



2019年屏東龍捲風事件分析

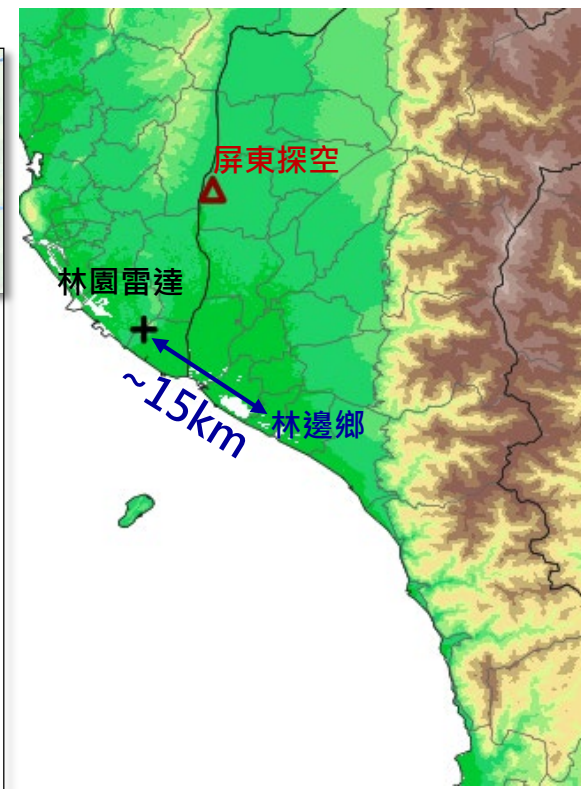
李宗融、廖信豪、林忠義、王安翔、劉致灝

109年天氣分析與預報研討會

2020.10.13

研究動機

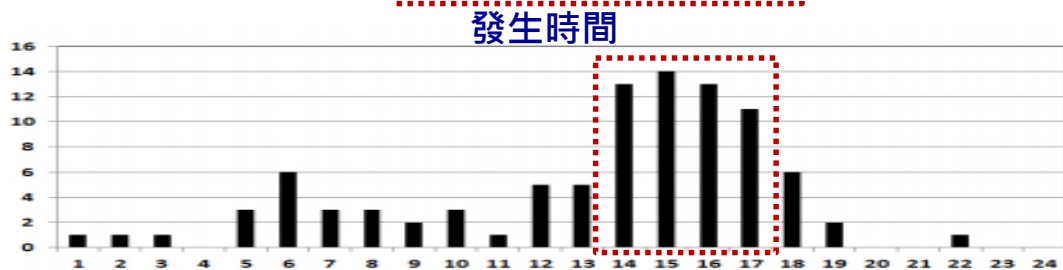
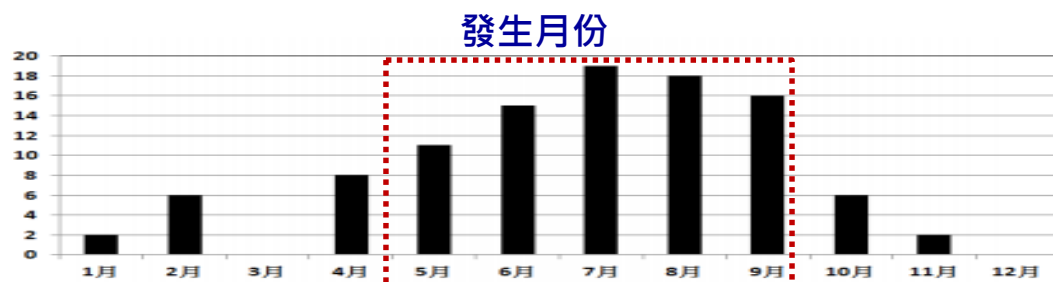
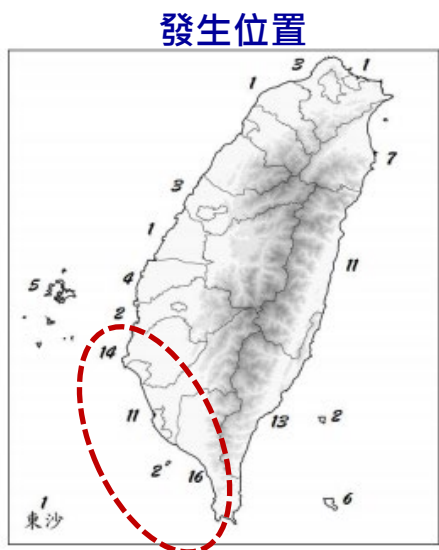
- 2019年7月1日15時屏東林邊發生龍捲風，從社群媒體、即時新聞可清楚看到高速旋轉之漏斗狀雲及其快速移行之照片、影片，同時也造成電線桿倒塌、房屋受損等災情
- 本研究使用網路攀爬技術，利用關鍵字針對社群網站發布之龍捲風災情、影像進行收集、定位，初判本次龍捲風是由**東南向西北(向左側)移動**
- 林園防災降雨雷達(RCKS, C-POL)於2017年底上線觀測，本次龍捲風為首例**雙偏極化雷達近距離(約15公里)觀測之(陸)龍捲事件**



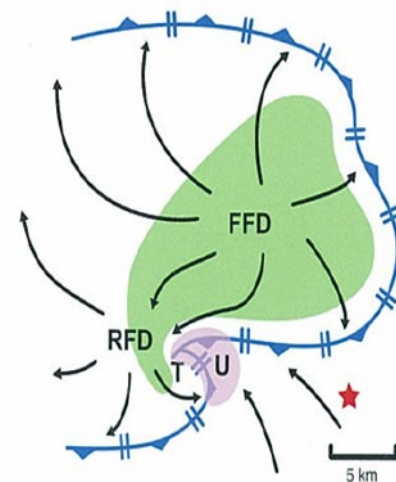
研究目的

- 龍捲風可區分為由**超級胞(Supercell Tornado)**或**非超級胞(Non-supercell Tornado)**之對流系統所激發(Wakimoto and Wilson,1989)
- 根據張與劉(2016)研究，1998~2015年臺灣龍捲風年平均發生率5.7個，水龍捲占4個、(陸)龍捲1.7個，好發時間為暖季(5-9月)、午後(14-17時)，區域則以南部發生頻率最高。這些龍捲多由**鋒面、颱風、積雲**等非超級胞之對流系統所激發
- 2015年臺南新化龍捲風，是臺灣首例分析確認由**迷你超級胞(Mini-Supercell)**所激發之(陸)龍捲(張與劉，2016)
- **迷你超級胞**：具有類似**超級胞**之結構、觀測特徵，但在系統之尺度、生命期較**超級胞**小與短(Suzuki et al. 2000)
- **研究目的**：分析屏東龍捲風之環境、雙極化雷達觀測之特徵，瞭解激發本次龍捲風的對流系統性質

台灣龍捲發生特性分析(張與劉，2016)



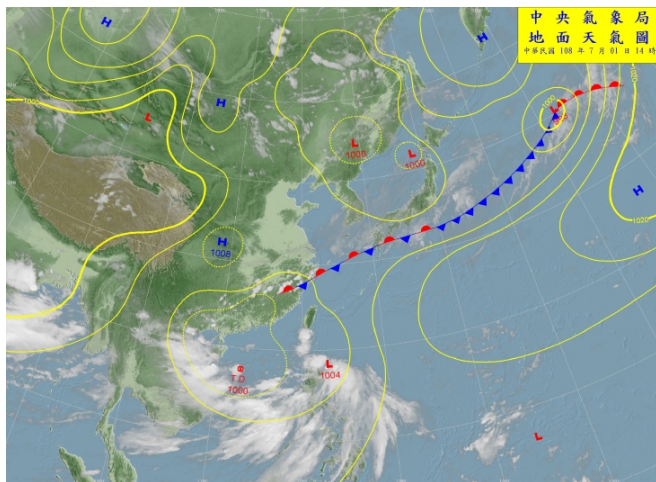
超級胞龍捲結構概念模式
(Lemon and Doswell(1979))



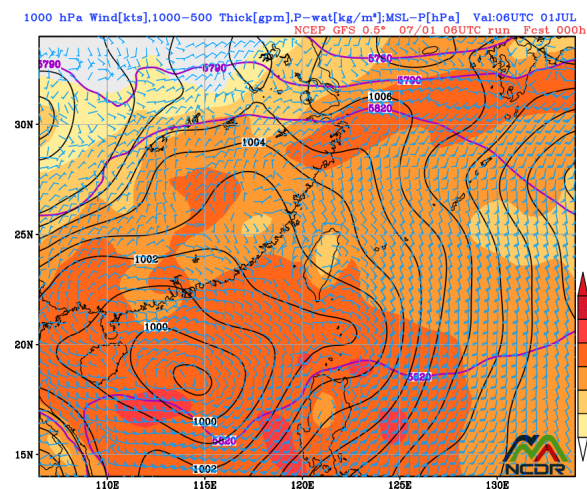
綜觀天氣分析

- 7月1日台灣處在一大低壓帶環境下，低層大氣盛行偏東至東南風；西半部地區與海峽則因中央山脈低層氣流繞山，則盛行偏北風。大環境之偏東南風與海峽之北風於台灣南部地區形成一幅合區
- 850hPa台灣處在不穩定度高的區域
- 200hPa南部地區為輻散區
- 整體綜觀環境有利劇烈天氣系統發展

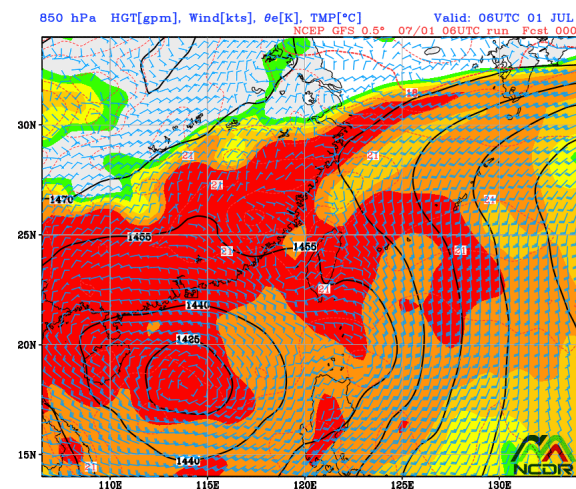
7月1日14時 地面天氣圖



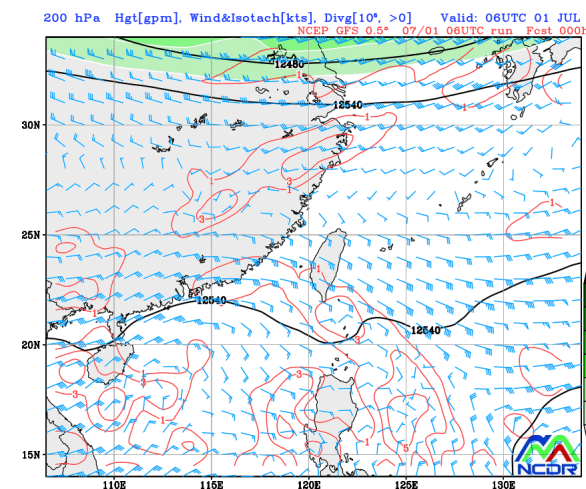
7月1日14時 1000hPa 氣壓場



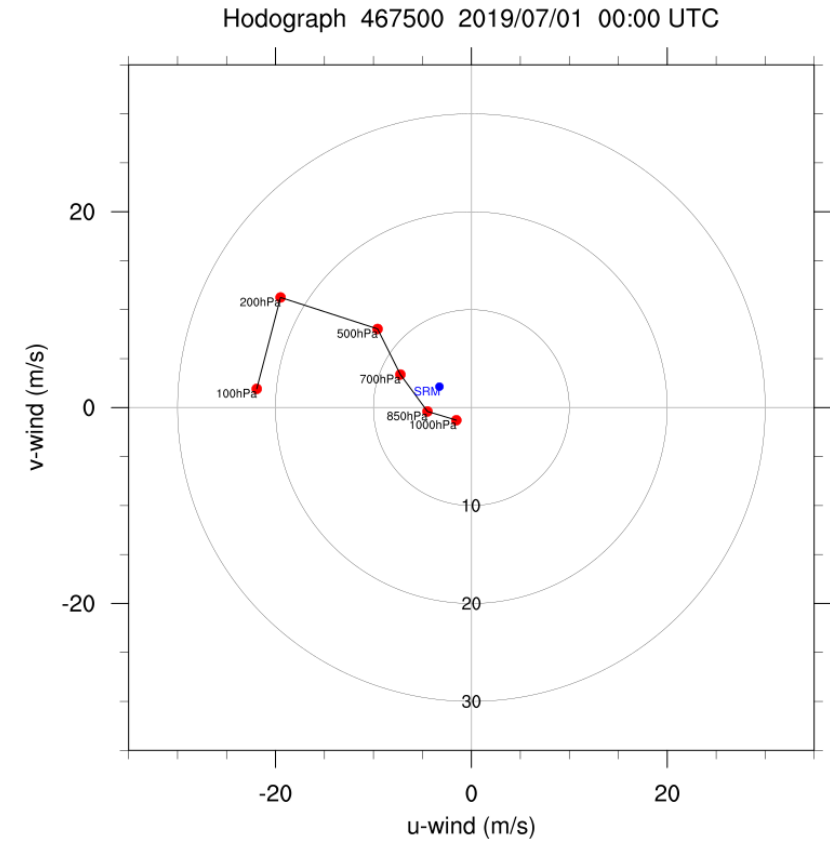
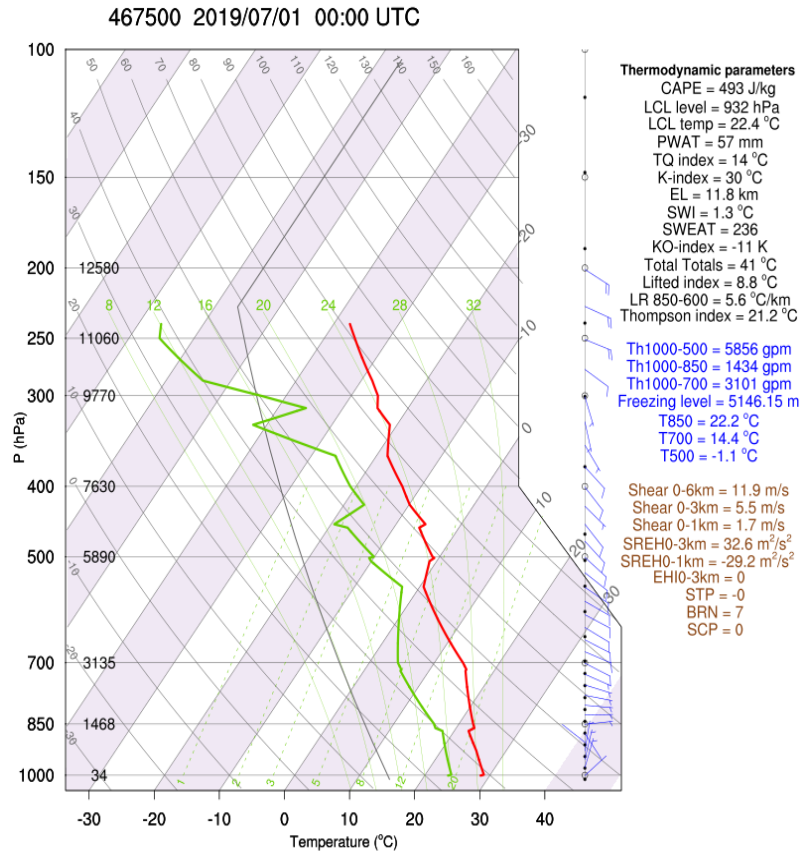
7月1日14時 850hPa Θ_e



7月1日14時 200hPa 輻散場



探空資料分析



• 對流可用位能(CAPE) : 493J/Kg

• 0-6km Shear : 11.9m/s

• SREH(風暴相對螺旋度) : 32.6m²/S²

提供水平渦度透過扭轉項轉化為垂直渦度(中尺度渦旋)

有利中尺度渦旋維持與發展

• 500hPa以下風向隨高度順轉

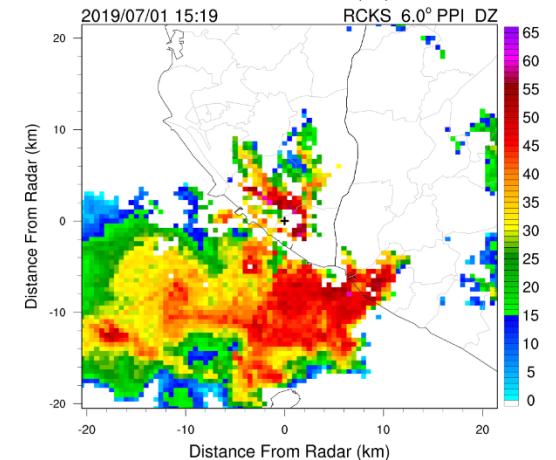
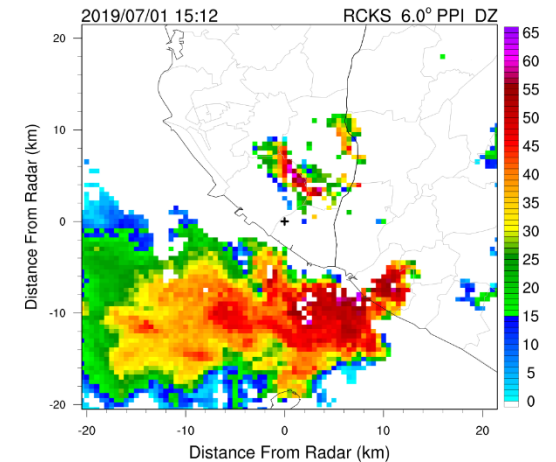
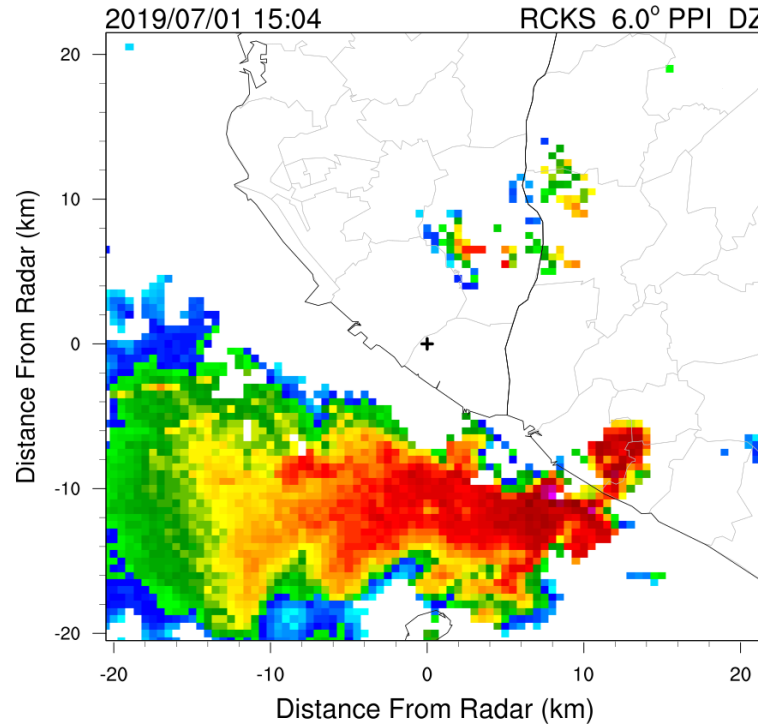
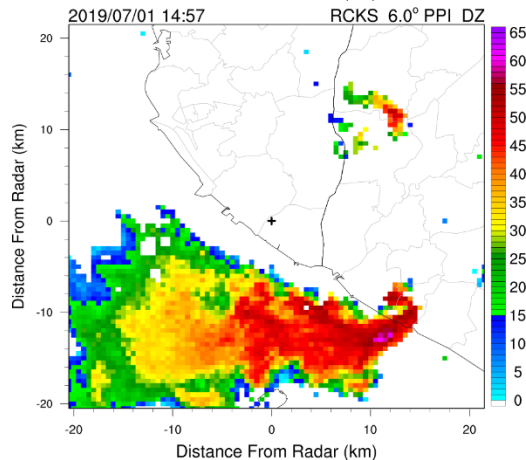
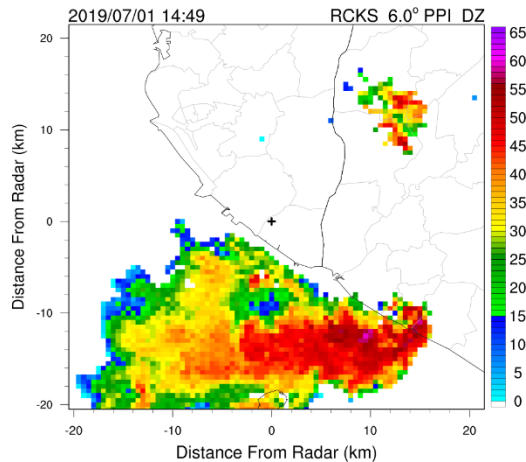
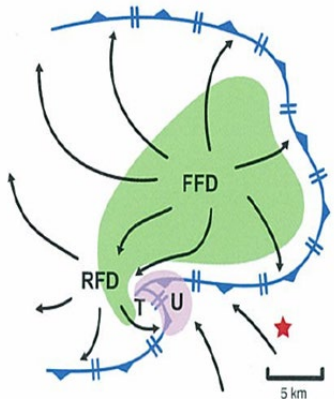
• 風暴移動方向偏向平均風之右側

• 與Suzuki et al.(2000)提出之有利迷你超級胞激發龍捲風之環境條件相符

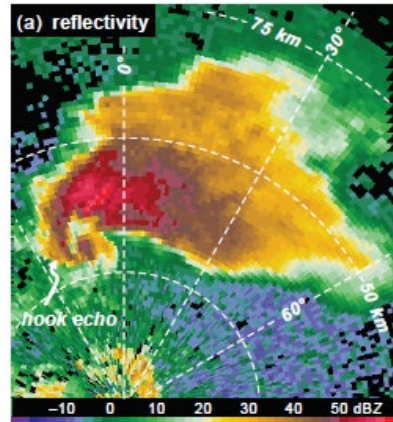
有利中尺度渦旋維持與發展

雷達觀測特徵分析-回波

- 超級胞龍捲重要回波觀測特徵：**勾狀回波(hook echo)**
- 高雄林園雷達(RCKS) 7月1日14時49分起，觀測到**勾狀回波(hook echo)**特徵，持續時間約20分鐘



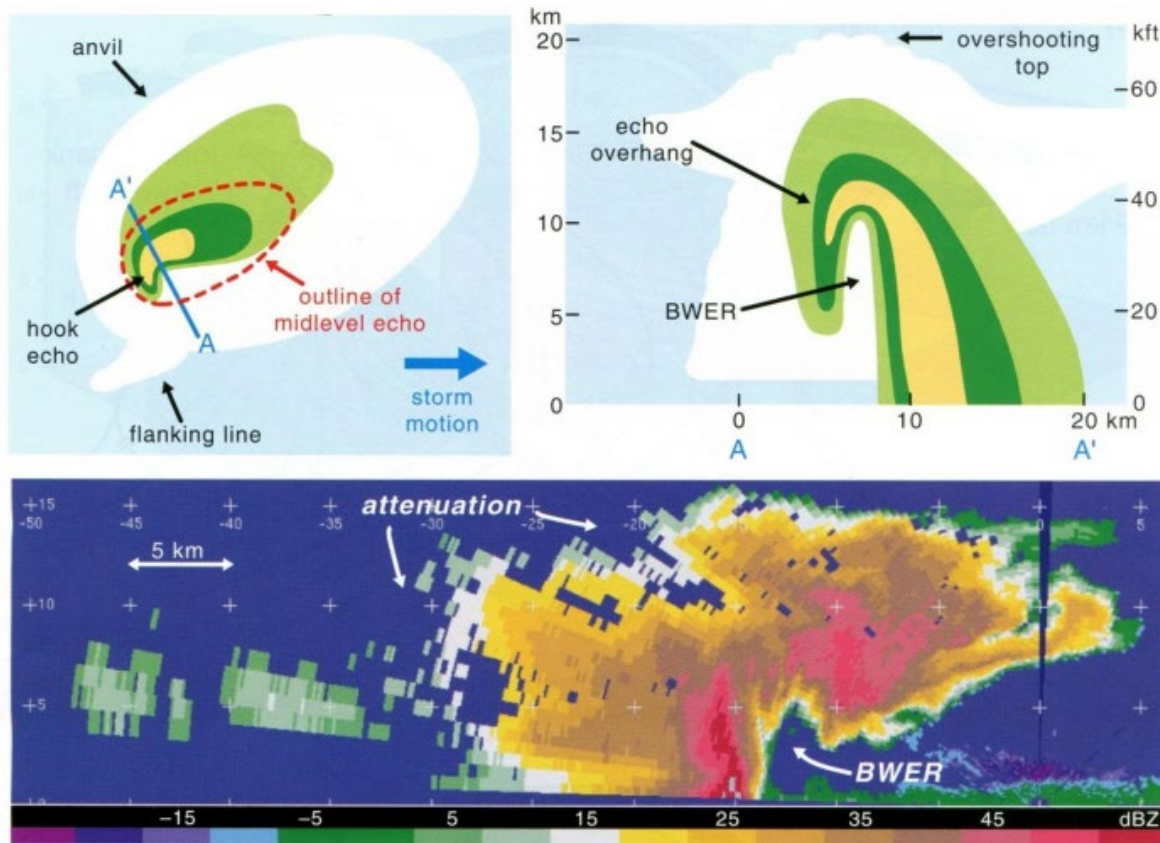
0124 UTC 14 June 1998



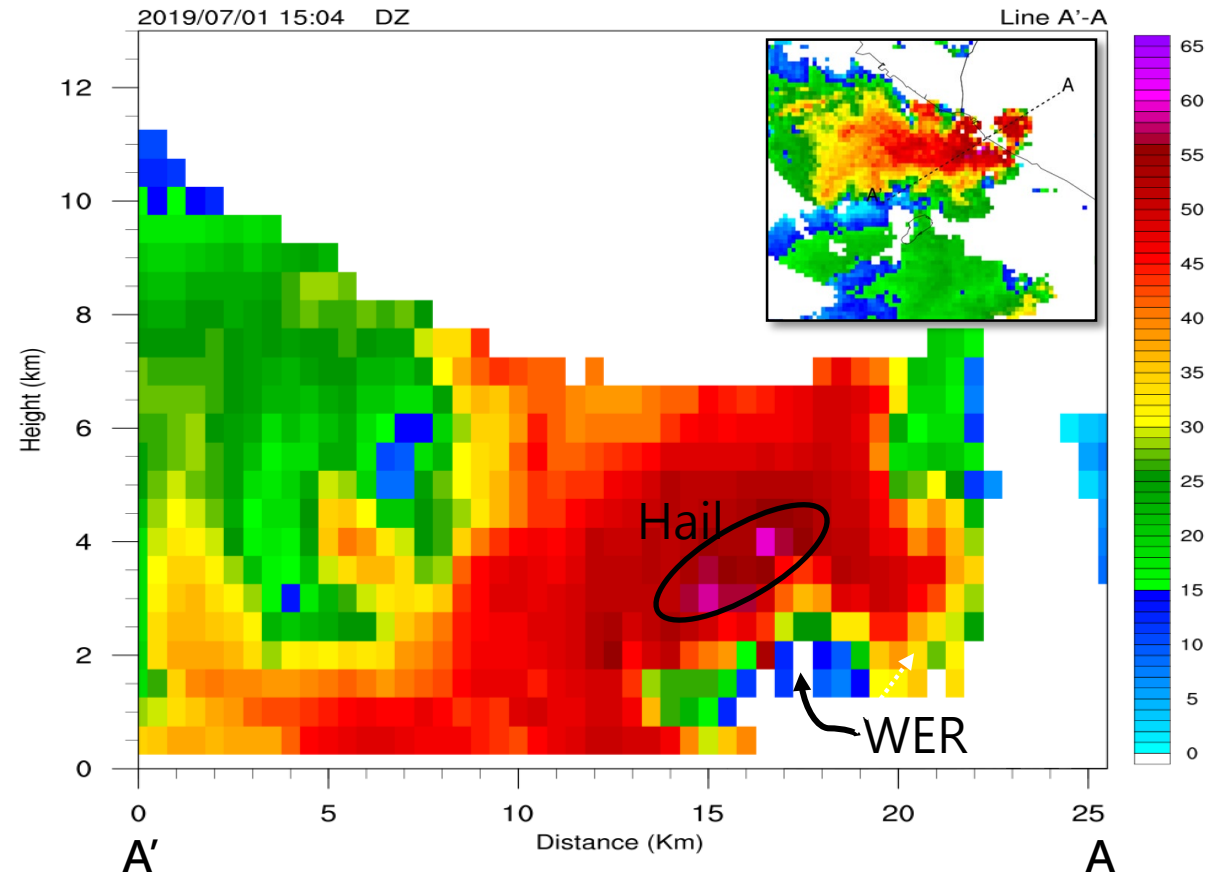
Paul Markowski and Yvette Richardson(2010)

雷達觀測特徵分析-回波垂直結構

- 超級胞龍捲在垂直結構上具有一明顯的落回波區(Weak Echo Region · WER)
- 激發屏東龍捲的對流系統同樣具有落回波區的特徵
- 屏東龍捲風亦具有冰雹(Hail)特徵，與美洲大陸超級胞龍捲結構相似

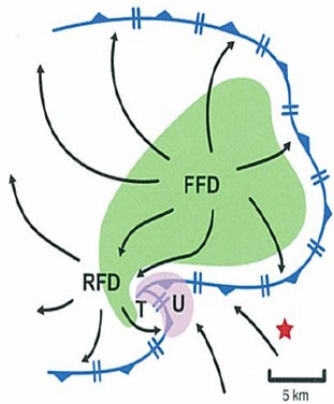


Paul Markowski and Yvette Richardson(2010)

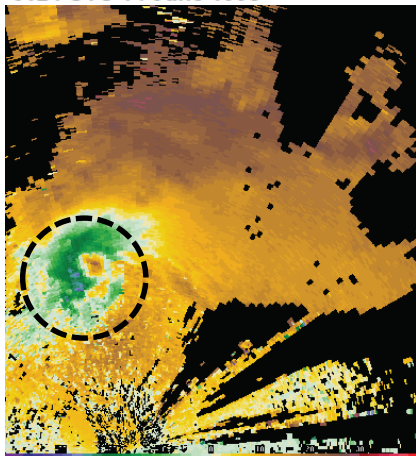


雷達觀測特徵分析-徑向風場

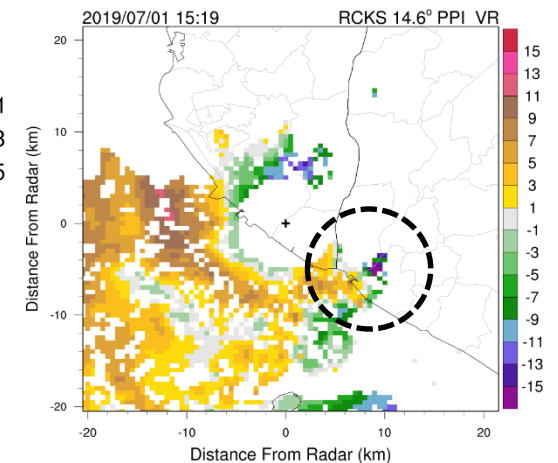
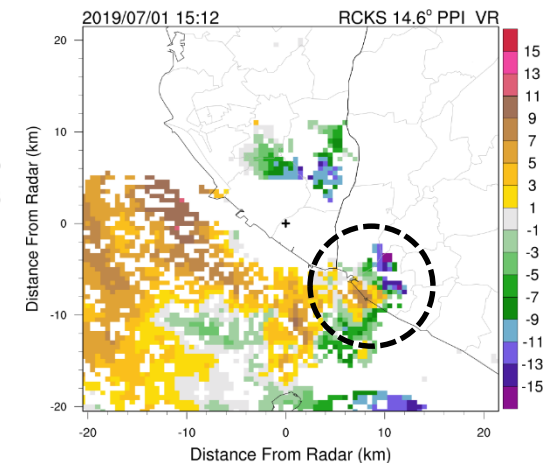
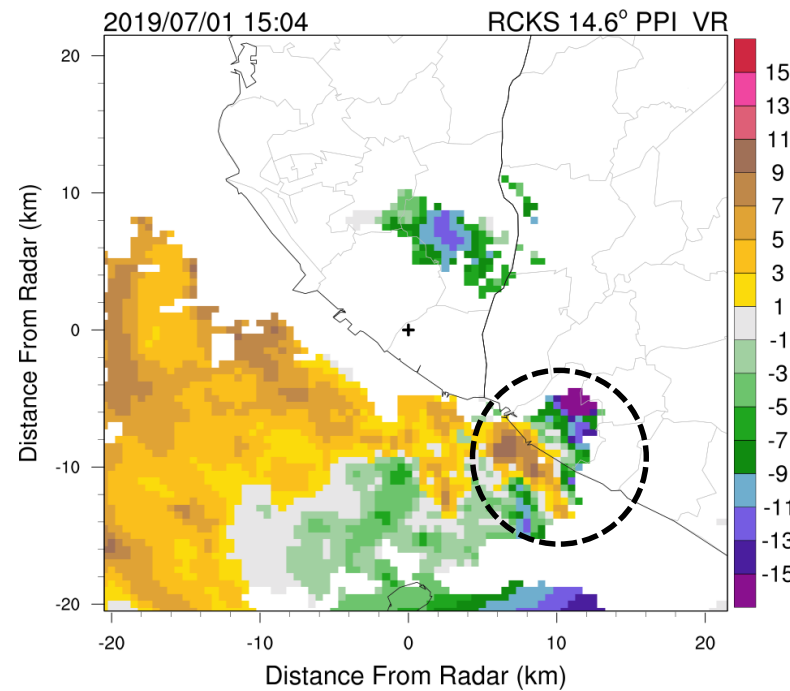
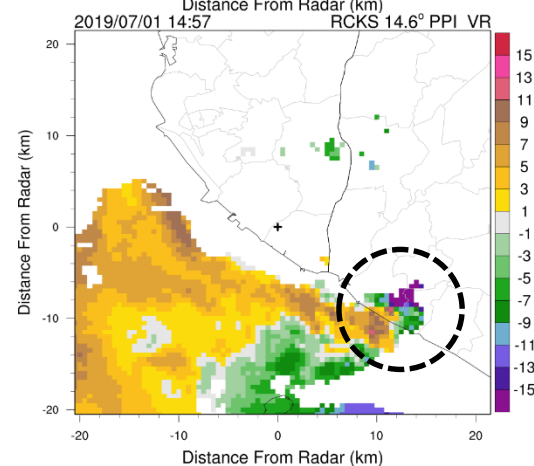
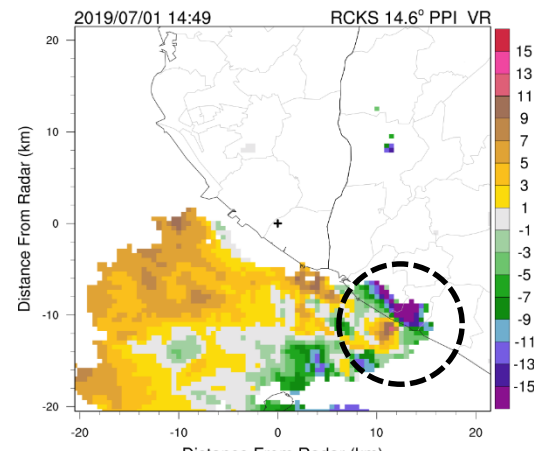
- 激發屏東龍捲風的對流系統亦存在明顯的中層中尺度渦旋，徑向風場(Vr) 出現明顯氣旋式雙極化 (dipole)特徵



0124 UTC 14 June 1998



Paul Markowski and Yvette Richardson(2010)

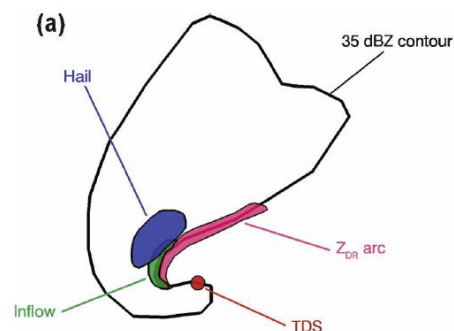


雙偏極化雷達觀測特徵分析

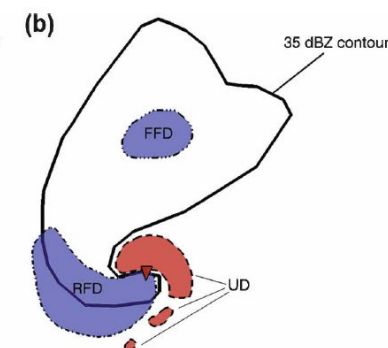
- Kumjian and Ryzhkov (2008)針對美洲大陸18 個超級胞個案(11個有激發龍捲), 進行超級胞雙極化雷達觀測下的參數特徵分析
- 低層雙極化參數特徵：龍捲風沙塵特徵(Tornado Debris Flow, TDS)、弧形差異反射率(Z_{DR} Arc)
- 中層雙極化參數特徵：弱回波區(WER)、柱狀差異反射率(Z_{DR} Column)、柱狀比差異相位差(K_{DP} Column)、環形差異反射率(Z_{DR} Ring)、環形相關係數(ρ_{HV} Ring)
- 雙偏極化雷達觀測特徵與超級胞的垂直運動結構及水象粒子在垂直運動中的微物理過程有關

Date	T/N	Time of observation (UTC)
8 May 2003	T	2145–2329
7–8 May 2003	N	0358–0555
10 May 2003	T	0120–0457
19–20 May 2003	N	2303–0107
26–27 May 2004	N	2236–0038
29–30 May 2004	T	2159–0630
10 Nov 2004	T	2208–0018
10–11 Apr 2005a	T	2247–0207
10–11 Apr 2005b	N	0039–0207
19 Aug 2005 ⁺	T	1740
13 Sep 2005	N	0044–0209
15 Nov 2006*	N	1803
1 Mar 2007*	T	1824–1932
29 Mar 2007	T	2047–2125
10 Apr 2007	N	2257–0053
7 May 2007	T	0201–0247
9 May 2007	T	0002–0126
9 May 2007	T	0358–0502

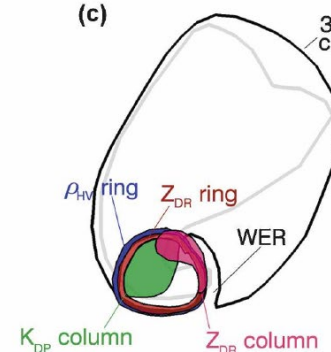
低層雙極化參數特徵



垂直運動速度分布



(c)

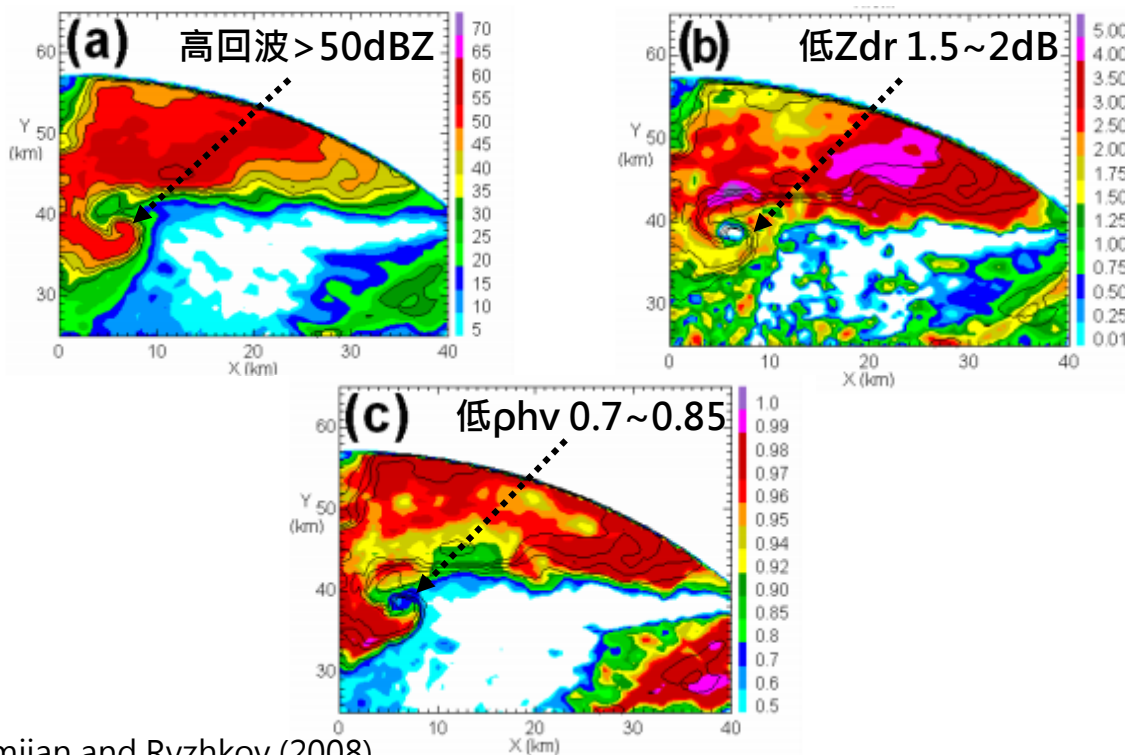


中層雙極化參數特徵

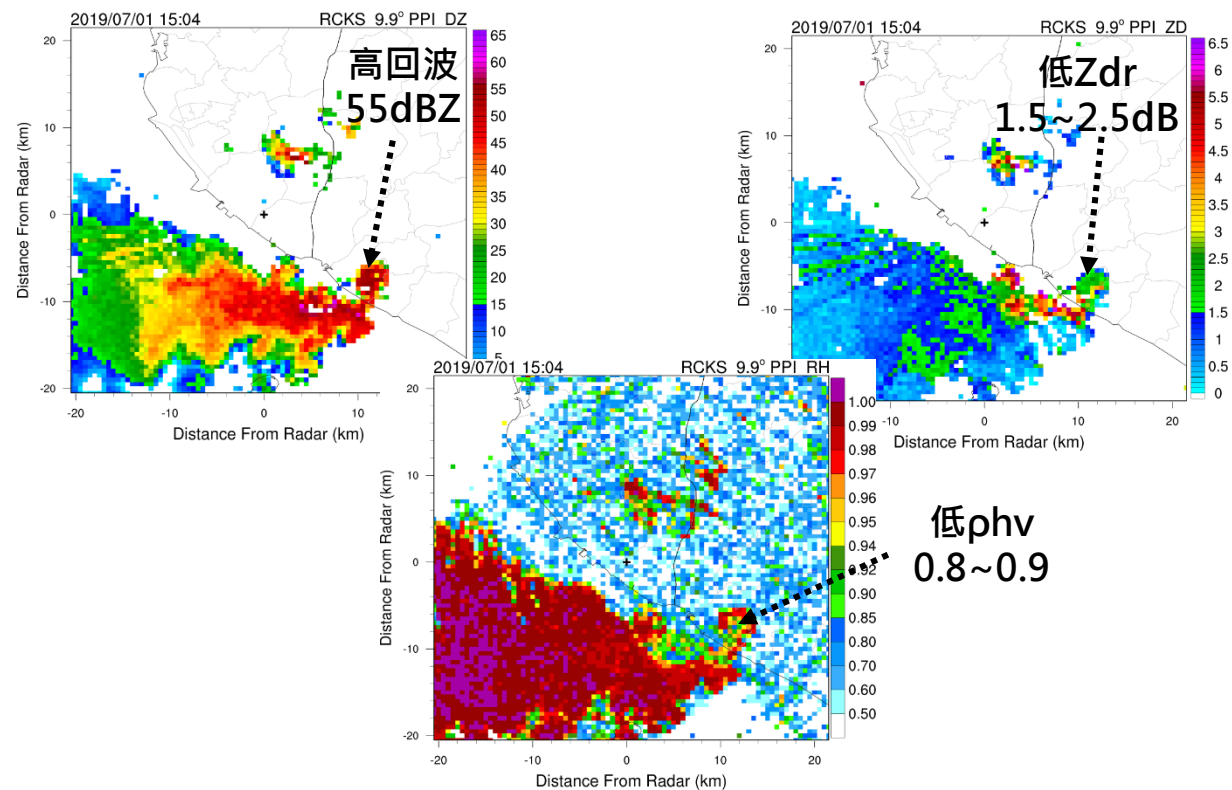
雙偏極化雷達觀測特徵分析-龍捲風沙塵特徵(TDS)

- 龍捲風沙塵特徵(TDS)是超級胞龍捲特有的雙偏極化雷達觀測特徵
- 龍捲風沙塵特徵(TDS)，因龍捲風捲起不同大小、形狀物體，導致在勾狀區域有**高回波**、**低Zdr**及**低phv**的現象
- TDS必須龍捲在雷達近距離發生才能觀測到，若距離遠易因雷達觀測體積變大，而無法解析

美洲大陸超級胞龍捲

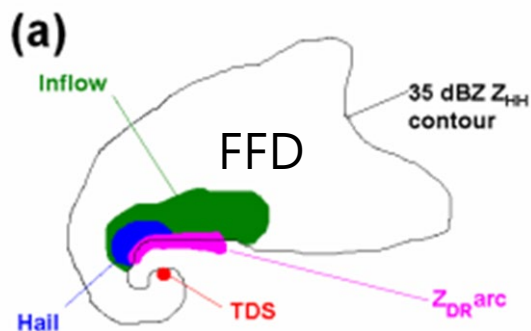


屏東林邊龍捲

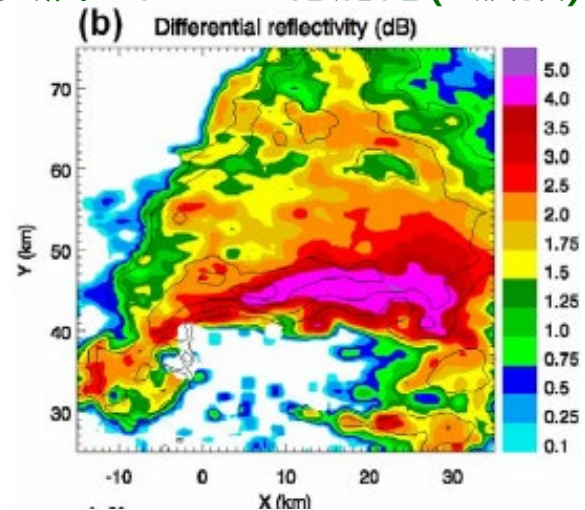


雙偏極化雷達觀測特徵分析-弧形差異反射率(Zdr Arc)

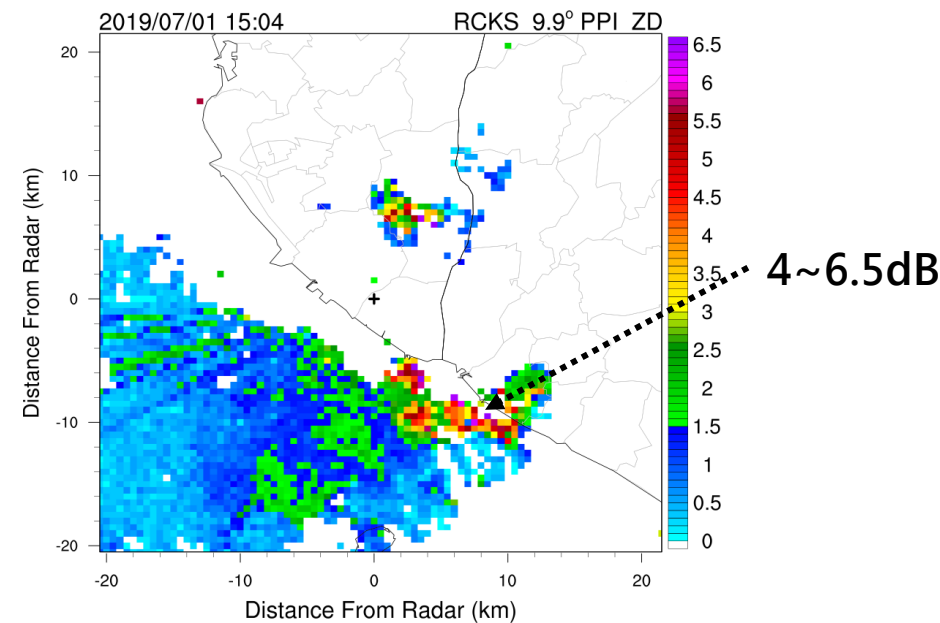
- 雙偏極化雷達在觀測超級胞最顯著的低層特徵，不論超級胞是否有激發龍捲都存在此特徵
- 通常出現在FFD的南側或勾狀回波的對側，與回波梯度大位置重疊
- 形成機制與上下衝流及強風切環境造成的水象粒子掏選(Size Sorting)有關
- 水象粒子掏選(Size Sorting)：小粒子因終端速度小，易被上下衝流帶到較遠處，大粒子終端速度大，則反之，導致出現Zdr Arc特徵
- Zdr Arc 值：S波段4-5dB、C波段>6dB



美洲大陸超級胞龍捲(S波段)



屏東林邊龍捲(C波段)

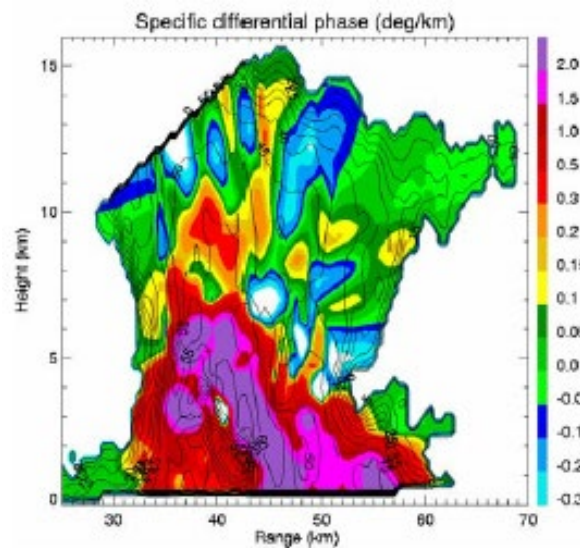
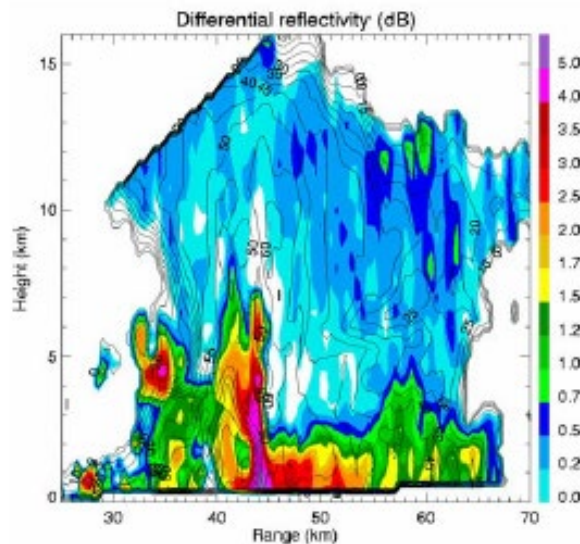


雙偏極化雷達觀測特徵分析-柱狀差異反射率、比差異相位差 (Zdr & Kdp Column)

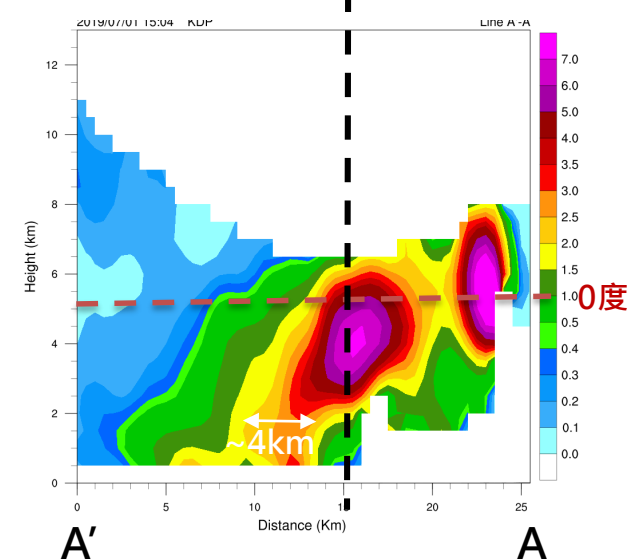
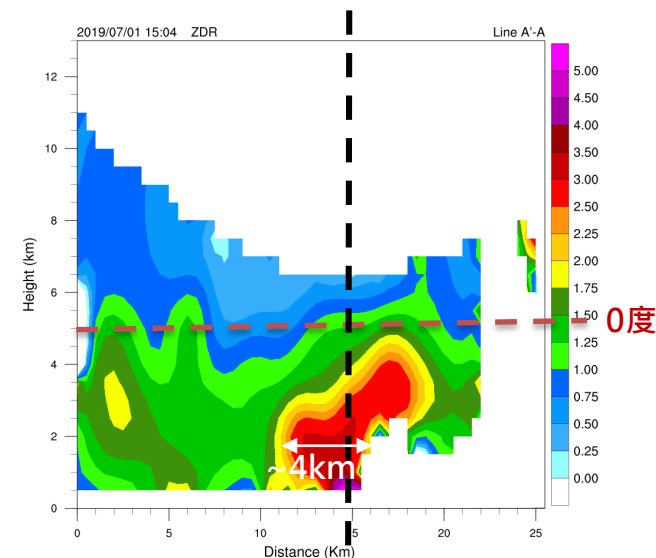
■ 根據Caylor and Illingworth(1987)、Conway and Zrnić(1993)、Brandes et al (1995)研究：

1. 劇烈對流系統都可觀測到Zdr 跟 Kdp Column 的特徵，但超級胞的柱狀寬度較窄，約4~8km寬
2. Zdr 跟 Kdp Column 的形成與強上升氣流 (updraft)有關，且柱狀的發展高度會達到溶解層(Melting Level)以上
3. 超級胞達成熟期間，柱狀特徵呈現傾斜，且 Kdp柱略微位於Zdr柱的西側(upshear)

美洲大陸超級胞龍捲



屏東林邊龍捲



屏東龍捲風與超級胞、迷你超級胞龍捲比較



	典型超級胞龍捲	迷你超級胞龍捲			
	Typical supercells over Great Plains	Mini supercells associated with T9019	Supercellular storms associated with Danny	2015年 7月20日 台南新化龍捲風	2019年 7月1日 屏東林邊龍捲風
Morphology	Hook echo, BWER, WER	Hook echo, BWER, WER	Hook echo, wall cloud	Hook echo, WER	Hook echo, WER, TDS, Zdr Arc, Zdr Column, Kdp Column
Storm's Life Time	Several hours	3 h in average	Long life	15 mins	~20mins
Horizontal of MC	5.7 km (an average)	1–4 km	Unknown	3~4km	4~5KM
Vertical scale of MC	Deep (; $\frac{2}{3}$ of storm depth)	Lower than 5 km	Unknown	3.5km	~4km
Height of initial MC	5 km	2–3 km	Unknown	Unknown	Unknown
Storm motion relative to mean wind	Rightward deviation and slower movement	Little rightward deviation and slower movement	Little rightward deviation and slower movement	偏向平均風方向右側移動	偏向平均風方向右側移動
Ehco Top Height	Higher than 10 km	Lower than 10 km	Lower than 10 km	低於10公里高	7KM*
Hodograph	Strong deep vertical wind shear with curvature	Strong vertical wind shear with curvature below a few km AGL	Strong vertical wind shear with curvature below a few km AGL	500hPa 以下有垂直風切，風向隨高度順轉	500hPa 以下有垂直風切，風向隨高度順轉
CAPE (J/kg)	2542 (average for Oklahoma storms)	1600	1984	3.84	493
Storm relative helicity (m ² s ⁻²)	Medians are 278, 330, and 531 for F0–F1, F2–F3, and F4–F5 tornadoes	310	263	56.66	32.6
BRN	10~50	10	24	unknown	7

總結

- 2019年7月1日午後，屏東林邊鄉發生龍捲風，本次事件應是台灣首例雙偏極化雷達(林園雷達)觀測之(陸)龍捲事件
- 本研究使用網路攀爬技術，針對災情照片進行收集、定位，初判本次龍捲是由東南向西北(向左側)移動
- 綜觀環境分析：對流可用位能 493J/kg 、風暴相對螺旋度(SREH) $32.6\text{m}^2/\text{s}^2$ 、500hpa以下有垂直風切且隨高度順轉、風暴移動方向偏向平均風右側
- 雷達觀測特徵分析發現與超級胞龍捲相似特徵：勾狀回波(Hook Echo)、弱回波區(WER)、龍捲風沙塵特徵(TDS)、弧形差異反射率(Zdr Arc)、柱狀差異反射率(Zdr Column)、柱狀比差異相位差(Kdp Column)
- 綜合綜觀環境與雷達觀測特徵分析結果，並與Suzuki et.al (2000)、張與劉(2016)研究進行比對，研判本次屏東林邊龍捲風也是由迷你超級胞(mini supercell)所激發