

「鋒面與天氣預報」漫談

林政宏

國立臺灣師範大學地球科學系

當我們收聽或收看廣播電台與電視台的氣象報告時，常常可以聽到：「明天鋒面通過本省，氣溫將明顯下降」，「鋒面過後高壓出海，天氣將放晴」，「鋒面遠離本省，氣溫將回升」等等典型的天氣預報術語。到底，氣象人員有時無法把天氣報準，有時又十拿九穩，其中原因出在那裏？現在讓我們來談談這個有趣的問題，同時也讓我們從氣團的特性與鋒面形成的時機來探討其原理及機制。

首先，由於臺灣的地理位置，位於低緯度的熱帶與中緯度的溫帶之間，也可以說是兩帶的邊緣地區，隨着熱赤道的季節性南北移動，所以顯然會深受冬季的東北季風與夏季的西南季風的影響。因此，每天最常見的天氣現象，不外乎是氣團、移動的中緯度氣旋及鋒面。氣團就好比是滿溢的一盆水於緩慢旋轉中順着盆緣不斷的向外流動，而氣旋及鋒面就是兩盆不同密度的水體相遭遇時因位能的差異所形成的過渡區或接觸帶。

一、什麼是氣團

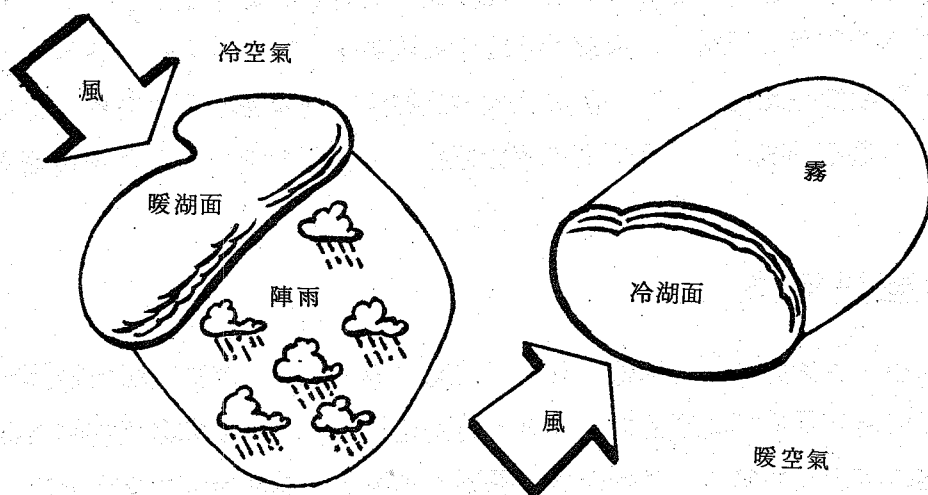
在大氣中，當低對流層的部份空氣在相當均勻的地表面上移動得很慢或近似滯留時，則那些空氣將會呈現出那地區獨有的景象，特別是與溫度、密度和濕度有關的氣象特性，在這種條件下形成的那羣空氣就命名為氣團。氣團是一羣非常大的集合氣體，水平幅度常常超過 1600 公里，而垂直厚度可能有好幾公里。一個氣團要越過一個地區需要很多天，影響所及的地區將表現出相當具有特性的氣團天氣。

一個氣團獲得它溫度、密度與濕度的特性時的地區稱作氣團的發源地。極地氣團(P)發生在高緯度地區，而在低緯度地區形成的稱為熱帶氣團(T)。極地與熱帶二形容詞正是用來作為一個氣團溫度特性的指標。此外氣團還根據發源地表面的現象，有代表大陸的

(c)氣團與海洋的(m)氣團；大陸或海洋二形容詞乃作為氣團濕度特性的指標。所以大陸極地氣團 (cP) 的特性是乾燥而寒冷的，而海洋熱帶氣團 (mT) 的特性則是潮濕而溫暖的。

氣團形成時的相當時間，因為發源地空氣的不斷聚集，使空氣密度累積增加，氣團位能隨之加大，因而離開發源地；氣團本身及其周圍環流離開它固有的特性區後，將長途跋涉於各種不同地理緯度與氣象特性的地表面，而使氣團本身不是變得更穩定便是更不穩定，這就叫做氣團變性。當然，一個移動中的氣團，也會碰到另一個特性完全不同的氣團，在相鄰兩氣團間往往就會形成鋒面，使天氣有顯著的改變。氣團變性的程度與鋒面的強弱有關，因而解析氣團的穩定度對於天氣與鋒面的預報有相當程度的幫助。圖一可以說明兩種不同的地表面特性，使原來的氣團經過時發生顯著的變化而形成不同的天氣類型。左圖，密度較大的冷空氣經過暖湖面變成不穩定而下陣雨，右圖密度較小的暖空氣經過冷湖面而形穩定的逆溫層霧。

總之，氣團形成後一離開發源地，它就逐漸獲得所經過地區地表之秉性而變性；變性的程度決定於氣團移動的速度，它所移往地區的特性，以及其所經之地表溫度與氣團溫度間的差異。

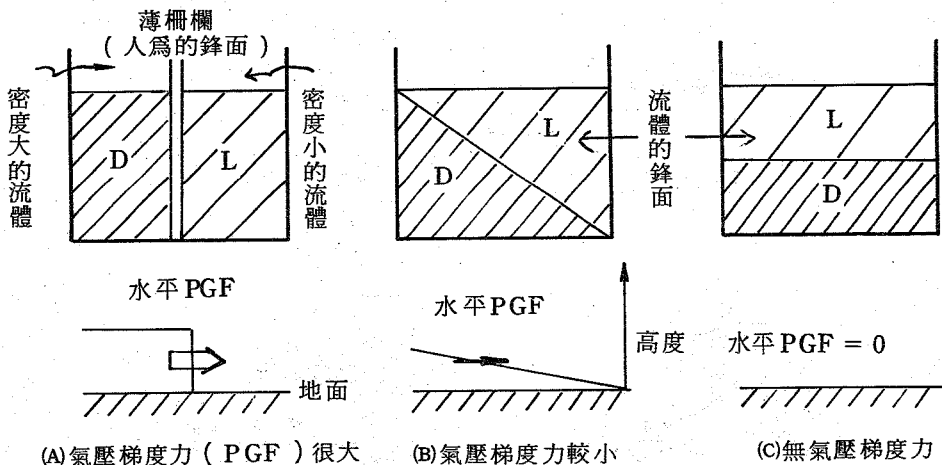


圖一 湖泊效應說明圖。空氣越過一個較大的湖水面時，能吹收水汽，如果空氣冷於水面，則陣雨會出現在下風區，當空氣暖於湖水面，則霧常在下風區發展。

二、鋒面與氣旋

鋒面是指兩個不同密度氣團的交界面，如圖二所示，(A)用薄柵欄將密度大(D)與密度小(L)的流體左右分開，此時地面上水平方向的氣壓梯度力很大；(B)將薄柵欄移開後，水平氣壓梯度重新分配，在D與L之間形成一個傾斜的不連續的交界面；(C)最後密度大的流體D完全將密度小的液體L抬升了，此時水平方向無氣壓梯度力。

鋒面 (front) 一詞源於第一次世界大戰期間，由一羣在挪威工作的氣象學家所創，其中包括有名的白潔尼父子 (V. and J. Bjerknes)，他們仿照戰爭期間黑白兩邊作戰部隊水火不容互相攻擊對方的一道防線而命名。

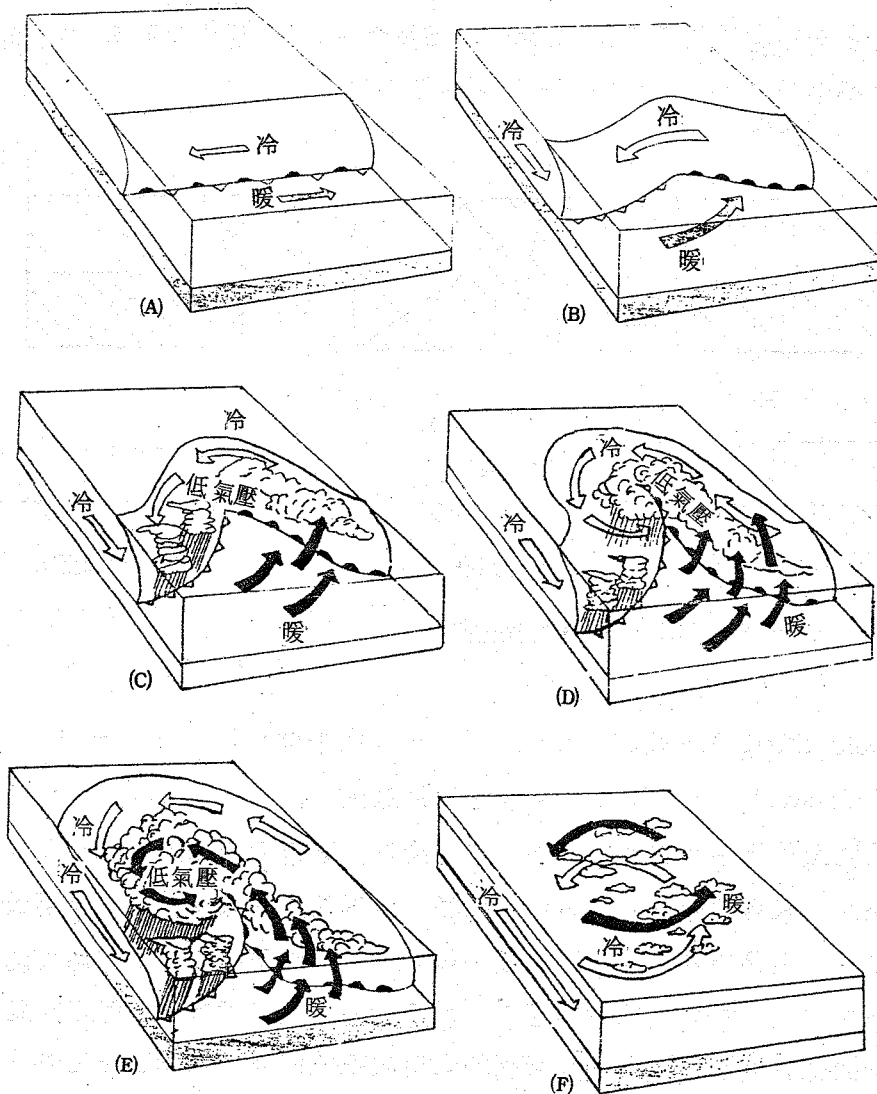


圖二 兩相鄰不同密度的流體經會合後的變化情形。

冷鋒 (cold front)、暖鋒 (warm front) 的形成和氣旋波 (cyclonic wave) 或稱鋒面波 (frontal wave) 的發展有密切的關係；例如圖三(A)中氣旋式 (反時鐘方向) 的風切很明顯的呈南北對峙，鋒面北方的冷空氣來自大陸極地 (cP) 氣團，而鋒面南方的暖空氣則來自海洋熱帶 (mT) 氣團。這種相反的氣流為什麼會導致逆時鐘氣旋式的旋轉？爲了更易想像這種效應，放一枝筆在你的兩手掌間，現在將你的右手掌向右而左手掌向左移動 (掌面均垂直地面)，看看你的筆是否循着逆時鐘方向旋轉？在這種情形下，鋒面將發生扭曲，也就是所謂的氣旋波或鋒面波 (如圖三中之(B))。這些波類似於水面因空氣移動而產生的波；當然，這些波有些會漸漸減弱而消失，有些則會變得更不穩定而加強其波動振幅，在形態上的改變非常像一個平緩的海洋，當它移進淺水處會興起波浪並變成一連串很高的碎浪。

當一個小波形成時，暖空氣就沿着鋒面侵入這個弱處並向極方向延伸，此時周圍的冷空氣即乘虛而入並向赤道方向移動；這種改變導致壓力場的再調整而產生一近似圓形的等壓線，而低壓中心就在波的頂端，這種低壓的形成更激發氣流的聚合並產生垂直的抬升（如圖三中之(C)）。

要注意，在上述這種鋒面與氣旋波形成與發展的過程當中，在中緯度西風帶地區，整個系統都是由西向東移動。整個氣旋的生命史正代表著能量的轉換（由位能轉換成動



圖三 中緯度氣旋生命模型圖(A)鋒面發展(B)波動沿着鋒面形成
(C)氣旋式環流發展(D)開始囚錮(E)囚錮鋒全盛時期(F) 氣旋消散

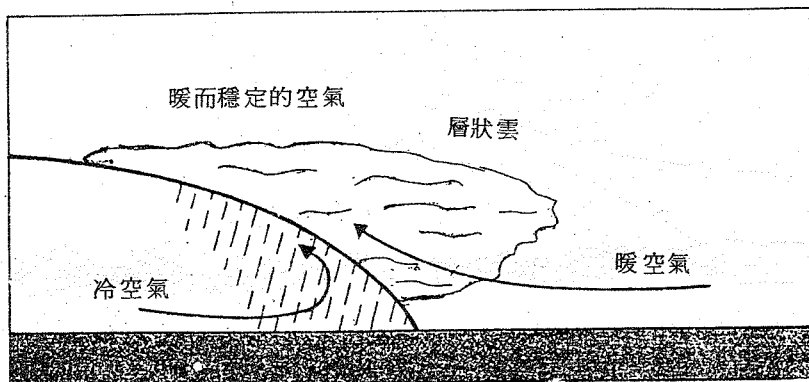
能)，最初的太陽能轉換成大氣的熱能，而這種分配是隨着季節、海陸分佈及緯度有所不均，尤其是在中緯度地區，各種不同密度的氣團各據一方，題示著很大的可用位能（Available Potential Energy）聚集在鋒面附近。當鋒面低壓發展成功時，位能轉變成動能，風速加強，在鋒波的頂端（即低壓中心）氣旋式環流逐漸增強，氣壓也不斷下降，這時地面的風也加強到有足夠的力量推動鋒面，冷鋒移動比暖鋒快，當冷鋒追上暖鋒時，地面上的暖空氣開始被迫離開地面，氣旋開始囚錮，這是氣旋波最強的階段（圖三(D)）當囚錮鋒不斷加強長時（圖三(E)），氣旋型環流強度減弱而鋒面移動也緩慢下來，最後當高密度的冷空氣將低密度的暖空氣完全抬離地面時（圖三中(F)），表示可用位能已經耗盡，地面的摩擦力也消耗一部份動能，使風速慢慢減弱，氣旋的活動於焉結束（其生命期可從數小時到數天之久）。

三、鋒面與天氣

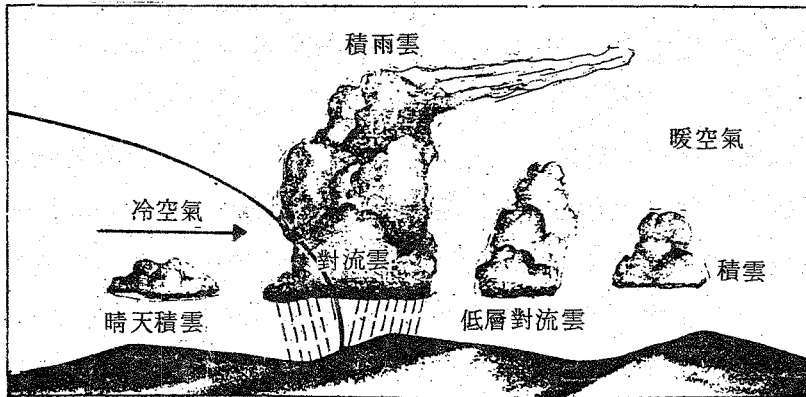
伴隨鋒面的天氣決定於(a)水汽含量；(b)被抬升空氣的穩定程度；(c)鋒面坡度；(d)鋒面移動速度；(e)上對流層的氣流型式，因此可綜合為下列兩項：

- ① 雲的生成必須有充足的水汽。
- ② 被抬升空氣的穩定性決定雲是否為層狀或積狀的。

如果鋒面上的暖空氣穩定，則形成層狀雲，如果不穩定，則形成積狀雲。由層狀雲所生的降水通常較穩定，就像圖四所表示；由積狀雲所生的降水是陣性的，像圖五所表示的，在鋒面附近常常有強風、閃電和雷雨發生。

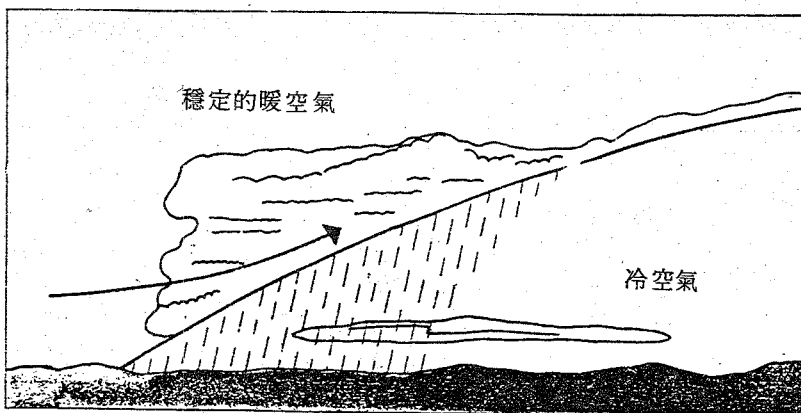


圖四 冷鋒在潮濕穩定的暖空氣之下移行。層狀雲及連續性降水。降水引發冷空氣中的層雲。



圖五 冷鋒在潮濕不穩定暖空氣下移行，雲是積狀的，在接近地面的鋒帶附近可能有陣雨或雷暴。對流雲常在鋒前的暖空氣中發展。鋒後溫暖而潮濕的地表在冷空氣中產生低層對流雲及晴天積雲。

坡度較小的鋒面容易造成大片雲區及大降水區（如圖六之暖鋒前降水），伴隨淺平鋒面的廣大降水區常造成層雲及霧。在這種情況下，鋒面上暖雲區的降水落在冷空氣中時，冷空氣中的濕度迅速飽和而造成數千方哩的低雲幕及低能見度。假如近地表冷空氣的溫度低於冰點，而高空的暖空氣高於冰點，則降水以凍雨及冰珠形式降落；而當高空的暖空氣溫度也是低於冰點時，則降水形成雪。

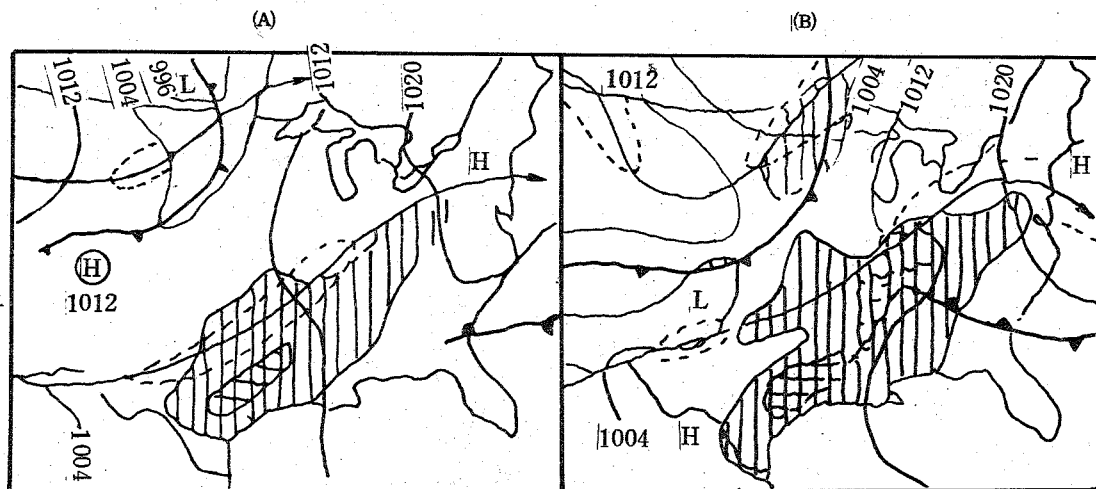


圖六 暖鋒以及其上潮濕穩定的空氣。雲是層狀的而且廣大覆蓋這平淺的鋒面。降水是連續性的且引發冷空氣中廣佈的層雲及霧。

當坡度較小鋒面上的暖空氣既潮濕又不穩定時，常形成廣大的雲區，但在雲團中夾着高積雲、積雲，甚至雷暴。這些夾在其中的風暴常隨暖鋒及滯留鋒出現，但也能隨緩慢移動坡度較小的冷鋒出現。

鋒面並非每次都有顯著的天氣，有時候可能只有少量或完全沒有雲，這就是所謂的不活躍鋒或乾燥鋒；這個情況的發生主要是因為上層的暖空氣沿着鋒面坡下滑，或空氣太乾燥以致雲只能發生在高層。

上層氣流以及鋒面本身的移動，對伴隨鋒面系統的雲量及雨量有極大的影響；當上層風吹過鋒面時，鋒面則隨風而行，當上層風平行鋒面時，鋒面多緩慢移動。一道緩慢移動逐漸加深的高空槽（trough），形成廣闊的雲區及降水區，影響的時間也比較長久，如圖七東南半邊高空槽緩慢移動，地面雲雨區則擴大；相反的，一道快速移動的高空短槽時常使天氣限於一條狹窄帶裡，然而却時常造成強烈、快速移動的擾動天氣，如圖七西北半邊高空短槽快速移動並加深，因而造成地面短暫的雨勢與狹窄的雲雨帶（圖七(B)）。



圖七 高空氣流（箭頭實線）、地面鋒、等壓線（細實線）與降水量（0～1吋垂直線條，>1吋水平線條）關係圖。

最後我們利用圖八這一張典型但經過簡化的天氣圖來談談天氣預報吧！這是一張1970年4月6日早上6點鐘的美國東北部地區天氣分析圖，在紐約及匹茲堡的氣象人員要做24小時的有效天氣預報。

紐約的氣象人員以下列的氣象因素做為24小時天氣預報的參考：

- ① 暖鋒正由西向東；近紐約市。

② 暖鋒前的天氣（多雲及下雨）將發生在暖鋒本身通過紐約之前。

③ 依照鋒面系統速度的判斷，雲雨的天氣大概在 20 小時之後就會全部通過紐約市。

④ 暖鋒過後，海洋熱帶（mT）氣團將籠罩紐約市，將帶來多雲、高溫 and 局部地區的陣雨。

所以紐約市 24 小時的天氣預報是：紐約市及其近郊自 4 月 6 日上午雲量漸增多，午後開始下雨，7 日清晨雨勢漸停，7 日白天多雲並可能有局部性陣雨，最低氣溫今晚為華氏 70～75 度，明天最高氣溫高於華氏 85 度。

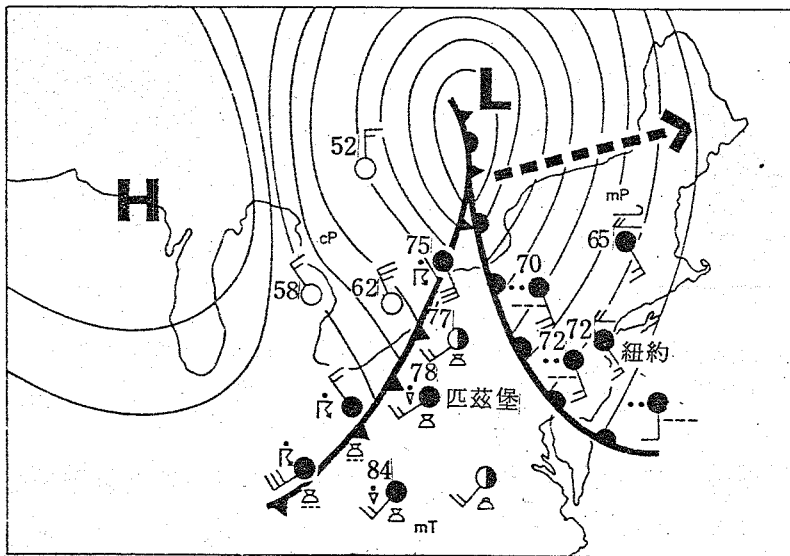
我們再來看匹茲堡（Pittsburg）氣象人員根據那些氣象因素作為 24 小時天氣預報的參考：

① 暖濕的海洋熱帶（mT）氣團整天帶給匹茲堡局部性的陣雨和高溫的天氣。

② 晚間冷鋒將通過匹茲堡，可能有雷陣雨。

③ 冷鋒過後，冷而乾的大陸極地（cP）氣團將帶給匹茲堡好的天氣和較低的氣溫。

所以匹茲堡 24 小時的天氣預報是：匹茲堡及其近郊自 4 月 6 日清晨起整天為多雲並可能有局部性陣雨，氣溫最高為華氏 85 度～95 度之間；入夜可能會有雷陣雨，但很



圖八 1970 年 4 月 6 日清晨 6 時美國東北部天氣圖；
圖中 mT、mP 分別代表海洋熱帶與海洋極地氣團。

快會放晴，7日有少量的雲到晴，最高氣溫為華氏70～75度。

綜合上面的敘述和天氣預報案例，可知天氣預報的準確度和下面各種因素有關：

(1) 目前的科技水準——要天氣預報百分之百無誤，首先要氣象觀測儀器沒有誤差；例如重要氣象要素之一的風的觀測，目前就無法要求風向風速計的計量達到百分之百的準確，5～10%的誤差是很平常的。又如目前超大型的快速電子計算機（如cray）仍無法將所有的氣象因子全部納入計算；更何況在所有可應用的物理、氣象的方程式中，很多是非線性的（non-linear），在數學上是不可解的，一定要把它們簡化成線性方程才可輸入電子計算機計算，而這種簡化過程就導入某些誤差。

(2) 天氣系統的強弱——要預報天氣都要儘量考慮到綜合各種可用的天氣圖和輔助天氣圖，不論它們是地面的或是高空的；如果天氣系統明顯（如高氣壓和低氣壓系統），則天氣的變化比較容易掌握，也就是說比較容易預報準確，如果高低氣壓強弱態勢不明，或者是在轉變中（加強或減弱），則天氣預報往往不容易掌握。

(3) 地區性的條件——海陸的分佈對於高低壓系統的變化有着密切的關係，海域可提供水汽與熱量，增加氣旋與鋒面的強度，而地形的效應（如山嶺、坡地）使鋒面的變化更加複雜。

天氣預報除了需考慮上述的變數外，氣象預報人員的經驗也很重要；所以天氣預報是揉和理論與經驗，且目前公認尚無法做到百分之百準確預報的一項工作。

參考資料

林政宏，1969：新航空氣象學（上）——

飛航天氣概論，徐氏基金會出版，76～92。

Barry, R.G. and R.J. CHORLEY, 1971：

Atmosphere, Weather and Climate, Methuen & Co Ltd., 162～204。

Geffner, S.L., 1972：Earth Science

Workbook, AMSCO School Publications, INC., 225～233。