

ユニット成果報告会 2024/5/8-9  
メタ階層ダイナミクスユニット

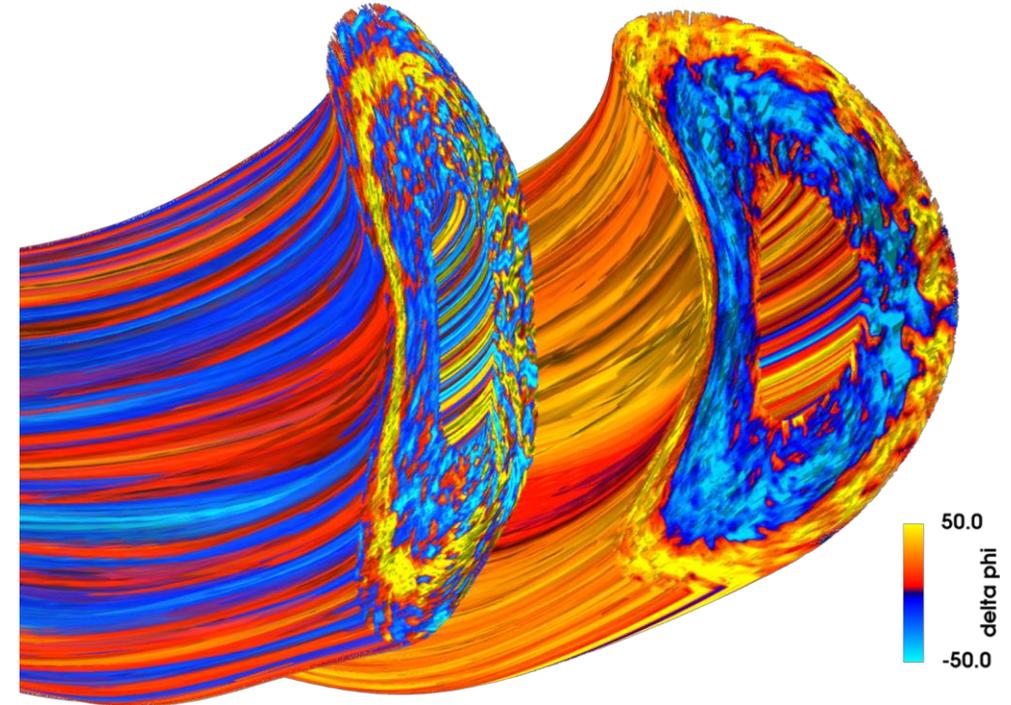
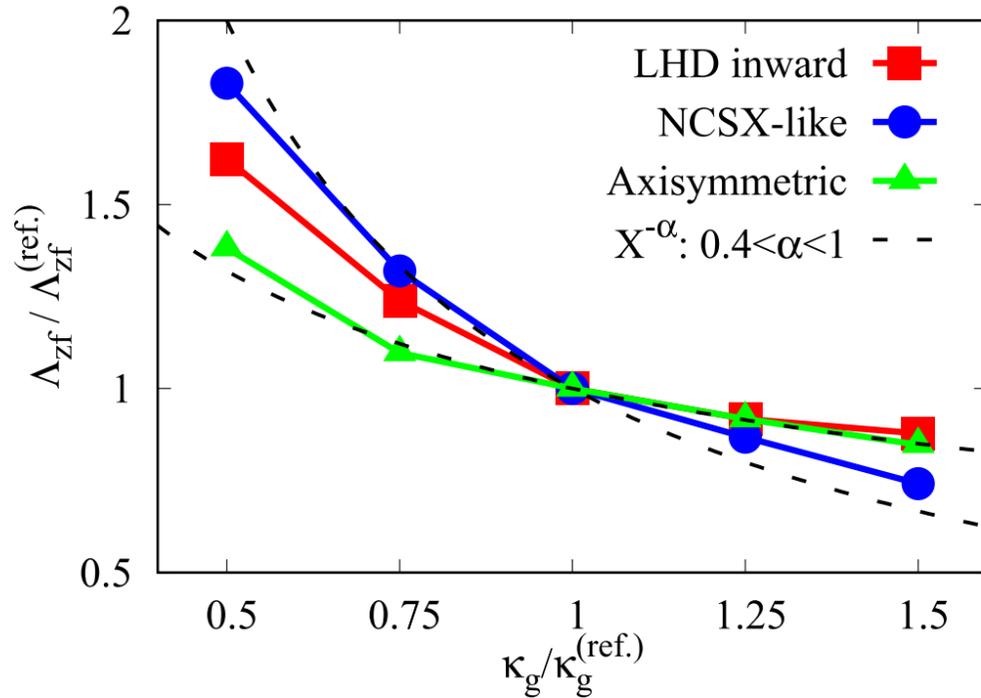
# 乱流輸送に対する磁場の測地曲率依存性

永岡賢一、西本守、仲田資季、田中謙治、横山雅之、  
沼波政倫、徳沢季彦、LHD実験グループ

S NISHIMOTO, K NAGAOKA, M NAKATA, et al., "Experimental study of the effect of geodesic curvature on turbulent transport in magnetically confined plasma", Plasma Physics and Controlled Fusion 66 (4), 045010 (2024).

# 磁場の測地曲率とゾーナルフロー(ZF)による乱流低減

M. Nakata + PFR 2022



- 乱流シミュレーション (by GKV) では、磁場の測地曲率がZFへ影響を与えることを示唆
- 磁場の測地曲率を低減した磁場配位では、ZFによる乱流輸送低減することが示された。

本研究の目的

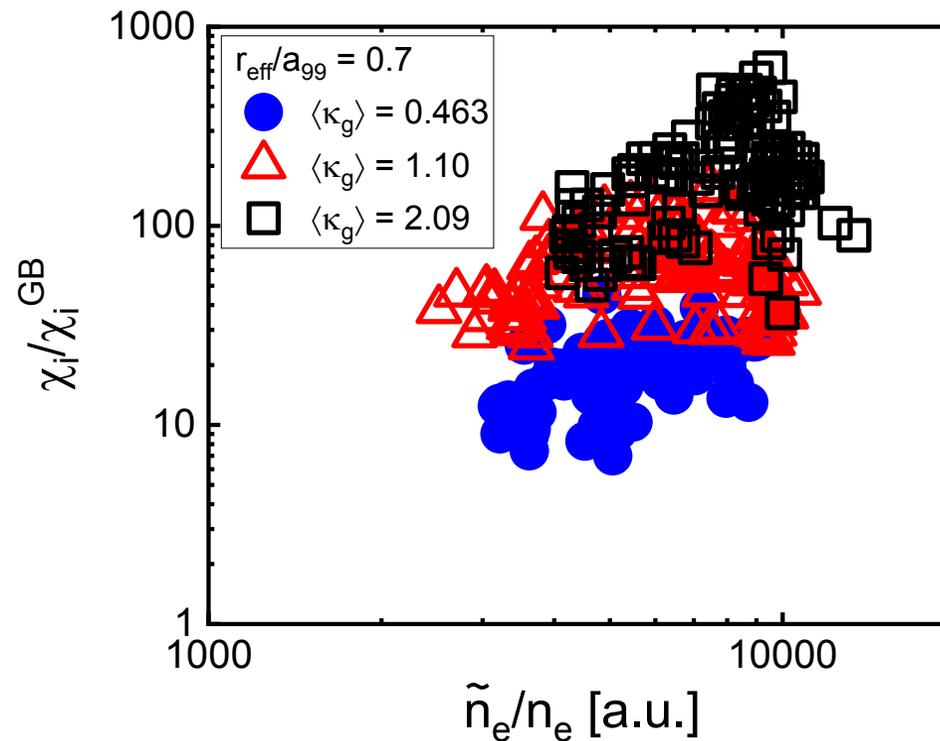
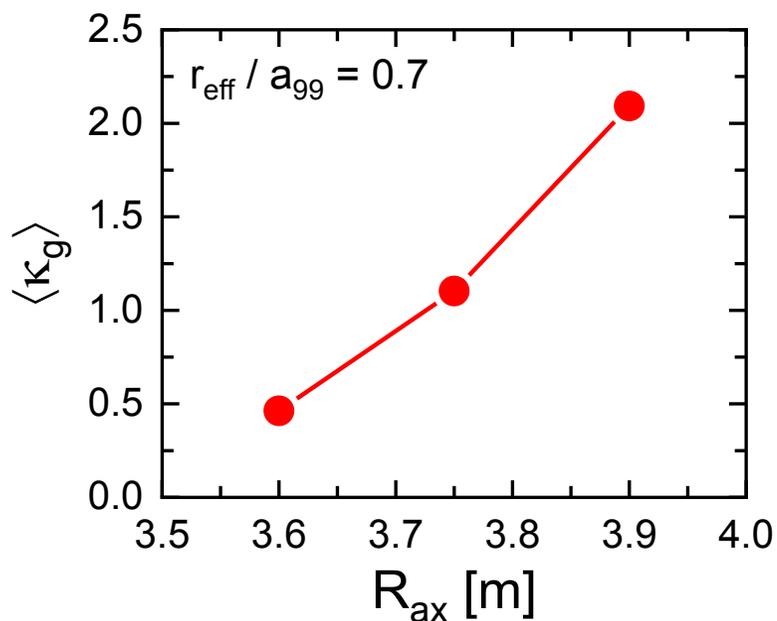
乱流輸送に対する磁場の測地曲率依存性の実験検証 ⇒ CHD-Uへの貢献

# LHDを用いた乱流輸送の測地曲率依存性の実験

測地曲率: 磁気面上の磁場の曲率

$$\kappa_g = \boldsymbol{\kappa} \cdot \left( \frac{\nabla\psi}{|\nabla\psi|} \right) \times \mathbf{b}$$

小半径方向の粒子軌道幅  $\Rightarrow$  ZFの減衰



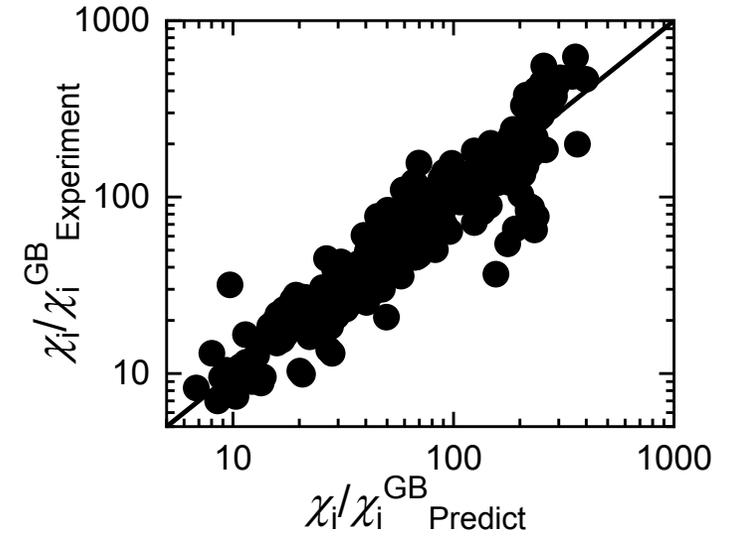
- LHDの磁場配位では、磁気軸を変えると測地曲率を大きく変えることができる
- 輸送解析データベースを構築する実験を実施

# 統計数理手法 (AIC) を用いたパラメータ依存性の抽出

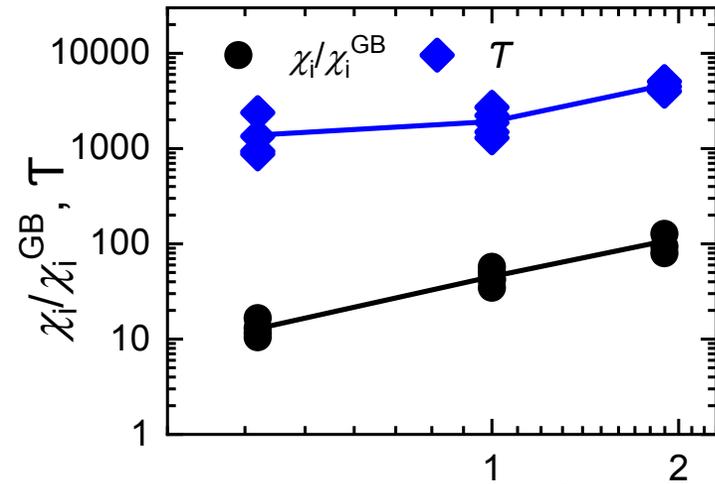
# of parameter	AICc	e	$\langle \kappa_g \rangle / \langle \kappa_g \rangle^{\text{ref}}$	Te/Ti	R/Ln+ R/LTi	R/LTe	$\nu_{ii}^*$	$\tilde{n}_e/n_e$
1	485.147	4.12	1.46					
2	338.522	3.52	1.247	1.429				
3	246.060	4.59	1.523	1.163	-0.439			
4	196.037	7.12	1.856	1.721	-0.484	-1.011		
5	197.129	7.02	1.789	1.756	-0.441	-0.995	0.0533	
6	199.209	6.94	1.790	1.746	-0.442	-1.00	0.0553	0.0128

- 赤池情報量規準 (AIC) を用いて、熱輸送係数 ( $\chi_i$ ) の特性を表すパラメータ依存性を抽出
- 測地曲率は、 $\chi_i$  を特徴づける最も重要なパラメータ

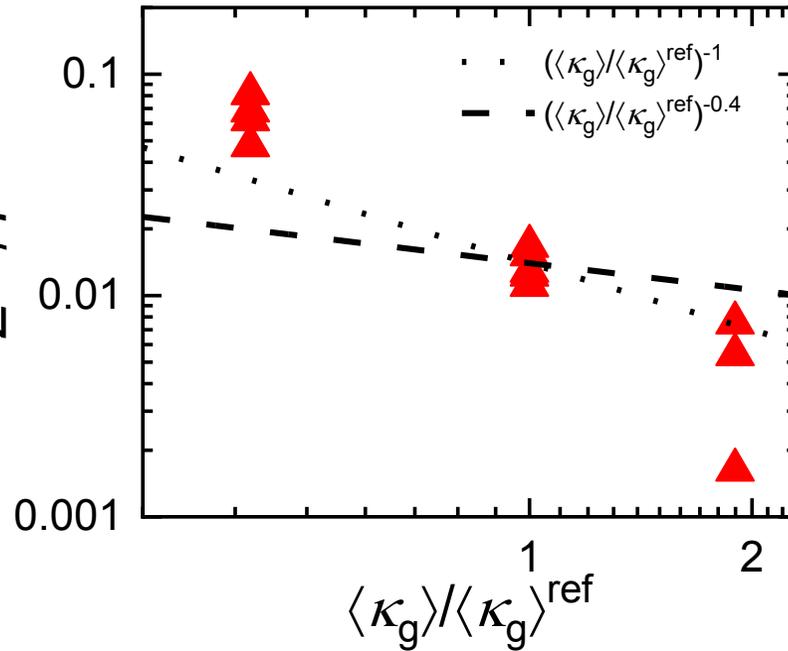
$$\frac{\chi_i}{\chi_i^{\text{GB}}} \propto \left( \frac{\langle \kappa_g \rangle}{\langle \kappa_g^{\text{ref}} \rangle} \right)^{1.86 \pm 0.06} \left( \frac{T_e}{T_i} \right)^{1.72 \pm 0.11} \left( \frac{R}{L_n} + \frac{R}{L_{T_i}} \right)^{-0.484 \pm 0.040} \left( \frac{R}{L_{T_e}} \right)^{-1.01 \pm 0.135}$$



# 簡約化輸送モデルを持ちいたZF評価と測地曲率依存性

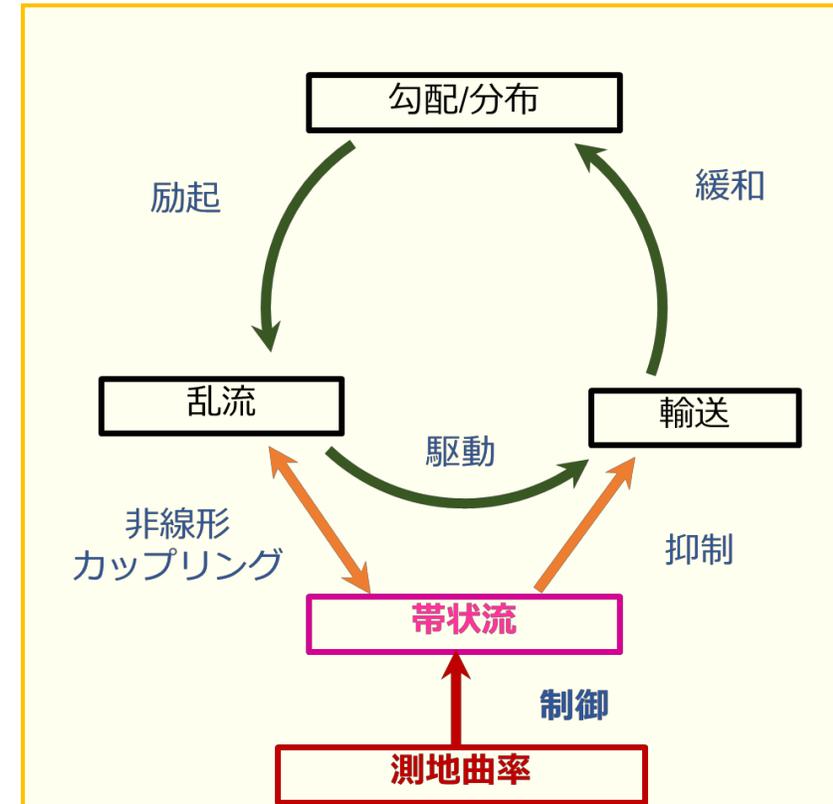


M. Nunami PoP 2013  $\langle \kappa_g \rangle / \langle \kappa_g \rangle^{ref}$



$$\frac{\chi_i}{\chi_i^{GB}} = \frac{C_1 T^\alpha}{C_2 + Z^{1/2}/T}$$

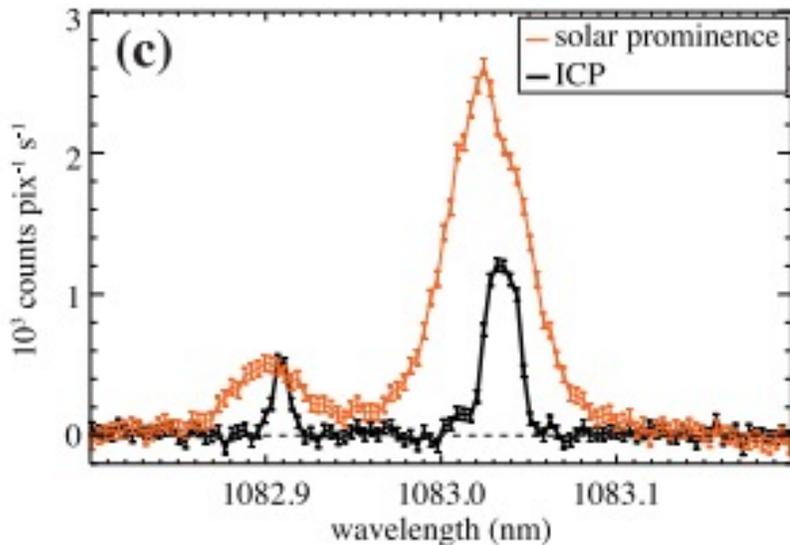
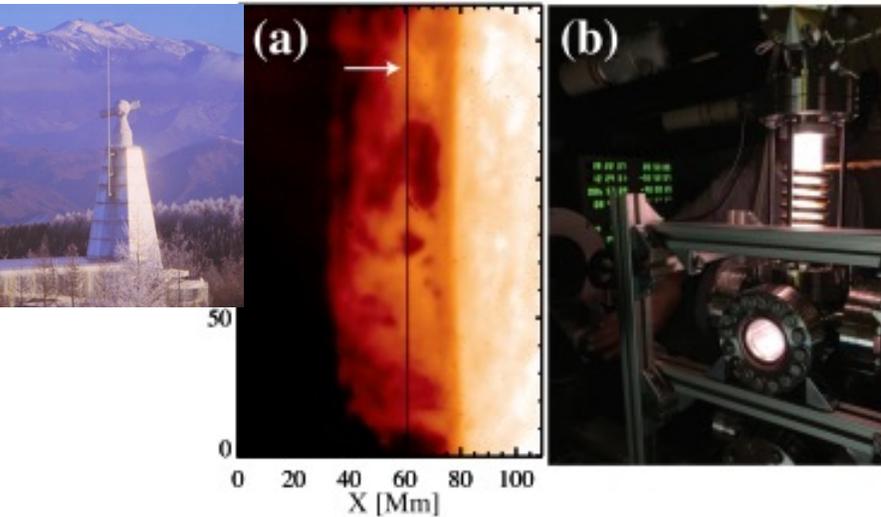
- LHD簡約化輸送モデルを用いてZFを評価
- ZF強度の測地曲率依存性は、理論予測と定性的に整合
- 従来の視点(回転変換、準対称性など)とは趣が異なる、磁場の局所的な「曲率」から見た乱流制御やZF制御の可能性



- ZFの外部制御の可能性
- 乱流輸送最適化配位研究(CHD-U)への貢献

# 天体・実験室プラズマ偏光分光に関する実験研究

川手朋子



- 宇宙ではプラズマの加速・加熱現象が自発的に発生しており、その起源を理解することが天文学の課題の1つである。一方で遠方天体の物理パラメータを得る手段は、多くの場合電磁波に限られている。したがって、計測で得られる電磁波の発光スペクトルから加速・加熱に伴う物理現象を推定することが必須となる
- 本研究では小型のプラズマ装置を立ち上げ、京都大学附属飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の焦点面装置にプラズマ装置を設置し、同望遠鏡の偏光分光計測装置を用いて数eVの太陽プラズマと実験室プラズマを直接比較した。
- 2022-2023年度は磁場の印加・レーザー導入による発光線の偏光から、10ガウス程度以下の弱磁場診断手法を中心に検証した。また非等方電子速度分布の発光線偏光による計測実験を予定しており、同実験で用いる計測原理を数keVの高温プラズマに対して適用することにより、運動論的不安定の発達過程の実験研究への展開を予定している。
- 本研究は2021年度NIFS発展的研究計画スタート支援に基づき進めている。関連して、科研費基盤B「非等方な高エネルギー電子の位相空間分布計測と電磁波動発達条件の実験評価」(2024-2027, 代表: 川手)を獲得し、また2024年度Hinode17/IRIS14/SPHERE3合同国際会議での招待講演を予定している。

# 天体・実験室プラズマ偏光分光に関する実験研究

川手朋子

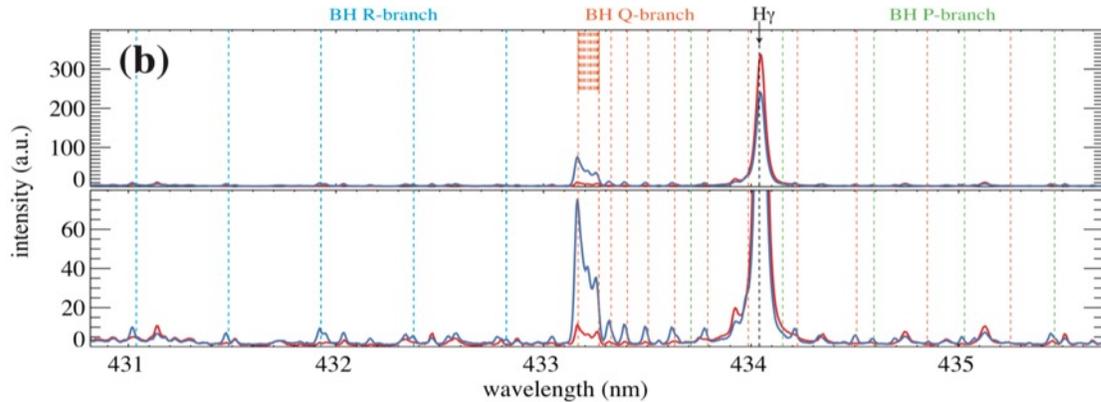


図1: LHDで得られたBH分子線バンド

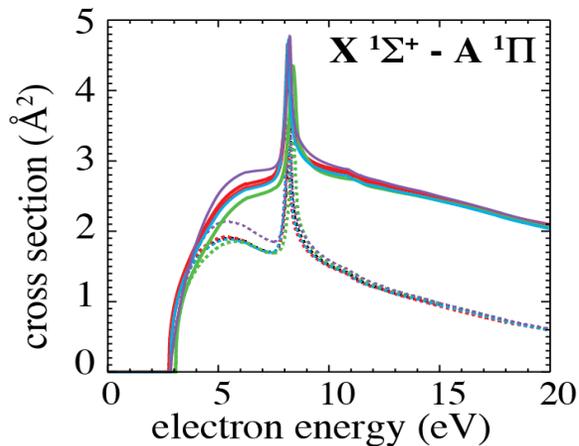


図2: BH分子-電子衝突励起断面積

- 核融合プラズマ中の不純物や中性水素の制御のため、真空容器表面にホウ素堆積膜を形成し壁面に不純物・水素を閉じ込める手法が用いられている。ITERでも第一壁にホウ素コーティング適用が決定し、プラズマ中のホウ素、水素化ホウ素 (BH)分子の挙動や分光計測、原子データ構築が強く求められている

- 本研究では大型ヘリカル装置におけるホウ素粉末入射時に現れるBH分子に着目し、BH分子の分光計測により、ホウ素堆積過程の観測・脱離量の定量評価を初めて行った。またホウ素輸送・化学反応の評価に必要なBH分子-電子衝突励起・電離断面積を初めて計算した。
- これらの研究は、今後ITERでも必要となるボロニゼーション時のホウ素入射量・時間の最適化に不可欠であるとともに、プラズマ中の少数原子からなる分子の状態や電子衝突問題の検証の観点からも重要である
- 本研究に関連して、2023年度NINS国際研究交流支援事業にてオーストラリア Curtin Universityに1ヶ月滞在した。また2024年度IAEA技術会合、日本物理学会年次大会での招待講演を予定している。