HBSを用いた地球照の偏光分光観測: 初期解析結果

高橋隼(西はりま天文台, takahashi@nhao.jp), 伊藤洋一(神戸大学),
岡崎彰(群馬大学), 秋田谷洋, 川端弘治(広島大学), 大朝由美子(埼玉大学), 磯貝瑞希(京都産業大学)

酸素吸収帯760nmでの偏光度増大を確認するために、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡および HBSを用いて、地球照の偏光分光観測を行った。その初期解析結果を報告する。地球照の信号に上乗せされているスカイ成分を正しく除去するために、3種類の手法を試行した。スカイ除去方法によっては、760nmでの偏光度増大が見られたが、正しい結果であると確認するには、さらなる解析手法の検討が必要である。

1. 背景&目的

●ハビタブル惑星'模擬観測'としての地球照観測

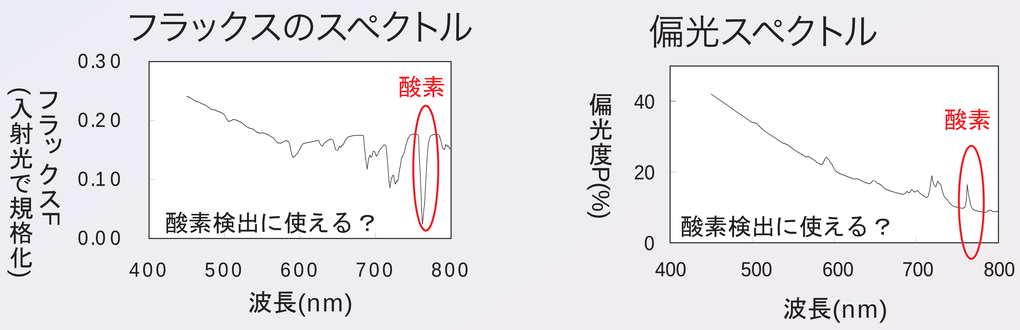
地球照＝月の暗い部分に照らされた地球の光

=>遠方からの地球観測を擬似

これまでの地球照観測
・撮像
・分光⇒植生レッドエッジ、酸素吸収 (Hamdani+ 2006など)
・偏光撮像⇒偏光度と位相角の相関(Dollfus 1957)
偏光分光観測はまだされていない。

●系外地球類似惑星の偏光分光モデル(Stam 2008)

陸と大気(地球と同じ組成)を持った惑星の反射光を計算
→ 酸素吸収帯 760nmに偏光度増大を予想



地球大気吸収の影響を受ける。
＝地上では天体起源と地球大気起源が混ざってしまう。

原理的には、地球大気吸収の影響を受けない。
＝地上観測にとっては好都合。

○偏光度が地球大気吸収の影響を受けない理由(原理)

・偏光度Pの導出

$$\frac{Q}{I}=\frac{F_0-F_{90}}{F_0+F_{90}} \quad \frac{U}{I}=\frac{F_{45}-F_{135}}{F_{45}+F_{135}} \quad P=\sqrt{\left(\frac{Q}{I}\right)^2+\left(\frac{U}{I}\right)^2}$$

(F_θ: 振動方位 θ のフラックス)

・地球大気の吸収

a: 地球大気による吸収率(スカラー)

$$\begin{pmatrix} F_0^{obs} \\ F_{90}^{obs} \\ F_{45}^{obs} \\ F_{135}^{obs} \end{pmatrix} = a \begin{pmatrix} F_0 \\ F_{90} \\ F_{45} \\ F_{135} \end{pmatrix}$$

地上での観測値(スカイ差引後)　宇宙空間での値

上式でF_θ をF_θ^{obs}に置換してもPの値は変わらない。

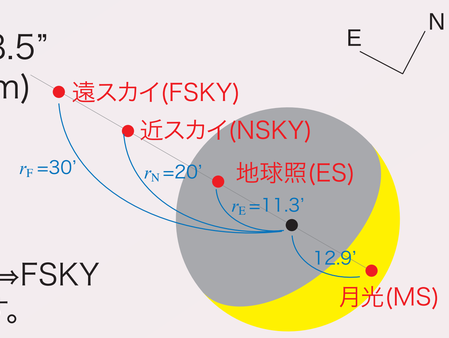
●目的

地球照の偏光スペクトルから、酸素吸収帯での偏光度増大を検出できるか確認する。

2. 観測

観測の種類: 低分散偏光分光観測
望遠鏡: 岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡
観測装置: HBS (偏光素子: 半波長板+ウォラストンプリズム)
観測日(地球の位相角*1): 2011年3月9日(50°) - 3月13日(97°)
取得波長域: 400~850nm
スリットサイズ: 0.2mm × 1.4 mm =1.2"×8.5"
波長分解能: Δλ~6nm, R~100(@λ=600nm)
露出時間 (1回あたり):
* 地球照(ES) 60-300s
* スカイ(NSKY, FSKY) 30s
* 月光(MS) 10-30s

MS⇒ES⇒NSKY⇒FSKY
のセットを繰り返す。

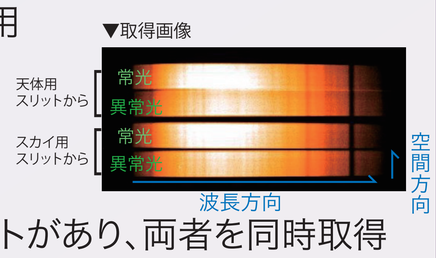


*1 JST 21時

3. 解析

●整約ソフトウェアHBSRED

・HBS開発グループが整備した整約ソフトウェア HBSREDを用いた。
・較正データは、2009年10月のものを使用
・binning なし



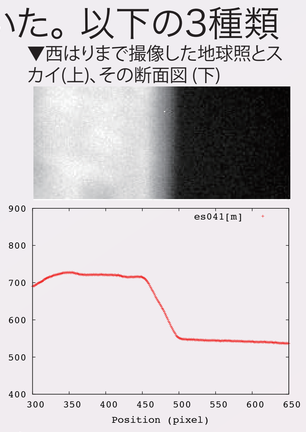
●スカイ差し引き手法の検討

HBSには天体用スリットとスカイ用スリットがあり、両者を同時取得する。しかし、広がった天体である地球照では、この方法がとれない。そこで、スカイ差し引きの過程は、独自の手法を用いた。以下の3種類の方法を試した。

(a) 単純に NSKY で引く。

(b) 線形的な空間変動を想定し(右図)、下式でES位置でのSKYに補正したもの (BSKY) で引く。

$$BSKY = NSKY + (NSKY - FSKY) \times \frac{r_N - r_E}{r_F}$$
$$= (1 + r_o)NSKY - r_o \cdot FSKY$$
$$\left(r_o = \frac{r_N - r_E}{r_F} \right)$$

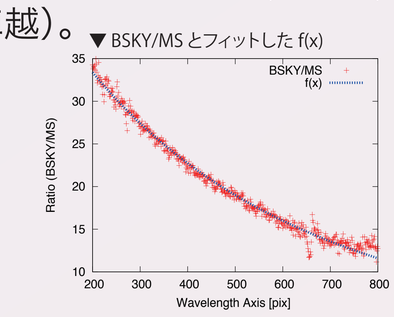


(c) S/N を上げるために、上記 BSKYを MS で置換したもの (CSKY) で引く(月周辺のスカイは、月光の散乱光が卓越)。

ただし、BSKY/MS のスペクトルは、定数ではない(右図)。

→ BSKY/MSを $f(x) = a(b \cdot x - c)^{-4}$ でフィットし、下式で補正。

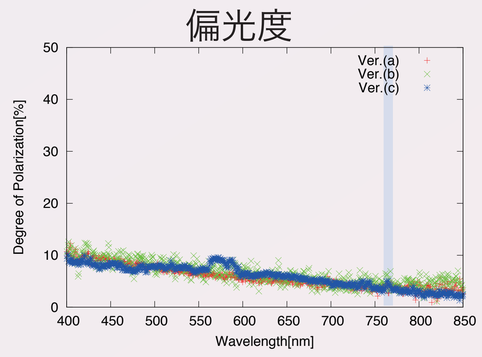
$$CSKY = f(x) \cdot MS$$



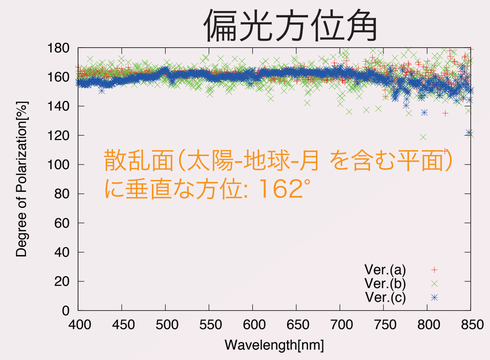
4. 結果&考察

●3月10日(地球位相角61°)の解析結果

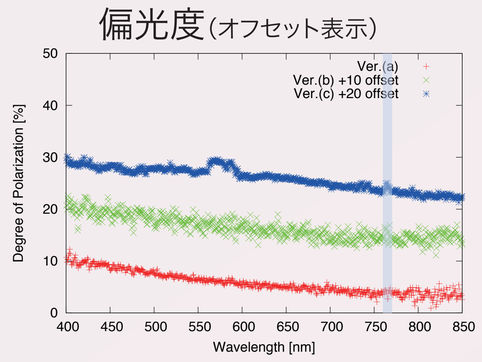
偏光度



偏光方位角



偏光度(オフセット表示)



・(a), (b), (c) ともに偏光度、偏光方位角の絶対値はほぼ一致。
・データのばらつきは、(a)~(c)<(b)
・偏光方位角は散乱面に垂直な方位とほぼ一致。
→ 解析の正しさを支持。

・偏光度は、大局的には波長とともに減少。地球大気のレイリー散乱による偏光を見ていると考えられる。相対的にはモデルと調和的。ただし、直接の比較には、月面での消偏光特性の評価が必要。
・酸素 760nm での偏光度増大は (a), (b) では見られない。(c) には見られるが、正しいとは断言できない(←560-580nmに正しいとは考えにくいfeature が現れている)。
→ 解析手法のさらなる検証が必要。