

94 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

成果完整報告

總計畫：我國異常氣候之發生、預測、衝擊研究
與事件評估與管理

子計畫一：我國異常氣溫與極端降雨事件之
發生機率分析與預測

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 94—EPA—Z—002—001—

執行期間：九十三年元月三十一日至九十三年十二月三十一日

總計畫主持人：柳中明

計畫主持人：柳中明、陳正達

計畫參與人員：林淑華、李彥枝、吳郁娟

執行單位：國立臺灣大學全球變遷研究中心

中華民國九十四年十二月三十一日

目 錄

目錄	1
表目錄	2
圖目錄	2
第一部份：總計畫整合報告	3
摘要	4
Abstract	5
一、前言	6
二、方法	7
三、結果	8
四、討論	11
五、意見及建議	12
參考文獻	13
第二部份：我國異常氣溫與極端降雨事件之發生機率分析與預測	15
摘要	16
Abstract	18
一、前言	20
二、方法	22
三、結果	23
3.1 氣溫變化趨勢	23
3.2 氣溫持續上升預估	26
3.3 熱浪預估	27
3.4 現今與未來氣候模擬中的平均與極端日降雨量	27
四、討論	29
五、意見及建議	30
致 謝	30
參考文獻	31

表目錄

- 表 1：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的全年年平均溫與標準偏差。此處，預估者為四不同模式與 A2 情景下的平均結果。 33
- 表 2：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的全年年平均溫與標準偏差。此處，預估者為四不同模式與 B2 情景下的平均結果。 34
- 表 3：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的全年年平均溫與標準偏差。此處，預估者為四不同模式與二不同情景下的平均結果。 35
- 表 4：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的夏季日最高溫大於等於 35°C 的出現日數。此處，預估者為四不同模式與二不同情景下的平均結果。 36

圖目錄

- 圖 1：台北測站 1900-2004 年間夏季平均溫與 1990-2100 年間四個全球模式在二不同情景下之夏季平均溫預估。 37
- 圖 2：估算流程。 38
- 圖 3：1990-99、2020-29、2040-49 與 2090-99 等，每十年夏季內日最高溫大於 35°C 的平均出現日數之空間分布圖。後三期為全球模式在 A2 與 B2 情景下的平均預估。 39
- 圖 4：1990-99、2020-29、2040-49 與 2090-99 等，每十年冬季內日最低溫小於 15°C 的平均出現日數之空間分布圖。後三期為全球模式在 A2 與 B2 情景下的平均預估。 40

第一部份：總計畫整合報告

摘要

本研究群分為三個子計畫，第一子計畫整理 1900~2004 年間台灣地區各地面測站之夏季氣溫資料，以期了解長期夏季氣候暖化情，指出：台北測站為全島夏季氣溫最高的地區，該現象在 1944 年以前就已存在，但在 1976 年以後更為炙熱。觀察夏季日最高溫的 90 百分位值，1944 年前平均為 34.8 °C，1976 年以後為 35.7 °C，均較台灣南端恆春測站在這二段時期內的 33 °C 與 33.4 °C 為高。此外，使用 IPCC 所提供之全球環流模式(GCM)對未來百年的氣溫預測資料，進行統計降尺度到台灣各地面氣象測站，結果發現 A2 與 B2 情景的模擬結果為前者較高溫，後者較低。由於要掌握的是未來平均狀態的變化與不準確度的變化，所以最後建議取每十年、四模式與二情景的平均值加減標準差，提供其他領域學者參考使用。如此，在熱浪的預估方面，未來夏季出現日最高溫大於 35 °C 的情形將是非常頻繁，如台北站在 1990 年代為平均 22±12.5 日，2020 年代將為平均 32±10.9 日，2050 年代將為平均 44±13.3 日，2090 年代為平均 69±17.7 日。此外，有關降雨的研究，第一年乃主要就全球與東亞的趨勢進行探討，台灣地區並未發現顯著變化，未來仍待加強研究。

第二子計畫分析台灣三大都會區(台北縣市、高雄縣市及台中縣市)之心血管、呼吸道與腸胃道疾病死因與氣象因子之相關性。成果豐碩。整體來看，宿主本身特性(年齡、性別、地區)仍為主要危險因子，而心血管疾病死因與氣象因子間較具顯著相關性。

第三子計畫與德國 GKSS 合作，進行問卷調查分析與召開國內研討會議，主要指出：社會大眾並未將氣候變遷視為重要的社經問題，科學家與決策者的互動關係亟待改善，決策者在制定過程中的科學依據也偏低。

關鍵詞：氣候暖化、極端高溫、氣候變遷預估、氣象、疾病與死亡率、科學認知觀點、風險認知、風險評估、風險管理。

Abstract

This group project includes three separate projects. In the first project, warming trend in Taiwan is analyzed. Also, a statistical downscaling method to use the simulation data of global circulation models (GCMs) released by IPCC for period during 1990-2100 has been developed to project the variation of the mean temperature (MT) in Taiwan. The results show that the number of days with DMXT equal to and larger than 35°C in summer will increase gradually in the coming decades. The observed value has been 22±12.5 days in average during 1990's in Taipei, and will be 32±10.9, 44±13.3 and 69±17.7 days in average during 2020's, 2050's and 2090's, respectively. As for the rainfall study, results obtained in this year are not enough to clarify the change in Taiwan. Further study is still needed.

In the second project, the effect of regional weather on the mortality from cardiovascular, respiratory and gastroenteritis among metropolitans (Taipei, Taichung, Kaohsiung) in Taiwan during 1980-2003 is studied. The findings suggest the investigation on the weather associated health impact should be conducted based on the regional climate and the characteristics of disease.

In the third project, the PI has cooperated with scientist in German to assess on the risk perception and recognition by climate scientists. Using the international survey questionnaire conducted in 2003, the issues of global warming and extreme heat-wave days are addressed and discussed by Taiwan climate and earth scientists. Emphasis is given to Taiwan context and a more advanced study will be performed to allow a comparative analysis. Included is the assessment of the state of the art of the climate sciences and the importance assigned to various sources of information. Climate change and extreme events are mostly human-driven and may not be so “extreme” and eventually become “normal.” Preliminary conclusions suggest that policy responses to global warming and climate change rely on a number of sources other than the direct scientific findings. A great source of urgency to this issue is perhaps driven by the normative judgment by climate policy makers.

Key words: Climate warming, extreme high temperature, climate change assessment, weather, disease and mortality, scientific perceptions, risk perception, risk assessment, risk management.

一、前言

近年來，全球暖化趨勢明顯，異常氣象災害頻傳，全球變遷的學術研究已由探究因果的學術課題，進展到因應變遷衝擊的政策研討。國際間，更為了穩定氣候變化，而制定氣候變化綱要公約與京都議定書，以尋求國際合作抑制溫室氣體排放。同時，在全球變遷的研究課題方面，我國科學界已推展十年以上，無論是國內的群體研究計畫，或是與國外學界合作的跨國學術實驗，均已獲致相當豐碩的成果。國科會永續會則於過去十多年間，積極推動全球變遷相關研究與服務，柳等（2002、2004a,b）的本土變遷整合模式推動工作，更正式開展了我國的全球變遷研究由定性走向定量的新方向。

全球暖化的後果包括（IPCC, 2001a）：(1)海平面的上升。由於全球溫度上升，將導致兩極的冰層融化，高山的冰川消退，海水量增加，海平面上升，使得沿海地區被海水淹沒。而且，全球有超過一半人口居住在沿海 100 公里的範圍以內，其中大部份住在海港附近的城鎮區域。所以，海平面的顯著上升對沿岸低窪地區及海島會造成嚴重的經濟損害，例如：加速沿岸沙灘被海水的沖蝕、地下淡水被上升的海水推向更遠的內陸地方。(2)生態系的變遷。由於全球溫度上升，將導致原本生活於較低海拔的生物，遷移往較高海拔的生活環境，使得原先生活於高山的物種因棲地消失而絕滅。此外，也會影響高緯度習於低溫環境的生態生存，海洋內受海溫上升影響的生態系，氣候異常變化下的森林生態系等。(3)全球氣候的異常。全球暖化造海水溫度上升，將導致颱風的強度和頻率增加對人類生活的潛在影響。(4)水資源的變遷。在氣候變化下，各地降水異常，而同時全球人口持續上升，水的需求量並不會減少或受到抑制。因此，水資源的變遷將趨向水資源的調配供給更為艱困。(5)糧食穩定的困擾。一方面是人口成長下的需求成長，另一方面是氣候異常變化下，糧食生產的穩定將受到挑戰，這均將使得全球糧食的穩定供應愈趨困難。(6)公共衛生的挑戰。全球氣溫持續上升，病媒蚊的傳播肆虐，預期如瘧疾、登革熱等，受影響的全球地區將愈趨擴大。再加上極端天氣如熱浪、寒流、暴雨、乾旱等，頻繁出現，這些均將是對全球人類健康維護的極大挑戰。

2002 年於南非召開的地球高峰會議，各國政府領袖在發表的約翰尼斯堡宣言中表示：「氣候變遷造成的不利影響已經非常明顯。」。這項聲明間接地支援科學家們懷疑的全球暖化已經開始影響地球氣候系統。雖然，迄今科學家手邊握有的證據、資料並不是非常多。環保人士多年來持續表達這種看法，而一些政治領袖現在也同意這項說法。

依IPCC(2001b)的報告，全球氣溫在二十世紀內增加 0.6°C ，而在二十一世紀將增溫 $1.98^{\circ}\text{C}\sim 4.49^{\circ}\text{C}$ 間。Vellinga et al. (2000) 指出北半球陸地地區增溫為全球平均增溫的一

倍，所以二十一世紀內北半球陸地地區增溫將達 4°C to 9.5°C 間。若再加入考慮人為開發所導致的都市化、森林砍伐、農地作業等，則區域氣候的變遷將較全球平均狀態的改變更為顯著(Vaughan et al. 2001; Ichinose, 2001)。依Hsu and Chen (2002)與Liu et al. (2002)，夏季期間台灣地區的年平均溫、最高溫與最低溫等均持續在上升。陳與汪(2000)與Hsu and Chen (2002)認為夏季季風減弱、太平洋海溫上升與都市化明顯等，均為影響區域氣候暖化的重要因素。

本研究區分為三個子計畫，分別為『我國異常氣溫與極端降雨事件之發生機率分析與預測』(柳中明、陳正達)、『異常氣候和水文分布對心血管、呼吸道及腸胃道疾病發生之衝擊與時空模式分析』(宋鴻樟、莊淳宇、吳俊霖)與『異常氣候下風險調查、評估與管理』(李河清、Dennis Bray)等。

二、方法

第一子計畫的研究乃採用 IPCC 資料中心(IPCC Data Distribution Center, <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>) 所提供的全球氣候模式數據，但應用過去本地監測資料的統計相關特性，以進行二十一世紀內台灣各地逐年與各季平均氣溫、日最高溫、日最低溫的逐年預測，並探討熱浪(日最高溫大於某特定溫度的日數)的出現機率變化。自 IPCC 資料中心所取得的全球氣候模式數據，分別為 CCCma (the Canadian Center for Climate Modelling and Analysis)、HadCM3 (The Hadley Centre's Third Generation Coupled Ocean-Atmosphere GCM)、ECHAM4/OPYC3 (the Coupled Ocean-Atmosphere GCM developed by Max-Planck-Institut for Meteorology (MPI) and Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ)) and NCAR (NCAR-DOE global coupled model)，所模擬的情景為 SRES A2、B2 (IPCC, 2000)，前者對於未來溫室氣體排放量的預期較後者為多。吾人採用 Cressman 內差法(Cressman, 1959)，取各模式較靠近台灣附近的網格點數據，內差到中央氣象局的二十四個地面氣象測站，其中不包括玉山站。同時，由於其模擬啟自 1990 年，所以 1990-2004 年間的模擬數據與實際觀測數據間的差距，可作為修正未來預測的校正依據。如此，雖然台灣各測站的地理位置相近，導致各氣候模式數據內差到各測站後，彼此間可能差異不大，但經執行此校正程序後，各測站的特徵均得以維繫。此處所採用的限制條件是：模式數據在 1990~2004 年間的平均氣溫值，需與觀測值的同期平均相等。同原則，亦應用在後面將估算出的平均日最高溫與平均日最低溫。

由於 IPCC 資料中心所提供的數據僅是逐月的月平均值，所以前述的工作僅能估算出二十一世紀內各測站逐與年各季平均氣溫。本研究乃利用任一年或某季的日平均氣溫

之機率分配是符合常態分佈型態(normal distribution)的特性，以及 99、98、95、90、85、75、25、10、5 等百分位值與當季平均溫間具備相當佳的正相關性質，採用線性迴歸關係，利用逐年或各季平均氣溫而得估算出各年與各季日平均溫之百分位值，此組資料乃稱之為 A 組估算數據。然後再利用標準常態分佈 (normalized normal distribution) 的 Z 值與平均值、標準差間的定量關係，使用各估算得的百分位值，反推得各相對應的標準差。接著再使用逐年與各季平均溫與各標準差，估算在符合標準常態分佈下的各百分位值，如此應有七組估算數據。吾人在此七組中，選取其與 A 組間之誤差均方根值為最小者為最具代表性者，該組的標準差就採用為當年與各季日平均溫的代表標準差。如此，乃可進一步估算如當年與各季逐日日平均溫大於某特定溫度的機率與日數。

在第二子計畫方面，乃使用氣象監測站資料、衛生署 1980-2003 年死亡登記資料與行政院主計處：1980-2003 年台閩地區人口統計年刊等，進行統計分析，期以了解台灣三大都會區(台北縣市、高雄縣市及台中縣市)之心血管、呼吸道與腸胃道疾病死因與氣象因子之相關性。

在第三子計畫方面，主要乃調查與分析國外就氣候變遷過程中，異常氣候對各領域(包括公共衛生、空氣污染、海岸建設、水資源、農林漁牧、生態、災害損失等)之衝擊影響與調適因應研究現況，特別是探討聯合國環境總署 (UNEP) 所主導進行者。¹ 並且，調查與分析國內外就氣候變遷過程中，異常氣候對各領域(包括公共衛生、空氣污染、海岸建設、水資源、農林漁牧、生態、災害損失等)之評估模式發展狀態與資料需求，期以提出適當之模式發展與資料收集策略。同時，決定採用國際現有模式，進行異常氣候對各領域影響衝擊的初步評估分析。在此脈絡下，本研究與德國 GKSS 的 Dr. Dennis Bray 合作，以該計畫之問卷調查為藍本，針對國內氣候及地球科學學者，進行台灣氣候科學認知及觀點調查。目的是調查『氣候與地球科學家對於全球氣候變遷的科學觀點』，並對未來的全球氣候變遷研究方向做出預測。本問卷曾於 1996 年與 2003 年各調查一次，相關資料可於德國國家科學研究中心查詢 (網址為：<http://w3g.gkss.de/G/Mitarbeiter/bray.html>)，為了要維持調查的一致性，本研究並未改變問卷的結構。今年 (2005 年) 是第一次將台灣納入調查範圍，除了能增加台灣在國際上的能見度外，也能使全球氣候變遷研究納入台灣學者的觀點

三、結果

第一子計畫分就氣溫變化趨勢、氣溫持續上升預估、熱浪預估及現今與未來氣候模擬中的平均與極端日降雨量等課題進行研究分析，大致以夏季為例，在平均氣溫方面，

全島均呈現持續增溫的情形。低溫區位於山區，高溫區主要在台北、台南、高雄、大武與台中等地區，特別是沿著西岸人口稠密地區。東部沿岸則是相對的氣溫偏低。離島也均呈現氣溫持續上升趨勢，但似較本島為緩和。2090 年代相對於 2050 年代約增溫 2~3°C。而在夏季平均日最高溫方面，以台北地區為最高溫，次高溫在台中、台南與高雄等地，然後才是東岸各站。比較值得注意的是：台北氣溫相對於其他測站，其間的差距呈現愈來愈大的趨勢。如台北與恆春站間，在 1950 年代時相差 1.4°C，到 2090 年代時已相差 3.2 °C。在熱浪的預估方面，未來夏季出現日最高溫大於 35 °C 的情形將是非常頻繁，如台北站在 1990 年代為平均 22±12.5 日，2020 年代將為平均 32±10.9 日，2050 年代將為平均 44±13.3 日，2090 年代為平均 69±17.7 日。

此外在比較 ECHAM4/OPYC3 模式在現今氣候與未來氣候的 GEV 參數以及日降雨量 30 年重現值方面，發現全球平均的重現值從 58.7 mm/day 增加至 71.4 mm/day，日降雨量 30 年重現值增加 50% 以上的區域相當多，不過也還是有一些區域的日降雨量 30 年重現值反而減少，在這個模式中台灣附近重現值並沒有特別顯著的變化。

第二子計畫進行台灣都會區每月心血管死亡人數與氣象因子相關分析、每月呼吸道死亡人數與氣象因子相關分析、各地區心血管疾病別每週死亡人數與氣象因子相關分析、各地區呼吸道疾病別每週死亡人數與氣象因子相關分析、各地區腸胃道疾病死亡率逐年趨勢、各地區腸胃道疾病就醫率逐年趨勢等課題研究。結果顯示，死亡相對危險性 (relative risk, RR) 除 0-14 歲的呼吸道疾病死亡外，均隨著年齡而升高，並呈現高雄高於台中再高於台北。性別上，除了高血壓疾病死因無明顯差異外，其他四項疾病死因均為男性高於女性。在氣象因子對心血管疾病死因部分，月均溫及風速對死亡率呈現 U-shape；平均大氣壓愈高則相對危險就愈高；相對濕度對死亡率趨勢相似於大氣壓力，但僅於高血壓及腦血管疾病較為明顯，均是濕度愈高相對危險就愈高；月溫差愈大對高血壓死亡率相對危險愈高，溫差大於 9.46°C (>95%) 時 RR 為 2.7，但在缺血性心臟病上無顯著趨勢。在呼吸道死因相關性部分，肺炎及流行性感冒死亡率和平均大氣壓力、相對濕度、風速及日溫差相關明顯，變異愈大，相對危險就愈高。慢性肺部疾病則僅和平均相對濕度及日溫差顯著相關。在腸胃道死因相關性部分，不論哪一個年齡層的腸胃道疾病死亡人率，皆是台中地區最低，台北地區最高，而高雄地區次之。1980-2004 年，各地區降雨分布情形呈現台北地區月平均雨量高於台中和高雄地區的情形，經檢定後，三地區月平均降雨量達統計上顯著的差異 ($p < 0.01$) 三大都會區的感染性腸胃道疾病與胃炎疾病死亡率皆由 40 歲以上族群所貢獻。而近年來感染性腸胃道疾病死亡率已有下降的趨勢，然 65 歲以上族群仍佔主要部分。整體來看，宿主本身特性 (年齡、性別、地區) 仍為主要危險因子，而心血管疾病死因與氣象因子間較具顯著相關性。

第三子計畫使用德國 GKSS 的問卷，共包含 107 個問題，1 至 6 題是個人質性之資料，題目 6（人類當前最重要的議題）為開放式問答，由受訪者自由表述意見。7 至 107 題可略分為 14 類，分別為：

1. 受訪者的一般性觀點
2. 受訪者對於大氣氣候模式構成要素的認知
3. 氣候模式中構成要素的過程
4. 知識現況與合理評估
5. 預測程度
6. 氣候變遷的影響
7. 氣候變遷的一般觀點
8. 氣候科學與媒體互動
9. 氣候科學與政策互動
10. 氣候科學管理
11. 氣候變遷的調適
12. 氣候變遷調適與社經關係
13. 媒體角色
14. 新聞報導數量
15. 本調查是否有助於氣候科學研究

而根據本年度的調查結果分析如下：

1. 全球暖化正在進行的科學認知偏高且多數認為是人為的因素。
2. 科學知識的現況對於是否可以進行合理評估及預測的意見分歧。
3. 氣候預測方面一年內的氣候變化及一百年的氣候變化意見較為分散，時間尺度上以十年為單位的氣候變化預測較為合理。
4. 對於氣候知識社群（IPCC）的共同意見大致偏向正面，認為 IPCC 推動了氣候科學的進步，能夠適當反映科學社群的共同意見，並認為其科學評估報告具有價值。IPCC 可以說是科學知識、科研結果、以及社群網絡的具體實例。
5. 在氣候科學與政策互動方面，社會大眾並未將氣候變遷視為重要的社經問題，科學家與決策者的互動關係亟待改善，決策者在制定過程中的科學依據也偏低。
6. 科學管理部分，科學家將氣候議題從科學議題變成社會議題的角色越來越吃重，氣候科學的價值尚稱中立，但是，要求科學結果做為政策合理化依據的壓力越來越大。

7. 在科學新知上，近五年的新知識對於氣候變遷議題的影響雖然不是非常顯著，但對於人類的影響卻非常大，儘管如此，但對於減低氣候科學不確定性並無顯著助益。
8. 未來研究方向與經費應放在偵測氣候變遷而非氣候調適研究。
9. 科學家一致認為媒體塑造大眾觀點的能力不高，角色並不重要，所提供的適當資訊也不足。
10. 其他較為一致的科學觀點為氣候變遷對於社會所產生的影響太少；自相矛盾的科學結論太少，氣候變遷最壞的情境案例太少，透過能源效率的提昇所獲致的效益太少，實現京都議定書的經費太少。

四、討論

國際間有關未來百年氣候變化的模擬預測，相當的多 (IPCC, 2001)，國內也有類似研究 (Hsu and Chen, 2002)。不過，一般所提供的預測資訊，多止於某段時期的平均氣溫變化，而對於極端高溫或低溫的預測，多僅止於定性的評估。本研究主要企圖提供定量的估算，且要提供細膩的時空變化解析，其困難度當然是相當的高。過程中，吾人必須倚賴各測站過去的統計特性，再與全球氣候的模擬結果相結合，而得出如未來逐年夏季最大日最高溫、平均日最高溫、各百分位值與日最高溫大於某特定溫度的日數等定量預估數據。所得的結果當然無法確認是正確的，但由於搭配著四個模式在二不同情景的預估資訊，所以是以「平均值加減偏準差」的形式 (如表 1) 提供下游其他領域的研究學者參考，相當程度地將預估的不確定性以定量方式呈現。

此外，第一子計畫的研究是以各測站過去的統計特徵作為基礎，而將全球氣候模式的未來預測資訊加以擴張。其假設基礎是：各站的環境條件演變與其對氣溫的影響，將會延續過去的特徵。譬如台北市的夏季平均日最高溫是全島最高者，其可能是因為位於夏季盛行南風的背風區，也可能是都市熱島貢獻。目前所得到的未來預估結果顯示台北市高溫將更為顯著，則似假設南風將持續盛行且都市熱島將更為嚴重。這些可能是不正確的。因為：綜觀尺度氣流可能改變，而都市人口可能在其它地區增多，或是都市廢熱可能因為建築減少、車輛減少等而減少。同時，可能其它地區的發展將改變而致高溫將增強，台北市高溫狀況卻可能不如預期。這些可能的環境變化情景，是目前的研究未考慮到的，也是未來需要其他領域學者協助以加以改善者。

而在心血管、呼吸道與腸胃道疾病死因與氣象因子之相關性分析方面，整體來看，宿主本身特性 (年齡、性別、地區) 仍為主要危險因子，而心血管疾病死因與氣象因子間較具顯著相關性。

在氣候科學與政策互動方面，社會大眾並未將氣候變遷視為重要的社經問題，科學家與決策者的互動關係亟待改善，決策者在制定過程中的科學依據也偏低。在科學管理部分，科學家將「氣候」從科學議題變成社會議題的角色越來越吃重，氣候科學的價值尚稱中立，然而值得注意的是，各界要求科學結果做為政策合理化依據的壓力越來越大。另外在科學新知上，近五年的新知識對於氣候變遷議題的影響雖不顯著，但對於人類日後的影響卻非常大。儘管如此，科學新知對於減低氣候科學的不確定性並無顯著助益。至於未來研究方向與經費，應放在偵測氣候變遷而非氣候調適研究。科學家亦一致認為媒體塑造大眾觀點的能力不高，角色並不重要，所提供的適當資訊也不足。其他較為一致的科學觀點為：氣候變遷對於社會所產生的影響太少；自相矛盾的科學結論太少，氣候變遷最壞的情境案例太少，透過能源效率的提昇所獲致的效益太少，實現京都議定書的經費太少等。

五、意見及建議

本計畫群研究清楚顯示未來氣候暖化趨勢下，全島熱浪發生日數將持續增多的情形。表 1 則詳列各測站每十年的熱浪發生平均日數與標準差的預估。這些數據是經過嚴謹的統計分析流程獲得，雖不能全然相信其為必將發生的狀況，卻是可以據以進行如公共衛生、空氣污染、生態等衝擊評估的探討。建議將目前所得提供其他領域的學者參考使用，以評估極端高溫趨勢下的各領域影響。有關降雨方面的研究，第一年成果仍待加強。

此外，目前進行的科學認知觀點調查可視為風險評估的「先趨」研究。其初步結果將匯入風險認知、風險評估、風險管理的研究脈絡下。本研究群的成果——氣候變遷的科學觀點，在 2005 年 10 月 28 日「氣候變遷的多元觀點」研討會上，與國內相關學者所提出的經濟觀點、社會觀點相互交融。希望能繼續完成科學認知觀點的跨國比較研究。而從公共政策的角度來觀察，風險管理矩陣分析架構內雖有舒緩、準備、反應及回復四個政策發展階段。在實際運作上，當氣候異常風險事件發生時，風險管理的模式通常是直接跳入政策反應階段，對後續研究造成結構性的困難。針對多目標導向的風險管理研究，希望加入新的研究領域以擴大研究團隊，特別是認知心理學域的納入，必將對日後的研究有所助益。

參考文獻

- 李河清，2004：知識社群與全球氣候談判，問題與研究，國立政治大學國際關係研究中心，第43卷第6期，73-102。
- 柳中明，王作台，李德貴，宋鴻樟，林美聆，林曜松，林能暉，夏復國，孫志鴻，許銘熙，許晃雄，黃宗煌，隋中興，張長義，楊盛行，廖述良，歐善惠，劉紹臣，陳于高，2002：「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式發展」與「長期基礎資料調查、監測與收集整合機制」推動規劃。國科會。NSC 91-2621-Z-002-001。台灣大學全球變遷研究中心。
- 柳中明、孫志鴻、許晃雄、柯文雄、許武榮、吳明進、曾仁佑、林沛練、王國英、陳正達、林淑華、莊竣傑，2004a：「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式」之初期推動計畫。國科會。NSC92-2621-Z-002-035。
- 柳中明、許晃雄、柯文雄、許武榮、吳明進、曾仁佑、林沛練、王國英，2004b：全球變遷研究服務與本地變遷模擬推動(1/2)。國科會。NSC 93-2621-Z-002-033-。
- Alberdi, J. C., Diaz, J., Montero, J. C. and Miron, I., 1998, "Daily mortality in Madrid community 1986-1992: relationship with meteorological variables", *Eur J Epidemiol*, 14, 571-8.
- Bray, Dennis and Carsten Kruck, 2001: Some Patterns of Interaction Between Science and Policy: Germany and Climate Change. *Climate Research*, 19, 69-90.
- Bouchama, A, 2004: The 2003 European heat wave. *Intensive Care Med.*, 30, 1-3.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 87, 367-374.
- Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, M.G. Klein Tank and T. Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.
- Hsu, H.-H., and C.-T. Chen, 2002: Observed and projected climate change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 79, 87-104.
- Ichinose, T., 2001: Regional Warming Related with Land Use Change during Past 135 Years in Japan. *Present and Future Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling*, Eds., T. Matsuno and H. Kida, pp. 433-440
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000: *Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. N. Nakicenovic and R. Swart (Eds.). Cambridge University Press, UK. pp 570.
- IPCC, 2001b: Climate Change 2001: *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge.

1032pp.

IPCC, 2001b: Climate Change 2001: *The Scientific Basis*. Cambridge. 881pp.

Jones, P.D. and Moberg, A., 2003: Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, **16**, 206-223.

Liu, S. C., C. H. Wang, C. J. Shiu, H. W. Chang, C. K. Hsiao and S. H. Liaw, 2002: Reduction in Sunshine Duration over Taiwan: Causes and Implications. *J. Terrestrial Atmos. and Oceanic Sci. (TAO)*, **13**, 523-545.

Semenza, J. C., C. H. Rubin, K. H. Falter, J. D. Selanikio, W. D. Flanders, H. L. Howe, and J. L. Wilhelm, 1996: Heat-Related Deaths during the July 1995 Heat Wave in Chicago. *N. Engl. J. Med.* , **335**, 84-90.

Stedman, J. R., 2003: The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. *Atmospheric Environment*, **38**, 1087-1090.

Vellinga, P. and W. J. Verseveld, 2000: *Climate Change and Extreme Weather Events*. WWF- World Wide Fund for Nature, Gland. Switzerland, pp.

Vaughan, D.G., G. J. Marshall, W. M. Connolley, J. C. King and R. Mulvaney, 2001: Devil in the Detail. *Science*, **293**, 1777-1778.

WHO, 2003: The Health Impacts of 2003 Summer Heat-waves. *The fifty-third session of the WHO Regional Committee for Europe*, Vienna, Austria, 8–11 September 2003.

第二部份：我國異常氣溫與極端降雨事件之
發生機率分析與預測

摘要

本研究整理 1900~2004 年間台灣地區各地面測站之夏季氣溫資料，以期了解長期夏季氣候暖化情形。大致上，全球氣溫在過去百年(1900~2004 年間)以 $0.064^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 的速率增溫，但可區分出 1900~1944 與 1976~2004 間為增溫期，而 1945~1975 年間為降溫期。台灣地區僅台北、台中、台南、恆春、花蓮與台東等測站具百年的氣候監測資料，分析顯示：過去百年間這六站的平均增溫率為 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ ，1900~1944 與 1976~2004 間之增溫率則各為 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 與 $0.30^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 。此外，中央氣象局所設多數測站，均啟用於 1950 年後，分析顯示：僅考慮台灣平地測站，未加入離島資料，則全台平均增溫率在 1950~2004 年間為 $0.15^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ ；山區與離島測站也均具暖化現象，但增溫率較緩和。此外，夏季平均日最高溫在 1950~2004 年間平均也以 $0.13^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 的速率增溫，略低於夏季日最低溫的 $0.17^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 增溫率，當然又以 1976~2004 年間的增溫率最高。再者，台北測站為全島夏季氣溫最高的地區，該現象在 1944 年以前就已存在，但在 1976 年以後更為炙熱。觀察夏季日最高溫的 90 百分位值，1944 年前平均為 34.8°C ，1976 年以後為 35.7°C ，均較台灣南端恆春測站在這二段時期內的 33°C 與 33.4°C 為高。

本研究使用 IPCC 所提供之全球環流模式(GCM)對未來百年的氣溫預測資料，進行統計降尺度到台灣各地面氣象測站，以期提出未來台灣各地全年與各季氣溫變化的預估。原則上，平均氣溫的變化可利用大尺度模式資料經空間內差與基準年數據調整而獲得之。但是，吾人所關心的是極端高溫的出現機率，也即需要知道在各年與各季內日最高氣溫的變化。在假設氣溫資料具常態分配特徵，以及利用過去五十年間年與季平均氣溫與日最高溫的平均值與其各百分位值間具有統計意義的相關特性，再經最佳化處理，吾人乃可預估得逐年與各季日最高氣溫的平均值與變異數變化。但是，每年各季的最低與最高之日最高氣溫在機率分配函數的左右端的出現位置，乃屬無規律性的隨機變化。本研究採隨機函數預測該二數值，如此就可預估每年年平均溫、各季平均溫、最高溫、最低溫、日最高氣溫高於某特定高溫(如 35°C)的出現日數，也即熱浪的出現機率變化等。

本研究使用四不同 GCM 模式與二不同情景的模擬結果，結果發現 A2 與 B2 情景的模擬結果為前者較高溫，後者較低。由於要掌握的是未來平均狀態的變化與不準確度的變化，所以本文最後建議取每十年、四模式與二情景的平均值加減標準差，提供其他領域學者參考使用。如此，在熱浪的預估方面，未來夏季出現日最高溫大於 35°C 的情形將是非常頻繁，如台北站在 1990 年代為平均 22 ± 12.5 日，2020 年代將為平均 32 ± 10.9 日，2050 年代將為平均 44 ± 13.3 日，2090 年代為平均 69 ± 17.7 日。

此外，有關降雨的研究，第一年乃主要就全球與東亞的趨勢進行探討，台灣地區並未發現顯著變化，未來仍待加強研究。

關鍵詞：氣候暖化、夏季氣溫、極端高溫、台灣地區、氣候變遷預估。

Abstract

During 1900-2004, the global surface temperature has been increasing by 0.064°C per decade. Two warming periods, 1900-1944 and 1976-2004, are identified, while a cooling period of 1945-1975 sits in between. In Taiwan, only six climate monitoring stations have hundred-years records. Analyses show that their mean warming trend is 0.014°C per decade during 1900-2004, and 0.14°C per decade and 0.30°C per decade during 1900~1944 and 1976~2004, respectively. Warming during the later period has been much stronger. Furthermore, by including data collected at other monitoring stations set after 1950, the island-wise mean warming trend is 0.15°C per decade during 1950-2004. Data collected at mountain and off-island stations are not included in this calculation, though they show in general a moderate warming trend. Besides, the mean summer daily maximum temperature (DMXT) has a warming trend of 0.13°C per decade, which is slightly weaker than the warming trend of 0.17°C per decade of the mean summer daily minimum temperature (DMNT). Warming during 1976-2004 has been very impressive. Among all stations, Taipei has been experiencing the highest summer temperature. Such phenomenon exists actually before 1944, when local pollution and development was minor in comparison with those at now. At Taipei, the mean 90th percentile of the summer DMXT during 1900-1944 and 1976-2004 is 34.8°C and 35.7°C , respectively, which is much higher than the observed 33°C and 33.4°C , respectively, at Hengchun near the southern tip of Taiwan.

In this paper, we have developed a statistical downscaling method to use the simulation data of global circulation models (GCMs) released by IPCC for period during 1990-2100, to project the variation of the mean temperature (MT) in Taiwan. In general, it is quite straightforward to obtain MT from GCM data through a spatial interpolation and the base-period adjustment. However, we are concerned mainly on the projection of extreme high temperature, e.g. days with DMXT larger than a specific high temperature. To do so, we need to project not only the mean DMXT but also the associated standard deviation and the likely maximum and minimum DMXT. A methodology has been developed to estimate the optimized standard deviation in each summer by using the regression relationships between MT and DMXT, and between MT and each associated percentiles of DMXT at different stations, and the idealized normal distribution pattern of the occurring frequency of the DMXT. Meanwhile, it is noted that the occurrence of the maximum or minimum DMXT in each year or season has been in a random mode. With such concept in mind, the projected

maximum and minimum DMXT are assigned randomly. Eventually, we have assessed the variation of the number of days with DMXT equal to and larger than 35°C at each station in summer so as to quantify the occurring frequency of future heat wave.

The results show that the number of days with DMXT equal to and larger than 35°C in summer will increase gradually in the coming decades. The observed value has been 22±12.5 days in average during 1990's in Taipei, and will be 32±10.9, 44±13.3 and 69±17.7days in average during 2020's, 2050's and 2090's, respectively.

As for the rainfall study, results obtained in this year are not enough to clarify the change in Taiwan. Further study is still needed.

Key words: Climate warming, summer temperature, extreme high temperature, Taiwan, climate change assessment.

一、前言

近年來，全球暖化趨勢明顯，異常氣象災害頻傳，全球變遷的學術研究已由探究因果的學術課題，進展到因應變遷衝擊的政策研討。國際間，更為了穩定氣候變化，而制定氣候變化綱要公約與京都議定書，以尋求國際合作抑制溫室氣體排放。同時，在全球變遷的研究課題方面，我國科學界已推展十年以上，無論是國內的群體研究計畫，或是與國外學界合作的跨國學術實驗，均已獲致相當豐碩的成果。國科會永續會則於過去十多年間，積極推動全球變遷相關研究與服務，柳等（2002、2004a,b）的本土變遷整合模式推動工作，更正式開展了我國的全球變遷研究由定性走向定量的新方向。

全球暖化的後果包括（IPCC, 2001a）：(1)海平面的上升。由於全球溫度上升，將導致兩極的冰層融化，高山的冰川消退，海水量增加，海平面上升，使得沿海地區被海水淹沒。而且，全球有超過一半人口居住在沿海 100 公里的範圍以內，其中大部份住在海港附近的城市區域。所以，海平面的顯著上升對沿岸低窪地區及海島會造成嚴重的經濟損害，例如：加速沿岸沙灘被海水的沖蝕、地下淡水被上升的海水推向更遠的內陸地方。(2)生態系的變遷。由於全球溫度上升，將導致原本生活於較低海拔的生物，遷移往較高海拔的生活環境，使得原先生活於高山的物種因棲地消失而絕滅。此外，也會影響高緯度習於低溫環境的生態生存，海洋內受海溫上升影響的生態系，氣候異常變化下的森林生態系等。(3)全球氣候的異常。全球暖化造海水溫度上升，將導致颱風的強度和頻率增加對人類生活的潛在影響。(4)水資源的變遷。在氣候變化下，各地降水異常，而同時全球人口持續上升，水的需求量並不會減少或受到抑制。因此，水資源的變遷將趨向水資源的調配供給更為艱困。(5)糧食穩定的困擾。一方面是人口成長下的需求成長，另一方面是氣候異常變化下，糧食生產的穩定將受到挑戰，這均將使得全球糧食的穩定供應愈趨困難。(6)公共衛生的挑戰。全球氣溫持續上升，病媒蚊的傳播肆虐，預期如瘧疾、登革熱等，受影響的全球地區將愈趨擴大。再加上極端天氣如熱浪、寒流、暴雨、乾旱等，頻繁出現，這些均將是對全球人類健康維護的極大挑戰。

2002 年於南非召開的地球高峰會議，各國政府領袖在發表的約翰尼斯堡宣言中表示：「氣候變遷造成的不利影響已經非常明顯。」。這項聲明間接地支援科學家們懷疑的全球暖化已經開始影響地球氣候系統。雖然，迄今科學家手邊握有的證據、資料並不是非常多。環保人士多年來持續表達這種看法，而一些政治領袖現在也同意這項說法。

根據瑞士再保險公司（Swiss Re Portal）的報告（Natural and Man-made Catastrophes 2003），2003 年是歐洲許多國家有紀錄以來最熱的夏天，而在 2002 年 7 月和 8 月期間，

歐洲的部份地區尚出現嚴重的暴雨與洪水。該公司認為極端天氣事件的發生頻次持續上升，同時愈來愈多的地區的人口密度持續上升，再加上被保險財物的價值提昇，和易致災區的增多，乃使得被保險的浩劫損失 (Catastrophe loss) 也持續上升。2003 年全球約 6 萬人因自然和人為浩劫而死亡，整體經濟損失估計約美金 700 億，其中自然浩劫造成約美金 580 億的損失，而約有美金 185 億需由保險公司負責賠償。自然浩劫約自 1987 以來，每年導致了億萬的保險損失。而若按分類觀察，其中暴風雨 (storm) 貢獻 45%，洪水 10%，乾旱與火災 13% 等，係以氣象災害損失較大。

顯然，相較於關心全球平均氣溫的上升，人們更關心異常或極端氣象事件的衝擊影響。

極端熱浪對人類的健康影響極大，如 1995 年芝加哥熱浪使得 739 人死亡 (Semenza, et al., 1996)，2003 年歐洲熱浪使得近二萬人死亡與糧產損失 (Bouchama, 2004；WMO, 2003)。依 Frich et al. (2002) 分析，過去五十年來全球的極端氣象事件數呈現持續增加。而在台灣，我們也是感受到極端熱日 (extreme hot days)、乾旱時期 (drought period)、豪大雨日事件 (heavy rain events) 等持續增加。全球氣候暖化是多數學者所共同認為造成全球極端氣象事件持續增加的主因 (IPCC, 2001)。

依 IPCC (2001b) 的報告，全球氣溫在二十世紀內增加 0.6°C ，而在二十一世紀將增溫 $1.98^{\circ}\text{C} \sim 4.49^{\circ}\text{C}$ 間。Vellinga et al. (2000) 指出北半球陸地地區增溫為全球平均增溫的一倍，所以二十一世紀內北半球陸地地區增溫將達 4°C to 9.5°C 間。若再加入考慮人為開發所導致的都市化、森林砍伐、農地作業等，則區域氣候的變遷將較全球平均狀態的改變更為顯著 (Vaughan et al. 2001; Ichinose, 2001)。依 Hsu and Chen (2002) 與 Liu et al. (2002)，夏季期間台灣地區的年平均溫、最高溫與最低溫等均持續在上升。陳與汪 (2000) 與 Hsu and Chen (2002) 認為夏季季風減弱、太平洋海溫上升與都市化明顯等，均為影響區域氣候暖化的重要因素。

本研究以極端氣溫與降雨事件研究為重點，但受限於一年計畫，並無法完整進行。所以本年度的研究重點放在「夏季極端高溫的機率分析與預測」，以及「氣候變遷下，極端降雨事件的空間與時間分佈特徵」。

有關台灣本地氣溫長期上升的現象，吳 (1992)、陳與汪 (2000)、Hsu and Chen (2002)、Liu et al. (2002)、賴 (2004)、賴與姜 (2004) 等均曾分析探討過，重點多放在年平均氣溫的上升趨勢探討。其中，僅 Hsu and Chen (2002) 分析過日最高溫大於 28°C

在台北、台中、台南、恆春、花蓮與台東等測站的日數變化，結果顯示：於 1897~1999 年間，高溫日數均呈現持續增加現象。而在未來的趨勢探討方面，也僅 Hsu and Chen (2002)採用全球氣候模式數據，提出本地持續暖化的確認，但並未就定量估算提出建議，也即就未來熱浪的出現機率提出預測。

本研究採用 IPCC 資料中心(IPCC Data Distribution Center, <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>) 所提供的全球氣候模式數據，但應用過去本地監測資料的統計相關特性，以進行二十一世紀內台灣各地夏季平均氣溫、日最高溫、日最低溫的逐年預測，並探討熱浪(日最高溫大於某特定溫度的日數)的出現機率變化。基本上，全球氣候模式主要提供較大範圍區域內的平均氣溫，其可經區域氣候模式降尺度到約(15km x 15 km)的範圍，甚至可達(5km x 5 km)或(3km x 3km)等，但是這些均仍是以某區域在某段時間內的平均氣溫為主要預報項目，而非是提供特定測站之日最高氣溫或日最低氣溫數據。平均溫與最高或最低溫間，原則上應可藉助於特定測站之過去監測數據的統計特徵，建立起一定的關聯性，而最高氣溫數據的提供，則有助於如電力需求、公共衛生等方面的評估應用。當然，未來仍需進一步提出各地降雨的統計分佈型態預測，如此則將有助於水資源的管理規劃。

二、方法

本研究自 IPCC 資料中心所取得的全球氣候模式數據，分別為 CCCma (the Canadian Center for Climate Modelling and Analysis)、HadCM3 (The Hadley Centre's Third Generation Coupled Ocean-Atmosphere GCM)、ECHAM4/OPYC3 (the Coupled Ocean-Atmosphere GCM developed by Max-Planck-Institut for Meteorology (MPI) and Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ)) and NCAR (NCAR-DOE global coupled model)，所模擬的情景為 SRES A2、B2 (IPCC, 2000)，前者對於未來溫室氣體排放量的預期較後者為多。吾人採用 Cressman 內差法(Cressman, 1959)，取各模式較靠近台灣附近的網格點數據，內差到中央氣象局的二十四個地面氣象測站，其中不包括玉山站。同時，由於其模擬啟自 1990 年，所以 1990-2004 年間的模擬數據與實際觀測數據間的差距，可作為修正未來預測的校正依據。如此，雖然台灣各測站的地理位置相近，導致各氣候模式數據內差到各測站後，彼此間可能差異不大，但經執行此校正程序後，各測站的特徵均得以維繫。此處所採用的限制條件是：模式數據在 1990~2004 年間的平均氣溫值，需與觀測值的同期平均相等(圖 1)。同原則，亦應用在後面將估算出的平均日最高溫與平均日最低溫。

由於 IPCC 資料中心所提供的數據僅是 6、7、8 月的月平均值，所以前述的工作僅能估算出二十一世紀內各測站逐年夏季平均氣溫。本研究乃利用任一年夏季 92 日的日平均氣溫之機率分配是符合常態分佈型態(normal distribution)的特性，以及 99、98、95、90、85、75、25、10、5 等百分位值與當季平均溫間具備相當佳的正相關性質，採用線性迴歸關係，利用夏季平均氣溫而得估算出各夏季日平均溫之百分位值，此組資料乃稱之為 A 組估算數據。然後再利用標準常態分佈 (normalized normal distribution) 的 Z 值與平均值、標準差間的定量關係，使用各估算得的百分位值，反推得各相對應的標準差。接著再使用夏季平均溫與各標準差，估算在符合標準常態分佈下的各百分位值，如此應有七組估算數據。吾人在此七組中，選取其與 A 組間之誤差均方根值為最小者為最具代表性者，該組的標準差就採用為當年夏季日平均溫的代表標準差。如此，乃可進一步估算如當年夏季逐日日平均溫大於某特定溫度的機率與日數。值得注意的是：上述四個模式與二不同情景的數據，經內差到各不同測站後，竟多是取 75 百分位值所估算得的標準差，作為代表性標準差。(圖 2)

相似的方法亦可同時運用在夏季日最高溫與日最低溫的統計特徵估算上，但是必須先利用各站逐年夏季平均溫與平均日最高溫及平均日最低溫的迴歸關係，以估算逐年夏季平均日最高溫及平均日最低溫，並採前述 1990~2004 間平均值固定的校正方式，與前述百分位值估算標準差的程序，而得估算出每一年的夏季日最高溫及日最低溫的年平均溫與標準差。但是，每年夏季的最低與最高之日最高氣溫在機率分配函數的左右端的出現位置，乃屬無規律性的隨機變化。本研究乃採隨機函數預測該二機率，再據以估算相對應的最高溫與最低溫。如此，乃可進一步估算逐年夏季逐日日最高溫大於某特定溫度的機率與日數，此即為熱浪的估算。

在前述的估算過程中，最重要的是要獲得各測站夏季平均溫與平均日最高溫、平均日最低溫、各百分位值等間之迴歸關係式，而經統計檢定後，發現九成以上的關係式均達到 95% 顯著性，少數未達到者可以被忽略不使用，亦不會影響上述整個估算流程。此外，各測站的設站啟始年並不相同，但大多數是設置在 1950 年後，所以本研究的迴歸分析，主要使用 1950~2004 年間的資料。

三、結果

3.1 氣溫變化趨勢

全球氣溫在過去百年(1900~2004 年間)以 $0.064^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 的速率增溫

(<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/> , Jones and Moberg, 2003) , 且可區分出 1900~1944 與 1976~2004 間為增溫期 , 而 1945~1975 年間為降溫期。台灣地區僅台北、台中、台南、恆春、花蓮與台東等測站具百年的氣候監測資料 , 分析顯示 : 過去百年間這六站的平均增溫率為 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$, 1900~1944 與 1976~2004 間之增溫率則各為 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 與 $0.30^{\circ}\text{C}/\text{十年}$, 近期的暖化速率較全球的 $0.20^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 為更顯著 ; 而 1945~1975 年間為 $0.04^{\circ}\text{C}/\text{十年}$, 雖仍為增溫 , 但未達 95% 可信度。此外 , 中央氣象局所設多數測站 , 均啟用於 1950 年後 , 分析顯示 : 僅考慮台灣平地測站 , 未加入離島資料 , 則全台平均增溫率在 1950~2004 年間為 $0.15^{\circ}\text{C}/\text{十年}$, 當然 1976~2004 年間為最顯著 , 約為 $0.24^{\circ}\text{C}/\text{十年}$; 而若加入山區測站資料 , 則全台平均增溫率在 1950~2004 年間為 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$, 1976~2004 年間為 $0.19^{\circ}\text{C}/\text{十年}$; 山區測站仍具暖化現象 , 但增溫率較緩和。

在有關台灣長期平均氣溫與增溫率($^{\circ}\text{C}/\text{decade}$)的空間分佈上 , 吾人注意到平均氣溫是南高北低與東高西低 , 明顯因為緯度與地形差異而異。雖然中部山區呈現降溫趨勢 , 但平地測站的增溫率多在 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ 以上 , 顯然較全球的 $0.06^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ 為高 , 而且台北盆地並非是增溫最快速者 , 顯示增溫現象是較大範圍的現象 , 並非全然受都市化發展影響。同時 , 若將資料區分為 1900~2004、1900~1945、1946~1975 與 1976~2004 等區間 , 尚可注意到除平均溫在上升外 , 75 與 25 百分位值間的差距也持續在上升 , 顯示氣溫變異的狀況非常顯著。

此外 , 除恆春外 , 平均日最高溫增溫率較緩和 (六站平均為 $0.07^{\circ}\text{C}/\text{十年}$) , 而平均日最低溫增溫率較速 (六站平均為 $0.19^{\circ}\text{C}/\text{十年}$) , 所以日溫差持續縮減。這些現象均大致與全球氣溫變化同步。恆春站顯示的是 : 平均溫、平均日最高溫與平均日最低溫的增溫率相近。而在 1976~2004 年間 , 各地增溫快速 , 六站平均日最高溫增溫率達到 $0.25^{\circ}\text{C}/\text{十年}$, 六站平均日最低溫增溫率則達到 $0.38^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 。

就季節變化觀察 , 冬季為增溫較緩和的季節 , 春、夏季則增溫較速。

本研究主要關心逐年與各季平均氣溫與極端氣溫發生的變化趨勢 , 其中特別是夏季熱浪的發生趨勢。經整理台北、台中、台南、恆春、花蓮與台東等測站的夏季平均溫、平均日最高溫、日最高溫的 90 百分位值與平均日最低溫等 , 在 1900~2004、1900~1944、1945~1975 與 1976~2004 等期間內之平均值與變化趨勢。夏季平均溫在 1900~2004 年間的增溫率為 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$, 且主要增溫是在 1976~2004 年間。平均日最高溫的增溫率略低 , 在 1945~1975 年為下降 , 但在 1976~2004 年間呈現 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 的上升速率。類似情形亦出現在日最高溫的 90 百分位值。不過 , 日最低溫的增溫率則顯著偏高 , 在

1900~2004 年間為 $0.20^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ ，且在所分隔的三段時間內，均呈現明確上升趨勢，當然又以 1976~2004 年間的 $0.22^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 為較高。

同時，台北在夏季的平均溫為六個測站中最高，該現象出現在 1900~1944 年間，但以 1976~2004 年間為最顯著。該現象與全年平均氣溫出現在最南端的恆春不同，顯然是因為夏季盛行南風，而台北盆地恰位於背風面，所以該地區高溫盛行；而自 1970 年代以來，人口集中、都市化顯著，都市熱島現象確實可能使該地區氣溫更為提高。進一步觀察夏季平均日最高溫與日最高溫的 90 百分位值，就更可了解到：夏季時，台北盆地確實為台灣地區最炎熱的地區。如日最高溫的 90 百分位值，台北在 1900~1944 年間平均為 34.8°C ，而恆春為 33°C ；在 1976~2004 年則台北為 35.7°C ，恆春為 33.4°C ，二測站間的高溫差距是愈來愈顯著。不過，若是觀察夏季日最低溫的空間分佈，則並無上述特徵。

觀察所有測站在 1950~2004 年夏季的氣溫變化，顯示夏季平均溫、平均日最高溫、日最高溫的 90 百分位值與平均日最低溫等均呈現增溫現象；平地測站的平均趨勢亦大致相似，但以平均日最低溫的增溫趨勢 $0.17^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ 為最高。當然仍有部份測站出現微弱的降溫現象，其中又以大武站較為特殊。該站的夏季日最高溫之 90 百分位值，在 1950~2004 年間的平均值為 35°C ，主要應與該地區易於出現焚風現象有關。台北站則維持全島最高溫的特徵，與持續增溫的趨勢。該站在 1950~2004 年間的夏季平均日最低溫的增溫趨勢為 $0.39^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ ，為全島增溫最顯著者；日最高溫之 90 百分位值，平均達到 35.6°C ，相當的高。

在探討熱浪出現日數方面，原則上應以所有平地測站之平均日最高溫的 90 百分位值 33.9°C ，或近似取 34°C ，作為計算日最高溫大於該溫度之日數的估算標準。但是，在預期氣溫持續增加下，該值應會持續上升；且在所有 25 個測站中，僅有 8 個測站的平均日最高溫 90 百分位值大於 34°C ，所以若取稍高的數值，亦不會對整體評估有太大影響；再者近年來國內多以氣溫是否達 35°C ，作為熱浪是否出現的參考指標。所以，本研究在後續有關熱浪惡化趨勢的判定上，是取日最高溫大於等於 35°C 的日數，作為參考標準。

分析長期夏季平均氣溫、平均 95 百分位值與最高氣溫大於等於 35°C 的平均日數等之空間分佈，顯然平均溫度場所顯示的南高北低與東高西低的現象出現改變，似乎是夏季高溫具北高南低與西高東低的特徵。這應該是與夏季盛行西南季風與來自太平洋的東風，有利於南部與東部地區散熱，但不利於北部與西部低區降溫。另分析 1900~1945、1946~1975 與 1976~2004 年間，夏季最高氣溫大於等於 35°C 的平均日數之空間分佈狀況。可注意到北高南低的現象在 1945 年以前就已出現，所以應是長期

以來的自然氣候特徵。至於都市熱島效應或許對 1976 ~ 2004 年間台北地區每年夏季平均出現日氣溫大於等於 35°C 達 23.7 日的情形，具相當影響力，但絕非主要原因。

3.2 氣溫持續上升預估

表 1~3 列出各站 1950 年代~2090 年代間，各測站觀測與模式預估的年平均溫變化。原則上，A2 情景較 B2 情景為較高溫，由於要掌握的是未來平均狀態的變化與不準確度的變化，所以本文最後建議取每十年、四模式與二情景的平均值加減標準差，提供其他領域學者參考使用。此處特選台北站夏季的資料，來說明模式預估未來百年台灣地區夏季氣溫持續上升的情形。大致上，1990~2004 年間台北站的夏季平均氣溫為 28.9°C，而八個模擬結果約介於 28.8±0.57 °C 間。2020 年代則約為 29.4±0.67 °C，2050 年代為 30.2±0.65 °C，2070 年代為 30.9±0.72 °C，2090 年代為 31.4±0.80 °C。氣溫呈現緩慢上升。相對於 1990 年代，2050 年代將增溫 1.45±0.98 °C，而 2090 年代將增溫 2.76±0.95 °C。

依據夏季平均溫的預測，可獲得台北站夏季平均日最高溫與平均日最低溫的未來預測。大致上，1990~2004 年間的夏季平均日最高溫為 33.6°C，而八個模擬結果約介於 33.5±0.5 °C 間。2020 年代則約為 34.4±0.59 °C，2050 年代為 35.2±0.6 °C，2070 年代為 35.7±0.67 °C，2090 年代為 36.4±0.75 °C。平均日最高溫呈現緩慢上升。相對於 1990 年代，2050 年代將增溫 1.71±0.89 °C，而 2090 年代將增溫 2.89±0.91 °C。

此外，1990~2004 年間台北站的夏季平均日最低溫為 25.7°C，而八個模擬結果約介於 25.7±0.54°C 間。2020 年代則約為 26.7±0.57 °C，2050 年代為 27.6±0.66 °C，2070 年代為 28.2±0.78 °C，2090 年代為 28.8±0.87 °C。平均日最低溫呈現較平均日最高溫或是平均氣溫為快速的上升趨勢。相對於 1990 年代，2050 年代將增溫 1.99±0.95 °C，而 2090 年代將增溫 3.37±1.01 °C。

再進一步，可分別獲得夏季最大日最高溫、日最高溫之 90、75 等百分位值的逐年預測等。1990 年代台北站夏季最大日最高溫約介於 35.7~38.4 °C，在 2050 年代約介於 35.4~41.6 °C，在 2090 年代則介於 37.6~42.8 °C。由於採隨機預測，最高溫仍可能出現略低於 1990 年代的情形，但整體是持續往上增加。此外，相對於 1990 年代，日最高溫的 90 百分位值在 2050 年代為增加 1.29±1.1 °C，在 2090 年代為增溫 2.25±1.04 °C。日最高溫的 90 百分位值在 2050 年代，相對於 1990 年代，為增加 1.51±0.99 °C；而 2090 年代為增溫 2.56±0.98 °C。大致上，百分位值愈高，其增溫速率是愈較平均溫的增溫速率為低。

3.3 熱浪預估

前節僅是就氣溫持續上升的趨勢提出估算，爾後就可求取各測站之每十年內四個模式與二個情景的八個組合下的平均值與標準差，作為該測站未來氣溫變化的預估參考。同時，可取每個年代各測站的平均值，進行空間變化的繪圖與分析。在此需特別指出：北部鞍部站與中部玉山站的資料，並無法使用於相關繪圖中。因為若不如此，該二站由於陡峭的地勢，會呈現出異常的低溫，反而干擾附近氣溫的分佈型態。

在夏季平均氣溫方面，全島均呈現持續增溫的情形。低溫區位於山區，高溫區主要在台北、台南、高雄、大武與台中等地區，特別是沿著西岸人口稠密地區。東部沿岸則是相對的氣溫偏低。離島也均呈現氣溫持續上升趨勢，但似較本島為緩和。2090 年代相對於 2050 年代約增溫 2~3°C。

在夏季平均日最高溫方面，以台北地區為最高溫，次高溫在台中、台南與高雄等地，然後才是東岸各站。比較值得注意的是：台北氣溫相對於其他測站，其間的差距呈現愈來愈大的趨勢。如台北與恆春站間，在 1950 年代時相差 1.4 °C，到 2090 年代時已相差 3.2°C。

在熱浪的預估方面，未來夏季出現日最高溫大於 35 °C 的情形將是非常頻繁（圖 1），如台北站在 1990 年代為平均 22±12.5 日，2020 年代將為平均 32±10.9 日，2050 年代將為平均 44±13.3 日，2090 年代為平均 69±17.7 日。另外，也可就冬季日最低溫小於 15°C 的平均出現日數變化，繪於圖 2 中提供比較。

3.4 現今與未來氣候模擬中的平均與極端日降雨量

ECHAM4/OPYC3 大氣海洋耦合模式對現今與未來氣候的日降雨量模擬結果，我們分析模式中現今氣候（1961-1990 年）的日降雨特性，並用觀測資料加以比對驗證。與 GPCP 的觀測降雨氣候比較，儘管模式在模擬氣候平均降雨分佈方面的能力不差，不過雨日（日降雨量大於 0.1mm）的頻率過高，特別是在副熱帶與中高緯度的海面上，也因此這些地區的降雨強度較弱。台灣附近的夏季降雨量有低估的情形，主要是因為日降雨的強度不足，冬季的降雨則是略為高估，與降雨頻率過高有關。

以統計的 Gamma 分布趨近觀測與模擬日降雨機率分布特性可以發現，副熱帶氣流下沉區與夏半球中緯度海面上，模式的 Gamma 分布形狀參數較觀測大，而在尺度參數

方面，上述區域的觀測值較大，此外模式在赤道西太平洋與印度洋的模擬值則是過大。台灣附近的 Gamma 分佈參數估計結果則是與觀測相近。

運用統計普遍性極值分布理論 (Generalized Extreme Value theory, GEV)，可以進一步分析 GEV 分佈的位置、形狀與尺度參數，GEV 分佈整合了三種不同的極值理論分佈 (Gumble、Frechet、Weibull)，並且可以推算不同時間長度的重現值 (return level)，與東亞區域的觀測日降雨資料所做的分析比較，模擬的日降雨量 30 年重現值在台灣附近在 60 到 100 毫米，但是觀測值則是在 200 毫米以上，不過模式在掌握大範圍的變化趨勢 (如西北至東南的增加)，仍有一定的能力。由於目前氣候變遷模擬所使用的還是低解析度 (約 3 經緯度) 的全球模式，降雨量代表的是區域網格平均值，可以預期應該比以單點測站降雨量為基準的觀測資料低，而且在南海與西太平洋還有颱風帶來的極端日降雨，也無法在全球模式中重現。

在未來不同國際政經發展的情境下，以氣候模式模擬結果進行推估，是目前國際間分析評估未來氣候變遷的主要方法，ECHAM4/OPYC3 模式是 IPCC TAR 報告中所用的氣候模式之一，在現有的幾種假設情境中，我們將以 IPCC TAR 中的 SRES A2 情境下的模擬結果為主要的分析對象，這個選擇主要是因為外在驅力比較大，模式的反應會比較清楚，也因此結果相對於其他情境會傾向於高估，相對於前述的現今氣候 (1961-1990 年期間)，我們的變遷分析主要是用 2071-2100 年的日降雨量模擬代表未來可能的氣候狀態，探討這段時期的平均與極端降雨特性與先前的分析有何不同。

由於各地的降雨量不同，降雨量變化多寡的意義也不一樣，我們將以變化百分比的方式呈現各地降雨變遷，以避免過度強調降雨量較多的地方，在平均降雨方面，赤道太平洋的雨量大幅上升，主要的原因是近地表的水氣量在全球暖化時增加，使熱帶的穩定度下降，同時 ENSO 事件的強度增加，這些因素使得幅合對流中心區的水氣供應增加，該處不僅平均降雨強度增加，降雨頻率也變多，不過並不是所有的熱帶區域的降雨都增加，事實上其他熱帶與副熱帶地區的降雨量在未來反而可能減少，主要降雨減少的區域，多半處於原本主要降雨帶的邊緣，與對流強化後，近地面較乾燥的水氣平流有關，這些洋面上的變化，也一樣同時受到降雨強度與頻率的影響。

在陸地方面，熱帶與副熱帶區域在冬半球有明顯降雨量減少，而這些減少與與日減少的關係較大，不過這些冬半球副熱帶的陸地多半處於相當少雨的地區，也會使百分比變化較明顯，而原因還是可以用熱帶環流的加強解釋。冬季高緯度的雨量增加也與降雨頻率的上升比較有關。

以 Gamma 分佈的形狀與尺度參數變化解釋日降雨強度的變化，可以發現主要的貢獻是來自尺度參數的變化，形狀參數一般則是小幅抵銷尺度參數變化的作用，由於 Gamma 分佈尺度參數增加時，可以預期機率分佈的較大值比例的相對提高，由此可以預見極端日降雨事件的發生會大幅提高。

以 30 年年平均雨量與年最大雨量平均作比較，可以發現，ECHAM4/OPYC3 模式的全球平均降雨只從現今氣候的 2.80 mm/day 微幅上升至 2.86 mm/day，平均年最大降雨則從全球平均值 34.2 mm/day 大幅增加到 39.8 mm/day，在間熱帶幅合區與中緯度風暴區 (storm track) 附近的平均年最大日降雨量都有較明顯的增加，但是平均雨量在上述的區域往往甚至是減少而不是增加。

比較 ECHAM4/OPYC3 模式在現今氣候與未來氣候的 GEV 參數以及日降雨量 30 年重現值，可以發現全球平均的重現值從 58.7 mm/day 增加至 71.4 mm/day，日降雨量 30 年重現值增加 50% 以上的區域相當多，不過也還是有一些區域的日降雨量 30 年重現值反而減少，在這個模式中台灣附近重現值並沒有特別顯著的變化。

四、討論

國際間有關未來百年氣候變化的模擬預測，相當的多 (IPCC, 2001)，國內也有類似研究 (Hsu and Chen, 2002)。不過，一般所提供的預測資訊，多止於某段時期的平均氣溫變化，而對於極端高溫或低溫的預測，多僅止於定性的評估。本研究主要企圖提供定量的估算，且要提供細膩的時空變化解析，其困難度當然是相當的高。過程中，吾人必須倚賴各測站過去的統計特性，再與全球氣候的模擬結果相結合，而得出如未來逐年夏季最大日最高溫、平均日最高溫、各百分位值與日最高溫大於某特定溫度的日數等定量預估數據。所得的結果當然無法確認是正確的，但由於搭配著四個模式在二不同情景的預估資訊，所以是以「平均值加減偏差」的形式 (如表 4) 提供下游其他領域的研究學者參考，相當程度地將預估的不確定性以定量方式呈現。

此外，本研究是以各測站過去的統計特徵作為基礎，而將全球氣候模式的未來預測資訊加以擴張。其假設基礎是：各站的環境條件演變與其對氣溫的影響，將會延續過去的特徵。譬如台北市的夏季平均日最高溫是全島最高者，其可能是因為位於夏季盛行南風的背風區，也可能是都市熱島貢獻。目前所得到的未來預估結果顯示台北市高溫將更為顯著，則似假設南風將持續盛行且都市熱島將更為嚴重。這些可能是不正確的。因為：

綜觀尺度氣流可能改變，而都市人口可能在其它地區增多，或是都市廢熱可能因為建築減少、車輛減少等而減少。同時，可能其它地區的發展將改變而致高溫將增強，台北市高溫狀況卻可能不如預期。這些可能的環境變化情景，是目前的研究未考慮到的，也是未來需要其他領域學者協助以加以改善者。

此外，有關降雨的研究，第一年乃主要就全球與東亞的趨勢進行探討，台灣地區並未發現顯著變化，未來仍待加強研究。

五、意見及建議

本文研究清楚顯示未來氣候暖化趨勢下，全島熱浪發生日數將持續增多的情形。表 4 則詳列各測站每十年的熱浪發生平均日數與標準差的預估。這些數據是經過嚴謹的統計分析流程獲得，雖不能全然相信其為必將發生的狀況，卻是可以據以進行如公共衛生、空氣污染、生態等衝擊評估的探討。建議將目前所得提供其他領域的學者參考使用，以評估極端高溫趨勢下的各領域影響。有關降雨方面的研究，第一年成果仍待加強。

致 謝

本研究乃環保署/國科會空污防制科研合作計畫 94-EPA-Z-002-001 所支持。特別感謝中央氣象局提供長期氣候資料，也感謝 IPCC Data Distribution Center 所提供的 GCM 模擬數據。

參考文獻

- 吳明進，1992：台灣的氣候變化-氣溫和降水。*大氣科學*，20，295-318。
- 柳中明，王作台，李德貴，宋鴻樟，林美聆，林曜松，林能暉，夏復國，孫志鴻，許銘熙，許晃雄，黃宗煌，隋中興，張長義，楊盛行，廖述良，歐善惠，劉紹臣，陳于高，2002：「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式發展」與「長期基礎資料調查、監測與收集整合機制」推動規劃。國科會。NSC 91-2621-Z-002-001。台灣大學全球變遷研究中心。
- 柳中明、孫志鴻、許晃雄、柯文雄、許武榮、吳明進、曾仁佑、林沛練、王國英、陳正達、林淑華、莊竣傑，2004a：「本地變遷趨勢、衝擊評估與因應策略之整合模式」之初期推動計畫。國科會。NSC92-2621-Z-002-035。
- 柳中明、許晃雄、柯文雄、許武榮、吳明進、曾仁佑、林沛練、王國英，2004b：全球變遷研究服務與本地變遷模擬推動(1/2)。國科會。NSC 93-2621-Z-002-033-。
- 陳昭銘、汪鳳如，2000：台灣地區長期暖化現象與太平洋海溫變化之關係。*大氣科學*，28，221-240。
- 賴栗葦，2004：近百年台灣地區氣溫變化之分析(1897 ~ 2000)。博士論文，台灣大學地理環境資源所。
- 賴栗葦、姜善鑫，2004：台灣地區月平均氣溫日較差趨勢分析，*地理學報*，國立台灣大學地理環境資源學系，36，101-116。
- 賴栗葦、姜善鑫，2004：台灣地區之氣溫變遷研究，*中國地理學會會刊*，33，1-20。
- Bouchama, A, 2004: The 2003 European heat wave. *Intensive Care Med.*, 30, 1-3.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 87, 367-374.
- Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, M.G. Klein Tank and T. Peterson, 2002: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.
- Hsu, H.-H., and C.-T. Chen, 2002: Observed and projected climate change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 79, 87-104.
- Ichinose, T., 2001: Regional Warming Related with Land Use Change during Past 135 Years in Japan. *Present and Future Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling*, Eds., T. Matsuno and H. Kida, pp. 433-440
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2000: *Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. N. Nakicenovic and R. Swart (Eds.). Cambridge University Press, UK. pp 570.

- IPCC, 2001b: Climate Change 2001: *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge. 1032pp.
- IPCC, 2001b: Climate Change 2001: *The Scientific Basis*. Cambridge. 881pp.
- Jones, P.D. and Moberg, A., 2003: Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, **16**, 206-223.
- Liu, S. C., C. H. Wang, C. J. Shiu, H. W. Chang, C. K. Hsiao and S. H. Liaw, 2002: Reduction in Sunshine Duration over Taiwan: Causes and Implications. *J. Terrestrial Atmos. and Oceanic Sci. (TAO)*, **13**, 523-545.
- Semenza, J. C., C. H. Rubin, K. H. Falter, J. D. Selanikio, W. D. Flanders, H. L. Howe, and J. L. Wilhelm, 1996: Heat-Related Deaths during the July 1995 Heat Wave in Chicago. *N. Engl. J. Med.* , 335, 84-90.
- Stedman, J. R., 2003: The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave. *Atmospheric Environment*, **38**, 1087-1090.
- Vellinga, P. and W. J. Verseveld, 2000: *Climate Change and Extreme Weather Events*. WWF- World Wide Fund for Nature, Gland. Switzerland, pp.
- Vaughan, D.G., G. J. Marshall, W. M. Connolley, J. C. King and R. Mulvaney, 2001: Devil in the Detail. *Science*, **293**, 1777-1778.
- WHO, 2003: The Health Impacts of 2003 Summer Heat-waves. *The fifty-third session of the WHO Regional Committee for Europe*, Vienna, Austria, 8–11 September 2003.

表 1：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的全年年平均溫與標準偏差。此處，預估者為四不同模式與 A2 情景下的平均結果。

	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	2020-29	2030-39	2040-49	2050-59	2060-69	2070-79	2080-89	2090-2100
彭佳嶼	21.7; 0.3	21.7; 0.32	21.8; 0.29	21.7; 0.22	22; 0.4	22.1; 0.51	22.2; 0.73	22.4; 0.63	22.6; 0.85	22.7; 0.7	23.3; 0.8	23.7; 0.87	24.1; 0.98	24.6; 1.06	24.7; 1.14
鞍部	16.9; 0.28	16.6; 0.38	16.5; 0.24	16.6; 0.24	17; 0.43	17; 0.41	17.1; 0.52	17.3; 0.42	17.5; 0.7	17.8; 0.6	18.2; 0.67	18.7; 0.81	19; 0.99	19.4; 1.06	19.7; 1.11
竹子湖	18.3; 0.25	18.3; 0.28	18.6; 0.25	18.4; 0.23	18.8; 0.46	18.8; 0.42	18.9; 0.51	19.1; 0.42	19.3; 0.71	19.5; 0.61	20; 0.68	20.4; 0.84	20.8; 1.02	21.2; 1.09	21.4; 1.15
淡水	22.3; 0.31	22.2; 0.32	22.2; 0.26	22.1; 0.39	22.1; 0.39	22.2; 0.53	22.3; 0.69	22.5; 0.63	22.7; 0.83	22.8; 0.75	23.4; 0.77	23.8; 0.92	24.2; 1.03	24.6; 1.13	24.8; 1.18
基隆	22.3; 0.31	22.3; 0.31	22.1; 0.28	22.3; 0.19	22.7; 0.42	22.8; 0.53	22.9; 0.69	23.1; 0.63	23.3; 0.83	23.4; 0.75	24; 0.77	24.4; 0.92	24.8; 1.03	25.2; 1.13	25.4; 1.18
台北	22.2; 0.33	22.3; 0.31	22.3; 0.28	22.7; 0.35	22.9; 0.5	23.1; 0.48	23.1; 0.7	23.4; 0.6	23.5; 0.78	23.7; 0.69	24.3; 0.76	24.6; 0.9	25; 0.97	25.4; 1.08	25.7; 1.17
新竹	22; 0.28	22.1; 0.28	22.1; 0.24	22.3; 0.21	22.4; 0.48	22.5; 0.49	22.6; 0.7	22.8; 0.56	23; 0.76	23.1; 0.67	23.7; 0.72	23.9; 0.86	24.4; 0.96	24.8; 1.04	25; 1.12
台中	22.8; 0.29	22.7; 0.34	22.8; 0.2	22.9; 0.21	23.4; 0.42	23.4; 0.48	23.5; 0.69	23.7; 0.55	23.9; 0.76	24; 0.71	24.6; 0.71	24.8; 0.85	25.3; 0.94	25.6; 1	25.8; 1.11
梧棲	-;	-;	22.7; 0.06	22.6; 0.34	23.1; 0.41	23.1; 0.48	23.2; 0.68	23.3; 0.55	23.5; 0.75	23.7; 0.7	24.2; 0.69	24.5; 0.83	24.9; 0.92	25.3; 0.98	25.5; 1.09
日月潭	19.5; 0.28	19.3; 0.4	19.1; 0.19	19.3; 0.23	19.2; 0.36	19.1; 0.42	19.2; 0.61	19.3; 0.45	19.6; 0.68	19.8; 0.64	20.3; 0.65	20.5; 0.8	21; 0.93	21.3; 0.97	21.5; 1.08
阿里山	10.8; 0.35	10.4; 0.51	10.5; 0.32	10.9; 0.3	11.1; 0.4	11.1; 0.42	11.2; 0.61	11.3; 0.44	11.6; 0.68	11.8; 0.63	12.3; 0.65	12.5; 0.8	12.9; 0.93	13.3; 0.97	13.5; 1.08
嘉義	-;	22.4; 0	22.6; 0.31	22.7; 0.26	23.1; 0.43	23.1; 0.48	23.2; 0.69	23.4; 0.55	23.6; 0.76	23.7; 0.71	24.3; 0.71	24.5; 0.85	25; 0.94	25.3; 1	25.5; 1.11
台南	23.9; 0.24	23.9; 0.27	24.1; 0.22	23.9; 0.37	24.2; 0.37	24.3; 0.48	24.4; 0.69	24.6; 0.55	24.8; 0.76	24.9; 0.71	25.5; 0.71	25.7; 0.85	26.2; 0.94	26.5; 1	26.7; 1.11
高雄	24.3; 0.23	24.3; 0.32	24.2; 0.28	24.8; 0.36	25.1; 0.32	25.1; 0.48	25.2; 0.69	25.4; 0.54	25.6; 0.76	25.7; 0.71	26.3; 0.71	26.5; 0.85	27; 0.94	27.3; 1	27.5; 1.11
恆春	25.2; 0.27	25.1; 0.33	25; 0.3	24.9; 0.4	25.2; 0.34	25.2; 0.49	25.2; 0.65	25.4; 0.51	25.7; 0.73	25.8; 0.71	26.3; 0.69	26.5; 0.86	27; 0.96	27.3; 1.05	27.5; 1.12
蘇澳	-;	-;	-;	22.2; 0.29	22.6; 0.4	22.7; 0.49	22.7; 0.69	22.9; 0.56	23.2; 0.76	23.3; 0.68	23.8; 0.73	24.1; 0.87	24.6; 0.98	24.9; 1.05	25.1; 1.13
宜蘭	22.1; 0.24	21.9; 0.33	22.1; 0.33	22.2; 0.31	22.5; 0.46	22.6; 0.49	22.6; 0.69	22.8; 0.56	23; 0.76	23.2; 0.68	23.7; 0.73	24; 0.87	24.4; 0.98	24.8; 1.05	25; 1.13
花蓮	23; 0.27	22.9; 0.36	23.1; 0.44	23.1; 0.29	23.5; 0.37	23.5; 0.48	23.6; 0.64	23.8; 0.53	24; 0.73	24.1; 0.64	24.7; 0.72	24.9; 0.85	25.3; 0.93	25.7; 1.01	25.9; 1.1
成功	23.6; 0.26	23.4; 0.36	23.6; 0.26	23.7; 0.24	23.8; 0.43	23.7; 0.48	23.8; 0.64	24; 0.54	24.2; 0.74	24.3; 0.65	24.9; 0.72	25.2; 0.85	25.6; 0.93	26; 1	26.2; 1.1
台東	24.2; 0.27	24; 0.33	24.1; 0.26	24.3; 0.47	24.5; 0.29	24.5; 0.48	24.5; 0.65	24.8; 0.54	25; 0.73	25.1; 0.63	25.6; 0.7	25.9; 0.82	26.3; 0.9	26.7; 0.97	26.9; 1.06
大武	24.9; 0.31	24.7; 0.38	24.8; 0.23	24.7; 0.23	24.9; 0.43	24.9; 0.48	24.9; 0.65	25.1; 0.51	25.3; 0.73	25.5; 0.71	26; 0.69	26.2; 0.86	26.6; 0.96	27; 1.05	27.2; 1.11
蘭嶼	22.6; 0.29	22.4; 0.3	22.5; 0.26	22.7; 0.21	22.7; 0.32	22.7; 0.37	22.7; 0.44	22.9; 0.33	23.2; 0.55	23.4; 0.51	23.8; 0.62	24.1; 0.78	24.4; 0.96	24.8; 1.01	25; 1.06
澎湖	23.2; 0.27	23.3; 0.38	23.3; 0.38	23.3; 0.33	23.6; 0.46	23.5; 0.48	23.6; 0.69	23.7; 0.59	24; 0.81	24.2; 0.8	24.7; 0.82	25; 0.87	25.5; 0.97	25.9; 1.13	26; 1.18
東吉島	-;	23.1; 0.43	23.1; 0.32	23.3; 0.25	23.7; 0.45	23.7; 0.48	23.9; 0.69	23.9; 0.59	24.2; 0.81	24.4; 0.8	24.9; 0.82	25.2; 0.87	25.7; 0.97	26.1; 1.13	26.2; 1.18

表 2：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的全年年平均
溫與標準偏差。此處，預估者為四不同模式與 B2 情景下的平均結果。

	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	2020-29	2030-39	2040-49	2050-59	2060-69	2070-79	2080-89	2090-2100
彭佳嶼	21.7; 0.3	21.7; 0.32	21.8; 0.29	21.7; 0.22	22; 0.4	22.4; 0.56	22.6; 0.64	22.7; 0.81	22.8; 0.67	22.9; 0.62	23.3; 0.66	23.5; 0.76	23.9; 0.6	24.2; 0.71	24.3; 0.69
鞍部	16.9; 0.28	16.6; 0.38	16.5; 0.24	16.6; 0.24	17; 0.43	17.3; 0.51	17.5; 0.59	17.6; 0.6	17.7; 0.56	18; 0.53	18.2; 0.61	18.5; 0.62	18.8; 0.52	19.1; 0.62	19.3; 0.69
竹子湖	18.3; 0.25	18.3; 0.28	18.6; 0.25	18.4; 0.23	18.8; 0.46	19.1; 0.49	19.3; 0.58	19.3; 0.59	19.5; 0.54	19.7; 0.51	20; 0.59	20.2; 0.6	20.6; 0.5	20.9; 0.6	21; 0.67
淡水	22.3; 0.31	22.2; 0.32	22.2; 0.26	22.1; 0.39	22.1; 0.39	22.5; 0.52	22.7; 0.62	22.8; 0.77	22.9; 0.66	23; 0.6	23.4; 0.65	23.6; 0.74	24; 0.6	24.3; 0.72	24.4; 0.68
基隆	22.3; 0.31	22.3; 0.31	22.1; 0.28	22.3; 0.19	22.7; 0.42	23.1; 0.53	23.3; 0.65	23.4; 0.78	23.5; 0.68	23.6; 0.61	24; 0.66	24.2; 0.74	24.6; 0.59	24.9; 0.72	25; 0.68
台北	22.2; 0.33	22.3; 0.31	22.3; 0.28	22.7; 0.35	22.9; 0.5	23.4; 0.55	23.5; 0.64	23.7; 0.73	23.8; 0.62	23.8; 0.6	24.3; 0.64	24.4; 0.73	24.8; 0.64	25.2; 0.75	25.3; 0.64
新竹	22; 0.28	22.1; 0.28	22.1; 0.24	22.3; 0.21	22.4; 0.48	22.9; 0.53	23; 0.64	23.1; 0.74	23.2; 0.61	23.3; 0.57	23.7; 0.6	23.8; 0.72	24.2; 0.64	24.6; 0.77	24.7; 0.65
台中	22.8; 0.29	22.7; 0.34	22.8; 0.2	22.9; 0.21	23.4; 0.42	23.8; 0.52	23.9; 0.62	24; 0.73	24.1; 0.62	24.2; 0.6	24.6; 0.59	24.7; 0.69	25.1; 0.58	25.5; 0.71	25.5; 0.6
梧棲	-;	-;	22.7; 0.06	22.6; 0.34	23.1; 0.41	23.4; 0.51	23.6; 0.62	23.7; 0.72	23.7; 0.6	23.8; 0.58	24.2; 0.57	24.4; 0.68	24.7; 0.58	25.1; 0.7	25.2; 0.58
日月潭	19.5; 0.28	19.3; 0.4	19.1; 0.19	19.3; 0.23	19.2; 0.36	19.5; 0.49	19.6; 0.59	19.7; 0.62	19.8; 0.54	19.9; 0.52	20.3; 0.52	20.4; 0.61	20.8; 0.52	21.2; 0.63	21.3; 0.56
阿里山	10.8; 0.35	10.4; 0.51	10.5; 0.32	10.9; 0.3	11.1; 0.4	11.4; 0.49	11.6; 0.6	11.7; 0.62	11.8; 0.55	11.9; 0.51	12.3; 0.5	12.4; 0.59	12.8; 0.5	13.1; 0.62	13.2; 0.55
嘉義	-;	22.4; 0	22.6; 0.31	22.7; 0.26	23.1; 0.43	23.5; 0.52	23.6; 0.62	23.7; 0.72	23.8; 0.62	23.9; 0.6	24.3; 0.59	24.4; 0.69	24.8; 0.58	25.2; 0.71	25.2; 0.6
台南	23.9; 0.24	23.9; 0.27	24.1; 0.22	23.9; 0.37	24.2; 0.37	24.7; 0.52	24.8; 0.63	24.9; 0.73	25; 0.63	25; 0.59	25.5; 0.59	25.6; 0.68	26; 0.56	26.3; 0.69	26.4; 0.58
高雄	24.3; 0.23	24.3; 0.32	24.2; 0.28	24.8; 0.36	25.1; 0.32	25.5; 0.52	25.6; 0.63	25.7; 0.73	25.8; 0.62	25.8; 0.58	26.3; 0.58	26.4; 0.68	26.8; 0.57	27.1; 0.7	27.2; 0.58
恆春	25.2; 0.27	25.1; 0.33	25; 0.3	24.9; 0.4	25.2; 0.34	25.5; 0.5	25.6; 0.64	25.7; 0.7	25.7; 0.63	25.8; 0.59	26.2; 0.58	26.4; 0.69	26.7; 0.6	27.1; 0.76	27.2; 0.6
蘇澳	-;	-;	-;	22.2; 0.29	22.6; 0.4	23; 0.53	23.1; 0.64	23.3; 0.74	23.3; 0.61	23.4; 0.57	23.8; 0.61	24; 0.72	24.4; 0.64	24.7; 0.76	24.8; 0.65
宜蘭	22.1; 0.24	21.9; 0.33	22.1; 0.33	22.2; 0.31	22.5; 0.46	22.9; 0.53	23; 0.64	23.2; 0.74	23.2; 0.61	23.3; 0.57	23.7; 0.61	23.9; 0.72	24.3; 0.64	24.6; 0.76	24.7; 0.65
花蓮	23; 0.27	22.9; 0.36	23.1; 0.44	23.1; 0.29	23.5; 0.37	23.8; 0.52	24; 0.58	24.1; 0.71	24.2; 0.59	24.2; 0.53	24.7; 0.58	24.8; 0.67	25.2; 0.57	25.5; 0.71	25.6; 0.57
成功	23.6; 0.26	23.4; 0.36	23.6; 0.26	23.7; 0.24	23.8; 0.43	24.1; 0.52	24.2; 0.58	24.4; 0.71	24.4; 0.59	24.4; 0.54	24.9; 0.58	25; 0.68	25.4; 0.57	25.8; 0.7	25.8; 0.56
台東	24.2; 0.27	24; 0.33	24.1; 0.26	24.3; 0.47	24.5; 0.29	24.8; 0.51	25; 0.56	25.1; 0.7	25.2; 0.57	25.2; 0.53	25.7; 0.57	25.8; 0.68	26.1; 0.58	26.5; 0.7	26.6; 0.57
大武	24.9; 0.31	24.7; 0.38	24.8; 0.23	24.7; 0.23	24.9; 0.43	25.1; 0.5	25.2; 0.65	25.4; 0.71	25.4; 0.64	25.5; 0.58	25.9; 0.57	26; 0.67	26.4; 0.58	26.7; 0.74	26.9; 0.58
蘭嶼	22.6; 0.29	22.4; 0.3	22.5; 0.26	22.7; 0.21	22.7; 0.32	22.9; 0.47	23; 0.53	23.2; 0.49	23.2; 0.47	23.4; 0.38	23.7; 0.47	23.9; 0.52	24.2; 0.46	24.5; 0.62	24.7; 0.55
澎湖	23.2; 0.27	23.3; 0.38	23.3; 0.38	23.3; 0.33	23.6; 0.46	23.9; 0.53	24; 0.61	24.1; 0.78	24.3; 0.64	24.3; 0.63	24.8; 0.63	24.9; 0.72	25.2; 0.55	25.7; 0.74	25.7; 0.62
東吉島	-;	23.1; 0.43	23.1; 0.32	23.3; 0.25	23.7; 0.45	24.1; 0.53	24.2; 0.61	24.3; 0.78	24.5; 0.64	24.5; 0.63	25; 0.63	25.1; 0.72	25.4; 0.55	25.9; 0.74	25.9; 0.62

表 3：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的全年年平均
溫與標準偏差。此處，預估者為四不同模式與二不同情景下的平均結果。

	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	2020-29	2030-39	2040-49	2050-59	2060-69	2070-79	2080-89	2090-2100
彭佳嶼	21.7; 0.3	21.7; 0.32	21.8; 0.29	21.7; 0.22	22 ; 0.4	22.3; 0.53	22.4; 0.71	22.5; 0.76	22.6; 0.7	22.8; 0.65	23.2; 0.68	23.5; 0.75	23.9; 0.72	24.2; 0.85	24.4; 0.91
鞍部	16.9; 0.28	16.6; 0.38	16.5; 0.24	16.6; 0.24	17 ; 0.43	17.2; 0.46	17.3; 0.6	17.5; 0.56	17.6; 0.57	17.8; 0.55	18.2; 0.59	18.5; 0.66	18.8; 0.69	19.1; 0.81	19.3; 0.89
竹子湖	18.3; 0.25	18.3; 0.28	18.6; 0.25	18.4; 0.23	18.8; 0.46	18.9; 0.46	19.1; 0.59	19.2; 0.55	19.3; 0.55	19.6; 0.55	19.9; 0.58	20.2; 0.67	20.5; 0.7	20.9; 0.82	21.1; 0.9
淡水	22.3; 0.31	22.2; 0.32	22.2; 0.26	22.1; 0.39	22.1; 0.39	22.4; 0.52	22.5; 0.68	22.7; 0.73	22.7; 0.68	22.9; 0.66	23.3; 0.66	23.6; 0.77	24 ; 0.75	24.3; 0.9	24.5; 0.93
基隆	22.3; 0.31	22.3; 0.31	22.1; 0.28	22.3; 0.19	22.7; 0.42	23 ; 0.52	23.1; 0.7	23.3; 0.74	23.3; 0.69	23.5; 0.67	23.9; 0.66	24.2; 0.77	24.6; 0.75	24.9; 0.9	25.1; 0.93
台北	22.2; 0.33	22.3; 0.31	22.3; 0.28	22.7; 0.35	22.9; 0.5	23.3; 0.52	23.4; 0.68	23.6; 0.7	23.6; 0.66	23.8; 0.64	24.2; 0.65	24.4; 0.76	24.8; 0.77	25.2; 0.9	25.3; 0.92
新竹	22 ; 0.28	22.1; 0.28	22.1; 0.24	22.3; 0.21	22.4; 0.48	22.7; 0.52	22.8; 0.68	23 ; 0.7	23 ; 0.64	23.2; 0.61	23.6; 0.6	23.8; 0.72	24.2; 0.74	24.5; 0.86	24.7; 0.85
台中	22.8; 0.29	22.7; 0.34	22.8; 0.2	22.9; 0.21	23.4; 0.42	23.6; 0.51	23.7; 0.67	23.9; 0.69	24 ; 0.64	24.1; 0.66	24.5; 0.58	24.7; 0.69	25.1; 0.69	25.4; 0.81	25.5; 0.81
梧棲	- ;	- ;	22.7; 0.06	22.6; 0.34	23.1; 0.41	23.3; 0.5	23.4; 0.66	23.6; 0.67	23.6; 0.63	23.8; 0.64	24.2; 0.57	24.3; 0.68	24.7; 0.68	25.1; 0.79	25.2; 0.8
日月潭	19.5; 0.28	19.3; 0.4	19.1; 0.19	19.3; 0.23	19.2; 0.36	19.3; 0.47	19.4; 0.62	19.6; 0.59	19.6; 0.57	19.8; 0.58	20.2; 0.51	20.4; 0.62	20.8; 0.65	21.1; 0.75	21.2; 0.78
阿里山	10.8; 0.35	10.4; 0.51	10.5; 0.32	10.9; 0.3	11.1; 0.4	11.3; 0.47	11.4; 0.62	11.5; 0.58	11.6; 0.56	11.8; 0.57	12.2; 0.5	12.4; 0.61	12.7; 0.64	13.1; 0.74	13.2; 0.77
嘉義	- ;	22.4; 0	22.6; 0.31	22.7; 0.26	23.1; 0.43	23.3; 0.51	23.4; 0.67	23.6; 0.69	23.6; 0.64	23.8; 0.65	24.2; 0.58	24.4; 0.69	24.8; 0.69	25.1; 0.8	25.2; 0.82
台南	23.9; 0.24	23.9; 0.27	24.1; 0.22	23.9; 0.37	24.2; 0.37	24.5; 0.51	24.6; 0.67	24.8; 0.69	24.8; 0.64	25 ; 0.65	25.4; 0.58	25.6; 0.68	26 ; 0.68	26.3; 0.79	26.4; 0.81
高雄	24.3; 0.23	24.3; 0.32	24.2; 0.28	24.8; 0.36	25.1; 0.32	25.3; 0.51	25.4; 0.67	25.6; 0.68	25.6; 0.64	25.8; 0.64	26.2; 0.57	26.4; 0.68	26.7; 0.67	27.1; 0.8	27.2; 0.8
恆春	25.2; 0.27	25.1; 0.33	25 ; 0.3	24.9; 0.4	25.2; 0.34	25.3; 0.49	25.4; 0.64	25.6; 0.65	25.7; 0.62	25.8; 0.64	26.2; 0.56	26.4; 0.69	26.7; 0.71	27.1; 0.85	27.2; 0.82
蘇澳	- ;	- ;	- ;	22.2; 0.29	22.6; 0.4	22.9; 0.52	23 ; 0.67	23.2; 0.69	23.2; 0.64	23.3; 0.62	23.8; 0.61	24 ; 0.73	24.4; 0.76	24.7; 0.87	24.8; 0.87
宜蘭	22.1; 0.24	21.9; 0.33	22.1; 0.33	22.2; 0.31	22.5; 0.46	22.8; 0.52	22.8; 0.67	23.1; 0.69	23.1; 0.64	23.2; 0.62	23.6; 0.61	23.8; 0.73	24.2; 0.76	24.6; 0.87	24.7; 0.87
花蓮	23 ; 0.27	22.9; 0.36	23.1; 0.44	23.1; 0.29	23.5; 0.37	23.7; 0.51	23.8; 0.61	24 ; 0.66	24.1; 0.6	24.1; 0.57	24.6; 0.58	24.8; 0.68	25.1; 0.68	25.5; 0.8	25.6; 0.79
成功	23.6; 0.26	23.4; 0.36	23.6; 0.26	23.7; 0.24	23.8; 0.43	23.9; 0.51	24 ; 0.61	24.3; 0.66	24.3; 0.61	24.4; 0.58	24.9; 0.59	25 ; 0.68	25.4; 0.68	25.7; 0.8	25.8; 0.8
台東	24.2; 0.27	24 ; 0.33	24.1; 0.26	24.3; 0.47	24.5; 0.29	24.7; 0.51	24.8; 0.61	25 ; 0.66	25 ; 0.6	25.1; 0.57	25.6; 0.57	25.8; 0.67	26.1; 0.66	26.5; 0.79	26.6; 0.78
大武	24.9; 0.31	24.7; 0.38	24.8; 0.23	24.7; 0.23	24.9; 0.43	25 ; 0.49	25.1; 0.65	25.3; 0.65	25.3; 0.62	25.5; 0.64	25.9; 0.56	26 ; 0.68	26.4; 0.7	26.7; 0.84	26.9; 0.81
蘭嶼	22.6; 0.29	22.4; 0.3	22.5; 0.26	22.7; 0.21	22.7; 0.32	22.8; 0.42	22.9; 0.5	23.1; 0.44	23.2; 0.44	23.4; 0.42	23.7; 0.47	23.9; 0.59	24.2; 0.65	24.5; 0.76	24.7; 0.75
澎湖	23.2; 0.27	23.3; 0.38	23.3; 0.38	23.3; 0.33	23.6; 0.46	23.7; 0.51	23.8; 0.65	24 ; 0.73	24.1; 0.7	24.2; 0.68	24.7; 0.65	24.8; 0.71	25.2; 0.68	25.6; 0.86	25.7; 0.87
東吉島	- ;	23.1; 0.43	23.1; 0.32	23.3; 0.25	23.7; 0.45	23.9; 0.51	24 ; 0.65	24.2; 0.73	24.3; 0.7	24.4; 0.68	24.9; 0.65	25 ; 0.71	25.4; 0.68	25.8; 0.86	25.9; 0.87

表 4：1950 年代到 2090 年代，中央氣象局各測站之觀測與模擬預估的夏季日最高溫大於等於 35°C 的出現日數。此處，預估者為四不同模式與二不同情景下的平均結果。

	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-09	2010-19	2020-29	2030-39	2040-49	2050-59	2060-69	2070-79	2080-89	2090-2100
彭佳嶼	-	0; 0.3	-	-	0; 1	2; 2.4	3; 3.5	4; 5.2	4; 6	3; 3.6	5; 5.5	5; 7.1	7; 8.2	9; 10.5	11; 11.4
鞍部	-	-	-	-	-	-	-	-	0; 0.1	-	-	-	-	0; 0.1	-
竹子湖	-	-	-	-	-	0; 0.6	0; 0.9	0; 1.4	0; 2	0; 1.2	0; 1.1	1; 1.8	1; 2.4	1; 3.2	2; 3.1
淡水	8; 6	7; 4.9	8; 6.3	16; 10	8; 3.5	11; 6.5	13; 8.6	16; 9.7	17; 11.7	17; 10.1	21; 12.8	23; 15.2	28; 17.3	32; 19.9	35; 22.2
基隆	3; 3	2; 1.9	2; 2.2	8; 8.8	11; 6.3	9; 5.8	11; 7.8	13; 9	13; 10.9	13; 8.9	16; 11.6	18; 13.7	22; 15.7	25; 18.2	27; 20.4
台北	19; 11.6	17; 6	18; 8.2	20; 10.7	22; 12.5	25; 7.9	28; 10.2	32; 10.9	35; 11.8	37; 11.3	44; 13.3	47; 15	54; 16.2	59; 17.4	63; 17.7
新竹	3; 3.6	6; 4.2	4; 4.2	9; 6.9	2; 1.9	8; 5	9; 6.9	11; 7.4	11; 7.9	11; 6.9	14; 9.3	15; 11.4	18; 13	21; 15.5	22; 16.9
台中	1; 1.4	4; 3.2	2; 2.6	5; 7.7	4; 3.9	13; 5.9	15; 7.7	17; 8.6	18; 9.2	19; 8.8	23; 11.1	25; 12.7	31; 14.2	34; 16.7	37; 18.3
梧棲	-	-	0; 0.3	1; 0.8	1; 1	7; 3.9	8; 5.3	10; 6.1	10; 6.7	10; 6.3	14; 8.6	15; 10	19; 11.1	23; 13.9	25; 15.7
日月潭	-	-	-	-	-	0; 0.1	0; 0.1	0; 0.1	-	-	-	0; 0.1	-	0; 0.1	-
阿里山	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
嘉義	-	0; 0.6	1; 1.1	5; 5.9	4; 3.9	14; 7.6	15; 10	17; 10	17; 10.8	16; 9.8	19; 12.2	20; 14.2	24; 17.1	26; 18	28; 20.3
台南	12; 7.6	6; 3.8	6; 4.5	2; 4	4; 3.7	13; 5.6	15; 7.4	18; 8.3	19; 9	19; 8.5	24; 10.9	26; 12.3	32; 14.9	35; 16.1	38; 17.5
高雄	0; 0.3	0; 0.6	2; 4.2	3; 5.4	1; 1.7	8; 5.5	9; 7.2	10; 7.5	10; 8	9; 6.9	12; 9.1	12; 10.7	15; 11.8	17; 13.7	18; 15.5
恆春	-	0; 1	0; 0.3	0; 1.6	0; 0.7	6; 4.7	7; 6.5	8; 6.7	8; 7	7; 5.9	9; 7.9	9; 9.8	12; 11.1	14; 13	14; 14.2
蘇澳	-	-	-	0; 0.3	0; 0.4	3; 2.9	4; 4.2	5; 4.7	5; 5	4; 4	6; 5.9	7; 7.8	9; 8.8	11; 11.1	12; 12.2
宜蘭	1; 1.1	1; 1.3	0; 0.4	2; 3	3; 4.8	9; 5.9	10; 8.1	11; 8.3	12; 9.1	11; 7.7	14; 10.2	15; 12.7	18; 14.7	21; 17	22; 18.7
花蓮	-	0; 0.3	-	-	1; 2.2	6; 4	7; 5.1	9; 6.1	10; 6.6	10; 5.8	13; 8.5	15; 10.2	19; 11.3	22; 14.1	24; 15.8
成功	0; 0.6	0; 0.3	0; 0.7	-	1; 1.1	4; 4	5; 5	5; 5.6	5; 5.5	4; 3.8	6; 5.9	6; 7.4	7; 8.1	9; 9.5	9; 10.2
台東	2; 2.3	1; 2	1; 0.8	4; 9.3	1; 1.1	7; 4.7	8; 5.8	10; 6.7	11; 7.3	10; 6.1	13; 8.9	14; 10.5	18; 11.6	20; 14.1	22; 15.9
大武	12; 9	13; 4.6	9; 3.4	13; 5.7	9; 6	10; 6.7	11; 8.8	12; 8.7	12; 9.5	11; 8.1	14; 10.6	14; 12.6	17; 14.4	19; 16.5	20; 18
蘭嶼	-	-	-	-	0; 0.3	0; 0.3	0; 0.4	0; 0.3	0; 0.3	0; 0.1	0; 0.2	0; 0.6	0; 0.8	0; 0.8	0; 0.7
澎湖	0; 0.3	0; 0.4	-	1; 2.8	0; 0.3	4; 3.6	5; 5.3	7; 6.5	7; 6.3	6; 6	9; 8.2	9; 8.9	12; 11.1	15; 15.6	16; 15.3
東吉島	-	-	-	-	-	1; 1.3	2; 2.2	2; 3	2; 2.5	2; 2.2	3; 3.6	3; 4	4; 4.9	5; 7	5; 7

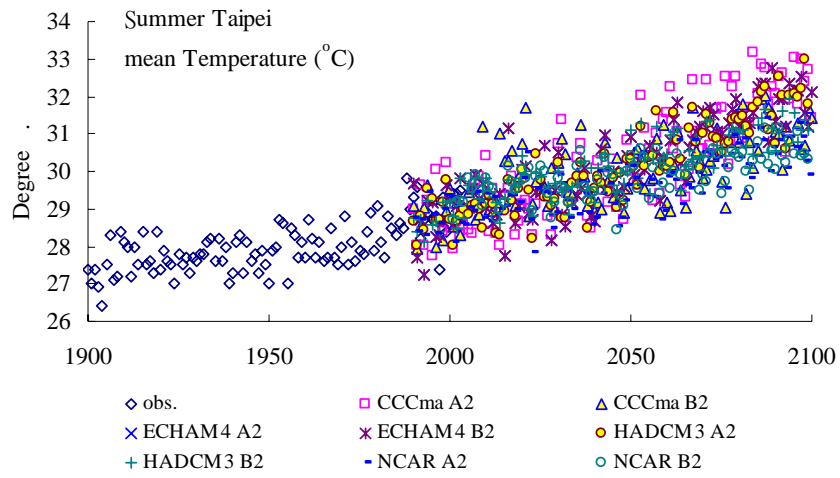


圖 1：台北測站 1900-2004 年間夏季平均溫與 1990-2100 年間四個全球模式在二不同情景下之夏季平均溫預估。

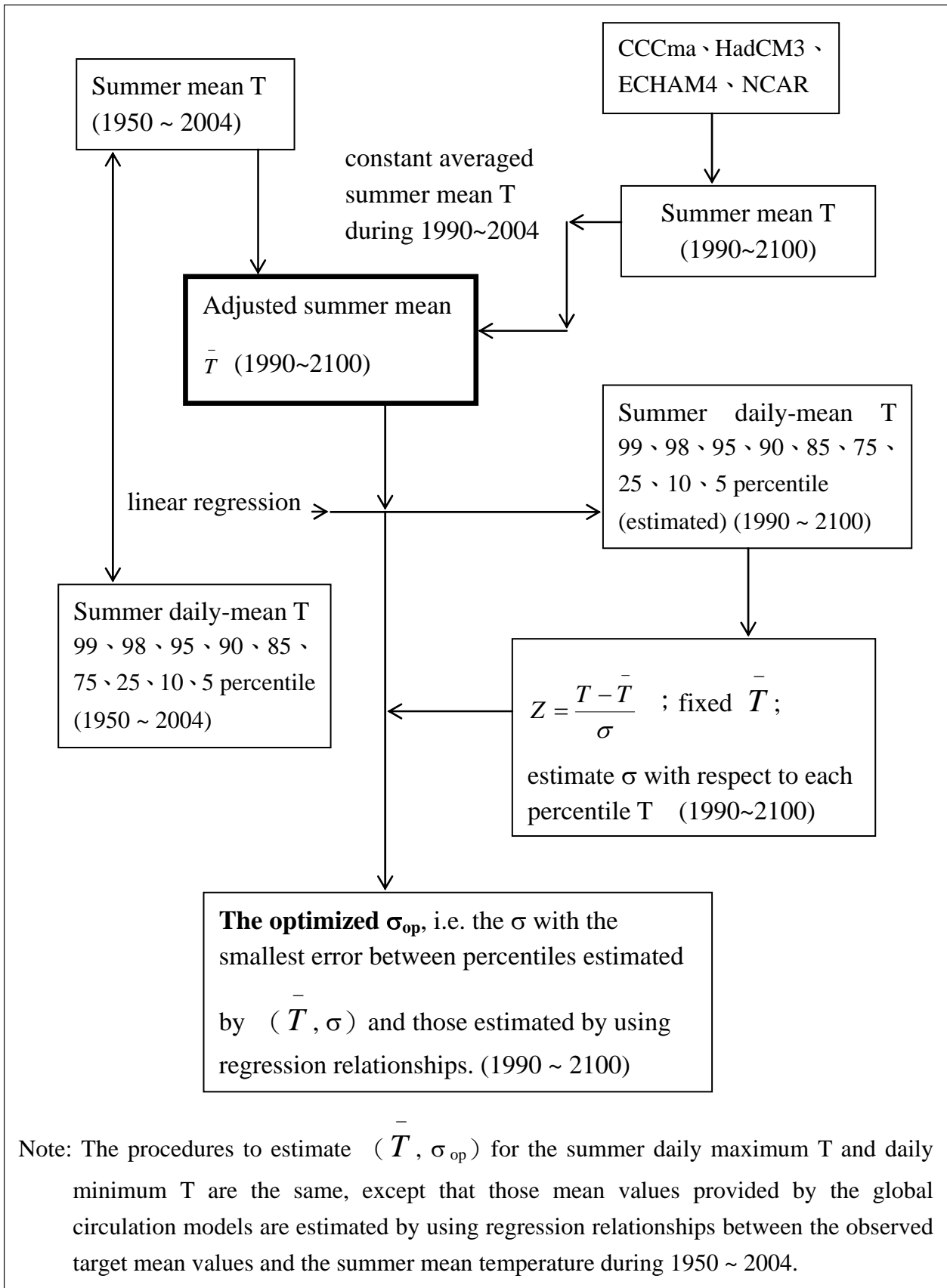


圖 2: 估算流程。

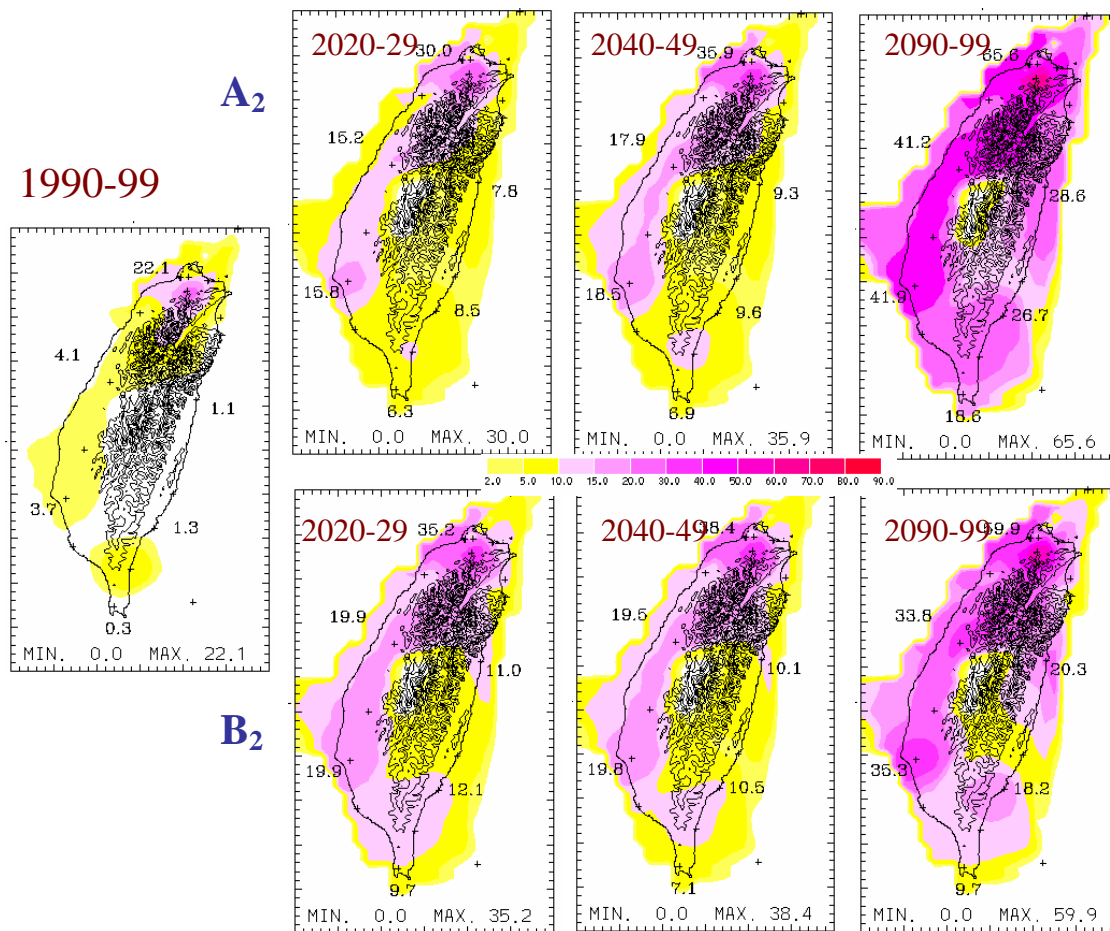


圖 3：1990-99、2020-29、2040-49 與 2090-99 等，每十年夏季內日最高溫大於等於 35°C 的平均出現日數之空間分布圖。後三期為全球模式在 A2 與 B2 情景下的平均預估。

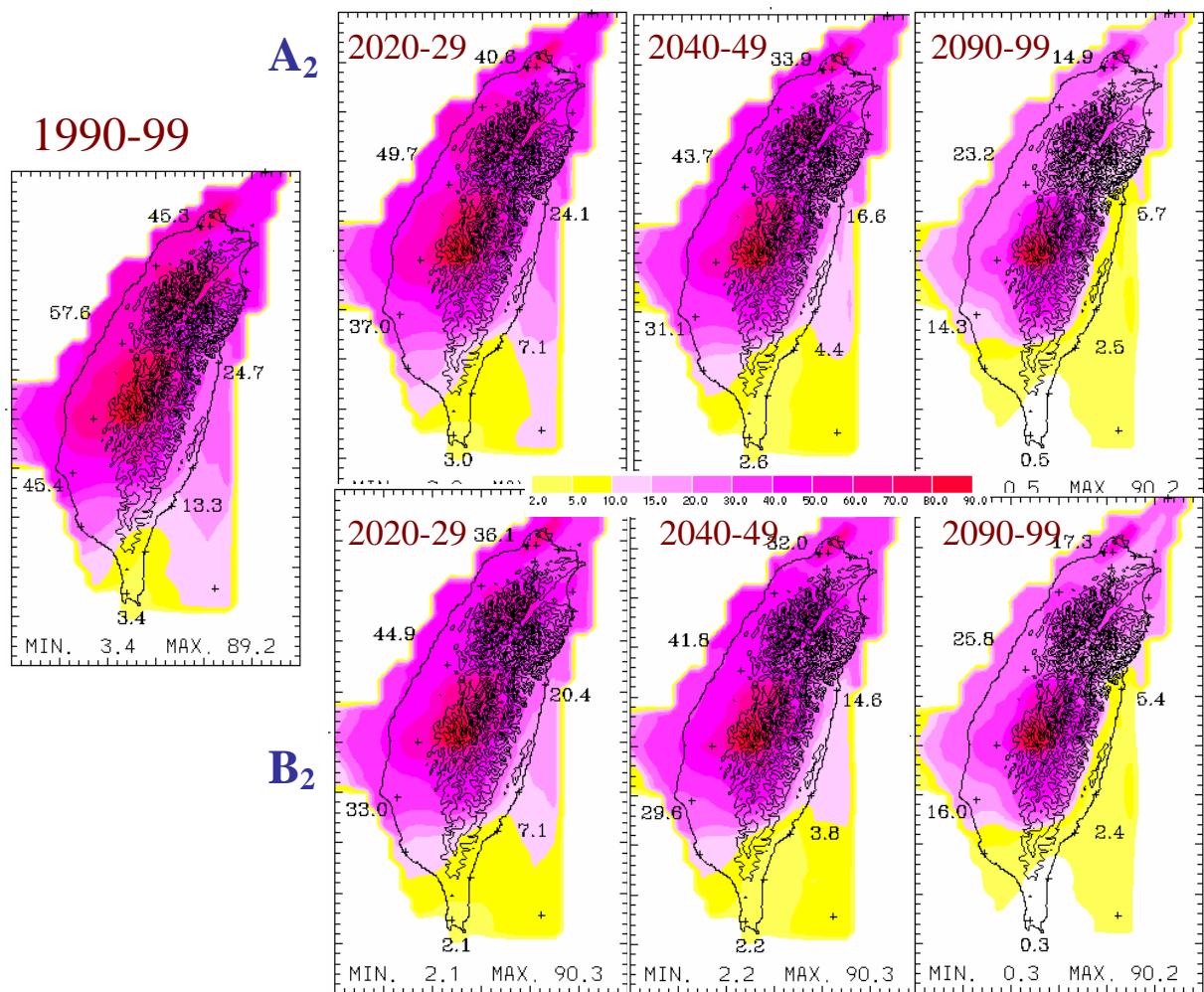


圖 4：1990-99、2020-29、2040-49 與 2090-99 等，每十年冬季內日最低溫小於 15°C 的平均出現日數之空間分布圖。後三期為全球模式在 A2 與 B2 情景下的平均預估。

計畫成果自評

本研究計畫主要有二目的，一是整合三個研究子題的成果，並促進資訊與資料交換。二是發展估算未來台灣地區極端高溫與低溫的出現機率的方法。二項任務均已圓滿達成。其中，第二項計畫的初步成果已發表於研討會，目前正撰稿以發表於學術期刊。

柳中明、林淑華、李彥枝、莊竣捷，2005：台灣夏季極端高溫趨勢評估，「氣候變遷與永續發展研討會」。2005年7月20-22日。台北。

主要成果就是定量化未來極端氣溫的出現機率，並以每十年為期，提出平均機率與其標準差。此結果乃有利於其他衝擊評估學者之應用。