

雪山地區長期氣象資料收集
與雲霧水捕集成效評估
期末報告

雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國 105 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)

雪山地區長期氣象資料收集
與雲霧水捕集成效評估
期末報告

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：魏聰輝

研究助理：江秀真、Stefan Simon

雪霸國家公園管理處委託研究報告

中華民國 105 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.....	9
第一節 研究緣起與背景.....	9
第二節 計畫目標.....	10
第三節 前人研究.....	11
第四節 研究地區與方法.....	13
第二章 成果.....	26
第一節 氣象資訊整理.....	26
第二節 369 山莊雲霧水收集成效評估.....	27
第三節 提供未來 369 山莊規畫設計及改建時有關攔截網運用之可能性諮詢.....	29
參考文獻.....	49

表次

表 1 雪山主東峰高山氣象站	15
表 2 雪山主東峰高山氣象站觀測項目與設備。	15
表 3 雪山逐月逐時平均氣象檔案代稱對照表。	16
表 4 雪山圈谷氣象站(SP1)逐年月平均氣溫一覽表。	32
表 5 雪山 369 山莊氣象站(SP3)逐年月平均氣溫一覽表。	32
表 6 雪山地區雲霧水質分析一覽表。	33

圖次

圖 1 雪山山區氣象站位置及周遭 30M 數位地形與水文流域。.....	17
圖 2 由桃山山頂東往西側看 369 山莊以及雪山圈谷地形與植被。.....	17
圖 3: 雪山圈谷氣象站(本計畫註記為 SP1)不同季節的現場照片。.....	18
圖 4: 369 山莊氣象站(本計畫註記為 SP3) 2011~2012 年不同季節的現場照片。.....	19
圖 5: 369 山莊遠眺與近觀、山莊屋舍前後與後方斜坡地形和雲霧飄景象。.....	20
圖 6: (上)369 山莊斜坡雲霧攔截網, 2015 年 10 月 25 日(下)倒伏景象(氣象志工提供, 2015 年 10 月 29 日)。.....	21
圖 7: 369 山莊斜坡雲霧攔截網氣象站採用的傾斗式雨量筒(RAINGAUGE)與英國 EL-USB5 訊號紀錄器。.....	22
圖 8: 工研院雨傘與台大八角型攔截網搭配示意圖以及 369 山莊斜坡實地測試。.....	22
圖 9: 日本 CRADLE 公司 STREAM CDF 模式模擬氣流穿越建築物的水平面和垂直面風場分布示意圖(本團隊製作)。.....	23
圖 10: 雪霸國家公園雪見遊憩區氣象站。.....	24
圖 11: 中央氣象局網頁呈現的北部地區自動站以及苗栗地區雨量即時觀測站點。.....	25
圖 12: 12 月至隔年 4 月 (X 軸) 的雪山圈谷(紅線)與中央氣象局玉山測站雪深(藍線)(Y 軸, 單位:公分)之比較。由上而下分別是 2012~2013 年、2013~2014 年、2014~2015 年、2015~2016 年。.....	35
圖 13: 2016 年 4 月架設完成的 369 山莊氣象站與攔截網(遠照)。.....	35
圖 14: 2016 年 4 月架設完成的 369 山莊 WXT520 氣象站與攔截網(近照)。.....	36
圖 15: 2016 年 10 月 369 山莊攔截網水量即時蒐集。.....	36
圖 16 369 山莊數位相機的天氣影像樣本(上)SP3 相機 2016 年 7 月 19 日 2:00PM(下)山莊後方相機 2016 年 6 月 24 日 3:25PM。.....	37
圖 17: 中央研究院環境變遷研究中心水質分析現場照片(2016 年 10 月)。.....	38
圖 18: 不同地點水體樣本中硫酸濃度之盒鬚圖比較(XS 為雪山、XT 為溪頭、KM 為金門、LABS 為鹿林山、CLM 為棲蘭, N 代表水體樣本數量)。.....	39
圖 19: 369 山莊後方斜坡雨傘攔截雲霧水測試(2016 年 6 月 20~21 日)。.....	39
圖 20: 新北市雙溪區山區平面攔截網與工研院傘具的雲霧攔截現場照片, 其中攔截網是 1M*1M 見方面積並以木框加以平整網面處理, 攔截網材質則與 369 山莊攔截網相同。.....	40
圖 21: 2016 年 5 月 16 日 00:00~5 月 17 日 06:00 前後 30 小時的雙溪山區實驗逐時累積量比較, (左)累積雨量(MM)與傘具水量(ML) (右)累積雨量(MM)與平面網水量(ML)。.....	40
圖 22: 369 山莊主建物、廚房、平台以及階梯斜坡等地形 3D 圖面。.....	41
圖 23: 將圖 22 圖面植入 CRADLE STREAM 工程流體計算力學軟體, 與離地 10 公尺風速 5 M/S(風速隨高度向地表為零向上指數遞增)上坡風(東風)輸入軟體來進行氣流通過 369 山莊立體圖面進行模擬(上)風速通過主建物之橫剖面(下)水氣通過主建物的縱剖面。.....	42

圖 24: 同圖 23，但為下坡風(西風)。	43
圖 25: 同圖 23，但為側風(南風)。	44
圖 26: 369 山莊氣象環境監測以及雨水和雲霧水攔截的規畫構想。山莊主建物後方建設 10M 高度塔架，頂部避雷針、氣象儀器、風力發電機以及錐形雨水露水蒐集器，塔架三面架設攔截網來蒐集飄移的雲霧水；塔架第一層氣象資料紀錄器與儲水水槽。	45
圖 27: 中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的雪山圈谷氣象站與驗收揭幕人員合影(2016 年 7 月 13 日)。	46
圖 28: 中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的雪山東峰氣象站與驗收揭幕人員合影(2016 年 7 月 12 日)。	47
圖 29: 中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的桃山氣象站。	48
圖 30: 中央氣象局官方網站所呈現的(中部地區)雪山圈谷每小時即時氣象畫面。	48

摘要

本計畫延續 104 年度之雪霸國家公園「雪山地區長期氣象站建置諮詢與雲霧水捕集實驗」，整理雪山主東峰線雪山圈谷以及 369 山莊山氣象站 7 年資料(2009 年 11 月~2016 年 11 月)。再者，協助雪霸國家公園既有雪見氣象站加入中央氣象局自動站網，並持續進行 369 山莊周遭與後方斜坡雲霧水攔截測試，與當地氣象資訊交叉分析來定量評估當地雲霧水量，提供 369 山莊建物氣流穿越之計算流體力學之電腦模擬。四項工作項目，完成了 7 次圈谷(SP1)與 369 山莊(SP3)兩處氣象站常態維護，並整理了過去四年(2012~2016)圈谷氣象站雪季期間(12 月~隔年 4 月)逐日雪深變化，並與同時期玉山氣象站(測站代碼 46755)進行比較分析，發現 2012~2013 年該年雪季兩地降雪累積量大約相等(71cm:70cm)，2013~2014 年雪山圈谷略大(81cm:72cm)，2014~2015 年則是 4.5 倍(118cm:26cm)，2015~2016 年是 3.4 倍(251cm:74cm)，但是雪山圈谷殘雪囤積時間顯著高於玉山北峰，顯示雪山冬季雪量的水文效果對於當地生態貢獻有別於玉山。其次，於 2016 年 4 月 7 日完成 369 山莊前方(廁所舊址鋼架之上)WXT520 款式氣象站與 L 型(朝東與朝南)雙組攔截網的安裝與啟動觀測，截至 2016 年 10 月中旬為止，個案資料分析發現朝東的雙層攔截網的雨水和雲霧水蒐集率可達 28.7 L/m²/day，一場大霧可有 0.31 L/m²/hour，其效率是世界各地霧水蒐集率(3~10 L/m²/day)的中上數值。另於新北市雙溪山區同步進行工研院傘具和 1m² 平面攔截網的攔截效率比較試驗，實驗結果顯示集水雨傘也同樣和平面攔截網有雨水和雲霧水之雙重攔截效果，對於未來 369 山莊的雨雲霧水攔截設計有所啟思。再者，我們依據 369 山莊建物、廚房、平台以及階梯斜坡等地形的實地丈量數據，透過 SketchUp 軟體繪製 3D 圖面，再植入日本 Cradle 公司 Stream 工程計算流體力學(CFD)軟體，分析氣流和潮濕水氣從不同方向通過 369 山莊的風場的分布模擬。我們整理 2015 年 8 月至 2016 年 8 月全年度 369 山莊兩部不同拍攝角度數位相機之影像，以每天 5:00am~5:00pm 的 30 分鐘間距進行有無「雲霧發生」發生之次數整理，發現 05:00am、08:00am、11:00am、2:00pm、5:00pm 這些時段的雲霧發生的頻率是 6%、52%、62%、74%、100%，並且一年之中分別以 5 月和 10 月分別是雲霧發生頻率最高(73.3%)與最低(8.9%)的月份。最後，中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的雪山圈谷、雪山東峰、桃山等三處氣象站，已於 2016 年 7 月中旬啟用和正式揭牌，這些雪霸國家公園氣象資訊已能從中央氣象局網站即時顯示。本計畫也配合中央氣象局 9 月 13 日與 9 月 19 日兩場次講習會，針對高山志工說明高山氣象網建置以及未來展望。

關鍵字：雪霸國家公園、霧水捕集、計算流體力學

Abstract

Key words: Shei-Pa National Park, fog harvest, computing fluid dynamic

This project extends the previous project “consult on long-term Shei-San meteorological station and the field experiment on cloud-fog water harvest” (1) to update the database to the end of 2016. (2) to help Shei-Jan weather data in Shei-Pa National Park joining to Central Weather Bureau (CWB) auto-weather network. (3) to keep cloud-fog water harvest experiment at 369 cabin (4) to use computing fluid dynamic (CFD) model to simulate air flow passing through 369 cabin. For these four working items, we have conducted the maintenance on Shui-Shan Cirque (SP1) and 369 Cabin (SP3) weather sites seven times in 2016. The daily snow depth (December to next April, 2012 to 2016) comparison between at SP1 and CWB YuShan Station (ID 46755) is done. We found the snowfall amount at these two peaks is similar on 2013 and SP3 larger on 2014. But SP3 has more snowfall amount on 2015 (4.5 times) and 2016 (3.4 times). Cirque accumulates longer snow cover than 46755 and it will provide much hydrological contribution for Shui-shan ecosystem. A WXT520-type weather station and L-shape cloud-fog harvest system was re-installed from April 7, 2016 at 369 Cabin. From an intensive observation in October, we found the double-layer net could collect rain-cloud-fog water 28.7 L/m²/day. One heavy fog event shows 0.31 L/m²/hour which performance is over the average of global range (3~10 L/m²/day). We tested an ITRI umbrella with a 1m² fog harvest fog net Shuang-Xi hill showed that umbrella also plays better performance for rain-cloud-fog water collection in the field. Under our measurement on landscape and building of 369 Cabin, a 3D digital model made by SketchUp tool is put into Japan Cradle STREAM CFD model to survey how humid air flows passing these objectives from different wind directions. From two digital camera images for daily frequency of fog event, we found the fog-event ratio is 6%、52%、62%、74%、100% related to 05:00am、08:00am、11:00am、2:00pm、5:00pm (Aug. 2015 ~ Aug. 2016), and the highly (lowest) fog season happened in May 73.3% (October, 8.9%). Finally, three CWB auto-weather stations open from middle of July of 2016, and their near-real time data is shown in CWB webpage. The technical workshop for volunteer watch on these weather stations were run twice in September of 2016 well.

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、火和生物等因子，其中的水分、溫度、光照、大氣這些因子都是生態棲地氣候背景資訊，需要穩定蒐集，以便讓研究者加以應用和分析。近年來世界各地之各類型長期生態研究站紛紛設立，將多種生態調查(野生動物、土壤、微生物、地質、地形、水文、微氣象、養分循環等因子)結合進入資料庫加以應用。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。但是雪山山區可及性較困難、高山氣候環境變化大等因素，相關氣候等研究資料相較其他地區較零散，無法建立較完整之「高山生態系」氣象站及資料庫以滿足經營管理所需之資訊，因此雪霸國家公園管理處自 2009 年起於雪山地區進行整合研究的先期調查，各項子計畫以該區域「高山生態系」為研究主軸，並在雪山雪東沿線海拔 3,000m 以上設立 4 座高山氣象站 2013 年起氣象站維護與資料下載逐漸轉移給雪山志工執行，2014 年再減至 2 座氣象站，2015 年「雪山地區長期氣象站建置諮詢與雲霧水捕集實驗」啟動了雪東線實驗型氣象站加入中央氣象局全台自動觀測站網，以及進行 369 山莊雲霧水攔截蒐集等兩項評估作業。

為持續累積過去 7 年(2009~2015 年)的氣象基礎資料，本計畫將協助雪霸國家公園管理處，持續運作現有雪山高山氣象站(圈谷及 369 山莊)以及資料收集分析，以及進行 369 山莊附近雲霧攔截評估及攔截網建置，與進行該地區雲霧水量收集成效評估，這一結果將可提供雪管處的 369 山莊規畫設計及改建時，增設攔截網集水運用之參考。最後，也協助雪管處與中央氣象局合作之雪見地區氣象站進行維護與諮詢工作。

第二節 計畫目標

雪霸國家公園管理處公告之四項工作內容計有：

- 1.現有雪山高山氣象站(圈谷及 369 山莊)之維護及資料收集分析。
- 2.進行 369 山莊附近雲霧攔截評估及攔截網建置，並進行該區雲霧水量收集成效評估。
- 3.提供未來 369 山莊規畫設計及改建時有關攔截網運用之可能性諮詢。
- 4.協助雪管處與中央氣象局合作之雪見地區氣象站維護諮詢。

根據以上工作項目，本計畫將執行方法概括區分為四大目標來完成之：

1. 氣象資訊整理

持續收集 2016 年雪山圈谷與 369 山莊氣象站資料，併入先前七年兩站氣象資料，繼續擴增當地氣候資料長度，做為生態調查與遊憩經營的參考；此外，2015 年 10 月啟用的 369 山莊後方斜坡所的雲霧攔截網氣象站資料(涵蓋白晝期間天氣雲霧影像)，也將完成一年度(至 2016 年 10 月)資料收錄與整理分析。

2. 369 山莊雲霧水收集成效評估

2015 年 10~12 月 369 山莊後方斜坡所的雲霧攔截網 2 個月資訊，由於瞬間強風吹倒攔截網設施，本團隊將於 2016 年 1 月 28~30 日進行現地勘查與局部復原，2016 年 3 月進行新攔截網設施安置，以繼續評估不同月份 369 山莊雲霧水量和攔截成效之評估。

3 提供未來 369 山莊規畫設計及改建時有關攔截網運用之可能性諮詢

經由(1)和(2)的調查與實測資料以及建築物流體力學模擬，評估風和水氣通過 369 山莊建築本體的走向，以及攔截網設置融入建物的可能方式。

4.協助雪管處與中央氣象局合作之雪東線高山氣象站以及雪見氣象站維護諮詢

2015 年度本團隊已邀請中央氣象局測政組到雪見工作站參訪氣象站現地環境和設施，本年度將繼續協助雪管處進行雪見氣象站資料品質檢索，和即時連線回傳中央氣象局與網頁顯示等功能。

第三節 前人研究

單一氣象站代表其周遭環境特質，所能代表的空間範圍是以氣象觀測坪或雨量筒的儀器顯露度(exposure)來定義，可依據該地(或雨量筒上空)周遭環境地形地物的水平視仰角之平均值(Θ)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), $\Theta > 19$

高山氣象觀測容易受到森林樹冠和山脈峽谷地形遮蔽而降低其空間代表性。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)。每當某地氣象資料長期累積時間長度超過 10 年以上，才可以開始討論當地氣候；氣候背景值通常以某時段的氣象資料平均值、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。

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)，後者位於北峰山巔、視野遼闊，是日據時代末期日軍為了南洋戰爭高空氣象需求而設立。中央氣象局(2010)針對台灣地區進行 1897~2009 年近百年觀測要素(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。至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。

除了氣溫熱力效應之外，高山水文也是生態與遊憩重要的一環，比如雪山曾在冬季缺水乾旱期間於 369 山莊發生發生森林火災(2008 年 12 月 18 日與 2014 年 1 月 20 日兩天)，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，源自氣象監測的「降雨」參數(又可稱之為垂直降水)的對應名詞，其蒐集歷史可回溯到 1994 年南美洲智利和全球各乾旱地區的實驗性質作為，各地透過攔截網進行集水實驗所獲得的攔截水量約在 3~10 L/m² 之間(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 $2\sim 5\text{ms}^{-1}$ 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 1 km，甚至大部分時間都低於 500m。經過評估(林等，2014)，三義地區的攔截網實驗期間(77 天)初估每 1m^2 有 106 公升水量蒐集率。

張等(2013)與陳等(2103)也曾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，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又不及圈谷開闊地的二分之一，因此地表積雪融化總能量比雪山圈谷低，突顯了森林的保溫作用能造成融雪過程較圈谷開闊地來得顯著與持久。此外，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。

第四節 研究地區與方法

本計畫所針對的雪山圈谷氣象站(海拔 3,554 m)以及 369 山莊氣象站(海拔 3,142 m)，位於雪山主東峰登山步道附近，圖 1 與圖 2 展示雪山主東線地形與水文流域特徵和氣象站空間位置。氣象測站的詳細背景資訊和現有氣象觀測設備如表 1~表 2，兩地氣象站情景則如圖 3~圖 4 所示。369 山莊屋舍前後，周遭地形以及雲霧飄移等情景則在圖 5 呈現。研究方法歸納為四大類別：

4-1 氣象資訊整理

本團隊將持續上年度「雪山地區長期氣象站建置諮詢與雲霧水捕集實驗」計畫，透過2016年3、5、7、9、11月上山下載雪山圈谷(SP1)與369山莊(SP3)氣象資料，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，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。這些氣象資料也將融入先前各年度資料重新統計整理成1~12月各月00:00~23:00LST逐時的極大值、平均值、極小值以及標準差之CSV數據表單。表3是29種氣象參數與代稱對照表，所有參數CSV表格將更新到2016年並以資料光碟提供委託單位使用。此外，我們也整理SP1和SP3兩氣象站自2009年9月到2016年7月期間，各年各月份18種氣象參數的月平均一覽表(第二章說明)，可做為生態研究之基本要素參考。

本團隊針對369山莊前方廁所舊址重新架設的雲霧攔截氣象站資料(2016年春季啟用)，以及2016年1~4月期間圈谷以及369山莊後方樹幹上的間時照相機影像資料，檢查2016年1月大雪深度變化，以便更精確評估該地區雲霧或降水發生之時間特徵，做為369山莊改建的重要環境背景資訊(第二章說明)。

4-2 369山莊雲霧水收集成效評估

2015年10~12月369山莊後方斜坡所的雲霧攔截網2個月資訊，由於2015年12月25日發生強風天氣個案吹倒攔截網設施(圖6)，本團隊於2016年1月28~30日進行現地勘查，並將於2016年4月上旬重新復原啟用，繼續透過傾斗式雨量筒和EL-USB5紀錄器(圖7)定量自動紀錄水量，繼續持續到2016年10月。此外，經由本團隊在2015年8月現地經驗，我們將重複測試工業研究院所研發的「雨水蒐集傘」和本團隊加裝的攔截八角網，在該地區斜坡不同高度所進行的簡易攜帶型攔截雨傘倒懸實驗(圖8)；嗣後，將簡易型攔截雨傘在每兩個月收錄369山莊氣象資料之際，同步進行試驗，這一傘具概念也將在台灣

東北部郊山進行較長時間功能測試，最後以這兩種方式來評估369山莊雨水和雲霧水雙重功能增加水量攔截的構想。

4-3 提供未來369山莊規畫設計及改建時有關攔截網運用之可能性諮詢

經由(4.1)和(4.2)的氣象觀測資料以及雲霧攔截網兩類型實驗，將可得知當地不同季節天氣型態下的雲霧水攔截量。本團隊將以現有369山莊建築物尺寸和斜坡地形，植入日本Cradle公司(工程流體計算力學，CFD) Stream Model (圖9)，與實測風速風向資料和水氣輸入軟體來進行氣流通過建築物之模擬，以評估氣流通過369山莊建築本體的流向，以及雲霧攔截網設置融入現有建物的方式；這一概念預期可以做為雪管處未來進行369山莊重建設計的參考。

4-4 協助雪管處與中央氣象局合作之雪東線與雪見氣象站維護諮詢

2015年度本團隊已邀請中央氣象局測政組到雪見工作站參訪氣象站現地環境和設施(圖10)，同年7月中央氣象局也已覆函同意將雪見氣象站納入該局合作測站。目前中央氣象局網頁並未呈現該測站之氣象資訊(圖11)。本年度本團隊將繼續協助雪管處進行雪見氣象站資料品質檢索之外，本年度也將比照雪山圈谷和369山莊CSV統計表單來協助整理，也將與中央氣象局資訊中心以及雪管處資訊安全管制部門協商，嘗試將雪見氣象站即時連線回傳資訊能呈現於中央氣象局網頁和雪管處網頁。雪東線氣象站部分，本團隊隨時支援中央氣象局高山氣象站網建置的諮詢與參與會議來完成之。

表 1 雪山主東峰高山氣象站

地點	圈谷	369 山莊
X 座標 (T W D 9 7)	273961	275879
Y 座標 (T W D 9 7)	2698080	2698536
海 拔 高 度	3,584 m	3,142 m
坡 向	NE	NEE
植 被	玉山杜鵑 玉山圓柏	林火跡地
地 表 狀 態	礫石	土壤
表面層礫石比率	90%	30%
出露土壤剖面	無	60 cm
土壤層礫石比率	未知	10%
土壤層礫石粒徑	未知	0-30 cm
備 註		

表 2 雪山主東峰高山氣象站觀測項目與設備。

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

表 3 雪山逐月逐時平均氣象檔案代稱對照表。

氣象參數	代稱符號	圈谷	369 山莊
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	○	○

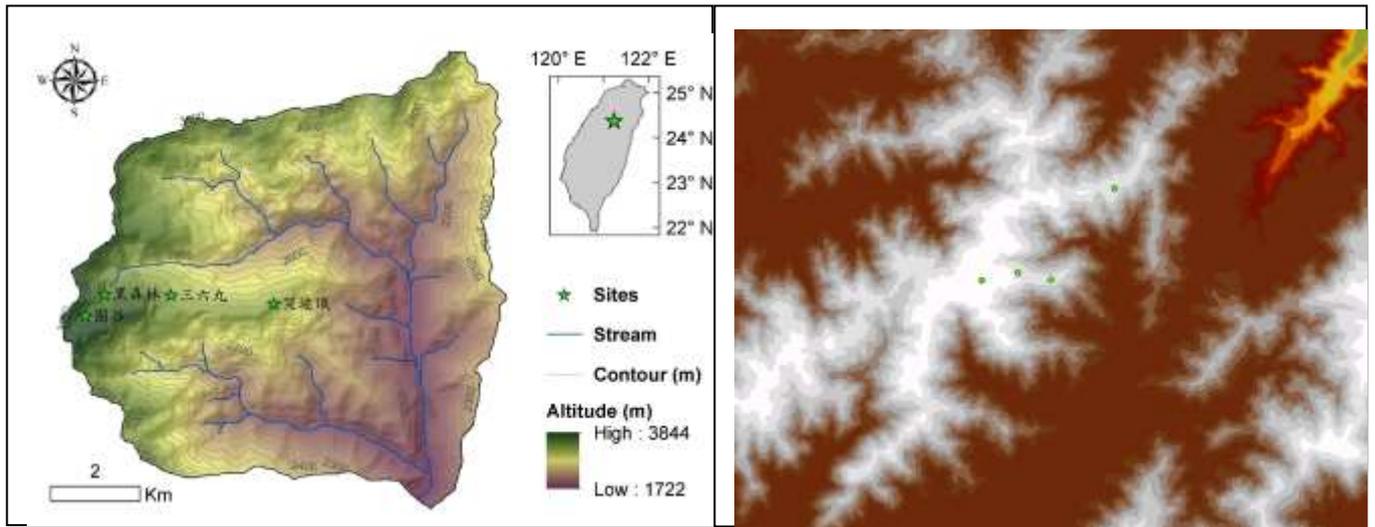


圖 1 雪山山區氣象站位置及周遭 30m 數位地形與水文流域。



圖 2 由桃山山頂東往西側看 369 山莊以及雪山圈谷地形與植被。



圖 3: 雪山圈谷氣象站(本計畫註記為 SP1)不同季節的現場照片。



圖 4: 369 山莊氣象站(本計畫註記為 SP3) 2011~2012 年不同季節的現場照片。

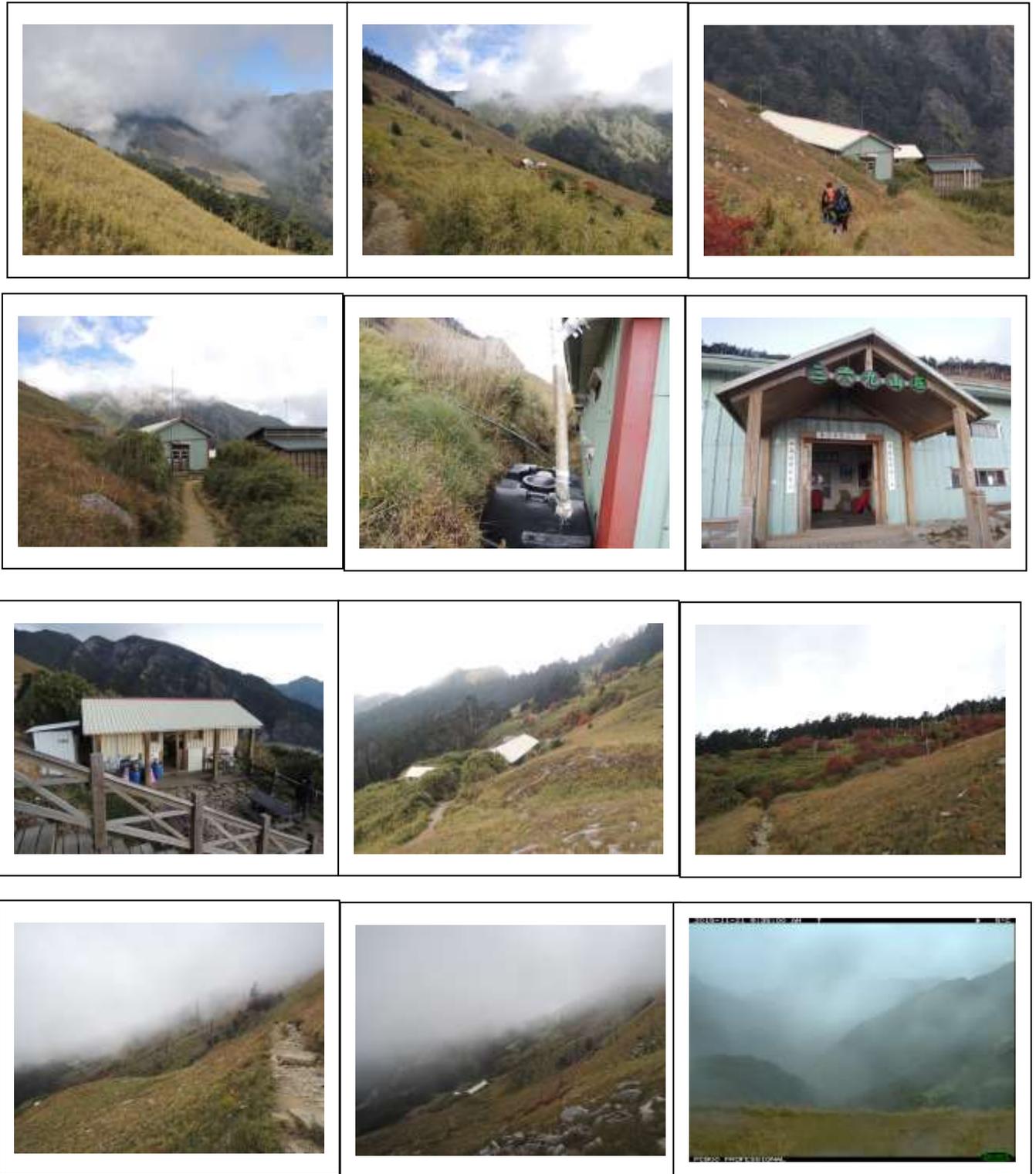


圖 5: 369 山莊遠眺與近觀、山莊屋舍前後與後方斜坡地形和雲霧飄景象。



圖 6: (上)369 山莊斜坡雲霧攔截網，2015 年 10 月 25 日(下)倒伏景象(氣象志工提供，2015 年 10 月 29 日)。



圖 7: 369 山莊斜坡雲霧攔截網氣象站採用的傾斗式雨量筒(Raingauge)與英國 EL-USB5 訊號紀錄器。



圖 8: 工研院雨傘與台大八角型攔截網搭配示意圖以及 369 山莊斜坡實地測試。

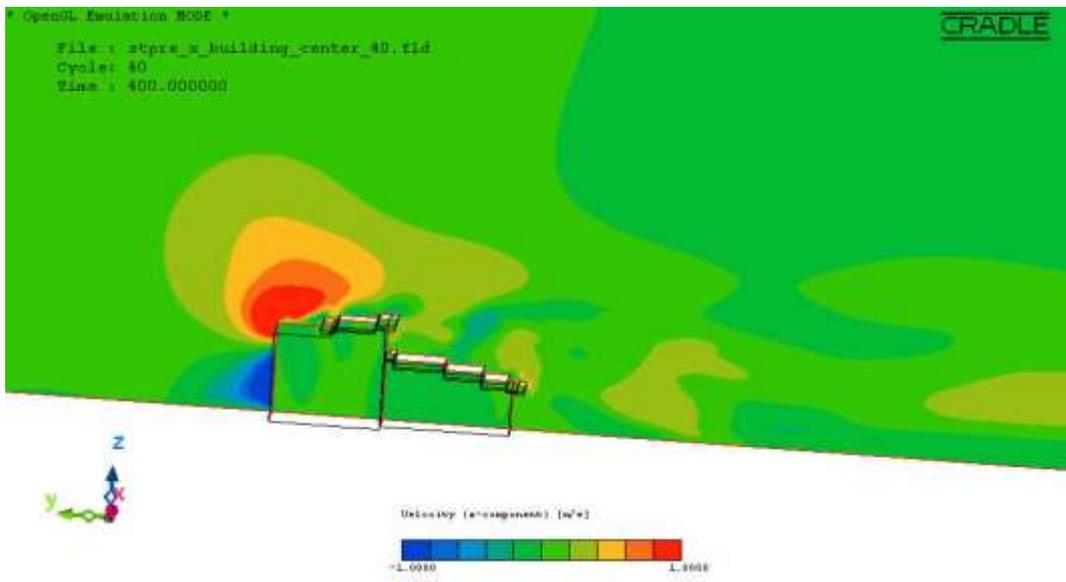
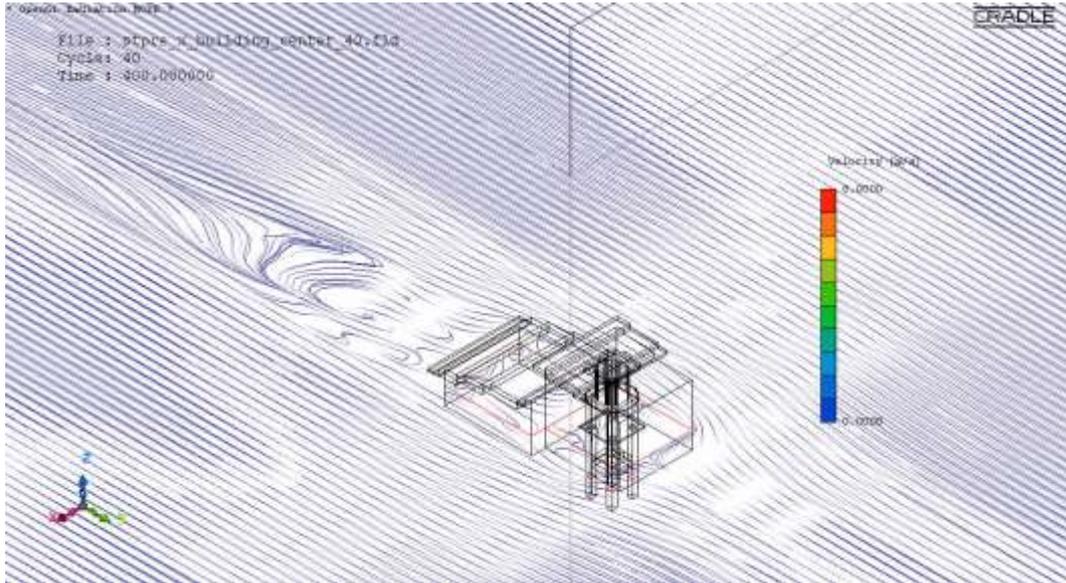
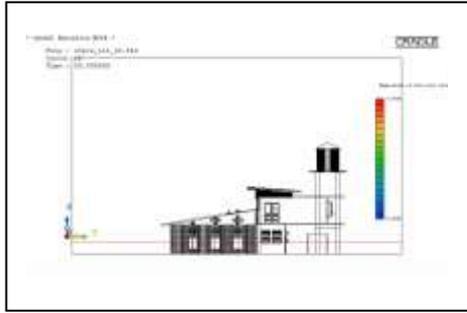


圖 9: 日本 Cradle 公司 Stream CDF 模式模擬氣流穿越建築物的水平面和垂直面風場分布示意圖 (本團隊製作)。



圖 10: 雪霸國家公園雪見遊憩區氣象站。

第二章 成果

第一節 氣象資訊整理

本團隊已於 2016 年 1 月 28~30 日、2 月 17~18 日、4 月 1~7 日、6 月 20~22 日、8 月 22~24 日、10 月 15~21 日以及 12 月 10~12 日(共 7 次)，以 1~2 個月間距循入山申請程序進入雪東線，完成圈谷(SP1)以及 369 山莊(SP3)兩處氣象站的常態維護(乾燥劑更換、雨量筒筒口雜物排除、電池電力檢查、鎖頭除鏽與潤滑)氣象資料下載以及相機記憶卡更換。氣象檔案處理方式持續上年度「雪山主東峰線氣象資料分析與應用」計畫的處理模式，首先以中央研究院生物多樣性中心「雪山地區高山生態系整合調查」資料庫格式加以整理，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(參見表 3)。本年度資料已經彙整到 10 月，預計 12 月 10~12 日前往雪山下載近期資料，所有參數 CSV 表格也將持續更新到 2016 年，並以資料光碟提供委託單位使用。表 4 與表 5 整理出 SP1 和 SP3 兩氣象站自 2009 年 9 月到 2016 年 7 月期間，各年各月份氣溫一覽表，其餘 17 種氣象參數的月平均以及極端值一覽表一併收納到年度資料光片，以做為生態研究之環境要素參考。

此外，中央氣象局於 2016 年 7 月中旬啟用並有即時資料傳輸功能的圈谷自動氣象站、雪山東峰氣象站以及桃山氣象站兼通訊中繼站(參見本章第四節說明)，本團隊已經取得 2016 年 7~10 月期間資料；這些測站資料將依據先前既有格式重新整理，轉給管理處備查參考。中央氣象局這些新增雪東線自動氣象站觀測項目包括風速、風向、氣溫、濕度(各 2 套)以及雨量(1 套)；其中的圈谷自動氣象站與本團隊現有 SP1 氣象站比鄰設置，因此本團隊預定於明年夏季停止 SP1 與 SP3 觀測，拆卸現地所有設施恢復舊觀。

針對 SP1 以及 SP3 的間時(time lapse)照相機所紀錄的 5 分鐘時間間距(05:05am~05:55pm)雪尺影像資料，團隊整理了 2012 年~2016 年的每年 12 月到隔年 4 月期間逐日雪深(單位:cm)變化(圖 12)，並蒐集同一時期中央氣象局玉山測站每日降雪紀錄，發現 2012~2013 年該年雪季兩地降雪累積量大約相等(71cm:70cm)，2013~2014 年雪山圈谷略大(84cm:72cm)，2014~2015 年則是 4.5 倍(118cm:26cm)，2015~2016 年是 3.4 倍(251cm:74cm)，但是雪山圈谷殘雪囤積時間顯著高於玉山北峰，顯示雪山冬季雪量的水文效果對於當地生態貢獻顯示雪山冬季雪量的水文效果以及生態可能差異顯著有別於玉山。

第二節 369 山莊雲霧水收集成效評估

由於 2015 年 12 月~2016 年 2 月低溫與高頻率降雪天氣現象，369 山莊後方斜坡的攔截網與氣象站受強風吹襲而傾倒。本團隊雖然在 2016 年 1 月與 2 入山嘗試整修，惟當時降雪與低溫現象不利現地常駐施工，因此先行撤下原有氣象站(HOBO)感測器設備下山送回台灣大學檢修，並於 4 月第 1 週(4 月 1 日~7 日)動員六人進駐 369 山莊，進行另款氣象站(WXT520)與攔截網遷移與重新固定。氣象站與攔截網遷移到山莊廁所舊址鋼架之上，重新整理兩組攔截網(截面積 $1.8\text{m} \times 1.2\text{m}$)排列成 L 型，一面朝東(雙層網)一面朝南(單層網)，以便攔截由東面斜坡下方谷地的升坡霧，以及伴隨西風翻越雪山東峰山脊而衝下到山莊的雲霧(圖 13)。

WXT520 氣象感測器結合在攔截網支架之上，以正確量測抵達攔截網的風速風向數據，雨量撞擊感測器也和風速風向感測器相同高度，以確認雲霧發生時間是否伴隨降雨現象。太陽輻射感測器、氣象資料紀錄器(內有充電電池)與太陽能充電板等均在攔截網後方的三腳支架(圖 14)；兩套攔截網下方集水槽的水流經由水管進入 DAVIS 雨量筒傾斗量杯計數，傾倒次數與發生時間則由 EL-USB5 紀錄器(內含電池)自動記載。經過 4~10 月數月紀錄，我們發現箭竹樹葉會被風掃吹飄進集水槽而阻塞水流，造成紀錄器沒有滴水次數反應，本團隊乃於 10 月 15 日~21 日期間進駐 369 山莊，以人工詳加記錄當時天氣雲霧發生時間與攔截網效率(圖 15)；10 月中旬發生的雲霧個案資料分析顯示，朝東的雙層攔截網的雨水加上雲霧水的總蒐集率可達 $28.7 \text{ L/m}^2/\text{day}$ ，一場大霧可有 $0.31 \text{ L/m}^2/\text{hour}$ ，假設持續相同霧水濃度，則可有 $7.4 \text{ L/m}^2/\text{day}$ 攔截量，因此雖然該地海拔已超過 3000m 高度，但是雲霧水攔截效率仍有全球各地霧水蒐集率($3\sim 10 \text{ L/m}^2/\text{day}$)的中上數值。

雲霧發生頻率方面，我們整理了 2015 年 8 月至 2016 年 8 月全年度 369 山莊(SP3 氣象站與山莊後方枯木)兩部不同拍攝角度數位相機之影像(圖 16)，以每天 5:00am~5:00pm 的 30 分鐘間距進行有無「雲霧發生」發生之次數整理；經過人工眼睛一一辨識記錄之後，整理得到 05:00am、08:00am、11:00am、2:00pm、5:00pm 這些時段的雲霧發生的頻率是 6%、52%、62%、74%、100%，並且一年之中分別以 5 月和 10 月分別是雲霧發生頻率最高(73.3%)與最低(8.9%)的月份。

雲霧水的水質分析方面，我們於 10 月 15 日~21 日期間進駐 369 山莊並數次往返登山口工作站借用冰箱封存樣本水體，10 月 21 日以保冰盒急返台北，送進中央研究院環境變遷研究中心實驗室(圖 17)，分析 12 組水體樣本的酸鹼值導電度以及檢測世界衛生組織(WHO)建議的 11 種飲用水金屬與化學物質濃度上限(包含:氯、硝酸銨、鋁、錳、鎳、銅、鎘、鉛、鉻、砷、硒)。表 6 顯示了雪山地區不同來源的水體來源(包含攔截網蒐集的雨水、雲霧水)非常乾淨，比如本團隊曾在溪頭和金門蒐集雲霧水，選擇硫酸(Sulfate)濃度加以比較棲蘭、鹿林山和雪

山等地樣本(Simon *et al.*, 2015)，圖 18 顯示雪山樣本的硫化物濃度非常低。由於中央研究院並沒有生物性檢測設備，不過經過煮沸後雪山樣本水體應該沒有生物或細菌污染的疑慮。

6 月 21~22 日之間團隊在 369 山莊斜坡上下兩處同步測試工研院集水雨傘(圖 19)，當晚天氣發生雲霧現象，隔日清晨分別蒐集到 630 ml(下坡)與 380 ml(上坡)。我們將這一構想與設備也在新北市雙溪區山區進行一個月實地測試(5月中旬~6月中旬)。圖 20 是實驗現場照片，其中攔截網是 1m*1m 見方面積並以木框加以平整網面處理，攔截網材質則與 369 山莊攔截網相同。經由 5 月 16 日強降水事件前後 30 小時(總雨量 27.4mm)小時累積水量比較分析，雨傘和 1m*1m 平面攔截網各攔截了 13.9L 和 1.58L 水量；另一次 5 月 23 日弱降水事件前後 30 小時(總雨量 4.4mm)小時累積水量，雨傘和 1m*1m 平面攔截網各攔截了 1.9L 和 0.84L 水量(圖 21)；以上兩次實驗結果顯示工研院集水雨傘比平面攔截網更能兼顧雨水和雲霧水之攔截效果，這一數據對於未來 369 山莊的雨雲霧水攔截設計有所啟思。

第三節 提供未來 369 山莊規畫設計及改建時有關攔截網運用之可能性諮詢

用之可能性諮詢

本團隊在 2016 年 4 月 7 日以皮尺實地丈量 369 山莊主建物、廚房、平台以及階梯斜坡等地形的大略尺寸，透過 SketchUp 軟體繪製 3D 圖面(圖 22)，再植入 Cradle Stream 工程流體計算力學(CFD)軟體，與風速 5 m/s (隨高度向地表遞減到零)氣流挾帶高濕度水氣(比擬雲霧情境)從不同方位輸入(上坡谷風(東風)，圖 23；下坡山風(西風)，圖 24；側風(南風)，圖 25)，來檢視潮濕氣流通過 369 山莊立體圖面的空間分布特徵。這些圖檔的共同特徵是，屋舍周遭風速會相對減弱，水氣也因此會繞行屋舍周遭邊緣。

根據上一節的平面網與錐形網(雨傘)測試結果以及 CFD 數值模式的模擬概念，團隊對於未來 369 山莊在氣象環境監測、光電與風力發電節能設施、以及雨水和雲霧水攔截的規畫設計有以下建議(圖 26):

- 主建物屋頂有太陽能光電板並採 30 度以上傾斜角度，以蒐集雨水和露水。
- 後方另建 10 米塔架，安裝避雷針、風速風向計、風力發電機組。
- 塔架上半部類似倒置漏斗(雨傘概念)蒐集雨水和露水。
- 塔架南北面和西面架設垂直攔截網(塔架每一層一片捲簾式設計)蒐集雲霧水。
- 塔架下方備有儲水水槽，並以圍籬區隔遊客進入塔架。

第四節 協助雪管處與中央氣象局合作之雪東線與雪見氣象站維護諮詢

雪見工作站一旁之電信業者通訊塔下機房內的氣象設備記錄器(見圖10)，與工作站電腦主機連結正常，經過進駐中央氣象局測政組之協力廠商之連線測試，確定可以將雪見工作站氣象站資料即時連線傳回中央氣象局電腦伺服器。

後續的電腦資訊管理工作涉及該廠商與中央氣象局年度契約內容，仍無法於本年度完成上線作業(比照其他自動氣象站觀測資料呈現在中央氣象局官網)；承包商口頭承諾計畫主持人將在明年度(2017年)併入其與中央氣象局常態服務計畫。

中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的雪山圈谷、雪山東峰、桃山等三處氣象站，經過簡易環評程序、土木施工以及氣象設備架設等步驟，於2016年7月12~13日陪同中央氣象局以及管理處同仁，到達現場進行驗收與揭幕；7月18日正式透過無線電回傳氣象資料到新竹縣竹北氣象站，再經由光纖網路進入中央氣象局總部(圖27~圖29)。中央氣象局並於今年9月13日以及9月19日兩天，於中央氣象局與雪霸國家公園共同舉辦高山氣象站網儀器特徵與簡易維護保養程序之講習會，本團提供全國若要登山健行團體之聯絡資訊給予中央氣象局，邀請登山同好與雪管處志工團體共同參加這一技術講習會。

上述三處高山氣象站即時氣象資訊(時間間距為一小時)，已經在今年10月全部呈現於中央氣象局網頁(圖30)。這一高山氣象網也獲得太魯閣國家公園認同，完成路線與選址圖面討論，擬於明年春季會同中央氣象局啟動南湖大山現地場勘作業。

第三章 主要建議事項

1 立即可行建議

(1)中央氣象局雪東線三處高山氣象站(桃山、雪山東峰、雪山圈谷)已經即時呈現在氣象局官方網站，協力廠商據稱將在明年獲得氣象局委託發包，在武陵農場的雪東登山口架設資料顯示看板，建議雪霸管理處加以了解硬體與軟體(資料顯示內容)之規畫。

(2)工研院設計並贈予本團隊的集水雨傘，被我們改裝在 369 山莊測試的雲霧水蒐集概念，可納入各處自然教育空間加以展示解說。

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：國立臺灣大學大氣科學系、中央氣象局

2 中長期建議事項

雪山圈谷冬季降雪量紀錄，將隨本計畫者結案後於明年夏季中止觀測，相機以及雪尺將回收撤回。中央氣象局協力廠商據稱其在台北郊山已經開始測試 USB Camera 的戶外自動拍照、影像經由無線電中繼站回傳到市區辦公室等功能近一個月。建議管理處追蹤其效能，並適時安裝在雪山圈谷氣象站，藉由中央氣象局現有支架與太陽能光電電力設備，將冬季圈谷雪深影像傳送到桃山中繼站，再轉送到管理處加以(準)即時監測與發佈雪況資訊。

主辦機關：雪霸國家公園管理處

協辦機關：中央氣象局、翰昇環境科技公司

表 4 雪山圈谷氣象站(SP1)逐年月平均氣溫一覽表。

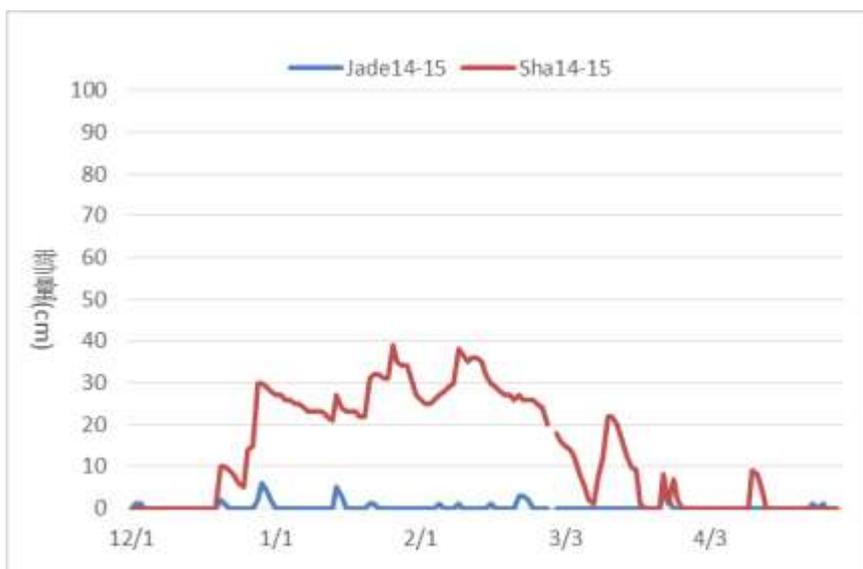
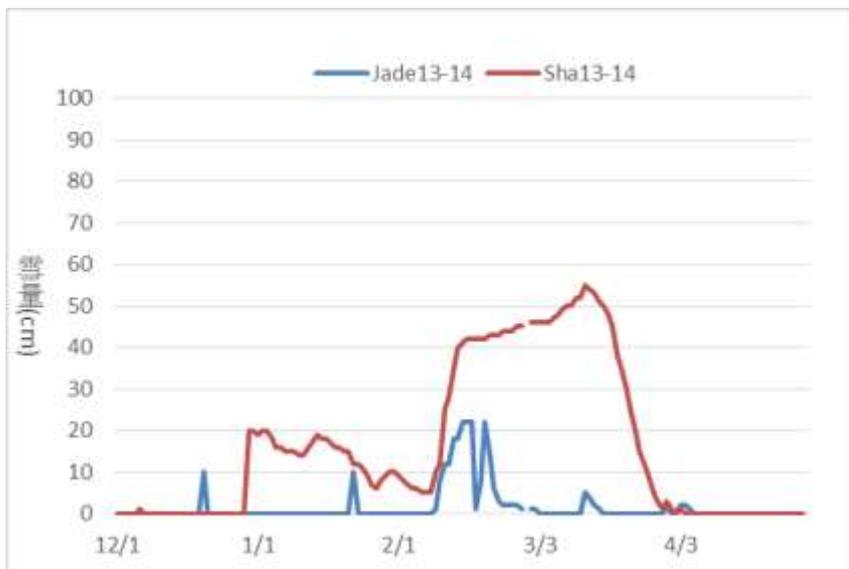
	2009	2010	2011	2012	2013	2104	2015	2016	Mean
Jan		-0.11	-2.28	-0.47	-0.62	-1.26	0.29	-0.32	-0.68
Feb		0.38	-1.12	0.50	2.74	0.25	-1.51	-0.97	0.04
Mar		3.18	0.98	2.94	2.39	2.76	2.49	0.46	2.17
Apr		4.72	3.14	4.03	3.68	4.63	4.37	4.91	4.21
May		6.92	6.54	6.78	6.54	6.20	7.41	7.59	6.85
Jun		8.23	8.94	7.29	8.49	9.26	9.88	8.88	8.71
Jul		9.02	8.75	7.38	8.23	9.64	8.48	9.18	8.67
Aug		8.55	8.12	6.93	8.57	8.50	7.94		8.10
Sep	8.02	7.52	7.80	7.30	7.55	8.33	8.15		7.81
Oct	6.77	6.65	5.99	6.40	6.24	6.02	6.79		6.41
Nov	4.12	3.01	4.59	3.10	2.93	3.36	4.57		3.67
Dec	-0.66	0.04	1.81	-0.21	-0.18	0.54	2.11		0.49
Mean	4.56	4.84	4.44	4.33	4.71	4.85	5.08	4.25	4.70
Max	8.02	9.02	8.94	7.38	8.57	9.64	9.88	9.18	8.71
Min	-0.66	-0.11	-2.28	-0.47	-0.62	-1.26	-1.51	-0.97	-0.68

表 5 雪山 369 山莊氣象站(SP3)逐年月平均氣溫一覽表。

	2009	2010	2011	2012	2013	2104	2015	2016	Mean
Jan		2.15	-0.10	2.10	1.62	0.47	2.61	2.24	1.58
Feb		3.51	1.91	3.34	5.38	1.90	1.72	1.80	2.79
Mar		6.39	3.78	5.86	5.65	4.72	5.45	3.58	5.06
Apr		7.56	6.06	6.99	6.53	7.87	7.38	8.20	7.23
May		9.53	9.03	9.52	8.57	8.64	10.08	10.09	9.35
Jun		10.22	11.16	11.03	10.96	11.36	11.92	11.27	11.13
Jul		11.25	11.49	11.22	10.86	11.82	9.93	11.74	11.19
Aug		11.29	10.79	10.37	11.34	10.99	9.77	11.42	10.85
Sep	10.56	10.34	10.51	9.96	10.52	11.02	10.32		10.46
Oct	8.68	8.69	7.96	8.95	8.49	8.51	9.04		8.62
Nov	5.81	5.37	6.82	5.74	5.39	5.73	6.72		5.94
Dec	1.53	2.79	3.45	2.48	1.22	2.93	4.53		2.70
Mean	6.65	7.42	6.91	7.30	7.21	7.16	7.46	7.54	7.24
Max	10.56	11.29	11.49	11.22	11.34	11.82	11.92	11.74	11.19
Min	1.53	2.15	-0.10	2.10	1.22	0.47	1.72	1.80	1.58

表 6 雪山地區雲霧水質分析一覽表。

物質名稱 測定單位	Cl- mg/l	NO3- mg/l	Al mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Cu mg/l	Cd mg/l	Pb mg/l	Cr mg/l	As mg/l	Se mg/l
需森村7K水桶	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369 山莊	0.09	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369山莊前 霧凇乾樹(雙層)-1	7.10	14.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369山莊前 霧凇乾樹(單層)-1	4.64	11.87	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369山莊前 霧凇乾樹(雙層)-2	3.77	5.30	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369山莊前 霧凇乾樹(雙層)-3	2.45	3.48	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369山莊前 霧凇乾樹(單層)-2	2.75	3.87	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369山莊前 霧凇乾樹(雙層)-4	0.47	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ND
369山莊前 霧凇乾樹(單層)-3	0.46	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
369山莊前 霧凇乾樹(雙層)-去離子水	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ND
369山莊前 霧凇乾樹(單層)-去離子水	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	ND
七卡山莊	0.09	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
WHO建議值	氯	硝酸鹽	鋁	錳	鎳	銅	鎘	鉛	鉻	砷	硒
	Chlorine	Nitrate	Aluminum	Manganese	Nickel	Copper	Cadmium	Lead	Chromium	Arsenic	Selenium
	5 mg/l	50 mg/l	0.1-0.2 mg/l	0.4 mg/l	0.07 mg/l	2 mg/l	0.003 mg/l	0.01 mg/l	0.05 mg/l	0.01 mg/l	0.1 mg/l



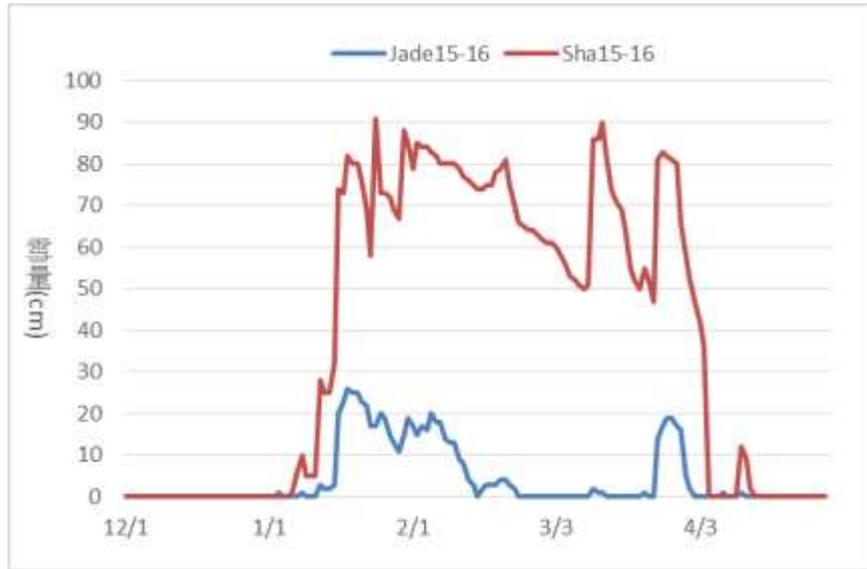


圖 12: 12 月至隔年 4 月 (X 軸) 的雪山圈谷(紅線) 與中央氣象局玉山測站雪深(藍線)(Y 軸, 單位:公分)之比較。由上而下分別是 2012~2013 年、2013~2014 年、2014~2015 年、2015~2016 年。



圖 13: 2016 年 4 月架設完成的 369 山莊氣象站與攔截網 (遠照)。



圖 14: 2016 年 4 月架設完成的 369 山莊 WXT520 氣象站與攔截網(近照)。



圖 15: 2016 年 10 月 369 山莊攔截網水量即時蒐集。



圖 16 369 山莊數位相機的天氣影像樣本(上)SP3 相機 2016 年 7 月 19 日 2:00pm(下)山莊後方相機 2016 年 6 月 24 日 3:25pm。

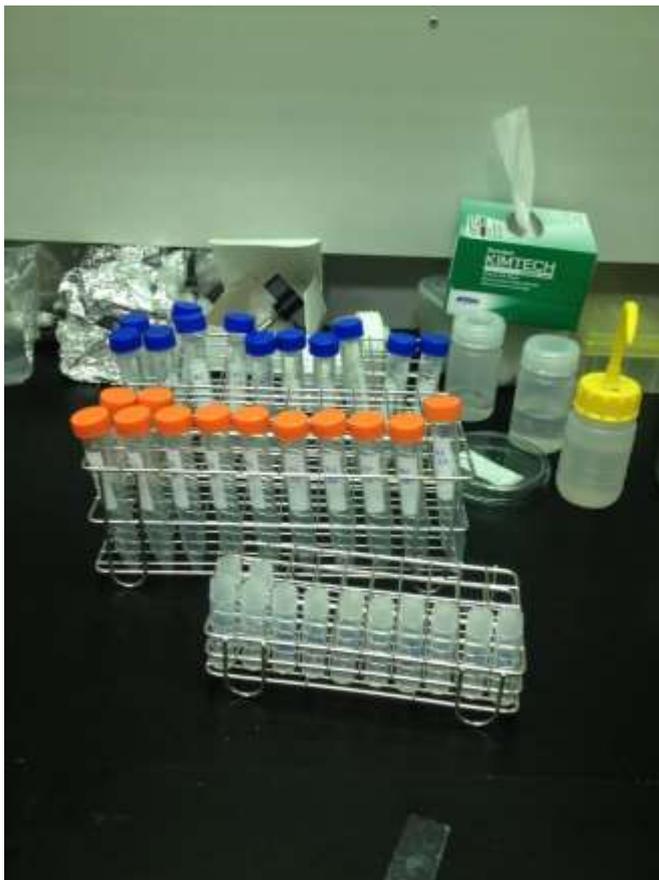


圖 17: 中央研究院環境變遷研究中心水質分析現場照片(2016 年 10 月)。

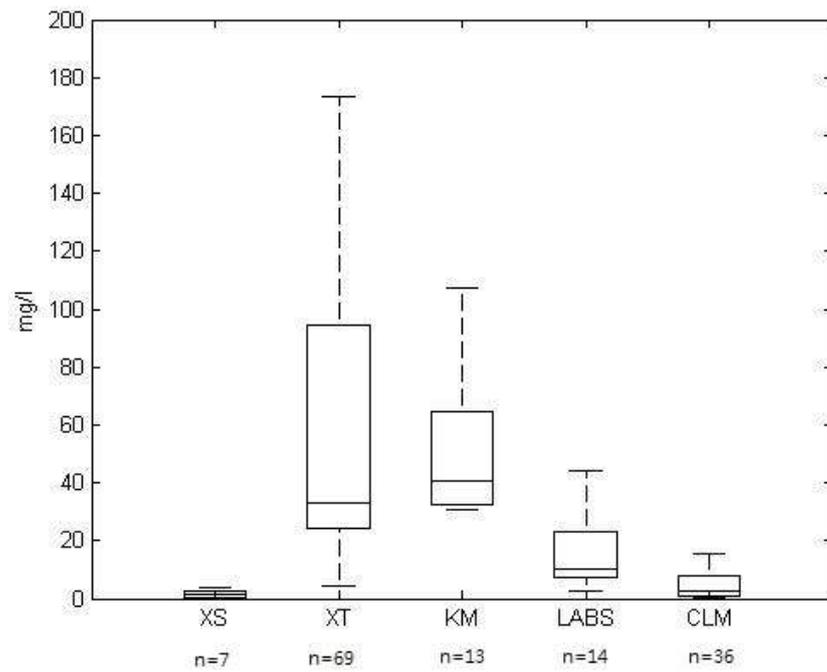


圖 18: 不同地點水體樣本中硫酸濃度之盒鬚圖比較(XS 為雪山、XT 為溪頭、KM 為金門、LABS 為鹿林山、CLM 為棲蘭，n 代表水體樣本數量)。



圖 19: 369 山莊後方斜坡雨傘攔截雲霧水測試(2016 年 6 月 20~21 日)。



圖 20: 新北市雙溪區山區平面攔截網與工研院傘具的雲霧攔截現場照片，其中攔截網是 1m*1m 見方面積並以木框加以平整網面處理，攔截網材質則與 369 山莊攔截網相同。

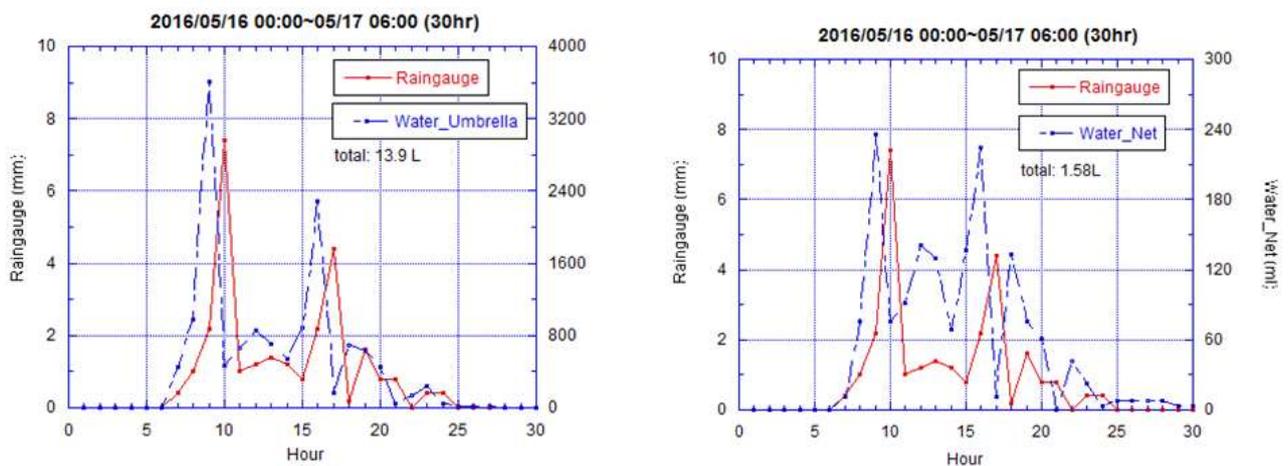


圖 21: 2016 年 5 月 16 日 00:00~5 月 17 日 06:00 前後 30 小時的雙溪山區實驗逐時累積量比較，(左) 累積雨量(mm)與傘具水量(ml) (右) 累積雨量(mm)與平面網水量(ml)。

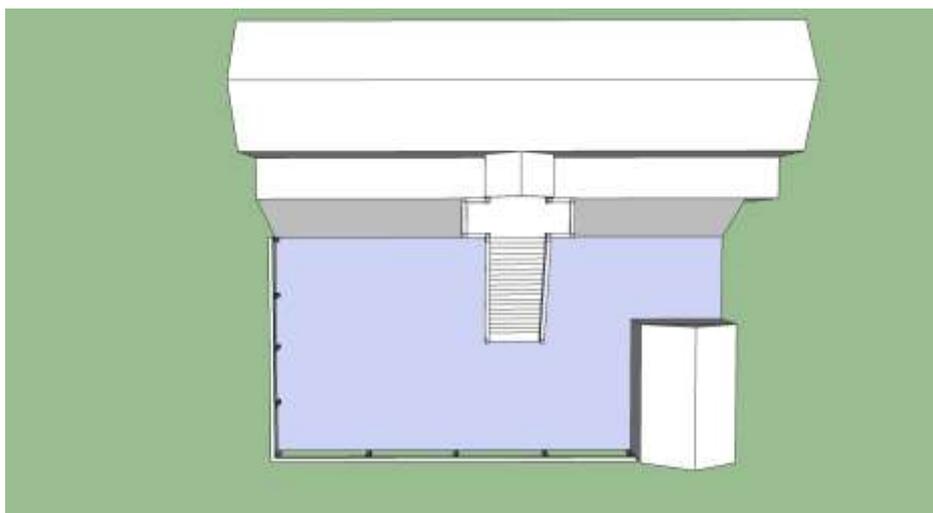
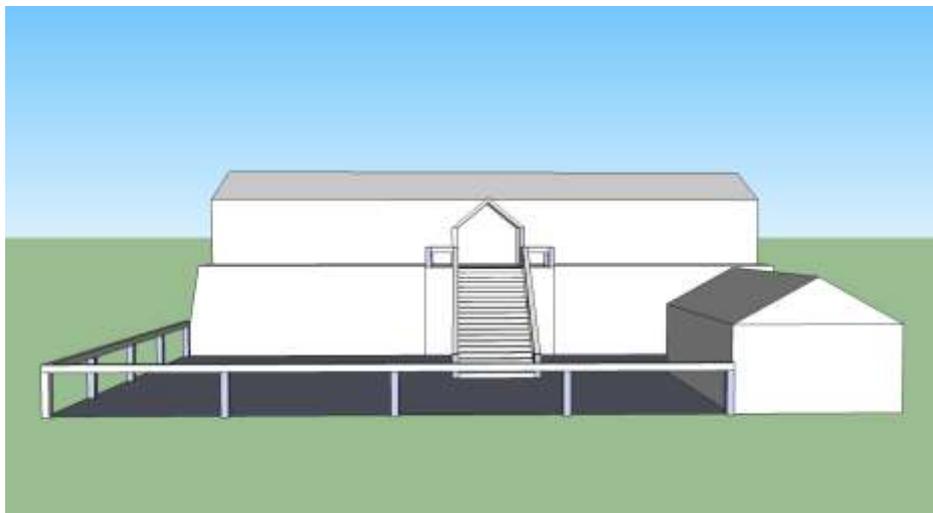
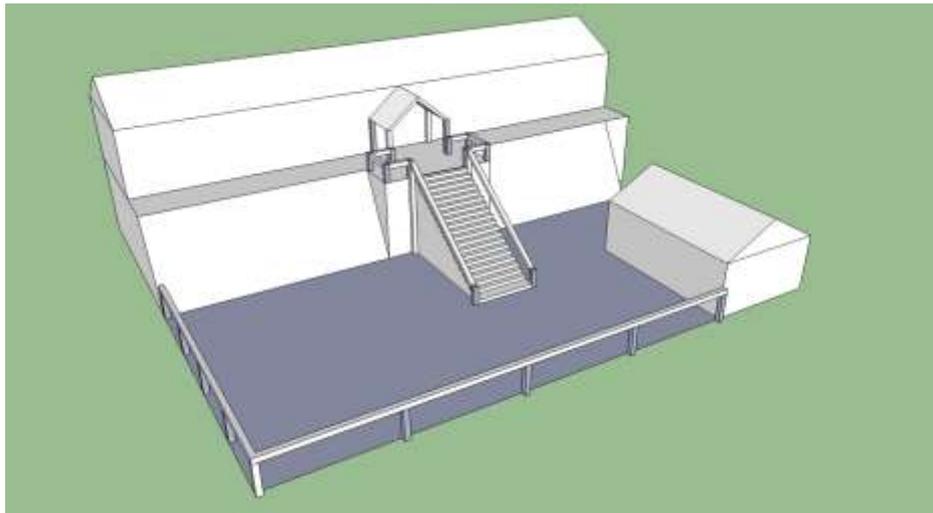


圖 22: 369 山莊主建物、廚房、平台以及階梯斜坡等地形 3D 圖面。

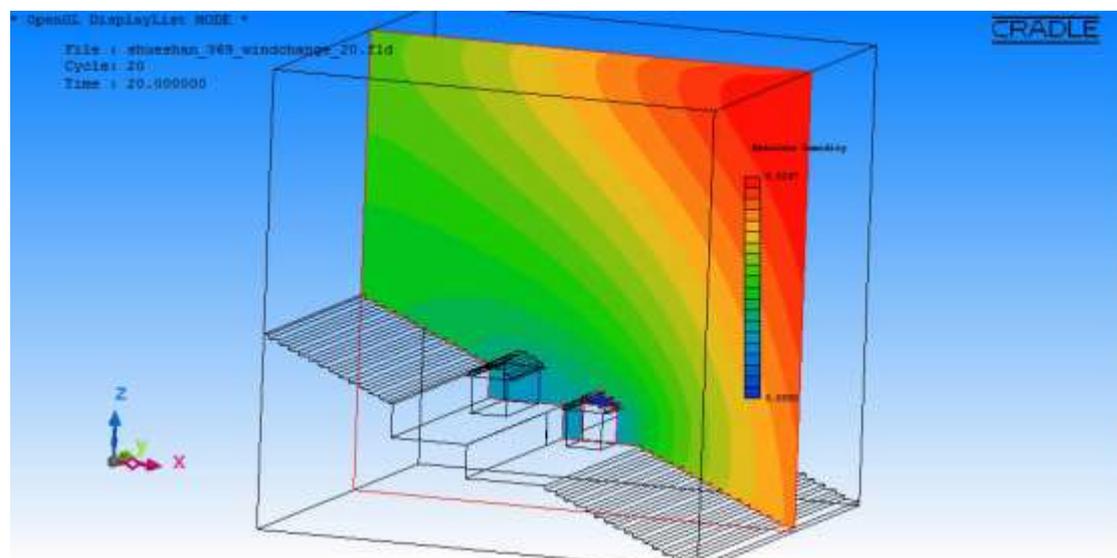
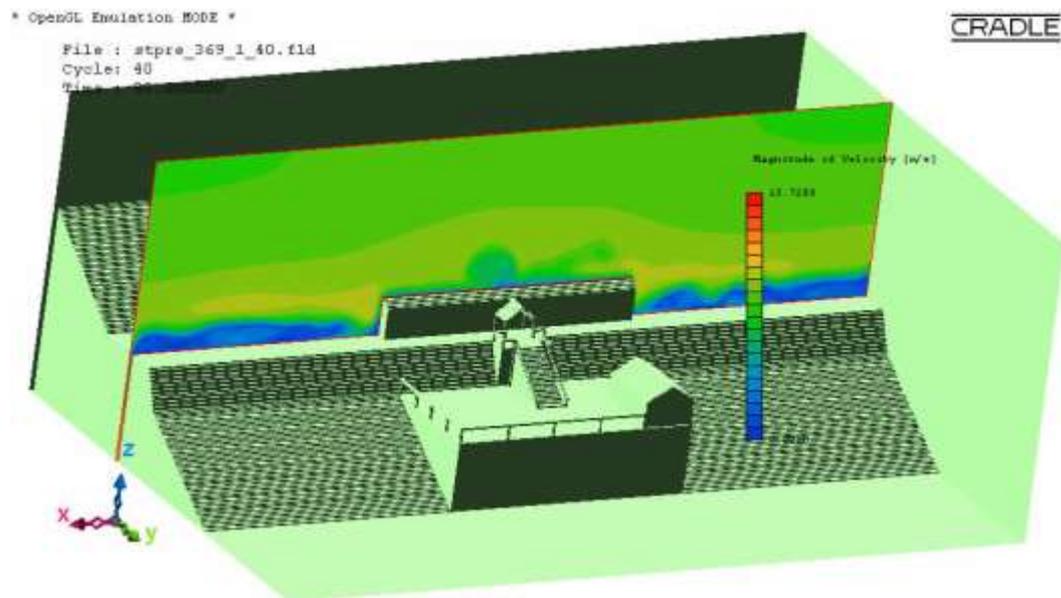


圖 23:將圖 22 圖面植入 Cradle Stream 工程流體計算力學軟體，與離地 10 公尺風速 5 m/s (風速隨高度向地表為零向上指數遞增)上坡風(東風)輸入軟體來進行氣流通過 369 山莊立體圖面進行模擬 (上) 風速通過主建物之橫剖面(下)水氣通過主建物的縱剖面。

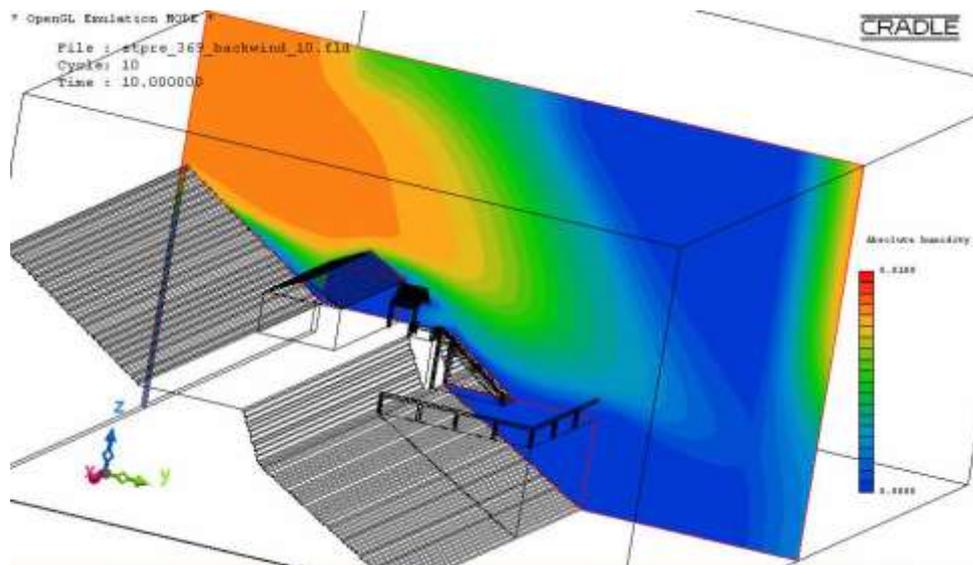
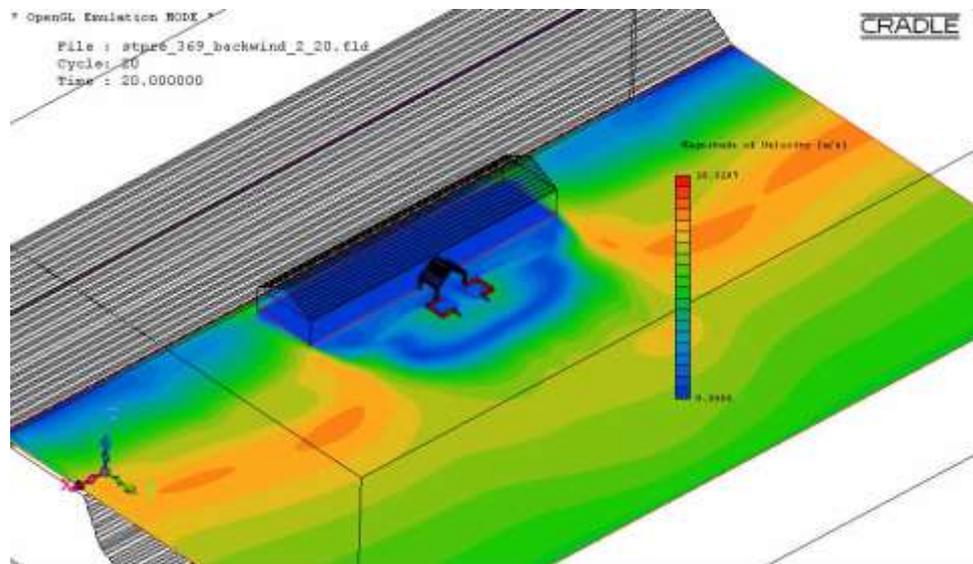
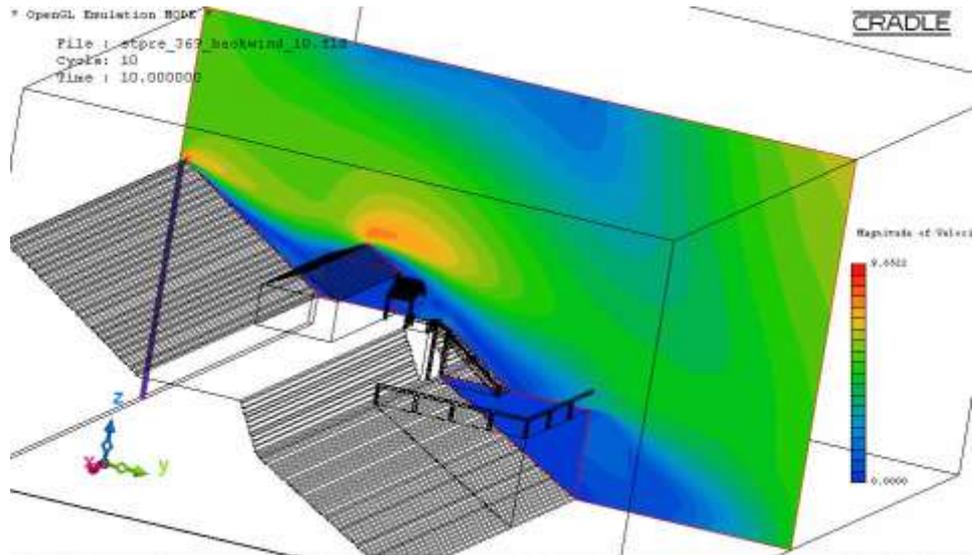


圖 24: 同圖 23，但為下坡風(西風)。

* OpenGL Emulation MODE *

CRADLE

File : stpre_369_1_left_40.fld
Cycle: 40
Time : 80.000000

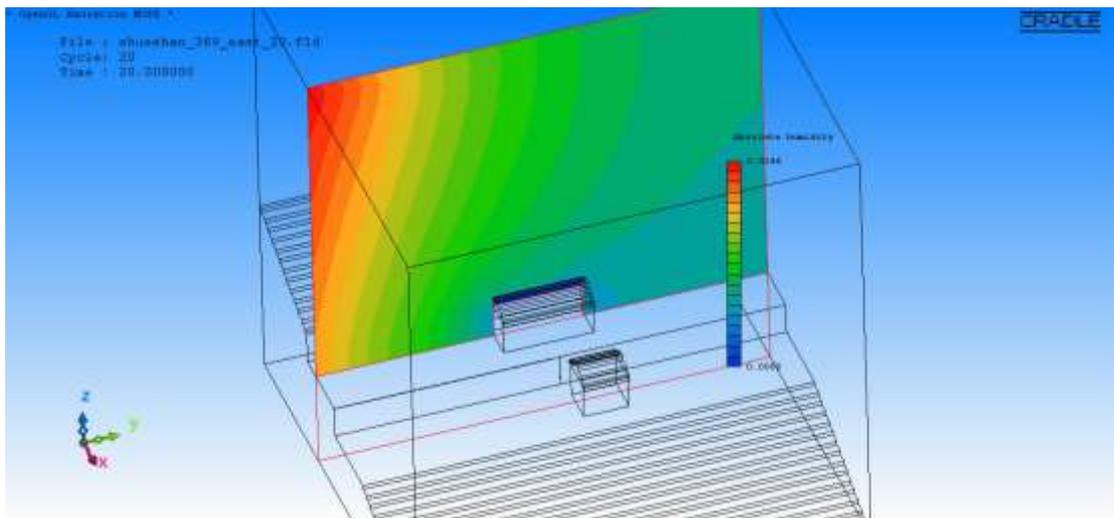
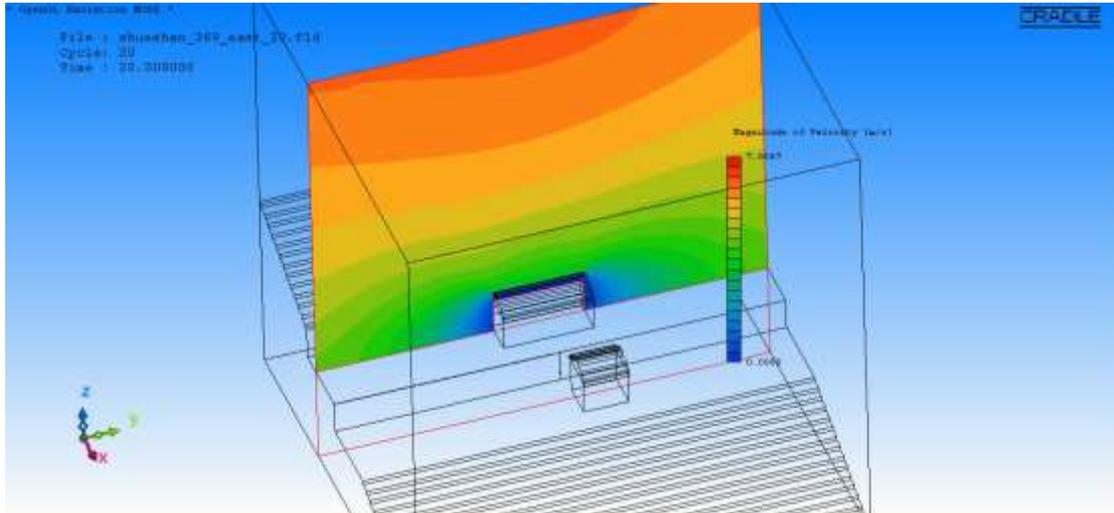
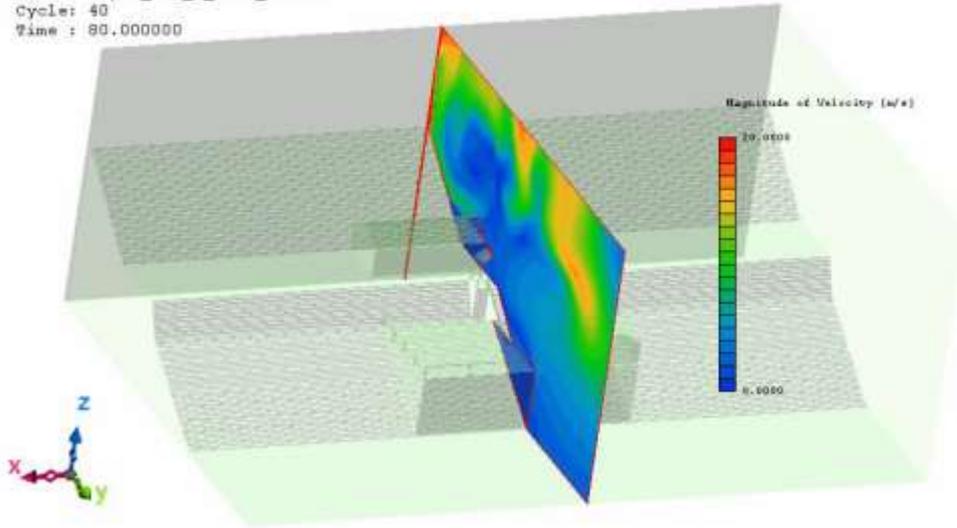


圖 25: 同圖 23, 但為側風(南風)。

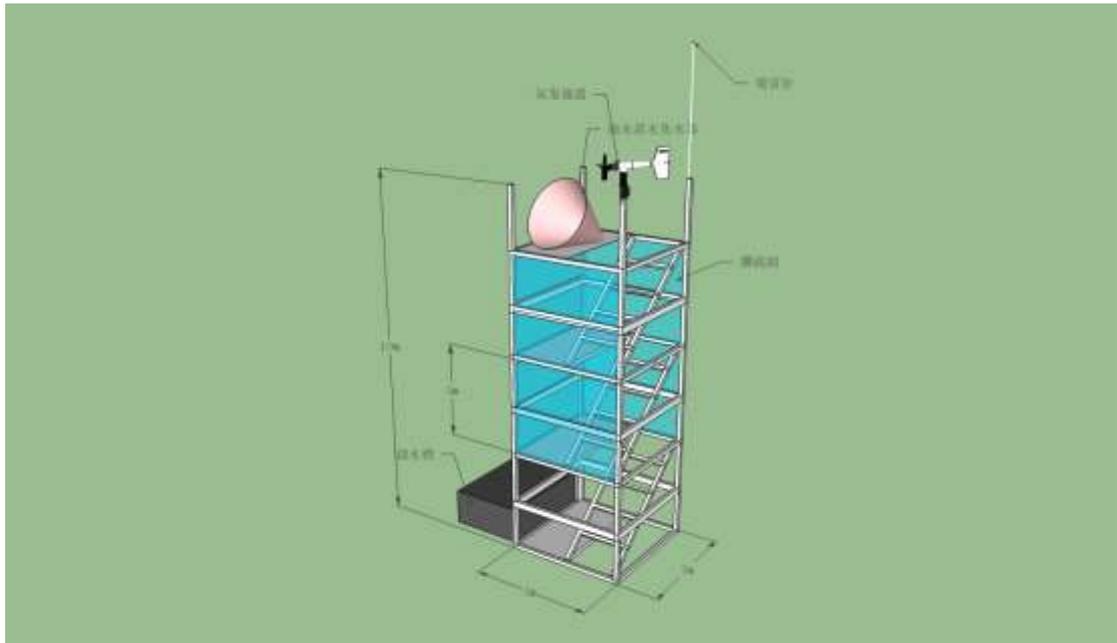


圖 26: 369 山莊氣象環境監測以及雨水和雲霧水攔截的規畫構想。山莊主建物後方建設 10m 高度塔架，頂部避雷針、氣象儀器、風力發電機以及錐形雨水露水蒐集器，塔架三面架設攔截網來蒐集飄移的雲霧水；塔架第一層氣象資料紀錄器與儲水水槽。



圖 27:中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的雪山圈谷氣象站與驗收揭幕人員合影(2016年7月13日)。



圖 28: 中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的雪山東峰氣象站與驗收揭幕人員合影(2016年7月12日)。



圖 29: 中央氣象局與雪霸國家公園管理處合作的桃山氣象站。



圖 30: 中央氣象局官方網站所呈現的(中部地區)雪山圈谷每小時即時氣象畫面。

參考文獻

- 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。
- 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**，249-265。
- 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。
- 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。
- Egger, A. and A. Carpi, 2008: Data Analysis and Interpretation. *Vision Learning*, 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. **Soil Physics**, Chap.5:159-195. John Willey & Sons Inc. New York. USA.
- 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.)
- 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. **Microclimate-The Biological environment**, chap.2:94-115. John Willey & Sons Inc., New York,

USA.

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.

Simon, S., O. Klemm, T. E. Madany, J. Walk, K. Amelung, P. H. Lin, S. C. Chang, N. H. Lin, G. Engling, S. C. Hsu, T. H. Wey, Y. N. Wang, Y. C. Lee, 2015: Chemical composition of fog water at four sites in Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*. doi: 10.4209/aaqr.2015.03.0154

WMO, 2008: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.