



二十四小時颶風移動之預報

亢玉瑾譯

一、導 言

自開始高空觀測以來，對於預報熱帶氣旋路徑之方法，曾有多方研究。該等方法或僅自當時氣旋移速求得大約數值，或須藉賴風與氣壓場之預測，然後始能作颶風預報。本文之目的，乃欲確定，不求助於普通預報，是否可應用計算方法，求出熱帶氣旋，二十四小時之位置預報。平均言之，熱帶氣旋移動之方向與速度，極為近似於風暴週圍對流層之氣流。理論上應利用對流層平均氣流圖以研究此問題，但因紀錄缺少，此法頗難實施。因之假定500mb面上之氣流，或根據該氣流而求出之參變數(Parameter)，可代表對流層平均氣流。果爾，則可由500mb高空圖，計算風暴之速度。且若計算之範圍，與風暴中心，有足夠之距離時，則計算所得，可能包括未來二十四小時，加諸風暴之主要力量。

所以採用500mb高空圖者，乃因現有該項歷史天氣圖，可資利用，且該圖為各氣象台之基本高空圖。500mb面，可能不適用於一般熱帶分析，因其適位於上下對流層氣流型(Flow Pattern)之轉移地帶。但對成熟熱帶氣旋而言，則適位於其中層，因之極適於該項實驗之用。

本文所討論者，僅限於充分發展之颶風，且於製作預報時，該等颶風已移入海上，而位於八度與三十五度緯度之間。舉凡熱帶低壓(Tropical Depression)，正在形成或消滅之風暴，開始轉變為副熱帶低壓之颶風，或移至大量陸地(尤以山岳地帶為甚)地區之颶風，上述計算方法，均不能應用。

二、應 用 資 料

最初就過去資料中，選出各種不同路徑之颶風，並就歷史天氣圖中，500mb高空圖之熱帶地區部份，重新仔細分析後，乃嘗試以各種方法，予以預報。經過一九五三年颶風季節，以上述資料實驗之結果，求得一種方法。於一九五四年，將之加以驗證。繼於一九五五年颶風季節時，復將該方法重新修正，並利用太平洋之資料，再行加以驗證。

因紀錄稀少，幾乎所有天氣圖之分析，均有不能確定之處。此外公佈之風暴位置，其準確程度，亦僅能視為在實際位置三十英里以內。由此二者，及葉氏所述颶風沿其路徑，作擺動行進之事實，預期結果之美滿程度，自將蒙受相當之限制。凡預報位置，位於颶風顧問或天氣評論月刊(Monthly Weather Review)所判定之位置，經緯度各一度以內者，其結果已應視為極端良好矣。

三、計 算

根據週圍氣流，以決定風暴速度時，遭受一項重大困難：即此種氣流，不能直接測知，僅能求出其地轉近似值。應用地轉風研究此問題，初以為成功之希望不大。但經應用各種方法嘗試以後，證明此一方法，結果最為滿意。先求風暴可能影響地區，未來二十四小時，500mb地轉氣流之南北及東西分流。然後統計其風暴向南北及向東西移動之關係。

以風暴為中心，劃定網格(Grid)，其範圍包括吾人認為風暴將影響之地區。填列該區內500mb面之高度值(以十英尺為單位)，以為預報之準備工作。最初所估計之網格，範圍甚大。第一次採用者，自風暴中心向東西各二十個經度，向南十個緯度，向北二十個緯度。以後獲悉，較遠地區，雖能操縱一般氣流型式，但風暴二十四小時之行徑，大體上係由其週圍較小地區之環流所決定。故採用之影響地區範圍，乃逐漸縮小為十個至十五個經緯度。較最初採用區域，減少一個數量機(Order of Magnitude)。

圍繞風暴之天氣形勢，每有不同，故所採用之網格範圍，不宜作硬性之規定。最初，由該區東西邊界500mb面之高度差，計算地轉氣流，而決定沿經度之移動。網格之經度距離為十五度，即以距風暴中心東西各7.5個經度之經度為界限。此等界限，一般均不超出駛流型式(Steering Features)，尤以高脊在風暴之東方，或低槽在其西方時為然；選擇距離時亦如之。讀取500mb高度數值，應有之緯度距離，乃由連續計算近似值而求得。逐次增加所用之緯度距離，直至計算出之沿經度移動，趨於穩定而後已。然後再根據此項計算結果，利用回歸公式

(Regression Formula)以預計風暴沿經度之移動。

繼之決定風暴沿緯度之移動。其方法乃沿上節所定之南北界限上，求出二者500mb高度差，以計算地轉氣流。再應用第二回歸公式，預計風暴沿緯度之移動。

所用之回歸公式如下：

風暴沿經度移動 $C_n = 0.8 + 1.2G_n \dots\dots\dots ①$

風暴沿緯度向西移動 $C_w = G_w \dots\dots\dots ②$

風暴沿緯度向東移動 $C_e = 0.96G_w + 0.02G_w^2 \dots\dots\dots ③$

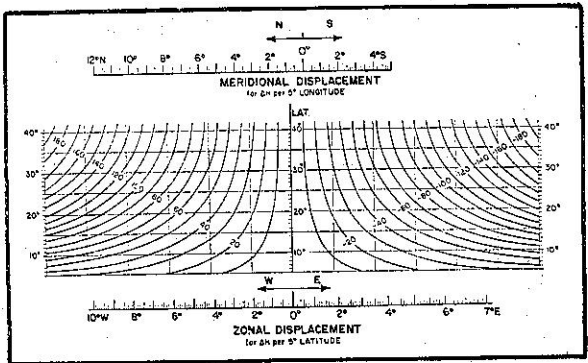
式中 C_n 與 C_w 係風暴沿經度與沿緯度之移動。 G_n 與 G_w 係與之相關之500mb地轉氣流分流。(1)式中所用之單位為每日移動之緯度數。(2)與(3)式中者，則為每日移動之經度數。

由上所述，可知風暴向西移動之近似值，平均可以所求出之500mb氣流決定之。但其向東之移動，則較氣流移動為遲緩。至於沿經度之移動，則一面受遲滯氣流之影響，一面復受其內部力量之影響。後者使風暴向北移動。由計算所得之地轉氣流，自未能包括後述因素在內。故在開始時，即可推知計算所得之向北移動，將較實際者為低。事實上無論所用之網格大小若何，均證明此種現象，為一不變之預報特徵。(1)式中第一項之常數，即係欲消除此項缺點，因之該項可認為係指示因內部力量而致之平均運動。此常數隨緯度之變化，將於後文再加討論。

四、計 算 步 驟

實際計算，可利用簡單圖表(第一圖)以完成之。以下即為計算沿上述二個方向移動之步驟：

沿經度移動——(1)於500mb高空圖上，標繪現在風暴中心位置。求距該中心東西方各7.5個經度之子午線，在該線上，自風暴中心所在位置以南五個緯度，至其以北之五個緯度間，以2.5個緯度之等距離，標定五點。此即影響區域之最小範圍。



第一圖 二十四小時風暴沿經緯度移動換算圖

(2)計算東西邊界二子午線上，500mb之平均高度差(東線值減西線值)。然後將之換算為五個經度相差之英尺數。求出網格中心所在之緯度。由第一圖中間豎線，沿該緯度向左(地轉氣流向北為正)或向右(地轉氣流向南為負)移達適求得之高度差之等值線。再由表上部之標尺，求出此一段長度所代表之緯度數值。該數即為第一近似值。係風暴二十四小時，將沿經度移動之距離。

(3)若影響風暴沿經度移動之區域，超過原假定之範圍，即超出距中心五個緯度時，則上述計算，對於迅速向北移動之風暴，不敷應用。例如風暴二十四小時，移動五個緯度時，則影響其移動之區域，將遠達其原始位置以北十個緯度之處。預報時對此應考慮及之。若風暴二十四小時僅移動一個緯度，則其影響區域，仍為原定網格。

基於上述理由，乃擬定一種逐次計算步驟。若第一次計算之結果，顯示風暴將移至其北方最接近之網格點(Grid Point)所在緯度間之距離一半以上時，則擴展網格範圍，而求第二近似值。由於網格點間之距離係2.5個緯度，故當第一次求得之近似值，等於或大於1.3個緯度時，則在北方距中心7.5個緯度處，增加兩個網格點，其500mb之高度，亦併入計算。若最初求出之移動值較3.7個緯度為多時，根據同一幾何原理，應增加中心以北7.5個緯度處與10個緯度處各點。下表可視為此步驟之進一步說明：

最 初 計 算 (緯度 / 日)	中心以北應加之網格點
1.2	無
1.3—3.7	7.5°
3.8—6.2	7.5與10°
6.3—8.7	7.5, 10與12.5°
.....

假定最初之近似值為五個緯度，擴展網格範圍至距中心10個緯度後，求得之第二近似值少於或等於 6.2 個緯度，則此數為穩定值。若求得之第二近似值，顯示移動將多於 6.2 個緯度時，則應再擴展網格範圍，求第三近似值。此法可繼續應用，直至求得之數值趨於穩定而後止。實際計算時，幾乎在所有情況下，最多僅需求三次近似值。

(4) 遇有下述數種特殊情形時，根據實驗所得之經驗，應分別作如下之處置：

(a) 風暴向南移動時，僅求一次近似值。

(b) 若風暴所在之緯度，至其以南之五個緯度間，東西向之高度梯度，發生方向倒轉情事，則最低之緯度不列入計算。

(c) 若第二或第三近似值所在地帶，其東西向高度梯度與靠近風暴處者相反，則終止計算。

(d) 若網格東西範圍，超出波型基本氣流 (Wave Pattern of the Basic Current) 之槽線或脊線，則應縮小網格範圍，使其東西邊界與脊線或槽線相吻合。以期求得駛環流 (Steering Circulation) 之強度。

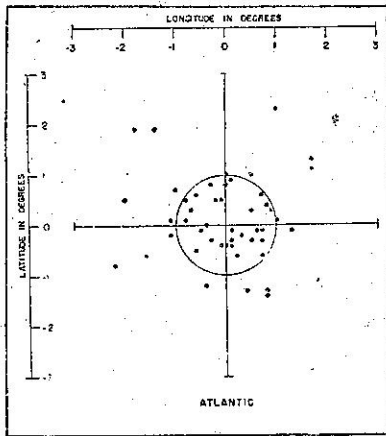
沿緯度之移動——(1) 沿經度之移動計算完畢以後，定出風暴中心東西各 2.5 個經度及 7.5 個經度之經度線，與原始風暴位置以南 5 個緯度及最後位置以北 5 個緯度之緯度線，畫出此二組經緯線之交點。根據經驗，網格不宜超出原始位置以北 10 個緯度之緯度線。

(2) 計算上述二緯度線上 500mb 高度差後 (北線值減南線值) 換算為五個緯度相差之英尺數。定出網格中心之緯度。由第一圖中間豎線，向左 (地轉氣流向西為正) 或向右 (地轉氣流向東為負) 移達至上述高度差之等值線。再由表下部之標尺，求出此一段長度所代表之經度數字，該數即為風暴一日間沿緯度移動之距離。即使風暴二十四小時將移至網格邊沿，亦無須逐次求近似值。

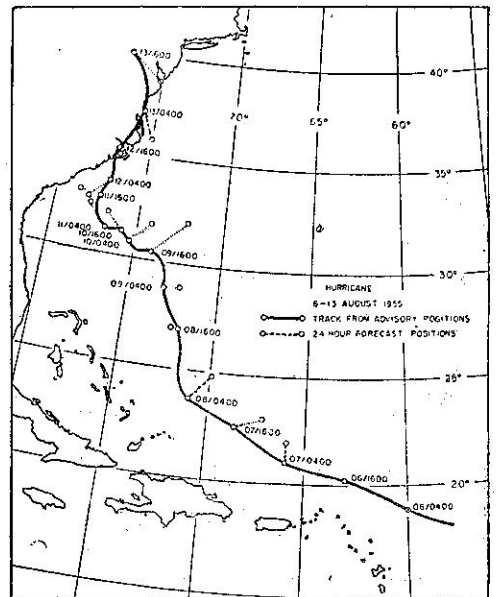
五、準確率

根據實驗資料，所求出之預報位置，百分之七十至八十，位於實際位置一個經緯度以內。一九五五年，大西洋颶風季節期間，於 AROWA 計劃下，

會利用當時資料，預報四十八次。其誤差分析 (第二圖) 顯示，百分之六十五，位於以風暴中心為圓心，一度為半徑之圓周內；誤差分佈，並無一定規則，第三圖及第四圖為大西洋風暴路徑及預報之誤差。第五圖及第六圖，則為太平洋上之情形。



第二圖 1955年颶風季節期間AROWA計劃下，由當時氣象圖所作預報之誤差分佈圖



第三圖 1955年8月6—13日颶風路徑圖 (虛線表示預報誤差)

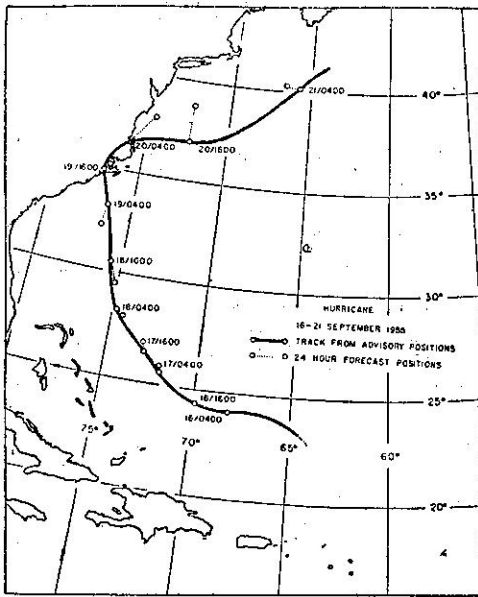
颶風季節過後，會經將各氣象單位，

用同一方法所作之預報，加以比較。發現其所得之結果，無論就全盤或個別而論，均非完全一致。此種差別，自係因500mb高空

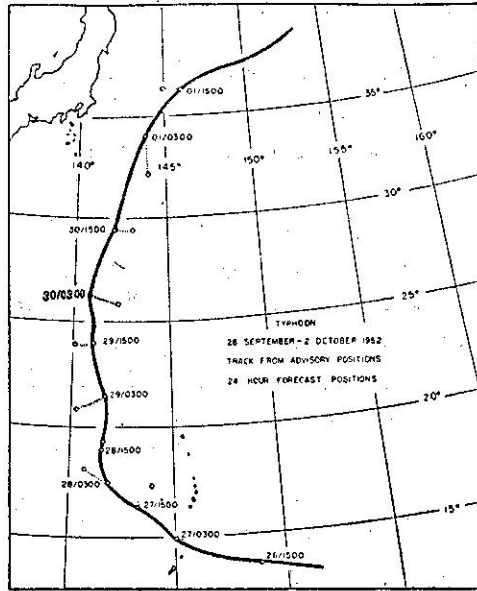
圖分析不同所致。而此種不同，則係導因於紀錄稀少。因之按照繪圖時可靠紀錄之數量，重行就第二圖中之資料，予以分類。所有該圖中誤差較大者，均係因紀錄稀少而高空圖不能肯定所發生者。其中僅有十例，紀錄較多，足以繪製精確之高空圖。就中八次之預報位置，位於以風暴中心為圓心，一度為半徑之圓週內；其他二次預報位置，適位於圓週以外。因之當紀錄足以作一致之分析時，準確率至少有百分之八十。

六、緯度之影響

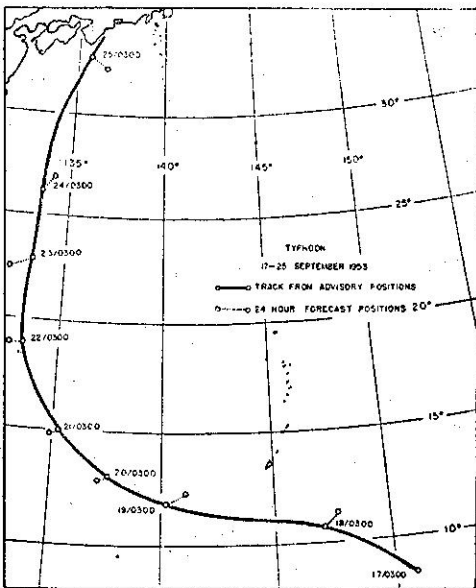
所用大西洋資料之分佈，並不均勻——大多數風暴位於北緯二十度與三十度之間——故最好以回歸公式為緯



第四圖 1955年9月16—21日颶風路徑圖及其二十四小時之預報



第五圖 1952年9月28日至10月2日颱風路徑圖及其二十四小時預報



第六圖 1953年9月17—25日颱風路徑圖及其二十四小時預報

度之函數，而驗定其正確性。此外熱帶氣旋生存期間，其所歷經之緯度範圍內（十至三十緯度），地轉近似值，可有相當大之變化。風暴內部力量而致之向極移動，其變化亦復如此。

為求實驗時，能對低緯度之資料，儘量予以計算，乃向關島美國艦隊氣象中心 (U. S. Fleet Weather

Central)，調借一九五二年至一九五

三年之天氣圖檔案，加以應用。即使如此，西太平洋北緯十五度以南區域，可靠之觀測紀錄，仍屬至為稀少。自北緯十度至十五度，僅能作數次實例分析；北緯十度以南，則僅能作實驗三次。利用整個太平洋檔案，共作預報四十九次。

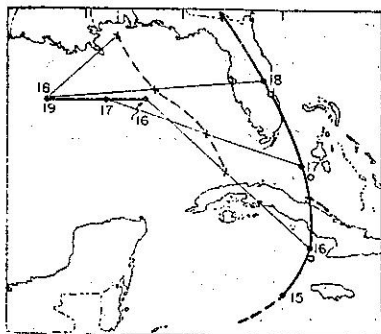
對風暴沿緯度之移動，加以驗證後，得到一項結果，即其移動因緯度不同，並無顯著改變。由此可知，此處所用之地轉近似值，可應用於區內之低緯度地區。但沿經度移動之誤差分析，所顯示之情形，則顯然不同。平均而言，低緯度地區所得之沿經度移動數字，顯屬過高；而高緯度者，則嫌過低。此雖不能證明但已足顯示內部力量隨緯度變化之重要性。此與克雷斯曼 (Cressman) 之結論，並無出入。若以平均誤差為緯度的函數，而將之畫一直線。北緯二十度處之誤差為零，北緯三十度處，預報值較實際者每日少 $\frac{1}{2}$ 個緯度；而在北緯十度處，預報值較實際者多 $\frac{1}{2}$ 個緯度。預報風暴沿經度之移動時，可利用此回歸值以調整(1)式中之第一個常數。此點目前雖尚未採用，但似確有修正之必要，尤以北緯二十度以南地區為然。

七、双氣旋系 (Cyclonic binaries)

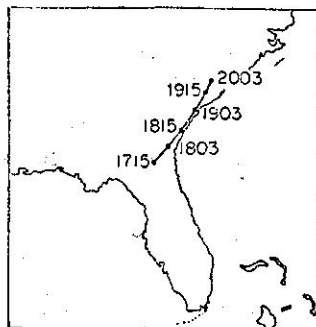
當兩個氣旋型渦旋——兩個颶風或一個颶風與一個冷心氣旋——之距離接近至約一千英里時，中心開始互相作反鐘向之旋轉，且二者常互相吸引，致連接二者中心之軸線，因時間之加長而漸形縮短。藤原 (Fujiwhara) 與郝偉慈 (Haurwitz) 等，對於其轉動之原理，曾有詳細討論。

當旋轉中心 (Center of Rotation) 位於二渦旋中間時，其結果最易看出。第七圖與第八圖即表示該種情形。第七圖係一九五〇年十月十五日至十九日，500mb高空圖中，颶風 (東面之路徑)，冷低以及二者中點之路徑

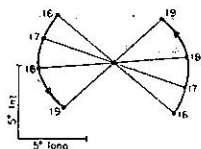
圖。氣旋與中間之相對運動如第八圖。三日中共旋轉九十度，而渦旋間之距離未變。一九五五年九月十六日至二十一日之颶風（參閱第四圖），為一種不常見之相對旋轉。颶風與美國東中部冷低之中點（Midpoint），沿大西洋海岸，緩緩移動（第九圖）此二氣旋繞其中點作反鐘向旋轉（第十圖）。二者間之距離，三十六小時內減少三分之二。經與諸多其他實例對照，知此一相對運動，係沿順鐘向之路徑進行。二日以後，二者之中心，復又開始遠離。



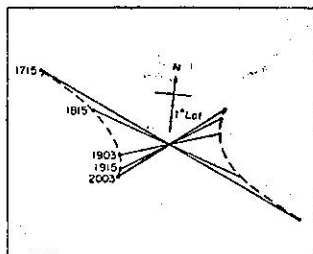
第七圖 1950年10月15—19日颶風。(東面之路徑)與500mb冷低之路徑圖，×為二氣旋中點(路徑為虛線)圓圈為二十四小時颶風預報。數字指示日期



第九圖 1955年9月16—21 颶風與美國東中部500mb冷低之中點之路徑圖。數目字指示日期時間(如1715即1955年9月17日1500GCT)



第八圖 氣旋之相對運動圖



第十圖 第九圖中之二氣旋之相對運動圖

雙氣旋出現時，意料中其風場當係明顯之非地轉風。實則根據多數實例，知其計算結果，並無不同。例如第七圖中之小圓圈，係預報位置，就風暴全部路徑之準確性而論，為歷史天氣資料中，最準確中者之一例。經研究一九五五年九月之風暴（第四圖），其誤差之造成，是否可完全歸諸其西方冷低之餘留影響，至屬疑問。惟計算雙颶風系時，則尚發生因相對運動而致之較大誤差。尤以二颶風之距離較小時為然。故當兩個颶風之中點頗為位於網格以內時，最好終止計算。

經過一九五五年颶風季節中之驗證，作者獲得一項結論，即若500mb高空圖，若能準確繪製，則在多數情況下，可用本文所述法，對熱帶氣旋二十四小時之移動，作頗為準確之預報。基於此一觀點，風暴週圍，缺少經常高空探測區域，或探空網過於稀疏，不足作可靠分析之處，氣象偵察飛機之探測工作，至為需要。

八、結 論

經過一九五五年颶風季節中之驗證，作者獲得一項結論，即若500mb高空圖，若能準確繪製，則在多數情況下，可用本文所述法，對熱帶氣旋二十四小時之移動，作頗為準確之預報。基於此一觀點，風暴週圍，缺少經常高空探測區域，或探空網過於稀疏，不足作可靠分析之處，氣象偵察飛機之探測工作，至為需要。

譯自：Journal of Meteorology, AMS. Oct. 1956.

作者：H. Riehl, W. H. Haggard & R. W. Sanborn