

# 中長期天氣預報研究之評介

蔡清彥

國立台灣大學大氣科學系

## 1 前言

近三十年來，由於數值天氣預報以及氣象衛星觀測技術的發展，使得日常天氣預報的準確度在不斷地提高。Shuman (1978) 曾具體舉例說明美國國家氣象中心 (National Meteorological Center, NMC) 三十年來所發佈的預報圖、氣溫及天氣預報準確度都有顯著的進步。降水預報是較難的題目，但其十二小時預報準確度也從 80% 增加到 85%，而且近來的數值實驗顯示細網格模式 (fine mesh model) 已能進一步改進降水預報了。除了預報準確度的提高外，天氣預報的期限 (優於氣候或持續法) 在過去二十年中亦從三天增長到一週左右。

雖然如此，大氣的可預報期限並非是無限的。理論、數值模擬及天氣圖比擬 (analog) 研究均證明日常天氣變化的可預測期限為兩週左右。一般稱此日常天氣變化之可預測期限為大氣之可預測度 (predictability of the atmosphere)。本文首先將在第 2 節中介紹大氣可預測度的觀念。

為了討論方便，本文定義兩天以內的天氣預報為短期天氣預報 (short range weather forecasting)。在兩天以內，綜觀天氣系統的強度及尺度 (scale) 變化較小，因此數值預報準確度十分高，主觀分析天氣圖作預報也較易成功。另外本文定義三天以上約至兩週期間的天氣預報為中期天氣預報 (medium range weather forecasting)。中期天氣變化之數值預報準確度較低，主觀分析天氣圖作預報十分困難。但中期天氣預報仍是大氣可預測度範圍內的問題。本文第 3 節將討論中期天氣預報的方法及問題。

大氣可預測度以外 (約兩週以上) 的日常天氣變化則是不可預測的，因此我們只能預報某一期間的平均天氣狀況。本文定義長期天氣預報 (long range weather forecasting) 為對某一個月、一季或一年平均天氣特性的預報。長期天氣預報的期限大致包括一個月至五或十年 (Nicholls,

1980)。本文第 4 節將詳細討論長期天氣預報的方法及問題。

至於在大約十年以上的預報則屬於氣候預報問題。這方面，目前仍屬研究初期階段。我們也將在本文第五節對氣候預報問題作粗淺的討論。

## 2 大氣之可預測度

大氣運動中之物理過程，極端複雜，其所包含之空間尺度，從分子到行星 (planetary，約一萬公里) 運動，時間尺度則從百萬分之一秒到幾年甚至幾千年。由於氣象資料之不足，以及對物理過程了解之不完整等，使得實際氣象預報受到限制。隨著科技之進步，氣象預報準確度逐漸提高且預報期限也逐漸增長。一個很重要的問題，就是日常天氣變化可預報之最長時間有沒有不可克服的極限。

換句話說，若給予無限的電算機能力，對所有物理過程都能正確的表示，而且有精確初始資料的話，日常天氣變化是否能正確而無時間限制的預報下去。答案是否定的，此乃由於大氣運動之控制方程式是近似的，方程式組不完全是必然性的，而且大氣初始狀態是永遠無法被完整的描述。若假設方程式組是完全正確的，但兩個稍有差異的初始資料仍會造成一段時間後之完全不同的預報。由於初始資料一定會有誤差，方程式的非線性和大氣的不穩定度會造成大氣預測之時間限制。Lorenz (1969 a) 建議三種估計誤差成長率和大氣可預測度的方法。此三種方法為動力法、類比法及亂流統計理論法等。

動力法是將兩種稍有差異的初始資料代入一組完全能代表大氣的方程式中，然後求取資料間差異之成長率。一般利用全球環流模式，先積分至某一平衡狀態，時間為  $t_0$ ，然後繼續積分幾個星期，是為控制模擬。若稍微改變時間  $t_0$  之變數值再積分，稱為新的模擬。Smagorinsky (1969) 利用此方法估計誤差加倍的時間是 2.5 天，而綜觀尺度

系統之可預測度則約為三週。由於數值模式和初始資料的不完整，使得大氣之實際可預期限短於三週。

類比法是從歷史天氣圖中找出相近的許多對天氣圖，然後求取各對天氣圖變為不相近所需的時間。Lorenz (1969 c) 利用此法估計誤差加倍的時間亦為 2.5 天，而大氣的可預測期限則約為 12 天。

第三種方法是利用亂流統計理論研究誤差在不同尺度運動間之非線性移轉並估計誤差之成長。Lorenz (1969 b) 利用此方法，在小尺度動能波譜中採用  $-5/3$  定律，得到綜觀尺度擾動之可預測度為幾天，而最大尺度運動之可預測度則為 2 ½ 週。他並發現小尺度誤差之減小並不能顯著增長大尺度系統之可預報期限。Leith and Kraichman (1972) 則採用觀測之實際大氣  $-3$  波譜定律。他們得到誤差加倍的時間為兩天，大尺度運動之可預測度則超過一週。

綜合三種方法所得結論，綜觀尺度擾動之可預測度理論值約為一週至兩週。由於數值方法、物理過程處理方法以及初始資料的不完整，因此目前實際預報能力仍未能達到前述可預測度的理論值。

### 3 中期天氣預報

本文定義三天以上約至兩週期間為中期天氣預報的範圍。一般，中期天氣系統型式及強度均與初始時間者相差較大。因此，僅靠主觀分析天氣圖來作中期天氣預報是十分困難的事。但中期天氣預報仍屬大氣可預測度範圍內的問題。因此，數值天氣預報及前節所討論的類比法均為可行的中期天氣預報方法。

數值預報是中期天氣預報的主要方法。但中期天氣變化之數值預報準確度較低，因此積極改進數值模式乃是中期天氣預報的重要工作。一般認為數值模式中可以改進的事項，依重要次序為水平解析度 (horizontal resolution)，地形的作用，降水過程，垂直解析度，初始資料以及摩擦作用等 (參考 Haltiner and Williams, 1980)。許多研究均顯示改進水平解析度不但能改進中小尺度系統之位速度，且能改進對不同尺度系統間非線性能量交換及位動能轉換等物理過程之正確計算。由於中期數值天氣預報之後期準確度低，美國國

家氣象中心 (NMC) 目前僅發佈 3 至 5 天的每日預報圖。至於 6 至 10 天，則發佈五天平均環流、氣溫和降水分佈圖。

類比法則是主觀中期天氣預報的最主要參考。Lorenz (1969 c) 在研究大氣可預測度時，是利用 200-、500- 及 850- mb 等壓面天氣圖，找出兩個時間天氣圖之重力位高度差異均方根 (root mean square) 較小的類似天氣圖作為預報的根據。他認為這種方法最長可預測 12 天的部份天氣。由於行星尺度 (planetary scale) 系統的時間變化較緩慢，個人認為採用類比法從事主觀中期天氣預報時應該著重在行星尺度系統之類型及變化。譬如，蔡清彥及王時鼎 (1981) 曾經指出中緯度波數 3 之運動系統是控制冬季中期天氣變化的重要系統。又如，冬夏交替季之東西環流 (east-west circulation) (參考蔡清彥及張智北, 1981) 與太平洋副熱帶高壓可能是控制東亞梅雨系統中期變化的重要環流。對這些行星尺度系統之研究不但能改進中期天氣預報，而且在學術上能貢獻對動力氣象學之瞭解。

## 4 長期天氣預報

本文定義長期天氣預報為對某一個月、一季或一年平均天氣特性的預報。長期天氣預報的期限大致包括一個月至五年或十年。本文將參照 Nicholls (1980) 將長期預報方法分成六類討論之。

### 4.1 長期預報方法

#### a. 類比及持續法

長期預報之類比法主要包括從歷史資料中找出一個或數個月 (或季節) 與今年上個月 (或季節) 相近者，然後利用被選月份 (或季節) 之次月 (或季節) 天氣來預報今年下個月 (或季節) 的天氣。類比選擇技術所包含的範圍很廣，包括很簡單的檢查一個測站一個變數的持續性到很複雜的檢查廣大區域大氣和海洋資料。

在過去十年中，有許多類比長期預報法的研究，英國在這方面做的特別多。其中許多是最簡單的類比選擇技術，主要是利用變數的持續性及前一個月 (或季節) 的數值來作預報的。此種方法亦可稱為持續法。譬如，Gordon and Wells (1976) 將英國中部 250 年資料依次序排列，求取與十年

平均值之差異值，統計一年中每月份之五分位分配 (quintile distribution) 準備列聯表 (contingency table) 以計算月份間溫度異常變化之頻率百分比，作為預報的基礎。N.E. Davis (1978) 則利用季節平均溫度與降水資料，找出相似之性質，作為預報英國冬季溫度與降水長期預報之基礎。Namias (1978) 採用類似之持續方法預報美國 200 個測站的季節溫度變化。由這些研究得知，有些區域的氣象變數持續性高，持續法可獲得較隨意猜測為準確的預報。但一般而言，簡單持續預報法只能解釋小部份的變數月平均 (或季節平均) 值的變化。

為了得到較具實用價值的長期預報方法，許多氣象學家研究從廣大區域之資料中，選擇相似之天氣圖，作為長期預報的基礎。這是較複雜的類比法。英國氣象局在這方面作了相當大的努力。他們利用地面氣壓及 500 mb 重力位高度場，計算英國暖與冷月 (或濕與乾月) 前一個月之天氣圖差異值，作為預報基礎。他們獲得許多效果不錯的長期預報。譬如，Murray (1973) 預報英格蘭及威爾斯春季降水時，先檢查濕與乾春季前三個月之北半球氣壓異常圖，找出濕及乾春季前三個月之預報關鍵區域，再利用關鍵區域之氣壓異常值作預報。又如，Ratcliffe (1974) 則利用 500 mb 多雨與少雨差異圖作預報。若要預報 9 月份之乾濕情形，則分別求取 8 月份多雨年與少雨年之平均圖，計算差異圖，然後利用差異圖中正區與負區高度差值作預報。他們都將降水分成多雨、少雨、正常三類，獲得預報準確度高達 68%，較隨意猜測準確率 33 ½% 高甚多。另外，Harnack and Lansberg (1978) 及 Barnett and Preisendorfer (1978) 利用北半球 700 mb 高度、1000- 到 700- mb 厚度、氣溫、降水及海面溫度等來選擇類似圖，作數個美國測站季節溫度變化之長期預報。俄國亦以類比法作月及季節的預報 (Livezey and Jamison, 1977)。他們則以環流指標、平流層環流、海面溫度、巴倫支海結冰狀況等作為類比選擇的依據。

綜上所述，利用類比技術從廣大區域資料中選擇類似天氣圖，所作之長期天氣預報效果不錯，是具發展潛力的長期預報方法。至於最簡單的類比法，亦即利用變數本身之持續性作預報的方法，有時亦能稍具預報價值。但一般而言，持續法無法提供

有價值之長期天氣預報。

## b. 相關及迴歸法

此類與前類方法之區分並不十分明確。本節將討論的預報方法主要包括求取被預報變數與其他地區其他變數的相關。而前節討論之預報方法則包括只檢查一個測站一個變數本身的時間持續性；或先檢查各種天氣圖資料，以選擇與剛過去期間類似的一個或數個期間，再利用所選擇期間後之氣象狀態來預報下個月或季節將發生之天氣。相關及迴歸方法需要假設被預報變數與其他地區前一時期的觀測變數有關。許多研究顯示這種關係對某些地區的變數是存在的。譬如，Schell (1975) 發現夏威夷冬季降水與北太平洋西南地區的秋季氣壓的相關達 -0.5。又如，Bell (1976) 發現香港夏季降水與同年一月份依爾庫次克 (Irkutsk) 至東京間氣壓差的相關在 1959-1973 年間達 -0.82。但他也指出這種相關在過去一世紀中的變化十分大，前項相關在 1890 年附近 15 年的數值是 +0.3。Quinn and Burt (1970) 發現赤道太平洋中、西部發生長時間異常多降水的現象可由伊斯特島 (Easter Island) 與達爾文港 (Darwin) 間幾個月前之月平均地面氣壓差來作預報。其預報準確率高達 90%。Namias (1974) 曾建議一些尋找這類長期預報方法的原則。他認為首先應研判造成被預報變數有異常狀態的大氣環流特性，然後找尋能預報該大氣環流變化的持續法、迴歸法或其他方法。

綜上所述，迴歸及遠距離關連法至少能提供某些變數之長期預報。Barnett and Hasselmann (1979) 及 R.E. Davis (1977) 均認為在採用多重迴歸 (multiple-regression) 法選擇時，預報因子之個數不可太多，才能獲得有意義的結果。這兩篇文章是發展長期預報迴歸技術時的重要參考文獻。

## c. 宇宙星球運行的影響

地球、月球、太陽及其他星球之運行均呈現某些週期性或近似週期性。譬如，太陽對地球之照明有一年及一天之週期，以及太陽黑子之 11- 及 22- 年週期；月球軌道對地球之傾斜角度有 18.61 年之週期等。有些週期 (譬如日與年週期) 對地球之天氣及氣候有顯著的影響。但對長期預報而言，我們對長週期比較有興趣。

過去有許多文章研究太陽黑子與天氣或氣候之關係。Pittock (1978) 曾檢查 140 篇以上有關的文章。Khromov (1973) 也曾評介俄國有關的研究。他們均認為 11- 及 22- 年太陽黑子與天氣或氣候間缺乏統計上有意義之相關。就是有相關的情形，其相關也僅佔氣候變化方差 (variance) 中的很少的一部份。因此 11- 及 22- 年太陽黑子週期不具長期天氣預報之價值。此結論雖然代表絕大多數氣象及氣候學家的意見，但仍有不少致力於太陽—地球系統 (Solar-Terrestrial influence) 對天氣及氣候影響之研究。

關於 18.61 年月球週期方面，也有學者研究其對天氣或氣候之影響。由於實際氣象資料很少存在 18.61 年的氣候週期，因此我們可以推論 18.61 年月球週期對氣候的影響很小，不具長期天氣預報之價值。另外，也有關於地球轉軸小擺動，稱為 Chandler 擺動之研究。但大氣對此擺動之反應也十分小，不具預報價值。

綜上所述，宇宙星球運行的週期對長期天氣變化的影響幅度很小，不能被用來對一個月至數年天氣變化作長期預報。

#### d. 週期與時間序列法

本節討論經過分析資料所獲得大氣狀態之週期，此種大氣狀態之週期一般都沒有很强的物理基礎。Madden and Julian (1971) 曾討論對於所發現週期是否具統計意義的問題。他們認為對於那些不能用物理過程來解釋的週期，應該用較高的置信界限 (confidence level)。否則可能會有資料時間以外不存在此週期的問題。

氣象資料除了日及年週期外是否存在其他週期或準週期性呢？在過去十年有相當多致力於這方面的研究 (例如，Ulrychand Bishop, 1975)。目前僅發現熱帶低平流層準兩年週期擺動 (quasi-biennial oscillation, QBO) 是具廣泛性且有物理意義的現象。由於此熱帶低平流層之 QBO 從一個相位至另一個相位之變化是很穩定的，因此它本身的發展是可預報的。也有許多學者研究利用熱帶低平流層之 QBO 來預報熱帶及中緯度對流層天氣。例如 Reddy (1977) 研究熱帶低平流層 QBO 與印度季風開始日期的關係，Folland (1978) 研究它與中緯度天氣之關係。他們都發現有良好的關係存在。但問題是我們能否不用平流層 QBO 來

預報對流層之 QBO。事實上，有些地區某些季節是可以變數本身的 QBO 來作長期預報的 (Gorden and Wells, 1975)。但也有很多這種預報是失敗的 (Wright, 1979 b)。一般而言，利用 QBO 來作長期預報能否成功要看 QBO 所佔時間序列變化方差 (variance) 之多寡而定。這方法的可行性仍待更多的研究來進一步證實之。

氣象資料中的其他週期也有許多研究文章討論之。例如，Schickedanz and Bowen (1977) 發現美國德州 Amarillo 七月降水有 3.3, 5.7, 10.5, 16.3 及 70 年週期。資料中存在著許多不同的週期，故可推論這些週期也許重要性不高。但在物理上，某一局部地區受到局部逼迫作用是有可能造成特殊週期性的。要確定某特殊週期性的存在，除了要通過統計的重要性試驗外，還需用不同資料作校驗並能解釋造成此週期之物理過程。由於氣象資料之週期性一般均未能完全符合此三個條件，因此利用觀測之週期性來作長期預報是很難成功的。

#### e. 反饋作用及地表影響

在過去十年中有關海面溫度對大氣的影響以及在長期預報上的意義等之研究增加甚快。Namias (1969, 1972) 及 Bjerkness (1966) 首先從事這方面的研究。Namias 主要著重研究北太平洋海面溫度對北半球大氣，特別是北美洲地區的影響。Bjerkness 則著重在赤道海溫異常在長期預報上的應用。許多研究均顯示某一測站天氣與其他地區海溫異常有很好的相關。但是利用這種關係作預報是否能較持續或大氣遠距離關連法可靠就不清楚了。譬如，R.E. Davis (1978) 發現北太平洋秋、冬季氣壓異常可用海溫來預報，但也可用過去的氣壓觀測來預報，而且同時用氣壓和海溫資料並不能改進預報。假如這是一般性的結論的話，由於大氣資料時間長且較可靠，因此用海溫來作長期預報的嘗試就不值得做了。Nicholls (1979) 及 Wright (1979 a) 認為大氣與海洋之間存在交互反饋作用而不僅是海洋對大氣有單向逼迫作用。因此了解海溫在此交互作用中所扮演的角色才能正確的利用海溫來作長期天氣預報。

其他地面特性也對氣候有影響，譬如冰雪覆蓋面積的年變化可能影響氣候。這方面的研究仍是初步的。仍需等待許多進一步的研究才能確定它們在

長期預報上之應用價值。

#### f. 數值模擬

有兩類大尺度數值模式可作長期預報之用，它們是邊界值方法與初始值方法。邊界值方法是將已知下一季或一年的海溫與冰雪覆蓋面積等當作邊界條件，來計算大氣的狀態。初始值方法則是從已知初始大氣和海洋資料開始，利用數值積分計算下一個月或一季後的大氣狀態。大部份這方面之研究均採用邊界值方法，檢查海溫異常之影響。譬如 Rowntree (1972, 1976) 發現較暖之熱帶海溫會造成熱帶氣壓降低，氣溫和降水增加等。Shukla (1975) 發現索馬利亞 (Somalia) 附近之冷海溫將顯著減少印度降水量。另外，許多研究顯示副熱帶海溫對大氣的影響則較不重要。Ramage (1977) 却批評這些模式及其結果均不切實際。雖然如此，模式大氣對海溫的反應是很顯著的，若能改進模式且能事先預測海溫之變化，則此類模式可提供長期預報之參考。

另外，也有許多學者從事研究初始值方法在長期預報上之應用。譬如，Spar and Lutz (1979) 研究全球大氣環流模式是否能夠從一個月第一天的資料來真實模擬該月份大氣平均狀態。結果顯示模式在 500 及 850 mb 高度場方面之預報值優於氣候值，但在地面氣壓或區域異常氣候方面之預報能力則不理想。

前面討論的數值模式均屬動力模式，它明確計算綜觀時間尺度之變數值，再由模式獲得之逐日天氣變化計算長期平均值。另外一種數值模式是統計一動力模式。這種模式直接計算的因變數是大氣平均值（如月平均）。Saltzman (1978) 曾評介這種模式在氣候或長期預報上之應用。採用統計一動力模式的最大好處在於節省電算機時間，因此模式中包括許多可能影響大氣之物理過程，而且可以求取很長時間的積分。但這種模式需要足夠普遍、足夠精確，而包含所有對預報時間尺度有影響之物理過程，因此它的發展是十分困難的。目前存在的模式均離此目的甚遠。

綜上所述，大氣環流模式在長期預報上之應用深具潛力，但目前距離作業上應用之目標仍甚遙遠。

#### 4.2 例行長期預報之準確率

由前節知，許多類比及相關長期預報法均能獲得相當良好的預報結果。本節則將討論俄國、美國、日本及英國已發表之長期預報準確率。俄國氣象局將平均氣溫及降水分成低於正常，接近正常及高於正常三類作預報。Livezey and Jamison (1977) 曾鑑定俄國氣象局 1968 至 1975 年之季節（兩個月）平均氣溫及降水之長期預報。一般而言，氣溫預報結果優於氣候預報者，但較持續預報者為差。而降水預報則優於持續預報，但預報準確率並不高。

美國氣象局在 1974 年後將 30 天溫度預報分成三類（高 30%，中 40%，低 30%），降水預報分成兩類（高於或低於中間值）。在 1974 年以前則將氣溫分成五類，降水分成三類。美國 GAPP 委員會 (U.S. Committee for GARP, 1975) 曾詳細鑑定美國氣象局之 30 天預報。氣溫預報（分五類）在正負一類內算正確的準確率是 70.7%，隨機猜測的準確率是 50.9%，持續法則為 68.8%。而降水預報（分三類）的準確率是 37.9%，隨機猜測的準確率是 33 ⅓%，持續法為 34.6%。因此氣溫預報約較隨機猜測準確 11%，較持續法好 2.1%，而降水預報則較隨機猜測準 4 或 5%，較持續法好 3.3%。Namias (1977) 曾為美國氣象局作出實驗性季節預報。分三類的預報準確率為 42%，較隨機猜測之準確率高 9%。

Wada (1975) 亦曾鑑定日本氣象廳 1964 至 1966 年之長期預報。一般而言，當時日本氣象廳之日長期預報與隨機猜測之準確率相近，沒有預報技術可言。

英國氣象局自 1963 年開始發佈 30 溫度（分五類）及降水（分三類）之預報。許多鑑定預報技術的文章發表，但結果並不一致。部份學者（例如，Jenkinson 1975）認為長期預報結果較氣候及持續預報者均佳。但也有部份學者認為長期預報結果並不比隨機猜測者為優 (Gordon, 1974)

綜上所述，一般長期預報作業之準確率不高，並不優於持續法。因此長期預報作業之準確率遠較許多研究結果差。有幾個可能的原因。首先，氣象局必須對所有它管轄區域，所有季節作長期預報，而大部份方法只適用於某些區域，在其他季節或其他地區就不適用了。另外可能在發展預報技術所採用的資料中兩變數相關高，但這種高相關有可能是

隨機發生的，因此在作實際預報時就不準了。若能在原始選擇歷史資料時限制預報因子，並採用適當的重要性試驗則可避免此缺點。

## 5 氣候預報

氣候變遷與社會及經濟之穩定息息相關。事實上冰河期在近期發生的可能性是微乎其微的，並不構成真正的威脅。對人類構成嚴重影響是降水、氣溫及農業區結霜等之不規則變化。特別是在邊緣地區，如乾的副熱帶地區，較冷的加拿大、西伯利亞等，對於降水或溫度的小改變都能造成人類的災區。世界穀物存量只有一年消耗量的百分之幾而已，因此乾旱、冷季都會有即刻的影響。隨著世界人口的增加，此問題將更形嚴重。若要減輕氣候的影響，勢必對氣候、氣候變遷及其對糧食影響的評估等有所了解。目前我們對氣候的知識增加了不少，但對氣候變遷的了解却微乎其微。故目前的氣候預報能力是趨近於零的。許多國際組織與國家都注意到此問題的嚴重性而加強這方面的研究工作。譬如聯合國氣象組織及國際科學聯會所共同推動的全球大氣研究計劃，曾舉辦了多次大型國際實驗，此計劃並於1980年收為世界氣候研究計劃。而在美國及日本氣象局都設了對應的氣候中心。故，氣候研究將是1980年代的重要課題。

氣候系統大致可分為大氣、海洋、結冰圈、土地（包括湖泊、河川、地下水等）、生物羣（包括人類、動、植物等，對二氧化碳收支，反照率及水循環都有重要影響）。而影響氣候的因子則包括日照量、反照率、雲覆蓋量、風、水汽、二氧化碳、臭氧、洋流、冰雪覆蓋量等。

由於氣候系統極其複雜，因此定性討論氣候變遷都是很困難的事。是故，數值模擬在氣候研究上扮演重要角色。最近大氣環流模式已經提供許多對大氣環流有價值的知識。但利用大氣環流模式研究氣候問題受到電算機能力的限制。因此需要有高度參數化，可允許較長時間間距的氣候模式。至於模擬所需要之資料，目前有約四十年的高空天氣資料，約一百年的地面天氣資料以及更長時間的地質年代及樹圈資料。這些資料距離模式所需者，仍甚遙遠（參考 Haltiner and Williams, 1980）。

綜上所述，氣候變遷的研究是重要研究課題，目前氣候模式及氣候資料均離實用階段甚遠。不過

許多國際組織及國家均已注意積極加強這方面的研究了。

## 6 結 論

本文首先介紹大氣可預測度的觀念，並分別定義短期、中期、長期天氣預報及氣候預報。然後分別討論中期、長期天氣預報及氣候預報問題。我們定義兩天以內的天氣預報為短期預報。在兩天以內綜觀天氣系統的強度及尺度變化小，因此數值天氣預報準確度十分高，主觀分析圖作預報也容易成功。在這方面的未來研究重要課題是增進對中小尺度系統的了解及預報。

本文定義中期預報為三天以上約至兩週期間的天氣預報。中期天氣變化的數值預報準確度較低，主觀分析圖作預報十分困難。但中期天氣預報仍是大氣可預測度範圍內的問題。因此數值天氣預報是主要方法，而天氣圖類比法則為主觀預報的主要參考。在這方面的未來研究重要課題是改進數值模式及加強動力氣象學的研究。

在本文中，長期天氣預報則定義為對某一個月、一季或一年平均天氣特性的預報。長期天氣預報的期限大致包括一個月至五年或十年。有兩類可行的長期天氣預報方法，它們是類比法及相關一迴歸法。前者著重在利用類比技術從廣大區域資料中選擇類似的平均天氣圖，後者則偏重在求取被預報變數與其他地區其他變數前一時期觀測值的相關。至於利用宇宙星球運行的影響及資料週期性來作長期天氣預報的效果，一般均不佳。數值模擬及研究大氣與海洋間的交互反饋作用等則為具發展潛力的方法。

至於氣候預報（約十年以上）方面，目前的預報能力趨近於零。但由於氣候的不規則變化對於糧食的生產、社會及經濟的穩定等均息息相關，因此氣候變遷的研究是未來氣象研究的重要課題。這方面研究將以數值模擬為主。目前氣候模式及氣候資料均離實用階段甚遠。不過許多國際組織及國家均已注意積極加強這方面的研究了。

國內若要發展短期及中期天氣預報則必須盡速發展數值天氣預報並加強天氣學和動力氣象學之研究工作。至於長期天氣預報方面，則必須盡速研究台灣地區可行之天氣圖類比法及相關一迴歸法。本研討會中，陳進文、蔡清彥之「台灣地區梅雨季雨

量之長期預報」，任立渝、蔡清彥之「台灣地區冬季異常氣溫之長期預報」以及徐年欽、蔡清彥之「經過台灣地區颱風頻率之長期預報」等文章均屬於利用天氣圖類比及相關法所作之長期預報研究。

## 7 參考資料

蔡清彥·王時鼎，1981：波動間非線性能量交換與寒潮爆發，國立台灣大學大氣科學系研究報告WMS-03，28pp。

蔡清彥·張智北，1981：熱帶大尺度環流，紀念馮融華博士氣象評介論文集，p.47-91。

Barnett, T. P. and K. Hasselmann, 1979: Techniques of linear prediction with application to oceanic and atmospheric fields in the tropical Pacific, Rev. Geophys. Space Phys., 17, 949-968.

Barnett, T. P., and R. W. Preisendorfer, 1978: Multifield analog prediction of short-term climate fluctuations using a climate state vector, J. Atmos. Sci., 35, 1771-1787.

Bell, G. J., 1976: Seasonal forecasts of Hong Kong summer rainfall, Weather, 31, 208-212.

Bjerknes, J., 1966: A possible response of the atmospheric Hadley circulation to the equatorial anomalies of ocean temperature, Tellus, 28, 820-828.

Davis, N. E., 1978: Prospects for winter 1978/79, Weather, 33, 480.

Davis, R. E., 1977: Techniques for statistical analysis and prediction of geophysical fluid systems, Geophys. Astrophys. Fluid Dyn., 8, 245-277.

Davis, R. E., 1978: Predictability of sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean, J. Phys. Oceanogr., 8, 233-246.

Folland, C. K., 1978: The quasi-biennial and biennial cycles, Weather, 33, 364-365.

Gordon, A. H., 1974: The accuracy of weather forecasts, Nature, 252, 294-295.

Gordon, A. H., and N. C. Wells, 1975:

Odd and even numbered year summer temperature pulse in central England, Nature, 256, 296-297.

Gordon, A. H., and N. C. Wells, 1976: Changes in temperature from month to month for central England for a quintile distribution, J. Appl. Meteorol., 15, 928-932.

Haltiner, G. J. and R. T. Williams, 1980: Numerical prediction and dynamic meteorology. John Wiley & Sons Inc., 477pp.

Harnack, R. P., and H. E. Landsberg, 1978: Winter season temperature outlook by objective methods, J. Geophys. Res., 83, 3601-3616.

Jenkinson, A. F., 1975: The accuracy of the Meteorological Office longrange weather forecasts, Weather, 30, 288-290.

Khromov, S. P., 1973: Solar cycles and climate, Meteorol. Gidrol., 9, 90-112.

Leith, C. E., and R. H. Kraichman, 1972: Predictability of turbulent flows, J. Atmos. Sci., 29, 1041-1058.

Livezey, R. E., and S. W. Jamison, 1977: A skill analysis of Soviet seasonal weather forecasts, Mon. Weather Rev., 105, 1491-1500.

Lorenz, E. N. 1969a: Three approaches to atmospheric predictability. Bull. Amer. Meteor. Soc., 50, 345-349.

Lorenz, E. N., 1969b: The predictability of a flow which possesses many scales of motion, Tellus, 21, 289-307.

Lorenz, E. N., 1969c: Atmospheric predictability as revealed by naturally occurring analogues. J. Atmos. Sci., 25, 636-646.

Madden, R. A., and P. R. Julian, 1971: Detection of a 40-50 day oscillation in the tropic Pacific, J. Atmos. Sci., 28, 702-708.

Murray, R., 1973: Forecasting seasonal rainfall and temperature for England and Wales in spring and autumn from



- anomalous atmospheric circulation over the northern hemisphere, Meteorol. Mag., 102, 15-26.
- Namias, J., 1969: Use of sea-surface temperature in long-range prediction, in Sea Surface Temperature, WMO Publ. 247, Tech. Note 103, World Meteorol. Organ., Geneva.
- Namias, J., 1972: Large-scale and long-term fluctuations in some atmospheric and oceanic variables, Nobel Symp., 20, 27-48.
- Namias, J., 1974: Suggestions for research leading to long-range precipitation forecasting for the tropics, paper presented at International Tropical Meteorology Meeting, Amer. Meteorol. Soc., Nairobi, Jan. 31 to Feb. 7.
- Namias, J., 1977: Forecasting climatic fluctuations: The winter of 1976-77, Science, 196, 1386-1387.
- Namias, J., 1978: Persistence of U. S. seasonal temperatures up to one year Mon. Weather Rev., 106, 1557-1567.
- Nicholls, N., 1979: A simple air-sea interaction model, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 105, 93-105.
- Nicholls, N., 1980: Long-range weather forecasting: value, status, and prospects. Rev. Geophys. Space Phys., 18, 771-788.
- Pittock, A. B., 1978: A critical look at long-term sun-weather relationships, Rev. Geophys. Space Phys., 16, 400-420.
- Quinn, W. H., and W. V. Burt, 1970: Prediction of abnormally heavy precipitation over the equatorial Pacific dry zone, J. Appl. Meteorol., 9, 20-28.
- Ramage, C. S., 1977: Sea surface temperature and local weather, Mon. Weather Rev., 105, 540-544.
- Ratcliffe, R. A. S., 1974: The use of 500 mb anomalies in long-range forecasting- Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 100, 234-244.
- Reddy, S. J., 1977: Forecasting the onset of southwest monsoon over Kerala, Indian J. Meteorol. Hydrol. Geophys., 28, 113-114.
- 33, 363-364, 1978.
- Rowntree, P. R., 1972: The influence of tropical east Pacific Ocean temperatures on the atmosphere, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 98, 290-321.
- Rowntree, P. R., 1976: Response of the atmosphere to a tropical Atlantic Ocean temperature anomaly, Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 102, 607-625.
- Saltzman, B., 1978: A survey of statistical-dynamical models of the terrestrial climate, Advan. Geophys., 20, 184-304.
- Schell, I. I., 1975: Space-time coherence analysis for a partial solution of the long-range weather prediction problem, in Proceedings of the WMO/IAMAP Symposium on Long-term Climatic Fluctuations, Norwich, August 1975, WMO Publ. 421, pp. 429-438, World Meteorol. Organ., Geneva.
- Schickedanz, P. T., and E. G. Bowen, 1977: The computation of climatological power spectra, J. Appl. Meteorol., 16, 359-367.
- Shukla, J., 1975: Effect of Arabian Sea surface temperature anomaly on Indian summer monsoon: A numerical experiment with the GFDL model, J. Atmos. Sci., 32, 503-511.
- Shuman, F. G., 1978: Numerical weather prediction. Bull. Amer. Meteor. Soc., 59, 5-17.
- Smagorinsky, J. 1969: Problems and promises of deterministic extended range forecasting. Bull. Amer. Meteor. Soc., 50, 286-313.
- Spar, J., and R. Lutz, 1979: Simulations of the monthly mean atmosphere for February 1976 with the GISS model, Mon. Weather Rev., 107, 181-192.
- Ulrych, T. J., and T. N. Bishop, 1975: Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition, Rev.



- Geophys. Space Phys., 13, 133-200.
- U. S. COMMITTEE FOR GARP, 1975: Understanding climatic change: A Program for Action, National Academy of Sciences, Washington, D. C.,
- Wada, H., 1975: Long-range weather forecasting, Geophys, Sury., 2, 73-115.
- Wright, P. B., 1979a: Persistence of rainfall anomalies in the central Pacific, Nature, 277, 371-374.
- Wright, P. B., 1979b: Next summer's weather, New Sci., 82, 942-943.