

# 地軸の傾きによる季節変化を理解するための教材開発

山田 洋 (佐賀市立富士中学校)

## Development of teaching materials in order to understand the seasonal variation

### due to the inclination of the earth's axis

Hiroshi Yamada (Saga City Fuji Junior High School)

#### Abstract

In the unit to learn the seasonal variation of the earth, it is much to learn the change of the length of daytime and nighttime only model experiments by illuminated globe. It is few to learn by using the data which actually carried out continuous observation of sunrise or the sunset.

So I developed the free software “Sun Earth kun”. This can calculate the time of sunrise and sunset, the length of daytime and nighttime around the world, the culmination altitude of the sun and so on.

This software is to change the inclination of the earth's axis and the orbital eccentricity of the Earth. Also it is possible to cooperate with Google Earth. In addition, in this paper, I introduce an original approximate function of the refraction incorporating the “Sun Earth kun”.

In the future, students will use this simulation software, while the interpolation model of globe, I want to approach the discovery of the causes of seasonal change while taking advantage of the observation continuously.

#### 1. はじめに

文部科学省の中学校学習指導要領解説理科編[1]によると、地軸の傾きと年周変化に関する取り扱いは以下の様になっている。

地軸の傾きについては、例えば、季節ごとに太陽の南中高度や昼夜の長さを継続的に観測させ、それらの年周的な変化は、地軸が傾いていることから説明できることを見いださせることが考えられる。その際、地軸が傾いていないとしたら南中高度や昼夜の長さはどうなるか考えさせるのもよい。さらに、南中高度の変化に伴う気温の変化についても触れて、四季の生じる理由を考察させることなどが考えられる。

地球の季節変化を学習する単元では、地球儀に光を当て、モデル実験だけで昼夜の長さの変化を学習することが多く、日の出や日の入りなどの実際に継続観測したデータを使って学習することは少なかった。そこで、生徒が実際に継続観測したデータと、地球儀などの3次元的なモデルとを活用しながら、南中高度や昼夜の長さの季節変化を地軸の傾きと関連づけて思考するとき、その補助となるような教材を開発することにした。

#### 2. シミュレーションソフトウェアについて

具体的には、図1、図2の様に、地軸の傾きを変化させたとき(0度、23.4度、90度等)の昼夜の長さや南中高度の年周的变化をグラフによって比較させ、季節変化が生じる原因は地球が地軸を傾けながら公転していることを生徒自ら発見できるようなシミュレーションソフトウェアを開発する。

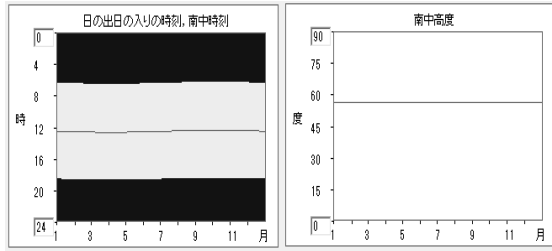


図1 地軸の傾き=0度

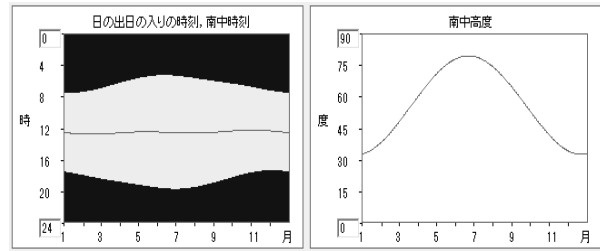


図2 地軸の傾き=23.4度

開発したシミュレーションソフトウェア(図3)は、「太陽」と「地球」の相互の位置関係を表しながら季節変化の原因を探ることができるという意味を含め「サン・アースくん」と名付けた。(http://edq40134.digi2.jp/a-su/ からダウンロード可能)

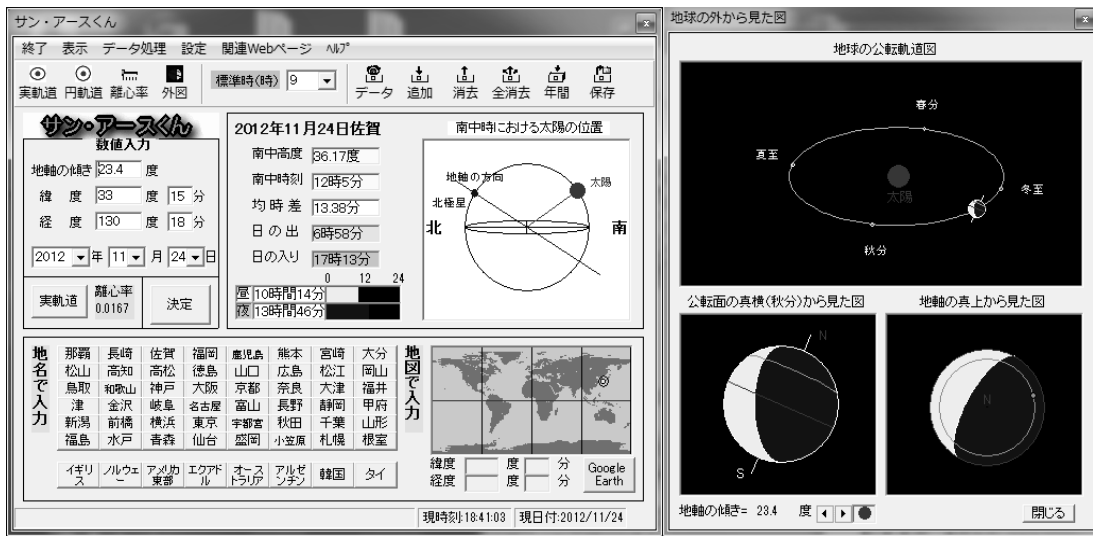


図3 「サン・アースくん」の画面

シミュレーションソフトウェアを利用すると「視覚的に理解しやすい」「正確な数値を出すことができる」「処理が早い」などの利点があり、抽象的な概念も理解しやすくなり、正確な値が出てくるので、観測結果とも容易に比較できるようになる。処理速度も速いので、生徒の思考の中断もなくなると考える。

現在、この「サン・アースくん」は開発途中であり、授業に活用し、生徒へのアンケートを採りながら、バージョンアップを図っている。現在のバージョンは 1.95 であり、以下の機能を持たせている。

- 現在、過去、未来の世界中の昼の長さ・夜の長さ、日の出・日の入りの時刻、南中時刻・南中高度等の値を表示することができる。
- 地軸の傾きを自由に変化させることができる(現実の世界では起こり得ない現象のシミュレーション)。
- 地球の軌道が楕円の場合と円の場合など離心率を自由に変化させることができ、楕円軌道効果を調べることができる。
- 南中時の太陽の位置・地軸の方向・北極星を表示することができ、太陽の通る道や昼夜の長さなど直感的に理解することができる。
- 地球外から地球を見た図を表示することができ、地軸の傾きによる昼夜の長さの変化や南中高度の変化を直接見て理解することができる。
- 入力した緯度、経度の位置を世界地図に表すことができる。
- 地名をクリックすることにより、緯度・経度の値を入力することができる。

- 世界地図をクリックすることにより、緯度・経度の値を入力することができる。
- 1年間分のデータを計算し、その結果をデータ表示画面に出力することができる。
- 計算結果を csv 形式のファイルに保存できるので、出力されたデータは他の表計算ソフトでも読み込み可能である。また、html で保存することができる。
- Google Earth から位置情報を取得したり、Google Earth の位置情報を指定したりすることができる。

### 3. 教師用指導書に紹介

中学校においても新しい教育課程が実施され、それに伴って、教師用指導書も改訂された。「サン・アースくん」は大日本図書理科の世界 3 年 教師用指導書[2]に新しく紹介された。この、教師用指導書には、「サン・アースくん」の緯度・経度、年月日を指定して、日の出・日の入りの時刻を出す等の基本的な活用方法が紹介されているが、誌面の都合上、1年間のデータを出す機能やその活用法、より発展的な活用方法などについては触れていない。そこで、次に「サン・アースくん」の教師用指導書に掲載されなかったこと等を中心に紹介する。

### 4. 発展的な活用等について

「サン・アースくん」を活用すると、実際の観測結果（日の出・日の入りの時刻、南中高度、南中時刻等）から、それを再現できる地軸の傾きを生徒自ら求めることができる。今までとは逆の発想である。このことにより、地軸は1年中同じ方向に傾いていることも確認できる。これは、シミュレーションソフトを利用して初めて確かめることができることであり、シミュレーションソフトならではの活用方法である。今まで、地軸の傾きは、23.4度であると知識的に覚えるしかなかったが、生徒自ら確かめることができるので、「サン・アースくん」を活用することにより教える方法や内容等も変わってくると思われる。

この他にも、「サン・アースくん」を活用して、以下のような発展的な学習をすることができる。

- ・金星（地軸の傾きが180度）、天王星（地軸の傾き約90度）のシミュレーション
- ・白夜等の再現（社会科との合科）
- ・楕円軌道効果確認（高校理科、地学の応用）

年間のデータを出力する機能を使うと、地球の公転の様子や太陽光の当たり具合をシミュレートしながら確認でき、視覚的に理解することができる。また、データ処理画面では、日の出・日の入りの時刻や南中高度の値をグラフ化できるので、生徒が季節変化の原因を考える時や、発展的な学習を行うときの手助けとなる（図4）。

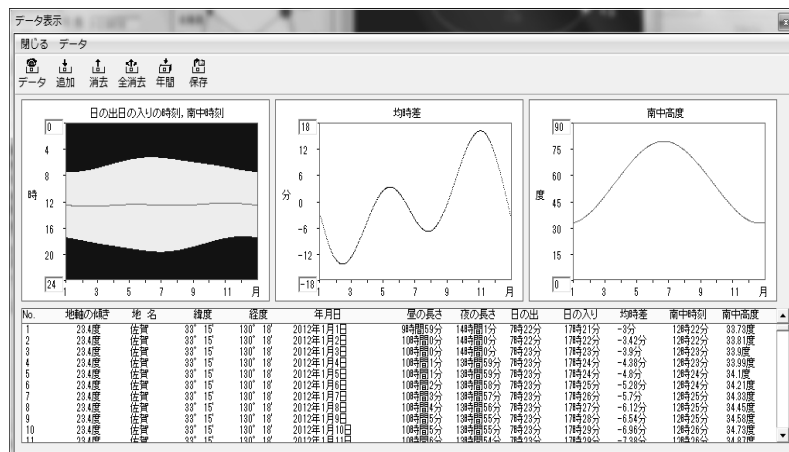


図4 「サン・アースくん」のデータ処理画面

## 5. 大気差について

中学校理科の天体分野で、地軸の傾きによる季節変化を理解する学習では、日の出や、日の入りの低高度での太陽の観測が必要になってくる。この観測では、大気差の影響が大きく、そのためには大気差を考慮することが必要不可欠である。また、発展的な学習を行うためには、生徒達の要求する様々な現象を正確に再現することが必要である。更に、教育的活用だけでなく、専門的な分野に活用するためにも、南中高度や昼夜の長さの値を正確に出すことが求められる。このような理由により、大気差を考慮する必要があることが分かる。

大気差とは大気によって浮き上がって見える効果であるが、太陽や星の位置計算には必要な要素であり、ラダーの算定[3]が有名である。その値は気温 10 ° C, 気圧 1013.25hPa における大気差を表し、平均大気差と呼ばれている。

この値は  $Z = (90 \text{ 度} - \text{真高度})$  の増加関数として表すことができる。ここで、真高度とは実際の天体の高度である。

また、大気差と平均大気差の関係は、 $T$ :地上の気温 (° C) ,  $P$ :地上の気圧(hPa)として、以下の式で与えられる。

$$\text{大気差} = \text{平均大気差} \times (273.15 / (263.15 + T)) (P / 1013.25) \quad \dots(4)$$

理科年表[4]で紹介されている平均大気差の近似関数は  $\tan Z$  の冪乗で展開し近似したものであったが  $Z=90$  度で発散してしまうので、この関数だけでは低高度の大気差を正確に再現することができない。

そこで、私は ( $\exp Z$  の冪乗 +  $Z$  の冪乗) で展開し、Ngraph[5]を使用し、パラメータのフィッティングを行うことによって、以下の近似関数を見いだすことができた。

$h$  (度) は真高度であり、 $Z = 90 - h$  (度) とおく。 $R(h)$  (秒角) は平均大気差である。

$$R(h) = a_0(\exp(bZ) - 1) + a_1(\exp(2bZ) - 1) + a_2(\exp(3bZ) - 1) + a_3Z + a_4Z^2 + a_5Z^3 + a_6Z^4 + a_7Z^5 + a_8Z^6 \quad \dots(3)$$

ただし、定数の値は次のように与えられる。

$$\begin{aligned} b &= 2.8500000e-01, & a_0 &= 4.6640299e-09, & a_1 &= 3.0144174e-20, & a_2 &= -1.4622375e-32, \\ a_3 &= 6.1448329e-01, & a_4 &= 7.0950227e-02, & a_5 &= -4.3370511e-03, & a_6 &= 1.2705876e-04, \\ a_7 &= -1.7021738e-06, & a_8 &= 9.0277974e-09 \end{aligned}$$

0.1 秒角まで考慮するために、有効桁数を 8 桁で計算した。

図 5 はこの近似関数をグラフ化したものである。(3)式の近似関数はラダーの値(グラフの○印)を  $Z=0.00000$  度 ~  $90.58556$  度において最大絶対誤差 1.0 秒角以内、平均絶対誤差 0.3 秒角で再現することができる。また、 $Z=90$  度付近で発散することもない。

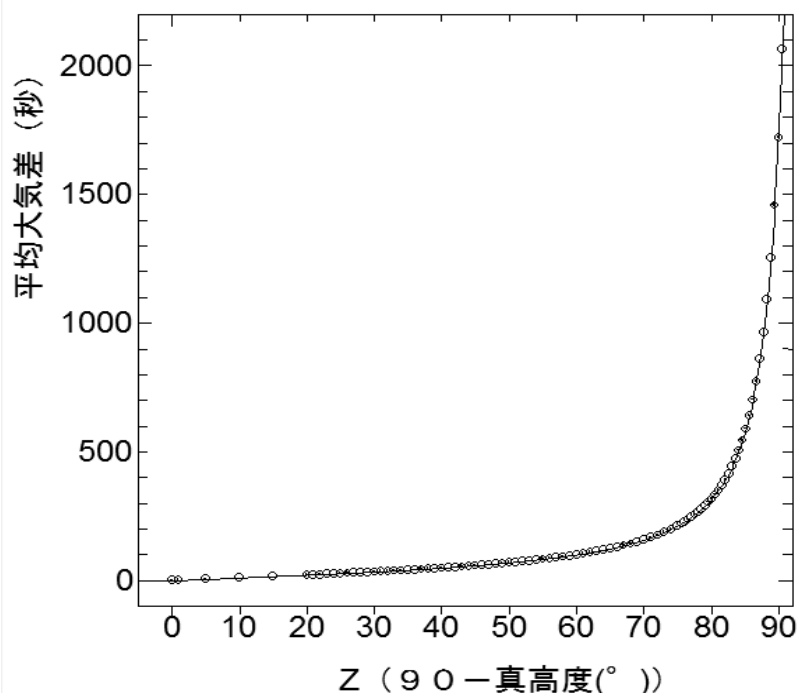


図 5 真高度での平均大気差の関数

## 6. おわりに

今後は、「サン・アースくん」を使って、地球儀のモデルと観測結果の補間をしながら、生徒達が季節変化の原因を探っていく授業にも挑戦していきたい。

また、その実践事例の報告も行っていきたい。

## 参考文献

- [1] 文部科学省 中学校学習指導要領解説 理科編, 平成20年7月
- [2] 大日本図書理科の世界 3年 教師用指導書 (PP. 197)
- [3] 国立天文台(1997)理科年表【天 83】(159)
- [4] 国立天文台(2012)理科年表【天 83】(159)
- [5] 「Ngraph」 <http://www2e.biglobe.ne.jp/~isizaka/>

## 質疑応答

Q：白夜は薄明が続くだけでも白夜というが、このソフトでは、太陽が沈まない場合を白夜としているのでしょうか？（福澄孝博さん）

A：薄明は考慮しておりません。今後の開発の参考にさせていただきます。ありがとうございました。