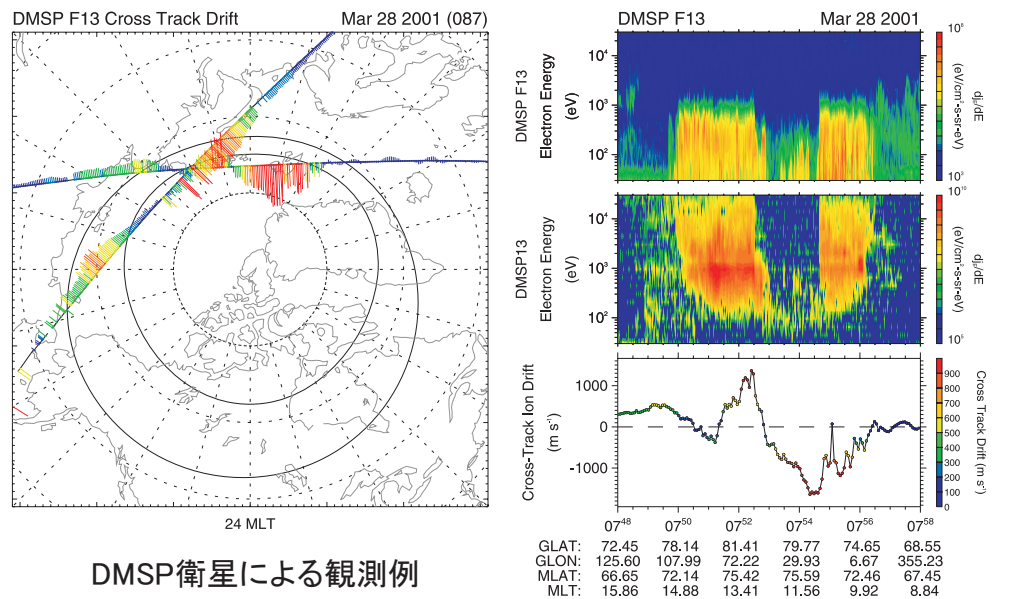


SuperDARN, Past, Today, and Future

1970 年代: 低高度衛星と VHF レーダーによる電離圏観測の時代

低高度極軌道衛星による電離圏対流の観測

高度 800km 程度を飛翔する極軌道衛星によるプラズマ・電場の直接観測。

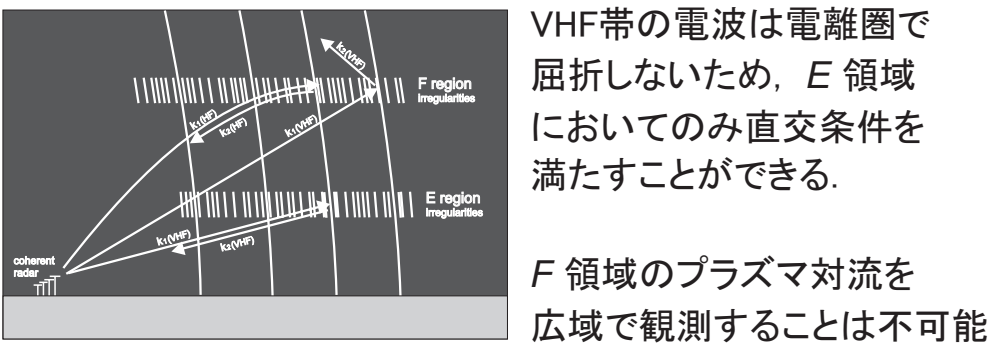


観測精度は高いが、衛星は 15 分程度で極域を通過するため時間的・空間的に限られた情報が得られない。

統計的なモデルの作成などに大きな貢献をするものの、太陽風の変動に対する瞬時的な応答過程などの研究には向かない。

VHF帯の電波を用いた干渉性散乱レーダーによる電離圏観測

オーロラ粒子の降り込みによって電離圏に生成された電子密度の不規則構造(レーダーオーロラ)からの散乱電波を観測。

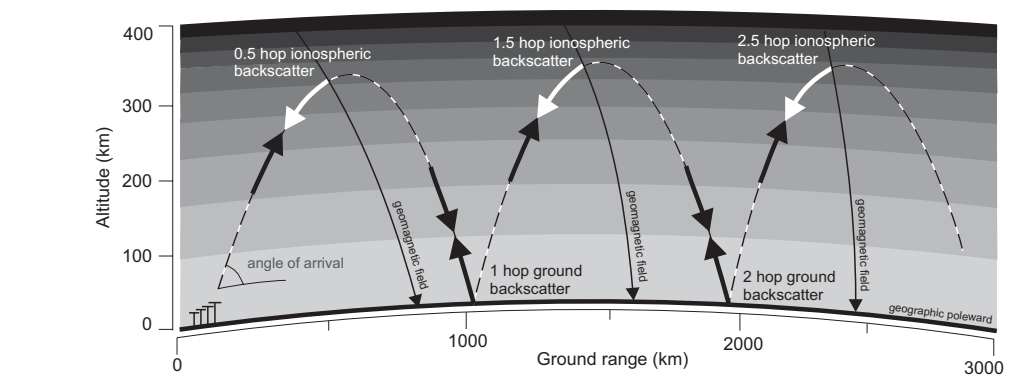


直交条件 (orthogonal condition) 電離圏干渉性散乱レーダーの散乱ターゲット (電離圏電子密度不規則構造 field-aligned irregularities: FAIs) の波長 d (粗密構造の空間スケール) が送信周波数の半分に等しく、電波と FAIs の双方のベクトルが直交する場合、レーダーに受信可能な強度の散乱電波が返ってくる。一般に、FAIs はプラズマが磁力線方向に動きやすい性質を反映して、磁力線方向に波面が揃う (field-aligned) という特徴をもつ。よって、磁力線が立っている極域において、F 領域で直交条件を満たすためには、電波の屈折が必須条件となる。

広い領域で電離圏プラズマ対流速度を同時に観測したい

1983 年: Goose Bay レーダー観測開始 - HF 帯を用いた電離圏探査

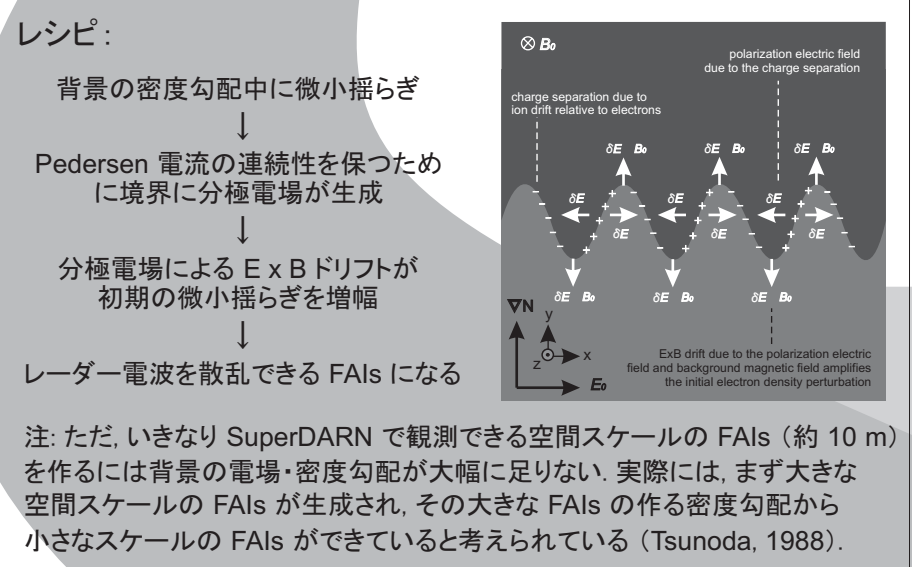
HF 帯の電波は、電離圏においてその航路を屈折させ、地上と電離圏 F 領域高度の間を何度も往復しながら長距離伝播することができる。



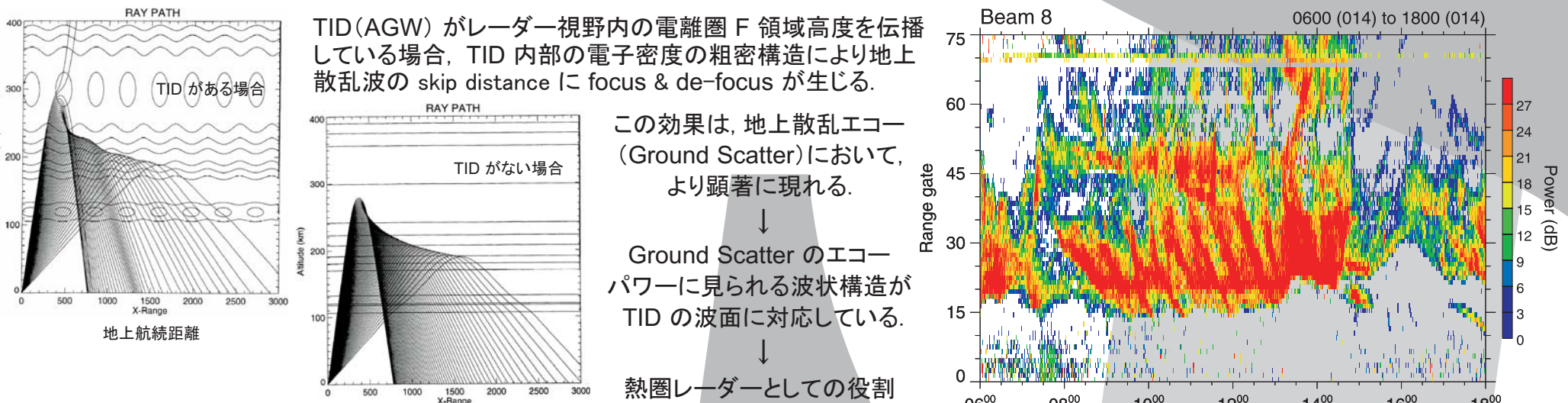
→ OTH (Over the Horizon) の領域まで広く散乱エコーが得られる。得られたドップラー速度は、非干渉性散乱レーダーによって観測された電離圏対流と一致 (Ruohoniemi et al., 1987) → 得られた Doppler 速度は電離圏プラズマ対流速度と考えてよい。

電離圏 F 領域における FAIs の生成

極域電離圏 F 領域において観測される FAIs の大部分は、Gradient-Drift Instabilities (GDI) によってつくられていると考えられている (e.g., Tsunoda, 1998)。



80年代末: 大気重力波(移動性電離圏擾乱)の観測ができることがわかる



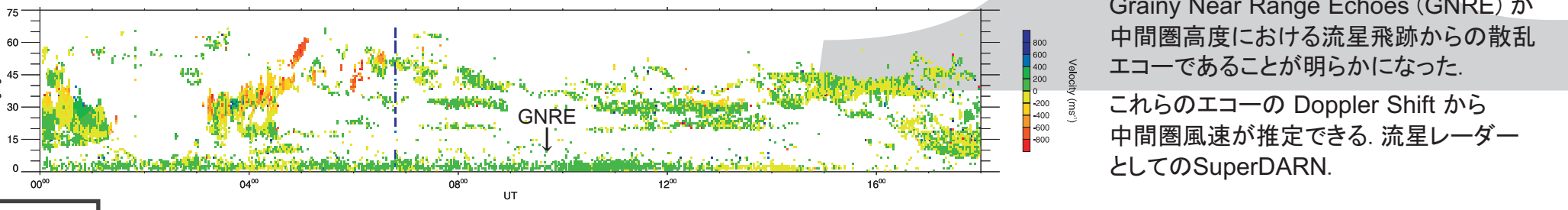
レーダーを増やして極域電離圏全てをカバーしたい

1995 年: SuperDARN の開始

SuperDARN 規約として決められたこと

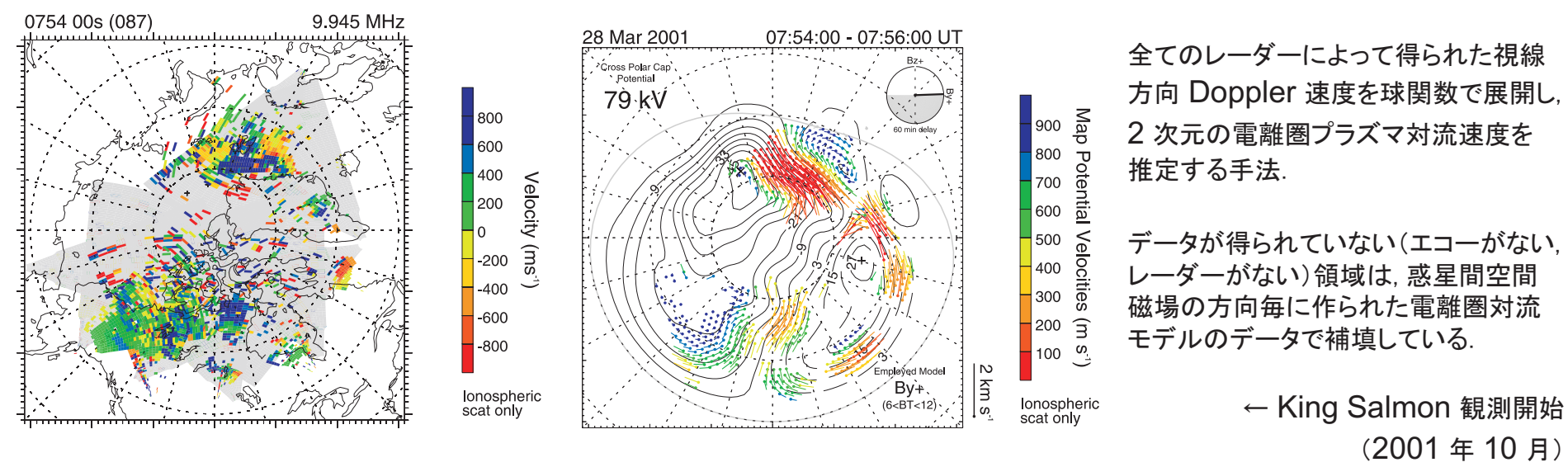
- レーダーの規格の(ある程度の)統一
- オペレーションスケジュールの共通化
- レーダーコントロールソフトウェアの統一
- データフォーマットの統一・データの共有

1997 年: 流星エコーを用いた中間圏風速の観測



視線方向速度しか得られない欠点を解消したい

1998 年: Map Potential 技法の開発 (Ruohoniemi and Baker, 1998)



----- 極域中間圏・熱圏・電離圏 (MTI) レーダーネットワークとしてある程度完成 -----

2002 年: 生時系列解析手法の開発 (Yukimatu and Tsutsumi, 2002)

2002 年: PMSE の観測 (Ogawa et al., 2002; Hosokawa et al., 2005)

2005 年: サブオーロラ帯へ進展 - Wallops レーダー

2006 年 4 月: 極冠域への進展 - PolarDARN (Rankin Inlet)

2006 年 11 月: 中緯度への本格的な進展 - 北海道レーダー

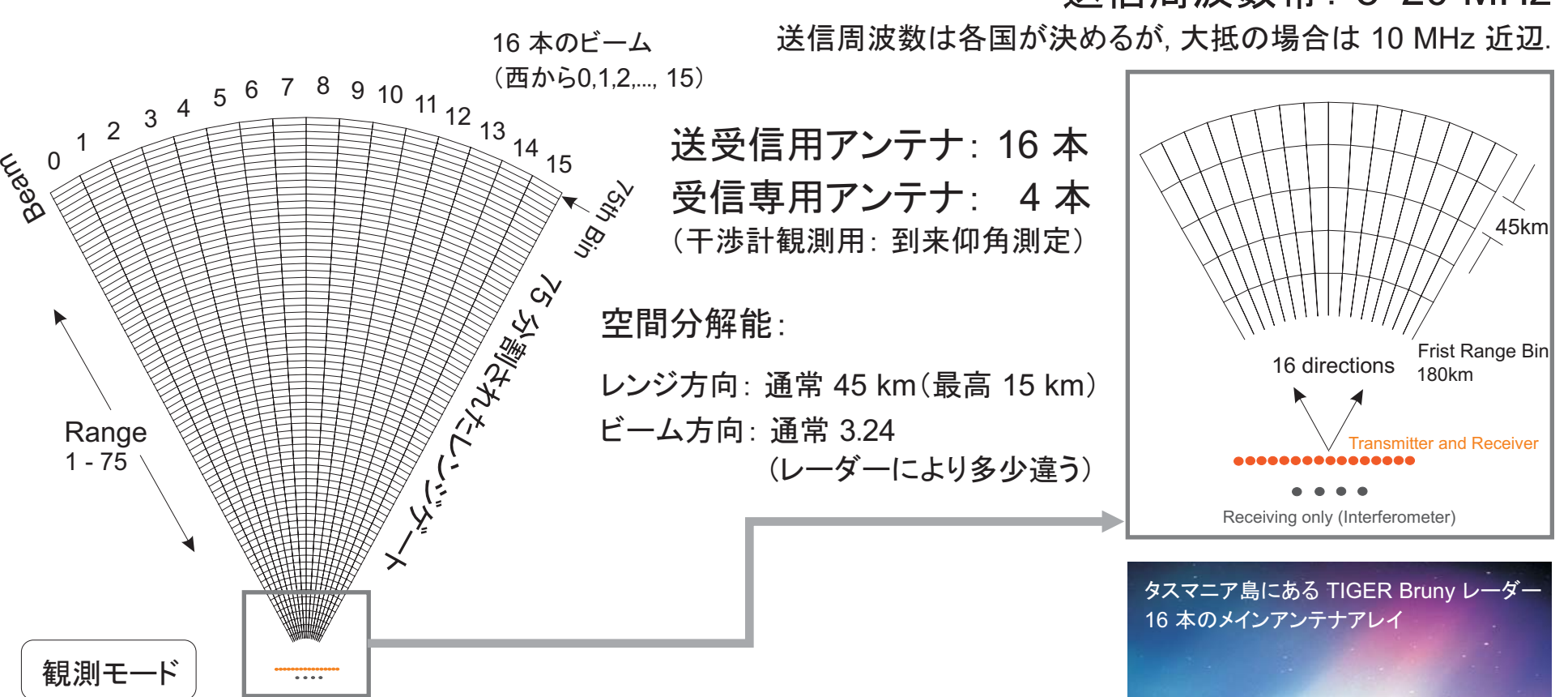
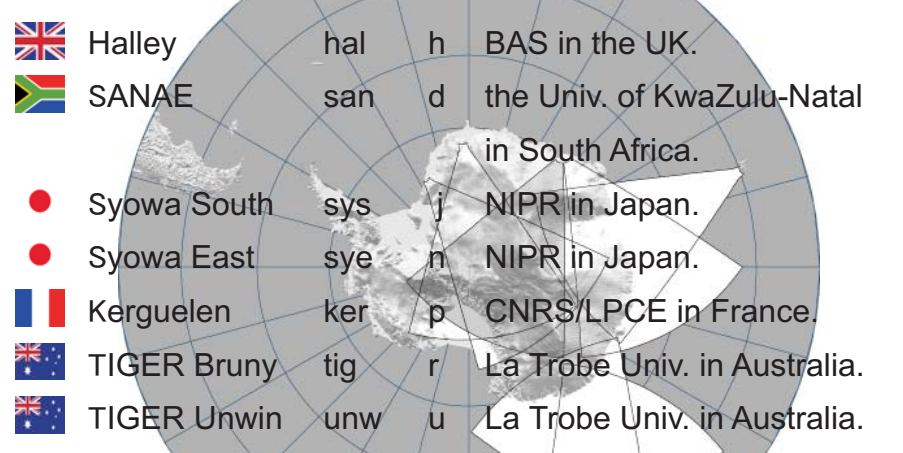
200X 年: 南極点 (South Pole) にレーダー建設

20XX 年: 米, 英, 豪, 南ア本土にレーダー建設 - StormDARN !

北半球 Northern Hemisphere

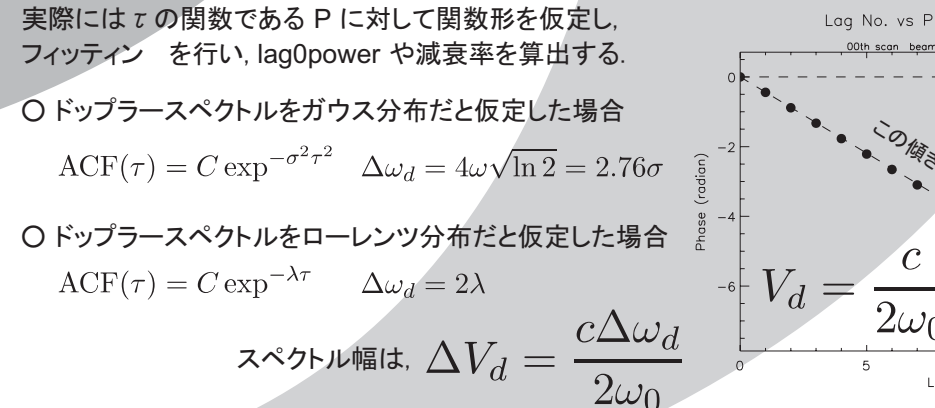
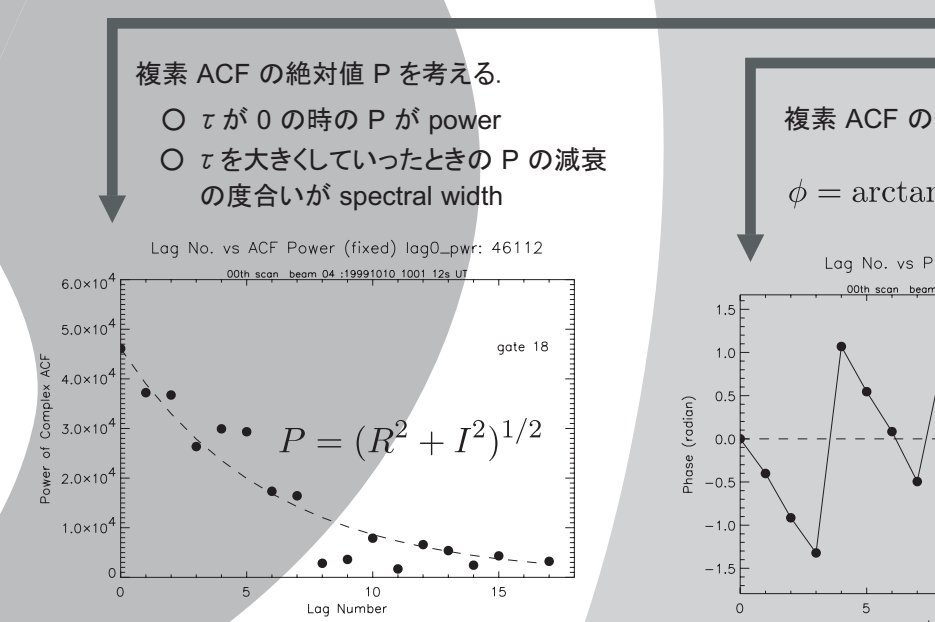
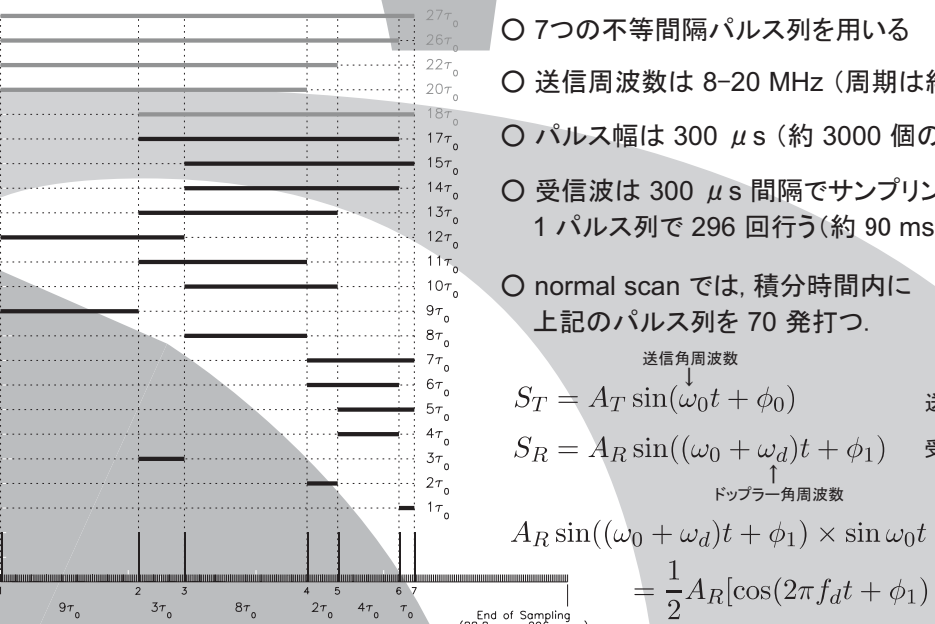


南半球 Southern Hemisphere



24 時間 365 日連続観測が基本。全観測時間は以下の3つのカテゴリーに分けられる。
A. Common Time Operation - 全体の 5 割以上 (実際には月に 20 日程度)
2/3 は normal scan (2 分でフルスキャン, 1 beam あたりの積分時間は 7 秒)
1/3 は HTR normal scan (1 分でフルスキャン, 1 beam あたりの積分時間は 3 秒)
B. Discretionary Time Operation - 全体の 3 割程度
operation の形態は各レーダーの裁量に任される。キャンペーン観測用 (光学・レーダー同時観測など)
C. Special Time Operation - 全体の 2 割程度
南北両半球全てのレーダーで同じ観測モードで運用を行う。最近ではできるだけ Discretionary に回す方向性。

不等間隔マルチパルス観測



以上の手順で以下の 3 つの基本パラメータが算出できた
A. エコーパワー (backscatter power) pwr.s (ガウス分布), pwr.l (ローレンツ分布)
B. ドップラー速度 (Doppler velocity) 視線方向。普通は電離圏対流速度。
C. スペクトル幅 (spectral width) FAIs の生成消滅の時定数? 電場の時間変化? 電場の空間的非一様性?

ドップラー周波数だけをバンドパスフィルターで分離。以下のように I, Q 時系列と呼ばれるものをつくる。
 $S(t) = I + iQ$
 $= A_R \cos(\omega_d t + \phi_1) + i A_R \sin(\omega_d t + \phi_1)$
 $= A_R \exp(i(\omega_d t + \phi_1))$
I, Q 時系列からなる上乗信号の自己相関関数を τ の関数として算出する。
 $ACF(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S(t_n) \cdot S(t_n + \tau)$

