

台灣地形對鋒面的影響

李尚武
中央氣象局科技中心

一、前言

台灣地處副熱帶地區位於亞洲大陸及太平洋之交界處，冬季中緯度鋒面隨著氣旋發展往往可南下抵經福建及台灣東南海面再向東北移至日本與阿留申群島等地。鋒面系統經過福建東南方與台灣時常受武夷山脈及台灣的中央山脈影響而發生變化。台灣地形由於梯度陡峭，水平尺度較小，因而對接近的鋒面也有不同的效果。Chen (1980)分析顯示梅雨鋒面經過台灣時受中央山脈分離成東西兩段，東段的移動速度顯著高於西段。此外有相當多的學者在台灣地區中尺度實驗計畫中投注大量的分析與模擬(Wang and Wu 1987; Kuo and Chen 1990; Wang and Chen 1990; Lin 1990; Wang et al. 1990)。這些研究分別在觀測分析及數值模擬上指出台灣地形對鋒面的重要及影響，但是在鋒面受地形影響的變化原因的探討上則仍在分析中。

這種鋒面受地形影響後產生的變化及伴隨的現象，長久以來受很多氣象學者矚目。在觀測及分析方面以阿爾卑斯山區有最多的報告。Smith(1982)定性歸納鋒面過山的四個主要現象：鋒面過山前的焚風效應，鋒面水平形變，地形阻擋的分流效應與背風旋生。其他地區也有較少量的觀測報告包括阿帕拉契山、落磯山等(Bosart等1973; Young and Johnson 1984)這些研究顯示由於地形不同，鋒面所受的影響也有所差異。

對於鋒面受地形影響的理論及數值研究大都停留在相當簡化與理想化的模式階段(Bannon 1983, 1984; Davies 1984; Schumann 1987; Zehnder and Bannon 1988; Blumen and Gross 1987; Williams et al. 1992; Li 1992)。從這些研究，我們可以發現在地形對鋒面影響的理論與數值模擬上尚在起步階段。TAMEX實驗對台灣地區的鋒面變化有詳細的觀測分析，也有一部份對伴隨的總線與中尺度環流的數值模擬(Chen 1991; Sun et al. 1991; Tao et al. 1991)。然而對於鋒面受地形影響的結構變形或受台灣地形影響而分裂為東西兩段的成因及伴隨之現象與水汽在這些過程中所扮演的角色仍有待發掘。

本研究就冬季鋒面南下經福建沿海及台灣時伴隨鋒面的溫度梯度及風切現象進行綜觀分析以做為進一步的數值模擬與機制探討的基礎。

二、資料來源與研究方法

我們使用中央氣象局作業蒐集之氣象資料。資料種類包括傳統探空，地面觀測及GTS(Global Telecommunication System)線路上之衛星及飛機報告。研究範圍自東經100度至140度及北緯20度至40度之間，主要包括華南及台灣兩地(圖一)。但是進行客觀分析時，範圍則縮小至台灣附近以減少電腦負荷及提高解析度，使分析結果得以集中在台灣地區。

分析的步驟同時採用主觀分析及客觀分析相互比對。主觀分析參考中央氣象局日常作業之天氣圖重新分析，而客觀分析則採用中央氣象局發展中之最佳內插法客觀分析來獲得網格點資料以利於各項計算及作為將來數值模擬之初始場。客觀分析相所需之初始估計場則來自中央氣象局全球模式之分析場內插而得。

客觀分析的方法採用Lorenz(1981)所提區間法(volume method)。在分析的範圍內分成若干個小區間(volume)，相鄰的區間相互重疊。同一區間內所有網格點上的分析值，由該區間內的三維觀測資料分佈，透過最佳內插法求得分析值。最佳內插法中的相關係數採用中央氣象局現行作業中的係數。進行分析計算時，如果每一分析區間內選取的觀測資料量太少則擴張觀測資料選取範圍。分析的網格距離為20公里。由於鋒面的尺度很小，在客觀分析的模式中不易表現。我們現階段的診斷分析中仍以主觀分析為主，而以客觀分析為輔助。但客觀分析結果將做為數值模擬之初始資料。

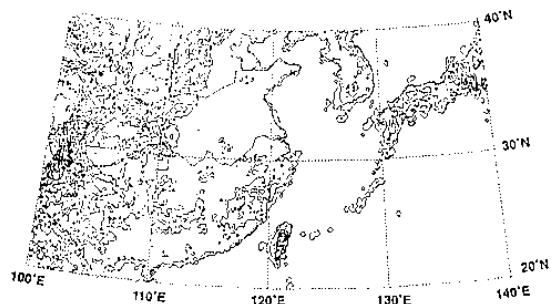


圖1:分析範圍及地形分佈，繪圖等值線區間500公尺。

三、結果討論

a. 綜觀天氣

地面鋒面於二月二十六日發生於華南地區，隨著中緯度的氣旋的發展此鋒面逐漸向東南移動經福建及台灣後出海折向東北至日本等地。低壓中心的移動則於北緯三十度東移後折向東北至日本。從高空天氣圖可以顯示這是一個結構良好的斜壓系統，為典型的冬季氣旋發展、加深與東移之個例，而地面鋒面則伴隨此氣旋的發展向南移動最後受福建及台灣等地的地形影響。

從中低對流層的大氣結構，我們能瞭解在此個案中冷空氣於槽線後方自西南南下而暖平流於槽前流向東北，槽線的位置隨高度向西北傾斜。從主觀的天氣分析的判斷上，此系統在水平溫度分佈及垂直風切均有良好的斜壓性質。利用客觀析取得網格點後，在定量上我們計算了風速的地轉及非地轉分量。這一區域的非地轉分量所佔的比例非常少，也就是說系統大致上滿足地轉平衡。從850hPa至500hPa的東西風之垂直變差約為16m/s，700hPa的南北溫度梯度約為6°C，因此我們可以推測此系統接近熱力風平衡。由此可見，這一個氣旋系統滿足一般準地轉理論所描述的天氣系統。圖二比較850hPa至500hPa的觀測平均風切與計算的熱力風。這些資料顯示在綜觀環境下，這個氣旋系統接近準地轉理論所描述的天氣系統，屬於典型的斜壓系統。

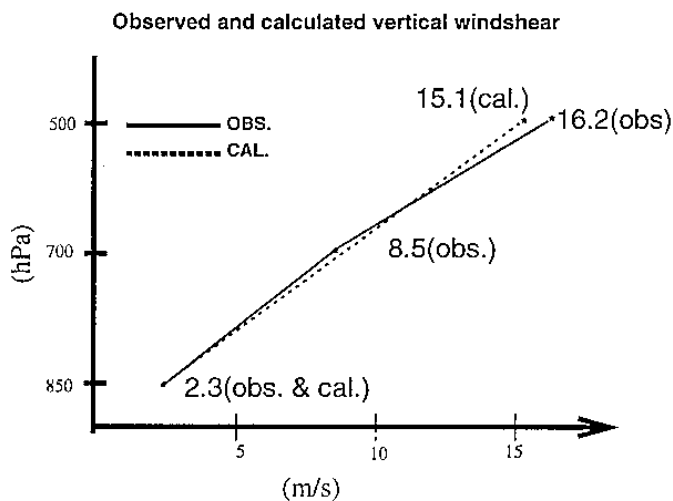


圖2: 850 hpa至500 hpa之間的觀測垂直風切與熱力風的比較。

b. 水平溫度梯度與風切

由於系統發展屬於典型的斜壓系統，我們也發現在鋒面發展的初期地面鋒面位置與水平風切的位置之相吻合的（圖三）。這種氣壓場與風場的地轉一致性隨著鋒面向東南移動受地形影響後逐漸消失。圖中顯示地面鋒面自二月二十七日00Z至二月二十七日18 Z 18小時所移動的距離少於二月二十七日18Z至二月二十八日00Z的6小時。也就是說地面鋒面在受福建山區及中央山脈阻擋時移動的速度顯然減慢，而經過中央山脈後

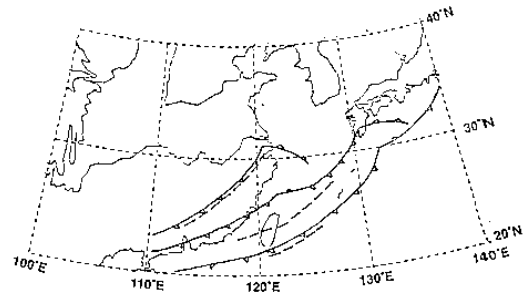


圖3: 鋒面經過福建及台灣的三個時間之地面鋒面與風切之相關位置。實線為鋒面位置，鋒前的虛線為相同時間之風切位置。

則略有相對加速的現象。這種受鋒面阻擋的現象並沒有顯示在水平風切上。我們從客觀分析的結果來顯示風切位置（圖四）可以發現水平風切在前12小時（二月二十七日00Z至二月二十七日12Z）的移動速度不但沒有減緩，反而比後12小時（二

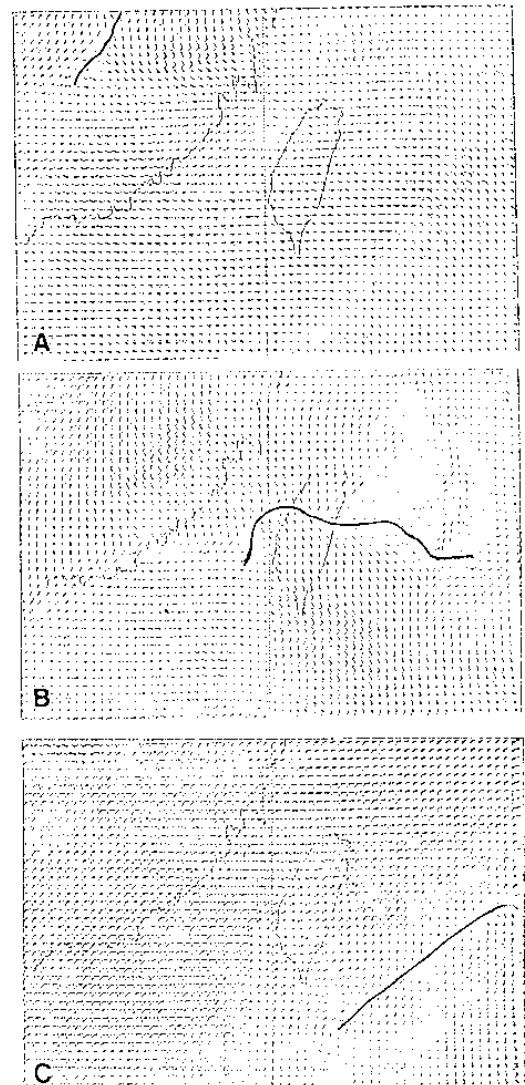


圖4: (a) 1993年2月27日00Z 1000 hpa客觀分析風場，(b) 1993年2月27日12Z 1000 hpa客觀分析風場，(c) 1993年2月28日00Z 1000 hpa客觀分析風場。粗實線為水平風切位置。

月二十七日12Z至二月二十八日00Z)快。也就是說由最大溫度梯度分析得到的鋒面與水平風切的位置在過山時並不一致。與圖三比較，我們可以清楚的發現地面鋒面與風切的位置在過山前與過山後位置相吻合(風切位置略為超前)。但是在鋒面過山期間(二月二十七日12Z)水平風切的位置則有明顯的超前現象，這種鋒面過山時質量場與動量場的分離現象很可能歸因於鋒面受地形強迫後的地轉調適作用。

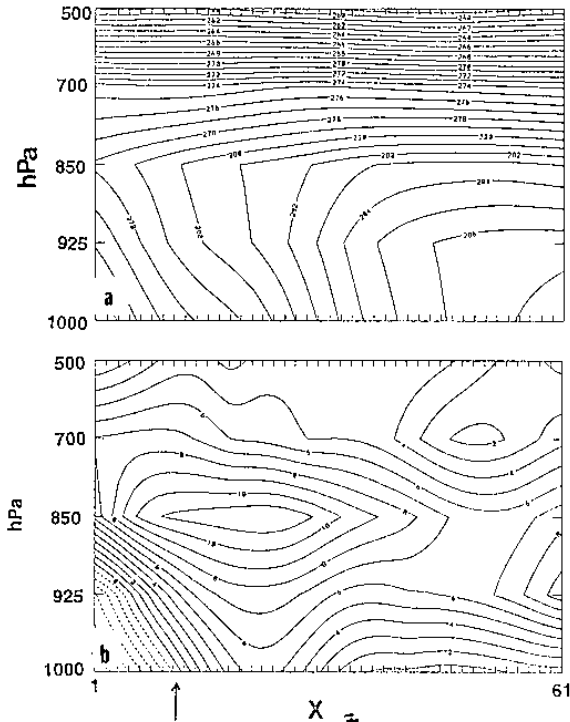


圖5:1993年2月27日00Z 東南向(J=400之垂直溫度剖面，(b)南北風分量

這種質量場與動量場分離的現象也可以在垂直剖面上顯示出來。圖五為鋒面過山前的溫度與南北風切之垂直剖面。圖中我們發現鋒面的位置與風切的位置大致上相吻合，與主觀分析的結果相似的是風切的位置大約也比鋒面的位置超前80公里。鋒面前有明顯微弱南北風分量的低層噴流約11公尺/秒。在二月二十七日12 Z時，我們將垂直剖面放在j=24的位置，可以發現水平風切及低層噴流的位置與鋒面的位置明顯的分離(圖六)。此時風切的位置大約在台灣中部，850hpa的南北風噴流已移至台灣東邊而其西側甚至有局部微弱的北風出現在地面風切位置的東方。也就是說有北風氣流出現在低層的風切之前。這個現象主要來自台灣地形的影響，這個北風出現的位置恰是中央山脈的背風側。因此，這個局部北風的出現不是鋒面南移後的鋒後的北風氣流也不是整個鋒面系統的減弱或潰滅，而只是地形對鋒面系統的局部修正而已。

從圖七可以比較出最大溫度梯度已明顯減弱而且風切與鋒面的位置距離也恢復至100公里左右。圖七b與圖六b比較即能看出此時圖七b中的廣大的北風區域才是伴隨鋒面後有的北風系統。

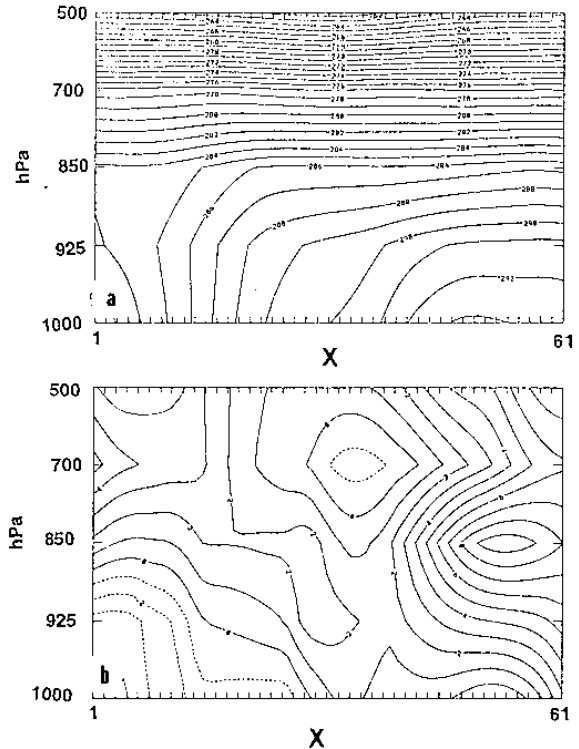


圖6:同圖5，但為1993年2月27日12 Z(J=24)

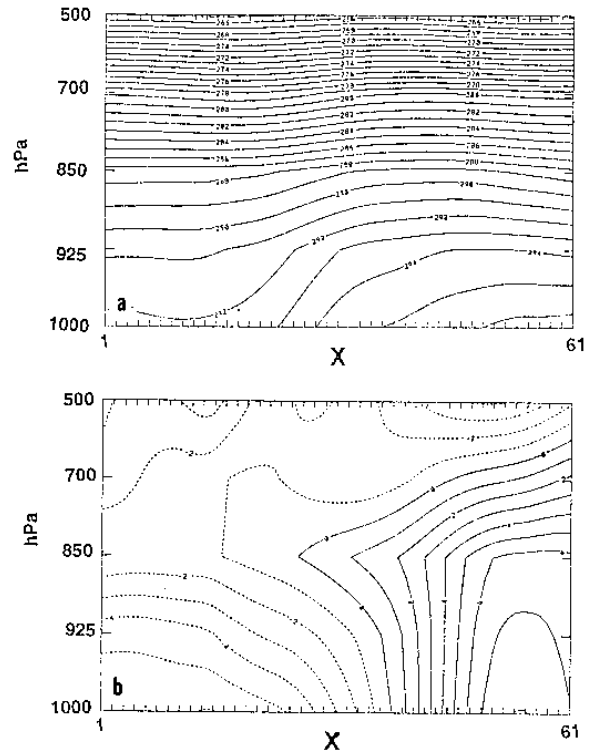


圖7:同圖5，但為1993年2月28日00 Z(J=11)

我們在鋒面上主觀選取氣壓梯度最大的位置，逐時計算沿著鋒面方向的非地轉與地轉風分量的比值(圖八)。從半地轉理論成功的模擬鋒面的生成以後，在物理觀念上我們可以瞭解沿著鋒面(平行鋒面)方向的氣壓均與風場可視為(準)地轉平衡。因此在計算平行鋒面方向的非地轉風時，如果不受外力(如地形、降水等)作用，此項分量應該很小。但是受外力作用以後將影響其他轉平衡而增加非地轉分量。圖七顯示鋒

面在接近武夷山區時非地轉風分量的強度大約佔地轉風分量的一半。隨著時間增加，非地轉分量在27日06Z至27日09Z先有略增再行略降。主要原因可能受武夷山區的影響。當水平風切的位置發生在台灣地區時(27日12Z及15Z)，位於鋒面上的非地轉風分量的強度達到最大(0.8地轉風分量)。在水平風切經過中央山脈抵台灣東南部海面後，此時原位於福建山區的鋒面迅速南移至台灣東南海面與風切位置會合。而非地轉風分量的大小迅速減小。

據 Blumem and Wu(1993), Wu and Blumem (1993)及伍(1994)的利用半地轉模式分析認為地轉調適作用對於大氣鋒生扮演一種積極的角色。由這種質量場與風場在鋒面過山時的分裂與合併現象，我們認為當鋒面過山時由於質量場與風場分離，局部地區不再有(準)地轉平衡出現，因而地轉調適作用很可能在此過程扮演系統平衡回復及鋒生作用。冬季伴隨中緯度氣旋發展的鋒面南下時首先在福建山區經過第一次的地形影響。受影響的鋒面出海經過台灣時再受中央山脈的影響。完成通過中央山脈至台灣東南海面時鋒面的水平結構便逐漸恢復。因此地形對鋒面的影響只局限於山區附近，地形強迫並沒有對鋒面做永久性的改變。

鋒面過山時，首先發現到的是質量場與風場的不一致性，亦即由氣壓場及溫度場所定位的鋒面位置與水平風切的位置間並不一致。顯示鋒面受地形影響時發生質量場與風場間的不平衡及調適作用。鋒面形狀改變可在水平風切中更明顯的顯示出來。在鋒面系統完成過山後水平最大溫度梯度與風切即恢復其原有的一致性。另外，數值模式顯示地形可強迫局部的鋒生(李 1994)，主要的機制為過山氣流的輻合與輻散作用。對於西風或南風氣流而言，台灣地形強迫的主要鋒生位置發生在中央山脈東側而鋒消作用發生在西側。因此，對於隨氣旋發展而南下的鋒面在抵達台灣之前，中央山脈受西南風或東南風包圍。主要的鋒生區位於台灣西北側，但是此鋒生區隨著鋒面接近很快移至台灣東側而西側則改變為鋒消作用。因此鋒面接近時首先在台灣西側遭遇到一個鋒消區，鋒面在此區域先行減弱而在東側加強，此種減弱與加強交替疊加在鋒面上往往讓我們得到鋒面的水平扭曲。在鋒面通過地形而離開地形的局部鋒生與鋒消強迫後即恢復其原有形狀。

地形與鋒面間的作用過程相當複雜且尺度遠小於綜觀尺度，研究人員囿於觀測資料有限(時間及空間均不足)及系統的非線性程度也多少阻礙了理論分析，因此常需大量利用數值模擬。然而數值模擬也往往受限於初始觀測資料不足而在模擬結果的比對上有困難。因而近年來急速發展的資料同化技術藉由數值模式與各種非綜觀觀測資料的植入似可彌補一部份因綜觀觀測網不足所漏失的中尺度現象。本研究獲得之兩個結論：鋒面過山時之質量場與風場分離及地形強迫鋒生乃基於現有觀測資料分析而得，進一步的分析希能著重在此質量場與風場間的不平衡機制與調整過程及藉由中央氣象局發展之資料同化系統

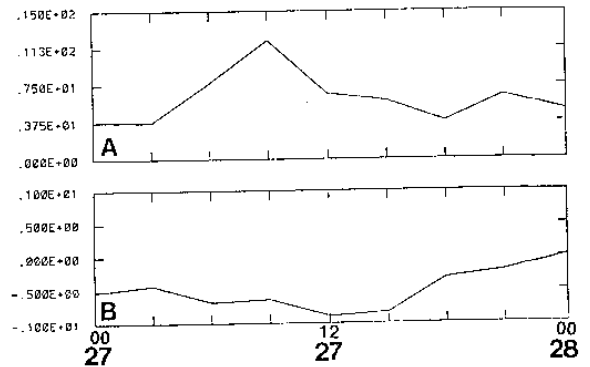


圖8:地面鋒面最大梯度之每三小時(自1993年2月27日00 Z至1993年2月28日00Z)(a)地轉風與(b)非地轉風與地轉風之比值。

大量利用衛星(甚至雷達)提供台灣東方及東南方海面較高的分析品質對此一現象做更進一步的分析。

水汽過程在我們的分析中一直被刻意忽略，這並不表示水汽過程不重要。事實上我們認為水汽的蒸發與凝結在鋒面過山的過程中扮演一極重要但為被動的角色。透過運動及動力過程鋒面過山有其主要的變化架構，這個主要的變化架構將被水汽因其蒸發與凝結的潛想變化修改(或強迫)而有所變化。我們希望在瞭解水汽過程所扮演的角色之前能夠對鋒面過山的動力或運動架構能有完整而透徹的瞭解。因此在描繪此架構之前仍將水汽排除以降低系統的複雜性。

致謝

本研究為國科會支助八十三年專題研究計畫，編號NSC83-0202-M052-010。感謝國科會在經費上的支助，部份的電腦模擬及資源的使用為中央氣象局資訊中心提供，黃麗玫小姐在分析上及蔡翠碧小姐在繪圖上的協助，俞家忠先生及洪景山先生提供不少天氣分析上的寶貴意見，特此誌謝。

參考文獻

- 伍榮生 1994: 熱成風適應和大氣中的鋒生。海峽兩岸天氣與氣候學術研討會論文集編。1994年3月23、24日。台北。145-159。
- 李尚武 1994: 台灣地形強迫的鋒生作用。海峽兩岸天氣與氣候學術研討會論文集編。1994年3月23、24日。台北。174-184。
- Bannon, P. R., 1983: Quasi-geostrophic frontogenesis over topography. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 2266-2277.
- Bannon, P. R., 1984: A semi-geostrophic model of frontogenesis over topography. *Beitr. Phys. Atmosph.*, **57**, 393-408.
- Blumen, W., 1992: Propagation of fronts and frontogenesis versus frontolysis over orography. *Meteor. Atmos. Phys.* **45**,
- Blumen, W., and B. D. Gross, 1987a: Advection of passive scalar over a finite-amplitude ridge in a stratified rotating atmosphere. *J. Atmos. Sci.* **44**, 1696-1705.

- Blumen, W., and B. D. Gross, 1987b: Semi-geostrophic flow over orography in a stratified rotating atmosphere. Part I: Steady three-dimensional solutions over finite ridges. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 3007-3019.
- Blumen, W., C. Hartsough, and B. Gross, 1986: Frontal interaction with orography. *Scientific results of the Alpine Experiment, Vol. II*. GARP Publ. Ser., No. 27, WMO/TD No. 108, 437-444.
- Blumen, W. and R. Wu, 1994: Geostrophic adjustment of a zero potential vorticity flow initiated by mass and momentum imbalances. (Submitted to Journal of Physical Oceanography).
- Bosart, L. F., 1970: Mid-tropospheric frontogenesis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **96**, 442-471.
- Bosart, L. F., V. Pagnotti and B. Lettau, 1973: Climatological aspects of eastern United States back-door frontal passages. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 627-635.
- Chen, G. T. J., 1983: Observational aspects of the Mei-Yu phenomena in subtropical China. *J. Meteor. Soc. Japan*. **61**, 306-312.
- Chen, G. T. J., 1987: Experiment Design of Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX). National Science Council Science and Technology of Disaster Prevention Program, Technical Report 75-01. 35pp.
- Chen, G. T. J., and C.-P. Chang, 1980: The structure and vorticity budget of an early summer monsoon trough (Mei-Yu) over southeastern China and Japan. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 942-953.
- Davies, H. C., 1984: On the orographic retardation of a cold front. *Beitr. Phys. Atmosph.*, **57**, 409-418.
- Kou, Y. H., and R. A. Anthes, 1982: Numerical simulation of a Mei-Yu system over southeastern Asia. *Paper Meteor. Res.*, **5**, 15-36.
- Kuo, Y.-H. and G. T.-J., Chen 1990: The Taiwan area mesoscale experiment (TAMEX): An overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 488-503.
- Schumann, U., 1987: Influence of mesoscale orography on idealized cold fronts. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 3423-3441.
- Smith, R. B., 1986: Mesoscale mountain meteorology in the Alps. *Scientific results of the Alpine Experiment, Vol. II*. GARP Publ. Ser., No. 27, WMO/TD No. 108, 407-423.
- Wang, S. T., 1986: Observational analysis of the interaction between fronts and the orography in Taiwan during the late winter monsoon season. *Proceedings of International Conference on Monsoon and Mesoscale Meteorology*. Taipei, Meteor. Soc. of the R. O. C. and American Meteor. Soc. 123-135.
- Williams, R. T., M. S. Peng and D.A. Zankofski, 1992: Effects of topography on fronts. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 287-305.
- Wu, R. and W. Blumen 1994: Geostrophic adjustment: Frontogenesis and Energy Conversion. (Submitted to Journal of Physical Oceanography)
- Young, G. S., and R. H. Johnson, 1984: Meso- and microscale features of a Colorado cold front. *J. Climate Appl. Meteor.*, **23**, 1315-1325.
- Zehnder, J. A., and P. R. Bannon, 1988: Frontogenesis over a mountain ridge. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 628-644.

