

近年來美國颶風預報研究成果暨檢討

陳 穎 雷



*A Study on the Achievement of Hurricane Motion
Prediction by Objective Methods*

Yulei Chen

Abstract

The threatening effects of hurricanes in the Atlantic are in many ways like those of the typhoons in the Pacific. While we are making every endeavor to improve the prediction of typhoon movement, it is profitable to look into the successful example of our counterpart --- the National Hurricane Research Center of the U. S.

Aside from the general description on the efforts made by NHRC for the past 10 years, this article lays emphases on the following two points:

- 1) the use of screening regression method which leads to the currently best objective forecasting method of NHC-64 ---- its history of development, choice of predictors, forecasting equations, accuracy on operational basis and synoptic-climatological interpretation.
- 2) the feasibility of its direct application in the Pacific.

Other practical considerations relating to the problem are summarized in the conclusion.

一、引 言

颶風之肆虐美國東南沿海，一如颱風之於我國東南沿海地區。是以美國政府於一九五六年特在邁亞米成立「國家颶風研究中心」(National Hurricane Research Center, 簡稱 NHRC, 以下準此,) 集中人力、物力、財力於颶風有關問題之研究。其主要任務依次爲：

- (一) 尋求新客觀預報方法，期改進預報準確率。
- (二) 學術界所提出之客觀預報方法，加以試用，校驗。
- (三) 热帶氣旋之基本研究。自觀測資料之獲得以迄動力理論之確立。

由上可知 NHRC 之研究偏重實務，目標首在而增進颶風預報之準確率，使警報業務得以改進，生不命財產賴以保障。十一年來，政府投資配合專家饒

舍的精神所發展之客觀預報方法大有進展，使颶風行徑預報之準確率有顯著增進。

去年(1967)美空軍主催之氣象預報技術會議席上，密勒(Banner I. Miller)代表NHRC就最近約十年來颶風預報研究成果提出綜合報告。本文之內容除對該中心試用成績最佳，現已納入正式預報作業系統之NHC-64預報方法詳加介紹外，並及其他客觀預報方法之成效及潛力。益以他山之石可以攻錯，對經常威脅臺灣之颱風，我國是否可循同一方向加以研究，亦同時予以探討。

二、以迴歸法作颶風預報之演進史

十年來 NHRC 曾就各種客觀方法分別試用，並不時加以修訂。其中若干種均為統計預報方法經校驗證明確較學驗俱富之預報負所之主觀預報為優。最早之一種係由熱帶氣象學權威李爾(Riehl)領銜

所創。彼認為颶風行徑應由周圍一層深厚氣流挾持前進，而 500mb 圖上之高空風速代表垂直方向各層風速之積分（亦即平均） $\int_0^z V dz$ ，故李爾法預報方程（實即迴歸方程）中所採用之預報因子（Predictors）即為 500mb 定壓面圖上熱帶氣旋周圍各點之地轉風分速 u 及 v 。但網格點則以地面圖上之颶風中心位置為準而劃分。

其後密勒及摩亞兩氏用相同之網格系統，但改以 700mb 圖之資料為準。復在地轉風分速外，另加颶風過去位置為預報因子而構成一組預報方程，稱為 Miller-Moore 法。兩氏亦曾再增加 700mb 高度值及高度趨勢為預報因子另構成方程，但其結果究有無改善則未曾宣佈。

嗣後於一九五九年，又一位密勒氏（Robert G. Miller）及其在「旅運氣象研究中心」（Travelers Research Center）之同僚發表一種新的迴歸法，稱為「選擇迴歸法」（1）（Screening regression method）。此種統計預報方法之特點在初選之預報

因子數目多多益善，然後從其中選取與預報目標（Predictand）最有關係之若干預報因子構成複式迴歸方程（Multiple regression equation）用作最後之預報方程。此方法發表後採用者很多，尤對颶風預報頗稱適用。

旅運研究中心所發展而成之預報方程分為兩個階段。一九五九年初訂者命名為 T-59，即由密勒等三人研究而成。彼等用地面圖上若干有關網格點上之氣壓及颶風過去位置為預報因子。網格系統亦以當時颶風位置為中心，經緯度各五度交織而成，共有 91 點（7 × 13）。翌年「旅運」之梵加士（Veigas）配合 NH RC 之研究方向將 T-59 修訂而成 T-60。加入地轉風分速，500mb 高度值等預報因子。網格系統則擴大為 120 點，（8 × 15）網格距離為三百浬。上列各種網格系統均以當時颶風中心為準，隨之移動，自不待言。

上述各方法之演進以迄目前使用中之 NHC-64 可由下表得其梗概。

表 1. 使用迴歸法為颶風預報之各種方法要點一覽表

Table 1. Summarized characteristics of forecast systems, using regression method

方法名稱	預報因子	所用層次	網格系統	預報有效時間
Riehl	u, v	500mb	$10^{\circ}\text{--}17.5^{\circ}\text{Lat.} \times 15^{\circ}\text{Long.}$	24 小時
Miller-Moore	$u, v, P_x, P_y, H_{700}, \frac{\partial H}{\partial t}$	700mb	同上	24 小時
T-59	P_o, P_x, P_y	海平面	$30^{\circ}\text{Lat.} \times 60^{\circ}\text{Long.}$ 91 點	24 小時
T-60	$P_o, Z_{500}, u, v, P_x, P_y$	500mb 海平面	$35^{\circ}\text{Lat.} \times 70^{\circ}\text{Long.}$ 120 點	12, 24, 36 小時
NHC-64	$u, v, P_o, H_{700}, Z_{500}, P_x, P_y, \frac{\partial Z}{\partial t}, \Delta Z$	500mb 700mb 海平面	同上	12, 24, 36, 48 小時

三、NHC-64 颱風預報方法

(一) 源源。

上節所述前面四種方法屢經試用，成敗利鈍，難分軒輊。有時對同一預報目標（某次颶風之行徑預測）以不同之方法處理後所得預報結果每大相逕庭。令人不勝困惑之餘，NHRC 乃傾力繼續研究，採取各法之長，綜合而成迄今最佳成效之 NHC-64。其命名意義自指該中心於一九六四年所自行發展完成之預報方法。

(二) 預報因子。

NHC-64 運用「選擇迴歸法」之統計原理以選擇最佳預報因子。最後預報方程內所用各預報因子係自下列諸參數中選出者。（角註數字表示網格點號碼，i 汎指任何號碼。）

P_i —海平面氣壓(mb)。

H_i —700mb 高度(g.p.m.)

Z_i —500mb 高度(g.p.m.)

DH_i —1000~700mb 厚度(g.p.m.)

TH_i —700~500mb 厚度 (g.p.m.)

DZ_i —500mb廿四小時高度變差 (g.p.m.)

$SY_5, T_3, S_{5,7}, SX_7$ —500mb 及 700mb 層上之地轉風分速。

P_x, P_y —過去十二小時中心位置之移動 (浬)。

X以西向為正，Y以北向為正。

由此可知初選預報因子之數目當在下列數值之上

(2)。

參數種類網格點數 = $6 \times 120 = 720$

經選擇後實際採用於各方程者僅在六至十個之間。

(3) 預報方程。

預報因子經選擇迴歸法決定後，即可開始就實際資料利用電子計算機構成預報方程。預報目標雖永為颶風預報位置，但在運用上係分別就不同之 1. 區域，2. 預報有效時間及 3. 分向量表示，共計有十六。故預報方程全套亦有十六個之多。

茲分別說明上述意義：

1. 區域：分南北兩區，以 27.5°N 為界。故有類似之方程兩組。

2. 預報有效時間：最長為48小時，但分為四節求得之。易言之，若欲求48小時後颶風位置之預報，須先從12小時之方程着手，然後逐步求24、36以至48小時後之位置。故須準備四個方程。其所以不直接由00—48求預報位置之原因，在於前者之間接方式可得48小時內移行之軌跡。

3. 分向量：颶風預報位置為一向量，故可藉兩個分向量X與Y分別求之而後合成。X以西向為正，Y以北向為正，單位用浬。

綜上可知最後共有十六個預報方程。本文之目的既不在直接使用此等方程，故僅就南區八個方程例示於下以見一般。

1. 00—12小時：

$$\begin{aligned} X_{12} = & -1766.7 + 0.60582P_x + 0.65069Z_{38} \\ & - 3.70010P_{75} + 0.41391DH_{50} \\ & + 1.04993P_7 - 0.22969TH_{83} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{12} = & -286.5 + 0.66941P_y - 0.29613H_{66} \\ & + 1.64873P_1 + 0.19547H_{55} \\ & - 4.70968P_{52} + 3.66274P_{69} \end{aligned}$$

2. 12—24小時：

$$\begin{aligned} X_{24} = & -2947.9 + 0.75767Z_{37} + 0.32222P_x \\ & + 0.18878DZ_{38} + 0.13761Z_{12} \\ & - 0.25162P_y - 1.22724DH_{53} \\ & + 0.94423DH_{54} - 4.21241P_{73} \end{aligned}$$

$$+ 2.88216P_{39}$$

$$\begin{aligned} Y_{24} = & 1036.1 + 0.89484P_y - 0.48572Z_{66} \\ & + 2.95035P_2 + 0.66416TH_{83} \\ & - 0.56308DZ_{50} + 0.18039H_6 \\ & + 0.50282H_{55} - 5.04286P_{80} \end{aligned}$$

3. 24—36小時：

$$\begin{aligned} X_{36} = & -1064.1 + 0.91156Z_{37} + 0.28164H_{13} \\ & + 0.20401DZ_7 + 0.40150_{40} - 5.94821P_{73} \\ & - 0.27231P_y - 0.13140TH_{21} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{36} = & -7609.3 - 0.83436Z_{52} + 0.04664Z_{23} \\ & + 0.51920Z_{70} - 0.71777DZ_{50} \\ & + 2.35781P_2 + 0.36816P_y + 0.27499Z_7 \\ & + 0.57775Z_{47} - 0.86002H_{68} \\ & + 4.49646P_{75} \end{aligned}$$

4. 36—48小時：

$$\begin{aligned} X_{48} = & 3061.7 + 1.18778H_{37} + 0.33403H_{13} \\ & + 0.39161DZ_{21} - 6.49004P_{74} \\ & - 0.40141P_y - 0.46128TH_{19} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{48} = & -4646.5 + 2.98003P_2 - 8.50895P_{52} \\ & + 11.12384P_{70} + 0.80225TH_{70} \\ & + 0.52414Z_{68} + 1.00678Z_{47} - 0.75137H_{64} \\ & + 0.17289Z_7 - 0.77409Z_{52} \end{aligned}$$

四隱含於預報因子內之天氣學意義。

運用統計原理裝訂而得之客觀預報方法原可不必過問其間之氣象意義（物理程序）是否能予合理闡釋，但問其試用後之核驗結果即可。但若某一預報因子確能在預報中屢測屢中，則其必能「闡釋」預報目標至某種程度無疑。在統計學理論中，可用統計量嚴謹地表示出其程度。例如，在迴歸理論中可用 r^2 ，即「相關係數之平方」或「解釋之變異數部份」（Explained variance），亦稱PCR(Percent reduction) (3)之大小表示某一預報因子之闡釋能力。

此處將 NHC-64 預報方程中選出之預報因子具有何種天氣學意義擇要加以說明。一方面可為預報員增加信心，因其所發佈之預報與天氣學看法一致總較安心。另一方面或可因本方法之卓越實效而反推出若干有關熱帶氣旋行徑之天氣學原則，蓋經驗律原即來自統計方法也。

圖 1 至圖 5 分別標示 P、H、Z、DZ、DH 五種預報因子最後選定之網格點號碼分佈狀況（意即對颶風中心之相對部位）。點旁符號之意義如次。

N, W—N 指南北分向量(Y)之預報方程所選用

W—W 指東西分向量(X)之預報方程所選用

- 2,4,6,8 — 2 指12小時預報方程所選用。
4 指24小時預報方程所選用。
6 指36小時預報方程所選用。
8 指48小時預報方程所選用。
～—有～符號者指北區預報方程所選用。
無此符號者指南區預報方程所選用。
+，—+指迴歸係數為正。
-指迴歸係數為負。

茲分條舉例闡釋預報因子之天氣學意義如下。

1. SY₅、T₃、S₅₇、SX₇係我人熟知之導流(Steering flow)原理。不擬再加解釋，故亦未在任何圖內予以標示。

2. 以地面氣壓論，由圖1可察知若颶風中心以東氣壓較正常為高(正值)，或以北氣壓較正常為低(負值)時，氣旋將向北行。同理，以北氣壓較正常為高時，氣旋應趨西行。

3. 圖1又可知颶風繁東、繁北(69、52兩點)之氣壓情況頗關重要。若 P₆₉ 為正面而 P₅₂ 為負時，十二小時內將轉向北而行。

4. 圖1西北角上氣壓若較正常為高，則颶風將向北移。此似指該區有地面高壓盤據時，一般而言在颶風位置正好有一低壓槽使其向北進行。

5. 以700mb或500mb定壓面上高度論(圖2、3)。由圖可知颶風正北地區之高度值對預測東西向進行之關係甚為密切。例如 Z₃₇(500mb)居颶風正北，製作24小時南區東西分向量之預報方程時，Z₃₇為所有候選預報因子中之最佳者，獨佔 PCR 達 67.3% 之多(見註(3))。可見其與預報目標相關之甚。

700mb 上 H₃₇ 此一預報因子同樣亦在 48 小時北區東西分向量之預報方程中獨佔鰲頭，所佔 PCR 為 39.3 %。

6. 以500mb高度變差而論，可由圖4印證我人熟知有關颶風進行加速與否之經驗律。例如颶風以西之高度值(DZ)降低(負值)則向北加速行進。反之，DZ 為正時，則向北速度將減速。以北或東北之高度值昇高時，颶風減速或轉向西行。反之，以北之高度值降低時，颶風將加速或反轉向而前進。

7. 以厚度值論(圖5)。若颶風以北之厚度低於正常時，可能倒向東行。反之則西加速行進。

8. 過去小時位置雖經列為初選預因。但選擇結果顯示該因子在小時以外之預報並非十分重要。足證本法並非十分倚賴持續性之預報。

以上各條所述，可見本法由統計原理選出之預報

因子及其所處部位均能與天氣學原理或經驗律相互印證發明，非徒氣候學之平均狀況而已。

(iv) 績效校驗。

TRACY氏曾將各種預報方法加以校驗比較，發表于「氣象月刊」內(4)。

彼首先將氣象局之官方預測就八年資料分為三個地區求其平均誤差值如圖6。然後用準確度最高之B區對其他各種方法加以校驗，亦各求其平均誤差值如圖7。此圖所用資料雖遲早，多寡並不一致，然NHC-64法遠較數值預報或延伸預報為優，殆可斷言。又該圖內各方法之排列自上而下大致符合編年序，而誤差率亦順序漸小(5)。可證方法隨時間而進步，研究發展非無功勞。該圖亦顯示數值法之誤差率未能隨動力模式之逐年改良而減小。

若專就數值法與 NHC-64 兩者分別在不同區域及不同預報時間加以比較，其結果在各方面NHC-64 均佔絕對優勢。

最後彼復以美氣象局歷年正式發佈之颶風預報誤差統計作成圖表如圖8。可以看出自一九五四年起(前此無核驗資料可稽)，年平均誤差(虛線)雖變化幅度甚大，但大致趨勢仍可看出準確率係逐年提高中，無論極大或極小值(誤差)均趨低。此由三年移動平均(Running average)看圖中實線更屬顯著。一九五九年 NHRC 成立，專家開始以客觀預報協助預報員作正式預報發佈前之參考。迨一九六三年後，則成效良好之本法正式納入預報作業系統。此二轉捩性之年份均可在圖中實線趨勢上明顯察覺。以統計術語言，該兩處之趨勢均在 5% 之譜，應非偶然性而為確具統計意義者。惟該項進步究應歸功何方，殊難定論。要之，預報員經驗之增加，預報人員與研究人員間之密切合作，以及客觀預報方法之研究發展日新又新，鼎足而三，同為功臣，應屬中肯之論。

(v) 美國對本法之期望及改進餘地。

由於前述核驗結果，NHRC 認為颶風預報研究發展之方向，至少在近期內仍將偏重於統計預報方法而非數值預報。蓋中心之專家咸認前者之進步遠較後者為顯然。今日 NHC-64 預報方程之能有如此成績，並已由國家氣象中心(NMC)採用為正式預報作業之方法即為最佳佐證。

同時該中心亦不以既獲成就為滿足，且認為尚有充份改進餘地存在。例如前年(1966) Inez 颶風預報失敗後，該中心即加分析研究，修訂預報因子，增添資料另構新方程；準備於去年颶風季內試用校驗(結果尚無資料)。

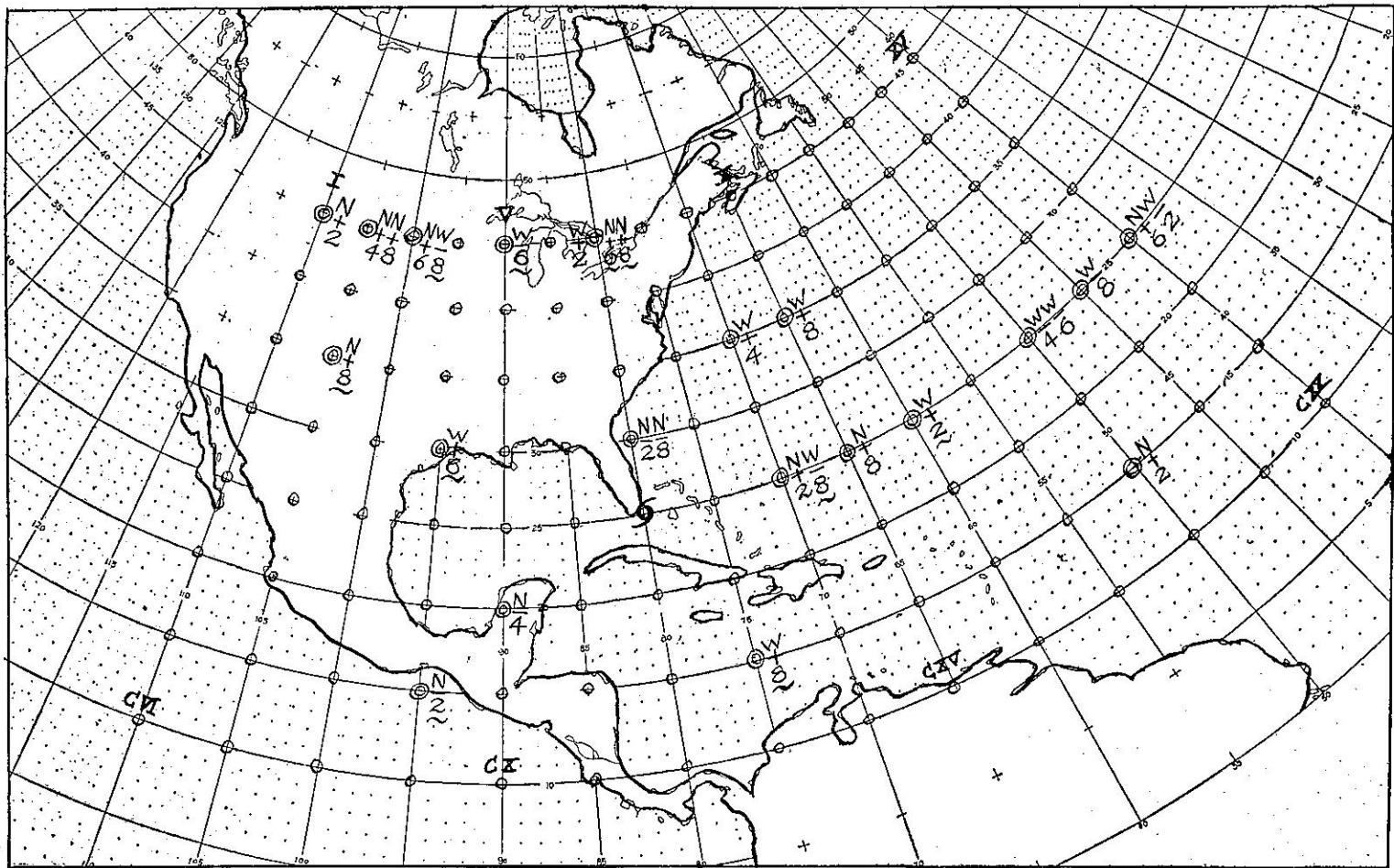


圖 1. 經選用為預報因子之各地面氣壓 (P_i) 所在位置圖 (羅馬字為網格點號碼)

Fig.1 Locations (grid points) of P_i 's, selected as predictors.

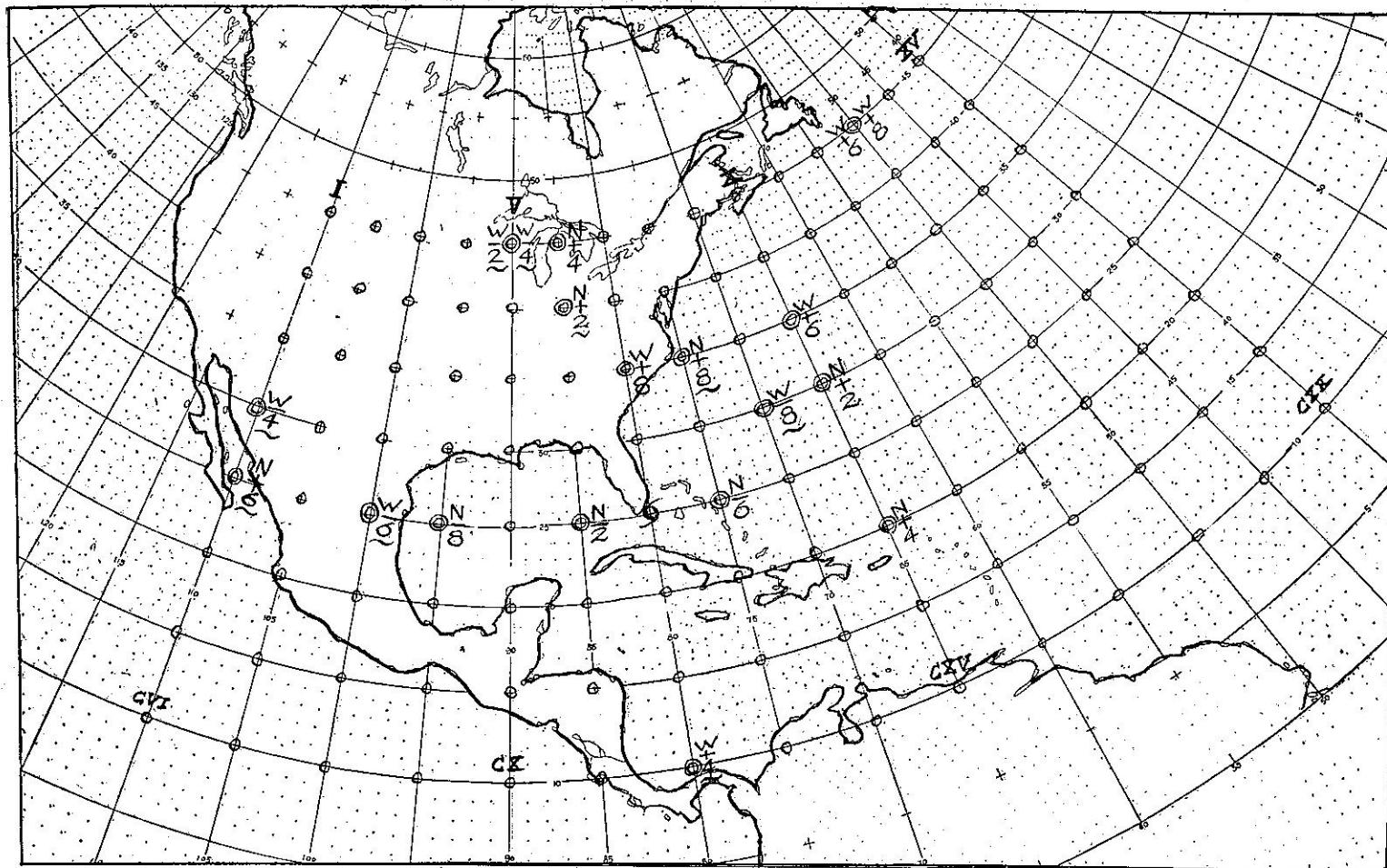


圖 2. 經選用為預報因子之各 700mb 高度 (H_i) 所在位置圖 (羅馬字為網格點號碼)

Fig.2 Locations (grid points) of H 's, selected as predictors.

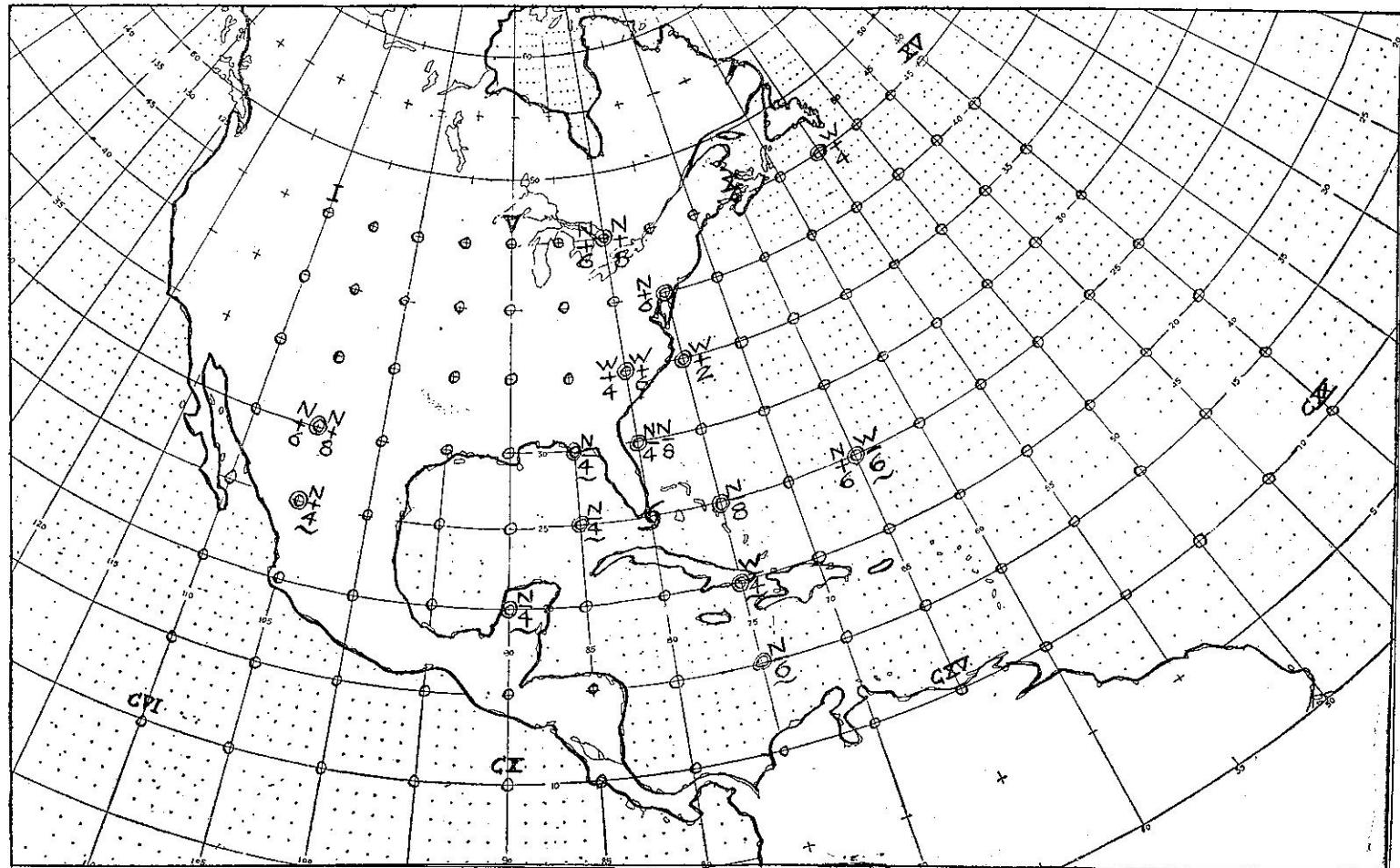


圖 3. 經選用為預報因子之各 500mb 高度 (Z_i) 所在位置圖

Fig.3 Locations (grid points) of Z 's, selected as predictors.

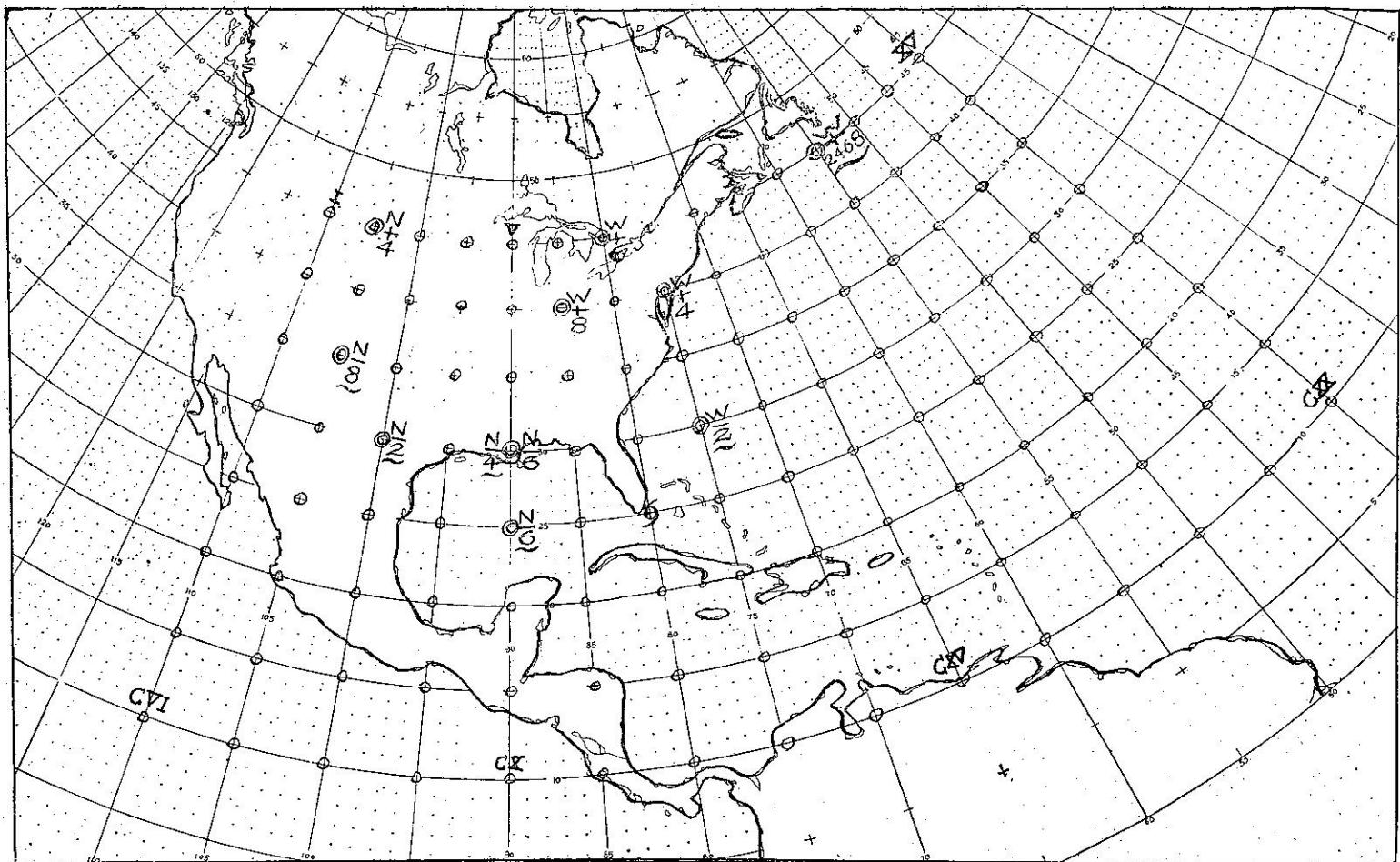


圖 4. 經選用為預報因子之各 500mb 高度變差 (DZ_i) 所在位置圖

Fig.4 Locations (grid points) of DZ's, selected as predictors.

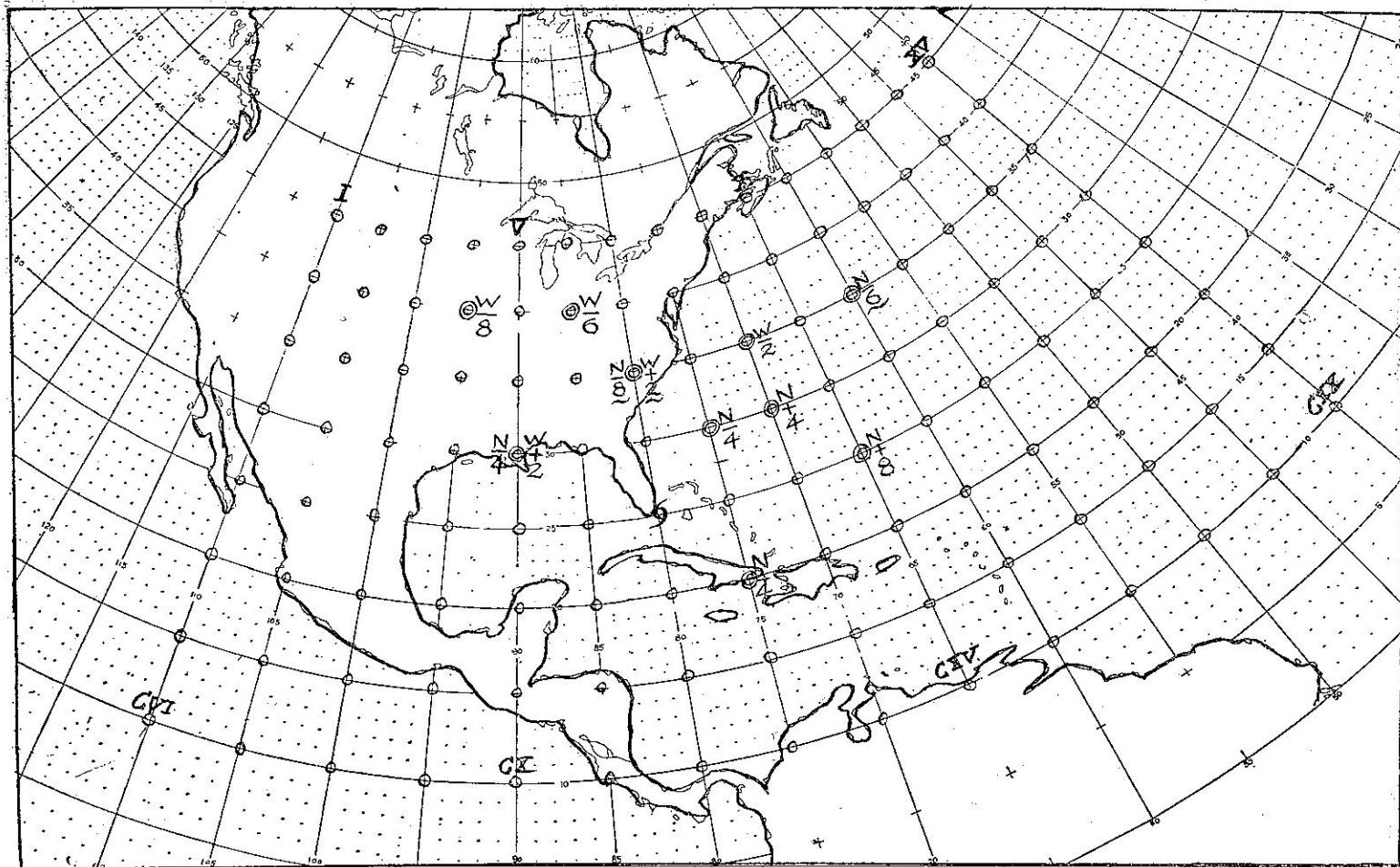


圖 5. 經選用為預報因子之各厚度 (TH_i, DH_i) 所在位置圖

Fig.5 Locations (grid points) of TH's, and DH'S 'selected as predictors.

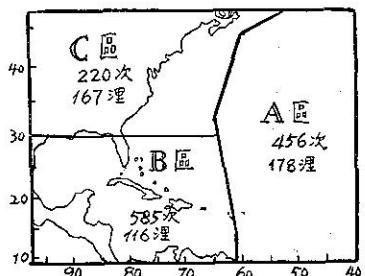


圖 6. 颶風預報劃分地區（校驗績效用）

Fig. 6 Average of official 24-hour four forecast errors, by areas.

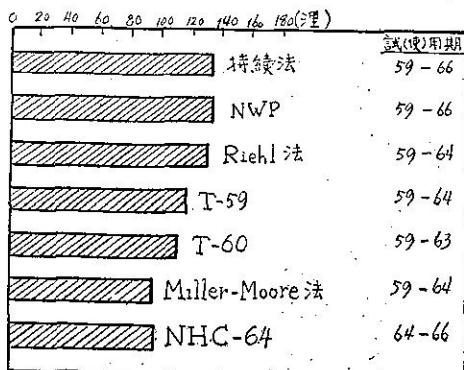


圖 7. 各種預報方法之平均誤差比較圖

Fig. 7 A comparison of average 24-hour forecast errors for objective systems.

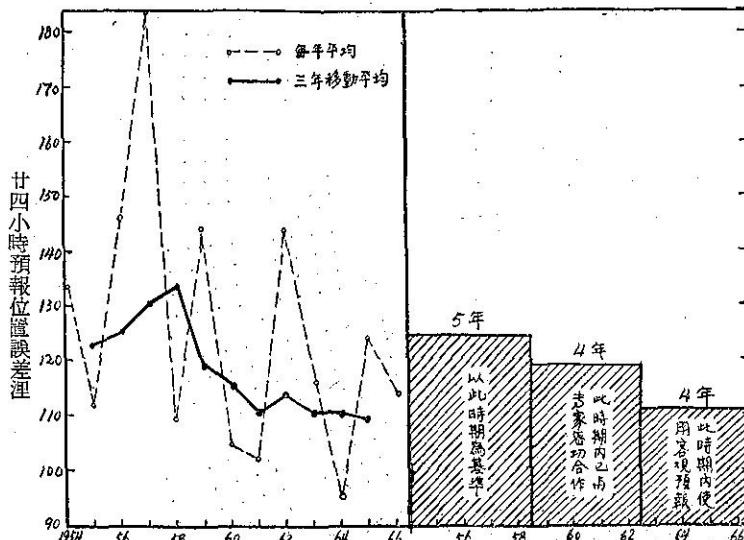


圖 8. 美國氣象局官方預報年平均誤差曲線及以4,5年度期平之均誤差降低趨勢

Fig. 8 Average forecast errors of hurricane motion for a 13 years period, based on U.S. Weather Bureau official forecast. Dashed line is yearly average; solid line is 3-year overlapping average. Blocks show 4 or 5-year averages.

另外極重要之發展餘地在觀測資料之正確性。此將對本法有鉅大貢獻殆無疑義。設能將颶風出沒區域內之觀測網加細增密，並向上發展從現用之三層再增250mb一層，則本法所用之網格系統可更廣袤縱深，如此選擇而得之預報因子必更完美。是以該中心正計劃朝此方向努力，如增加天氣偵察之巡邏區域，航線及架次，並在若干網格點上定時投下探空儀 (drop-sonde)等措施。

四、數值預報之發展概況

在績效上言，數值預報無法與統計預報相比。然而就理論而言，熱帶氣旋之行徑預報應該基於包圍此氣旋中心廣大區域內運動場之變化，則問題純屬動力範疇，自應採用動力預報為上。例如可用數值法作整個半球性之環流型態預測。所憾者熱帶氣旋孳生之地係低緯度之海面。在目前環境言，運用純粹動力預報于該區尚多困難。

過去十年來致力於各種大氣模式從事熱帶氣旋預報研究者固不在少。例如佐崎 (1955)，笠原 (1960)，Birchfield (1961)，Vanderman (1962) 等，其所用模式分別為「正壓模式」 (barotropic)，「二層斜壓模式」 (two-level baroclinic)、「相當正壓模式」 (equivalent barotropic) 等。概括言之，各模式之基礎原理仍不脫導流之觀念。目前實際在美國 Suitland 試用中者亦為正壓模式，其若干次個例之成績或尚完美，但若以整體看，則其績效實難稱滿意。故今日甚多數值預報專家被迫放棄直接預測環流型態而改採氣候學路線。例如從過去及當時之環流型態，利用自動相關函數之理論以推定熱帶氣旋之行徑等，其實質又已歸於統計學方法，不過用計算機程序處而已。

縱然數值法目前在績效上顯居劣勢，但 NHRC 之研究人員從潛力論點看認為動力預報最終仍將居於優勢。其所持理由極為簡單：動力預報根據大氣之真正物理程序。其所以目前不敵統計預報者，可能因為動力模式對不正確之原始資料極為敏感，而統計法則反是。由於此種觀點無懈可擊，NHRC 較遠

程之工作計劃仍以數值預報為主，而對模式之改進將採用下列步驟：

- (一) 原始方程組之模式 (Primitive equation)。
- (二) 非絕熱及黏性條件。
- (三) 多層模式 (Multi-level)。
- (四) 以氣旋位置為中心之細密網格系統。

五、NHC-64移用于太平洋區之可行性

NHC-64 既為大西洋颶風預報作業效能最高之一種方法，而颶風、颱風同屬熱帶氣旋，是否可將原法移植至太平洋區域應用？此一問題可從三方面檢討其可行性。

(一) 本質上：統計預報方法在本質上富于氣候學意義，而北區性又為氣候學之重要因素。NHC-64既基於大西洋之資料構成，諒不可能完全適用於太平洋。

(二) 實驗結果：實際上本法已經多次試用於太平洋區之颱風，結果甚不理想。以前馬龍 (Malone) 法試用於太平洋時，其誤差亦較同樣方式但逕以太平洋原始資料構成之荒川法為大。上條所述可謂已被證實。

(三) 配合條件：預報方程縱可移用。但在應用時必須以當時太平洋區之實際觀測資料代入方程內各相當參數方可計算結果。現太平洋區之觀測條件，分析作業，其密度、精確度、深度及速度是否可以配合得上？此點涉及高空觀測網，自動天氣圖分析等問題，均非一舉可以改善者。又自實用觀點看，颱風預報作業首重時效。最好能在觀測時間後二小時即獲結果，方可適時發佈，及時防風。否則方法雖佳，亦將失去作用。故此處所謂配合條件視似不太重要，實則不可忽視。

綜上以論，將 NHC-64 逕行移用於太平洋區作為颱風預報方法似不可行。然而，若參考其原則，以太平洋本身資料構成一套類似之預報方程非不可能，且極合理。所謂原則應指原方法成功之處，包括(一)用作預報因子之各種氣象參數，(二)網格系統之格式，(三)選擇迴歸法之原理，(四)預報方程之分門別類（指分區、分時、分向量）等。惟初選預報因子時宜考慮太平洋地區地區，高空及飛機觀測作業之能力。

六、結論

(一) 十年來美國對颶風預報之研究全力以赴。在制度方面，設立 NHRC，統一機構，政府全力予以支援；精神方面，集全國精英，無分軍民，合作無間，精益求精；工作方面，以客觀預報為主，偏重驗證，

要求實效；績效方面，官方對颶風預報之準確率逐年提高，使用中之 NHC-64 業經證實其優越性能；發展方面，近期計劃繼續統計預報之改良，遠期計劃力求動力預報之成功。

(二) 我國對颶風預報方面之研究素極重視。惟投資（廣義的）之規模則略遜一籌。鑑於美國之十年有成，可知我國若循上述各方面之方向努力，必有收穫。

尤以近年來我國在聯合國氣象組織合作下，從事防颱防洪示範計劃，已有優異成績。我政府又正竭力爭取「亞洲防颱中心」之設於臺北。凡此皆對颱風研究極為有利之條件。當然，若欲作有規模之研究時必須與太平洋區國家如美、日、菲、港等取得技術合作。

(三) 他日「亞洲防颱中心」成立後，姑不論其設於何地，由何國專家主持研究，原始觀測之重要性則必無例外。故如何使我國氣象觀測之廣、深、頻、速、精確度漸臻於現代化水準以配合颱風研究及其成功與否之先決條件。事實上此亦為一切氣象事業發展之基本課題。（全文完）

註釋及參考文獻：

(1) 陳毓雷，五十五年，「氣象統計學」，空訓部版 pp.104-105。

(2) 前面六個氣象參數 P, H, Z, DH, TH, DZ 在每個網格點上之值均可作為初選預報因子，故有 720 個。此外尚須加 SY₅、T₃ 等六個，實際共應有 726 個。最後六個預報因子之意義及求法之詳情可參閱下文。

B. Miller (1966) Monthly Weather Review, Vol.94, pp.401-402

$$(3) PCR = r^2 = 1 - \frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2},$$

式內之 \hat{Y} 為根據迴歸方程估計而得之值，若迴歸方程用作預報方程時， \hat{Y} 即預報目標之預報值（例如本文舉例中之 X₁₂、Y₁₂ 等）。公式內之 Y 則係預報目標之實際值（可於事後得之）。 $\sum(Y - \hat{Y})$ 愈小，PCR 愈大，表示方程內所採用預報因子之闡釋能力愈高，預報愈易準確之意。

(4) NHC-64 法對 1966 年之 Inez 颶風古怪行徑失誤頗大，影響其平均誤差率甚鉅。否則必可較密勒氏方法更優。

(5) J. Tracy (1966) Monthly Weather Review, Vol.94, pp.407-418