

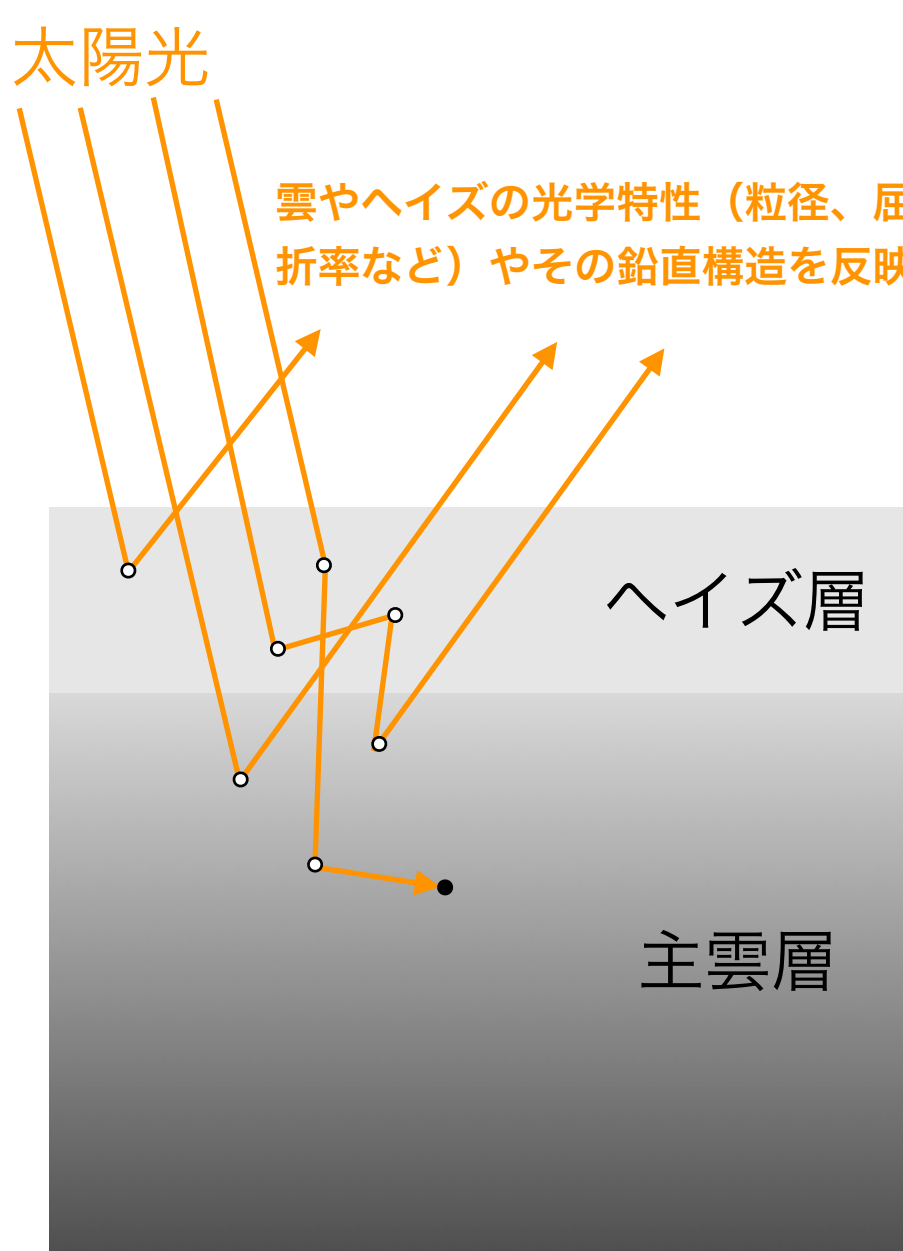
# 近赤外偏光分光観測による金星上層雲構造の解析

榎本孝之（総研大）、佐藤毅彦（ISAS/JAXA, 総研大）、秋田谷洋（広島大）、川端弘治（広島大）、伊藤亮介（広島大学）  
e-mail: enomoto@ac.jaxa.jp

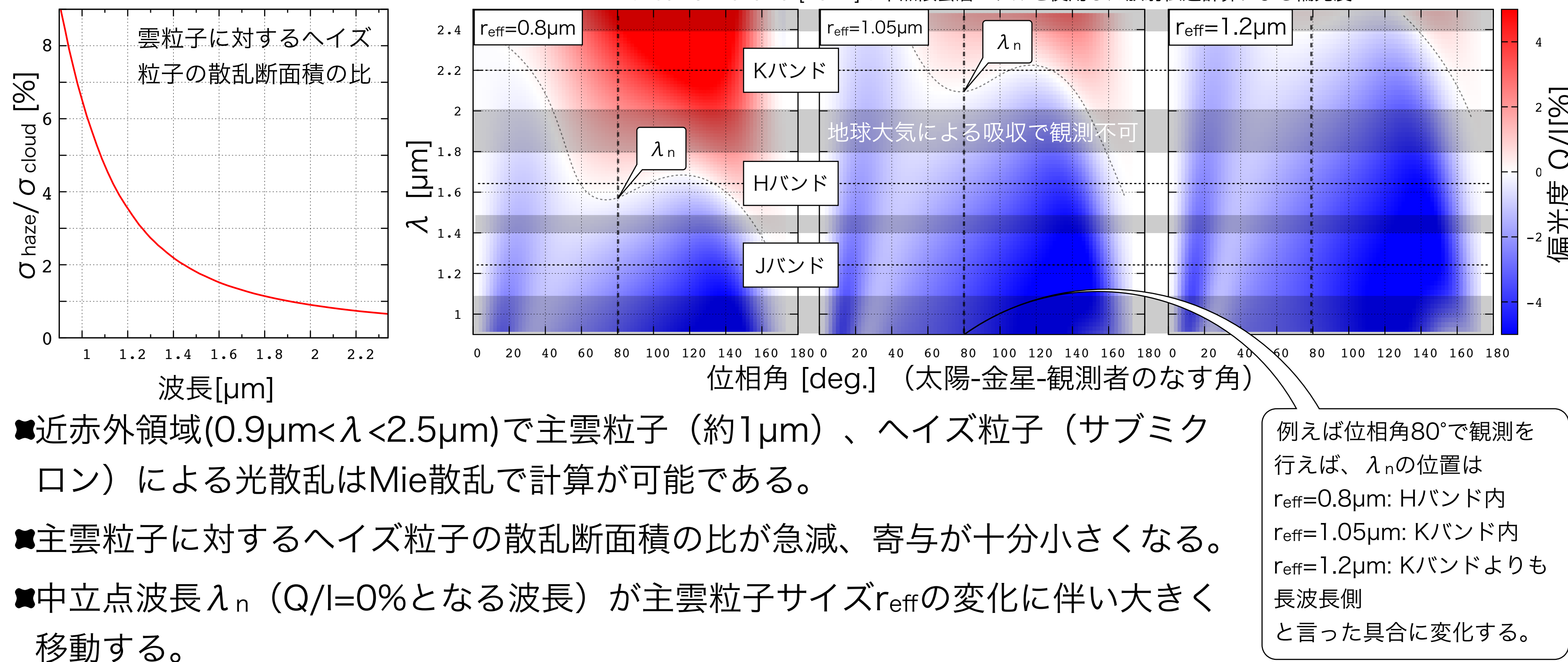
## 背景と目的

惑星大気のリモートセンシングでは多数のパラメータを同時に決定しなければならず、金星上層の「主雲層+ヘイズ層」のような単純な構造でも、一般には簡単なことではない。

- 観測される光は上層ヘイズと主雲の両者の情報を併せ持つため、不確定性の高いパラメータの存在は、他のパラメータの決定精度にも影響を及ぼす。
- 金星のようにヘイズと雲粒子のサイズが大きく異なる場合、散乱特性の波長依存性などを考慮すれば、それぞれの層の物理量を独立に決定できるはずである。
- 本研究では異なる2層からなる雲構造の物理量をそれぞれ独立に決定する手法の確立を目的とし、その提案と適用可能性の検証をした。



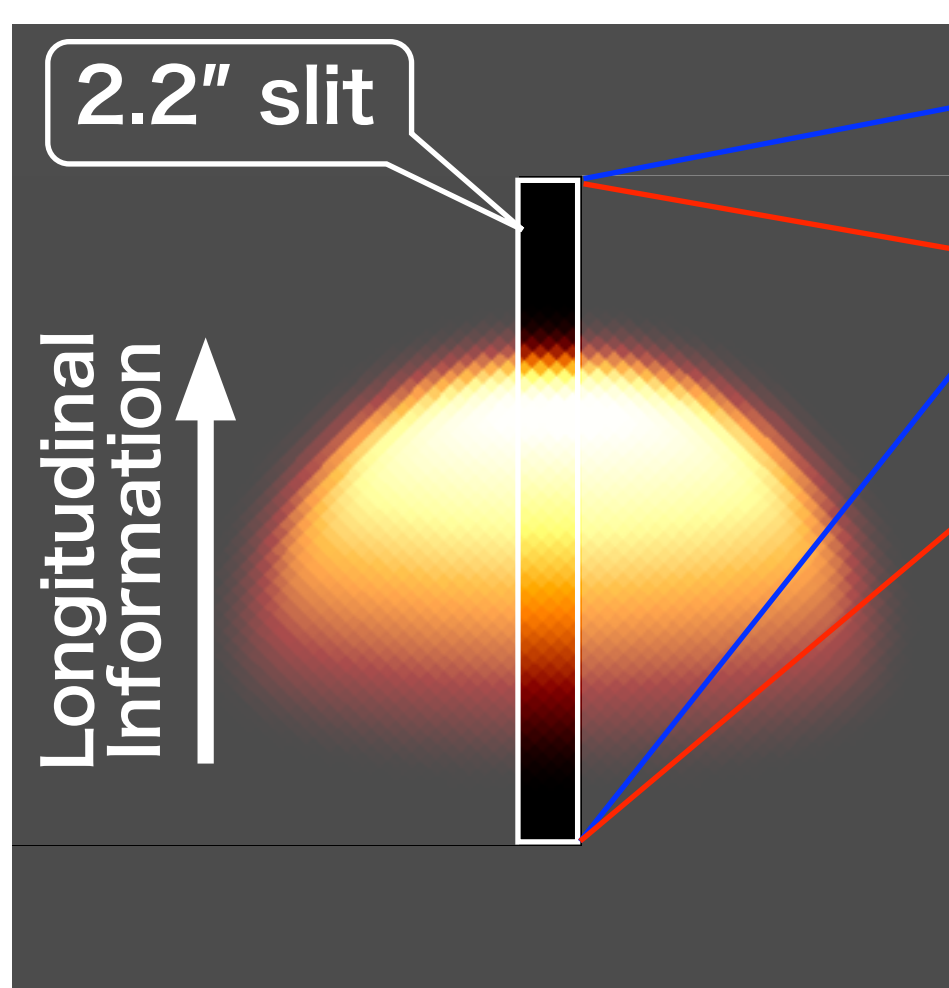
## 手法の概要



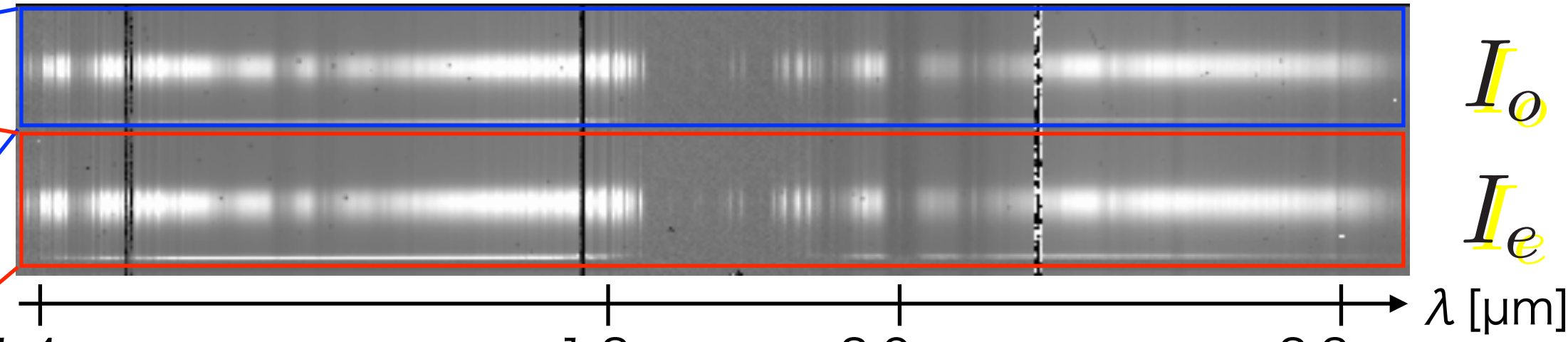
➡ 近赤外領域での偏光分光観測で、雲のパラメータをヘイズと独立に決定可能

## かなた望遠鏡&HONIRによる観測

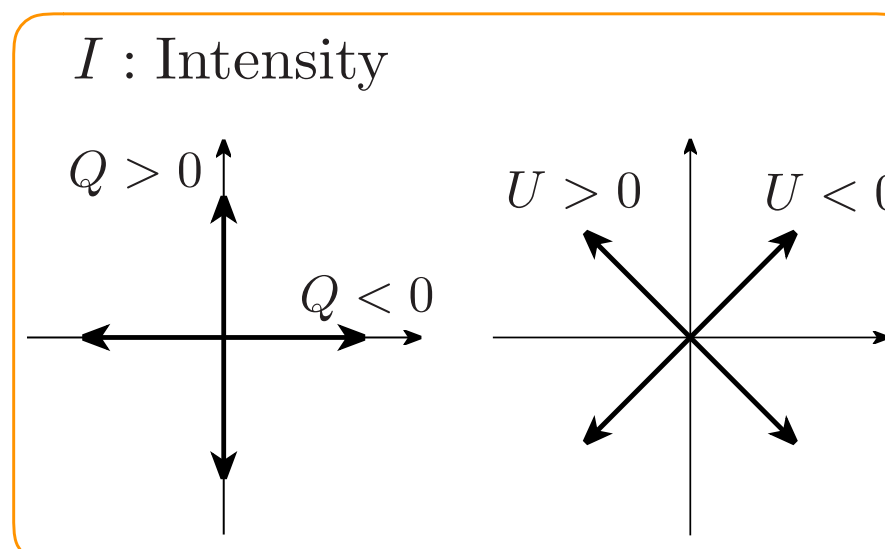
広島大学東広島天文台「かなた」望遠鏡



HONIR観測生データ例



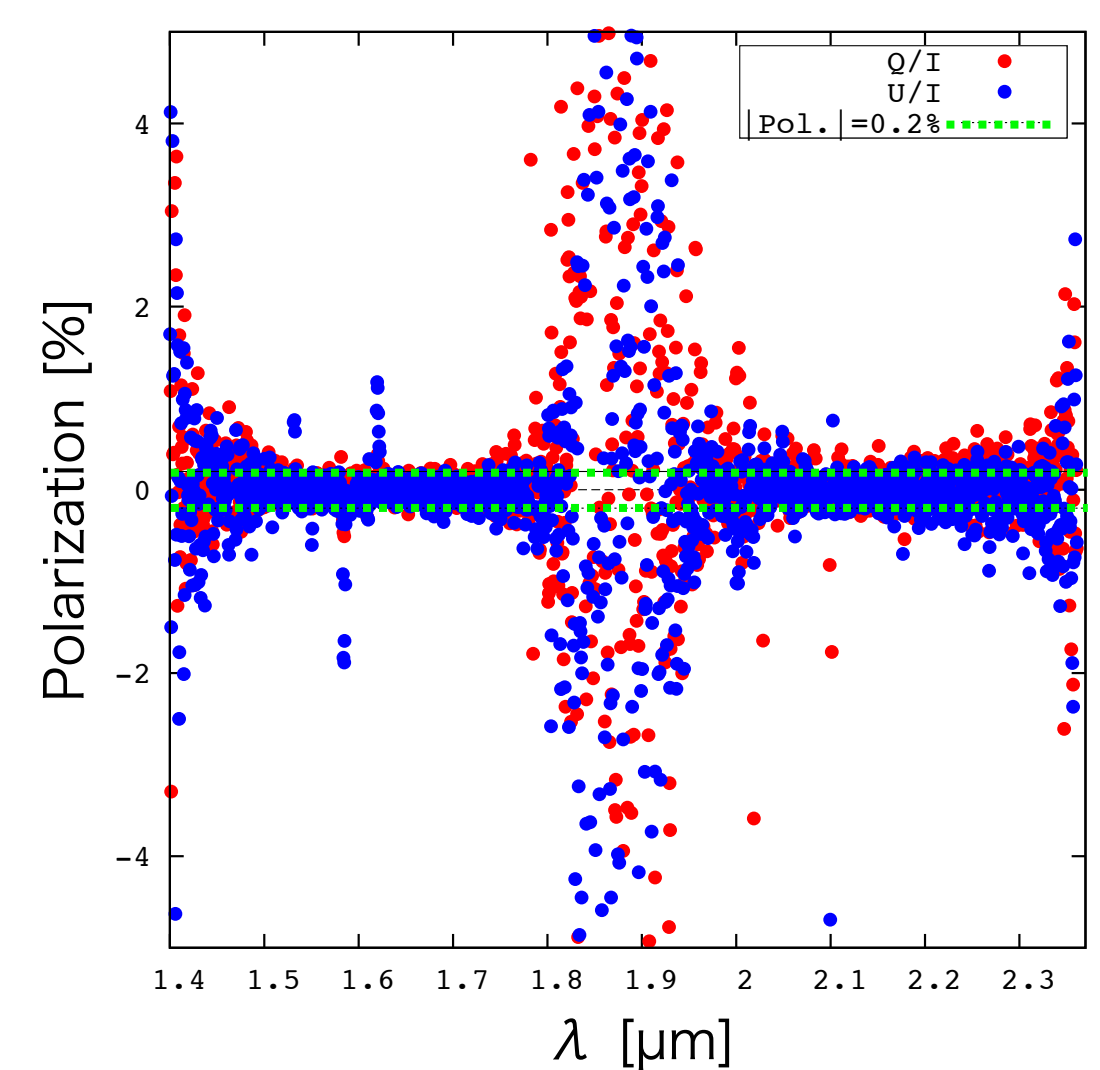
$$\frac{Q}{I} = \frac{1 - a_1}{1 + a_1} \quad a_1 = \sqrt{\frac{I_e(0^\circ)}{I_o(0^\circ)} \frac{I_e(45^\circ)}{I_o(45^\circ)}}$$
$$\frac{U}{I} = \frac{1 - a_2}{1 + a_2} \quad a_2 = \sqrt{\frac{I_e(22.5^\circ)}{I_o(22.5^\circ)} \frac{I_e(67.5^\circ)}{I_o(67.5^\circ)}}$$



- I, Q, Uは偏光特性を表現するストークスパラメータである。
- 上述の演算によって、偏光プリズムの分離効率や観測中の大気透明度の変動の影響を打ち消し、偏光度を導出することができる。
- 偏光方位角の基準は、観測時の金星の光赤道（太陽-金星-観測者の載る平面と金星の交線）とした。

## 機械偏光

金星の輝度が高く飽和してしまうため、主鏡の蓋を完全には開けないことで有効径の1/30程度に絞って観測を行った



Q/I [%]のばらつきは±0.2%程度であった。広島大学による無偏光標準星の観測でもこれと同程度のばらつきが見られることから、蓋で口径を絞ったことによる機械偏光の影響はほとんどないと考えられる。

## モデル設定

単層半無限雲層モデル (Hansen & Hovenier, 1974)

主雲層

$r_{\text{eff}} = 1.05, 1.2, 1.5 \mu\text{m}$

$V_{\text{eff}} = 0.07$

$\tau_c = 256 (\approx \infty)$

$\omega_0 = 0.98, 1.0$

$n_r$ :

$\rho = 50, 75, 84.5\%$

$T = 250, 300\text{K}$

\* $n_r$ の $\rho$ ,  $T$ 依存性はPalmer&Williams (1975)を参照

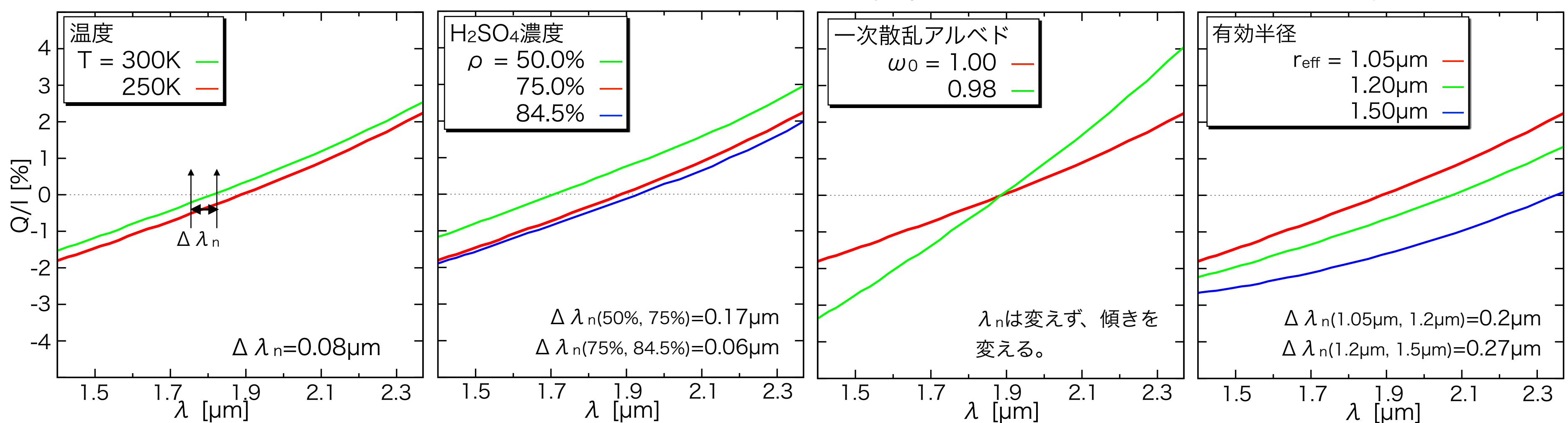
地表面  $\omega_0=1.0$

偏光スペクトル（偏光度の波長依存性）のパラメータ依存性を調査するため、Adding-Doubling法による放射伝達計算を行った。

$r_{\text{eff}}$ : 有効半径  
 $V_{\text{eff}}$ : 有効分散  
 $\tau$ : 光学的厚さ  
 $\omega_0$ : 一次散乱アルベド  
 $n_r$ : 屈折率  
 $\rho$ : 硫酸濃度  
 $T$ : 雲粒子温度  
粒径分布: 修正ガンマ分布  
\*左図内青字は可変パラメータ、下線の値は標準モデル(Esposito et al., 1983)を意味する。

## パラメータ感度テスト

赤色の曲線は全て標準的モデルと同じパラメータ設定の計算結果である。



- 偏光スペクトルの傾き $d(Q/I)/d\lambda$ はおよそ4.5%/μmであり、Q/Iのばらつき(±0.2%)とから得られる $\lambda_n$ の決定精度は±0.05μm程度である。
- $T$ ,  $\rho$ に関しては金星の環境では大きな変化がなければ $\lambda_n$ の決定精度を有意に超える変化を生み出すことはない。 $r_{\text{eff}}$ の変化は $\lambda_n$ を有意に変化させる。
- モデル計算より $d\lambda_n/dr_{\text{eff}} \sim 1.16$ を得たので、 $r_{\text{eff}}$ の決定精度は±0.04μm程度である。
- 以降は $r_{\text{eff}}$ の変化に着目して観測データとの比較を行う。

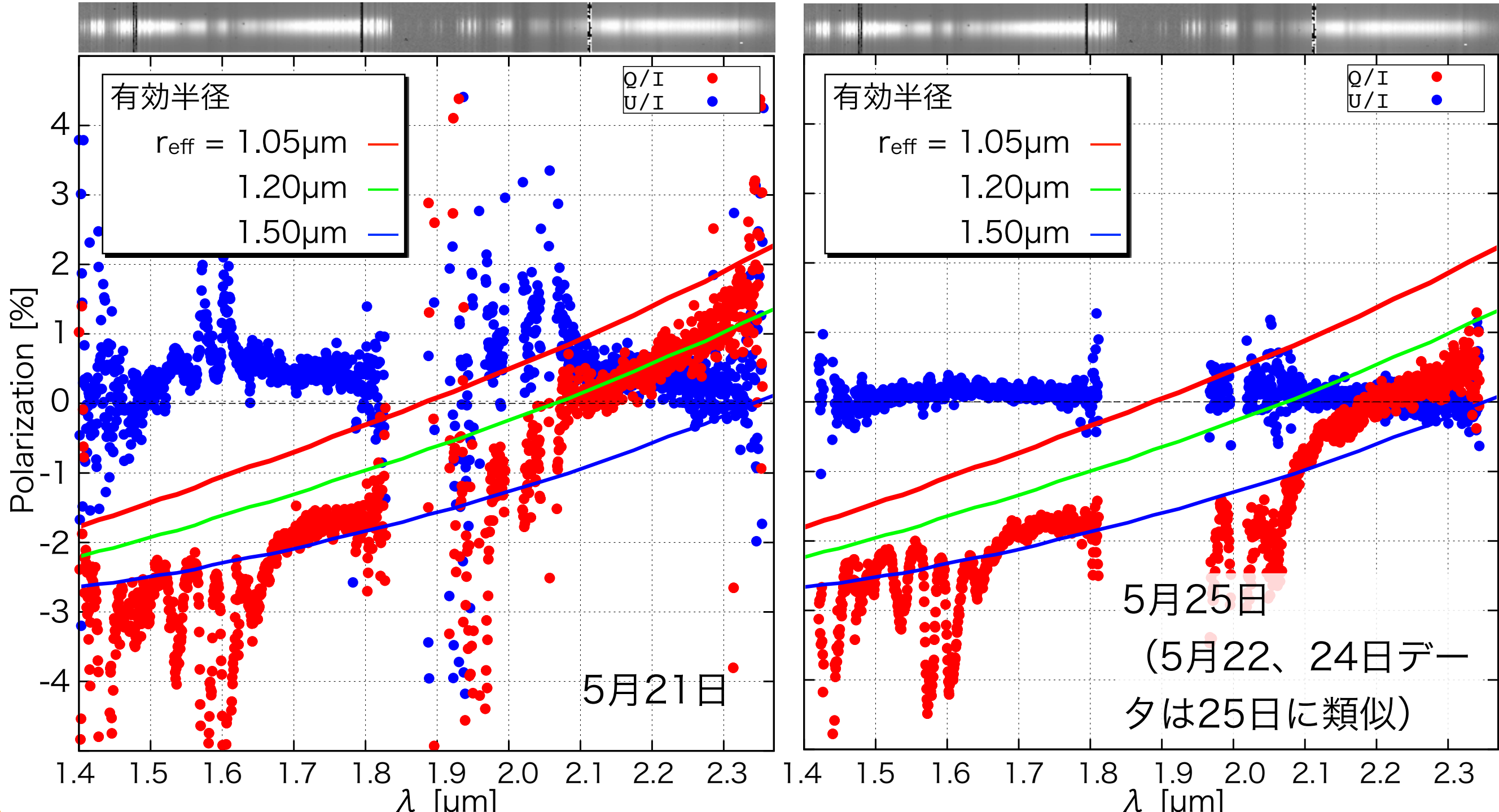
## 観測結果&考察

観測日: 2015年5月21 - 26日

観測時位相角: ~81.5°

波長域: H, K (Jバンドは未解析)

中央部分(1.8μm - 2.05μm)は地球大気による吸収の影響で十分な精度が出ないので、ノイズレベルの点は除去してプロットしている。



■ $\lambda_n$ のモデルとの単純な比較では、有効半径として

5月21日:  $r_{\text{eff}} \sim 1.2 \mu\text{m}$

5月25日:  $r_{\text{eff}} \sim 1.35 \mu\text{m}$

を得た、標準モデルの $r_{\text{eff}}=1.05 \mu\text{m}$ よりも大きな粒子の存在を示唆。

■Rossi et al. (2014) は2010年にVenus Express搭載SPICAVの偏光観測から、赤道域に $r_{\text{eff}}=1.2 \mu\text{m}$ の雲粒子がモデルとよく整合するケースを見出しており、本研究でもそのような変動を捉えた可能性がある。

## まとめ

- 金星の主雲パラメータをヘイズの影響を受けず独立かつ高精度に決定する手法として近赤外線領域における偏光分光観測を提案し、モデル計算と実際の観測による検証を行った。
- 実際の偏光分光観測は「かなた」望遠鏡/HONIRを使用し2015年5月に実施した。無偏光標準星の観測に見られた偏光度のばらつきとモデル計算とから、雲粒子有効半径を±0.04μm程度の決定精度で求められることがわかった。
- 観測とモデル計算との比較の結果、標準モデルの $r_{\text{eff}}=1.05 \mu\text{m}$ よりも大きい $r_{\text{eff}}=1.2, 1.35 \mu\text{m}$ といったやや大きいサイズの計算と整合的であった。

雲・ヘイズによるMie散乱の計算には、Mishchenko, M. I., L. D. Travis, and A. A. Lacis, 2002: Scattering, Absorption, and Emission of Light by Small Particles を使用した。