac{1}{2}$(極距＋餘緯)＝	74	59	9
$\frac{1}{2}$(極距－餘緯)＝	37	44	9

均時＝	15時	46分
時較＝	－	5.1
真時＝	15	40.9
時角＝	3	40.9
$\frac{1}{2}$時角＝	1	50.45

用前兩公式計之

37度44分 9秒,	餘弦,9.898079	正弦,9.786783
74 59 9	正割,0.586650	餘割,0.015082
1時50分27秒,	餘切,0.281444	餘切,0.281444
	正切,0.766173	正切,0.083309

$\frac{1}{2}$(頂＋甲)＝	80度16分	45秒
$\frac{1}{2}$(頂－甲)＝	50 27	45
真向＝北	130	44西
測向＝北	101	15西
總差＝	29	29西
偏差＝	25	50西
故自差＝	3	39西



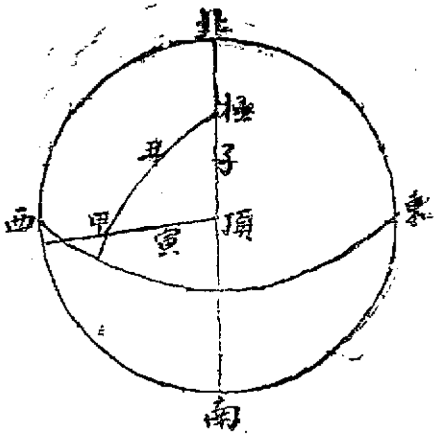
(注意)是題亦可用時角真向表(Time Azimuth Table)以解之也。

(Ⅱ)測天象高度,以求其真向,與羅經差。

(Compass Error by Altitude Azimuth)

測高度以求真向，較諸用時角以求真向,稍覺簡略。惟此法最好須用二人，一測高度,一測其向。

如圖。設東南西北為天涯，餘與上同。



今在此極頂甲弧三角中，已知極頂與頂甲，並其第三邊極甲，欲求其頂角，可用下列之公式。

$$\text{頂角半正矢}=\sqrt{(\text{丑}+\text{子}\backsim\text{寅})}\,\text{半正矢}\sqrt{(\text{丑}-\text{子}\backsim\text{寅})\,\text{半正矢}}\times\text{子餘割}\times\text{寅餘割}。$$

例題　1928年,3月29日,上午9時20分,在北緯39度8分,東經117度15分，測得太陽下邊之高度為37度40分，器差減1分,眼高0尺，同時用羅經測得太陽在南60度東,其偏差為1度30分西。求其自差。

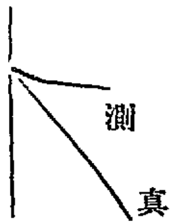
	月	日	時	分	經度		天緯
本地時	3	29	9	20	東117度15分		北3度11.9分
			− 7	49	4		+ 1.5
格林時	3	29	1	31	6)469　0		北3　13.4
					7時49分	極距	86　46.6

用公式如上

測高度37度40分
　　　　　　−　1
37　39
　＋　16
37　55
　−　1

真高度	37　54	用對數	
寅＝	52　06	餘割對數＝	0.102877
子＝	50　52	餘割對數＝	0.110318
	1　14		
丑＝	86　47	$\sqrt{\ }$半正矢對數＝	4.841837
(丑＋寅−子)＝	88　1	$\sqrt{\ }$半正矢對數＝	4.831947
(丑−寅−子)＝	85　33	半正矢對數＝	9.886979

故真向＝	北122度48分	東
但真向＝	北120　0	東
得總差＝	2　48	東
偏差＝	1　30	西
故自差＝	4度18分	東



(註)是項問題,可勿庸計及杪數也。

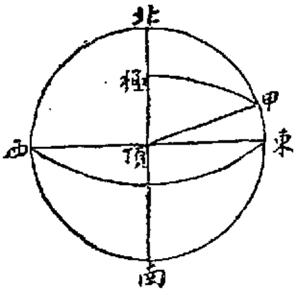
(Ⅲ)測天象出沒方向,以求羅經差。

(Compass Error by Amplitudes)

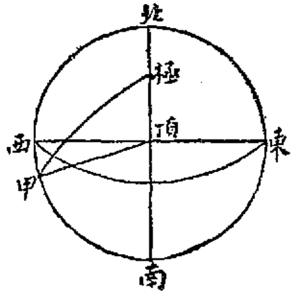
天象出沒向,卽前兩節所詳之真向。不過該象須在天涯

之時測之。且其向應由東點或西點起，向北或向南而計之。惟亦可改與真向同樣計算也。

如圖。設甲爲天象，適在測者之真天涯。則頂甲弧自係90度。是極頂甲爲四分弧三角，今在此三角，求公式如下。



(1)甲之極距較小于90度



(2)甲之極距較大于90度

(1)

\+ \+ \+
極甲餘弦＝極頂正弦×頂角餘弦，
\+ \+ \+
即頂角餘弦＝極距餘弦×緯度正割，
\+ \+ \+
是方向正弦＝天緯正弦×地緯正割

(2)

− \+ −
極甲餘弦＝極頂正弦×頂角餘弦
− \+ −
頂角餘弦＝極距餘弦×緯度正割
\+ \+ \+
方向正弦＝天緯正弦×地緯正割

故無論甲之極距，較小或較大于90度，

出沒向之正弦＝天緯正弦×地緯正割，

例題一　1928年，3月29日，在北緯39度8分，東經117度15分。太陽沒時下午6時10分。用羅經測其方向，在西

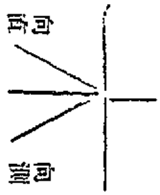
15度南。羅經之偏差爲3度西，求其自差。

	月	日	時	分	經度	太陽天緯
本地時	3	29	18	10	東117度15分	北3度21.7分
東經		–	7	49	4	+ .3
格林時	3	29	10	21	60)469　0	北3度22分
					7時49分	

用上列之公式

天緯＝	3度22分，	正弦對數	＝8.768827
地緯＝	39　8	正割	＝0.110318
	4　21	正弦	＝8.879145

日沒向＝	西　4度21分	北
但測向＝	西15　0	南
羅經差＝	19　21	東
偏差＝	3　0	西
故自差＝	22　21	東



例題二　1928年，5月30日，在北緯10度。測得織女（Vega）星出時方向爲北42度東。求羅經差。

仍用上列之公式

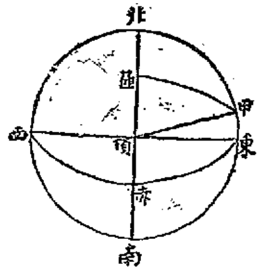
天緯＝	北38度42.8分，		正弦對數	9.796167
地緯＝	北10　0		正割	0.006649
得眞向＝	東39　25	北，	正弦	9.802816
但測向＝	東48　0	北		
故羅經差＝	8　35	東		

(註)恆星天緯,變更極微,故勿庸計及格林時。

日出與日沒之時,暨晝與夜之時間。

(Time of Sunrise & Sunset, Duration of Day & Night)

如圖。設甲爲日出之位點,卽其中心升至測者真天涯之時,極甲係日之極距,極北弧等于極赤弧,故等于測者之地緯。甲極北之角,卽所求之本地真時。



今因極北甲係一直角,在此直角弧三角中,已知極北與極甲二弧邊。欲求甲極北之角,可用下列之公式。

甲極北餘弦＝極北正切×極甲餘切

此卽　日出真時之餘弦＝地緯正切×極距餘切

(注意)

(1)設極距較大于90度,其餘切則爲負號,是真時之餘弦亦爲負號,卽真時應大于6時。

(2)該本地真時,加減以時較,卽得本地之均時。

(3)由12時減去該本地真時,得日出時午前之東時角。此角約等于日沒時午後之時角。若加12時,卽日沒時

之真時。再加減以時較，方得日沒時之約略均時。

(4) 日沒時之時角×2，約得晝之時間。由24時減去此時間，卽係夜之時間也。

(5) 此等問題，須演兩次。先以日歷所載之極距，而求約略本地時。由此得格林時，校正極距，方得準確本地時。

例題　1928年，2月3日，在倫敦，北緯51度10分，西經0度5分。求日出與日沒之真時並均時。暨晝與夜之時間。

用公式　真時之$\overline{\text{餘弦}}$＝地緯正切×$\overline{\text{極距}}$餘切

(1) 先求約略時。

地緯＝	51度10分，	正切對數	＝0.094216
極距＝	106　56.6	餘切	＝9.483755
		餘弦	＝9.577971

茲因該餘弦係負號，

故日出之真時＝7時28分56秒

日沒之午後真時＝4時31分4秒

(2) 今求準確時。

	月	日	時	分	天緯	時較＋
日出真時	2	3	7	28.9	南16度52.3分	13分49.8秒
時較並地經				＋14.3	－1.4	＋.4

格林均時	2	3	7	43.2	南16　50.9	13　50.2
	月	日	時	分	天緯	時較＋
日沒真時	2	3	16	31.1	南16度45.0分	13分52.7秒
時較並地經			＋	14.3	－　.7	＋　.3
格林均時	2	3	16	45.4	南16　44.3	13　53.0

仍用上列公式

地緯＝　51度10分　　正切對數＝0.094216

極距＝106　50.9　　餘切　　＝9.481143

餘弦　　＝9.575359

故日出之真時＝7時28分23秒

時較　＋ 13　50

是日出之均時＝7　42　13

地緯＝　51度10分　　正切對數＝0.094216

極距＝106　44.3　　餘切　　＝9.478174

餘弦　　＝9.572390

故日沒之午後真時＝4時32分15秒

時較　＋ 13　53

是日沒之午後均時＝4　46　8

又晝之時間＝　4時46分　8秒＋(12時－7時42分13秒)

$= \underline{9時\ 3分55秒}$

夜之時間 $=$ 14時56分 5秒

吾人亦可用此公式，時角餘弦 $= -$ 地緯正切 $\times$ 極距餘切,以求任何天象出沒之均時。惟須加下列之公式,

均日時角 $=$ 星之時角 $+$ 星之天經 $-$ 均日天經。

如該象爲恆星，用上列兩公式,卽得本地大約均時。若再改正均日天經,可得準確之均時也。

例題　1928年，4月7日，在北緯39度8分東經117分15分。求織女星(Vega)出沒之大約均時。

用第一公式,

$$\overset{-}{星之時角餘弦} = -\ 地緯正切 \times \overset{+}{極距餘切}$$

地緯 $=$ 39度 8分,		正切對數	$=9.910435$
極距 $=$ 51　17.4		餘弦	$=9.903844$
3時17分13秒		餘弦	$=9.814279$

茲因該餘弦係負號,故星時角 $=$ 8時42分47秒

用第二公式,

均日時角 $=$ 星時角 $+$ 星天經 $-$ 均日天經。

	時	分	秒		時	分	秒
星沒時角 $=$	8	42	47	星出時角 $=$	15	17	13

星天經＝	18 31 30	星天經＝	18 34 30
春分點時＝	3 17 17	春分點時＝	9 51 43
均日天經＝	1 0 4	均日天經＝	1 0 4
均日時角＝	2 17 13	均日時角＝	8 51 39

故該星沒時在本地午後均時2時17分13秒

故該星出時在本地午後均時8時51分39秒

(註)按該公式，真時之餘弦＝地緯正切×極距餘切，或均日時角餘弦＝－地緯正切×極距餘切，設測者之地緯與太陽之天緯南北同名，則極距小于90度，其餘切卽係正號。則真時餘弦自亦正號，而該時角餘弦爲負號。是真時小于6時，而該時角大于6時。故日出之時在6時之前，而晝之時間多于12時，卽晝長夜短也。設測者之地緯與太陽之天緯，一南一北，則日出之時，與晝夜之時間，完全相反耳。設測者在赤道上，該地緯等于零，其正切亦等於零，則真時或時角自亦等于零。是日出之真時爲6時，而日沒爲下午6時，晝與夜之時間各爲12時。設太陽在春分或秋分之點，其極距則係90度，極距之餘切卽等于零。是日出與日沒之真時同爲6時，一在上午一在下午。而晝夜亦平

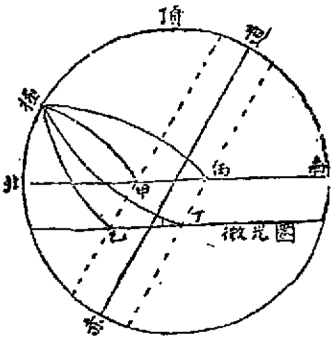
分耳。

微光之時間

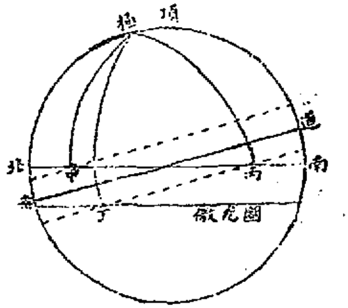
(Duration of Twilight)

日出之先與日沒之後,各有微光。吾人稱爲黎明與黃昏。究竟該微光歷若干時,按閱歷經驗所得,僉信太陽在測者真天涯下18度內之時間,俱有此光。惟其時間之長短,須隨測者之地緯與太陽之天緯而異也。

(1) 低緯



(2) 高緯



如上二圖。設北頂南爲測者之子午線。北甲南爲其真天涯。微光圈卽在此天涯 18 度之下。與赤道平行之二圈,乃太陽每日過行之線,一爲夏季,一爲冬季。該二圈之弧,在天涯之上者爲晝,介於天涯與微光圈之間

者，爲黎明或黃昏。在微光圈之下者則爲夜。

今設甲與丙爲太陽到天涯時之點。乙與丁爲太陽入微光圈之下時之點。並由天極畫各緯圈，如極甲，極乙等。吾人卽可尋求微光之時間如下。

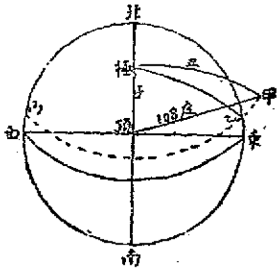
如第一圖，在低緯之地。甲極乙角係夏季之微光時間

如第一圖，在低緯之地。丙極丁角係冬季之微光時間

如第二圖，在高緯之地。丙極丁角係冬季之微光時間

由是卽知測者如在高緯之地，該處之微光時間較長於低緯之處。緯度愈高，微光時間愈長。且有時祇有白晝與微光，而無黑夜。或有微光與黑夜，而無白晝耳。惟測者若近赤道，則微光漸短。其最短者卽在赤道，約需1時12分，太陽渡此18度之弧也。

如下圖。設東南西北爲測者之真天涯，餘與前同。設甲乙丙爲當日太陽週行之圈。甲乃太陽到天涯下18度之點，乙乃太陽到天涯時之點 是甲極北角爲微光起始之真時，乙極北角爲日出之真時。



該兩時相較，卽微光之時間也。今在此直角弧三角極

北乙中，已知極北等於測者之地緯，並知極乙即太陽之極距，可得乙極北角。又在弧三角甲頂極中，已知極頂，極甲，與頂甲三弧邊，可得頂極甲角，即能得甲極北角。應用兩公式如下。

日出真時之餘弦＝地緯正切×極距餘切・・（Ⅰ）

時角半正矢＝$\sqrt{(108\text{度}+\text{極距}-\text{餘緯})}$

×$\sqrt{(108\text{度}-\text{極距}-\text{餘緯})}$

×極距餘割×餘緯餘割・・（Ⅱ）

例題　1928年3月25日，在北緯32度6分。求當日之微光時間幾何。

用公式（Ⅰ）

地緯＝32度6分，	正切對數＝9.797474
極距＝88　7	餘切對數＝8.516961
	餘弦對數＝8.314435

是日出之真時＝5時55分16秒。

用公式（Ⅱ）

極距＝　88度　7分	餘割對數＝0.072054
餘緯＝　57　54	餘割對數＝0.000235
30　13	

項距＝108　0

和＝138　13　　　$\sqrt{\text{半正矢對數}}$＝4.970466

較＝ 77　47　　　$\sqrt{\text{半正矢對數}}$＝4.797856

半正矢對數＝9.940611

得黎明時午前時角＝7時30分44秒

是黎明時之真時＝4　29　16

但日出時之真時＝5　55　16

故黎明之時間＝1時26分

(註)此項問題，勿庸演算兩次，以求準時。緣18度亦係約略之數也。

練習題

1. 5月26日，上午約9時45分，在北緯50度48分，西經1度6分，該時船錶指示9時47分37秒，用羅經測得太陽在南31度7分東。錶較格林均時快3分17秒。求羅經之自差，其偏差係33度35分西。　答10度東。

2. 12月14日，下午約2時，在北緯48度50分，西經1度30分。該時船錶指示1時59分55秒，用羅經測得太陽在南51度40分西。錶較格林均時快0分5秒。求羅經之自

差，其偏差爲12度44分西。 答10度44分西。

由日歷錄格林午時	太陽天緯		每時改	時較		每時改
	度	分	分	分	秒	秒
5月26日	21	4.4北	加0.48	加3	19.5	減0.26
12　14	23	12.6南	加0.14	加5	15.1	減1.2

3. 4月28日，上午約8時40分，在北緯34度45分，西經48度20分。太陽之羅經方向爲南70度東，其中心之真高度爲43度56分。求該羅經之總差。 答5度26分西。

4. 5月4日，上午約7時45分，在北緯51度30分，西經27度5分。太陽之羅經方向爲南80度東，同時測得其下邊之高度爲29度18分。器差無，眼高19呎。羅經之偏差爲10度西，求其自差。 答11度31分東。

5. 5月6日，上午5時30分，在北緯50度48分，東經47度12分。太陽出時之羅經方向爲南87度50分東。求該羅經之自差，其偏差係24度20分西。 答4度44分西。

6. 11月14日，在南緯32度14分，東經100度。太陽落時下午6時45分，用羅經測其方向爲南74度20分西。求該羅經之自差，其偏差係16度西。 答9度44分東。

由航海日歷摘錄

格林午時	太陽天緯	每時改	半徑差
4月28日，	14度17.4分北，	加0.8分，	15分56秒，
5 4	16 5.6 北	加0.7	15 53
5 6	16 43.7 北	加0.7	
11 14	18 25.3 南	加0.6	

7. 1月1日，在北緯31度13分，求日出與日沒之本地真時，暨晝與夜之時間。 答上午6時59分52秒，下午5時0分8秒，晝10時0分16秒，夜13時59分44秒。

8. 7月1日，在北緯31度13分。求日出與日沒之本地真時，暨晝與夜之時間。 答上午4時59分50秒，下午7時0分10秒，晝14時0分20秒，夜9時59分40秒。

9. 1月1日，在北緯31度13分。求當日之微光時間幾何。答1時30分47秒。

10. 10月10日，在北緯31度13分。求天狗星 (Sirius) 出時之本地均時。 答下午11時11分37秒。

11. 12月31日，在北緯30度30分。求木星 (Jupiter) 出沒之大約本地均時。 答出上午11時22分27秒，沒下午11時8分15秒。

由航海日歷摘錄

1月 1日,太陽天緯23度 5分南。

7月 1日,太陽天緯23度11分北。

10月10日,均日天經13時12分 0秒,

天狗星天經6時41分57秒,天緯16度36.7分南

12月31日,均日天經18時33分42秒,

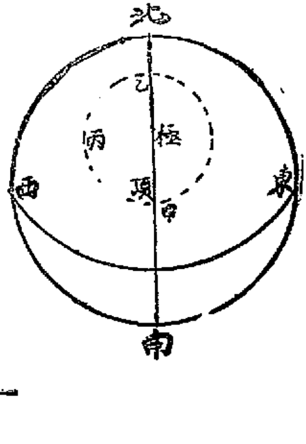
木星天經23時49分 3秒,天緯 2度35.0分南

12. 12月23日,在北緯50度50分,求當日之太陽天緯爲南23度27分。求其微光之時間。 答2時8分53秒。

第十一編

測天象到極下子午線時之高度以求地緯。

(Latitude by Meridian Altitude below Pole)



如圖。設東南西北爲測者之真天涯,餘同前。設甲丙乙爲天象當日之週行圈。甲與乙卽該象過子午線時之兩點。甲在極上,乙在極下。乙北弧卽

該象到極下子午線時之高度也。

今知測者之地緯＝極之高度＝乙北弧＋極乙弧

是測者地緯＝天象到極下子午線時高度＋該象極距。

該地緯稱南稱北，應與該極同名耳。

注　意

(1)測者能見天象到其子午線下之點，其地緯必須大于或等于該象之極距也。

(2)設該象爲日，到極下子午線之本地真時，則係0時0分。如該象爲月，其均時則載在航海日歷之內。如係行星則在于該日歷所載兩時之間。倘係恆星，則於下章詳之。

例題　1928年，6月14日，在西經45度。用人造地平測得太陽到北極下子午時之上邊高度爲10度10分40秒，器差減4分10秒。求測者之地緯。

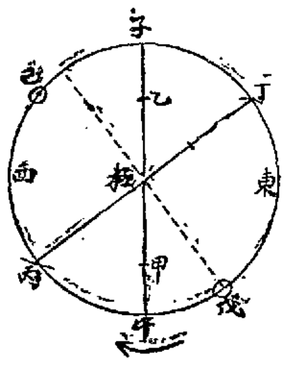
	月	日	時	分		度	分
本地真時	6	14	0	0	天緯北	23	15.1
西經			3	0			＋.1
格林真時	6	14	3	0		北23度15.2分	
					極距＝	66度44.8分	

	度	分	秒
初測高度＝	10	10	40
	−	4	10
2)	10	6	30
	5	3	15
半徑差		−15	48
	4	47	27
折光併視差		−10	11
真高度＝	4	37	16
極距＝	66	44	48
故測者地緯＝	71	22	4北

恆星到極下子午線之時

(Time of Star's Lower Meridian Passage)

參觀第八編，已知尋求恆星轉到極上子午線之時。今祗將該時或加或減12星時，卽11時58分2秒之均時，而與題中所求之日期相符者，卽爲該星到極下子午線之時也。



如圖。設西午東爲天球赤道，極爲北極，子極午爲測者子午線。設甲爲恆星到極上子午線之點。而同時之春分點與

均日卽在丙與戊之位。今設天球自東而西旋轉半週，該恆星卽到極下之乙點。而同時之春分點與均日則轉至丁與己之位也。

是午後均時＝午酉己弧＝丙午－丙戊＋戊丙己弧

＝星之天經＝均日天經＋11時58分2秒。

例題　1928年，10月10日，在東經120度。求河鼓(Altair)星到極下子午線之約略均時。

該星天經＝19時47分17.4秒

均日天經＝13時13分23.4秒

是星到極上子午線之午後均時＝ 6時33分54秒

卽星到極上子午線之本地均時＝18時33分54秒

減12星時，卽－11時58分 2秒

故星到極下子午線之本地均時＝ 6時35分52秒

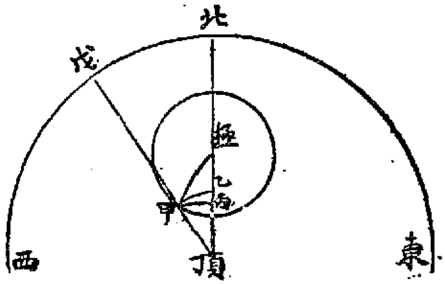
(註)是題減12星時者，因要該答數與10日相符也。

測北極星之高度以求地緯。

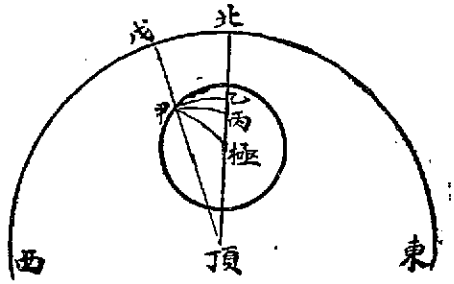
(Latitude by Altitude of Polaris)

北極星並非正對北極，其極距約1度有零。該星甚易辨識。在北緯者每夜多能見之。無論何時，均可測其高度，以求所在地之緯度。

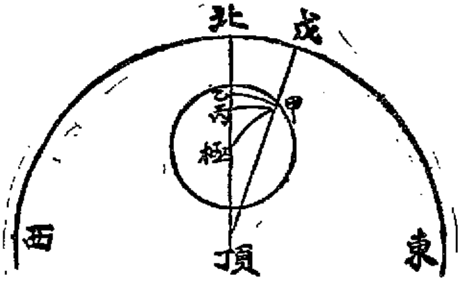
如該四圖。設東北西爲測者之天涯，項北爲其子午線。繞極之小圈爲北極星每日週行之圈，甲爲該星之位，極甲爲天緯圈之弧。設由項點畫高度圈弧項甲戊，並以項爲中心，項甲爲半徑，畫一圈弧甲乙。又由甲點畫一圈弧甲丙，垂直于子午線。



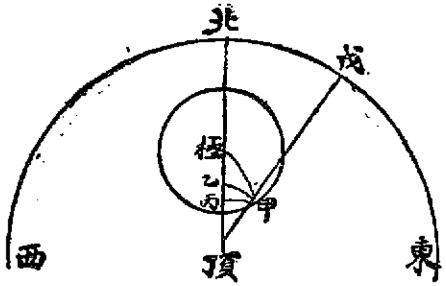
(1)時角在0時與6時之間



(2)時角在6時與12時之間



(3)時角在12時與18時之間



(4)時角在18時與24時之間

今先就(1)圖而言。

測者之地緯

　=極北弧=北乙－極乙=戊甲・極丙＋乙丙

但在極甲丙弧三角中，其最大弧邊極甲僅約70分，可以

　當作直線。是極甲丙可作為直角平三角。

故極丙線

　＝極甲×甲極丙餘弦＝該星極距×時角餘弦。

是測者地緯＝北極星高度－極距×時角餘弦＋乙丙。

茲觀(4)圖與(1)圖完全符合，儘可證明其公式同上。惟觀(2)與(3)兩圖，極北弧＝戊甲＋極丙＋乙丙。

是測者地緯＝北極星高度＋極距×時角餘弦＋乙丙。

故普通之公式爲

　測者地緯＝北極星高度±極距×時角餘弦＋乙丙。

　(註)用－符號者，其時角當小于6時或大于18時。

　　　用＋符號者，其時角當在6時與18時之間。

今惟乙丙弧，吾人應須計之。惟航海日歷特載北極星高度校數三表備用，茲先詳釋如下。該第一表之校數係代極距×時角餘弦。但表中不以時角而以星時爲題旨。緣星之時角＝本地星時－星之天經。今省手續祗要星時耳。第二表之校數卽爲乙丙弧之價値，亦以星時並以高度爲題旨。第三表因前兩表所擅用之極距與星之天經，較測度時之極距等，自有不同，故需校數。惟此數有正有負，特加1分，全爲正數。是以用該表時，宜將高度先減1分，以得其平也。

例題　1928年,3月21日，下午10時0分，在東經117度15分。測得北極星之高度爲38度22分0秒，器差加4分25秒，眼高21呎。求測者之地緯。

本地時	3月21日22時	0分
經時	− 7時	49分
格林時	3月21日14時	11分

東經117度15分
　　　　　　4
60)469　　0
　　7時49分

北極星天緯＝88度55.2分

	時	分	秒
均日天經	＝23	55	20.7
		+	1.6
	＝23	55	22.3
均日時角	＝10	0	0
本地星時	＝9	55	22

	度	分	秒
初測高度	＝38	22	0
器差	+	4	25
	38	26	25
眼高差	−	4	31
	38	21	54
折光差	−	1	13
真高度	38	20	41
−		1	
	38	19	41
用第一表	+	37	8
	38	56	49
用第二表	+	0	21
用第三表	+	1	12
故測者地緯	＝38	58	22北

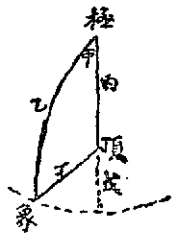
測天象行近子午線之高度，以求地緯。

(Latitude by Ex-Meridiam Altitude)

第八編所詳測子午線上之天象高度,以求地緯諸法。簡便準確,當無逾此。惟是測時必須俟該天象恰到子午線之上。倘在茲短時間內,適遇浮雲遮蔽,或測者偶有意外之事,則以上各法,皆不能行。

今用近子午線之高度,以備前法不能行時用之。是法亦甚簡便。且測時可省守候該象行到子午線之時間。其法詳下。

如圖。在此極頂象弧三角中。設



甲爲該天象之東或西時角,

乙爲該天象之極距,

丙爲測者之餘緯。

丁爲該天象之頂距

戊爲該天象在子午線時之頂距。

茲因戊＝乙∽丙,故

戊之餘弦＝乙餘弦×丙餘弦＋乙正弦×丙正弦

但丁之餘弦＝乙餘弦×丙餘弦＋乙正弦×丙正弦×甲角餘弦

是　戊餘弦－丁餘弦＝乙正弦×丙正弦(1－甲餘弦)

即　$2\times\frac{丁-戊}{2}正弦=\frac{2\times乙正弦\times丙正弦}{\frac{1}{2}(丁+戊)正弦}\left(\frac{甲}{2}正弦\right)^2$

今因該象甚近子午線，$\frac{1}{2}$(丁－戊)與甲角，皆極細微。設前者爲弧之秒數，後者爲時之分數。則

$\frac{1}{2}(丁-戊)正弦=\frac{1}{2}(丁-戊)\times1秒弧之正弦$，並

$\frac{1}{2}甲正弦=\frac{1}{2}甲\times1分時正弦=\frac{1}{2}甲\times15分弧正弦$

故上列之公式可化爲

$$(丁-戊)\times1秒正弦=\frac{2\times天緯餘弦\times地緯餘弦}{\frac{1}{2}(丁+戊)正弦}\times\left(\frac{甲}{2}\times15分正弦\right)^2$$

且$\frac{1}{2}$(丁＋戊)可等于戊。如天緯與地緯，南北異名，則戊＝地緯＋天緯，如係同名，則戊＝地緯∽天緯。

故$丁-戊=\frac{天緯餘弦\times地緯餘弦\times(15分正弦)^2}{2\times(地緯\pm天緯)正弦\times1秒正弦}\times甲^2$

茲設癸爲該公式中，甲^{2}之係數，卽得

$$丁-戊=癸\times甲^2。$$

此卽　子午線上之頂距＝測時頂距－癸×甲^2。

或　子午線上之高度＝測時高度＋癸×(時角分數)^2。

各種校數表

(Correction Tables)

最新航海表俱載有此項校數表。稱曰近子午線之高度

表 (Ex-Meridian Altitude Tables)。使測者計算簡便。茲特詳明如下。

第一表,係備作更改初測高度爲真高度之用。內分太陽與星 行。前行校數卽眼高差,折光差,半徑差(設測度係太陽下邊),與視位差之總數。後行校數乃眼光差與折光差之和。

第二表,係根據測者之地緯,與天象之天緯,指示測象時該象時角之限制。

第三表,專載癸之價値。全以地緯與天緯爲標準。計分前後二段。前段供兩緯同名之用,後段供兩緯異名之用。

第四表,係癸×甲^{2}之價値,卽所求之校數。加諸所測真高度,而得子午線上之真高度也。

例題一　1928年,7月20日,約上午11時15分,在南緯約28度,西經177度30分。測得傍子午線太陽下邊之高度爲39度59分30秒。眼高16呎。當時船錶指示11時40分47秒。該錶較格林均時快27分44秒。求測者之緯度。

	月	日	時	分	
大約本地時	7	20	11	15	太陽天緯＝北20度35,1分
西經			+11	50	
大約格林時	7	20	23	5	真均時差＝＋6分12.5秒

	時	分	秒
船錶時	11	40	47
,, 差		−27	44
格林均時	23	13	3
時較	−	6	12.5
格林真時	23	6	50.5
西經	11	50	0
本地真時	11	16	50.5
東時角	0	43	9.5

		度	分	秒	
初測高度		39	59	30	
第一表校數			+10	48	
真高度		40	10	18	
第三癸表	2.00秒	1	2	6	第四表
	.10秒		3	6	
	.06秒		1	52	
子午線上高度		41	17	22	
子午線上頂距		48	42	38	
太陽天緯		20	35	6北	
故測者地緯		28	7	32南	

例題二　1928年,7月16日，約下午7時20分，在北緯約39度50分,東經72度30分。測得木星近子午線之高度爲62度24分0秒，眼高16呎。當時船錶指示2時25分0秒。此錶較格林均時快3分40秒,求測者之地緯。

	月	日	時	分
大約本地時	7	16	19	20
地經			− 4	50
大約格林時	7	16	14	30

東經72度30分

	東經72度30分	
	4	
60	290	0
	4時50分	

木星天經	2時	21分	10秒
			+18
=	2	21	28

木星天緯	12度46.7分北
	+ 1.4 ,,
=	12度48.1分北

	時	分	秒
均日天經	7	36	37.7
		+	4.9
=	7	36	42.6

	時	分	秒
錶時	2	25	0
錶差		−3	40
格林均時	14	21	20
東經	4	50	
本地均時	19	11	20
均日天經	7	36	42.6
春點時	2	48	2.6
木星天經	2	21	28.0
木星時角	=0	26	34.6

		度	分	秒	
初測高度		62	24	0	
第一表校數			−4	27	
真高度		62	19	33	
第三癸表	3.00秒		35	34	第四表
	.20秒		2	22	
	.04秒			28	
子午線上高度		62	57	57	
子午線上項距		27	2	3	
木星緯度		12	48	6北	
故測者地緯		39	50	9北	

練習題

1. 6月10日，在西經30度30分。測得太陽到北極下子午線時之下邊高度爲4度38分30秒，器差減2分10秒，眼高18呎。求測者之緯度。 答北緯71度38分。
2. 1月11日，測得第一大熊星(a Ursae Majoris)到極下子午線時之高度爲14度14分30秒，器差減2分10秒，眼高18呎，求測者之緯度。 答北緯41度30分。
3. 2月10日，測得天舟星(Canopus)到南極下子午線時之高度爲6度41分10秒，器差減2分10秒，眼高14呎。

求測者之地緯。 答南緯43度50$\frac{1}{2}$分。

由航海日歷摘錄	天緯	每時改	半徑差
6月10日，格林子時，太陽，	22度58.6分北	加0.2分	15分16秒
1月11日，第一大熊星，	62度3.5分北		
2月10日，天舟星，	52度37.3分南		

以下兩數，須由航海日歷所載之北極星三表，自尋校數。此校數每年稍異，故下列答數微有不同。

4. 7月20日，下午11時40分，在東經42度。測得北極星之高度爲35度30分40秒，器差減4分10秒，眼高15呎。求測者之地緯。 答北緯35度18分。

5. 9月9日，下午10時47分，在西經12度30分。測得北極星之高度爲37度4分20秒，器差減2分10秒，眼高20呎。求測者之地緯。 答北緯36度6分。

由航海日歷摘錄	均日天經	每時改
7月20日，格林午時，	7時54分0秒	加10秒
9月9日，格林午時，	11時15分45秒	加10秒

6. 11月14日，午後，在南緯約57度21分，西經1度0分。測得近子午線太陽下邊之高度爲50度26分20秒。頂距在南，器差減2分20秒，眼高10呎。屆時船錶指示0時25分27秒。此錶快于格林均時5分56.7秒。求測者之地緯。 答南緯57度16分。

7. 6月30日，午前，在北緯約43度，西經23度30分。測得近子午線太陽下邊之高度為69度50分20秒，頂距在北，器差加2分20秒，眼高14呎。當時船錶指示1時30分15秒，該錶較格林均時快7分32秒。求測者之緯度。

答北緯42度56分。

由日歷錄格林午時	太陽天緯 度	分	每時改 分	時較 分	秒	每時改 秒	半徑差 分	秒
11月14日	18	18.1南	加.65	15	23加	減.41	16	13
6月30日	23	14.5北	減.16	3	3.7減	加.49	15	46

第十二編

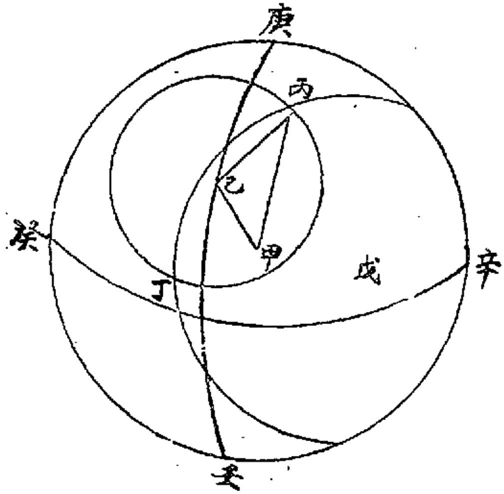
薩謨涅氏之原理

(Sumner Problem)

如圖，設庚辛壬癸為地球，甲為其中心，庚與壬為其兩極，辛癸為其赤道。設由甲至一天象畫一直線，割在地面乙點。此點乃該天象直射地面之位。其地緯即該象之天緯，其地經乃該象之格林時角也。

今設乙甲丙角，為所測該象之真頂距。並在地面，以乙點為極，以頂距乙丙為弧半徑，畫一小圈丙丁。是在

此小圈週上，無論何點，該天象之頂距皆同。卽謂其



高度皆同。故該圈丙丁，稱曰同高度之小圈（Parallel of Equal Altitude）由是知測者之地位，必在此小圈週之上耳。

若仍用該天象，越幾點鐘後，再測一次高度。或同時測兩個天象之高度。吾人卽可再畫一同高度之小圈，如戊丙丁然。該兩圈相交之二點爲丙與丁。是知測者之位點，必在該二點之一。但由駕駛計法，測者已知其大約經緯度。故可決定測者在何點也。

位點線

(Line of Position)

設在同高度之圈弧上，逼近測者位置之點，畫一短切線。此切線可與該弧相合，卽可以代該弧。是爲位點線，或稱薩謨湼氏線(Sumner Line)

茲因該天象之方向，應與該弧上任何切線交成直角，故如已知天象之方向，欲由一點畫位點線甚易耳。

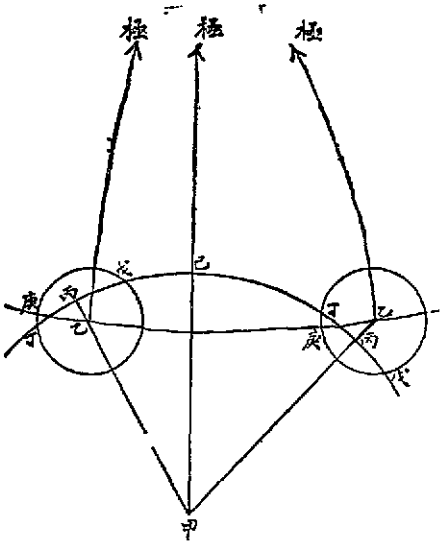
例如假定測者之緯度若干。同時測得天象之高度（該象須離子午線愈遠愈宜。）卽可計及測者之經度幾何。後將該經緯度點在墨克忒氏圖上，再由此點畫一直線，正交於該象之方向。卽得測度時之位點線，是法稱爲船錶法(Chronometer Method)航海家常用之。

更有一法，用之以畫位點線，稱曰新航術 (New Navigation)。其與船錶法同一重要。且天象近子午線時亦可用之。該法詳下。

如圖。設甲爲天象直射地面之點。該象之高度已經測過。丁己戊卽其同高度之圈弧。設乙爲測者之大約位點。極爲地球之極，庚乙爲赤道平行弧。

今因測者之準確位點與乙點相距幾何，完全未知。假定

其最大距離爲乙丁。卽以乙爲極，以乙丁爲弧半徑，



畫一小圈丁庚戊。則測者之準確位點，當在此小圈之內。惟其亦當在此丁己戊之圈弧上。故該位點必在丁戊之弧上，介於丁與戊之間。析中而計，丁戊之正中點，如丙是爲測者之準確位點，或最近該位點也。

玆因乙爲丁庚戊之極。丙爲丁戊之中點，故乙丙垂直於丁戊。又因甲爲丁戊己之極，故甲丙亦垂直於丁戊。是以甲丙與乙丙當在同一圈弧耳。

今在此弧三角極甲乙中，已知天象之極距，卽極甲弧。

與測者之餘緯，即極乙弧。並該象之時角，即甲極乙角。便可計得第三弧邊甲乙，即該象與乙點之頂距。此與所測之真頂距甲丙相較，則得乙丙。即所計之真高度與所測之真高度之差也。

該差乙丙，原屬大圈之弧。但因甚短，故在墨氏圖上，可以直線代之。如所測之真高度較大於所計之高度，乙丙當與該天象同一方向，如係較小，則乙丙之方向當與該天象之方向相背耳。

既得丙點，由此畫一直線與甲丙交成直角，即得新航術之位點線。

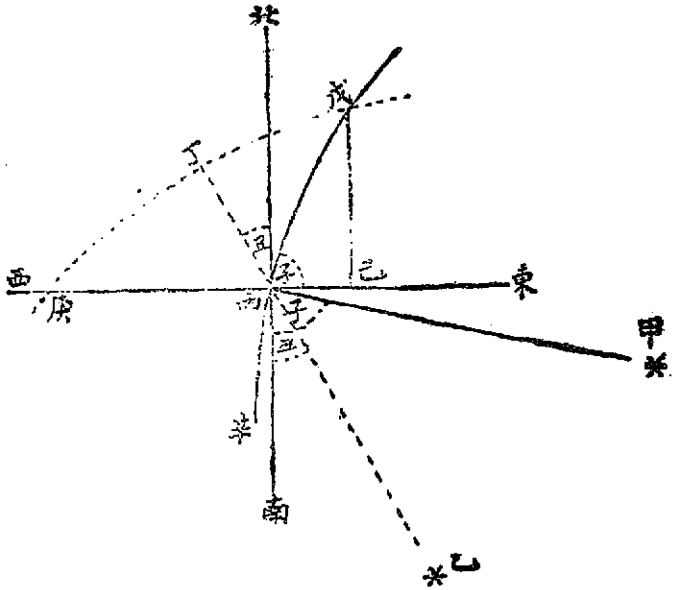
測兩次天象高度，以求經緯度。

(Lat. and Long. by Double Altitudes)

用薩謨涅氏法，測兩次天象高度，以求船位。在航海術中最爲重要。如用海圖以尋答數，自較簡捷。惟若無圖，亦可用公式而計之也。

倘首次測度之後，船仍進行。第二次測度之時，船位自與上次不同。則當將首次所得之位點線，畫在第二次船位之上。

今設在一地點，測過兩次天象高度。



如圖。設甲與乙爲一天象不同時，或兩天象同時，直射地面之兩點。甲點距子午線較遠。設丙戊與丁戊爲測度時，甲與乙之同高度之圈弧。兩弧互交之點爲戊戊卽測者之準確地點。

假定測者之緯度在庚己平赤弧上。而以甲之高度，用船錶法計其經度，卽得丙點。甲之方向，當爲南丙甲之角，等於戊丙己之角。或算或測，得若干度，稱曰子角。

今用丙之經緯度，按新航術，計算乙象之高度。此與所測之真高度相減。其差設爲丙丁，即得丁點。乙之方向，當爲南丙乙之角，等於北丙丁之角。或算或測，得若干度，稱曰丑角。

丙丁原係大圈之弧。但因甚短，在海圖上可畫一直線。且丙丁戊可作一直角平三角也。

今按三角學理。　戊己＝丙戊×戊丙己正弦

但丙戊＝丙丁×戊丙丁正割＝丙丁×辛丙乙正割

＝丙丁×甲丙乙餘割

故戊己＝丙丁×戊丙己正弦×甲丙乙餘割

即　緯度之校數$=\dfrac{\text{丙丁}\times\text{子角正弦}}{(\text{子}-\text{丑})\text{正弦}}$ ・・・・・(1)

再丙己＝丙戊×戊丙己餘弦

＝丙丁×戊丙己餘弦×甲丙乙餘割

但丙己＝橫距＝經差×緯度餘弦

故　經度之校數$=\dfrac{\text{丙丁}\times\text{子角餘弦}}{\text{緯度弦餘}\times(\text{子}-\text{丑})\text{正弦}}$ ・・(2)

(註)丙丁即所測真高度與所計真高度之差。(子－丑)乃兩天象之方向相交之角。

例題一　1928年,7月7日,按駕駛計算，船在南緯34度，東經173度。測得兩次高度列下。

大約本地時	船錶時	太陽中心真高度
上午 8時15分	9時6 分18秒	10度39分
上午10時20分	11時10分50秒	27度40分

船錶較格林均時快27分11秒。當兩次測度之時間。船向南25度東，行駛20浬。求第二次之準確船位，並每次之位點線方向。

(1) 用船錶法，先求測者之首次經度

	大約時					準確時		
本地時	7月	7日	8時	15分	船錶時	9時	6分	18秒
東經			−11	32	船錶差		−27	11
格林時	7	6	20	43	格林均時	20	39	7

太陽天緯	時較
北22度39.8分	4分35.2秒
−.2	÷.3
北22度39.6分	+4分35.5秒

	度	分	秒		
地緯=	34	0	0南	正割對數	0.081426
天緯=	22	39	36北	正割對數	0.034890
	56	39	36		
頂距=	79	21	0		
和=	136	0	36	√半正矢對數	4.967181
較=	22	41	24	√半正矢對數	4.293822
東時角=	3時	53分	49秒	半正矢對數	9.377319
	12				
本地真時=	8時	6分	11秒		
時較		+4分	35秒		

本地均時＝7日 8時10分46秒
格林均時＝6 20 39 7
首次測者經度＝11 31 39
60
4)691 39 0
＝172度54分45秒東

求首次太陽方向，與船之位點線。

用時角真向表。已知地緯＝34度南，天緯＝22度40分北，

真時＝8時6分。得太陽方向＝北53度東。(子角)

故首次位點線之方向＝北37度西或南37度東

由首次至二次，航行南25度東，20浬。

	度 分		度 分
首次駕駛計緯度＝	34 0 南，	天文測經度＝	172 54.7東
航行緯差＝	18.1南	航行經差＝	10 東
二次駕駛計緯度＝	34 18.1南，	天文測經度＝	173 4.7東

(2)用新航術求測者之經緯度

	時 分 秒		度 分
船錶時	11 10 50	太陽天緯北	22 39.3
船錶差	－27 11		－.2
格林均時	22 43 39	＝北	22 39.1
時較	－ 4 36		分 秒
格林真時	22 39 3	時較＋	4 36.0
東經	11 32 19		＋.3
本地真時	10 11 22	＝＋	4 36.3

東時角＝ 1 48 38　半正矢對數8.741354

地緯＝南34度18.1分　餘弦對數9.917032

天緯＝北22　39.1分　餘弦對數9.965138

助角＝23　39.6　半正矢對數8.623524

地緯＋天緯＝56　57.2　正矢＝0.084057

項距＝62　31.9　正矢＝0.454678

90　正矢＝0.538735

故所計高度＝27　28.1

但所測高度＝27　40.0

是　高度差＝　11.9分（與太陽同向）

求二次太陽方向，與船之位點線。

用時角真向表。已知地緯＝34度18分南，天緯＝22度39分北，真時＝10時11分。得太陽方向＝北28度東（丑角）故二次位點線之方向＝北62度西或南62度東

今用兩公式如下。

$$緯度之校數＝\frac{高度差\times子角餘弦}{(子－丑)角正弦}\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$經度之校數＝\frac{高度差\times子角餘弦}{緯度餘弦\times(子－丑)角正弦}\cdots(2)$$

高度差＝11.9分　對數＝1.075547

子角＝53度 9分。　正弦對數＝9.903203

(子－丑)＝25度17分，　餘割對數＝0.369476

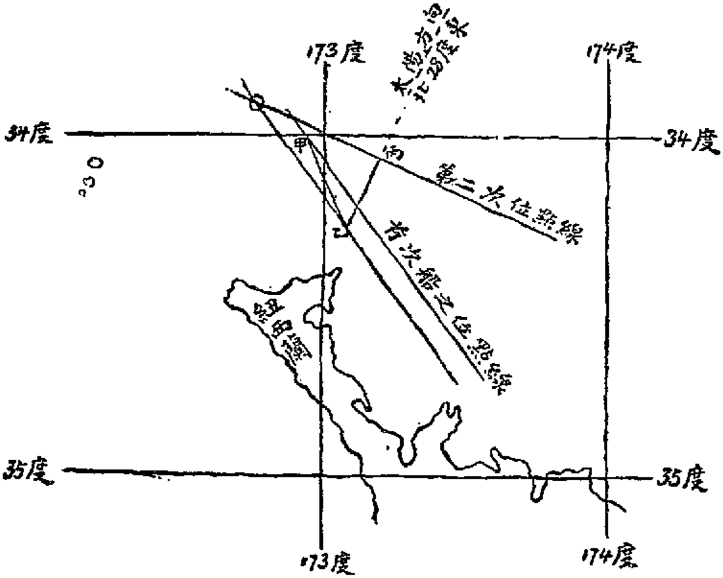
故緯之校數＝22.3分　對數＝1.348226

高度差＝11.9分	對數＝1.075547
子角＝53度 9分	餘弦對數－9.777950
緯度＝34度18分	正割對數＝0.082968
(子－丑)－25度17分	餘割對數＝0.369476
故經之校數－20.2分	對數＝1.305941

第二次經緯度

度 分　　　　　　　　度 分

駕駛計算緯度＝34 18.1南，天文推測經度＝173 4.7東



緯校數＝　22.3北　　　經校數＝　20.2西

是　準確緯度＝33 55.8南　　準確經度＝172 44.5東

(註)是題緯之校數爲北，因高度差與太陽同向，經之校數爲西，因兩次位點線向西而互交也。圖解如後。

甲爲首次測度時船位

甲乙爲兩次測度時間之航線

乙丙爲所測高度與所計高度之差

◉爲第二次準確船位

例題二　1928年4月15日，下午約10時30分。按駕駛計算，船在南緯34度，東經153度30分。測得兩個高度列下。

船錶時	兩星真高度與方向
0時44分 5秒	大蠍(Antares) 35度 0分，南80度東
0時46分40秒	大角(Arcturus)28度52分，北33度東

船錶較格林均時快23分26秒。求船之準確經緯度。

(1)用船錶法求測者之經度

	月	日	時	分		時	分	秒
大約本地時	4	15	22	30	船錶時	0	44	5
東經			−10	14	船錶差		−23	26
大約格林時	4	15	12	16	格林均時	12	20	39

大蠍天經

16時25分0秒

大蠍天緯

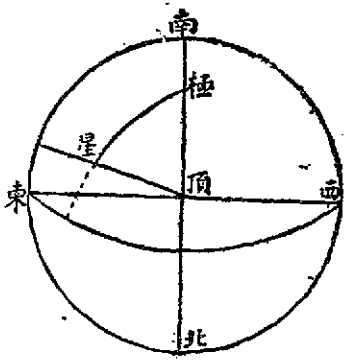
南26度16.5分

均日天經

1時33分34.8秒

+3.3

1時33分38.1秒



	度	分		
地緯＝	34	0南	正割對數	0.081426
天緯＝	26	16.5南	正割對數	0.047363
	7	43.5		
頂距＝	55	0		
和＝	62	43.5	√半正矢對數	4.716380
較＝	47	16.5	√半正矢對數	4.603089
東時角＝	4時15分57秒		半正矢對數	9.448258

24

星之時角＝19時44分 3秒

星之天經＝16時25分 0秒

春點時角＝12時 9分 3秒

均日天經＝1時33分38秒

均日時角＝10時35分25秒

本地均時＝22時35分25秒

格林均時＝12時20分39秒

測者地經＝10時14分46杪東
60
4)614 46
＝153度41.5分東

(Ⅱ)用新航術求測者之經緯度

	時	分	杪
船錶時＝	0	46	40
船錶差		－23	26
格林均時＝	12	23	14
測者地經＝	10	14	46
本地均時＝	22	38	0
均日時角＝	10	38	0
均日天經＝	1	33	39
春點時角＝	12	11	39
星之天經＝	14	12	24
星之時角＝	21	59	15
	24		
東時角＝	2	0	45

大角天經＝14時12分23.7杪

大角天緯＝北19度33.2分

均日天經＝1時33分34.8杪
＋ 4.0
＝1時33分38.8杪

地緯＝34度 0分南
天緯＝19度33.2分北

半正矢對數＝8.831279
餘弦 ,, ＝9.918574
,, ,, ＝9.974201
半正矢 ,, ＝8.724054

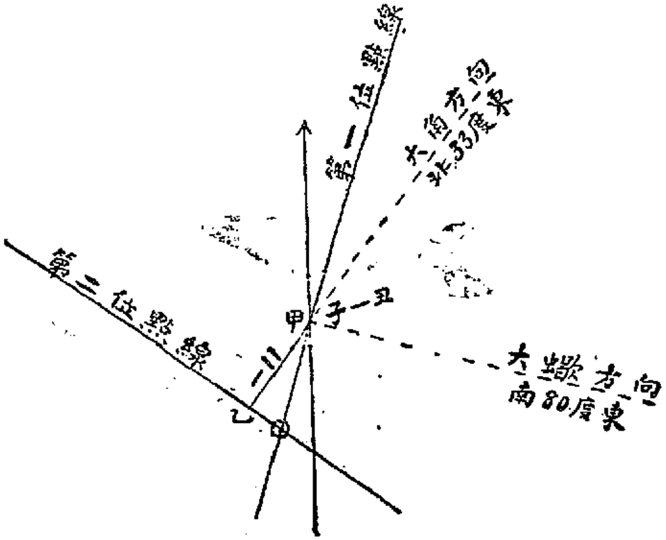
助角＝26度36.8分
地緯＋天緯＝53度33.2分
故頂距＝60度47 分
90度
所計高度＝29度13 分
所測高度＝29度 2 分
是高度差＝ －11 分(與大角星背向)

正矢＝0105950
,, ＝0405926
,, ＝0511876

用兩公式同上題

高度差＝11.0分，	對數1.041393	對數1.041393
子角＝80度，	正弦對數9.993351	餘弦對數9.239670
子－丑＝67度,	餘割對數0.035974	餘割對數0.035974
緯度＝34度，		正割對數0.081426
	11.8對數1.070718	2.5對數0.398463

	度 分	度 分
駕駛計算緯度＝	34 0南	天文推測經度＝153 41.5東
緯校數＝	11.8南	經校數＝ 2.5西
故準確緯度＝	34 11.8南	故準確經度＝153 39 東



練習題

1. 6月1日，按駕駛計算，船在北緯49度5分，西經8度30分，測得兩次高度列下。

大約本地時		格林均時			太陽真高度		太陽真方向
時	分	時	分	秒	度	分	度
上午 8	0	8	31	34	35	52	南83東
上午 10	10	10	44	10	55	5	南$48\frac{1}{2}$東

當兩次測度之時間，船向西北行駛25浬。求第二次之準確緯度與經度。　答北緯49度33.2分，西經9度10.2分。

2. 3月14日，按駕駛計算，船在北緯49度40分，西經7度35分。測得兩次高度列下。

大約本地時		格林均時			太陽真高度		太陽真方向
時	分	時	分	秒	度	分	度
上午 7	30	8	10	2	12	44	南71東
上午 9	40	10	21	40	30	20	南41東

當兩次測度之時間，船向西南行駛30浬。求第二次之準確船位。　答北緯49度12.8分，西經8度3.2分。

3. 5月2日，按駕駛計算，船在北緯50度10分，西經7度35

分。測得兩次高度列下。

大約本地時		格林均時			真高度		真方向
	時 分	時	分	秒	度	分	度
上午	3 45	4	15	40	牛郎星45	12	南29東
上午	6 0	6	25	3	太陽11	35	南86東

當兩次測度之時間,船向正東行駛24浬。求第二次之準確經緯度。 答北緯50度6.3分,西經7度14.4分。

4. 12月24日,按駕駛計算,船在北緯48度30分,西經8度55分。測得兩次高度列下。

大約本地時		格林均時			真高度		真方向
	時 分	時	分	秒	度	分	度
上午	6 30	7	5	25	木星42	38	南48西
上午	9 30	10	2	42	太陽10	40	南35東

當兩次測度之時間,船向東迆北行駛36浬。求第二次之準確船位。 答北緯48度39.6分,西經8度13.6分

由航海日歷摘錄	太陽天緯	時較
6月 1日,第一次,	22度10分北,	2分22秒減
第二次,	22度11分北,	2分21秒減
3月14日,第一次,	2度13分南,	9分10秒加
第二次,	2度17分南,	9分 8秒加

由航海日歷摘錄

5月 2日，	第一次，	星之天緯	星之天經	均日天經
		度 分	時 分 秒	時 分 秒
		8 34北	19 45 7	2 40 10
	第二次，	太陽天緯	時 較	
		15度18分北	3分13秒減	
12月24日，	第一次，	星之天緯	星之天經	均日天經
		度 分	時 分 秒	時 分 秒
		10 22北	10 32 4	18 17 12
	第二次，	太陽天緯	時 較	
		23度13分南	0分 7秒加	

第十三編

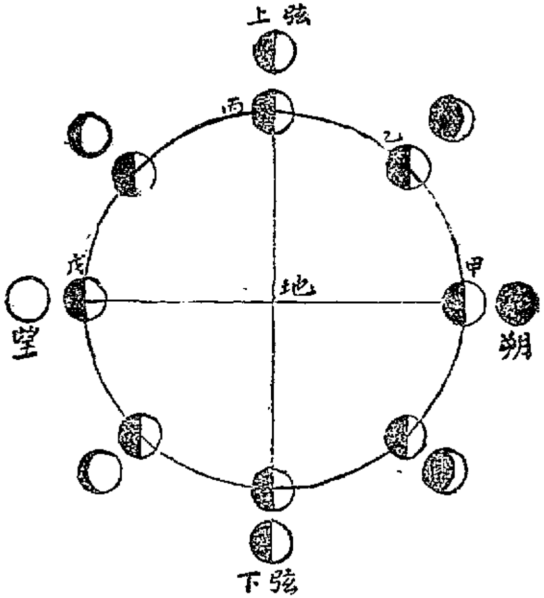
月面之盈虧

(The Moon's Phases)

月球環地球而行。自西至東，軌道作橢圓形。地球為其兩中心之一。其軌道平面較黃道略傾，角度為5度3分。44秒。月環地球一週，計行二十七天。其平均距地約

二十三萬八千哩。是僅三十倍地球直徑。故月球對於地面之吸力甚大也。

月球不能自行發光。賴日光所照，吾人自地面得望見之。惟日光祗照月球之半面，且因月球常行，而所對地球方向日異。故月面呈盈虧之狀。



如上圖。設圓圈爲月行軌道。地球爲其中心。太陽在圖外右方。當月球在甲位時，該球背日之面適向地球。故月面全黑，如圈外之球形然。吾人不能見之。稱之

曰新月(New Moon)。卽陰歷朔日也。迨月行至乙位，月球向日之半面，有一部份向地。故現出明月一鈎，如圖。俟月行至丙位，月地日三球，列成正角。月球向日之半面，有一半向地。故現明月半圓。謂之上弦(Ist Quarter) 卽陰歷初七八也。迨月行至戊位，日地月在一同方向，而月球向日之半面，全向地球，故現明月一團。謂之盈月或圓月(Full Moon)。卽陰歷望日也。迨及下弦(Last Quarter) 與上弦同。亦現明月半圓，在陰歷念二三也。如是月虧月盈，以至全黑，一週之間，計二十九日半。合乎陰歷一月。

陰歷月底，殘月一鈎。鈎外月面，亦淡然可見。陰歷月初亦然。此因日照地面，返射而映至月面耳。

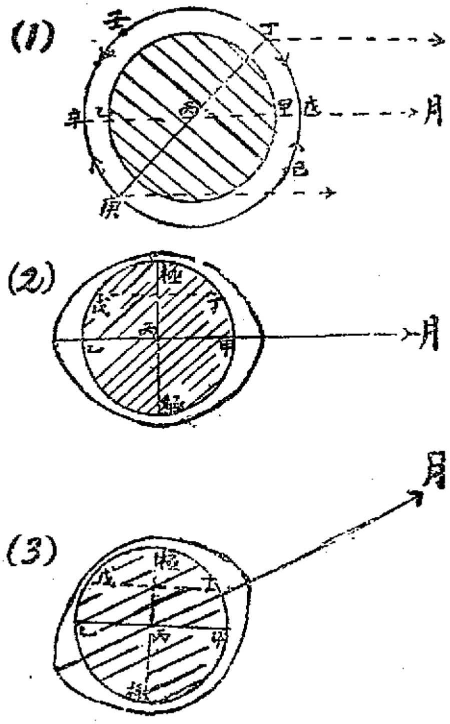
潮汐之漲落

(Rising & Falling of Water)

潮汐本係專指海洋水面，因月與日之吸力，高漲低落而言。玆因海水漲落，發生潮流 (Currents)。或向陸地進展，或由港灣退出。進稱漲潮 (Flood Tide)，退稱落潮(Ebb Tide)。漲至最高時曰高潮(High Water)，落至最低時曰低潮 (Low Water)。每太陰日(約24時

05分）漲落各二次。當漲落交替之際，有一時間，水面不動，是爲平潮(Slack Water)。如口窄而港廣者，則港外漲至平潮多時，而港內進潮猶續續不已。退潮亦然。

如第（1）圖。假定地面全爲海洋。外圈爲水面，內圈爲地殼。月在圓外右方。月對地面之吸力，當以所處之地位而別。其比例爲距月遠近之自乘數。如甲點對月，乙點則處於相反地位。故月於甲乙二點之吸力自異。今以地球中心丙點爲標準。設指定



在丁點一部份之水，受月吸力自較地心爲甚，故丁欲脫離丙。但丁受地心之吸力，該部份之水祇得向戊點而進。戊則正對月球。同時己點之水，亦向戊點前進。故在戊點之水堆起，成爲漲潮。

再論在庚與丁相反地位之水。庚點受月之吸力，自較地心丙點爲小。故丙欲脫離庚。但庚點受地心之吸力，該部份之水，祇得向辛點而流。辛與乙俱係背月，乙點受月之吸力較大。故乙欲脫離辛。但乙係實體，是以辛點之水凸起。且同時壬點之水，亦向辛點而流。故同時戊與辛二方皆有漲潮。水面在地球二端凸起，而成蛋形，如前第(2)圖。

在該圖中，設月正對赤道，則沿子午線極甲乙上，除近兩極之地外，俱有漲潮。每子午線，每太陰日，各地水漲二次。即當月在正中，及在地球背面時，各一次也。

凡月在正中或地球背面，所引起之高潮，須越二三日後，方能實現。此期間稱爲潮齡(Age of Tide)。

茲因地面並非完全爲海，而有山河之隔。則潮流自受所經兩岸所拘束，且受海洋深淺之支配。或由此岸折返彼岸。在太平洋中數島，影響最小，水面漲落不及一

尺。惟在他處，潮汐高低，大相懸殊。故航海家須加注意焉。

依前第(2)圖，係設月球正對赤道。故潮汐漲落當高低一律。如丁點之水面，及丁點因地轉而至戊點背月時，其漲潮高度二次應相等。

然事實上，月不能常對赤道，故早晚潮汐高低不同。如前第(3)圖，月斜至丁丙乙之角度。則丁點近處對月之時，漲潮自高。迨其轉至戊點背月之時，漲潮自低故潮汐之漲落，各有高低之別也。

大潮與小潮

(Spring and Neap Tides)

日球於潮汐之關係，與月球同。惟因日距地球較遠，其吸力祇及月之吸力五分之二。當朔望日，卽日與月俱在地球之同方向，或在地球之相對方向之時。日月兩吸力合併。故漲潮加高，而落潮加低。俱稱爲大潮(Spring Tides)。迨至上弦及下弦，卽日地月三球列成正角之時，月之吸力爲日之吸力所牽制。故漲潮特低而落潮特高。俱稱爲小潮(Neap Tides)。

(註)中國沿海之潮齡，約爲二日半。故大潮在陰歷每月

初三與十八兩日也。

某地每次漲落二潮,水深若干,互減之數,而平均之。是爲該地潮汐平均高度 (Mean Range of Tide)。大潮漲落互減之數,則爲大潮高度 (Spring Range)。小潮漲落互減之數,則爲小潮高度(Neap Range)。

日月之吸力,近地時自較他時爲大。地球每年近日一次,每月近月一次。此皆能變更潮汐之高度。外如風力與氣壓等,於潮汐亦有影響也。

求某地某日潮漲之時

(Finding the Time of Tides at a Place)

前章已言,每太陰日,約合24時50分。是每太陽日潮汐之漲落,應各遲五十分鐘。然遇日引漲潮,適在月卽將引漲潮之先,則此次潮汐時,卽較應到之時爲早 (Priming of Tides)。倘太陽潮適在太陰潮之後,則潮汐時卽較遲(Lagging of Tides)。

某處高潮之時,應卽月到該處極上與極下子午線之時。然每因該地港灣島嶼之阻障,與海底之摩擦及氣象之變更,暨屆時日月地三球位置之關係。故漲潮每致愆期。且有遲到多時者。其遲到之時間,每月之中,平

均而計之，是爲高潮時差(Establishment of the Port)。

當朔望日，卽日月地三球在同一方向之日。高潮原應在子午二時。但如上述，每多愆期。故當該兩日，高潮之時，約卽該地之高潮時差。稱曰朔望高潮時 (Vulgar Establishment)。此卽海圖上所載 (H. W. F. & C.) 也。

今如已知某地之朔望高潮時，欲求該地任何一日之高潮時。祇須由航海日歷尋是日月到子午線之時刻，加以朔望高潮時，卽得之。若再加減6時13分，則知低潮時刻耳。

如上算法，可得某地高低二潮之大約時刻。倘欲求其準確者，須由潮汐表(Tide Tables) 內所載之已測過各港之高潮時刻與尺寸，而推算之。

(航海學天文部完)

4449
765
2

D
446.89
765

20143

版權所有

（定價大洋壹元貳角）

編者馮琦

發行者海軍部

印刷者　倉頡印務有限公司
（地址）　上海北山西路德安里
（電話）　四一五二九號

發行所　海軍編譯處
上海楓林橋

中華民國十九年九月出版