

大氣現象及大氣尺度間的物理機制之個案研究分析

徐天佑 李紀恩

前言：

大氣運動很複雜，因運動範圍的不同，所產生天氣現象的物理機制也不同，如①綜觀尺度，指一般天氣圖的高、低壓系統、鋒面系統；②中尺度，如同鋒前運動速度甚快的飈線以及數百公里範圍內之強烈降水系統等等；③小尺度，如雷雨、龍卷風等等的小範圍天氣系統，均各有其特性，可參閱林、徐（1981）各種尺度的大氣運動。現有之天氣資料屬於綜觀尺度，因此從天氣圖僅能推斷綜觀系統之變化，較綜觀系統為小的中尺度現象，實應做更深入之分析探討。本文針對綜觀尺度、中尺度天氣現象分別探討其物理特性並做個案分析。

一、綜觀天氣系統基本條件為準地轉平衡與流體靜力平衡：

通常吾人所指之綜觀系統水平距離為 10^3 km，而各種小尺度之局部變化在做綜觀天氣分析時可略去不考慮，即直接用準地轉平衡與流體靜力平衡就可以將綜觀天氣系統之發展與動力結構做詳細之描述。在繪製高空天氣圖時等高線與風向大致平行，也就是遵守地轉平衡的性質，系統發展可以用準地轉之 ω 方程式（Holton 1972）探討。對此種情形謹略述如下。

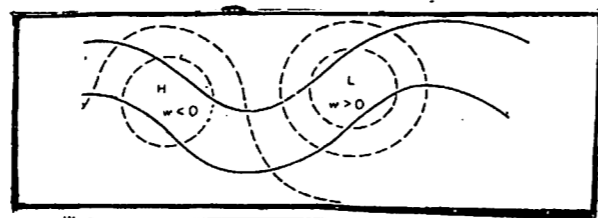
ω 方程式的物理意義為：什麼因素是產生垂直運動的物理機制？其中包括兩種物理機制即①由渦度平流的垂直差異產生的動力機制與②由溫度平流產生的熱力機制。

渦度平流的垂直差異所包含的物理機制：地面渦度平流較小，高空渦度平流較大，如圖(一)，當高空渦度移至地面低壓上空時，正渦度環流帶來逆時針之渦旋，使得重力位降低，空氣柱收縮，但高空冷平流不強，何種物理過程使得空氣柱溫度降低？只有垂直上升運動絕熱冷卻使空氣柱收縮，如此使得溫度符合流體靜力平衡，同時伴隨垂直運動。

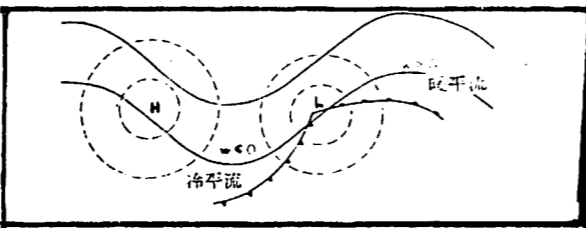
溫度平流所包含的物理機制：在高空脊線若有暖平流如圖(二)，空氣柱因而增高，因此需要反氣旋

渦度來配合但在脊線上無法靠反氣旋渦度平流以補充，為了維持地轉平衡，只有將增加的反氣旋渦度以輻散方式抵消之，但是根據連續作用水平之輻散必由垂直運動以補充，結果維持了地轉平衡，同時伴隨垂直運動。

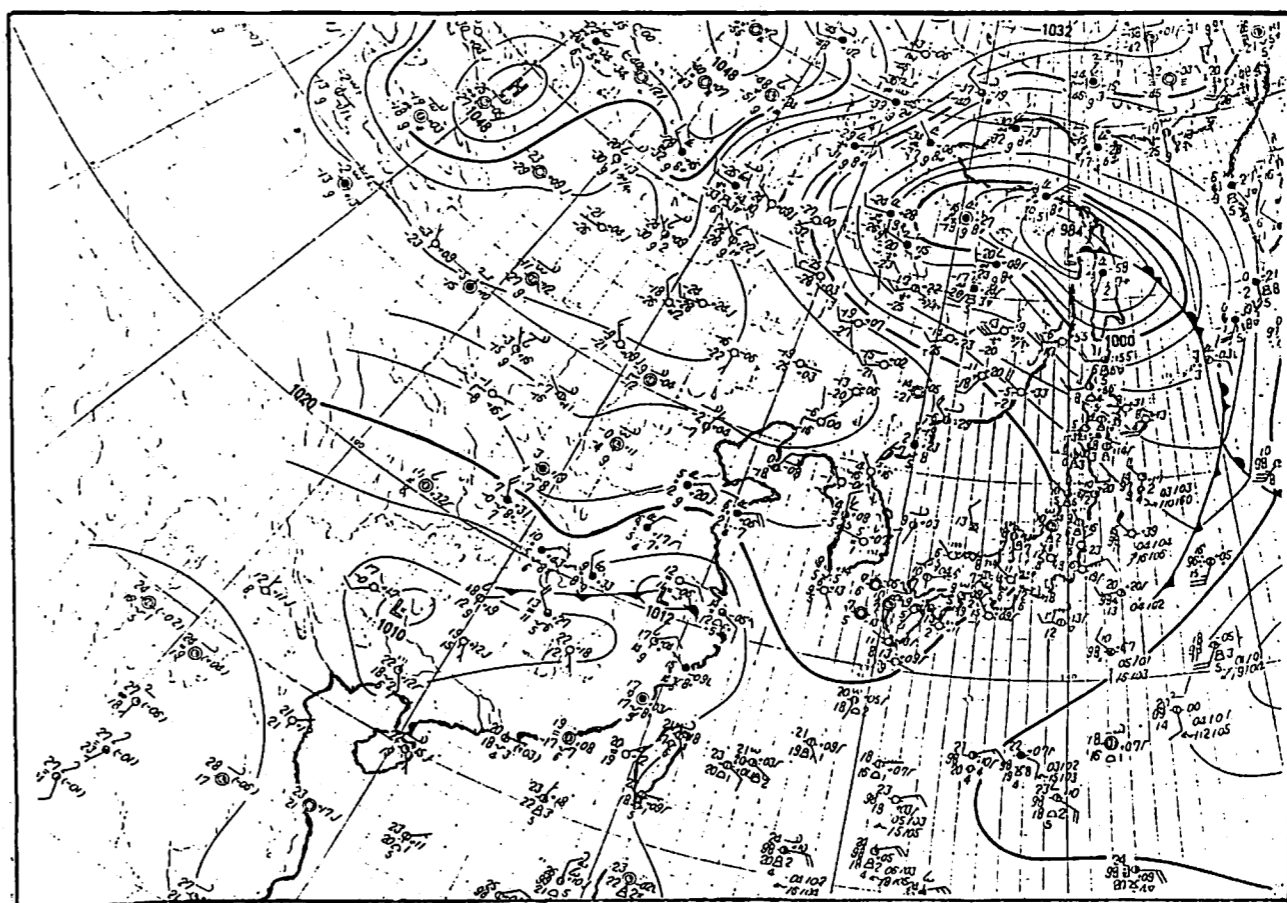
由以上的推論及圖(一)、(二)的配合，可知綜觀系統在地面低壓上空與高空槽前產生上升氣流，使得水汽上升凝結，而在槽後空氣下沉，水汽受熱蒸發，因此天氣現象產生於地面低壓與高空之槽前或是產生於上升氣流之處，而下降氣流往往為碧空無雲之處。圖(三)為1979年12月20日1200Z之地面天氣圖，鋒面位於華中一帶，圖(四)為以SIGMA座標計算之垂直速度圖，高度約為900MB之高度，參閱徐氏（1981）。在鋒面附近(A)區垂直速度分佈幾於鋒面相同成帶狀分佈。(B)區為雲貴之下沉低壓區，從衛星雲圖與垂直速度分佈可與天氣現象相比較，以驗正垂直速度在綜觀天氣所扮演之角色，圖(五)為該日20時之衛星雲圖，在垂直速度上升區鋒面附近於雲圖中雲量密佈，在其餘下降區中大部份為無雲區，與綜觀天氣系統相配合。



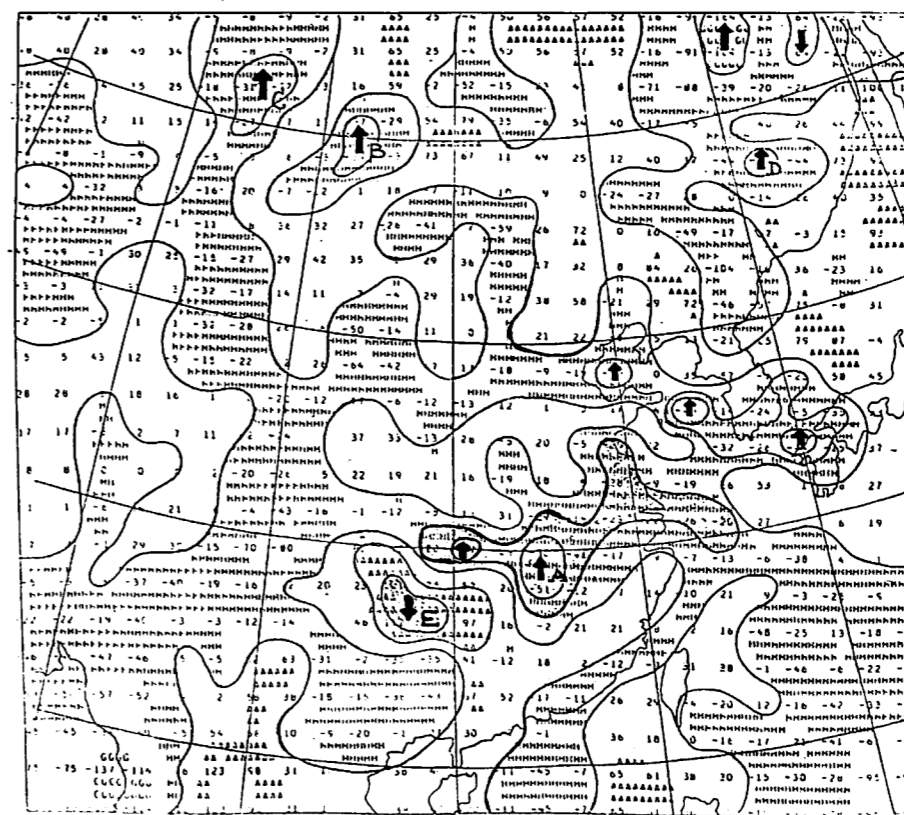
圖一由渦度平流垂直變差引起之強烈垂直運動區域示意圖。圖中細實線為500mb等高線，斷線為1000mb等高線。



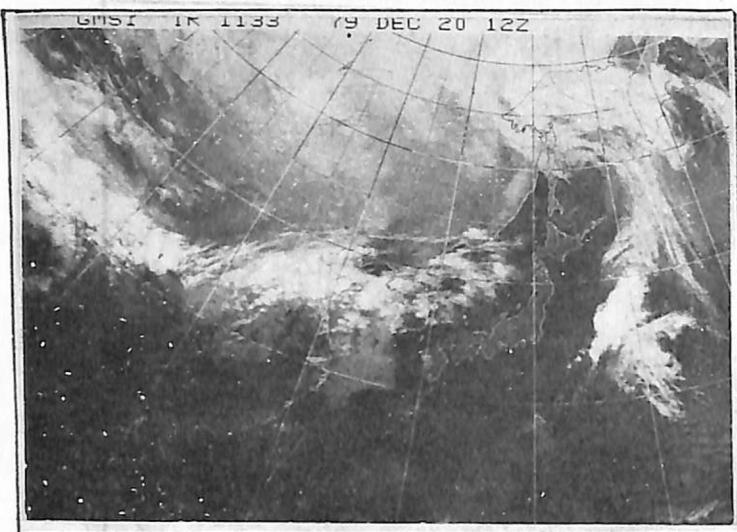
圖二由溫度平流所致之強烈垂直運動發生區域示意圖。圖中細實線為500mb等高線，斷線為1000mb等高線，並已加繪冷、暖鋒之位置以示冷、暖平流盛行地區。



圖三 民國68年12月20日1200Z東亞地面天氣圖。



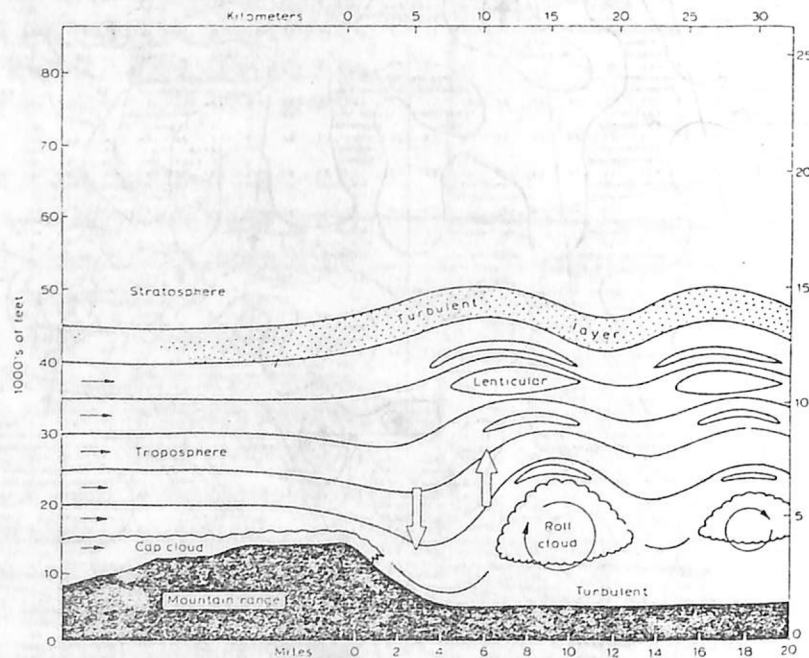
圖四 垂直運動圖負號與+表示上升氣流，正號與-表示下降氣流。 $\sigma = 0.9$ (單位 10^{-4} mb/sec)



圖五 民國 68 年 12 月 20 日 1200Z 同步氣象衛星雲圖。

中尺度之天氣現象產生於調節 (Adjustment) 過程中：

中尺度垂直速度較綜觀系統為大，發生強烈中尺度天氣現象時流體靜力平衡已經不再適合，地轉平衡條件亦不復存在。當地轉情況被強烈破壞時，大氣產生兩種過程：1. 先有快速之調節過程。2. 後有較緩慢之演變過程。調節過程之詳細論述可參閱林氏 (1981)。在綜觀系統中輻散、輻合量很小，垂直速度也不大，而在中尺度系統中則否。另在中尺度系統中地轉偏差現象亦甚明顯，致使風穿越



圖六、氣流過山所產生之山岳波。

等壓線吹行，導致輻散、輻合增強、垂直速度也因而加大，重力波的性質此時就顯得很重要了。中尺度系統中的極端非地轉現象就是藉了重力波的頻散迅速調節，然後再以較緩慢的演變過程進行系統之演變。

調節過程中重力波所扮演之角色甚為重要，但是重力波在大氣中移動甚為迅速，波長也較短，在綜觀天氣資料中無法解析出來，因此局部之小範圍天氣常常使得氣象人員難以從天氣圖中預報出來。小尺度的重力波，如在背風面，對飛行構成重大威脅的氣流如圖六，就是因為氣流過山而被激發出的重力波，在波峯處產生捲軸雲，在波谷處反而無雲。通常中尺度的天氣現象和綜觀尺度之物理機制略有不同，尤其在當地轉平衡被強烈破壞，如同鋒面附近非地轉效應非常強烈之時，輻散、輻合效應很強，分析時應着重小範圍之分析。圖七(八)為 70 年 5 月 27 日 08 時之斜溫圖，由圖中可知在馬公、桃園及東港一帶其探空在低層均有一逆溫層存在，(東港探空未列圖)，水汽在低層不易散發，因此如能配合動力因素容易有顯着天氣，圖九為 5 月 28 日凌晨 5 時地面天氣圖，等壓線若以 1 mb 分析時可在台灣西部繪出一個小脊線，而降水最強烈之區恰正在脊線之北端。

中尺度的垂直運動約為 10~100 cm/sec，只有當調節過程時表現其特性，在非地轉調節過程中暴雨的擾動波解為(參考李麥村)：

$$W' = W_0 \sin K_z Z \sin (wt - K_x X - K_y Y)$$

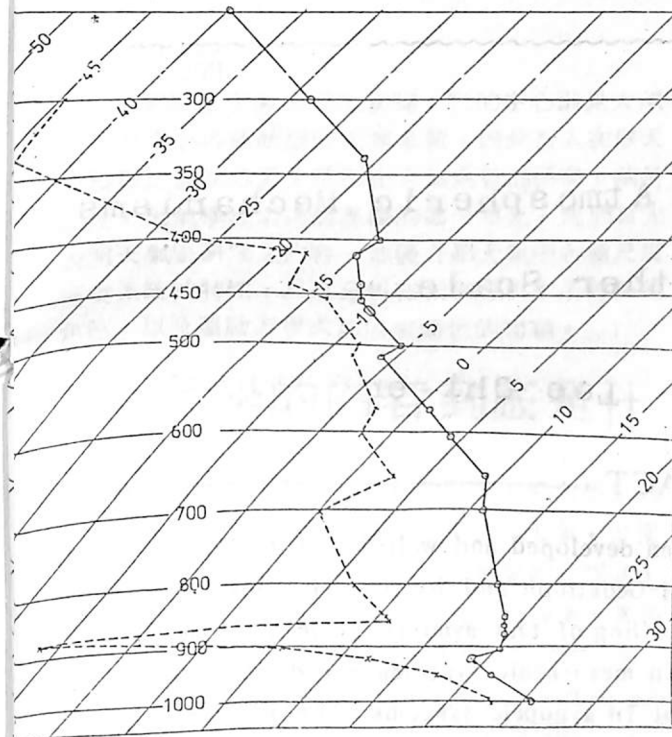
$$D = -K_z W_0 \cos K_z Z \sin (wt - K_x X - K_y Y)$$

$$\zeta = -\frac{W_0 f K_z}{w} \cos K_z Z \cos (wt - K_x X - K_y Y)$$

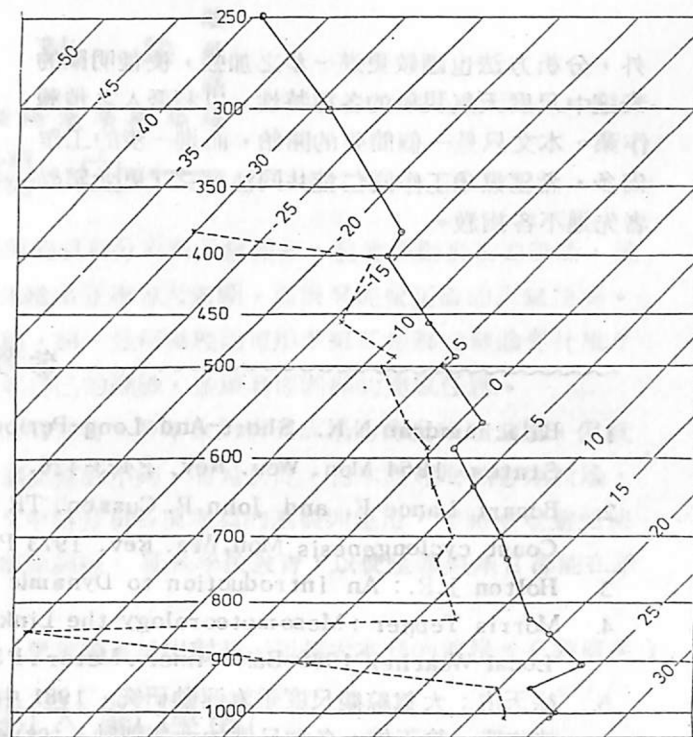
$$P' = -w \left(1 - \frac{f^2}{w_0}\right) (K_x^2 - K_y^2)^{-1} K_z W_0 \cos K_z Z \cos (wt - K_x X - K_y Y)$$

由上列各式可以看出，擾動氣壓場 P' 和輻散場 D 中心相差 $\pi/2$ 相位，和渦度場 ζ 中心重合，但相位相反，即高壓中心與正渦度相重合而低壓中心與負渦度相重合。

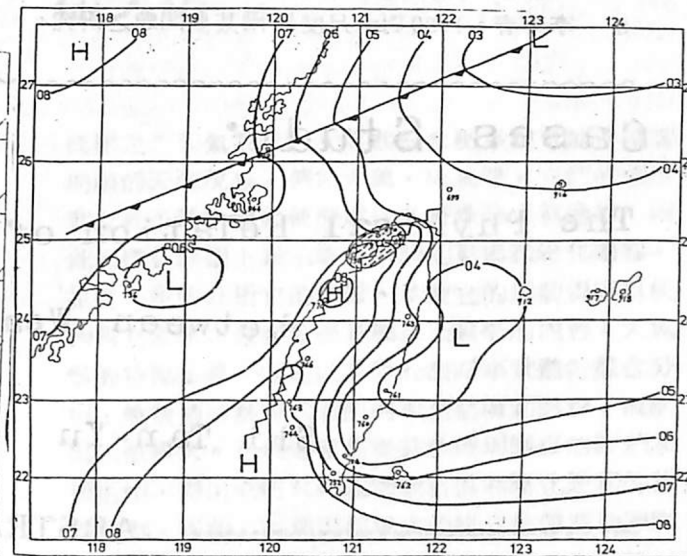
上升運動 ($W' > 0$) 與輻合區 ($D < 0$) 相重合，但落後低壓 $\pi/2$ 相位，所以暴雨中心之降水大部份落在中尺度低壓 (meso-Low) 與中尺度高壓 (meso-high) 之間而偏向高壓之一側。此乃非地轉效應在調節過程中，其上升區偏向高壓，故垂直運動需較大以配合強烈之輻合運動，此為中尺度氣象在調節過程中的特徵。



圖七馬公 70、5、27 0000Z 探空



圖八 桃園 70、5、27 0000Z 探空



圖九 為 5 月 28 日凌晨 5 時地面天氣圖 (波浪線代表高壓脊線，斜線區為降水最大區域。)

結語

綜觀天氣系統各種天氣現象 Holt on 已有完整之理論發展，現有之觀測資料也頗具有代表性，但是中尺度的天氣現象不但觀測資料不足，同時如何濾取中尺度的微擾波動也待研究。今後對於中尺度氣象之發展除加強測站之密度及觀測儀器的精密度

外，分析方法也應做更進一步之加強，使能明顯的表達中尺度天氣現象的各種特性，以利吾人之預報作業。本文只是一個簡要的開始，而進一步的工作尚多，希望氣象工作同仁能共同注意之，更希望學者先進不吝指教。

誌謝：

本文承蒙主任劉廣英先生提供寶貴意見，特申致謝。

~~~~~ 參考文獻 ~~~~~

1. Balachandran N.K. Short-And Long-Period Gravity Waves over Northeastern United States, 1964 Mon. Wea. Rev. P423-426.
2. Bosart Lance F. and John P. Cussen. TR : Gravity Wave Phenomena Accompanying East Coast cyclogenesis, Mon. Wea. Rev. 1973 P446-454.
3. Holton J.R. : An Introduction to Dynamic Meteorology 1972 Chapter 7.
4. Morris Tepper : Mesometeorology-the Link between Macroscale Atmospheric Motion and Local Weather 1959 Bull. Amer. Meteor. P56-72.
5. 徐天佑：大氣綜觀尺度垂直運動研究，1981 中央大學碩士論文，PP62.
6. 林沛練、徐天佑：各種尺度的大氣運動，1981 氣象預報與分析 88 期。
7. 林沛練：大氣運動中的調節問題（待出），1981 氣象預報與分析 89 期。
8. 李麥春：1980 對中尺度暴雨某些問題之研究。

~~~~~  
Cases Study:

The Physical Relation of Atmospheric Mechanisms
between Weather Scale

Shi Tan-Yu Lee Chi-en

~~~~~ ABSTRACT ~~~~~

The theory of synoptic systems has been developed and well-defined by Holton. The motion of the synoptic system is Quasi-Geostrophic and hydrostatic. Weather phenomena, such as precipitation and low ceiling of the synoptic scale systems are just in the front and low pressure zones. In meso-scale systems the dynamic and physical mechanism are not the same as that in synoptic systems. The vertical motion of meso-systems is large than synoptic systems, and the motion of meso-system is Ageostrophic. This article is a comparative description of synoptic and meso scale weather phenomena and their mechanisms.