

# 蘭嶼機場於顯著東北風情況下之 氣流特性分析



臺北航空氣象中心

吳孟軒、郭家利、林悅祺、黃建翔、宋恩承

# 大綱

- 前言
- 資料來源與觀測資料介紹
- 分析方法與理論
- 分析結果
- 結論



# 前言

機場地理位置  
東北風時氣流  
不穩定  
[1~3]



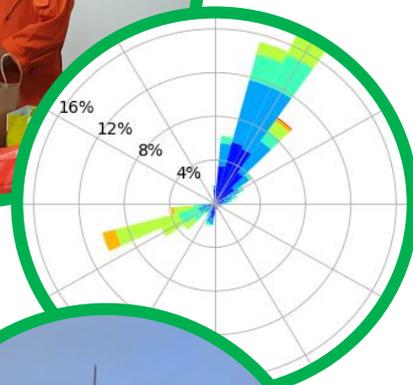
107年  
NA-706  
事故



108年空勤與氣象  
中心交流成果



「蘭嶼機場與蘭嶼氣象測  
站之風場資料分析」報告



110-111年進行  
本研究案



# 前言



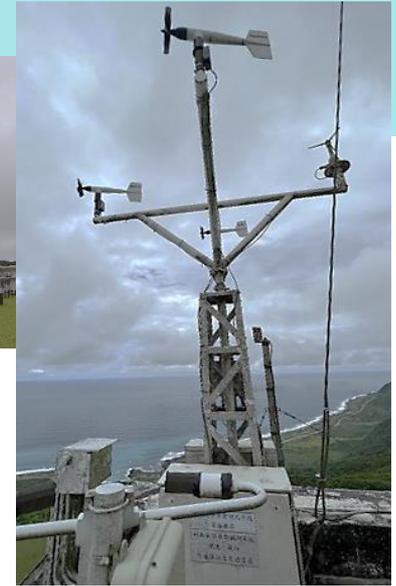
臺北航空氣象中心  
TAIPEI AERONAUTICAL METEOROLOGICAL CENTER

**EDR：渦流消散率的立方根**

# 資料來源與觀測資料介紹

資料來源	資料地點	資料型態	解析度	時間
中央氣象局	蘭嶼	10分鐘平均	1分鐘	2018/10/15 00:00:00UTC 至 2022/3/31 23:59:59UTC
	蘭嶼高中	10分鐘平均	10分鐘	
	蘭嶼燈塔	10分鐘平均	10分鐘	
飛航服務總臺 蘭嶼機場 AWOS	蘭嶼機場R13	瞬間	1秒	2022/3/31 23:59:59UTC
	蘭嶼機場R31	瞬間	1秒	





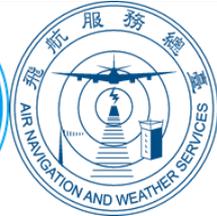
R31 風力塔



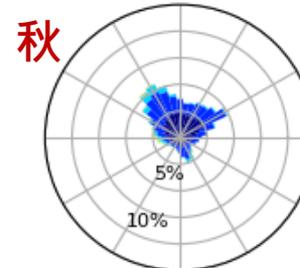
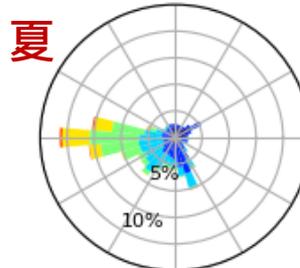
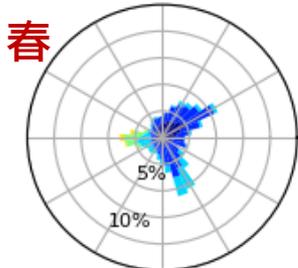
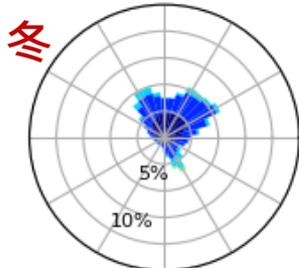
R13 風力塔



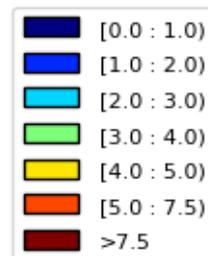
R13 風力塔



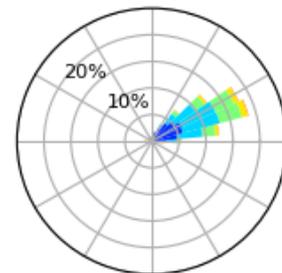
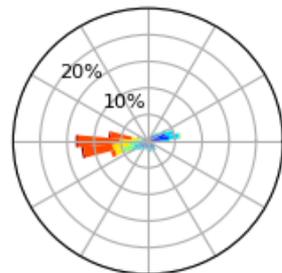
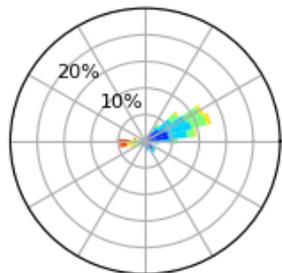
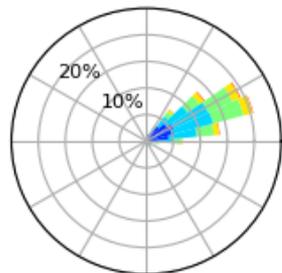
# 機場R13



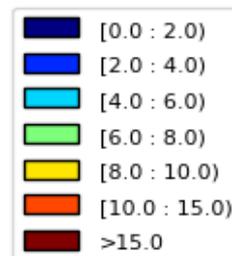
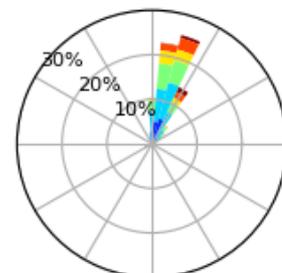
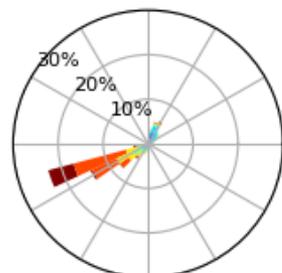
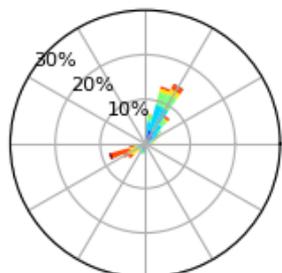
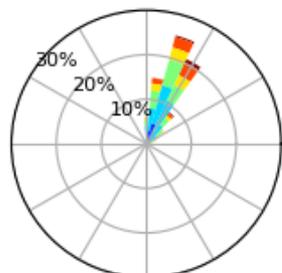
單位：m/s



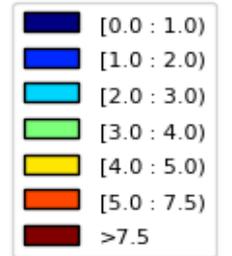
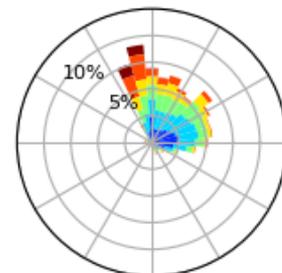
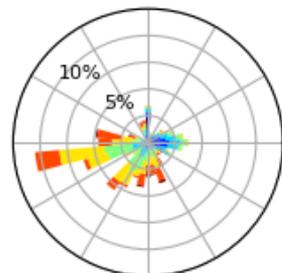
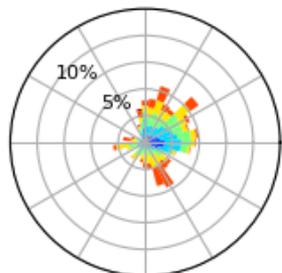
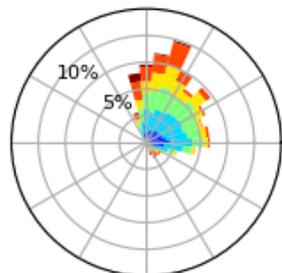
# 機場R31



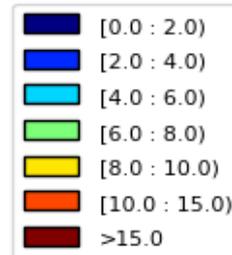
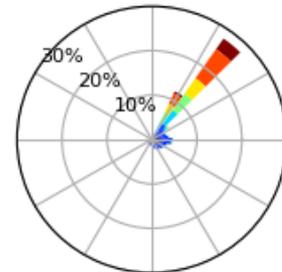
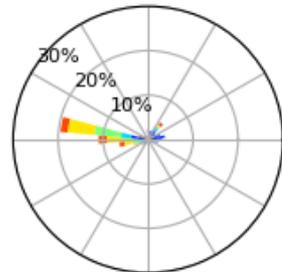
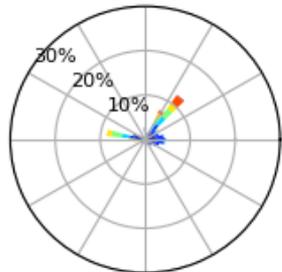
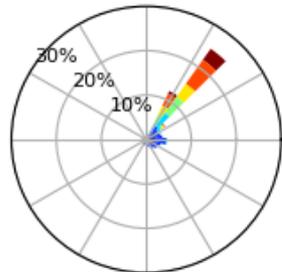
# 蘭嶼氣象站 (環境風場)



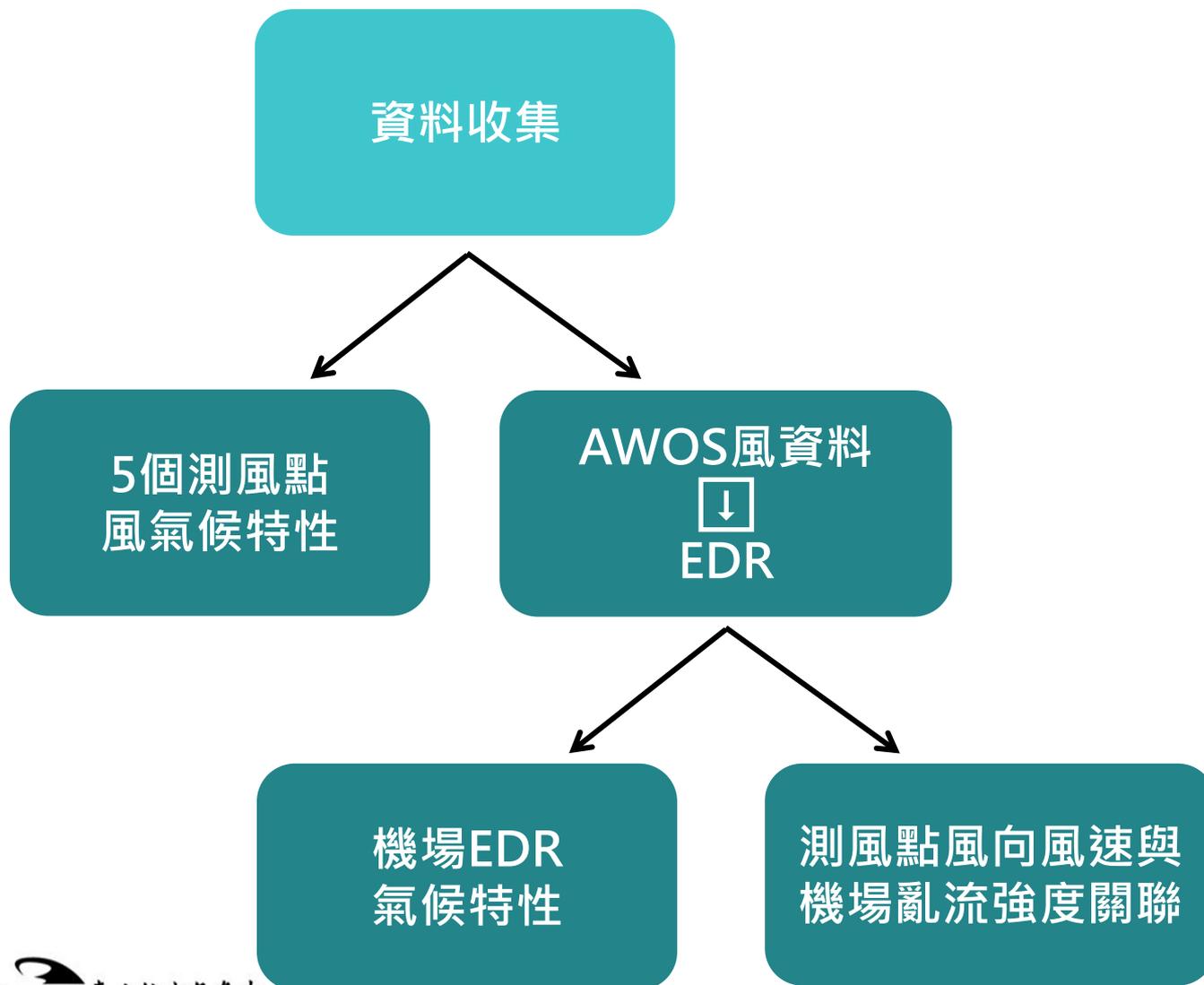
# 蘭嶼高中站



# 蘭嶼燈塔站



# 分析方法與理論



# 分析方法與理論—ICAO的EDR定義 [3, 4]

$$\text{EDR} = \sqrt[3]{\varepsilon}, \varepsilon = C \frac{E^{\frac{3}{2}}}{L_E}$$

$\varepsilon$ : eddy dissipation rate

$E$ : eddy kinetic energy

$L_E$ : length scale of eddy



# 分析方法與理論—觀測資料轉為EDR

## 結構函數(structure function, SF)法 [5~9]

$$\text{EDR} = \varepsilon^{\frac{1}{3}} = U^{-\frac{1}{3}} \overline{(\mathbf{C}_k \mathbf{D}_u(\tau) \cdot \tau^{-\frac{2}{3}})^{\frac{1}{2}}}$$
$$\mathbf{D}_u(\tau) = \langle [\mathbf{u}(t + \tau) - \mathbf{u}(t)]^2 \rangle$$

## 功率譜密度(power spectral density, PSD)法 [5, 10, 11]

$$\text{EDR} = \varepsilon^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{2\pi}{U}\right)^{\frac{1}{3}} \overline{\left[\frac{S_u(f) f^{\frac{5}{3}}}{C_k}\right]^{\frac{1}{2}}}$$

## 最大概似估計(maximum likelihood estimation, MLE)法 [5, 12]

$$\text{EDR} = \varepsilon^{\frac{1}{3}} = \left[\frac{1}{p_2 - p_1 + 1} \sum_{f_1}^{f_2} \frac{S(f)}{Q(f)}\right]^{\frac{1}{2}}$$
$$Q(f) = \frac{2\pi}{U} \frac{9}{55} \alpha \varepsilon_V^{\frac{2}{3}} [L^{-2} + \left(\frac{2\pi}{U}\right)^2 f^2]^{-\frac{5}{6}}$$



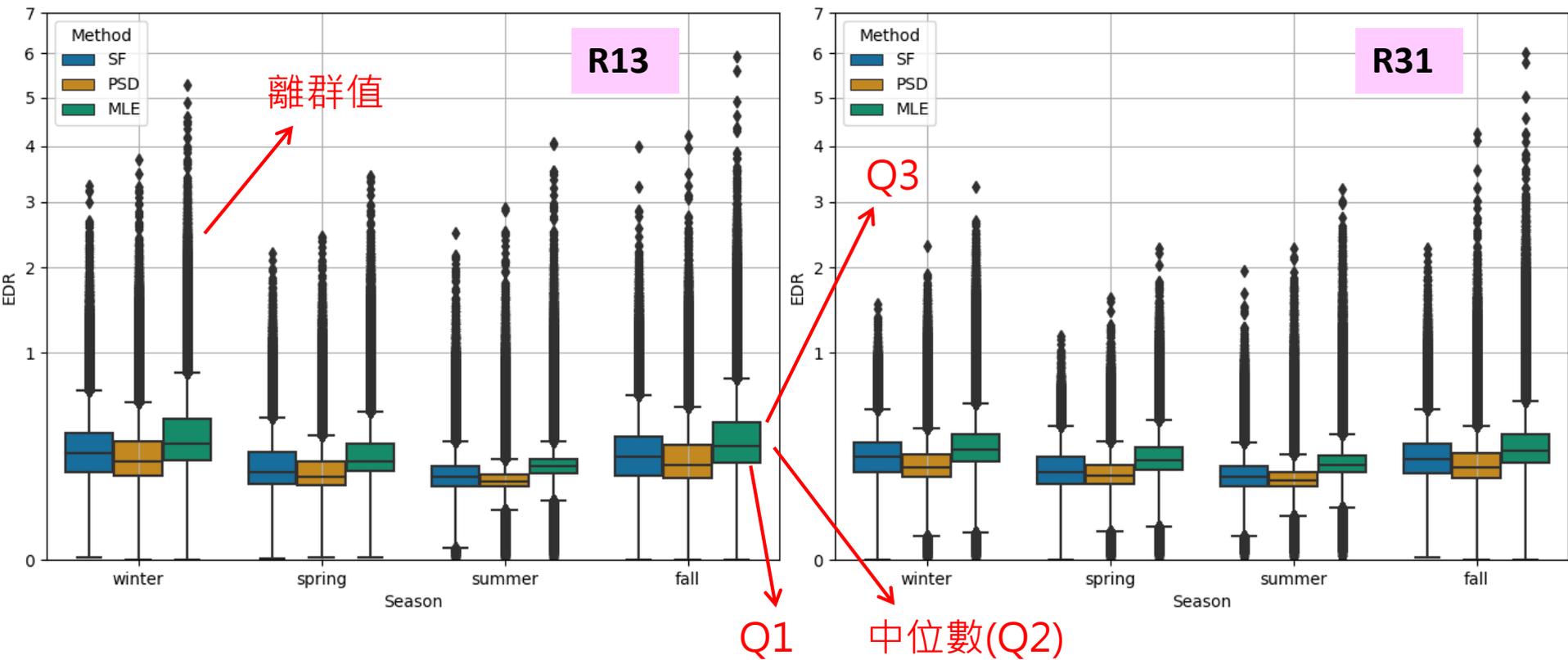
# 分析方法與理論—ICAO建議的亂流強度 [1,4]

亂流強度	EDR極值
強烈(severe)	$EDR \geq 0.45$
中度(moderate)	$0.45 > EDR \geq 0.2$
輕度(light)	$0.2 > EDR > 0.1$
無亂流(nil)	$EDR \leq 0.1$

EDR值與感受到亂流強弱間的關係，為機型、航空器質量、高度、構型、空速的函數。上述的EDR值僅描述中等大小運輸航空器在一般航路條件下(高度、空速、重量)感受到亂流的劇烈程度。



# 分析結果—機場EDR的氣候特性



#Q1、Q2、Q3：秋冬>春夏  
 #夏季四分衛距最小  
 #MLE法估算之EDR偏高，變化也大



# 分析結果—機場EDR的氣候特性

R13

EDR mean

R31

EDR mean

	SF_mean	PSD_mean	MLE_mean	SF_mean	PSD_mean	MLE_mean
Winter	0.298	0.271	0.382	0.261	0.224	0.316
Spring	0.215	0.197	0.277	0.196	0.18	0.254
Summer	0.174	0.156	0.219	0.174	0.162	0.229
Fall	0.277	0.255	0.36	0.256	0.229	0.322
All	0.246	0.224	0.316	0.225	0.201	0.284

EDR standard deviation

EDR standard deviation

	SF_std	PSD_std	MLE_std	SF_std	PSD_std	MLE_std
Winter	0.159	0.162	0.228	0.112	0.103	0.145
Spring	0.118	0.113	0.16	0.085	0.073	0.103
Summer	0.079	0.069	0.097	0.071	0.069	0.098
Fall	0.152	0.153	0.216	0.119	0.122	0.172
All	0.142	0.14	0.198	0.107	0.1	0.141

平均值、標準差

#季節差異：秋冬>春夏

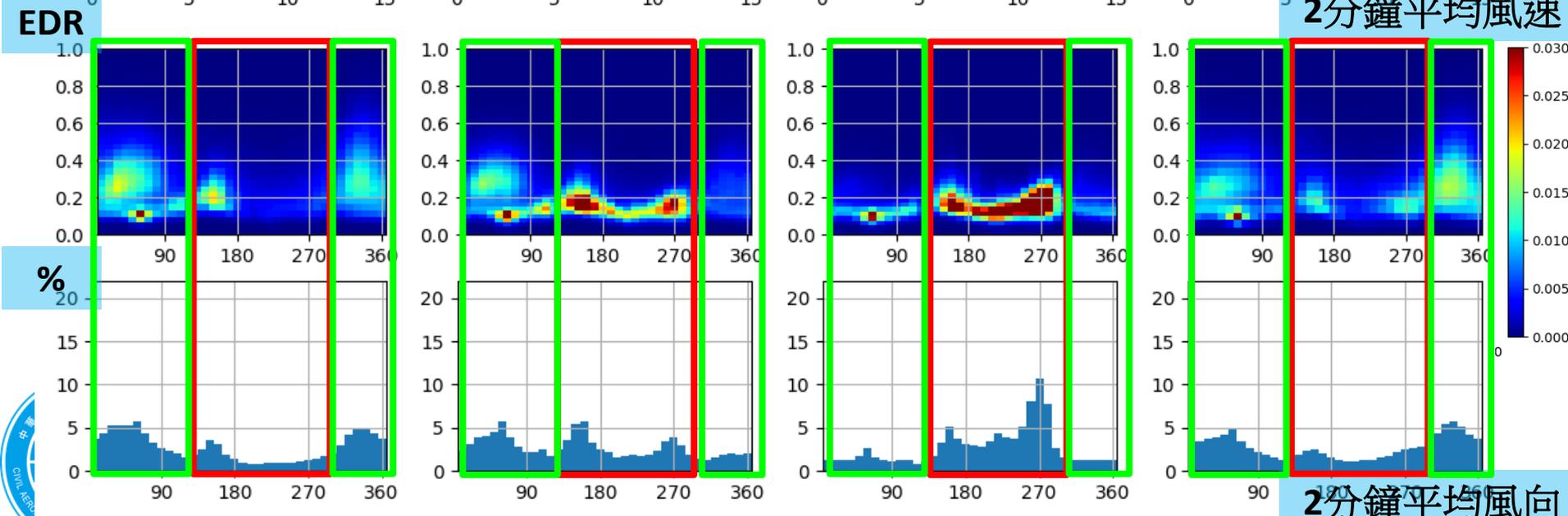
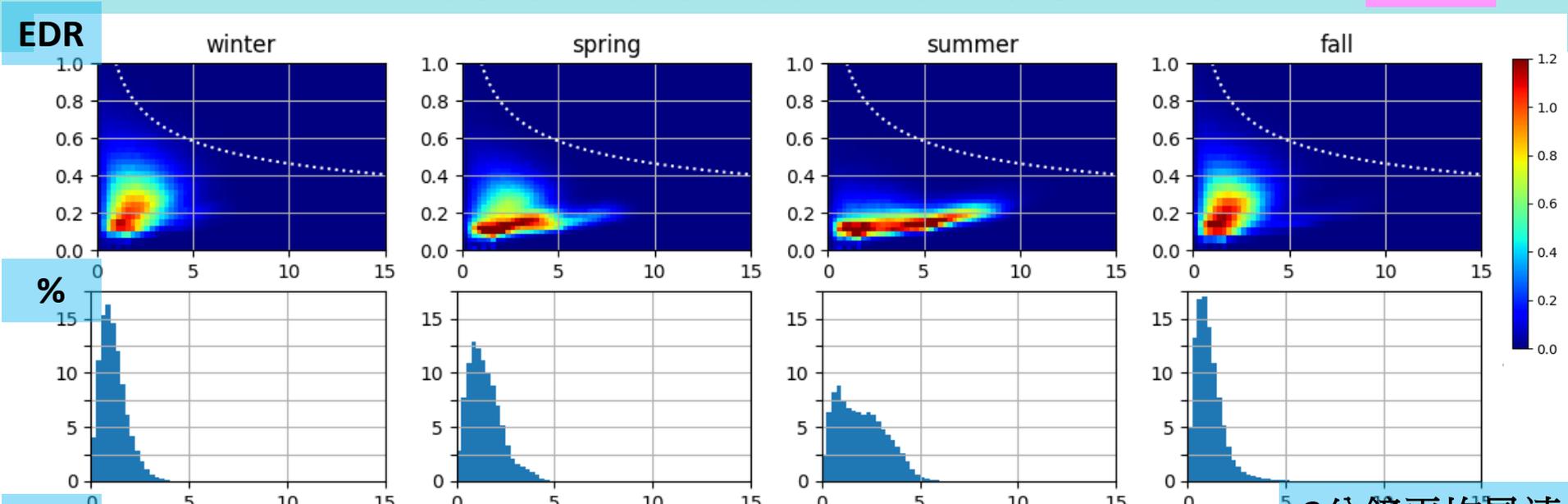
#位置差異：R13≥R31(各季節和全年)

#方法差異：MLE>SF>PSD，後續分析以SF法求出之  
EDR為重點。



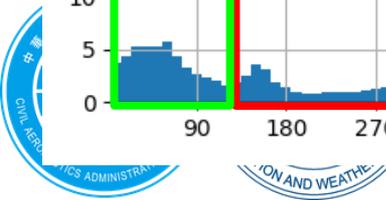
# 分析結果—機場本身的風向風速與機場EDR有關？

R13



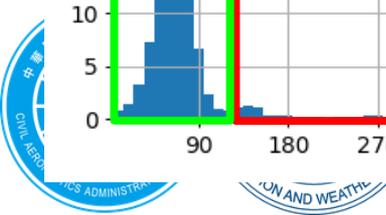
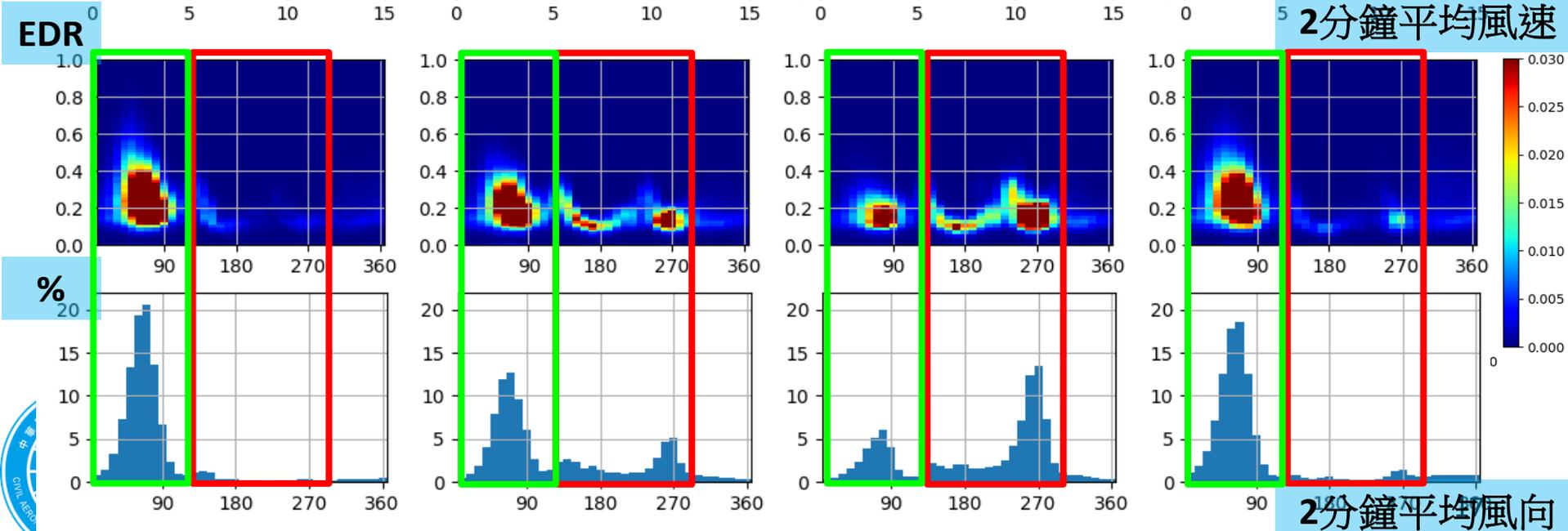
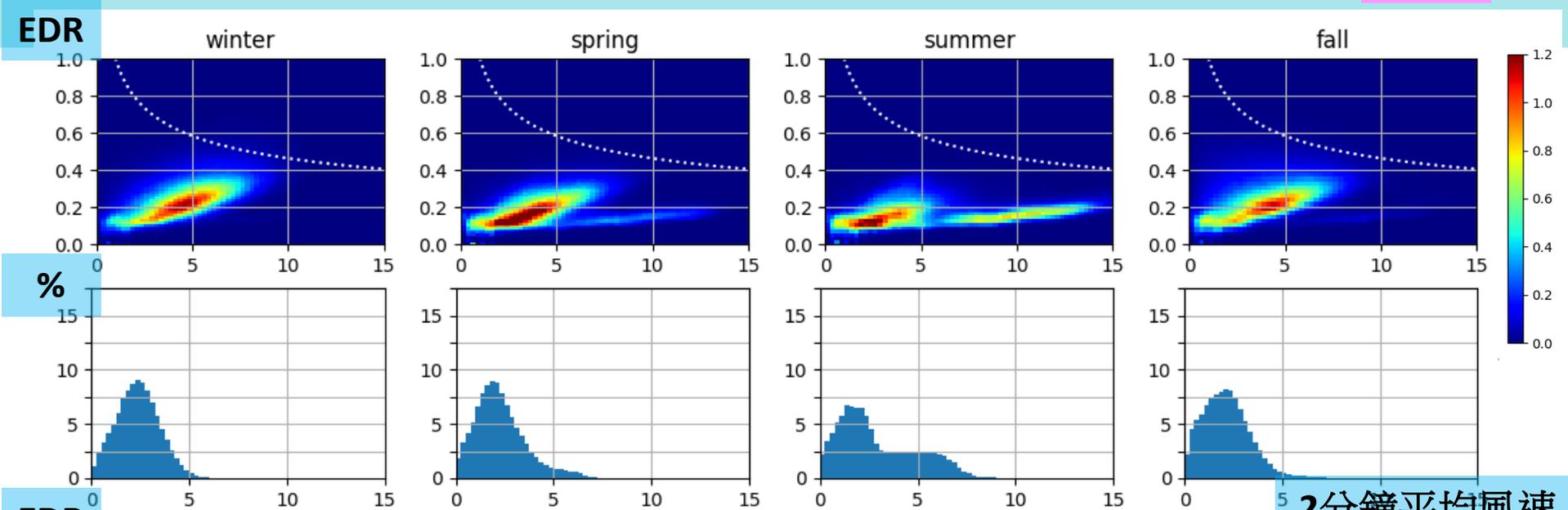
2分鐘平均風速

2分鐘平均風向



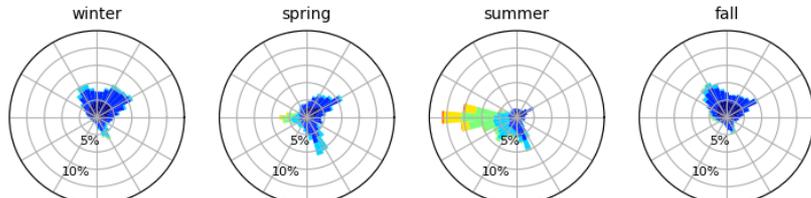
# 分析結果—機場本身的風向風速與機場EDR有關？

R31

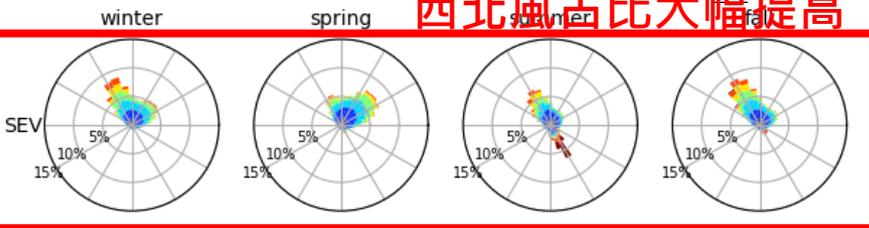


# 分析結果—不同亂流強度下風向風速分布型態

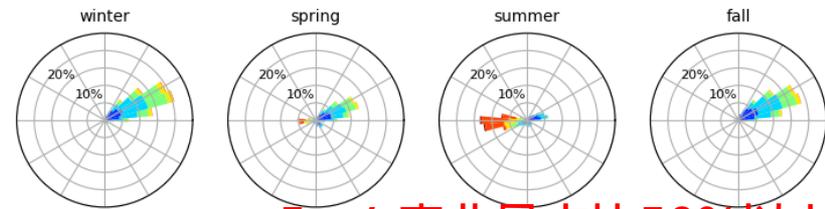
R13



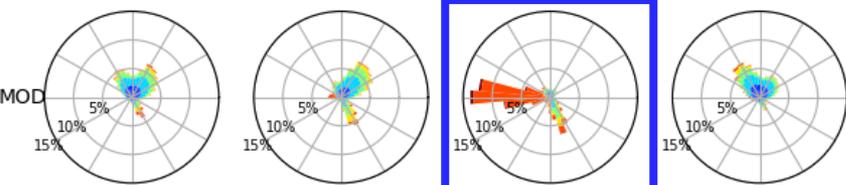
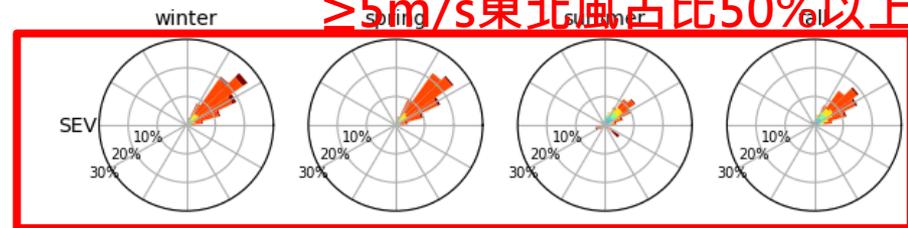
西北風占比大幅提高



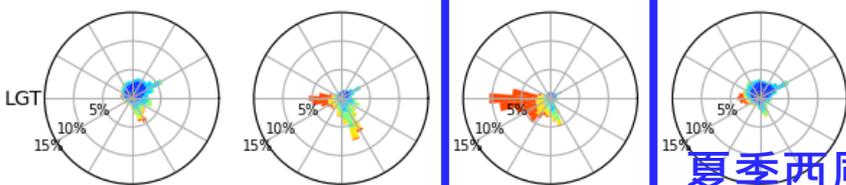
R31



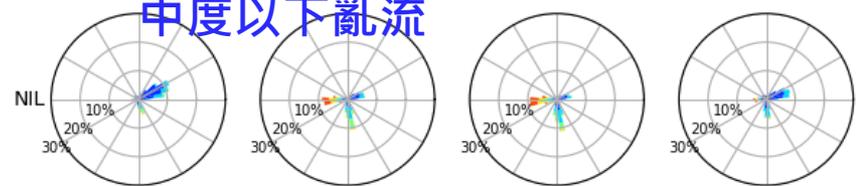
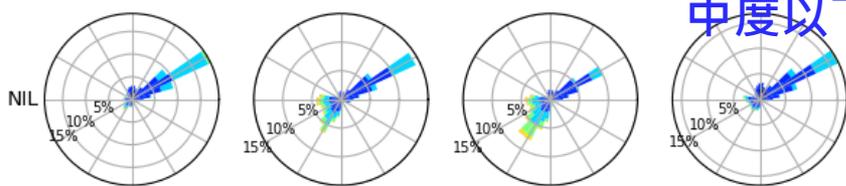
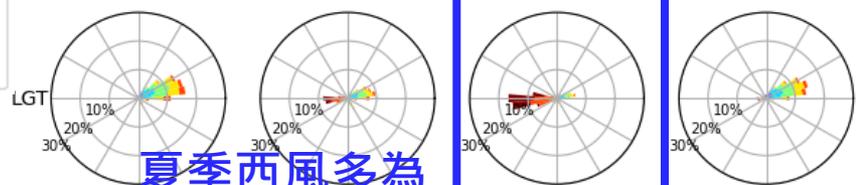
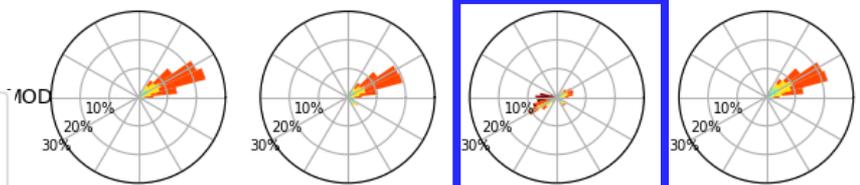
≥5m/s東北風占比50%以上



夏季西風多為  
中度以下亂流



夏季西風多為  
中度以下亂流



# 分析結果—機場本身的風向風速與機場EDR有關？

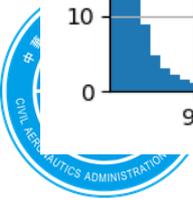
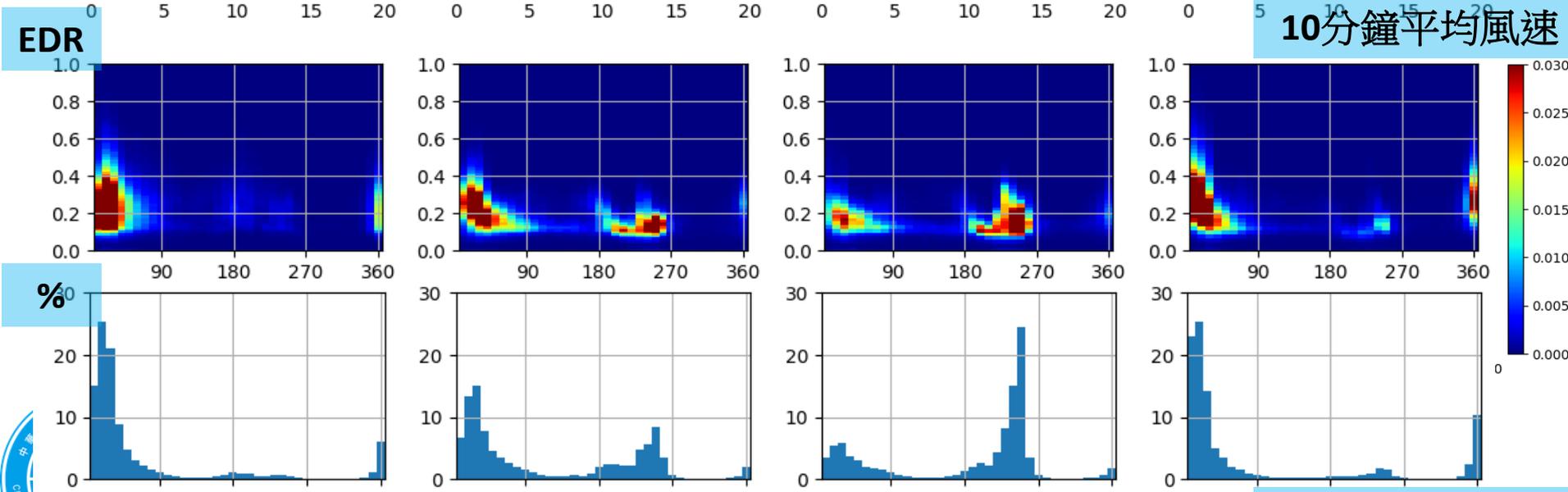
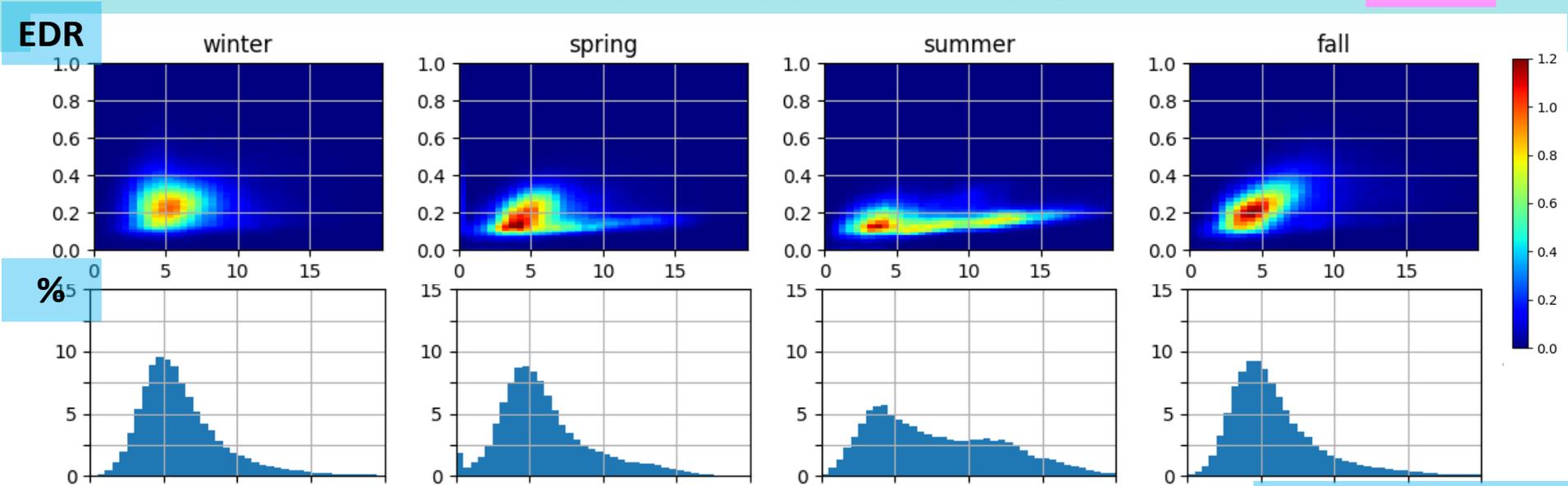
	R13 EDR	R31 EDR
R13/R31 風速	冬：大致增加 春：大致增加+緩慢增加 夏：緩慢增加 秋：大致增加	冬：增加 春：增加+緩慢增加 夏：增加+緩慢增加 秋：增加
R13/R31 風向	春秋冬季弱風速時EDR往大值 分布 秋冬季較常見風向300-100 EDR往大值分布 夏季較常見風向130-290 EDR多在0.4以下	春秋冬季較常見風向030-100 EDR往大值分布 夏季較常見風向130-290 EDR多在0.4以下
強烈亂流時 風速風向與 氣候差異	西北風比例大幅增加 春季強東北風比例提高	強東北風比例大幅提高





# 分析結果—蘭嶼氣象站風向風速與機場EDR

R31

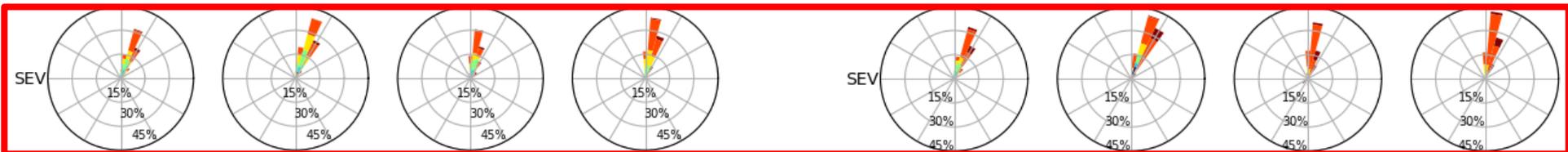
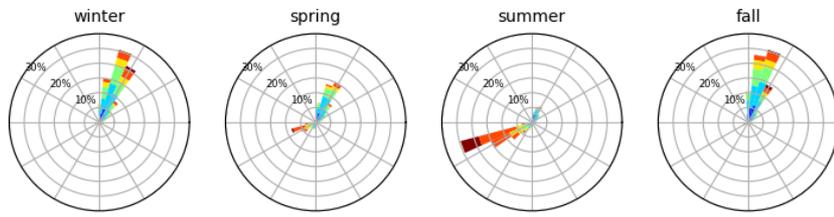
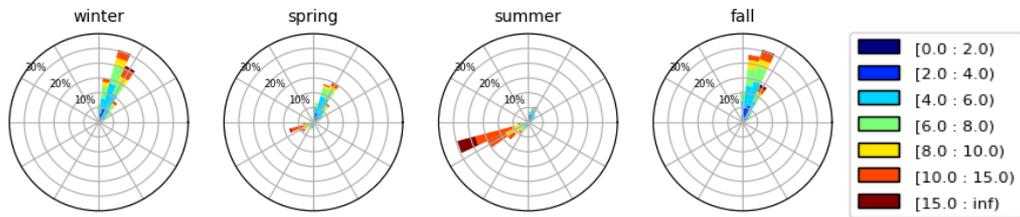


10分鐘平均風向

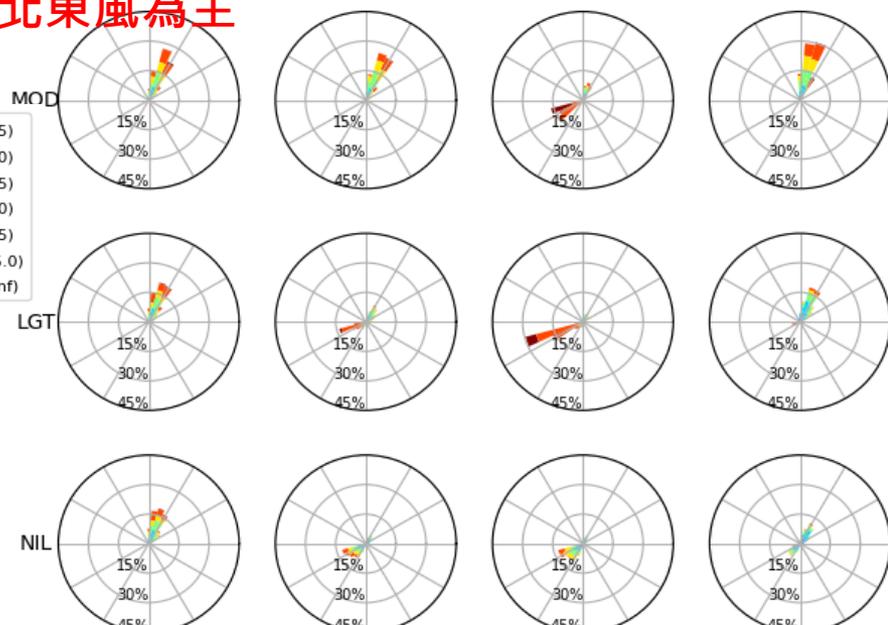
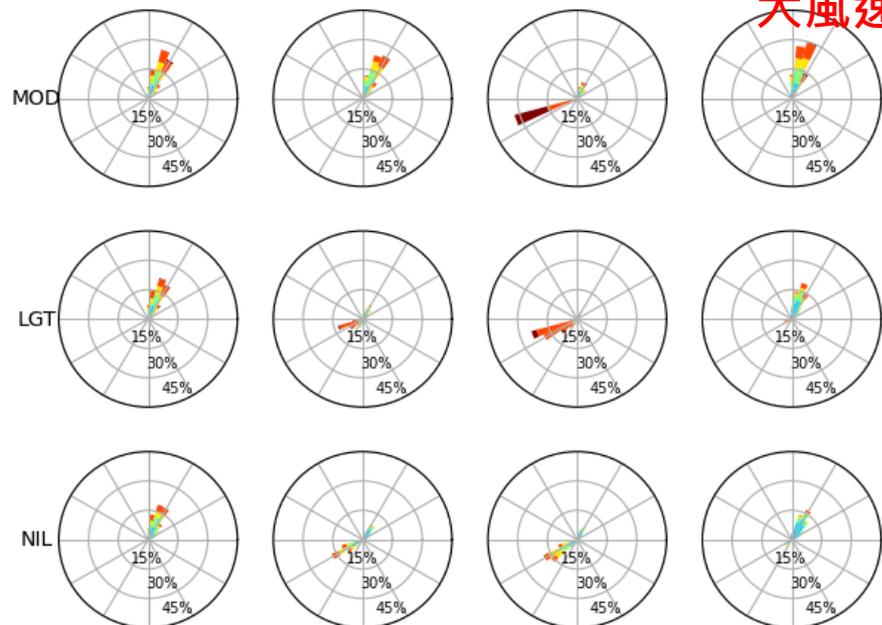
# 分析結果—不同亂流強度下風向風速分布型態

R13

R31

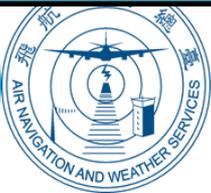


大風速北-北北東風為主



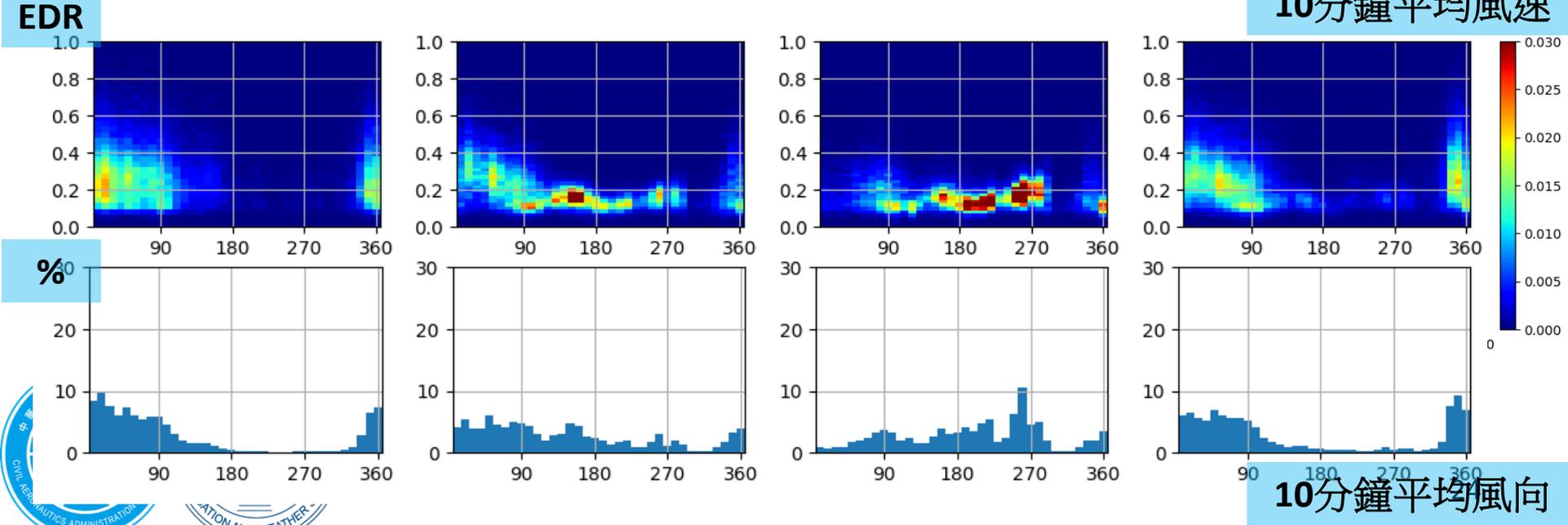
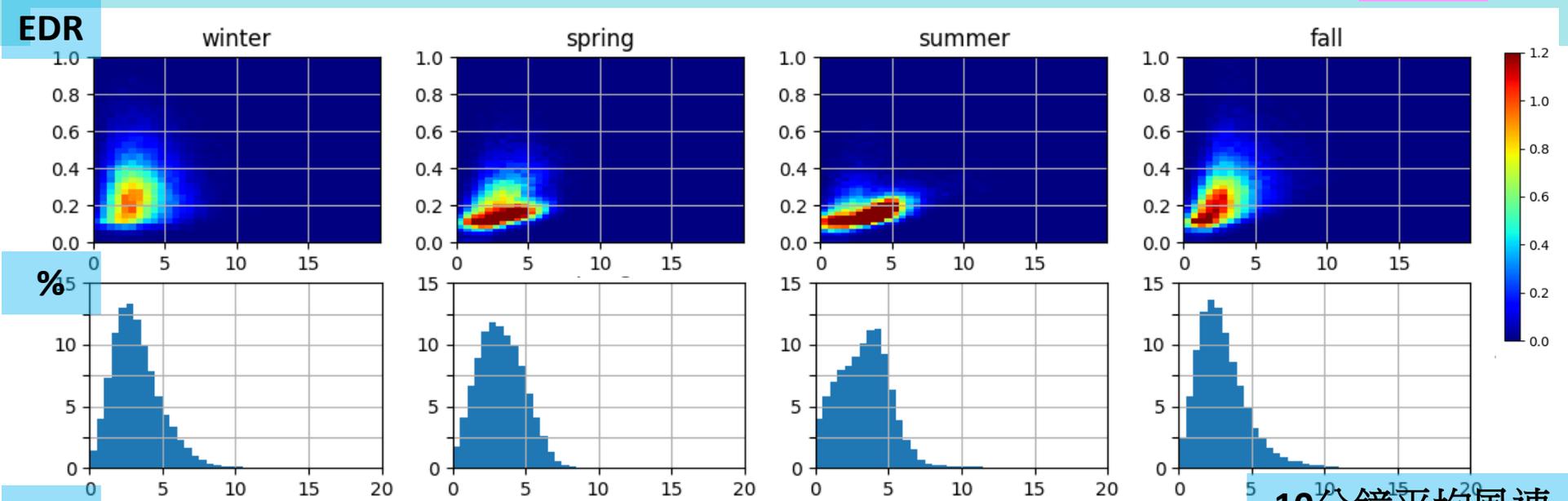
# 分析結果—蘭嶼氣象站風向風速與機場EDR

	R13 EDR	R31 EDR
蘭嶼氣象站 風速	冬：不明顯 春：增加+緩慢增加 夏：增加+緩慢增加 秋：增加	冬：不明顯 春：增加+緩慢增加 夏：增加+緩慢增加 秋：增加
蘭嶼氣象站 風向	春秋冬季風速3~10m/s時EDR 往大值分布 秋冬季較常見風向360-040 EDR往大值分布，較R31強	冬季5m/s附近以及秋季5m/s 以上往大值分布 秋冬季較常見風向360-040 EDR往大值分布
強烈亂流時 風速風向與 氣候差異	夏季較常見風向180-260 EDR多在0.4以下 大風速北-北北東風為主	夏季較常見風向180-260 EDR多在0.4以下 大風速北-北北東風為主



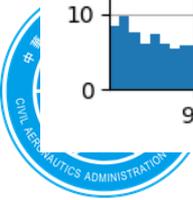
# 分析結果—蘭嶼高中測站風向風速與機場EDR

R13



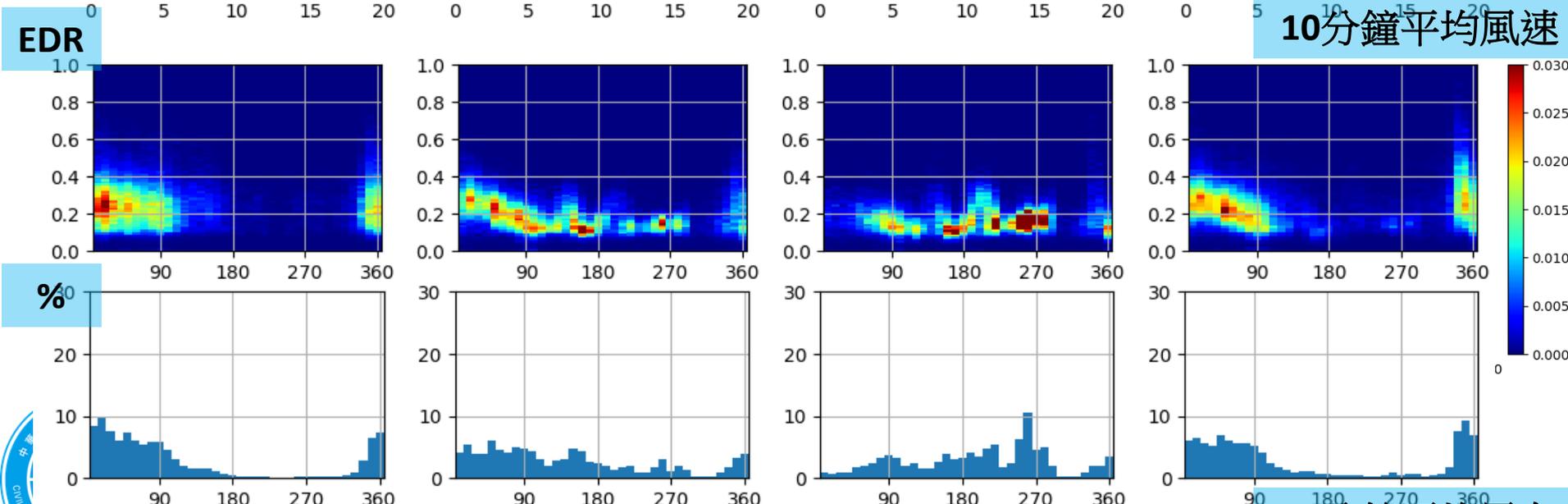
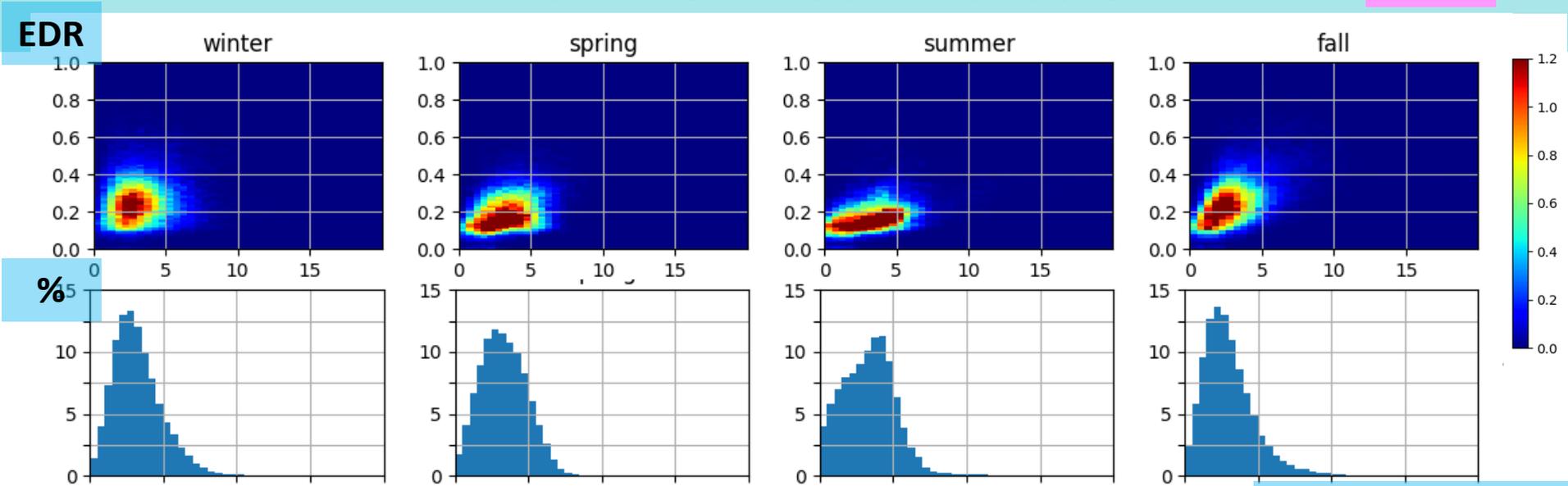
10分鐘平均風速

10分鐘平均風向



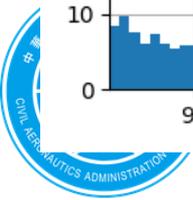
# 分析結果—蘭嶼高中測站風向風速與機場EDR

R31



10分鐘平均風速

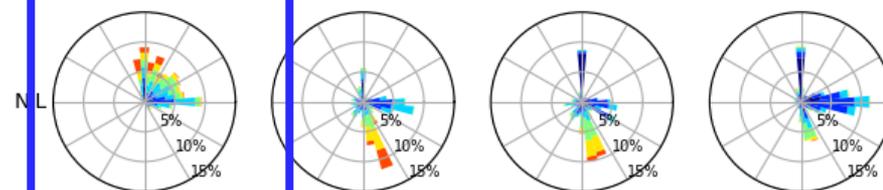
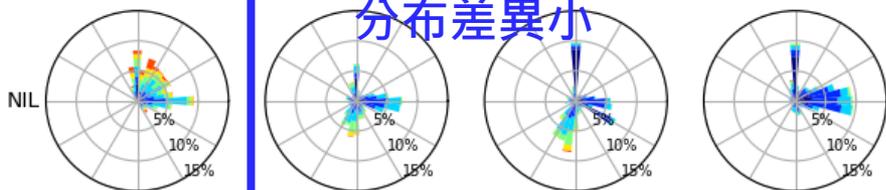
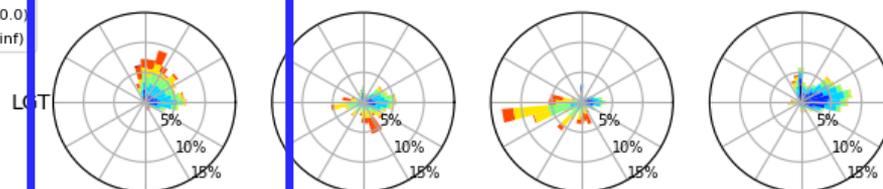
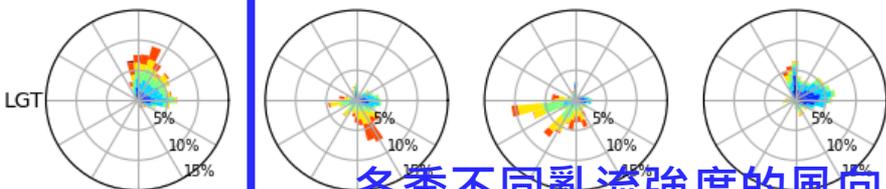
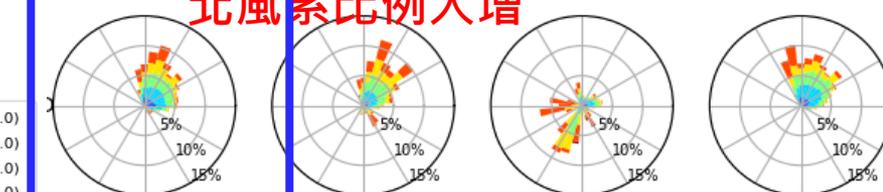
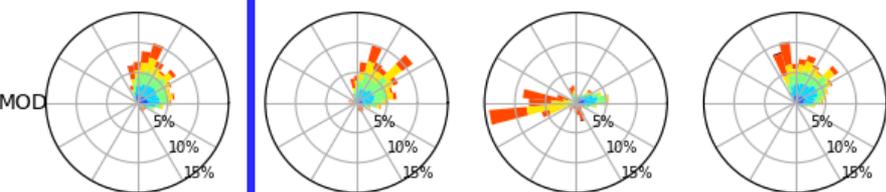
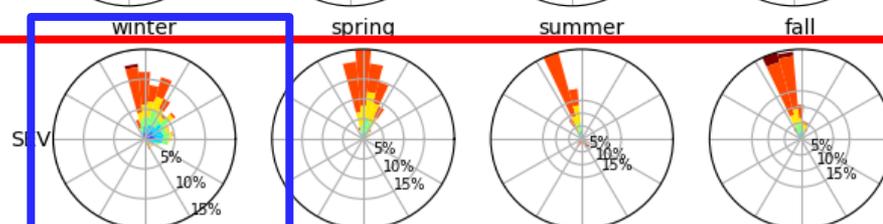
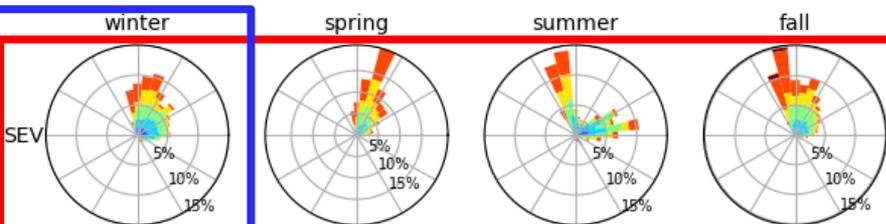
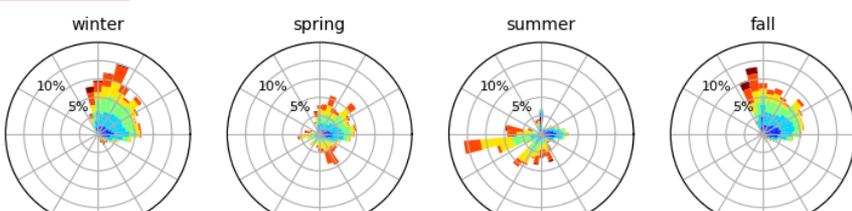
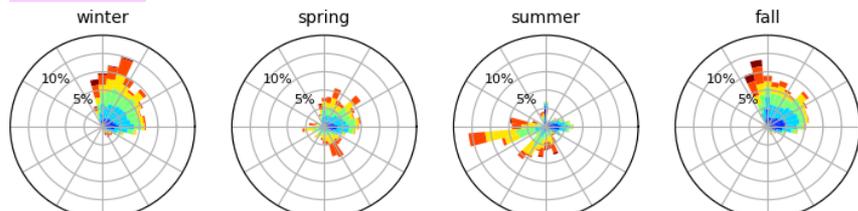
10分鐘平均風向



# 分析結果—不同亂流強度下風向風速分布型態

R13

R31



北風系比例大增

冬季不同亂流強度的風向風速分布差異小

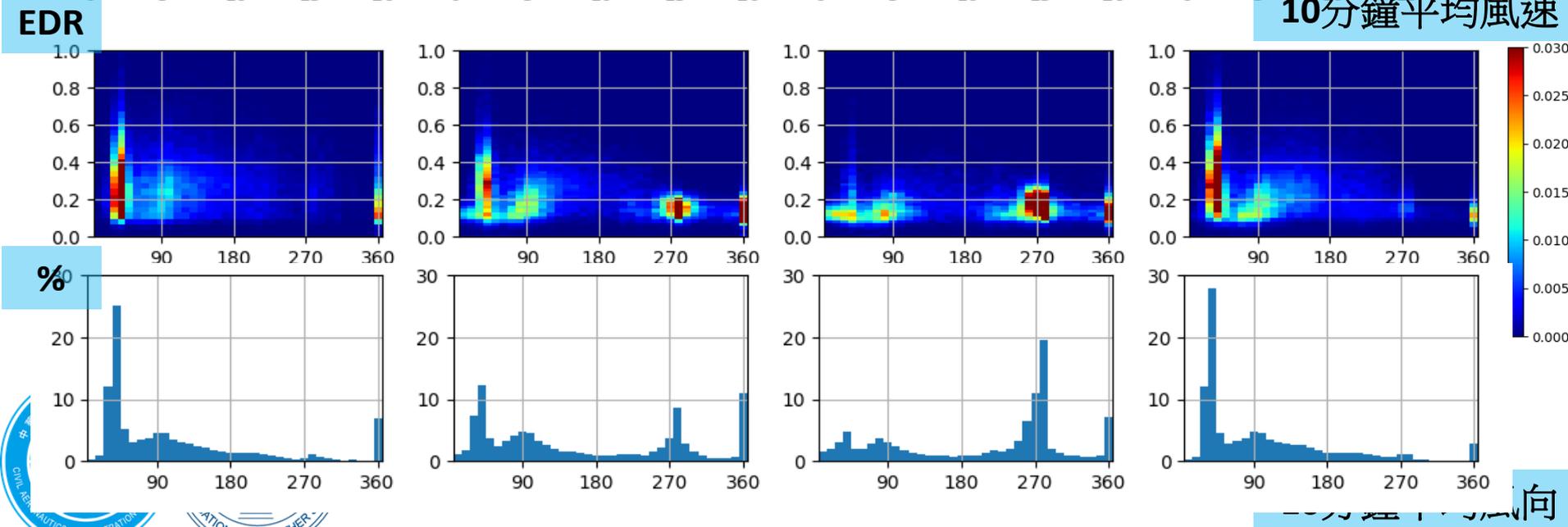
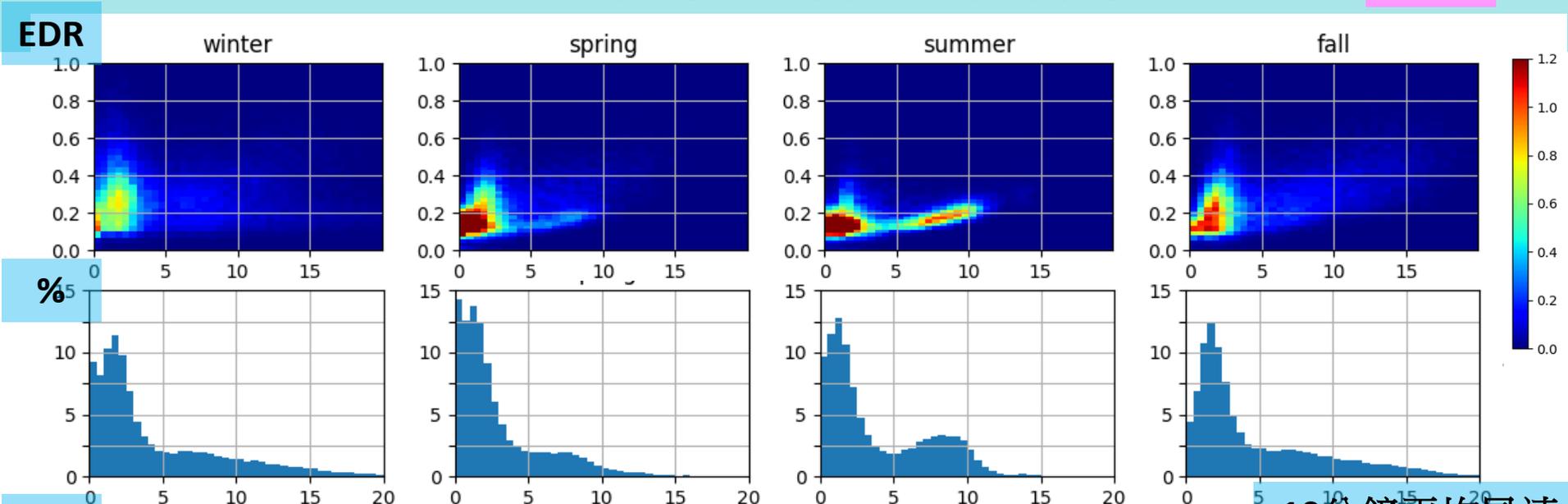
# 分析結果—蘭嶼高中測站風向風速與機場EDR

	R13 EDR	R31 EDR
蘭嶼高中測站 風速	冬：不明顯 春：增加+緩慢增加 夏：緩慢增加 秋：增加	冬：不明顯 春：緩慢增加 夏：緩慢增加 秋：增加
蘭嶼高中測站 風向	冬季1~7m/s時EDR $\geq$ 0.45 春秋季2~7m/s時EDR $\geq$ 0.45 春秋冬季較R31往大值分布 秋冬季較常見風向340-100 EDR往大值分布，較R31強 夏季較常見風向150-290 EDR多在0.3以下，較R31弱	冬季1~6m/s時EDR $\geq$ 0.45 秋季2~8m/s時EDR $\geq$ 0.45 秋冬季較常見風向340-100 EDR往大值分布 夏季較常見風向150-290 EDR多在0.4以下
強烈亂流時 風速風向與 氣候差異	大風速北風系比例增加	大風速北風系比例增加



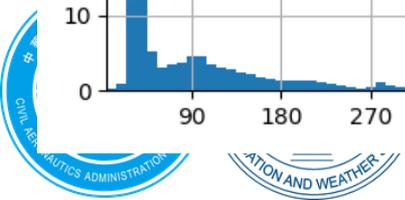
# 分析結果—蘭嶼燈塔測站風向風速與機場EDR

R13



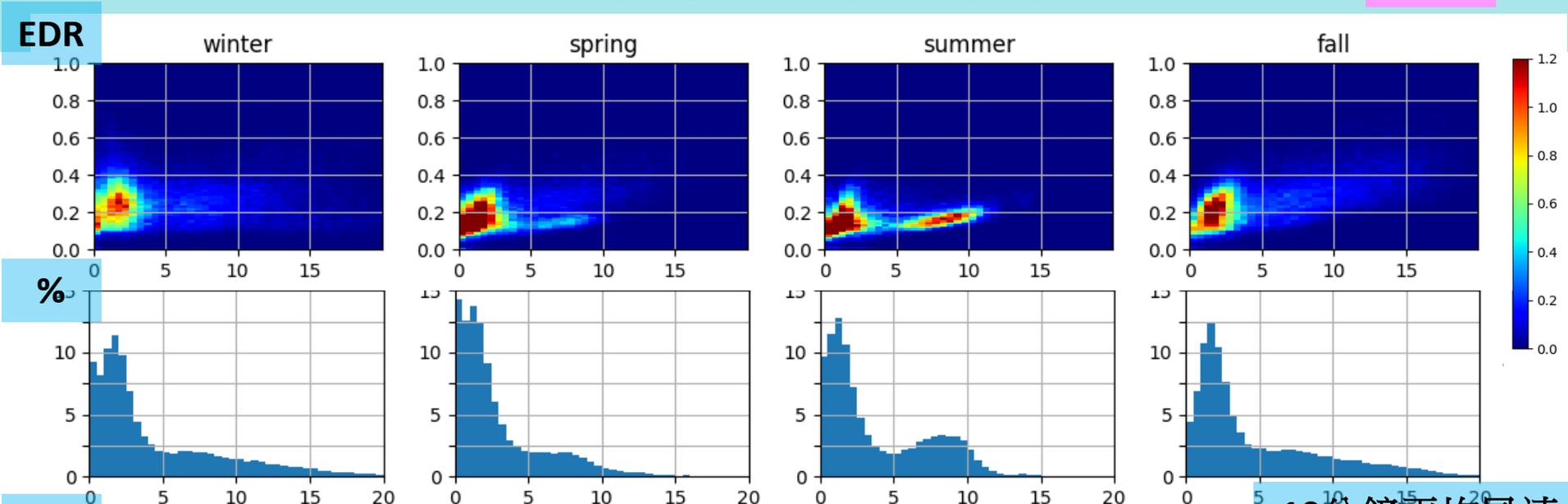
10分鐘平均風速

風向

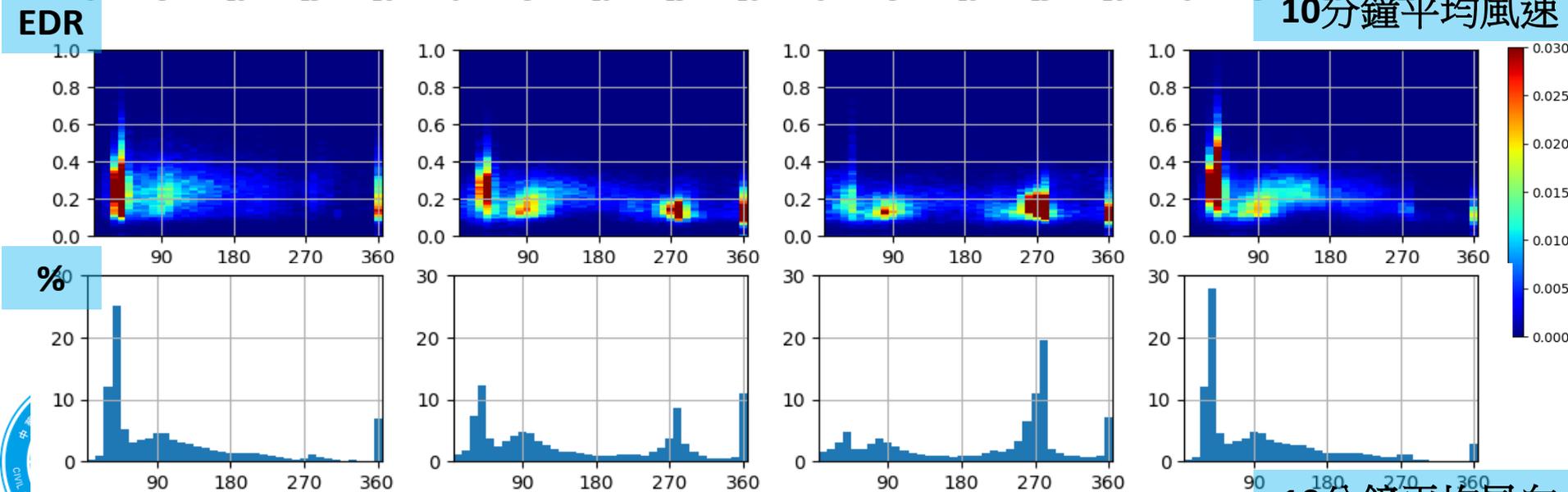


# 分析結果—蘭嶼燈塔測站風向風速與機場EDR

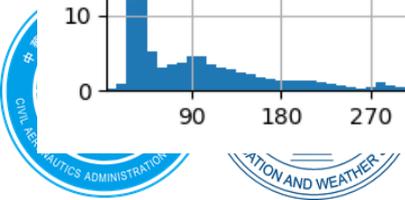
R31



10分鐘平均風速



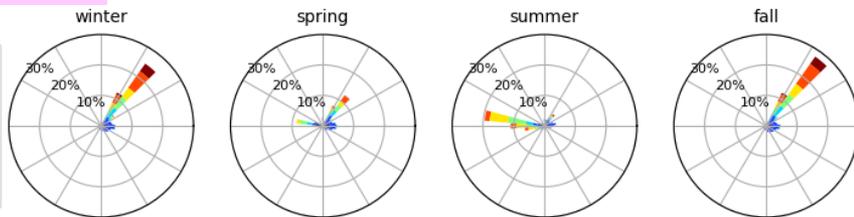
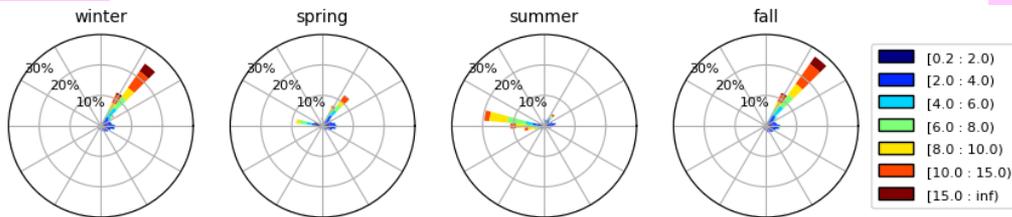
10分鐘平均風向



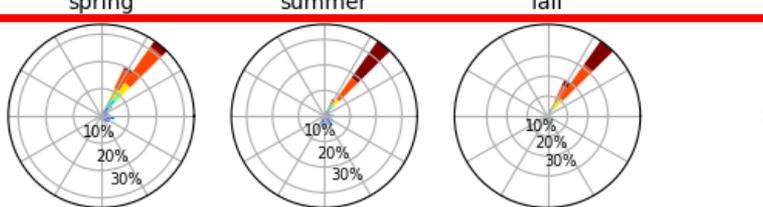
# 分析結果—不同亂流強度下風向風速分布型態

R13

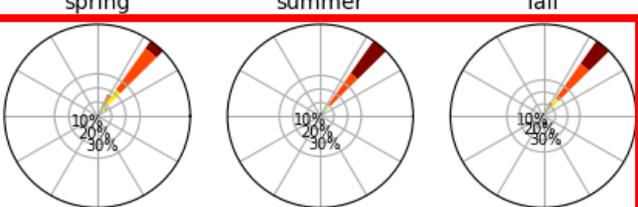
R31



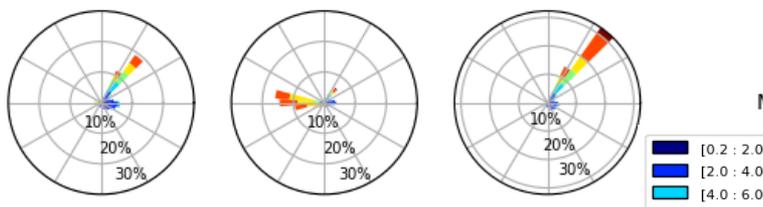
SEV



SEV



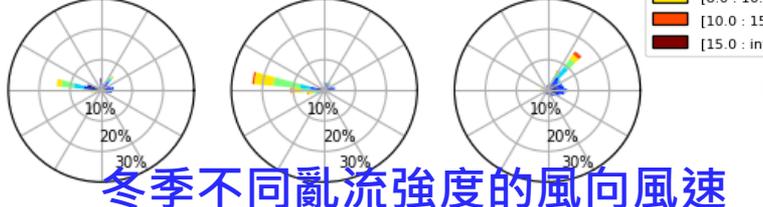
MOD



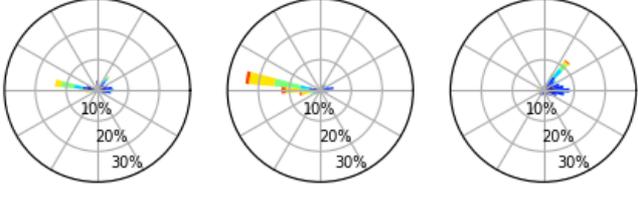
MOD



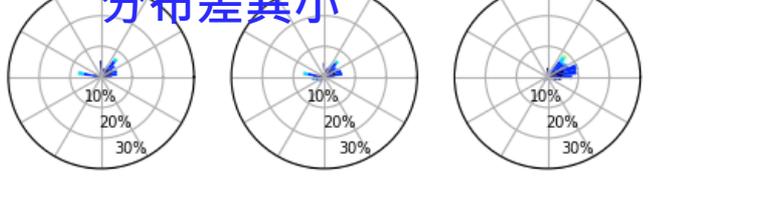
LGT



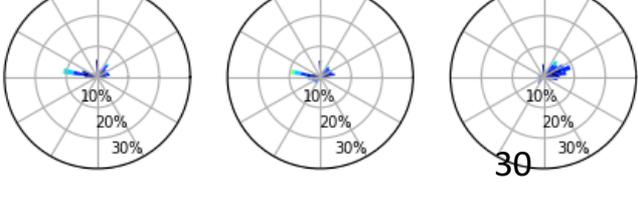
LGT



MIL



MIL



強東北風比例大增

冬季不同亂流強度的風向風速分布差異小

# 分析結果—蘭嶼燈塔測站風向風速與機場EDR

	R13 EDR	R31 EDR
蘭嶼燈塔測站 風速	冬：不明顯 春：快速增加+緩慢增加 夏：增加+緩慢增加 秋：快速增加+緩慢增加	冬：不明顯 春：增加+緩慢增加 夏：增加+緩慢增加 秋：增加+緩慢增加
蘭嶼燈塔測站 風向	冬季1~7m/s時EDR $\geq$ 0.45 春秋季2~7m/s時EDR $\geq$ 0.45 春秋冬季較R31往大值分布 秋冬季較常見風向030-040 EDR往大值分布，較R31強 夏季較常見風向260-280 EDR多在0.3以下，較R31弱	冬季1~6m/s時EDR $\geq$ 0.45 秋季2~8m/s時EDR $\geq$ 0.45 秋冬季較常見風向030-040 EDR往大值分布 夏季較常見風向260-280 EDR多在0.4以下
強烈亂流時 風速風向與 氣候差異	大風速東北風比例增加	大風速東北風比例增加



# 結論

- 統整蘭嶼地區風力塔地理位置與氣候特性。
- 三種EDR計算方法，本分析中以**SF法較為穩定**。
- **機場EDR氣候特性**  
位置差異：除夏季外平均值及標準差皆為**R13>E31**。  
季節差異：平均值及標準差皆為**秋冬>春夏**。
- 環境盛行風向為**北-北北東**(蘭嶼氣象站秋冬季常見風向)時，**機場EDR往大值分布**；  
環境盛行風向為**南-西**(蘭嶼氣象站夏季常見風向)時，**機場EDR往較小值集中**。
- **機場EDR大致上隨環境盛行風速上升**，但上升的速率與氣流是否受地形影響而改變。



# 結論

- 機場R13與R31對應不同的環境盛行風向(速)分布時有特定風向(速)分布，因此R13與R31 EDR隨該點風向(速)的分布也不會相同。

例如：冬季環境盛行風向北-北北東時機場EDR往大值分布

- ➔R13風向西北-東時R13 EDR往大值分布
- ➔R31風向東北-東時R31 EDR往大值分布

- 蘭嶼高中測站及蘭嶼燈塔測站對應不同的環境盛行風向(速)分布時有不同風向(速)分布，惟其分布無法線性對應到機場R13或R31之風向(速)分布。

## 蘭嶼高中測站風向為北北西-東時機場EDR往大值分布，該測站風速與機場EDR的趨勢則較不明確。

## 蘭嶼燈塔測站因風向變化較侷限在特定角度，該測站風速與機場EDR的變化較有參考價值。



# 結論

- 機場強烈亂流時：  
蘭嶼氣象站及蘭嶼高中傾向有較強烈的北風  
蘭嶼燈塔傾向為強烈的東北風。
- R13強烈亂流時：R13傾向發生強西北風(春季則為西北至東北風)  
R31強烈亂流時：R31傾向發生比秋冬季常見風向略偏北的強東北風。



--感謝聆聽--



# 參考文獻

1. 王崑洲(2006)。飛行亂流預報介紹。2006海峽兩岸航空氣象與飛航安全研討會論文集，65-71。台北市：中華航空氣象協會。
2. 陳建蒲、鄧仁星(2019)。蘭嶼亂流分析。台北市：中央氣象局。檢自  
([https://conf.cwb.gov.tw/media/cwb\\_past\\_conferences/108/A6/A6\\_6\\_L\\_陳建蒲\\_蘭嶼亂流分.pdf](https://conf.cwb.gov.tw/media/cwb_past_conferences/108/A6/A6_6_L_陳建蒲_蘭嶼亂流分.pdf))
3. 鄧仁星、陳建蒲、曾俊傑、王文清、祝世全(2020)。蘭嶼機場風場研究。飛航天氣，34，16-29。
4. ICAO (2020). AMENDMENT 79 TO ANNEX 3, adopted by the Council on 9 March 2020, effective date on 20 July 2020.
5. Jeonghoe Kim, Jung-Hoon Kim, and Robert D. Sharman (2021). Characteristics of Energy Dissipation Rate Observed from the High-Frequency Sonic Anemometer at Boseong, South Korea. MDPI, Atmosphere, 12, 837.
6. Kolmogorov, A.N (1941). The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers. Dokl. Akad. Nauk SSSR, 30, 301–305.
7. Pope, S. (2000). Turbulent Flows. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 771.
8. Champagne, F.H., Friehe, C.A., LaRue, J.C., Wyngaard, J.C. (1977). Flux Measurements, Flux Estimation Techniques, and Fine-Scale Turbulence Measurements in the Unstable Surface Layer Over Land. J. Atmos. Sci., 34, 515–530.
9. Muñoz-Esparza, D., Sharman, R.D., Lundquist, J.K. (2018). Turbulence dissipation rate in the atmospheric boundary layer: Observations and WRF mesoscale modeling during the XPIA field campaign. Mon. Wea. Rev., 146, 351–371.



# 參考文獻

10. Smalikho, I.N. (1997). Accuracy of the turbulent energy dissipation rate estimation from the temporal spectrum of wind velocity fluctuations. *Atmos. Oceanic Opt.*, 10(8), 559-563.
11. Marta Waławczyk, Yong-Feng Ma, Jacek M. Kopeć and Szymon P. Malinowski (2017). Novel approaches to estimating turbulent kinetic energy dissipation rate from low and moderate resolution velocity fluctuation time series. *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 4573-4585.
12. Soo-Hyun Kim, Jeonghoe Kim, Jung-Hoon Kim, and Hye-Yeong Chun (2022). Characteristics of the derived energy dissipation rate using the 1 Hz commercial aircraft quick access recorder (QAR) data. *Atmos. Meas. Tech.*, 15, 2277-2298.

