

馬公地區冬季強風之預報與分析

張志誠 劉隆偉

(中華民國七十四年八月一日收件，八月二十四日修正)

摘 要

台灣冬季在東北季風的影響下，北部及離島地區常出現強風，而馬公地區之冬季強風更是名聞遐邇。馬公地區強風之發生固然與地形與地理環境有密切之關係，而天氣系統之演變，乃是主宰強風出現與否之重要因素。本文即是蒐集民國 63 年至 72 年間冬季 11 月～3 月的資料及綜觀天氣圖型態，尋找強風發生有關的因子，以期對馬公地區之強風預測提供一可行的預報方法。同時由 10 年間 11 月～3 月的馬公、馬祖與上海的氣壓值，從三者間之氣壓變化中尋找與馬公風速大小有關之因子，做統計迴歸分析，以求得一良好之強風風速預報方程式。

一、前 言

馬公地區冬季強風通常指在每年 10 月至翌年 4 月間盛行之東北季風所造成之強風。由於極地大陸 (CP) 氣團增強，籠罩整個西伯利亞附近地區，當大陸高壓系統勢力到達台灣時，高壓環流呈東北至西南 (NE～SW) 走向，故稱為東北季風。在冬季東北季風盛行期間，馬公地區經常出現持續性之強風，此種持續性強風常肆虐數日，對於飛航安全，人民生活都造成甚大的影響，挾帶海上鹽分的強風亦使得農作物與一般植物難以正常生長，造成了馬公地區特殊之人文景觀。

本文有鑑於此，特蒐集十年之資料加以整理分析，尋找與強風出現有關之預報因子，以期得到一可行之法則提供預報之參考。基於風速對於飛航安全之影響，在此定義恆常風大於 20 哩/時，陣風大於 26 哩/時以上者，稱為強風。

二、資料蒐集與處理方法

本文資料選定民國 63 年～72 年間 11 月～3 月中，利用氣象中心保存之 00Z 天氣圖，綜觀天氣圖型態，選擇高壓中心之位置、強風與其行進路徑等氣象因子，並分析台灣地區等壓線之走向，找出它們與強風出現之相關性。並蒐集每日 00Z 馬公

、馬祖及上海之氣壓值與馬公 00～12Z 間之風向與風速資料，利用馬公、上海與馬公、馬祖間之氣壓差值，馬公之氣壓值以及馬公氣壓趨勢（與前一日之氣壓差），作變數迴歸分析，以其良好之相關性為依據，得出一可靠之迴歸方程式，用以預測馬公之風速大小，可得準確而迅速方便之效果。

三、地形與地理環境之影響

地形與地理環境、位置常為影響天氣現象之重要因素。故在此先描述馬公地理位置及地形之特色。馬公位於北緯 23.3°，東經 119.3°，為澎湖群島 64 個島嶼中之最大島；東距台灣嘉義 52 哩，西距金門 76 哩，位於台灣海峽中部而略偏於台灣。台灣海峽呈喇叭狀，馬公以北較窄，以南較寬；東有中央山脈，西以福建仙霞嶺、武夷山為屏障，形成氣象學上所謂衝堂風之效應，新竹號稱風城即此效應所造成。當冬季東北季風盛行時，氣流流入台灣海峽中而使氣流趨於密集，導致風速之增強。物理學上之白努利定律 (Bernoulli's Law) 亦可解釋馬公風速較大之原因。再加上馬公地區地勢平坦，地形最高處僅 75 公尺，在無任何屏障下，強風更可肆虐而無阻攔。

四、研究結果

(一) 強風風速與風向之分布：

馬公地區全年之平均風速為 15.4 kts，而以 11、12 月之平均風速 19.0 kts 為最高，8 月之 7.8 kts 為最低，年較差為 11.2 kts。而東北季風盛行之冬半季（10～3 月）之平均風速為 17.5 kts，夏半季（4～7 月）為 9.1 kts，季較差為 8.4 kts（參見圖 1）。除了夏季颱風侵襲的期間外，強風幾乎都集中於冬季。由於東北季風環流及地形之影響，強風之風向恆為北風及北北東風，統計強風（恆常風 > 20 kts，最大陣風 > 26 kts）共 558 次中，風向在 $360^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 間共 555 次，佔 99.5%。以月份比較，強風出現次數以 12 月最多，共 145 次，3 月最少，共 76 次（參見圖 2）。

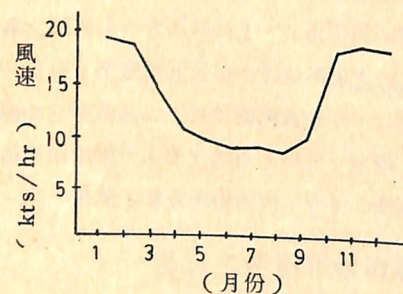


圖 1：馬公風速逐月之變化

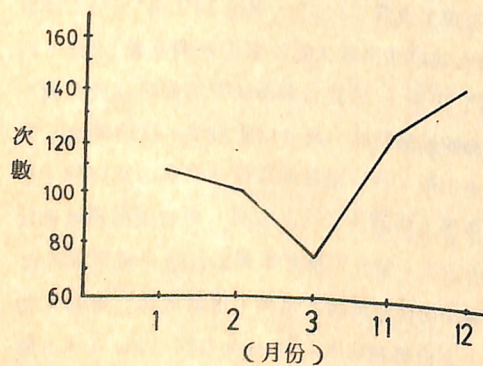


圖 2：強風次數逐月之變化

(二) 氣象因子之分析：

① 高壓中心強度、位置與路徑：

冬季，cP 氣團勢力南移，或分裂出 cPe 氣團，中心強度隨著月份改變而不同，平均中心強度從

11 月開始加強，到 12 月增至最大，達 1053mb，再逐漸減弱至 3 月，2 月份有上升的趨勢。（參見圖 3）。

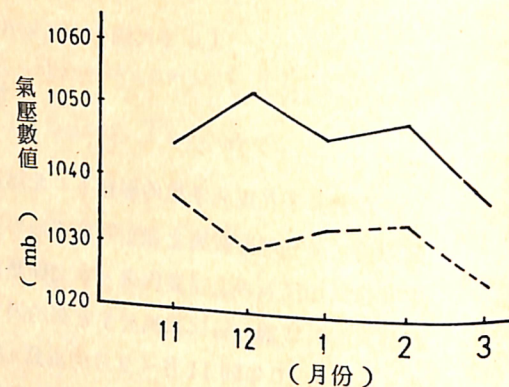


圖 3：高壓中心數值逐月之變化
實線：極地大陸高壓中心數值
虛線：華中華南高壓中心數值

大陸高壓南移路徑大致可分為兩支：

路徑 A：

經蒙古，直下中國大陸，經華北、華中直接影響台灣海峽風力，而由東海或黃海南部出海。（參見圖 4）。

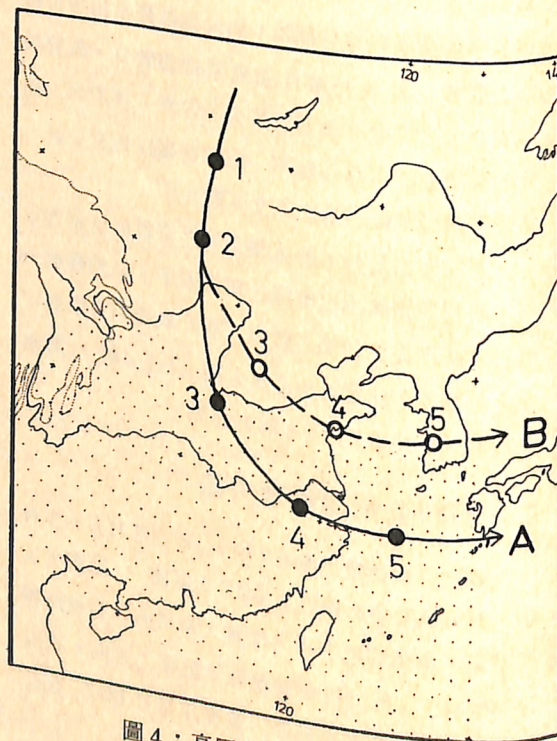


圖 4：高壓中心路徑示意圖

路徑 B：

經蒙古後與路徑 A 分歧，經渤海附近由韓國經日本出海東去。（參見圖 4）。

一般來說，路徑 A 出現於 2、3 月份較多，而路徑 B 則出現於 11、12 月及 1 月份頻率較多，整體來說，路徑 B 出現頻率較路徑 A 為高，風速亦較大。

當高壓中心出現於貝加爾湖以西或以北（指東經 100° ，北緯 55° 以西或以北處）時，強風出現之機率很小。當位置在貝加爾湖附近時，馬公出現強風之機率開始增加。氣壓值之大小與風速有正相關性，當 cP 氣團之氣壓值達 1050mb 以上時，出現強風機率為 58%，在 1060mb 以上時機率為 75%。（參考表 1）

表 1：cP 氣團中心數值與馬公發生強風機率百分比之關係

cP 氣團中心數值	1045 以上	1050 以上	55 以上	1060 以上	1065 以上
馬公發生強風機率	51%	58%	66%	75%	80%

爾後高壓勢力南移，或分裂出 cPe 氣團，路徑分兩支：

路徑 A：

從南上路徑 1～2 中，若中心強度維持一定時，馬公風速有增加之趨勢，路徑 2～3 中風速大致維持不變，從路徑 3～4 時風速開始減弱，在路徑 4 以後，高壓出海後，強風出現之機率甚小。

路徑 B：

從路徑 1～2 中，若中心強度維持一定時，馬公風速有增加之趨勢，從路徑 2～3 中風速有些微降低趨勢，在路徑 3～4 間強風出現機率已經很小了，至點 5 後強風幾乎不再發生。

綜合言之，路徑 A 中 1～4 間為強風發生機率最高處，路徑 B 中則為 1～3 間機率最高。且中心強度越強，風速也趨向更大。

無強風出現之因子：

(i) 高壓中心位於貝加爾湖以西或以北處（東經 100° 北緯 55° 以西或以北處）。

(ii) 主高壓中心行至超過東經 120° 處。

(iii) 等壓線成南到北（S～N）或東南到西北（SE～NW）走向時。

(iv) 台灣位於鋒面前方時。

② 等壓線走向：

等壓線之走向與馬公風速有密切關係。由於地轉風關係，等壓線走向與氣流走向常呈一致，當東北季風盛行期間，若等壓線走向呈東北至西南（NE～SW）走向時，由於地形之影響，氣流直接從呈喇叭口狀之台灣海峽直接灌入，使氣流線趨於密集，風速自然較強。若等壓線呈東到西（E～W）走向時，由於中央山脈地形之阻礙，風速也因此減弱。若為南來氣流，即東南到西北（SE～NW）走向或為南到北（S～N）走向時，則東北季風勢力已減弱，風速自然就更小了。綜合言之，等壓線走向由東北至西南走向往順時針旋轉則風速也隨之減弱。為統計分析方便起見，在此將風速分為 4 級，第 I 級風為 0～10 kts，第 II 級為 10～20 kts，第 III 級為 20～30 kts，第 IV 級風為 30 kts 以上。

表 2：等壓線走向與風速之關係

風速走向	I	II	III	VI	總計
NE～SW	29	300	384	71	784
E～W	108	379	93	9	589
SE～NW	86	33	0	0	119
S～N	17	2	1	0	20
總計	240	714	478	80	1512

據 63～72 年共 10 年 11～3 月間之統計分析結果，從 1512 天之每日 00Z 天氣圖中，強風日數共 558 日中，第 III 級風共 478 日，東北～西

南走向之等壓線有 384 日，佔 80.3%，東西走向共 93 日，佔 19.4%（參見表 2），僅有 1 日呈南北走向，此乃 11 月間颱風環流之影響，第 IV 級強風共 80 日中，NE~SW 走向共 71 日，佔 88.7%，E~W 走向共 9 日，佔 11.3%，（參見圖 5）。

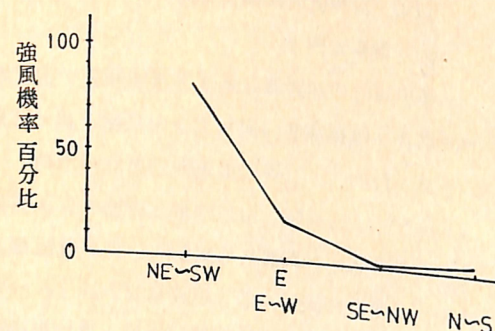
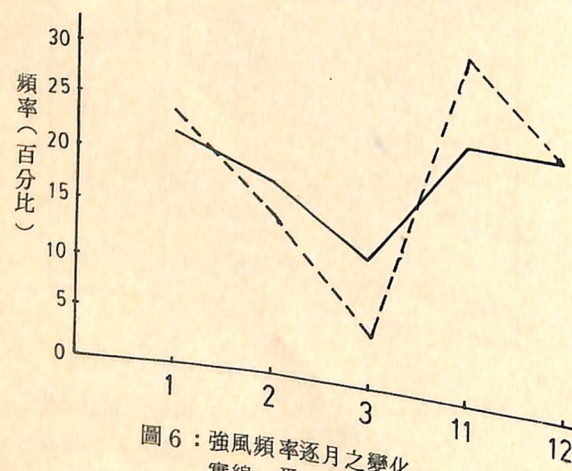


圖 5：強風發生率與等壓線走向之關係

表 3：等壓線走向逐月之變化

月份	1	2	3	11	12
NE~SW	177	133	103	195	175
E~W	122	113	135	102	127
SE~NW	14	29	62	2	1
S~N	1	7	10	1	1

圖 6：強風頻率逐月之變化
實線：Ⅲ：(20~30 kts)
虛線：Ⅵ (30 kts 以上)

從等壓線走向之月變化中（參見表 3），及風速之月變化中（參見圖 6），可看出東北季風在 11 月及 12 月最為盛行，等壓線走向趨於東北~西南走向，平均風速也較大；而至 3 月東北季風減弱，南來氣流頻率增加，平均風速也較小，表示已近尾聲。

(三) 個案分析：

(i) 圖 7 為 72 年 1 月 19 日 00 Z 地面天氣圖，高壓中心 1056 mb 位於蒙古，為一典型之東北季風型態。馬公與馬祖間氣壓差皆 10.2 mb，馬公與上海氣壓差為 15.5 mb；氣壓與前一日差值為 10.5 mb，代入預測方程式中，預測馬公在 12 小時內風速將達 29.0 kts，而實際馬公地區發生之風速恆常風為 30 kts，最大陣風為 38 kts，強風持續有 5 日之久。

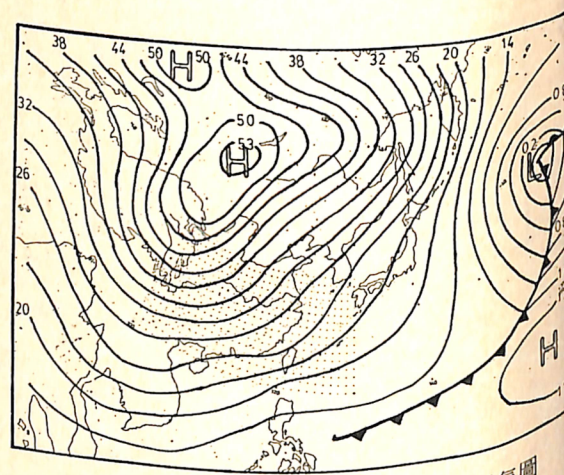


圖 7：民國 72 年 1 月 19 日 00z 地面天氣圖

(ii) 圖 8 為 71 年 3 月 24 日 12 Z 地面天氣圖，高壓中心 1046 mb 位於貝加爾湖附近，冷鋒於 12 小時前通過台灣，前一日馬公風速為 12 kts，陣風在鋒面通過後，風速增加至恆常風 24 kts，陣風達 36 kts，當日馬公與馬祖間氣壓差為 3.4 mb，與上海氣壓差為 16.9 mb，氣壓趨勢為 +2.6 mb，代入預測方程式中，預測 12 小時內風速可達 26 kts，與實際風速誤差為 2 kts。

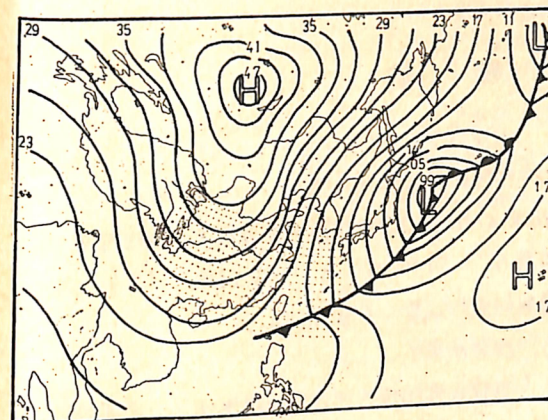


圖 8：民國 71 年 3 月 24 日 12z 地面天氣圖

(iii) 圖 9 為 71 年 12 月 1 日 00 Z 地面天氣圖，分裂高壓中心 1032 mb 位於福建，即將出海。當日馬公與馬祖間氣壓差為 5.4 mb，與上海氣壓差為 5.6 mb，氣壓趨勢為 +2.0 mb，代入預測方程式中，預測 12 小時內風速達 18.5 kts，實際當日出現風速為 17 kts，陣風 24 kts，隔日在高壓出海後，風速減為 10 kts。

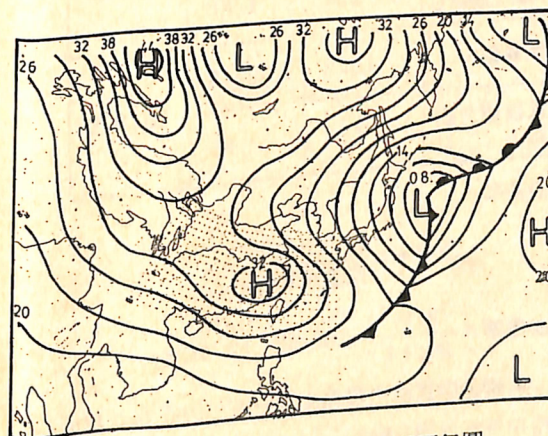


圖 9：71 年 12 月 1 日 00z 地面天氣圖

四強風客觀預報：統計迴歸分析

氣壓梯度與氣壓數值之變化是決定風速大小的一個重要因子。本文蒐集 63~72 年 11 月~3 月間之馬公、馬祖、上海之氣壓值與馬公之風向、風速之資料，尋找與馬公風速有相關之因子，以簡單相關（Simple correlation）分析風速與不同氣壓值，氣壓梯度與氣壓趨勢間的關係，由統計學原理求得線性迴歸方程式（Linear regression equation）

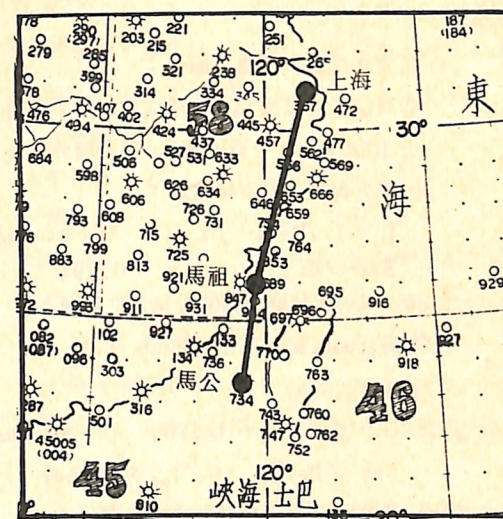


圖 10：上海、馬祖、馬公位置示意圖

，並計算標準差（Standard deviation）與相關係數（Correlation coefficient），由相關因子與風速間之相關度，選取相關性較佳之因子，再利用複相關（Multiple correlation），求得一複變數線性迴歸方程式（Multiple linear regression equation），以獲得一良好之預報方程式，作為預報風速之參考。本文選取 63 年到 71 年 9 年間 11 月到 3 月間風向 360°~40°，等壓線走向為東北~西南（NE~SW）到東~西走向間，風速大於 10 kts 的 500 個資料，包括每日馬公氣壓值，馬公前一日至當日之氣壓趨勢，馬公與馬祖間氣壓差，馬公與上海間氣壓差值，四個因子做迴歸分析，方法如下：

令風速為 U ，變數為 X ，

令 $U = a + bX$ ，

以最小平方方法（the least square method）求得

$$\Rightarrow \begin{cases} na + b \sum X = \sum U \\ a \sum X + b \sum X^2 = \sum XU \end{cases}$$

$$\Rightarrow a = \frac{\sum X^2 \bar{U} - \sum X \bar{U} X}{\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad b = \frac{\sum X \bar{U} - \bar{X} \bar{U}}{\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

標準差（Standard deviation）

$$S_{ux} = (\bar{XU} - \bar{X} \bar{U})^{\frac{1}{2}}$$

相關係數（Correlation coefficient）：

$$r = \frac{\bar{XU} - \bar{X} \cdot \bar{U}}{\sqrt{\sum X^2 - (\sum X)^2} \cdot \sqrt{\sum U^2 - (\sum U)^2}}$$

結果如下：

(i) 馬公氣壓值與風速之關係：

令M為馬公氣壓值(取百位數以後,即減去1000mb)令風速為U,經迴歸分析後所得之線性迴歸方程式為：

$$U = 1.734M - 14.744 \quad U: \text{kts/hr}$$

$$S_{UM} = 4.255 \quad r_{UM} = 0.294$$

(ii) 馬公與馬祖氣壓差與馬公風速之關係：

令馬公與馬祖氣壓差為Xmb,

迴歸方程式為：

$$U = 1.632X + 12.705 \quad U: \text{kts/hr}$$

$$S_{UX} = 2.784 \quad r_{UX} = 0.541$$

(iii) 馬公與上海氣壓差與風速之關係：

令馬公與上海氣壓差為Ymb,

迴歸方程式為：

$$U = 1.387Y + 7.204 \quad U: \text{kts/hr}$$

$$S_{UY} = 2.575 \quad r_{UY} = 0.587$$

(iv) 馬公氣壓趨勢與風速之關係：

令馬公當日與前一日之氣壓差為Zmb,風速變化為U',

迴歸方程式為：

$$U' = 1.53Z + 0.634 \quad U: \text{kts/hr}$$

$$S_{U'Z} = 3.122 \quad r_{U'Z} = 0.458$$

相關係數 r 代表風速之變化可由變數變化之比率大小為($r^2 \times 100\%$)來決定。

比較以上四個因子,都與風速有正相關,即風速與因子數值大小成正比。但是其中馬公之氣壓值與馬公之風速之間相關係數較小,即有較小之相關性,故不予考慮其代表性。

我們考慮(II)、(III)、(IV)與馬公風速之複相關,求得一複變數迴歸方程式,結果如下：

$$U = 0.783X + 0.721Y + 0.686Z + 9.844$$

$$S_{U/XYZ} = 2.263 \quad r_{U/XYZ} = 0.772$$

X: 馬公與馬祖之氣壓差(mb)

Y: 馬公與上海之氣壓差(mb)

Z: 馬公之氣壓趨勢(mb)

U: 預測12小時內馬公出現之風速(kts/hr)

從相關係數及標準差來看,此預測方程式有不

錯之準確度。

五、校 驗

本文以72年間1、2、3、11、12月共5個月作校驗,選取風向 $360^\circ \sim 040^\circ$ 風速大於15kts/hr之115日作為迴歸方程式準確性校驗。並與63~71年11~3月間經校驗之單日平均風速氣候值作比較。(參見表4)

校驗結果：

方程式預測風速與實際出現風速之平均誤差為2.5kts,標準差為1.86kts。

表4: 迴歸方程預測之風速與氣候值測之風速準確性之校驗

	平 均 (mean)	標 準 差	誤 差 率
實際風速 U	20.14	4.41	
方程式預測風速 U	21.4	3.71	
方程式預測風速之誤差 U	2.5	1.86	12.41%
氣候值 U	15.2	2.75	
氣候值之誤差 U	5.8	3.81	28.8%

令誤差率：

$$\text{誤差率} = \frac{\text{誤差平均值}}{\text{風速平均值}}$$

$$\text{則誤差率} = \frac{2.5}{20.14} \times 100\% = 12.41\%$$

氣候值與實際出現風速之誤差平均為5.8kts,標準差為3.81kts。

$$\text{誤差率} = \frac{5.8}{20.14} \times 100\% = 28.8\%$$

由上可知,以迴歸方程式預測風速較氣候值為佳,且誤差率不大,乃為一優良之預測方程式。

六、結 論

馬公地區冬季強風之預報,除了綜觀天氣圖型態作預報外,利用氣壓梯度、氣壓趨勢與風速之相

關性求得之迴歸方程式,從相關係數看來,有不錯之相關度,從檢驗結果而論,亦有不錯之準確性。雖然如此,我們仍不能單以迴歸方程作馬公風速之預報,若配合天氣圖型式與氣流走向來作預報,則可得到較佳之結果,進而提高馬公強風及風速預報之準確性。

致 謝

本文承氣象中心主任梁上校指正,沈哇課長修改部份內容,汪勝雄氣象官和林清財同學繪圖,方使本文順利完成,謹致最大的謝意。

參考文獻

1. 程允中、王復平, 1984, 「冬季台灣北部地區風力分析與研究」, 氣象預報與分析第101期, P 43~48。
2. 陳新翎, 1982, 「馬公地區颶線雷雨分析與預報」, 中範圍天氣系統研討會論文彙編, 中央氣象局, P 245~255。

3. 陳金堂、張昭仁, 1981, 「東北季風對台灣海峽風浪之影響」, 異常氣候研討會論文彙編, 中央氣象局, P 265~P 274。
4. 劉隆偉, 1972, 「馬公地區強風之研究」, 空軍第七天氣中心歷年技術研究發展報告。
5. 林昭豪, 1967, 「彭佳嶼、澎湖嶼季風特性之研究」, 台大地理系研究報告書, 4, P 1~22。
6. 周根泉, 1967, 「台灣風及其利用價值」, 台大地理系研究報告, 4, P 102~124。
7. 陳超塵, 氣象統計學(上冊), 台灣商務印書館, Chap 8, P 243~353。
8. Some Application of Statistics to Meteorology. By Hans A. Panofsky and Glenn W. Brier. Chap 4, 5 P 80~124。
9. Probability and Statistics for Engineers and Scientists By Ranold E. Walpole and Raymond H. Myers, Chap 8, 9, P 280~349。

民國74年8月

張志誠 劉隆偉

On the Forecast and Analysis of Strong Wind in Makung Area during Winter Season

Ji-Cheng Chang, Long-Wei Liu

ABSTRACT

Located in Taiwan Strait, Makung is famous for its winterly Gusty wind. Under the influence of North-eastern monsoon the frequency of occurrence of gusty wind increase at Makung in winter. This gusty wind endanger flight safety and growth of argiculture and vegetation, also effects humen livings. The purpose of this research is to seek a better method to forecast the gusty wind occurrence time and its intensity. We also want to find out that how does the gusty wind happens. In this research we use 10 years' (1974-1983 Nov. through Mar.) data as our data source. A statistical linear regression analysis method was used. We analyzed the relation between the gusty wind speed and the pressure difference of Makung, Shanghai, and Matsu. As a result we have a multiple regression equation to forecast the gusty wind speed at Makung. It is our goal to have an accurate and convenient method to predict wind changes at Makung area.