

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

中壢雷達新系統對電離層的觀測 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2111-M-034-001-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：中國文化大學物理學系

計畫主持人：王建亞

計畫參與人員：大專生-兼任助理人員：楊適豪
大專生-兼任助理人員：謝季璇
大專生-兼任助理人員：陳昊佑

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

中壢雷達新系統對電離層的觀測

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 98-2111-M-034-001-

執行期間：98年08月01日至99年07月31日

執行機構及系所：中國文化大學物理系

計畫主持人：王建亞

共同主持人：

計畫參與人員：楊適豪、謝季璇、陳昊佑

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

中 華 民 國 99 年 10 月 25 日

中文摘要

本報告將探討 Es 現象在垂直方向的運動，以雷達干涉法重建 2008 年 2 月 5~7 日中壢 52MHz 所偵測的 Es 回波平均高度，以經向(東西向)理想化的波函數，湊配重建的平均高度曲線，模擬結果以垂直波長 65 公里且週期 4 或 5 小時得到的高度-時間變化與 52M 雷達觀測結果比較符合。另外與電離層探測儀的電離層圖比較，有趣的是出現在夜間(18~06 LT)時段的雷達回波，其平均高度變化與 Es 臨界頻率(foEs)最低高度曲線的變化趨勢大致符合，表示在資料期間的夜間時段，雷達回波區內的 3 米尺度電子密度不規則體與中壢上空附近 Es 層最大電子密度的底部有一致的高度變化。

關鍵詞

雷達干涉法、電離層探測儀、電子不規則體、電漿頻率、Es 臨界頻率

英文摘要

Radar interferometry reconstructed ionospheric echoes height-time variation from sporadic E (Es) by using Chung-Li 52 MHz VHF radar in Feb 2~7, 2008 will be presented. An idealized zonal wind was model to fit these Es height variation. The fitting result indicates waves with vertical wave length 65 km and period 4 or 5 hours are comparable to the radar observed height variation during these days. On the other hand comparing with the lower (virtual) height of foEs (Es critical frequency) on the ionogram from ionosonde, interesting result is it varied consist with the radar reconstructed Es height in night time section. The fact implies electron density irregularities with scale 3 meter that detected by radar varied consist in vertical with the lower bound of peak density in Es layer over Chung-Li during these days in night time.

keywords

Radar interferometry、ionogram、electron density irregularities、Es critical frequency(foEs)

前言

在電離層 E 域高度 90~120 公里間電子密度特別集中的薄層稱為散塊 E 層(Es)，Arecibo 非同相散射雷達(ISR)觀測顯示 E 層為 80-150 公里零星散布的離化層(Miller and Smith, 1978)，日本 SEEK-1 與 SEEK-2 兩次探空火箭實驗，由釋放的化學物質 TMA 則證實中性風剖面在 90-110 公里處具有很大的風切(Lasern et al., 2005；Chu et al., 2007)；此外 Arecibo 的 ISR 雷達紀錄 E 層厚度可小到 150m (Mathews et al., 1997)，各種不同儀器對 Es 觀測的一致性結論為；由潮汐產生的風切使得金屬離子被壓縮形成厚度很窄的薄層。

研究目的

本計畫的目的在於利用中壢雷達新系統進行電離層觀測，以雷達干涉法(Wang and Chu, 2001)重建連續數日散塊 E 層回波平均高度的時間變化，並且配合中壢電離層觀測站的 Es 臨界頻率(foEs 每 5 分鐘一張圖)，用以找尋雷達觀測散塊 E 現象與潮汐或重力波間的相關性。

文獻探討

各種高頻無線電波包括電離層探測儀、同相(非同相)散射雷達偵測研究結果顯示 Es 現象主要是發生在中緯度地區的夏季現象(Whitehead,1989)。學者普遍認為風切是造成 Es 區域離子密度累加的最可能原因,根據風切理論,由於中性風離子被風夾帶著與中性粒子碰撞同時受地磁場的 Lorentz 力作用,在不考慮擴散效應與電場的假設下,電離層 E 層離子垂直向漂移速率 W 可表示為 Mathews and Bekeny(1979)

$$W = \frac{c \cos I}{(1+r^2)} (\sin I V + rU) \quad (1)$$

其中 I 為地磁場傾角, r 為離子與中性粒子碰撞頻率 ν_i 與離子迴旋頻率 $\omega_i (= eB/M)$ 的比值, U 、 V 分別為中性風在東向與北向的水平速度分量。在 E 層底部高度低於 115 公里處, $r \gg 1$, 若水平風分量 U 、 V 的大小相當, 則方程式(1)右側第一項可以忽略, 因此垂直向漂移速率 W 主要與經向(U)風速有關。由於要能形成密度增加的離子層, 離子垂直向速率的變化必須為負值, 才有收斂的作用(即 $\partial W / \partial z < 0$), 這個條件則近似於經向風切為負(即 $\partial U / \partial z < 0$), 在北半球這意味上層吹向西風下層吹向東風, 或風速隨高度遞減(增)的向東風(向西風), 才能形成密度增加的離子層 Arras et al.(2009)。

研究方法

若將簡化的理想經向風 U 表示為 Mathews and Bekeny(1979)

$$U = U_0 \exp\left(\frac{z-z_0}{2H}\right) \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda_z}(z-z_0) + \frac{2\pi}{T}(t-t_0)\right] \quad (2)$$

其中 z 為高度, H 為標尺高(scale height), λ_z 與 T 分別為垂直向波長與週期, z_0 與 t_0 則為最低的高度與初始相位。將(2)式帶入(1)式則在 Es 高度, 離子層高度隨時間的變化可表示為

$$\frac{dz}{dt} \propto \exp\left(\frac{z-z_0}{2H}\right) \cos\left[\frac{2\pi}{\lambda_z}(z-z_0) + \frac{2\pi}{T}(t-t_0)\right] \quad (3)$$

微分方程式(3)可用 Runge-Kutta 數值方法帶入適當初始邊界值求解離子層高度的時間函數, 用以比較觀測結果, 藉以求得模擬的垂直向波長與週期。

結果與討論

本報告將探討以雷達干涉法重建 2008 年 2 月 5~7 日中壢 52MHz 所偵測的 Es 回波平均高度變化, 圖 1 為 2 月 6 日 1700~2400(LT)雷達偵測到的 Es 層回波功率等值圖。1705 開始回波距離由從~135 公里處緩慢減少到最近距離~130 公里, 之後又緩慢增加, 2200 附近回復到約開始時的距離, 2200 之後受背景雜訊影響回波功率減弱。圖 2 為雷達干涉法處理 2 月 6 日持續 2.5 小時(1700~1922), Es 回波投影到垂直面(左圖)及水平面(右圖)的時間變化。由圖 2 左圖可見厚度很窄的薄層狀結構呈西比東端略高 2-3 公里的傾斜狀, 1705 開始從~105 公里處緩慢降

低到 1900 最低~97 公里，之後隨即緩慢升高回到約 100 公里高度。圖 2 右圖水平面投影為西北-東南指向延伸 5-30 公里的條狀結構，這是因為受磁方位角靈敏度的限制，中壠雷達觀測場列不規則體在南北方向只有 1-3 公里的範圍。圖 3 為都卜勒速度切變的垂直向剖面，以 0.25 公里為一個高度間隔，對照圖 2 左圖可知速度切變大都發生在薄層的上下邊界，此不規則體速度切可能由重力波導致的中性風切所產生。圖 4 以雷達干涉法對連續 3 日散塊 E 回波做空間定位處理，以每分鐘的平均高度對地方時間變化圖(分別以紅、藍、黑圓點表示)。2 月 5 日回波中午 12 時由高度~97 公里開始，14 時後逐漸升高到~103 公里，17 時由最高 103 公里逐漸降低到 97 公里後又升高，約 21 時再度回升到 103 公里後又下降，24 時則降到最低點，兩個高點約間隔 4 小時。其後 2 月 6 日(藍色點)，不規則體在清晨 2 時由 110 公里處出現後隨即下降，在約 4 時附近抬升 2 公里後又快速下降至早晨 6 時附近後就消失，約 8 時附近再度出現在 102 公里並維持這個高度持續約 1 個小時以後，整個白天雷達都沒有 Es 回波。6 日下午 17 時 Es 回波再度出現，這個時間高度約與前一日類似，由 103 公里緩慢下降，約 22 時回升到原高度，高點位置約距 5 小時。2 月 7 日回波則從 20 時由 110 公里開始之後快速下降，23 時到低點 97 公里處並且上升，午夜附近則無 Es 回波，2 月 8 日約 1 時附近出現在 104 公里震盪後下降到 97 公里，其後在 6 時之前都在 97~99 公里間震盪，6 時到 8 時這段時間更緩慢下降到 94 公里。

圖 4 綠色曲線為以理想化經向波，模擬週期 4 小時垂直波長 65 公里由 14 時開始求解方程(3)得到的高度-時間變化，同理紅色(黑色)曲線為週期 5 小時(6 小時)垂直波長 65 公里(48 公里)的變化曲線。此外國家通訊傳播委員會的中壠電離層觀測站，崙坪為接收端觀測頻段為 2~30 MHz，發射功率為 10 瓦特，也可提供 Es 之虛高資料。圖 5 為中壠電離層觀測站於 2008 年 2 月 5~8 日，觀測 Es 臨界頻率(foEs)最低高度(黑色點)及對應的雷達回波平均高度(紅色方格)的時間變化。值得注意的是除 2 月 5 日 1000~1600 日間回波之外，雷達有回波的時段若出現在夜間(18~06 LT)則其平均高度變化與 foEs 最低高度曲線的變化趨勢大致符合。圖 6 為同時段觀測的 Es 臨界頻率(foEs)連續變化(上圖)及對應的週期分布(下圖以小時為單位)。圖 6 下圖顯示 21 與 12 小時為臨界頻率變化的主要週期，也有 4、5 及 7 小時的週期變化，只是變化的幅度約只有全日或半日的一半。

總結本報告以理想化的經向波函數，選取適當的參數，湊配重建雷達觀測 Es 層的平均高度變化，模擬結果以垂直波長 65 公里且週期 4 或 5 小時得到的高度-時間變化與 52M 雷達觀測結果比較符合。另外與電離層圖比較，雖然兩套設備回波的機制不同，前者為 3 米尺度不規則體的散射回波，後者反射的電漿頻率則對應到那個高度的電子密度。比對結果顯示夜間時段，雷達觀測的 Es 平均高度與 foEs 最低高度曲線的變化趨勢大致符合，暗示夜間 3 米尺度不規則體與 Es 層最大電子密度的底部有一致的高度變化，只是我們無確定兩者是否來自同一區域。

參考文獻

1. Arras, C., C. Jacobi, and J. Wickert, Semidiurnal tidal signature in sporadic E occurrence rates derived from GPS radio occultation measurements at higher midlatitudes, *Ann. Geophys.* 27, 2555-2563, 2009.
2. Chu, Y. H., C.L. Su, M. F. Larsen, and C. K. Chao, First measurements of neutral wind and

turbulence in the mesosphere and lower thermosphere over Taiwan with a chemical release experiment, *J. Geophys. Res.*, 112, A02301, doi:10.1029/2005JA011560,2007.

3. Chu, Y. H., C. L. Su, M. F. Larsen, and C. K. Chao, First measurements of neutral wind and turbulence in the mesosphere and lower thermosphere over Taiwan with a chemical release experiment, *J. Geophys. Res.*, **112**, A02301, doi:10.1029/2005JA011560, 2007.
4. Mathews, J.D., Bekeny, F.S., Upper atmospheric tides and the vertical motion of ionospheric sporadic layers at Arecibo, *J.G.R.* 84, 2743, 1979.
5. Miller, K.L. and Smith, L.G., incoherent scatter radar observations of irregular structure in mid-latitude sporadic E layers, *J. Geophys. Res.* 83, 3761-3775, 1978.
6. Larsen, M. F. M. Yamamoto, S. Fukao, R.T. Tsunoda, and A. Saito, Observations of neutral winds, wind shears, and wave structure during a sporadic -E/QP event, *Ann. Geophys.*, 23,2369-2375, 2005.
7. Wang, C.Y. and Y.H. Chu, Investigations of Blob-like Sporadic E Plasma Irregularities Using the Chung-Li VHF Radar, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 63, 123-133, 2001.

附圖

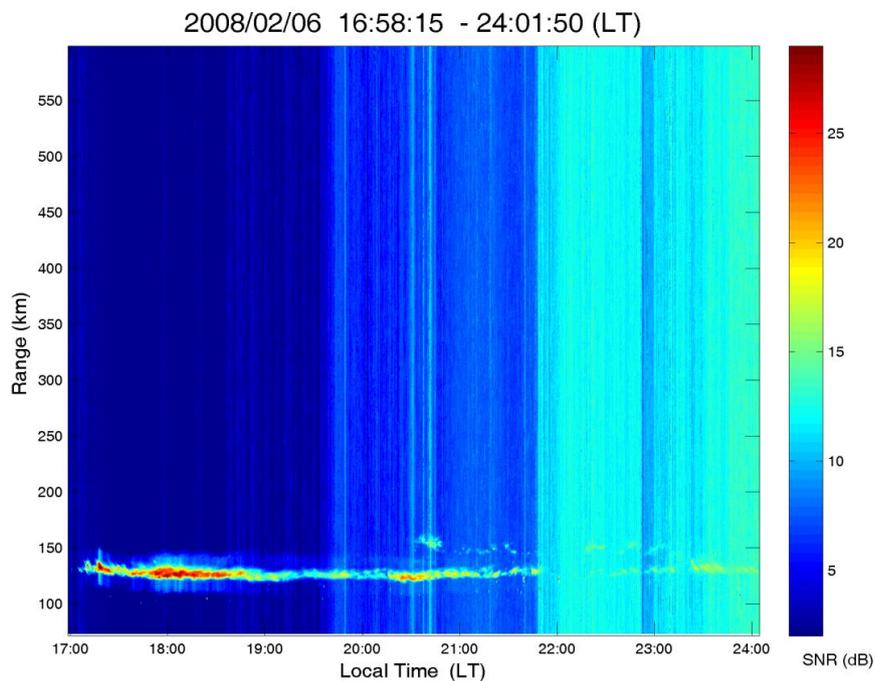


圖 1: 2008 年 2 月 6 日中壢 52MHz 雷達在 1700~2400(LT)偵測到的 Es 層回波功率等值圖。回波的距離由 1705 開始從~135 公里處緩慢減少到 1900 為最近距離~130 公里，之後又緩慢增加，2200 附近回復到約開始時的距離，2200 之後受背景雜訊影響回波功率減弱。

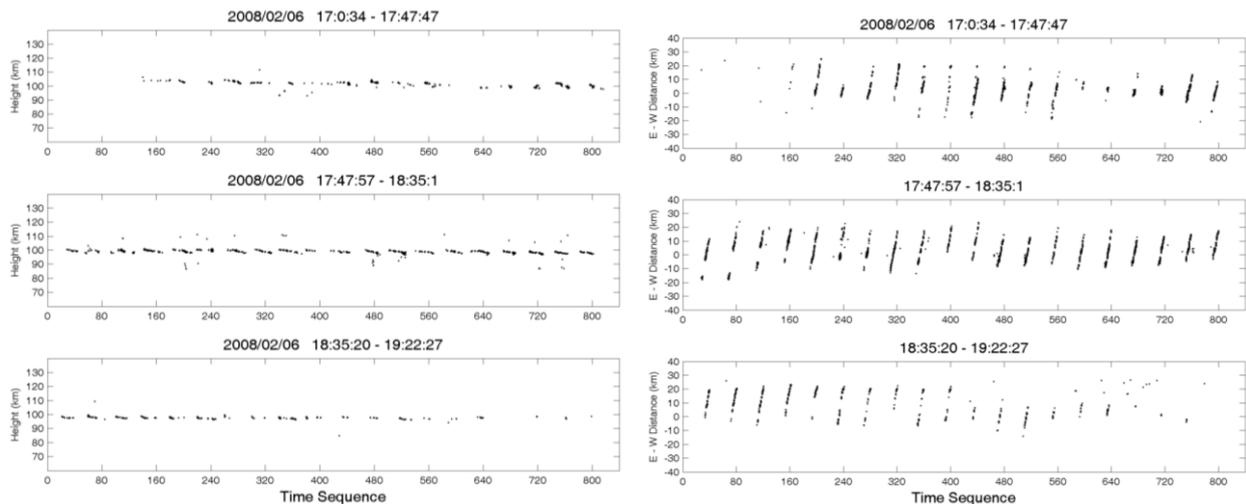


圖 2: 雷達干涉法定位處理 2008 年 2 月 6 日, 持續 2.5 小時(1700~1922)Es 回波投影到垂直面(左圖)及水平面(右圖)的時間變化圖。由圖 2 左圖可見厚度很窄的薄層狀結構呈西比東端略高 2-3 公里的傾斜狀, 1705 開始從~105 公里處緩慢降低到 1900 最低~97 公里, 之後隨即緩慢升高回到約 100 公里高度。圖 2 右圖水平面投影為西北-東南指向延伸 5-30 公里的條狀結構, 這是因為受磁方位角靈敏度的限制, 中壢雷達觀測場列不規則體在南北方向只有 1-3 公里的範圍。

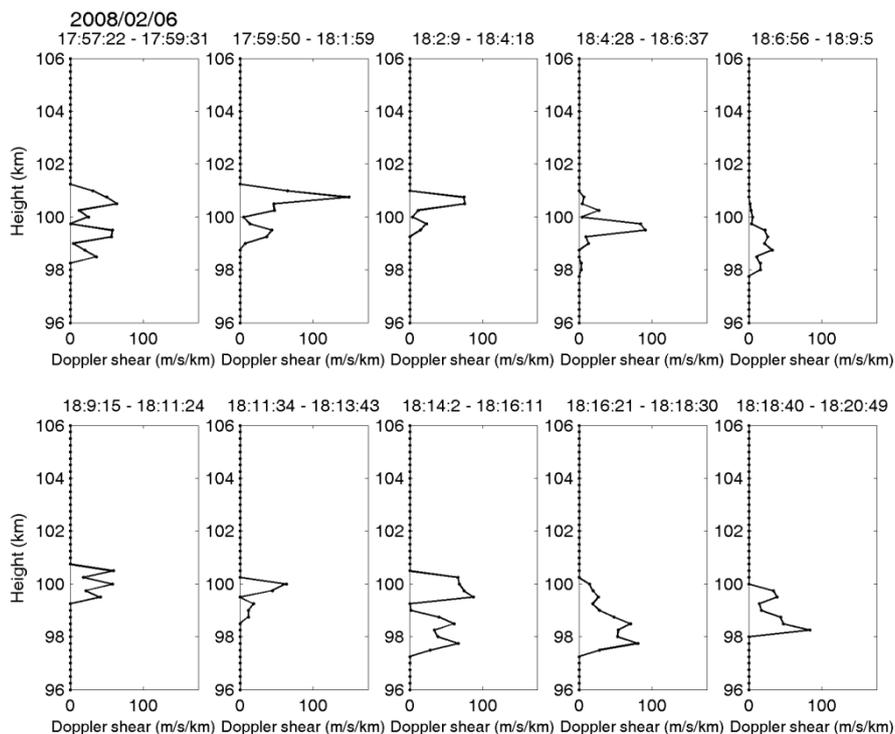


圖 3: 都卜勒速度切變的垂直向剖面, 以 0.25 公里為一個高度間隔, 對照圖 2 左圖可知速度切變大都發生在薄層的上下邊界, 此不規則體速度切可能由重力波導致中性風切所產生。

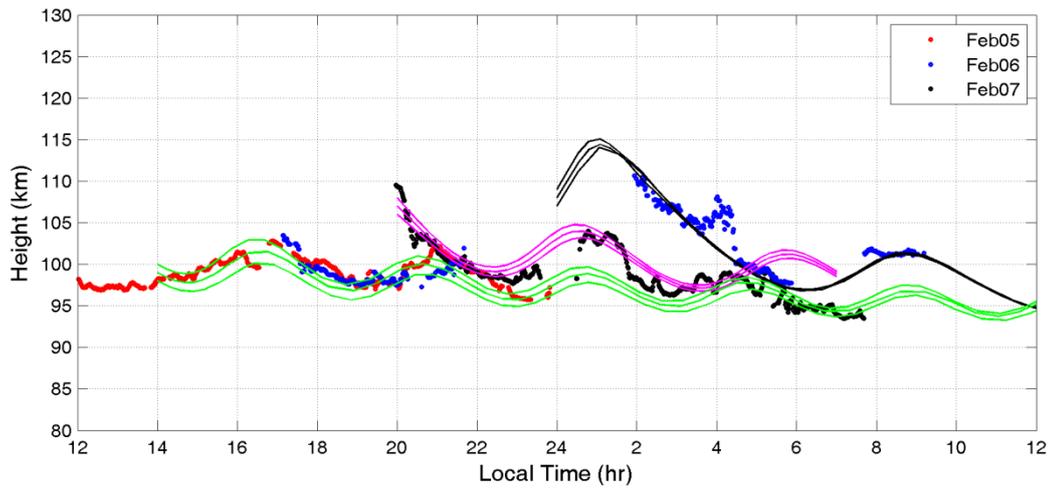


圖 4: 雷達干涉法定位 52MHz 雷達於 2008 年 2 月 5~8 日, 連續 3 日偵測散塊 E 回波, 以每分鐘的平均高度對地方時間變化圖(分別以紅、藍、黑圓點表示)。綠色曲線為以理想化潮汐波模擬週期 4 小時垂直波長 65 公里, 同理紅色(黑色)曲線為週期 5 小時(6 小時)垂直波長 65 公里(48 公里)的變化曲線。

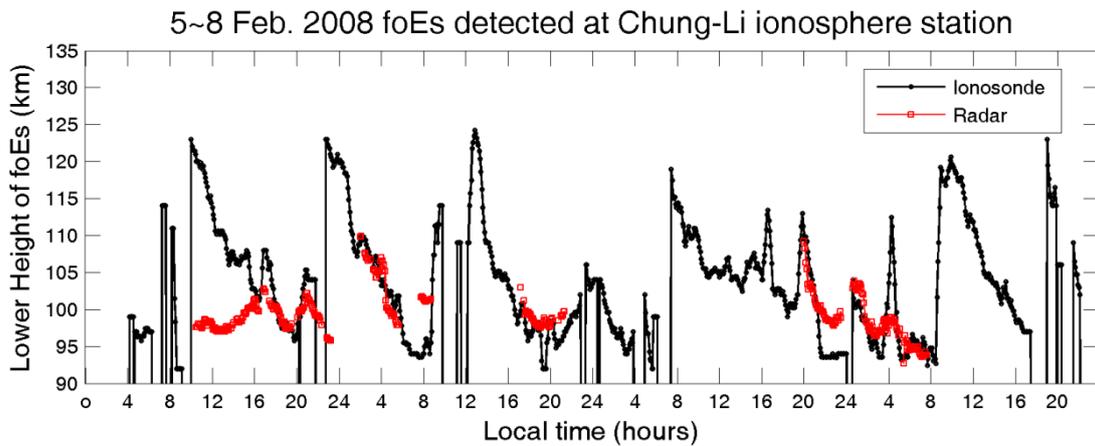


圖 5: 中壢電離層觀測站於 2008 年 2 月 5~8 日, 觀測 Es 臨界頻率(foEs)最低高度(虛高以黑色點表示)及對應的雷達回波平均高度(紅色方格)的時間變化。除 2 月 5 日 1000~1600 日間回波之外, 雷達有回波的時段若出現在夜間 (18~06 LT) 則其平均高度變化與 foEs 最低高度曲線的變化趨勢大致符合。

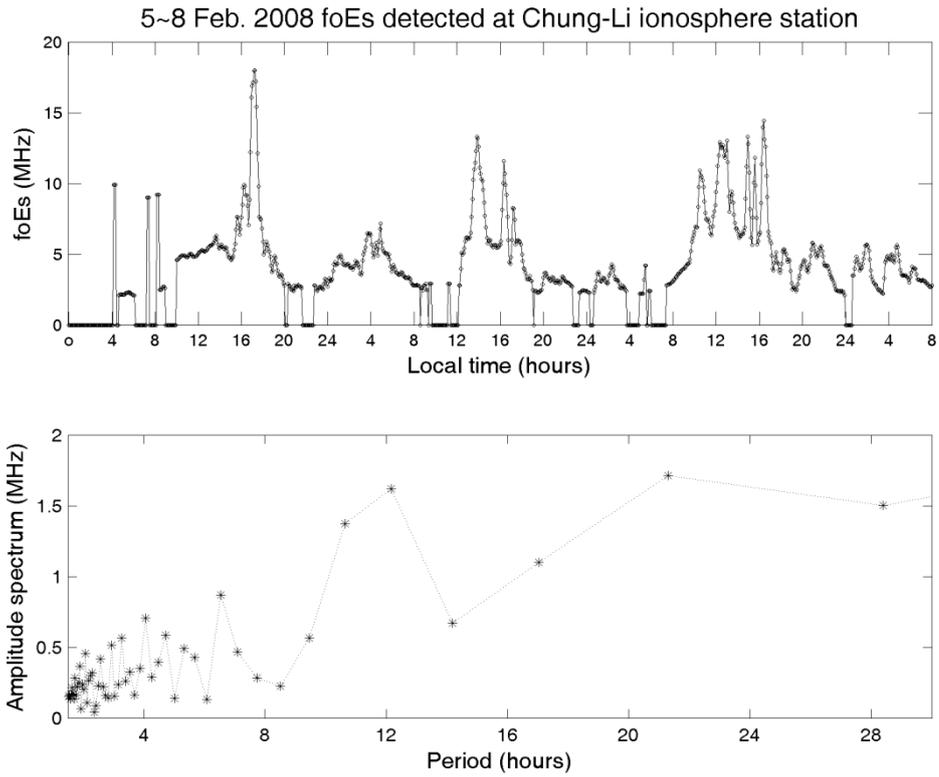


圖 6:中壢電離層觀測站於 2008 年 2 月 5~8 日，觀測的 Es 臨界頻率(foEs)連續變化(上圖)及對應的週期分布(下圖以小時為單位)。下圖顯示 21 與 12 小時為臨界頻率變化的主要週期，也有 4、5 及 7 小時的週期變化，只是變化的幅度約只有全日或半日的一半。

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：99 年 10 月 30 日

計畫編號	NSC 98-2111-M-034-001-		
計畫名稱	中壢雷達新系統對電離層的觀測		
出國人員姓名	王建亞	服務機構及職稱	中國文化大學物理系
會議時間	99 年 6 月 20 日 至 99 年 6 月 25 日	會議地點	University of Colorado, Boulder, Colorado, U.S.A.
會議名稱	(中文) 2010 年 CEDAR 學術研討會 (英文) 2010 CEDAR Workshop		
發表論文題目	(中文) 福衛三號電波掩星統計散塊 E 層季節變化與高度降低現象 (英文) Sporadic E seasonal variability and descent derived from GPS-COSMIC Radio Occultation		

一、參加會議經過

本次行程順利依預定時程，於 99 年 6 月 19 日下午搭乘華航 CI06 班機，經美國洛杉磯，轉搭 UA948 班機抵達丹佛國際機場，會議期間暫住科羅拉多大學宿舍 Williams Village，會期結束後 6 月 25 日清晨離開 Williams Village 搭乘 UA781 班機離開丹佛，經洛杉磯轉 CI05 班機於 26 日晚 8 時回到桃園機場。

二、與會心得

CEDAR 年會(Coupling, Energetics and Dynamics of Atmospheric Regions)為耦合大氣

熱力與動力作用的學術研討會，由美國國家科學基金會 National Science Foundation (NSF) 贊助，目的在於促進及統合地面偵測上層大氣機構設備與研究模式，以增進此科學領域的研究發展。此研討會每年都在 6 月底到 7 月初舉行，今年正逢第 25 屆年會，會議期間有一週，第一天活動都由週日開始以參加的學生為主，主辦單位並且提供所有參加學生免註冊費及在會議期間免費的食宿，對本國學生還提供交通費，可見國家非常鼓勵學生參加學術研討會，而且也歡迎美國以外的學生參與，大會開幕式並會唱名所有參加學生的校名。

CEDAR 研討會由週一開始，大會安排基本的演講在主要會場，另外針對不同的議題有小型的研討會在不同議場舉行，本人則參加 6 月 23 日下午，” Satellite-based measurements of the ionosphere and plasmasphere using the Global Positioning System” 的研討會，以” 福衛三號電波掩星統計散塊 E 層季節變化與高度降低現象”為標題做口頭報告，對統計福衛三號 2006 年 7 月~2010 年 05 月共 4 年的反掩資料，統計結果顯示除日間 E 層現象外，夜間 E 現象也非常明顯，夜間與日間 E 層峰值擾動發生率的高度對緯度變化。冬夏兩季日夜明顯的分別集中發生在南北緯度 15° - 60° ，春秋兩季則都可能發生在南北緯度 15° - 60° 之間。發生高度則與季節關係不明顯，反而有較明顯的日夜變化，日間 90-115 公里，夜間 90-110 公里，日間發生的高度比夜間向上下各延伸 5 公里的範圍；此外秋天 25° S- 30° S 與春天 25° N- 30° N 的夜間則在 95-105 公里間有明顯的發生率。

三、考察參觀活動(無是項活動者略)

四、建議

無

五、攜回資料名稱及內容

大會有壁報展示，展示期間為 3 小時，並附有所有參加壁報的標題及摘要，包括全球各主要電離層偵測儀器的最新觀測結果，均為以後重要的參考。

六、其他

本人感謝國家科學委員會提供經費，得以參加今年 CEDAR 第 25 年會，將研究成果提出報告。

無衍生研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：王建亞		計畫編號：98-2111-M-034-001-				計畫名稱：中壢雷達新系統對電離層的觀測	
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本計畫應用雷達干涉技術重建 Es 回波的高度-時間剖面，以探討 Es 現象在垂直方向的運動；研究方法為以東西向理想化的波函數，湊配時間解析度 1 分鐘的連續回波高度剖面，模擬結果以垂直波長 65 公里且週期 4 或 5 小時的高度-時間變化與雷達觀測結果比較符合。另外也首次與電離層探測儀的電離層圖(5 分鐘一筆)比較，有趣的結果是夜間時段，在雷達回波區內的 3 米尺度電子密度不規則體與中壩上空附近 Es 層最大電子密度的底部有一致的高度變化。本計畫成果顯示以雷達干涉技術重建 Es 回波的高度-時間剖面，可進一步探討是否此垂直向波與向上傳遞的重力波有關，除此之外也可由都卜勒速度剖面與回波功率討論中性風切的影響，這些結果具學術價值在補足部分討論後，將投稿學術期刊發表，後續工作也可依此方法，統計更多連續觀測並配合其他觀測資料(如電離層圖與衛星反掩資料)繼續探討 Es 現象。