金環日食の観測から月までの距離を求める

岩手県立水沢高等学校 科学部　　1年小野海 千田美穂 舘花彩理衣　大内沙織　泉川千佳
鹿児島県立川薩清修館高校科学部２年森園礼美 﨑山敏圭 木場拓也 種田咲良 小囿未瑞希

１, 研究動機

国立天文台のVERA観測局が、国内4ヶ所に建設され、本格的な観測が始まって10周年を迎えた。観測局のある市と村で、交流をはじめようという動きがあり、その初めての事業として高校生による天文観測・研究が企画された。「金環日食を利用し4地点の市や村の高校生、中学生が観測して、地球から月までの距離を求めよう。」という呼びかけをうけて、水沢高校科学部は参加することを決めた。そして、石垣市八重山高等学校、東京小笠原村小笠原中学校、薩摩川内市川薩清修館高等学校が観測を行うと意志表示があり、4ヶ所で観測が行われることになった。

２． 研究目的

5月21日、金環日食が日本列島の中央部を通る。観測する地点は、この帯域からは若干離れるが、それでも相当大きい食が起こることが予想されていた。しかも、4地点で同時に観測できるので、その欠け方の違いから観測点の位置による太陽を基準とした月の見える方向のずれが求まる。月の位置のずれを角度に換算し、三角測量の原理で月までの距離を算出することである。

３． 研究内容

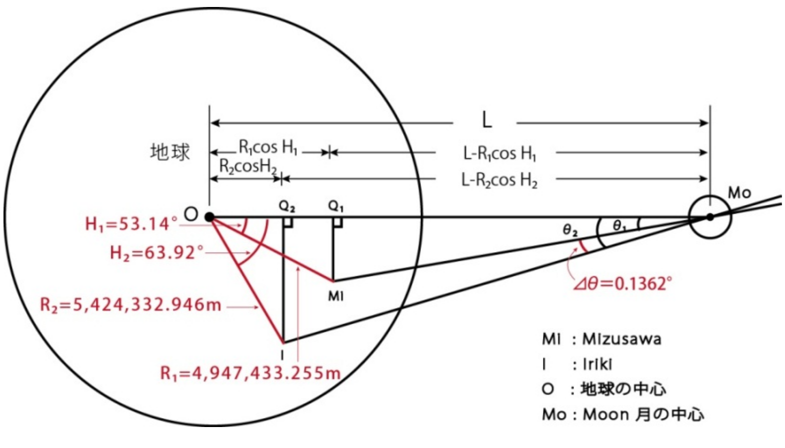
観測の事前練習などを行い、観測当日を迎えたが、水沢は快晴、薩摩川内市は曇り、小笠原村と石垣島は雨降りで全く観測できなかった。水沢では、予定していた6時30分から8時02分まで観測できたが、薩摩川内市の川薩清修館高校では、8時00分と8時02分に、雲の切れ間から覗いた太陽をかろうじて2枚撮影することに成功した。

観測されたデータは、水沢と入来の8時00分と8時02分の写真4枚であり、この4枚を分析して、地球と月の距離の計算に着手することになった。

４． 方法

(1) 観測時の写真から、太陽の中心と月の中心の　距離を測定し、太陽直径(角度32’)との比から水沢、入来から観測されるずれを角度に換算。

(2) 地球の中心、月の中心、水沢・入来の三角形(下図)をつくり三角関数を用いて、月と地球の距離を求めた。



H_1: 水沢における太陽の8時の位置と南中の位置の角度

H_2: 入来における太陽と8時に位置と南中の位置の角度

R_1: 地球の中心と水沢の距離

$$\tan\Delta\theta = \tan\left(\theta_2 - \theta_1\right) = \frac{\tan\theta_2 - \tan\theta_1}{1 + \tan\theta_2 \tan\theta_1}$$

今、$L \gg R_1$、$L \gg R_2$ と $1 \gg \tan\theta_1$、$1 \gg \tan\theta_2$ なので、

$1 + \tan\theta_2 \tan\theta_1 \fallingdotseq 1$ とおくことができる。

$$\tan\Delta\theta = \tan\theta_2 - \tan\theta_1 = \frac{R_2\sin H_2}{L - R_2\cos H_2} - \frac{R_1\sin H_1}{L - R_1\cos H_1}$$

$$\tan\Delta\theta = \frac{(R_2\sin H_2)(L - R_1\cos H_1)}{(L - R_2\cos H_2)(L - R_1\cos H_1)} - \frac{(R_1\sin H_1)\left(L - R_2\cos H_2\right)}{\left(L - R_1\cos H_1\right)\left(L - R_2\cos H_2\right)}$$

$$= \frac{LR_2\sin H_2 - R_1R_2\sin H_2\cos H_1 - LR_1\sin H_1 + R_1R_2\sin H_1\cos H_2}{L^2 + R_1\cos H_1 R_2\cos H_2 - L R_1\cos H_1 - L R_2\cos H_2}$$

ここで、

$$L \gg \begin{cases} R_1R_2\sin H_2\cos H_1 \\ R_1R_2\sin H_1\cos H_2 \\ R_1\cos H_1 R_2\cos H_2 \end{cases}$$

なので省略できると考え、省略した。

$$\tan\Delta\theta = \frac{LR_2\sin H_2 - LR_1\sin H_1}{L^2 - L R_1\cos H_1 - L R_2\cos H_2}$$

$$\tan\Delta\theta = \frac{R_2\sin H_2 - R_1\sin H_1}{L - R_1\cos H_1 - R_2\cos H_2}$$

$$\left(L - R_1\cos H_1 - R_2\cos H_2\right)\tan\Delta\theta = R_2\sin H_2 - R_1\sin H_1$$

$$L = R_1\cos H_1 + R_2\cos H_2 + \frac{1}{\tan\Delta\theta}(R_2\sin H_2 - R_1\sin H_1)$$

この L を求める式に、$R_1 = 4947km$　$R_2 = 5424km$　$H_1 = 53.14°$　$H_2 = 63.92°$　$\tan\theta = \tan 0.1362° = 0.0023771$

を代入し、計算すると

$L = R_1\cos H_1 + R_2\cos H_2 + \frac{1}{\tan\Delta\theta}(R_2\sin H_2 - R_1\sin H_1)$

$$L = 4947\times\cos 53.14° + 5424\times\cos 63.92° + \frac{1}{\tan 0.1362°}(5424\times\sin 63.92° - 4947\sin 53.14°)$$

$$= 4947\times0.599861793 + 5424\times0.439625672 + \frac{1}{2.377142919\times10^3}(5424\times0.898181088 - 4947\times0.800103636)$$

$$= 5352.045935 + \frac{1000}{2.377142919}\times913.621534$$

$$= 5352.045935 + \frac{913621.534}{2.377142919}$$

$$= 389688.0177km$$

5, 結果と考察

月までの距離は 38 万 9700km と求められた。国立天文台天体暦のデータから算出した距離は、40 万 5800km であり、誤差は約 4%である。入来の写真がもっと鮮明で、多くのデータあれば、より誤差の少ない結果になったと思う。

参考文献

国立天文台天体暦　　理科年表　国立天文台 VELA データ　ステラナビゲータ ver.9