電波を用いた空気シャワー観測手法の検証実験

東京大学宇宙線研究所 池田 大輔



電波エコー法

Bi-static radar

- 自発的に電波を送信し、空
 気シャワーからの散乱波を
 観測
- 空気シャワーが通過した後 に形成される電子柱がター パパパ ゲット
- Duty100%, 大気中減衰無し - 安価(?)

流星観測において実績有

流星:高度~100km, ~70km/s, ~数µgの塵



EAS:高度~数km, 光速, 原子核(p~Fe)

多地点同時流星観測プロジェクト3







- 直交検波
- 25MHzサンプリング
- 対象周波数:50-77MHz
- 前置増幅器:~30dB
- 受信機内增幅器:~20dB





- Anritsu MH648A
- Gain: 10, 20, 30dB
- 0.1kHz 1.2GHz

バンドパスフィルタ・

- High Pass: > 25MHz
- Low Pass : < 100MHz
- Band Cut (FM cut):
 < 88MHz, > 108MHz



デジタル受信器

- Ettus社, USRP
- 25MHzサンプリング
- 内部ボードにより機能を 変更可能
- GPSからの1PPS, 10MHz に同期

アンテナ用:

- 直交検波ボード
- ・ 0-31.5dBの増幅器
- 中心周波数は 50MHz-2GHzまで可変
 トリガー側:
- Normal ADC

Observation Log

- 2012年7月
 - ELSから21km離れたCRCに送信器を設置 (660W, 54.1MHz)
 - 受信器1台で測定
- 2012年12月
 - ELSから140m離れた場所に送信器を設置(10~100W, 55~60MHz)
 - 受信器をELSを挟むように2台に増やして測定
- 2013年3月
 - BRIC送信器を設置
 - 同じ場所に偏波を変えた受信器を2台設置

○ 今回は2012年7月、12月の測定結果について報告

幅の違う2種類のビーム

- 1) 1us width beam
 - FD較正に使用している物と同じ
- 2) 20ns width beam
 - ピーク電流値を上げるため、20ns 幅の短いビームを使用
 - 1usと同じ電荷量の場合、ピーク電 流値は約50倍程度



ファラデーカップの有無で、受信信号に差があるかを測定:ELS運転ノイズを差し引く
 送信電波のON/OFFで比較:電波エコーによる物かどうか判断



ELS Beam Setting







20ns beamによる測定



電子ビーム電荷量 対 検出された信号の波高



検出された信号は電子ビーム電荷量に依存 →電子ビームから自発的に発生した電波! 10

2012年11月:電子ビームから自発的に発生する電波の詳細測定

- 信号そのものが非常に興味深い
- ・ 電波エコー観測にとってはノイズ

→特性を理解する





1) 再現性

・2012年7月と同様、20nsビームでは電波ON/OFFに関わらず信号が観測された

2) 本当にアンテナで観測されているのか

・アンテナをELSから90度の方向に向ける

→ 信号強度は1/15になった(アンテナの方向感度からの予想と一致)

→確かにアンテナで検出している

3) 偏波依存性

・RX1を垂直偏波、RX2を水平偏波として観測

→水平偏波=0.5*垂直偏波

4) 周波数依存性

•RX1の信号を分岐して、60MHz, 75MHz, 175MHz, 250MHzを測定
 →短波長側では信号が小さくなる

周波数	信号強度
60MHz	1
75MHz	0.94
175MHz	0.02
250MHz	0.01

11



結果と今後の予定

- 2012年7月、12月、2013年3月に現地でELS電子ビームによる電 波エコーの測定を行なった
- CRCから電波送信、1usビームでは信号は観測されなかった
- 20nsビームによる測定では信号が観測された
 - 送信電波の有無に関わらず、電子ビーム射出時のみ検出
 電子ビームの電荷量と相関
- 本信号に関して追加の測定を行ない、再現性を確認し、偏波や 周波数に対する依存性について理解した
- 今後、BRIに設置した送信器と、20nsビームを用いた電波エコー探索を進める
- また、TA実験サイトにアンテナを置き、TA実験との空気シャワー 同時観測も開始する。