



月に隠れていたのはふたご!?

～月によるふたご座η星の掩蔽の観測～

宮崎県立宮崎北高等学校 科学部 地学班
2年 森岡 怜生 濱川 咲笑 木田 真太郎 菊池 慶佑



概要

星食とは恒星が小惑星や月などによって隠される現象である。星食観測を行うことによって、小惑星や月縁の正確な形状や、背景にある恒星の位置を求めることができる。今回、我々は二重星であるふたご座η星の月による星食観測を行った。2019年10月20日02時01分40.91±0.05秒に一つ目の星が出現した。その3.00±0.10秒後に二つ目の星の出現が確認できた。

その後我々は、観測データの正確性を確かめるために、二つの星が出現する時間間隔を力学的エネルギー保存則とケプラーの第二法則によって求めた。その結果は3.19秒であった。観測当日は曇天だったにもかかわらず、観測を行うことができたことは大きな収穫である。

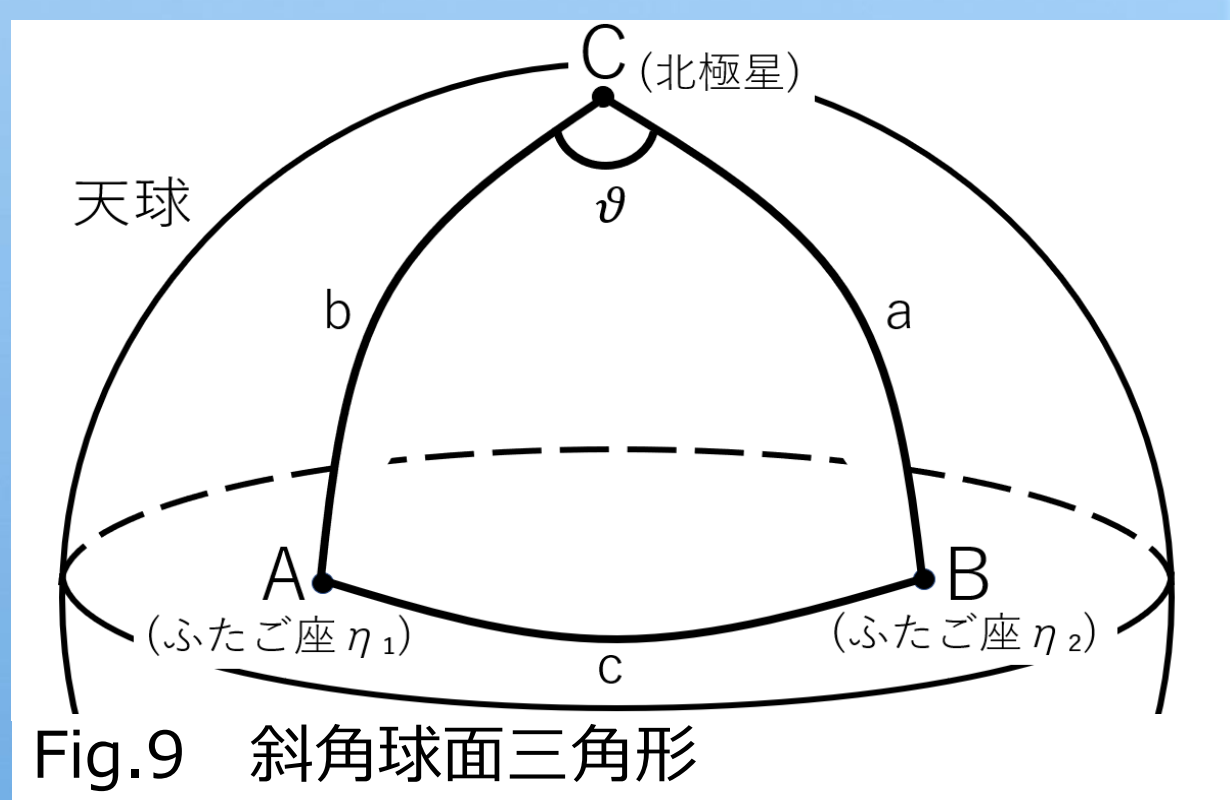
今回は月による掩蔽観測を行った。多地点での観測によって、小惑星の形状を求めることも可能であるため、今後は小惑星による掩蔽など様々な星食観測を行い星食観測の輪を広げていきたい。

目的

現在の天体の基準座標を与えているヒッパルコス星表には大きな誤差が含まれている可能性があり、星食観測によって補正することができる。そのため、星食観測を行うことによって天文学の発展に貢献できる。我々は正確な星食観測を高校生の手で行い、やがては全国にその輪を広げたいと考えている。

考察 I

はじめに球面上の座標をもとにふたご座η₁とη₂を通過する見かけの距離を求めた。Aをη₁,Bをη₂,Cを北極星とおき、球面三角形ABCを作った(Fig.9)。余弦定理よりAB間の見かけの距離(c)を求めた。



$$\cos c = \cos a \times \cos b + \sin a \times \sin b \times \cos \theta \quad \dots [5]$$

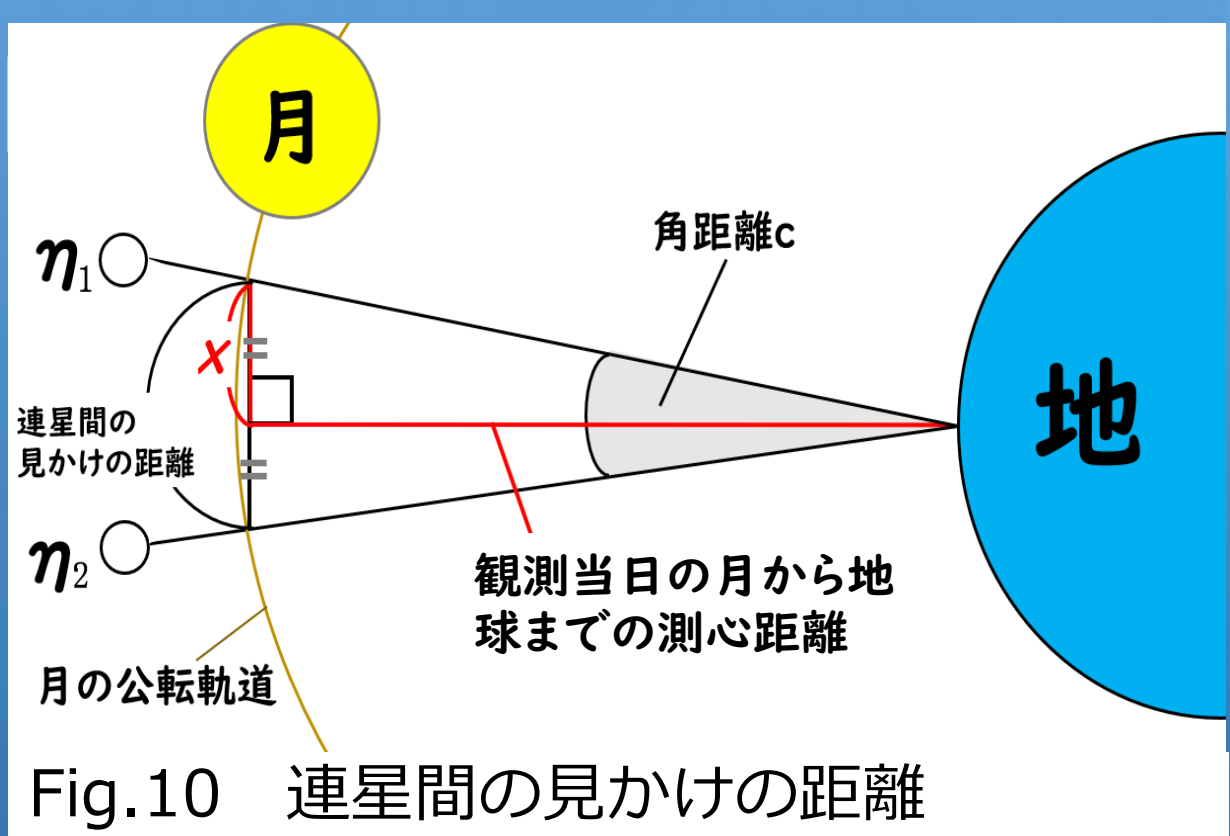
A赤経:6h14m52.695s B赤経:6h14m52.569s
赤緯:22°30'24.56" 赤緯:22°30'24.31"

a, b, θの算出
a=90°-Bの赤緯
b=90°-Aの赤緯
θ= Aの赤経 -Bの赤経

aとbとθを式[5]に代入し,cを求める。
次に連星間の見かけの距離を求めるために式[5]で求めた角距離cを用いて三角形を作った(Fig10)。

$$\tan \frac{c}{2} = \frac{x}{\text{測心距離}} \quad \dots [6]$$

式[6]で求めたxの2倍が連星間の見かけの距離である。
連星間の見かけの距離を月の平均公転速度で割ることによって連星の出現時間の差が算出できる。その結果、3.16秒となった。



観測

ふたご座のη星の月による星食を観測した (Fig.1)。

観測場所 宮崎北高校の三階渡り廊下
(緯度31°58'14.5" 経度131h26m6.2s 標高51m)

観測機材 反射望遠鏡 (口径200ミリ、焦点距離800ミリ)
デジタルビデオカメラ (Panasonic NV-GS70K-S)
GHS時計、高感度CCDカメラ (WAT100N), TIVI, Limovie (Fig.2)

観測期間 2019年10月19日14時30分~18時00分(UT)

観測方法 反射望遠鏡に高感度CCDカメラを接続する。

↓
GHS時計とビデオタイムインサーター (TIVI) を経由して動画に正確な時刻を表示させる。

↓
デジタルビデオカメラにて録画開始。

↓
ビデオ映像をavi動画に変換して解析を行う。

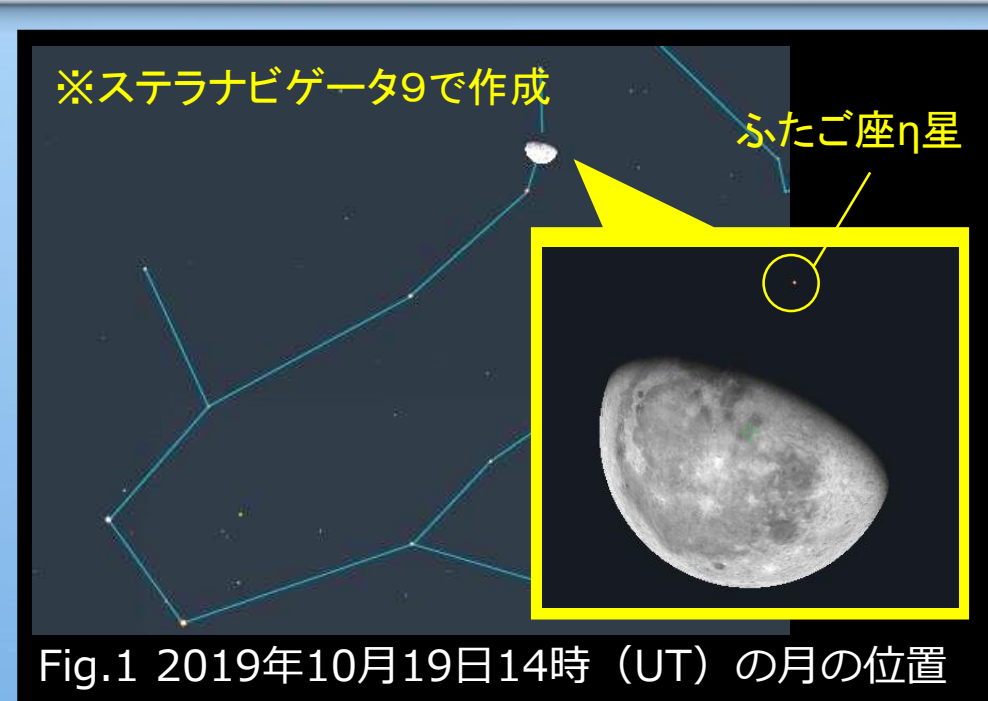


Fig.1 2019年10月19日14時 (UT) の月の位置

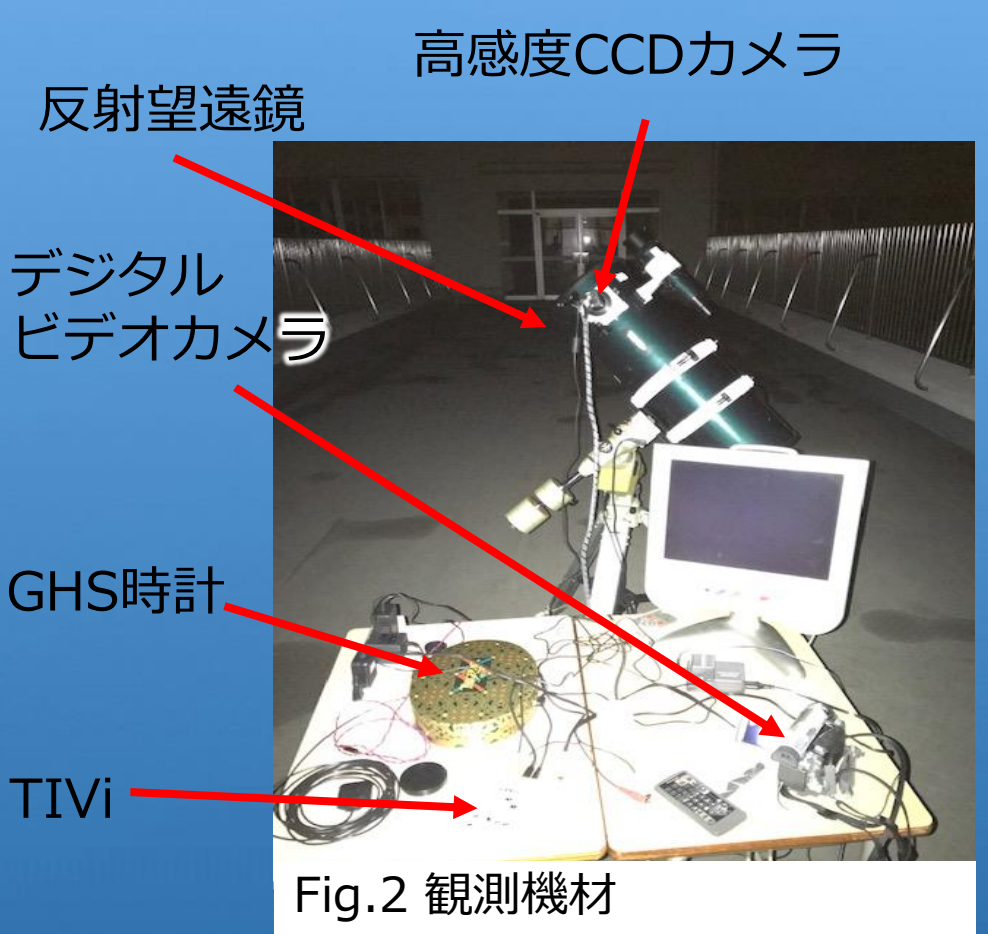


Fig.2 観測機材

結果

測光ソフト「Limovie」によって、光度曲線を作成した(Fig.3)。このグラフを見ると二段階の増光が見られ、文献等で調べるとふたご座η星は二重星であった。今回は最初に出現した星をη₁、次に出現した星をη₂として研究を行った。

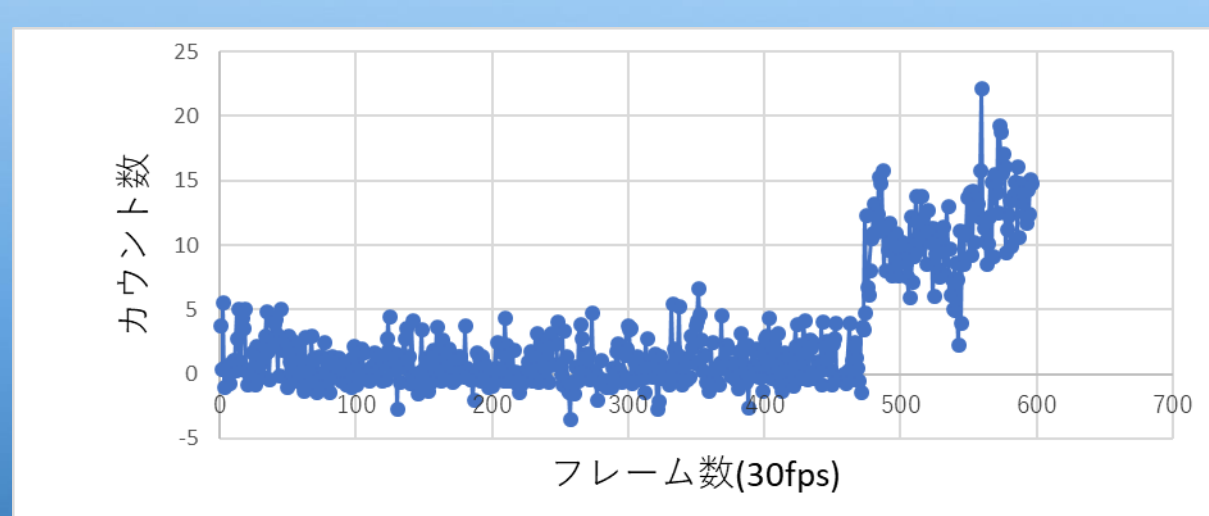


Fig.3 ふたご座η星の出現を示す光度曲線

解析

x = 生データのカウント数
X = ピンニング後のカウント数
ρ = 移動平均

Fig.3 ではデータのばらつきが大きいので式[1]を用いてピンニングを行った(Fig.4)。

$$X_n = \frac{x_n + x_{n+1} + x_{n+2}}{3} \quad \dots [1]$$

式[2]を用いて増光前の標準偏差を求め、式[3]を用いて、基準値 (増光前の平均値からデータがどれほど離れているか) を求めた(Fig.5)。Fig.5では5σを越えたところをη₁の出現とした。

$$\text{標準偏差 } S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} \quad \dots [2]$$

$$\text{基準値 } \sigma = \frac{x_n - \bar{x}}{S} \quad \dots [3]$$

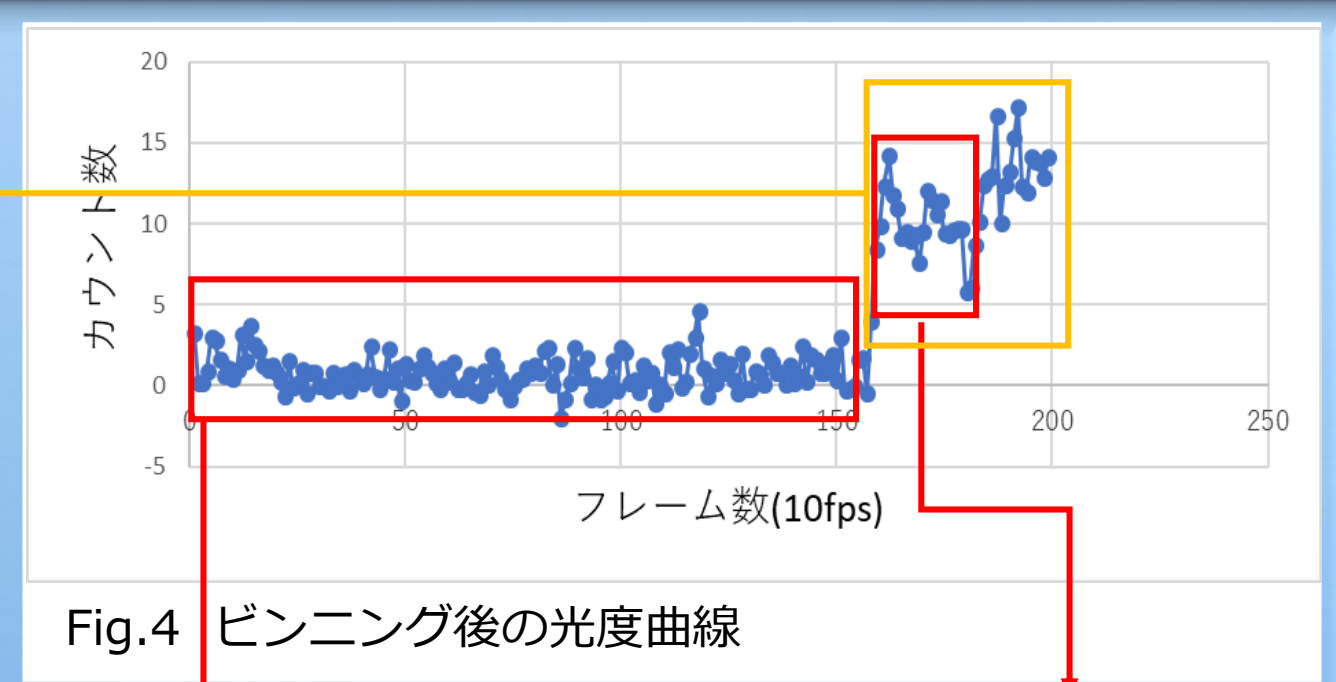


Fig.4 ピンニング後の光度曲線
この値をη₂出現前と判断し、標準偏差を取った(Fig.6)。
この値をη₁出現前と判断し、基準値を取った(Fig.5)。

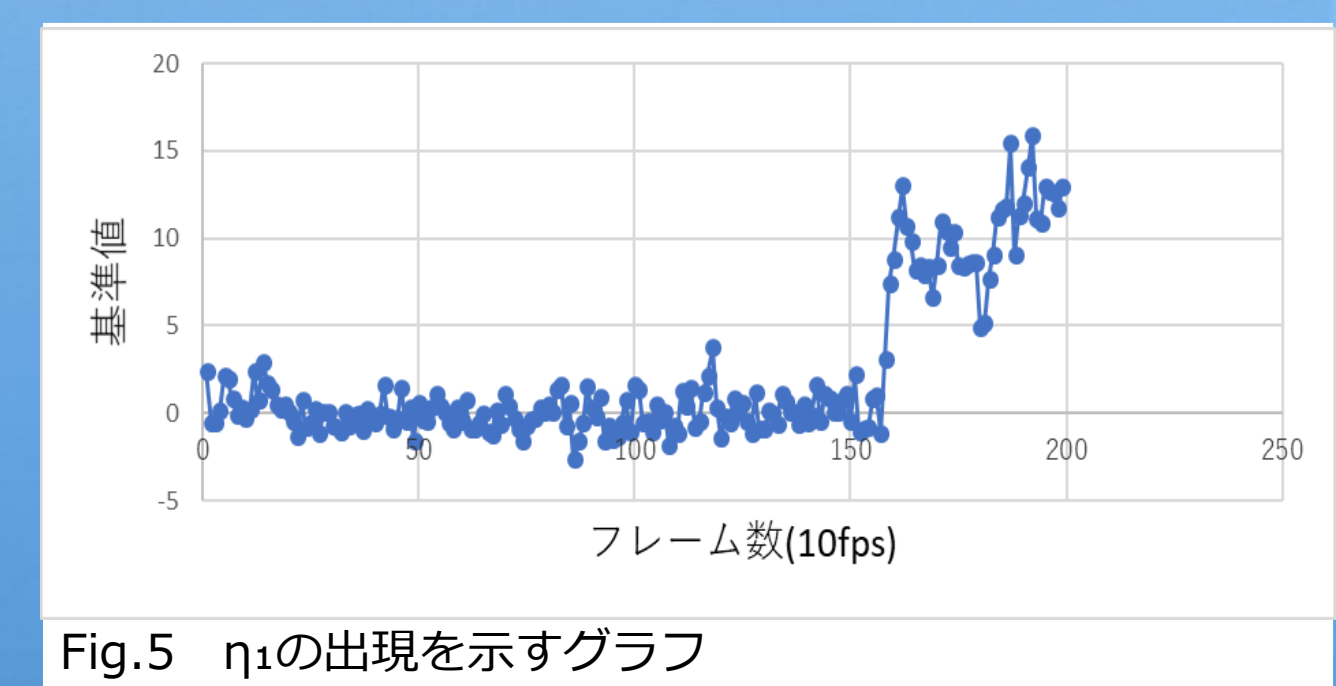


Fig.5 η₁の出現を示すグラフ

同じようにη₂出現前も式[2],[3]を用いて基準値を求めた。しかし、ばらつきが大きいので、式[4]を用いて、移動平均を求め、データのばらつきを少なくした(Fig.6)。Fig.6では移動平均のグラフが1σを超えたところをη₂の出現とした。

$$\rho_n = \frac{x_n + x_{n+1}}{2}, \quad \rho_{n+1} = \frac{x_{n+1} + x_{n+2}}{2} \quad \dots [4]$$

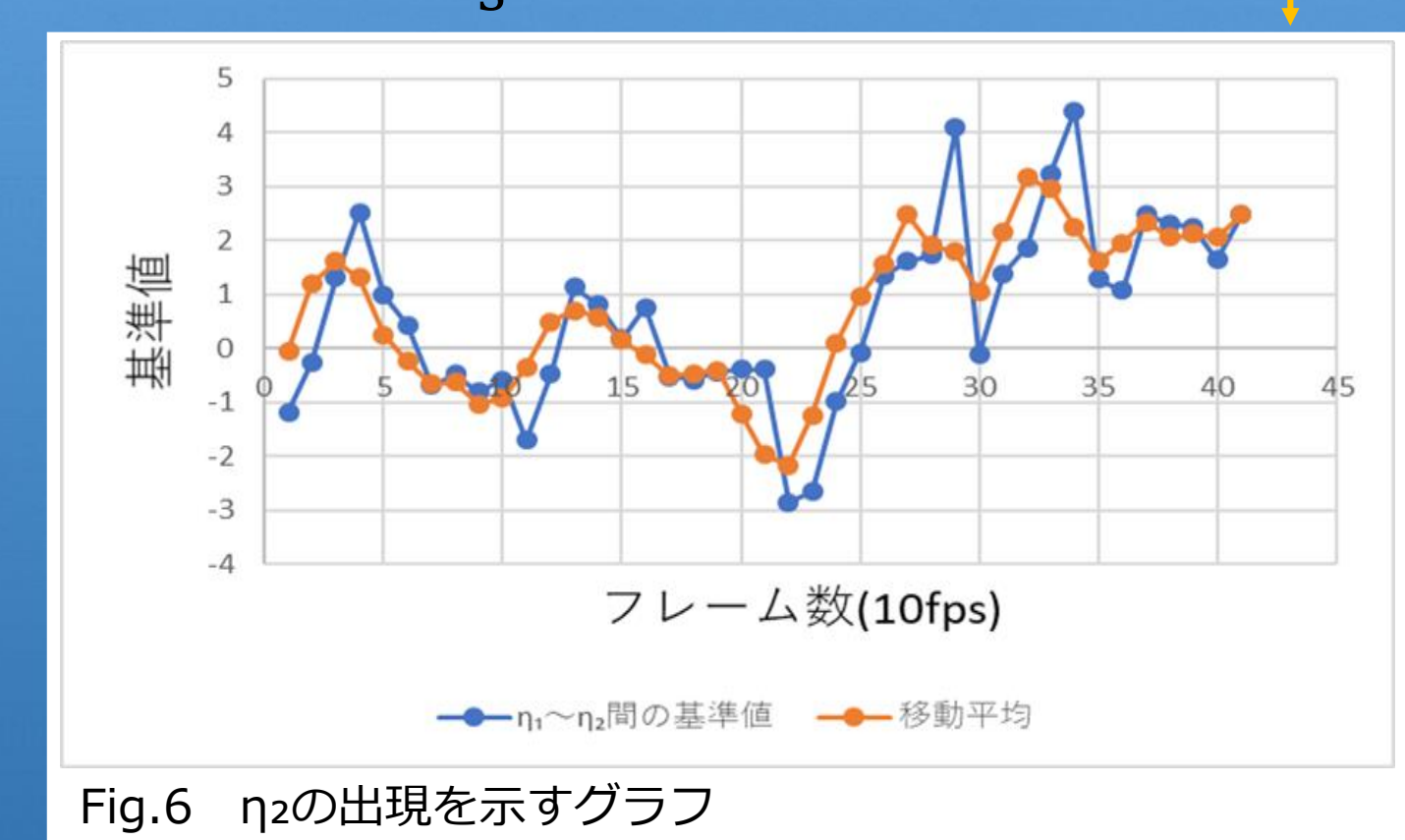


Fig.6 η₂の出現を示すグラフ

解析結果

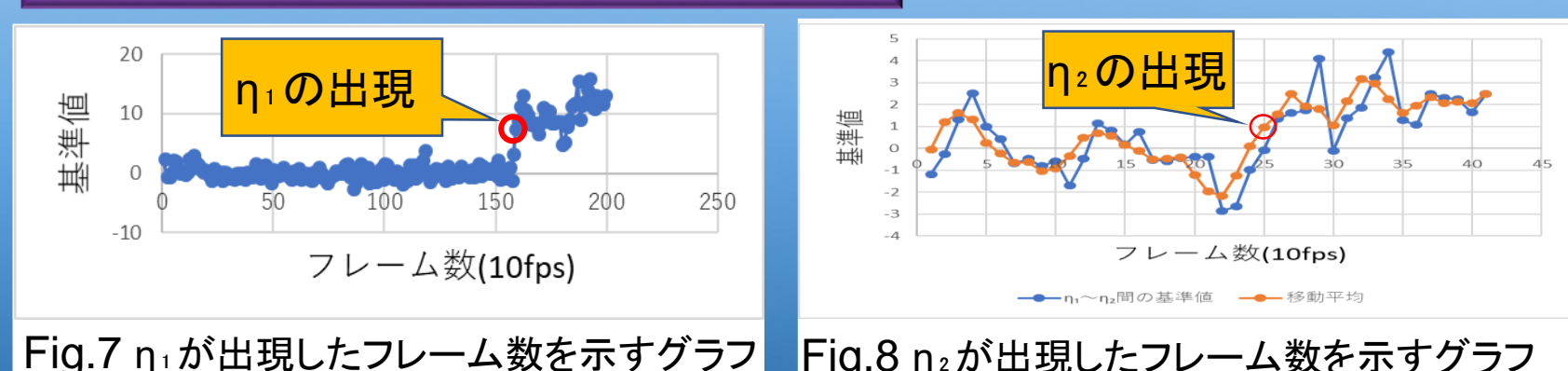


Fig.7 η₁が出現したフレーム数を示すグラフ Fig.8 η₂が出現したフレーム数を示すグラフ

ふたご座のη₁星は2019年10月20日14時01分40.90±0.10秒に出現した。η₁とη₂の出現時間の差は3.00±0.10秒となった。

考察 II

考察 I では月の平均公転速度を用いたが、月は地球の周りを楕円軌道で公転しているので公転速度が一定ではない。よって観測当日の月の公転速度を求めた。初めに作図によりθを求めた。実際の値を縮尺したものを模造紙に作図して求めた。結果としてθ=87.3°となった。次に力学的エネルギー保存の法則とケプラーの第2法則を用いて当日の月の公転速度を求めた。

力学的エネルギー保存の法則より

$$\frac{1}{2}mv^2 + \left(-G\frac{Mm}{r}\right) = \frac{1}{2}mv'^2 + \left(-G\frac{Mm}{R}\right) \quad \dots [7]$$

ケプラーの第二法則より

$$\frac{1}{2}rv = \frac{1}{2}Rv' \sin \theta \quad \dots [8]$$

これらの式から当日の月の公転速度はv'=1014.6m/sとなった。二重星の見かけの距離をv'で割ると3.19秒となった。これを正確な数値とする。

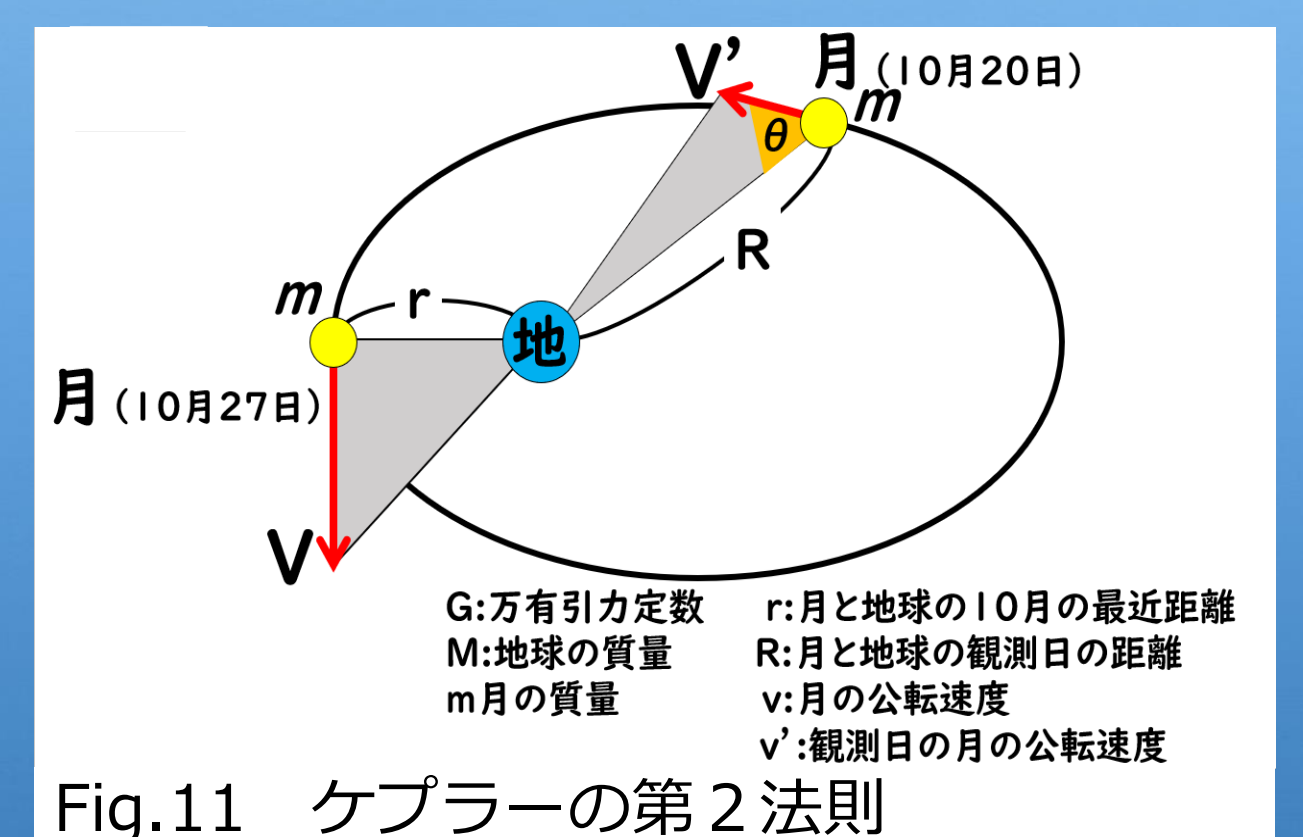


Fig.11 ケプラーの第2法則

まとめ・今後の展望

今回は連星であるふたご座η₁とη₂の出現を捉えることができた。当日は曇天にもかかわらず、観測からη₁とη₂の出現時間の差3.00±0.10秒を求めることができた。また、計算により求めた出現時間の差は3.19秒であった。このことから、我々はある程度正確な観測ができたと考えられる。今後は、たくさんのデータを用いて月縁の地形や小惑星の形を求めることにも取り組みたい。今回の観測データは、日本星食観測コーディネーターに報告した。

参考文献

- 月刊 天文ガイド 10月号 誠文堂新光社
- 天文の計算教室 著者 齊田 博 地人書館
- 星食ハンドブック2019 星食観測日本地域コーディネーター (JCL0)
- 天文シミュレーションソフトウェア ステラナビゲータ9
- 天体観測の教科書 星食・月食・日食観測編 著者 小川 雄一 誠文堂社
- 天文宇宙検定公式テキスト 2019~2020年版 2級 銀河博士 株式会社恒星社厚生閣

謝辞

今回ご協力して下さった、宮崎大学の山内 誠教授をはじめ、科学部の顧問の先生方、科学部の部員に、この場を借りて謝辞を申し上げます。