

台灣地區寒潮之三維個案分析

劉 廣 英

A Three-dimensional Case Study of Polar Air Outbreaks Over Taiwan

Koung-Ying Liu

ABSTRACT

By means of a detailed synoptic analysis on a selected case (27 to 31, Jan., 1979), the three-dimensional characteristics of polar air outbreaks over Taiwan area is studied. We found that the concentration of kinetic energy into the cyclone, which is on the east side of the polar air, is very significant during the last period of the outbreak. A " tropopause funnel " accompanying the cyclone is also found through the vertical section analysis.

Through the study, which includes (1) thickness, (2) anomaly, (3) vertical section, and (4) isentropical energy analyses we get very consistent results. They show that a typical outbreak of cold air is a major system in the atmospheric motion, and the factors, which influences it, spread through all the atmosphere on our hemisphere.

The 700 mb ω field is also presented.

一、前言

寒潮為冬季影響台灣地區重要天氣現象之一，同時，一般相信 [1] 不同幅度之大氣波動具有減少南北方向大氣溫、壓差之功效，寒潮又無異是其中重要的一環，是以研究者甚多，研究內容涵蓋亦廣 [2]。又由綜觀分析可知 [3] 高層氣旋常生成於低層冷心反氣旋之上，且其強度與相對應之地面高壓一般，均隨氣溫降低而增強，是以高層冷槽加深，甚至形成割離低壓，均與寒潮有密不可分之關係。

尤有進者，在日常分析 200 毫巴天氣圖時，可見其溫度場與較低諸定壓面上者有顯著之差異。在該圖上，不但有界線分明之冷暖區，且冷暖區之分佈與地面主要高低壓系統分佈，以及移動狀況均相配合。通常，當明顯之高溫區自我國西北移至東北或韓國地區時，冷空氣即可到達台灣，而且此時我國東南沿海或海南島北方亦常為一相對高溫區。再者，如低溫區自西方移至華北沿海時，如華南到本省，或自日本向西南延伸經台灣北部至華南一帶，

有相伴之暖區，本省亦受冷空氣影響。至於其他各定壓面上，自亦有其與寒潮或寒潮運動相關之徵候 [4]，均為天氣預報上不可忽視之參考資料。

本文之目的，即在透過三維，亦即立體的綜觀分析，以瞭解寒潮結構，進而預報其動態。由於大氣實際運動狀況甚為複雜，個案間的差異性一定很大，僅由分析某一次擾動似不足以瞭解同類擾動之全貌，但經由此種分析，吾人不但可以認識問題及其所面臨之困難，且只要個案選擇恰當，對所選用分析方法之可用性，亦可因資料充分，分析仔細，而確定其價值。尤有進者，由此一個案分析所獲得之經驗與結果，必將有助於同類問題之後續研究工作。

二、資料及天氣圖形勢

本文選定之分析個案為民國 68 年 1 月 30 日至 2 月 1 日影響台灣之一次寒潮。資料分析自 1 月 27 日起至 31 日止，以涵蓋該冷空氣發展，南下，而至影響台灣天氣之全部過程。選定這次寒潮的主要原因係配合國際合作之「冬季季風計畫」，此外，此

次寒潮南下迅速，本省低溫持續時間不長，雨量少，亦為值得研究者。

圖 1 為 27、29 及 31 日三天寒潮期間之地面天氣圖。27 日主要之冷高中心在蒙古西北，中心氣壓達 1056 毫巴以上。低壓系統則位於我國華中至西南一帶，正向東緩移，係一新生波動。至 29 日，高壓已移至貝加爾湖地區，中心氣壓增強至 1062 毫巴以上，此時低壓波已移至台灣，但中心減弱。至 31 日，高壓勢力大減，且中心分散，此時鋒面已移至巴士海峽，冷空氣自西伯利亞東部直達本省，導致 2 月 1 日台北松山之實測最高氣溫僅 9.4°C 。

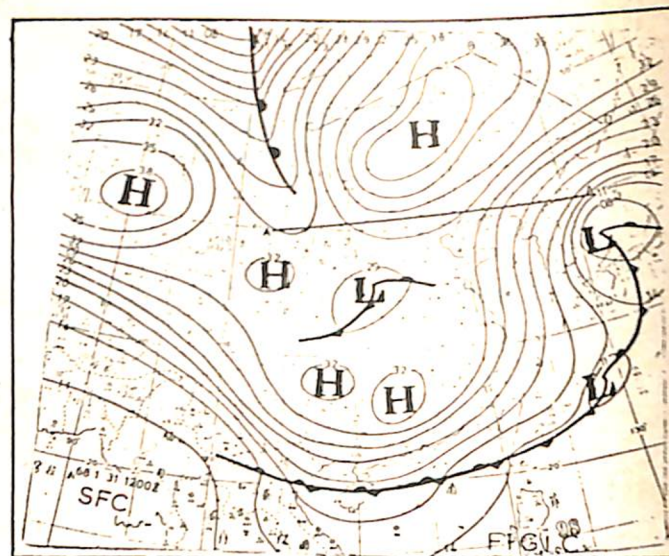
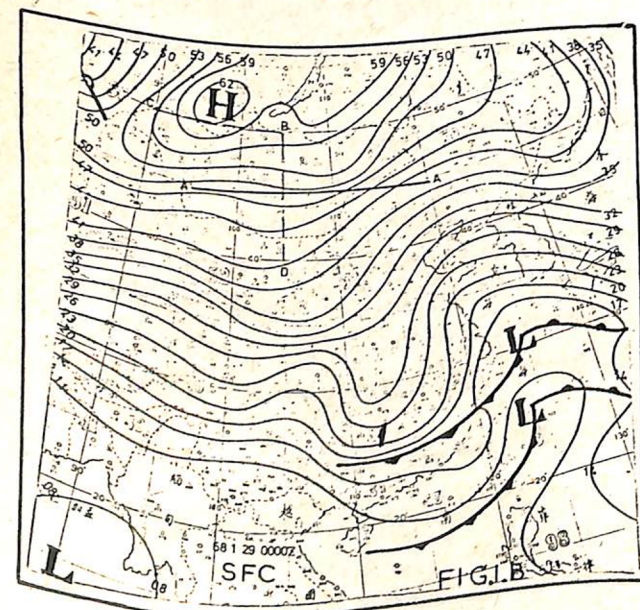
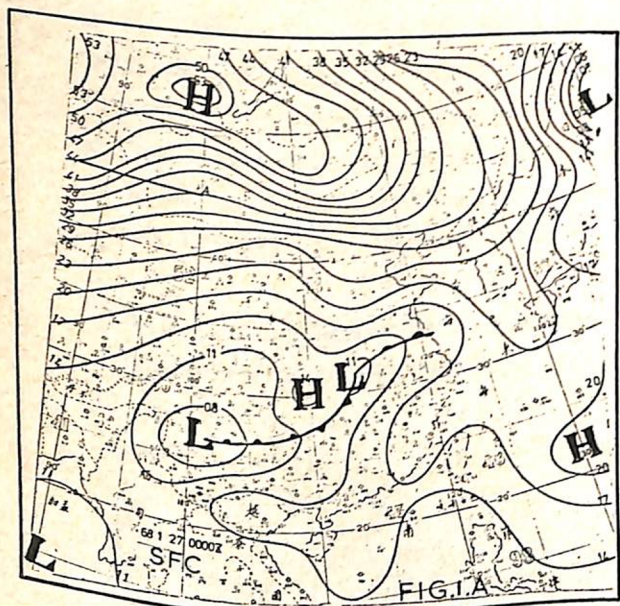


圖 1：68 年 1 月 27、29 日 0000Z 及 31 日 1200Z 地面分析圖

Fig.1: Surface analyses for 0000Z on Jan. 27, 29, and 1200Z on 31, 1979

圖 2 則為相同時間之 500 毫巴高空圖。圖中實線為等高線，虛線為等溫線；粗斷線為槽線，點線則為 700 毫巴面上的槽線。由圖可見，1 月 27 日地面天氣圖上之新生波動並非斜壓波，而係正渦度平流與下層之暖平流配合所致。至 29 日，不但主槽已漸漸在 110°E 形成，且地面高壓西側之脊線已加強，且其東側已逐漸與地面高壓相重疊，致其所受電力

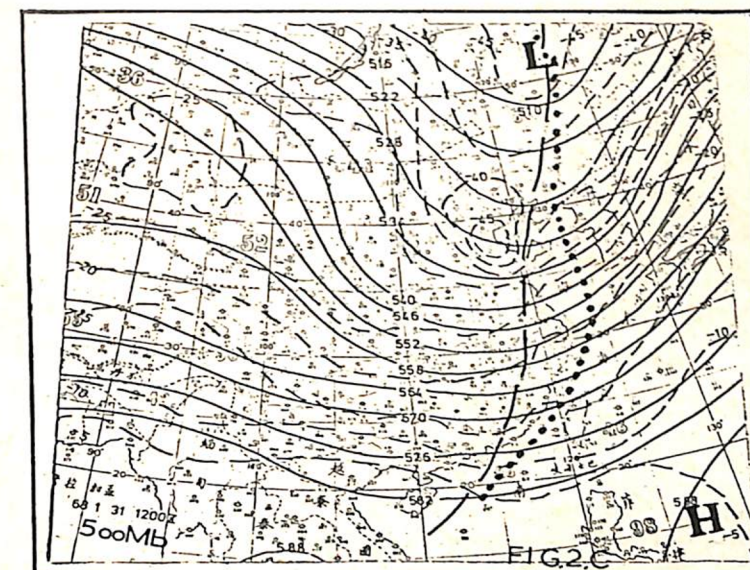
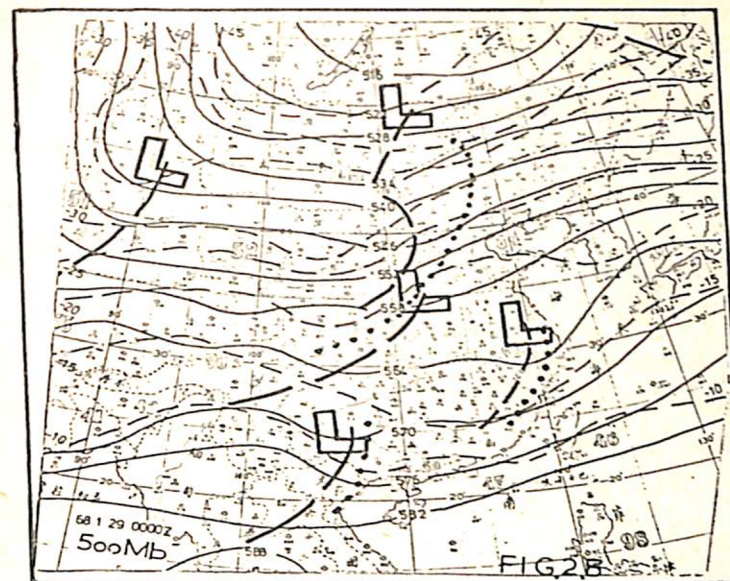
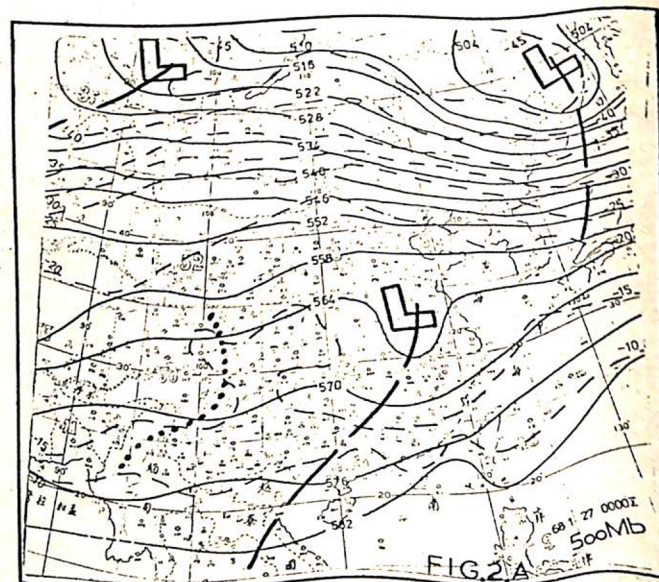


圖 2：68 年 1 月 27、29 日 0000Z 及 31 日 1200Z 500 毫巴分析圖

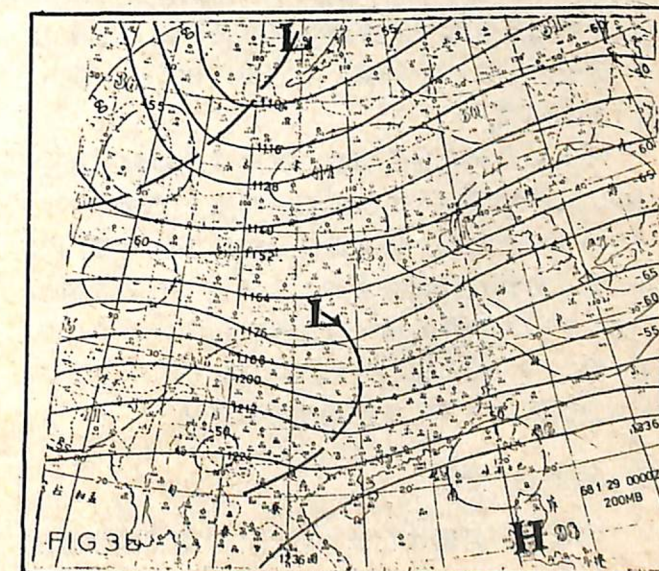
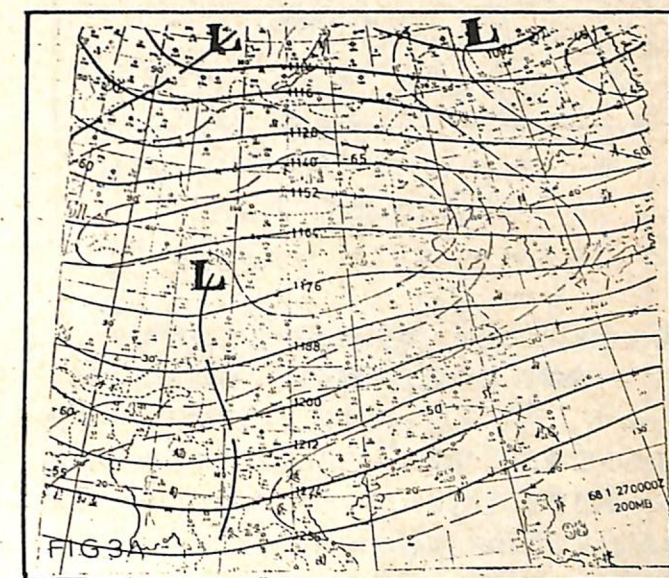
Fig.2: 500 mb analyses for 0000Z on Jan. 27, 29, and 1200Z on 31, 1979

(drag) 增強 [5]。至 31 日 1200Z，槽線已移至台灣海峽，且有一低溫區在渤海灣西部，台灣區氣溫將下降之勢已至為明顯。

圖 3 係此次寒潮期間的 200 毫巴天氣圖。圖中實線為等高線，虛線則為等溫線。在 27 日 0000Z 圖中可見，我國北部有一負 65°C 以下之低溫區，而自東海經本省至華南沿海一帶則為 -50°C 以上

之暖區所控制。另一高溫區在貝加爾湖西北。此一溫度場分佈與前述冷空氣將南下之狀況相符。至 29 日 0000Z 時各溫度中心均已移動，其中以貝加爾湖西北方之暖中心最為明顯，此時已移至蒙古西南部。同時，此一高溫區至 31 日 1200Z 時，中心已在渤海灣，與低層冷空氣到達本省之現象亦甚一致。由以上分析可見，200 毫巴面上溫度場分佈，對主要系統發展移動有很明顯之指示，因而對預報甚有幫助。在垂直剖面分析中將再加以討論。

綜合地面，500 毫巴，及 200 毫巴天氣圖，可



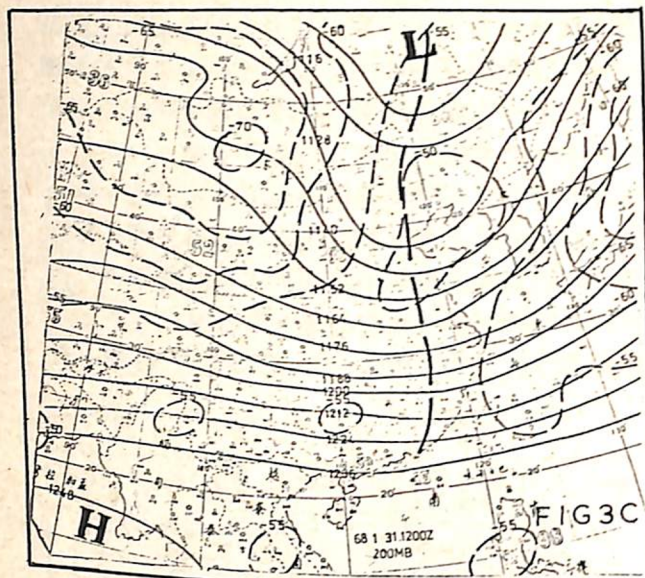


圖3：68年1月27,29日0000Z及31日1200Z 200毫巴分析圖

Fig.3: Same as Fig.2 except for 200 mb

見在此寒潮個案中，其天氣系統之特徵可歸納如下：

(一)影響台灣地區之低壓系統，初期為第二類(type B) [4] 氣旋，即由於上對流層正渦度平流移進下對流層暖平流區上所引起者。此一現象可由500毫巴槽線逐漸迫及700毫巴槽線上見到。此類低壓波常可導至本省各地均有陣性降水。

(二)大陸冷高壓先向東移，此時它所輸出之動能，導致前方低壓加深。

(三)500毫巴沿120°E之溫度梯度最大區，至29日1200Z時尚在40°N以北，31日則已顯著南移。

(四)31日1200Z時，地面高壓已減弱且分裂，是以台灣地區低溫時間持續時間不長。此一現象由500毫巴面上當時已有暖平流出現於90°E以東，亦可見其端寬。

(五)五天中500毫巴5820高度線位置變化極小，顯示此次寒潮中太平洋副熱帶高壓之變動並不大。

(六)200毫巴面上溫度場之分佈與下對流層內氣壓系統之分佈狀況配合密切，在預報上的參考價值很高。31日1200Z時，貝加爾湖西方之溫度已低達-75°C，顯示相對之脊線已發展至最強，而其東方之暖區更表現了冷空氣南侵的徵候。

三、斜壓性分析

大氣中的斜壓性(N)可以二等壓面間的厚度表示之[6]，即

$$N = \frac{g}{\Delta Z} \left[\frac{\partial (\Delta Z)}{\partial n} \right]$$

式中 ΔZ 為二等壓面間的厚度； n 為垂直於 ΔZ 之單位向量，此式說明，在北半球定壓面上，面向暖區時力管向量指向右方，而熱力風向量則指向左邊。同時， N 與厚度梯度成正比。圖4乃27,29,及31日三天1200Z時之700/1000毫巴厚度圖。由圖可見在我國華南至西南一帶，當地面波動發生時，斜壓作用不顯，與前述該波動特性相符。至29日1200Z時，我國華南至長江口一帶之斜壓性增大，於31日1200Z時此斜壓增大區已移至日本海，

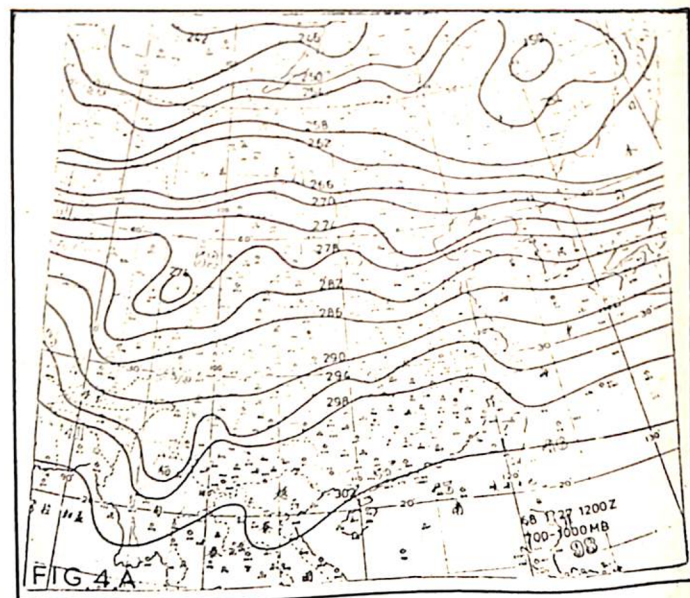


FIG 4A

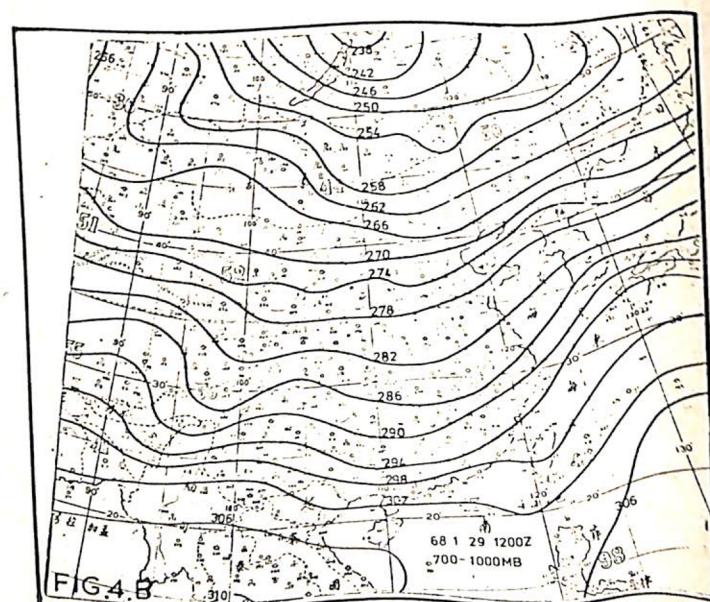


FIG 4B

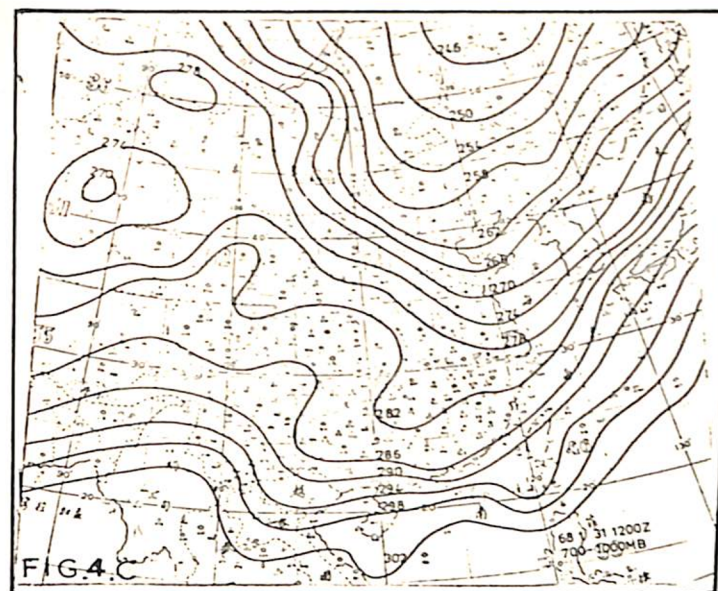


FIG 4C

圖4：68年1月27,29及31日之700/1000毫巴厚度圖

Fig.4: 700/1000 mb thickness analyses for 1200Z on Jan. 27, 29 and 31, 1979.

導致日本東方之低壓加深，冷空氣南下，達寒潮之最盛期。該圖上另有二區 N 值較大，分在海南島以北，一在山東半島西南，後者為同區波動起因之一。

分析中亦曾繪製500/700毫巴間的厚度圖(圖略)，其型式與700/1000間者相同，僅(1)27日1200Z時低壓波生成區之 N 較明顯，(2)29日1200Z時山東半島之 N 亦較強。此二點似顯示500/700厚度圖在預報效果上似較前者為優。

四、500毫巴空間距平圖分析

根據波譜分析，寒潮各階段所需能量雖來自不同之波長[7]，但自緯流取得能量之二波為主要的能量供應者。大氣中二波環流係地形所造成者，平均槽線分別位在我國及北美大陸之東岸，而在標準寒潮[8]時，我國沿海主槽加深，其相對之西方脊線亦加強，因而前者為負距平，而貝加湖西面為正距平所盤據。尤有進者，當台灣地區溫度顯著下降前，北美大陸之正距平亦逐漸加強，且直至寒潮通過後始減弱。

圖5為此次寒潮期間，500毫巴北半球之空間距平圖。所謂空間距平圖之求法如下[8]：

$$\Delta Z = (Z - \bar{Z}) + \bar{\Delta Z}_1$$

$$\Delta Z_1 = \bar{Z} - \bar{N}$$

式中 Z 為當時500毫巴之高度場， $\bar{N}$ 為氣候(月平均)圖之空間平均圖， $\bar{Z}$ 則為當時500毫巴之空間平均。就物理含義而言， $(Z - \bar{Z})$ 與負渦度成正比，可代表移動性之波動； ΔZ_1 為一次空間距平，因小波動已在原圖平均中過漏掉了，因而它所顯示的乃500毫巴天氣圖上之大幅度系統。

由圖5可見，自27日1200Z開始之三張空間距平圖之特徵如下：

(一)最大之正距平中心位在北美大陸近似停留，

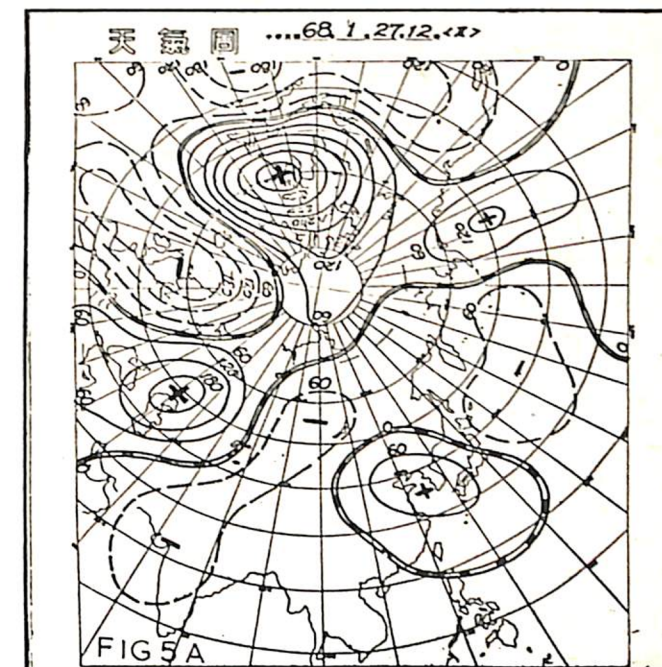


FIG 5A

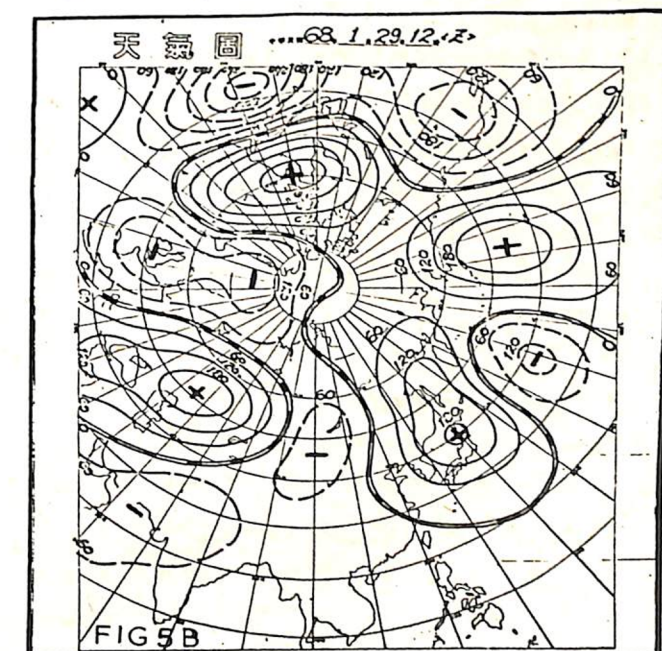


FIG 5B

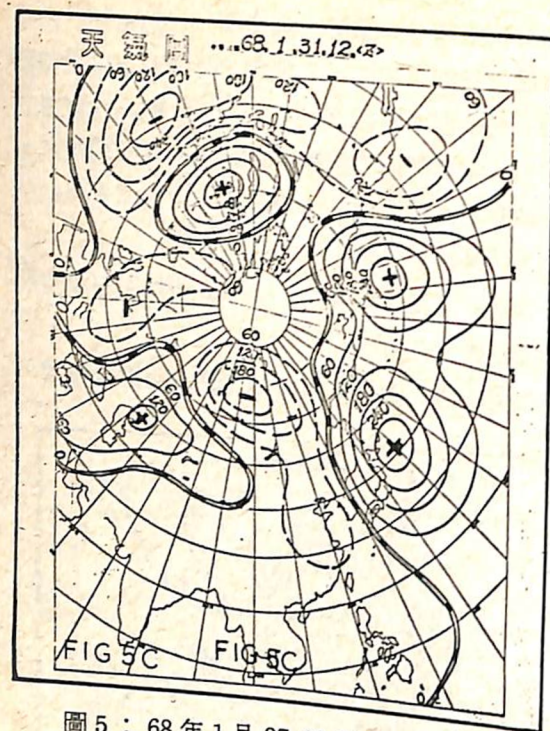


圖 5：68 年 1 月 27, 29 及 31 日 1200Z 北半球空間距平圖

Fig. 5: North-hemispheric 500 mb space mean anomaly analyses for 1200 Z on Jan. 27, 29 and 31, 1979.

但軸線逐漸由南北轉向東西，且強度逐漸減弱。至 31 日 1200 Z 時軸線已成東西向，強度亦自 27 日 1200 Z 時之 360 動力公尺降至 180 動力公尺。

(一) 位在渤海灣之正距平中心勢力漸增，並緩移至日本東方。

(二) 位於歐洲西岸至英國之負距平逐漸東伸，至 29 日 1200 Z 時已與貝加湖西方者合併。

(三) 至 31 日 1200 Z 時，不但負距平已自 100°E 由極圈向南南東伸展到台灣，且其東側之正距平東移且加強，而其西側之正距平亦已移至 100°E 附近，符合台灣寒潮時之標準距平型式 [8]。

(四) 此時負距平東方之正距平較西方者強大，顯示冷空氣自北方直達台灣，海上行程甚短，溫濕增加均少，為乾冷型寒潮。

(五) 寒潮期間，大氣運動由四波型漸變為三波，與寒潮末期一、三波最為重要之說法 [7] 相符合。

寒潮為大幅度系統，由上述空間距平上特徵之明顯更見確定，是以此圖在冬季天氣預報上甚為重要。根據個人多年工作經驗獲知，影響台灣地區之強烈寒潮 [2]，如由空間距平圖上區分，最少可分為西來與東來兩種。本次寒潮時，負距平自歐洲西方東伸，經極地南下屬前者，另如 67 年元旦起影

響本省之寒潮，負距平自堪察加半島西伸，經極地南下則屬後者。由是可見，此方面之研究有加強之必要，其成果亦將對冬季中，長期天氣預報有甚大幫助。

五、垂直剖面 (Vertical section)

冷空氣南下係上對流層氣流變形 (deformation) 致經流增加所引起，亦即槽脊線加強，致在主要緯流帶向赤道一側形成冷低壓之結果。在極端情形下，此冷低壓可與緯流帶分離，形成分離低壓或冷渦 (cold vortex)，位於脊線之東南方，此時如 500 毫巴脊線西北方有暖平流，極地高壓將增強 [9]。在上述配置下，由於暖平流上升冷卻，相對空域之 200 毫巴面上有低溫中心，而相對冷渦處則有高溫中心 (見圖 3)。為了充分瞭解此種熱力結構情況，特沿 27, 29 及 31 日 1200 Z 地面圖上之 AA 線繪成垂直剖面圖如圖 6。圖中 200 毫巴面上之符號即 AA 在該面上的中點，另虛線為等位溫線，實線為等溫線，而粗線則為一將環流隨高度增加之低壓周圍部分，與環流隨高度減少之中心部分離開之分界線。此線為一不連續面，其斜率為 [10]：

$$\tan \phi_i = \frac{(f + 2Kv)T}{g} \frac{(\partial v' / \partial z) - (\partial v / \partial z)}{(\partial T' / \partial z) - (\partial T / \partial z)}$$

式中 K 為空氣軌跡 (trajectory) 之曲率，其他均為慣用者。各符號帶「，」與否分別代表不連續面兩側之相關量。由此式可知，當其他條件均相同時

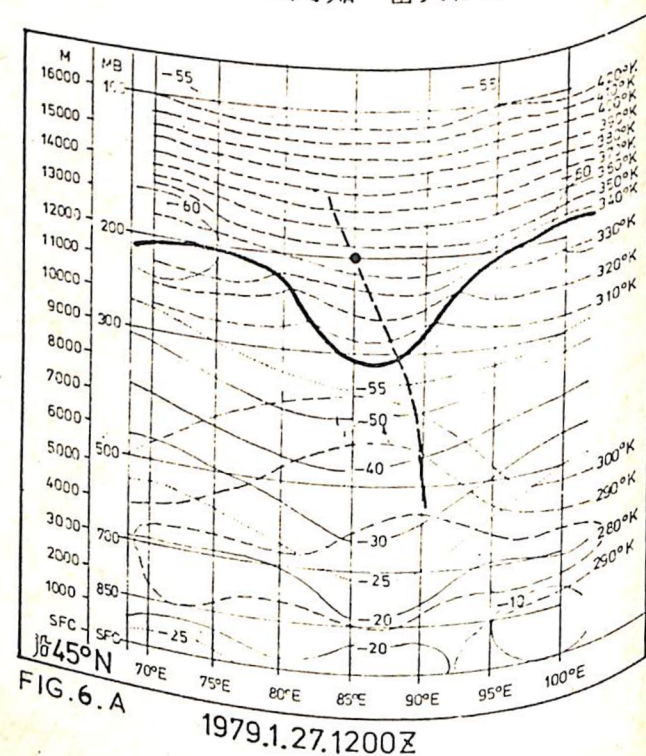


FIG. 6. A 1979.1.27.1200Z

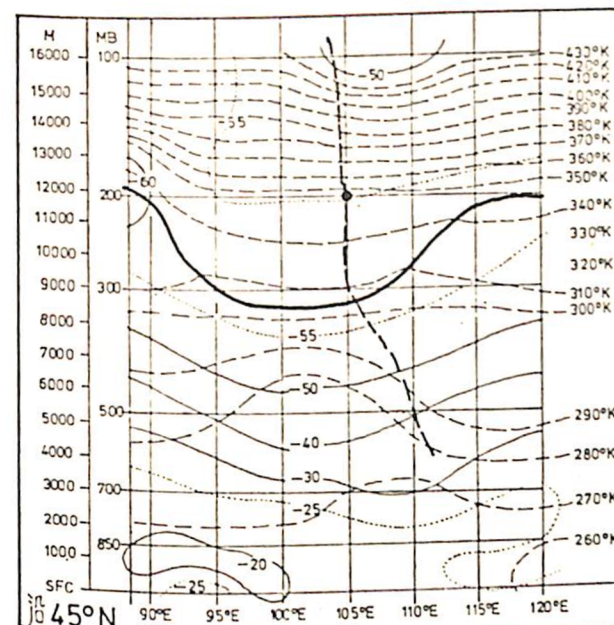


FIG. 6. B 1979.1.29.1200Z

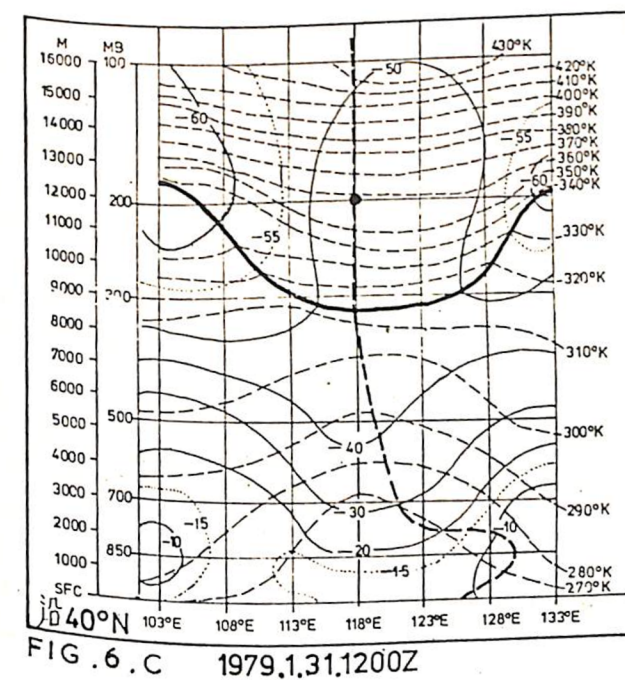


FIG. 6. C 1979.1.31.1200Z

圖 6：沿圖 1 中 A-A 之垂直剖面圖

Fig. 6: Vertical sections along A-A in Fig. 1.

，反氣旋氣流之垂直風切不連續較氣旋者明顯。如帶與不帶「，」者分別代表平流及對流層頂以上西風遞減，對流層頂係向西風之右側升高。另外，由於在西風較強，或曲率較大的情況下， $|2Kv|$ 可近似或超過 f 值，則一東西向對流層頂經過高低壓中心時可成波動形——低壓上空者低而暖，高壓上

空者則高而冷。就此觀點而言，圖 6 中分界線與對流層頂無異，是為「漏斗形對流層頂」(tropopause funnel)，但就其下達之高度，所在之溫度、及位溫分佈而言，則係一種「假對流層頂」(false tropopause)，因其上方之空氣仍源自對流層內。此種現象與通過颱風眼之垂直剖面頗為相似 [10]。圖中粗斷線為各層槽線之連線，由而可見槽線垂直配置狀況。

圖 6 中另一明顯特徵為冷渦具有甚高之熱對稱性。

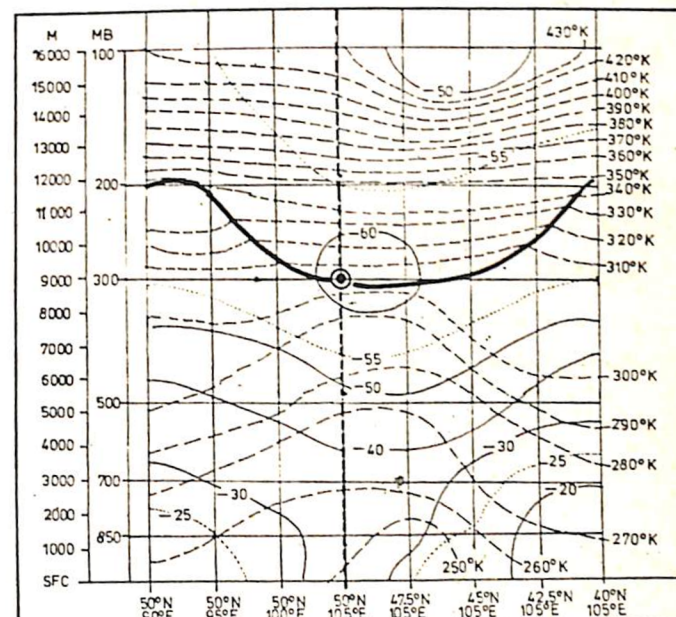


FIG. 7. A 1979.1.29.1200Z

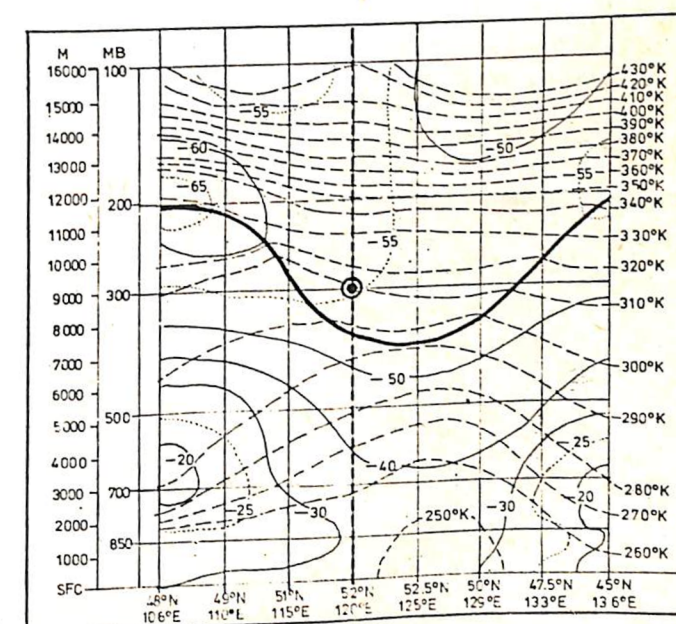


FIG. 7. B 1979.1.31.1200Z

圖 7：沿圖 1 中 BC 及 BD 之垂直剖面分析圖
Fig. 7: Vertical sections along BC & BD in Fig. 1.

圖7則系沿BC及BD二線(見圖1中29及31日二圖)所繪製之垂直剖面。圖中B點係300毫巴面上槽線中心，C及D則為300毫巴強風軸上的二點，其選定在使BC及BD分別在槽後及槽前，且使BC及BD與強風軸近似垂直。圖中垂直斷線即為B點所在之位置。

圖7-a為29日1200Z之垂直剖面圖，當時300毫巴冷槽中心，即B點，在 50°N ， 105°E 。C及D點分別在 50°N ， 90°E ，及 40°N ， 105°E ，亦即BC成東西向，BD成南北向。由圖可見：

(一)沿BC之剖面部分，與同時沿 45°N 者(圖6-b左側者)大致相同。

(二)350°K以下至280°K間冷渦在南北方向熱力對稱性亦甚高。但在該層上下部分，則有明顯之差異。在280°K以下，等溫線自 -40°C 以內分開，等壓面上南北方向溫度梯度甚為顯明，約為東西向之兩倍。同時，位溫下降亦較大。

(三)穩定層在280°至290°K之間，僅存在於南北方向剖面內。

(四)350°K以上，溫度隨高度增加，暖區在 45°N ， 105°E 附近，顯示最大下沉區在300毫巴冷槽中心南方。

圖7-b為31日1200Z沿圖1-C上BC及BD所繪製之剖面圖。BC及BD亦與300毫巴面強風軸垂直。此圖更顯示了高空冷渦兩側熱力結構上的差異性。

總之，冷渦與相對上下層內大氣，在東西方向具有極高之熱力對稱性，但在其他方面則無此特性，此點與颱風者顯然不同。

六、700毫巴垂直運動分析

圖8為日本氣象廳(JMH)製作之29日1200Z時850毫巴溫度與700毫巴p-速度分析圖。所謂p-速度即 ω ，亦即

$$\omega \equiv \frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + \vec{V}_h \cdot \nabla_h p - f_{gw}$$

在綜觀幅度條件下，由於

$$\frac{\partial p}{\partial t} \sim 10 \text{ 毫巴/天}$$

$$\vec{V}_h \cdot \nabla_h p = \vec{V}_a \cdot \nabla_h p \sim (1 \text{ 公尺/秒}) \times (0.01 \text{ 毫巴/公里}) \sim 1 \text{ 毫巴/天}$$

$$f_{gw} \sim 100 \text{ 毫巴/天}$$

$$\therefore \omega \approx -f_{gw}$$

式中 $\vec{V}_a$ 為水平風速($\vec{V}_h$)與地轉風之偏差量。

由圖可見自蒙古經華北至長江口，以及華中南部，均為下沉區，上升中心則分別在渤海灣及韓國南部，與同時之地面及高空天氣圖均極配合。此時850毫巴等溫線配置亦與地面鋒面位置(見圖1-b)相符。

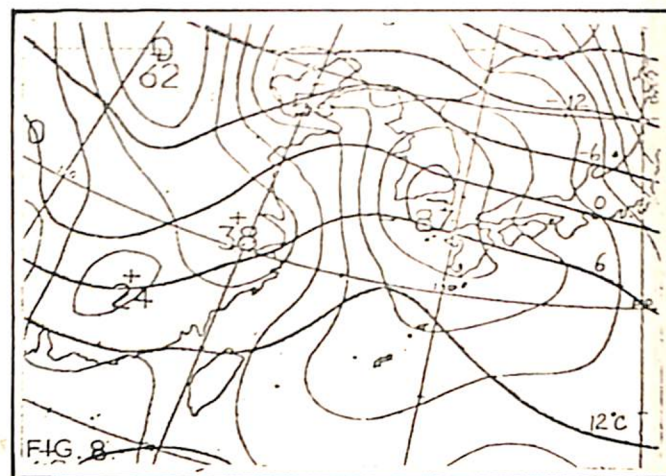


圖8：68年1月29日1200Z 700毫巴垂直運動(ω)及850毫巴溫度分析圖(JMH傳真圖)

Fig.8: 700mb P-velocity and 850 mb temperature analysis on 1200 Z, 29 Jan. 1979.

七、等熵能量分析

很久以來氣象學者就知道，低壓是動能集中區，而當冷空氣南下時，其前方之低壓就逐漸加深，寒潮將到台灣時，日本附近低壓當迅速增強，即為一明顯例證。本個案期間亦有上述現象，唯較不明顯而已。為了充份了解冷空氣南下歷程，以及能量轉換之時空分佈，進而了解發展性氣旋之能量狀況，特做等熵能量分析如下。

根據[11]

$$K = \int_{V_0} f_0 k dV_0 = - \int_{V_0} \frac{1}{g} \left(\frac{\partial p}{\partial \theta} \frac{V^2}{2} \right) dV_0$$

式中 $f_0 = -\frac{1}{g} \frac{\partial p}{\partial \theta}$ ； V = 水平風速； V_0 = 等熵面容積。由而可知，某一等熵面上的動能(K)可由積分 $f_0 k$ 求得，即，在305°K等熵面上之動能可由積分

$$(f_0 k)_{305} = \frac{1}{g} \left[\frac{p_{310} - p_{300}}{10} \right] \frac{V^2}{2}$$

中求得。圖9即為此次寒潮期間305°K面上 $f_0 k$ 之

分佈圖。由圖可見：

(一)在27日1200Z時， $f_0 k$ 集中區在日本北部，正與該處之地面低壓相配合。而在我國華中地區新生波動發生處，僅在波之南方有一4個單位之封閉中心，此中心正在700毫巴槽前西南風內。此一分佈狀況顯示該波動非由北來冷空氣所引起，與前

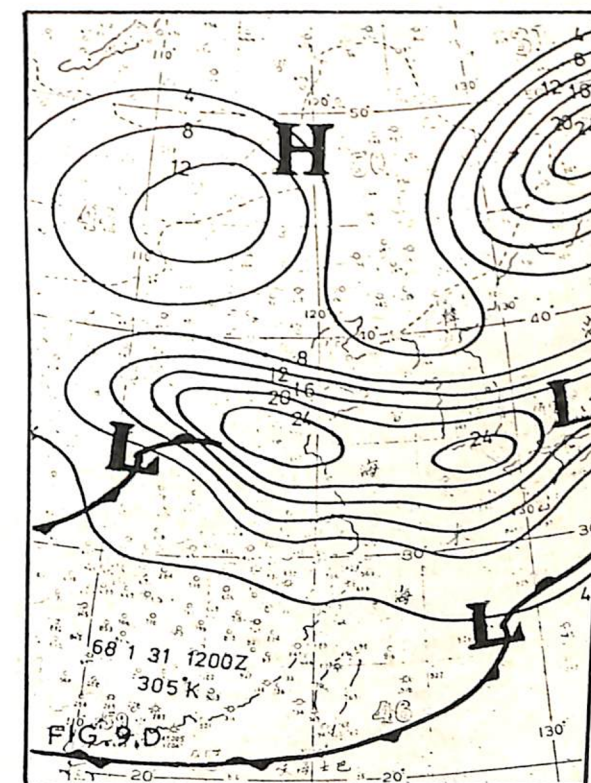
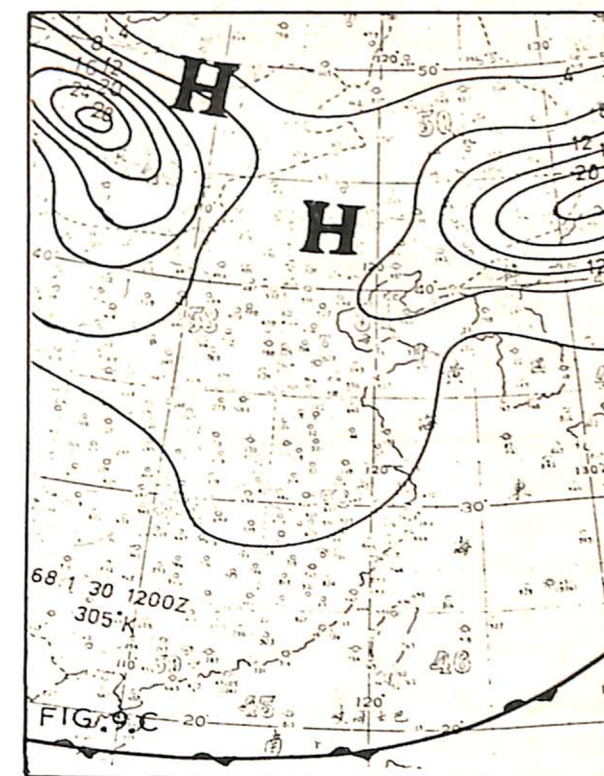
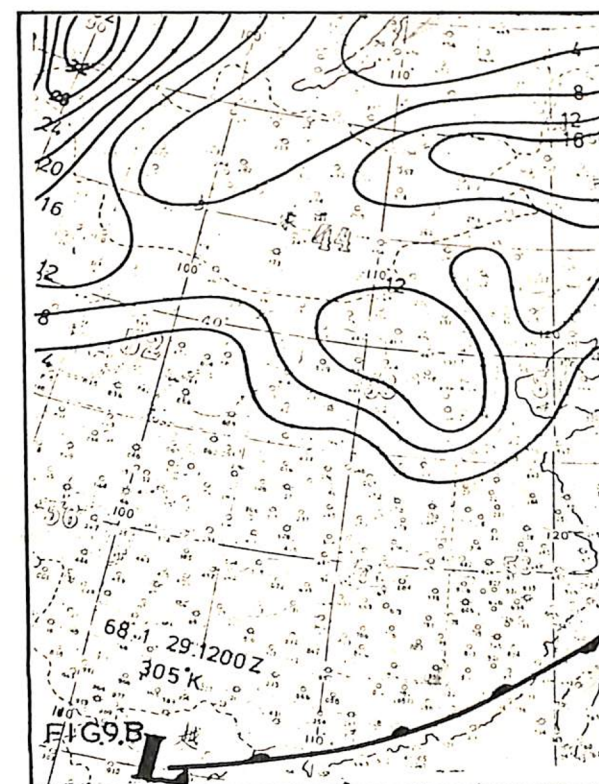
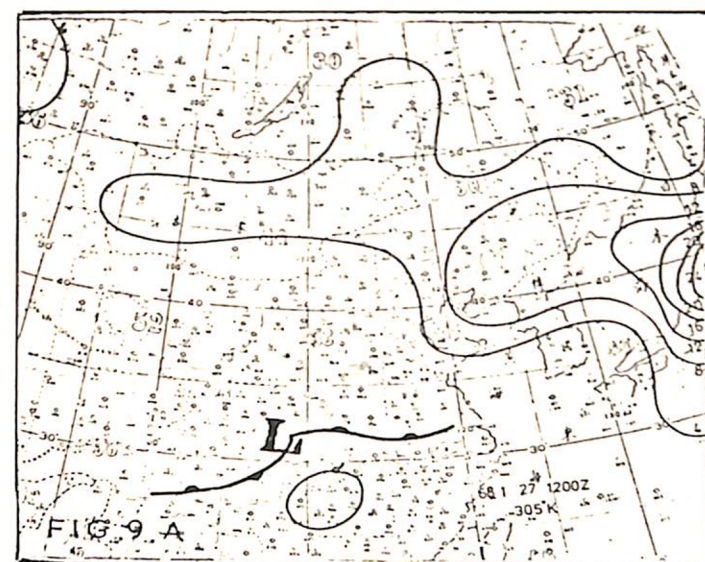


圖9：68年1月27,29,30及31日1200Z之305°K $f_0 k$ ($10^7 \text{ gm sec}^{-2} \text{ deg}^{-1}$)分析圖

Fig.9: The 305°K $f_0 k$ ($10^7 \text{ gm sec}^{-2} \text{ deg}^{-1}$) analyses for 1200 Z on 27, 29, 30, and 31, Jan. 1979.

文分析相符。

(二) 29日 1200 Z時，貝加爾湖西方之 f_0k 顯著增加，與該地區內之高壓東移，而低壓移入之天氣圖狀況相符。在我國華北地區 f_0k 亦顯著增加。

(三) 至30日 1200 Z，貝加爾湖西方之最大區已移至該湖南方，且軸線轉為西北東南向。此時，由 f_0k 之分佈已可見到移至日本北部之低壓中心將加深，且在我國大陸地區之西風帶已開始南移。

(四) 至31日 1200 Z時， f_0k 最大區涵蓋我國華北至日本一帶，軸線呈東西向，顯示西風帶已達最南，此次冷空氣南下已達末期，其前方之低壓亦已難再發展。

(五) 圖中華北地區 f_0k 之變化，代表該地區西風風速之變化。

由以上分析可見，原27日在華中之新生波於冷空氣南下，所帶動能輸入後始加強，而由計算式可見，此動能實源自噴射氣流，亦就是說，圖中最大動能區代表噴射氣流之位置。如利用等熵軌跡 (trajectories) 追蹤，並計算相同面積內之動能，則不但可找出氣團源地，亦可計算其單位時間之轉換量 (conversion rate)，此點將於後續專文中報告之。

八、結 論

寒潮在大氣運動中的重要性已無可爭議，而此次「冬季季風計畫」之推行，更可見國際間對此一問題深入瞭解之雄心，本文僅為作業期間的一個個案，但由以上之分析探討，亦可對寒潮時大氣之三維結構有較詳細之瞭解，或可有助於學者先進在季風計畫中的研究工作，以及今後有關寒潮之預報作業。由以上分析可見，寒潮不但在水平方向範圍很大，在垂直方面影響亦甚深厚，是以寒潮時200毫巴面上溫度場有極明顯之特徵，而冷渦之垂直結構亦極完整。在另一方面來看，此冷渦之發展與冷高壓是密不可分的，此點可由等熵動能 (f_0k) 之分佈及動態上獲得證明。因而冷渦及相關之能量轉換問題，尚待進一步研究之。

致謝：本文撰寫中承謝維權、程允中、沈睦、李紀恩諸同學代為整理資料，繪製圖表，並承葉文欽同學校閱原稿，在此一併致謝。

參考文獻 References

1. Palmén, E. and C. W. Newton, 1950: On the Three-Dimensional Motions in an Outbreak of Polar Air. *J. of Meteor.*, Vol. 8, pp. 25-39.
2. 俞家忠, 1978: 近年來國內寒潮研究之評介。台灣地區災變天氣研討會論文集編。中華民國六十七年五月，南港中央研究院。
3. Hsieh, Y-P., 1949: An Investigation of a Selected Cold Vortex over North America. *J. Meteor.* Vol. 6, pp. 62-64.
4. Petterssen, S. and S. J. Smebye, 1971: On the Development of Extratropical Cyclones. *Quart. J. R. Met. Soc.* Vol. 97, pp. 457-482.
5. 王時鼎, 1974: 亞洲極地高壓生成發展與台灣地區寒潮中期預報。空軍氣象中心研究報告 007號。
6. Saucier, W. J., 1965: Principles of Meteorological Analysis. The University of Chicago Press.
7. 謝信良、劉廣英, 1978: 近年來國外寒潮研究之評介。同2。
8. 王崇岳, 1978: 台灣寒潮分析與預報。同2。
9. Bodurtha, Jr., and T. Frank, 1951: An Investigation of Anticyclones in Alaska. *J. of Meteor.*, Vol. 9, pp. 118-125.
10. Palmén, E., and C. W. Newton, 1969: Atmospheric Circulation System. Academic Press New York and London.
11. Sechrist, F. S. and J. A. Dutton, 1963: Energy Conversions in a Developing Cyclone. *Mon. Wea. Review.* Vol. 98, No. 5, pp. 354-362.