

颱風移動短時預測討論

蔣志才

A Discussion on the Short-Range Prediction of Typhoon Motion

引言

宇宙能量無可估量，地球表面大氣僅發生小的空氣旋渦——「颱風」，地球上人類就會感受到災害。可是地球上凡有海岸線之國家，除極地與南美洲無颱風外，其他沿海洋地區於颱風季，均有遭侵襲之可能。在科學未發達時期，人類僅將該項災害寄賴於神的保佑，於是對颱風之名稱也因不同地區，而有不同之稱謂，相沿迄今依然未改，不過不論其名稱如何，其原意並無二致。

自從氣象學之開始研究，專家們對該項人類災害現象也首先付予注意，可是宇宙何其大也，大氣又何其廣也，既不能對整個大氣運行製作模形概念，又不能預先實際試驗，研究工作猶如瞎子摸象，近數十年雖然各項新式氣象觀測儀器與工具已陸續問世，可是仍未能普及使用，研究工作也限於科學較發達之國家，同時各氣象學家所研究之預測方法，因所用資料不同各持己見，思想紛歧，方法與效果方面也各有異，於是擔任實際颱風預測工作者，實無法斷定以何種方法從事預測為佳，因為每種方法迄今仍有它本身的或然率，而未達百分之百準確之成熟階段。若某預報員常用某種方法從事預測，亦不過其對某項方法之使用較有心得，但仍無十分把握，這也為我從事氣象工作者之苦衷。

本人深有其感，茲將目前自由世界有關颱風預測各學者之思想原理與方法，盡我所知作簡略介紹與討論，以作同業者參考。

高空氣流導引

高空氣流導引觀念是颱風移動基於高空氣流方向與速率之操縱，近二十年來發展各種短時的導引預測方法很多，有些試用結果令人滿意，有些則不預測方法很多，有些試用結果令人滿意，有些則不然，顯然的困難所在是決定何者為主要導引氣流，與其導引颱風行進之程度如何。颱風環流由水平伸展至垂直方向，空氣自四周滲入而旋轉，無法辨別何處是主要空氣來源。又颱風行動是由於所謂對流

性之進行速率分力而引起，抑或由於水平對流不對稱而生動力分力而引起，實無法予以斷定。Sherman 曾分析一些測風資料之例證，結論是所計算對流性速率與颱風行進關係極微，而後者動力分力則與颱風行動關係密切，雖然有很多人將導引方法專信賴於主要導引氣流影響颱風行動，無疑的內在不對稱之動力分力，必參予其間。

E. Jordan 支持導引氣流之說法，他認為在一般颱風 2° 至 4° 緯度距離內分析四千呎與三萬呎之高空風，即可得到答案。他又說颱風是一旋轉而又移動之複合體，其內在動力分力或導引氣流使其有位移，導引氣流為主要動力時，乃導引氣流應在 300 mb 層颱風中心上 8° 緯度寬帶範圍內。可是 Miller 又作進一步研究導引氣流與颱風行進之關係，他認為強烈與中度颱風之最佳導引風流是在 500-200 mb 間，其平均寬帶在颱風中心左右 $2-6^{\circ}$ 緯度。

於是在實用方面對確定主要導引氣流又發生了不同的看法：一種說法導引氣流在 300mb 層；一種說法是分析各層氣流至消失渦旋環流之高度，這層氣流充份證明無波動是也；另一種說法是在偵察靠近颱風最強風帶取其平均向量是也；又一種說法是用 500mb 層或其他適切高度之平均氣流，以計算地轉風是也。莫衷一是，各有理由。

(1) 觀測高空風用在導引——如有足夠高空風觀測資料，以氣流線分析法預測 24 小時颱風移動，相當有效，不過在颱風附近高空風報告往往很稀少。於是等於客觀分析，可是 Noton 強調很少失敗，他的理論是各層氣流均影響颱風。換言之，操縱其行進不是單層氣流，而是一厚度大氣。同時他也認為分析各層氣流至颱風環流消失層，這層也是導引氣流，並說不同發育期與不同強度颱風，有不同的暖渦旋在不同高度顯現。其高度有低至兩萬呎，成熟颱風也可能高達五萬呎。

他又說如缺測風資料，可利用探空資料分析氣流線，找尋何層資料符合現在與過去颱風的行動，不過他發現重點應在颱風 200-300 哩半徑前方之氣

流，而不在其後緣。一般颱風行進速度是導引氣流的百分之60至80，至於行進方向不一定平行導引氣流，而有一偏向高壓之分力，並隨颱風速度而改變。向西快速運動之颱風，其偏力等於零而無偏向，20Kts 以下者可偏至 20°，該偏向高壓之分力，可能由於颱風邊緣南北邊偏力不同之故。又北向颱風較西向颱風符合導引氣流速率一節，原因為北向颱風應加上向極地加速力，因此北向颱風行速也愈接近導引氣流之速度，理論如此，經校驗也不例外。

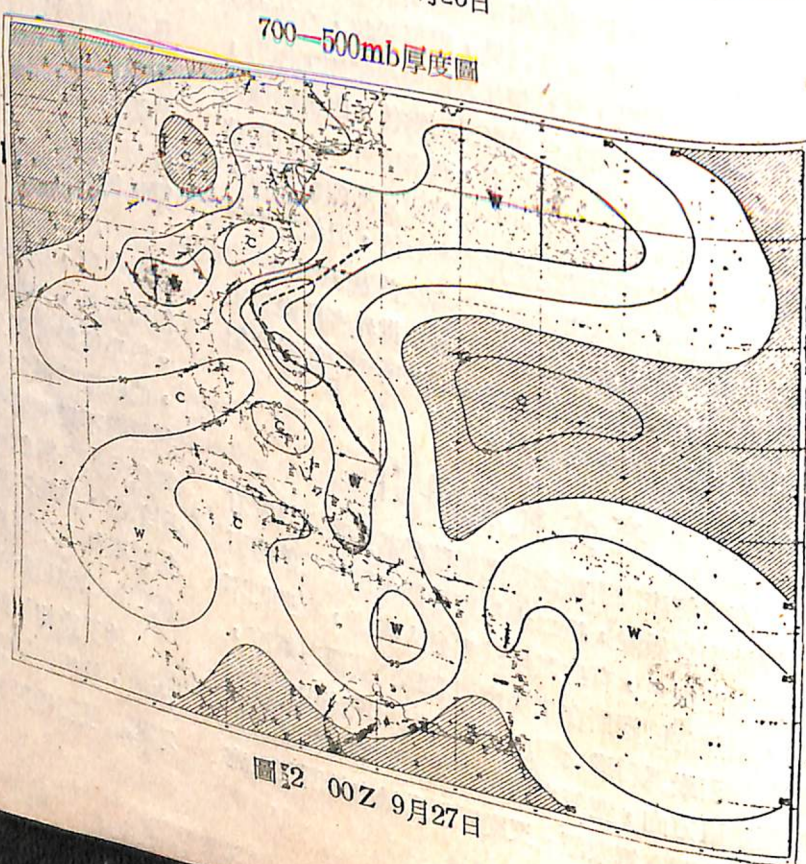
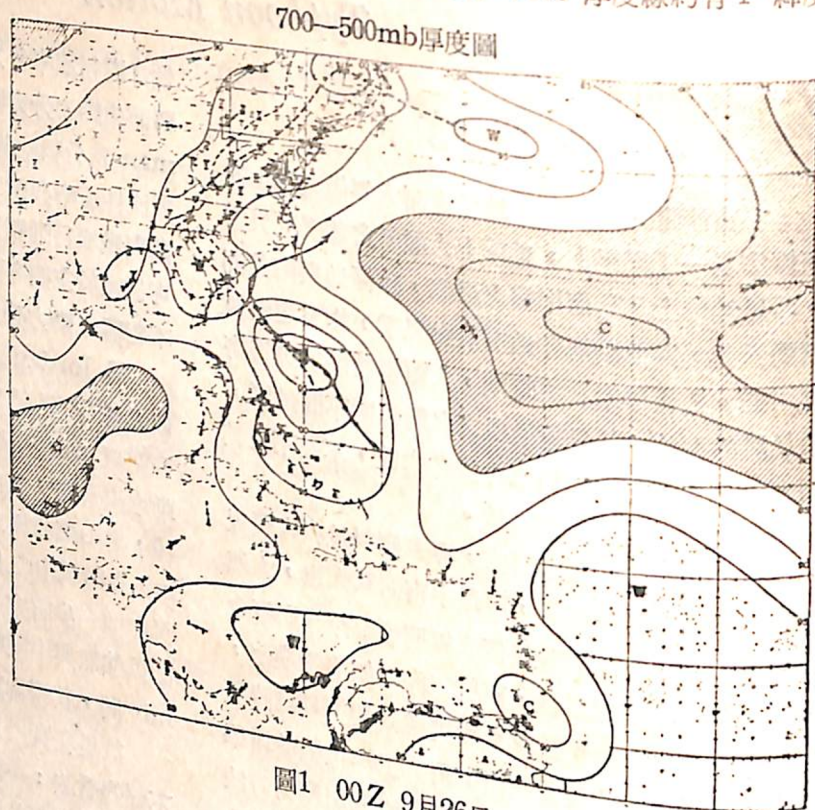
當颱風有進入氣流下流之象徵時，其進行方向與速度均須修正，顯然數小時後颱風將進入改變之氣流下，又當颱風加溫或衰弱時會增高或降低環流高度，必須個別估計其適應未來之導引氣流。

另一說法 Gentry 利用觀測高空風以預測颱風，他利用飛機單層偵測颱風資料分四個象限，認為每個象限之合成風與颱風之24小時移動有關，合力計算是從700-250mb 層，颱風半徑用 30至 100 哩不等。用該項合成高空風之預測方法，初步校驗結果遠較連續性法則為佳，甚至於較上項方法為優，可是該項方法驗證次數少，尚待繼續驗證，方可付予實際預測使用。

(2)熱力導引——關於熱力分佈預報颱風動向，已有不少學者為之努力。Simpson 說當有颱風時在 700 與 500mb 圖上必有象徵，並有系統的演變。他又說當颱風移動在 700-500mb 圖有一暖舌在其前面，其暖舌軸方向即為颱風24小時移動之指示。其軸在颱風路徑之右邊，並平行於颱風路徑。同時厚度與平均虛溫有直接關係，故 700-500mb 厚度差線往往也示出有暖舌之形勢

，不過使用該法有一困難，有時暖舌分枝，而難以辨別何者為主暖舌，故資料須齊全，分析力求準確，有幾個經驗可供參考：

1. 700-500mb 厚度圖，颱風在最大厚度處。
2. 除未成長颱風外，9050' 厚度線約有 1° 緯度



半徑之封閉圓圈。可是發育成熟之大型颱風則有2°緯度以上半徑之封閉圓圈。

3. 移動颱風厚度線也是沿着颱風動向伸展，8950' 厚度線往往代表暖舌，颱風動向與暖舌平行。不過小颱風接近斜壓區時，暖舌軸趨勢向右移位，可是颱風動向仍與其平行。此外應分析小而趨於擴大之風（小於 5Kts 及颱風中心附近者），因為不變而又甚小的風，不可不信任，所以繪圖時應依照風向量甚過於厚度值，如發現厚度有異，應分別校驗之。

預報例證——該兩圖（圖1與2）為供預報參考之實例，在此種情況下該法預報颱風是最好的工具。該兩圖相隔24小時，而正為颱風轉向之重要時機，實線箭頭代表颱風實際路徑，虛線代表暖舌線。在26日00Z 颱風之西北方有暖池，假使暖池停滯不動則將導引颱風向西北移動。可是暖池向東移動，至27日00Z 時暖舌移出陸地，颱風就在該24小時隨暖舌而轉向移動。

Kamiko 分析颱風附近之探空資料，發現颱風外圍有很大的垂直不穩定，特別在颱風進行方向，可是在海洋上探空測站少，缺乏實用價值。又有 Okubu 與 Nakamura 兩位研究發現颱風移動與平流層溫度關係顯著，颱風是向冷池或沿槽槽方向進行，或避免暖區行動，從颱風路徑轉向或填塞時可看出。不幸缺乏平流層資料，無法實際使用，僅成為一純客觀之觀點而已。

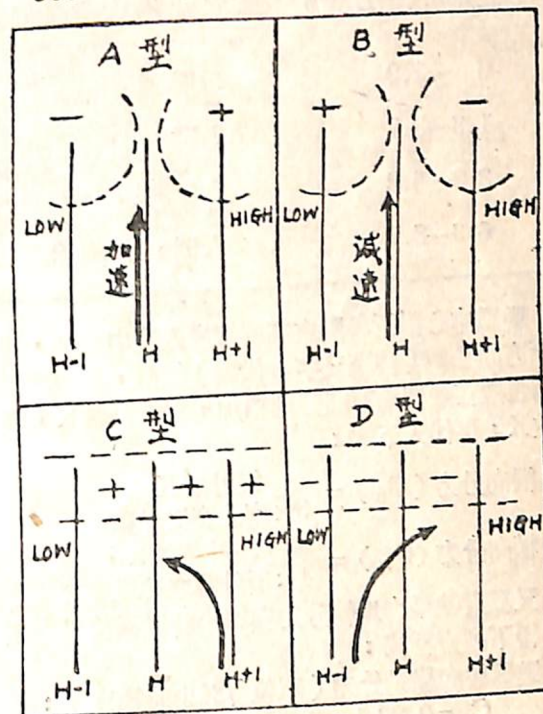
又有 Muench 研究一種經校驗之方法——颱風移動與熱力軌跡有關。他繪地面與500mb平均圖，以地轉導引計算求熱力向量差，經1952—1955年

四颱風季，實際工作校驗結果，24小時預測位置平均僅有89哩差誤，但別人校驗此法效果不佳，尤其向西進行之颱風，不能令人意滿，本節從略。

使用500mb等壓面圖

(1)500mb 高度變化與颱風移動關係——Hc-over 曾研究 500mb 高度變化與颱風移動之關係，

500mb 24小時高度變化與颱風行動



颱風工作表

緯度	經度				高度差 (東減西)
	7.5°	2.5°	2.5°	7.5°	
北	12.5°				
	10°				
	7.5°				
	5.0°	A	L	M	F
	2.5°	B			G
	0°	C			H
	2.5°	D			I
南	5.0°	E	N	O	J
高度差 (北減南)	A-E	L-N	M-O	F-J	

橫計數 X

縱計數 K

他僅對影響方面繪圖原則說明，對利用該方法之細節與影響程度則未曾提及。其所作圖例（A—D型）四張說明500mb高度與地面氣壓變化型態對颱風移動之影響：A與B型將增強與減弱原有導引氣流而使颱風增速與減速；C與D型將使颱風路徑向左或向右轉向。

(2)高度變化與颱風移動——由於由高空觀測之增設及飛機偵察之輔助，以定壓面分析地轉風，再預測颱風移動已成為可能

該方法由 Riehl, Haggard 與 Sanborn 三位所研究，用 500mb 層颱風中心附近高度差異，預測該颱風之24小時移動。

實際工作時依照以上颱風工作表，填列颱風中心左右上下各 2.5° 交點之高度差，橫方向填至 7.5 經度，縱方向填至上下各 5° 緯度距離，如颱風向北速度快，則北方應增大高度差範圍多至 12.5° 緯度，其增列範圍大小如下：

原向北速率 (°/Day)	應向北增大之範圍
0 -1.2	毋需
1.3-3.7	7.5°
3.8-6.2	7.5°與10°
6.3-8.7	7.5°, 10°與12.5°

颱風中心附近各點之高度值填入表中之後，縱與橫方向各數（由英文字母代表）相減，再將所得相減差數在縱與橫方向分別相加，得縱計數 K，橫計數 X，再代入下式：

$$\text{縱向分力}(G_n) = \frac{\text{縱計數}K}{3 \times \text{南北交叉點數}}$$

$$\text{橫向分力}(G_w) = \frac{\text{橫計數}X \times 5}{4 \times \text{所計算之緯度寬度}}$$

又經實驗平均地轉分力與24小時颱風移動之相關，得下列方程式：

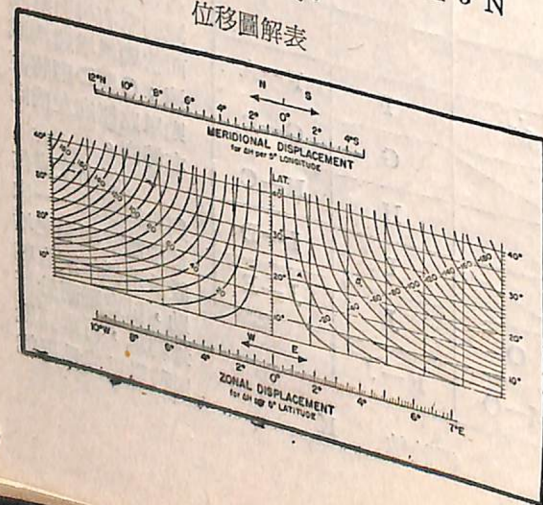
$$C_n = 0.8 + 1.2G_n \quad (\text{單位}^\circ/24\text{小時緯度})$$

$$C_w = 0.96G_w + 0.02G_w^2 \quad (\text{單位}^\circ/24\text{小時經度})$$

$$C_w = G_w \quad (\text{單位}^\circ/24\text{小時經度})$$

為作業上方便起見，有縱橫分力與24小時移動圖解表如下，可供查閱，不必一一依照方程式計算。舉例：假設颱風中心位置在 22.5° 緯度，原向北速度為 1°，乃工作表北方高度差僅填至 5° N，又設 K=270°，X=440°，則：

位移圖解表



$$\text{縱向分力} = \frac{-270}{5 \times 3} = -18$$

$$\text{橫向分力} = \frac{-440 \times 5}{4 \times 10} = -55$$

再從圖解表之緯度 22.5° 橫線與 -18 曲線（右面者，因其為負號）相交得 A 點，由 A 點垂直上升至 N-S 表尺得向南 1°。又緯度 22.5° 與 -55 曲線（南向者，因其為負號）相交得 B 點，再由 B 點垂直下降至 W-E 表尺得向東 4.1°（在我國是向西）是也，此即為 24 小時之位移。

本式當颱風向西運動時完全符合計算，向東運動（C_w 與 G_w 為負）則比 500mb 導引較慢，尤其是在較強之西向地轉分力下，當颱風向北運動往往極地增加之故；也可能是東西向高度梯度接連增大而使其加速北移；再可能是導引層高於 500mb 層，其上有強北向氣流有利於颱風加速北進。

由於海洋上資料之缺乏，該項計算往往發生差誤多至 140 哩，故該方法之使用，須細心有系統的分析 500mb 圖，力求準確。同時用差異分析法繪易導致預測差誤。海洋上測站與每五度經緯度交叉點之風與厚度，應予校驗計算，以免發生差誤，以下經驗可供分析參考：

1. 颱風東北方高壓脊，除非在緯度 35°-20° 間，其厚度往往在 18800' 與 18900'。
2. 沿着該高壓脊厚度梯度小。
3. 颱風常在暖池內，該暖池是不封閉，在南方或西南方有缺口。
4. 封閉的颱風厚度線成橢圓形的話，其軸向往往是其行進方向。
5. 除未發育成之颱風外，其 19000' 厚度線以 1°-2° 為半徑而成封閉形狀。

使用 700mb 等壓面圖

王崇岳氏早在 1955 年即曾研究颱風客觀預報方法，在 700mb 等壓面圖上選取兩點，一為颱風中心北方十度緯度處；另一點在颱風移動方向之正右方十度緯度處。該兩點之高度變化以回歸方程式預測該颱風之移動，方法簡單，享譽中外，該法為我國氣象同業所熟識，恕不煩言，從略之。

又有 Miller 與 Moore 兩位研究 700mb 等壓面層之高度變化與颱風移動有關，並有具體方法付予作業使用，其原理與 Riehl-Haggard 500mb 等壓面圖，而不是 700mb 者。該 Miller-Moore 法在美國邁阿密颱風預報中心認為是最實用而有效者，茲作概略介紹：

$$\bar{V} = 0.23V_7 + 0.65P_y + 2.3$$

$$\bar{U} = 0.42U_7 + 0.54P_x - 2.4$$

原位在 27.5° 以北緯度時用下式：

$$\bar{V} = 0.71V_7 + 0.40P_y - 3.0$$

$$\bar{U} = 0.61U_7 + 0.48P_x - 3.8$$

附註：U = 預測 24 小時颱風中心橫向移動速度 (Kn)

V = 預測 24 小時颱風中心縱向移動速度 (Kn)

V₇：(1) 距 700mb 颱風中心南北各 5°，東西各 7.5°，縱向平均地轉風 (Kn)

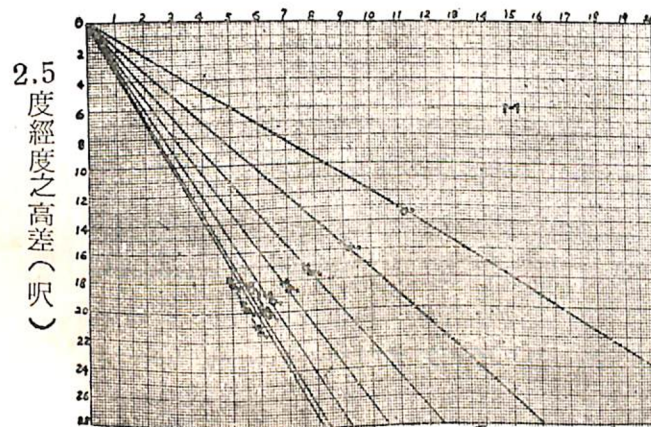
700mb 颱風周圍高度差計算表

		西				東				東減西
緯度	經度	7.5°	5.0°	2.5°	0.0°	2.5°	5.0°	7.5°		
北	10									
	7.5									
	5.0	A	L	M	N	O	P	F	F-A	
	2.5	B						G	G-B	
	0	C						H	H-C	
南	2.5	D						I	I-D	
	5.0	E	Q	R	S	T	U	J	J-E	
	北減南	A-E	L-Q	M-R	N-S	O-T	P-U	F-J		

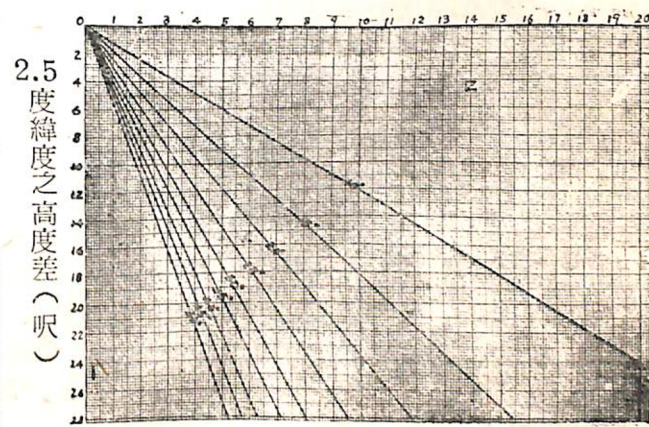
橫計數 X -440

縱計數 K -270

換算表 M 哩/時



換算表 Z 哩/時



(2) 上項增加中心以北 7.5° 行之計算，當所得值經 M 表換算少於 6.5 Kn 時用。

(3) 上項再增加中心以北 10° 行之計算，當所得值經 M 表換算超過 6.5 Kn 時用。

U₇ = 同上項計算橫向平均地轉風

P_y = 前 12 小時颱風縱向移動速度 (Kn)

P_x = 前 12 小時颱風橫向移動速度 (Kn)

中心位置

緯度 經度

現在 22.2 73.4

前 12 小時 21.7 66.0

前 12 小時位移

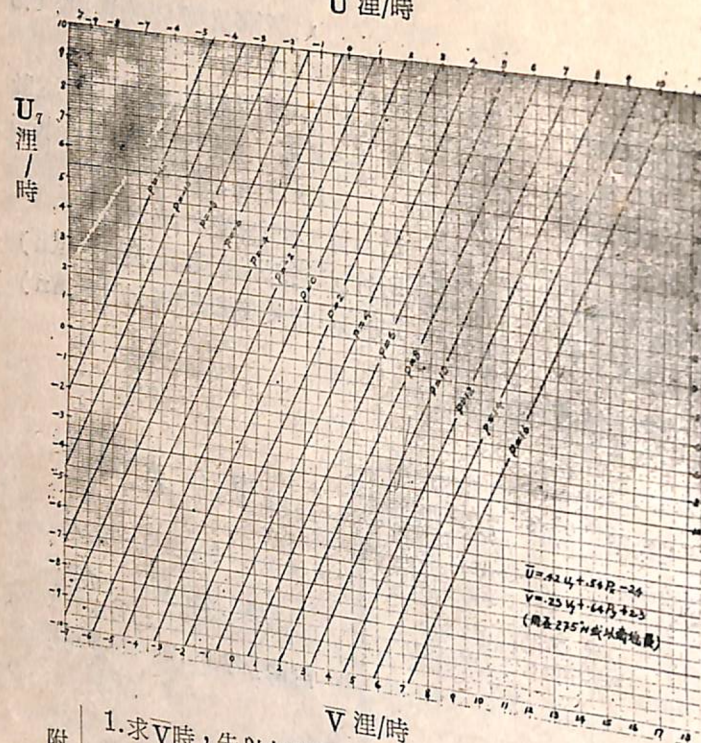
橫向 P_x +7.4

縱向 P_y +0.5

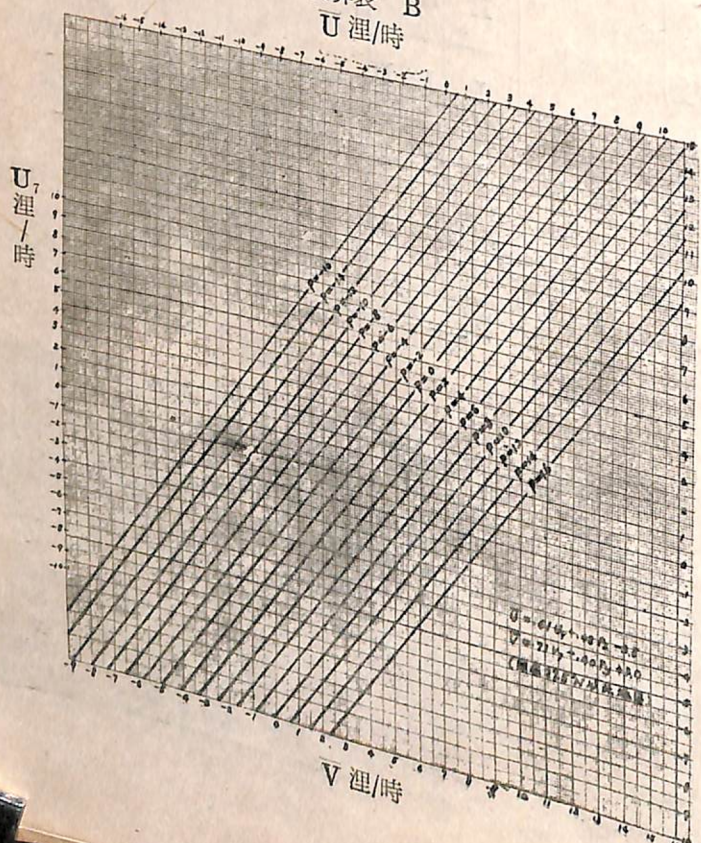
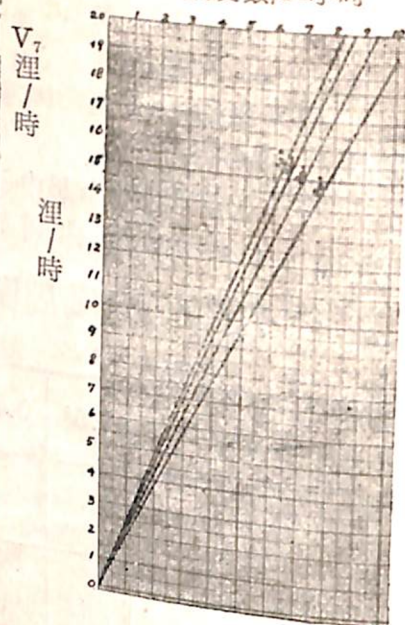
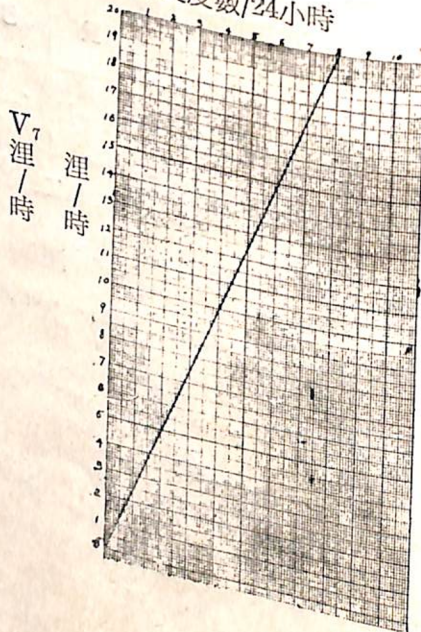
預測位置

緯度 22.9

經度 73.0

換算表 A
U 哩/時

- 附註
1. 求 $\bar{V}$ 時，先以右方 V_7 值向左移至 P_y 值斜線相交，該相交點垂直下降，底方所指示之數是也。
 2. 求 $\bar{U}$ 時，先以左方 U_7 值向右移至 P_x 值斜線相交，該相交點垂直向上，頂方所指示之數是也。

換算表 B
U 哩/時換算表 C
經度度數/24小時換算表 D
緯度度數/24小時

作業步驟：

1. 先將計算表示各點之12小時高度差如Richl-Haggard 法填入各空格內，如颱風無北向移位，資料僅填至 5° N止。

2. 計算表縱與橫方向之數字分別相減，得北減南與東減西小計數，再從橫方向各小計數相加得橫計數X；同樣縱方向各小計數相加得縱計數K。

3. 上項計算得值經M或Z表換算若得值在0-6.5 Kn，則再填寫計算颱風中心以北 7.5° 之資料。

4. 又上項計算得值經M或Z表換算在6.5Kn以上，則再填寫計算颱風中心以北 10° 之資料。

5. 求縱向位移 $\bar{V}$ ：

$$5^\circ\text{S至}5^\circ\text{N}(V_7) = \frac{\text{縱計數}}{30} = \frac{K}{30} \text{ 單位呎/2.5 緯度，再用M表換算為Kn}$$

$$5^\circ\text{S至}7.5^\circ\text{N}(V_7) = \frac{\text{縱計數}}{30} = \frac{K}{30} \text{ 單位呎/2.5 緯度，再用表M換算為Kn}$$

$$5^\circ\text{S至}10^\circ\text{N}(V_7) = \frac{\text{縱計數}}{30} = \frac{K}{30} \text{ 單位呎/2.5 緯度，再用M表換算為Kn}$$

預測縱向位移：用前三項之一值及過去12小時縱向位移 P_y ，在A表（中心位置在 27.5° 以北則改用B表）查出地轉分力，單位 Kn 再以D表換算為 $^\circ/24$ 小時緯度。

6. 求橫向位移 $\bar{U}$ ：

$$U_7 = \frac{\text{橫計數}}{7 \times H_g/2.5} = \frac{X}{7 + H_g/2.5} \text{ 單位呎/2.5}$$

經度，再用Z表換算為Kn。

$$H_g = (10 + \frac{1}{2} \text{ 縱向預報位移}) \text{ Deg. Lat.}$$

預測橫向位移：以所得 U_7 值及過去12小時橫向位移 P_x 在A表（中心在 27.5° 以北則改用B表）查出橫向地轉分力，單位 Kn 再以C表換算為 $^\circ/24$ 小時經度。

舉例：

設颱風中心位置 22.2°N ， 73.4°W ，過去12小時位置 21.7°N ， 66.0°W 。經計算橫計數 $X = -270$ ，縱計數 $K = -440$ 。過去向西，向北位移甚微。

$$\text{乃 } P_x = 73.4 - 66.0 = 7.4^\circ \text{ 12小時位移}$$

$$P_y = 22.2 - 21.7 = 0.5^\circ$$

$$V_7 = \frac{-270}{30} = -9, \text{ 再以M表換改單位得 } -3.7 \text{ Kn}$$

$$\bar{V} \text{ 之求得以 } -3.7 \text{ 與 } 0.5 \text{ 查A表} = 1.8 \text{ Kn, 再查D表換改單位得 } 0.7^\circ/24 \text{ 小時緯度。}$$

$$\text{又 } U_7 = \frac{-440}{7 \times H_g/2.5} = \frac{-440}{7 \times \frac{10+0.7}{2.5}} = \frac{-440}{28} = -15.7, \text{ 再查Z表換改單位得 } -6.0 \text{ Kn}$$

$$\bar{U} \text{ 之求得以 } -6.0 \text{ 與 } 7.4 \text{ 查A表} = 0.8 \text{ Kn, 再查C表換改單位得 } 0.4^\circ/24 \text{ 小時經度}$$

$$\text{換言之，24小時以後位置將在 } 22.2 + 0.7 = 22.9^\circ\text{N}$$

$$73.4 - 0.4 = 73^\circ\text{W}$$

(待續)

氣象鱗爪——「諾瑪」近訊

編者

(摘自美AWS Observer 1964)

諾瑪——見本刊第十一期第三十二頁報導——目前正以泊蕩姿態，由海軍拋錨於墨西哥灣，繼續進行其作業狀態。

歸總，諾瑪係一無人且從事一最為人稱道的有關人類之氣象計劃。此原子動力諾瑪氣象報告器，係裝於繫留小船，停泊於墨西哥灣外350哩的海洋上。

此無人氣象台能適時對陸上氣象台以無線電訊發出早期颶風警報，以加強防範，此種警報之研判可據其每三小時所報告之氣溫、氣壓、風向、風速及水溫等察定之。

一具機械結構型暴風感應器可在劇烈天氣情況期，每時發射將資料播出。

諾瑪為有史以來首座深海底核子能發電的自動無人站，有60瓦的發電機，已設計為Snap-7D (Systems for Nuclear Auxiliary Power) 型，是原子能委員會專門為此發展設計者。因經常與準確的氣象情報對於武裝部隊作業影響重大，故海軍當局基此需要其發展始應運而生，並將以「多站」姿態繼續發展。

從前的諾瑪，其海上氣象發射機所用的電池需要每半年重新充電一次，有時尚涉及危險的維護作業，而Snap-7D則有十年的長期作業壽命。