

台灣南部地區氣象環流與綜觀環境之分析

The Analysis of the Local Circulation and Synoptic Environment on Southern Taiwan

宋偉國¹、巫美儀²、李復國²

¹空軍航空技術學院一般學科部部主任

²空軍航空技術學院戰航管氣象組教官

¹Dean of the Academic General School,
Airforce Institute of Technology

²Instructor, Department of Combat Navigation & Weather,
Airforce Institute of Technology

摘要

南台灣空氣品質呈現季節性分佈，本研究分析綜觀天氣系統與局部環流對空氣品質之影響。同一類型天氣持續發生十天以上者共計十類，分別為東北季風、微弱東北季風、分裂高壓、高壓出海、高壓迴流、鋒面接近、西南氣流、太平洋高壓、颱風外圍環流及鋒面滯留，其中東北季風、微弱東北季風、分裂高壓、高壓出海四個個案發生於 11、12 及 1 月冬季，而西南氣流、太平洋高壓、颱風外圍環流三個個案發生於 7-8 月夏季，至於高壓迴流、鋒面接近、鋒面滯留三個個案則發生於春、秋及初夏季節交換之際，其中東北季風與高壓迴流為南部地區綜觀天氣系統類型出現頻率最高者。本研究顯示，南部地區大部分時期日夜溫差明顯，興達港附近氣流於十個天氣類型中，均有顯著之日夜環流差異現象，顯示局部環流現象很明顯。

本研究以興達港區域出現最多之綜觀天氣系統-東北季風與高壓迴流二者為模擬個案，東北季風之模擬，顯示 MM5 初始風場雖為東北風，但是隨著日出後，則白天為西北風，夜間高雄部分地區轉為東北風，但是興達港附近仍為西北風。高壓迴流之模擬，MM5 白天亦為西北風，夜間興達港附近仍為西北風，高雄與恆春則出現部份西南風。顯示對於興達港附近而言，不同之綜觀天氣系統，所反映之局部環流是相似的，亦即局部地區的氣候特性較綜觀天氣系統特性為重要，至於高雄以南地區，則受到地形效應影響，不同天氣系統將導致不同之複雜氣流特性。

關鍵字：局部環流、綜觀環境、MM5

一、前言：

台灣位於太平洋與亞洲陸塊交界之亞熱帶區，為世界著名季風區，冬季盛行東北季風、夏季則為西南季風，期間則有冷鋒、梅雨鋒、颱風等綜觀天氣系統影響本省，兼之台灣四面環海，並且地形陡峭複雜，中央山脈縱貫南北，山脈東側斜坡陡峭，山脈以西坡度較緩，中尺度天氣系統如海陸風、山谷風、山岳波等系統均常見於本省。並且當綜觀天氣系統伴隨之氣流遇到台灣地形的阻擋及海陸溫差對比時，不同尺度交互作用所引起的局部天氣極為複雜，依大氣之穩定度、風速、風向及地形高度，均會有不同的氣流特徵(Smolarkiewicz and otunno,1990)。

局部環流對於能見度、雷雨等現象的產生或是空氣污染源傳送過程均有顯著影響，然而其複雜性也往往是預報上一大挑戰。李崇德(1996)以屏東站 1993 年 10-12 月污染物濃度、地面與東港探空資料分析，運用李清勝(1996)高污染綜觀天氣類型類比法，發現於冬季台灣南部地區，高污染的天氣類型與空氣品質劣化相關之歸類上，有些個案出現冬半季相同天氣系統類型卻出現不同空氣品質，以及相同天氣類型下，發生差異極大之風場，而致不同程度之空氣品質等現象。此種現象顯示台灣南部地區空氣污染情形並非綜觀天氣系統所能完全掌握，局部環流可能有重要的角色。李(1995)與李等(1994)研究顯示，冬季台灣空氣品質區中，品質惡化最嚴重之區域為高雄縣、高雄市與屏東縣，高雄縣市為工業集中且車輛多之地區，本身污染源較多，因此空氣品質不良。但是屏東縣本身並非工業區，車輛也並非很密集，其空氣不良日數卻是全省最高的。由於屏東位於高雄東南方，高屏地區冬季盛行西北風，顯示風場可能將高雄污染物往屏東平流。另外，冬季冷鋒僅到達北部與中部，鋒面伴隨的降雨可以沖刷掉污染物，並且鋒後為新鮮冷空氣，因此使台灣北、中部空氣品質較佳，南部地區則鋒面無法到達，並且東北季風南下，遇到中央山脈後，氣流過山形成下沉運動，也不利於污染物垂直擴散。另一種原因是，白天海風顯著，午後局部低壓環流顯著，夜間沿海地區變成偏北風，屏東附近

低壓環流消失，但屏東一帶變成靜風，使該處空氣處於不動狀態，污染物無法透過陸風效應移到海上。

白天日照形成海風後，利於污染物濃度在陸地上堆積，但是日照同時也可能形成熱力亂流，將污染物濃度往高空傳，稀釋地面污染物濃度。邊界層紊流程度與混合層高低也會對污染物傳送過程形成影響。林沛練等(1990)於台灣北部觀音工業區做密集資料觀測，發現白天地表熱量上傳，海風入侵內流，混合層較高，污染物較易垂直擴散。夜晚則穩定層接近地面，垂直渦流擴散能力小，地面濃度因而增大。林武煌(1984)利用二維模式風場，代入不考慮水平紊流擴散之三維污染物質量保守擴散模式，探討海風環流影響下，濱海地區污染物擴散現象。發現離岸盛行風下，與海陸對比引發之海風環流作用後，使污染情形較嚴重，污染物由海風帶往內陸，但反向之離岸盛行風，使污染物侷限於濱海地區。蔡與童(1987)於恆春半島個案分析顯示，夏季當盛行氣流為西南風時，個案顯示十一點時恆春吹西風、恆春南側墾丁則為西南風，顯示恆春受氣流繞山與海風影響。夜間吹西南風時，恆春仍吹西風，陸風並不顯著。冬季時，東北季風下，滿州吹東北風，恆春半島則吹東風，墾丁則吹東北風。顯示恆春冬季與夏季均受氣流繞山影響，夏季盛行風較弱時，則受海風影響。秋季時，大範圍吹西南風時，受海風與繞山影響，恆春為東南風，而一支氣流繞過墾丁，與頭溝西北氣流於北樹林形成輻合。春季伴隨鋒面過境，會在核三廠與墾丁間造成輻合。由上述研究顯示，恆春半島四季均有不同之局部環流特徵。蔡與周(1979)研究北台灣局部環流，發現該區兼受海陸風與山谷風影響，夏季日間氣旋式輻合氣流顯著，輻合中心位於大屯山與七星山間。夜間局部環流與日間相反，屬於反氣旋輻散。冬季受東北季風影響，並未出現顯著氣旋式環流，東北季風受地形阻擋影響，風向分為三支，分別沿著基隆河及淡水河谷進入台北盆地，會合後經鶯歌附近流出。

興達港火力發電廠位置設在高雄縣內，與台南交界之沿海附近，其地形與海陸風效

應造成之影響，附近局部效應顯著與否，均值得進一步探討。本文目的即在針對興達電廠附近氣流做分析，本研究將影響電廠之綜觀天氣型態分類，並藉由觀測的空間解析，以及數值模擬提供的高解析度資料，分析該區附近環流分佈情形。運用一整年氣象資料，探討該區在各類綜觀天氣系統影響下，局部環流之特徵。

二、資料分析與模式簡介

本研究目的在於研究興達港附近局部氣候與綜觀天氣系統分別所扮演之角色，天氣系統類別係依照洪(2001)之分類方式，由於興達港位置位於高雄縣，並與台南相近，因此本研究以中央氣象局提供之台南、高雄、恆春三個地面站資料分析興達港氣象環境，另一方面，由於南部地區氣象資料解析度仍不足以完成分析局部環流結構，因此本文另以數值模式 MM5 模擬之氣流做為興達港區域環流分析，並模擬二種不同之綜觀天氣系統，分別是東北季風與高壓迴流，探討此二種綜觀天氣系統情形下，興達港附近環流的特徵。研究方法為運用中央氣象局提供天氣圖進行分析，以 2002 年為主，探討興達港附近地區之天氣形態種類。以南部地區三個氣象觀測資料，配合數值模式 MM5 模擬興達港環流分布情形，比較綜觀天氣系統與局部地區氣流的特性。本研究採用 MM5 模式，模擬興達港附近地區環流的分布。選用範圍包含四層巢狀網格模式，所涵蓋範圍如圖 1 所示，第一層水平解析度為 27 公里，網格點數 61*61，範圍涵蓋東亞地區。其次第二至第三層網格水平解析度分別為 9、3 公里，涵蓋範圍包含台灣至南部地區，地形解析度最高達 1 公里。本研究所用之 MM5 第三層網格地形分佈如圖 2 所示，其中興達港與台南、高雄、恆春氣象站相關位置分佈如圖 3 所示。

MM5 物理項部分，降水採用顯式降水，加上暖雲過程，次網格用 Grell 格式；PBL 處理方面，用高解析度 PBL 參數化方式，地面層以 bulk Richardson number 為依據，將模式分成夜間模組(nocturnal regime)及自由對流模組件(free-convection regime)，夜間模組成穩定、機械強迫亂流及強迫對流等三類。第一類乃大氣穩定

且垂直風切很小下，亂流效應很小，故亂流通量設為零，第二類為大氣穩定但垂直風切顯著，第三類則大氣具弱不穩定度且垂直風切顯著時，第二、三類的亂流主要發生在地面層，故地面層溫度、水氣及風場均由預報方程求取。自由對流模組為近地層大氣對流顯著時，混合層內變數上下混合明顯，變數的改變和整個混合層有關，故混合層內各層之預報值主要由地面層以上至該層變數垂直梯度決定，而非 K 理論以相鄰二層變數垂直梯度作參數化求解。近地層在超絕熱情況下，氣塊位溫比環境高，透過浮力往上升，至氣塊位溫與環境相等的高度，此高度再多加百分之二十的高度即為 PBL 高度。多加百分之二十的意義，在於考慮氣塊的慣性作用，將使氣塊略超過和環境等溫時的高度所致。

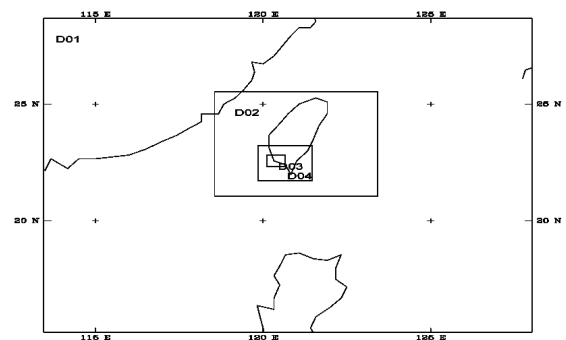


圖1 MM5模擬範圍。

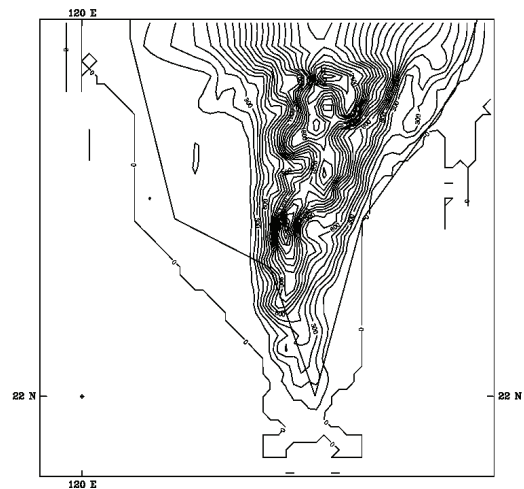
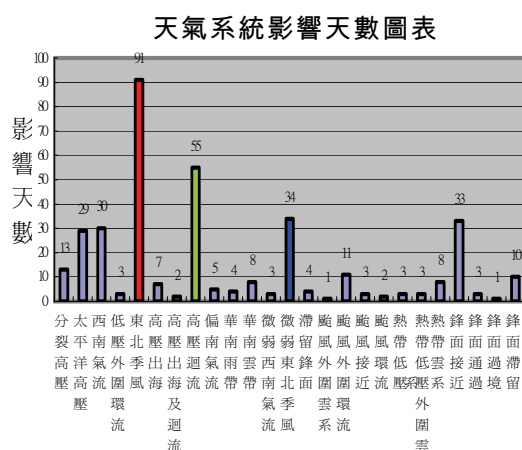


圖2 MM5模式第三層所用之地形。

三、興達港伴隨之綜觀天氣系統

本研究以 2002 年為例，興達港地區之綜觀天氣系統包含東北季風等十類(圖 3)，發生之天氣類型天數超過十天者分別為 1. 東北季風 91 天 2. 高壓迴流 55 天 3. 微弱東北季風 34 天 4. 鋒面接近(或稱鋒前暖區)33 天 5. 西南氣流 30 天 6. 太平洋高壓 29 天 7. 分裂高壓 13 天 8. 颱風外圍環流 11 天 9. 鋒面滯留 10 天。這些天氣系統以 2003 年季節分析而言，一季超過十天以上之天氣系統分別為：春季有高壓迴流、東北季風、鋒面接近三種系統(圖 4)，夏季有太平洋高壓、西南氣流、颱風外圍環流、鋒面滯留(圖 5)，秋季為東北季風、微弱東北季風、高壓迴流(圖 6)，冬季則為東北季風、分裂高壓、高壓迴流(圖 7)。



天氣系統

圖 3 2002 年影響台灣之各類綜觀天氣類型發生之天數。

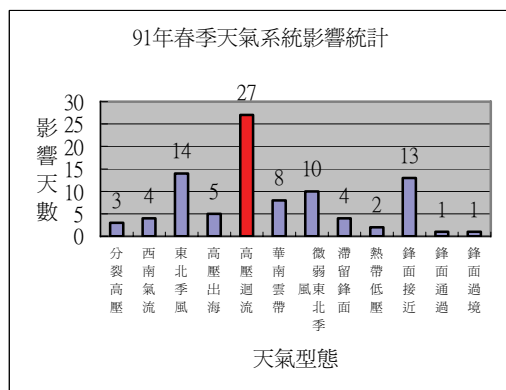


圖 4 2002 年春季影響台灣之各類綜觀天氣類型發生之天數。

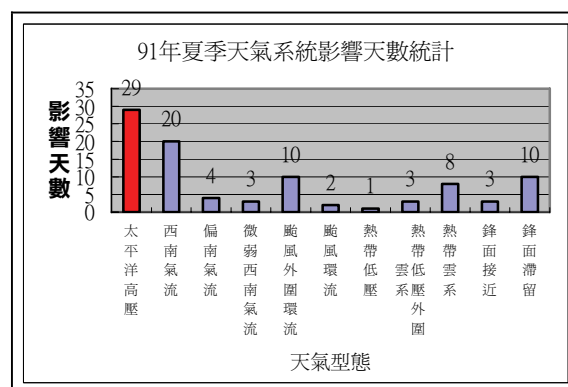


圖 5 2002 年夏季影響台灣之各類綜觀天氣類型發生之天數。

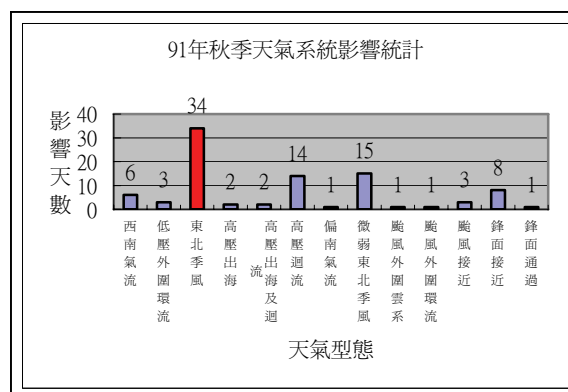


圖 6 2002 年秋季影響台灣之各類綜觀天氣類型發生之天數。

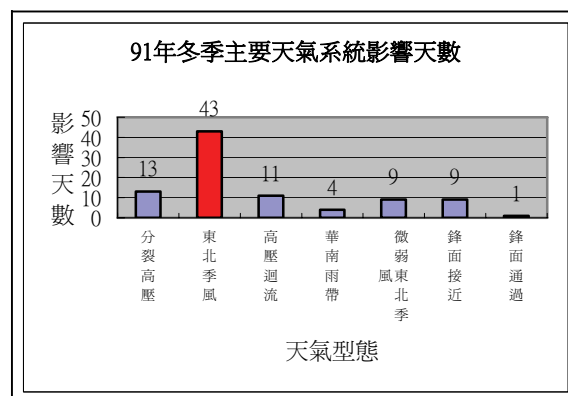


圖 7 2002 年冬季影響台灣之各類綜觀天氣類型發生之天數。

由天氣系統分析顯示，興達港附近地區的綜觀天氣除了於夏季以太平壓高壓為多天數外，其餘各季節均為東北風與微弱東北季風發生次數最多。以 2002 年發生十天以上之綜觀天氣類型合計共十類，分別為東北季

風、微弱東北季風、分裂高壓、高壓出海、高壓迴流、鋒面接近、西南氣流、太平洋高壓、颱風外圍環流及鋒面滯留。興達港地理位置相當接近台南，十類綜觀天氣系統中，所對應之日期與當日台南溫度分佈如表 1 所示，顯示台南地區即使在冬天，白天溫度均在 20℃ 以上，而清晨與夜間則冬天溫度低於 15℃，與白天溫差可達 10℃ 以上。台南地區之氣候雖有受季風的影響，在夏季是受太平洋高壓影響，冬季受大陸冷氣團控制，然而無論是哪一種綜觀天氣系統，其日夜溫差可達 10℃，顯示台南地區局部環流現象相當顯著。以台南、高雄、恆春三個地區為例，這些地區亦均有顯著的日夜溫差(表 1)，就風場而言，以台南測站為例(表 2)，除了高壓迴流整日均為西北風外，其他九種天氣類型局部環流均有顯著日夜差異，此顯示興達港附近氣流無論綜觀天氣系統如何，區域性環流結構仍相當顯著。

表 1a 台南溫度

個案	類別	時間	05 時	14 時	21 時
1	東北季風	12/28	13.5	19	16.8
2	微弱東北風	12/2	20.9	28.2	21.9
3	分裂高壓	1/8	13	22.6	15.9
4	高壓出海	11/9	19.3	26.5	23.5
5	高壓迴流	4/29	24	29	25.5
6	鋒面接近	9/16	25.8	31	28.8
7	西南氣流	7/5	28.2	32.6	30.1
8	太平洋高壓	7/24	28.3	31.9	29.6
9	颱風外圍環流	8/27	27.4	31.9	29.4
10	鋒面滯留	5/15	26.2	31.3	26.5

表 1b 高雄溫度

個案	類別	時間	05 時	14 時	21 時
1	東北季風	12/28	15.2	21.3	18.4
2	微弱東北風	12/2	21	27.7	24.1

3	分裂高壓	1/8	15.8	23.9	18.7
4	高壓出海	11/9	21.6	27.1	24
5	高壓迴流	4/29	25.2	30.2	20.8
6	鋒面接近	9/16	27	30.6	28.1
7	西南氣流	7/5	27.7	34	29.2
8	太平洋高壓	7/24	28.2	31.5	29
9	颱風外圍環流	8/27	27.3	32.9	29.2
10	鋒面滯留	5/15	26.5	32.7	27.4

表 1c 恆春溫度

個案	類別	時間	05 時	14 時	21 時
1	東北季風	12/28	15.4	21.1	22
2	微弱東北風	12/2	22.3	28	24.6
3	分裂高壓	1/8	19	21.9	18.4
4	高壓出海	11/9	22.1	24.8	22
5	高壓迴流	4/29	25	31	25.4
6	鋒面接近	9/16	24	30.9	26.2
7	西南氣流	7/5	28.3	33.7	28.8
8	太平洋高壓	7/24	25	32.3	28.3
9	颱風外圍環流	8/27	24.9	31.9	28
10	鋒面滯留	5/15	26.7	31.4	27

表 2 十類天氣系統台南清晨(05 時)、白天(14 時)、夜間(21 時)風向。

個案	類別	台南 05 風向	台南 14 風向	台南 21 風向
1	東北季風	北風	東北風	東北風
2	微弱東北風	東北風	北風	東北風
3	分裂高壓	東北風	西北風	東北風

4	高壓出海	東北風	西南風	西北風
5	高壓迴流	西北風	西北風	西北風
6	鋒面接近	東南風	西南風	南風
7	西南氣流	東南風	西南風	西南風
8	太平洋高壓	北風	西北風	西北風
9	颱風外圍環流	東南風	西南風	西北風
10	鋒面滯留	東南風	西南風	南風

對於台南地區氣候統計而言，1971-2000 年近三十年資料顯示(表略)，台南地區降雨最多的幾個月份為 5-9 月，月平均降雨日數 9-13 天，5-6 月為梅雨季，7-8 月為颱風季節，9 月則已漸漸轉為東北季風型態，顯示台南地區的降雨主要為初夏梅雨及夏季颱風季節所致。就溫度分布而言，最高溫月份為七月的 32.9℃，與一月的最高溫 23℃相差近 10℃。就最低溫而言，台南一月份最低溫為 13.6℃，與一月份最高溫 23℃相差近 10℃，而七月份最低溫 26.1℃與最高溫 32.9℃相差近 7℃，顯示台南地區無論最冷月或最暖月日夜溫差現象均顯著存在，此種日夜溫差將導致局部環流的盛行。

四、MM5 模擬興達港環流分析

本文將以數值模式模擬十個個案中，出現頻率最高的東北季風，以及次高的高壓迴流二個案作數值模擬，透過二個案模擬之風場比較，分析不同綜觀天氣系統之區域環流特徵。

(一)東北季風-12 月 28 日

2002 年 12 月 28 日 0000UTC 時，綜觀天氣系統顯示(圖 8)，華中 30N 附近地區存在一高壓，中心強度 1030hPa，高壓前緣具顯著氣壓梯度力，華南與台灣均盛行東北季風，冷鋒已到達巴士海峽。本個案顯示，透過 30N 附近地區冷高壓影響，華南與台灣

均盛行東北季風，台南地區地面溫度顯示(表 1)，清晨 0500LST 溫度為 13.5℃，而高雄與恆春亦僅有 15.2℃及 15.4℃。下午 1400LST 時，台南溫度已經上升至 19℃，高雄為 21.3℃，恆春為 21.1℃。晚上 2100LST 台南溫度下降至 16.8℃，高雄為 18.4℃，恆春則仍為 21.2℃。由溫度資料顯示本個案有溫度之日夜變化約 6℃，而風場方面而言，台南風速由清晨至夜間均約 3m/s 以上(表 2)，風向則均偏東北風或北風。

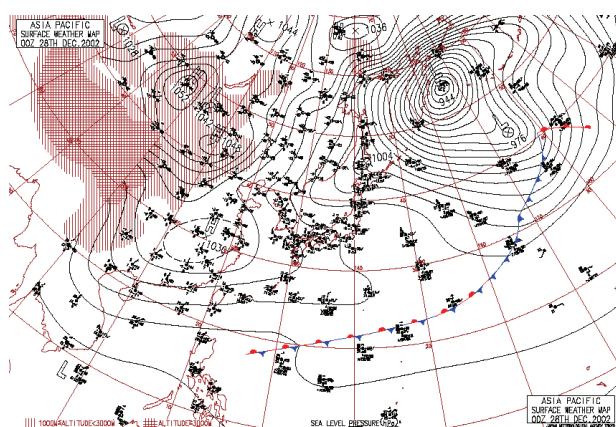


圖 8 2002 年 12 月 28 日東北季風地面天氣圖。

MM5 模擬結果顯示，0800LST 初始時間南台灣仍為東北風(圖 9a)，唯 1100-1400LST 時台南、高雄風向已轉為西北風(圖 9b、9c)，屏東則仍為東北風，受到海陸溫差對比影響，海風效應使台南、高雄氣流由東北風轉為西北風型態。夜間於興達港附近仍為西北氣流，另外，MM5 於高雄市區顯現一中尺度氣旋環流，此環流使高雄內陸地區風場轉為東北風，該氣旋於夜間 2000LST 仍存在(圖 9d)。由於 MM5 模擬之氣旋範圍很小，並位於高雄市海陸交界之處，現有觀測站並無法驗證此低壓氣旋是否存在，未來可進一步於此區實施密集觀測實驗，驗證其風場正確性。唯大致而言，本個案東北季風型態，MM5 模擬結果，白天風場由東北風轉為西北風之現象相當一致。

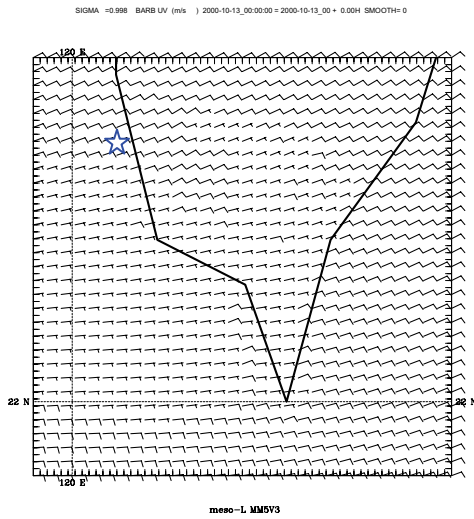


圖 9a MM5 東北季風模擬(0800LST)，
☆ 代表興達港

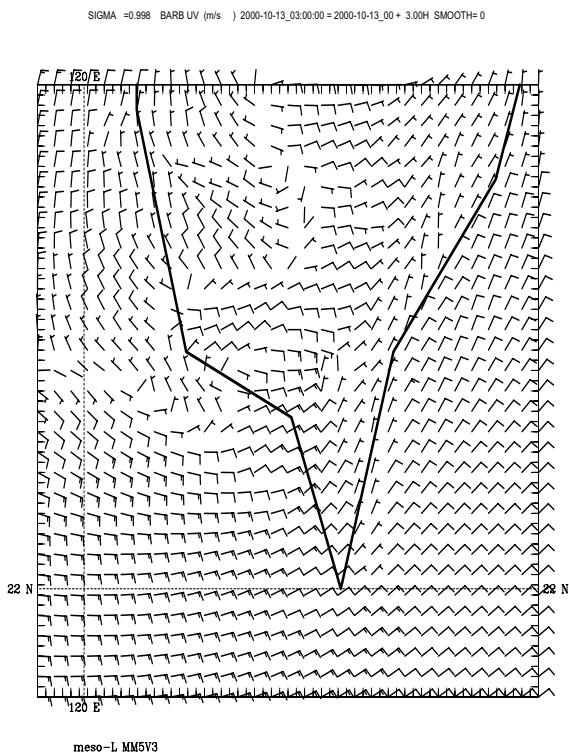


圖 9b MM5 東北季風模擬(1100LST)

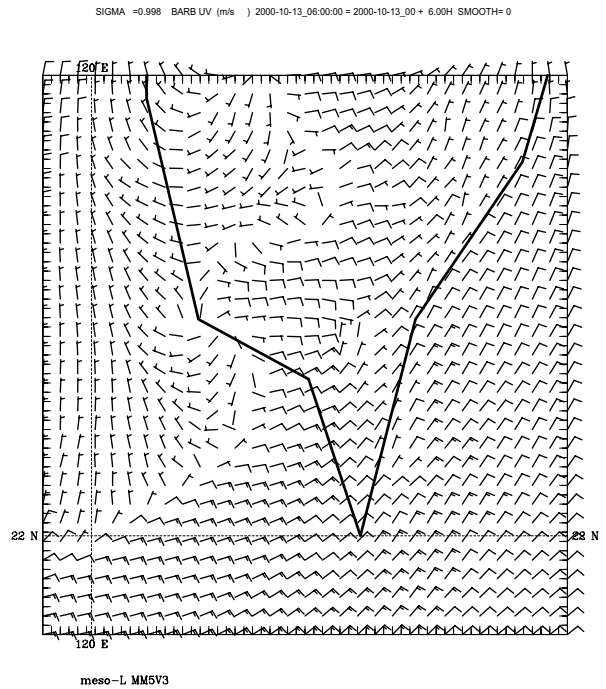


圖 9c MM5 東北季風模擬(1400LST)

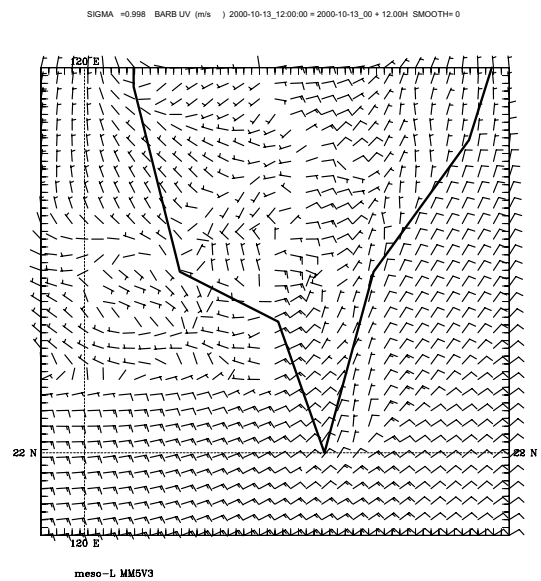


圖 9d MM5 東北季風模擬(2000LST)

(二)高壓迴流-4月29日

2002年4月29日0000UTC時，綜觀天氣系統顯示(圖10)，移動性高壓已經東移至太平洋，華中地區山東沿海為氣旋伴隨之鋒面系統，此系統離台灣仍遠，華南與台灣均處於高壓迴流系統影響，大範圍風場為東南風型態。台南地區地面溫度顯示(表1)，清晨0500LST溫度為24℃，而高雄與恆

春為 25.2℃ 及 25℃。下午 1400LST 時，台南溫度上升至 29℃，高雄為 30.2℃，恆春為 31℃。晚上 2100LST 台南溫度下降至 25.5℃，高雄為 20.8℃，恆春則仍為 25.4℃。由溫度資料顯示本個案有溫度之日夜變化，幅度約 5℃，而風場方面而言(表 2)，台南風向為西北風，白天風向仍為西北風，夜間則風向仍為西北風。

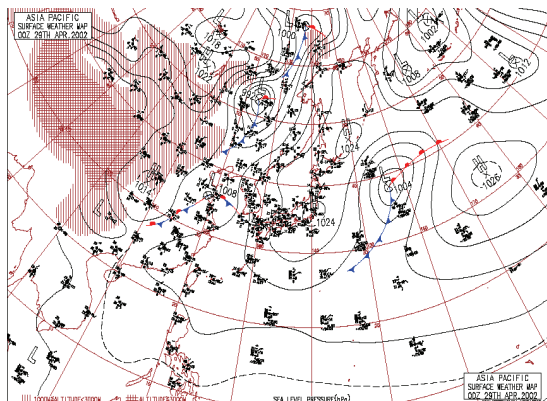


圖 10 2002 年 4 月 29 日高壓迴流地面天氣圖。

MM5 模擬結果顯示，0800LST 初始時間台南與高雄地區風場仍為偏東北風(圖 11a)，其外側濱海地區亦為東北風。1100-1600LST 台南與高雄風向轉為西北風型態(圖 11b、11c)，夜間 2000LST 台南、高雄北部仍為西北風型態主導(圖 11d)，高雄南部則有部分西南氣流，此亦為氣流過山之反應。

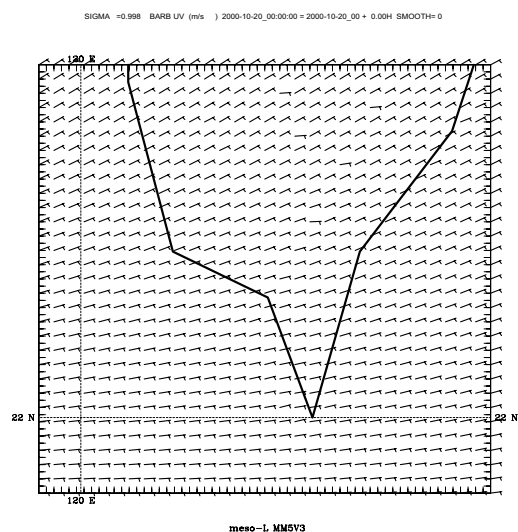


圖 11a MM5 高壓迴流模擬(0800LST)

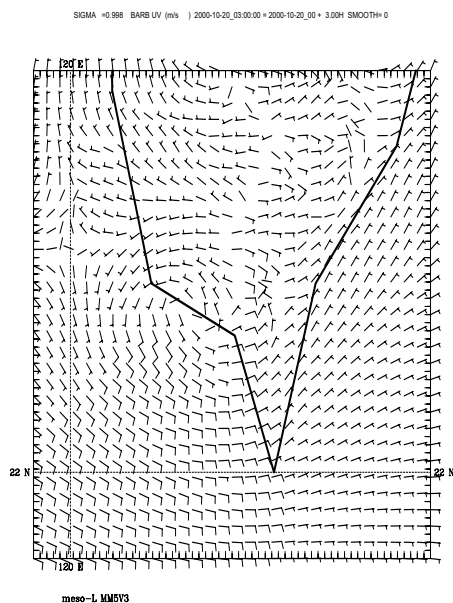


圖 11b MM5 高壓迴流模擬(1100LST)

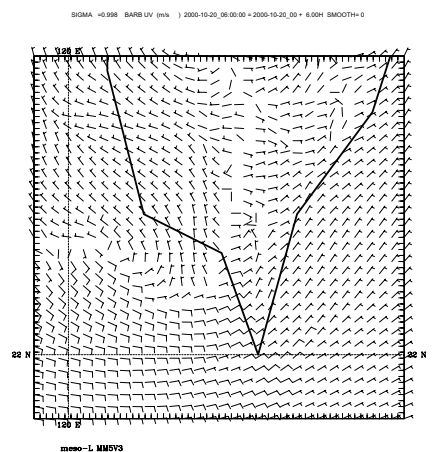


圖 11c MM5 高壓迴流模擬(1400LST)

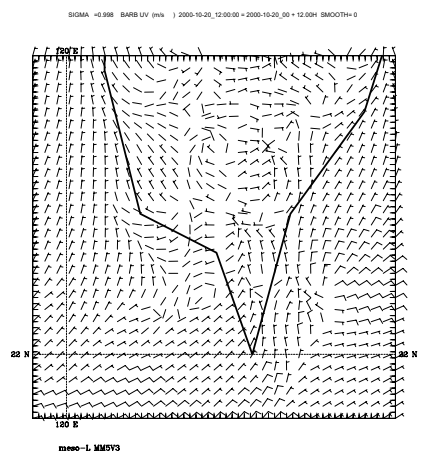


圖 11d MM5 高壓迴流模擬(2000LST)

本個案東北季風與高壓迴流之模擬，雖然綜觀天氣系統二者有顯著差異，唯 MM5 模擬興達港附近之氣流而言，二個案白天均轉為西北風，海風現象相當顯著，夜間二者於興達港亦仍持續為西北風，二者結果顯示局部環流扮演之角色較綜觀天氣系統為顯著。

五、討論與結論

本研究選取 2002 年發生十天以上之綜觀天氣類型個案共計十類，分別為東北季風、微弱東北季風、分裂高壓、高壓出海、高壓迴流、鋒面接近、西南氣流、太平洋高壓、颱風外圍環流及鋒面滯留，其中東北季風、微弱東北季風、分裂高壓、高壓出海四個個案發生於 11、12 及 1 月冬季，而西南氣流、太平洋高壓、颱風外圍環流三個個案發生於 7-8 月夏季，至於高壓迴流、鋒面接近、鋒面滯留三個個案則發生於春、秋及初夏季節交換之際，其中東北季風與高壓迴流為南部地區綜觀天氣系統類型出現頻率最高者。本研究顯示，南部地區大部分時期日夜溫差明顯，興達港附近氣流於十個天氣類型中，均有顯著之日夜環流差異現象，顯示局部環流現象很明顯。

本研究以興達港區域出現最多之綜觀天氣系統-東北季風與高壓迴流二者為模擬個案，東北季風之模擬，顯示 MM5 初始風場雖為東北風，但是隨著日出後，則白天為西北風，夜間高雄部分地區轉為東北風，但是興達港附近仍為西北風。高壓迴流之模擬，MM5 白天亦為西北風，夜間興達港附近仍為西北風，高雄與恆春則出現部份西南風。顯示對於興達港附近而言，不同之綜觀天氣系統，所反映之局部環流是相似的，亦即局部地區的氣候特性較綜觀天氣系統特性為重要，致於高雄以南地區，則受到地形效應影響，不同天氣系統將導致不同之複雜氣流特性。

參考文獻

- [1]王永壯，1996：台灣北部海岸複雜地形下局部環流與大氣擴散之研究，**台灣大學大氣科學研究所博士論文**，202頁。
- [2]李清勝，1995：台灣地區空氣污染預警系統建置之研究，**環保署研究報告EPA-84-E3L1-09-01**，279頁。
- [3]李清勝，1996：空氣品質預報技術之發展，**環保署研究報告EPA-85-E3L1-09-02**，331頁。
- [4]李崇德，1996：空氣品質品保及應用-空氣品質監測時間及空間的特性分析，**環保署研究報告EPA-85-L102-09-05**，321頁。
- [5]林武煌，1984：海風環流影響下濱海地區擴散現象研究，**台灣大學大氣科學研究所碩士論文**，83頁。
- [6]林沛練，張隆男、陳景森，1990：海風邊界層之發展與污染物濃度的日變化，**大氣科學**，18，287-308。
- [7]林沛練，1999：南高屏地區空氣污染總量管制規劃—D2子計畫MM5氣象模式模擬及四維同化期末報告，行政院環境保護署，137頁。
- [8]吳俊傑、林沛練，2001：南高屏地區空氣污染總量管制規劃—空氣品質模式組B3子計畫氣象模式之模擬應用及觀測數據驗證期末報告，行政院環境保護署，170頁。
- [9]洪崇軒、袁中新、楊宏宇、宋偉國、張凱軍，2001：“氣象條件對高雄地區空氣品質之預測與分析計劃”，高雄市環保局研究報告
- [10]蔡清彥、童雅卿，1987：台灣南端地區局部環流之研究，**大氣科學**，15，1，69-88。
- [11]蔡清彥、周根泉，1979：台灣北部地區局部環流及其北部核能電廠廢氣擴散之影響，**國立台灣大學研究報告**，35頁。
- [12]Smolarkiewicz,P., and R.Rotunno，1990：Low Froude number flow past three dimensional obstacles. Part II：Upwind flow reversal ozen. **J. Atmos.Sci.**, 47,1498-1511