偏光フィルターを用いた撮像観測

鈴木文二(埼玉県立春日部女子高等学校)

1 はじめに

画像に含まれる情報は、天体の位置と輝度である。輝度情報は、使用した受光器によって、赤外線、可視光線などの電磁波の種類、フィルターを使用すれば波長幅の違いがある。また、波長ごとの輝度情報を得るために分光器が用いられることもある。今まで教育現場では、電磁波の振動方向による輝度の違いを調査する「偏光」について、実践事例がなかった。理論と原理が理解できれば、解析は比較的容易である。

2 偏光と偏光観測

電磁波は横波であり、進行方向に対して垂直に振動しながら進んでいく。太陽などの直接光は、さまざまな振動方向の光が混ざっていて「無偏光」である。この光が物質で散乱されるとき、その振動方向によって強度が異なってくる(図 1)。このようなとき「偏光している」という。このうち、振動面が常に一定のものを「直線偏光」、進行方向から見て振動ベクトルが円を描くものを「円偏光」、楕円の場合は「楕円偏光」とよぶ。

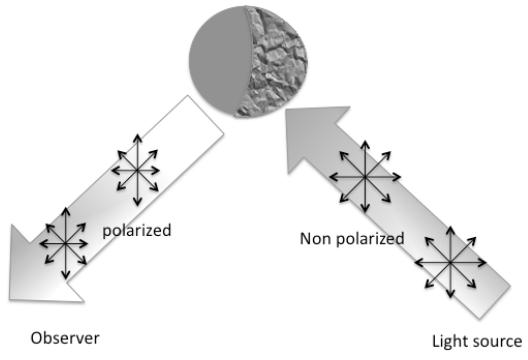

図 1　偏光の概念図

一般に可視光線や赤外線の偏光観測装置は、複屈折を起こす回転する波長板と偏光子で構成されている。非常に精密な光学機器であり、なおかつ高価である。日本にも数台しかない。一方で、風景写真、人物写真などに用いられる「偏光フィルター」は、波長板と偏光子を合わせたようなもので、鏡面反射で生じた特定の振動方向の光を除去するために用いられている。市販の偏光フィルターには、直線偏光のものと円偏光対応のものがあるが、原理が単純であり安価な直線偏光フィルターを勧める(52mm 径で 1500 円程度)。この偏光フィルターを望遠鏡やレンズの前に取り付けて回転させ、さまざまな振動方向の画像を取得できれば、偏光撮像観測が可能である。

太陽系天体の場合、光源は太陽であるため、偏光観測の解析は比較的容易である。太陽-目的天体-観測者が存在する平面を「散乱平面」とし、この平面を基準に振動方向を考えればよい。この場合の直線偏光の偏光度(p)は、散乱平面に平行な成分の強度を $I_{/\!/}$、垂直成分を $I_{\perp}$ とすると、以下の式で表される。

$$p = \frac{I_{\perp} - I_{/\!/}}{I_{\perp} + I_{/\!/}} \times 100$$

3 月表面の偏光観測

本校の地球科学部の生徒とともに、月表面の偏光度を測定した。市販のカメラアダプターに含まれるフィルターボックスに偏光フィルターを差し込み、10° 毎に回転させて画像を取

得した(図 2)。デジタルカメラの画像は RAW フォーマットで記録、ステライメージで FITS に変換し、RGB 色分解を行った。G 画像の S/N が最もよいため、解析は主に G 画像で行った。

図 2　偏光フィルターの装着

観測時の散乱平面の方向を求めるため、回転角ごとに月画像の平均強度を測定し、強度が最も高い画像が散乱平面と垂直($I_{\perp}$)、最小が散乱平面に平行($I_{\parallel}$)な画像を選び出す。クレーターを目安に、このふたつの画像の位置を合わせて演算を行うと、月表面の偏光度マップが描ける(図 3)。玄武岩からなる海の部分の偏光度が高く、斜長岩の高地は低いことが読み取れる。

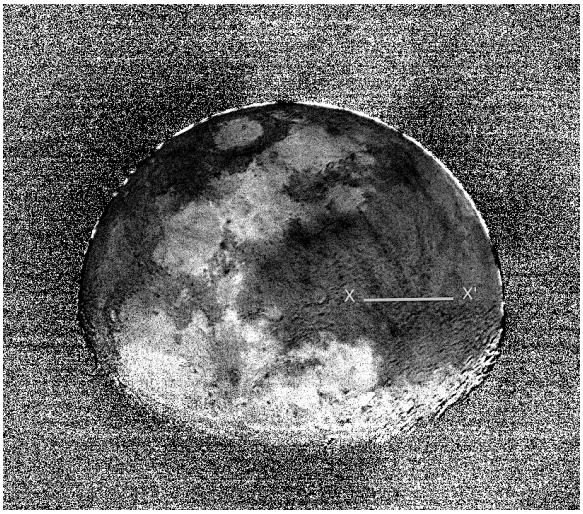

図 3　月表面の偏光度

マカリィのグラフ機能で、比較的新しいクレーターであるティコの光条付近の偏光度を表したものが図 4 である。斜長岩で構成されている場所であるが、光条の偏光度が周囲に比較して低いことがわかる。光条をつくる鉱物は、まだ風化していない偏光度の低い変成鉱物であると考えられる。

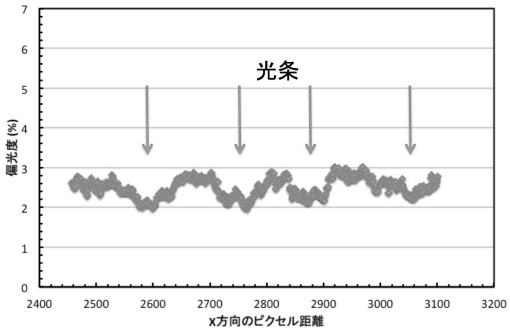

図 4 ティコの光条の偏光度低下

4 天体の偏光観測

星雲内に磁場が存在していると、粒子の方向が揃いやすいために偏光が観測される。彗星のダストでは粒子サイズによって偏光度が異なる。測光、分光では知ることのできない情報が偏光観測から得ることができる。

図 5 は、Lovejoy 彗星(C/2013 R1)のダストテイルを狙った偏光観測結果である。これは、望遠レンズの先端に偏光フィルターを取り付けて観測したもので、月の観測と同様に解析を行い、偏光度マップを描くことができた。彗星の偏光度は位相角に大きく依存するが、他の彗星で観測された結果とよく一致している。望遠鏡に装着された偏光撮像装置は視野が狭いため、彗星のダストテイルの偏光観測は、このような簡易的なシステムの独壇場と言える。

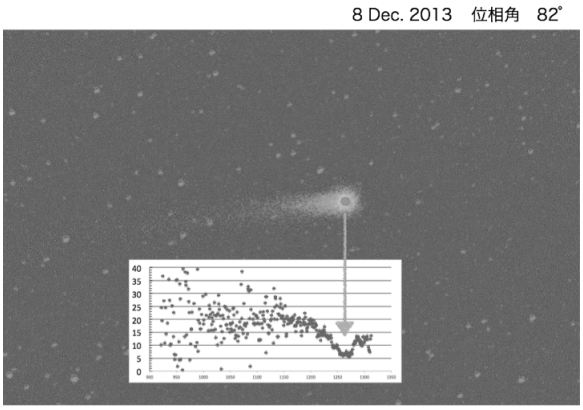

図 5　Lovejoy 彗星の偏光度マップ

5 まとめ

偏光観測は、マカリィの機能を使えば容易に解析できる。デジタルカメラの RAW 画像の精度でも、天体の偏光度を求められることがわかった。測光、分光などに加えて、新しい実習教材としての有効性をさらに検証する予定である。

参考文献

・「現代光科学 I」、大津　元一、朝倉書店、1994
・「宇宙の観測 I」　シリーズ現代の天文学、
家　正則　ほか、日本評論社、2007
・「彗星観測を始めよう」、鈴木　文二、
天文教育研究会年会集録、2013
・「彗星の科学」、鈴木　文二・秋澤　宏樹・菅原　賢、
恒星社厚生閣、2013