



高頻都卜勒探測系統研究 2022年東加火山電離層效應

國立中央大學 太空與工程學系：蘇胤睿
指導老師：劉正彥 教授



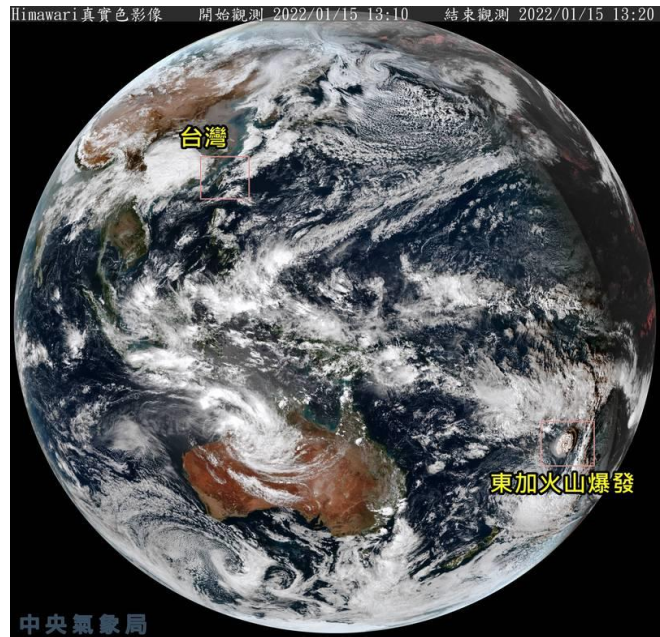
摘要

電離層電波科學實驗室(IRSL)於全台建立高頻電離層都卜勒探測系統(HF Doppler System)觀測電離層擾動。2022年1月15日東加海底火山爆發，本專題使用高頻都卜勒探測系統分析東加火山爆發對電離層擾動和影響，發現台灣上方電離層在爆發後數小時出現垂直震盪，將深入探討電離層抬昇現象的原理，並為電離層抬昇造成全電子含量上升提供證據。

背景介紹

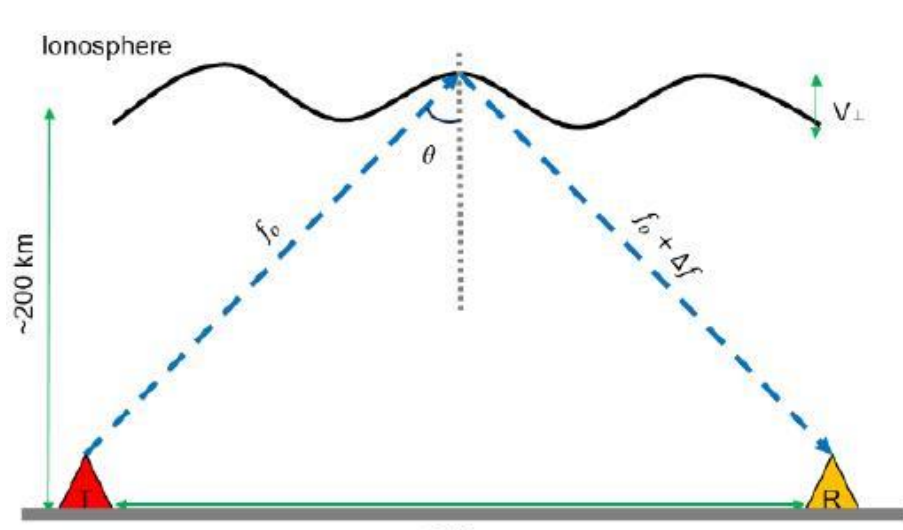
東加海底火山爆發是百年來最強大的爆發事件，提供最佳的研究題材。火山於台灣時間2022/1/15 12:15LT噴發，衝擊波傳遍全球，劇烈的爆發造成電離層高度變化。

►火山位於
20.5°S 175.4°W，
距離台灣8500公里



儀器觀測原理

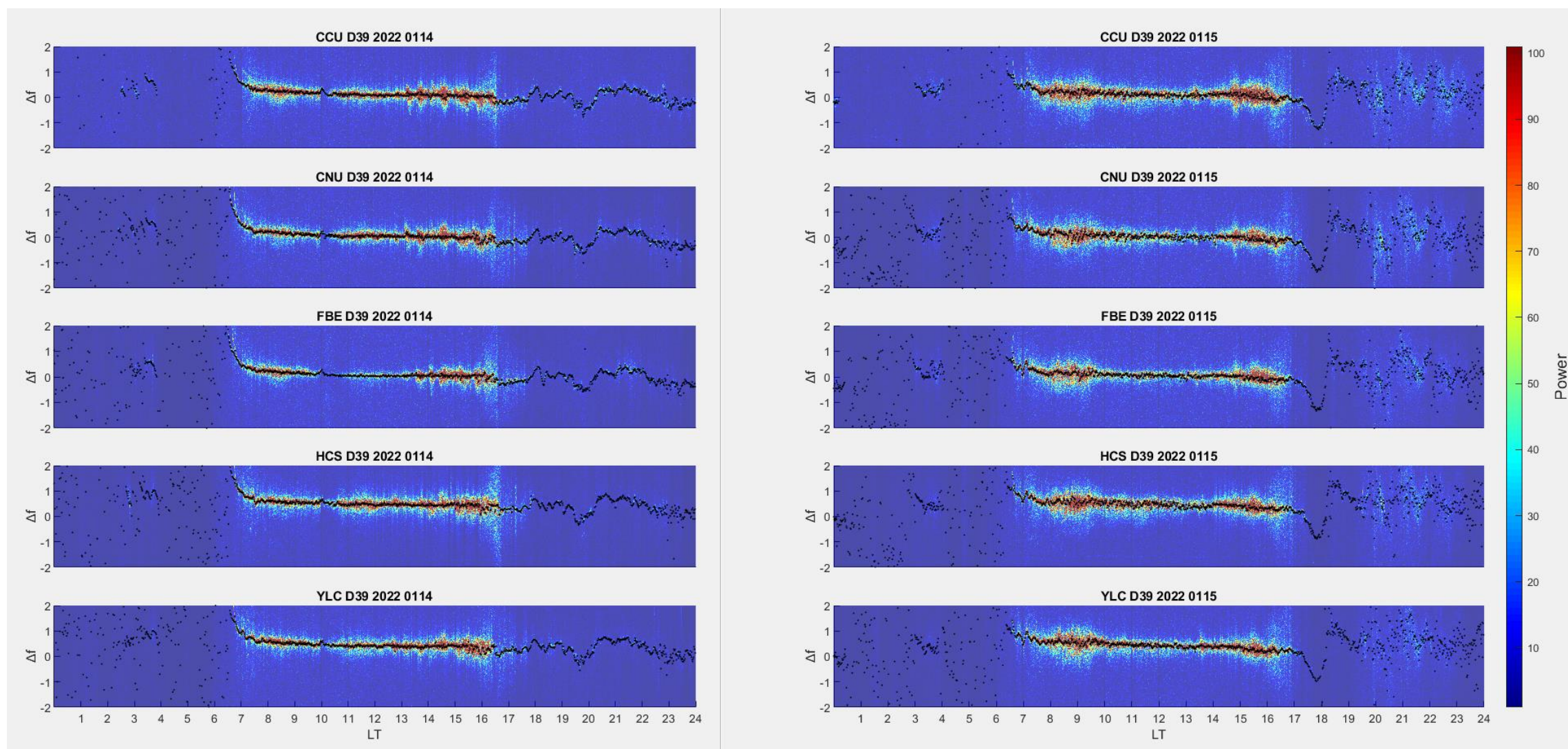
高頻電離層都卜勒探測系統由鯉魚潭水庫之發射站(Tx)向電離層傳送高頻電波，反射至各地之地面接收站(Rx)，當電離層有相對速度時，電波頻率改變，產生都卜勒頻移。



▲(圖1)都卜勒探測系統示意圖

資料處理與分析

- 使用新竹橫山(HCS)、宜蘭(YLC)、暨南大學(CNU)、中正大學(CCU)、豐濱國小(FBE)5個接收站的資料。
- 以60秒為window對原始資料進行Fast Fourier Transform(FFT)，取得頻移資料。

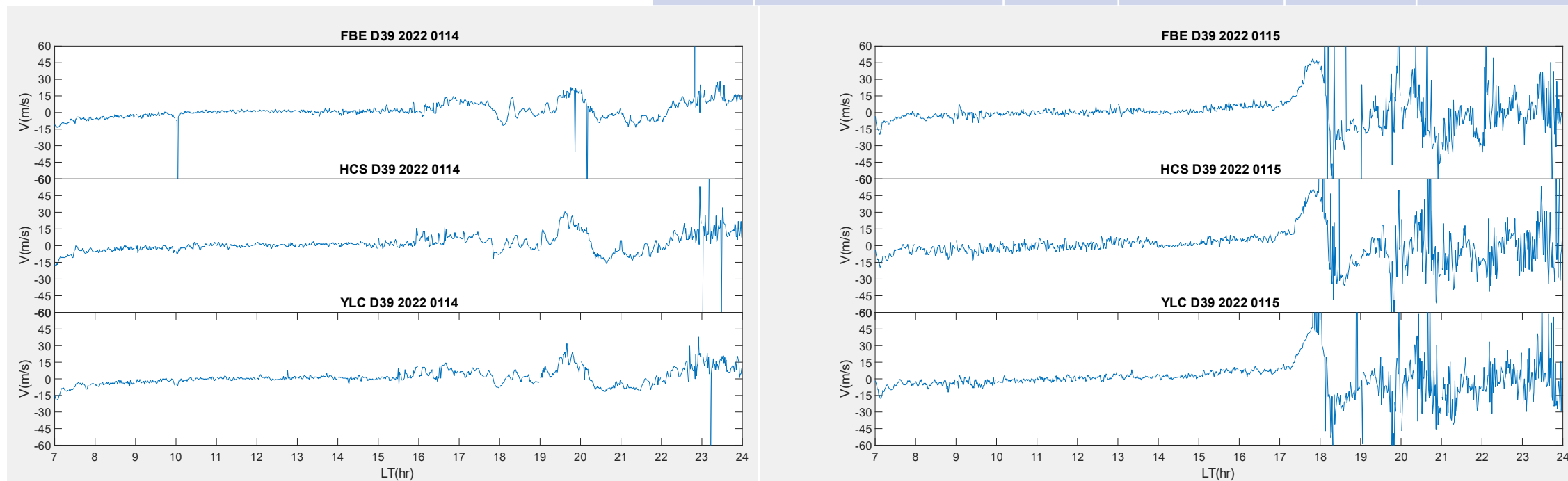


▲(圖2)分析2022年1月14日到16日的頻移圖，Power顏色表示測量該頻率之強度，顯示台灣時間1月15日17~19點電離層明顯垂直抬昇。

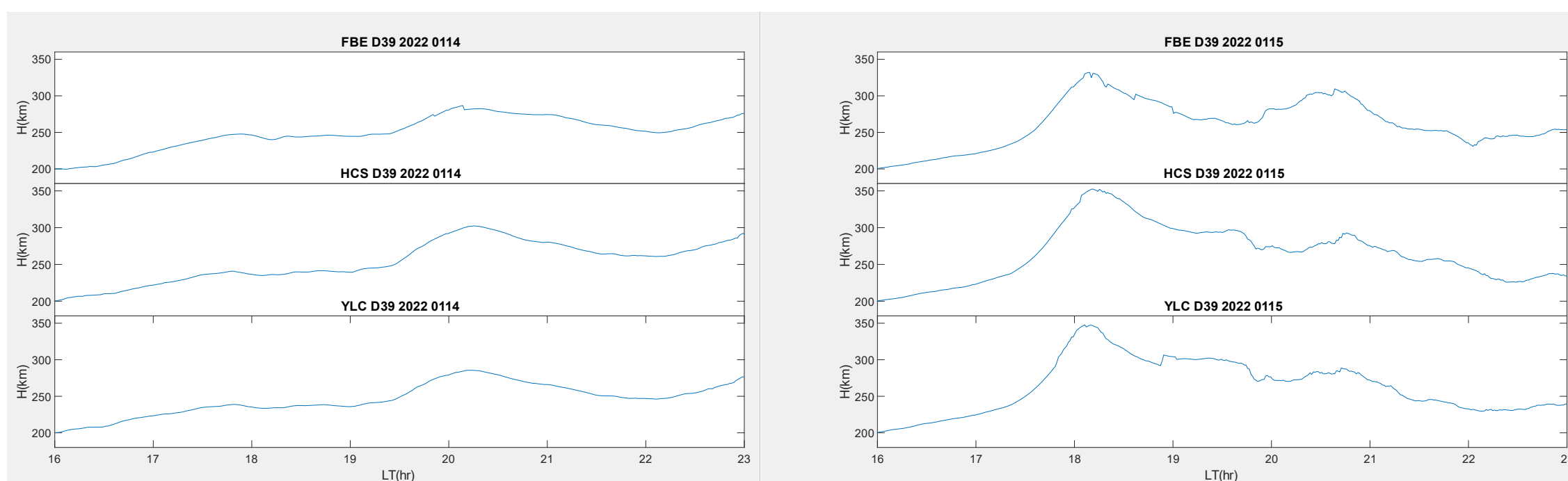
- 利用都卜勒頻移原理，計算電離層垂直速度，再對時間積分得出高度變化。

►(表1)電離層都卜勒頻移量大小 Δf 與其對應之垂直速度 V_{\perp} 可表示為：
 $V_{\perp} = -(\Delta f \lambda \cos \theta) / 2$
發射頻率為3.9 MHz，
 $\lambda = C / 3.9 \text{ MHz} = 76.87 \text{ m}$ ，
 θ 為電波反射之夾角(見圖1)

測站	離發射站距離(km)	$\cos \alpha$	$1/2\lambda \cos \theta$	Max Δf	Max V_{\perp} (m/s)
FBE	121.302	0.855	32.862	-1.333	43.8
HCS	54.943	0.964	37.051	-0.883	32.7
YLC	91.631	0.909	34.937	-0.983	34.4



▲(圖3)分析電離層垂直速度，發現19點後電離層出現不規則擾亂



▲(圖4)對時間積分後得到高度變化，發現電離層於17-18點間急遽上升

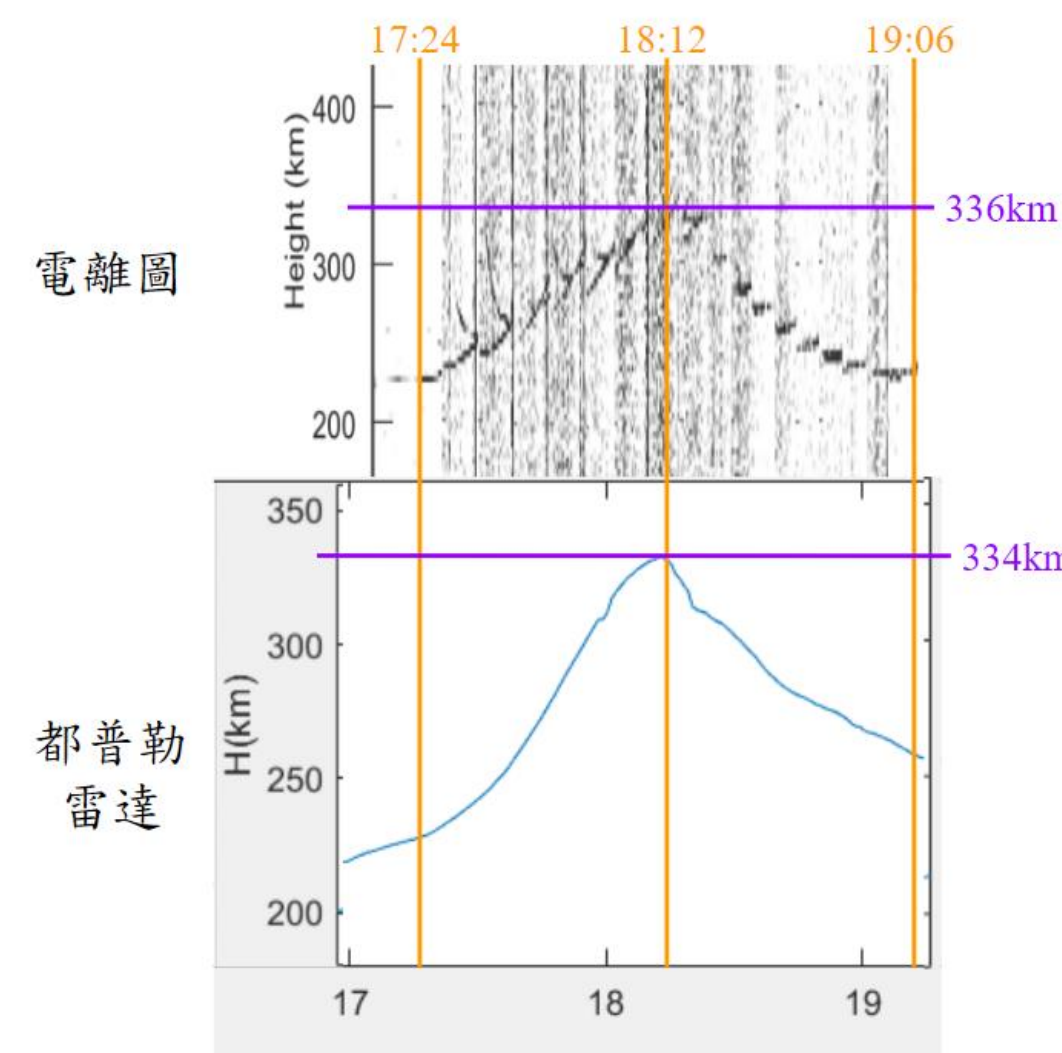
- 分析不同測站頻移圖得知電離層開始垂直上升的時刻，計算震波傳播速度。

測站	離震源距離(km)	起始擾動時間(LT)	最大擾動時間(LT)	起始震波波速(m/s)
CCU	8510.405	17:18	17:54	468.1
CNU	8501.107	17:18	17:50	467.6
FBE	8462.655	17:16	17:49	468.6
HCS	8513.247	17:21	17:50	463.7
YLC	8492.623	17:17	17:49	468.7
誤差				0.2%

◀(表2)造成電離層抬昇之震波的水平波速約為468m/s

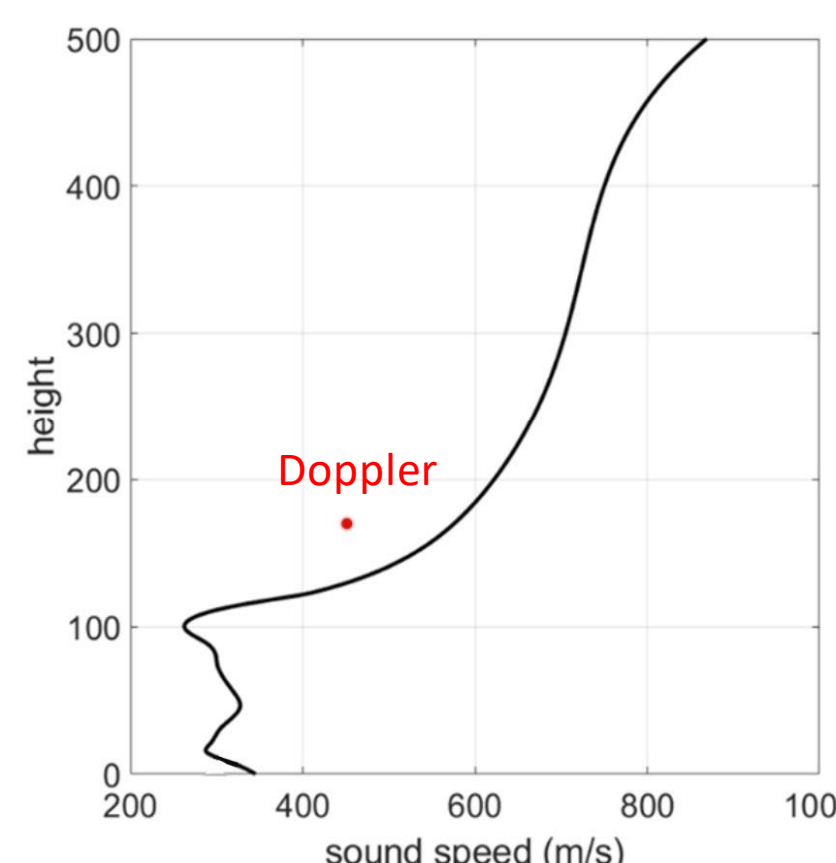
研究成果

- 分析電離層高度
由都卜勒系統測得台灣上方電離層於17-18點間急遽上升約110km，與電離圖對比，顯示從LT17:24到LT18:12電離層約上升至336km，到LT19:06恢復至原高度，與都卜勒雷達計算結果相符



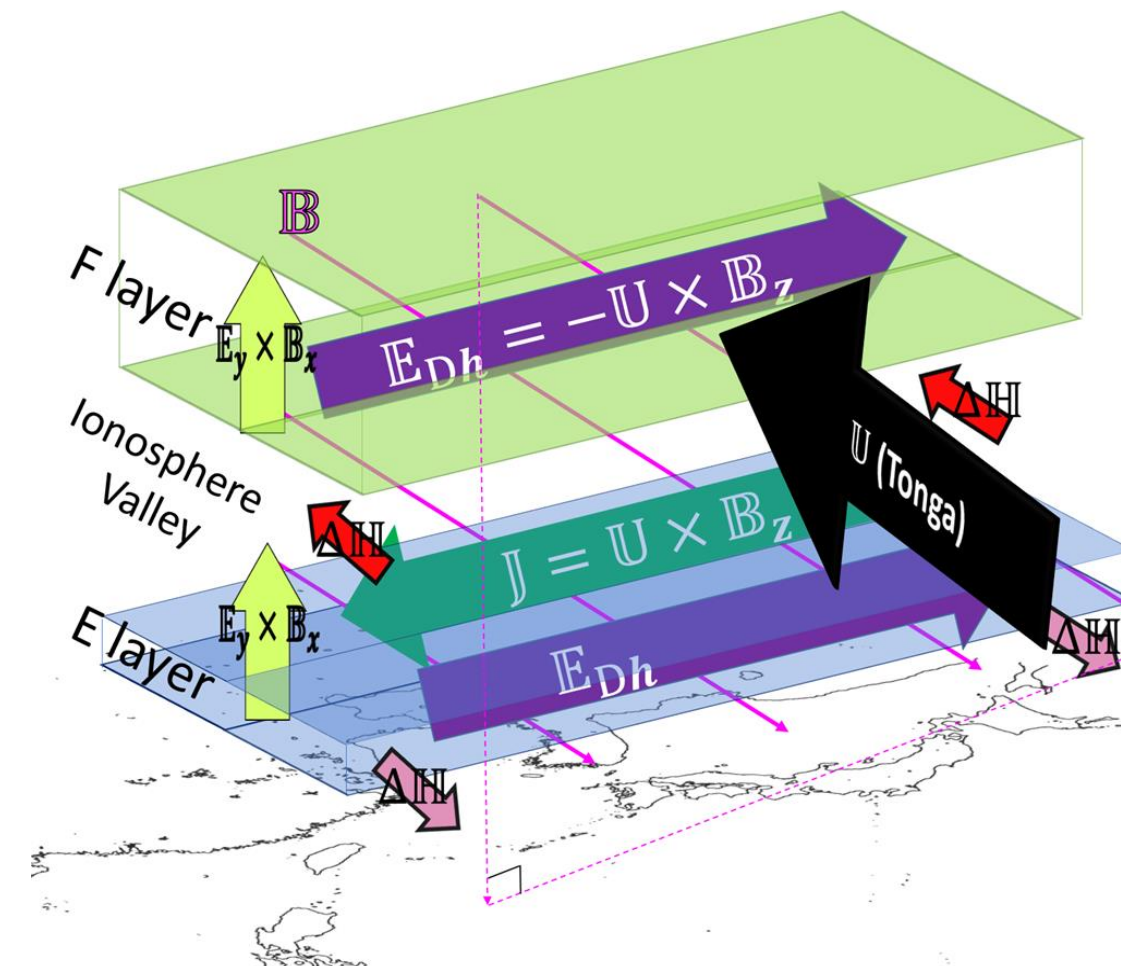
►(圖5)將電離圖依時間排序，與都普勒觀測結果對比

- 移行電離層擾動(TIDs)
推測此引發電離層抬昇之波動為移行電離層擾動(traveling ionospheric disturbances)。與已知的萊姆波(lamb wave)不同，其波速468m/s約為萊姆波的1.5倍，根據聲學理論，聲速的傳播速度在高層大氣中速度較快，但分析結果小於理論波速，其機制尚未完全明朗，提供未來研究之題材。



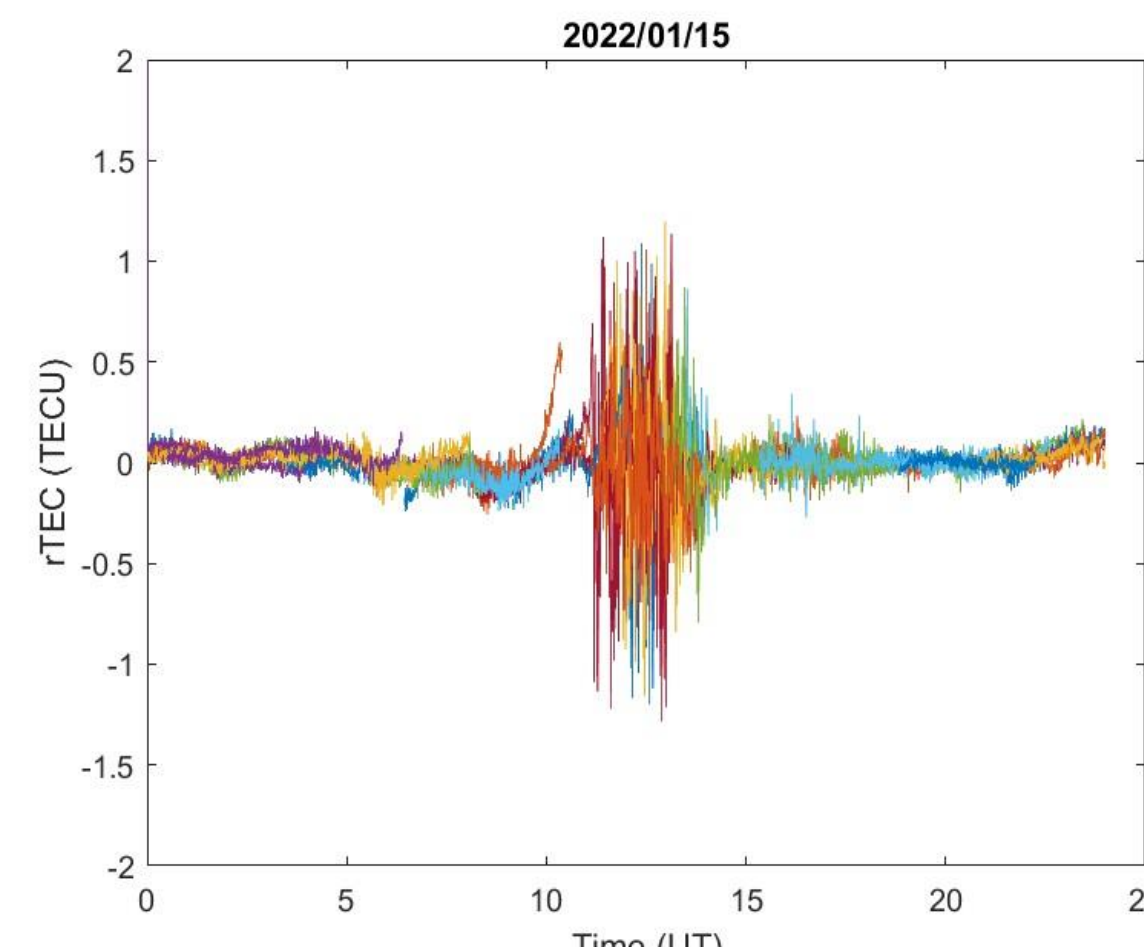
►(圖6)大氣中聲速隨高度變化圖形

- 強大東向電場造成電離層抬昇
推測火山爆發的北向震波傳到電離層時引發移行電離層擾動，與入地表方向的地磁作用產生電動勢，引發東向電場，與北向地磁產生 $E \times B$ drift，造成劇烈電離層抬昇。

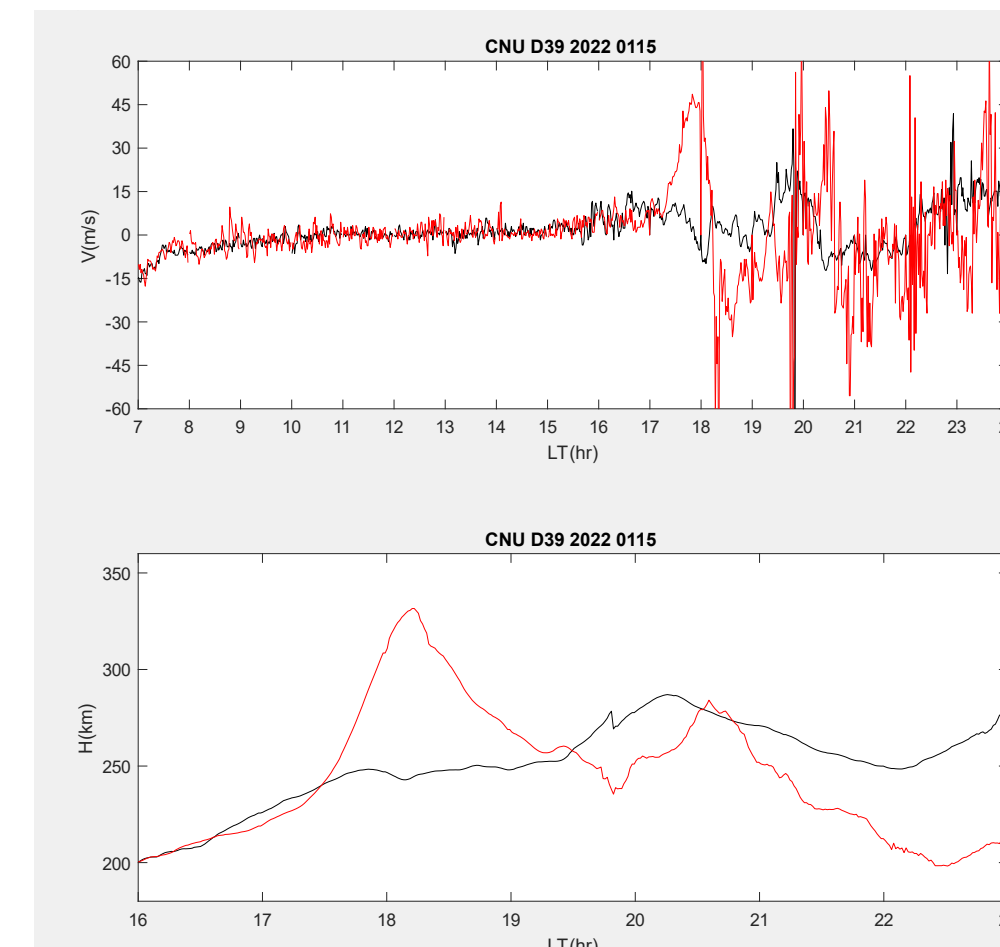


◀(圖7)電離層抬昇作用示意圖
[劉正彥教授提供]

- 與全電子含量變化之關係
1.結合GPS全電子含量變化(TEC)的研究，佐證電離層於LT 19點~22點抬昇(圖9下)，導致TEC增加之推測。
2.都卜勒觀測系統顯示1月15日19點後電離層移動速度不規則擾亂(圖9上)，與r-TEC擾亂之時間吻合(LT 19點~22點)。解釋垂直電漿密度梯度之增加形成電離層電漿不穩定，造成r-TEC擾亂。



▲(圖8)r-TEC於1/15明顯擾亂的時段
[黃語婕同學提供]



▲(圖9上)電離層垂直速度
(圖9下)電離層抬昇高度
(黑線為1/14，紅線為1/15)

結論

- 東加火山爆發引起強烈電離層震盪，水平傳播波速為468m/s，較正常萊姆波更快。
- 電離層垂直上升高度達110km，並且與電離圖數據吻合。
- 電離層抬昇來自移行電離層擾動所產生之強大東向電場。
- 電離層抬昇導致全電子含量上升。
- 垂直電漿密度梯度之增加形成電離層電漿不穩定，造成r-TEC擾亂。

致謝&參考資料

感謝劉正彥老師的指導和峻承、育齊學長教導解惑，黃語婕同學共同討論及實驗室的柏翰、子勛學長幫忙提供資料，專題才能順利完成。

- 陳耀淳 (2007)。地震電離層都卜勒效應。〈碩士論文。國立中央大學〉
- Liu, J. Y., Tsai, Y. B., Chen, S. W., Lee, C. P., Chen, Y. C., Yen, H. Y., Chang, W. Y., and Liu, C. (2006), Giant ionospheric disturbances excited by the M9.3 Sumatra earthquake of 26 December 2004, Geophys. Res. Lett., 33, L02103, doi:10.1029/2005GL023963.