

あけぼのVLF波動長期観測 データ解析の現状と将来計画

笠原 禎也、後藤 由貴、大池 悠太
(金沢大学)

あけぼの衛星 (1989~)



- 飛行高度: 300 - 10,300km, 軌道傾斜角: 75.1°

■ VLF(低周波波動)観測

- WBA(Wide band receiver)

- MCA(Multi-channel analyzer)

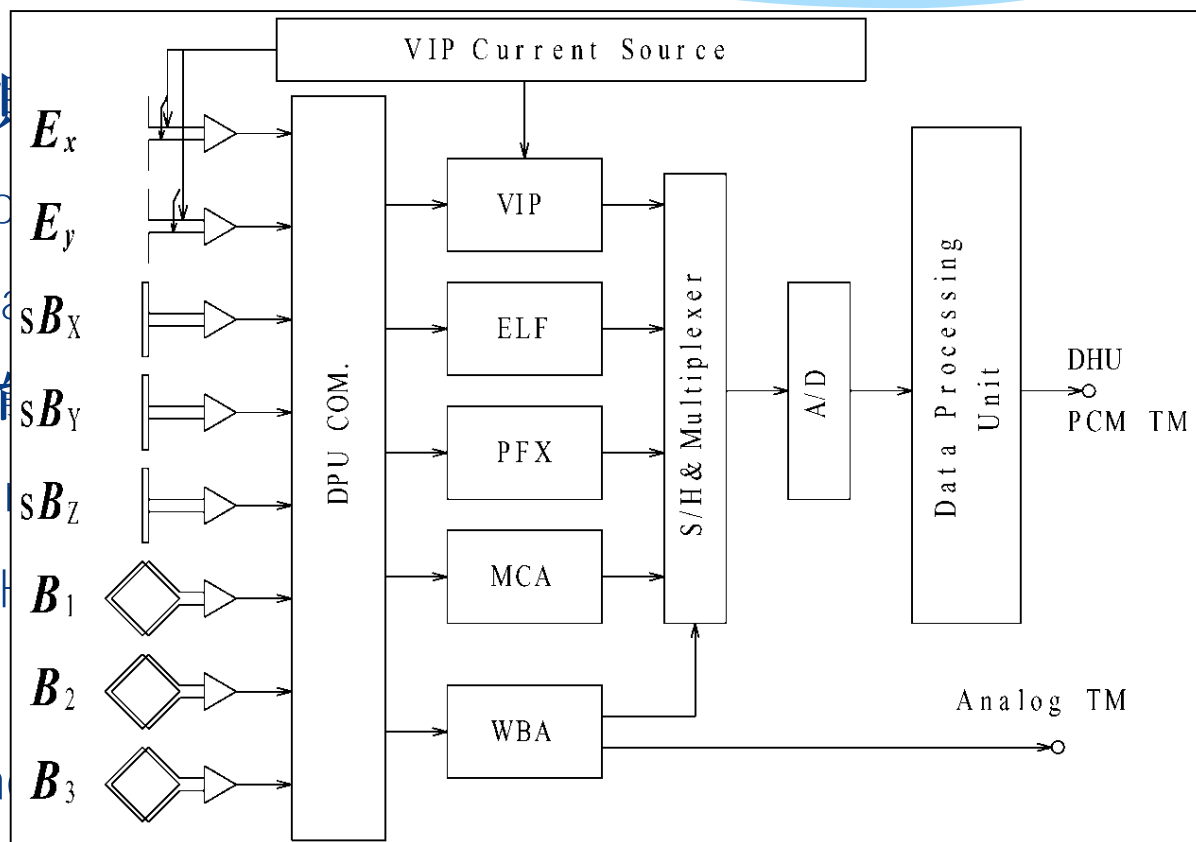
時間分解能

- PFX(Poynting flux analyzer)

狭帯域50Hz

- ELF(ELF receiver)

- VIP(Vector impedance analyzer)



あけぼの衛星 (1989~)



■ 飛翔高度: 300 - 10,300km, 軌道傾斜角: 75.1°

■ VLF(低周波波動)観測装置 (20kHz以下の電波観測)

■ WBA(Wide band receiver) : アナログ波形 (<15kHz, E or B)

■ MCA(Multi-channel analyzers) : $E \times 1$ & $B \times 1$ (<17.8kHz)

時間分解能: 0.5sec, 周波数点: 16ch のスペクトル

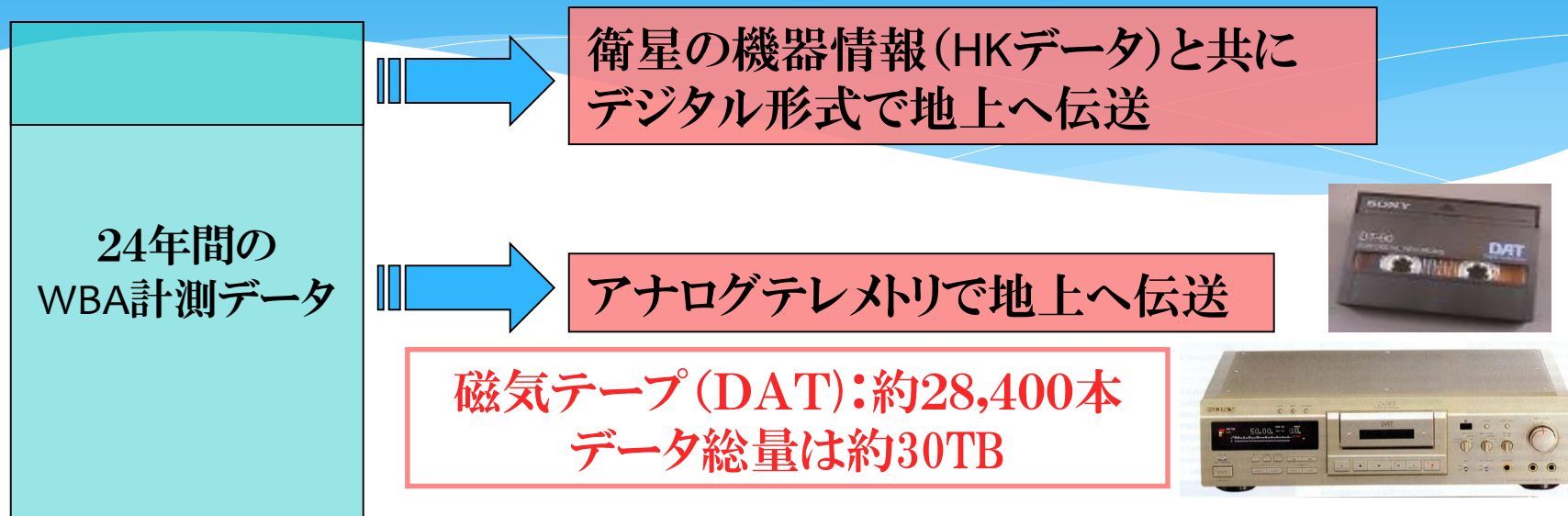
■ PFX(Poynting flux analyzers) : $E \times 2$ & $B \times 3$

狭帯域50Hz, 50 Hz ~ 12.75kHzの掃引, 伝搬ベクトル推定

■ ELF(ELF receiver) : $E \times 1$ & $B \times 3$ (<50Hz)

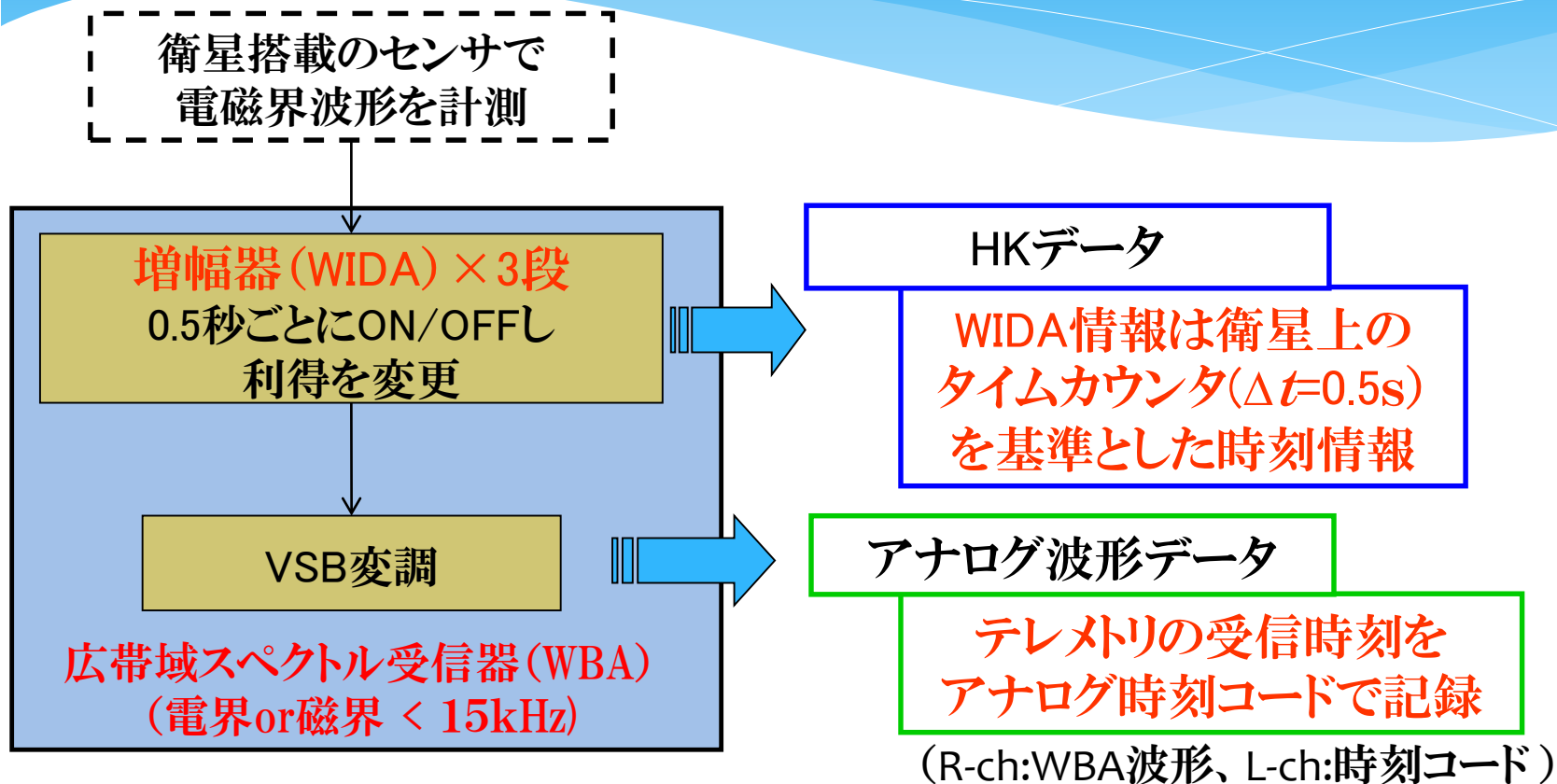
■ VIP(Vector impedance probe) : アンテナインピーダンス測定

WBAデータの現状と課題



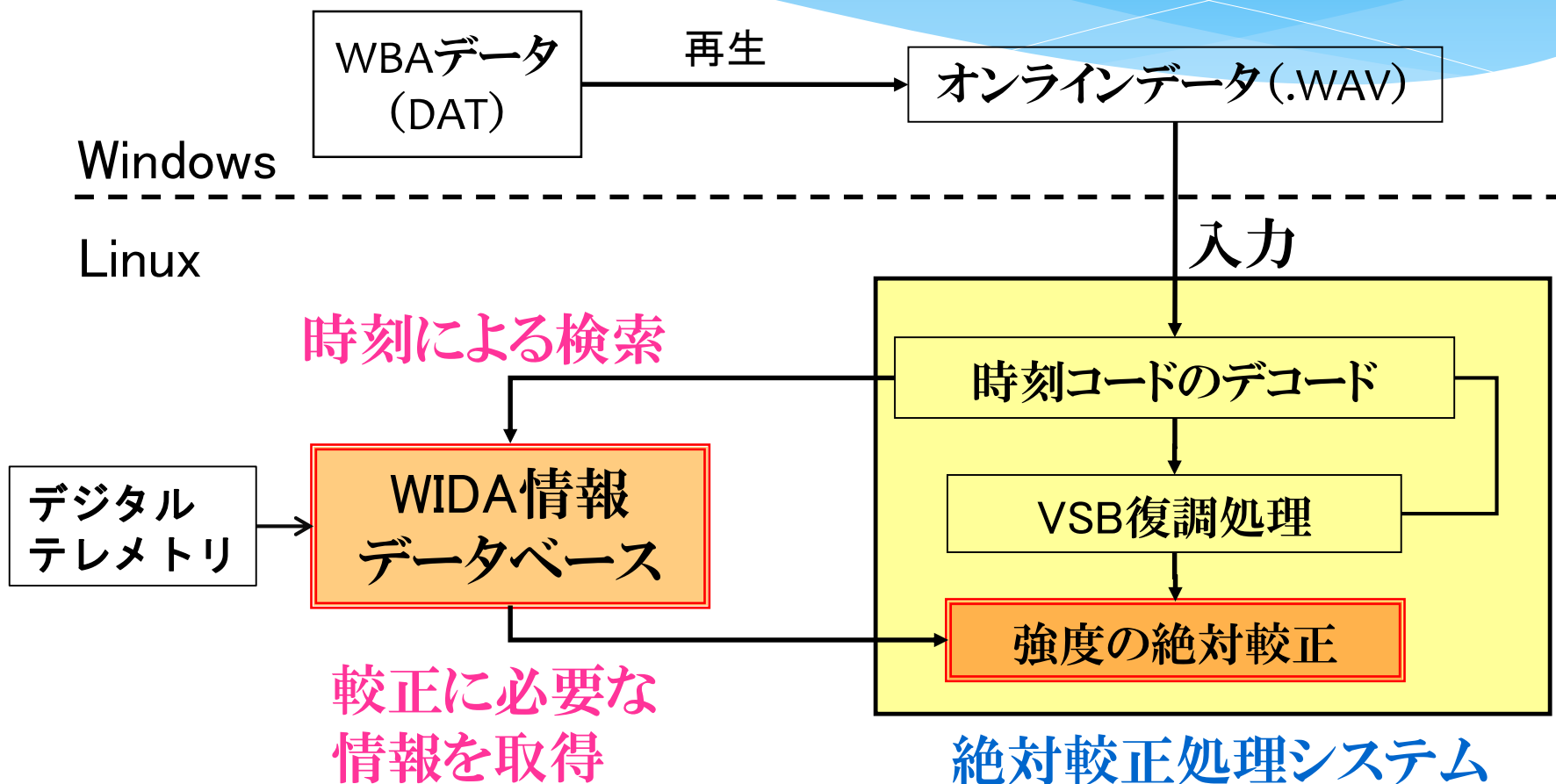
- * DATによるデータ保存の問題点:
必要データを検索不能 (どこに何のデータがあるかも不明!)
テープの経年劣化によるデータ損失のリスク
しかし。。。テープの再生には膨大な時間 (約6.5年!!)
- * HKデータ (デジタルテレメトリ) を用いた時刻・強度校正
- * デジタル化後も蓄積データは膨大! (30TB超)

VLF波形データの絶対校正手順

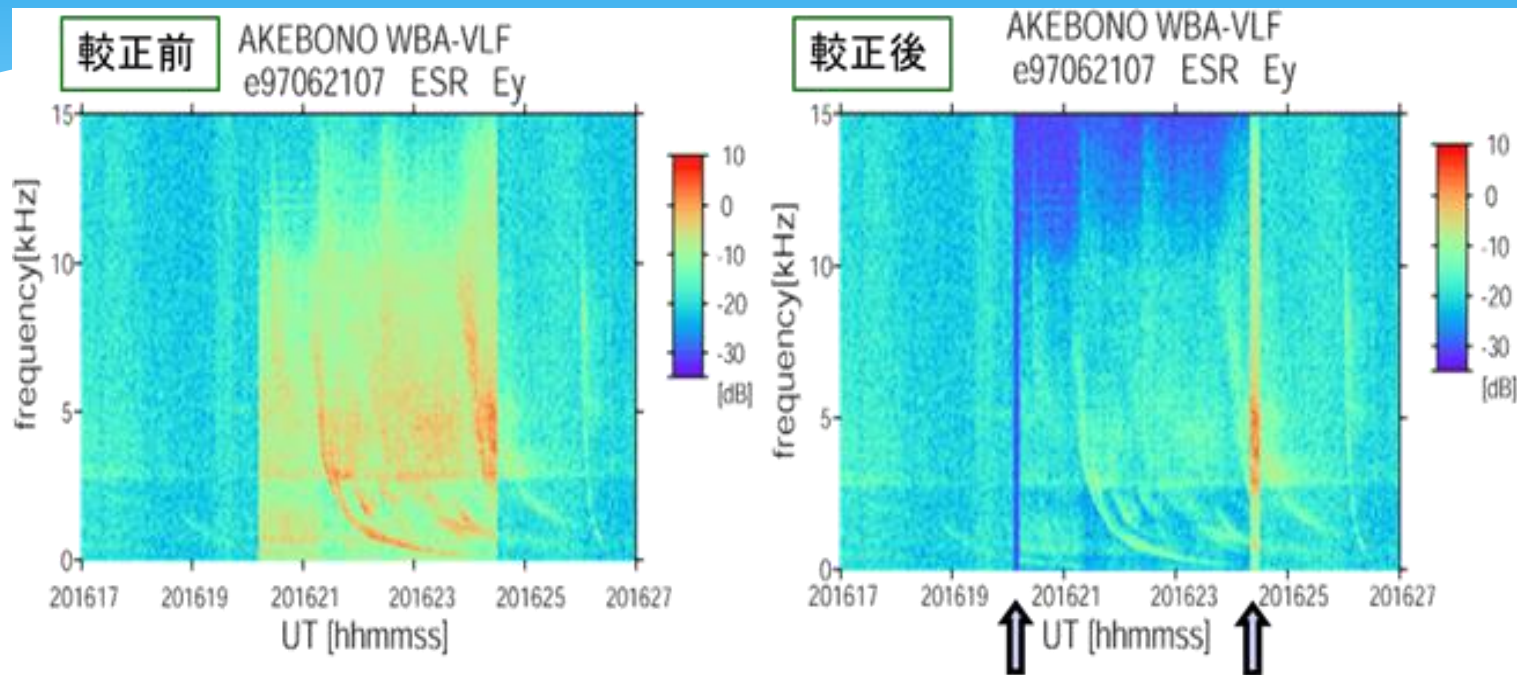


- * WIDAのON/OFF情報に従った波動の強度校正が必要
- * 時刻情報の分解能&記録方式の違いのため、時刻同期が困難

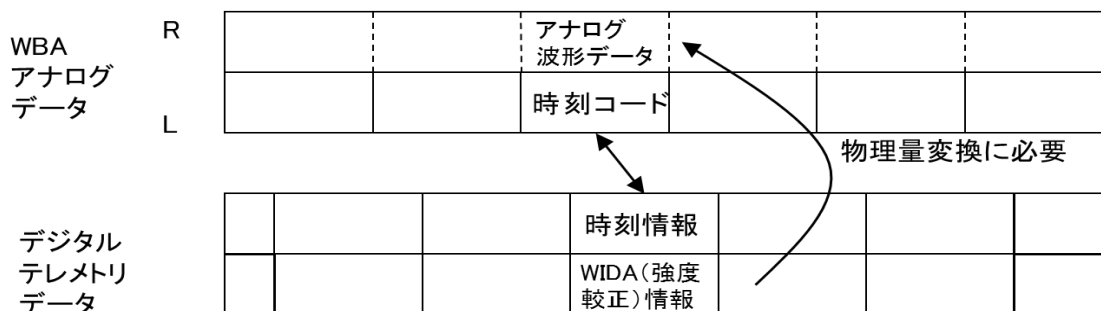
WBA時刻・強度較正システムの概要



時刻情報の違いによる問題点

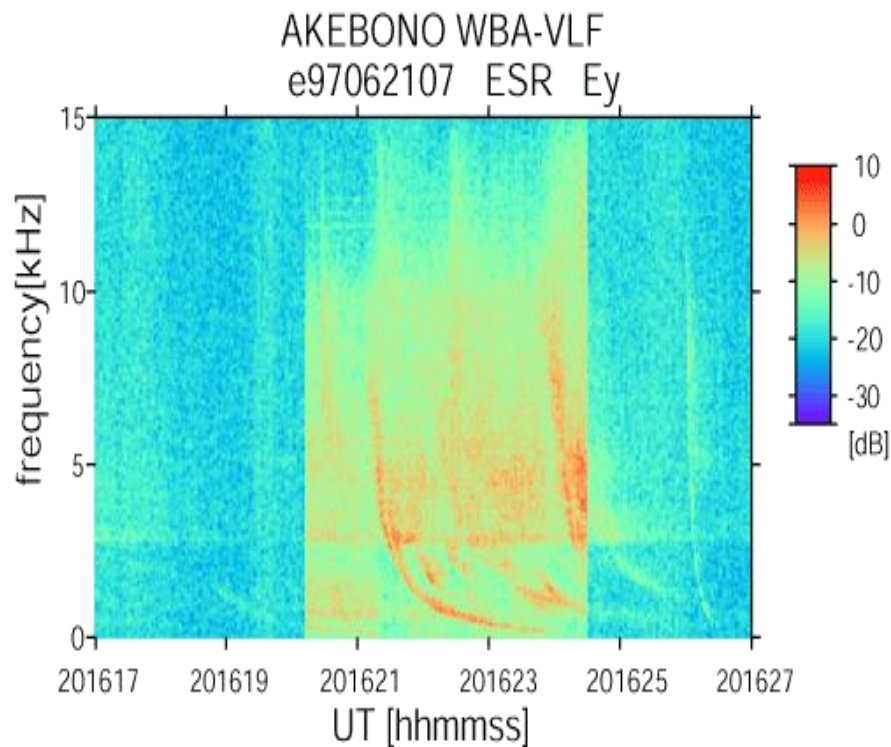


校正時刻に僅かな不整合が生じる

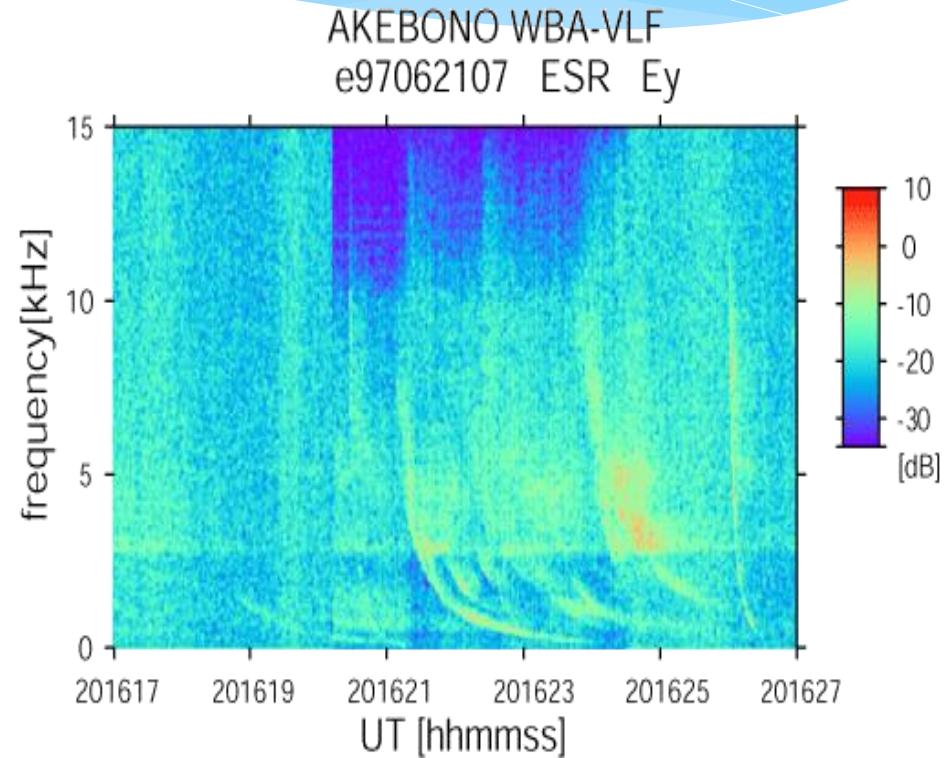


時刻補正後の校正結果

校正前



校正＋時刻補正後



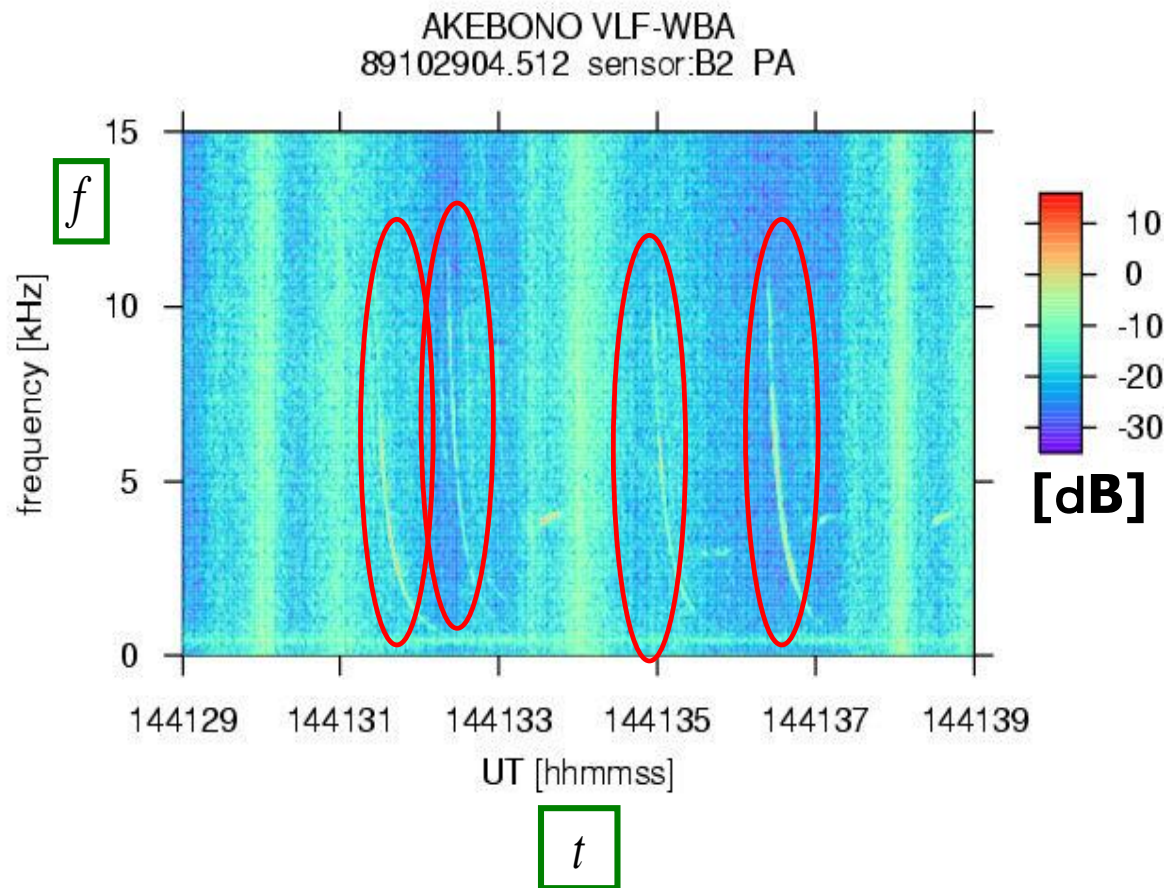
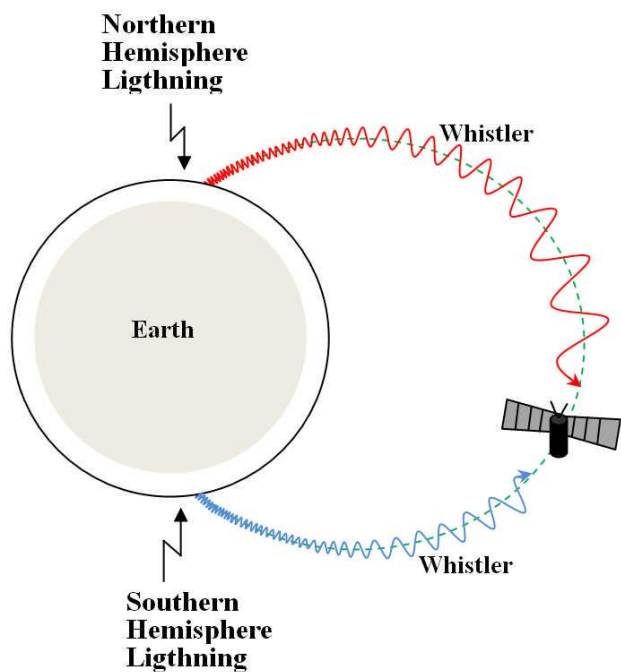
スペクトルデータに時刻方向のメディアン
フィルタを施し、ゲイン変更時刻を決定

→ ゲイン補正の時刻を微修正
20msの精度でゲイン校正を実現

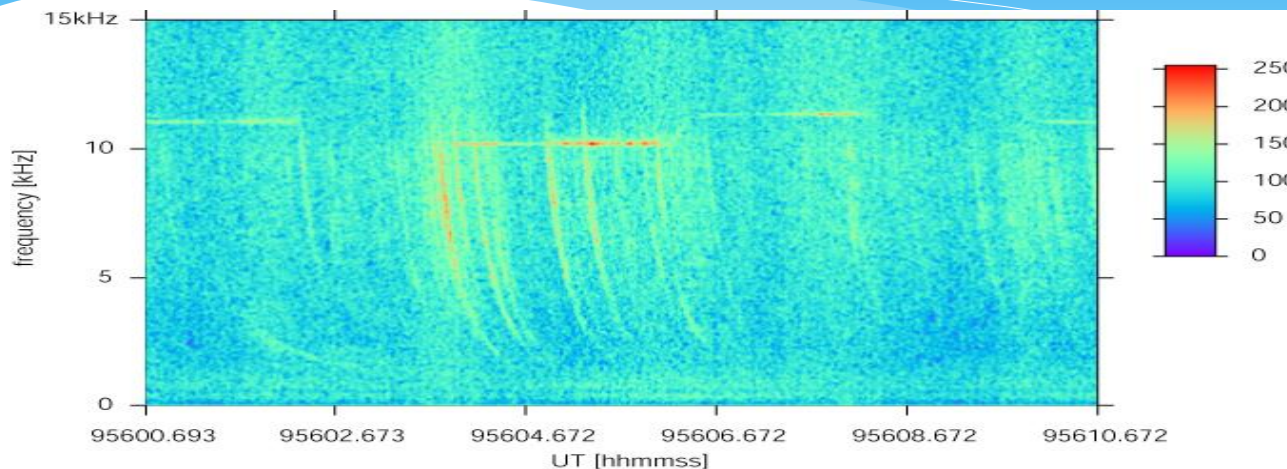
WBA(アナログ波形)データから 得られる新しいサイエンス

- * 雷起源ホイスラの統計解析
 - * 雷観測データとの比較によるグローバルな空間特性
 - * 磁気圏(プラズマ圏)内への電離層透過特性
 - * 雷起源ホイスラに起因する降下電子との関係
 - * ホイスラの伝搬特性を利用したプラズマ圏内電子密度プロファイルの推定
 - * コーラスの詳細スペクトルのイベント解析
(放射線帯物理に関わる波動・粒子相互作用の解明)
- etc.

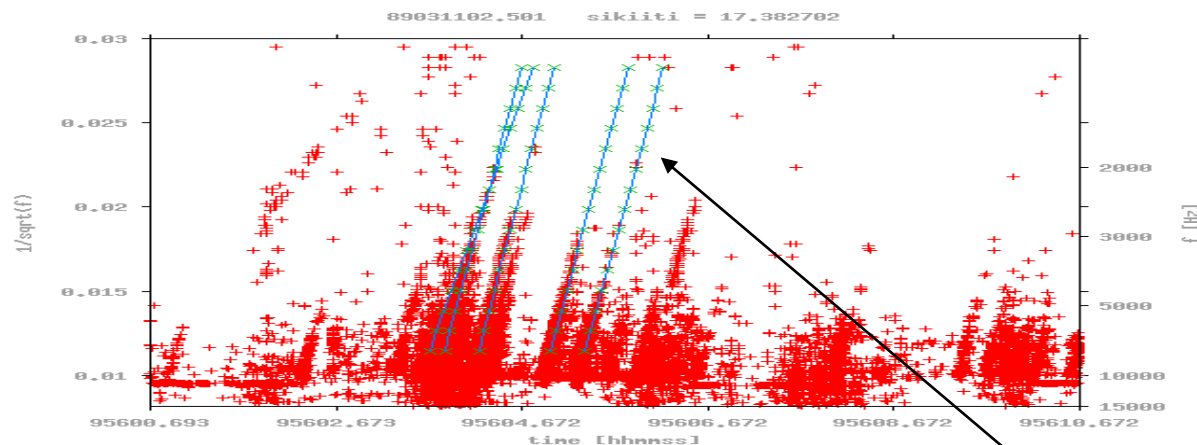
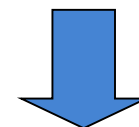
雷ホイストラの自動検出・分散値推定



雷起源ホイスラーの特性



$$f = \frac{D^2}{t^2}$$



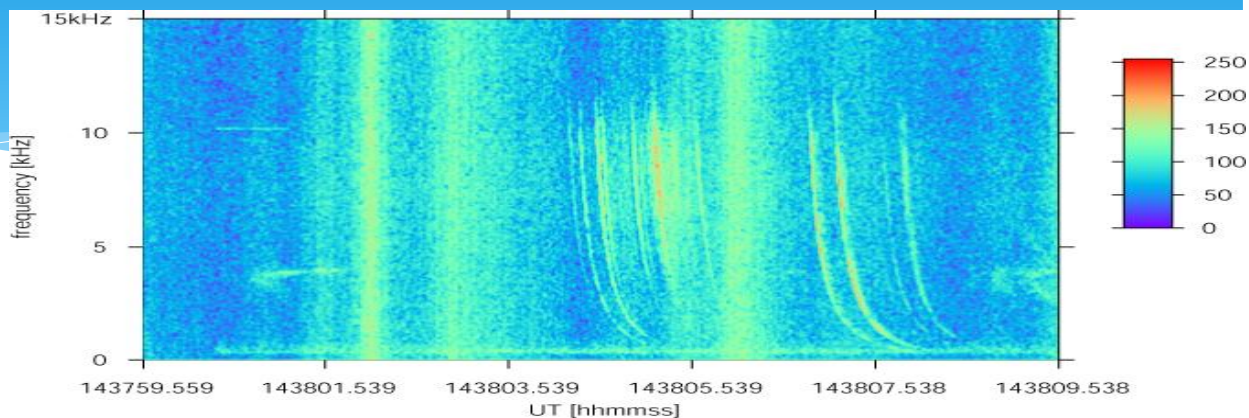
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{D} t$$

ホイスラーは直線で表される

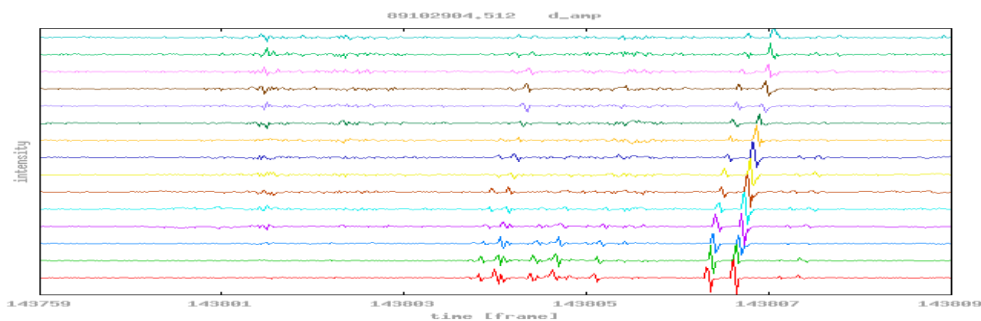
傾きを自動検出

ホイスラーの自動検出例

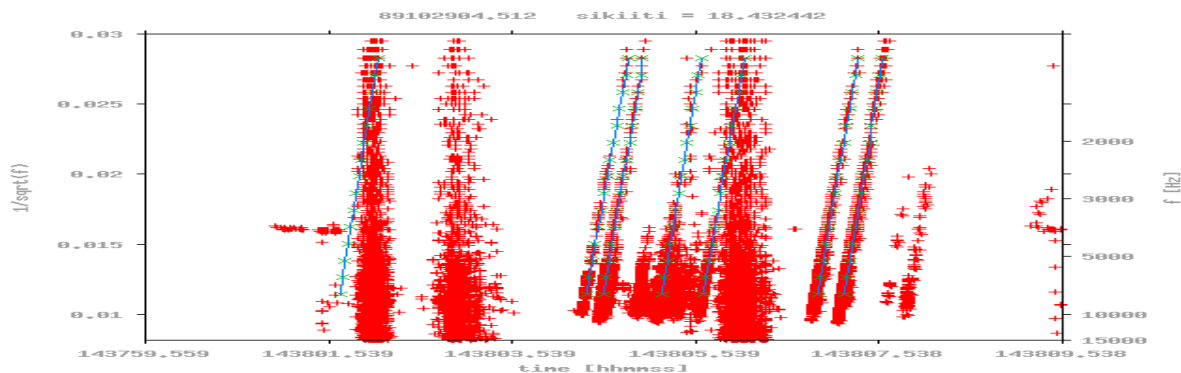
元スペクトル画像



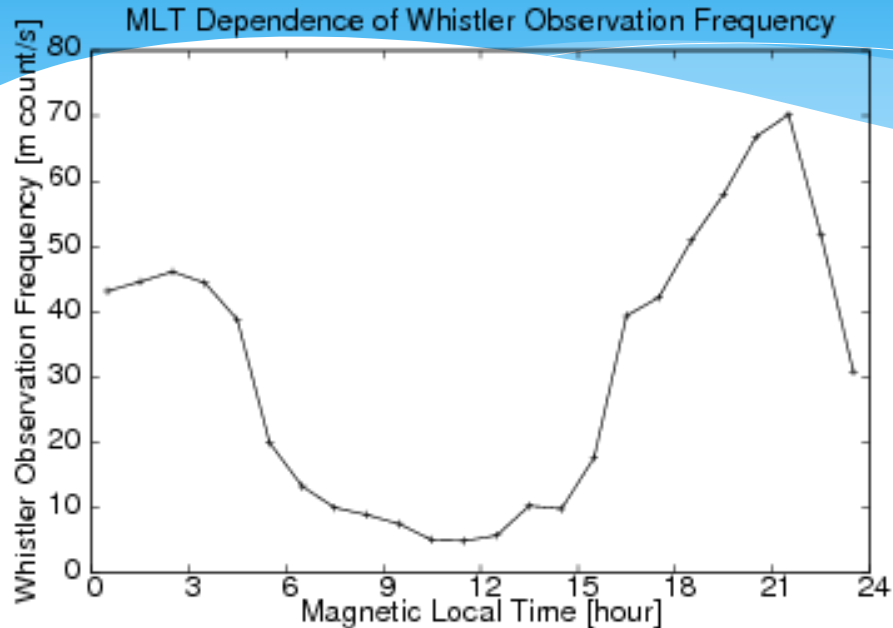
隣接周波数間の差分データ
(スパイク雑音除去データ)



雷ホイスラーの検出結果



雷起源ホイストラのローカルタイム依存性

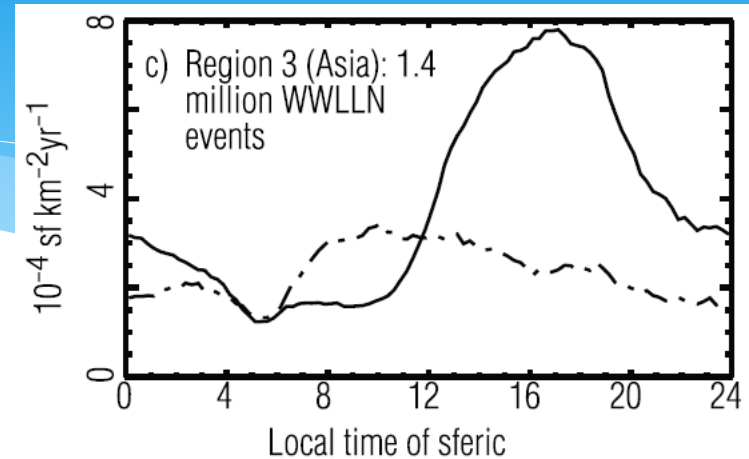


60 <= Geographical longitude <= 180

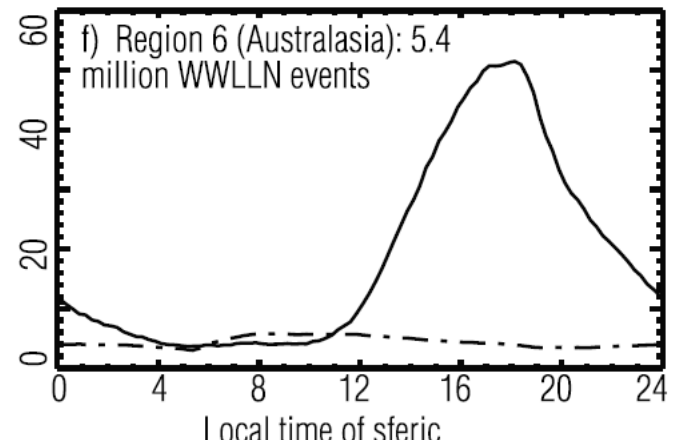
| | |
|-----------------------|------------------------|
| Total detection count | Total obs. time (min.) |
| 90506 | 52895 |

雷起源ホイストラのローカルタイム依存性
(あけぼのWBA観測)

(Oike et al., to be submitted)



Lightning flash density in Asia, 2005



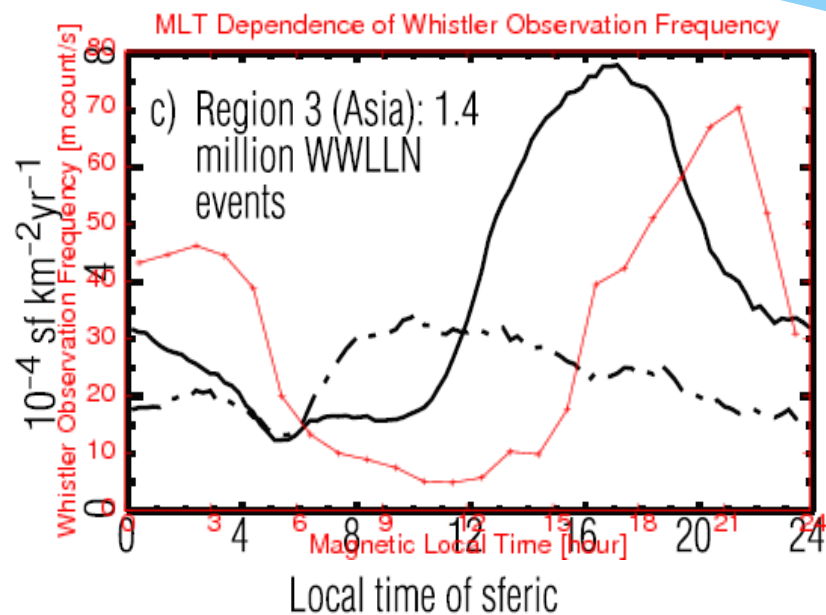
Lightning flash density in Australasia, 2005

雷発生頻度のローカルタイム依存性
(地上観測)

(Erin H. Lay et al., JGR, 2007)

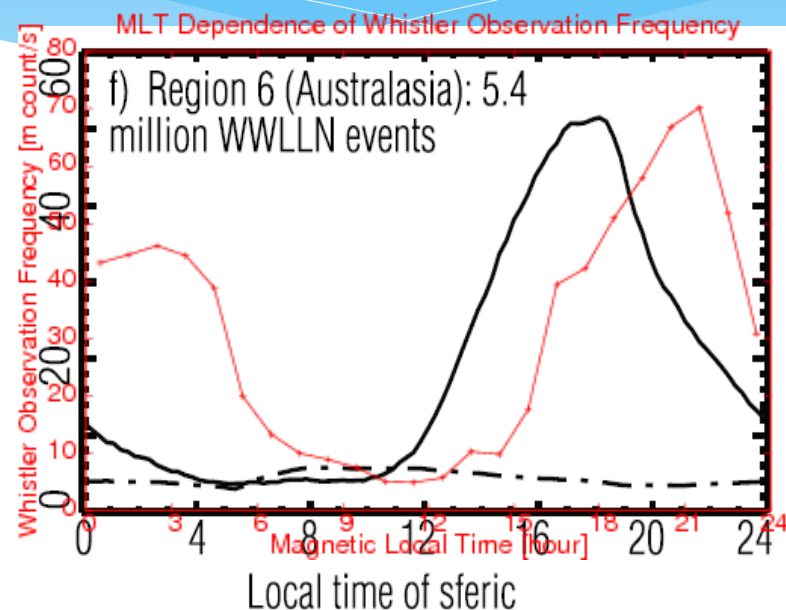
This document is provided by JAXA.

雷起源ホイストラのローカルタイム依存性



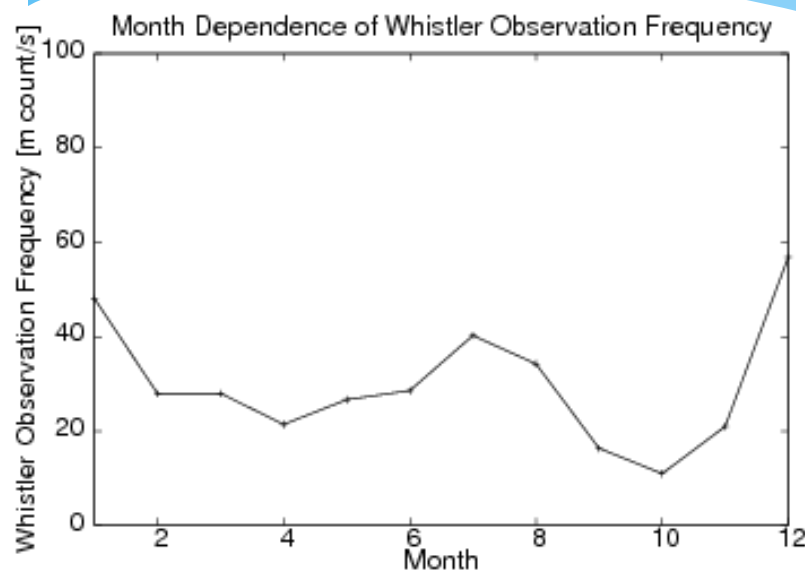
Diurnal variation laps over lightning flash density in Asia, 2005

- Red graph : Lightning whistler
- Black graph : Lightning flash



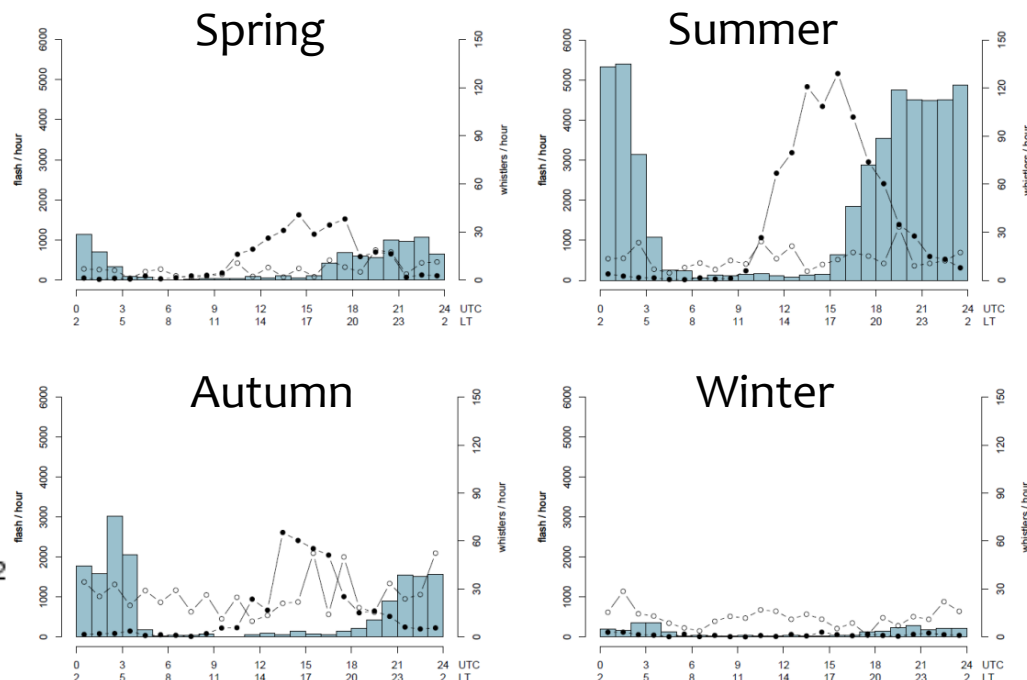
Diurnal variation laps over lightning flash density in Australasia, 2005

雷起源ホイスラの季節依存性



雷起源ホイスラの季節依存性
(WBA観測)

(Oike et al., to be submitted)



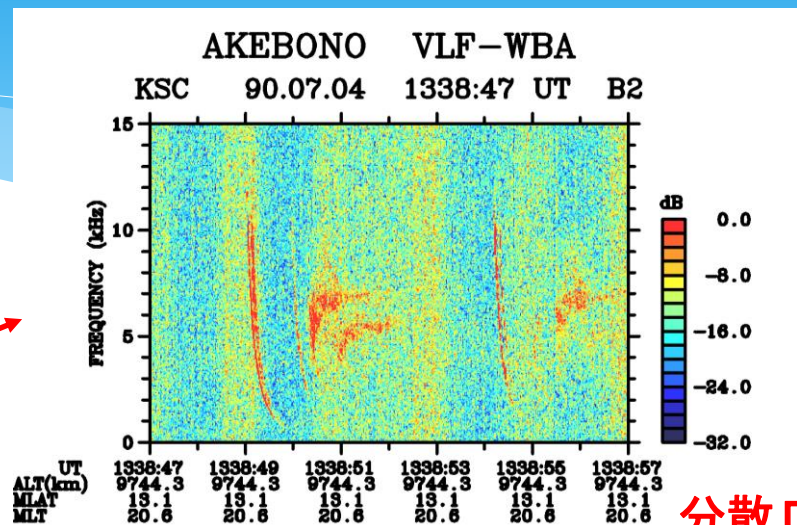
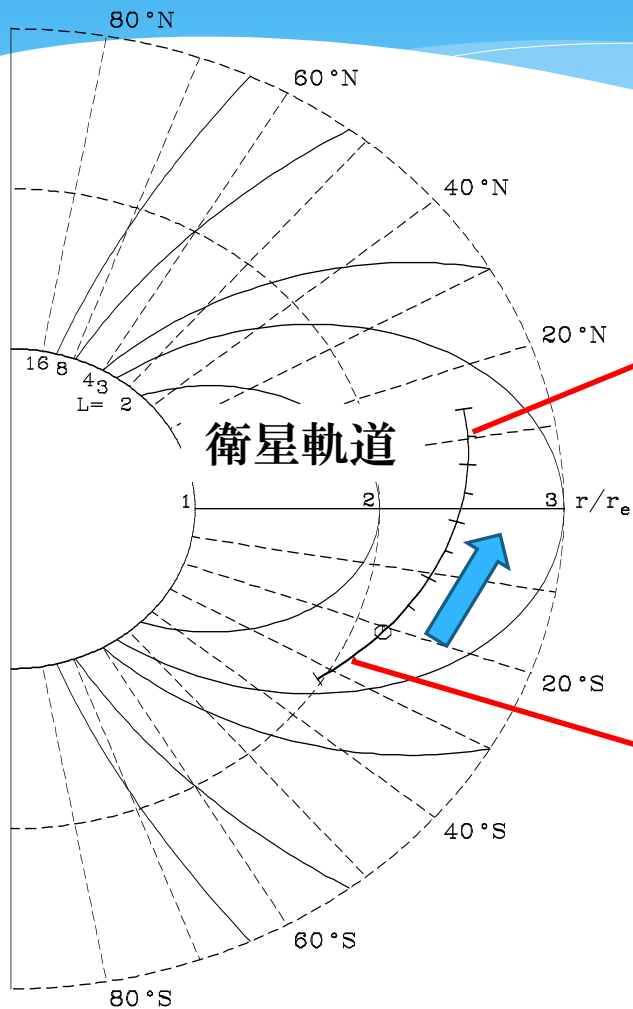
Diurnal variation of Flashes / hour in southern Africa and Whistlers / hour at Tihany at each season of source region (south Africa)

雷発生頻度と共役点における雷起源ホイスラの季節依存性 (地上観測)

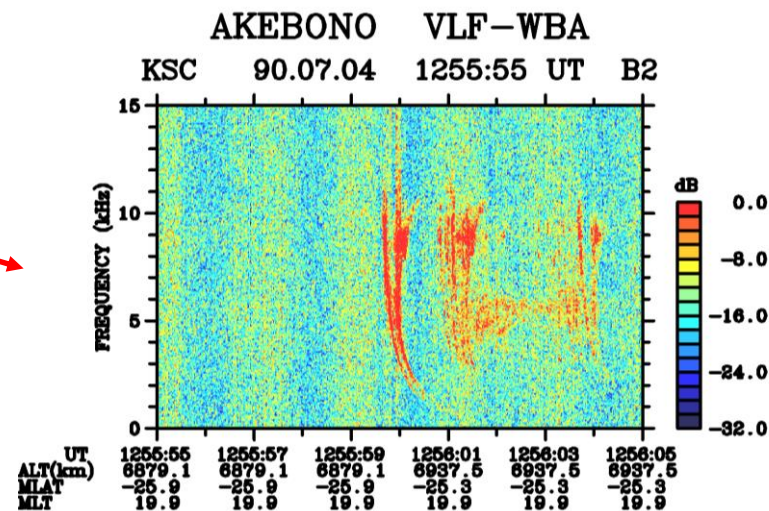
(A. B. Collier et al., Ann. Geophys. , 2006)

This document is provided by JAXA.

衛星軌道上で観測されたホイスラーの分散



分散 $D = 29$

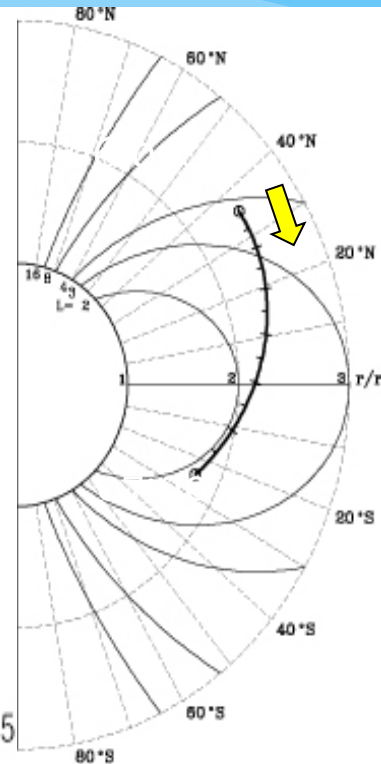
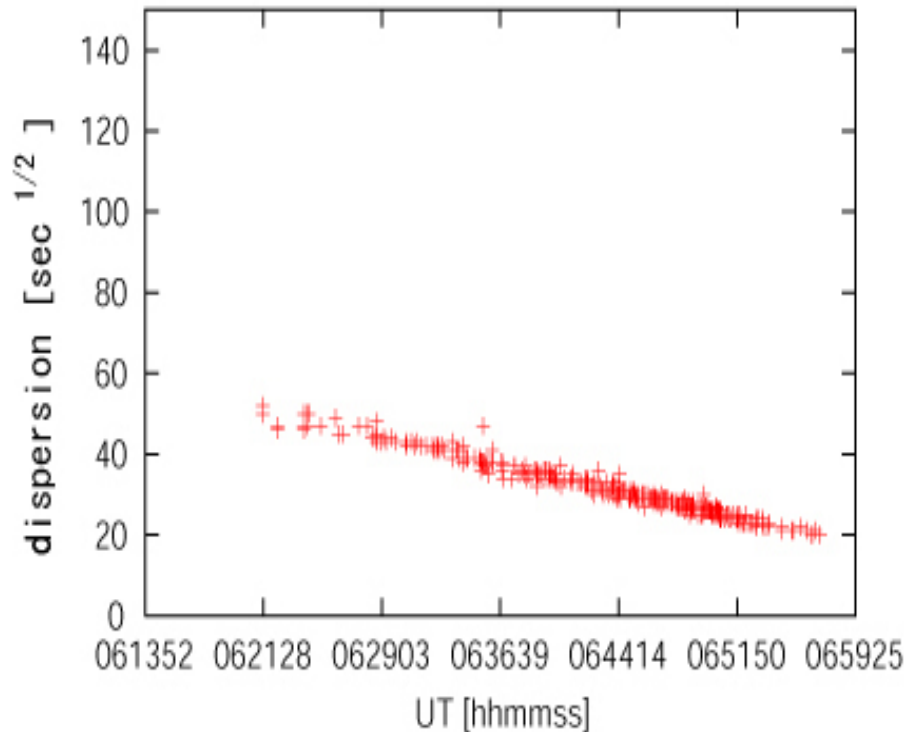


分散 $D = 45$

1990/7/4 あけぼの衛星の軌道

分散値推定結果(1)

91080102.501

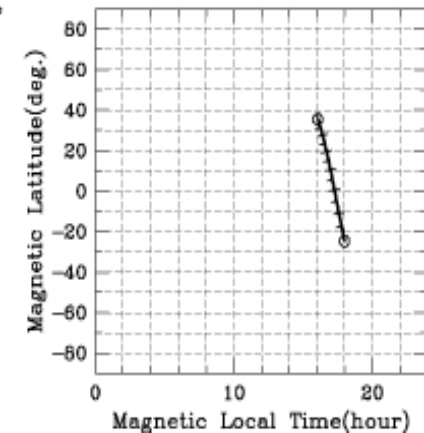


Akebono (EXOS-D) Orbit
(in dipolar geomagnetic coordinate)

91.08.01 0600 - 0700 UT

(9328km, 35.49°N, 18.08°E) at 0600 UT

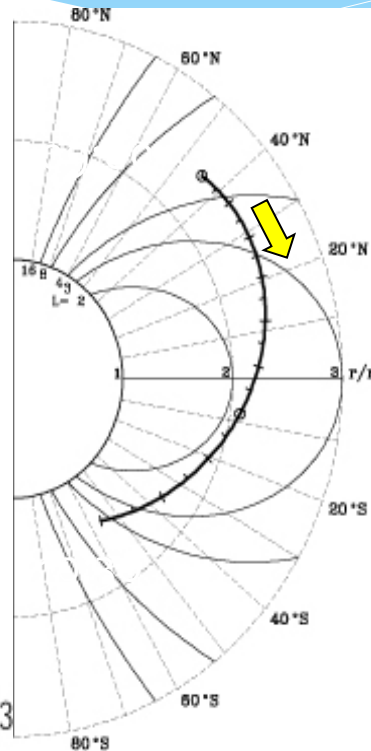
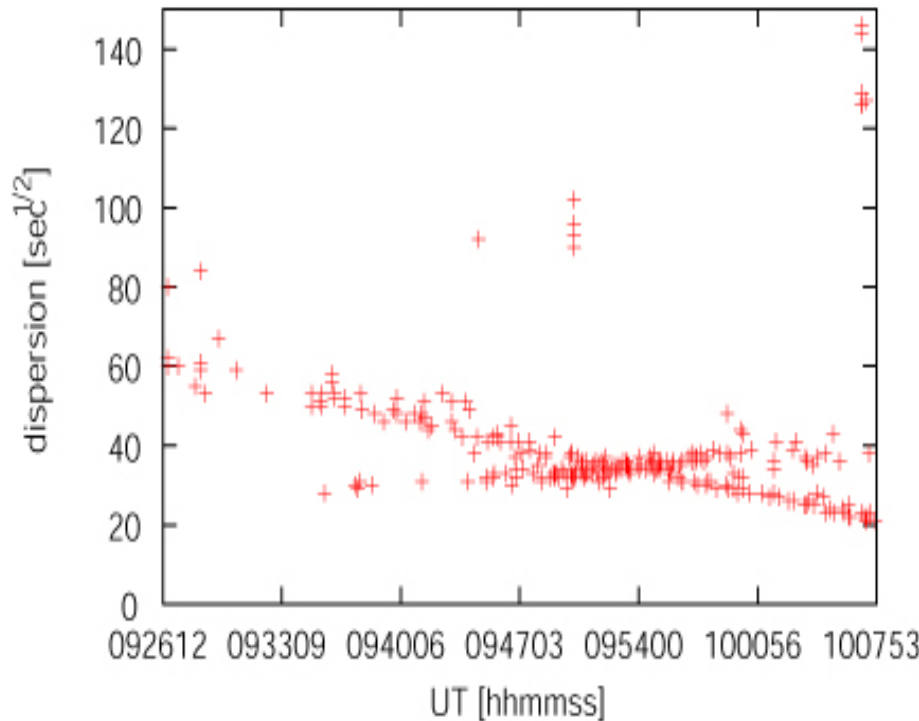
(4924km, 24.63°S, 18.01°E) at 0700 UT



南半球から伝搬したホイスラが受かっている

分散値推定結果(2)

91080103.501

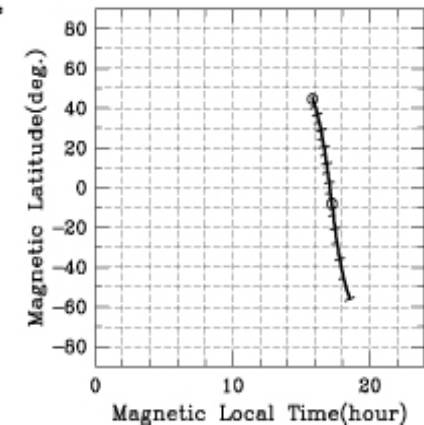


Akebono (EXOS-D) Orbit
(in dipolar geomagnetic coordinate)

91.08.01 0900 – 1030 UT

(9056km, 44.71°N, 15.84°E) at 0900 UT

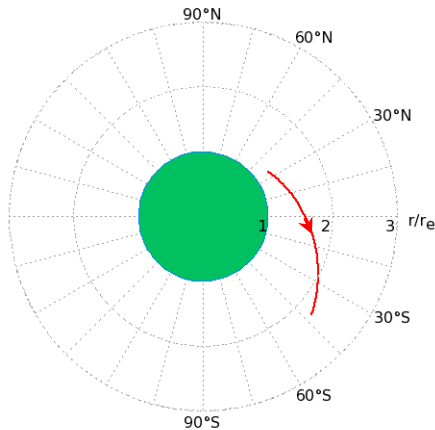
(2778km, 56.04°S, 18.55°E) at 1030 UT



北半球と南半球から伝搬した両方のホイスラが受かっている

The observed and the proposed models dispersion plot on 1989/7/12

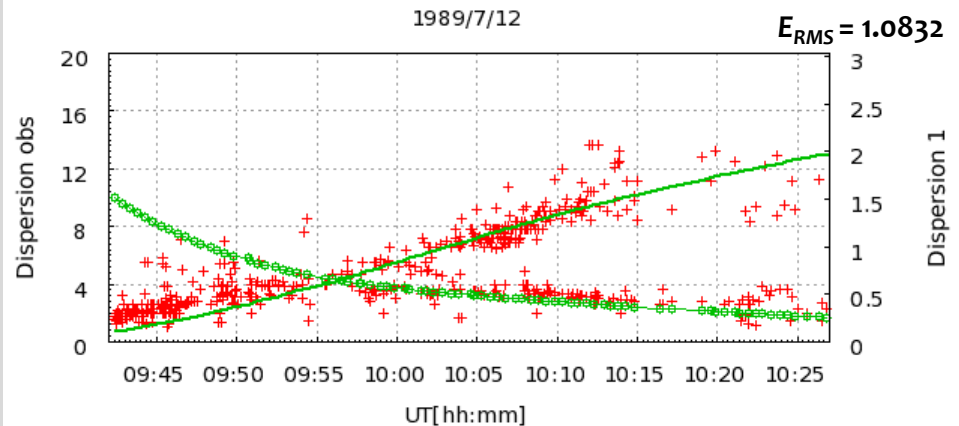
Akebono trajectory



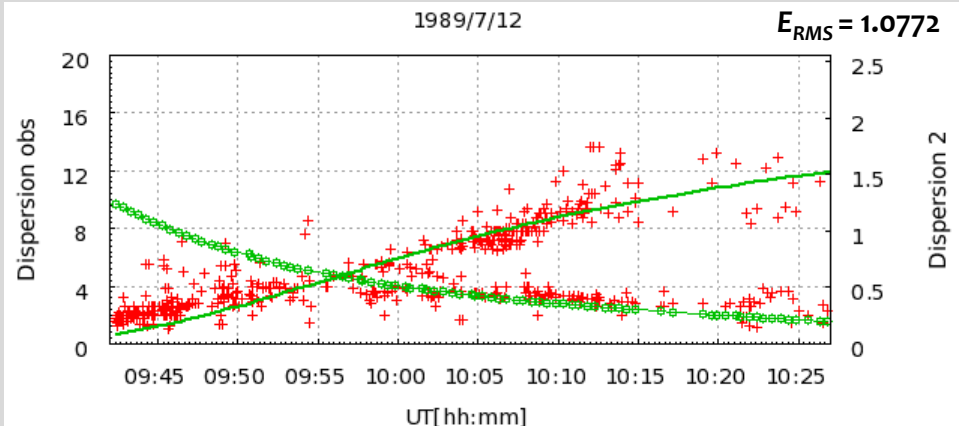
Information

- + is the observed lightning whistler
- — is the calculated dispersion
- Akebono latitudes 34.95° N to 41.9° S
- Akebono altitudes ~ 1420 - ~ 7911 km
- Assuming the source points are from southern and northern hemisphere
- Path lengths of lightning whistler are ~ 1679 - ~ 65850 km from northern
- Path lengths of lightning whistler are ~ 21210 - ~ 8578 km from southern

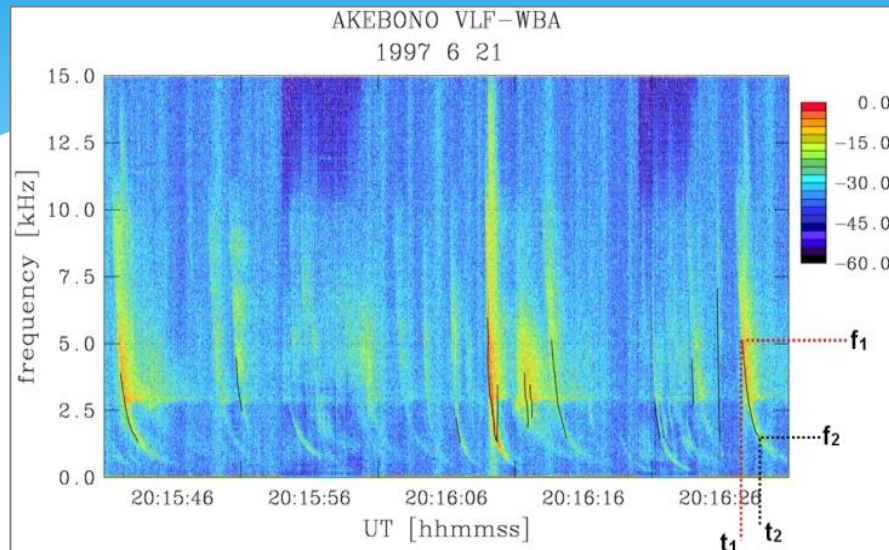
The observed dispersion trend tends to deviate from the early dispersion curve of D_1



The observed dispersion trend tends to deviate from the early dispersion curve of D_2 , looks better than D_1



検出した雷起源ホイストラのデータベース化



$$D = \frac{t_2 - t_1}{\frac{1}{\sqrt{f_2}} - \frac{1}{\sqrt{f_1}}}$$

分散値 D の導出

| id | alt | glat | glon | mlat | mlt | N or whistlers |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|
| 24381 | 7198.352 | -9.5 | 147.1703 | -17.9148 | 21.25604 | 3 |
| 24382 | 7158.974 | -8.95055 | 147.1978 | -17.3709 | 21.26117 | 2 |
| 24383 | 7119.048 | -8.4011 | 147.2198 | -16.8214 | 21.2663 | 5 |
| 24384 | 7078.388 | -7.84615 | 147.2473 | -16.272 | 21.27143 | 3 |
| 24385 | 7036.996 | -7.28846 | 147.2692 | -15.717 | 21.27656 | 3 |
| 24386 | 6995.238 | -6.72802 | 147.2967 | -15.1566 | 21.28169 | 8 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

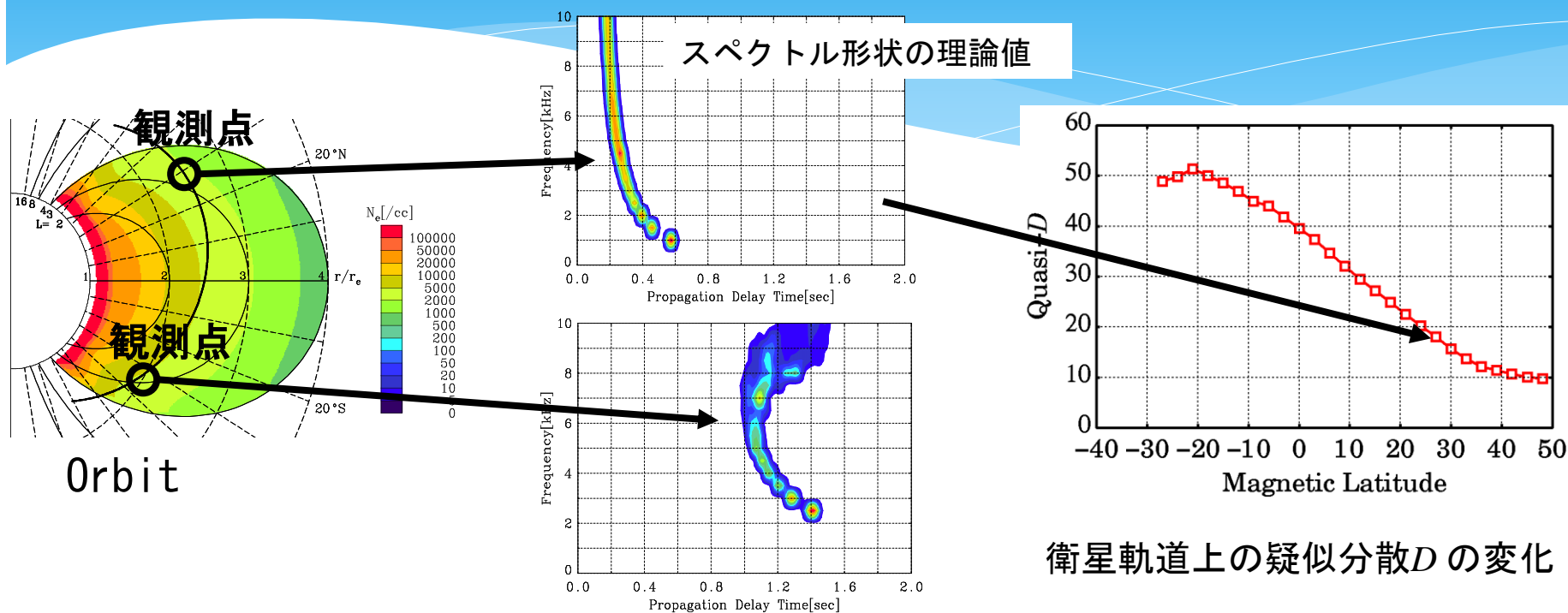
雷ホイストラ検出頻度データベース

| Day | Time | Dispersion | f_1 | f_2 |
|----------|--------------|------------|-------|-------|
| 9/1/1995 | 11:10:18.115 | 7.133243 | 2.743 | 1.567 |
| 9/1/1995 | 11:10:35.716 | 9.337161 | 2.236 | 1.447 |
| 9/1/1995 | 11:10:45.917 | 7.227532 | 3.445 | 1.703 |
| 9/1/1995 | 11:10:59.918 | 8.758558 | 3.445 | 2.236 |
| 9/1/1995 | 11:11:10.519 | 1.798271 | 5.97 | 1.447 |
| 9/1/1995 | 11:11:22.220 | 9.733174 | 4.451 | 1.34 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

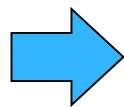
雷ホイストラ分散値データベース

今後の課題(1)

理論計算(レイトレイシング)との比較による プラズマ圏電子密度分布推定



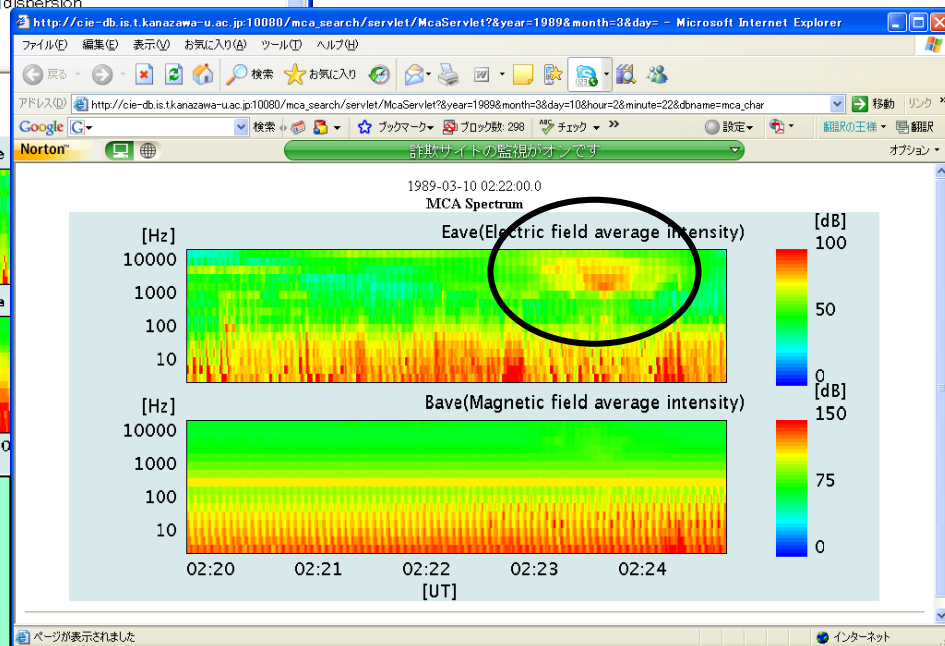
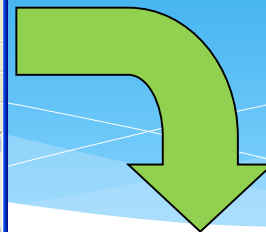
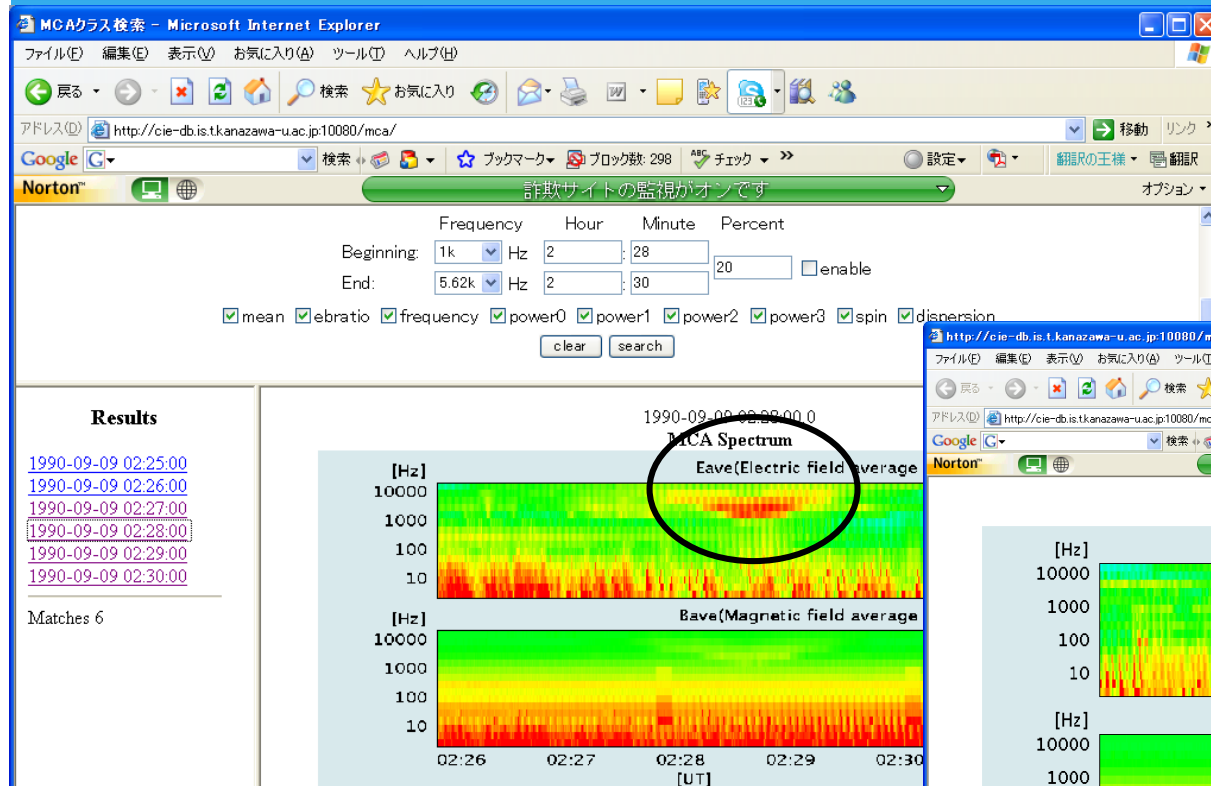
電子密度分布を変化させると、疑似分散 D の曲線が変化



この D の曲線の情報から電子密度分布を推定

今後の課題(2)

類似データ検索システムへのWBAデータの適用



- データの**意味・特徴**を客観的指標で表現、
大量データを**計算機の手で分類・体系化**
- 体系化したデータベースから、あいまいな
検索語を柔軟に解釈し、**特徴的な未知・
発見的**データを検索・抽出

あけぼのVLF/MCA・かぐやWFCで実証試験中
→ 将来的にあけぼのWBAへの適用をめざす！

まとめと将来展望

● あけぼのの自然波動観測データベースの構築

➤ デジタルデータ：CDF形式によるアーカイブ体制はほぼ確立

- * データ較正法の改訂・データのバージョンアップは随時実施

➤ あけぼのWBAアナログデータのデータベース化

- * データのデジタル化 …… かなりの人手を要すが、2年内の完了を目指す
- * データカタログの作成 …… およその日時の同定は可能。
 - * ただし、データの劣化が進んでおり一部は判読困難
- * 強度の絶対較正 …… ある程度の自動化は可能。
 - * ただし、データのS/Nが悪く、完全自動化は困難
(最終的には人手による評価が不可欠)
- * イベントリストの作成 …… 雷起源ホイスラについては2年後をめどに完成を目指す
 - * 他のイベント(Chorusなど)については当面はオンリクエスト&共同研究
- * 波形データそのもののDB化 …… 時刻付け&所望データの検索法が課題

● 大規模データからの汎用性の高い検索・配信法の確立

➤ データの汎用フォーマット化・メタデータの整備

➤ 類似データ検索アルゴリズム …… さらなる高精度化・高速度化の検討が必要