

中央氣象局委托研究計劃報告CWB86-3M-07

中央氣象局中長期天氣及氣候預報
現代化計劃規劃書

主持人

美國麥迪遜威斯康辛大學大氣海洋科學系

王寶貫

1996年七月一日至1997年六月三十日

1. 中長期天氣及氣候預報之重要性

天氣及氣候影響人類社會之運作至為重大。小自每個人的生活起居、健康情緒，大至一個國家，乃至一個世界地區的整體安定，皆無所不在地受到天氣及氣候條件之調控。正是因為有鑑於這種調控的重大影響，近世大多數國家都設有氣象機構，專司氣象資訊之收集、整理、分析、及發布，以及從事各種時空尺度，不同對象之天氣預報。

到目前為止，一般民眾對氣象業務之著眼點大都是注重在短期天氣變化方面，對於中長期的天氣及氣候變化，感受並不十分迫切。這種現象的主要原因，當然是因為短期內的劇烈天氣變化（雷雨、龍捲、颱風等等）每個人有目共睹，其影響可以直接觀察得到、感受到。而中長期的天氣及氣候變化，則並不是一般人可以覺察得出來的，而是需要有適當的長期天氣資料經過整理分析才能得出。而這種長期變化的影響也是比較漸進的，一般民眾對之感覺不是十分尖銳，甚至是不知不覺。惟有從事大型事業以及規劃國家大型計劃的人員方能從他們的業務資料中看出這種影響。

然而實際上，中長期天氣異常的後果往往比短期的劇烈天氣還要可怕。舉例而言，嚴重的水旱災往往引起一個地區的大規模動盪。像近幾年中國大陸長江中下游及淮河地區夏季常有持續之大雨，因而造成水災，導至數百萬乃至數千萬之災民流離失所。今年（1997）的情況也不樂觀。四川、雲南、湖北、福建、江西、湖南之大片地區皆出現嚴重之暴雨形成之洪水。至於旱災，更是中國歷史上多次改朝換代的原始推動力。明末清初李自成、張獻忠之農民暴動便是由於中國西北地區持久的乾旱而掀起來的。

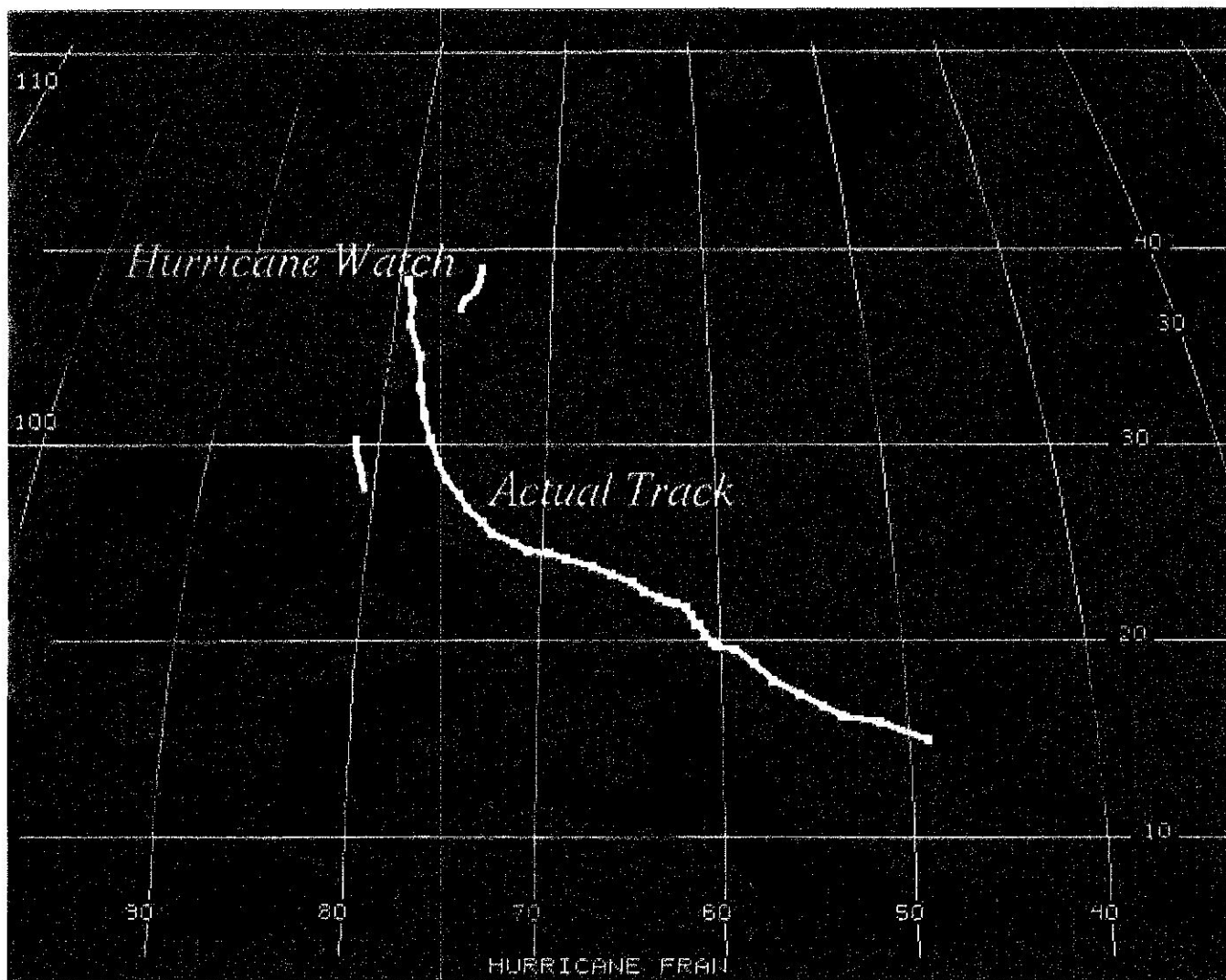
在印度次大陸，夏季季風所帶來的雨量是維持當地農作的最重要因素。因此季

風抵達過遲或過早，代表稻米之大量欠收，從而導至數以千萬計的飢民。而孟加拉地區，一次颱風之侵襲，往往代表數千至數萬人喪失生命。至於財產之損失更是難以估計了。

以上這種中長期天氣異常所造成的惡果，如果事先能有確切的中長期天氣預報，則政府有關部門或能先期制定對策，保護人民之生命財產，把各項損失減至最低。一個正確的長期天氣預報，其所發揮的經濟效益是十分巨大的。舉例來說，根據美國防災部門的估計，在每次侵襲美國東岸的颱風事件中，中期氣象預報出可能侵襲地區範圍約1000哩左右（圖一）。如果能在這1000哩中再把範圍每縮小一哩，則能省下64萬美元。換句話說，如果颱風之侵襲「點」能夠準確地預報出來，則能節省下來的經費是 $64萬 \times 1000 = 6億4千萬美元$ ！這還是僅就疏散一項來估算所得的結果而已。如果作全盤考慮，其價值當不止此數。

然而，以上所提到的，還只是發展中長期天氣預報的「消極」效益。除了這些之外，發展中長期天氣預報還有許多「積極」的經濟效益。例如：

- 重大工程施工計劃之制定—大型橋樑、公路、鐵路等之施工進行，顯然受制於天候因素。正確的中長期天氣預報可以提供寶貴資訊來制定施工計劃之時日。
- 國防軍事行動計劃—不論是陸、海、空軍之軍事行動，都必須考慮氣象因素。從二次大戰之戰史中，可以見到許多必需利用天候條件來制定作戰計劃之例子。例如亞丁之役（即 Battle of Bulge，電影坦克大決戰之主題）中，德軍利用中長期預報得出有幾天的大霧有利於戰車之推進。而諾曼第之役，盟軍更是對天候狀況前前後後作了詳細之推演，即使現代的所謂「全天候」的飛機、艦艇照樣不能免於天候的制約。如有中長期天氣預報為之指導，則行動計劃可望周全。



圖一 颶風預報可能之侵襲海岸線（紅色-警戒線，黃色-監視線）長度約1000哩左右。白線是實際路。每多準1哩可節省\$640,000。

- 能源之儲備規劃—天氣氣候與能源之需求息息相關。炎熱而漫長之夏季天氣很容易造成電力公司供電量不敷需求，而寒冷之冬季又會造成取暖用之燃料不足。這種情況即使在先進國家如美國也是常有之事。再者，在依賴水力發電一定程度之國家（如台灣），降雨不足造成水庫缺水也同樣引起供電量不足。這些問題，如果能有準確的中長期天氣氣候預報資料來事先加以儲備規劃能源燃料之供需，一定可以將損失減至最低。
- 農業糧食之調配儲存—農業與天氣氣候的關係是人盡皆知的了。在冷戰期間，美國把農產品作為戰略物資，用來操控一些對前蘇聯威脅之對策。而「民以食為天」，無論平時或戰時，糧食之調配儲存絕對是每一個國家最優先考慮的政治方案。這類問題，如有中長期天氣氣候預報作為參考，將大大減低制定政策的難度。

以上所舉，只是一些較為顯著的效益。實際上，正確的中長期天氣預報之經濟效益絕不只上面提到的這些。這裏只是指出，中長期天氣及氣候預報有十分重大之經濟效益以及政策上的重要性。凡是現代化的國家，都不應忽視這項重要的氣象技術。

2. 中長期天氣及氣候過程的特性

根據世界氣象組織 (WMO, 1984) 之定義, 「長期天氣預報是指對典型之時間尺度為一個月或一季之大尺度環流及天氣一般動態之預測。長期天氣預報時間之下限, 乃是個別天氣尺度中每日天氣系統的可預報性之實際極限, 即一到二個星期」。由這個定義看來, 我們可以把兩個星期以上之天氣預報稱之為長期天氣預報。

美國國家氣象局有更為詳細的劃分: (1) 48小時以下之天氣預報為短期天氣預報; (2) 3天至5天之天氣預報為展期天氣預報; (3) 6天至二星期之預報稱為中期天氣預報; (4) 二星期以上之預報稱為長期天氣展望。台灣地區之中長期天氣預報, 似可參照美國國家氣象局之方案來施行。至於以一月為期之月預報, 以一季為期之季預報, 目前台灣皆有已定之程序。而一年以上之預報, 一般都稱之為氣候預報了。

關於中期天氣過程之特性, 幾年前在一篇拙文中 (王寶貫, 1991) 曾略加討論, 故在此我們僅作為簡單之綜述。此綜述之目的, 是因了解後面詳列關於本規劃書所採用方針之理由。

中長期天氣過程與短期天氣過程頗不相同。以下是幾項比較重要的差異:

(1) 外在熱源的重要性

短期天氣過程中的大氣運動的能源, 主要是由於大氣中之可用位能 (Available Potential Energy, 簡稱APE) 中之一部分被轉換成為動能。雖然在強對流區含有因凝結而釋放的大量潛熱, 但是這些局部的加熱作用對短期運動的影響不大。因此, 短期天氣預報的著眼點乃是大氣的動力過程。即使

不考慮潛熱、摩擦力等因素，光憑運動方程式外推，也可將短期大氣運動之大概模擬出來。

然而對長期天氣過程而言，這些由 APE 轉變而成之動能如果沒有其它能源繼續補充的話，則會在一周內被摩擦力消耗殆盡。可見這種過程對一週以上之長期天氣並非主要。倒是外在的熱源變得重要起來。正是這些外在熱源的影響，使得大氣運動逐漸偏離原來的正常演變途徑，從而產生長期天氣的變異。

在所有的外在熱源中，又以海洋的加熱場最為重要。這一來是因為海洋占地球表面積的70%，二來海水之比熱比陸地要大。這兩個因素使得海洋每年提供給大氣的能量約為陸地的4倍。因此在考慮發展中長期天氣預報技術的方案中時，我們不能不考慮海洋加熱場對大氣的影響，而這種影響，是透過海—氣相互作用（Air—Sea Interaction）來進行的。

當然，我們不能只看海洋，而不管陸地，畢竟陸地的加熱場也提供了有海洋1/4 的热量。這仍是一個不容忽視的比率。尤其像台灣各半年的長期天氣過程，絕對是受到亞洲大陸加熱場的調控，因此陸地—大氣相互作用之研究也是不可少的。

（2）長期天氣過程的空間尺度

由於長期天氣預報之對象是大約一個星期以上的天氣，我們當然有必要考慮在這段時間之內，大氣運動的可能改變。以中緯度的天氣擾動來說，一個擾動的進行速度，經向大約30—40經度，緯向則每天10度左右。由此看來，在10天左右，這個擾動之影響，即可傳遍全球。這同時也可以理解成，一

個地點之長期天氣，是可能受到全球其他地區之天氣及地表狀況所影響的。即以台灣而論，不但上游地區的中國大陸之大氣及地表情況會影響台灣之天氣，即下游地區之太平洋，甚至南太平洋及大西洋之異常，也會對台灣地區的長期天氣動態產生影響。這裏是指出，爲要正確地制作台灣地區中長期天氣預報，我們有需要蒐集全球的大氣狀況！

(3) 反饋作用

在長期天氣過程中，大氣與其下墊面是不斷地相互影響的。下墊面的熱量固然引起其上的天氣變化，而天氣的變化也同時引起了其下墊面物理狀態的變化，因而造成了一連串的連鎖變化。舉海洋爲例，海面溫度場的變化可能引起了大氣溫度、濕度、及氣壓場之變化，從而造成長期天氣的變異。不同的風場吹在洋面上，引起不同的風吹洋流。假使此洋流把海洋表面的溫水流走，便會引起海洋深層的冷水上翻，連帶地引起了海面溫度場之改變，於是乎又開始了下一步長期天氣過程變異之連鎖反應，這種大氣海洋相互影響之作用，便是反饋作用的一個例子。除了大氣—海洋相互作用之外，即使在大氣中也存在著反饋作用。成雲過程便是一個眾所周知的例子。總而言之，在了解長期天氣的物理過程中，反饋作用是不可忽略的一環。

3. 引起台灣地區中長期天氣的一些重要天氣氣候現象

雖然我們在上節提到，全球各地區的天氣變化及其下墊面的物理情況都可能影響到台灣地區的中長期天氣變化，這並不就是說，台灣地區的中長期天氣變化對各地區的變化同樣敏感。事實上的情況是，本地之變化與某些特定地區有強烈的相關，而和另外一些地區又似乎關係不大。發展中長期天氣預報技術的要項之一，便是找出這些與台灣地區的中長期天氣過程有重要影響的天氣及氣候現象，值得在發展中長期天氣預報技術方案時認真考慮：

(1) 海洋溫度場的影響

我們上面提過，海洋對大氣運動每年所提供的熱量為陸地的4倍，因此顯然海面溫度場的異常對長期天氣過程有重大影響。我們（王和劉，1994）曾對台灣地區的六個大站的降雨量和全球海溫異常場作相關分析，而得出一些有用的初步結論，指出全球海面某些地區（例如巴西之東海岸附近）之海面溫度異常（尤其是負異常值）與半年後之台灣地區之降水含有強烈之相關。這種海溫異常與長期天氣之間的關係，絕對值得再作進一步的探討。

(2) ENSO現象與台灣中長期天氣之關係

和上述海溫場有密切關係是所謂的ENSO（El Nino - Southern Oscillation, 艾爾尼紐—南方振盪）。現在已知 ENSO和全球許多地區（但不是全部）的中長期天氣及短期氣候有強烈的關係。職是之故，美國及歐日等國相當重視發展能夠預測 ENSO行為之模式，俾能利用這種關係來作長期預報。ENSO與東亞地區的環流和台灣的長期天氣有何種關係？顯然是一個重要的課題。

(3) 全球指數循環對台灣長期天氣之影響

台灣位於東亞季風區的亞熱帶部分，並非完全處於熱帶地區，因此免不了會受到中緯度的大氣環流所影響。尤於中緯度環流主要是西風帶的環流，因此若能了解西風帶的變化情況，也能增益我們關於中緯度環流影響台灣長期天氣的關係。Rossby 曾經提出一個所謂西風指數的概念—高指數代表緯向環流強烈，低指數則代表經向環流強烈—來敘述西風帶緯向環流及經向環流的消長。這種經向緯向環流的交替出現稱之為指數循環 (Index Cycle)。各種指數皆對應某一特定的天氣型式，而其周期往往介於20天至45天之間，這大約相對於近來討論頗為熱絡之30—60天低頻振盪。目前對這種周期變化的機制尚不十分清楚。若能掌握它的變化規律，則能較好地了解中緯環流如何影響台灣天氣。

(4) 長波及超長波之變化規律

長期天氣過程之主導系統，顯然是長波系統 (包括超長波)。這是由於短波系統在大氣中衰減得很快，顯然不足以引起長期天氣變化。例如波數為10的短波在4天之內便可以衰減到原振幅的1/10，因此顯然不會對一星期以上之天氣有何重要貢獻。反之，波數為5的中波衰減一半約須5天，衰減到1/10約須15天。而波數為1-3的長波振幅衰減一半約須13-80天，可見1-3波對長期天氣最為重要，因此掌握長波系統之動向及規律，也是一項重要的中長期天氣預報課題。已經有研究指出，超長波對於東亞地區冬季之寒潮爆發之中期預報，以及阻塞過程之預報均有不可忽略之效果。

(5) 西北太平洋高壓之動向

東亞季風區在夏半年顯然受到強烈的太平洋副熱帶高壓的影響。這個“副高”支配著東亞地區夏季大範圍的氣溫、降水及早澇情況，而位於此區東緣的台灣自亦不例外。我們有迫切需要了解這個副高動向的規律以及它對台灣長期天氣的影響。應當用適當的特徵（例如中心強度、面積、脊線或脊點位置等等）來尋求它們和天氣型式的關係。

（6）梅雨現象

這是眾所周知的東亞季風區的降水現象。雖然一般是指中國長江中下游春末夏初的降雨，但是比此稍前的台灣以及華南地區的降水其實是屬於同一個系統。這是一個空間尺度大而時間尺度長的大型天氣過程，和東亞大陸環流的季節躍進有密切的關係，因而梅雨的年際變化也就指出了東亞大氣環流的年際變化情況。

從梅雨發生的地帶來看，這個現象本身便是一個副熱帶環流的產物。這個環流在東亞由青藏高原、梅雨大槽及西北太平洋副高組成一個超長波系統，形成一個“超長波槽”。這個槽可以一直延伸到中南半島，把日本之梅雨、中國與台灣之梅雨，以及印度季風三者聯成一個體系。由於印度季風絕對和南半球的天氣過程有關，因此也牽扯到越赤道環流的問題。總之，東亞梅雨的問題也是作台灣中長期預報所不可避免的課題之一。

（7）颱風

颱風系統帶來的降雨是台灣地區總降水量的一個很重要的成份，因此先不提防災的重要性，僅僅是降水的問題便是一個台灣中長期天氣預報中極其重要的一環。以全球來說，西太平洋地區又是全球熱帶風暴發生最多的區域

，大約有36%的全球熱帶風暴發生於這個地區。而台灣之緯度又恰好位於西太平洋颱風的平均轉向點附近，所以格外地難以預報。

颱風路徑受到多種複雜的天氣因素所控制，但是所謂的駛流（Steering flow）算是主要的一個機制。問題是：怎樣預測駛流的動態？這便是研究颱風路徑的一個重點。其中西風長波帶的調整（東亞盛夏高緯度阻塞高壓之建立與崩潰），青藏高壓與西太平洋副高之間的相互作用，以及熱帶輻合區環流之調整三者對颱風之移動路徑都有密切關係，都是中長期預報技術發展中所需詳細討論的對象。

（8）寒潮爆發

寒潮爆發是台灣冬季中長期預報的主要對象之一。寒潮爆發本是中高緯度西風帶大型環流調整的結果，但是由於台灣位於東亞大陸的邊緣地帶，因此仍會被「波及」。寒潮爆發可以由於繞極渦旋（Circumpolar vortex）之分裂，成為偶極型環流，使得在極渦西側的槽和冷空氣急遽南下；或是由於亞洲地區的不穩定小槽之發展，導至東亞大槽之重建，而造成寒潮爆發；或是烏拉山區之大槽東移，也可能造成寒潮。因此這幾個環流型式之演變規律，是作寒潮中長期預報的掌握對象。

以上僅是舉出，作台灣地區的中長期天氣預報所須注意的一些特殊天氣現象或氣候因子。與中長期預報有關聯的天氣氣候因子甚多，可以說千頭萬緒，上面只是一些例子。更完善的考慮當有待於未來專屬機構設立之後再來詳細研討。

4. 發展台灣地區中長期天氣預報的幾個中心構想

從上面幾節的敘述，我們可以了解欲發展中長期天氣預報所必須面對的一些事實現象。想要掌握這些長期天氣變化並不是一件容易的事，這是需要投下相當的人力、物力、財力，並遵循一個確實的發展計劃才得以完成的。這一點即使在科技先進國家（歐、美、日）也尚未能達到要求。他們的長期天氣預報的準確度也仍然有待改進。錯誤的預報也一樣受到不了解此中辛苦的報章媒體所譏諷。但是我們如果從歷史演進來看，現在他們的預報已經是比初起之時有長足的進步了，而他們的國家也不知收到多少這些長期預報的經濟效益了。

至於台灣地區的中長期天氣預報，也並非全然沒有基礎。從徐等人（1991）及曾（1991）之報告中，可以看出，中央氣象局預報中心長期天氣預報課的同仁對本地區的中長期天氣預報技術有相當的掌握，並有一定程度的開發了。本規劃書的主旨便是在這個已經有的基礎上再進一步建立起一套更完善的中長期天氣預報系統來。

下面是幾個發展這個中長期天氣預報系統的幾個中心構想：

（1）成立一個專屬的「氣候預報中心」

目前長期預報課屬於預報中心，設有課長一人，預報員三人，另約聘一人（徐等人，1991）。對於日益複雜的中長期天氣及氣候預報工作來看，這顯然是不夠的。建議成立一個專司長期天氣及氣候預報的「氣候預報中心」，來負起研究中長期天氣變化規律，開發中長期天氣氣候預報技術，整理並分析歷史天氣氣候資料，並實際制作中長期天氣及氣候預報。

我們認為，人員編制至少應在20—25人左右。這個數目遠遠少於美國或歐洲同類的機構。美國國家氣象局的氣候預報中心（Climate Prediction Center, CPC）編制有六十多人，而歐洲的中期預報中心（ECMWF）規模也是龐大、不過 ECMWF 是18個國家集資合成的，屬於國際級機構，也許比較難以直接拿來相比。也許有人會認為台灣地區頗小，是故不用那樣多人員。問題是，我們上面提過，長期天氣的涉及範圍是涵蓋全球的，因此要處理這些涵蓋全球的天氣氣候資料，加以分析、運用、作出模式、繪圖，然後又要對不同的預報項目作出特別的預報，上述這些人數猶恐有所不足。實際上，我們還應該善加利用國內外有專長的專家學者來參加這一項工作。這一點下面還要再提到。

（2）成立一個顧問團

我們建議，應成立一個由學者專家所組成的顧問團（Advisory Board）作為氣候預報中心的諮詢顧問對象。顧問團的成員大部分應由各學術機構（國內或國外）對長期天氣及氣候過程學有專長的學者組成，但也應有至少一位中央氣象局的代表參預其事。學者之中，亦可以有外籍學者，惟需學有專長，並樂意參與台灣之長期預報者。

顧問團的任務是：①擬定中長期天氣及氣候預報的研究及發展方針，②提供氣候預報中心有關中長期天氣及氣候過程及預報技術的學術資訊，③定期檢討氣候預報中心工作成效，並提出修正或改善之建議。這個顧問團的主要性質為諮詢及評議。氣象局對顧問團之建議應儘量予以尊重採納，但中央氣象局應保有對氣候預報中心任何業務的最後決定之行政權責。

顧問團的人數最好在10人以下。如果人數不能過少，（譬如有十幾個人

），則可以考慮在團內另成立人數5人以下之執行委員會（Executive Committee），用以擬定決議之細則，以及執行綱要（Exevutive Summary）。

（3）研究與應用並重的方針

如眾所周知，長期天氣及氣候預報並非一門久已成熟的學問，即使科技先進國家對這個課題也仍然在摸索研發的階段。這裏並沒有現成的機器，裝上一些“罐頭”軟體（Canned Software），按個鈕就有產品掉出來的。因此氣候預報中心成立之後，應採取研究及應用並重的業務方針。一方面儘力開發短期即可應用之預報方法，一方面則竭力爭取研究中長期天氣及氣候過程之物理動力機制，以期增進對這些過程之了解，從而改善預報技術。

如有可能，中心之研究人員應設法將研究成果發表於科學期刊，或至少定期撰寫研究報告，交由顧問團評議。

（4）建立與學術界之合作關係

如上條所述，氣候預報中心所從事之業務有很濃厚的研究成份。在有限的人力、經費、及研究資源的情況下，中心應爭取建立與學術界之合作關係，以期利用學術單位已有的資源，配合中心本身之資源，以達到事半功倍的效果。

顧問團的成員既是大多數來自學術單位，應有義務協助中心建立與學術界合作之管道。

(5) 參考引進外國先進預報科技

雖說各國對於長期天氣及氣候預報仍在研發階段，畢竟科技先進國家對這方面的起步較早，故在方法上已經取得一定成果，值得引進參考借鏡。

目前在長期天氣及氣候預報方面較為進步的機構有美國之氣候預報中心，歐洲中期預報中心，英國氣象局之 Hadley Center，以及澳洲氣象局之長期預報小組。另外日本氣象廳之長期預報室對東亞地區有獨到之心得，印度氣象局對印度季風及南半球之環流亦有獨到之處，也應值得借鏡。

此外，值得注意的，是中國大陸的長期天氣及氣候預報的情形。他們的起步較早，在五十年代即有涂長望，顧震潮等人開始注意這方面的業務，迄今頗有一定規模。目前中國國家氣象局設有一個中國氣候中心，由丁一匯主其事。由於大陸之環流型式與台灣之天氣關係十分密切，因此他們的一些結論及科研成果亦可以應用於台灣地區。因此我們也應密切注意。

(6) 定期舉辦工作會議及科學會議

氣候預報中心成立之後，將應陸續有研究成果以及各項預報結果。這些結果應於一定期間（最少每年一次）舉辦工作會議（Workshop），檢討這一期間內之研究及預報成效。

此外，中心的一些研究及作業成果也應有整個氣象科學上的意義。可以考慮於較長之期間內（例如兩年一次）召開主題較為廣泛之科學會議（Scientific Conferences），廣邀各界學者參與，以期收集思廣益之效。

(7) 擬定長期天氣及氣候預報人才培訓計劃

氣候預報中心之成功，除了起始的計劃完善之外，實有賴於中心人才能得以繼續培養成長。目前國內長期天氣及氣候預報之人才，似以診斷分析為主，而於數值模擬及預報之人才則相對缺乏。建議氣象局應擬定一個長程計劃，積極培養這方面之人才，選派適當人員到科技先進之國內外單位進修，以充實中心之預報及科研能力。

(8) 發展適合台灣地區特殊地理情況之長期天氣氣候預報

台灣的地理位置十分特殊，不但四面環海，從東面受到北太平洋副熱帶海洋性氣團的影響，又且位於東亞大陸的邊緣，因而也同時受到大陸性氣團的強烈影響。因此在制作中長期天氣預報時，均必須考慮這兩者之消長。抑有甚者，這裏正是東亞季風區內，最大的海洋（太平洋）與最大的陸塊（歐亞大陸）之交接處。季風本來便以區內天氣之不均勻而馳名，在這海陸交界處，加上北回歸線橫貫台灣中部的地理因素，使得本區的長期天氣預報須作諸多考慮。

以上是指出，在引進國外技術之時，我們必須注意評估這些技術是否適合本土情況。我們最終的目的，是要發展出一套適合台灣地區特殊情況之中長期天氣氣候之預報技術，而不是盲目地採用一些“世界聞名”但卻不見得適合本地的預報模式。

(9) 建立與民眾溝通管道

台灣目前是一個民主國家，任何之行政措施免不了會在某種程度上受到

民意的監督。氣象局以及將成立之氣候預報中心既是政府之公立機構，也自然需要注意民眾關係。一般民眾對天氣預報本來便存有許多誤解（即使在48小時預報準確度已超過 85%的今天），我們可以預見，對長期天氣及氣候預報會有的誤解可能更多。建議氣象局應建立與民眾溝通的適當管道，以灌輸正確的氣象科學概念，教育民眾。

5. 目前各國中長期天氣及氣候預報技術的一般情形

如前所述，目前即使在科技先進國家，中長期天氣及氣候預報仍未能臻於理想，而氣候預報距離理想尤遠。大致而言，目前的中長期天氣及氣候預報不外乎下面幾種：

(1) 數值預報

基本是大氣環流的數值模式，一如短期預報的數值預報模式一般，惟是其中的一些參數已修正為適合中長期天氣及氣候過程的數值，而且許多高頻的波動都已作濾波或平滑處理，以適合長時間尺度之預報。

以美國的 CPC 為例子，他們採用兩個模式，一個是 NMC 自己發展的中期預報模式（稱為 MRF），一個則是 ECMWF 的中期預報模式。由兩個模式所作出結果，參以「經驗」之融合，來作出中期（6-10天）之預報。在這種以預報員之經驗來判斷某些數值結果的取捨之時，顯然仍有很大的主觀成分在內。截至目前為止，純粹客觀的中長期天氣及氣候數值預報之 skill 仍未能超過具有多年經驗之預報人員，但大趨勢仍是往數值方向前進。

(2) 統計預報

這仍然是許多國家主要的中長期預報工具。這裏其實還包括了一般所謂的「經驗預報」，因為所謂的經驗，其實也是在預報員的腦海裏所存留的「印象」。而這正是經過「人腦的統計」而來的結果，只差沒有把統計式子寫出來罷了。關於統計預報的方法大家比較了解，而且多半針對特殊的天氣氣候項目（例如春雨、梅雨、冬溫、颱風...）去找出敏感的預報因子，作

成統計預報模式來作為預報之依據。

由於上述之方法在1991年出版之「長期天氣預報技術研討會」之論文集
中多有論述，因茲不贅。

當然，台灣的中長期天氣及氣候預報技術仍然需要這兩個方向同時並重。
這是由於數值預報的效果尚未完全合乎理想，尚假一段時日之努力方可。
而統計預報制作較為簡便，在短時間內仍是預報的主要工具。

然而無論是數值預報或統計預報，快速的大型電腦以及高容量的資料貯
存器皆是少不了的。數值預報是靠電腦來解大套之偏微分方程，其需電腦固
不待言，便是統計方法之改善，也是需要利用電腦，分析整理大批之天氣氣
候資料，找出一些天氣氣候因子，求取它們之間的時間及空間上的相關關係
，作為預報之依據。因此在發展中長期天氣及氣候預報計劃中，購置高速電
腦及大型記憶體及資料貯存是不可或缺的。

有了硬體設備，當然也免不了要有軟體來配合。另外，維修及顧問（如
何使用）之費用也不能不考慮。以目前美國的大趨勢來看，已漸不使用大型
超級電腦，而改用一系列之中型電腦來代替，因為這些中型電腦幾乎不太需
要維修，不像 CRAY 大型電腦需要一整隊的專人來管理。像伊利諾大學的
NCSA (National Center for Supercomputer Applications) 就把 CRAY 廢止不用
，而代以一些高檔的 Silicon graphics 的中型電腦了。

另一個值得深思的問題，是與國外學者合作開發預報技術的問題。由於
目前台灣國內尚缺乏足夠的高科技人才，在此情況之下，實有必要與國外學
有專長的學者通力合作。這些學者有的是從台灣出去的學者，也有可能是本

來便是外籍人士。要求他們合作有效率，方法無非是讓他們有合作的獎勵誘因（incentives）。對學者來說，這無非是讓他們有足夠的研究經費，可以從事他所想作的研究。目前國內與外國學術界合作之方式，有時似有彈性不夠之處，此點也是需要列入考慮之處。

6. 執行計劃

基於上面幾節的一些構想，我們擬定一個十年的執行計劃，來完成這個中長期天氣及氣候預報的現代化計劃。這十年又可區分為幾個階段：

第一年：籌備階段

第二年：成立階段

第三年至第六年：實驗階段

第七年至第十年：試報階段

茲詳述如下：

第 1 年—籌備階段

- ①成立「氣候預報中心推動小組」(Steering Committee)，人數約 7-8人，由局長選定，推動下列工作。
- ②召開工作會議，討論中心成立之行政編制及技術細節。
- ③推薦顧問團人選。
- ④顧問團召開工作會議，擬定中心業務方針，應有之硬體、軟體設備，並向局長提出報告。
- ⑤局方向交通部或行政院有關部門提出設立預報中心之申請提案。
- ⑥提案獲批准並通過各項經費。

第 2 年—成立階段

- ①氣候預報中心正式成立，開始徵召人員，進行業務。
- ②採購應備之硬體、軟體、資料等設備。
- ③測試設備及資料。

- ④召開第一次Workshop，檢討中心之一般設備情況。顧問團將改善之建議作成執行綱要（Executive Summary），提交局方實施。
- ⑤甄選人才出國或至國內學術單位進修。

第3年一

- ①測試各項軟體、硬體、網路等功能之完善情形。
- ②開始進行各項預報技術之實驗，並分析模式之結果，以及敏感度等之診斷分析。
- ③開始進行台灣地區中長期天氣及氣候過程之研究。
- ④召開第二次Workshop，檢討各項進度，必要時修正作業或研究方針，作成執行綱要。
- ⑤本年度之檢討重點，應為檢查各項模式之運算進行是否正常，是否有足夠之資料提供研究，模式及統計之結果是否正常。
- ⑥繼續甄選培訓人員。

第4年及第5年一

- ①繼續測試模式之運作及敏感度。從這些測試中找出並調整模式中之參數，使之適合台灣地區之情況。
- ②研究計劃中，對特定之天氣或氣候現象（寒潮、梅雨等）應找出敏感之預報因子。
- ③召開第3次及第4次Workshop。
- ④本年度之檢討重點，應注重模式是否修正適合台灣地區之情況，研究是否趨向得出影響特定天氣氣候之環流型式或物理機制（如SST或ENSO等...）。
- ⑤應同時檢討與國內外學術單位之合作情況，以及培訓人員是否得到預期效果，並提出修正方案。

第6年—實驗完成階段

- ①本年度內應完全確立適合台灣地區之中長期天氣及氣候之預報模式，並有可信之結果。
- ②各種特定天氣及氣候現象之預報方法應在本年度中完全確立，並有可信之實驗預報。
- ③召開第5次Workshop。
- ④本年度之檢討重點，在檢查各項預報模式及方法是否已達到可試報階段。
- ⑤考慮召開「全國中長期天氣及氣候預報會議」。如有可能，也可考慮召開國際性之會議，例如「東亞地區中長期天氣及氣候預報會議」。

第7年至第10年—試報階段

- ①開始利用已確立之預報模式，進行正規試報，以期在第10年時預報之準確度達國際水準。
- ②研究工作應確立各天氣及氣候現象所對應之大氣環流型式及可能之物理機制。
- ③每年持續召開Workshop。
- ④每次會議之重點應為：預報之準確度，造成預報不準確之因素，提出改善之建議。
- ⑤在第10年，應提出總檢討，評估10年來之總成果，並考慮召開另一國際性會議。

7. 經費估計

下列之經費估計不包含氣候中心人員之薪資福利，氣象局之行政管理費用，建築，以及培訓人員之薪資福利，生活費用，教育，交通等費用。

- 第一年-新台幣五百萬元

•

主要用途-召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第二年-新台幣壹億四千萬元

主要用途-電腦硬體(5台 Silicon Graphics Origin-2000 級之大型工作站，以及 2 台 Silicon Graphics Onyx 級繪圖功能之中型工作站)，周邊設備，軟體，網路系統，大型資料貯存(硬碟，磁帶，光碟等)，運費，安裝，測試，諮詢維修等，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第三年-新台幣五千萬元

主要用途-第二批電腦周邊設備，軟體，網路系統，大型資料貯存，運費，安裝，測試，諮詢維修等，引進先進數值模式，安裝，及測試。國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第四年-新台幣三千萬元

主要用途-國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第五年-新台幣三千萬元

主要用途-國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第六年-新台幣五千萬元

主要用途-召開國際中長期天氣及氣候預報會議，邀請世界著名專家作專題演講及訪，國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第七年-新台幣三千萬元

主要用途-國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第八年-新台幣三千萬元

主要用途-國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第九年-新台幣三千萬元

主要用途-國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。

- 第十年-新台幣五千五百萬元

主要用途-召開國際中長期天氣及氣候預報會議，召開大型總檢討會。邀請世界著名專家作專題演講及訪，國外及國內之學術合作計劃經費，召開會議，顧問人員之機票，住宿，車馬，及顧問費等。