

地震予知に関する一考察

月齢と地震との関係

月は地球に一番近い天体です。この月が地球に与える影響には、汐の満ち干、日食の問題、あるいは、暦など様々な形でわたくし達の生活の中で重要な役割を果たしています。

その月は、約29日で地球の周りを一回転していますが、その間に月自身も自転を一回しております。こんなことから、月はいつも地球に同じ顔しか見せてくれません。一体、月の裏側はどんな表情をしているのでしょうか。月に関する興味には尽きないものがあります。

その一つが月が地球におよぼす力学的な作用です。地球は月の位置により、ゴム風船のようにある方向に膨らんだり、縮んだりしています。この現象は月ばかりでなく、太陽によっても引き起こされます。こうして、地球には、絶えず、極僅かではありますが、伸び縮みをしているのです。私は、この繰り返しの荷重が地震を引き起こす引き金になっているのではないかと、興味をもちました。

月と地球の間には、引力が働いています。この引力の方向に位置すれば、その時地球はその方向に引っ張られて、延びています。同じことが、太陽についても言えます。

そこで、これらの因子、すなわち、太陽と月と地球の位置関係をまとめて表すのに、月の月齢を用いることにしました。



月齢の求め方を次に示します。これらの式に従い、コンピュータで計算し、月の欠け具合を図示するプログラムを作成しております。（プログラムはN88-BASICです。）

1. はじめに
2. 月齢
3. ユリウス通日の求め方
4. 恒星時について
5. 太陽の位置計算
6. 月の位置計算
7. 過去に起こった地震の月齢

1. はじめに

そうです。その日はほぼ満月に近い月が夜空に浮かんでいました。あの1995年1月17日、阪神大震災の夜、私は会社からの帰り道ふと夜空を見上げ、そこに恍々と光輝く月を見ました。

「あゝ、こんな寒い夜空の下で避難している被災者の人たちはどんなに惨めな思いをしているのだろうか？ 私の友人は、みんな大丈夫なのかなあ？」と、思わず同情の念が浮かびました。

そしてその時、ふと、その半月前にも同じ気持ちになったことを思い出しました。

つまり、北海道の奥尻島沖での地震のことです。あの時は満月の頃ではなく、新月でした。この二つの地震は満月と新月の違いはあれ、地球と月と太陽が一直線になっている時に起こったことは間違いありません。これは偶然かも知れませんが、月と地球と太陽との相互の位置関係が、地震と密接なかかわりを持っているのではないか？、天体の力が地球を変形し、歪みを与え、それが引き金として地震を起こしていることはないのだろうか？と考えました。

そこで、月の引力の地球に及ぼす影響について興味を持って調べているうち、月が地球に対して様々な力を及ぼしていることが分かってきました。よく知られている月食は、毎年2度起きます。多い時には3度起きる年もあります。また、日食は、太陽が月の陰になって起きる現象です。これらの現象は、太陽と地球、そして月との相互の位置関係によって起こる現象です。日々の現象では、毎日2回、満潮と干潮があります。これも月の影響です。

古来、月の引力は地震と何らかの関係を持っているといわれて来ました。ジャン・R・グリビンとスティーブ・H・プレイグマンは、その著書”The Jupiter Effect”のなかで次のように述べています。「月の引力が地殻を引っ張る力の場合によっては、地震の引きがねになることがある。」

このように月は、地球の周囲を回っているだけでなく、地球に対して力学的な作用を及ぼしているのです。天体学では、月は地球の衛星ですが、太陽からすれば地球と月は一体となって太陽の周囲を回っている惑星とされています。

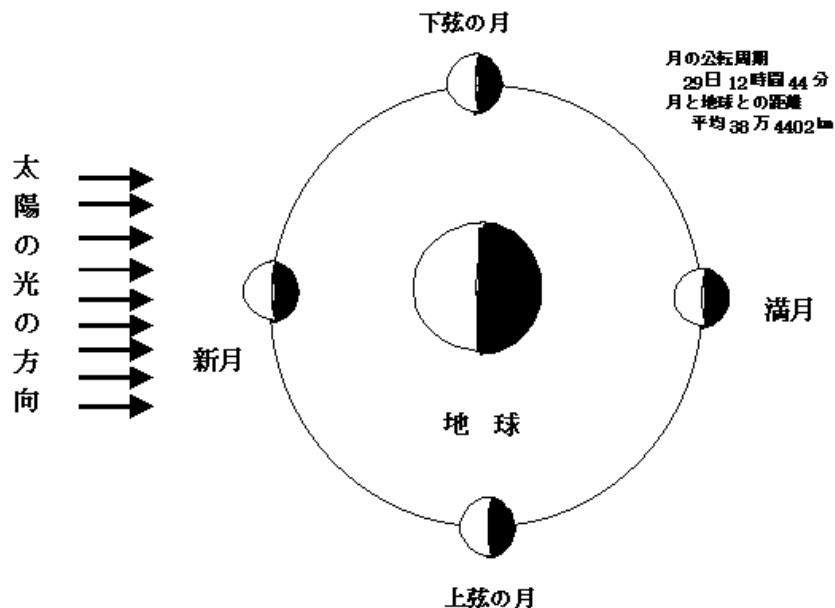


図-1 月の公転運動

そこで、私は月と太陽とが地球に及ぼす力、つまり、宇宙に浮かぶ天体のお互いの引力について考察することにしました。その力の変化は、太陽と地球と月の位置関係によって決まりますので、この3天体の位置関係の指標として月齢に着目し、日々の月齢を求めることにしました。

2. 月齢

月齢、つまり、月の地球を回る公転周期上での位置は、太陽と地球、そして、月の相互の位置関係を表している。従って、この月齢を知ることによって地球に働く引力の変化を知ることが出来る。

過去に起きた地震の日の月齢を知るには、この3天体の位置関係を過去に遡って算出することが必要になる。天体の位置計算をする方法にはいろいろなものが知られているが、ここでは、体系的に過去の天体の位置計算の研究をしておられる元東大教授斎藤国治先生の古天文学の天体位置の計算を参考にした。この方法によれば、記録に残っている過去に起こった地震の発生した正確な日時が分かれば、発生時に於けるそれぞれの天体の位置関係を求めることが出来る。

月齢は、日光に照らされた月面が地球上の観測点から見える度合いである。朔の日の月相が 0° で、以後、毎日 13° ずつ増え、望の日に 180° になる。この月相が 180° の時

に満月となり、月齢は15.0となる。一方、月相が0°、または、360°の時には新月となり、月齢は0または29.2となる。このように月相を求めることにより月齢を知ることが出来る。

また、月相を求めるのは観測地から見た月の位置と太陽の位置とから知ることが出来る。すなわち、

$$\cos MP = \cos(LAM2 - SL) \cdot \cos(BET2)$$

略算として

$$MP = LAM2 - SL$$

である。ここでそれぞれの記号は次のように定義された数値である。

LAM2 : 観測地から見た月の黄経

BET2 : 黄緯

SL : 真太陽の黄経

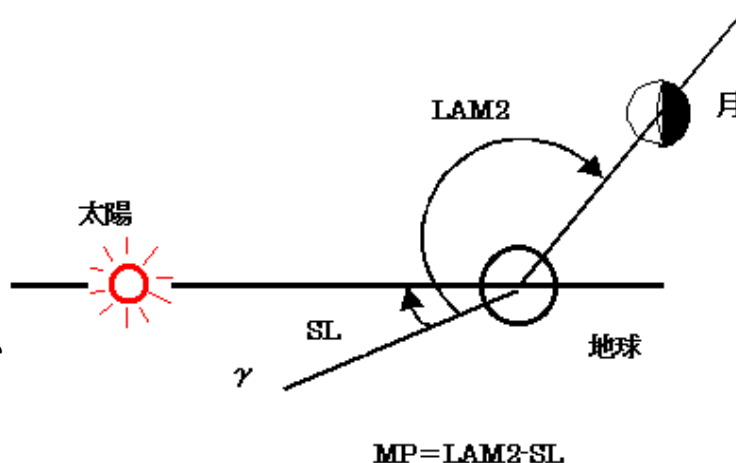


図-2 太陽と地球と月の位置

これらの数値は、月齢を知ろうとする年月日、さらにその時間での太陽ならびに月の位置計算によって求められる。

3. ユリウス通日の求め方

過去に於ける太陽や月の位置計算はユリウス通日と呼ばれる暦の日数の関数として与えられている。たとえば太陽の位置計算は、-4712年の1月1日世界時正午から数えた日数で、すなわち、ユリウス通日を変数として、AD1900年の1月1日のグリニッチ正午を時間の始点（元期という）した関数で与えられている。月の位置計算の場合も関数の始点は違うがやはり同じようにユリウス通日の関数が与えられる。このように天体の位置計算をするには、観測地における観測時のユリウス通日を知る必要がある。

そこで、任意の地点に於ける任意の時間のユリウス通日を以下のようにして求める。

西暦 Y 年 M 月 D 日、東経 LON°、地方平均時(LMT)の H 時のユリウス通日を JD とする。

(1) Y が B.C.年表示で与えられているなら、まず $Y = -(Y-1)$ とする。

A.D.であればそのままとする。

(2) もし $M < 3$ ならば $Y = Y-1$, $M = M+12$ とする。 $M \geq 3$ ならそのまま。

(3) つぎに

$$S = [365.25 \cdot Y] + [30.59 \cdot (M-2)]$$

(4) $JD = S + D + H / 24 - LON / 360 + 1721086.5$

(5) もし、問題の年月日がグレゴリオ暦行用期間中(*)に含まれているならば、
さらに

$$A = [Y / 400] - [Y / 100] + 2$$

を求め、

$$JD = JD + A \cdot \text{JD} > 2299150. \text{d} 0 \text{ のとき}$$

とする。

4. 恒星時について

つぎに月の位置の視差補正をする時に地方恒星時 (LST) が必要となるのでここで求めておく。

西暦 Y 年 M 月 D 日、東経 LON° 、地方平均時(LMT)の H h の地方恒星時(LST)はつぎの手順で求める。

まず、元期を 1900 年 1 月 0.5 UT とする。

この日のグリニッチ恒星時 (GST) は観測から、

$$GST = 18.^h 6461$$

で与えられている。

元期でのユリウス通日を JD_0 とする

$$JD_0 = 2415020.^d 0 \text{ である。}$$

$$\text{いま } B = JD - JD_0.$$

$$R = 366.^d 2422 / 365.^d 2422$$

とすると Y, M, D, H にたいする地方恒星時 LST は、

$$LST = 18.^h 6461 + 24.^h \cdot B \cdot R + 3.24 \cdot 10^{-4} \cdot B^2 + LON / 15 (h)$$

で与えられる。

0 ~ 24 時間の中に入るようにするには

$$LST = 24.^h \cdot (LST / 24 - [LST / 24])$$

もし $LST < 0$ なら

$$LST = LST + 24.^h$$

とする。

5. 太陽の位置計算

太陽の位置計算は A.D. 1900 1 1, グリニッチ正午 (= 1900 1 1.5 UT) が元期となっている。

この日のユリウス通日は $JD = 2415021.^d 0$ である。

また、太陽の黄緯は常にゼロである。元期に於ける太陽の黄経は観測によって与えられている。太陽の位置計算をするには 元期との年数差をユリウス暦1000年を1単位としたCを用いて計算する。

$$C = \frac{(JD - 2415021)}{36525}$$

太陽の軌道要素は以下の通りである。

平均黄経 (Solar Mean Longitude)

$$SML = 280^\circ .6824 + 3600^\circ .769325 \cdot C + 7^\circ .2222 \cdot 10^{-4} \cdot C^2$$

近日点黄経 (Solar Longitude of Perihelion)

$$SPL = 281^\circ .2206 + 1^\circ .717697 \cdot C + 4^\circ .833333 \cdot 10^{-4} \cdot C^2 + 2^\circ .77777 \cdot 10^{-6} \cdot C^3$$

軌道離心率 (Solar Eccentricity)

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

軌道半長径 (Solar Semi-major Axis)

$$SAX = 1.00000129 \text{ A.U.}$$

ここで、

SML: 平均太陽 (○印) と春分点 γ との黄経差

SPL: 近日点 P と春分点 γ との黄経差

$$SMA = SML - SPL$$

SMA は、平均太陽と近日点 P との黄経差 (平均近点角) である。

1 公転中の真太陽の平均太陽との差を SMPG とすると、太陽がケプラー運動をするため、SMPG は SMA と C との関数になる。

$$SMPG = 1^\circ .91946 \cdot \sin(SMA) + 2^\circ .00939 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(2 \cdot SMA) - 4^\circ .78889 \cdot 10^{-3} \cdot \sin(SMA) \cdot C - 1^\circ .44444 \cdot 10^{-5} \cdot \sin(SMA) \cdot C^2 + \dots$$

真太陽 (●印) の黄経を SL (Solar Longitude) とすると、

$$SL = SML + SMPG$$

また、真太陽 (●印) と近日点 P との黄経差である真近点角 (Solar True Anomaly = STA) は、

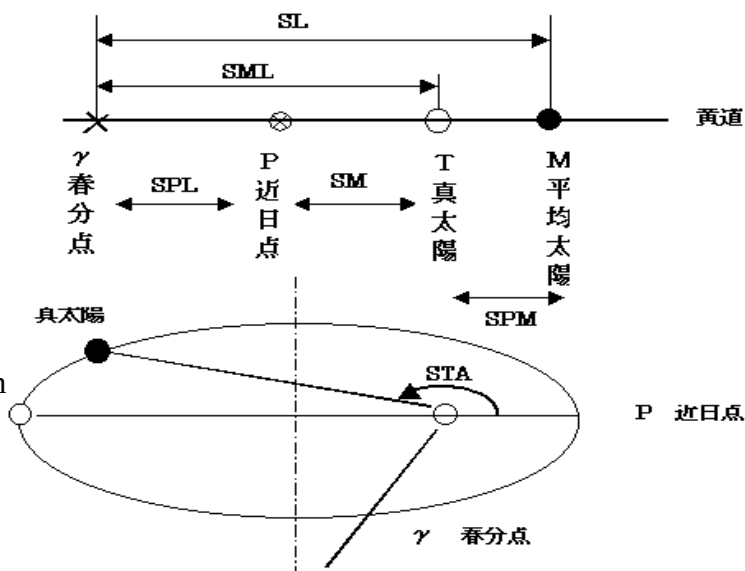


図-3 太陽の位置計算における関係図

$$STA = SL - SPL = SMA + SMPG$$

となる。

地球と太陽との距離：動径（Solar Radius Vector = SRR）は、

$$SRR = \frac{1 - SEC^2}{1 + SEC \cdot \cos(STA)} \quad (\text{A.U.})$$

となり、太陽の視半径（SS）は、

$$SS = 0^\circ .2667 / SRR \quad (^\circ)$$

となる。

以上が過去に於ける太陽の位置を知る計算であるが、このうち月齢を求めるのに必要な数値は、真太陽（●印）の黄経を表す SL の値である。

6. 月の位置計算

つぎに過去における月の位置計算をする。月の位置計算も太陽の場合に準じて行うことが出来るが、月の天球上の移動速度は、約 $13^\circ / \text{日}$ と速く、また太陽の引力により摂動補正が複雑になる。そのうえ、地球に近いために見かけの位置は「視差」の補正をする必要がある。

月の軌道要素はタッカーマン表（1966）を使う。さらに、

元期は、 $1800 \text{ I } 0.5 \text{ UT} = \text{JD } 2378496. \text{d } 0$ を用いる。これは、月の要素がオッポルツェル・ハンセンの表によるためである。従って、ここでは変数として J を使用することになる。

6.1 月の位置計算

新しい元期からの間隔 J を

$$J = (\text{JD} - 2378496) / 36525$$

と定義する。月の軌道要素はこの J を用いて次のように与えられている。

月の要素

$$\text{平均黄経 ML} = 335^\circ.723436 + 481267^\circ.887361 \cdot J + 3^\circ.38888 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 + 1^\circ.83333 \cdot 10^{-6} \cdot J^3$$

$$\text{近地点黄経 PNL} = 225^\circ.397325 + 4069^\circ.053805 \cdot J - 1^\circ.02869 \cdot 10^{-2} \cdot J^2 - 1^\circ.22222 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$\text{昇交点黄経 OMG} = 33^\circ.272936 - 1934^\circ.144694 \cdot J + 2^\circ.08028 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 + 2^\circ.08333 \cdot 10^{-6} \cdot J^3$$

$$\text{軌道傾斜角 INC} = 5^\circ.144433$$

$$\text{軌道離心率 EC} = 0.05490897$$

これらの要素を用いて軌道計算をするわけであるが、月の場合には、これに摂動補正が必要となるので、つぎにその摂動項を求める。

6.2 月の摂動補正

月の摂動はノイゲバウエル（1914）の6つの主な摂動項を補正する。

$$g = 110^\circ.32601 + 477198^\circ.8436 \cdot J + 0^\circ.0142039 \cdot J^2 + 1^\circ.42083 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$w = 192^\circ.12428 + 6003^\circ.1975 \cdot J - 0^\circ.012555 \cdot J^2 - 1^\circ.25597 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$g' = 0^\circ.40885 + 35999^\circ.0552 \cdot J - 1^\circ.98806 \cdot 10^{-4} \cdot J^2$$

$$w' = 246^\circ.2310 + 1935^\circ.8602 \cdot J - 1^\circ.64472 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 - 1^\circ.84028 \cdot 10^{-6} \cdot J^3$$

これより、黄経方向の摂動引数として、

$$AA = g - 2g' + 2(w - w')$$

$$BB = 2(g - g') + 2(w - w') = AA + g$$

$$CC = g' + 180$$

$$DD = g - 3g' + 2(w - w') = AA - g$$

$$EE = 2g - 3g' + 2(w - w') = BB - g'$$

同じく、黄緯方向の摂動引数として

$$HH = g - 2g' + w - 2w' = AA - w$$

を得る。これをJのベキ級数で表すと、

$$AA = 1^\circ.26949 + 41333^\circ.4078 \cdot J - 7^\circ.2201 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 - 0^\circ.72305 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$BB = 111^\circ.6209 + 890534^\circ.2514 \cdot J + 6^\circ.9838 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 + 0^\circ.69778 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$CC = 180^\circ.40885 + 35999^\circ.0552 \cdot J - 0^\circ.0001988 \cdot J^2$$

$$DD = 0^\circ.88605 + 377336^\circ.3526 \cdot J - 7^\circ.0213 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 - 0^\circ.72305 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$EE = 111^\circ.21205 + 854535^\circ.1962 \cdot J + 7^\circ.1826 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 + 0^\circ.69778 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$HH = 169^\circ.1706 + 407332^\circ.2103 \cdot J + 5^\circ.3354 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 + 0^\circ.53292 \cdot 10^{-5} \cdot J^3$$

$$A_0 = 1^\circ.2408 \cdot \sin AA$$

$$B_0 = 0^\circ.5958 \cdot \sin BB$$

$$C_o = 0^\circ .1828 \cdot \sin CC$$

$$D_o = 0^\circ .0550 \cdot \sin DD$$

$$E_o = 0^\circ .0431 \cdot \sin EE$$

$$H_o = 0^\circ .1453 \cdot \sin HH$$

これより *Störung* の補正項と呼ばれる ST 値を求める。

$$ST = A_o + B_o + C_o + D_o + E_o$$

この ST を用いて平均黄経に補正を加え、以下の手順で軌道計算を実施する。

$$ML = ML + ST$$

昇交点黄経と呼ばれる、春分点 γ から昇交点 N までの角度 *OMG*(Longitude of Ascending Node)以下 6.1 項の位置計算のための軌道要素を計算する。

平近点角 *MA* (Mean Anomaly)は、補正された平均黄経と近日点黄経より次の式によって求められる。

$$MA = ML - PNL$$

次いで月の日心運動の中心差 *MPG* を次の式に従って求める。

$$MPG = (2EC - 1/4EC^3) \cdot \sin(MA) + 5/4 EC^2 \cdot \sin(2MA) \\ + 13/12 EC^3 \cdot \sin(3MA) + \dots$$

また、真近点角 *True Anomaly* (TA)は、

$$TA = MA + MPG = ML - PNL + MPG$$

この真近点角 TA と、軌道の傾斜角 *INC* より月の日心黄緯 *TB* を次の関係式から求めることができる。

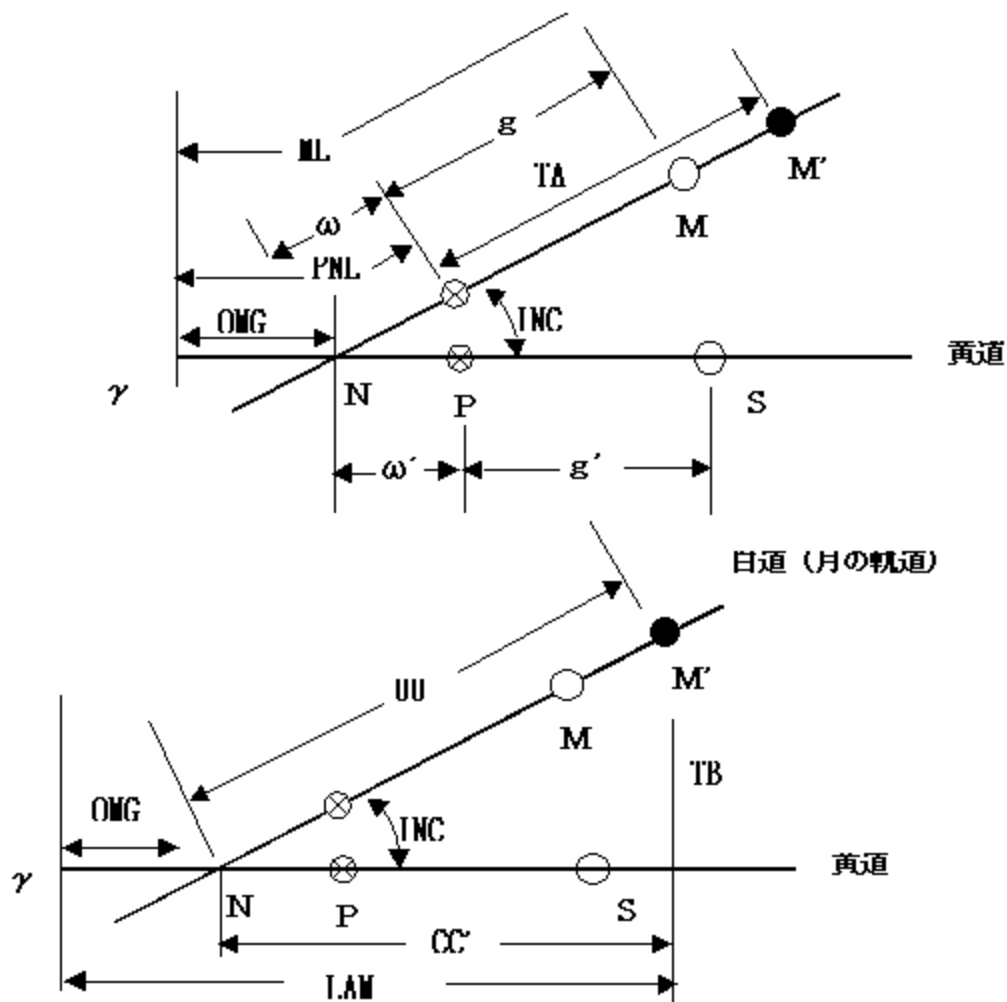
$$\tan CC' = \cos INC \cdot \tan UU$$

$$\tan TB = \tan INC \cdot \sin CC'$$

$$UU = TA + PNL - OMG$$

ここで、CC' と UU とは同一象限内にあるように設定する。

また、日心黄経 *LAM* は、



γ = 春分点、 N = 昇交点、 P = 近日点、 S = 平均太陽
 M = 平均月、 M' = 真月

図－４ 月の位置を求める関係図

$$LAM = CC' + OMG$$

となる。

日心黄経 LAM と、日心黄緯 TB とは太陽を中心として球面座標系である。これを太陽を中心とした日心直交座標系(X, Y, Z)に座標変換をする。座標変換の式は以下の通りである。

$$\begin{aligned}XX &= RR(\cos UU \cdot \cos OMG - \sin UU \cdot \sin OMG \cdot \cos INC) \\YY &= RR(\cos UU \cdot \sin OMG + \sin UU \cdot \cos OMG \cdot \cos INC) \\ZZ &= RR \cdot \sin UU \cdot \sin INC\end{aligned}$$

ここで、RR は月の動径で、軌道の離心率 EC と真近点角 TA から次式によって求められる値である。

$$RR = AX \cdot \frac{1 - EC^2}{1 + EC \cdot \cos(TA)}$$

6.3 月の視差補正

月は地球にかなり近いので、地球上の各地から見た地球の視差は、最大で $\pm 1^\circ.0$ に達する。これは月の視半径の4倍にあたるから、日食や月星の掩蔽の計算には月の視差の補正が必要になる。

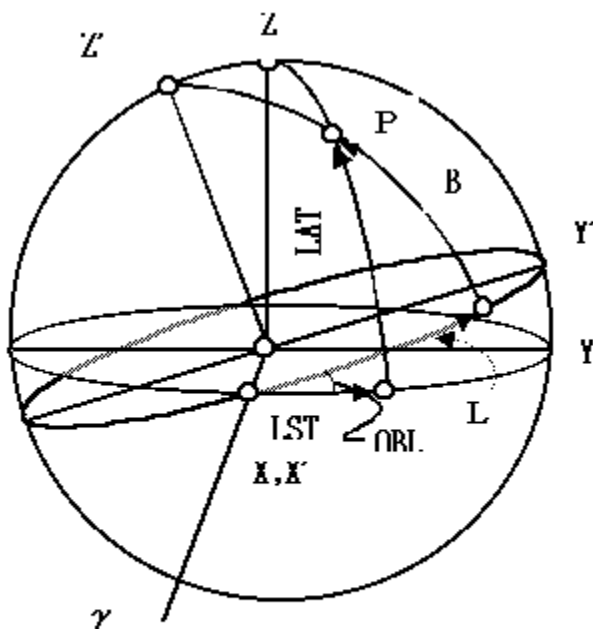


図-5 赤道座標と黄道座標との変換の為の図

観測地点 P の地心赤道座標を (ρ, LST, LAT) であらわす。ここで、

ρ : 地心距離 (単位: 地球平均半径) $\rho = 1.0$
LST : 地方恒星時 (Local Sedereal Time)
LAT : 天文緯度

である。さらに X 軸 を春分点の方向にとると、 P 点の東経は、LST と等しくなる。すなわち、 $LON(^{\circ}) = LST (h.m.)$ となる。
観測地点 P の地心黄道座標を (ρ, L, B) は、X 軸のまわりに OBL だけ回転すれば求められるので、次の関係式を使って算出する。

$$\begin{aligned}\cos B \cdot \cos L &= \cos LAT \cdot \cos LST \\ \cos B \cdot \sin L &= \cos OBL \cdot \cos LAT \cdot \sin LST + \sin OBL \cdot \sin LAT \\ \sin B &= -\sin OBL \cdot \cos LAT \cdot \sin LST + \cos OBL \cdot \sin LAT\end{aligned}$$

つぎに、この B,L を用いて月の視差補正量を求める。月の視差補正量のうち、黄経成分を LAM1 とし、黄緯成分を TB1 とすると、

$$\sin(LAM1) = \frac{-\sin PI \cdot \cos B \cdot \sin(L-LAM)}{\cos TB}$$

ここで、 $\tan GA = \tan B / \cos(L-LAM)$ とおけば、

$$\sin(TB1) = \frac{-\sin PI \cdot \sin B \cdot \sin(GA-TB)}{\sin GA}$$

ここで、PI(Equatorial Horizontal Parallax) はその時の月の赤道水平視差と呼ばれるもので、次のようにして求められる要素である。

月と地心との平均距離 AX を地心平均半径を単位として表すと、

$$AX = 60.2682$$

ここで $\rho = 6.37 \times 10^3$ であり、これより月の地心距離 RR を求めると、

$$RR = AX \cdot \frac{1 - EC^2}{1 + EC \cos(TA)}$$

従って、月の赤道水平視差 PI は次の関係から求められる。

$$\sin PI = 1 / RR$$

ここで、実際の実測補正としてさらに $PI / 0.99$ を求めて、月の実赤道水平視差とする。すなわち、

$$PI = PI / 0.99$$

をベースに、視差補正量 LAM1, TB1 を先の式から求めるのである。

観測地から見た時の月の黄経を LAM2、黄緯を BET2 とすると、

$$\begin{aligned} \text{LAM2} &= \text{LAM} + \text{LAM1} \\ \text{BET2} &= \text{TB} + \text{TB1} \end{aligned}$$

となる。 また、月の視半径 MS は、

$$\sin \text{MS} = 0^\circ.2735 / (\text{RR} \times 0.99)$$

より求めることができる。

6.4 月齢

月齢は、月の日光に照らされた月面が地球上の観測点から見える度合い、すなわち月相の値 MP (Moon Phase) を求めて、これより知ることができることは先に述べた通りである。月相は朔の日が 0° であり、望の日に 180° となる。太陽と地球、月の相対的な位置関係から次の式によって月相を求めることができる。

$$\cos \text{MP} = \cos(\text{LAM2} - \text{SL}) \cdot \cos(\text{BET2})$$

略算として

$$\text{MP} = \text{LAM2} - \text{SL}$$

となり、欠けた月の最大幅は、 $\text{MS}(1 - \cos \text{MP})$ で表される。

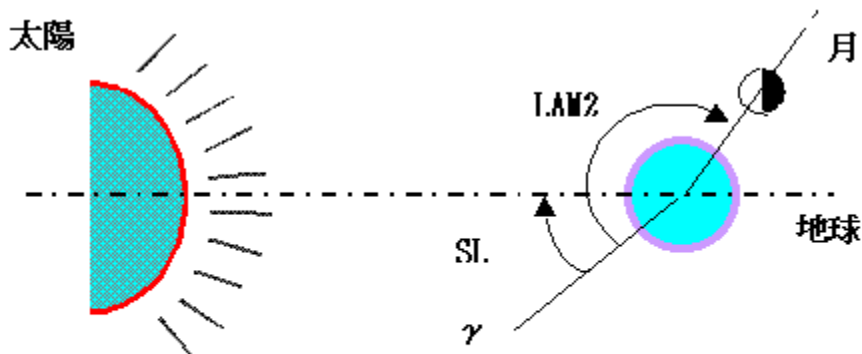
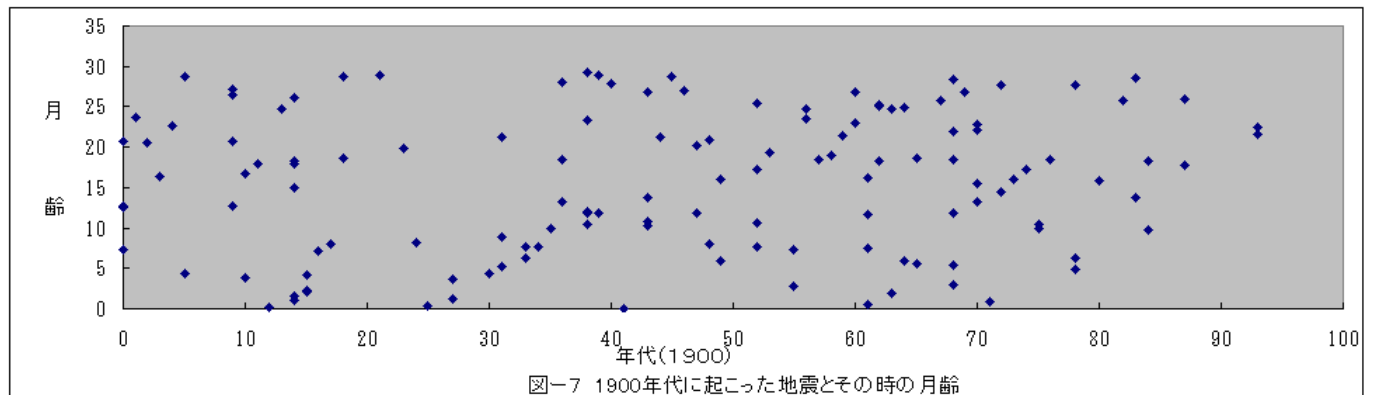


図-6 月相と太陽、地球、月の位置関係

月齢は、月相が 180° の時に 15.0 であり、 360° の時に 29.2 となる。
ここでは月の一公転の間を比例計算する。

7. 過去に起こった地震の月齢

上述の計算手法に従って任意の日時の月齢を求めることができる。地震が月の引力によって何らかの影響を受けているものであれば、地球に働く月の引力の大きさを知ればよい。月の引力を求めるには、月と地球との距離に依存するはずであるが、月が地球を回る軌道半径は常に一定となっているわけではない。また、月ばかりでなく、太陽の回りを廻る地球の公転半径も絶えず変化している。さらに、これらの引力の相互作用は、月と太陽と地球との相対的な位置関係によっても変わってくる。そこで、こうしたものを総合的に加味した因子として、月の月齢をもとめ、地震の発生との相関関係を求めることとした。



その結果については、別途報告したい。

参考文献

- 1) 斎藤国治「古天文学」 恒星社
- 2) 理科年表 過去に起こった地震のデータ