

PRESIDENT'S CORNER

改變混亂的局面: 大氣的可預報度是否比我們所認知的更高?

作者:理查 安瑟思 (Author: Richard Anthes, UCAR President)

譯者:申博文 (Bo-Wen Shen, Research Scientist)

出處: UCAR Magazine

<http://www2.ucar.edu/magazine>

改變混亂的局面: 大氣的可預報度是否比我們所認知的更高?

在 2010 年秋季發行的 UCAR 雜誌當中，我(原作者)討論了去年預測準確的颶風伯爵 (Earl, 2010), 及這一類預報的社會效益，和一些足以改善預測的因子。在這裡，我將討論一般大氣的可預報度，並列舉最近一些針對極具影響力的中尺度現象有相當成功的預測，而這一類預測可能在十年後會相當普遍。

長久以來,估計大氣可預報度的問題一直深深吸引著哲學家，數學家，和科學家。哥特弗里德 萊布尼茨 (Gottfried Leibniz, 1646 至 1716 年) 在彷彿看到了未來而寫下：
“一切的運作由數學所描述。。。如果有人能夠對事物的內在部分有足夠的洞察力，並且有足夠的記憶和智力，將所有的情況一併考慮，他將是一個先知，能借由鏡子中的現在看到了未來。”拉普拉斯侯爵 (Marquis de Laplace 1749-1827) 夢想著一個聰明高等的生物 (後來被稱為拉普拉斯魔) 可以知道每一個原子的位置和速度，並用牛頓的運動方程來預測整個宇宙的未來。

極限的探索

在拉氏提出確定性的可預報度的二百年之後，愛德華 勞倫茲 (Edward Lorenz, 1917 年至 2008 年)，一位麻省理工學院的氣象學家 (並且長期是 NCAR 夏季的訪問學者)，發現完美確定的天氣預報是不可能的。然而年輕的氣象學家勞倫茲曾經認為天氣將最終將如同日食一般是可以預測的。但後來他發現，數值模式中微小誤差的增長使得大氣的可預報度局限在幾個星期內。根據相關的研究，勞倫茲發展出混沌理論，而這混沌理論，與相對論和量子力學並列為 20 世紀中三個偉大的科學革命。勞倫茲在混沌理論的成就可以從兩篇在 1963 發表的論文中一窺全貌：其一是“流體可預報度”是由紐約科學院所出版和其二是於大氣科學雜誌所發表的經典理論的論文“決定性非週期流”。



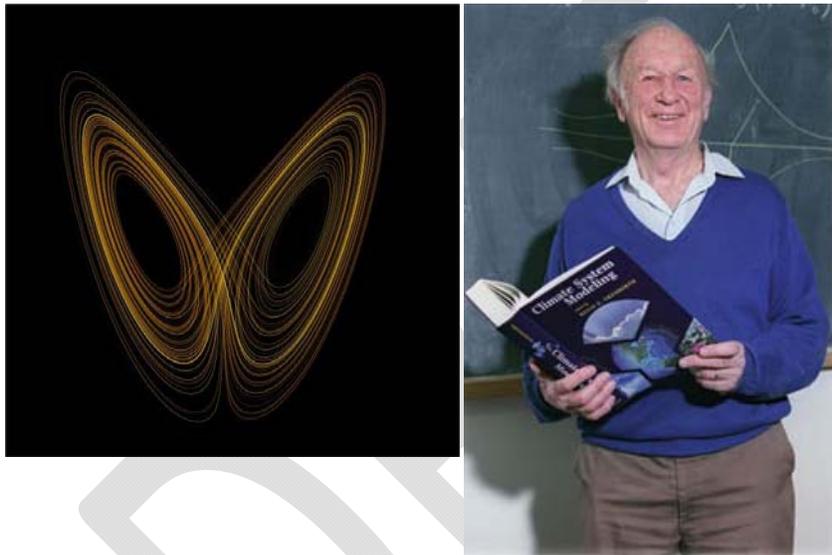
1972 年，勞倫茲在美國協會的年會上討論了科學的進展。這場影響其命運的演講的標題為“可預報度：在巴西的蝴蝶若揮動翅膀是否會掀起一場在美國德州的龍捲風？”

“不過，值得一提的是這場演講的標題和其引用的蝴蝶和龍捲風，並不是由羅倫茲本人，而是由菲爾 Merilees 所提出，而也是由菲爾介紹勞倫茲參與美國科學促進會的會議。勞倫茲在他 1963 所發表的第一篇文章的結尾時，用了不同的生物作比喻：

“

我們試著用一個均勻流就無窮小的擾動呈現的不穩定度，來解釋大氣中氣旋和反氣旋的存在，但這個想法並沒有得到普遍性地接受。一位氣象學家表示，如果理論是正確的，海鷗翅膀的揮舞就足以永遠地改變天氣過程。儘管這場爭議還沒定論，但最近的證據似乎有利於海鷗。

“



愛德華 勞倫茲（右），是 NCAR 長期的訪客，設計了一個方程組中，在初始條件十分相似的情況下，會導致兩種不同的結果，如左圖所顯示的兩個循環。（右圖片由維基共享資源。）

勞倫茲意識到，因為大氣是不穩定的，兩個幾乎相同的狀態，其差異會隨時間改變而增大，這樣經過一段時間後，我們將無法區分至這兩個狀態和任何兩個隨機選取的狀態。當然，這種分歧是無法使用真實的大氣來檢驗，但使用數值模式和計算機可以進行相關的研究。

在 60 年代初，尤勒 查尼，塞西爾 雷斯，耶魯 明茨，約瑟夫 思馬克如斯基 (Jule Charney, Cecil Leith, Yale Mintz, and Joseph Smagorinsky) 做到了這一點。他們表示，在控制組

加入的小擾動，其增長一倍所需的時間約五天，然倍增時間會因不同的初始大氣狀態而不同（有些初始狀態比其他人更不穩定）。在 80 年代，勞倫茲使用更接近真實的全球模型，他發現倍增時間大大縮短，大約 3.5 天。基於合理地估計初始誤差的影響，和數值模擬所得出的結果，他認為：大尺度天氣的可預報度的上限大約是兩個星期。與會者還普遍認為，決定性預報度取決於現象的尺度大小和生命週期的長短，也就是說中尺度現象的可預測度受限於其生命週期的長短。

樂觀的看法

70 年代初，當我還是一個賓州州立大學的助理教授，我的第一個博士學生，湯姆斯 華納，和我開始轉換一個三維颶風模式成為區域中尺度模式，而這三維模式是我之前在邁阿密所開發的。因為新模式的規模和複雜性，我們把它稱為“中尺度怪物” (Meso Monster) 或 MM。經由許多研究生和合作者的協助，這項工作最終導致了第五代賓州州立大學- NCAR 的中尺度模式 MM5，進而被世界各地的科學家所廣泛地應用。

但是，模式發展過程中，並不是每個人都認為中尺度模擬的努力是值得的。當 70 年代中期，在一次於國家氣象中心所舉辦的研討會上，（NMC，也就是現在的國家環境預測中心），一位德高望重的資深科學家問我，為什麼要浪費時間去開發一個模式，而模式的水平網格間距小於無線電探空儀之平均間距（約 30 公里與 500 公里）。一年後，於 1978 年，在湯姆斯和我發表於 Monthly Weather Review 第一篇有關 MM 的論文中，我們提出反駁：

“

雖然有一部份中尺度的變化可借由衛星來掌握，但對於這些尺度，在同一時間是否有足夠的觀測資料用以計算的網格點上仍令人存疑。但是，在非線性過程中，波動的相互作用會產生能量在更短的波，因而有能力產生比初始條件更小尺度的信息。此外，當模式中局部的作用力(local forcing)更為真實時，這將允許中尺度擾動得以由較大尺度的初使場中發展出來。因此，我們推測，在許多綜觀的天氣情況下，如果本地的作用力能真實地被模式所掌握，詳細的初始擾動並不是特別重要。

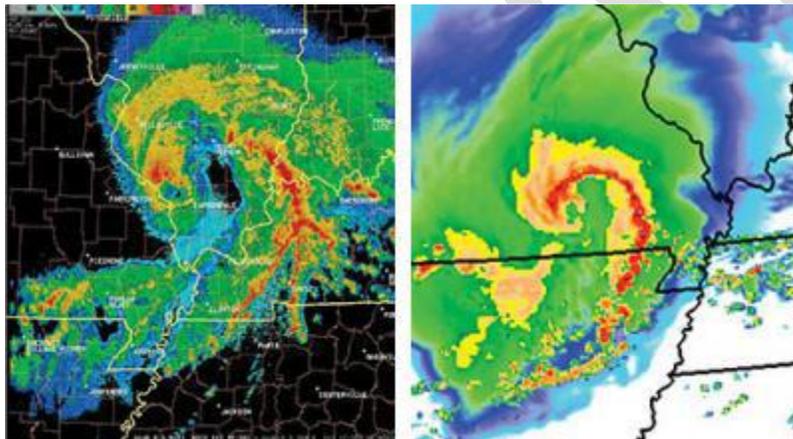
“

我個人相信，即使在沒有高解析度的觀測資料，中尺度模式仍可能是有用的。在 1986 年美國氣象學會中尺度氣象與預測的書中“可預報度的一般性問題” 的一章，我推測如果我們可準確地模擬綜觀尺度天氣，中尺度特徵的可預報度大約是一至三天。結果顯示，MM 和一些其他中尺的度模式似乎支持了這一假說。例如，中緯度鋒面，梅雨鋒（在東亞於春季中經常出現的天氣系統），中尺度對流複合體，乾線和洪水均可由大尺度初始條件中模擬或預測。

中尺度預報的現況：一些令人驚豔的例子

自早期的 MM 以來，中尺度模式已有很大的進展，而相較於 70 年代的計算機，當今計算機擁有十億倍快的運算能力，這使得模擬和預測能擁有更高的解析度和涵蓋更大的區域，甚至包括全球。這些進展導致一些耐人尋味實驗性的預測，在不久的將來，這些結果將漸漸影響中尺度天氣預測的業務。已下是一些我覺得令人鼓舞的例子。

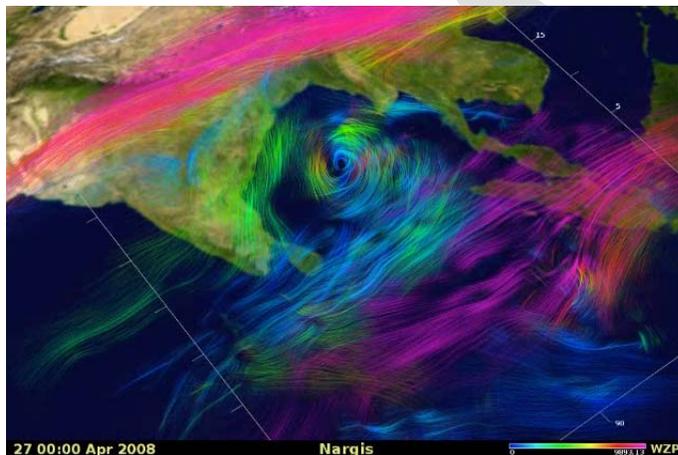
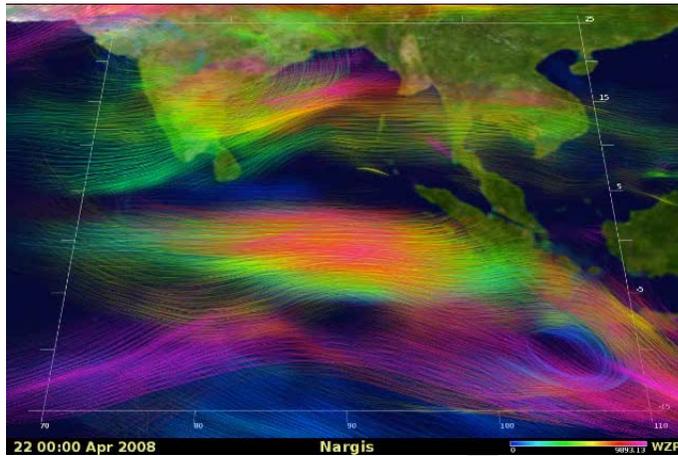
在 2011 年 1 月發出的美國氣象學會通報，莫里斯 韋斯曼 (NCAR) 和同事描述如何成功地預報中尺度渦旋與 **derecho**，後者是一劇烈風暴並挾帶著強雷雨帶，在雷達觀測中為一弓形回波。在一個 27 小時的預報中，天氣研究和預報模式 (WRF 模式) 以 3 公里的解析度成功地描繪了和 **derecho** 相似的中尺度對流系統。初步分析顯示，和 **derecho** 相關的強烈的中尺度旋轉幾乎完全由對流本身所造成。在某些方面，這項特徵和初期階段的熱帶氣旋是相似的，儘管中緯度雷暴成長的環境通常有著更強大的熱力和垂直風切。



At left, a radar image from 1756 UTC on 8 May 2009 shows the bow-shaped structure of a “super derecho” centered over southern Illinois, with a tropical-storm-like eye in the center. The WRF model forecast (right) at 1545 UTC on 8 May—a 27-hour forecast—accurately predicted this rare structure. (Images courtesy Morris Weisman, NCAR.)

在另一系列成效顯著的研究結果中，申博文 (美國太空總署哥德太空飛行中心, NASA Goddard Space Flight Center) 和他的同事使用高解析度的全球模式 (約合 28 公里) 和天氣尺度的初始條件來預測真實熱帶氣旋的生成。例如，發表在 2010 年地球物理研究雜誌的論文中指出，該全球模式成功產生一個 5 天的模擬用以預報強烈氣旋納吉斯

(2008年)的生成，氣旋納吉斯在緬甸，孟加拉國，印度和斯里蘭卡造成超過 10 萬人死亡和 100 億美元的損失。分析顯示影響納吉斯可預報度的成因包括突發性赤道西風帶，增強的季風環流，高層的輻散與高低層之間的反氣旋式風切，低層的水汽輻合。這個預測可參考以下美麗的動畫，請參閱申的網頁中” Selected Visualizations”
http://atmospheres.gsfc.nasa.gov/cloud_modeling/Shen.html



Five days before producing Cyclone Nargis, a simulation led by Bo-wen Shen 申博文(NASA) started with the large-scale initial conditions at the top (0000 GMT, 22 April 2008). Wind speed and direction are indicated by colored lines, with blue and green shades denoting lower tropospheric flow, red denoting upper-troposphere flow, and color intensity proportional to speed. The five-day forecast valid at 0000 UTC 27 April 2008 (bottom) shows the eventual Cyclone Nargis in the Bay of Bengal. (Images courtesy Bo-wen Shen 申博文.)

納吉斯的預測並不是一個單一事件。申也成功的以十天的數值模擬，來預報雙生熱帶氣旋(twin tropical cyclone)在赤道兩側的生成與移動。它們的形成和馬登-朱利安振盪(Madden-Julian Oscillation)的活躍期是密切相關的，而後者是一大尺度的現象，它會影響熱帶印度洋和太平洋的天氣系統。在大西洋，申則強調準確預測非洲東風波(African Easterly Wave)對熱帶氣旋預測的重要性，申以四星期的模擬結果顯示，模式能在三星期前成功地預測颶風海倫(Helene, 2006)的形成，及隨後一周的移動。

當然，上面的例子是軼事的，許多工作仍然有待完成，以確保上述傑出的預報是能夠經常的發生，以及進一步了解單一預測出現成功的機率。雖然科學家可能承認這些預測是令人矚目的成就，但對於強烈中尺天氣的預報，其位置預測出現相對較小的誤差時，仍可能導致在傳統預報能力的估算上，出現非常嚴重的誤差，甚至會對影響日常生活的天氣系統的預測產生較大的誤差。不過，對於強烈和罕見的天氣現象，數天前就能預測其可能的發展，這樣的資訊對處於危險之中的當地人是非常有助益的。

總之，儘管小尺度的誤差，最終可能會污染大尺度環流的預測，但尺度交互作用是雙向的。如上所述，可預報度理論的先驅者意識到可預報度會隨著不同大氣的初始狀態而有所不同：有一些狀態會比其他狀態更可預測。能精準的預測大尺度環流，足以導致更小尺度的可預報度達數小時甚至在它們形成的數日之前。當一個非洲東風波在衣索比亞高原的背風處形成後，很可能預告著一個颶風將於兩個星期後威脅德州海岸，在這種情況下，蝴蝶效應是否仍然存在呢？