

臺北地區2002-2005年溫度預報之分析

陳白榆¹ 王國英²

中央氣象局宜蘭氣象站¹

中央大學大氣物理研究所²

摘要

本研究以中央氣象局對臺北市三年的一週溫度預報為主進行分析，同時也搜集國外其他單位（CNN、JWA、WMO和WN）的預報資料作比較。各季節的溫度預報技術得分比較，顯示在冬季的技術得分較高，夏季較低，尤其是6月份最低。且發現愈短時間的預報，最高溫的預報技術較佳；愈長時間的預報，則是最低溫的預報技術較佳。與國外其他單位的預報技術比較，以中央氣象局的技術能力最佳，其次為WMO。預報誤差頻率分佈圖顯示溫度有低報現象，且隨預報時間加長分佈愈廣，並與各季節的氣流來源一致性有關。由三維空間氣流軌跡模式（IMS-Lagrangian）計算高低溫氣團的軌跡分佈，發現氣團之來源與特性有密切的相關性。若實際上的空氣為來自西北方較冷的氣團，但預報時判定空氣來源為非北方且溫暖海洋的氣團，則有高報的現象；若實際上的空氣為來自東南方海洋上的高溫氣團，但預報認為來源為西北方的冷空氣，則會有低報的現象。西北大陸南下的大尺度天氣系統或是滯留的空氣來源，因為氣流特性與變化較易掌握，氣溫的預報也會較準確。

關鍵字：Persistence、IMS-Lagrangian model

一、前言

目前確定性天氣的可預報度限制在幾週以內（Hoskins and Sardeshmukh 1987; Ripley 1988），其主要的因素是我們對於取得大氣初始場資料不甚完全（Gilchrist 1986）以及對於天氣系統發展與演化的物理過程仍無法完整地瞭解（Somerville 1987）。美國氣象學會（American Meteorological Society 1998）所作的評估認為短期（12至72小時）預報相當有技術性，中期（三至七天）預報的技術則逐漸下降（Ripley and Archibold 2002）。Sanders（1973）的研究發現，Boston在1966-1972年地面和500hPa的天氣圖預報不斷地改進，但每日的溫度和降水預報技術則無明顯的提升。Thornes and Proctor（1999）的研究指出，英國BBC Radio 4的公共廣播天氣預報在1997年4月1日至6月5日的平均預報準確度比persistence好，約為85.5%；英國各地區預報的技術得分（Skill Score，介於0.0-1.0之間）皆低於0.5，表示預報技術仍有很大的進步空間。Ripley and Archibold（2002）評估加拿大氣象中心（Meteorological Service of Canada）2000年每日發布之溫度和降水預報準確度，結果顯示預報高估最低溫且低估最高溫約1°C。最高溫和內陸地區預報的技術得分最高，大於60%。

國內對天氣預報誤差的探討多為針對數值預報模式進行分析。蕭和吳（1997）針對南海和東亞1996年3至6月春夏季節轉換時節區域模式的48小時預報結果進行誤差分析，顯示熱帶地區的誤差大於副熱帶地區。陳等（1997）指出臺灣地區冬季的最高溫和最低溫變化與大氣熱力場變化有密切的相關性。王（1984）指出冬季期間由於極地空氣團週期性地南下，對臺北地區之最高溫及最低溫變化有極大的影響。馮（1994）指出，中央氣象局全球預報模式對北半球中高對流層溫度場的預報有偏冷的系統性誤差存在。

羅和陳（2001）及羅和陳（2003）分別針對1998年和2001年最高溫及最低溫統計預報結果進行分析。前者的研究指出於Perfect prog.（簡稱PP）統計預報方法下，臺北站冬季的最高溫和最低溫隨預報時段增長，預報有偏冷的情況。2003年的研究則顯示，MOS（Model Output Statistics）方法較PP方法預報準確。MOS除了夏季為冷偏差，其餘各季為暖偏差的情況。而PP方法的最高溫預報多為冷偏差，最低溫預報則呈現暖偏差的現象。

為了瞭解大都市地區的天氣預報能力，本研究以中央氣象局對臺北市的溫度預報為主進行分析，同時也搜集美國有線電視新聞網（CNN）、日本氣象協會（JWA）、世界氣象組織（WMO）、世界

新聞網 (WN) …等其他單位的溫度預報互相做比較，以瞭解大都會地區氣溫預報之特性。

二、資料搜集與研究方法

本研究針對2002年10月7日至2005年9月30日，共三年的預報資料分析中央氣象局對臺北市最低溫度 (T_{\min}) 和最高溫度 (T_{\max}) 預報的能力。溫度預報資料分成一天 (1-day) 及七天 (7-day) 的預報，並計算各預報期間預報值與觀測值的誤差。預報誤差 (dT) 為預報值減去觀測值，可以下式表示：

$$dT_{\min} = Tf_{\min} - To_{\min} \quad (2.1a)$$

$$dT_{\max} = Tf_{\max} - To_{\max} \quad (2.1b)$$

上式中的 dT_{\min} 和 dT_{\max} 為最低溫度和最高溫度的預報誤差； Tf_{\min} 和 Tf_{\max} 為最低溫 and 最高溫預報值。氣候偏差 (dT_{clim}) 為氣候值減去觀測值，即以氣候值作為預報值之誤差，以下式表示：

$$dTc_{\min} = Tc_{\min} - To_{\min} \quad (2.2a)$$

$$dTc_{\max} = Tc_{\max} - To_{\max} \quad (2.2b)$$

上式中的 dTc_{\min} 和 dTc_{\max} 為最低溫度和最高溫度氣候值的誤差； Tc_{\min} 和 Tc_{\max} 為最低溫 and 最高溫的氣候值； To_{\min} 和 To_{\max} 為最低溫 and 最高溫觀測值。參考 Ripley and Archibold (2002) 對一天至七天的最高溫度和最低溫度預報計算平均預報誤差 MFE (mean forecast errors or biases)：

$$MFE = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n (Fi - Oi) \quad (2.3)$$

上式中 Fi 和 Oi 表示 i 日的預報值和觀測值， n 表示總共天數。絕對平均預報誤差的定義為 MAFE (mean absolute forecast errors)：

$$MAFE = A_f = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n |Fi - Oi| \quad (2.4)$$

絕對平均氣候偏差的定義為 MAC (mean of the absolute values of daily temperature departures from the climatological normal)：

$$MAC = A_c = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n |Ni - Oi| \quad (2.5)$$

上式中 N_i 表示 i 日的平均溫度 (normal temperature)，即氣候值，以此值作預報。 A_f 是指預報值的平均誤差 (忽略正負號)，而 A_c 則是用氣候值來作為預報值的平均誤差，採用此兩者之意義是為了瞭解預報的技術能力，故最後必須計算預報的技術得分 (skill score)，以百分比表示：

$$\text{Skill score} = 100 \cdot \left[\frac{A_c - A_f}{A_c} \right] \% \quad (2.6)$$

A_f 必須小於 A_c 才算有技術，即技術得分大於 0%，較佳的預報接近 100%，以氣候值做預報此值為 0%，

比氣候值更差的預報此值則為負值。本文除了計算一天至七天溫度預報的技術得分外，也計算了持續預報 (persistence) 的技術得分與一天預報之技術得分做比較。所謂持續預報即以今日觀測的最低溫度和最高溫度來預報明日的最低溫度和最高溫度，與一天的預報相當。

因為預報誤差 (dT) 為預報值減去觀測值 ($T - To$)，所以預報誤差大於零時為高報的個案，而預報誤差小於零時為低報的個案。將 2002 至 2005 年當天至五天預報的最高溫度和最低溫度之每日預報誤差依季節作分類，假設某季節中三年的日數為 n 日，有 n 筆資料 dT_1, dT_2, \dots, dT_n ，其平均數 \overline{dT} (sample mean) 和標準差 S (standard deviation) 為：

$$\overline{dT} = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n dTi \quad (2.7)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (dTi - \overline{dT})^2}{n-1}} \quad (2.8)$$

研究中以距平均數大於一個標準差為高報和低報個案所選取的條件。

三、IMS-Lagrangian 模式

Lagrangian 軌跡線分析最近常被用來作為判斷氣流，即一大團整體一致的空氣粒子的源地。我們知道影響某地氣溫變化的因素有許多，包括冷暖平流、日照或夜間冷卻 (受雲量和濕度影響)、垂直運動和風場…等。臺北市處於海陸氣團間勢力消長拉鋸的區域，夏季季風帶來暖溼的氣流，冬季季風則帶來乾冷的空氣，溫度變化主要受冷暖平流所支配。因此，由軌跡模式可以瞭解各季節到達臺北市的氣流來源及特性，並證實不同來源之平流作用是否對臺北市的溫度預報準確度有所影響。

本研究使用 Wang and Shallcross (2000) 及 Wang (2005) 發展的 IMS-Lagrangian 模式進行軌跡線計算。首先選取出各個季節一天至五天預報中，高報、低報及準確預報之個案，為了想要瞭解在以上三種個案發生的情況下，到達臺北地區之氣流分佈特性，以及探討氣流來源和氣溫預報能力間是否有相關性存在，並且用軌跡模式證實臺北市的溫度與冷暖平流之關係，所以本研究使用 IMS-Lagrangian 模式進行高報、低報及準確預報個案的回軌跡計算。因為此個案是五天預報的計算，所以積分時間定為 120 小時，模式的時間解析度為一小時，即模式會輸出每小時空氣粒子的經緯度位置和高度等相關資訊。

四、結果

表1為2004年10月至2005年9月一週最高溫預報誤差與技術得分。表上方的「Forecast day」表示對應的各預報期間（0~7天和persistence），Ac為氣候預報誤差。最低溫和最高溫一週的預報技術大致上是隨預報時間加長技術降低的現象，溫度預報在冬季技術得分較高，夏季技術得分較低。其中冬季以2月最佳，一日最高溫預報技術得分在60%以上；夏季以6月最差，最高溫預報在2-3天後技術得分為負值。由表1可知，各月技術得分（Skill Score）的高低與每日預報誤差（MAFE）和氣候預報誤差（Ac）的大小有關。當技術得分較低時，可能是此月MAFE較大或是Ac較小的原因。預報的技術能力可由MAFE與Ac的大小相比（即技術得分的正負值）或是預報與persistence預報的技術得分比較而知。當預報的技術得分大於persistence的技術得分時表示預報是有技術性的；預報的技術得分小於persistence的技術得分則表示預報是無技術的（no skill）。

三年的預報資料顯示6月技術得分有逐年上升的趨勢，如圖1，顯示預報的技術有不斷地改進當中。至去年（2005年）已改進了最低溫預報低技術能力的現象，只是對最高溫的預報仍較無法掌握。表2所示為三年逐月最低溫和最高溫預報有技術的預報期間，由此表發現，三年的1月技術能力最高，最高溫預報在一週內皆有技術；6月的技術最低，三年的6月最低溫預報皆無技術，最高溫預報則是一天至兩天預報有技術。整體而言最高溫的技術比最低溫高，其原因是最高溫的變異大故Ac亦較大，所以得到的技術得分會較高。

將2003年12月至2004年11月一年的各單位預報資料依季節劃分，可比較各單位在各季節的預報能力，見表3。表上方「Forecast day」表示各預報期間（0~7天和persistence）的預報技術得分，單位為百分比（%）。一年資料分為冬季（DJF）、春季（MAM）、夏季（JJA）和秋季（SON）探討各季節的技術能力，上半部為最低溫（T_{min}）的預報技術得分，下半則為最高溫（T_{max}）的預報部分。除了最低溫在冬季1日和3日的WMO技術最佳、春季5~7日以JWA技術最佳，及最低溫和最高溫在春季的3日預報以WMO最佳外，一般而言，以CWB的技術較佳，尤其是最高溫預報的技術能力表現相當優秀。其次為WMO和JWA的預報，而CNN的技術表現最差。

三年的一維最低溫預報誤差分佈在-6°C~+6°C之間，最高溫預報誤差分佈在-10°C~+10°C之間。兩者皆有低報的現象，以最低溫預報較明顯。一維誤差分佈以預報時間較短的分佈較窄，預報時間愈

表1 2004年10月至2005年9月一週最高溫預報誤差與技術得分。

2004	Tmax	Forecast day	1	2	3	4	5	6	7	Per	Ac
Oct	MFE		-0.37	-0.92	-1.15	-1.24	-0.92	-0.73	-0.63	0.15	1.55
	MAFE		1.20	1.47	1.78	2.15	2.42	2.36	2.44	1.68	
	Skill Score		23%	5%	-15%	-38%	-56%	-52%	-57%	-8%	
Nov	MFE		-0.62	-0.88	-1.32	-1.48	-1.62	-1.62	-1.75	0.09	2.46
	MAFE		1.34	1.56	2.13	2.39	2.50	2.58	2.64	1.93	
	Skill Score		46%	36%	13%	3%	-2%	-5%	-8%	21%	
Dec	MFE		-0.28	-0.70	-0.86	-0.67	-0.51	-0.22	0.14	0.35	2.78
	MAFE		1.58	1.93	2.02	2.21	2.12	2.01	2.17	2.34	
	Skill Score		43%	31%	27%	20%	24%	28%	22%	16%	
Jan	MFE		0.22	0.47	0.57	0.47	0.47	0.51	0.57	-0.03	2.62
	MAFE		1.46	1.73	1.78	1.63	1.67	1.95	2.11	2.83	
	Skill Score		44%	34%	32%	38%	36%	26%	19%	-8%	
Feb	MFE		-0.74	-1.09	-1.27	-1.24	-1.31	-1.09	-0.88	-0.04	4.52
	MAFE		1.73	2.09	2.25	2.28	2.42	2.76	3.61	3.49	
	Skill Score		62%	54%	50%	50%	46%	39%	20%	23%	
Mar	MFE		-1.26	-1.97	-2.35	-2.58	-2.94	-3.13	-3.26	-0.17	4.29
	MAFE		2.19	2.55	2.75	2.87	3.24	3.50	3.77	3.52	
	Skill Score		49%	41%	36%	33%	25%	19%	12%	18%	
Apr	MFE		0.29	0.12	-0.15	-0.45	-0.85	-1.15	-1.52	-0.50	3.16
	MAFE		1.99	2.16	2.20	2.40	2.53	3.00	3.10	2.84	
	Skill Score		37%	32%	30%	24%	20%	5%	2%	10%	
May	MFE		0.61	0.84	0.84	0.97	1.13	1.19	0.92	0.05	3.00
	MAFE		1.81	1.94	2.29	2.45	2.49	2.65	2.97	3.29	
	Skill Score		40%	35%	24%	18%	17%	12%	1%	-10%	
Jun	MFE		-0.23	-0.29	-0.39	-0.33	-0.38	-0.78	-1.08	-0.06	1.49
	MAFE		1.20	1.34	1.60	1.65	1.90	2.09	2.07	1.55	
	Skill Score		20%	10%	-8%	-11%	-27%	-40%	-39%	-4%	
Jul	MFE		-0.31	-0.62	-0.32	-0.29	-0.31	-0.38	-0.40	0.01	1.50
	MAFE		0.90	0.88	0.93	0.91	0.73	0.79	0.83	1.08	
	Skill Score		40%	42%	38%	39%	52%	47%	45%	28%	
Aug	MFE		-0.30	-0.47	-0.69	-0.40	-0.21	-0.01	0.28	0.17	1.57
	MAFE		1.12	1.09	1.25	1.37	1.55	1.82	1.72	1.55	
	Skill Score		29%	30%	20%	12%	1%	-16%	-10%	1%	
Sep	MFE		-0.01	-0.20	-0.16	0.00	0.00	-0.25	-0.25	-0.08	1.99
	MAFE		0.99	1.62	1.55	1.60	1.53	1.69	1.75	1.21	
	Skill Score		50%	19%	22%	20%	23%	15%	12%	39%	

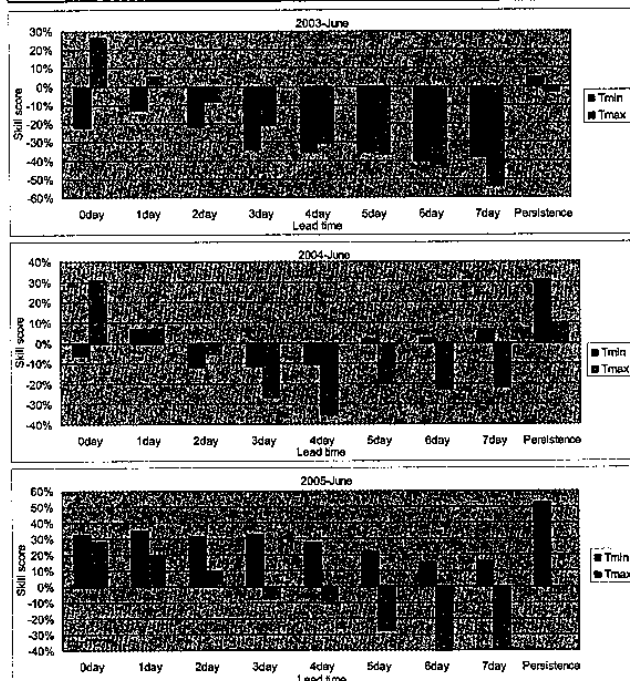


圖1 6月三年的技術得分比較。紅色和藍色直條分別為最低溫及最高溫預報的技術得分，橫軸是各預報期間(0day~7day)和persistence預報。

表2 2002至2005年逐月最低溫 and 最高溫預報有技術的預報期間。

Year	2002			2003								
Month	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tmin	No skill	1-7 days	1-4 days	1-6 days	1-2 days	1-3 days	1-2 days	1-5 days	No skill	No skill	No skill	No skill
Tmax	1 day	1-6 days	1-3 days	1-7 days	1-7 days	1-7 days	1-6 days	1-7 days	1 day	No skill	No skill	1-4 days
Year	2003			2004								
Month	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tmin	No skill	1-3 days	1-4 days	1 day	1 day	1-2 days	1-3 days	1 day	No skill	1-7 days	No skill	No skill
Tmax	1-3 days	1-6 days	1-7 days	1-7 days	1-3 days	1-4 days	1-2 days	1-4 days	No skill	1 day	1-7 days	1-3 days
Year	2004			2005								
Month	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tmin	No skill	No skill	No skill	1-5 days	1-6 days	1-7 days	1 day	1 day	No skill	2-4 days	No skill	No skill
Tmax	1-2 days	1-2 days	1-7 days	1-7 days	1-6 days	1-6 days	1-5 days	1-7 days	1-2 days	1-7 days	1-4 days	1 day

表3 各單位分季之最低溫 and 最高溫預報技術得分。

Skill	Score (%)	Forecast day	Forecast day							Per
			1	2	3	4	5	6	7	
DjF	Tmin	CWB	49	40	34	33	27	20	15	42
		JWA	32	23	32	29	21	36	-63	
		CNN	13	11	-18	10				
		WN	17	18	21	25				
		WMO	53	27	56					
MAM	Tmin	CWB	30	21	19	9	4	-3	-8	17
		JWA	23	19	5	-7	15	17	3	
		CNN	-17	-11	-10	-31				
		WN	2	19	19	14				
		WMO	23	20	23					
JJA	Tmin	CWB	14	5	7	8	14	16	18	23
		JWA	13	11	1	5	8	15	-4	
		CNN	-170	-14	-160	-148				
		WN	7	3	-15	-21				
		WMO	7	-2	7					
SON	Tmin	CWB	11	-2	-10	-14	-21	-24	-32	43
		CNN	-70	-49	-79	-65				
		WN	-82	-62	-67	-74				
		WMO	10	-13	-18					
DjF	Tmax	CWB	58	46	42	40	41	40	37	28
		JWA	46	38	33	30	29	10	-56	
		CNN	28	36	27	12				
		WN	23	41	32	16				
		WMO	35	26	19					
MAM	Tmax	CWB	46	35	23	13	8	9	-1	16
		JWA	-13	-22	-10	-25	-37	-30	-30	
		CNN	9	4	7	-14				
		WN	18	12	3	12				
		WMO	44	30	35					
JJA	Tmax	CWB	17	5	-3	0	8	11	2	11
		JWA	-100	-107	-97	-95	-107	-104	-125	
		CNN	-38	-38	-32	-36				
		WN	-15	-17	-16	-18				
		WMO	15	-14	-17					
SON	Tmax	CWB	33	25	9	-12	-23	-26	-30	8
		CNN	4	2	10	-17				
		WN	1	0	-20	-17				
		WMO	19	8	-4					

長分佈愈寬。圖2為2003年10月至2004年9月的最低溫預報誤差之二維頻率分佈，圖中橫軸為1月至12月 (month)，縱軸為誤差 (error)，在每個月的各段誤差區間中若有個數即以填滿顏色表示，在每格顏色上之數字也代表在此格誤差之個數。二維的誤差分佈以7、8月最為集中，3月分佈最廣，Wang (2005) 計算1994至2002年各季節的平均氣流軌跡分佈，顯示在季節轉換的春季時，臺灣附近的氣流較凌亂，而夏季時因西南季風盛行，大部分的氣流皆

來自西南方。故春季的氣流較無法掌握，可能有北方的冷空氣或南方溫暖空氣的來源，而有誤差分佈較廣的現象，反之，夏季時的氣流來源較一致，多為西南方溫暖的空氣，所以誤差分佈較為集中。

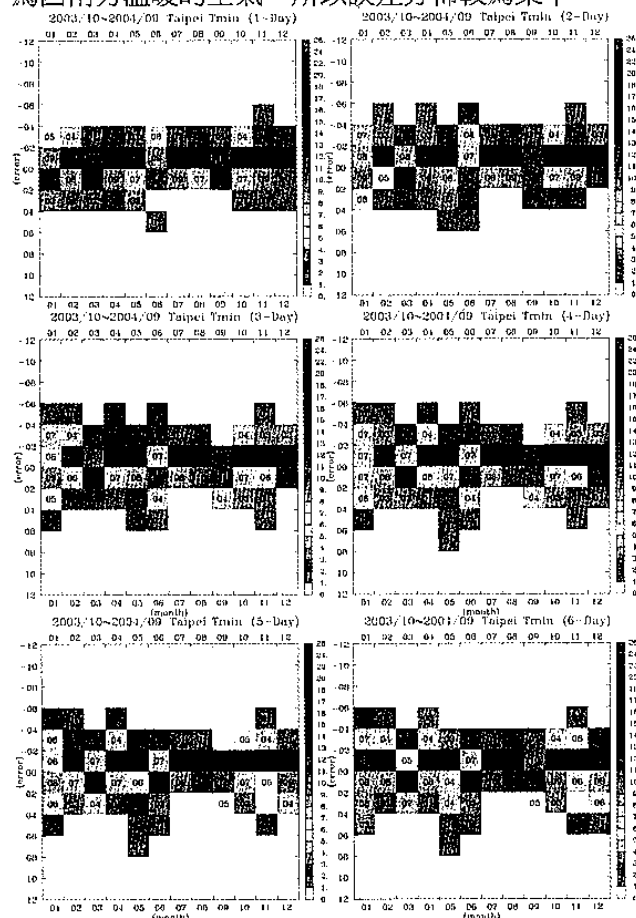


圖2 2003年10月至2004年9月各預報期間 (1-Day ~6-Day) 最低溫 (Tmin) 預報誤差之二維頻率分佈圖。橫軸為1月至12月 (month)，縱軸為誤差區間 (error)。

研究中使用IMS-Lagrangian模式計算各季節高低溫氣團的軌跡分佈情形，發現氣團之來源與特性有密切相關。北方和西北方大陸來源之氣團溫度偏低，而東和東南方海洋上來源之氣團溫度偏高。圖3所示為春季最低溫個案的軌跡分佈，高報個案在20°N以北、130°E以西來源的軌跡有90.2%之多，即從西北大陸上來源之氣團較多。春季從西北方來源多為低溫的空氣，而預報的軌跡來源方向與實際方向不同，即預報認為從西北方來之氣團是從溫暖的海洋過來，故此情況下會有高報的現象。而低報時在30°N以南、110°E以東來源的軌跡佔92.1%，以海洋上來源之軌跡佔大多數。春季時不論臺灣南方或東南方海洋上的來源多為高溫氣團，而預報認為軌跡的來源為北方的冷空氣，故在此情況下預報有低報的現象。準確個案時北方和南方皆有軌跡來源，軌跡線有兩個特性：一是有西北大陸下來的氣團，且路徑較長，顯示氣團運動速度較快，是屬於大尺度的運動現象；二是軌跡分佈主要集中在10-40°N，110°-130°E之間的區域，軌跡集中在臺灣附近表示氣流有滯留的現象，此時天氣型態應為滯留

鋒或高壓籠罩。推論以上兩者綜觀天氣型態下，氣流特性與變化較易掌握，故氣溫預報較為準確。

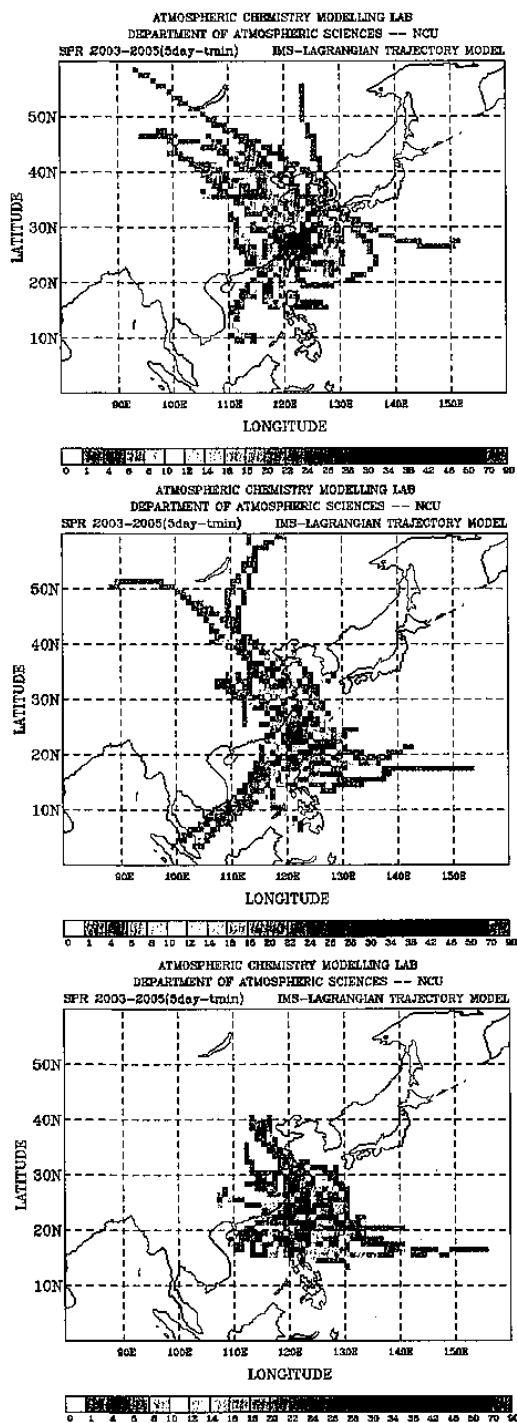


圖3 春季最低溫 (T_{min}) 預報個案的五天回軌跡分佈圖，由上而下分別為高報、準確和低報15%的個案回軌跡。

圖4為冬季最高溫個案之回軌跡。高報的軌跡集中在西北方之來源，方向相當地一致且集中， $130^{\circ}E$ 以西、 $20^{\circ}N$ 以北的西北方來源軌跡有96%之多，幾乎佔了所有的軌跡來源。而準確預報時軌跡雖亦為西北方之來源，但分佈不如高報的軌跡集中，且有

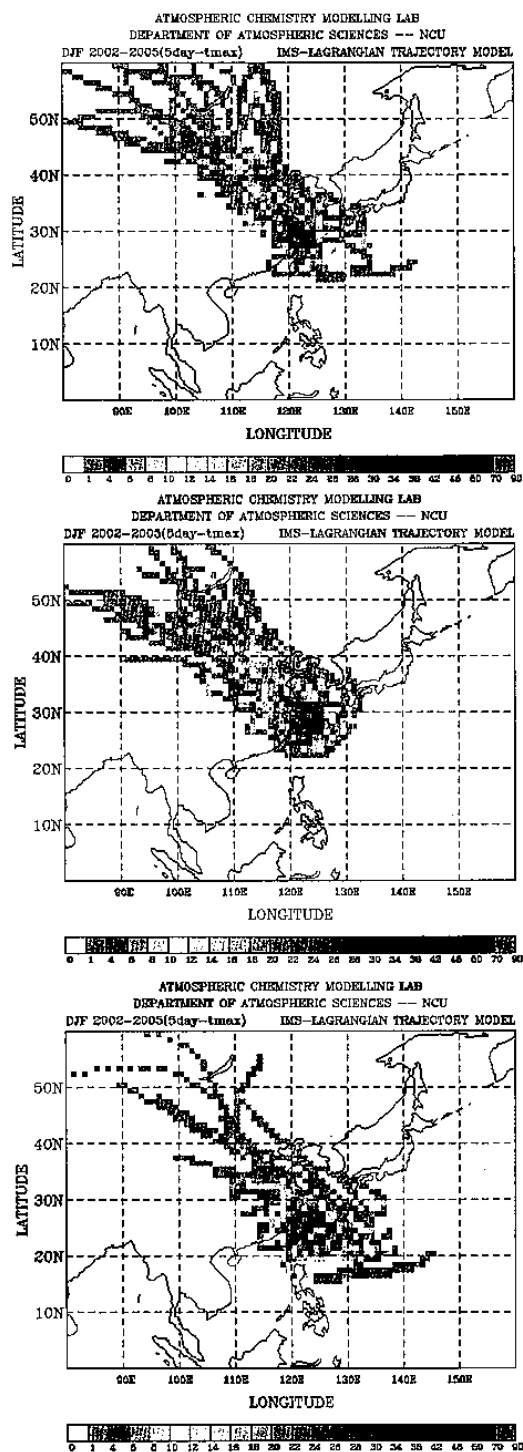


圖4 冬季最高溫 (T_{max}) 預報個案的五天回軌跡分佈圖，由上而下分別為高報、準確和低報15%的個案回軌跡。

在臺灣東北方海洋上打轉的現象。準確預報個案在 $110-130^{\circ}E$ ， $20-40^{\circ}N$ 區域中有75.3%，表示氣流軌跡在此區域中較凌亂無一致的方向，但整體而言仍以西北方來源較多，只是跟高報個案相較，高報的軌跡更直接地從大陸南下到達臺北市，較無在出海後打轉滯留的情況，高緯度的來源也較多。接著看到低報個案的軌跡分佈，明顯與前兩者有所不同。低報個案軌跡集中在臺灣東方之來源，即 $120-130^{\circ}E$ ， $20-30^{\circ}N$ 的網格中。在 $30^{\circ}N$ 以南來源之軌跡佔78.7%，表示低報時多數為海洋上的來源。顯示

預報認為低報時的來源是西北方下來的冷氣團，但實際上多為東方海洋上來源之高溫氣團，故造成氣溫預報有低估的現象。

由高報、低報和準確預報個案五天的回軌跡計算顯示，預報對氣團來源方向的判斷有誤，或是空氣有其他產生溫度變化的情形較無法掌握，會造成低報或高報的情況。若實際上的空氣為來自西北方較冷的氣團，但預報時判定空氣來源為非北方且溫暖海洋的氣團，則有高報的現象。若實際上的空氣為來自東方、東南方或南方海洋上的高溫氣團，但預報認為來源為西北方的冷空氣，則會有低報的現象。西北大陸南下的大尺度運動氣團或是滯留的氣團來源，因為氣流特性與變化較易掌握，氣溫的預報也會較準確。

五、結論與展望

由本研究可瞭解中央氣象局以及其他單位對臺北市的溫度預報能力。未來希望能增加搜集臺灣各地區如高雄、台中和花蓮等地的溫度或其他預報資料，進一步比較在北、中、南和東部地區不同的地理型態下之氣候特徵差異與天氣預報能力的優劣表現。因為目前只蒐集了國外其他單位一年的預報資料作比較，未來希望繼續累積更長期及多元化的資料量，以得到更客觀的結果。本研究使用三維氣流軌跡模式，此模式可以解釋某些季節溫度預報誤差來源產生的可能原因，但仍有部分無法獲得解釋。未來希望能找到新的方法有效地分析氣流回軌跡路徑，以期能解釋目前所無法解決的疑問。同時，也要不斷地接觸與吸收國外學者對於天氣預報方面的研究資訊，以便能從中獲得學習效法的研究方法，將之應用於國內的預報上，共同為提升天氣預報技術能力而努力。

致謝

本文在國科會計畫NSC 93-2111-M-008-007和NSC 94-2111-M-008-004支持下完成，研究所需氣象資料由中央氣象局及台灣大學大氣研究資料庫所提供，謹此致謝。

參考文獻

王時鼎，1984：臺灣區域長期天氣預報之特性。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，臺灣，臺北，363-381。

- 陳重功、羅存文與王惠民，1997：影響台灣地區冬季最高/低溫度變化之相關天氣因子分析。天氣分析與預報研討會論文彙編(85)，中央氣象局，臺灣，臺北，481-490。
- 馮欽賜，1994：中央氣象局全球預報模式中積雲參數化之測試。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，臺灣，臺北，123-131。
- 蕭志惠與吳石吉，1997：中央氣象局區域模式分析與預報之診斷。天氣分析與預報研討會論文彙編(85)，中央氣象局，臺灣，臺北，293-301。
- 羅存文與陳重功，2001：87年度最高/低溫度統計預報成果分析。氣象學報，43，12-27。
- 羅存文與陳重功，2003：2001年最高/低溫統計預報結果分析。氣象學報，45，33-50。
- American Meteorological Society, 1998: Weather analysis and forecasting. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2161-2163.
- Gilchrist, A., 1986: Long-range forecasting. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 112, 567-592.
- Hoskins, B. J. and P. D. Sardeshmukh, 1987: A diagnostic study of the dynamics of the northern hemisphere winter of 1985-86. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 113, 759-778.
- Ripley, E. A., 1988: Drought prediction on the Canadian prairies. *National Hydrology Research Centre Report No. 88-4*, Canadian Climate Centre, Saskatoon.
- Ripley, E. A. and O. W. Archibold, 2002: Accuracy of Canadian short- and medium-range weather forecasts. *Weather*, 57, 448-457.
- Sanders, F., 1973: Skill in forecasting daily temperature and precipitation: some experimental results. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 54, 1171-1179.
- Somerville, R. C. J., 1987: The predictability of weather and climate. *Clim. Change*, 11, 239-246.
- Thornes, J. E. and E. A. J. Proctor, 1999: Persisting with persistence: The verification of Radio 4 weather forecasts. *Weather*, 54, 311-320.
- Wang, K. -Y. and D. E. Shallcross, 2000: A Lagrangian study of the three-dimensional transport of boundary-layer tracers in an idealized baroclinic-wave life-cycle. *J. Atmos. Chem.*, 35, 227-247.
- Wang, K. -Y., 2005: A 9-year climatology of airstreams in East Asia and implications for the transport of pollutants and downstream impacts. *J. Geophys. Res.*, 110, D07306, doi: 10.1029/2004-JD005326.