

# 月食から求める月の大きさと月までの距離

岐阜県立加茂高等学校 理数科

TEAM KAGUYA (東直美、吉田奈々花、井坂瑠華)

## 1、はじめに

2014年10月8日に皆既月食が見られた。月食は地球の影が月に映る現象であり、昔から地球の形を知ることができる貴重な機会であった。そして、ギリシャ時代の古代エジプトでは地球の大きさを求めていた。しかし、月の大きさを直接求めることはできない。そこで地球の影である月食を観測し、地球の影の大きさと月とを比較することで月の大きさと月までの距離を求めることを目的とした。

## 2、月食について

月食とは太陽・地球・月の順に一直線に並び、地球の影が月にかかることによって月が欠けて見える現象のことである。満月の時に起こる日食と違い、月が見える場所であれば地球上のどこからでも同時に観測観察できる。地球の影には、太陽光の一部だけが遮られた「半影」と、太陽光がほぼ遮られた「本影」の2種類がある(図1)。月が半影に入ることを「半影食」という。半影はぼんやりとした影なので、目で見ただけでは月食なのかどうか、はっきりとはわからない。一方、月が本影に入ることを「本影食」という。本影は暗い影なので、本影食が始まると、肉眼でも、まるで月が欠けているかのように見ることができる。一般に「月食」という場合は「本影食」のことを指している。

月食には月のすべてが地球の影に覆われる皆既日食と、月の一部に地球の影がかかる部分月食とがある。

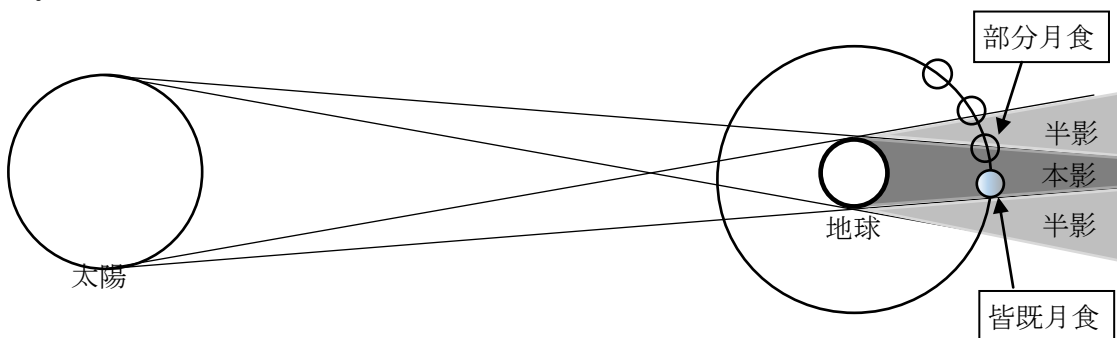


図1 本影と半影 本影の中に月が全て入ると皆既月食となる。

皆既月食のときには月全体が地球の影の中に入っているため、月に太陽の光が当たらず月が全く見えなくなるように思えるが、実際には月を見ることができ。地球の大気の中を太陽光が通りすぎるとき、その光は大気の影響で屈折して月まで届き、ほんのりと月を照らす。このとき、光の成分のうち波長の短い青い光は大気中に散乱されるためほとんど月までは届かない。波長の長い赤い光は散乱されにくく、大気中を通過していくので月まで届く。皆既食中の月の色は「赤銅色」と呼ばれることが多いが、月食ごとにその明るさは違う(図2)。



図2 皆既中の赤っぽい月  
10月8日 20時34分撮影

### 3、観測方法

岐阜県博物館の西谷徹先生の指導によって、月食の観測と撮影を行った。

観測日時

2014年10月8日、午後6時～10時

観測場所

関市小屋名の百年公園北

使用機材

(1) 天体望遠鏡

①鏡筒：タカハシ製 FC76 フローライト屈折望遠鏡  
口径 76 mm 焦点距離 600 mm F 値  $600/76=7.9$

②架台：タカハシ製 EM-1 ドイツ式赤道義（自動追尾）

(2) カメラ

Canon 製デジタル一眼レフカメラ EOS KISS X5 1,800 万画素（APS-C サイズ）

撮影条件

(1) FC76 直焦点撮影（焦点距離  $600 \times 1.6=960$  mm 相当）

※倍率=焦点距離 960 mm/50 mm=19.2 倍

(2) ISO 感度 1600

(3) 露出時間 月食の進行具合によって変えて撮影

適正な露出を得るために露出時間を変えて複数撮影



図3 観測風景

### 4、＜研究1＞ 月の大きさを求める

月の大きさを求める方法として、作図による方法や画像に座標となる格子を重ねて、画像上の点の座標を読み、計算で求める方法などがあるが、いずれも誤差が大きくなりがちである。そこで、コンピューター画面から月食の画像の座標位置を読み取り、計算で求める方法を考えた。計算の手順は作図によって月の大きさを求める方法にそっている。

＜作図によって月の大きさを求める方法＞

- ① 月の円周上に任意の点4つを取り、その4点をそれぞれ点 A,B,C,D とする。
- ② 点 A,B を直線をつなぎ、直線 AB の垂直二等分線を引く。
- ③ 点 C,D も同様に直線をつなぎ、直線 CD の垂直二等分線を引く。
- ④ ②、③で引いた垂直二等分線の交点が月の中心点になる
- ⑤ 中心点から円周上の任意の点までの距離が月の画像における半径となる。
- ⑥ 次に、地球の本影の上に任意の4つの点を取り、月の中心点を求め、画像における半径を求めた手順と同様に、地球の本影の画像における半径を求める。
- ⑦ すでに分かっている地球の半径を 6,370km として、作図から求めた月と地球の画像上の半径の大きさの比から、月の半径を求める。

#### (1) 画像の座標の読み取り

画像の任意の点の座標を読み取る方法として画像ソフト Microsoft Paint を用いた。Microsoft Paint では画面の下にあるステータスバーにカーソルの座標が表示される（図4）。画面上の任意の点にカーソルを置くことで画面上の座標を読み取る事ができる。

地球の影は半影から本影へと次第に暗くなっているため、本影の輪郭がはっきりしない。そこで、画像処理ソフト JTrim を用いて画像をポスタライズ処理し、明るさを階調に分けることで本影の輪郭をは

つきりとさせた (図5)。そして月の輪郭と地球の本影の輪郭の任意の点の座標を Microsoft Paint を使い読み取った。



図4 Microsoft Paint の画面  
ステータスバーに座標位置が表示される。



図5 部分月食 2014年10月8日 21:12 撮影  
画像番号 IMG0327  
皆既月食の後次第に月が現れる。右が画像処理をして本影の輪郭をはっきりとさせた画像

## (2) 月と地球の影の大きさの計算方法

### ①月の大きさの計算

月の画像の円周上に任意の点4点  $a, b, c, d$  をとる (図6)。

それぞれ  $a (X_a, Y_a)$ ,  $b (X_b, Y_b)$ ,  $c (X_c, Y_c)$ ,  $d (X_d, Y_d)$  とし、月の中心を  $O (X_0, Y_0)$  とすると、線分  $ab$  の中点は

$$(X_{ab}, Y_{ab}) = \left( \frac{X_a + X_b}{2}, \frac{Y_a + Y_b}{2} \right)$$

線分  $cd$  の中点は

$$(X_{cd}, Y_{cd}) = \left( \frac{X_c + X_d}{2}, \frac{Y_c + Y_d}{2} \right)$$

となる。

次に、線分  $ab$  の式は

$$Y - Y_a = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} (X - X_a)$$

線分  $cd$  の式は

$$Y - Y_c = \frac{Y_d - Y_c}{X_d - X_c} (X - X_c) \quad \text{となる。}$$

ここで、線分  $ab$  と線分  $cd$  の垂直二等分線の傾きを、それぞれ  $m_1$ 、 $m_2$  とすると、

線分  $ab$  の垂直二等分線の傾き  $m_1$  は

$$\frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} \times m_1 = -1$$

$$m_1 = -\frac{X_b - X_a}{Y_b - Y_a}$$

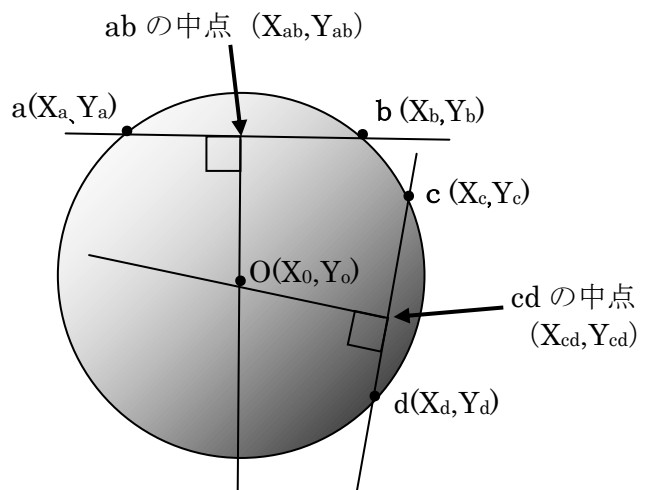


図6 月の画像から中心点を求める

線分 c d の垂直二等分線の傾き  $m_2$  は

$$\frac{Y_d - Y_c}{X_d - X_c} \times m_2 = -1$$

$$m_2 = -\frac{X_d - X_c}{Y_d - Y_c}$$

線分 a b の垂直二等分線を a b の中点  $(X_{ab}, Y_{ab})$  と傾き  $m_1$  を使って表すと、

$$Y - Y_{ab} = m_1(X - X_{ab}) \quad \dots\dots①$$

同様に、線分 c d の垂直二等分線を c d の中点  $(X_{cd}, Y_{cd})$  と傾き  $m_2$  を使って表すと、

$$Y - Y_{cd} = m_2(X - X_{cd}) \quad \dots\dots②$$

この2つの垂直二等分線の交点が月の中心点  $O(X_0, Y_0)$  であるので、交点を求めると、①-②より  
 $-Y_{ab} + Y_{cd} = m_1X - m_1X_{ab} - m_2X + m_2X_{cd}$

$$(m_1 - m_2) X = m_1X_{ab} - m_2X_{cd} - Y_{ab} + Y_{cd}$$

$$X = \frac{m_1X_{ab} - m_2X_{cd} - Y_{ab} + Y_{cd}}{m_1 - m_2}$$

これを①に代入すると

$$Y - Y_{ab} = m_1 \left( \frac{m_1X_{ab} - m_2X_{cd} - Y_{ab} + Y_{cd}}{m_1 - m_2} - X_{ab} \right)$$

$$Y = m_1 \left( \frac{m_1X_{ab} - m_2X_{cd} - Y_{ab} + Y_{cd}}{m_1 - m_2} - X_{ab} \right) + Y_{ab}$$

したがって、月の画像上での中心点は

$$O(X_0, Y_0) = \left( \frac{m_1X_{ab} - m_2X_{cd} - Y_{ab} + Y_{cd}}{m_1 - m_2}, m_1 \left( \frac{m_1X_{ab} - m_2X_{cd} - Y_{ab} + Y_{cd}}{m_1 - m_2} - X_{ab} \right) + Y_{ab} \right)$$

となる。

次に、中心点  $O(X_0, Y_0)$  として円の方程式は

$$(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 = r^2$$

これに任意の点 a  $(X_a, Y_a)$  の座標を代入して月の半径 r を求める。

$$(X_a - X_0)^2 + (Y_a - Y_0)^2 = r^2$$

$$r = \sqrt{(X_a - X_0)^2 + (Y_a - Y_0)^2}$$

この式に先に求めた中心点  $O(X_0, Y_0)$  を代入すれば、画像上での月の半径を求めることができる。

## ②地球の影の大きさの計算

地球の影の大きさを求めるために、月に映る地球の本影の輪郭の上の任意の点を4つ A  $(X_A, Y_A)$  , B  $(X_B, Y_B)$  , C  $(X_C, Y_C)$  , D  $(X_D, Y_D)$  をとり、月の半径を求めた方法と同様の手順で地球の影の中心 P  $(X_1, Y_1)$  を求める (図7)。

線分 AB の中点は

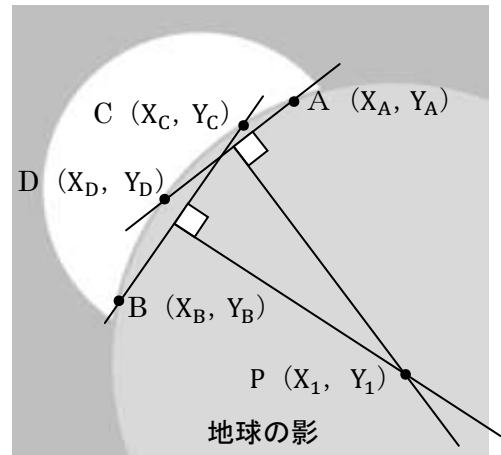
$$(X_{AB}, Y_{AB}) = \left( \frac{X_A + X_B}{2}, \frac{Y_C + Y_D}{2} \right)$$

線分 CD の中点は

$$(X_{CD}, Y_{CD}) = \left( \frac{X_C + X_D}{2}, \frac{Y_C + Y_D}{2} \right)$$

線分 AB の垂直二等分線の傾き  $m_3 = -\frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$

線分 CD の垂直二等分線の傾き  $m_4 = -\frac{X_D - X_C}{Y_D - Y_C}$



となり、線分 AB の垂直二等分線と線分 CD の垂直二等分線の交点が、地球の影の中心点  $P(X_1, Y_1)$  なので、

図7 月食から地球の影の中心を求める

$$P(X_1, Y_1) = \left( \frac{m_3 X_{AB} - m_4 X_{CD} - Y_{AB} + Y_{CD}}{m_3 - m_4}, m_3 \left( \frac{m_3 X_{AB} - m_4 X_{CD} - Y_{AB} + Y_{CD}}{m_3 - m_4} - X_{AB} \right) + Y_{AB} \right)$$

画像上の任意の点 A と影の中心点 P を用いて、地球の半径 R を表すと

$$R = \sqrt{(X_A - X_1)^2 + (Y_A - Y_1)^2} \quad \text{となる。}$$

これに地球の影の中心点 P の値を代入すると、画像上での地球の半径を求めることができる。

③月の半径を求める（高校生天体観測ネットワーク（2011）より）。

皆既日食の際には、月の影の収束点がほぼ地球上にきて、その点付近の狭い範囲でちょうど月が太陽を隠す日食が起きる（図8）。月食時には、日食と同様に地球の影も同じ割合で収束していくが、地球が月より大きいため、収束点は月の軌道よりはるかに離れたところになる。この収束の割合は日食と同じであるので、地球と月の距離でちょうど月の直径分収縮することになる。

$$\text{地球の実直径} = \text{月面での本影の実直径} + \text{本影の収縮分（月の1直径分）}$$

このことから①②で求めた画像上の月の半径 r と本影の半径 R を用いると、地球の画面上での半径 R は

$$R = R + r \quad \text{と表される。}$$

すでに分かっている地球の半径を 6,370 km として、作図から求めた月と地球の画像上の半径の大きさの比から、月の半径を求める。

$$6,370 \text{ km} : \text{月の半径} = R : r$$

$$\text{月の半径} = \frac{6,370 \times r}{R}$$

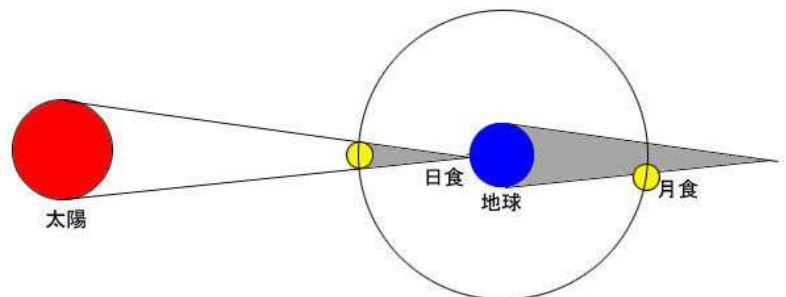


図8 本影の収縮

高校生天体観測ネットワーク（2011）より

④表計算ソフトによる月の半径の計算

①～③の計算を表計算ソフト Microsoft Excel をもちいておこなった。

1つの画像ファイルにつき月の外縁上、地球の本影の輪郭の上のそれぞれ任意の4点の計測を20回ずつおこない、画面上での月と地球の影の半径を求め、平均値を求めた。その上で月の実際の半径を求めた(図9)。

点a		点b		点c		点d		点abの中点		点cdの中点		線分abの垂線の傾き		線分cdの垂線の傾き		線分ab, cdの交点		月の半径
Xa	Ya	Xb	Yb	Xc	Yc	Xd	Yd	Xab	Yab	Xcd	Ycd	m1	m2	Xo	Yo			r
192	38	61	168	61	232	202	366	126.5	103	131.5	299	1.0076923	-1.052239	224.2029	201.45444			166.5965
201	37	64	155	63	240	228	367	132.5	96	145.5	303.5	1.1610169	-1.299213	223.7068	201.89269			166.4488
214	35	69	140	66	251	217	367	141.5	87.5	141.5	309	1.3809524	-1.301724	224.0668	201.52081			166.8248
195	39	69	143	66	255	203	365	132	91	134.5	310	1.2115385	-1.245455	222.4006	200.5238			163.8314
209	37	61	169	63	241	195	364	135	103	129	302.5	1.1212121	-1.073171	222.9796	201.64382			165.2362
193	38	74	131	73	269	260	362	133.5	84.5	166.5	315.5	1.2795699	-2.010753	223.8725	200.13799			165.051
210	35	65	153	63	241	244	366	137.5	94	153.5	303.5	1.2288136	-1.448	224.4198	200.80818			166.434
215	35	75	128	67	252	200	365	145	81.5	133.5	308.5	1.5053763	-1.176991	224.5807	201.29886			166.5746
196	38	65	154	63	241	210	366	130.5	96	136.5	303.5	1.1293103	-1.176	223.5703	201.10529			165.419
199	37	68	144	69	260	243	366	133.5	90.5	156	313	1.2242991	-1.641509	224.0273	201.33251			166.2274
217	35	80	121	78	278	198	365	148.5	78	138	321.5	1.5930233	-1.37931	225.5496	200.74187			165.9622
218	35	71	142	68	257	257	363	144.5	88.5	162.5	310	1.3738318	-1.783019	224.8314	198.86188			164.0042
185	40	67	147	68	256	193	365	126	93.5	130.5	310.5	1.1028037	-1.146789	224.7559	202.40837			167.2035
210	36	75	128	67	254	237	366	142.5	82	152	310	1.4673913	-1.517857	223.7059	201.16076			165.7285
188	40	64	155	64	241	215	367	126	97.5	139.5	304	1.0782609	-1.198413	223.8087	202.96334			166.8512
199	37	65	152	66	250	228	367	132	94.5	147	308.5	1.1652174	-1.384615	224.0724	201.78437			166.6809
206	37	87	109	74	273	214	367	146.5	73	144	320	1.6527778	-1.489362	223.9239	200.96445			164.9412
212	35	72	135	69	259	268	363	142	85	168.5	311	1.4	-1.913462	225.5099	201.91381			167.4597
213	35	68	145	65	249	226	367	140.5	90	145.5	308	1.3181818	-1.364407	224.3079	200.47401			165.8599
210	36	76	126	75	272	247	365	143	81	161	318.5	1.4888889	-1.849462	224.115	201.7712			166.371
																		165.9853
点A		点B		点C		点D		点ABの中点		点CDの中点		線分ABの垂線の傾き		線分CDの垂線の傾き		線分AB, CDの交点		地球の影の半径
XA	YA	XB	YB	XC	YC	XD	YD	XAB	YAB	XCD	YCD	M1	M2	XO	YO			R
241	45	251	180	276	250	316	325	246	112.5	296	287.5	-0.074074	-0.5333333	685.1129	79.973118			445.4878
239	67	251	177	272	242	310	315	245	122	291	278.5	-0.109091	-0.520548	683.5518	74.15799			444.6094
239	65	261	209	269	233	308	310	250	137	288.5	271.5	-0.152778	-0.506494	685.3779	70.483937			446.4116
239	50	253	186	263	218	301	300	246	118	282	259	-0.102941	-0.463415	683.4328	72.970149			445.026
240	58	256	188	261	214	306	308	248	123	283.5	261	-0.123077	-0.478723	683.8111	69.361712			443.9565
239	54	255	190	265	223	311	316	247	122	288	269.5	-0.117647	-0.494624	692.0663	69.639262			453.3361
240	47	254	189	262	220	311	318	247	118	286.5	269	-0.098592	-0.5	672.3772	76.061404			433.3527
240	57	260	214	266	224	318	324	250	135.5	292	274	-0.127389	-0.52	658.3936	83.475341			419.2304
240	52	252	189	261	215	313	319	246	120.5	287	267	-0.087591	-0.5	650.9381	85.030973			412.2634
239	53	255	202	270	236	313	319	247	127.5	291.5	277.5	-0.107383	-0.518072	668.3746	82.251723			430.3698
241	54	255	189	263	226	313	321	248	121.5	288	273.5	-0.103704	-0.526316	657.4834	79.035055			417.2352
239	68	257	199	267	237	314	321	248	133.5	290.5	279	-0.137405	-0.559524	649.0236	78.397524			410.1554
241	57	256	193	264	221	318	326	248.5	125	291	273.5	-0.110294	-0.514286	670.1849	78.49064			429.7226
240	62	246	168	263	224	313	322	243	115	288	273	-0.056604	-0.510204	641.9397	92.418506			403.0891
238	55	252	185	253	188	305	307	245	120	279	247.5	-0.107692	-0.436975	677.3253	73.441892			439.7122
238	54	255	193	265	220	318	326	246.5	123.5	291.5	273	-0.122302	-0.5	701.8905	67.804762			464.0958
240	56	257	204	264	229	309	317	248.5	130	286.5	273	-0.114865	-0.511364	658.1654	82.943842			419.0325
240	59	256	193	253	188	309	314	248	126	281	251	-0.119403	-0.444444	677.6888	74.693878			437.97
240	58	254	189	264	220	313	320	247	123.5	288.5	270	-0.10687	-0.49	682.453	76.96304			442.8592
241	54	257	198	267	237	314	323	249	126	290.5	280	-0.111111	-0.546512	654.7878	80.912463			414.6621
																		432.6289
地球の大きさ=地球の影の大きさ+月の大きさ								598.61										
月の大きさ								1766.3	実際は1737km									
								1.0169										

図9 Microsoft Excel による計算例

上段が月、下段が地球の本影 画像ファイル IMG0327 撮影日時 2014年10月8日 21:12






(3) 結果・考察

計測に使用した画像は5つで、それぞれの画像から求めた画面上の月の半径(ピケル)、画面上の地球の本影の半径(ピケル)、計算で求めた月の半径(km)は表1に示す。実際の月の半径は1,737 kmで、計測で求めた月の半径の方がいずれの場合も大きくなった。計測から求めた月の半径(平均値)は1,903 kmで、最も誤差が小さい画像では月の半径が1,766.3 kmで、実際の月の半径との大きさとの誤差が1.7%、誤差が大きい画像では月の半径は2,021 kmで、誤差が16.4%であった。画面上の月の半径はどの画像から求めた値でも、ほぼ同じである(表1、図10)。しかし、地球の本影の半径はばらつきが大きい(表



1、図 11)。月の輪郭は明確であるため、どの画像でも座標位置の読み取りが正確にできる。一方、地球の本影の輪郭は画像処理をしないとはっきりしない。処理をした画像でも、誤差が大きい画像は本影の輪郭がなめらかでなく、座標位置を求めにくかった。これは月の表面にある“月の海”と呼ばれる黒っぽい部分があるために、本影との境界が不明瞭になり、なめらかな曲線でなくなることが原因であると考えられる。また、露出が適性でないと、画像の上で本影の大きさが変わってしまうことも考えられる。今回の計測ではどの画像においても、月の半径が実際よりも大きく求められたが、これは本影の位置がやや内側にあるように判断したために、本影の半径が小さくなったことが考えられる。誤差が小さかった画像では、20回の計測で、画面上の本影の半径は比較的大きく、ばらつきが少なかった。

表 1 計測結果

					
画像番号	IMG0223	IMG0247	IMG0282	IMG0327	IMG0343
撮影時刻	20:40	20:52	21:00	21:12	21:16
画面上の月の平均半径	164.5 ピクセル	165.9 ピクセル	166.4 ピクセル	166.0 ピクセル	165.2 ピクセル
画面上の地球の本影の平均半径	378.9 ピクセル	411.9 ピクセル	370.9 ピクセル	432.6 ピクセル	355.4 ピクセル
<b>月の半径</b>	<b>1,928.0 km</b>	<b>1,828.9 km</b>	<b>1,972.9 km</b>	<b>1,766.3 km</b>	<b>2,021.0 km</b>
実際の半径との誤差	11.0%	5.3%	13.6%	1.7%	16.4%

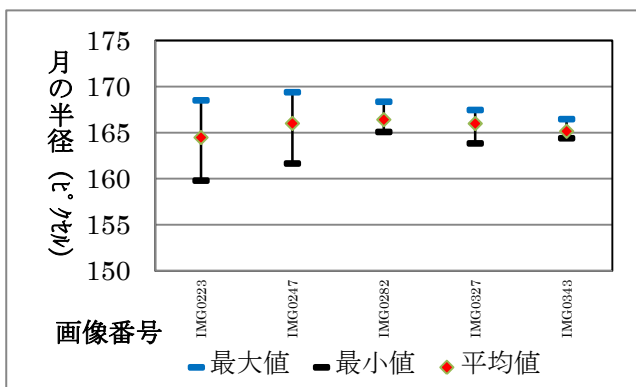


図 10 画面上での月の半径

画像毎に 20 回計測して求めた半径の最大値、最小値、平均値

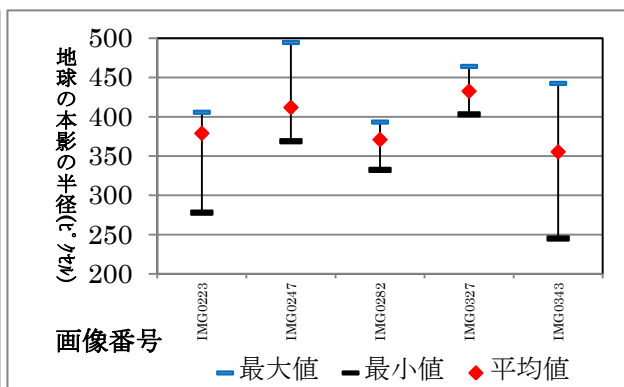


図 11 画面上での地球の本影の半径

画像毎に 20 回計測して求めた半径の最大値、最小値、平均値

## 5、<研究2> 地球から月までの距離を求める

### (1) 太陽の見かけの大きさの測定

日食は月が太陽を隠す現象で、部分的に太陽が隠される部分日食や、太陽と月がぴったりと重なり、

太陽の全体が隠れる皆既日食等がある。皆既日食が起こるのは太陽と、太陽と月の見かけ上ほぼ同じ大きさであるためである。そこで太陽の見かけの大きさを測定し、月の実際の大きさと比較することで月までの距離を求める。

#### 方法

- ① 1 m の棒の先にピンホールを開けた厚紙を垂直に取り付ける。反対側にはスクリーンとなる厚紙を垂直に取り付ける (図 10)。
- ② ピンホールのある厚紙が太陽光に対して垂直になるように向け、ピンホールから太陽光を通す
- ③ スクリーンに映る太陽の大きさを測る。  
→ 測り取った大きさが太陽の見かけの大きさ

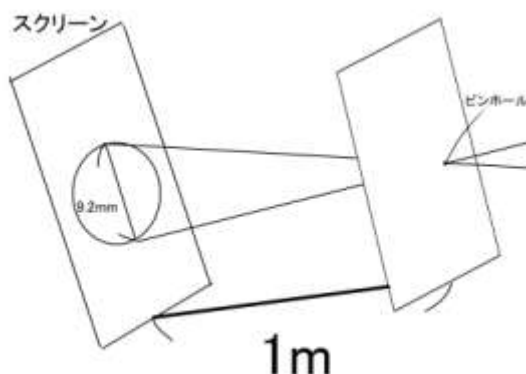


図 10 太陽の見かけの大きさの測定

#### (2) 結果・考察

測定結果ではピンホールを通して 1m の距離に投影した太陽の見かけの大きさが 9.2 mm であった。太陽の見かけの大きさと月の見かけの大きさがほぼ同じなので、月でも見かけの大きさも 9.2 mm と考えることができる。そこで、研究 1 で求めた月の半径をもとに、月までの距離を推定すると

$$1000 \text{ mm} : 9.2 \text{ mm} = \text{月までの距離 km} : \text{求めた月の直径 km}$$

となる。求めた月の直径の中で一番誤差の小さい IMG0327 のデータでは月の半径が 1766.3km であったので、月までの距離を X km とすると、

$$1000 \text{ mm} : 9.2 \text{ mm} = X \text{ km} : 1766.3 \times 2 \text{ km}$$

$$X = 383,978 \text{ km} \quad \text{地球から月までの距離は } 383,978 \text{ km}$$

実際の月の平均軌道半径が **384,748 km** なので、誤差は 0.2% で実際の値に非常に近い値が求められた。

#### 6、まとめ

月の大きさを求める方法として手作業による作図もおこなったが、誤差が大きく、実際の値に近い値を出すのに苦労した。そこで、画面の上で画像の座標を読み、計算で求める方法を工夫した。その結果、実際の月の大きさ 1737 km に対し、1766.3 km、誤差が 1.7 % という近い値を求めることができた。測定の結果から、適切な画像を利用し、画像をポスタライズ処理して、明暗の階調を上げるほど本影と半影の境がはっきりするため、より正確な数値が読み取れることが分かった。しかし誤差が大きい画像もある。この原因は“月の海”が黒く撮影されるため、本影の輪郭を測定するときに、誤差が生じやすくなるためである。適正な露出と本影の輪郭の位置に“月の海”があまりかかっていない月食の写真があれば、月の大きさを計算で精度よく求めることができる。

求めた見かけの大きさ、月の半径を利用し計算すると、地球から月までの距離は誤差 0.2 % という実際の距離に非常に近い値を求めることができた。

#### 7、参考

高校生天体観測ネットワーク (2011) 「月食観測マニュアル 解析、研究ガイド」

大西浩次 (2007) 「月食観測による月までの距離測定」

国立天文台 「皆既月食 2014 年 10 月 8 日」

<<http://www.nao.ac.jp/astro/sky/2014/lunar-edipse.html>> 2015 年 1 月 27 日アクセス