

Weather Derivative

Weather Risk Management

Accuracy

Precision

潭美颱風影響松山機場低空風切之個案觀測分析

蒲金標<sup>1</sup>

徐茂林<sup>2</sup>

國立台北教育大學自然教育學系<sup>1</sup>

貝氏卡曼科技股份有限公司<sup>2</sup>

ensemble Kalman filter for short-term forecasting

# 研究方法

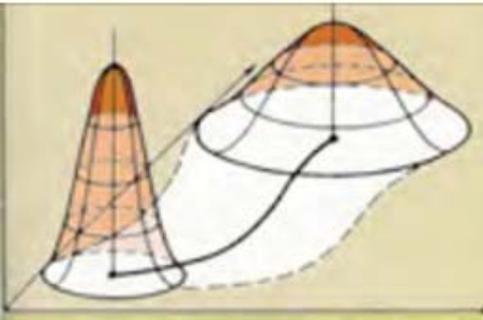
- Linear Model-----Second Moment
- Non-Linear-----Above 2<sup>nd</sup> Moment
- Wavelet Analysis----小波分析
- Fractional calculus, **Weather Derivative**
- **ARIMA Model, Principal Component Analysis(Box-Jenkins)**
- **Conitngency Table----Chi-Square test**
- The Beauty of Mathematics-Multivariate analysis

## Distribution Probability of State

$$\mathbf{P} = E[(\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})^T]$$
$$= \begin{bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & \rho_{12}\sigma_{x_1}\sigma_{x_2} & \dots & \rho_{1n}\sigma_{x_1}\sigma_{x_n} \\ \rho_{21}\sigma_{x_2}\sigma_{x_1} & \sigma_{x_2}^2 & \dots & \rho_{2n}\sigma_{x_2}\sigma_{x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{n1}\sigma_{x_n}\sigma_{x_1} & \rho_{n2}\sigma_{x_n}\sigma_{x_2} & \dots & \sigma_{x_n}^2 \end{bmatrix}$$

$\sigma_{x_1}^2 = \text{Variance of } x_1$   
 $\rho_{12} = \text{Correlation coefficient for } x_1 \text{ and } x_2$   
 $\rho_{12}\sigma_{x_1}\sigma_{x_2} = \text{Covariance of } x_1 \text{ and } x_2$

- Gaussian probability distribution is totally described by its mean value and covariance matrix

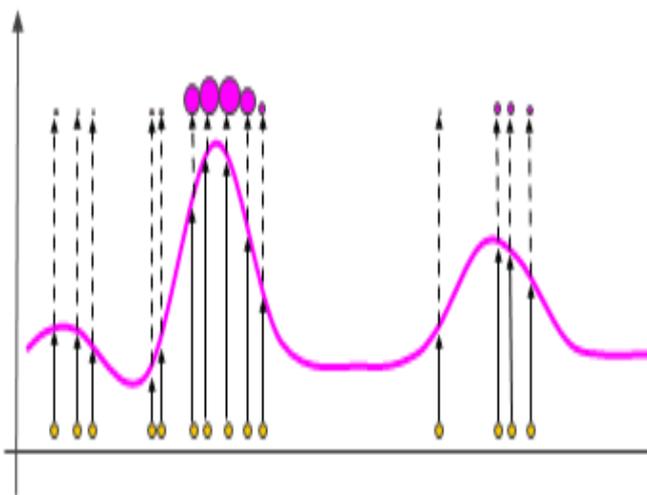


$$\text{pr}(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\mathbf{P}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})^T \mathbf{P}^{-1}(\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})}$$

# Stochastic Process

- Sequentially arriving (noisy or ambiguous) observations
- Recursive filtering:
  - Predict next state pdf from current estimate
  - Update the prediction using sequentially arriving new measurements
- Optimal Bayesian solution: recursively calculating exact posterior density

Posterior density



Recall "law of total probability" and "Bayes' rule"

$$p(x_t) = \int p(x_t | x_{t-1}) p(x_{t-1}) dx_{t-1}$$

$$p(x_t | z_t) = \frac{p(z_t | x_t) p(x_t)}{p(z_t)}$$

# Dynamic systems that evolve based on Probability distribution

Recursive filter:

- System model: **NWP model**  
 $x_k = f_k(x_{k-1}, \omega_k) \leftrightarrow p(x_k | x_{k-1})$
- Measurement model: Incoming observation data  
 $y_k = h_k(x_k, v_k) \leftrightarrow p(y_k | x_k)$
- Information available:

$$D_k = (y_1, \dots, y_k)$$

$$p(x_0)$$

$$p(x_k | D_{k-1}) = \int p(x_k | x_{k-1}) p(x_{k-1} | D_{k-1}) dx_{k-1}$$

- since:

$$p(x_k | D_{k-1}) = \int p(x_k, x_{k-1} | D_{k-1}) dx_{k-1}$$

$$p(x_k, x_{k-1} | D_{k-1}) = p(x_k | x_{k-1}, D_{k-1}) p(x_{k-1} | D_{k-1}) = p(x_k | x_{k-1}) p(x_{k-1} | D_{k-1})$$

Update:

$$p(x_k | D_k) = \frac{p(y_k | x_k) p(x_k | D_{k-1})}{p(y_k | D_{k-1})}$$

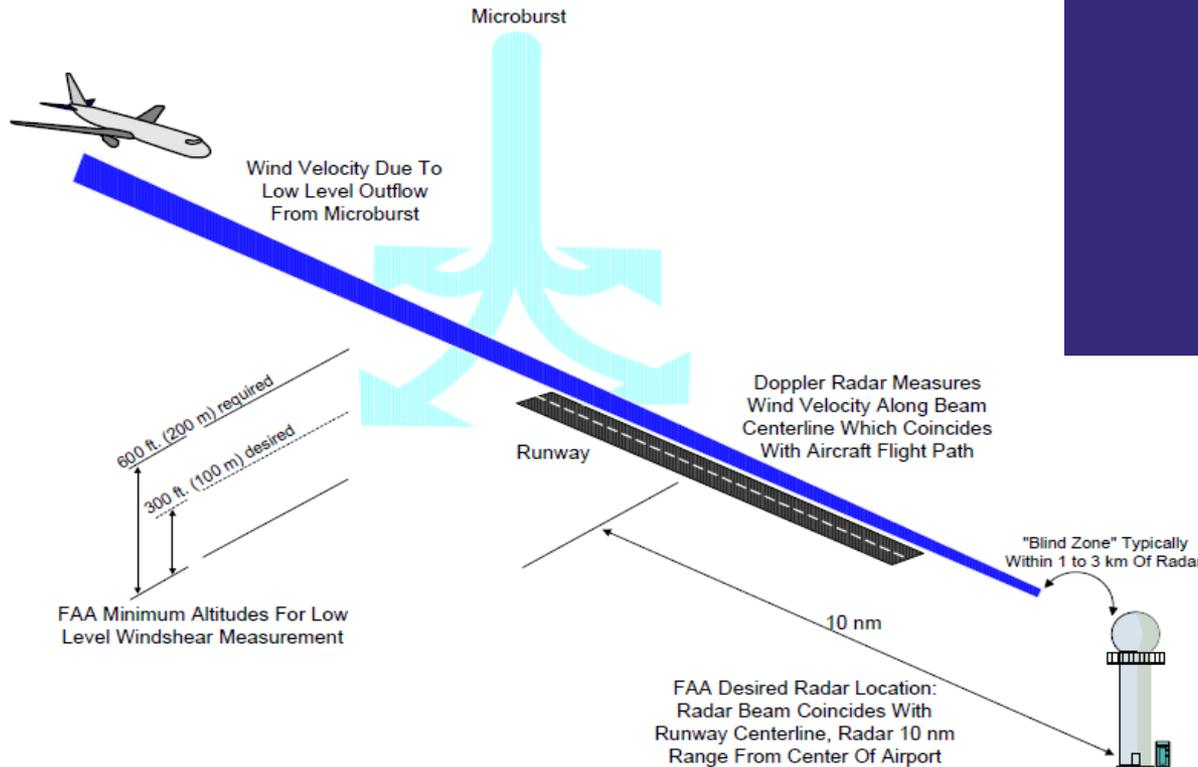
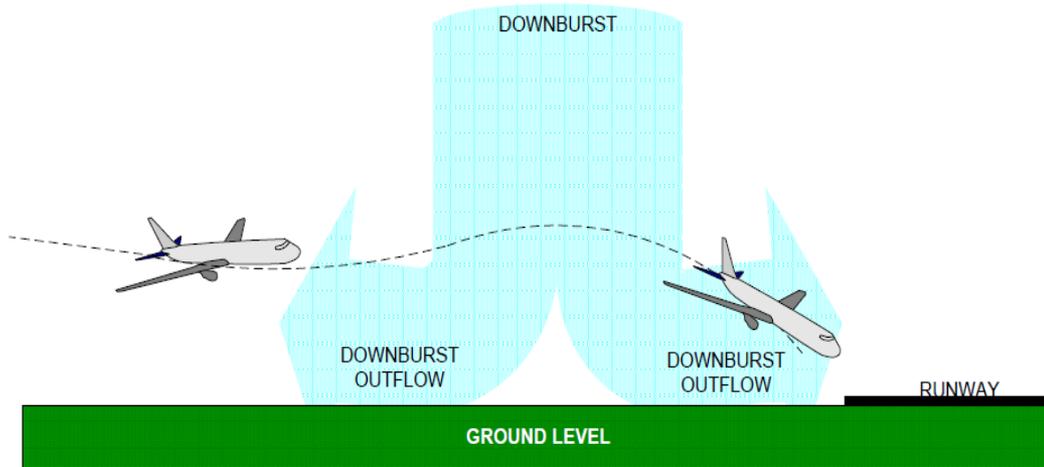
$$p(y_k | D_{k-1}) = \int p(y_k | x_k) p(x_k | D_{k-1}) dx_k$$

- since:

$$p(y_k | D_{k-1}) = \int p(y_k, x_k | D_{k-1}) dx_k$$

$$p(y_k, x_k | D_{k-1}) = \underline{p(y_k | x_k, D_{k-1})} \underline{p(x_k | D_{k-1})} = p(y_k | x_k) p(x_k | D_{k-1})$$

# LLWAS 低空風切概論



Doc 9817  
AN/49

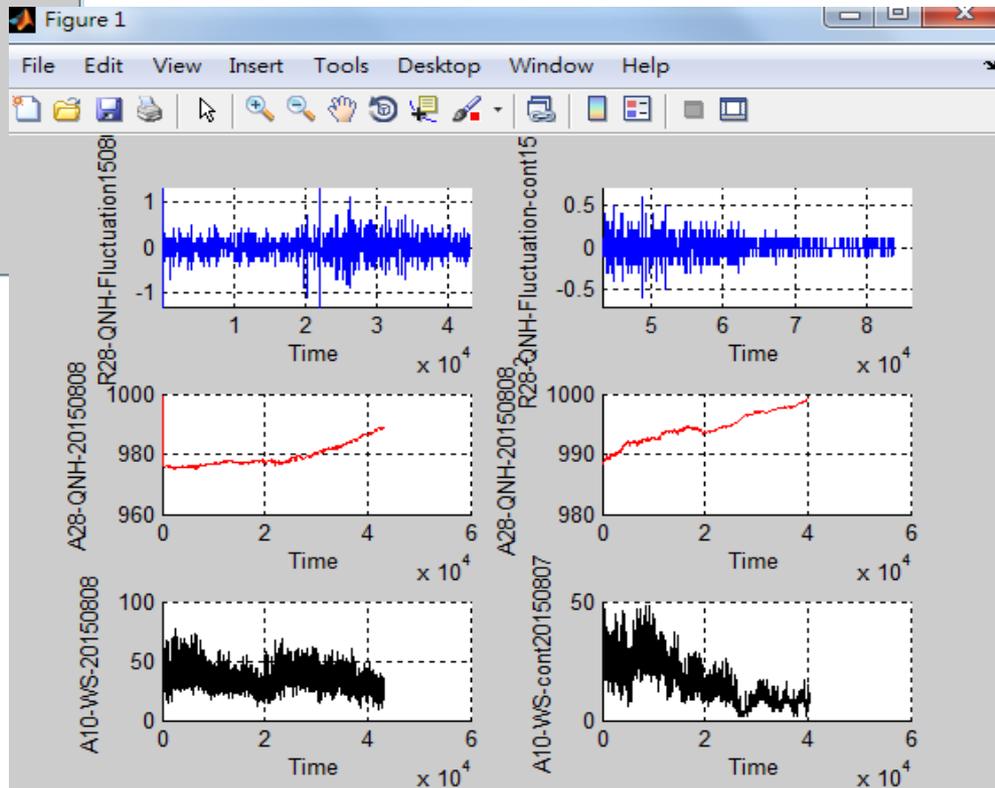
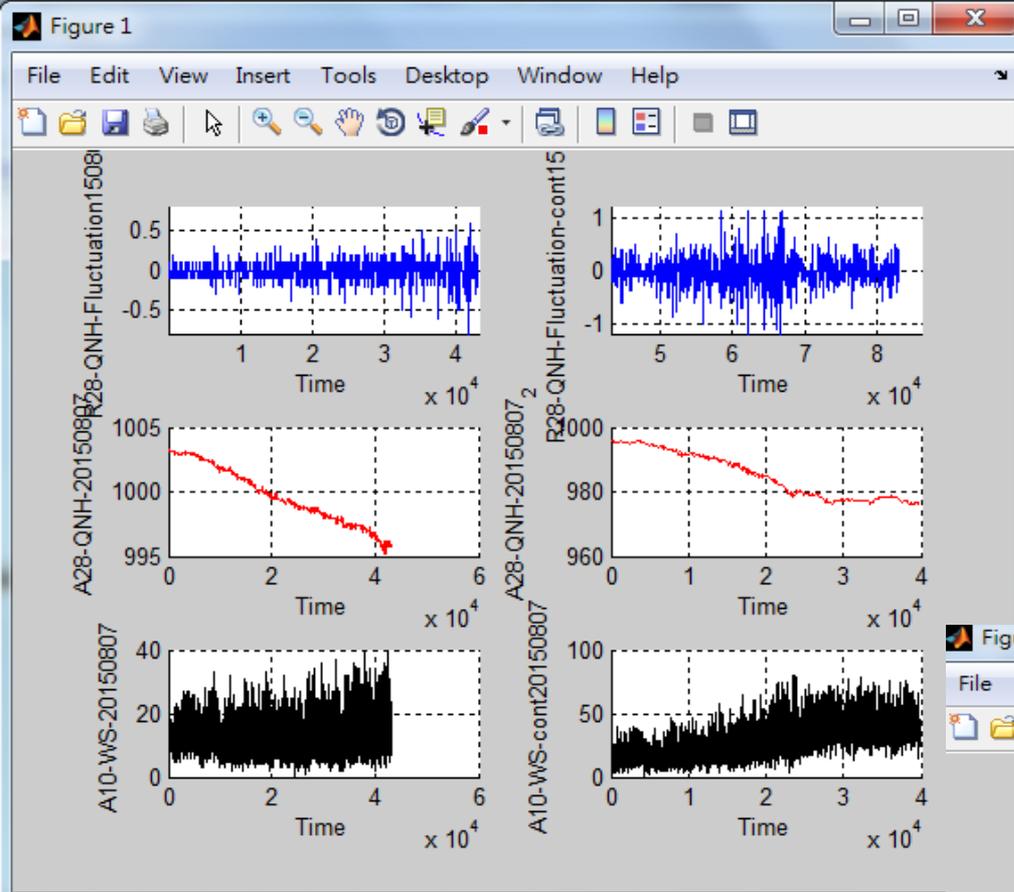


## Manual on Low-level Wind Shear

Approved by the Secretary General  
and published under his authority

First Edition — 2005

# 蘇迪勒颱風





# 低空風切(Low-level Wind Shear)-低空風切強度標準

- 機場低空風切或微爆氣流 (Microburst) 對飛航安全構成最嚴重威脅。
- 低空風切發生在**最低層500m (1,600ft) 以下**，風向或風速之突然變化，
- 當飛機在爬升離場和降落進場階段，**飛機速度和高度都接近臨界值，飛機容易遭受風切的危險。**
- 風切乃指大氣中單位距離內，風速或風向或兩者同時發生之突然大變化，如以數學式表示，則
- 風切=  $\Delta \vec{v} / \Delta s$  ， $\Delta \vec{v}$  及 $\Delta s$ 分別代表風向量變化及產生變化之距離。其風切可分為水平風切或垂直風切。

低空風切之強度從跑道及跑道兩端各向外延伸3海浬等區域方向之**頂風(正值)或順風(負值)強度**來決定

FAA風切強度為標準，當頂風(增速)或順風(減速)數值介於**15~19kts**時，表示有輕度低空風切；

介於**20~29kts**者稱之為中度風切；

**大於29kts**者稱之為強烈風切，其中**順風(減速)大於29kts**者稱為微爆氣流。

# 2013年8月2日潭美颱風

- 嘗試以潭美颱風影響松山機場低空風切之個案觀測，分析風速和氣壓每分鐘跳動超過1個標準差之時段與次數，與現有松山機場低空風切警告系統發出風切警告加以分析比對，
- 找出以氣壓跳動來替代風塔觀測風場之計算風切方式。

## 氣象要素跳動值Fluctuation:

風速和氣壓每秒或每分鐘前後觀測跳動範圍超出1個標準差之次數與機場低空風切發生次數加以比較。

$$X_i = Y_i - Y_{i-1}$$

$Y_i$  代表這一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。

$Y_{i-1}$  代表前一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。

$X_i$  代表這一秒或這分鐘與前一秒或前一分鐘氣象要素之觀測差值(跳動值)。

# 松山機場低空風切研究

- 就松山機場風速和氣壓每秒或每分鐘前後觀測跳動範圍超出1個標準差之次數與機場低空風切發生次數加以比較。
- 
- $X_i = Y_i - Y_{i-1}$
- 
- $Y_i$  代表這一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。
- $Y_{i-1}$  代表前一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。
- $X_i$  代表這一秒或這分鐘與前一秒或前一分鐘氣象要素之觀測差值(跳動值)。
- 再就氣象要素跳動觀測值( $X_i \neq 0$ ) 計算其一天24小時總計86400秒，取固定的標準偏差。
- 標準偏差( $\sigma$ )計算公式，如下頁：

平均值

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

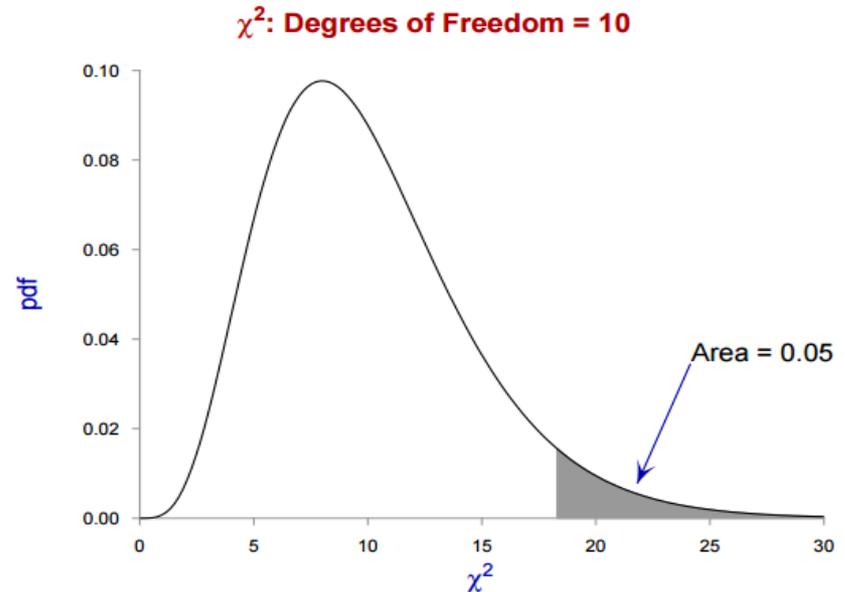
標準偏差( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

- $n=86400$ 秒(一天24小時)
- 其中僅就氣象要素跳動值不等於零( $X_i \neq 0$ )之部分加以計算。

## Chi-Square Test

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{observed} - \text{expected})^2}{\text{expected}}$$

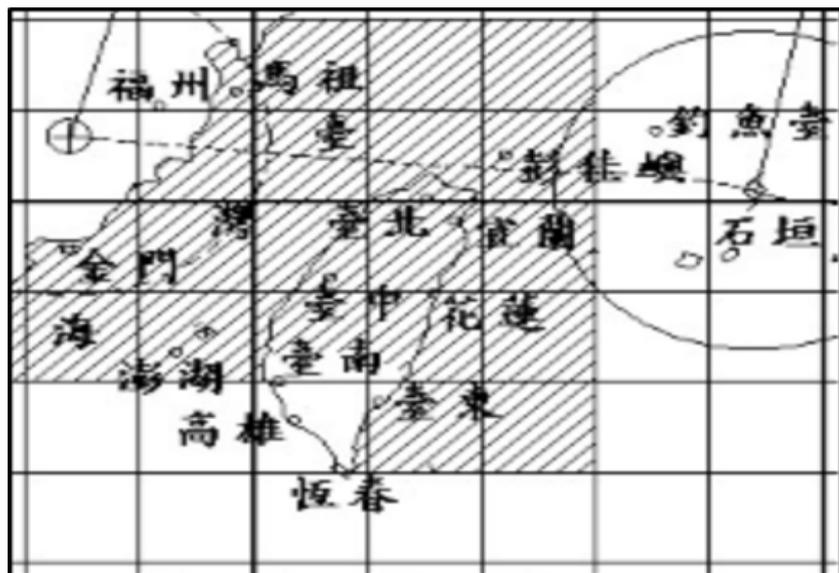


## 研究方法

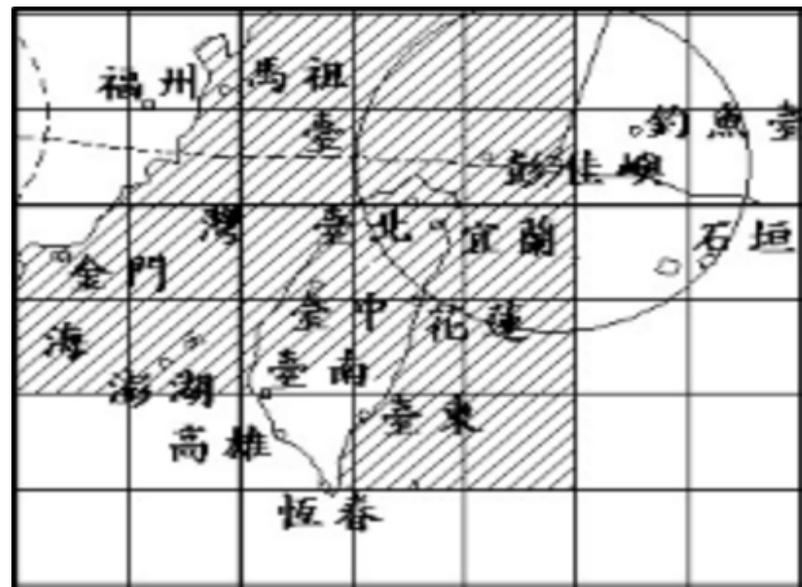
- 根據松山機場地面自動測報系統(AWOS)，以跑道兩頭(R10和R28)地面自動測報每秒或每分鐘資料，
- 嘗試以2013年8月21日潭美颱風暴風圈接近、籠罩和遠離期間，分析機場跑道兩頭之風速，以及風速和氣壓等跳動(fluctuation)超過 $1\sigma$ 之幅度和次數，與機場低空風切警告系統發出風切警告次數和發生時段加以比較。

- The distributional result for a single variance implies that

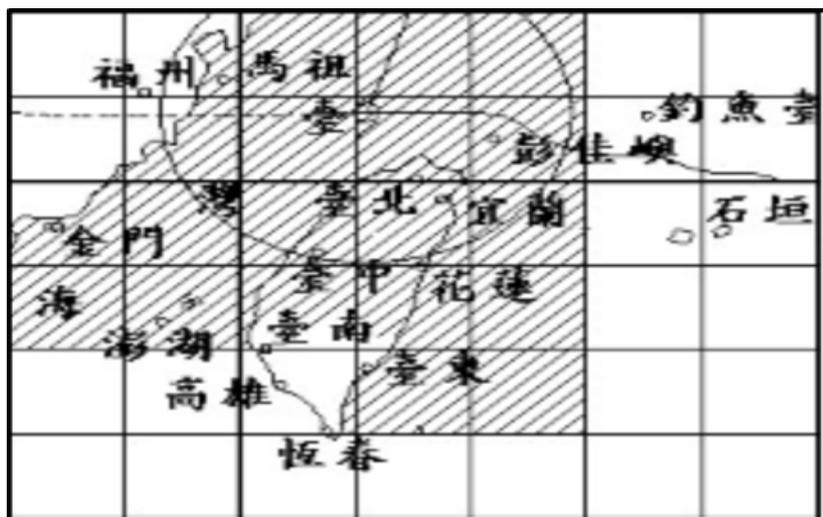
$$\Pr \left( \chi_{N-1, \alpha/2}^2 \leq \frac{(N-1)s^2}{\sigma^2} \leq \chi_{N-1, 1-\alpha/2}^2 \right) = 1 - \alpha$$



(a)



(b)



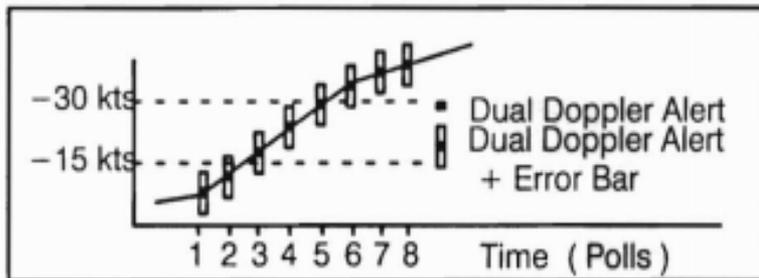
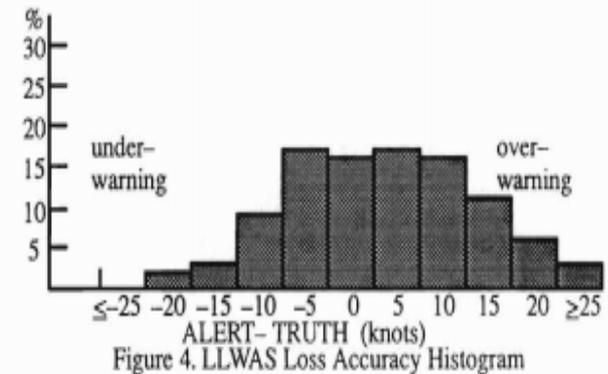
(c)

2013年8月21日地面天氣圖潭美颱風位置

(a) 0000Z (b) 0600Z (c) 1200Z

# 低空風切強度標準

- 低空風切之強度從跑道及跑道兩端各向外延伸3海浬等區域方向之頂風(正值)或順風(負值)強度來決定
- FAA風切強度為標準，當頂風(增速)或順風(減速)數值介於15 ~19kts時，表示有輕度低空風切；
- 介於20~29kts者稱之為中度風切；
- 大於29kts者稱之為強烈風切，其中順風(減速)大於29kts者稱為微爆氣流。
- Conitngency Table-Chi-Square test

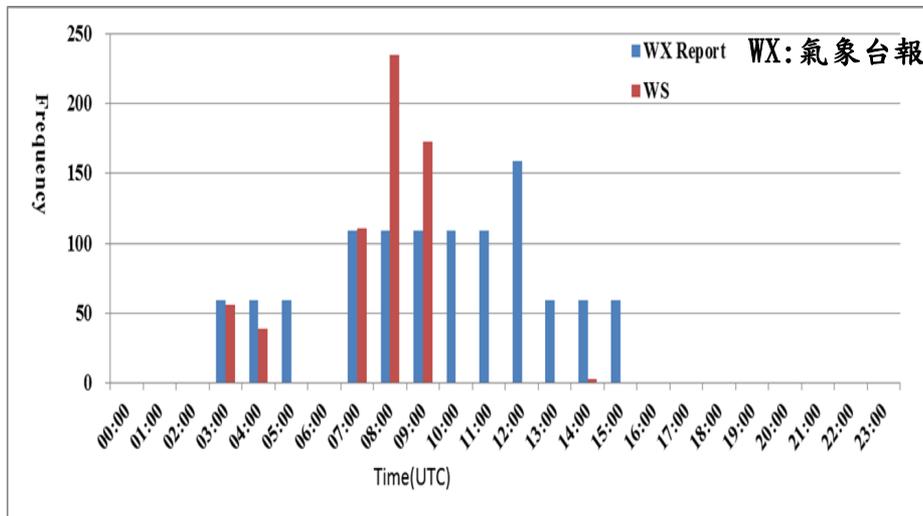
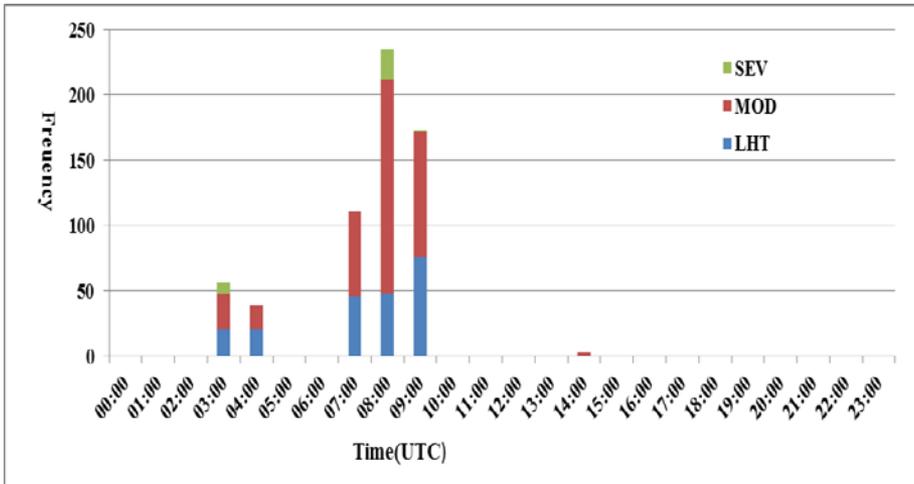


Effect of the 5 knot uncertainty in dual Doppler alerts

Table 1. Probability Statistics: W/O Flight Path Shear Integration

	TDWR	LLWAS	UN	PL-A	PL-B	ML
POD(LMB)	99	97	99	98	100	99
POD(LIL)	92	76	93	93	94	93
POD(MBIMB)	97	90	98	97	99	97
PFA(MB)	4	3	5	6	4	2
PFA(WS)	22	2	22	23	22	19
PFA(L)	15	2	15	14	15	13
OW(MB)	31	25	33	37	31	27

# 風切警告強度與氣象台風切報告



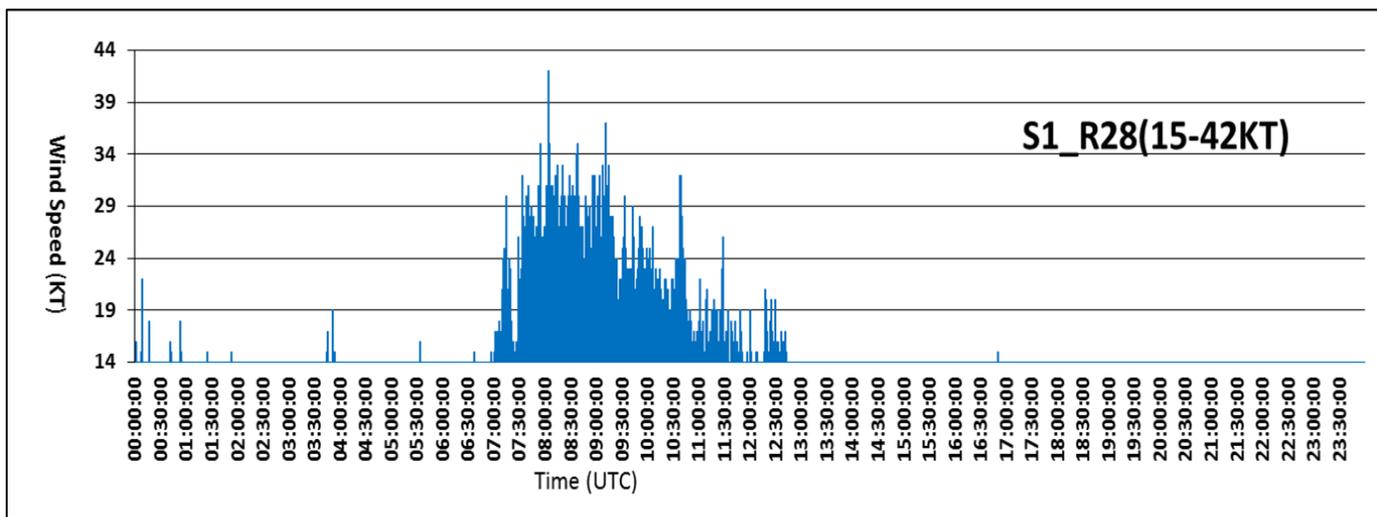
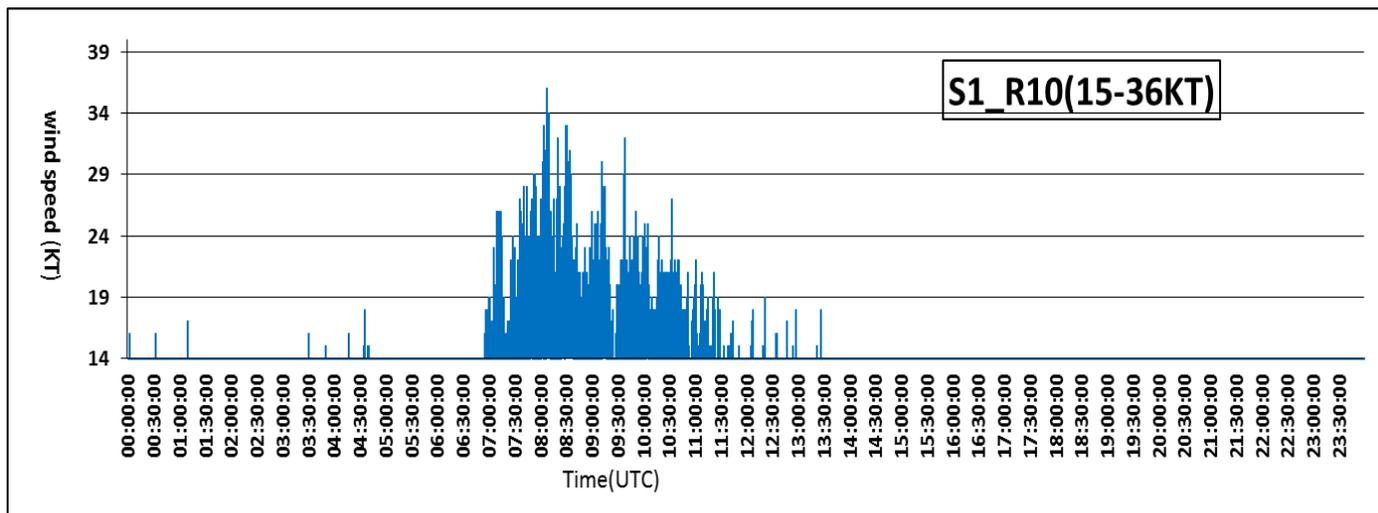
風切系統於0300-0400Z在強陣風15KT下，每小時分別發出56次和39次風切警告，其中輕度(中度)風切警告也分別發出約20次(27次和19次)，0300Z還發出9次之多

氣象台於0300-0500Z發布R10風切報告。0700Z起風速開始增強，0700-1200Z平均風速11-24KTG15-41KT，其中於0711-1038Z(0800-0913Z)最大陣風達30-41KT(30-41KT)，尤其於0809Z最強陣風達41KT。警告系統於0700-0900Z在強陣風30-34KT之下，每小時分別發出111次、235次和173次風切警告，其中輕度(中度)風切警告也分別發出46次、48次和76次(65次、164次和96次)，0800-0900Z還發出強烈警告23次之多；氣象台於0700-1100Z發布R28跑道風切報告

- 暴風圈接近和籠罩期間，在機場最大陣風增強至15KT或以上，就會引起松山機場低空風切的發生，尤其在強陣風30-34KT還發出強烈風切23次。
- 風速分成15-19KT、20-29KT和30-35KT等三種強度，來分析其發生時段和次數(每10秒計為1次)。

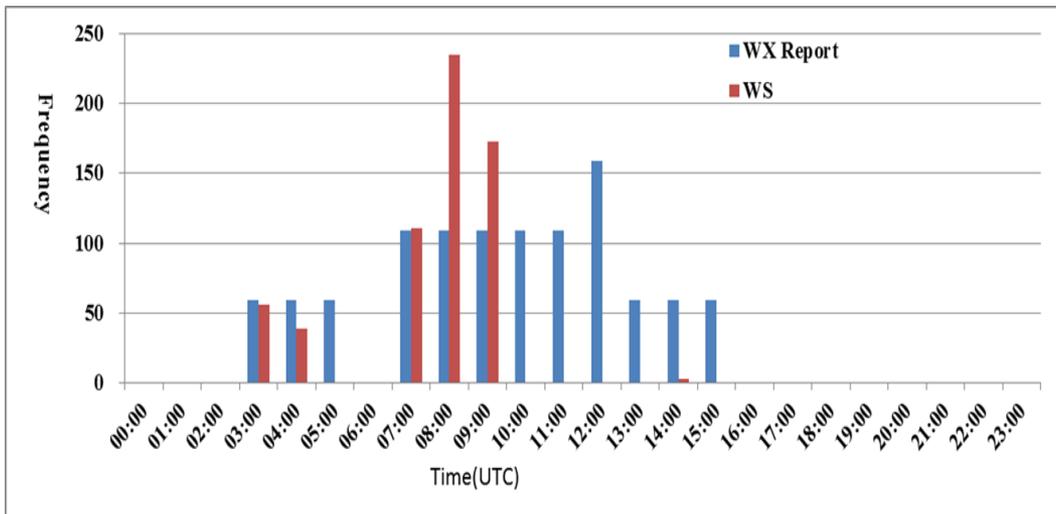
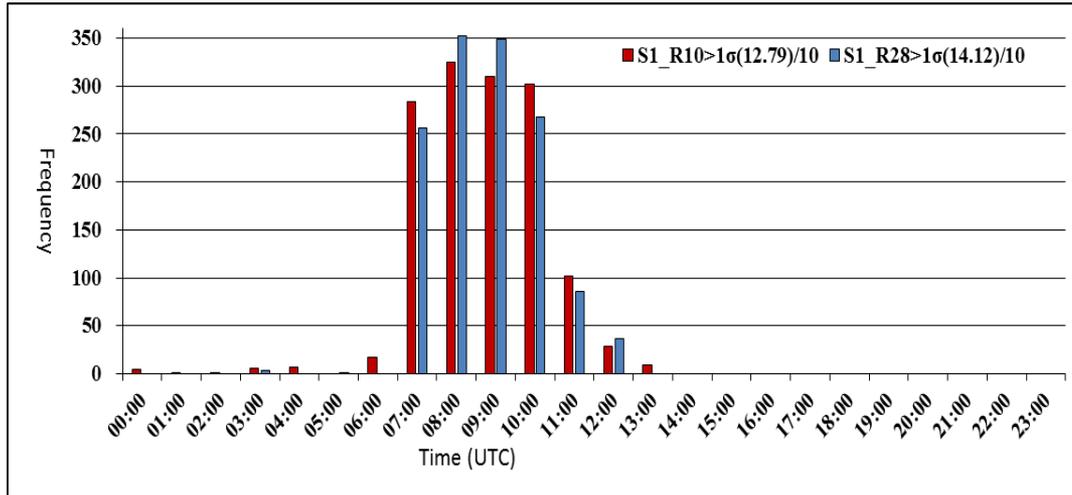
氣象台除了風切系統發出警告時段(0700- 0900 Z)發布風切報告之外，於1000-1200Z發布風切報告，這段時間R10(R28) 風速出現15-29KT(15-29 KT)分別有213次、45次和8次(267次、86次和37次)。跑道風速出現15KT或以上與飛行員提報風切現象，彼此是一致的。唯機場風切系統卻沒有發出風切警告。根據我們的3年數據，機場每秒風速超過1σ和次數之時段與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段，兩者大部分時段近似一致，尤其颱風暴風圈侵襲時段，兩者發生時段更接近一致。

# 2013年8月21日松山機場R10和R28風速超過14KT之分布(每秒Data)



風速分成15-19KT、20-29KT和30-35KT等三種強度，來分析其發生時段和次數(每10秒計為1次)。

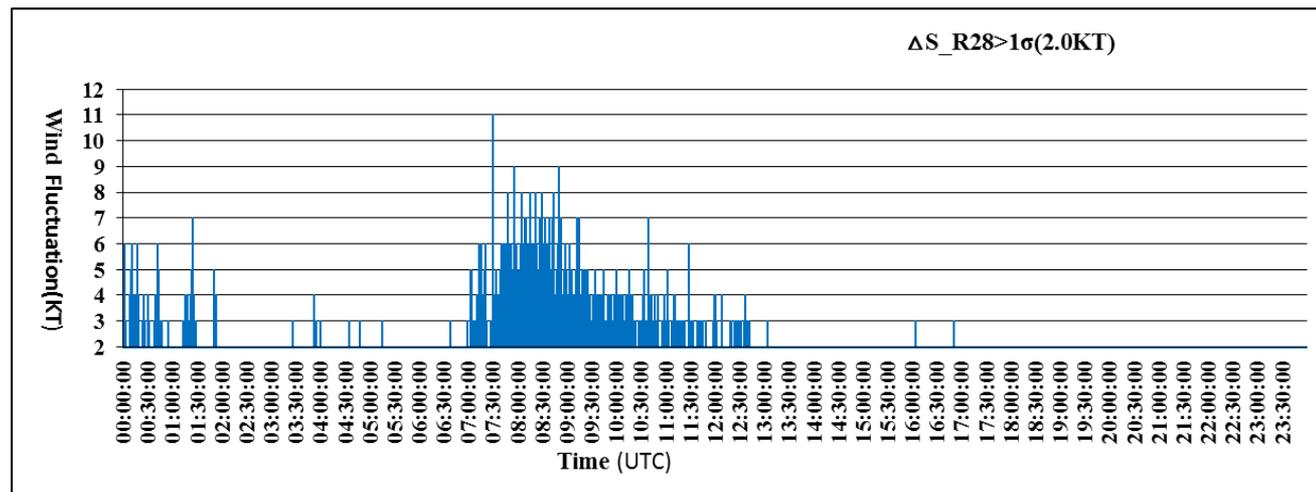
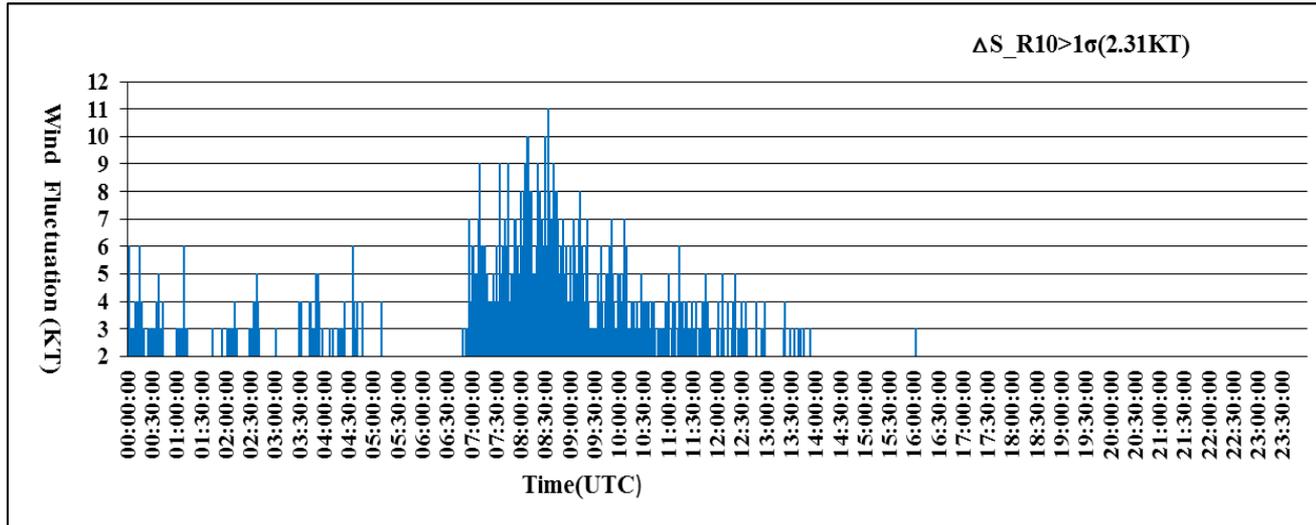
# 松山機場R10和R28風速超過14KT之次數與機 場風切



0700- 1200Z暴風圈籠罩期間，機場風速增強，風切發生時刻(0700-1200Z)，R10(R28)風速出現15-36KT(15-42 KT)，每小時出現次數8-281次(37-353次)，其中警告系統發出風切警告時段(0700-0900 Z)，R10(R28)風速出現15-36KT(15- 42KT)分別有224次、281次和254次(256次、353次和349次)之多，尤其於0800-0900Z系統發出強烈風切，R10(R28)風速出現30-36KT (30-42 KT)分別有4次和1次(14次和5次)，其中R10(R28) 風速於0807-0810Z (0804-0805Z)出現34-36KT (34-42 KT)，可知強風切和暴風時段有相當一  
致性

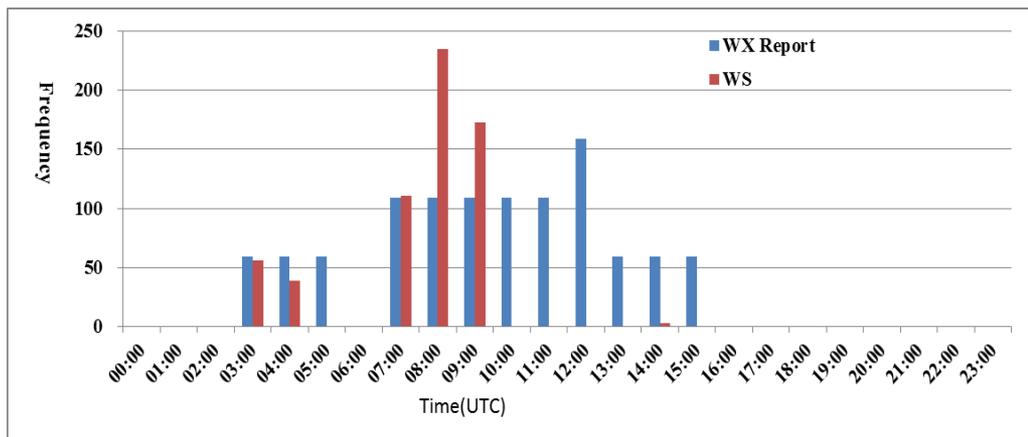
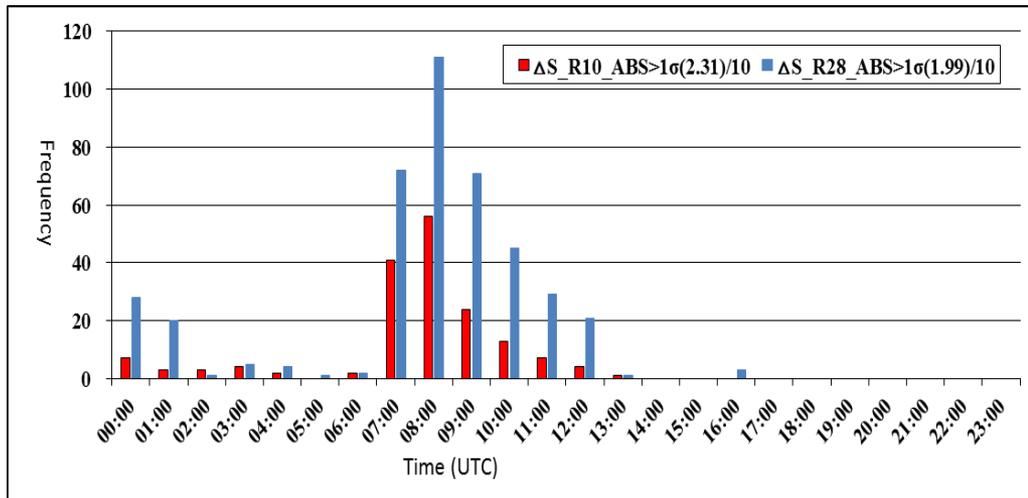
- 氣象台除了風切系統發出警告時段(0700-0900 Z)發布風切報告之外，於1000-1200Z發布風切報告，這段時間R10(R28) 風速出現15-29KT(15-29 KT)分別有213次、45次和8次(267次、86次和37次)。跑道風速出現15KT或以上與飛行員提報風切現象，彼此是一致的。唯機場風切系統卻沒有發出風切警告。
- 機場每秒風速超過10和次數之時段與機場風切系統發出警告和氣象台發布風切報告時段，兩者大部分時段近似一致，尤其颱風暴風圈侵襲時段，兩者發生時段更接近一致。

# 機場R10和R28風速跳動超過 $1\sigma$ 之分布



暴風圈**接近**  
**(0000-0600Z)**和  
**籠罩(0600-**  
**1500Z)**期間，  
松山機場跑道  
兩頭R10和R28  
每秒風速跳動  
超過 $1\sigma$ (2.31KT；  
2.0KT)，來分  
析其發生時段  
和次數(**每10秒**  
計為**1次**)。

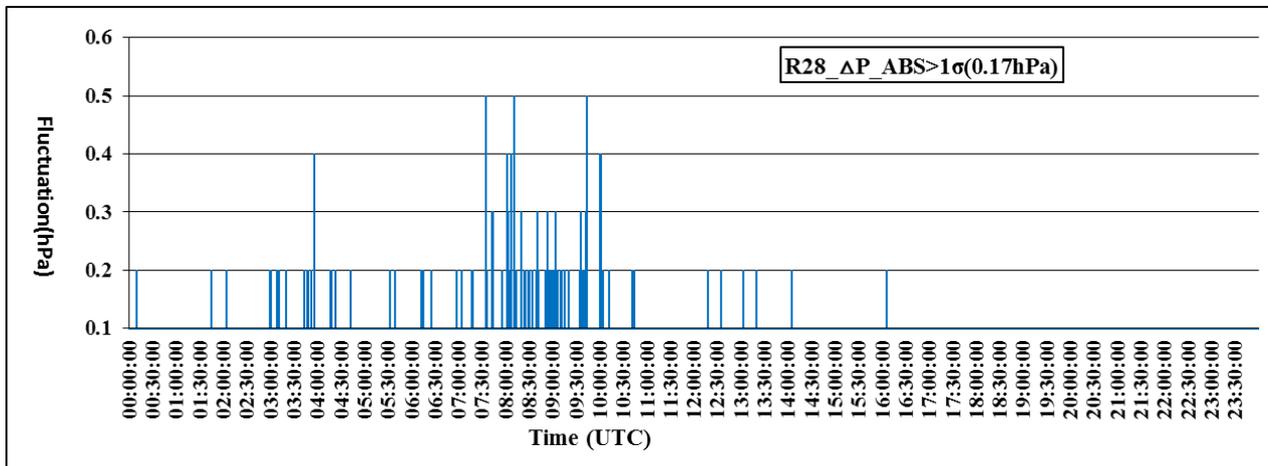
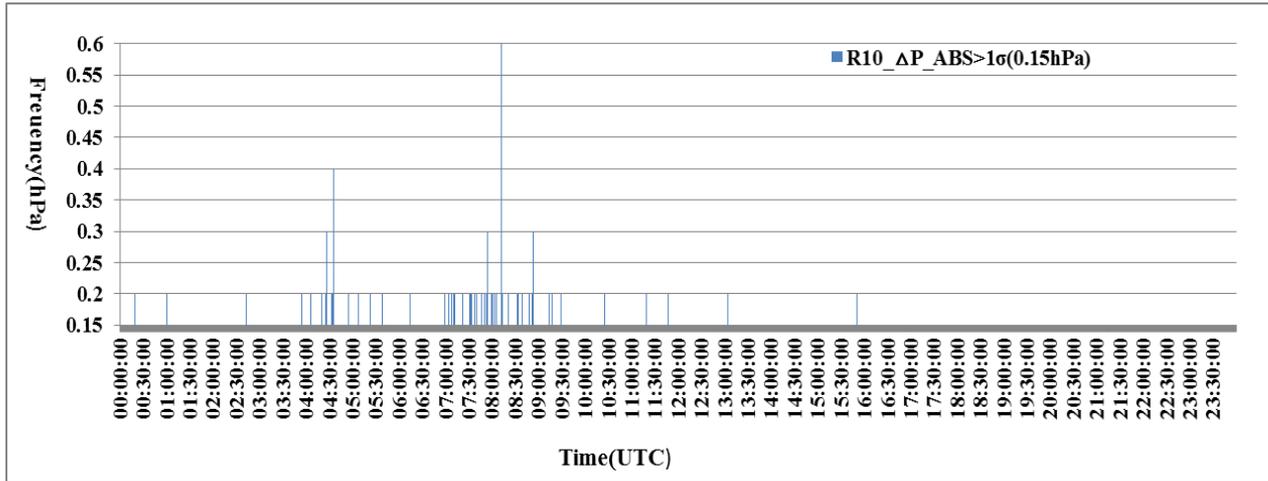
# 機場R10和R28風速跳動超過 $1\sigma$ 之次數與機場風切



0000- 0600Z暴風圈接近期間，機場風切發生時刻(0300-0500Z) R10(R28)風速跳動 $>1\sigma$  (2.31 KT ; 2.0 KT)之次數，每小時僅1-4次，也不足於反應每小時出現風切39-56次，尤其於0300Z還出現9次強烈風切，但跑道風速跳動並不大。

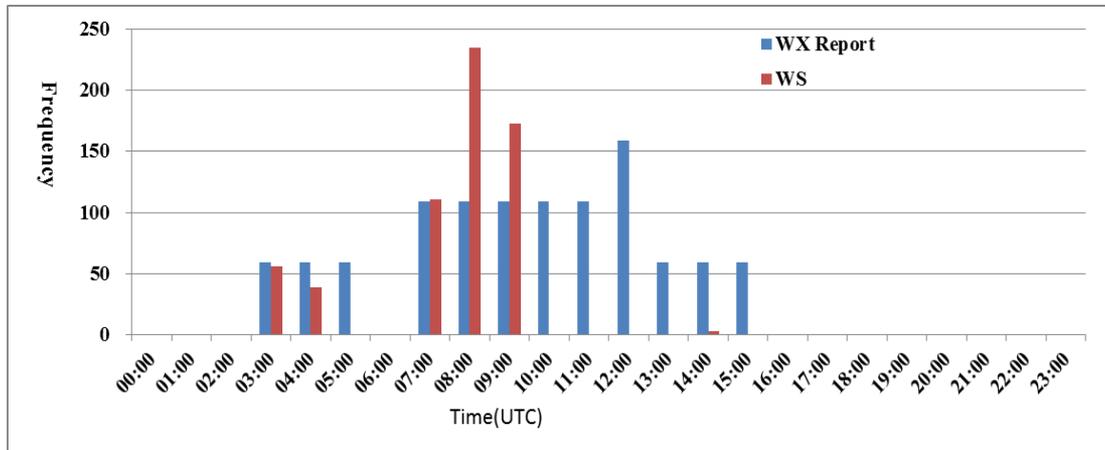
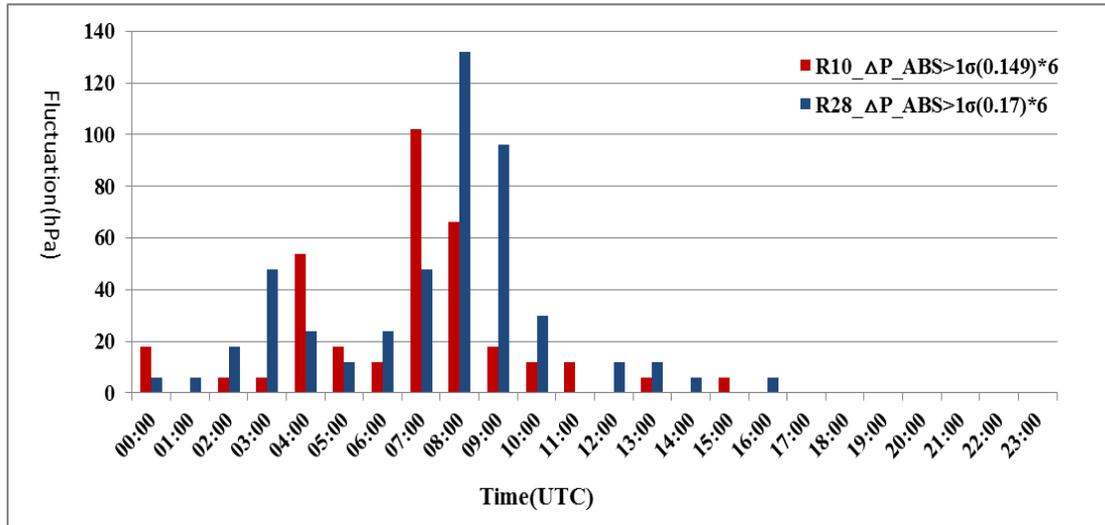
- 0700-1200Z暴風圈籠罩期間，風速跳動增強，R10(R28)風速跳動出現 $>1\sigma$  (2.31KT ; 2.0KT)之次數，每小時出現次數4-56次 (3-52次)，其中系統發出風切警告時段(0700-0900Z)，R10(R28)風速跳動出現超過 $1\sigma$  (2.31KT ; 2.0KT)之次數，每小時出現次數24-56次(23-52次)，之多，尤其於0800-0900Z系統發出強烈風切，R10(R28)風速跳動出現5-11KT(5-11KT)分別有15次和4次(8次和2次)，其中R10(R28)風速跳動於0807-0833Z(0804-0849)最大出現10-11KT (8 KT)
- 可知強烈風切和暴風時段有相當一致性。
- 氣象台除了風切系統發出警告時段(0700-0900Z)發布風切報告之外，於1000-1200Z也發布風切報告，這段時間R10 (R28)風速跳動出現 $>5-11KT$ 之次數分別有8次、15次和4次(4次、8次和次)。
- 跑道風速跳動超過 $1\sigma$ 與飛行員提報風切現象，彼此是一致的。唯機場風切系統卻沒有發出風切警告

# R10和R28跑道氣壓跳動超過 $1\sigma$ (hPa ; 0.17hPa)之分布



暴風圈接近  
(0000-0600Z)和  
籠罩(0600-1500Z)  
期間，R10和R28  
氣壓跳動超過  
 $1\sigma$  (0.14 hPa ;  
0.17hPa)，來分  
析其發生時段和  
次數(每分鐘改為  
每10秒計為1次)。

# R10和R28跑道氣壓跳動超過 $1\sigma$ (hPa ; 0.17hPa)之分布



暴風圈接近期間，R10 (R28)風速皆在19KT或以  
下，**風速不大，次數不多**；  
氣壓跳動皆在0.2hPa或以  
下，**次數較多**，每小時出  
現次數，除R10 於0200Z  
次數為0之外，為6-54次  
(6-48次)。在機場低空風  
切發生時刻(0300-0500Z)  
R10(R28)**氣壓跳動超過**  
 **$1\sigma$ 之次數**，每小時分別  
為6次、54次和18次(48次、  
24次和12次)，正可以反  
應機場風切系統每小時出  
現風切39-56次，其中  
0300-0400Z中度風切分別  
出現27次和19次以及  
0300Z強烈風切出現9次

- 0700-1200Z暴風圈籠罩期間，機場R10(R28)氣壓跳動增強，R10(R28)氣壓跳動出現超過 $1\sigma$  (0.14 hPa ; 0.17hPa)次數，每小時出現次數12-102次(12-132次)，其中風切警告系統發出風切警告時段(0700-0900Z)，R10(R28)氣壓跳動出現超過 $1\sigma$ 之次數，每小時出現次數18-102次(48-132次)之多，尤其於0800-0900Z系統發出強烈風切，R10 (R28) 氣壓跳動出現超過 $1\sigma$ 分別有66次和18次(132次和96次)，其中R10(R28) 氣壓跳動於0810Z (0801-0810Z和0942-0959Z)最大出現0.6hPa (0.4-0.5hPa)，
- 可知強烈風切與颱風氣壓跳動時段有相當一致性。氣象台除了風切系統發出警告時段(0700-0900 Z)發布風切報告之外，於1000-1200Z根據飛行員提報也發布風切報告，這段時間R10(R28)氣壓跳動出現超過 $1\sigma$ 之次數分別有12次、12次和0次(30次、0次和12次)。
- 跑道氣壓跳動超過 $1\sigma$ 與飛行員提報風切現象，彼此是一致的。唯機場風切系統卻沒有發出風切警告。

# 結論-----歡迎 指教 謝謝

- (一)輕度颱風潭美暴風圈接近和籠罩期間，機場最大陣風增強至15KT或以上，就會引起松山機場低空風切的發生，尤其在強陣風30-42KT時，就可能有強烈風切現象。
- (二)機場風速越強，風速和氣壓跳動越大，風切現象就越容易發生。
- (三)機場風速和氣壓超過 $1\sigma$ 和次數與機場風切發生時段，兩者發生時段相當一致，尤其是氣壓跳動比風速跳動發生時段與風切警告時段更為一致

蒲金標 0932-592-908

國立台北教育大學自然教育學系兼任副教授

E-MAIL：[pul947@msl4.hinet.net](mailto:pul947@msl4.hinet.net)

徐茂林 0958-930-368

貝氏卡曼科技股份有限公司 總經理

E-MAIL：[hsumaolin@gmail.com](mailto:hsumaolin@gmail.com)