

101 年天氣分析與預報研討會

中華民國 101 年 9 月 17 日(星期一)至 20 日(星期四)，于中央氣象局、集思臺大會議中心

2012 Conference

on

Weather Analysis and Forecasting

Sep 17-20, 2012 Central Weather Bureau, Taipei

高山氣象與應用		
97	劉清煌 2011 年 11 月南湖山難期間之天氣分析	476
98	廖純慧 呂國臣 顏香玉 原鄉圓鄉氣象服務	478
99	張譯心 林博雄 魏聰輝 謝新添 雪山冬季降雪之微氣象觀測	482
100	張振生 魏聰輝 賴彥任 沈介文 林博雄 張譯心 雪山高山生態系山谷風分布特性	488
101	賴彥任 洪志遠 魏聰輝 余瑞珠 莊振義 林博雄 蔡明哲 王亞男 溪頭通量站通量來源貢獻區初探	493
102	黃成健 林建寬 謝新添 玉山氣象站人工及雷射式雪深計觀測資料分析	499
103	宋紹良 李育棋 由雪霸自動氣象站氣溫資料分析看高山氣象特徵	503
104	Ching-An Chiu Po-Hsiung Lin Chun-Kai Hsu Ze-Hao Shen A new bioclimatic index: Associating temperature sum with thermal seasonality	507

2011 年 11 月南湖山難期間之天氣分析

劉清煌

中國文化大學 大氣科學系

1. 前言：

2011 年 11 月 2~7 日康先生及友人赴北一段活動，不慎於 11 月 2 日踩空跌落溪谷跌傷腰部、腿部及左手上臂無法負重，於是發出求救，臺中市消防局及各界搜救團體立即展開援救活動，終於於 11 月 12 日安全下山。本文無意對搜救過程進行探討，僅對山難搜救期間之天氣做討論，可提供日後搜救工作之參考。

2. 天氣分析：

愛好登山的朋友一般較喜歡秋天登高山，這段期間颱風多半已經結束、東北季風不強，天氣穩定涼爽適合長天數的高山縱走活動。以 2010 年 11 月 6 日 00 UTC 的天氣圖為例（圖一），分裂高壓出海，臺灣地區受高壓回流影響，迎風面會有些小雨，一般而言天氣穩定適合高山活動。然而，2011 年 11 月的天氣與往年卻有很大的不同，圖二為 2011 年 11 月 6 日 00 UTC 的天氣圖，臺灣的東北方有一道鋒面、西南側有一的滯流性低壓，臺灣位於低壓槽地帶，這個系統位於這個地區慢慢發展近一週之久，天氣變化大，圖三為 11 月 9 日之雨量、雷達及地面天氣圖，顯示南海地區熱帶低壓(TD)已經形成，雷達圖顯示整個臺灣均有降雨回波存在，以西南部較強，日累積雨量圖可見西部及北部地區有較多的雨量。同時間 850hPa、700hPa 顯示有較強的西南風，可以將暖濕氣源源不斷帶入臺灣（圖四），這樣的天气持續到 12 日 00 UTC（圖五）鋒面離開臺灣，使得來灣天氣趨於穩定。這個季節發生這類的天氣型態相當少見。

南湖地區所在的高度約為 3000 多公尺，相當於 700hPa 天氣圖的高度，山區的風可以參考 700hPa 天氣圖，依照氣象局未來一週的天氣預報，對未來天氣概況的掌握相當有幫助。氣象局於 6 日已經顯示出南海低壓的形成，此低壓與鋒面系統的結合是導致未來數日

持續降雨的主因。

中央氣象局氣象報告

100 年 11 月 6 日 22 時 30 分發布

11 月 6 日 20 時天氣概況：

一、天氣特報：

請參照本局發布之最新豪(大)雨特報。

二、高氣壓 1036 百帕，在北緯 43 度，東經 115 度，即在蒙古，向東移動，時速 15 公里。

三、低氣壓 1006 百帕，在北緯 18 度，東經 118 度，即在中西沙島海面，向西移動，時速 15 公里。

四、低氣壓 1002 百帕，在北緯 13 度，東經 113 度，即在南沙島海面，向北北西移動，時速 15 公里。

五、明(7)日受東北季風影響，臺灣東北部、東部、東南部地區及澎湖、金門、馬祖有短暫雨，北部、南部地區及中部山區亦有局部短暫雨，並有局部較大雨勢發生的機率，其他地區為多雲的天氣。

3. 結語：

臺灣南邊低壓的形成與東北季風使得臺灣降雨不斷，這個季節出現熱帶擾動較為少見，歸納這幾天臺灣的天氣變化如下：

11/6-7: 位於槽前迎風面下雨、南海低壓形成

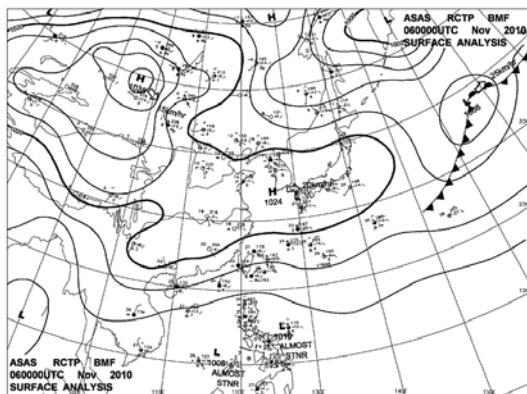
11/8: 南方低壓形成熱帶擾動(TD)、帶來暖濕空氣

11/9-10: 台灣西南方和東方各有一低壓、東北風加強

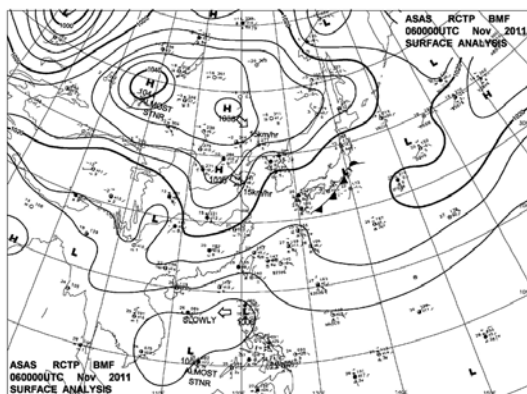
11/11: 台灣南方低壓、山區降雨持續

11/12: 高壓出海、轉東風、天氣變暖

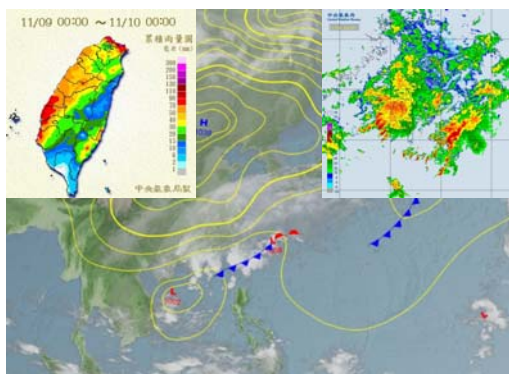
高山與平地雖然受到相同天氣型態的影響，但實際顯現出的天氣常會有很大的不同，地形的變化會導致很大的天氣變化及降雨分佈的差異。瞭解地形對天氣變化的影響有助於的高山天氣的掌握。



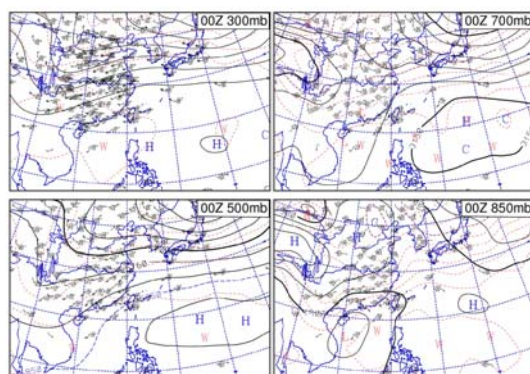
圖一：2010 年 11 月 6 日 00UTC 天氣圖



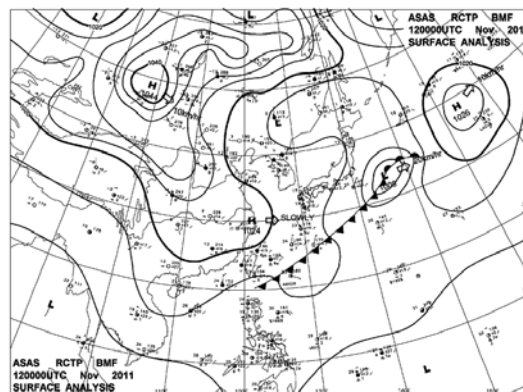
圖二：2011 年 11 月 6 日 00UTC 天氣圖



圖三：2011 年 11 月 09 日雨量、雷達及地面天氣圖



圖四：2011 年 11 月 09 日 00UTC 850hpa、700hpa、500hpa 及 300hpa 高空圖



圖五：2011 年 11 月 12 日 00UTC 天氣圖

原鄉「圓」鄉氣象服務

廖純慧 呂國臣 顏香玉
中央氣象局氣象預報中心

摘要

氣象局於本(101)年初推出368鄉鎮天氣預報服務，為各鄉鎮市區提供在地的天氣預報資訊，而由於全球氣候變遷，發生劇烈天氣的可能性也逐年增加，對於居住在山區、濱海及較特殊地形區域的原住民族部落的天氣變化尤其重要，因此氣象局將鄉鎮市區天氣預報的服務與技術延伸，客製化產製原住民部落區的一般性天氣預報資訊，提供全國55原鄉天氣資訊，及共約300多個部落的逐3小時氣象加值服務。

本項服務並與「行政院原住民族委員會」及「原住民族電視台」合作，推展原住民部落的天氣關懷服務，提供原住民部落區更精緻、有效的氣象資訊，不僅可推廣應用小區域及在地化氣象預報，更能提昇居住在天氣較高風險區的原住民族對天氣變化的預警能力，共同守護原住民族居住和生活的安全，讓原鄉居民的生活更圓滿。

關鍵字：原鄉、部落、天氣預報

一、前言

台灣，得天獨厚的地理位置及地形環境，孕育出變化萬千的四季氣候，春雨、濃霧、梅雨、午後雷陣雨、颱風、寒潮、乾旱等等重大天氣，這些天氣現象隨著美麗的季節變化而影響著大家的生活，但同樣也可能對我們的生命財產造成重大威脅。近年來由於全球氣候變遷，發生劇烈天氣的可能性也逐年增加，而易致災的環境敏感地區多處原住民部落分布之山區、濱海低窪及較特殊地形區域，因此，對於原住民部落的天氣變化的關注尤其重要。

天氣預報是一種社會服務，近年來對於位處高山曠野及濱海的天氣預警服務也備受關注，因此本局於今(101)年2月起首規劃及推動「原鄉氣象服務」，藉由鄉鎮天氣預報之「格點天氣預報技術」，提供原鄉地區客製化的天氣預報資訊，不僅推廣應用小區域及在地化氣象預報資訊，提供原住民部落區更精緻、更有效的氣象資訊，更能提昇居住在天氣較高風險區的原住民族對天氣變化的預警能力，共同守護原住民族居住和生活的安全。

我們以跨機關合作之策略聯盟方式推動原住民部落天氣預報，今(101)年初即主動與綜理全國原住民族事務的行政院原住民族委員會(以下簡稱原民會)及原住民族電視台(以下簡稱原民台)聯繫，提出三方合作推動原住民族氣象服務的構想，深獲回響，4月26日並獲邀至原民會14族委員第110次委員大會專案報告。今(101)年6月26日在本(交通)部毛部長見證下，由氣象局辛局長與行政院原住民族委員會孫主委及原住民族電視台馬紹台長，共同簽訂「原鄉氣象服務合作意向書」，正式啟動原鄉氣象服務。目前初步規劃自今(101)年7月起氣象局提供全國55個原鄉及347個原住民部落的天氣預

報，原民台將在各族語新聞中播報原鄉的天氣資訊，讓原鄉氣象資訊提供到每一個部落區。原民與遊客將由網頁和原住民族電視台獲得部落天氣資訊。

二、原鄉部落預報資料產製背景

本局於今(101)年推出368鄉鎮天氣預報服務，相關技術與作業系統，已於目前建置完成，而藉由「格點天氣預報技術」將可產製各式各樣客製化的氣象加值服務。氣象局與美國氣象單位合作，引進城鄉預報作業概念，進行台灣本土化區域化的發展建置，方推出貼近在地新氣象的鄉鎮逐時天氣預報。

(一) 預報產製技術

中央氣象局多年來持續發展精緻化天氣預報，執行各項和小區域鄉鎮天氣監測及預報有關之氣象基礎建設，結合各式開發之氣象科技技術，如細網格數值預報模式、系集預報系統、統計預報、降尺度預報技術，產製出含括全臺及鄰近海域每個網格大小為6.25平方公里(共67600個點)時間和空間連續且面化的預報指引資訊。透過建立數位天氣預報資料庫(TDFD)，可加快預報作業速度、擴大應用範圍，且氣象預報員能依據上述各預報指引為基礎的面化網格資料，加上自身的專業與經驗，修改資料庫的內容，以提供未來七天內每3小時、5項天氣要素總計18,928,000個數位氣象資訊，有利於產製更多精緻化、客製化的氣象預報資訊。

(二) 選定近350個部落預報點

依據原民台14族族語主播群對原鄉部落人文及地理位置的了解，並與原民會共同討論後，本局從全國七百多個原鄉部落中，選擇人口相對較多、行

政區、或教會所在地以及地形具明顯差異之地區，總計近350個部落當作原鄉預報之代表預報點，7月起開始提供未來48小時內逐3小時、7個氣象因子(包括天氣狀況、溫度、風級、風向、相對溼度、降雨機率、舒適度等)，以及未來7天內日、夜的氣象預報資訊。

三、有價值的創意服務

(一) 對外服務面向：主動出擊、客製化

氣象局於推出鄉鎮天氣預報之後，格點天氣預報技術已臻成熟，繼而在城鄉群報的基礎上，將可產製千變萬化的氣象加值服務。原鄉氣象服務是本局繼鄉鎮天氣預報之後，運用格點天氣預報技術，首次主動推出的客製化天氣預報服務。希能藉由對高山天氣的了解與原住民居住地的氣象關懷，提供原住民族居住地區的天氣資訊，也讓原住民關心氣象變化及使用氣象資訊。

1. 搶先於汛期提供首波服務

「收看電視」是目前原住民獲得氣象新聞的最主要方式，而原民台則是目前國內原住民族收視最廣且即便在高山部落亦能收看的原住民族電視媒體，因此借重其傳播之優勢，首先於今年汛期梅雨季(5月)開始，由原民台於其製播的新聞氣象時段播出本局提供的55原鄉天氣預報資訊，並當本局發布豪大雨特報時，立即於其電視頻道以跑馬燈播放特報內容，提醒原住民朋友天氣的變化及預警。

2. 召開「原鄉氣象服務合作意向書簽定儀式」記者會

於今(101)年6月26日於本局舉行該簽訂儀式並召開盛大記者會，在本(交通)部毛部長見證下，由本局辛局長與行政院原住民族委員會孫主委及原住民族電視台馬紹台長，三方共同簽訂「原鄉氣象服務合作意向書」(圖1)，並以二連杯共飲小米酒，代表原住民族結盟之義，正式啟動原鄉氣象服務(圖2)。



圖1_在毛部長見證下，孫主委、辛局長及馬紹台長共同簽署合作意向書。



圖2_毛部長、孫主委、辛局長及馬紹台長共飲二連杯，象徵原民結盟共創原鄉氣象服務。

會中還邀請阿美族部落耆老進行祈雨祈晴儀式，傳達對原住民族傳統敬天文化的尊重(圖3)。透過記者會及媒體傳遞原鄉氣象服務內容。



圖3_阿美族耆老祈雨・祈晴儀式。

3. 正式開播-於原民台播出部落天氣預報

7月2日起於原民台全新14族族語新聞時段呈現全國55原鄉天氣資訊及14族共約350個部落的天氣預報內容(圖4)。



圖4_原民台雅美族氣象新聞主播播報畫面。

另外原民台族語新聞氣象播報內容，將不再以「漢字」呈現，而是以「族語書寫系統」標註各部落地名，如花蓮「太巴塈」部落將標註為「Tafalong」、「豐南」部落將標註為「Cilamitay」（圖 5），提高原民朋友對原鄉氣象服務的認同感，讓此服務能夠更落實，更貼心。



圖 5 原民台部落氣象呈現方式。

(二) 跨機關合作

本局以跨機關合作的策略聯盟方式推動原鄉氣象服務，除對內整合本局氣象監測、預報，及資訊等單位資源，組成跨單位團隊；對外則積極與綜理全國原住民族事務的「行政院原住民族委員會」及目前最主要的原住民族電視媒體「原住民族電視台」合作，共同推動本項服務，並共同簽訂「原鄉氣象服務合作意向書」，合作宗旨為：「行政院原住民族委員會與交通部中央氣象局及原住民族電視台，基於對原住民族的關懷，並為促進公益性之公共服務，願竭誠合作，提供原鄉地區之氣象資訊服務，並落實原鄉氣象服務之宣導及推廣，守護原住民族居住和生活的安全。」具體合作內容如下：

1. 氣象局將提供原鄉地區之天氣監測、預報、預警及地震訊息等資訊服務。
2. 原民台將依氣象局提供之原鄉部落預報資訊，於其製播之媒體平台播出；而當有發生颱風及各種災害性天氣時，原民台亦將於其媒體平台加強報導。
3. 原民會將於氣象局發布警、特報時，配合防災機制，提供氣象防災訊息之傳播，以達防災減災之效。
4. 三方共同合作落實原鄉氣象服務之宣導及推廣。

(三) 文化角度的原鄉氣象服務

本局為推廣及傳遞原鄉氣象資訊，在原民會及原民台的協助下，建置了原鄉氣象網站，於今(101)年7月正式於本局官網(<http://www.cwb.gov.tw>)上線，開始提供全面性的原鄉氣象服務，並提供原民會及原民台網站平台進行連結，服務更多客群。原鄉氣象網頁希望能結合原住民族部落生活的色彩，再融入氣象的元素。因此進入原鄉網頁，使用者可以從族群，進到原鄉，再進到各個部落的天氣，同時以原住民族風貌呈現視覺效果，因此在整體架構上，是以文化的角度來提供原鄉氣象服務，更加落實，更加貼心(圖 6、圖 7)。



圖 6 預報密度深入到「部落」(以太魯閣族之南投縣仁愛鄉春陽部落為例)。

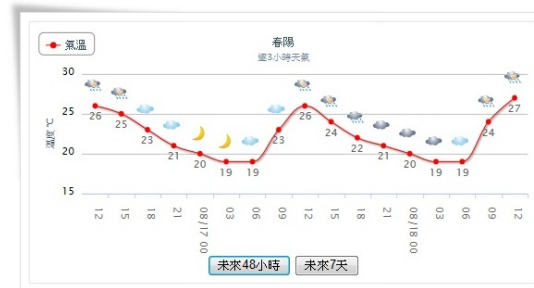


圖 7 將天氣圖示結合溫度曲線圖，使民眾更易看懂天氣變化。

四、服務措施延續性及標竿學習推動效益

(一) 服務措施延續性

1. 增加更多元的氣象資訊

首波推出的是原鄉部落一般性天氣預報服務，未來將針對原住民族的生活提供不同的氣象應用資訊。包括現正規劃的山地農業氣象，例如水稻期農業氣象資訊等；另外將提供地震資訊，逐步落實到各部落的震度推估值；而發展更小區域的災害性天氣預報技術，建立完善的預警與通報機制，提供更具防災意義的氣象資訊服務，則是我們未來努力的目標及方向。

2. 山難救助提供高山氣象資訊

近年登山活動相當活絡，因天氣狀況而受災者時有所聞，救災單位在第一時間如何掌握有利的天氣條件以出動救援是一個重要的議題。原鄉氣象服務只是一個起點，希望能延續此項服務的效益，瞭解與推動更多的高山氣候應用面，保護高山地區的活動。包括有利於讓受難者在惡劣的天氣下如

何自保,甚至讓山友及搜救單位更瞭解高山天氣的變化及對天氣資訊的應用。

(二) 擴大應用-標竿學習推動效益

1. 透過原鄉氣象服務,不僅加強氣象局內部各單位的連結,跨出鄉鎮天氣預報客製化加值服務的第一步,另外也跨機關與原民會及原民台合作,讓部落氣象資訊有多元的傳播管道,並且提升原鄉氣象服務的深度與廣度,延伸氣象服務的觸角。

2. 原鄉氣象服務是本局繼鄉鎮天氣預報後的首要小區域客製化氣象服務。此一成果,未來將有助於國內民間及政府單位發展天氣數位化資訊應用相關產業之標竿學習,如針對不同族群衍生出更多的生活氣象服務,包括各種生活上應用資訊(如單車族、登山族、慢跑族、疾病提醒等)、預警資訊、海象資訊、旅遊氣象、農業氣象等等,是未來客製化氣象加值服務之標竿。

3. 原住民防災知識宣導

希能透過訂期服務,並借助原民會及原民台的力量,可以將氣象防災的觀念逐步深植在原鄉部落,讓原住民看得懂氣象、並知道怎麼使用氣象資訊為自己的生活加分,減少天然災害帶來的危害。

五、服務措施效能性

天氣預報是一種社會服務,本局於今(101)年規劃及推動「原鄉氣象服務」,藉由鄉鎮天氣預報之「格點天氣預報技術」,提供原鄉地區客製化的天氣預報資訊,不僅推廣應用小區域及在地化氣象預報資訊,提供原住民部落區更精緻、更有效的氣象資訊,更能提早居住在天氣較高風險區的原住民族對天氣變化的預警能力,共同守護原住民族居住和生活的安全,讓原住民的生活更圓滿。

(一) 氣象因素保障生活圓滿

氣象局以跨機關合作之策略聯盟方式推動原住民部落天氣預報,藉由對原住民居住地的氣象關懷,讓原住民關心氣象變化,獲得在地化的氣象資訊,可達部落防災減災之效。

(二) 促進高山經濟活動發展

由於高山天氣複雜多變,原鄉部落預報資訊能幫助原民精確的掌握天氣變化,對於原民的農作及狩獵,以及部落舉辦大型活動或推廣原鄉部落觀光時,皆有正面的效益,有助於促進高山經濟活動發展。

(三) 透由原民台電視媒體的強大傳播優勢將氣象資訊傳遞到原鄉部落每一戶人家中,可達氣象資訊正確傳遞之效。

(四) 原民會專責統籌規劃原住民事務,對原鄉地區之防災減災工作尤其重視,有利於延伸原鄉氣象服務的觸角。當本局發布災害性天氣警特報時,將透過原民會的正式防災與通報作業,提升原住民族的災害預警能力,達離災減災的效益。

(五) 整體服務效益

原住民族	氣象局
獲得在地的氣象資訊	落實氣象關懷
專屬習慣特色	創新服務
獲得災害天氣預警	強化災害性天氣通報
獲得更多防災知識	防災宣導
降低風險	提升預報準確度
安全更保障,圓滿好生活	優質政府合作形象

六、未來展望及結語

台灣是一個位於亞洲太平洋上的美麗島嶼,得天獨厚的地理位置及地形環境,居住著各種族群,其中原住民族共有14族、約有52萬5千人,佔總人口數的2.25%,各族群擁有自己的文化、語言、風俗習慣和社會結構,對台灣而言,原住民族是歷史與文化的重要根源,也是獨一無二的美麗瑰寶。

原住民族的居住地分布在全國共55個鄉鎮稱為原鄉,這些原鄉地區多為高山曠野、濱海低窪等風光優美的地區,然原鄉部落地區也常是易致災的環境敏感區域,近年來曾發生過數起讓人心痛的天災。而由於全球氣候變遷,發生劇烈天氣的可能性也逐年增加,再加上高山地質逐漸脆弱,因此對於高山地區天氣的預報及防災預警已是刻不容緩。

原鄉氣象服務只是一個起步,未來本局將加強小區域的預報,針對極端時,較劇烈的天氣進行監測,希能從監測預警及通報方面彌補預報的不足。其中包括增建高山氣象觀測站,提供空間與時間更密集的觀測資料,而對於有些不容易到達與建置觀測站的地方,則將運用雷達降雨估計及預報技術,進行雨量預估,同時發展更小區域的災害性天氣預報技術,希能對原民的生活交通、農作、高山旅遊、甚至山難救助及各種高山經濟發展有正面的幫助,共同守護原住民族居住和生活的安全,讓原鄉氣象服務,圓滿部落好生活。

七、參考文獻

呂國臣,2011:鄉鎮天氣預報系統分析研究,2011海峽兩岸研討會,烏魯木齊。

呂國臣,2011:中央氣象局發展鄉鎮即時天氣預報系統之研究,建國百年天氣分析預報與地震測報研討會,231-232。

張博雄,網格化天氣預報編輯系統之研究,建國百年天氣分析預報與地震測報研討會,233-234。

雪山冬季降雪之微氣象觀測

張譯心¹ 林博雄¹ 魏聰輝² 謝新添³

¹臺灣大學大氣科學系

²臺灣大學實驗林管理處

³中央氣象局

摘 要

本文利用「雪山生態系整合計畫」於雪山東稜沿線所架設的兩座微型氣象站(2010 年至今)，分別位於海拔 3,600 公尺地表裸露的雪山圈谷和海拔 3,400 公尺受到臺灣冷杉遮蔽的黑森林，並藉由雪深尺界定出 2012 年 1 至 3 月重要降雪事件的時段。降雪事件發生前，會伴隨著氣溫的驟降；地表積雪鎖住了固態降水，土壤含水量逐漸降低，積雪更阻隔了陸氣交互作用，草溫和土壤溫度不隨氣溫變化振盪；當積雪融化，草溫維持在融點攝氏零度，融雪注入使土壤含水量上升；積雪的阻隔融化後，陸氣交互作用恢復。不同的地表條件，受到森林遮蔽，雪山黑森林站輻射收支和積雪深度皆未達圈谷的二分之一，雖然驅動地表積雪融化的總能量(Qms)較低，但受到森林的保溫作用，使融雪的過程較圈谷顯著且持續。在不同緯度的雪山、合歡山主峰微氣象站(2011 年 12 月至 2012 年 5 月)和玉山北峰氣象觀測站(1960 年至今)，降雪事件雖然同步發生，但隨著緯度上升，積雪深度逐漸增加。

關鍵字：雪季、微氣象

一、研究動機

臺灣位處於副熱帶地區，平地全年難有機會發生降雪，但在狹小的三萬六千平方公里的水平面積上，垂直的海拔高度卻達三千多公尺，高山地區更發現了冰河遺跡，對於一個位於副熱帶地區的島嶼，這是一件相當稀有珍貴的地理景觀，台灣高山地區共有八十個圈谷，以雪山最多，其中以雪山主峰東北面的一號圈谷規模最大(楊, 2001)，因此，就算平地少有降雪，在三千公尺以上的高山，到了冬季只要獲得充足水氣就會容易發生降雪，配合上地形的配置甚至會有相當可觀積雪。

地表積雪是一層相當有效率阻隔層，阻隔大氣與地表間熱通量的傳遞，以及土壤徑流和土壤濕度的水分來源 (Sun et al., 1999)，積雪可以當作是一種高山地區的「延遲性降水」(魏等人, 2007)，而若要能夠更為增進預測土壤的

水含量和逕流量的準確度，積雪在融化過程注入土壤中的水量，必須被準確地估計(Xue et al., 2003)。

因此，我們利用 DTM 解析度三十公尺的地形資料，計算出全臺灣三千公尺以上高山的面積，約 440.14 平方公里，占了全臺灣面積的 1.2%，配合 2010 年玉山北峰的年累積雪量，約六公尺；假設，全臺灣三千公尺以上皆有和玉山北峰測站相同的積雪深度，便可利用面積及深度換算成水當量，約 2,729 萬立方公尺，約為石門水庫滿水位蓄水量 93.3%。在這樣的估算之下，可見臺灣地區的降雪水當量對於高山地區的水文收支過程扮演了相當重要的角色。

在高山森林的生態系中，動、植物地物候變化、土壤生物、物理、化學性質、高山植物的生態生理特性等研究，均需要這些蒐集到的基礎氣象觀測參數，應用到各個生物、熱量及

水文收支地方程中，建立個別的數學模式（魏與林, 2009），便能更準確地掌握整個生態系的消長，更可進一步地預測未來隨著氣候變遷所反應出的變化。

二、文獻回顧

在 2003 年到 2007 年間於格陵蘭冰原地區所進行的地表通量觀測(Michiel et al., 2008)，夏季時，較低海拔的測站，終年積雪得到了足夠的能量開始融化並持續了整個夏季，使地表得以更有效率吸收太陽輻射，使可感熱通量達最大值，而融雪所釋放的潛熱，將地表溫度維持在融點溫度 0℃；但較高海拔的地區，地表的融雪過程較不顯著甚至隨著大氣溫度降低發生再結冰，潛熱通量的釋放明顯較少，進而使得潛熱通量維持在負值。因此，能量收支變化皆可明顯地指出雪季及非雪季的時間分布及特性差異。

驅動地表積雪融化的機制主要來自於地表的能量收支，所提出的「積雪層能量平衡方程」(Ohta, 1992)便是將地表各個能量通量加總進行分析，公式如下：

$$Q_{MS} = Q_R + Q_H + Q_{\lambda E} + Q_S + Q_P$$

Q_{MS} ：積雪層所獲得的能量通量；當 $Q_{MS} > 0$ ，積雪層開始融化，當 $Q_{MS} < 0$ ，易發生再結冰。

Q_R ：淨輻射通量

Q_H ：可感熱通量

$Q_{\lambda E}$ ：潛熱通量

Q_S ：土壤熱通量

Q_P ：降水釋放的能量；忽略。

2005 年 3 月上旬強烈冷氣團侵襲臺灣，於 3 月 4 日夜間發生降雪，為臺灣中部海拔一千多公尺高山帶來罕見的降雪，利用「積雪層能量平衡方程」(Ohta, 1992)將此次降雪事件所觀測到的數據加以分析探討。

各項熱量通量的分布可明顯看出降雪的階段差異：降雪前 3 月 4 日晚間地表熱通量明顯下降；3 月 5 日白天，各個熱通量值開始增

加，日輻射量佔了最大的一個部分，地表積雪開始融化，潛熱通量上升，甚至一度 and 降低的日輻射通量相當，土壤熱通量增加為正值，開始提供熱通量至大氣；積雪完全溶解後，3 月 6 日，日輻射通量、土壤通量恢復為鐘型的配置。

這樣的熱通量變化，可看出積雪由固態融為液態的能量來源主要為日輻射通量、潛熱通量、可感熱通量 (Oke, 1993)，其中，絕大部分以日輻射通量為主 (Lee, 1980; Ishii et al., 1992; Yamazaki, 1996)。

三、研究方法

藉由 2005 年的降雪觀測紀錄，可以看出臺灣地區在發生降雪時，雖然位處於亞熱帶、降雪事件分布的海拔較高、積雪量較少，熱通量及各氣象參數的變化卻和高緯度的觀測結果有相當類似的趨勢。但這次的降雪事件只維持了約二十四小時，觀測的結果可能會受到小尺度的地表條件或是天氣系統影響；很幸運地，我們將利用藉由「雪山生態系整合計畫」在雪山東稜沿線所架設的兩座微型氣象站(2010 年至今)、合歡山主峰頂的微氣象站(2011 年 9 月至今)以及玉山北峰氣象觀測站(1960 年至今)，所進行的長時間的密集觀測，進行不同植被、不同緯度等等的條件差異，進行分析。

為了進一步瞭解全臺灣的降雪分布面積，除了三個單點觀測之外，我們也選用了兩筆 MODIS 及 SPOT 衛的觀測資料和相同時間的雪山圈谷雪深計進行比較，希望可以除了單點的深度觀測，可以更準確地掌握降雪的面積，以便於分析高山地區生態系的水文及熱量收支。

四、觀測站介紹

雪山

位處臺灣緯度最高的雪山山脈，擁有全臺灣第二高峰－雪山主峰，海拔高達3,880公尺，因緯度較高且山勢廣大而分布著許多冰河遺跡，其中以位於雪山主峰東北面的一號圈谷的規模最大；由於長年山谷風強烈吹拂以及冬季深厚的積雪覆蓋，以低矮的常綠闊葉灌木為主，如高山杜鵑、玉山圓柏等。於是，2009 年底，我們選擇了開口朝向東北方的雪山一號圈谷的谷底架設雪山沿線海拔最高的「圈谷測站，SP1」，約海拔 3,584 公尺。

雪山同時擁有全臺灣面積最大的冷杉純林，高聳的冷杉遮蔽度高造成太陽輻射的入射量較少，因此山友都稱呼這片區域作「黑森林」，除了太陽輻射之外，林內的各個氣象參數和裸露的圈谷測站差異相當大，濕潤的地表，蘚苔也十分的茂密，也藉著植被的保護，有利於水份被保留在土壤之中。接著，我們選擇黑森林架設我們海拔的二高的測站「黑森林測站，SP2」，約海拔 3,405 公尺。

合歡山

臺灣的冬季降雪，合歡主峰的山勢廣大，降雪的累積是相當適合的環境，加上位於臺灣水氣南北輸送的通道上，冬季時水氣充足的天氣形態下，便有相當高的機會得以發生降雪（楊，2001）；雖然有充足的水份，但由於風速較大，地表植被以低矮的玉山箭竹為主。我們在 2011 年十一月於合歡山氣象站內架設了一獨立的微型氣象站，海拔約 3,370 公尺，將會一直到 2012 年五月，進行一橫跨雪季、為期半年的短期觀測。

玉山北峰

玉山北峰位於臺灣南部的玉山山脈，為全臺灣第四高峰，海拔約 3,858 公尺，中央氣象局在北峰山頂上設有東南亞最高的氣象觀測站，北峰觀測站的雪深資料累積長達五十年，是相當可貴的資源；周圍因為地勢陡峭、風勢強勁，地表植被相當低矮，以玉山箭竹為主。

五、觀測資料分析

不同於高緯度於夏季融雪，雪山唯有冬季才有機會發生降雪和融雪的過程；海拔較高且裸露的雪山圈谷站(Cirque, SP1)冬季時地溫在攝氏零度附近上下震盪（**錯誤！找不到參照來源。**），即發生融雪和再結冰的過程，而較低海拔且受到台灣冷杉遮蔽的雪山黑森林站(Forest, SP2)，在雪季時可明顯看出地溫長時間維持在攝氏零度，也就是持續的融雪過程。

為了更準確判別降雪對通量及氣象參數的影響，我們將利用觀測的雪深變化訂出降雪事件的時段，再進一步討論各個氣象參數及熱通量在降雪事件前後的變化；總共採用了兩種測量積雪深度的方式，分別是 Campbell CR50A 音波雪深計和相機拍攝雪深尺的影像紀錄，可發現音波雪深計較雪深尺的影像紀錄積雪量低，但重要降雪事件發生的時段相差不多，因此接下來我們將利用雪深尺界定出 2012 年 1、2 月幾次重要降雪事件的時段（**錯誤！找不到參照來源。**）。

降雪事件的區間亦可從其他觀測數據得到證實；日平均氣溫可看出，降雪事件發生前氣溫會有明顯驟降(圖 2)，而地表積雪阻隔了土壤和大氣之間的熱通量傳遞（Sun et al., 1999），因此有積雪覆蓋時，地溫長時間維持穩定並不隨氣溫升降而震盪，直到明顯融雪發生後，土壤和大氣交互作用再次啟動，地溫才又隨氣溫升高達最大值，這項特徵隨海拔愈高有愈明顯的差異。

同樣的在土壤水含量也可以發現和雪深相反的變化趨勢(圖 3)，積雪將水分固定在地表以上，形成阻隔，土壤中的水含量因此維持定值或是持續降低，而的表積雪開始融化，大量的雪水注入土壤中，使的不論是圈谷站或是黑森林站的土壤水含量都急速上升，反應出來；其中，也可以明顯看出植被對土壤含水量的影響，有蘚苔和台灣冷杉遮蔽的黑森林測站土壤

含水量就較裸露的圈谷站穩定。

驅動融雪過程的各項熱通量的增加也剛好配合了融雪作用的開始；而不論林相差異，積雪層能量(Ohta, 1992)中，佔有最大的部分皆為日輻射通量，而受到林相的遮蔽，黑森林的積雪層總能量只有圈谷站的五分之一。

同一時段觀測資料可以看出，在合歡山主峰及玉山北峰也有降雪事件的發生，雖然各個測站積雪深度隨緯度有所落差，但仍可以推估臺灣高山地區的降雪事件是近乎同步發生的，這也部分支持了我們先前所欲推算的降雪水當量。

六、衛星影像

利用近紅外光以及短波紅外光對水吸收的差異，計算出 Normalized Difference Water Index (NDWI)(Gao, 1996)，便可估計含水量的差異，因此在雪山圈谷的雪季，相較於裸露的岩石地型，若 NDWI 出現相對大的值，便可推測該區域被雪所覆蓋；我們便利用 SPOT 衛星進行計算。同時，我們也蒐集了相同時段的 MODIS 衛星所提供的 snow cover channel 進行比對。

2012/2/27 當天圈谷測站約有 12.2 公分厚的積雪，SPOT 衛星所計算出的 NDWI 值在三千五百公尺以上的地區出現較大的訊號，合歡測結果相當類似；但反觀 MODIS 所提供的 snow cover 卻只有三千公尺以下的零星訊號，明顯有極大的誤差。這主要是因為 MODIS 衛星是利用可見光及紅外光推演積雪面積，但受到樹木遮蔽的影響，在北半球森林地區的估算都有相當嚴重的誤差，必須要在利用其他的生物參數加以修正才會有比較好的表現。

七、結論

臺灣雖位於亞熱帶地區，由於陡峭的地形使得在三千公尺以上的高山地區冬季仍會有

降雪事件的發生，並對於高山生態系有很重要的影響。

地表積雪將水分固定在地表之上，並且阻隔了大氣和土壤之間的交互作用，使得在積雪過程土壤含水量逐漸降低或降至定值、土壤溫度也維持在攝氏零度附近，不受到氣溫變化而有所震盪、土壤熱通量也不再提供大氣熱量；當積雪開始融解，土壤含水量快速上升、土壤溫度隨氣溫變化也開始提供大氣能量；驅使這些過程的積雪層能量收支，大部分來自於日輻射的吸收，而日照輻射又會受到植被遮蔽的影響，有所落差。

希望可以更準確掌握全臺灣的降雪面積，衛星資料是相當重要的，但解析度較低的 MODIS 衛星受到森林遮蔽的影響表現不佳，而利用 SPOT 衛星反演的 NDWI 值估計降雪面積有較好的表現，未來若有更豐富的資源，這將是一個估計全台灣降雪量相當不錯的方式。

未來也希望可以利用一維的陸氣交互作用模式—Simplified Simple Biosphere Model (Xue et. al, 1991)進行土壤含水量、熱通量及積雪層的分析，藉由地表以上的氣象觀測輸入模式，以及地表條件的初始場設定，進而得到土壤狀態；在和觀測數據比對之後，若有相當的趨勢變化，未來生態系觀測所架設的氣象測站，便可減少地表以下的觀測儀器，架設模式所需的輸入參數的觀測儀器即可。

參考文獻

- Gao, B.C., 1996: NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space, REMOTE SENS. ENVIRON. 58, 257~266.
- Lee, R., 1980: Forest Hydrology. Columbia University Press, New York, USA. 349pp.
- Ohta, T., 1992: Snowpack, snowmelt and runoff on

- mountainous region. In: Forest Hydrology. 345~364.
- 195~213. Xue, Y., S. f. Sun, D. S. Kahan and Y.J. Jiao, 2003: Impact of parameterizations in snow physics and interface processes on the simulation of snow cover and runoff at several cold region sites, Journal of Geophysical Research, 108, 2001~2019.
- Oke, T.R., 1993: Boundary layer climates. 2nd ed. Routledge Publish Co., New York, USA. 435pp.
- Sun, S.F., J. Jin, Y.K. Xue, 1999: A Simple snow-atmosphere-soil transfer model, Journal of Geophysical Research, 104, 19,587~19, 597.
- Xue, Y., P. J. Sellers, J. L. Kinter and J. Shukla, 1991: A Simplified Biosphere Model for Global Climates Studies, Journal of Climate, 4, P.1-1~P.1-79.
- 楊建夫, 2001: 臺灣地理百科 05-臺灣的山脈。
- 魏聰輝, 林博雄, 2009: 高山微氣象與熱量收之研究, 雪山地區高山生態系整合研究, P.1-1~P.1-79. 雪霸國家公園委託計畫。

表 1：2012 年雪山圈谷站和黑森林站降雪事件及雪深紀錄

Snow Day	Snow Fall	
	Cirque	Forest
2012/01/16	9cm	13cm
2012/01/20 ~ 01/25	57cm	15cm
2012/02/02 ~ 02/03	8cm	2cm
2012/02/07 ~ 02/08	17cm	6cm
2012/02/25~ 02/28	52.5cm	18cm
2012/03/12~ 03/14	8cm	4cm
Total Snow Amount	151.5 cm	58cm

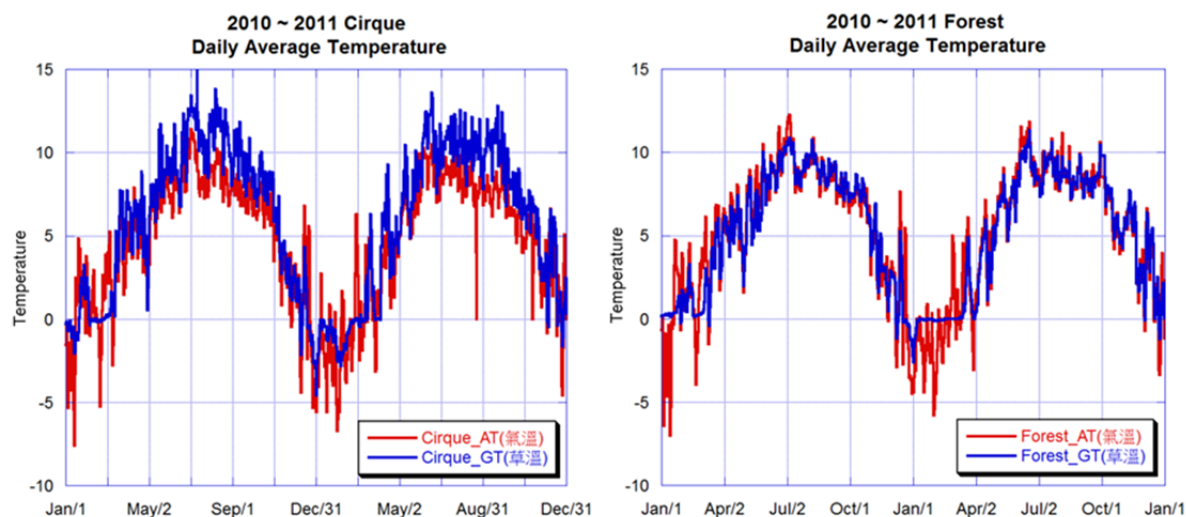


圖 1：2010~2011 年雪山圈谷站和雪山黑森林站日平均氣溫與草溫。

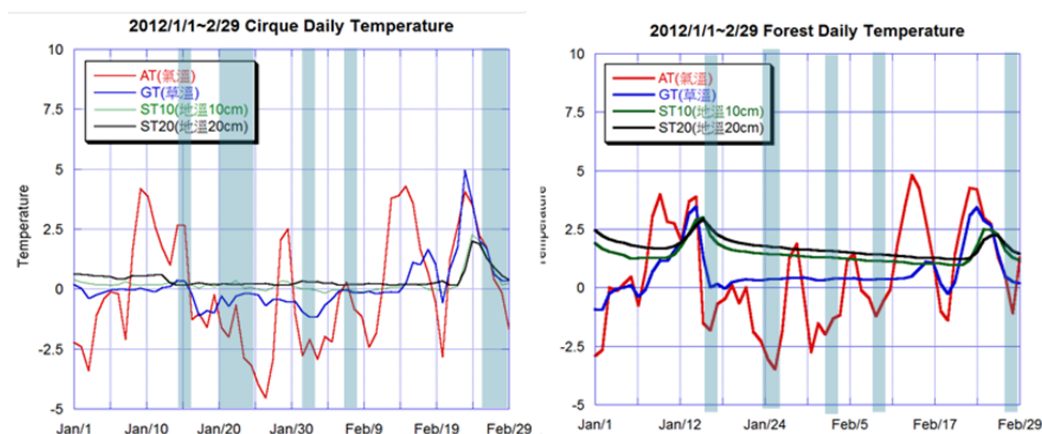


圖 2：雪山圈谷站和黑森林站日平均氣溫、草溫、10cm 地溫、20cm 地溫。

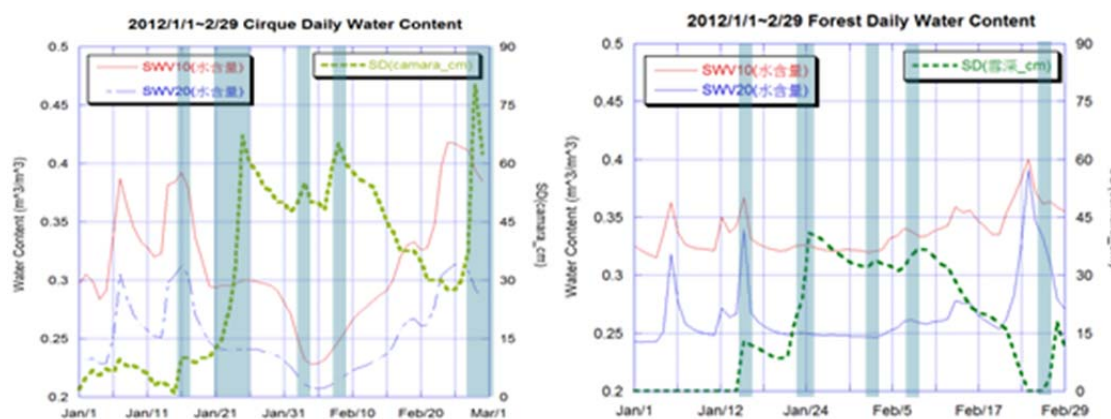


圖 3：雪山圈谷站和黑森林站土壤日平均含水量和積雪深度。

雪山高山生態系山谷風分布特性

張振生^{1,3}、魏聰輝^{1,4}、賴彥任¹、沈介文¹、林博雄²、張譯心²

1. 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處

2. 國立臺灣大學大氣科學系

3. 口頭報告人

摘要

本研究蒐集雪山高山生態系圈谷、黑森林、三六九及哭坡頂等四處氣象站風速、最大風速及最大風速之風向等三項參數觀測數據，分析山谷風分布特性，獲知風速日變化，僅平均風速與最大風速兩種參數之日變化呈現兩個谷值，峰值則並未明顯表現。合成風速介於 0.08 m s^{-1} (黑森林站) $\sim 0.43 \text{ m s}^{-1}$ (哭坡頂站)；合成風向分別為圈谷站： $2^\circ(\text{N})$ 、黑森林站： $12^\circ(\text{NNE})$ 、三六九站： $11^\circ(\text{N})$ 、哭坡頂站： $43^\circ(\text{NE})$ 。穩定度皆小於 10%，分別為圈谷站：2.51%、黑森林站：2.64%、三六九站：7.64%與哭坡頂站 7.60%。只有風向頻率分布，呈現較為明顯的山谷風特徵；以風向與風速合併分析所繪製而成之風花圖，可明顯觀察出山風與谷風之風向，圈谷站的谷風風向為 NE、NNE，風速通常低於 7.9 ms^{-1} ；山風來自於風向 S、風速分布介於 $0.3 \sim 20.7 \text{ ms}^{-1}$ ，以 $10.7 \text{ ms}^{-1} \sim 13.8 \text{ ms}^{-1}$ 所佔比率較高。黑森林氣象站呈現主風向不明顯、風速微小等分布特性，推判係因站址位於森林之內，直立的樹幹、枝條、樹葉等產生的風場干擾所形成的現象。三六九站無明顯谷風風向，E 及 NEE 均為可能之來向，考其原因，可以認為係受到 NNW 方向的森林遮蔽所致；山風風向為 S、SSW。哭坡頂站係四處氣象站中，唯一站址位於稜線者，以 SE、SSE 風向的小集水區所導引的谷風效應較為明顯。風速分布，以介於 $3.3 \text{ ms}^{-1} \sim 5.4 \text{ ms}^{-1}$ 之風級所佔比率最高，達 38.5%。

關鍵字：山風、谷風、雪山、高山生態系

The Characteristics of Breeze of Syue-San Alpine Ecosystem, Central Taiwan.

Cheng-Sheng Chang^{1,3}, Tsong-Huei Wey^{1,4}, Yen-Jen Lai¹, Chien-Wen Shen¹
Po-Shiun Lin², and Yi-Sin Chang²

1: Experimental Forest, National Taiwan University, Chushan Township, Nantou Hsien 55760, Taiwan ROC.

2: School of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan ROC.

3: Oral reporter

In order to analyze the characteristics of breeze, we collected the data of average wind speed, gust speed, and the direction of gust at four established stations of the Syuesan Mountain alpine ecosystem, Qian-Gu (SP1), Black Forest (SP2), San-Liyo-Jou (SP3) and Ku-Po-Ding (SP4). The result revealed only two bottom values in the daily data of the average wind speed and gust speed. The peak values were not clear. The composite wind direction is $2^\circ(\text{N})$ at Qian-Gu station, $12^\circ(\text{NNE})$ at Black Forest station, $11^\circ(\text{N})$ at San-Liyo-Jou station, and $43^\circ(\text{NE})$ at Ku-Po Ding Station. The steadiness values were all lower than 10%. Steadiness values were 2.51% at Qian-Gu station, 2.64% at Black Forest station, 7.64% at San-Liyo-Jou station and 7.60% at Ku-Po-Ding station, respectively. Only the distribution of direction frequency showed clear breeze characteristic. It was easy to determine the direction of mountain breeze or valley breeze from composited analysis using the dataset of gust direction and gust speed. The result showed that direction of valley breeze at Qian-Gu station's is NE, and NNE, with valley breeze speed usually lower than 7.9 ms^{-1} . The mountain breeze blow from S direction, with the speed ranged between $0.3 \sim 20.7 \text{ ms}^{-1}$ (mostly between 10.7 and 13.8 ms^{-1}). The prevailing wind direction was not clear at Black Forest station, and the wind speed was low. The characteristics for these characteristics were presumably related to the location of the station, which is inside the forest. The wind from the upstanding tree trunks, branches and leaves might have been sources of interference. There were uncertain valley breeze directions for San-Liyo-Jou station; E or NEE were both possible directions. The wind from NNW direction may be obstructed by the forest. The mountain breeze direction was S, SSW. Ku-Po Ding station was the only station out of the four

which stands on the crest line. The valley breeze blowing from the small watershed area with the orientation of SE, SSE direction should be the most evident. The most of valley breeze speed (38.5%) ranged between $3.3 \text{ ms}^{-1} \sim 5.4 \text{ ms}^{-1}$.

Keywords: mountain breeze, valley breeze, Syue-San Mountain, alpine ecosystem.

一、前言

山區風系在周日間兩次週期性的風向轉變的特徵，係典型的山地氣象特性之一，此種周而復始的變化，綜括了各種尺度的複雜地形，從小山丘到大山脈(Zardi and Whiteman, 2012)。山區的風狀況，較溫度、濕度等參數複雜得多，與地形對氣流的動力和熱力效應關係相當密切，以小尺度觀點，微地形改變了氣流的速度及方向；亦即，風向與風速日變化機制與律動，則受到地形的修飾。

山區最明顯的風，當推隸屬熱力風系的山谷風；山風和谷風是由於山坡與山谷間的溫度差異而形成一天之間周期性的局地環流，在臺灣的山區極為普遍。白天的地面溫度逐漸增加，山谷溫度高於山嶺，空氣增熱而產生沿著坡地上升的情形，風從山谷吹向山嶺上，自由大氣的空氣則下沈到山谷以補充沿山坡上升的空氣，這種風稱為「谷風」(valley breeze)，亦稱為「上坡風」。而夜間因地面冷卻，冷空氣沿山坡流下來代替較暖的空氣，形成由山嶺吹向山谷的風，這種風稱為「山風」(mountain breeze)，亦稱為「下坡風」。上坡風在山地坡度越大、高度越高的地方風就越大；下坡風則在山谷越深處風越大。

臺灣的山地佔了總面積三分之二；雪山與大霸尖山間的聖稜線，是臺灣四條主要河川的分水嶺，分別為七家灣溪(大甲溪的上游)、雪山溪(大安溪的上游)、蘭陽溪和塔克金溪(淡水河的源頭)。雪山一號圈谷位於雪山主峰北側，開口方向為東北(楊建夫，2000)，使其成為一個盆地般的獨立地形區，促成了山谷風之盛行。

本研究蒐集雪山高山生態系圈谷、黑森林、三六九及哭坡頂等四處氣象站風速、最大風速及最大風速之風向等三項參數觀測數據，分析雪山高山生態系山谷風分布特性。

二、研究方法

(一) 試驗區概述

本研究位於臺灣北部山區之最高峰—雪山，亦為臺灣之第二高峰；為七家灣溪集水區之源頭，雪山主峰東北面的雪山1號圈谷，係雪山山系有別於其他山系最特殊的地形；因應群體計畫之需求，沿著主峰稜線設置了四處高山氣象站，表1為四處氣象站地理位置、觀測項目，圖1為試驗區及氣象站相關位置。

表 1 雪山地區氣象站觀測項目及地文因素表

站名	圈谷	黑森林	三六九	哭坡頂
站號	SP1	SP2	SP3	SP4
X 座 標	273961	274386	275879	278180
Y 座 標	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
資料處理記錄器	Campbell CR 1000	Hobo U30	Campbell CR 10X	Hobo U30
氣壓 (hPa)	■			■
氣溫 (°C)	■	■	■	■
相對濕度 (%)	■	■	■	■
日射量 (MJ m ⁻² s ⁻¹)	■	■	■	■
風速 (m s ⁻¹)	■	■	■	■
風向 (°)	■	■	■	■
降雨量 (mm)	■	■	■	■
積雪深 (cm)	■		■	
10 cm 土壤含水率 (m ³ m ⁻³)	■	■	■	■
20 cm 土壤含水率 (m ³ m ⁻³)	■	■	■	■
30 cm 土壤含水率 (m ³ m ⁻³)	■			■
草溫 (°C)	■	■	■	■
5 cm 地溫 (°C)	■	■	■	■
10 cm 地溫 (°C)	■	■	■	■
20 cm 地溫 (°C)	■		■	
30 cm 地溫 (°C)	■		■	
50 cm 地溫 (°C)	■		■	

■：觀測項目與感應器

根據 2010 年 1 月至 2011 年 12 月之觀測紀錄可知，年均溫介於 4.7°C(圈谷站)~8.4°C(哭坡頂站)；7 月最高月均溫介於 8.9°C(圈谷站)~12.9°C(哭坡頂站)、1 月最低月均溫介於 -1.2°C(圈谷站)~2.1°C(哭坡頂站)；相對濕度除了 Black Forest Station 年平均值為 82%，其餘三站則明顯低於較低海拔地區，分別為圈谷站：75%、三六九站：68%、哭坡頂站：78%；平均年雨量介於 1,998 mm(哭坡頂站)~2,430 mm(圈谷站)。

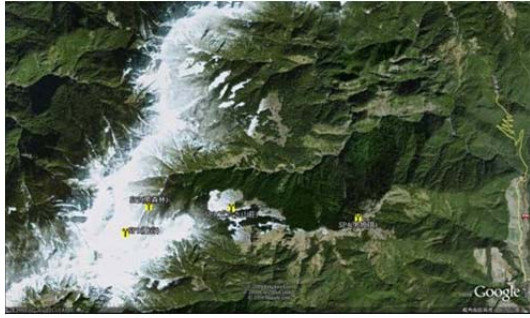


圖 1 雪山地區高山生態系整合調查氣象站位置圖

(二) 分析方法

1. 合成風

風的向量平均，稱之為「合成風」(resultant wind)，在氣候學上，指某地某高度在一定期間全部風向和風速的向量平均，用合成風表示平均風，通常根據分速來計算，平均風沿任何呈直角方向的分速，等於個別分速沿同樣方向的單純平均，各分速所取的方向，可選用東西向和北南向。雪山高山地區四個測站的風向資料，是以 360° 觀測而得，則東西向分量與北南向分量各為：(戚啟勳、嚴夢輝，1976)：

$$V_{E-W} = \Sigma V_t \cos \theta \quad (1)$$

$$V_{N-S} = \Sigma V_t \sin \theta \quad (2)$$

$$V_R = \sqrt{(V_{E-W}^2 + V_{N-S}^2)} \quad (3)$$

$$\tan \theta = V_{E-W} / V_{N-S} \quad (4)$$

2. 風的穩定度

假定某地常年風向變動不大，就表示該地一定有強大的盛行風，若某地常年風向變化無常，即表示該地無盛行風或盛行風不明顯。

設合成風為 V_R ，風速的平均值為 V_S ，則風的穩定度可以下列公式求得的數據，作為風的穩定度(Steadiness)之指標：

$$S = \frac{V_R}{V_S} \times 100\% \quad (3)$$

3. 向量的頻率分佈

風向是少數屬於向量的氣象變數，風速屬於純量的氣象變數，兩者合併即可利用雙重頻率分布同時分析，繪製成頻率風花圖(frequency windrose)或標準風花圖(standard wind rose)來表示。

三、結果與討論

(一) 合成風

將雪山高山生態系四處氣象站，自 2009 年 9 月 24 日設站起至 2011 年 5 月 25 日為止，逐日逐時的最高風速及其風向資料，計算各月份東西向分量以及北南向分量，求得各月之合成風速與合成風向，然後應用其所取得之

數據，再求取風速之穩定度，茲將其結果列如表 2 所示。

合成風速一般而言均極為微弱，雪山地區的合成風速最大值為哭坡頂站的 0.43 m s^{-1} ，最小值為黑森林站的 0.08 m s^{-1} ；玉山氣象站則稍高於雪山地區之氣象站，為 0.50 m s^{-1} 。魏聰輝等(1995)亦曾針對探討溪頭地區之山谷風分布特性，研究結果顯示，合成風速介於 $0.30 \text{ m s}^{-1} \sim 0.47 \text{ m s}^{-1}$ ，全年平均為 0.47 m s^{-1} 。山谷風係由熱力差異所引起的氣流傳動，所以一般風速較為微小，由表列數據可獲得充分的說明。

表 2 第 6 列為雪山地區四處氣象站及玉山氣象站之合成風向，合成風向分別為，圈谷站： $2^\circ(\text{N})$ 、黑森林站： $12^\circ(\text{NNE})$ 、三六九站： $11^\circ(\text{N})$ 、哭坡頂站： $43^\circ(\text{NE})$ 與玉山站： $303^\circ(\text{WNW})$ 。魏聰輝等(1995)分析溪頭地區不同月份之合成風向，指出合成風向因月份而異，主要受制於山風及谷風的風向及其所吹拂時間的長短，在山風吹拂的時間較長的月份裡，則該月份山風風向的出現頻率必較高於山風吹拂時間較短的月份，結果顯示溪頭地區 11 月～翌年 2 月的合成風向角度介於 $327.4^\circ(\text{NNW}) \sim 355.8^\circ(\text{N})$ ，3 月～10 月的合成風向角度介於 $3.6^\circ(\text{N}) \sim 65.1^\circ(\text{ENE})$ 。

(二) 風的穩定度

穩定度為該地區是否具有盛行風向的指標，通常與合成風速的大小有關，倘若風向固定地來自於一個風向，則合成風速 V_R 趨近於風速的平均值 V_S ，穩定度趨近於 100%，反之，則穩定度趨近於 0%。觀察表 2 第 7 列，雪山地區氣象站之穩定度皆小於 10%，分別為圈谷站：2.51%、黑森林站：2.64%、三六九站：7.64%、哭坡頂站 7.60%。

臺灣地區因地理位置相當特殊，在冬季盛行東北季風，夏季盛行西南季風，所以在這兩個季節裡，風的穩定度數值很大，根據朱學良(1968、1976)的研究指出，新竹地區 10 月～3 月東北季風的季節，穩定度平均為 83.40%，6 月～7 月西南季風盛行，風的穩定度平均為 60.6%，4 月及 5 月係由東北季風轉變為西南季風之轉變期，風的穩定度平均為 38.2%，8 月係由西南季風轉變為東北季風之轉變期，風的穩定度為 36.1%；由以上的分析數值可洞悉，季節性所盛行的季風在雪山地區的影響是不大的。

山谷風盛行地區，因日夜的更迭，產生周日間不同風速之變化，並且形成週期性之變動；山谷風在山區雖然是相當普遍的現象，但在雪山地區並未明顯呈現週期性日變化，僅平均風速(圖 2)與最大風速(圖 3)兩種參數之日變化呈現兩個谷值，峰值則並未明顯表現。

(三) 向量的頻率分佈

依據四處氣象站自設站起至 2011 年 5 月 25 日止，每小時最大風速及其風向，繪製四站之風花圖如圖 4；四站之風級頻率如圖 5。

風向之分布主要受山風或谷風的吹拂時刻而變化，欲瞭解周日內風向的分布情形，可將屬於向量氣象變數的風向資料，與屬於純量氣象變數的風速資料兩者合併，利用雙重頻率分布來分析，繪製成風花圖(wind rose)

以最大風速及其風向所繪製而成之風花圖，可比較明顯觀察出山風與谷風之主要風向，圈谷站(圖 4a)的山風來自於風向 S、風速分布介於 $0.3 \sim 20.7 \text{ ms}^{-1}$ ，以 $10.7 \text{ ms}^{-1} \sim 13.8 \text{ ms}^{-1}$ 所佔比率較高；其次為 SSE、風速分布亦介於 $0.3 \sim 20.7 \text{ ms}^{-1}$ ，仍以 $10.7 \text{ ms}^{-1} \sim 13.8 \text{ ms}^{-1}$ 所佔比率較高；谷風風向為 NE、NNE 之最大風速，風速通常低於 7.9 ms^{-1} 。圈谷站風級頻率圖(圖 5a)顯示介於 $3.3 \text{ ms}^{-1} \sim 5.4 \text{ ms}^{-1}$ 之風級所佔比率最高，為 23.5%。

黑森林氣象站很難推判山風、谷風之風向(圖 4b)，僅勉強可判斷以 N、NE 兩種風向為主風向，其他風向則分布頻率差別不大，此種分布特性亦為導致合成風速與穩定度數值極為微小的原因；風速分布(圖 5b)以介於 $1.5 \text{ ms}^{-1} \sim 3.3 \text{ ms}^{-1}$ 之風級所佔比率最高，達 43.8%。黑森林站之主風向不明顯、風速微小等分布特性，推判係因站址位於森林之內，直立的樹幹、枝條、樹葉等產生的風場干擾所形成的現象。

三六九站無明顯谷風風向，風速亦極為微小(圖 5c)；考其原因，可以認為係受到 NNW 方向的森林遮蔽所致；山風風向為 S、SSW。風速分布(圖 5c)以介於 $1.5 \text{ ms}^{-1} \sim 3.3 \text{ ms}^{-1}$ 之風級所佔比率最高，達 45.9%。

哭坡頂站係四處氣象站中，唯一站址位於稜線者，以 SE、SSE 風向的小集水區所導引的谷風效應較為明顯(圖 4d)。風速分布(圖 5d)，以介於 $3.3 \text{ ms}^{-1} \sim 5.4 \text{ ms}^{-1}$ 之風級所佔比率最高，達 38.5%。

四、結論

風速年變化中，以 10 月至翌年 4 月，高於 5 月至 9 月，可以認為係受到東北季風的影響程度，高於西南季風。風速日變化，僅平均風速與最大風速兩種參數之日變化呈現兩個谷值，峰值則並未明顯表現。合成風速介於 0.08 m s^{-1} (黑森林站)~ 0.43 m s^{-1} (哭坡頂站)；合成風向分別為圈谷站： $2^\circ(\text{N})$ 、黑森林站： $12^\circ(\text{NNE})$ 、三六九站： $11^\circ(\text{N})$ 、哭坡頂站： $43^\circ(\text{NE})$ 。穩定度皆小於 10%，分別為圈谷站：2.51%、黑森林站：2.64%、三六九站：7.64%、哭坡頂站 7.60%。

山谷風現象只有頻率分布呈現較為明顯

的分布特徵，以風向與風速合併分析所繪製而成之風花圖，可明顯觀察出山風與谷風之風向，圈谷站的谷風風向為 NE、NNE 之最大風速，風速通常低於 7.9 ms^{-1} ；山風來自於風向 S、風速分布介於 $0.3 \sim 20.7 \text{ ms}^{-1}$ ，以 $10.7 \text{ ms}^{-1} \sim 13.8 \text{ ms}^{-1}$ 所佔比率較高。黑森林氣象站之主風向不明顯、風速微小等分布特性，推判係因站址位於森林之內，直立的樹幹、枝條、樹葉等產生的風場干擾所形成的現象。三六九站無明顯谷風風向，E 及 NEE 均為可能之來向，考其原因，可以認為係受到 NNW 方向的森林遮蔽所致；山風風向為 S、SSW。哭坡頂站係四處氣象站中，唯一站址位於稜線者，以 SE、SSE 風向的小集水區所導引的谷風效應較為明顯。風速分布，以介於 $3.3 \text{ ms}^{-1} \sim 5.4 \text{ ms}^{-1}$ 之風級所佔比率最高，達 38.5%。

五、謝誌

本報告由雪霸國家公園管理處經費補助方得以完成，藉此謹致由衷謝忱！

六、參考文獻

- 么枕生、丁裕國，1990，氣候統計，氣象出版社，中國北京。
- 朱學良，1968，新竹海陸風之研究，氣象學報 14-12:16~29。
- 朱學良，1976，風城新竹風之研究(一)、(二)，氣象學報 22-1,2:17~36,22-3:29~43。
- 呂金城、歐辰雄、廖敏君，2002，雪山東峰火燒後玉山箭竹開花之研究，雪霸國家公園管理處研究報告，pp.24。
- 戚啓勳、嚴夢輝，1978，氣象統計學，第二章：30~33、第三章：47~50、第八章：180~202，復興書局，台北。
- 魏聰輝、姚榮鼎、周瑞龍，1995，溪頭地區山谷風特性之研究，臺大實驗林研究報告 9(4):71-95。
- 蘇鴻傑，1984：臺灣天然林氣候與植群型之研究(II)—山地植群帶與溫度梯度之關係。中華林學季刊，17，57-73。
- 吉野正敏，1986，小氣候，地人書館，日本東京。
- 增沢武弘，1992，高山植物の生態学，東京大学出版会，日本東京，220pp。
- Whiteman, C.D., 2000. Mountain wind. In: Mountain Meteorology Part III:141-202. Oxford University Press, New York, USA.
- Zardi D. and C.D. Whiteman, 2012. Diurnal mountain wind systems. http://www.biol.pmf.hr/download/repository/Zardi-Whiteman_Chptr2.pdf

表 2 雪山高山生態系各氣象站站及玉山氣象站合成風與穩定度

項目\測站	SP1	SP2	SP3	SP4	YS
n	12,702	13,105	14,054	10,253	20,400
$V_S(\text{ms}^{-1})$	6.38	3.03	2.75	5.66	11.33
$V_{E-W}(\%)$	0.12	0.06	0.19	0.42	-0.50
$V_{N-S}(\%)$	-0.10	0.06	-0.08	-0.09	-0.02
$V_R(\text{ms}^{-1})$	0.16	0.08	0.21	0.43	0.50
$\theta(^{\circ})$	2	12	11	34	303
S (%)	2.51	2.64	7.64	7.60	4.41

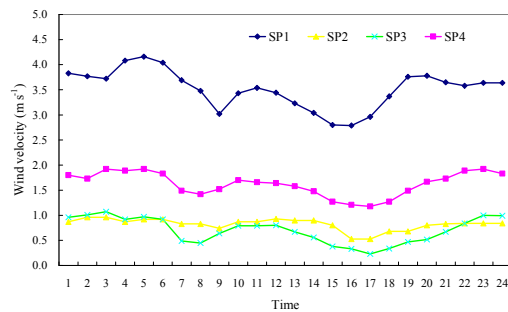


圖 2 雪山高山生態系四處氣象站總平均風速日變化圖

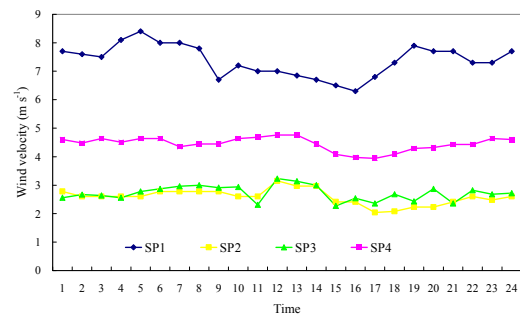


圖 3 雪山高山生態系四處氣象站最大風速總平均日變化圖

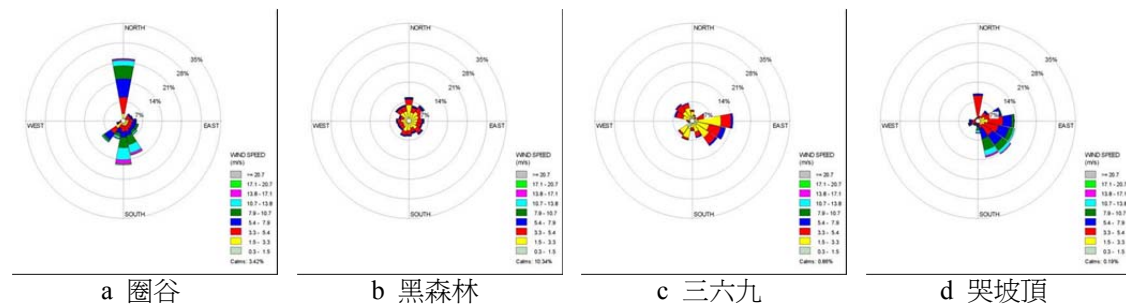


圖 4 雪山高山生態系四處氣象站風花圖

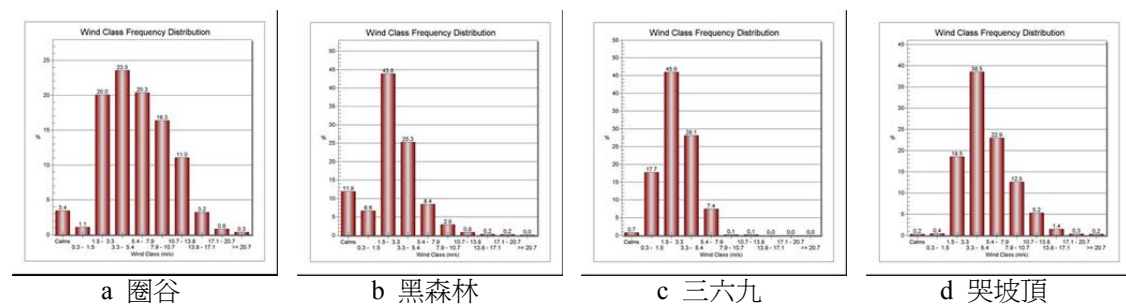


圖 5 雪山高山生態系四處氣象站風級分佈圖

溪頭通量站通量來源貢獻區初探

賴彥任¹ 洪志遠¹ 魏聰輝¹ 余瑞珠¹ 張振生¹ 莊振義² 林博雄³ 蔡明哲⁴ 王亞男⁴
國立臺灣大學實驗林管理處¹ 國立臺灣大學地理環境資源學系²
國立臺灣大學大氣科學系³ 國立臺灣大學森林環境暨資源學系⁴

摘 要

為瞭解柳杉人工林碳匯能力，溪頭通量測站自2009年5月開始以渦流相關法(eddy covariance)為理論基礎進行水熱通量量測。由風場特性分析中顯示溪頭具有明顯山谷風特性，夜晚山風風速較高。通量來源貢獻區分析結果顯示，通量來源方位與溪頭山谷風風向一致，40m儀器高度的日夜90%通量來源均在250m附近；32m儀器高度的日夜90%通量來源均相對較近，在125m以內。比對目前的土地利用型態，40m儀器高度的白天谷風90%通量來源已經接近柳杉人工林與孟宗竹林邊界，亦即量測值已有部分非完全代表溪頭柳杉林，因此以通量來源貢獻區角度看，為能完整估算溪頭柳杉人工林的可感熱通量、潛熱通量及CO₂通量，可於白天及夜晚分別使用40m和32m通量觀測資料。
關鍵字：渦度相關法、柳杉人工林、通量量測、通量來源貢獻區

一、前言

由於人為排碳造成全球暖化議題，世人逐漸重視森林碳匯減緩大氣中CO₂濃度上升速度之重要性，而於科學議題上，除了運用傳統樣區生長量調查法進行碳匯定量外，以渦流相關法(eddy covariance)為理論基礎進行通量塔微氣象觀測，則是另一項主要的觀測與計算方法。通量塔觀測具有連續且長期監測的優勢，除了地表二氧化碳通量觀測可達成上述森林碳匯量化外，水氣、及熱能流等通量均為其觀測項目，因此以往難以量測之實際蒸發散量亦可於通量塔水氣通量觀測中達成。

臺灣大學實驗林管理處於2007年於屏東縣內埔鄉平地造林地建置通量監測系統，復於2008年擇於溪頭營林區第3林班173號柳杉造林地內建置通量監測系統，監測平地與山地陸域的通量數據，未來可做為臺灣地區進行碳權交易之依據，國家工商業持續發展之基石(王亞男等, 2009年實驗林年報)。溪頭測站乃參考國內外進行二氧化碳通量長期監測經驗，以相同設備規格進行柳杉人工林監測，希能提供柳杉人工林在全球暖化議題中，碳吸存之貢獻量，此外亦將整合微環境水土、大氣、動植物等長期生態監測相關研究，以瞭解柳杉人工林生態系與環境變遷間之互動關係。

二、前人研究

夏禹九等學者(2005)設置之先導鴛鴦湖測站位於

棲蘭林區100線林道15K旁的台灣扁柏(*Chamecyparis obtuse* var. *formosna*)的天然更新林分，為台灣長期生態研究網(Taiwan Ecological Research Network, TERN)鴛鴦湖試驗地的一部分，已進行超過三年的生態系養分循環及大氣沈降及水文循環的研究。試區樹齡相近(1961~1978年間下種或補植)，平均林冠高度約10.3m，面積約300ha，為東南坡向，坡度約14°。二氧化碳通量量測目前使用開路式的紅外線CO₂、H₂O分析儀(LI7500 open path analyzer)，風速則採用三維音速風速計(R.M. Young 81000v sonic anemometer)。此一組儀器架設於24m之儀器鐵塔頂。為達到兩個儀器間觀測信號之同步，是以三維音速風速計接受CO₂、H₂O分析儀之類比信號，將信號數據化，轉換為數值信號，與三維風速(u, v, w)及換算之氣溫，以10Hz取樣頻度經由RS232通訊埠輸出。因為距離太長，RS232之信號係經由RS485之界面轉換至地面之儀器房內，使用一桌上型電腦將所有之ASCII原始數據貯存，再進行後續分析。依此測站建置成果顯示，資料的平均獲取率於2005年6月已經達到60%，相當接近Fluxnet成熟運作測站之65%至75%之間；另觀測期間平均水平風速1.5m/s，最大水平風速4.5m/s，平均垂直風速為0.1m/s，數值相當小，顯示該實驗站所在的地形大致平坦，符合實驗要求。

三、研究材料與方法

1. 溪頭測站環境

臺大實驗林面積達 3 萬 2 千餘公頃，天然林達 9 千餘公頃，人工林達 7 千餘公頃，且分佈於海拔 200 ~ 3952m 間，高低差達 3732m，具有豐富且多樣性之林相。依第三次台灣森林資源及土地利用調查資料(林務局網站)指出：全島林地面積為 2,102,400 公頃，占全島總面積 3,591,500 公頃之 58.53%。人工林部分，以柳杉、杉木、臺灣杉、紅檜及相思樹等樹種為主，以柳杉之面積 14.72% 及蓄積量比例 25.38% 比例最高，為台灣之人工林之首要樹種。實驗林現有人工林面積為 7,840 公頃，主要樹種為柳杉及杉木，兩者合計約佔總造林面積之 70%，蓄積量約佔 80%，為實驗林之兩大宗。因此無論是以實驗林轄區或全國人工林觀看，於實驗林柳杉人工林內進行碳吸存之貢獻量監測，對臺灣的森林均具相當代表性。

溪頭地區位於濁水溪支流一北勢溪上游，距離竹山鎮東方約 22 公里，行政區域屬於南投縣鹿谷鄉。範圍自四林班界起算，南北長約 10 公里，東西寬度由北而南漸次開展，約在 2 至 4.6 公里之間，總面積計 2,514 公頃。其中絕大部分為臺灣大學實驗林管理處所經營管理之國有林班地，面積 2,488 公頃，劃分為 1-6 等六個林班，為溪頭營林區之轄區。溪頭地區因觀測目的之不同，分別設立了位於溪頭苗圃的溪頭農業氣象站(X: 228570、Y: 2618723、Alt: 1,150 m)、位於 173 號柳杉造林地的通量站主塔(X: 228346、Y: 2618058、Alt: 1,250 m，平均坡度 9.4 度)。溪頭地區地形圖及農業氣象站、通量站之相關位置如圖 1。

溪頭自然教育園區距國道 3 號竹山交流道僅 30 分鐘路程，交通方便容易到達；再者營林區內已有現成宿舍、旅館及餐廳，另有許多地點已架設寬頻及無線上網，具有完善條件提供研究人員進行短中長期駐點研究，故將此站建設為亞洲通量觀測主要訓練測站為設置目標之一。另因樣區所在之溪頭自然教育園區，每年皆有超過百萬遊客，其影響程度亦應考量，試驗設計以週末假日與平常日之觀測結果區隔分析，以探討人為使用干擾之影響性。

2. 柳杉人工林通量觀測站

為探討柳杉人工林在對碳吸存之貢獻量，此外亦將整合微環境水土、大氣、動植物等長期生態監測相關研究，以瞭解柳杉人工林生態系與環境變遷間之互動關係。臺大實驗林根據試驗條件選擇溪頭營林區第 3 林班 173 號柳杉造林地(1950 年造林，海拔約 1200m，

2010 年的樹高約 28m)設置觀測設備，自 2009 年 5 月逐步進行觀測與調整。

原樣區內之舊微氣象站(XT01)約於 1971 年設置，長年未進行維護，目前延伸之 10m 架設不易相關儀器且下墊面不足，因此新建 40m 通量塔(XT00)做為主塔進行觀測，此外，為探討山區複雜地形下風場特性，目前已另架設 40m 簡易副塔(XT02)輔助觀測。XT00 塔觀測儀器之種類、數量及配置圖 2。觀測站內佈設穩定的交流電供應，另於 XT00 及 XT01 通量塔下均有一試驗室可供放置室內儀器；XT00 塔則架設遠距 5.8GHz 無線傳輸系統，將觀測資料回傳至溪頭辦公室並介接至網際網路，除可取得近即時觀測資料外，另可提早獲知儀器運行狀況，儘速進行故障排除，提高資料品質，達成全球化監測之目的。

另為全面性探討碳源之動態變動，使通量塔觀測通量來源貢獻區(footprint)可與衛星觀測尺度連結，研究團隊參考美國 Forest Inventory and Analysis(FIA)樣區取樣模式，以 XT00 通量塔為中心，於四周 1000mx1000m 系統取樣劃設 16 個 250mx250m 大樣區，定期調查樣區內之植被型態與地景特性。

3. 通量觀測設備與資料處理流程

渦流相關法乃基於物質守恆、雷諾分解法(Reynolds decomposition; Reynolds, 1894)及泰勒假設(Taylor's hypothesis; Stull, 1988)，在理想的條件下，藉由森林樹冠層上之高頻儀器直接量測生態系與大氣間的垂直渦流通量，來瞭解生態系尺度的二氧化碳通量(CO₂ flux)、可感熱通量(sensible flux)與潛熱通量(latent heat flux)。生態系尺度的物質與能量收支及渦流相關法之理論基礎於褚侯森(2008)論文中已有詳述，本文藉由相近觀測系統之資料，分析探討溪頭柳杉人工林之風場特性，另分析通量來源貢獻區分佈情形。

溪頭 XT00 塔安裝兩台記錄觀測儀(Campbell CR3000 datalogger)，其中一台記錄 32m 及 40m 之兩套渦流相關法數據(觀測頻率：10Hz)與部分低頻觀測儀器(觀測頻率：20Sec)，10Hz 原始數據完整記錄供爾後室內品質分析控制(quality assurance and quality check, QA/QC)處理外，在 CR3000 中亦進行初步 QA/QC 處理並輸出通量資料(記錄間隔：30min)可直接使用；低頻觀測觀測資料則統計後記錄(記錄間隔：1min 及 30min)。另一台則是記錄剖面資料，包括氣溫、濕度、風等資料(記錄間隔：1min 及 30min)。本研究分析之通量資料均已經過標準室內品質分析控制處理。

4. 日變動風特性及通量來源貢獻區(footprint)

溪頭地區於以往研究中即指出此區域之山谷風盛行(魏聰輝,1995)，因此以通量觀測系統所匹配之 40m 音波風速計(3D ultrasonic anemometer wind direction and wind speed, CSAT3)觀測資料為分析對象，以風花圖(rose diagram)、風速日變動圖來看整個樣區之風特性。

本研究中另採用 Kljun et al.(2004) 所發展之一維通量來源貢獻區計算模式，根據儀器高度(measurement height, z)、下墊面高度(displacement height, d)、大氣穩定度(atmospheric stability)及表面粗糙度(surface roughness, z_0)等參數，分別配合 32m 及 40m 之兩套音波風速計 30 分鐘平均之風速與風向觀測紀錄，則可推算距風速計的上風面最大貢獻權重位置(Peak contributing location)及 90%通量來源貢獻位置(90% contribution location)。其中表面粗糙度(z_0)參考 Stull 1988)成熟針葉林取值 0.8。此模式使用時，必須符合以下條件(Kljun et al., 2004; Licor, 2012)：

- 量測儀器距離冠層頂高度($z_m = z - d$)必須低於邊界層高度。
- 地形條件必須接近均質(homogeneous)。
- 大氣穩定度參數(z_m/L)必須介於-200 與 1 之間。
其中， L 為 Monin-Obukhov Length。
- 摩擦風速(friction velocity, u_*)必須高於 0.2 ms^{-1} 。
- 量測儀器距離冠層頂高度必須高於 1m。

計算公式(Kljun et al., 2004; Licor, 2012)如下：

最大貢獻權重之位置：

$$x_{\text{peak}} = X_{\text{peak}}^* z_m \left(\frac{\sigma_w}{u_*} \right)^{-0.8}$$

$$X_{\text{peak}}^* = c - d$$

$$c = 4.277(3.418 - \ln(z_0))$$

$$d = 1.685(3.418 - \ln(z_0))$$

σ_w ：垂直風速分量的標準偏差

90%通量來源貢獻位置：

$$x_{90\%} = X_{90\%}^* z_m \left(\frac{\sigma_w}{u_*} \right)^{-0.8}$$

$$X_{90\%}^* = L'_{90\%} \cdot c - d, \quad L'_{90\%} = 2.054$$

四、結果與討論

1. 風場基本特性

由風花圖(圖 3)可看出樣區雖與以往觀測溪頭風場所用之農業氣象站位置約有 1km 之遠，但觀測結果仍顯示通量樣區之風場山谷風特性依舊明顯，白日幾乎均為北風至北北東風之谷風(valley breeze)，夜晚則是明顯南風偶為南南東風之山風(mountain breeze)；值得注意的是，白天的谷風風速分佈在 $0.3 \sim 3.3 \text{ m/s}$ 之間；由於 XT00 通量塔往高海拔地形之坡度隨海拔上升而趨陡，夜晚山風風速分佈仍多在 $0.3 \sim 3.3 \text{ m/s}$ 之間，但 $3.3 \sim 5.3 \text{ m/s}$ 之間的發生頻次則高出谷風許多。

2. 通量來源貢獻區

通量來源貢獻區最大權重位置分析結果顯示通量來源方位與溪頭山谷風風向一致(圖 4)，40m 儀器高度日夜的最大權重來源均在 125m 以內；32m 儀器高度的來源相對較近，多集中在 50m 以內。另 90%通量來源分析顯示(圖 5)，40m 儀器高度的日夜 90%通量來源均在 250m 附近；32m 儀器高度的日夜 90%通量來源均相對較近，在 125m 以內。比對目前的土地利用型態，生物量調查樣區編號 3 有一部份為孟宗竹林，40m 儀器高度的白天谷風 90%通量來源已經接近柳杉林與孟宗竹林邊界，亦即量測值已有部分非完全代表溪頭柳杉林，因此以通量來源貢獻區角度看，為能完整估算溪頭溪頭柳杉人工林的可感熱通量、潛熱通量及 CO₂ 通量，可於白天及夜晚分別使用 40m 和 32m 通量觀測資料。

五、結論

溪頭測站之 XT00 塔自 2009 年 5 月逐步進行觀測與調整，2009 年 10 月中儀器大至調整完畢，開始進行全面觀測，藉由 2009 年 10 月 7 日至 2011 年 10 月 12 日止的 XT00 塔資料初探通量觀測結果分析顯示，溪頭風場具有明顯山谷風特性，夜晚山風風速較高；通量來源方位與溪頭山谷風風向一致，40m 儀器高度的日夜 90%通量來源均在 250m 附近；32m 儀器高度的日夜 90%通量來源均相對較近，在 125m 以內。比對目前的土地利用型態，40m 儀器高度的白天谷風 90%通量來源已經接近柳杉人工林與孟宗竹林邊界，亦即量測值已有部分非完全代表溪頭柳杉林，因此以通量來源貢獻區角度看，為能完整估算溪頭溪頭柳杉人工林的可感熱通量、潛熱通量及 CO₂ 通量，可於白天及夜晚分別使用 40m 和 32m 通量觀測資料。

六、謝誌

本計畫承蒙 臺大實驗林管理處提供研究經費(計畫編號：101B10)與支持，謹此致謝。

七、參考文獻

褚侯森, 2008: 複雜地形中的通量量測—以棲蘭山台灣扁柏森林樣區為例, 碩士論文, pp.179。

賴彥任、洪志遠、魏聰輝、張振生、江博能、衛強、余瑞珠、莊振義、謝正義、蔡明哲、王亞男 2011: “溪頭地區二氧化碳通量之初探”, 臺大實驗林研究報告。(已接受)

魏聰輝、姚榮鼎、周瑞龍, 1995: “溪頭山谷風特性之研究”, 臺大實驗林研究報告, 9 卷, 4 期, 71-95。

Hsieh, Cheng-I, G. Katul, and T. Chi. 2000: “An

approximate analytical model for footprint estimation of scalar fluxes in thermally stratified atmospheric flows”, *Advances in Water Resources*, 23, 765-772.

Kljun, N., P. Calanca, M. W. Rotach, and H. P. Schmid. 2004: “A simple parameterisation for flux footprint predictions”, *Boundary-Layer Meteorology*, 112, 503-523.

Kormann, R. and F. X. Meixner. 2001: “An analytical footprint model for nonneutral stratification”, *Boundary-Layer Meteorology*, 99, 207-224.

Licor INC. 2012: Eddy covariance software version 4.0 user's guide & reference, pp 1-200. Download URL: http://www.licor.com/env/products/eddy_covariance/software.html/.

Stull R.B., 1988: An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer Academic, Dordrecht.

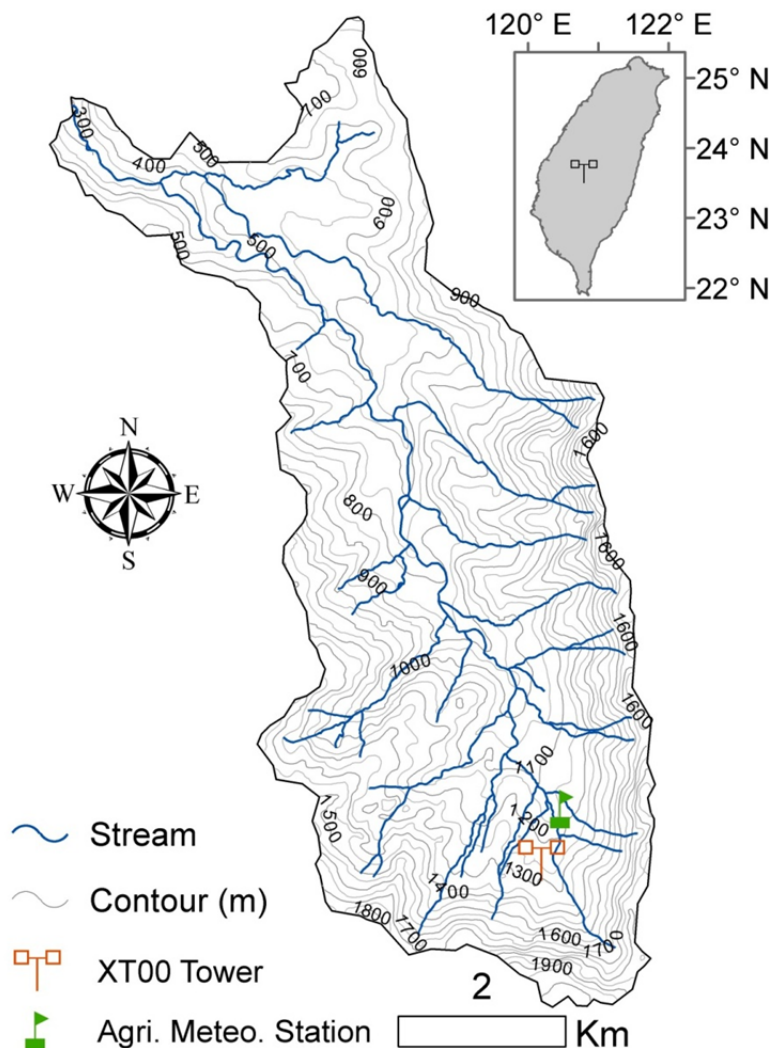


圖1 溪頭集水區地形及農業氣象站、通量站位置圖(引用自賴等,2011,已接受)

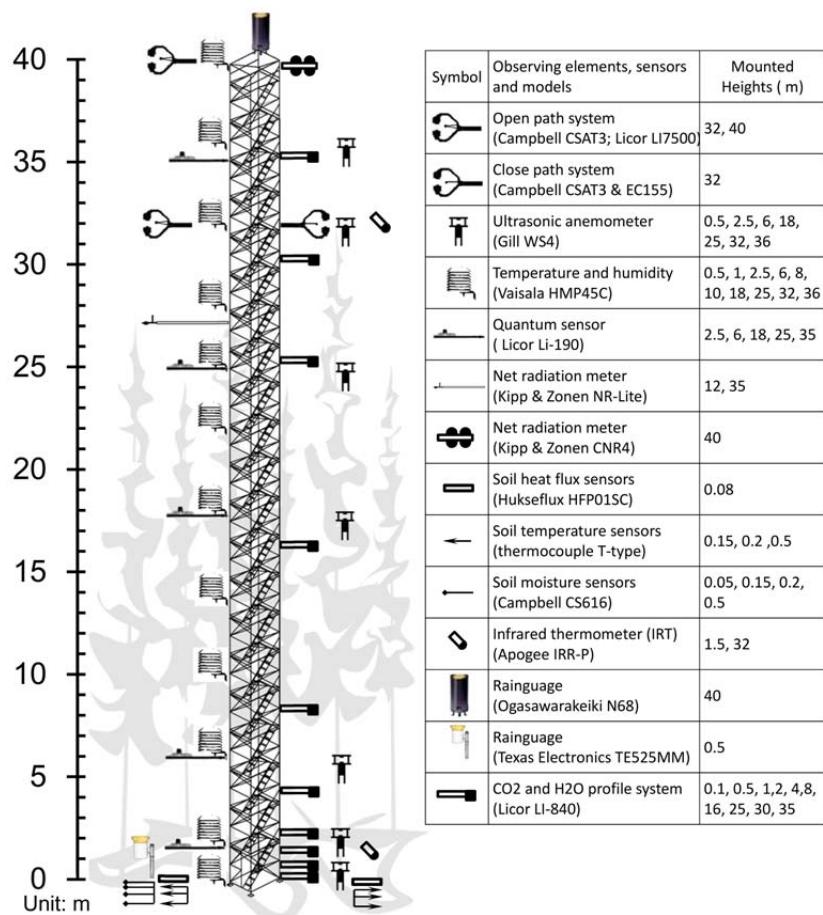


圖 2 溪頭 XT00 通量塔之觀測儀器配置高度示意圖(引用自賴等,2012,已接受)

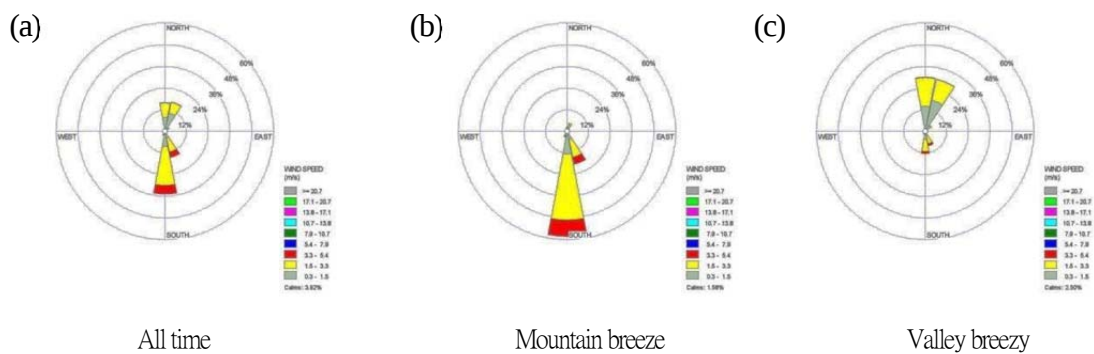


圖 3 溪頭 XT00 塔 40m 風花圖(引用自賴等,2011,已接受)

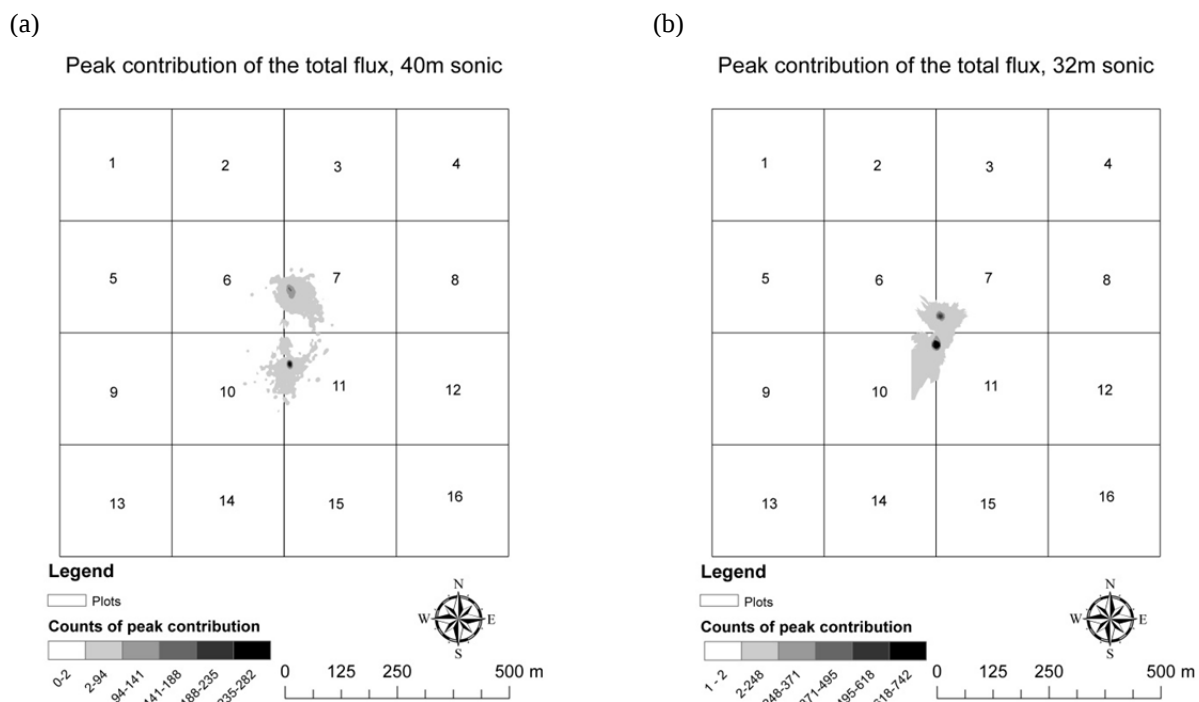


圖 4 溪頭通量塔 40m(a)及 32m(b)觀測儀器的最大貢獻權重通量來源位置發生頻次分布圖。圖中 16 個網格為生物量調查樣區，通量塔位於 6、7、10 及 11 號樣區中間。

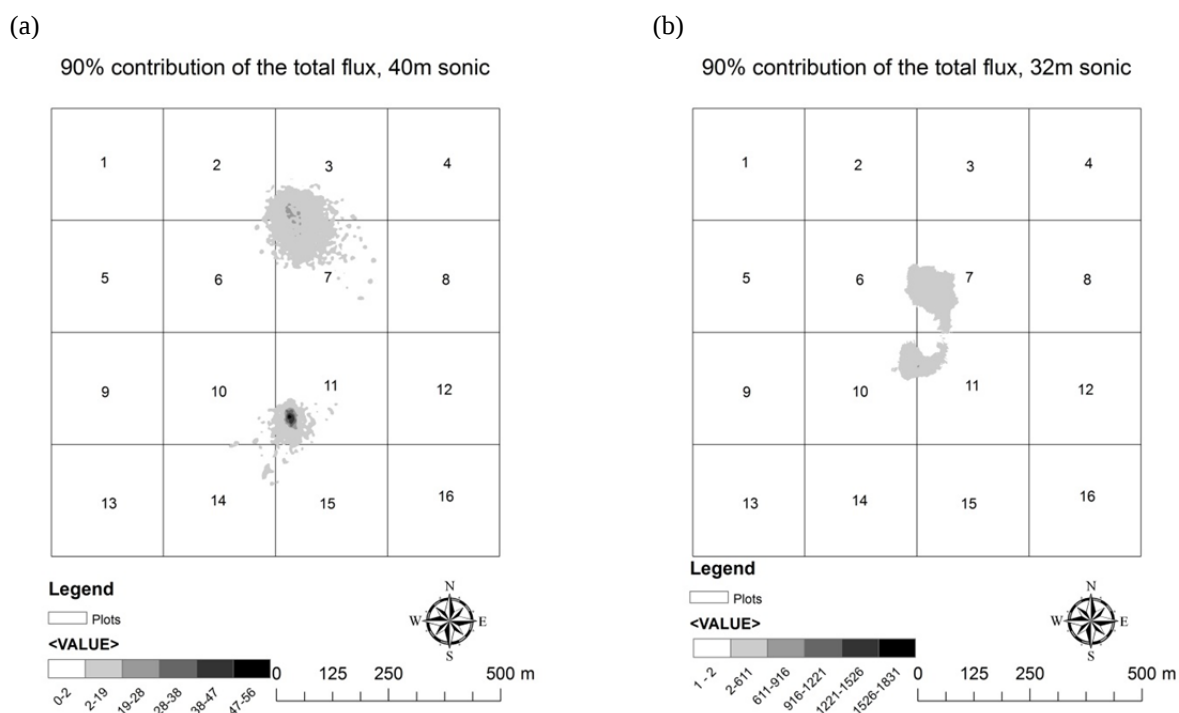


圖 5 溪頭通量塔 40m(a)及 32m(b)觀測儀器的 90%通量來源位置發生頻次分布圖。圖中 16 個網格為生物量調查樣區，通量塔位於 6、7、10 及 11 號樣區中間。

玉山氣象站人工及雷射式積雪深計觀測資料分析

黃成健¹ 林建寬² 謝新添³
中央氣象局玉山氣象站¹²³

摘 要

近年來，已有越來越多的氣象作業單位加速積雪深計自動觀測的架設作業，中央氣象局亦於 2006 年於合歡山無人氣象站及玉山氣象站裝置雷射式積雪深計，玉山氣象站於 2007 年元旦開始有完整的連續自動積雪深觀測紀錄。本研究目的在於透過比對自動觀測和人工的觀測資料，尋找兩者間觀測的特性。雷射式雪深計為固定點觀測，人工觀測依照 WMO 標準，採多點取樣平均，兩者觀測資料的特性不同，並不能互相做為校驗標準，本研究主要是從兩者觀測資料差異中，找出人工觀測及自動觀測間所顯出的特性。降雨量觀測值受暴露條件、氣流、地形因素等影響很大，局部地區所觀測的值可能因環境條件不同，差異性可能很大，固態降水相形之下觀測影響因子更多，玉山氣象站因位於海拔 3850 公尺的山頂，短距離內，地形、氣流、儀器暴露的條件就完全不同，分析自動觀測與人工觀測的觀測值，兩者的相關係數只有 0.7，因地形、儀器架設位置及人工觀測方式等，相關係數低是可以預期的。本研究將從本站觀測人員的實際觀測經驗出發，結合資料顯出的特性，提出我們對積雪深觀測的看法。

關鍵字：中央氣象局

一、前言

最近幾年已經有越來越多的國家氣象組織架設具有自動化觀測功能的積雪深計，我國亦於 2006 年在合歡山無人氣象站及玉山氣象站裝置雷射式積雪深計，但是因為自動化觀測的積雪深計測量方式與人工觀測方式不同，資料上仍然有銜接的問題，WMO 國際氣象組織基於上述問題，於 2010 年，針對目前各國作業的狀況作了一份調查報告，也有許多國外學者針對目前超音波、雷射式等幾款積雪深計做相關研究，希望能在雪深觀測全面自動化的過程中，找到比較精確，不受其他環境噪音影響的自動化觀測儀器。

自動化積雪深計的好處在於全天化的觀測，具有每秒的連續觀測紀錄及公厘單位的計量能力，可以提供降雪更好的研究資料，但目前作業的積雪深計只能觀測固定單點，觀測的點是否具有區域積雪的代表性，如何克服上述問題，還需要觀測單位和儀器製造商繼續努力。

玉山氣象站於 2007 年自動化雷射式積雪深計開始有全天的觀測，累積這幾年資料之後，吾人希望透過人工觀測與雷射式雪深儀觀測資料的比較試圖看看資

料間能顯現出什麼特點，進一步針對目前積雪觀測方式提出建議。

二、積雪深觀測方法

(一)積雪深度之定義

自然累積於地面之雪等固態降水，稱為積雪，其垂直方向之深度，稱為積雪深度，但在夏天固態降水中之雹及小雹，不被認為積雪。又固態降水面積佔觀測坪四周地面不到一半者，不認為積雪。

(二)人工觀測方式:雪尺

利用雪尺取數點，量測降雪深度，將各處量測結果加以平均，作為積雪深度，觀測資料為整點觀測，目前積雪及積雪深度之計量單位為公分。

(三)雷射式積雪深計

構造如圖 1 右側所示，玉山氣象站雷射式積雪深計架設在觀測坪內，地面架設一白色降雪板，作為反射雷射光基準點，感應器每秒向降雪板發射雷射光，經降雪板反射，利用相位差檢測方法計算降雪深。

本站架設之雷射式積雪深計為日本 YOKOGAWA 公司出產，編號 B7605，量測範圍 0 到 5 尺，精度 1cm，顯示到 0.1cm，雷射波長 635nm，使用溫度在 -30℃ 到 40℃，紀錄資料為每秒 1 筆資料。

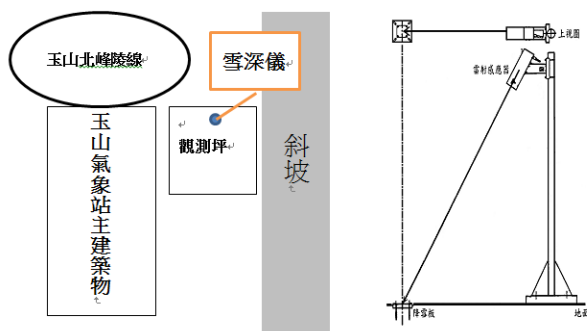


圖 1.圖左側為玉山氣象站雷射式雪深儀與建築物及稜線位置圖，建築及稜線較觀測坪高出8公尺。右側為雷射式積雪深計觀測的簡易示意圖。

目前國外也有使用超音波積雪深計，超音波積雪深計由感應器發射超音波，經反射後回感應器，因超音波受溫度影響，在換算時需做溫度校正。在Mair, M., and D.J. Baumgartner, 2010 及 Marijn de Haio, 2011 的研究報告中指出雷射式積雪深計較超音波雪深儀有較好的精確度，雷射式積雪深計所使用的檢測半導體雷射，不受環境溫度、濕度及風力等的影響，噪音較小，在判斷初雪時，也有較佳的表現。

另外，雷射式積雪深計採斜面式的觀測，不像超音波等觀測，在風速很小或無風時，會影響來自反射板正上方的降雪。

三、資料分析

台灣位於亞熱帶地區，一般只有在海拔較高的地方才會觀測到降雪現象，台灣地區中央氣象局附屬氣象站，阿里山、鞍部等氣象站曾經有降雪觀測紀錄，但大概要幾十年才會發生1次降雪天氣現象，玉山氣象站則因位處高山，每年冬季溫度低於零度加上高空水汽配合就會有降雪天氣現象發生。

圖2為1981年到2010年降雪的每月加總日數，玉山氣象站年平均年降雪日數為23.9日，每年1到3月為降雪日數最多的月份，4和12月降雪日數次之，5、6、9和10月也曾觀測到降雪，7和8月則未觀測到降雪。在這30年間，1983年降雪日最多，為64天降雪日，2000年降雪日最少，只有11天。圖3為月平均最高溫度、溫度氣候統計值，1、2月平均溫度低於零度，1-3月及12月月平均溫度低於0度，除溫度要符合條件，高空也要有足夠的水汽才會降雪。

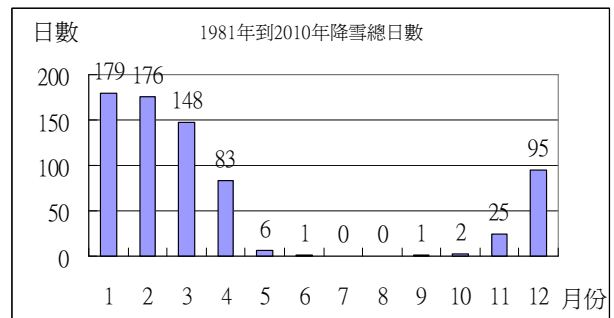


圖 2.圖為1981到2010年，玉山氣象站降雪日數統計，橫軸為月份，縱軸為30年當月降雪日數。

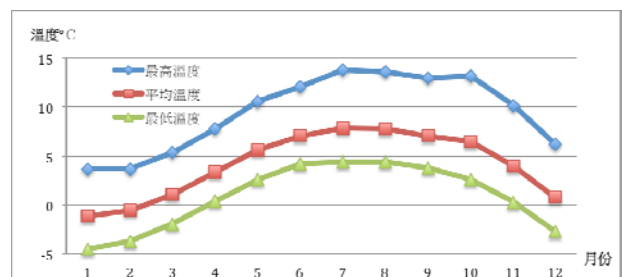


圖3. 1981至2010年月平均最高溫度、月平均溫度及月平均最低溫度。

玉山氣象站雷射式雪深儀為2006年架設，於2007年始有完整降雪觀測紀錄，本篇研究取2007年至2011年積雪深計間，雷射式積雪深計及人工觀測資料，觀測資料只取整點時間資料(人工觀測只有整點有觀測紀錄)，並去除兩者積雪深紀錄皆為零之資料，積雪深計紀錄中，在兩筆資料間會有突然出現零值之數值，採用人為檢查方式，在做數值處理前先將之去除或以內插方式填補，最後進行比較之資料共3873筆整點資料。

由於人工觀測資料及雷射式積雪深計取樣方式不同，兩者間資料並不必然會有相關。在國外研究中，Mair, M., and D.J. Baumgartner, 2010 及 Marijn de Haio, 2011 針對不同觀測儀器超音波及雷射式等儀器作比較時，在儀器旁另加有固定雪尺，對雪尺連續自動拍照，雪尺的紀錄可以用來做雪深儀器的校驗，進行積雪深計的準確度的分析。本局所架設雪深儀時，並不是設定作為研究之用，架設的目的主要在做作為人工資料觀測參考，加上人工觀測是採數點資料平均，資料本身特性不同，因此在本篇研究中，吾人不會將兩者資料拿來做儀器的校驗，主要是拿兩者數據作比對，看看是否能在數據的特性中發現一些雪深觀測中的特點，針對這些特點提出問題、建議或改進。

圖4中每一個點代表在同一時間時，人工觀測與積雪深儀觀測到積雪深的觀測值，橫軸為人工觀測數值，縱軸為積雪深計觀測數值，圖中顯示人工觀測數值多以公分為測量數值，以目前氣象局作業標準，人

工觀測是以公分為計量標準(請參考中央氣象局地面氣象測報作業規範 9-1)，積雪深計目前計量單位為公釐，精確度為公分。

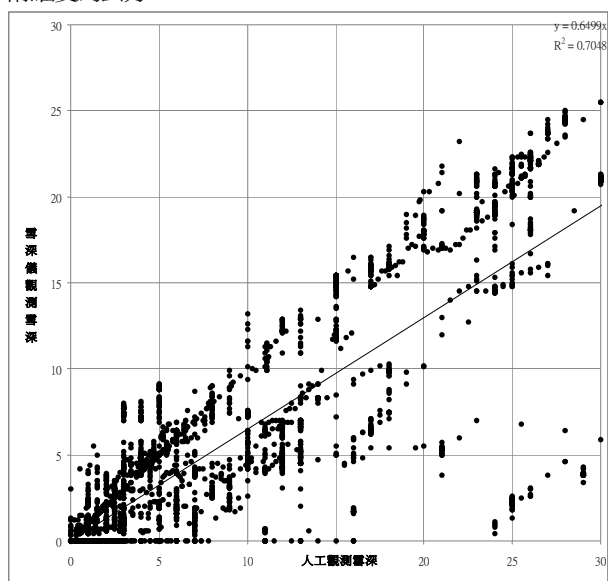


圖 4. 橫軸為人工觀測資料，縱軸為雷射式雪深儀資料，單位為公分，2007 到 2011 年觀測有降雪之整體紀錄資料。

圖 4 中顯示，人工觀測資料大部分都大於雷射式積雪深計所觀測到的值，回歸直線斜率為 0.65，相關係數為 0.7，回歸直線往人工觀測資料傾斜，兩者觀測方法不同，必然是回歸直線往右化驗的直接的的原因，人工觀測取數點多的觀測後作平均或取一個具有代表性的地方作為觀測資料，而積雪深計觀測的點為固定點。

玉山氣象站位於玉山北峰頂上，玉山北峰並不是一塊平坦的地方，要顧慮到有良好的曝露條件，沒有遮蔽物或不受風的影響，是有困難的，偏偏降雪量受儀器暴露程度、風和地形影響很大，目前站內之積雪深計架設在觀測坪內，約為氣象站主建築物南邊 9 公尺的地方，建築物東側，即積雪深計北側面對北峰稜線，高度約 8 公尺，建築物及稜線的存在，必定在氣流通過時，產生重要的影響，加上氣象站位於山頂之上，山谷風及盛行西風結合，氣象站氣流一定變化多端，曝露程度不足、建物、地形和盛行風的影響，必定造成積雪分佈的不平均，積雪的不平均在觀測員取樣時，只要稍有不同，可能就造成測量數值差異很大，環境條件加上人工觀測習慣都可能造成積雪深觀測數值差異的原因。

圖 5 和圖 7 分別去這 5 年間積雪時間較長的個案，從圖 5 和圖 7 顯示人工觀測和雪深儀所顯示的積雪深厚增加及減少趨勢都很一致，但在數值上有差異，人工觀測數值大部分都大於雪深儀的數值，與圖 4 分析結果一至，為什麼人工資料皆會大於雪深儀的觀測資料，可能與遮蔽物、地形、盛行風及人工觀測習慣或其他原因有關，由於在過去的觀測作業中並沒有針對這個

問題做研究的設計或增加其他設備的觀測，以現有的資料要推斷什麼原因是很困難的，針對觀測數值的差異做更精密的觀測設計是有需要，雖然資料密度稍嫌不足，吾人仍試圖針對風速風向作初步的分析，試著看看盛行風對積雪差異有什麼影響。

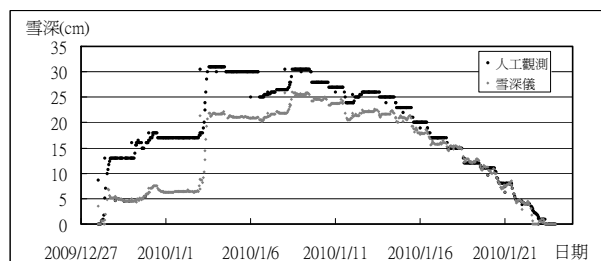


圖 5. 資料時間：2009 年 12 月 28 日 0 時到 2010 年 1 月 24 日積雪深時間序列個案。

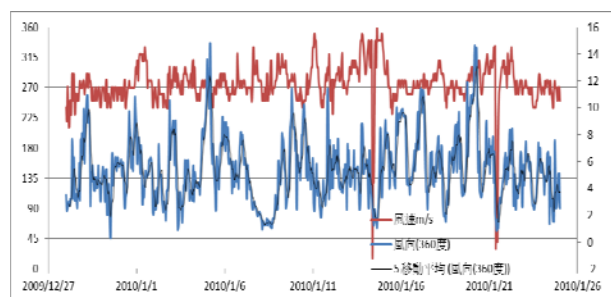


圖 6. 資料時間與圖 4，風向與風速資料，縱軸右側為風速大小，單位為 m/s，縱軸左側為方位度數。

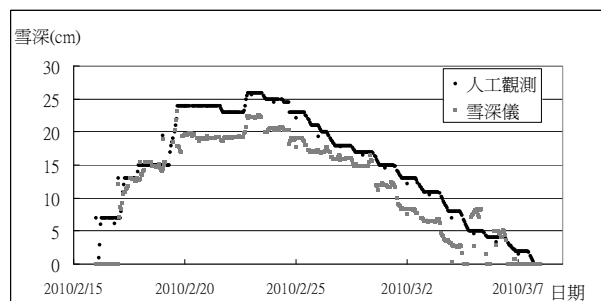


圖 7. 資料時間：2010 年 2 月 16 日 0 時到 2010 年 3 月 8 日積雪深個案

圖 5 中顯示 1 月 7 日以前，人工觀測和雪深儀觀測數值差異較大，1 月 7 日以後數值差異就變小，圖 6 為圖 5 在相同時間的風向風速時間序列圖，在這段期間內，風向多在 225 度到 315 度之間，以偏西風為主，因玉山氣象站位於海拔 3850 公尺的山頂上，冬季主要受行星尺度高空西風影響，多以西風為主，風速多在 3-7 公尺之間，從風速風向的圖中似乎看不出風速或風向對觀測的雪深有直接影響，圖中發現 1 月 7-8 日間風速有一個低谷，這個風速較低的地方是否是讓兩種觀測積雪深觀測差異變小的原因，由於影響積雪深的因素很多，加上這只是單獨的個案，還要有更多的個案分析及研究，才能知道其中的相關。

玉山氣象站風向風速計架設在主建築物上方，離地面 10 公尺，風速風向計高出建築物及地形，較不易受地面建物及地形地物影響，因此這裡討論的方向風速並不是能代表在積雪深計處的風速及風向，如果要真正找出風向對積雪儀的真正影響，需要在積雪深計附近架設風向風速計。

玉山氣象站冬季時剛收好位於高空西風帶，主要以西風為主，而玉山氣象站建築物剛收好朝南，如圖 1 所示，建築物和稜線是否構成類似通道或狹管的作用，在觀測坪地方使氣流加速，導致降雪在觀測坪地方堆積較少，在觀測坪及其它們代表性的地方增加雪尺觀測，相信可以得到驗證。

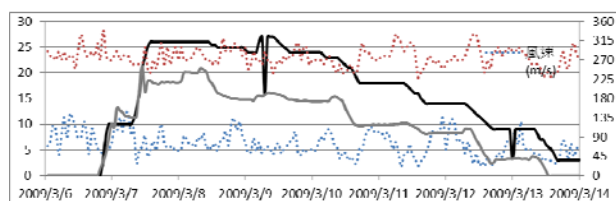


圖 8. 資料為 2009 年 3 月 6-14 日人工觀測(cm)、雪深儀(cm)、風向(m/s)及風速資料(觀測值在圖右側“方位/角度”)。

圖 8 是 2009 年 3 月期間兩者觀測方式及風向風速圖，從圖中亦無法看出風速風向對兩者間差異造成的原因，以目前的觀測資料很明顯人工觀測的數值都大於積雪深計的數值，以目前的觀測資料要去推斷真正造成的原因似乎資料還不夠，為真正知道造成之因素，加強往後觀測業務強度，在玉山氣象站有代表性的地方多架設雪尺，並就每根雪尺的時間序列做紀錄，就每個紀錄點與積雪深計紀錄做比較，並在雪深計附近架設風向風速計，在有積雪產生時留下當時的積雪照片幫助資料分析，或定時攝影等，這些方法都可以幫助分析積雪現況及找出其物理原因。

四、結論

積雪深計觀測為一個點，與人工取樣方式不同，Eckhard Lanzinger and Manfred Thee, 2010 的研究中提出將雷射式積雪深計設計成提供掃描一區域的觀測方式，以區域的平均值作為觀測數值比較能代表區域降雪的特性。

從玉山氣象站雷射式積雪深計安裝到現在，這篇研究算是第 1 次嘗試將人工觀測與積雪深計觀測的資料拿來研究分析，當初安裝是為提供觀測員在積雪觀測時參考，也並不是要取代人工觀測方法，若往後想利用積雪深計做更多有關的研究，需要有更多資料比對及對環境影響做更多的分析及設計。

在不管地形或天氣條件下，積雪深計目前並沒有可以真正比對的資料，可以學習國外學者研究的方法，在不影響雪深儀觀測的條件下，架設雪尺，並使用相機連續拍攝或人工記錄在積雪深計附近紀錄降雪紀錄等，以提供積雪深計可以真正比對的資料。

在研究積雪與地形或風速風向的影響，由於儀器曝露程度及地形等條件，玉山氣象站並不是一個好的觀測點，但在台灣地區有積雪現象的地方都在高山上，如何找到積雪特性並使觀測資料更具代表性將是本站同仁共同努力的目標。

五、參考資料

交通部中央氣象局, 2004: 地面氣象測報作業規範, 第九章, 交通部中央氣象局, 臺北市, 1-12

CIMO Guide WMO#8, CHAPTER 6, Measurement of Precipitation ECMWF, 2010: Snow analysis. Document ECMWF/TAC/42(10)12. Reading, 15 September 2010.

Haij, M.J. de, and W.M.F. Wauben, 2010: Investigations into the improvement of automated precipitation type observations at KNMI. Paper presented at TECO2010. WMO, 30/8/2010-1/9/2010, 2010, Helsinki, Finland.

Jenoptik, 2010: Manual SHM30 Snow Depth Sensor. Document 012840-640-9802-0910-en. Revision 2.0, September 2010. Jenoptik GmbH, Jena, Germany.

Lanzinger, E. and M. Theel, 2009: Laser Snow Depth Gauge (JENOPTIK ;V SHM30). Examples and perspectives. Presentation at EUMETNET WG-INS, Trappes, France, 09-10 September 2009.

Lanzinger, E., and M. Theel, 2010a: Improving reliability and sensitivity of a laser snow depth gauge. Paper presented at TECO-2010. WMO, 30/8/2010-1/9/2010, 2010, Helsinki, Finland.

Mair, M., and D.J. Baumgartner, 2010: Operational experience with automatic snow depth sensors ;V ultrasonic and laser principle. Paper presented at TECO2010. WMO, 30/8/2010-1/9/2010, 2010, Helsinki, Finland.

由雪霸自動氣象站氣溫資料分析看高山氣象特徵

宋紹良 李育棋
第二組
中央氣象局

摘要

臺灣地形複雜，天氣變化受地形影響顯著，在相同天氣系統影響之下，水平距離相近的高山和平地可能呈現截然不同的天氣型態。中央氣象局已建置雨量自動測報系統，藉由遍布全臺的自動氣象站與自動雨量站，針對臺灣各地提供了密集的觀測資料。本研究使用2007年至2012年雪霸自動氣象站與香山自動氣象站觀測資料，針對冬季冷鋒過境與大陸冷氣團南下時，高山測站及平地測站的氣溫變化特性加以探討。由雪霸氣象站及香山氣象站2007年至2011年11月至隔年3月每15分鐘一筆之氣溫資料分析，冷鋒過境使香山站氣溫下降時，常伴隨雪霸站氣溫上升的現象。本研究利用綜觀天氣分析與自動氣象站觀測資料比對，由綜觀天氣系統影響、地形影響與測站本身環境影響等各方面探討此現象之成因，並進一步利用數值模式加以比較與驗證。藉由相同天氣系統影響之下，雪霸站與香山站不同的氣溫變化特性探討，可充分反映高山測站及平地測站天氣型態的差異。本研究結果除了呈現高山地區之天氣型態特徵外，亦有助於未來針對自動氣象站設站位置評估與勘選之更進一步研究。

關鍵字：高山氣象、氣溫、地形、冷鋒

一、前言

臺灣具有豐富而多樣的地形，各地的天氣型態受地形影響顯著，高山地區和平原地區因海拔高度有明顯差異，天氣變化特徵亦截然不同。在相同綜觀天氣系統影響下，水平距離相近的高山和平地，可能表現出不同的氣溫、氣壓、相對濕度、風速和風向變化趨勢。

中央氣象局自1986年起，開始建置包含自動雨量站、自動氣象站、無線電中繼站在內的雨量自動測報系統，目前正在運作的自動雨量站共計223站，自動氣象站共計210站（2012年8月）。遍布全臺的自動氣象站與自動雨量站，針對臺灣各地提供了密集的觀測資料。這些自動氣象站分布於各種地形，藉由分析比對高山測站與平地測站的觀測資料，有助於深入探討高山地區之天氣變化特徵。

由於高山測站與平地測站之海拔高度具有明顯差異，冬季冷鋒過境與大陸冷氣團南下時，臺灣附近氣溫的垂直分布結構，常能藉由水平距離相近之高山測站與平地測站氣溫觀測資料加以呈現。冷鋒過境使平地測站氣溫下降時，常伴隨高山測站氣溫上升的現象，甚至高山測站氣溫較平地測站高。本研究針對冬季冷鋒過境與大陸冷氣團南下時，高山測站與平地測站的氣溫變化特徵加以探討，並由綜觀天氣分析與自動氣象站觀測資料比對，探討高山測站氣溫較高之成因。

二、研究方法與研究個案

爲了比較冬季冷鋒過境與大陸冷氣團南下時，高山測站及平地測站的氣溫變化趨勢，以探討高山氣象之特徵，本研究選取海拔高度1956m的雪霸自動氣象站代表高山測站，以及水平距離與雪霸站相近、海拔高度15m的香山自動氣象站，分別代表高山及平地測站。

自2008年起，雪霸氣象站及香山氣象站氣溫觀測頻率爲每15分鐘一次。由雪霸站及香山站2007年至2011年間，每年11月至隔年3月之氣溫資料分析，冷鋒過境使香山站氣溫下降時，常伴隨雪霸站氣溫上升的現象。在上述期間內，發生多次雪霸站氣溫較香山站高之現象，其中共計6天曾發生雪霸站氣溫較香山站氣溫高4℃以上，分別爲2010年3月7日、2010年12月18日、2011年3月22日、2012年3月7日、2012年3月8日及2012年3月9日。

本研究選擇上述現象最爲顯著的兩個時段進行後續更深入分析探討，分別爲2012年3月6日至12日，以及2011年3月21日至24日。2012年3月6日至12日之香山站與雪霸站氣溫隨時間變化圖如圖1所示，雪霸站氣溫於3月7日至11日間，皆有高於香山站氣溫的現象，其中雪霸站與香山站氣溫差最大的時間爲3月8日11時，雪霸站氣溫較香山站高5.6℃。2011年3月21日至24日之香山站與雪霸站氣溫隨時間變化圖如圖2所示，雪霸站氣溫於3月22日至23日間，皆有高於香山站氣溫的現象，其中雪霸站與香

山站氣溫差最大的時間為3月22日12時，雪霸站氣溫較香山站高6.7℃。

雪霸站海拔高度1956m，大約位於800hPa等壓面。圖3為2012年3月8日8時之板橋探空斜溫圖，於850hPa與900hPa之間有明顯的逆溫現象，且於900hPa高度，附近大氣接近飽和。圖4為2011年3月22日8時之板橋探空斜溫圖，於850hPa與900hPa之間亦有顯著逆溫現象，且於850hPa高度，附近大氣接近飽和。

本研究利用綜觀天氣分析及斜溫圖分析，與自動氣象站觀測資料比對，由綜觀天氣系統影響、地形影響與測站本身環境影響等各方面探討此現象之成因，並進一步利用數值模式加以比較與驗證。其詳細分析結果將於研討會中呈現。

三、未來工作與展望

本研究利用雪霸站與香山站的氣溫資料分析，呈現了冬季冷鋒過境與大陸冷氣團南下時，高山天氣型態與氣溫變化趨勢之特殊性，亦反映了高山地區自動氣象站之重要性。由於現階段僅選取兩個自動氣象站進行比較，未來尚須分析更多不同地形或不同地理環境之自動氣象站資料，以進行更深入的比對與驗證。

藉由相同天氣系統影響之下，雪霸站與香山站出現截然不同的氣溫變化趨勢之探討，可充分反映高山地區及平原地區天氣型態的差異。本研究結果除了呈現高山地區之天氣型態特徵外，亦有助於未來針對自動氣象站設站位置評估與勘選之更進一步研究。

附圖

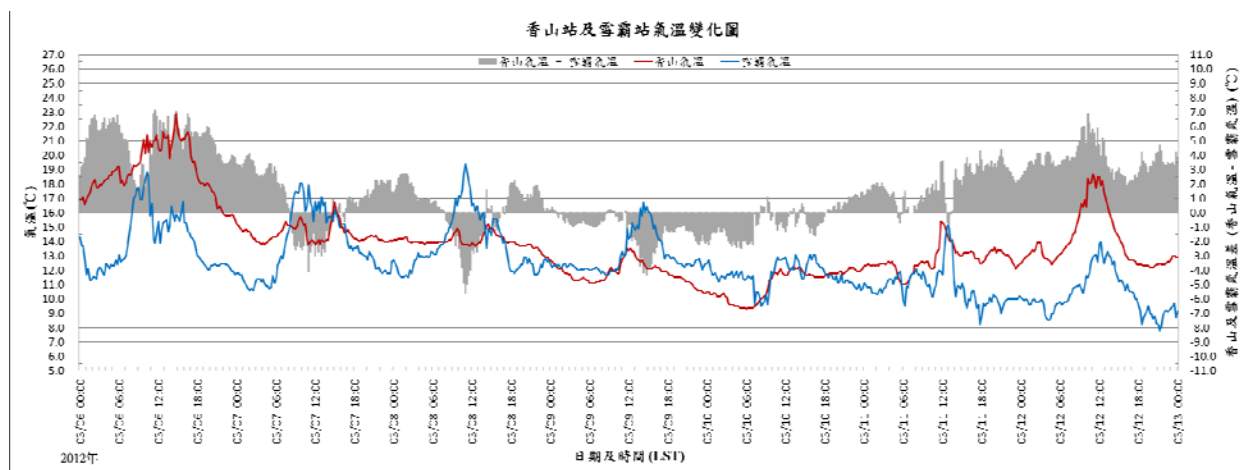


圖1：2012年3月6日至2012年3月12日香山站及雪霸站氣溫變化圖。圖中紅線為香山站氣溫，藍線為雪霸站氣溫，灰色長條圖代表香山站及雪霸站氣溫差。

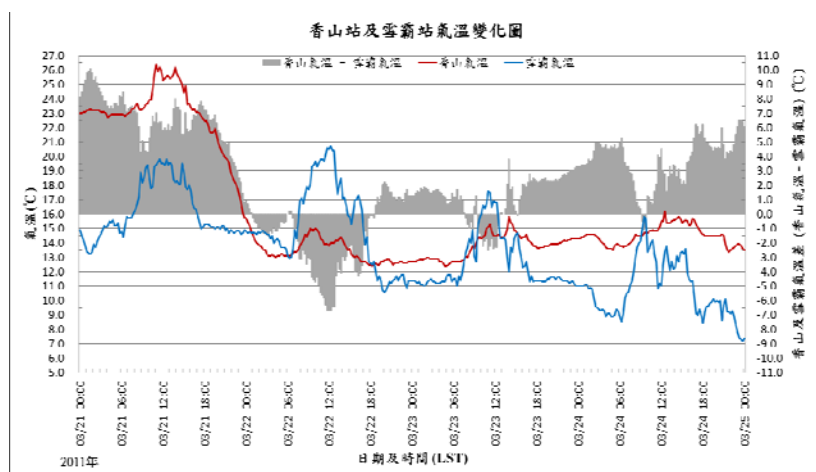
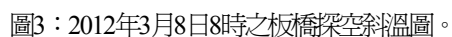


圖2：2011年3月21日至2011年3月24日香山站及雪霸站氣溫變化圖。圖中紅線為香山站氣溫，藍線為雪霸站氣溫，灰色長條圖代表香山站及雪霸站氣溫差。



A new bioclimatic index: Associating temperature sum with thermal seasonality

Ching-An Chiu^{1*} Po-Hsiung Lin² Chun-Kai Hsu³ Ze-Hao Shen⁴

¹ Experimental Forest/Department of Forestry, National Chung Hsing University; ² Department of Atmospheric Science, National Taiwan University; ³ Liehuachi Research Center, Taiwan Forestry Research Institute; ⁴ Department of Ecology, Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University; * Corresponding Author, Email: cachiou@nchu.edu.tw

[Abstract]

Thermal variation plays a main driver for governing the type and distribution of vegetation, especially in the humid region. This paper aims to provide a modified thermal index, effective warmth index (EWI) which associate temperature sum with thermal seasonality, compared with commonly used other indices for classifying and predicting of vegetation zones through a case study of Taiwan. With these different thermal indices calculated and mapped at a 100-m spatial resolution, the corresponding climate-vegetation classification schemes are applied to predict the vegetation zones. The accuracy of spatial prediction is evaluated with Kappa coefficient, referring to 651 vegetation plots. The prediction of potential natural vegetation zones using EWI is the best one (Kappa=0.759), compared with other indices. This result suggests that thermal seasonality is effective for improving the prediction of warmth index in explaining the altitudinal zonation and distribution of vegetation in Taiwan, and potentially in humid East Asia.

Keywords: thermal seasonality, effective warmth index, climatic-vegetation classification, Taiwan

1. Introduction

The existing bioclimatic indices developed from continental and global scales and related to the latitudinal variation may not be suitable for describing the climate and vegetation at a regional scale along with a prominent altitudinal gradient (Lydolph, 1985), such as in Taiwan. Moreover, the thermal seasonality, or annual temperature range, may work simultaneously with the average or accumulated temperature on the distribution of vegetation (Fang et al., 1996; Guo and Werger, 2010; Meurk, 1984; Wolfe, 1979). Thus, this paper aims: (1) to calculate and evaluate the commonly used bioclimatic indices in Taiwan; (1) to test the effectiveness of thermal seasonality on the differentiation and altitudinal distribution of vegetation in Taiwan, with a new thermal bioclimatic index, explicitly taking the temperature seasonality into account.

2. Thermal indices

Table 1 listed the thermal indices and their formulas and references used in this paper, including mean annual biotemperature (ABT; Holdridge's (1967)), warmth index (WI; Kira (1991)), biological warmth index (BWI; Ni (1997)), and effective warmth index (EWI; a

novel index proposed by this study).

In this paper, we propose a new thermal index, effective warmth index (EWI), which combines the two crucial thermal indices, temperature sum (i.e. WI) and thermal seasonality (i.e. annual temperature range (ATR)). The coefficient 0.5 of ATR is empirical and refers to Wolfe's (1975, 1995) studies. It is the ratio of mean annual temperature divided by ATR. The reason of negative value is that the effectiveness of ATR for plant growth is almost contrary to that of mean annual temperature and WI (Wolfe, 1995, p. 128). The idea of EWI resulted from the distinguishability of plant-available temperature sum and thermal seasonality at different latitudes. Fig. 1 gives a comparative example between two different latitudinal stations with equivalent WI but different ATR.

The bioclimatic indices used in this paper, including ABT, WI, BWI, ATR, and EWI, could be calculated and drawn from 12 layers of MT and their formulas through GIS.

3. Results

The layers of thermal indices used in this paper were represented in Fig. 2. According to different climate-vegetation classification schemes and their bioclimatic indices, the spatial patterns of predicted vegetation zones could be mapped. As illustrated in Fig. 3, Taiwan possesses five to seven vegetation zones from alpine to lowland. Fig. 4 is the comparison of predicted vegetation zones based on different schemes. Table 2 revealed Kappa coefficient and strength of agreement among predicted vegetation zones according to different climate-vegetation schemes by comparison with 651 vegetation survey plots.

4. Discussion

EWI is a synthetic bioclimatic index which associates temperature sum (or namely as total energy amount or accumulated temperature; i.e., WI) with thermal seasonality (i.e., ATR). Both WI and ATR were critical for plant and vegetation (Fang et al., 1996; Ohsawa, 1990; Tuhkanen, 1980; Wolfe, 1979; 1995). On the one hand, WI has been demonstrated to be an idea reflection of effective cumulative energy supply, on the other hand, ATR, which is also used as an index of climatic continentality (Meurk, 1984), can reflect the limitation of low temperature to the distribution of certain plant functional types (Fang et al., 1996; Flantua et al., 2007; Wolfe, 1979; 1995). This modification can be especially useful for description or prediction of monsoon climate with strong seasonality.

The extent of ATR is between 5.9 and 14.0°C in Taiwan (Fig. 2d), indicating that Taiwan has a relatively mild oceanic climate throughout the year. Although it acts only as a minor modification to WI (ranges 7.1 ~ 239.7°C), the Kappa value for EWI is larger than that for WI. This suggests that seasonality has obvious effect on vegetation distribution in Taiwan, and the effect can be stronger when the distribution of a specific species is concerned. The influence of thermal seasonality should be more significant in high latitude

(Fig. 1b).

Although many bioclimatic indices once proposed and applied, a novel thermal index that integrate temperature sum and thermal seasonality is still lacking. EWI can fill this gap by setting up a more concise link between thermal index and vegetation distribution, this might be especially helpful for application in a region with a larger scale and a climate of stronger seasonality than Taiwan.

5. Conclusions

EWI combining temperature sum with thermal seasonality is more suitable to predict vegetation zones than average or cumulative temperature. The synthetic concept of EWI is a new idea, thus further modeling and validation are obviously required, especially in other regions.

Table 1 Simple thermal indices and their formulas used in this paper.

Thermal index	Formula	Reference
ABT (mean annual biotemperature)	$ABT = 1/12 * \sum MT$ (in °C, for 12 months $0 < MT < 30$)	Holdridge (1967)
WI (warmth index)	$WI = \sum (MT - 5)$ (in °C, for 12 months $MT > 5$)	Kira (1991)
BWI (biological warmth index)	$BWI = \sum (MT - 10)$ (in °C, for 12 months $MT > 10$)	Ni (1997)
EWI (effective warmth index)	$EWI = WI - 0.5 * ATR$ (in °C, for 12 months $MT > 5$) ATR (annual temperature range) = (MT of the warmest month) - (MT of the coldest month)	This study

MT: monthly mean temperature (°C)

Table 2 Kappa coefficient and strength of agreement for predicted vegetation zones.

Predicted vegetation zones with different indices and classification regimes	Kappa	Agreement ^a
WI (Su, 1984b) (Fig. 2a)	0.698	good
WI (Kira, 1991) (Fig. 2b)	0.187	poor
BWI (Ni, 1997) (Fig. 2c)	0.017	poor
WI (Song, 1999) (Fig. 2d)	0.247	poor
WI (Fang, 2001) (Fig. 2e)	0.255	poor
EWI (Chiu et al., 2008) (Fig. 2f)	0.759	very good

^a Strength of agreement suggested by Monserud and Leemans (1992): Kappa values < 0.4 poor, 0.4 ~ 0.55 fair, 0.55 ~ 0.7 good, 0.7 ~ 0.85 very good, and > 0.85 excellent.

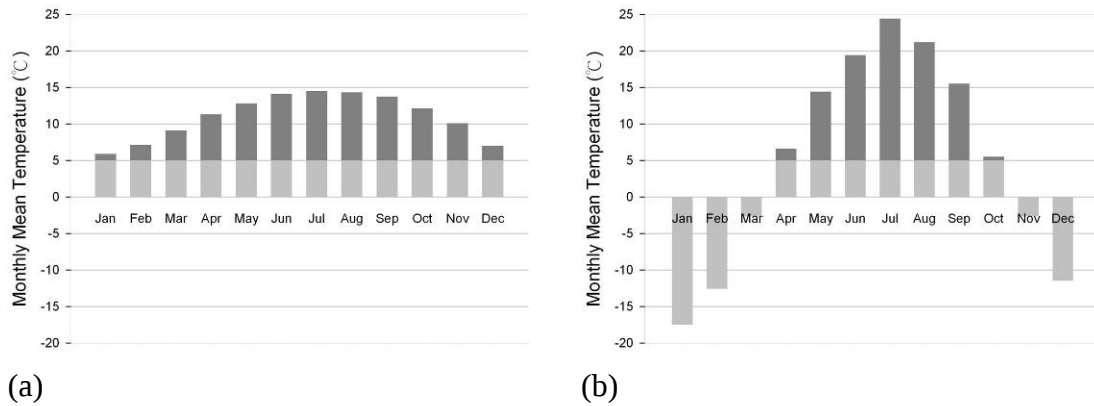


Fig. 1. The illustration of idea and concept of effective warmth index (EWI) associating temperature sum (warmth index, WI; i.e. area sum of dark grey) with thermal seasonality (annual temperature range, ATR). A comparative example of two different latitudinal stations: (a) Alishan, Taiwan (23.28°N, 120.52°E, 2450 m a.s.l.) where WI=72.0, ATR=8.6, and EWI=67.70; (b) Jilin, China (43.52°N, 126.35°E, 180 m a.s.l.) where WI=72.0, ATR=41.9, and EWI=51.05. The two stations, with equal WI (72) but separate ATR (8.6 versus 41.9), have different thermal conditions for plant growth that could be revealed by the synthetic index EWI (67.70 versus 51.05).

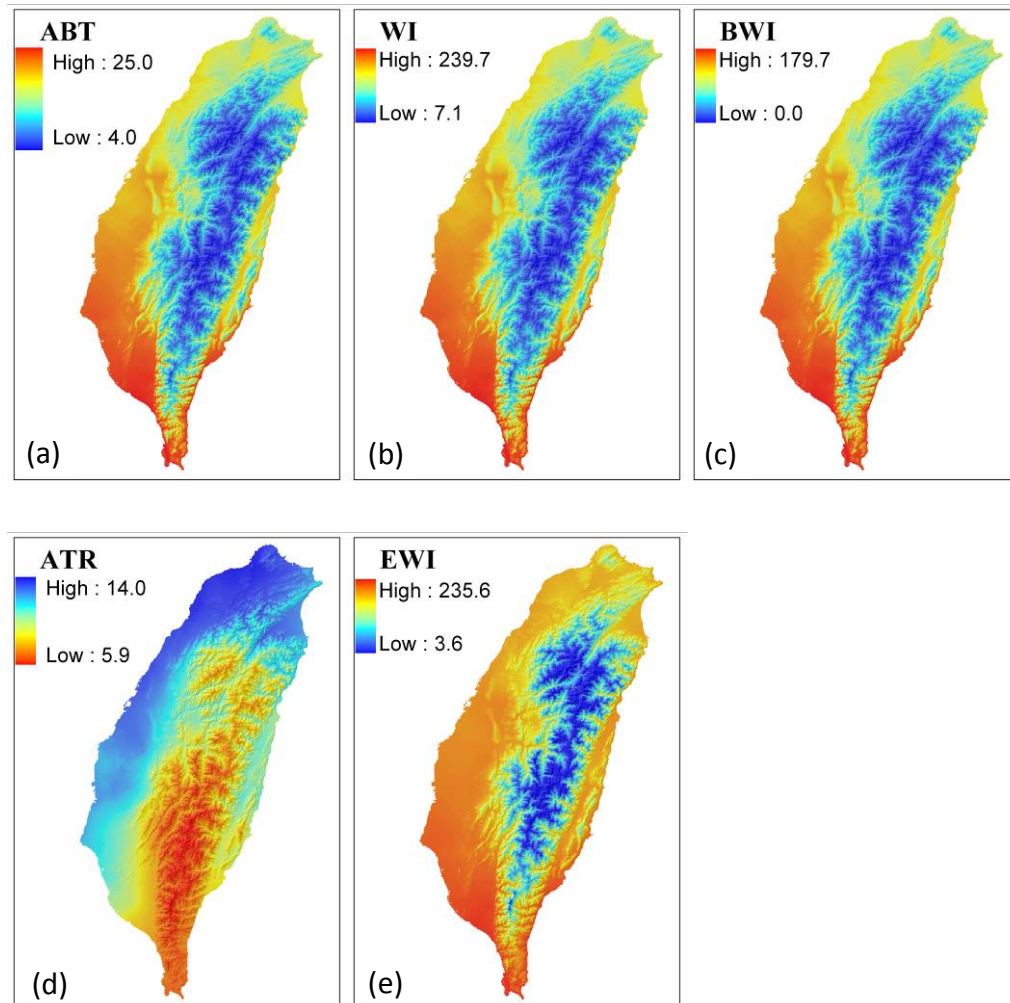


Fig. 2. Spatial patterns of the five bioclimatic indices: (a) annual biotemperature (ABT); (b) warmth index (WI); (c) biological warmth index (BWI); (d) annual temperature range (ATR); (e) effective warmth index (EWI). Except for ATR, the other four indices varied mainly with topography.

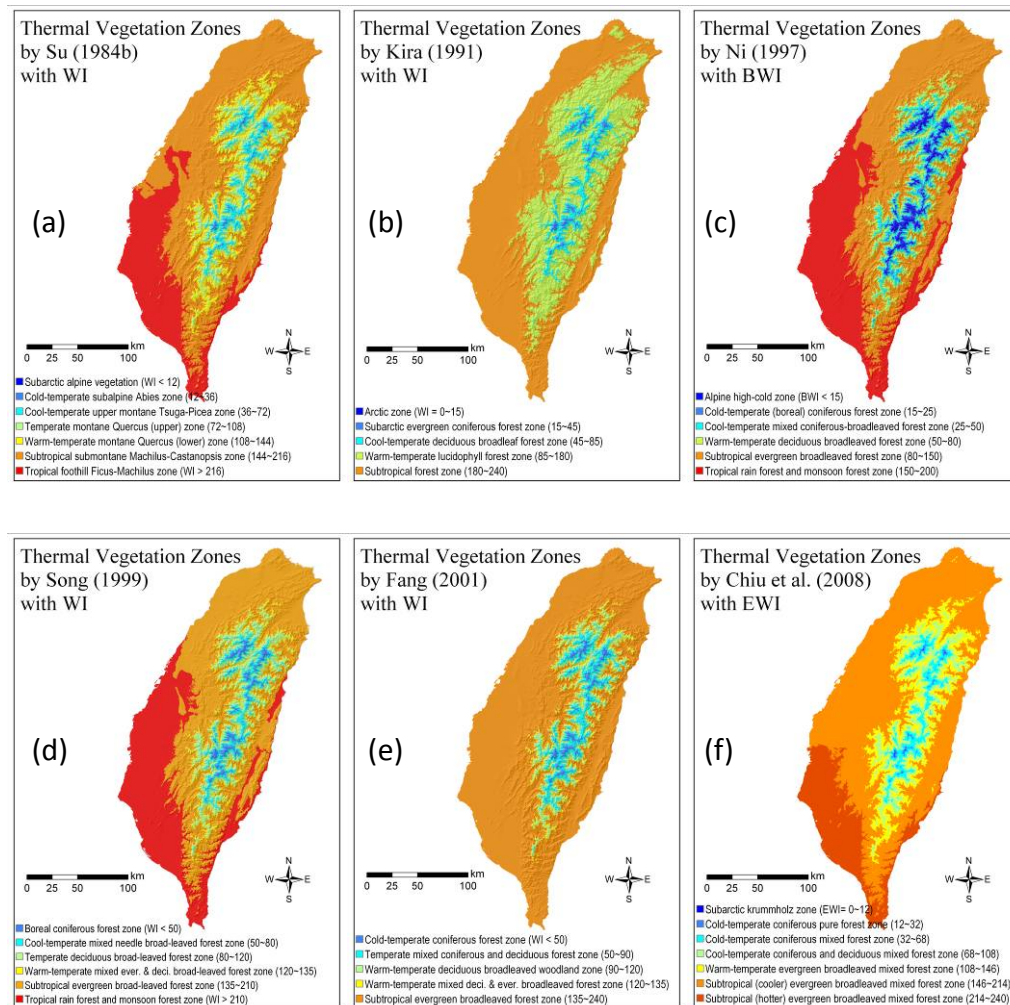


Fig. 3. Predictive vegetation maps based on different authors' climate-vegetation classification schemes with their thermal indices: (a) 7 zones predicted by Su (1984b) with WI; (b) 5 zones predicted by Kira (1991) with WI; (c) 6 zones predicted by Ni (1997) with BWI; (d) 6 zones predicted by Song (1999) with WI; (e) 5 zones predicted by Fang (2001) with WI; (f) 7 zones predicted by Chiu et al. (2008) with EWI.

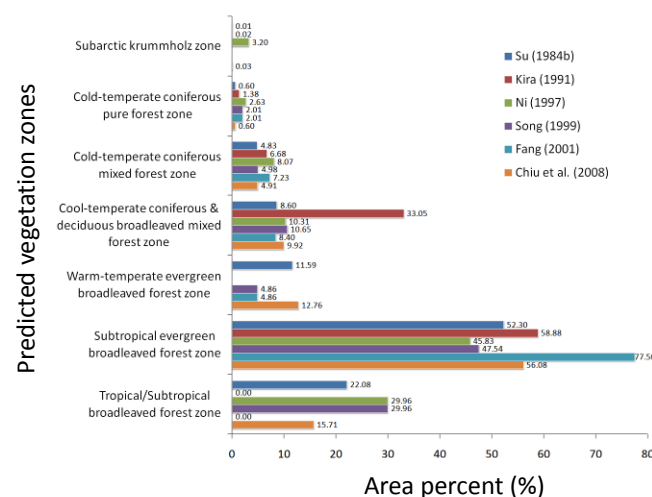


Fig. 4. The comparison of predicted vegetation zones based on different climate-vegetation classification scheme.