航　　法　Ⅲ

（天　文　航　法）

防　衛　大　学　校

天　文　航　法

目　　次

天　文　航　法
Celo Navigation

第１章　総　　説

天文航法とは、天体を観測して正確な自己の位置を決定する法をいう。

航海学ないし航海術を方法によって分類するとき航法と呼び、地上物標を利用する方法を地文航法、天体を利用する大洋航海の方法を天文航法という。天文学は古来より漸次発達し、各時代において航海に応用されてきたが近世に至って遠洋航海の勃興は天文学の発達を促し、天文学の進歩は航海術を発展させ、両々相たすけて進歩の一路をたどり、今日では天文航海学は全く完成の域に達した。すなわち天文航海学は球面天文学、実地天文学並びに海洋学の一部などを総合応用した航海術の一分野である。

したがって天文航法において天体を観測して位置を定めることは、地文航法の方法とかけはなれたものではない。地文航法の中に、一定高度の目標（山頂またはある高さの灯台等）の仰角（高度）を測り、距離を算出して、その方位の測定と相まって艦位を決定する方法（山頂仰角法）があるが、天文航法は太陽や月、恒星、惑星などの天体をいわば天興の航路標識として、その高度を測ることにより緯度を決定し、あるいはその方位と相まって位置の線を求め、艦位を決定することができる。ただ、その目標とする天体が時刻とともにその位置を変えるので、地文航法に比しやや複雑である。

各航法のうち、地文航法はすべての基礎をなすものであり、電波航法は電波技術の進歩とともに著しい発達を示しているが、天文航法は数万トンの巨船からヨットに至るまで特殊な設備を要することなく、天体が視認される限り比較的簡単な機器と計算表のみにより、しかも極めて高精度の艦位が決定できる特性を有するので、機械文明や電子科学の発達した今日の航海術においても決してその重要性が軽減されるものではない。

艦船を運航する者としては、千変万化の海上において適時適切に正確な艦位が決定でき、安全に航海の目的が達せられるよう天文航法に精通する必要がある。

第2章　天文概説

第1節　天　　体

地球、太陽をはじめとし、恒星、惑星、小惑星、衛星、彗星、宇宙塵等宇宙間に存在するあらゆる物理的物体を天体という。

以下恒星及び太陽系について簡単に説明する。

1. 恒星 Star (Fixed Star)

恒星は太陽のように過熱ガスの凝縮したものであり、みずから光を発して輝く天体である。各恒星は空間においてそれぞれ個有運動を行なっているが、地球からの距離が極めて大きいためほとんど相互の関係位置を変えることがない。

(1) 星　　座

古代から天文学研究の便宜上多数の恒星を地球からの見かけの布置形状にしたがって数十群に区画し、各群に神話中の人物、器物、動物等の名称をつけて星座と呼んでいる。

航海学では恒星の名称として、次の2方法のうちいずれかで呼称する。

ア　固有名　　　　　　例：Sirius

イ　星座名とギリシャ文字

その星座の中で最も光輝の強いものを α とし、次を β とし、逐次 ω に至る。（しかし例外もある。）

例　：　α Canis Majoris

(2) 恒星の等級

恒星の明るさは等級（Magnitude ：略字Mag.）によって表わす。紀元前130年頃ヒッパルコスは肉眼によって見える恒星をその見かけ上の光の強さにしたがって6等級に分類した。その後、1830年頃ハーシェルは星の光度の研究の結果、一等星の平均光度は6等星の平均光度の100倍であることを認め、同時に等級と光度との関係が等比級数で進むことを発見した。等級と光度の関係を式で表わせば次のとおりである。すなわち一つの恒星の光度を B とし、この星の光度よりも一等級大きい星の光度を K 倍とする。光度が大きいほど、等級を示す数値は小であるから、等級 m_1 、m_2 の星の光度をそれぞれ B_1 B_2 とすれば

$$B_1 = BK^{m_2} \qquad B_2 = BK^{m_1}$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = K^{m_2 - m_1}$$

ハーシェルの求めた結果により

$m_1 = 1 \quad m_2 = 6$ とすれば

$$\frac{B_1}{B_2} = 100$$

$\therefore 100 = K^5 \quad \therefore K = 2.512$

すなわち等級1等増すごとに星の光度は 2.512 倍となる。このKの値を光比という。

肉眼で認め得る恒星の数は、その等級に従って示せば次のとおりである。

	(Mag)	(数)
一等星	1.50まで	22
二等星	1.51〜2.50	54
三等星	2.51〜3.50	174
四等星	3.51〜4.50	570
五等星	4.51〜5.50	1834
六等星	5.51〜6.50	5799

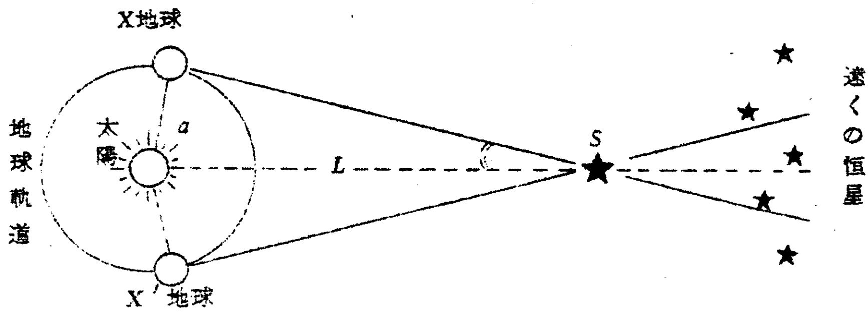
その内、航海上一般に使用されるものは2等星までであって、45個が常用恒星として天測暦に掲げられている。

(3) 恒星の距離

恒星の距離を表わす単位としては一般に光年を用いる。1光年とは光が1年間に進む距離である。

$$1\text{光年} = 9.463 \times 10^{12} \text{ km}$$

恒星の距離を測定するのに、地球軌道の半径を基線とした三角測量の原理が用いられた。すなわち、地球は1年間に太陽のまわりを一周するので、比較的近くの恒星はずっと遠方の恒星に対してみかけの位置がずれる。1年間のこのずれの振幅の半分が地球軌道半径の対角であり、地球の軌道半径はわかっているので、その角度が測れればその距離は求められ



第２－１－１図

る。

地球の軌道の半径を基線としてその恒星の対角のことを恒星の年周視差という。

第２－１－１図において$\tan p = \frac{a}{L}$　角度pは非常に小さいので
$\tan p = p$

したがって

$$p = \frac{a}{L}$$

視差が１″であるときの恒星の距離を１パーセク（Parsec）といい、恒星の距離を表わす単位として用いられる。視差を測ってその逆数をとればパーセクとなる。

また、地球と太陽間の平均距離を単位にする場合もあり、これを１天文単位という。

それらの関係は、つぎのようになる。

１光年＝0.3065パーセク＝63,240　天文単位
１パーセク＝3.262　光年＝206,265　天文単位
＝3.0857×10^{13}km

地球から最も近い恒星はα Centauri であって、その距離は4.3光年、視差0.″760、1.37パーセクである。

(4)　変光星　Variable Star　略記　Var.

見かけ上光の強さに変化を示す恒星を変光星という。常用恒星の中で

はSchedir 及びBetelgeuse が変光星である。

(5) 二重星(Double stars)…… 透視二重星

二つの恒星が極めて近接して存在し、肉眼ではこれを見分け難いものを二重星という。　連星(Multiple stars)…… 実視連星

(6) 星　団(Clustar)

おびただしい恒星が、小部分的に密集しているものを星団という。星団の特徴は望遠鏡によれば各恒星が分離して観測できることである。そして不規則な星の集団を散開星団といい、星団が球状であって中心に至るほど星が密集するものを球状星団という。

(7) 星　雲(Nebula)

相当高い倍率の望遠鏡で見ても、個々の天体に分離することのできない雲状天体をいう。

星雲には次の2種類がある。すなわち、

ガス状星雲：全く希薄なガスからなり、多く銀河の近くにあって、銀河系内のものと思われる。Orion 星雲はその代表的なものであって、合計100個位ある。

渦状星雲：恒星のおびただしい群集といわれ、その形状が渦状又は螺旋状のものをいう。肉眼で認めうるものにAndromeda の大星雲がある。そしてこれ等は銀河の外に現われるから、銀河系以外の宇宙でないかといわれる。

(8) 銀　河

晴天の暗夜に天空に俗に天の河と呼ばれる一条の微光帯が認められるが、大望遠鏡によって観察すれば極めて微かな恒星が多数密集したものであることが認められる。これを銀河という。

一般の恒星、変光星、連星は銀河の付近に多く集まり、特に新星は殆んど全部が、その中に現われる。また渦状星雲を除いて、星団、ガス状星雲も同じく銀河の付近に集まっている。

われわれの恒星界はすなわち銀河系と称する一体系をなし、これを銀河系宇宙という。銀河系は直径10万光年、厚さその10分の1の凸レンズ状恒星体系であって、太陽系はその中心から約32,000 光年のところにあるといわれている。また銀河系の外側には、殆んど恒星が存在しない空間が、無限に展開されているものと想像されている。

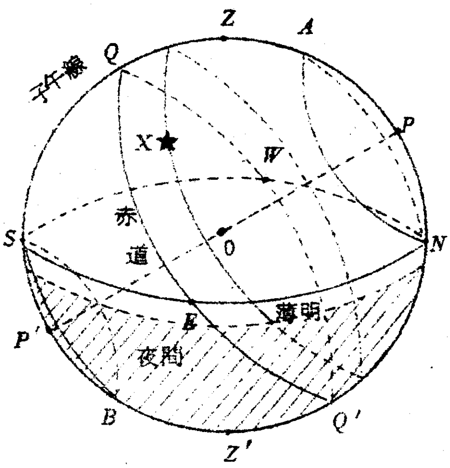
(9) 恒星の日周運動

恒星は太陽、月と同様に東から出て西に没する。しかも同じ星は常に

同じ場所から出て、天球上に同じ道を描いて同じ場所に没する。恒星のこの運動を日周運動といい、この道を恒星の日周圏という。日周圏は総て平行であり、かつ南北に偏する程次第に小になる。

ある星は東方の真水平から出て、次第にその高さと方位を変え、観測者の天の子午線上において極上正中（子午線通過）して高度最大、方位南（北）となった後、西方に方位を変えながら高度を減じ、西方の真水平に没し、そして観測者の子午線の反対側（天底側）に極下正中する。

しかしながら第２－１－２図において天球の北極Pから日周圏ANまでの間の星は、その日周圏全部が地上に現われているから没することがない。このような星を周極星という。また、日周圏BSより南の星は全部地平圏下に没するから、見えずの星となる。



第２－１－２図

2. 太陽系　Solar System

太陽を中心主体として、種々な距離と周期をもって、太陽の周囲を運行する惑星、衛星、彗星及び流星からなる一集団を太陽系という。これらの諸天体は自ら発光することなく、太陽から光熱を受けることによってその存在を明らかにしている。

(1) 太　陽　Sun　→ ☉

太陽系の主体をなす天体で、その本質は一般の恒星と全く同じである。その主な常数は次の通りである。

平均視半径	15′59″.63
赤道実半径	695，553km（地球の約109倍）
容　積	地球の1,301,152倍
質　量	地球の333,432倍

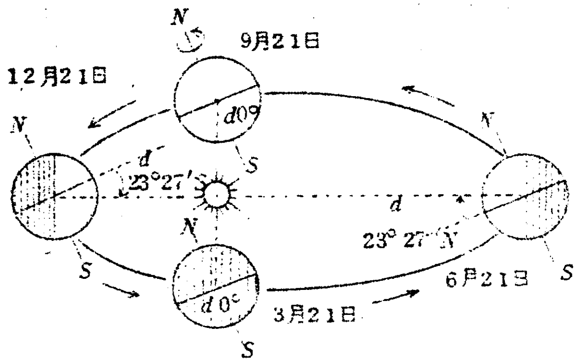
平均密度　　地球の0.256倍（約$\frac{1}{4}$）

平均極大光度　－26.7等級

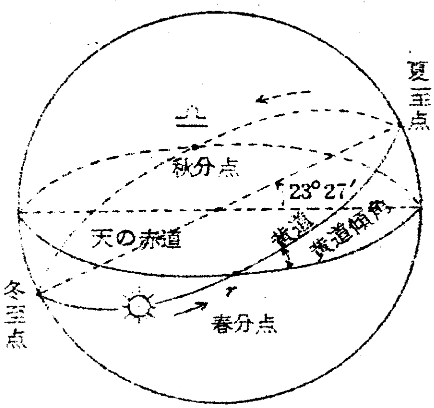
地球と太陽との距離は1年を周期として変動しているが、その平均値は1.495×10^{8}kmであって、これを1天文単位といい、主として太陽系内の距離算定単位として用いる。

ア　太陽の年周運動

地球の太陽に対する公転軌道は楕円で、太陽はその焦点にある。太陽は年間南北回帰線の間を往来するが、これは地軸が公転軌道面に約66°32′の傾きをなしているからである。



第2－1－3図



第2－1－4図

年間の地球公転に基づく太陽の見かけの動きを、地球を中心として天球上に投影してみると、天の赤道と23°27′の傾きをなす黄道と呼ばれる天球上の大圏をなす。その傾きの角度を黄道傾角という。

黄道は、天の赤道とは天球上において2点で交わる。これを両分点といい、そのうち太陽が見かけ上南から北に天の赤道を横切る点が春分点で、北から南に横切る点が秋分点である。黄道上、天の赤道から最も遠ざかった天球上の2点、すなわち両分点からそれぞれ90°隔った所を両至点といい、北の方を夏至点、南の方を冬至点という。

(2)　惑星　Planet 記号P

☿

太陽系中で最も主な天体であって、太陽より距離の順に、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（Neptune）及

♄

び冥王星（Pluto）がある。又火星の軌道と木星の軌道との間に９００個以上の光輝微弱な小惑星（Asteroid）の群が存在する。これら惑星は、皆西から東に向って、地球の軌道とある傾斜面角をなすそれぞれの楕円形の軌道を周行する。それ故、北側から見ると、その運動は時計の針の回転の逆である。この現象を公転（Revolution）という。又惑星は公転とともに自転（Rotation）を行なう。そのため地球上の側者から見る運動、すなわち視運動は、太陽の視運動と異なって常に東方に進まず、ある期間逆行する。このため惑星の名がつけられたものである。

惑星のうち、地球の軌道よりも太陽に近い水星と金星を内惑星といい、外側にあるものを外惑星という。これらの内、肉眼で見えるものは天王星までの６個であるが、通常海上の天測に用いられのは金星、火星、木星、土星の４星である。

惑星の主要要目

名称	平均距離（軌道半長径）（天文単位）	赤道半径（km）	離心率	軌道面傾斜	公転周期（太陽年）	衛星数	平均最大光度（Mag.）	色調
水星	0.3871	2421	0.21	7.004	0.2408	0	− 1.4	蒼灰
金星	0.7233	6096	0.01	3.394	0.6152	0	− 4.3	輝黄
地球	1.0000	6370	0.02	−	1.0000	1	−	−
火星	1.5237	3392	0.09	1.850	1.8808	2	− 1.8	赤黄
木星	5.2037	71373	0.05	1.306	11.870	12	− 2.2	銀白
土星	9.5803	60399	0.06	2.487	29.653	10	＋ 0.2	鈍黄
天王星	19.1410	24847	0.05	0.772	83.743	5	＋ 5.9	蒼緑
海王星	30.1982	26499	0.01	1.773	165.948	2	＋ 7.7	蒼緑
冥王星	39.4387	7200	0.25	17.170	247.676	0	＋14.7	

ア　惑星の軌道

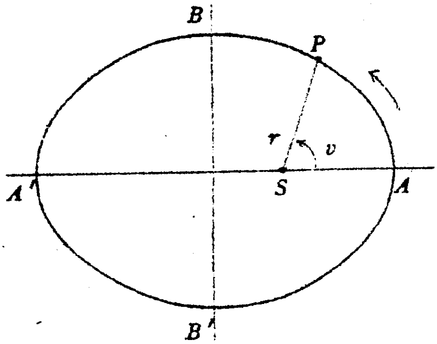
(ア)　ケプレルの法則

惑星の運動に対してケプレルは次のことを明らかにした。すなわち

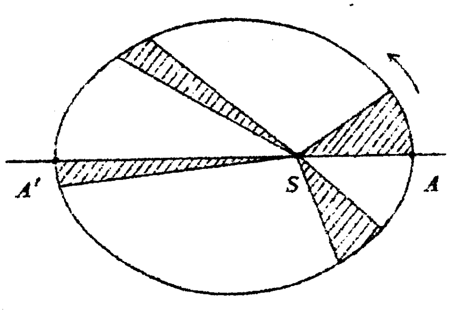
(1)　惑星は太陽を焦点とする楕円上を運行する。（軌道楕円の法則）

(2) 惑星と太陽とを結ぶ直線は、一定時間に等しい面積をつくる。（面積速度の法則）

(3) 任意の２つの惑星の公転周期の２乗は、太陽からの平均距離の３乗に比例する。（調和法則）



第２－１－５図



第２－１－６図

第２－１－５図においてSを太陽、Pを惑星とすれば、PはSを焦点とする楕円を画く、これが第１法則である。楕円の長径を２a離心率をe、動径SPをr、$\angle PSA$をvとすれば

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos v} \qquad \cdots\cdots (1)$$

Aを近日点A'を遠日点と呼び、vはAより惑星の運行の方向に側る角で、これを真近点距離という。

tを時間とすれば角速度$\frac{dv}{dt}$に$\frac{1}{2}r^2$を乗じた面積速度は、各惑星について一定である。これが第２法則である。すなわち

$$r^2 \frac{dv}{dt} = h \qquad \cdots\cdots (2)$$

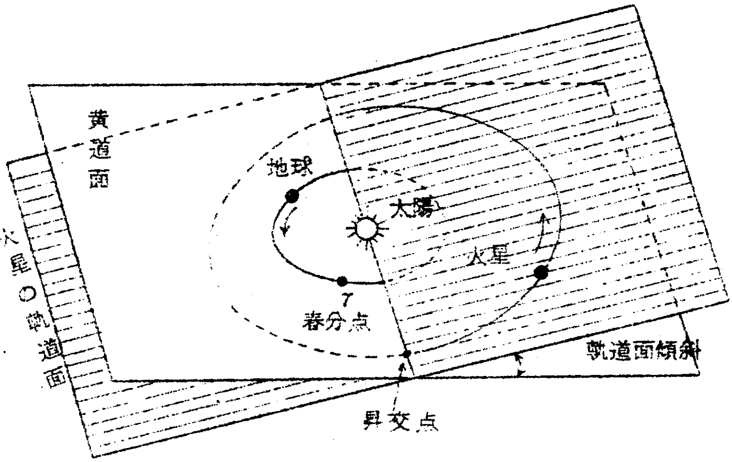
hは常数

近日点距離は$a(1-e)$、遠日点距離$a(1+e)$、その平均aがいわゆる平均距離で、aの３乗と、公転周期Tの２乗とが、任意の２個の惑星について比例する。これが第３法則である。すなわち、

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{c_2^3}{T_2^2} \qquad \cdots\cdots (3)$$

(イ) 軌道面傾斜

他の惑星の軌道の面と地球の軌道の面（黄道面）とは少し傾いているので、その傾きの角を軌道面傾斜という。軌道面と黄道面との交わりを通って黄道面の南から北に抜ける点を昇交点といい、北から南へ抜ける点を降交点という。昇降点は春分点からの角度で測ってその位置を示し、黄道に沿って測った角度であるから昇交点黄経と称する。



第２－１－７図

イ 惑星の運行

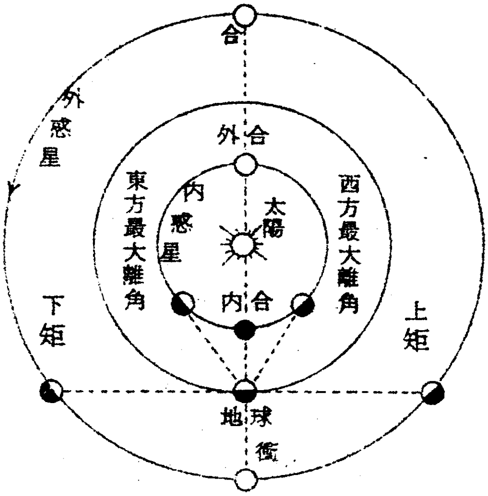
太陽の周りを動いている地球から同じく太陽の周りを回っている惑星を見るので、惑星の天空における見かけの運行は複雑である。惑星は恒星の間を西から東に動くことが多く、これを順行といい、反対に東から西に動くときを逆行という。順行と逆行の間には東にも西にも動かないときがあり、これを留という。

惑星が太陽と地球を結ぶ線上で、太陽と同じ方向に来たときを合といい、反対方向に来たときを衝という。また、惑星が合と衝の間で太陽と直角の方向に見えるときを矩といい、衝から合にうつる間の矩を上矩、反対の場合を下矩と呼ぶ。

内惑星には合は２回あり、太陽の向こう側に行ったときを外合、こちら側に来たときを内合という。内惑星は太陽から一定の角度以上は離れることがなく、このときを最大離角という。水星は最大２８°、

金星は最大50° である。

惑星が合から合、または衝から衝のように、地球に対してふたたび同じ相対位置に帰ってくるまでの周期を会合周期という。



第2－1－8図

(3) 衛星 Satellite

衛星とは惑星の周りにほぼ円に近い楕円軌道を描いて公転する天体である。衛星が公転する方向は二、三の例外を除いてその属する惑星が太陽に対する公転方向と同じで、ケプレルの法則は衛星の場合にもあてはまる。

現在知られている衛星は地球に1個、火星に2個、木星に12個、土星に10個、天王星に5個、海王星に2個であるが、この中、航海に直接関係のあるのは地球に属する月のみである。

ア 月 Moon → ☾

月は地球唯一の衛星であって、直径3,476 kmのほぼ球形をなし、地球と平均384403 kmの距離を保ち、天球上を西から東へ運行する。この軌道を白道という。

白道の離心率は一定でなく、変化するが、平均値は0.05490である。白道は天球上において一定の位置を占めず、黄道と平均5° 9′の交角をなす。白道と赤道とは、最大28° 36′ ないし18° 18′の交角をなし、その結果、月の最大黄緯5° 9′、平均最大赤緯は28° 36′ ないし18° 18′となる。

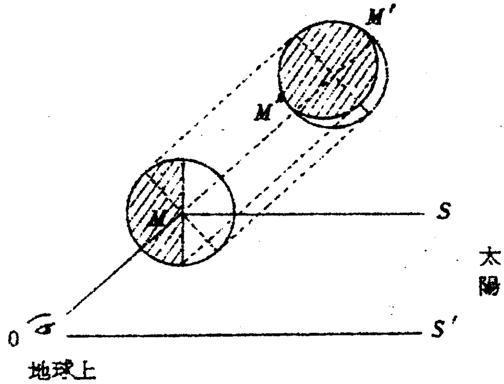
月に関する主な常数

平均視半径	15′32″58
赤道実半径	1,738km (地球の約$\frac{1}{4}$)

容　積	地球の０.０２０倍
質　量	地球の０.０１２倍
平均密度	地球の０.６０５倍
平均極大光度	（満月）－12.5等級

(ア)　月の盈虚

月は太陽光線を反射して輝く天体であるから、地球上からこれを見れば太陽の光線の当たる半面のみえぐあいによって月があたかも満ちたり欠けたりするかのように見える。この現象を月の盈虚（Phase of Moon）という。



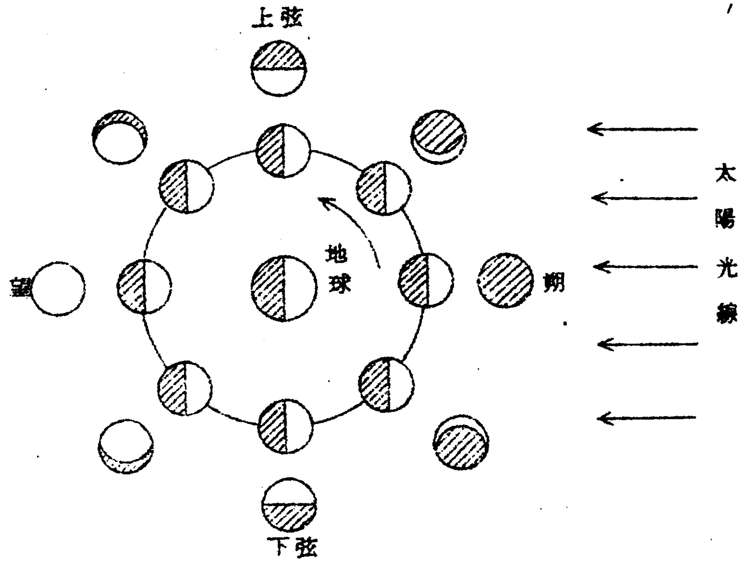
第２－１－９図

第２－１－９図において、月MはSから来る太陽光線によって太陽の方を向いている半面が輝いているが、地球上０からこれを見れば右上方に示すように右側一部のみが見えることになる。ここで、S'を地球から見た太陽の方向とすれば$\angle S'OM$は月の離角であり、太陽光線は地球と月に対してほぼ平行光線とみなして差支えないから、月の盈虚は月の離角によって変化するということができる。

いま太陽の黄径と月の黄径とが等しいとき、すなわち離角０°なるときは全く月面を見ることができず、これを朔（New Moon）という。月の黄径が太陽の黄径より９０°大きいとき、すなわち離角９０°なるときは右半月を見ることになりこれを上弦（Fist Quarter）という。

離角１８０°なるときは満月を見ることになりこれを望（Full Moon）といい、離角２７０°なる時は左半月を見ることになりこれを下弦（Last Quarter）という。

月の盈虚の度合は通常月令（Lunar age 略記 Age）で表わす。月令とは朔の瞬間以後経過した時間を平陽日を単位として計算し、



第２－１－１０図

太陽と月との離角を表わしている。したがって、月令が与えられれば、月の見かけの形状は概略の想像がつき、出没時や子午線正中時もほぼ見当がつく。天測暦には毎日の表の欄外右上方にその日の世界時０時の月令が掲げられている。

(イ) 月の公転及び自転

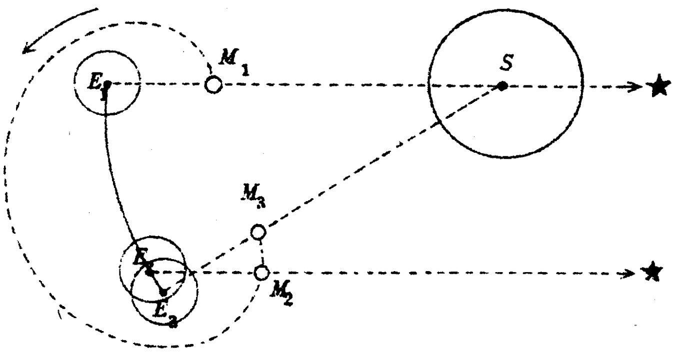
月は地球を焦点の一つとして円に近い楕円軌道上を１日に約13°.2づつ西から東に公転している。この軌道上で月が地球に最も近くなる点を近地点、最も遠くなる点を遠地点という。

月の公転周期を示すものとして普通使われるのは恒星月（Sidereal Month）であって、月がその軌道を完全に１周するに要する時間で、その平均値は

１恒星月＝27.322日

である。これはその名称が示すように月の恒星に対する周期ということができ、第２－１－１１図において月が M_1 の位置から M_2 の位置に至るまでの時間である。

この恒星月とかなりの差を生ずるのは朔望月（Synodic Month）



第２－１－１１図

である。朔望月とは朔から次の朔まで、または望から次の望までに要する時間でその平均値は

1朔望月＝２９.５３１日

である。これは太陽との関係位置が同じように並ぶまでの時間であるから、図から明らかなように両者にかなりの相違を生ずるのは当然で、月が M_2 の位置から M_3 の位置まで移動するのに要する時間が両者の差２日余りに相当する。

月はこうして地球の周りを公転しながら、月自身がまたゆっくりと自転をしている。この自転周期は正しく１恒星月に等しく、そのために月はいつも同じ半面を地球に向けており、決して他の半面を向けることがない。ただし実際には秤動（Libration）という現象のために全表面の $\frac{59}{100}$ を地球からながめることができる。

(4)　彗　　星　Comet

彗星は一般に太陽を焦点とする放物線、長楕円または双曲線を軌道とする天体で現在約百個発見されており、極めて稀薄な分子からなり、核光層及び光尾があり、太陽に近づくときは自ら光を発するがその他のときには太陽光を反射する。

(5) 流　星 Meteor

流星は微小天体で、その成因はまだ明らかにされていないが彗星の解体した結果生じたものであろうといわれている。その軌道は彗星のそれとやや似ており、地球軌道と交わって空気中を通過するときは空気抵抗により光を発する。またその集団が太陽光線を反射敬乱して黄道光などの現象を生ずる。

3. 歳差と章動

(1) 歳　差 Precession

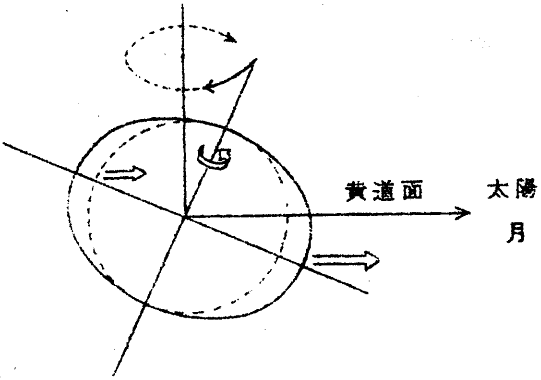
恒星の位置は、昔は不変のものと考えられていたが、数多の天文学者の作った時代の異なる恒星表を比較すると、同一の恒星の赤緯赤経が各々一致しないことが発見された。そこで赤緯、赤経を黄緯、黄経に変換してみると、星の黄緯は殆んど一定不変であるが、黄経は時と比例して次第に増加しており、つまり春分点が黄道上太陽の運動と反方向に等速運動をなすことが判った。このように春分点が黄道上を逆行（東から西へ）する現象を歳差という。

ア　日月歳差

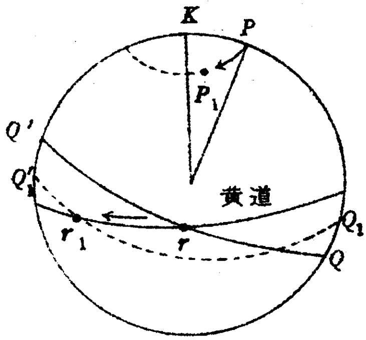
地球の形状は赤道部分がややふくらんだ回転楕円体であり、しかも赤道面は黄道面に対して約23°27′の傾角を持っている。したがって、太陽が地球に及ぼす引力には不等を生じ、赤道面を黄道面に一致させようとする力が働く。いいかえれば、地球の自転軸を黄道面に対し起こそうとする力が働くことになる。月の軌道面は黄道面と約5°9′傾斜しているだけであるから、平均としては月もまた黄道上にあると考えて差支えなく、結局太陽も月も共に地球に対しその自転軸を起こそうとする力を及ぼしていることになる。すなわち、地球をひとつの大きなジャイロスコープと考えれば、その回転軸を起こそうとする外力が働くことにより自転軸は首振り運動をすることになる。

この運動を天球について考えれば、第2－1－13図に示すように天の極 P は黄道の極 K の周りに角距離約23°27′を半径とするようような小円を描いて、P から P_1 の方へと移動する。

この結果として、天の赤道は QQ' から Q_1Q_1' へと移動し、したが



第２−１−１２図



第２−１−１３図

って春分点は黄道上を東から西に向かって移動する。天の極が黄道の極の周りを１周するのに２５８００年かかるので、春分点が黄道上を移動する速度は１年に約５０″２６　である。歳差によって天の極が恒星の間を移動していくので、現在は小熊座のα星が北極星であるが、約１万３千年後には琴座のVega が北極星となるであろう。

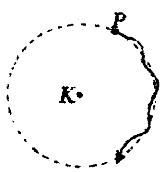
(2)　章　　動　Nutation

歳差の現象を詳細に観測していると、天の極が天球面上に描く軌跡は完全な小円ではなく、半径約２３°２７′の小円の内外に振幅約９″周期約１９年の波形を描きながら進んでいるので、その結果として黄道傾角は平均値について約９″の増減を示し、春分点は歳差による逆行運動ばかりでなく、約１９年の周期を以てその平均移動位置の前後に約１７″の範囲で周期的運動をなすことになる。この現象を章動という。

章動の起こる原因は、地球の赤道面を黄道面に一致させようとする力が絶えず変化しているからである。

(3)　黄道の変化

太陽、地球、月の３天体のみについて考えれば黄道は天球上の不動の大圏であるが、実際には極めて微弱ではあるが諸惑星の引力が地球を公転軌道面からはずそうとする作用（これを摂動という）をなし、このため黄道面には多少の変動がある。黄道の位置変化は歳差に影響を及ぼすので、諸惑星の摂動によって生ずる歳差を惑星歳差という。



第２−１−１４図

日月歳差と惑星歳差とを併せて一般歳差と呼び、次のように計算されている。

$$50.''2564+0.''000222\,(t-1900.0)$$

ただし、tは西暦紀元の年単位

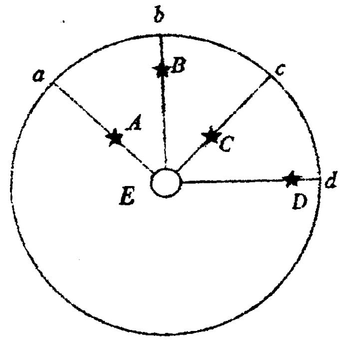
第2節　天　　球

1. 天　　球

(1) 天　　球　Celestial Sphere

われわれは、諸天体を観測するためにはその位置を推知する必要があるがその手段として地球の中心とする広大無辺の一大空球を想像して、すべての天体はすべてその裏面にあるものと考える。この大球を名づけて天球という。

第2－2－1図において、Eを地球とし、A、B、C、Dを天体としa b c d を天体とすれば、われわれの眼は遠近を判別することができないので天体はいずれも天球上a、b、c、d にあるように見える。



第2－2－1図

(2) 天の軸　Celestial axis

天の極　Celestial Poles

地軸を無限に延長して天球に達せしめたものを天の軸といい、天の軸が天球と交わる2点を天の極（天の北極、天の南極）という。

(3) 天の赤道　Celestial equator

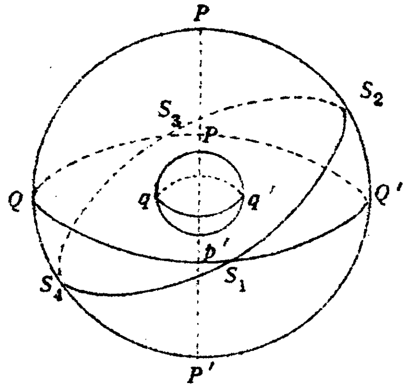
地球赤道の面を無限に拡張し天球と交わってできた大圏を天の赤道という。第2－2－2図において、qq' が地球の赤道、QQ' が天の赤道である。

(4) 黄　　道　Ecliptic

地球が公転するため、地球を静止させたと考えると、太陽は天球上を地球を中心として西から東に運行するように見える。この視軌道を黄道という。

(5) 黄道傾角 Obliquity of the ecliptic

黄道と天の赤道との交角を黄道傾角という。地軸は軌道面に垂直でなく、約66° 33′の交角をなすので、黄道と天の赤道とは約23° 27′の交角をなすことになる。



第2－2－2図

(6) 春分及び秋分 Equinoxes

太陽が南から北に天の赤道を通過するときを春分（Vernal equinox）、北から南に通過するときを秋分（Autumnal equinox）という。春分における太陽の位置を春分点（First point of Aries）といい、秋分における太陽の位置を秋分点（First point of Libra）という。第2－2－2図において、S_1 S_2 S_3 S_4 は黄道を示し、S_1 は春分点、S_3 は秋分点を示す。春分点及び秋分点においては昼夜の長さが相等しくなる。

(7) 夏至及び冬至（Solstices）

太陽が黄道の最北及び最南に達したとときを夏至（Summer Solstice）及び冬至（Winter Solstice）という。夏至。夏至における太陽の位置を夏至点（Summer Solstial Point）、冬至における太陽の位置を冬至点（Winter Solstial Point）という。第1－2－2図において、S_2 は夏至点、S_4 は冬至点を示す。夏至点、冬至点においては、昼夜の時間の差が最も大きくなる。

2. 天球と天体との関係

(1) 天の子午線 Celestial meridian

天の両極を通る大圏を天の子午線といい、地球の子午線に相当する。

(2) 赤緯距等圏 Parallels of Declination

天の赤道に平行な諸小圏を赤緯距等圏といい、地球上の緯度の距等圏に相当する。

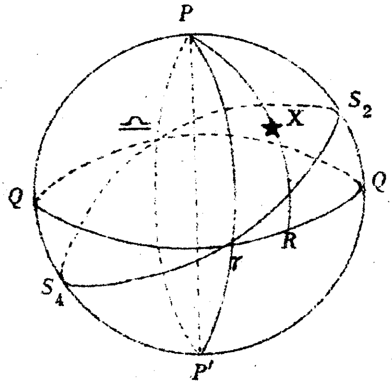
(3) 天体の赤緯 Declination of hevenly body 略記d

天体と天の赤道との間の天の子午線上の弧を、その天体の赤緯といい、

赤道から南北に向って度分秒で算えS又はNの符号をつける。（第2—2—3図　XR）

(4) 天体の赤経 Right ascention of heavenly body　略記R.A.

春分点と天体を通る子午線が天の極においてなす角度又はこれらの子午線が赤道上で囲む弧をその天体の赤経といい、春分点から東方に向って時分秒で算え24h に至る。（第2—2—3図∠♈PR又は♈R）



第2－2－3図

(5) 天体の極距（Polar distance）

天体と同名の極との間の天の子午線上の弧をいう。（第2—2—3図XP）

3. 観測者と天球及び天体との関係

(1) 頂　点（天頂）　Zenith

観測者の頂上に当たる天球の点をいう。（第2－2－4図　Z）

(2) 蹠　点　Nadir

頂点に対する点、すなわち観測者の直下に当る天球の点をいう（第2－2－4図　Z′）

(3) 本地の天の子午線　Celestial meridian of observer

本地の子午線と一致する天の子午線（頂点を通る天の子午線）をいう。（第2－2－4図　SZNZ′）

(4) 天体の子午線　Celestial meridian of heavenly body）

天体を通る天の子午線をいう。

(5) 地平圏　Celestial horizon or Rational horizon

頂点及び蹠点から等距離にある大圏、換言すれば頂点蹠点を結ぶ直線に垂直な大圏をいう。居処地平及び視地平に対して、これを真地平ということがある。（第2－2－4図SN）

(6) 居所地平　Sensible Horizon

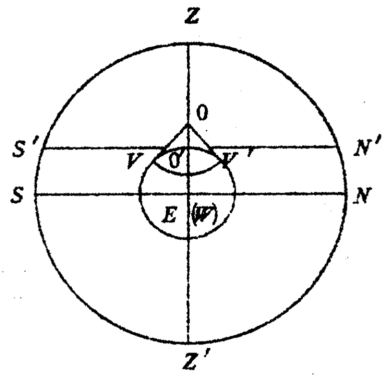
観測者の位置で地球に切して、しかも地平圏に平行な平面が天球と交ってできた圏を居所地平という。

恒星の距離はきわめて大であるから、それに比較すれば地球は一点と

みなすことができるので、恒星に対しては居所地平と真地平とは一致するものと考えることができる。
（第２－２－４図　$S'N'$）

(7)　視地平　Apparent or Visible horizon

観測者の眼から海面に引いた切線の切点を通り、地平圏に平行する小圏を視地平という。すなわち、海上における水天の交界は視地平である。（第２－２－４図VV'）



第２－２－４図

(8)　方位基点　Cardinal point of the horizon

地平圏と測者の天の子午線との交点の内、北方にある点を北点、南方にある点を南点といい、地平圏上南北両点から等距離にある点を東点及び西点という。（第２－２－５図　N、E、S、W）

(9)　高度の圏　Circle of altitude

頂点及び蹠点を通る大圏をいう。（第２－２－５図　ZXR）

(10)　天体の高度（Altitude）

天体を通る高度の圏上、天体と地平圏との間の弧をいう。（第２－２－５図　XR）

ア　視高度　Apparent altitude

天体を通る高度の圏上、天体と居処地平との間の弧をいう。

イ　測高度　Observed altitude

天体を通る高度の圏上、天体と視地平との間の弧をいう。

(11)　天体の頂距　Zenith distance

天体を通る高度の圏上、天体と頂点との間の弧をいう。すなわち、高度の余弧（90°－Alt.）である。（第２－２－５図　ZX）

(12)　東西圏　Prime vertical

東西両点を通る高度の圏を特に東西圏という。（第２－２－５図　EZW）

(13)　天体の時角　Hour angle　h

観測者の天の子午線と天体の天の子午線とが極においてなす角、すなわち、本地子午線と天体の子午線との間における赤道上の弧をその天体

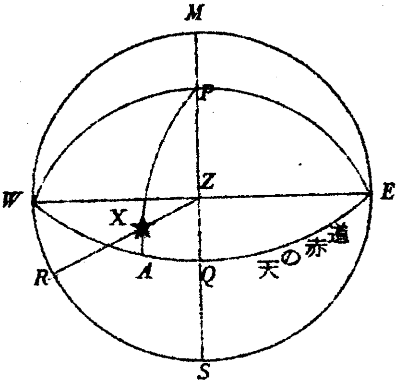
位置の三角形の三辺

$90° - \alpha$ … 頂距
$90° - d$ … 極距
$90° - l$ … [illegible]

の時角という。（第２－２－５図 $\angle ZPX$ または QA）

時角は本地の子午線を０ｈとし西方へ 24ｈ まで算えるのが通例であるが、東方に向って算える時はその値の後に E 符を付ける。しかしながら東に算える時は 12ｈ を越えては取扱わない。

特に春分点の時角を恒星時角という。



第２－２－５図

(14) 六時圏　Six hour Circle

両極と東西の両点を通る天の子午線をいう。（第２－２－５図 EPW）

(15) 天体の方位角　Azimuth

観測者の天の子午線と天体の高度圏とが頂点においてなす角をいう。（第２－２－５図 $\angle SZR$）

(16) 天体の位置角　Parallactic angle

高度圏と天体の子午線が天体においてなす角をいう。（第２－２－５図 $\angle ZXP$

(17) 位置三角形（天文三角形）Position triangle（Astronomical triangle）

頂距、極距及び余緯度の３項を３辺とする球面三角形をいい、天文航法上きわめて重要なものである。（第２－２－５図 ΔPZX）

第３節　天球図法及び座標

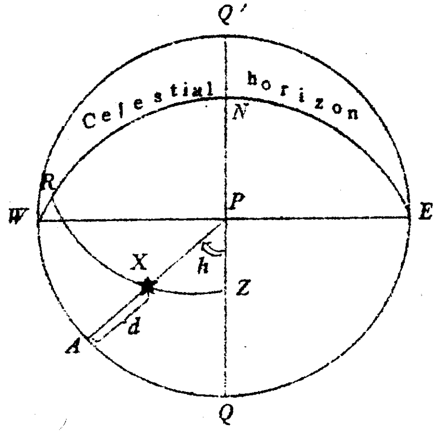
天球を図示するには各種の投影法があるが、通常用いられるのは平行光線による投影図すなわち正射投影図であり、投影基準面の種類にしたがってこれをさらに次のように分類する。

1. 赤道面図（法）

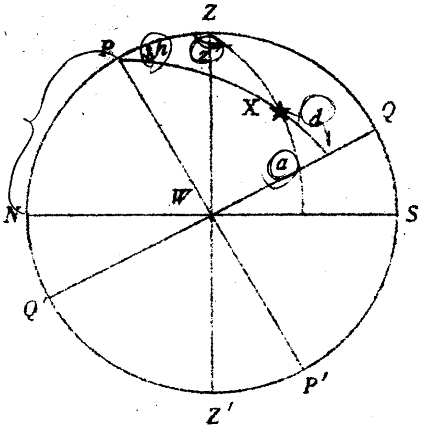
天球を天の軸の無限延長線上から見て赤道面上に投影した図で、天の北半球または南半球のみを表示する。

第２－３－１図は、P を天の北極、$QEQ'W$ を天の赤道とした赤道面図である。

本図法は時角に関する事項を研究するのに便利である。



第２－３－１図



第２－３－２図

2. 子午線面図（法）

天球を東西両点を結ぶ無限延長線上から見て、これを子午線面に投影した図である。

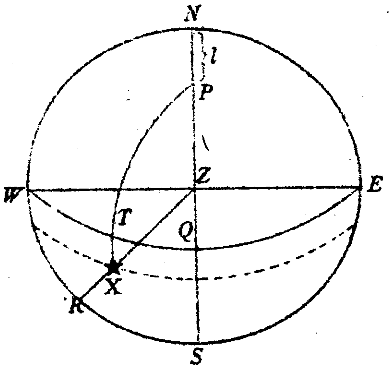
第２－３－２図は、 SWN を地平圏、P を北極、Zを天頂、QQ' を赤道とした子午線面図である。図において、PNはその地の緯度、hは時角、zは方位角、dは赤緯、aは高度、ΔPXZ は天文三角形となる。

本図法は天文三角形、昼夜の別及び正中時の天体を研究するのに便利である。

3. 地平面図（法）

天頂の方向無限の距離から見て、天球を地平面に投影した図である。

第２－３－３図に示すように、一円を描いて地平圏とし、その中心を天頂Zとすれば、縦の直径NZSは観測者の天の子午線、横の直径EZWは東西圏、NP（あるいはSP）を緯度に等しくとれば、Pは観測者と同名の極、またZQをPNすなわち緯度に等しくとりEQWを作図すればこの圏は天の赤道となる。したがってPから赤道EQWと直角に交



第２－３－３図

る大圏は天の子午線となる。またZから円周にZRを引けば高度の圏が得られる。したがってXを天体とすれば、RXは高度、PXは極距、TXは極距、TXは赤緯、ZXは頂距、また∠ZPXは天体の時角、∠SZXは天体のの方位角となり、ΔPXZは天文三角形となる。

本図法は天文三角形及び時角の変化に伴なう高度、方位角の問題を取扱うのに便利である。

4. 天体の位置表示法

球面上における点の位置を決定するには、2個の互いに直交する大圏を軸とし、角距離を座標とする球面直角座標を用いる。そして天体の位置を示すのに、次の3種があるが、艦位測定上密接な関係のあるものは前2者である。

(1) 赤道座標

ア 赤緯、赤経によるもの

測者の位置に関係なく、天の赤道と春分点を通る天の子午線とを基準にしたもので、赤緯は地球上の緯度に、赤経は経度に当る。

イ 赤緯と時角によるもの

天の赤道と本地（又はグリニッチ）の天の子午線とを基準としたもので、これも又地球上の緯度経度に相当する。

(2) 地平座標

地平圏と本地の子午線とを基準にしたもので、ちょうど地球上の物標の位置が一定点からの方位及び距離によって決定できると同じように、高度と方位角を座標とするものである。

(3) 黄道座標

黄道と黄緯の圏とを軸として、黄径と黄緯とを座標とする球面直角座標をいう。

第4節 星座及び索星法

天測にあたって、太陽及び月は問題でないが、初心者のうちは恒星及び惑星は天体名を誤まり、計算のやりなおしをしなければならないことがしばしば起る。従って平生から主要星座及び星の関係位置に習熟しておかなければならない。

1. 視覚による索星

恒星をさぐるには、まず大熊座、オリオン座のような顕著な星座をよりどころにするのがよい。

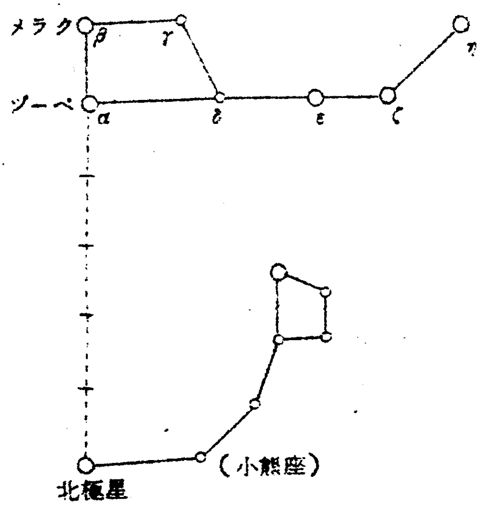
大熊座（Ursa Major）は７個の大星からなり、その内４個をもって四辺形をなし、他の３個はこの四辺形の対角線を伸ばした線上にあってやや彎曲する。いわゆる北斗七星はこれである。この星座のα星（Dubhe）とβ星（Merak）とをPointers と称する。これはβとαを結ぶ線を伸ばすと北極星（Polaris）の近傍に至るからである。

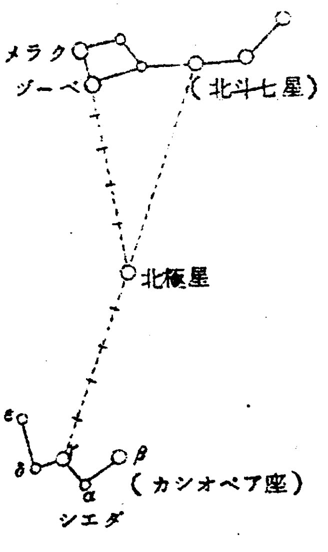
Orion は天の赤道の南北にまたがり、広くて、光輝ある星の多いことで著明である。α、β、γ、κは大斜方形をなし、α Orionis（Betelgeuse）とβ Orionis（Rigel）はこの星座中顕著なものであって、三つ星を貫いた直線の両側ほぼ同距離にあり、色はそれぞれ Red、Blue であるので、星の名の頭文字と色の頭文字が反対であるから記憶に便利である。

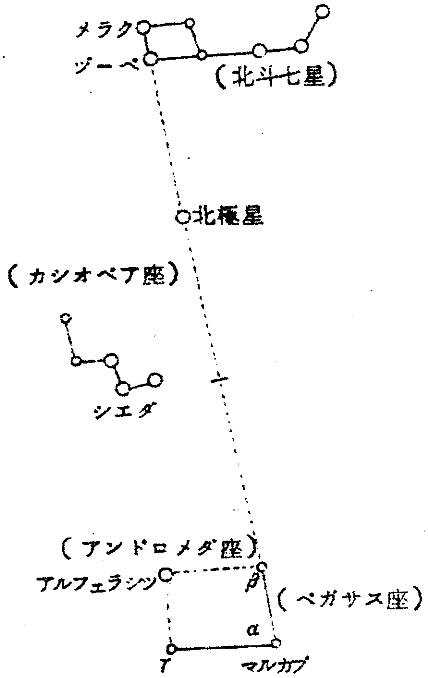
以上のように各星座において基準となる星からの関係で相互の配置状況を記憶すれば比較的簡単に覚えられるものである。

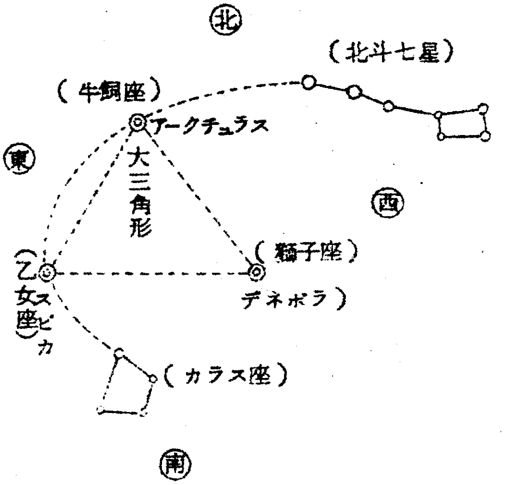
以下星座ごとに関係を図示すれば次のようになる。

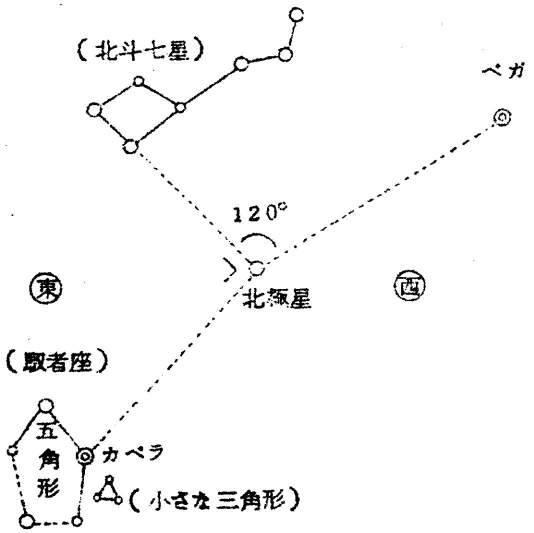
大熊座の北斗七星

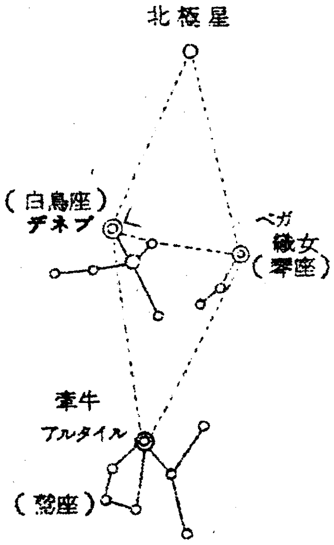


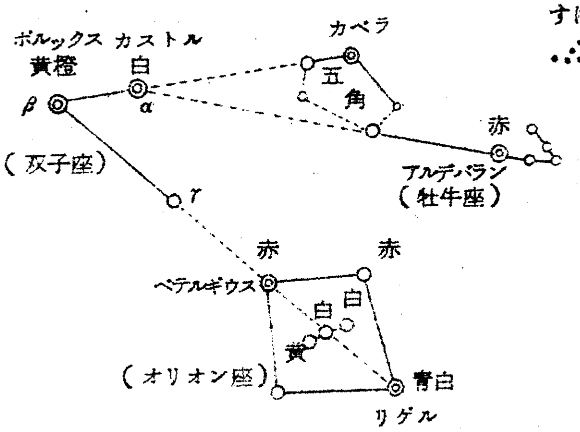


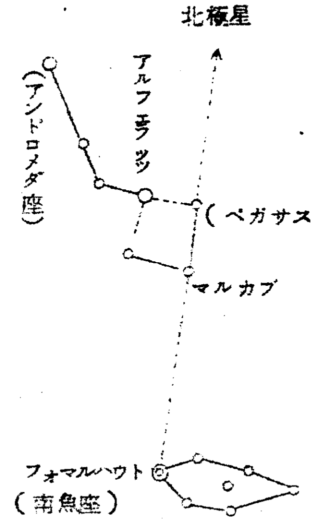

メラク
ヅーベ
（北斗七星）
北極星
（カシオペア座）
シエダ
（アンドロメダ座）
アルフェラシツ
β
（ペガサス座）
α
γ
マルカブ

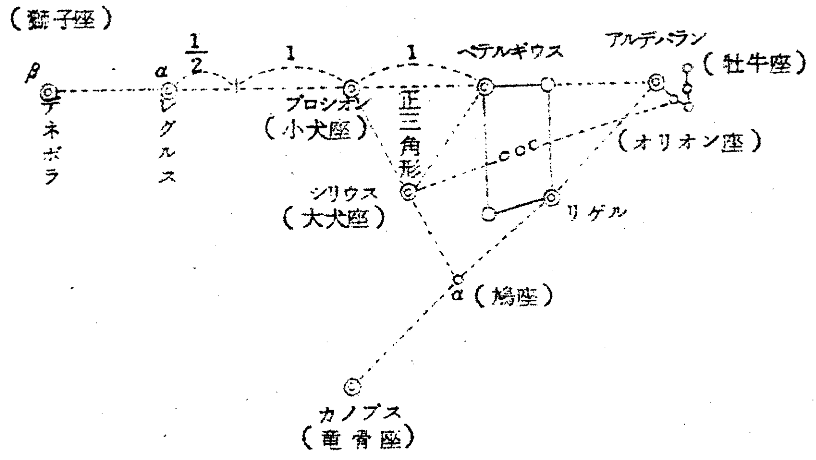

北
（北斗七星）
（牛飼座）
アークチュラス
東
大三角形
西
（獅子座）
（乙女座スピカ）
デネボラ）
（カラス座）
南

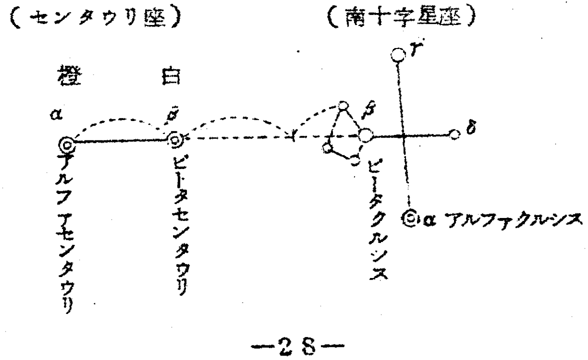

（北斗七星）
ベガ
120°
東
北極星
西
（馭者座）
五角形
カペラ
（小さな三角形）


北極星
（白鳥座）
デネブ
ベガ
織女
（琴座）
牽牛
アルタイル
（鷲座）


すばる
ポルックス
カストル
黄橙
白
β
α
カペラ
五角
赤
アルデバラン
(牡牛座)
(双子座)
γ
赤
赤
ベテルギウス
白
白
黄
(オリオン座)
青白
リゲル


北極星
(アンドロメダ座)
アルフエラッツ
(ペガサス座)
マルカブ
フォマルハウト
(南魚座)


(獅子座)
β
α
1/2
1
1
ベテルギウス
アルデバラン
(牡牛座)
デネボラ
レグルス
プロシオン
(小犬座)
正三角形
(オリオン座)
シリウス
(大犬座)
リゲル
α
(鳩座)
カノプス
(竜骨座)


(センタウリ座)
(南十字星座)
橙
白
α
β
γ
β
δ
アルファセンタウリ
ビータセンタウリ
ビータクルシス
α アルファクルシス

2. 恒星略図

天測暦の巻末にある恒星略図は、地球から天を仰ぎ見た場合の主要な恒星の位置を示すものである。外周の数字は赤経、同心円は赤緯を示す。

これを利用するには、観測時刻に天頂に正中する仮想の天体の赤経（すなわち恒星時）を求めて本地子午線を決定し、本地子午線を南北方位に合わせ仰ぎ見るようにする。

または、子午線上南北の、赤道上東西の限界4点を結び、円又は楕円に近い天空を描けば、測者の見うる天空が得られる。

3. 星座盤

水路部発行の星座板は板の上面に楕円形の孔があって、北緯30°の地平圏を天の赤道面上に投影したものである。内方には方位基点を記入し、上面の外周には時刻を記載してあり、外板の月日と時刻とを合わせるように旋回する。

使用法

(1) 或る時刻の星座を求める場合

内板（旋回板）を廻して日付と時刻を合致させると楕円孔内にその時刻の天空に見られる星座が表われる。

(2) 或る日の恒星の出没時刻又は極上正中時の概略を求める場合、旋回板を回転させて所要の恒星が、楕円孔の東側又は西側に接する時、或いは、旋回板の上面にある南北両方位の連結線上に来たとき、その日と合致した時刻を求めると概略を知ることができる。

4. 星球儀

星球儀は恒星時と所在地の緯度とを使用して、恒星の高度及び方位角を知るために用いるものである。直交する2個の高度環及び地平環並びに星球からできており、高度環は交点を 90° とし以下 0° まで高度用の目盛が刻んであり、地平環は星球に書いた天の子午線の通過する所を N、S とし真方位を刻んである。

使用法

(1) 高度環支点を測者の頂点とし、天の子午線上所在緯度と同一の目盛を頂点の下に合わす。観測時の地方恒星時と同じ値の赤経（星球赤道に記載されてある）を天の子午線に一致させると、地平圏上にある天球を得

られ、高度環を恒星に合わすと真高度と方位角を得られる。

(2) 日出（没）時前後の星座を簡単に求めるには、まず所在緯度を星球儀に整え、当日の太陽を黄道上に求め、その太陽が東（西）方地平圏にあるように星球儀を回す。

5. 惑星探知法 ——→ 天測略歴

惑星のうち通常使用するものは金星、火星、木星、土星の4個であるが低緯度の地では水星を用いる機会もある。惑星は相互関係位置が定まらず、恒星のように一定の方法によってその位置を探ることはできないので、惑星を探知するには一般に次の方法による。

(1) 天空において

その名を知りたい惑星に最も近い恒星が何であるかを見て、その恒星の赤緯、赤経を求め、この赤緯赤経に略同じ赤緯赤経を持つ惑星の名を天測暦から求める。

(2) 当日の各惑星の赤緯赤経を天測暦から求め、恒星略図の中に各惑星の位置を点出して付近の恒星との関係位置を知り、実際の天空についてその恒星の位置から惑星を探知する。

第３章　　時

第１節　時の種類

古来、時の測定は、規則正しく繰り返される天文学的現象を基準として行なわれてきた。すなわち、天体の日周運動つまり地球の自転運動と、公転運動とを基準としている。地球の自転により天球上の１点あるいは１天体が見掛上２回続いて同一子午線に正中する間隙を１日とし、公転により地球がその軌道上の一点を出発し、再びその点に帰るまでの時間を１年とする。

そして天文学上用いる時には、基準とする天体によって太陽時（Solar time）、恒星時（Sidereal time）及び大陰時（Lunar time）の３種がある。

1.　太陽による時

太陽の天文学的現象によって時を測るには、地球の自転に基づくものと、公転に基づくものとの２種があり、前者に基づく時の単位を日といい、後者に基づく時の単位を年という。

(1)　~~視陽日~~（視太陽日）　Apparent Solar day

真の太陽が測者の子午線に正中した後、再び正中するまでの時間を視太陽日、略して視陽日という。

太陽が子午線に極上正中したときを視正午、極下正中したときを視正子という。視陽日はわれわれの生活に密接な真太陽の現象による利点があるが、次の理由で１視陽日の長さが一定しない不利がある。

(ア)　地球の軌道が楕円であること。

(イ)　地球の軌道が赤道と約２３.５°傾斜していること。

(2)　視　　時　Apparent time 略記　App.T.

真の太陽（A.S.）が某地の子午線に正中した後、その経過した時間をその地の視時といい、普通極下正中時すなわち視正子を０時とし２４時に至る。すなわち視太陽の時角に１２時を加えたものである。

グリニッチの視時をグリニッチ視時（Greenwich apperent time 略記　G.A.T.）

本地の視時を地方視時（Local apparent time 略記　L.App.T.）という。

(3)　平均太陽　Mean Sun

視太陽はその運行が整一でなく、これを時の単位と定めることは不便

が多いので、１年間の視陽日の平均をとりこれを時の単位として用いる。すなわち、春分点を真の太陽と同時に出発し、赤道上を均等な速さで運行し、再び春分点で真の太陽と一諸になる天体を仮想して基準とし、この仮想天体を平均太陽という。

(4) 平陽日 Mean Solar day

平均太陽が測者の子午線に極下正中した後、再び正中するまでの時間を平均太陽日、略して平陽日という。

平均太陽が極上正中したときを平正午（Meen noon）、極下正中したときを平正子（Meen midnight）という。

(5) 平時 Mean time 略記 M.T.

平均太陽（M.S.）が某地の子午線に極下正中した後、その経過した時間をその地の平時といい、平正子を０時とし２４時まで算える。すなわち平均太陽の時角に１２時を加えたものである。

グリニッチの平時をグリニッチ平時（Greenwich mean time 略記 G.M.T.）、

本地の平時を地方平時（Local mean time 略記 L.M.T.）という。

(6) 均時差（時差率） Equation of time 略記 Eq. of T.

視時と平時との間には差がある。視時から平時を減じたもの、いいかえれば平時に加えてそのときの視時が得られるような時量を均時差という。

Eq. of T. = App.T. - M.T.

また、均時差は視太陽の時角から平均太陽の時角をひいたもの、すなわち平均太陽の赤経から視太陽の赤経をひいたものに等しい。

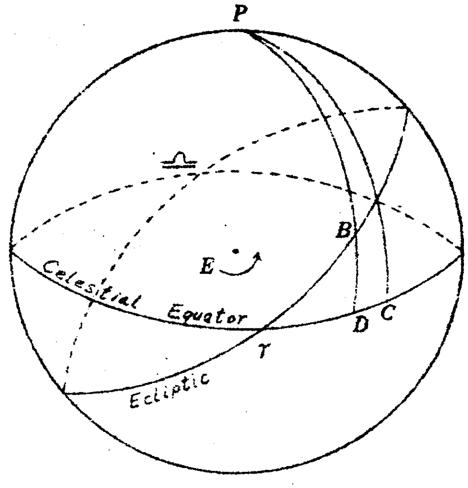
Eq. of T. = R.A.M.S. - R.A.A.S.

均時差は、黄道が赤道に対して傾斜していることと、及び黄道が楕円形であることによって生ずる。

ア 傾斜均時差（Oblique equation）

黄道を真円と仮定し、太陽が黄道上を整一な速度で運行すると同時に平均太陽が赤道上を同一速度で運行して同時に春分点γを出発したものとする。そして黄道上を整一な速度で運行すると仮定した太陽を

力学的平均太陽という。
第3－1－1図において、γBに等しくγCをとれば力学的平均太陽がBにある時、平均太陽はCにある。Bを通る子午線PBDを作ればγDは力学的平均太陽の赤経であってDCは、黄道が赤道に対し傾斜しているため生ずる傾斜均時差にあたり、その最大は10分に達する。



第3－1－1図

両分点及び両至点においてはCとDは一致し、分点より至点に至る間は、CはDの前にあたり、至点から分点に至る間はCはDの後方にある。故に分点から至点に至る間は、力学的太陽（太陽と見なしてよい）は平均太陽より先に子午線に正中するから、視正午より傾斜的時差だけ速い。至分点から分点に至る間は、平均太陽が先に正中するから平正午は視正午より早い。

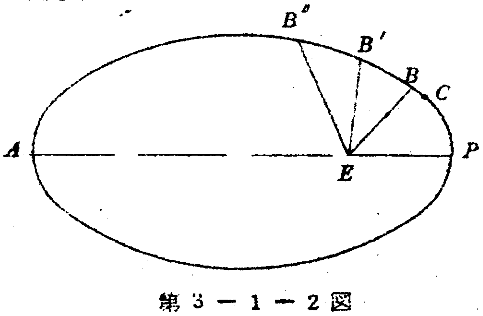
第3－1－1図において球面直角三角形γBDにおいて、

$$\tan \gamma B = \tan \gamma D \sec 23^\circ 27'$$

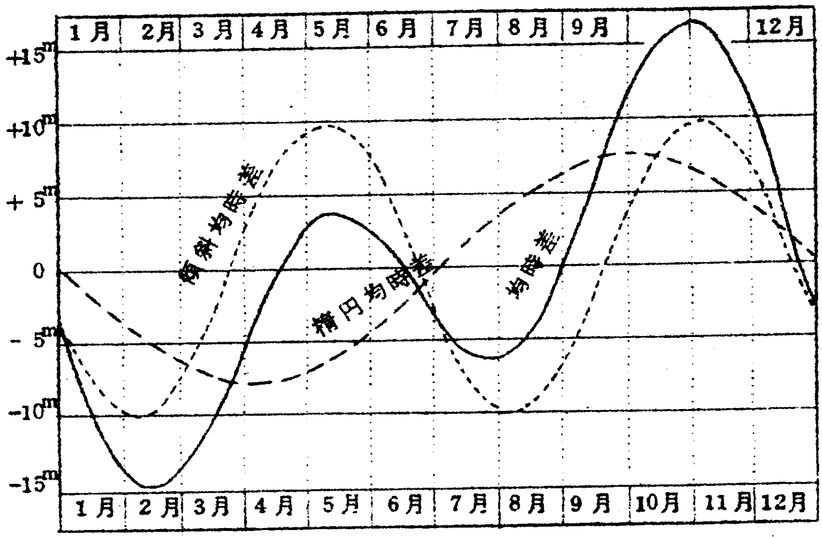
γDに1h、2h……を代入し、γBを得れば$\gamma B - \gamma D$より均時差を得る。

イ　楕円均時差　Elliptic equation

第3－1－2図においてEを黄道の焦点にある地球、Aを遠日点、Pを近日点、B、$B'B''$……等を毎日の間隔を保つ太陽の位置とすれば、ケプラーの法則によって、



第3－1－2図



第3—1—3図

面積 $BEP = BEB' = B'EB''$

$\therefore \quad PB > BB' > B'B''$

太陽の視運動の毎日の角速度は、近日点(1月1日付近)においては61′21″遠日点(7月1日付近)においては57′12″、3月3日及び10月2日には59′12″である。又、Cを力学的平均太陽が近日点を出発して1日を経過した位置とすれば、1日の運行角速度は59′8″33であるから近日点から遠日点に至る間は、この平均太陽は太陽に先だって子午線に正中するから、平正午は視正午より早く、遠日点から近日点に至る間は太陽は、力学的平均太陽に先だって正中するから視正午は平正午より早い。この楕円均時差は最大値7分に達する。

以上のべたように均時差は、傾斜均時差及び楕円均時差の代数和で、これを図示すれば上図のようになる。

(7) $\boxed{\text{太陽年}}$ Solar year

太陽が春分点を出発して再び同点に復帰するまでの間隙を視太陽年(apparent solar year)という。そして視太陽年は、太陽の視運

動が不斉一であること及び春分点の移動が整一でないことによって、一定の間隙でない。太陽の黄経を長期間観測した結果によると、視太陽年の平均の長さは365.242216 日すなわち365日5時48分49秒となっている。これを平均太陽年（Mean solar year）（或いは回帰年 Tropical year）という。

(9) 暦　年 Calender year

一平均太陽年は365.2422日で端数がついているので、日常の用には、はなはだ不便であるので、一年365日と定め、これを平年（Ordinary year）とした。従って平年は一平均太陽年より0.2422 日すなわち約$\frac{1}{4}$日だけ少ないので、4年目では1日となり、実際の目付より1日進むことになる。故に4年毎に1年を366日と定め、これを閏年（leap year）という。

その後、平均太陽年の端数0.242 日を0.25とした結果、毎年0.25－0.2422＝0.0078 の差が生じ、130年で1日となり、実際の日付より1日おくれることになるので400年に 97回の閏日を設け、1年の平均の長さを $365\frac{97}{400}=365.2425$日とした。これによれば4000年に1日おくれることになるが、その期に至って補正することにしたのである。これを太陽新暦（Gregorean Calender）という。

3. 恒星による時

(1) 恒星日　Sidereal day

春分点が測者の子午線に正中してから次に再び正中するまでの時間を恒星日といい、通常恒星時正午の0ｈから次の恒星時正午の24ｈに至る時間をもって測る。

(2) 恒星時　Sidereal Time 略記 Sid.T.

春分点が測者の子午線に正中した後、その経過した時角をその地の恒星時という。すなわち春分点が測者の子午線に正中した時が恒星時0ｈであって時角 15° に達した時が恒星時の1ｈである。

グリニッチの恒星時をグリニッチ恒星時（Greenwich Sidereal time 略記 G.Sid.T.）、

本地の恒星時を地方恒星時（Local Sidereal time 略記 L.Sid.T.）という。

(3) 恒星年　Sidereal year

太陽が某恒星と赤経が同じになってから、再び該恒星の赤経と等しく

某星の正中時の赤経（R.A）＝ Sid. T.

なるまでの間隙を恒星年という。換言すれば太陽が全く360°の全周を一回転する間隙である。

春分点は一回帰年に黄道上を東から西へ一般歳差だけ移動するから、太陽が春分点に合して再び春分点に合致するまでの間隙、すなわち一回帰年には黄道上 360° の全周を一周せず、約50.″22少なく運行することとなる。従って恒星年は平均太陽年に比較して、平均太陽が歳差分だけ運行するに要する時間、平均 $20^m 23^s$ だけ長い。すなわち

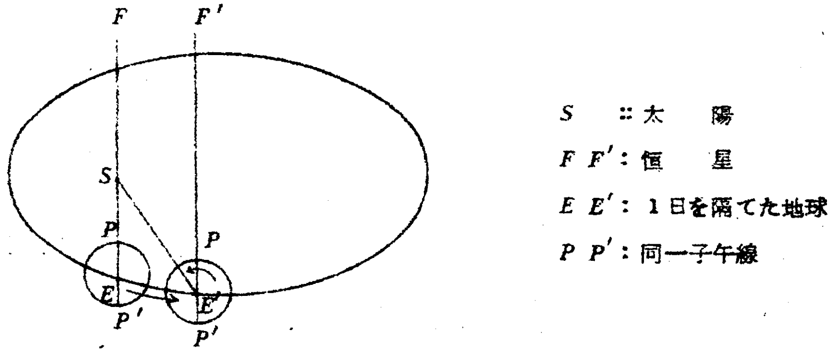
$$1\text{恒星年} = 365^d 5^h 48^m + 20^m 23^s = 365^d 6^h 9^m 12^s \ (\text{平時})$$

(4) 恒星日と平陽日との関係

某恒星が同一子午線に2回続いて正中する間隙、すなわち1恒星日は、地球が1自転をなすに要する間隙に等しい。一方、平陽日について考えれば、地球が公転しているので第3－1－4図に示すように、1日平均約59′08″（360°÷365.2422日）ずつ東方へ運行するから、太陽が再び同一子午線に正中するにはそれだけ多く回転することが必要である。

この余分の回転が積り積って、平均太陽が春分点から次に再び春分点に来るまでの間には、平均太陽の正中回数は春分点の正中回数よりも丁度1回だけ少ないことになる。すなわち

$$\begin{aligned}1\text{平陽年} &= 365.2422\text{平陽日}\\ &= 366.2422\text{恒星日}\end{aligned}$$



第3－1－4図

これより

$$\frac{1\text{平陽日}}{1\text{恒星日}} = \frac{366.2422}{365.2422} = 1 + \frac{1}{365.2422}$$

$$\frac{1\text{恒星日}}{1\text{平陽日}} = \frac{365.2422}{366.2422} = 1 - \frac{1}{366.2422}$$

従って、平陽日と恒星日の長さを相互の時間で求めれば、

1平陽日 $= 24^h 0.3^m 56.^s 55$ （恒星時）

1恒星日 $= 23^h 56^m 04.^s 09$ （平時）

すなわち平陽日は恒星日より恒星時の $3^m 56.^s 55$ だけ長く、この差を恒星時の平時に対する速差といい、また平陽日は恒星日より平時の $3^m 55.^s 90$ だけ長く、これを平時の恒星時に対する遅差という。

4. 月による時

月が某地の子午線に2回引続き正中する間隙を1大陰日という。月の運行は不規則であるので1大陰日の長さは一定せず、その平均値は平時の $1^d 0^h 50^m 28.^s 2$ である。この約50分は月の正中時が毎日遅れる平均値すなわち平均遅差を示す。

月がその地の子午線に極上正中した後、その経過した時角を太陰時といい、極上正中時の 0^h より次の極上正中の 24^h まで算する。しかし、月の運行は不規則であるためこれを示す時計は作ることができず、太陰時は一般に使用されない。

第2節　時間、弧度及び経度

1. 時と弧度との関係

平均太陽は正午より翌日の正午まで24時間に地球を一周する。一周は360°であるから次の関係が成立つ。

$$360° = 24^h$$

$$15^\circ = 1^h$$
$$1^\circ = 4^m$$
$$15' = 1^m$$
$$1' = 4^s$$
$$15'' = 1^s$$

一般に上記の関係から時角や赤経も時間で表わす。時間を弧度に改め、また弧度を時間に改めるには天測計算表第１表を用いる。

2. 時と経度との関係

(1) 地方時　Local time

時は本地の子午線を基準とした基準天体の時角である。従って子午線が異れば時も異る。このように時は子午線に固有なものであって、この時をその子午線の地方時という。２つの地の地方時の差は経度差を時間で表わしたものに等しい。

グリニッチにおける地方時をグリニッチ時という。

第３－２－１図において、Sを基準天体、$\angle GNS$をその基準天体のグリニッチにおける時角、$\angle ONS$を地方時角とすれば、OGにおける時角の差、すなわち地方時とグリニッチ時の差は経度に等しい。これは時の種類のいかんにかかわらず成立する。経度を時間で表わしたものを経度時（Longitude in time 略記L．in T．）という。よって、

地方時＝グリニッチ時±L．in T．

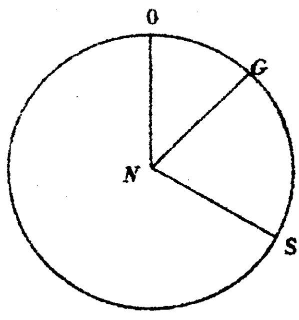
ただし、L．は東経の場合は＋、西経の場合は－となる。
特にグリニッチにおける平時を世界時（Universal time 略記 U．）という。

この場合は

L．M．T．＝U±L．in T．

ア　地方時算則

(ｱ) 本地の時と経度からグリニッチ時を求めるには、経度が東経であれば経度時を本地の時から減じ、西経の



第３－２－１図

ときにはこれに加えれば、グリニッチ時を求められる。

(イ) グリニッチ時と経度から本地の時を求めるには、本地が東経であればグリニッチ時に経度時を加え、西経なれば引く。

(ウ) 本地とグリニッチの時とで経度を求めるには、その差をとり、これを弧度に改める。本地の時が大きいときは東経、グリニッチ時が大きいときは西経である。

(2) 標準時 Standard time 略記 S.T.

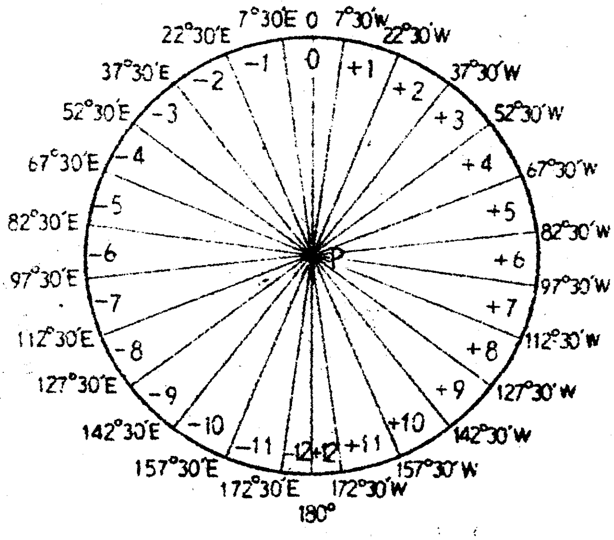
経度が異なればそれぞれ平時が異るため不便となるので、一国一地方等適当な区域に限り特定の子午線を基準にする時を用いている。このように定めた時をその地方の標準時(Local Standard time 略記 L.S.T.)という。標準子午線としては、通常世界時との差が時間単位になるように、本初子午線と 15° の整数倍の差を有する子午線を基としている。

わが国においては 135° *E* の子午線における平時を標準時と定め、これを日本時(Japanese Standard time 略記 J.S.T.)と呼ぶ。

(3) 時刻帯 Time Zones

艦船が航海中各自の子午線に対する平時を用いるときは、非常な不便を生じる。これを除くためには公海における標準時のようなものを使用しなければならない。このため第3—2—2図のように地球表面を子午線 15° すなわち1時間宛の25区画に分割し、これを時刻帯といい、またその時刻帯の示す標準時を経帯時(Zone time)という。

公海上にある艦船はその時刻帯の時を



第3—2—2図

使用するように定められてあり、艦船で使用する時を船舶使用時（Ships time 又は Zone time）という。個々の時刻帯は－12、－11、－10、……－2、－1、0、＋1、＋2、……＋10、＋11、＋12 と符号をつけ、これを時刻帯名という。これらの時刻帯名は、その数の示す時数を記号に従って船舶使用時に加減するときは直ちにこれに相当する世界時を得られる。

したがって、東に進めば実際に経過した時間以上に時刻を進めなければならないし、西に進めば逆となる。

(4) 日付変更線

時は子午線によって異るので艦船が東航すれば、実際に経過した時間より時刻を進め、西航するときは遅らさなければならない。例えば、世界時3日 12^h のときを考えると long.90° W では3日 6^h となり、long.180° W では3日 0^h となる。又 long. 90° E では3日 18^h であり、long. 180° E では3日 24^h すなわち4日 0^h となる。この現象を考察すれば、同一時刻でも180°の子午線ではその東側（西経）は西側（東経）より1日遅れている。よってこの子午線を西経側から東経側に越えるときは日付を1日とばす代りに、東経側から西経側に越えるときは翌日再び同日の日付とする必要がある。このような子午線を日付変更線といい、180° の子午線をもって定めてあるが、一部島のある所は避けて設定されている。

艦船が日付変更線を通過する場合は、その夜の正子に至って日付を変更するのが通例である。

第3節 経線儀及び甲板時計

1. 経線儀及び甲板時計の誤差

(1) 原　差 Original error 略記O.E.

経線儀（Chronometer 略記 Chro.）が任意時において示している時刻とグリニッチ平時（世界時）との差を、その時における経線儀の原差という。原差はグリニッチ平時より遅れるよう定めるのを例とする。この場合、世界時を得るためには、常に経線儀示時に原差を加えればよい。

O.E.＝U－Chro.

(2) 日　差　Daily rate　略記D.R.

原差は絶えず変化するもので、その日々の変化量を日差という。経線儀が少しづつ進み原差が少なくなるものを日差が進む（gaining）といい、少しづつ遅れて原差が多くなるのを日差が遅れる（losing）という。良好な経線儀にあっては、日差はある期間内、一定の値と見なしてよい。

(3) 積　差　Accumulated rate

日差に原差を測定又は算定した時から経過した日数を乗じたものを積差という。

(4) 違　差　Chronometer error

原差に積差を加えたものを違差という。

(5) 比較差　Comparison 略記Comp.

甲板時計（Deck Watch　略記D.W.）と経線儀との示時の差を比較差といい、甲板時計に加えて経線儀の示時を得るのを例とする。

$$\text{Comp.} = \text{Chro.} - \text{D.W.}$$

比較差は一般に観測の前後に求め、もし差があれば比例をもって観測時の比較差を算出して観測時の甲板時計の示時に加えて経線儀の示時とする。

(6) 時辰儀による世界時の求め方

ア　地方平時と経度時とによりグリニッチ日時を略算する。

イ　甲板時計の示時に比較差を加え、経線儀指時を求める。

ウ　経線儀示時に原差を加え、近似世界時とする。ただし、最初略算したグリニッチ日時と１２時間の差があるときは、これを加減して一致させる。

エ　近似世界時の時分と日差とから積差を求め、これを近似世界時に加減して世界時とする。

$$\text{U} = \text{D.W.} + \text{Comp.} + \text{O.E.}$$

2. 経線儀日誌

経線儀日誌は経線儀の経歴及び歩軌の状況を記入し、常に原差、日差を明らかにするものである。比較は毎日定時に行ない、記載の要領は次によるものとする。

第１欄　比較の日付、室内気圧、前日の比較時より本日比較時までの最

高最低気温。

第２欄　経線儀の比較、「差」欄には前日における比較との差。

第３欄 }
第４欄 } 経線儀と甲板時計との比較、「差」欄には前日における比較との差。

第５欄　原差、日差（または平均日差）と原差測定の大略。

第６欄　海上模様、艦船動揺等経線儀に影響を与えるような状況の概略

（参考）

現在艦船においては経線儀は１個備え付けてあるだけであるが、３個備え付けておけばその内２個とも故障しない限り、あるいは１個が変調のときは前日との比較差によって、いずれの経線儀が故障を起こしたか判定できる。

経線儀日誌記註例

艦長		航海長	

月日 / 気圧	最高気温 / 最低気温	経線儀 U−Chro.	差	甲板時計A Chro.−D.W.	差	甲板時計B Chro.−D.W.	差	原差及び日差	記事
11月20日		2−00−00.0		1−29−00.0		1−30−00.0		1100 JMC	晴
1015.0	21.0	1−27−10.5	+0.5	1−21−29.5	−5.5	2−15−48.5	+3.0	O.E. 0−32−49.5	静穏
	15.5	0−32−49.5		0−07−30.5		11−14−11.5		D.R. +0.5	
11月21日		2−00−00.0		1−29−00.0		1−32−00.0		O.E. 0−32−50.0	曇
1013.0	21.5	1−27−10.0	+0.5	1−21−34.5	−5.0	2−17−44.0	+4.5	D.R. +0.5	訓練射撃
	15.5	0−32−50.0		0−07−25.5		11−14−16.0			
11月22日		1−58−00.0		1−27−00.0		1−30−00.0		O.E. 〃	曇
1011.2	23.0	1−25−10.0	±0	1−19−40.0	−5.5	2−15−40.5	+3.5	D.R. ±0	動揺15°
	17.0	0−32−50.0		0−07−20.0		11−14−19.5			
月　日									

第4章　天文航法の概念

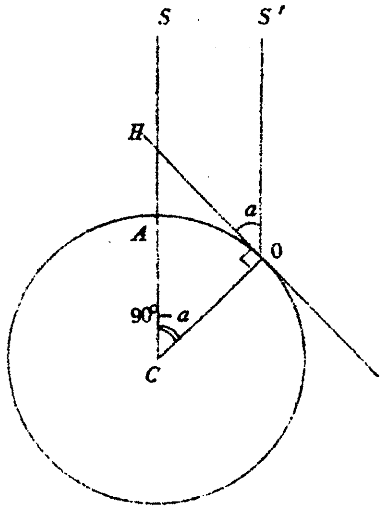
1. 天文航法の原理

第4－0－1図において、0を地表面における観測者の位置、OHを0を通る水平面、$\angle S'OH$を天体Sを観測した高度a、CSを地球中心Cから見た天体Sの方向とすれば、天体Sまでの距離は地球の半径に比べてきわめて大きいので、CSとCS'とは平行とみなしうるから、

$$\angle CHO = a$$

ΔCHOは直角三角形であるから

$$\angle HCO = 90^\circ - a \qquad (1)$$



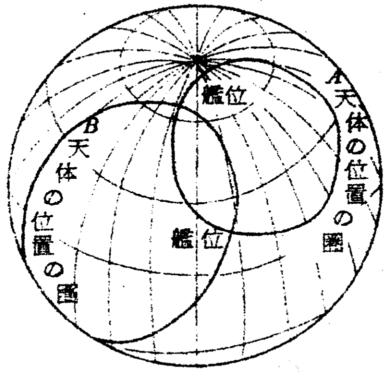
第4－0－1図

CSと地表面との交点をAとすれば、それは天体を頭の真上に見る点であって、これを天体の地上位置、略して天体の地位（Geographical Position）という。Aの位置は天体Sについて唯一つに定まるものであって、後に述べるように天測暦から容易に算出できる。

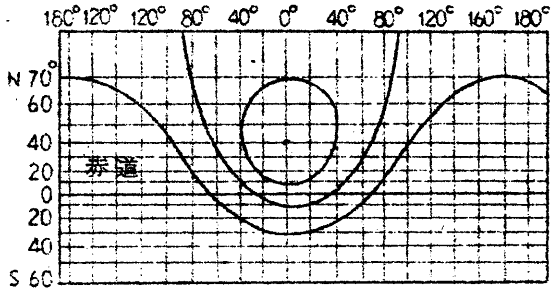
(1) 式は定点Aと観測者の位置0点が地心に対してなす角は高度の余角に等しいことを示す。地心角 1′に対する地表距離は1マイルであるから式(1)は距離OAが（$90^\circ - a$）マイルに等しいことを示す。従って、天体の高度aを観測することにより、自己の位置は天体の地位Aから一定距離（$90^\circ - a$）のところに、すなわちAを中心とし、（$90^\circ - a$）マイルを半径とする円周上にあることがわかる。

2. 位置の圏

天体の地位を中心とし半径（$90^\circ - a$）で描いた円は、艦がこの円周上にあることを示すもので、これを位置の圏という。



第４－０－２図



第４－０－３図

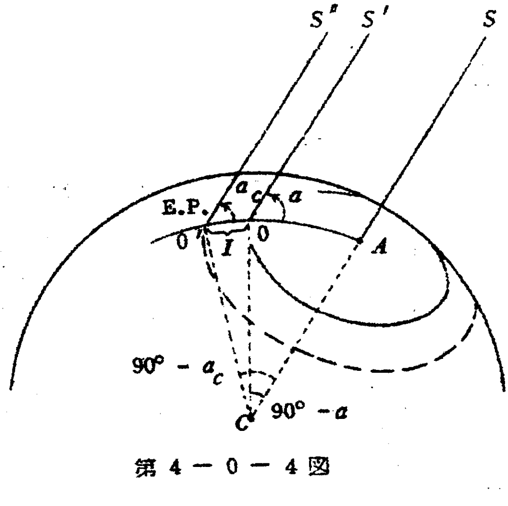
艦位を決定するには２つの位置の圏の交点を求めればよいわけであるが、精度をよくするために３～４の位置の圏を使用することが望ましい。位置の圏の交点は一般に２つあるが、これらの交点は一般に数千マイル離れているので、いずれの交点をとるべきかについて迷うようなことはない。

位置の圏の形は、地球の上では円であるが、漸長図の上ではかなり複雑な形となる。（第４－０－３図）

3. 位置の線

位置の圏を自己の推定位置の付近だけ描き、これを直線で代行させたものを位置の線という。

いま、第４－０－４図において、天測時の天体の地位を A、実際に観測した高度を a とし、その時の推定位置を O'、推定位置に基づいて後述の計算によって得られた高度を a_c'（計算高度 Calculated Altitude）とすれば、A を中心として半径 $90°-a$ 及び $90°-a_c$ の等高度の圏を考えることができる。$90°-a$ の等高度の圏は実際の艦位の軌跡であるから位置の圏である。この２



第４－０－４図

つの等高度の圏の半径の差を I であらわせば、

$$I = (90^\circ - a_c) - (90^\circ - a)$$

$$= a - a_c$$

この I の値を$\boxed{\text{修正差}}$（Intercept）という。

艦位は推定位置に近く、かつ長大な位置の圏の一部にあるのであるから この必要な位置の圏の一部分を直線とみなすことができる。このような直線がすなわち天測位置の線である。

すなわち位置の線は、推定位置 O' から見た天体の地位の方向を指す方位線に対し、O' からその方位線上に I マイルとった点（すなわち修正点 O）において直角に交わる直線にほかならない。

そしてその位置の線は推定位置に対して

$a > a_c$　なれば　$+I$ となり

推定位置より天体方向

$a < a_c$　なれば　$-I$ となり

推定位置より天体の反対方向に存在する。

このようにして位置の線を求める方法を修正差法という。

4. 天測の計算

天文三角形 PXZ において

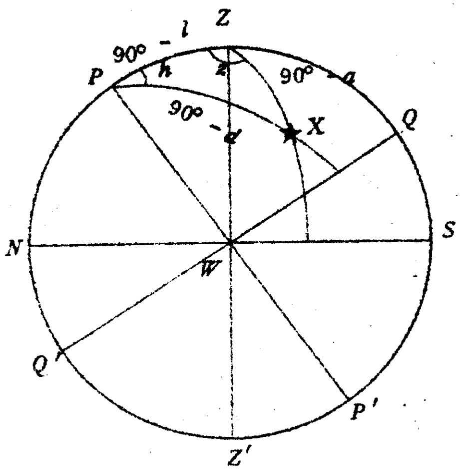
$$\sin a = \sin d \ \sin l + \cos d \ \cos l \ \cos h$$

$$\sin Z = \sin h \ \cos d \ \sec a$$

$$\cos Z \cos a = \sin d \ \cos l - \cos d \ \sin l \cos h$$

これは天測計算において最も基礎となる公式である。

修正差法ではこれらの式から a_c、Z を求めればよいのであって、その計算には l、L は推定位置のものを用い、h、d は天測暦から算出する。



第4－0－5図

第５章　天文航法諸元算法

第１節　天測暦

1.　天測暦

天測暦には航海者が海上で天体を観測して船舶の所在位置を求めたり、また陸上において太陽あるいは恒星を観測して経線儀を比較するなどのために必要な諸天体の観測上の要目を記載してある。

天測暦記載の数値は、六分儀による観測値と比較して同等以上の精度を有し、太陽、恒星、惑星、月の表に分けて、１年を通じて世界時 0^h のときの値、もしくは世界時毎３０^m 又は毎 2^h の値を記載してある。ただし、中間所要時の値は付記してある比例部分表（略記Ｐ．Ｐ．）により、または普通の補間法によって求めることができる。

その他日出没時表等天体の現象に関する航海に必要な諸表が記載されている。

天測暦においては諸天体の位置、すなわち赤緯（d）、赤経（Ｒ．Ａ．）を示す場合に、赤緯はそのままの値が記載されているが、赤経の代りに、平時から天体時角の算出を簡便にするために、E及びRで示す特殊の値を採用している。すなわち、

$$
\boxed{
\begin{aligned}
E_{\odot} &= -12^h + \overbrace{\text{Eq. of T.}}^{\text{A.T-M.T}} + (24^h) \\
E_{☾} &= R - R.A.☾ + (24^h) \\
E_P &= R - R.A.P + (24^h) \\
E_{*} &= R - R.A.* + (24^h) \\
R &= -12^h + R.A.M.S. + (24^h)
\end{aligned}
}
$$

( )内の ２４^h はE又はRを常に正号として $0^h \sim 24^h$ の値にしておくため、場合に応じて加える数である。

2.　赤緯の求め方

(1)　太陽の赤緯を求める法

太陽の赤緯は天測暦太陽の表に世界時の毎偶数時の値を記載してある。NあるいはSは北赤緯であるか南赤緯であるかを示す。

算　則

ア　世界時を求める。

イ　天測暦からこれに近い偶数時に対する赤緯を求める。

ウ　比例部分表により改正数を求め、これに加減する。

改正数が赤緯の数値より大で減ずることができない場合は、南北記号の変化するときで、この場合には改正数からその赤緯を減じ反対の記号をつける。

(2)　月及び惑星、恒星の赤緯を求める法

太陽の赤緯を求める法に準ずる。

恒星の場合は1日の変化量がほとんどないので表値をそのまま採用する。

3.　均時差及び視時、平時

(1)　均時差の求め方

均時差は天測暦太陽の表から所要世界時の $E_{\odot}$ を求め、次の式から求める。

$$\text{Eq. of T.} = E_{\odot} - 12^h$$

(2)　視時及び平時の求め方

平均太陽が真の太陽に遅れて正中する場合、均時差を平時に加えれば視時を得、また真の太陽が平均太陽より遅れて正中する場合は、均時差を平時から減ずれば視時を求めることができる。

算　則

ア　世界時を求める。

イ　世界時に相当する均時差を求める。

ウ　均時差を天測暦からの計算の示す正負の符号にしたがって、平時に加えれば視時を得る。

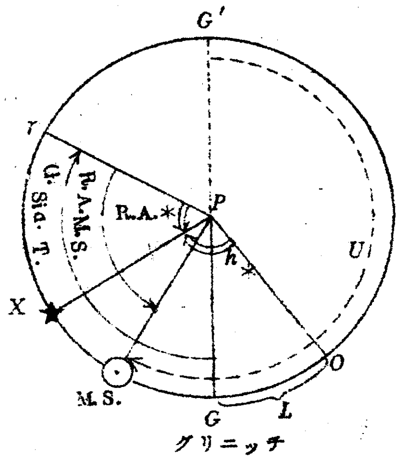
視時から減ずれば平時が求められる。

第2節　天体の時角

1.　赤経の求め方

天文航法の算法においては直接必要はないが、惑星や月の位置を星図に記入したり、逆に索星を行なうときに赤経が必要となってくる。

その求め方は、まず世界時を算出し、R及びEを求めて、下式によって計算する。ただし、天測暦左方下欄記載の R_0 は世界時 0^h のR値を示し、これの比例部分としては付属のしおり又は表紙見返しに記載されている E_* の比例部分を用いる。



第5－2－1図

$$R.A.M.S = R + 12^h$$
$$R.A.\odot = R - E_\odot$$
$$R.A.☾ = R - E_☾$$
$$R.A.^P = R - E_P$$
$$R.A.* = R - E_*$$

2. 恒星時の求め方

恒星時と時角及び赤経の定義から

$$h = Sid.T. - R.A.$$

よって

$$G.Sid.T. = h_G M.S. + R.A.M.S.$$
$$= U - 12^h + R.A.M.S.$$

しかるに

$$R = R.A.M.S - 12^h + (24^h)$$

ゆえに

$$G.Sid.T. = U + R$$

また

$$L.Sid.T. = G.Sid.T. \pm L. \text{ in } T.$$

3. 時角の求め方

(1) 太陽の時角

太陽の時角は、真太陽が本地の子午線に極上正中後の時角であって、視時及び平時とは次の関係がある。

真太陽のグリニッチにおける時角は

$$h_G = G.A.T. - 12^h$$
$$= G.M.T. + Eq.\ of\ T. - 12^h$$
$$= U + E_{\odot}$$

地方時角は

$$h = h_G \pm L.\ in\ T.$$
$$= U + E_{\odot} \pm L.\ in\ T.$$

（LがEなれば＋　、　Wなれば－）

(2) 星及び月の時角

天体一般について考えてみると、本初子午線について、第5－2－1図より

$$h_G = G.Sid.T. - R.A.$$

また一方、

$$G.Sid.T. = h_G\ M.S. + R.A.M.S. = U - 12^h + R.A.M.S.$$

これを前式に代入すれば、

$$h_G = U - 12^h + R.A.M.S. - R.A.$$

しかるに

$$R.A.M.S. - 12^h - R.A. = E$$

ゆえに

$$h_G = U + E$$

各天体についていえば

$$h_G \odot = U + E_\odot$$
$$h_G ☾ = U + E_☾$$
$$h_G P = U + E_P$$
$$h_{G*} = U + E_*$$

したがって地方時角は、

$$h = h_G \pm L \text{ in T.}$$
$$= U + E \pm L \text{ in T.}$$

（LがEなれば＋、　Wなれば－）

$E_\odot$　$E_☾$　E_P　E_*　の値は天測暦に掲載されており、正の値となるように必要に応じて 24^h を加えてある。

算　則

ア　世界時に対する、それぞれの天体のEを求める。

イ　世界時に、太陽の場合は $E_\odot$ 、恒星は E_* 、月は $E_☾$ 、惑星は E_P を加え、グリニッチ時角を求める。

ウ　グリニッチ時角に経度時を東経ならば加え、西経ならば引いて所要の時角を求める。

第3節　天体の正中時

本地の天の子午線と天体の子午線とが相合するときを、その天体が正中するという。極より頂点の側において正中するのを、極上正中（Upper Meridian Passage）、跪点の側に正中するのを極下正中（Lower Meridian Passage）という。

1.　太陽の子午線正中時を求める法

(1)　太陽子午線正中時はその地の視時の 12^h である。これに経度時を加減してグリニッチ視時を求める。

(2)　求めたグリニッチ視時を世界時と見なして、天測暦から均時差を求め、

グリニッチ視時から減じてグリニッチ平時（世界時）を求める。

(3) これに所在地の経帯時を加減して、太陽子午線正中時を標準時（使用時）で求める。

L.A.T.	$12^h00^m00^s$	
L in T.		E(-) W(+)
G.A.T.		
Eq. of T.		Eq. of T. +(-) -(+)
U		
使用時		E(+) W(-)
L.S.T.		

簡便法として、次の表が天測計算簿に記載されており、天測暦の数値をそのまま記入することができるので計算は簡単であるが、G.A.T.が実際より 12^h 大きくなっているので、Eの値に 6^s 程度の誤差を生ずるけれども、実用上はさしつかえない場合が多い。

2. 恒星、惑星、月の正中時を求める法

天体一般の正中時について考えてみると、時角の算式 $h = U + E \pm L$ inT. において正中時には天体の時角は 0^h 又は 24^h であるから

$$24^h = U \pm L \text{ inT.} + E$$

$$= \text{L.M.T.} + E$$

故に天体の正中時のL.M.T.はL.M.T. $= 24^h - E$ という一般公式で表わされる。従ってこのL.M.T.に船舶使用時又は標準時の標準子午線と本地との変経に相当する経度時（D.Long. in T.)を加減すれば天体の子午線正中時（使用時）が求められる。

子午線正中時		
h	h m S 24 00 00.0	
L in T.		E - W +
h_G		
$E_☽$		-
(T) U		
使用時		+ -
L.S.T.		

すなわち

太陽の正中時 $= 24^h - E_{\odot}$ ± D. Long. in T.
恒星の正中時 $= 24^h - E_{*}$ ± D. Long. in T.
惑星の正中時 $= 24^h - E_{P}$ ± D. Long. in T.
月の正中時 $= 24^h - E_{☾}$ ± D. Long. in T.

しかしながらこれらEの値は正しい世界時が得られないので、直ちに正中時を求めることはできない。従って近似計算の繰返しを行なって求める。その方法は次のとおりである。

(1) 天測暦から当日$U = 0^h$のEを求め、これを 24^h から引いて当日の正中時（L.M.T）の概略の値とする。

(2) 1項で求めた概略の正中時を世界時に直し、この世界時に対するEの値を求める。

(3) 2項で求めたEの値を 24^h から引き、所要の正中時（L.M.T.）とし、これに標準子午線と本地との変経に相当する経度時（D.Long. in T.）を加減し、正中時（使用時）とする。

以上の繰返し近似計算は繰返し数を増せば増すほど、正確になるが、一般には上記の回数で止める。

h	2400	
E（$U = 0^h$の）		(-
(approx)		
$(\mathrm{L.M.T.})_1$		
Long. in T.		(±
U		
h	2400	
E（Uに対する）		(-
L.M.T.		
D.Long.in T.		(±
L.S.T.		

3. 極下子午線正中

周極星は終日地平圏下に没しないから、その極下子午線高度を測ることができる。

某恒星が極上正中してから、恒星時の 12^h を経過すればその恒星は極下子午線正中をし、更に恒星時の 12^h を経過すれば再び極上正中をする。

故に恒星の極下正中時を求めるには、その恒星の極上正中時を求め、これに恒星時の 12^h を平時に改算した $11^h58^m02^s$ を日付が所要の日となるように加減すればよい。

第4節　方位角の変化

天体の方位角は時角或いは高度の変化に従って変化するが、その変化の状況は測者の緯度と天体の赤緯との関係できまり、次のとおりである。

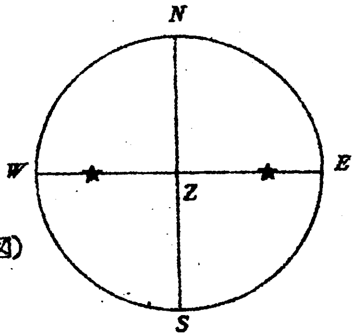
1. 測者の緯度、天体の赤緯とも 0° の場合、天体は常に東西圏上にあり、方位角は正東または正西である。（第5－4－1図）

2. 測者の緯度、天体の赤緯同名で赤緯の方が小さい場合、
天体は子午線正中の前後において東西圏を通過し、方位角は各象限にわたる。（第5－4－2図）

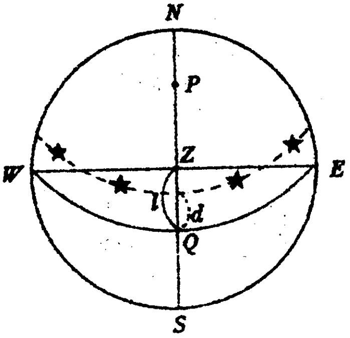
3. 緯度、赤緯同名で等しい場合、
天体は子午線正中時に頂点を通過して、方位角は緯度と同名の2象限に限られる。（第5－4－3図）

4. 測者の緯度、天体の赤緯同名で赤緯の方が大きい場合、
天体は東西圏に達することなく、方位角は緯度と同名の2象限に限られ、子午線の両側において最大方位角の個所がある。(第5-4-4図)

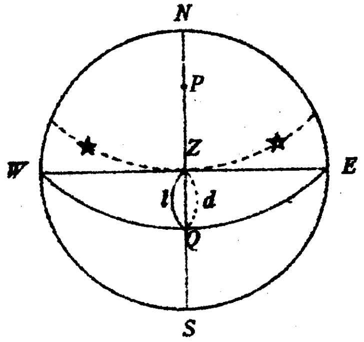
5. 測者の緯度、天体の赤緯が異名の場合、
天体の方位角は緯度と異なる2象限に限ら



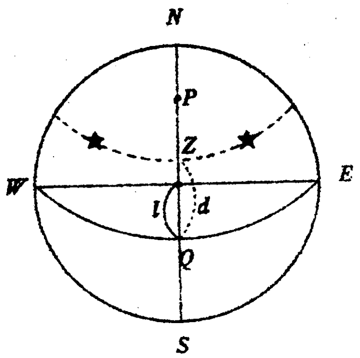
第5－4－1図



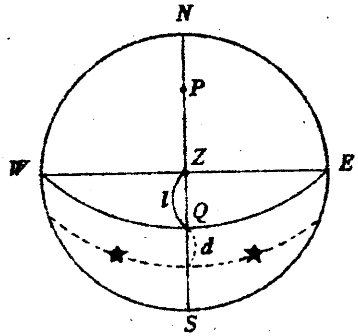
第５－４－２図



第５－４－３図



第５－４－４図



第５－４－５図

れ、天体が真地平にあるとき最大である。（第５－４－５図）

天測計算表、第７表は赤緯 0° から 62° の天体が東西圏上にあるときの高度を示したもので、緯度赤緯及び方位角の関係を知るのに便利であり、任意の時の天体の高度が、同表で求めた東西圏上の高度よりも大きいときは、天体は緯度と異名の２象限内にある。

第５節　高度改正法

1.　測高度改正諸元

天測暦等に記載の天体の位置は地球中心から見た位置であり、従ってこれを用いて天測計算表その他で算出した天体の高度は地球中心で見るべき天体高度である。しかし、われわれは地球表面におり、さらにその外側に空気があって天体からの光が屈折するので、われわれの観測した高度はそ

のままでは計算高度と一致しない。それで、観測高度と計算高度を比較するためには、前者に適当な改正を施さなければならない。これを測高度改正という。改正諸元は次のとおりである。

(1) 器　差　Index error　略記 I.E.

六分儀の角度目盛の零点位置の誤差であって、六分儀で測った角度にこれを加減しなければならない。天測を行なう前に一応必ず確認する必要がある。

(2) 眼高差　Dip of the sea horizon　略記 Dip

測者の眼の高さがあるために生ずる視水平線と真水平線との間の角度であって、眼の高さが増すとともに増大するのでこの名がある。観測した高度は真高度(a)より眼高差(D)だけ大きいので、この改正は常に減ずるべきである。

眼高差は幾何的眼高差（D_G）と物理的眼高差（D_P）との2つに分け、

$$D = D_G - D_P$$

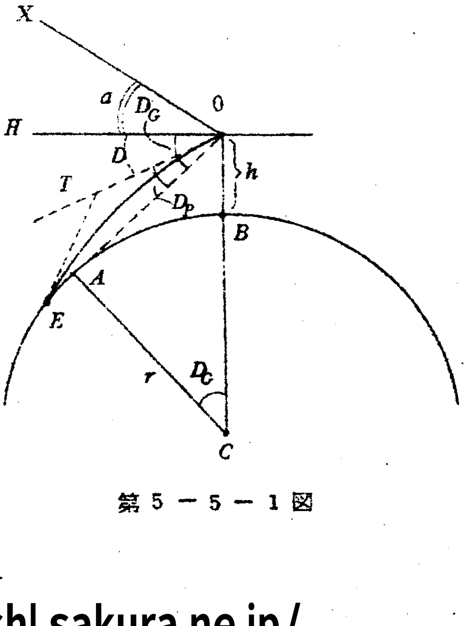
として考えるのが便利である。

幾何的眼高差は大気が無いと仮定した場合の眼高差であり、水平面から測った測者の高さによって完全に定まる。物理的眼高差（地上気差）は光が地上の大気中を通る際に屈曲され、水平線が浮き上って見えるために生ずるもので、水平線付近の大気の状況に左右され、日々の変化がはなはだしい。

幾何的眼高差を求めるには、ΔOCA においてCにおける角は D_G に等しいから

$$\tan D_G = \frac{OA}{AC} = \frac{\sqrt{(r+h)^2 - r^2}}{r}$$

$$= \sqrt{\frac{2h}{r} + \frac{h^2}{r^2}}$$



第5－5－1図

平方号の中の第２項を省略し、D_G は通常極めて小さいからtan $D_G = D_G$ tan 1″とすれば

$$D_G = \cot 1'' \sqrt{\frac{2}{r}} \sqrt{h}$$

h を m で測り、r にベッセルの平均半径６３６６.７３８km を用うれば、

$$D_G = 1.'927 \sqrt{h}$$

物理的眼高差の算定ははるかに困難であるが、ベッセルは気温１０℃気圧７６０mmにおいて、D_G の０.０７８４ 倍に等しいと定めた。

その値を用うれば

$$D = (1 - 0.0784) D_G = 1.776' \sqrt{h}$$

なおその他に眼高差は、水温と気温とが異る場合に変化する。しかしこれに関する精密資料も豊富でなく、現在では

眼高差変化量＝C×（水温－気温）

によって算出している。

C の値はいろいろ研究されたが、わが国では天測計算表に０.′２０ として計算されている。

(3) 気　差 Refraction 略記 Ref.

天体からの光線が地球に到達すると、地球表面の空気の層を通過する際、屈折して地球に達する。従ってわれわれが見る天体の位置は常に実際の位置より浮上って見える。この浮上る角度を気差（天文気差）という。

観測者は気差のため常に実際の高度より大きく観測するので、この改正は常に減じなければならない。

気差は天体が視地平にあるとき最大で、高度が高くなると次第にその量を減じ、頂点で０となる。天体が地平線上にあるときの最大値を地平気差といい、大体 ３４′余である。

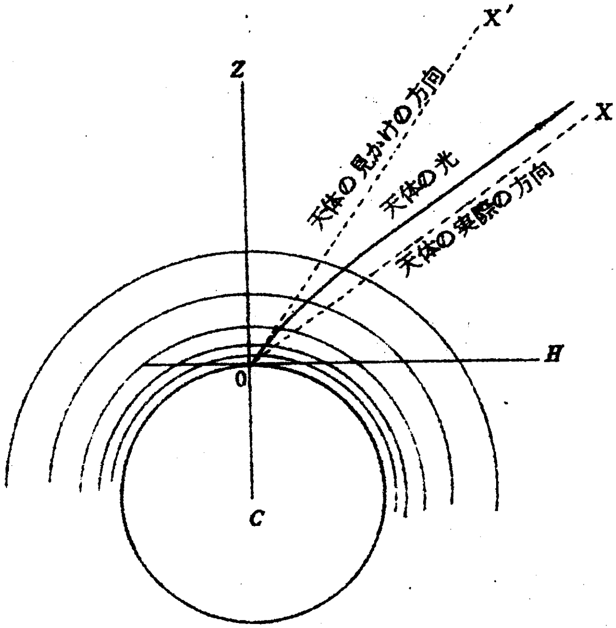
気差は、同一高度であっても大気密度の状況すなわち気温、気圧の状況によっても異なる。現在、一般に天文気差の実用上の計算式とされているのは、

$$\rho_m = 58.''294 \tan Z - 0.''0668 \tan^3 Z$$
（Zは視頂距）

であって、ρ_mは平均気差と呼ばれるもので、気温１０℃、気圧７６０ｍｍを大気の標準状態として、理論と実測から導き出されたものである。

上式の第２項は　$Z < 70°$　のときはその数値は微少で省略できるので、一般高度改正表には　$\rho_m = 58.''294 \tan Z$　を用いている。

しかしながら大気の状態がこの標準状態と異なる場合、天体の視高度が極めて低い場合には、気差が変化する。それで天測計算表においては天体の視高度 6° 以下は別に改正表を設け、大気の状態の変化を改正するようになっている。しかし現在では低高度の気差理論が未だ完全でなく、この改正値も正確とはいい難いが、全天曇っている中に水平線付近のみ晴れているような場合、多少信頼度は落ちるにせよ無きに優るので低高度の気差改正表が記載されているのである。



第５－５－２図

(4)　視　　差　Parallax　略記　Par.

地球中心と天体中心とを結ぶ線と、測者とその天体の中心を結ぶ線とが、その天体の中心においてなす角を天体の視差（地心視差）という。

第５－５－３図において

視　差　$p = a - a'$

ゆえに視差の改正は常に測高度に加えるべきである。

また ΔOCM において

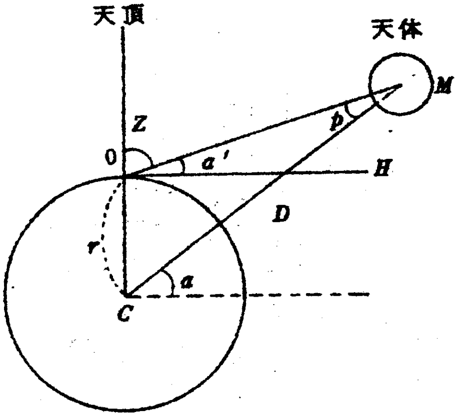
$$\sin p = \frac{r}{D}\sin Z$$

pは通常小さな値であるから$\sin p = p \sin 1'$とすれば

$$p = \operatorname{cosec} 1' \frac{r}{D}\sin Z$$

ゆえに視差は天体の地心距離が近いほど大きい。

また視差は天体が地平線上にあるとき最も大きく、高度の増加につれて減少し、頂点では0となる。この天体が地平線上にある時の視差を地平視差（Horizontal Parallax 略記H.P.）という。



第5−5−3図

地平視差を π' とすれば上式より

$$\pi' = \operatorname{cosec} 1' \frac{r}{D}$$

これを再び上式に代入し、Zの代りに視高度 $a' = 90° - Z$ を用いれば

$$p = \pi' \cos a'$$

また一方、rは赤道上において最も大きくなるから、地平視差も赤道上において最も大きくなる。これを赤道地平視差といい、天測暦に記載されているのはこの値である。赤道地平視差をπ、地球の赤道半径をr_0とすれば、

$$p = \frac{r}{r_0}\pi \cos a$$

視差は月が最も大きく最大 62′、太陽は0.15′、惑星の中では金星が最大 0.6′である。通常航行する緯度における地平視差と赤道地平視差との差異は、月で 0.1′程度であるから、天測暦記載の値をそのまま用いて実用上差支えない。

(5) 視半径 Apparent semidiameter 略記 S.D.

天体の半径が地球中心に対して張る角を視半径という。

太陽、月のように大きいものは精密にその中心高度を測ることができないので、その下辺あるいは上辺の高度を測る。したがってこれを中心高度とするためには、上辺高度に対しては視半径を減じ、下辺高度に対してはこれを加えなくてはならない。これを視半径の改正という。

厳密にいえば、地球表面の観測者の見る視半径(実視視半径)は、地球中心から見た視半径(地心視半径)と、天体までの距離が異なるから等しくない。第5−5−5図において実視視半径を S、地心視半径を S_0 とすれば

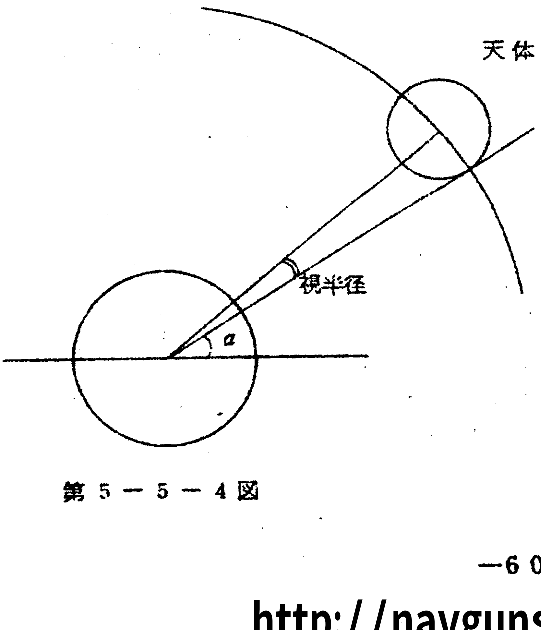
$$S = S_0 + \sin 1' \frac{r}{r'} S_0^2 \sin a'$$

すなわち、実視視半径は天体の高度が低いほど小さく、天体が居所地平上に来たとき地心視半径に等しくなる。(地平視半径ともいう。)また高度を増すにしたがって増大し、天体が天頂に来たとき最大値を示す。

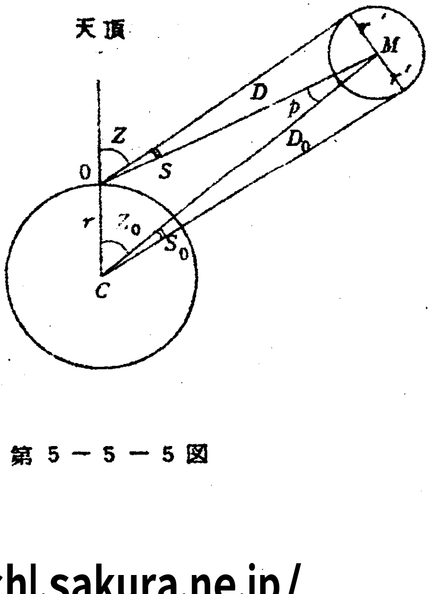
天測暦には地心視半径が記載され、太陽は毎日世界時 0^h の値が、月は6時間ごと(U、3^h、9^h、15^h、21^h)の値が記載されている。

太陽は距離が大であるため $D \fallingdotseq D_0$ と考えられ、実視視半径と地心視半径とはほとんど同じである。

月はその差がかなり認められるが、下辺又は上辺を測るための視差の誤差がその差と等しく相殺するので視差の改正と併せ行なうときは天測暦



第5−5−4図



第5−5−5図

の値をそのまま用いて差支えない。

2. 測高度改正法

地表における観測者が六分儀で観測したままの読取高度を六分儀高度という。六分儀高度に器差を改正した値を測高度といい、これは視水平線から測った天体の高度である。真の水平線からの高度を得るためには、測高度から眼高差を減じなければならない、これを視高度という。これに気差視差、視半径の改正を加えれば、地球中心から見た天体中心高度を得る、これを真高度という。

測高度＝六分儀高度±器差

視高度＝測高度－眼高差

真高度＝視高度－気差＋視差±視半径

(1) 太陽測高度の改正

ア 高度 6° 以上の場合

(ア) 器差の改正

(イ) 第１改正（第２表B）

改正数＝S．D．（視半径）－Ref．（気差）－Dip（眼高差）＋par．（視差）

(ウ) 第２改正（第２表B）

視半径に対する改正であって、第１改正には略最小値１５′４５″を用いているからこの改正を行なう。

(エ) 水温、気温差に対する改正（最下部）

眼高差の公式は水温、気温が等しい場合に適用するもので、温度差のある場合の眼高差誤差を修正する。

イ 低高度（6° 以下）の場合

(ア) 器差の改正

(イ) 第１改正（第２表A）ア(イ)項に同じ。

(ウ) 第２改正（第２表A）

気温に対する改正、気温は１０℃のときのものを第１改正に含む。

(エ) 第３改正（第２表A）

気圧に対する改正、気圧１０１３ ミリバール（７６０mm）の時のものを第１改正に含む。

(オ) 第４改正（第２表A）

視半径に対する改正　ア(ウ)項に同じ

(カ) 水温、気温差に対する改正

(2) 星の測高度改正

ア 器差の改正

イ 第1改正（第3表）

改正数＝－Ref （気差）－Dip （眼高差）

ウ 第2改正（第3表、惑星のときのみ行なう）

視差に対する改正、H.P.は天測暦から求める。

エ 低高度改正（第2表A、第2、第3改正）

オ 水温、気温差に対する改正

(3) 月の測高度改正（月の下辺を測ったときは第4表A、上辺のときは同表B）

ア 器差の改正

イ 第1改正

改正数＝S.D.（視半径）－Ref.（気差）－Dip.（眼高差）
＋par.（視差）

観測時の世界時に対するS.D.を天測暦から求め、このS.D.と測高度から改正値を求める。

ウ 第2改正

眼高に対する改正

エ 低高度改正（第2表A、第2、第3改正）

オ 水温、気温差に対する改正

3. 水ぎわ線による高度改正法

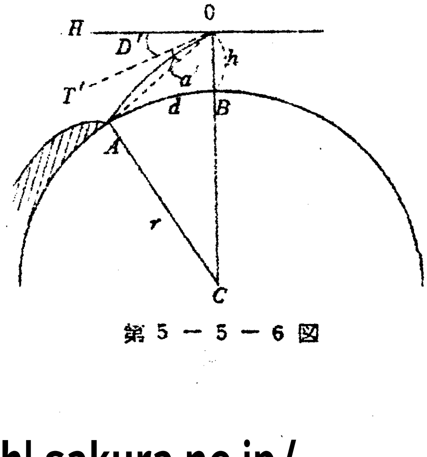
(1) 水ぎわ眼高差

天体を観測するに当り、陸地が遮るため水天の交界を見ることができないときは、陸地の水ぎわを基準として（水平線として）観測する。この場合に測高度に改正すべき眼高差を水ぎわ眼高差という。

第5－5－6図において

$$\angle AOC = 90° - (D' + a')$$

陸岸までの距離ABをdマイルとすれば、dは中心角OCAを1′



第5－5－6図

単位で表わしたものに等しいから

$$\angle OAC = 180° - d - \{90° - (D' + a')\}$$
$$= 90° + (D' + a' - d)$$

ΔAOCにおいて

$$\frac{\cos(D' + a' - d)}{\cos(D' + a')} = \frac{r + h}{r}$$

これより

$$2\sin\frac{d}{2}\sin\left(D' + a' - \frac{d}{2}\right) = \frac{h}{r}\cos(D' + a')$$

$D'\ a'\ d$ はいずれも微小な角であるから近似をとれば、

$$d\left(D' + a' - \frac{d}{2}\right) = \operatorname{cosec}^2 1' \ \frac{h}{r}$$

これに、ベッセルの値により $a = 0.0784d$ 及び地球半径の値を用いいて計算すれば D' は求められるのであるが、天測計算表では次の式によって計算されている。

$$D' = 0.'4246d + 1.'8565\ \frac{h}{d}$$

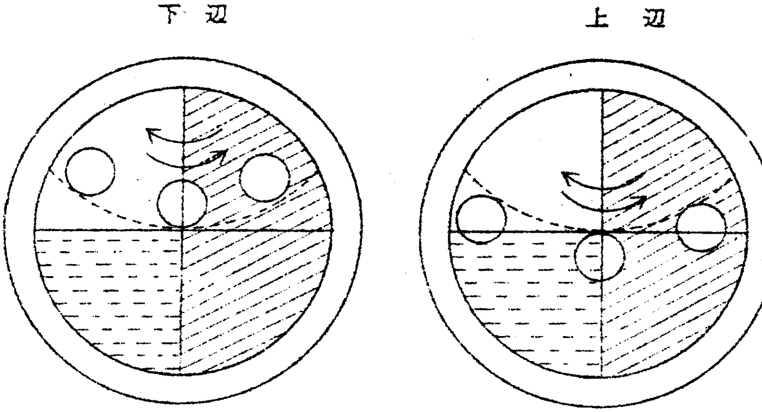
(2) 水ぎわ眼高差の高度改正

六分儀高度に器差を改正し、この値から天測計算表、第5表の水ぎわ眼高差を引いて、眼高 0^m に対する視高度を求める。

次に天測計算表、第2表、第3表、第4表から眼高 0^m に対する高度改正数をとって、これを視高度に加減すればよい。

第6節　高度観測法

高度観測の誤差はそのまゝ艦位の誤差となるものである。故に観測者は、これの正確な測得に慣熟して、高度改正数以外の誤差をできる限り少なくすべきである。殊に海上においては荒天に際し、短時間天体が見えた後、数日間も天体が見えないというようなことが多いから、観測は機敏に行なって、唯一回の高度観測でも、これを信頼できる程に熟達することが肝要である。



第５－６－１図

1. 太陽又は月の高度観測法

六分儀に望遠鏡を装着し（一般に短望遠鏡を使用するが器差測定等の場合は長望遠鏡を使用する）適当な和光硝子を入れて、右手で垂直に持ち、天体直下の水平線を水平鏡から透視し、天体の映像を水平線付近に持って来る。

次にマイクロメーターで微少の調整をしながら左右に揺り動かし、第５－６－１図のように天体の上辺又は下辺が水平線と接する瞬時の時刻を甲板時計で読む。このようにして普通３～５回連測して、その平均高度を平均時刻の高度とする。

2. 星の高度観測法

(1) 六分儀の指標杆を 0° 付近に固定して、直接星の方向に望遠鏡の視線を向け、その視野内に星の真映像を確認した後、映像が視野の外にそれないように静かに指標杆を前方に進め、星の直下の視水平が視野に入った所で固定螺を締め、星の中心が水平線に接するよう測定する。

この場合、むしろ望遠鏡を用いないで、直接肉眼を望遠鏡の位置において前述のように測定することも利用される。

星の観測法が太陽、月と異なるのは、付近の他星を誤まって測ることを避けるためである。

(2) 視水平線が比較的明るく、その割合に星の光の弱い薄明時の観測などには、指標杆を0°に合わせた六分儀を倒立させて左手に持ち、望遠鏡を星

の方向に向けてこれを視野内に捉えたのち指標杆を動かして視水平線の映像を星に一致させ固定螺を締める。その後六分儀を正常に持ち換えて精密高度を測る。

3. 海上観測上の注意事項

(1) 六分儀の取扱

ア 六分儀の諸調整は使用中に狂いを生じ易いから、取扱を丁寧にし、平生の精密調整及び器差測定を行なうは勿論、観測の都度、調整や器差の状況を確める。

イ 和光硝子を適当にし、映像と水平線の明度を調節すること。

ウ 映像及び実像の鮮明度は望遠鏡視野の明るさの調節によって異なるから望遠鏡取付部の昇降螺の調節により望遠鏡視準線が水平鏡の中央になるようにする。

エ 天体を望遠鏡の視野の中心において測る必要がある。さもないと視界の端では約 5′ 位の誤差を生ずることがある。

(2) 常に天体の正しい垂直高度を観測しなければならない。

ア 六分儀を傾けたまま測定した高度は過大誤差が生じる。

鉛直線に対して六分儀を ε° だけ傾けて高度を観測した場合の過大誤差量は、

$$\Delta a = 3437.'7 \ (\tan^2 \frac{\varepsilon}{2} \sin 2a + \cdots\cdots)$$

イ 正しい垂直高度を観測するためには、常に動揺に対して、安定した姿勢（両足を適宜に開き六分儀を支持する。肘は体からはなさないで把手をしっかり握る）で天体に正面し、観測中は儀を僅かに左右に振りながら、天体が視水平と接した瞬間を観測する。初心者の間は六分儀を振ることにのみとらわれがちであるが、天体に正面しないままではとかく傾け観測しやすい。

ウ 観測に当って絶えずマイクロメーターを動かしながら六分儀を左右に振るのはかなり困難なので、天体高度の増減に応じて指標を多い角又は少ない角に合わせておき、六分儀を左右に振ることのみに専心して水平線に触れる瞬間を待つようにするのがいい方法である。

(3) 観測する場合はなるべく眼高の高い所を選ぶこと。眼高が高ければ吃水の変化や船の動揺による眼高差の誤差も小であり、波浪があって水平線に起状があるときも遠くの水平線を見るため、水平線を一直線に見ら

れる。

しかし霧などで視界が狭いときは、低い場所がよい。これは眼高が低いため近くに水平線が来るからである。又気温と水温の差がはなはだしいときでもできる限り眼高を低くして高度 20° 以上のものを観測すること。

(4) 恒星及び惑星の観測は薄明時において水平線が明瞭な時機を選ぶこと。すなわち薄暮時には早目に、れい明時には遅めに観測できれば水平線が明瞭になる。

(5) 夜間天測の精度は水平線の明瞭度により左右される。一般に月の直下より 180° の所、すなわち反対付近が最も明瞭である。月の高度が極めて高いとき、及び朔に近い月の場合は、その直下付近が明瞭である。又月出没前後に水平線が明瞭な場合がある。夜間は水平線付近に層雲やしゅう雨がある場合、又は海潮流の跡などがある場合は水平線を間違えることがあるので注意を要する。

(6) 天体が子午線に近い場合のほかは、必ず３～５回の連測を行なって、その平均高度を用いること。但し星測の場合はこの限りではない。

(7) 高々度の天体を観測するときは、羅針儀で天体直下の水平線を確かめておくこと。

また恒星及び惑星の観測と同時に、その羅針方位を観測するのがよい。特に星名不明の場合は赤緯、赤経を求めて星名を判知するのに便利である。

(8) 甲板時計を読むときは必ず分針をよく見ること。秒の誤読はかえって少ないが、分針で１分又は５分を読み誤ることが多い。

(9) 天体の高度が 60° 以上の時は、視水平線の両反対側で各高度を測り、両高度の差の補角の半数を求めて中間時に相当する中心視高度とすることができる。本法による時は六分儀器差、眼高差及び視半径を消去しうるから正確な高度が得られる。

第６章　天測による位置の線の決定法

天体を観測して測者の位置を知ることは古来から探究されてきたところであり、１４～１５世紀頃から遠洋航海が盛んになって天文学が航海に応用されてきたが、当初は緯度のみを測定する方法あるいは経度のみを測定する方法（いわゆる位置の点航法）であって、精度も決して正確なものではなかった。１８３７年米国のサムナー船長がセントジョージ海峡で荒天に悩まされた際に偶然に位置の線の概念を発見し、さらにその最も洗練された方法として修正差法がサンチレール（１８７５年）によって考案され、その頃から現代航海術に入ったのである。現在、天文航法の方法としては、高度方位角の計算による修正差法、その計算を簡単にした３引数表、緯度、経度決定の補助手段等種々あるが、一般艦船では、旧海軍米村中将の考案による所謂米村表（天測計算表第６表）によって位置の線を求め、子午線高度緯度法及び極星高度緯度法（北緯）等によって緯度を（これも位置の線の一種）組合わせて艦位を決定している。

第１節　高度方位角法

1.　米村表の原理

修正差法は推定位置に基づく l、d、h をもって位置の三角形を解き、a、z を求め、実測高度と比較して修正差を求め、位置の線を決定する法である。a、z を求める算法は種々あるが、天測計算表第６表（米村表）では計算に便利なように次の方法をとっている。

位置の三角形 PZX において

$$\cos(90^\circ - a) = \cos(90^\circ - l)\cos(90^\circ - d) + \sin(90^\circ - l)\sin(90^\circ - d)\cos h$$
$$= \cos(l \sim d) - \cos l \cos d\,(1 - \cos h)$$

両辺をそれぞれ１から減じて

$$1 - \cos(90^\circ - a) = 1 - \cos(l \sim d) + \cos l \cos d\,(1 - \cos h)$$

これに hav の定義（$\mathrm{hav}\,A = \frac{1}{2}(1 - \cos A) = \sin^2 \frac{A}{2}$）を当てはめれば、

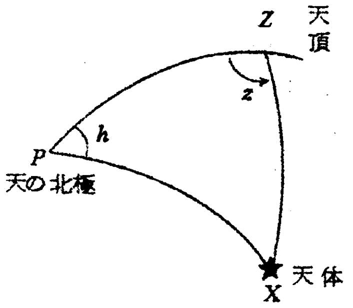
$$\mathrm{hav}\ (90^\circ - a) = \mathrm{hav}\ (l \sim d) + \cos d\ \cos l\ \ \mathrm{hav}\ h$$

ここで補助角 θ を導入し

$$\mathrm{hav}\ \theta = \cos d\ \cos l\ \ \mathrm{hav}\ h \quad \cdots\cdots (1)$$

とすれば

$$\mathrm{hav}\ (90^\circ - a) = \mathrm{hav}\ (l \sim d) + \mathrm{hav}\ \theta \quad \cdots\cdots (2)$$



第6－1－1図

また一方、ΔPZXにおいて

$$\sin Z = \sin h\ \cos d\ \sec a \quad \cdots\cdots (3)$$

すなわち(1)、(2)、(3)式が米村表の原式である。

これを計算するには対数計算を必要とするので、(1)式は両辺の逆数の対数をとって

$$\log \frac{1}{\mathrm{hav}\ \theta} = \log \frac{1}{\mathrm{hav}\ h} + \log\ \sec d + \log\ \sec l \quad \cdots\cdots (4)$$

(2)式はそのまま真数の和として高度が求められる。方位角を求めるには(3)式の逆数の対数をとって

$$\log\ \mathrm{cosec}\ Z = \log\ \mathrm{cosec}\ h + \log\ \sec d - \log \sec a \quad \cdots\cdots (5)$$

すなわち(2)式、(4)式、(5)式が米村表の計算式であって、函数の形は $\log \frac{1}{\mathrm{hav}}$、$\log\ \sec$、hav の３種類の表として表わされる

2. 米村表による計算法

(1) 表の構成

前項(4)式より

$$\underset{(A_1)}{10^5 \log \frac{1}{\mathrm{hav}\ h}} + \underset{(A_2)}{10^5 \log \sec d} + \underset{(A_3)}{10^5 \log \sec l} = \underset{(A_4)}{10^5 \log \frac{1}{\mathrm{hav}\ \theta}}$$

前項(2)式より

$$10^5\ \mathrm{hav}\ \theta + 10^5\ \mathrm{hav}\ (l \pm d) = 10^5\ \mathrm{hav}\ (90° - a)$$

$$(A_5) \qquad (A_6) \qquad (A_7)$$

前項(5)式より

$$10^5 \log\ \mathrm{cosec}\ h + 10^5 \log \sec d - 10^5 \log \sec a = 10^5 \log\ \mathrm{cosec}\ z$$

$$(z_1) \qquad (z_2) \qquad (z_3) \qquad (z_4)$$

(2) 計算式

$$\underset{h}{A_1} + \underset{d}{A_2} + \underset{l}{A_3} - A_4 \rightarrow A_5 + \underset{l \pm d}{A_6} - \underset{a}{A_7} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{（高　度）}$$

$$\underset{h}{Z_1} + \underset{d}{Z_2}(=\underset{d}{A_2}) - \underset{a}{Z_3} = \underset{z}{Z_4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（方位角）}$$

(3) 算　　則

ア　観測時の甲板時計の示時（D）及び世界時と甲板時計の示時との差（$U-D$）とから世界時を求める。

　この場合、世界時が午前であるか午後であるかは、使用時と時刻帯から決める。

イ　天測暦から、世界時に対する天体の E と d を求める。

ウ　推定位置に対する h を求める。

エ　天測計算表、第6表 高度方位角表から、A_1、A_2、A_3 の欄からそれぞれ h、d、h に相当する値を求め、その和を求める。

オ　上の和に等しい数を A_4 の欄に求め、対応する A_5 を求める。

カ　A_6 の欄で $l \mp d$（l、d が異名ならば和、同名ならばその差）に対応する値を求め、前の A_5 に加えて A_7 とする。

キ　A_7 の欄で前に求めた和に対応する角度を求めると、それが計算高度 a_c である。

ク　z_1、z_2（A_2 と同じ）、z_3 の欄からそれぞれ h、d、a に対応する値をとり出し、z_1、z_2 には(+)、z_3 には(-)の符号をつけて、代数

月　日　時　分（$\pm$　　時）		
第　回	天体	
推定位置	°　′ . N S	°　′ . E W

D	h m s	六分儀	°　′ .
(T) U − D	.	器差	. $\pm$
(T) U	.	a_0	.
(T) E ⊙ P *	P.P . $\pm$	改正	.
(S)	+	a	°　′ .
h_G	.	赤緯	°　′ . N S
〃	° .		P.P . $\pm$
L	°　′ . E W $\pm$	d	°　′ . N S
h	°　′ .	S.D. H.P.	

h	°　′ .	A_1		Z_1	
d	. N S	A_2	(−)	Z_2	+
l	. N S	A_3	+		
		A_4			
		A_5			
$l \pm d$	.	A_6	+		
a_c	. −	A_7		Z_3	−
a	. +	+天体方向	−反方向	Z_4	
l	′ .	+	−	Z N S	°　′ . E W

和 z_4 を求める。

ケ　z_4 の欄で前に求めた代数和に対応する角度を求めると、それが方位角 z の値である。

コ　注意事項

(ア)　高度と方位角は同時に計算すること。

(イ)　h が 270°～360° である場合は、Z_1 は h に対する A_1 と同じ横列を右方にたどって、5番目にある欄の値をとる。（すなわち 360°$-h$ に対する Z_1 と同じ値である。）

サ　方位角につける符号

(ア)　d と l とが異名ならば Z は l と異名

(イ)　d と l とが同名であって $d > h$ ならば Z は l と同名

(ウ)　d と l とが異名であって $d < h$ ならば

計算高度（真高度）＜東西圏上の高度のとき Z は l と同名

〃　　＞　　〃　　のとき Z は l と異名

(エ)　$0° < h < 180°$ ならば Z は西、$180° < h < 360°$ ならば Z は東

3.　位置の線を求める法

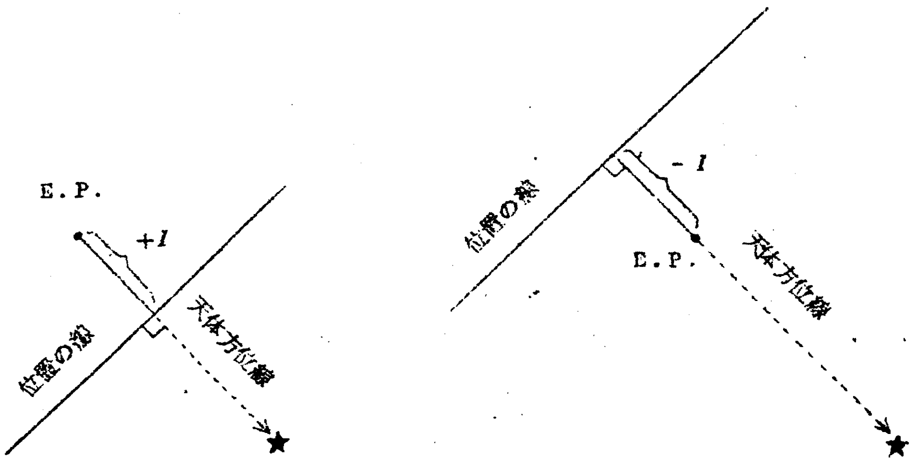
(1)　前項により計算高度（a_c）及び方位角（z）を求める。

(2)　測高度を改正して、真高度（a）を求める。

(3)　修正差（I）を求める。

$$I = a - a_c$$

(4)　海図上に推定位置を記入し、天体の方位の線を画き、この線上に修正差（I）を(+)のときは推定位置より天体の方向に、(-)のときは反対の方向にとり、この点を通り方位線に直角な線を引けば、これが求める位置の線である。



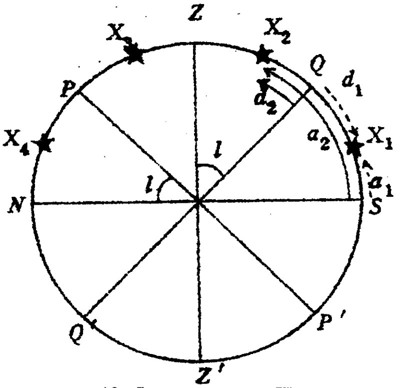
第６－１－２図

第2節　子午線緯度法

1. 原　　理

天体がその地方の子午線に正中した時に天体の高度を測り、これより所在緯度を求める方法を子午線緯度法という。この方法では、修正差及び天体の方位角を求めることなく、天体の高度から頂距を求め、これにその時の天体の赤緯を加減するのみでその地の緯度が求められる。

第6－2－1図において、X_1 X_2 X_3 X_4 をそれぞれ子午線正中時の天体、その高度及び赤緯をそれぞれ a_1 d_1、a_2 d_2 …… とすれば、X_4 は極下正中、その他は極上正中であり、また X_1 は赤緯が緯度と異名その他は同名である。



第6－2－1図

X_1 の場合 $l = ZS - QS = 90° - (a_1 + d_1)$

X_2 の場合 $l = ZX_2 + X_2Q = (90° - a_2) + d_2$　$(a_2 - 90°)$

X_3 の場合 $l = QX_3 - X_3Z = d_3 - (90° - a_3)$

X_4 の場合 $l = PX_4 + X_4N = (90° - d_4) + a_4$

すなわち

(1)　l、d 異名ならば　$l = (90° - a) - d$

(2)　l、d 同名でって

ア　$l > d$　ならば　$l = d + (90° - a)$

イ　$l < d$　ならば　$l = d - (90° - a)$

(3)　極下正中の時　　$l = a + (90° - d)$

子午線緯度法は緯度を求める最も簡単な方法なので、昔から太陽に適用し正午位置を決定してきたが、昼間における月及び金星、夜間における恒星にも応用できる。

子午線高度を測定するには、あらかじめ推定位置に基づいて子午線正中時を予測し、その数分前から観測を開始して高度が降下し始める直前の最大高度を子午線高度とするのが一般である。厳密にいえば月のように赤緯の変化が激しい場合、あるいは南北方向に大きな速力で航行している場合等は最大高度と子午線高度とは必ずしも一致しないので、できるだけ正確に正中時に高度を観測すべきである。

2. 太陽子午線緯度法

航海中、艦船は毎日正午の艦位を測定し、航海日誌にも記註するものであるから、視認できる限り必ず太陽の子午線高度は測定すべきである。

すなわち正午位置の緯度を本法により測定するのである。

その測定方法は、太陽の子午線正中数分前から連続して高度を観測し、そのうちの最大高度を採り視正午の高度とする。これによって観測時の緯度を算出する。

算　則

(1)　推定位置の子午線正中時を求める。

(2)　観測時（U）の赤緯（d）を求める。

(3)　真高度（a）を求め、これを $90°$ より減じて頂距を出す。

(4)　d と頂距とを相加減して観測時の緯度とする。

子午線緯度法		
月　日　時　分（$\pm$　時）		
推定位置	° ′	N S / E W
赤緯	P.P.	N S
d		N S
六分儀		
器差		$\pm$
$a_{\circ}$		
改正		
a		
$90°-a$		$\pm$
d		$\pm$
l		N S

(1)　l, d 異名　$l=(90°-a)-d$

(2)　l, d 同名

(イ)　$l>d$ ならば $l=d+(90°-a)$

(ロ)　$l<d$ ならば $l=d-(90°-a)$

第３節　北極星緯度法

1.　原　　理

天球上の極の高度はその地の緯度に等しいので、正しく極にある星を考えれば、その真高度をもって直ちにその地の緯度とすることができる。このような星はないが、北方において北極星（Polaris）が最も極に近いので、北極星の真高度を得てこれに改正率を加減することにより緯度を得ることができる。これを北極星緯度法という。

天の北極は、北極星とζ Ursae Majoris（Mizar）とを結ぶ線上、北極星から約５３′の距度のところに存在する。

北極星と北極との距度は、一定不変でなく、現在においては北極星は歳差のため極に漸次接近しつつあり、２１０２年にはその距度２８′弱に減じ、それより漸次遠ざかる。

北極星の高度を極の高度に改正するには天測暦の北極星緯度表を用いる。この表は次の公式から推算したもので式中の p は極距（$90°-d$）を示す。

$$h = a - p\cos h + \frac{1}{2}\sin 1'\ (p\sin h)^2 \tan a$$

同表第1表の値は $-p\cos h-1'$（第3表に $1'$ を加えてあるため）

第2表の値は $\frac{1}{2}\sin 1'(p\sin h)^2\tan a$　ただし p は毎年の仮定値を用いて計算し、表第3は p の真値と仮定値とに関する改正であって、計算の便宜上常に加える数値としたため、すべて $1'$ を加えてある。

2. 算　則

(1) 観測時における世界時及びこれに対する E_* を求める。

(2) 地方時角を求める。

(3) 高度を改正して真高度を求める。

(4) 地方時角によって、天測暦記載の北極星緯度表第1表の改正値を求め、符号に従い高度を改正する（第1改正）

(5) 高度と時角とにより第3表の改正値を求め、これを高度に加える。（第2改正）

(6) 観測の月日と時角とにより第3表の改正値を求め、これを高度に加え、（第3改正）本地の緯度とする。

北極星緯度法		
月　日　時　分（±　時）		
推定位置	° ′	N S / E W
D	h m s	
$U-D$		+
U		
E_*		+
	P.P.	+
h_G		
L in T.		E + / W −
h		
六分儀	° ′	
器差		±
a_0		
改正 {		
a	° ′	
第I改正		±
第II改正		+
第III改正		+
l		N

第7章　天測艦位決定法

第1節　1本の位置の線の利用法

艦位を決定するには必ず2本以上の位置の線の交点を求めなければならないが、天候その外の障害によって1本の位置の線しか得られないとき、あるいは2本以上の線を得られても、互に平行に近いときは、次のように利用することができる。

1. 推定位置から位置の線に下ろした垂線の足（これを修正位置と呼ぶこととする。）は、推定位置に比し真位置に近い点である。

   したがって、修正位置を次の推定位置として第2次の観測を実施すればさらに真位置に近い点が求められる。

2. 方位角90°又は270°の天体による位置の線は実測経度を示す。
3. 方位角0°又は180°の天体による位置の線は実測緯度を示す。
4. 位置の線が航路に並行するときは、艦艇の左右の偏位を知ることができる。
5. 位置の線が航路に直角なときは艦艇の前後の偏位を知ることができる。
6. 他の陸測方位、無線方位又はロラン位置の線などと組合わせて艦位を決定できる。
7. 水深が適当ならば測深と併用して近似艦位が求められる。

第2節　艦位決定法

1. 転位線（Transfered position line）

   単一の天測によって1本の位置の線を決定しても艦位を決定することはできない。2天体の同時観測であれば、2本の位置の線の交点は直ちに艦位とすることができる。しかし1天体の隔時観測の場合には、第1次観測の位置の線を、第2次観測時まで移動して、同時に位置の線に改める必要がある。この移動した位置の線を転移線と呼ぶ。位置の線の転位は推定により行なう。

(1) 転位による天測艦位決定

転位線を用いて艦位を決定する方法は一般に次のとおりである。

ア　太陽の子午線正中時以外のときにおける2回若しくは3回の観測による位置の交叉

イ　太陽子午線緯度法と子午線正中時以外に観測して求めた位置の線の交叉

ウ　２個以上の恒星又は惑星の観測による位置の線の交叉

エ　太陽と恒星又は惑星の観測による位置の線の交叉

オ　月と太陽、恒星又は惑星の観測による位置の線の交叉

カ　天体の観測による位置の線と物標の方位線との交叉

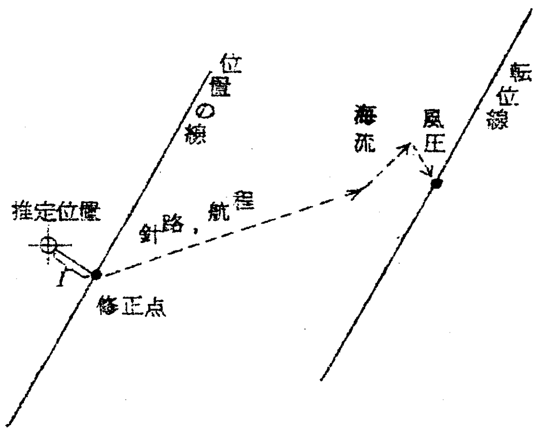
一般に同時観測と称している方法は、数個の天体を観測して位置の線を求める場合に、同一の推定位置を使用してそれぞれの天体の方位及び修正差を計算することをさしている。これに対し隔時観測というのは、１個又は２個程度の天体の観測による位置の線の転位によって決定する方法で、観測時隔が大であるため、各々の観測時の推定位置を求めて行なう。

(2)　転位線の作図法

位置の線を推定して平行移動させればよいわけであるが、作図の方法として次の２種類がある。

ア　位置の線そのものを移動する法

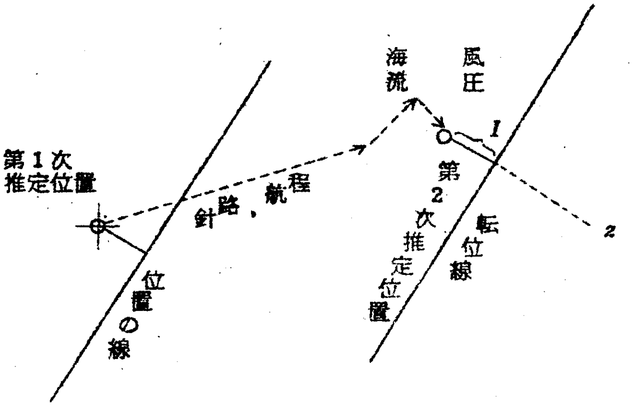
位置の線上の任意の１点（第７－１－１図では修正位置をとっている）から、第２次観測時までの間の針路、速力並びに要すれば潮流、風圧による流向、流程をとり、この点を通り先の位置の線に平行な線を引けばそれが転位線である。



第７－１－１図

イ　推定位置を使用する法

第１次推定位置から、第２次観測時までの針路、航程並びに流向、流程をとり、第２次観測の推定位置を求める。第２次推定位置から第１次観測時の修正差、方位角を使って位置の線を画けば、それが転位線である。



第7－1－2図

2　隔時観測の艦位決定法

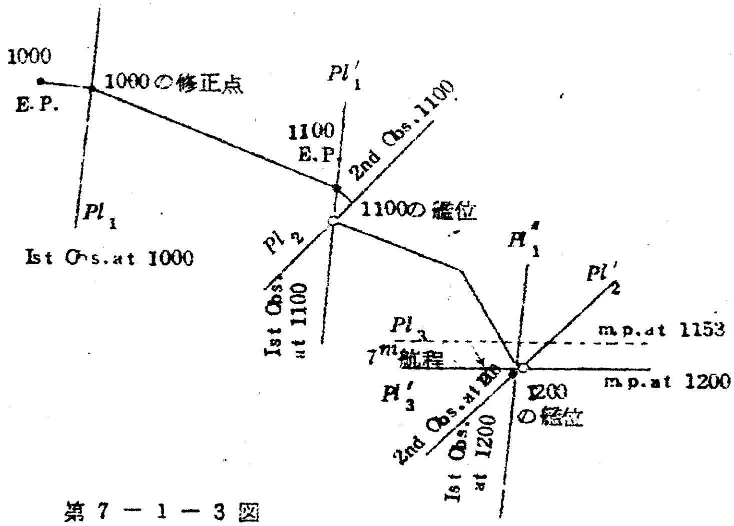
(1)　一般に次の要領で艦位を決定する。

ア　第1次天測時の精確な推定位置を求める。

イ　推定位置及び天測諸元を使用して、第1の位置の線に対する修正差及び方位角を求める。

ウ　位置記入図に位置の線を引き、推定位置から位置の線に垂線を下して修正位置を求める。

エ　修正位置に第2次天測時までの針路及び航程による改正並びに必要



第7－1－3図

により海流及び風圧の修正を施し、第2次推定位置を求める。

オ　前号により求めた第2次推定位置及び第2次天測諸元を使用して第2の位置の線に対する修正差及び方位角を求める。

カ　位置記入図に第2推定位置を基準として、第1の位置の線の転位線を引き（この場合は第2推定位置を通り第1位置の線に平行）、これと前号で求めた修正差及び方位角を使用して得た第2位置の線との交点を艦位とする。

キ　第3次の天測を行なった場合には前号で決定した艦位を出発点として第3次観測時の推定位置を求め、これと第3次天測諸元を使用して、第3の位置の線の修正差及び方位角を求める。この場合、修正差が0もしくは0に近ければ、第3次推定位置は所要の天測艦位である。

ク　第3次天測における修正差が0、もしくは0に近くならない時は3本の位置の線は一点に会せず三角形を構成する。これを誤差三角形という。誤差三角形は各位置の線の精度が等しい場合には通常その内心を所要の艦位とする。

(2)　各回の修正位置を作図しない法

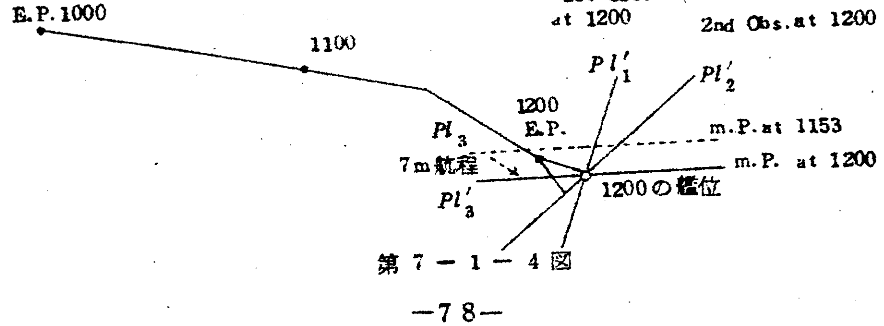
１本の位置の線を得た時は、これによって最近似位置（一般に修正位置を求めるのが普通であるが、太洋航行中で艦位に不安のない場合は、数本の位置の線を得た後、作図を行なって艦位を決める場合がある。この方法は次のとおりである。

ア　第1次天測時の精確な推定位置を求める。

イ　推定位置及び天測諸元を使用して、修正差及び方位角を求める。これを I_1、Z_1 とする。

ウ　第1次推定位置を出発点として第2次観測時までの針路及び航程によって第2次推定位置を求める。

エ　第2次観測によって第2次推定位置に対する修正差及び方位角 I_2 及び Z_2 を計算する。



第７－１－４図

オ　第２次観測時の推定位置から I_1 及び Z_1 によって第１の位置の線を引く（これは第１の位置の線の転位線になる）。又同推定位置から I_2 、 Z_2 により第２の位置の線を引き、両位置の線の交点を求めると、これが第２次観測時の艦位となる。

カ　第３次観測を行なう時は、前号を行なわず第３の位置の線に対する I_3 Z_3 を求めた時、前号に準じて作図する。

3. 同時観測の艦位決定法

(1) 天測時の精確な推定位置を求める。

(2) 推定位置及び天測諸元を使用して、それぞれの位置の線に対する修正差及び方位角を求める。

(3) 位置記入図の中心を推定位置として各天体に対する位置の線を引き、観測時が同一であればその交点を艦位とする。

(4) 観測時が少しづつ異なる時は短時間の隔時観測となるから、最後の観測位置の線のほかはその間の針路及び航程に従って転位して同一時刻に対する位置の線とし、その交点を艦位とする。

4. 位置記入法

天測位置を作図決定するために一般に次の３種類のものが用いられる。

(1) 位置記入用図

（特殊図 6037_1 ～ 6037_{14}、6038_1 ～ 6038_{18}）

緯度 0° ～約５０° または 0° ～約 ７０° を１枚の図には緯度約 3° または約 8° づつに分かち、漸長図法により経緯度線が印刷されている。

これを使用するには、推定位置付近の緯度のものを選び、経度線を適宜決定し、推定位置は印刷されている緯度経度目盛に従って記入作図する。

(2) 天測位置決定用図

（特殊図６０１８）

一般にサムナーチャートと呼ばれるもので、漸長図法によって経度線が印刷され、漸長緯度尺度の曲線が与えられている。漸長緯度は 0° ～ ６０° では曲線から、６０° ～８０° は表値によって求められるようになっている。

これを使用するには、距離、修正差、緯差などは推定緯度付近の緯度尺からデバイダーに整えて記入し、経度は図の上下の外周目盛によって

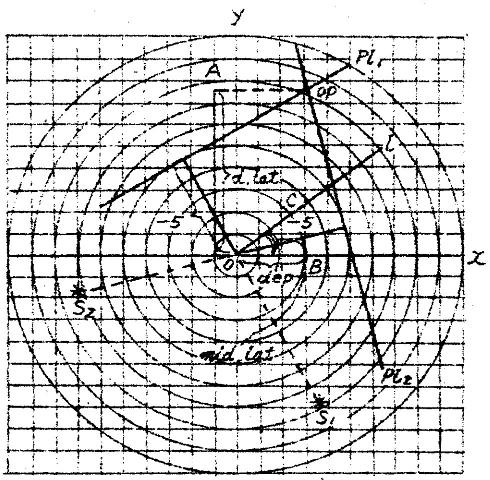
測る。一般に推定位置を図の中心に記入して作図する。

(3)　等間隔同心円方格図による記入用図

この記入用図は、中央を原点として等間隔同心円と方格からなり、その間隔は測定精度を考えて適当に定めてよい。図上の中央原点に天測時の推定位置をとると、縦軸Y方向の目盛は緯度差（D、Lat.)、横軸X方向の方格目盛は東西距（Dep.）で、同心円の目盛は修正差目盛を示し共に推定位置付近の緯度 1′の長さを1浬とする距離尺（緯度尺）である。従って図上の Dep.に相当する D.Long.は中分緯度航法の原式

$$D.\mathrm{Long.} = \mathrm{Dep.} \times \sec.\mathrm{Mid.Lat.}$$

を作図により求めなければならない。すなわち、中分緯度（実用上は推定緯度でよい）を、図の横軸を底辺として、方位目盛の度数によりとれば、底辺の東西距に対して、その斜辺の長さを同心円目盛で読めばD.Long.が得られる。



作図例

O.P. を測定艦位とすれば、

OAはD.Lat. OBは Dep.

となる。

$\angle XOl$ を Mid. Lat. にとれびOCはD.Long. になる。

第7－1－5図

第3節　天測位置の誤差

すべて実測による位置の線には測定誤差、作図誤差などが含まれ、これらの位置の線が組み合わされて実測の艦位そのものに誤差が生ずるものである。正しい天測位置を決定するには、まず1本の位置の線そのものに含まれる誤差を考え、できるだけこれらの誤差が起こらないように注意し、そしてたと

え誤差が含まれていても、決定位置の誤差を小さくするように努めなければならない。

また錯誤は誤差と異なるが、往々にしてより重大な結果をもたらすので、十分注要しなければならない。

1. 天測位置の線の誤差

天測位置の線の誤差としては、修正差の誤差、計算方位の誤差、位置の圏の曲率による誤差、漸長図使用による誤差、転位の誤差が考えられる。

(1) 修正差の誤差

修正差の誤差は、観測高度の誤差及び計算高度の誤差に原因する。

ア 観測高度の誤差

(ア) 六分儀の誤差

(イ) 高度改正の誤差

(ウ) 観測誤差

測高度の誤差は修正差にそのまま同量の誤差を生じ、位置の線の誤差となる。天体の高度の変化が速いときにその誤差も大であるから、天体が東西圏付近にあるときの観測において最大で、子午線付近にあるとき最小である。

イ 計算高度の誤差

(ア) 計算表の不備

天測計算表は　0.2′～0.5′　の精度を持つ。

(イ) 計算間違い

(ウ) 計算要素の不正確

位置三角形の高度の式を微分して

$$\Delta a = \cos Z \ \Delta l + \cos X \ \Delta d - \cos l \ \sin Z \ \Delta h$$

（Xは位置角）

a 推定位置の誤差は、修正差として表われるので考慮しなくてよい。

b 赤緯の誤差は、Δd は天測暦の引き方を間違えない限り微小であるので問題としなくてよい。

(エ) 経線儀の誤差

$$\Delta a = -\cos l \ \sin Z \ \Delta h$$

a　赤道付近で観測したとき誤差は最大で、極付近では最小となる。

b　天体の方位が東西圏上にあるとき最大で、子午線正中時に最小。

c　最大で、経線儀 4^s の誤差は $1'$ の位置の誤差となる。

(2)　計算方位の誤差

$$\cos a \ \Delta Z = \sin a \ \sin Z \ \Delta l - \sin X \ \Delta d - \cos d \ \cos X \ \Delta h$$

もし $\Delta d = 0$ とすれば

$$\Delta Z = \tan a \ \sin Z \ \Delta l - \sec a \ \cos d \ \cos X \ \Delta l$$

赤緯の誤差及び推定位置の経緯度が真位置と異なるとき計算方位に誤差を生じ、天体の高度 0° のとき最小で高度が高くなるに従って増大する。しかし実際にはこの誤差が 1° に達することはまれなので、ほとんど考慮を要しない。

(3)　位置の圏の曲率に基づく誤差

位置の線は、位置の圏の一小部分を直線とみなしたものであるから、天体の高度が特に高い場合や修正位置と天測位置との距離が大である場合においては誤差を生じる。一般に高度が６０度以上になるときは位置の線に修正を行なう必要を生じることがあるので避けた方がよい。

（また一方、低高度は気差のため誤差が生ずるので、一般に太陽は ２０°～６０°、星は ３０°～６０° の高度を選べば誤差は小となる。）

(4)　漸長図使用による誤差

位置の圏は漸長図上では特殊な曲線であるのにその一部を直線として描くため誤差を生じ、その誤差は、

観測者の緯度が高いほど

修正差の絶対値が大きいほど

天体の方位が ９０° または ２７０° に近いほど増大する。

しかしながらこの誤差は一般の場合は実用上無視して差支えない程微小である。この誤差を防止するには、できるだけ修正差を小さくするよう努力すべきである。

(5)　転位に基づく誤差

隔時観測の際には位置の線の転位を行なうが、この場合、推定による転位の誤差はそのまま第２次の位置の線の誤差となる。

通常転位の誤差を生じる原因は

ア　保針のため起こる誤差

イ　羅針儀の誤差および航程推定上の誤差

ウ　風圧、波流および海潮流推定上の誤差などである。

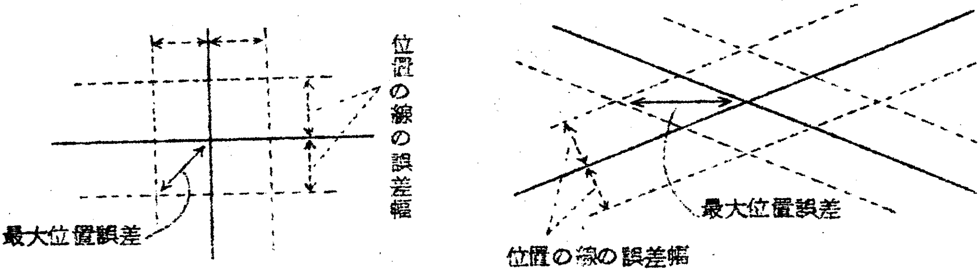
そしてこの誤差は転位する距離が大きいほど大きくなる。

2. 天測艦位の誤差

1本1本の位置の線にはある程度の誤差は必ず含まれているといってよいので、これを組合わせて艦位を決定するには、最も確からしい位置が求められるよう、観測の時から次のような事項の考慮が必要である。

(1) 位置の線の本数と交角

ア　2本の位置の線の組合わせにおいては、その交角が90°のときに決定艦位の誤差界平行四辺形が最小であり、20°〜30°以下の鋭角または150°〜160°以上の鈍角になるにしたがいひし形の誤差界となり位置誤差は大きくなる。



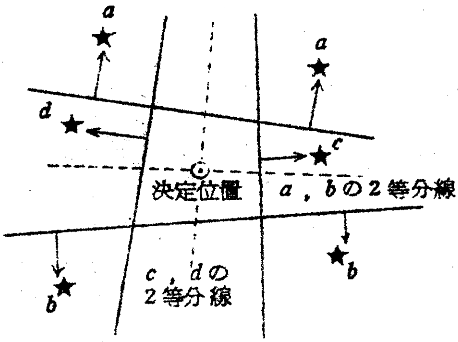
第7−3−1図

イ　3本の位置の線の組合わせの場合は、各位置の線の誤差により誤差三角形ができる。この誤差三角形の誤差界は、各位置の線が互いに60°または120°にまじわるときに正三角形となり最小で最も条件がよく、その他の場合は不良となる。

ウ　4本、6本などの組合わせの場合については、前号及び前々号に準じて考えられる。一般に位置の線の本数が増せば、決定艦位の確実性は増す。

エ　一般に、眼高差の誤差や個人差のような大体一定量に考えられる誤差は、方向が約180°正反対の2つの天体による2本1組の位置の線の2等分線を求めると誤差が打ち消されてしまって、この2等分線で示す位置の線の信頼性を増すものである。したがって、4本あるいは6本の位置の線の組合わせにおいて，天体を観測するときからこのこ

とを考え、方向相反する2本1組の位置の線の2等分線を描き、結局4本の場合は2本の2等分線、6本の場合は3本の2等分線から、確実性の高い艦位を決定することがよい方法である。



第7－3－2図

(2) 誤差3角形の処理

誤差とは測定値と真値との差をいうのであるが、その性質によって定誤差と偶然誤差とに分けられる。定誤差（Constanterror）とはその原因を明らかにし、その量も知ることができる性質のもので、理論誤差、器械誤差及び個人誤差に分けられる。偶然誤差（Accidental error）とは、定誤差を人為的に消去してもなお残留している、原因不明の予測できない誤差で、その有無も大きさもわからない性質のものである。

一般に3本以上の位置の線をとれば誤差三角形が生じるが、誤差の性質にもいろいろあるので、ただ漫然とその中心を採るのは危険であって、最も確からしい位置を定めるよう考慮する必要がある。

ア 観測条件の不良な位置の線、または精度が不良と考えられる位置の線は軽視する。

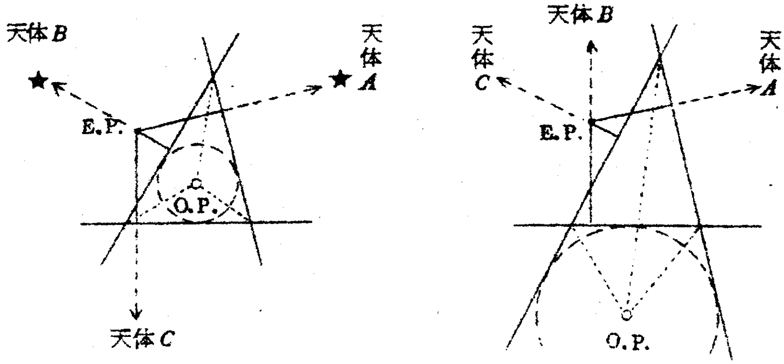
イ 各位置の線は等精度であって、定誤差のため誤差三角形が生じていると考えられる場合は、三角形の内心または傍心を艦位とする。

この場合、定誤差とは、六分儀器差の検定が不正確である場合、観測者の技量が未熟で高く測りすぎた、または低く測りすぎなどの個人差などである。

そして定誤差のみが原因と考えられる場合は

(ア) 3天体の方位が全天にまたがっておれば、三角形の内心を艦位とする。

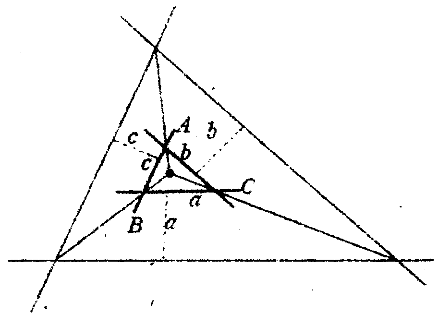
(イ) 3天体の方位が180°以内におさまっておれば、そのうち中央方位の天体の位置の線の外側にできる傍心を艦位とする。



第7－3－3図

ウ　各位置の線は等精度であって、誤差三角形の成因が不明である場合は、三角形の内部において3辺までの距離がそれぞれ3辺の長さに正比例するような一点をとって艦位とする。

この点を精確に求めるには、誤差三角形の外側に、各辺の長さに等しい距離で平行線を引き、これらが作る外側の三角形の各頂点と元の内側の三角形のそれぞれの頂点を結べば、その延長が誤差三角形の内側において交わる点が所要の天測位置である。



第7－3－4図

第4節　天体及び観測時機の選定

天測位置の線の精度は天体及び観測時機の選定と密接な関係があるから、天測の実施に当っては十分それらの選定について留意しなければならない。

1.　単一観測

単一観測について、位置の線の精度を高めるためには、天体の高度が20°～60°であって子午線に近いような天体もしくは時機を選ぶことが肝要である。ただし、天体が子午線に近づくにつれて一般に高度が高くなるから、実際には天体の方位が4隅点付近にあるときがよい場合がある。

2.　同時観測

同時観測によって得た天測位置は、転位上の誤差に無関係であるから、天測位置としては最も精度が良いとみなすことができる。同時観測には、夜間または薄明時に主として恒星を利用するが、次のような場合にも同時観測を実施できる機会がある。

夜間…………恒星と月、恒星と惑星、惑星と月

昼間…………月と惑星、月と太陽、惑星と太陽

(1)　2天体の同時観測

隔時観測による天測位置に比較して誤差が小であって、2天体の方位が 90° の交角をなす場合は、最も正確である。

したがって方位の差が 30°～150° で、かつ高度も 20°～60° の範囲のものを選ぶべきである。

(2)　3天体の同時観測

誤差三角形の誤差界が小さくなりかつその内心を艦位とみなしうるように、なるべく方位角の差が 120° に近い3天体を選定することが望ましい。

3.　隔時観測

(1)　隔時観測には、同一の天体をある時間を隔てゝ観測を行なう場合と、2天体以上を時間を隔てゝ行なう場合があり、次のような組合わせで行なわれるのが一般である。

ア　太陽の午前又は午後の観測と子午線高度観測

イ　太陽の午前と午後の観測

ウ　太陽の午前または午後の内2回の観測

エ　恒星、惑星または月の薄明時観測と太陽の早朝観測

オ　太陽の夕方の観測と恒星、惑星又は月の薄暮時観測

(2)　両観測の方位の差は 30°～150° の間で、 90° が最良であることはもちろんである、天測位置の正確を期するため、転位の誤差を小さくするよう、経過時間をなるべく短かくして、方位の差又は方位の変化の大きい天体を選ぶことが必要条件である。

方位の変化は 30° 以上を要件とするけれども、その間の時間が5時間以上経過することは避けなければならない。転位の誤差は、ときとして位置の線の交角が小であるために起こる誤差よりも、その影響が大きいことがあるから、このような場合には、方位の変化が小であっても、

なるべく短時間内に第2回観測を行なう必要がある。

第８章　天体方位角法

ある天体の羅針方位を観測した場合、その時刻におけるその天体の真方位を知ることができれば自差は容易に求められる。そのような目的などのために、既知要素によって天体の真方位を求める方法を天体方位角法という。

第１節　天体出没方位法

天体の中心が地平圏にあるときの方位角を求める方法であって、利用できる天体はおおむね太陽のみである。

1. 天体出没方位法の公式

第8－1－1図において X_1 または X_2 を真出没時の天体の位置とすれば，$\angle EZX_1$ あるいは$\angle WZX_2$は出没方位角（Amplitude略記 Amp.）である。

天文三角形から

$$\pm \sin d = \sin l \ \cos Z \pm \cos l \ \sin Z \ \sin \text{Amp}.$$

これに　$Z = 90°$　を代入すれば、

$$\sin \text{Amp}. = \sin d \ \sec l$$

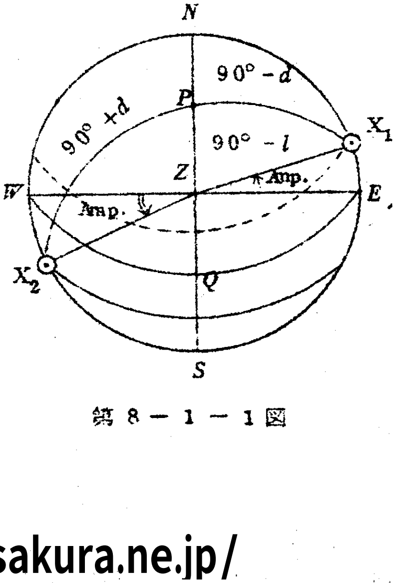
この式によって求めた値は出没方位角であるから、値の前にEまたはWの符号、後にNまたはSの符号がつく。E、Wの符号は、出の場合E、没の場合Wであって、N、Sの符号はその天体の赤緯の符号と同じである。

2. 出没方位角を測る時機

出没方位角は天体の中心が地平圏上にあるときの方位であるから、羅針方位と比較して自差を求めるためには、天体が真地平上にある時に測らねばならない。

太陽についていえば

太陽中心の真高度＝太陽下辺の測高度



第８－１－１図

- Dip - Ref. + S.D. + Par.

真高度0となる時の下辺高度を求めるには、

左辺を0とおけば

太陽下辺の測高度＝Dip ＋ Ref. －S.D.－Par.

Par. ：最大8.″95≒0

Dip ：標準眼高（4.6m）で約4′

Ref. ：ラドーの平均気差表から約29′

S.D. ：16′であるが気差のため垂直径は短縮するので 13′

以上を計算すれば約20′となる。

すなわち、太陽の下辺が視水平線から約 20′、おおよそ視半径だけ上って見える時に、羅針方位を測らねばならない。

3. 計算法

天測暦に天体出没方位角表が掲載されている。第1項の公式により、緯度と赤緯から出没方位角が求められる。

(1) 太陽の赤緯を求めるには次の3通りの方法がある。

ア 真日出没視時を計算し、これをグリニッチ視時に換算したものを世界時とみなして天測暦から読取る。

イ 第2項の時機により真日出没羅針方位を観測した瞬間に時刻も併せて測っておき、これを世界時に改めて、天測暦から読取る。

ウ 天測暦から常用日出没時を計算してこれを真日出没時とみなし、世界時に改めて天測暦から読取る。

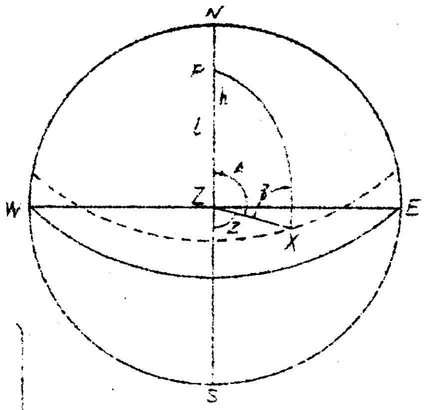
(2) 赤緯と緯度から天体出没方位角表の表値を求め、方位角とする。

(3) 方位角は東または西から測る。すなわち日出なら*E*、日没なら*W*から、天体の赤緯が北ならば*N*、南ならば*S*の符号を付し、真方位に改算する。

第2節 時辰方位法

天体の時角、赤緯及び推測緯度を既知要素として、天体の方位角を算出する方法を時辰方位法という。本法は視地平や観測時機に制約されずに、天体さ

え認めれば天体の真方位が算出できるから、実用上は多く本法が利用されている。



第８－２－１図

1.　天測計算表第８表方位角表（S、D、h 表）

(1)　方位角表原式

位置三角形ＰＺＸにナピアの公式を適用すれば、

$$\tan\frac{1}{2}(A+q)=\frac{\cos\frac{1}{2}(p\sim l)}{\cos\frac{1}{2}(p\sim l)}\cot\frac{h}{2}$$

$$\tan\frac{1}{2}(A-q)=\frac{\sin\frac{1}{2}(p\sim l)}{\sin\frac{1}{2}(p\sim l)}\cot\frac{h}{2}$$

そして

$$\frac{1}{2}(A+q)=\frac{1}{2}(180^\circ=Z+q)=90^\circ-\frac{1}{2}(Z-q)$$
$$\frac{1}{2}(A-q)=\frac{1}{2}(180^\circ-Z-q)=90^\circ-\frac{1}{2}(Z+q)$$

また l と d が同名の場合

$$p\sim l=(90^\circ-d)\sim(90-l)=l\sim d$$
$$p+l=(90-d)\sim(90-l)=180-(l+d)$$

従って最初の式は

$$\cot\frac{1}{2}(z-q)=\frac{\cos\frac{1}{2}(l-d)}{\sin\frac{1}{2}(l+d)}\cot\frac{h}{2}$$
$$\cot\frac{1}{2}(z+q)=\frac{\sin\frac{1}{2}(l-d)}{\cos\frac{1}{2}(l+d)}\cot\frac{h}{2}$$

両辺の逆数をとれば

$$\left.\begin{aligned}\tan\frac{1}{2}(z+q) &= \cos\frac{1}{2}(l+d)\ \operatorname{cosec}\frac{1}{2}(l\sim d)\ \tan\frac{h}{2}\\ \tan\frac{1}{2}(z-q) &= \sin\frac{1}{2}(l+d)\sec\frac{1}{2}(l\sim d)\tan\frac{h}{2}\end{aligned}\right\}$$

$\frac{1}{2}(z+q)=x$、$\frac{1}{2}(z-q)=y$、$l+d=S$、$l\sim d=D$ とおけば

$$\left.\begin{aligned}\tan x &= \cos\frac{S}{2}\ \operatorname{cosec}\frac{D}{2}\ \tan\frac{h}{2}\\ \tan y &= \sin\frac{S}{2}\sec\frac{D}{2}\ \tan\frac{h}{2}\end{aligned}\right\}$$

$$Z=x+y$$

これが方位角表（S、D、h 表）の原式である。

但し l と d が異名の場合は

$$p\sim l=(90+d)-(90-l)=l+d$$

$$p+l=(90+d)+(90-l)=180°-(l-d)$$

となるため同名の場合の S と D とが反対となる。

(2)　S、D、h 表の構成

前記原式を対数の形として３桁の対数を用い、表値の不連続をさけるため S 表、h 表にはそれぞれ 3,200、x y 表には 6,400 を加えてある。本表による Z の誤差は概ね 0.1° 以下である。

表	S 表	D 表	h 表	x y 表
見出し	S	D	h	X_4 Y_4
表	$\log\cos\frac{1}{2}S$ ＋ ＋3,200 X_1	$\log\operatorname{cosec}\frac{1}{2}D$ ＋ X_2	$\log\tan\frac{1}{2}h$ ＝ ＋3,200 X_3	$\log\tan x$ ＋6,400 $X_4\rightarrow x$
値	$\log\sin\frac{1}{2}S$ ＋ ＋3,200 Y_1	$\log\sec\frac{1}{2}D$ ＋ Y_2	$\log\tan\frac{1}{2}h$ ＝ ＋3,200 Y_3	$\log\tan y$ ＋6,400 $Y_4\rightarrow y$
$Z=x+y$				

2. 算　　則

(1) l と d との和と差を計算する

ア　同名の場合……和を S、差を D とする。

イ　異名の場合……差を S、和を D とする。

但し、S、D、h の半角を作る必要はない

(2) 時角 h は(°) (′) で求める

(3) S、D、h 表から表値を取り出し xy 表より x、y を求める。

$$X_1+X_2+X_3=X_4 \rightarrow x$$

$$Y_1+Y_2+Y_3=Y_4 \rightarrow y$$

但し $X_3 = Y_3$

(4) S、D、h は分まで、x、y はなるべく度の小数以下２桁まで求める。

(5) x、y を次のように組合わせて方位角 Z を求める。但し Z は南または北から東西に各々 180° まで数えるものとする。

ア　$l > d$ ならば　$Z = x + y$

l、d の同名、異名にかゝわらず、l と異名の極から測る。

イ　$l < d$ ならば　$Z = x - y$

l、d が異名ならば、l と異名の極から測る。

l、d が同名ならば、l と同名の極から測る。

第３節　北極星方位法

北極星の時角と緯度とを要素としてその真方位を求める方法を北極星方位法という。天測暦には北極星方位角表が掲載されているので、実用上きわめて簡便に方位角を算出することができる。

1. 北極星方位法の理論式

北極星の方向が北に該当することは一般の常識であるが、北極星は正しく天の北極に位置しているわけではないので、時間の推移にしたがって北極星の方位角もある程度の変化をしている。

第８－３－１図において、Xを北極星、p を北極星の極距とすると、位置三角形 PZX において

$$\sin Z = \sin p \frac{\sin h}{\sin z}$$

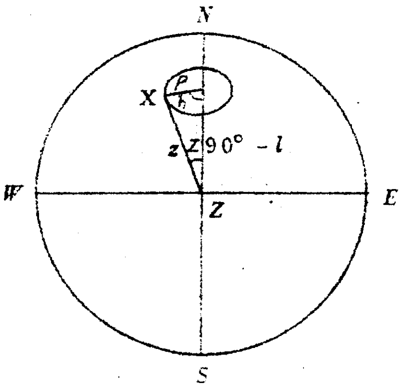
実際には、P、Zとも非常に小さく、また$z \fallingdotseq 90° - l$が成立つので、近似的に

$$Z = p \sec l \sin h$$

pは年間を通じてあまり大きな変化はないので、仮にpを年間一定とみなせば、北極星の方位角はl、hの函数として表わされる。天測暦の値は，

$$z = p \sec l \sin h \left(1 + \frac{p}{3438} \tan l \cos h\right)$$

（pはその年間の平均による仮定値）によって計算されている。



第８－３－１図

2. 北極星方位角表の使用法

(1) 観測時の世界時に対する北極星の　E_* を求める。

(2) $h = U + E_* \pm$ Lin T. により地方時角を求める。

(3) 表から、時角と緯度とにより方位角を求め、真方位に換算する。

方位角の符号は、常に前にNを付し、時角が $0^h \sim 12^h$ のときは後にW符を、$12^h \sim 24^h$ のときはE符を配する。

第９章　天体出没時及び薄明

第１節　天体出没時角

天球の日周運動に伴って、一般に天体は出および没の現象を呈する。

天体の中心が地平圏にかかった時をその天体の真出没時といい、天体の上辺（恒星、惑星にあっては中心）が視地平に接したときをその天体の常用出没時という。

1.　真出没時

第９－１－１図において小圏RTSをある天体の日周圏とすれば、$\angle ZPR$ 及び$\angle ZPS$はこの天体の真出没時角である。

球面直角三角形NPRから

$$\cos h = -\cot P \tan l \quad （Pは極距）$$

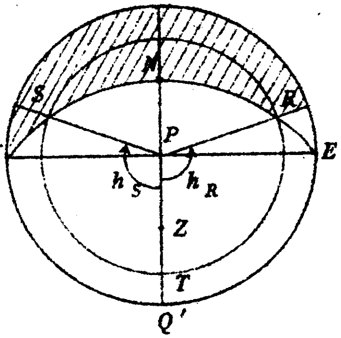
lとdが同名の場合、$P = 90° - d$であるから

$$\cos h = -\tan d \tan l$$

$$(\cos(12^h - h) = \tan d \tan l)$$

lとdが異名の場合、$P = 90° + d$ であるから

$$\cos h' = \tan d \tan l$$



第９－１－１図

ゆえに赤緯が等値で異符号の天体出没時角には $h' = 12^h - h$ の関係が成立する。

前記の式から次のことがいえる。

(1)　lもしくはdが 0°、すなわち測者が赤道上にある場合もしくは天体の赤緯が 0° の場合は、天体は正東から出て正西に没する。

(2)　赤緯と緯度が同名の時は、天体は 6^h以上の時角で出没する。すなわち太陽について考えれば昼は１２時間より長く、夜は１２時間より短かい。

(3)　赤緯と緯度が異名の時は、天体は 6^h 以下の時角で出没する。すなわち太陽について考えれば、昼は１２時間より短かく、夜は１２時間より長い。

2. 天体出没時角表

天測暦には天体出没時角表が掲載されている。航海の実用上、天体真出没時算法は出没方位角を求めるための予備計算であり、対象とされる天体は太陽のみであるので、その計算値にはあまり高い精度は要求されていない。

表値は $\cos h = -\tan d \tan l$ に基づき、真出の場合の東方時角で表わされているので、

(1) d、l 同名の場合は表値をそのまま用い、異名の場合は表値を 12^h から減じて用いなければならない。

(2) 視時を求めるには

$$真出時 = 12^h - h$$
$$真没時 = 12^h + h$$

第2節　常用日出没時

太陽の上辺が視地平に接するように見える時の時刻を常用日出没時という。

1. 真日出没と常用日出没との関係

太陽中心の真高度＝太陽上辺の測高度

$$- \mathrm{Dip} - \mathrm{Ref.} - \mathrm{S.D.} + \mathrm{Par.}$$

太陽上辺の側高度が０のときにおける太陽中心の真高度を求めると、

Dip　：　標準眼高（4.6m）で 3.8′

Ref　：　ラドーの平均気差表から 34.′5

S.D.　：　16′

Par.　：　0.′1

－54.′2　となる。

すなわち常用日出没時には太陽の中心は地平圏下約54′のところにある。

そのための真日出没時と常用日出没時との差違を求めれば、

高度の基礎公式を z（頂距）及び h について微分すれば，

$$\frac{dh}{dz} = \sec d \ \sec l \ \ \mathrm{cosec}\, h$$

Δh を時間の分（m）単位で、Δz を弧度の分(′)単位で表わせば

$$\Delta h = \frac{\Delta z}{15} \sec d \ \sec l \ \ \mathrm{cosec}\ h$$

これに前記の数値を代入すれば

$$\Delta h = \frac{54.2}{15} \sec d \ \sec l \ \ \mathrm{cosec}\ h$$

また常用日出没時を直接求めるためには、

高度の基礎公式より

$$\cos 90°54' = \sin l \ \sin d + \cos l \ \cos d \ \cos h$$

$\cos 90°54' = -0.01571$ とおけば

$$\cos h = -(0.01571 \ \sec l \ \sec d + \tan l \ \tan d)$$

常用日出時 $= 12^h - h$

常用日没時 $= 12^h + h$

天測暦の日出没時表はこの公式により計算されている。

2. 緯度別日出没時表

前記の公式によって計算するには、赤緯は常に変化するから厳密にいえば日出時の赤緯を求めて近似計算を繰返さなければならないが、太陽は赤緯の変化が微小であるので、緯度と赤緯が確定すれば実用に差支えない程度の時刻が求められる。

天測暦の北緯日出没時表及び南緯日出没時表はこのようにして緯度と、赤緯のかわりに日付けを引数として、10日ごとの常用日出没時を地方平時によって記載したものである。

3. 港別日出没時表

日付と緯度とが与えられればその地の常用日出没時はその地の地方平時を使って示すことができるので、さらに緯度、経度が共に明らかな地点については、その地方の標準時に改めて示すことができる。

天測暦の港別日出没時表は、この要領によって、日本近海、太平洋、印度洋の主要港50について、毎月奇数日の常用日出没時をその地方の標準時によって与え、なおその付近の港に対して改正値が示されている。

第3節　薄　明

太陽が地平下にあっても一般に日出前または日没後1時間～1時間半は薄明るい。この間を薄明という。薄明は天測のみならず、狭水道通過時刻の決定など航海計画立案上、もしくは作戦実施上も考慮すべき重要な事項の一つである。

1. 薄　明

(1) 天文薄明

太陽の中心が視地平線下 16°～18° になるときに肉眼で6等星が消え始め、または見え始めるものとして、この時と常用日出没時との間を天文薄明という。一般に薄明とは天文薄明のことである。日出前の薄明を払暁と称し、日没後の薄明をたそがれという。

(2) 常用薄明

太陽の中心が視地平線下 6°～8° になるとき、肉眼で1等星が消え始め、または見え始める時と常用日出没時との間を常用薄明という。常用薄明時間は天文薄明時間の約$\frac{1}{3}$である。

(3) 航用薄明

恒星による天測には太陽が視地平線下 12° 近辺にあるときが最も適しているので、この時と常用日出没時との間を航用薄明ということがある。

薄明時間は緯度と太陽の赤緯によって変化する。赤道付近においては太陽の視運動の道、換言すれば赤緯の距等圏が地平に垂直であるため薄明時間は短かく、緯度が高くなるにしたがって赤緯の距等圏が地平に対して斜めになるので薄明が長くなる。高緯度においては、赤緯が緯度と同名のとき極下正中時に太陽の俯角が 18° に達しないことがありこの場合は薄明は終夜継続するもので、通称白夜という。

2. 薄明時間表

天測暦に北緯薄明時間表及び南緯薄明時間表があり、10日ごとの薄明時間が記載されている。

本表により払暁、たそがれを求めるには、

(1) 当日の日出没を求め

(2) 緯度と日付とをもって本表より薄明時間を求め

(3) 日出時より薄明時間を減じて払暁とし、日没時に加えてたそがれとす

る。

なお天測暦の巻末に昼夜図があり、日出没時、常用薄明の境界、天文薄明の境界が図示されている。

第4節　月出没時

1. 月出没時

一般に月出没時とは常用月出没時、すなわち月の上辺が視地平に接する時刻をいう。

月出没時を月出没時角から求めるには

$$月出没時 = T_0 \pm (h_0 + \Delta h)$$

T_0 ：月の子午線正中時

h_0 ：月出没時角

Δ_h ：真月出没時と常用月出没時との差

$\pm$ ：月出のとき－、月没のとき＋

(1) 月出没時角

$$\tan h_0 = -\tan l \ \tan d$$

ただし月は赤緯の変化が大きいから、逐次近似法によって計算を繰り知す必要がある。

(2) 真月出没時と常用月出没時との差

$$\Delta h = \frac{1}{15}(\mathrm{Dip} + \mathrm{Ref.} + \mathrm{S.D.} - \mathrm{Par.}) \sec d \ \sec l \ \ \mathrm{cosec}\, h$$

$$\mathrm{Ref.} = 34'$$

高度０のときは、　$+\mathrm{S.D.} - \mathrm{Par.} = -2.670S$

（Sは月の地心視半径）

Δhは太陰時による値であるから平時に換算するには、

$$\Delta t \doteqdot \Delta h \ \frac{24^h \ 50^m \ 28^s}{24^h} = 1.035 \Delta h$$

よって

$$\Delta t = 1.035 \times \frac{1}{15} (\mathrm{Dip} + 34 - 2.670\,S) \sec d \ \sec l \ \ \mathrm{cosec}\, h$$

2. 天測暦月出没時表

(1) 月出没時の求め方

月は天球上の移動が早く、d、S及び $E_{☾}$ の変化を軽視できないので、実用計算としてはどこか基準になる径度を定めなければ月出没時表を作ることができない。天測暦では径度 0°（グリニッチ子午線）、眼高0メートルとして、本初子午線における常用月出没時を世界時で示してある。

この表から任意の地の月出没時を求めるには、月のd、S及び $E_{☾}$ の変化速度を一応一定であるとみなし、略近算法により経度の補間を行なう。すなわち、

ア 本地の経度が東経ならば表の前日値、西経ならば翌日値との差を求める。(Δ')

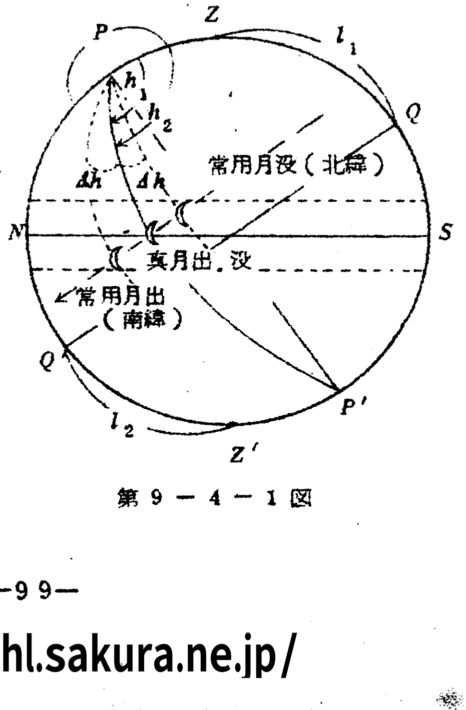
イ $\Delta' \times \dfrac{\mathrm{D.Long.}}{360°}$ を求める。これが経度補間値である。

ウ 表の当日値に経度補間値を東経の場合は減じ、西経の場合は加えれば、求める月出没時が地方平時で得られる。

エ 地方平時を標準時（または使用時）に改算する。

(2) 南緯に対する改正

真高度を 0° とした場合の月出没時は、地球の中心に対して対称の位置にある北緯と南緯の2地点においては、月出、月没は互に逆の現象として起こることになる。すなわち北緯の測者には月没であって、等値の南緯の測者（経度には 180° の差がある）には月出となる。そしてその時の時角 h_1 と h_2 とには丁度



第9－4－1図

12^h の差がある。また常用月出没について考えれば、月出は Δh だけ遅く、月没は Δh だけ早くなるので、北緯の月没と南緯の月出とは $2\Delta h$ だけ差を生ずる。

よって同一子午線上における南緯の地の常用月出没時は、

南緯の常用月出時＝北緯の常用月没時－（$12^h - 2\Delta h$）
南緯の常用月没時＝北緯の常用月出時＋（$12^h - 2\Delta h$）

天測暦の月出没時表から南緯の地の月出没時を求めるには、

ア　その地点の経度と 180° 経度が異なった地点の北緯月没（出）時を求め、

（南緯の月出時に対しては北緯の月没時
南緯の月没時に対しては北緯の月出時）

イ　それに $\pm 12^h$ を加え、

（東経のとき＋、西経のとき－）

ウ　南緯に対する改正数を加減し、

（南緯の月出時＋、南緯の月没時－）

エ　地方平時を使用時に改算する

参　考　資　料

海軍兵学校航海教科書巻之四（天文航法）

酒　井　進	著	天文航海学
浅　井　栄　資 豊　田　清　治	共著	天文航法
水路部刊行		天測暦
〃		天測計算表

海上幕僚監部航海術教範（天文航法の部）

鈴　木　敬　信	著	地文及天文航法
岩　永　道　臣 樽　美　幸　雄	共著	天文航法