

# 天文学と航海学のつながり

レーダーやGPSの無い時代  
船乗り達は自船の位置を  
どの様にして知る事が出来たのか  
—天文航法からGPSへの発展—

令和5年6月3日

非営利活動法人日本海洋塾 理事 澤間讓治

## 1. 法人設立の経緯

当法人は、旧東京商船大学、旧神戸商船大学の卒業生有志が集まって、海洋国家日本の海事意識を普及拡充することを目指して、東京海洋大学所蔵の明治丸や海事教育資料等を活用して、広く一般の皆様に海と船を理解していただくため、多様な活動が出来るよう特定非営利活動法人として、平成27年1月22日に立ち上げました。

今後は、広く一般の皆様の参加を得て活動範囲を広げていきたいと考えております。

## 2. 事務所

- 所在地： 〒135-8533 東京都江東区越中島二丁目1番6号  
国立大学法人東京海洋大学 越中島会館2階
- 電話・FAX： 03-6458-5272
- E-Mail info@kaiyou-juku.org

## 3. 理事

- 理事長 都築 雅彦
- 副理事長 尾身 衛男
- 理事 澤間 譲治
- 理事 佐田 昌弘
- 監事 松崎 光男

# 目 次

## 1. 航海学とは何か??

## 2. 地文航法

## 3. 天文航法

3-1 前提概念 地球、経度、緯度、天球、赤緯、赤経

3-2 星の高度と緯度との関係

3-3 グリニッジ世界時間と経度との関係

3-4 実務での位置の線航法(推測位置を前提)

3-5 数学的解析手法での位置算出

## 4. 電波航法

# 1. 航海学とは何か??

大海原でGPSもレーダーも無い時代、人々はどのようにして自分の現在の位置と目標地点の方向と距離を知る事が出来たのでしょうか??

それを知る為には二千年以上の歳月を費やした科学者や技術者&航海者達のたゆまない工夫と努力の歴史を辿る必要があります。

## 広義の航海学

航海学とは、船舶を安全かつ経済的に、地球上の一地点から他の地点へ導くのに必要な過程を研究対象とする科学で、地球の形や大きさ、海陸の分布、気象・海象、船舶の構造・性能・操船などに関する知識や技術を総合的に扱う実践的な学問であり、国内外の法律や条約などにも通じている必要があります。航海学は理学、工学、法学、経済学などの多くの分野を有機的に結びつけた学際的な学問と言える。

## 狭義の航海学(=NAVIGATION)

航海術(NAVIGATION)とは船を地球上のある点から、  
ある点へ安全に効率よく移動させる技術

現在の**位置**と目的地の**位置**を正確に知る必要がある

- 地図、海図(地形、灯台、建造物)
- コンパス
- 時間を測る(時計)
- 速度(速度計)
- 距離

# ChatGPTに航海術とは聞くと??

G5

WHAT IS NAVIGATION



Navigation is the process of planning, monitoring, and controlling the movement of a person or vehicle from one location to another. It involves using various tools and techniques, such as maps, charts, compasses, GPS devices, and other navigation aids to determine the current location, the desired destination, and the best route to reach that destination. Navigation is essential for travel, transportation, exploration, and military operations, and it requires a combination of technical skills and situational awareness to navigate effectively and safely. With the advancement of technology, navigation has become more efficient and accurate, allowing us to explore and travel to new and distant places with greater ease.



**ナビゲーションとは、ある場所から別の場所への人や乗り物の移動を計画、監視、制御するプロセスのことです。地図、海図、コンパス、GPS機器、その他のナビゲーション補助機器など、さまざまなツールやテクニックを使って、現在地、希望する目的地、その目的地に到達するための最適なルートを決定することが含まれます。ナビゲーションは、旅行、交通、探検、軍事行動などに不可欠であり、効果的かつ安全に航行するためには、技術的スキルと状況認識の組み合わせが必要です。技術の進歩により、ナビゲーションはより効率的で正確なものとなり、私たちはより簡単に新しい場所や遠い場所を探索したり旅行したりすることができるようになりました。**

# 自船の位置を知る為の三種類の方法

地文航法

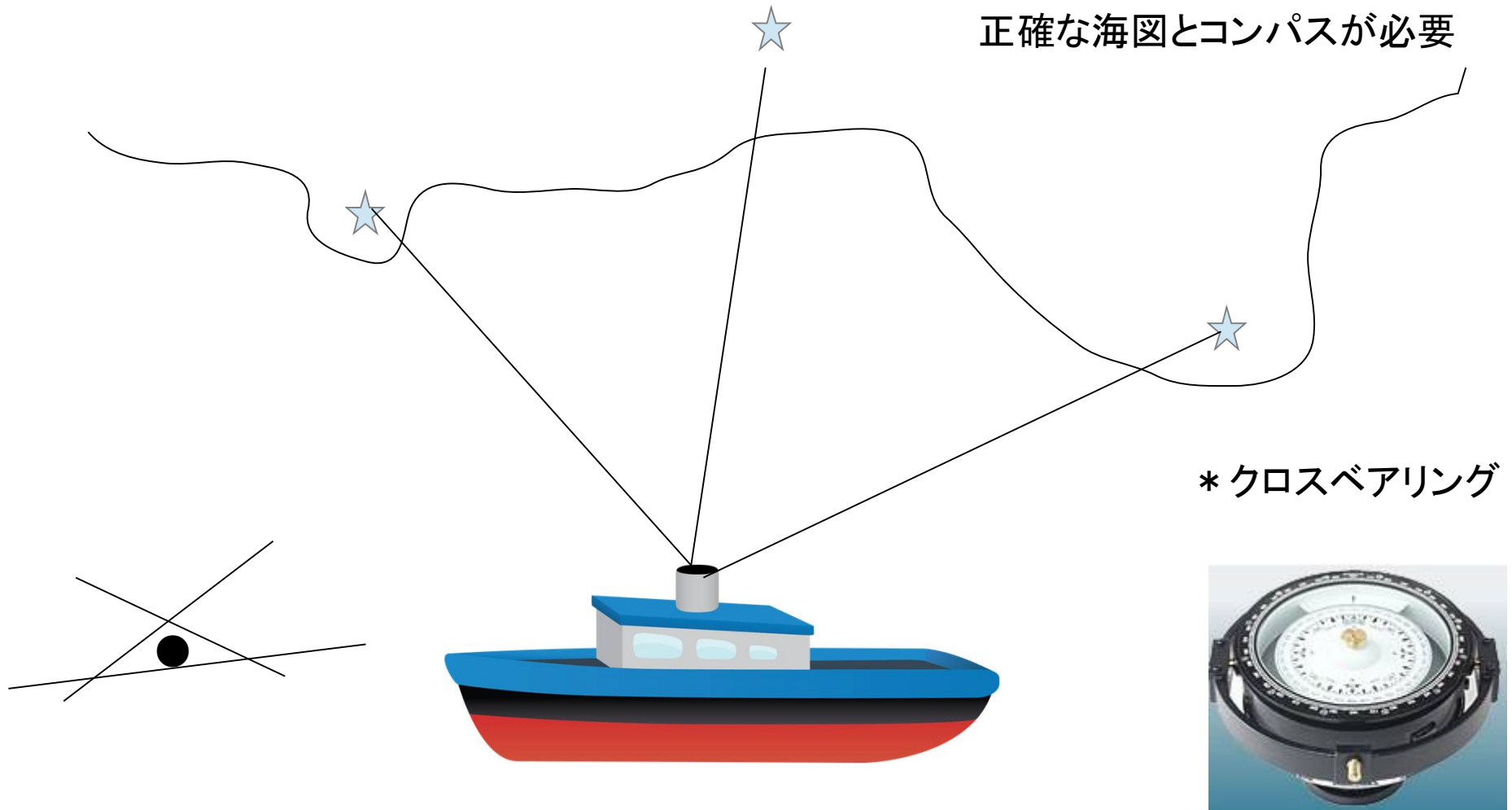
天文航法

電波航法

## 2. 地文航法

地上の目標物からの逆算的方法で自船の位置を知る方法。例えば灯台や山の頂上等

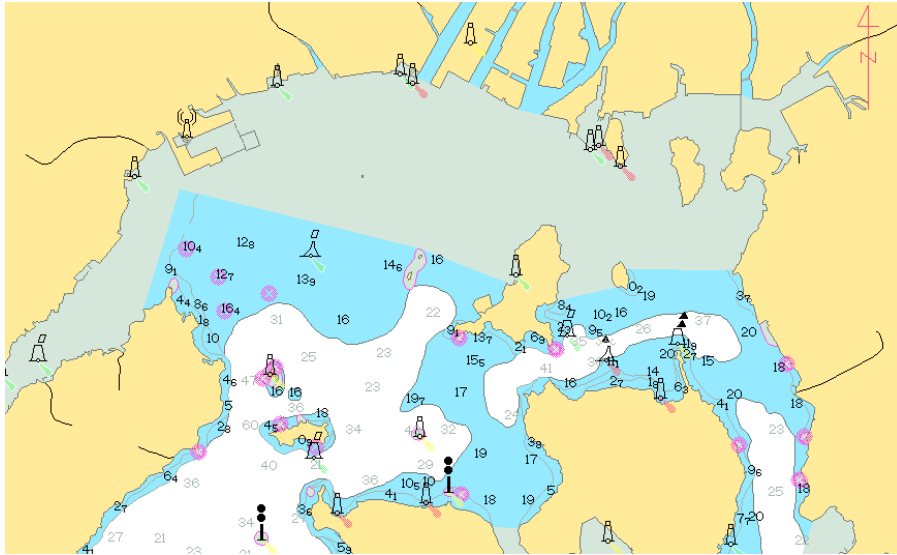
正確な海図とコンパスが必要





# 位置を知る為の必須アイテム

## 海図



## 磁気コンパス



## 地球ゴマ



## ジャイロコンパス

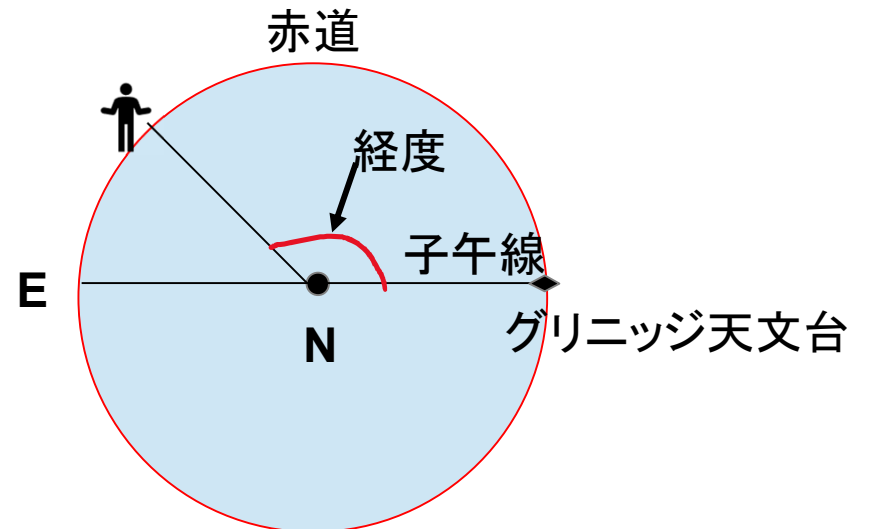
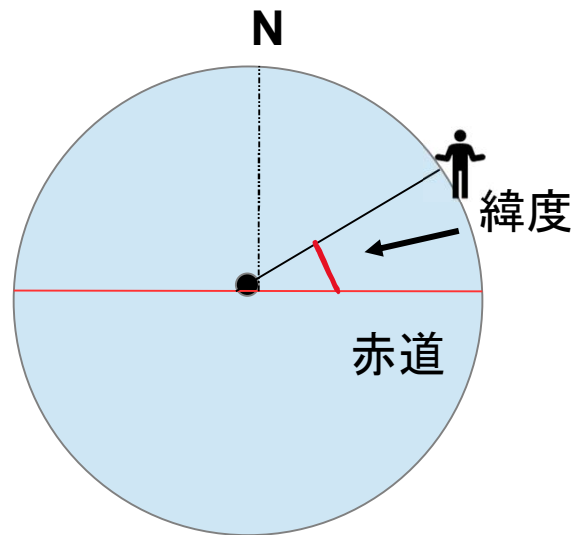


### 3. 天文航法：周囲に目標物が無い状態

#### 3-1 前提概念

##### 緯度 (Latitude) と経度 (Longitude)

- ・緯度とは赤道からの距離を角度で表したもの
- ・経度とはグリニッジ子午線から東西方向に測った距離を角度で表したもの
- ・南中とはその地点で太陽が真南に来た状態

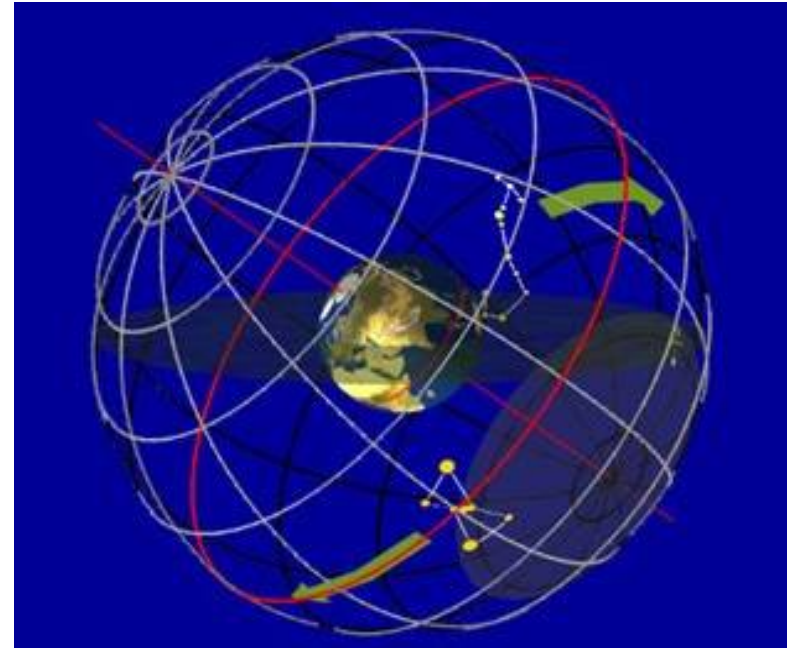
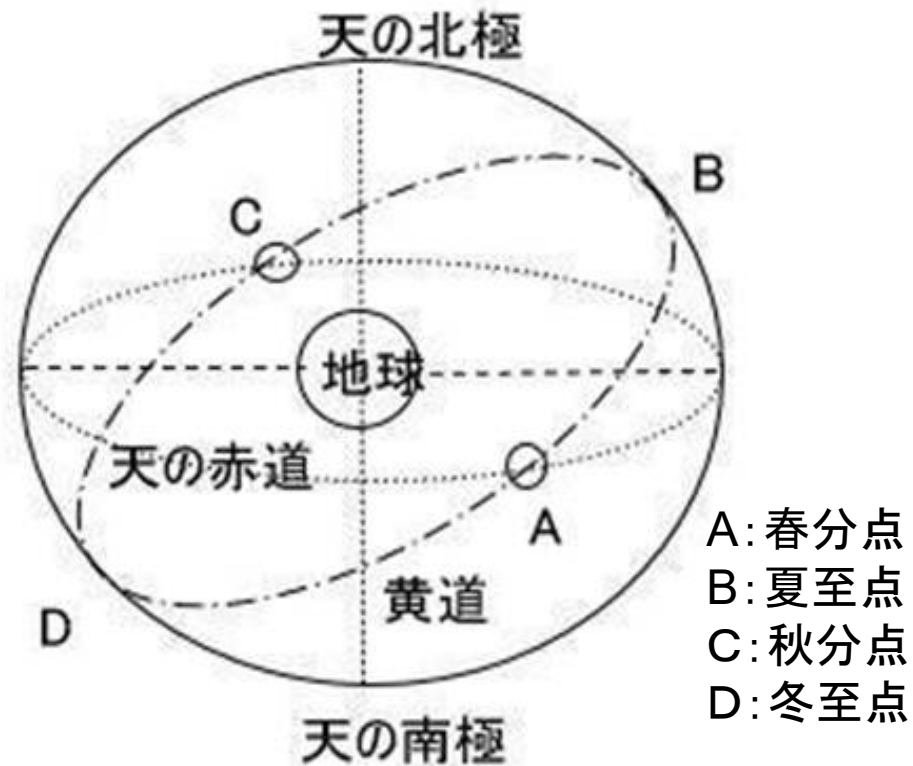


日本の経緯度原点は港区麻布台2-18-1地内にある日本経緯度原点金属標の十字の交点」と定められている

● 東経139度44分28秒8869

● 北緯35度39分29秒1572

# 天球の概念

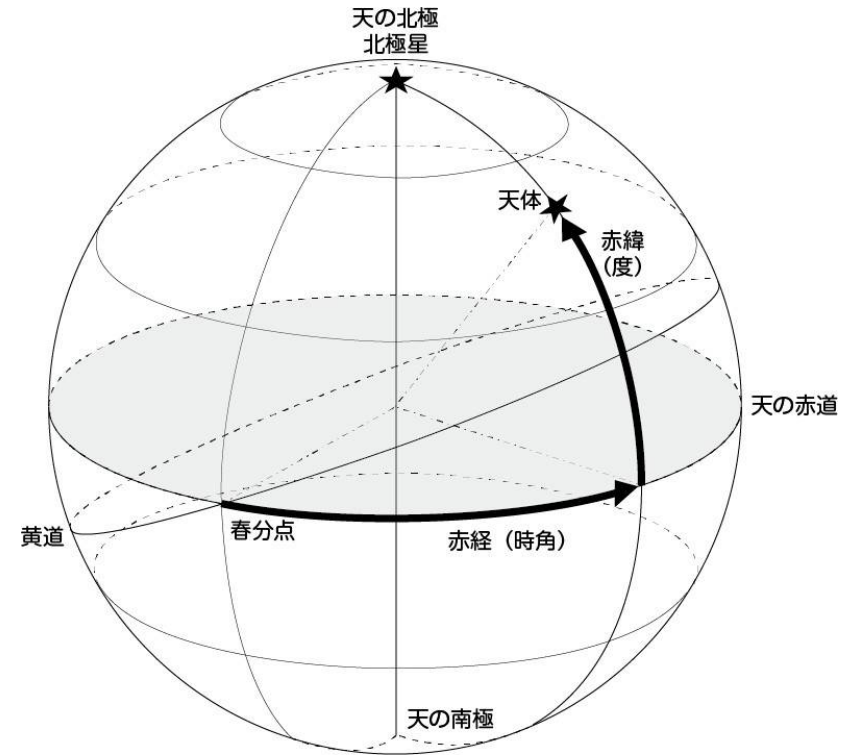
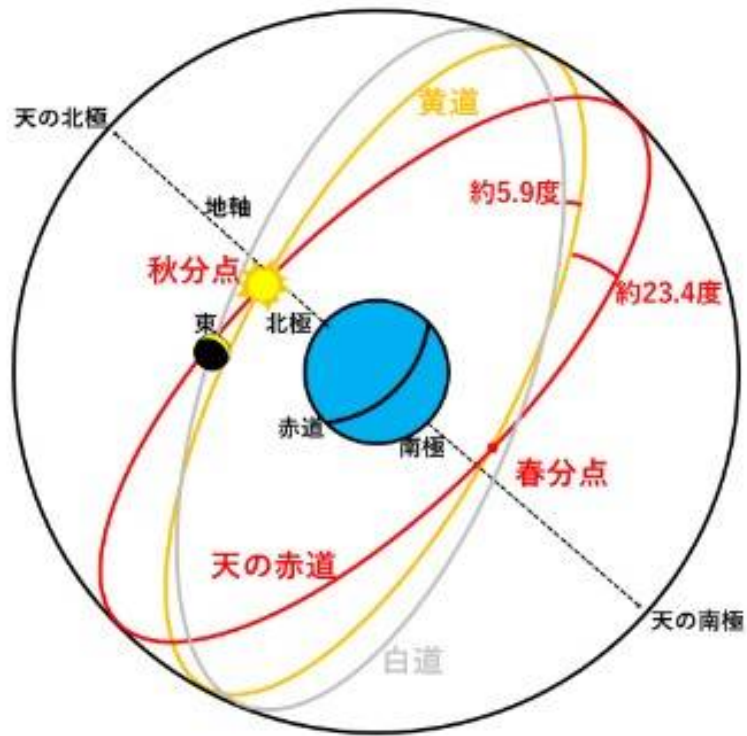


天球の概念から、地球の中心を基点とする三次元座標を設定すれば、三つの星の天球上の位置から自分の位置を幾何学的に求められる事が予想される

→位置の線 LOP(Line Of Position)

# 天球に於ける緯度、経度

天球に於ける緯度、経度の事を赤緯、赤経と定義する



天文航法とは

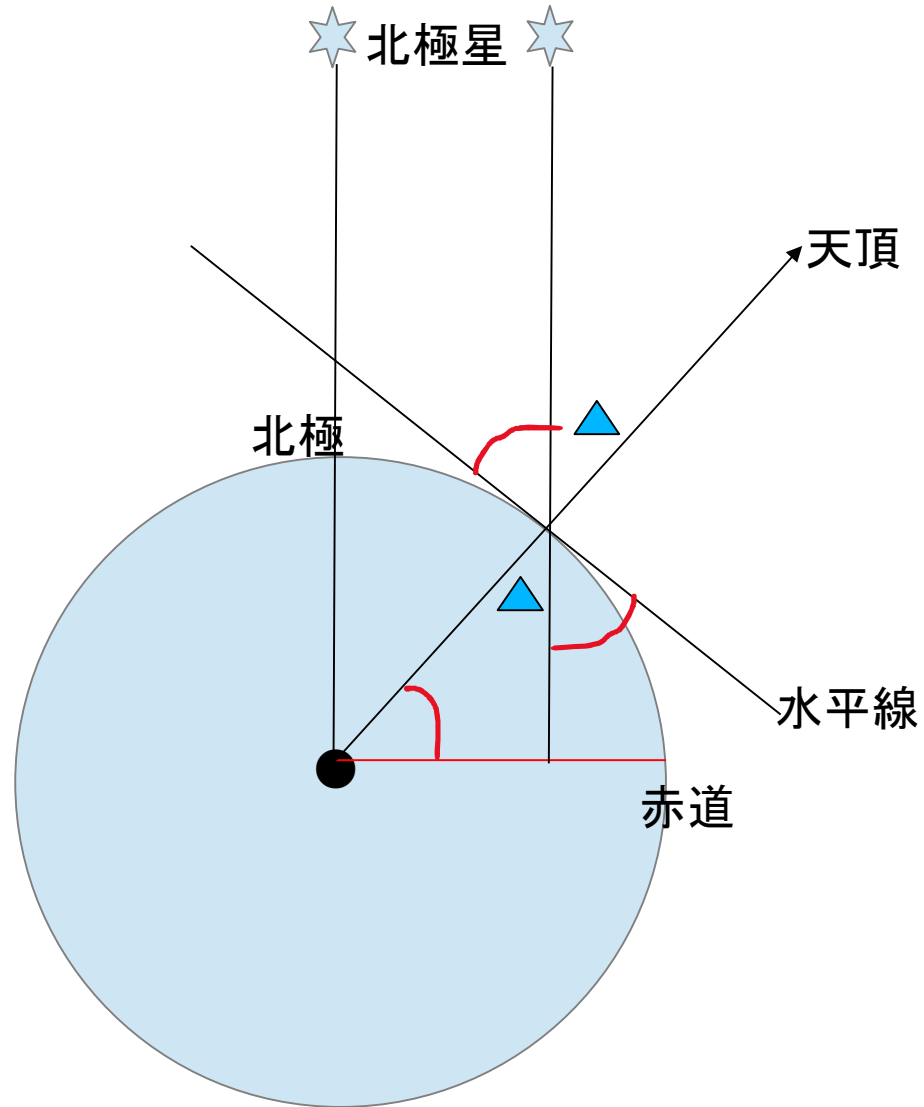
星の天球上の位置(赤緯、赤経)

から観測者の地球上の位置

(緯度、経度)を割り出す方法論

## 3-2 星の高度と緯度との関係

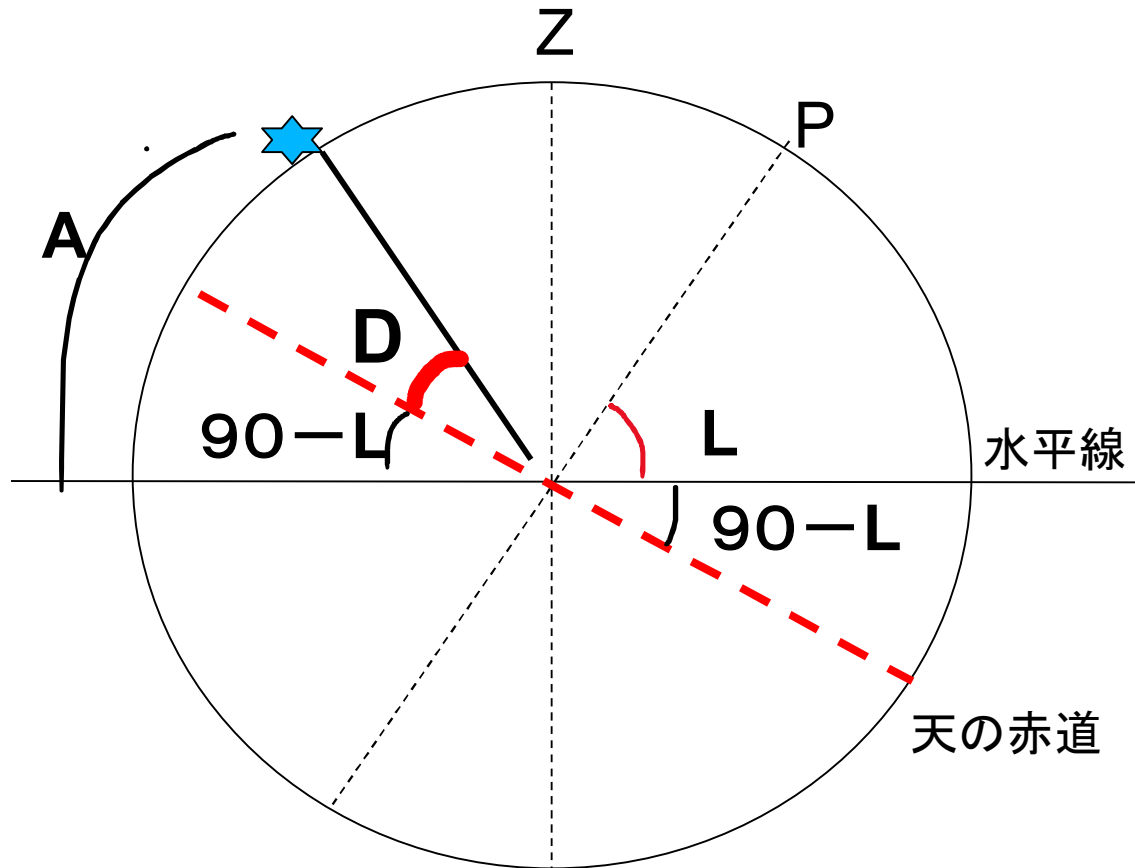
北半球では何故、北極星の高さを測る事で緯度を知る事が出来るのか？





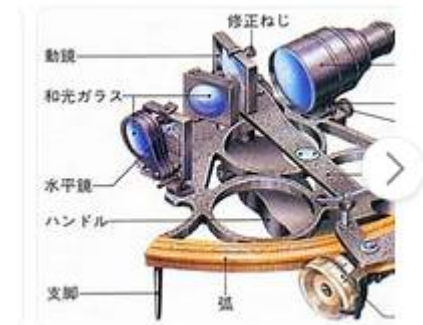
# 六分儀により星の高さ(仰角)を測る

A:星の高さ Z:天頂 P:天の北極 L:緯度 D:赤緯



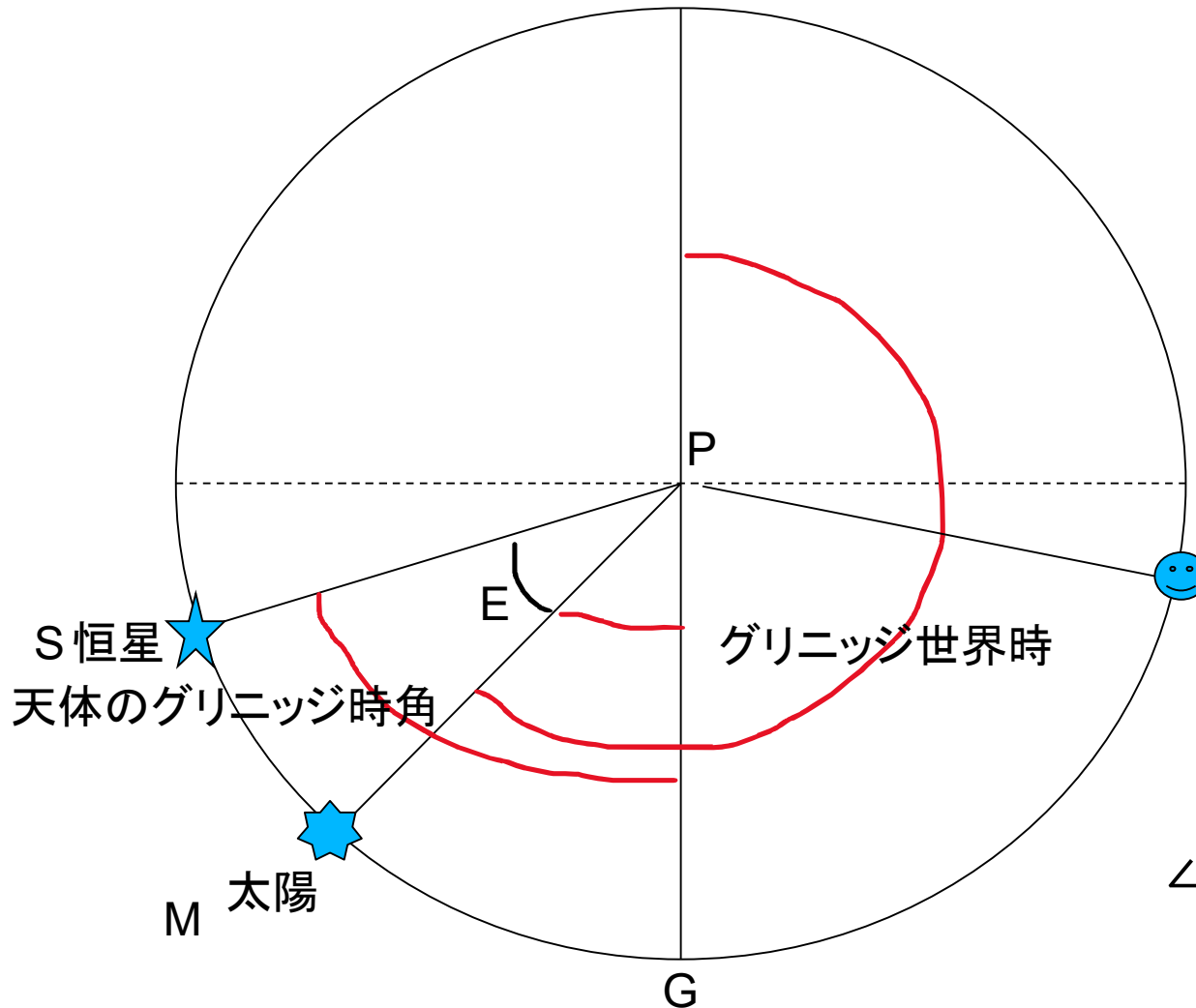
$$A = D + 90 - L$$

概略の緯度が分かれば、当該星の高さの推定値が決まる  
星の高さが実測出来れば、対応の観測者の緯度が決まる



### 3-3 グリニッジ世界時間と経度の関係

クロノメーター(世界時を知る為の精密時計)



$$\begin{aligned} \angle \text{GPS} &= (\text{世界時} - 12\text{h}) + \text{MPS} \\ &= \text{世界時} + \underbrace{\text{MPS} - 12\text{h}}_{\text{E}} \end{aligned}$$

$$\angle \text{LPS} = \angle \text{GPS} + \text{推測経度 (経度時角)}$$

$$\text{地方時角} = \text{グリニッジ時角} + \text{経度時角}$$



地球は1日24時間で太陽に対して1回転=360° 回転しますから、1時間には15° 回転します。

ある地点Aで南中した1時間後、経度で西に15° 離れた地点Bで南中します。逆に1時間前には、経度で東に15° 離れた地点Cで南中していました。

緯度が同じなら南中高度も変わりませんから、それぞれの地点で1時間ずつ異なる時計を持っているとしたら、違いに気づくことはまずないでしょう。

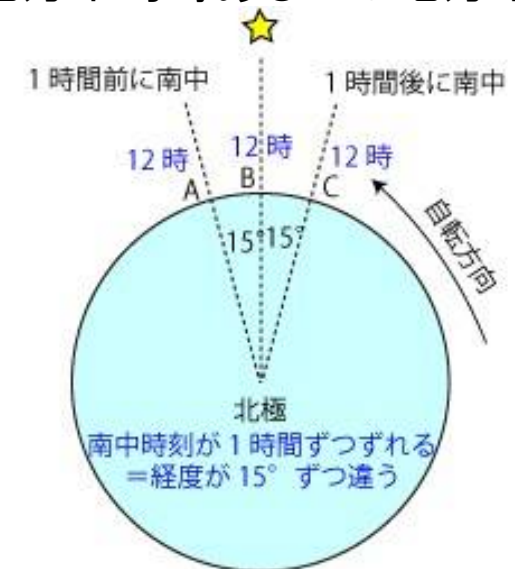
一般に、経度の差に応じて適切に時刻を設定してやれば、**緯度の同じ地点では同じ時刻に同じ星空を眺めることができる**わけです。

この経度の差に応じて補正した時刻を地方時といいます。

視太陽時に対するものを地方視時、平均太陽時に対応するものを地方平均時あるいは地方平時といいます。

経度の差を決める基準となる子午線を本初子午線といいます。

南中時刻が1時間違えば、経度が15° 違うことになります。



●東経150度にいる人が南中を捉えた時のGMTは？

●太陽が南中した時のGMTが4時の時の経度は？

\* \* 時刻と経度には強い相関関係があります \* \*

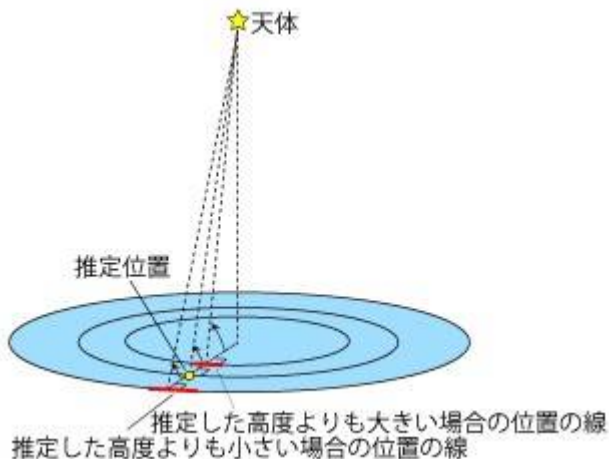
### 3-4実務での位置の線の航法

何らかの手段により船の推定位置を割り出します。  
たとえば、前日の位置および船の針路と速度から求めます。

推定位置における天体の高度と方位を求めます。  
推定した方位の方向に円周の中心があります。

天体の高度を測り、真高度を求めます。

真高度が推定した高度より高ければ、もっと円周の中心に近いはずです。  
真高度が推定した高度より低ければ、もっと円周の中心から遠いはずです。  
推定した方位の方向に真高度と推定高度の差分だけずらします。  
円周は推定した方位に対して垂直ですから、ずらした点から推定方位に垂直な線を引けば位置の線が求まります。



## 位置の線航法

ある天体が高度 $a$ に見えるような場所は円周の上にあります。

天体1が高度 $a_1$ 、天体2が高度 $a_2$ とすると、それぞれがそのような高度に見える円周を描くことができ、その交点に船がいるはずですが。

交点は2つありますが、もう一方は現実的でないくらい離れているので区別できます。

地図上に円周を描くのは困難です。

地球儀上では円周でも、地図上では円周になりません。

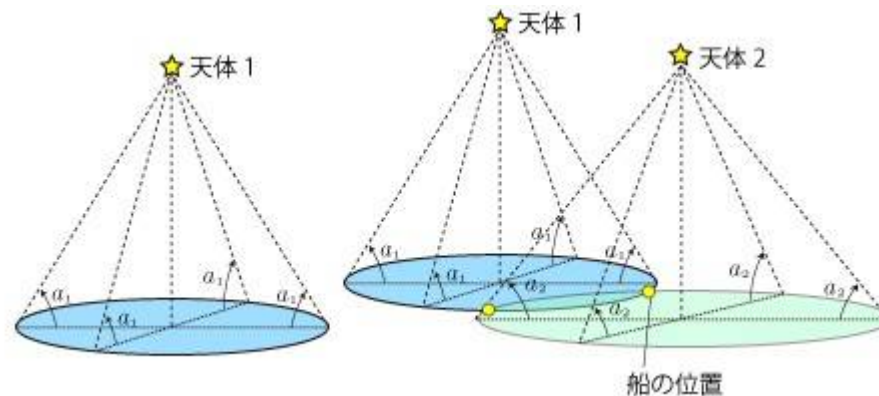
一方、地図の狭い範囲では、円周は直線とみなせます。

この直線を位置の線と呼び、位置の線の交点が船の位置になります。

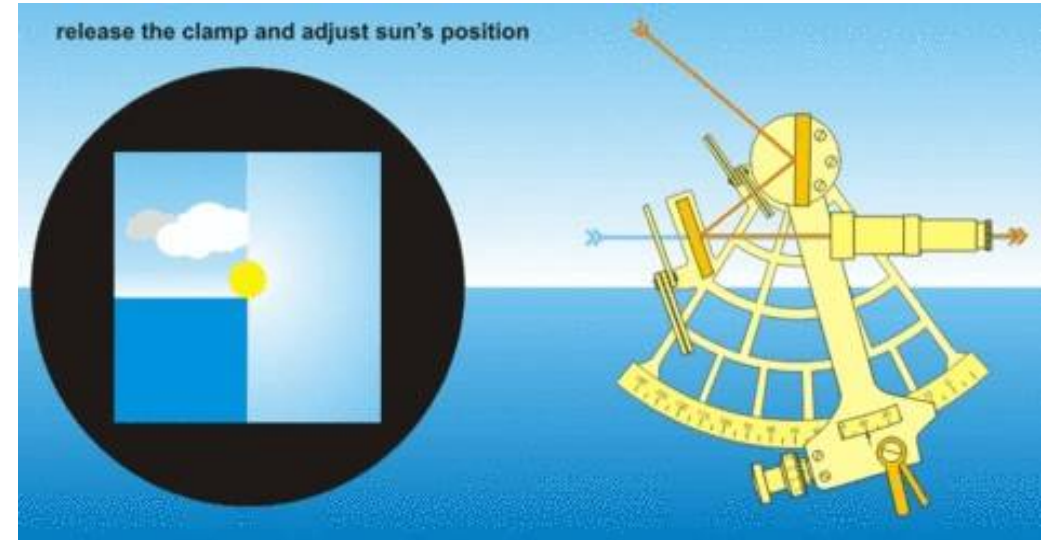
位置の線を使った航海法を位置の線航法と呼びます。

南中などの条件は不要で、複数回測定により精度を上げることもできます。

子午線高度緯度法など、他の方法との組み合わせも可能です。



## 六分儀(太陽や星の高度を測る機器)

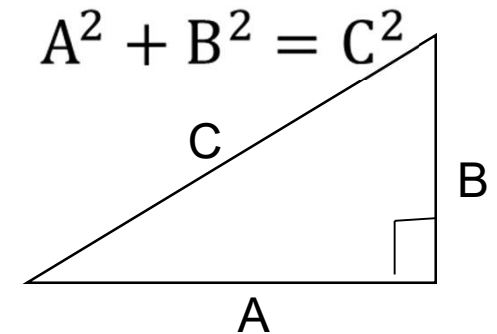
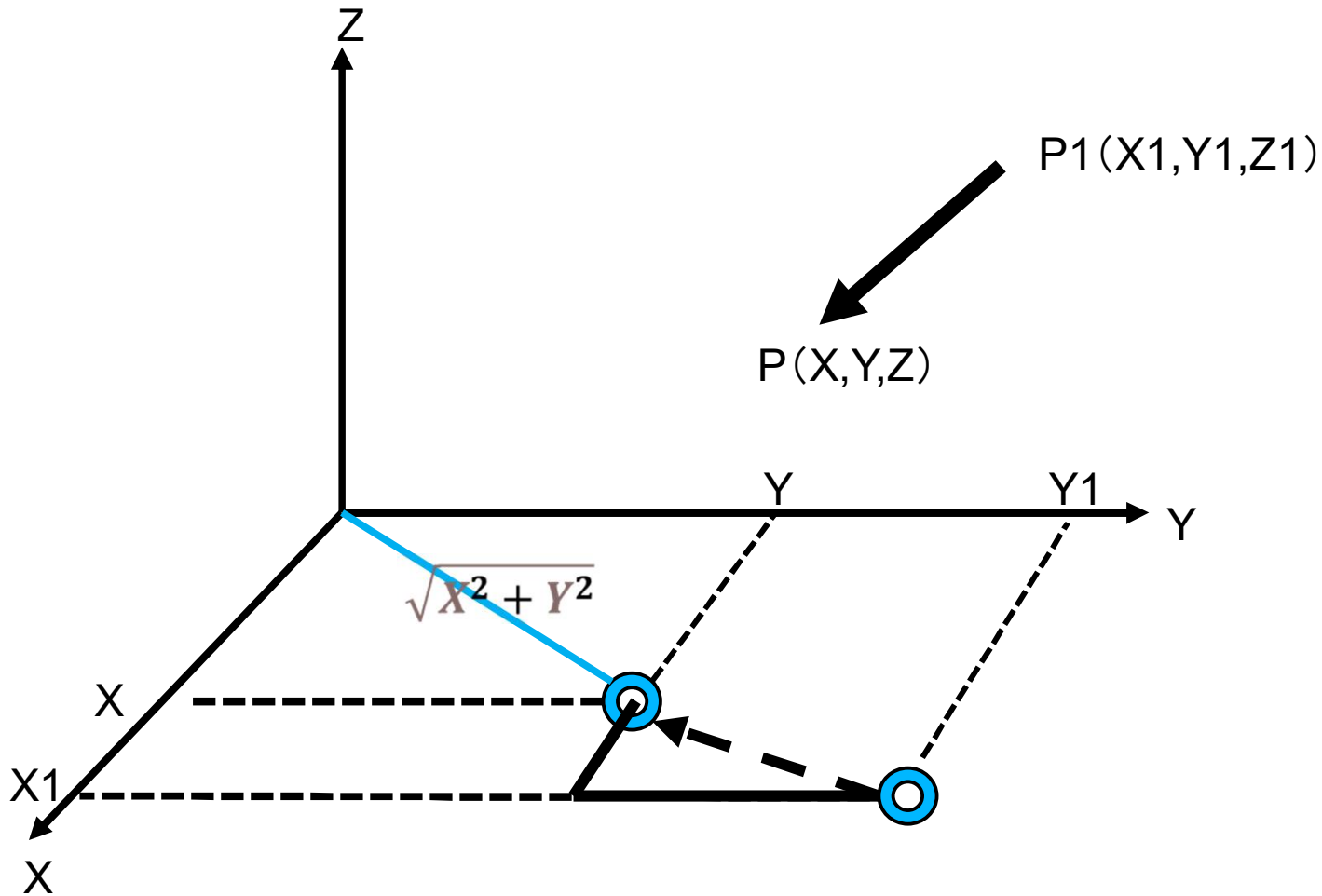


## クロノメーター(世界時を知る為の精密時計)



### 3-5 数学的解析手法での位置算出 (推測位置を使わない方法)

$$(X-X1)^2+(Y-Y1)^2+(Z-Z1)^2=PP1^2 \text{ (PからP1までの距離)}$$



## 直交座標への座標変換

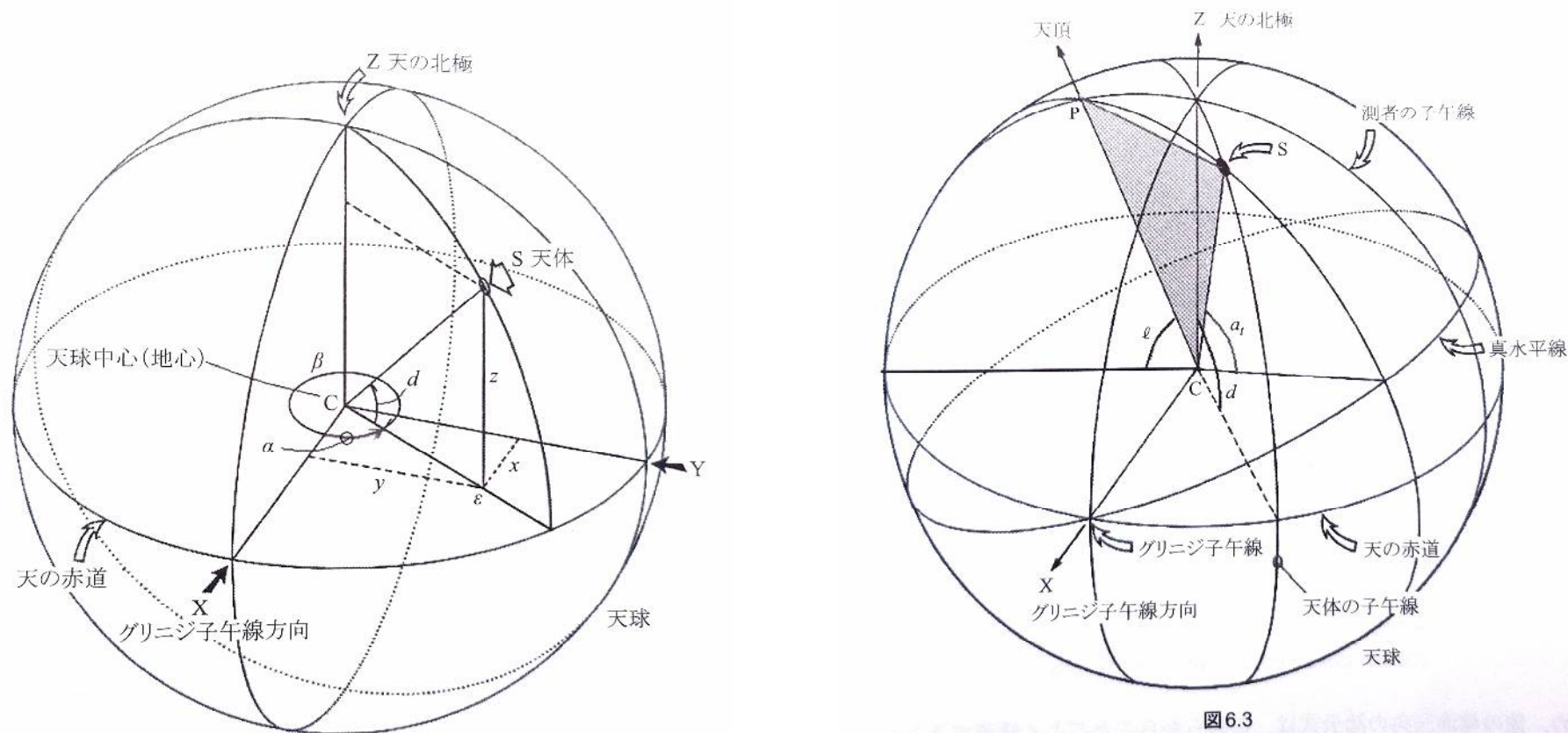
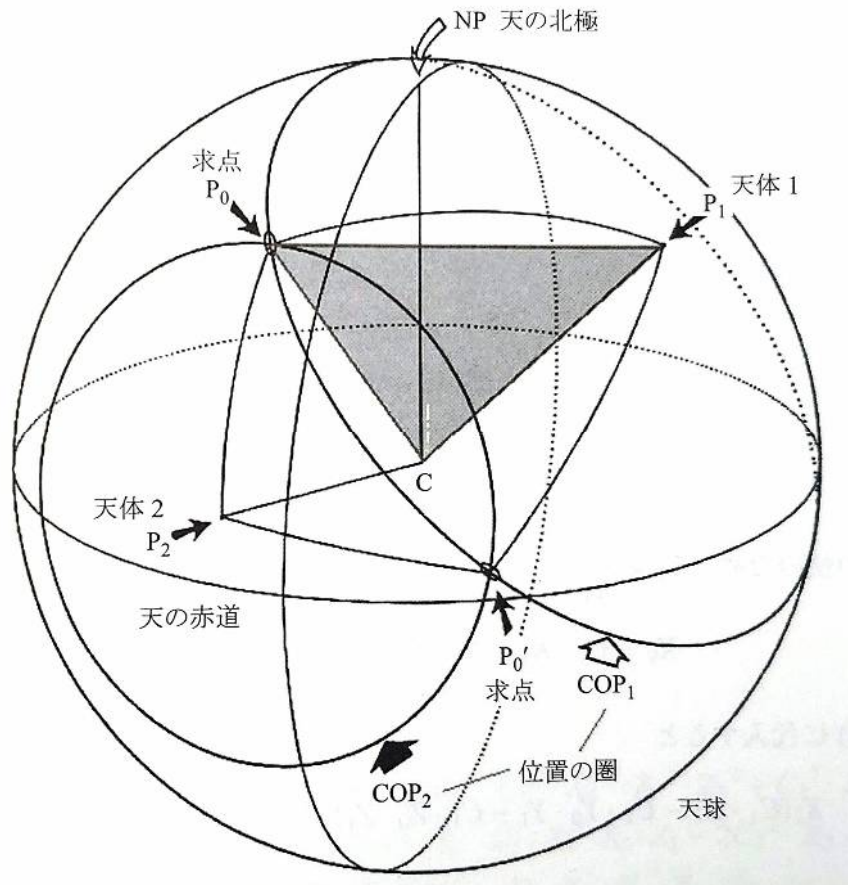


図6.3

$$X = \cos d \times \cos h_g \quad Y = -\cos d \times \sin h_g \quad Z = \sin d$$

ここで天球では $X^2 + Y^2 + Z^2 = 1$ と定義する





$$\begin{aligned}
 &P1(X1, Y1, Z1) \\
 &X1 = \cos d1 \cdot \cosh g1 \\
 &Y1 = -\cos d1 \cdot \sinh g1 \\
 &Z1 = \sin d1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &P2(X2, Y2, Z2) \\
 &X2 = \cos d2 \cdot \cosh g2 \\
 &Y2 = -\cos d2 \cdot \sinh g2 \\
 &Z2 = \sin d2
 \end{aligned}$$

$$X1^2 + Y1^2 + Z1^2 = 1$$

$$X2^2 + Y2^2 + Z2^2 = 1$$

$$(X0 - X1)^2 + (Y0 - Y1)^2 + (Z0 - Z1)^2 = 2(1 - \sin a1)$$

$$(X0 - X2)^2 + (Y0 - Y2)^2 + (Z0 - Z2)^2 = 2(1 - \sin a2)$$

$$X0^2 + Y0^2 + Z0^2 = 1$$

上記の三元連立方程式から未知数  $X0, Y0, Z0$  即ち本船の直交座標が求められる。

直交座標は求められれば球面座標への座標変換を行って、本船の緯度、経度が求められる

$$\ell_X = \tan^{-1} \left( \frac{Z_0}{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2}} \right) \quad \text{緯度}$$

$$L_X = \tan^{-1} \left( \frac{Y_0}{X_0} \right) \quad \text{経度}$$



## 4. 電波航法(星やその他の目標物が見えない時)

地上局の電波から距離を割り出し、自船の位置を割り出す

ロラン、デッカ

自船から電波を出してその反射波を捉えて自船の位置を割り出す

レーダー

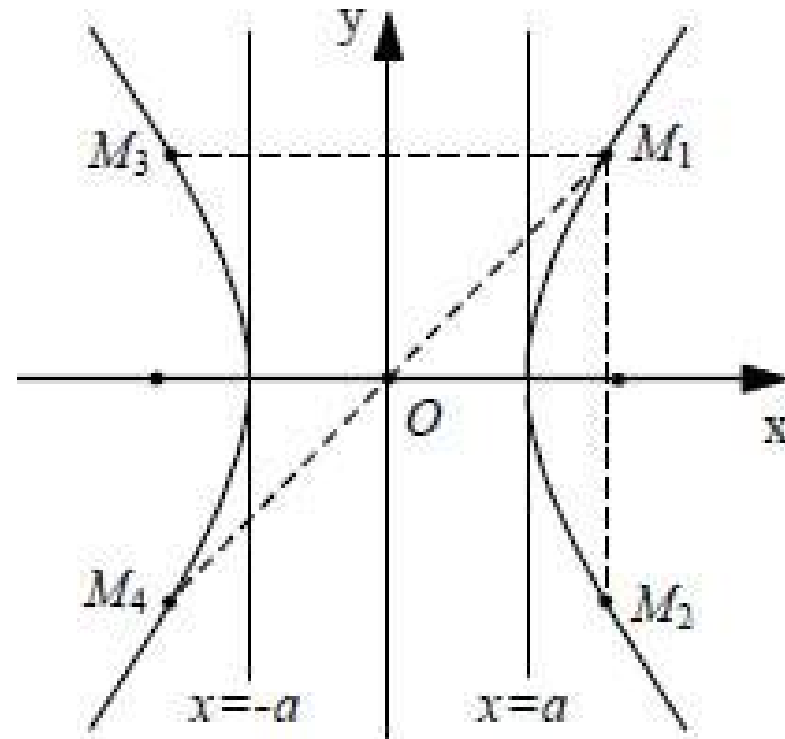
複数の人工衛星からの電波を捉えて自船の位置を割り出す

GPS

## ロラン



2点から距離差が一定な点は双曲線を描くという幾何学法則を用いる航法支援システムで、2箇所の無線測位局信号を受信して到達時間差からその距離差を求め、得られた地図上の双曲線上で自船位置を確認する。



## デッカ



# レーダー

レーダーとは、電波を対象物に向けて発射し、その反射波を測定することにより、対象物までの距離や方向を測る装置である<sup>1</sup>。



# GPS【 Global Positioning System 】

全地球測位システム / グローバルポジショニングシステム

GPSとは、人工衛星を利用して自分が地球上のどこにいるのかを正確に割り出すシステム  
米軍の軍事技術の一つで、地球周回軌道に30基程度配置された人工衛星が発信する  
電波を利用し、受信機の緯度・経度・高度などを数cmから数十mの誤差で割り出すこと  
ができる。

米国防総省の管理するGPS衛星(正式には「NAVSTAR衛星」と呼ばれる)は**高度約2万km  
の6つの軌道面にそれぞれ4つ以上、計24個以上が配置され、約12時間周期で地球を周回**  
している。約7年半で寿命を迎えるため、毎年のように新しい衛星を打ち上げて軌道に投入  
しており、概ね30個前後の衛星が常時運用されている。**GPS衛星は高性能の原子時計を**  
内蔵しており、1.2/1.5GHz帯の電波で時刻を含むデータを地上に送信している。

GPS受信機は複数のGPS衛星からの電波を受信してそれぞれとの距離を割り出すことにより、  
現在位置を測定することができる。3つの衛星が見えるところでは緯度と経度を、4つの衛星  
が見えるところではこれに加えて高度を割り出すことができる。

## GPSの仕組み

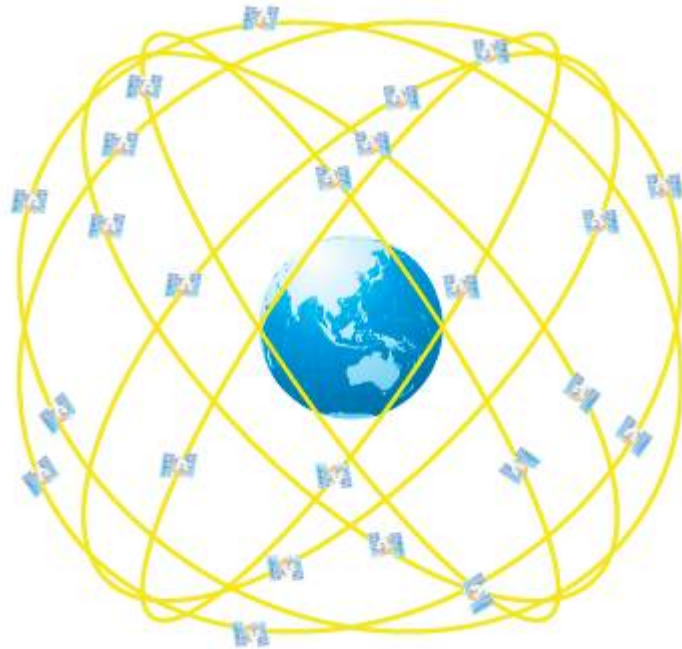
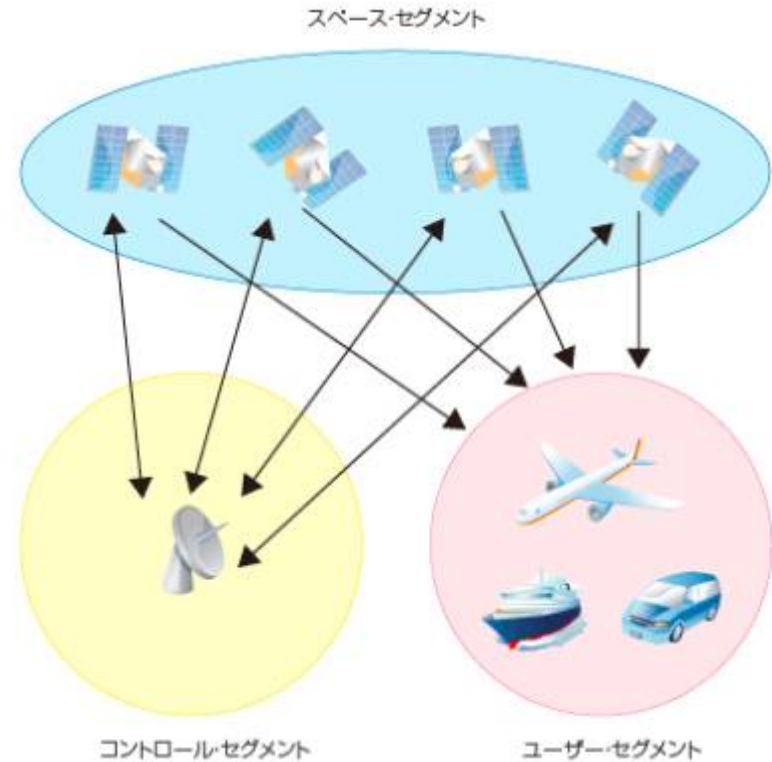


図1-1 GPS 衛星の軌道



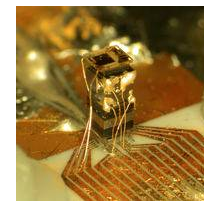
GPS測位は、まず既知の点(GPS 衛星)から衛星が発信した時間の信号が送られてきます。その信号を受信した時刻との差で衛星までの距離を出します。同様に、他の衛星3つの距離を計算します。3つのGPS衛星からの距離を測ることで受信機の場所を特定することができます。しかし、3つの衛星からの距離を計算しても正確ではありません。原因は、受信機に搭載されている時計では距離誤差が生じるからです。衛星には、正確な原子時計が搭載されているので、時間の誤差はありませんが受信機の時計の精度は衛星ほど正確ではないので誤差が生じます。ここで、4つ目の衛星です。**4つ目の衛星は、3つの衛星がはじき出した位置と4つ目の衛星からの時刻で算出した現在位置とを計算することで、誤差を少なくすることができます。**

# GPSの原理

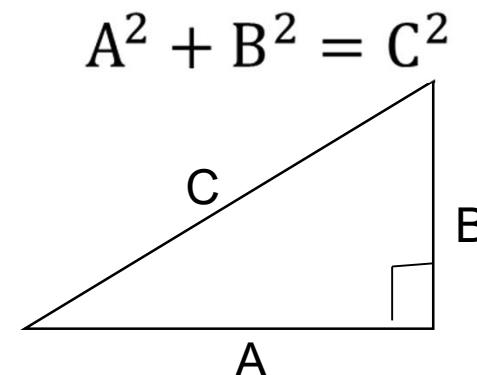
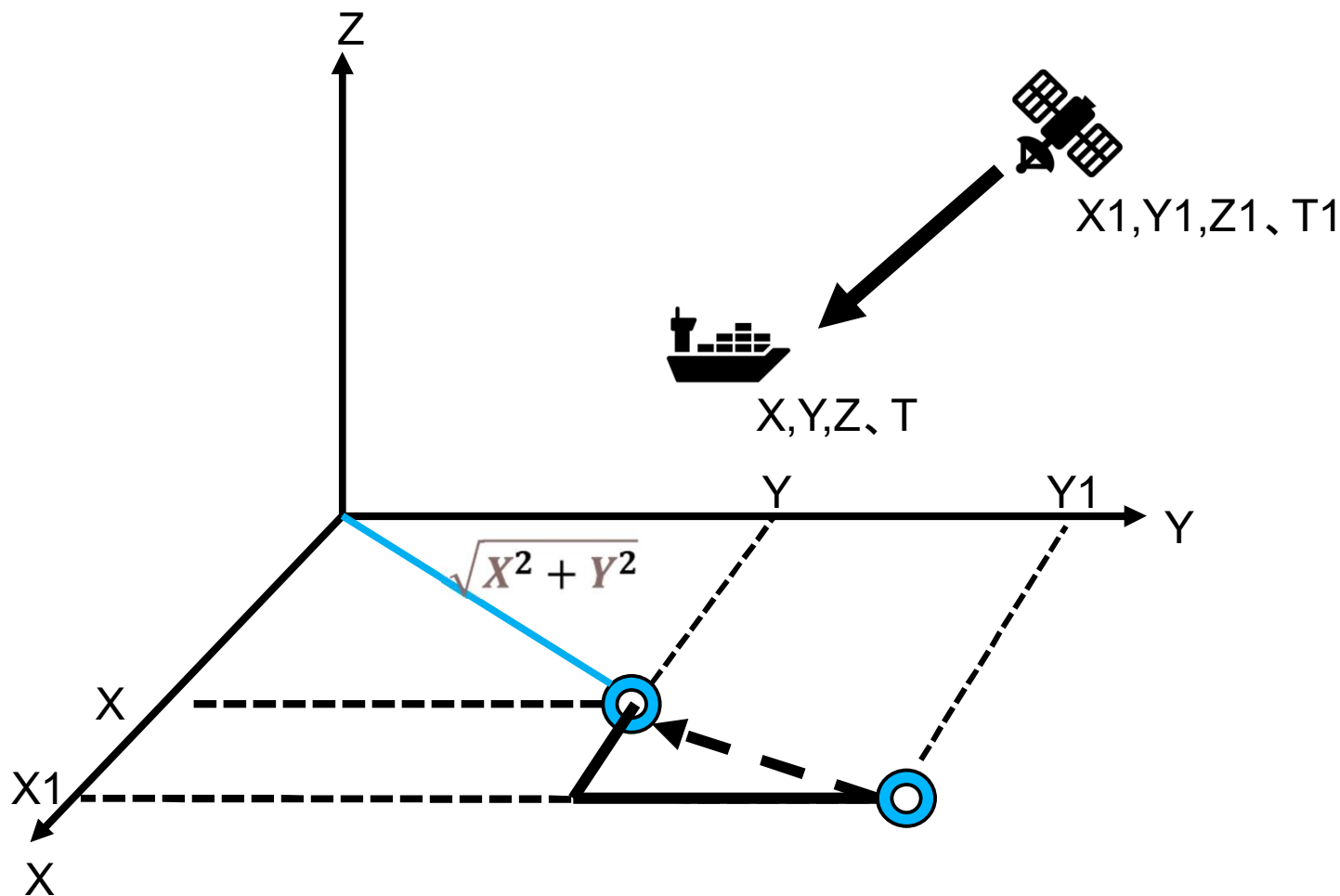
ひとつの衛星からの信号発信時刻 $T$ とその時の衛星の空間座標 $X, Y, Z$ が分かれば①衛星との距離はピタゴラスの法則から座標で距離が表現出来②光速度一定の原理からその到達時間差からも距離が表現出来、下記の通り未知数が四つの方程式が導き出される。故に衛星が四つ用意されれば、当該方程式が四式出来、四つの未知数が数学的に求める事が出来る

$$(X-X_1)^2 + (Y-Y_1)^2 + (Z-Z_1)^2 = C^2(T-T_1)^2$$

## 原子時計



高精度のものは10-15(3000万年に1秒)程度、小型化された精度の低いものでも10-11(3000年に1秒)程度の誤差





利用者受信機は、複数の航法衛星から電波で送信された航法信号を受信し、その送信時刻を測定する。送信時刻の測定は、擬似ランダム雑音 (Pseudo Random Noise; PRN) 変調信号の特性を用いて行う。+

送信時刻の測定値はおよそ 10 ns もしくはそれ以上の誤差を持つ。+

また航法衛星の天体歴(軌道)の情報を受信し、これにより送信時刻における航法衛星の座標が求められる(この誤差は視線方向成分が(ほぼ 1.5m 以下)。+

最終的に、利用者受信機の座標及び受信時刻(合わせて 4 つの未知変数:

$x, y, z, t$ )の解は、慣性系を仮定し、各航法衛星の時空点座標を頂点とする(4 つ以上が必要)の交点となる。+

言い換えれば次の連立方程式の解となる。ここでは用いる航法衛星数を 4 機とし、航

法衛星  $i$  ( $= 1, 2, 3, 4$ )の信号送信時刻  $t_i$ 、その座標  $x_i, y_i, z_i$   $c$ としている。+

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2} - c(t - t_1) = 0 \\ \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2} - c(t - t_2) = 0 \\ \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2} - c(t - t_3) = 0 \\ \sqrt{(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2} - c(t - t_4) = 0 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{Tan緯度} = Z / \sqrt{X^2 + Y^2} \\ \text{Tan経度} = Y / X \end{array}$$

## 天文航法からGPSへ

従来複数の**星との高度(仰角)**から自分の位置を割り出していた方法から星の代わりに衛星を飛ばし、その**衛星との距離**から位置を割り出す方法へ進化したと言う事が言えます。



付

録

Table with columns: 太陽 (Sun), P 惑星 (Planets), R.P. (Right Ascension/Declination), U, E, d, d of R.P. for various planets.

Table with columns: 金星 (Venus), 木星 (Jupiter), 土星 (Saturn), U, E, d, d of R.P. for Venus, Jupiter, and Saturn.

Table with columns: 月 (Moon), R.P. (Right Ascension/Declination), U, E, d, E, d for the Moon.

視半径 S.D. 16.22

水 恒 星 U-E-d

Table of 100 stars with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

視半径 S.D. 16.22

♂ 火 星

Table for Mars (♂ 火星) with columns: U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

♃ 木 星

Table for Jupiter (♃ 木星) with columns: U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

♄ 土 星

Table for Saturn (♄ 土星) with columns: U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

HP. 34.4, S.D. 15.43

HP. 34.4, S.D. 15.43

Table for 100 stars (HP. 34.4, S.D. 15.43) with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

HP. 34.4, S.D. 15.43

HP. 34.4, S.D. 15.43

Table for 100 stars (HP. 34.4, S.D. 15.43) with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

HP. 34.4, S.D. 15.43

HP. 34.4, S.D. 15.43

Table for 100 stars (HP. 34.4, S.D. 15.43) with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

P 惑 星

Table for Planets (P 惑星) with columns: 名 (Name), 赤経 (R.A.), 赤緯 (Dec.), 等級 (Mag.), 距離 (Dist.), 視徑 (Diam.).

Table with columns: 太陽 (Sun), P 惑星 (Planets), R.P. (Right Ascension/Declination), U, E, d, d of R.P. for various planets.

Table with columns: 金星 (Venus), 木星 (Jupiter), 土星 (Saturn), U, E, d, d of R.P. for Venus, Jupiter, and Saturn.

Table with columns: 月 (Moon), R.P. (Right Ascension/Declination), U, E, d, E, d for the Moon.

視半径 S.D. 16.06

水 恒 星 U-E-d

Table of 100 stars with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

視半径 S.D. 16.06

♂ 火 星

Table for Mars (♂ 火星) with columns: U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

♃ 木 星

Table for Jupiter (♃ 木星) with columns: U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

♄ 土 星

Table for Saturn (♄ 土星) with columns: U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

HP. 37.3, S.D. 15.55

HP. 37.3, S.D. 15.55

Table for 100 stars (HP. 37.3, S.D. 15.55) with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

HP. 37.3, S.D. 15.55

HP. 37.3, S.D. 15.55

Table for 100 stars (HP. 37.3, S.D. 15.55) with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

HP. 37.3, S.D. 15.55

HP. 37.3, S.D. 15.55

Table for 100 stars (HP. 37.3, S.D. 15.55) with columns: No., U, E, d, R.P. (Right Ascension/Declination).

P 惑 星

Table for Planets (P 惑星) with columns: 名 (Name), 赤経 (R.A.), 赤緯 (Dec.), 等級 (Mag.), 距離 (Dist.), 視徑 (Diam.).

## 2021年12月15日 海上保安庁よりの発表

海上保安庁が刊行している「天測暦」と「天測略暦」は、天文航法で船位を測定するために使用する刊行物として、太陽や月の毎日の位置、港別の日出没時刻などを掲載して毎年刊行してきました。

近年、GPS等の衛星航法が普及することにより、国際条約等で船舶への備置の必要が無くなったことから、「天測暦」及び「天測略暦」は現在刊行中の令和4年版を最後に廃刊することとしました。また、天測暦等の廃版に併せて、「天測計算表」及び「天測位置決定用図」も**令和4年末をもって廃刊**とします。

航海の目的で天測計算を行う必要がある場合には**英国等が刊行している天測暦 (The Nautical Almanac) を活用**していただくようお願いいたします。それ以外で、天体の情報が必要な場合には、国立天文台のホームページを参照していただくようお願いいたします。

# The Nautical Almanac

## Nautical Almanac of the stars - 2023

Sun				
G.H.A.		declination		
h	° ' "	° ' "	° ' "	
0	180 29,1	22 15,2	N	
1	195 29,0	15,6		
2	210 28,9	15,9		
3	225 28,8	16,2		
4	240 28,7	16,5		
5	255 28,6	16,8		
6	270 28,5	22 17,1	N	
7	285 28,4	17,4		
8	300 28,3	17,7		
9	315 28,2	18,0		
10	330 28,1	18,3		
11	345 28,0	18,7		
12	27,9	22 19,0	N	
13	15 27,8	19,3		
14	30 27,7	19,6		
15	45 27,6	19,9		
16	60 27,5	20,2		
17	75 27,4	20,5		
18	90 27,3	22 20,8	N	
19	105 27,2	21,1		
20	120 27,1	21,4		
21	135 26,9	21,7		
22	150 26,8	22,0		
23	165 26,7	22,3		
24	180 26,6	22 22,6	N	
vt = -0,1		vd = 0,3'		
semidiameter		15,77'		

Sat. 3	
June	

Sun - meridian passage at Greenwich :

11 h 58 m 8 s U.T.

Lat.	nautical twilight		sunrise	
	h m	h m	h m	h m
52° N	1 46	2 58	3 44	
50° N	2 10	3 11	3 55	
45° N	2 51	3 39	4 16	
40° N	3 20	4 0	4 33	
35° N	3 41	4 17	4 47	
30° N	3 59	4 32	4 59	
20° N	4 27	4 56	5 20	
10° N	4 48	5 15	5 38	
equator	5 6	5 32	5 55	
10° S	5 22	5 48	6 11	
20° S	5 38	6 5	6 29	
30° S	5 53	6 23	6 49	
40° S	6 10	6 44	7 14	
Lat.	sunset		nautical twilight	
	h m	h m	h m	h m
52° N	20 12	20 59	22 10	
50° N	20 2	20 45	21 46	
45° N	19 41	20 17	21 5	
40° N	19 24	19 56	20 37	
35° N	19 10	19 39	20 15	
30° N	18 57	19 24	19 57	
20° N	18 36	19 1	19 30	
10° N	18 18	18 41	19 8	
equator	18 2	18 24	18 50	
10° S	17 45	18 8	18 34	
20° S	17 28	17 51	18 19	
30° S	17 8	17 34	18 3	
40° S	16 43	17 13	17 46	

Aries				
G.H.A.				
h	° ' "	° ' "	° ' "	
0	251 11,6			
1	266 14,0			
2	281 16,5			
3	296 19,0			
4	311 21,4			
5	326 23,9			
6	341 26,4			
7	356 28,8			
8	11 31,3			
9	26 33,7			
10	41 36,2			
11	56 38,7			
12	71 41,1			
13	86 43,6			
14	101 46,1			
15	116 48,5			
16	131 51,0			
17	146 53,5			
18	161 55,9			
19	176 58,4			
20	192 0,9			
21	207 3,3			
22	222 5,8			
23	237 8,2			
24	252 10,7			

## Nautical Almanac of the stars - 2023

Sun				
G.H.A.		declination		
h	° ' "	° ' "	° ' "	
0	180 26,6	22 22,6	N	
1	195 26,5	22,9		
2	210 26,4	23,2		
3	225 26,3	23,5		
4	240 26,2	23,8		
5	255 26,1	24,1		
6	270 26,0	22 24,4	N	
7	285 25,9	24,6		
8	300 25,8	25,0		
9	315 25,7	25,3		
10	330 25,6	25,5		
11	345 25,5	25,8		
12	25,4	22 26,1	N	
13	15 25,3	26,4		
14	30 25,2	26,7		
15	45 25,1	27,0		
16	60 24,9	27,3		
17	75 24,8	27,6		
18	90 24,7	22 27,9	N	
19	105 24,6	28,1		
20	120 24,5	28,4		
21	135 24,4	28,7		
22	150 24,3	29,0		
23	165 24,2	29,3		
24	180 24,1	22 29,6	N	
vt = -0,1		vd = 0,3'		
semidiameter		15,77'		

Sun. 4	
June	

Sun - meridian passage at Greenwich :

11 h 58 m 18 s U.T.

Lat.	nautical twilight		sunrise	
	h m	h m	h m	h m
52° N	1 45	2 57	3 44	
50° N	2 9	3 11	3 54	
45° N	2 50	3 39	4 15	
40° N	3 19	4 00	4 32	
35° N	3 41	4 17	4 46	
30° N	3 59	4 32	4 59	
20° N	4 27	4 55	5 20	
10° N	4 48	5 15	5 38	
equator	5 6	5 32	5 55	
10° S	5 22	5 49	6 11	
20° S	5 38	6 5	6 29	
30° S	5 53	6 23	6 49	
40° S	6 10	6 44	7 14	
Lat.	sunset		nautical twilight	
	h m	h m	h m	h m
52° N	20 13	21 00	22 12	
50° N	20 3	20 46	21 48	
45° N	19 41	20 18	21 6	
40° N	19 24	19 57	20 37	
35° N	19 10	19 39	20 16	
30° N	18 58	19 25	19 58	
20° N	18 37	19 1	19 30	
10° N	18 19	18 42	19 8	
equator	18 2	18 24	18 50	
10° S	17 45	18 8	18 34	
20° S	17 28	17 51	18 19	
30° S	17 7	17 34	18 3	
40° S	16 42	17 12	17 46	

Aries				
G.H.A.				
h	° ' "	° ' "	° ' "	
0	252 10,7			
1	267 13,2			
2	282 15,6			
3	297 18,1			
4	312 20,6			
5	327 23,0			
6	342 25,5			
7	357 28,0			
8	12 30,4			
9	27 32,9			
10	42 35,4			
11	57 37,8			
12	72 40,3			
13	87 42,7			
14	102 45,2			
15	117 47,7			
16	132 50,1			
17	147 52,6			
18	162 55,1			
19	177 57,5			
20	192 60,0			
21	208 2,5			
22	223 4,9			
23	238 7,4			
24	253 9,9			

star	S.H.A.	declination	star	S.H.A.	declination	star	S.H.A.	declination
° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "
acamar	315 13,2	40 12,6 S	canopus	263 53,5	52 42,6 S	miaplacidus	221 38,9	69 49,0 S
achernar	335 21,6	57 6,9 S	capella	280 24,4	46 1,3 N	mirfak	308 30,7	49 56,5 N
acrus	173 1,3	63 14,0 S	castor	245 59,1	31 50,3 N	mizar	158 46,7	54 48,4 N
adhara	256 7,3	29 0,3 S	cor caroli	165 43,0	38 11,7 N	nunki	75 49,1	26 16,0 S
albiro	67 4,8	28 0,3 N	deneb	49 26,5	45 21,5 N	peacock	53 7,5	56 39,4 S
aldebaran	290 41,5	16 33,3 N	denebola	182 26,2	14 26,6 N	phact	274 53,0	34 3,7 S
alioth	166 13,9	55 50,2 N	diphda	348 48,8	17 51,5 S	pollux	243 19,2	27 58,3 N
alkaid	152 52,7	49 12,0 N	dubhe	193 42,6	61 37,8 N	procyon	244 52,5	5 9,9 N
almak	328 40,4	42 26,3 N	elnath	278 4,0	28 37,6 N	rasalhague	95 59,5	12 32,5 N
al nair	27 34,5	46 50,7 S	eltanin	90 42,3	51 29,0 N	regulus	207 35,9	11 51,3 N
alnilam	275 39,4	1 11,3 S	enif	33 40,0	9 58,8 N	rigel	281 5,5	8 10,5 S
alphard	217 49,2	8 45,6 S	formalhaut	15 16,0	29 29,8 S	saiph	272 47,5	9 39,7 S
alphecca	126 4,5	26 38,2 N	gacrux	171 52,9	57 14,9 S	schedar	349 32,9	56 39,6 N
alpheratz	357 36,3	29 12,9 N	gienah	175 44,9	17 40,4 S	scheddi	32 55,1	16 1,3 S
altair	62 1,0	8 55,7 N	hadar	148 37,4	60 29,3 S	shaula	96 11,8	37 7,2 S
ankaa	353 8,7	42 10,6 S	hama	327 53,0	23 34,2 N	sirius	258 27,8	16 44,9 S
antares	112 17,1	26 29,1 S	kaus aust.	83 33,9	34 22,4 S	spica	158 23,5	11 17,0 S
arcturus	145 48,8	19 3,7 N	kochab	137 18,7	74 3,7 N	suhail	222 47,5	43 31,8 S
atria	107 12,0	69 4,1 S	markab	13 31,3	15 19,7 N	vega	80 33,8	38 48,2 N
avior	234 15,7	59 35,2 S	menkar	314 7,9	4 10,8 N	polaris	315 9,3	89 21,6 N
bellatrix	278 24,7	6 22,2 N	menkent	147 58,9	36 29,2 S			
betelgeu.	270 53,9	7 24,7 N	merak	194 11,4	56 15,7 N			

star	S.H.A.	declination	star	S.H.A.	declination	star	S.H.A.	declination
° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "	° ' "
acamar	315 13,2	40 12,6 S	canopus	263 53,5	52 42,6 S	miaplacidus	221 38,9	69 49,0 S
achernar	335 21,6	57 6,9 S	capella	280 24,4	46 1,3 N	mirfak	308 30,7	49 56,5 N
acrus	173 1,3	63 14,0 S	castor	245 59,1	31 50,3 N	mizar	158 46,7	54 48,4 N
adhara	256 7,3	29 0,3 S	cor caroli	165 43,0	38 11,7 N	nunki	75 49,1	26 16,0 S
albiro	67 4,8	28 0,3 N	deneb	49 26,5	45 21,5 N	peacock	53 7,5	56 39,4 S
aldebaran	290 41,5	16 33,3 N	denebola	182 26,2	14 26,6 N	phact	274 53,0	34 3,7 S
alioth	166 13,9	55 50,2 N	diphda	348 48,8	17 51,5 S	pollux	243 19,2	27 58,3 N
alkaid	152 52,7	49 12,0 N	dubhe	193 42,6	61 37,8 N	procyon	244 52,5	5 9,9 N
almak	328 40,4	42 26,3 N	elnath	278 4,0	28 37,6 N	rasalhague	95 59,5	12 32,5 N
al nair	27 34,5	46 50,7 S	eltanin	90 42,3	51 29,0 N	regulus	207 35,9	11 51,3 N
alnilam	275 39,4	1 11,3 S	enif	33 40,0	9 58,8 N	rigel	281 5,5	8 10,5 S
alphard	217 49,2	8 45,6 S	formalhaut	15 16,0	29 29,8 S	saiph	272 47,5	9 39,7 S
alphecca	126 4,5	26 38,2 N	gacrux	171 52,9	57 14,9 S	schedar	349 32,9	56 39,6 N
alpheratz	357 36,3	29 12,9 N	gienah	175 44,9	17 40,4 S	scheddi	32 55,1	16 1,3 S
altair	62 1,0	8 55,7 N	hadar	148 37,4	60 29,3 S	shaula	96 11,8	37 7,2 S
ankaa	353 8,7	42 10,6 S	hama	327 53,0	23 34,2 N	sirius	258 27,8	16 44,9 S
antares	112 17,1	26 29,1 S	kaus aust.	83 33,9	34 22,4 S	spica	158 23,5	11 17,0 S
arcturus	145 48,8	19 3,7 N	kochab	137 18,7	74 3,7 N	suhail	222 47	

## 安全保障の視点からの天文航法の重要性

The U.S. Air Force and U.S. Navy continued instructing military aviators on celestial navigation use until 1997, because:

- celestial navigation can be used independently of ground aids.
- celestial navigation has global coverage.
- celestial navigation can not be jammed (although it can be obscured by clouds).
- celestial navigation does not give off any signals that could be detected by an enemy.

The United States Naval Academy (USNA) announced that **it was discontinuing** its course on celestial navigation (considered to be one of its most demanding non-engineering courses) from the formal curriculum in the spring of 1998.

In October 2015, citing concerns about the reliability of GNSS systems in the face of potential hostile hacking, **the USNA reinstated instruction in celestial navigation in the 2015 to 2016 academic year.**

**米国海軍兵学校では1998年に天文航法の授業は廃止  
しかし、2015年から天文航法の授業が再開された**