

天体位置の計算

天体の位置計算からは、過去、現在、未来のある日の夜空がどんな様子に成っているのかを知ることができます。しかし、その正確な予測が難しいのは、地球が自転しており、さらに、その地球がさらに太陽の周りを廻っていることです。もっとやっかいなのは、地球の自転軸と公転の面がずれていることです。こんなことをいろいろ頭のなかにいれて、天体の位置計算をします。その基本となるのが、時間を決め方です。太陽を原点とする座標系のなかで、私たちのいる場所は絶えず変化をしています。その位置を正確にするためには、これまでの歴史の中での時間軸のなかで、自分たちがどこにいるのかを正確にする必要があります。こうして、天文学のまず第一の難関は、時間軸、すなわち、暦の正確なはかり方です。これが分かれば、あとは、太陽を原点とする座標系、地球の中心を原点とする座標系、さらに、自分のいる位置を原点とする座標系の座標変換をしていけば、容易に任意の日時の夜空をコンピュータでシミュレーションすることができます。すでに、コンピュータグラフィックスをもちいたパソコンプラネタリウムなどが紹介されていますが、自分でも是非、天体の位置計算に挑戦して見て下さい。

天体の位置計算の方法について以下の項目に分けて解説を書きました。

1. 恒星の位置計算

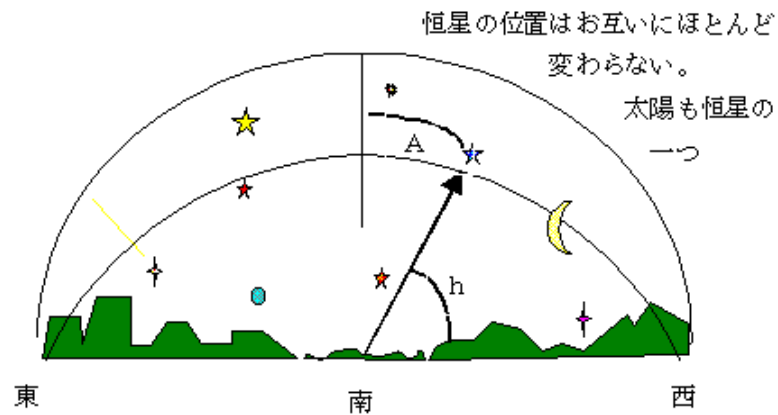
2. 惑星の位置計算

3. 月の位置計算

について、それぞれ図解を致します。

位置計算の仕方について、単純明快に解説したつもりです。まず、流れをつかんでみて下さい。

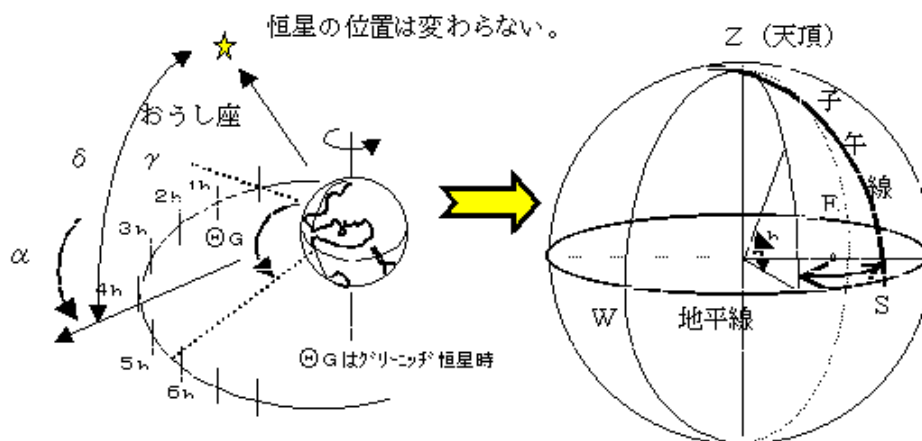
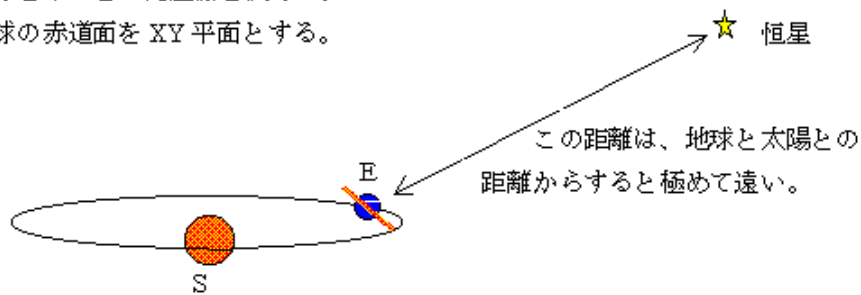
天体の位置計算



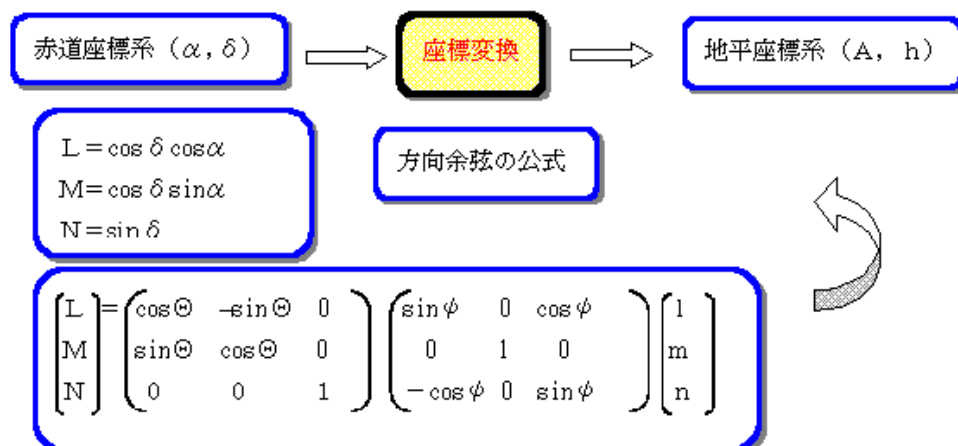
恒星の位置

地球を中心とした座標を決める。

地球の赤道面を XY 平面とする。



(α, δ) と $\odot, \phi$ とから、 A, h を求め



$\Theta = \Theta_0 + \lambda + t1 + \text{補正值}$

$\Theta_0 = 6^{\text{h}}38^{\text{m}}45.836^{\text{s}} + 8640184.542 \times Tu + 0.0929 \times Tu^2$

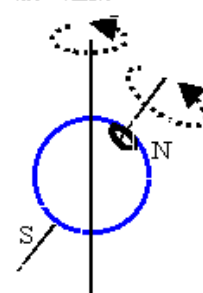
ϕ は緯度

Tu は、1899 年 12 月 31 日 12:00
からの経過日数を 36525 で割
ったもの。

恒星の位置のずれの補正

- 恒星の固有運動 太陽に対して等速で動いている。
Halley が発見。 (α, δ) を補正する
- 恒星の位置を表す座標軸が動いている。
地球の歳差運動 地軸の駒振り運動
地球の極の移動
- 幾何学的要因
地球の公転・自転によるずれ 視差
- 物理的要因
光行差、大気の屈折など

歳差運動



自転軸のブレ

それぞれの補正は数式化されているのでこれを導入する。

例) 自転軸のブレ

$$\Delta \phi = A \sin (a l + b l' + c F + e D + f \Omega)$$

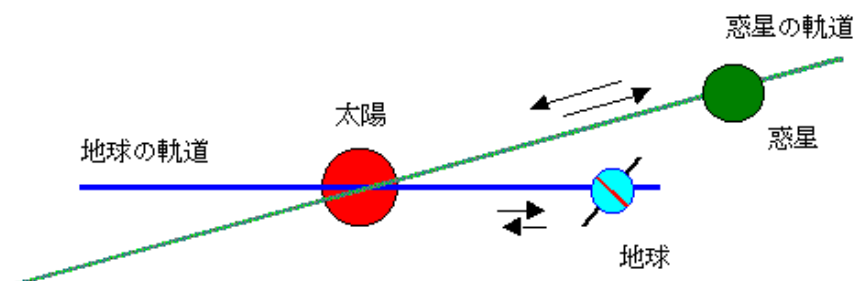
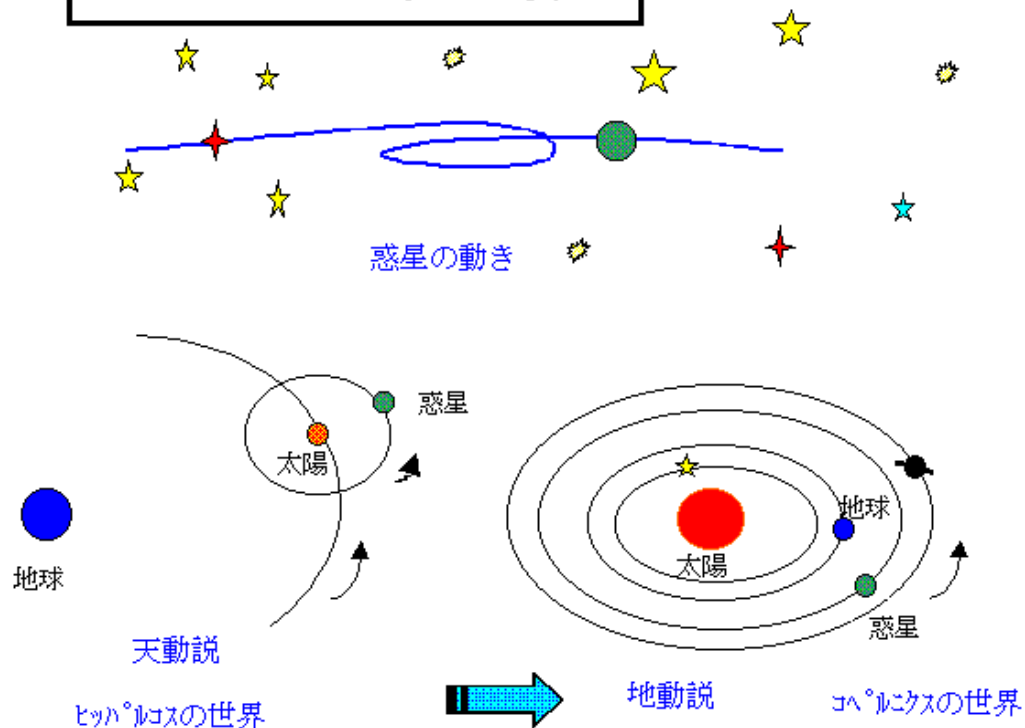
$$l = 296.104608 + 13.0649924465 d + 6.890 \times 10^{-12} \times d^2 + 29.5 \times 10^{-20} \times d^3$$

l' 、 F 、 D 、 Ω についても補正計算式が与えられている。

$$\varepsilon = 23^{\circ}.452994 - 0^{\circ}.0130125 T - 0^{\circ}.00000 164 T^2 + 0^{\circ}.00000 0503 T^3$$

これらの式を用いて、方向余弦を補正する。

惑星の位置計算



惑星の位置の決め

座標軸の変換の世界

- (1) 惑星の軌道上の位置を決める。
- (2) 太陽を中心として地球の公転面座標に変換する。
- (3) 太陽を中心として地球の赤道面座標に変換する。
- (4) 太陽の位置（地球の位置）を求め、座標軸を移動する。
地球を中心とした地球の赤道面座標に変換する。 (α, δ)
- (5) これを 方位角、高さ (A, h) に変換する。
地球上の観測地点での水平座標

実際の軌道上の位置の求め方

太陽を中心とした軌道上の位置

ケプラーの方程式から

$$U - e \sin U = 1$$

l; 平均近点角	} u; 離心近点角	} r; 動径	} 太陽を中心とした 座標値 (X, Y)	
a; 軌道長半径				} f; 真近点角
e; 離心率				

Ω ; 昇交点黄経

i;

地球の公転軌道への変換ができる。

地球の位置計算 = 太陽の位置計算
太陽の黄経、黄緯 (λ_s, β_s) から
求められる。



惑星の太陽を中心とした、地球赤道座標面座標 (X, Y, Z)

地球の太陽を中心とした、地球赤道座標面座標 (x, y, z)

惑星の地球を中心とした、地球赤道座標面座標 (X - x, Y - y, Z - z)

地球中心の極座標 (α, δ)

観測地の水平座標 (A, h)



太陽の軌道要素

$$C = (JD - 2415021) / 36525$$

平均黄経

$$SML = 280^\circ.6884 + 3600^\circ.769325 C + 7^\circ.222 \times 10^{-4} C^2$$

近日点黄経

$$SPL = 281^\circ.2206 + 1^\circ.7171697 C + 4^\circ.833333 \times 10^{-4} C^2 + 2^\circ.77777 \times 10^{-6} C^3$$

軌道離心率

$$SEC = 0.0167498 - 4.258 \times 10^{-5} C - 1.37 \times 10^{-7} C^2$$

軌道長半径

$$SAX = 1.00000129 \text{ AU}$$

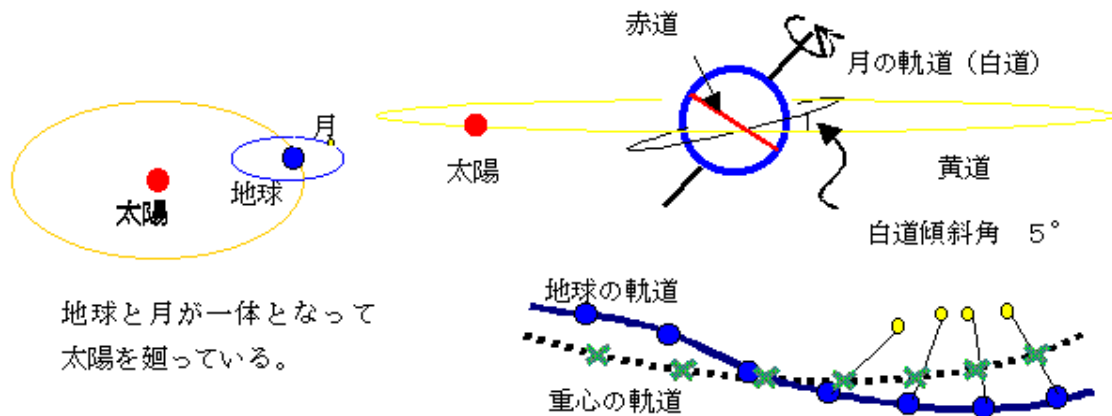
真太陽の黄経 $SL = \lambda_s$ を次式から求める。

$$SL = SML + SMPG \quad SMA = SML - SPL$$

$$SMPG = 1^\circ.91946 \sin(SMA) + 2^\circ.00939 \times 10^{-2} \sin(2 SMA)$$

$$- 4^\circ.78889 \times 10^{-3} \sin(SMA) * C - 1^\circ.44444 \times 10^{-5} \sin(SMA) * C^2$$

月の位置計算



月の位置の求め方

【1】 E.W.Broen の方法

黄経、黄緯、距離について約 250 ~ 800 項の摂動項

【2】 簡略法

黄経 63 項

黄緯 47 項

【3】 ノイゲバウエルの方法

タッカーマンの表を使い 元期 1800 I 0.5 UT = JD2378496.0

月の軌道要素

$$J = (JD - 2378496) / 36525$$

平均黄経

$$ML = 335^{\circ}.723436 + 481267^{\circ}.887361 J + 3^{\circ}.3888 \times 10^{-3} J^2 + 1^{\circ}.83333 \times 10^{-6} J^3$$

平均点黄経

$$SNL = 225^{\circ}.397325 + 4069^{\circ}.053805 J + 1^{\circ}.02869 \times 10^{-2} J^2 + 1^{\circ}.22222 \times 10^{-5} J^3$$

昇交点黄経

$$OMG = 33^{\circ}.272936 - 1934^{\circ}.144694 J + 2^{\circ}.08028 \times 10^{-3} J^2 + 2^{\circ}.08333 \times 10^{-6} J^3$$

軌道傾斜角

$$INC = 5^{\circ}.144433$$

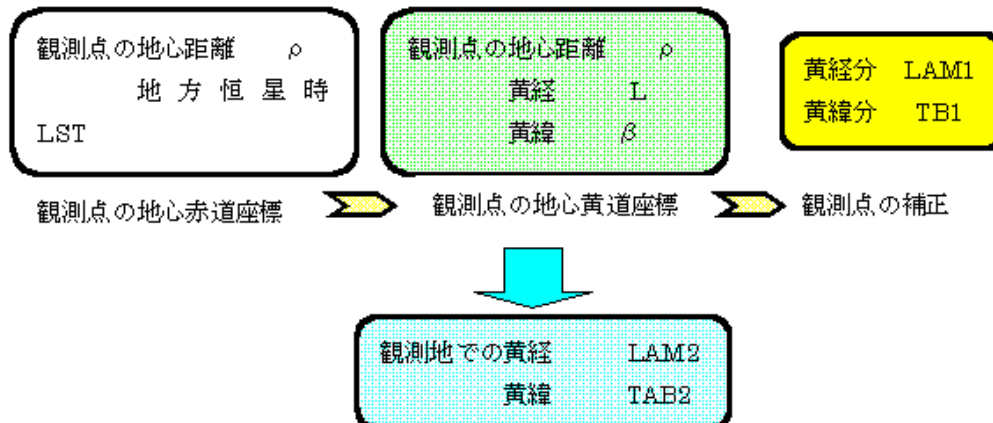
軌道離心率

$$EC = 0.05490897$$

これに摂動項補正をしていく。

月の地心黄経	LAM
黄緯	TAB

地球上の見る位置での補正



終わりに

月と太陽の位置関係が分かれば、すぐに、日食、月食の計算が出来ます。

しかも、その欠け始めや、食の程度も秒の単位で予測できます。

勿論、月の月齢の計算も容易です。

月齢は、月と太陽と地球の位置関係を示していますので、月、太陽の引力の大きさ、方向を知ることが出来ます。こうして潮の満ち干が予測されています。

御存知のように大潮が原因して、南米・アマゾンでは川の大逆流が起こります。同じ時に、地球の反対側では、揚子江の大逆流が起きています。潮が引いて韓国・チンド島では海が割れ、島が陸続きになります。昔のモーゼの十戒でも海が割れた話がありますが、これも天体現象の一つと考えられます。

月と太陽の位置計算をしていて、その力が地球の地殻の変動に無視出来ないものではないかと考えるようになりました。そんなことから、いま、地震の発生と潮汐力との関係に非常に興味を持っています。

天体の現象からすると、地球で発生する地震は極々局地的なものでなかなかその相関を見いだすことは難しいようですが、答えのでない問題に挑戦することは時間がいくらあっても足りず、まことにあって暇つぶしの好材料です。

平成12年3月3日

参考文献

- 1) 宮本正太郎 「初等天文学」 1970 朝倉書店
- 2) 長沢 工 「天体の位置計算」 1981 地人書簡
- 3) 森本雅樹編 「天体観測セミナー」 現代天文学講座 13 恒星社
- 4) 齋藤国治 「古天文学への道」 1990 原書房
- 5) 齋藤国治 「古天文学」 1989 恒星社
- 6) 荒木俊馬 「現代天文学」 1970 恒星社
- 7) 鈴木誠二 「月齢と地震との関係」 私信 1998

