

日食画像を利用した太陽の重力レンズの検出

静岡県立磐田南高等学校天文班 2年 長谷部泰史 岩田大地 1年 園田愛実

・要旨

この研究は、太陽による「重力レンズ」を検出する方法を高校生で実現可能な範囲で考え、実際に検出を試みたものである。方法は皆既日食の背後に写っている恒星の画像と皆既日食でない時の恒星の画像を大型プリンターに印刷して比較し、その位置の差を求めた。この結果、両者に1.16"の差があったことから、重力レンズを検出したといえる。

1. はじめに

「重力レンズ」とはアインシュタインの発表した一般相対性理論に関わる現象で、恒星や銀河の重力で空間が歪み、それにそって光が曲がりながら進む現象である。今回観測したのは、太陽の重力レンズで重力源は太陽である。図1より実線は実際の光の進んだ進路であるが、太陽の重力によって図の太陽付近で曲げられている。しかし、地球からは光は直進しているように見えるので見かけの位置は図の点線の先にあるように見える。つまり、地球から見た恒星の位置は変化する。しかし、太陽は、質量が比較的小さい天体なので、重力レンズの影響も小さくなる。

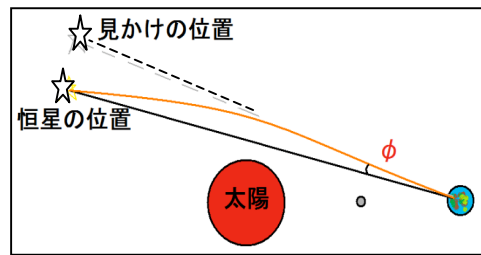


図1 重力レンズの原理

2. 原理と方法

重力レンズを検出するには、太陽の重力の影響がある時と無い時を比べればよい。しかし、図1のような位置関係の時には太陽の強い光に妨害されて恒星を観測することはできない。そのために月が太陽を隠す皆既日食を利用することにした。これは、過去に行われた方法と同じ考え方である。図2の右は皆既日食時の背景の恒星を観測したイメージ図、左は通常の恒星のイメージ図である。この2枚を比較することで恒星の位置の移動量を検出することができる。以上より次の方法を考案した。

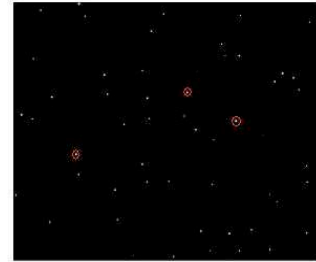
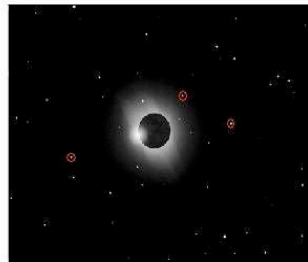


図2 背景の恒星(左)と皆既日食時の恒星(右)のイメージ図

この2枚を比較することで恒星の位置の移動量を検出することができる。以上より次の方法を考案した。

- ① 皆既日食時に背景となる恒星の画像も撮影する(比較対象の恒星の位置関係を得る)
- ② 背景の恒星①の画像を夜間に撮影する(比較する元の恒星の位置関係を得る)
- ③ それぞれの画像を拡大印刷する
- ④ 恒星の位置のずれを定規等を用いて測定する

3. 皆既日食の観測

皆既日食時に背景にある恒星の撮影を皆既日食の観測に合わせて2009年7月22日に奄美大島の奄美少年自然の家(北緯28.40° 東経129.49° 標高90メートル)で行なった(図3)。しかし、当日は曇天により皆既日食時の背後の恒星の撮影ができなかった。



図3 皆既日食の観測(奄美少年自然の家)

4. 皆既日食時の画像の収集と計測

恒星の写っている皆既日食の画像が撮影できなかったため、過去の皆既日食の画像をインターネットで検索したところ、条件を満たす画像として1998年の皆既日食のときカリブ海で撮影された画像を入手できた(図4)。また、皆既日食画像に写っている比較対象となる背景の恒星がふたご座付近の恒星であることがわかったので、後日学校でこ

の恒星を撮影した(図5)。次に検出の精度を上げるために約1500%に拡大したそれぞれの画像をA0サイズで印刷し(図6、7)、定規と鉦物用のルーペを用いて0.01mmの精度で正確に測定した。最後に、画像の画角をそれぞれの月の視直径から求めて縮尺を算出して補正した。なお、測定の基準点は重力の影響を受けない必要があるため、太陽の中心とした。



図4 皆既日食の画像

撮影地：カリブ海グアドループ島, 北緯 16.494° 西経 61.559° , 撮影日時 1998年2/26 14:32 (地方標準時) <http://Christian.viladrich.perso.neuf.ty/> 引用

図5 ふたご座付近の恒星の画像

撮影 2009年8月2日 2:30 撮影場所

5. 結果

測定の結果、図8より皆既日食時の太陽の中心から目的の恒星までの画像上の距離は610.05mm、平常時の目的

の恒星までの距離は607.00mmであったので、その差は3.05mmとなった。これを角度に換算すると1.16“となり、これが重力レンズによる効果である。

6. 考察

画像解析により恒星の位置のずれを検出できたが、この移動が本当に重力レンズかどうかは判断できない。そこで、移動の大きさを理論上の値と比べる次式を用いてこの研究結果の精度を検証した。

この式ではパラメータ γ の値が1に近いほど、その観測が極めて正確であることを示す。

$$\gamma = 2(\text{rad } \phi / \frac{4GM}{c^2 b}) - 1 \text{ に測定値を代入して}$$

$$\gamma = 2(5.638 \times 10^{-6} \text{ rad} / 5.152 \times 10^{-6} \text{ rad}) - 1 = 1.188$$

(c =光速, b =恒星の光が通過した地点と太陽の中心の距離, G =万有引力定数, M =太陽の質量)

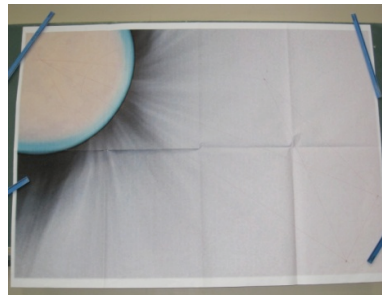


図6 拡大印刷した皆既日食

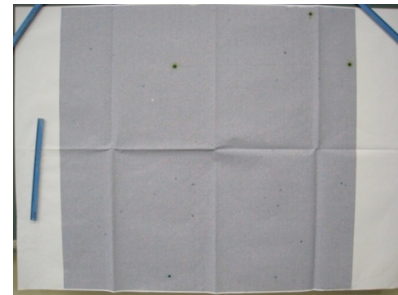


図7 拡大印刷した恒星の画像

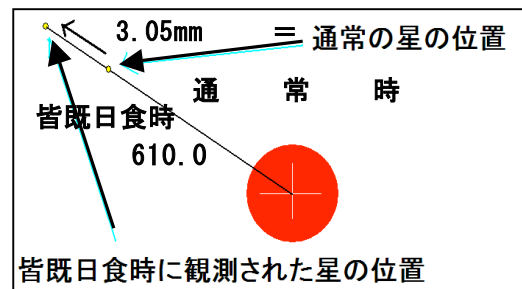


図8 画像上の恒星の位置のずれ

よって $\gamma=1.188$ となり、今回の観測結果は理論上予想される結果とほぼ一致した。

7. まとめ

今回の研究では、過去の資料を基に自分たちで研究方法を考案し、実際にその方法を用いて太陽の重力レンズをほぼ正確に検出できた。また、過去の画像を使う場合での補正方法も考案した。しかし、撮影レンズの収差や印刷時の誤差については、十分な検討をする必要がある。今後はさらに精度の高い結果を求めて他の補正方法も検証したい。

参考文献：Christian VILADRICH' s home page (<http://Christian.viladrich.perso.neuf.ty/>)

重力レンズのページ <http://astro.ysc.jp/prav-lens.html>

一般相対性理論 共立出版 2005/10 Torsten Flie=bach(著) 杉原亮, 庄司多津男, 南部保貞(訳)