

## CALMET 客觀分析與 MM5 氣象模式在台灣中南部山區 應用之風場模擬結果比較

林清和<sup>\*</sup>，輔英科技大學 環境工程與科學研究所  
楊奕德，輔英科技大學 環境工程與科學研究所  
邱晉威，輔英科技大學 環境工程與科學研究所  
賴信志，長榮大學 綠能與環境資源學系

\*林清和 教授 Email: PL018@fy.edu.tw

### 摘要

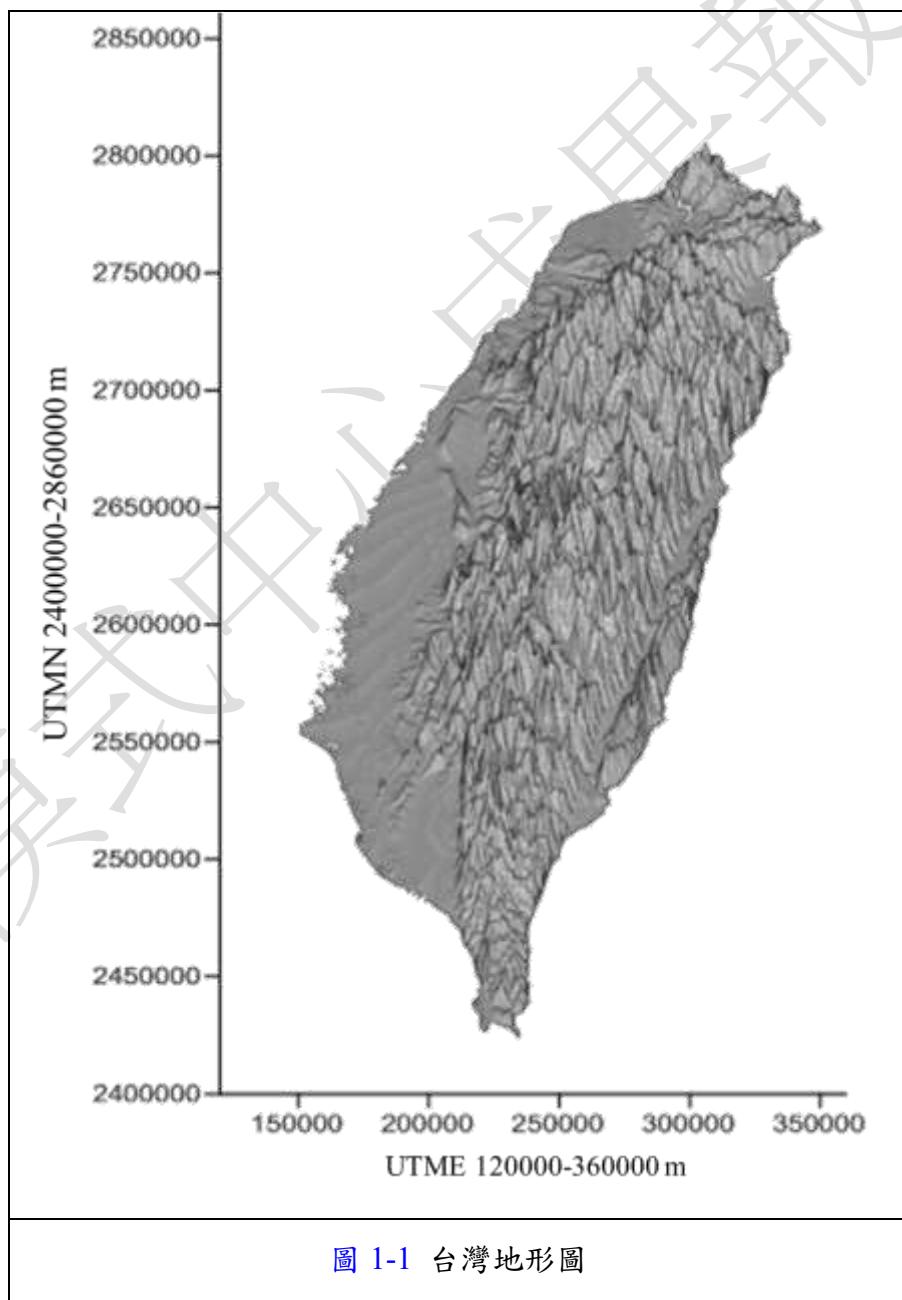
本研究探討 CALMET 客觀分析與 MM5 氣象模式在台灣中南部山區風場模擬結果之差異，分析的案例期程為 2007 年 5 月 5 日 0000 LST 至 2007 年 5 月 11 日 2400 LST，為典型容易出現臭氧污染事件之高壓迴流綜觀天氣。研究結果顯示 CALMET 客觀分析法無法合理產生地形效應所造成的夜間下坡風與日間上坡風特性，且在探空資料時空解析度不足的條件下，會導致距離地面 500 公尺以下的氣流，可穿越 1,500~3,000 公尺中央山脈之不合理現象。另外，以平坦地區的氣象測站(例如台灣西部氣象站)利用客觀分析法預測高山地區之觀測風場(例如阿里山或玉山)，結果相當不理想( $R^2 < 0.08$ )。建議台灣地區之客觀分析所使用的氣象測站與風場預測範圍應該同屬於相同的氣源地區，而由地面氣象站資料經客觀分析所產生之三維風場，其夜間適用的高度為 200 公尺以下，日間為 400 公尺以下。

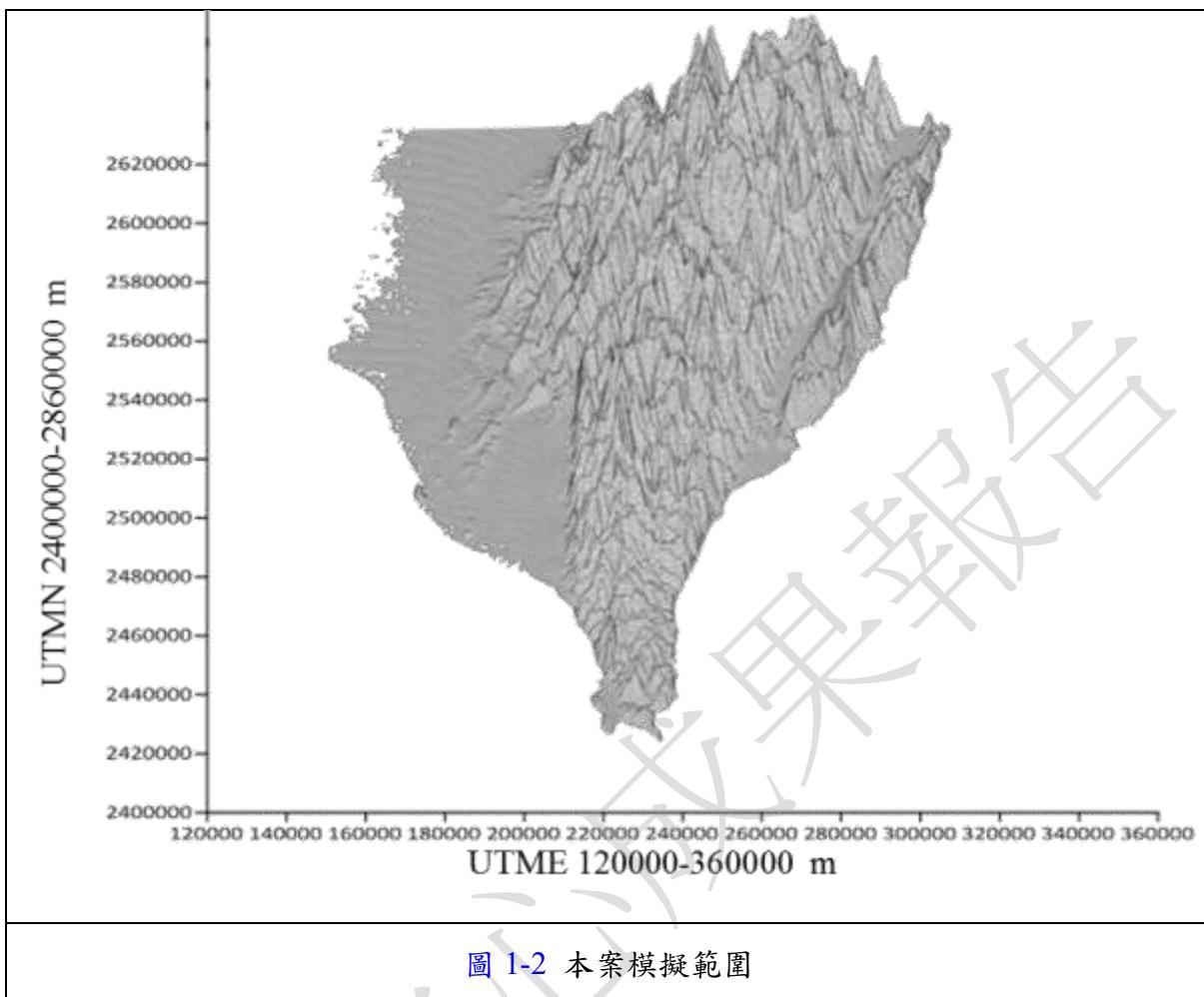
**關鍵字：**CALMET、MM5、三維風場、海陸風環流

### 一、前言

風場主控空氣污染物傳輸與擴散，空氣品質模擬過程中輸入不合理或不正確的風場將誤導空氣污染之成因、空氣污染的影響區域、空氣污染的影響程度，甚至誤導空氣污染防治策略的擬定。隨著空氣品質模式的發展與電腦運算速度的提升，目前模擬非穩態與三度空間的空氣品質模式已是分析 50 公里尺度以上空氣污染現象之主流模式，而非穩態與三度空間的風場是這些空氣品質模式的必要輸入資料。非穩態與三度空間風場的產生，通常可藉由既有的觀測資料配合客觀分析方法求得，例如美國環保署列為選項模式之 CALMET/CAPUFF 模擬系統(Scire, et al., 2000)，即為此類方法之代表；另外一種

方法是利用大氣初始場與邊界條件，配合大氣運動基本方程式，直接求解大氣流動速度之中尺度氣象模式，例如 MM5(Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model)(Zou et al., 1998)，其由美國大氣研究中心(NCAR)和美國濱州大學(PSU)聯合研製發展，為一中尺度數值預報氣象模式。客觀分析方法具有相對簡單操作之優點，當觀測資料具有高時間與空間解析度，且地形為平坦時，此方法具有相當高的準確性。但是在觀測資料時間與空間解析度不足或面對複雜地形時，此方法的誤差可能相當大。另一方面，中尺度氣象模式雖然以流體運動方程式為限制式，但起始條件、邊界條件、模式的假設、數值運算誤差等均可影響其模擬結果之準確性，其在特定時空應用之可靠程度，仍須經過驗證才可得知。





台灣南北約 400 公里、東西約 200 公里，四周環海、中央山脈南北縱貫(圖 1-1)，高度主要分布於 2,000~4,000 公尺，地形相當複雜。本研究選定 2007 年 5 月 5 日 0000 LST 至 2007 年 5 月 11 日 2400LST 為模式模擬分析比較之期程，模擬範圍涵蓋台灣中南部之複雜地形(圖 1-2)。將分析案例期間 CALMET 客觀分析風場之合理性，並與 MM5 模擬風場進行比較，評估二模式應用到台灣中南部地區之適用性。

## 二、研究方法

CALMET 產生風場的流程如圖 2-1 所示(Scire, et al., 2000)，其區分為二個主要步驟 (Step1~Step2)，這二個主要步驟中也可輸入 MM5 的模擬結果。本研究首先輸入模擬期間之探空及地面氣象觀測資料，讓 CALMET 建立 3D 初始風場，其後接續進行地形效應與變分處理(質量守恆)，得到 Step 1 風場。取得 Step 1 風場後，CALMET 模式再進行客觀分析，其後可進行平滑化與再變分處理(具有選擇性，亦可不處理)，得到最終的 Step 2 風場。在 CALMET 處理風場過程中，客觀分析過程相當重要，其原理如下式所示：

$$(u,v)_2' = \frac{\frac{(u,v)_1}{R^2} + \sum_k \frac{(u_{obs},v_{obs})_k}{R_k^2}}{\frac{1}{R^2} + \sum \frac{1}{R_k^2}}$$

其中  $(u_{obs},v_{obs})_k$  : 氣象觀測站 k 之風分量

$(u,v)_1$  : 網格點上 Step 1 之風分量

$(u,v)_2'$  : 網格點上 Step 2 之風分量

$R_k$  : 氣象觀測觀測站 k 至網格點的距離

$R$  : 使用者設定之 Step 1 風場權重

圖 2-1 中顯示 MM5 之風場可作為 CALMET 之起始風場、Step 1 風場與客觀分析風場。理論上，MM5 模擬輸出之風場並不需要再經過 CALMET 之處理，但為方便與前述經過 Step 1~Step 2 流程處理之 CALMET 風場結果進行比較(格式統一)。本研究將 MM5 風場輸入 CALMET，取代 CALMET 處理流程中之客觀分析風場，後續選擇不進行平滑化與再變分處理，藉此產生與 CALMET Step 2 風場格式相同之 MM5 風場，以利純 CALMET 與 MM5 風場之比較。有關 MM5 之模擬，請參考環保署專案計畫之空氣品質模式技術支援與空氣品質維護評估計畫(2012)。

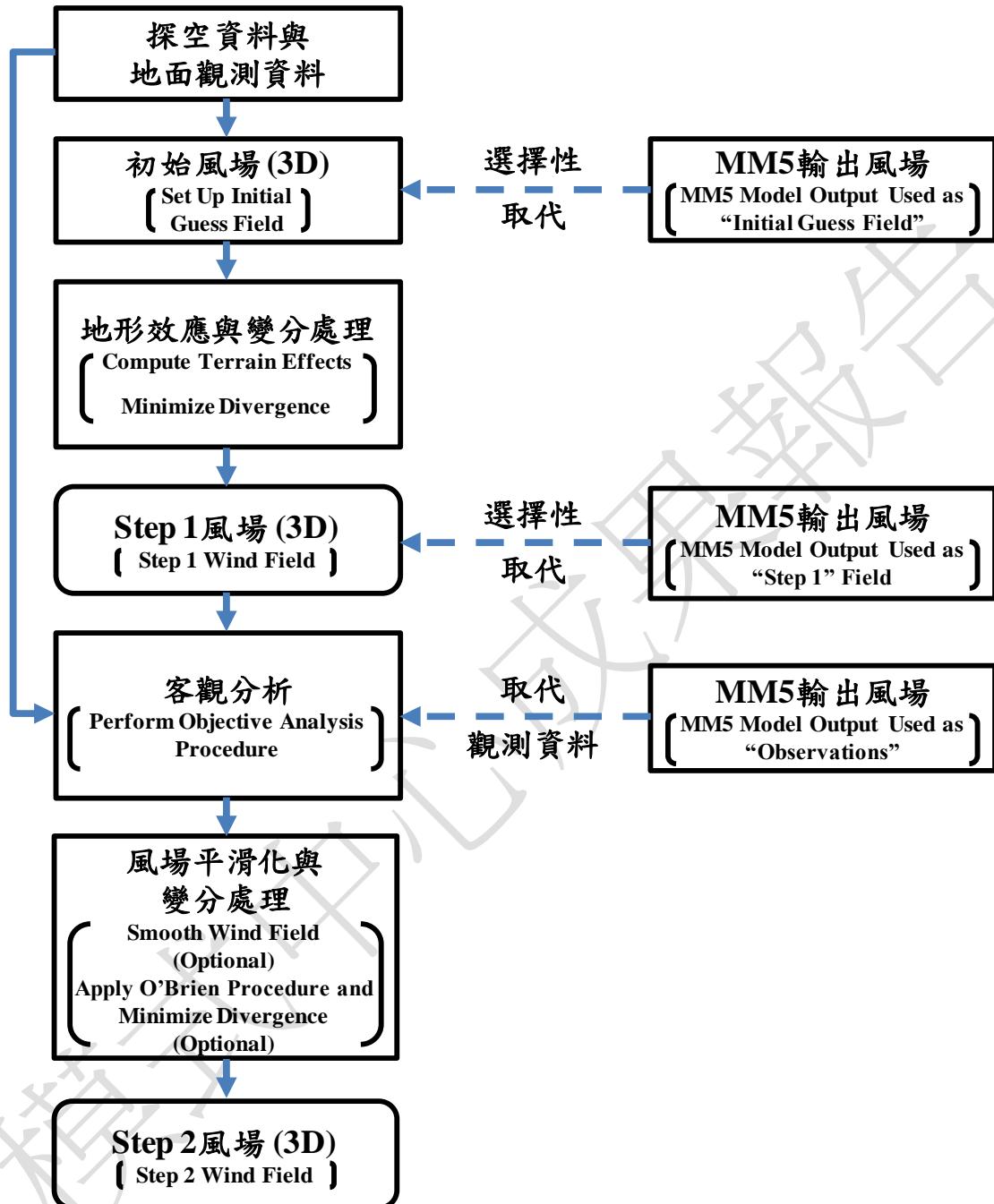


圖 2-1 CALMET 風場處理流程

## 2.1 案例說明

本研究所選擇之案例期程(2007/5/7~2007/5/11)，屬於中南部典型之高壓迴流臭氧污染事件，且案例期間有充分之實場氣象探空觀測資料，對於 CALMET 而言，具有高時空之氣象觀測資料可供使用，為此模式應用之最佳時機。

### 2.1.1 綜觀天氣特性

此案例期間，出現兩波之春季高壓出海/迴流之綜觀天氣，第一道鋒面在 5/5~5/6 過境台灣；7 日大陸分裂性高壓 1013hPa 於大陸長江以南流域向東出海，本日台灣受到此高壓之影響，氣壓梯度微弱，風速偏小；8 日台灣地區受到高壓迴流之影響，整體風速達到最小(圖 2-2)；9 日有一微弱的小鋒面經過台灣北部海面，其對於台灣本島之影響輕微；10 日第二波之分裂性高壓由黃海出海；11 日台灣地區又是高壓迴流的綜觀天氣類型(圖 2-3)。

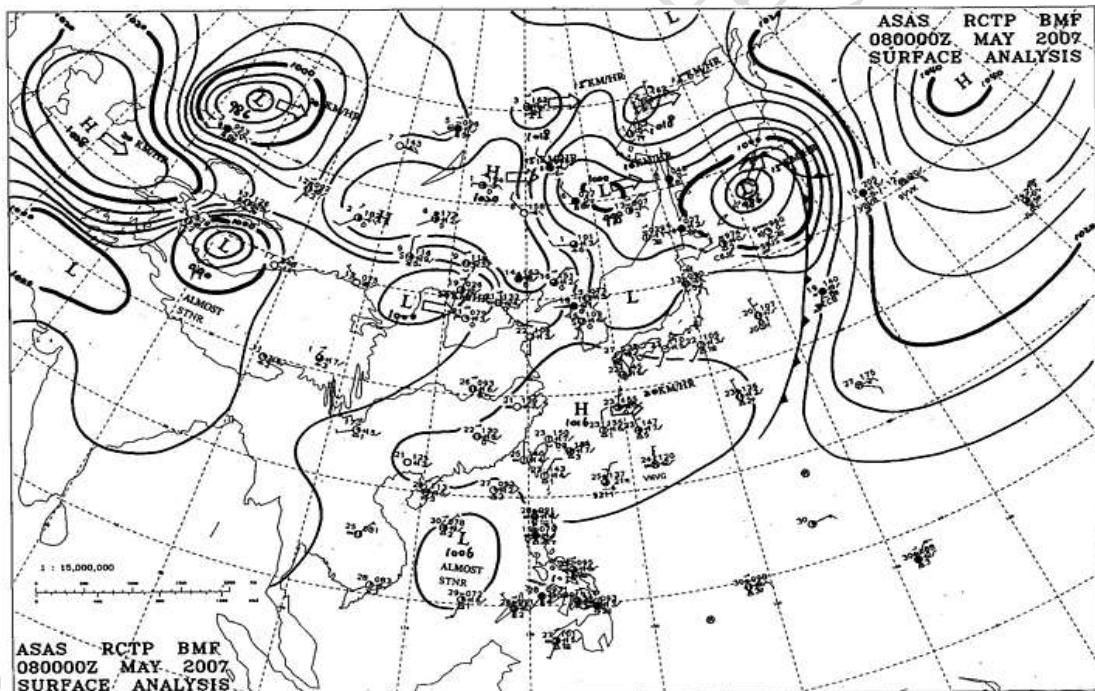


圖 2-2 2007 年 5 月 8 日 0800 LST 地面天氣圖

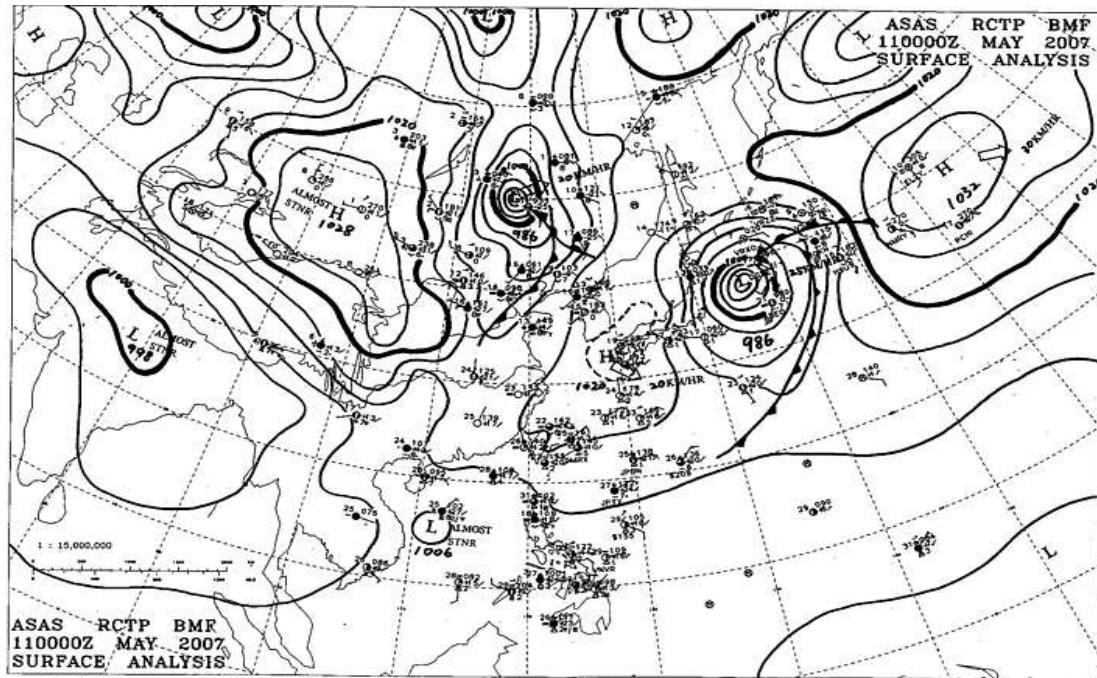


圖 2-3 2007 年 5 月 11 日 0800 LST 地面天氣圖

### 2.1.2 臭氧污染來源特性

5/7-5/10 期間台灣相當多的區域均發生臭氧污染事件(圖 2-4)，午後向岸風明顯，顯示海風發展明顯。高屏地區之臭氧污染以 10 日最為嚴重(表 2-1)，當日環保署測站中有 13 個測站其臭氧最大小時濃度大於 120 ppb 之小時標準，潮州站之最大小時濃度高達 202 ppb；其次嚴重污染日為 5/7 日，有 7 個測站超過臭氧最大小時標準；8 與 9 兩日，也分別有 4 與 3 個測站臭氧最大小時濃度大於小時濃度標準。

表 2-1 案例期間高屏地區空氣品質測站每日最大臭氧小時濃度(ppbv)

$O_3$	美濃	橋頭	仁武	鳳山	大寮	林園	楠梓	左營	前金	前鎮	小港	屏東	潮州	平均	濃度>120 之站數
2007/5/5	55	36	25	34	37	42	40	37	40	31	35	28	36	36	0
2007/5/6	78	63	49	63	82	76	70	66	75	65	64	59	79	68	0
2007/5/7	130	110	97	126	135	128	114	104	134	105	116	127	130	120	7
2007/5/8	121	99	93	107	125	140	111	92	119	104	113	101	129	112	4
2007/5/9	112	97	86	98	120	133	112	84	118	102	102	104	124	107	3
2007/5/10	168	146	136	130	156	169	162	148	165	162	151	147	202	157	13
2007/5/11	123	77	65	88	101	89	82	71	76	71	69	104	119	87	1

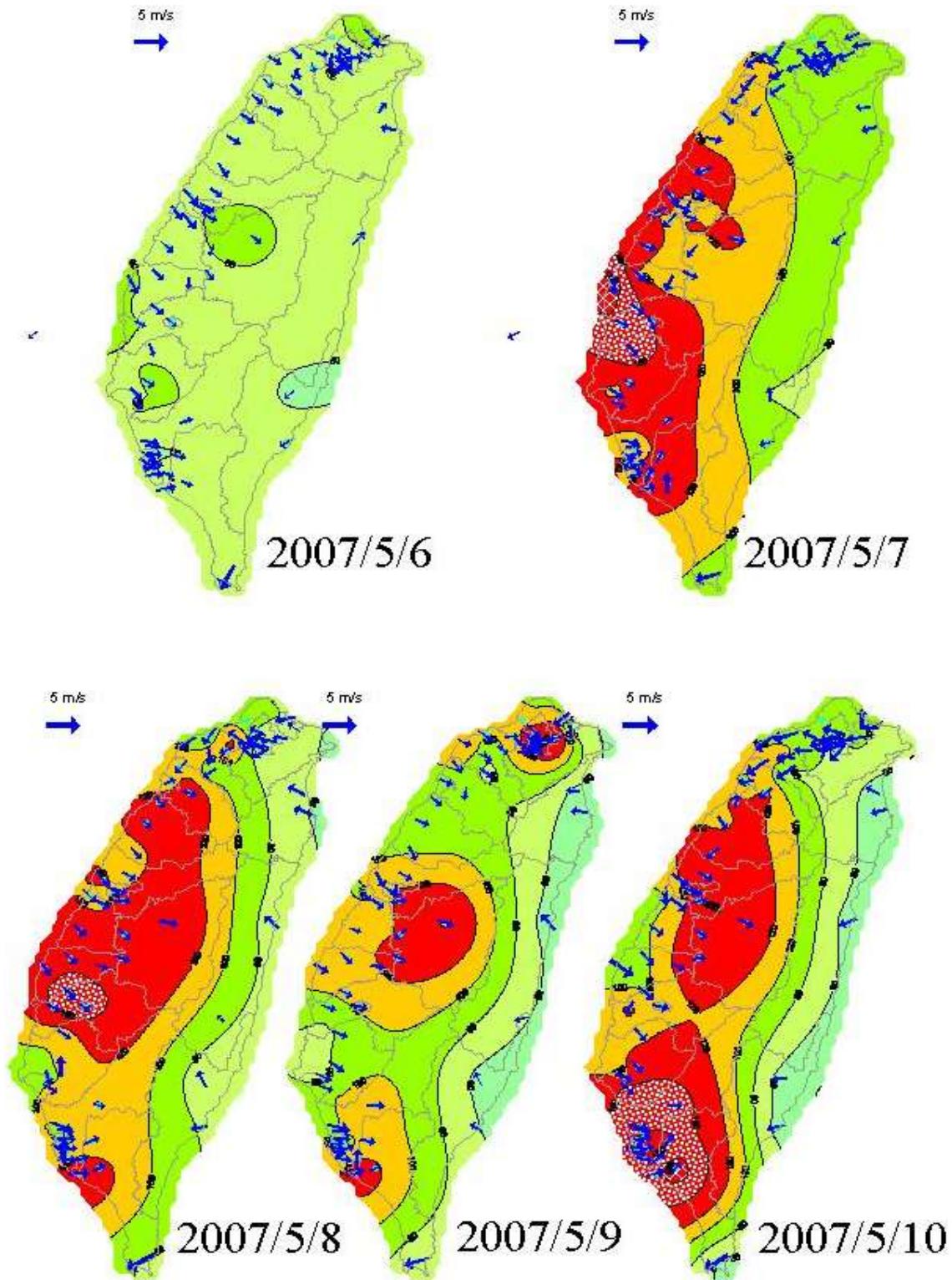


圖 2-4 2007 年 5 月 7-10 日台灣地區最大小時臭氧濃度等值圖  
與 12-16 LST 之地面平均風場。

## 2.2 CALMET 之基本設定與輸入資料

### 2.2.1 模擬時間與範圍

本計畫 CALMET 模擬之時間為 2007 年 5 月 5 日 0000 LST 至 5 月 11 日 2400 LST，共計 7 日。水平模擬之範圍為 TWD 67 E: 100-320 km 與 TWD 67N: 2420-2640 km，如圖 2-5 所示，對應之模擬面積大小為  $110\text{ km} \times 110\text{ km}$ ，網格間距為 2 km；垂直方向之模擬高度範圍為由地面至 5000 公尺，共設定為 10 層，各層之介面高度為 0,20,100,200,400,800,1600,2400,3200,4000,5000 公尺。

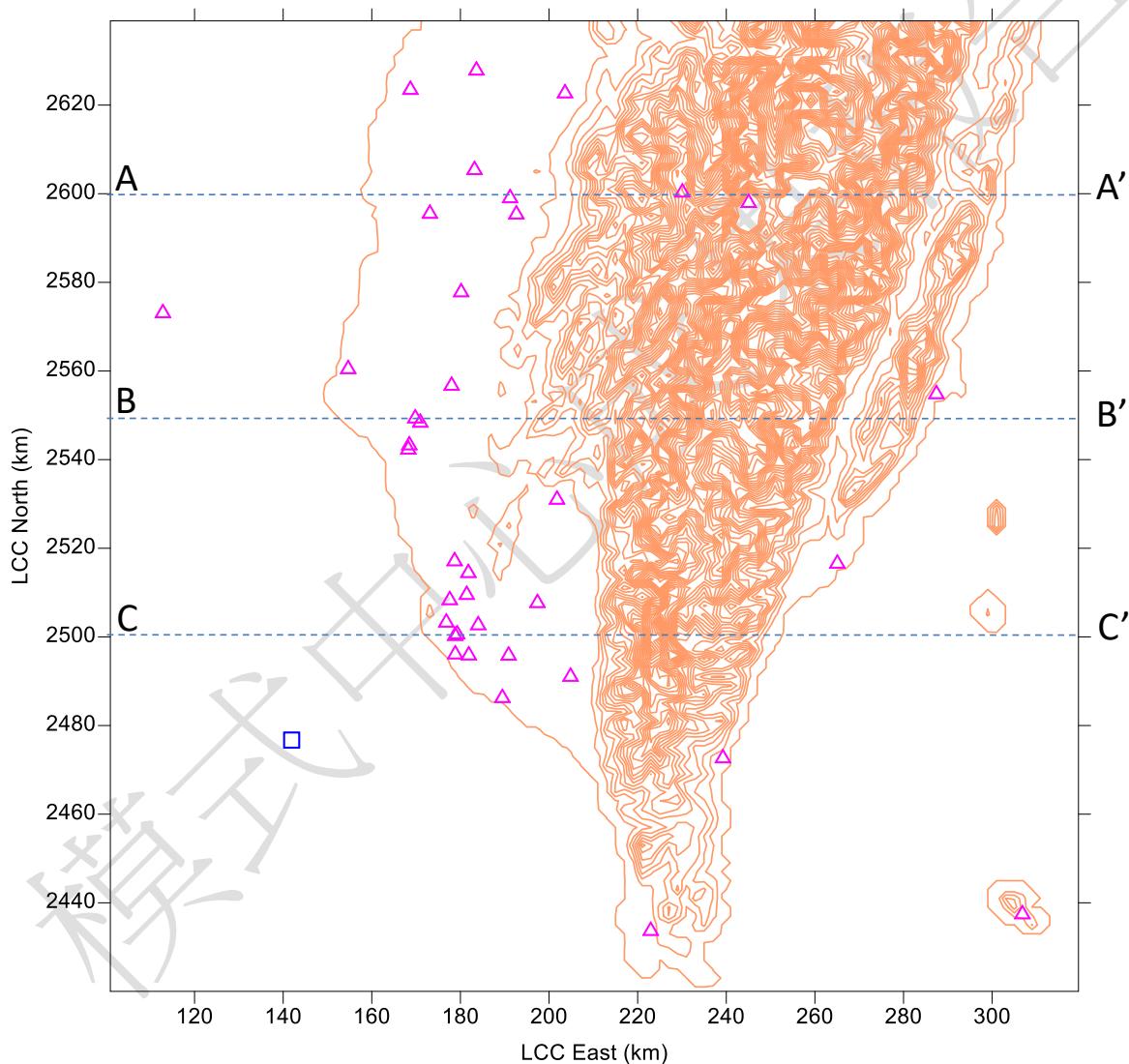


圖 2-5 CALMET 風場模擬範圍、地形分佈與高屏地區地面氣象站之位置分佈

(△符號為地面空品測站，□符號為海上浮標站)

## 2.2.2 地形與土地使用分類資料

本研究所使用之地形高度與土地使用分類取自於內政部國土測繪中心，其土地分類區分為 103 種，可將其對應於 CALMET 之 8 種土地分類(林清和，2012)。有關地表反照率、鮑溫率及地表粗糙長度、土壤傳導熱通量、植被面積指數及人為熱通量等之設定，均採用 CALMET 模式之各類土地預設值。

## 2.2.3 氣象觀測資料

CALMET 客觀分析法所需之氣象觀測資料包括三類：(1) 探空資料，(2) 陸上地面氣象觀測資料，(3)海上氣象資料。本計畫所使用之氣象資料如表 2-2 所示，合計使用 39 個測站資料；探空資料採取自氣象局板橋站；陸上地面氣象觀測資料除了氣象局所屬氣象站外，也包括環保署所屬之空氣品質監測站；海上氣象資料取材小琉球海上浮標氣象站。

**表 2-2** 本計畫 CALMET 之探空、陸上地面氣象與海上氣象等資料來源

序號	站名	ID	Height (m)	X (km)	Y (km)
1	斗六	37	13.82	203.604	2623.19
2	崙背	38	19.34	183.615	2628.32
3	新港*	39	13.5	183.185	2605.88
4	朴子	40	12.54	173.109	2596.01
5	台西	41	19.24	168.718	2623.97
6	嘉義	42	15.98	192.624	2595.86
7	新營	43	11.53	180.167	2578.29
8	善化	44	4.66	178.008	2557.2
9	安南	45	12.61	169.81	2549.83
10	台南	46	15.54	168.247	2542.8
11	美濃	47	13.7	201.812	2531.5
12	橋頭	48	17	178.697	2517.6
13	仁武	49	11.58	181.43	2510.01
14	鳳山*	50	14.97	184.015	2503.17
15	大寮	51	11.81	190.876	2496.31
16	林園*	52	11.4	189.477	2486.75
17	楠梓	53	19.6	181.006	2514.95
18	左營	54	17.25	177.598	2508.82
19	前金	56	17.97	176.823	2503.77
20	前鎮	57	14.78	178.811	2500.75
21	小港	58	19	181.893	2496.36

序號	站名	ID	Height (m)	X (km)	Y (km)
22	屏東	59	16.45	197.391	2508.17
23	潮州	60	11	204.858	2491.54
24	復興	71	5	179.27	2501.12
25	小琉球 <sup>*1</sup>	467140	3	181.917	2468.43
26	東吉島*	467300	11.5	112.86	2573.59
27	臺南	467410	15.5	168.468	2543.77
28	永康	467420	8.1	170.944	2548.86
29	高雄	467440	29	179.631	2496.41
30	嘉義	467480	28	191.216	2599.52
31	阿里山*	467530	15.7	230.086	2600.8
32	大武	467540	8.1	239.243	2473.14
33	玉山*	467550	9.62	245.063	2598.45
34	恆春*	467590	14.25	222.955	2434.2
35	成功	467610	12.75	287.418	2555.31
36	蘭嶼*	467620	12.5	306.831	2437.94
37	臺東*	467660	11.4	265.062	2517.07
38	七股	467780	2.9	154.679	2560.95
39	板橋 <sup>*2</sup>	46692	—	300.994	2806.568

\*: 進行測站移除敏感性測試之測站

\*1: 浮標氣象站

\*2: 探空觀測站

### 三、結果與討論

本研究 CALMET 客觀分析共使用 39 個測站資料([表 2-2](#))，但是為了瞭解短缺不同地面氣象測站對於客觀分析結果的影響，則另外選定 9 個測站，在客觀分析的過程中，將其排除，此時相當於利用 30 個測站觀測值來進行客觀分析，其目的在於瞭解缺少觀測站的條件下對於客觀分析結果之影響。這 9 個測試的測站大致可分為三類屬性：(1)山區測站：其位於測站稀少的山區，包括阿里山與玉山測站；(2)平地測站：其位於測站相對密集的平地地區，包括：新港、鳳山、林園、恆春與臺東等測站；(3)外島測站：其位於測站稀少的離島地區，包括：東吉島與蘭嶼等測站。

[圖 3-1~3-4](#) 為 2007 年 5 月 7~10 日每日 0200 LST 與 1600 LST CALMET 客觀分析風場與 MM5 風場模擬結果之比較，圖中風場之高度為離地面 10 公尺，其中客觀分析方法包括 39 測站(a2,b2)與 30 測站之分析結果(a3,b3)。5 月 7 日 0200 LST 時，MM5 的風場具有多樣性(a1)，在模擬區域之東南與南區呈現氣流強盛與過山的現象，中央山脈地區則呈現凌亂的氣流方向，這應該是地形效應所造成的夜間下坡風特性；使用 39 測站之客觀分析結果(a2)，在東吉島、玉山、蘭嶼等地區出現明顯局部強風，其他地區則風場相當靜滯，並未出現如 MM5 之氣流繞山與夜間下坡風之特性；而 30 個測站之客觀分析結果(a3)則出現整體模擬區域風場靜滯的現象，在高山與離島地區則未出現局部強風的特性，也未出現如 MM5 之氣流繞山與夜間下坡風之特性。同日 1600 LST 時，MM5 模擬結果(b1)出現氣流輻合區及明顯因地形而誘發之上坡風現象，而 39 與 30 氣象站之客觀分析結果(b2 與 b3)則均未出現如前述之氣流輻合區及上坡風現象。同樣的，相較於 30 測站之客觀結果，39 測站之結果在玉山與東吉島同樣出現較強的風速。5 月 8~10 日 ([圖 3-2~圖 3-4](#)) MM5 與客觀分析風場所呈現之差異，均與 7 日的情況相差不多。

[圖 3-5](#) 為前述 9 個未納入客觀分析測站之實測風場與其利用其餘 30 個進行客觀分析預測該測站風場結果之比較。其結果顯示，在山區測站方面，客觀分析預測之玉山測站風速比實際測值大約小 2.5 倍，二者在阿里山測站的風向也有很大的差異；在平地地區，各測站客觀分析之風速與實測風速約相當，風向方面則以新港、鳳山最為一致，林園、台東與恆春等三測站則差異較大；在外島地區，則客觀分析之風速則只有實際測值之 1/5 倍，二者之風向偏差也相當的大。以上的測試結果，顯示在山區與離島等測站稀少的地區，客觀分析的方法經會產生大的誤差，尤其是內陸平地測站之風速均較小與風向多變，外插到海面或高山時，容易產生風速低估與風向變化過大之特性。

表 3-1 為阿里山等 9 個測站觀測與客觀分析預測(30 個測站)風速分量之回歸比較，山區測站阿里山(圖 3-6)與玉山之  $u$  與  $v$  之相關係數均相當低，相關係數之分佈為  $0.04 < R^2 < 0.08$  與  $0.002 < R^2 < 0.006$ ，說明此二測站完全無法由其他的測站運用客觀分析有效求取；在平地測站方面，新港( $0.66 < R^2 < 0.69$ )、鳳山(圖 3-7) ( $0.84 < R^2 < 0.89$ )、林園 ( $0.66 < R^2 < 0.82$ )等測站之相關係數，均相當高，顯示儘管缺少這些測站，客觀分析法仍能有效預測，台東站則尚可( $0.29 < R^2 < 0.33$ )，恆春則趨於不佳( $0.002 < R^2 < 0.17$ )；在離島方面，東吉島(圖 3-8)( $0.002 < R^2 < 0.29$ )與蘭嶼( $0.002 < R^2 < 0.11$ )等之表現亦屬不佳。

圖 3-9~圖 3-14 為 2007 年 5 月 8 日 0200 與 1600 LST 大氣垂直剖面上 MM5 與三種客觀風場分析結果之比較，其風場向量為  $u$ (向東)與  $w$ (向上)分量之合成，由於  $W$  分量相當小，故圖中之  $W$  為放大 50 倍之結果。三種客觀分析方法之差異在於地面氣象風場觀測值影響高層網格風場之方式不同。第一種客觀分析方法( $Obj\_ierxtrp=1$ )係假設地面氣象測站的風場觀測值僅可影響垂直方向第一層網格之風場，第二層以上之風場均由探空觀測之風場資料內差(客觀)求得；第二種客觀分析方法( $Obj\_ierxtrp=4$ )係假設地面氣象測站的風場觀測值亦可影響垂直方向第二層網格以上之風場，其影響的方式係以地面測站之風場測值為基礎，根據邊界層相似理論計算不同高度之風場，而第二層網格以上之風場估算，由探空觀測之風場與相似理論估算之風場共同決定；第三種客觀分析方法(Power law)亦假設地面氣象測站的風場觀測值可影響垂直方向第二層網格以上之風場，其影響的方式係以地面測站之風場測值為基礎，根據指數定律(Power law)計算不同高度之風場，而第二層網格以上之風場估算，由探空觀測之風場與指數定律所估算之風場共同決定。

圖 3-9~圖 3-14 中顯示 MM5 的風場在 0200 LST 可看到山脈兩側的下坡風現象，在 1600 LST 則可看到山脈兩側的上坡風現象，而三種客觀分析方法均無法有效呈現日夜間山脈特殊的風系特性，即夜間因為地表冷卻所形成之下坡風現象與午後因為斜坡加熱所形成之上坡風現象。此外，第二種客觀分析法，屬於文獻中經常推薦的方法，其使用相似理論( $Obj\_ierxtrp=4$ )配合探空資料以產生第二層以上的高空風場，但在本文的測試結果發現，三種客觀分析方法中以單純利用探空資料決定第二層以上的風場才能完全產生風速大小合理的風場( $Obj\_ierxtrp=1$ )，當探空資料混合地面測站(相似理論或 Power Law)，有時看似產生不錯的結果，但有時產生極高而不合理之風速值，這種情況且隨著山區地形的增加，不合理的情形更加嚴重，如圖 3-11 (c)、圖 3-13 (c)。但是單獨使用探空資料產生高空風場也有其問題，在本例中唯一的探空資料為板橋探空資料，此結果導致全區

第二層以上的風場幾乎與板橋探空完全相同，變成一個均一性的風場，無法顯示個別地方的氣流特性。這時候可看到地面上山脈兩側的氣流均相同，例如 500 公尺以下，無論山脈的高度(1500~3000 公尺)均產生越山的現象，這也是相當不合理情況。最後，探空資料往往非常的稀少，為了彌補此方面的不足，客觀分析方法常常利用不同的方法加入地面觀測之結果，例如利用相似理論或 Power law 風速剖面定律等外插得地面測站所在之高空風速值，但是這些垂直外插理論多是適用於簡單地形，對於複雜山區地區，風速隨高度的變化受到地形與局部環流影響(地表冷卻或加熱所引起的局部環流)，風向的改變可能更劇烈。

客觀分析風場(39站) MM5模擬風場

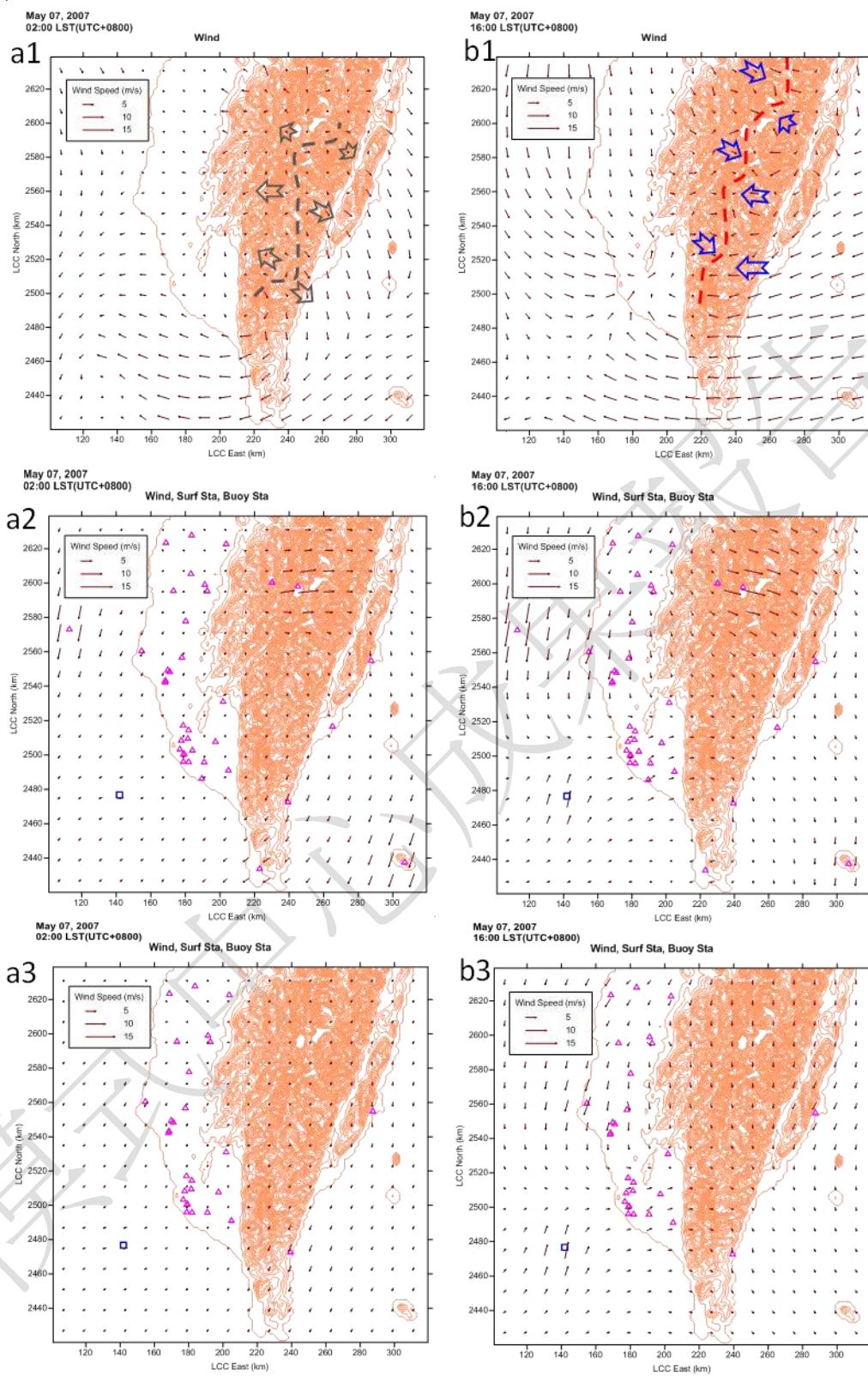


圖 3-1 客觀分析風場與 MM5 模擬結果之比較，風場高度為離地面 10 公尺  
2007 年 5 月 7 日 02 時(左圖)、16 時(右圖)

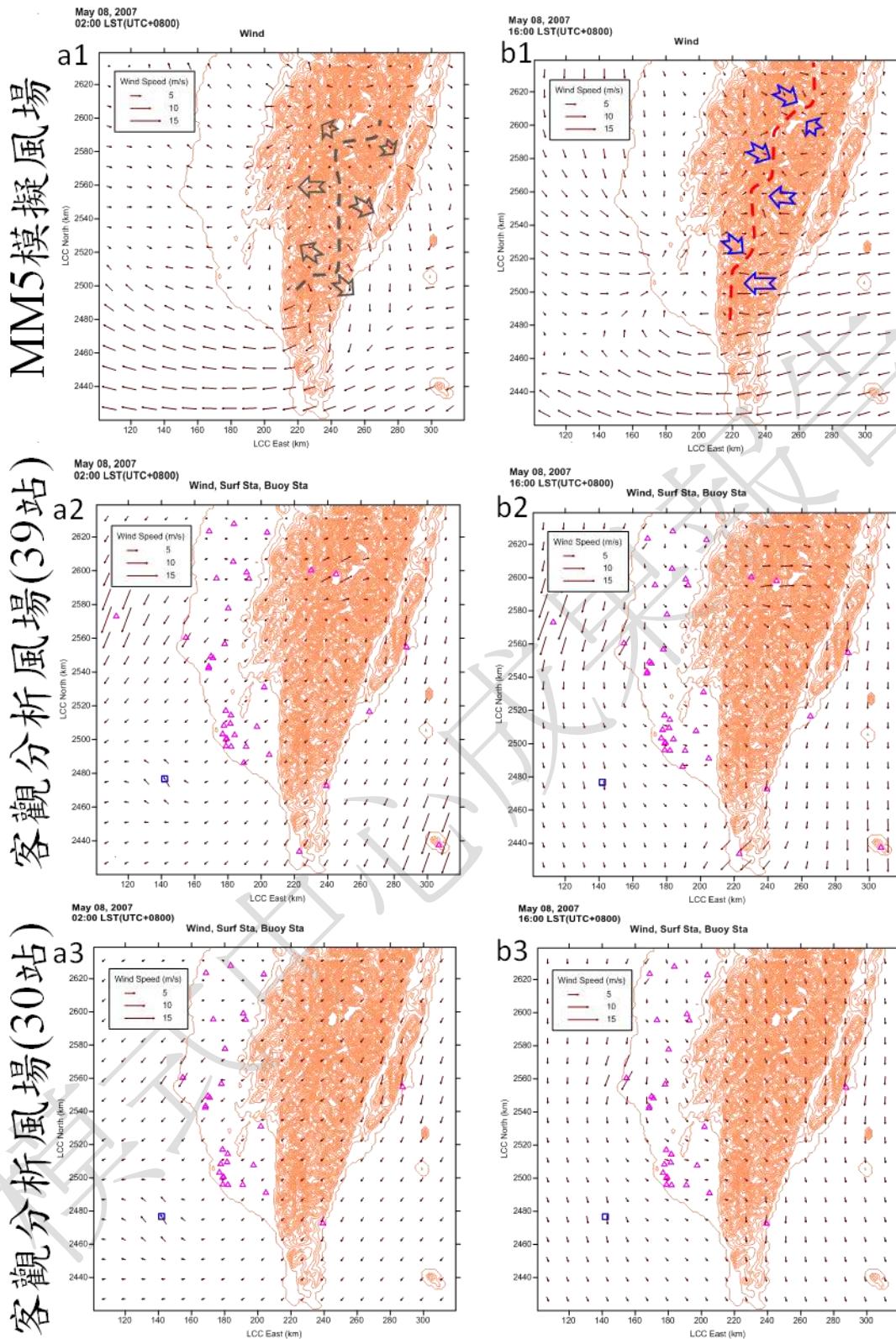


圖 3-2 客觀分析風場與 MM5 模擬結果之比較，風場高度為離地面 10 公尺

2007 年 5 月 8 日 02 時(左圖)、16 時(右圖)

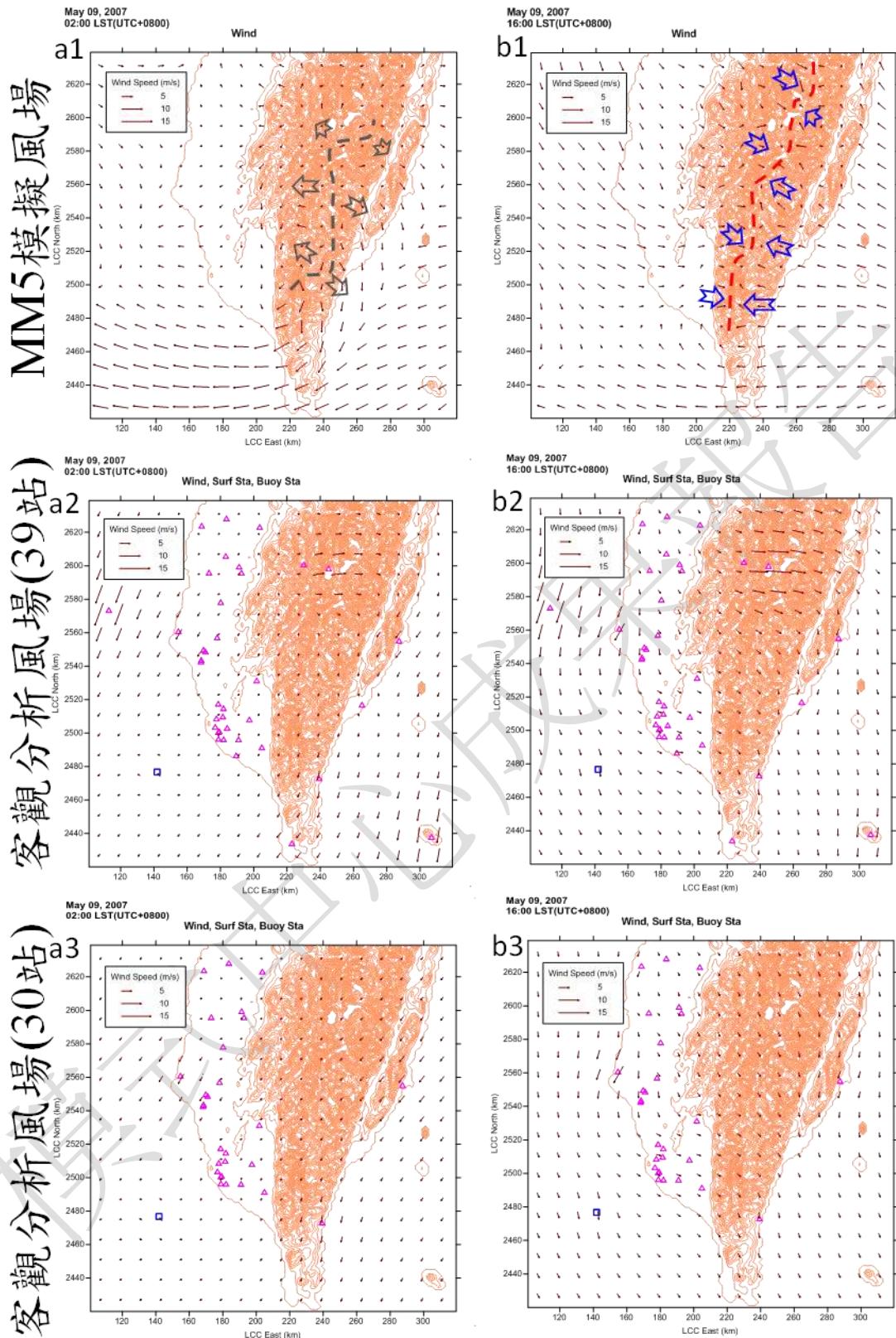


圖 3-3 客觀分析風場與 MM5 模擬結果之比較，風場高度為離地面 10 公尺  
2007 年 5 月 9 日 02 時(左圖)、16 時(右圖)

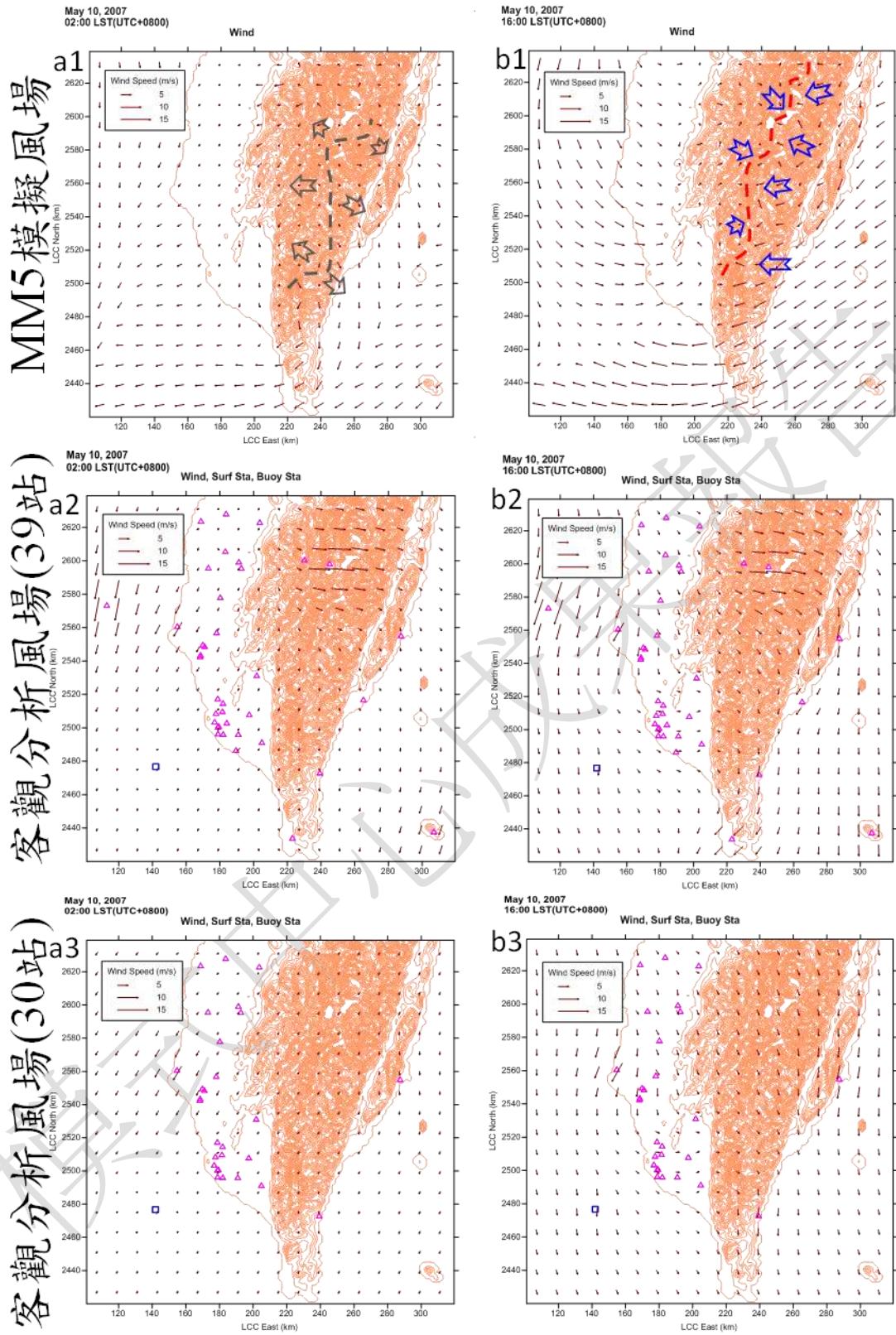


圖 3-4 客觀分析風場與 MM5 模擬結果之比較，風場高度為離地面 10 公尺  
2007 年 5 月 10 日 02 時(左圖)、16 時(右圖)

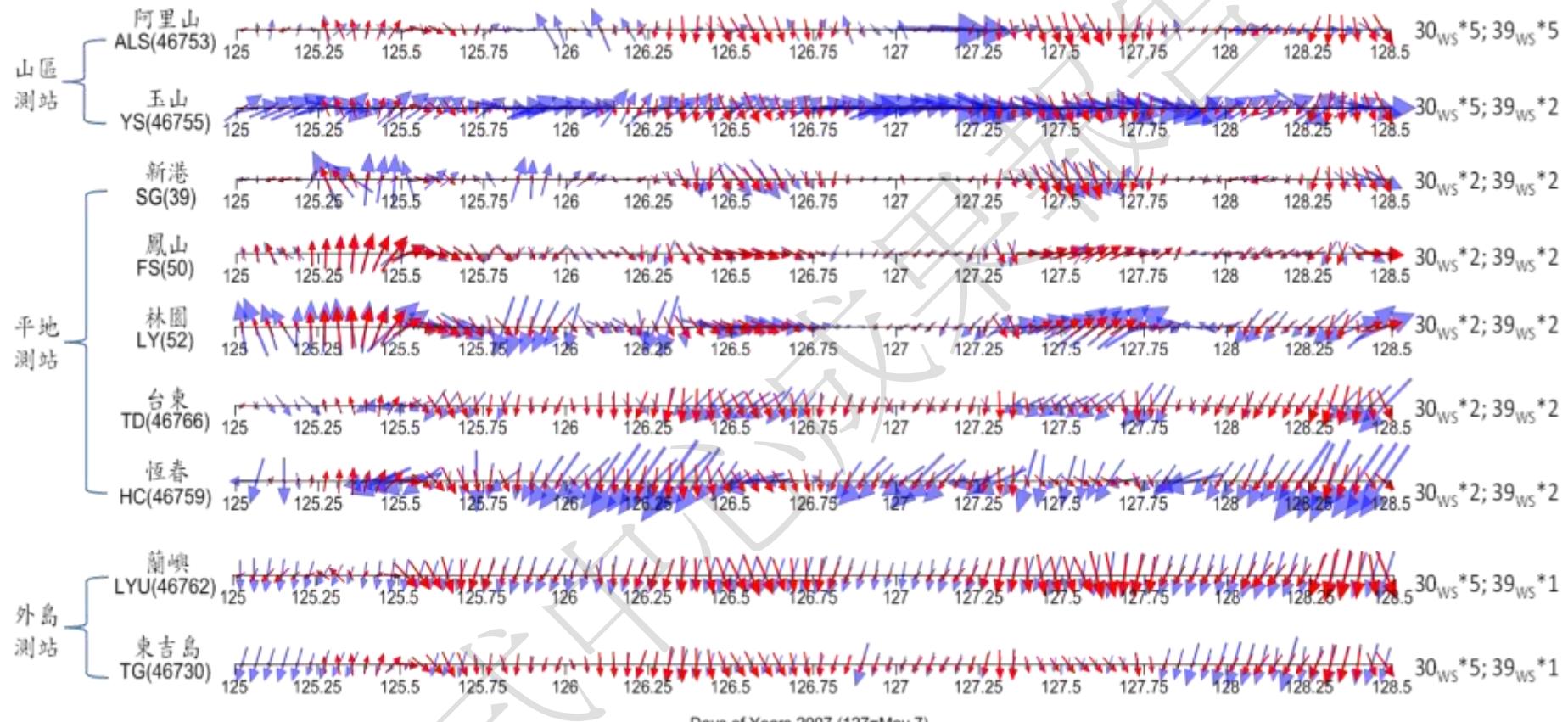


圖 3-5 地面氣象測站移除後客觀分析法對於該測站風速風向預測結果與該測站觀實際測值之比較  
(紅色為實際觀測值；藍色為客觀分析值)

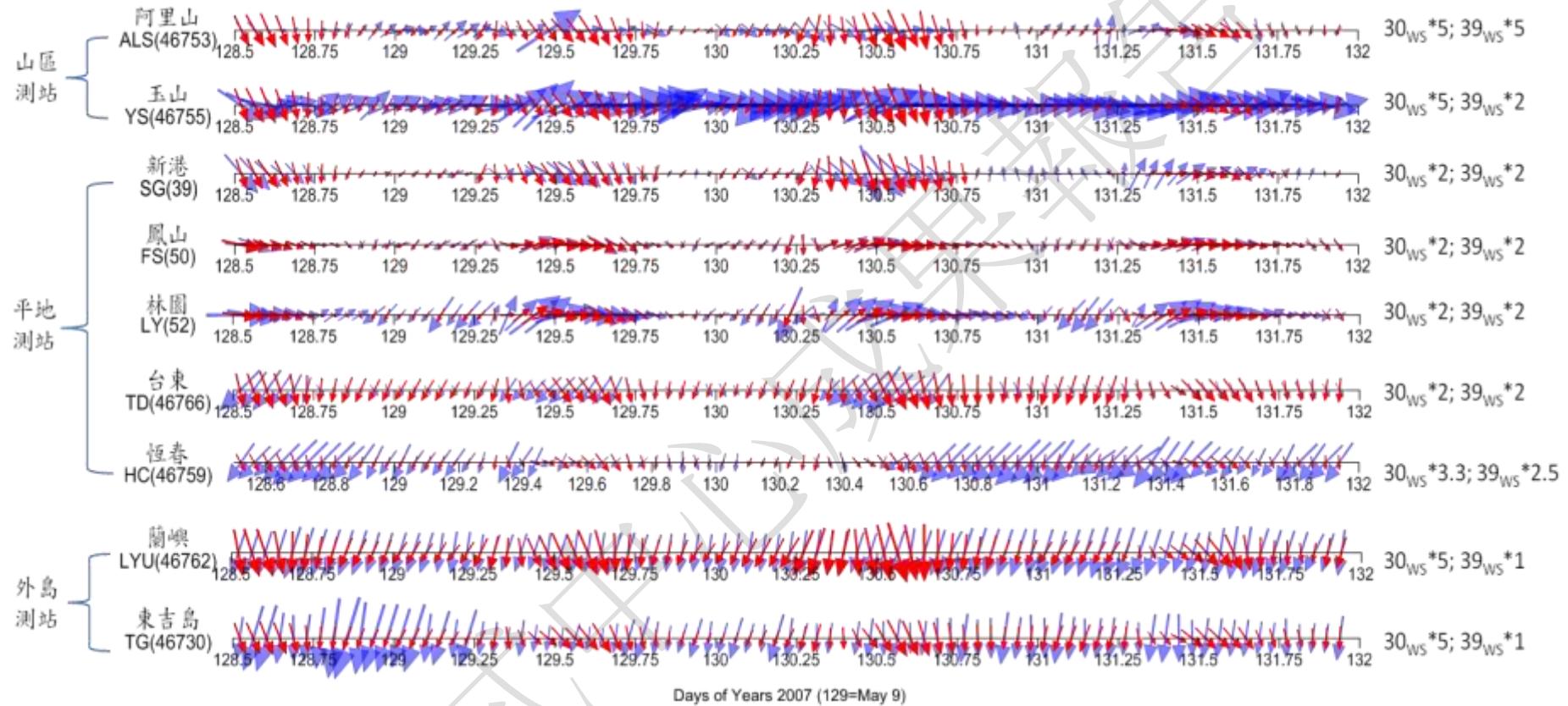


圖 3-5 地面氣象測站移除後客觀分析法對於該測站風速風向預測結果與該測站觀實際測值之比較(續)  
(紅色為實際觀測值；藍色為客觀分析值)

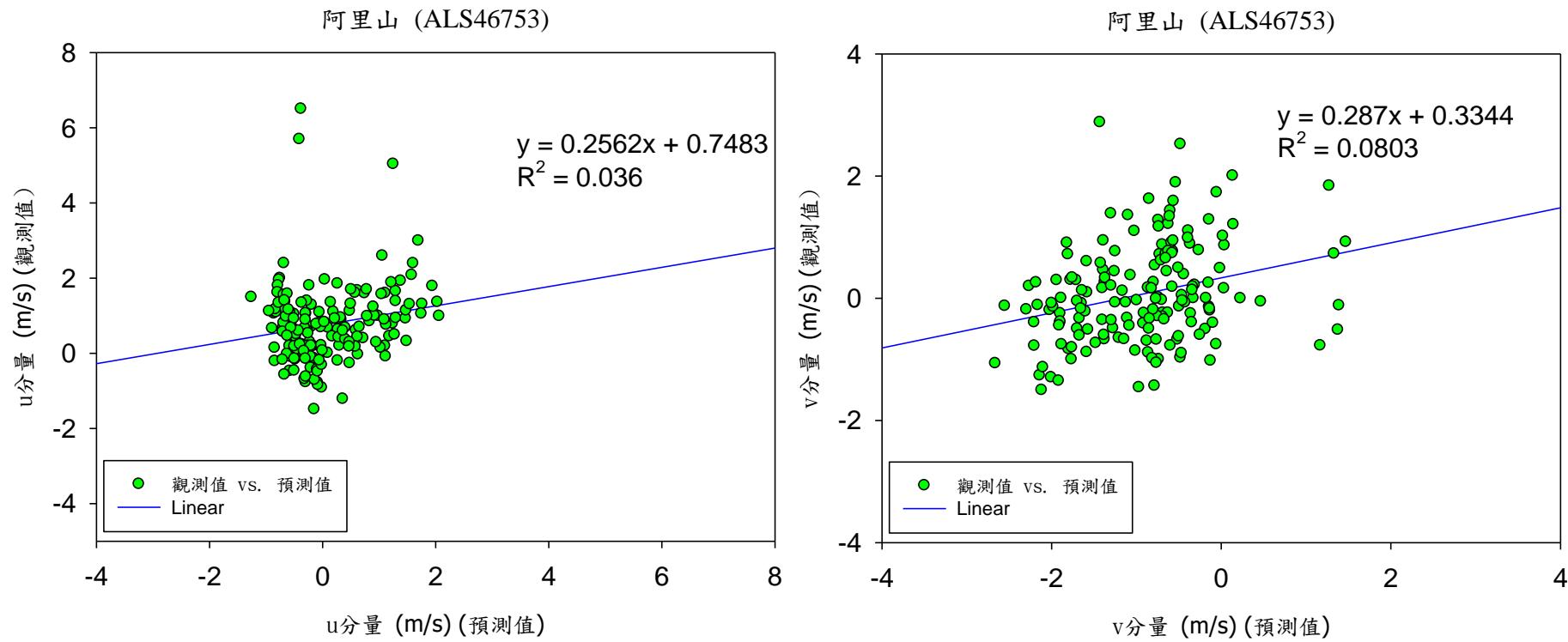


圖 3-6 觀測值與客觀分析預測(30 個測站)風速分量之比較(阿里山站)

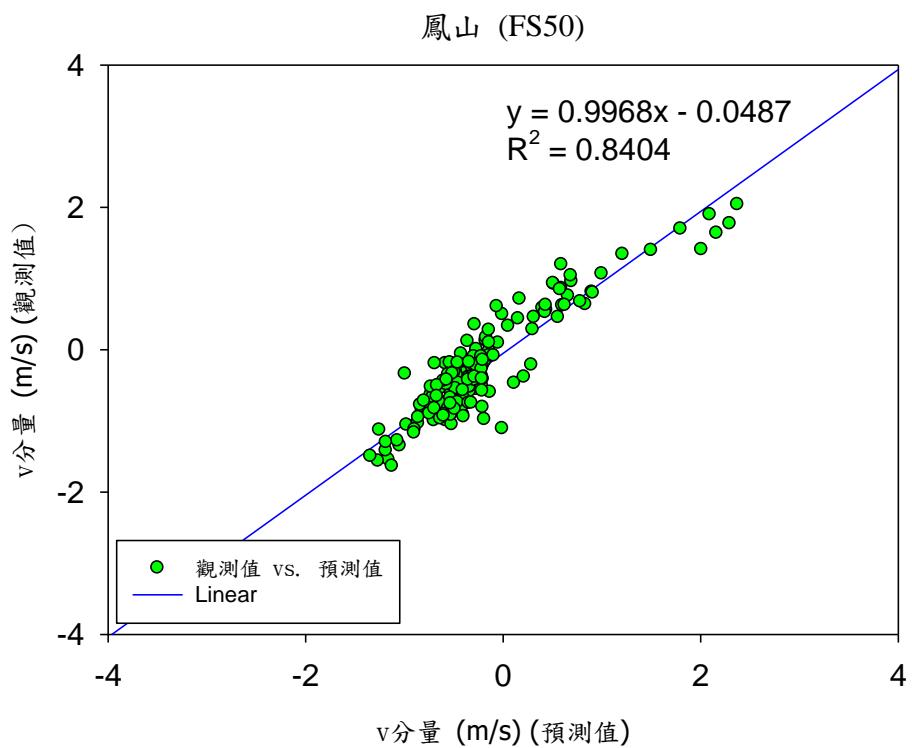
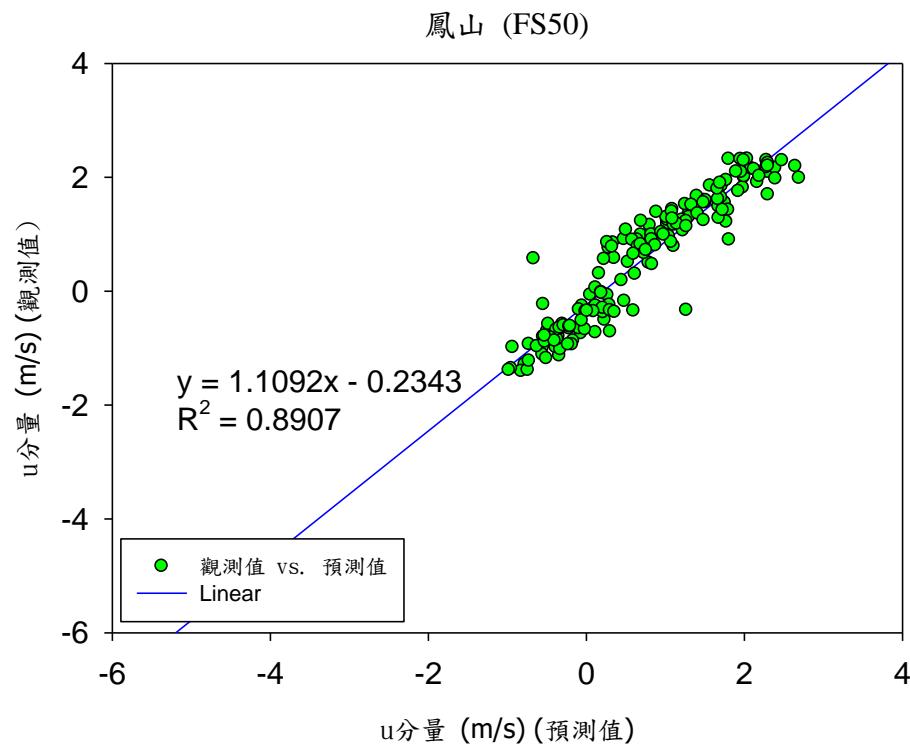


圖 3-7 觀測值與客觀分析預測(30 個測站)風速分量之比較(鳳山站)

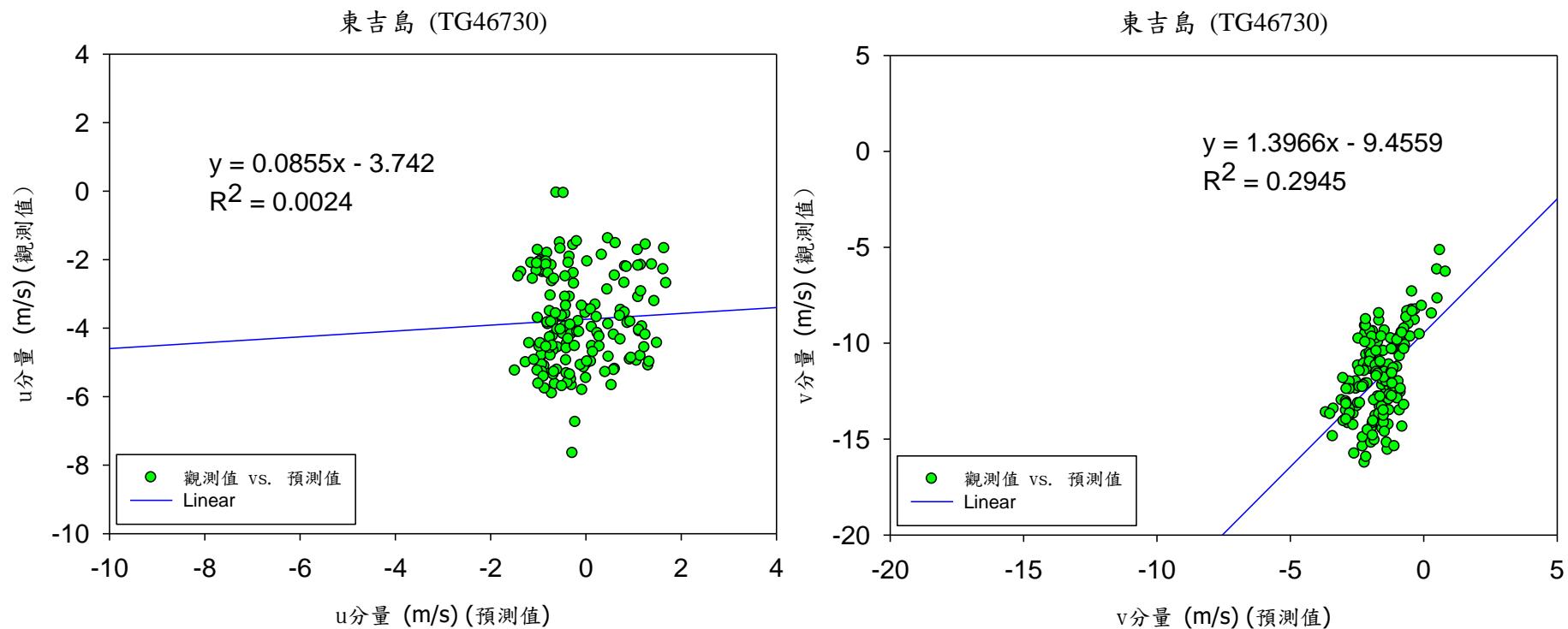


圖 3-8 觀測與客觀分析預測(30 個測站)風速分量之比較(東吉島站)

表 3-1 各測站觀測與客觀分析預測(30 個測站)風速分量之回歸比較

屬性	測站	觀測值 vs. 預測值	
		u 分量(回歸)	v 分量 (回歸)
山區	阿里山	$y = 0.2562x + 0.7483$ $R^2 = 0.036$	$y = 0.287x + 0.3344$ $R^2 = 0.0803$
	玉山	$y = 0.3195x + 10.79$ $R^2 = 0.0062$	$y = 0.14x + 1.24$ $R^2 = 0.0019$
平地	恆春	$y = -0.129x - 2.3592$ $R^2 = 0.0023$	$y = 0.9524x - 1.6365$ $R^2 = 0.1672$
	臺東	$y = -1.221x - 0.5576$ $R^2 = 0.3251$	$y = 1.3966x - 9.4559$ $R^2 = 0.2945$
外島	新港	$y = 1.505x + 0.3187$ $R^2 = 0.6593$	$y = 1.2669x + 0.7179$ $R^2 = 0.6872$
	鳳山	$y = 1.1092x - 0.2343$ $R^2 = 0.8907$	$y = 0.9968x - 0.0487$ $R^2 = 0.8404$
林園	東吉島	$y = 1.9844x - 0.2208$ $R^2 = 0.8241$	$y = 1.5708x + 0.3606$ $R^2 = 0.6603$
	蘭嶼	$y = 0.0855x - 3.742$ $R^2 = 0.0024$	$y = 1.3966x - 9.4559$ $R^2 = 0.2945$
		$y = 0.7015x - 1.7584$ $R^2 = 0.1124$	$y = 0.168x - 6.399$ $R^2 = 0.0016$

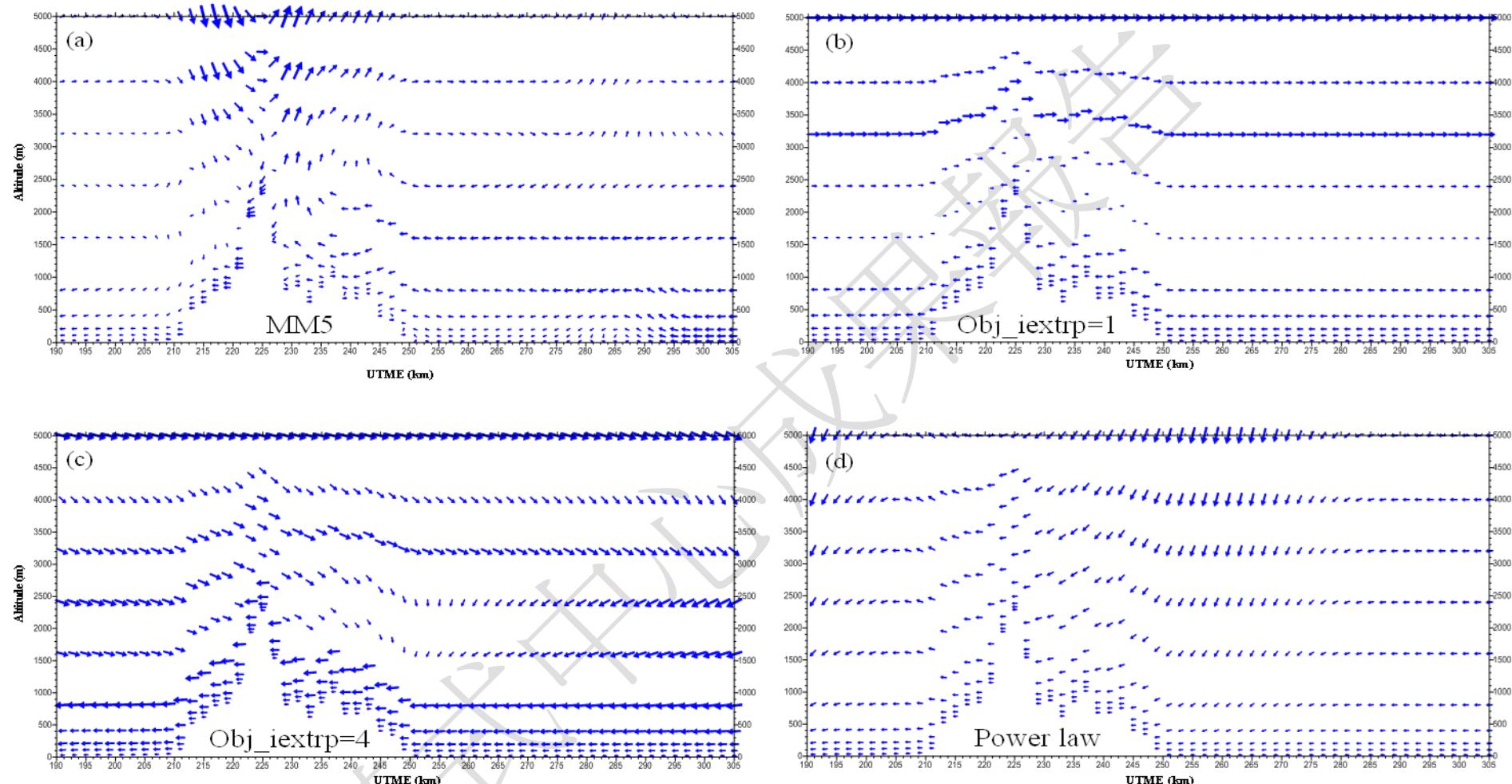


圖 3-9 2007 年 5 月 8 日 02:00 LST 於  $UTMN=2500\text{ km}$ (圖 2-5 中 C-C') MM5 模擬與三種客觀分析方法垂直剖面風場預測結果之比較  
(圖中垂直風速\*50)。Obj\_iextrp=1、Obj\_iextrp=4 與 Power law 等三種客觀方法之說明詳見本文

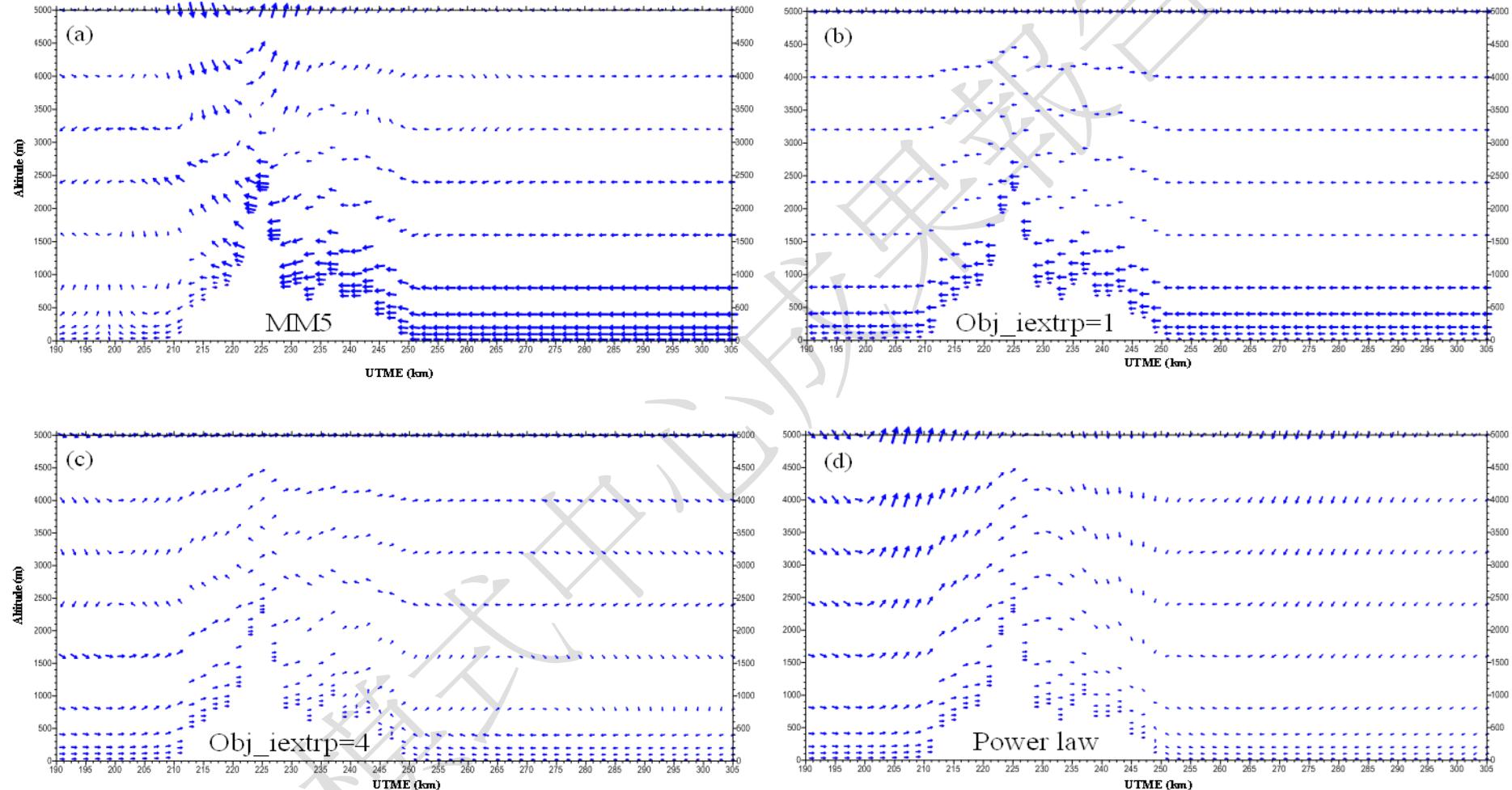


圖 3-10 2007 年 5 月 8 日 16:00 LST 於 UTMN=2500 km(圖 2-5 中 C-C')

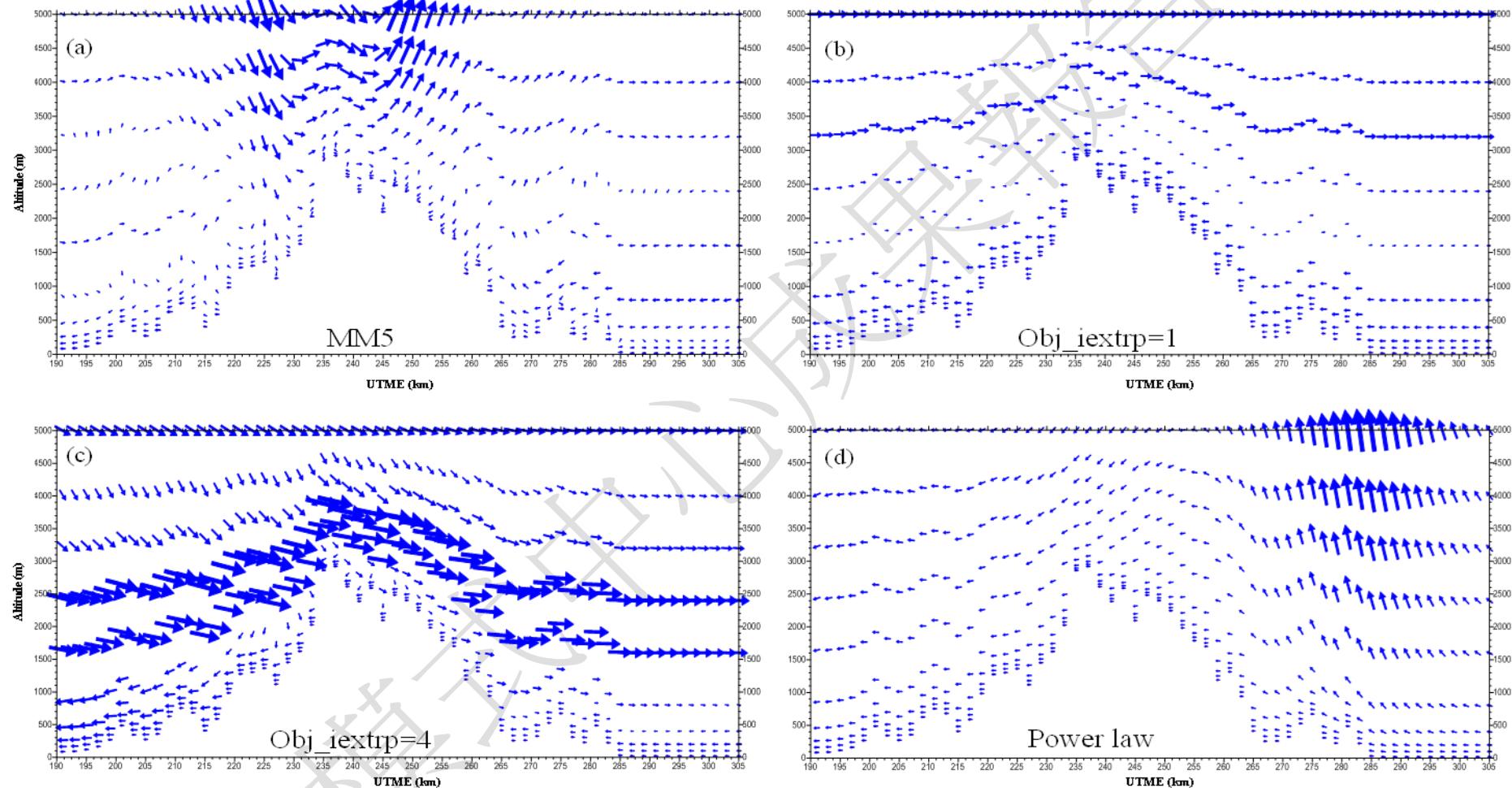


圖 3-11 2007 年 5 月 8 日 02:00 LST 於 UTMN=2550 km(圖 2-5 中 B-B')

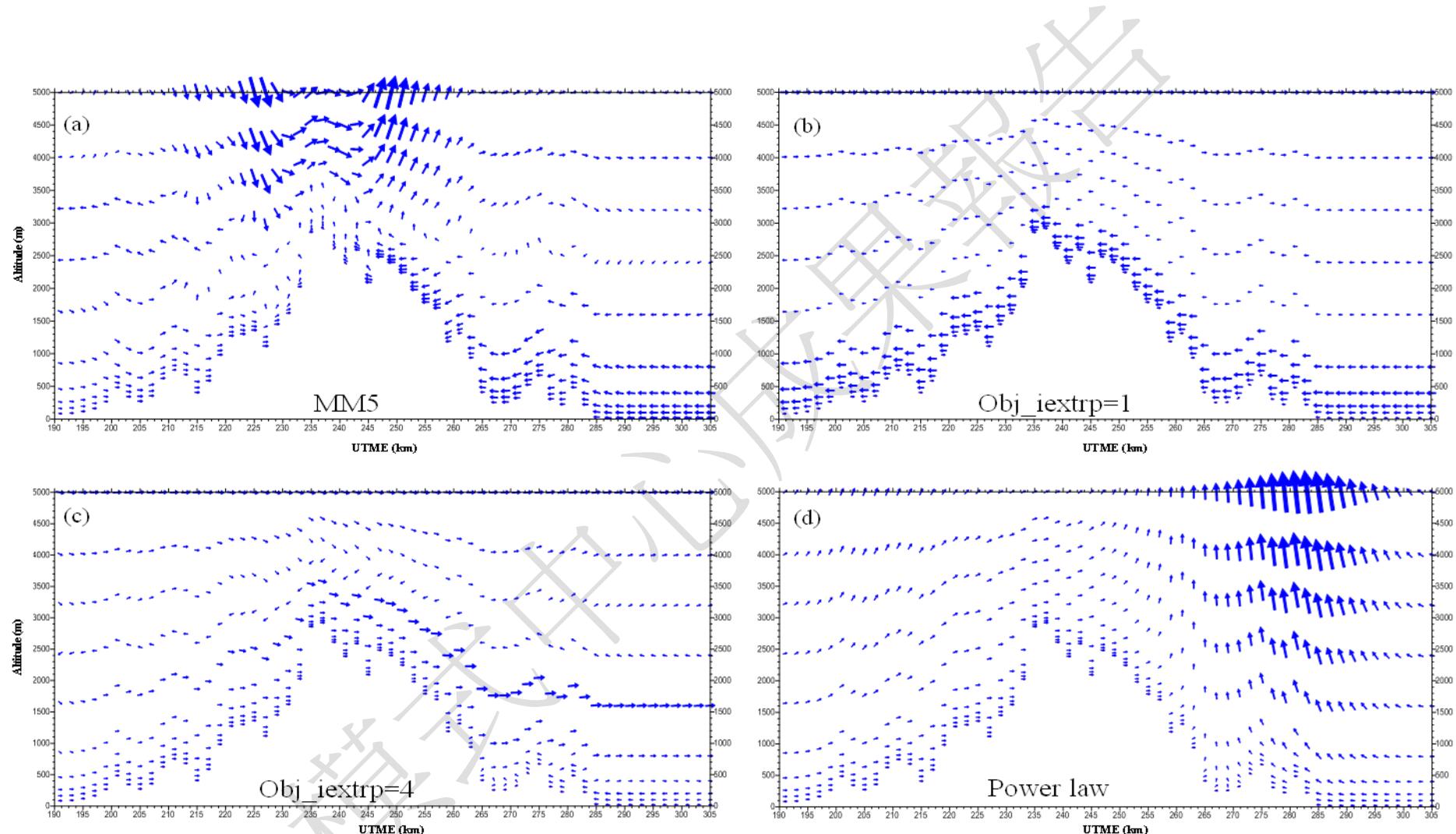


圖 3-12 2007 年 5 月 8 日 16:00 LST 於 UTMN=2550 km (圖 2-5 中 B-B')

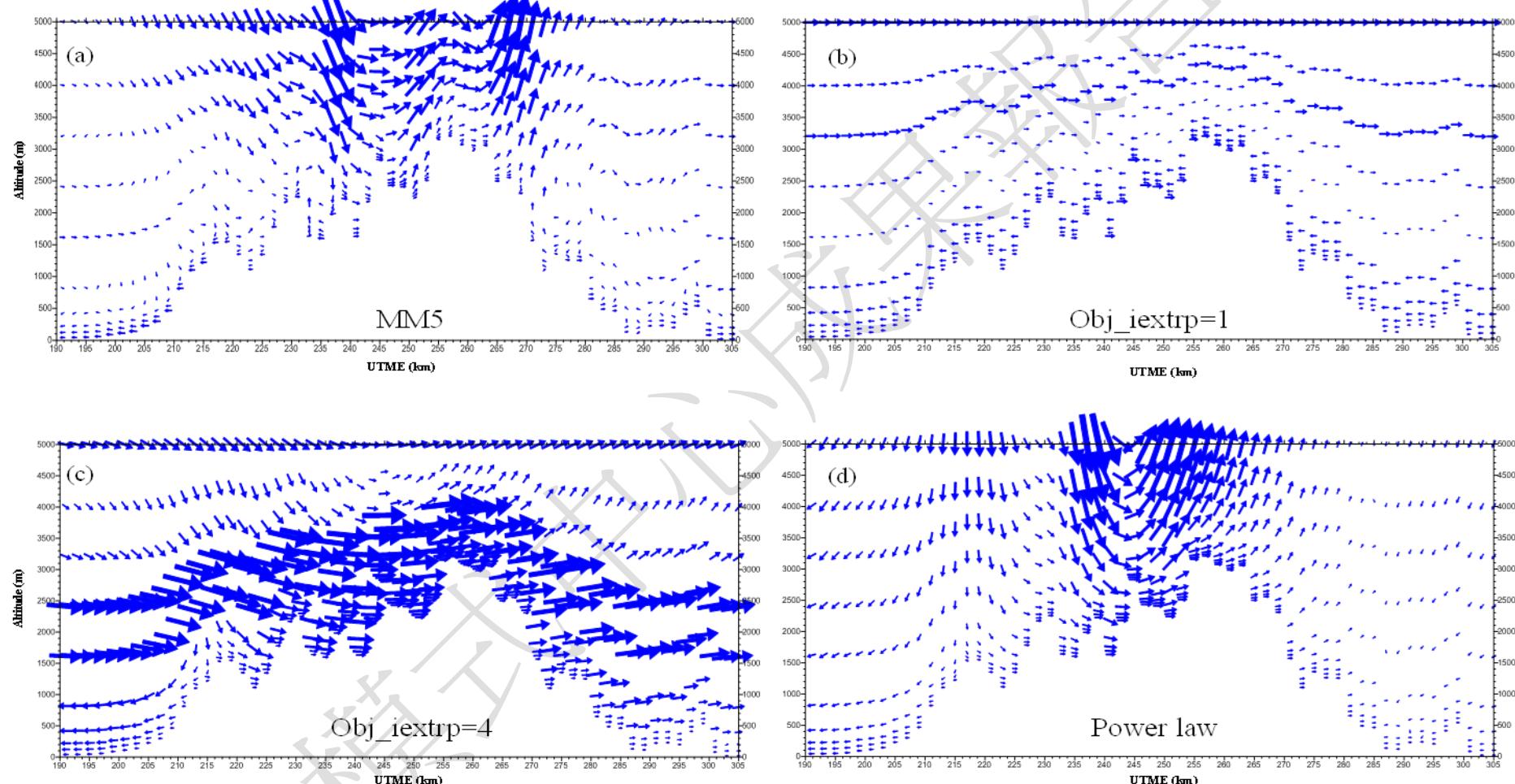


圖 3-13 2007 年 5 月 8 日 02:00 LST 於 UTMN=2600 km(圖 2-5 中 A-A')

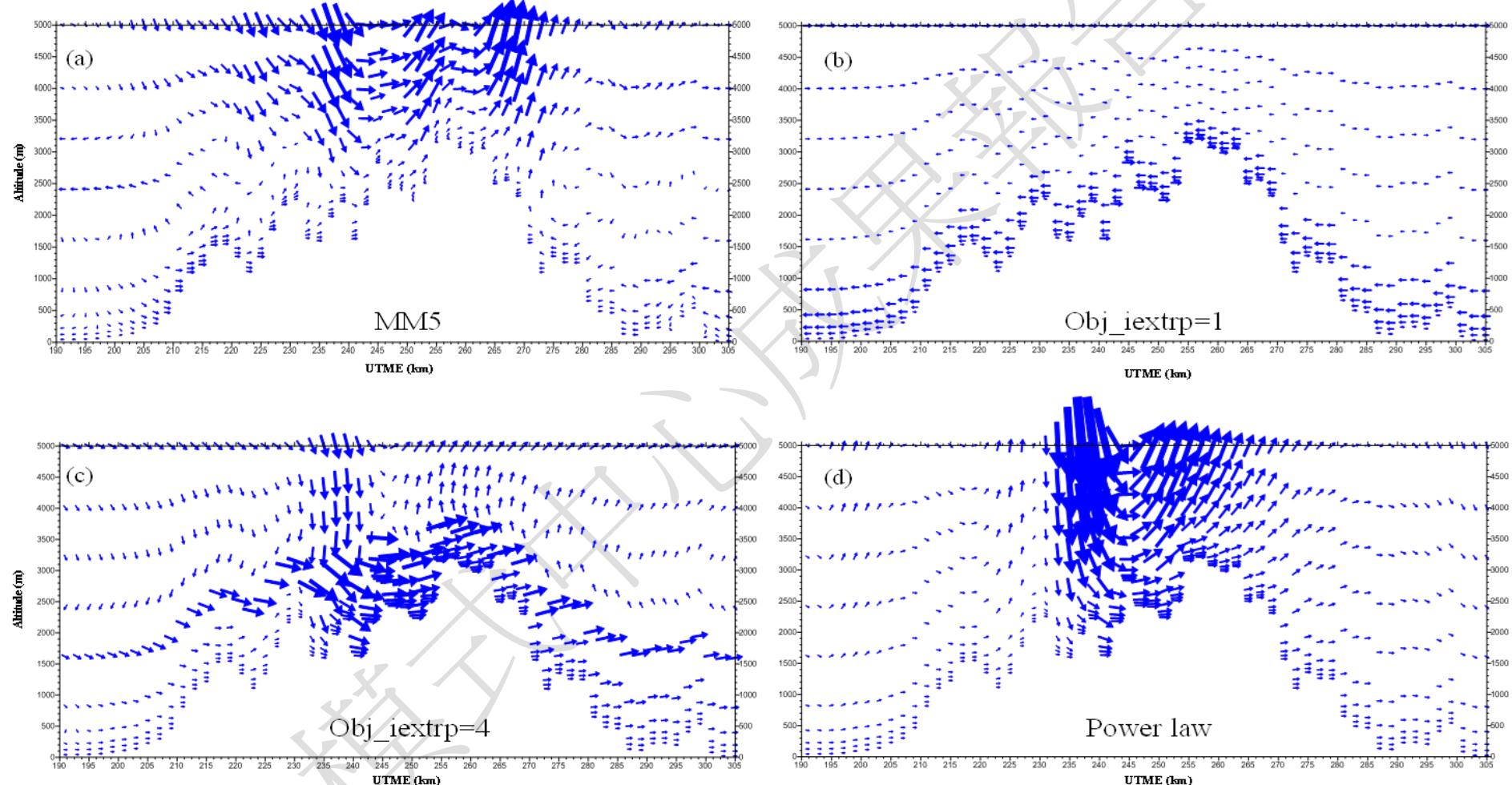


圖 3-14 2007 年 5 月 8 日 16:00 LST 於 UTMN=2600 km(圖 2-5 中 A-A')

#### 四、結論與建議

本研究比較 CALMET 客觀分析與中尺度氣象模式(MM5)在台灣中南部地區之風場模擬結果，有以下之結論與建議：

1. 經由本研究複雜山區客觀分析風場之評估結果，加上對於客觀分析原理之認知，本研究認為客觀分析法最適用於簡單地形與氣象觀測站密集的地方，且僅適用於相同之氣源地區。例如中央山脈東西兩側明顯分屬於不同之氣源區域，即在中央山脈高度以下兩側氣流是相互獨立的，因此不適合利用中央山脈高度以下東側地區氣象站之觀測值來客觀預測中央山脈西側地區的風場，反之亦然。因此客觀分析所使用的氣象測站與風場預測之範圍應該同屬於相同的氣源地區。
2. 在台灣利用客觀分析法來產生三維風場最大的問題是探空資料的時空解析度不足。其觀測時間解析度為 12 小時(僅有 0800 與 2000 LST 兩次探空)，而在空間分佈上，本島地區目前僅有板橋(中央氣象局測站)、花蓮(中央氣象局測站)與屏東(空軍所屬測站)。由於時間解析度之不足，客觀分析的結果為假設高空風場在 12 小時內隨時間呈現線性變化，此將無法解析大致以 12 小時為生命期的局部環流特性(如海陸風與山谷風)。而由於空間解析度的不足，致使除了前述三個探空測站所屬的氣源地區有一個探空站可用外，其他氣源地區甚至無測站可供使用。由以上說明可知，台灣地區目前客觀分析法若擬依賴探空資料來產生一定精準的高空風場有其先天上的困難，而且每個氣源地區目前最多也僅有一個探空站可使用，並無額外的探空測站可進行客觀分析結果之驗證，後續要評估客觀分析法利用既有探空觀測站預測高空風場能力之優劣，必須輔以額外高時間解析度的探空觀測資料，才有辦法評估既有探空測站之空間代表性。由以上說明可知，台灣地區目前擬以探空資料配合客觀分析法產生一定精準度的三維風場有其先天上的困難，客觀分析法僅能藉助於地面測站，求得一定高度以下之三維風場。
3. 理論上在大氣邊界層內的風場變化可利用地面氣象站之觀測結果進行適度外插預測求得，大氣邊界層的厚度在夜間僅為 150-200 公尺，日間午後可達 1000 公尺以上，但這是限於簡單平坦地形的經驗。按林等人在中部、雲嘉與南部地區之探空研究(林等人,2009; 林等人,2008a,b; 林等人, 2007; 林等人, 2006; 林等人, 2005; 林等人, 2004; Wu et al., 2010)，顯示台灣西部地區日間大氣邊界層厚度隨至時空變化而改變，日間大氣邊界層變化從數百公尺到超過 1000 公尺，主要是因為受

到地形與局部環流的影響，海風局部環流的中心高度約在 600-800 公尺(圖 4-1)。

海風環流出現時，風速 300 -400 m 以上時呈現隨高度遞減的現象，風向也隨之改變，此時風速與風向的變化，完全無法由地面進行預測。由以上之討論可知，台灣目前在探空站不足之地區，若以地面氣象站資料為依據，藉由客觀分析產生之三維風場，其有效的應用高度夜間不宜超過 200 公尺，日間不宜超過 400 公尺。

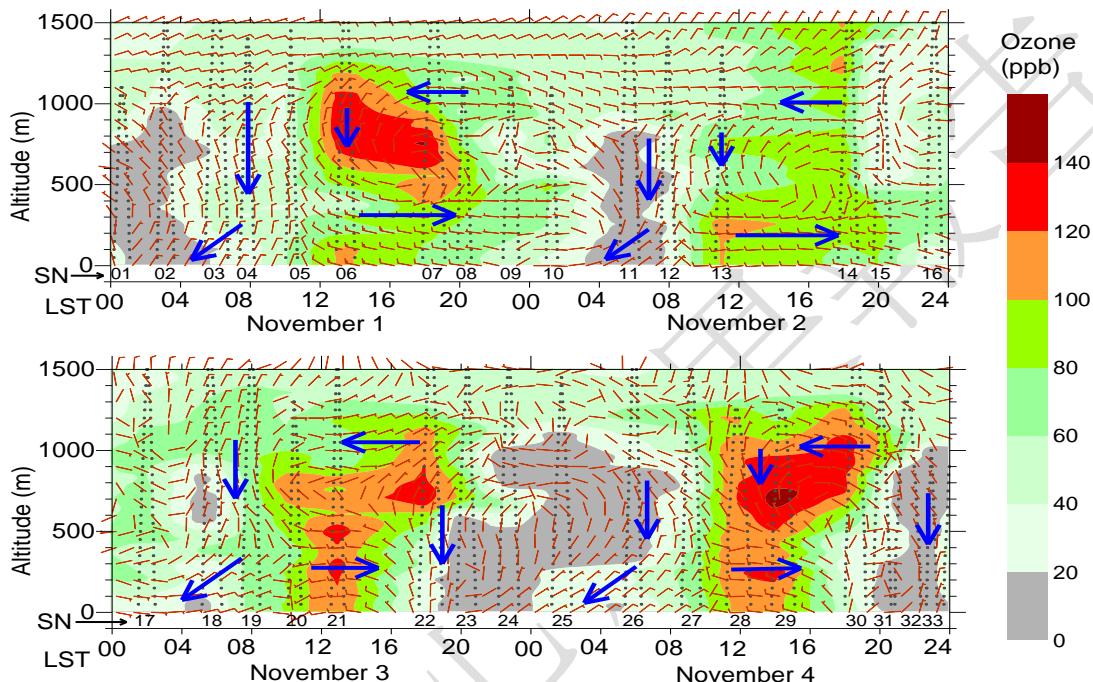


圖 4-1 林園地區臭氧與風場在垂直剖面上之日變化特性(2005 年 11 月 1-4 日)

(Wu et al., 2010)

## 參考文獻

- 林清和、吳義林、賴進興、賴信志、卓庚毅、楊奕德 (2009) 中部沿海地區臭氧垂直剖面特性之研究，第二十六屆空氣污染控制技術研討會論文集，中華民國環境工程學會，斗六市，98 年 11 月 6-7。(NSC 97-2221-E-242-007-MY3)
- 林清和、楊育興、賴進興、吳義林、賴信志 (2008a) 林園地區臭氧污染事件日期間大氣垂直剖面臭氧濃度日變化特性之研究，第二十五屆空氣污染控制技術研討會論文集，台北，臺灣大學，97 年 11 月 7-8，中華民國環境工程學會。
- 林清和、吳義林、賴進興、賴信志(2008b) 雲嘉地區臭氧垂直剖面特性之研究，第二十五屆空氣污染控制技術研討會論文集，台北，臺灣大學，97 年 11 月 7-8，中華民國環境工程學會。
- 林清和、陳志承、賴進興、吳義林、賴信志 (2007) 高屏內陸地區臭氧污染特性與形成機制之探討 第二十四屆空氣污染控制技術研討會論文集，高雄，高雄大學，96 年 11 月。
- 林清和、劉俊宏、賴進興、吳義林、賴信志 (2006) 高屏沿海地區臭氧垂直剖面特性之分析研究，第二十三屆空氣污染控制技術研討會論文集，台中，東海大學，95 年 11 月。
- 林清和、賴進興、吳義林、石正宏 (2005) 高屏地區臭氧儲留層之特性與其對於地面臭氧濃度之貢獻研究，第二十二屆空氣污染控制技術研討會論文集，中壢，國立中央大學，94 年 11 月。
- 林清和、賴進興、林博雄、吳義林、蘇智憲、王茂松(2004) 高屏地區混合層高度之實場觀測研究，第二十一屆空氣污染控制技術研討會，國立成功大學，93 年 11 月。
- 林清和，2012，2008 台灣網格化土地使用資料庫，2012 空氣污染控制技術研討會，桃園縣中原大學。
- 張良輝、張能復、陳王琨、莊秉潔、林文印、林清和、賴信志、陳錦煌、劉遵賢、陳杜甫 (2012) 空氣品質模式技術支援與空氣品質維護評估計畫(第二年)，環保署專案計畫(EPA-101-FA11-03-D065)。
- Scire, J.S., Robe, F.R., Fernau, M.E., Yamartino, R.J., 2000. A user' guide for the CALMET meteorological model. Earth Tech, Inc., Concord, MA 01742, USA.
- Zou, X., Huang, W., Xiao, Q., 1998. A user's guide to the MM5 adjoint modeling system. NCAR TN-437+IA, Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, USA.
- Wu, Y.L., Lin, C.-H, Lai, C.-H., Lai, H.-C., Young, C.-Y., 2010. Effect of local circulations, turbulent internal boundary layers, and elevated industrial plumes on coastal ozone pollution in the downwind urban-industrial Kaohsiung Complex. Terr. Atmos. Ocean. Sci. 21, 343-357
- Hunt, J. C. R., Olafsson H. and Bougeault P., 2001. Coriolis effects on orographic and mesoscale flows, Q. J. R. Meteorol. Soc., 127, 601-633.

Sun, W. Y. and Chern, J. D., 1993. Diurnal Variation of Lee Vortices in Taiwan and the Surrounding Area, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20, 3404-3430.

Millan M. M., Mantilla E., Salvador R., Carratala A. and Sanz M. J., 2000. Ozone cycles in the western mediterranean basin: interpretation of monitoring data in complex coastal terrain, *Journal of Applied Meteorology*, 39, 487-508.

模擬  
模式  
中心  
空氣  
品質  
部  
署