

## 地軸の傾きが南中時刻の変動に与える影響

### ----赤道座標系モデルによる説明----

#### 1. 目的

赤道座標系モデルを使って「地軸の傾きが南中時刻に与える影響」を解釈します。

赤道座標系では、地軸を直立させることにより、地軸の傾きの問題は消えますが、今度は太陽（又は地球）の軌道が傾くという問題が起きてきます。

#### 2. 予備知識

最初に知っていた方がよい3つの基礎知識を紹介します。

##### 基礎知識 1：子供サーキットモデル

遊園地に次の図の様な子供サーキットがあります。

2つの円形道路が途中で交差しています。真ん中に監視員がいます。各サークルには1台ずつ（子号と親号という）自動車が走っています。子号には（太陽の様な）子供が乗り、親号には親が乗って子供の様子を見守ります。

親号と子号は、春地点を同時にスタートし、同じ速度で周回します。親の周回道路と子の周回道路の長さは同じです。

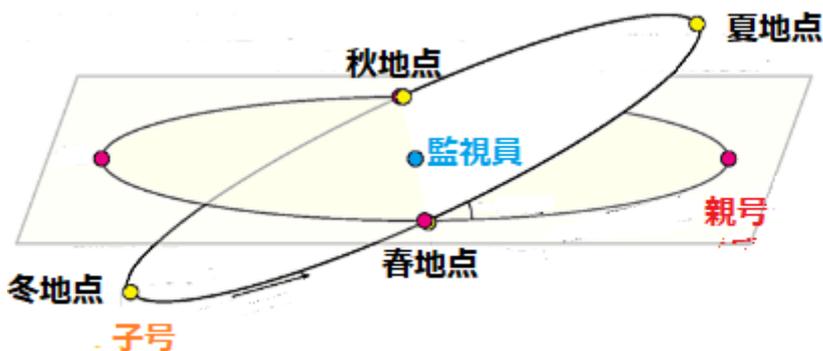


図 1

さて、

(疑問 1)監視員から 2 台の車は、どんな風に見えるのだろうか？

(疑問 2)親号から子号は、どんな風に見えるのだろうか？

という話です。

(解答 1) 監視員からどんな風に見えるか？

2 台はバラバラに走っているように見えるが、春夏秋冬の 4 地点では同じ方向に見えます。

(個人的印象だけ) 子号のコースは極端に言うと次のような感じだな。

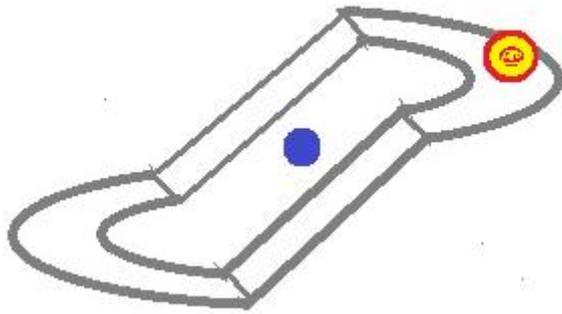


図 2

親号と子号は春秋地点で交差するので、ハイタッチはできます。夏冬地点では並走するので、互いの様子を見ることができます。

(解答 2) 親号から子号を見ると、春秋地点では少し速度が落ちて遅くなり、夏冬では追い付き追い越す感じだな。要するに子号の速度は一定ではなく変動しているように見えるな。

(まとめ) 両方の道路には春地点を 0 度として 1 周 360 度まで 15 度ごとに立札が立っていて、運転手は自分や相手がどこを走っているか分かるようになっています。

一周 360 度を横に広げ、親の道路から子の道路の立札がどんな風に見えるか調べた結果が次の図です。(付録 2 参照)

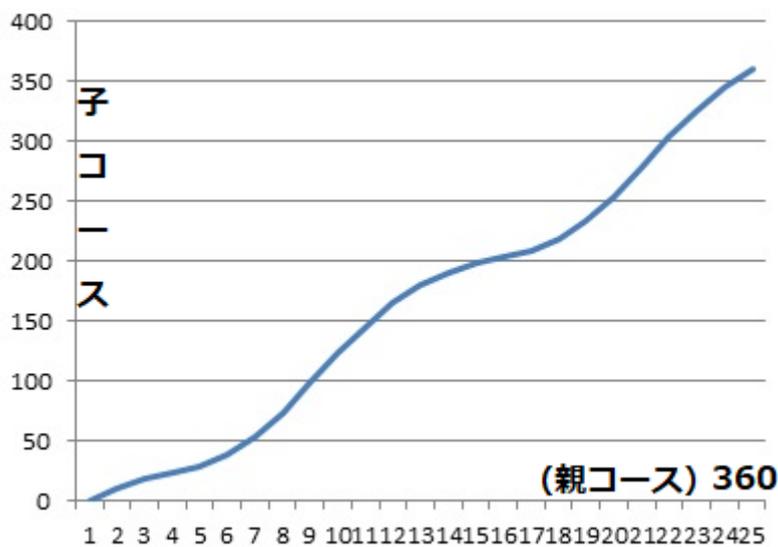


図 3

さらに、これから親コースと子コースの差を出したものが次です。

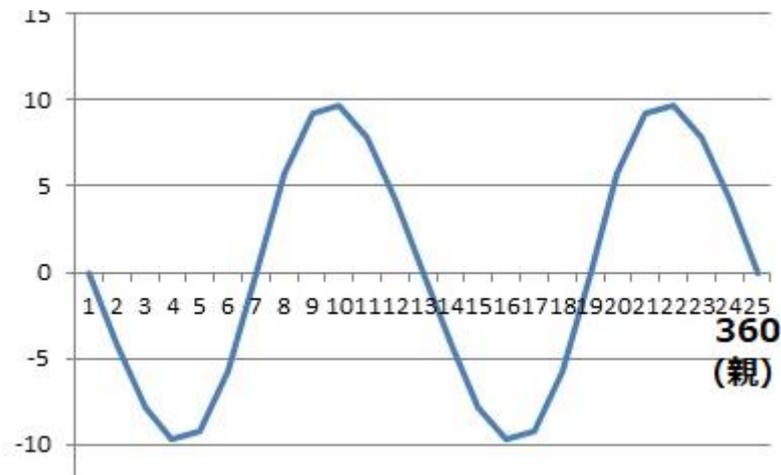


図 4

この波打っている関係によって、親からは子の速度が一定でないように見えてしまいます。

(1) 基礎知識 2 : 球面の罫

先人は 3 次元の球体を 2 次元の紙に移すのに大変苦勞しています。私達は地図と言うとメルカトル図法を思い出します。普段この地図を見慣れているため、これで球面を考えがちです。

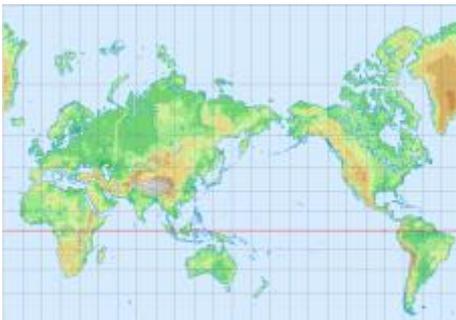


図 5

でも、これだと南極北極方面が拡大されています。これに対し「方位図法」と呼ばれる地図もあります。

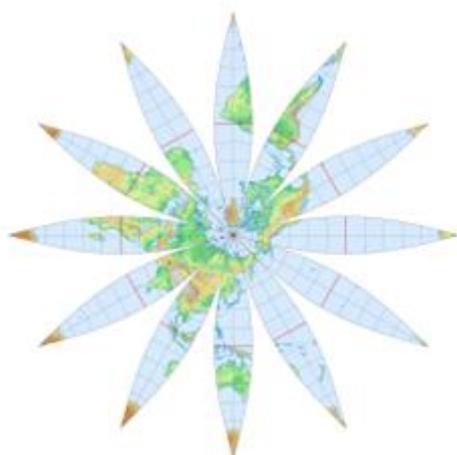


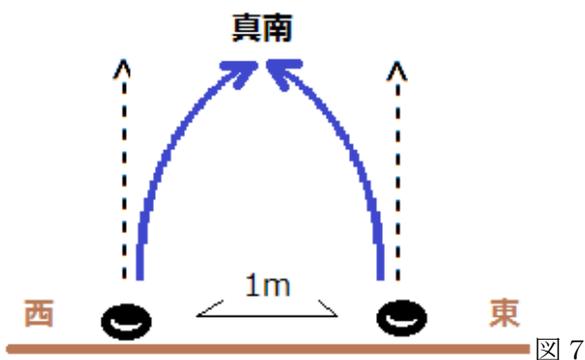
図 6

天体を考える時は、この方位図法の方が適しています。

私たちは真南と言った場合、今の場所の真南と1m東へ動いた時の真南は、同じ場所を見ていると思っていますが、1m離れた所の直線上は最後まで並行で同じ点にはたどりつけません。

方位を考えると、視線の先は球面（経線）に沿ってカーブして同じ先を見えています。

教訓：視線は球面に沿ってカーブしている。



視線の先の方は、東西間の距離が短いということです。これは、北の場合も同じです。

### 基礎知識 3：天球

図が天球のイメージです。天球上には星、太陽、などが貼り付いて動きます。要するに、天空の物は皆同じ距離（天球の半径）のガラス球上に有るものとして観察するイメージです。

天球の中心の観測点は、地球を小さくして、そのテッペン（北極）に立って、天球を観測します。地球の真上は天の北極で、地球の赤道を天球まで広げたものが、天の赤道です。

天球の上には黄道があり、その上を太陽が等速円運動しています。

「天の赤道」と「黄道」にはそれぞれ春分点を起点としたアドレス付けがされていて、そのアドレスは地球の中心からの中心角です。そのため、アドレスは0度～360度となります。

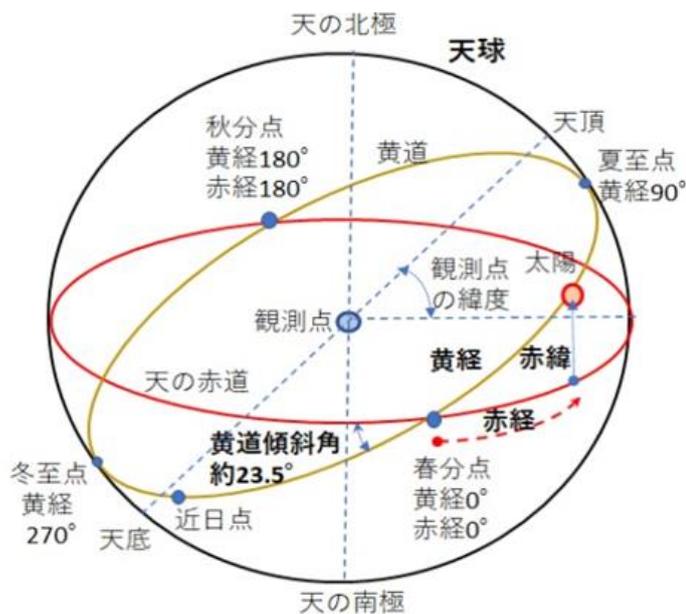


図 8

以上、ここまでが、基礎知識でした。

### 3. 地軸の傾きが南中時間に与える影響

見方を変えた2つの解釈を紹介します。

**解釈1:** (地軸が直立した) 地球を中心に置いた天動説的モデルでの解釈

一つの世界の上には2つの座標系(「赤道座標系」と「黄道座標系」)が共存しています。

図9では、それぞれの経線を黄色い線と赤い線で書き込みました。

それぞれの座標系に経度緯度があり、赤経、赤緯、黄経、黄緯と呼ばれ、経度は0~360度で位置を識別します。

図では天球上の「丸い天体」が、赤道系では赤経  $\alpha$ 、赤緯  $\delta$ 、黄道系では黄経  $\lambda$ 、黄緯  $\beta$  であることを示しています。

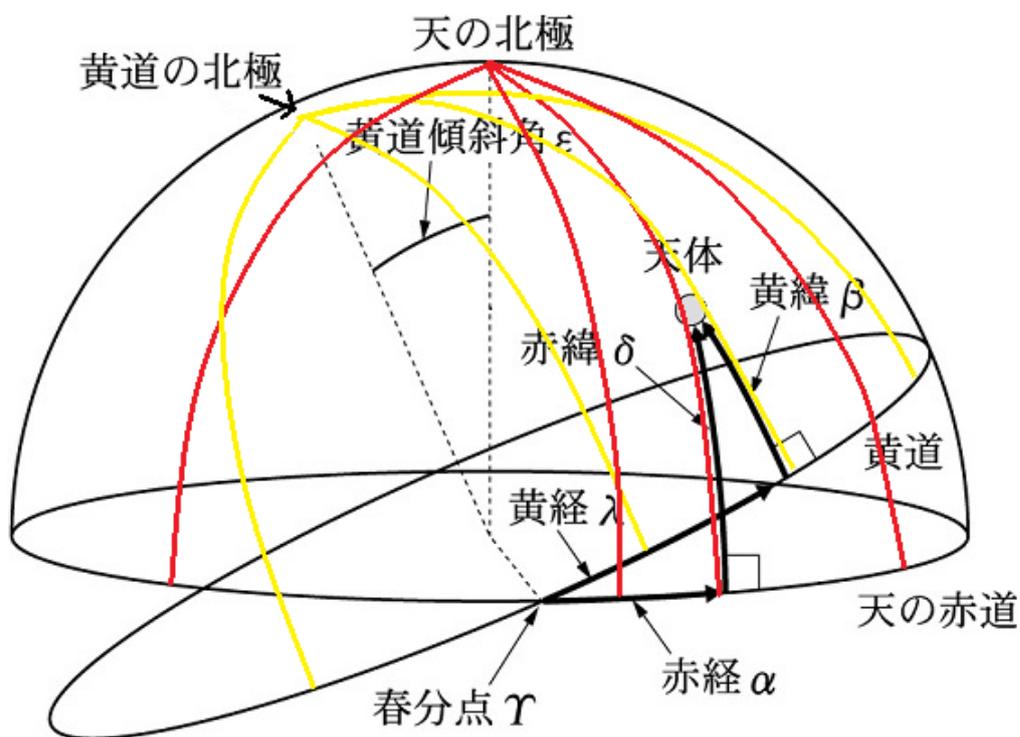


図9

図9を天の北極から見たものが図10です。

赤線が赤道座標系の赤経線、紺色が黄道座標系の黄経線、黄緯線です。

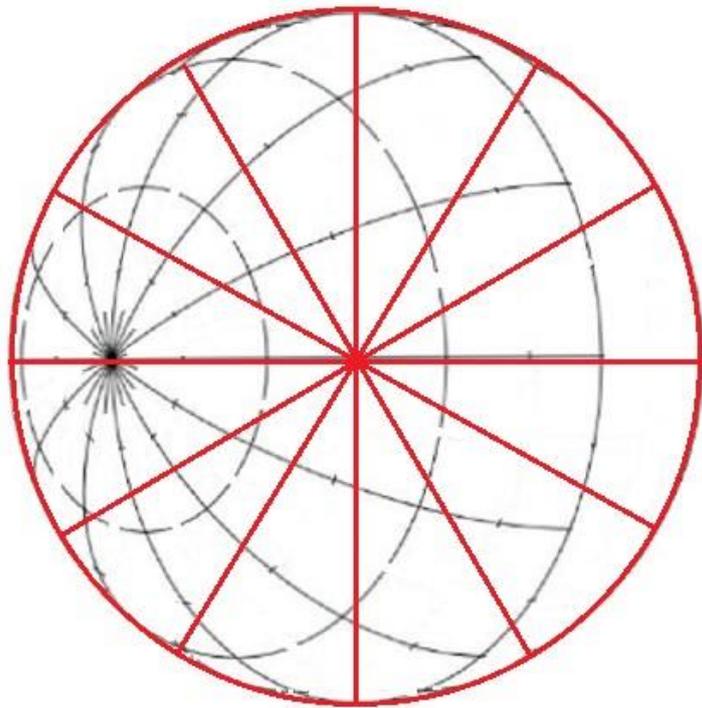


図10

基礎知識で述べた子供サーキットとの関係は、太陽が黄道の上を等速回転し、それを天の赤道上から（親号で）観察するイメージです。

図11は天の赤道周りの1周を、天の赤道の中心角を $\theta'$ 、黄道上の中心角を $\theta$ で表した図です。（参考サイト(1)）

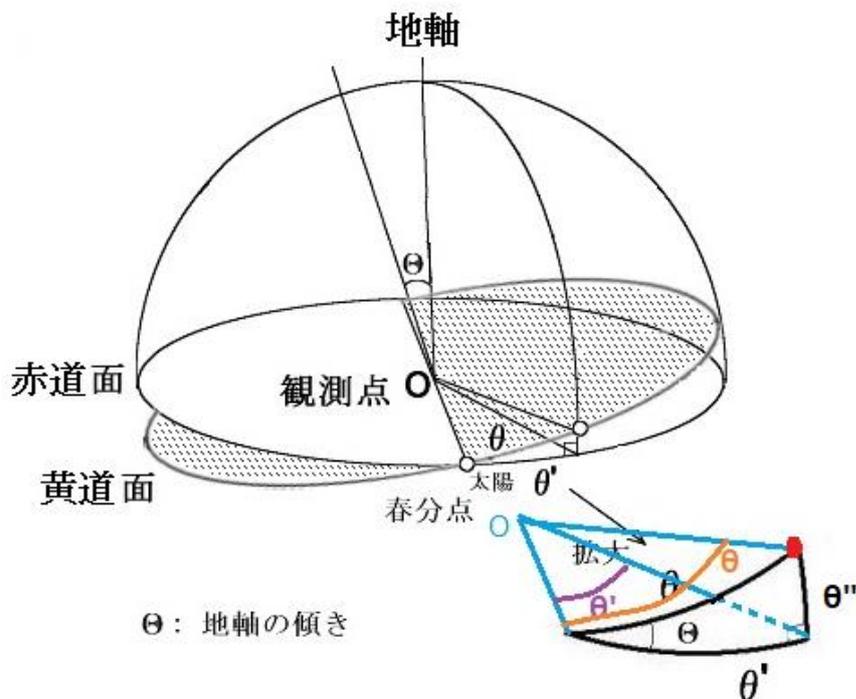


図11

これが全てを物語っているのですが、もう少し説明を加えます。

$\theta'$ を0~360まで展開したものが図12です。縦軸を赤緯に取ったものが上図で、 $\theta'$ をベクトルと取ると下図になります。

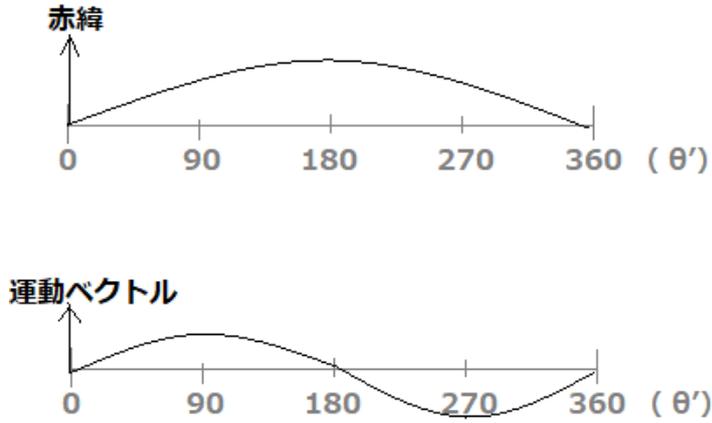


図12

次に、この曲線で赤経 ( $\theta'$ ) 0~90度の部分をもう少し詳しく考えます。

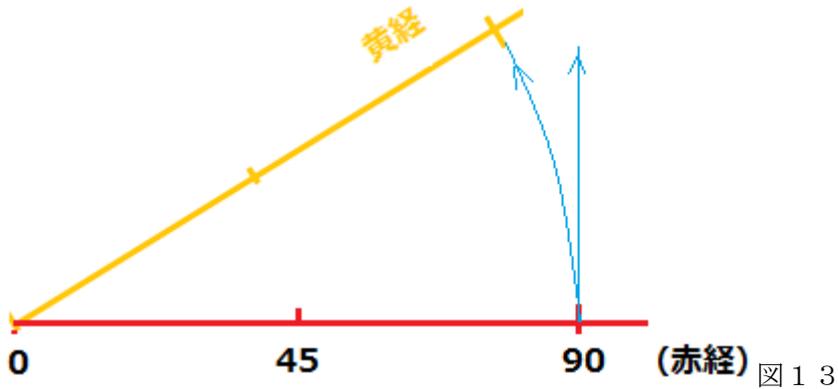


図13

感じとしては、こんな感じです。子供サーキットの子号(太陽)と親号とは同じ速さなので、(0度点を同時にスタートした)親号が90度の地点に到着すると、太陽も黄経の90度地点に到着します。それぞれ同じだけ進みましたが、メルカトル図法的に見ると、太陽は最後にまだ90度に来ていません。

さらに、 $\theta'$ を360度まで広げて考えると、次の様に表せます。

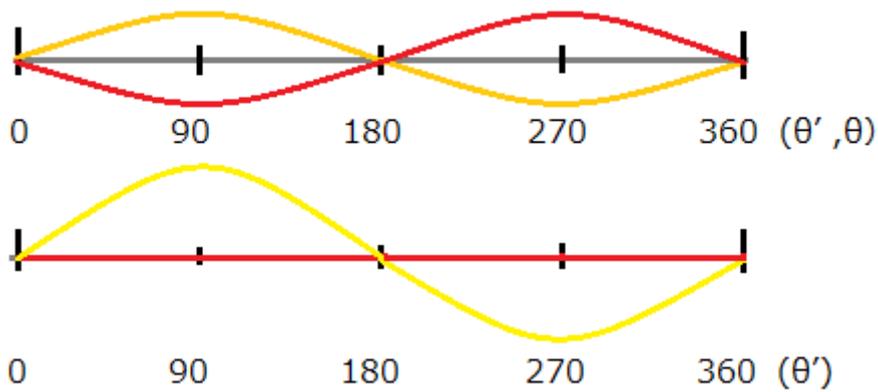


図14

天球上の「天の赤道」と「黄道」は、図14の上図のようで、地球（天の赤道）中心に考えると下図のように見えるということです。図14下図の黄道の曲線部が2つの座標系の非線形性を作り、それが生み出す特性が、基礎知識の図3、図4に集約されています。

親コースが天の赤道、子コースが黄道に対応します。

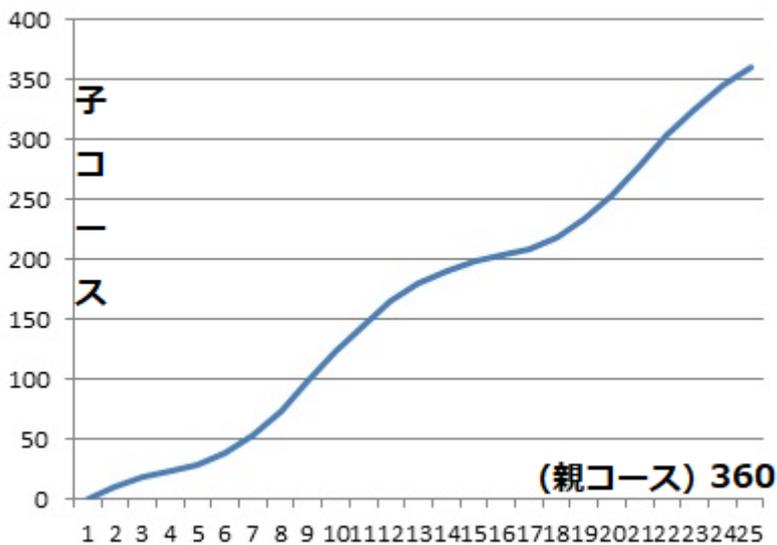


図3 (再掲)

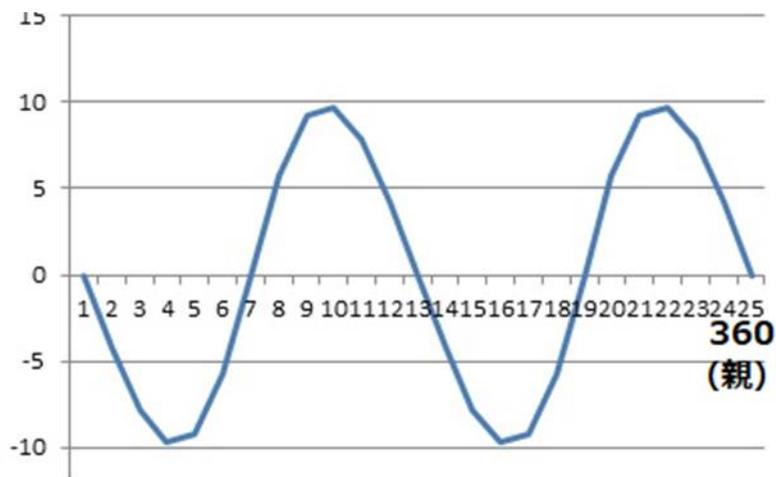


図 4 (再掲)

図 4 は、横軸が赤道系の角度で、縦軸が黄道のズレです。詳しくは付録 2 です。

ズレがあると、太陽が一定の速さで動いていないように見えます。

「太陽は一定の速度で動いているのに、地球から見ると同じ時刻に南中しないという現象が起きます。」

地球から見ると、太陽の方に問題があるように見えますが、実は地球の(地軸が傾いている)問題です。

#### 解釈 2 : (地軸が直立した) 地動説のイメージでの解釈

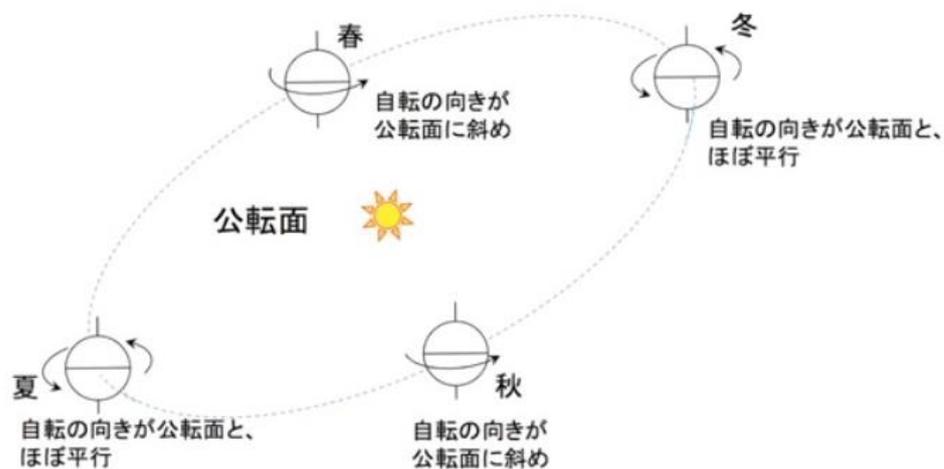


図 1 5

このモデルでは、地球が傾いた軌道上を動きます。

そのため、上空から観察し、軌道の傾きを地球の速度に変換して解釈します。

図 1 6 は上空から見た地球軌道上の地球の位置と回転の様子です。地球が公転面を斜めに進む春と秋は上から見ると太陽の速度が落ちているように見えます。

地球は 1 2 日で太陽の周りを回ると仮定しています。

図の軌道上の地球の位置は、毎日同じ時刻に撮影した地球の位置です。地球の動きが速い所

では地球間の距離が開きます。夏冬に高速で動いていることを示しています。  
 赤矢印が（等速円運動の時の）今日の真南、ピンク矢印が（等速円運動の時の）昨日の真南  
 の方向です。  
 オレンジ色の回転角は、等速円運動の時との差です。これが南中時刻を決めます。

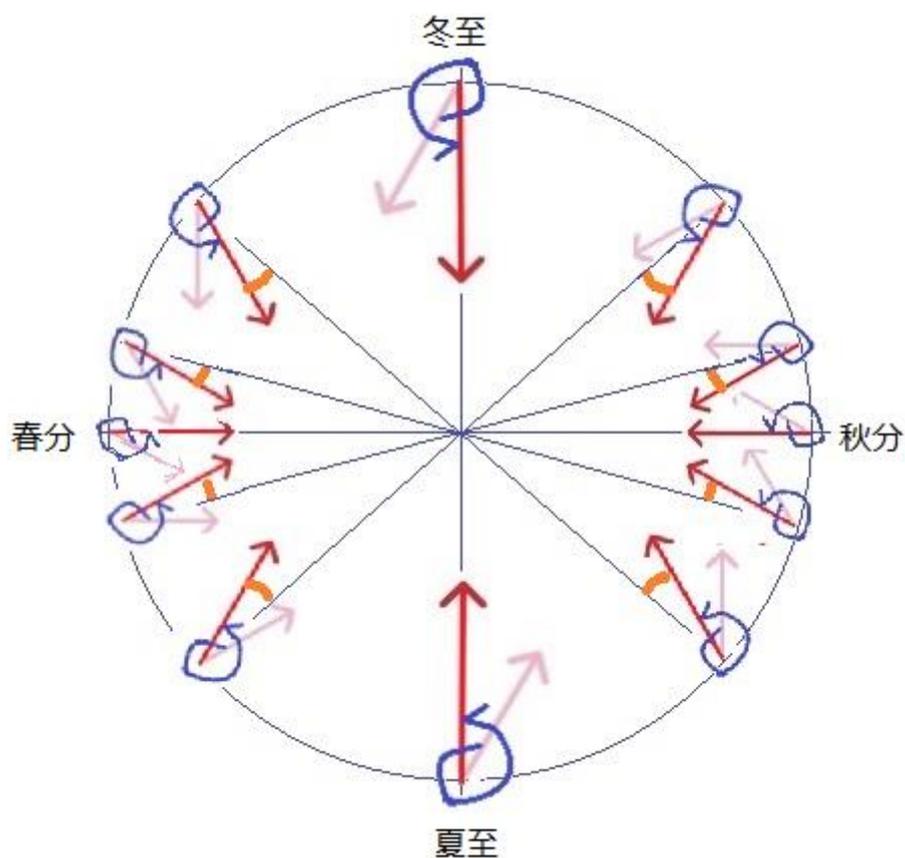


図 1 6

オレンジ色を表示すると図 1 7 になります。

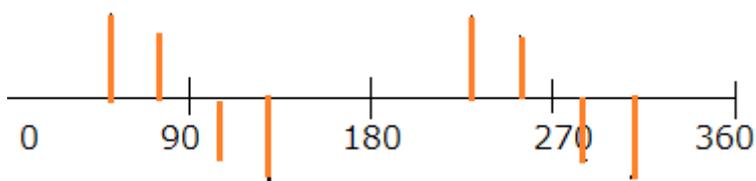


図 1 7

サンプル点が少ないので、分かりにくいかもしれませんが、基本は図 4 に似ていることが分かります。

#### 4. 終わりに

お勉強を始めて 2 カ月になります。やっと全貌が見えてきました。いくつも模型を作った

し、表計算やプログラムも使いました。

分かってみると、随分あちこちさまよいましたが、答えは意外と近くに有った気がします。

3章の解釈1と、付録1の計算式があれば、それが全てかもしれません。

定年後久しぶりで真剣に頭を使いました。

今回の学習は、山田洋先生が見捨てずに質問に答えてくださったおかげだと感謝しています。

### 参考サイト

(1)山田先生のサイト <http://edq40134.html.xdomain.jp/>

(2) 竹村他：棒の影とピンホールによる太陽像の位置の観測から均時差の原因を探る

### 付録

1.

黄道座標系によるモデルですが、分かり易いので付けておきます。ほとんど参考サイト(2)に有ったものです。

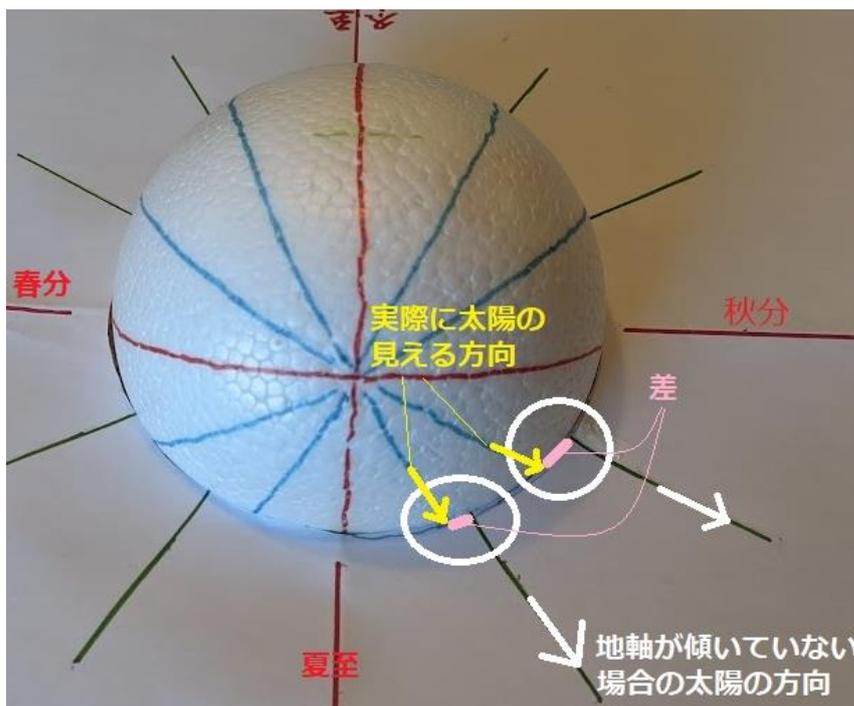


図18

図は、地球を天の北極から見たものです。

差は、地軸が傾いていない場合に南中する方向（図19の $\theta$ ）と、実際に南中する方向（図19の $\varphi$ ）の差です。

$$a:b = c:d = 1:\cos(23.44 \text{ 度})$$

図より、 $a = \cos\theta$  なので、 $b \cdot 1 = \cos(23.44 \text{ 度}) \cdot \cos\theta$ 。

$$\tan\varphi = \sin\theta / (\cos\theta \cdot \cos(23.44 \text{ 度}))$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{\sin \theta}{\cos \theta \cdot \cos (23.44 \text{ 度})} \right)$$

となります。

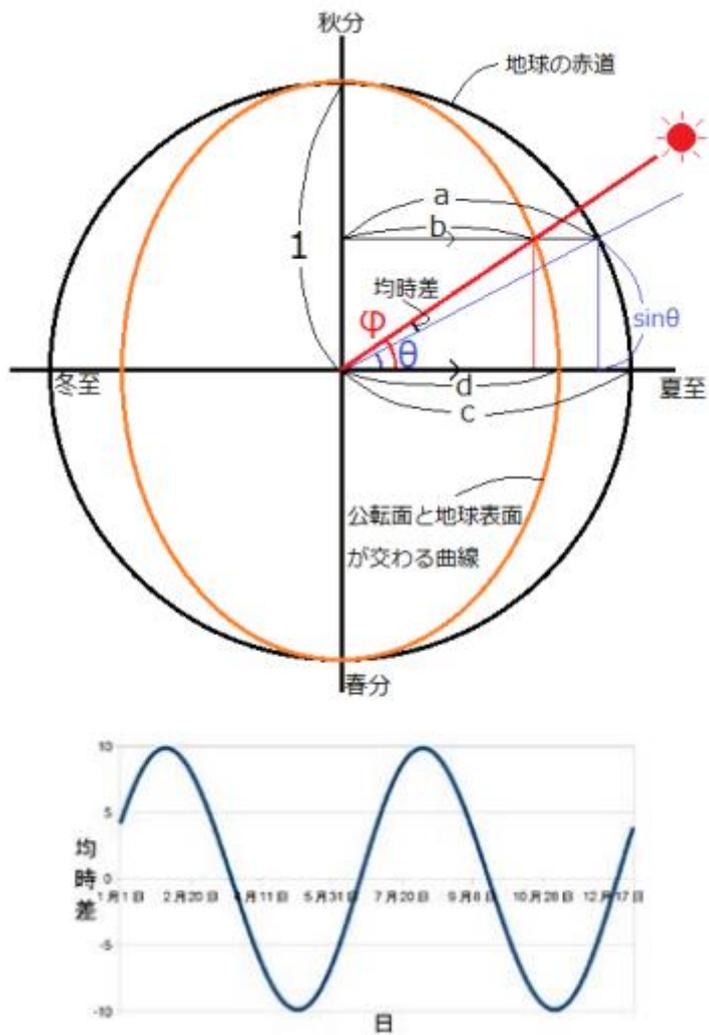


図 1 9

## 2. (備忘メモ)

図 4 の縦軸は下図の太い紫線です。

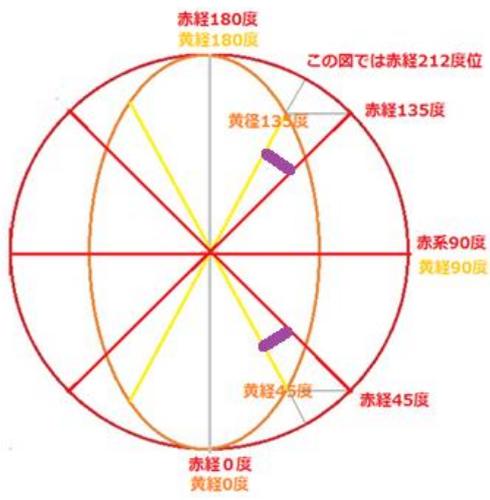


図 20