

台灣高山地區霧雨雪之水象特色

江秀真 林博雄

臺灣大學大氣科學系

摘要

本研究主要分析 2012~2016 年雪山地區降雨、雲霧發生以及冬季降雪觀測資料，同時蒐集中央氣象局玉山北峰，海拔 3858 公尺氣象資料，來瞭解臺灣南北兩大主峰水象因子的季節與年際差異程度；此外，本研究也在雪山地區進行雲霧攔截實驗，並透過個案分析來推估其相對於降水的貢獻程度。分析結果發現臺灣高山地區雨量於春夏時期高於秋冬時期，以海拔 3180m 雪山三六九山莊為例，2012 年至 2016 研究期間五年平均雨量為 3046.5mm；春雨和梅雨季(3~6 月)佔總平均雨量 45.7%，夏季(7~10 月)佔 34.7% 的雨量貢獻，秋冬季(11~2 月)最少僅佔 19.6%。然而在同一山區海拔 3,593 公尺的雪山圈谷，五年平均總雨量為 1,408.3mm；夏季佔總平均雨量 45%，其次是春雨和梅雨季佔 40%，秋冬季最少僅佔 15%。研究期間共歷經 28 次颱風，在三六九山莊 SP3 與圈谷 SP1 測站由颱風所挾帶的平均雨量貢獻分別為 690.7mm 佔總平均雨量 22.6% 與 407mm 佔總平均雨量 28.9%，由此可見颱風對於高山地區生態與水資源收支的貢獻不容小覷。雲霧出現頻率的季節性變化與雨量因子雷同，仍是呈現春夏季節高於秋冬季節。研究期間雪山地區(白晝期間)平均總雲霧發生時數為 1,844 小時；季節性特徵是，春雨、梅雨季(3~6 月)有 731.8 小時(40%)、夏季 587.1 小時(32%)、秋冬季 518.8 小時(28%)。綜合雪山山區雨水(垂直性降水)與雲霧(水平降水)季節變化特徵，顯示山區具有為春夏季(3~10 月)多雨多霧，以及秋冬季(11~隔年 2 月)少雨少霧的乾溼差異特性。至於台灣南北兩大主峰(玉山北峰與雪山圈谷)降水量的差距，以 2012 年~2016 年總累積降雨量(玉山 2,970mm，雪山 1,408.3mm)來說，玉山北峰高於雪山一倍以上；然而，雪季(12~4 月)降雪量(延遲降水)卻是雪山高於玉山一倍以上(玉山 242cm，雪山 524cm)。在雪山 369 山莊個案資料，顯示雨水加上雲霧水的總蒐集率可達 49.9L/m²/hour，一場大霧可有 310 ml/m²/hour，假設持續相同霧水濃度，則可有 7.4 L/m²/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(3~10L/m²/day)的中上數值。本研究針對臺灣高山的垂直降水(降雨)、水平降水(雲霧)與延遲降水(降雪)三種水象因子進行初步觀測分析，期盼能引起國人與管理單位持續重視高山水文氣象資訊蒐集，以及在全球極端氣候威脅議題下，台灣山區水資源管理上能有拋磚引玉的效果。

關鍵字：雲霧水收集、高山氣象、雪山

一、前言

臺灣為潮濕多雨亞熱帶島嶼，高山地區有雲霧、強降雨以及降雪等現象，雲霧(水平降水)、降雨(垂直降水)、雪(延遲降水)這三

種水象因子，因中央山脈地形阻隔的東北和西南兩區塊的氣候與生態截然不同，相對於降雨，雲霧與降雪兩種因子在臺灣地區鮮少被探究

討論，再加上山區地處偏遠、交通不便，甚少對高山地區水象特色與資源進行深入討論。

關於雲霧（水平降水），霧水攔截應用在各大洲部分國家已行之有年(Schemenauer and Cereceda, 1994)，所獲得的攔截水量約 3~10 L/m²/day (Klemm *et al.*, 2012)，林與林(2016)實驗證實苗栗三義 2014 年 1~4 月(77 天)期間，平均可有 106 L/m²/day 水量蒐集率。在哥斯大黎加的 Goldsmith 研究團隊發現樹木會利用葉子的吸水能力，儲存超過 20 % 的水用於生長(Treacy, 2012)。可見雲霧在山區的水資源利用佔有舉足輕重的地位。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，本研究亦是雪山主、東峰線登山步道所涵蓋路線，進入園區登山人數年年漸增，2015 年甚至高達 25,000 人次，因此山區的降水量(降雨、雲霧、降雪)除了影響登山活動水源的提供特之外，惡劣天氣型態亦容易造成山難事件的發生並提高山區救援的難度。劉(2012)針對 2011 年 11 月南湖山難事件期間之天氣分析亦指出天氣高山與平地雖然受到相同天氣型態的影響，但實際顯現出的天氣常會有很大的不同。

本研究累積過去 8 年(2009~2016 年)的氣象基礎資料，期間從 2012 到 2016 年於雪山圈谷(SP1)以及三六九山莊(SP3)設置兩處氣象站及自動照相機，並於三六九山莊建置雲霧水攔截收集成效評估(林與魏，2016)。透過影像記錄、氣象資料收集所累積的氣象資料進行統計分析，包括雲霧出現的頻率、冬季降雪及逐日雪深變化之相關數據與玉山進行比較。

二、文獻回顧

山區水象特徵，主要歸納為垂直(降雨)、水平(雲霧)以及延遲性(雪)降水三部分。雖然山在不同地區有很大差異，但它們共同特徵是地形的複雜，包括：氣候系統與參數的快速變化，特別是溫度和降水，非常短的距離中發生

急遽的梯度變化(Becker and Bugmann, 1997)；尤其高山森林生態環境特色，隨海拔、坡度和季節而變化(Kitayama, 1992)水象時空變化更加複雜。洪(2009)的研究指出台灣降雨明顯受季節變化的影響，在四季的降雨中，以夏季佔年雨量的比例最大，其次是秋季，且主要降雨皆在盛行風的迎風面上；四季降雨的變化趨勢也是夏、秋兩季較為明顯。另外，台灣的梅雨季(5、6 月)在西南部地區的平均降雨量佔年雨量 30-35%，且在 1996-2008 年間，西南部地區的降雨有逐年增加的趨勢。

Larrain *et al.*, (2002)與 Caldero'n *et al.* (2010)建置了一個主要研究生態系統和氣候平台的網站，在此雲霧收集記錄了 14 年，平均霧收集率約為 6 L/m²/day 且在厄瓜多爾，自 1990 年以來已研究了霧作為水資源的潛力。降雪和融雪是水文循環的基本過程。積雪的時空動態是氣候變化的指標(Bloschl, 1999)。尤其是高緯度國家，雪覆蓋的長度和深度通常與平均氣溫和降水量相關，是高山生態系統的關鍵氣候因素之一(Körner, 1999; Ozenda, 1985; Burrows, 1990)。臺灣 3,000 公尺以上的高山冬季才有降雪機會，雖然降雪範圍不大降雪量有限，卻是維繫高山生態不可或缺的環境因子。為了估計山區三種水象因子對於臺灣高山水文收支影響，我們參考以及配合臺灣高山實際觀測的氣象數據蒐集與分析來進行初步估算。

三、研究方法

本研究沿用雪霸國家公園管理處委託計畫(2009~2013; 2015~2017)之雪山圈谷(SP1)與三六九山莊(SP3)的兩座臨時氣象觀測站並各增設 RECONYX 自動相機、雪尺等以便補足所缺漏的觀測項目。雲霧攔截站址所搭配 Davis 傾斗式雨量計、EL-USB、WXT-520 撞擊感測式雨量計等相關儀器。由於受限於經費，無法建置無線傳輸系統，因此採每兩個月定期上山更換儲存備份裝置 (CF card for CR1000 或

Storage Module [資料儲存模組] for CR10x)，回研究室後，以桌上型電腦讀取原始觀測值，再匯入到 Windows Office 的 Excel 軟體，以一站一年為一個資料檔儲存，同一個資料檔中則以不同工作表分別將 10 分鐘觀測值、一小時觀測值、日統計值、月統計值分別建立成資料庫。高山雲霧數據僅觀測雪山 369 一處，以人工判讀影像方式判別 2012、2013、2015、2016 四年，自動照相機資料(每 30 分鐘 1 張)。雪深觀測僅於雪山圈谷與玉山北峰兩處，前者觀測時間涵蓋 2012 年 12 月至 2016 年 4 月期間，透過戶外自動照相機配合插立在雪山圈谷氣象塔前方的雪尺，進行白晝期間(5:00~17:00)每 30 分鐘 1 次的自動拍攝，雪深判斷的依據亦是以人工閱讀照片中的雪尺積雪高度加以整理。玉山北峰氣象站則由當地觀測員結合紅外線雪深計以及人工觀測獲得。此外，本研究也蒐集 2012 年 12 月至 2016 年 4 月期間中央氣象局玉山北峰氣象站(海拔 3,858m)觀測資料，來討論臺灣南北兩大高山主峰(相距 105km)之氣象條件異同。

四、結果與討論

1. SP3 雨量特徵

雨量方面 2012~2016 年，雪山 SP3 測站總平均降雨日數為 182.4 天，總平均降雨量 1,269.4mm；年降雨日數以 2012 年的 238 天最高，最低為 2015 年的 145 天。各年平均降雨量依序為：213.2mm、271.3mm、217.4mm、287.2mm、280.3mm。五年的降雨量以 2015 最高，其次是 2016、2013、2014，最低為 2012 年。由此顯示 2012 年降雨日數最多，降雨量卻是最少；2015 年降雨日數最少，降雨量卻是最多；顯示容易乾旱、強降水，顯示極端現象。

季節性分布，五年平均降雨日數與降雨量各占比率為：春、梅雨季(3~6 月)，(73.4 天 1,392.7 mm)；颱風季、午後陣雨(7~10 月)，(57.8 天 1,056.9mm)；秋冬季(11~隔年 2 月)，

(54.4 天 597.3mm)。因此平均降雨日數與降雨量在季節分布，以春、梅雨季(3~6 月)最高，其次是颱風季、秋冬季最低；以颱風季最高，其次是春雨季、梅雨季，秋冬季最少。結果顯示春、梅雨季、颱風季對高山地區雨量的貢獻確實是不可或缺，高山地區從 10 月份開始，若無颱風帶來雨量貢獻，將明顯進入乾季直到雪季結束。(相較於颱風季雨春、梅雨季(3~6 月)，秋冬季的降雨量雖不多，但冬季期間的降雪量亦是高山地區很重要的水資源貢獻。)

各月平均降雨日數與降雨量分布為：平均降雨日數以 5 月份為最高 21.8 天，其次是 4 月份 18.8 天、8 月份 18.2 天，最低為 10 月份僅 10.4 天；平均降雨量最高為 3 月份 463.9mm，其次是 5 月份 370.2mm、7 月份 325.6mm，最低為 10 月僅 85.2mm。因此四年之月平均降雨日數最多為 5 月，最少為 10 月份，平均降雨量最高的月份為 3 月份，最低為 10 月份。

2. SP3 雲霧特性

雲霧方面 2012, 13, 15, 16 四年，雪山 SP3 測站總平均雲霧出現日數為 295.3 天，總平均雲霧出現時數為 1,844 小時；年平均雲霧出現日數以 2016 年最高 78.3 天，最低為 2015 年的 68 天。各年平均雲霧出現時數依序為：152 小時、145.2 小時、144.5 小時、172.8 小時。四年的平均雲霧出現時數以 2016 最高，其次是 2012、2013，最低為 2015 年。由此顯示 2016 年雲霧出現日數與時數都最多；2015 年雲霧出現日數與時數都是最少。(雲霧出現日數與時數呈正相關)

季節分布的四年平均雲霧出現日數與時數各占比率為：春、梅雨季(3~6 月)，(104.8 天 731.8 小時)；颱風季、午後陣雨(7~10 月)，(101.5 天 587.1 小時)；秋冬季(11~隔年 2 月)，(89 天 518.8 小時)。因此平均雲霧出現日數與時數在季節分布，以春、梅雨季(3~6 月)最高，其次是颱風季、秋冬季最低。結果顯示春、

梅雨季、對高山地區雲霧出現的頻率是相當充足的，高山地區從 10 月份開始，若無颱風帶來水氣貢獻，將明顯進入乾季直到雪季結束；秋冬季的雲霧出現日數雖然最少，但出現的時數與夏季颱風午後陣雨非常接近，亦不能忽視。

各月平均雲霧出現日數與時數分布為：四年之平均雲霧出現日數以 8 月份為最高 28.8 天，其次是 5 月、7 月份為 28.5 天、6 月、9 月 27.5 天，最低為 10 月份僅 16.8 天；平均雲霧出現時數最高為 5 月份 230.4 小時，其次是 8 月份 195.6 小時、4 月份 188.8 小時，最低為 10 月僅 83.8 小時。因此四年之月平均雲霧出現日數多 8 月最少為 10 月份，平均降雨量最高的月份為 5 月份，最低為 10 月份。

3. 南北兩大高峰雨與雪水量差異

玉山北峰氣象站在雨量方面 2012~2016 年，平均總降雨日數為 66.7 天，平均總降雨量 2970mm；各年平均降雨日數依序為(14.5 天 298.6mm)、(12.9 天 294.6mm)、(12.4 天 179.1mm)、(11 天 193.1mm)、(15.8 天 272mm)；五年的降雨量以 2012 最高，其次是 2013、2016，最低為 2014 年。由此顯示五年的平均降雨日數從 2012~2015 年每年有遞減現象；五年的平均雨量以 2012 年為最高峰，2013 年些許下降，到 2014 年為五年之中的最低點、2015 年少許的上升，至 2016 年再度升高，但相較於 2012 與 2013 年的雨量仍呈現遞減趨勢。

季節分布的四年平均降雨日數與降雨量各占比率為：春、梅雨季(3~6 月)，(64 天 1,270.8 mm)；颱風季、午後陣雨(7~10 月)，(60 天 1,270.6mm)；秋冬季(11~隔年 2 月)，(35.8 天 428.6mm)。因此平均降雨日數與降雨量在季節分布，以春、梅雨季(3~6 月)最高，其次是颱風季、秋冬季最低。結果顯示春、梅雨季、颱風季的平均降雨日和降雨量非常接近，且為全年降雨日和降雨量最為集中時間。五年之中月，平均降雨日數以 5 月份為最高 23.4

天，其次是 8 月份 20.4 天、6、7 月份 17.6 天，最低為 10 月份僅 7 天；平均降雨量最高為 5 月份 552.1mm，其次是 8 月份 481.8mm、6 月份 404mm，最低為 2 月僅 61.4mm。

至於臺灣南北兩大主峰(玉山北峰與雪山圈谷)降水量的差距，以 2012 年~2016 年總平均降雨量(玉山 2,970mm，雪山 1,408.3mm)來說，玉山北峰高於雪山一倍以上；然而，冬季(12~4 月)降雪量(延遲降水)卻是雪山高於玉山一倍以上(玉山 242cm，雪山 524cm)。南北的差異，可能是因為夏季西南氣流和颱風給予玉山相當多的降雨(垂直降水)貢獻，而冬季的東北季風與大陸冷氣團也給予北部的雪山帶來降雪(延遲性降水)相對的貢獻。

2012~2016 年玉山氣象站與雪山 SP1 的平均總雨量與颱風有無降雨量貢獻的差異，(如圖 3-51)玉山五年總平均雨量為 2970mm，若排除這五年颱風所帶來的雨量 2105.6mm，因此這五年平均颱風雨量貢獻為 867.4mm，佔總平均雨量的 29.2%)；雪山 SP1 總平均雨量為 1408.3mm，若排除這五年颱風所帶來的雨量 1,001mm，颱風雨量貢獻為 407mm 佔總平均雨量的 28.9%)。(玉山的颱風雨量貢獻為 867.4mm；雪山圈谷 407mm，比值為 2:1)

4. 三六九山莊雲霧水攔截個案資料分析

2016 年 4 月 6 日啟用的三六九山莊廁所舊址鋼架之上的雲霧攔截網氣象站，兩組攔截網(截面積 1.8m*1.2m)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。兩套攔截網下方集水槽的水流經由水管進入以加蓋的 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，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，乃於 10 月 15 日~21 日期

間進駐三六九山莊，以人工詳加記錄當時天氣雲霧發生時間與攔截網效率；2016年10月20日早上8:00至21日早上7:00(24小時)這段時間所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 $49.9\text{L}/\text{m}^2/\text{hour}$ ，一場大霧可有 $0.31\text{L}/\text{m}^2/\text{hour}$ ，假設持續相同霧水濃度，則可有 $7.4\text{L}/\text{m}^2/\text{day}$ 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(3~10 $\text{L}/\text{m}^2/\text{day}$)的中上數值。

5. 2016年SP3雪季個案分析

雲霧出現與降雪特徵：有降雪都一定有雲霧出現，(12~隔年2月)這五個月雲霧發生頻率超過10~12小時有39天、總雲霧出現頻率有(127天、774小時)，其中以3月份雲霧出現頻率最高；降雪方面在(12~隔年4月)這五個月總降雪日雨降雪量(8天、104cm)，期間以1月和3月降雪量最多。降雨方面：有降雪不一定都有降雨，例如：1月14-15日這兩天分別降下10cm、22cm，但雨量筒顯示沒有降雨，研判與溫、溼度有關。期間以3月份降雨量最多689.5mm佔整個雪季雨量42%。綜合上述：整個雪季期間3月份是雪、霧、雨量同時都達到高峰。因此，雪季在山區進行登山活動可能因為雲霧、降雪、降雪事件較為集中，容易發生迷途、滑落墜崖、失溫、凍傷等山難事故，未來如能建立完善高山氣象資訊平台、提供較完善且即時的氣象資訊、配合管理單位加強登山安全宣導，將可望降低山難事故的發生。

6. 三種降水型態水量比例推估

透過2016年~2017年SP1與SP3的氣象資訊與三六九山莊的雲霧攔截、夜間集水測試，來估算雲霧降水(水平降水)、降雨(垂直降水)、降雪(延遲降水)的水量。以2016年1月SP1與SP3的統計資料為例(表4)，SP3當月雲霧量(時數)共計162小時，SP3雨量筒累積

323.5mm。SP1當月積雪累積量145cm，雨量筒累積224mm。

SP1與SP3雨霧雪等三種水量推估，結果如下：

(一) SP3霧水水量推估：

$$0.31\text{L}/\text{m}^2/\text{h} * 162\text{hours} = 50.2\text{L}/\text{m}^2/\text{month}$$

備註：0.31 $\text{L}/\text{m}^2/\text{h}$ 為三六九山莊霧水攔截實驗所得數值。

(二) SP3雨水水量推估：

$$100\text{cm} * 100\text{cm} * 32.35\text{cm} = 323,500\text{cm}^3$$

約略等於323.5 $\text{L}/\text{m}^2/\text{month}$ 。

備註：為了與(一)霧水水量比較，因此將雨量筒截面改成如1m*1m單位面積，計算雨水水量

(三) SP1雪水水量推估：

$$100\text{cm} * 100\text{cm} * 145\text{cm} * 0.1 = 145,000\text{cm}^3$$

約略等於145 $\text{L}/\text{m}^2/\text{month}$

備註：0.1為新雪密度。

(四) SP1雨水水量推估：

$$100\text{cm} * 100\text{cm} * 22.4\text{cm} = 220,400\text{cm}^3$$

約略等於224 $\text{L}/\text{m}^2/\text{month}$

綜合上述，1月份為高山地區的乾季和雪季，假設同樣的收集面積(1m*1m單位面積)，垂直降水的確較水平降水的水量為多(6.4倍，323.5:50.2)；但山區若無降水或發生乾旱時，尤其在高山森林生態系中雲霧發生就顯得格外重要，降雪量累積融化的水量也是相當可觀(0.65倍，145:224)。

五、結論

臺灣南北兩大主峰(玉山北峰與雪山圈谷)降水量的差距，以2012年~2016年總平均降雨量(玉山2,970mm，雪山1,408.3mm)來說，玉山北峰高於雪山一倍以上，玉山的季節特徵結果顯示：春、梅雨季與颱風季的平均降雨日和降雨量非常接近，亦是全年降雨日和降雨量最為集中的時期(4~9月)，其他月份較偏乾少雨，乾濕季節非常明顯；然而，雪季(12~4月)降雪量(延遲降水)卻是雪山高於玉山一倍以上(玉山242cm，雪山524cm)。南北的差異，

可能是因為夏季西南氣流和颱風給予玉山相當多的降雨(垂直降水)貢獻,而冬季的東北季風與大陸冷氣團也給予北部的雪山帶來降雪(延遲性降水)相對的貢獻。

五、參考文獻

- 林博雄、魏聰輝, 2016: 雪山地區長期氣象資料收集與雲霧水捕集成效評估, 雪山地區長期氣象資料收集與雲霧水捕集成效評估雪霸國家公園委託計畫期末報告。
- 洪麗娟, 2009: 1996-2008年台灣降雨的特性分析, 國立中央大學大氣物理研究所碩士論文, 72pp。
- 劉清煌, 2012: 2011年11月南湖山難期間之天氣分析, 天氣分析與預報研討會, 中央氣象局, 台北。
- Becker, A. and Bugmann, H. (eds.), 1997: Predicting Global Change Impacts on Mountain Hydrology and Ecology: Integrated Catchment Hydrology/Altitudinal Gradient Studies. IGBP Report 43, Stockholm.
- Bloschl, G., 1999: Scaling issues in snow hydrology. *Hydrological Processes* 13, 2149 - 2175.
- Burrows, C. J, 1990: Processes of Vegetation Change, Unwin Hyman Publishing, London, 551pp.
- Caldero'n, M., P. Cereceda, H. Larrain, P. Osses, L. Pérez, and M. Iba'n`ez., 2010, Alto Patache fog oasis in the Atacama Desert: Geographical basis for a sustainable development program. *In Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, 25 - 30 July 2010, Mu'nster, 202~206.
- 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.
- Körner, C., 1999: Alpine Plant Life, Springer-Verlag, Heidelberg and New York, 338 pp.
- Kitayama, K., 1992: An altitudinal transect study of the vegetation on Mount Kinabalu, Borneo. *Vegetatio*, 102: 149~171.
- Ozenda, P., 1985: La Végétation de la Chaîne Alpine dans l' Espace Montagnard Européen, Masson, Paris, 344pp.
- Schemenauer, 2002: Fog measurements at the site Falda Verde north of Chan`aral compared with other fog stations of Chile, *Atmospheric Research*, 64, 273~284.
- Schemenauer, R. S. and P. Cereceda, 1994: A proposed standard fog collector for use in high elevation regions. *Journal of Applied Meteorology*, 33, 1313~1322.
- Treacy, s., Cloud Forest Trees Drink From the Fog Dec. 17, 2012 <http://www.sciencemag.org/news/2012/12/cloud-forest-trees-drink-fog>