

ライマン α 光の円偏光生成と ホモキラリティ問題

筑波大学 理工学群物理学類4年
古賀 実

研究テーマ

初期の宇宙で、円偏光がアミノ酸に照射したことにより鏡像異性体過剰（ホモキラリティ）が引き起こされたと考えられる

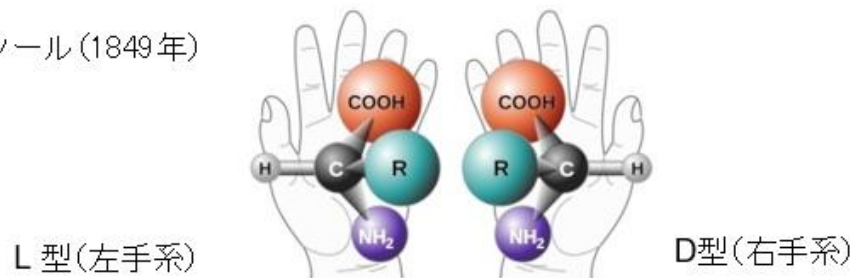
→どのような波長の光で、どんな大きさのダストによって円偏光が生成され得るのか計算する

（計算コードはFukushima et al. 2020で開発されたストークスパラメータ込みのモンテカルロ輻射輸送計算コード用いる。）

アミノ酸のホモキラリティ問題

有機化合物の鏡像非対称性（カイラリティ／キラリティ）

パスツール(1849年)



ルイ・パスツール(1822-1895)

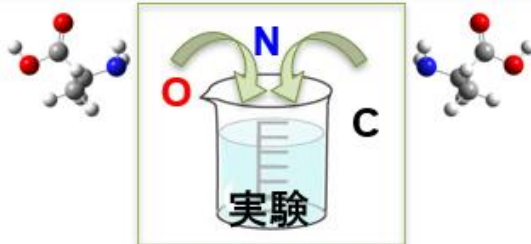
実験室で生成されるアミノ酸

左手型(L型)

右手型(D型)

50%

50%



生体内アミノ酸

左手型(L型)

右手型(D型)

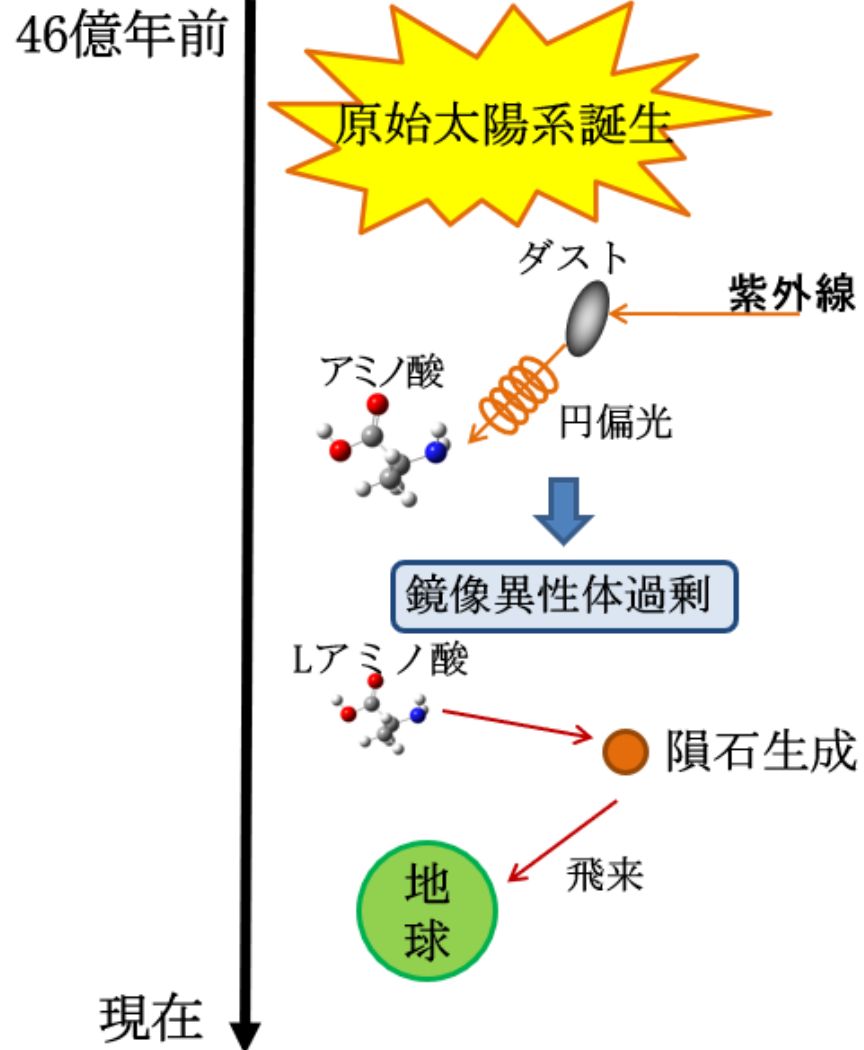
99%



99%Lアミノ酸

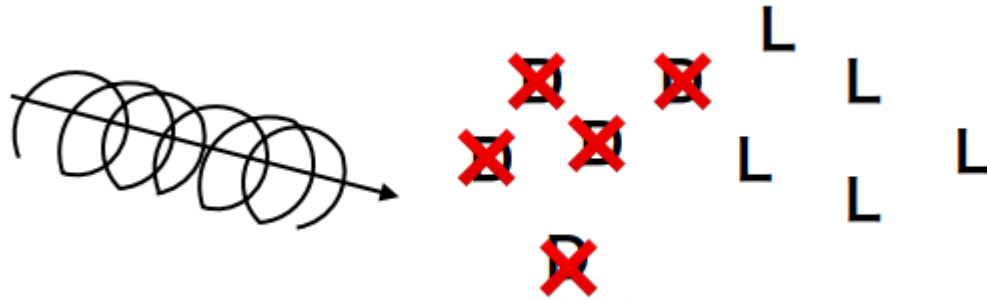
酸鏡像異性体過剰（ホモ・キラリティ）

アミノ酸ホモキラリティの宇宙起源説



- ① 原始太陽系誕生
- ② 近傍の大質量星からの紫外線がダスト散乱され円偏光を生成
- ③ 円偏光がアミノ酸に照射され鏡像異性体過剰を引き起こす
- ④ これらのアミノ酸を含んだ隕石が地球に降り注ぎ現在の生体分子の起源となった

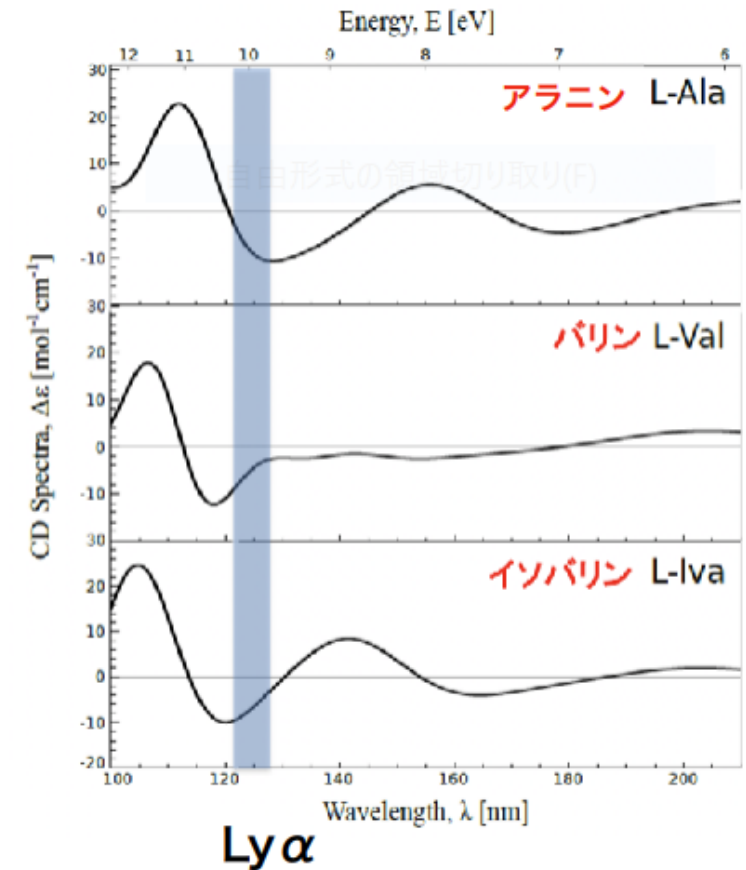
非対称を引き起こす波長



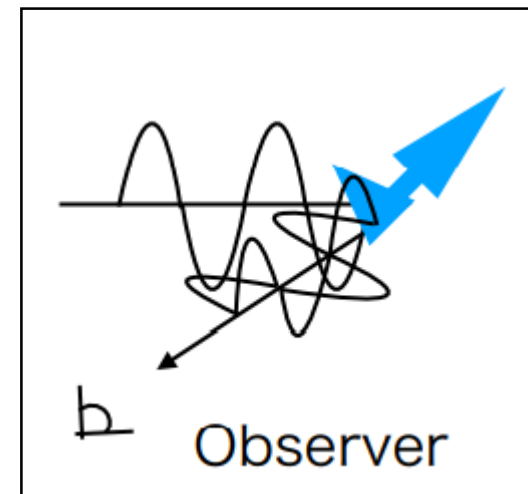
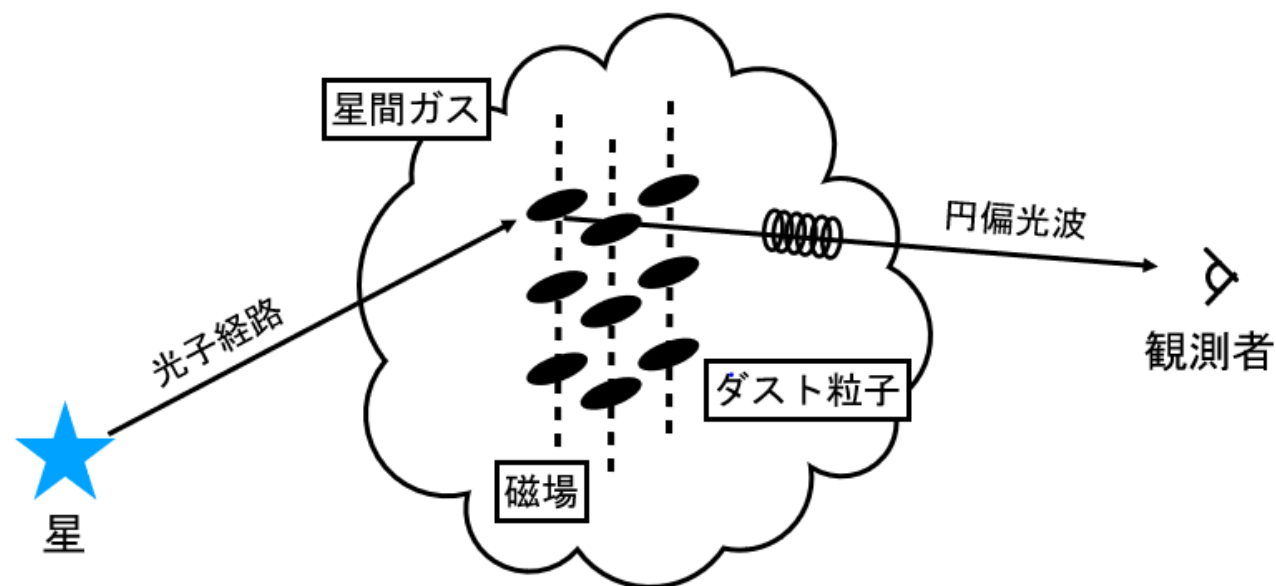
$$\Delta\epsilon = (\text{左円偏光波吸収率}) - (\text{右円偏光波吸収率})$$

(いずれもL型分子に対する吸収率)

- 円偏光によって非対称性が引き起こされる
- 非対称を引き起こすライマン α 付近の波長を用いる

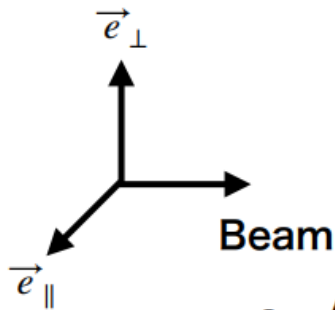


ダスト光散乱による円偏光波生成



- ダスト粒子は磁場に整列する
- 非球系ダストにおける光散乱によって円偏光波が生成される
- 円偏光波を生成する条件は？

ストークスパラメータ



$$\text{電場: } \mathbf{E} = E_{\parallel} \vec{e}_{\parallel} + E_{\perp} \vec{e}_{\perp}$$

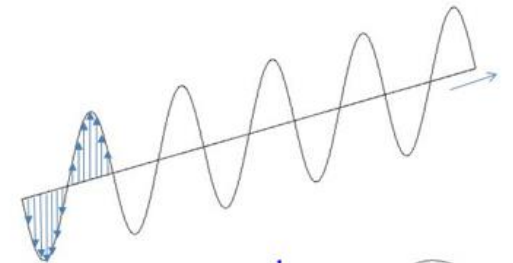
$$I = \langle E_{\parallel} E_{\parallel}^* + E_{\perp} E_{\perp}^* \rangle \quad : \text{エネルギー流速}$$

$$Q = \langle E_{\parallel} E_{\parallel}^* - E_{\perp} E_{\perp}^* \rangle \quad : \text{線偏光 (垂直、平行方向)}$$

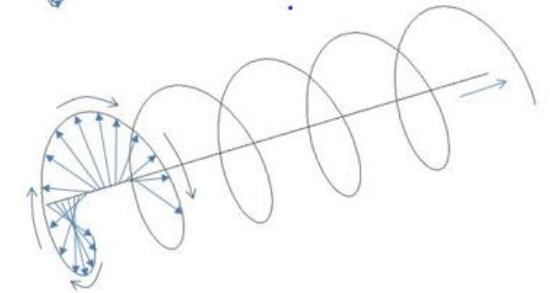
$$U = \langle E_{\parallel} E_{\perp}^* + E_{\perp} E_{\parallel}^* \rangle \quad : \text{線偏光 (斜め方向)}$$

$$V = i \langle E_{\parallel} E_{\perp}^* - E_{\perp} E_{\parallel}^* \rangle \quad : \text{円偏光 (垂直、平行方向)}$$

直線偏光



右回り円偏光



$$(I, Q, U, V) = (1, 1, 0, 0) \quad 0^\circ \quad \longleftrightarrow$$

$$(1, -1, 0, 0) \quad 90^\circ \quad \updownarrow$$

$$(1, 0, 1, 0) \quad 45^\circ \quad \swarrow \searrow$$

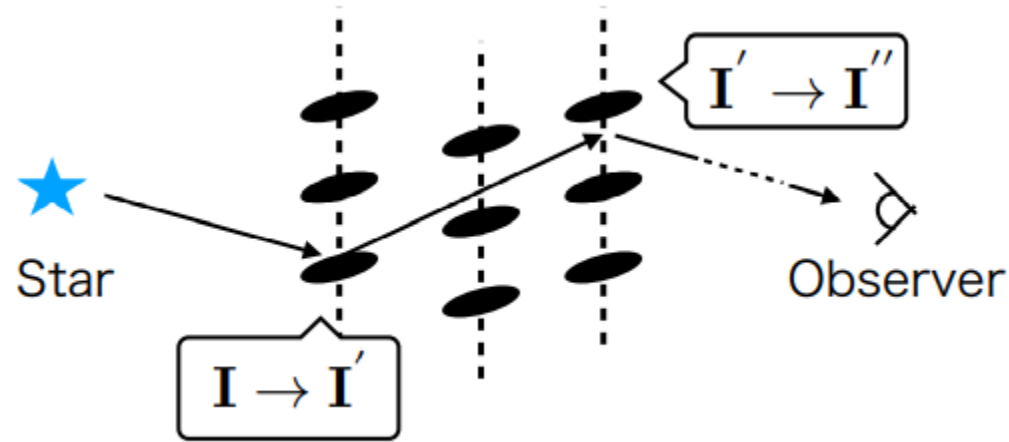
$$(1, 0, -1, 0) \quad -45^\circ \quad \swarrow \searrow$$

$$\begin{array}{ll} (1, 0, 0, 1) & \text{Right} \quad \curvearrowright \\ (1, 0, 0, -1) & \text{Left} \quad \curvearrowleft \end{array}$$

円偏光率は V/I に対応

<http://blogs.yahoo.co.jp/kozoshoku/45455126.html>

モンテカルロ輻射輸送計算コード



- 各光子についてストークスパラメータ $I = (I, Q, U, V)$ の変化を計算する

$$\begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix}_s = \frac{1}{k^2 r^2} \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix}_i$$

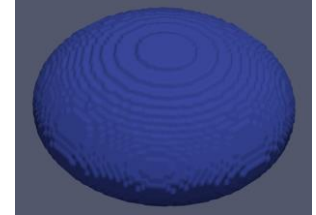
Muller matrix

k : 波数
 r : the distance from the scattering point

- ダストによる吸収も含む

ダスト粒子モデル

扁球

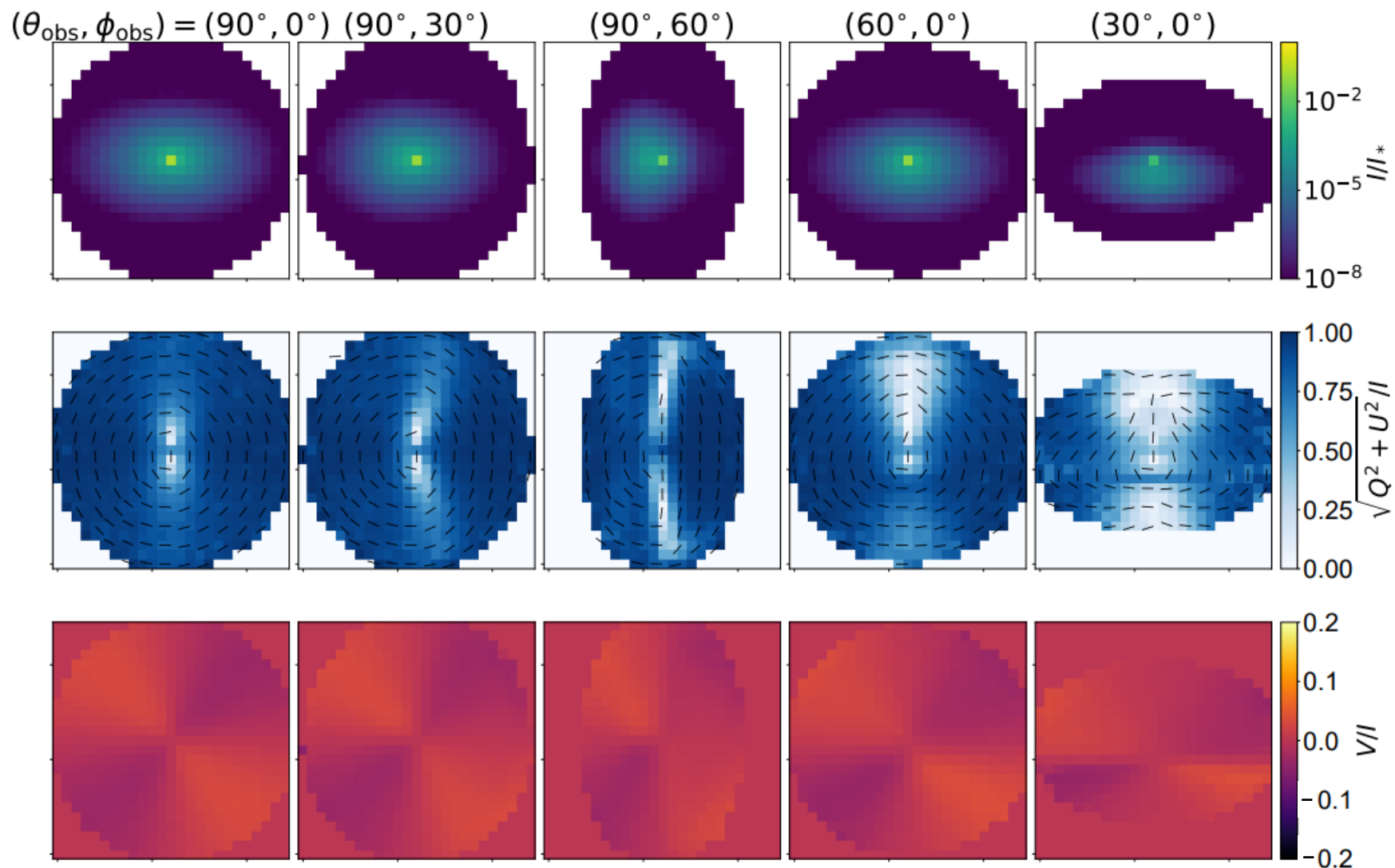


(Draine 2003)

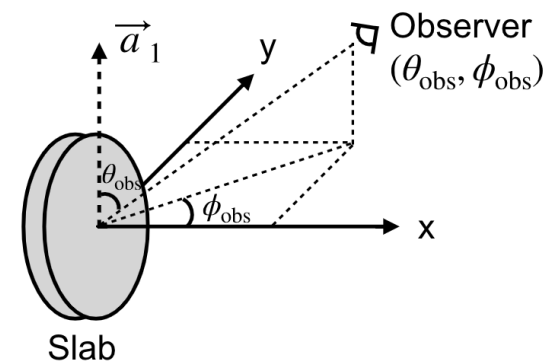
- 扁球(Oblate)ダストを使用(長短軸比0.5)
- ダストサイズ: MRN mixture ($n_d \propto a_d^{-3.5}$, $a_{min} = 0.0005\mu\text{m}$, $a_{max} = 0.25\mu\text{m}$, Mathis et al. 1977)
- 誘電率はastronomical silicate を使用
- 散乱行列(Muller matrix)はDDSCATを使用して求める
- DDSCAT(Discrete Dipole Approximation code):ダスト粒子をdipoleが複数個並んだ集合体として、その入射波に対する応答を計算する

$$\begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix}_s = \frac{1}{k^2 r^2} \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix}_i$$

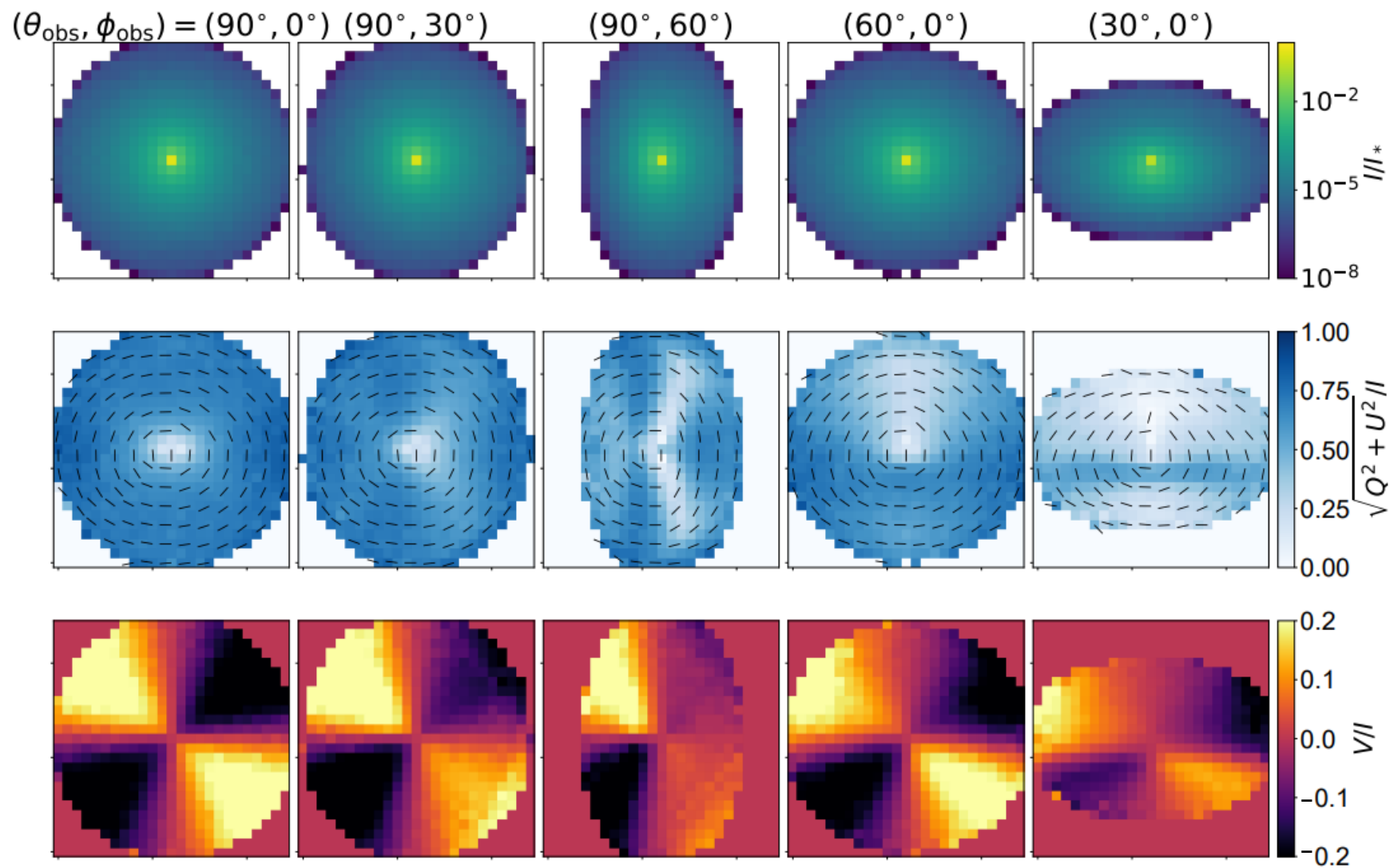
近赤外線(波長 $2.14\ \mu\text{m}$)



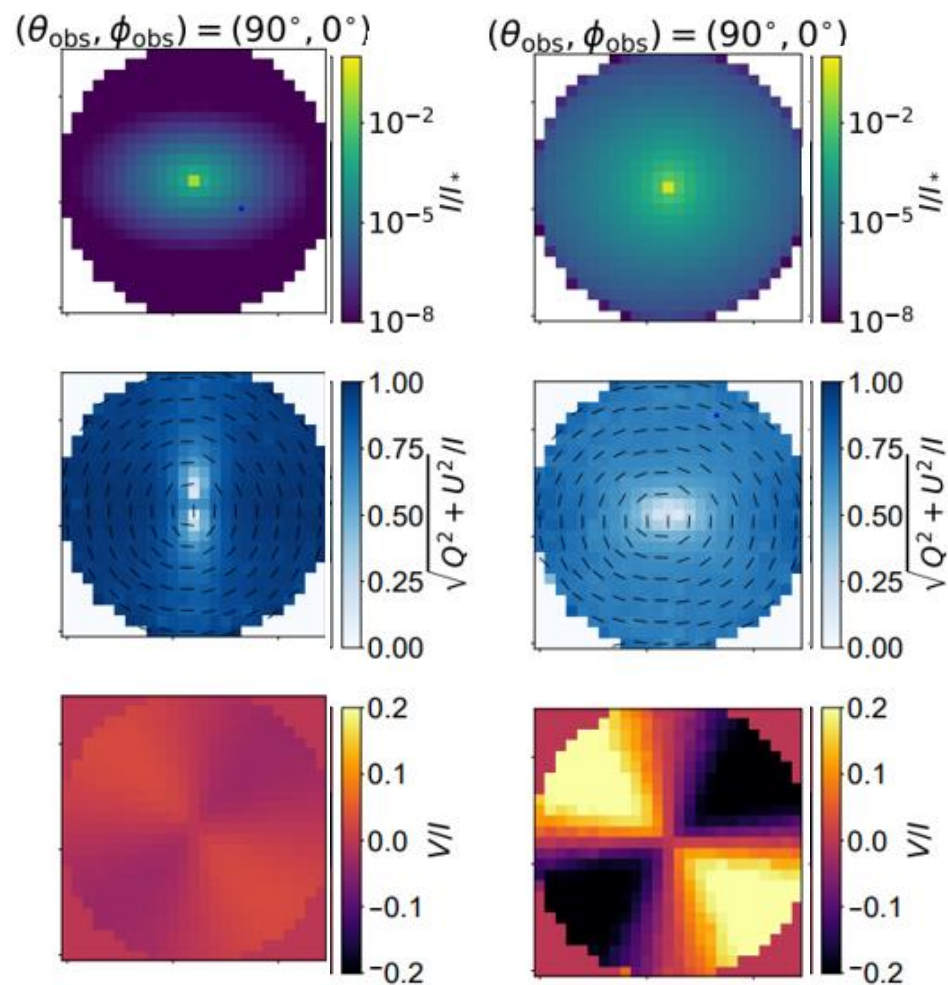
光の散乱角度



ライマン α (波長 $0.1216 \mu\text{m}$)



近赤外線とライマン α の比較



近赤外線

ライマン α

ライマン α の方が近赤外線よりも円偏光を多く生成している

→ 近赤外線とライマン α では誘電率が異なり、それによってできる位相差も異なるから

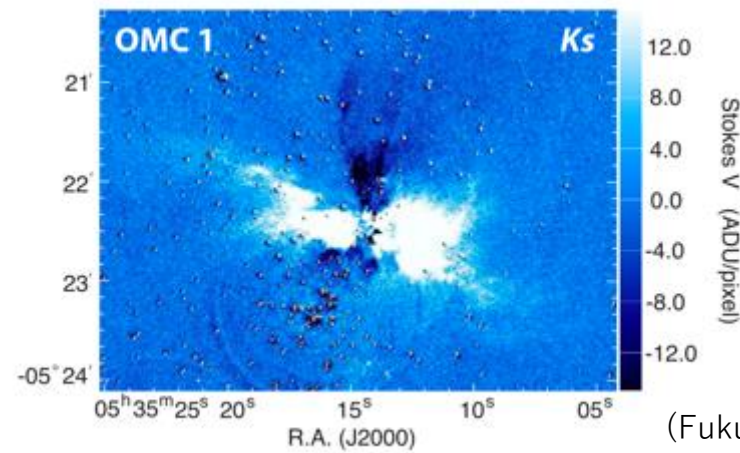
誘電率

赤外線 : $1.7 + 0.034i$

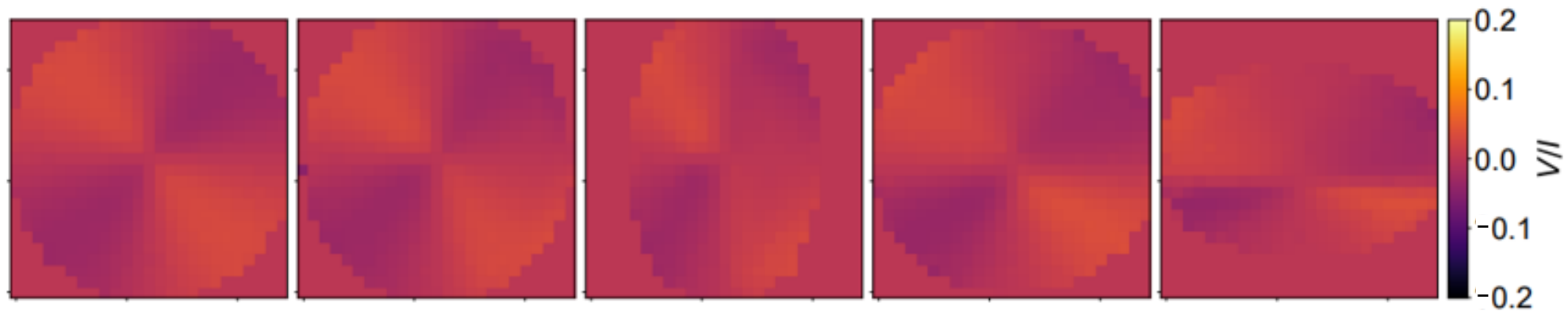
ライマン α : $1.9 + 0.7i$

観測との比較

近赤外線で観測された円偏光波



(Fukui et al. 2009, Kwon et al. 2014, 2016)



観測で見られる四重極構造に近い

まとめと今後の展望

- ライマン α の方が近赤外線よりも円偏光を多く生成することが分かった
- 今後はどのサイズのダストがどう円偏光を作っているのかを調べていきたい