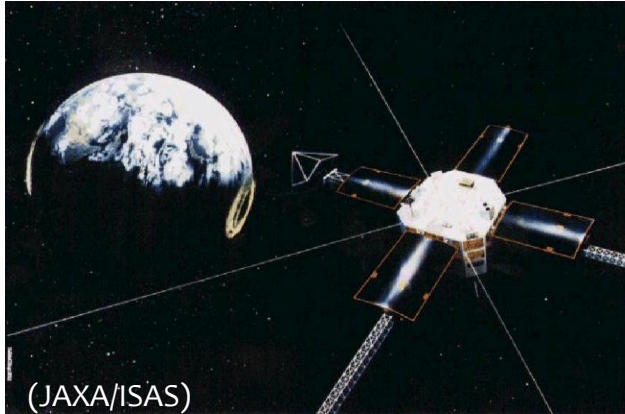


# 科学衛星によるVLF波動観測 データの利活用

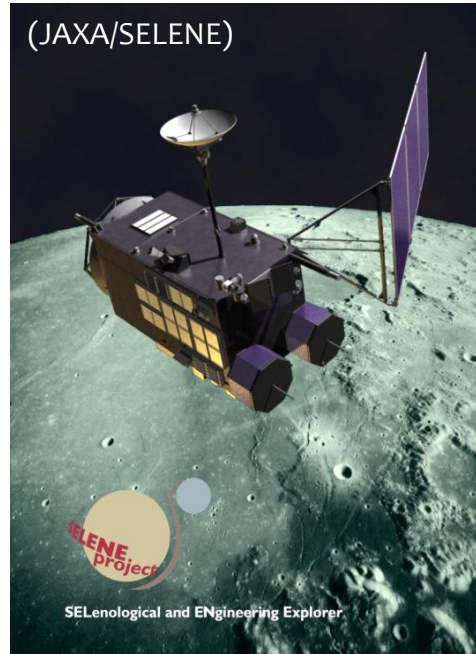
笠原 禎也、後藤 由貴  
(金沢大学)

# 科学衛星群による太陽・地球系宇宙環境の計測



## あけぼの衛星(1989.2~)

- デジタルデータ: **約2Tbyte**  
(うち約1/3がVLF波動観測データ)
- アナログデータ: 磁気(DAT)テープ 約28,400本  
→ デジタル化後のデータ総量は**約30Tbyte**  
\* 近年は追跡局で直接デジタル化(2006~@USC、2009@ESR)



## 月探査衛星かぐや(SELENE) (2007.9~2009.6)

- データ伝送量  
全量: 10GByte/日 (うちLRS観測: 3GByte/日)
- データ蓄積量: **約15Tbyte**
- LRS/WFC: プラズマ波動波形・スペクトル観測(<1MHz)
  - テレメトリデータは準リアルタイムでISASより配信
  - 自動処理で**CDF形式**に変換・保存
    - WFC-H(スペクトル, <1MHz)
    - WFC-L(波形, <100kHz)

# 当研究グループの取組み

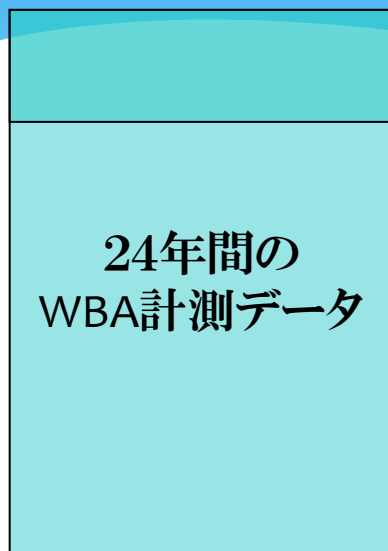
- \* あけぼの/かぐやの自然波動観測データベースの構築
  - \* Tbyte オーダーの観測データを体系的にデータベース化
    - 1. アナログデータのデジタル化・校正処理
  - \* 観測条件からの最適な観測データの検索・抽出
    - 2. 特徴的な波動現象の自動抽出&データベース化
  - \* 研究者へのデータ閲覧・配信機構の整備
- \* 大規模な自然科学DBの構築、汎用性の高い検索・配信法の検討
  - \* データの汎用フォーマット化・メタデータの整備
  - \* 類似データ検索アルゴリズムの開発
    - 3. 類似イベント検索システム<sup>3</sup>の開発

# 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*×1 & *B*×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*×2 & *B*×3  
狭帯域50Hz, 50 Hz~12.75kHzの掃引, 伝搬ベクトル推定
  - ELF(ELF receiver) : *E*×1 & *B*×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



衛星の機器情報 (HKデータ) と共に  
デジタル形式で地上へ伝送

アナログテレメトリで地上へ伝送

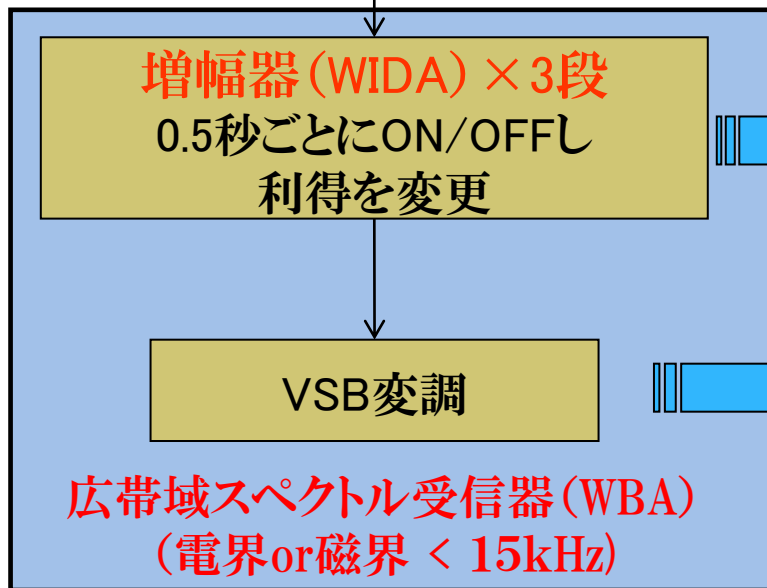
磁気テープ (DAT): 約28,400本  
データ総量は約30TB



- \* 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波形データの絶対較正手順

衛星搭載のセンサで  
電磁界波形を計測



HKデータ

WIDA情報は衛星上の  
タイムカウンタ( $\Delta t=0.5s$ )  
を基準とした時刻情報

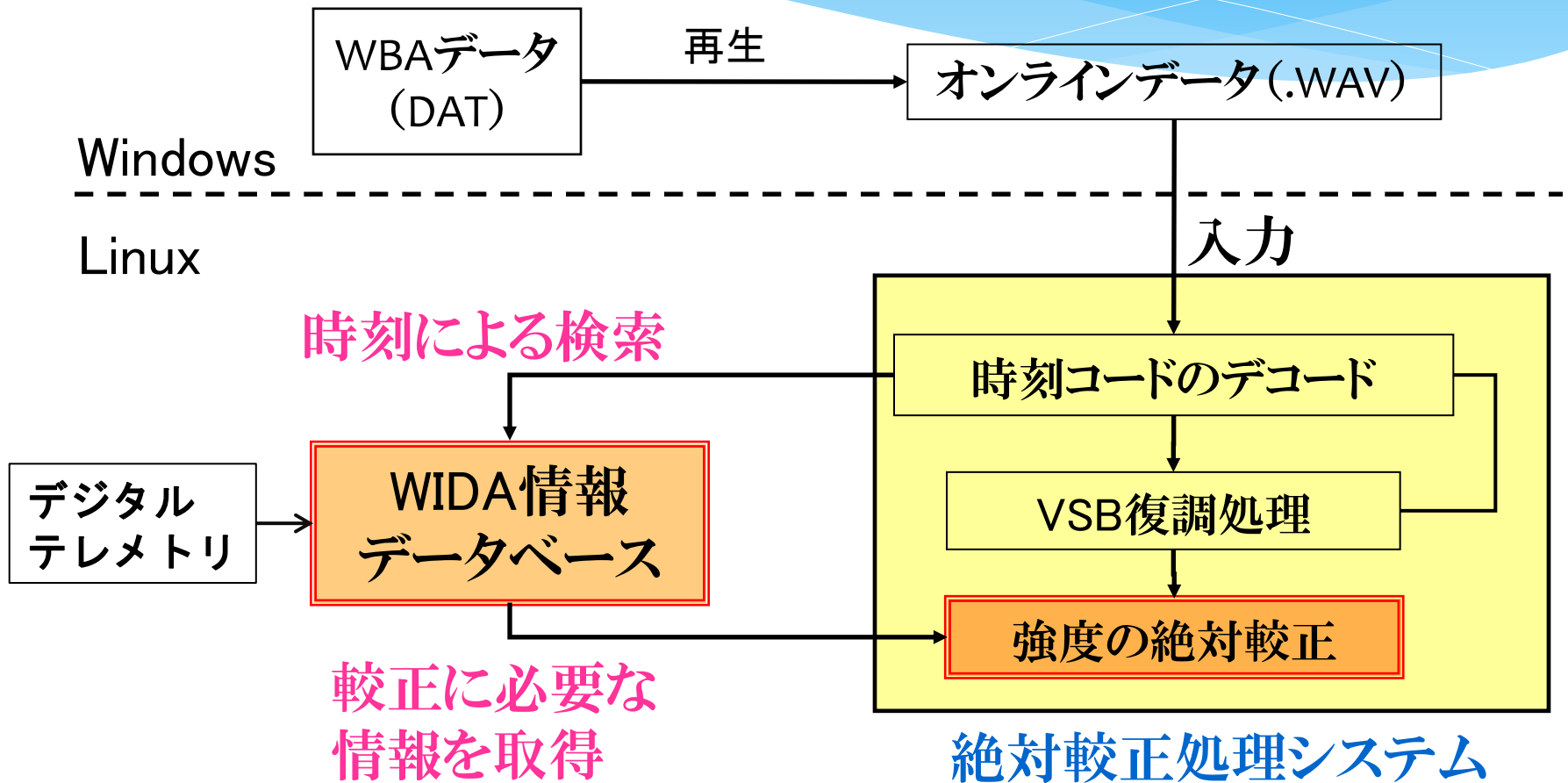
アナログ波形データ

テレトリの受信時刻を  
アナログ時刻コードで記録

(R-ch:WBA波形、L-ch:時刻コード)

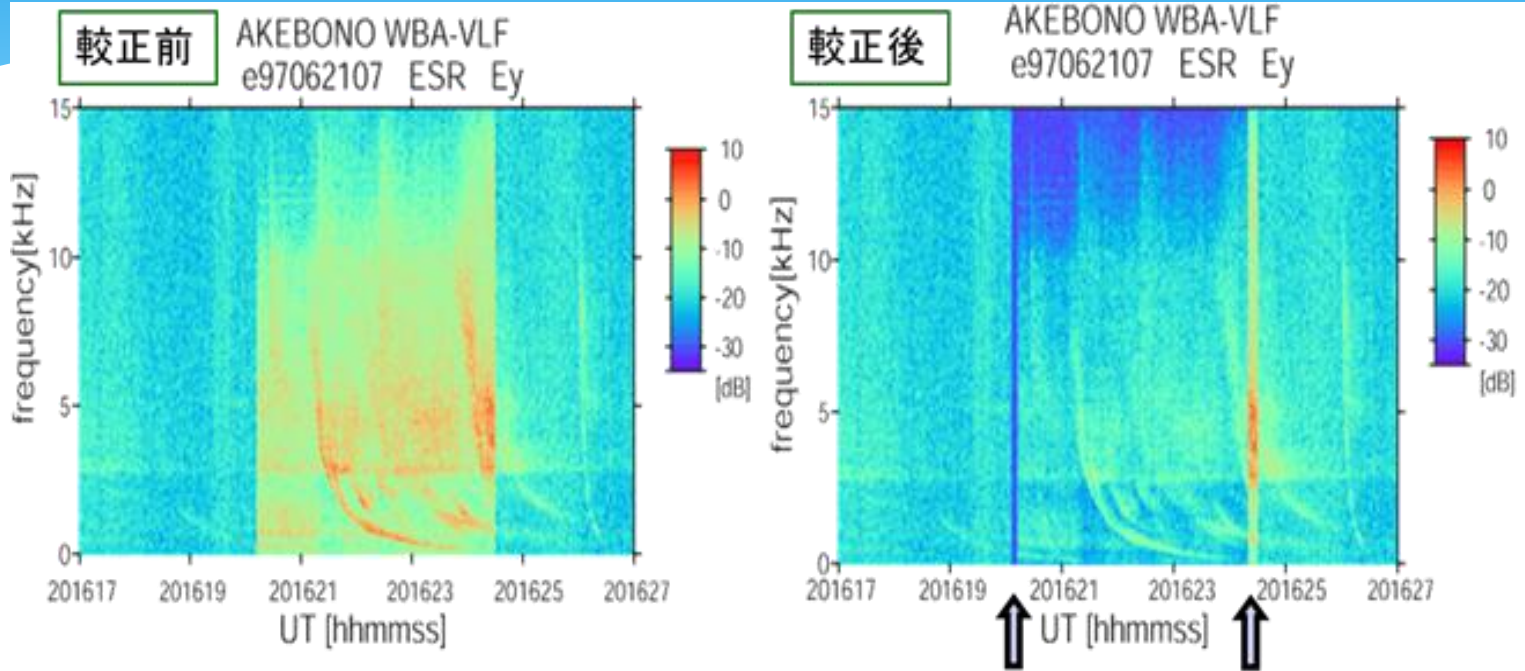
- \* WIDAのON/OFF情報に従った波動の強度較正が必要
- \* 時刻情報の分解能&記録方式の違いのため、時刻同期が困難

# WBA時刻・強度較正システムの概要

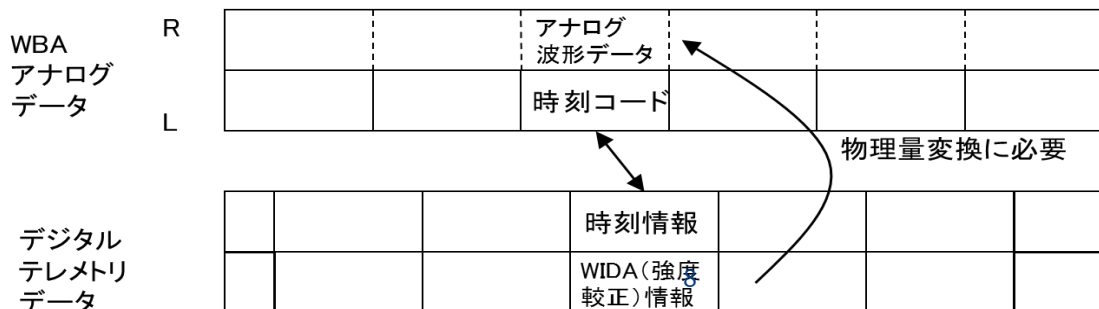




# 時刻情報の違いによる問題点



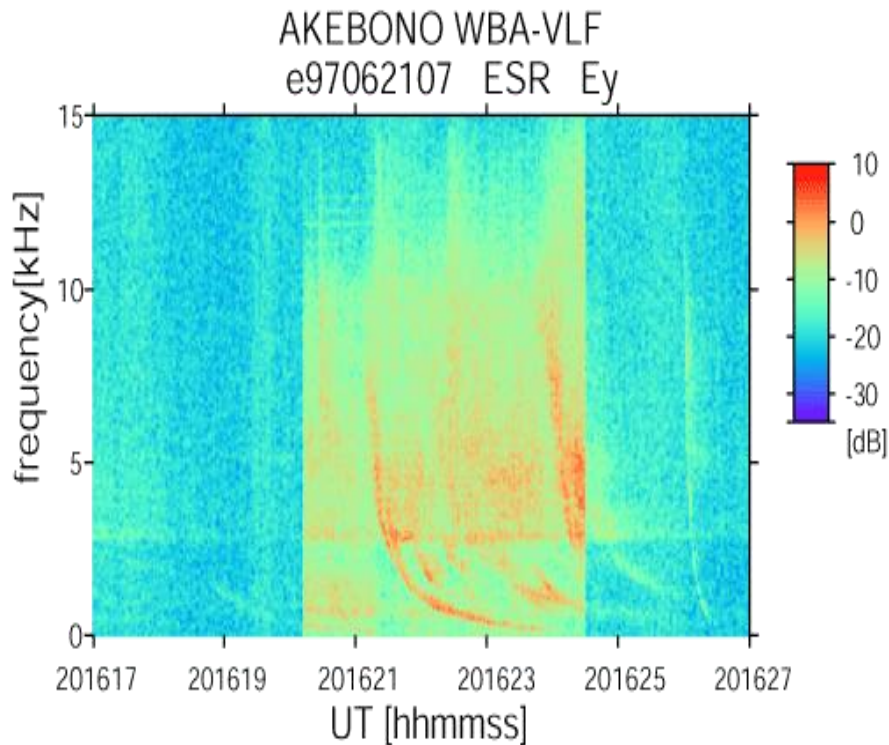
較正時刻に僅かな不整合が生じる



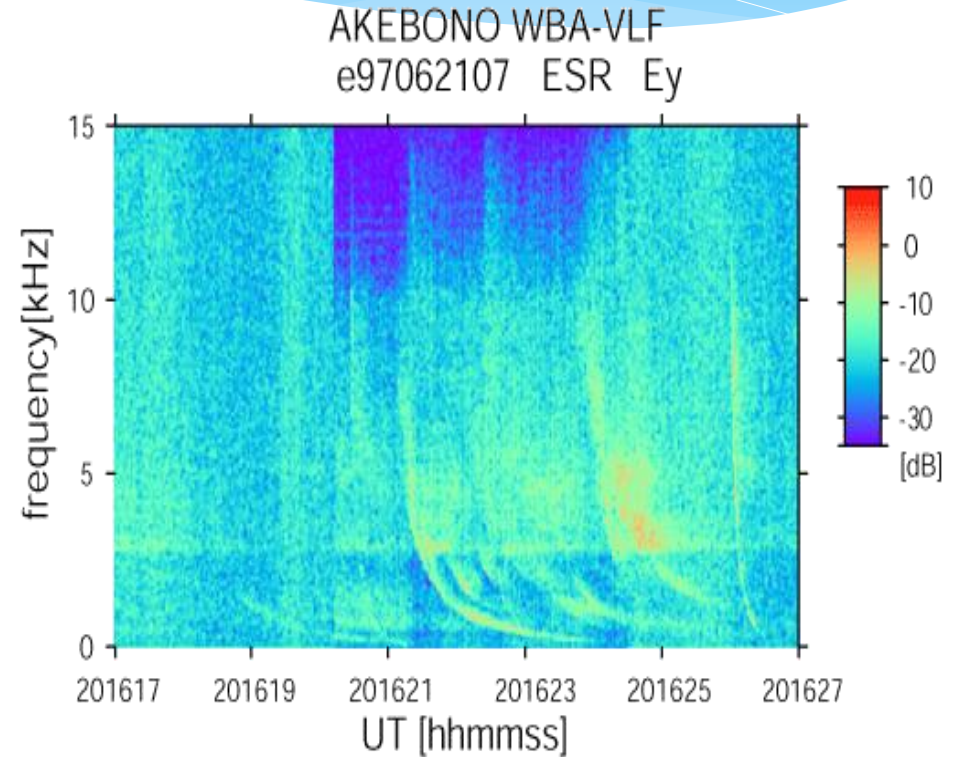


# 時刻補正後の較正結果

較正前



較正 + 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<sup>9</sup>

→ ゲイン補正の時刻を微修正  
20msの精度でゲイン較正を実現

# あけぼの広帯域アナログ波形受信器 (WBA; WideBand Receiver)データ取得～解析まで

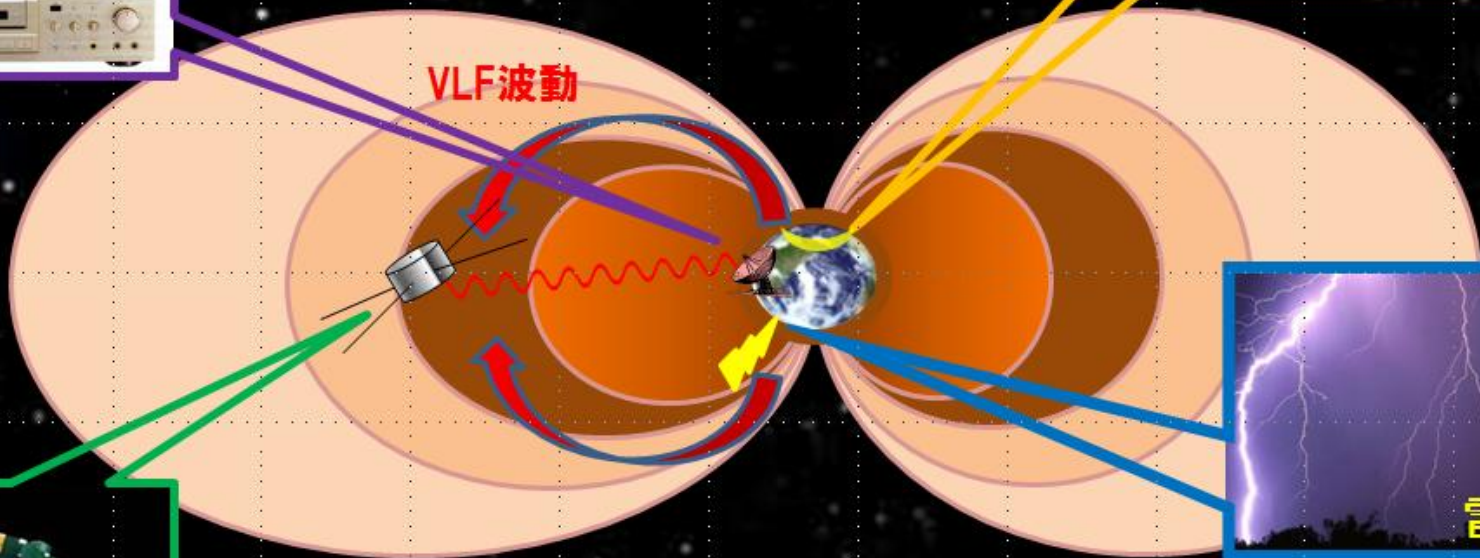
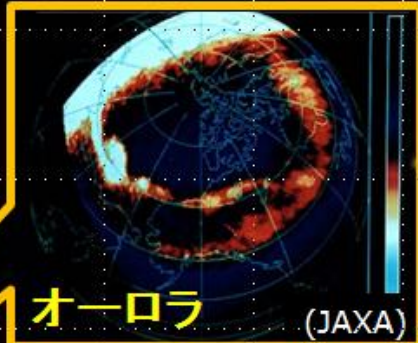
地上局でのデータ記録

復調されたテレメトリデータを  
DATに「音声」として記録



データ解析

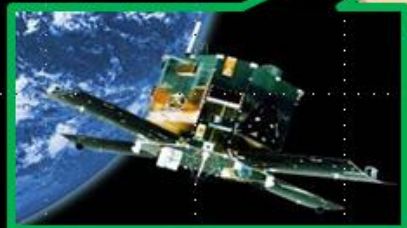
DATを再生し、デジタル化した  
波形データを解析



VLF波動



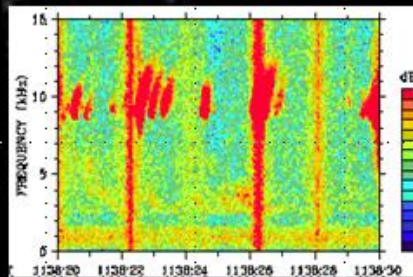
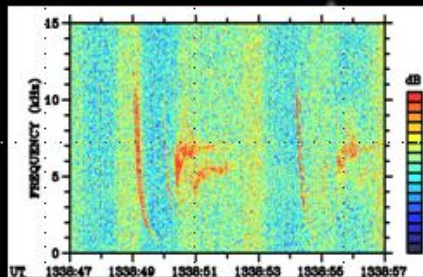
雷放電



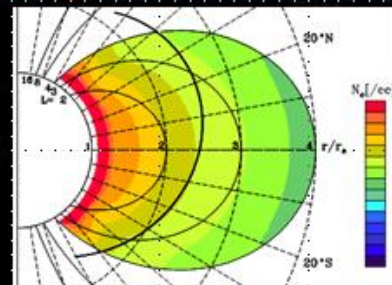
## あけぼのWBA観測

(電界or磁界1成分、<15kHz)

- 観測波形
  - アナログテレメトリ
- HKデータ(ゲイン情報etc.)
  - デジタルテレメトリ



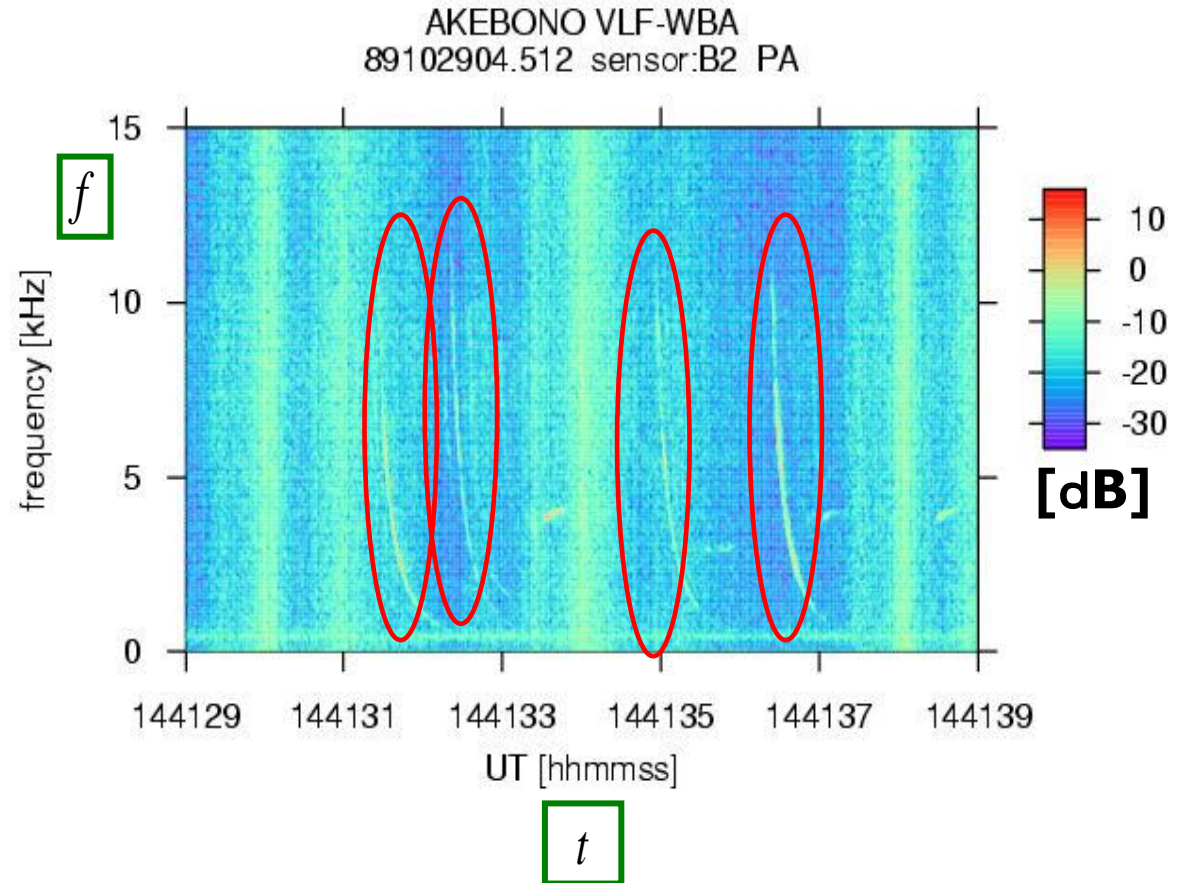
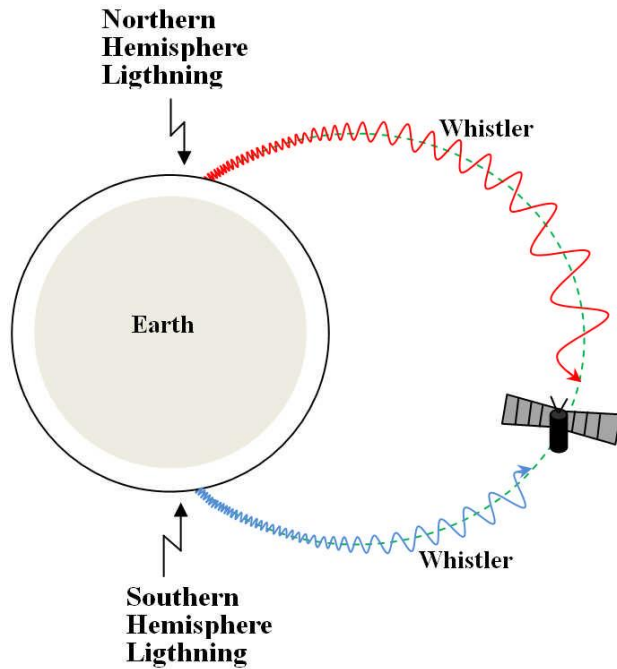
波形データの周波数解析・データベース化  
大規模DBからの知的データ検索法の開発



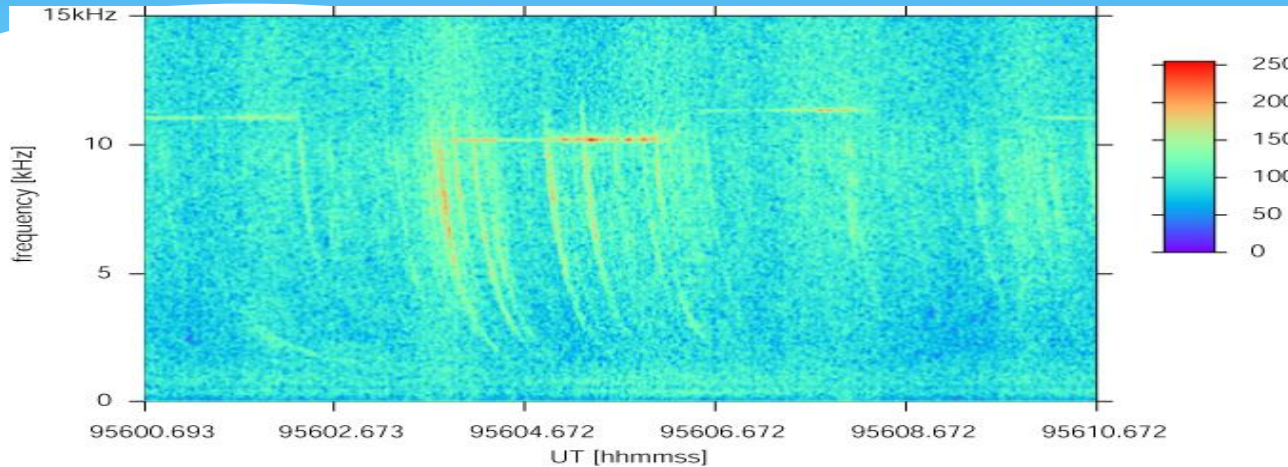
統計解析  
理論計算との比較



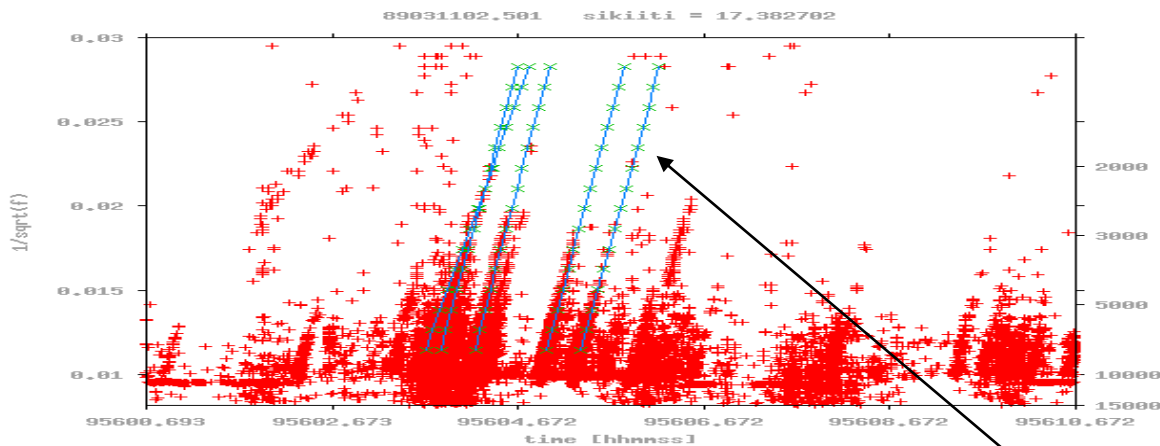
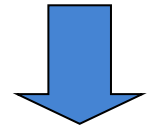
# 雷ホイストラの自動検出・分散値推定



# 雷起源ホイスラーの特性



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



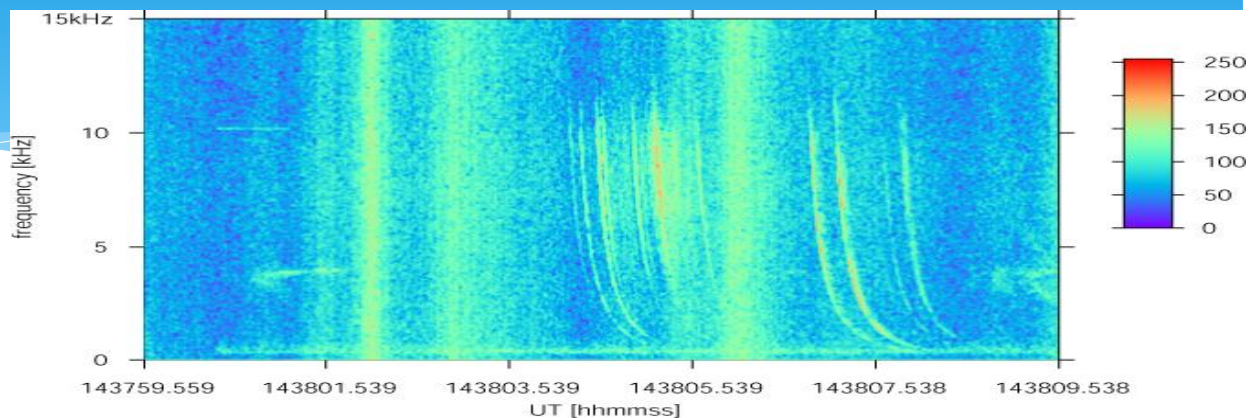
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{D} t$$

ホイスラーは直線で表される

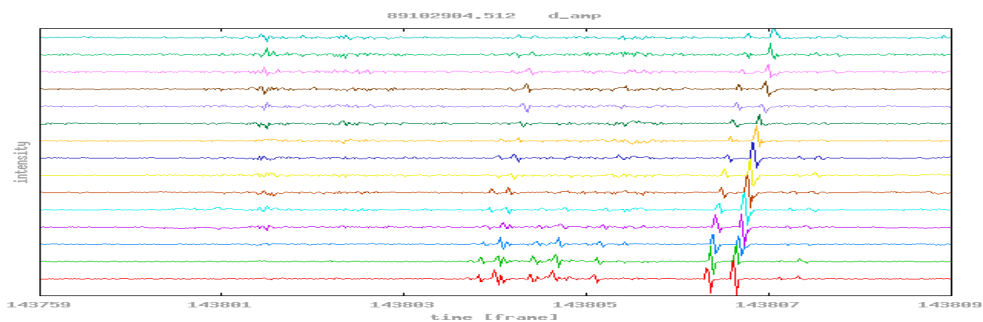
傾きを自動検出

# ホイスターの自動検出例

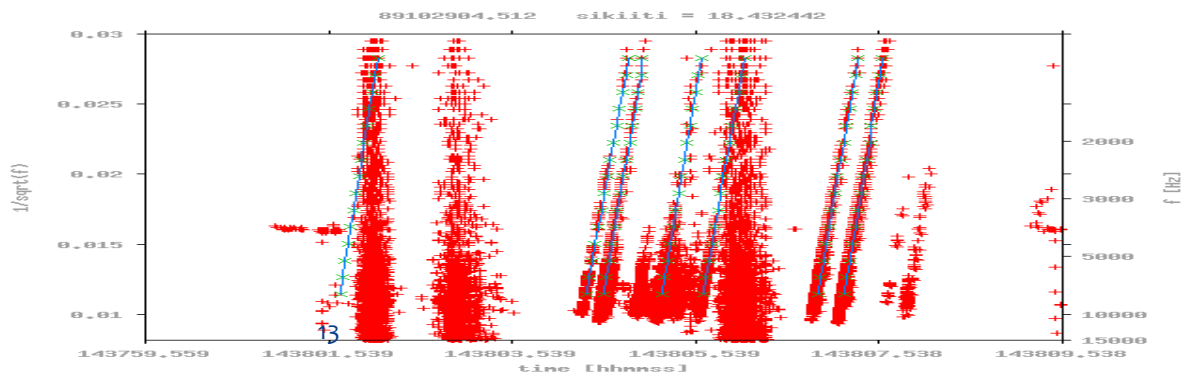
元スペクトル画像



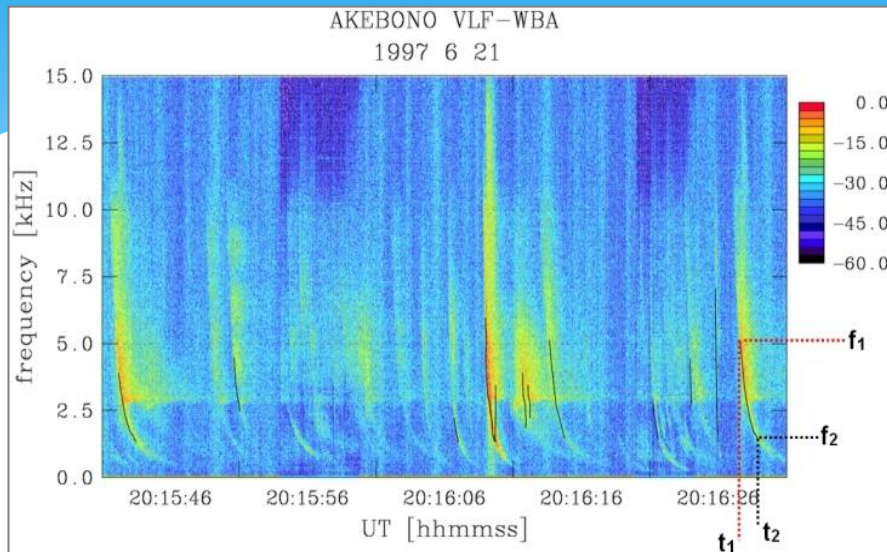
隣接周波数間の差分データ  
(スパイク雑音除去データ)



雷ホイスターの検出結果



# 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
...	...	...	...	...	...	...

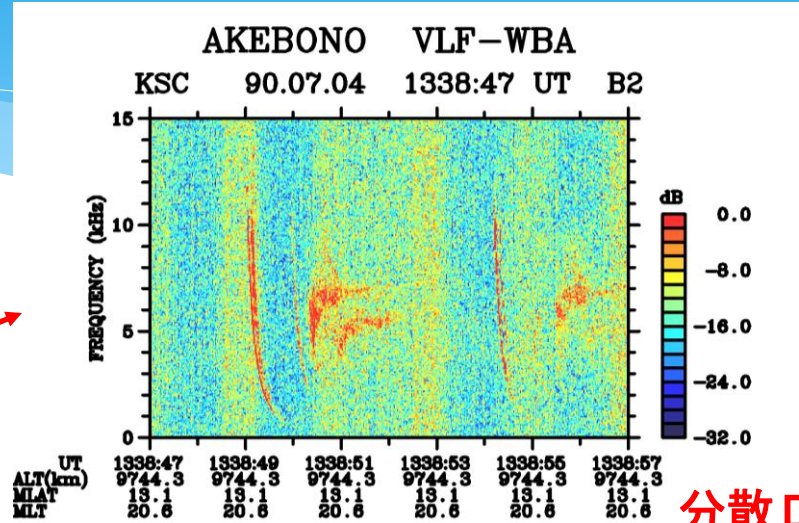
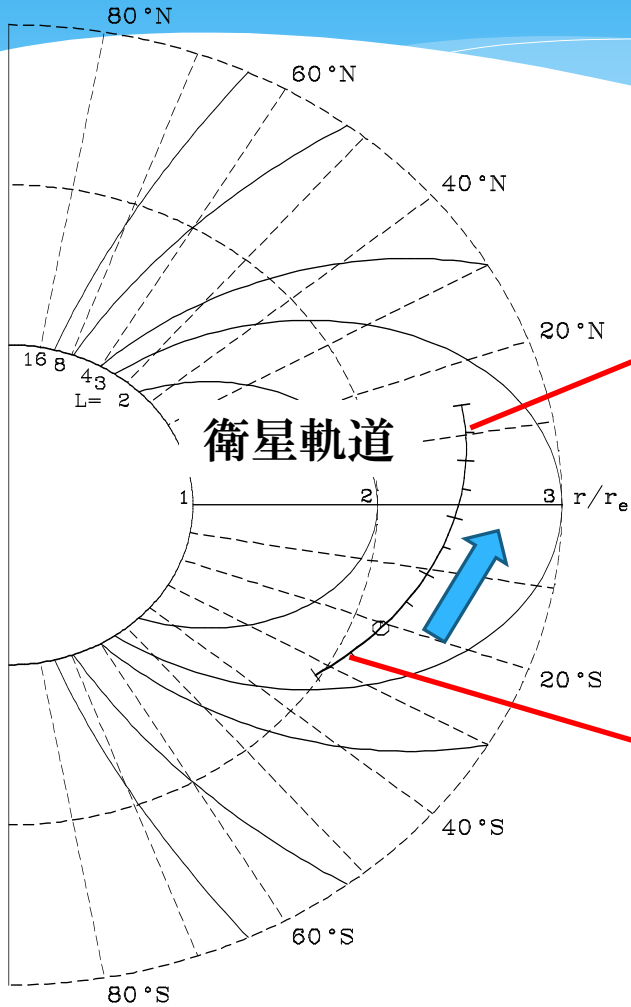
雷ホイストラ検出頻度データベース

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
...	...	...	...	...

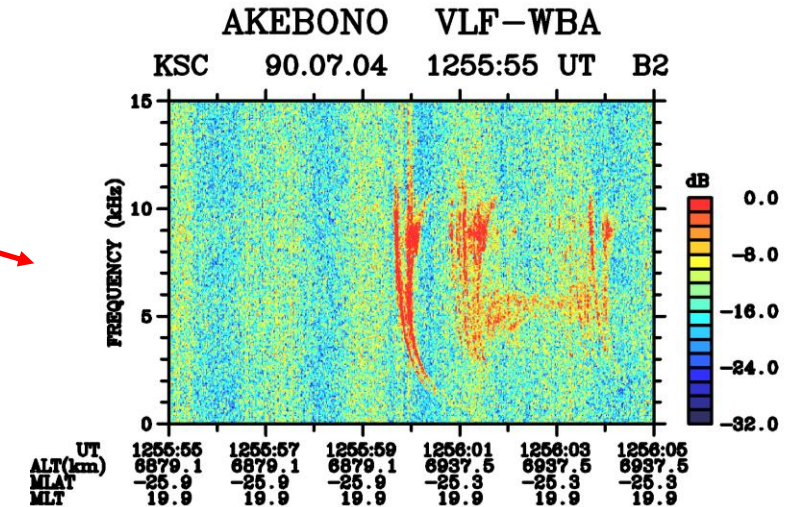
雷ホイストラ分散値データベース



# 衛星軌道上で観測されたホイスラーの分散



分散  $D = 29$



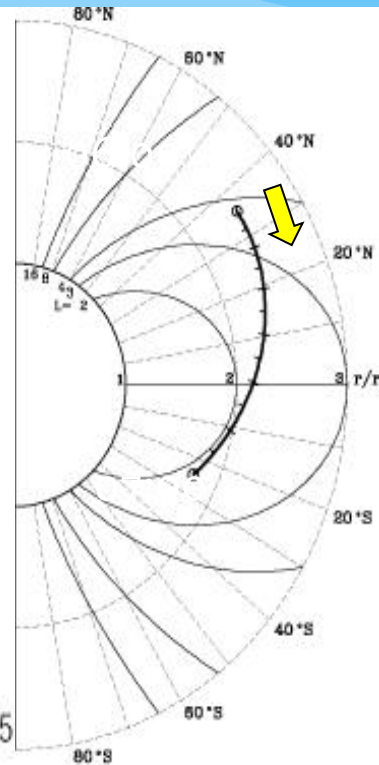
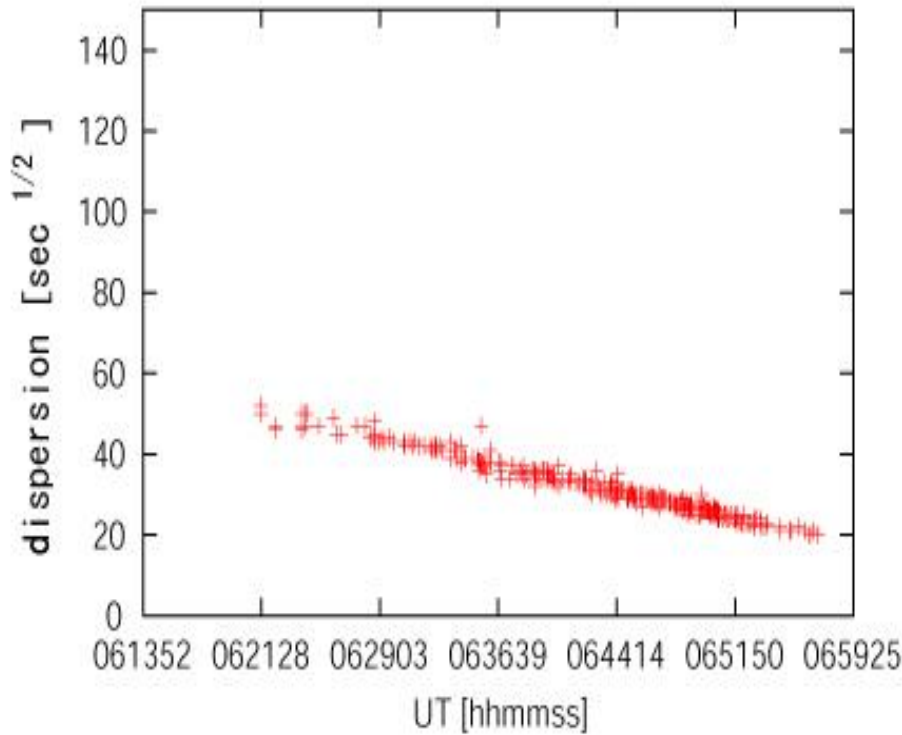
分散  $D = 45$

1990/7/4 あけぼの衛星の軌道



# 分散値推定結果(1)

91080102.501

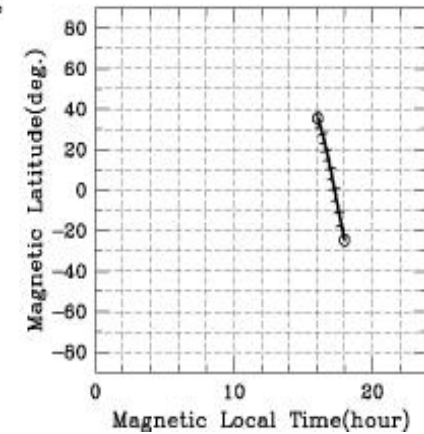


**Akebono (EXOS-D) Orbit**  
(in dipolar geomagnetic coordinate)

91.08.01 0600 - 0700 UT

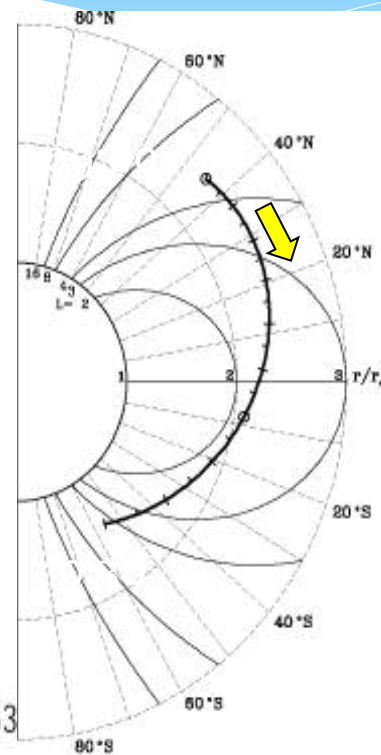
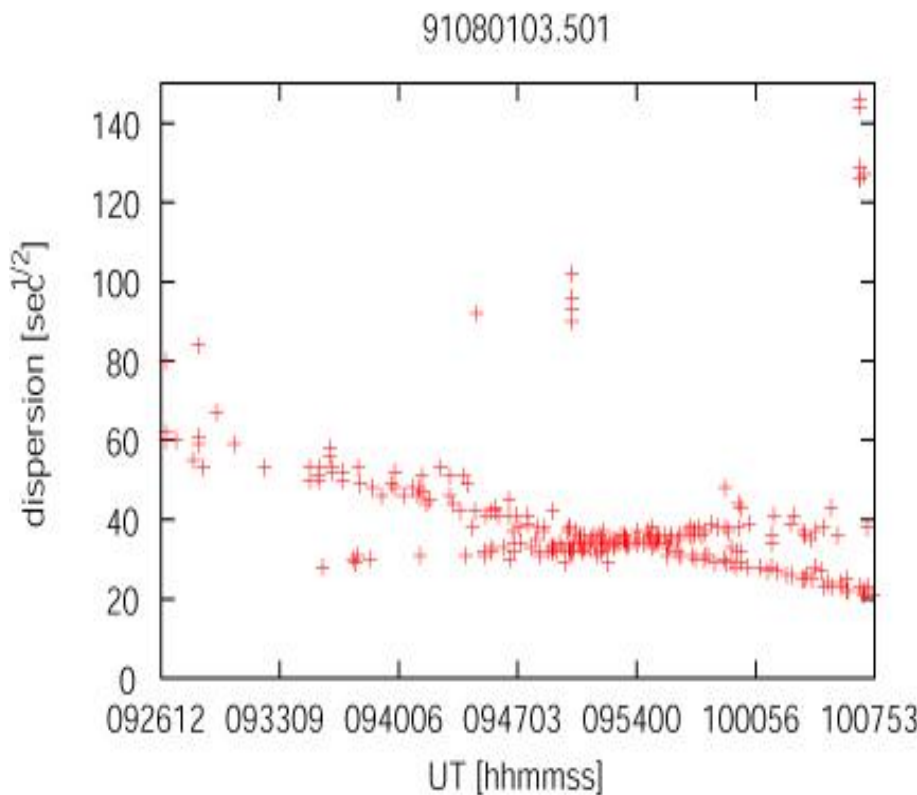
( 9328km, 35.49°N, 18.08°E) at 0600 UT

( 4924km, 24.83°S, 18.01°E) at 0700 UT



南半球から伝搬したボイスラが受かっている

# 分散値推定結果(2)

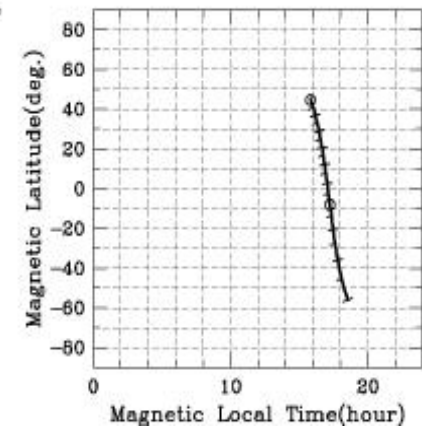


**Akebono (EXOS-D) Orbit**  
(in dipolar geomagnetic coordinate)

**91.08.01 0900 - 1030 UT**

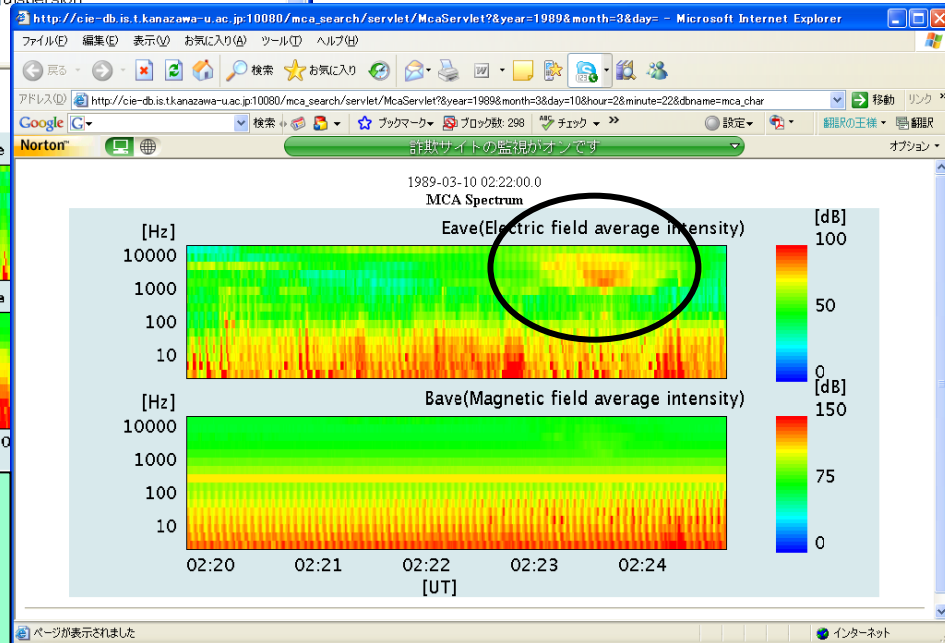
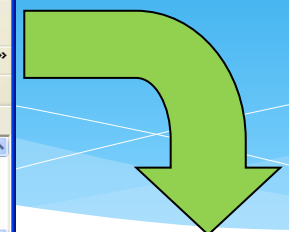
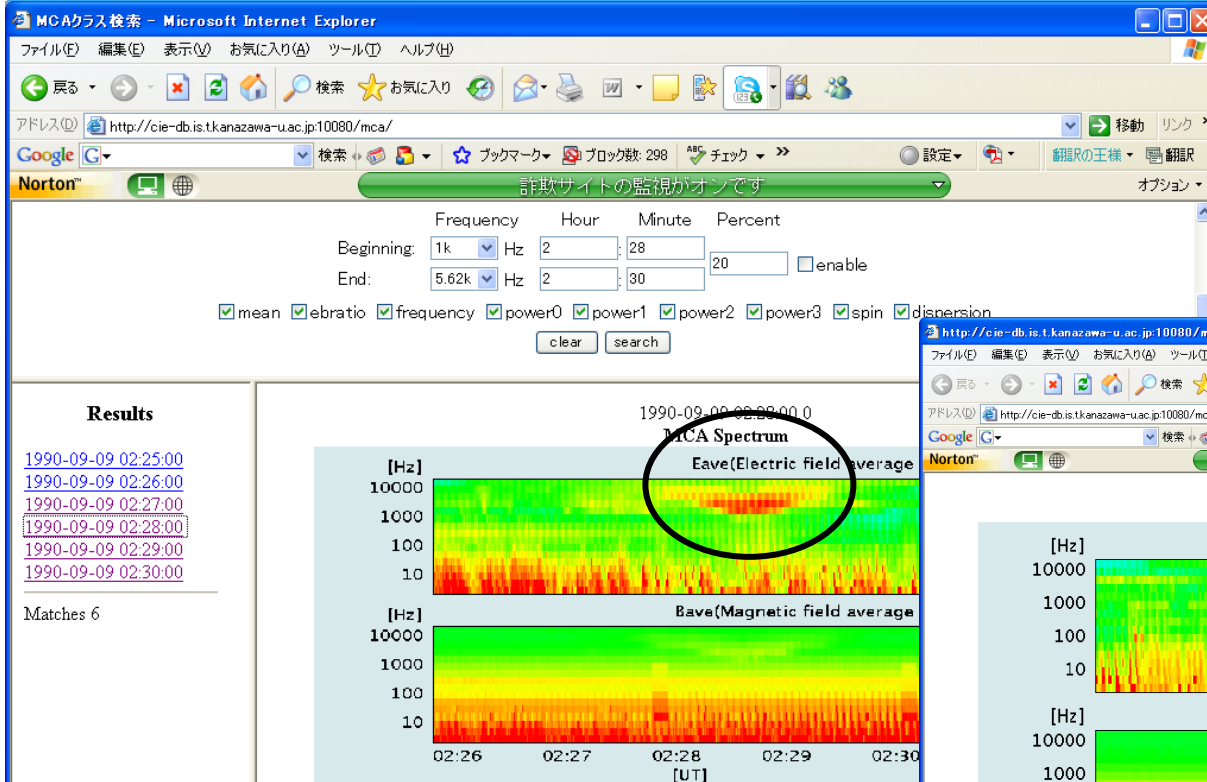
( 9056km, 44.71°N, 15.84°E) at 0900 UT

( 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トラが受かっている

# 今後の課題(1) 類似データ検索システムへのWBAデータの適用

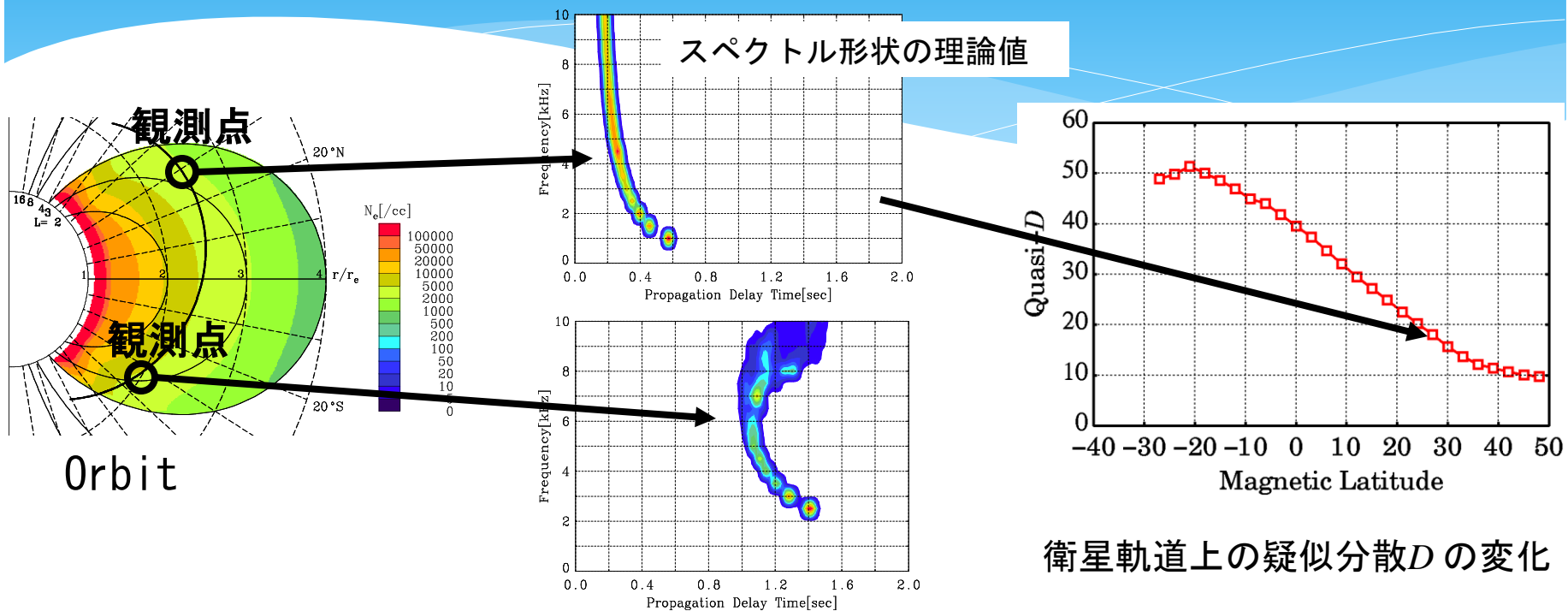


- データの意味・特徴を客観的指標で表現、大量データを計算機の手で分類・体系化
- 体系化したデータベースから、あいまいな検索語を柔軟に解釈し、特徴的な未知・発見的データを検索・抽出

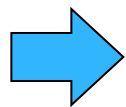
あけぼのVLF/MCA・かぐやWFCで実証試験中  
→ 将来的にあけぼのWBAへの適用をめざす！

# 今後の課題(2)

## 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

# まとめ

- あけぼのかぐや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
- 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 …… さらに高精度化・高速度化の検討が必要