

# 近年來國內颱風研究之評介

吳宗堯

中央氣象局

## 一、前言

台灣地處副熱帶，居北太平洋西部，適位於颱風路徑之要衝上，每年五月至十一月常遭受颱風侵襲，其間尤以七、八、九月為最盛。根據八十年（1897—1976）來統計資料，北太平洋西部共發生颱風1803次，侵襲台灣之颱風總共有283次，以八月份最多，佔85次，相當於總數30%，七月與九月分別為68次，各佔24%，其餘各月被侵襲之機會較少；以全年而言，平均每年約有3.5次颱風會侵襲台灣。歷年來台灣遭受颱風災害而損失之生命財產，誠屬不可勝計，民國四十一年貝絲颱風對台灣南部造成重大損失；民國四十八年八月七日台灣海峽南部“針狀”颱風給台灣中部帶來空前水災；民國五十二年九月葛樂禮颱風與民國五十八年艾爾西颱風芙蓉西颱風均曾對台灣北部造成重大災害。每年因颱風而引起之損失，根據台灣省警務處統計資料，1961至1970年十年中損失數字高達新台幣六十八億元，平均每年損失六億元以上；若以民國六十六年賽洛瑪颱風對台灣南部所造成之風災，有形與無形之損失可能會上百億元。由此可見颱風對台灣危害之烈，欲減少颱風侵襲之損害，必須有賴於準確之颱風預測以及適當之防範措施。自氣象之觀點而論，對颱風之瞭解及研究，實為當今氣象重要問題之一。

近年來許多大氣科學學者與專家對颱風之生成、結構、特性、能量及運動之研究不遺餘力，然因資料之不足及理論上所受限制，使吾人對颱風仍然不能澈底了解。

往昔國內方面對颱風之研究，大多均屬零散片斷，缺乏整體性有計畫之研究方針與目標，近十年來，在國科會規劃與協調下，結合國內專家學者以及機關學校，擬定方針與目標，從事一系列有系統之研究，大致可分為二大部份；第一部份是對颱風本身之研究，可分為四項：(1)颱風觀測、蒐集、整理、歸納及分析颱風資料，研究與颱風有關因素之

變化、颱風運動之原則等。(2)颱風理論，研究颱風之成因、結構、能量、動態及風雨之變化等。(3)颱風實驗，包括室內設置颱風模型研究颱風及室外取樣暨改造颱風等。(4)颱風預報研究、研究及改進颱風預報方法。第二部份是對颱風可能造成災害之研究，計分二項：(1)暴風，研究颱風來臨時，各地風力分布及分析風力與結構物之關係，作為結構物設計之規範。(2)豪雨，研究颱風降雨量與地質洪水之關係，以為颱風可能降雨量先期預報之根據。(3)浪潮，研究颱風湧浪對河川、港口及港內停泊船隻之影響、設計及安全上應注意之事項（汪群從，1971）。

有關颱風研究方面之論著甚多，本文僅作重點及扼要介紹，詳細內容與說明可參考原著。

## 二、颱風觀測資料

台灣省氣象機構對於颱風之調查統計，始於民前十五年，有“台灣暴風報告”及“颱風路徑圖”等文獻，惟早歲之資料如以近代科學眼光衡量，誠屬簡陋不堪，二次大戰期間，復以資料保密封鎖，有關颱風之記載似均缺乏準確性，民國卅六年後，颱風之資料及記載逐漸充實，且準確性逐漸提高，民國卅六至五十九年由前台灣省氣象局每年編印“颱風調查報告”，民國六十年起由中央氣象局接管每年繼續編印。空軍氣象中心在“氣象預報與分析”中，對每次侵台颱風及全年颱風均有研究報告。

光復之初，徐明同先生曾將日人遺留之五十年颱風資料加以整理與統計，列入氣象所編纂之“台灣氣象資料颱風之部”，薛鍾彝先生補充資料，編印“五十年颱風侵襲台灣之統計”一書（1948），統計五十年西太平洋颱風發生及侵台次數，同時，並說明侵台颱風路徑與台灣各地雨量分布之關係，民國四十六年，朱祖佑先生再增加十年資料，整理成“六十年來侵襲台灣之颱風”一文，民國五十二年，劉卓峰君再補充資料，撰有“六十六年來之颱風”，着重於侵台颱風之統計，民國五十六年，

復由戚啓勳先生補充資料至民國五十五年，撰成“台灣七十年來之颱風，有關西太平洋上颱風之統計，侵襲台灣地區之各項記錄以及災害情形，至為詳盡。

在颱風研究，最重要而最基本需要者首推正確颱風中心位置及其路徑，民國六十一年，中央研究院物理研究所大氣物理組同仁，根據台灣及香港歷年來對颱風之統計資料及 Brand (1972) 與 Gray (1970) 報告中資料，編印“1884年至1970年侵台颱風路徑統計”，提供颱風研究之參考。徐晉維先生亦整理1892年至1971年西太平洋地區颱風路徑圖，共有路徑圖計582張。上二項資料，對颱風運動之研究工作，貢獻極大。

氣象雷達觀測資料，除對颱風中心位置之決定有極大幫助外，對颱風結構及特性之研究，亦有莫大幫助，台灣地區現有二座氣象雷達，花蓮雷達站成立於五十五年，高雄雷達站成立於六十年，均為十公分氣象雷達，測距為464公里，颱風侵台期間，每五分鐘攝照一次，該二站貯存有近十年之全套侵台颱風照片，對颱風觀測與研究可提供珍貴之資料。

氣象衛星是近十年來所發展出來最有效之氣象儀器，無論在實作與研究上均能提供極有價值之資料，中央氣象局現已購存有1969—1977年ESSA與NOAA氣象衛星遠東地區之全套氣象衛星圖片，足供對颱風或大氣研究之用。

### 三、颱風長期趨勢

北太平洋西部颱風歷年發生颱風次數，根據魏氏(1970)統計，1900—1919年每年平均為18.7次，1920—1939年為21.7次，1940—1959年為28.1次，1960—1969年為29.1次，自1900—1969年七十年中以每廿年為一期觀之，有逐漸增加趨勢。當然，早期颱風記錄不全，海面上資料缺乏，可能有所遺漏，近年來由於颱風偵察觀測資料增多，儀器進步，諸如氣象衛星及雷達之發展等，不無影響。但另一有與趣者，侵台颱風次數在長期變化趨勢上，亦有增多之傾向，此與北太平洋西部颱風，在大範圍內歷年出現次數，其趨勢亦頗符合。

分析長期資料，颱風發生次數呈有週期性變化，有多颱風年與少颱風年之分別，魏氏(1970)

指出與太陽黑子週期變化有關，有呈負相關現象，顯示太陽黑子最多年為少颱風年，太陽黑子最少年為多颱風年，此種趨勢與Walker研究結果相符。

### 四、颱風特性及結構

近年國內對颱風特性及結構方面之研究并不多見，主要受資料限制，太平洋上對颱風內部資料之獲得，其完整性遠遜於大西洋方面。

颱風之外貌，諸如颱風眼、雲牆、最大風速、大風之平面垂直分布以及雲系和降雨之分布，可能皆為整個颱風中動力與熱力綜合作用之結果，而且是屬於極端多變性與非相關性。曲氏(1975)利用飛機偵察報告進行分析研究，發現個別颱風之各種秉性間有極大之差異，而且隨時間及空間不停地改變，颱風概括化的性質以及統計的平均相關皆不能用以準確的推斷颱風的未知秉性。

颱風眼之變化極大，有圓形、橢圓形及同心圓，發展成熟之颱風眼，平均直徑為15哩，未成熟者較小，而大颱風眼直徑可達40哩，曲氏(1975)根據1971—1974年飛機偵察報告統計太平洋西部之颱風眼，圓形以10—40哩直徑者最多，最小2哩，最大80哩，橢圓眼最大之長短軸為90×70哩，最大比值為5.71(40×7哩)。早期薛氏(1962)根據六十年資料統計指出海上與陸上颱風眼大小不同，在海上者其半徑為25公里以上，平均為20公里，在陸上因摩擦與風速不同，其半徑為10公里以下平均為13公里；兩氏對圓形颱風眼之大小所見略同。但颱風眼大小與颱風強度之關係似乎很小，颱風強度與颱風中心氣壓以及中心氣溫有較密切之關係，颱風中心氣溫越高，颱風越強烈，中心氣溫與雲牆外氣溫差越大，颱風越強烈。曲氏(1975)并指出飛機偵察之700毫巴最低高度、颱風中心氣溫與最低海面氣壓間有接近於靜力平衡大氣之氣壓高度半對數曲線之關係。

在颱風眼四周有一圈呈圓環狀雲帶，稱為雲牆，根據1971—1972年飛機偵察資料，雲牆厚度約為5—10哩。一般人均認為最大風速發生在雲牆區內，經曲氏(1975)分析結果，大風發生位置與雲牆厚度之關係不能確定，700毫巴最大風速越大，並不一定越接近雲牆內圈。

颱風接近台灣時，其水平及垂直環流受中央山脈阻擋而發生變化。早期徐氏等(1960)曾發現

中央山脈對颱風環流有破壞作用，并使颱風路徑發生曲折現象。由於颱風強度與環流發展高度不同，中央山脈所生影響程度亦不同。此種現象，以台灣地區最為顯著。由於颱風在不同時間和位置，均有其不同型式之流場，因此，亦影響台灣地區各地風雨分布。曲氏（1976、1977）曾利用近廿年侵台颱風資料進行中央山脈對颱風地面流場、垂直風場，濕度場之研究，發現不同颱風路徑以及不同颱風強度在台灣地區會造成不同之水平與垂直風場與不同之濕度場，且隨時間而變化，但是一地逐時雨量之變化對一定颱風路徑有其特殊之形式，逐時雨量之形式為風場與濕度場之綜合結果。

颱風接近台灣時，曲氏（1976）將台灣地區水平氣流分為(1)單純颱風風場，(2)分流渦旋風場，(3)局部地形渦旋風場，(4)中心登陸後之風場，(5)山脈東側動力槽風場及下降氣流輻散場。在垂直風場中另有一重要發現，即“颱風噴射氣流”。當颱風中心接近一地時，低層或中層有強風帶存在，低層強度帶高度約在300公尺至20,000公尺間，中層強風帶高度約在40,000至50,000公尺間，強風帶之垂直風切較最強烈颱風之水平風切約大二個量級以上。魏氏（1971）亦有同樣發現，當颱風中心接近台灣時，強烈風速厚度增大，500毫巴高度上可出現100哩之強風。

颱風接近台灣時，颱風各層之混合比平均在8.4—9.6克/公斤（徐氏，1968；曲氏1976），與Bell及Tsui（1973）所計算之8.9克/公斤，極為接近。惟颱風影響下，台灣山區測站之水汽含量及飽和狀況與探空資料不完全相同，此種現象完全由於地形所造成。颱風在台灣北部通過，中央山脈西側水汽含量接近飽和，颱風在中南部通過，中央山脈西側除山峰近處，其他地區之水汽含量變化極大，視空氣下沉之強弱與距離而定。

## 五、颱風路徑預報

颱風之災害有三：(1)暴風，(2)豪雨，(3)浪潮。此三者與颱風之路徑均具有密切關係，尤以台灣地形特殊，有高達三千公尺以上之高山聳峙，形成天然屏障，地形效應極為顯著。根據以往災害以水災最為嚴重，颱風侵台時，由於地形摩擦，風力顯著減低，風災嚴重地區，僅限於颱風登陸地區；惟颱風所帶來之豪雨則反而由於地形之助長變本加厲，

加以台灣河流大都短促，每遇山洪暴發河水高漲泛濫，水災情形之嚴重自可想見。不論風與雨，各地區所受程度之大小，完全視各類颱風路徑而異。因此，正確之風雨預報，有賴於正確之颱風路徑預報。

颱風的運動與大氣環流形勢具有密切的關係，高空環流為颱風運動之主宰，高空環流時時在變動，因此，導致颱風路徑之多變性。近年來國內颱風研究方面，大外偏重於颱風路徑客觀預報方法以及國外新技術之引進。

颱風路徑之預報方法種類繁多，有所謂客觀預報方法與主觀預報方法，客觀預報方法是以數值為依據，而主觀預報方法以經驗為法則。目前引進與發展之客觀預報方法，對正常之颱風而言，其準確性很高，但對少數行踪詭譎之颱風，則仍有賴於主觀經驗法之輔助，始克有成。因此，目前最佳之颱風路徑預報，實非主觀與客觀兩法併行不可。

近年來國內颱風路徑研究與氣象實作單位所使用之方法，大致可分為下列各種：

### (一)氣候學預報法

(1)颱風類比法——此法原為HURRAN，係Neumann和Hopé所發展，利用歷史颱風資料來模擬現在颱風，計算12、24、48與72小時預測位置，是一種客觀統計預報法，該法經美國邁阿密颶風預報中心用於實際颶風預報成效良好（Simpson 1971）。

此法首先由中研院物理所（1971）介紹國內，並曾對台灣附近九月份颱風路徑加以試驗，當時曾考慮颱風中心距離、速率、方向、日序等參數，計算結果廿四小時平均誤差為82哩，72小時平均誤差為212哩。胡氏（1976）加以改進，加入加速度參數後，對12小時平均向量誤差減少9.4%，24小時向量誤差減少26.7%，72小時向量誤差減少7.2%，準確性大為提高，此法利用計算機僅費時40秒鐘，由繪圖機繪出72小時預報路徑及颱風中心可能移動的或然率橢圓也僅需90秒鐘，計算迅速正確，對颱風預報作業幫助甚大，運用此法最重要者乃是基本資料之建立，歷史颱風路徑愈多，其準確性愈高。

(2)氣候持續法（CLIPER）——Neumann（1972）改良HURRAN法，同時考慮颱風之氣候學性質及持續性、預報12、24、36、48、60及

72小時颱風預測位置、中央氣象局已將此法納入正常作業，效果良好。氣候資料愈多，準確性愈高。

### (二)統計預報法

NSC 74 — 自1958年Miller首次提出選擇迴歸法可以應用於氣象預報之概念，由許多候選預報因子選擇其迴歸特性優良者構成迴歸方程求颱風未來位移，1964年首次以實用觀點完成大西洋颱風預報方程組，命名為NHC 64，1967年再加改進獲新方程組，命名為NHC 67，1972年再度修改更新原始資料，延伸預報時根至72小時，命名為NHC 72，此法均由美國邁阿密颶風警報中心採用，成效良好。陳氏(1969)首先將NHC 67介紹給國內氣象界，命名為NSC 72，事實上，此法已考慮導流、旋率、厚度平流等因素，陳氏初選因子得169個，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作為預報目標，得九個預報方程，并以60個獨立資料校驗結果，24小時平均向量誤差為88.5哩，36小時平均向量誤差為148.9哩，48小時平均向量誤差為227.1哩，低於主觀預報誤差。1974年陳氏又增加新資料及新預報因子重新分析，並將速度細分成慢速、正常、快速三套預報方程，用60次獨立資料校驗結果，雖然其準確性並未大量提高，但較NSC 72已有改進，若再以地區、季節、距平、風暴強度等項細分，則其效果定更趨理想。

本法屬於定量客觀預報法，惟預報因子較多，讀取資料繁雜費時，是為本法唯一之缺點，全部計算過程需時40分鐘以上。

### (三)綜觀氣象學法

(1) 然指數法 —— 颱風中心之運行，受其周圍氣壓系統所控制，一般所知，副熱帶高氣壓與西風槽是影響颱風路徑變化的主要因子，副熱帶高壓強度的增強與減弱可以控制颱風的西進與轉向，同樣地，西風槽的加深與減弱也可以促使颱風的轉向與西進，副熱帶高壓與西風槽兩者間的變化息息相關，互為因果。討論西風槽的強度，可以500毫巴高空圖東經110度附近之緯流指數變化作為代表，此項緯流指數可代表西風強度控制對於侵台與否之颱風轉向趨勢。

徐氏(1974)選擇北緯35度及55度兩個緯度圈，各以東經110度及60度經度子午線，分別代表涵蓋經度100度至120度與經度50度至70度之

範圍之緯流指數，並且利用經度60度之指數推求經度110度之指數週期循環，作為颱風轉向與否之展期趨勢預報。

以東經110度附近上之緯流指數，分析1959至1971年之轉向與西進颱風，獲得一個明顯的結論：500毫巴面高度場上緯流指數隨時間變化愈小，颱風轉向可能性愈大；緯流指數隨時間變化愈大，颱風轉向可能性愈小，即北太平洋西部颱風之轉向均出現於500毫巴高空圖上東經110度附近緯流指數趨向於降低之情況下。其成功機率約為86.6%。

比較東經120度與60度之指數相關，東經110度指數之升降落後60度指數約7天左右，此表示東經60度之指數升降，可以預估7天以後東經110度附近將會出現有同樣指數升降，可以用於颱風未來路徑的展期趨勢預報。

沿東經110度附近之十二年(1959—1970)七、八、九三個月平均緯流指數時間變化曲線合成圖，用作比較每年七八九三個月逐日緯流指數曲線之距平分析，發現有正距平趨勢出現時，颱風大致呈向西進行，出現負距平趨勢時，颱風容易轉向。

本法對颱風之運動，僅能對颱風西進與轉向作定性上之判斷，同時僅限於颱風在台灣琉球間海面(123°E—135°E, 18N—28N)，其優點即利用110°經度指數并配合60度經度指數變化可以在七天前預估颱風是否有轉向之可能。由於指數之計算係利用500毫巴高度，所以，對輕度颱風或發展高度不高之颱風，效果不太顯著。

(2) 距平法 —— 颱風路徑受大氣氣壓系統所左右，一般天氣圖上所出現之氣壓系統受地形、位置、緯度及季節等因素的影響，未能真正代表當時真實氣壓系統的形態。距平者乃為一氣象參數與標準數值之差數，而距平圖代表消除以上所言之影響而得到之圖形，由於距平具有良好的保守性與連續性，因而利用距平圖來探討颱風路徑其效果甚佳。

颱風路徑與距平之關係，颱風大致順正距平外緣進行；北太平洋上正距平勢力增強西伸時，颱風有增強向西進行之趨勢；正距平長軸呈南北向時，颱風偏北進行之機會增加；當正距平中心在北緯30度，東經135度附近停留時，颱風侵襲台灣的可能性增大。

一般氣象實作單位，已將 500 毫巴距平圖列為經常作業，使用方便，其缺點只能提供颱風動向之趨勢，無法作數量上之計量。

(3) 平均駛流法——颱風運動向量與副熱帶高氣壓脊走向息息相關，通常分析各高度氣流狀況觀察其對颱風駛流情形。徐氏 (1972) 利用 700 毫巴與 850 毫巴兩層平均形勢 (稱爲 H 圖) 調查颱風行徑得知 H 圖上脊線方向與颱風路徑近乎平行，颱風動向與 H 分布圖相關性顯著。徐氏將侵台 34 個颱風與 H 圖逐一比較分析，歸納 H 圖形勢與颱風行徑之關係計有四種基本圖式：(A) 西進型，(B) 轉向型，(C) 鞍部型，(D) 複型。

H 圖對於西進颱風路徑預報之效果極佳，三天平均偏差爲  $\pm 15^\circ$ ，相當穩定；惟對於轉向颱風則因導致轉向之 H 圖形勢較複雜，需預作未來形勢演變，始可獲得良好效果，至於異常行徑颱風，諸如雙颱風，則由於 H 圖法與綜觀法具有同樣性質，效果亦佳。此法唯一缺點乃是定性預報而非定量預報，對颱風移動速度無法估計。H 圖兼顧到兩相鄰層面氣流的分布，它本身具有向量之合成，可以代表該兩層氣柱間的平均氣流場，因此，此種觀念似可擴展爲 500 毫巴與 700 毫巴間的駛行。

(4) 穩定指數法——穩定指標係 George 氏所提示之雷雨預報方法而將之應用於颱風預報。穩定指標亦稱 K 值，乃是計算 850 與 500 毫巴高度之溫度差，850 毫巴露點與 700 毫巴面上溫度露點差；故 K 值可代表空氣中所含水汽量及其穩定度之指標，換言之，K 值乃指示氣團本身之特性，故對具有保守性之氣團，才有應用價值，因此，適用於海洋性氣團。由經驗法則得知颱風有趨向於高溫高濕移動之特性，故應用 K 值可作爲颱風路徑預報之指標。

徐氏 (1972) 指出颱風有向最大 K 值區域進行及順 W 軸進行之特性，颱風進行前方如有 W 中心出現，且  $K \geq 40$ ，颱風有發展趨勢；如 D 值較大時，即  $K \leq 20$ ，颱風有減弱趨勢。

(5) 500 毫巴五日平均法——目前展期預報作業上最基本之工具乃爲五日平均圖，經五日平均後之高空氣流形勢已將短波槽勻消，據此可判斷導引颱風行徑之基本氣流形勢。

鄭氏 (1972) 曾利用 500 毫巴五日平均法進行二方面研究，首先調查 1960—1970 年 106 個颱風與 500 毫巴五日平均圖形勢之關係，予以分類

，獲得具有代表性之十個類型，計轉向類型五類，西進類型三類，以及雙渦旋類型二類。利用此種類型可以獲得五至七天颱風路徑趨勢，此法主要係利用駛流觀念，對發展良好之颱風，其效果較佳，對小型輕度颱風因受低氣壓系統影響較大，應用本法時效果不一定良好。

鄭氏另一方面又利用王崇岳先生預測颱風路徑迴歸方程之技術運用於 500 毫巴五日平均圖，對颱風未來五天路徑預報獲得相當成功。此法手續簡單切合實用。校驗 1972 年 7—9 月間十二個颱風預測路徑與實際路徑，總平均偏差爲緯度 1.6 度，命中率爲 83%，對爲期五天之趨勢預報而言，成績已相當可觀。惟此法對南海颱風效果不佳，主要原因是副熱帶高壓對南海颱風影響不彰所致。

(6) 厚度場駛流法——劉氏 (1975) 分析 1965—1971 年西太平洋地區 92 個颱風路徑，發現當颱風中心氣壓在 930 毫巴或以下時，其行動除受 300 毫巴氣流影響外，而且還需配合 700 及 500 毫巴層氣流，颱風中心氣壓在 930 毫巴以上時，均不受 300 毫巴氣流影響，完全受 700 或 500 毫巴氣流之導引。此一統計結果，顯示 700 至 500 層之厚度場可作爲颱風路徑預報之工具。劉氏利用此原理對 1974 年颱風進行試驗，證實颱風有趨向於厚度最大之趨勢。此法亦屬定性之預報，對颱風速度預報無甚幫助，同時對於寒潮與颱風相伴之影響以及深厚東風層中央山脈對 700—500 毫巴層間之影響均未考慮。

## 六、颱風路徑數值模擬

大氣的運動及一切現象的發生均依循一定的物理過程而可由一組方程代表。近年來數值天氣預報發展非常迅速，美日諸國應用若干多層斜壓模式預測中高緯度一至三日氣壓系統位移及強度變化已相當正確。我國內方面各學術機構及學者近年來亦急起直追 (王崇岳 1970, 中研究大氣物理組同仁 1971—1976, 汪群從 1975, 胡仲英 1977, 張鳳嬌 1975, 蔡清彥 1976), 對於颱風路徑數值模擬進行一系列的探討, 最初較偏重於數值模擬, 近二年來則較注重於數值預報模式之建立與改進, 目前相當正壓模式已正式的納入天氣預報作業, 現更進到斜壓模式及原始方程模式作業化之研究。

王氏 (1970) 曾利用正壓模式計算 72 小時颱

風之行徑，其基本原理是認為颱風為一圓形無渦旋度之渦旋，在平滑之駛流中應隨駛流方向移動，其速度亦與其周圍之駛流一致。根據藤田博士經驗公式以及颱風環流區內飛機偵察報告資料，首先將700毫巴高度上颱風環流取掉，換算成駛流場，然後以正壓模式計算未來24、48、72小時預測駛流場。王氏於1966年開始探討與試驗，經多次修改，其結果已認為相當滿意。

胡氏(1975)用正壓大氣數值模式探討大氣運動及侵台颱風運動之可行性。其邊界條件採自由滑動邊界條件，即假設大氣在邊界處不受摩擦阻力影響可以自由流動；根據中研院物理所1971年研究報告在計算範圍一定時，自由滑動邊界比固定邊界條件可能會給予較客觀的天氣變化情形。為提高模式實用價值，胡氏(1975)特別利用客觀天氣圖分析法取得計算之初始值，在客觀天氣圖分析法中，考慮計算範圍內西太平洋區測站稀少，將該法作必要修正，修正後計算得的客觀高度場，與主觀分析場平均相差僅11.8重力公尺。利用上述方法計算1971年7月娜定颱風運動情形，經計算結果娜定颱風實際移動方向及速度與預測情況甚為符合，僅颱風後方高度上升太過迅速，致使24小時後颱風略為變形。

蔡氏(1976)嘗試以相當正壓模式預報垂直平均流線函數的方法來預報颱風侵襲台灣的路徑。蔡氏認為在低緯度中，平衡方程中，每一項的數量級一樣大，均不可忽略，所以準地轉理論不適用，蔡氏利用觀測的風的資料，先分析風場，以求出的流線函數為輸入的始值，代入渦旋度方程中作預報。并以1975年三個侵襲台灣颱風的路徑作探討對象，妮娜颱風的預報移動方向幾乎與實際移動方向一致，但預報移動速度較慢。見蒂及艾爾西颱風的預報移動速度也太慢，而且預報移動方向也不十分正確。改進此方面缺點：一是加 Helmholtz term，較正確的預報長波的移動；二是重新分析風場資料，得到較正確的控制颱風位移的綜觀幅度系統。

汪氏(1973、1975)利用四層簡易平衡模式及平衡模式(平衡方程式為非線性)對侵台颱風進行探討，模式設計供探討大幅度氣流運動，初步僅考慮大幅度垂直氣流運動之熱機能，發現經平衡模式處理後的資料較原始天氣資料合理，而其24小

時的颱風運動，簡易平衡模式反較平衡模式的結果為好，其中非線性項及由於緯度較低，天氣資料祇使用主觀讀取的高度場的影響，可能是重要原因。

蕭氏等(1976)又以有限區域為運算範圍，對原始方程式模式作初步之探討。模式設計為四層非絕熱有限區域原始方程模式，為簡化起見不考慮地形及摩擦阻力，但考慮熱力影響。此模式未經濾波，各種雜波都存在場內，原始資料除利用九點平滑外，尚經平衡模式初值化後才當作初始場使用。首先採用民國60年9月貝絲颱風為例，試驗中，發現計算12小時左右有些能算到18小時，也有只算6小時，邊界附近就有不穩定發生。首先在時間積分上探索原因：原先用前向時間積分(Forward time integration)(at  $t = 0$ )及中間時間積分(Centered time integration)(當  $t > 0$ )，後來又改用 Euler backward time integration，結果大致類似，而前法較後法約省一半的時間。又換用不同的邊界條件：有限邊界條件，自由滑動邊界條件，絕熱光滑條件等。結果雖然都不好，但發現簡單的“海棉”只能阻止部份反射波，有時略能延長合理的預報時間而已。無論如何產生困擾的地方都在邊界附近。因此，認為在有限區域內使用原始方程模式進行數值預報時，邊界條件實在很重要，初始資料只用高度場似嫌不夠，應加入風及溫度校正，原始資料並應經過嚴密的檢定及校正。

中研院物理研究所自1971年起對大氣及颱風運動模型展開一系列有計畫的探討，在地轉風假設下，利用四層斜壓模式探討大氣及颱風運動情形。在有限區域內，對邊界條件、運算範圍、網路大小、熱力及摩擦阻力之影響，均分別加以考慮，尋求較客觀的運動模型，供預報之用。茲將中研院物理所一系列研究成果摘要如下：

(一)邊界條件 假設在離地25公里以內的大氣為一連續流體，基本的流力與熱力公式僅能控制大到能受地球自轉影響而又合乎流體靜力狀態的大氣系統。因之，在利用數值分析方法解大氣與颱風現象變化時，就必需設法將小規模大氣變化以與控制方程中有關變數表示出來。

汪氏等(1971)曾對邊界條件加以討論，在不考慮熱原及摩擦阻力等因素情況下，以1971年貝絲颱風為例進行對自由滑動邊界條件與有限邊界

條件加以試驗，發現在有限計算範圍時自由滑動邊界條件似乎能有限度的考慮邊界的變化。

(二)運算範圍 探討大氣運動最理想的是以全球為探討對象，其次以半球為對象，但這都需要高速而容量極大之計算機以及充裕經費，國內目前尚難辦到。汪氏(1973)利用有限邊界條件下試驗運算範圍對高度預測場之影響，在運算範圍邊界上有強烈天氣變化時，即使是24小時左右之天氣模擬也需要較大的運算範圍；若運算範圍邊界上無強烈天氣變化，即使更長時間的大氣變化模擬也可藉有限範圍探討。一般來說，範圍尺度愈大，邊界發生影響的問題愈小，但在運用計算機時，其時間與經費亦相對地增加，由於邊界上大氣變化對短時間颱風運動影響不大，當計算範圍有 $6500 \times 4500$ 公里大時，24小時內侵台颱風運動不受有限邊界之影響。

(三)網格大小 研究大氣運動問題，在有限區域網格上，將控制方程積分時，必須考慮格點尺度與流體運動尺度間相互配合問題。在運用差分法求解問題時，當然，網格愈小，解答愈準確，但所需計算機容量亦愈大，運算時間亦愈長，在實用上不能不考慮，所以對網格大小不能不有適當的選擇。

探討颱風構造時，網格一般在50公里或更小，探討綜觀幅度運動時，網格一般在150公里或更大。中研院(1975)曾在同區域中將網格大小全部由332公里減半計算，即使用166公里網格距離，由於相對精確度降低等緣故，所得答案反較差，顯示322公里的網路尺寸適於有限微分法之運算。

蕭氏等(1973)為顧及若干中範圍尺度天氣，提出一種粗細網路配合使用之數值方程，以二層斜壓大氣數值模式，利用粗細網格之配合，探討1971年7月娜定颱風的運動。處理方法是同時作粗細網格的預報，粗網格有 $20 \times 20$ 點，各格點間的距離為300公里，細網格有 $13 \times 13$ 點，各格點的距離為150公里，每隔一格點有一共同點，粗網格的時間間隔經計算約為廿分鐘左右，而細網格的時間間隔為顧及颱風中心風速較大，取四分之一粗網格時間間隔，約為五分鐘左右，在不考慮熱量變化、摩擦效應及地形影響下，首先將細網格場的中央置於颱風中心，利用粗網格場計算一個時間間隔內250、700毫巴高度場及500毫巴垂直速度場，然後，在粗細網格交界處，細網格點值由粗網格值內插，再由同時刻細網格計算值修正共同點值，計算

結果顯示，對於颱風等較小尺度的天氣現象而言，粗細網格之配合使用，可較單獨使用粗網格計算提供更清楚之運動變化現象。同時，粗細網格交界處的計算結果非常穩定，等值線很平滑。但由於其未考慮熱量變化、摩擦效應及地形影響的，可能導致颱風中心填塞較快以及颱風速度移動稍快。

#### 四、熱及摩擦阻力

在地轉風假設下，四層斜壓模式加入熱及摩擦阻力。在熱變化中僅考慮海面與大氣交界處感覺熱之傳遞和水汽凝聚時潛熱之釋放。摩擦阻力變化中，假設由渦旋黏帶引起之側面混合所造成的阻力不大，而予以忽略。以1971年9月貝絲颱風為模擬研究對象，並假設時間範圍內海面溫度為 $302^\circ\text{K}$ ，保持不變。原始天氣資料因不宜用於模擬探討，利用五點平滑算子先經過平滑處理。在探討控制方程中各個參數及各種條件下之變化，發現在大氣及颱風運動變化時，潛熱及感覺熱之影響最為重要。在模式中加熱變化與摩擦阻力後，所模擬颱風貝絲及周遭大氣運動及變化，結果良好。

(四)不等間距斜壓模式 探討垂直方向不等間距斜壓模式，其目的在直接應用一般制式的天氣圖資料供預報作業，一般制式天氣圖應用300、500、700及850毫巴之高度場，而原先設計之四層斜壓模式中四層高度為300、500、700及900毫巴。計算結果與等間距斜壓模式大致相同，顯示不等間距之斜壓大氣模式可直接利用天氣圖資料進行天氣預測工作。

## 七、台灣颱風風力

颱風侵襲時，一地出現之暴風，除颱風本身之強度外，地形與高度亦為重要之因素。台灣地區因有中央山脈縱貫全省，每當颱風侵襲時，其低層風場結構受山脈之阻擋與破壞，使各地風速分布與颱風原始風場迥然不同，致在實際作業中，氣象單位對風力之預測，常遭遇甚大困難。

颱風內風場分布本身並不對稱，對一固定點之風速估計已感困難，若加以山脈阻擋與越山效應等影響，則對一地風速之預測，更倍覺困難。另一方面，由於颱風所在位置及路徑不同，使各地實際出現之風大相逕庭。

颱風侵襲台灣地區，因受台灣地形而使颱風環流發生變形，而有各式渦旋場等現象發生，曲氏(

1975、1976)曾就此問題加以分析。之後王氏等(1975)又就流體力學中界流層理論與流體繞經一浸物時，所發生之現象，以及大規模氣流越山與旋轉氣流之“二維”效應等，對侵台颱風之風場進行理論上之分析，獲得初步結論：

(一)颱風移過台灣時，各區風場分布主要係由於氣流繞山與越山效應之結果。一般言，低層約4000—5000呎以下，無視氣流進入角大小，均以“繞山”現象為其特徵。在該氣層以上，進入角大時，則將為“越山”。

(二)氣流進入角約大於 $15^\circ$ 時，中央山脈西側，由於“倒流”而造成邊界層之“分離”與“渦旋”，形成廣大之弱風或稱“洗流”區。

(三)因颱風為一“旋流”，進入角隨颱風移近而隨時變更，且樂氏數為逐漸增大。故山脈背風面(台灣西側)，洗流區範圍亦隨時在變。除颱風分裂過山外，通常洗流區係向南縮小，並趨於消失。

(四)當山脈背風面出現洗流區時，即可對該區風速作不逾20哩/時之預報。

(五)當颱風與台灣相對位置使氣流進入角為零時，山脈西側氣流一般均係順沿山脈吹括。故可預測將無“洗流”或弱風區發生。此時地形影響且有使各地風速增大趨勢，特宜注意。

(六)氣流“越山”與“繞山”現象，每可藉山脈迎風與背風面同緯度測站之氣壓差或歐拉數方法表出。由此可判別繞山或越山效應兩者，何者為優勢。

(七)颱風過山時，有呈“二維”運動趨勢，而使山脈兩端風力為特大，亦即“角效應”。

(八)在山脈向風面，颱風氣流每可視為無黏性流體，故該處風場分布係藉“流網”法分析，反之，山脈下風面，即係以黏性流體處理。

(九)颱風侵襲台灣時，以氣流進入角不同，邊界層之寬度可自距山脈70哩至數哩不等。其厚度，就出現有“渦旋”時言，最高約可達6000呎，約相當於山脈之一半高度。

(十)茲據實際各類路徑颱風之洗流或稱弱風區分析，製成颱風自東南向移近台灣，分北、中、南三類路徑之模式圖，供各區颱風風力預報之參考。

空軍氣象中心(1972、1973、1974)曾以客觀方法，對台灣各地破壞性風力完成一套完整的颱風風力客觀預測圖。經校驗顯示，成效良好，

亦屬研究成果用於實作之最佳範例。

胡氏(1976)曾就動力觀點推求颱風侵襲下台灣各地之風速。發現颱風中心與各測站間距離對各地風力有相當關係，當測站在颱風半徑圈外時，此種關係最佳，其建立之動力模式效果最佳。當測站落入颱風暴風圈內時，效果較差，此也許受地形以及其他因子影響所致。王氏(1977)亦曾以地面氣壓分布指數方程推求颱風侵襲下台灣各地風速及陣風，并考慮地形，對各地風速加以適當修正。

## 八、台灣颱風雨

颱風侵襲期間常帶來豪雨，引發水災，造成嚴重損害。颱風對台灣而言，所造成之暴風豪雨及浪潮中，當推豪雨情況最為嚴重。一地颱風雨量之多寡，不外取決於：(1)颱風本身水汽含量，(2)颱風強度及半徑，(3)颱風進行方向與速度，(4)氣壓梯度，(5)西南氣流強弱，(6)東北季風指數，(7)高空風，(8)地形等因素(俞家忠1970；曲克恭1971；魏元恒，1971；吳宗堯等，1973)。多數學者均認為其中以風速與氣壓梯度兩項對台灣颱風之降水最重要。

雨量隨山坡高度之變化，頗多討論，有些認為高度在3000呎之雨量最大，過此則減少，因氣柱內之飽和比濕，過此高度即減少。根據魏氏(1970)資料，侵台颱風所致雨量，彭佳嶼全年為348公厘，蘭嶼為338公厘，顯示颱風雨量對此南北兩島嶼在平均狀態下，兩者颱風雨量幾乎一致，未受地形影響，但山區全年颱風雨量阿里山(拔海高度2406公尺)為1358公厘，玉山(拔海高度3850公尺)為852公厘，玉山雨量反較阿里山為少，此足以說明台灣山區最大颱風雨量集中在二千五百公尺左右之高度。

侵台颱風所致雨量之多寡，除由於地形影響外，颱風周圍氣壓梯度之強烈，亦即氣壓型，關係雨量亦最為重要。由氣壓型之分布，將颱風分成“對稱型颱風”與“非對稱型颱風”二種，颱風周圍氣壓分布對稱時，多為對稱型颱風或稱圓形颱風；颱風周圍氣壓甚不對稱時，多屬非對稱型颱風，秋季颱風侵台之際，北方常有大陸冷高壓適時南下，使颱風北方之氣壓梯度特別峻急。魏氏(1971)指出對稱型颱風，其所致雨量，主要由其本身渦旋決定，所致雨量較為正常，且災害不甚嚴重。非對稱

型颱風，除其本身內在之渦旋作用外，加上外在因素所造成之強大氣壓梯度，雨量特大，甚異於對稱型者，此在預測颱風降水及洪水預報方面極為重要。此種非對稱型颱風對台灣東北部及北部特別重要，國內諸學者如俞氏（1976）王氏（1970）王氏等（1977）均有論及。

魏氏（1972）在計算台北台中台南花蓮等颱風雨量迴歸方程中用測站與颱風中心間氣壓梯度以及測站與上海間氣壓梯度，發現相關係數高達0.6左右，顯示北方之氣壓梯度對台灣地區颱風降水貢獻甚大。吳氏（1974）在比擬法預估颱風雨量中利用逐步選擇迴歸法中挑選各類預報因子中，亦以台灣西北方氣壓梯度以及高空風等因子最優先，與魏氏之計算符合一致。

台灣各地颱風雨量之分布，魏氏（1972）、徐氏（1972）、俞氏（1970）、薛氏（1948）一致認為與侵台颱風路徑具有極密切之關係。北太平洋地區颱風路徑大致可區分為(1)西進型，(2)轉向型，(3)北上型。但是此種分類法對台灣颱風雨量之分布難以滿足，考慮台灣地形特殊，一般將侵台颱風再加細分，中研院（1972）將侵台颱風路徑分為七類，魏氏（1972）則將之分成八類，大同小異。每一類颱風路徑對台灣各地雨量之分布各有其獨特之型態。魏氏（1972）曾以100個測站紀錄分析台灣地區各類路徑颱風平均日雨量，繪成圖表。徐氏等（1972）利用台灣地區600個測站資料，繪製台灣地區各類路徑颱風總雨量圖。魏徐兩氏所分析之台灣地區颱風雨量各有其獨特用途。俞氏（1970）利用台灣平地十八個測站資料；分析台灣地區各類路徑一次颱風總雨量以及日雨量，此類資料雖不及魏徐氏詳盡，但其唯一特點是分析100及200公厘降雨量之機率。由上述諸氏分析資料顯示一項事實，各類颱風路徑對台灣各地雨量分布有其固定之型態。

吳氏等（1974）利用比擬法發展一套颱風侵台期內每六小時之降水量客觀預報法，以比擬選擇為重心，先發展手選邊洞卡技術，選定地面及高空有關要素作為預報因子，另一方面則又發展連續圖解迴歸法以及各地六小時雨量預測之複式迴歸方程。

利用迴歸統計法發展一地或某一流域颱風雨量預測者甚多，諸如：魏元恒（1972），雷萬清

（1976），曲克恭（1971），王崇岳（1977），賈鳳基（1977）等。

## 九、模型實驗

台灣中央山脈對颱風渦流之影響，過去國內方面已有王氏（1954、1963），徐氏（1960）加以論述；近年來又有林氏等（1972、1973、1974），王氏等（1975）利用1949—1971年102個侵台颱風資料進行分析研究。一般認為當颱風接近山脈地形時，山脈與颱風間強烈的交互作用會影響颱風的行徑與風場分布。

由流體力學理論，當颱風接近山脈受地形影響時，由於颱風所具備的強烈旋轉特性，使其渦旋可以二維渦旋模擬之。鮑氏等（1976）黃氏等（1977）曾利用水工模型進行颱風遇山脈地形的實驗研究。經其實驗結果顯示，與歷年侵襲台灣的實際颱風資料比較，颱風行進路徑及背山所引發的副低壓中心，均能合理地在實驗室模擬。

## 十、結語

本文所引介近年來國內颱風研究之成就，僅屬部份，其他有甚多論著尚未納入，此等論著已另列附加參考文獻，以供參考。

近年來國內颱風之研究，多偏重於颱風路徑及其相關之風雨以及數值預報方面，此方面已有顯著成就，且其研究成果已見用於實作，誠一可喜現象。惟颱風方面有待解決之問題尚多，諸如，主宰颱風行徑之副熱帶高壓之增長與消退，有關颱風結構及能量之遞送，中央山脈地形對颱風渦流影響之進一步了解等等，均有待繼續努力。此外，雷達回波與颱風降水之關係，氣象衛星雲圖之研析等之研究亦有待發展。

謝

本文承中研院汪群從博士與中央大學張隆男博士提供寶貴意見并指正，謹此誌謝。

## 參考文獻

- Hwang, Rebert R. ; Pao, Hsien Ping ; Wang, Chung Tsung—1977 : Laboratory Study of the Effects on Typhoons When Encountering the Mountains of Taiwan Island, T.R.

- of Fluid Dynamic and Atmospheric Physics Institute of Physics, Academia Sinica。
- Pao, Hsien Ping, 1976 : The Effects of Mountains on a Typhoon Vortex as Identified by Laboratory Experiments, 大氣科學, 第3期, 55-66。
- Pao, Hsien Ping, ; Hwang, Rohert R. ; Jso Jin, 1976 : The Effects of Mountains on a Typhoon Vortex As Identified by Laboratory Experiments, Annual Report of the Institute of Physics, Academia Sinica, Vol. 6, 109-117。
- Shiau, C. J., 1974 : A Typhoon Movement Study by Balance Barotropic Model, Annual Report of the Institute of Physics, Academia Sinica, 323-343。
- Wang, Chun Tsung ; Chien, Lai - chen, 1973 : A Study on the Diagnostic Balance Model for Typhoon Bess, Annual Report of the Institute of Physics Academia Sinica, 127-138。
- Wu, Tsung Yao, 1971 : Damage Analysis from Typhoon and Steps Toward Prevention, Sino American Typhoon Seminar。
- 中央研究院大氣物理組同仁, 1971 : 颱風中心之運動, 中央研究院物理研究所1971年年報。
- , 1972 : 1884-1970 侵台颱風路徑統計, 中央研究院物理研究所研究報告。
- , 1972 : 大氣及颱風運動模型—Ⅱ, 運算範圍與網格大小, Ⅲ熱及摩擦阻力。中央研究院物理研究所1972年年報, 191-210, 211-238。
- 王時鼎, 1954 : 颱風橫越台灣中央山脈之影響, 中國天氣分析月報第4卷第10期, 10-30。
- , 1963 : 沿台灣中央山脈前進颱風之地形影響研究, 氣象預報與分析, 第14期, 1-11。
- 王時鼎, 林則銘, 俞家忠, 1975 : 颱風侵襲時台灣海島對風場分析與預報之影響, 大氣科學, 第2期, 23-35。
- 王崇岳, 1970 : 用正壓模式計算72小時颱風之行徑, 氣象預報與分析, 第42期, 1-8。
- , 1977 : 颱風暴風圈內陣風與豪雨之預測法, 氣象學報, 第23卷, 第2期, 1-15。
- 曲克恭, 1971 : 台北盆地颱風降雨量之計算與預測研究, 氣象學報, 第17卷, 第3期, 32-48。
- 曲克恭, 莊思禮, 1975 : 颱風部份特性之分析研究, 氣象預報與分析, 第64期, 1-12。
- 曲克恭, 1976 : 台灣地形者颱風環流之分析研究, 氣象預報與分析, 第68期, 9-26。
- , 1977 : 中央山脈對颱風影響之分析研究, 氣象預報與分析, 第72期, 1-21。
- 汪群從, 1971 : 最近颱風研究之發展, 氣象學報, 第17卷, 第2期, 1-7。
- , 1975 : 簡易平衡模式之數值研究, 大氣科學, 第二期, 51-58。
- 吳宗堯, 戚啓勳, 1974 : 台灣地區颱風雨量客觀預報之研究, 氣象學報, 第20卷, 第4期, 6-25。
- 林則銘, 曲克恭, 俞家忠, 1972、1973、1974 : 侵襲台灣颱風風力之研究, 空軍氣象中心研究報告。
- 胡三奇, 1976 : 台灣各地區風速與颱風位置之關係, 氣象預報與分析, 第67期, 12-20。
- 胡仲英, 1975 : 正壓大氣數值模式及其應用, 大氣科學, 第2期, 1-7。
- 胡仲英、陳熙揚, 1976 : 利用客觀比擬法預報颱風路徑之研究, 氣象學報, 第22卷, 第1, 2期, 8-16。
- 俞家忠, 1970 : 颱風侵襲下台灣各地雨量及台北盆地水災之初步研析, 氣象預報與分析, 第45期, 1-22。
- 徐應環, 王時鼎, 1960 : 台灣近海颱風預報問題, 氣象預報與分析, 第2期, 7-12。
- 徐晉淮, 羅字振, 王博義, 1972 : 侵襲台灣颱風之分析研究, 氣象學報第18卷, 第4期, 21-38。
- 徐晉淮, 辛江霖, 徐辛欽, 1973 : 颱風路徑之經

- 驗預報法及其實例，氣象學報，第19卷，第4期，20—26。
- 徐晉維，王博義，1974：北太平洋西部轉向颱風之分析研究，氣象學報，第20卷，第1期，33—44。
- 徐寶箴，1968：颱風經過台灣北部海面與台北及其附近地區之降水，氣象學報，第14卷，第4期，43—51。
- 陳毓雷，鮑學禮，1974：颱風移動路徑及強度之客觀預報，氣象預報與分析，第58期，15—22。
- ，1975：颱風路徑客觀預報方法之進一步研究，氣象學報，第21卷，第3期，26—35。
- 張鳳嬌，1975：四層斜壓模式颱風行徑數值預報實驗，中央大學地球物理研究所學刊第15號。
- 賈鳳基，1977：侵台颱風降雨量之客觀預報法，氣象預報與分析，第70期，25—29。
- 鄭邦傑，1972：侵台颱風路徑預報之研究，氣象學報，第18卷，第4期，39—61。
- 鄭邦傑，羅字振，方力修，曾振發，1973：颱風路徑客觀預報法之驗證，氣象學報，第19卷，第4期，27—57。
- 劉卓峰，1963：六十六年來之颱風，氣象學報，第9卷，第1期，19—35。
- 蔡清彥，1976：颱風路徑之數值預報，台灣大學大氣科學系，研究報告第一期，1—12。
- 戴治台，汪群從，簡來成，1973：大氣及颱風運動模型—Ⅲ不等間距離斜壓模式，中央研究院物理研究所1973年年報，161—166。
- 薛鍾彝，1948：五十年颱風侵襲台灣之統計，台灣省氣象所。
- 魏元恒，謝信良，林民生，1971：颱風特性與台灣雨量之研究，氣象學報，第17卷，第3期，1—17。
- 魏元恒，謝信良，林民生，蕭長庚，1972：台灣颱風降雨預報之研究，氣象學報，第18卷，第3期，1—21。
- 蕭錫璋，汪群從，1973：利用有限區域細網格探討擱定颱風運動，中央研究院物理研究所1973年年報，139—160。

## 附加參考文獻

### 一、颱風結構

- 江火明，1976，氣象學報，第22卷，第1，2期，1—70。
- 徐明同，1962，氣象學報，第8卷，第3期，11—20。
- 徐應璟，1955，氣象學報，第1卷，第2期。
- 薛鍾彝，1962，氣象學報，第8卷，第2期，14—17。

### 二、颱風強度

- 王崇岳，1971，氣象預報與分析，第47期，1—10。
- ，1974，大氣科學，第1期，21—26。

### 三、颱風生長

- 朱乃光，1970，氣象預報與分析，第44期，21—30。
- 陳毓雷，1969，氣象學報，第15卷，第4期，29—43。
- 廖學鎰，1962，氣象學報，第8卷，第4期。

### 四、颱風路徑

- 王崇岳，1960，氣象預報與分析，第2期，1—6。
- ，1966，氣象預報與分析，第26期，5—11。
- ，1975，氣象學報，第21卷，第2期，14—17。
- 王時鼎，1977，氣象學報，第3卷，第1期。
- 吳宗堯，1960，氣象預報與分析，第3期，12—13。
- 周明德，1958，氣象學報，第4卷，第2期。
- 俞川心，1976，氣象預報與分析，第69期，38—42。
- 徐明同，1977，氣象學報，第23卷，第2期，24—34。
- 殷來朝，1955，氣象學報，第1卷，第1期，24—26。
- 戚啓勳，1965 a，氣象學報，第11卷，第1期，7—13。
- ，1965 b，氣象學報，第11卷，第2期，36—45。
- ，1966，氣象學報，第12卷，第2期

- ， 1 - 13。
- ， 1967， 氣象學報， 第13卷， 第1期， 1 - 19。
- 曹淦生， 1960， 氣象預報與分析， 第3期， 29 - 30。
- 陳毓雷， 鮑學禮， 1974， 氣象學報， 第20卷， 第2期， 31 - 46。
- 彭立， 1977， 台灣大學大氣科學系研究報告， 第8期， 165 - 178。
- 湯捷喜， 1962， 氣象學報， 第8卷， 第3期， 1 - 10。
- 廖學鎰， 1959， 氣象學報， 第5卷， 第2， 3期， 6 - 12。
- ， 1963， 氣象學報， 第9卷， 第2期， 15 - 31。
- 蔣志才， 1964， 氣象預報與分析， 第18， 19期， 1 - 7， 11 - 18。
- 鄭子政， 1965， 氣象學報， 第11卷， 第2期， 1 - 6。
- 鄭俠， 1975， 大氣科學， 第2期， 73 - 78。
- 劉廣英， 1975， 大氣科學， 第2期， 59 - 62。
- 羅字振， 1969， 氣象學報， 第15卷， 第2期， 33 - 46。
- Hung, R. J., 1977, 大氣科學, 第四期, 48 - 65。
- 五、颱風展期預報
- 王時鼎， 1955， 氣象學報， 第1卷， 第2期， 27 - 34。
- 徐晉淮， 1966， 氣象學報， 第12卷， 第2期， 14 - 25。
- 鄭邦傑， 1966， 氣象學報， 第12卷， 第2期， 34 - 48。
- 謝俊雄， 童文海， 1972， 台灣銀行季刊， 第23卷， 第3期， 142 - 153。
- 魏元恒， 徐君明， 1975， 氣象學報， 第21卷， 第2期， 25 - 27。
- 六、颱風雨
- 吳宗堯， 戚啓勳， 1973， 氣象學報， 第19卷， 第3期， 10 - 19。
- 林財旺， 1971， 氣象預報與分析， 第46期， 34 - 37。
- 周根泉， 1976， 台灣大學大氣科學系研究報告， 第1期， 79 - 104。
- 戚啓勳， 1963， 氣象學報， 第9卷， 第3， 4期。
- 戚啓勳， 陳文恭， 任立渝， 1972， 氣象學報， 第18卷， 第3期， 35 - 50。
- 蔣志才， 1974， 氣象學報， 第20卷， 第3期， 37 - 45。
- 戴治台， 徐 諧， 馬汝安， 1975， 氣象預報與分析， 第65期， 27 - 32。
- 魏元恒， 1970， 氣象學報， 第16卷， 第3期， 1 - 12。
- 雷萬清， 陳毓雷， 1977， 全國大氣科學學術研討會論文集編， 85 - 97。
- BOGIN, H., 1970, 氣象學報, 第16卷, 第1期, 21 - 30。
- 七、颱風浪
- 吳清吉， 1975， 大氣科學， 第2期， 37 - 49。
- 高振華， 林碧初， 1961， 氣象預報與分析， 第8期， 1 - 7。
- ， 1968， 氣象預報與分析， 第35期， 8 - 11。
- 八、雙颱風
- 林財旺， 1971， 氣象預報與分析， 第48期， 22 - 28。
- 劉大年， 王時鼎， 1966， 氣象預報與分析， 第28期， 1 - 8。
- 劉廣英， 1974， 氣象預報與分析， 第59期， 25 - 27。
- 九、雷達氣象
- Bogin, H., 1967, 氣象學報, 第13卷, 第2, 3期, 1 - 12。
- 林瑞山， 1968， 氣象學報， 第14卷， 第3期， 25 - 40。
- ， 1976， 氣象學報， 第22卷， 第3期， 7 - 20。
- 湯捷喜， 1968， 氣象學報， 第14卷， 第2期， 1 - 15。
- 廖學鎰， 1964， 氣象學報， 第10卷， 第1期

， 1 — 9 。

#### 十、衛星氣象

王時鼎， 1971， 氣象預報與分析， 第 48 期，  
5 — 21 。

#### 十一、其他

王時鼎， 1957， 氣象學報， 第 3 卷， 第 4 期，  
9 — 15 。

王時鼎， 張儀峰， 1977， 氣象預報與分析， 第  
72 期， 22 — 28 。

葉文欽， 1977， 氣象預報與分析， 第 70 期，  
30 — 39 。

鄒新助， 1962， 氣象預報與分析， 第 11 期，  
1 — 5 。