

パルサーからの シンクロトロン放射の 偏光モデル

佐伯 聖真 (広島大, D1)

木坂 将大(広島大), 高田 順平(華中科技大)

2025/05/20

～中性子星の観測と理論～研究活性化ワークショップ2025

理化学研究所 和光キャンパス

パルサーの放射領域

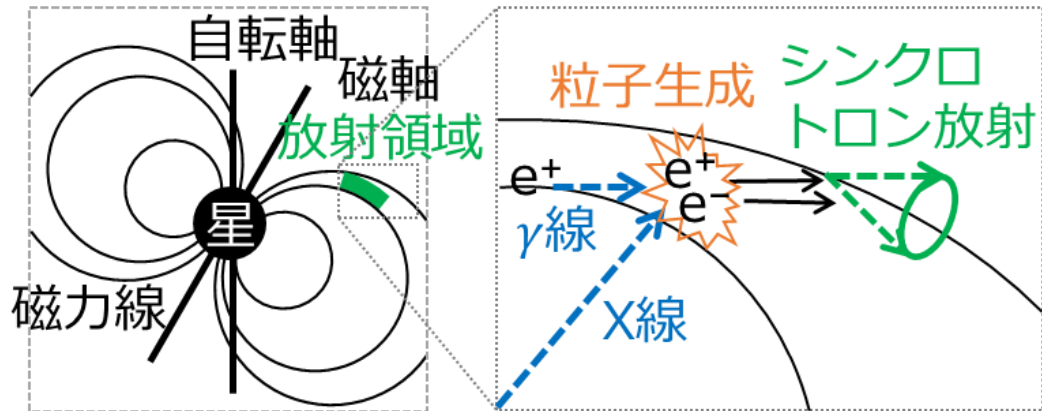
星の回転エネルギー

↓ 単極誘導

電磁場エネルギー

↓ 粒子加速, 粒子生成

粒子や電磁波の
エネルギー

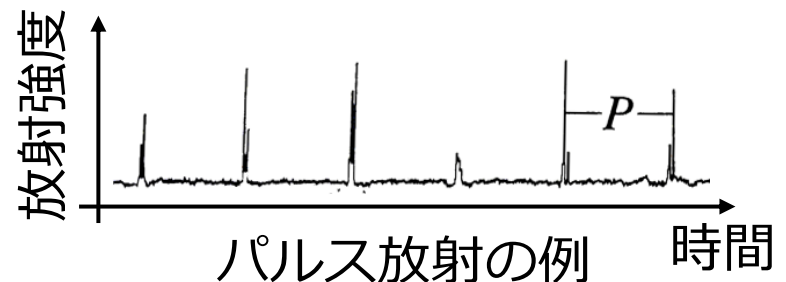


粒子加速, 粒子生成に伴う放射

未解決問題

放射領域が分かっていない

パルス波形から
放射領域が分かる

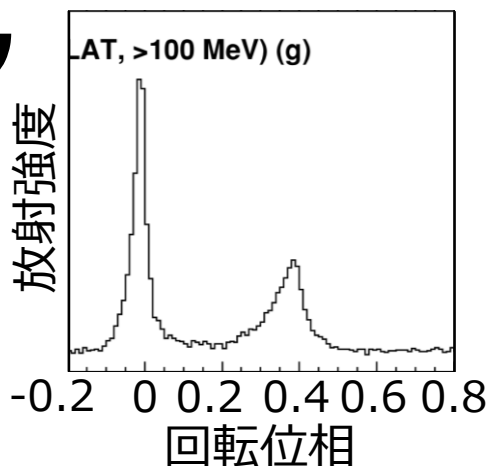


パルス放射の例
Lorimer&Kramer 05
"Handbook of Pulsar Astronomy"

放射領域モデル

観測データ

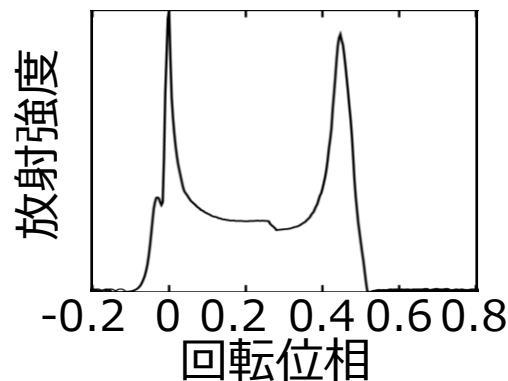
ガンマ線の
パルス波形
(Crab)
Abdo+ 10



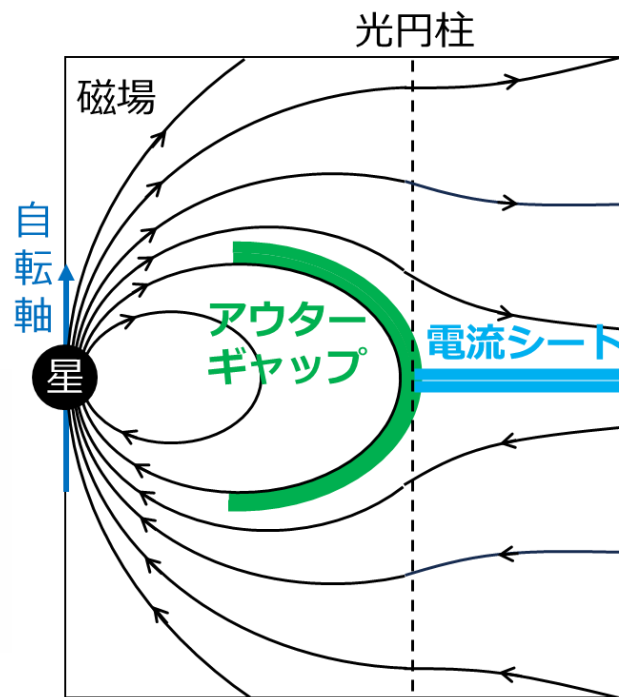
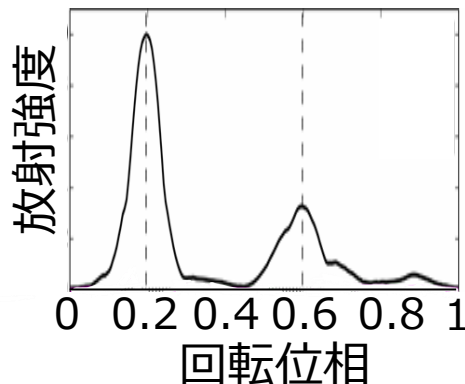
ガンマ線パルス波形は
多くの場合
回転周期ごとにピークが2つ

現象論的モデル

アウターギャップモデル
Takata+ 07



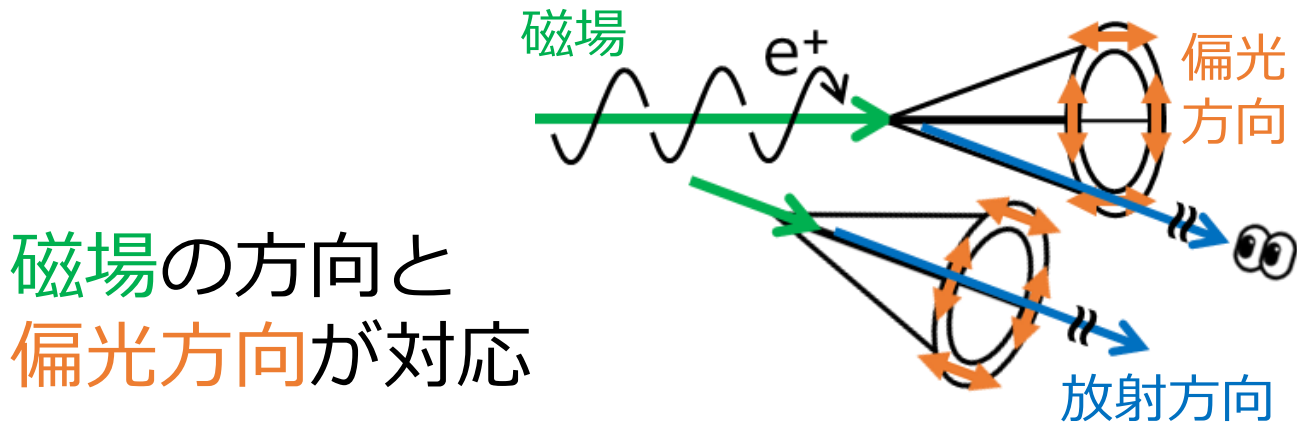
電流シートモデル
Cerutti+ 16



どちらのモデルも観測されたパルス波形の特徴を再現
本研究ではアウターギャップモデルに注目

偏光による放射領域の制限

シンクロトロン放射の場合



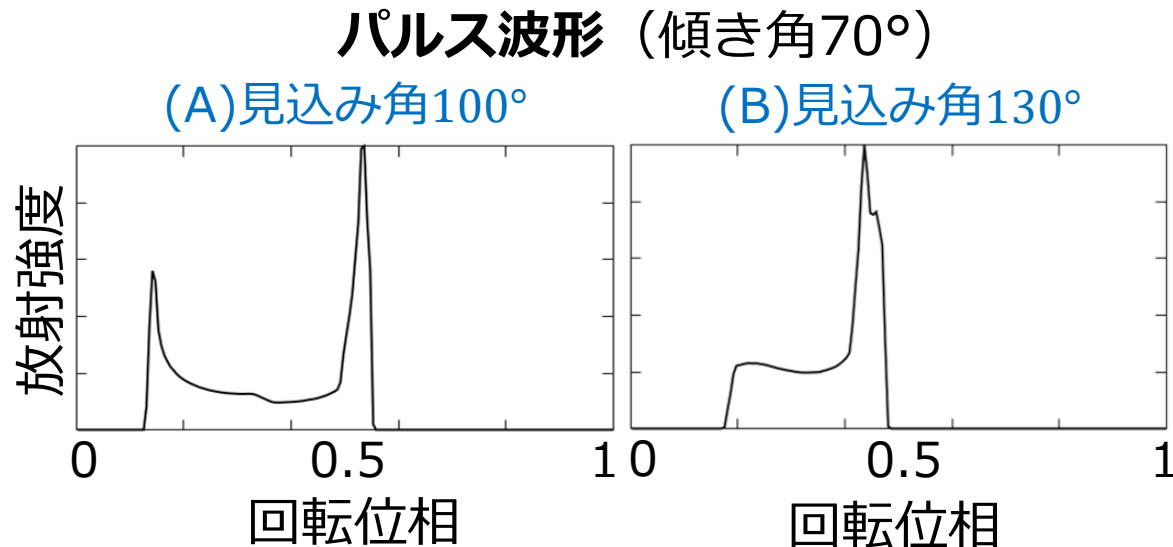
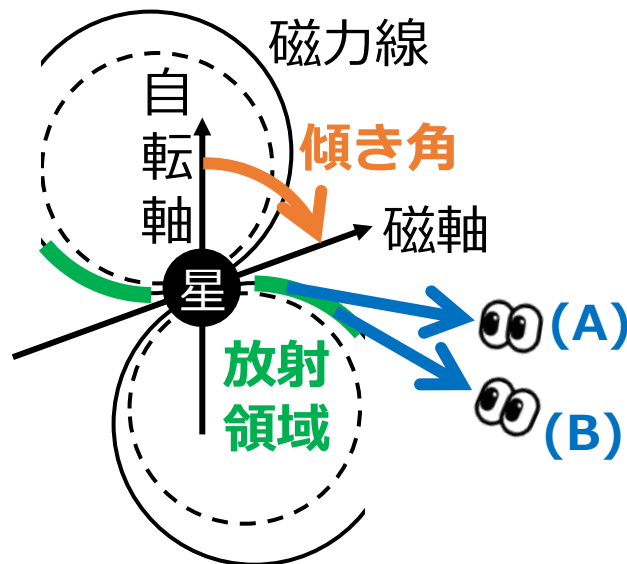
異なる領域(磁場)からの放射の重なり方により
偏光度, 偏光角が決まる

パルサー磁気圏では磁場が揃っている
→ 高い偏光度が期待される

偏光から放射領域の磁場の情報が得られる

複数のパルサーの偏光観測の重要性

パルサーは傾き角や見込み角により見え方が異なる



IXPE衛星によるX線偏光観測が
複数のパルサーで期待



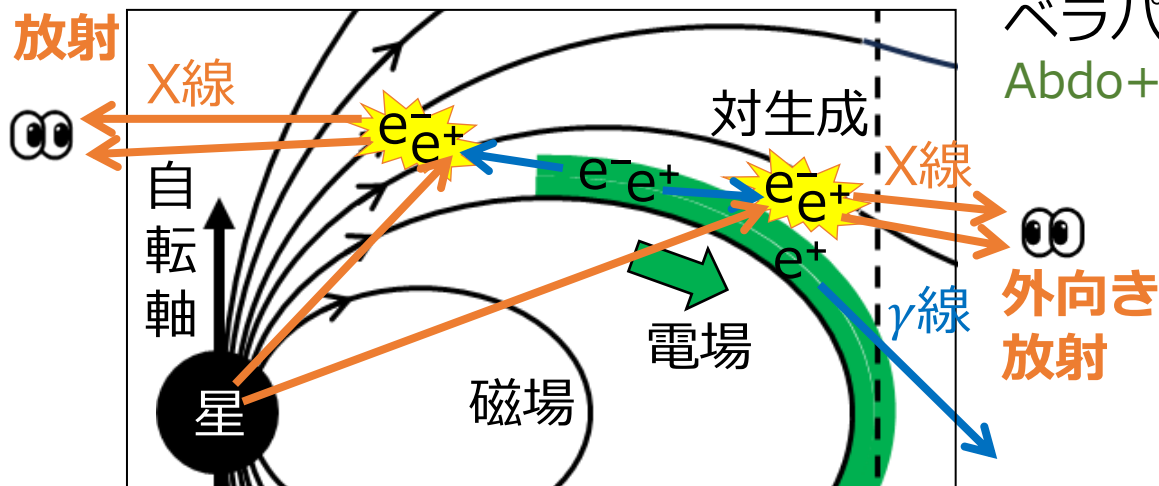
パルス波形による制限に加え、
放射領域の更なる制限につながる



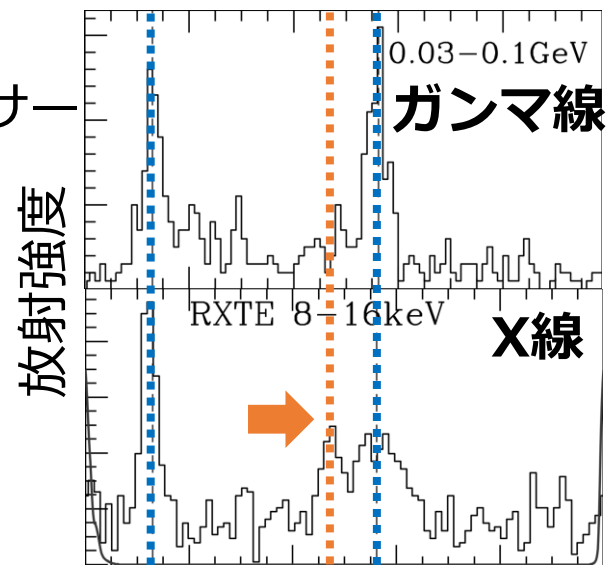
IXPE衛星(2021-)
Credit: NASA

X線の内向き放射の存在と観測的示唆

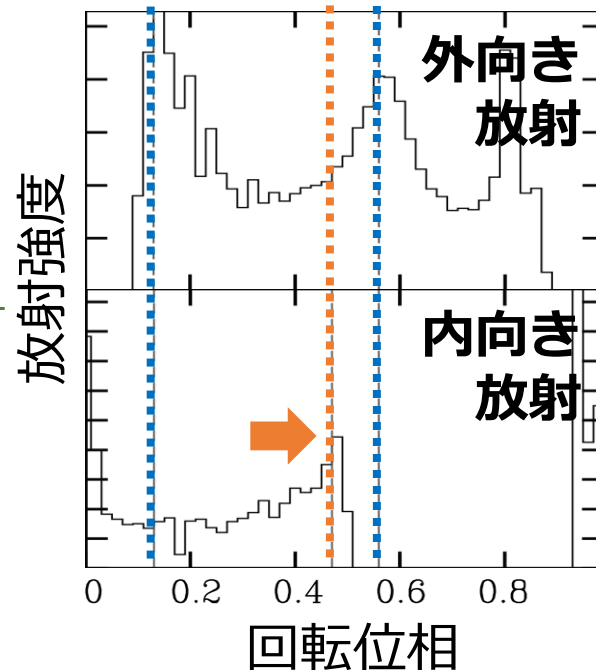
内向き 内向き放射の物理的描像



(観測)
ベラパルサー
Abdo+ 09



(計算)
アウター
ギャップ
Kisaka &
Kojima 11



問題点：
内向き放射が考慮された
偏光の理論モデルが無い

本研究の目的

内向き放射を考慮した偏光を
計算し、影響を明らかにする

計算のモデル

放射強度, 偏光角, 偏光度の回転位相変化を計算

■ 磁場構造

Deutsch 55

回転真空双極子磁場

■ 放射領域

Takata+ 07,

Takata+ 08

アウターギャップ

■ 放射機構

シンクロトロン放射

■ 放射強度分布

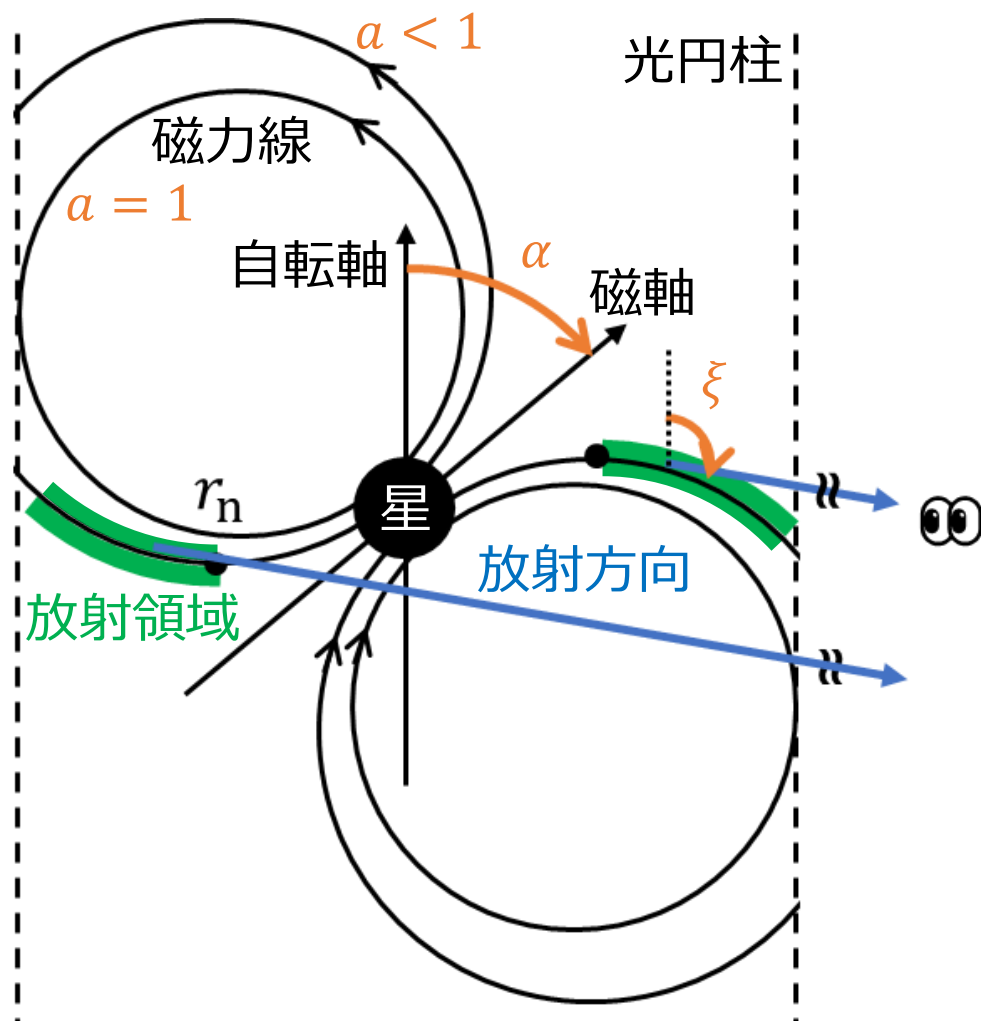
放射領域内で一様

■ パラメータ

傾き角 α ,

見込み角 ξ ,

放射領域の高さ a



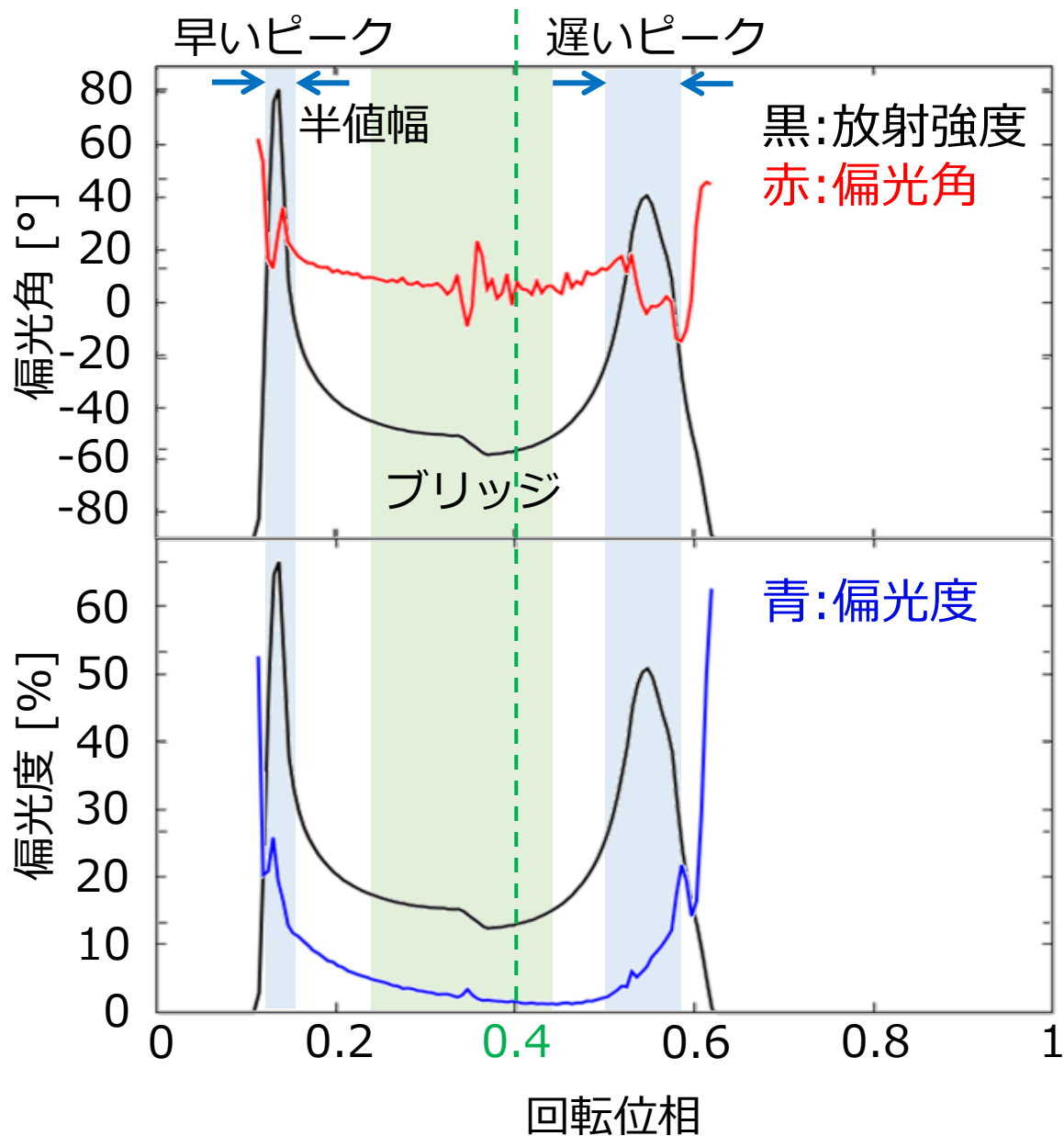
外向き放射の偏光

傾き角 $\alpha = 50^\circ$,
放射領域の高さ $a = 0.95$,
見込み角 $\xi = 100^\circ$

放射強度ピークで
偏光角は変化,
偏光度は増大

ブリッジで
偏光度は低い

Takata+ 07と
傾向一致



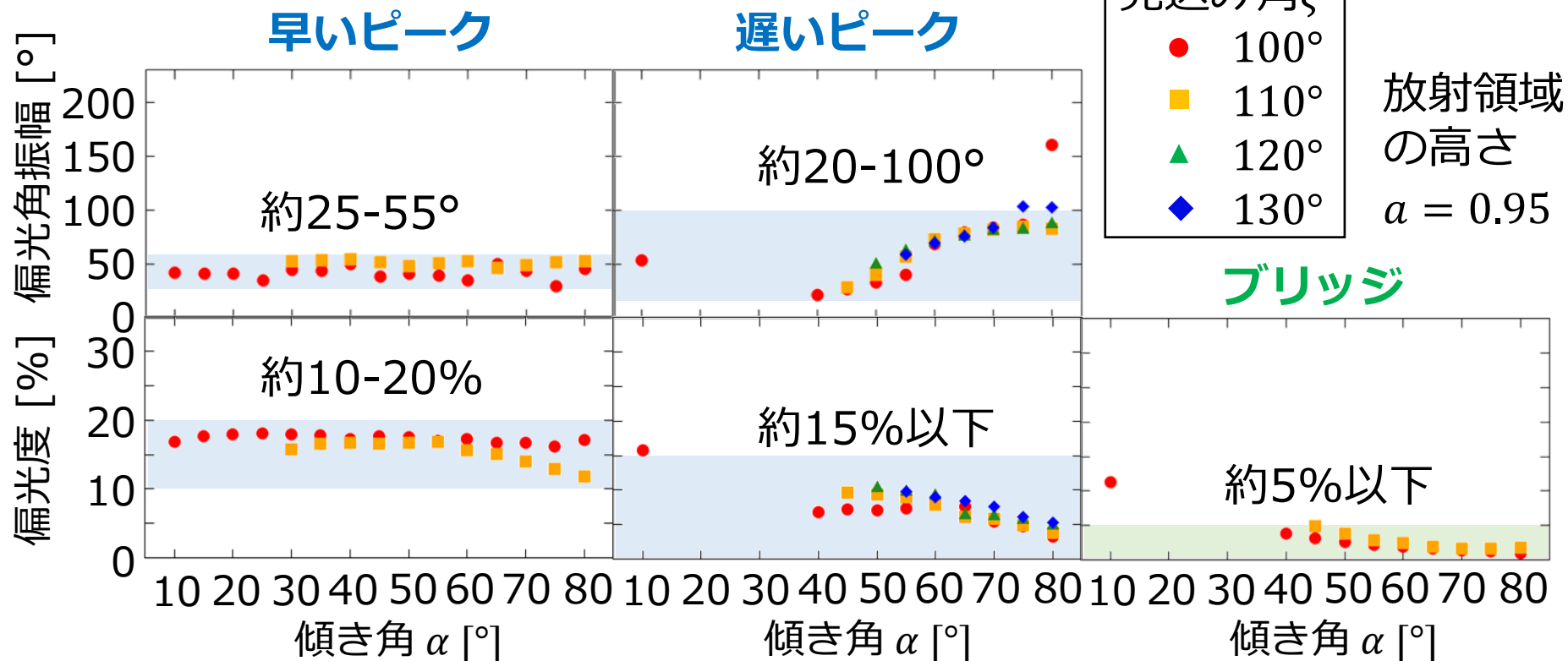
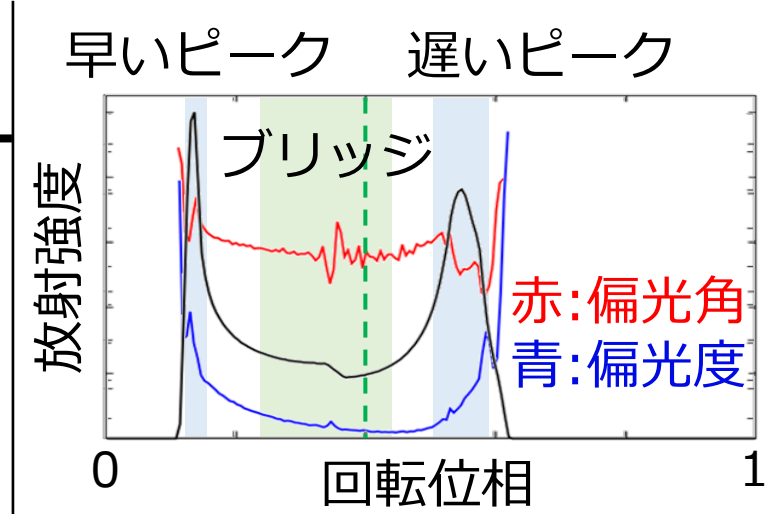
外向き放射の偏光

偏光度

早いP > 遅いP > ブリッジ

偏光角振幅(遅いピーク)

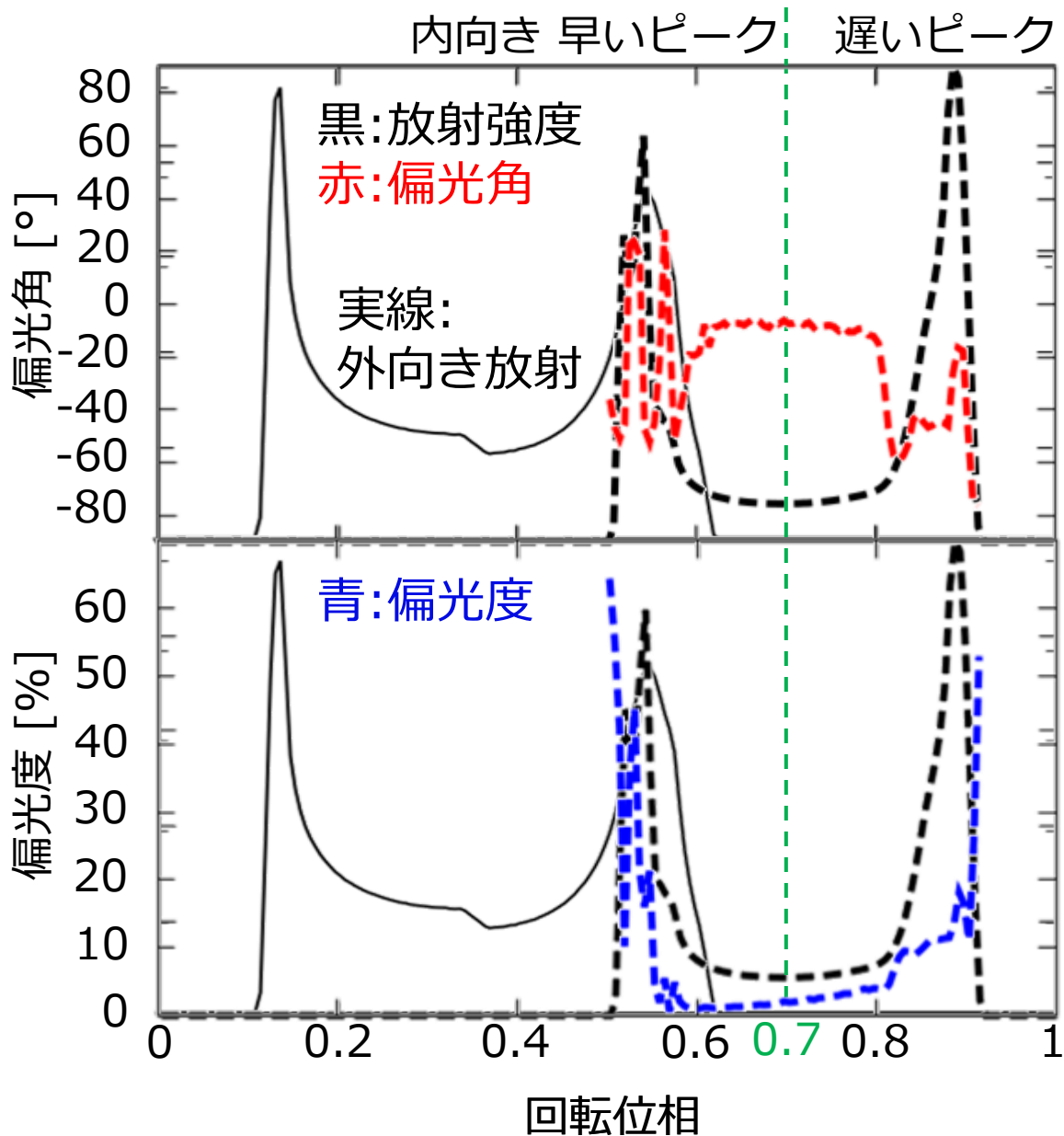
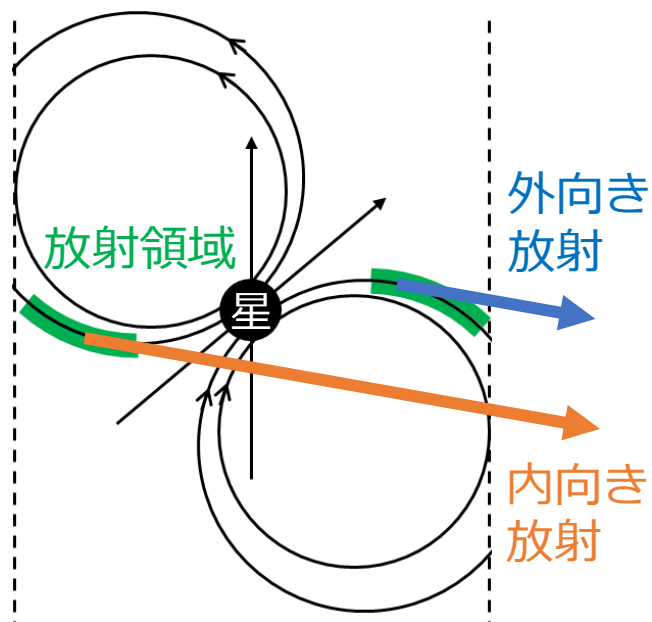
約20°以上



内向き放射の偏光

傾き角 $\alpha = 50^\circ$,
放射領域の高さ $a = 0.95$,
見込み角 $\xi = 100^\circ$

放射強度ピークで
偏光角は変化,
偏光度は増大

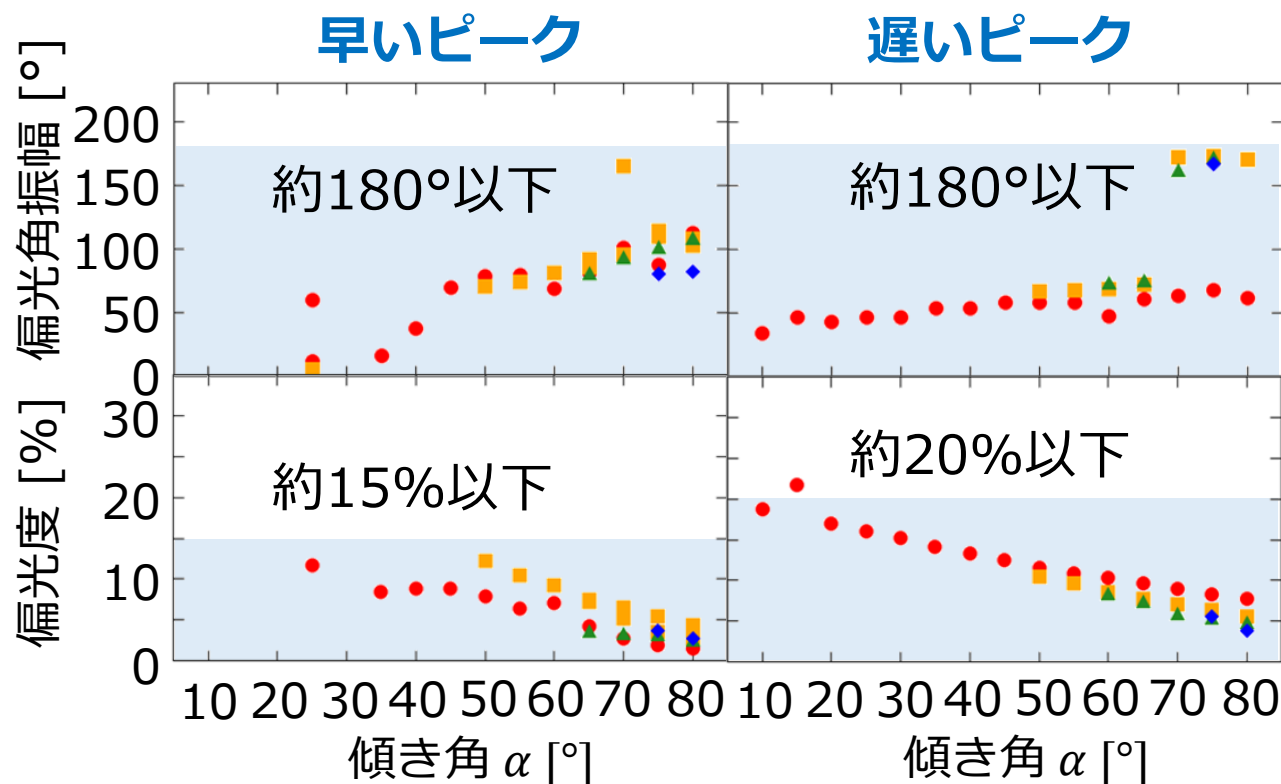
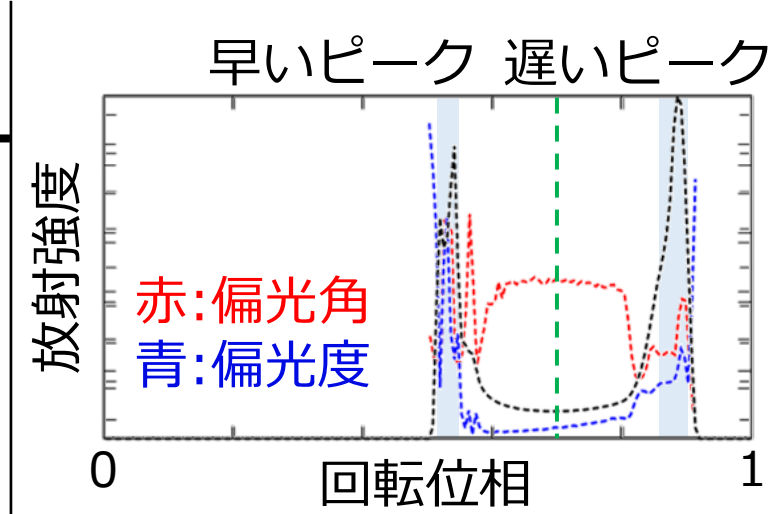


内向き放射の偏光

偏光度 早いP < 遅いP

偏光角振幅(早いピーク)

傾き角45-50°以上で約50°以上



見込み角 ξ

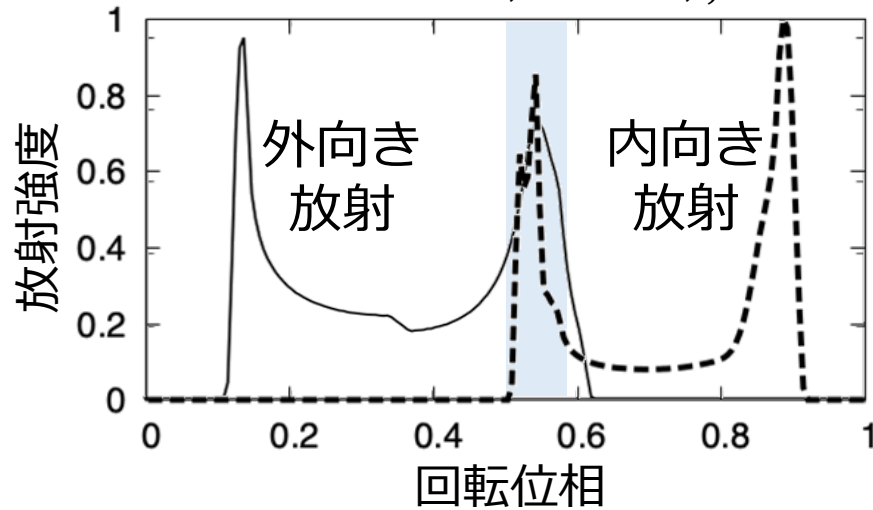
- 100°
- 110°
- ▲ 120°
- ◆ 130°

放射領域の高さ

$$a = 0.95$$

外向きと内向き放射が重なる場合の偏光

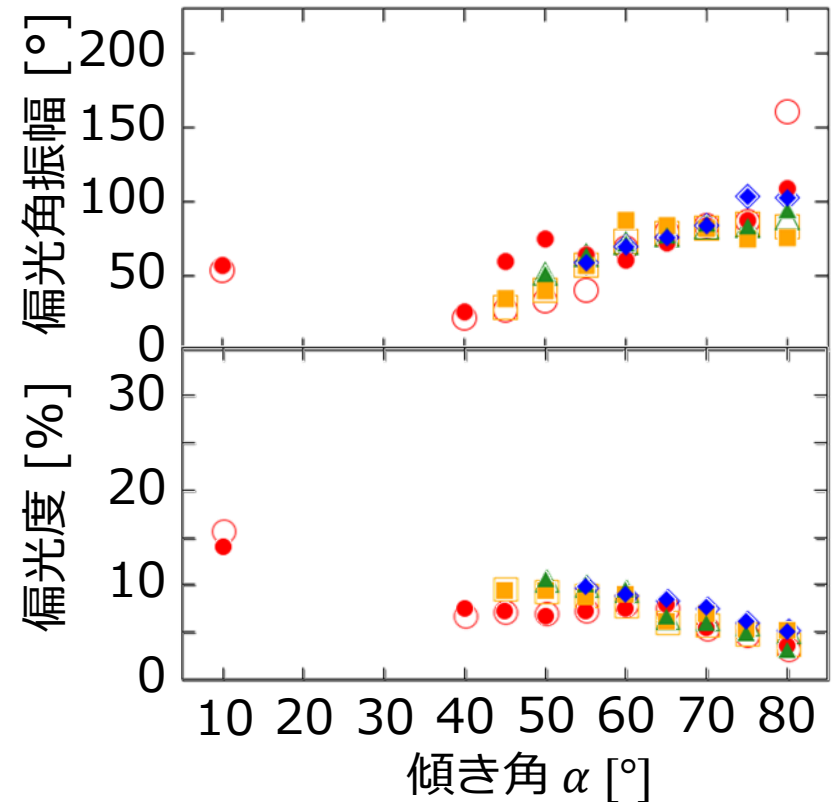
$$\alpha = 50^\circ, a = 0.95, \xi = 100^\circ$$



外向き放射の遅いピークに
内向き放射が重なる場合あり

偏光度はほとんど変化しない
偏光角振幅が大きくなる
多くのパラメータで
約 50° 以上に近づく

外向き 遅いピーク



見込み角 ξ

- 100°
- 110°
- ▲ 120°
- ◆ 130°

白抜きは
外向き放射のみ
の場合
放射領域の高さ
 $a = 0.95$

かにパルサーのX線偏光観測との比較

かにパルサーX線偏光観測

Wong+ 24

早い(ファースト)ピーク

- 偏光角が約 40° 増大
- 偏光度が極大(約15%)

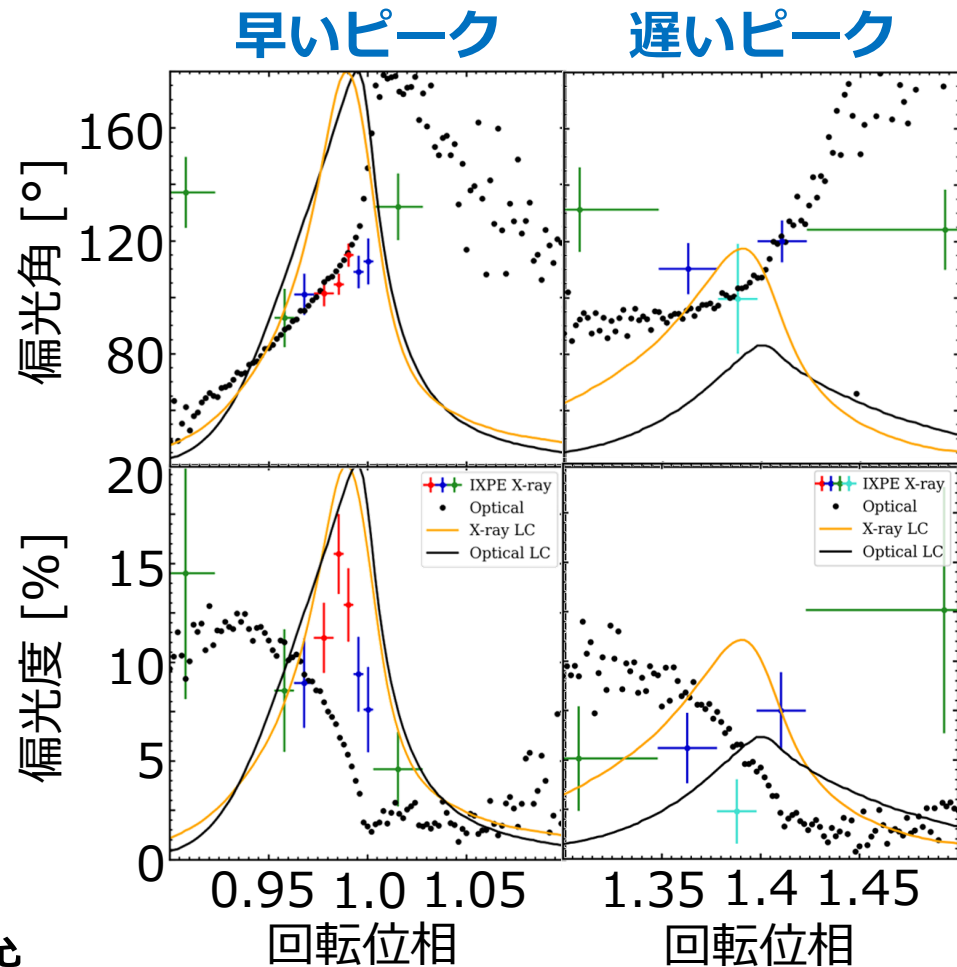
遅い(セカンド)ピーク

- 偏光角振幅が約 20°
- 偏光度が最大約7.5%



現状の観測データでは
外向き放射が支配的と示唆

高い位相分解能の観測や
他のパルサーでも検証が必要



- IXPEによるX線偏光
- 可視光偏光
- X線の放射強度
- 可視光の放射強度

発表のまとめ

目的・内容

- パルサーの偏光観測から放射領域を制限するために、
内向き放射を考慮した、アウターギャップからの
シンクロトロン放射による偏光を計算、影響を調べた

成果

- **内向き放射の“早いピーク”**は、多くの場合
偏光角振幅は約 50° 以上で、偏光度は約15%以下
- **外向き放射の“遅いピーク”**に、
内向き放射の放射強度ピークが重なる場合がある。
偏光度は変化せず、偏光角振幅は約 50° 以上に近づく
- **かにパルサーのX線では外向き放射が支配的**と示唆

今後の展望

- **真空中でない磁場**での偏光を計算