

颱風移動路徑及強度之客觀預報

陳毓雷 鮑學禮

Prediction of Typhoon Movement and Intensity by Statistical Methods

Yulei Chen S.L. Baw

Abstract

The screening multiple regression technique is applied to the prediction of typhoon movement and intensity. There are 169 predictors to be selected from. As a result, 9 equations are derived through the analysis of a dependent sample of 545 observations. The predictands are northward, westward displacements and the minimum pressure of the typhoon center, each in 3 different forecasting periods, namely 24, 36, and 48 hours. All predictors and predictands information are obtained on the basis of a moving coordinate system.

When tested on independent data of 60 cases, the forecasting equations yield an average error which compare favorably with any other single method in existence except NHC-67 of NHRL. However, the intensity equations turn out to be a failure like the similar experiments made before. The above facts indicate that there is still room for improvement of typhoon prediction in this area.

一、前言

自一九五八年 R.G. Miller 倡選擇迴歸法⁽¹⁾ (Screening multiple regression) 以後，用於天氣預報方面之例不一而足。自一地之氣象要素如氣壓值、陣風強度乃至天氣學範圍如氣壓系統之移動等均曾在實際基礎上予以試用，而其結果顯示大部份均較主觀方法為優，至少堪謂成績相埒。

因此對於熱帶氣旋移動路徑之預報亦可利用此法試驗。最早之嘗試為一九五九年 Miller 本人及 Veigas、Howe⁽²⁾ 等所作，規模甚小，然已指出其可行往。翌年 Veigas 受美國國家颶風研究室 (NHRL) 資助再作擴大試驗，證實其效果顯著。乃決定交由 NHC 之 B. I. Miller 主持，將前此各家之作法截長補短，發展出一種颶風移動預報之統計客觀方法，命名為 NHC-64 預報方程組。經正式試用於日常颶風預報，故驗其準確率較所有其他單項之客觀預報方法均高⁽³⁾。兩年後，復加改進

而獲得新預報方程組稱為 NHC-67。

雖然氣象學家信氣壓系統中心（包括熱帶氣旋）之路徑預報在理論上應由動力預報入手；但因動力預報之數值模式迄未完善，大洋上原始觀測資料缺乏而導致之環流型式本身不盡正確兩大原因，統計預報之實際效果遠較數值模式為佳，可自校驗資料數字見之。是以美國 NHRL 目前之研究方向仍舊雙管齊下：一方面發展動力預報以奠基礎，一方面繼續改進統計預報之技術藉增實效。事實上，NHC-67 方法中業已大量利用導流、旋率、厚度平流等因素，且利用選擇迴歸法之特長儘量包含各層（地面、700mb、500mb）、各部位（相對於氣旋中心而言）之上述各種因素，由統計程序選出最具影響力者作為預報因子 (predictors)。

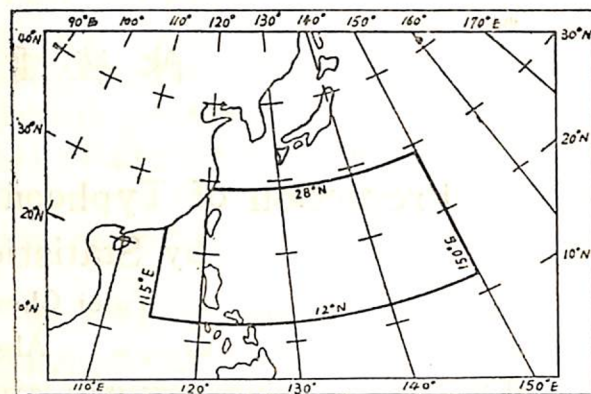
作者在 NHC-64 實驗成功之初，即曾為文介紹及檢討美國颶風預報之研究發展情形⁽⁴⁾，認為颶風預報自然可以，亦應該作類似之實驗，不過須注意氣候學特性以選擇適當之候選預報因子。然而早

年西太平洋區域觀測網之不健全以及選擇迴歸法之需要大量人力、財務支援兩種因素，使當時從事此一試驗之時機似未成熟。迨一九七二年我國科會大力支援，乃得展開本項研究。同時近年來有關原始資料之觀測日趨進步，例如高空觀測網密度之增加，衛星觀測之參加實際作業等，已使定壓面圖分析及事後整理颱風最佳路徑 (best track) 之可靠性大事提高。然則本研究之着手進行雖似略遲數年，但在客觀條件言則殊屬有利。

二、研究資料之來歷及範圍

本研究所用颱風移動路徑及強度之資料，亦即客觀預報術語所謂之「預報目標」(predictands)，採用最近十二年來關島聯合颱風警報中心 (JTWC) 事後整理出之「最佳路徑」，該資料除颱風強度外相當詳盡正確。鑒於我人興趣在臺灣近域之颱風，故選取個案時以 150°E 以西、 12°N 以北之西太平洋為範圍。南海發生之熱帶氣旋，其強度、速度以及環流背景等均與前者迥不相同，故未

加採取俾免混雜而減低預報方程之效果。此一範圍可參閱圖一。



圖一、颱風個案原始資料擷取範圍

對於同一颱風而選為個案資料之最短時距決定用廿四小時，以符取樣原則。結果所採擇之個案資料共有五四五次，大部在颱風季之七、八、九、十月份內，其分配年月如附表一。

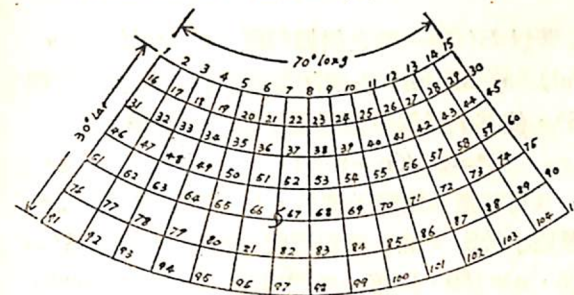
年	次	月	份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	小	計
48				0	0	0	1	0	0	3	10	9	11	7	0	41	
49				0	0	0	1	0	9	7	7	0	18	0	6	48	
50				0	0	2	0	6	3	7	6	13	7	4	4	55	
51				0	0	0	2	4	6	6	14	2	4	3	0	35	
52				0	0	0	0	0	10	9	5	5	6	0	4	39	
53				0	0	0	0	3	4	10	5	13	7	0	0	42	
54				2	0	0	0	2	5	8	9	20	3	0	0	49	
55				0	0	0	4	7	2	2	11	16	4	7	0	53	
56				0	0	3	5	0	7	17	8	5	9	12	0	61	
57				0	0	0	2	1	5	4	6	23	9	8	0	58	
58				0	0	0	0	0	0	4	6	4	7	6	0	27	
59				0	1	0	0	0	2	5	10	5	9	5	0	37	
總 計																545	

表一 颱風個案原始資料分配表

與颱風路徑可能有關各因素，即客觀預報中重要之「預報因子」，係以隨颱風中心而移動之網格

系統為準。網格距離為經、緯度各五度，東西佔經度 70° ，南北佔緯度 30° ，共計有 105 網格點，風

風中心永在第67點，如圖二所示。



圖二、網格系統圖 (隨颱風中心移動)

所取預報因子之性質計分兩大類：一為各網格點上之各種重要氣象參數，如地面氣壓、700及500 mb 高度、厚度以及各該參數之廿四小時變化量等，另一類為根據環流，旋率平流等動力因素而設計之因子，如各定壓層上之導流強度 (地轉假設之 U_g 、 V_g) 高度及厚度等之 Laplacian 等。因此預

報因子之總數可逾千百之數。本來此即選擇迴歸法之特色——預報因子從多，然後擇其優者構成複式迴歸方程。但一則太平洋區高空資料之是否可以經常獲得，其準確程度是否可予信賴，應予考慮。否則他日應用預報方程作實際預報時將產生問題。二則資料過於龐大，我國目前計算機之鐵芯容量力有不逮，即令可能處理，經費亦將因之大幅增加。故經考慮西太平洋區氣候特性，運用颱風預報之過去經驗，暨參酌國外已作同類實驗之結果，最後定為可用之初選預報因子者共計 169 個。其中屬於較複雜之第二類預報因子中主要僅留用 500、700mb 層上之經向、緯向導流。此種淘汰可謂純由主觀決定，頗悖本文「客觀」兩字主旨，然亦不得已事。事後證實，當初若不預計及此，計算機處理可能已遭困難。茲將各預報因子之符號、意義，所用單位列表二，俾資索引。

第一類			第二類		
符號	定 義	數目	符號	定 義	數目
Pi	地面氣壓 (mb)	34	Zv8	颱風中心上空 (500mb) 經向導流 (m)	1
Hi	700mb高度 (m)	32	Zu4	颱風中心上空 (500mb) 緯向導流 (m)	1
Zi	500mb高度 (m)	36	Zu1	颱風中心北邊 (500mb) 緯向導流 (m)	1
THi	700-500mb厚度 (m)	21	Hv6	颱風中心上游 (700mb) 緯向導流 (m)	1
DPi	P之廿四小時變化量 (mb)	3	Hu4	颱風中心上空 (700mb) 緯向導流 (m)	1
DHi	H之廿四小時變化量 (m)	22	DZ8	颱風以西500mb平均高度 (m)	1
DZi	Z之廿四小時變化量 (m)	10	DZ6	颱風西北500mb平均高度 (m)	1
			CDH	颱風上空700mb高度變化之梯度 (m)	1
			Y-12	過去十二小時颱風中心之南北位移 (n.m.)	1
			X-12	過去十二小時颱風中心之東西位移 (n.m.)	1
			$\Delta P-12$	過去十二小時颱風中心之強度變化 (mb)	1
小 計		158	小 計		11
			合 計		169

說 明

一、i 指網格點序號 (見圖二)

二、第二類各預報因子之計算方法如下 (均用公尺為單位)

- $Zv8 = [(Z39 + Z54 + Z69 + Z84 + Z99) - (Z35 + Z50 + Z65 + Z80 + Z95)] / \sin \phi$
- $Zu1 = (Z35 + Z36 + Z37 + Z38 + Z39) - (Z50 + Z51 + Z52 + Z53 + Z54) / \sin(\phi + 7.5^{\circ})$
- $Zu4 = (Z35 + Z36 + Z37 + Z38 + Z39) - (Z80 + Z81 + Z82 + Z83 + Z84) / \sin \phi$
- $Hv6 = [(H33 + H48 + H63 + H78) - (H21 + H36 + H51 + H66)] / \sin \phi$
- $Hu4 = [(H35 + H36 + H37 + H38 + H39) - (H80 + H81 + H82 + H83 + H84)] / \sin \phi$
- $DZ8 = 1/5(DZ6 + DZ21 + DZ36 + DZ51 + DZ66)$
- $DZ6 = 1/4(DZ25 + DZ20 + DZ35 + DZ50)$
- $CDH = 1/4[(DH39 + DH54 + DH69 + DH84) - (DH35 + DH50 + DH65 + DH80)]$

(表二 候選預報因子之意義及數量)

該項預報因子分別在日本氣象廳印製之天氣圖上利用網格點模式透明膠板讀得。屬於第二類者尚須逐一加以計算。在太平洋上空資料稀少區域，等高線分析往往甚疏，尚須就附近探空站報告高度、連續性、靜力平衡假設等原則重加分析或修訂後方能讀數。故本階段之工作所費時間頗鉅。蓋不計準備工作，凡需讀數及計算之資料逾十萬之多也。

以上為製訂方程用之非獨立性資料 (dependent data)，另外餘留獨立資料60次，在民國五一、五二、五三年內隨意挑出，未參加迴歸分析，專門留作校驗之用。

三、選擇迴歸法

選擇迴歸法或稱逐步迴歸法為複式迴歸分析之一種方法。其特性在於自變數 (預報因子) 特別多，然後從其中逐步選取與應變數 (預報目標) 相關最高者構成複式迴歸方程。在每一新預報因子選出後，須將其與尚未獲選之眾多其他因子間之偏相關除去，然後進行次一選擇步驟。問題在預報因子數量過於龐大時，選至何時為止？選出之因子是否確屬相關最高信賴程度若何？此兩問題之解答如下：

(一)當每一步驟有某一預報因子被選出時，可以計算因其加入迴歸方程而預報目標變異數被解釋部份之值增加若干。此值亦稱為「減少之變異數」 (variance reduction)，通常以百分比表示時可稱之為PCR (per cent reduction)。在第k步所選出預報因子之單獨PCR值可自第k步之累計PCR減去第(k-1)步時之累計PCR而得。而累計PCR值實即復相關指數 R_k 之平方。

$$R_k^2 = 1 - \frac{S_{ey}^2}{S_y^2} = \text{PCR} \quad (1)$$

式中之 S_{ey} 為估計標準誤， S_y 為標準差，Y指應變數而言。

停止選取之時機即可用PCR為標準。Miller氏主張以1%為取捨標準。本文若干方程中有略小於0.01者。此因上述標準本無絕對性，同時F試驗亦顯示其可靠，故予留入方程之內。

(二)每一新預報因子選出後，亦有檢查其是否可靠之必要。若不可靠，則雖符合PCR標準仍可割愛不用。Efroymsen氏建議用常數值之F以行F試驗，然Miller認為一般F試驗中所定信賴標準5%或1%對眾多之候選預報因子言實嫌太寬，建議採用一種浮動標準。茲簡介如次。

若以 S' 為一般之信賴程度 (Significance level)，Miller主張調整其成為較嚴格之新標準 S^* ，使其成為候選預報因子數目之函數。

$$S^* = S' / (n - k + 1) \quad (2)$$

n為初選預報因子總數，k指第k步。此 S^* 值雖遠小於 S' ，然其信賴程度則相當。譬如 $S' = 0.05$ ， $n = 169$ ，則第一步選出時之 $S^* = 0.00029$ ，但其意義仍為百分之五之信賴度，亦即「其可能誤選之機會為二十分之一」。

S^* 標準如此之小，相當之F值在一般統計常用表內不列，故無法利用查表方式比較而其可靠性，乃改以下法從事計算。

先在每一步驟計算出該步驟(k)迴歸方程之F值

$$F_k = \frac{R_k^2}{1 - R_k^2} \cdot \frac{(N - k - 1)}{k} \quad (3)$$

則在第k步所選出預報因子之F值可用下式計算之。

$$F_k = \frac{R_k^2 - R_{k-1}^2}{1 - R_k^2} \cdot (N - k - 1) \quad (4)$$

(3)、(4)兩式內之N為觀測次數，R為復相關指數。根據(4)式所得之F值求出F機率(P)而反求S值。

$$S = 1 - p \quad (5)$$

然後比較此S是否較標準預定之 S^* 更小而定其是否通過信賴度試驗。

本研究過程中亦已納入上項原則，在每一步驟作F試驗以定所選出預報因子之可靠性以後，方繼續進行以下步驟。按Miller之主張，本研究中相當於 S^* 值之F值約為14.0，若以此為取捨標準，若干方程中可能僅有三、四個預報因子被選入，標準未免過高而影響「可被解釋之變異數部份」甚大。故改以8.0為「捨棄」(cut off)標準。如此則方程內可容納較多之預報因子。當然可能因此而減低所得方程在應用上之穩定性。但完整性與穩定性在推計學意義上常相矛盾，勢難兼顧。兩者究應如何配置使允執厥中，迄今似乎尚無善策。本研究所獲方程試用於獨立性資料後效果甚佳，或可說明F值之標準不必如Miller所訂之嚴。近據NHRL負責統計學理部份之P.P. Chase告稱，該研究所亦認為上述F試驗過苛，在最近之颶風移動路經研究中已不再採用。

四、預報方程

以545次個案資料分別就24、36、48小時後之南北向、東西向位移及中心最低氣壓(強度)作為預報目標($\hat{Y}$)，用選擇迴歸方法分析，結果所得複式線型迴歸方程九個即可用作預報方程，其一般形式可寫為，

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^n a_i X_i \quad (6)$$

X_i 為選出之預報因子， a_i 為相當之迴歸係數，n在

(6)式內為該方程選出預報因子之數目大致以PCR ≥ 0.01 ， $F \geq 8.0$ ，為取捨標準， $X_0 = 1$ ，實即指 a_0 為截點常數。

以下將九個方程之結果列出如表三，並將每一預報因子選入時該因子本身之PCR值以及全方程之累計PCR總值、賸餘誤差(residual error，若假定誤差具有常態分配之性質，亦即上節所述Ser)等同時列入545次預報之平方平均向量誤差(root mean Square vector error)將在下節內與校驗資料者同時列出俾便比較。

表三 九個預報方程

$$\hat{Y} = \sum_{i=1}^n a_i X_i$$

預報目標 時限	24 小 時	36 小 時	48 小 時
南	迴歸係數 預報因子 PCR -5483.56322 1 0 -0.55675 H66 8.4 0.00996 Zv8 7.9 0.26568 H84 5.8 6.49655 P69 3.9 -0.67500 Z53 3.1 -4.57011 P50 3.0 0.14224 Z9 1.5 -0.15082 X-12 1.4 -0.15665 DZ51 13.2 3.65458 P63 1.2 0.67572 Z69 1.0 -0.01764 Hv6 1.0 0.80861 Y-12 1.1	迴歸係數 預報因子 PCR -7475.62724 1 0 0.04479 ZV8 11.7 -0.42488 Δ P-12 9.6 -6.69854 P51 9.5 5.85532 P70 5.2 -0.88698 Z53 3.4 0.71581 H69 3.5 4.76868 P69 1.3 -0.61405 H66 1.1 7.57238 P97 1.3 1.03529 Y-12 0.9 -0.24212 X-12 1.0 0.14619 Z9 0.9	迴歸係數 預報因子 PCR -6478.65611 1 0 -1.15299 DH52 12.7 1.21696 Y-12 10.1 -0.34190 X-12 9.2 -1.36627 H50 5.2 10.56429 P70 3.2 0.38836 Z9 1.7 -0.49214 Z33 1.2 1.52312 H84 1.4 -0.66164 Z52 1.0
北	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
向	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
位	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
移	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
(連)	累計PCR值 52.4 誤差(連) 57.5	累計PCR值 49.3 誤差(連) 89.5	累計PCR值 45.6 誤差(連) 130.9
東	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
西	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
向	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
位	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
移	迴歸係數 預報因子 PCR 1462.52621 1 0 0.02983 Zu4 33.8 1.06760 X-12 9.2 0.41433 H53 7.4 0.50538 Z21 6.1 0.45314 DH69 3.4 -8.87323 P99 2.8 -0.11618 Y-12 2.5 1.64951 P33 1.6 -2.77656 P11 0.9 4.37921 P41 1.0	迴歸係數 預報因子 PCR -1727.64103 1 0 0.58506 Z37 37.3 1.34065 X-12 9.7 0.00592 Zu4 5.5 0.78515 DH69 2.9 0.84263 Z41 2.5 -1.07552 Z99 1.8 0.34920 H50 1.7 0.87687 Z21 1.7 -10.70849 P96 1.0 -0.41917 Z1 0.9 5.70382 P80 0.7 0.17376 Z5 0.8	迴歸係數 預報因子 PCR -5744.46894 1 0 0.67589 Z37 35.5 1.60315 X-12 5.9 0.02812 Zu4 5.7 0.99935 Z41 2.5 1.02195 Z21 2.4 -1.60133 H99 2.2 0.83700 DH69 2.2 0.53690 Z35 1.8 10.01364 P80 1.3 -17.96769 P99 1.0 0.53691 DZ5 1.0 -0.63120 Y-12 0.7
(連)	累計PCR值 68.7 誤差(連) 80.8	累計PCR值 66.9 誤差(連) 124.9	累計PCR值 62.2 誤差(連) 183.8

強 度 (mb)	PCR 迴歸係數 預報因子 (%)			PCR 迴歸係數 預報因子 (%)			PCR 迴歸係數 預報因子 (%)		
	1431.62867	1	0	1156.70119	1	0	1800.23321	1	0
	-0.03195	Z67	13.1	-0.50519	P67	19.1	-0.64470	P67	27.9
	-0.06843	Z39	4.6	-0.04729	Z9	8.6	-0.04176	Z9	7.1
	0.08066	DH83	1.2	0.25782	TH50	4.9	0.26782	TH50	5.5
	-0.12048	H84	1.2	0.25093	△P-12	3.0	0.33113	△P-12	2.5
	0.11329	Z52	1.6	-0.04421	TH67	1.4	-0.27272	Z99	1.5
	-0.09885	Z37	0.9	-0.17077	Z99	1.0	-0.00933	Zu4	1.4
	-0.55231	P41	0.9	-0.05985	X-12	1.3	0.08887	DH83	1.0
				0.10065	DH83	1.1	0.04749	Z3	0.7
				1.63583	P66	0.8	0.10359	Z31	0.9
				-1.60894	P80	1.4	-0.10773	DZ51	0.8
							1.32413	P52	0.8
							-1.06348	P65	0.9
	累計PCR值 23.5			累計PCR值 42.7			累計PCR值 50.9		
	誤差 (mb) 15.8			誤差 (mb) 18.6			誤差 (mb) 20.4		

五、校驗結果

以60次獨立資料試用於上列方程後，其結果所

顯示之 PCR、贖餘誤差以及平方平均向量誤差亦經列如表四，表中並將製訂資料之向量誤差同時列入，俾便比較。

預報時限 PCR及平均誤差 預報目標	24 小 時		36 小 時		48 小 時	
	PCR 誤 差 (哩)		PCR 誤 差 (哩)		PCR 誤 差 (哩)	
南 北 向 位 移	55.4	61.9	55.1	90.6	52.1	121.3
東 西 向 位 移	83.4	63.2	75.3	118.2	66.3	192.2
平均向量 RMSE (545次) (60次)	99.2 88.5		154.1 148.9		226.0 227.1	
強 度	27.9	15.9 mb	37.9	21.9mb	39.42	4.3mb

表四 獨立資料校驗結果

由製訂 (developmental) 與校驗 (verifying) 資料所得之統計量作一比較，知各該方程除預報強度者外，其 PCR 均反有增高 (按係計算方法略有不同之故，校驗資料中計算 Ser 時未作自由度之調整，致所得誤差數值略小而 PCR 則相對地略為增大)。若製訂、校驗資料用同一方法計算，兩者之統計量必相當接近，表示六個預報颱風位之方

程均穩定可用。

本研究完成後曾就當年在臺灣近海通過之貝蒂颱風 (Betty 61.8.9~61.8.15) 作為個案實例校驗，茲將其平方平均向量誤差 (RMSE) 及向量誤差之平均 (mean vector error) 兩種校驗誤差值列如表五。

預報時限 平均誤差 平均向量之計算方法	24 小 時		36 小 時		48 小 時	
	RMSE		92.5		155.0	
	71.5		87.0		145.0	
	69.5					
	MVE					

(表五 貝蒂颱風試用本方程結果)

以上表所列之平均誤差值與表四相較，知其失誤尤較60次校驗之平均失誤值為小。但須注意者，某一次單獨之預報誤差值可能甚大，尤當颱風行徑不正常例如突然提早轉向等情形時為然，將在下節檢討時詳述之。

六、檢討與建議

(一)被選入預報因子之天氣學意義：

客觀預報方法雖純以統計理論為依歸，可以完全不顧動力氣象或天氣學原理。但在設計候選預報因子之初既已考慮及此，不妨對被選入之預報因子作一分析，視其能否以氣象意義闡釋。茲擇其顯明大者如下。

1.東西向各時距之方程組中 Zu4均被選出，南北向24、36小時兩方程中亦均以首位被選，足證導流在太平洋確為一重要因素。此與大西洋之情形不甚相同，後者僅在36小時方程中緯向導流才佔重要地位。

2.從被選入各網格點上單純因子 (P、H、Z、DH、DZ) 之係數正負號看，可得如下綜合結論。

(1)颱風中心以東之高度為正距平時，或以此之高度為負距平時，颱風向北進行較顯。反之，則向南進行或更正確地謂之減少此其行之傾向。

(2)颱風中心以北 (尤指正北) 之高度為正距平時，或東南之高度為負距平時，颱風向西進行。

反之，則向東或減少其西進之傾向。

上述結論說明槽線在颱風中心以北移近時將誘導其北上；而北方有高壓盤踞或脊線移近時，則將迫使颱風向西移動，此與一般預報經驗自相符合。

3.過去十二小時位移 (X₋₁₂、Y₋₁₂) 在東西向三方方程相當重要 (PCR分別為9.2、9.7、5.9，然與大西洋颱風預報方程內之極高 PCR 值相較，仍不算大)。在南北向方程中雖亦被選入，但並不重要。此反映本預報方程組並不特別依賴外延法之原則。

4.預報強度變化之三個方程內首先選出者均為颱風中心本身之氣壓或 500mb 高度值，且其係數均屬負號。說明中心氣壓原偏高者將加深，原偏低者則將填塞。其實此方程結論並無若何預報價值，僅反映出歷時較長颱風之正常發展過程而已。

有關厚度之因子 (TH) 僅在強度方程內出現，則與氣旋發展加深之理論若合符節。

(二)準確率 (預報失誤值) 之比較：

若無均一性質之樣本 (homogeneous samples)，準確率之比較往往缺乏積極意義，或流於主觀偏差。

本預報方法之準確率可藉60次校驗資料作為實際試用之結果，並將平方平均向量誤差為其預報失誤值，以之與各家方法之失誤值相比較列如表六。預報時限以24小時為主，蓋各家方法均無36小時預報，亦極少48小時之預報校驗故也。

預報失誤值 (哩)	各種方法		本方法 (1962-64) 客 觀	中央氣象局 (1962-69) 主 觀	JTWC (1962-69) 主 觀	荒 川 (1962) 客 觀	NHC-64 (1966-67) 客 觀	NHC-67 (1966-67) 客 觀 (原始) (細分)
	時 限	時 限						
24 小 時	88 (60)	97	124	123 (465)	109 (52)	106 (30) 79 (30)		
48 小 時	227 (60)				251 (44)	256 (27) 210 (27)		

表六 各種預報方法之誤差比較

由表六看本方法之預報失誤值最小（細分後之 NHC-67 方程組之優異性另見下述），但基於供比較之樣本在數量上（表六內容括弧內之數字）大相懸殊，如 JTWC 之平均失誤值 124 哩為對所有颱風之一切案例在內，包括初生、衰老期、詭異行徑之情況在內，準確率自然較差。而本方法所用之颱風雖隨機取樣而來，且亦包括轉向期之情形，但整體而言大多屬正常之颱風，初生期、衰老期、兩個以上颱風聯合出現之案例原則上均未予以採樣，故

誤差較小。

美國對大西洋之颶風均曾用 NHC-64, -67 作經常性之試用及作準確率之校驗達數年之久，一方面實際供預報人員作業參考及考查其可行性，另一方面研究失誤值特大之個案情況，俾作檢討改進。

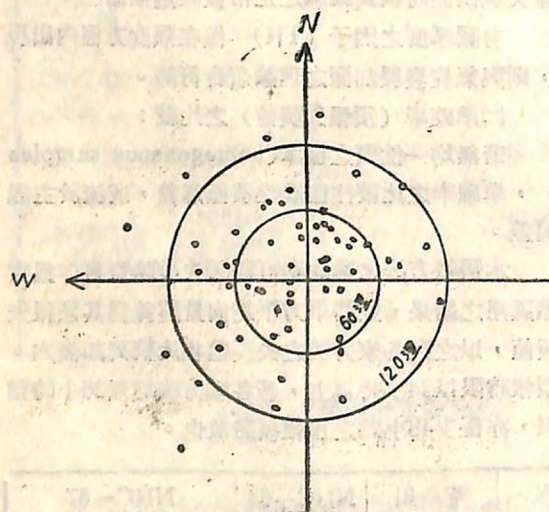
以本方法而論亦有誤差特大之實例，民國六十一年九月十五日海倫颱風於 0000Z 突然轉向北行且速度甚大。其前後兩日試用本方程之預報誤差值如表七所示。失誤值大於平均誤差一倍以上，亟宜有

日期 (1200Z)	預報時限			24 小 時	36 小 時	48 小 時
	向量誤差 (哩)					
61 9 14				186	322	640
61 9 15				280	272	430

表七 海倫颱風轉向時之預報向量誤差

所改進，見以下四之討論。

圖三係表示本方法 24 小時路徑預報之向量誤差分配情形。圖中以原點代表 24 小時後實際中心位置所在，預報位置落在 60 哩範圍內者佔 50%，120 哩範圍內者佔 87%。



(三) 強度預報方程之效果：

鑒於強度預報三個方程之 PCR 甚低，以及前述被選入預報因子意義之闡釋，作者認為其預報效果不佳。其原因固由於氣旋加深與否之因素牽涉甚廣，亦緣原始資料太不精確之故。蓋飛機偵察常缺

該項報告，衛星觀測亦無補於強度之測定，故其失敗乃意料中事。又，Veigas 亦曾對美國東海岸溫帶氣旋試作強度客觀預報，雖經羅入極多之候選預報因子，但結果亦與本方法相若——PCR 極低，遠遜於位移預報方程者。事實上，在本方法迴歸分析過程中已顯示 F 值普遍甚低，如 24 小時強度預報方程中選至第六步時已低於 8.0，應即剔除，則該方程 PCR 總值不過 20 左右耳。

美國 NHRL 作颶風客觀預報研究之初即未納入強度預報項目，蓋以溫帶氣旋之加深或填塞在理論上應屬較易捉摸，尚且結果奇差，遑論熱帶氣旋。茲在太平洋區經本方法之實驗可謂已再度證明以目前之條件尚不適宜於作此類預報，故將來再作進一步颶風客觀預報之研究時，可不必列入強度預報以節人力物力。

四 影響預報方程之因素與改進餘地：

統計方法之缺點在於不易預報出迥異常態之情況，故客觀預報方法應注意事項之一為：在分析前先將資料從細劃分 (Stratification)，例如時間上之季節劃分，空間上之地域劃分等。舉例明之，預報方程內 P、H、Z 等因子隨季節幅動而產生之距平勢必被方程式一視同仁而影響預報目標之數值。NHRL 戲謂迴歸方程易於年華老去，宜每隔數年

(下接 26 頁)