

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 —

深尾 昌一郎¹・山本 衛¹・Roland T. Tsunoda²
早川 基³・向井 利典³

SEEK (Sporadic-E Experiment over Kyushu) Campaign
— Observations of midlatitude E-region irregularities with
sounding rockets S-310-25 and -26 —

By

Shoichiro FUKAO¹, Mamoru YAMAMOTO¹, Roland T. TSUNODA²,
Hajime HAYAKAWA³ and Toshifumi MUKAI³

Abstract: The SEEK (Sporadic-E Experiment over Kyushu) campaign was conducted in the south of Kyushu, Japan, to investigate the mechanism for the generation of quasi-periodic (QP) radar backscatter from nighttime sporadic-E (*Es*) layers. The SEEK was designed to measure in-situ small-scale electrodynamic properties with two sounding rockets and to sense remotely large-scale dynamics and electrodynamics with a movable radar and other radio and optical instruments deployed near the rocket range. The sounding rockets were successfully launched into the *Es* layers from which the movable radar detected typical intense QP echoes.

概 要

観測キャンペーンSEEK (Sporadic-E Experiment over Kyushu) は、ロケットを用いた直接観測と地上のレーダーおよび光学観測装置を組み合わせた、中緯度域のスプラディックE層とそれに伴う電離圏沿磁力線イレギュラリティの総合観測である。SEEKでは、1996年8月21日0時30分と26日23時0分(どちらもJST)に内之浦からそれぞれ観測ロケットS-310-26号機と25号機を打上げて、電子密度、電界、中性大気風速の直接観測を実施するとともに、地上では種子島に設置された可搬型レーダーや内之浦を始めとする計4ヶ所で実施された大気光イメージング装置によってそれぞれ電離圏イレギュラリティと大気重力波の観測を成功裡に実施した。観測ロケットは2機とも、地上のレーダー観測からリアルタイム・モニターされた電離圏イレギュラリティの増大にあわせて打上げられ、スポ

¹京都大学超高層電波研究センター, ²SRI International, ³宇宙科学研究所

ラディックE層が大気風速の非常に強いシアで発生すること、電離圏イレギュラリティに伴う分極電界が5～10 mV/mと非常に強いことなどが明らかにされた。

重要語：ロケット観測，レーダー観測，スポラディックE層，E領域イレギュラリティ，大気重力波

1. はじめに

中緯度スポラディックE層（Es層）に見られる小スケールの沿磁力線イレギュラリティ（Field-Aligned Irregularity; FAI）に起因するレーダー反射エコーの問題は、過去40年以上にわたって研究されているが、そこに含まれる本質的な物理現象の理解は、未だ不十分と言わざるを得ない。特に、Es層の生成メカニズムの通説であるいわゆるウインドシア理論は、Es層の発生頻度が示す顕著な季節変化や日変化のパターンを定性的にも説明し得ないという問題点をかかえてきた（例えばWhitehead他，1989）。

このあやふやな枠組みの下においても、Es層の形状やEs層に伴うFAIからのレーダーエコーに準周期的な変動や波状構造が見られることが数多く報告されてきた（例えば，Ecklund他，1981; Riggin他，1986; Fukao他，1991; Yamamoto他，1991）。小スケールのFAIは一般的にグラディエント・ドリフト（gradient-drift）不安定によって発生するとされているが、現在の理論は、観測されている波状構造が中性大気中の大気重力波のそれに近いという事実を説明できていない。さらにレーダー観測からはFAIエコーのドップラー速度が非常に大きな値を示すことも明らかになっており（例えば，Riggin他，1986; Shlegel and Haldoupis, 1994; Ogawa他，1995），中緯度FAIに従来の常識を越えるような大きな電界が存在することが予想されてきた。以上のような理由から、我々はロケットを用いたEs層の直接観測と地上のレーダーおよび光学観測装置から構成される観測計画SEEK（Sporadic-E Experiment over Kyushu）を計画・実施した（Fukao他，1998）。

2. 準周期エコー

準周期エコーは、中緯度E領域FAIに見られる特徴的なエコーであって、通常、100 km以上の高度に現われ、周期数分～15分程度で発生と消滅を繰り返し、レーダーに向かう方向に位相伝搬を示す（Yamamoto他，1991）。準周期エコーはEs層と高い相関を示し、主に夏季の夜間に発生する。MUレーダーを用いた多ビーム観測・干渉計観測によると、エコー領域の水平伝搬方向は南西ないし南南西に向かうものが多く、その位相速度は100 m s⁻¹以上である（Yamamoto他，1994）。他のレーダー観測によっても同様の南西方向の位相伝搬が報告されているが、その速度はMUレーダー観測の半分程度である（Tanaka and Venkateswaran, 1982; Riggin他，1986）。初めに述べたように、準周期エコーの時間・高度分布はレーダーに向かう位相伝搬を示すが、その速度は60 m s⁻¹から90 m s⁻¹程度であり、エコー領域にわたって一定の値を示すことが多い。

これらの特徴が大気重力波のそれと良く似ていることから、Es層が大気重力波によって高度変調され傾いた層状の領域を構成し、その一部分でFAIが発生することによって準周期エコーが発生するというモデルが提唱された（Woodman他，1991）。またTsunoda他（1994）は、大気重力波によるEs層の変調が十分深い場合には、大きな分極電界が発生することを示し、分極による電界の強弱が準周期エコーの源となるというモデルを提唱している。

3. SEEKキャンペーン

上記のような大気重力波による準周期エコーの生成という仮説を検証するためには、以下の5つの項目を明らかにするべきと考えられる。

1. Es層が中性風のシアによる収束によって生じること。
2. Es層が深い高度方向の変調を受けていること。
3. 大気重力波がそのEs層変調の原因となっていること。
4. 大きな分極電界がEs層変調に伴って発生していること。
5. 数メートルのスケールを持つイレギュラリティが強い電界の領域で発生していること。

SEEK キャンペーンで用いられた観測ロケットと地上観測装置は、これらの特徴を明らかにするように計画され、組み合わせられた。

表1に示すように、SEEK 観測キャンペーンには日本・米国・台湾の幅広い研究者が参加し、観測ロケット2機と種々の地上観測機器によるFAIの総合観測が実施された。SEEKに用いられた2機の観測ロケットのうち、S-310-25号機では、ダブルプローブ法による電界測定 (EFD-P)、電子密度の高度分布 (NEI) と揺らぎ (PWP)、電子温度の高度分布 (FLP) の観測が実施され、一方、S-310-26号機では、ブーメラン法による電界観測 (EFD-B) と電子密度の高度分布観測 (NEI) が行なわれるとともに、TMA (トリメチルアルミニウム) 放出による中性大気の風速・波動の観測が行われた。また両方のロケットに磁界測定装置 (GA 及び MGF) 及びスターセンサー (STS) が搭載されて、観測中のロケットの姿勢が決定された。図1に示すように、2機の観測ロケットは、どちらも鹿児島県内之浦町の宇宙科学研究所鹿児島宇宙空間観測所 (北緯31度15分、東経131度05

表1 SEEKで実施された観測の内容

観測項目	観測地点	担当研究機関
ロケット観測		
S-310-25号機		
電場 (EFD-P)		NASA (米国), 京都大学 東北大学 郵政省通信総合研究所 宇宙科学研究所 東海大学 東京大学
電子密度 (NEI)		
電子密度の揺らぎ (PWP)		
電子温度 (FLP)		
磁界 (MGF)		
スターセンサー (STS)		
S-310-26号機		
電場 (EFD-B)		東京大学 東北大学 東海大学 東京大学 クレムソン大学 (米国), 京都大学
電子密度 (NEI)		
磁界 (GA)		
スターセンサー (STS)		
中性風速 (TMA)		
地上観測		
レーダー観測		
Frequency-Agile Radar (FAR)	種子島	SRI International (米国) 京都大学, 宇宙開発事業団 京都大学, 名古屋大学 国立中央大学 (台湾) 郵政省通信総合研究所 郵政省通信総合研究所
MU レーダー	信楽	
Chung-Li VHF レーダー	台湾	
アイオノゾンデ	山川	
MF レーダー	山川	
光学観測		
大気光イメージング観測	内之浦, 大隅 山川	東北大学 ユタ州立大学 (米国) 京都大学 郵政省通信総合研究所
大気光ファブリ・ペロー干渉計観測	信楽 山川	

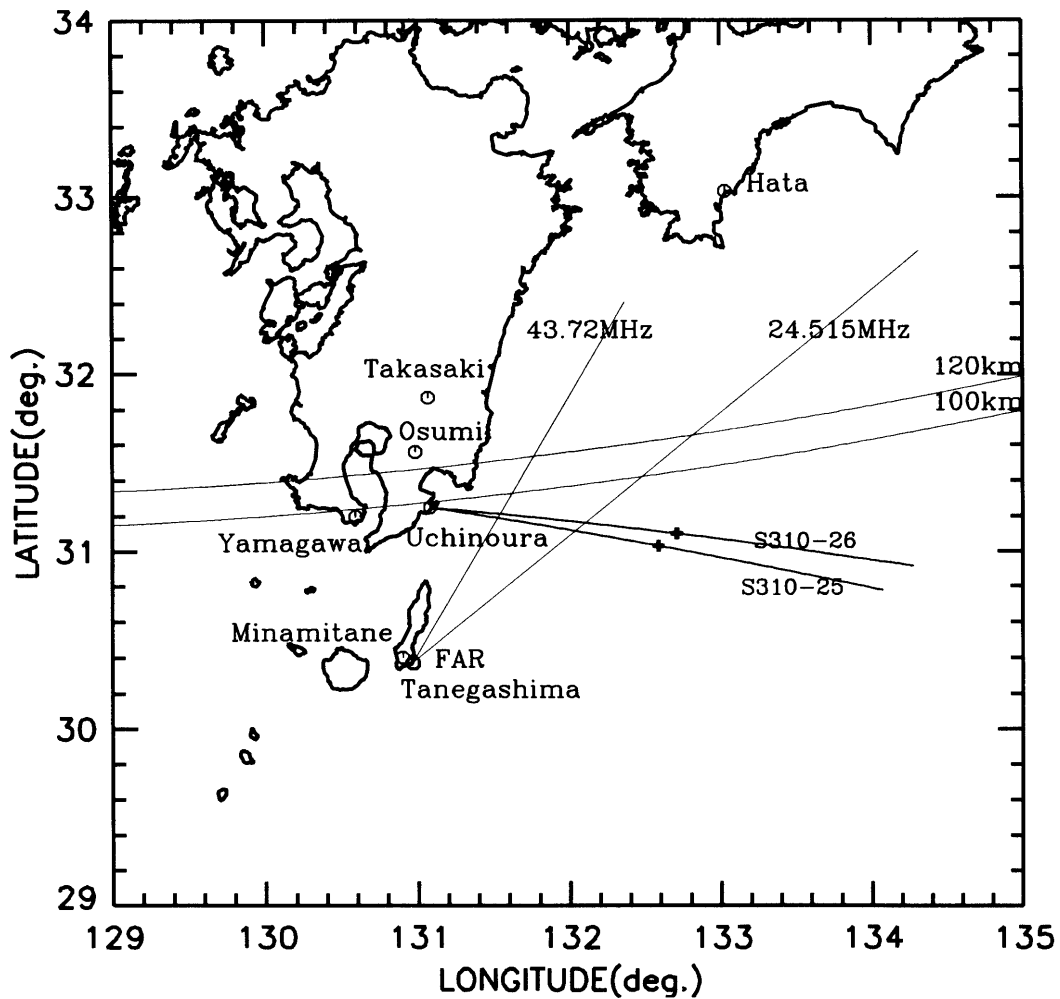


図1 SEEK観測ロケットの飛跡と地上観測装置の配置図

分) からほぼ東向きに打上げられた。

またSEEKキャンペーンでは、ロケット観測領域を中心とする地域に多くの地上観測装置を展開した。これらでは、ロケットの観測領域の背景の情報として、中間圏及び電離圏の中性大気と電離大気のダイナミクスの連続観測を行った。地上観測のうちで特に重要であったものは、我々が種子島南部の宇宙開発事業団種子島宇宙センター（北緯30度24分，東経130度54分）に設置したFrequency Agile Radar（以後FARと略す）である。FARは米国SRI Internationalが開発した可搬型レーダーであって、ロケット発射タイミングを定めるために必要とされただけではなく、ロケット観測と同時に準周期エコーの時間・空間構造の観測を実施した。我々は、まず1995年8月から10月の期間に43.72 MHzを用いた予備観測を実施し、SEEK観測領域におけるFAI発生の確認を行った。また1996年のSEEK本観測では、7月23日から9月19日の期間、24.515 MHzと43.72 MHzの2つの周波数を用いた。本観測においては、FARの2つの周波数のうち43.72 MHzには4組のCoaxial-Colinear (Co-Co) アンテナを用い、ビーム方向を北北東に向けた。一方、24.515 MHzには4本の5素子八木アンテナを一線上に並べたアレイアンテナを構成し、ビーム方向を北東方向に向けて観測を行なった。FARの観測領域は、アンテナビームが観測高度（100～120 km）において地球磁力線と直交する条件で定められ、それぞれのアンテナで観測される領域は、ロケット飛行軌道の直下から10ないし40 km北に離れた場所であった（図1参照）。本観測においては、準周期エコーが強く現われているタイミングを内之浦からリアルタイム・モニターするた

めに、FARサイトと内之浦の間をISDN回線を用いたネットワークで結び、観測と同時にE領域FAIの準周期エコーの時間高度分布が内之浦から直視できるようなシステムを構築した。

SEEKにおける他の地上観測としては、滋賀県信楽町のMUレーダー(46.5 MHz)と台湾のChung-Li VHFレーダー(52 MHz)によるE領域FAIエコー観測や、郵政省通信総合研究所山川電波観測所(鹿児島県山川町)におけるイオノゾンデによるスボラディックE層の監視とMFレーダーによる中間圏の中性風速のモニターが

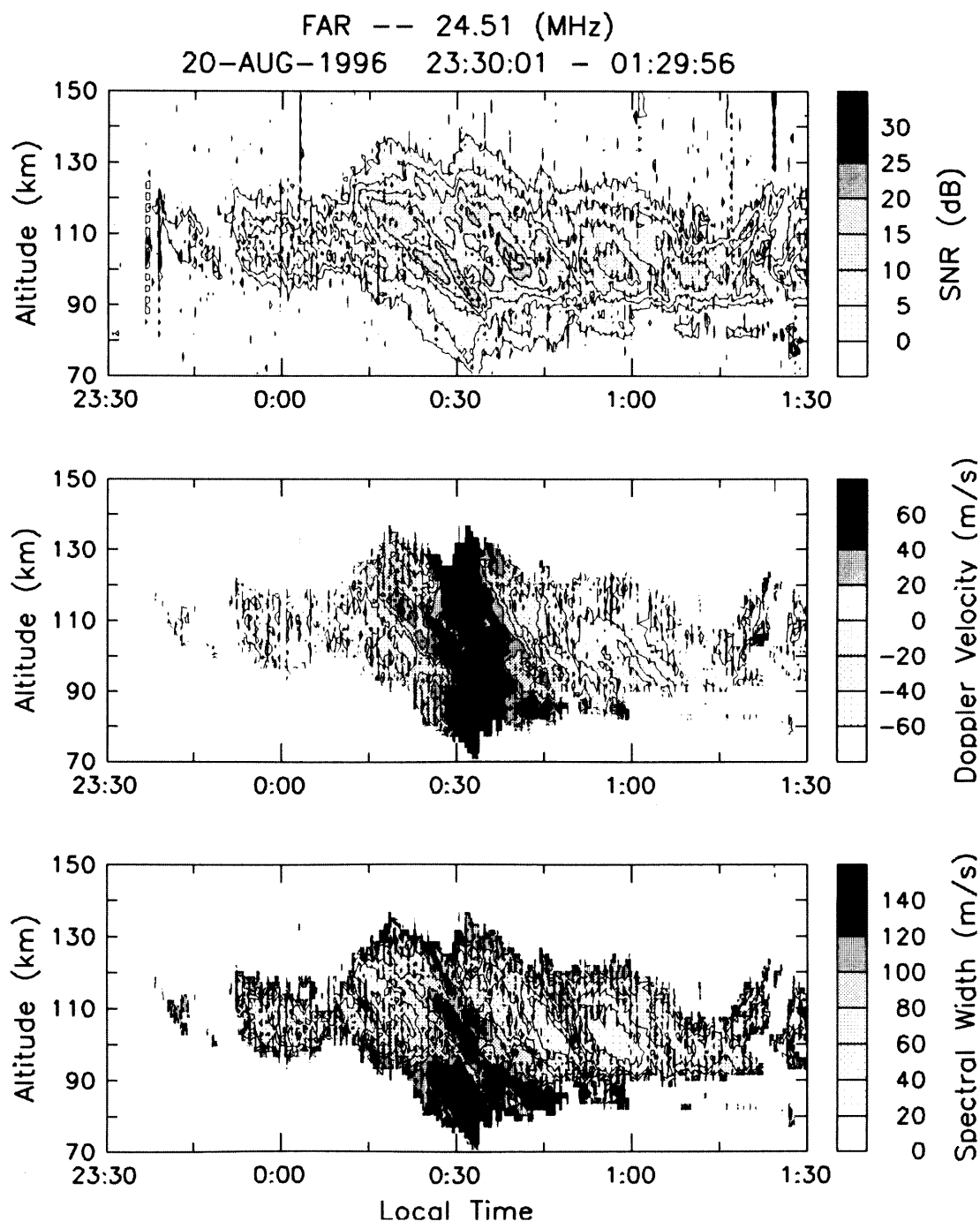


図2 種子島FARによって観測された観測ロケットS-310-26号機発射前後のE領域FAIエコーの時間高度分布。上図、中図、下図がそれぞれエコー強度、平均ドップラー速度、スペクトル幅の分布を示す。観測ロケットS-310-26号機は1996年8月21日0時30分(JST)に発射された。

実施された。また光学観測として、大気光強度が大気重力波によって変調されるパターンを観測する大気光イメージングが、日米の研究者によって4ヶ所（鹿児島県の内之浦町、大隅町、山川町及び滋賀県信楽町）で実施された。また上述の山川電波観測所では、大気光のスペクトル分布を測定して中性大気風速を観測する大気光ファブリ・ペロー干渉計観測が実施された。

4. 観測結果のまとめ

本稿ではSEEKキャンペーンで得られた観測結果のまとめを行なう。まず観測ロケットS-310-26号機は、種子島のFARによって強いE領域FAI準周期エコーが観測された1996年8月21日0時30分（以下、時間は全てJST）に発射された。FARの24.515 MHz観測で捉えられた準周期エコーの時間・高度分布を図2に示す。イレギュラリティエコーはロケット発射の約30分前から観測されはじめ、打上げ時には強いエコーが高度90～120 kmにわたって観測されている。このエコーは約90分間続き、1時30分頃消滅している。ロケットが飛行した時間帯を中心とする0時15分から0時45分の間には準周期エコーに特徴的な筋状の構造が見えており、観測ロケットS-310-26号機は予定通りこの筋状構造を貫いてデータを取得したと考えられる。またロケット発射の前後においては、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の非常に大きい値を示すと同時に、スペクトル幅が広がる様子が観測された。ロケット搭載機器は正常に動作し、下降時にはTMAを噴射して図3に示すような発光雲の生成と地上3点からの連続写真撮影にも成功した。

次いで、観測ロケットS-310-25号機は1996年8月26日23時0分に打上げられた。図4に示すように、このときのFAIエコーは22時20分頃から観測され始め、22時30分から23時0分には準周期エコーの筋状構造が非



00:38:34 JST

図3 観測ロケットS-310-26号機から放出されたTMAが生成した発光雲。東北大学理学部の全天CCDイメージャ（内之浦）による撮像である。

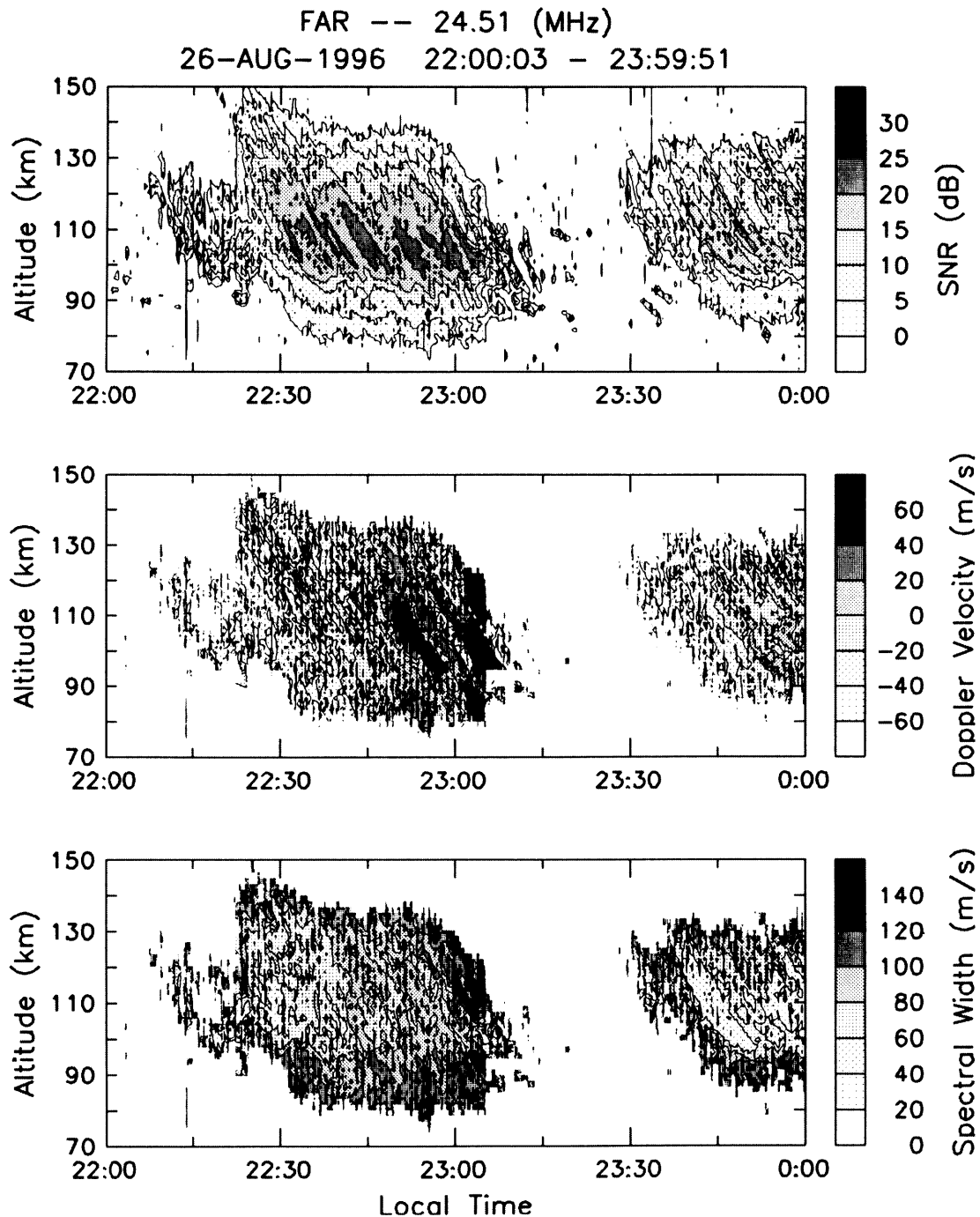


図4 種子島FARによって観測された観測ロケットS-310-25号機発射前後のE領域FAIエコーの時間高度分布。上図, 中図, 下図がそれぞれエコー強度, 平均ドップラー速度, スペクトル幅の分布を示す。観測ロケットS-310-25号機は1996年8月26日23時0分(JST)に発射された。

常にはっきりと現れた。ロケットが発射された23時0分には強いエコーが高度90~130 kmにわたって観測されているが、その後弱くなって23時15分頃に消滅している。FAR (24.515 MHz) の観測領域はロケット軌道の北側に分布しており、過去の研究から準周期構造が南西方向に伝搬することが多いことを考慮すると、S-310-25号機は少なくとも上昇時には準周期エコーの筋状構造を貫き、その後エコーの弱い領域に向けて飛行し

たのではないかと考えられる。実際、Mas. Yamamoto他(1998)によって、このロケットに搭載されたNEI観測からEs層の電子密度が上昇時の方が下降時よりも高かったことが明らかにされている。

上記のように、2機のロケット観測は発射タイミングを非常にうまく選んで打上げることができた。さらにロケット搭載機器についても、S-310-25号機の電子温度測定(FLP)が失敗しただけで他の全ての機器が正常に動作した。また地上のレーダーを始めとする観測も順調であったことから、SEEKキャンペーンはほぼ成功裡に実施されたと言える。最後にまとめとして、本観測キャンペーンに基づくこれまでの研究によって得られた結果を概観する。

SEEKのロケット観測の成果としては、S-310-25号機のプローブ法(EFD-P)とS-310-26号機のブーメラン法(EFD-B)という2つの違った方法で独立に観測された電界強度が、どちらも5~10 mV/mという中緯度電離圏としては非常に大きな値を示したことが挙げられる(M. Nakamura他, 1998; Pfaff他, 1998; 野田他, 本号; 山本他, 本号)。特にプローブ法で観測された電界が、電子密度の減少した高度において増大する様子が観測された(Pfaff他, 1998; Mori and Oyama, 1998; 森, 本号)他、FARで観測されたFAIエコーの示すドップラー速度とEFD-Pで観測された電界強度の対応が良いことが示されている(Yamamoto他, 1998)。また2回の電界観測それぞれについて、160 km以上の高度において波長10~20 kmの周期構造が報告されている(M. Nakamura他, 1998; Pfaff他, 1998)。

S-310-26号機で行なわれたTMA発光雲による大気風速の観測は、風速の最大値が 100 m s^{-1} を越える大きな値を示したが、同時に最も強いEs層付近の高度ではKelvin-Helmholtz不安定の生成が示唆されるほどのシア(風速の高度変化)が観測されている(Larsen他, 1998; 山本他, 本号)。Es層電子密度と風速プロファイルの比較は、ウィンドシア理論によるEs層の生成を示唆している(Mas. Yamamoto他, 1998; 山本真他, 本号)。一方、地上の光学観測である大気光イメージングでは、中間圏界面付近における波長数10 kmの大気重力波の振舞いが明らかにされた(T. Nakamura, 1998; Toki他, 1998; Taylor他, 1998)。これらの観測結果は、いずれも北向きに伝搬する大気重力波が卓越するとの結論であったが、これは現在提唱されている準周期エコー生成モデルが想定する大気重力波の伝搬方向とは反対である。大気光イメージングがFAIの準周期エコーの現われる高度よりも低い領域を観測することから、TMAによる中性大気風速の観測で見られた強いシアの影響で重力波の上方伝搬が阻害されている可能性も考えられるが、この点については更に研究が必要である。

SEEK期間中のFAR観測結果から特筆すべき発見は、24.515 MHzのFAIエコーが高度150 kmまで観測されたことである(Tsunoda他, 1998)。このような高高度のエコーはグラディエント・ドリフト不安定では説明が不可能である。また台湾のChung-Li VHFレーダー観測結果からは、準周期的なエコーは見られるものの、上向きの位相伝搬を示すことがあることやエコーの出現高度が狭い範囲に限られることなど、MUレーダーやFARの観測結果とは違う性質がいくつか報告されている(Pan他, 1998)。

以上をまとめると、SEEKキャンペーンでは中性大気のシアによって発生したEs層とその中のFAI現象をロケットと地上から観測することに成功したと言える。観測されたEs層の中では強い分極によるとみられる電界が観測されており、中間圏界面付近には確かに大気重力波が存在していた。しかしながら、期待されたEs層の深い高度変調の様子は、2回のロケット観測からは明らかにすることができなかった。高度方向に広く分布する準周期エコーの源が本当に直接Es層に起因すると言えるのか、また観測された強い分極電界の発生源は何かという、2つの新たな問いが付け加えられたといえる。1998年1月には米国の研究者によってアレシボ付近でロケットと地上観測を組み合わせたSEEKと同様の観測キャンペーンが実施される。残された課題への回答は、SEEK観測結果の詳細な解析とこれら将来の観測結果に待ちたいと考えている。

謝 辞

SEEKキャンペーンの2機のロケット観測は宇宙科学研究所によって実施された。ロケット観測の計画と実

施, 特に相当回数にのぼった打上げ待機にもかかわらず観測が成功できたことは, 同研究所の多くの方々の御協力の賜物である. 東京大学の岩上助教授と東海大学の高橋教授には, それぞれスターセンサーと磁界測定によるロケット姿勢決定の点で御協力いただいたことに感謝する. また地上観測に関して, 宇宙開発事業団と郵政省通信総合研究所には大いにお世話になった. 本研究の一部は文部省科学研究費補助金 (国際学術研究 08044074; 基盤研究 (B) (2) (一般) 07454117) と山田科学振興財団の援助を受けて行なわれた.

参 考 文 献

- Ecklund, W. L., D. A. Carter, and B. B. Balsley, Gradient drift irregularities in mid-latitude sporadic E, *J. Geophys. Res.*, **86**, 858–862, 1981.
- Fukao, S., M. C. Kelley, T. Shirakawa, T. Takami, M. Yamamoto, T. Tsuda, and S. Kato, Turbulent upwelling of the midlatitude ionosphere, 1. Observational results by the MU radar, *J. Geophys. Res.*, **96**, 3725–3746, 1991.
- Fukao, S., M. Yamamoto, R. T. Tsunoda, H. Hayakawa, and T. Mukai, The SEEK (Sporadic-E Experiment over Kyushu) campaign, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- Larsen, M. F., S. Fukao, M. Yamamoto, R. T. Tsunoda, K. Igarashi, and T. Ono, The SEEK chemical release experiment: Observed neutral wind profile in a region of sporadic E, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- Mori, H, and K.-I. Oyama, Sounding rocket observation of sporadic-E layer electron-density irregularities, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- 森弘隆, S-310-25号機による夜間Es層の電子密度不規則構造の観測結果, 宇宙科学研究所報告, 本号, 1998.
- Nakamura, M., H. Noda, I. Yoshikawa, N. Iwagami, M. Hirahara, M. Yamamoto, and S. Fukao, DC electric field measurement in the SEEK campaign, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- Nakamura, T., T. Tsuda, H. Miyagawa, Y. Matsushita, H. Fukunishi, Y. Takahashi, and Y. Yamada, Propagation directions of gravity wave patterns observed in OH CCD images during SEEK campaign, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- 野田寛大, 中村正人, 平原聖文, 吉川一朗, 岩上直幹, 深尾昌一郎, 山本衛, 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, 本号, 1998.
- Ogawa, T., M. Yamamoto, and S. Fukao, MU radar observations of turbulence and movement of mid-latitude Sporadic E irregularities, *J. Geophys. Res.*, **100**, 12173–12188, 1995.
- Pan, C. J., C. H. Liu, J. Rottger, S. Y. Su, and J. Y. Liu, E region observations over Chung-Li during the SEEK campaign, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- Pfaff, R. F., M. Yamamoto, P. A. Marionni, H. Mori, and S. Fukao, Electric field measurements above and within a sporadic-E layer, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- Riggin, D., W. E. Swartz, J. Providakes, and D. T. Farley, Radar studies of long-wavelength waves associated with mid-latitude sporadic E layers, *J. Geophys. Res.*, **91**, 8011–8024, 1986.
- Schlegel, K. and C. Haldoupis, Observations of the modified two-stream instability in the mid-latitude E region ionosphere, *J. Geophys. Res.*, **99**, 6219–6226, 1994.
- Tanaka, T. and S. V. Venkateswaran, Characteristics of Field-aligned E-region irregularities over Iioka (36° N), Japan-I, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **44**, 381–393, 1982.
- Taylor, M. J., S. H. Seo, T. Nakamura, T. Tsuda, H. Fukunishi, and Y. Takahashi, Long base-line measurements of short period mesospheric gravity waves during the SEEK campaign, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- Toki, T., Y. Takahashi, Y. Yamada, H. Fukunishi, and M. J. Taylor, Height determination of wave structure in the OH airglow during the SEEK campaign, submitted to *Geophys. Res. Lett.*, 1998.
- Tsunoda, R. T., S. Fukao, and M. Yamamoto, On the origin of quasi-periodic radar backscatter from mid-latitude sporadic E, *Radio Sci.*, **29**, 349–365, 1994.
- Tsunoda, R. T., S. Fukao, M. Yamamoto, and T. Hamasaki, First 24.5-MHz radar measurements of quasi-periodic backscatter from field-aligned irregularities in midlatitude sporadic E, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- Whitehead, I. D., Recent work on mid-latitude and equatorial sporadic E, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **51**, 401–424, 1989.
- Woodman, R. F., M. Yamamoto, and S. Fukao, Gravity wave modulations of gradient drift instabilities in mid-latitude

- sporadic E irregularities, *Geophys. Res. Lett.*, **18**, 1197–1200, 1991.
- Yamamoto, M., S. Fukao, R. F. Woodman, T. Ogawa, T. Tsuda, and S. Kato, Mid-latitude E-region field-aligned irregularities observed with the MU radar, *J. Geophys. Res.*, **96**, 15943–15949, 1991.
- Yamamoto, M., N. Komoda, S. Fukao, R. T. Tsunoda, T. Ogawa, and T. Tsuda, Spatial structure of the E-region field-aligned irregularities revealed by the MU radar, *Radio Sci.*, **29**, 337–347, 1994.
- Yamamoto, M., T. Itsuki, T. Kishimoto, R. T. Tsunoda, R. F. Pfaff, and S. Fukao, Comparison of E-region electric fields observed with a sounding rocket and a Doppler radar in the SEEK campaign, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- 山本衛, Miguel F. Larsen, 深尾昌一郎, S-310-26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, 本号, 1998a.
- 山本衛, Robert F. Pfaff, 深尾昌一郎, S-310-25号機搭載ダブルプローブによるスポラディックE層中の電界測定, 宇宙科学研究所報告, 本号, 1998b.
- Yamamoto, Mas., T. Ono, H. Oya, R. T. Tsunoda, M. F. Larsen, S. Fukao, and M. Yamamoto, Structures in sporadic-E observed with an impedance probe during the SEEK campaign, *Geophys. Res. Lett.*, in press, 1998.
- 山本真行, 小野高幸, 大家寛, 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エコー発生時スポラディックE電離層構造, 宇宙科学研究所報告, 本号, 1998.