

# 颱風引發至電離層高頻都卜勒頻移

蘇孟翰<sup>1</sup>

劉正彥<sup>1</sup>

國立中央大學 太空科學與工程研究所<sup>1</sup>

## 摘要

電離層除受太陽閃焰、磁暴、太陽活動影響外，亦會受到鋒面、雷暴雨和颱風等對流層劇烈天氣之影響而產生擾動。其中颱風是赤道以北，國際換日線以西，亞太國家對熱帶氣旋之分級。台灣自 2005 年建立一發射機與六接收站之高頻電離層都卜勒探測系統，以 5.26MHz 的探測頻率觀測由颱風所造成的移行電離層擾動之都卜勒頻移變化。本論文探討 2016 年 9 月莫蘭蒂強烈颱風之電離層高頻都卜勒頻移現象。9 月 13 日之都卜勒頻移圖顯示，五個接收站皆在當日 16 時以後出現類波動之波形，其擾動週期為 10~12 分鐘，利用來向角分析可確認與颱風之相關性。當颱風之結構接觸台灣後，都卜勒頻移之擾動週期改變為 2~4 分鐘，利用來向角分析確認與颱風有關。

關鍵字：颱風，電離層，高頻都卜勒

## 一、前言

颱風為亞太地區對於熱帶氣旋的一個分級，是一種強烈的對流系統，發源於熱帶海面，由於溫度高，使得大量的海水被蒸發至空中，形成一個低壓中心，因地球自轉與氣壓變化緣故，在北半球造成了一個逆時針旋轉的對流系統，也就是熱帶氣旋。只要環境條件允許，此系統會越來越強，因而達到颱風的標準。台灣位於赤道以北，國際換日線以西，處於颱風影響範圍，又因為絕佳的地理位置，因此有著全球少數颱風登陸與出海完整資料的條件。

黃胤年教授利用架設於台灣北部之電離層都卜勒觀測系統，分析 1982 至 1983 年間的 12 個颱風中，分別在安迪颱風與韋恩颱風發生期間，藉由都卜勒觀測系統發現電離層因受颱風作用而有週期性的波動現象 (Huang et al., 1985)。中國大陸科學家蕭佐收集了 1987 年之 1992 年中 24 個強烈颱風，利用北京接受武漢所發射之探測頻率為 10MHz 之都卜勒探測儀發現其中 22 個颱風也出現了週期性擾動

(Xiao et al., 2007)。本研究使用高頻都卜勒探測系統觀測 2016 年 9 月 13 日至 14 日莫蘭蒂強烈颱風之高頻都卜勒頻移，觀測颱風是否影響電離層，並且探討當颱風接觸陸地時是否會使得電離層發生變化。

## 二、觀測儀器與分析方法

中央大學太空科學與工程研究所電離層電波科學研究實驗室於 2003 年起，分別在全台各地重新建立都卜勒觀測系統。本系統由一個訊號發射站與六個訊號接收站所組成 (圖 1)，並於 2005 年後開始同步觀測電離層都卜勒頻移變化。訊號發射站採用一高穩定之石英晶體震盪器所產生的訊號，經由訊號功率放大器、自動阻抗起匹配器將晶體震盪器所產生的訊號加以放大，最後透過十字偶極天線將頻率為 5.26MHz、功率為 15 瓦特之探測訊號朝向電離層垂直發射，此無線電波訊號由發射站發射後，藉由電離層發射使得分布於全台之訊號接收站接收到相同訊號。接收站經由天線接收到的訊號於接受端之晶體震盪器進行混波，倍頻後

再透過數位濾波器將得到的頻率差儲存記錄。數位濾波器輸出每六秒鐘一筆的頻譜圖，再取頻譜圖中的峰值隨時間的變化作圖，便可以繪製出電離層都卜勒頻移隨時間變化圖。

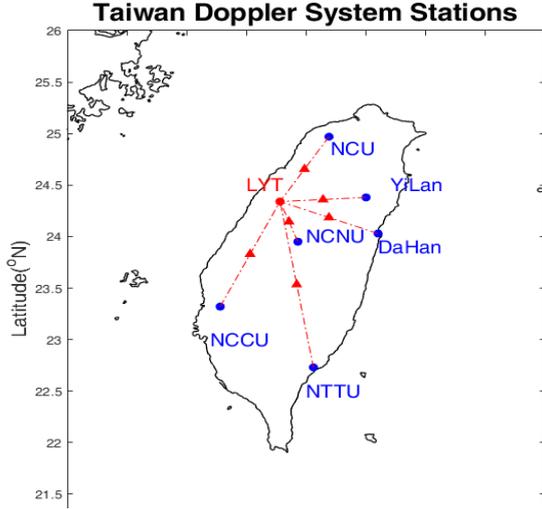


圖1 高頻電離層都卜勒探測系統分布。紅色實心圓點為鯉魚潭發射站，藍色實心圓點為六處接收站，紅色三角點為無線電波在電離層的反射點，虛線為無線電波傳播路徑在地表之投影。

颱風影響期間，都卜勒頻移圖顯示明顯擾動，為能確認此擾動是否為颱風所造成，引用 Yli-Hietanen 等人所發表之來向角計算方法，以進一步計算擾動的來向角度是否與颱風有高度相關性。此計算方法需假設波動在介質中傳播的時候，其主要擾動特徵不因時間與空間的不同而有劇烈的變化。因此在不同觀測點上接收到相同訊號，會因為與訊號源的方向差異而產生時間點上的差異。可藉由不同的位置所記錄到的相思訊號時間差進行分析，以獲得波動的來向角。

在此計算方法中，假設兩接收站A與B所接受到相同波動訊號之時間差  $t_{AB}$  可表示成：

$$\begin{aligned} t_{AB} &= \mathbf{P}^T \left( \begin{bmatrix} d_{Ax} \\ d_{Ay} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} d_{Bx} \\ d_{By} \end{bmatrix} \right) \\ &= \mathbf{P}^T - \mathbf{d}_{AB} \\ &= [P_x \ P_y] \begin{bmatrix} d_{ABx} \\ d_{ABy} \end{bmatrix} \quad (1) \end{aligned}$$

其中  $\mathbf{d}_A$  與  $\mathbf{d}_B$  是以二維直角坐標系表示兩接收站之位置， $\mathbf{P}$  是用來表示此平面波動之二維傳播方向向量與速度，其速度可表示成：

$$\|\mathbf{P}\| = \frac{1}{v} \quad (2)$$

利用矩陣方程式求解的方法，求得波動傳播方向向量  $\mathbf{P}$

$$\mathbf{D}\mathbf{P} = \mathbf{T} \quad (3)$$

其中

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{A1B1x} & d_{A1B1y} \\ d_{A2B2x} & d_{A2B2y} \\ \vdots & \vdots \\ d_{AmBmx} & d_{AmBmy} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_{A1B1} \\ t_{A2B2} \\ \vdots \\ t_{AmBm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$\mathbf{D}$  為各接收站之間的相對距離的矩陣， $\mathbf{T}$  為各接收站之間的訊號接收時間的矩陣， $m$  為時間差計算的次數。利用最小平方差求解式可得  $\mathbf{P}_{LS}$

$$\mathbf{P}_{LS} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{T} \quad (6)$$

並獲得此波動的傳播方向與速度，再將波動傳播方向反轉就可以獲得波源的來向角 (Yli-Hietanen et. Al, IEEE, 1996)。

### 三、 結果

本論文探討颱風是否影響電離層，因此分類為颱風未接觸陸地與接觸陸地兩個部份討論。選取 2016 年之莫蘭蒂強烈颱風。9 月 13 日為颱風接近台灣本島的日期，此時高頻都卜勒系統顯示 16 時後各接受站皆可出現類波動之波形特徵 (圖 2a)，為查證此現象是否為颱風所影響，使用來向角分析。此處選取 NCCU、DaHan 與 YiLan 三個接收站，先使用互

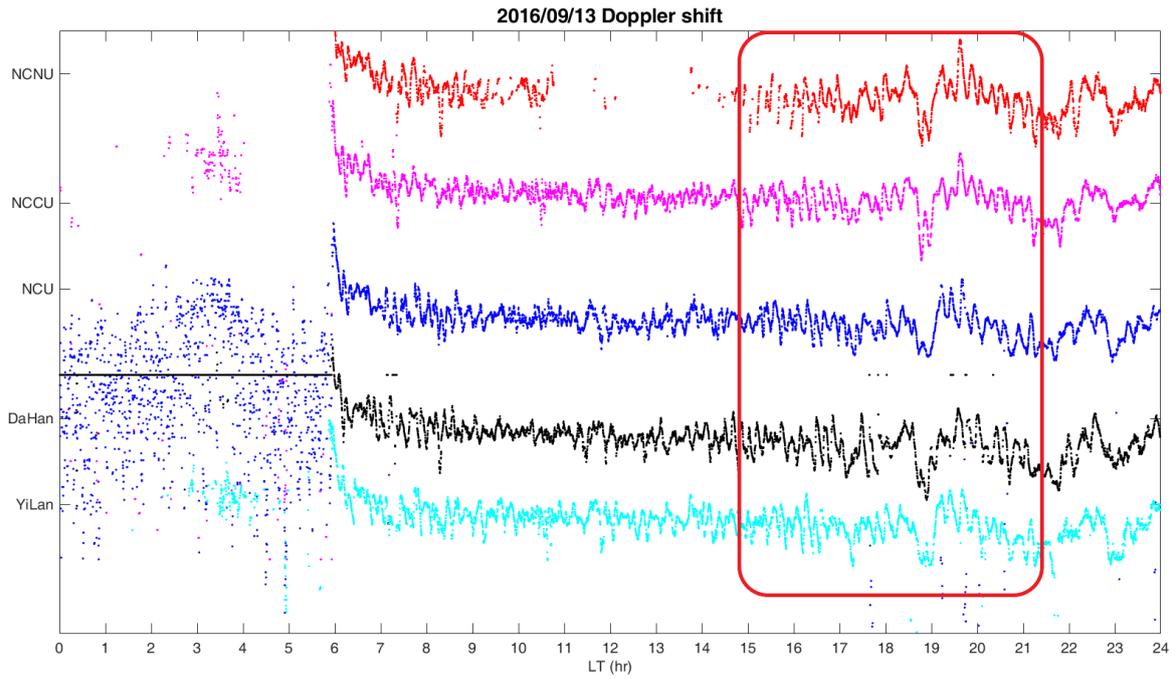


圖2a 颱風都卜勒效應。此為2016年09月13日都卜勒頻移圖，紅色方格為颱風對電離層造成類波動現象之時間區段。由上至下分別為NCNU、NCCU、NCU、DaHan與YiLan高頻都卜勒接收站。

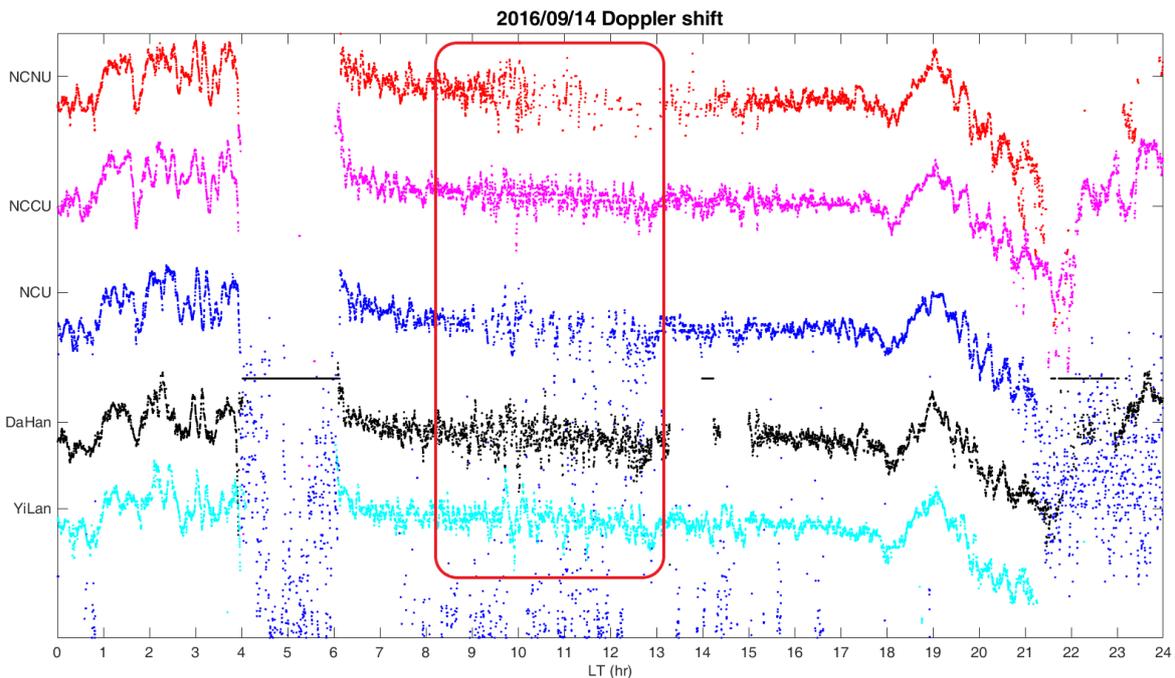


圖2b 颱風都卜勒效應。此為2016年09月14日都卜勒頻移圖，紅色方格為都卜勒頻移較前一天混亂之區段。

相關係數分析，找出三個接收站在 16 時至 17 時接收到類波動現象之時間差，以 NCCU 接收站為主，分別與 DaHan 接收站差了 51 個時間單位 (圖 3)，與 YiLan 接收站差了 26 個時間單位 (圖 4)，將結果套入來向角分析，得出類波動現象從颱風方向傳來 (圖 5a)，類波動之水平傳播速度為 108.02 m/s。由地磁指數得知當天無明顯地磁擾動 (圖 6)，因而確認此擾動現象為颱風影響。

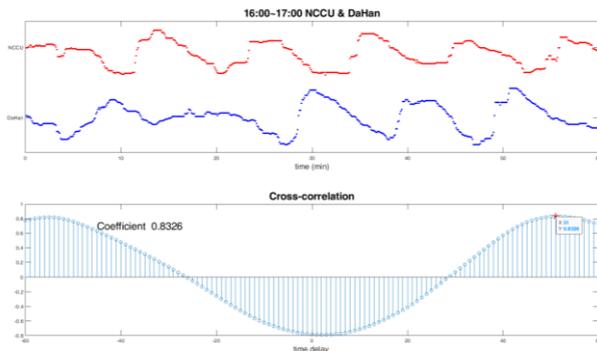


圖 3 NCCU 與 DaHan 接收站接收擾動之互相關分析。上圖紅色線為 NCCU 接受站之都卜勒頻移，藍色線為 DaHan 接受站之都卜勒頻移圖。下圖為 NCCU 與 DaHan 接受站之互相關分析圖。

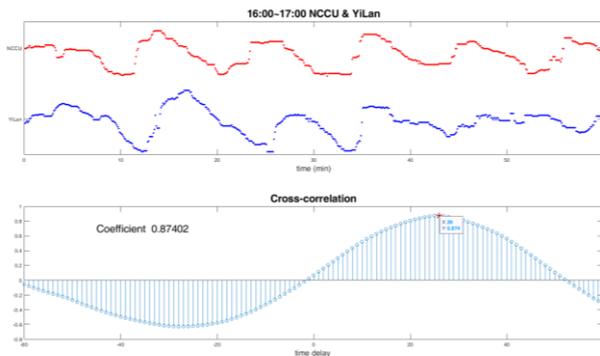


圖 4 NCCU 與 YiLan 接收站接收擾動之互相關分析。上圖紅色線為 NCCU 接受站之都卜勒頻移，藍色線為 YiLan 接受站之都卜勒頻移圖。下圖為 NCCU 與 YiLan 接受站之互相關分析圖。

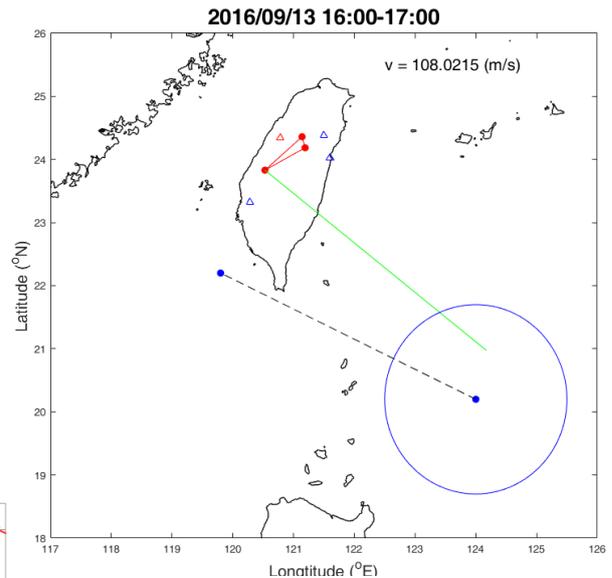


圖 5a 2016/09/13 1600-1700 LT 擾動訊號來向與颱風之相對位置。台灣地圖內部藍色三角形為 NCCU、DaHan 和 YiLan 三個接收站，紅色實點為 NCCU、DaHan 和 YiLan 三個接收站於電離層的反射點。藍色圓圈範圍為颱風 10 級暴風圈，藍色實點為颱風眼，綠色實線為擾動訊號之來向角指向，黑色虛線為颱風預測移動路徑。

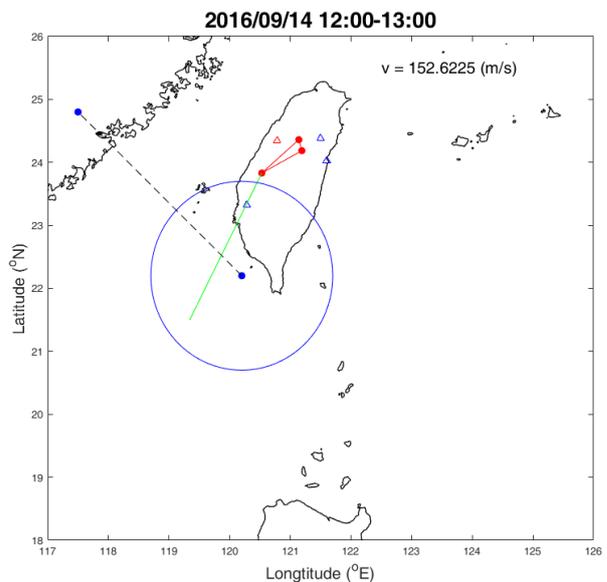


圖 5b 2016/09/14 1200-1300 LT 擾動訊號來向與颱風之相對位置。

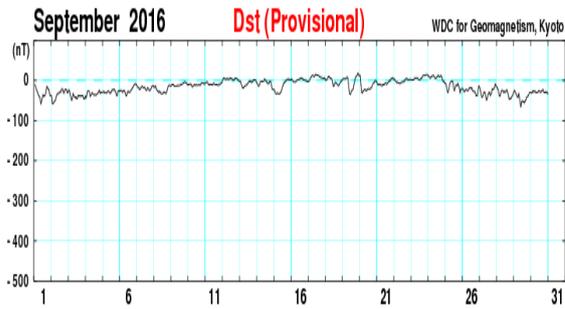


圖 6 2016 年 9 月之地磁指數。  
([http://wdc.kugi.kyotou.ac.jp/dst\\_realtime/index.html](http://wdc.kugi.kyotou.ac.jp/dst_realtime/index.html))

9 月 14 日為莫蘭蒂颱風最靠近台灣的時期，雖颱風眼無登陸，但其暴風圈已籠罩台灣

本島，從都卜勒頻移圖雖無明顯之類波動現象，但取而代之電離層頻移現象較前一天更為混亂 (圖 2b)。將 NCCU、DaHan 與 YiLan 三個接收站從上午 7 時至下午 4 時單獨比較 (圖 7a-b)，其顯示類波動之現象並無消失而是被其他擾動現象所影響，因此變得較不明顯。以肉眼觀察能發現在中午 12 時至下午 1 時此三個接收站皆有明顯類波動之現象，NCCU 接收站與 DaHan 接收站相比較有著 74 個時間單位之時間差，而與 YiLan 接收站相比較也有著 90 個時間單位之時間差。利用來向角分析得知此擾動現象為颱風所傳出，且類波動之水平傳播速度為 152.62 m/s (圖 5b)。因當天地磁指數無明顯擾動 (圖 6)，確認此擾動現象是有颱風所造成。

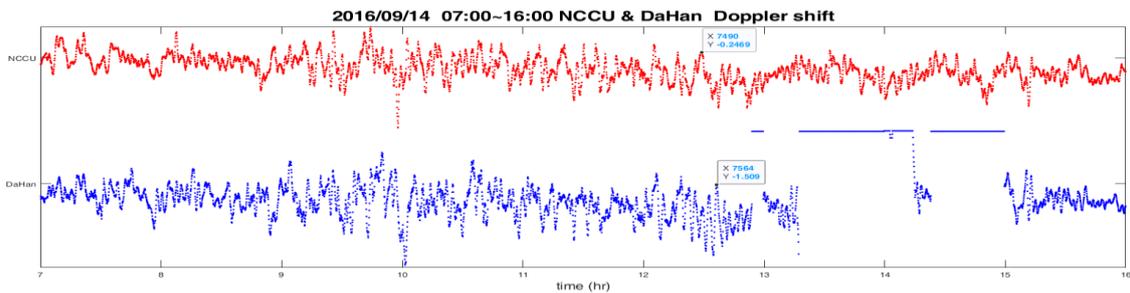


圖 7a NCCU 與 DaHan 接收站都卜勒頻移之比較圖。紅色線為 NCCU 接收站之都卜勒頻移圖，藍色線為 DaHan 接收站之都卜勒頻移圖。

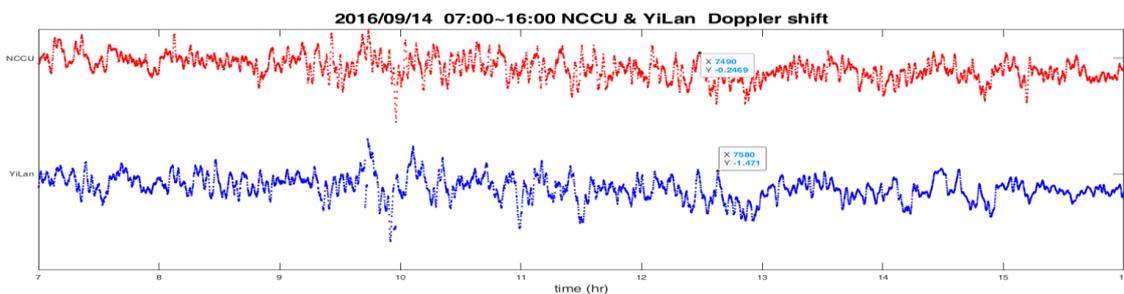


圖 7b NCCU 與 YiLan 接收站都卜勒頻移之比較圖。紅色線為 NCCU 接收站之都卜勒頻移圖，藍色線為 YiLan 接收站之都卜勒頻移圖。

## 四、總結

以莫蘭蒂颱風為例，在颱風暴風圈未接觸陸地時，5 個接收站之都卜勒頻移圖皆能顯示類波動現象。在颱風暴風圈接觸陸地後，都卜勒頻移圖中之 5 個接收站開始出現其他擾動現象，雖不清楚由哪種原因造成，但得知類波動現象並無因此消失。都卜勒電離層頻移圖顯示之類波動現象，透過來向角分析確認是來自颱風的擾動，並得知類波動之水平傳播速度為 100~200 m/s。

本論文利用高頻都卜勒探測系統觀測莫蘭蒂颱風，確認颱風所激發出的大氣重力波可傳播至電離層，使其產生週期性的擾動。

## 五、參考文獻

Huang Y. N., K. Cheng, S. W. Chen, On the detection of acoustic-gravity waves generated by typhoon by use real time HF Doppler frequency shift sounding system, Radio

Sci.,4, p.897-906, 1985.

Xiao Z., S. G. Xiao, Y. Q. Hao, D. H. Zhang., Morphological features of ionospheric response to typhoon, J. Geophys. Res., 112, A04304, 2007.

Yil-Hietanen J., K. Kalliojärvi, J. Astola, Robust Time-Delay based angle of arrival estimation, Proc. 1996 IEEE Nordic Signal Processing Symposium, p.219-222, 1996.

Yil-Hietanen J., K. Kalliojärvi, J. Astola, Time-Delay selection for robust angle of arrival estimation, Proc. IASTED International Conference Signal and Image Processing (SIP'99), Nassau, Bahamas, 1999.

李奕德，「颱風電離層都卜勒效應」，國立中央大學，碩士論文，2008。

颱風警報：中央氣象局颱風資料庫 <http://rdc28.cwb.gov.tw/>。

地磁擾動指數：[http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realtime/index.html](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html)

## Abstract

The ionosphere not only can be affected by solar flare, magnetic storm, and solar activities, but also can be perturbed by several weathers, such as front, thunderstorm, and typhoon (or hurricane). A HF CW Doppler sounding system which consists of 1 transmitter and 6 receivers with a 5.26MHz probing frequency in Taiwan has been employed to observe the variations in the ionospheric Doppler Frequency Shift (DFS) induced by typhoons since 2005. The results show that ionospheric disturbance period during typhoon are different from normal day. In this case, an analysis of data recorded Marenti typhoon that is a severe typhoon. Although typhoon eye of Meranti didn't make landfall, the ionospheric disturbance was observed by HF CW Doppler sounding system. In the DFS diagram on September 13, 2016, five receiving stations could see wavelike waveforms after 4 p.m. and show that ionospheric DFS fluctuates with 10 minute periods. An angle of arrival estimation has been applied to analyze time delays observed by the five receiving stations to confirm the waves being the typhoon related and examine the associated propagations. When the typhoon of Meranti structure touched Taiwan, the ionospheric DFS with 2 minute periods. This is an obvious different. Using angle of arrival estimation confirm the disturbance periods being the typhoon related.