

SEEKとSEEK-2による 中緯度電離圏E領域の観測

京都大学大学院理学研究科

津川 卓也

mail : tsug@kugi.kyoto-u.ac.jp

URL : <http://www-step.kugi.kyoto-u.ac.jp/~tsug/>

Contents

- Introduction
- Mid-latitude sporadic-E
- Mid-latitude E-region FAI
- Quasi Periodic echo
- SEEK
- SEEK-2

Introduction

SEEKキャンペーンは、中緯度電離圏E領域におけるField Aligned Irregularity (FAI)と、スプラディックE(Es)層の関連を明らかにし、QPエコーの発生メカニズムを解明することを目的とする。MULレーダーを中心としたレーダー観測などの結果から、QPエコーは大気重力波によるEs層の高度変調によるとするモデルが提唱され、そのモデルを検証するために、SEEKキャンペーンが1996年8月に行われた。SEEKの結果から、Es層が強い中性風速シアによって生成されていることや、FAIの領域で強い電場が発生していることなどが明らかになったが、Es層はフラットな層であり、高度変調は見られなかった。このことは、従来のモデルではQPエコーを説明できないことを意味する。その後、SEEKの結果を踏まえ、フラットなEs層の水平構造に起因する新たなモデルが提唱された。SEEK-2キャンペーンは、これらのモデルを検証するために、2002年7月に行われる予定である。本発表では、SEEKの対象となる電離圏E領域の物理現象と、SEEKの目的と観測結果及びSEEK-2の目的をまとめた。

Mid-latitude sporadic-E

- 電離圏E領域(高度100-140km)で突発的に発生する電子密度の高い領域(Es層)
- 夏の日出後と日入後に多く発生する → Figure 1
- 中緯度Es層は薄い平らな層状である場合と、2-100kmスケールの雲状の層が南西方向に伝搬する場合があります、0.6-3m/s程度で降下する傾向がある → Figure 2
- 流星起源の重イオン(Fe^+ 、 Mg^+)などのライフタイムの長いイオンが、東西方向のウインドシアにより層を成す(Wind-shear theory) → Figure 3
- Wind-shear theoryは、電子密度と中性風の高度プロファイルの関係は説明できるが、Es層発生 LT依存、季節依存は説明できない。

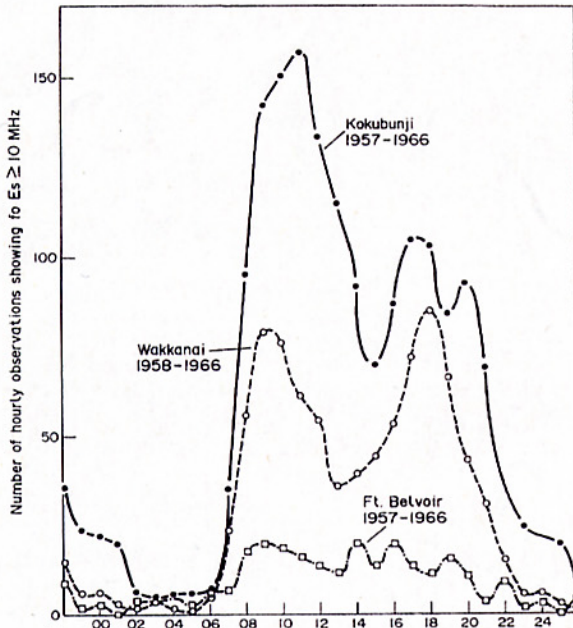


Fig. 7. Diurnal variation of intense sporadic-E ($foEs \geq 10$ MHz) as observed at three ionosonde stations (from SMITH, 1968).

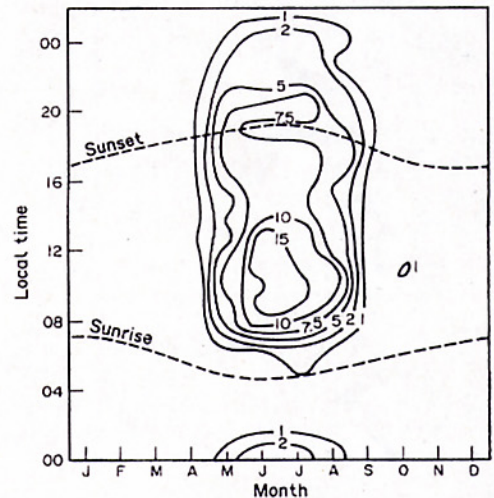


Fig. 8. Per cent of time intense sporadic-E ($foEs \geq 10$ MHz) observed over Kokubunji 1958-1966 (from SMITH, 1968).

[Whitehead, 1989]

Figure 1. Es層の日変化(左図)及びEs層の発生時間分布(右図)

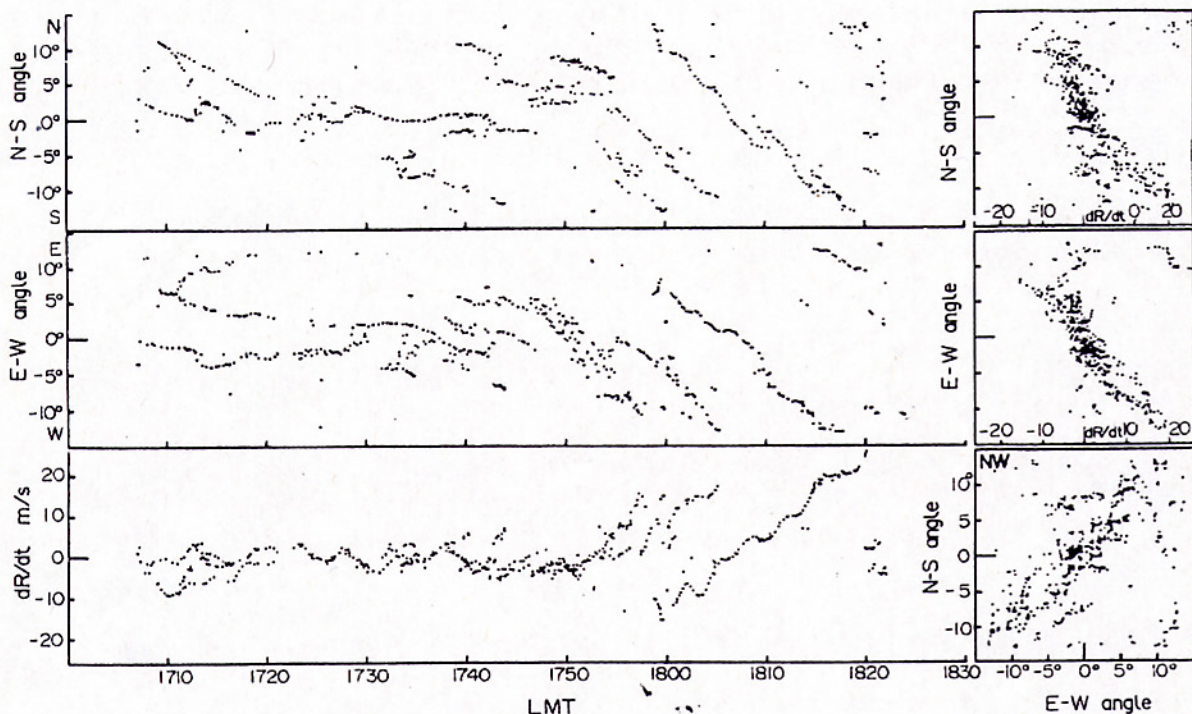
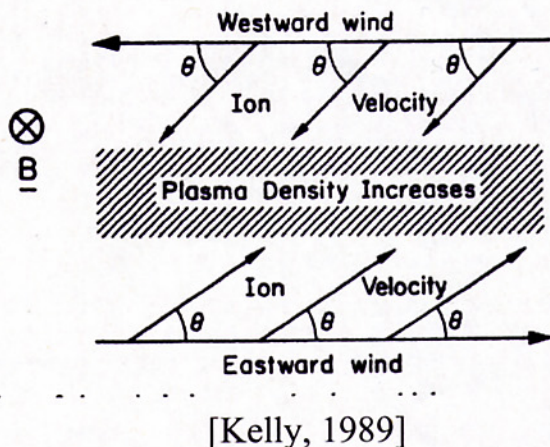
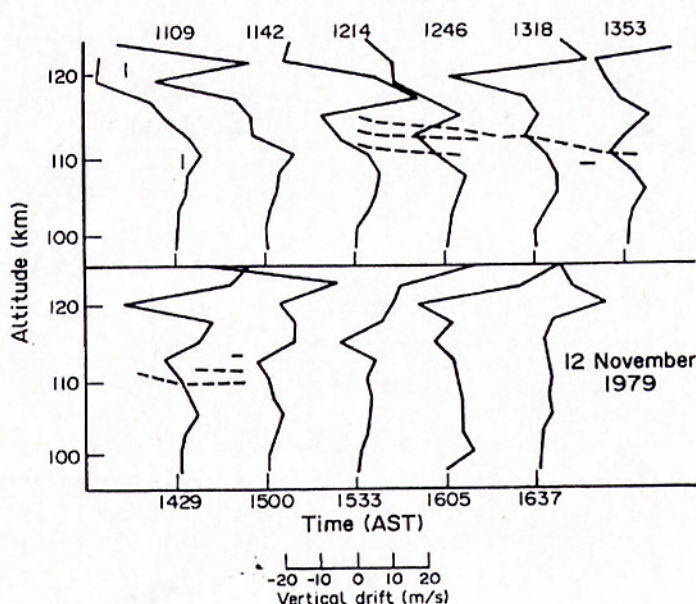


Fig. 2. Plot of N-S and E-W angles of arrival and Doppler shift dR/dt as functions of time and each other for a sporadic-E cloud structure (from FROM and WHITEHEAD, 1986).

Figure 2. HFレーダーエコーの到来方向及びドップラー速度 [Whitehead, 1989]



[Kelly, 1989]

Fig. 1. Vertical drift of Fe^+ ions. The dotted lines show the position of sporadic E-layers (from ROYRVIK, 1983).

[Whitehead, 1989]

Figure 3. Fe^+ の垂直ドリフト速度とEs層(左図)、Wind-shear theoryの概念図(右図)

Mid-latitude E-region FAI

- 電離圏イレギュラリティは磁力線に沿う構造を持つことから、Field-Aligned Irregularity (FAI) と呼ばれる。FAIの構造がブラッグ条件を満たすと、レーダーからの電波を反射し、エコーとなって観測される。MUレーダーの場合、電波の波長から3.2mスケールの構造を観測していることになる。
- 中緯度FAIは以下の2つのタイプに分けられる。→ Figure 4
 1. quasi-periodic echo 日入後(22:00JST付近) 高度110km付近
 2. continuous echo 日出後(07:00JST付近) 高度90-100km
- MUで観測されたFAIは、レーダエコーのドップラスペクトル幅が広く、平均ドップラー速度も100 m/s以下であることから、gradient drift instability によるものと考えられる。→ Figure 5
- 中緯度FAIは夏に多く、Es層との相関がよい。→ Figure 6

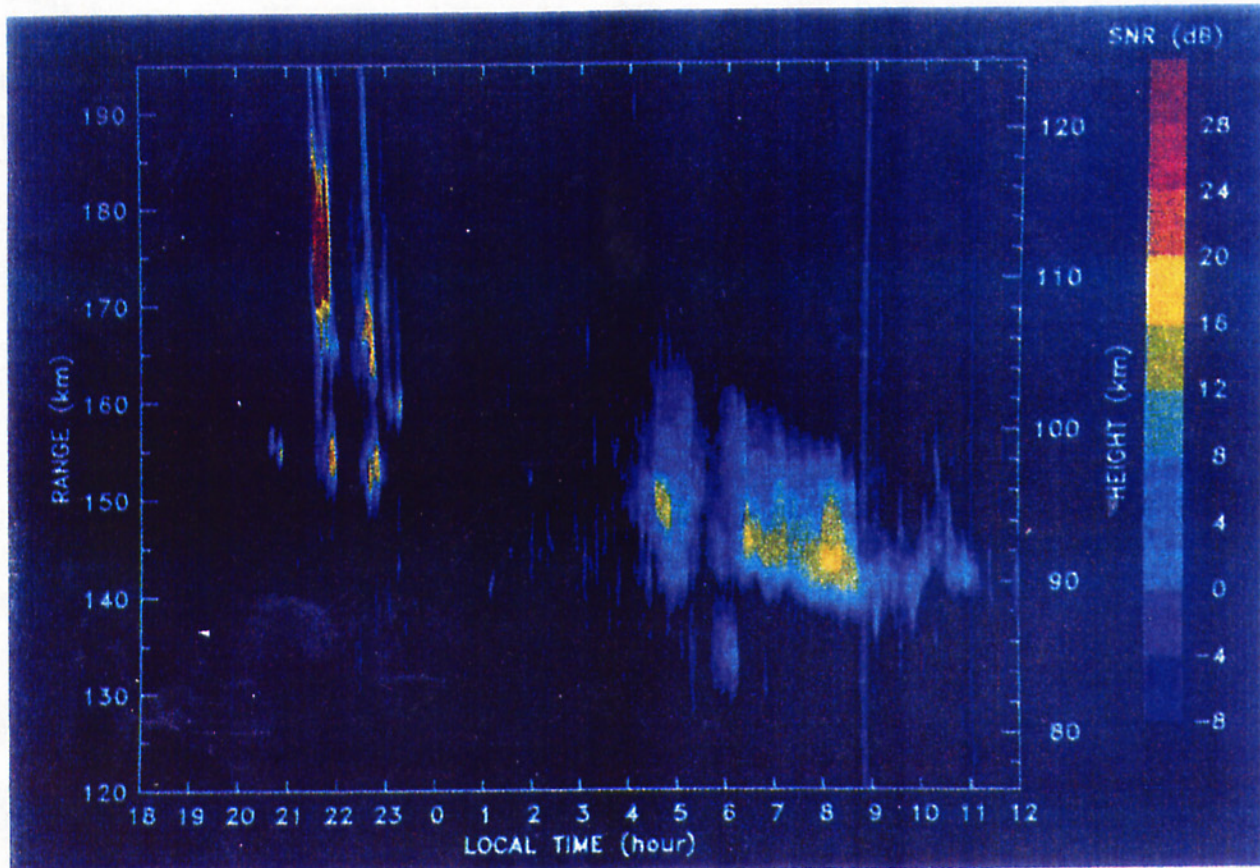


Plate 1. Time-height distribution of echo power observed in beam 3 between 18 LT on June 24, 1989, and 12 LT on June 25, 1989 [Yamamoto et al., 1991]

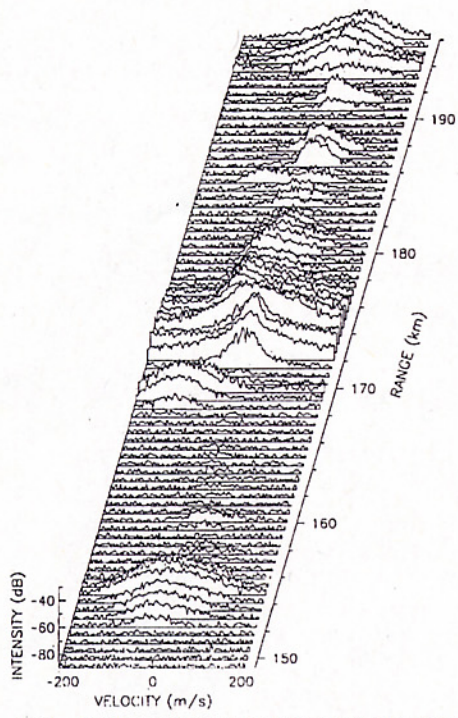


Fig. 1. Doppler spectra associated with backscatter from *E* region field-aligned irregularities observed in beam 3 at 2140 LT on June 24, 1989.

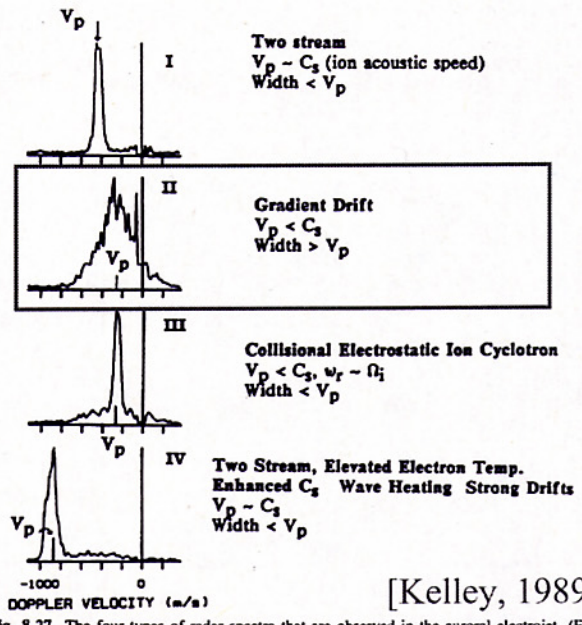


Fig. 8.27. The four types of radar spectra that are observed in the auroral electrojet. (Figure courtesy of J. Providakes.)

[Kelley, 1989]

Figure 5 FAIのドップラースペクトル(左図)、ドップラースペクトルで分けられる instabilityのタイプ(右図)

[Yamamoto et al., 1991]

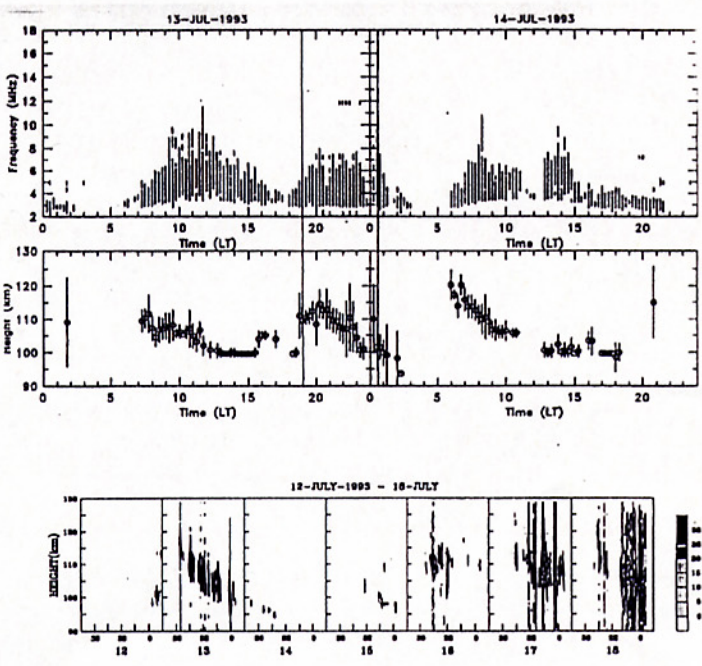


図 8: The correlation between sporadic-E and FAI. [玖村, 1994]

Figure 4.5: (Upper panel) Frequency range at which the ionosonde at the MU observatory detected echoes in the virtual heights of 90 to 130 km. (Middle panel) Averaged virtual heights where echoes were detected are shown by circular symbols, and standard deviations by vertical lines across circular symbols. (Lower panel) RTI plots obtained with FAR.

Figure 6

Es層(上段)とE領域FAI(中段)

[Saito, 1996]

Quasi Periodic echo (QP echo)

- 中緯度電離圏E領域で日入後(2200JST付近)に見られる準周期的なエコー。数分~15分程度で発生と消滅を繰り返し、レーダーに向う方向に位相伝搬を示す。 → Figure 7
- MULレーダーの多ビーム観測により、FAIが位相速度158km/sで西向きに伝搬していることがわかった。 → Figure 8
- MULレーダーの干渉計観測では、FAIの3次元構造の時間変化から、FAIの伝搬方向が南西方向であることがわかった。 → Figure 9
- Es層FAIに伴うQPエコーを説明するモデルとして、Woodman et al. [1991] (→ Figure 10)とTsunoda et al. [1994] (→ Figure 11)が挙げられる。

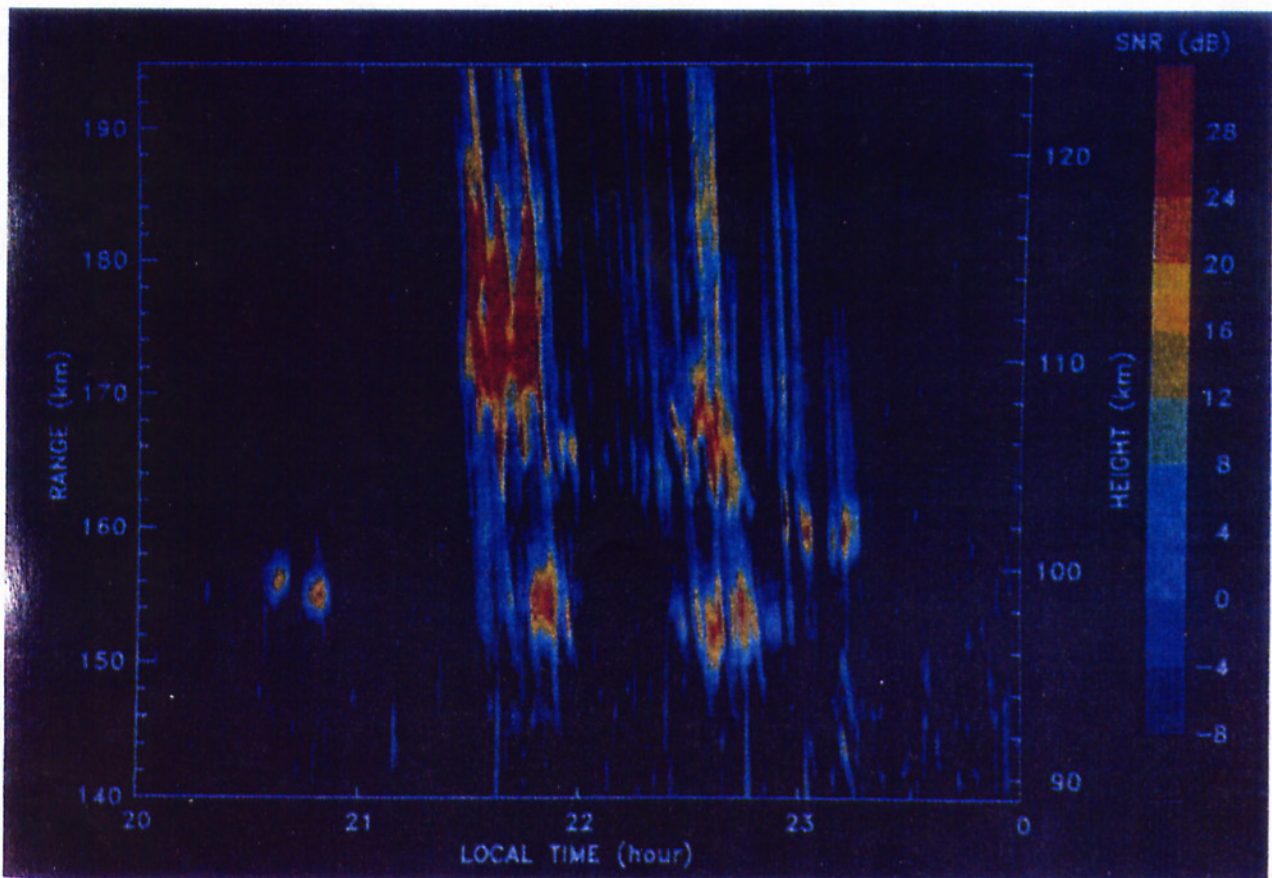


Plate 2. Time-height distribution of echo power observed in beam 3 between 20 LT on June 24, 1989, and 0 LT on June 25, 1989.

Figure 7

[Yamamoto et al., 1991]

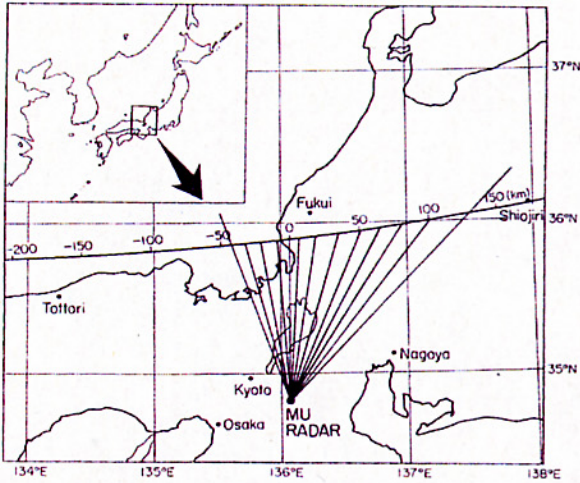


Figure 1. Observation area of the field-aligned irregularities (FAI) in the E region. The broad line designates the region where the antenna beam is perpendicular to the geomagnetic field at the altitude of 100 km. The antenna beams for the multibeam observation are also shown by the thin lines.

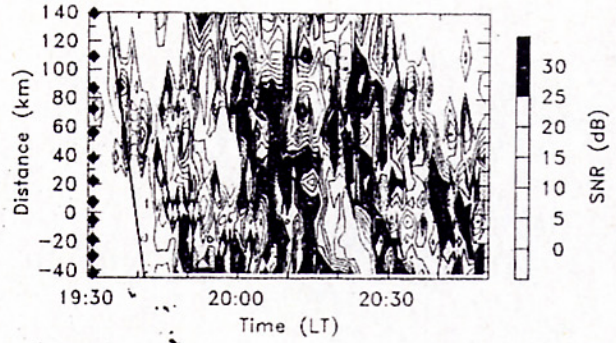


Figure 7. Contour plot of FAI echo intensities observed in 12 beam directions at 105 km altitude in 1930–2100 JST, May 9, 1991. The ordinate corresponds to the horizontal distance along the observation area from the geographic north of the MU radar (positive eastward). The beam positions are shown by the solid diamonds. Solid line around 1940 demonstrates the time of the sunset at the altitude of 100 km.

[Yamamoto et al., 1994]

Figure 8 MULレーダーの多ビーム観測に用いるビーム方向(左図)、多ビーム観測で得られたFAIの水平構造の時間変化(右図)

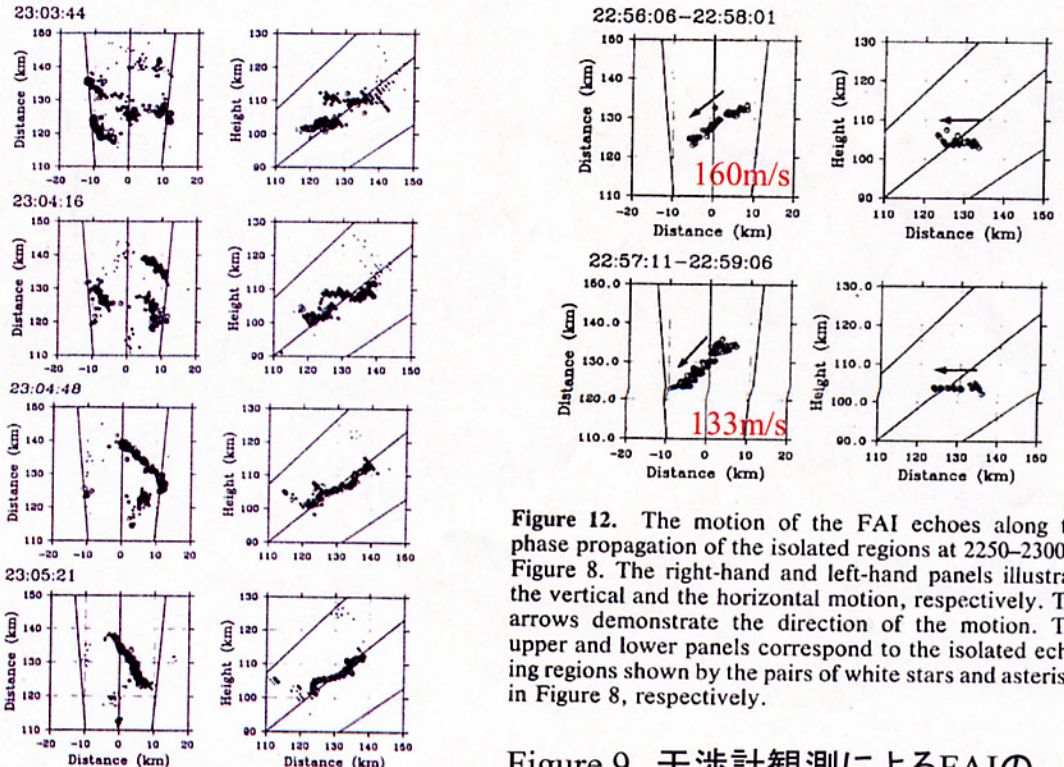


Figure 10. Series of three-dimensional distribution of the FAI echoes observed by the interferometry technique. The data start at 2303:44 JST on June 8, 1990, and are taken every 32 s. The left-hand and right-hand panels correspond to the horizontal and vertical distributions, respectively. In each panel, the center line is drawn to show the steered beam direction, and the others are drawn to show the directions $\pm 5^\circ$ off the beam direction.

Figure 12. The motion of the FAI echoes along the phase propagation of the isolated regions at 2250–2300 in Figure 8. The right-hand and left-hand panels illustrate the vertical and the horizontal motion, respectively. The arrows demonstrate the direction of the motion. The upper and lower panels correspond to the isolated echoing regions shown by the pairs of white stars and asterisks in Figure 8, respectively.

Figure 9 干渉計観測によるFAIの3次元空間分布(左図)、FAIの伝搬方向(右図)

[Yamamoto et al., 1994]

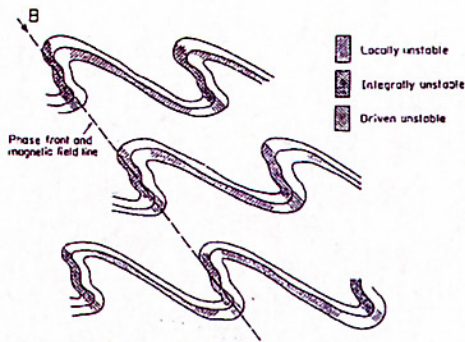


Fig. 3a. Schematic representation of three sporadic E layers distorted by a gravity wave as in figure 2, under 'matched' conditions.

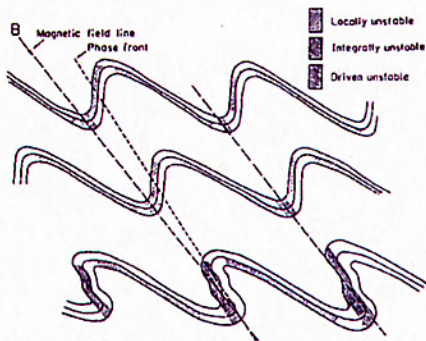


Fig. 3b. Same as in figure 3a but for slightly unmatched conditions. The bottom layer will drive fluctuations on the two layers above.

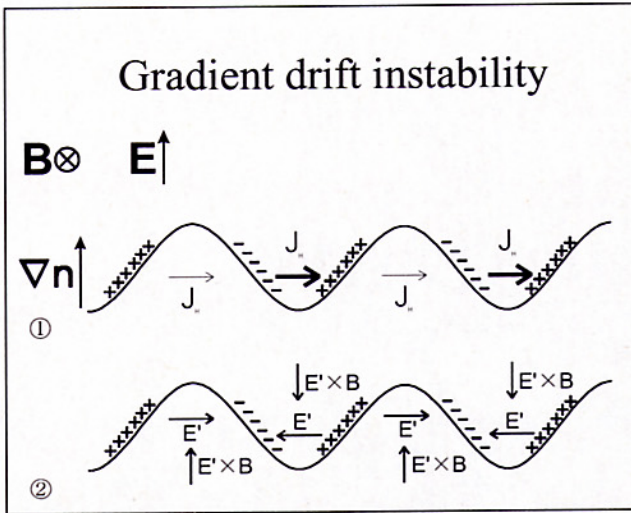


Figure 10 Woodman によるモデル
2,3層のEs層が大気重力波によって歪められ、磁力線に直交する方向に密度勾配を持つことで gradient drift instability が起こる。

[Woodman et al., 1991]

[Tsunoda et al., 1994]

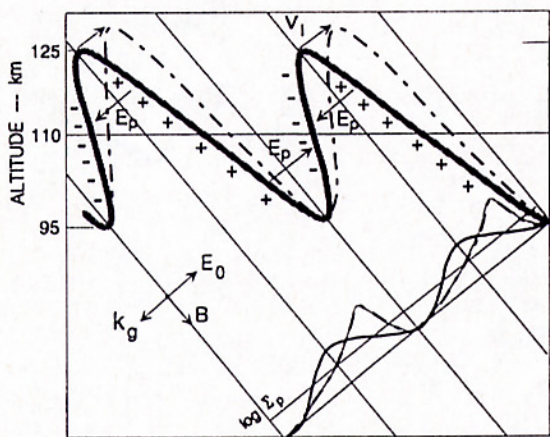


Fig. 5. Schematic drawing of an AGW-modulated Es sheet and associated electrodynamic.

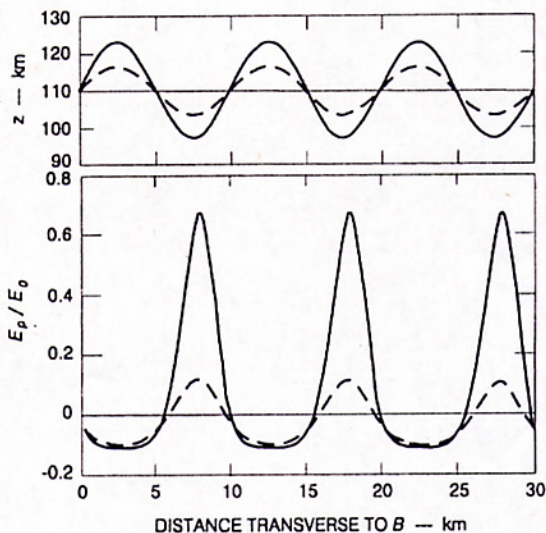


Fig. 6. The polarization electric field computed for two amplitudes of altitude modulation.

Figure 11 Tsunoda によるモデル

一層のEs層が大気重力波により磁力線方向に歪められ、重イオンがPedersen速度で北向きに動き分極電場 (E_p) をつくる(左図)。Es層の高さ変動が ± 14 km になると、分極電場の影響が無視できなくなるほど大きくなる(右図)。

SEEK

(Sporadic-E Experiment over Kyushu)

- 大気重力波で変調されたEs層によるQPエコーの生成という仮説を検証するための地上観測とロケットによる同時観測キャンペーン。1996年8月に実施された。
- 以下の項目を明らかにするために観測ロケットと地上観測装置が計画された[深尾 他, 1998]。
 1. Es層が中性風のシアによる収束によって生じているか?
 2. Es層が大気重力波によって深い高度方向の変調を受けているか?
 3. Es層変調に伴って大きな分極電場が発生しているか?
 4. 数mスケールのイレギュラリティが強い電界の領域で発生しているか?
- 種子島に設置したFrequency Agile Radar (FAR) を用いて電離圏E領域をリアルタイム観測し、QPエコーが観測された時点でロケットを発射した。計画段階では15分間隔で連続して2機を打ち上げる予定であったが、実際にはイレギュラリティが消滅したため、連続打ち上げはできなかった。

• ロケット観測		
S-310-25号機		
電場	(EFD-P)	→4,5
電子密度	(NEI)	→1,2,3,4
電子密度の揺らぎ	(PWP)	→1,2,3,4
電子温度	(FLP)	→3(?)
磁界	(MGF)	→姿勢検出
スターセンサー	(STS)	→姿勢検出
S-310-26号機		
電場	(EFD-B)	→4,5
電子密度	(NEI)	→1,2,3,4
磁界	(MGF)	→姿勢検出
スターセンサー	(STS)	→姿勢検出
中性風速	(TMA)	→1
• 地上観測		
レーダー観測		
FAR	(種子島)	→5
イオノゾンデ	(山川)	→Es層
MFレーダー	(山川)	→1
MUレーダー	(信楽)	→FAI
Chung-Li VHF radar	(台湾)	→FAI
光学観測		
TMAカメラ撮影	(幡多、高崎、大隅、種子島)	→1
大気光イメージング	(内之浦、大隅、山川、信楽)	→3

ロケット飛跡と地上観測配置図

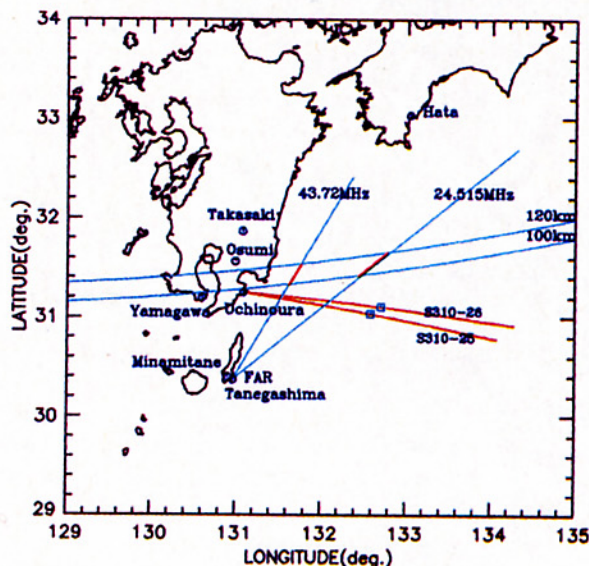
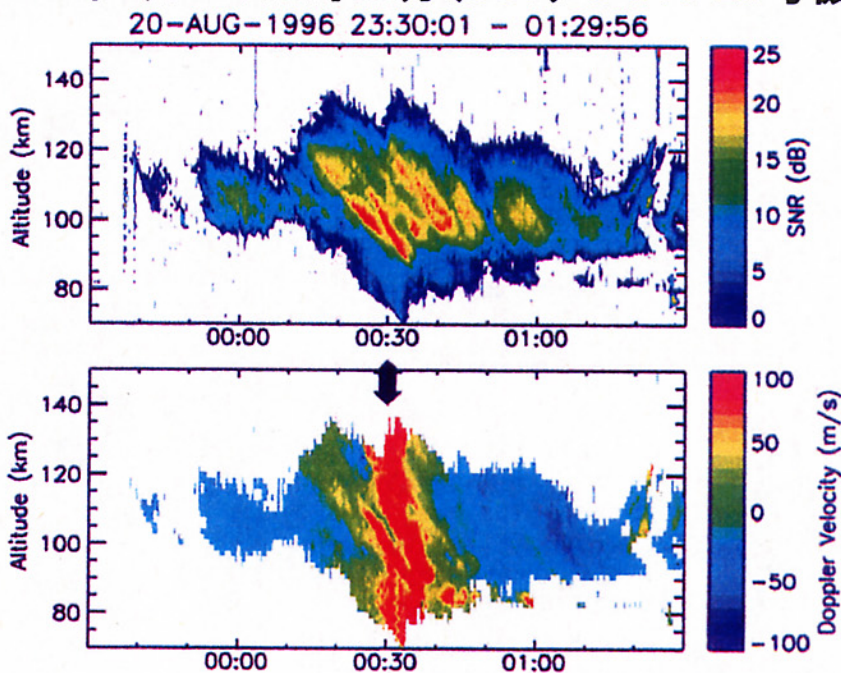


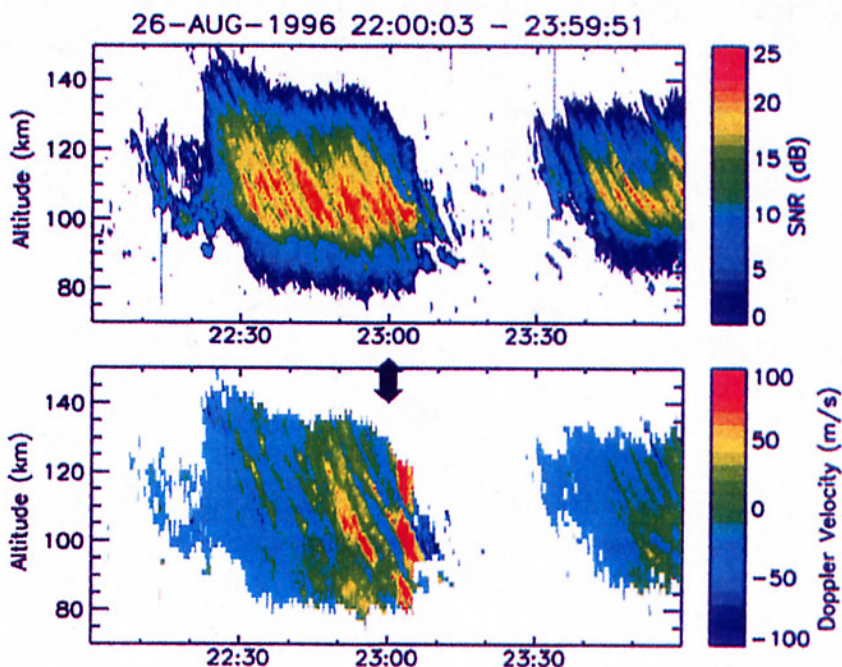
Figure 1. The geometry of sounding rocket measurements, the FAR measurements, and the locations of ground-based instruments. The 100-120 km altitude range where the antenna beams orthogonally intersect with the geomagnetic field lines are indicated in red lines.

1機目:1996年8月21日0時30分(JST) S-310-26号機打ち上げ



FARの24.515MHz観測によるQPエコー。ロケット発射前後の0時15分～0時45分で特徴的な筋状の構造が見える。ロケット発射前後には、FAIエコーのドップラー速度がレーダーから遠ざかる方向に大きな値を示した。下降時にTMAを噴射し、地上3点からの連続写真撮影を行った。

2機目:1996年8月26日23時0分(JST) S-310-25号機打ち上げ



FARの24.515MHz観測によるQPエコー。22時30分～23時0分に特徴的な筋状の構造が見える。ロケットは、少なくとも上昇時にQPエコーの筋状構造を貫いたと考えられるが、その後エコーの弱い領域に向けて下降したと考えられる。

1機目：電場観測(EFD-B)

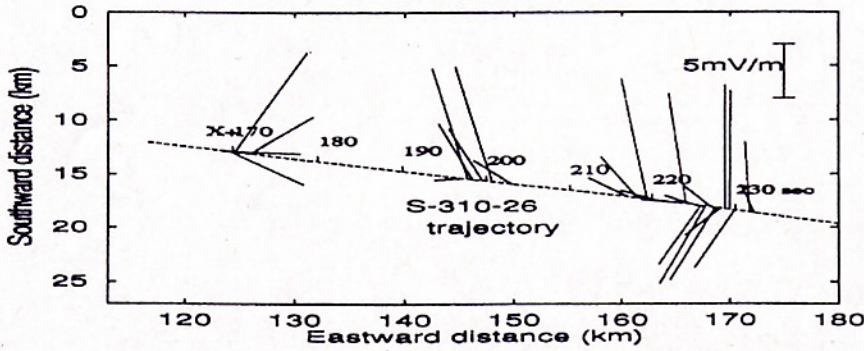


図8 横軸は地理的な東、縦軸は南を示す。点線はロケット軌道を平面上に投影したものであり、打ち上げ後の時刻を示してある。そこから伸びる直線が電場ベクトルである。

[野田 他, 1998]

- 電場の強度が最大で11mV/mを超え、平均でも6mV/m程度ある。
→通常E領域に存在する1mV/m程度のSq電場よりもはるかに大きい
- 電場の向きは一部南西向きのものもあるが、北向きが多い。
→FARレーダー観測によるFAIのドップラー速度はレーダーから遠ざかる方向に75m/s以上、すなわち南東方向の電場によるドリフトであり、同じ磁力線であっても高さ方向によって電場の向きがことなる。
- X+217~232秒で、北向き電場が4秒(空間的には4km)の周期構造をもつ。
→Es層に大気重力波などによる変調がかかっていた可能性がある。

2機目：電場観測(EFD-P)と電子密度観測(PWP)

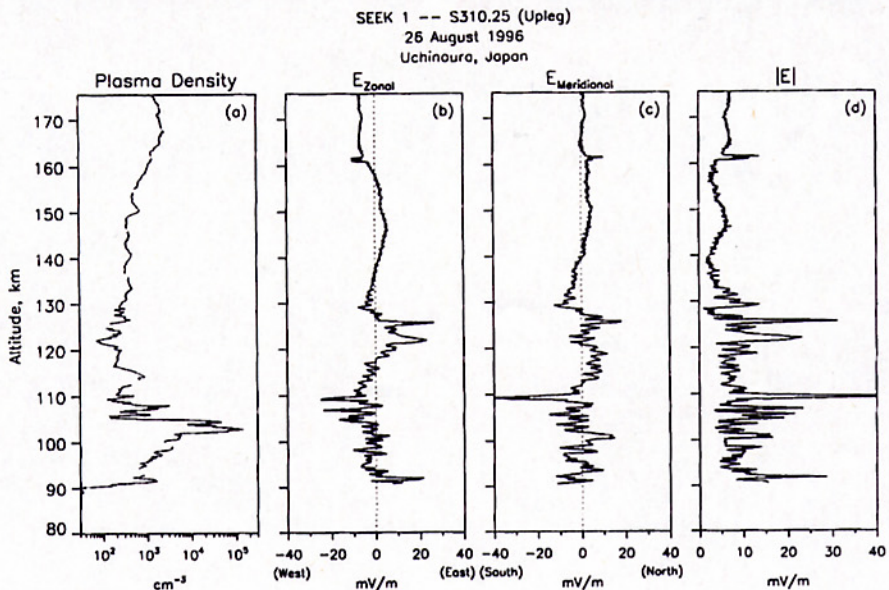


Figure 3. Plasma number density (a) and zonal (b) and meridional (c) electric field profiles for the upleg. The magnitude of the electric field (d) calculated from the components in panels (b) and (c).

高度100~115km

- 電場はおおむね西向きで、10mV/mを超える大きさをもつ。
- 電子密度の大きい高度103km付近では、比較的電場の大きさは小さい。
- 電場の細かい変動が卓越 → Es層に伴うプラズマ不安定現象

[Pfaff et al., 1998]

SEEK 1 -- S310.25 (Upleg)
26 August 1996
Uchinoura, Japan

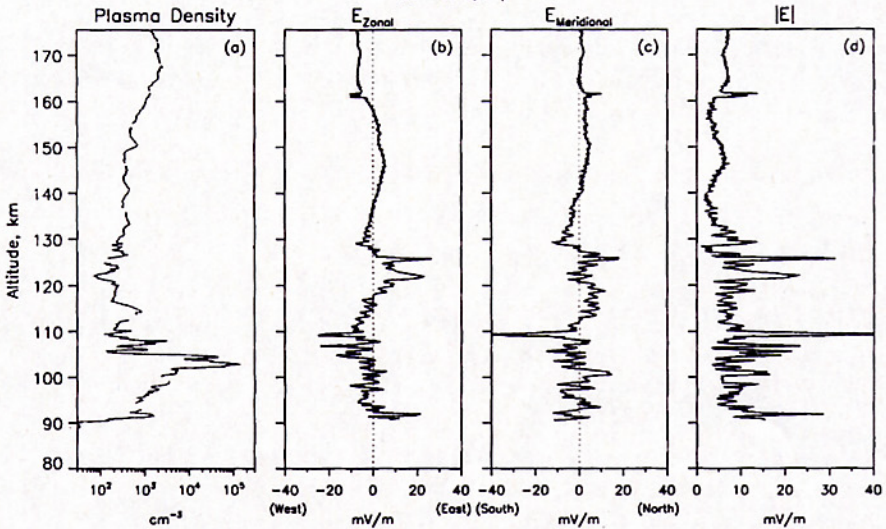


Figure 3. Plasma number density (a) and zonal (b) and meridional (c) electric field profiles for the upleg. The magnitude of the electric field (d) calculated from the components in panels (b) and (c).

[Pfaff et al., 1998]

高度120km～

- ・122km、125kmで20mV/mを超える電場のピークと電子密度の減少が見られる。
→磁力線に沿う下方でプラズマ不安定減少の存在を示唆
- ・130～170kmでの電場が高度波長15km(変動周期25秒程度)、±3mV/m程度の、主として東西成分の変動を示す。
→重力波によって発生した分極電場が磁力線に沿って高高度まで伝搬してきたと考えられる。電界の変動周期から水平波長は25km程度と考えられる。

2機目：電場観測(EFD-P)とFAIドップラー速度(FAR)

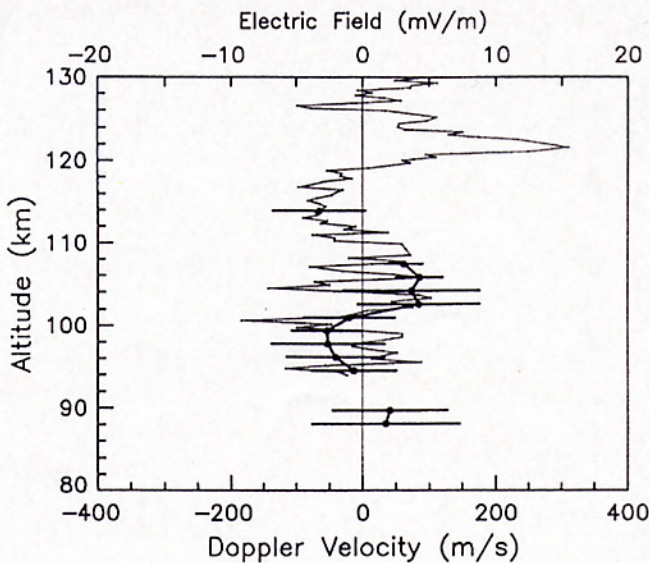


図5 EFD-Pで観測された電界(細線)と種子島のFARで観測されたFAIエコーのドップラー速度(太線、横棒はスペクトル幅を示す)の比較。FAIエコーの示すドップラー速度が概ね $E \times B$ ドリフトに対応することから、 $B = 5 \times 10^{-5}$ nTと仮定して、観測された電界のFARアンテナレーザビーム直交方向成分との比較を行った。

[山本 衛 他, 1998a]

100km以上の高度において、EFD-Pで観測された電場と、FAIドップラー速度から求めた電場が良く一致する。EFD-PとFARの観測領域は、水平距離で数十kmはなれているため、同時観測とは言えないが、空間的に離れた観測点において、同様な波動構造が繰り返し現れていたことが明らかになった。

1機目:TMA観測(TMA)



TMA Trail

SEEK Experiment

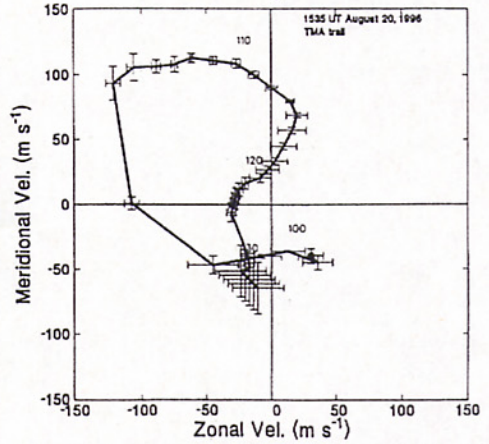


図4 風速プロファイルのホドグラフ表示。水平及び鉛直軸が東西及び南北風速成分に対応する。図中の数字は、データ点の高度を10 km毎に示す。 [山本 衛 他, 1998b]

- 天候の良かった幡多、内之浦、種子島の3点からTMA発光雲を連続カメラ撮影し、背景の星の位置を手がかりに発光雲の位置を決め、三角測量によって大気風速を求めた。
- 高度105km付近で、北西向きに最大風速150m/sを観測した。
- 風速ベクトルが高度の上昇に従って時計回りに回転する様子が示されている。

1機目:TMA観測(TMA)と電子密度観測(NEI)

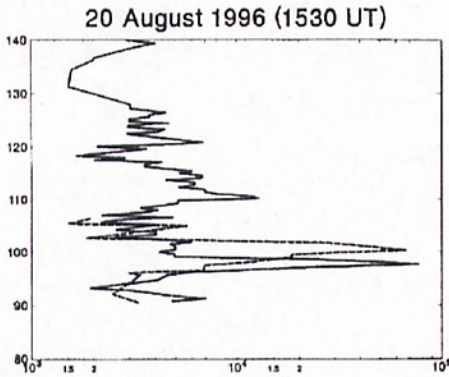


Figure 4. Electron density profiles (cm^{-3}) versus altitude (km) for the upleg (solid line) and downleg (dashed line) portion of the rocket flight.

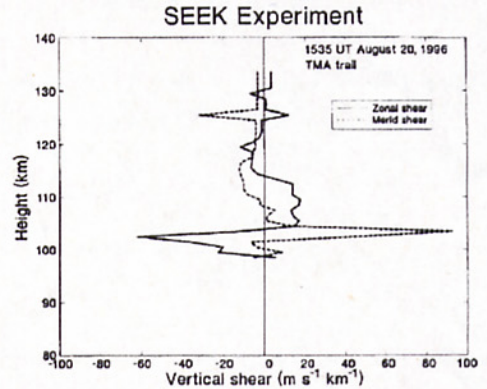


Figure 5. Zonal and meridional wind shears calculated from the chemical release wind profile.

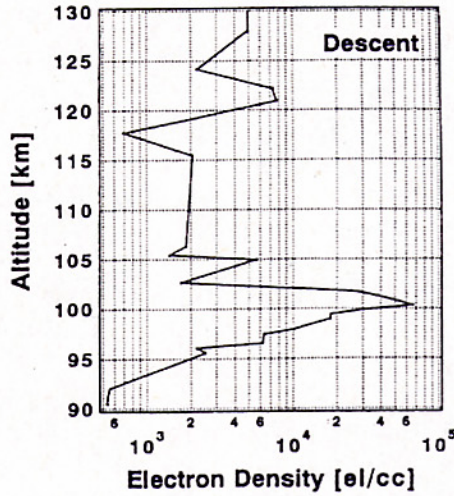
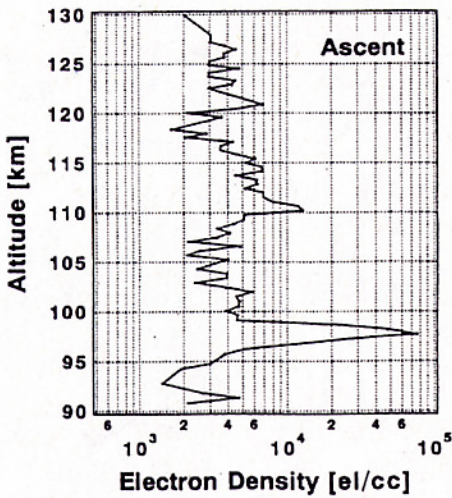
[Larsen et al., 1998]

- TMAによる中性風速プロファイルの鉛直シア(左図)と、NEIによる電子密度プロファイル(右図)。
- 東西方向のシアが最大となる高度で、downleg(右図破線)のEs層とみられる電子密度ピークがみられる。
→ 中性大気風速のシアによるEs層の生成を示唆
- 観測された風速から求めたリチャードソン数は、高度102~103km付近で大気安定の目安となる0.25よりも小さくなり、Kelvin-Helmholtz (K-H) 不安定を生じていた可能性がある。

1機目:電子密度観測(NEI)

S-310-26 NEI

August 21, 1996



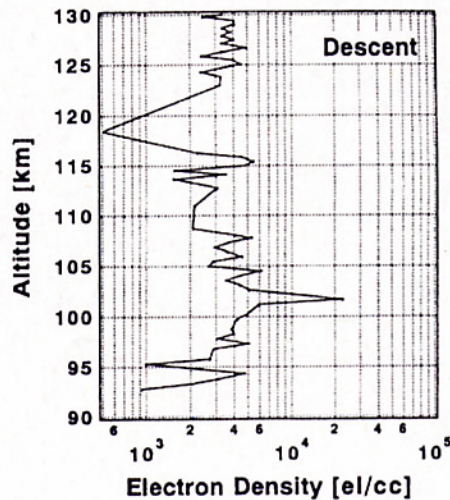
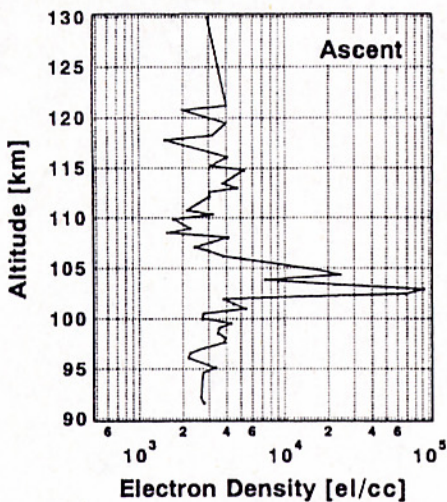
[山本 真行 他, 1998]

- 上昇時、高度97.7kmに最大 7.6×10^4 [el/cc]の電子密度を観測。厚さ2kmのEs層と考えられる。高度110.2kmに密度 1.3×10^4 [el/cc]の第2層、高度120.8kmにも第3層と見られる密度の高い領域がある。
- 下降時、TMA放射による影響によりNEIの観測の精度は落ちたが、十分な精度でEs層を観測した。その高度は100.3km、最大密度は 6.6×10^4 [el/cc]であった。高度120.9kmには第2層と見られる密度の高い領域がある。

2機目:電子密度観測(NEI)

S-310-25 NEI

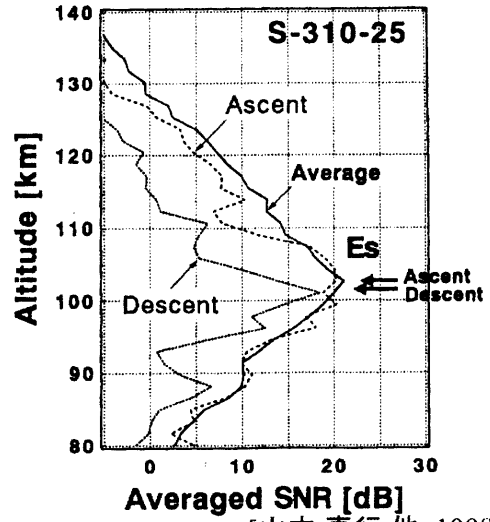
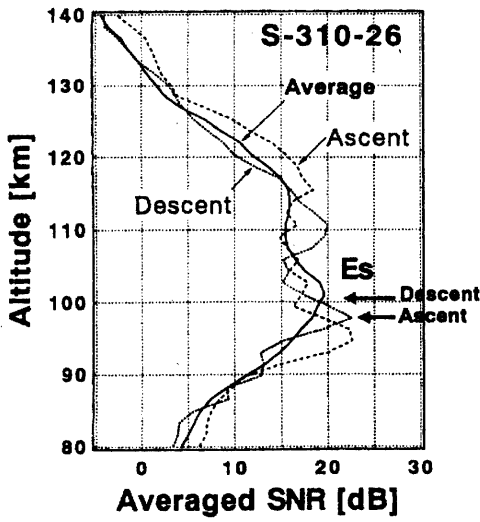
August 26, 1996



[山本 真行 他, 1998]

- 上昇時、高度102.9kmに最大 9.3×10^4 [el/cc]の電子密度を観測。厚さ1km程度のEs層と考えられる。その直上の高度104.3kmに密度 2.4×10^4 [el/cc]のサブピーク構造が見られる。高度114.8kmにも第2層と見られる密度の高い領域がある。
- 下降時、高度101.6kmにEs層が見られるが、最大密度は 2.3×10^4 [el/cc]であり、上昇時の1/4程度であった。これは、下降時にFAR観測のQPエコーが消滅していたこととよく対応している。

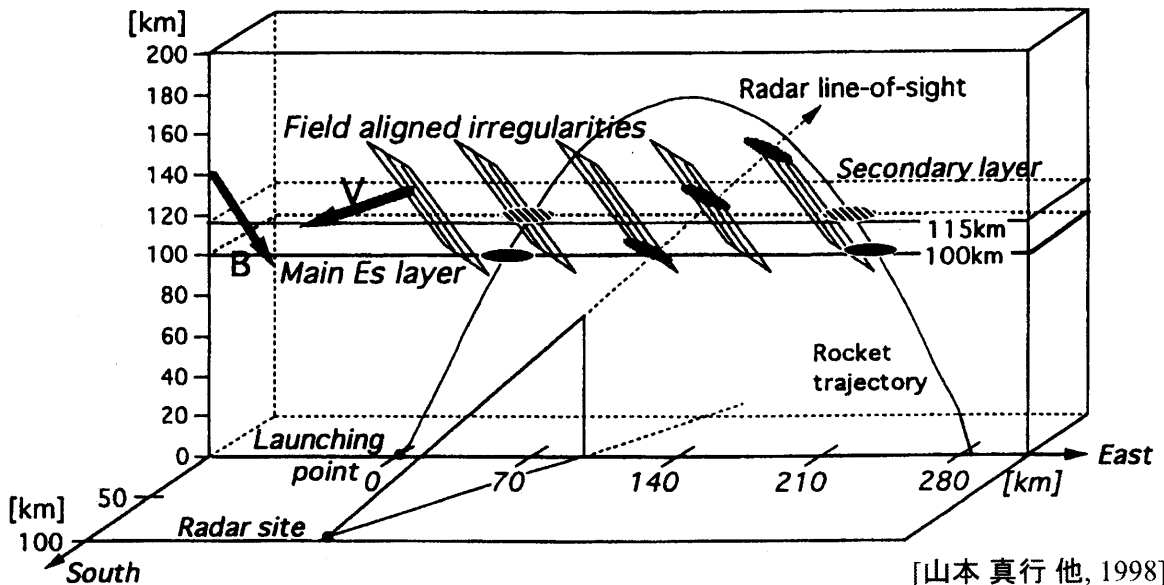
電子密度観測(NEI)とFAI観測(FAR)



[山本 真行 他, 1998]

- レーダーエコー強度の平均プロフィールと電子密度プロフィールには良い一致がみられる。
- 2機目S-310-25号機の観測時においては、レーダーエコー平均強度の消長と電子密度の変化の間にも明らかな対応が見られる。
- 高度方向に広いエコーが時間的に降下するQPエコーの特徴的な構造は、Es層と一対一には対応しておらず、Es層そのものがQPエコーの原因とは考えにくい。

電子密度観測(NEI)とFAI観測(FAR)から推察される QPエコー発生時のE領域電離圏構造



[山本 真行 他, 1998]

- ロケットの上昇時と下降時にEs層を横切った2点は、水平距離で200km程度離れているが、Es層ピークは2~3km程度の高度差で観測されているため、Es層が高度変調されたものではなく、フラットな構造であったと考えられる。

大気光観測(NEI)

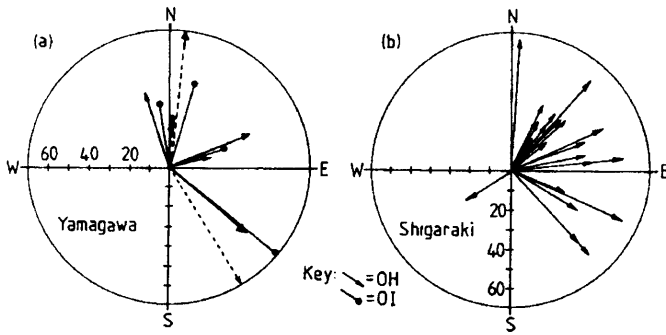


Figure 4. Velocity distributions for (a) the full Yamagawa OH and OI data, and (b) the full Shigaraki OH data. Each vector indicates the magnitude and direction ' θ ' measured clockwise from N. Note the dashed arrows represent events where the wave phase speed was indeterminate.

[Taylor et al., 1998]

- SEEKキャンペーン期間中の大気光観測では、OH, OI(557.7nm)の大気光を観測した。
- 大気光イメージング観測は、ロケット発射時は天候が悪く、観測ができなかった。
- 大気光の縞状構造は、概して北東向きに伝搬しており、FAIが伝搬する南西向きとは異なった。大気光の発光高度は80~100kmであるため、QPエコーの源となる中性大気波動は、大気下層から上方伝搬してきたものではなく、Es層近傍で発生していることが考えられる。

SEEKによる観測結果のまとめ

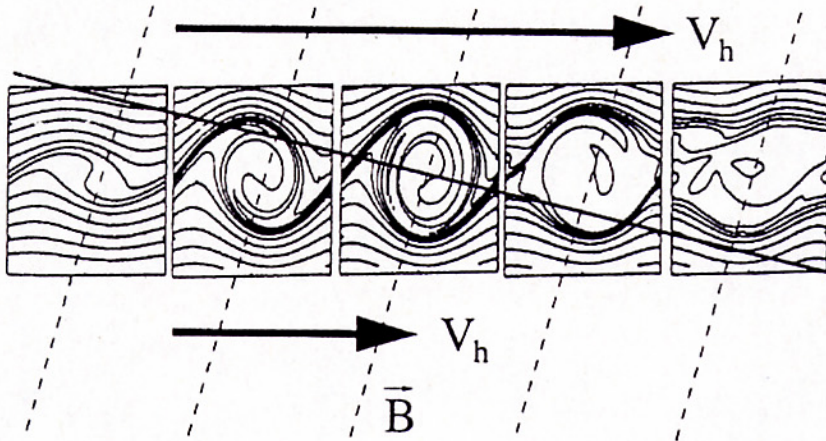
1. Es層が中性風のシアによる収束によって生じているか？ ○
→ Es層と中性風シアにはよい相関があり、ウインドシア理論によるEs層の生成を示唆した。(TMA観測、電子密度観測)
2. Es層が大気重力波によって深い高度方向の変調を受けているか？ ×
→ Es層はフラットな構造と考えられ、Es層の高度変調仮説が否定された。(電子密度観測、大気光観測)
3. Es層変調に伴って大きな分極電場が発生しているか？ ○
→ 両方のロケットによる電場観測で、非常に大きな電場を観測した。また、電子密度の低い高度で、電場が増大する様子も観測された。(電場観測、電子密度観測)
4. 数mスケールのイレギュラリティが強い電界の領域で発生しているか？ ○
→ FAIエコーのドップラー速度と電場強度の対応がよいことが示された。(FAI観測、電場観測)

⇒ 初期のモデルでは観測結果を説明できない。

SEEK後の新しい生成モデル

Larsenモデル [Larsen, 2000]

- 強い中性風速シアによりK-H不安定が発生。
- 渦状構造が水平方向に複数できると、その構造がレーダー観測(図中実線)では周期的な構造として見える。



Maruyamaモデル [Maruyama et al., 2000]

- 電子密度が大きく、東西方向に伸びたplasma cloudを含む、2層のE領域を仮定(左図)。
- 西向き外部電場 E_y^0 を印加すると、北向きHall電流が流れる(右図)。
- 電流保存を維持するため、 E' が生成される。

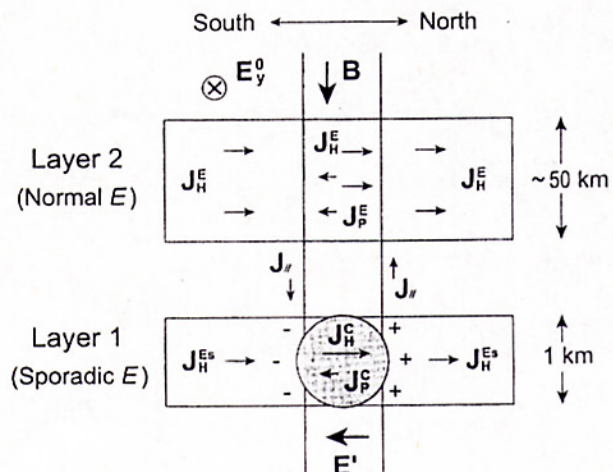
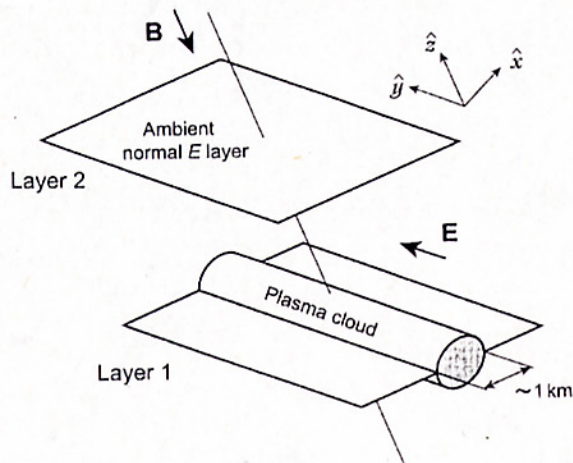


Figure 7. Two-layer model of nighttime E region containing an E_s plasma cloud. A dense plasma cloud in the horizontal background E_s layer is oriented in the east-west direction.

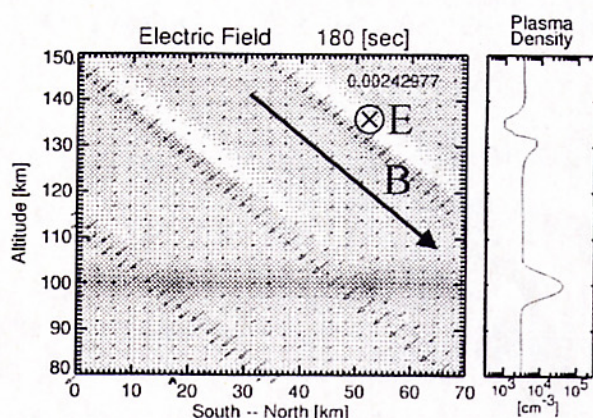
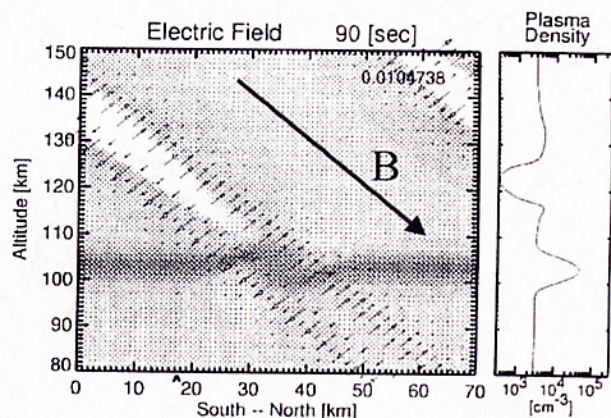
Figure 10. Schematic illustration of mechanism forming images of plasma clouds in the E_s layer.

計算機シミュレーションによる分極電場生成機構の検証

- Fe^+ と電子からなる2流体を仮定し、鉛直子午面内の2次元で、流体方程式（運動方程式、連続の式、電流保存の式）を数値的に計算。
- どちらのモデルの場合も、強い分極電場が生成され、磁力線に沿った不安定領域が生まれる。

→ 強い分極電場は頻繁に生じ得る

[横山, 2001]



Larsenモデル: K-H不安定を擬似的に再現した中性風を印加。

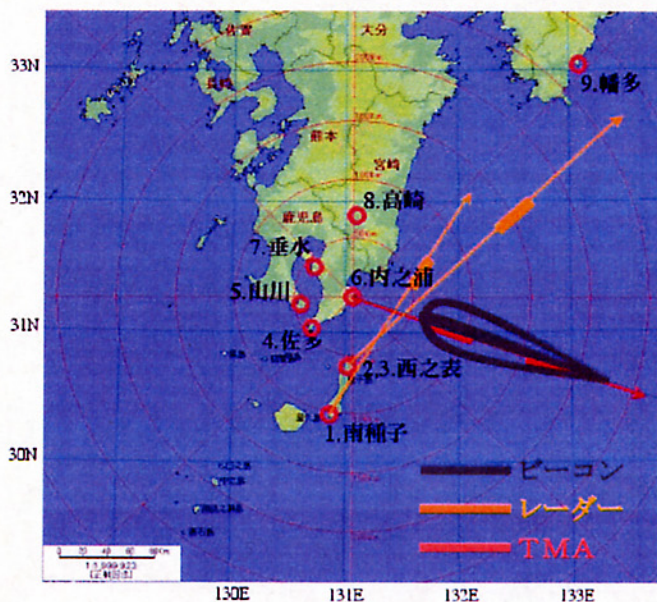
Maruyamaモデル: 西向き外部電場 1mV/mを印加。

SEEK-2

(Sporadic-E Experiment over Kyushu II)

- SEEKの結果を踏まえ、Es層の水平構造によるQPエコーの生成という仮説を検証するための地上観測とロケットによる同時観測キャンペーン。2002年7月27日から打ち上げ待機。
- 可搬型HF/VHFレーダーでFAIのリアルタイム観測をし、QPエコーの発生にあわせてS-310-31号機、S-310-32号機を10分間隔で連続的に打ち上げる。TMA発光が最低2地点で観測される必要があるため、気象によっても打ち上げのタイミングが決まる。
- ロケットに搭載される観測機器は、SEEKに搭載されたものの他、以下の観測機器を加える。
 1. ビーコン送信機 (31、32号機)
 - 地上に4点のビーコン受信機を配置し、ロケットと受信機間の全電子数(TEC)を観測し、Es層の水平構造を明らかにする。
 2. 上りと下りでのTMA噴射(32号機)
 - 上りと下りで、ロケットがEs層高度を貫く場所が水平距離で100~150km離れているため、中性大気の空間構造を観測可能である。

ロケット飛跡と地上観測配置図



ロケットは2機とも方位角 107° へ打ち上げる。最高高度は1機目150.5km、2機目123.4kmの予定。図に示された線(太線)は、Es層高度にマッピングした観測ポイントを示す。

九州地上観測予定

可搬型レーダー	(西之表、南種子)	→FAI
イオノゾンデ	(山川)	→Es層
MFレーダー	(山川)	→中性風
TMAカメラ撮影	(幡多、高崎、内之浦、西之表)	→中性風
イメージャー	(佐多、高崎、山川、西之表)	→大気光
ビーコン受信機	(西之表、内之浦、垂水、高崎)	→全電子数
GPSシンチレーションモニター	(垂水)	→シンチレーション
その他定常観測等		
GPS受信機網		→F領域全電子数
MULレーダー	(信楽)	→FAI
Chung-Li VHF radar	(台湾)	→FAI
ROCSAT-1 衛星(IPEI)		→電離圏、高度600km

SEEK-2により期待される成果

- QPエコー領域に現れる強い電界の源を明らかにする。Maruyamaモデルで示されるように、東西方向に伸びたプラズマ塊と外部電場によるものなのかを検証する。(← 電場、Es層全電子数、FAI)
- 中性大気風速の空間変動から、QPエコー周辺の中性大気変動を明らかにし、QPエコーの変動がLarsenモデルが示すようなK-H不安定によるものなのかを検証する。(← TMA、FAI、電場)
- 前回は天候が悪くて実施できなかったOH、OI大気光観測によって、E層下部の大気重力波の伝搬を明らかにし、E層FAIの水平構造とどのような関係があるのかを明らかにする。(← 大気光、FAI、Es層全電子数)
- 630nm大気光、GPS受信機網で見られるF領域の中規模TIDsの水平構造と、レーダー及びビーコン観測で観測できるE領域FAIの水平構造について、どのような関係があるのかを明らかにする。(← 大気光、FAI、GPS全電子数、Es層全電子数)

References

- J. D. Whitehead, Recent work on mid-latitude and equatorial sporadic-E, *J. Atmos. Terr. Phys.* 51, 401-424, 1989
 - M. Yamamoto et al., Mid-latitude E region field-aligned irregularities observed with the MU radar, *J. Geophys. Res.*, 96, 15943-15949, 1991
 - M. Yamamoto et al., Spatial structure of the E region field-aligned irregularities revealed by the MU radar, *Radio Sci.*, 29, 337-347, 1994
 - R. F. Woodman et al., Gravity wave modulation of gradient drift instabilities in mid-latitude sporadic E irregularities, *Geophys. Res. Lett.*, 18, 1197-1200, 1991
 - R. T. Tsunoda et al., On the origin of quasi-periodic radar backscatter from midlatitude sporadic E, *Radio Sci.*, 29, 349-365, 1994
 - 深尾 昌一郎 他, SEEK (Sporadic-E Experiment over Kyushu) キャンペーン - 観測ロケットS-310-25号機, 26号機を中心とした中緯度E領域イレギュラリティの総合観測 -, *宇宙科学研究所報告*, 特集第38号, 1-10, 1998
 - M. C. Kelley, The Earth's ionosphere: Plasma physics and electrodynamics, *International Geophysics Series, vol 43. San Diego: Academic Press*, 1989
 - 野田 寛大 他, SEEKキャンペーンにおけるDC電場観測, *宇宙科学研究所報告*, 特集第38号, 37-49, 1998
 - 山本 衛 他, S-310-25号機搭載ダブルプローブによるスプラディックE層中の電界測定, *宇宙科学研究所報告*, 特集第38号, 29-36, 1998a
-
- 山本 衛 他, S-310-25号機からのTMA放出による中性大気風速の観測, *宇宙科学研究所報告*, 特集第38号, 29-36, 1998b
 - 山本 真行 他, SEEK観測ロケット搭載インピーダンスプローブ(NEI)によって得られたQPエコー発生時のスプラディックE電離層構造, *宇宙科学研究所報告*, 特集第38号, 11-18, 1998
 - R. Pfaff et al., Electric field measurements above and within a sporadic-E layer, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1769-1772, 1998
 - M. F. Larsen et al., The SEEK chemical release experiment: Observed neutral wind profile in a region of sporadic E, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1789-1792, 1998
 - M. J. Taylor et al., Long base-line measurements of short-period mesospheric gravity waves during the SEEK campaign, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1797-1800, 1998
 - M. F. Larsen, A shear instability seeding mechanism for quasiperiodic radar echoes, *J. Geophys. Res.*, 105, 24931-24940, 2000
 - T. Maruyama, et al., A possible mechanism for echo striation generation of radar backscatter from midlatitude sporadic E, *Radio Sci.*, 35, 1155-1164, 2000
 - 横山 竜宏, 中緯度電離圈イレギュラリティの生成に関する研究, *地球電磁気夏の学校2001プロシーディング*, 2001
 - 深尾 昌一郎, 中緯度電離圈E領域イレギュラリティの生成機構に関するロケットを中心とする共同観測キャンペーン -SEEK-2 (Sporadic-E Experiment over Kyushu II) -, *研究計画提案書*, 2000