

# 雪山主東峰線氣象資料分析與應用

## 雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

# 雪山主東峰線氣象資料分析與應用

受委託者：國立臺灣大學大氣資源與災害研究中心

研究主持人：林博雄

協同主持人：賴彥任

研究員：魏聰輝

研究助理：江秀真

## 雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

## 目次

表次.....	4
圖次.....	5
第一章 緒 論.....	8
第一節 研究緣起與背景.....	8
第二節 計畫目標.....	9
第三節 前人研究.....	10
第四節 研究地區與方法.....	12
表目錄圖目錄.....	14
第二章 成 果.....	21
第一節 結論.....	52
第二節 建議.....	53
參考書目.....	60

## 表次

表 1 雪山主東峰高山氣象站。.....	13
表 2 雪山主東峰高山氣象站觀測項目。.....	13
表 3 雪山逐月逐時平均氣象檔案代稱對照表。.....	23
表 4 SP1 氣象站一月份平均氣溫(SP1_MAT_01.CSV)從 00 點到 23 點的 逐時極大值、平均值、極小值以及標準差。.....	24
表 5 SP1 氣象站平均氣溫(SP1_MAT_MONTH.CSV)從 1 月到 12 月每個月 的極大值、平均值、極小值以及標準差。.....	25
表 6 地表溫度、雲霧遮蔽率長期變化趨勢表。.....	40

## 圖次

圖 1 雪山山區氣象站位置及周遭地形與水文流域。.....	14
圖 2 雪山圈谷氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。.....	15
圖 3 雪山黑森林氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。.....	16
圖 4 雪山黑森林氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。.....	17
圖 5 雪山哭坡氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。.....	18
圖 6 台灣 30m 數位地形以及雪山與玉山相對位置。.....	19
圖 7 三義慈濟茶園雲霧水攔截網實驗現場。.....	19
圖 8 德國 Munster University 霧水搜集器外觀(金門氣象站)與攔截網 近照。.....	20
圖 9 2009 年 8 月~2014 年 7 月玉山測站(紅線)與雪山氣象站(藍線)之 (A)氣壓(B)氣溫(C)相對濕度(D)風速(E)風向之逐月平均比較圖。 .....	27
圖 10 a 2009 年 8 月~2014 年 7 月玉山測站(紅線)與雪山氣象站(藍線) 之(A)氣壓(B)氣溫(C)相對濕度(D)風速(E)風向之逐月平均比較 圖。.....	28
圖 11 a:國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」 臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 1~3 月統計降尺度氣溫升降 空間分布,左列是近未來 2020~2039 年,右列則是遠未來 2080~2099 年。.....	30
圖 12 月平均 MODIS 地表溫度與地面測站月均氣溫(AT)及草溫 (Grass_T)相關性。.....	41
圖 13 MODIS 地表溫度長期平均季節變化曲線圖,(a)日間(b)夜間。 .....	42
圖 14 MODIS-LST 長期年際變化趨勢圖(a)日間(b)夜間。.....	43
圖 15 MODIS 雲霧遮蔽率長期年際變化趨勢圖(a)日間(b)夜間。.....	44
圖 16 2014 年 10 月 22~24 日檢修維護雪山圈谷與 369 山莊氣象站現 場。.....	46
圖 17 2014 年 10 月 23~24 日 369 山莊遠觀、山莊後方山坡與水塔,以 及簡易雲霧搜集器安置現場。.....	47
圖 18 雪山東峰、三六九山莊以及圈谷等地與桃山山頂等四處之數位地 形空間示意圖。.....	48
圖 19 a (上)雪山東峰山頂到桃山山頂(下)369 山莊到桃山山頂無線電 通訊評估剖面圖。.....	49

# 摘要

關鍵詞:高山氣象、氣候變遷推估、雲霧攔截

## 一、研究緣起

雪山地區為臺灣高山生態系研究重要區域之一，本計畫延續雪霸國家公園「雪山地區高山生態系整合調查」子計畫一「高山微氣象與熱量收支研究」，整理分析雪山雪東峰線海拔 3,000m 以上的四座高山氣象站近 6 年(2009~2014 年)資料。

## 二、研究方法及過程

近 6 年的氣象基本參數包括氣溫、相對溼度、風速、風向、雨量、氣壓、太陽輻射量、雪深、土壤溫度與土壤含水量，以及進階參數(土壤熱通量)均以 1~12 月各月逐時變化的特徵值(極大值及極小值、平均值與標準差)表單呈現加以整理。此外，同一時段的雪山圈谷氣象站與中央氣象局玉山北峰氣象站兩地高山氣象逐月特徵的異同和時間頻率特徵，也加以比較分析。透過雪山地表溫度與氣溫觀測來校驗美國 NASA/MODIS 衛星遙測地表溫度(LST)資料，進而檢視雪山地區氣象環境之 11 年氣候變化幅度。本計畫也取得「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」計畫的 A1B 情境之統計降尺度資料，套上雪霸國家公園空間範圍來闡釋未來近未來(2020~2039 年)與遠未來(2080~2099 年)的氣溫和降雨變遷可能情境。

## 三、重要發現

雪山圈谷夏冬兩季溫差(冬天更冷、夏天更熱)大於玉山北峰。玉山北峰終年潮濕強風，除了夏季南風，其餘季節呈現西風特徵；雪山圈谷則是終年較弱的南風(西風翻越雪山山脊造成下坡南風)，雪片飛越雪山山頂與脊線下降累積在圈谷底部，因此造成降雪量多於玉山北峰。相對於過去 40 年(1961~2000 年)，雪霸國家公園「近未來」氣溫在 12 月、1 月顯著升溫，2、3、5、11 月則是中度升溫，4、6、7~10 月則是輕度升溫；「近未來」雨量方面，10 月~1 月、3~5 月偏乾(雨量短少)，2 月和 6 月則與過去 40 年類似，但 7~9 月則是更潮濕。MODIS-LST 月均溫與雪山氣象站月均氣溫及草溫相關係數均達 0.98，顯示 MODIS-LST 在此區域具有相當的參考價值。MODIS LST 資料也顯示來日夜間地表溫度分別以 $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 及 $-0.03^{\circ}\text{C}/\text{year}$ 的趨勢下降。日夜雲霧遮蔽率則分別極顯著以 $0.9\%/\text{year}$ 及 $0.6\%/\text{year}$ 上升。

## 四、主要建議事項

三六九山莊後方山坡架設一組雲霧攔截網進行秋冬季節補充該山莊之水量，以及協助中央氣象局自動氣象站進駐雪霸國家公園。

## Abstract

Key words: mountain meteorology, estimation of climate change, cloud-fog harvest

Shei-San region is one of the mountain ecosystems researching sites in Taiwan. This project will re-analyze the near 6-year meteorological dataset which is collected from the sub-program #1 「Heat Budget Study of Mountain Micro-Meteorology」 in the integrated survey project of SheiSan Mountain Ecosystem from 2009 to 2014. The meteorological data monitored by four weather stations ober 3000m altitude covers basic variables (air temperature, relative humidity, wind speed and wind direction, precipitation, pressure, soloar radiation, snow depth, soil temperature and moisture) and advanced estimated variables (soil heat flux, heat dispersion and conductive coefficients, soil water content). All of the data are processed into monthly and hourly tables for quick access and application. Meanwhile, the meteorological data at Yu-San weather station operated by Central Weather Bueau (CWB) was collected as same time period of to SheiShan 6-year meteorological dataset. We make comparion and disciss on the characeristics of the mountain meteorology at Taiwan. We also use the observing surfave temperature data at SheiShan to validate NASA/MODIS land surface temperature (LST) and then disucss the 11-years' variation at this region. The A1B climate change scenarios downscaling at Shei-San Nation park is also discussed on air temperature and rainfall variation in near future (2020-2039) and far future (2080-2099). We will also evaluate the possibility on cloud-fog harvest at Sanliujiu (369) Hut and CWB auto-weather stations setup in Shei-Pa National Park.

# 第一章 緒論

## 第一節 研究緣起與背景

生態學研究將環境因子分為氣候、土壤和生物等三大類型，並再並列土壤、水分、溫度、光照、大氣、火和生物因子等 7 種項目，其中又以氣候因子為生態觀察與研究為最重要的影響因子之一。全球各地的長期生態研究站將多種生態調查(包括野生物、土壤、微生物、地質、地形、水文、微氣象、養分循環等因子)結合資料庫，讓研究者加以應用和分析，藉以瞭解研究區域範圍內生物族群在時間尺度及空間分佈的動態變化，並提供生態系在未來可能變化之推估。

行政院科技部(國科會)與各大學、研究機構及國家公園管理處合作，早在 1990 年代即創設了「臺灣生態研究網計畫」，陸續設置了五個森林生態系試驗區(福山、關刀溪、塔塔加、南仁山及鴛鴦湖; Long-Term Ecological Research, LTER)以瞭解臺灣重要生態系的長期生態現象與過程。雪霸國家公園也於 2005 年起推動一項跨校際且跨學門之整合型計畫—「武陵地區長期生態監測暨生態模式建立」，以武陵地區溪流為研究地點，建構國內第一個溪流生態系模式。由於高山地區的生物社會受到迥異於低海拔地區而不適於生長與發育之環境因素的綜合影響，並且工業革命以降，人類活動所導入的全球氣候變遷現象，將導致氣溫、降水量及太陽輻射等氣象要素異常分布，其所形成之驅動力直接或間接影響亞熱帶山區的生態系。相較於低海拔地區，高山地區的生物社會所存在的棲地則相對嚴苛。

雪山地區為臺灣高山生態系研究重要區域之一，由於本區域可及性困難，相關氣候研究和資料零散。雪霸國家公園自 2009 年起進行維期三年的「雪山地區高山生態系整合調查」，該研究針對雪山地區(集水區架構上屬武陵地區)中小尺度生態系之上游或高海拔地區，積極調查與整合雪山地區高山生態系研究，以提供雪霸國家公園管理處更臻完善之經營管理策略。「雪山地區高山生態系整合調查」各項子計畫皆以高山生態系為研究主軸，子計畫一「高山微氣象與熱量收支研究」在雪山雪東峰線海拔 3,000m 以上設立 4 座高山氣象站(張等，2013)，氣象資訊包括氣溫、土溫、相對溼度、到達地表之太陽輻射量、積雪、風速風向等，它們被轉化成生態研究與觀察上的「熱」與「水」兩項生命力的參考因子。自 2009 年迄今已累積了近 6 年的氣象基礎資料，2013 年起氣象站維護與資料下載逐漸轉移給雪山志工執行。本計畫針對上述氣象站以及雪山主東峰登山路線其他氣象資料，進行統計分析與氣象站經營管理策略的實質建議，以提供雪霸國家公園管理處在生態保育、經營管理對策及方案之參考。



## 第二節 計畫目標

根據雪霸國家公園管理處公告內容，本計畫目標包含三大項：

### 1. 2009~2014 年雪東線氣象資料之統計分析

- (1) 氣象觀測參數(氣溫、相對溼度、風速、風向、雨量、氣壓、太陽輻射量、雪深、土壤溫度與含水量)1~12 月各月之逐時變化與特徵說明。
- (2) 氣象觀測進階推算參數(高山土壤熱通量)1~12 月各月之逐時變化與特徵說明。
- (3) 透過時間頻率分析軟體工具，推算基本觀測要素的變化週期特徵。
- (4) 分析同一時段雪山圈谷與玉山北峰兩地之氣象異同。

### 2. 透過美國 NASA/MODIS 衛星遙測資料檢視雪山地區地面溫度之年際變化特徵。

### 3. 透過 2009~2014 年三六九山莊氣象資訊評估測試當地雲霧攔截的水量。

### 第三節 前人研究

台灣高山氣象站觀測首以中央氣象局阿里山測站(1933年設站)，其次是玉山北峰氣象站(1943年設站)；中央氣象局(2010)針對台灣地區進行1897~2009年近年觀測要素(最高氣溫、最低氣溫、瞬間最大風速、日累積雨量)進行排序整理，做為中央與地方政府防災應用參考使用

關於台灣高山地區更進階的氣象要素(比如水文與熱量收支)，以農委會林試所福山研究中心為開端，夏(1999)研究指出該地多雨潮溼，蒸發散量較台灣其他的中、低海拔地區低，颱風所帶來的雨量大部分均立即反應在溪流水的暴雨流出之研究成果。陳與魏(2005)則是探討塔塔加地區雲杉林、鐵杉林、草原區玉山箭竹等樣區深度5cm與10cm土壤溫度以及表層土壤熱通量，比較不同海拔、不同坡向、不同植被之差異；該研究結果顯示土壤熱通量平均年收支淨值和振幅都是中海拔地區小於中高海拔地區，北坡不同坡向間之差異，平均年收支淨值之分佈情形為北向坡大於南向坡 不同地表植被的差異結果也顯示森林樹冠相對於短草植被有氣溫緩慢升降的保溫功能。

張等(2013)與陳等(2103)比較雪山合歡山和玉山冬季降雪量，發現雪山圈谷積雪厚度顯著多於玉山北峰之紀錄，並且鄰近雪山圈谷的黑森林區域，該處的陽光遮蔽造成輻射收支和積雪深度不及圈谷的二分之一，地表積雪融化總能量因此比雪山圈谷低，但是森林的保溫作用則使得融雪過程則較圈谷顯著與持續。圈谷氣象站單日積雪深度可達70cm厚度 (2010年2月19日)，降雪達一定厚度並隔一段時間未融，將由鮮雪(Fresh Snow)轉變為熟雪(Ripe Snow)，積雪變為密實而容易登山客滑倒。

每當某地氣象資料長期累積後(稱之為氣候)，通常以某時段的平均值、變化振幅(標準差)以及週期性特徵等統計參數最被廣為接受。單一氣象站代表其周遭環境特質，所能代表的空間範圍(或改以儀器顯露度(exposure)定義)可依據該地雨量筒上空四周環境地形地物的水平視仰角之平均值( $\Theta$ )來定量分級(World Meteorological Organization (WMO)，2008):

1. 顯露良好(exposed site)， $\Theta < 6$
2. 大致顯露(mainly exposed site)， $6 < \Theta < 12$
3. 大致遮蔽 (mainly protected site)， $12 < \Theta < 19$
4. 嚴重遮蔽 (protected site)， $\Theta > 19$

在時間尺度上最常見的氣象資料整理是:年平均(annual mean)、四季季節平均(seasonal mean)、逐月平均(monthly mean)、逐日平均(daily mean)與小時平均(hour mean)。當資料時間長度超過10年以上，才可以開始討論當地氣候平均，包括多年代、年代際與年代變化等特徵。氣候資料分析方法有EOF (empirical orthogonal function、SVD (singular value decomposition)、wavelet、HHT (Hilbert Huang Transform) 等不同方法，Egger and Carpi (2008) 也討論天氣與氣候資料的分析與

詮釋方法。然而雪山氣象資料僅有近6年時間長度，因此最廣為理工學界認知的傅利葉時間頻譜分析(Fourier Power Spectrum Analysis)，也可以用來反應這段期間氣象觀測要素的變化週期特徵 (Brooks,2011)。

此外，單一地面氣象站與當地氣候變遷模擬的關聯，前者是扮演氣候變遷情境模擬的佐證；不過，由於雪山高山氣象站目前的資料時間長度過短(建議至少20年)，因此套入氣候變遷情境模擬的討論架構之前，可先比較雪山圈谷氣象站與玉山北峰氣象站(圖 1)的異同程度，再套用全球氣候變遷情境模擬網格點數值，在中央氣象局玉山北峰測站的降尺度(downscaling)結果(許,2011; 陳等,2012; 盧等,2012)，間接得知雪山地區氣候變遷情境的可能結果。

單一氣象站觀測結果除了提供電腦模擬之驗證參考，也可以驗證衛星遙測資料，Lai *et al.* (2012)利用美國 NASA/MODIS 的 LST (land surface temperature) 資料，來進一步測試台灣 1 km\*1 km 複雜地形下的 NASA/MODIS LST 資料特質。

高山地區生態除了氣溫熱力效應之外，水文應用也是生態與遊憩重要的一環，比如冬季缺水乾旱期間(2008年12月18日與2014年1月20日兩天)三六九山莊發生森林火災，除了造成登山旅遊不便之外，也衝擊周遭生態。高山雲霧帶之水平降水(相對於下雨的垂直性降水)蒐集，早在1994年起已在南美洲智利和全球各乾旱地區進行，透過攔截網進行集水實驗所獲得的攔截水量約 3~10 L/m<sup>2</sup> (Klemm *et al.*,2012)。林等(2014)在台灣三義山丘慈濟茶園進行~3個月集水實驗，發現當地水平移動的雨霧被攔截而進入雨量筒的總累積量，是傳統雨量筒觀測累積雨量的177倍；最有效的雨霧水攔截量發生在2~5ms<sup>-1</sup>強度的東北風期間，雨霧發生當時的相對溼度都高達95~100%，氣溫則在20°C以下、能見度小於1km，甚至大部分時間都低於500m。三義地區的攔截網實驗期間(77天)初估每1m<sup>2</sup>有106公升水量蒐集率。

## 第四節 研究地區與方法

本計畫定義的雪山主東峰線是指雪霸國家公園境內之雪山步道沿線，自武陵雪山登山口（海拔 2,140 m）到雪山主峰（海拔 3,886 m），以三六九山莊（海拔 3,142 m）和雪山圈谷兩地的氣象站資訊分析與應用為計畫之重點。該路段所設置的高山氣象站地理位置觀測項目詳列在表 1、表 2 以及圖 1，圖 2 到圖 5 則分別是各氣象站不同季節的現場影像。

### （一）2009~2014年雪東線氣象資料之統計分析

本計畫將再次彙整 2009~2014 年期間，雪山主東峰線的氣象站資料內容，將氣象資料區分成兩大類型：

1. 基本參數：氣溫、相對溼度、風速、風向、雨量、氣壓、太陽輻射量、雪深、土壤溫度與含水量。
2. 進階推算參數：高山土壤熱流量。

這些資料以蒐集期間 1~12 月各月之逐時(1~24 小時)變化加以整理和特徵分析。其次經由時間頻率分析軟體工具，推算這些氣象要素的不同時間週期的特徵。

此外，本計畫將蒐集同一時段的中央氣象局玉山北峰氣象站(海拔 3850m)觀測資料，來討論台灣南北兩大高山主峰相距 105km (圖 6)之氣象條件異同。由這一結果可代入中央氣象局降尺度推估玉山測站氣候變遷的趨勢，間接評估雪山圈谷氣候變遷之趨勢，並與中央研究院的臺灣氣候變遷推估與資訊平台 1 km 解析度氣候變遷推估值來比較，具體討論雪霸國家公園氣候變遷的推算程度。

（二）高山氣象站歷年資料分析透過美國 NASA/MODIS 衛星遙測料(如 LST 與 NDVI)檢視雪山地區氣象環境之年際變化特徵。

本計畫將沿用賴等(2012)使用美國 NASA/MODIS 的 LST 遙測資料之演算程序，再次針對雪山主東峰線氣象站周遭進行地表溫度推算，並與該地地溫實際觀測數值加以比對調整。

### （三）透過 2009~2014 年三六九山莊氣象資訊評估測試當地雲霧攔截的水量。

本計畫將沿用林等(2014)三義山丘雲霧水攔截(圖 7)實驗方法，先以該地風速風向和溫度濕度等氣象資訊來評估可攔截雲霧水的方位與效率，並現地評估攔截網架設來直接注入蓄水桶的方案，評估增加三六九山莊用水量之可行性。同時引用德國 Munster 大學霧水採集器的攔截網形式(圖 8)，在三六九山莊進行夜間集水測試。場勘期間也將邀請中央氣象局測政組同仁，現地評估中央氣象局自動氣象站未來設置的可行性方案，以延長雪山主東峰氣象資源調查期程。

表 1 雪山主東峰高山氣象站。

地點	園谷	黑森林	三六九	哭坡頂
X 座標 (TWD97)	273961	274386	275879	278180
Y 座標 (TWD97)	2698080	2698560	2698536	2698351
海拔高度	3,584 m	3,405 m	3,142 m	3,100 m
坡向	NE	NE	NEE	SEE
植被	玉山杜鵑 玉山圓柏	臺灣冷杉	林火跡地	玉山箭竹 高山芒草
地表狀態	礫石	土壤	土壤	碎石
表面層礫石比率	90%	<10%	30%	50%
出露土壤剖面	無	60 cm	60 cm	50 cm
土壤層礫石比率	未知	20%	10%	80%
土壤層礫石粒徑	未知	0-45 cm	0-30 cm	30-50 cm
備註		2014 年 4 月 停止		2014 年 4 月 停止

表 2 雪山主東峰高山氣象站觀測項目。

項目	廠牌	型號
資料紀錄器	Vaisala Co.	QML210
氣壓	Vaisala Co.	PTB100
氣溫	Vaisala Co.	HMP45
相對溼度	Vaisala Co.	HMP45
太陽輻射量	Licor Co.	200sz
光合作用輻射量	Licor Co.	190
風速/風向	Vaisala Co.	2D Ultra Sonic Windcap
降雨	Vaisala Co.	RainCap
草溫	Vaisala Co.	QMT 103
土壤溫度(地下 5,10,20,30,50 cm)	Vaisala Co.	QMT 103
土壤濕度(地下 10,20,30,40,50 cm)	Delta T Co.	Thelta

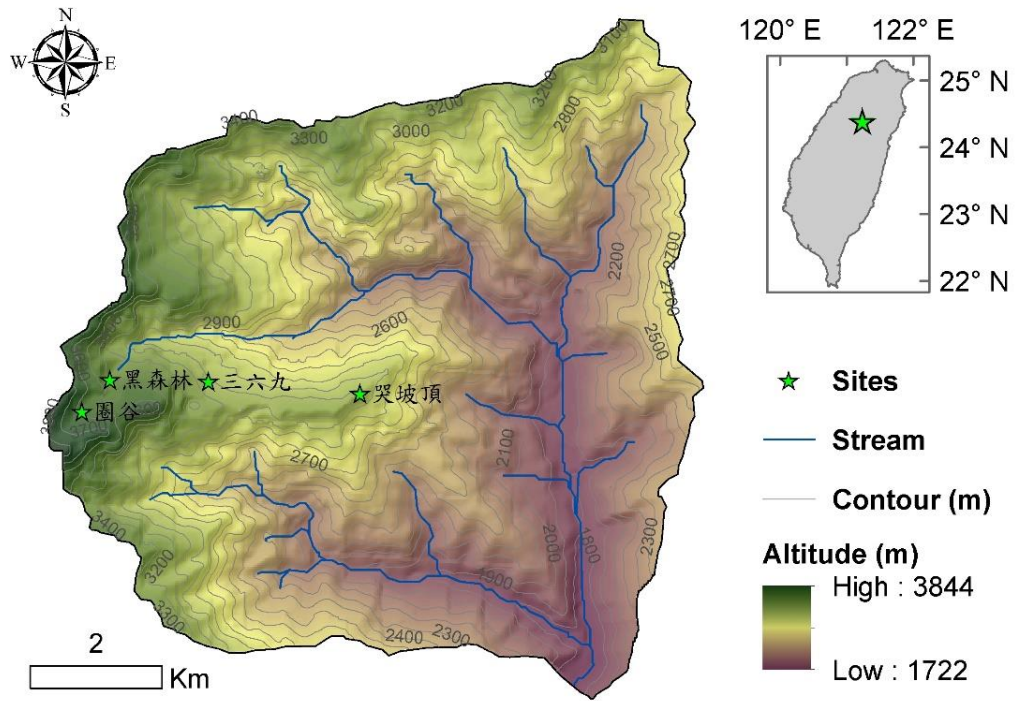


圖 1 雪山山區氣象站位置及周遭地形與水文流域。

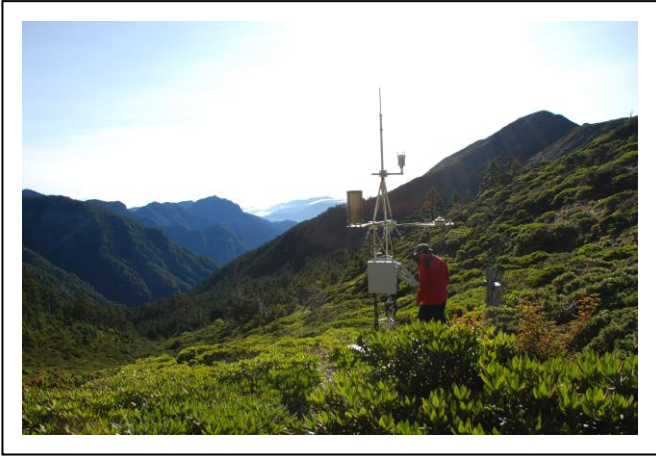


圖 2 雪山圈谷氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。





圖 3 雪山黑森林氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。





圖 4 雪山黑森林氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。

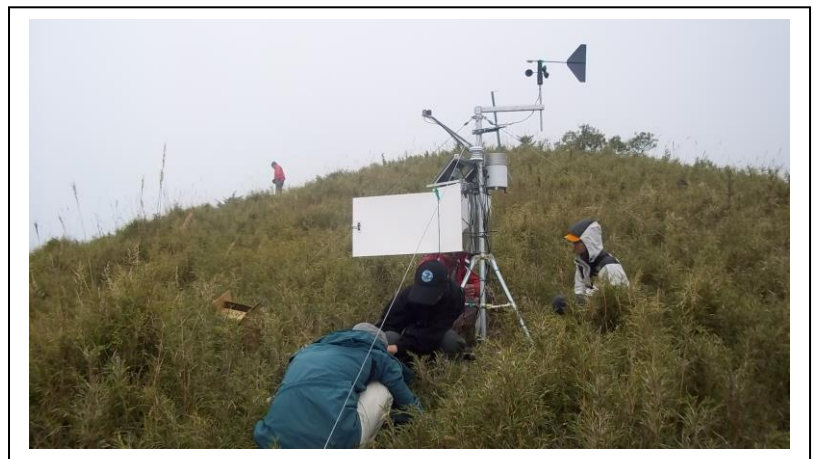


圖 5 雪山哭坡氣象站 2011~2012 年不同季節的現場照片。

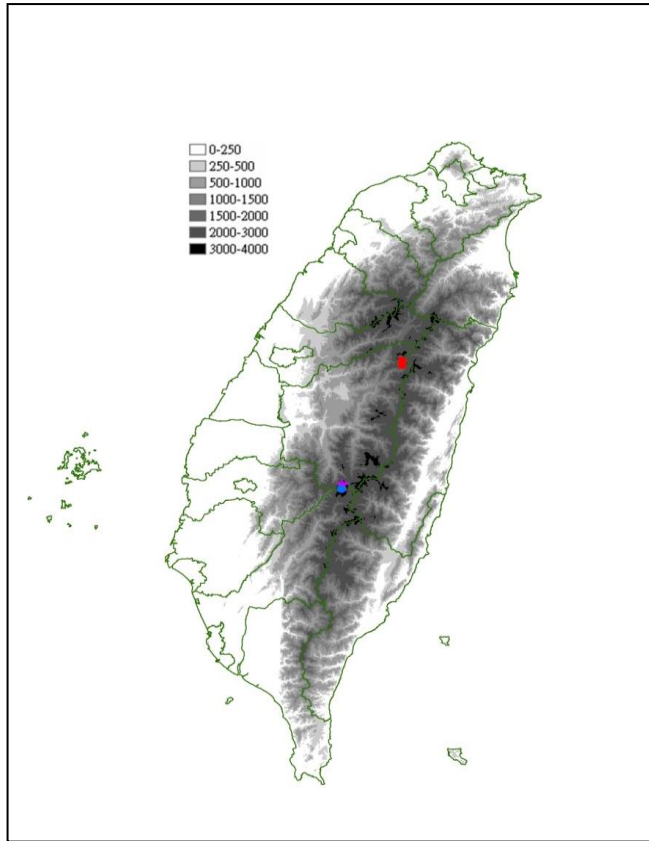


圖 6 台灣 30m 數位地形以及雪山與玉山相對位置。

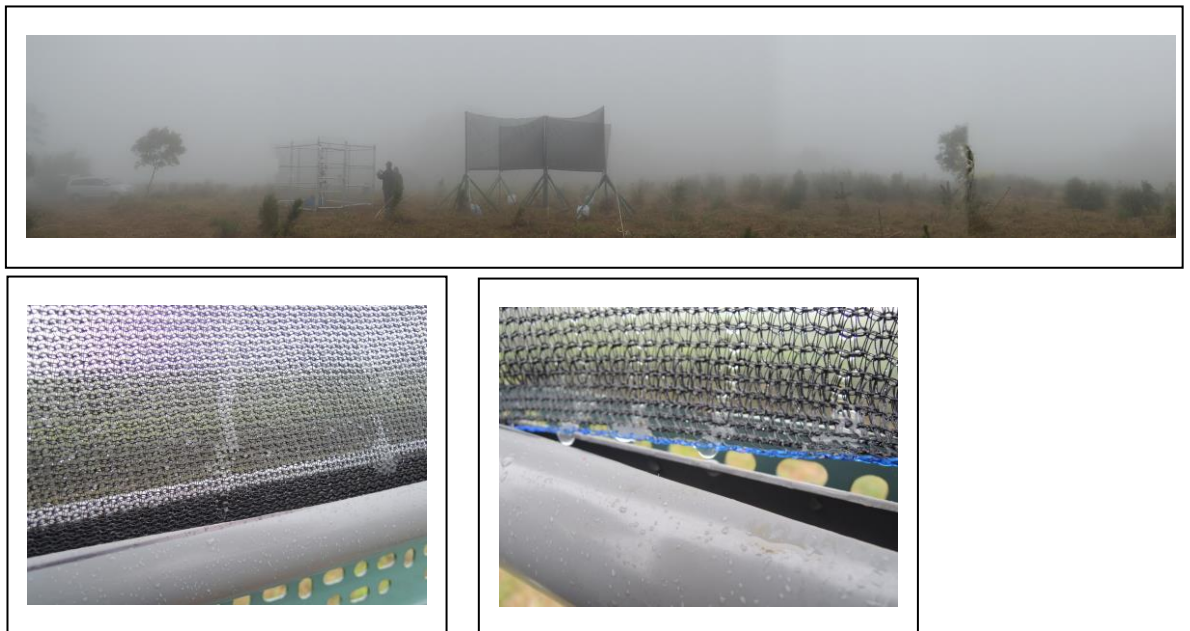


圖 7 三義慈濟茶園雲霧水攔截網實驗現場。



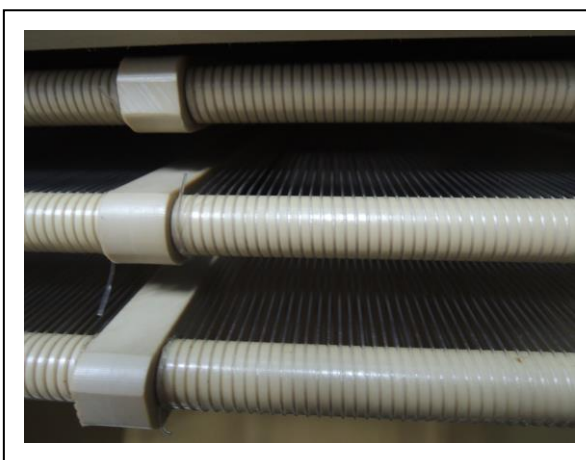


圖 8 德國 Munster University 霧水搜集器外觀(金門氣象站)與攔截網近照。

## 第二章 成 果

### 第一節 2009~2014年雪山主東線氣象資料之統計分析

#### (A)雪山主東線SP1~SP4氣象站月份與逐時變化

本計畫首先檢視 2009 年 9 月~2013 年 11 月期間的雪山主東峰線的氣象站資料的完整度，再彙整 2014 年 4 月、8 月以及 10 月的 SP1(雪山圈谷)與 SP3(369 山莊)氣象資料；2014 年新增資料格式仍按照先前中央研究院生物多樣性中心為「雪山地區高山生態系整合調查」計畫，所設計的資料庫格式(csv format)加以整理，倚以 2014 年 12 月 21-23 日入山取回氣象資料後，一併燒錄成光碟繳交給委託單位存查。這些氣象資料時間解析度有原始、10 分鐘平均、小時平均、日平均以及月平均等 5 種時間解析度；資料屬性又分為兩大類，一是直接量測的「基本參數」，包括氣溫、相對溼度、風速、風向、雨量、氣壓、太陽短波與可見光輻射量、土壤溫度、土壤含水率與葉濕。一是推算獲得的「進階參數」，比如土壤熱流量。這些氣象資料加以統計整理並以過去數年期間 1~12 月各月逐時(1~24 小時)變化特徵之表格來呈現，表 3 是氣象參數與代稱對照表，所有參數的 CSV 表格均收錄在資料光碟，方便委託單位選擇使用在園區規劃和遊憩導覽文件。舉例而言，表 4 是 SP1 氣象站一月份平均氣溫(SP1\_MAT\_01.CSV)從 00 點到 23 點的逐時極大值、平均值、極小值以及標準差。表 5 是 SP1 氣象站平均氣溫(SP1\_MAT\_MONTH.CSV)從 1 月到 12 月每個月的極大值、平均值、極小值以及標準差。

#### (B)玉山測站與圈谷測站之異同

本計畫蒐集了雪山氣象觀測同一時段(2009 年 8 月~2014 年 7 月)的中央氣象局玉山北峰氣象站(海拔 3850m)觀測資料，來探討台灣南北兩大高山主峰相距 105km 之氣象條件異同。圖 9 整理兩氣象站(玉山測站，紅線；雪山氣象站，藍線)之氣壓、氣溫、相對濕度、風速、風向等五項參數地逐月平均比較。氣壓方面，兩地因海拔高度差異而有~20hPa 差異；雪山圈谷的夏季冬季的溫差(冬天更冷、夏天更熱)大於玉山北峰，圈谷半封閉地形與玉山北峰山巔的開闊凸顯出這一差異，也反映在相對濕度以及風速和風向。玉山北峰終年潮濕強風，除了夏季南風，其餘季節呈現西風特徵；雪山圈谷則是終年較弱的南風(西風翻越雪山山脊造成下坡南風)，雪片飛越雪山山頂與脊線下降累積在圈谷底部，因此造成降雪量多於玉山北峰觀測坪，然而空氣的相對濕度卻是相對於玉山北峰空闊裸露的觀測坪來得乾燥。

#### (C) 高山氣象站之時間頻率特徵

圈谷氣象資料由於高度接近玉山氣象站，以及其特殊的圈谷地形條件，冬季累積大量白雪，因此其對天氣氣候以及周遭生態環境的回饋重要性更為突出；此外，玉山測站則有超過 30 年氣候紀錄資料。由於該測站有中央氣象局職工值班守視與紀錄天氣，因此資料品質和時間連續性優於雪山圈谷無人自動氣象站之資料，本小節先分析了玉山測站 2009 年 8 月至 2014 年 7 月期間，氣溫、雨量和風速等三項參數的時間頻率特徵，來說明台灣高山氣象資料的特質。本研究分別透過中研院黃鐸院士所提出的 HHT (Hibert Huang Transform)，以及 Fourier Transform(傅利葉)兩種地球科學領域經常引用的訊號時間頻率分析方法來拆解高山氣象資料訊號意義。圖 10a-(A)顯示 5 年的玉山測站逐時小時氣溫之 HHT\_HMS 以及 Fourier transform 分析，HHT\_HMS 有一頻帶在頻率 $\sim 0.04$  ( $\sim 25$  小時)，對應慣性(日夜)變化，此一日夜變化頻率經由 Hilbert Spectrum 分析中也得出(圖未示)在每年 1 月時較為不顯著(雲量多)，並且低頻長時間周期的頻率分量較 Fourier Transform(FT)資訊豐富許多。圖 10a-(B)和圖 10a-(C)分別是玉山測站風速和雨量資料的 HHT\_HMS 以及 FT 分析結果，風速部分顯示每年 7 月明顯有半年至一年與多年長時間周期的分量，但同時短時間周期部分也在此時較為明顯，即夏天的風速上有日變化、季變化與年變化。雨量的 HHT\_HMS 也反應一些夏季的強降水事件。圖 10b-(A)和圖 10b-(B)則是雪山圈谷氣溫和風速的 HHT\_HMS 以及 FT 分析結果，其頻率分布特徵與玉山測站雷同，但是能譜的絕對值相對偏小，可能與資料連續性不佳有關；雨量資料的缺漏更為嚴重，因此頻率分析暫不考慮。整體而言，HHT 方法未來應用在長時間氣象資料頻率分析，比 FT 更有參考價值。

#### (D) 臺灣氣候變遷推估在雪霸國家公園範圍

本研究自行政法人國家災害防救科技中心申請取得「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」計畫(<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/NCDR/main/index.aspx>)所整理的臺灣區域氣候變遷未來推估 A1B 情境之統計降尺度資料，來進行雪霸國家公園氣候變遷推估說明。A1B 氣候情境廣為氣候研究報告採用，其情境定義是「全球經濟大幅成長，市場經濟導向，窮國與富國之間的差距消失，人類大幅投資教育與提高生活水準，科技的成長與資訊流通順暢，再生能源與石化燃料並用，土地使用變遷速度適中」。該單位提供「氣溫」與「雨量」這兩種最為社會民眾與經濟發展重視的參數，本計畫整理了「近未來(2020~2039 年)」和「遠未來(2080~2099 年)」兩種時間尺度的 1~12 月逐月變遷圖表(相對於 1961~2000 年)，並結合雪霸國家公園範圍(如圖 11a~11h)來提供委託單位參考。相對於過去 40 年(1961~2000 年)，雪霸國家公園「近未來」氣溫在 12 月、1 月顯著升溫，2、3、5、11 月則是中度升溫，4、6、7~10 月則是輕度升溫；「遠未來」氣溫逐月震盪與「近未來」類似，只是程度加深。雪霸國家公園「近未來」雨量方面，10 月~1 月、3~5 月雪霸國家公園偏乾(雨量短少)，2 月和 6 月則與過去 40 年類似，但 7~9 月則是更潮濕，「遠未來」雨量的逐月震盪幅度與「近未來」類似 (2、5、10 月除外)；由於降雨推估的數值模式不確定性很高，因此「遠未來」雨量逐月變化僅供參考。

表 3 雪山逐月逐時平均氣象檔案代稱對照表。

氣象參數	代稱	SP1	SP2	SP3	SP4
平均氣溫	MAT	○	○	○	○
最高氣溫	XAT	○		○	
最低氣溫	NAT	○		○	
平均相對濕度	MRH	○	○	○	○
最高相對濕度	XRH	○		○	
最低相對濕度	NRH	○		○	
降雨量	PREP	○	○	○	○
平均風速	MWV	○	○	○	○
最大風速	XWV	○	○	○	○
最大風速發生時間	XWVT	○		○	
風向	WD	○	○	○	○
太陽短波日射量	SR	○	○	○	○
可見光日射量	PAR	○	○	○	○
平均氣壓	MAP	○			○
最高氣壓	XAP	○			
最低氣壓	NAP	○			
平均草溫	MGT	○	○	○	○
最高草溫	XGT	○		○	
最低草溫	NGT	○		○	
地溫-5	ST05	○		○	
地溫-10	ST10	○	○	○	○
地溫-20	ST20	○	○	○	○
地溫-30	ST30	○		○	○
地溫-50	ST50	○		○	
土壤熱流量	SHF	○		○	
土壤含水率-10	SMV10	○		○	
土壤含水率-20	SMV20	○		○	
土壤含水率-30	SMV30	○			
葉濕	LW	○		○	

表 4 SP1 氣象站一月份平均氣溫(SP1\_MAT\_01.CSV)從 00 點到 23 點的逐時極大值、平均值、極小值以及標準差。

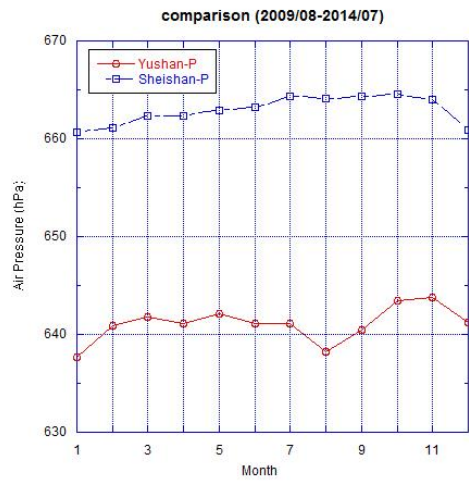
Time	MAX	AVG	MIN	STD
0	5.13	-1.41	-10.02	3.05
1	4.71	-1.34	-9.71	3.00
2	4.78	-1.36	-9.08	2.98
3	4.22	-1.33	-8.69	3.02
4	4.20	-1.36	-8.19	2.99
5	5.03	-1.50	-8.40	3.02
6	5.52	-1.63	-8.45	3.01
7	6.07	-1.65	-8.71	2.98
8	6.08	-1.46	-8.74	3.02
9	2.97	-1.57	-6.75	2.31
10	3.03	-1.29	-6.28	2.43
11	2.66	-1.61	-5.69	2.05
12	2.58	-1.35	-4.50	2.02
13	2.79	-0.95	-6.17	2.30
14	2.74	-1.24	-6.06	2.26
15	2.84	-1.12	-6.67	2.50
16	3.48	-0.96	-6.89	2.47
17	5.11	-0.92	-7.21	2.75
18	5.50	-1.15	-7.90	2.85
19	5.52	-1.27	-8.82	2.93
20	5.64	-1.31	-9.06	3.04
21	5.59	-1.31	-9.42	3.06
22	5.60	-1.30	-9.57	3.10
23	5.51	-1.31	-10.81	3.13



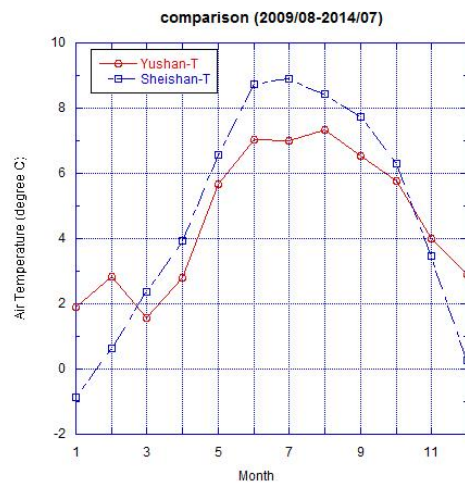
表 5 SP1 氣象站平均氣溫(SP1\_MAT\_MONTH.CSV)從 1 月到 12 月每個月的極大值、平均值、極小值以及標準差。

Month	MAX	AVG	MIN	STD
1	6.08	-1.34	-10.81	2.95
2	6.65	-0.03	-10.53	2.69
3	7.17	1.67	-7.90	2.24
4	7.96	3.41	-3.29	1.69
5	10.70	6.02	-1.06	1.46
6	12.38	7.59	3.19	1.28
7	11.55	7.47	3.05	1.53
8	11.33	7.10	2.17	1.58
9	12.37	6.69	1.68	1.60
10	10.31	5.38	-0.22	1.95
11	8.23	3.07	-5.40	2.26
12	8.35	-0.14	-9.25	3.38

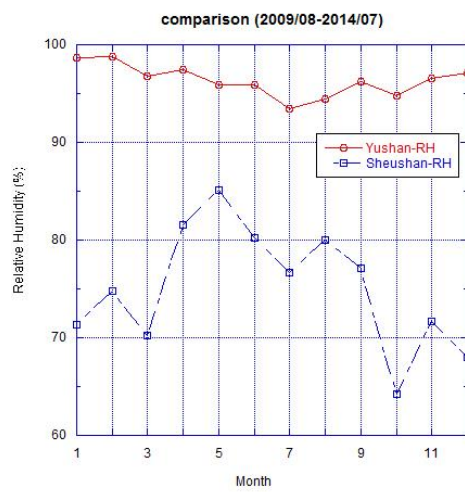
(A)



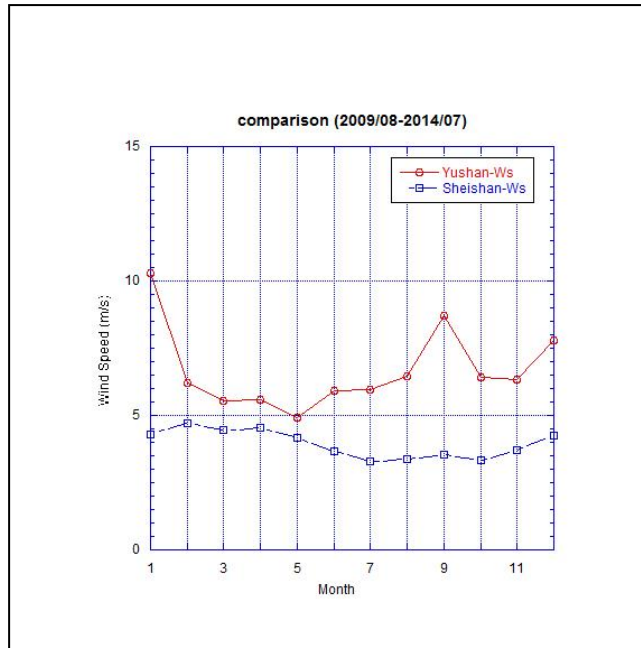
(B)



(C)



(D)



(E)

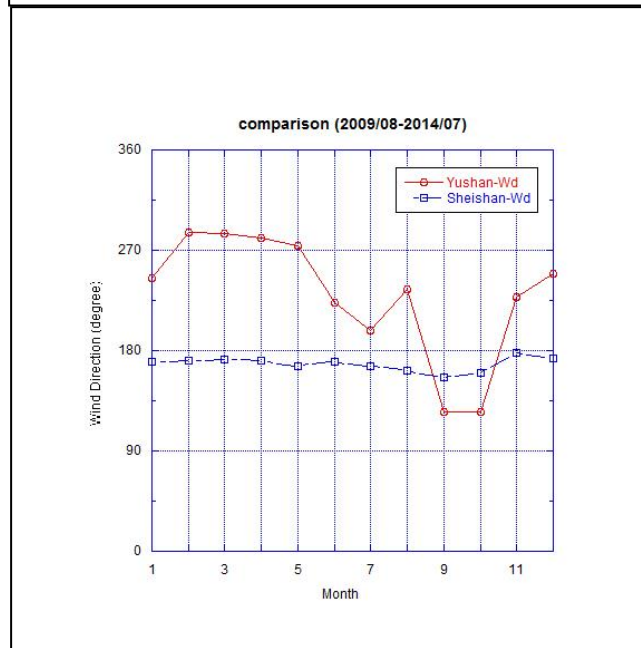
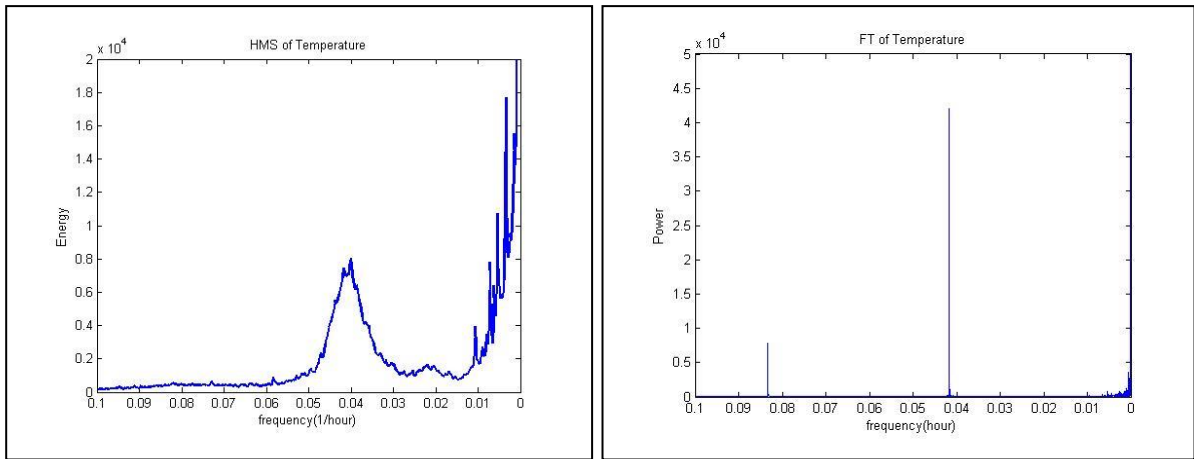
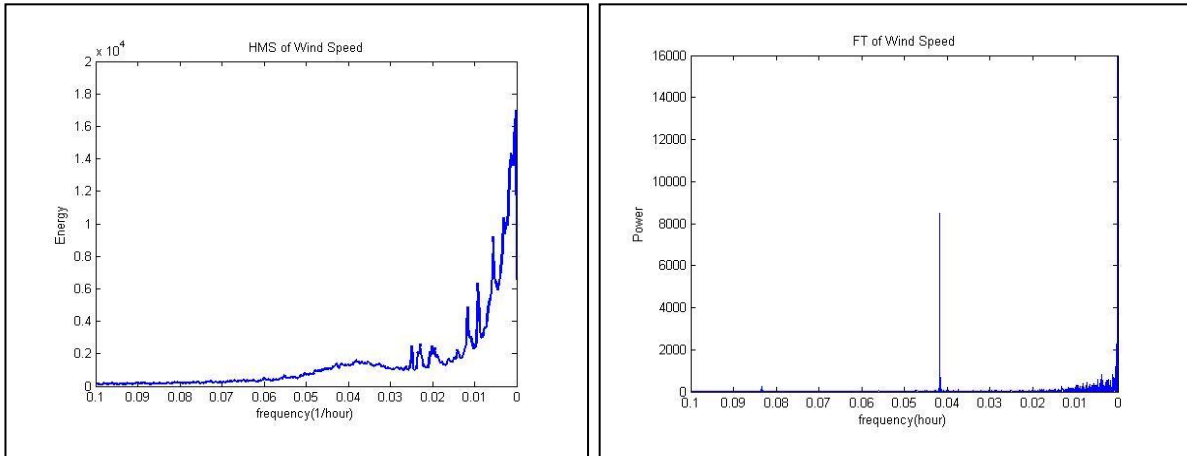


圖 9 2009 年 8 月~2014 年 7 月玉山測站(紅線)與雪山氣象站(藍線)之(A)氣壓(B)氣溫(C)相對濕度(D)風速(E)風向之逐月平均比較圖。

(A)



(B)



(C)

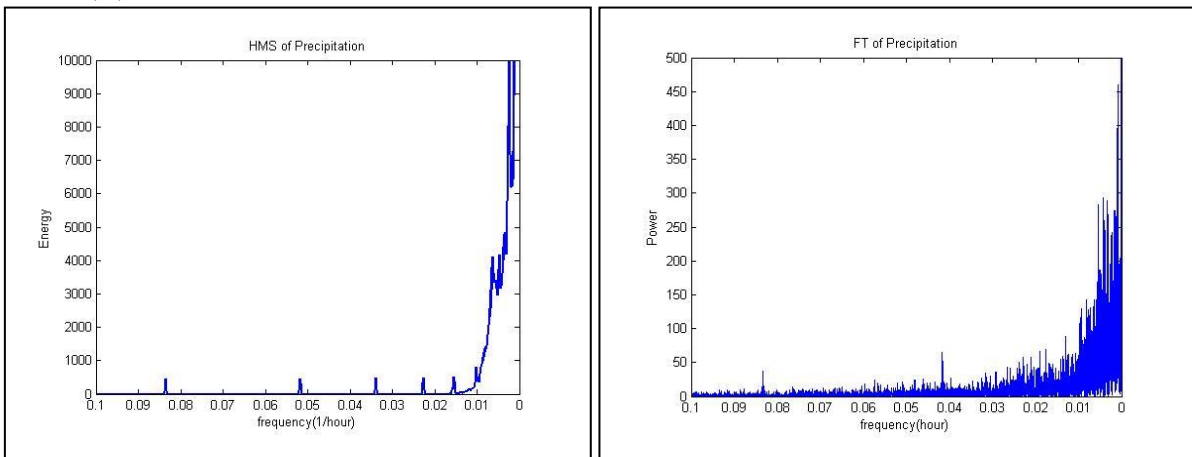
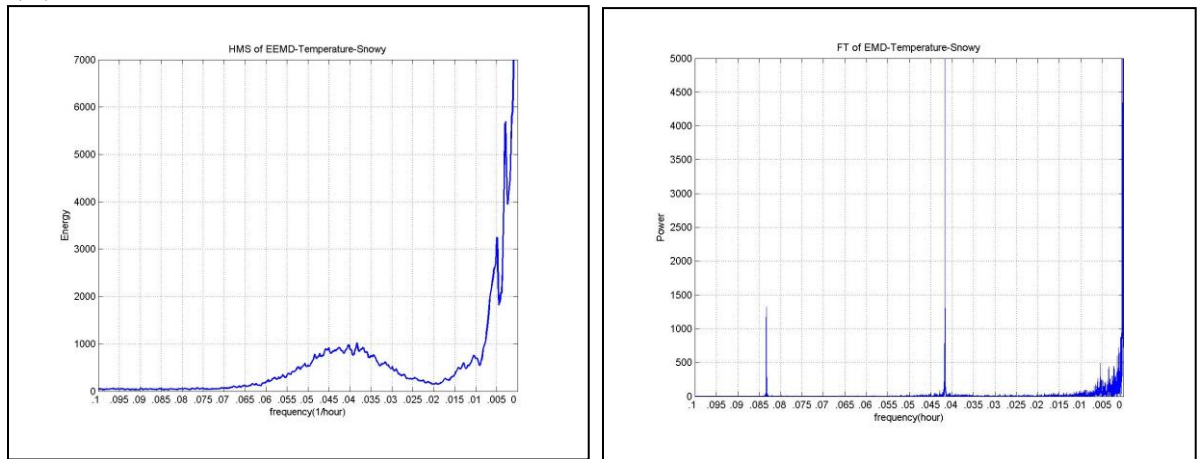


圖 10 a 2009 年 8 月~2014 年 7 月玉山測站(紅線)與雪山氣象站(藍線)之(A)氣壓(B)氣溫(C)相對濕度(D)風速(E)風向之逐月平均比較圖。

(A)



(B)

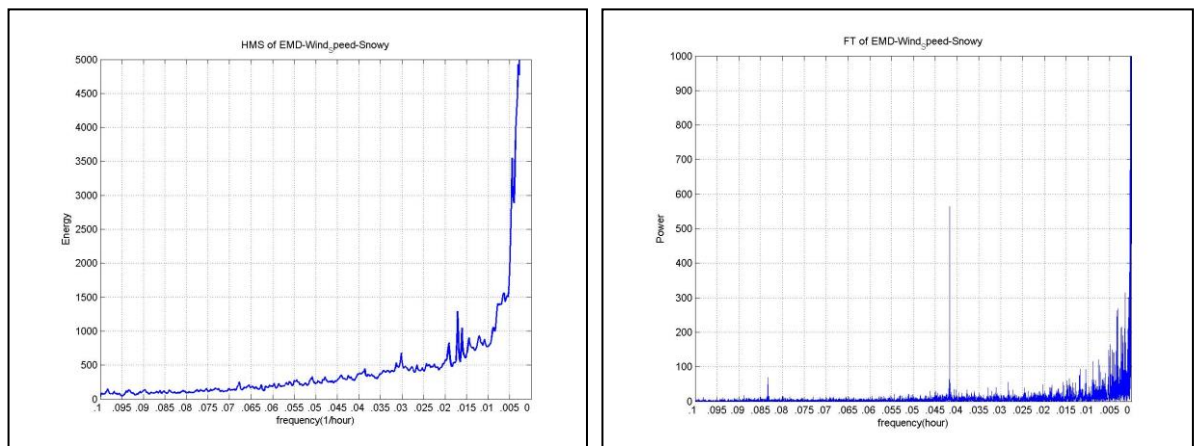


圖 10 b 2009 年 9 月至 2014 年 8 月期間雪山測站(A)氣溫、(B)風速等兩項參數的 HHT 與 FT 頻率圖。

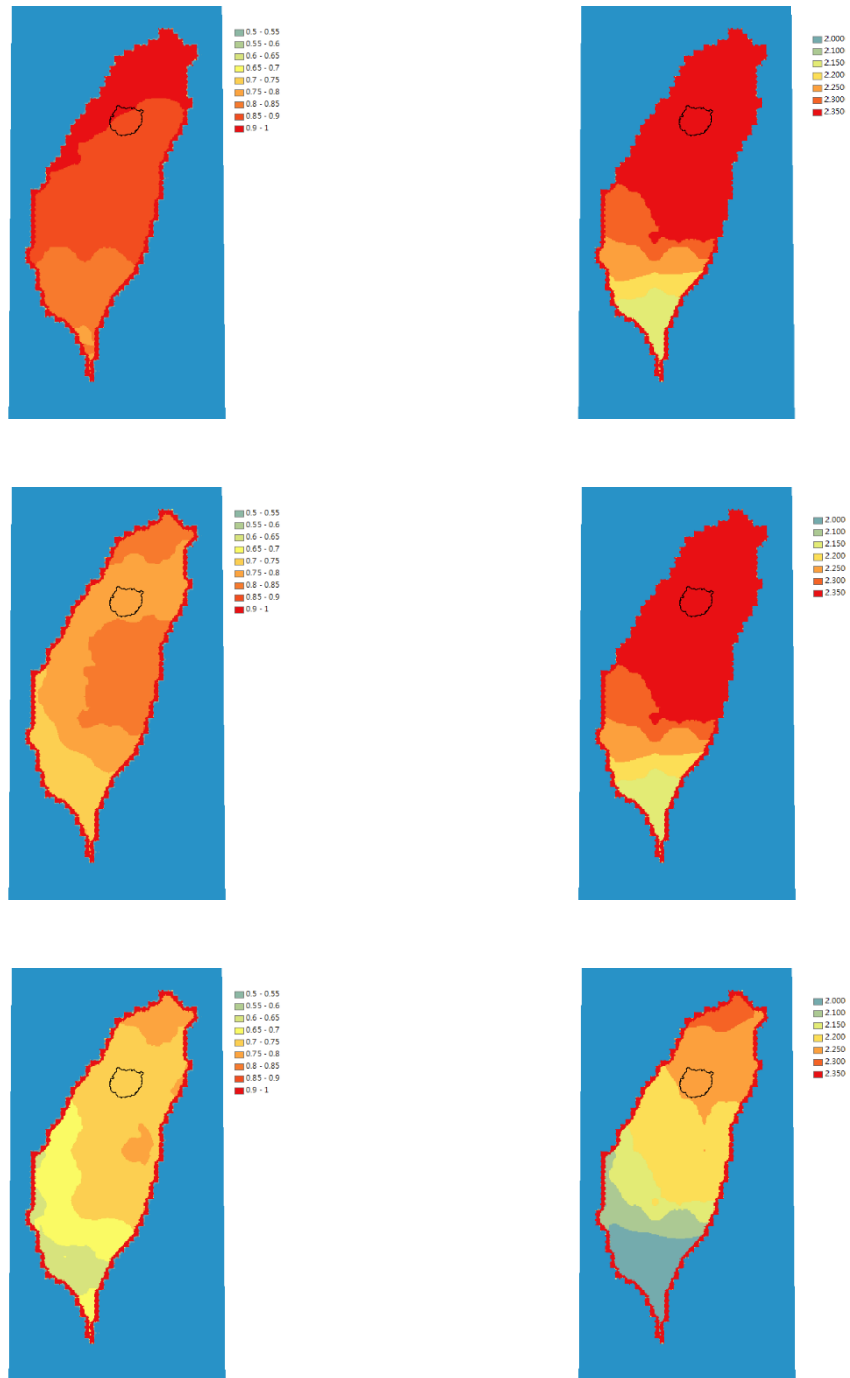


圖 11 a: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 1~3 月統計降尺度氣溫升降空間分布，左列是近未來 2020~2039 年，右列則是遠未來 2080~2099 年。

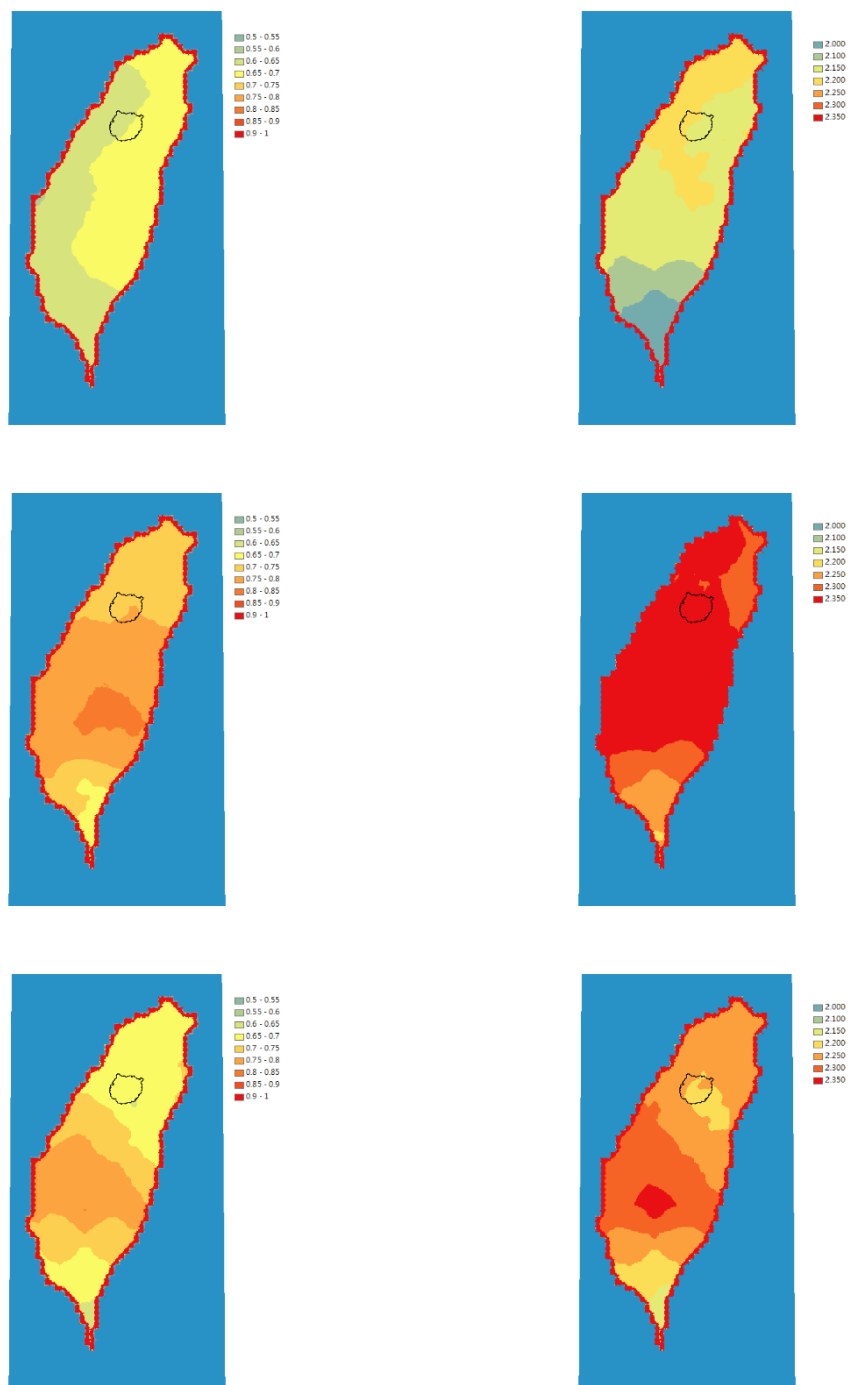


圖 11b: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 4~6 月統計降尺度氣溫升降空間分布，左列是近未來 2020~2039 年，右列則是遠未來 2080~2099 年。

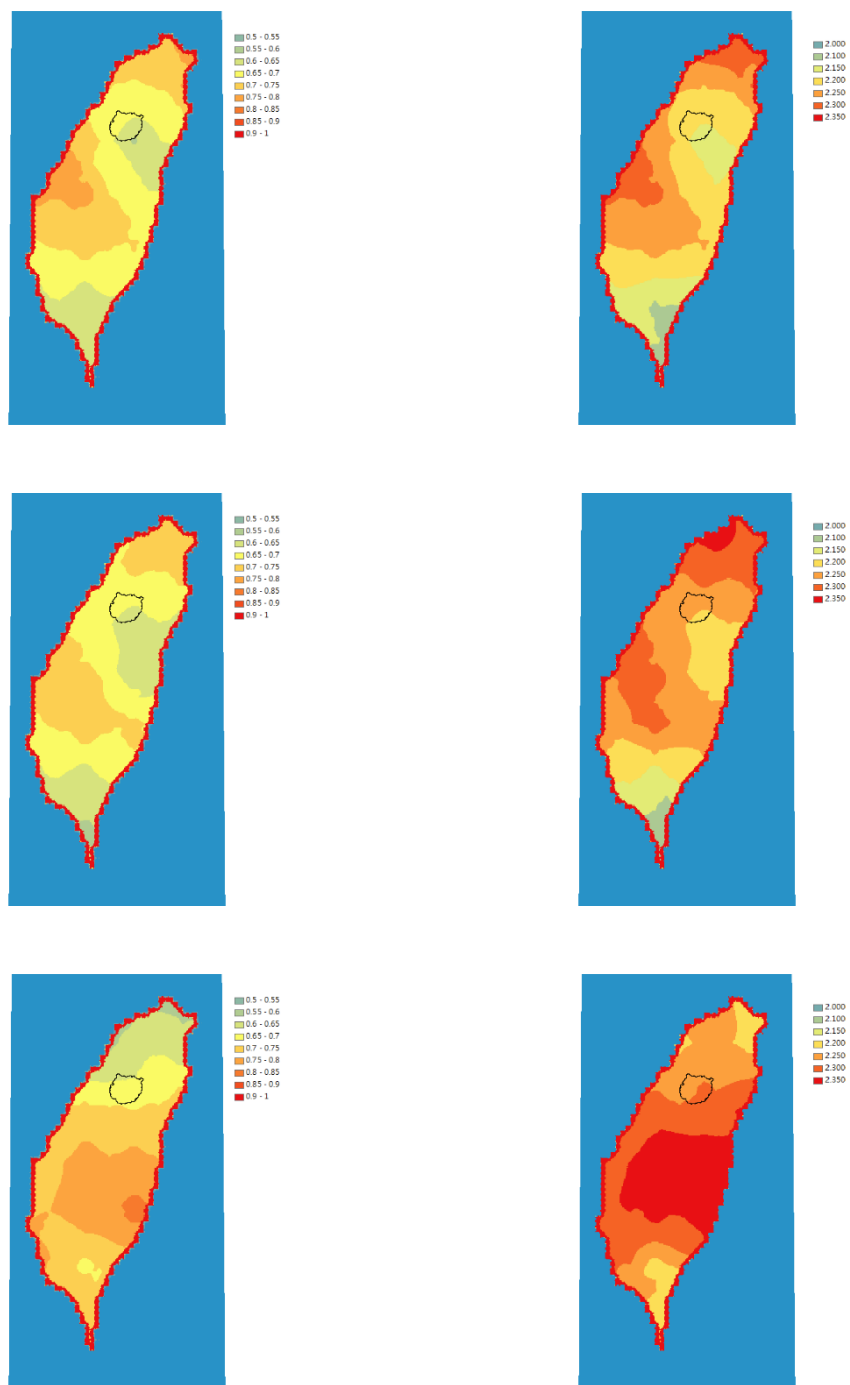


圖 11c: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 7~9 月統計降尺度氣溫升降空間分布，左列是近未來 2020~2039 年，右列則是遠未來 2080~2099 年。



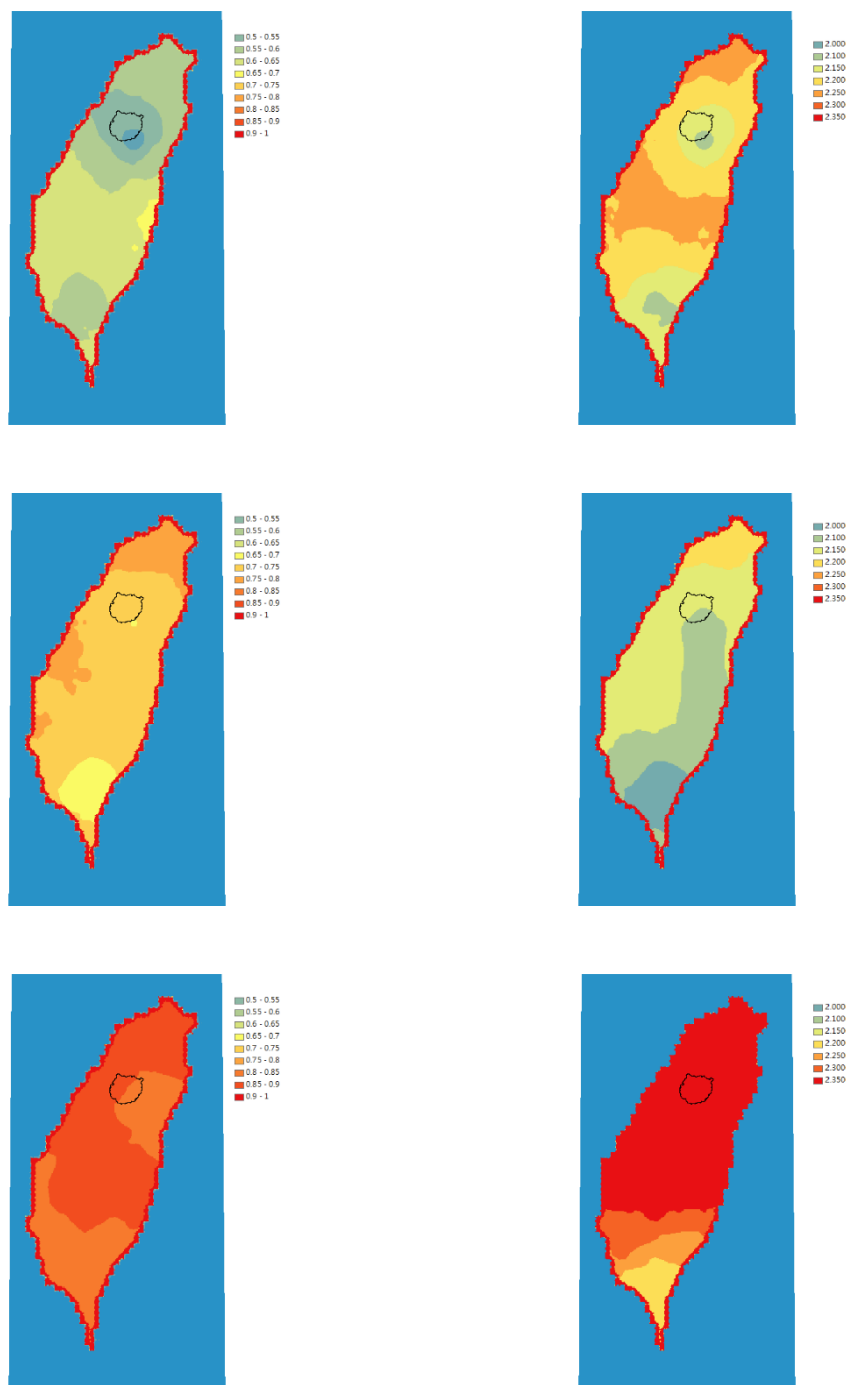


圖 11d: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 10~12 月統計降尺度氣溫升降空間分布，左列是近未來 2020~2039 年，右列則是遠未來 2080~2099 年。

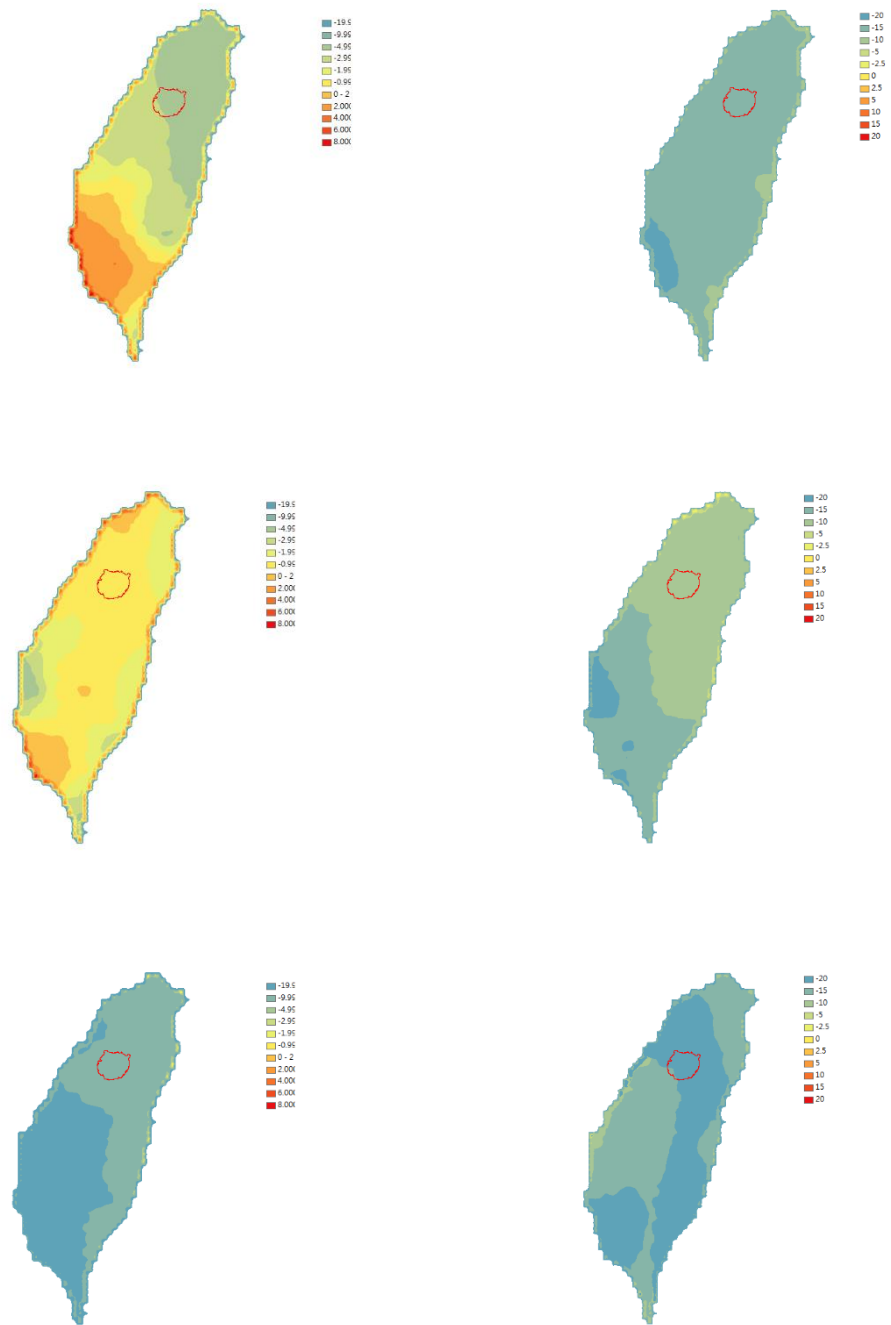


圖 11e: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 1~3 月統計降尺度雨量增減升降空間分布，左列是近未來 2020~2039 年，右列則是遠未來 2080~2099 年。

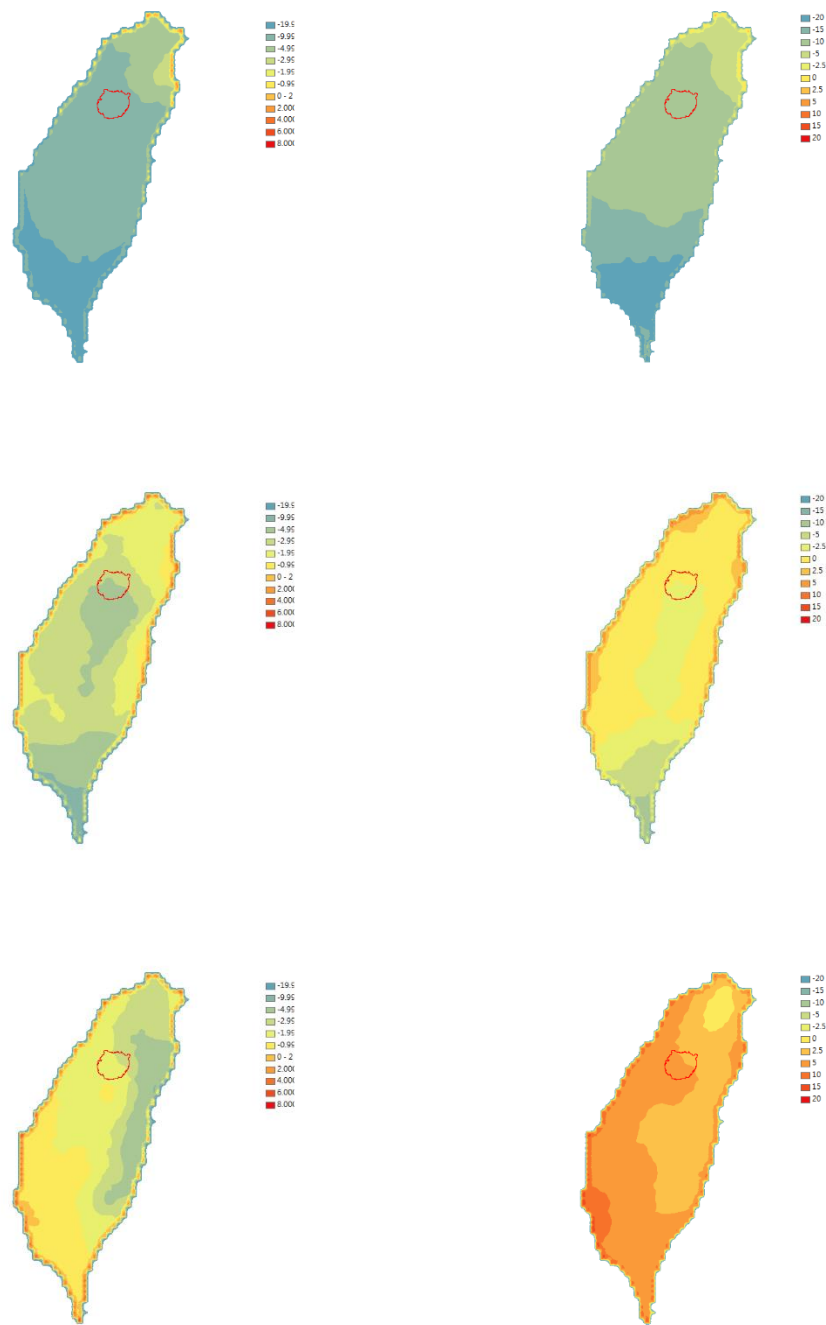


圖 11f: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 4~6 月統計降尺度雨量增減升降空間分布, 左列是近未來 2020~2039 年, 右列則是遠未來 2080~2099 年。

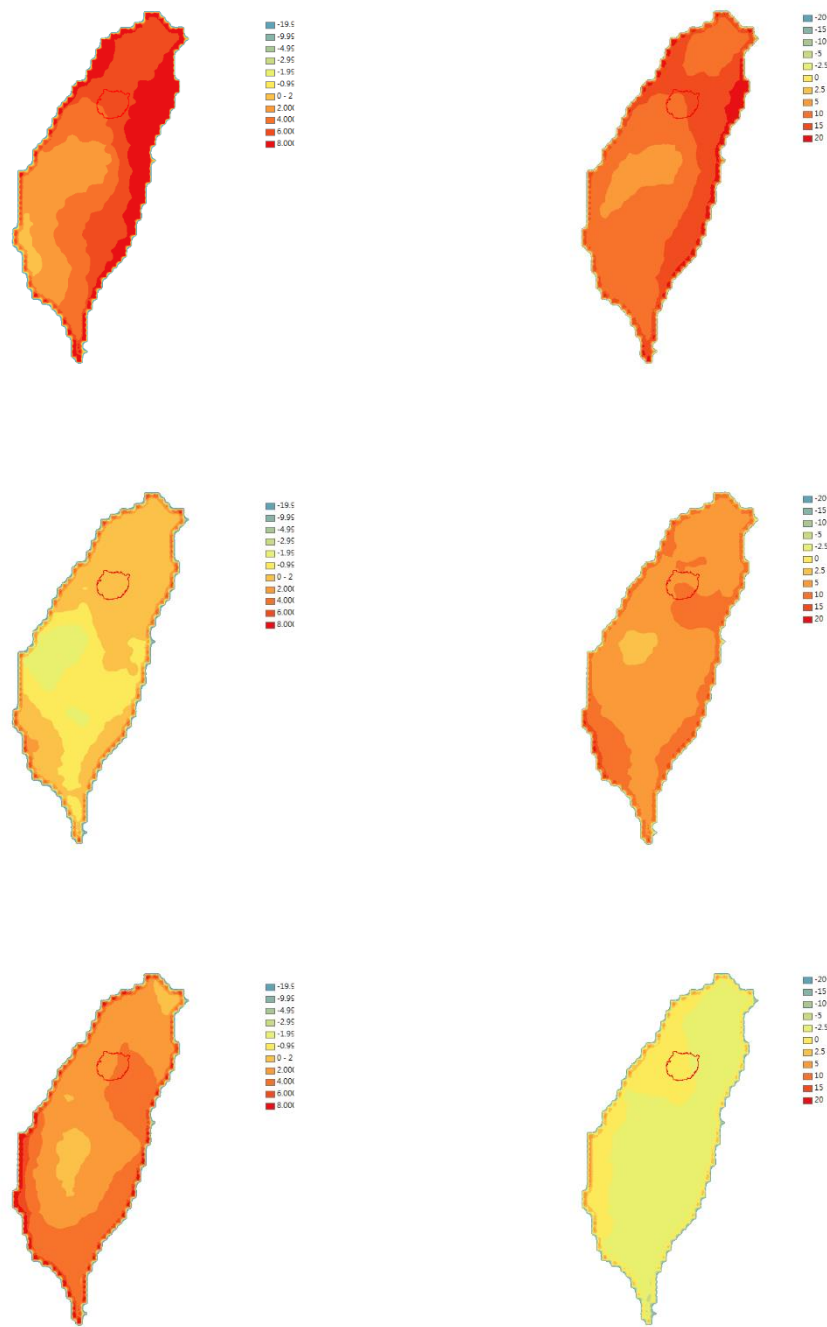


圖 11g: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 7~9 月統計降尺度雨量增減升降空間分布，左列是近未來 2020~2039 年，右列則是遠未來 2080~2099 年。

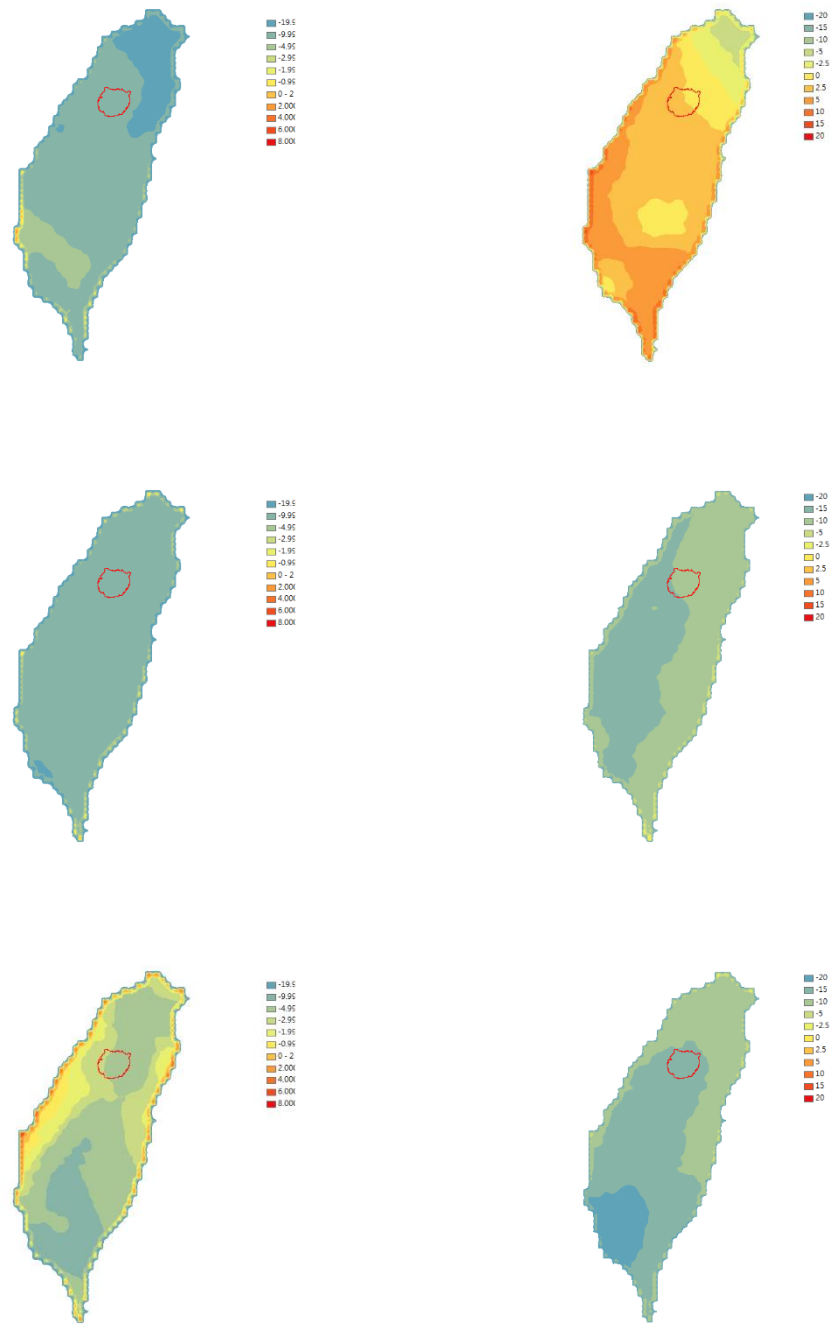


圖 11h: 國家災害防救科技中心「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」臺灣區域氣候變遷 A1B 情境未來推估之 10~12 月統計降尺度雨量增減升降空間分布，左列是近未來 2020~2039 年，右列則是遠未來 2080~2099 年。

## 第二節 美國 NASA/MODIS 衛星遙測地面溫度檢視雪山地區氣象環

### 境之年際變化

由於台灣高山地形起伏劇烈，以地面觀測資料進行氣候分區及植群分佈等相關研究時，山區均有觀測點密度不足之憾，因此本研究藉由美國國家航空暨太空總署所發射之兩顆地球觀測衛星(Aqua/Terra)，衛星酬載中級解析度成像分光輻射度計(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)觀測資料所產生之 Level 3 地面溫度 (Land Surface Temperature,LST)產品，該資料因具有相對於地面觀測之 1km 高空間解析度優點，可以輔助彌補山區觀測不足之潛力。美國 NASA 所發射之兩顆地球觀測衛星(Terra/Aqua)所酬載之中級解析度成像分光輻射度計(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)觀測資料所產生之 Level 3 地面溫度 (Land Surface Temperature,LST)產品。

Terra 衛星於 1999 年 12 月 18 日成功發射，並於 2000 年 2 月 24 日開始觀測；Aqua 衛星則於 2002 年 5 月 4 日成功發射與觀測。Terra 觀測時間為當地時間之上午 10:30 左右，而 Aqua 則為下午 13:30 左右，除在觀測資料具有較佳之互補性外，更可提供大氣、海洋或陸表中極短現象之研究與監測等應用之參考(國立中央大學太空及遙測研究中心網站，<http://www.csr.ncu.edu.tw>)。由於這兩顆衛星為繞極軌道衛星(又稱為太陽同步衛星)，除上述觀測時間外，另於晚間 22:30 及 01:30 左右經過臺灣，各觀測一次，除了因軌道偏移，偶有數日無法經過臺灣外，大多數時間每日均有四次觀測，觀測資料依衛星類別分開儲存每日的兩次觀測資料。產品代號分別為 Terra: MOD11A1/Aqua:MYD11A1，資料為第 5 版演算法，採用的儲存格式為 Hierarchical Data Format (HDF)。

本研究藉由雪山主東峰線所架設之 4 個氣象站的地面觀測資料來與 MODIS/LST 遙測資料進行驗證；由於 MODIS LST 資料品質受到雲霧及觀測設備誤差影響甚劇，僅晴空條件才可觀測地表溫度，每個資料網格的資料品質均可由 HDF Dataset 之 data quality flag 來控制與說明(Wan, 2009)。本研究利用該資料品質標記篩檢取出”確認無雲”之資料進一步統計分析；再將 Terra 及 Aqua 日夜均溫觀測時點大致分別於 10:30/13:30(day)以及 01:0/22:30 (night)，先將日夜分別統計取平均值即為該月份日夜分別之月均地溫，最後再兩者平均得月均地溫。此外由於資料品質標記可標記出網格為”雲霧”所遮罩，因此逆向分析，該資料也可進行雲霧遮蔽率分析。為配合地面氣象站觀測資料分析時間為 2010 年 1 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日，在進行 MODIS-LST 驗證探討時，均取相同的觀測期間來進行分析；至於 MODIS-LST 長期變化部分，則利用最初至 2013 年底資料之分年月均溫再取年均溫，探討長期變化趨勢。雪山山區目前四個測站已經累積 4 年資料，且均有進行氣溫及草溫觀測，正可用於驗證高山地區的適用性。

2010 年至 2013 年間的 MODIS-LST 月均溫與地面測站月均氣溫(AT)及草溫(Grass\_T)相關性分析結果如圖 12 所示，在夏季高溫部分，氣溫呈現較草溫來的

低的合理趨勢，相關係數(R)均達 0.98，Bias 分別為 3.64°C 及 3.08°C，RMSE 分別為 0.79°C 及 0.93°C，顯示 MODIS-LST 在此區域具有相當的參考價值。MODIS 反演這四處氣象站的較長時期地表溫度與氣溫之季節變化特徵如圖 13。日間月平均地表溫度年際變動在 6.98°C~20.47°C 之間，夜間則在 -1.00°C~11.05°C 之間。夜間呈現隨海拔升高而溫度遞減的正常趨勢，但日間圈谷地表溫度則有偏高的現象，於 5、6 月較三六九山莊以及黑森林來得高，甚至接近哭坡頂；我們認為此一現象可能是圈谷地表較為裸露，因此白日受太陽輻射加熱下，溫度容易上升所致。

我們進一步就 MODIS 11 年資料來討論雪山地區日夜地表溫度、日夜雲霧遮蔽率之年際變化趨勢(Wang et al., 2008)，圖 14 顯示日夜間地表溫度分別以 -0.06°C/year 及 -0.03°C/year 的趨勢下降(統計上均不顯著)，季節變動呈現兩個週期變動(表 6)，9 月至隔年 1 月呈現溫度下降趨勢，2-3 月則有升溫的趨勢，4-5 月則再次呈現降溫趨勢，6-8 月再次升溫，上述趨勢均不明顯；但日間僅 11 月有極顯著以 -0.29°C/year 下降，夜間僅 4 月顯著以 -0.25°C/year 下降，這兩個月具有統計上的意義，而這兩個月份為東北季風起始及接近尾聲至月份，是否代表著此區域受東北季風的影響有加長的趨勢，仍有待進一步分析。圖 15 顯示日夜雲霧遮蔽率分別極顯著以 0.9%/year 及 0.6%/year 上升。若以月份來看，日夜雲霧遮蔽率於大部分月份均呈現上升趨勢，日間 11 月以 2.4%/year 極顯著快速上升；夜間 11 月及 4 月分別以 2.7%/year 及 2.3%/year 極顯著快速上升。比照日夜地表溫度，均剛好是 4 月及 11 月兩個具有統計上顯著下降趨勢的月份，然而複迴歸分析發現兩者沒有絕對的關係。

表 6 地表溫度、雲霧遮蔽率長期變化趨勢表。

Month	LST_Day	LST_night	Cloud_Day	Cloud_night
Jan	-0.150	-0.114	0.012 **	-0.002
Feb	0.056	0.077	0.006	-0.009
Mar	0.146	0.059	-0.013 **	-0.015 *
Apr	-0.149	-0.247 **	0.011 **	0.023 ***
May	-0.101	-0.027	0.007 .	0.009 *
Jun	0.039	-0.021	0.009 *	0.001
Jul	0.096 .	0.032	0.010 *	0.010 .
Aug	0.036	0.021	0.006	0.010 .
Sep	-0.147 .	0.031	-0.008	-0.009 **
Oct	-0.043	0.111	0.013 .	0.014 **
Nov	-0.291 ***	-0.124	0.024 ***	0.027 ***
Dec	-0.242	-0.133	0.034	0.016
Total	-0.059	-0.028	0.009 ***	0.006 ***

p-value 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '.' 1



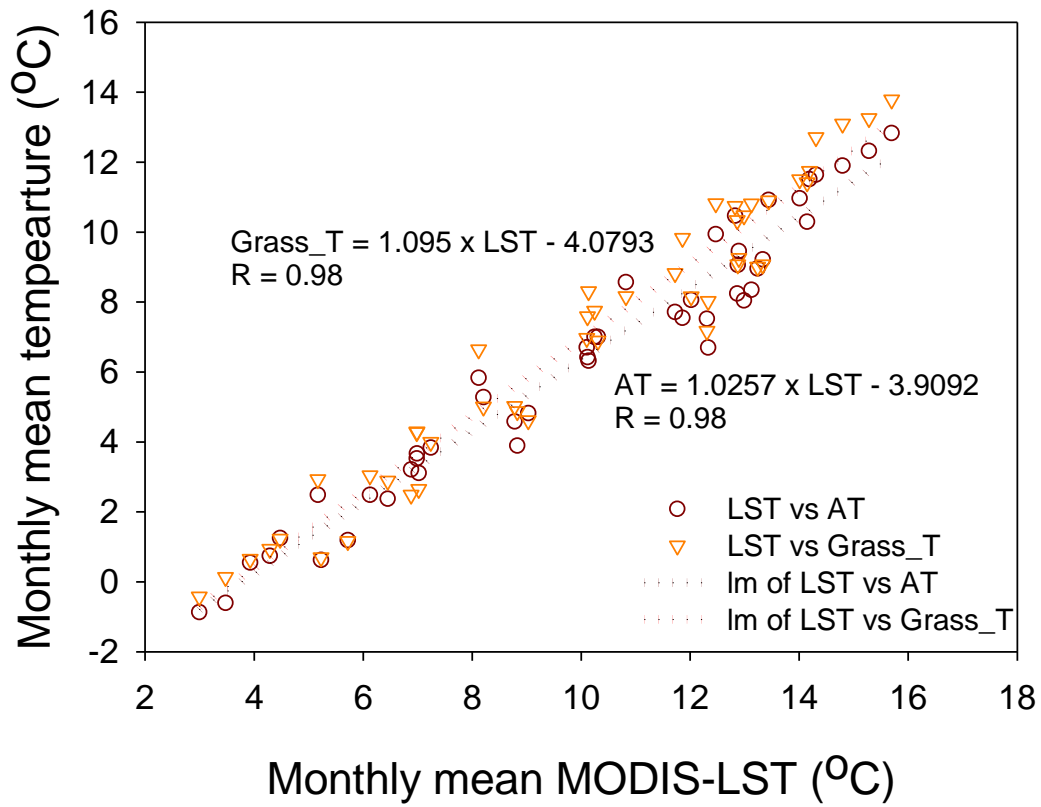


圖 12 月平均 MODIS 地表溫度與地面測站月均氣溫(AT)及草溫(Grass\_T)相關性。

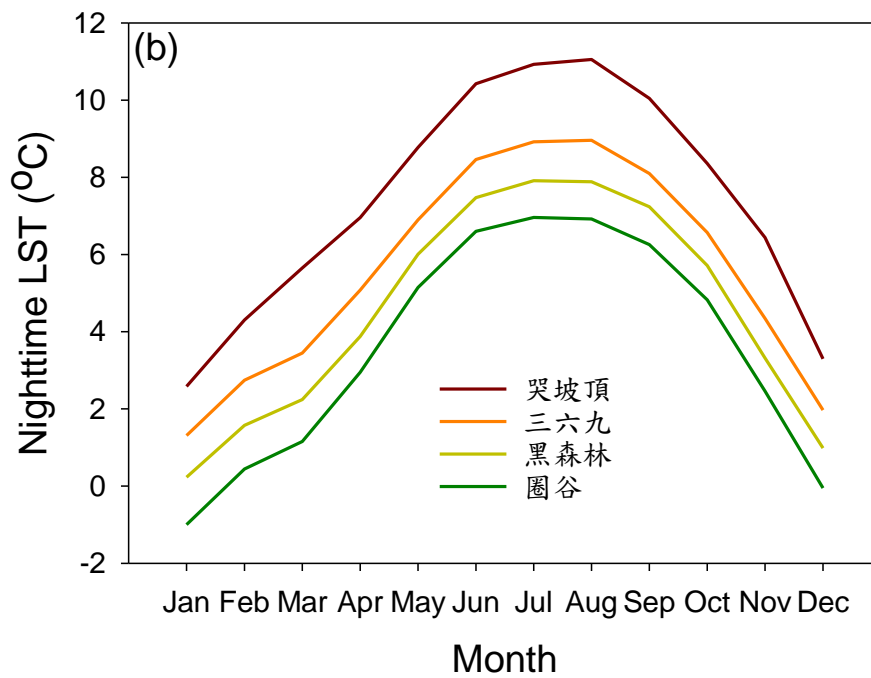
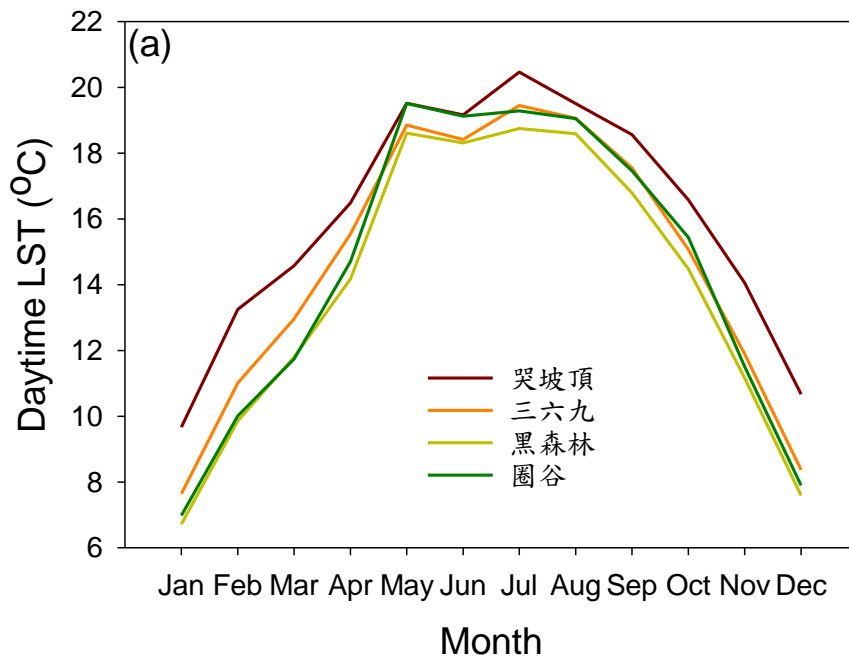


圖 13 MODIS 地表溫度長期平均季節變化曲線圖，(a)日間(b)夜間。

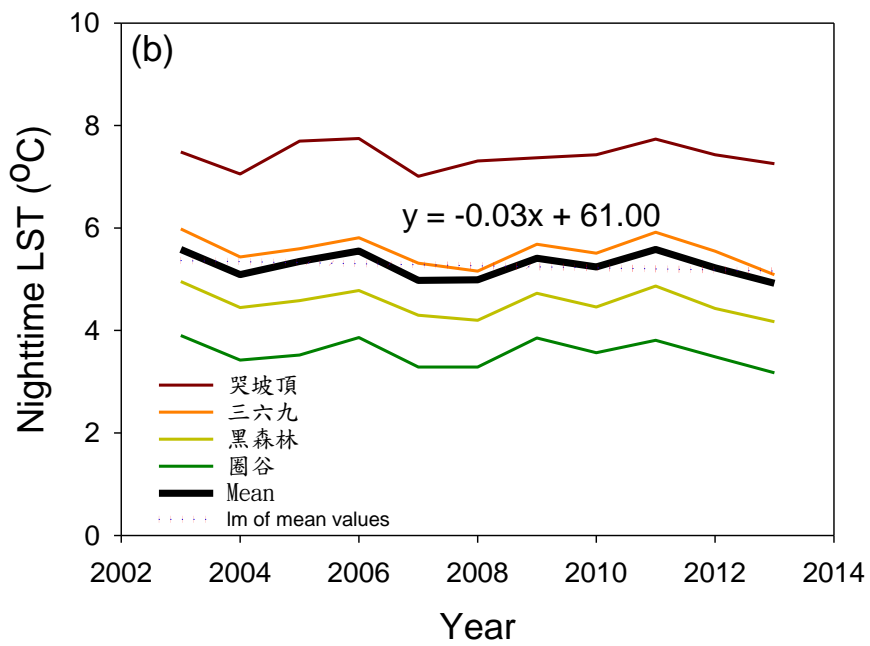
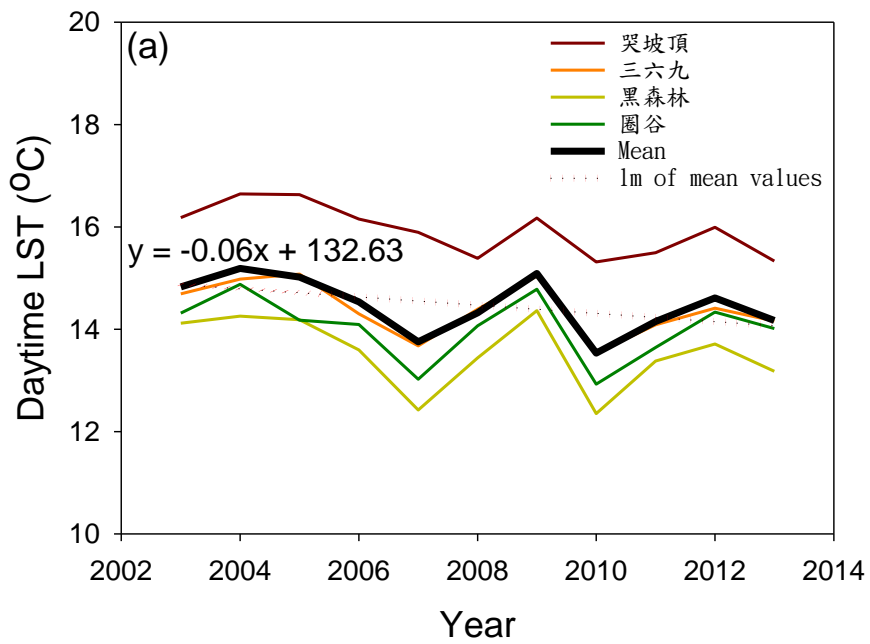


圖 14 MODIS-LST 長期年際變化趨勢圖(a)日間(b)夜間。

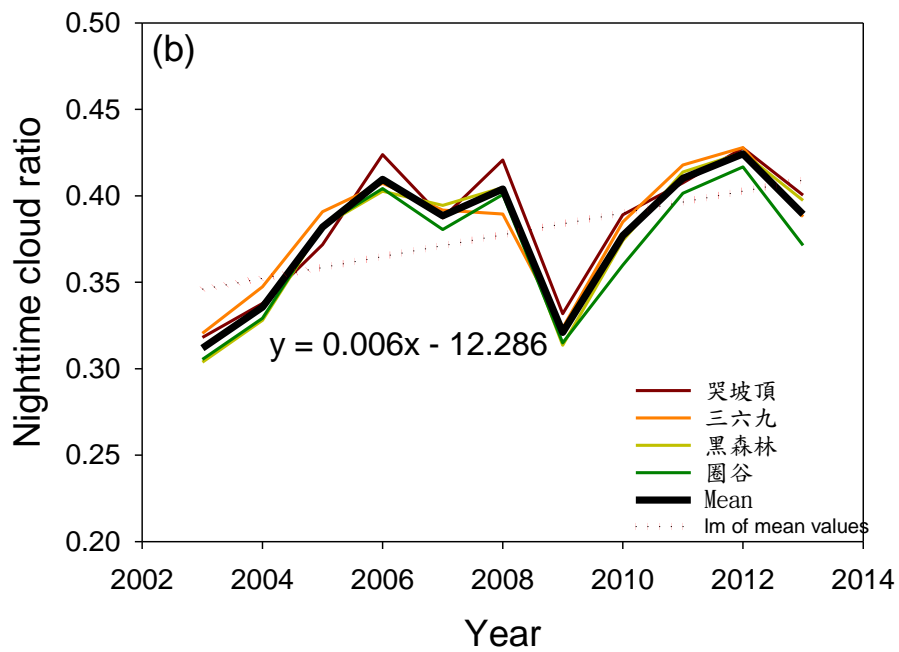
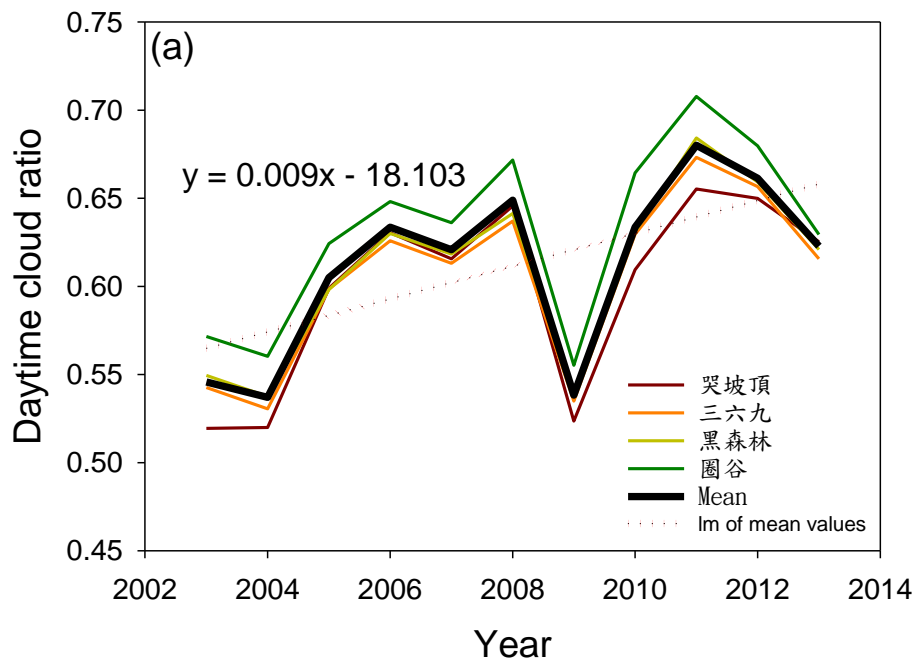


圖 15 MODIS 雲霧遮蔽率長期年際變化趨勢圖(a)日間(b)夜間。

### 第三節 三六九山莊當地雲霧攔截水量之評估

2014 年 10 月 22~24 日期間，本計畫會同中央氣象局測政組以及翰昇科技公司同仁，一同前往雪山主東峰氣象站現址以及雪山東峰等五處進行環境勘查，以評估中央氣象局自動氣象站未來接替現有氣象站功能之可行性，以延長雪山主東峰氣象資源調查和創造台灣高山氣象資源共享共管的合作模式；此行也同時更新三六九山莊以及圈谷測站的溫度濕度晶片、Licor 太陽輻射量與 PAR 感測器、下載測站氣象原始資料和進行周遭環境維護(圖 16)。此外，研究團隊針對三六九山莊後方黑森林火燒地草原地況進行勘查與拍照，並於 10 月 23 日中午到 10 月 24 日清晨於草坡石塊架設簡易型霧水攔截(電池抽風扇與攔截網)試驗(圖 17)；該小型設備攔截網在夜間確實有大量水滴停留於細線網之上，但是隨著夜間風向轉為下坡山風，再度將水份蒸發吹散。我們認為三六九山莊的坡向與海拔高度以及面向七家灣溪水氣匯集河谷，會有日夜風向相反的谷風山風挾帶雲霧水氣穿越山莊坡地，因此可拆卸保養的攔截網設施應有效減緩當地冬季水源短缺的困境。設施之詳細規格參照三義慈濟茶園的規模(附錄一)加以修正改良，而所匯集的水源可直接導入山莊蓄水桶使用。根據附錄一的規模，一套攔截網耗材(包括角鋼、導水管與網布)約 NT\$1000 元，室內製作費與戶外搬運安裝費較難估計，我們預估一組攔截網運作費用約略是 NT\$50,000 元，對於缺水地區仍有長期投資的效益。

同年 11 月 3 日下午，研究團隊安排中央氣象局測政組李育棋組長拜會雪霸國家公園陳貞蓉處長，雙方就公務部門跨單位合作意願、方式與期程進行討論。初步構想是在 2015 年開始進行設置氣象站行政流程，並就桃山山頂為雪山主東峰區域的氣象資訊中繼站，由雪山東峰、三六九山莊以及圈谷等地與桃山山頂進行無線電傳輸評估(數位地形空間示意圖如圖 18)，以及桃山山頂和新竹竹北氣象站或是李棟山山頂中繼站進行無線電傳輸評估；圖 19 即為翰昇科技公司透過地形圖資與過往協助中央氣象局設站經驗，所製作的上述地點無線電傳輸評估圖，該圖顯示雪山東峰、三六九山莊以及圈谷等地與桃山山巔進行無線電傳輸無阻擋，相當可行；但是桃山山頂對應竹北氣象站則有 critical point，因此桃山無線電傳送可能須經新竹李棟山山頂做為第二次無線電中繼站，再回傳到竹北氣象站；實際電波測試預定安排在 2015 年春天由中央氣象局委請廠商實地進行。



圖 16 2014 年 10 月 22~24 日檢修維護雪山圈谷與 369 山莊氣象站現場。





圖 17 2014 年 10 月 23~24 日 369 山莊遠觀、山莊後方山坡與水塔，以及簡易雲霧搜集器安置現場。

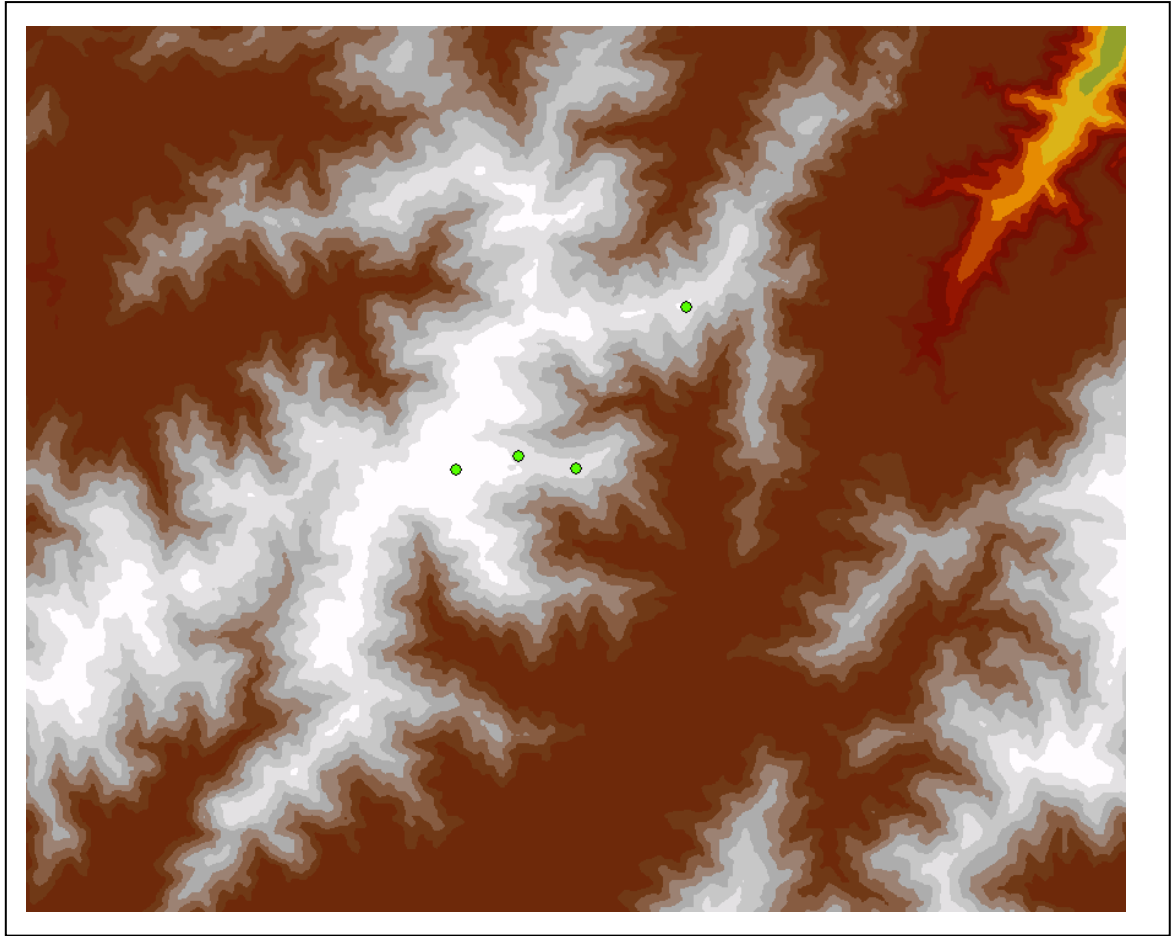


圖 18 雪山東峰、三六九山莊以及圈谷等地與桃山山頂等四處之數位地形空間示意圖。



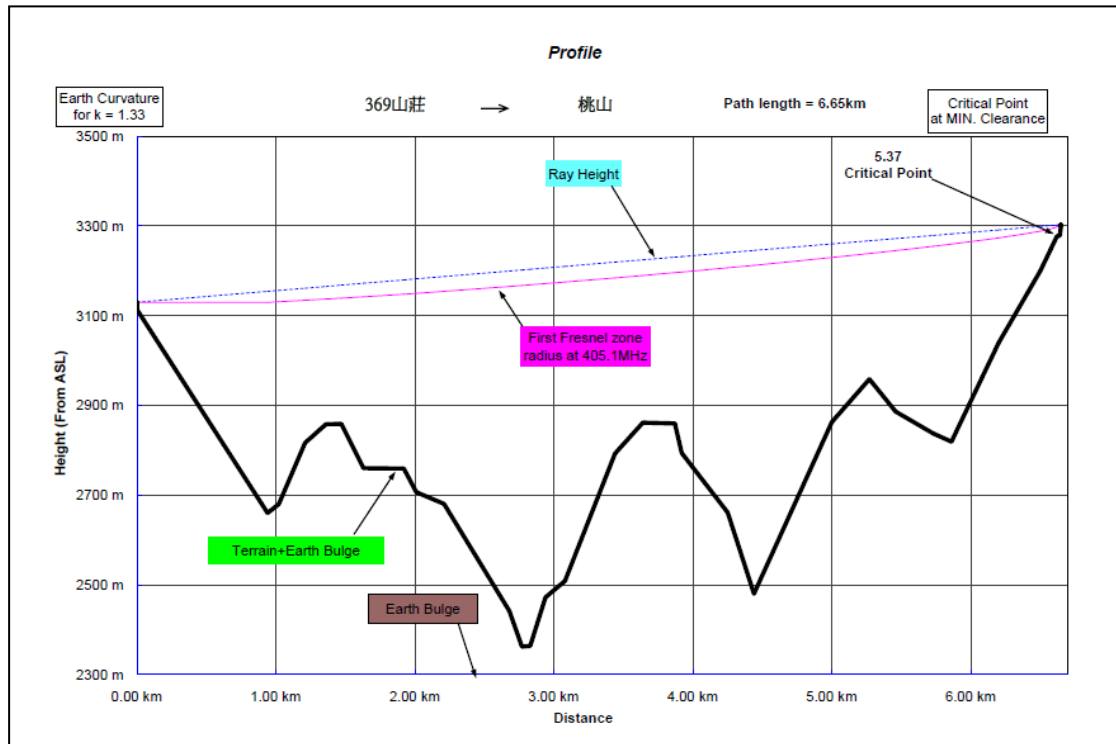
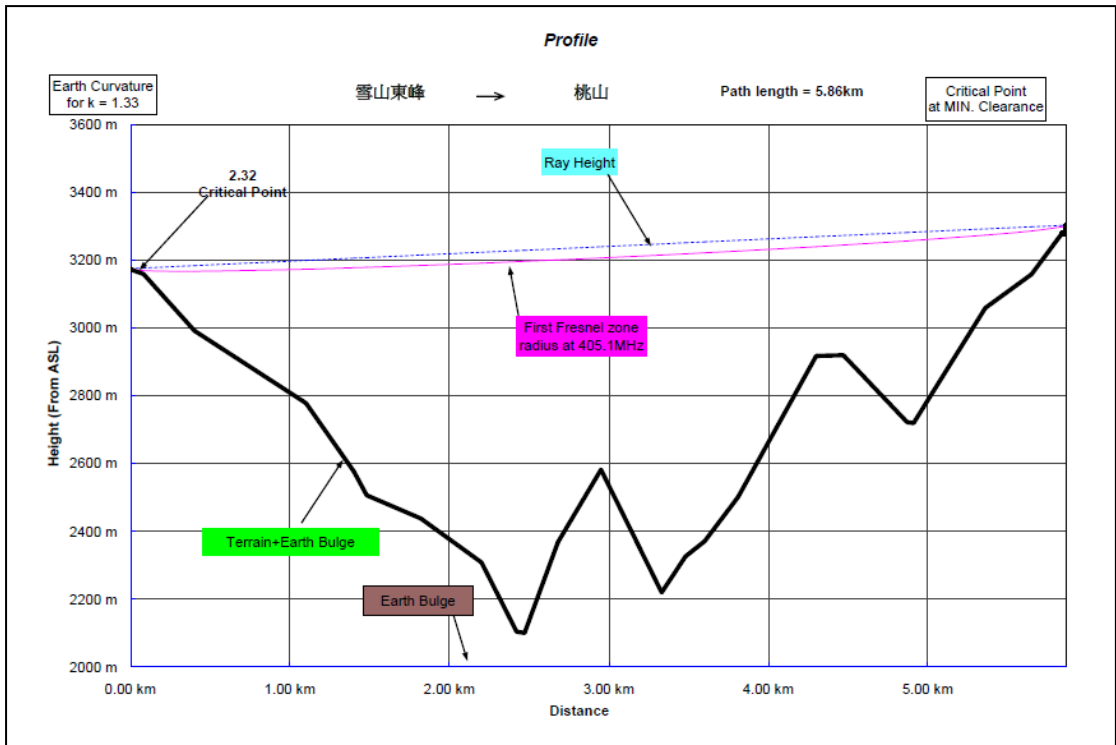


圖 19 a (上)雪山東峰山頂到桃山山頂(下)369 山莊到桃山山頂無線電通訊評估剖面圖。

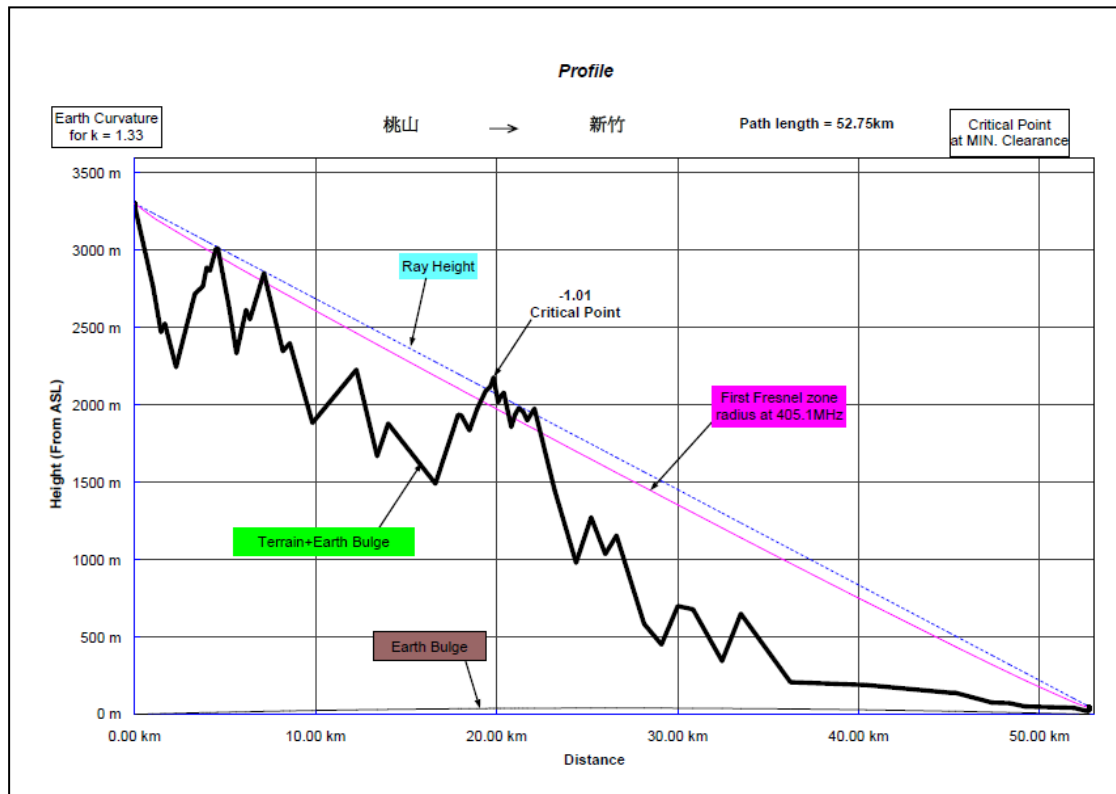
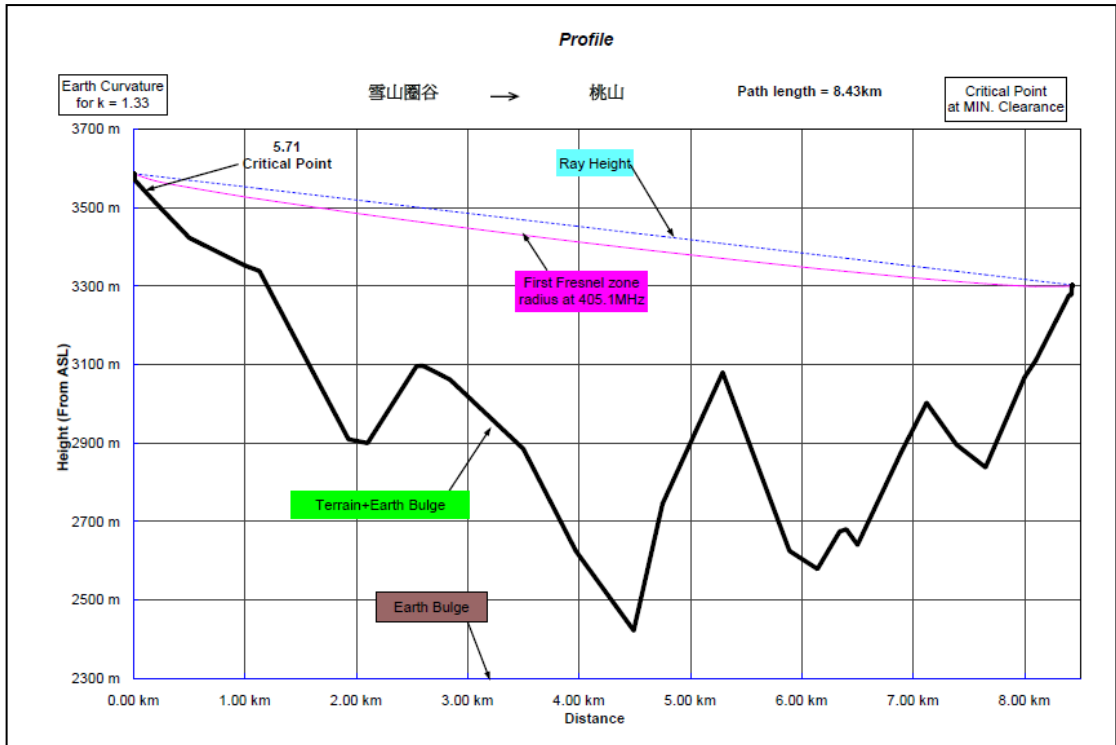


圖 19b: (上)雪山圈谷到桃山山頂(下)桃山山頂到竹北氣象站無線電通訊評估剖面圖。

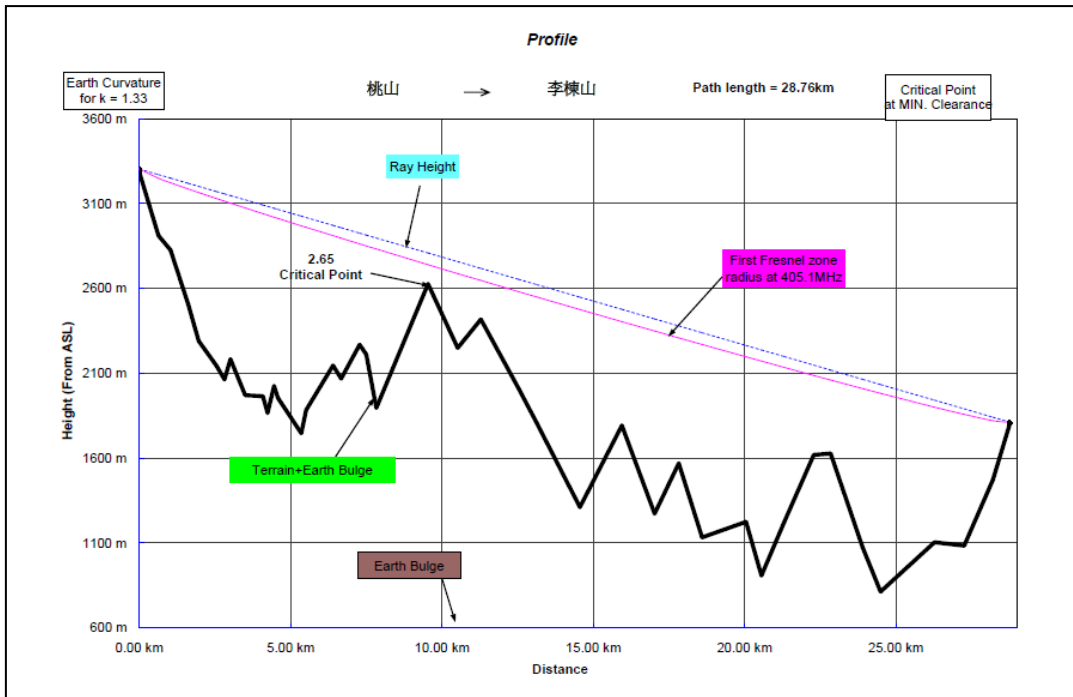


圖 19c: 桃山山頂到新竹李棟山山頂無線電通訊評估剖面圖。

### 第三章 結論與建議

#### 第一節 結論

本研究執行期程僅有短暫 3 個多月時間，在 2014 年 10 月 22~24 日以及 12 月 11~13 日進行兩次雪山主東線氣象站維護。第一次進行感測器與電池更換，並下載氣象原始資料，以及在 369 山莊評估雲霧蒐集的可行性，同時也進行未來更換中央氣象局自動氣象站與無線電中繼站之場地勘查(圖 15~圖 17)。第二次入山將安裝雪尺以及 Reconyx 戶外型數位相機，進行 2014 年入冬後降雪量的觀測。此外，本計畫也重新整理 2009~2014 年 SP1~SP4 四站氣象資料之各月逐時近 30 種氣象參數之統計表(表 3~表 5)，以提供雪霸國家公園管理處生態系相關研究、高山生態系經營管理規劃，以及生態研究背景環境資料之參考。

本計畫也收集 2009 年 8 月到 2014 年 7 月期間的中央氣象局對玉山北峰測站資料，來與同時段的雪山圈谷(SP1)氣象站資料進行比較分析(圖 8)，闡述兩地高山氣象特徵與差異。玉山北峰氣溫、風速和雨量等三種資料也透過 HHT 和 Fouries 轉換分析來說明高山氣象的時間頻率特徵的凸顯方式；整體而言，HHT 時間頻率分析能得出更豐富時間頻率資訊(圖 9)。

經由美國 NASA/MODIS 的 11 年 LST 衛星遙測料與雪山地面觀測驗證後，我們認為雪山地區日夜地表溫度、日夜雲霧遮蔽率之年際變化趨勢分別有 $-0.06^{\circ}\text{C}/\text{year}$  及 $-0.03^{\circ}\text{C}/\text{year}$  的趨勢下降(但統計上均不顯著)，季節變動呈現兩個主要週期變動，9 月至隔年 1 月呈現溫度下降趨勢，2-3 月則有升溫的趨勢，4-5 月則再次呈現降溫趨勢，6-8 月再次升溫，上述趨勢均不明顯；日間僅 11 月有極顯著以 $-0.29^{\circ}\text{C}/\text{year}$  下降，夜間僅 4 月顯著以 $-0.25^{\circ}\text{C}/\text{year}$  下降，這兩個月具有統計上的意義(圖 14)。日夜雲霧遮蔽率也分別顯示以 $0.9\%/ \text{year}$  及 $0.6\%/ \text{year}$  上升(極顯著)。若以月份來看，日夜雲霧遮蔽率於大部分月份均呈現上升趨勢，日間 11 月以 $2.4\%/ \text{year}$  極顯著快速上升；夜間 11 月及 4 月分別以 $2.7\%/ \text{year}$  及 $2.3\%/ \text{year}$  極顯著快速上升(圖 15)。如果再把氣候變遷時間尺度延長，經由「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置」計畫整理的臺灣區域氣候變遷未來推估 A1B 情境之統計降尺度資料，套上雪霸國家公園空間範圍(圖 11)，呈現了未來近未來(2020~2039 年)和遠未來(2080~2099 年)冬季偏暖偏乾與夏季偏冷偏溼的情境。

## 第二節 建議

有關中央氣象局自動氣象站取代現有雪山主東峰氣象站的構想，已完成第一次場地勘查和電波訊號紙上評估作業，以及雙方行政主管拜會之安排；因此，本研究計畫有了以下建議：

- (1) 雪山東峰、三六九山莊以及圈谷等三處可架設自動氣象站，原有氣象感測設備部分轉移併入氣象局支架與紀錄器收集，一併回傳平地之遠端伺服器，由雪霸國家公園管理處和中央氣象局共享資料。委託單位應儘早決定那些觀測參數與生態監測關聯程度較高，對應的設備需要加以保留。
- (2) 中央氣象局測政組已調整 2015 年部份支出項目到上述建議，並通知協力廠商在 2015 年春季安排無線電電波實地測試。委託單位請卓以協助協力廠商之入山申請作業。
- (3) 中央氣象局將在 2015 年 1 月發文邀請雪霸國家公園以及該轄區林務單位，在台北進行氣象站增設的用地取得之協商會議。委託單位請將本研究計畫內容轉予林務單位參酌與配合。
- (4) 三六九山莊雲霧攔截器已有初步評估，本計畫建議下一年度委託單位可以考慮在山莊後方山坡架設一組攔截網，在每年 10 月到隔年 4 月運作測試進水量，做為日後擴大或修正的參考。

## 附錄一

# 從三義 520 公尺山丘到雪霸 3150 公尺 369 山莊

## —雲霧攔截實驗與省思

林博雄

國立臺灣大學大氣科學系

因應地理與氣候特性，霧水攔截應用在各大洲部分國家低度供水聚落已行之有年(Schemenauer and Cereceda, 1994)，所獲得的攔截水量約 3~10 L/m<sup>2</sup> (Klemm et al.,2012)。台灣部分地區年平均降雨量高達 3000mm，但是冬夏季節降水量極不均勻，台灣西部苗栗以南平原地區冬半年(每年 10 月到隔年 3~4 月)都屬於旱季(邱等，2004; 2005)，農業耕作型態因應這一氣候特徵而有所限制。氣象觀測作業上，降雨量資訊是透過地面上直徑 20 公分雨量筒來蒐集天空所落下的雨水，可以被稱作是「垂直性降水」。但是山區雲霧或是平地清晨與黃昏時刻發生的露水，並不會被雨量筒所記錄，這些我們熟悉的雲霧飄移現象以及在樹葉、花草甚至蜘蛛網所截留的水氣 可以對應稱之為「水平性降水」。這些水平降水出現在台灣中海拔 500~1500m 高度，也是台灣山區午後低雲壟罩高度範圍，生態學上將它冠上「雲霧帶」，造就台灣雲霧生態之特有性(國家公園季刊，2011)。

慈濟三義園區地處苗栗台中交界處大安溪北岸的苗栗丘陵地的三義)，海拔高度約在 450~550 公尺，由於該地南高北低縱向山形地勢與東北風氣候條件，造成該地區每年冬季到春季期間時有低雲霧現象。但是從交通部國道高速公路局苗栗三義國道一號高速公路路肩架設能見度儀器資料，以及中央氣象局三義自動氣象站氣象資料都無法明確得出三義山丘地區氣象資料與雲霧發生的關聯性。2011 年與 2012 年春季，台灣茶園普遍發生缺水現象，慈濟三義園區生產的「靜思茶」是採用自然有機方式種植，但是面對冬季灌溉用水需求短缺，靜思茶園工作同仁也忍不住提出鑿井或山下引水灌溉計劃，但是聖嚴法師基於節能減碳以及友善自然的原則，否決現代機械水泥繼續入侵茶園的建議，繼續尋求還環境友善替代方案。2013 年夏天，筆者受邀討論延續 2008~2009 年雪霸國家公園觀霧工作站捕霧計畫(國家公園季刊，2011)，嘗試在三義 500 公尺山丘重啟捕霧實驗，以探討慈濟三義園區茶園進行雲霧蒐集之可行性，並做為該園區在生態與環保教育的實際教案。

為了兼顧材料經濟性與實用性，雲霧攔截網支架、網面材料與儲水溝槽等配件，均以台灣五金與園藝材料器材店容易購買取得的來源為主要考量因素。2013 年 12 月至 2014 年 4 月(5 個月)期間所架設的臨時性雲霧攔截網，角鋼支架高度 3.6m，攔截網高 1.8m、長 3m、下緣離地 1.8m，並有角鋼橫撐架和塑膠排水管線到 20 公升塑膠水桶。為求安裝和維修便利性，攔截網上緣使用童軍繩拉開網

面，並且利用四枝角鋼和 30cm 營釘將兩側斜撐加以穩固在土面。這一簡易裝置是為不使用水泥灌漿破壞地表植被，以及拆卸與維修的便利性考量。攔截網網面材質是吉田塑膠公司所生產的農藝用黑色遮蔭網型號 610(遮光率 50%)以及型號 1010(遮光率 70%)，網面選擇黑色是為防止鳥禽誤撞網面而受傷。攔截網架設分散在茶園不同區域，測試不同風向風速的攔截效率。此外也挑選兩張攔截網併排來試驗攔截網 50%和 70%遮光率不同網目密度的雲霧攔截效果。一套氣象站臨時架設在茶園高點來記錄每五分鐘的風速、風向、氣溫、相對濕度、太陽輻射量、雨量(以下簡稱 vertical drop 雨量筒，VDR)，並加裝定時拍攝功能的數位相機以及光學性霧偵測器，由一片 20W 太陽能光電板和一組汽車用蓄電瓶提供氣象站運作。

雲霧實驗期間的霧水桶裝紀錄、傾倒集中與水桶重新置放，初期規劃是由茶園志工協助處理；然而攔截網運作第一個月後發現 20L 水桶經常快速注水並滿溢，無法一一巡視和落實定量記錄每一水桶水位高度，並干擾原有茶園常態工作之進行。因此我們決定改變作法，選擇距離氣象站最近的攔截網，取消該組 20L 水桶改成與氣象站同型號的雨量筒(以下簡稱 fog-net 雨量筒，FNR)來承接攔截網所蒐集的水量，這一新增雨量筒也套上上蓋來避免雨水直接滴落，如此一來我們就能同步獲得垂直降水和被攔截的水平降水兩項數據來進行比對。

比對實驗自 2014 年 1 月 23 日開始到 4 月 9 日截止共計 77 天，計量結果大出意料之外；77 天 VDR 雨量筒累計 178.4mm，顯示我們所預期的台灣中部冬春季偏乾的氣候型態，但是水平移動的雨霧被攔截並進入 FNR 雨量筒卻高達 31662mm，是 VDR 雨量筒數據的 177 倍之多；顯然，我們所架設的 5.4 m<sup>2</sup> 攔截網非常有效攔截小雨和雲霧。我們也發現 2~5ms<sup>-1</sup> 風速太小或是風速太大的東北風都對應較低的雨霧攔截量。雨霧發生當時的相對溼度都高達 95% 以上，氣溫則低於 20°C。能見度儀資料也顯示雨霧發生期間能見度確實是小於 1 km，甚至大部分低於 500m，相機影像也證實儀器的紀錄可信。總而言之，三義真的很多霧，並且較常發生在夜間到清晨之間，天亮後快速消失。從傳統的雨量筒觀測紀錄以及農民白天的體驗，都反應三義冬季是呈現乾旱狀態，但這次調查實驗卻凸顯出我們人類對水文特徵的認知落差。從這張攔截網底下的 FNR 雨量筒資料，推算出它蒐集到~ 575 公升水量；換言之，每 1m<sup>2</sup> 有 106 公升水量的蒐集效果。對於水價便宜的台灣，這些雲霧攔截網所收集的水平降水，雖然折算後的經濟效益不高，但是在沒使用電力與機械來主動取水，改以完全被動式方法來收集自然來源的雲霧水平移動降水的試驗性過程，卻得到相當程度的定量證據，啟發我們對環境友善取水途徑的構想與實踐。

當我們在秋冬季節苦苦背水步行於台灣山區，雲霧總是在山坡與森林繚繞，山中植被依然濕潤、岩縫依然有水滴痕跡。友善登山客所求不多，如果能在夜間帳篷或山屋外頭置放一組簡易雲霧集水器，隔天清晨能有一小罐水可以解饑維生，豈不妙哉。但是科學發現到商業應用有一段路途要走，因此筆者擬選定雪霸國家公園 369 山莊後方斜坡，重製三義實驗構想，更進一步測試這一地點的季節

性捕霧網設施以及攔截的雲霧水質檢查，是否能幫山莊過往留宿朋友們蒐集一杯水來喝？

#### 參考文獻：

- 邱清安，林博雄，林永發，2004：從測站降水觀測量到臺灣地區雨量空間分布的探討。第八屆全國大氣科學研討會，桃園龍潭。
- 邱清安，林博雄，謝旻耕，2005：台灣地區氣象測站之詮釋資料與日氣溫、日降水量之資料檢定。《氣象學報》，**45**，33-46。
- 國家公園季刊，2011：捕風捉雲感受生息\_探索雲霧帶裡的秘密。三月號，30~37。
- Klemm, O., R. S. Schemenauer, A. Lummerich, P. Cereceda, V. Marzol, D. Corell, J. Heerden, D. Reinhard, T. Gherezghiher, J. Olivier, P. Osses, J. Sarsour, E. Frost, M. J. Estrela, J. A. Valiente and G. M. Fessehaye, 2012: Fog as a Fresh-Water Resource: Overview and Perspectives. *AMBIO*, **41**,221–234 (DOI 10.1007/s13280-012-0247-8.)
- Schemenauer, R.S., and P. Cereceda. 1994a: A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. *Journal of Applied Meteorology* **33**, 1313–1322.



## 附錄一



三義茶園臨時性雲霧攔截網(2013年12月25日，林博雄攝)



369山莊後方山坡雲霧 (2014年10月23日，林博雄攝)

附錄二：期末報告審查意見處理情形

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱	雪山主東峰線氣象資料分析與應用	
計畫編號	SP10308	
計畫主持人	林博雄	
執行機構	國立臺灣大學	
審查委員姓名	審查意見	執行機構處理說明
許皓淳 簡任技正	<p>(一) 本項計畫執行期間僅有 3 個月，受託單位能完成 3 大項計畫目標，已屬相當可貴之成果。</p> <p>(二) 報告內容中有部分疏漏，請於最終版本前修正：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. P14 (第 6 行) 圖 9a 應為圖 10a 之誤植，另請增加氣象因素影響的說明，以利委託單位參考使用。</li> <li>2. P14 (第 2 段最後 2 行) 使用 A1B 情境推估，宜再多加敘述，另 P37-39、P40-43 亦缺少圖表對照說明。</li> <li>3. P17 關於 369 山莊雲霧攔截效益，請再增加後續建議事項的文字說明。</li> <li>4. 請補足桃山—李棟山之無線電通訊中繼站之地形剖面圖。</li> </ol> <p>(三) 通盤建議：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告書文字用詞宜多加口語性說明，以利委辦單位使用及閱讀。</li> <li>2. 未來桃山附近之無線電中繼站設立位置，宜注意落雷及對登山客可能之潛在危險。</li> </ol>	<p>(一) 謝謝委員詳細的建議與肯定。</p> <p>(二) 有關報告書內容錯字、口語性說明及 A1B 情境推估等已分別修正如下。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新版 P21 前半段，增加文字敘述。</li> <li>2. 新版 P21 後半段並對應補正 P32~P36 圖說。</li> <li>3. 新版 P44 前半段以及附錄一(P53-56)，增加文字敘述。</li> <li>4. 新版 P50 補增 桃山—李棟山之無線電通訊中繼站之地形剖面圖(圖 19c)。</li> </ol> <p>(三) 無線電中繼站未來設立位置安全考量，會提醒相關廠商及中央氣象局。</p>
本處同仁	<p>(一) 未來情境推估結果看來冬天溫度升高較多，是否會造成冬季雪量變少?水量變少?</p> <p>(二) 雪山圈谷濕度比玉山北峰氣</p>	<p>(一) 從未來情境推估結果來看，冬天溫度升高確實會造成冬季下雪量的減少，但夏季雨量卻是會增加的，總量仍可維持穩定，不過這 A1B 推估仍是涵蓋廣泛因子的概估值。</p>

	<p>象站濕度低，但冬季明顯雪山的雪量比玉山還多，為何濕度會較低？</p>	<p>(二)圈谷因地形遮蔽效應與西風翻越山脊的下沉氣流影響，造成圈谷夏季潮濕、冬季相對乾燥情形，積雪時空氣中濕度不一定很高；玉山北峰因空曠地形裸露，長年雲霧飄過，造成相對濕度偏高。</p>
--	---------------------------------------	--

# 參考書目

- 邱清安，林博雄，謝旻耕，2005: 台灣地區氣象測站之詮釋資料與日氣溫、日降水量之資料檢定。《氣象學報》，**45**, 33-46。
- 林博雄、賴彥任、魏聰輝、顧靜恆，2008：臺灣地區 Live E!計畫應用在森林微氣象研究之初步成果。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北。
- 許晃雄，2011:台灣氣候變遷科學報告。行政院國家科學委員會委託計畫。
- 張譯心、林博雄、魏聰輝、謝新添，2012：雪山冬季降雪之微氣象觀測。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北。
- 陳信雄、魏聰輝，2005，塔塔加地區表層土壤熱通量特性之研究，中華水土保持學報36(3):249-265。
- 陳永明、林李耀、朱容練、張振璋、黃柏誠、黃嫻蓁、李惠玲，2012: 從 TCCIP 計畫推動經驗談氣候資訊服務。天氣分析與預報研討會，中央氣象局，台北。
- 盧孟明、卓盈旻、李思瑩、李清騰、林昀靜，2012: 臺灣氣候變化：1911～2009 年資料分析。《大氣科學》，**40**：297-322。
- 夏禹九，1999，全球變遷：福山森林生態系研究——福山試驗林的水文與能量收支(V)，國科會專題研究計畫成果報告 NSC 88-2621-B-259-002-A10，p.5。
- Brooks, Björn-Gustaf J. (2011). Earth Scientist's Guide to Discrete-Time Power Spectrum Analysis. Goran Nikolic (Ed.) Fourier Transforms-New Analytical Approaches and FTIR Strategies, ISBN 978-953-307-232-6, InTech, published. CCR #1041.
- Egger, A. and A. Carpi, 2008: Data Analysis and Interpretation” *Visionlearning Vol. POS-1 (1)*, 2008.
- Guan, B.T., H.W. Hsu, T.H. Wey and L.S. Tsao, 2009. Modeling monthly mean temperatures for the mountain regions of Taiwan by generalized additive models. *Agr. For Meteorol.* **149**:281-290.
- Hanks, R.J., 1992. Applied soil physics—Soil water and temperature applications. Springer -Verlag New York Inc. New York, USA. 176pp.
- Jury, W.A., W.R. Gardner, and W.H. Gardner, , 1991. The soil thermal regime. In: Soil Physics, Chap.5:159-195. John Willey & Sons Inc. New York. USA.
- Lai, Y. J., C. F. Li, P. H. Lin, T. H. Wey and C. S. Chang, 2012: Comparison of MODIS land surface temperature and ground-based observed air temperature on complex topography. *International Journal of Remote Sensing*, **33(24)**:7685-7702. doi:10.1080/01431161.2012.700422.
- Rosenberg, B.V., 1983. Soil heat flux and soil temperature. In: Microclimate-The Biological environment, chap.2:94-115. John Willey & Sons Inc., New York, USA.

- Wang W., Liang S. and Meyers T., 2008: Validating MODIS land surface temperature products using long-term nighttime ground measurements. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 623–635.
- Wan Z.M.,2009: Collection-5 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. pp.1~30.
- WMO, 2008: *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.*