

カusp磁場配位ECRプラズマにおける ヘリウム原子発光線の偏光変調分光

京大院工

四竈 泰一, 寺本 達哉, 上田 明, 蓮尾 昌裕

3次元の電子速度分布

放電プラズマでは、
電子速度分布 (EVD) の等方なマクスウェル分布からのずれ
が本質的な役割を果たしている物理現象が報告されている。

- ECHによる非誘導トカマク生成 (Yoshinaga, *PRL* (2006))
- 磁気リコネクション (Yamada, *Nature Comm.* (2014))
- 2周波CCP放電での電子共鳴加熱 (Liu, *PRL* (2011))
- 無電流ダブルレイヤー (Takahashi, *PRL* (2011))

しかしながら、3次元のEVDの計測法は確立していない。



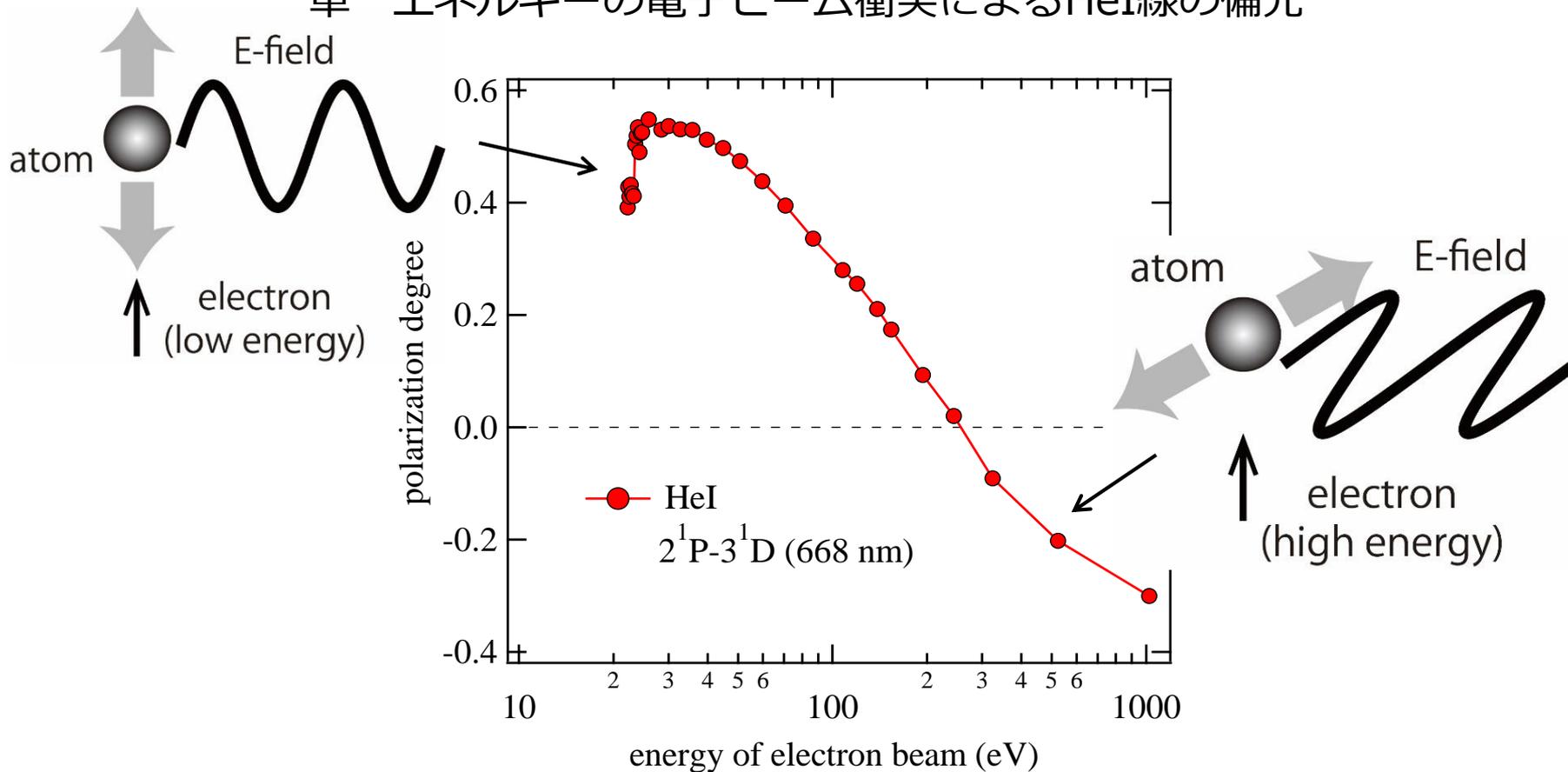
原子発光線の偏光を利用した3次元のEVD計測

多くの先行研究があるが、

偏光の高精度計測とプラズマ物理現象への適用 を目指す。

電子衝突による偏光

単一エネルギーの電子ビーム衝突によるHeI線の偏光



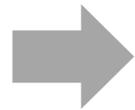
プラズマ中では電子が速度分布(EVD)を持つ



EVDが等方 ⇒ 偏光はゼロ
EVDが非等方 ⇒ 微小偏光

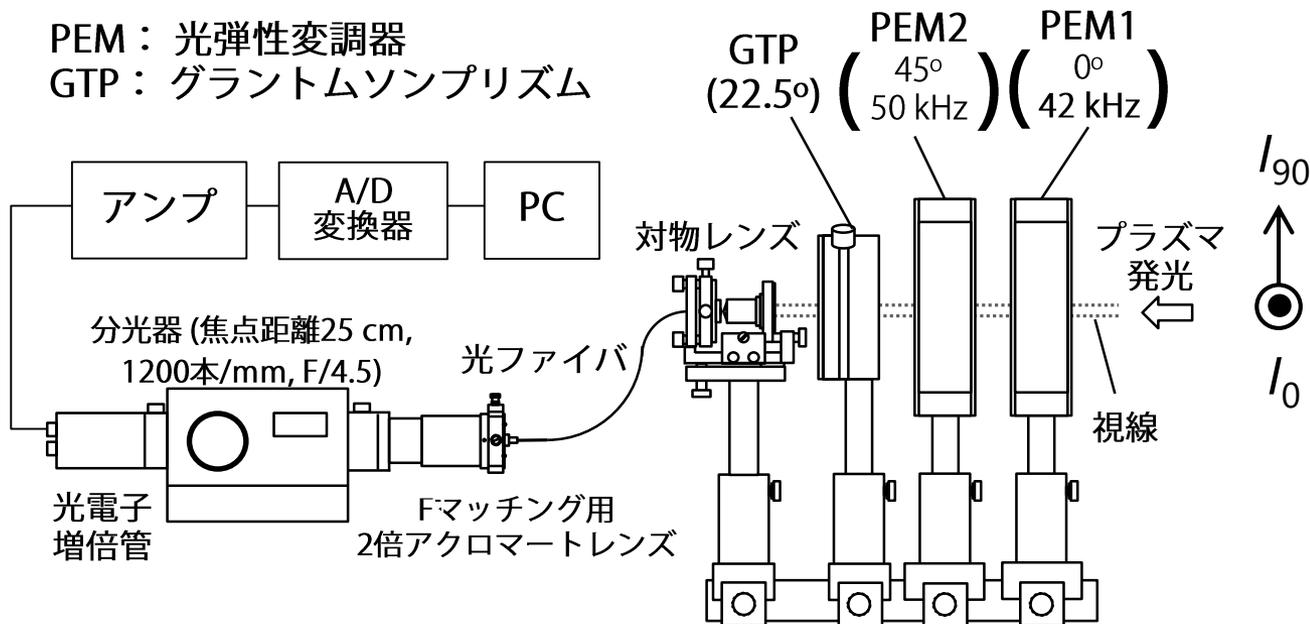
偏光変調分光

ノイズを含む発光から微小偏光度 (< ~10%) を計測することが必要.



光強度の高速な時間変調により偏光を計測

耐ノイズ性 (ロックイン), 光量損失無し, 校正が容易

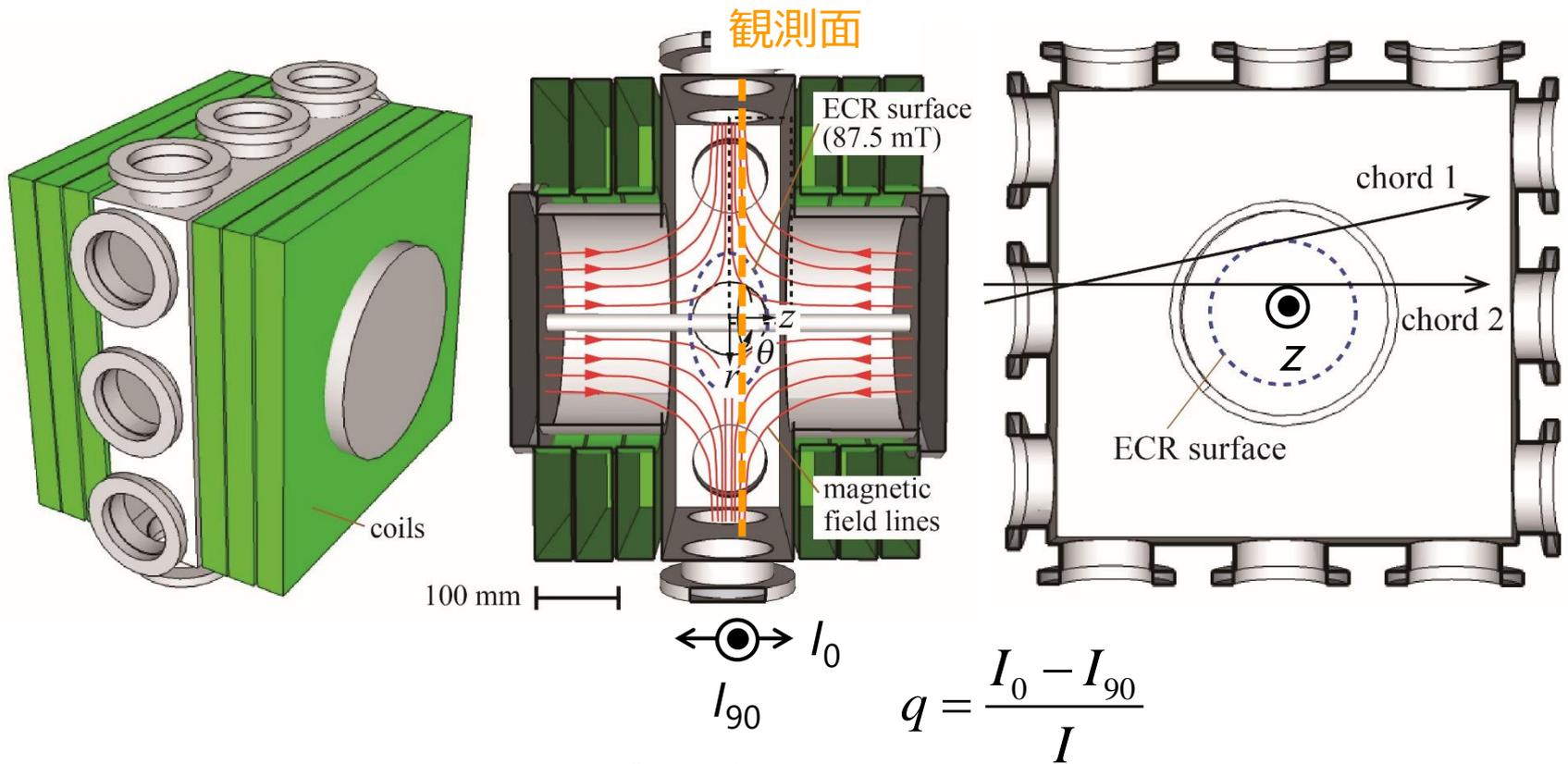


ストークス
パラメータ
 I, Q, U, V

$$q = \frac{Q}{I}$$
$$= \frac{I_0 - I_{90}}{I}$$

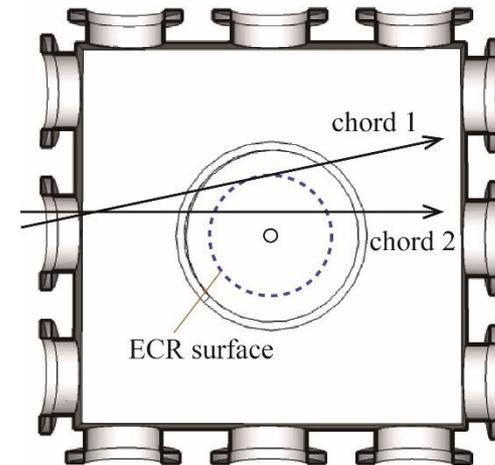
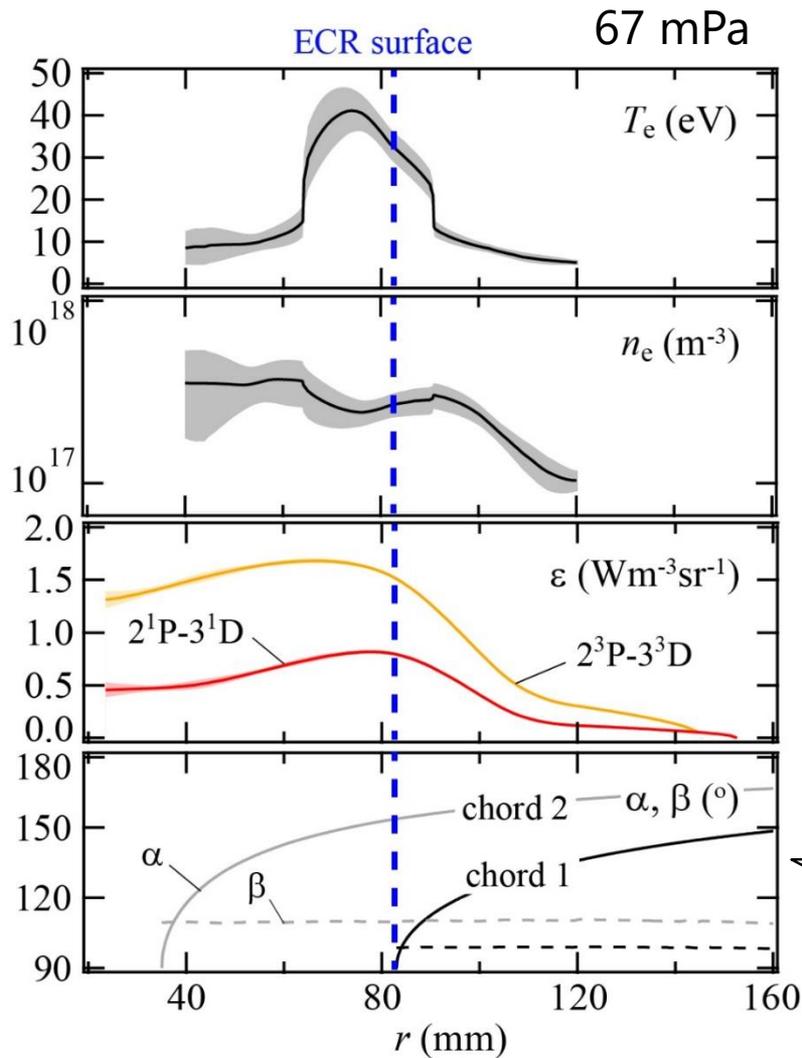
K. Yasui, *et al.*, *RSI* **87**, 103507 (2016).

カスプ磁場配位ECRプラズマ

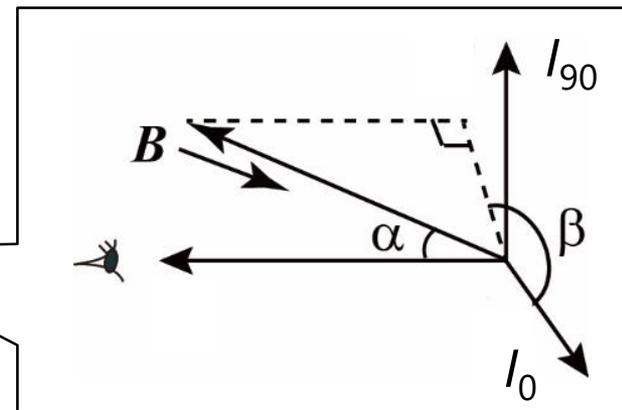


- 2.45 GHz, 0.8 kW, Heプラズマ
- 電子加熱によりECR面付近でEVDが非等方になる ($T_{e\perp} > T_{e\parallel}$).
- 偏光は磁場に平行または垂直な直線偏光になる.

プラズマパラメータの径方向分布



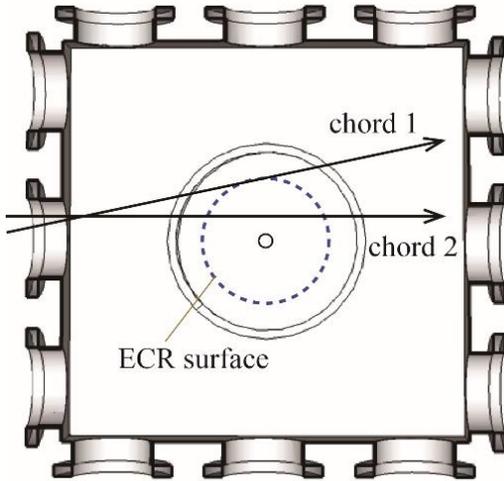
磁場に平行 or 垂直な直線偏光



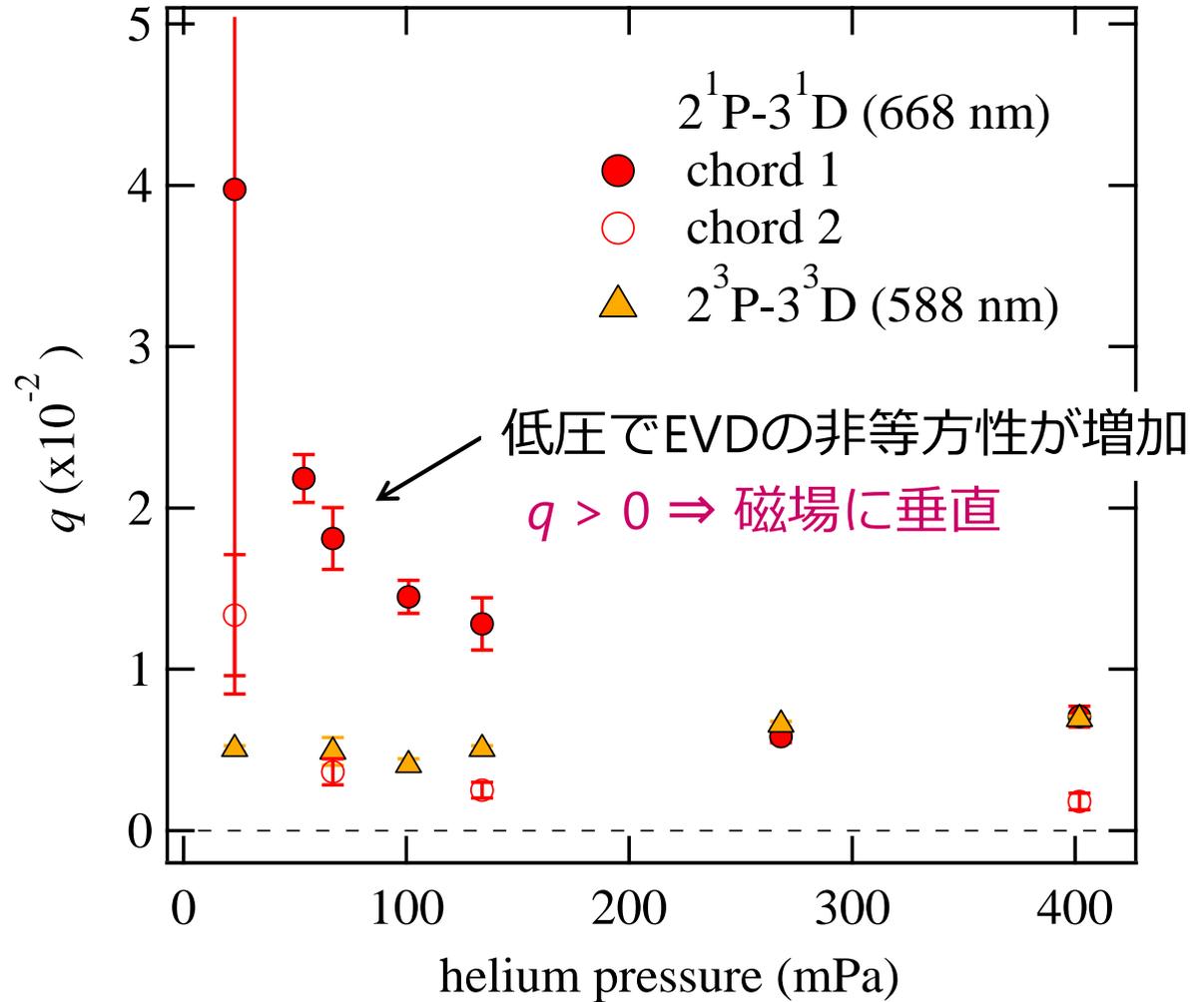
$$q \propto \sin^2 \alpha \cos 2\beta$$

A. Ueda, et al., *APL* **111**, 074101 (2017).

HeI線の偏光

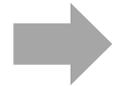


$$q \propto \sin^2 \alpha \cos 2\beta$$

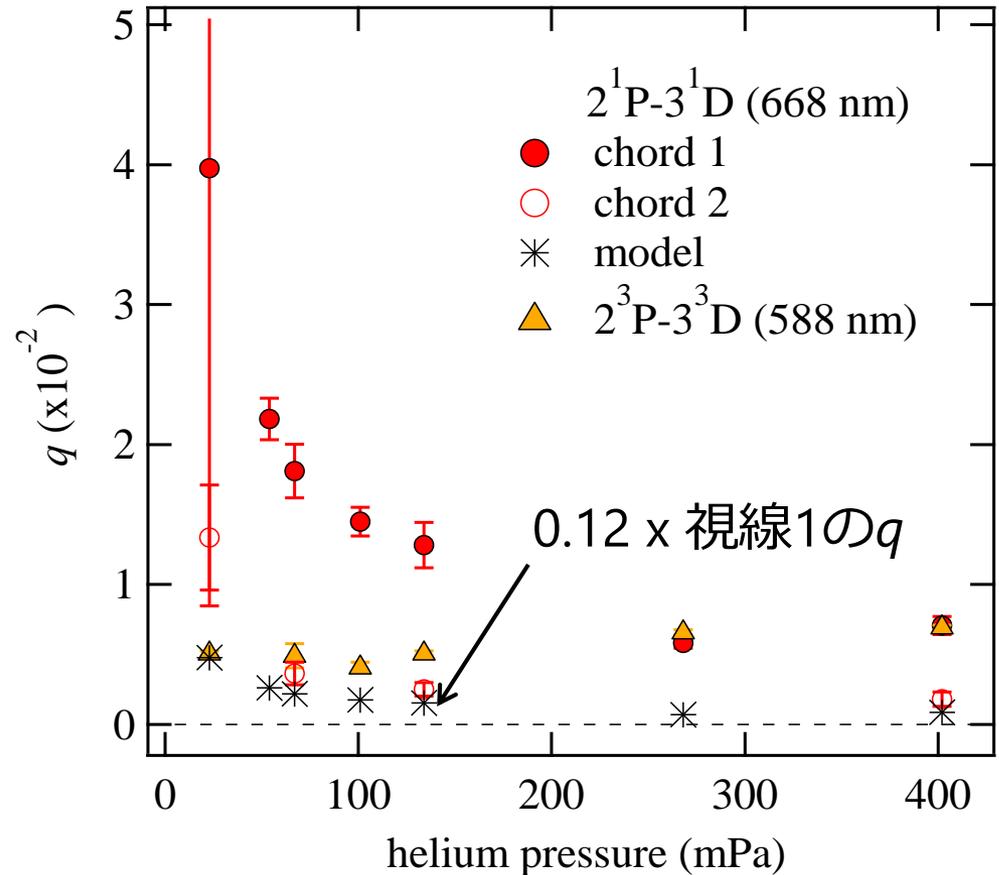
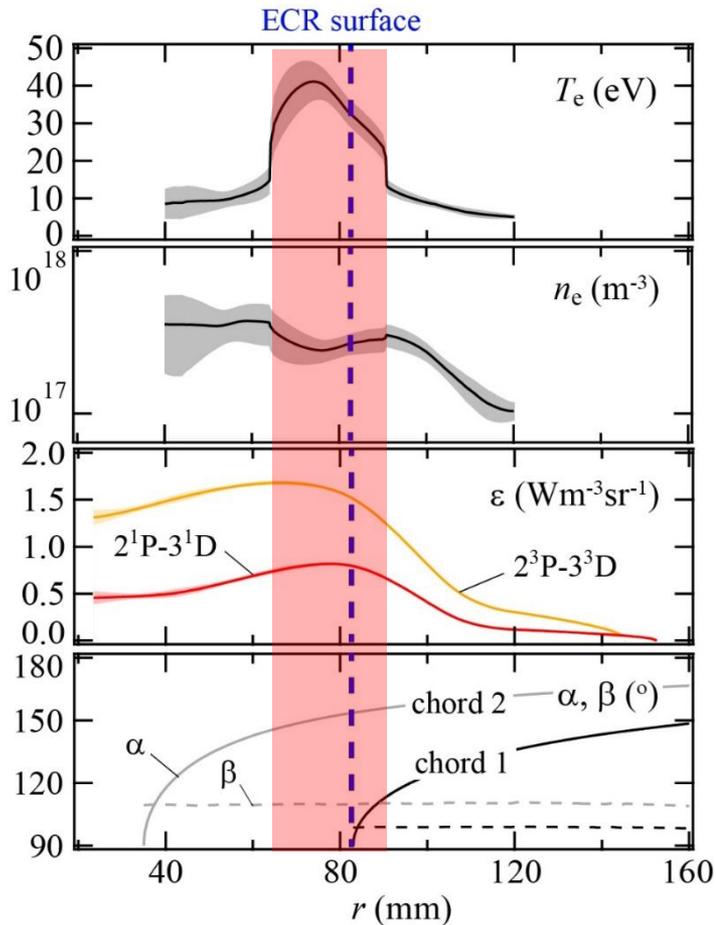


偏光の空間分布

網掛け部分で磁場に垂直な一様偏光を仮定して視線積分した q を計算



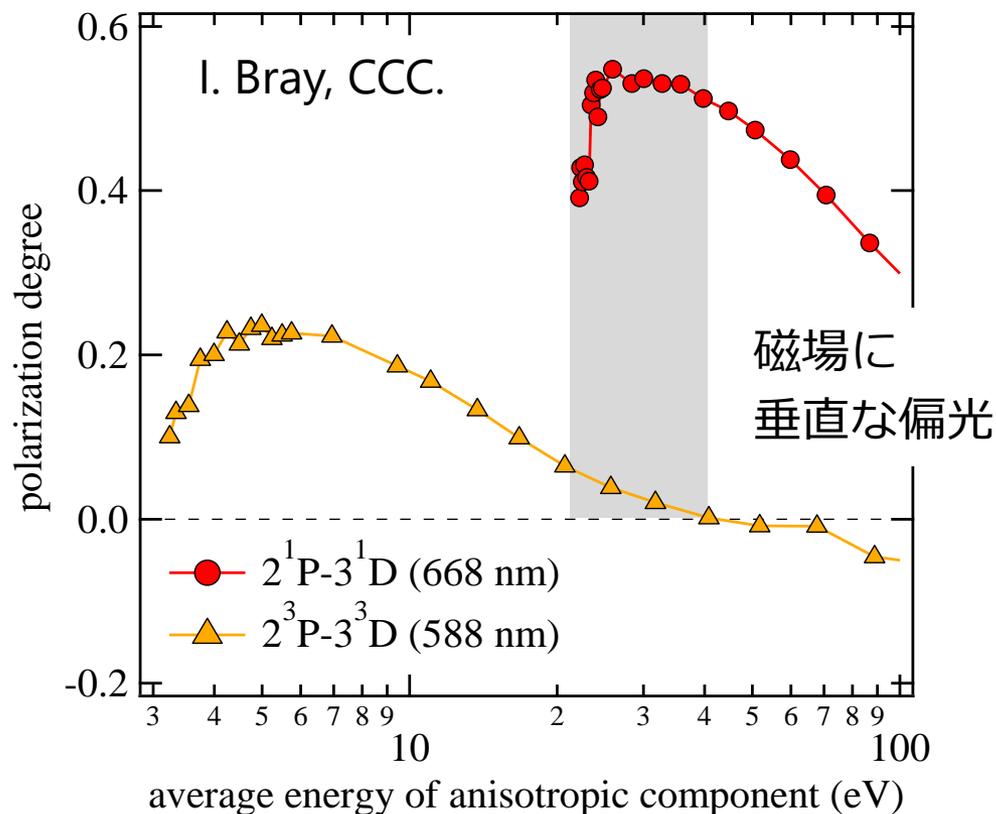
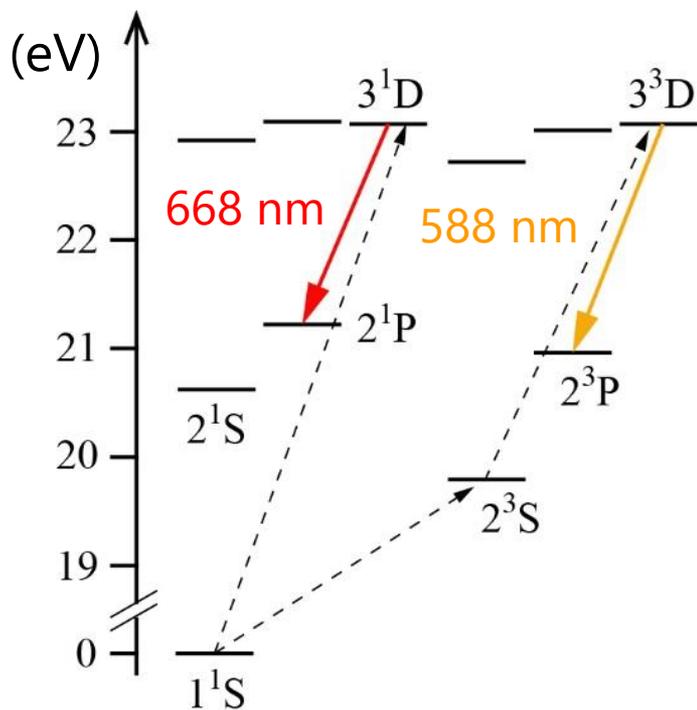
$$((\text{視線2の}q)) = \sim 0.12 ((\text{視線1の}q))$$



非等方成分の平均エネルギー

簡単のため、非等方成分を磁場に垂直な電子ビームとして仮定し、この成分による励起発光だけを考える。

観測発光線の主な励起・発光経路



まとめ

- 偏光変調法を採用し、高精度な偏光計測が可能となった。
- ECRプラズマで計測を行った結果：
 - 偏光はECR面付近に局在している。
 - ECR面付近のEVDは、平均エネルギーが30-40 eV程度。
磁場に垂直方向に多少大きなエネルギーを持つように歪んでいる。
 - ECR加熱、非等方なEVD、発光線の偏光を明示的に関連付けた初めての実験結果？