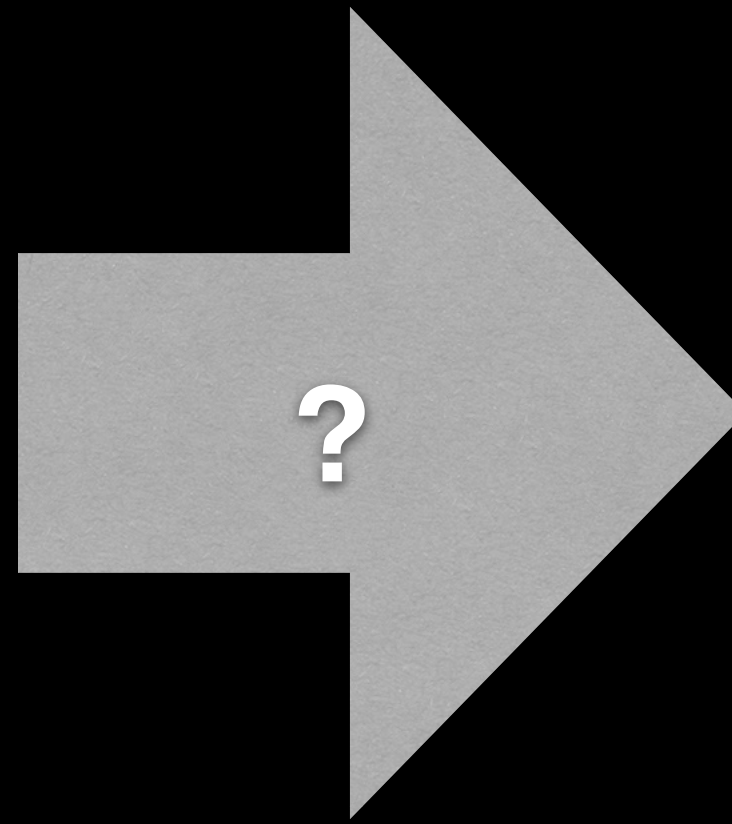


# 惑星の種の大きさを測りたい



~ 1  $\mu\text{m}$



~ 1000 km

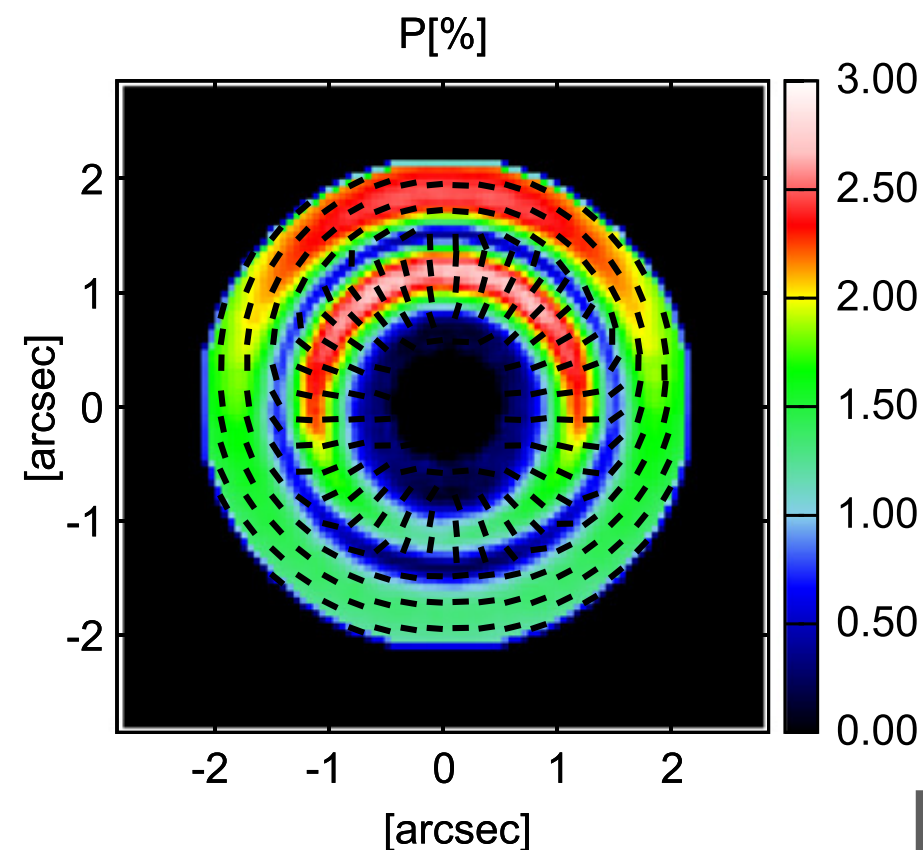
2020年度日本天文学会研究奨励賞受賞記念講演

受賞対象研究：「原始惑星系円盤におけるダスト成長過程に関する理論的・観測的研究」

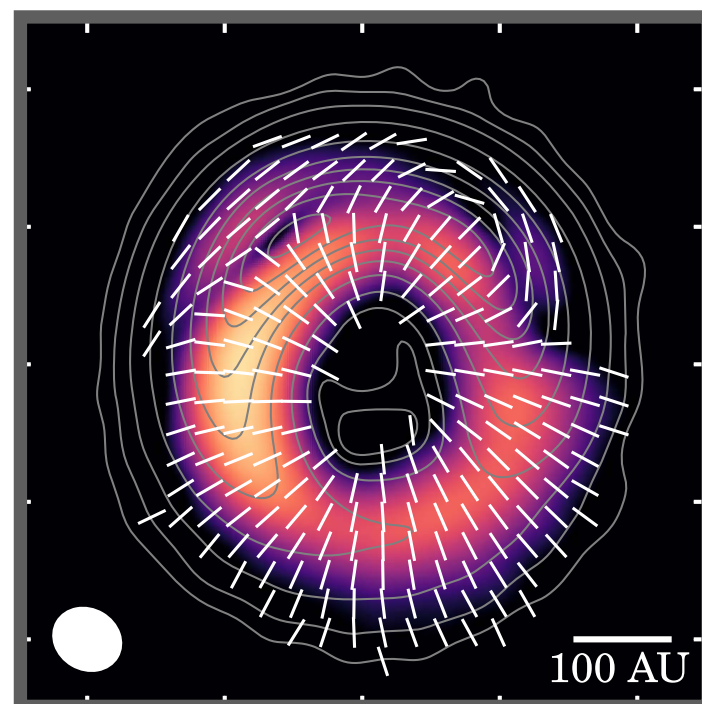
片岡章雅（国立天文台）



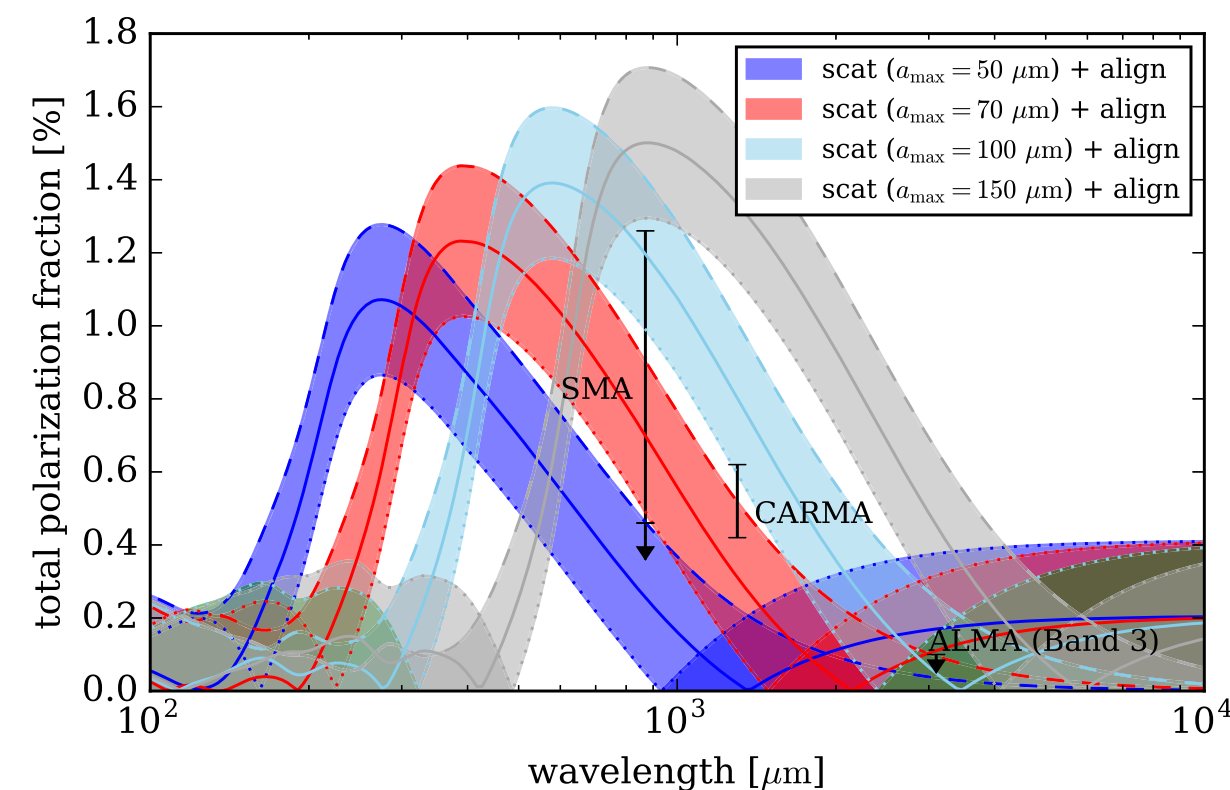
# 今日のお話



- 原始惑星系円盤から、ダスト散乱に起因したミリ波偏光が受かるはずだ！ (Kataoka et al. 2015)



- ALMAで観測したら偏光を検出できたし、散乱由来の予想とばっちり合ってた (Kataoka et al. 2016b)

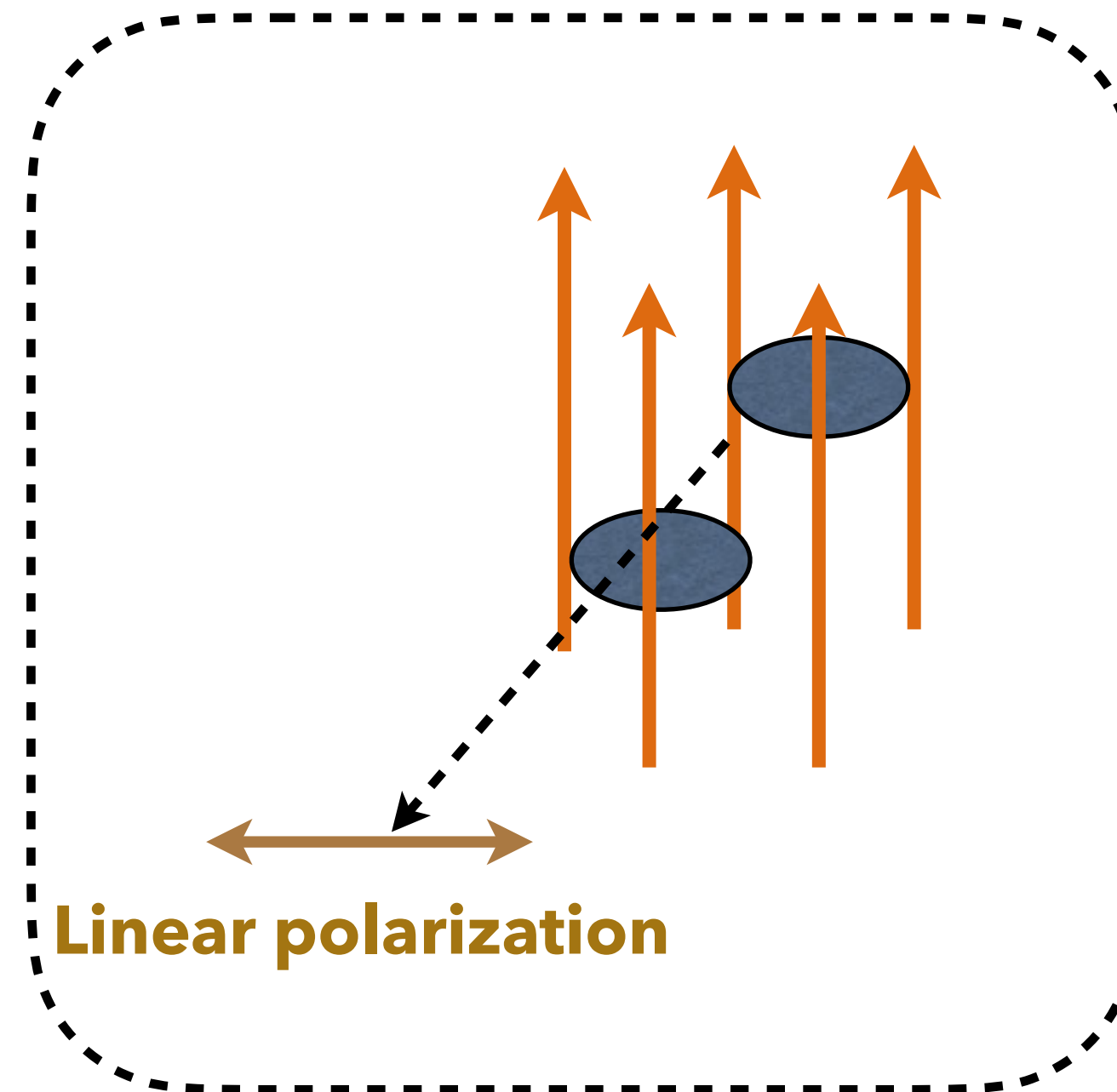


- **惑星形成途中のダストサイズは~100 $\mu\text{m}$ である。今までの理解とぜんぜん違う！** (おもしろい！)

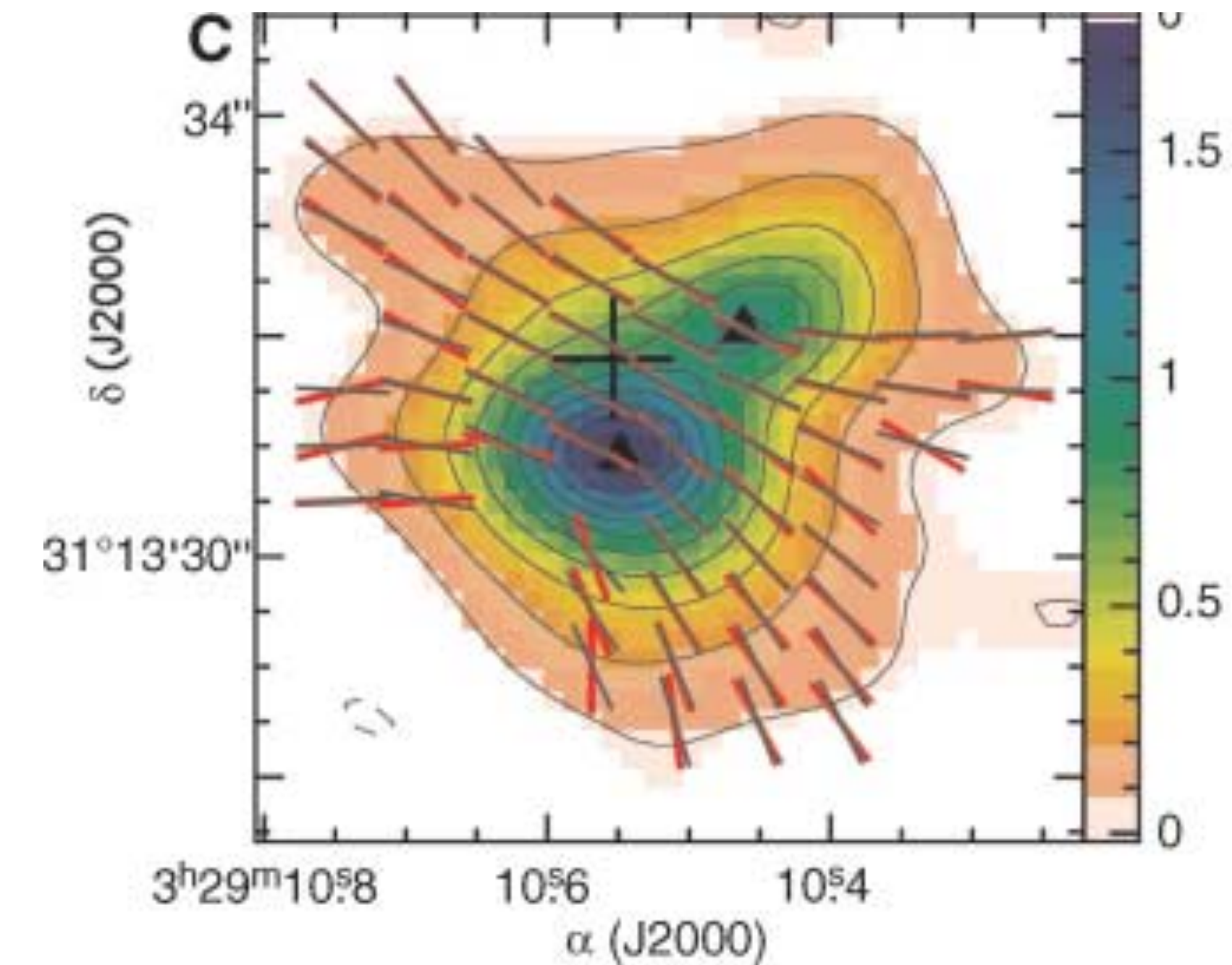
(Kataoka et al. 2016a, Kataoka et al. 2017, Ohashi and Kataoka 2019, Ueda, Kataoka, et al. 2021...)

# 星・惑星形成におけるミリ波偏光

ダスト整列による偏光理論



偏光観測の例



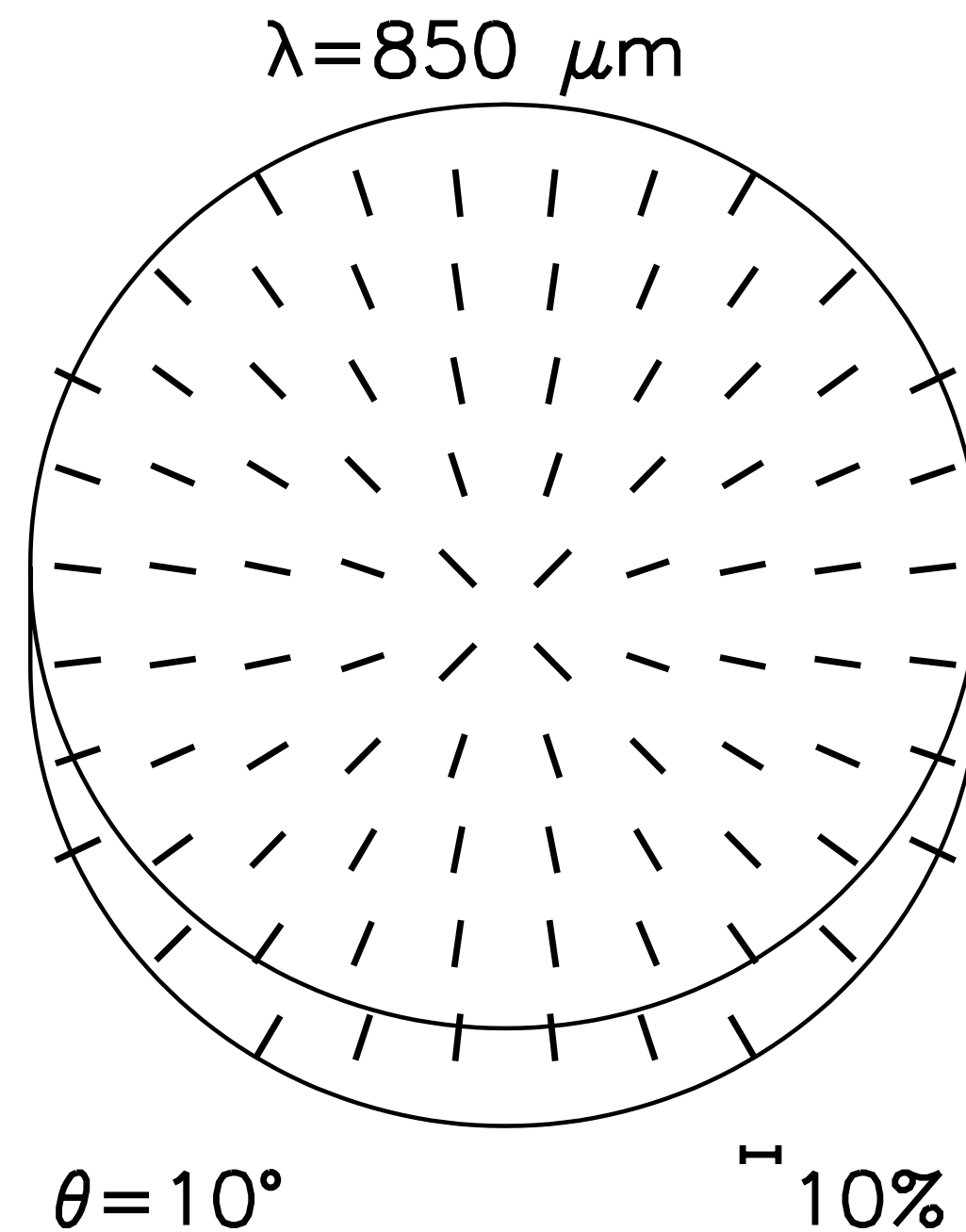
Girart et al. 2006

- 星・惑星形成領域のミリ波放射は、 $\sim 10$ - $100$ K程度の熱放射。
- (よって、シンクロトロン偏光などは受からない)
- 熱放射偏光の有効なメカニズムは、**ダストの整列**

# 原始惑星系円盤におけるミリ波偏光

- ALMA前の時代
- 原始惑星系円盤全体の大きさは100 au くらい ~ 1秒角くらい
- 分解能が1秒角切れれば偏光見える？
- トロイダル磁場の証明ができるはず
- **SMA, CARMAで円盤の偏光が全然受からない...**

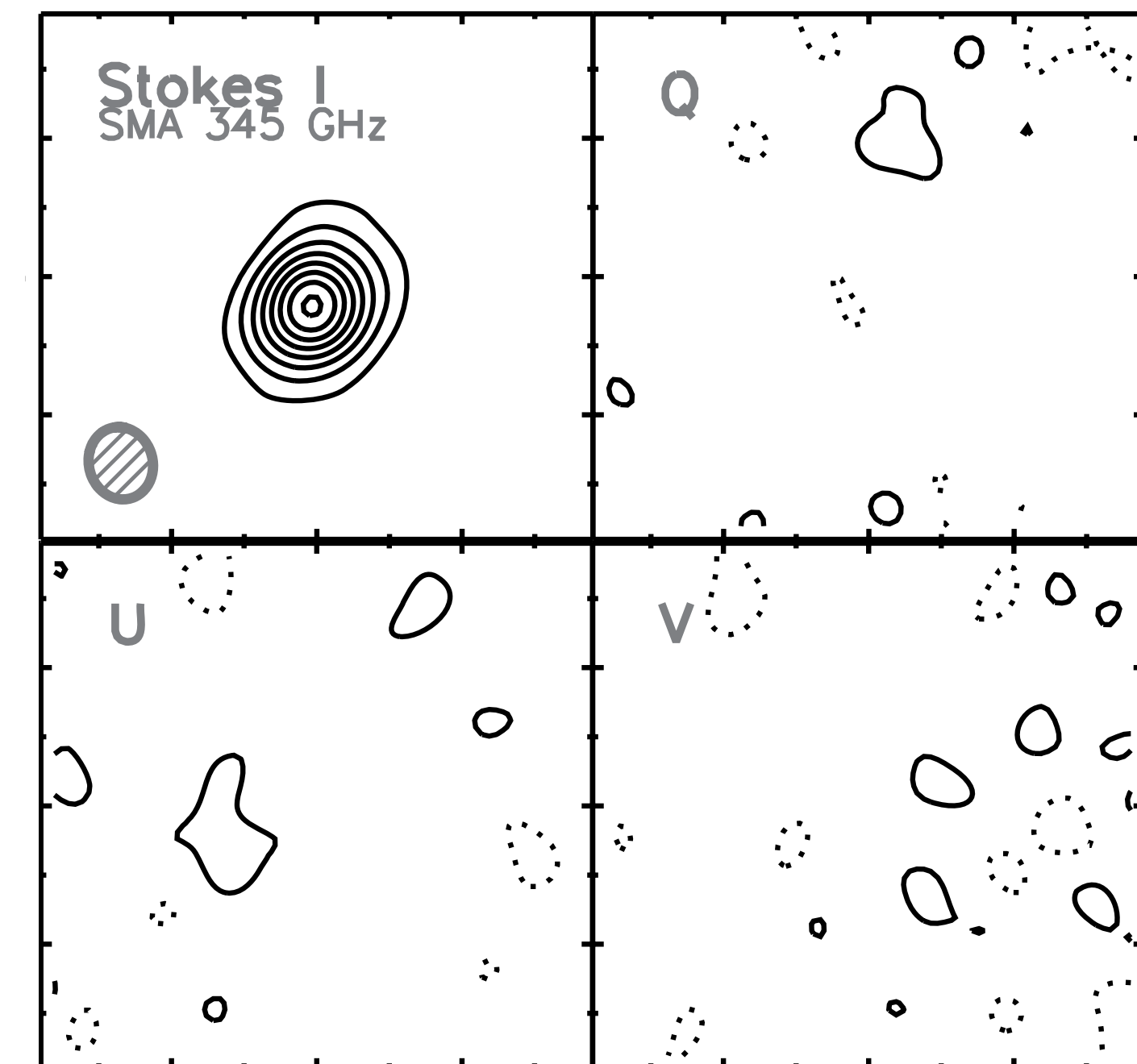
## 円盤偏光予測



e.g., Draine and Weingartner 1997,  
Lazarian 2007, Cho and Lazarian  
2007...

## 観測結果：偏光非検出

HD 163296

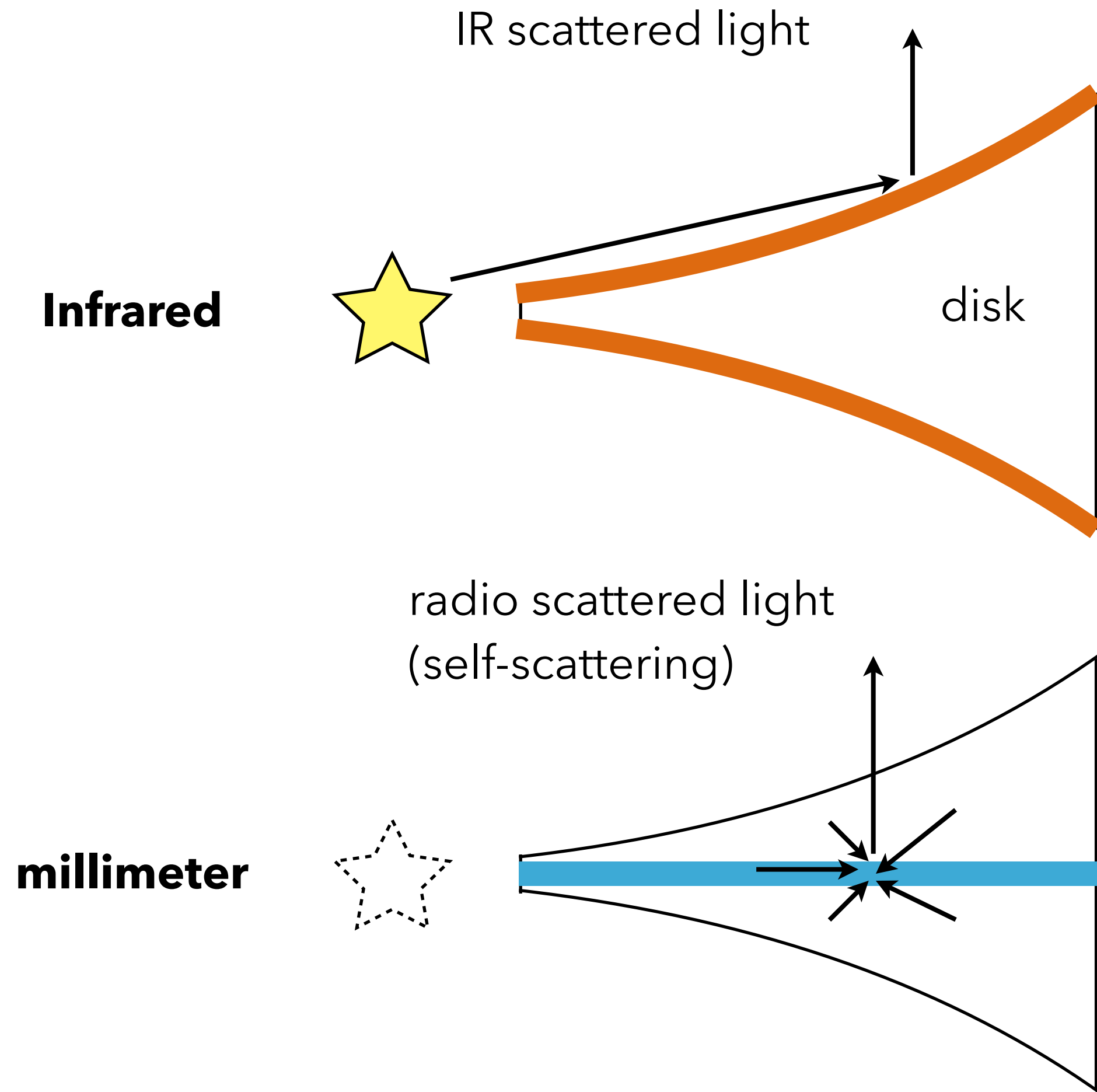


Hughes et al. 2009, 2013



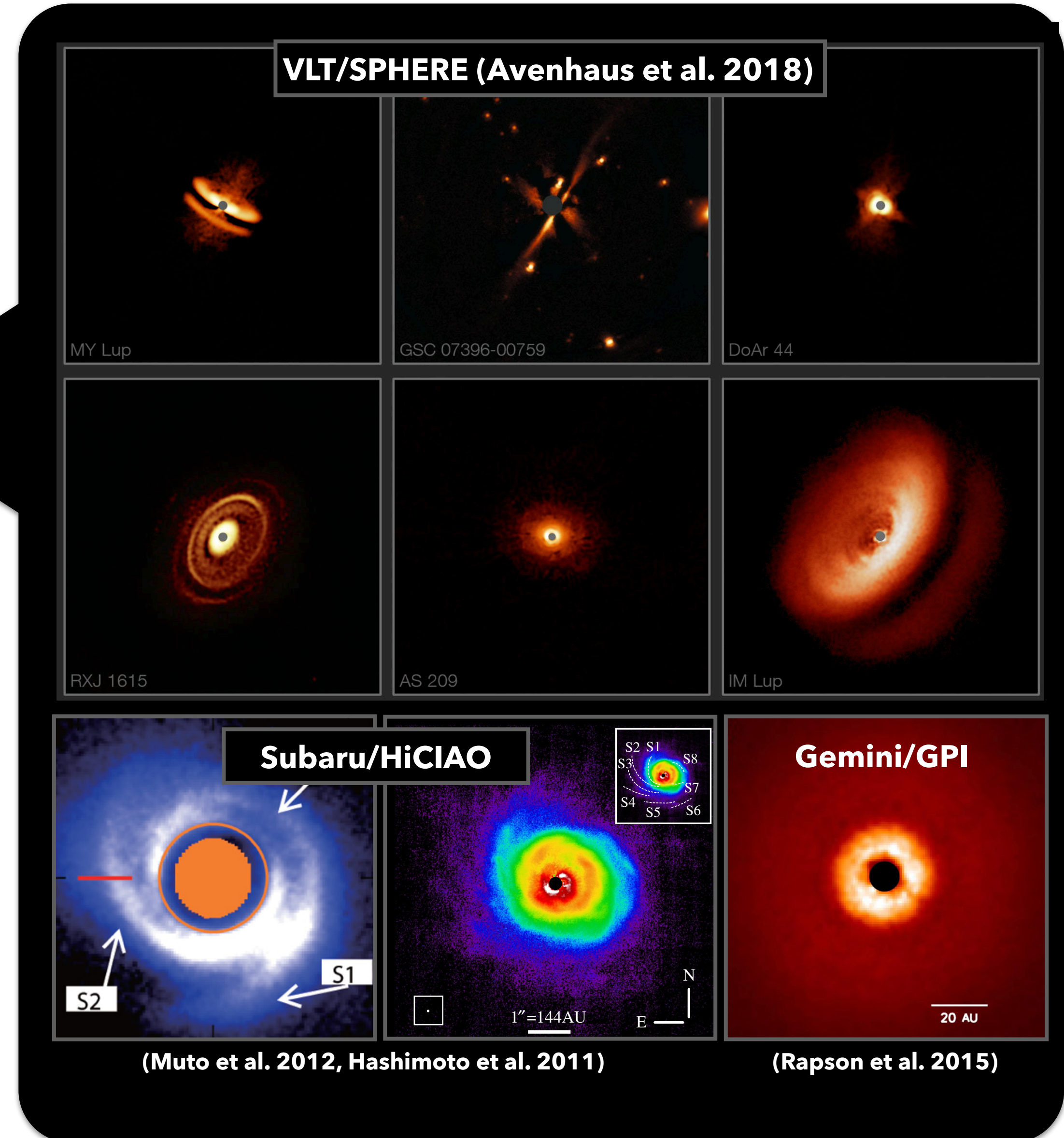
# ミリ波散乱偏光の光源問題

## Self-scattering



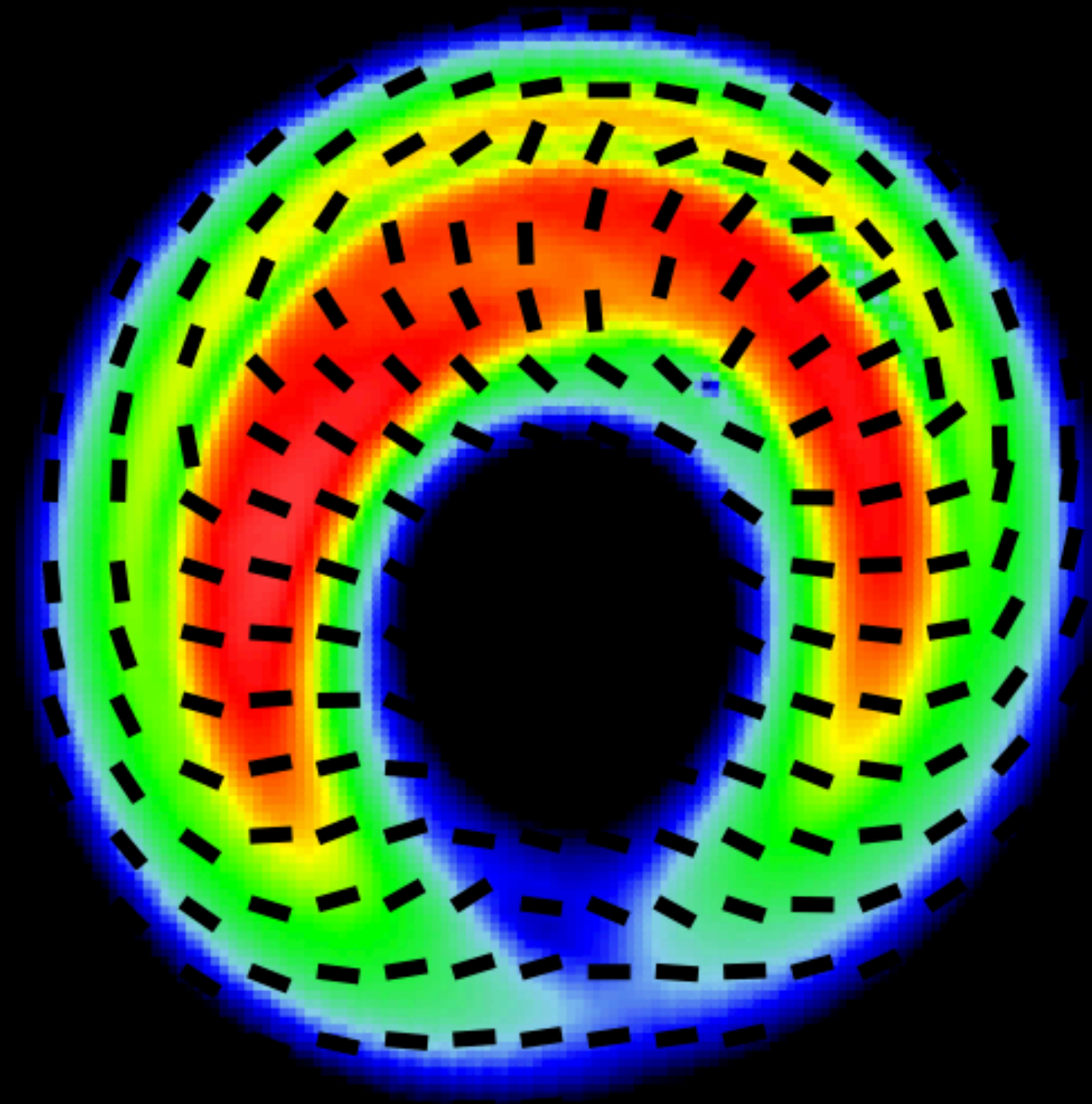
Kataoka et al. 2015

Akimasa Kataoka (NAOJ)





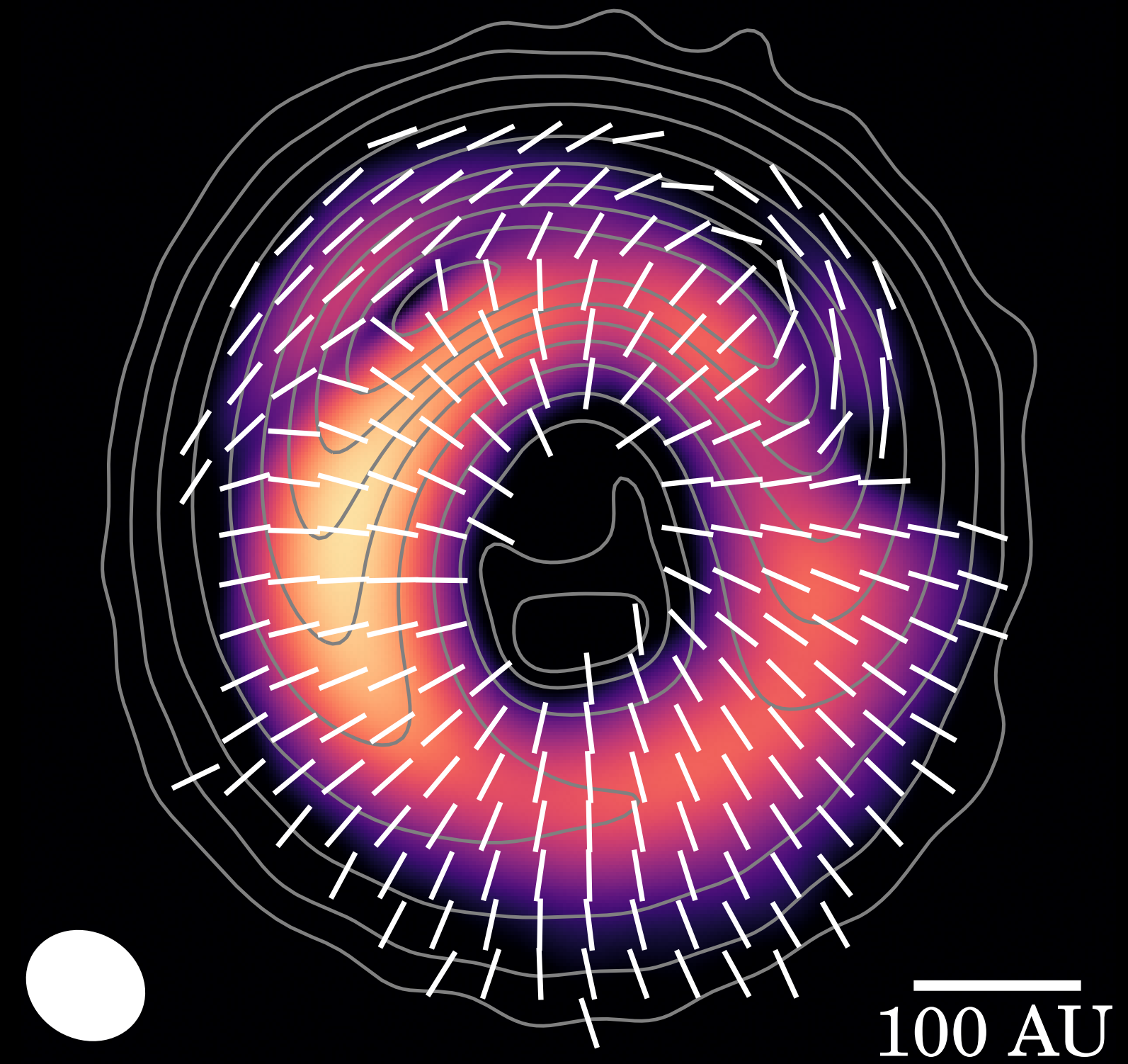
## 散乱偏光の理論予測



Cycle 3 観測提案書 (PI:Kataoka)

cf.) Kataoka et al. 2015

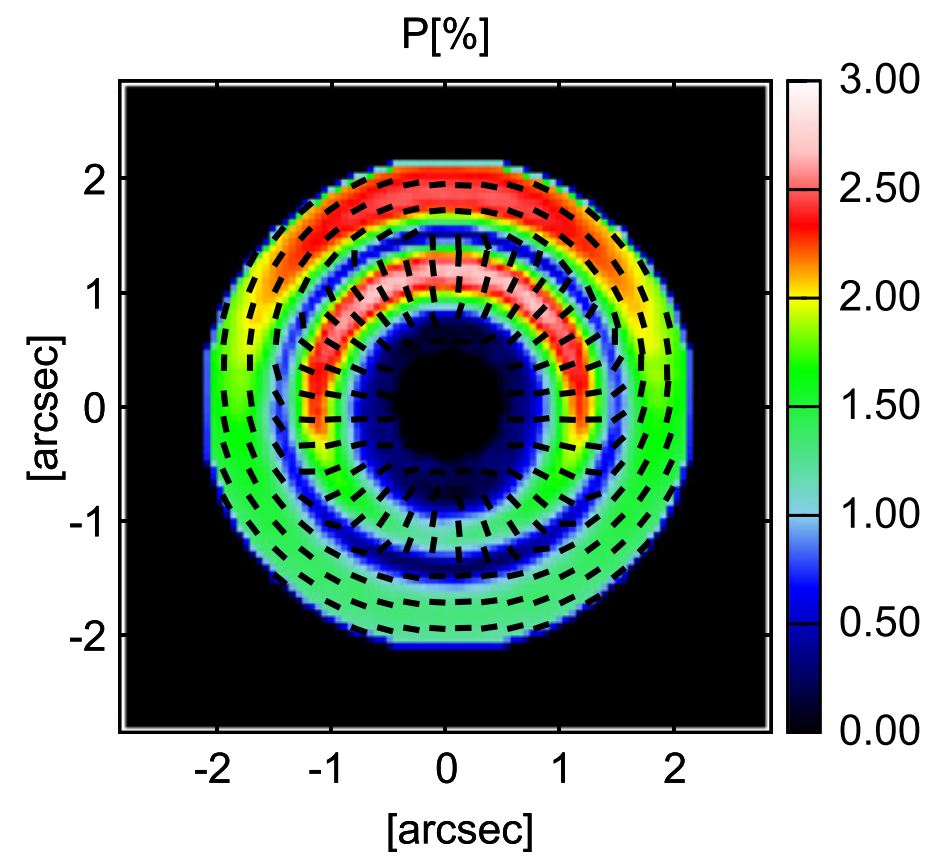
## ALMA 観測



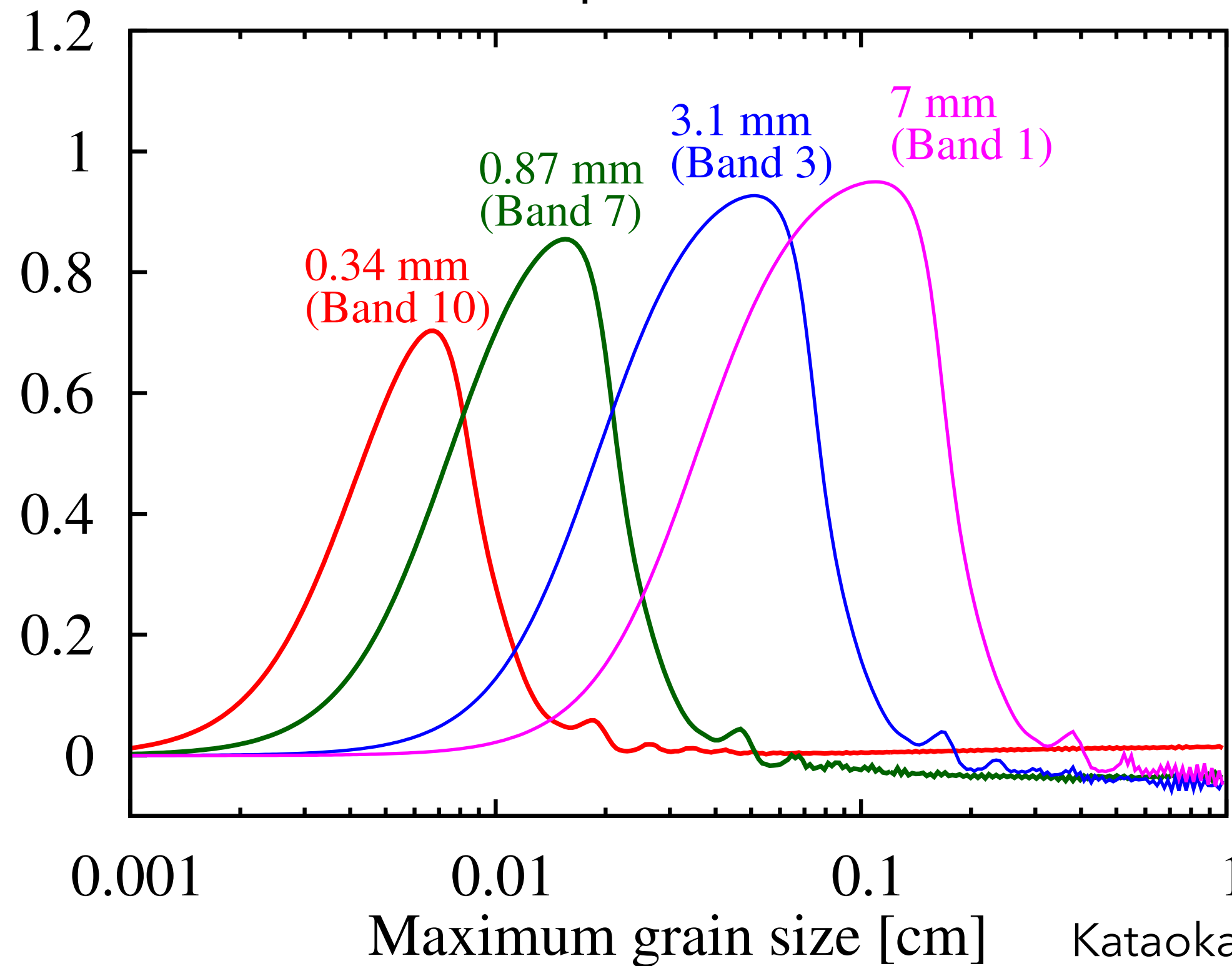
Kataoka, et al. 2016b



# ミリ波自己散乱から何がわかるのか？



Prediction of polarization fraction

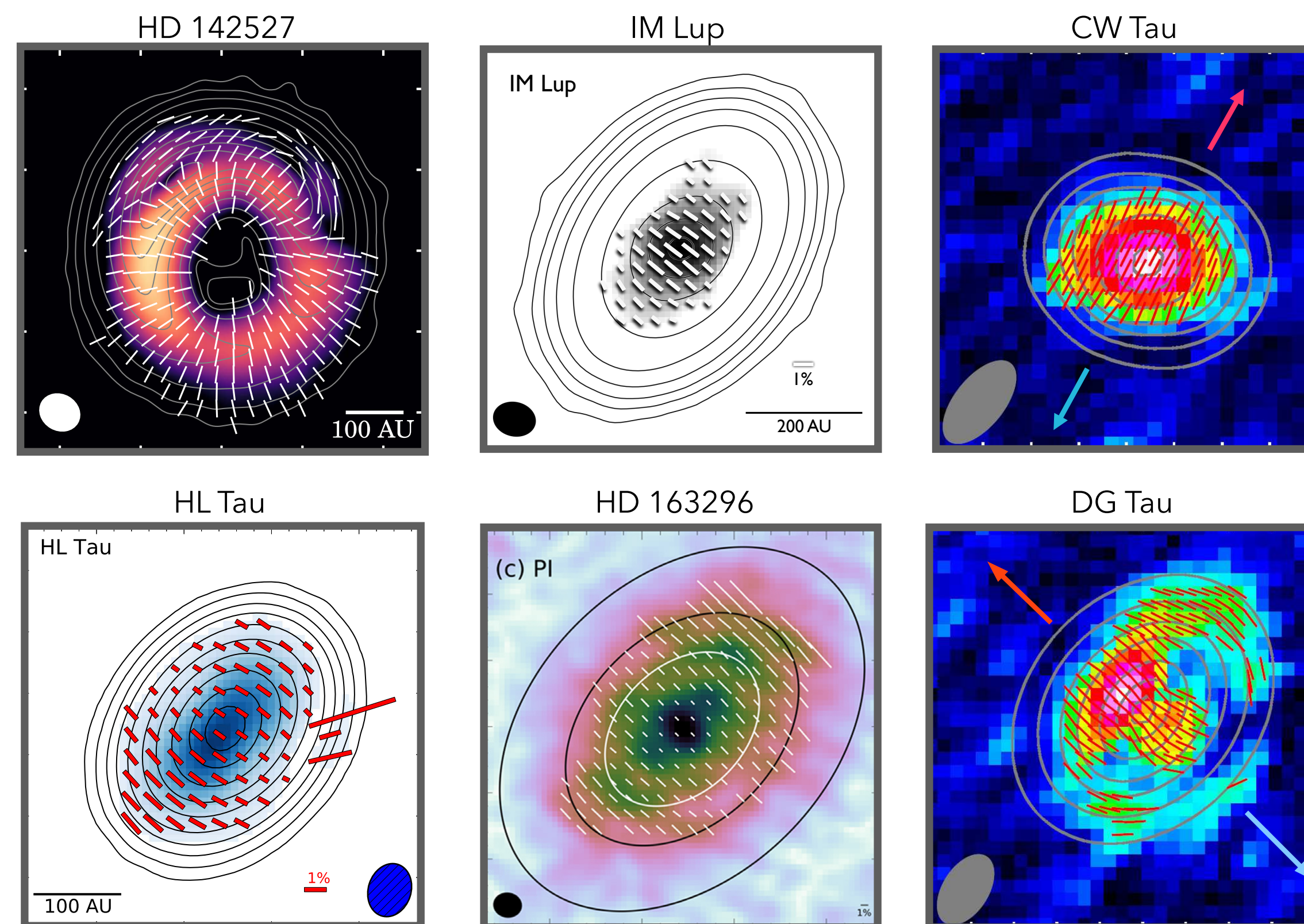
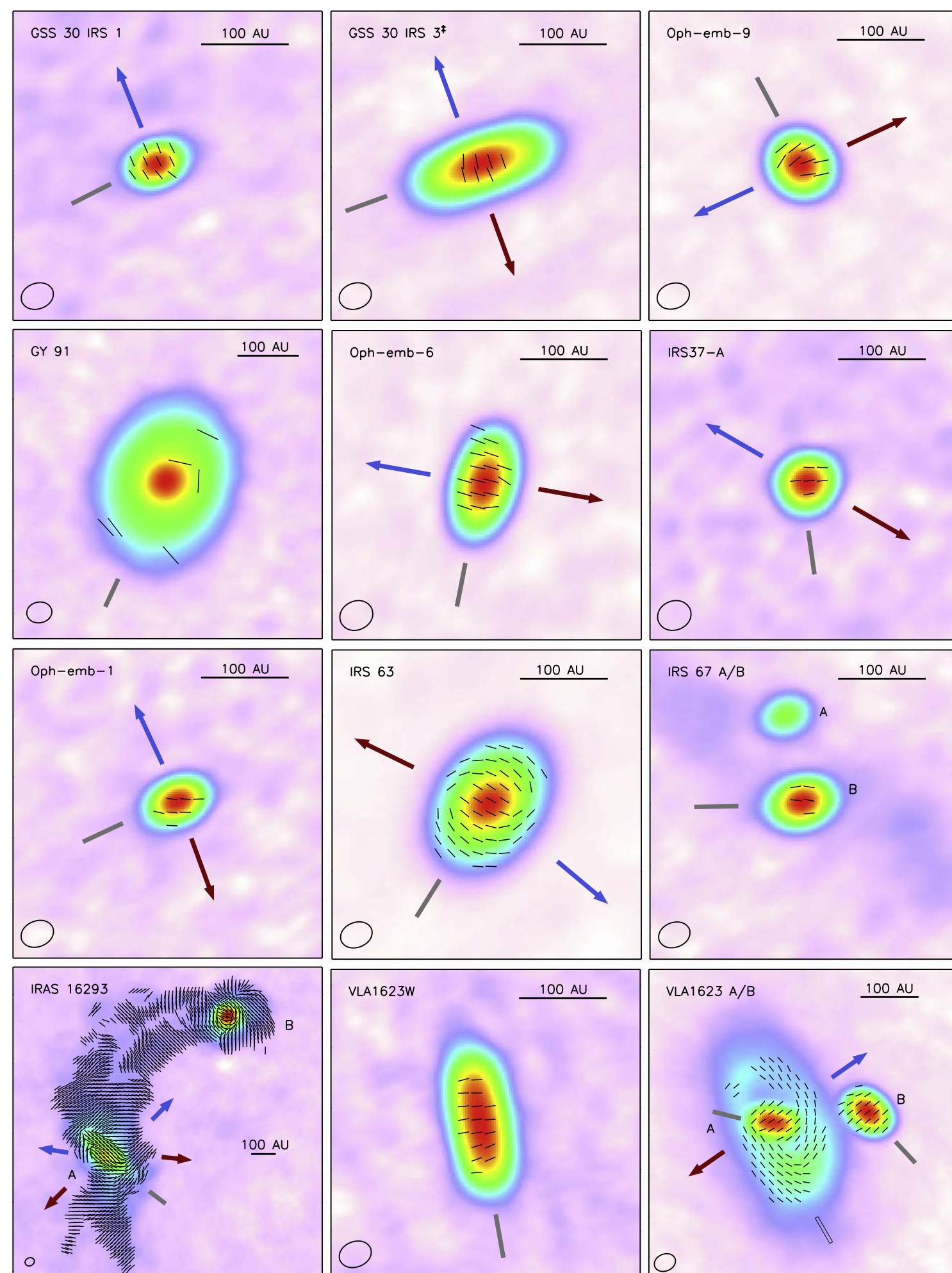


- ダストサイズが波長とコンパラな時しか偏光は受からない
- →偏光が受かったらダストサイズが測定できる。

$$(\text{grain size}) \sim \lambda/2\pi$$



# え? ~100 μm?



多くの円盤が、波長0.9 mmで自己散乱偏光を示す  
→ 多くの円盤のダストサイズは**100μm?**

Kataoka et al. 2016, Hull et al. 2018, Bacciotti et al. 2018, Dent et al. 2019, Stephens et al. 2017, Kataoka et al. 2017, Ohashi et al. 2018, Sadavoy et al. 2019



# 個人的な経験と着想に至った経緯

- 学部：京大 (2006-2010)
- **野辺山電波観測実習 / すばる実習 / 京大課題演習太陽**
- 修士：京大 (2010-2012, 指導教員：野村英子さん)
- **星形成領域における磁場観測予測研究 (富阪さん・町田正博さん)**

• 博士：総研大/国立天文台 (指導教員：富阪幸治さん)

• ダスト空隙率進化 (田中秀和さん)

• PD：ハイデルベルク大学

• 輻射輸送計算による観測モデリング(Cornelis Dullemond氏)

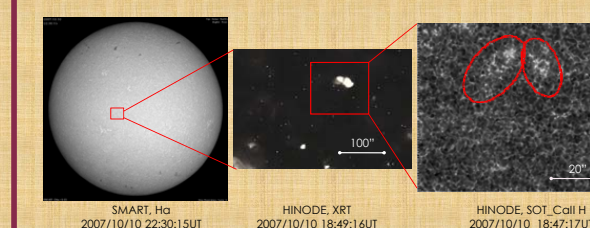
## ひので、飛騨SMARTを用いた X線輝点の時間変化解析

○市川幸平、片岡章雅、篠木新吾、伏見直茂、橋本祐樹、渡邊皓子、北井礼三郎、石井貴子  
京都大学理学部、京都大学大学院理学研究科附属天文台  
kitai@kwasan.kyoto-u.ac.jp

### Abstract

X線輝点 (XBP) とは、X線領域で太陽を見たときに、太陽全体にほぼ一様に点在している輝点である。紫外線領域でも観測することができ、その場合はCoronal Bright Pointとも呼ばれる。大きさは2万kmから3万kmのものが多い (Dere 2008)。今回は2007年10月10日に観測された1つのXBPに注目し、太陽の各層での観測をひので、飛騨SMART望遠鏡を用いて行い、XBPの構造を解析した。その結果、XBPがループ構造を持つこと、光球で磁場のcancellationを起こしながら消滅していく様子を捉えた。

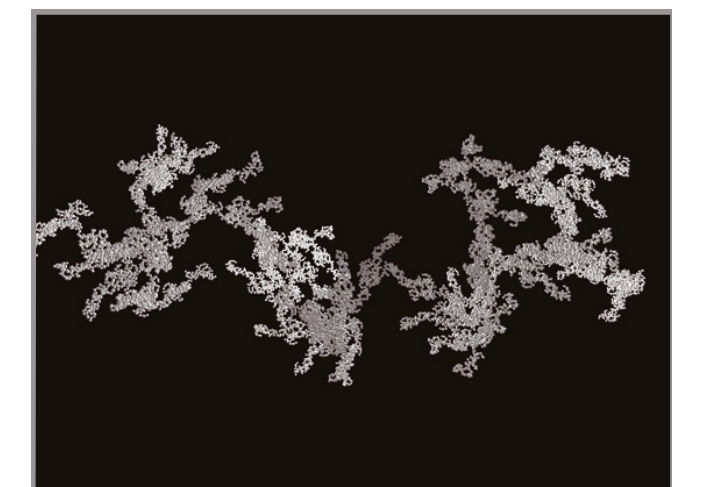
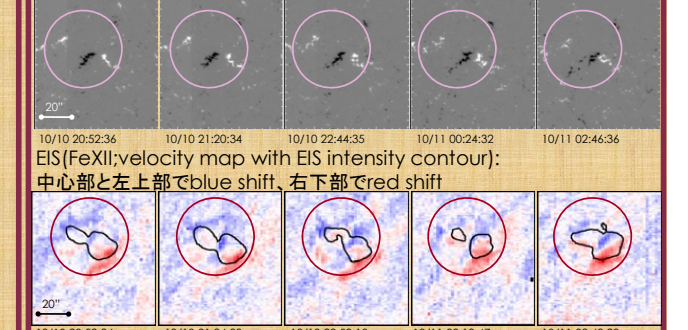
### § 1. 観測対象



2007年10月10日18:00UT頃、(-170", -35") にあった1点のXBPを観測した。この輝点の発生期間は10月8日15:00UT頃から11日18:30UT頃まで。今回の解析期間は、そのX線強度が高く活動的な10日18:00UT頃から11日6:00UT頃までである。

### § 3. 各波長での結果

SOT[Na filter; Stokes V: 極性は白が正、黒が負] 磁場のcancellation



Kataoka, Tanaka, Okuzumi et al, 2013

# 野辺山観測実習

- 天文との出会い。学部2年生で参加。
- 星形成領域の単一鏡電波観測→面白かったので天文学に来た
- ちなみに守屋さんも同じ年に参加
- 当時院生の方（樋口さんと島尻さん）に電波天文について教えてもらう
- 輝線で見ると物理状態がよくわかること・単一鏡で見ると結構大まかな構造しかわからないことは理解した。
- 別件ですが直後のすばる実習では今西さん・小宮山さんにお世話になりました。中島さんも参加者の1人

## 電波天文観測実習（学部学生向け）



<https://www.nro.nao.ac.jp/~nro45mrt/html/misc/45school.html>

多分僕です

## DR21とDR21(OH)の 星形成活動の比較

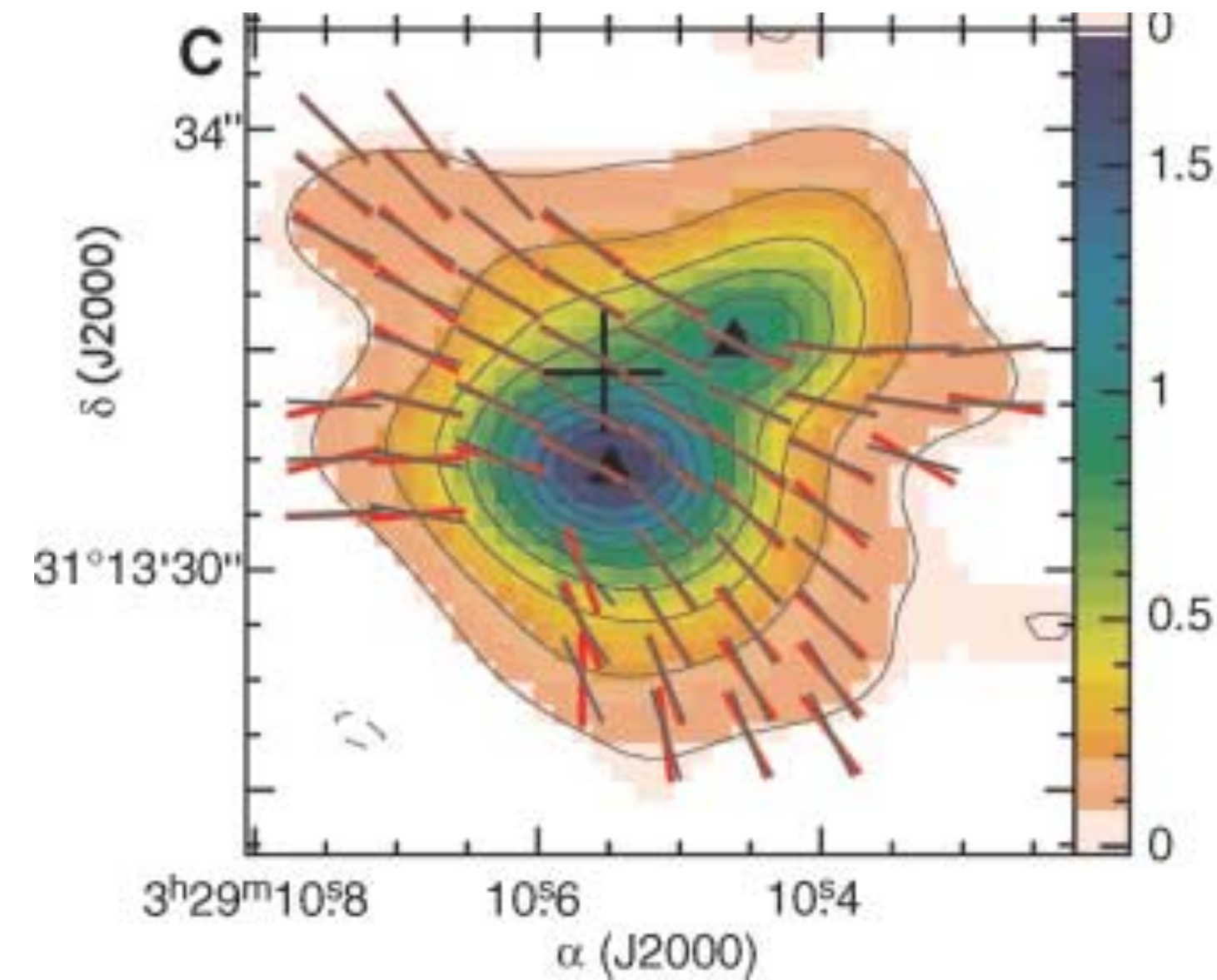
植田 準子(東北大学3年)  
小山 貴裕(静岡大学4年)  
片岡 章雅(京都大学2年)  
渡邊 吉康(東京大学3年)



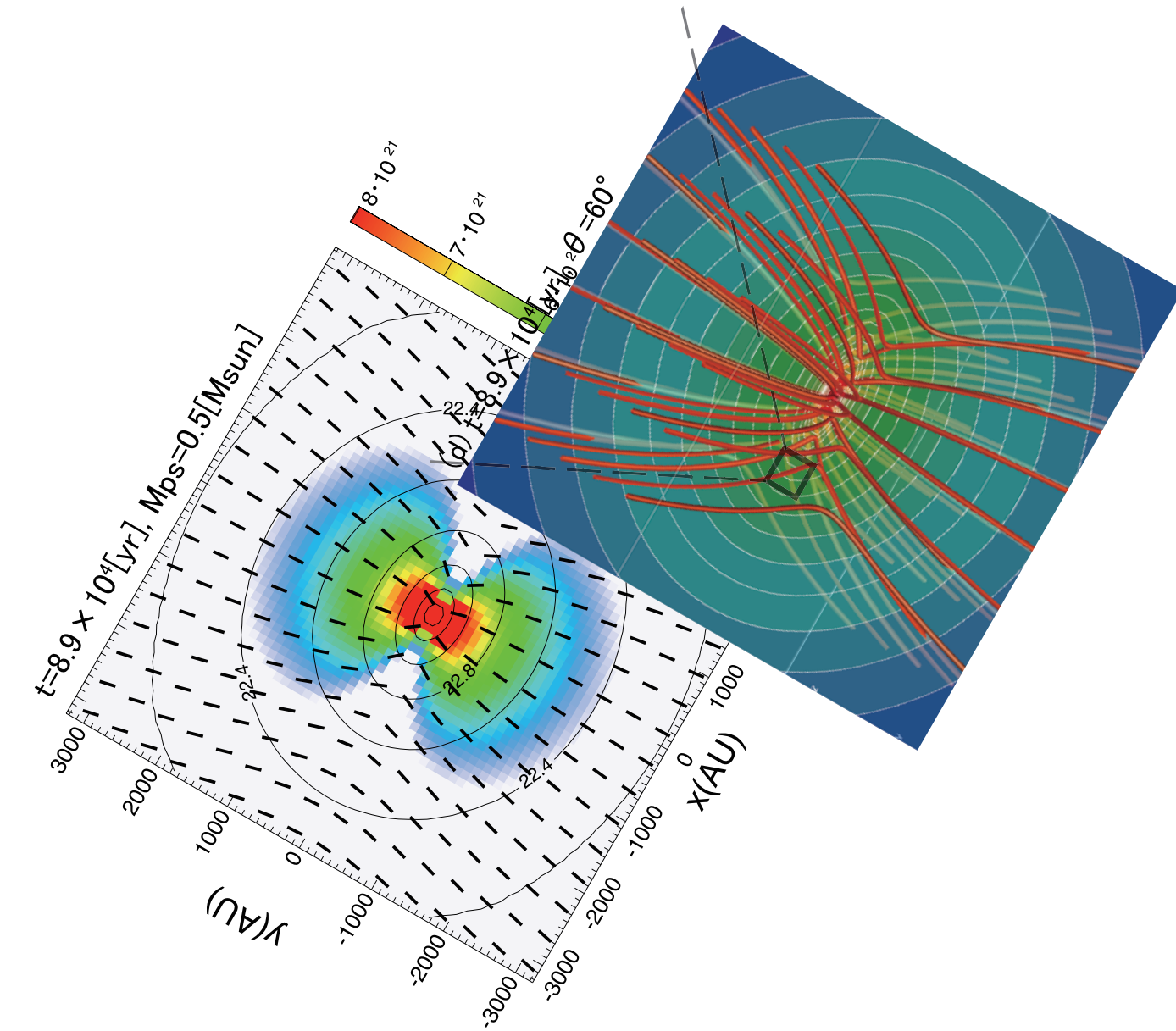
# 星形成と磁場と偏光

- 学部4年生のときに参加した広島のアstronomical学会にて、町田正博さんに「やってみない？」と言われて始まる。
- 課題：町田さんの3次元磁気流体シミュレーションを、富阪さんの輻射輸送計算コードで擬似観測し、どんな偏光が見えるはずかを計算した

Observations



Theory



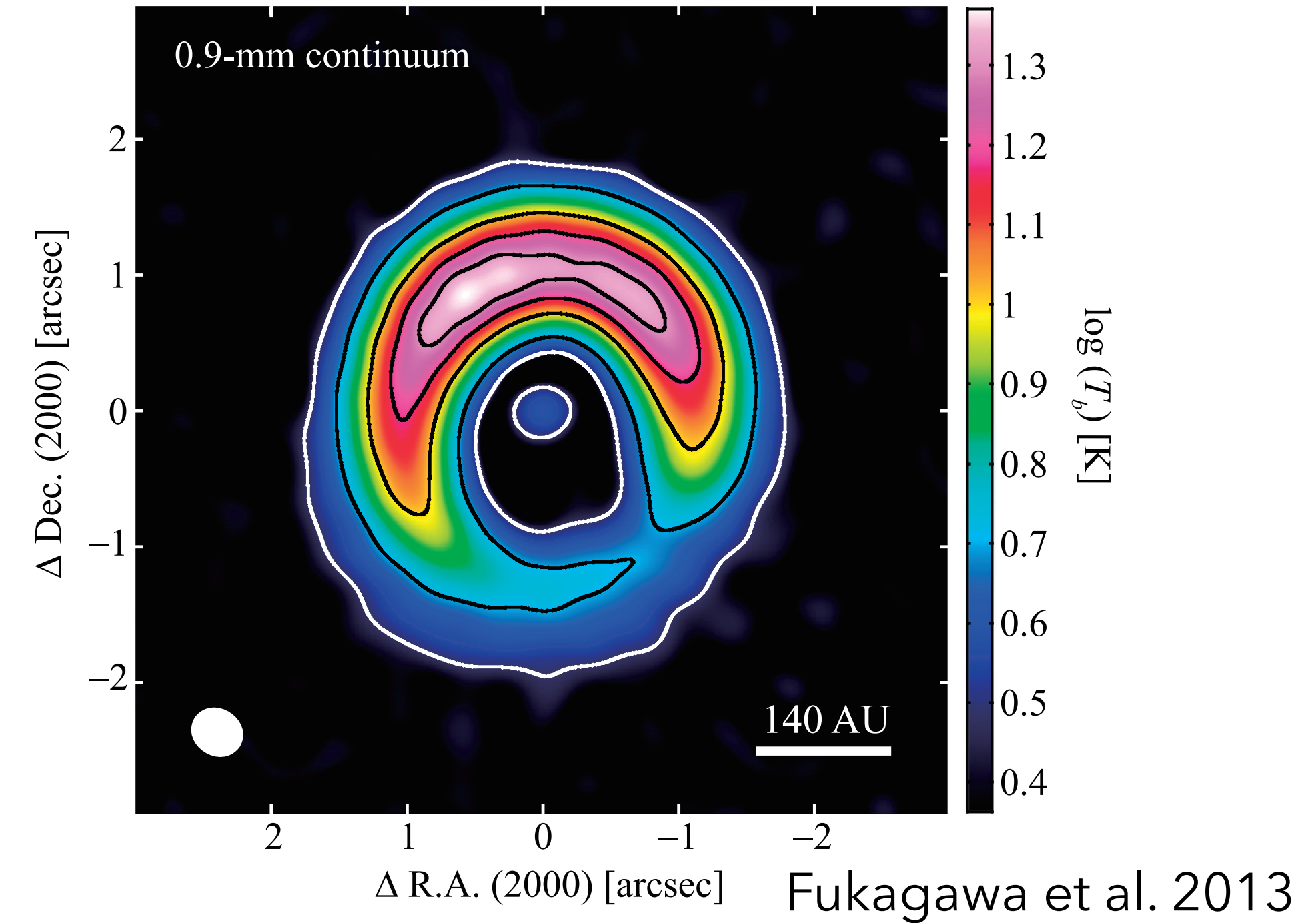
Kataoka, Tomisaka, Machida, 2012

町田正博さん (当時国立天文台)

富阪幸治さん (当時国立天文台)

# ALMA観測研究への参加

- 2013年(D1)頃、深川さん・武藤さんから「CS(7-6)のモデリングをしてくれ」と依頼があった。
- 「観測屋」と「理論屋」が別れている中で、その間をつなぐモデリングができるようになれば強いだろうと思って二つ返事で参加。
- その後議論の中で「ダスト散乱で偏光が見えないか？」となった。芝井・武藤両氏からのアイディア。
- 結局CSのモデリングは全然やらずに偏光の話をすすめることに...(すいません)



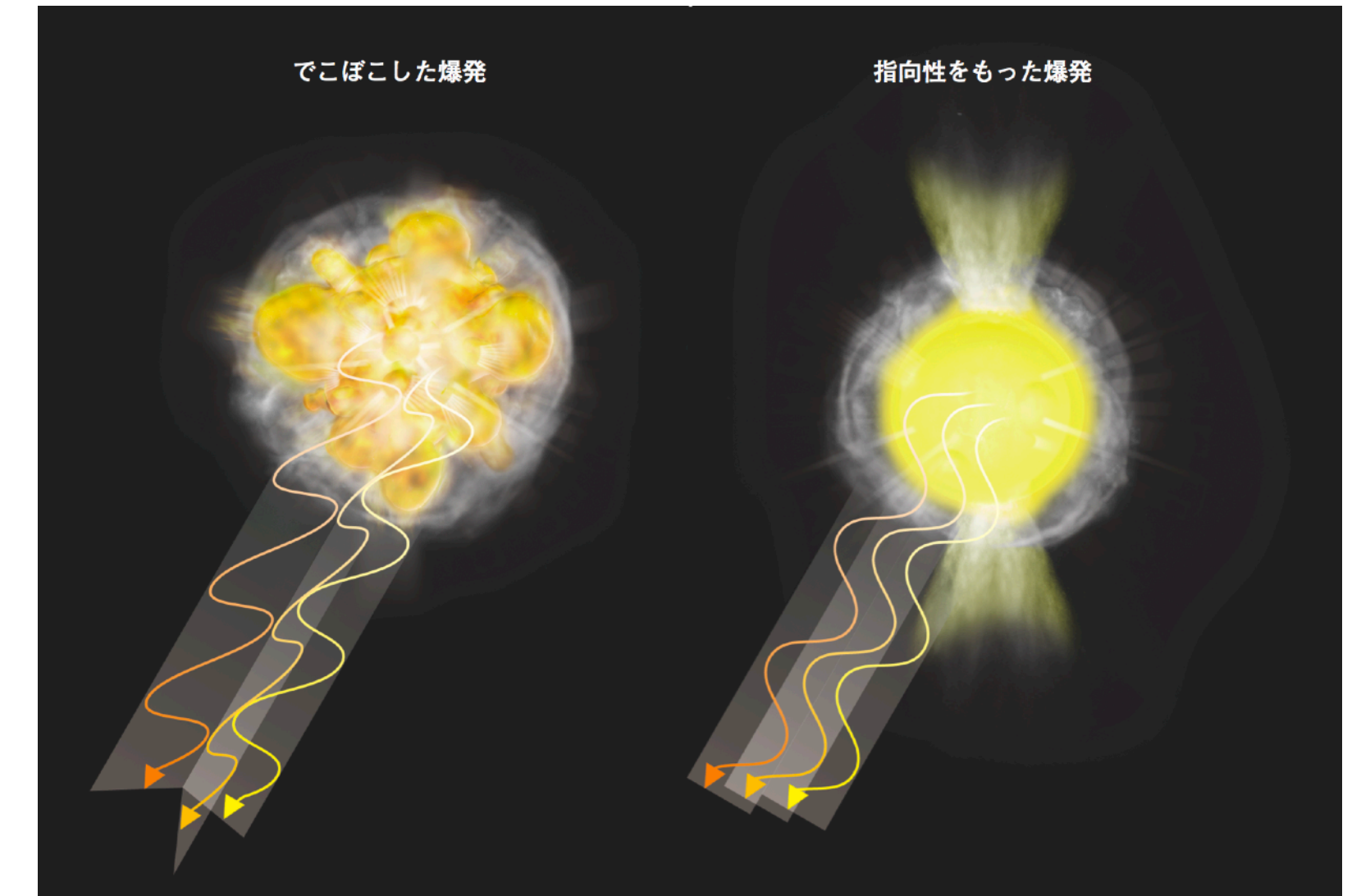
深川さん(当時阪大) 武藤さん(工学院) 芝井さん(当時阪大)



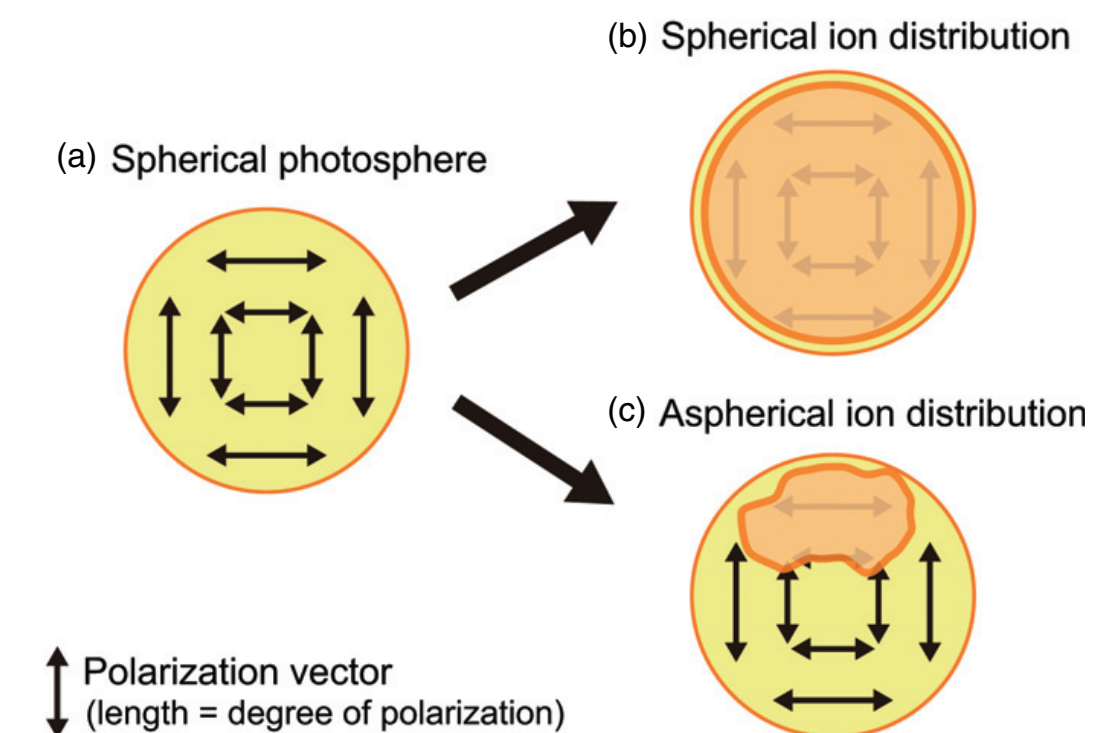
# 超新星爆発における偏光

- 2012-2014年博士課程、国立天文台理論研究部
- 同じ部屋に田中雅臣さん（当時天文台助教）
- **輻射場の異方性と偏光について田中さんに大変よく議論してもらった。**
- 当時、キロノバのオパシティを計算していて忙しかったはず...
- CMBのE-mode偏光も似たような物理

田中雅臣氏ら、すばる望遠鏡のプレスリリース(2012年)



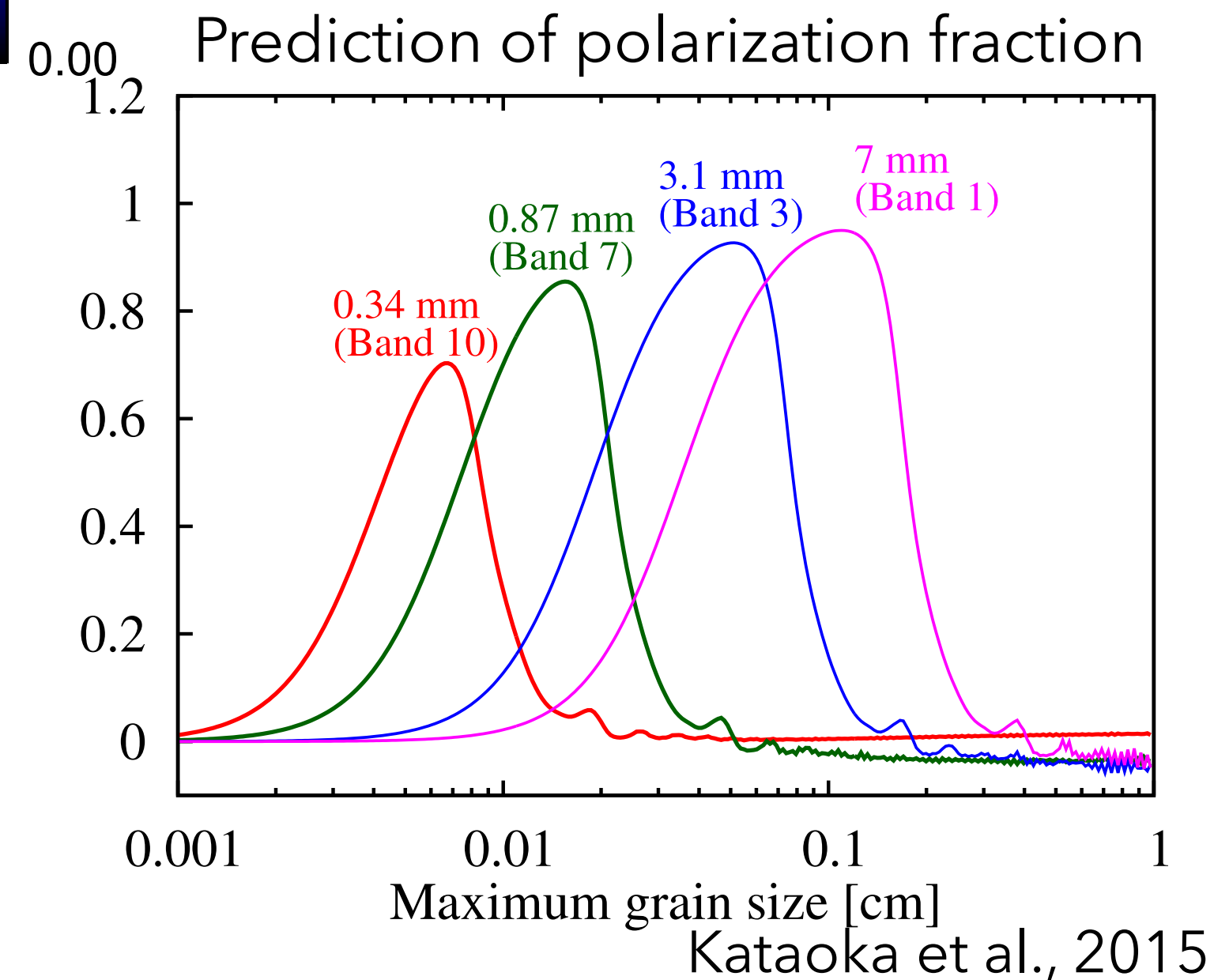
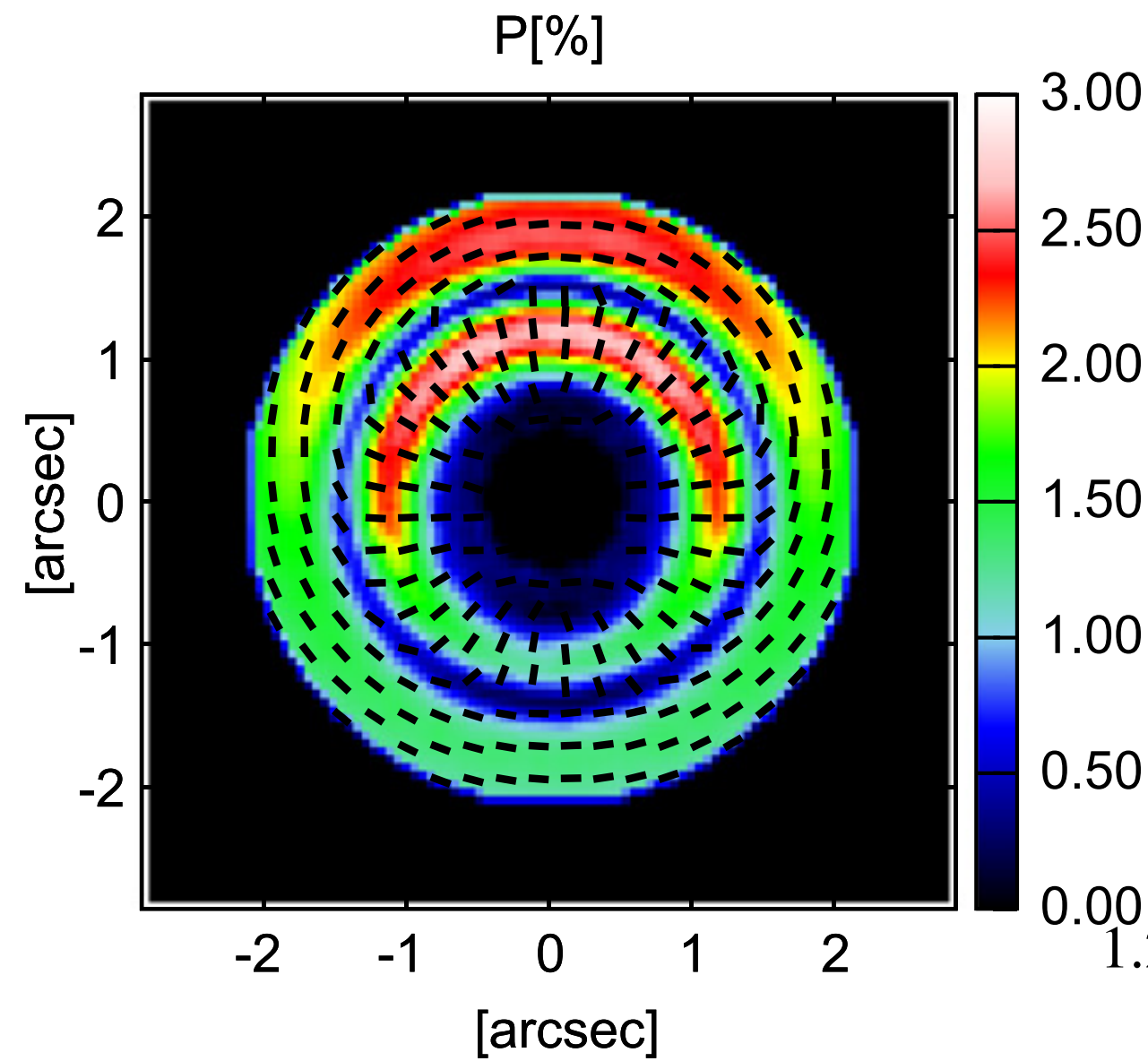
<https://subarutelescope.org/jp/results/2012/08/02/952.html>



Tanaka et al. 2012

田中雅臣さん

# 振り返って見ると...

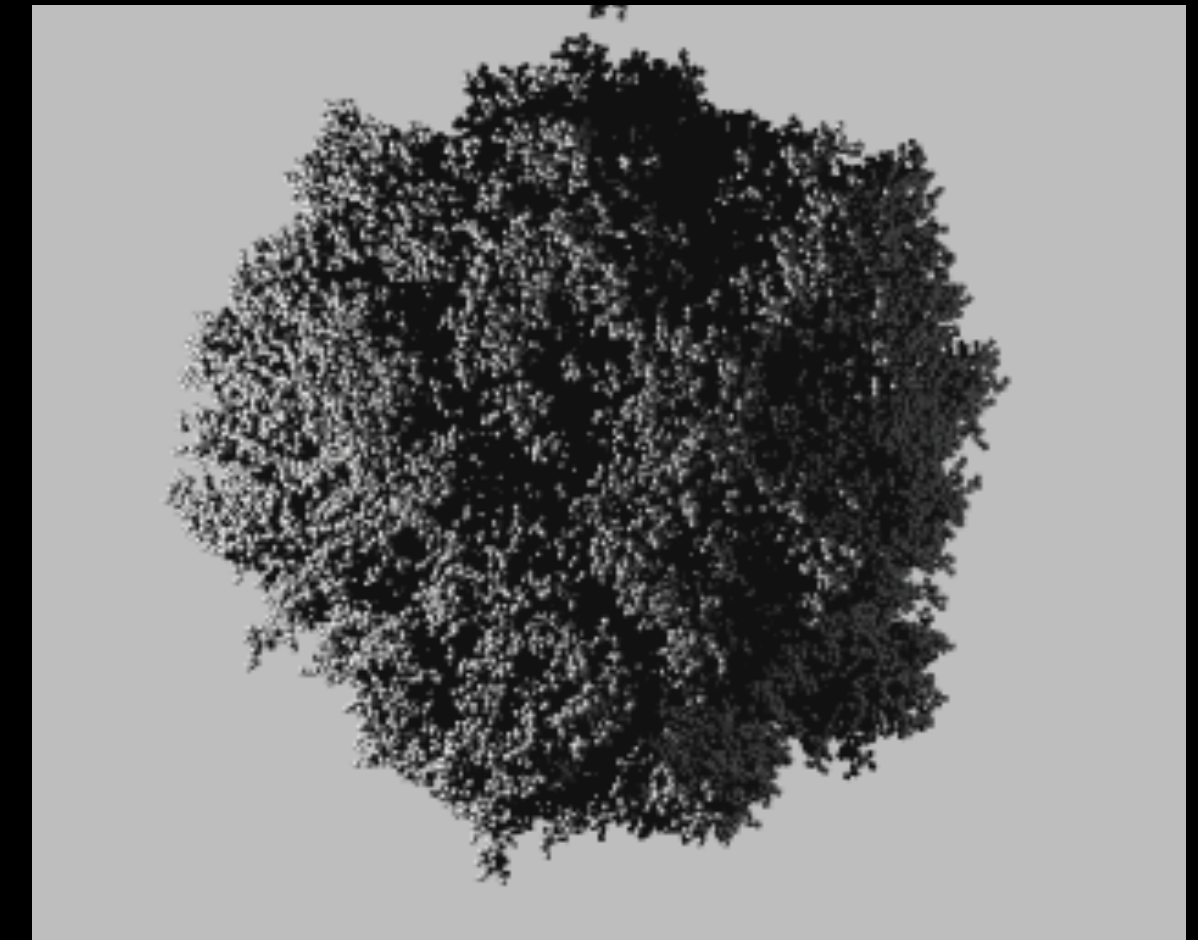
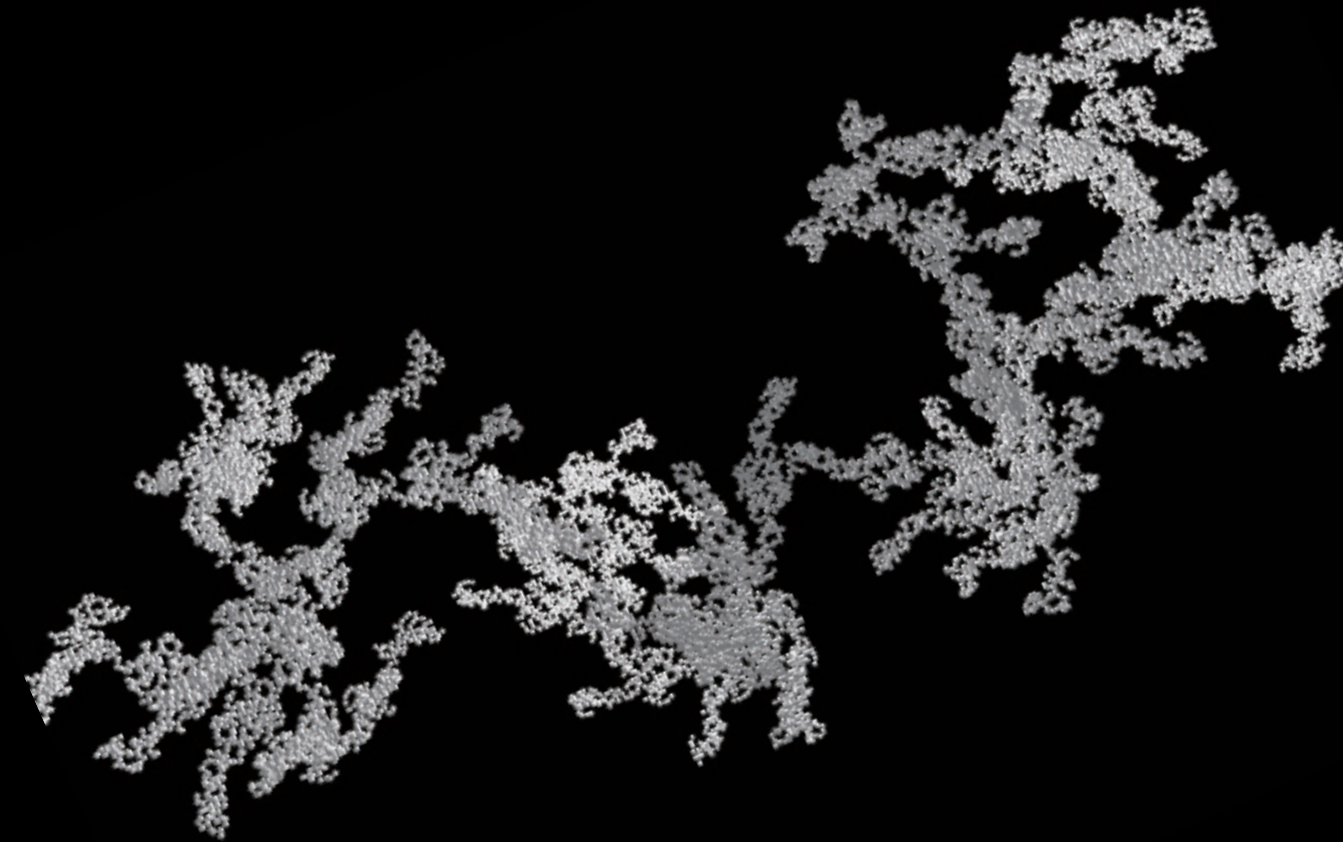


**(grain size)  $\sim \lambda/2\pi$**

- 理論研究中心だったが、たまたま観測研究のモデリングに誘ってもらった
- たまたま観測の（ごく初歩の）知識と興味はあった
- 偶然偏光モデリングの知識があった
- 研究のアイディアはもとは他の人から
- メカニズム自体も他の天文分野で枯れた物理



# 空隙率もわかりそう



cf. Kataoka et al. 2013ab, Wada et al. 2009

ギュッと詰まっではいなさそう...

だけどそんなにスカスカじゃなさそう...

**まあまあ詰まっている！**

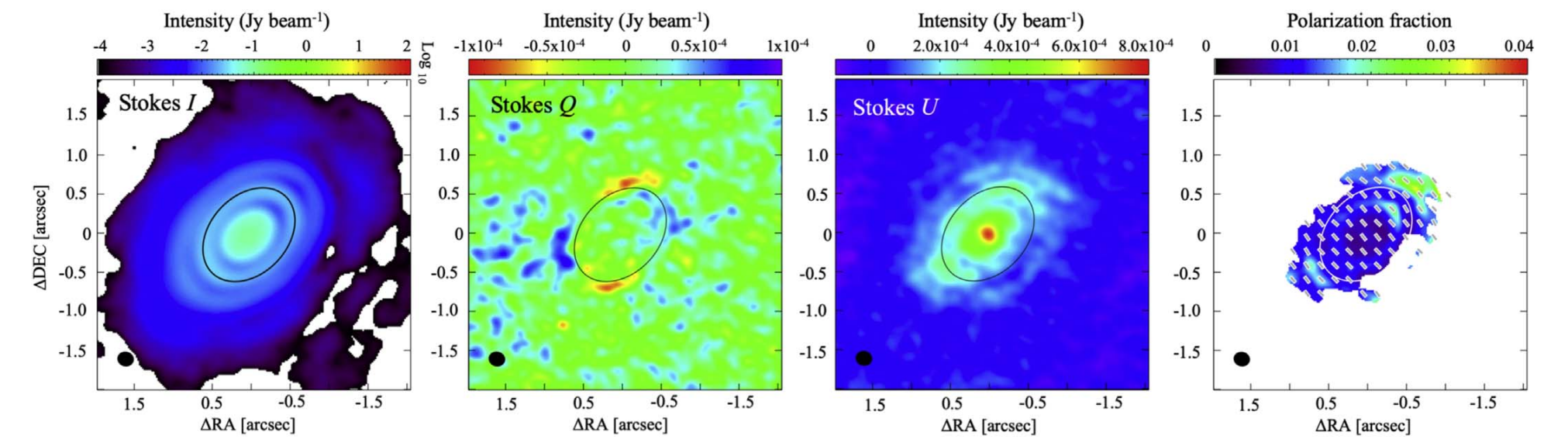
**でも結構小さい！！(100ミクロン)**

cf. Tazaki et al. 2019, Brunngräber and Wolf 2021...

# 今後

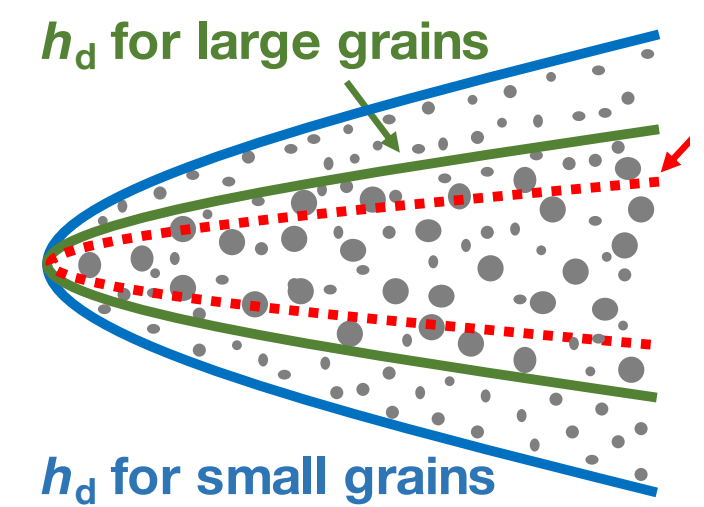
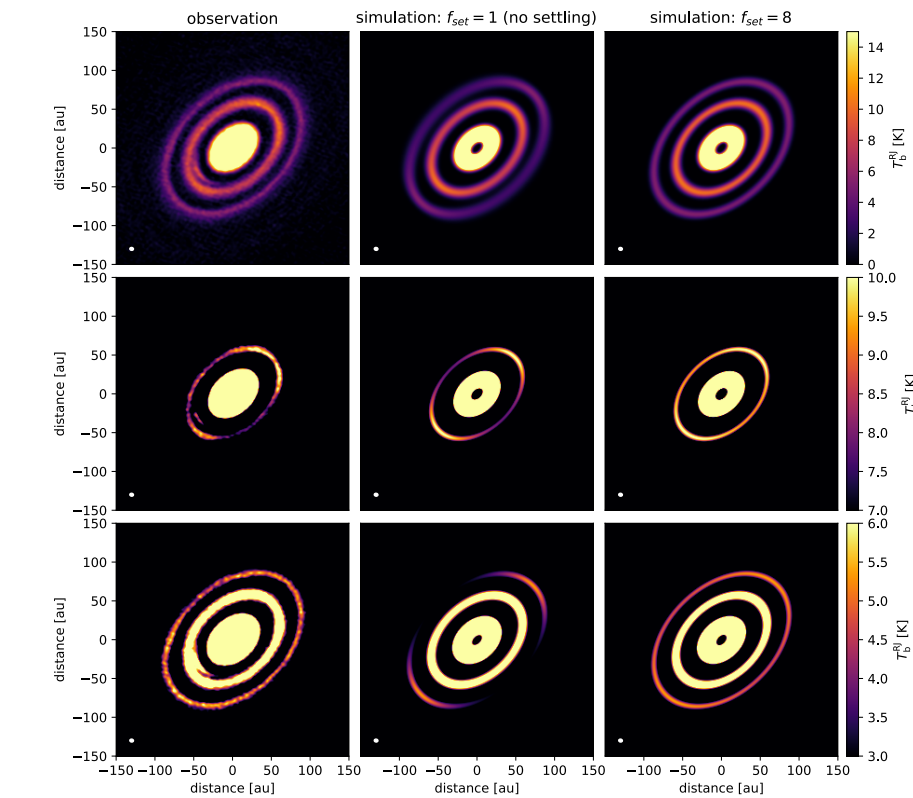
## • 偏光天体のモデリング

- 偏光強度はリング・ギャップで違いがある (Ohashi and Kataoka 2019)
- ダスト沈殿の影響 (Ueda, Kataoka, et al. 2021)
- ダスト空隙率の影響 (Zhang, Ueda, Kataoka, Zhu, in prep.)



## • 別手法によるダストサイズ測定

- 散乱による連続波減光 (Ueda, Kataoka, Tsukagoshi 2020)
- リング天体のダスト高さ測定 (Doi and Kataoka 2021)



## • 偏光の整列成分の解析

- ダスト針状の形をしている? (Mori and Kataoka 2021)
- 磁場形状はトロイダルだろう (Ohashi, Kataoka et al. 2018)

大橋さん

土井さん

植田さん

Zhangさん



# おわりに

- 論文にはならない多くの人のご協力でこの研究が成り立っています。ありがとうございました。
- 野辺山電波観測実習（特にTAだった樋口さん）
- すばる実習（今西さん・小宮山さん）
- 台湾でのセミナーをホストしてくれたShih-Pin Lai氏
- ALMAの議論に入れてくれた深川さん・武藤さん・芝井さん
- 同じ部屋で学生の議論に散々付き合ってくれた田中雅臣さん
- 修士指導教員の野村英子さん
- 博士指導教員の富阪幸治さん

- **振り返ってみて重要だったこと**
- 日本の天文学の裾野の広さ
- 学部生/分野外の人向けのプログラム
- 近いグループの人からの耳学問