

以雷達資料分析台灣東部近海中尺度 氣旋天氣條件之初步研究

祝鴻鵬
飛航服務總台

蔡永智 魏運寶
飛航服務總台氣象中心
中正氣象台

摘要

利用中正機場都卜勒氣象雷達偵測資料，配合綜觀天氣圖分析，對中尺度氣旋做初步分析，以追蹤氣旋生成、發展及消散和其生命史。

一、前言

1987年梅雨期台灣地區中尺度實驗計劃(TAMEX)將近尾聲時，於6月17日當天，從中正機場都卜勒雷達實際觀測到一中尺度氣旋(Mesosyclone)所伴隨之外圍回波帶進入雷達觀測範圍內(半徑120公里)，當此氣旋中心位於台東近海時，其外圍回波涵蓋了整個台灣中部山區，此回波帶隨著氣旋之發展而增強，爾後隨氣旋中心向東北移離東部海面，並隨著氣旋減弱而消散。而當這中尺度氣旋移近蘭陽平原時，因其伴隨了範圍寬廣而回波強度甚強的對流雲系，曾經造成該地區相當大的水患，百姓財產損失不貲，在此前提下，乃促成我們對此系統作深入研究的興趣。經由雷達觀測所得之資料，對此系統作了初步的分析，增進對此系統認知與掌握。

二、雷達掃描策略與資料的取捨

為了配合在苗栗後埔的NCAR雷達做雙都卜勒(Dual Doppler)觀測，在6月17日0000L，中正機場雷達採用非都卜勒作業狀態(Nondoppler mode)與都卜勒作業狀態(Doppler mode)交替掃描的策略，其間隔為30分鐘，至0130L祇作非都卜勒狀態之掃描，0320L後則全為都卜勒狀態掃描，間隔時間為20分鐘，其間1636至1700L曾作短暫的非都卜勒狀態掃描，2030L後則回復非都卜勒與都卜勒狀態交替掃描，其間隔為15分鐘。而非都卜勒作業狀態與都卜勒作業狀態的差異為在非都卜勒作業狀態下，資料處理範圍為半徑240公里，可偵測較遠距離的天氣系統，但解析度為2公里，即將2公里範圍內之資

料作一平均，然後顯示出來，會造成回波強度較均勻化之缺點，而都卜勒作業狀態，其解析度為1公里較能突顯強回波區，同時有風場與亂流場之偵測，但缺點為資料處理範圍祇達半徑120公里，天氣系統經常不能完全涵蓋在顯示畫面上。(* 為了追蹤氣旋中心情況，和偵測其後是否有新系統的生成與移入。)

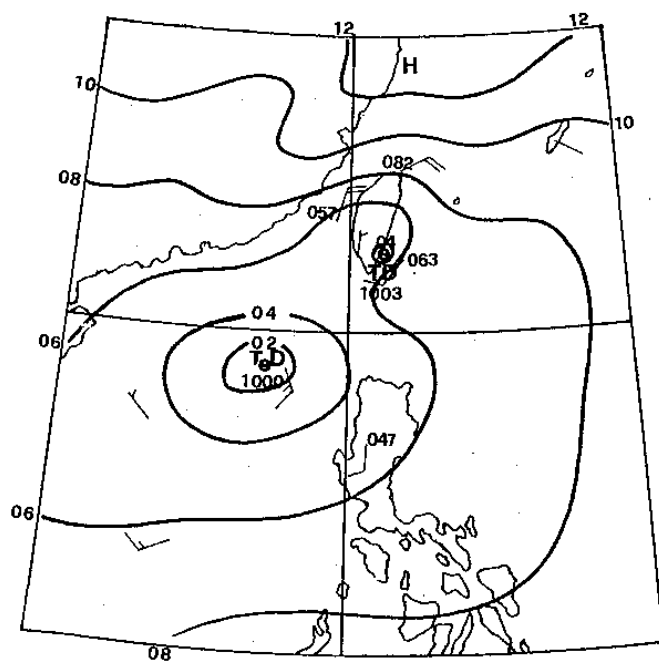
當天中正氣象雷達天線的仰角(Elevation)掃描範圍訂定為 0.5° ， 2.0° ， 3.5° ， 5.0° ， 6.5° ， 8.0° ， 9.5° ， 11.0° ， 12.5° ， 14.0° ， 15.5° ， 17.0° 等共12個角度，最大仰角定為 17° 乃因該系統垂直發展較旺盛，需用較高角度偵測，正常作業下，最大仰角大多定為 11.5° 。而雷達顯示CAPPI(Constant altitude PPI)之高度範圍為pseudo, 0.5km, 1.5km, 2.5km, 3.5km, 4.5km, 5.5km, 6.5km, 7.5km, 8.5km, 9.5km, 10.5km, 11.5km，共13層，由於此範圍之限制，11.5km以上雲頂附近之資料即無法顯示。各掃描仰角與目標物距離和高度的相互關係可由式子 $H = R \times (\sin(E) + R / 2 \times A \times E_r)$ 求得。式中H：回波高度，單位公里；R：回波距離，單位公里； E_r ：為地球的曲率半徑， $E_r = 6363$ 公里；E：仰角，單位弧度；A：1.33為雷達電磁波折射校正值。由上式可計算得表(一)之各數值。例如由表(一)可知，在最低仰角 0.5° 掃描下，100公里外可偵測到之回波，高度即需達1.46公里。而本文所分析之中尺度氣旋，其外圍回波帶大部份出現在雷達站的東南象限，而距離皆在100公里左右，為求其資料之可靠與真實，分析時資料大

位於 143° ，40公里處有塔關山，高度1727公尺，方位 168° ，距離44公里處有李山，高度1913公尺，方位 186° ，48公里處有向天湖山，高度1147公尺，整體而言，在方位角 140° 至 170° 的扇形區域內，為求雷達波不受山岳阻隔而偵測到100公里外之目標物，其掃瞄仰角需抬至 2.5° 左右方可偵測到目標物，但此目標物的高度卻已達3~4公里。本文所探討之中尺度氣旋其外圍回波帶大部份時間皆出現在方位角 140° 至 170° 之扇形區內，為避免分析時受地形影響，資料分析綜上所述，乃決定採用3.5公里的CAPPI資料為主，以求得可信度較高的分析結果。

三、綜觀天氣系統的分析

冷鋒鋒面於6月15日0800L通過台灣北部，移動性大陸氣團向東移動出海，鋒面受此冷氣團影響亦續向東移，至6月17日0500L，高壓中心已移至日本海，鋒面氣旋在日本南方海上，鋒面由此中心向西南延伸至琉球南方海面上已遠離台灣，但台灣全島仍受東北季風影響。位於東沙島南方海上之熱帶氣旋(T.D.)則近似滯留，其外圍環流所引進的南來暖潛氣流卻已漸漸影響台灣東部海域，至6月17日0800L，由圖(一)的地面天氣圖分析可知在東風槽內，臨近台東外海新發展了一中尺度氣旋，其中心數值為1003mb，此時中低對流層之天氣系統分佈如圖(二)、(三)，在圖(二)700mb圖上，台東附近可分析出一完整氣旋環流與地面圖之中尺度氣旋相對應。而東沙島南方的T.D.環流幾乎涵蓋了整個南海，副熱帶高壓脊向西延伸至台灣北方(26° N)，此時在700mb(約3.5km)高度上，台灣北部仍受高壓迴流影響吹東南風，而500mb(約5.5km)上，圖(三)可看到台東附近之中尺度氣旋環流因發展沒那麼高，故圖上無法分析出來，南海T.D.環流則相當完整，台灣地區在500mb(約5.5km)高度上適位於一鞍型場區，北部吹南南西風，風力微弱，綠島則吹西南風，風速達每小時25哩，由中、低對流層觀之，台灣地區整體而言仍受南南東風影響，故東部外海之中尺度氣旋在此駛流的影響，緩慢向北北西方移動，

幾乎是貼著東部海岸向北移。地面圖之分析顯示於1400L(06Z)中尺度氣旋中心已移至台東、花蓮間之外海，至1700L(09Z)則移近花蓮外海，而2000L(12Z)之地面圖則見此中尺度氣旋已移離東部外海，此時700mb之副熱帶高壓脊南移至台灣上空(23° N)，北部地區在700mb高度上，風轉為西南風，而中尺度氣旋之環流已不見，同時500mb之鞍型場則略向東移，北部500mb風場改吹微弱東北風，中尺度氣旋在12Z時受中、低對流層平均駛流西南風導引和500mb槽東移影響，移動方向改為向東北，移離台灣本島，在6月18日0200L(18Z)之地面圖上，已不復見到此中尺度氣旋。

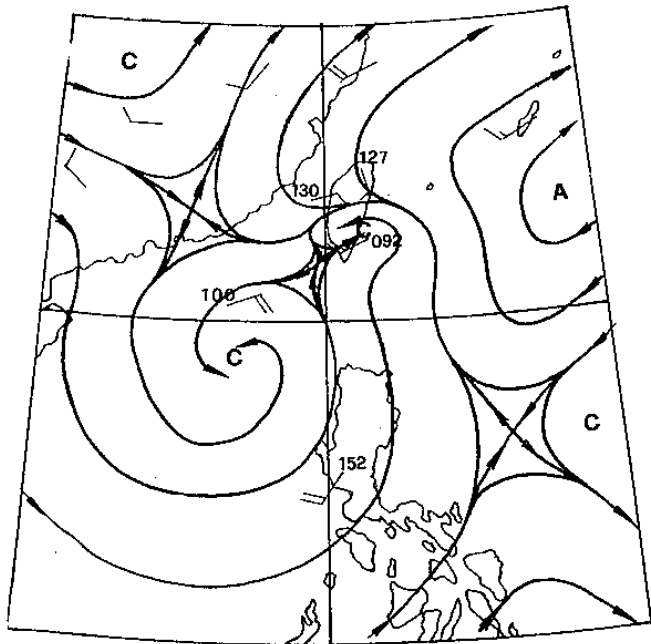


SFC 0000Z JUN 17 1987

圖(一) 76年6月17日0000Z地面圖，黑色實線代表等壓線。

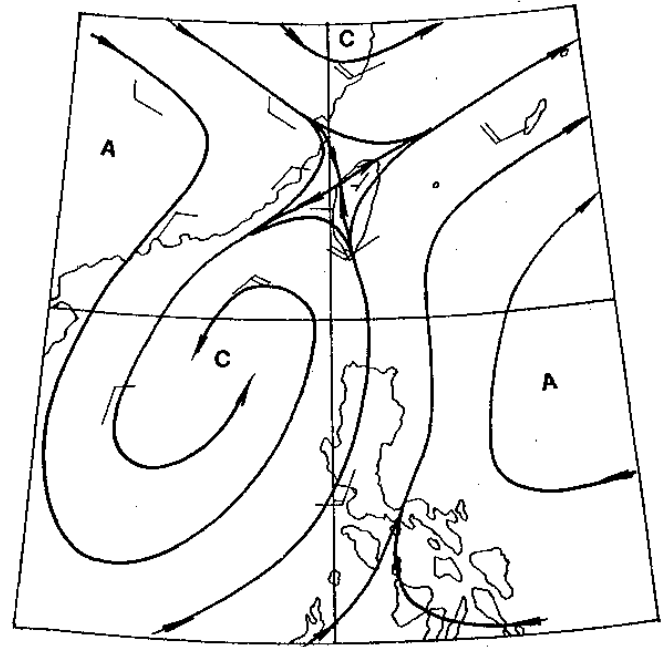
四、由中正機場都卜勒雷達偵測資料看東部外海中尺度氣旋之衍變

由6月17日0200L中正機場氣象雷達所做監視掃瞄(Surveillance scanning)亦即非都卜勒作業狀態(範圍為半徑240公里)，所得之資料分析得短，在機場東南方 177° ，距離163公里處山區已有零散對流回波，強度為30DBZ，此回波帶隨時間之演變，範圍逐漸擴大，強度增強，並緩慢向



700mb 0000Z JUN 17 1987

氣流線圖

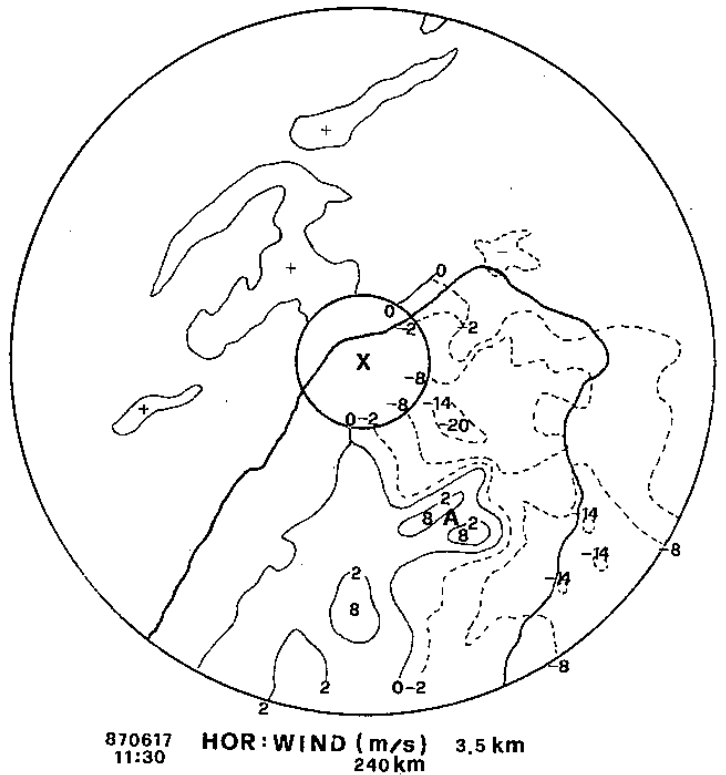


500mb 0000Z JUN 17 1987

圖(三)

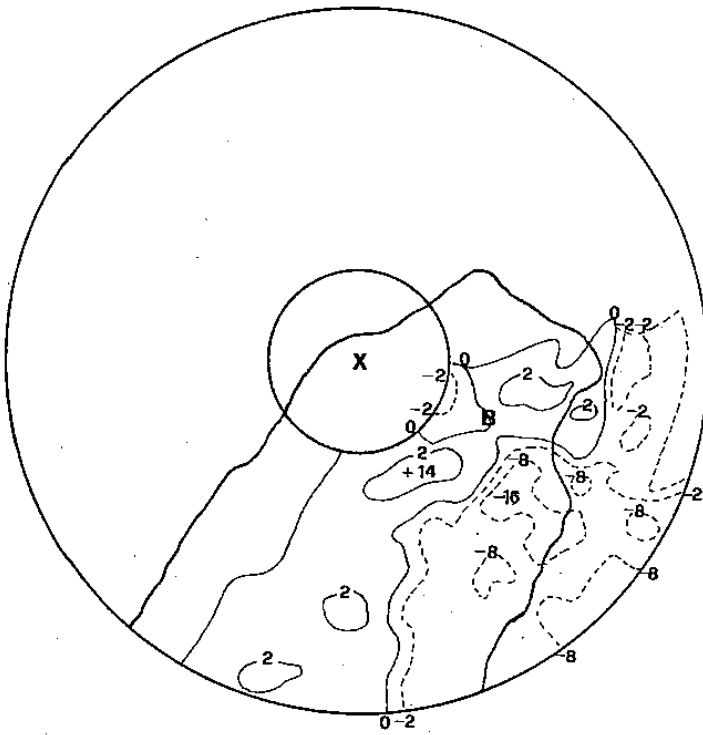
76年6月17日000Z 500mb 高空氣流線圖。

北移動；0320L 因回波帶進入都卜勒掃描範圍內（120公里），故雷達掃描全改用都卜勒作業狀態以便全力監視此系統。研判此時之回波風場，知整個台灣北部由低層（1.5km）至7.5km 整層為東南風系所控制，直至0600L 在高度1.5km和3.5 km，雷達南方185°方位距離約100公里處，風場出現明顯的不同，在該處顯示已有一 cyclone 旋轉的跡象，可視為東部外海之中尺度氣旋已於此時生成，而其外圍環流已進入雷達偵測範圍內，（地面天氣圖直至0800L方分析一氣旋於東部外海），而後隨著地面 cyclone 之演變，此旋轉風場漸向北移且範圍擴大，由3.5公里（約為700mb）1130L 之徑向風場回波圖（圖四）之分析知，在方位118°，距離56公里處有一徑向風速達20m/s 的強風軸，且圖四A區亦出現了一強烈輻合上升區。而1130L 高度5.5km（約為500mb）之風場如圖（五）；風場的配置則趨複雜，除可看到 cyclone 外圍環流外，在台灣北部，B區的徑向風力微弱，正、負區相互摻雜，與500mb 之鞍型場相對照，適足以解釋B區之風場分配。另在1130L,7.5km 高度上仍可清晰分析出 cyclone 之環流，但8.5km 高度以上則僅見東南轉西南的外流（Outflow）並無顯著輻散場相對應。證之1130L 回波強度圖（圖



圖(四) 76年6月17日1130L, 都卜勒狀態下離地面3.5公里之水平徑向風場等值線圖，圖內小圓圈為3.5公里高度，雷達掃描之死角。

六) 可知在最大強風軸區，相對應有最大的回波值52DBZ，波頂高度達11.5KM(38,000)呎以上，而輻合上升區（A區）當時雖無較大DBZ 的回



870617 HOR: WIND (m/s) 5.5 km
11:30 240 km

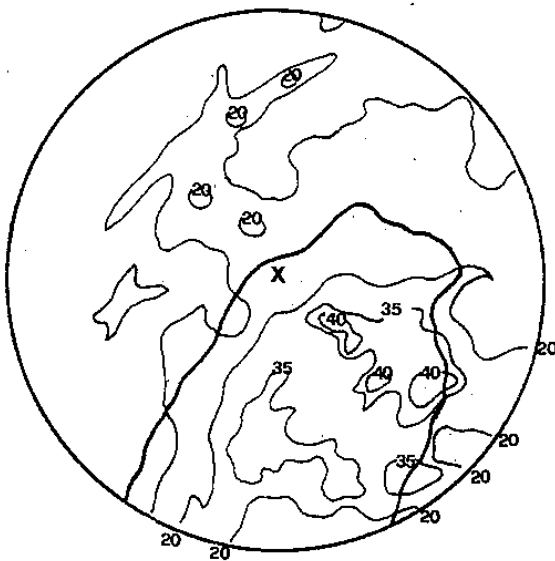
圖(五) 76年6月17日1130L, 都卜勒狀態下離地面5.5公里之水平徑向風場等值線圖, 圖內小圓圈為5.5公里高度, 雷達掃瞄之死角。

方面而言, 輻合上升區為回波發展條件最佳之處, 未來的激烈天氣即發生於此, 預報員應慎加注意此種情形。



870617 HOR: REFL(DBZ) MAX
19:30 480 km

圖(七) 76年6月17日1930L, 非都卜勒狀態下, 水平最大回波強度圖。



870617 HOR: REFL(DBZ) MAX
11:30 240 km

圖(六) 76年6月17日1130L 都卜勒狀態下, 水平最大回波強度圖。

波(約僅30DBZ)但不久後(1210L)在該區卻發展出50DBZ以上的回波強度。故在預報應用

由前後時間所得之風場, 回波強度等資料加以分析、比對, 知中尺度氣旋在1130L發展達最高峰, 因此時之回波強度最強(50DBZ以上), 範圍最大(涵蓋整個雷達站的東南象限), 且曾出現最大的強風軸(20m/s), 爾後, 祇見回波強度逐漸消散減弱, 範圍亦漸減小, 且回波轉向東北移出偵測範圍(120km)外, 強風軸亦不復見。在1636L後將雷達作業狀態改為偵測範圍達240KM的非都卜勒掃瞄, 由回波的螺旋狀可清楚定出中尺度氣旋之中心, 其範圍平均幾達205公里, 環流北邊有較強的回波, 南邊則幾乎無回波。氣旋中心於1636L時位在花蓮東方海上然後漸轉往東北移, 如圖(七), 1930L時氣旋中心離花蓮已遠, 台灣也已脫離其強降雨帶之籠罩, 至2215L此系統即消散, 減弱以致雷達無法辨認。

五、結論

1. 由都卜勒氣象雷達之觀測資料, 使我們可進一步地對中尺度系統作更詳盡的解析, 並掌握其生命史。
2. 本文分析之氣旋發生於台灣東部近海, 先決

上受中央山脈阻隔影響，雷達觀測無法達於近地面，主要以 3.5 公里高度之雷達資料對其作研判。

3. 雷達顯示，在風場內有強烈輻合或上升運動的區域，為有利回波發展的區域，往往在此區形成劇烈天氣。
4. 此氣旋涵蓋範圍平均直徑約 205 公里（利用非都卜勒作業狀態掃瞄得窺全貌），而其由生成至消散之生命期約為 16 小時，在時間與空間尺度上可歸類為 meso- α 氣旋。
5. 此中尺度氣旋係於南海上 T.D. 外圍環流東風波槽內發展的氣旋，由都卜勒雷達回波資料分析，伴隨的天氣相當劇烈（回波強度大於 50DBZ），不應被氣象人員忽視。

六、參考文獻：

Donaldson, R. J., 1970: Vortex Signature

recognition by a doppler radar. J. Appl.

Meteor. 9, 661-670

Doviak, R. J., and D. S. Zrnice, 1984: Doppler

Radar and Weather Observations. Academic Press, Inc.

Louis J. Battan, 1968: Radar Observation of the atmosphere. Univ. Chicago Press.

Ogura, Y. and Y. L. Chen, 1977: A life history of an intense mesoscale convective storm in Oklahoma. J. Atmos. Sci. 34, 1458-1476

Waldteufel, P. and H. Corbin, 1979: On the analysis of single doppler data. J. Appl. Meteor., 18, 532-542.

Wilson, J. W., R. E. Carbone, H. Baynton and R. Serafin, 1980: Operational meteorological Doppler radar.

Wilson, J. W. and H. P. Roesli, 1985: Use of Doppler radar and radar networks in meso-scale analysis and forecasting.

表一 雷達天線仰角之掃瞄距離與高度換算表

$$H=R*(\text{SIN}(E)+R/2*1.33*6363)$$

Elevation	5 km	10 km	15 km	20 km	25 km	30 km	35 km	40 km	45 km	50 km
0.5 deg.	0.05	0.09	0.14	0.20	0.26	0.31	0.38	0.44	0.51	0.58
1.0 deg.	0.09	0.18	0.28	0.37	0.47	0.58	0.68	0.79	0.91	1.02
1.5 deg.	0.13	0.27	0.41	0.55	0.69	0.84	0.99	1.14	1.30	1.46
2.0 deg.	0.18	0.35	0.54	0.72	0.91	1.10	1.29	1.49	1.69	1.89
2.5 deg.	0.22	0.44	0.67	0.90	1.13	1.36	1.60	1.84	2.08	2.33
3.0 deg.	0.26	0.53	0.80	1.07	1.35	1.62	1.90	2.19	2.47	2.76
3.5 deg.	0.31	0.62	0.93	1.24	1.56	1.88	2.21	2.54	2.87	3.20
4.0 deg.	0.35	0.70	1.06	1.42	1.78	2.15	2.51	2.88	3.26	3.64
4.5 deg.	0.39	0.79	1.19	1.59	2.00	2.41	2.82	3.23	3.65	4.07
5.0 deg.	0.44	0.88	1.32	1.77	2.22	2.67	3.12	3.58	4.04	4.51
5.5 deg.	0.48	0.96	1.45	1.94	2.43	2.93	3.43	3.93	4.43	4.94
6.0 deg.	0.52	1.05	1.58	2.11	2.65	3.19	3.73	4.28	4.82	5.37
6.5 deg.	0.57	1.14	1.71	2.29	2.87	3.45	4.03	4.62	5.21	5.81
7.0 deg.	0.61	1.22	1.84	2.46	3.08	3.71	4.34	4.97	5.60	6.24
7.5 deg.	0.65	1.31	1.97	2.63	3.30	3.97	4.64	5.32	5.99	6.67
8.0 deg.	0.70	1.40	2.10	2.81	3.52	4.23	4.94	5.66	6.38	7.11
8.5 deg.	0.74	1.48	2.23	2.98	3.73	4.49	5.25	6.01	6.77	7.54

9.0 deg.	0.78	1.57	2.36	3.15	3.95	4.75	5.55	6.35	7.16	7.97
9.5 deg.	0.83	1.66	2.49	3.32	4.16	5.00	5.85	6.70	7.55	8.40
10.0 deg.	0.87	1.74	2.62	3.50	4.38	5.26	6.15	7.04	7.93	8.83
10.5 deg.	0.91	1.83	2.75	3.67	4.59	5.52	6.45	7.38	8.32	9.26
11.0 deg.	0.96	1.91	2.88	3.84	4.81	5.78	6.75	7.73	8.71	9.69
11.5 deg.	1.00	2.00	3.00	4.01	5.02	6.03	7.05	8.07	9.09	10.12
12.0 deg.	1.04	2.09	3.13	4.18	5.23	6.29	7.35	8.41	9.48	10.54
12.5 deg.	1.08	2.17	3.26	4.35	5.45	6.55	7.65	8.75	9.86	10.97
13.0 deg.	1.13	2.26	3.39	4.52	5.66	6.80	7.95	9.09	10.24	11.40
13.5 deg.	1.17	2.34	3.51	4.69	5.87	7.06	8.24	9.43	10.62	11.82
14.0 deg.	1.21	2.43	3.64	4.86	6.08	7.31	8.54	9.77	11.01	12.24
14.5 deg.	1.25	2.51	3.77	5.03	6.30	7.56	8.84	10.11	11.39	12.67
15.0 deg.	1.30	2.59	3.90	5.20	6.51	7.82	9.13	10.45	11.77	13.09
15.5 deg.	1.34	2.68	4.02	5.37	6.72	8.07	9.43	10.78	12.15	13.51
16.0 deg.	1.38	2.76	4.15	5.54	6.93	8.32	9.72	11.12	12.52	13.93
16.5 deg.	1.42	2.85	4.27	5.70	7.14	8.57	10.01	11.46	12.90	14.35
17.0 deg.	1.46	2.93	4.40	5.87	7.35	8.82	10.31	11.79	13.28	14.77
17.5 deg.	1.51	3.01	4.52	6.04	7.55	9.07	10.60	12.12	13.65	15.18
18.0 deg.	1.55	3.10	4.65	6.20	7.76	9.32	10.89	12.46	14.03	15.60
18.5 deg.	1.59	3.18	4.77	6.37	7.97	9.57	11.18	12.79	14.40	16.01
19.0 deg.	1.63	3.26	4.90	6.54	8.18	9.82	11.47	13.12	14.77	16.43
19.5 deg.	1.67	3.34	5.02	6.70	8.38	1.007	11.76	13.45	15.14	16.84
20.0 deg.	1.71	3.43	5.14	6.86	8.59	1.031	12.04	13.78	15.51	17.25

$$H=R*(\text{SIN}(E)+R/2*1.33*6363)$$

Elevation	55 km	60 km	65 km	70 km	75 km	80 km	85 km	90 km	95 km	100 km
0.5 deg.	0.66	0.74	0.82	0.90	0.99	1.08	1.17	1.26	1.36	1.46
1.0 deg.	1.14	1.26	1.38	1.51	1.64	1.77	1.91	2.05	2.19	2.34
1.5 deg.	1.62	1.78	1.95	2.12	2.30	2.47	2.65	2.83	3.02	3.21
2.0 deg.	2.10	2.31	2.52	2.73	2.95	3.17	3.39	3.62	3.85	4.08
2.5 deg.	2.58	2.83	3.08	3.34	3.60	3.87	4.13	4.40	4.68	4.95
3.0 deg.	3.06	3.35	3.65	3.95	4.26	4.57	4.88	5.19	5.51	5.82
3.5 deg.	3.54	3.88	4.22	4.56	4.91	5.26	5.62	5.97	6.33	6.70
4.0 deg.	4.02	4.40	4.78	5.17	5.56	5.96	6.36	6.76	7.16	7.57
4.5 deg.	4.49	4.92	5.35	5.78	6.22	6.65	7.10	7.54	7.99	8.44
5.0 deg.	4.97	5.44	5.91	6.39	6.87	7.35	7.84	8.32	8.81	9.31
5.5 deg.	5.45	5.96	6.48	7.00	7.52	8.05	8.57	9.10	9.64	10.18
6.0 deg.	5.93	6.48	7.04	7.61	8.17	8.74	9.31	9.89	10.46	11.04
6.5 deg.	6.40	7.00	7.61	8.21	8.82	9.43	10.05	10.67	11.29	11.91
7.0 deg.	6.88	7.52	8.17	8.82	9.47	10.13	10.79	11.45	12.11	12.78
7.5 deg.	7.36	8.04	8.73	9.43	10.12	10.82	11.52	12.23	12.93	13.64
8.0 deg.	7.83	8.56	9.30	10.03	10.77	11.51	12.26	13.00	13.75	14.51
8.5 deg.	8.31	9.08	9.86	10.64	11.42	12.20	12.99	13.78	14.58	15.37
9.0 deg.	8.78	9.60	10.42	11.24	12.06	12.89	13.72	14.56	15.39	16.23

9.5 deg.	9.26	10.12	10.98	11.84	12.71	13.58	14.46	15.33	16.21	17.10
10.0 deg.	9.73	10.63	11.54	12.44	13.36	14.27	15.19	16.11	17.03	17.96
10.5 deg.	10.20	11.15	12.09	13.05	14.00	14.96	15.92	16.88	17.85	18.81
11.0 deg.	10.67	11.66	12.65	13.65	14.64	15.64	16.65	17.65	18.66	19.67
11.5 deg.	11.14	12.17	13.21	14.25	15.28	16.33	17.37	18.42	19.47	20.53
12.0 deg.	11.61	12.69	13.76	14.84	15.93	17.01	18.10	19.19	20.28	21.38
12.5 deg.	12.08	13.20	14.32	15.44	16.57	17.69	18.82	19.96	21.10	22.23
13.0 deg.	12.55	13.71	14.87	16.04	17.20	18.37	19.55	20.72	21.90	23.09
13.5 deg.	13.02	14.22	15.42	16.63	17.84	19.05	20.27	21.49	22.71	23.94
14.0 deg.	13.48	14.73	15.97	17.22	18.48	19.73	20.99	22.25	23.52	24.78
14.5 deg.	13.95	15.24	16.52	17.82	19.11	20.41	21.71	23.01	24.32	25.63
15.0 deg.	14.41	15.74	17.07	18.41	19.74	21.08	22.43	23.77	25.12	26.47
15.5 deg.	14.88	16.25	17.62	19.00	20.38	21.76	23.14	24.53	25.92	27.31
16.0 deg.	15.34	16.75	18.17	19.58	21.01	22.43	23.86	25.29	26.72	28.15
16.5 deg.	15.80	17.25	18.71	20.17	21.63	23.10	24.57	26.04	27.51	28.99
17.0 deg.	16.26	17.76	19.25	20.76	22.26	23.77	25.28	26.79	28.31	29.83
17.5 deg.	16.72	18.26	19.80	21.34	22.89	24.43	25.99	27.54	29.10	30.66
18.0 deg.	17.17	18.75	20.34	21.92	23.51	25.10	26.69	28.29	29.89	31.49
18.5 deg.	17.63	19.25	20.87	22.50	24.13	25.76	27.40	29.04	30.68	32.32
19.0 deg.	18.09	19.75	21.41	23.08	24.75	26.42	28.10	29.78	31.46	33.15
19.5 deg.	18.54	20.24	21.95	23.66	25.37	27.08	28.80	30.52	32.24	33.97
20.0 deg.	18.99	20.73	22.48	24.23	25.98	27.74	29.50	31.26	33.03	34.79

**A Preliminary analysis of mesocyclone over eastern
Taiwan using Doppler radar data**

Hong-Peng Chu
Air Navigation
and Weather Services

Yong-Ju Tsai
Air Navigation
and Weather Services,
Taipei Meteorological Center
C.K.S. Weather Station

Yun-Pau Wei
Air Navigation
and Weather Services,
Taipei Meteorological Center
C.K.S. Weather Station

ABSTRACT

This was a preliminary analysis of mesocyclone by interpreting the data of the C.K.S. Doppler weather radar and analyzing the synoptic weather chart to study the life history of the mesocyclone.