# 2017 年 4 月 13 日德安航空班機降落蘭嶼機場偏出跑道事件之氣壓時間變量與跑道向量風切分析

蒲金標[1]

## 摘要

本文根據蘭嶼機場氣象自動觀測系統每 5 秒的氣壓和風場資料，計算氣壓時間變量與跑道向量風切，兩者每 5 秒時間序列分布顯示，2017 年 4 月 13 日德安航空班機降落蘭嶼機場偏出跑道事件，經過氣壓時間變量與跑道向量風切分析，認為飛機降落前 7-10 分鐘，天氣不穩定，跑道向量風切達 14-16kt，氣壓時間變量達 0.2hPa。飛機降落時，跑道側風雖然略為減弱，但是跑道向量風切仍然有 6.9kt，遇到順風風切，逆風分量減少，飛機指示空速減少而降低其高度，仍具有危險性。

關鍵詞：低空亂流警告系統、跑道向量風切、氣壓時間變量、氣壓標準差

## 一、前言

蘭嶼九月至次年六月盛行東北風，飛機在進場區常有亂流，尤以冬春二季亂流最強烈和頻率最多，(蘭，1984)。蘭嶼全年風速甚

[1]財團法人中華氣象環境研究發展中心

強，年平均風速為17.6kt且各月平均風速均在15.0kt 以上，冬季受強勁東北季風的影響，風力最強，平均風速高達20kt以上；夏季6~8月則盛行西南風和西南西風，在可能受颱風侵襲的影響下，也經常出現強風。顯見島嶼地形對於風場及其對風場所引發的擾動，在飛航安全上有著相當的影響，（祝等，1984；蒲(2009)。蘭嶼由於地形環境及腹地的限制，在秋冬季節東北風盛行時，機場因處在背風面，不管氣流是爬升越山，或自島嶼西北角及東南角水平繞流，均容易在機場附近產生低空風切亂流現象，而這往往構成飛航的風險與威脅，（鄧等，2020)。

風切現象是非常複雜且很難預測的小尺度氣象現象，順風和逆風可以瞬間地轉弱或轉強。機場低空風切對飛行構成嚴重的威脅，尤其飛機在離場或進場階段，速度及距地面高度都接近安全的臨界值，若突然遭遇風向量的變化使飛機改變飛行姿態，而飛行員未即時修正，則可能對生命及財產造成嚴重的損失。飛機在起飛或降落過程，要經過頂風(逆風)、順風和下降氣流的風場，目前還沒有一個成熟的科學依據，可提供精確地預報低空風切，因此，即時監測風切現象的發生，須做為飛行員加強注意安全的重要項目。

國際民航組織文件低空風切手冊(Doc9817-AN/449)認為氣壓跳升(Pressure Jump)，可偵測到陣風鋒面的時間（ICAO, 2005)，雖

然這種地面風場和氣壓的組合，尚未應用到LLWAS-III系統，但在過去研究中認為氣壓跳升現象是發生風切時所具備相當重要的特徵，強烈雷暴活動會造成氣壓跳升的現象(Shreffler et al. 1981)，而陣風鋒面經過時，亦常帶來氣壓變動(Pressure fluctuation)，氣溫下降，風向突變以及風速突增的現象，進一步出現低空風切(Wakimoto 1982)。其中氣壓變動在陸地和大氣的相互作用中扮演重要的角色，特別是在行星邊界層中(Katul et al. 1996)，這種小尺度，短週期地面氣壓變動被認為是行星邊界層中的特徵之一(Vianai et al. 2007)，其提供了亂流動能相當的貢獻(Wei et al. 2021)。

松山機場引發低空風切之主因為雷雨陣風、颱風強風、鋒面過境，和強烈東北季風，(蒲，2003)。氣壓變動超過一個標準差(Standard deviation, $\sigma$)與低空風切發生與風速、氣壓和氣壓梯度有關連性，諸如低壓鋒面(蒲等2014)、2013年的蘇力(Soulik)颱風(蒲等2015)、和菲特(Fitow)颱風(蒲與徐2016a)、東北季風(蒲與徐2021)等在松山機場進行了氣壓波動的相關分析，認為不同天氣系統下的資料計算皆顯示，低空風切發生與風速、氣壓和氣壓梯度，以及氣壓變動超過一個標準差(Standard deviation, $\sigma$)有關連性。儘管地區的不同，在馬祖南竿機場的儀器資料中亦得出相同的

結果(蒲與林 2017a, 2018)。另外，在 2010 至 2014 年較長時間之統計分析中也與過去研究一致(蒲與林 2017b)。兩地間氣壓梯度越大，風速則越大；兩個時間點間氣壓改變，風場也會跟著改變。氣壓波動可反應氣壓梯度和氣壓在時間上的改變。藉著單一測站，前後時間氣壓差，去除多數氣壓差為零，以所剩氣壓值大於零，來計算氣壓差之標準差，再以大於一個標準差與風切加以分析。

## 二、資料來源與分析方法

本文採用 2017 年 4 月 13 日蘭嶼機場地面自動化天氣測報系統(Automatic Weather Observation AWOS)氣壓及風場資料加以分析。機場跑道向量風切係以跑道兩頭風向風速換算成跑道方向(030°- 310°)的向量風相加。常態曲線理論應用於氣象變化，通常在穩定大氣下，氣象要素如氣壓的變化量，其幅度依常態曲線分配比例，約 68.26%的變化量分布在 1$\sigma$內。而當大氣在不穩定時，氣壓的變化量可能超出 1$\sigma$。氣壓的變化量之$\sigma$計算方式如下：

計算氣壓的變化量絕對值>0：

$$x_i = /y_i - y_{i-1}/$$

$y_i$表示氣壓在這一秒之觀測值。$y_{i-1}$表示氣壓在前10秒之觀測值。$x_i$表示氣壓這一秒與前10秒之波動的絕對變化量。以氣壓的變化量絕對值>0為資料本，計算觀測時間內之平均數與標準差：

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

N表示觀測時間內氣壓變化量絕對值>0 之資料個數。$\mu$ 表示觀測時間內氣

壓變化量絕對值>0 資料之平均數。$\sigma$ 表示觀測時間內氣壓變化量絕對值>0 資料之標準差。

**三、 地理位置**

蘭嶼位於臺灣的東南方，在綠島的南方，屬熱帶海洋性氣候，年雨量常在 3,000 公釐以上，年降雨日數達 224 天。蘭嶼為火山島地形，最高點紅頭山海拔 548 公尺，中央氣象局氣象站設置於標高 324 公尺的山丘上，蘭嶼機場則侷限在蘭嶼島西南側並緊鄰海邊，跑道呈東南-西北(130 ˚～310 ˚如)走向，如圖 1，在秋冬季節東北風盛行時，機場因處在背風面，不管氣流是爬升越山，或自島嶼西北角及東南角水平繞流，均容易在機場附近產生低空風切亂流現象，而這往往構成飛航的風險與威脅。

摘自 隨意窩https://xuite.net/

圖1 蘭嶼機場跑道鳥瞰圖

## 四、事件經過

德安航空定期載客公司班機於2017年 4月13日,於0810Z(1610L)自臺東機場起飛，飛往蘭嶼機場，該機於0832Z (1632L)蘭嶼機場13跑道落地，滾行過程，疑似失控衝出跑道，撞上機場跑道左邊護欄。事故原因主要是飛機降落時遇到風切，且駕駛員操作失誤。飛機在蘭嶼機場降落時，衝出跑道並撞擊機場圍籬，飛機嚴重受損。德安飛機在左側風情況下進場落地，著陸時機頭朝左，著陸後可能受跑道風切及飛航操作影響，航機呈現左偏趨勢，正駕駛員曾以右舵修正左偏航向，並將左、右動力手柄拉至反推力範圍。不過，根

據發動機左右扭力及反推力輸出的紀錄判斷，當正駕駛員意圖使用向右轉的差異推力輔助改正左偏時，正駕駛員誤拉左動力手柄將左側反推力加大，造成飛機受左側反推力影響而加劇向左偏轉。調查報告指出，正駕駛員雖曾加大右舵及使用右煞車的操縱量試圖改正，但因正駕駛員在不知誤用情況下繼續加大左側反推力至最大，結果飛機偏出跑道並撞擊機場圍籬受損。 0826Z(1626L)蘭嶼機場管制臺告知飛航組員 13 號跑道風向 100 度，風速 5 浬/時、最大 9 浬/時,風向變化範圍120度至210度,許可該機落地;並於0829Z(1629L)再次告知風向 040 度，風速 5 浬/時、最大 11 浬/時。該機落地使用 20 度襟翼，進場速度（VREF2）設定值為 79 浬/時，0832Z(1632L)於蘭嶼機場 13 跑道落地，航向約為 132 度。減速滾行過程中該機開始左偏，該機曾向右修正，但仍於距離 13 跑道頭約 1,830 呎處向左偏出跑道邊線進入草地，隨後並急劇左轉離開跑道，左翼、左發動機及機首撞擊機場圍籬，鼻輪陷入未加蓋之排水溝渠，最終停止位置距離 13 跑道頭約 2,050 呎處，(飛航安全調查委員會，2017)。

**五、天氣概述**

1017年4月13日0600Z(1400L)地面天氣分析圖（圖2），高氣壓位於東海，向東移動，蘭嶼受高壓出海影響，中央氣象局蘭嶼氣象站(蘭嶼機場31跑道頭東北方約1.35浬，高度324公尺)，4月13日0800Z

(1600L)至0900Z(1700L)吹北北東風，風速約8至16浬/時，最大陣風為風向030度，風速26浬/時，蘭嶼山上風大。而蘭嶼機場處於山脊的背風區， 2017年4月13日0800-0900Z(1600-1700L)蘭嶼機場跑道R13在0812Z之前，多數吹北風至東北風且強風達11-12kt，隨後至飛機降落時(0832Z)，仍多數吹北風至東北風，但是強度減弱至10kt以下。至於R31在0823Z之前，多數吹北北東風至東風且強風達11-17kt，隨後至飛機降落時(0832Z)，仍多數吹北北東風至東風，但是強度減弱至13kt以下，惟於0627Z出現強風030/15kt，R13和R31風向風速分布圖，如圖3。

事件發生之前半小時，飛機從台東豐年機場於0810Z起飛時，蘭嶼機場R13吹050/11kt，左側風10.8kt；R31吹040/13kt，右側風13.0kt。管制員第一次許可飛機降落時(0826Z)，R13風向風速為020/8kt，左側風7kt；R31風向風速為070/10kt，右側風8kt。管制員第二次許可飛機降落時(0829Z)，R13風向風速為030/8kt，左側風8.0kt；R31風向風速為060/15kt，右側風14kt。隨後，飛機於0832Z降落時，R13風向風速分別為100/8kt，左側風3kt；R31風向風速為040/9kt，右側風7kt，如表1、圖3和圖4。顯示二次許可降落時風速略有增強，飛機降落時風速略有增強，側風從山邊吹向海邊仍甚強。

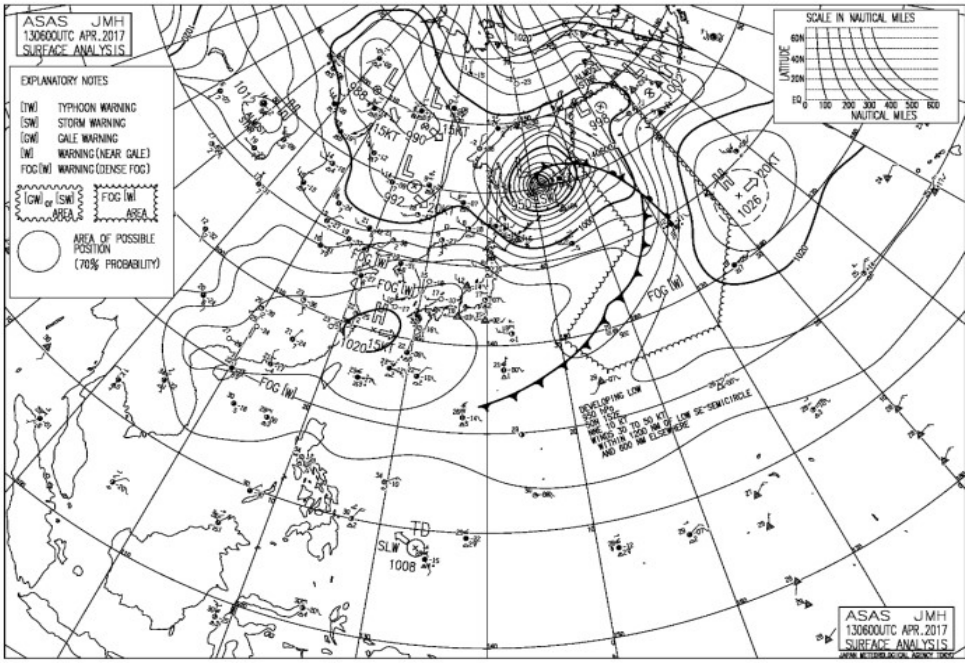
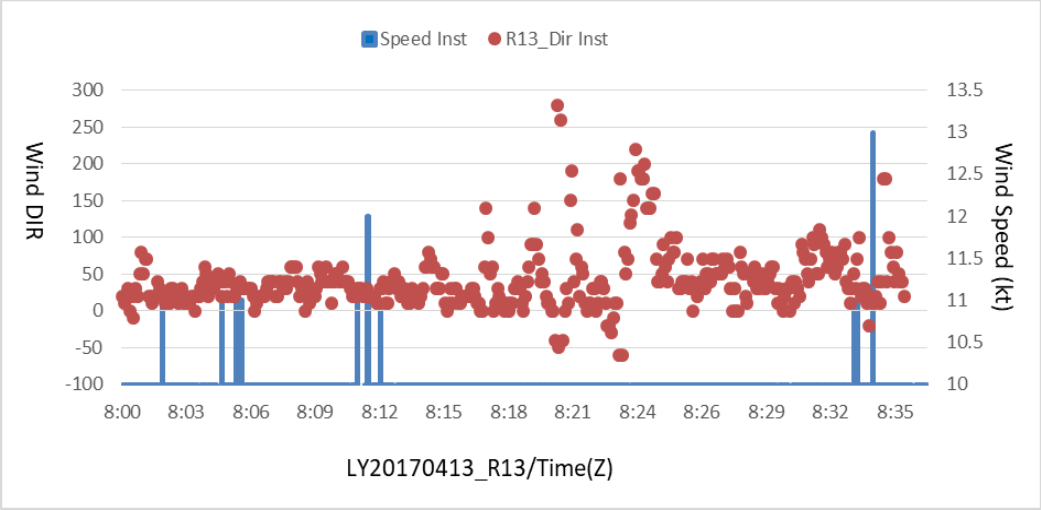


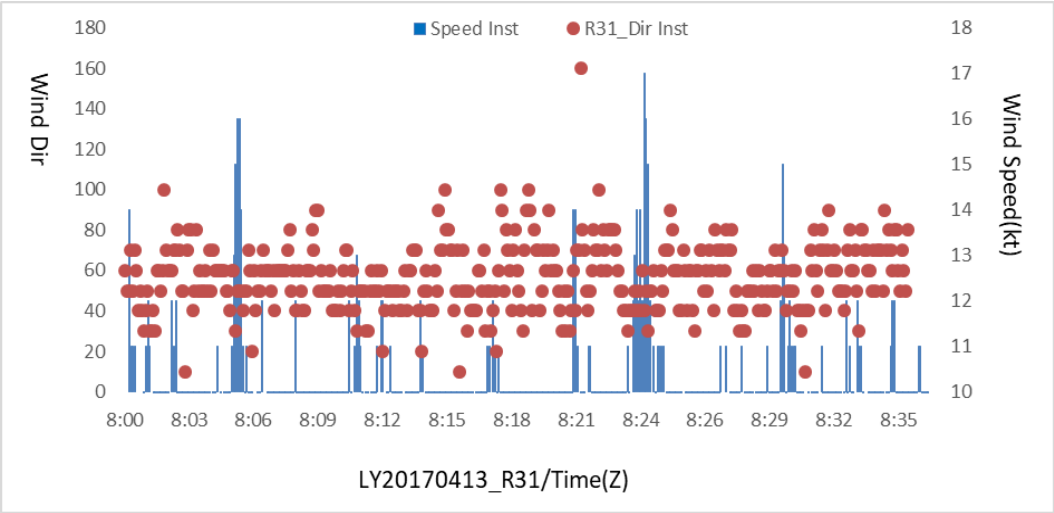

圖2 1017年4月13日0600Z(1400L)地面天氣分析圖

表1 1017年4月13日0800-0835Z蘭嶼機場風向風速、側風、頂風/尾風和跑道向量風切

| 2017 0413 | R13 | | | | R31 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Time(Z) | 風向/風速(kt) | 側風(kt) | 頂風/尾風(kt) | 向量風(kt) | 風向/風速(kt) | 側風(kt) | 頂風/尾風(kt) | 向量風(kt) | 向量風切(kt) |
| 0810 | 050/11 | 10L | 3H | 1.9 | 040/13 | 13R | 0T | 0 | -2.5 |
| 0822 | 340/10 | 5L | 9T | -8.7 | 080/14 | 11R | 8T | -9.0 | -14.6 |
| 0826 | 020/08 | 7L | 2T | -2.7 | 070/10 | 8R | 4T | -5.0 | -7.7 |
| 0829 | 030/08 | 8L | 1T | -1.4 | 060/15 | 14R | 6T | -5.1 | -6.5 |
| 0832 | 100/08 | 3L | 7H | 6.9 | 040/09 | 7R | 0T | 0 | 6.9 |



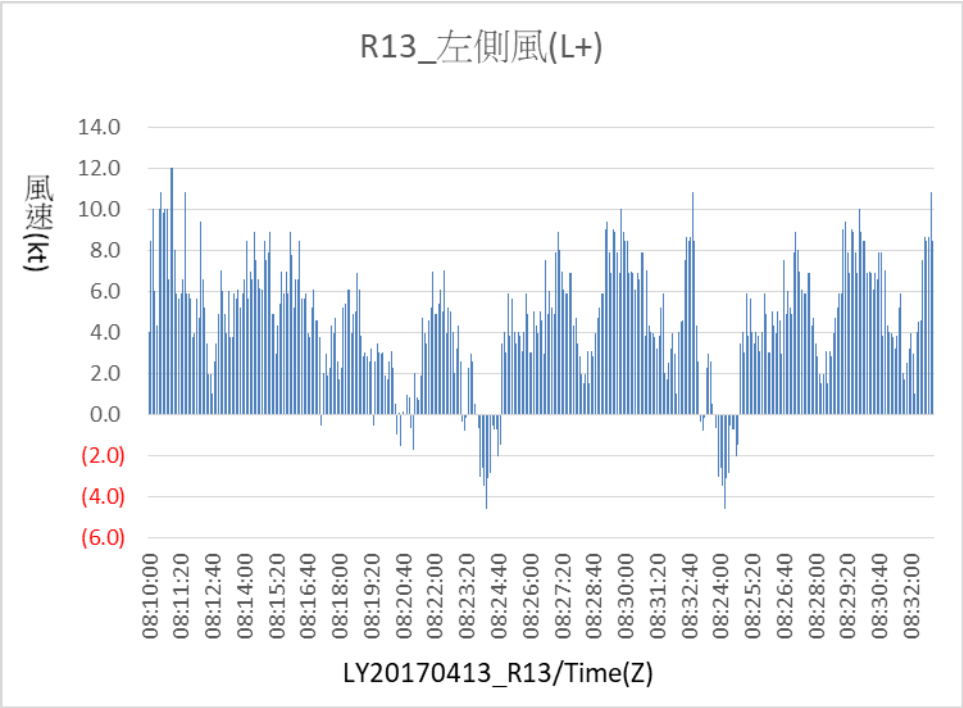

(a)



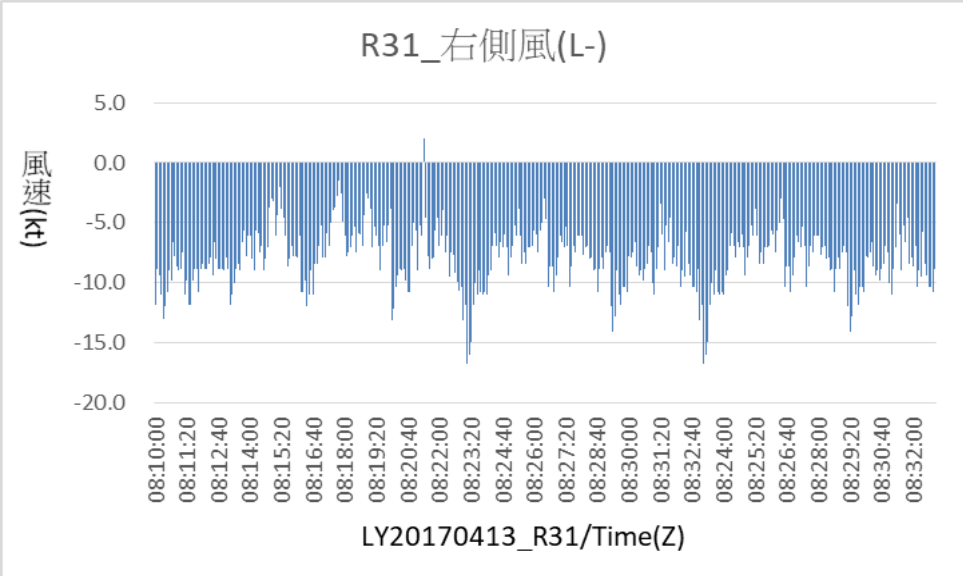

(b)

圖3　1017年4月13日0800-0900Z(1600-1700L) 蘭嶼機場跑道R13(a)和R31(b)風向風速分布圖。

註：風向(-20，-50，-100分別代表340，310°和260°)




(a)




(b)

圖4　1017年4月13日0810-0835Z(1610-1635L) 蘭嶼機場跑道R13(a)和R31(b)側風分布圖。

## 五、向量風切與氣壓時間變量

### （一）跑道向量風切

機場跑道向量風切(Vector Wind Shear of airport runway，

VWS)係跑道兩頭各自風向風速換算成各自跑道方向(130°~310°)的向量風，彼此相加，再採用絕對值，所以不但適用R13跑道之情形，同時也適用R31跑道。跑道向量風切是飛機起降實際面臨的風切。

2017年4月13日蘭嶼機場於0135-1529Z之間，有13.9小時發生跑道向量風切(≧14kt)之多，如圖5和表2。飛機事故之前6.8小時有跑道向量風切(≧14kt)，其中於0135Z、0145Z、0340Z和0822Z有較強跑道向量風切分別達16.5kt、17.3kt、18.2kt和16.4kt，尤其於飛機事故之前10分鐘(0822Z)有跑道向量風切，於0822Z 1分鐘之內發生3次跑道向量風切(>14kt)，當時R13吹340/10kt，風左側5kt，順風9kt，向量風-8.7kt；R31吹080/12kt，右側風9kt,順風7kt，向量風-7.7kt，跑道向量風切16.4kt。對R13跑道而言，是屬逆風風切，首先面對順風，到達R31轉為逆風分量增加，使飛機指示空速增加而提升其高度。管制員第一次許可飛機降落時(0826Z)，R13風向風速為020/8kt，左側風7.5kt，逆風2kt，向量風-2.7kt；R31風向風速為070/10kt，右側風8.0kt，向量風-5.0kt，風切-7.7kt，屬逆風風切。管制員第二次許可飛機降落時(0829Z)，R13風向風速為030/8kt，左側風8kt，向量風-1.4kt；R31風向風速為060/15kt，右側風-14.1kt，向量風-5.1kt，跑道

向量風切6.9kt，屬逆風風切。隨後，飛機於0832Z降落時，R13風向風速分別為080/8kt，左側風3kt，向量風6.9kt；R31風向風速為040/9kt，右側風7kt，向量風0kt，跑道向量風切6.9kt，屬於順風風切，如表1、圖3和圖4。飛機降落時(0832Z)，R13 吹100/8kt，左側風3kt，逆風7kt，向量風6.9kt；R31吹040/9kt，右側風7kt,順風0kt，向量風0kt，跑道向量風切6.9kt，屬於順風風切。跑道向量風切雖然減弱為6.9kt，但是還是面對順風風切，順風風切係逆風分量之減少或順風分量增加，使飛機指示空速減少而降低其高度。如表2、圖5和圖6。

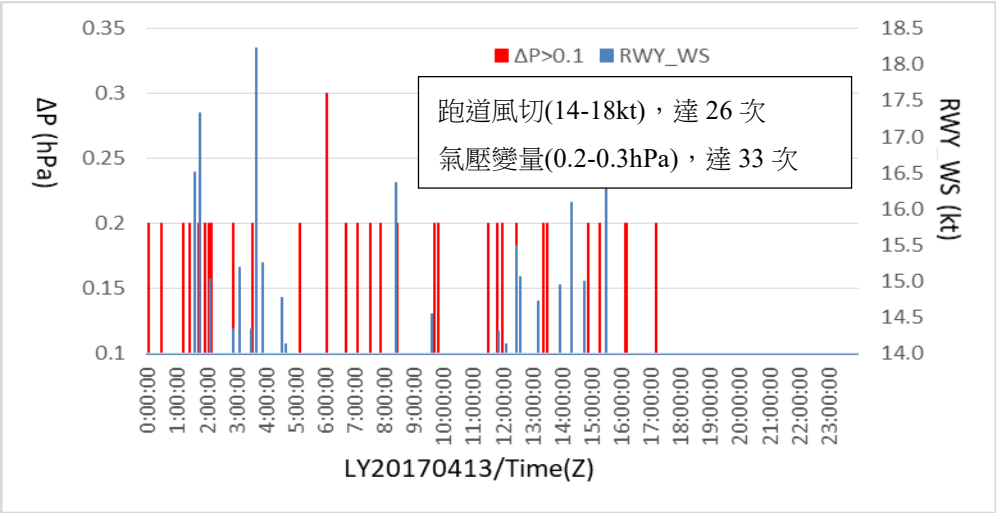



圖5 2017年4月13日0000-2400Z(13日0800L-14日0800L)蘭嶼機場氣壓時間變量(>0.1hPa)和跑道向量風切(≧14.0kt)分布圖

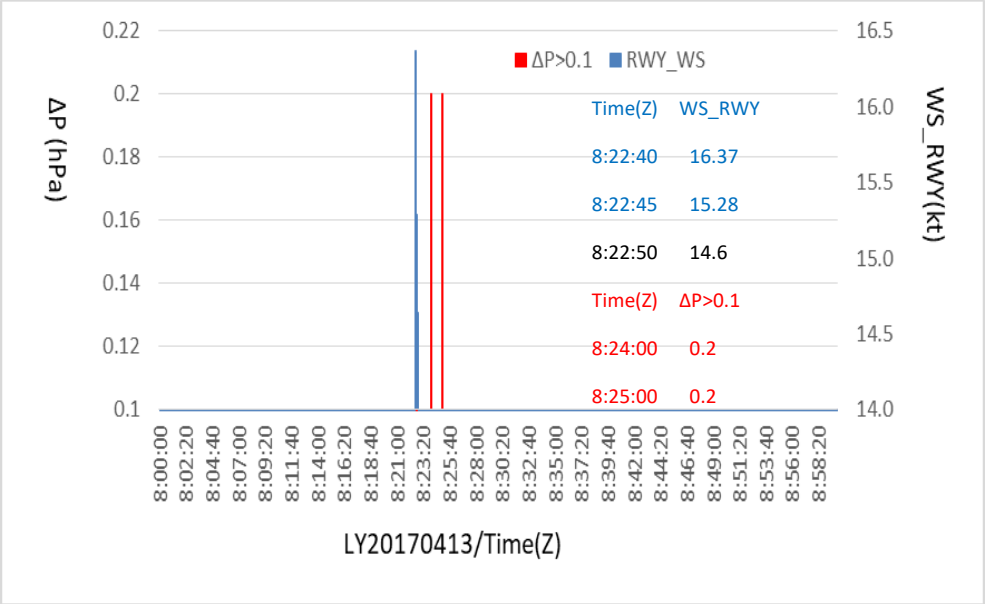



圖6 2017年4月13日0800-0900Z(1600-1700L)蘭嶼機場氣壓時間變量(≧0.2hPa)和跑道向量風切(≧14.0kt)分布圖

(二)氣壓時間變量

2017年4月13日蘭嶼機場於0001-1710Z有17.2小時發生氣壓時間變量(0.2-0.3hPa)，達33次之多，飛機事故之前有氣壓時間變量(0.2-0.3hPa)，其中於0001-0027Z和0113-0208Z有兩個時段有氣壓時間變量(0.2hPa)，分別達2次和7次，隨後於0252Z、0332Z、0508Z和0603Z有零星時段發生(1分鐘只有1次0.2-0.3hPa)，接著又有兩個時段(0642-0751Z和0824-0825Z) 氣壓時間變量(0.2hPa)發生，分別達4次和2次，飛機事故之前0825-0824Z發生2次氣壓時間變量(0.2)，顯示有不穩定天氣，如圖5、圖6和表2。

2017年4月13日0000-2400Z蘭嶼機場跑道向量風切(14-18kt)

達26次，氣壓時間變量(0.2-0.3hPa)達33次，其中在管制員第二次許可飛機降落時(0829Z)之前，跑道向量風切(14-18kt)達15次，氣壓時間變量(0.2-0.3hPa)達17次，而在0830-0832Z跑道向量風切最大值只有7kt，氣壓時間變量也只有0.1hPa。之後，於0941-1710Z跑道向量風切(14-16kt)達11次，氣壓時間變量(0.2hPa)達14次。顯示在管制員給許可之前，以及飛機落地之後，機場有不穩定天氣，惟管制員給許可之後至飛機降落之時，機場天氣穩定。但是在飛機降落之時，跑道側風從山邊吹向海邊，最強時有11kt。跑道向量風切雖然減弱，但是還是面對順風風切，逆風分量減少，使飛機指示空速減少而降低其高度，仍具有危險性。

表2　蘭嶼機場氣壓時間變量和跑道向量風切之延時、強度及次數

| DATE Year/ MonthDay | ΔP>0.1hPa | | | VWS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Time (Z) | Duration (hr/min) | Strength (hPa) | Time (Z) | Duration (hr/min) | Strength (kt) |
| 2017 0413 | 0001-1710 | 16.2hr/(33) | 0.2-0.3 | 0135-1529 | 13.9hr/(26) | 14-18 |
| | 0001-0027 | 28min/(2) | 0.2 | 0135-0353 | 2.3hr/(10) | 14-18 |
| | 0113-0208 | 56min/(7) | 0.2 | 0432-0439 | 1min/(2) | 14 |
| | 0252 | 1min/(1) | 0.2 | 0822 | 1min/(3) | 14-16 |
| | 0332 | 1min/(1) | 0.2 | 0934 | 1min/(1) | 14 |
| | 0508 | 1min/(1) | 0.2 | 1151-1235 | 45min/(4) | 14-16 |
| | 0603 | 1min/(1) | 0.3 | 1310 | 1/(1) | 14 |
| | 0642-0751 | 1.2hr/(4) | 0.2 | 1355-1445 | 51min/(4) | 14-16 |
| | 0824-0825 | 2min/(2) | 0.2 | 1529 | 1min/(1) | 16 |
| | 0941-0949 | 9min/(2) | 0.2 | | | |
| | 1130-1329 | 1hr/(6) | 0.2 | | | |
| | 1452-1517 | 26min/(3) | 0.2 | | | |
| | 1609-1610 | 2min/(2) | 0.2 | | | |
| | 1710 | 1min/(1) | 0.2 | | | |

## 六、討論

本文根據蘭嶼機場氣象自動觀測系統每5秒的氣壓和風場資料，計算飛機事故之前後氣壓時間變量與跑道向量風切，並按機場風向風速(0810-0835Z)、側風(0810-0835Z)、頂風/尾風(0810-0835Z)和跑道向量風切(0000-2400Z、0800-0900Z及0810-0835Z)做每5秒時間序列分布，分析結果顯示，20017年4月13日0810-0811Z機場跑道R13吹北北東至東北風最大值有12kt，雖在飛機降落時最大風速降為11kt，但是側風從山邊吹向海邊仍甚強(11kt)。但是在飛機降落前7-10分

鐘，天氣仍是不穩定，跑道向量風切達14-16kt，氣壓時間變量達0.2hPa。而飛機降落時，跑道側風雖然略為減弱，但是跑道向量風切仍然有6.9kt，遇到順風風切，逆風分量減少，飛機指示空速減少而降低其高度，仍具有危險性。

## 七、結論

本文根據蘭嶼機場氣象自動觀測系統每5秒的氣壓和風場資料，計算氣壓時間變量與跑道向量風切，兩者每5秒時間序列分布顯示，2017年4月13日德安航空班機降落蘭嶼機場偏出跑道事件，經氣壓時間變量與跑道向量風切分析，認為飛機降落前7-10分鐘，天氣不穩定，跑道向量風切達14-16kt，氣壓時間變量達0.2hPa。飛機降落時，跑道側風雖然略為減弱，但是跑道向量風切仍然有6.9kt，遇到順風風切，逆風分量減少，飛機指示空速減少而降低其高度，仍具有危險性。

## 八、致謝

感謝民用航空局飛航服務總台台北航空氣象中心提供蘭嶼機場自動觀測資料。

## 九、參考文獻

祝鴻鵬、任志超、曾憲瑗及蒲金標等,1984：蘭嶼機場低空風切與亂流之研究。交通部民用航空局研究報告, PP.72。

飛航安全調查委員會，2017：航空器飛航事故_2017年4月13日德安航空公司 A7511班機DHC6400型機於蘭嶼機場13跑道落地時偏出

跑道航機遭受實質損害，PP.125
鄧仁星、陳建蒲、曾俊傑、王文清及祝世全，2020：蘭嶼機場風場研究。中華氣象協會，飛航天氣第34期，p.16-25。
蒲金標，2003：臺灣松山機場低空風切系統與低空風切診斷分析，大氣科學，31，181-198。
_____，2009，4：台灣東南海域季風與冬季低空風切之分析研究.。「飛航天氣」第十一期。pp. 1- 9。
_____與林清榮，2017a：馬祖南竿機場誤失進場風切與氣壓大波動分析。航空安全及管理季刊，4，65-78。
_____與林清榮，2017b：2010-2014 年松山機場低空風切與氣壓大波動之日變化分析研究，大氣科學，45, 261-280。
_____與林清榮，2018：2014-2016 年馬祖南竿機場跑道氣壓大變動與逆風(順) 風切分析研究。航空安全及管理季刊，5，42-55。
_____與林清榮，2021：松山機場強勁東北季風跑道向量風切與氣壓時間變量之分析研究。中華氣象協會，飛航天氣期刊，36，19-30。
_____與徐茂林，2016a：菲特(FITOW)颱風影響松山機場低空風切之觀測個案 分析研究，飛航天氣期刊，25，30-50。
_____與徐茂林，2016b：東北季風影響松山機場低空風切之個案觀測分析，氣象學報，53，23-38。
_____、徐茂林及游志遠，2015：2013 年 7 月 12-13 日蘇力颱風侵襲期間松山機場低空風切分析研究，大氣科學，43，27-46。
_____、徐茂林、游志遠及劉珍雲，2014：臺灣低壓鋒面與松山機場低空風切個案研究，航空安全及管理季刊，1，227-243。
蘭澄初，1984：蘭嶼周圍亂流之初步分析。民用航空局”航空氣象與飛航安全研討會”論文彙編，p291-295。
ICAO(International Civil Aviation Organization), 2005: Manual on Low-Level wind-Shear, May 3, 2014—First. Edition — 2005. Doc. 9817 -AN/449, p. 5-8, (https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2194.pdf)
Katul, Gabriel G., J. D. Albertson, M. B. Parlange, Cheng-I. Hsieh, P.S. Conklin, John T. Sigmon, and Ken R. Knoerr, 1996：The “Inactive” Eddy Motion and the Large-Scale Turbulent Pressure Fluctuations in the Dynamic Sublayer. JAS，53, p2512-2524.
Shreffler, Jack H. and Francis S. Binkowski, 1981: Observations of Pressure Jump Lines in the Midwest, 10-12 August 1976. Mon. Wea.Rev., 109,1713-1725.
UCAR(University Corporation for Atmospheric Research), 2021：Low

Level Wind-shear Alert System (LLWAS-III), (https://ral.ucar.edu/solutions/products/low-level-wind-shear-alert-system-LLWAS-III).

Vianai Samul, Carlos Yaguei, Gregorio Maqueda2 and Gema Morales, 2007: Study of the surface pressure fluctuations generated by Waves and turbulence in the nocturnal boundary layer during SABLES2006 field campaign. Fisica de la Tierra , 19, 55-71.

Wakimoto, R. M., 1982: The Life Cycle of Thunderstorm Gust Fronts as Viewed with Doppler Radar and Rawinsonde Data. Mon. Wea. Rev., 110, 1060－1082.

Wei Z. R. et al., 2021: Study on the characteristics of the pressure fluctuations and their contribution to turbulence kinetic energy. Laboratory for Climate and Ocean-Atmosphere Studies, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, PR China.