

# 月食・月面地球照の偏光観測

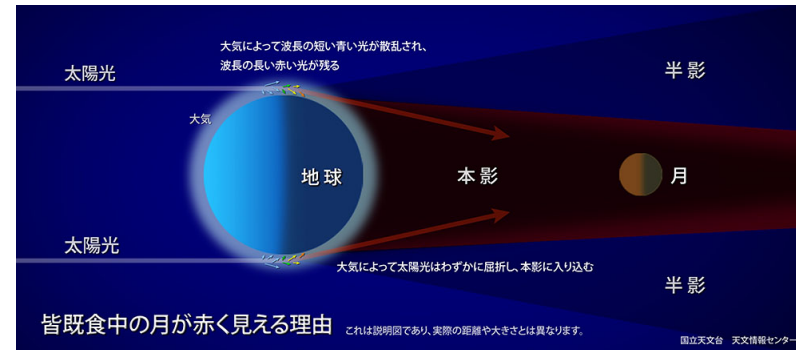
高橋 隼（兵庫県立大学）



# 目次

## 1. 月食の偏光観測

- 地球大気透過光
- OISTERキャンペーン観測による成果



## 2. 月面地球照の偏光観測

- 地球の反射光
- OISTER機関間の共同研究



## 3. 今後の展開と新装置開発

- OISTERでの新装置活用の可能性

# 月食の偏光観測

Takahashi+, 2017, AJ  
Takahashi+, 2019, PASJ



# 背景と目的

- **忘れられた謎: 月食の偏光**

- ・ Coyne & Pellicori (1970) は、月食中の月が2.4%偏光していたと報告。
- ・ 偏光の原因は解明されていないが、かれらの報告以降、研究された形跡なし。

- **「月食の偏光」に再注目する理由**

- ・ 物理的な興味
  - 太陽-地球-月が一直線に並ぶ位置関係で偏光が生じるのは不思議。
- ・ 新しい研究手法への期待
  - もし惑星大気を透過する際に偏光が生じるのであれば、惑星大気の新しい研究手法に応用できるかもしれない。

- **研究目標**

- ・ 月食の偏光を確認し、偏光の原因を解明する。



# 観測

- 2014年10月8日 皆既月食

- OISTER 偏光撮像キャンペーン

- 北海道大: ピリカ望遠鏡 + MSI

- 兵庫県立大: 60cm望遠鏡 + POL

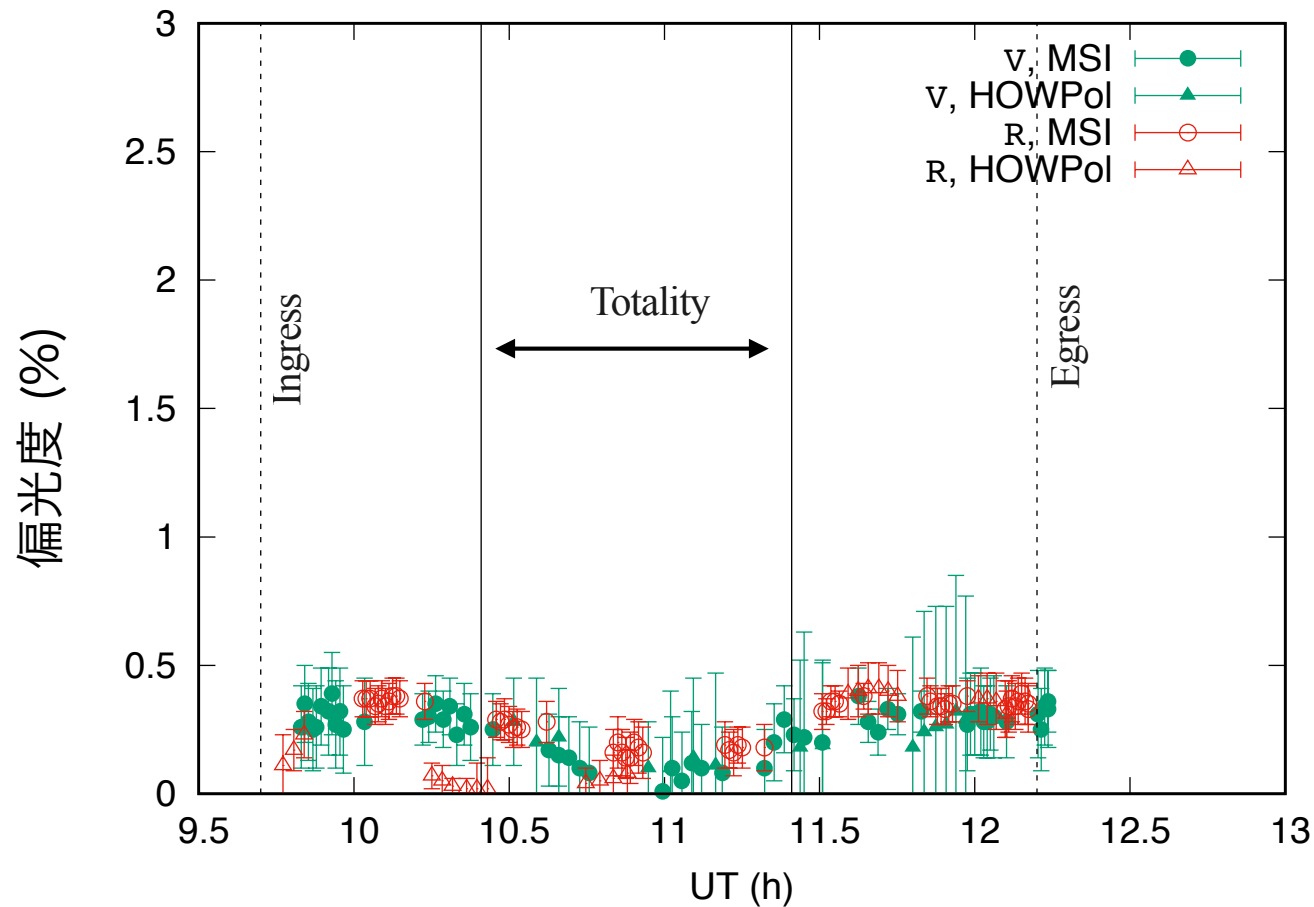
- 広島大: かなた望遠鏡 + HOWPol

- (バックアップ撮像観測: 東京大木曾観測所、埼玉大学)

- 2015年4月4日 皆既月食

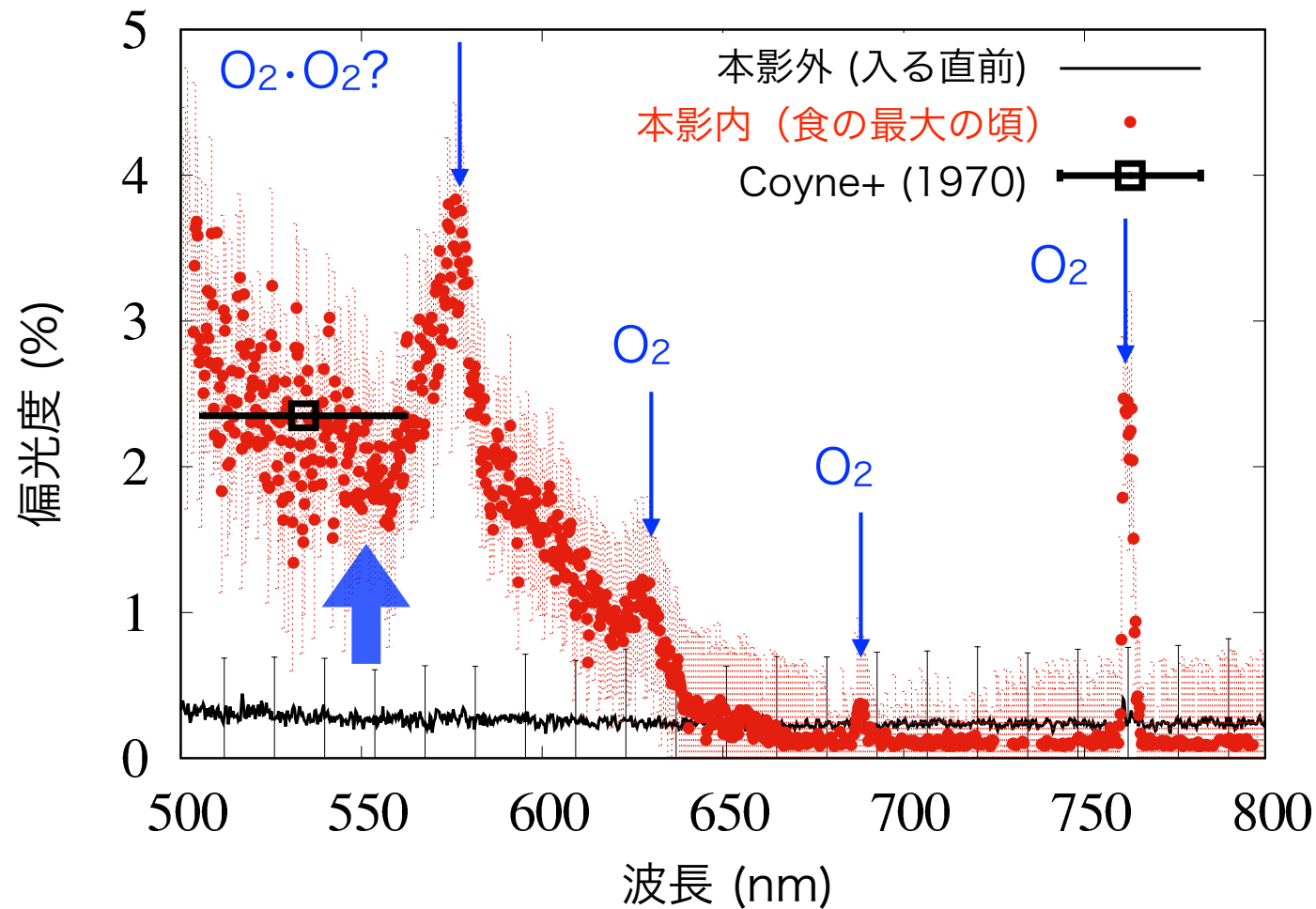
- すばる望遠鏡 + FOCAS での偏光分光観測

# 2014年 観測結果



- MSIとHOWPolはほぼ一致するが、一部で0.5%程度の食い違い。
- 有意な偏光度の検出は主張できない。
- 2014年10月の月食中の偏光度は、1%未満であった。

# 2015年 観測結果



- 対象領域が本影に入る前は、全波長域にわたってほぼ無偏光。
- 本影に入って以降、食が深くなるにつれ、波長600nm以下での偏光度が上昇した。最大で2-3%程度。Coyne & Pellicori (1970)の報告とよく一致する。
- 760nm  $O_2$  Aバンド等、偏光度の強いフィーチャも見られる。

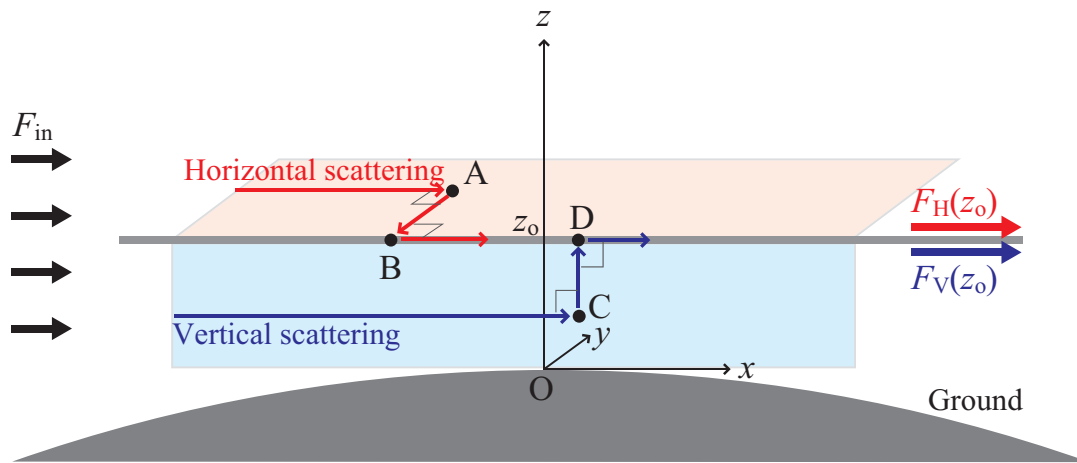
# 偏光の原因

## 非等方的な2回散乱 + 非一様な雲分布

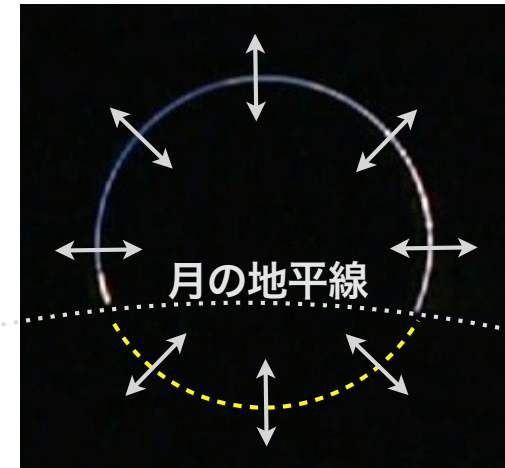
が偏光の原因であると考え、

- 2015年に観測された、偏光度の波長依存性と時間変化
- 2014年の非検出

説明できる。



水平  $F_H$  > 垂直  $F_V$



月食中に月から見た地球 (Kaguya) と予想される偏光方位



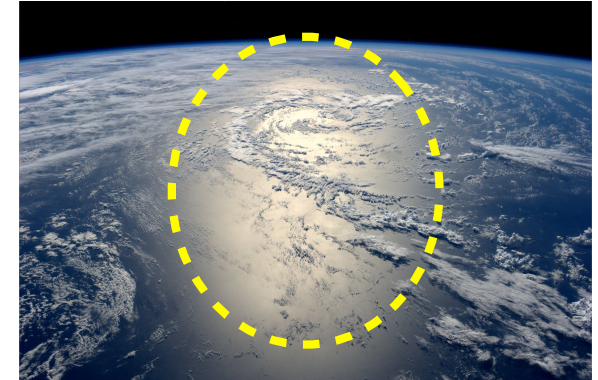
# 月面地球照の偏光観測

Takahashi, J.<sup>1</sup>, Itoh, Y.<sup>1</sup>, Matsuo, T.<sup>2</sup>, Oasa, Y.<sup>3</sup>,  
Bach, Y. P.<sup>4</sup>, Ishiguro M.<sup>4</sup>, 2021, A&A

1 University of Hyogo, 2 Nagoya University,  
3 Saitama University, 4 Seoul National University

# 背景・目的・観測

- 海 (大量の液体) を持つ惑星の発見は、生命探査において非常に重要。
- 系外惑星の海を検出する手法がいくつか提案されている。
  - (a) 測光観測 (Cowan+ 2009)
  - (b) 分光観測 (Robinson+ 2014)
  - (c) 偏光観測



▲ 地球の海による鏡面反射  
(c) ESA/NASA

- 滑らかな液面による鏡面反射は強く偏光することを利用した手法。
- 海を持つ惑星の偏光度を理論計算した例はある (e.g., Williams & Gaidos 2008)。
- しかし、地球の「海の偏光」まだ観測的に確認されていない。

月面地球照を観測し、「地球の海による偏光」の初検出を目指す

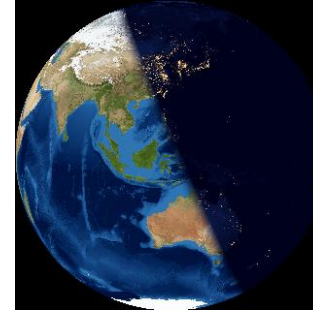
- 観測: なゆた望遠鏡 + 近赤外3色カメラNICで合計 32夜のデータを取得。



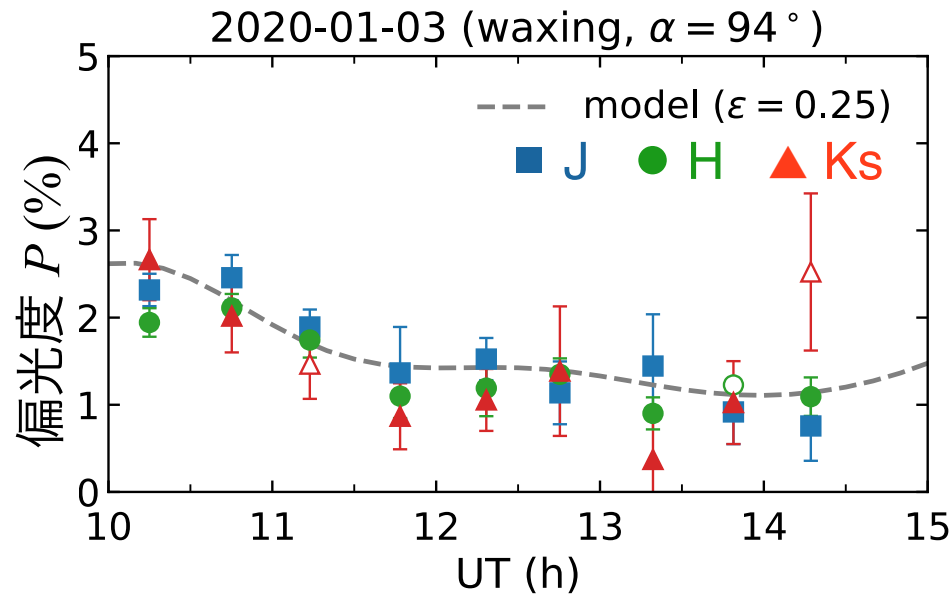
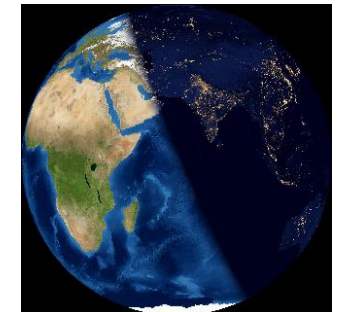
# 偏光度 $P$ の時間変化

▼ 月から見た地球 (Earth and Moon Viewerで合成)

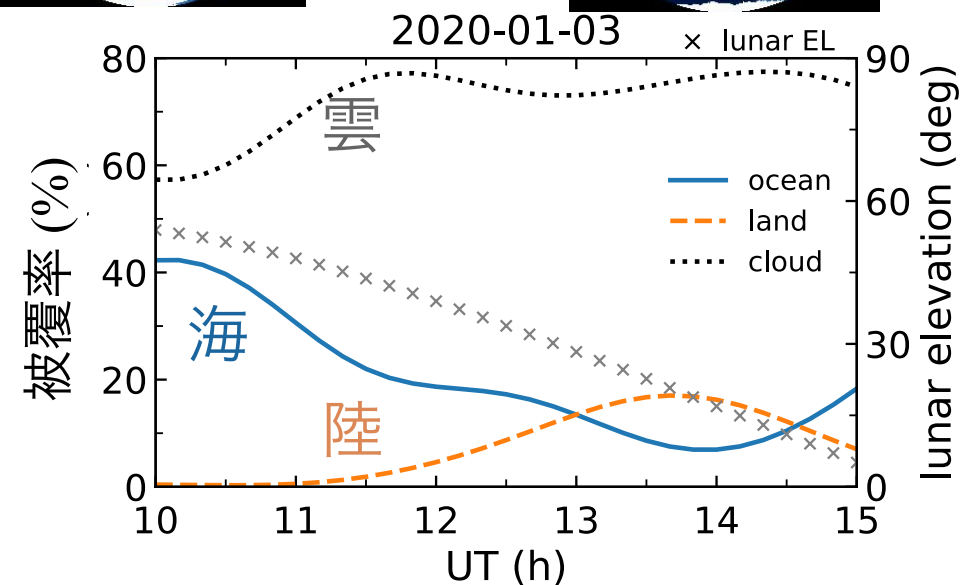
UT 10h



UT 14h



▲ 地球照偏光度の時間変化



▲ 地球表面種別の時間変化

偏光度の時間変化が、海被覆率の時間変化と同期している(複数夜で確認)

「地球の海による偏光」を検出した



# 今後の展開と新装置開発

# 地球照観測の今後と新装置開発

- 地球照観測の今後: 「ホモキラリティに起因する円偏光」の検出
- ホモキラリティ: 鏡像異性体のうちの片方しか存在しない状態。
  - 生体分子 (アミノ酸、糖) はホモキラリティを持つ。
  - ホモキラリティは生物と非生物を区別する特徴。有力な生命兆候。
- ホモキラリティを持つ物質の反射光は円偏光する。
  - 植物は1-0.1%の円偏光度 (e.g., Wolstencroft+, 2004)
  - 植生に起因する地球円偏光度の実測成功例はない (Sterzik+ 2009)。

地球照観測により、ホモキラリティ円偏光を検出したい

- 月面地球照で期待されるホモキラリティ円偏光は0.01-0.001% ( $10^{-4}$  から  $10^{-5}$ ) と非常に小さく、現在主流のタイプの偏光装置では検出不可。

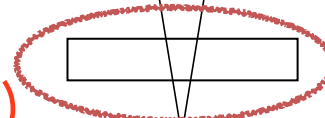
高速位相変調型の高精度偏光観測装置を開発する

# 高速位相変調型の先行装置

- HIPPI (Bailey+ 2015)

液晶位相変調器 (LCM)

数100Hz以上の速度  
で、偏光方位を切替



Ferro-electric  
liquid crystal modulator



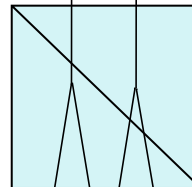
Aperture



Filter Wheel



Collimating Lens



Wollaston Prism

Rotating  
Section

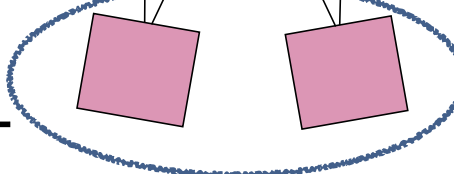


Field Lens

※2光線に分離してい  
るが、測定は光路ごと  
に独立。



Fabry Lenses



Detectors

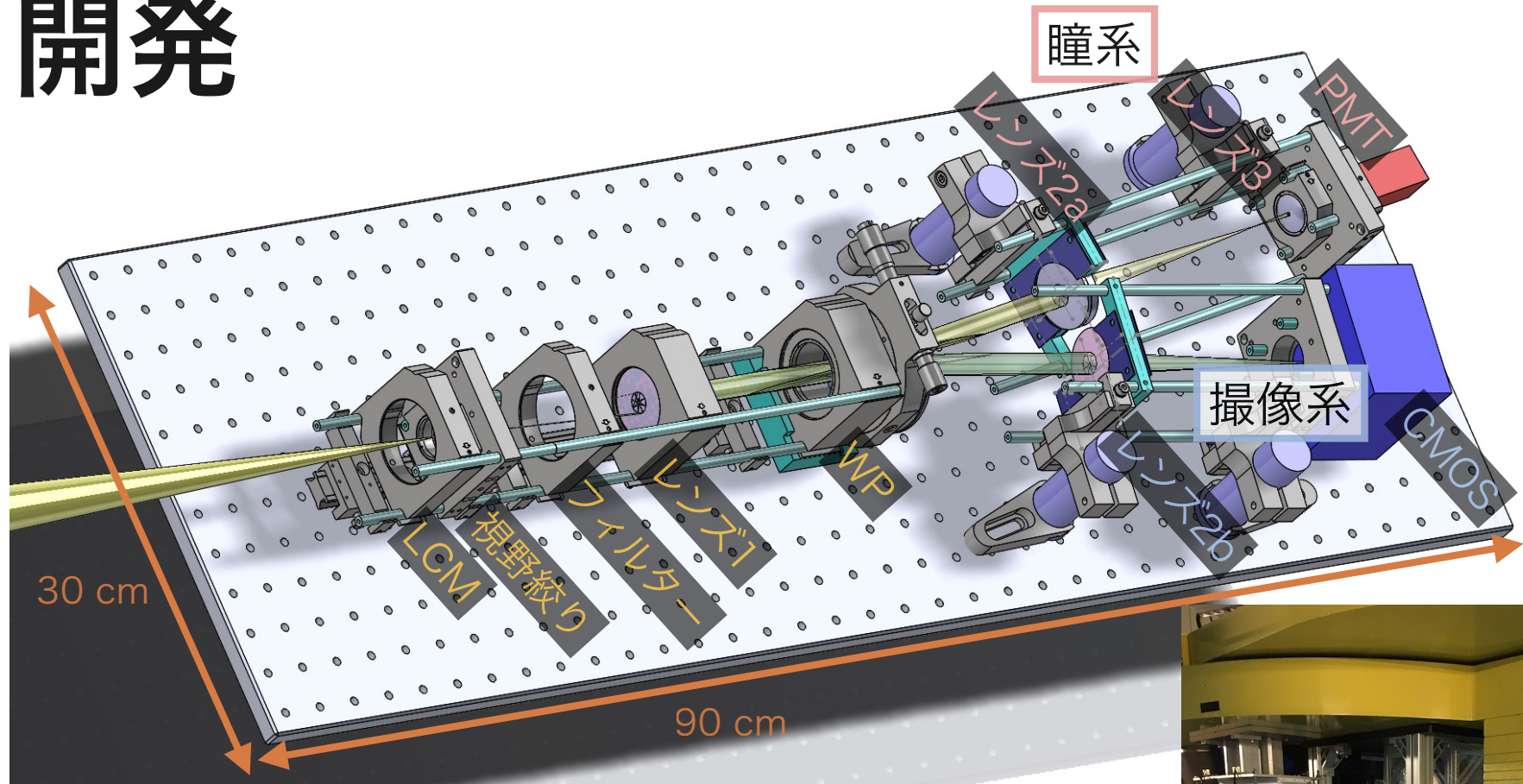
光電子増倍管 (PMT)

※ CCDは不適

10<sup>-6</sup>台の偏光度検出精度を達成



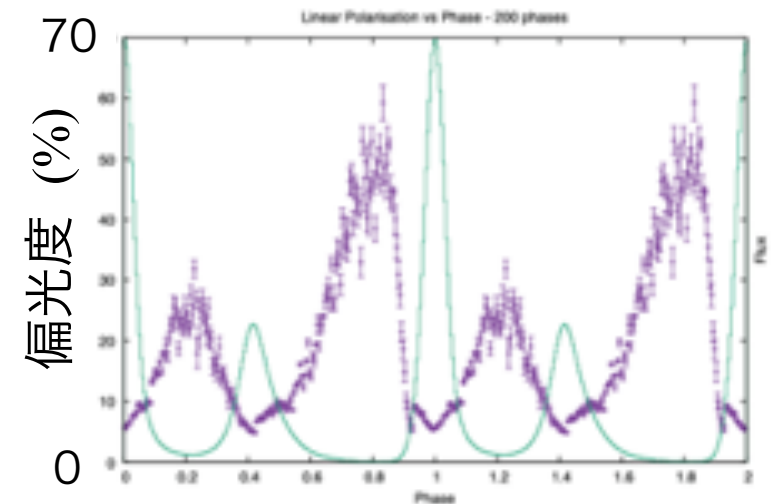
# 開発



- 基本的には先行装置を踏襲。
- 改良点: CMOSカメラを導入し、撮像機能を追加することを検討中 (CMOSは未入手)
- 2021年9月にエンジニアリングファーストライトを達成。現在、性能評価中。

# 次期OISTERでの活用？

- 将来的には、OISTERにも新装置を供用したい。
- 新装置の特徴
  - 高速位相変調 → 高い検出精度
  - CMOS導入 → 撮像機能
  - PMT または CMOSによる光検出 → 高い時間分解能
- 特に「高い時間分解能」の偏光観測は、未開拓の分野
  - パルサーや高密度連星系、恒星食で速い偏光度変動？
  - OISTERにユニークな機能を加える可能性。
- サイエンスの提案を歓迎します。



かにパルサー(周期 0.033 秒)の偏光度周期変動(紫点) (Shearer & Connor, 2018)