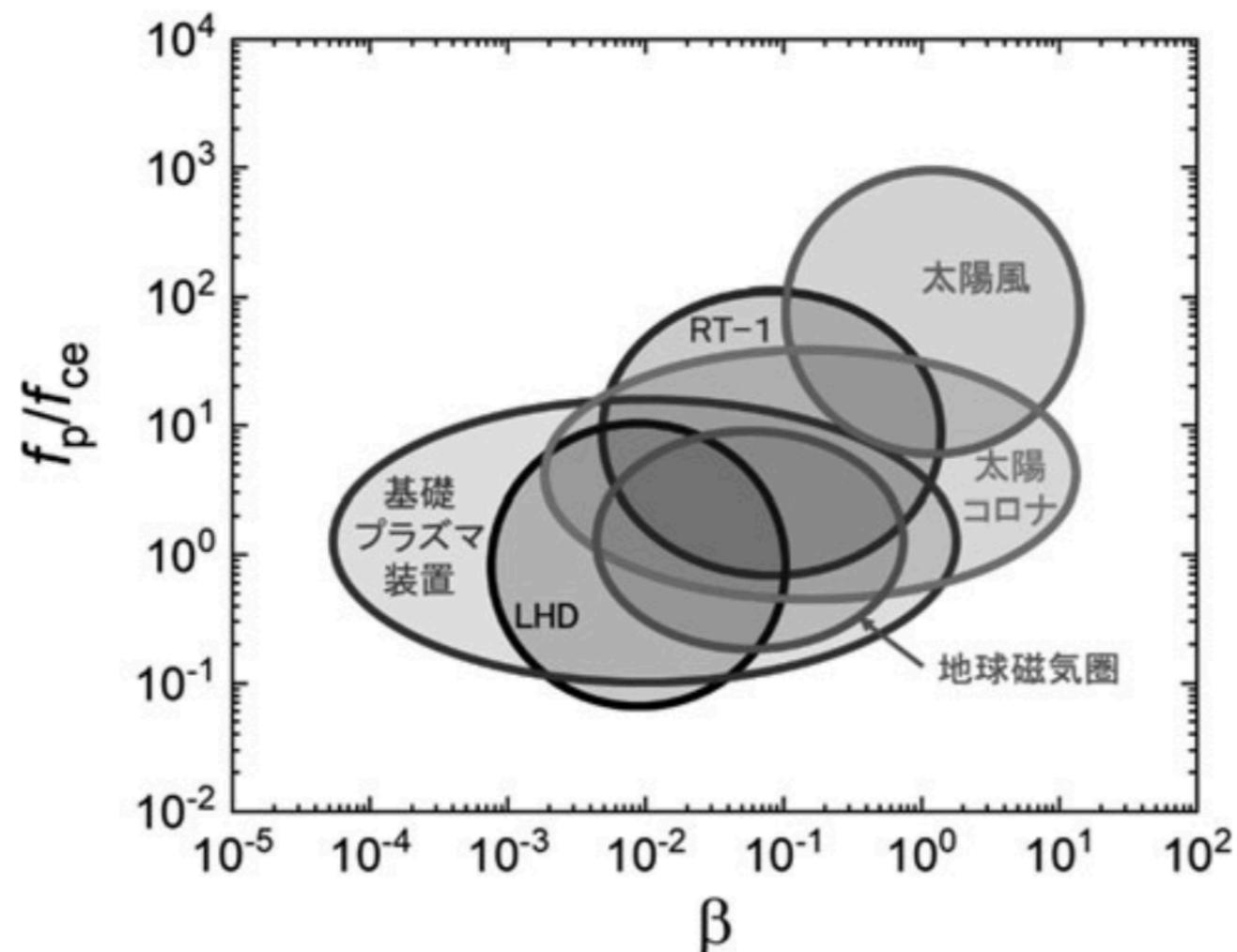


磁気圏プラズマにおけるサイクロトロン共鳴と 非線形波動粒子相互作用

加藤雄人

東北大学 大学院 理学研究科



[加藤・永岡, J. Plasma Fusion Res., 97, 5, 2021]

http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2021_05/9705SPall.pdf

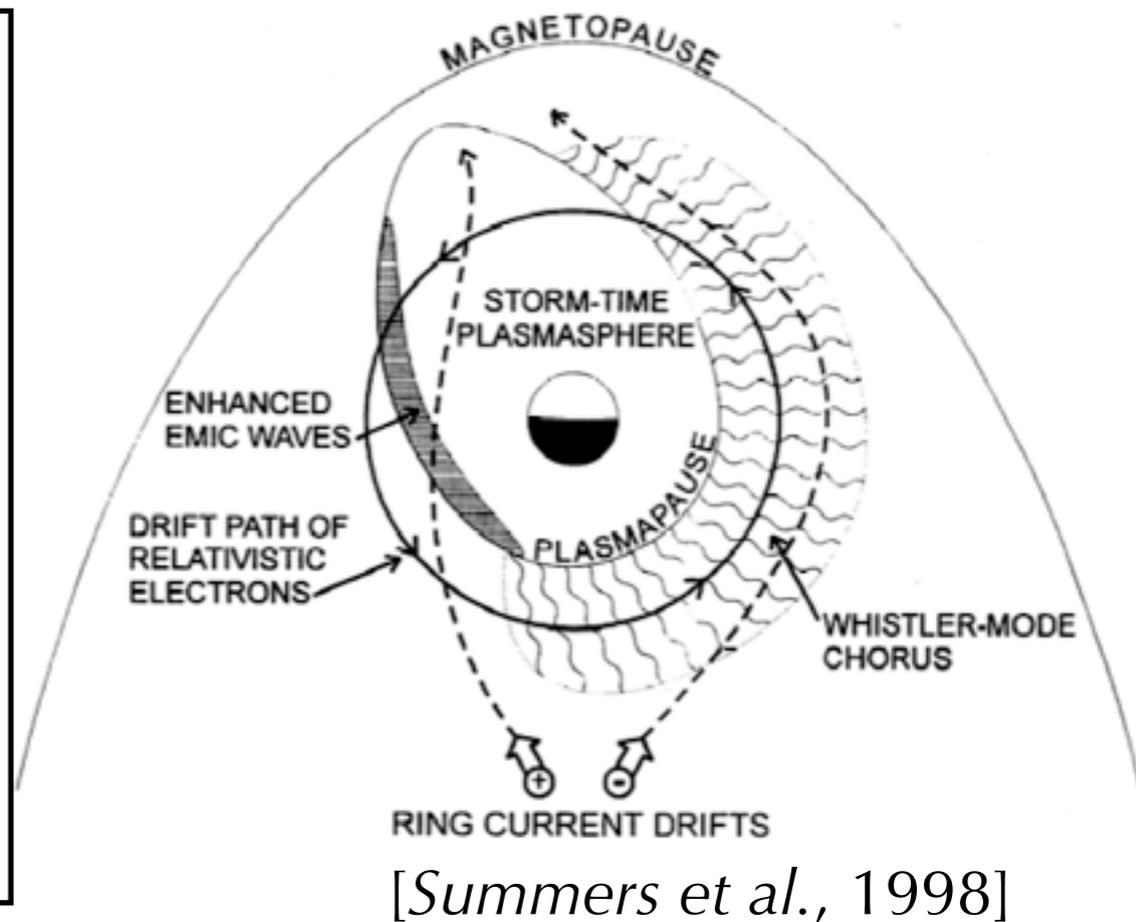
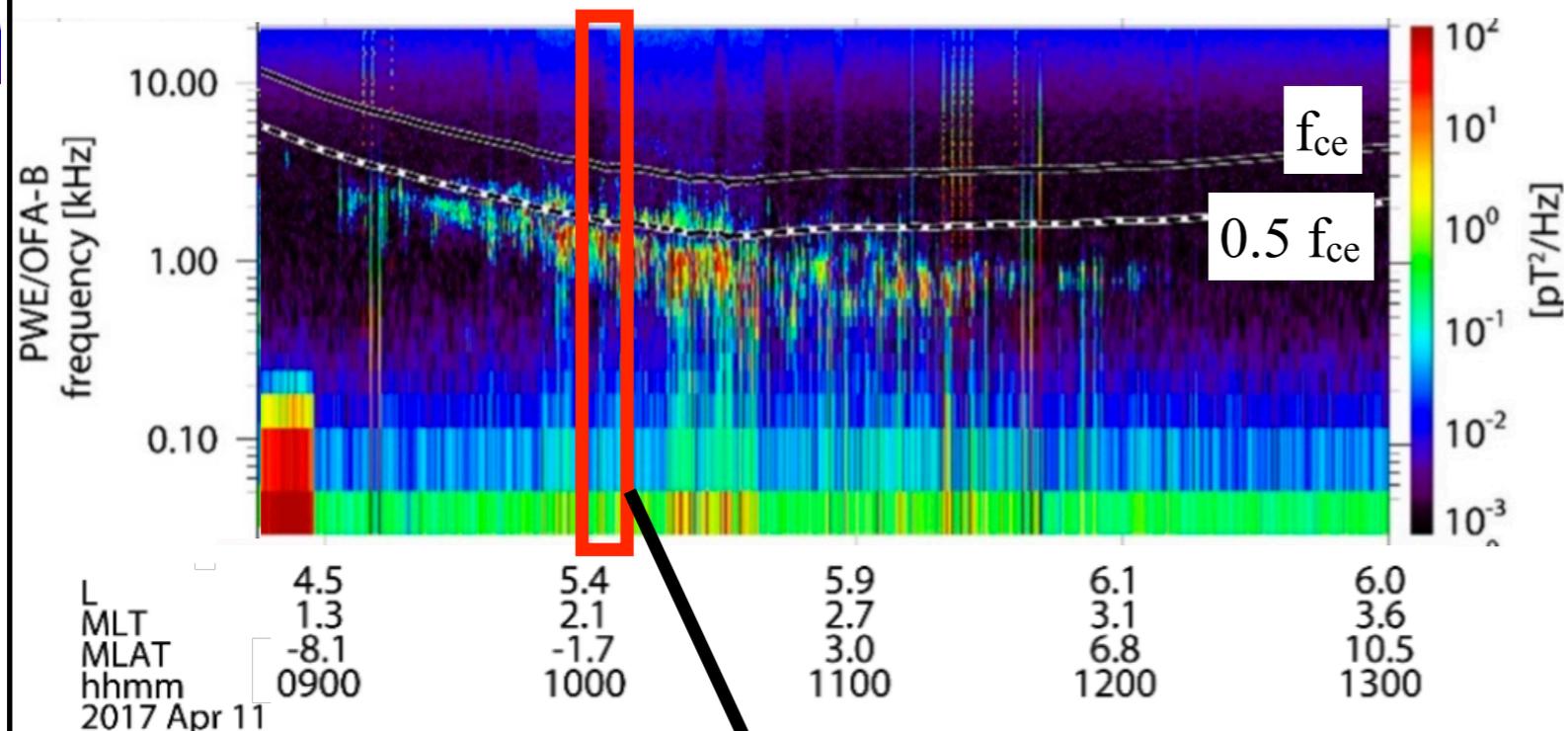
はじめに

- 地球・惑星磁気圏に存在する高エネルギー電子の生成と消失過程の双方に、サイクロトロン共鳴を基本とする波動粒子相互作用が重要な役割を果たしていると考えられている
- コヒーレントな波動（ホイッスラーモード・コーラス、電磁イオンサイクロトロン波動）による非線形効果が本質的に重要であることが示され、非線形理論に基づいた高エネルギー電子の生成・消失過程の再検討が進められつつある
- 非線形効果の影響を定量的に調べる実験
 - 波動粒子相互作用による速度分布関数の変化（振幅依存性）
 - 「エネルギー交換量」の直接計測

地球磁気圏におけるホイッスラーモード・コーラス放射の観測例

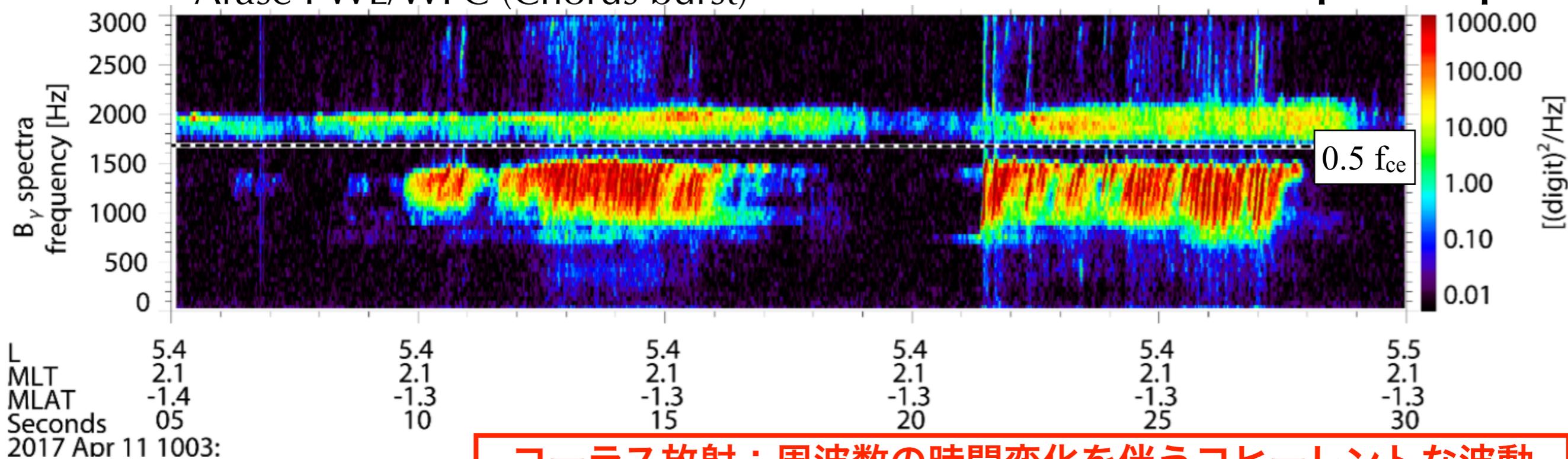
Arase (ERG)

[Kasahara et al., EPS 2018]



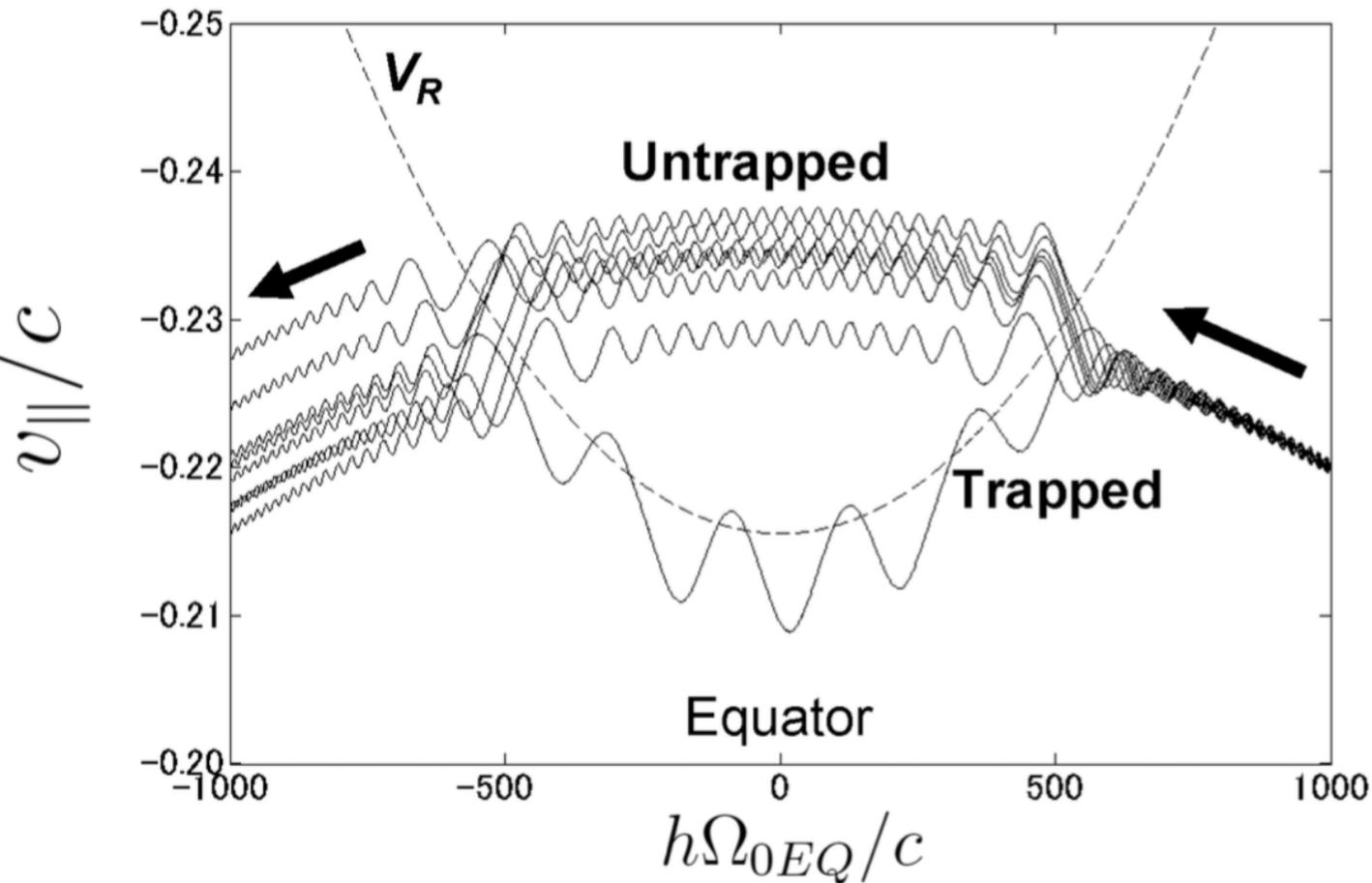
Arase PWE/WFC (Chorus burst)

波動振幅：数pT ~ 数百 pT

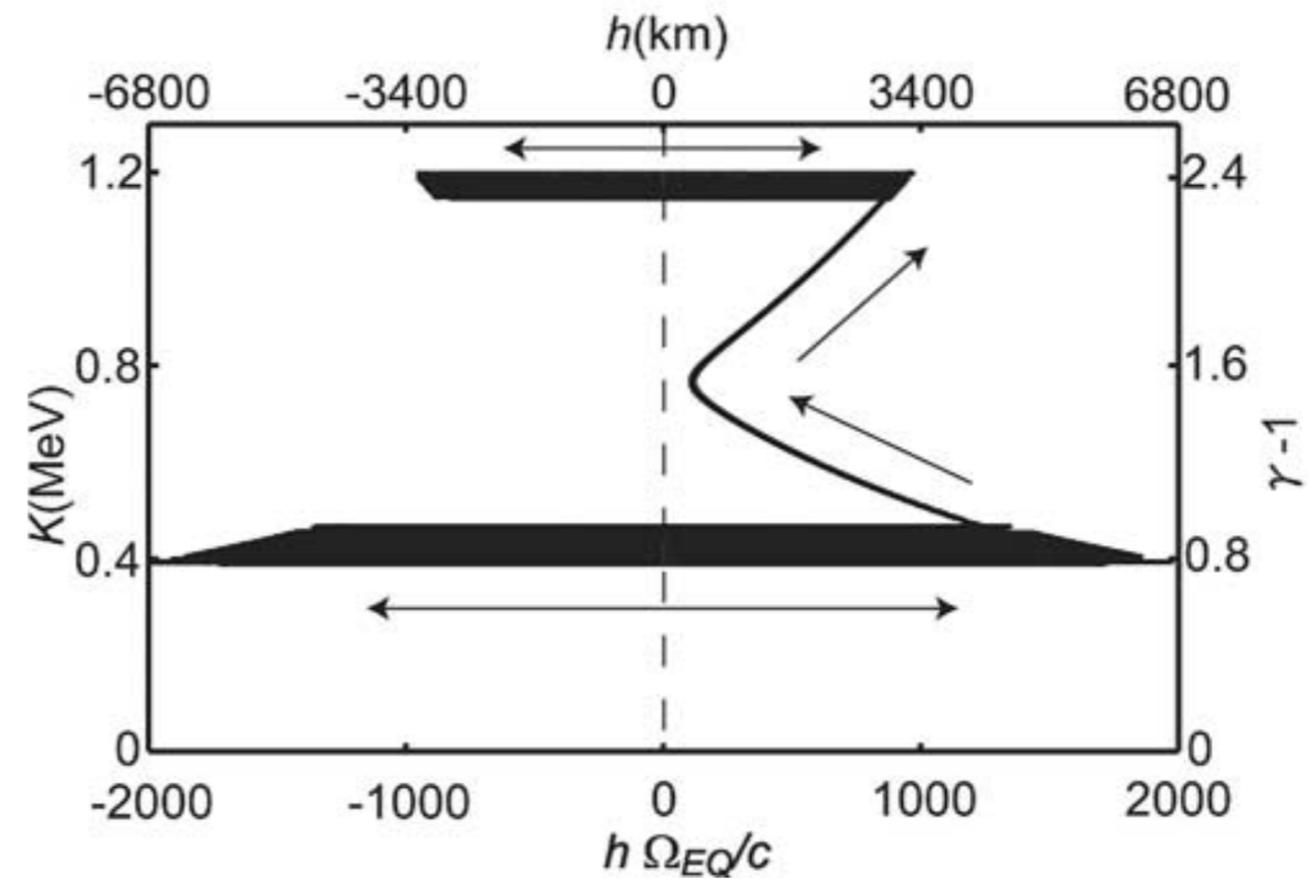


コーラス放射：周波数の時間変化を伴うコヒーレントな波動

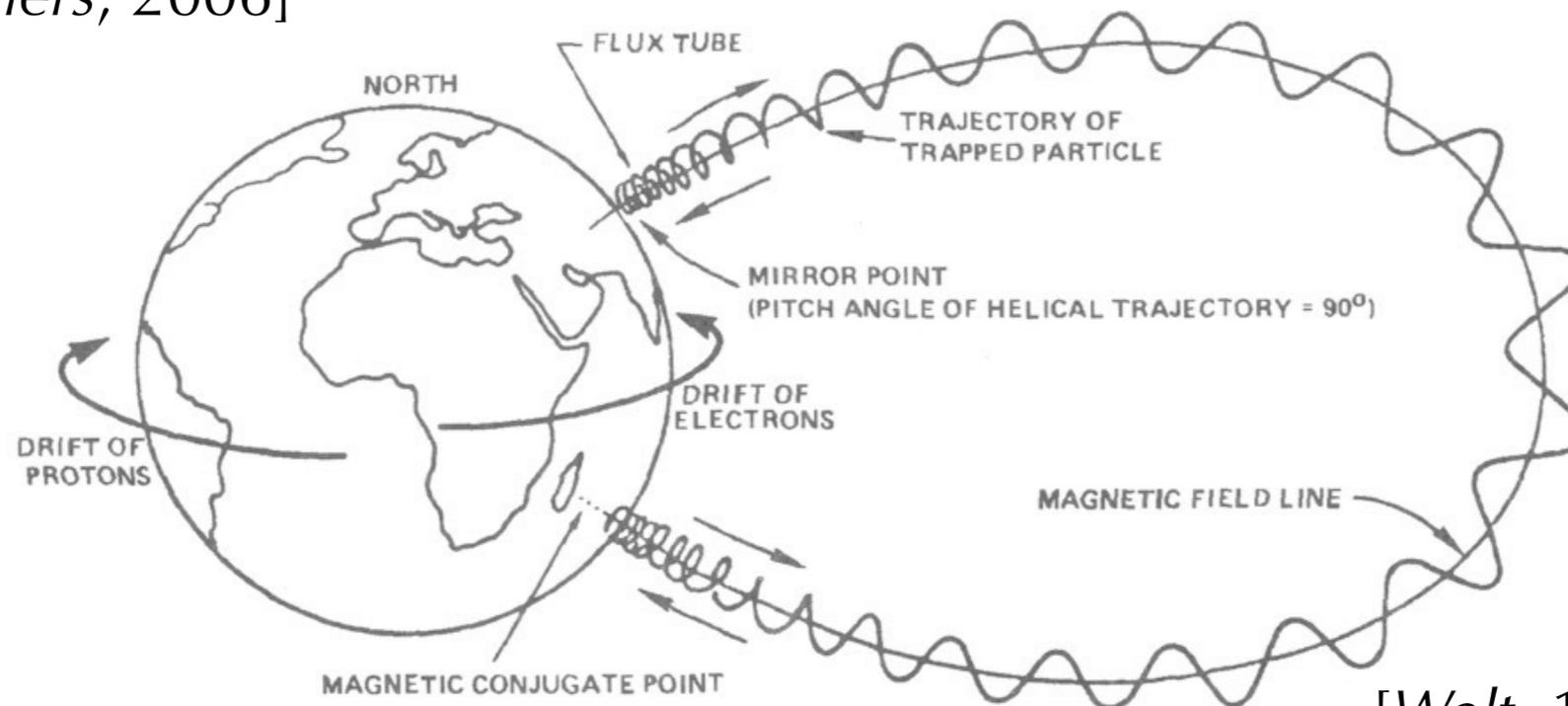
コヒーレントなホイッスラーモード波動による 共鳴電子の捕捉と高効率な加速過程



[Omura and Summers, 2006]

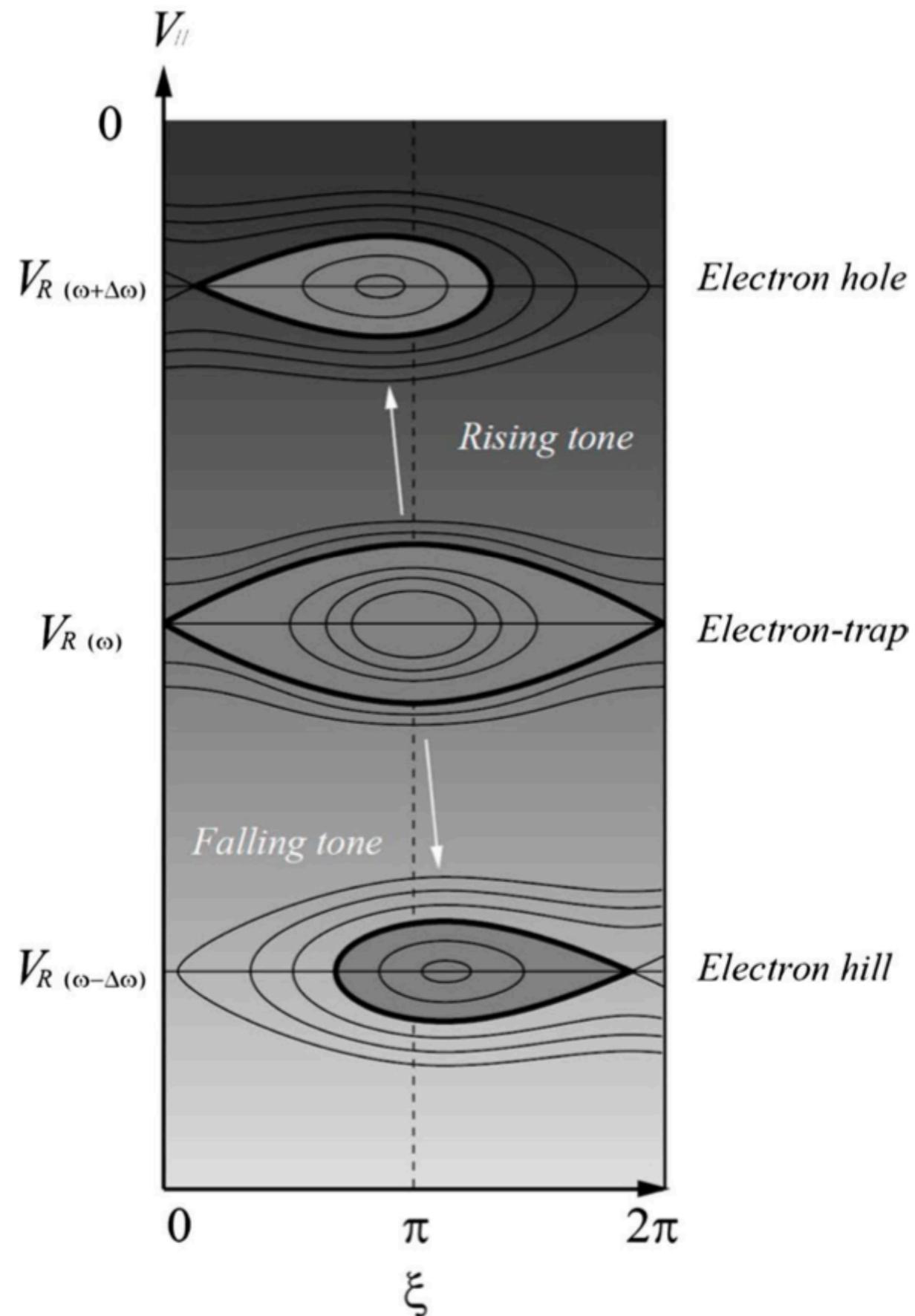
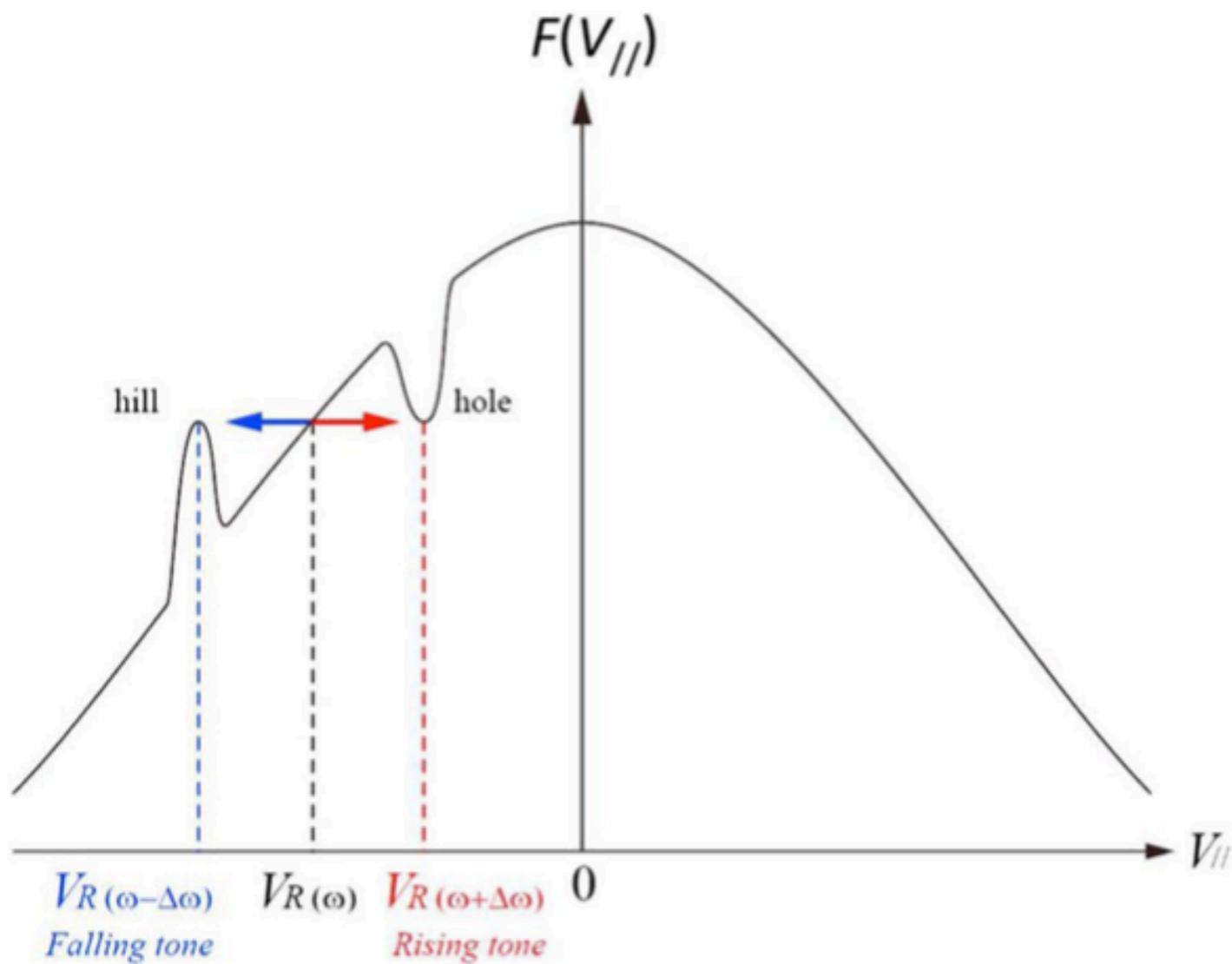


[Omura et al., 2007]



[Walt, 1994]

コヒーレント波動による電子の 捕捉と速度分布関数の変化： 電子ホール/ヒルの形成



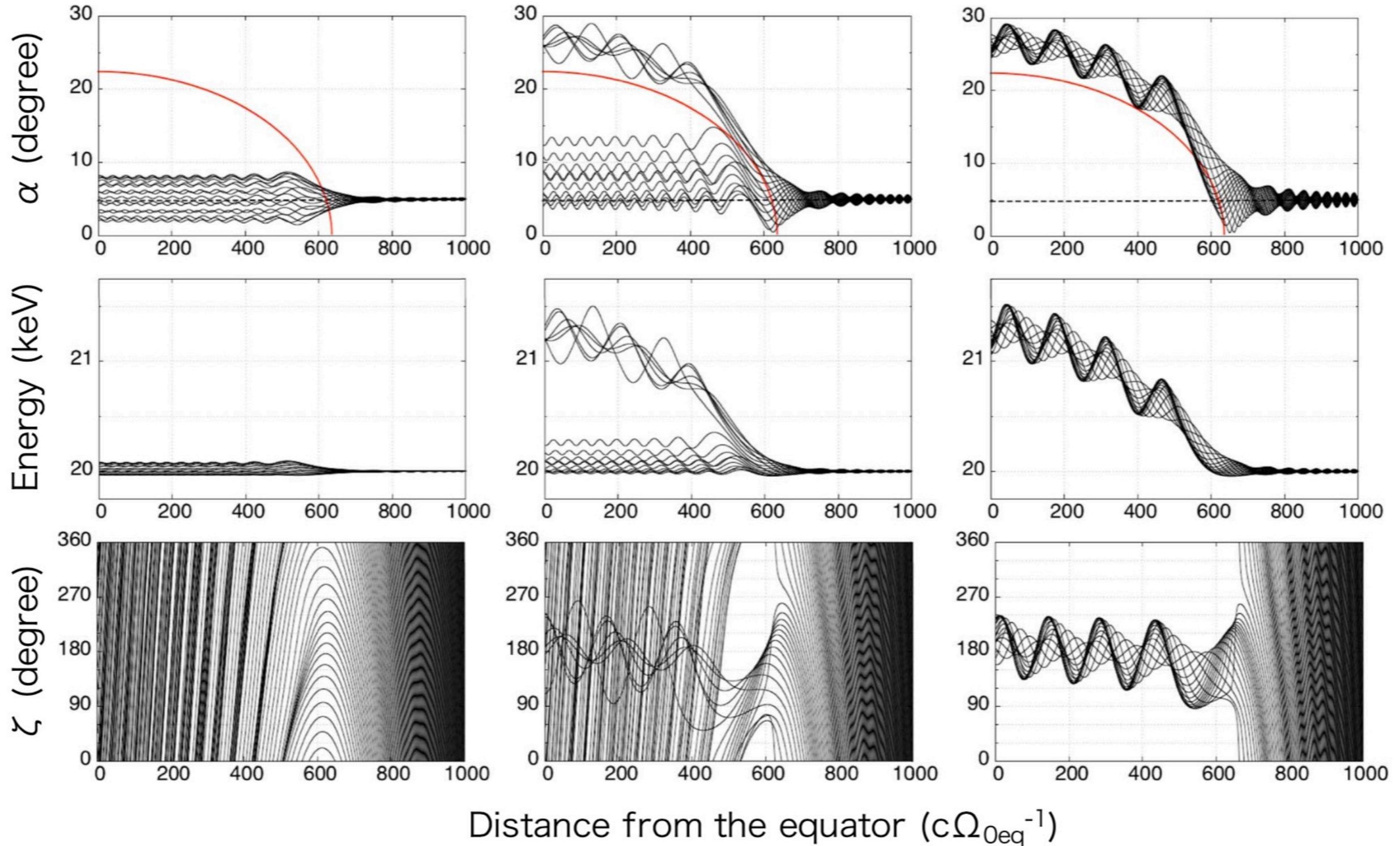
コヒーレントなホイッスラーモード波動による低ピッチ角電子の異常捕捉

Amplitude (B_w/B_{0eq})

0.01 %

0.03 %

0.05 %

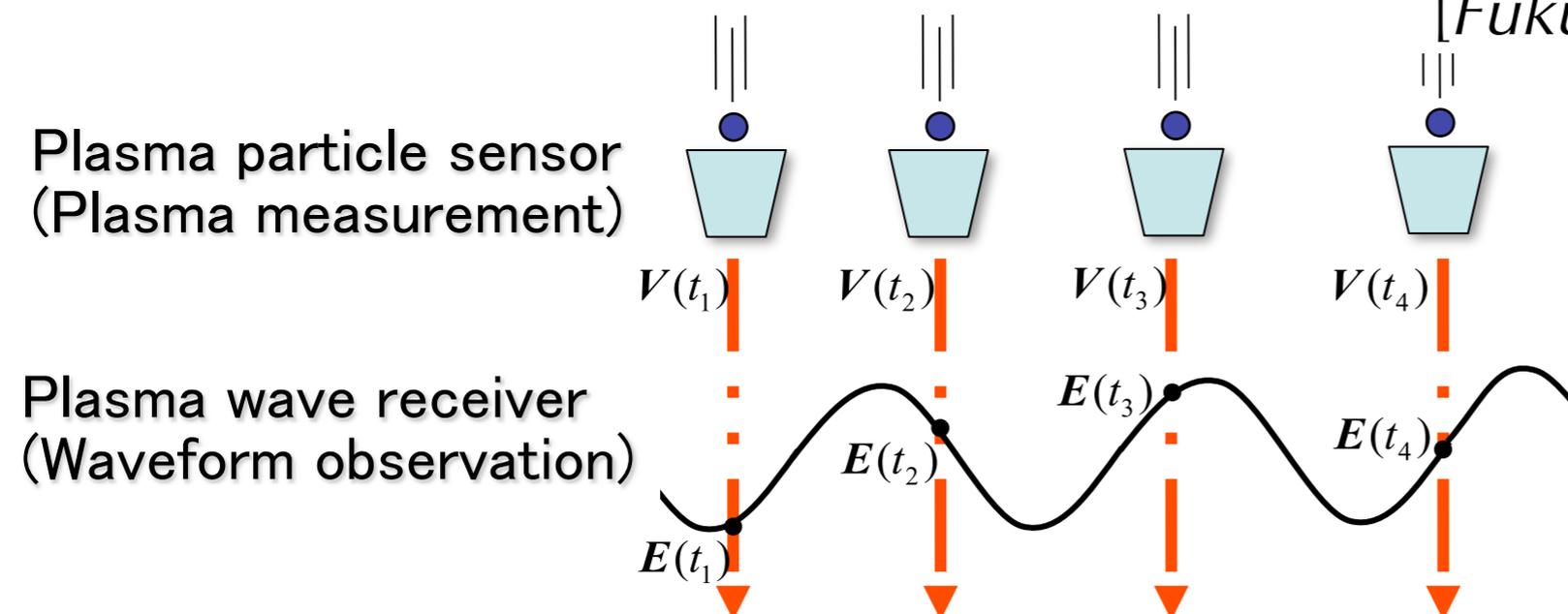


ピッチ角散乱においても、非線形効果が重要な役割を果たす

[Kitahara and Katoh, JGR 2019]

Wave-Particle Interaction Analyzer (WPIA): Direct measurement of energy exchange in space plasma

[Fukuhara et al., 2009; Katoh et al., 2013]



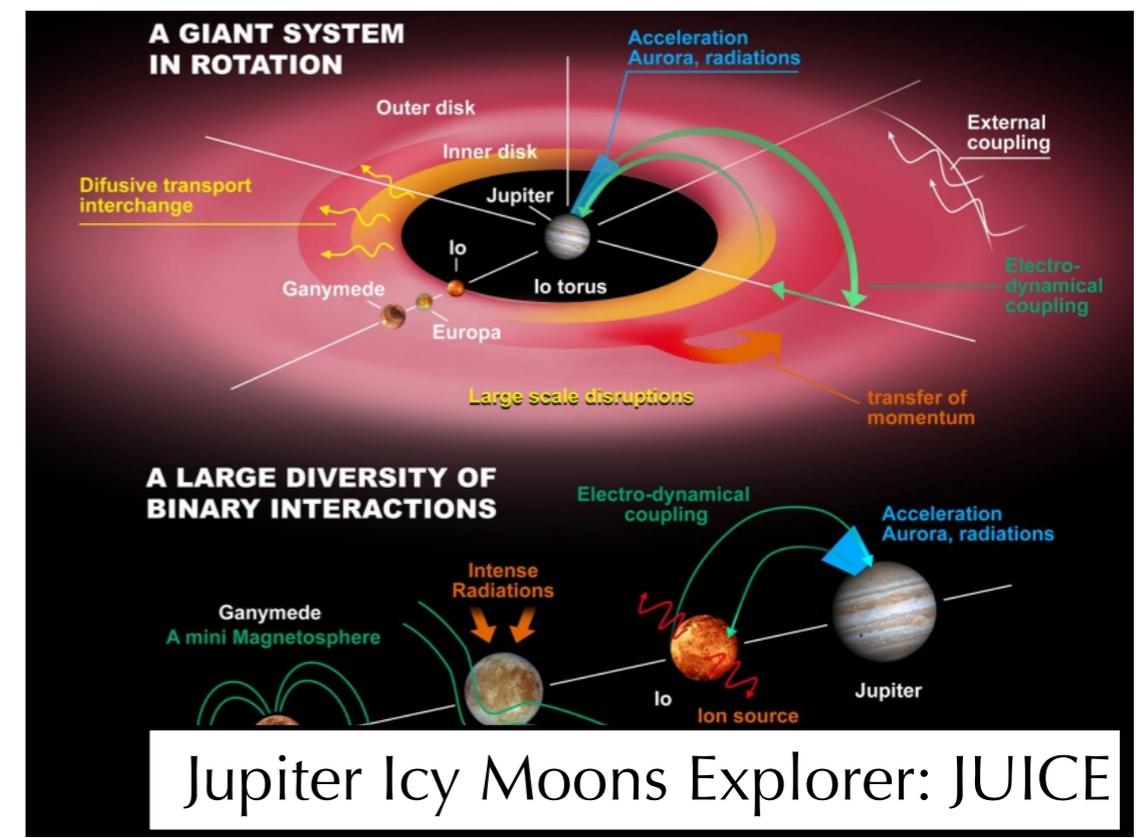
Record of the instantaneous wave vectors and velocity vector of each particle

$$W = \frac{dK}{dt} = q\mathbf{E} \cdot \mathbf{v}$$

$$W_{\text{int}} = \sum_i^N W_i$$

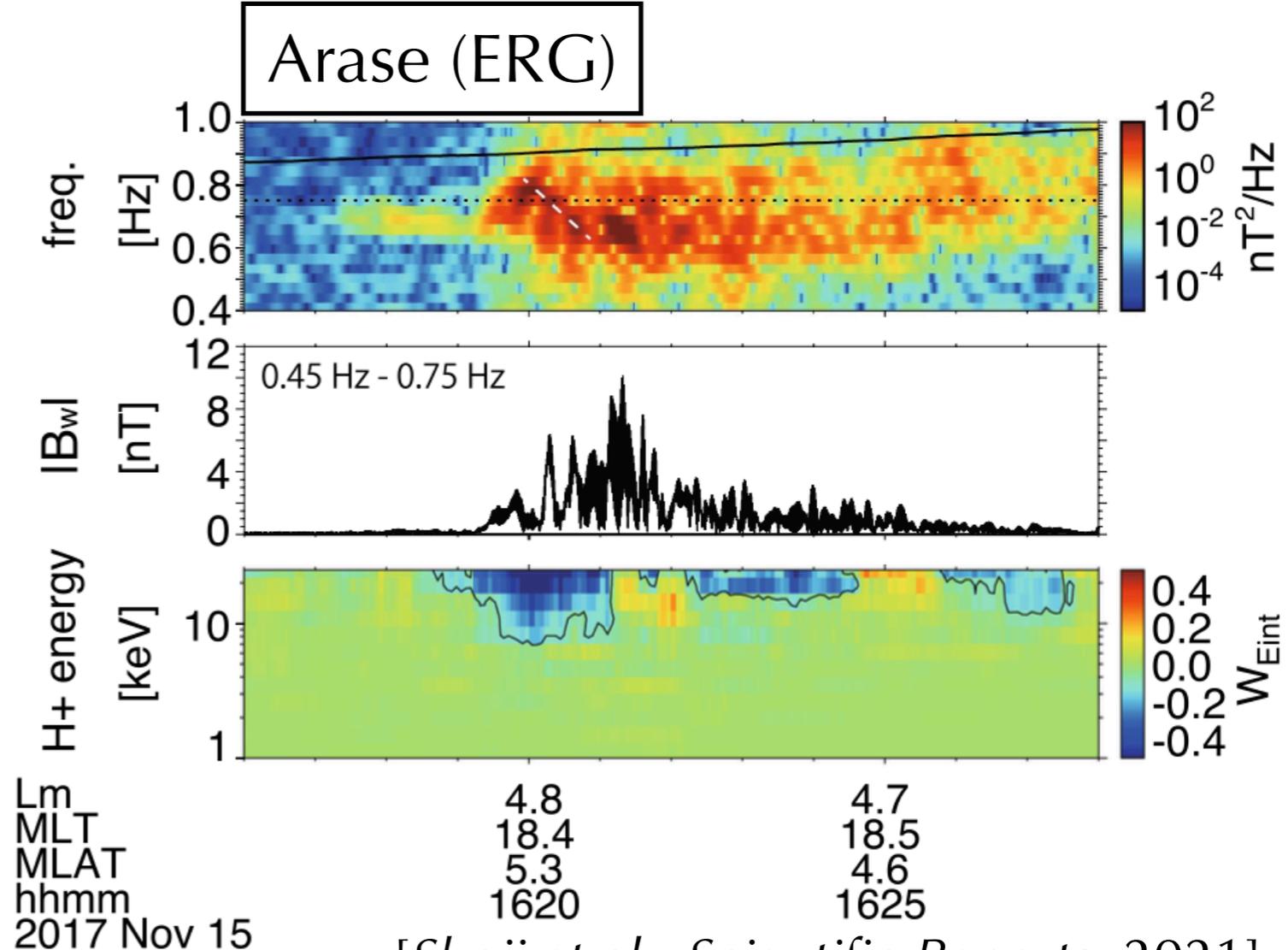


Arase (ERG)

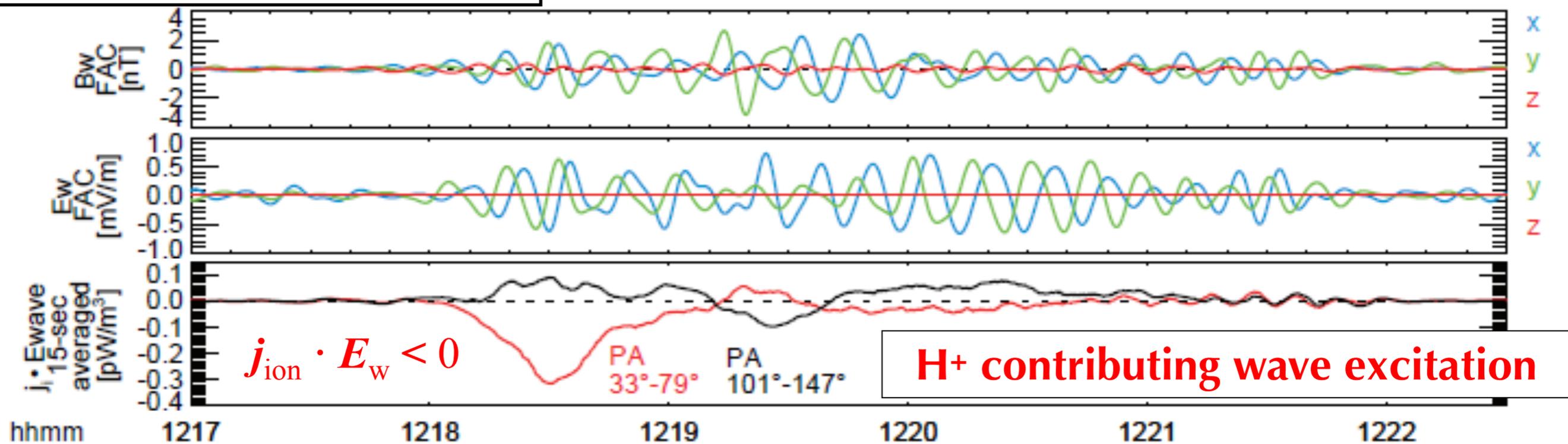


Jupiter Icy Moons Explorer: JUICE

電子イオンサイクロトロン波動との相互作用によるエネルギー交換量の直接計測



MMS衛星による観測結果



[Kitamura et al., Science 2018; JGR 2021]

まとめ

- 地球・惑星磁気圏に存在する高エネルギー電子の生成と消失過程の双方に、サイクロトロン共鳴を基本とする波動粒子相互作用が重要な役割を果たしていると考えられている
- コヒーレントな波動（ホイッスラーモード・コーラス放射、電磁イオンサイクロトロン波動）による非線形効果が本質的に重要であることが示され、非線形理論に基づいた高エネルギー電子の生成・消失過程の再検討が進められつつある
- 非線形効果の影響を定量的に調べる実験（磁気圏のパラメータの再現 and/or 実験室の現象及びパラメータでどのように生じるか、に着目）
 - 波動粒子相互作用による速度分布関数の変化
 - 「エネルギー交換量」の直接計測
- 実験室での電子・イオンサイクロトロン加熱において、コヒーレントな波動による非線形効果の影響は？