

大学間連携WS 151111

皆既月食の偏光観測

PI: 高橋 隼 (兵庫県立大学)

背景

- **忘れられた謎: 月食の偏光**

- Coyne+(1970) は、月食中の月（地球大気透過光が照射）が2.4%偏光($\lambda = 534\text{nm}$)していると報告。それ以前にも、複数の報告がある。
- 月食偏光の理由は解明されていないが、Coyne+(1970)以降、月食の偏光は観測的にも理論的にも研究されていない。



- **再注目する理由**

- **物理的な興味: なぜ偏光するのか？**

- **現代的な重要性: 系外惑星への応用**

- もし惑星大気透過光が偏光するのなら、系外惑星トランジット時に偏光を検出できる可能性がある。
- さらに、大気透過による偏光の原理が明らかになれば、「トランジット偏光観測」により系外惑星の情報を引き出すというまったく新しい調査方法を手にできる可能性がある。

目標

• 目標

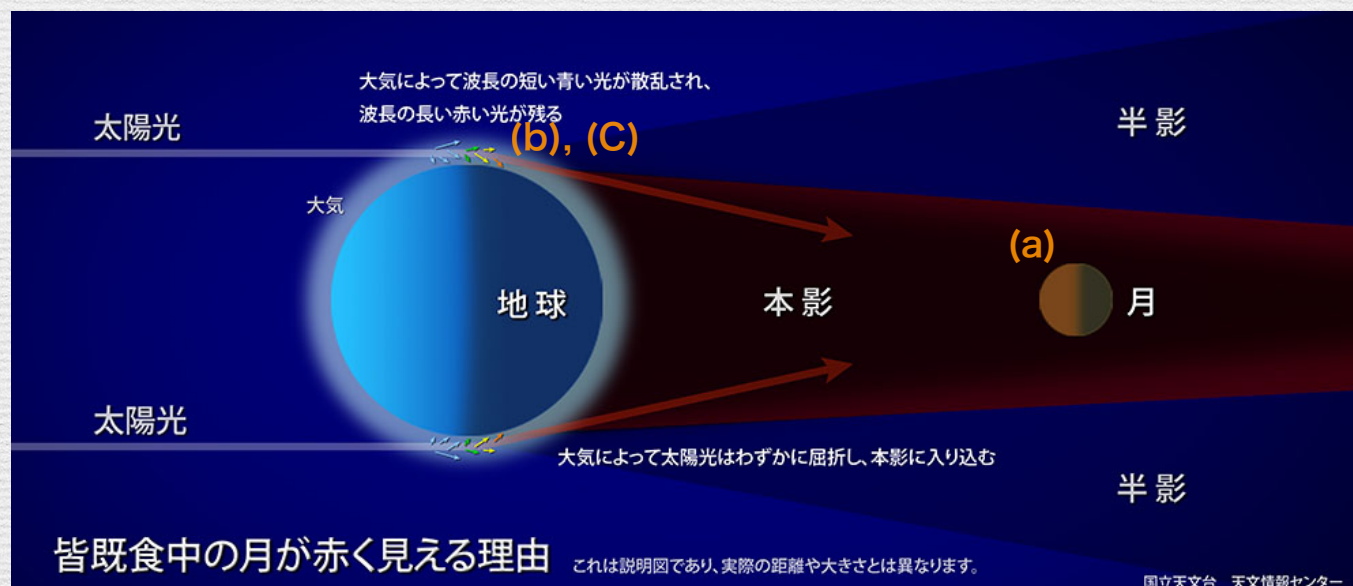
- 月食が本当に偏光しているのか、確認する
- 偏光しているのならば、偏光の時間変化と波長依存性から原因を制限する。

• 考える偏光の原因

(a) 月面反射の「偏光衝効果」 (小天体の典型値 $P=0.35-0.5\%$)
(Rosenbush+ 1997, 2005, 2006, etc)

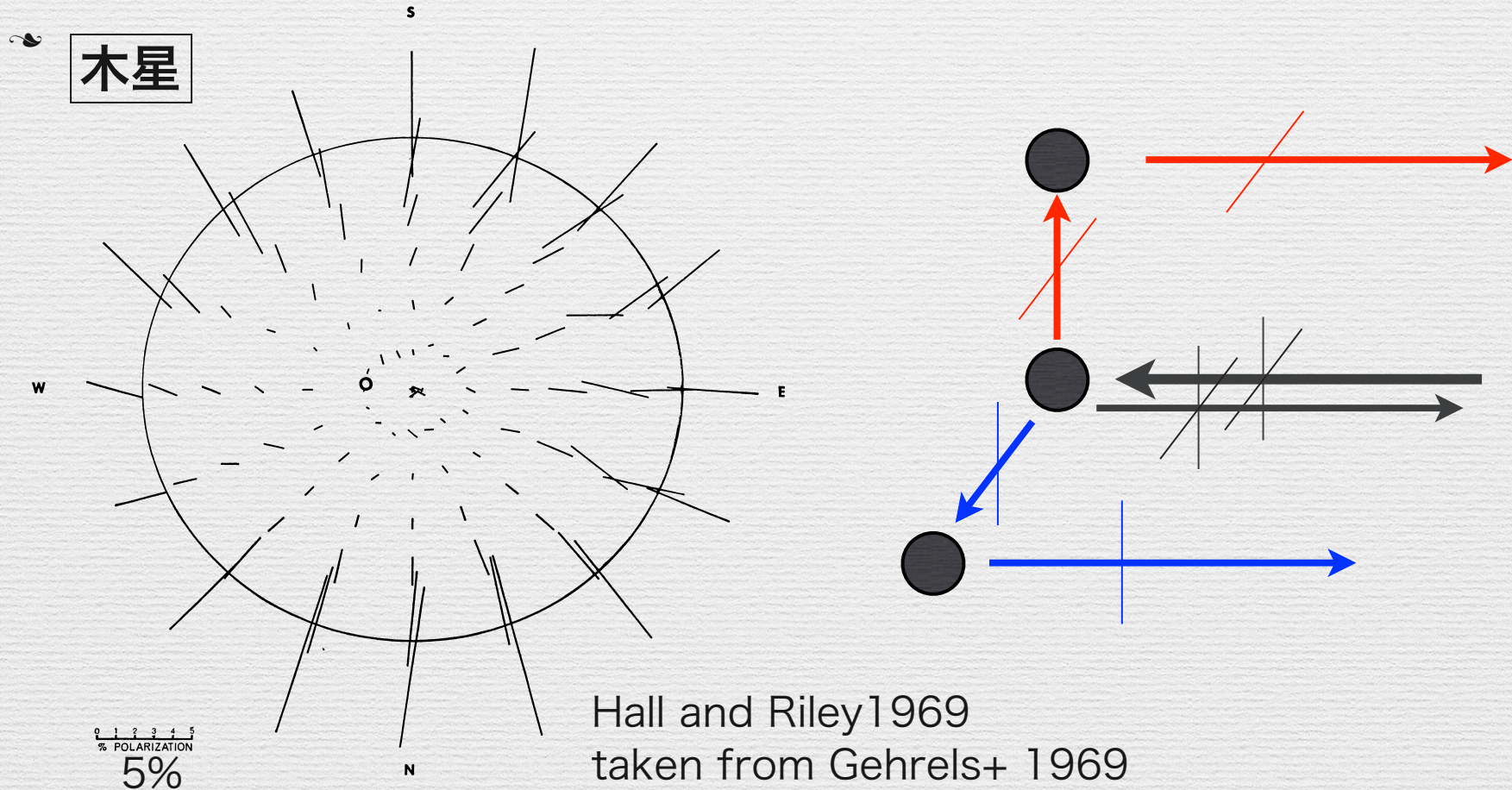
(b) 地球大気透過時の屈折

(c) 地球大気透過時の非対称な二回散乱



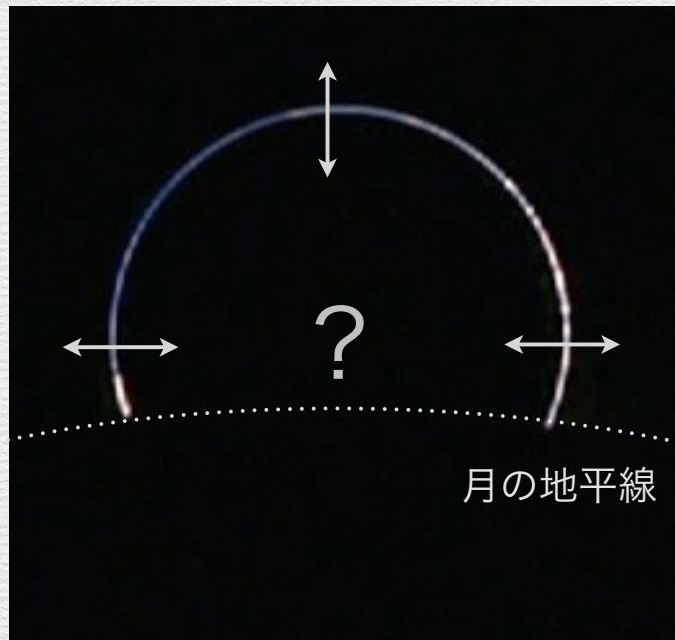
非対称な二回散乱

- Coyne+(1970)で、月食の偏光の要因の候補として二回散乱が言及されている。
- 木星のディスクに観測される**放射状の偏光**は、非対称な二回散乱によって説明される (Gehrels+ 1969)。

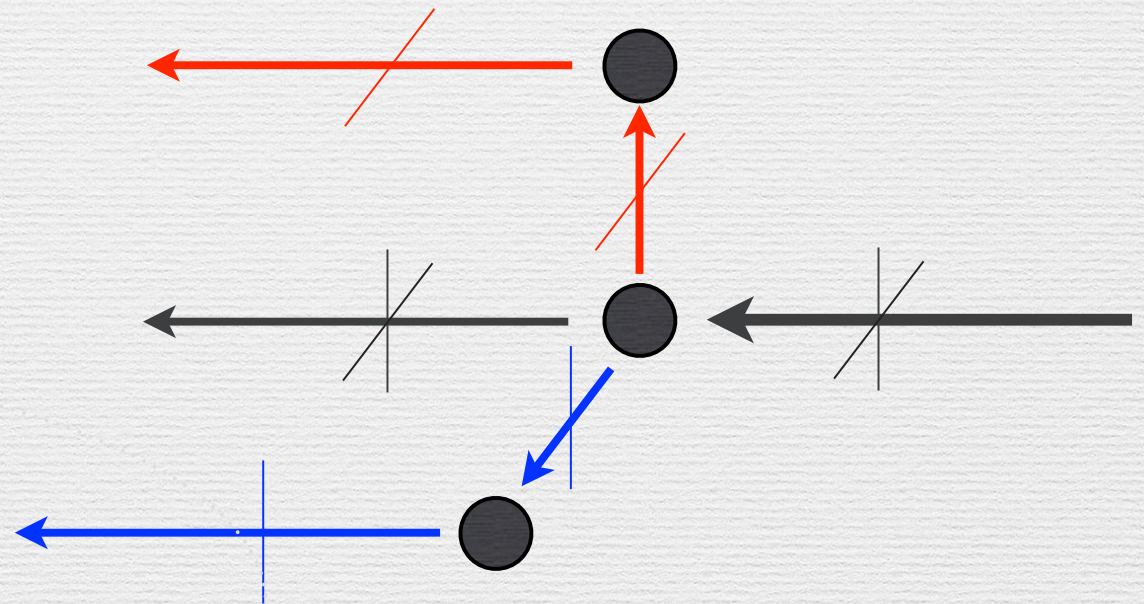


非対称な二回散乱

月食中に月から見た地球



Kaguya

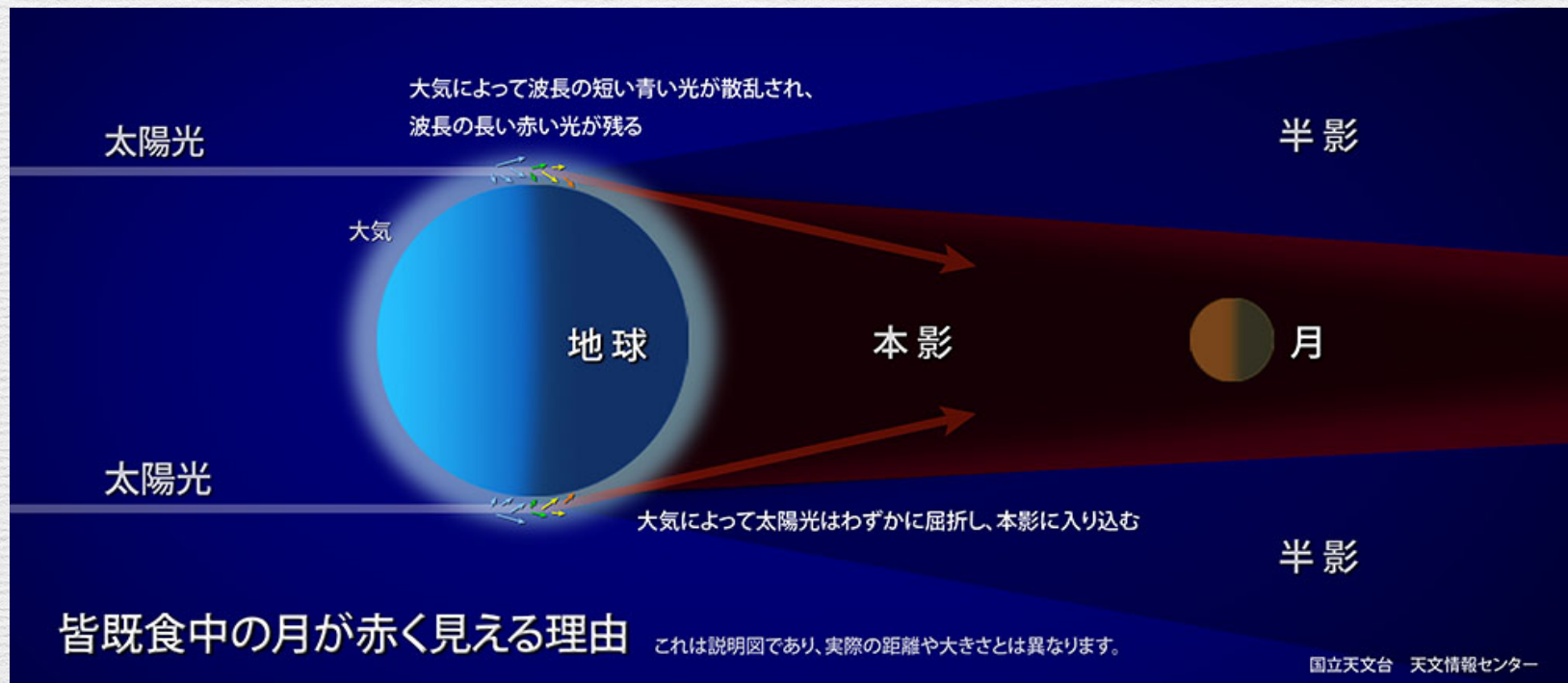


偏光原因の特定

- (a) 月面反射の「偏光衝効果」
- (b) 地球大気透過時の屈折
- (c) 地球大気透過時の非対称な二回散乱

•時間変化 → (a) or それ以外

- (a)であれば、偏光度・偏光方位角の時間変化は、観測位置が本影に入る／から出るタイミングと無関係。
- (b) or (c) であれば、本影に入る時点から始まり、本影から出る時点で終わる時間変化が予測される。



偏光原因の特定

- (a) 月面反射の「偏光衝効果」
- (b) 地球大気透過時の屈折
- (c) 地球大気透過時の非対称な二回散乱

- 波長依存性 → (b) or (c)

- (c)であれば、大気レイリー散乱の強度は強く波長 λ に依存するため($\propto \lambda^{-4}$) 偏光度 P も強く波長に依存すると考えられる。

$$|P| \propto \frac{I_d}{I_o} \propto \lambda^{-8} / (1 - C \lambda^{-4})$$

二回散乱を受けた光の強度 散乱を受けずに透過する光の強度

$$|P_R/P_V| < 0.25 \quad (P_x: x \text{バンドでの偏光度})$$

- (b)であれば、フレネルの法則に従い偏光度 P は、屈折係数 n に依存する。

$$P = \frac{(n^2 - 1)(\cos^2 \theta - \cos^2 \theta')}{(n^2 + 1)(\cos^2 \theta + \cos^2 \theta') + 4n \cos \theta \cos \theta'}$$

θ, θ' : 入射角、屈折角

n の波長依存性は弱い → P の波長依存性も弱い $|P_R/P_V| \sim 0.99$

• さらに、偏光度スペクトル上のフィーチャのある/なしでも、(b)と(c)を区別できると考えられる。(b)ならフィーチャなし。(c)ならあるかも。

2014 10/8 キャンペーン

● 偏光撮像観測

大学／施設	望遠鏡 (月追尾)	装置 (波長)	観測時刻 (UT 頃)	一次処理済 データ取得	偏光度、方 位角導出
北海道大学 理学研究院附属天文台	1.6m ヒリカ (○)	MSI (V, R, 552nm,659nm)	9:20~13:13	✓	✓ (V, R)
兵庫県立大学 西はりま天文台	60cm望遠鏡 (×)	同時偏光撮像／分光 装置 (B, V, R)	9:30~12:40	✓	✓ (V, R)
広島大学 東広島天文台	1.5m かなた (○)	HOWPol (V, R)	9:30~12:10	✓	✓

● 測光撮像観測

大学／施設	望遠鏡 (月追尾)	装置 (波長)	観測時刻 (UT 頃)	一次処理済 データ取得	カラー導出
東京大学 木曾観測所	1.05m木曾シ ュミット (×?)	KWFC (B, V, R)	10:50~11:30		
埼玉大学	55cm望遠鏡 (○)	主焦点のカメラ (V, R, z)	10:26~12:22	✓	

2015/4/4 キャンペーン

● 偏光分光観測

大学／施設	望遠鏡 (月追尾)	装置 (波長)	観測時刻 (UT 頃)	一次処理済 データ取得	偏光度、方 位角導出
国立天文台	8m すばる (○)	FOCAS (VIS)		✓	✓
広島大学 東広島天文台	1.5m かなた (○)	NONIR (Vis, NIR)	観測できず	—	—

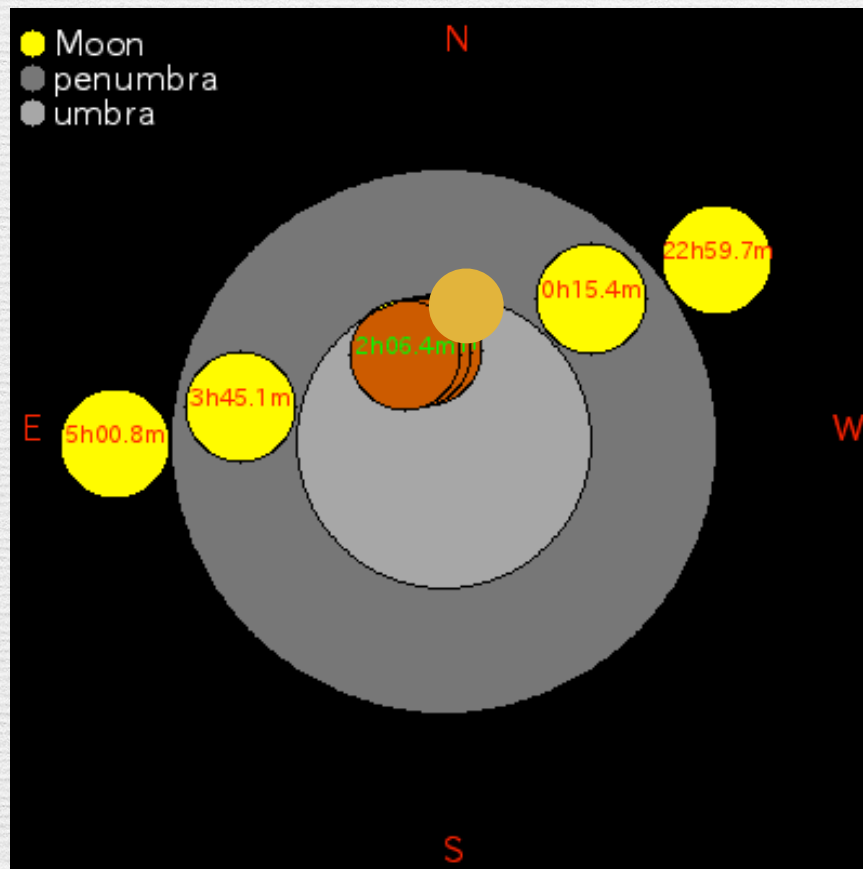
● 偏光撮像観測

大学／施設	望遠鏡 (月追尾)	装置 (波長)	観測時刻 (UT 頃)	一次処理済 データ取得	偏光度、方 位角導出
北海道大学 理学研究院附属天文台	1.6m ヒリカ (○)	MSI (V, R, 552nm,659nm)		✓	✓ (V, R)
兵庫県立大学 西はりま天文台	60cm望遠鏡 (×)	同時偏光撮像／分光 装置 (B, V, R)	観測できず	—	—

● 測光撮像観測 埼玉大、東京大（木曾）観測できず

2015年4月4日皆既月食

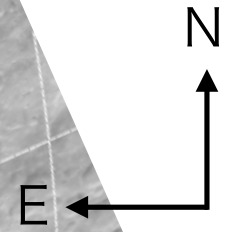
ハワイでの見え方



UT	JST	イベント
9:59.7	17:59.7	半影食の始め
10:15.4	19:15.4	部分食の始め
10:40頃	19:40頃	観測領域が本影に入る
11:54.2	20:54.2	皆既食の始め
12:00.2	21:00.2	食の最大
12:06.4	21:06.4	皆既食の終り
13:20頃	22:20頃	観測領域が本影を出る
13:45.1	22:45.1	部分食の終り
15:00.8	0:00.8	半影食の終り

2015Apr Subaru/FOCAS ES/MS FOV

FOV 14'



Tycho

4.5'

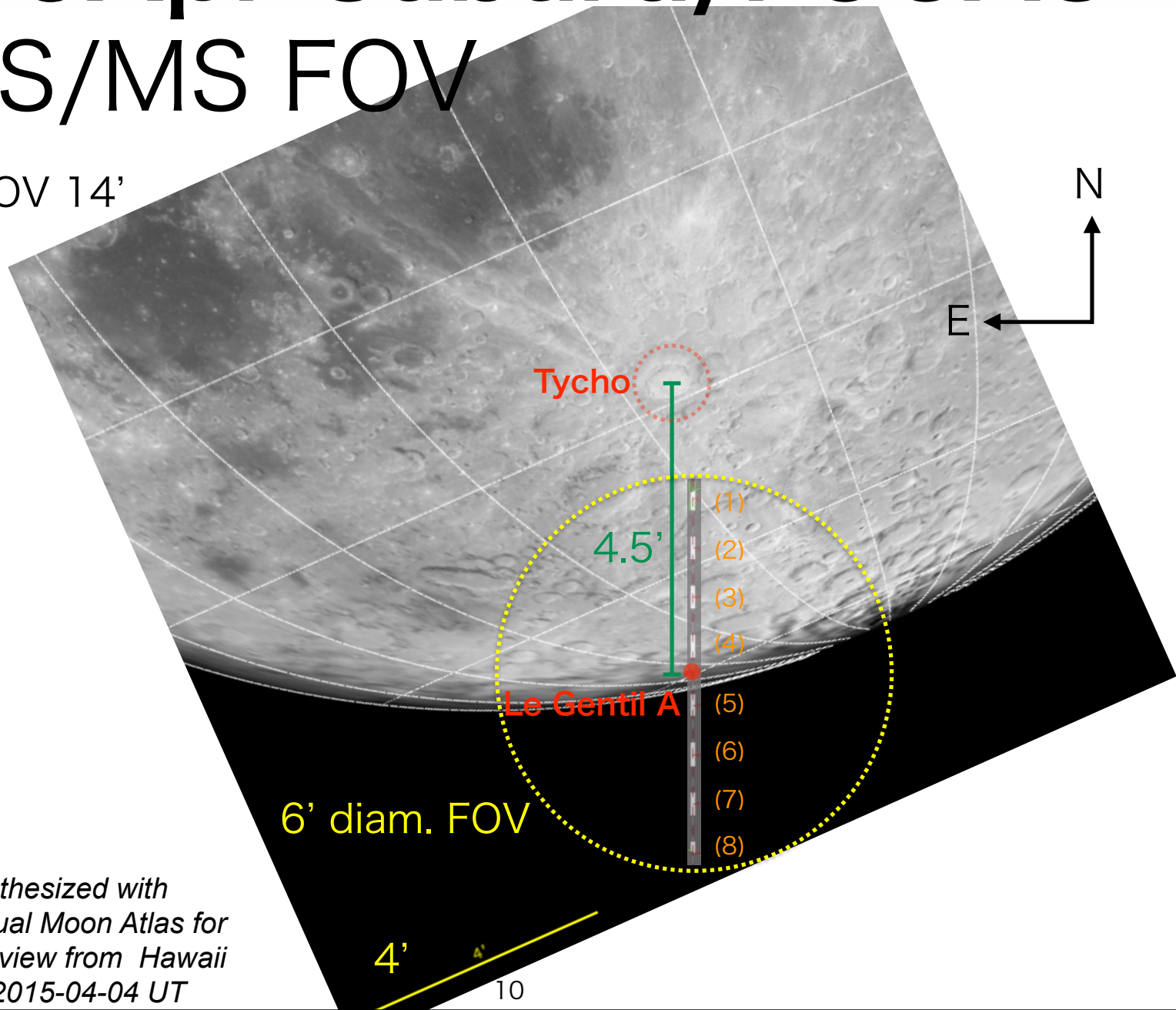
Le Gentil A

6' diam. FOV

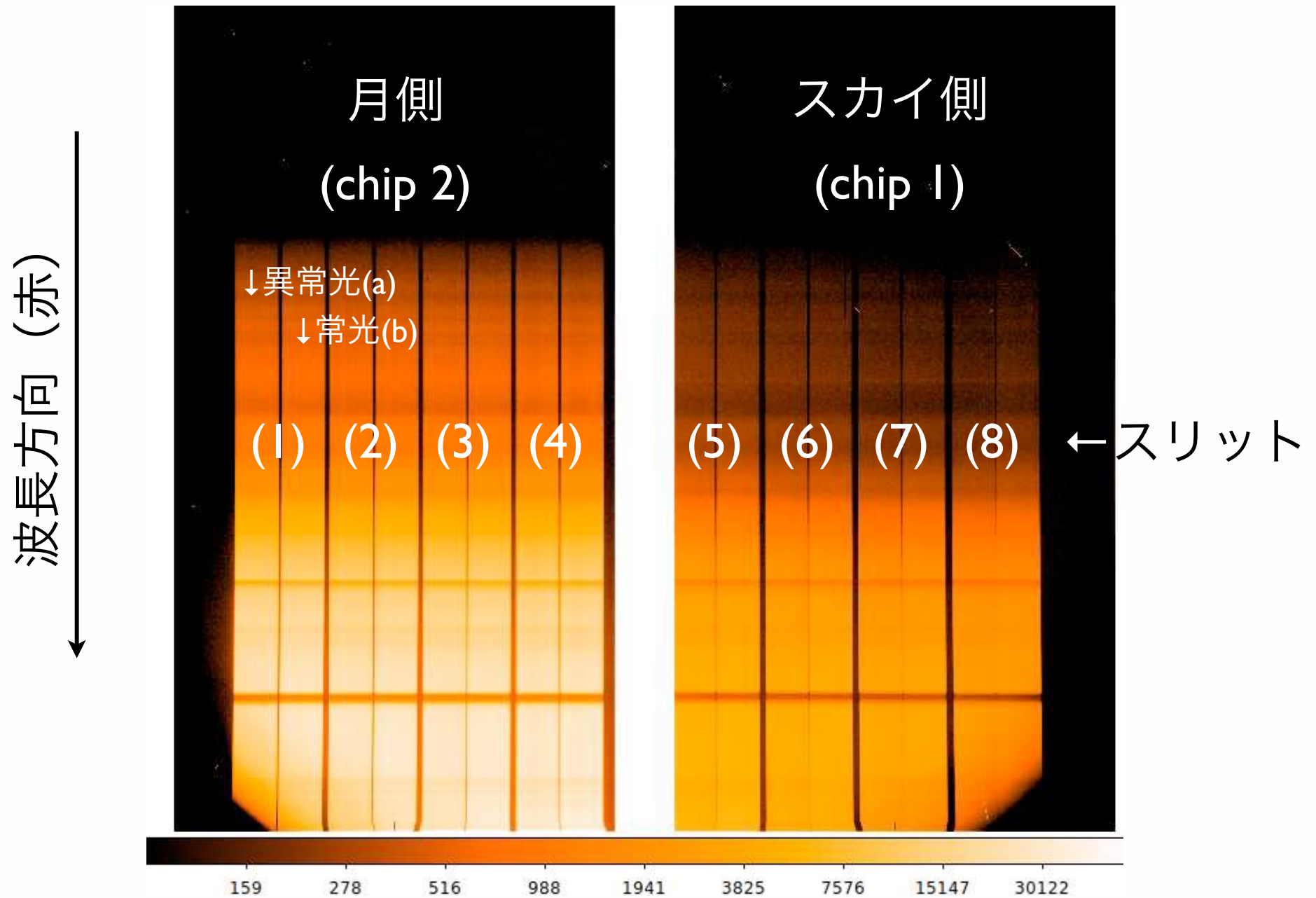
- (1)
- (2)
- (3)
- (4)
- (5)
- (6)
- (7)
- (8)

*Synthesized with
Virtual Moon Atlas for
the view from Hawaii
on 2015-04-04 UT*

4' 10'



FOCAS 取得画像



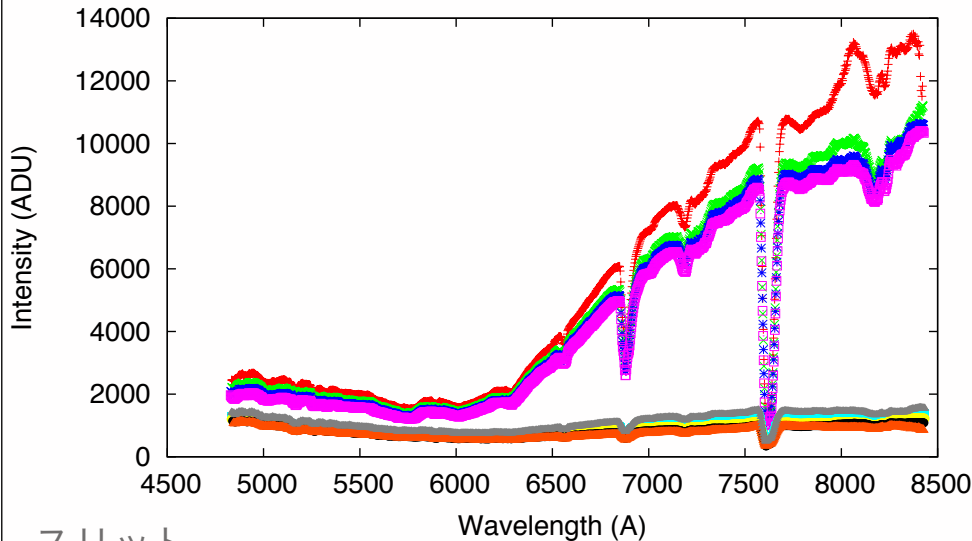
FOCAS 解析-スカイ引き

UT 10:43 (本影内、皆既前)

強度

(感度未補正)

FCSA00168515.a

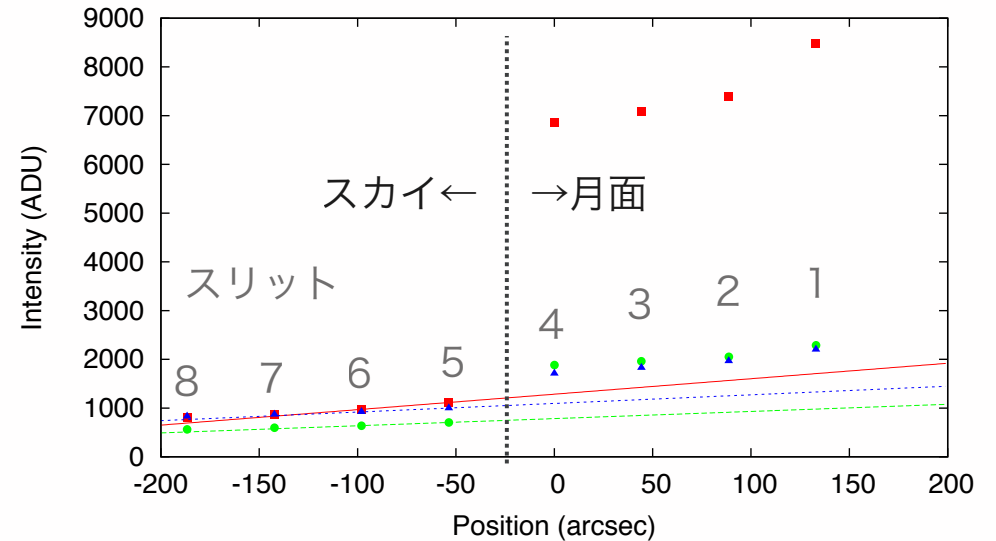


スリット

1a + 3a * 5a ■ 7a ● beta ▲
2a x 4a □ 6a ○ 8a △

スカイフィット

FCSA00168515.a



「スカイ」 = 地球大気 (月→観測者) による
月光 (地球透過光含む) の散乱光

スリット5, 6から直線で外挿し、
月面での散乱成分を推定。

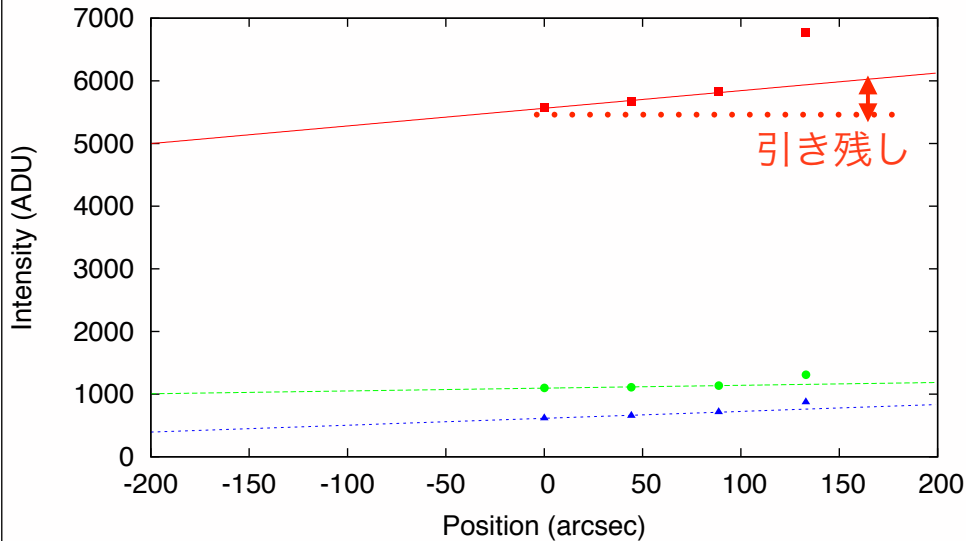
FOCAS スカイ引き再補正

UT 10:43 (本影内、皆既前)

スカイ引き

再補正

FCSA00168516.ss.a

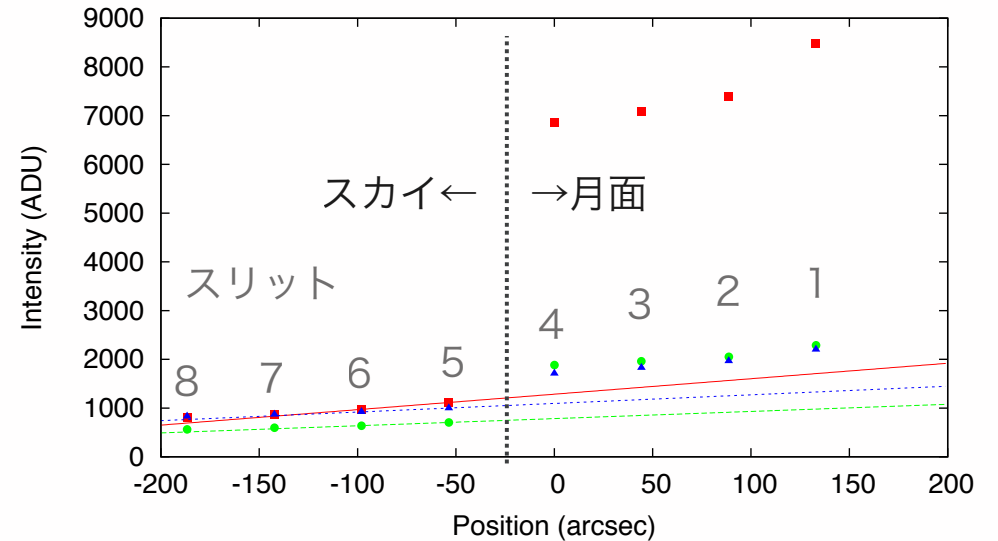


若干、引き残し成分が残っている。さらに、スリット4, 3, 2 でフィットし、引き残し成分を推定、除去。

→ 偏光度のスリット間偏差が小さくなった。

スカイフィット

FCSA00168515.a



スリット5, 6から直線で外挿し、月面での散乱成分を推定。差し引く。

まとめ

- 2015年4月4日、Subaru/FOCASで月食を初めて偏光分光観測した。
- 5000-6000Åで最大2.5%程度の偏光度、酸素分子7600Åのフィーチャを導出。
- 地球大気透過による偏光を検出した可能性がある。

- 国内連携観測
 - 2014年10月: 北大、広島大、西はりまで多色偏光撮像観測。Vで0.5-1.5%の偏光度を導出。**装置間に結果に食い違い。**
 - 2015年4月: 北大MSI: ランダム誤差大でFOCASとの比較困難
 - FOCAS の処理方法を参考に、再解析を行う。