

新竹外海與新竹南寮測站風力與波高之分析探討

王銘輝 徐明銀

中油公司海域及海外石油探勘處

潘大綱 陳箴

空軍氣象中心

摘 要

台灣位於東亞大陸東南方的一個島嶼，台灣本身有中央山脈縱貫南北，因此受海洋及大陸氣團之影響，復加上本身之地形之作用，使得天氣變化甚為複雜，各種作業及各項活動多少均受天氣影響：中油公司所屬海域及海外石油探勘處多年來一直在台灣地區探勘油源，新竹外海（C B K 區）成果豐碩，然海上作業受氣象因素之影響甚大，因此本研究乃針對海上作業區之各天氣要素如大風、海浪……等做深入之探討研究，以期能提早準確提供各種天氣預報，有利各項作業之準備，減少設施裝備受天氣因素所造成之損失。

在風力與波高之分析中以複迴歸方式計算出風力與浪高之關係，經過驗正發現效果甚理想。

利用簡單迴歸分析，製作出 C B K 最大波高與新竹南寮風速之間的迴歸方程。

$$Y_{max} \text{ (C B K 最大波高)} = 0.8047 + 0.1812 X_1 \text{ (新竹南寮風速)}$$

利用複迴歸分析，找出最佳且最有利作業之複迴歸方程：

$$\begin{aligned} \text{冬半年: } Y_1 \text{ (指示波高)} = & -0.07445 + 0.06625 X_2 \text{ (C B K 風速值)} + 0.19775 X_3 \\ & \text{(新竹南寮風向)} + 0.01492 X_4 \text{ (新竹南寮風速)} \end{aligned}$$

此一情況所得之複相關程度為 78.7%，估計標準差值為 0.66634 公尺

$$\begin{aligned} \text{夏半年: } Y_1 \text{ (指示波高)} = & -0.20595 + 0.02884 X_2 \text{ (C B K 風速)} + 0.23779 X_3 \\ & \text{(新竹風向)} + 0.03747 X_4 \text{ (新竹風速)} \end{aligned}$$

此種情況下之複迴歸相關程度為 64.0%，估計標準差為 0.52557 公尺。

一、前言

影響 C B K 作業區是否得以正常作業的主要兩大自然因素是風與浪二者；雖然浪的廣義總稱中包含了潮汐 (tide)，地震或海底火山爆發所伴生的海嘯 (tsunami)，以及颱風所生的風暴浪潮 (storm surge) 等，然而一般無論是研究或作業單位泛所使用的則是指風浪 (wind wave) 為主，這乃是因為波浪是週期性運動 (Periodic motion)，但是在實際的海洋上表現的極不規

則，此間又以直接因受吹刮而起之風浪為甚。目前對於風的觀測資料一般取得均較容易，尤其是地面固定測站，但對波浪實際觀測資料一直不易取得。台灣海域雖然少數地區設有波浪觀測站做逐時測量，但是資料仍缺乏，對於波浪預報之準確性仍嫌不足。各氣象作業單位均以實際所分析的綜觀天氣圖 (Synoptic weather chart) 型態為主，再以出現的風速做為參考來預測出作業區風速值，再準此風速的預報對照由經驗所得之蒲福風級 (

Beaufort wind scale) 風速與波高的換算表, 以求得波浪之預測(如表1), 如此所做出的波高預測僅以平均波高為主, 實際上波浪是一門相當複雜的學問及現象。

二、概述

僅就 C B K 作業區的風浪研究而言, 除了74年台灣大學海洋研究所的「C B K 區海域海象調查」(王曾等, 1985)之外, 亦有空軍氣象中心的「新竹外海 C B K 作業區油氣開發施工期間氣象預報研究」(梁瑞禎等, 1985); 由上項研究的結論中已逐漸瞭解到 C B K 作業區一些風與浪的特徵及波浪之應用預報方法等, 然而無論上述二者所處理的 C B K 區風或浪資料均稍嫌不足, 時間太短或者漏失; 本文則以較長較連續的實際觀測資料, 逐一地對 C B K 作業區風與浪的特徵做進一步的分析與研究。

因為水面為兩種流體間的界面, 上層的空氣因氣壓溫度等變化而發生流動。即刮風時, 水面因有壓力變化而生漣漪(rippe), 再因剪力的推波助瀾, 重力及表面張力的還原作用, 使波浪由小而大, 一再與風的運動產生共振(resonance), 逐成大型波浪, 並向未刮風的水域推進, 此一受到風的作用增強乃至達於平衡狀態之波浪, 稱之為風浪(Wind Wave)風浪發生的原因極為複雜, 迄今仍未有滿意的理論解釋。一般最常用以代表波高者為指示波高(Significant wave height) H_s 或 $H_{1/3}$, 其定義為一系列波浪記錄共有 M 個波高, 將其按大小次序排列後取最大 $1/3 M$ 個波高予以算術平均, 其值即為 $H_{1/3}$, 用以指示此系列波浪的特性。其它 $H_{1/10}$ 即為最大的 $1/10 M$ 個波高的平均, 而 $\bar{H}$ 則為全部波高的算術平均值。

海上波浪的大小因風速、風向及吹風距離(fetch length)及風吹延時(ϕ duration)的結合量之表現而變化。

在後續幾節中, 我們將對 C B K 作業區現有的海浪、風場觀測記錄, 以及陸地上新竹南寮測站所觀測到的風場資料, 加以統計分析, 據此一分析結果檢視 C B K 作業區及新竹南寮測站風場及海浪的

特徵。

三、資料來源及研究方法

C B K 作業區位於新竹西方的近海, 其附近可供參考之氣象紀錄乃是位於南寮附近之空軍新竹測站的地面觀測資料。C B K 作業區實際海象觀測資料僅蒐集起自民國73年9月至77年12月(如表2)所示, 針對分析新竹南寮測站之風場統計分析而言, 我們採用了72年至77年逐年各月之資料, C B K 作業區之浪及風場統計結果則是以現有之資料逐一統計及分類; 在複迴歸相關及複迴歸方程之估擬上, 則採用新竹南寮測站之風向風速以及 C B K 風向等參數在同一時間均有觀測資料的情形下擷取為一個統計資料樣本(Sampling record)。由於 C B K 資料在時間上及空間上均有變動, 諸如浪高上有觀測間隔既有2小時又有1小時, 甚至有時亦有每15分鐘即進行一次觀測者, C B K 作業區風場觀測亦是如此; 除此之外, 資料的格式上亦有極大的差異, 例如 C B K 作業區風場記錄有的僅有 X 分量, Y 分量且無最大風速風向記錄, 有的則除上述資料外亦有最大風之風向風速, 平均風等; C B K 作業區之海浪觀測記錄亦有相類似的情況, 有的僅有 $1/3$ 波高及 $1/3$ 週期記錄的, 有的則有平均波高, 平均週期, 最大波高, 最大週期和指示波高($1/3$ 波高)與指示週期($1/3$ 週期)者, 無論是 C B K 作業區的波浪資料或風場資料, 我們均需做進一步的處理, 使得風向上以氣象上所通用之風向, 風速上以節(knots)為基準, 節(knots)在氣象上乃是單位時間之海裡數值。對於新竹南寮之風場分析則顯著地比 C B K 作業區風場記錄較為方便; 由於根據台大海洋研究所對「C B K 區海域海象調查報告」(王曾等, 1985)中所指出, 海浪之討論若以月份為依據不甚理想, 因此我們亦總合地分析了所有的波浪資料; 由資料的統計特徵中指示出我們可以合理地將風場二分為冬半年(10月~3月)及夏半年(4月~9月)二種, 此外平均而言冬半年的風速比夏半年風速要大些, 這一現象對新竹南寮成立, 對 C B K 作業區亦不假。統計波浪及風場關係時, 對波高方面取 H_{max} 及 $H_{1/3}$ 計分18級, 週

表一：蒲福風級與風速和波高關係對照表

蒲福風級	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
風速 (節)	0	1 3	4 6	7 10	11 16	17 21	22 27	28 33	34 40	41 47	48 55	56 63	64 71	72 80	81 89	90 99
波高 (公尺)	0	0.3 0.9	0.9 1.5	1.5 2.4	2.4 3.6	3.6 4.2	4.2 4.8	4.8 5.4	5.4 6.0	6.0 6.6	6.7 12.0	> 12.0				
波高 (呎)	0	1 3	3 5	5 8	12 14	12 14	14 16	16 18	18 20	20 22	22 40	> 40				

1ft=0.3048m 1in=25.4cm

表二：統計資料時間一覽表

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
72	CBK 風												
	CBK 浪												
	756 風	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
73	CBK 風									O	O	O	O
	CBK 浪												X
	756 風	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
74	CBK 風	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	CBK 浪	X	X	X	X	X	X	X					
	756 風	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
75	CBK 風	O	O	O	O	O							
	CBK 浪	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	756 風	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
76	CBK 風	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	CBK 浪	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	756 風	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
77	CBK 風	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	CBK 浪	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	756 風	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

註：C B K 作業區風場觀測資料

期(T_{max} 及 $T_{1/3}$)計分17級, 風速取平均風及最大陣風計分12級, 風向區分成為16個方位, 值得一提的是 C B K 作業區最大風之觀測(maximum wind observation)有異於新竹南寮之陣風觀測(GUST Observation), 因此在對 C B K 作業區風場分析時, 我們又再進一步的分類處理,

一則為考慮實際觀測且忠實於風速觀測記錄, 另一則是將最大風速大於15節者選出來進行最大風速(最大陣風)之分析。

由於所有資料內容中所包含發生過的氣象事件除颱風影響, 鋒面過境, 中尺度對流系統所伴生之雷雨與下衝氣流(down draft)等均可能正面貢獻於波高之增加及風速之增強, 因此原則上應將其各別獨立出來, 以氣象事件為分類基礎, 另行分析, 然而本研究中並未如此地執行, 主要原因是如此地分類將使得複迴歸估擬中可使用的資料巨幅降低, 且由於 C B K 作業區與南寮測站在空間上亦為兩地, 就算是依照上述的分類來研究, 在時間序列上(time series)又應考慮事件發生之前後順序, 由於資料時間及取樣的紊亂以及資料總數亦有限的情況下, 所以本研究僅綜合性地將其視之為同一事件, 因此使用複迴歸結果來預測日後波高的人員應留意此點, 修正的方法可由估擬標準誤差。

我們選取了12個參數做為迴歸分析的因子, 分別為 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$, H_{max} , T_{max} , C B K 作業區之風向與風速以及南寮測站之風向與風速; 陣風部分有 C B K 作業區最大風速當 H_{max} 和 T_{max} 使用時, 則以 C B K 作業區之最大風速及南寮測站觀測之最大陣風來計算, 由於 C B K 作業區中並無所謂之陣風(Gust)觀測記錄, 所以我們以風速大於或等於15節者視之為最大陣風之定義。

四、理論基礎

複相關之目的主要在於分析多種變數間之相關

關係，複相關之內容依據統計學原理 (Statistical theory) 應包含有(1)多元迴歸方程式 (multi-parameter regression equation)，(2)估計標準誤差 (estimate standard deviation)。和(3)複相關係數及淨相關係數 (multi-regression coefficient and intercept) 三者。為了求得更可靠的分析結果，對於資料本身的一些品質及特徵分布我們也同時地加以分析，簡單而言，從資料，相關，迴歸係數，複迴歸方程之獲得，我們採取了以下的方法。

若觀測資料有 i 次，變數有 j 個則記錄可寫成 X_{ij} ; $i = 1, \dots, n$
 $j = 1, \dots, m$

離差交乘積之總和為 (Sums of Cross-products of deviations) : S_{jk}

$$S_{jk} = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \pi_j)(X_{ik} - \pi_k) -$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ij} - \pi_j) \sum_{i=1}^n (X_{ik} - \pi_k)}{n} \dots\dots\dots(1)$$

此處 $j = 1, 2, \dots, m$

$k = 1, 2, \dots, m$;

$$\pi_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} \dots\dots\dots(2)$$

此處求得 π_j 之目的是為了增加將來之計算精確度 (Computational accuracy) 平均 (means) : $\bar{X}_j$

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ij}}{n} \dots\dots\dots(3)$$

$j = 1, 2, 3, \dots, m$

相關係數 (Correlation coefficients) ; r_{jk}

$$r_{jk} = \frac{S_{jk}}{\sqrt{S_{jj}} \sqrt{S_{kk}}} \dots\dots\dots(4)$$

$j = 1, 2, \dots, m$

$k = 1, 2, \dots, m$

標準偏差 (Standard deviations) : S_j

$$s_j = \frac{\sqrt{S_{jj}}}{\sqrt{n-1}} \dots\dots\dots(5)$$

$j = 1, 2, \dots, m$

對於某一因變數和一群自變數 (dependent variable and independent variables) 而言，複迴歸分析 (multiple regression analysis) 如下：
 貝他加權 (Beta weights) : β_j

$$\beta_j = \frac{\sum_{i=1}^k r_{ij} \cdot r_{ij}^{-1}}{\dots\dots\dots(6)}$$

$j = 1, 2, \dots, k$

r_{ij} : 第 i 個自變數對應變數之內相關 (intercorrelation)

r_{ij}^{-1} : r_{ij} 的倒置矩陣 (inverse of intercorrelation)

複迴歸係數 (multiple regression coefficients) b_j 的計算方法如下：

$$b_j = \beta_j \cdot \frac{S_y}{S_j} \dots\dots\dots(7)$$

$j = 1, 2, 3, \dots, k$

S_y : 因變數的標準偏差

S_j : 自變數的標準偏差

淨相關係數 b_0 (intercept) 之求法：

$$b_0 = \bar{Y} - \sum_{j=1}^k b_j \cdot \bar{X}_j \dots\dots\dots(8)$$

此處 $\bar{Y}$: 因變數之平均值

$\bar{X}_j$: 自變數之平均值

複相關係數 R (multiple correlation coefficient) 由下列求得：

$$R^2 = \sum_{i=1}^k \beta_i r_{ij} \dots\dots\dots(9)$$

$$R = \sqrt{R^2} \dots\dots\dots(10)$$

迴歸平方分配總和 (the sum of squares attributable to the regression) SSAR :

$$SSAR = R^2 \cdot D_{yy} \dots\dots\dots(11)$$

D_{yy} : 因變數之偏差平方總和 (Sum of squares of deviations from mean for dependent variable)

迴歸偏差平方總和 SSAR (the sum of squares of deviations from the regression) :

$$SSAR = D_{yy} - SSAR \dots\dots\dots(12)$$

接下來則做 F 值分析 (離散分析 analysis of variance) :

$$F = \frac{SSAR / k}{SSDR / (n - k - 1)}$$

$$= \frac{SSAR (n - k - 1)}{SSDR (k)} \dots\dots\dots(13)$$

另外的一些統計分析計算方法如下：

估擬值之變方及標準差 (Valrance and standard error of estimate) :

$$S^2_{y,1,\dots,k} = \frac{SSDR}{n - k - 1} \dots\dots\dots(14)$$

n = 觀測次數

$$S_{y,1,2,\dots,k} = \sqrt{S^2_{y,1,\dots,k}} \dots\dots\dots(15)$$

迴歸係數之標準偏差 Sb_j (standard deviations of regression coefficients)

$$Sb_j = \sqrt{(r_{jj}^{-1} / D_{jj}) \cdot S^2_{y,1,2,\dots,k}} \dots\dots\dots(16)$$

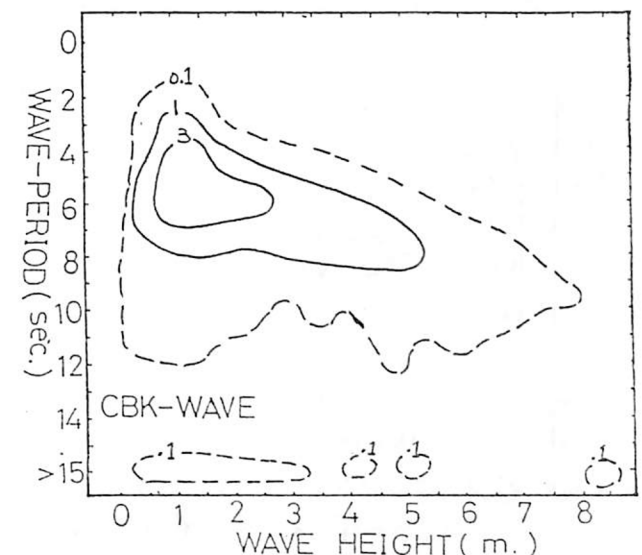
此處 D_{jj} 是 $j + h$ 自變數偏差平方之總和 $j = 1, 2, \dots, k$ 上列的方法中曾使用到了矩陣的運算，我們採用的是高斯-喬登法 (The Gauss-Jordan method)，符號之使用及下標 (subindex) 的規範則依 Ostle (1954) 的統計學所定義，複迴歸之處理流程採 Cooley 和 Lohnes (1962) 的建議。

五、CBK作業區實際觀測波浪波高之統計分析

根據中油海域探勘處所提供之 CBK 作業區現場之波浪觀測資料 (如表 1)，總計自 73 年 9 月至 74 年 11 月，75 年 1 月至 75 年 5 月及 76 到 77 年 1 月至同年 12 月三段資料， $H_{1/3}$ ， $T_{1/3}$ 資料總數計達 9750 筆記錄， H_{max} ， T_{max} 資料亦達到 8137 筆記錄。分析波浪資料針對每一個別波浪之指示波高 ($H_{1/3}$)，指示週期 ($T_{1/3}$) 以和最大波高 (H_{max}) 及最大週期 (T_{max}) 統計分析，由統計分析之結果

可以看出波浪特性，最後我們亦將全部的波浪資料加以統計。

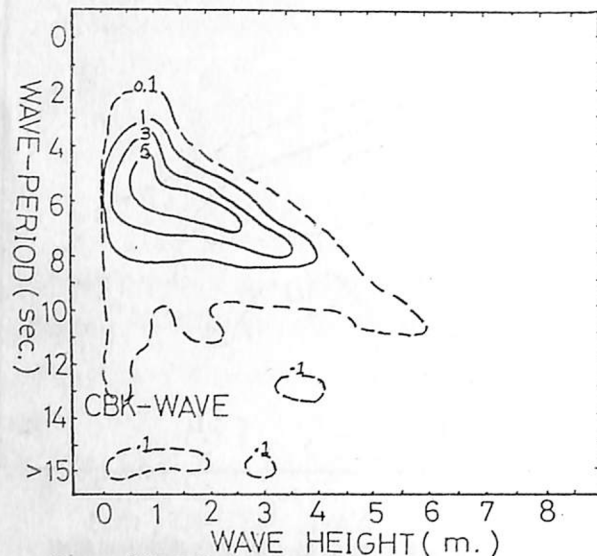
此次 CBK 波浪觀測紀錄總值計達 9750 次，含有 H_{max} 、 T_{max} 的亦有 8137 次之多，為能整體地檢查波浪特性之表現，我們亦將所有資料不分月份同時加以分析統計，結果顯示最大 $H_{1/3}$ 出現是在 2 月份，最大 H_{max} 是在 10 月份，最大 T_{max} 及最大 $T_{1/3}$ 則同時出現在 11 月份； $H_{1/3}$ 發生頻率最大的區間此時為 1.0 公尺，相對應之百分率為 23.6%， H_{max} 發生頻率最大之區間亦為 1.0 公尺，佔有 19.7%， $T_{1/3}$ 與 T_{max} 發生最大頻率的區間則分別為 7 秒與 6 秒，此二者的百分率則各別是 28.8% 與 22.3%。總合分析中波高與週期出現頻率之百分比分布如圖 1 所示；各種指示波高與週期出現之百分比分布如圖 2 所示；各種波高及指示波高出現頻率之百分比如圖 3 所示；各種波高週期及指示波高週期出現頻率之百分比分布則如圖 4。



圖一：CBK 作業區最大波高與週期出現頻率百分比分布圖

上述的分析可由表 3 中個別表示出其逐月的各項重要特徵。雖然王與陳 (1985) 指出分析波浪不宜以逐月化分而為之，然而若是討論之重點為「風浪」，那麼風生水起的事實可視風生之為因，水起之為果，那麼若是風場特性中有所謂的月份變化的話，利用月份來分別討論波浪特性則是合理且有意義的，事實上由表 3 中，我們不難發現 4 至 9 月

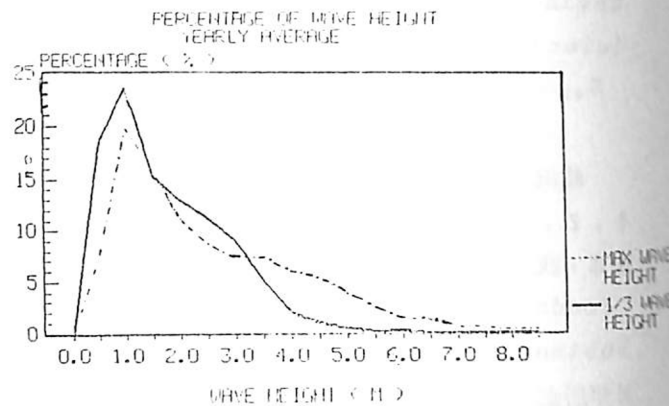
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	總分析
波高總數	515	1208	1314	327	1461	976	323	376	379	787	1178	1005	9750
H _{1/2}	175	923	1040	327	1461	976	323	376	379	574	923	635	8137
H _{max}	75/01/24/03	75/02/15/22	75/03/25/21	75/04/11/20	74/05/23/00	74/06/01/02	75/07/07/10	74/08/23/00	74/09/25/14	75/10/24/18	75/11/23/23	75/12/11/20	75/02/15/22
H _{max} 出現日期	75/01/24/03	75/02/15/22	75/03/25/09	75/04/11/15	74/05/23/00	74/06/08/14	75/07/07/10	74/08/23/00	74/09/25/14	75/10/22/18	75/11/23/23	75/12/01/02	75/02/15/22
T _{max} 出現日期	75/01/24/03	75/02/14/12	75/03/27/04	75/04/09/15	75/05/10/12	75/06/24/15	75/07/08/10	74/08/14/10	74/09/01/06	74/10/15/00	75/11/21/04	73/12/14/22	75/02/15/22
T _{max} 出現日期	75/01/21/00	75/02/18/00	75/03/10/00	75/04/09/12	75/05/12/11	75/06/20/09	75/07/08/10	74/08/23/12	75/09/01/03	75/10/22/18	75/11/23/23	75/12/02/03	75/02/15/22
H _{1/2} 出現最大波高 (m)	5.03	9.73	4.44	3.37	5.28	5.34	2.62	1.88	4.18	7.17	5.77	4.87	8.73
H _{max} 出現最大波高 (m)	7.29	11.29	7.03	6.02	7.13	6.42	3.09	3.51	8.13	12.47	8.65	7.92	12.47
T _{1/2} 出現最大週期 (sec)	13.53	10.27	>15	>15	>15	>15	>15	>15	10.18	13.78	>15	>15	>15
T _{max} 出現最大週期 (sec)	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15	>15	11.25	>15	>15	>15	>15
H _{1/2} 出現最多頻率 (%)	19.0	16.6	30.3	25.4	36.2	32.4	63.8	54.0	21.1	21.2	19.4	24.2	23.6
H _{max} 出現最多頻率 (%)	2.0	1.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	1.5	1.5	2.0	3.0	1.0
T _{1/2} 出現最多頻率 (%)	36.3	36.7	30.1	34.3	31.9	35.2	36.5	31.4	44.9	34.2	25.5	34.4	28.8
T _{max} 出現最多頻率 (%)	7	7	7	6	6	6	4	4	7	6	6	8	7
H _{1/2} 出現最多週期 (sec)	10.9	12.1	20.0	33.3	25.3	22.8	62.9	44.7	14.2	13.1	12.6	15.0	19.7
H _{max} 出現最多週期 (sec)	5.0	3.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	3.5	4.5	1.0
T _{1/2} 出現最多週期 (sec)	28.9	24.7	23.9	24.2	23.1	26.3	30.4	28.6	25.1	23.5	27.2	26.0	22.3
T _{max} 出現最多週期 (sec)	6	7	7	6	6	6	4	4	7	6	7	8	6



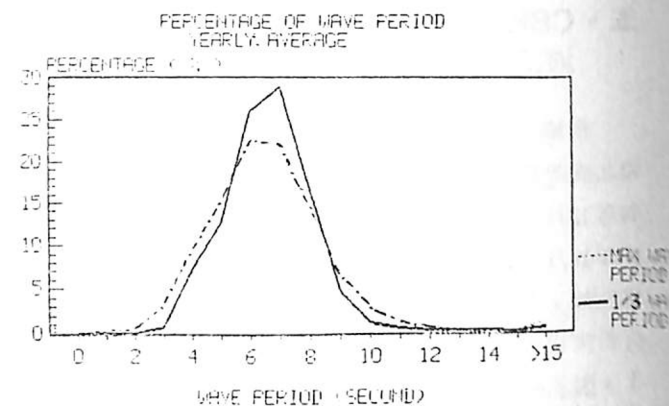
圖二：CBK作業區指示波高與指示週期出現頻率百分比分佈圖

的波浪發生最大頻率中的波高顯著地比10至3月份的相對應值要低，此無非告訴我們平均浪高在4至9月之值比10至3月的要低。

另外由最大H_{1/2}及H_{max}上看，我們發現1月的最大H_{1/2}與H_{max}是由於鋒面過境的影響，2月亦是相同的原因，3月則是寒潮爆發，5月及6月則是因為梅雨期間中尺度對流系統(Mesos-



圖三：各種最大波高及指示波高波高出現頻率百分比分佈圖



圖四：各種最大波高及指示波高週期出現頻率百分比分佈圖

cale Convective System) 通過時所伴生的雷雨及下衝氣流(down draft)而影響到浪高的變化；至於10月出現了H_{max}的極值，這乃是因為當時有超級強烈颱風琳恩(LYNN)通過，而11月與12月的情形也是因為鋒面過境所造成的。由如是的分析中，我們可以歸納出中尺度系統(mesoscale system)。乃或綜觀尺度中所蘊含的中尺度對流(Mesoscale Convective Cells in a Synoptic Scale System Suck as Convective Cells in a frontal system etc.) (例如鋒面中的對流或其後的局部性強烈氣壓梯度(local strong pressure gradient)均可以正面貢獻於波浪的升高。因此氣象事件對於波浪的影響實在是一個值得深入探討的課題。此處我們約略可以將資料依上述的特徵分為冬半年(10月至3月)與夏半年(4月至9月)兩大類，而之所以如此的做自然也應考慮風場上的特徵，在後續分析比較風場的結果中，更證實了我們如此的做是有依據的，詳細的風場討論將於下一節中討論之。

六、CBK作業區風向風速與新竹南寮風向風速之統計分析

CBK作業區及新竹南寮實際觀測風場資料涵蓋的年月份可由表2所得，以下的統計分析中將針對觀測的風向、風速，新竹南寮的最大陣風以及CBK作業區的最大風速分別加以分析，風向上我們採用了16個方位，由於風速上的一致，所以首先將CBK作業區的風速單位由公尺/秒轉換成為單位時間海裡值(knots)，亦即一般所謂之「節」。以下我們將對CBK作業區實測風場與新竹南寮實測風場加以分析：

雖然由於CBK資料本身的品質及時間解析度限制了我們做更進一步的探討，然而由這些資料統計分析的結果中，我們的確也可推論幾個重要的現象；首先利用15節的標準計劃分CBK作業區最大陣風並不是最好的做法，雖然由於CBK作業區實地測計儀器上的限制，無法如同氣象測站般準確觀測所謂「陣風」，所以利用更長資料時間來找出

一個可以合理且有效界定「CBK一陣風」標準的方法是十分重要的。風向上最明顯地表現是冬半年的東北季風與夏半年的西南季風。基本上而言，海陸風之存在的先決條件是氣壓梯度不大，此種情形在夏半年的發生機率較高，雖然這種局部的熱力直接環流如何地影響波浪變化尚未定論，但是由波浪逐月分析與風場分析結果配合來看，「風生水起」的事實已證實了風可引起浪的變化，只是程度上的多少而已，所以海陸效應不應考慮捨棄。此外，在風速上大致可看出CBK作業區較新竹南寮為大，且風向的變化上亦有不同的表現，這乃是因為海陸摩擦不同，再加上地形的影響，除此之外，由於陸地的比熱(Specific heat)小於海洋者，所以地形的效應及迴饋到局部地區熱力直接環流強度上，這是典型的非線性交互作用(nonlinear interaction)。最後，我們必須強調的是颱風與中尺度對流系統(mesoscale convective Systems)對海浪、風場的影響並未分開獨立的討論，這有幾個基本考慮：其一是獨立出來，資料的樣本將減少，且獨立出來的個案不足以做另一次的統計分析；其二是上述的天氣現象由系統不同而互異，基於尺度考量(scale consideration)並需獨立出來個別統計，但是在理論上考量(Theoretical Consideration)上來看，深入瞭解不同天氣系統對於海洋上海象的影響如何，實又是海洋大氣學中所專注的另一個範疇。對於風速與風浪，CBK風速與南寮測站間風速的關係。我們將在下一節中討論。

表4為一綜合CBK作業區及南寮測站風場的一些特徵分析表，CBK作業區之陣風項目中由於取樣之條件及其與南寮觀測之差異性存在，故僅就陣風風向因素來分析，由表可知，普遍而言CBK風速的確較地面南寮測站所得來的大，而且冬季出現的值又顯然比夏季為高。

七、CBK作業區風向風速與新竹南寮風向風速之關係

由於CBK作業區現場風場記錄與新竹南寮實測風場記錄在格式及定義上稍有差異，因此在比較

表四：新竹南寮與CBK作業區逐月風向風速特徵表

月份	平均風速 (KTS)	平均風向 (方位)	最大出現風向 (方位)	最大出現風速 (KTS)	最大出現風速 之頻率(%)	最大出現風速 之百分比	月平均風速 (KTS)	月平均風速 (KTS)	最大出現風速 (KTS)	最大出現風速 之百分比
1月	10.63	NNE	NNE	33.9	20	32.31	11.0	25.1	NE 25	46.9%
2月	10.49	NNE	NNE	34.8	20	29.41	12.0	29.41	NE 30	43.1%
3月	7.21	NNE	NNE	25.0	10	28.49	10.5	24.9	NNE 25	41.0%
4月	4.09	NNE	NE	19.5	10	30.76	8.7	24.2	NE 25	36.8%
5月	1.71	S	NNE	13.5	5	35.68	8.1	23.8	SW 25	33.2%
6月	2.46	SW	SW	18.1	5	33.33	8.7	24.9	SW 30	52.6%
7月	6.47	SW	SSW	20.3	5	35.71	8.9	24.2	SW 25	41.5%
8月	0.95	W	SW	13.1	5	36.26	8.7	26.2	SW 25	26.3%
9月	4.62	NNE	NNE	20.6	5	36.17	8.9	25.9	NNE 25	47.9%
10月	10.20	NNE	NE	35.5	20	25.13	11.8	28.2	NE 30	57.7%
11月	13.02	NE	NE	39.1	20	35.3	13.9	28.7	NE 30	54.4%
12月	11.9	NE	NNE	36.8	20	35.44	12.9	25.9	NNE 30	47.9%
1月	15.66	NE	NE	35.8	20	23.1	17.4	—	NNE	31.1%
2月	14.4	NNE	NNE	32.6	25	17.71	17.3	—	NNE	36.8%
3月	10.99	NE	NNE	26.8	10	19.77	15.4	—	NNE	26.8%
4月	9.02	NE	NE	22.6	15	22.78	13.4	—	NNE	35.4%
5月	3.68	NE	NE	16.1	5	30.55	10.5	—	SW	21.5%
6月	1.54	NE	SW	18.3	5	41.77	9.1	—	SW	27.2%
7月	5.77	SSW	SW	29.5	5	41.41	7.3	—	SW	81.3%
8月	1.8	NE	SSW	23.4	5	35.59	10.9	—	SSW	71.4%
9月	9.14	NE	NE	32.1	5	28.32	11.9	—	NE	55.8%
10月	15.55	NE	NE	31.5	5	22.29	17.0	—	NNE	41.5%
11月	22.02	NE	NE	48.1	20	27.68	23.1	—	NE	64.2%
12月	26.9	NNE	ENE	26.9	25	27.84	18.6	—	NNE	44.6%

風速上產生了一些不確定性的困擾，這種情形尤以在CBK作業區的最大風速(Maximum Wind Speed)與本文中定義之陣風(Gust)兩項因子上表現最為突顯。因此為了避免資料處理後的錯誤結論(false conclusion)，我們僅僅針對了平均風，平均恒常風做研討。陣風及最大風速的比較在此處僅可做為參考而已。

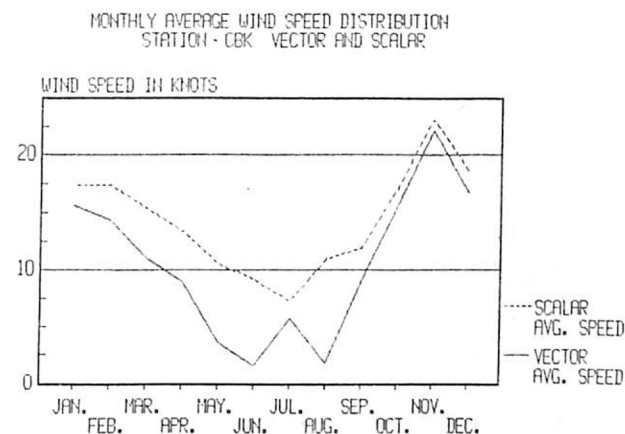
首先我們必須指出的是在前面文中曾指出風吹延時(duration)是影響風浪(Wind Wave)的重要因子之一，然而在風場統計分析的內容中，並未將其獨立分開討論，這實在是因為在風的定義上，其具有向量(vector)的性質，因此所謂風吹延時(duration)，不應只是風速延時或風向延時(speed duration or direction duration)，而是兩者同時考量，根據威(1978)所指出，氣象上所謂風的持續性(Persistence)應以P來表示。

$$P = \frac{\text{合成風速(向量風速)}}{\text{平均風速(非向量風速)}}$$

因此如果風始終自同一方向吹來，則其持續性為1，因此在本文的處理上我們除了將CBK一作業區的風向持續性加以計算之外，亦將南寮測站的資料加以處理，再由兩者比較風速之大小倍數上，可以看出某一固定月份中，上述兩者的風向、風速與持續性為如何，表5則為CBK作業區與南寮測站在風場上逐月的比較，圖5中亦可以看出CBK作業區風的持續性以11月為最佳，比較好的持續性發生在9月至2月。另一個則為7月，其餘各月持續性都比較差，最差的兩月是6月與8月；南寮地區的持續性分析中亦有相似的趨勢，(如圖6)最佳持續性發生在11月，較佳的則為9月至2月，其次則為7月，最差持續性發生月份則是5月及8月。在風速比較上我們可從圖7看出來，純量風速

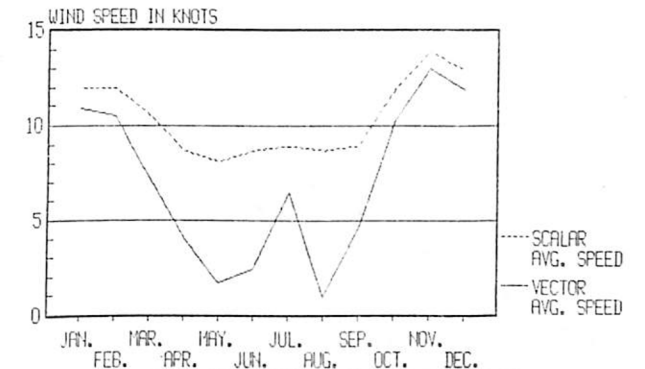
種類 月份	CBK/756 SUSTAIN	CBK/756 WIND	CBK/756 GUST
1	1.46	1.44	0.94
2	1.44	1.37	0.91
3	1.47	1.52	0.86
4	1.54	2.2	0.89
5	1.30	2.15	0.82
6	1.06	0.63	0.81
7	0.82	0.89	0.64
8	1.25	1.89	0.72
9	1.34	1.98	0.90
10	1.44	1.52	1.05
11	1.66	1.69	1.05
12	1.44	1.41	0.99
平均	1.351	1.558	0.882
冬	1.485	1.492	0.97
夏	1.217	1.623	0.80

表五：CBK風速(純量)及風向風速(向量)與南寮測站觀測記錄比值

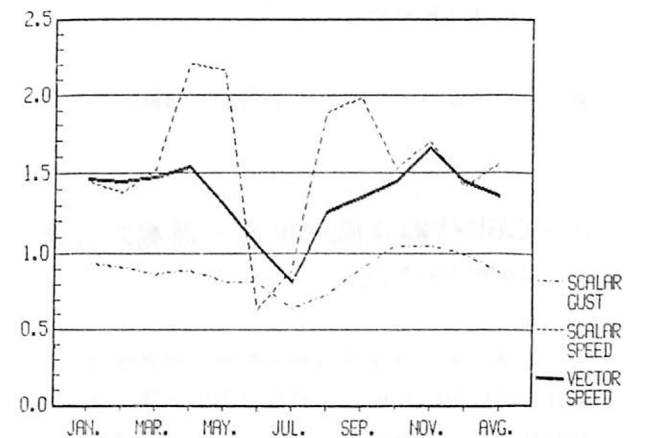


圖五：CBK作業區向量風速與純量風速之逐月比較示意圖

Scalar-Wind)上而言，CBK作業區平均值比上南寮測站觀測平均值最大為11月份的1.66，最低的是7月份的0.82，冬半年平均是1.485，夏半年平均則為1.217，終年平均為1.351；若以向量風速(Vector Wind)來看，則此風速比值最大的出現在4月份，值高達2.20，比值最低的則是6月的0.63，冬半年向量風速比值為1.492，夏半年則為1.623，終年平均比值為1.558；就陣風部分來看的話，CBK作業區純量

MONTHLY AVERAGE WIND SPEED DISTRIBUTION
STATION HSIN-CHU VECTOR AND SCALAR

圖六：南寮地區向量風速與純量風速之逐月比較示意圖

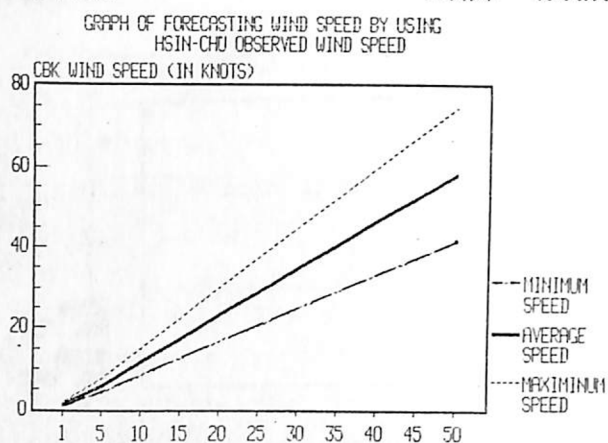


圖七：CBK作業區純量風，向量風及陣風與新竹南寮測站觀測比在逐月分佈變化示意圖

風速與南寮地區純量風速比值最高的出現在10月及11月的1.05，最低的則為7月份的0.64，冬半年的比值為0.97，而夏半年則為0.80，全年平均風速兩地的比值則僅為0.882。然而這一比值顯著低於1.0的現象主要是由於我們對CBK陣風認定上以大於或等於15節的標準所致。

利用實測的觀測風速，我們將CBK作業區風速與南寮測站的風速加以分析，並利用最小平方差(minimum least square)方法求出新竹風速與CBK作業區風速的關係，圖8則是作業人員可資利用的一項參考，由新竹的風速大小可因此而預估出CBK作業區風速的大小。

由上述的分析中可以從風速大小比較，風向持續性上看出CBK作業區和南寮地區二地的特徵以及彼此之間風速的關係，據此作業人員將可有所依



圖八：利用新竹南寮測站風速推算CBK作業區風速之預測圖

據的來預報或估擬CBK作業區的風速值或風向區間。

八、CBK作業區風向風速、波高之分析與預報法則

因為CBK作業區的風浪與新竹南寮測站之風場有相當程度的相關性，且風浪與風之間在季節交替時的一些基本關係已可由上述的幾節中獲知，因此我們利用了CBK作業區實測的資料，在兼具風場與波浪觀測的時間內，選取新竹南寮測站之風場觀測紀錄進行複迴歸分析及簡單迴歸分析二種，期小求得一組相關的迴歸方程，以期提高CBK作業區風浪預報的準確性。

(一)最大波高預報迴歸方程

針對此一目標，首先是利用新竹南寮測站所出現的風速來預報CBK作業區可能出現的最大波高(H_{max})，迴歸方程式為

$$Y_{max} = 0.8047 + 0.1812X_1$$

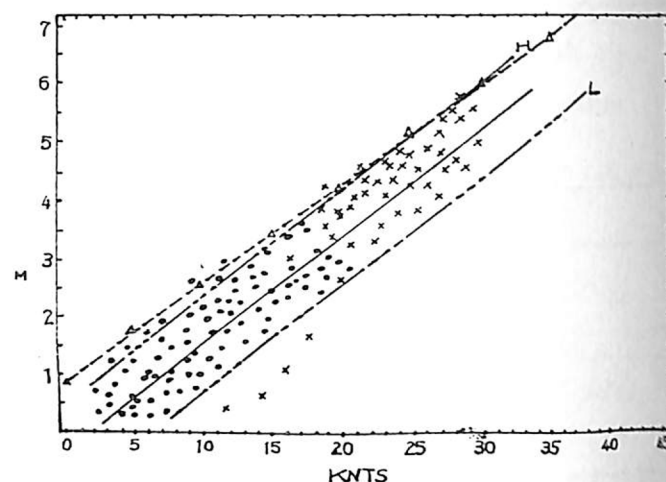
Y_{max} ：CBK作業區預測之最大波高(公尺)

X_1 ：新竹測站出現的風速(節)

表6為推算之對應值，圖9則為新竹風速與預測 H_{max} 的示意圖。此一迴歸方程求取中並未劃分成冬半年或夏半年，亦沒有將特殊的氣象現象獨立出來分別處理(例如颱風，鋒面

WIND SPEED	CBK-WAVE HMAX	
0 ~ 5	0.80 ~ 1.7107	1.34
5 ~ 10	1.71 ~ 2.61	2.25
10 ~ 15	2.61 ~ 3.52	3.16
15 ~ 20	3.52 ~ 4.42	4.06
20 ~ 25	4.42 ~ 5.33	4.97
25 ~ 30	5.33 ~ 6.24	5.87
30 ~ 35	6.24 ~ 7.14	6.78
35 ~ 40	7.14 ~ 8.05	7.69
40 ~ 45	8.05 ~ 8.95	8.59

表六：利用新竹測站觀測風速預測CBK作業區最大波高對照表 $Y = 0.8047 + 0.1812X$
 X ：新竹測站出現之風速(節)



圖九：利用新竹測站觀測風速預測CBK作業區最大波高示意圖
(·代表有效波高，×代表最大波高)
△——△——迴歸預測
-----低標準(L)與高標準(H)線

寒潮及中尺度對流系統等)，這是因為受到資料數量限制的原因，故在使用上應先深切瞭解上述各種情形之於浪高所予以之貢獻程度，加以主觀地修正。

(二)指示波高($H_{1/3}$)複迴歸方程

針對指示波高($H_{1/3}$)的影響因子應為CBK作業區之風向、風速，但是由於CBK

作業區的風場資料較不易獲得，因此新竹南寮所實測之風場(風向與風速)亦加以考量為預報因子(即自變數)，以此找出複迴歸方程；梁等(1985)曾將風速延時亦加入考慮以求得波浪預報的迴歸方程；本文中並未如此地做，主要原因是由於風吹延時(duration)包含了風速之外，亦應考慮風向上的延時，雖然上節中已討論了風向持續性以及風速在不同兩地之間逐月的變化，然而由於有限的資料群體中分析的結果不足以判定所謂的一般性原則(general rules or general regulations)，所以在下文中所討論的複迴歸分析中，均不將風吹延時加以考慮；另外新竹的風向變化在定義之冬半年及夏半年中都有一定的變化特徵，這點已在上幾節的討論中敘述過，由於百分率頻率分布明顯的指示出冬半年以東北季風為主，又其對波浪的貢獻顯著，故在冬半年我們將風向予以加權(Weighting)；同樣的情況在夏半年則以西南風為主，表七則是加權值在冬、夏半年中之值

變數1：指示波高($H_{1/3}$)，單位公尺。

變數2：指示週期($T_{1/3}$)，單位秒。

變數5：CBK作業區風向，(1~360度)

變數6：CBK作業區風速，單位節。

變數9：新竹南寮風向(1~3)。

變數10：新竹南寮風速，單位節。

X_i ：自變數*i*；*i*=1,2,5,6,9,10

Y_j ：應變數*j*；*j*=1,2,5,6,9,10

為了能夠比較不同自變數對於預報目標(應變數)的準確程度，除了逐一增加使用之自變數個數來比較複相關係數增加的程度之外，也利用了未經加權過的南寮風場風向予以計算具所應屬的複迴歸方程及複相關係數，以下則分別加以討論之。

(A-2)夏半年第二組

若是減少CBK作業區風向的參數，同樣方法去求複迴歸方程時，其表示則為：

$$Y_1 = -0.20595 + 0.02884 X_6 + 0.23779 X_9 + 0.03747 X_{10}$$

此式的迴歸相關程度則為64.0%，有關計算資料如下表：

比較夏半年複迴歸方程所得之複迴歸相關程度，我們發現，使用實際風場之風向較使用加權後之風向來估擬迴歸方程時，其所得之複相關顯著地升高了3.2%至4.7%。然而預報上對於實際風向度數之把握遠較比加權式風向把握要難得多，另外由於資料群體中各風向發生頻率的出現機率，可以影響到其所對應之複迴歸係數值，因此我們認為，雖然使用實際風向之複相關程度比使用加權者之情形要好，可是隨機誤差、預報誤差、及系統誤差都可使得採用實際風向為自變數的情況變得不佳；因此，我們認為採用加權後的風向所估擬之迴歸方程以為日後作業的參考是可行且合理的。若是再取消CBK作業區風速之參數，則相關程度則降至58.3%；基於最少預報參數，最大複迴歸相關的考量之下，我們認為對於夏半年有效波高之預報應採用(A-2)組中的複迴歸方程，亦即

$$Y_1 = -0.20595 + 0.02884 X_6 + 0.23779 X_9 + 0.03747 X_{10}$$

為最佳。

(D-3)冬半年比較第三組

此組中所採用的除了南寮風向以實測之度數值為自變數與(C-3)不同外，其餘皆一致，由此式中所所得之迴歸方程式如下：

$$Y_1 = 1.42908 - 0.00422 X_6 + 0.06238 X_9$$

由此式所估擬出之相關程度有69.0%，有關於此一比較組中所計算出之各值可由下表中得知：

綜合分析其他諸未列出之比較，依前最大準確與最少參數之標準來考量選取一最佳的迴歸預報方程，我們不難看出(C-2)組可為最佳的一組，因此對冬半年的指示波高估擬應以

$$Y_1 = -0.07445 + 0.06625 X_6 + 0.19775 X_9 + 0.01492 X_{10}$$

為最好。比較冬夏半年中相關程度而言，冬半年則比夏半年較佳，這種情況可歸因於冬半年影響風場變化的大氣系統較為穩定且持續，例如寒潮、鋒面、強烈氣壓梯度等，而夏半年中則受到中尺度系統影響較多，諸如颱風，中尺度對流系統，梅雨鋒面對流等，無論在時間上或空間上，其所影響之風場均不如冬半年來得穩定，因此造成了上述冬、夏半年相關程度上的差異性。

九、結論與建議

針對C B K作業之風向、風速、浪高及週期等資料與南寮測站實測之風場加以統計比較分析處理之後，我們可以得到以下的一些結果：

1. C B K作業區指示波高 ($H_{1/2}$) 在夏半年之值低於冬半年之值，最大之最大波高 (H_{max}) 亦有相同的情況，這種現象主要是由於氣壓梯度在冬半年較強於夏半年，且其持續性亦較佳。就最大波高 (H_{max}) 之極大值出現時間來看，所有之 H_{max} 出現均伴隨有十分顯著的氣象事件，諸如颱風、鋒面、寒潮、中尺度對流系統等等，此一事實說明了氣象因素之於風場又風場之於浪高都有存在著極好的相關性。
2. C B K作業區在夏半年指示波高約為 0.5 ~ 1.0 公尺左右出現最多，週期約在 4 ~ 6 秒之間，最大波高出現以 1.0 ~ 1.5 公尺為最多，週期亦為 4 ~ 7 秒，然而就出現百分率而言，指示波高顯著地又比最大波高來的明顯；冬半年有效波高約在 1.5 ~ 3.0 公尺出現最多，週期則為 6 ~ 8 秒，最大波高在 2.0 ~ 5.0 公尺為最多，週期則以 6 ~ 8 秒最為顯著。
3. 無論是C B K作業區或南寮測站在風向上均可區分為冬半年 (10 ~ 3月) 與夏半年 (4 ~ 9月) 兩大類，各別出現的風向以冬半年的東北風與夏半年的西南風為最明顯，此與實際風場上氣候特徵一致，風向持續性亦以冬半年者較夏半年者為佳。風速上而言，夏半年小於冬半年之值，其原因是冬半年之氣壓梯度在該區內

遠較夏半年為強，雖然夏半年亦有中尺度對流，颱風等影響使得風速值迅速增大，然而由於其發生機率小，持續時間短，因此統計中並不足以表現出其特別的作用。

4. 夏半年中由於氣壓梯度較弱，海陸差異所存在的不一致增溫，使得局部地區之熱力直接環流得以發展，故在風向頻率分布上以夏半年者較為平均，換言之亦可謂海陸風效應在風場上以致於影響波高上應扮有某種程度上的重要性。此種非線性的交互作用實在又為何以大氣海洋學複雜的原因之一。
5. C B K作業區風速與南寮地區風速上比較而言，南寮之平均風速均小於C B K作業區之風速，在純量風上而言，C B K作業區全年純量風速為南寮全年純量風速之 1.351 倍，而全年之向量風速上，前者又後者之 1.558 倍，至於陣風上之比較，由於兩地區觀測儀器與方式相異，相以比較之結果並不具有太多之義意；綜言之，C B K作業區風速比較南寮測站者為高乃是由於海陸摩擦不同及地形效應所致。南寮地區風向百分率分布全年而言均比C B K作業區穩定，此一事實應與中央山脈之北北東—南南西縱走有關。
6. 利用簡單迴歸分析，製作出C B K最大波高與新竹南寮風速之間的迴歸方程。

$$Y_{max} (C B K \text{ 最大波高}) = 0.8047 + 0.1812 X_1 (\text{新竹南寮風速})$$

7. 利用複迴歸分析，找出最佳且最有利作業之複迴歸方程：

$$\begin{aligned} \text{冬半年: } Y_1 (\text{指示波高}) = & -0.07445 + \\ & 0.06625 X_2 (C B K \text{ 風速值}) + \\ & 0.19775 X_3 (\text{新竹南寮風向}) \\ & + 0.01492 X_4 (\text{新竹南寮風速}) \end{aligned}$$

此一情況所得之複相關程度為 78.7%，估計標準差值為 0.66634 公尺

$$\begin{aligned} \text{夏半年: } Y_1 (\text{指示波高}) = & -0.20595 + \\ & 0.02884 X_2 (C B K \text{ 風速}) + \\ & 0.23779 X_3 (\text{新竹風向}) \\ & + 0.03747 X_4 (\text{新竹風速}) \end{aligned}$$

此種情況下之複迴歸相關程度為 64.0%，估計標準差為 0.52557 公尺。

8. 由於自動觀測系統輸出值往往會因為下列因素而造成不同的值：如取樣頻率，電子訊號轉換為觀測數字之轉換係數，運算處理與觀測定義及程序配合，電子組件之穩定及可靠程度，電源及電磁波干擾、儀器校驗、人為介入主觀因素及隨機誤差等，因此應在可能範圍內將上述因素造成觀測不一致的情況降至最低，而後所得之觀測資料才可進一步地加以分析。

致 謝

本研究承蒙中國石油公司海域及海外石油探勘處李處長漢津、江副處長東益、趙組長拔都、陳合源先生提供資料及寶貴意見，以及氣象聯隊聯隊長劉少將廣英、副聯隊長梁上校在研究期間之監督、指導，另本中心同仁在資料收集、處理和繪圖分析花費很多心力，使本研究得以順利完成，僅表摯誠之謝意。

參考文獻

1. 王曾、陳慶生 (1985)：C B K區海域海象調查報告。國立台灣大學理學院海洋研究所。
2. 梁瑞禎等 (1985)：新竹外海C B K作業區油氣開發施工期間氣象預報研究。空軍氣象中心研究報告第34號
3. OSTLE B. (1954): Statistics in research, chapter 8, The IOWA state College press.
4. Cooley W.W. and P.R. LOHNES (1962): "MULTIVARIATE PROCEDURES FOR THE BEHAVIORAL SCIENCES " John Wiley & Sons Chapter 3.
5. Ronald E. Walpole and Raymond H. Myers: Probability and Statistics for Engineers and Scientists.
6. IBM (1982): System/360 scientific subroutine package version III, 開發書局。

An Analysis on The Wind Strength and Wave height between Nan-Liaw and CBK Operation area

Ming-Hui Wang Ming-In Shyu

Peter Da-Gang Pan Jen Chen

ABSTRACT

Taiwan is located at southeast to Asian continent. In addition to the Central Mountain Range enarly meridionally crosses the island, very complex interactions existing among the land, the ocean and the air lead to the weather variabilites. All kinds of activites are more or less affected by the weather. Since an accurate forecast on the wind strength as well as on the wave height can cut down not only the risk which workers might encounter, but also the necessary expenses needed in a meaningless or unachivable missions. Therefore, this research aim at certain meterological parmeters which affect the operations in CBK area, trying to find out how a better forecast can be achieved.

Data used in the analysis including the wind field and wave information provided by CPC, hourly wind field records form the NAN-LIAW. Some statistical methods are applied to analyze the data. A series of results are provided on the relationship between wind and wave, extrem value of wind speed and wave height.

In analyzing wind strength and wave height, we use linear least square to fit the observed maximum wind and wave height. A regression equation is thus contructed to measure the maximum wave height once the maximun wind speed at NAN-LIAW is known. A multi-regression equation is also selected by using and testing all the variables which should be considered, to measure the significant wave height in the future. The testing we performed indicates that this mulit-regression euqation are acceptable and reiable.

A forecast method on wind speed and wave height is stressed, we deeply believe this is not the end of ongoing research for a even better one. Therefore, we are going to use this rule to do our forecast and test the accuracy of the method from now on.