

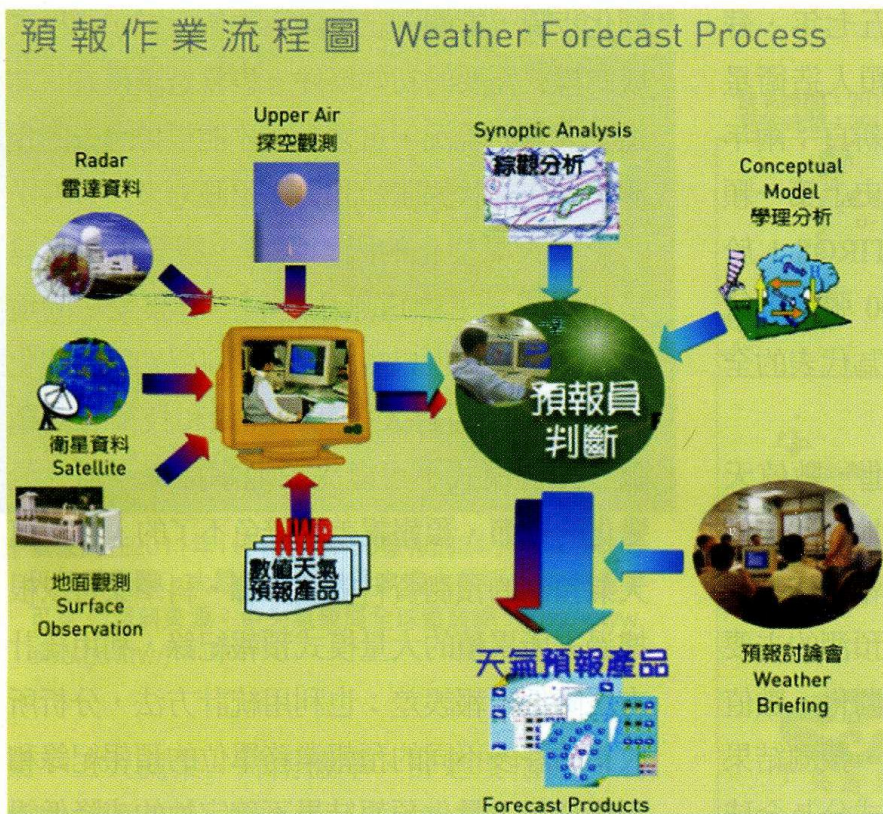
天氣預測的科學路

二〇一一年的序幕才拉開，映入眼簾的是南北半球都不平靜的天氣。位於南半球的澳洲遭遇近百年來最嚴重的水災，受災範圍多達40個城鎮受災百姓超過20萬人，以澳洲東北部昆士蘭省受創最為嚴重，四分之三的煤礦廠被迫關閉，蔗糖小麥等農產全部泡湯，國際期貨燃煤及穀物價格隨之上揚，大洪災顯然已波及全球。

北半球則是出奇的寒冷，去年十二月歐美各地就陸續傳出冰雪風暴肆虐的消息，一年一度的聖誕旺季在英國和愛爾蘭的國際機場卻無法正常運轉，對於甚為疲弱的經濟來說真是雪上加霜，寒不勝寒。今年一月以來，在美東和亞洲的北印度、新疆、蒙古、日本等地都出現強烈寒流，臺灣的空氣也是冷颼颼的。英國氣象局把寒害原因指向格林蘭上空的強大阻塞高壓，高壓氣流將北極冷空氣引入歐洲國家。澳洲氣象局認為拉尼娜是澳洲水災的禍首，拉尼娜為澳洲帶來的豐沛雨量卻也正式終結了澳洲自一九九六年來頻頻出現的旱象，對農業不能不算是一個好消息。

二十世紀以前

預測甚至於改變天氣是人類長遠以來的夢想。二十世紀以前的天氣預測必須依靠細心的觀察推理與經驗傳承，長年活動在田間的農業耕作者往往是最優秀的天氣預報員，許多天氣諺語正是這些智慧的結晶。例如「早霞不出門，晚霞行千里」，表示如果早上出現彩霞今天可能會下雨，不宜出門，但是如果在傍晚出現彩霞，明天可能天氣不錯，適合外出，可見古人如何將藉由觀察彩霞來規劃一天的行程。另一個例子是「白露風、寒露雨」，白露在九月的八或九日，比寒露早一個月，古人發現如果白露時節有颱風來襲，寒露就可能有雨。在氣象觀測和預報科技還沒有出現的時代，口語相傳的經驗無疑是面對未來的茫然中一份貼心的指引。另一方面，雖然人類使用如溫度計、氣壓表、雨量計等儀器測量與記錄天氣要素已有數百年的歷史，也嘗試根據這些紀錄研發預測方法，但是因為受到只能在一個地點進行觀測的局限，始終無法瞭解變化的發生原因，預測的結果當然難以正確。



↑ 氣象局預報作業流程示意圖。氣象預報須以厚實的氣象科學為基礎，先進的觀測儀器(如都卜勒氣象雷達網)與數值預報模式為工具，融會了豐富的預報資料與研究成果的預報作業輔助系統為參考，經過預報員的分析研判才得以產生。天氣預報內容的決定，主要是透過每日預報討論會的形式獲得共識。預報討論會由一位資深預報員主持，預報中心、衛星中心、海象中心及數值天氣預報小組等單位共同參與，資深預報員總結討論結果後才製作天氣預報產品。(資料來源：中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw/>)

二十世紀期間

天氣預測技術在二十世紀中期出現了劃時代的變革並成就了驚人的進步。歷史上的第三波工業革命在二次世界大戰結束之後熱鬧登場，電腦、電信、太空技術突飛猛進，人類生活完全改觀，創造了前所未有的計算和通訊能力，大大開拓了人類的視野，也把氣象觀測與預測技術帶入了一個完全嶄新的時代。

首先是計算工具的變革，人類歷史上的第一部電腦 ENIAC 在一九四六年於美國誕生，在這個電腦上完成的第一個成功

的「數值天氣預測」案例於一九五〇年發表，預測對象為美國上空 24 小時之後的大氣流場形勢。這份得來不易的研究成果大大振奮了科學家企圖運用流體力學方程和熱力學定律預測天氣的決心。然而真正具有實際應用價值的 24 小時數值天氣預測卻在七〇年代才出現，在此之前計算速度無法達到預測要求，預測誤差過大也令人頭痛，直到電腦計算能力和全球觀測資料的大幅提升，二十年的預測瓶頸才得以突破。

數值天氣預測的發展加速了氣象觀測技術與操作方式的變革，促進國際的合作與交流。全球氣象觀測網在聯合國世界氣象組織的大力推動下於一九五七年開始建立，六十七個國家參與觀測實驗，在同一時間進行全球同步觀測與即時的資料收集和交換。目前(二〇一一年)參與全球氣象觀測的地面測站數量約達兩萬八千之多，由世界氣象組織負責制定氣象觀測的規範與資料的

交換格式與方法。同樣是在一九五七年，蘇聯於十月四日成功的發射了第一顆人造衛星Sputnik-1，為人類的太空探索揭開新頁；兩年後四月一日美國成功的發射了人類史上第一顆氣象衛星泰洛斯 1 號(TIROS-1)。TIROS-1 於軌道中運行的 78 天內傳回了 22500 張地表氣象資料的影像，足以揭示氣象衛星為代表的全球氣象觀測新紀元已儼然成形。

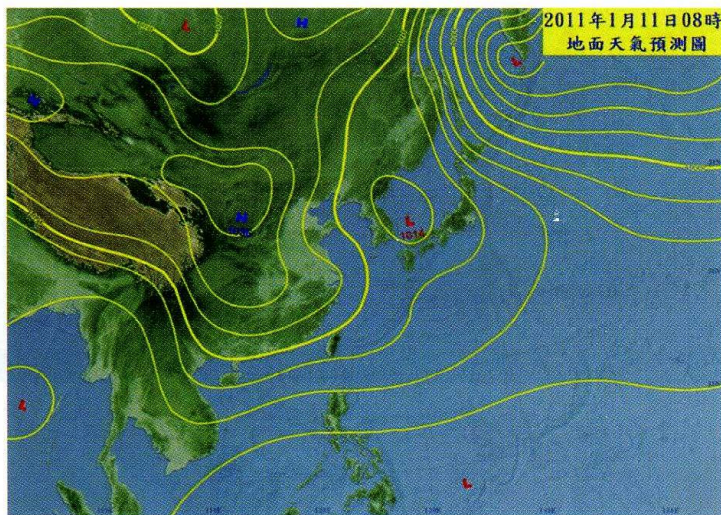
隨著資訊與通訊技術的突飛猛進，數值天氣預測在八〇年代達到成熟，迅速地取代了傳統上依賴純粹統計或主觀經驗的預報方法，成為天氣預測的核心技術。數值天氣預測的主要工作分為觀測資料收集、觀測資料同化、數值天氣預測模式積分、預測資料處理、預測結果呈現等五大步驟。數值天氣預測模式分為全球模式和區域模式兩種，區域模式只對特定區域做預測，但是由於地球大氣具流體性質，特定區域邊界上的變化一定會受到邊界以外變化的影響，因此區域模式不論是一開始的氣象條件或是邊界上的預測結果都需要由全球模式提供。觀測資料除了地面測站觀測的如氣壓、溫度、濕度、雨量、風向、風速等氣象要素外，還有使用氣象氣球觀測的高空氣象要素，氣球可以上升到十公里左右的對流層頂的高度。海上除了船舶與浮標收集的資料外，衛星是最主要的觀測工具。水是大氣中是最捉摸不定又最有影響力的氣象因子，地面雨量站無法量測空氣中的水或海上的雨，必須藉衛星和雷達的測量與推估才能概略對水有些估計。收集了種類繁多的龐大觀測資料，需要經過複雜的資料

同化步驟，把觀測結果融入數值天氣預測模式成為模式需要的初始條件，也就是讓模式「知道」大氣的現況，這樣模式才能根據過去的預測和現在的狀態開始計算，預測未來。

影響天氣變化的因素太多，觀測資料不論是在質或量上永遠無法達到「零誤差」的境界，預測模式也只能將有限的科學知識公式化與數位化。面對大自然，知識和技術有其極限，預測模式不可能完美地掌握每一種大氣變化的細節，預報誤差是避免不了的。在數值天氣預測的預測資料處理步驟，科學家可以根據過去所累積的大量模式預報紀錄，利用統計方法降低預報誤差；也利用統計方法，分析所收集的許多不同的預報業務單位的預報紀錄和預報資料，量化預報結果不確定性的或降低誤差。數值天氣預測的最後一個步驟就是預測結果的呈現，須視使用者需求設計合用的呈現方式。事實上，如何讓氣象以外的應用領域能充分使用氣象預測資訊，為社會帶來更多的利益與福利，直到現在還僅止於初期研究階段。

二十一世紀

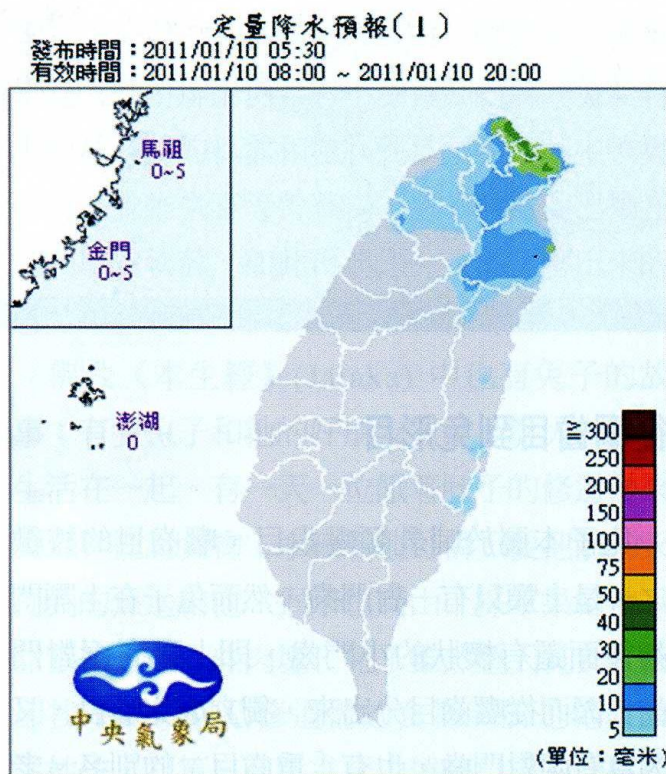
中央氣象局於一九八三年開始建立數值天氣預報系統，一九八八年正式開始作業，至今數值天氣預報的產品已成為天氣預報的最重要參考指引。氣象局每天定時發布臺灣各地各種短期(12~36 小時)及中期(3~7 天)天氣預報，產品包括今日、今夜、明日、明夜、一週、一週旅遊、大陸主要城市、國際都市、近海漁



↑ 氣象局在2011年1月10日08:00發布的24小時東亞地面天氣預測圖，大陸冷高壓和日本海上的低壓系統清楚可見。(資料來源：中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw/>)

業、三天漁業、降雨機率、舒適度指數及定量降水預報等；每週發布月長期天氣展望，提供對未來四週天氣的可能變化之看法，每月發布季長期天氣展望，預測未來三個月的變化。若 24 小時預測資訊顯示可能出現如大雨、豪雨、低溫、濃霧、強風等災害性天氣，會發布災害性天氣特報。當有颱風侵襲可能，會發布海上颱風警報、海上陸上颱風警報，並在威脅降低時發布解除颱風警報。這些產品雖然看起來可能是簡單的幾張圖，幾句話，或幾個數據，但是別忘了，它們是建立在全球氣象單位集體合作，科學家們數百年來前仆後繼鍥而不捨尋求突破的堅實研究基礎上。

天氣預測永遠無法百分之百的準確，絕對不能因為一些失敗的個案就輕易否定預測的努力與價值，而應隨時加緊腳步追求進步。二十一世紀的科學家除了追求更準確的預測和



↑ 氣象局在2011年1月10日05:30發布的1月10日白天12小時 (08:00~20:00) 臺灣累積雨量預測圖。(資料來源：中央氣象局全球資訊網 <http://www.cwb.gov.tw/>)

更完整的數值預測模式外，還期望能夠實現以人為本的天氣與氣候變化預測的夢想，也就希望能在包含大氣圈、水圈、冰雪圈、岩石圈、和生物圈五大部分的「地球氣候系統」預測模式中加入「人」的層面。期望未來的預測模式可以包含人類行為，例如，能夠模擬進而預測天氣氣候和農漁牧業的相互影響。

天氣與氣候預測是極為浩大的知識工程，隨著資訊、通訊和觀測技術的發展，人類的天氣與氣候知識一定會更加豐富，學理更趨完備，預測準確性也會在此洪流中一代接續一代不斷改善。