

# 普通天文學

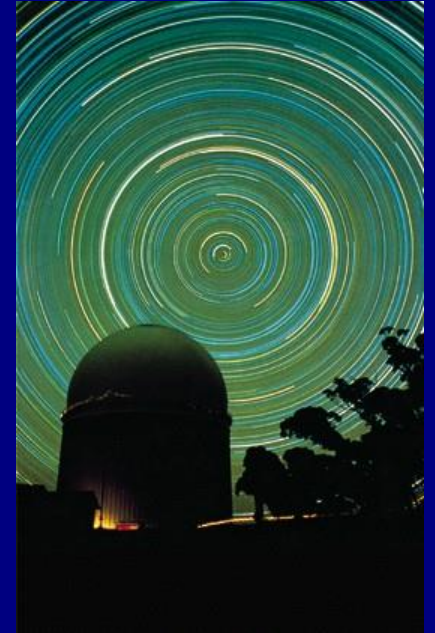


- 陳文屏（健雄館 906 室）  
wchen@astro.ncu.edu.tw x 65960
- Office Hours Mon 2-3 pm; Thu 1-3 pm
- 探討宇宙天體的現象與原理
- 授課、討論
- 期中考 (30%)；期末考 (35%)；  
作業、報告、其他 (35%) 作業一定要交，不可抄襲



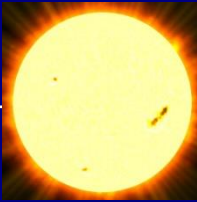

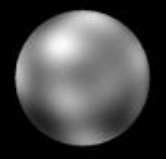

<http://www.astro.ncu.edu.tw/~wchen/Courses/Ast101/>

# What Do You Think? 你怎麼想？

- 怎麼樣的理論算是科學理論？
- 天文學家研究哪些東西？
- 學天文學有什麼用處？
- 北極星有多明亮？
- 何謂「星座」？
- 造成四季更迭的原因為何？
- 黃道十二宮？
- 白天看得到月亮嗎？
- 月亮圓缺，「缺」了什麼？



# 浩瀚的宇宙

天體	相對距離尺度
地球 	桌上的一粒鹽；0.3 mm
月球 	一指外的胡椒
太陽 	門口（4 公尺）的番茄
木星—太陽系當中最大的行星 	大樓口（20 公尺外）的木瓜子
冥王星—曾經是太陽系最遠的行星 	隔棟大樓（150 公尺外）的一粒細沙
半人馬座 $\alpha$ 星—離太陽最近的恆星 	馬尼拉的番茄！



# 什麼叫做「浩瀚」？

- 光速為300,000公里/秒
- 這樣的距離相當於繞地球七圈半
- 這樣的速度到月球只需一秒多（眨眼的時間）
- 到太陽需約五百秒（～下課的時間）
- 到半人馬座 $\alpha$ 星須4.3年（～讀大學的時間）
- 跨越銀河系約需5~10萬年（人類演化的時間）
- 到最近的星系費時數百萬年（大地演化的時間）
- 而目前已知星系超過數千億個……

雲氣聚集，是恆星誕生之處

仙女座星系，由千億顆恆星聚集



星系聚集，構成星系團

我們的銀河系外表可能就這樣



**宇**（上下四方） **宙**（古往今來）

空間

時間

宇宙中物質與能量，循著一定的因果關係，彼此交互作用

**有關宇宙最不可理解的一件事情，就是  
宇宙是可以理解的** **愛因斯坦**

天文學家以科學手段，試圖瞭解宇宙天體的本質，解答天地萬物的來源、演化與衰亡。

# Q: 地球的質量

- 要回答這個問題，需要知道什麼？
- 怎麼知道？怎麼猜 (educated guess)？

A1：人造衛星（月球）的高度、週期

A2：地球的半徑 → 體積；地球密度

$$\begin{aligned}[\text{Mass}] &= \frac{4\pi}{3} (6500 \text{ km})^3 (5 \text{ g/cm}^3) \\ &= 4 (6.5 \times 10^8)^3 \times 5 \\ &= 4 \times 300 \times 10^{24} \times 5 \\ &= 6 \times 10^{27} \text{ gm} = 6 \times 10^{24} \text{ kg}\end{aligned}$$

Actual values:  $R=6371 \text{ km}$ ,  $\rho=5.52 \text{ g/cm}^3$ ,  $M=5.972\text{E}24 \text{ kg}$

Q:以目前一般噴射客機速率，若要前往最近的恆星，至少需要多少年？

1. 100,000
2. 1,000,000
3. 10,000,000
4. 100,000,000



- 要回答這個問題，需要知道什麼？
- 怎麼知道？怎麼猜？





- 時間 = 距離 ÷ 速率
- Commercial jet planes, speed  $\sim 800-1000$  km/h  
or  $1000$  km/h  $\times 24$  h/day  $\times 365$  d/year  
 $\sim 9 \times 10^6$  km/year  $\sim 10^7$  公里/年
- Distance  $\sim 4$  light years =  $4$  years  $\times 365$   
days/year  $\times 86400$  s/d  $\times 300,000$  km/s  
 $\sim 4 \times 10^{13}$  km
- $\therefore$  時間  $\sim 4 \times 10^{13} / 10^7 \sim \mathbf{4 \times 10^6 \text{ year}}$
- 距離  $\sim 4 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \times 300,000$
- 速率  $\sim 1000 \times 24 \times 365$
- $\therefore$  時間  $\sim 4 \times 10^{13} / 10^7 \sim 4 \times 10^6 \text{ year}$

Q:以目前一般噴射客機速率，若要前往最近的恆星，至少需要多少年？

1. 100,000
2. 1,000,000
3. 10,000,000
4. 100,000,000





放眼望去，一半是天！



天地輪遞，一半是夜！

天上星星數不盡、只有暗夜看得清



# 為什麼學天文學？

- 不知生、焉知死？ 不知天、焉知地！
- 瞭解宇宙是人類最根本的好奇心，也是最終極的目標
- 天文學是應用科學  
「論台灣天文教育」，物理雙月刊，1999  
[http://www.astro.ncu.edu.tw/faculty/wp\\_chen/essay/astedu.htm](http://www.astro.ncu.edu.tw/faculty/wp_chen/essay/astedu.htm)  
利用最新的科技與設備（望遠鏡、偵測儀器、電腦）探討宇宙與天體的本質與變化
- 宇宙天體炫目而神秘，為進入探討大自然奧秘殿堂之有效台階

# 以有涯探無涯

- 人類到底有多不自量力？
- 在空間的這個小角落，在時間的這個剎那……就我們目前所知，宇宙其他角落包含一樣的化學物質，遵循一樣的物理定律。我們甚至開始探討宇宙現況、起源，及最終命運
- 對，我們不該太驕傲，但也不要妄自菲薄，我們已經起步了……下一步呢？

可以不當科學家（科學家有什麼好？有什麼不好？）  
但怎麼能原諒自己不懂科學（方法）

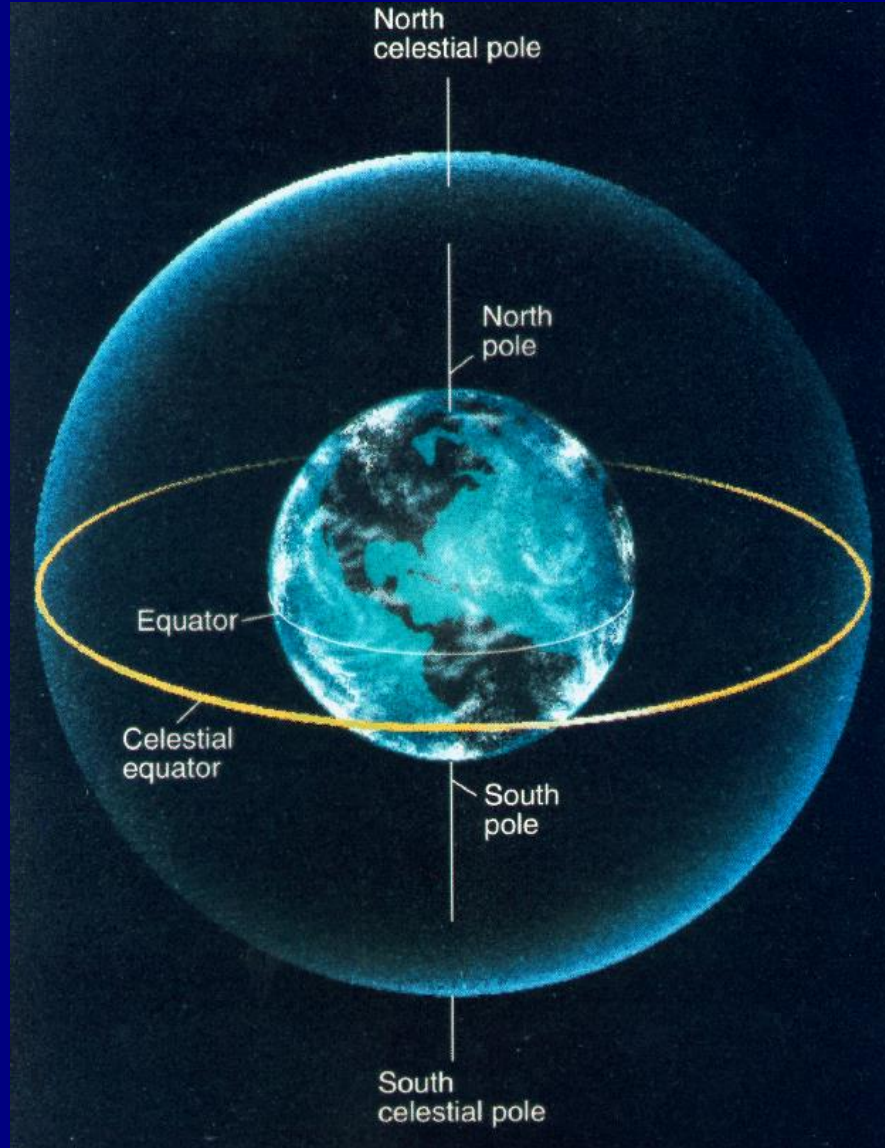
# 天球 (celestial sphere) —— 角度 (angle)

距離 (深度、沿視線方向；徑向)



圖 2-3 通過觀測者地平南、北方，以及天頂的圓弧稱為子午線。天體在天球上的位置，可以兩個角度來描述，例如方位角與仰角。隨著地球自轉，對某個觀測者而言，某顆星的坐標隨時在改變。

天球北極



(地球) 北極

(地球) 赤道

天球赤道

(地球) 南極

天球南極



# Measuring the Sky

- 距離的單位 —— 公分、公里

1 astronomical unit (AU) 天文單位

=  $149.6 \times 10^6$  km

約一億五千萬公里

地球與太陽的平均距離

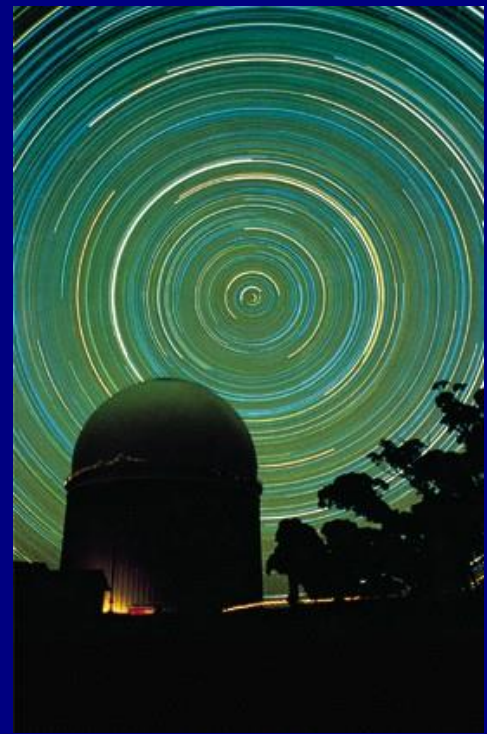
1 light year (ly) 光年 (常用)

=  $9.460 \times 10^{12}$  km ~  $6 \times 10^4$  AU

- 角度的單位

1 degree = 60 minutes of arc (arcminutes) = 60'

1 arcminute 角分 = 60 arcseconds = 60'' 角秒

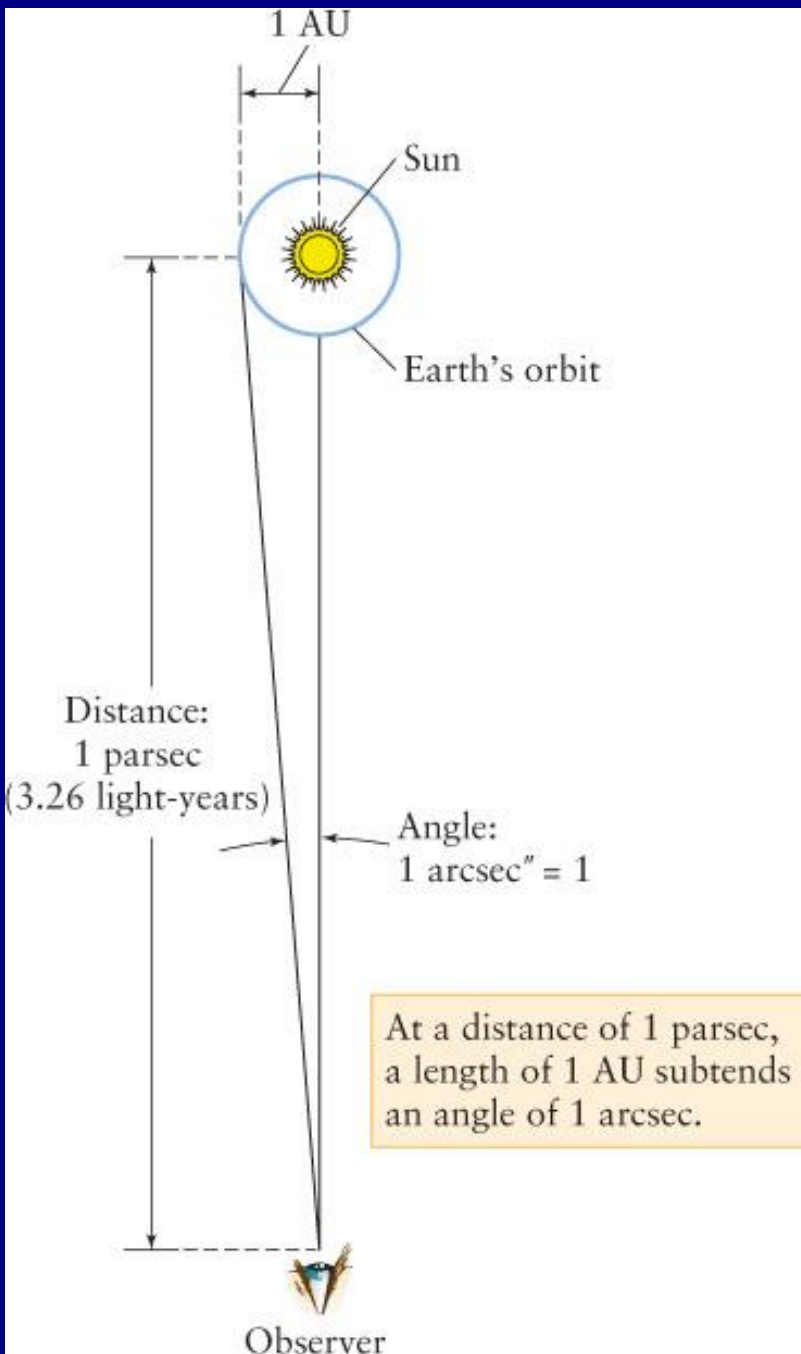




隨身方便的量角器 ... rule of thumb

一角秒 (one arcsecond or one second of arc) 是多大 (小) 的角度？

- 一個五元銅板直徑多少？
- 伸直手臂，拿著看五元銅板，張角多大？
- 在多遠的距離觀看，五元銅板的張角差不多為 1” ？



在 1 秒差距 (parsec, pc) 距離之處，1 AU 長度的張角為 1 角秒

1 AU

1 pc  $\approx$  3.26 ly

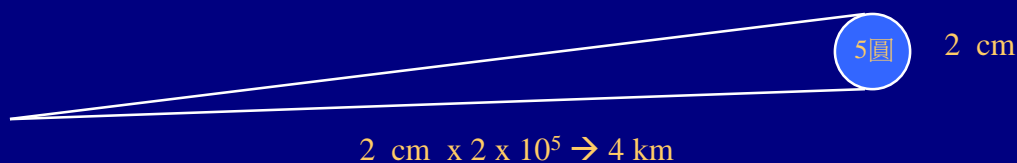


1 pc = 206265 AU  
 $\approx 2 \times 10^5$  AU

1  $\pi$  rad = 180 deg

# 一角秒 (one arcsecond or one second of arc) 是多大 (小) 的角度?

- 一個五元銅板直徑多少?
- 伸直手臂，拿著看五元銅板，張角多大?
- 在多遠的距離觀看，五元銅板的張角差不多為 1" ?



# 北斗七星 (The Big Dipper)

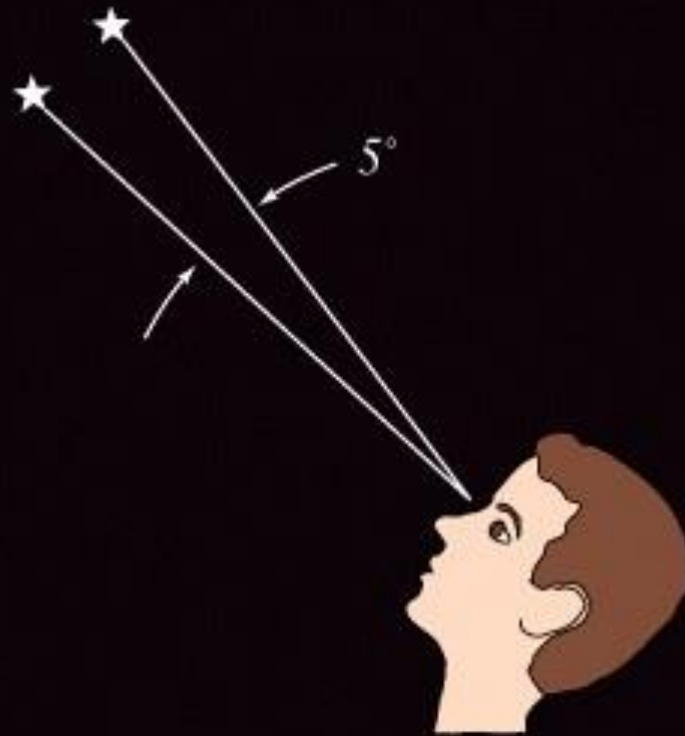




圖 1-1 我國古代將宇宙天體的次序結構與封建等級的社會制度相對應。圖示為漢武梁祠石刻，象徵天帝的星座位於北極星附近，位置不動，周圍為皇族、將相，臣民則拱皇帝而行，北斗七星成為天帝的座車。

Q：太陽的盤面（張角）  
有多大？月亮呢？



Q：為什麼地平線上的太陽  
（月亮）特別大  
(**moon illusion**)？



[http://domino.research.ibm.com/comm/pr.nsf/pages/news.20000103\\_moon\\_illusion.html](http://domino.research.ibm.com/comm/pr.nsf/pages/news.20000103_moon_illusion.html)

Q：為什麼月亮會跟著我們走？



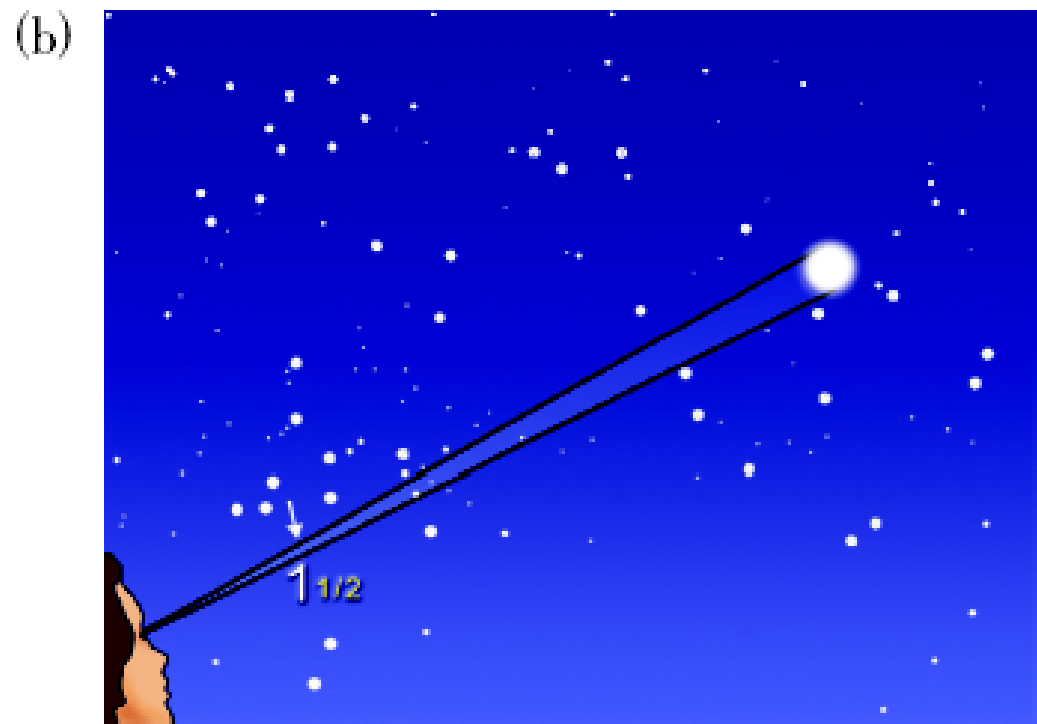
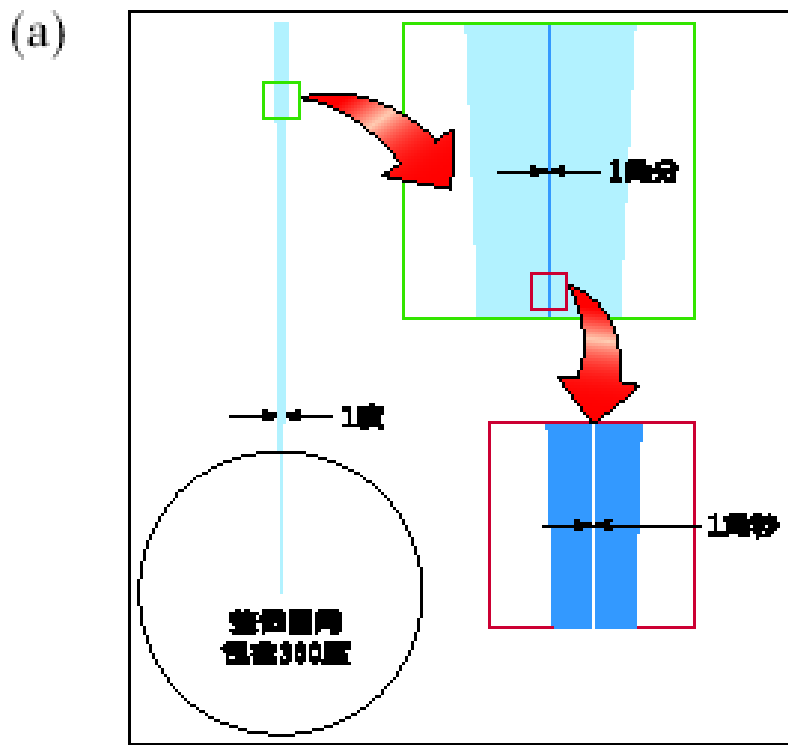


圖 2-7 (a)一度等於 60 角分，每一角分則等於 60 角秒。

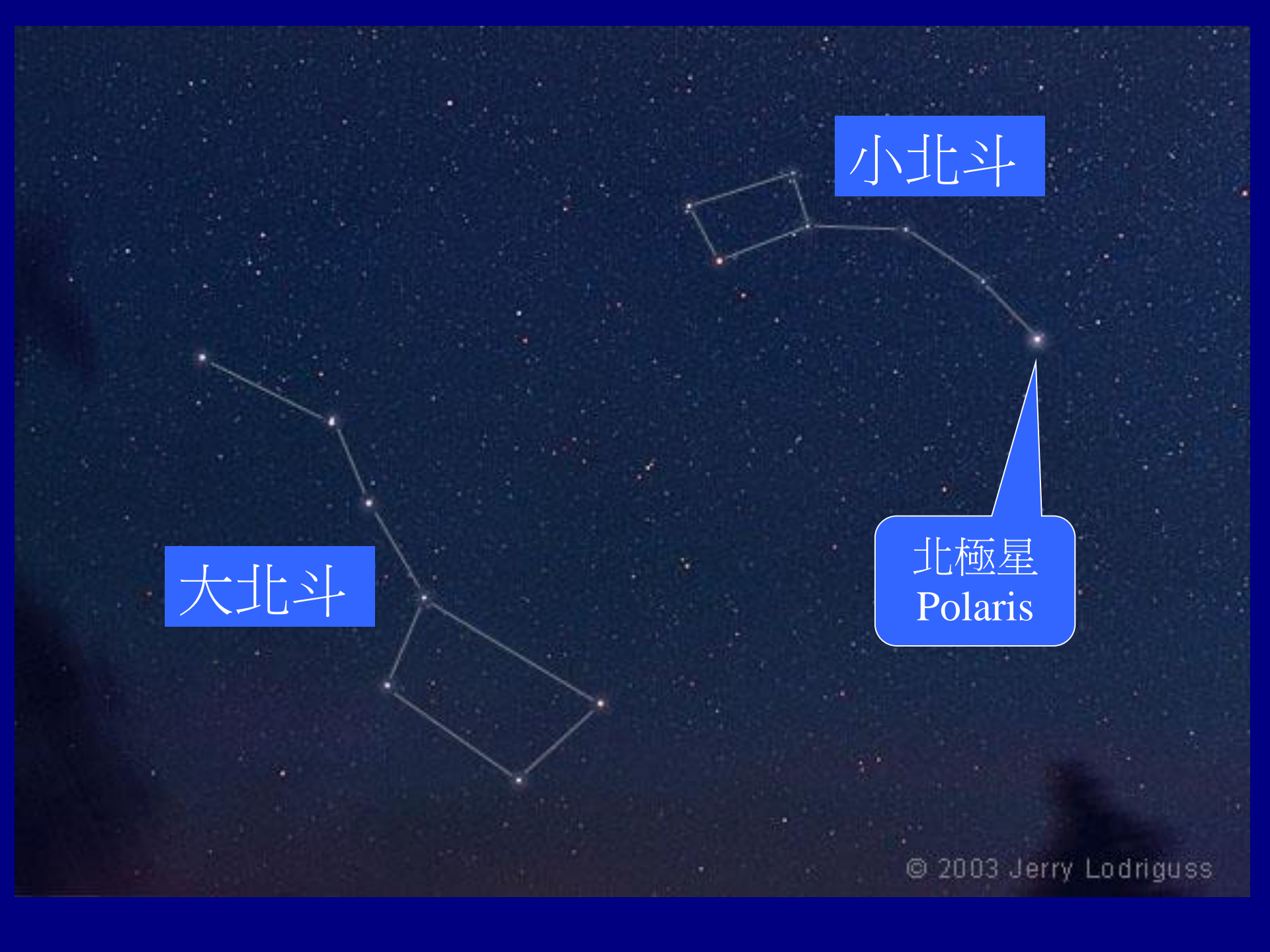
(b)月球的張角大約為 0.5 度。

太陽的張角也差不多是半度，  
月亮也是

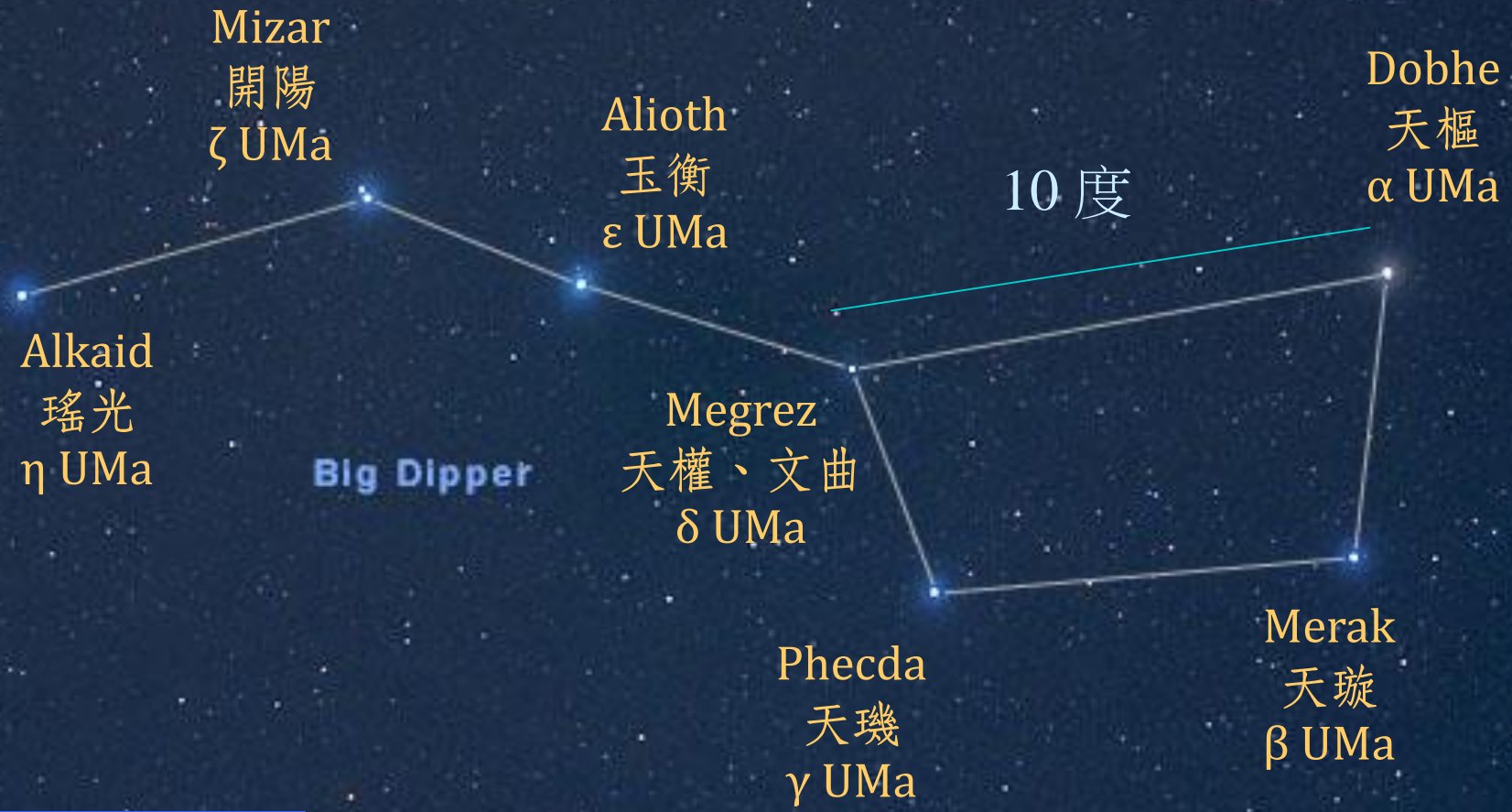
小北斗

大北斗

北極星  
Polaris



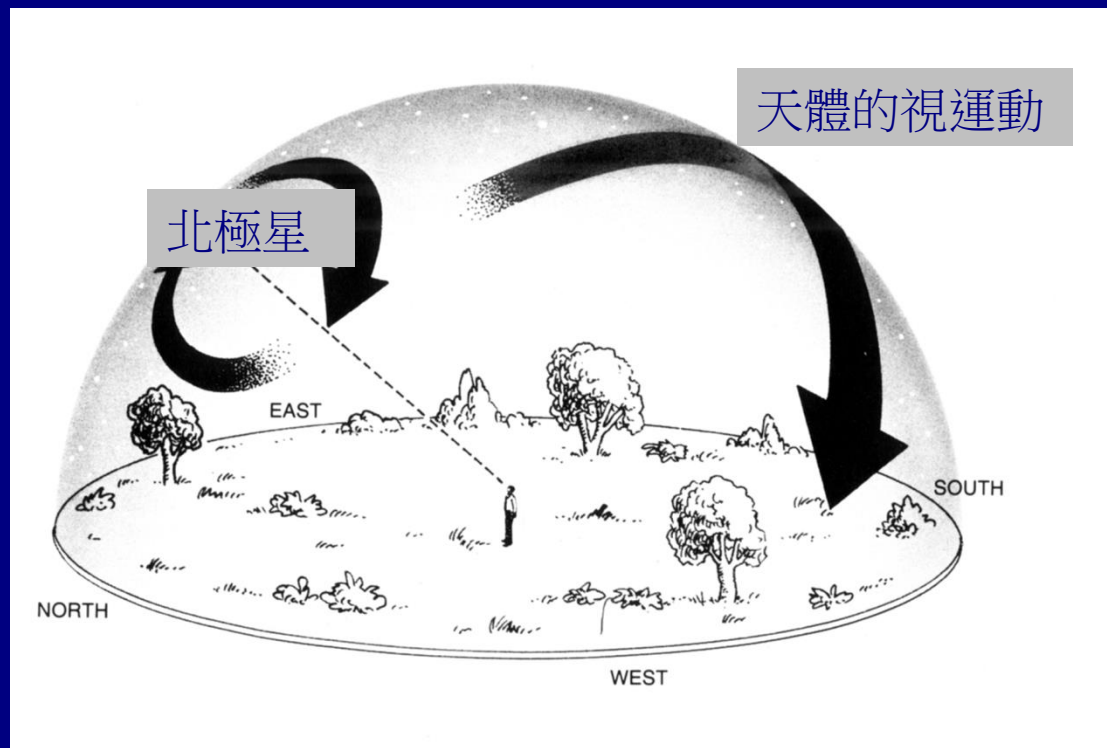
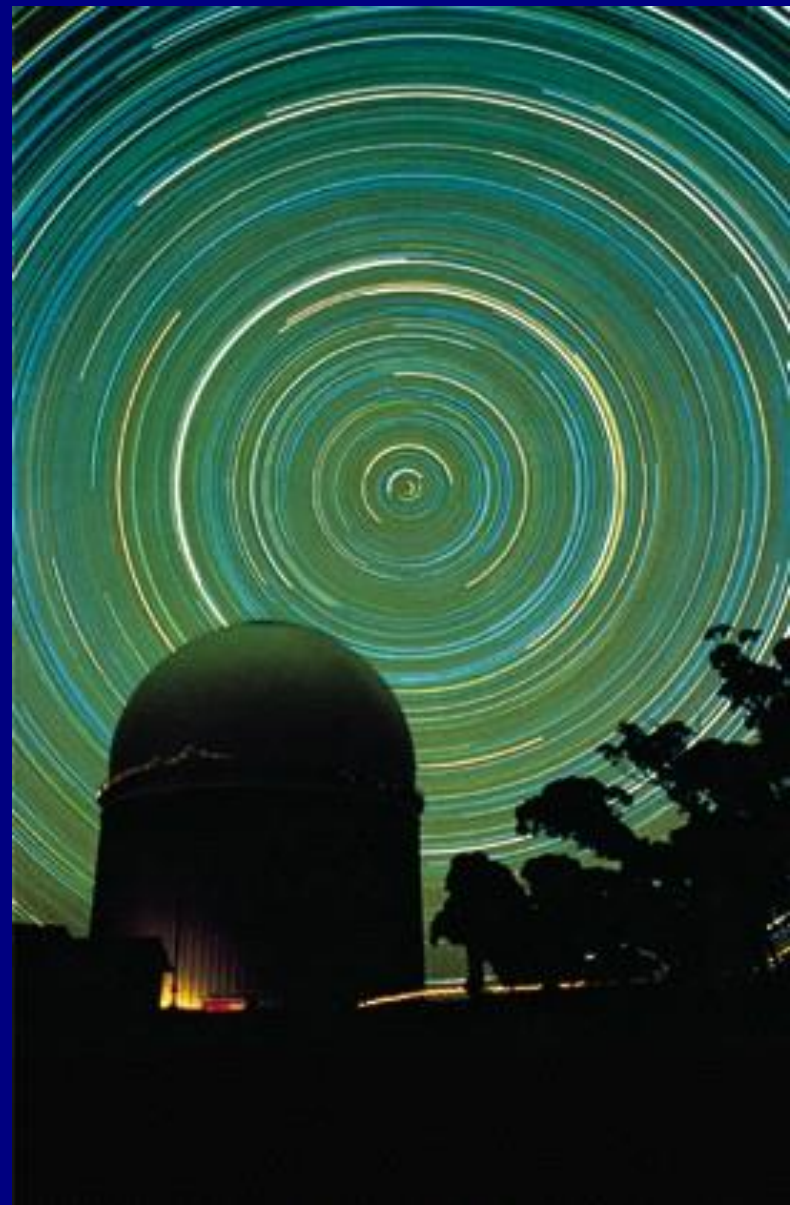
25 度

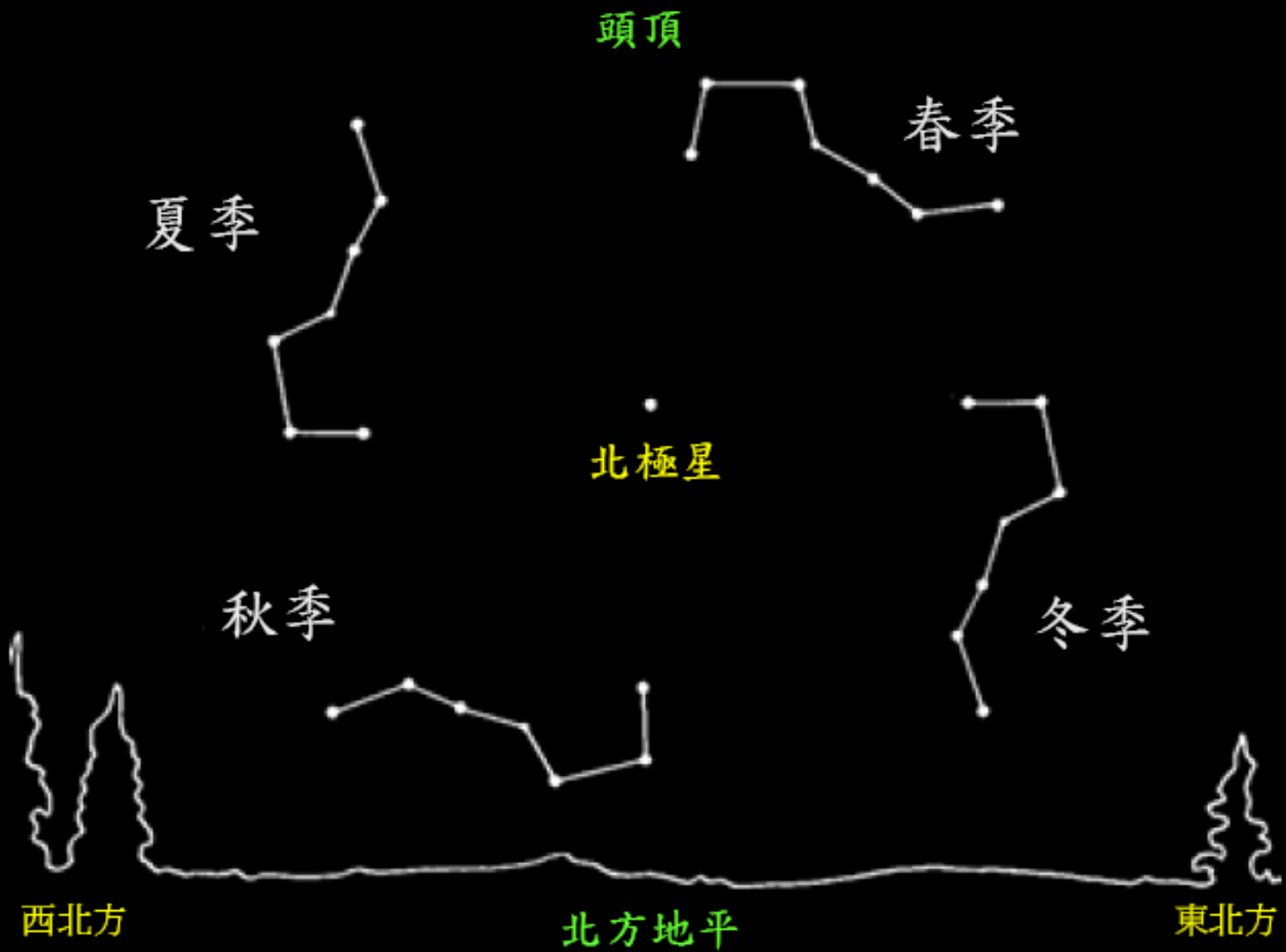


大北斗

# 周日運動

隨著地球自轉，一夜當中  
星星似乎繞著天極運動，  
其實星星並沒有動。







The Big Dipper and Ursa Major  
in June at about 10 pm.

# Earth Rotation 地球自轉

- 從北向南看，逆時鐘轉（西 → 東）；  
→ 一天當中，日、月、星辰**東升西落**
- 公轉亦是如此方向（何謂「一天」？）
- 自轉軸向外延伸，與天球相交而為**天（球）北極** (north celestial pole; NCP)  
→ 看起來不轉，其他所有天體則繞著 NCP（北半球）或 SCP（南半球）轉
- **北極星** (Polaris)：目前最接近天北極的亮星
- 三千年前巴比倫人  $360^\circ$  圓周 → 360天  
→ “太陽繞地球” 一圈（其實是地球繞太陽轉）

比比看哪個遠？





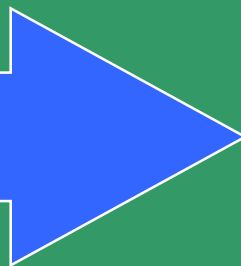
# Parallax



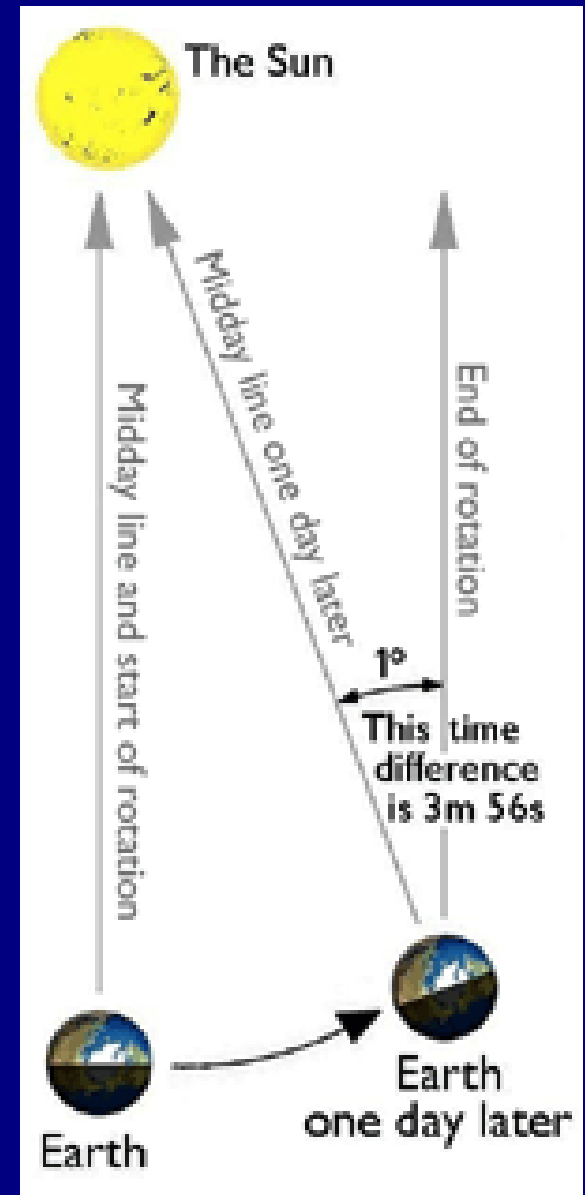
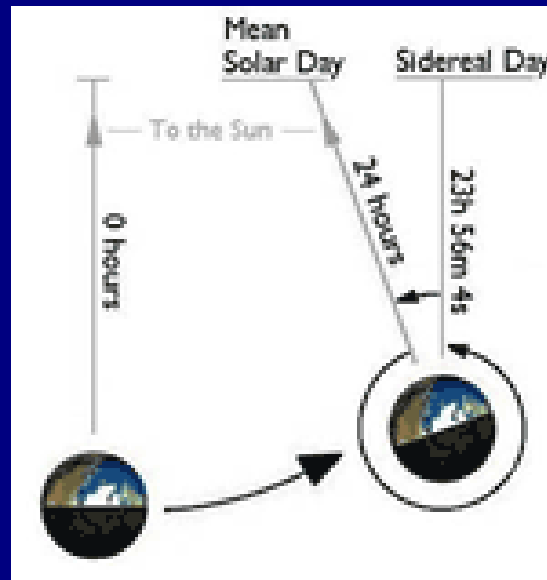
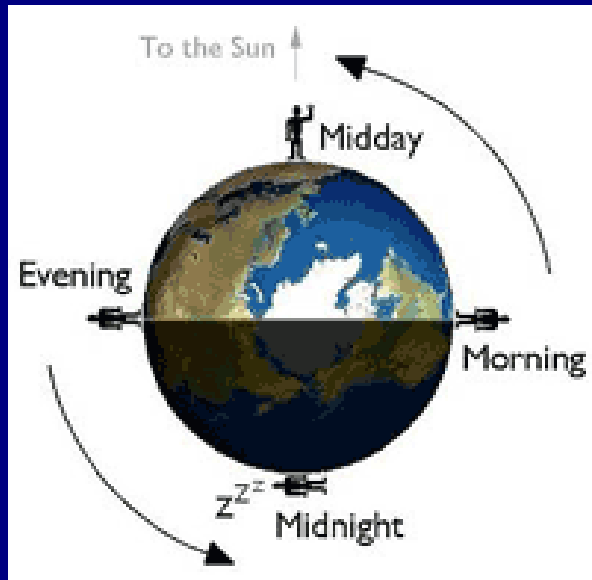
若觀測者移動，較遠的物體似乎往同方向移動



視差現象

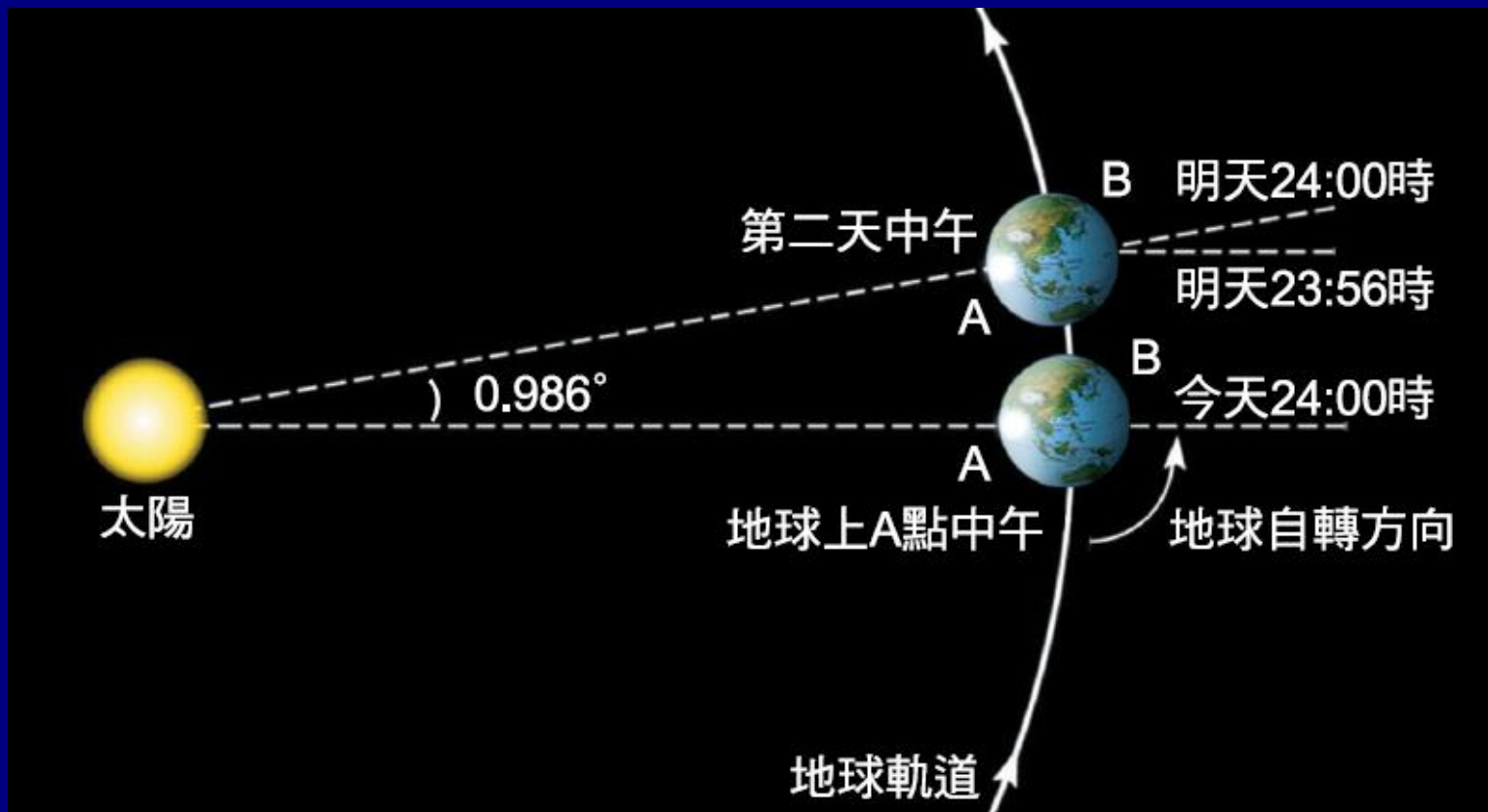


# 何謂「一天」？以誰為準？



「以太陽為準」的一天  
比  
「以遙遠恆星為準」的一天  
來得長  
長了約4分鐘

∴ 同樣星星比前一天提早約4分鐘升起



日常鐘錶的時間以太陽為參考 →

第二天看到相同星星在同樣位置時，手錶還沒到那個時間

- **Sidereal Time** (恆星時)

Time as measured by reference to the stars  
= hour angle of the **vernal equinox**  
= right ascension of stars currently on the  
observer's **meridian**

- **Solar Time** (太陽時)

Time with respect to the sun

= hour angle of the sun plus 12 hours

**apparent solar time** → true sun, irregularly

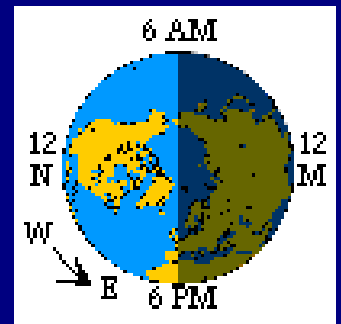
**mean solar time** → for timekeeping

Solar time loses about 4 minutes a day against  
sidereal time; a star rises **4 minutes earlier** a day



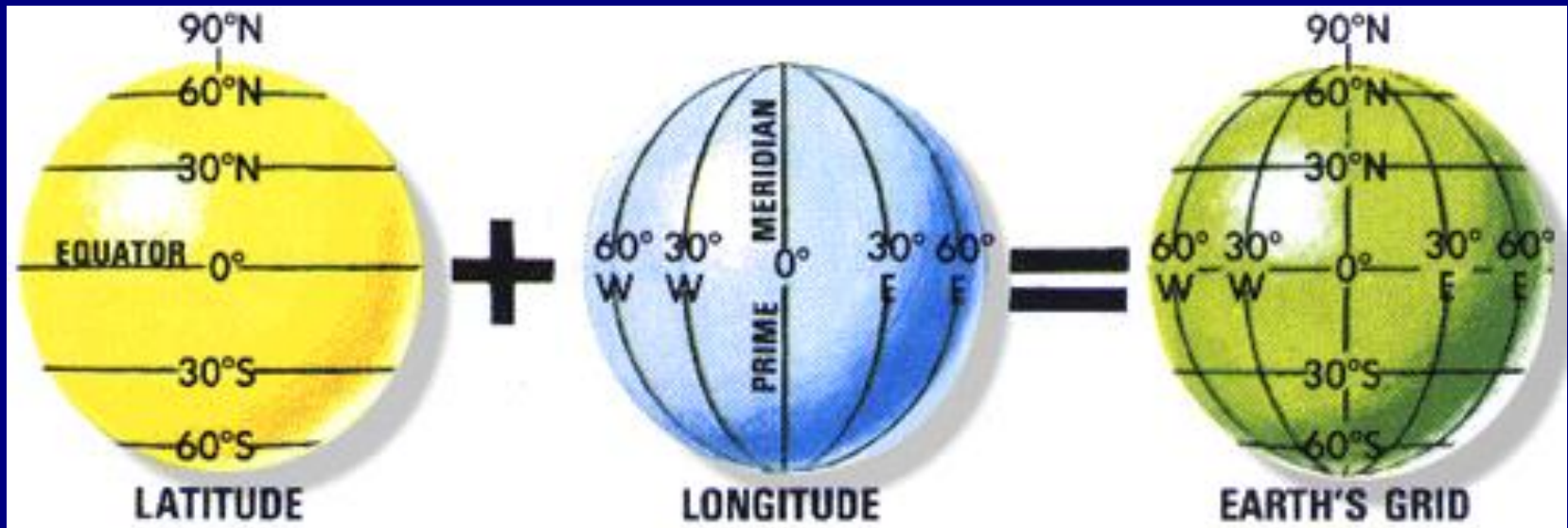
# 何謂一天？

- 「**星期的說文解字**」，台北天文館刊，1996  
[http://www.astro.ncu.edu.tw/faculty/wp\\_chen/essay/weekdays.pdf](http://www.astro.ncu.edu.tw/faculty/wp_chen/essay/weekdays.pdf)
- 「**時間這個東西**」大地地理雜誌，2000.01  
[http://www.astro.ncu.edu.tw/faculty/wp\\_chen/essay/time.htm](http://www.astro.ncu.edu.tw/faculty/wp_chen/essay/time.htm)



# 地球（表面）的座標系統

## —— 經度與緯度



緯

經

- **經緯度**

Greenwich longitude = 0

格林威治當地時間

(local time)

= Universal Time

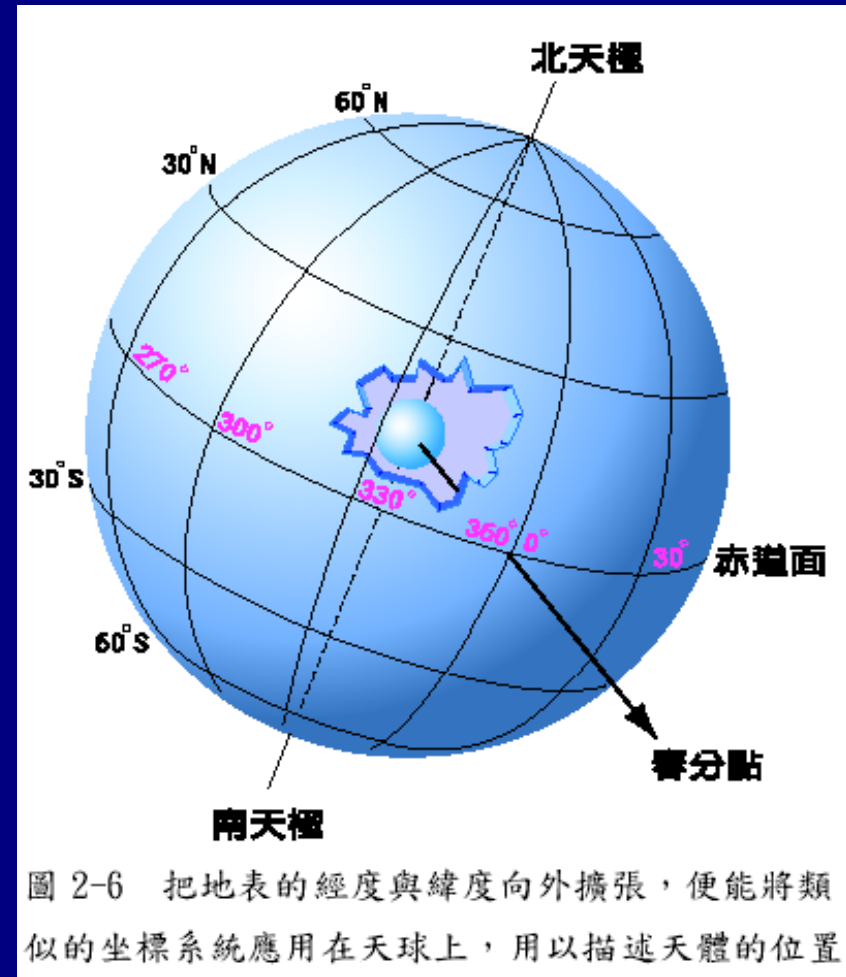
(UT ; **國際標準時**)

**台灣時間 = UT + 8 hr**

赤道 latitude = 0

北極：北緯90度；

南極：90°S or -90°N



The date line

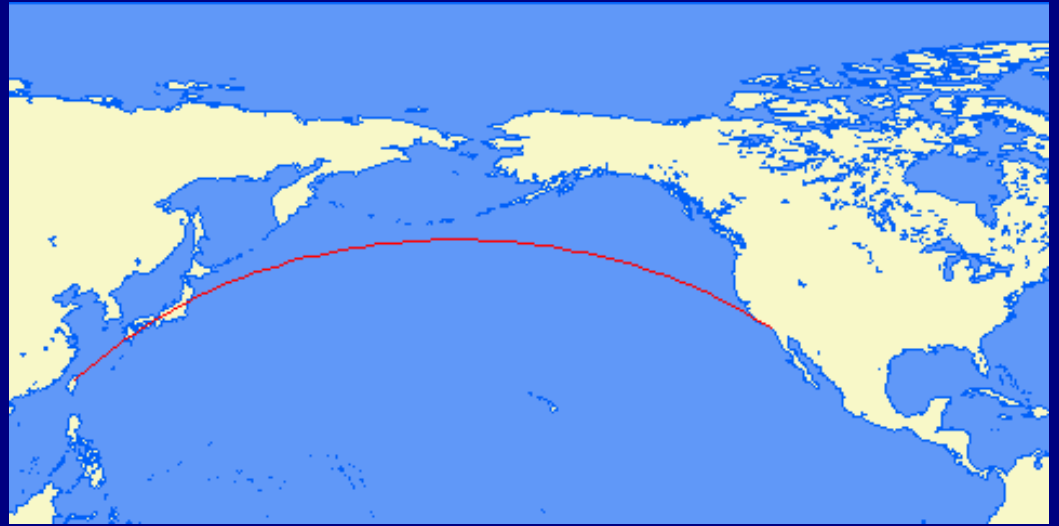
國際換日線





**大圓** (great circle)

從台北飛到美國  
洛杉磯或紐約的  
飛行路線？



**TPE-LAX**

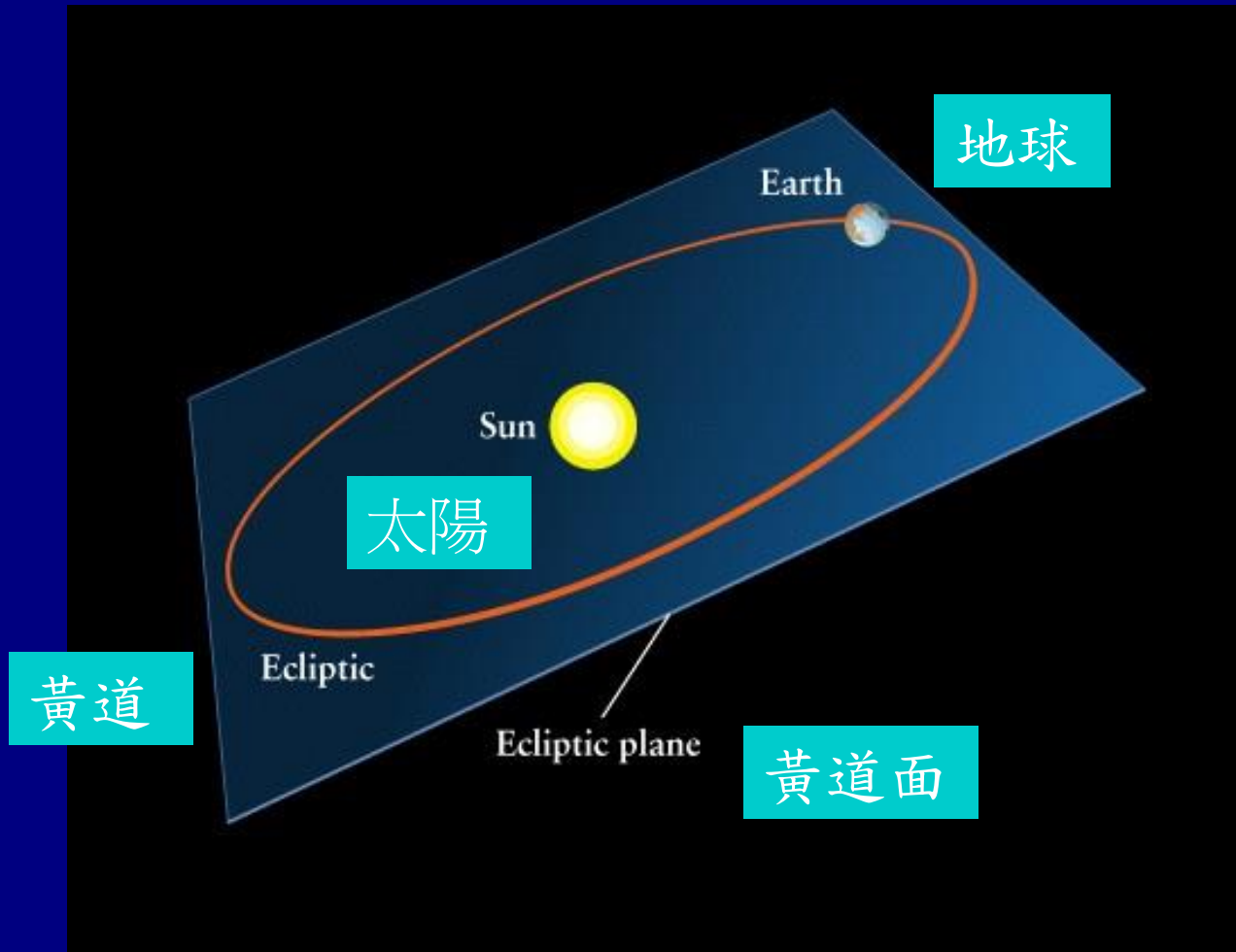
切面通過球心

大圓是球面上兩  
點之間最短路徑



**TPE-NYC**

# Earth's Revolution 地球公轉



地球繞著太陽公轉，軌跡稱為「黃道」(ecliptic)，所在的平面稱為「黃道面」(ecliptic plane)

**黃道面**：太陽在天空走過的面（實際上是地球公轉面），與天球赤道成 23.4 度

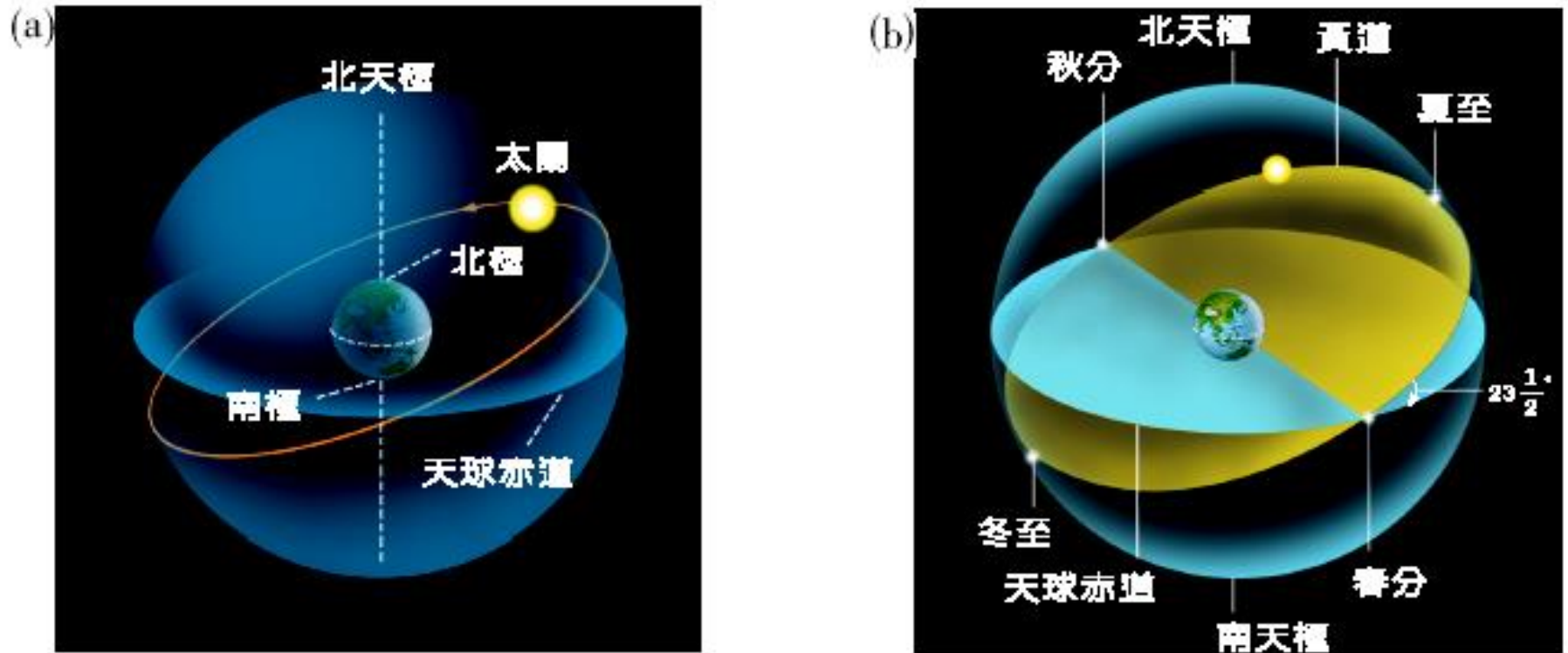


圖 2-12 (a)從地球看太陽一年當中的運動，最北時達到赤緯北方 23.5 度，然後通過天球赤道，繼續南行直到赤緯南方 23.5 度。

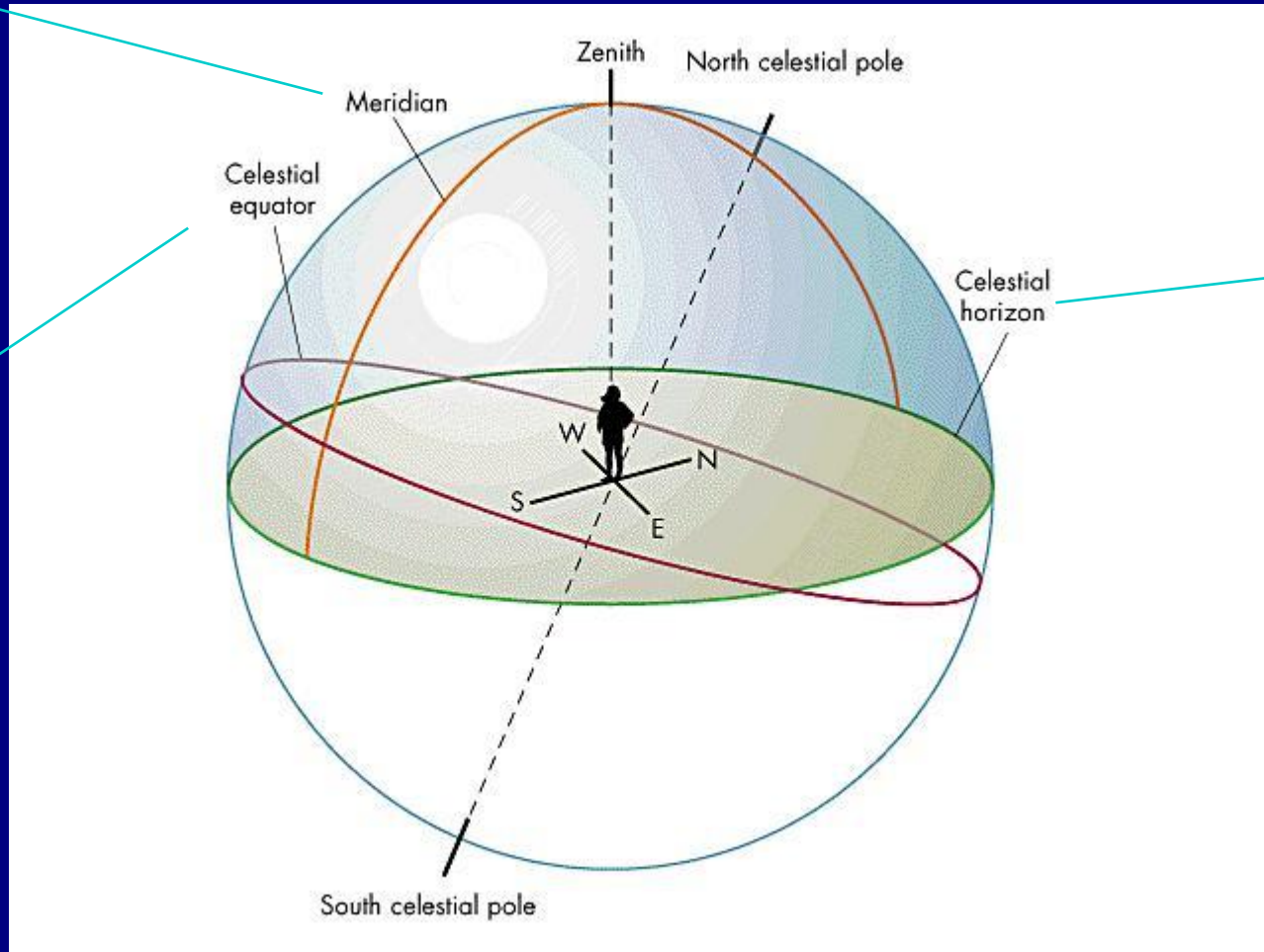
(b)黃道面與天球赤道成 23.5 度傾角，兩個面的交點分別稱為春分點及秋分點，黃道面最（上）北方的點稱為夏至，最南方的點則稱為冬至。

# Q：怎麼在天上指認出黃道面？



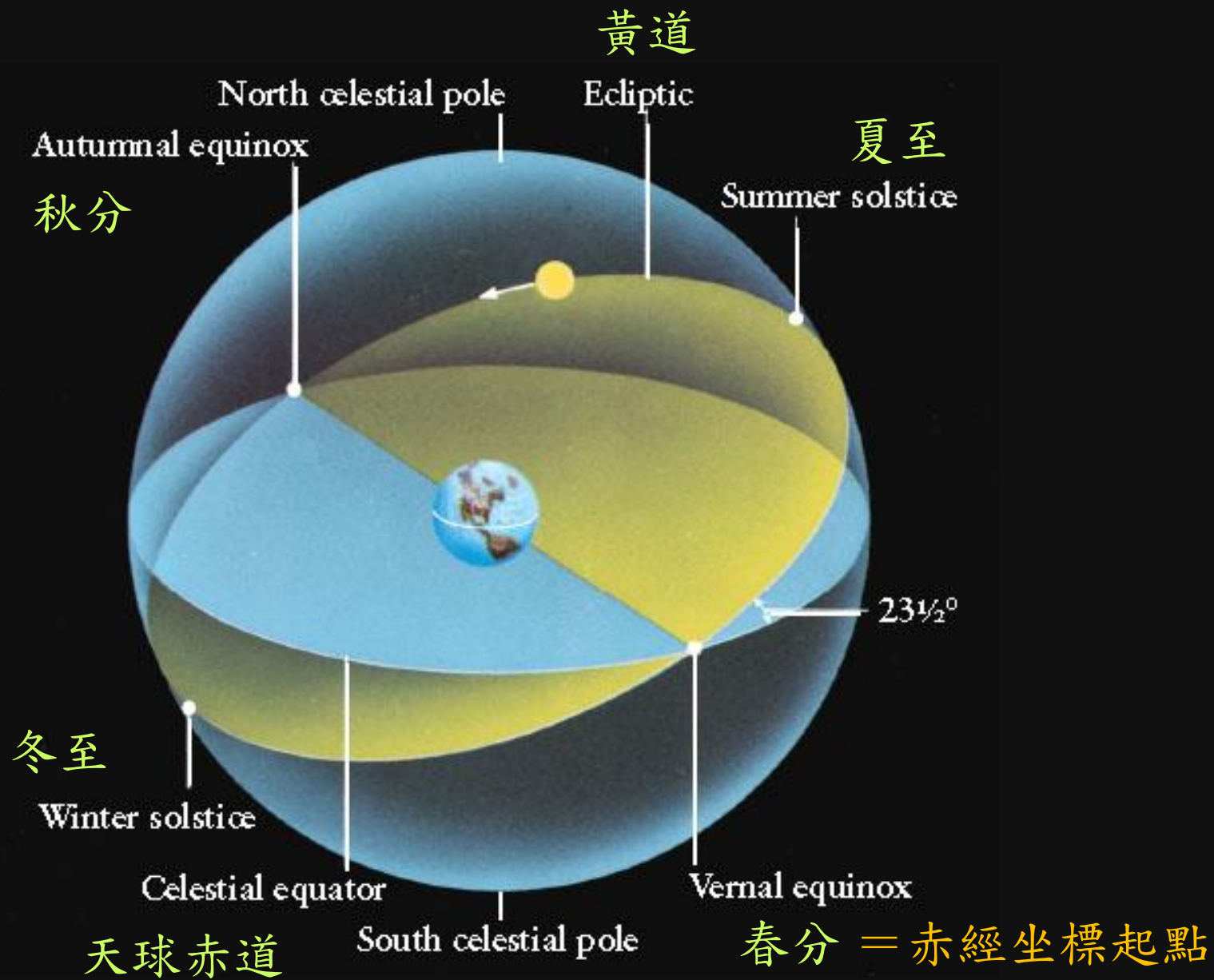
子午線

天球  
赤道



地平線

把地球的「經度」、「緯度」投影到天球  
→ 「赤經」(right ascension)、  
「赤緯」(declination)



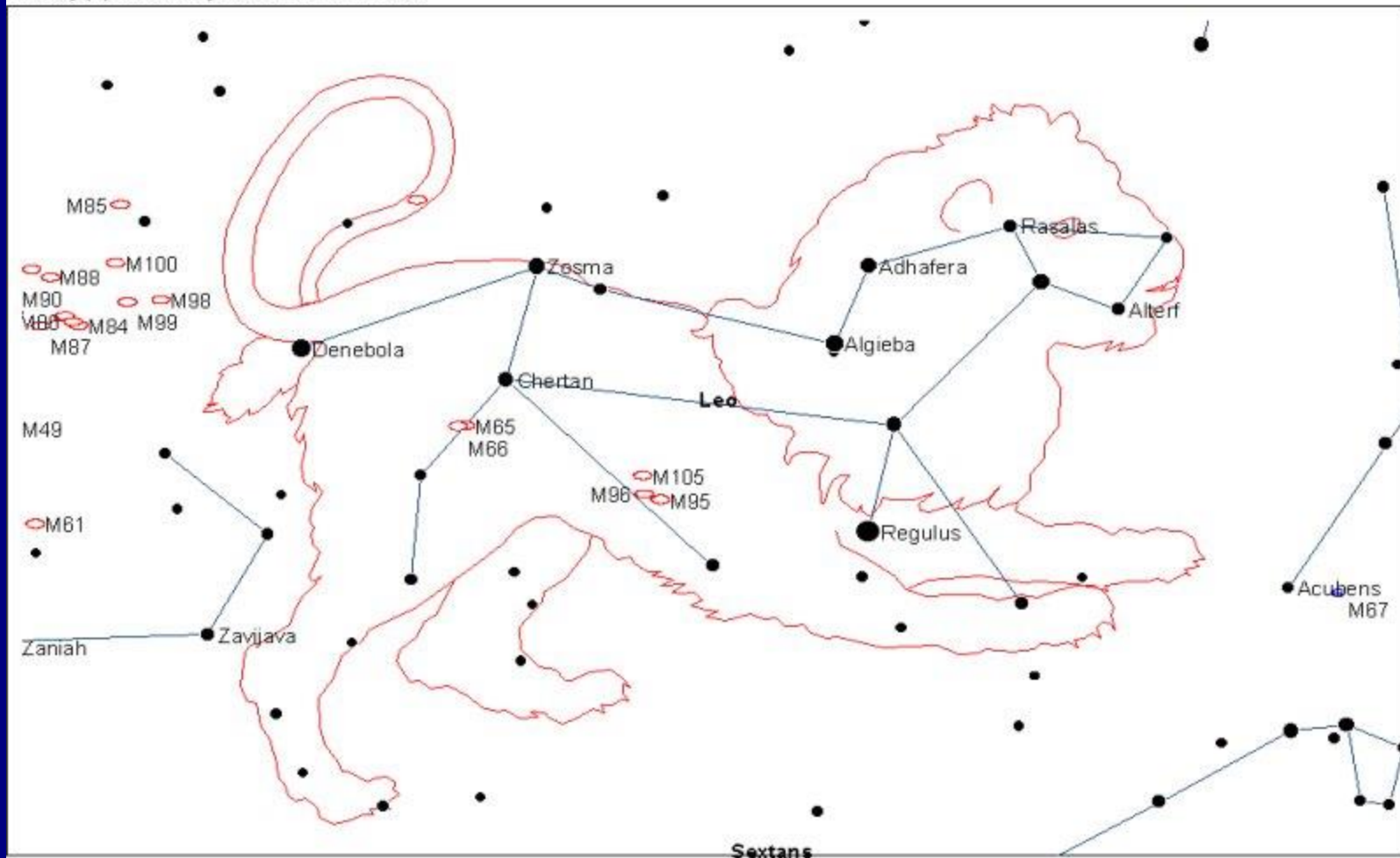
星座 (constellations) --- 星球「看起來」形成的圖樣，其實彼此可能遠近不同而毫無關連。





亮星「看起來」構成特殊圖樣，此處所示為春季夜空的「獅子」(Leo)

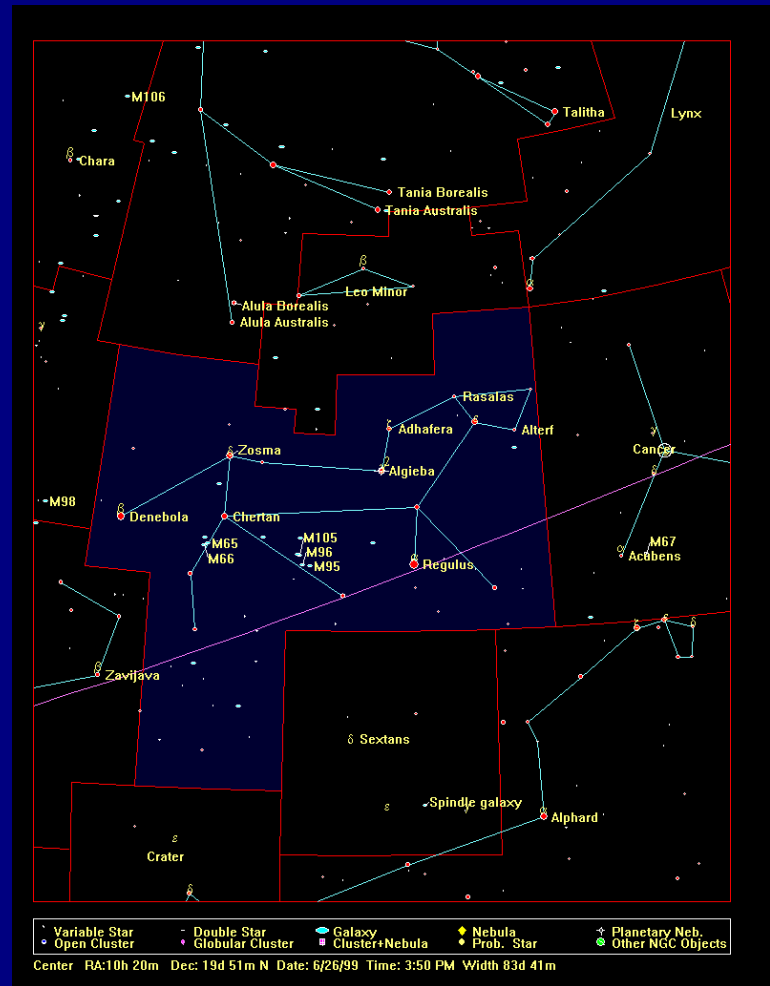
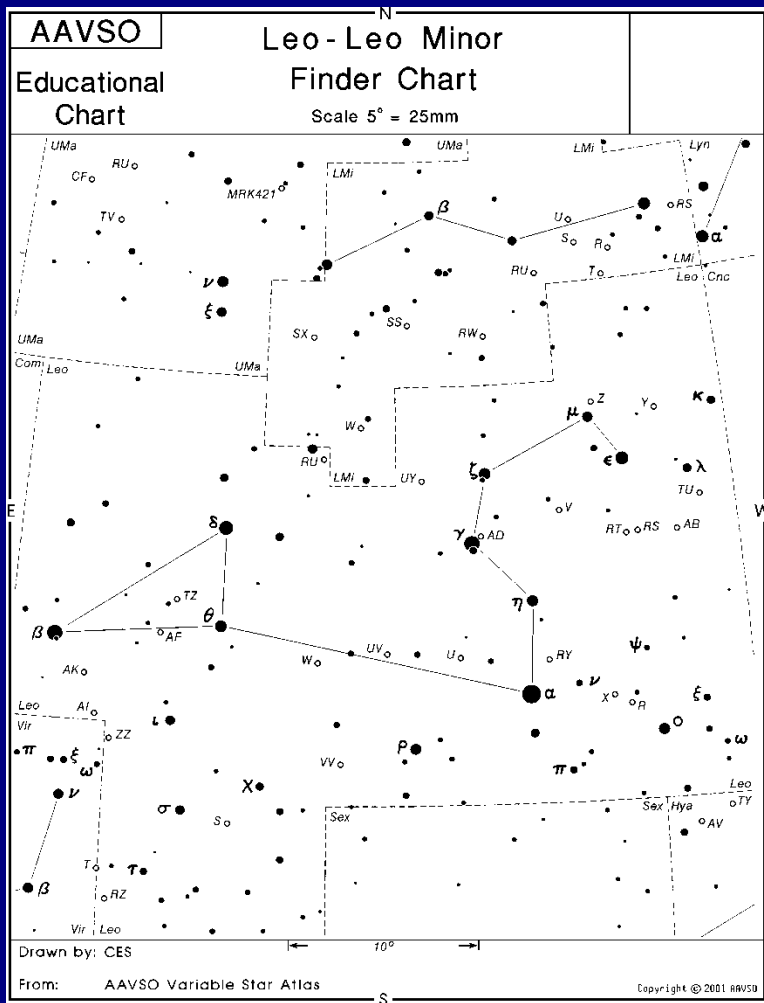




## Leo

Abbreviation: Leo  
Genitive Form: Leonis  
Description: The Lion

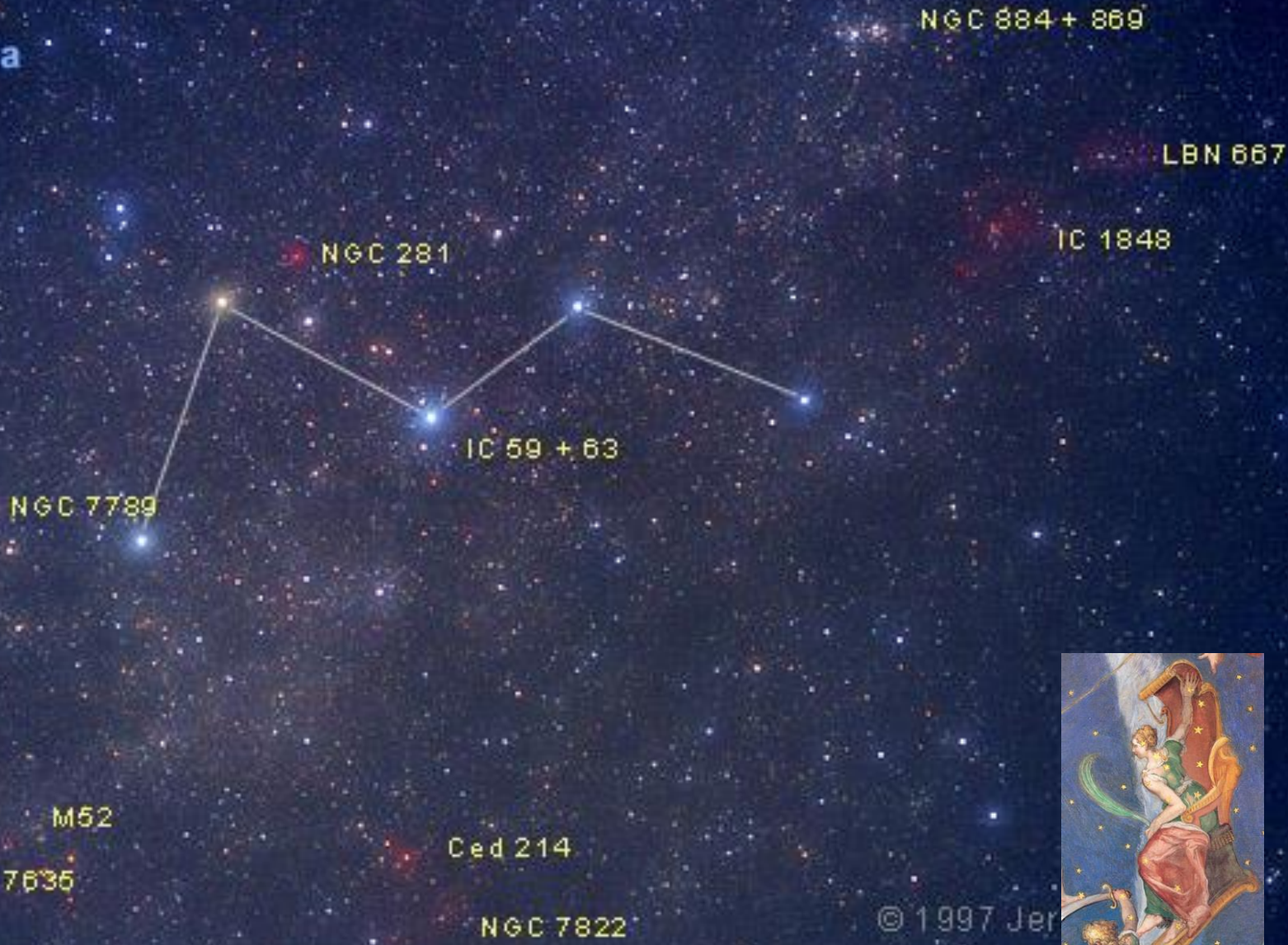
Pronunciation: LEE' oh  
Genitive Pronunciation: lee OH' nis  
Sky Database: Constellation Labels



天空共有 88 個天區，以星座命名。星座不只是個圖騰，或某幾顆星，而是個「天區」。此處所示為獅子座附近的星圖

# 仙后座

Cassiopeia





天鵝座（天文攝影照片）

注意星星的顏色



天鵝座（繪製的天圖）

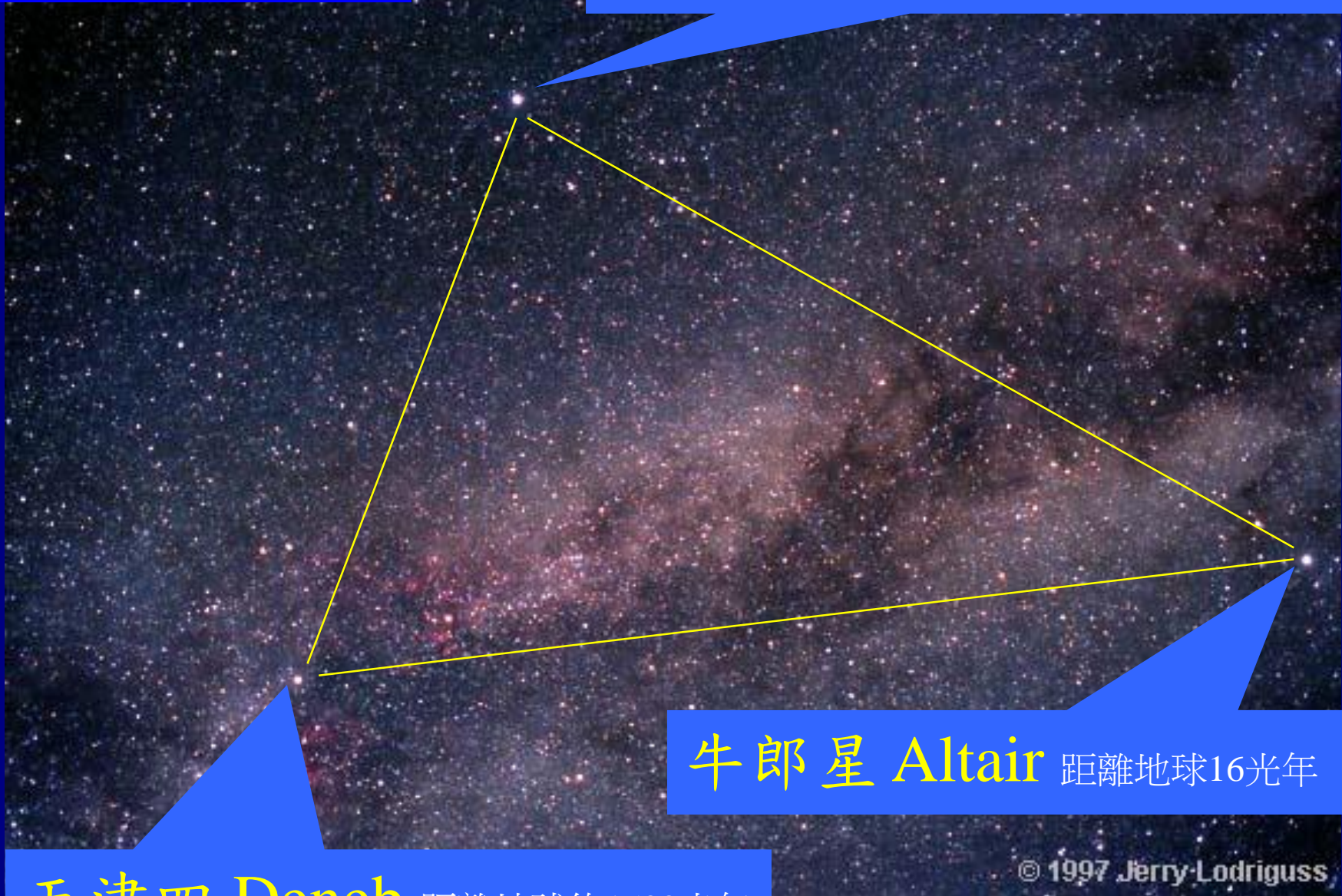
# 夏季大三角

織女星 Vega 距離地球25光年

牛郎星 Altair 距離地球16光年

天津四 Deneb 距離地球約1500光年

© 1997 Jerry Lodriguss





星圖

夏季星空

# 冬季星空



For constellation maps see

<http://www.hawastsoc.org/deepsky/constellations.html>

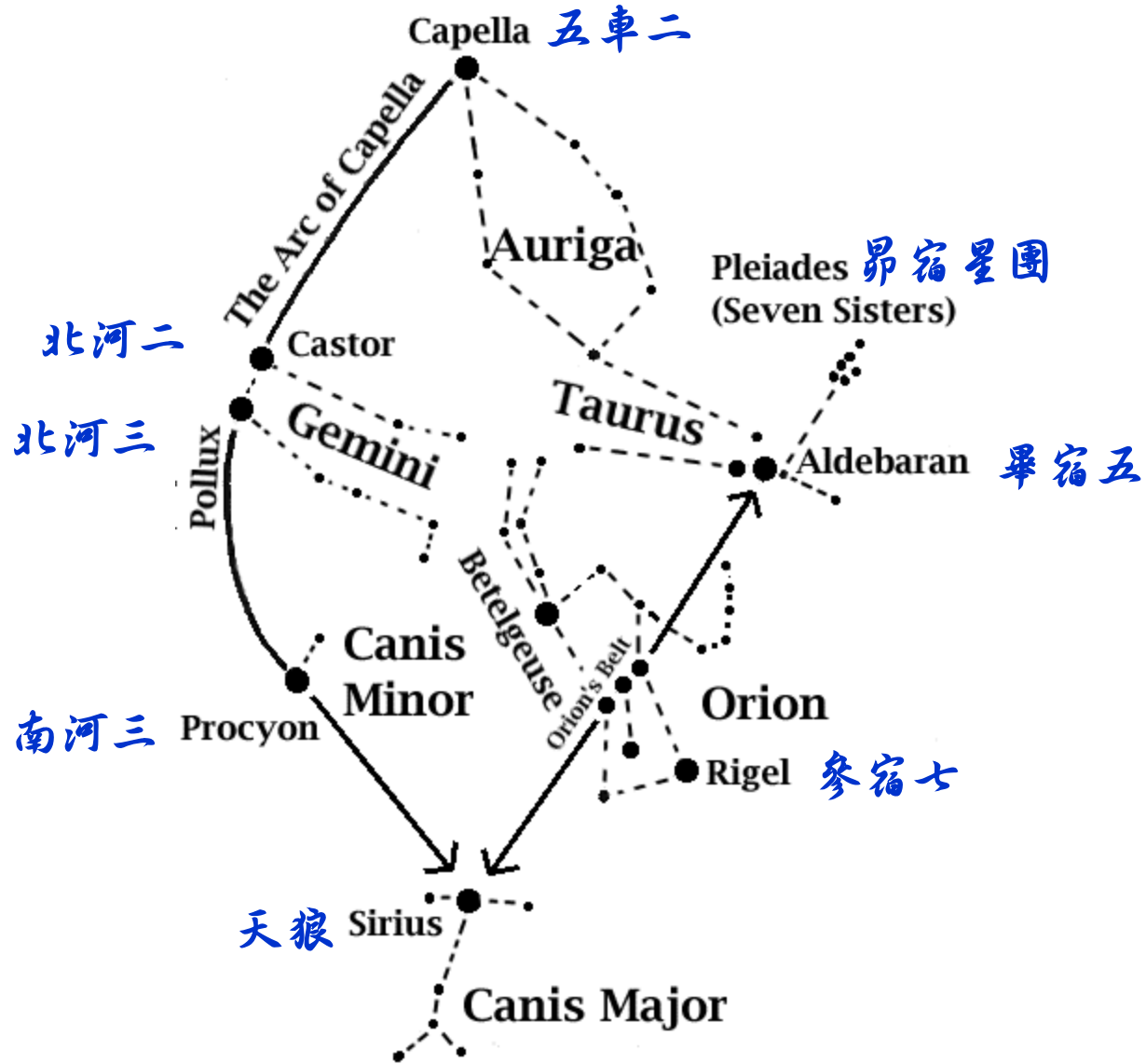


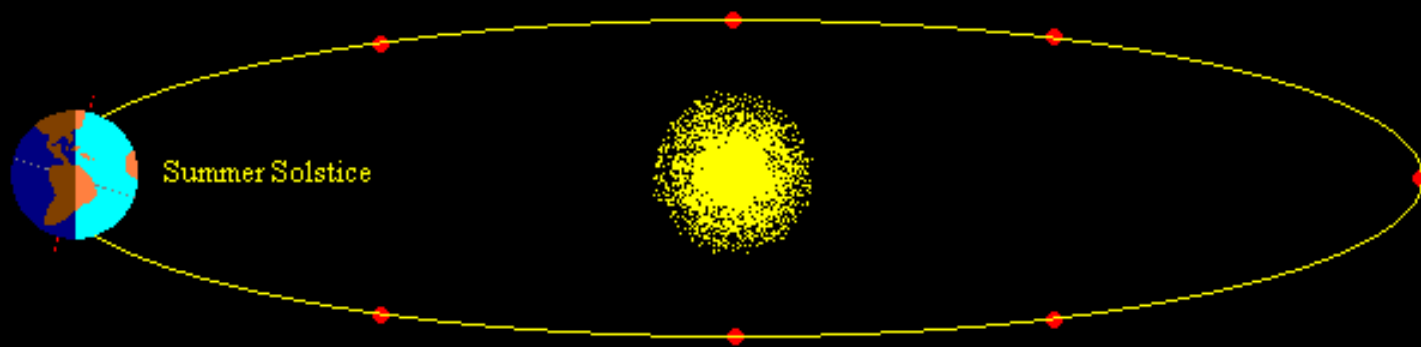
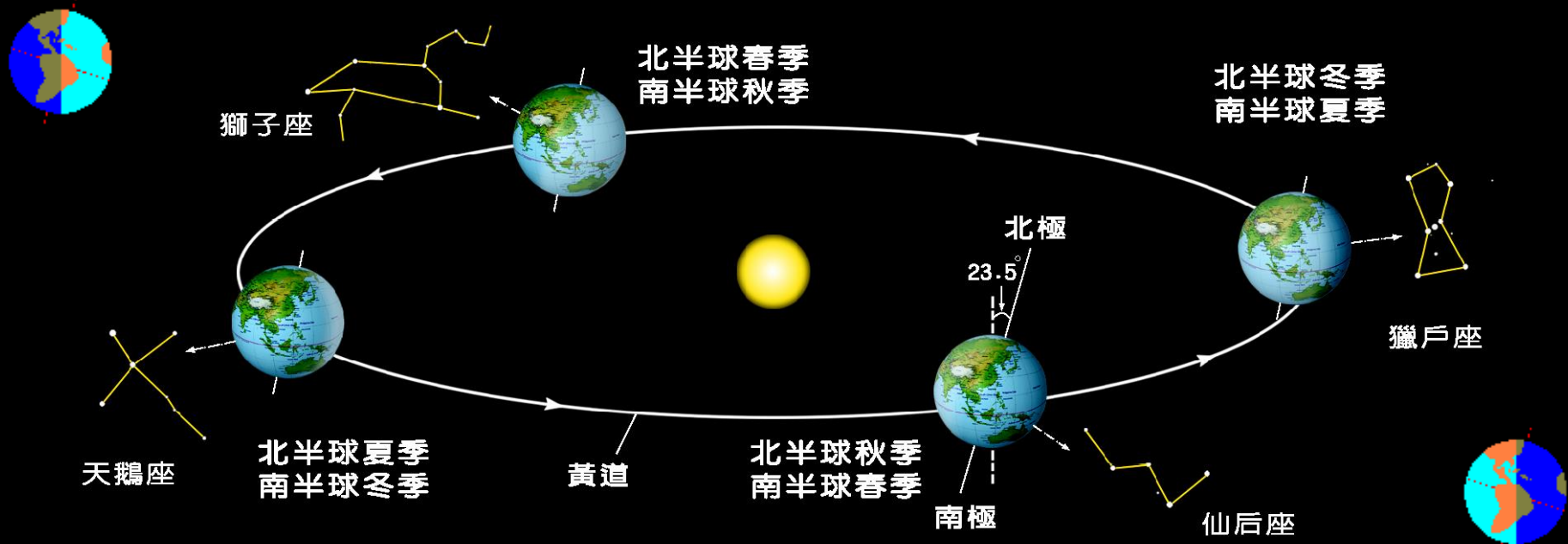


# Orion 獵戶座

<http://www.allthesky.com/constellations/orion/mainm.html>

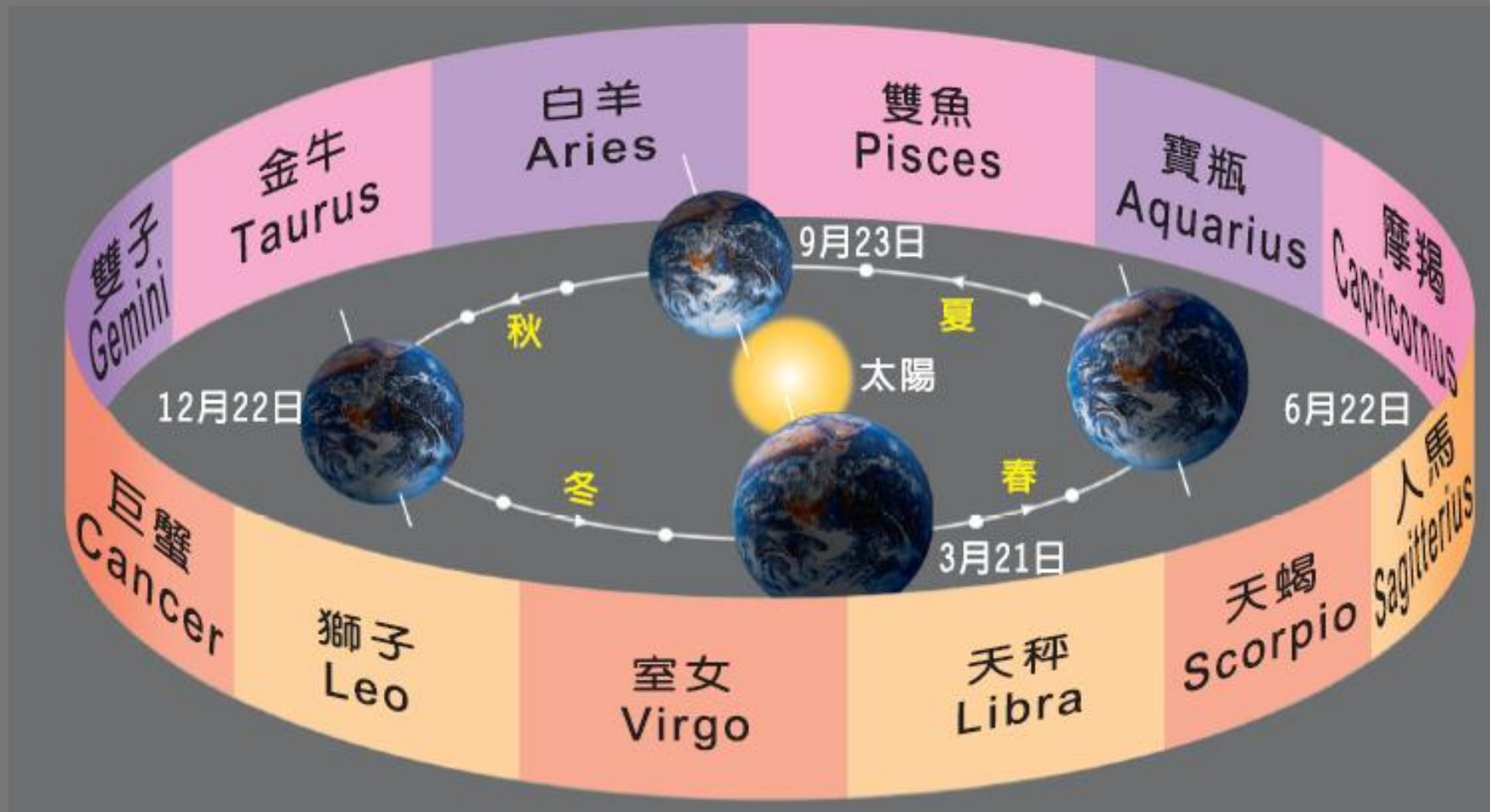
# Using Orion as a Sky Guide





在同個晚上不同時刻，或不同月份看到不同星空

# 黃道十二宮 (zodiac sign)



astronomy (天文學) vs astrology (占星術)

# 黃道十二宮 (zodiac) ?

**Table 1-1**

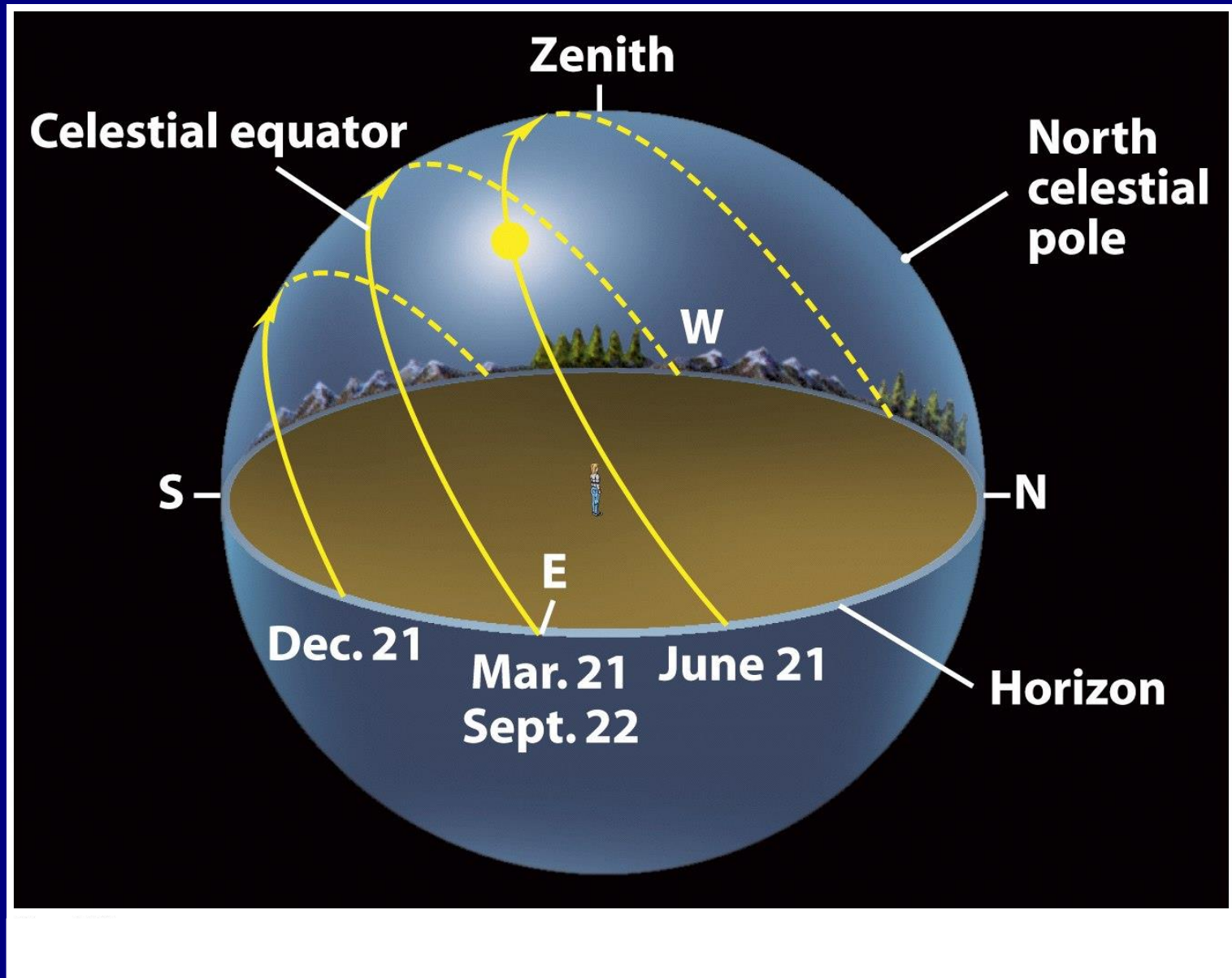
**The 13 Constellations of the Zodiac**

Constellation	Dates of Sun's Passage Through
Pisces	March 13–April 20
Aries	April 20–May 13
Taurus	May 13–June 21
Gemini	June 21–July 20
Cancer	July 20–August 11
Leo	August 11–September 18
Virgo	September 18–November 1
Libra	November 1–November 22
Scorpius	November 22–December 1
Ophiuchus	December 1–December 19
Sagittarius	December 19–January 19
Capricorn	January 19–February 18
Aquarius	February 18–March 13

蛇夫座

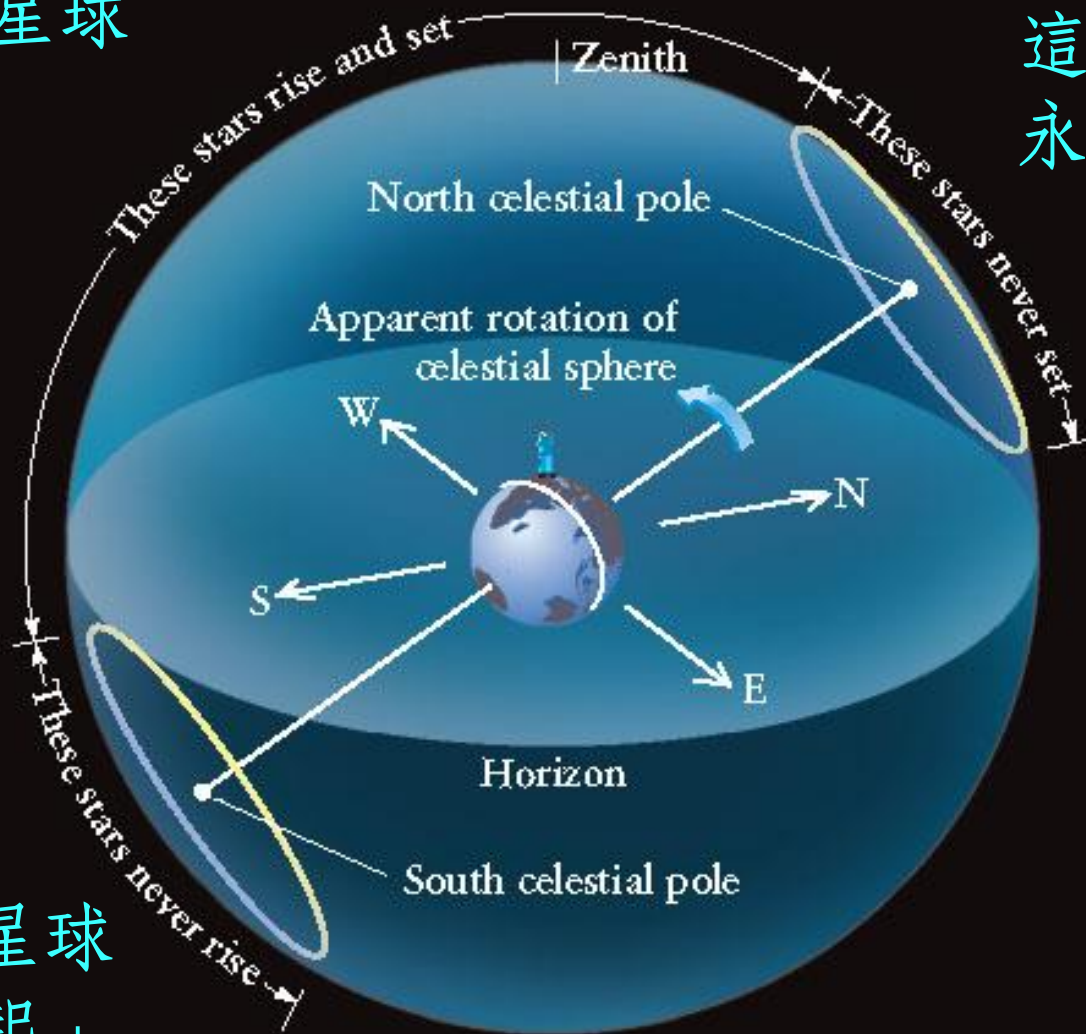
太陽其實走過13個星座，且因為各個星座在天球上範圍大小不同，太陽通過的時間長短也不同

# 太陽每日東升西落的軌跡



這個區域星球  
東升西落

這個區域星球  
永不「下山」



這個區域星球  
永不「升起」

At  $35^\circ$  north latitude:

- the north celestial pole is  $35^\circ$  above the northern horizon
- the south celestial pole is  $35^\circ$  below the southern horizon

# Summer Milky Way



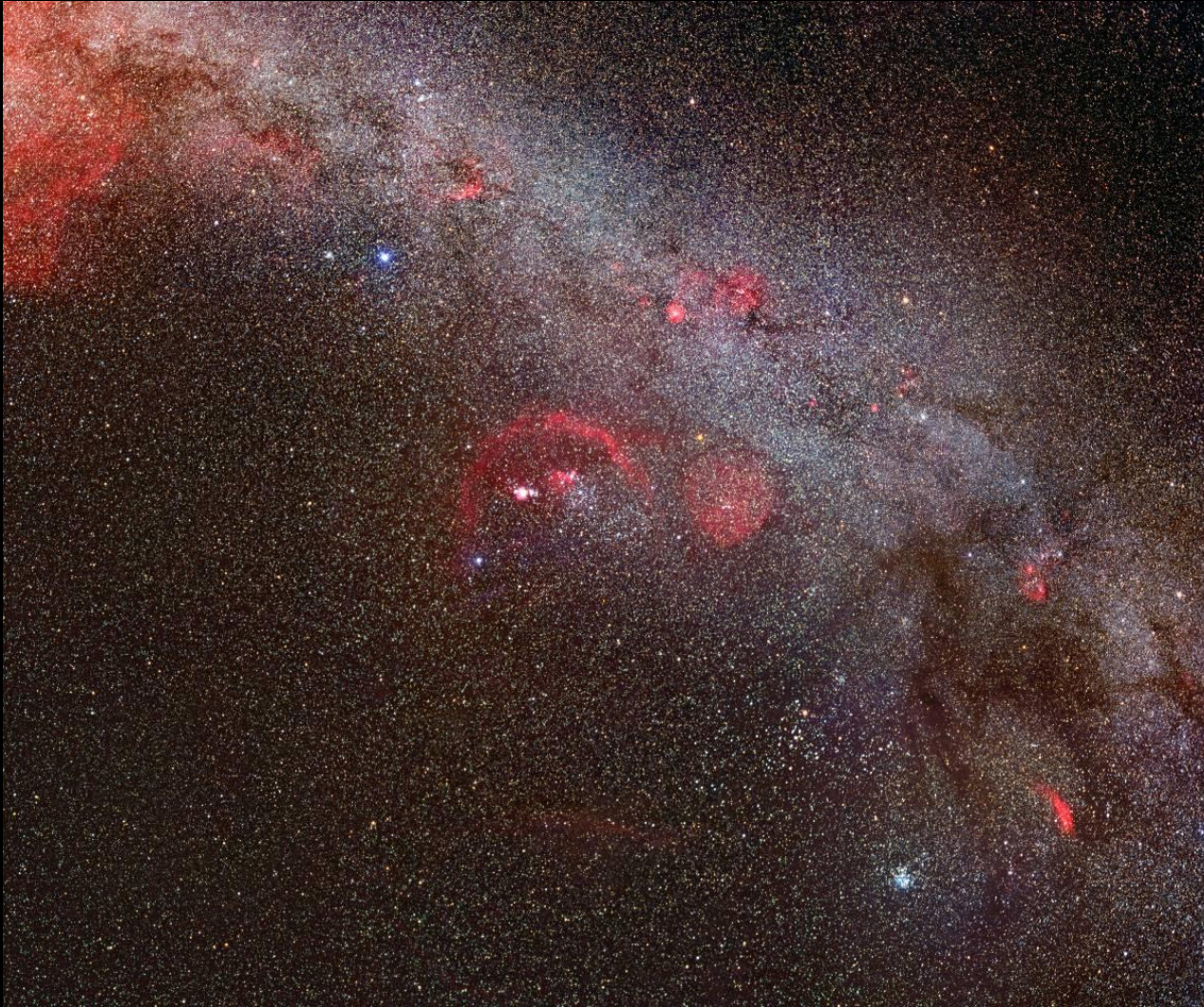
© 2006 Jerry Lodriguss





Wang Wei-Hao

# Winter Milky Way



Wang Wei-Hao



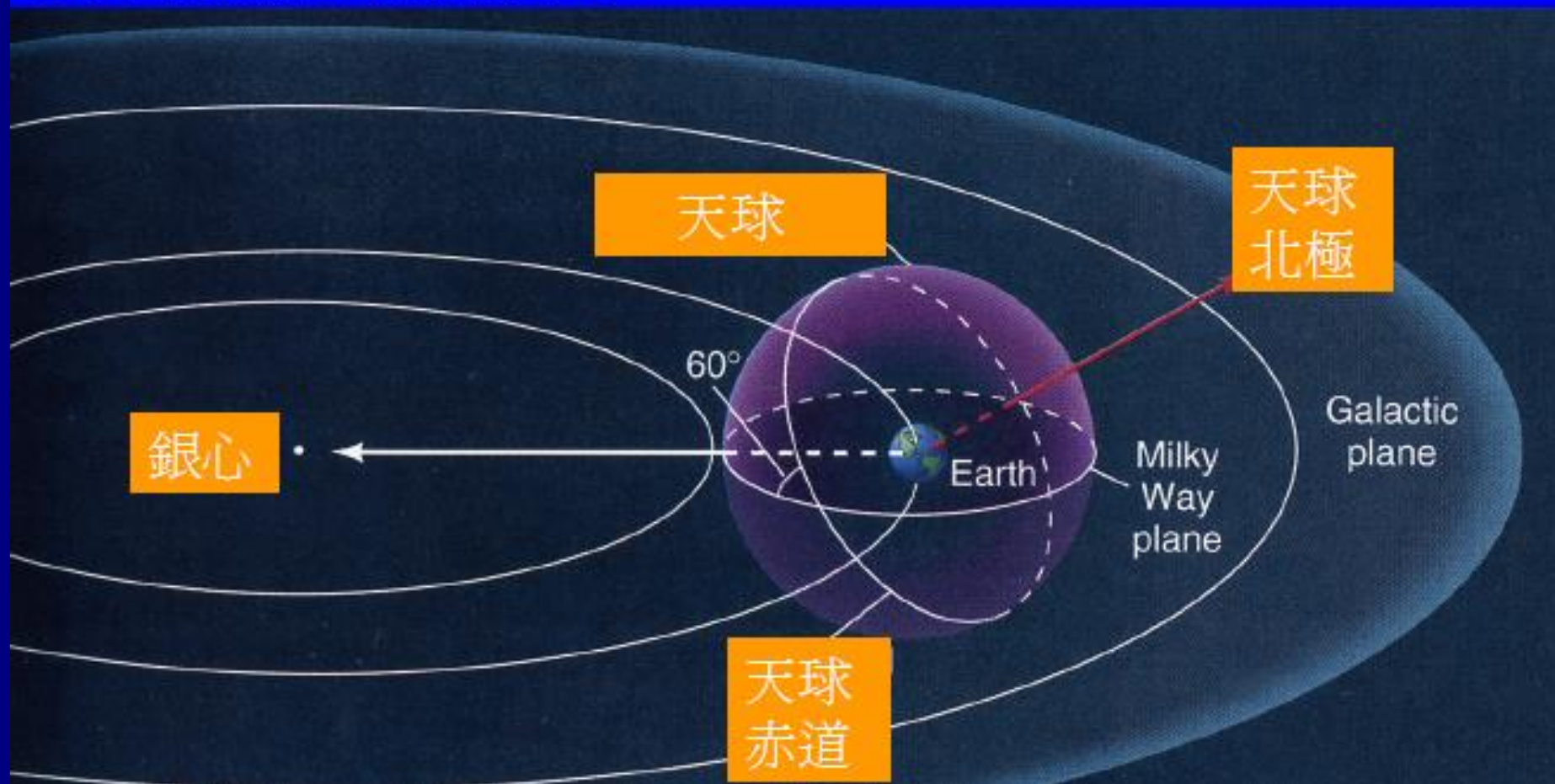


# A nice night-sky simulator --- *Stellarium*

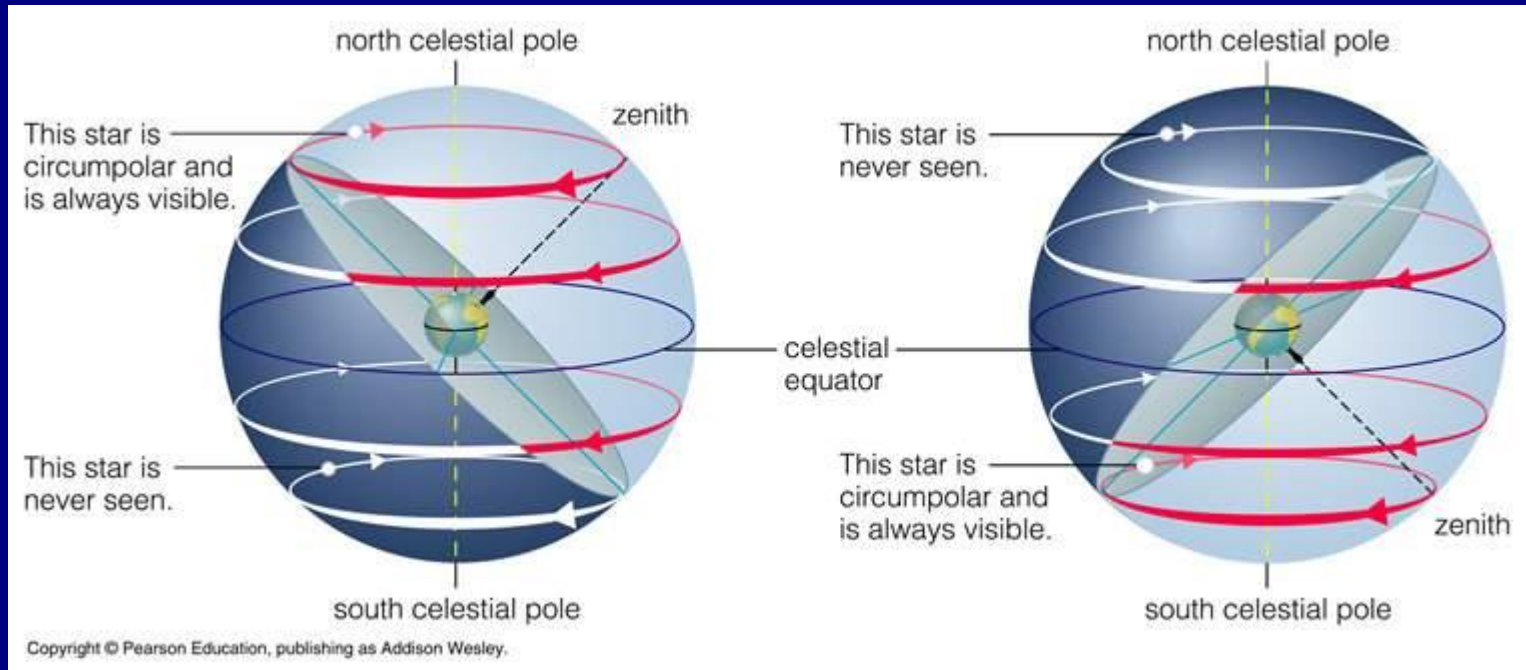


<http://www.stellarium.org/zh/>

## 地球與銀河系的相對位置

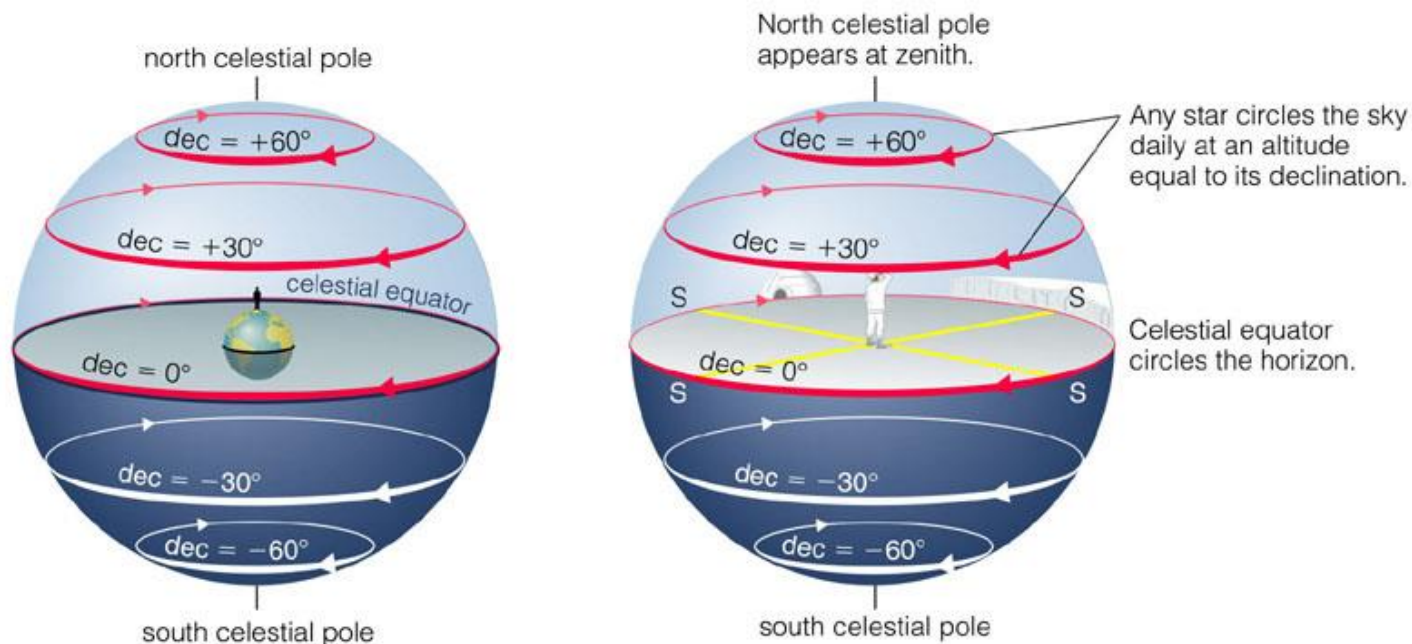


# 全年可看天區取決於 所在地的緯度



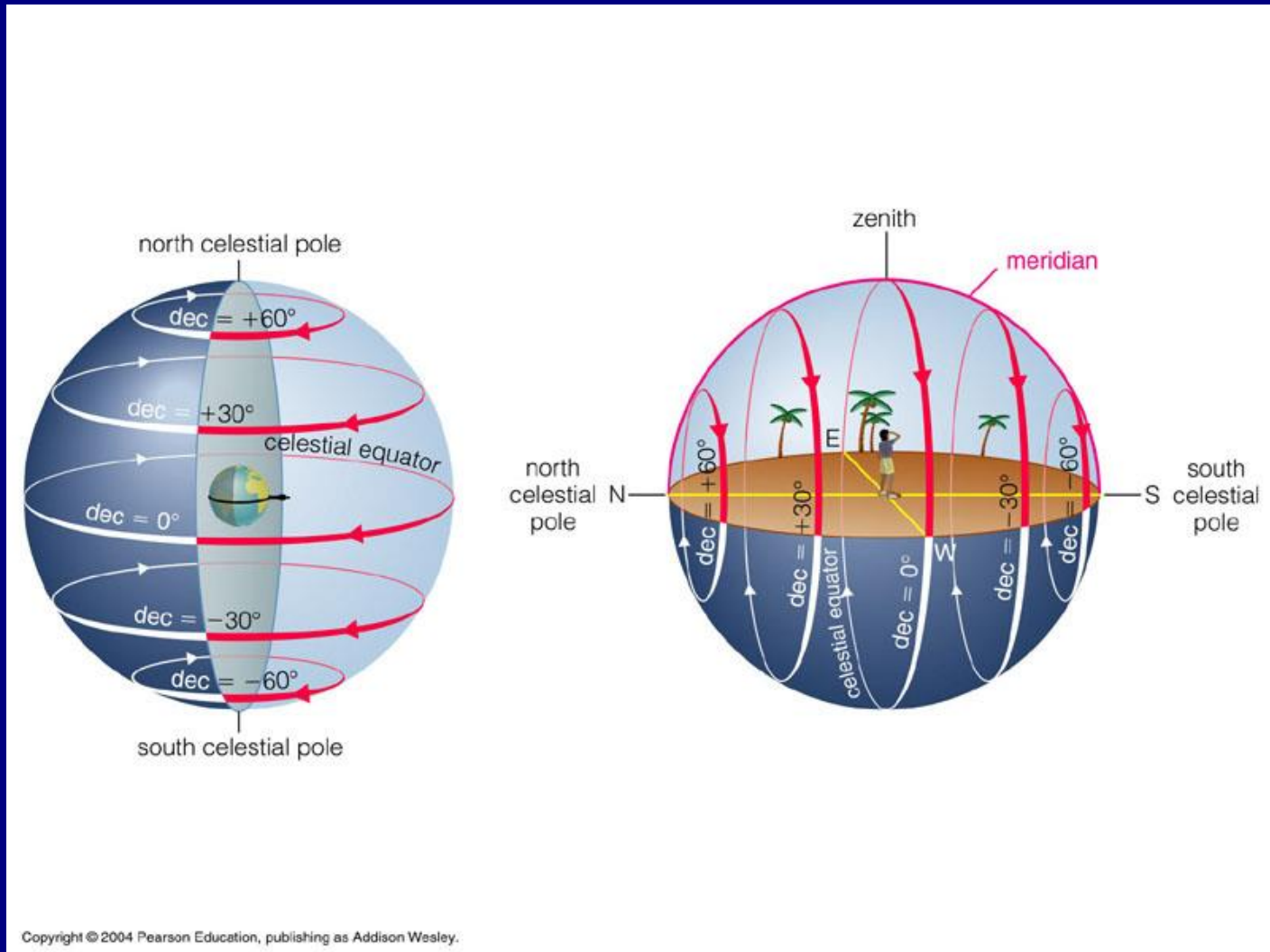
<http://hal.physast.uga.edu/%7Ejss/1010/ch2/3fig2-11.jpg>

# 位於北極 全年可看的天區



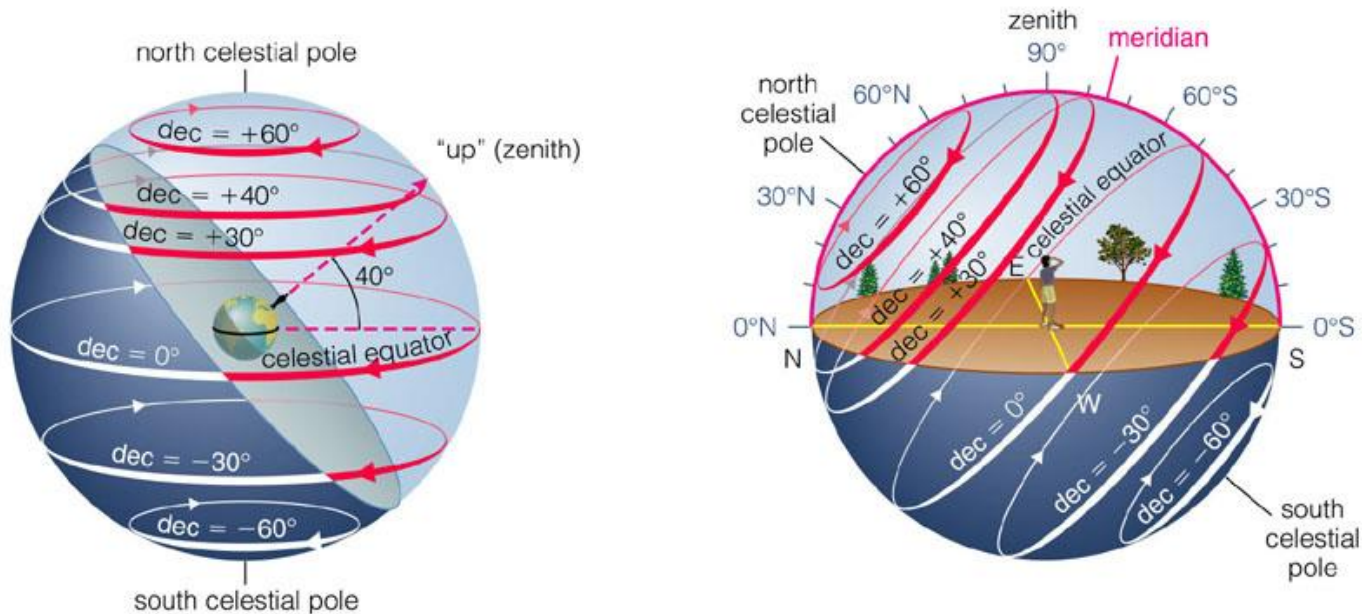


# 位於赤道 全年可看的天區

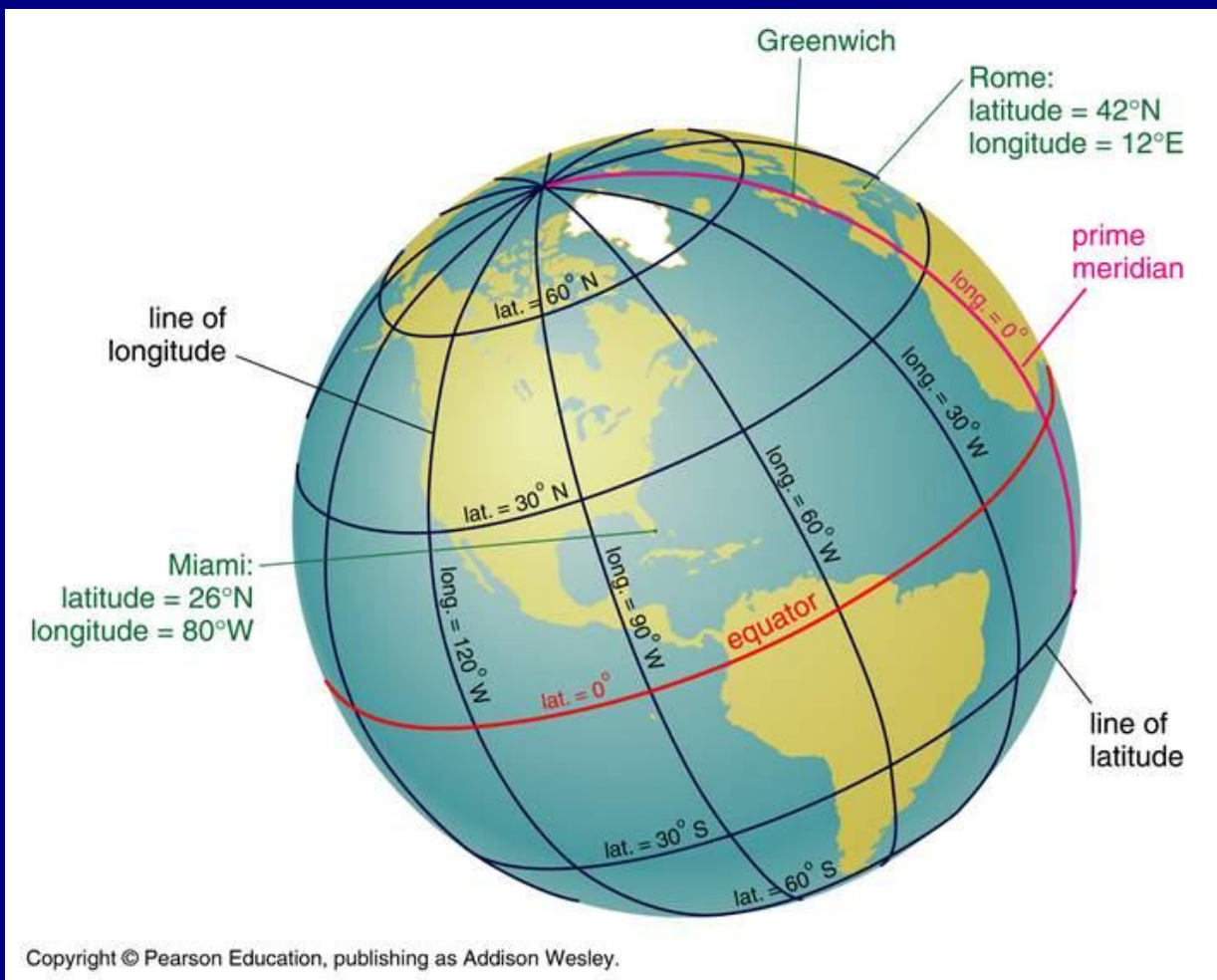


# 位於中緯度 全年可看的天區

(北半球)

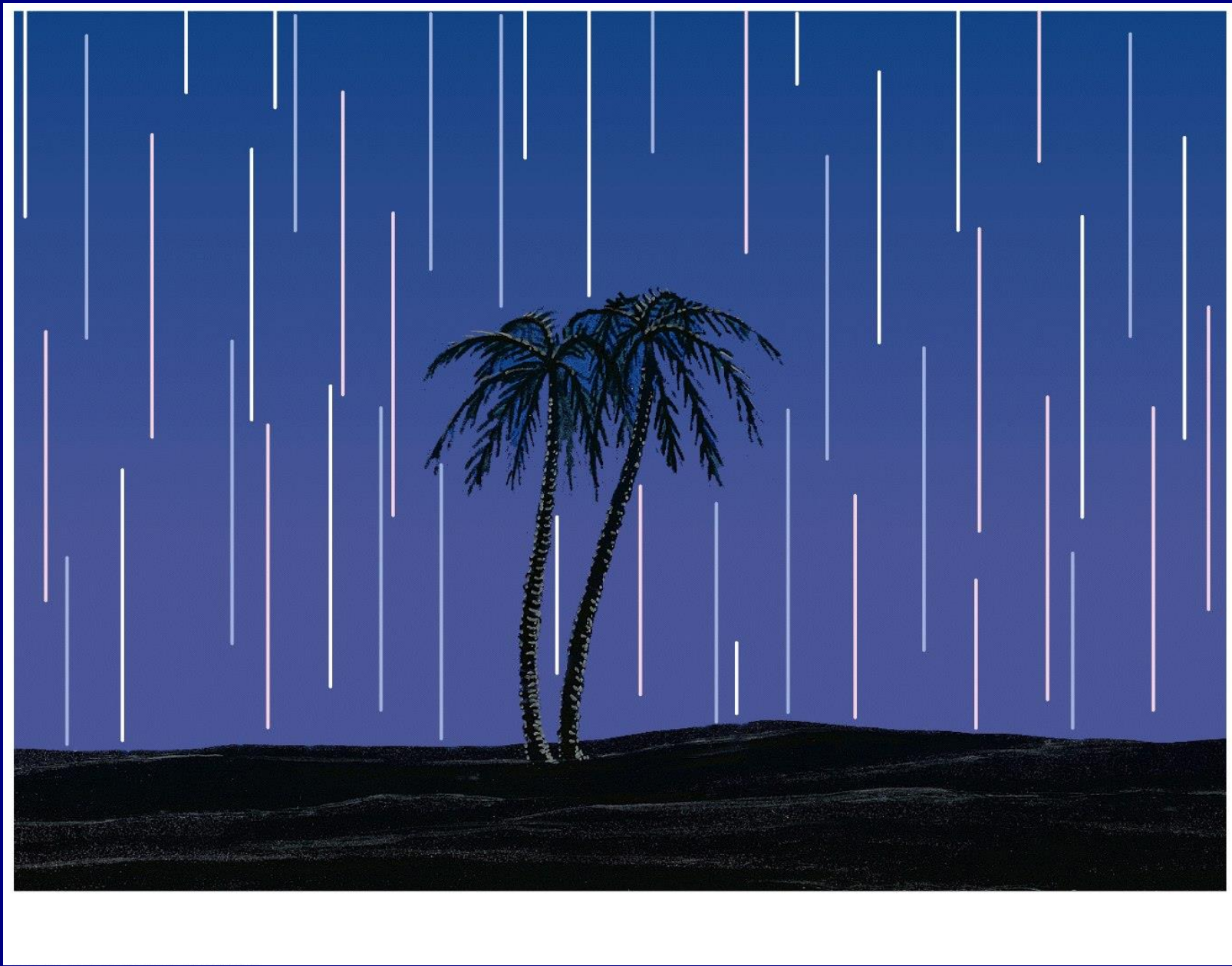


# 日期、時間以及所在地的緯度 → 星星如何升落



在  
北  
極  
所  
見  
天  
體  
運  
動





在赤道所見天體東升西落



© David Miller/DMI

北半球中緯度之天體東升西落

# Q：造成四季變化的原因為何？

1. 太陽表面的黑子活動
2. 地球自轉軸的傾斜
3. 太陽距離的遠近
4. 大氣流動的週期變化

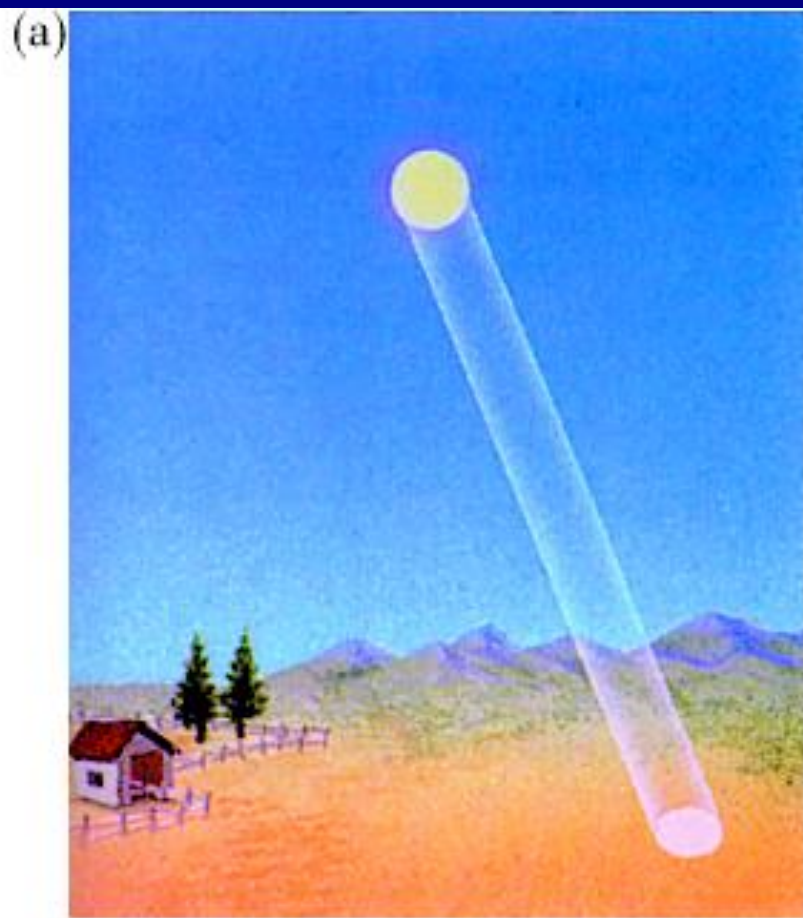
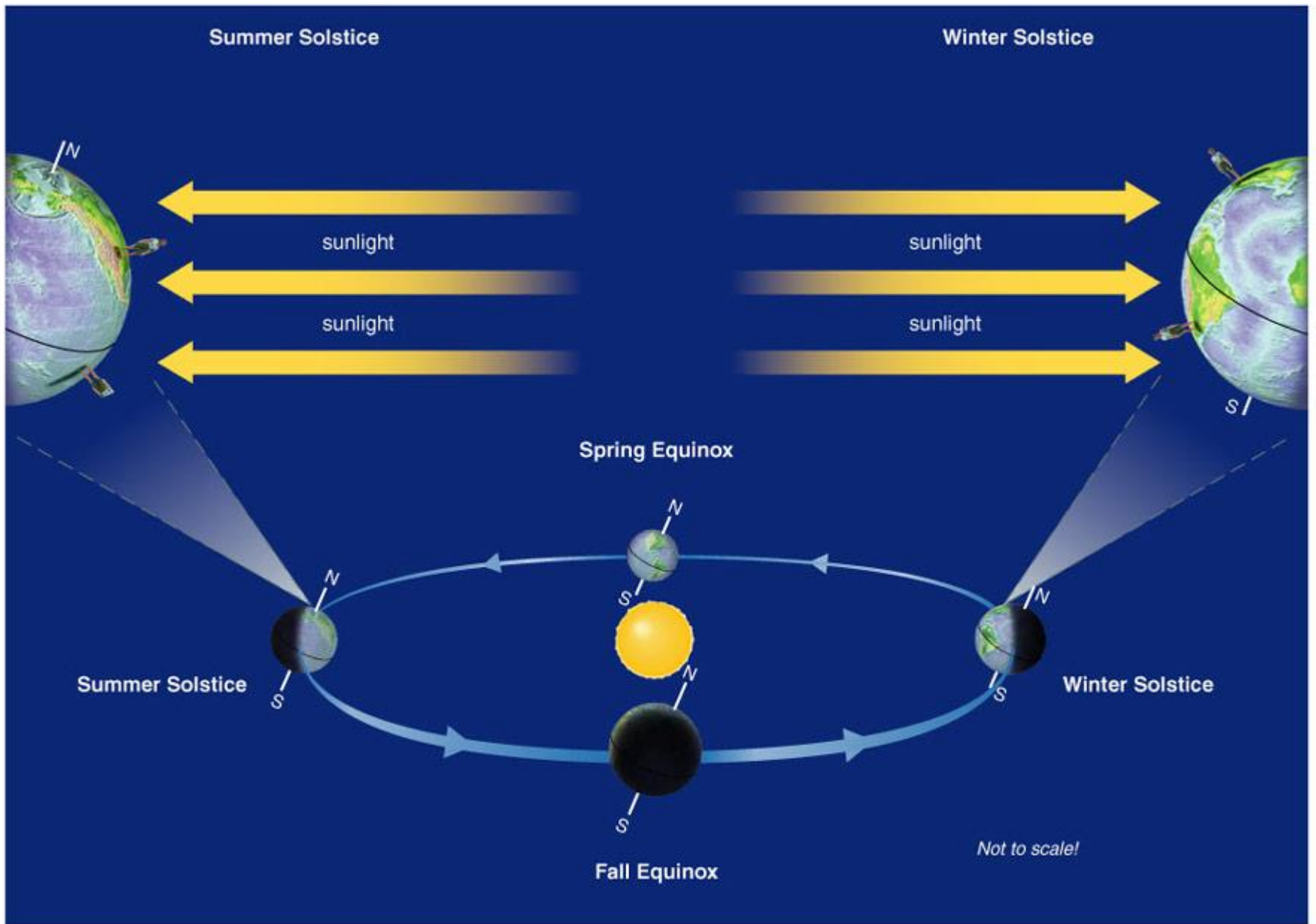


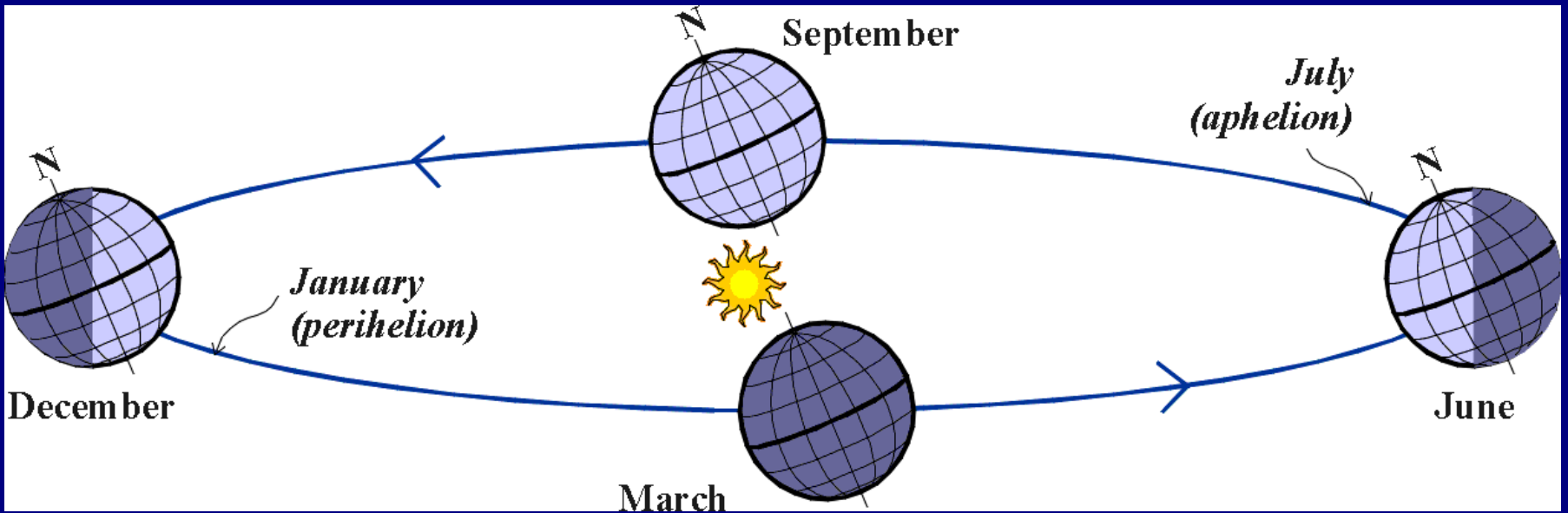
圖 2-13 (a)太陽直射時陽光分布在幾乎圓形的最小面積，(b)太陽斜射時，陽光分布在較大的橢圓面積裡，因此地面單位面積內接收到比較少的能量。(a)圖中的情形有如七、八月時，中午太陽直射北半球地面，因此北半球為夏天。(b)的情形則如一、二月時，同樣是中午，太陽在南方地平線上斜射地面，因此北半球平均溫度低，時值冬季。





- **春分** (vernal equinox)、**夏至** (summer solstice)、**秋分** (autumn equinox)、**冬至** (winter solstice)
- 太陽約每年三月廿一日行至春分點
- 太陽直射 → 夏天；白天較夜晚長
- 南北半球相反
- 春、秋分時，日夜一樣長
- 地球季節與日距無關（實際差距只有 2%）。
- 事實上一月時地球在「**近日點**」(perihelion)；七月時走過「**遠日點**」(aphelion)。

遠日點 ~ 4 July



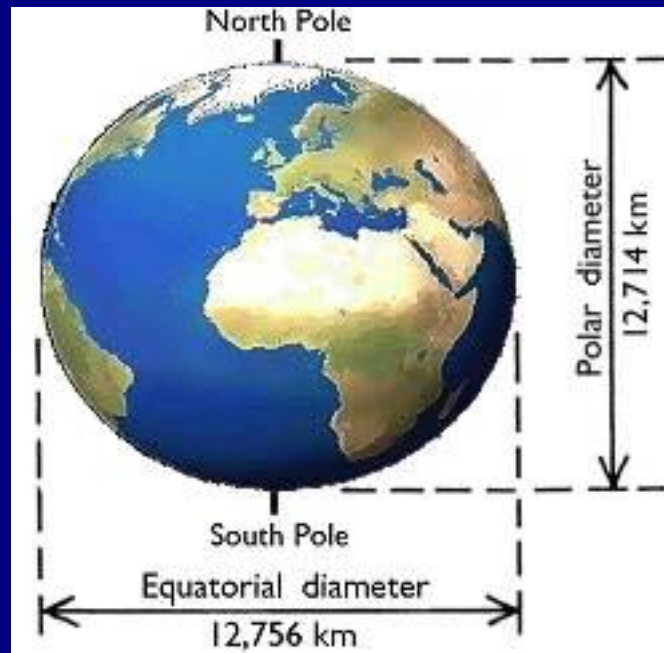
近日點 ~ 3 Jan

# Q：造成四季變化的原因為何？

1. 太陽表面的黑子活動
2. 地球自轉軸的傾斜
3. 太陽距離的遠近
4. 大氣流動的週期變化

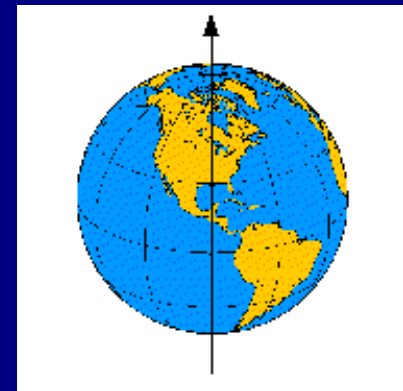
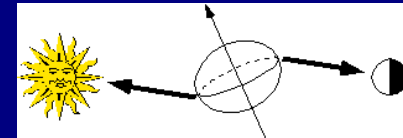
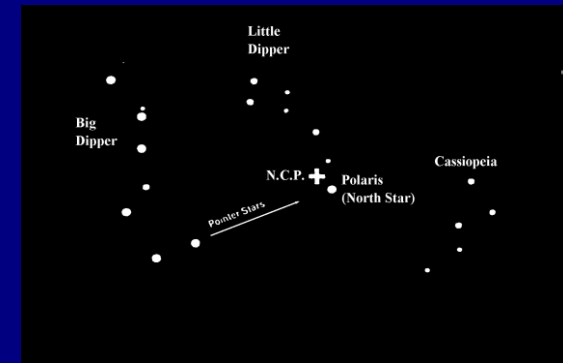
# 地球的形狀

- 地球並不是完美球型，而在赤道方向稍微突起
- 原因來自地球自轉，且地球並非完全剛體
- 沿赤道的直徑比沿南北兩極的直徑長了~43公里，相當於0.3%的差別

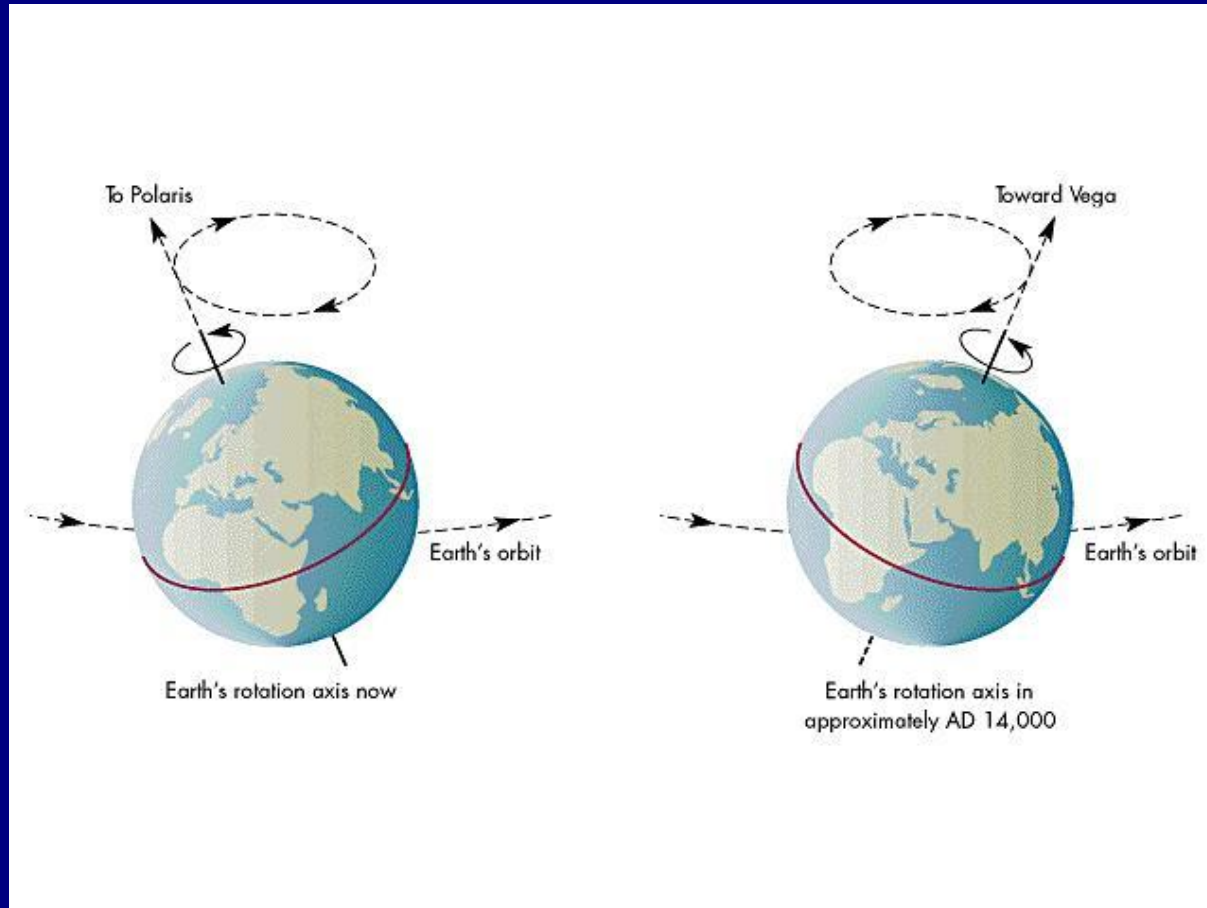


# 地軸的指向

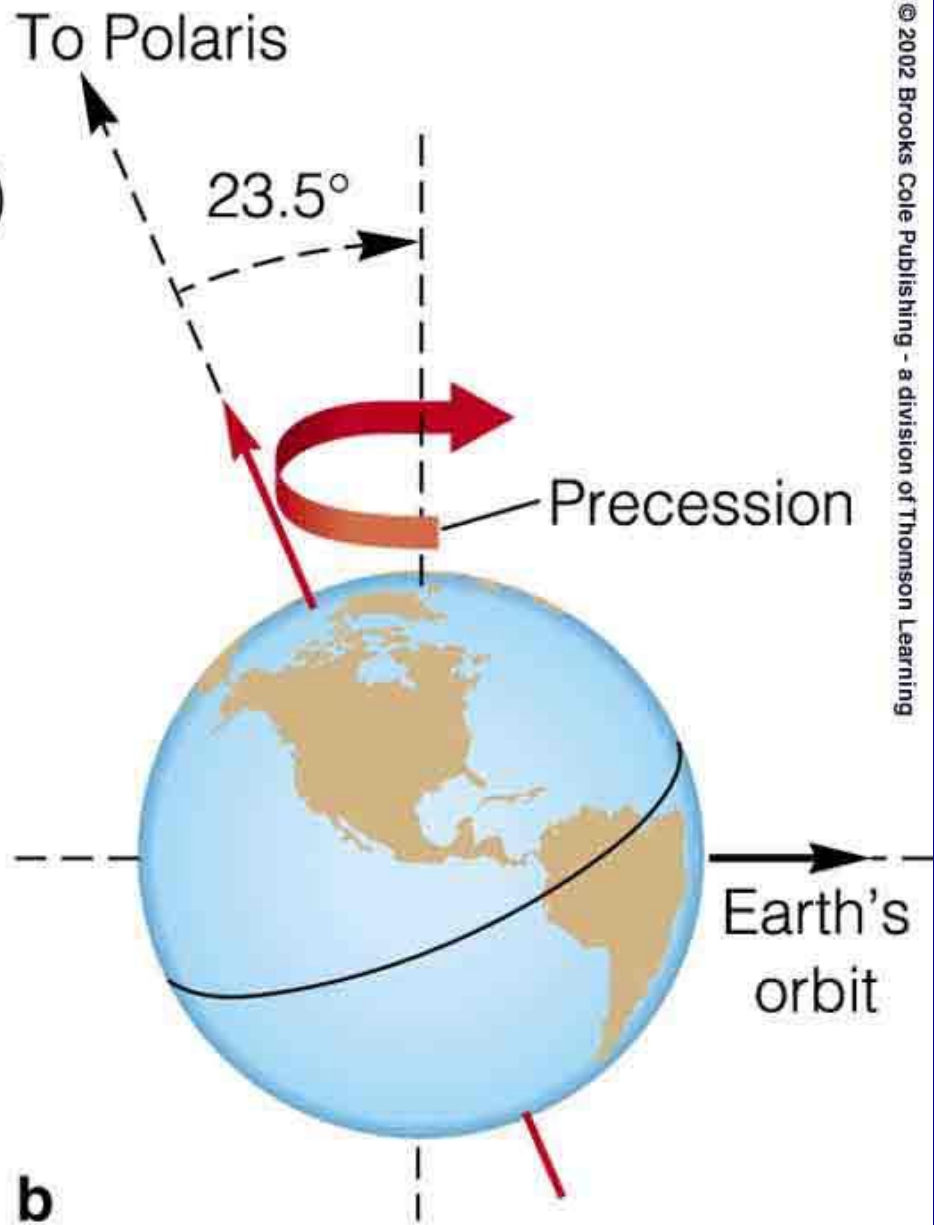
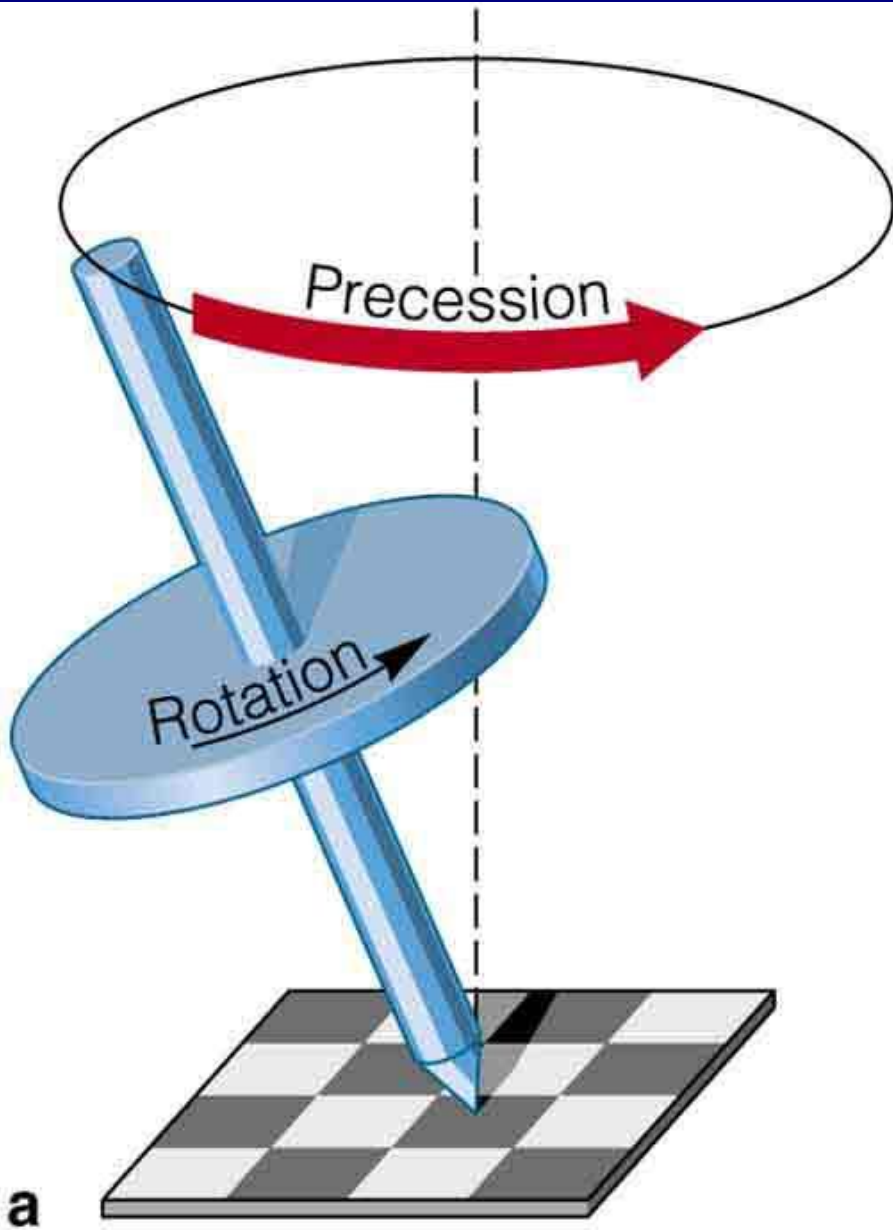
- 陀螺轉動時，自轉軸在空中畫出圓錐形
- 地球自轉受到月球、太陽及其他天體影響，自轉軸也有進動（也稱**歲差運動** precession）
- 歲差運動很慢，短期內（百年）感覺不出來
- 地軸約 26,000 進動一圈
- 目前天北極方向與 Polaris 差不到一度，西元 2100 年達到最近，約 27'



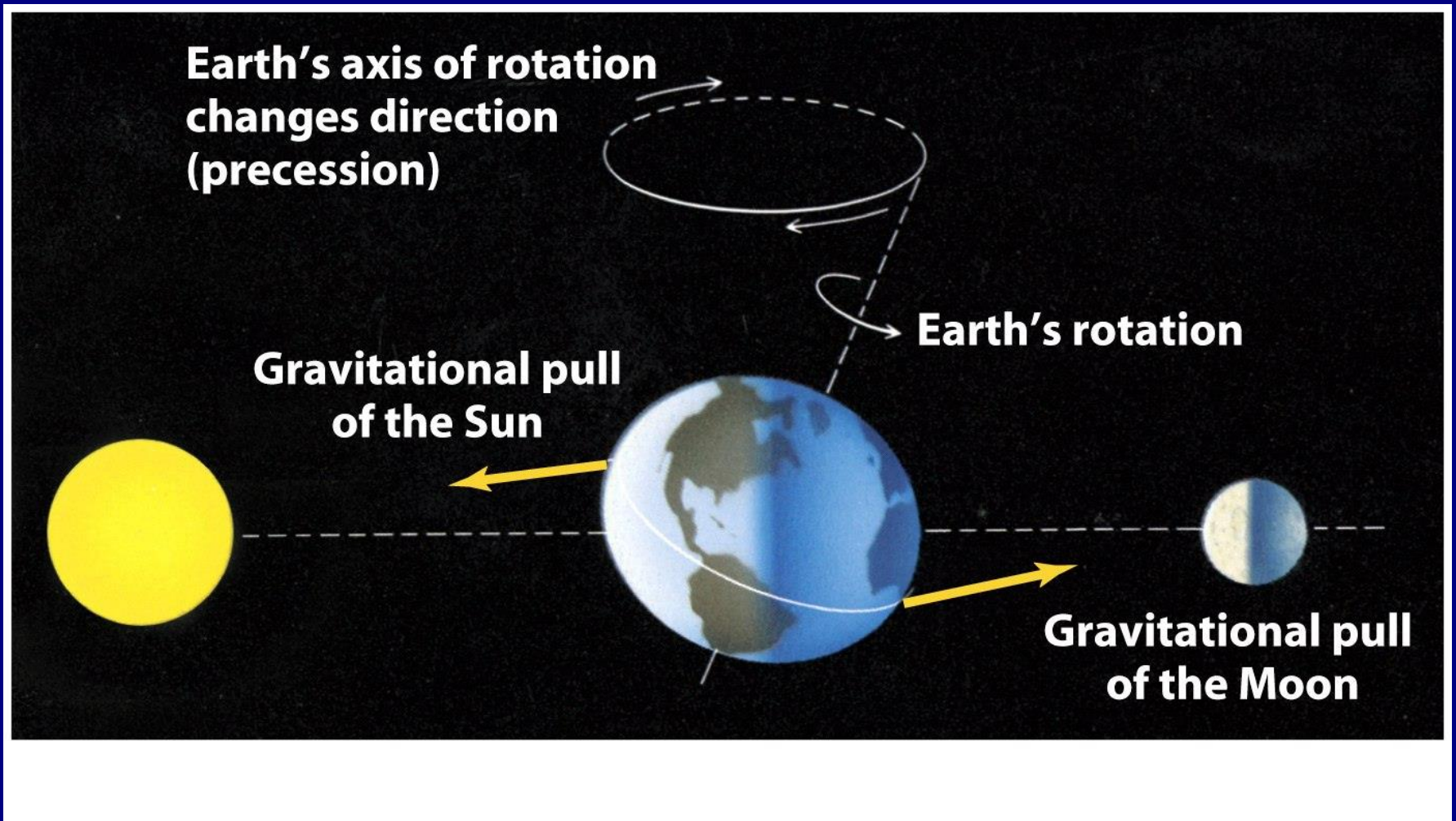
# 地球軌道的進動 歲差運動 (precession)



轉動角動量 VS 外加力距







地球歲差運動週期約26,000年

13000AD

其時  
北極星



現在  
北極星

5000年前  
北極星  
為 Draco  
當中的  
Thuban 星