

5 「日周運動から求めた太陽の大きさ」

1 研究の動機

私たち浜松湖南高校科学部天文班では2002年より三年間にわたり、グリーンフラッシュの観測と研究を行ってきました。(文献1,2)この研究の中で、太陽の見かけの大きさや、日周運動による移動速度が季節や太陽高度によって変化することに気がつきました。一般に、太陽の見かけの大きさは約 0.5° とされていますが、地球との距離によって変化するはずで、そこで、2005年より新たな研究テーマとして、太陽の見かけの大きさを測定する研究に着手しました。天体望遠鏡で太陽を直視することは危険が伴うので、太陽投影板上での観測が適切と考えました。また、天体望遠鏡では、顕微鏡のマイクロメータのような測定目盛りが利用できないため、日周運動を利用した観測を実施することにしました。

研究の目標は以下の通りです。

- (ア) 日周運動を利用することにより、太陽の視直径を測定する。
- (イ) 得られた視直径データを元にして、太陽の実直径を求める。
- (ウ) 視直径の変動から地球の楕円軌道の離心率を求める。

2 研究の方法

(1) 観測システム

望遠鏡：ピクセン製A80MWT(口径80mm、焦点距離910mm)＋太陽投影板
架 台：ピクセン製GP赤道儀
接眼レンズ：GOTO製MH12.5mm(倍率72.8倍)

(2) 観測地

観測は校内で行いました。GPSにより得られた観測地点の経緯度は以下の通りです。また、海拔は国土地理院1/25000地形図より読み取りました。

東経 $137^\circ 37' 36.2''$
北緯 $34^\circ 41' 32.5''$
海拔 約2m

(3) 観測の実際

①望遠鏡のセッティング

赤道儀を使用している観測なので、本来は正確な極軸出しをするべき所ですが、昼間の観測であること、観測場所が時刻と季節で一定しないことから行いませんでした。また、この観測では次に述べる日周運動のライン合わせが最も重要であると考え、極軸についてはおよそその南北合わせで行いました。(図1)



(図1) 観測風景

②日周運動のライン合わせ

太陽の視直径を求める方法として、日周運動によるタイム計測を用いました。太陽投影板上で、基準ラインを太陽の西の縁が通過してから東の縁が通過するまでの所要時間を、ストップウォッチを利用して百分の一秒単位で計測しました。そのために、まず方眼紙上に平行線を三本引き、それに直交する東西基準線を引きました。これを太陽投影板に貼り付けました。この観測で最も重要な作業で、かつ難しかったのが日周運動の東西のライン合わせでした。投影板の方眼紙上で、正確な日周運動の方向(西)が出ないことには正しい視直径を求められません。そのための最も確実で簡便な方法が太陽黒点を利用することです。方眼紙の東西基準線を正確に黒点移動するように太陽投影板の向きを調整しました。この作業がかなり難しく、慣れないうちは大変手間取りました。ところが、現在はたまたま太陽活動の極小期に当

たっていて、黒点が全く見られない「無黒点」状態のケースが非常に多くありました。そのため、正確なライン合わせができず、大きな誤差を生む原因になりました。(図2)



(図2) 計測風景

③タイム計測

タイム計測は毎回五回ずつ行い、その平均値を元に太陽の視直径を出すことにしました。この段階での観測には次のような困難が生じました。一つ目は大気による揺らぎです。観測はほとんどが放課後に行われたため、太陽高度が低く激しい揺らぎを伴うケースが冬場には特に多くありました。揺らぎが大きいと太陽の縁が正確に判別できません。二つ目は天候です。一つ目と同様、高度が低い状態では雲に隠される確率が高く、また薄雲や夕靄に邪魔されることが多々ありました。日差しが弱いと投影板上での太陽像がかすかになります。通常は太陽が投影版上で直径15cm程度になる状態で観測します。しかしこのような時には、投影板とアイピース間の距離を短くすることで太陽像をより明るくして対処しました。この結果、太陽像が小さくなるため、測定誤差は大きくなりました。また、超低空では大気による浮き上がりや、太陽像の変形効果も無視できなくなります。更に風が強い場合は望遠鏡の振動が大きく、通過を判定するのに大変苦労しました。本校のある静岡県西部では冬季の観測時に、これらの困難な条件が全て重なることになりました。晴天率が高く観測しやすいことは裏腹の皮肉な条件でした。

3 観測結果

こうしてこれまでに得られた過去2シーズン分の観測データの集計を表1に示します。当初は太陽観測なので、毎月かなりの日数の観測データが集まるものと考えていました。しかし、観測時間帯が通常は放課後に限定されることや、学校の週日課による制約などで思うように活動できませんでした。更に、2006年は天候不順で観測ができなかったことが大変多く、満足できる結果を残せませんでした。

月別観測日数集計	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
2005年度	—	5回	3回	4回	3回	5回	4回	3回	3回	—	—	—	30回
2006年度	1回	2回	4回	3回	3回	3回	2回	1回	5回	4回	2回	1回	36回
合計	1回	7回	7回	7回	6回	8回	6回	4回	8回	4回	2回	1回	66回

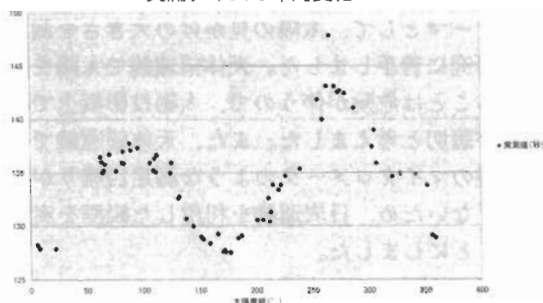
(表1) 月別観測日数集計表

4 結果と考察

(1) 実測タイムの年周変化

図3は、計測タイムを縦軸に、観測時の太陽黄経を横軸にしてその年周変化を表したものです。これより、タイムの最小値は127.5秒程度、また最大値は143秒程度になることが分かります。すなわち計測値は年間で15秒程度の変動を示しています。

実測タイムの年周変化



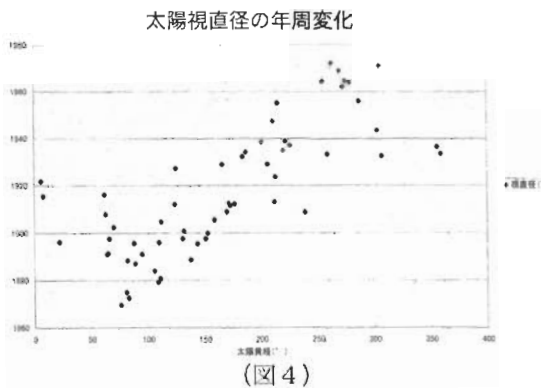
(図3)

次に変動のパターンに注目しました。グラフの横軸である太陽黄経は、春分の日(3月21日)が0°で夏至の日、秋分の日、冬至の日と東回りにそれぞれ90°、180°、270°と測られる角度です。これを日付代わりにして2年分の観測値をグラフに表しました。年周変化が明瞭に表れています。すなわち、日周運動による太陽の動きが最大になる(=タイムが最小値を示す)のは黄経0°前後と180°付近です。いずれも127~128秒という、ほぼ同じ値を示しています。これは、春分の日と秋分の日前後に相当します。つまり太陽が天の赤道にある時、動きがもっとも大きくなることを意味します。一方で、90°付近と270°付近にそれぞれピークが見られます。90°付近のピークでは138秒程度、270°付近では143秒程度で両者には明瞭な差が出ています。いずれも天の赤道からの離角は23.4°です。太陽の赤道による日周運動の補正条件は同じです。従って、

ここに生じた約5秒の差は太陽の視直径の変動によるものと思われます。そこで、次に赤緯の影響を補正したグラフを作ることになりました。

(2) 太陽視直径の年周変化

ここでは、太陽が常に天の赤道上で移動しているとした場合の所要時間(秒)を求めました。それを元にして、太陽の視直径を計算しました。日周運動での時間の1秒は角度に換算すると15"に相当します。そこで、上の所要時間(秒)を15倍することで太陽の視直径(単位は")が得られます。これを、太陽黄経を横軸にしたグラフに表したのが図4です。これが求めた太陽視直径の年周変化になります。



(3) 観測より求めた太陽の視直径と実直径

図4を元にした最終の解析結果を以下にまとめます。まず最初にこの結果を理論値と比較するために、図5を示します。

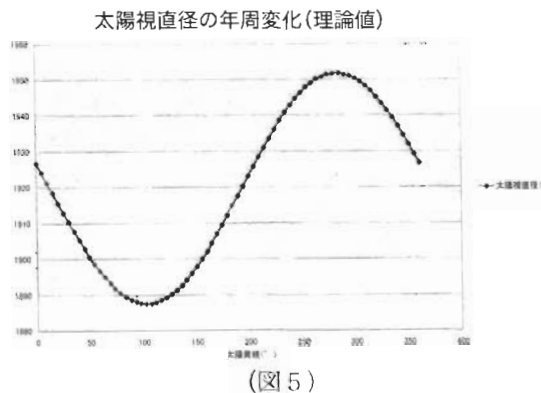


図5は、2005年における地球太陽間の距離を補正して、太陽視直径の年周変化を表したものです。

太陽の実直径は変動しないものと考えられますので、地球太陽間の距離最小点(=近日点)では視直径は最大値となり、距離最大点(=遠日点)では視直径は最小値になります。したがって年周変化は、なめらかな曲線として表されます。2005年に地球が近日点を通過したのは1月2日頃、遠日点を通過したのは7月5日頃でした。太陽黄経では282°と103°にそれぞれ相当します。これを、観測結果の図4と比較すると、誤差の幅が非常に大きいため不明瞭にはなっていますが、ほぼ似た年周変化の曲線が得られていることが分かります。

ここまでの結果を表にまとめると次のようになります。

太陽の大きさ(観測値と実際の比較)

	観測値	資料値
視直径の平均値(°)	1917.74	1919.26
〃 最大値	1960.05	1951.86
〃 最小値	1884.15	1887.73
最大・最小値の比	1.040	1.034
太陽の平均実半径*	695500Km	696000Km

* 平均視直径に、地球太陽間の平均距離1天文単位=1.496×10⁸ kmを適用して求めた値。

(4) 地球の近日点距離と遠日点距離、軌道の離心率の算出

次に図4のデータより、地球の楕円軌道の離心率を求めてみました。視直径の平均値である1917.74"が地球太陽間の平均距離すなわち1天文単位を表すことになるので、視直径の平均値を最小値で割った値が遠日点距離になります。また同様に、平均値を最大値で割った値が近日点距離になります。そこで、観測から求めた視直径値のうち遠日点にできるだけ近く、しかも信頼できる値として1884.15" (7月8日)を最小値として以下のように遠日点距離を計算しました。

$$\begin{aligned}\text{遠日点距離}(Q) &= 1917.74 / 1884.15'' \\ &= 1.0178 \text{天文単位}\end{aligned}$$

また近日点での視直径値として1963.99" (12月30日)、1956.10" (1月7日)の平均値1960.05"を最大値と考え、以下のように近日点距離を計算しました。

$$\begin{aligned}\text{近日点距離}(q) &= 1917.74 / 1960.05'' \\ &= 0.9784 \text{天文単位}\end{aligned}$$

この数値を「ケプラーの第一法則」の離心率 e を求める式、 $e = (Q - q) / 2$ に代入して、離心率(e) = 0.0197と求めました。この値は、基本データ(文献3)の $e = 0.0167$ にかなり近いものです。

5 今後の課題

今回2年間のデータをまとめてみて明らかになったことは、観測の誤差が非常に大きかったということです。その原因として、以下のようなことが考えられます。

- (ア) 望遠鏡操作が未熟であったこと。
- (イ) 黒点が見られないことが多く、日周運動のライン合わせが十分にできなかったこと。

研究の基礎となるデータの精度が低ければ当然、良い結果は得られません。そこで今後は、より正確なデータが得られるように観測の技術を上げ、更なるデータ数の集積にも努めたいと思います。

6 参考文献

- (1)「緑閃光～グリーンフラッシュの見える条件について」 浜松湖南高校自然科学部天文班 2004(平成15年度第20回山崎賞論文)
- (2)「グリーンフラッシュの研究」 浜松湖南高校自然科学部天文班 2005(平成16年度第21回山崎賞論文)
- (3)「天文年鑑2005年版」 天文年鑑編集委員会編 誠文堂新光社 2004
- (4)「天文シミュレーションソフト ステラナビゲータ7」 アストロアーツ 2003