

淺談氣象之可預測度

廖坤男

空軍氣象中心

摘要

天氣變化瞬息無常，這此變化的過程是否能儘為人所能掌握，毫無疑問地，這個答案是肯定的，但可以對天氣變化的氣象因子，其物理過程的掌握多寡來決定的預測度的大小。

本文用物理的角度談氣象之可預測度，藉由三種可能影響大氣可預測度的因子來探討，這當中可發現天氣預報是有其限制性，其受限於大氣本身所有的不穩定性，人力的有限性，和電腦數學運算時的不確定性，這使得預報的困難度增加，發生了所謂預報不準的問題。最後本文用幾個簡單的例子來說明大氣的不穩定性。

一、前言

要談可預測度得先知道什麼是穩定的系統和不穩定的系統，簡單的說對於穩定的系統，可預測度較高；反之不穩定的系統可預測度較差。物理世界的穩定系統可想像成一個碗狀的東西，其中有一個鋼珠在碗內滾動，不論你開始將鋼珠擺在碗內的任一位置，鋼珠在受重力影響下滾動，最後由於摩擦作用的影響而停在碗底的最低點。而不穩定系統就像我們把碗倒過來覆蓋於桌上呈一個凸體的形狀，這時我們把一個鋼珠擺在碗上的任一點，其均朝下滾落，然後不知道它會朝那個方向滾去，即如果你試驗兩次將鋼珠所擺的位置只差幾個毫釐的距離，將可發現其二者滾落的路徑大相逕庭，最後也會在不同的地方停下來。從這裏我們可以看出穩定系統可以有較好的預測度，可以不必知道物理量中的精確初始位置，只要知道它收斂（最後會停在那裏）的地方即可。

地球的大氣是一個不穩定系統，且構造精巧，它是由許多的穩定和不穩定系統所組成，就像一個鋼珠在一個凹凸不平的曲面上行進，當它從一個凸（碗頂）上下來，不知道會往那個方向跑，很可能在一個凹面（碗底）中而停在那裏，也可能在

那個凹面中轉了一圈又跑出來也不知其要往何處去。大氣這個凹凸曲面有時會變高、變淺，也就是大氣的這種擾動會增強或減弱，會像波動一樣傳遞運送。換成口語化來說明這種現象，就是高氣壓、低氣壓的移行，與之強弱變化，而大氣質點（就像鋼珠）在其內的運行，變化之過程，造成了天氣現象，氣象從業人員的工作就是要預報這些天氣現象。

二、一般大氣中的可預測度問題

（一）大氣是一不穩定的系統：

如前述，大氣是一個不穩定的系統，在預測它的運動和強弱時無法做到正確量化的判斷。為什麼在20世紀科學發展鼎盛的現在，仍無法對氣象因子確切掌握呢？主要的原因在於大氣的物理特性，大氣具有流體波動的性質，這種性質使得在台灣上方的空氣質點不必跑到北美洲去，但確可以將反應機制傳送到北美洲去，這就好像有一群人去河邊提水，大家排成一列，將水桶在他們之間傳送，可把水送達目的地，而不須每個人提著水桶往返於目的地和河岸之間。但一牽涉到波動的問題，可預測度

的難度也隨之增加，如同量子力學中之測不準原理，無法對描述質點運動分量達到無限地精確程度。現今氣象學家正嘗試用不同的方法來描述大氣的波動，至今已獲得相當成果，但是嚴格說來仍是無法肯定，主要原因不外乎大氣氣候場平均值的平均值仍未找出沒有辦法加以做很好的比較。

(二) 數學運算中所造成的誤差：

迄今為止人類只會解決線性的微分方程系統，所謂的微分方程系統是由一組微分方程式所構成，其在於描述自然界一些現象的過程，於數學上分為線性、和非線性兩類。但對於非線性的偏微分方程組（或方程式）則無法得到很好的解析解（這種解可經由代數或幾何觀念的運算，無須經由任何計算器即可獲得），只能得到近似解。地球大氣是一個標準非線性偏微分方程的系統，這種非線性的特性是，它會在適當時間把自己膨脹到很大，使得大氣波動振幅一下子變得很大；也會自己和自己的同類相互抵消而迅速瓦解，就像是香煙燃燒時所釋放出煙的軌跡一般，快速旋轉，拉長而後消失；有時也會呈現出一種反常的平衡狀態（像是氣象中所常見到的一種阻塞現象），由於有這麼多種的面貌，使得地球大氣多采多姿，有不同的氣候，天氣，整個水文環境，生物圈也隨地方而有所改變。但這種特性對於預測天氣來說就變成一種挑戰性的工做，人類最引以為傲的數學運算和物理過程的推演，只能告知明天的氣溫大約是幾度到幾度；颱風所走的路徑大概是從那裏到那裏（扇形機率預報）。前述中曾提及不穩定系統的特性，其就是對初始條件非常敏感，常常失之毫釐，差之千里，而非線性的微分方程系統正好大都屬於不穩定的系統（有少數的例外），遑論地球的大氣了，當我們很高興地將今天量測出的物理場丟進我們所設定的方程組中，交由最棒的電腦運算，計算明、後天或是更長的天氣預報是，其結果總是有些缺憾，問題出在我們所給的初始場條件是不是真能反應出真實的大氣狀況呢，再說它的本性就是喜歡如此善變的。

另外一種的誤差發生在數值計算的方法，當在計算數學的積分時，由於所使用的差分運算（數值計算是一種不連續的函數運算，它只能計算在網格點上的值，不若一般微積分計算，是以連續函數的觀念求解）常會造成小誤差，這些小誤差隨著積分時間的增長，而累積變成大誤差，但是目前這一類的問題已被氣象學家逐步克服，利用不同以往的方法而能得到更佳的結果。

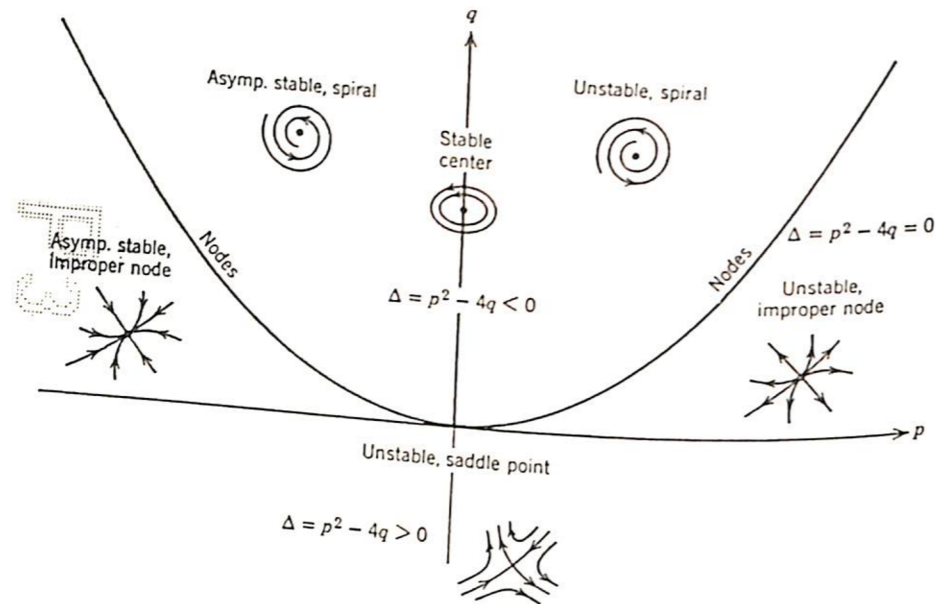
(三) 觀測網的不足

無論氣象測站再密集，人類也無法在佔地球 70% 的海洋上建立良好的觀測網，同時陸地上的測站又受限制於地形，都市化和工業化的結果，以致影響觀測的品質，因此在使用這些資料做天氣預報時，顯然是不足的。氣象衛星和氣象雷達的觀測，使我們多少能彌補一些缺憾，但這兩種工具並不能保證預報正確無誤，因為氣象衛星在傳送資料的時，間隔中就足夠讓一個積雨雲對流系統發展，成熟，以致消失，但衛星卻無法立即傳送資料；而氣象雷達又受限制於它的偵測距離，氣象雷達之所以能查出降水的回波，端賴雲中有足夠的水分子才行，通常在距離大於 240 公里時，雷達就無法發揮其偵測功能。

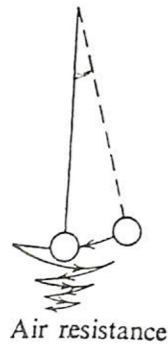
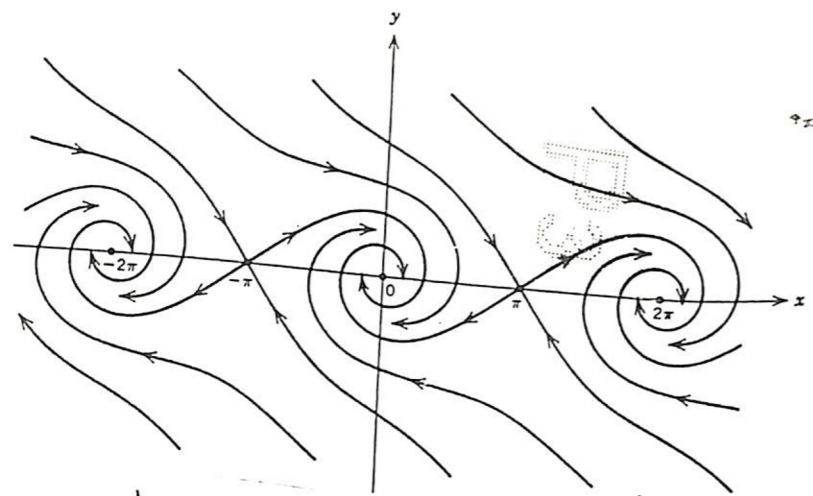
三、物理世界中的穩定度和可預測度之概述

為了加深大家對穩定度和可預測度的瞭解，就下列幾個簡單的實例加以說明。圖一是微分方程系統的穩定度圖，圖中的拋物線將質點的運動狀態分成兩部分，而對應於 q 軸的左方都是代表穩定的定區， q 軸右方則代表不穩定的區域，從圖中箭頭之指向也可以很直覺地看出這個系統是穩定還是不穩定。（一般說來只要質點可以停留，或是趨向於某點的是屬於穩定的狀態）

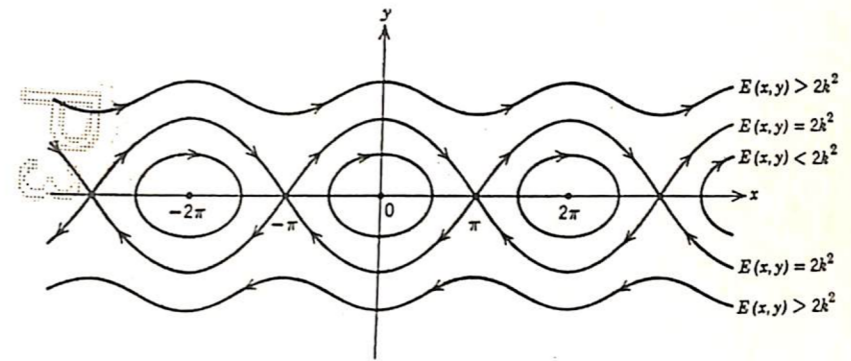
由上述可以建立起一個對穩定度的初步看法，圖二是物理世界中的單擺效應，這是一個受摩擦作



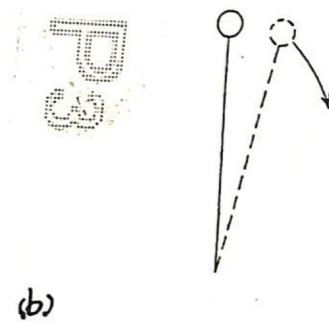
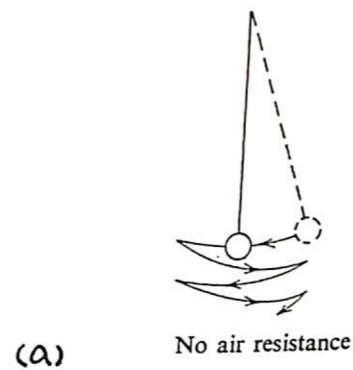
圖一. 穩定度圖



圖二. 受空氣摩擦作用而逐漸趨於停止的單擺，其相空間和實驗示意圖

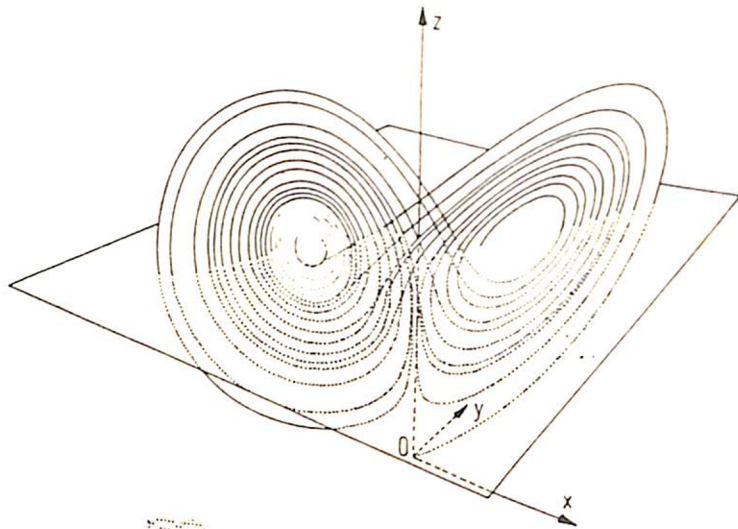


圖三. 不會衰減的單擺相空間圖



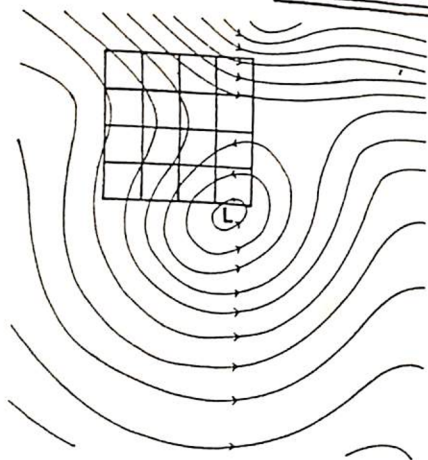
圖四 (a). 不計空氣摩擦阻力將不會衰減振幅的單擺

圖四 (b). 呈圓周運動的單擺



$$\begin{aligned} \dot{X} &= -\sigma X + \sigma Y \\ \dot{Y} &= -XZ + rX - Y \\ \dot{Z} &= XY - bZ \end{aligned}$$

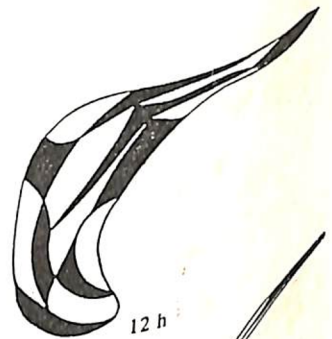
圖五. 一個大氣中簡單熱對流系統的相空間圖
下面是其控制方程



0 h



6 h



12 h



24 h



36 h

圖六