日の出日の入り時刻の計算の考え方

2013 年 2 月 18 日

1　地平座標

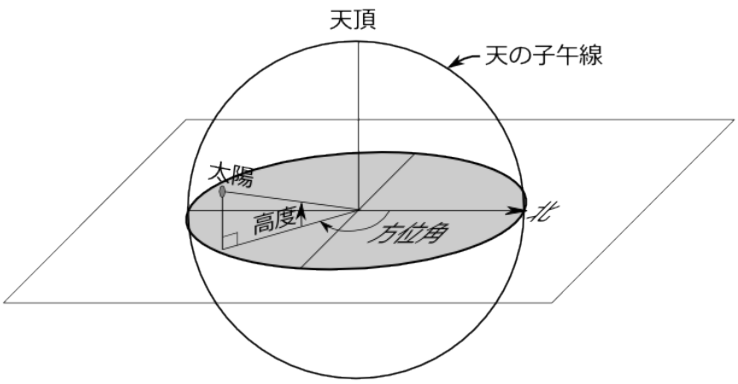

図 1

図 1 のように太陽の位置を方向角と高度で表わす。これを地平座標と言う。日の出、日の入時刻の求め方と言うのは、要するに太陽の高度と方向角を時間の関数として求め、そして高度が $-50'$[*1]となる時刻を求めるということである。しかし、ここで紹介する計算法は太陽の時角を求め、その時角から時刻を補正して求める方法である。時刻（年、日、時、分、秒）というのは太陽の位置から元々決めているので、こちらの方がわかりやすく簡明だと思う[*2]。

2　赤道座標

もうひとつの太陽に位置の表わしかたの赤道座標を説明する。まず、言葉から説明しよう。**天頂**とは観測点の鉛直真上のことである (図 1 参)。**天の子午線**とは天の北極、天頂、天の南極を通る天球上の円のことである。要するに、真上頭上を南北に通る円のことである (図 1、図 2 参)。図 2 のように太陽の位置を赤緯、時角で表わすのが赤道座標である。太陽、北極、南極を通る円を考え、赤道から太陽までの角度のことを赤緯 β と

[*1] 高度が 0 度でない理由は太陽の視半径を考慮したのと大気の屈折のためである。詳しくは付録 A を見て欲しい。

[*2] 時刻と言うものは、ある基準となる瞬間から計った時間というものとは違う。長さならば駅から 2km と言えば、駅を基準にしてそこから km と言う長さが 2 個と言う意味である。しかし時刻にはそういう基準がない。実際、地球の自転に合わせるために時々、うるう秒をいれているようである。時刻は数と言うよりも名称に近いものと言うのが私の印象である。

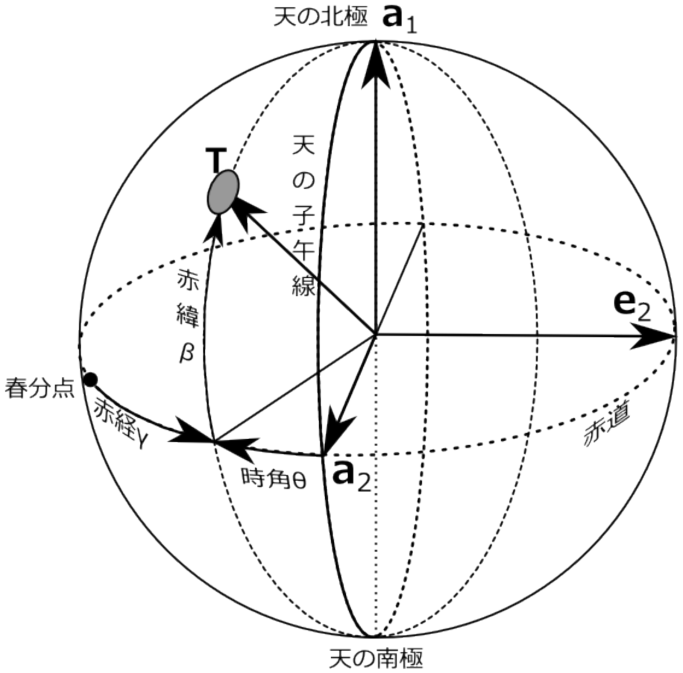

図 2

いう。天の子午線からその円までの時計回りの角度を時角 θ という。時角の代わりに春分点から[*3]反時計回りに測った角度を赤経 γ という。時角の代わりに赤経を使うこともある。天球上の太陽の位置ベクトル $\mathbf{T}$ は

$$\mathbf{T} = \mathbf{a}_1 \sin\beta + \cos\beta(\mathbf{a}_2 \cos\theta - \mathbf{e}_2 \sin\theta) \tag{1}$$

と表わせる。ここで $\mathbf{a}_1$,$\mathbf{a}_2$,$\mathbf{e}_2$ は図 2 にあるような向きを持つ地面に固定された、互いに直交する単位ベクトルである（図 3 参）。

天球に恒星が固定されている。天球は天の北極のまわりを 23 時間 56 分で 1 周する。太陽は天球（恒星）と共に動きつつ 1 年で恒星を 1 周する。これが太陽の動きである。

3　赤道座標と地平座標の関係

赤道座標と地平座標の関係を説明する。図 3 のように地平上の真北方向の単位ベクトルを $\mathbf{e}_1$、東方向を $\mathbf{e}_2$、天頂方向を $\mathbf{e}_3$ とする。$\mathbf{a}_1$,$\mathbf{a}_2$ は前節で述べたものと同じである。i はその地点の緯度である。$\mathbf{a}_1$、$\mathbf{a}_2$ を $\mathbf{e}_1$、$\mathbf{e}_3$ で表わすと

$$\mathbf{a}_1 = \mathbf{e}_1 \cos i + \mathbf{e}_3 \sin i \qquad \mathbf{a}_2 = \mathbf{e}_3 \cos i - \mathbf{e}_1 \sin i \tag{2}$$

これを式 (1) の

$$\mathbf{T} = \mathbf{a}_1 \sin\beta + \cos\beta(\mathbf{a}_2 \cos\theta - \mathbf{e}_2 \sin\theta)$$

に代入すると

$$\mathbf{T} = \mathbf{e}_1(\cos i \sin\beta - \sin i \cos\beta \cos\theta) + \mathbf{e}_2(-\cos\beta \sin\theta) + \mathbf{e}_3(\sin i \sin\beta + \cos i \cos\beta \cos\theta) \tag{3}$$

[*3] 春分点とは黄道と赤道の恒星上の交点のこと。4 節参照。

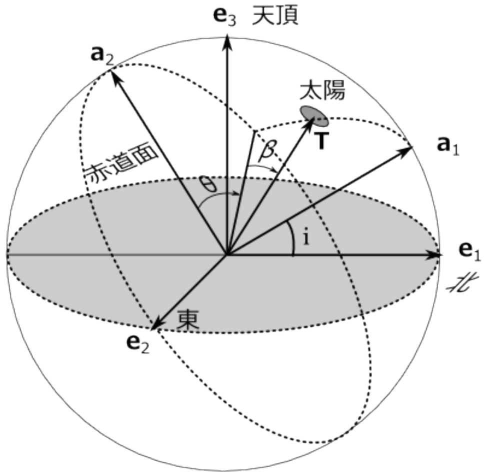

図 3

だから高度と方向角は

$$\sin(\text{高度}) = \sin i \sin\beta + \cos i \cos\beta\cos\theta \tag{4}$$

$$\tan(\text{方向角}) = \frac{\cos\beta\sin\theta}{\sin i\cos\beta\cos\theta - \cos i\sin\beta} \tag{5}$$

と表わせる。これが赤道座標と地平座標の関係である。太陽の高度が $-50'$ のとき日の出、日の入となるのであった。

【例題】 緯度 35 度の地点で太陽の赤経 β を 10°として日の出、日の入時刻とその方向角の概算を求めてみよう。

式 (4) より

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\sin(\text{高度}) - \sin i\sin\beta}{\cos i\cos\beta}\right) \tag{6}$$

この式に、高度 $= -50'$、$\beta = 10$、$i = 35$ を入れると、$\theta = \pm 97.9327$ をえる。大ざっぱに言えば、太陽の時角は正午に 0°で、 24 時間で 360°進む。つまり 1 時間で 15°、 4 分で 1°進む。だから

$$12\text{ 時} \pm 97.9327 \times 4\text{ 分} \tag{7}$$

を計算して、日の出が 5 時 28 分、日の入りが 18 時 32 分となる。

方向角は式 (5) に $\theta = \pm 97.9327$ を入れると $\pm 77.3°$を得る。式 (5) の代わりに

$$\text{方向角} = \cos^{-1}\left(\frac{\cos i\sin\beta - \sin i\cos\beta\cos\theta}{\cos(-50')}\right)$$

を使ってもよい。【終】

この計算で正午に時角が 0°というのは計算が大ざっぱすぎるのでその補正をしなければならない。それと基準となる経度からの補正も必要である。それは 8 節で説明しよう。まず何月何日に赤経 β の値がどれだけになるかを求めよう。

4　公転角と赤経、赤緯

太陽の通る天球（恒星）上の道を黄道という。黄道を通る面は赤道面に対して K =23.44°の傾きをもつ。黄道面と赤道面の天球（恒星）上の交点をそれぞれ春分点、秋分点という。太陽は天の北極から見て反時計回りに回る。図 4 のようにたがいに直交する天球（恒星）上に固定された単位ベクトル $\mathbf{b}_1, \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_3, \mathbf{c}$ を取ろう。

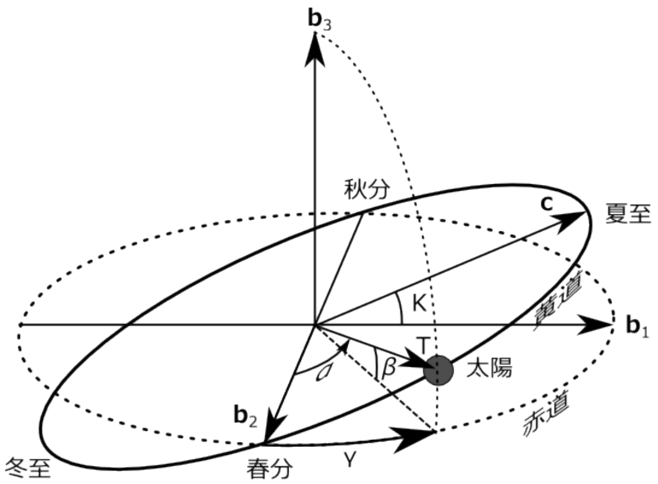

図 4

太陽の天球（恒星）上の回転角を公転角と呼び、春分点からの角度を α としよう。太陽に位置ベクトルは

$$\mathbf{T} = \mathbf{b}_2 \cos\alpha + \mathbf{c} \sin\alpha \tag{8}$$

となる。一方、

$$\mathbf{c} = \mathbf{b}_1 \cos K + \mathbf{b}_3 \sin K$$

なので代入すると

$$\mathbf{T} = \mathbf{b}_1 \cos K \sin\alpha + \mathbf{b}_2 \cos\alpha + \mathbf{b}_3 \sin K \sin\alpha$$

となる。だから赤緯 β は

$$\sin\beta = \sin K \sin\alpha \tag{9}$$

赤経 γ は

$$\tan\gamma = \tan\alpha \cos K \tag{10}$$

となる。

5　公転角と時刻、時間の関係

公転角の角速度は場所によって異なる。冬至の頃が一番速く、夏至の頃が遅い。例えば冬至、春分、夏至、秋分間の日数は、もし角速度が一定なら、同じはずだが実際は
2011 年冬至→（89 日）→ 2012 年春分→（93 日）→夏至→（93 日）→秋分→（90 日）→冬至
と日数が異なる。

5.1　地球の軌道

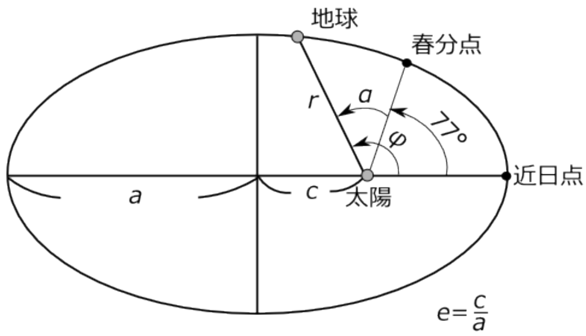

図 5

図 5 のように地球は太陽を焦点とした楕円上を回転している。回転しているというのは恒星系に対してである。現在は近日点と春分点との差は約 77°らしい。公転は北極の側から見て反時計回りである。近日点は年に約 11"、地球の公転方向に、恒星系に対して動く[*4]。春分点は年に約 50.3"、地球の公転方向とは逆向きに、恒星系に対して動く[*5]。つまり春分点は年に 61.3" 近日点に近づくわけである。

5.2　1 年について

1 年の長さの定義には 3 つある。近点年と恒星年と太陽年である。1 近点年とは地球が近日点から近日点に行くまでの時間のことである。1 恒星年とは地球が恒星系に対して 1 周する時間のことである。1 太陽年とは地球が春分点から春分点に行くまでの時間のことである。数値を上げると

1 近点年＝ 365.25963555 日＝ 365 日 6 時間 13 分 52.512 秒

1 恒星年＝ 365.25636304 日＝ 365 日 6 時間 9 分 9.767 秒

1 太陽年＝ 365.24219029 日＝ 365 日 5 時間 48 分 45.241 秒

である [1]。恒星を固定して地球から見ると近日点と春分点の動きは図 6 のようになる。

5.3　公転角の時間発展

楕円の方程式は

$$r = \frac{l}{1 + e\cos\varphi} \tag{11}$$

である。ここで e は楕円の離心率で地球の場合は 0.01672 である。φ は太陽から見た近日点から地球までの角度、l は定数、r は地球と太陽の距離である（図 5)。ケプラーの面積速度一定の法則 $r^2\dot{\varphi} =$ 一定より

$$\frac{d\varphi}{dt} = A(1 + e\cos\varphi)^2 \tag{12}$$

---

*4 他の惑星の影響らしい

*5 地軸が歳差運動で回転しているためである。

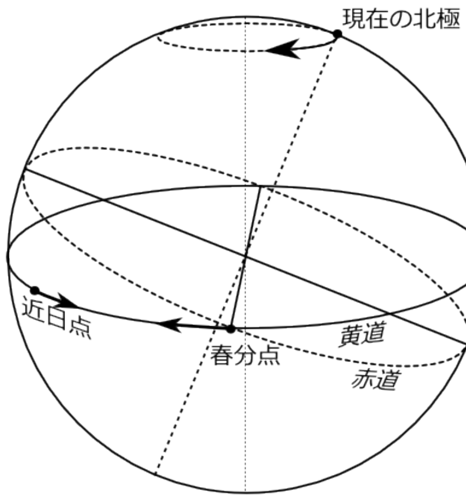

図 6

となる。ここで A は定数。A の値は、この式を

$$dt = \frac{d\varphi}{A(1+e\cos\varphi)^2} \tag{13}$$

と変数分離して両辺を積分して

$$\int_0^{360} \frac{d\varphi}{A(1+e\cos\varphi)^2} = 1\,近点年 \Longleftrightarrow A = \frac{\int_0^{360} \frac{d\varphi}{(1+e\cos\varphi)^2}}{1\,近点年}$$

で求める。1 近点年=365.25963555 日、$\int_0^{360} \frac{d\varphi}{(1+e\cos\varphi)^2} = 360.1510143$[*6]なので

$$A = 0.986013726$$

と求まる。

春分点は図 5 にあるとおり、現在は近日点から約 77°だけ公転方向にあるので $\alpha = \varphi - 77$ とすればいいのだが、春分点と近日点は年に 61.3” づつ近づくことを考慮して

$$\frac{d\alpha}{dt} = A_T(1+e\cos\varphi)^2 \Longleftrightarrow \frac{d\alpha}{dt} = \frac{A_T}{A}\frac{d\varphi}{dt} \tag{14}$$

とする。ここで

$$A_T = \frac{\int_0^{360} \frac{d\varphi}{(1+e\cos\varphi)^2}}{1\,太陽年} = \frac{1\,近点年}{1\,太陽年} \cdot A = 0.98606082 \tag{15}$$

である[*7]。この式 (14) を使うと公転角 α は 1 太陽年で 360°回ってくれる [*8]。

[*6] 積分値は関数電卓の積分機能で求めた。

[*7] $\frac{d\alpha}{dt}$ を他の式を使ってもいいのだが、日の出、日の入の時刻計算では大した影響はでない。又、単に $\alpha = \varphi - 77$ としても 10 年や 20 年ではたいして誤差は生じないであろう。

[*8] 厳密には 360°回らない。 φ の角速度が場所によって異なるからである。

まとめると

$$\frac{d\varphi}{dt} = A(1 + e\cos\varphi)^2 \tag{16}$$
$$\frac{d\alpha}{dt} = A_T(1 + e\cos\varphi)^2 \tag{17}$$
$$A = 0.986013726 \quad A_T = 0.98606082 \tag{18}$$

初期条件として $t = t_0$ のとき $\alpha = \alpha_0, \varphi = \varphi_0$ として

$$\alpha_0 = \varphi_0 - 77$$

の関係があるとする[a] 。

[a] 77°というのはおよその値である。これが　1 度くらい異なっていても日の出日の入時刻の計算には影響ない。

6　太陽の時角と時刻

先の例題では太陽の時角が 0°なら　12 時、90°なら　18 時、つまり時角に時間が比例するものとして計算した。しかし正確には比例しない。時角が 0°でも　12 時とは言えないのである。というのは太陽の時角が 360 °進むのに要する時間が図　7 のように季節によって異なるからである。その原因は一つは太陽の角速度が季節

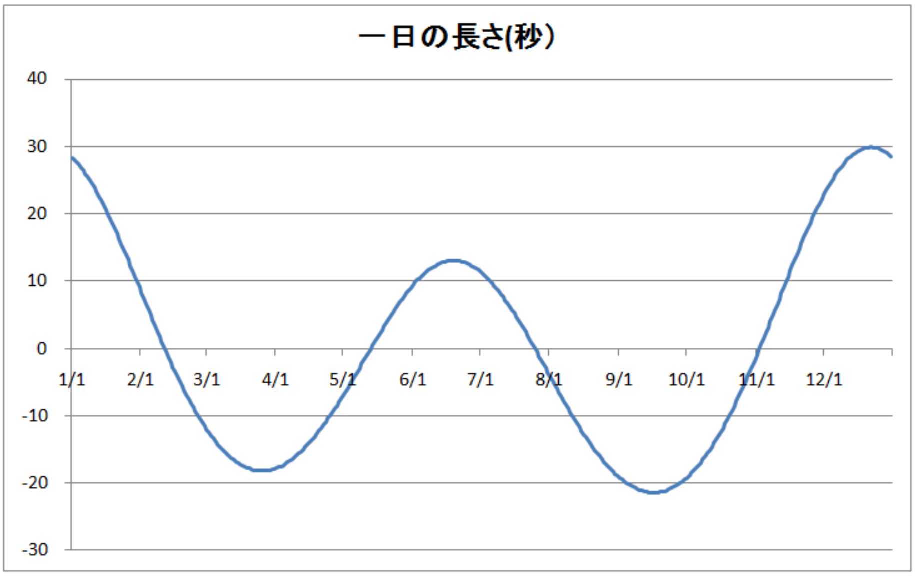

図 7　太陽の時角が 360°増えるのにかかる時間のグラフ。縦の目盛は秒。横軸は日付。縦が１０なら　24 時間 10 秒かかるという意味。12 月中旬が最も長く。24 時間 30 秒程。最も短いのが 9 月中旬で 23 時間 59 分 39 秒程。

によって異なるからであり、もう一つは黄道面が赤道面に対して傾いているからである。太陽が夏至や冬至のころに 1°だけ　α が増加したときの赤経 γ の増加量は、春分点や秋分点の頃のそれより大きくなる。これは例

えば地球上では緯度の大きい地域では東にわずかに動いただけで経度が沢山増えることからも想像がつくであろう。

さて、これを定量的に式で表わそう。話をわかりやすくするために、仮想物体 H を考えよう。H は一様な角速度で天の赤道を太陽と同じ方向に回り 24 時間で天の子午線を 1 周するとする。そして、【H の時角× 4 分】を時刻とする。4 分と言うのは 24 × 60 分÷ 360 から来たものである。H の初期条件は H の時角と太陽の時角の差の時間平均が 0 となるように決める。H_θ を H の時角とすると $H_\theta - \theta$ の時間平均を 0 としたいわけである。ここで θ は太陽の時角である。図 8 から

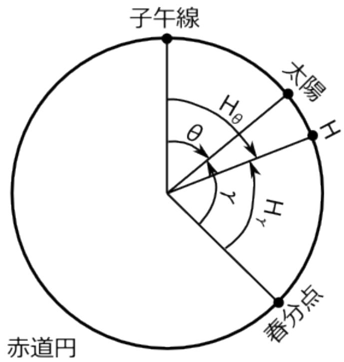

図 8

$$H_\theta - \theta = -(H_\gamma - \gamma)$$

の関係があることがわかる。ここで H_γ は H の赤経のことである。H_γ は一定の割合で増加し、1 太陽年で 360°増える [*9]。この $H_\gamma - \gamma$ の時間平均が 0 になるように H_γ の初期条件を決めればいいわけである。

$$H_\gamma - \gamma = (H_\gamma - \alpha) + (\alpha - \gamma)$$

と変形しよう。第 2 項 $\alpha - \gamma$ の時間平均は図の対称性からほぼ 0 になる（図 9 参)[*10]。

太陽が近日点にいるときに H_γ が太陽の公転角 α と等しければ第 1 項の時間平均は 0 になる[*11]。なぜなら、公転角 α の角速度は近日点に関して対称だからである（図 9 参)。t_K を近日点の時刻、α_K をそのときの公転角とすると、H_γ は、$V = \frac{360}{1\text{ 太陽年}} = 0.98564736$ として

$$H_\gamma = V \cdot (t - t_K) + \alpha_K \tag{19}$$

とすればよいということである。まとめると太陽の時角と時刻の関係は

$$\begin{aligned} 12\text{ 時} + H_\theta \times 4\text{ 分} &= 12\text{ 時} + ((H_\theta - \theta) + \theta) \times 4\text{ 分} \qquad (20)\\ &= 12\text{ 時} + ((\gamma - H_\gamma) + \theta) \times 4\text{ 分} \qquad (21)\\ &= 12\text{ 時} + ((\alpha - H_\gamma) + (\gamma - \alpha) + \theta) \times 4\text{ 分} \qquad (22) \end{aligned}$$

と求めればよいことになる。図 9 は太陽の位置と時刻の差のグラフである。$(\alpha - H_\gamma) \times 4$ 分が公転角速度によ

*9 もともと 24 時間と言う時間の長さは、1 太陽年で春分点を 1 周する物体が子午線を 1 周する長さと定義したからである。
*10 ただ太陽の滞在時間が公転角の値によって異なるので厳密には 0 にならないと思う
*11 我々の計算モデルでも厳密には一致はしないと思うが。角速度が場所によって異なり、春分点と近日点が動くからである。

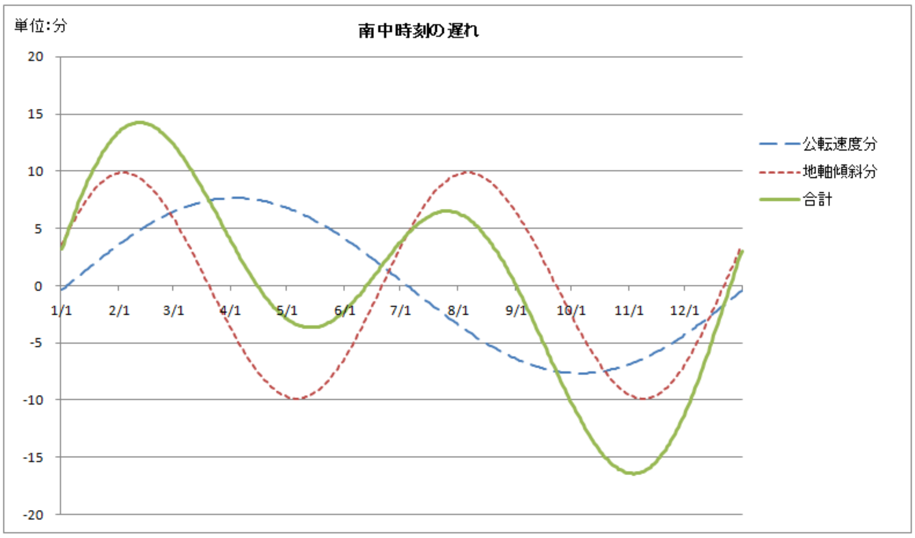

図 9

る分で、$(\gamma-\alpha)\times 4$ 分が地軸傾斜による分である[*12]。

7　近日点の時刻

ここで近日点の時刻を計算してみよう。すでに書いたように初期条件は

t_0 =2011 年 12 月 22 日 14 時 31 分　α_0 =270°　φ_0 =347°

とする。近日点の時刻 t_K は式 (13) より

$$t_K = \int_{347}^{360} \frac{d\varphi}{A(1+e\cos\varphi)^2} + t_0 = 2012\text{ 年 }1\text{ 月 }4\text{ 日 }8\text{ 時 }42\text{ 分}$$

となる。積分は関数電卓の積分機能で行った。また近日点における公転角 α_K は式 (14) より $\Delta\alpha = \frac{A_T}{A}\Delta\varphi$ なので

$$\alpha_K = \frac{A_T}{A}\cdot 13 + 270 = 283.0006$$

となる。

8　経度による補正

日本の時刻は経度 135°の地点を基準にしている。経度が大きい方が日の出が早い。補正値は

$$(135 - \text{その地点の経度}) \times 4\text{ 分} \tag{23}$$

[*12] ここでは H_γ を式 (19) のように求めたが、別の方法もそしてある意味簡単な方法もある。要は $H_\gamma-\gamma$ の時間平均が 0 になるようにすればよいのだから、t_1 を任意の時刻として

$$H_\gamma(t) = V\cdot(t-t_1) - \overline{(V\cdot(t-t_1)-\gamma)}$$

とすればよいのである。ここで $\overline{(V\cdot(t-t_1)-\gamma)}$ は 1 年間の時間平均、t_1 はいつでもよいが例えば 1 月 1 日 0 時にでもしとけばいいであろう。この方法が本来なのだが、一度時間平均を計算しなければならないというのが面倒である（1 年間すべての計算をするのならついでにすればいいのだが。）。一方本文のしかただと一度近日点の時刻を計算しなければならないという面倒さがある。

である。

9　計算方法のまとめ

e は離心率、K は地軸の黄道に対する傾き、i は観測点の緯度、値は

$$e = 0.01672 \quad K = 23.44 \tag{24}$$

近日点からの太陽 (地球) の回転角 φ、春分点からの公転角 α は

$$\frac{d\varphi}{dt} = A(1 + e\cos\varphi)^2 \Longleftrightarrow \varphi = \int_{t_0}^{t} A(1 + e\cos\varphi)^2 dt + \varphi_0 \tag{25}$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = A_T(1 + e\cos\varphi)^2 \Longleftrightarrow \alpha = \frac{A_T}{A}(\varphi - \varphi_0) + \alpha_0 \tag{26}$$

$$A = 0.986013726 \qquad A_T = 0.98606082 \qquad t_0 = 2011\text{ 年 }12\text{ 月 }22\text{ 日 }14\text{ 時 }31\text{ 分} \tag{27}$$

$$\varphi_0 = 347 \qquad \alpha_0 = 270 \tag{28}$$

に従う。近日点の時刻 t_K とその時の φ、α は

$$t_K = 2012\text{ 年 }1\text{ 月 }4\text{ 日 }8\text{ 時 }42\text{ 分} \qquad \varphi_K = 0 \qquad \alpha_K = 283.0006 \tag{29}$$

である[*13]。これを初期条件として使ってもよい。

太陽の赤緯 β、赤経 γ は

$$\beta = \sin^{-1}(\sin K \sin\alpha) \qquad \gamma = \tan^{-1}(\tan\alpha\cos K) \tag{30}$$

である。日の出没しそうな時間を大ざっぱに決めて、例えば朝 6 時を日の出と仮定して、α, β, γ が決め、それを使って太陽の出没時角

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\sin(\text{高度}) - \sin i \sin\beta}{\cos i \cos\beta}\right) \tag{31}$$

を決める。太陽の出没方向角は

$$\text{方向角} = \tan^{-1}\left(\frac{\cos\beta\sin\theta}{\sin i\cos\beta\cos\theta - \cos i\sin\beta}\right) \quad \text{又は} \quad \text{方向角} = \cos^{-1}\left(\frac{\cos i\sin\beta - \sin i\cos\beta\cos\theta}{\cos(-50')}\right) \tag{32}$$

時刻の補正は

$$M_1 = (\gamma - \alpha) + (\alpha - H_\gamma) \tag{33}$$

$$H_\gamma = V \cdot (t - t_K) + \alpha_K \qquad V = 0.98564736 \tag{34}$$

経度による補正は

$$M_2 = 135 - \text{その地点の経度} \tag{35}$$

日の出、日の入時刻は

$$12\text{ 時} + (\theta + M_1 + M_2) \times 4\text{ 分} \tag{36}$$

となる。

---

*13　この近日点の時刻（冬至もそうだが）は経度 135°の日本の標準時である。他の経度　X では

$$\frac{(X - 135)}{15}\text{ 時間} \qquad -180 \le X \le 180$$

を加えなければならない。例えば経度 -75°のニューヨークでは近日点の時刻は　14 時間引いて 2012 年 1 月 3 日 20 時 42 分となる。α, φ の値は当然同じ $\varphi_K = 0$,　$\alpha_K = 283.0006$ である。

10　計算例

試しに、名古屋での 2012 年 1 月 4 日の日の出日の入時刻を求めてみよう。
名古屋の経度は 136.9167°、緯度は　35.1667°である。

1 月 4 日 12 時の α を求める。式 (14) を使い、近日点からの時間差 $\Delta t = 12$ 時 $- 8$ 時 42 分 $= 0.1375$ 日 であるので

$$\alpha = \alpha_K + A_T(1+\cos 0)^2 \Delta t = 283.0006 + 0.1402 = 283.1408$$

となる[*14]。次に 1 月 4 日 12 時の β を求める。式（30）の $\beta = \sin^{-1}(\sin K \sin\alpha)$ より $\beta = -22.7911$ となる。次に 1 月 4 日 12 時の γ を求める。式（30）の $\gamma = \tan^{-1}(\tan\alpha\cos K)$ より $\gamma = 284.2763$ となる。今は 12 時での α, β, γ を求めたが、日の出、日の入時刻でも変わらないとして、日の出、日の入の時角 θ を求める。式 (31) をもう一度書くと

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\sin(高度) - \sin i \sin\beta}{\cos i \cos\beta}\right)$$

これより $\theta = \pm 73.9343$ と求まる。これに 4 分を掛けると ± 4 時間 55.7 分である。日の出、日の入の方向角は式 (32) すなわち

$$方向角 = \tan^{-1}\left(\frac{\cos\beta\sin\theta}{\sin i\cos\beta\cos\theta - \cos i \sin\beta}\right)$$

から方向角=117.6°（日の出)、　242.4°　(日の入) と求まる。時刻の補正値は、α, β が 12 時の値とほとんど変わらないとして、

$$\gamma - \alpha = 1.1355$$

$$\alpha - H\gamma = A_T(1 + e\cos 0)^2\Delta t - V\cdot\Delta t = 0.00467$$

合計で 1.14017 である。分に直すと 1.14017 ×　4 分=4.6 分である。経度による補正は

$$(135 - 136.9167) \times 4 \text{ 分} = -7.7 \text{ 分}$$

よって日の出時刻は

$$12 \text{ 時} - 4 \text{ 時 } 55.7 \text{ 分} + 4.6 \text{ 分} - 7.7 \text{ 分} = 7 \text{ 時 } 1 \text{ 分}$$

日の入時刻は

$$12 \text{ 時} + 4 \text{ 時 } 55.7 \text{ 分} + 4.6 \text{ 分} - 7.7 \text{ 分} = 16 \text{ 時 } 53 \text{ 分}$$

となる。日の出は 7 時 1 分。その方向角は 117.6°。日の入は　16 時 53 分、その方向角は 242.4°となる。これは国立天文台の公表数値と一致する。尚 2012 年、1 年分の計算結果は以下のグラフのようになる。

[*14] ちなみに私のプログラムでの計算では時間差分の式として

$$\varphi(t+\Delta t) = \varphi(t) + \left.\frac{d\varphi}{dt}\right|_t \Delta t + \frac{1}{2}\frac{d^2\varphi}{dt^2}\Delta t^2 = \varphi(t) + \Big(A(1+e\cos\varphi)^2(1 - A(1+e\cos\varphi)e\sin\varphi\frac{\pi}{180}\Delta t)\Big)\times\Delta t$$

を使った。

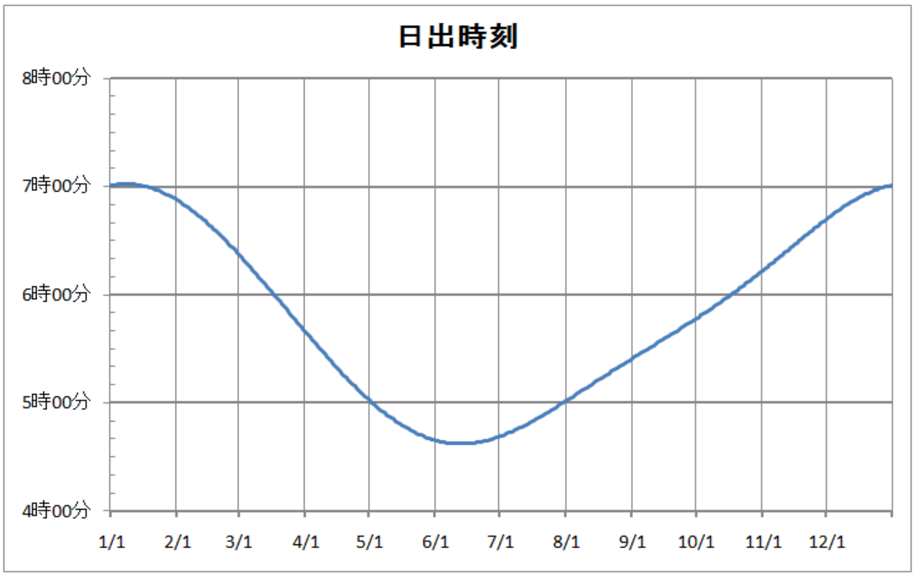

図 10　2012 年、名古屋市の日の出の時刻。

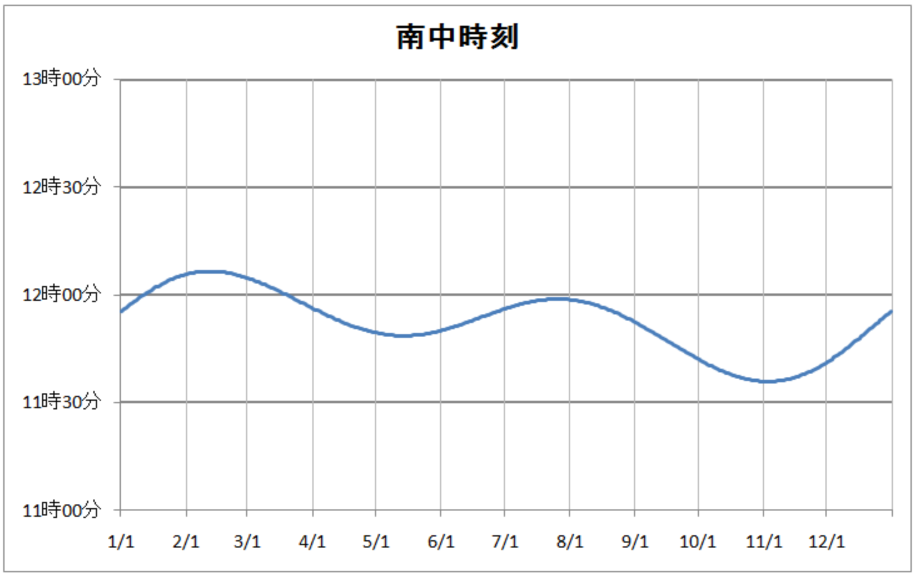

図 11　2012 年、名古屋市の太陽が真南に来る時刻。

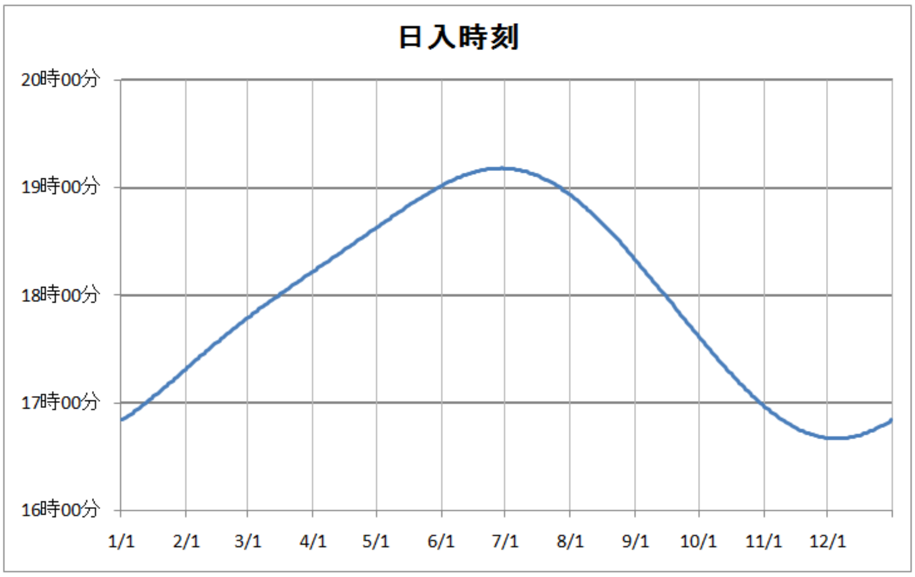

図 12　2012 年、名古屋市の日の入りの時刻。

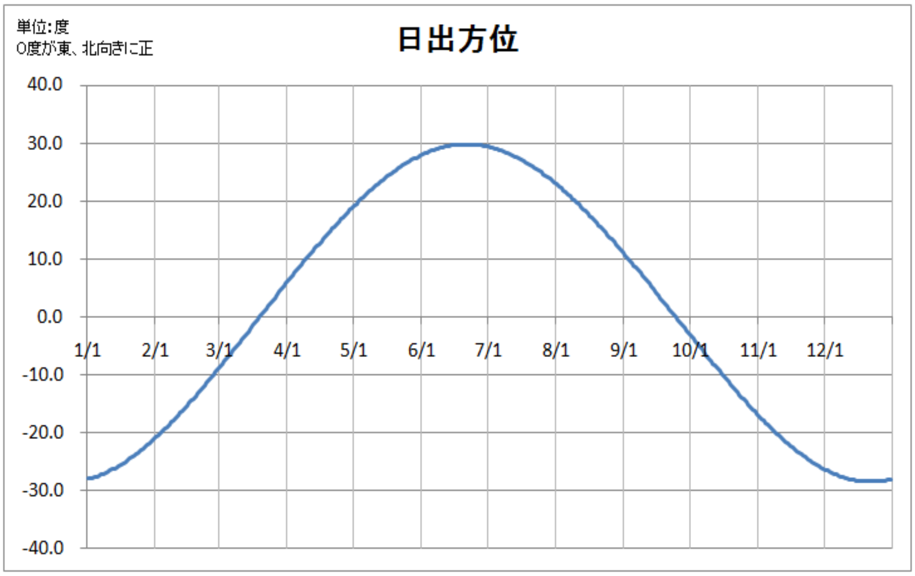

図 13　2012 年、名古屋市の日ので出の方位。真東を 0°として縦軸が　10 なら北へ 10°の方向で日の出と言う意味。

付録 A　日の出日の入りの定義

日の出日の入りは太陽の上辺が見えた時刻としているようである。太陽の視半径は 16' あるので中心が地平線から 16' 下がった位置で日の出となる (図 14)。さらに大気の屈折も考えなければならない。地平線付近では光は 34' 屈折する。だから水平線上に見えているものは実は 34' 下にある (図 15)。だらか太陽の視半径と合わせて 50'。つまり太陽の中心が地平線の下、50' のところにあるとき日の出日の入となる。

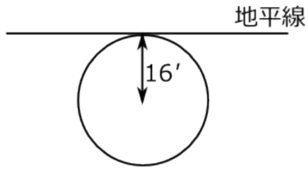

図 14

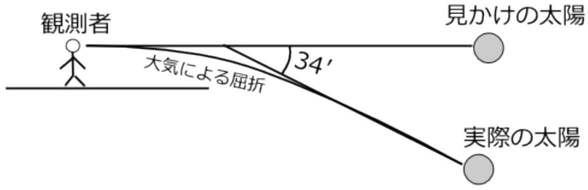

図 15

参考文献

[1] 天文学概論　鈴木敬信著　地人書館　1983 年