

國立臺灣大學管理學院財務金融研究所

碩士論文

Graduate Institute of Finance

College of Management

National Taiwan University

Master Thesis

氣候風險分析－以台灣近百年氣溫變化為例

The Climate Risk Analysis of Air Temperature Change
during the Past Century in Taiwan



顏秀慧

Shui-Hway Yen

指導教授：曾郁仁 博士

Advisor: Larry Y. Tzeng, Ph.D.

中華民國 101 年 7 月

July, 2012

國立臺灣大學（碩）博士學位論文
口試委員會審定書

氣候風險分析－以台灣近百年氣溫變化為例
The Climate Risk Analysis of Air Temperature
Change during the Past Century in Taiwan

本論文係顏秀慧君（R98723039）在國立臺灣大學財務金融學系所完成之碩（博）士學位論文，於民國一〇一年七月四日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

曾郁仁

（簽名）

（指導教授）

王仁彥

黃瑞卿

系主任、所長

胡星揚

（簽名）

（是否須簽章依各院系所規定）

中文摘要

風險管理可使一個經濟單位經由科學客觀之分析，對所面臨之不確定危險進行損害之轉移或降低。近年來，在財務金融相關領域中開始利用風險值（Value at Risk, VaR）作為衡量市場風險之工具，由於風險值以簡便操作且易於理解的數字型態出現，很快便受到歡迎。

台灣之氣象觀測已累積超過百年以上之長期資料，故本研究擬以台灣近百年來之氣溫觀測資料作為測試標的，嘗試利用風險值作為衡量指標進行觀察分析。

研究結果顯示，台灣百年來的氣溫變化趨勢為升溫，而年均溫有時會掩蓋當年度氣候高低溫反常的現象。測站百年來的升溫幅度以年均最低溫的上升幅度最為明顯，都會區測站因都市熱島效應的影響，升溫現象較為顯著。

依據迴歸結果，年平均氣溫升溫速度約在 $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}/100$ 年間，年均最高溫升溫速度在 $0.5^{\circ}\text{C}/100$ 年左右，年均最低溫升溫速度在 $2^{\circ}\text{C}/100$ 年以上。

由 VaR 與 CVaR 的計算得知極端炎熱及極端寒冷的天氣出現的可能性越來越大。經過月均溫平減前後之 VaR 變化趨勢雖不相同，但不論以平減前或平減後之風險值來判斷，台灣北部的氣候風險均屬較大。

以新穎的風險管理工具進行氣溫變化之分析判斷，可顯示出不同的議題焦點，值得持續關注。

Abstract

Risk management is helpful for an economic unit to transfer or decrease the danger caused from uncertainty by impersonal scientific analysis. Recently, it is popular to use VaR (Value at Risk) to calculate the market risk as a result of its simplicity and numerical type.

It is exceed 100 years in meteorological observation of Taiwan. This study adopts the VaR method to air temperature data of Taiwan, and would like to find the tendency of climate risk during the past century.

The results are shown that the air temperature of Taiwan is increasing over this hundred years, especially in mean minimum temperature. The slopes of regression are about $1 \sim 1.5^{\circ}\text{C}/100$ years for mean temperature, $0.5^{\circ}\text{C}/100$ years for mean maximum temperature, and $2^{\circ}\text{C}/100$ years for mean minimum temperature.

Both VaR and CVaR indicate the day of extreme hot or cold appears more often in recent years. Monthly mean temperature is used as a deflator to adjust the seasonal effect of air temperature, and northern part of Taiwan is the most climate-risky area before and after the adjustment.

To apply VaR method for climate risk is a novel approach and the results are really interesting.

目 錄

第一章 緒論.....	1
第一節 研究動機及目的.....	1
第二節 研究範圍及限制.....	1
第二章 文獻回顧.....	2
第一節 氣候變遷.....	2
第二節 風險值.....	3
第三章 研究方法.....	5
第一節 資料來源.....	5
第二節 計算方法.....	7
第四章 結果與討論.....	9
第一節 長期趨勢分析.....	9
第二節 風險值計算.....	22
第五章 結論.....	38
第一節 結論.....	38
第二節 建議.....	38
參考文獻.....	39
附錄 風險值計算結果.....	40

一、台北測站.....	41
二、台中測站.....	45
三、台南測站.....	49
四、台東測站.....	53
五、恆春測站.....	57



表目錄

表 3.1.1 各測站所在地基本資料	5
表 4.1.1 台北測站年均溫迴歸結果	9
表 4.1.2 台中測站年均溫迴歸結果	11
表 4.1.3 台南測站年均溫迴歸結果	13
表 4.1.4 台東測站年均溫迴歸結果	13
表 4.1.5 恆春測站年均溫迴歸結果	14
表 4.1.6 年均溫迴歸值與實測值比較	15
表 4.1.7 年均最高溫迴歸值與實測值比較	16
表 4.1.8 年均最低溫迴歸值與實測值比較	16
表 4.1.9 年均溫度迴歸結果比較	17
表 4.2.1 台北測站風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	22
表 4.2.2 台北測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	23
附表 1 台北測站風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	41
附表 2 台北測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	42
附表 3 台北測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	43
附表 4 台北測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	44
附表 5 台中測站風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	45
附表 6 台中測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	46
附表 7 台中測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	47
附表 8 台中測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	48
附表 9 台南測站風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	49
附表 10 台南測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	50
附表 11 台南測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	51

附表 12 台南測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	52
附表 13 台東測站風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	53
附表 14 台東測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	54
附表 15 台東測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	55
附表 16 台東測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	56
附表 17 恆春測站風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	57
附表 18 恆春測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	58
附表 19 恆春測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.05$)	59
附表 20 恆春測站平減後風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)	60



圖目錄

圖 3.1.1 台灣地區氣象測站分布圖	6
圖 4.1.1 台北測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢	10
圖 4.1.2 台中測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢	10
圖 4.1.3 台南測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢	12
圖 4.1.4 台東測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢	12
圖 4.1.5 恆春測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢	14
圖 4.1.6 台北測站 1901~1904/2001~2004 年之逐月氣溫變化趨勢比較	18
圖 4.1.7 恆春測站 1901~1904/2001~2004 年之逐月氣溫變化趨勢比較	18
圖 4.1.8 台北測站 1901~2011 年之年均溫移動平均變化	19
圖 4.1.9 五個測站 1901~2011 年之年均溫變化趨勢	20
圖 4.1.10 五個測站 1901~2011 年之年均最高溫變化趨勢	21
圖 4.1.11 五個測站 1901~2011 年之年均最低溫變化趨勢	21
圖 4.2.1 台北測站 1998~2011 年 VaR 變化情形($\alpha = 0.05$)	23
圖 4.2.2 台北測站 1998~2011 年高溫頂部 VaR 變化情形($\alpha = 0.05/0.01$)	24
圖 4.2.3 台北測站 1998~2011 年低溫底部 VaR 變化情形($\alpha = 0.05/0.01$)	25
圖 4.2.4 台北測站 1998~2011 年高溫頂部 VaR/CVaR 比較($\alpha = 0.05$)	25
圖 4.2.5 台北測站 1998~2011 年低溫底部 VaR/CVaR 比較($\alpha = 0.05$)	26
圖 4.2.6 台北測站各月份月均溫分布	27
圖 4.2.7 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減前後 VaR 比較($\alpha = 0.01$)	28
圖 4.2.8 台北測站 1998~2011 年低溫底部平減前後 VaR 比較($\alpha = 0.01$)	28
圖 4.2.9 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減後 VaR 變化($\alpha = 0.05/0.01$)	29
圖 4.2.10 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減後風險值比較($\alpha = 0.05$)	30
圖 4.2.11 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減後風險值比較($\alpha = 0.01$)	30

圖 4.2.12 各測站 1998~2011 年最高溫頂部 VaR 比較($\alpha = 0.01$).....	31
圖 4.2.13 各測站 1998~2011 年最高溫頂部平減後 VaR 比較($\alpha = 0.01$).....	31
圖 4.2.14 各測站 1998~2011 年最高溫頂部 CVaR 比較($\alpha = 0.01$).....	32
圖 4.2.15 各測站 1998~2011 年最高溫頂部平減後 CVaR 比較($\alpha = 0.01$).....	33
圖 4.2.16 各測站 1998~2011 年最低溫底部 VaR 比較($\alpha = 0.01$).....	33
圖 4.2.17 各測站 1998~2011 年最低溫底部 CVaR 比較($\alpha = 0.01$).....	34
圖 4.2.18 各測站 1998~2011 年最低溫底部平減後 VaR 比較($\alpha = 0.01$).....	34
圖 4.2.19 各測站 1998~2011 年日均溫頂部 VaR 比較($\alpha = 0.05$).....	35
圖 4.2.20 各測站 1998~2011 年日均溫底部 VaR 比較($\alpha = 0.05$).....	36
圖 4.2.21 各測站 1998~2011 年日均溫頂部 VaR 比較($\alpha = 0.01$).....	37
圖 4.2.22 各測站 1998~2011 年日均溫底部 VaR 比較($\alpha = 0.01$).....	37



第一章 緒論

第一節 研究動機及目的

風險管理 (Risk Management) 自 1950 年代興起，現已成為公認之重要管理科學。藉由此種管理科學，可使一個經濟單位經由科學客觀與成本效益之分析，對所面臨之不確定危險進行損害之轉移或降低，以期獲得避難保障或彌補重建之費用¹。

風險的定義目前尚屬眾說紛紜的階段，基本上應具備不確定性、有遭受損失之或然率以及尚未發生等特性。簡言之，風險在總體上具有必然性，但在個體上則具有偶然性，從而構成了風險的隨機性²。

近年來，在財務金融相關領域中開始利用風險值 (Value at Risk, VaR) 作為衡量市場風險之工具，由於風險值以簡便操作且易於理解的數字型態出現，很快便受到歡迎。

目前氣候變遷議題，如溫室效應等，成為舉世注目焦點，也促使許多國家締結國際公約，並投入鉅額經費進行研發，嘗試發現氣候變化的趨勢並尋求解決或調適之道。

台灣之氣象觀測已累積超過百年以上之長期資料，故本研究擬以台灣近百年來之氣溫觀測資料作為測試標的，嘗試以風險管理之角度，利用風險值作為衡量指標，來觀察分析其結果。

第二節 研究範圍及限制

研究範圍為台灣現有氣象測站中具有百年以上觀測資料者。根據中央氣象局之測站資料，設站於西元 1901 年以前的測站包括台北 (自 1896 年起)、澎湖 (自 1896 年起)、台南 (自 1897 年起)、台中 (自 1896 年起)、恆春 (自 1896 年起)、台東 (自 1901 年起)，然早期資料僅留存紙本易有誤植，且並未公開日平均資料，故受限於資料來源及研究時間之限制，本研究須對測站觀測資料進行取捨。

¹宋明哲，《現代風險管理》第五版，五南圖書出版股份有限公司，第 5-21 頁，2008。

²鄭燦堂，《風險管理》第二版，五南圖書出版股份有限公司，第 3-11 頁，2009。

第二章 文獻回顧

第一節 氣候變遷

天氣 (Weather) 與氣候 (Climate) 係不同的概念，天氣是指影響人類生活和活動的大氣狀態，為大氣短時間(數分鐘至數天)變化；氣候為大氣-水圈-陸面系統緩慢變化的形勢，為每日或季節性天氣事件經過長期間的累積結果³。

學理上將氣候定義為「在長達數十年期間，大氣-海洋-陸地系統狀態的統計集」(A statistical ensemble of states of the atmosphere-ocean-land system during a time period several decades long)。氣候變化是由許多隨機過程所組成的，無法以數學函數準確地描述它在任何時刻的確切狀態(無論是過去或未來)。但是，它也可能具有某些可以被偵測到的統計特性。各地的四季變化受到天文、緯度、高度、海陸分布、地形、大氣內部動力甚至人為因素等的影響。許多已知及未知的隨機過程不斷地塑造地球氣候，讓我們無法預知每一天的確切溫度。

氣候具有多重時間尺度的特性，使得描述氣候變化的工作變得十分困難。世界氣象組織 (World Meteorology Organization, WMO) 則將數十年定義為 30 年，因此，世界各國氣象單位每隔 30 年就必須公佈當地氣候的統計量。

目前通說認為，由於人類活動的強度與頻率日益增加，在某種程度上已造成氣候變遷的趨勢或速度改變的後果。氣候變遷問題並不限於地球暖化所造成之氣溫上升問題，尚可能造成短期天氣變化包括：極高溫或極低溫的發生、颶風（颱風）增加、暴雨或乾旱；也可能對長期氣候變化發生影響包括：年均溫或溫差的變化、極端天氣出現的頻率改變等。這些變化，對於公眾的健康、農業、森林、水資源管理、沿海地區、漁業、畜牧業及生態系統等都會產生相當大的影響，也是人類的風險來源之一。

目前國際間對於氣候變遷研究，首先提出全球觀點者為聯合國政府間氣候變遷委員會 (the Intergovernmental Panel on Climate Change, UNIPCC)，該委員會進行一連串利用情境假設所進行的模式推估，其中最為人熟知的便是預測全球平均氣

³ 有關天氣與氣候之定義，係全文引自台大大氣系許晃雄教授上課資料第一章，http://hsu.as.ntu.edu.tw/cyber_course_II/。

溫將不斷上升⁴。

異常氣候的情形可能不易由數據察覺，例如在極端氣候發生時，氣候平均值或變異度可能僅有微小變化，以致無法呈現出此種情形。

研究氣候變遷的經濟影響時，會著重氣候變化的幅度、頻率、極端值及地理上的危險區域，亦即辨認何處是最應進行調適的地區，並確認影響的種類與範圍及可能損害，而極端天氣事件的發生也可能使得所造成的損失難以預測且失控，這些特性實與財務風險管理有異曲同工之妙。

第二節 風險值

探討氣候變遷因應對策所遇到的第一個困難點，就在於氣候的變化無法由過去推斷未來，所以真正氣候變遷的影響幅度，只能推估而無法準確預測。一般來說，通常是採取最保守的估計，以最劣情境進行分析，嘗試估算其影響。

所謂風險值 (Value at Risk, VaR)，係指投資組合部位在一段特定時間內，於某一特定信賴區間下所估計最大可能損失；也可以說是描述特定目標區間內，獲利及損失預計分布的分位點。^{5,6}

運用風險值的好處是以標準化的數值簡單地傳達風險並使人瞭解，節省了溝通的交易成本，所以 1990 年代開始發展後，很快地為相關業界所接受，成為受歡迎的指標⁷。

風險值衡量方法分為部分評價法與全額評價法，部分評價法包括移動平均法與多因子模式，全額評價法包括歷史模擬法 (Historical Simulation)、蒙地卡羅模擬法、拔靴法等⁸。依照無母數方法之基本假設：最近的未來會與過去的走勢非常雷同，所以可使用最近的歷史資料預測未來的風險⁹。

⁴ 詳見 IPCC 官方網頁資料，<http://www.ipcc.ch/>。

⁵ 風險管理新標竿—風險值理論與應用，周大慶、沈大白、張大成、敬永康、柯瓊鳳合著，再版，智勝文化事業有限公司，2007 年 1 月，第 41、72 頁。

⁶ 風險值，Philippe Jorion 著，黃達業、張容容譯，二版，美商麥格羅希爾國際股份有限公司台灣分公司，2005 年 6 月，第 21 頁。

⁷ 風險管理新標竿—風險值理論與應用，周大慶、沈大白、張大成、敬永康、柯瓊鳳合著，再版，智勝文化事業有限公司，2007 年 1 月，第 10-11 頁。

⁸ 風險管理新標竿—風險值理論與應用，周大慶、沈大白、張大成、敬永康、柯瓊鳳合著，再版，智勝文化事業有限公司，2007 年 1 月，第 29 頁。

⁹ 市場風險—現代風險衡量方法 (Measuring market risk, 2nd ed.)，Kevin Dowd 著，林劭杰譯，財團法人台灣金融研訓院，初版，2008 年 8 月，第 104 頁。

風險管理的主要目的，在於將可能產生的最大損失，控制在企業本身願意接受或能力上可以忍受的範圍內¹⁰，由於對風險管理的需求並不止於金融機構或財務管理相關人員，故風險值是否可以跨領域的應用實為一個有趣的課題。



¹⁰ 風險管理新標竿－風險值理論與應用，周大慶、沈大白、張大成、敬永康、柯瓊鳳合著，再版，智勝文化事業有限公司，2007年1月，第27頁。

第三章 研究方法

第一節 資料來源

交通部中央氣象局於台灣各地共設有二十餘氣象測站，其中具有百年以上觀測資料者，包括台北(自 1896 年起)、澎湖(自 1896 年起)、台南(自 1897 年起)、台中(自 1896 年起)、恆春(自 1896 年起)、台東(自 1901 年起)、基隆(自 1903 年起)。因澎湖屬離島，地理位置及地形條件較為特殊，而基隆與台北地理位置甚為相近，故此兩站於本研究中不予選用，而選擇台北、台南、台中、恆春、台東等五站為研究標的。此五站分別位於台灣北、中、南、東，而恆春位於台灣最南端，且都市化情形比起其他都會型城市而言較為不明顯。

各測站所在地之基本資料表與地理位置分布圖如表 3.1.1 及圖 3.1.1 所示。

表 3.1.1 各測站所在地基本資料

位置 站名	經度(E)	緯度(N)	海拔(M)	行政區
台北	121°30'24.15"	25°30'22.62"	5.3	台北市中正區
台中	120°40'33.31"	24°08'50.98"	34.0	台中市中區
台南	120°11'49.18"	22°59'42.81"	13.8	台南市北區 (1897-1997, 2002~)
	120°13'43"	23°02'22"	8.1	台南縣永康市 (1998-2001)
台東	121°08'47.55"	22°45'14.51"	9.0	台東縣台東市
恆春	120°44'16.99"	22°00'19.56"	22.1	屏東縣恆春鎮

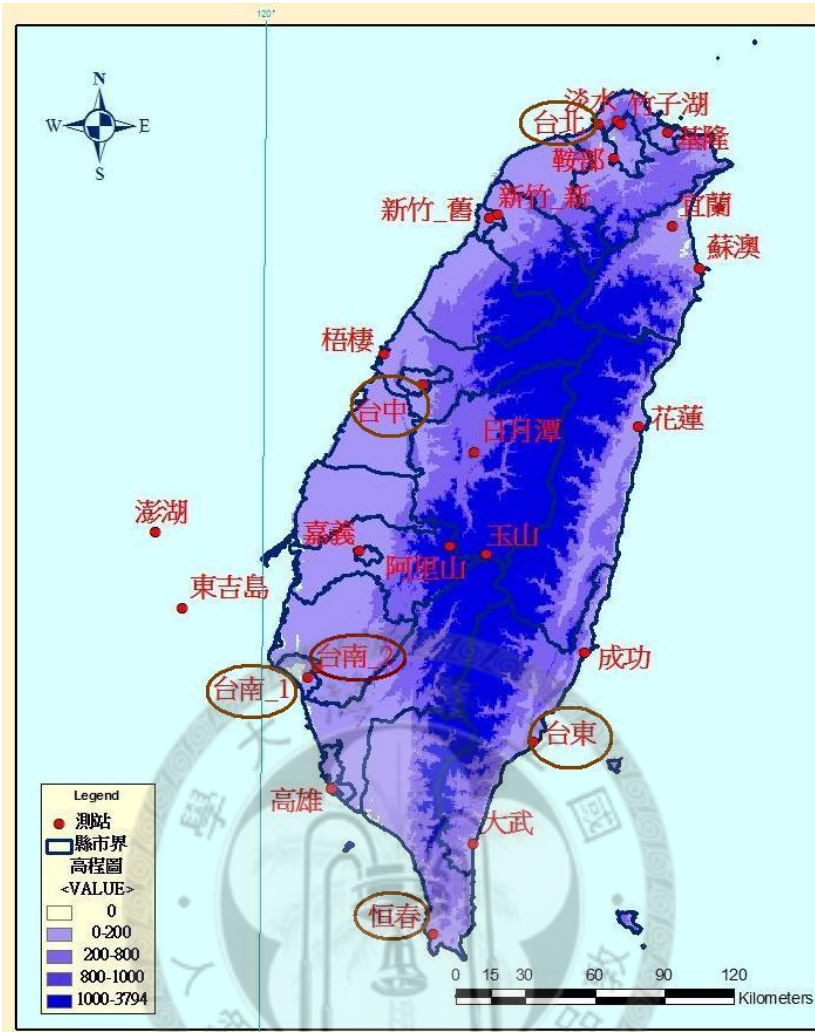


圖 3.1.1 台灣地區氣象測站分布圖

氣溫資料來源分為兩部分：

1. 1901~1997 年之氣溫資料—依據 1999 年印行之「台灣地區氣象資料庫」¹¹（共四冊），僅有月統計資料。
2. 1998 年後之氣溫資料—由環保署空氣污染模式中心之逐時資料得到日資料。環保署空氣污染模式中心之逐時資料，係以 0-24 時之測值平均作為日平均值，並取出當日最高及最低小時值為最高溫、最低溫。

¹¹ 台灣地區氣象資料庫，徐森雄、李錦育主編，國立屏東科技大學，1999 年。全書共 4 冊，第 1 冊北部地區（彭佳嶼、基隆、淡水、竹子湖、鞍部、台北、新竹），第 2 冊中部地區（台中、日月潭、阿里山、玉山、嘉義），第 3 冊南部地區（台南、高雄、恆春、澎湖），第 4 冊東部地區（宜蘭、花蓮、成功、台東、大武、蘭嶼）。

因早期之逐時測定資料及日平均資料甚難取得，故本研究長期趨勢觀察部分採用 1901~2011 年共 111 年之資料，但日資料部分僅使用 1998~2011 年共 14 年之資料。

資料限制包括：

1. 早期資料僅留存紙本易有繕誤，對於明顯錯誤如小數點標示， 12.3°C 繕為 123°C 等則於輸入時直接加以改正，如無法判斷正確數值時該數值捨棄不用。
2. 測站故障導致資料庫內數據欠缺。
3. 特殊事件（如颱風）之影響難以估計或扣除。

對測站觀測數據資料進行取捨後，如缺漏情形會影響計算，則使用其他鄰近測站數值代替或使用內插法以前後數據之平均代入之。

第二節 計算方法

本研究利用直線迴歸觀察百年氣溫變動趨勢，並使用歷史資料模擬法計算風險值 VaR 及條件風險值 CVaR，分述如下：

- 一、分別就五個測站 1901~2011 年月資料得出之年均溫、年均最高溫、年均最低溫進行長期趨勢觀察，並以線性迴歸法得出斜率，判斷百年來之升溫狀況。
- 二、以五個測站 1998~2011 年之日均溫、日最高溫、日最低溫，計算不同年度的風險值，探討其變化情形並加以比較。

所使用之氣溫相關名詞定義及計算方式如下：

1. 日均溫：日平均氣溫。氣象測站以小時值輸出溫度資料，將一天 24 小時的溫度值加以平均即得到日均溫。
2. 日最高溫：當日小時值最高者即為當日最高溫。
3. 日最低溫：當日小時值最低者即為當日最低溫。
4. 月均溫：每月的平均氣溫。由每日均溫加總後取平均得之。
5. 月均最高溫：每月的平均最高氣溫。將每日的最高溫加總後取平均得之。
6. 月均最低溫：每月的平均最低氣溫。將每日的最低溫加總後取平均得之。
7. 月絕對最高溫：當月出現的最高日最高溫。
8. 月絕對最低溫：當月出現的最低日最低溫。
9. 年均溫：每年的平均氣溫。為每年月平均氣溫加總後取平均得之。

10. 年均最高溫：每年的平均最高氣溫。為當年度每月之月均最高溫的平均值。

11. 年均最低溫：每年的平均最低氣溫。為當年度每月之月均最低溫的平均值。

使用之線性迴歸方程式如下：

$$Y = b_1 X + b_0 \quad (1)$$

式中 Y 為氣溫 (°C)，X 為年份 (以 1901 年為初始年，X=1)， b_1 、 b_0 分別為斜率及截距。

風險值算法因採用歷史資料模擬法，故將實際樣本資料依序遞增排列，再依設定之區間取得數值。每年有 365 個/366 個日均溫 (或日最高溫、日最低溫) 之數值，當區間分別設定為 5% 及 1% 時，其相關數值位數如下：

$$365 * 0.05 = 18.25$$

$$366 * 0.05 = 18.3$$

$$365 * 0.01 = 3.65$$

$$366 * 0.01 = 3.66$$

故取第 18 位、第 19 位之數值，再以內插法取得 18.25 (或 18.3) 位之數值即得 5% 時之 VaR。取第 3 位、第 4 位之數值，再以內插法取得 3.65 (或 3.66) 位之數值即得 1% 時之 VaR。

探討氣溫風險與財務風險之不同，在於財務風險較重視報酬率為負的損失情形，故著重在下方尾部 (本研究簡稱下方尾部為底，上方尾部為頂)；而氣溫變化可能變熱或變冷，不管往哪個方向改變，只要經常性、持續性偏離常態便是氣候變遷，故應上方與下方風險均予以計算，以兼顧高溫風險與低溫風險。

另外，極端氣候就風險管理的觀點而言也是非常重要，故也將計算條件風險值 (Conditional Value at Risk, CVaR)，即尾部平均。

第四章 結果與討論

第一節 長期趨勢分析

有關台灣百年來的氣溫變化趨勢，試先以年中 12 個月份之月均溫、月均最高溫、月均最低溫加總平均之後得出年均溫、年均最高溫、年均最低溫，再就其百年來之變化趨勢及迴歸係數觀察之。

一、台北測站

台北測站百年來之變化趨勢如圖 4.1.1 所示，由圖中可見百年來無論是年均溫、年均最高溫或年均最低溫，均呈上升趨勢。

基本上，台北站年均溫、年均最高溫或年均最低溫三者的連動性尚稱一致。但在少數特殊年份會有平均值無法反應氣溫真實狀況之情形。例如 1953 年，當年的最高月均溫異於往常的低，最低月均溫也異於往常的高，表示當年度的夏天不熱而且冬天不冷，是少見的全年月平均溫度接近均溫的情況。但此種反常現象，在觀察年平均值變化時卻看不出來。

圖 4.1.1 中可觀察到台北測站百年來最低溫的上升幅度最為明顯，最高溫的上升則頗為平坦，試由迴歸資料來印證上升趨勢，結果如下表 4.1.1 所示。

表 4.1.1 台北測站年均溫迴歸結果

項目 \ 數值	截距 b_0	斜率 b_1	t 統計	P 值	R^2
年均溫	21.32946	0.016274	15.39462	4.2E-29	0.684966
年均最高溫	26.04208	0.005615	3.5904	0.000497	0.105758
年均最低溫	17.75044	0.025199	17.9745	2.21E-34	0.747734

由表中數值可知，年均最低溫百年來的上升幅度為三者中最大，且其 R^2 值也比年均溫略高。利用斜率推估百年來台北測站的年均溫上升幅度約為 1.6°C ，年均最高溫上升幅度最小約為 0.6°C ，年均最低溫上升幅度最大為 2.5°C 。

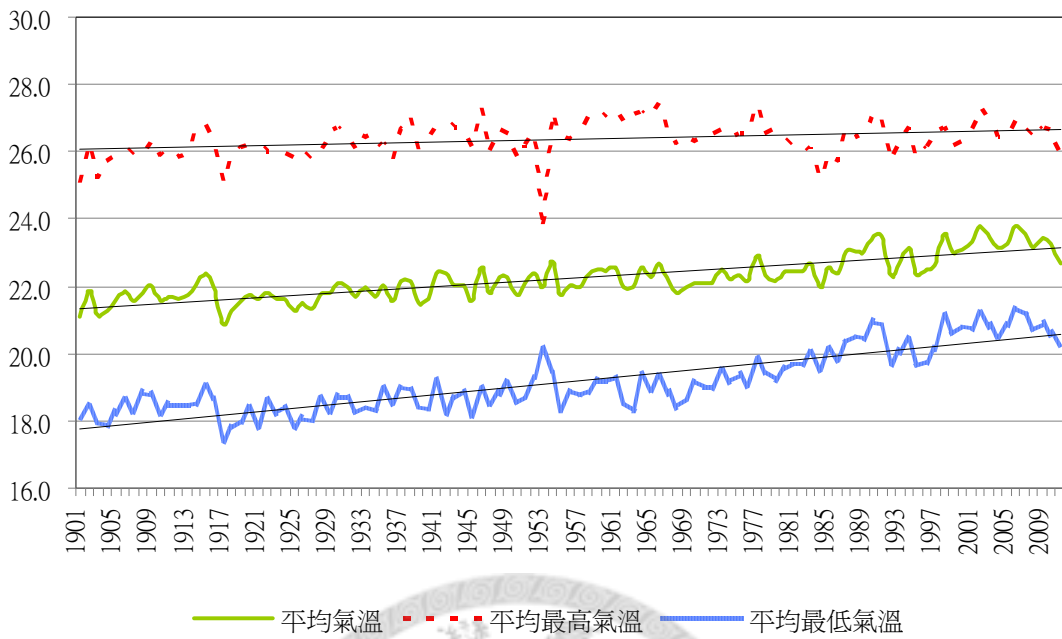


圖 4.1.1 台北測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢

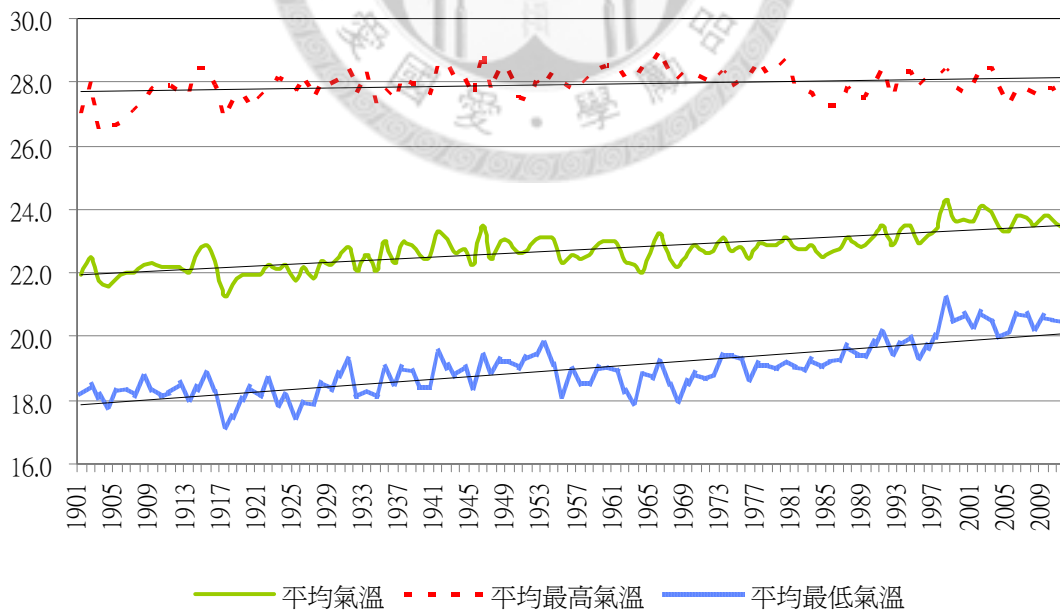


圖 4.1.2 台中測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢

二、台中測站

台中測站百年來之變化趨勢如圖 4.1.2 所示，由圖中可見百年來無論是年均溫、年均最高溫或年均最低溫，亦均呈上升趨勢。台中測站之年均溫、年均最高溫或年均最低溫三者的連動性尚稱一致。圖中可觀察到台中測站百年來年均溫與最低溫的上升幅度相近，最高溫的上升則頗為平坦。

台中測站之迴歸結果如下表 4.1.2 所示。

表 4.1.2 台中測站年均溫迴歸結果

項目 \ 數值	截距 b_0	斜率 b_1	t 統計	P 值	R^2
年均溫	21.91684	0.014370	13.1877	2.57E-24	0.614726
年均最高溫	27.68526	0.004043	2.9161	0.004303	0.072371
年均最低溫	17.81531	0.020658	14.56141	2.53E-27	0.660473

由表中數值可知，年均最低溫百年來的上升幅度為三者中最大，且其 R^2 值也比年均溫略高。利用斜率推估百年來台中測站的年均溫上升幅度約為 1.4°C ，年均最高溫上升幅度最小約為 0.4°C ，年均最低溫上升幅度最大為 2.1°C 。

三、台南測站

台南測站百年來之變化趨勢如圖 4.1.3 所示，由圖中可見百年來年均溫及年均最低溫呈上升趨勢，但年均最高溫之變化則呈現上下跳動，且無明顯上升趨勢。

台南測站之年均溫與年均最低溫二者的連動性較為一致。但在 1914 年，當年的年均最低溫較前後年份為低，但因當年度年均最高溫較高，因此年均溫結果顯示為偏高。

台南測站之迴歸結果如下表 4.1.3 所示。

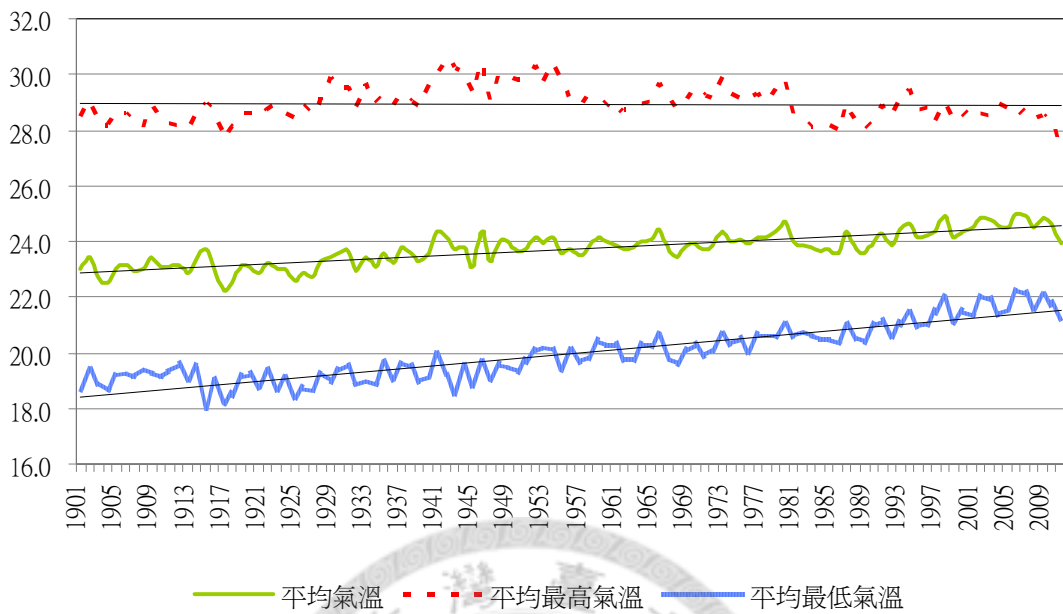


圖 4.1.3 台南測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢

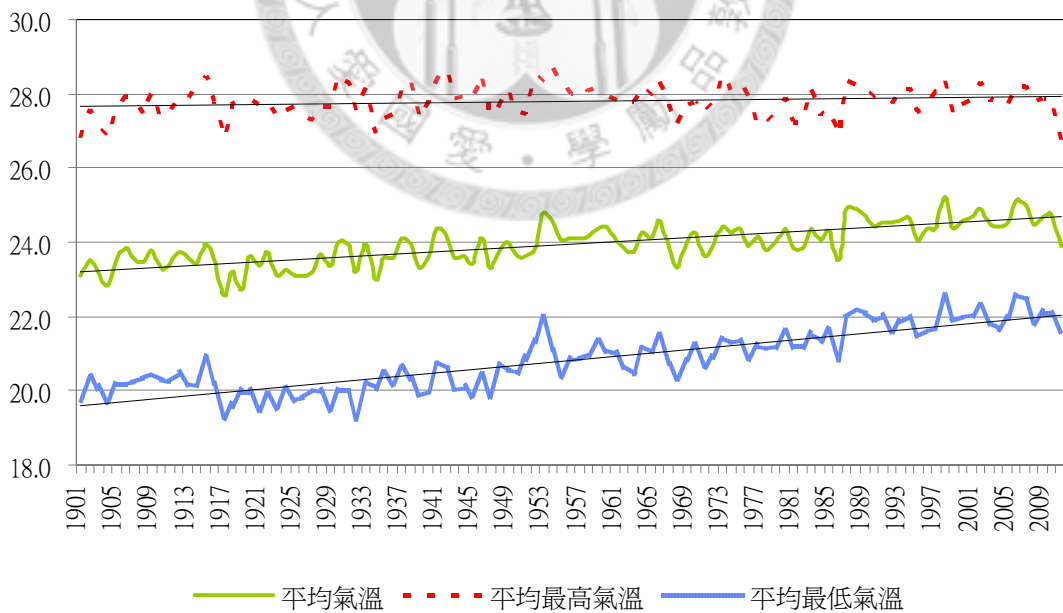


圖 4.1.4 台東測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢

表 4.1.3 台南測站年均溫迴歸結果

項目 \ 數值	截距 b_0	斜率 b_1	t 統計	P 值	R^2
年均溫	22.87132	0.015493	15.43203	3.5E-29	0.686013
年均最高溫	28.98919	-0.00096	-0.51708	0.606147	0.002447
年均最低溫	18.40564	0.027843	22.08331	4.87E-42	0.81732

由表中數值可知，年均最低溫百年來的上升幅度為三者中最大，且其 R^2 值頗高；年均最高溫則幾無上升趨勢，斜率幾近為 0。利用斜率推估百年來台南測站的年均溫上升幅度約為 1.5°C ，年均最高溫無上升幅度，年均最低溫上升幅度最大為 2.8°C 。

四、台東測站

台東測站百年來之變化趨勢如圖 4.1.4 所示，由圖中可見百年來年均溫及年均最低溫呈上升趨勢，但年均最高溫之上升變化則相對平緩。

台東測站之年均溫、年平均最高溫與年均最低溫三者的連動性尚稱一致。台東測站之迴歸結果如下表 4.1.4 所示。

表 4.1.4 台東測站年均溫迴歸結果

項目 \ 數值	截距 b_0	斜率 b_1	t 統計	P 值	R^2
年均溫	23.2038	0.013231	12.63532	4.38E-23	0.594269
年均最高溫	27.67977	0.002017	1.61178	0.109902	0.023279
年均最低溫	19.58617	0.022215	18.12711	1.11E-34	0.75091

由表中數值可知，年均最低溫百年來的上升幅度為三者中最大，且其 R^2 值也比年均溫高出一些。利用斜率推估百年來台東測站的年均溫上升幅度約為 1.3°C ，年均最高溫上升幅度約為 0.2°C ，年均最低溫上升幅度最大為 2.2°C 。

五、恆春測站

恆春測站百年來之變化趨勢如圖 4.1.5 所示，由圖中可見百年來年均溫及年均最低溫呈上升趨勢，其中年均溫與年均最低溫二者的連動性較為一致，年均最高溫的變動則略有差異。恆春測站之迴歸結果如下表 4.1.5 所示。

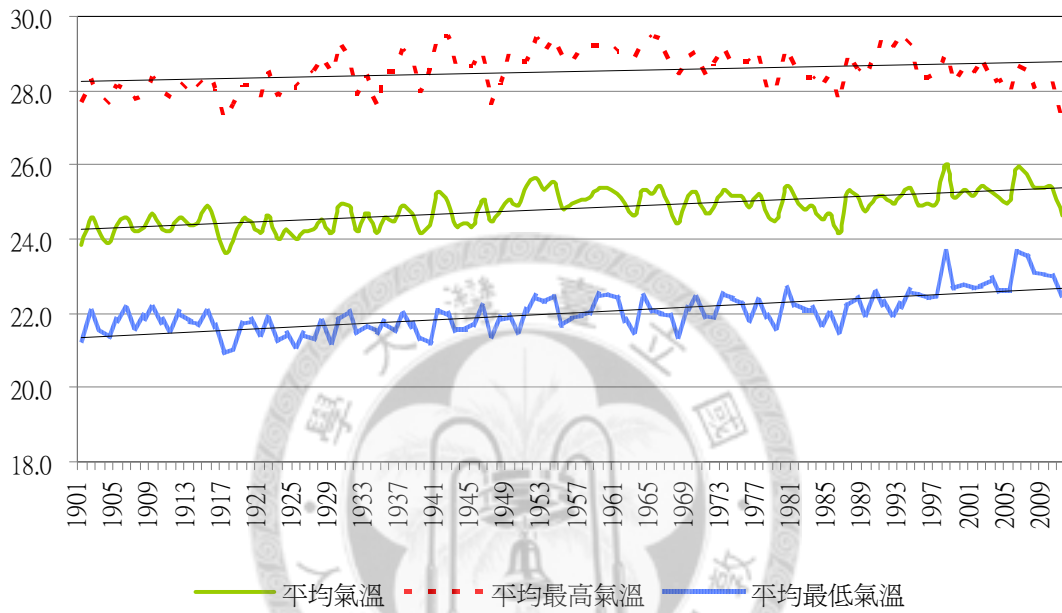


圖 4.1.5 恆春測站 1901-2011 年平均氣溫變化趨勢

表 4.1.5 恆春測站年均溫迴歸結果

項目 \ 數值	截距 b_0	斜率 b_1	t 統計	P 值	R^2
年均溫	24.24615	0.010178	9.76872	1.44E-16	0.466804
年均最高溫	28.24230	0.005035	3.274262	0.001987	0.089548
年均最低溫	21.34538	0.011839	10.52014	2.76E-18	0.503809

由表中數值可知，年均溫與年均最低溫兩者之斜率及 R^2 值差別不大，此與其他四站的情況有所不同，較為特殊。推測應與恆春百年來仍屬農業城市或觀光景

點，不同於台北、台中、台南及台東因都市化而造成高樓林立、人口集中之現象，因此在恆春測站附近熱島效應（多發生於都會區內）較低，夜晚散熱情形較為良好，故每日最低溫（多出現在夜晚或清晨）升溫的情形不會過於明顯。利用斜率推估百年來恆春測站的年均溫上升幅度約為 1°C ，年均最高溫上升幅度約為 0.5°C ，年均最低溫上升幅度為 1.2°C ，在五個測站中此站之三個升溫數值最為接近，升溫情況也最為平穩。

六、綜合比較

五個測站中，除了台東測站係自 1901 年起始有氣象資料外，台北（自 1896 年起）、台南（自 1897 年起）、台中（自 1896 年起）、恆春（自 1896 年起）均可查得 1900 年之氣象資料，故可將迴歸所得之截距視為年度 0 之數值，相關數值比較之結果如表 4.1.6 至表 4.1.8 所示，台東數據則以 1901 年數值代之。

表 4.1.6 為年均溫之比較，可看出截距與實測值差距不大，而斜率代表升溫速度，約在 $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}/100$ 年間。其中以台北數值最大，恆春數值最小，其順序為台北>台南>台中>台東>恆春，推測與都市化之程度可能有所相關。年均溫的數值高低則與地理位置相關，由北到南遞增。

表 4.1.6 年均溫迴歸值與實測值比較

項目 測站	截距 b_0	1900 年 實測值	斜率 b_1
台北	21.32946	21.6	0.016274
台中	21.91684	21.9	0.014370
台南	22.87132	23.1	0.015493
台東	23.2038	23.1 (1901)	0.013231
恆春	24.24615	24.5	0.010178

表 4.1.7 為年均最高溫之比較，表中截距與實測值差距相對較年均溫來得大，而斜率代表升溫速度，台北、台中及恆春類似，在 $0.5^{\circ}\text{C}/100$ 年左右，台南則幾乎沒有增加現象。最高溫的數值高低分布則不一定與地理位置完全相關，例如台南

年均最高值之預測與實測均高於恆春。

表 4.1.7 年均最高溫迴歸值與實測值比較

項目 測站	截距 b_0	1900 年 實測值	斜率 b_1
台北	26.04208	25.5	0.005615
台中	27.68526	27.2	0.004043
台南	28.98919	28.8	-0.00096
台東	27.67977	26.8 (1901)	0.002017
恆春	28.24230	28.4	0.005035

表 4.1.8 為年均最低溫之比較，表中截距與實測值差距也是相對較年均溫來得大，而斜率代表升溫速度，台南>台北>台東>台中>恆春，除恆春外，均在 2°C/100 年以上，台南更高達 2.7°C/100 年，台北也有 2.5°C/100 年，且年均最低溫的各測站 R^2 值均相對較高。另，年均最低溫的數值高低與地理位置相關，由北到南遞增。

表 4.1.8 年均最低溫迴歸值與實測值比較

項目 測站	截距 b_0	1900 年 實測值	斜率 b_1
台北	17.75044	18.4	0.025199
台中	17.81531	18.7	0.020658
台南	18.40564	19.3	0.027843
台東	19.58617	19.7 (1901)	0.022215
恆春	21.34538	21.9	0.011839

年均最低溫明顯上升之情形在五個測站均普遍發生，且升溫現象在台灣最南端的恆春，反而是幅度最小的。

將五個測站之數值綜合比較如表 4.1.9，發現台北測站在年均溫及年均最高溫兩者之升溫斜率最大，年均最低溫之升溫斜率則以台南測站最大；位居台灣最南

端的恆春測站，則是升溫幅度較為平緩，且在年均溫、年均最高溫與年均最低溫三者間升溫趨勢最為穩定類似之測站。 R^2 數值方面，五個測站均表現出年均最低溫>年均溫>年均最高溫之狀況，亦即年均最低溫的線性迴歸結果是三者中最佳，年均最高溫是三者中最差之現象。

表 4.1.9 年均溫度迴歸結果比較

項目 測站	年均溫		年均最高溫		年均最低溫	
	斜率	R^2	斜率	R^2	斜率	R^2
台北	0.016274	0.684966	0.005615	0.105758	0.025199	0.747734
台中	0.014370	0.614726	0.004043	0.072371	0.020658	0.660473
台南	0.015493	0.686013	-0.00096	0.002447	0.027843	0.81732
台東	0.013231	0.594269	0.002017	0.023279	0.022215	0.75091
恆春	0.010178	0.466804	0.005035	0.089548	0.011839	0.503809

為觀察百年前後月均溫之差異及變化，嘗試將百年前後之月均溫作圖比較。圖 4.1.6 為台北測站一百年前後的逐月氣溫變化情形比較，時間點取 1901 至 1904 年與 2001 至 2004 年相比，圖中的第一個年度分別是 1901 年與 2001 年，並將 1901 年之數據與 2001 年之數據相比，以此類推。由圖中可看出百年前後之升溫現象非常明顯，尤其在夏季最為顯著，其次為冬季，但幾乎是每個月份都普遍出現升溫情形。

就台北測站而言，因很難完全排除都市化的影響，故另由都市化較不明顯之恆春測站資料來觀察百年氣溫是否有明顯的變動現象。圖 4.1.7 為恆春測站一百年前後的逐月氣溫變化情形比較，時間點同樣取 1901 至 1904 年與 2001 至 2004 年相比。恆春因緯度及地理位置之故，一年中之各月份溫差較小，但由圖中仍可明顯觀察出百年前後的確有增溫現象，只是其改變幅度不若台北測站大。

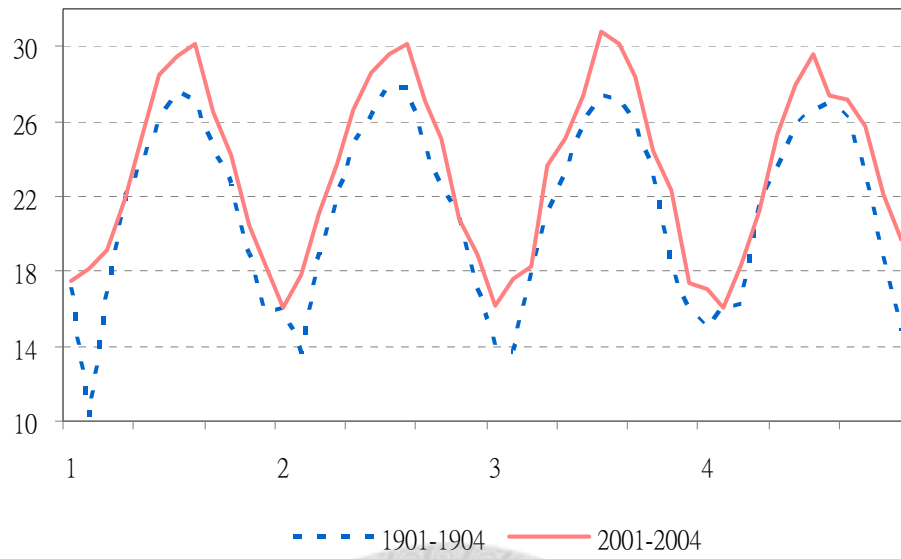


圖 4.1.6 台北測站 1901~1904/2001~2004 年之逐月氣溫變化趨勢比較

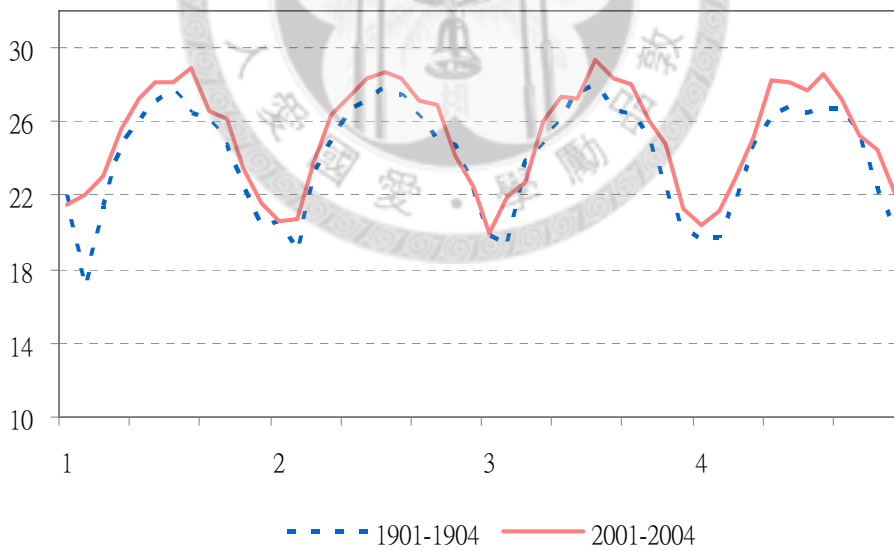


圖 4.1.7 恆春測站 1901~1904/2001~2004 年之逐月氣溫變化趨勢比較

氣象局曾在 2009 年 12 月發佈新聞稿¹²表示，統計發現近百年來台灣的平均氣溫上升了 0.8°C，平地的平均氣溫上升了 1.2°C，大都會區上升 1.4 °C，西部市鎮上升 0.9 °C，東部市鎮上升 1.3 °C，山地區域上升 0.6 °C，離島上升 1.1 °C。此外，都會地區的最低氣溫平均增加了 2.1 °C，最高氣溫平均增加了 0.7 °C，即最低氣溫的增幅約為最高氣溫增幅的 3 倍，表示夜晚的升溫現象大於白天。

本研究所得出之結果為以此五個測站之資料而言，年均溫及年均最低溫有明顯上升趨勢，其上升幅度在年均溫部分約為 1~1.6°C/100 年，在年均最低溫部分除恆春外之四個測站為 2~2.7°C/100 年，恆春測站為 1.2°C/100 年，

另外，以台北測站年均溫資料進行移動平均之計算，圖 4.1.8 之結果顯示：無論是 10 年或 30 年之移動平均值均呈現上升現象，同時也觀察出 10 年移動平均之數值在近年來高出 30 年移動平均之幅度越來越大，也顯示升溫現象在近年來是越趨加劇。

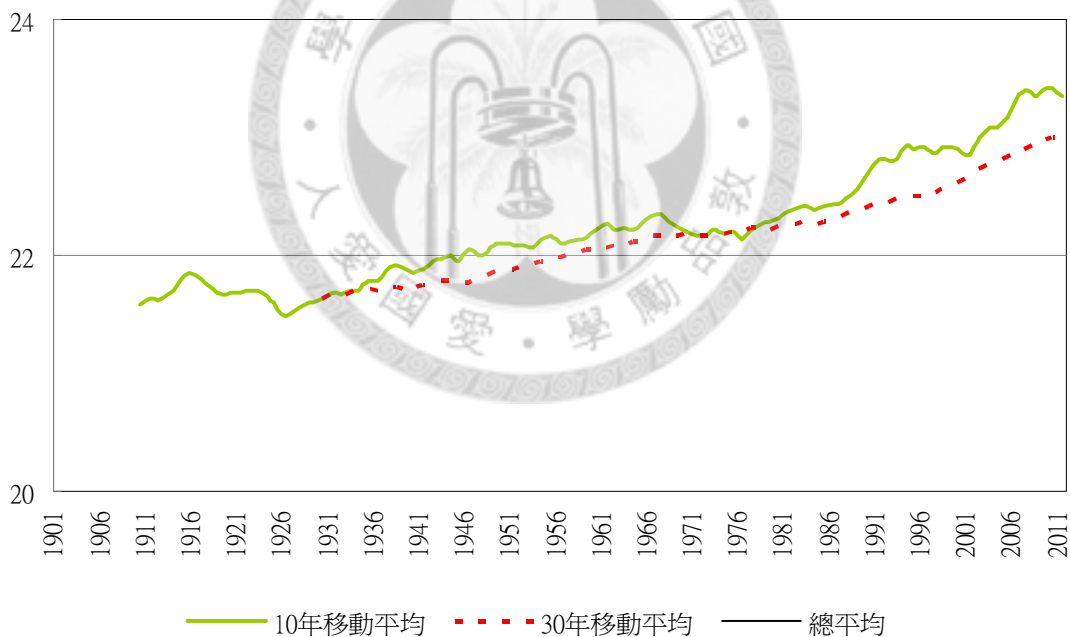


圖 4.1.8 台北測站 1901~2011 年之年均溫移動平均變化

¹² 交通部中央氣象局新聞稿「近百年來台灣的氣候變化」，發布日期：98 年 12 月 29 日，詳見氣象局網站 <http://www.cwb.gov.tw/V6/news/Newsbb/981229.pdf>。

試將五個測站之年均溫、年均最高溫與年均最低溫加以作圖比較，如圖 4.1.9 至圖 4.1.11 所示。

圖 4.1.9 中之年均溫變化顯示：早期高低溫度的分布係依測站所在位置之緯度而有區別，故依次恆春最高，其次台東、台南、台中，最低為台北，與緯度之分布一致。但於近數十年之變化趨勢可發現，各測站之年均溫數值拉近，且緯度之影響不如以往明顯。

圖 4.1.10 中之年均最高溫變化可看出，氣溫資料顯示自 1901 年開始，台南即為五個測站中年均最高溫最高之處，但此情形在 1980 年代之後，即不復明顯，而呈現出除台北之外的四個測站數值越趨接近之現象。

至於圖 4.1.11 之年均最低溫變化，顯示出台中經常取代緯度最北之台北而為五個測站中年均最低溫最低之處，同樣在 1980 年代之後，各測站數值有越趨接近之現象。

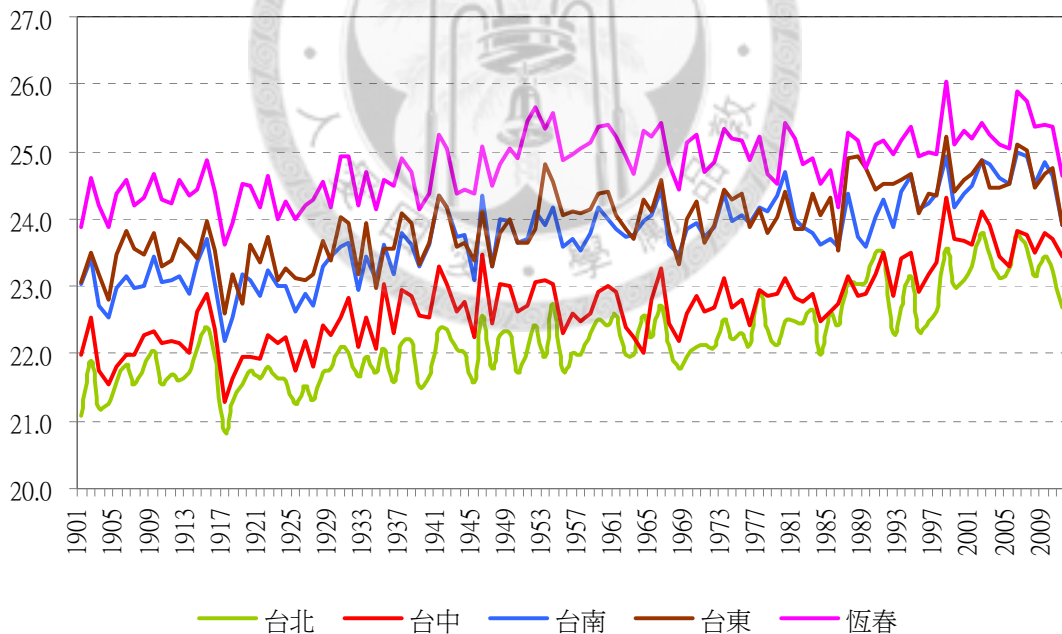


圖 4.1.9 五個測站 1901~2011 年之年均溫變化趨勢

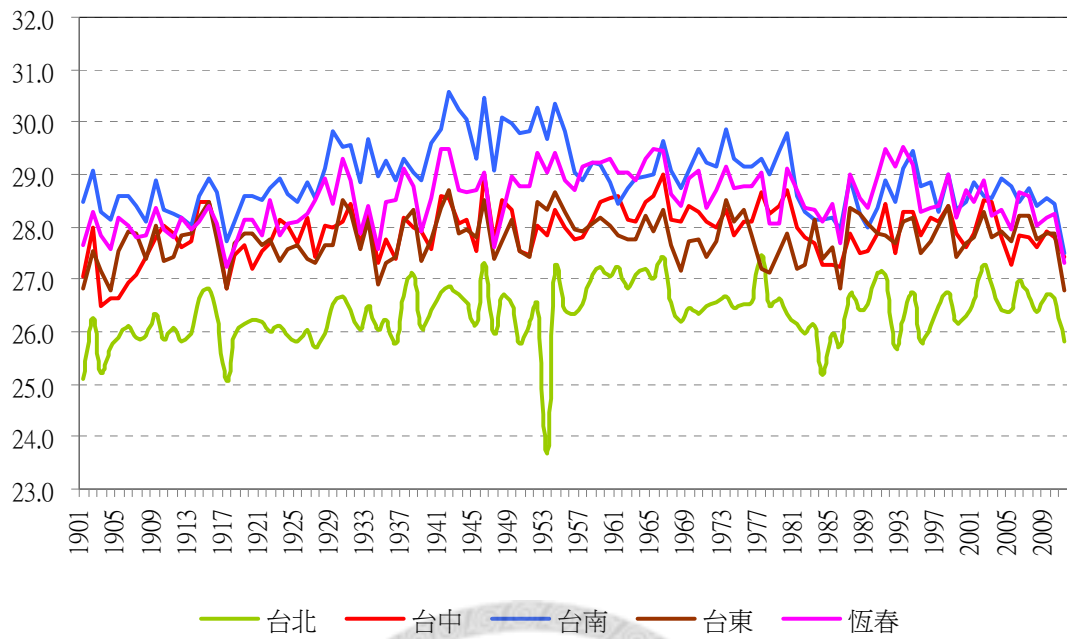


圖 4.1.10 五個測站 1901~2011 年之年均最高溫變化趨勢

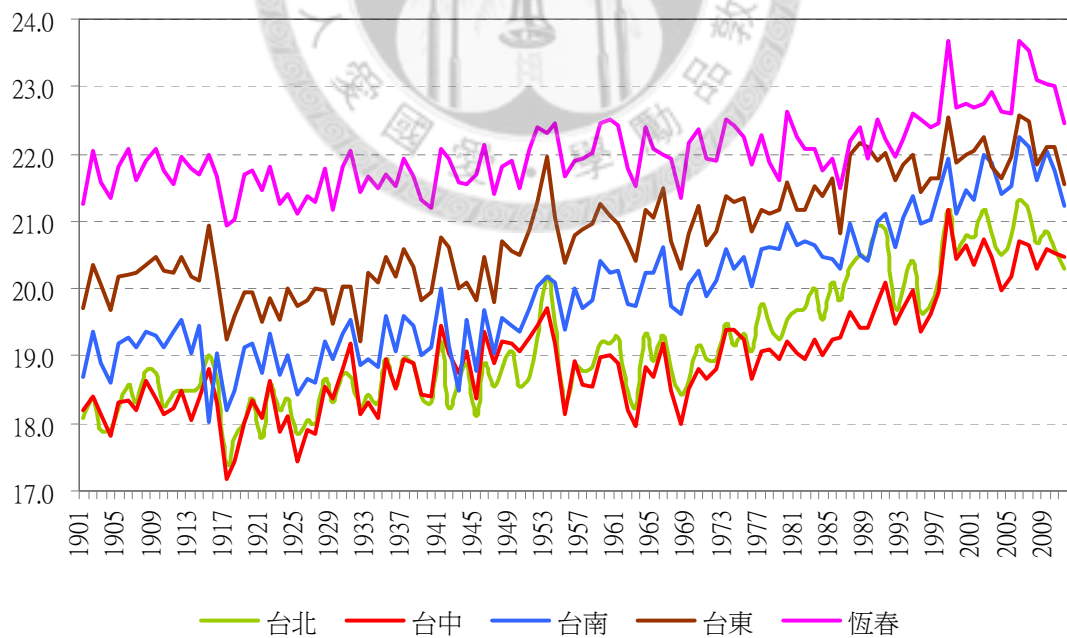


圖 4.1.11 五個測站 1901~2011 年之年均最低溫變化趨勢

第二節 風險值計算

將五個測站 1998~2011 年間的日資料，包括日均溫、日最高溫、日最低溫，直接排序，得出 VaR 值及 CVaR 值。因氣候風險關注的焦點是偏離正常氣候的狀況，因此極高溫或極低溫都是必須注意之處，故而日均溫部分，兩端尾部均予以計算，日最高溫部分則計算上端尾部，日最低溫部分則計算下端尾部。五個測站之計算結果詳列於附錄，並以台北測站為例分析討論如下：

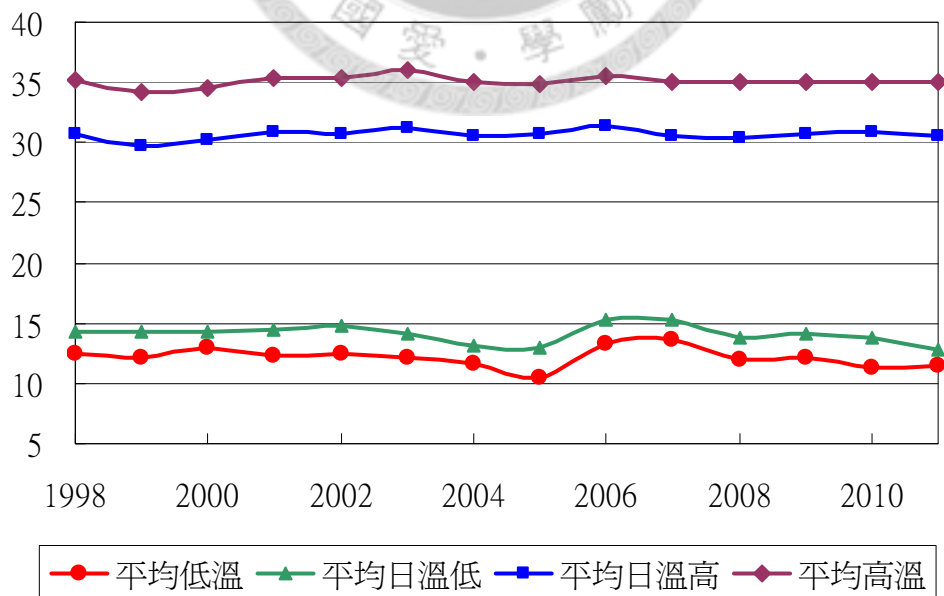
表 4.2.1 及表 4.2.2 為台北測站之 VaR 與 CVaR 之計算結果，由表中數字可知，在 $\alpha = 0.05$ 及 $\alpha = 0.01$ 兩種情形下都呈現大致相同的差距，日均溫底部與最低溫底部約差 2°C ，而日均溫頂部與最高溫頂部約差 5°C 左右。

表 4.2.1 台北測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	12.53	14.25	30.78	35.20	10.90	12.42	31.51	35.96
1999	12.13	14.33	29.70	34.20	10.04	11.97	30.31	34.76
2000	13.00	14.23	30.27	34.60	11.37	12.72	31.00	35.52
2001	12.30	14.45	30.80	35.38	11.13	13.26	30.97	35.78
2002	12.45	14.73	30.70	35.40	11.54	13.33	31.23	35.77
2003	12.10	14.13	31.20	36.00	11.34	13.02	31.82	36.69
2004	11.70	13.10	30.47	35.00	9.80	11.19	30.86	35.70
2005	10.43	12.93	30.70	34.80	8.69	11.26	31.04	35.51
2006	13.33	15.25	31.30	35.60	11.84	13.37	31.58	36.27
2007	13.55	15.33	30.50	35.10	11.57	13.78	31.22	36.09
2008	11.93	13.80	30.40	35.00	10.55	11.89	30.87	35.66
2009	12.20	14.15	30.78	35.00	10.27	12.32	31.28	35.55
2010	11.25	13.80	30.88	35.10	9.46	11.80	31.64	36.31
2011	11.43	12.85	30.60	35.08	10.09	11.54	31.04	35.87

表 4.2.2 台北測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	9.73	11.00	32.00	36.74	9.13	10.30	32.47	37.40
1999	8.27	10.96	30.64	35.34	7.67	9.73	30.83	35.47
2000	10.27	11.80	31.73	36.50	9.47	10.67	31.97	36.67
2001	10.47	12.43	31.24	36.20	9.80	12.20	31.43	36.37
2002	10.90	12.40	31.57	35.97	10.03	12.00	31.80	36.47
2003	10.89	12.43	32.50	37.27	9.67	11.93	32.73	37.53
2004	8.13	9.70	31.13	36.27	7.63	9.20	31.20	36.67
2005	7.53	10.22	31.30	36.04	6.60	9.10	31.43	36.17
2006	10.70	11.40	31.84	36.71	9.50	10.70	32.13	37.03
2007	9.97	12.73	32.17	36.98	9.27	12.17	32.33	37.63
2008	9.20	10.89	31.33	36.13	8.43	9.73	31.57	36.37
2009	9.40	11.16	31.54	36.11	8.07	10.63	31.83	36.50
2010	8.20	10.67	32.34	37.20	7.47	10.17	32.63	37.70
2011	9.23	10.90	31.54	36.70	8.53	9.97	31.63	36.90

圖 4.2.1 台北測站 1998~2011 年 VaR 變化情形($\alpha = 0.05$)

以圖 4.2.1 為例，可看出台北測站之最高溫頂部、日均溫頂部、日均溫底部、最低溫底部之分布狀況。大致而言，台北測站的 VaR 及 CVaR 在 $\alpha = 0.05$ 的情況下，1998~2011 年間均無明顯之變動，升降趨勢甚為緩慢。絕對高溫 VaR ($\alpha = 0.05$) 約在 35°C 左右，絕對低溫 VaR ($\alpha = 0.05$) 約在 12°C 左右，就舒適程度而言，高溫情況應是較難忍受。

在關注氣候風險議題時，須要注意的是極端值之變化，故將 $\alpha = 0.05$ 與 $\alpha = 0.01$ 所求出之 VaR 值加以比較。圖 4.2.2 及圖 4.2.3 分別為台北測站 1998~2011 年高溫頂部及低溫底部之 VaR 變化情形。

圖 4.2.2 中可看出高溫 VaR 在 $\alpha = 0.01$ 時變動的斜率比 $\alpha = 0.05$ 時來得大，VaR ($\alpha = 0.01$) 隨時間軸變動的上升幅度頗為明顯。圖 4.2.3 中的低溫 VaR 也有相同趨勢，在 $\alpha = 0.01$ 時變動的斜率比 $\alpha = 0.05$ 時來得大，顯示 $\alpha = 0.01$ 的風險增加速度比 $\alpha = 0.05$ 大，意味著極端炎熱及極端寒冷的天氣出現的可能性越來越大，且其溫度越來越可能創新高或創新低。 $\alpha = 0.05$ 與 $\alpha = 0.01$ 兩者之數值差距高溫時約在 $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ 之間，低溫時約在 $3\text{-}4^{\circ}\text{C}$ 之間，未來是否持續擴大仍有待觀察。但因 $\alpha = 0.05$ 時，絕對高溫 VaR 已達 35°C 左右，當 $\alpha = 0.01$ 時，絕對高溫 VaR 更高達 36°C 以上，甚至超過 37°C ，已較人類體溫為高，及容易造成身體不適，故此類高溫氣候風險實不得不加以留意。

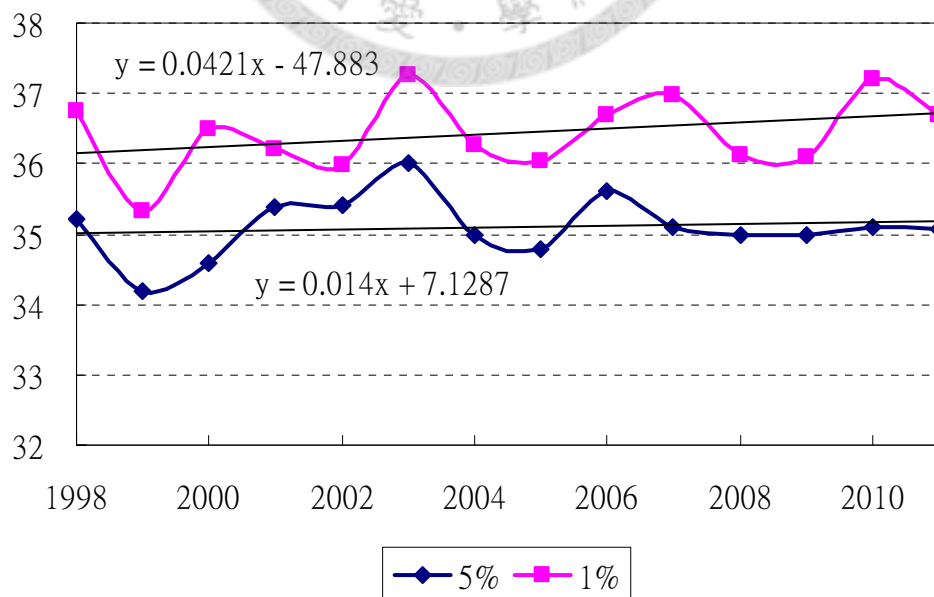


圖 4.2.2 台北測站 1998~2011 年高溫頂部 VaR 變化情形($\alpha = 0.05/0.01$)

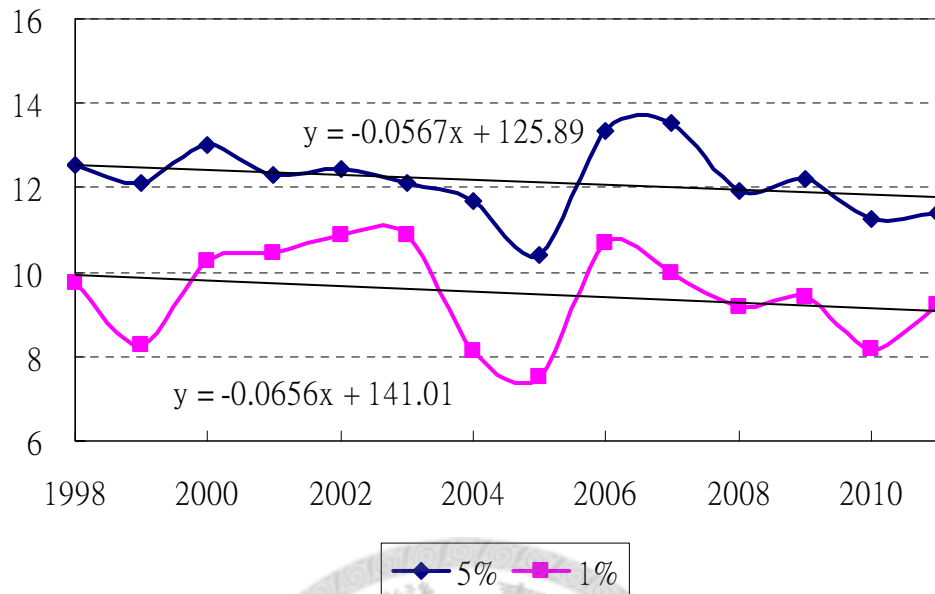


圖 4.2.3 台北測站 1998~2011 年低溫底部 VaR 變化情形($\alpha = 0.05/0.01$)

觀察 VaR 與 CVaR 的關係圖也可以發現機端風險提高之類似現象。圖 4.2.4 為高溫頂部 VaR 與 CVaR 之比較。在 1998 至 2011 年間，除 CVaR 的斜率增加較大，波動程度也較大。

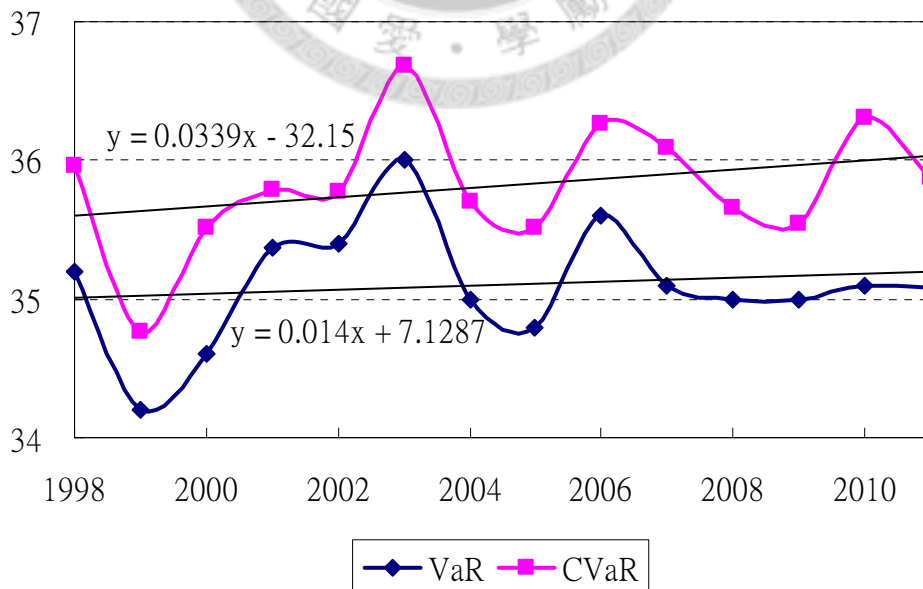


圖 4.2.4 台北測站 1998~2011 年高溫頂部 VaR/CVaR 比較($\alpha = 0.05$)

圖 4.2.5 為低溫底部 VaR 與 CVaR 之比較。圖中顯示出，在 1998 至 2011 年間 CVaR 的斜率變化較大。

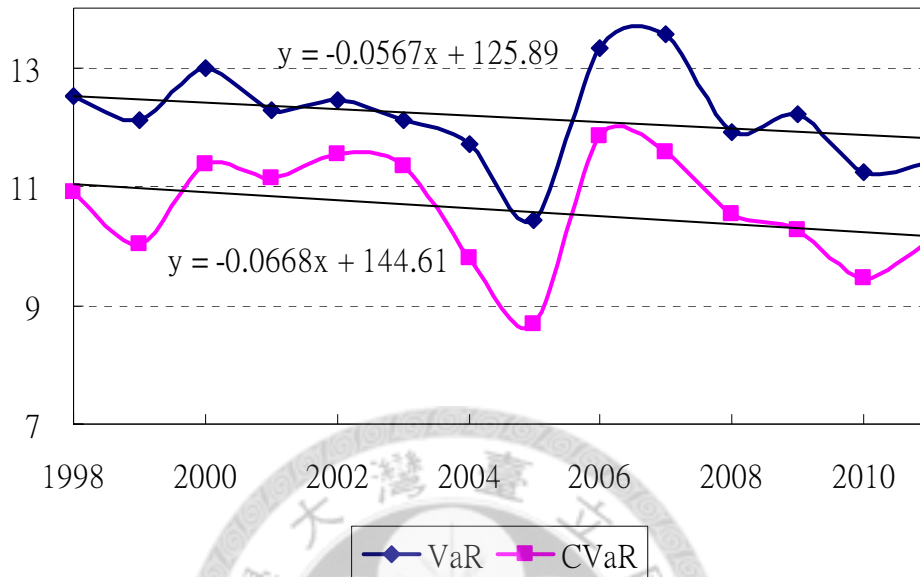


圖 4.2.5 台北測站 1998~2011 年低溫底部 VaR/CVaR 比較($\alpha = 0.05$)

由於氣溫受到季節之影響，直接採用氣溫之絕對數值來計算風險值，不易發覺極值或離群值。例如，冬季若出現接近夏季的溫度實在極度不尋常，但此數值卻可能因尚未超過夏季的一般溫度，導致未能於尾部出現。故而使用絕對氣溫來計算風險值時，會發現高溫之風險總是出現在夏天，而低溫風險總是出現在冬天之情形，但在夏季或冬季屢創新高溫或新低溫，卻難以瞭解全年各季節之氣候常態是否已經發生偏移現象，難以斷定所謂的氣候變遷是否已經發生。

另一方面，氣溫也受到地理位置的影響，例如台灣北部與南部即分別位於北回歸線的兩端，故欲比較不同測站間的風險值差異，直接以絕對氣溫數據計算所得的風險值恐怕難以斷定真正的風險程度。風險是由不確定性而來，故如將風險定義為偏離正常值的狀態及程度，則有助於進行不同測站或季節的風險值比較的問題。

因此，本研究進一步採用相對氣溫的概念，亦即採用氣溫測值的平減，觀察其變動趨勢是否有所改變。考慮季節變化對氣溫之影響，如採用季節平減的方式，則其作法為：氣溫測定值減去該測站當季之平均溫度後，再計算風險值，將此平

減值視為氣溫變化偏離正常狀態的情況。

台灣的季節及對應的月份分別為：春季 3-5 月、夏季 6-8 月、秋季 9-11 月、冬季 12-2 月。故首先考慮採用季節平減方式之可行性。圖 4.2.6 顯示台北測站各月份平均氣溫之分布。

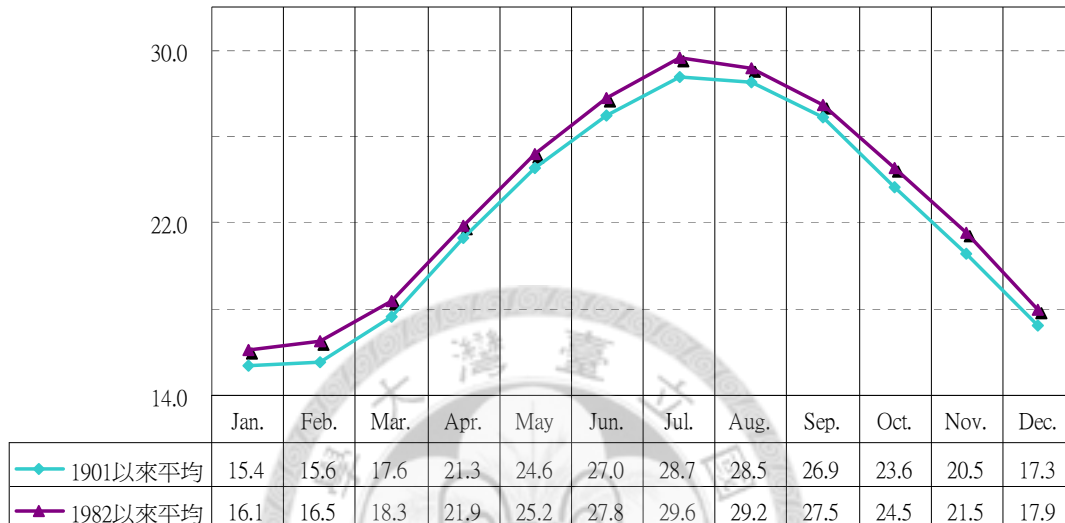


圖 4.2.6 台北測站各月份月均溫分布

因一般氣象學中所謂的氣候是指至少 30 年的型態統計，故圖 4.2.6 中同時顯示 30 年平均及 111 年所有資料平均以做比較。

由圖中可看出近 30 年的平均值的確比百年值來的高，同時也發現同一季的三個月份，雖然可能溫度相近，月均溫只差 1-2°C，如冬季及夏季；但同一季中的不同月份，月均溫也可能會差到 5-7°C，如春季及秋季。以春季均溫約 21°C 及夏季均溫約 28°C 為例，5 月 31 日及 6 月 1 日兩天雖只相隔一日，但因各自歸屬於春季及夏季，所平減的溫度卻可能差到 7°C，實在不盡合理。故而考慮改採平減月均溫的方式，以氣溫偏離月均溫的狀態作為風險衡量的依據，因本研究關注焦點在台灣百年氣候變化狀態，故採用 111 年的總平均值為平減值。

圖 4.2.7 為台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減前後 VaR 比較圖，由圖中可看出雖上升斜率之差別不大，但平減前後之圖形並不相同，而由計算數據的分布中也可看出，平減後正溫差較大（例如大於 10°C）的日期多非屬夏季，意味著平

減之後原本絕對氣溫中高溫排行榜的前幾名，可能實際上並非偏離月平均值太多的不合群份子。台北高溫 VaR ($\alpha=0.01$) 之數值，以絕對氣溫而言約在 37°C 左右，平減後約為 12°C ，亦即高出月均溫 12°C 。

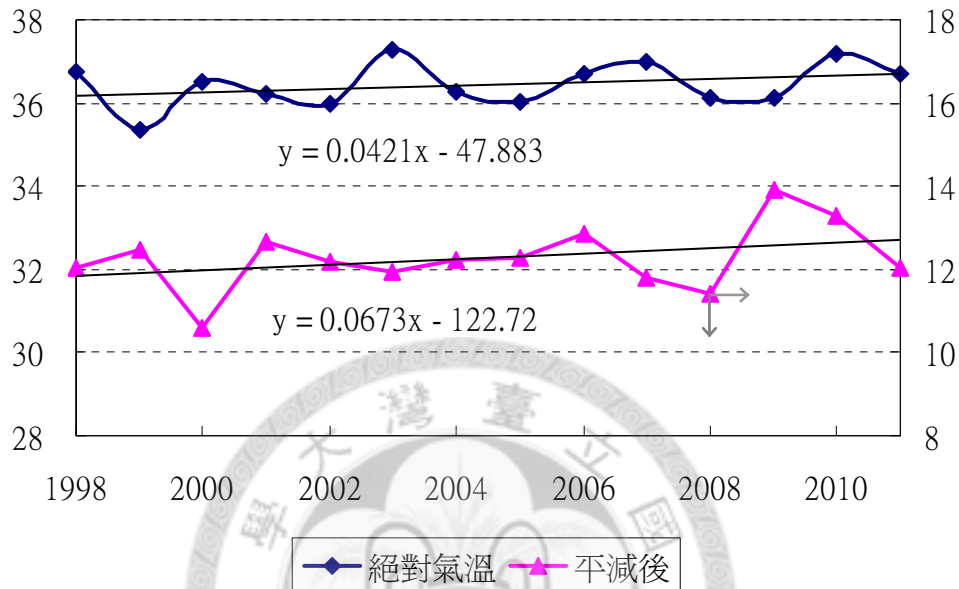


圖 4.2.7 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減前後 VaR 比較($\alpha=0.01$)

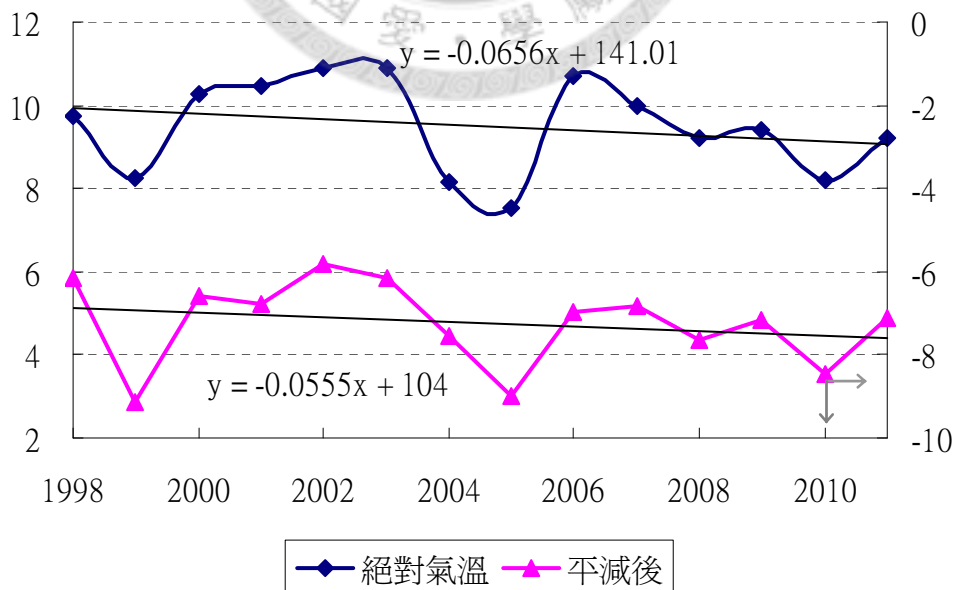


圖 4.2.8 台北測站 1998~2011 年低溫底部平減前後 VaR 比較($\alpha=0.01$)

圖 4.2.8 為台北測站 1998~2011 年低溫底部平減前後 VaR 比較圖，兩線的斜率相當接近，且比起高溫頂部來，可看出圖形頗為類似，但由計算數據的分布中可看出，平減後逆溫差較大（例如小於 -6°C ）的日期亦非均屬冬季，而以春季較多，此與絕對氣溫之分布有所不同。

圖 4.2.9 中可看出平減後高溫 VaR 在不同 α 值之變化情形， $\alpha = 0.01$ 時變動的上升斜率也是比 $\alpha = 0.05$ 時來得大，表示正向偏離月均溫（比月均溫熱更多）的極端情況有隨時間有越來越嚴重的趨勢。兩者之數值差距約在 2°C 左右，但近年來曾出現前一年差距減少至不到 2°C ，但隨即隔年擴大到 4°C 之情形，顯示氣候之不穩定變化。

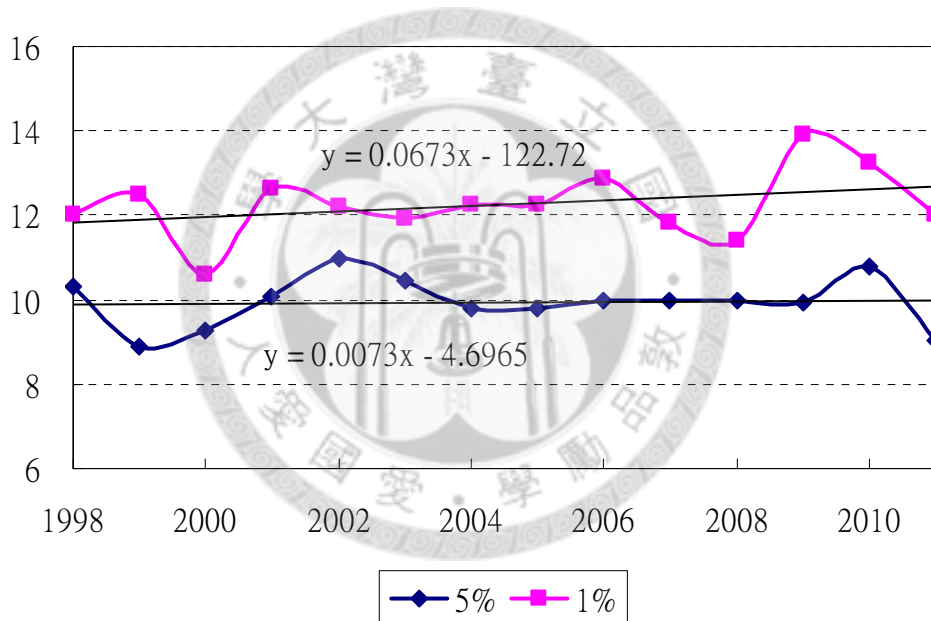


圖 4.2.9 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減後 VaR 變化($\alpha = 0.05/0.01$)

圖 4.2.10 及圖 4.2.11 為 $\alpha = 0.05$ 及 $\alpha = 0.01$ 時高溫頂部平減後 VaR 與 CVaR 之比較，圖中顯示，在 1998 至 2011 年間 $\alpha = 0.05$ 時之 CVaR 的斜率增加比 VaR 略大，但在 $\alpha = 0.01$ 時，VaR 與 CVaR 的值已相當接近，兩者之趨勢線幾乎平行。

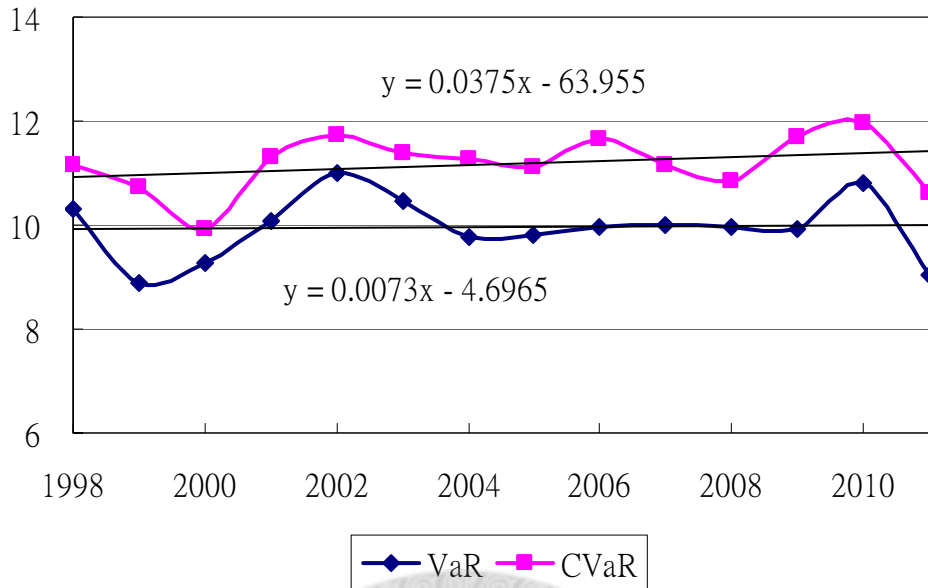


圖 4.2.10 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減後風險值比較($\alpha = 0.05$)

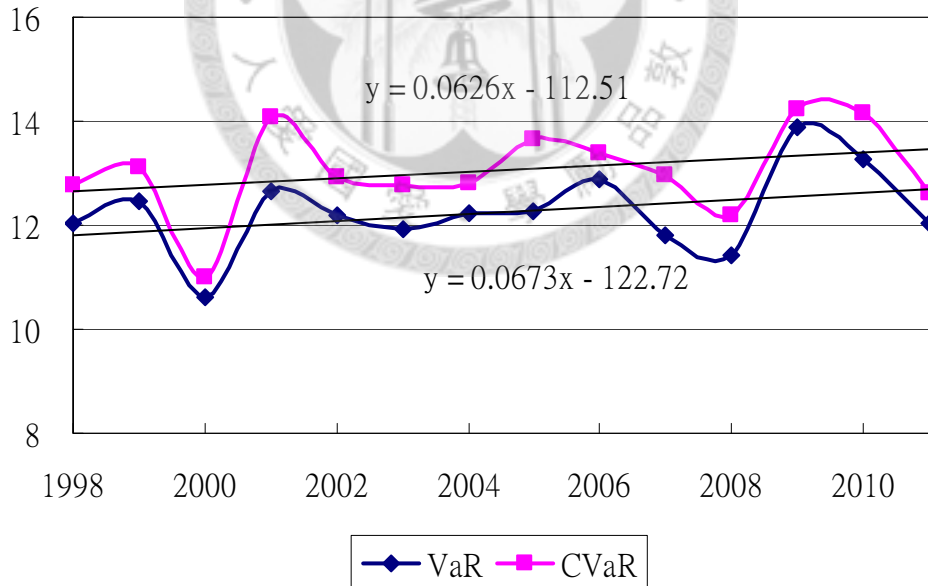


圖 4.2.11 台北測站 1998~2011 年高溫頂部平減後風險值比較($\alpha = 0.01$)

進行五個測站比較之結果討論如下：

首先考慮高溫風險，考慮高溫氣候風險時需先著重在日最高氣溫，亦即絕對

高溫的問題。圖 4.2.12 為各測站 1998~2011 年最高溫頂部 VaR 比較，顯示出大多數年份（2005 年為台東最高）是台北風險值最大而恆春最小，而恆春在五個測站中係位於台灣最南端，故可推論都市化的影響可能超越了地理位置的影響。

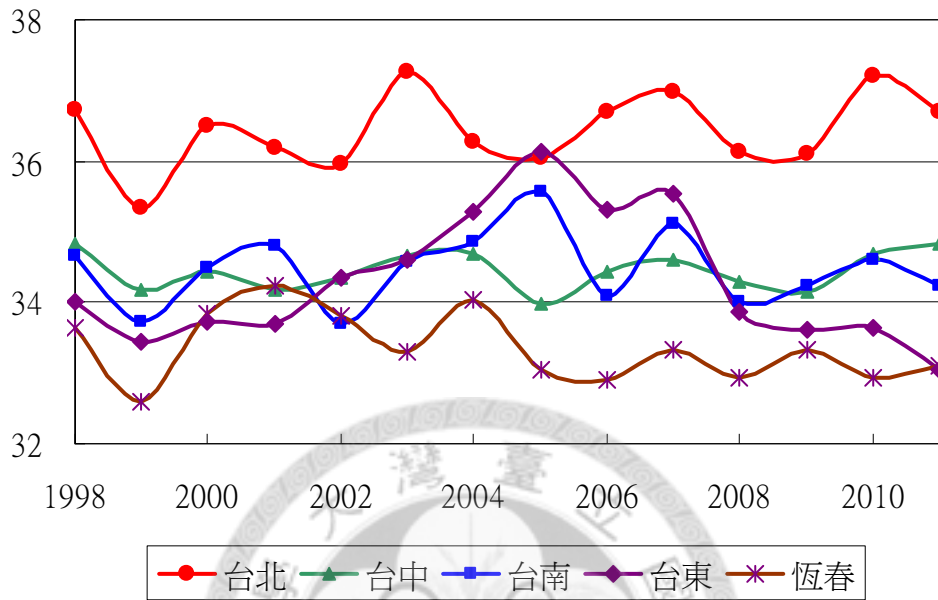


圖 4.2.12 各測站 1998~2011 年最高溫頂部 VaR 比較($\alpha = 0.01$)

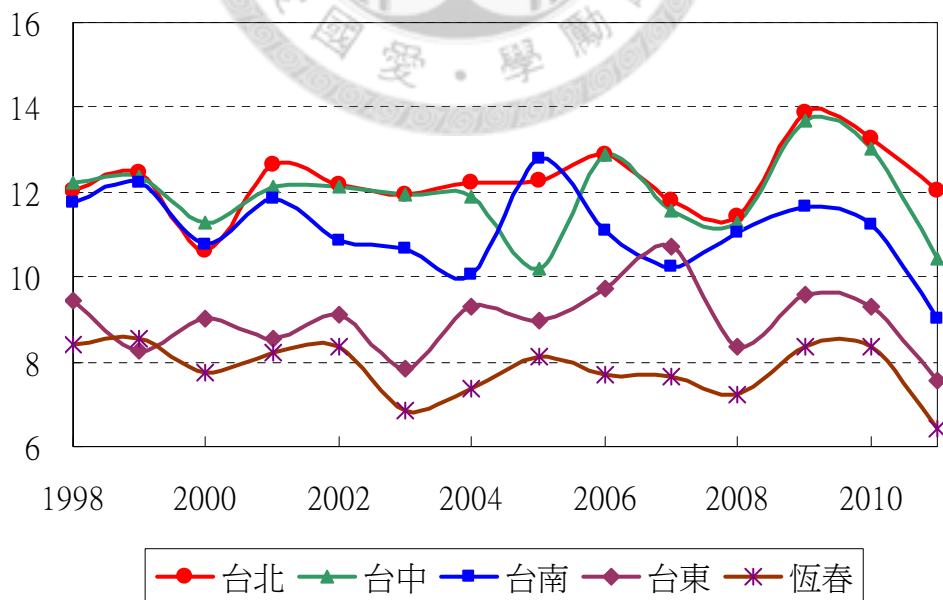


圖 4.2.13 各測站 1998~2011 年最高溫頂部平減後 VaR 比較($\alpha = 0.01$)

若考慮平減之效果，如圖 4.2.13 所示，則台中測站的風險值相對較高，顯示台中測站絕對高溫雖非最高，但大幅偏離正常月均溫值之情形甚為常見。另一方面，台東的風險值則在平減後相對降低，顯示氣溫偏高乃當地氣候及地形造成之現象。平減後恆春仍是五個測站中風險值最低之處。

台東測站之絕對高溫 VaR 在 2003 年至 2007 年間有一明顯峰態上升與下降之趨勢，但在進行平減後即不復見此現象，故應推論仍在此種氣溫變化仍在當地氣候正常變化範圍內。

接下來觀察五個測站 CVaR 之變化情形，圖 4.2.14 為 CVaR 趨勢比較，大致上台北仍是最高風險值之處，但台東測站在 2004 及 2005 年風險值超越台北，甚至在 2004 年高達 38°C，而成為五個測站中風險值最高者。台東測站在 2009 年 CVaR 有一大幅度下降，迄今連續三年均維持較低數值。大致上而言，恆春仍是風險值最低之處。

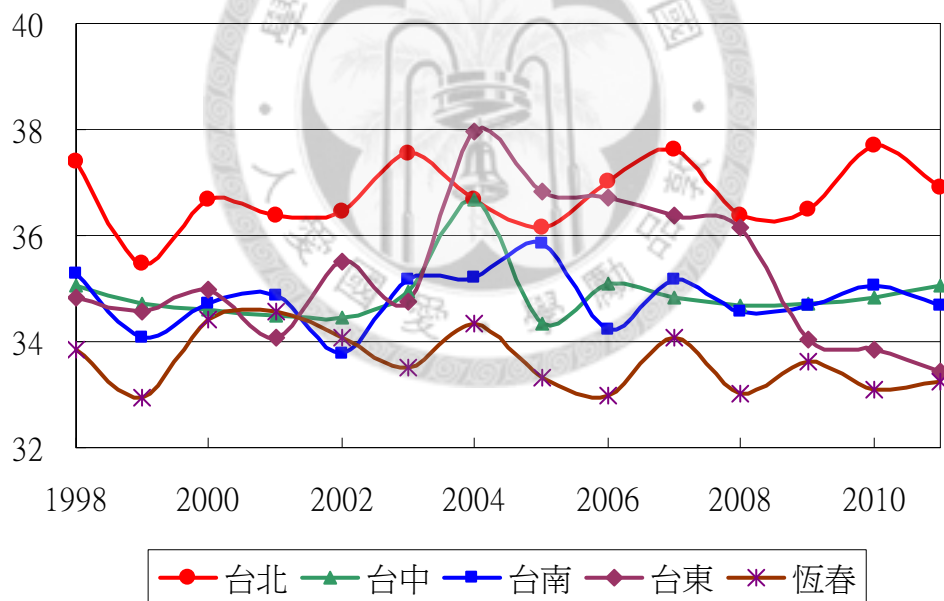


圖 4.2.14 各測站 1998~2011 年最高溫頂部 CVaR 比較($\alpha=0.01$)

若考慮平減效果，如圖 4.2.15 所示，則台中測站的 CVaR 風險值大幅增高，此與 VaR 之情形頗為類似。而台東的 CVaR 風險值則在平減後略有降低。平減後恆春仍是五個測站中 CVaR 風險值最低之處。

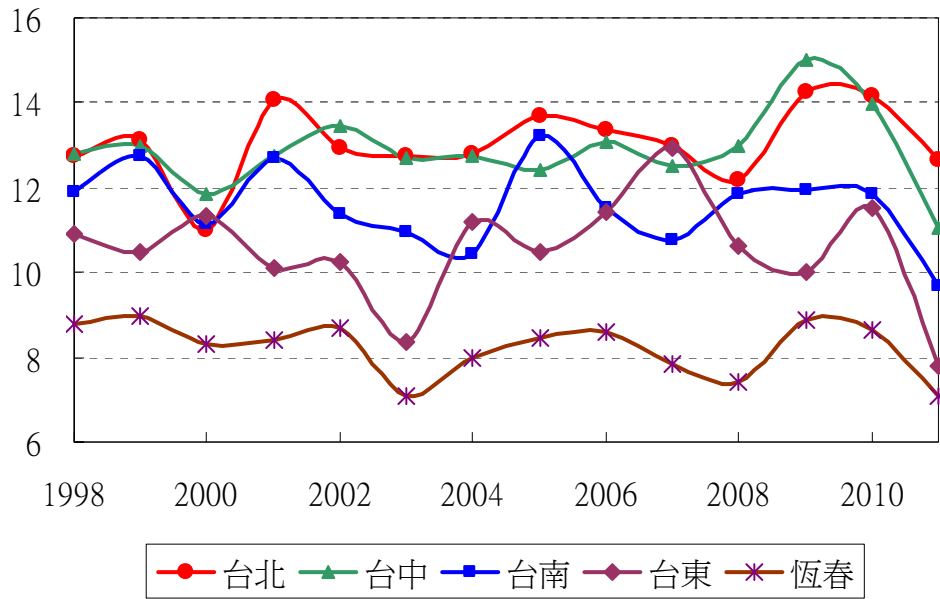


圖 4.2.15 各測站 1998~2011 年最高溫頂部平減後 CVaR 比較($\alpha=0.01$)

考慮低溫風險時，先以絕對低溫 VaR 值來看，如圖 4.2.16 所示，低溫風險值最低，也就是低溫風險最大之處為台中，恆春仍是風險最小之地。CVaR 值之情形也類似，如圖 4.2.17 所示。

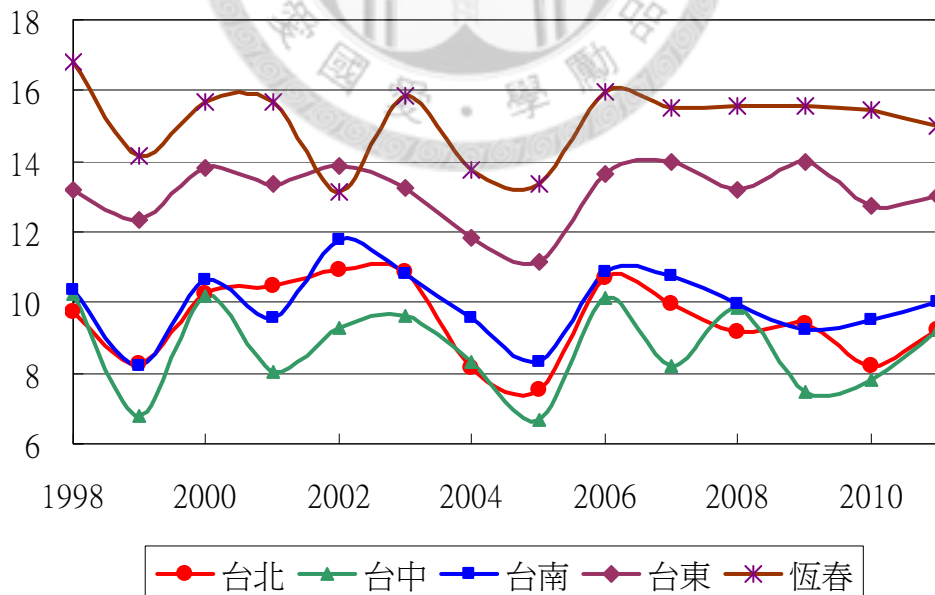


圖 4.2.16 各測站 1998~2011 年最低溫底部 VaR 比較($\alpha=0.01$)

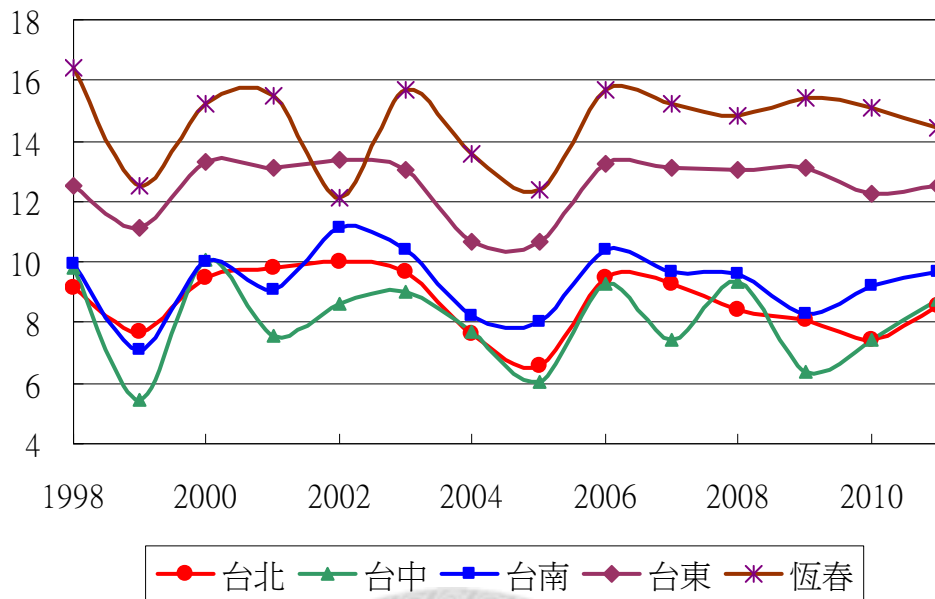


圖 4.2.17 各測站 1998~2011 年最低溫底部 CVaR 比較($\alpha = 0.01$)

低溫風險經平減後，明顯台中與台南之風險程度較高，如圖 4.2.18 所示，其低溫風險 VaR 值之絕對值最高（其為負值）。

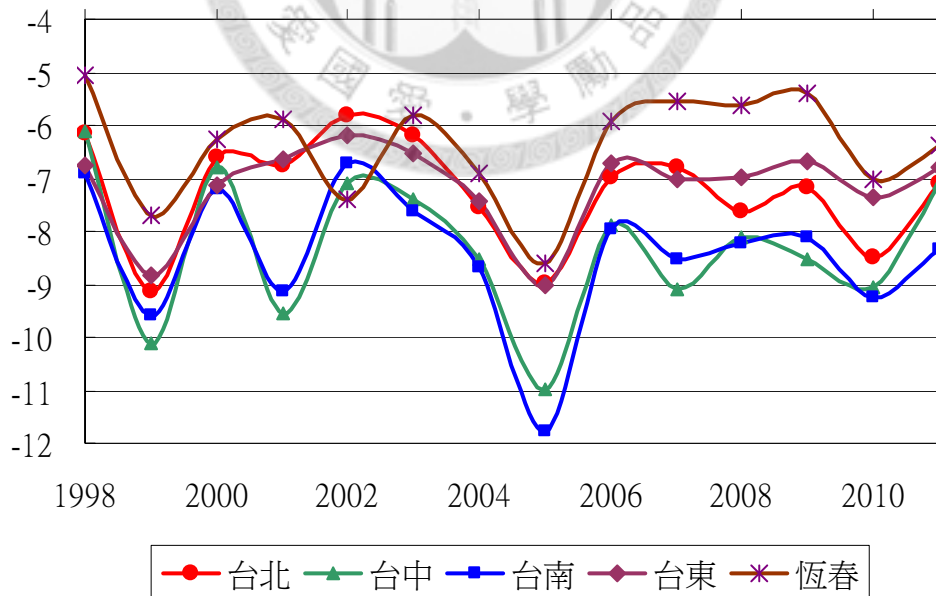


圖 4.2.18 各測站 1998~2011 年最低溫底部平減後 VaR 比較($\alpha = 0.01$)

除絕對高溫及絕對低溫外，亦需考慮一般日常生活之舒適程度，故以日均溫來觀察其頂部及底部之變化情形。圖 4.2.19 為各測站 1998~2011 年日均溫頂部 VaR 平減前後之數值比較。就 $\alpha = 0.05$ 的風險值來看，位於台灣北部的台北測站在平減前後均顯示出最大的風險值，位居台灣最南端的恆春不論平減前後之日均溫高溫風險值都最小。

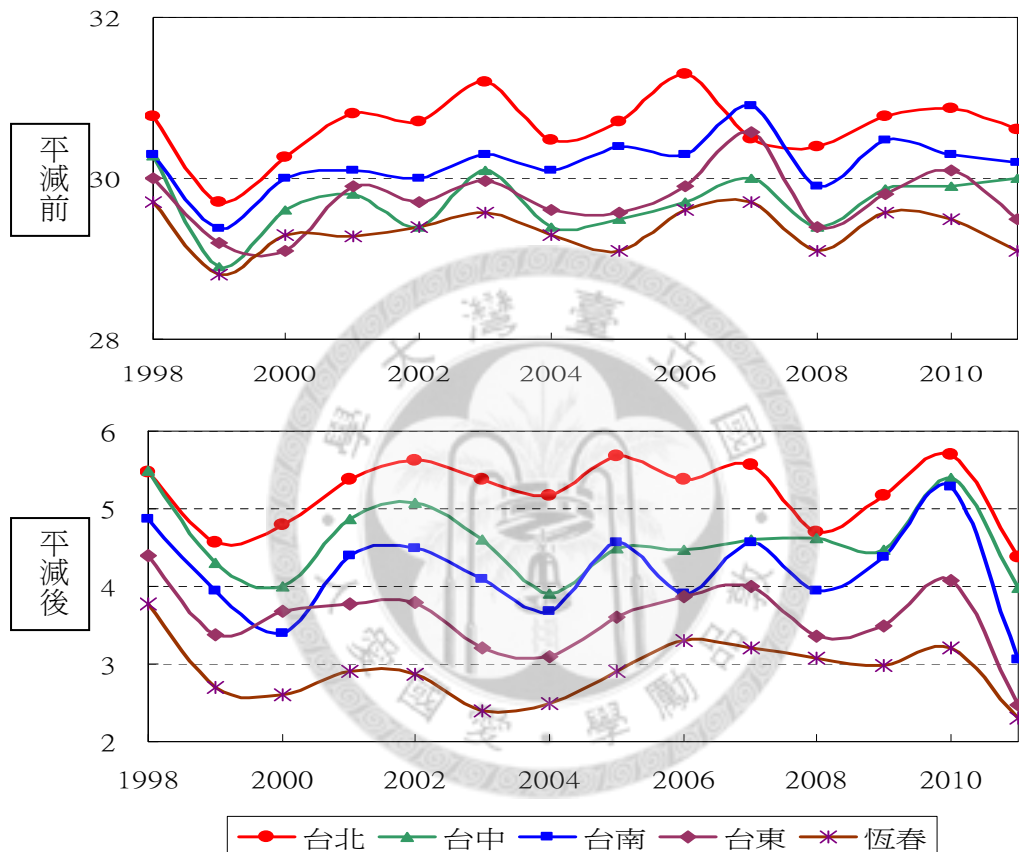


圖 4.2.19 各測站 1998~2011 年日均溫頂部 VaR 比較($\alpha = 0.05$)

另一方面，圖 4.2.20 為各測站 1998~2011 年日均溫底部 VaR 之比較，就 $\alpha = 0.05$ 的風險值來看，位於台灣北部的台北測站顯示出絕對氣溫最小風險值，表示低溫的風險最大。就絕對氣溫來看，各測站之排列非常有次序，在緯度上是由南到北依序排列，顯示在日均溫的低溫風險方面，地理位置的影響較大。經平減後，雖台北測站之風險絕對值（此處風險值為負值）仍普遍較大，但差距較不明顯。

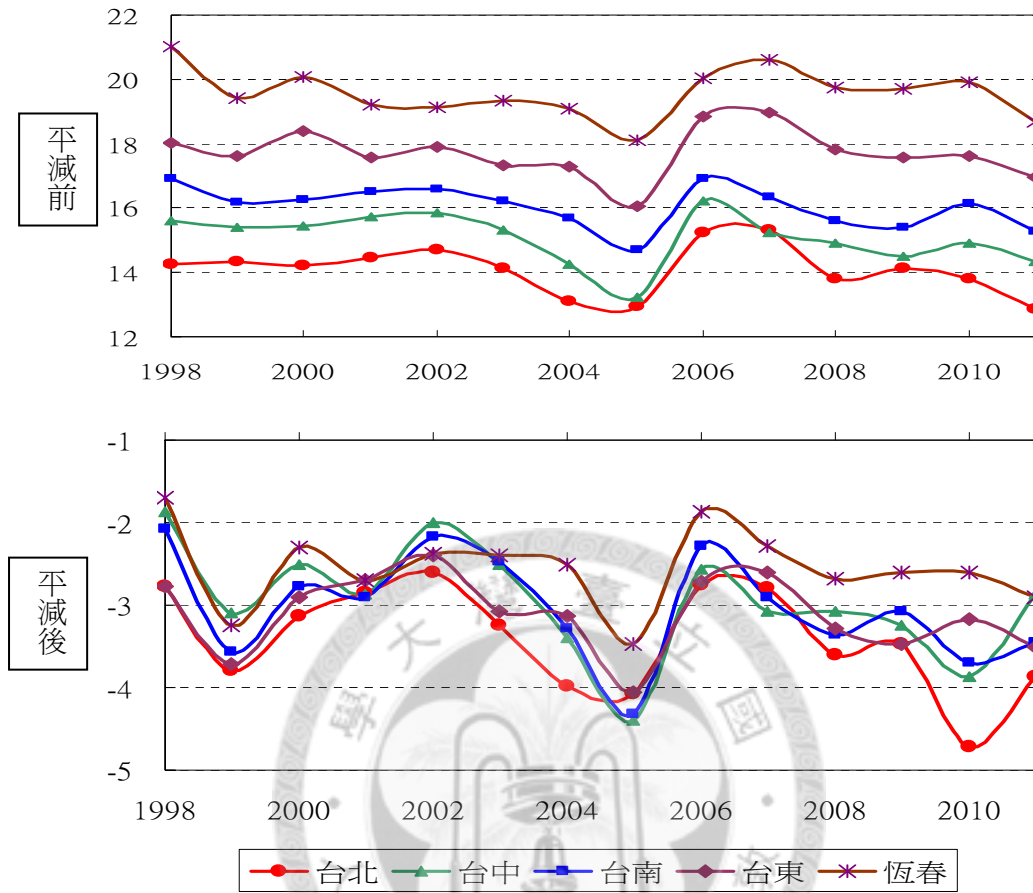


圖 4.2.20 各測站 1998~2011 年日均溫底部 VaR 比較($\alpha = 0.05$)

而各測站日均溫頂部與底部 $\alpha = 0.01$ 時之風險值比較如圖 4.2.21 與圖 4.2.22 所示，就絕對氣溫而言，北部之台北測站仍是日均溫頂部與底部風險最高之處。

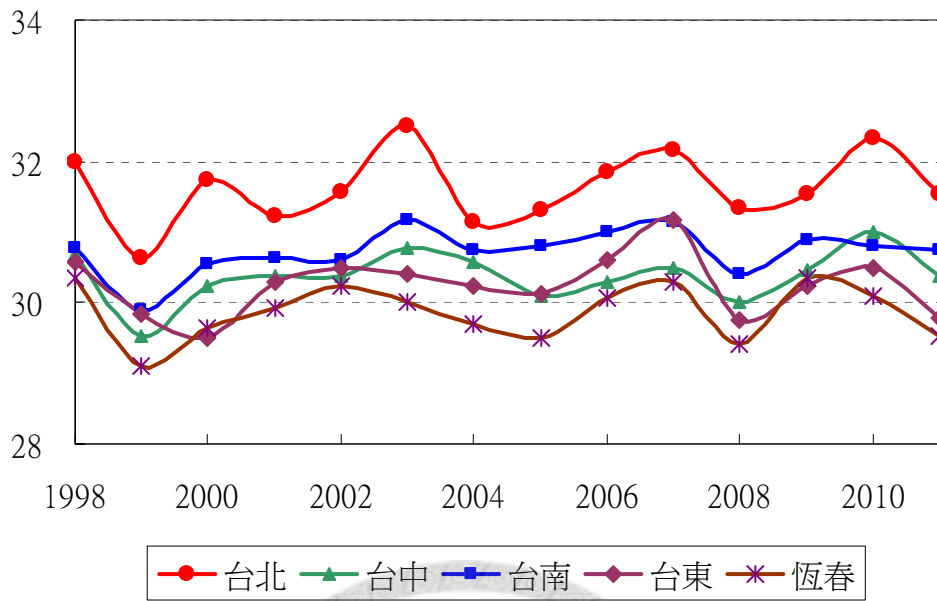


圖 4.2.21 各測站 1998~2011 年日均溫頂部 VaR 比較($\alpha = 0.01$)

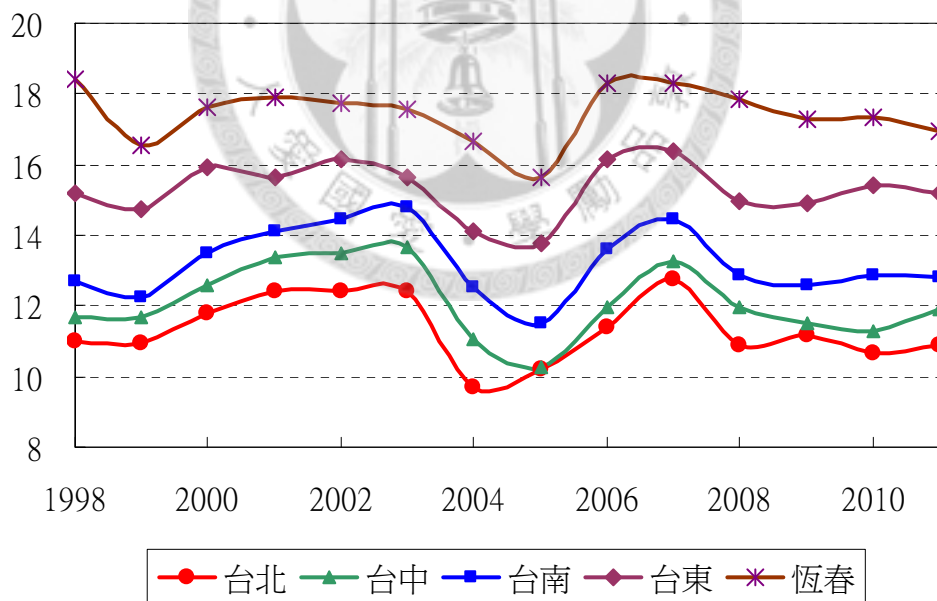


圖 4.2.22 各測站 1998~2011 年日均溫底部 VaR 比較($\alpha = 0.01$)

第五章 結論

第一節 結論

由本研究成果得知，運用簡單的直線迴歸方程式即可以觀察出台灣百年來的氣溫變化趨勢，的確是在往升溫的方向走。

風險值運用在氣溫資料的分析上，可以得到許多有趣的發現，而都市化的影響也從風險值的計算中展現出來。

經由研究結果發現：

1. 年均溫屬於整年度的平均數據，有時會掩蓋當年度氣候高低溫反常的現象。
2. 測站百年來的升溫幅度以年均最低溫的上升幅度最為明顯，年最高溫的上升則較為不明顯。
3. 都會區測站因都市熱島效應的影響，升溫現象較為顯著。
4. 百年前後的确有一定幅度的增溫現象，年平均氣溫升溫速度，約在 1~1.5 °C/100 年間。年均最高溫升溫速度在 0.5°C/100 年左右，年均最低溫升溫速度在 2°C/100 年以上。
5. VaR 在 $\alpha = 0.01$ 時變動的斜率比 $\alpha = 0.05$ 時來得大，顯示極端炎熱及極端寒冷的天氣出現的可能性越來越大。
6. VaR 與 CVaR 的比較也發現類似現象，CVaR 的斜率增加較大。
7. 近 30 年氣溫平均值比百年平均值高，也顯示似有緩步升溫的現象。
8. 氣溫平減前後之 VaR 變化趨勢並不相同，意味著平減之後所篩選出的尾部不是絕對高溫或低溫，而是偏離月平均值較多者。
9. 以風險值來判斷，五個測站中位居台灣北部的台北測站氣候風險較大。

第二節 建議

氣候變遷不斷影響人們的生活與經濟活動，氣候變遷導致災害的嚴重性與不可預測性也日益增強，使得與其相關的風險管理議題非常具有挑戰性，需要以更前瞻的想法與作法來進行這個任務。建議可運用新穎的風險管理工具進行分析、判斷，進而協助設計相關的調適或避險。

參考文獻

A. 專書及期刊論文

Kevin Dowd 著，林劭杰譯，市場風險－現代風險衡量方法 (Measuring market risk, 2nd ed.)，財團法人台灣金融研訓院，初版，2008。

Philippe Jorion 著，黃達業、張容容譯，風險值，美商麥格羅希爾國際股份有限公司台灣分公司，二版，2005。

宋明哲，《現代風險管理》第五版，五南圖書出版股份有限公司，2008。

周大慶、沈大白、張大成、敬永康、柯瓊鳳合著，風險管理新標竿－風險值理論與應用，再版，智勝文化事業有限公司，2007。

徐森雄、李錦育主編，台灣地區氣象資料庫，國立屏東科技大學，1999。全書共4冊，第1冊北部地區（彭佳嶼、基隆、淡水、竹子湖、鞍部、台北、新竹），第2冊中部地區（台中、日月潭、阿里山、玉山、嘉義），第3冊南部地區（台南、高雄、恆春、澎湖），第4冊東部地區（宜蘭、花蓮、成功、台東、大武、蘭嶼）。

鄭燦堂，《風險管理》第二版，五南圖書出版股份有限公司，2009。

B. 研究報告及網頁資料

The Intergovernmental Panel on Climate Change, UNIPCC (聯合國政府間氣候變遷委員會), <http://www.ipcc.ch/>.

(1) The 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC AR4, 2007.

交通部中央氣象局，「近百年來台灣的氣候變化」，2009.12.29，

<http://www.cwb.gov.tw/V6/news/Newsbb/981229.pdf>。

台大大氣系許晃雄教授上課資料第一章，http://hsu.as.ntu.edu.tw/cyber_course_II/。

附錄 風險值計算結果



一、台北測站

附表 1 台北測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	12.53	14.25	30.78	35.20	10.90	12.42	31.51	35.96
1999	12.13	14.33	29.70	34.20	10.04	11.97	30.31	34.76
2000	13.00	14.23	30.27	34.60	11.37	12.72	31.00	35.52
2001	12.30	14.45	30.80	35.38	11.13	13.26	30.97	35.78
2002	12.45	14.73	30.70	35.40	11.54	13.33	31.23	35.77
2003	12.10	14.13	31.20	36.00	11.34	13.02	31.82	36.69
2004	11.70	13.10	30.47	35.00	9.80	11.19	30.86	35.70
2005	10.43	12.93	30.70	34.80	8.69	11.26	31.04	35.51
2006	13.33	15.25	31.30	35.60	11.84	13.37	31.58	36.27
2007	13.55	15.33	30.50	35.10	11.57	13.78	31.22	36.09
2008	11.93	13.80	30.40	35.00	10.55	11.89	30.87	35.66
2009	12.20	14.15	30.78	35.00	10.27	12.32	31.28	35.55
2010	11.25	13.80	30.88	35.10	9.46	11.80	31.64	36.31
2011	11.43	12.85	30.60	35.08	10.09	11.54	31.04	35.87

附表 2 台北測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	9.73	11.00	32.00	36.74	9.13	10.30	32.47	37.40
1999	8.27	10.96	30.64	35.34	7.67	9.73	30.83	35.47
2000	10.27	11.80	31.73	36.50	9.47	10.67	31.97	36.67
2001	10.47	12.43	31.24	36.20	9.80	12.20	31.43	36.37
2002	10.90	12.40	31.57	35.97	10.03	12.00	31.80	36.47
2003	10.89	12.43	32.50	37.27	9.67	11.93	32.73	37.53
2004	8.13	9.70	31.13	36.27	7.63	9.20	31.20	36.67
2005	7.53	10.22	31.30	36.04	6.60	9.10	31.43	36.17
2006	10.70	11.40	31.84	36.71	9.50	10.70	32.13	37.03
2007	9.97	12.73	32.17	36.98	9.27	12.17	32.33	37.63
2008	9.20	10.89	31.33	36.13	8.43	9.73	31.57	36.37
2009	9.40	11.16	31.54	36.11	8.07	10.63	31.83	36.50
2010	8.20	10.67	32.34	37.20	7.47	10.17	32.63	37.70
2011	9.23	10.90	31.54	36.70	8.53	9.97	31.63	36.90

附表 3 台北測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-4.68	-2.78	5.48	10.30	-5.52	-3.97	6.21	11.17
1999	-6.13	-3.80	4.58	8.90	-7.76	-5.24	5.68	10.72
2000	-5.18	-3.13	4.80	9.28	-6.05	-4.13	5.28	9.92
2001	-5.18	-2.85	5.38	10.08	-6.31	-3.91	6.47	11.30
2002	-4.50	-2.60	5.63	11.00	-5.18	-3.39	6.29	11.74
2003	-5.25	-3.25	5.38	10.48	-5.79	-4.08	6.17	11.39
2004	-5.70	-3.98	5.18	9.78	-6.77	-4.96	6.01	11.27
2005	-6.30	-4.08	5.68	9.80	-7.93	-5.31	6.22	11.13
2006	-4.98	-2.75	5.38	9.98	-6.19	-4.32	6.36	11.66
2007	-5.15	-2.80	5.58	10.00	-6.22	-4.26	6.30	11.15
2008	-5.30	-3.60	4.70	9.98	-6.77	-4.61	5.95	10.84
2009	-5.80	-3.48	5.18	9.93	-6.61	-4.68	6.44	11.70
2010	-6.60	-4.73	5.70	10.80	-7.78	-5.60	6.76	11.96
2011	-5.58	-3.88	4.38	9.05	-6.46	-4.88	5.48	10.62

附表 4 台北測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-6.14	-4.95	7.01	12.04	-6.53	-5.43	7.33	12.77
1999	-9.14	-6.28	6.94	12.47	-9.73	-7.57	7.37	13.13
2000	-6.60	-5.17	5.61	10.60	-7.70	-6.07	6.07	11.00
2001	-6.77	-4.91	7.25	12.65	-7.50	-5.13	8.23	14.07
2002	-5.81	-4.14	6.84	12.20	-6.57	-4.53	7.07	12.93
2003	-6.17	-4.54	6.80	11.94	-6.53	-4.90	7.27	12.77
2004	-7.54	-5.70	6.50	12.25	-8.40	-6.83	6.87	12.80
2005	-8.99	-6.61	6.67	12.26	-10.83	-7.33	7.00	13.67
2006	-6.97	-5.47	7.34	12.87	-7.63	-6.00	7.57	13.37
2007	-6.81	-5.44	6.84	11.81	-8.03	-6.40	8.10	12.97
2008	-7.64	-5.44	6.97	11.41	-8.10	-5.87	7.37	12.20
2009	-7.17	-5.34	7.87	13.90	-7.70	-5.67	8.13	14.23
2010	-8.48	-6.14	7.40	13.27	-9.47	-7.03	8.00	14.17
2011	-7.10	-5.84	6.41	12.04	-7.27	-6.20	7.00	12.63

二、台中測站

附表 5 台中測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	13.25	15.63	30.28	34.00	11.49	13.87	30.52	34.45
1999	11.95	15.40	28.90	33.10	9.42	13.00	29.31	33.67
2000	13.13	15.43	29.60	33.40	11.68	13.87	29.97	33.98
2001	12.20	15.73	29.80	33.58	10.32	14.00	30.16	33.88
2002	12.15	15.85	29.40	33.70	10.91	14.46	29.87	34.06
2003	11.53	15.30	30.10	34.20	10.51	14.40	30.44	34.51
2004	11.30	14.26	29.40	33.40	9.87	12.26	29.94	34.22
2005	9.40	13.23	29.50	33.20	7.94	11.56	29.82	33.59
2006	13.00	16.23	29.70	33.58	11.34	14.27	30.08	34.06
2007	12.70	15.25	30.00	33.80	10.32	13.98	30.34	34.24
2008	11.36	14.89	29.40	33.40	10.51	13.18	29.73	33.99
2009	11.38	14.50	29.88	33.50	9.23	12.92	30.15	33.96
2010	10.78	14.90	29.90	33.80	9.23	12.70	30.59	34.26
2011	11.50	14.35	30.00	34.10	10.26	13.02	30.20	34.49

附表 6 台中測站風險值計算結果 ($\alpha=0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	10.26	11.70	30.70	34.84	9.80	11.00	30.80	35.07
1999	6.82	11.69	29.54	34.17	5.43	9.97	30.17	34.70
2000	10.20	12.59	30.23	34.43	10.07	11.23	30.43	34.60
2001	8.07	13.40	30.37	34.17	7.57	12.63	30.67	34.50
2002	9.29	13.50	30.37	34.34	8.60	13.27	30.57	34.47
2003	9.63	13.67	30.77	34.67	9.03	13.20	31.03	34.93
2004	8.33	11.07	30.57	34.70	7.67	10.57	31.40	36.67
2005	6.70	10.28	30.10	33.97	6.07	9.13	30.20	34.33
2006	10.13	11.95	30.30	34.44	9.30	10.83	30.43	35.10
2007	8.23	13.27	30.50	34.60	7.43	12.90	30.67	34.83
2008	9.87	11.96	30.00	34.30	9.37	11.43	30.30	34.67
2009	7.49	11.53	30.47	34.14	6.37	11.20	30.90	34.73
2010	7.80	11.30	31.00	34.70	7.47	11.00	31.10	34.83
2011	9.20	11.89	30.37	34.84	8.73	10.67	30.50	35.07

附表 7 台中測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-4.88	-1.88	5.50	10.80	-5.47	-3.36	6.11	11.75
1999	-5.88	-3.10	4.30	9.68	-8.27	-4.90	5.87	11.50
2000	-5.00	-2.50	4.00	9.40	-5.89	-3.59	4.79	10.53
2001	-6.90	-2.88	4.88	10.28	-8.26	-3.93	5.82	11.21
2002	-5.10	-2.00	5.08	10.58	-6.19	-2.79	5.86	11.60
2003	-6.20	-2.50	4.60	10.08	-6.87	-3.41	5.07	11.17
2004	-6.38	-3.40	3.90	9.58	-7.42	-4.49	4.73	10.94
2005	-7.75	-4.40	4.50	9.10	-9.79	-6.01	5.09	10.06
2006	-5.53	-2.58	4.48	9.55	-6.92	-4.32	5.24	11.06
2007	-6.50	-3.08	4.60	9.60	-7.79	-4.58	5.61	10.94
2008	-6.10	-3.08	4.63	9.70	-7.25	-4.11	5.68	10.68
2009	-6.10	-3.25	4.48	9.68	-7.49	-4.24	6.47	12.04
2010	-6.80	-3.88	5.40	10.60	-8.22	-4.98	6.61	11.71
2011	-5.85	-2.88	3.98	9.23	-6.77	-4.17	4.91	10.04

附表 8 台中測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-6.10	-4.45	6.61	12.24	-6.47	-5.27	6.90	12.80
1999	-10.13	-6.17	7.47	12.37	-12.17	-7.63	7.60	12.97
2000	-6.78	-4.61	5.27	11.31	-7.80	-5.87	5.73	11.83
2001	-9.54	-5.30	6.44	12.14	-10.03	-5.40	6.87	12.73
2002	-7.10	-3.37	6.54	12.15	-7.40	-3.97	7.20	13.43
2003	-7.40	-4.34	5.54	11.94	-8.03	-4.60	5.77	12.70
2004	-8.54	-4.94	5.24	11.88	-9.13	-5.97	6.23	12.73
2005	-10.97	-7.25	5.30	10.20	-11.83	-8.50	5.93	12.43
2006	-7.91	-6.04	5.71	12.87	-8.37	-6.77	6.33	13.07
2007	-9.08	-5.44	6.51	11.57	-10.03	-7.30	6.87	12.50
2008	-8.10	-4.97	6.04	11.30	-9.33	-5.40	6.97	13.00
2009	-8.51	-4.94	8.17	13.68	-9.63	-5.30	8.47	15.00
2010	-9.04	-5.64	8.04	13.04	-9.67	-6.63	8.87	13.97
2011	-7.10	-5.54	5.84	10.44	-7.70	-5.80	6.23	11.03

三、台南測站

附表 9 台南測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	13.63	16.90	30.30	34.08	12.07	15.03	30.61	34.48
1999	12.53	16.20	29.38	32.90	10.41	13.92	29.68	33.41
2000	13.50	16.26	30.00	33.70	11.80	14.68	30.28	34.21
2001	12.93	16.53	30.10	33.90	11.22	14.92	30.46	34.37
2002	13.10	16.60	30.00	33.00	12.06	15.22	30.35	33.42
2003	12.50	16.23	30.30	33.40	11.59	15.48	30.83	34.04
2004	12.66	15.70	30.10	34.10	10.96	13.87	30.47	34.52
2005	11.10	14.70	30.40	34.30	9.20	12.87	30.74	34.87
2006	14.20	16.93	30.30	33.30	12.33	15.24	30.71	33.73
2007	13.73	16.33	30.90	34.28	12.00	15.24	31.08	34.80
2008	12.80	15.60	29.90	33.50	11.16	14.11	30.19	33.86
2009	12.43	15.40	30.48	33.70	10.75	14.14	30.76	34.06
2010	13.00	16.13	30.30	33.60	10.97	14.31	30.58	34.11
2011	12.05	15.28	30.20	33.48	10.80	13.72	30.47	33.92

附表 10 台南測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	10.37	12.70	30.77	34.67	9.93	11.97	31.07	35.27
1999	8.23	12.23	29.90	33.74	7.10	10.80	30.23	34.07
2000	10.66	13.49	30.53	34.50	10.00	11.73	30.67	34.70
2001	9.57	14.10	30.64	34.80	9.10	13.73	30.77	34.87
2002	11.77	14.46	30.60	33.70	11.13	13.50	30.70	33.77
2003	10.80	14.77	31.17	34.57	10.43	14.27	31.43	35.17
2004	9.59	12.53	30.73	34.87	8.23	12.03	30.83	35.20
2005	8.30	11.52	30.80	35.57	8.03	10.10	31.07	35.83
2006	10.90	13.59	31.00	34.10	10.43	12.50	31.03	34.23
2007	10.76	14.43	31.14	35.10	9.70	14.10	31.40	35.17
2008	9.96	12.86	30.40	34.00	9.60	12.33	30.53	34.57
2009	9.23	12.57	30.90	34.24	8.30	12.97	30.97	34.67
2010	9.50	12.90	30.80	34.60	9.20	12.17	30.87	35.07
2011	10.00	12.81	30.74	34.24	9.67	11.33	30.87	34.67

附表 11 台南測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-4.95	-2.08	4.88	9.98	-6.04	-3.38	5.72	10.89
1999	-6.43	-3.58	3.95	9.68	-8.40	-5.24	5.42	11.00
2000	-5.48	-2.78	3.40	8.60	-6.33	-3.81	4.09	9.54
2001	-7.08	-2.90	4.40	9.80	-8.26	-4.17	5.33	11.05
2002	-5.38	-2.18	4.50	8.78	-5.99	-3.09	5.51	9.83
2003	-6.28	-2.48	4.10	8.50	-7.01	-3.46	4.86	9.76
2004	-6.38	-3.28	3.68	8.60	-7.55	-4.32	4.28	9.45
2005	-7.88	-4.33	4.58	9.50	-9.81	-6.14	5.40	10.92
2006	-5.18	-2.28	3.90	8.93	-6.88	-4.09	4.80	9.98
2007	-6.18	-2.90	4.58	8.90	-7.43	-4.46	5.44	9.62
2008	-6.18	-3.35	3.95	8.70	-7.49	-4.24	5.44	10.11
2009	-6.20	-3.08	4.38	9.05	-7.29	-4.18	6.18	10.51
2010	-7.18	-3.70	5.28	9.48	-8.20	-4.87	6.47	10.44
2011	-6.88	-3.45	3.05	7.78	-7.53	-4.67	3.96	8.47

附表 12 台南測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-6.90	-4.91	6.24	11.77	-7.67	-5.83	6.90	11.90
1999	-9.57	-6.61	6.84	12.24	-11.30	-7.90	7.27	12.73
2000	-7.21	-5.51	4.51	10.77	-7.70	-5.97	5.37	11.13
2001	-9.14	-5.01	5.70	11.84	-9.60	-5.43	6.33	12.70
2002	-6.74	-3.74	6.94	10.84	-7.00	-4.70	7.10	11.37
2003	-7.64	-4.38	5.47	10.67	-7.93	-4.83	5.73	10.97
2004	-8.67	-5.21	5.24	10.04	-9.57	-5.50	5.77	10.43
2005	-11.77	-7.88	6.21	12.77	-12.13	-9.07	6.97	13.20
2006	-7.95	-6.08	5.34	11.11	-9.07	-6.90	6.60	11.53
2007	-8.54	-6.11	6.00	10.24	-9.83	-7.47	6.50	10.77
2008	-8.24	-5.20	6.11	11.04	-8.83	-5.47	7.03	11.87
2009	-8.10	-4.77	7.85	11.67	-8.90	-5.37	8.30	11.97
2010	-9.24	-5.81	7.74	11.24	-9.77	-6.50	8.10	11.83
2011	-8.34	-5.90	4.64	9.04	-8.57	-6.30	4.83	9.67

四、台東測站

附表 13 台東測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	16.05	18.03	30.00	33.20	14.53	16.36	30.33	33.77
1999	15.48	17.60	29.20	32.38	13.57	15.94	29.55	33.04
2000	16.09	18.40	29.10	32.51	14.76	16.92	29.32	33.29
2001	15.25	17.58	29.90	33.00	14.21	16.48	30.12	33.46
2002	15.30	17.90	29.70	33.10	14.61	16.74	30.12	33.83
2003	14.60	17.33	29.98	33.68	13.97	16.25	30.25	34.19
2004	14.73	17.29	29.60	33.17	13.22	15.32	30.08	34.36
2005	13.80	16.08	29.58	32.88	12.54	14.73	29.89	34.49
2006	16.40	18.83	29.90	33.30	14.91	17.21	30.29	34.37
2007	16.00	18.98	30.58	33.80	14.68	17.13	30.94	34.65
2008	15.53	17.80	29.40	32.80	14.18	16.26	29.69	33.73
2009	16.00	17.58	29.80	32.90	14.68	15.86	30.06	33.28
2010	14.90	17.63	30.10	33.18	13.64	16.24	30.31	33.52
2011	14.70	16.95	29.50	32.40	13.74	15.73	29.65	32.70

附表 14 台東測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	13.20	15.20	30.57	34.00	12.50	14.50	30.77	34.83
1999	12.33	14.73	29.84	33.44	11.10	13.77	30.03	34.57
2000	13.80	15.90	29.50	33.74	13.33	15.20	29.57	34.97
2001	13.37	15.64	30.30	33.70	13.10	14.57	30.37	34.07
2002	13.86	16.17	30.50	34.34	13.37	15.23	30.67	35.50
2003	13.23	15.63	30.40	34.60	13.07	15.20	30.67	34.77
2004	11.83	14.13	30.24	35.28	10.70	12.90	31.40	37.97
2005	11.13	13.80	30.14	36.15	10.70	12.93	30.27	36.83
2006	13.67	16.17	30.60	35.33	13.23	14.80	30.73	36.73
2007	13.96	16.36	31.17	35.54	13.13	15.17	31.50	36.37
2008	13.17	14.96	29.77	33.87	13.07	14.17	30.60	36.17
2009	13.96	14.93	30.24	33.61	13.13	14.57	30.47	34.03
2010	12.73	15.42	30.50	33.64	12.23	14.40	30.63	33.87
2011	13.00	15.18	29.77	33.04	12.53	13.77	29.90	33.43

附表 15 台東測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-4.50	-2.78	4.40	8.08	-5.63	-3.86	5.02	9.00
1999	-5.48	-3.73	3.38	7.18	-7.19	-4.94	4.12	8.02
2000	-4.88	-2.90	3.68	7.33	-6.01	-4.00	4.13	8.50
2001	-5.10	-2.70	3.78	7.30	-6.04	-3.83	4.22	8.12
2002	-4.50	-2.40	3.80	7.70	-5.44	-3.28	4.58	8.62
2003	-5.58	-3.08	3.20	7.08	-6.07	-3.99	3.68	7.53
2004	-5.60	-3.13	3.10	6.98	-6.76	-4.51	3.64	8.33
2005	-6.28	-4.05	3.60	7.50	-7.81	-5.41	4.03	8.34
2006	-4.53	-2.73	3.88	7.75	-5.76	-3.83	4.66	8.96
2007	-4.88	-2.60	4.00	7.55	-5.94	-3.81	4.67	9.20
2008	-5.40	-3.28	3.35	7.20	-6.23	-4.05	4.26	8.24
2009	-5.75	-3.48	3.50	7.30	-6.31	-4.16	4.74	8.68
2010	-5.50	-3.18	4.08	7.50	-6.58	-4.12	5.01	8.67
2011	-5.90	-3.50	2.48	6.18	-6.41	-4.41	3.37	6.94

附表 16 台東測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-6.77	-5.14	5.34	9.44	-7.03	-5.57	5.77	10.90
1999	-8.82	-5.54	4.71	8.27	-9.50	-6.60	5.30	10.50
2000	-7.14	-5.24	4.37	9.04	-7.93	-6.20	5.27	11.33
2001	-6.64	-4.54	4.54	8.57	-7.03	-5.17	4.73	10.10
2002	-6.20	-3.85	5.14	9.11	-6.37	-4.73	5.53	10.27
2003	-6.54	-4.64	4.10	7.84	-6.77	-5.10	4.43	8.37
2004	-7.43	-5.61	4.14	9.32	-8.77	-6.47	4.33	11.20
2005	-9.01	-7.10	4.24	8.98	-10.17	-7.30	4.53	10.50
2006	-6.70	-4.98	4.94	9.74	-7.17	-5.77	5.57	11.43
2007	-7.01	-4.85	5.14	10.72	-7.60	-5.83	5.60	12.93
2008	-6.97	-4.84	4.77	8.34	-7.17	-5.23	5.20	10.63
2009	-6.67	-4.64	5.54	9.57	-7.10	-5.23	5.83	10.00
2010	-7.34	-4.61	5.47	9.32	-8.63	-5.97	6.47	11.53
2011	-6.80	-5.04	3.97	7.54	-7.30	-5.47	4.17	7.80

五、恆春測站

附表 17 恆春測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	18.50	21.03	29.70	32.90	17.53	19.52	30.11	33.35
1999	17.35	19.43	28.80	32.10	15.70	17.76	29.00	32.42
2000	17.53	20.09	29.30	32.97	16.44	18.55	29.49	33.64
2001	17.23	19.20	29.28	33.30	16.35	18.49	29.66	33.82
2002	16.45	19.13	29.40	32.90	14.83	18.39	29.87	33.46
2003	16.93	19.33	29.58	32.88	16.31	18.29	29.81	33.11
2004	16.80	19.09	29.30	33.17	15.58	17.57	29.55	33.62
2005	15.70	18.10	29.10	32.30	14.33	16.73	29.38	32.67
2006	17.68	20.05	29.60	32.50	16.74	19.02	29.88	32.69
2007	18.30	20.60	29.70	32.80	17.03	19.31	30.07	33.23
2008	17.53	19.73	29.10	32.10	16.41	18.64	29.23	32.51
2009	16.90	19.70	29.58	32.70	16.27	18.14	30.02	33.02
2010	16.93	19.90	29.50	32.50	16.02	18.38	29.89	32.74
2011	16.60	18.68	29.10	32.40	15.77	17.67	29.37	32.74

附表 18 恆春測站風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	16.83	18.43	30.34	33.64	16.43	18.03	30.53	33.87
1999	14.16	16.53	29.10	32.60	12.53	15.73	29.33	32.93
2000	15.67	17.63	29.63	33.83	15.23	16.90	29.77	34.40
2001	15.70	17.90	29.94	34.24	15.50	17.37	30.10	34.57
2002	13.12	17.73	30.24	33.80	12.13	17.33	30.37	34.07
2003	15.87	17.57	30.00	33.30	15.67	17.27	30.13	33.50
2004	13.73	16.67	29.70	34.03	13.57	15.60	30.03	34.33
2005	13.37	15.63	29.50	33.04	12.40	14.73	29.87	33.33
2006	15.97	18.33	30.07	32.90	15.70	17.30	30.47	33.00
2007	15.53	18.33	30.30	33.34	15.20	17.87	30.33	34.07
2008	15.56	17.83	29.40	32.93	14.83	17.40	29.67	33.03
2009	15.57	17.30	30.34	33.34	15.40	17.03	30.47	33.63
2010	15.47	17.36	30.10	32.94	15.07	16.67	30.20	33.10
2011	15.03	16.93	29.54	33.10	14.47	16.03	29.77	33.23

附表 19 恆春測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.05$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-4.00	-1.70	3.78	7.40	-4.59	-2.57	4.25	7.96
1999	-5.18	-3.25	2.70	7.03	-6.58	-4.33	3.59	7.90
2000	-4.68	-2.30	2.60	6.78	-5.43	-3.27	3.18	7.28
2001	-4.78	-2.70	2.90	7.18	-5.37	-3.25	3.40	7.77
2002	-4.88	-2.38	2.88	6.88	-6.22	-2.96	3.54	7.68
2003	-4.78	-2.40	2.40	6.20	-5.38	-3.44	2.91	6.58
2004	-4.88	-2.50	2.50	6.40	-5.91	-3.68	2.74	6.95
2005	-5.85	-3.48	2.90	6.65	-7.31	-4.93	3.38	7.36
2006	-3.90	-1.88	3.30	6.60	-4.69	-2.74	3.96	7.26
2007	-4.10	-2.28	3.20	6.60	-4.91	-3.03	3.59	7.19
2008	-4.30	-2.68	3.08	6.30	-5.07	-3.14	3.64	6.77
2009	-4.70	-2.60	2.98	6.38	-5.13	-3.36	3.88	7.50
2010	-4.80	-2.60	3.20	7.10	-5.72	-3.56	3.99	7.80
2011	-5.10	-2.90	2.30	5.40	-5.88	-3.88	2.97	6.03

附表 20 恆春測站平減後風險值計算結果 ($\alpha = 0.01$)

風險值 年份	VaR				CVaR			
	最低溫	日均溫		最高溫	最低溫	日均溫		最高溫
	底	底	頂	頂	底	底	頂	頂
1998	-5.05	-3.18	4.60	8.41	-5.73	-4.00	4.90	8.77
1999	-7.71	-4.87	4.24	8.54	-9.07	-5.73	4.53	8.97
2000	-6.28	-4.41	3.64	7.75	-6.67	-4.93	3.97	8.30
2001	-5.90	-3.67	3.80	8.24	-6.10	-4.33	4.07	8.40
2002	-7.38	-3.37	4.24	8.37	-8.37	-4.00	4.47	8.67
2003	-5.80	-4.14	3.24	6.87	-5.90	-4.50	3.67	7.07
2004	-6.90	-5.01	2.84	7.38	-7.30	-5.33	3.20	7.97
2005	-8.61	-6.48	3.74	8.10	-10.17	-7.50	3.90	8.47
2006	-5.94	-3.41	4.67	7.71	-6.07	-4.43	5.03	8.60
2007	-5.54	-3.47	3.84	7.64	-6.30	-4.57	4.07	7.83
2008	-5.64	-3.40	4.00	7.24	-6.37	-3.83	4.40	7.40
2009	-5.41	-3.74	4.71	8.37	-5.93	-4.30	5.13	8.90
2010	-7.01	-3.90	4.64	8.37	-7.27	-5.07	4.93	8.63
2011	-6.37	-4.90	3.64	6.44	-6.63	-4.97	3.80	7.07