

『代表性生態系經營管理之霧林帶指標物
種棲地問題計畫(二)：
雲霧帶化學組成及時空分布調查』

受委託者：國立東華大學

研究主持人：張世杰

研究助理：鍾欣民

簡意婷

太魯閣國家公園管理處
委託辦理報告

中華民國九十九年十二月

目次

目次	I
表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第二章 研究緣起與背景	3
第三章 研究方法	5
第一節 研究儀器架設	5
第二節 霧水和雨水的收集與化學分析	6
第三節 霧水和雨水的來源分析	7
第四節 雲霧分布的衛星影像分析	7
第四章 結果與討論	9
第一節 霧水及雨水化學組成	9
壹、 霧水化學組成	9
貳、 雨水化學組成	11
參、 大氣沉降	16
肆、 來源分析	18
第二節 霧分布的衛星影像分析	21
第五章 結論與建議	27
第一節 結論	27
第二節 建議	27
附錄 1：太魯閣國家公園 99 年度委託辦理「代表性生態系經營管理之霧林帶指標物種棲地問題計畫(二)」 期中報告會議紀錄	29

附錄 2：太魯閣國家公園 99 年度委託辦理「代表性生態系經營管理之霧林帶指標物種棲地問題計畫(二)」 期末報告會議紀錄	31
參考文獻	33

表次

表 1：太魯閣國家公園碧綠神木站霧水化學組成（L：大粒徑雲霧顆粒，S：小粒徑雲霧顆粒，-：無水樣）。	10
表 2：太魯閣國家公園不同海拔高度雨水化學比較（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。	12
表 3：太魯閣國家公園不同海拔高度大氣沈降比較（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。資料時間為 2010 年 3 月 4 日至 2010 年 10 月 29 日。	16
表 4：以 MODIS 衛星影像分析的雲頂溫度，以及利用溫度海拔遞減率所計算的雲頂高度。「黑體」方法表示利用黑體輻射公式計算，「雲產品」表示利用 MODIS 提供的雲頂溫度直接計算。資料時間為 2010 年。	24

圖次

圖 1：主動式雲霧收集器，架設於碧綠神木站氣象塔上	6
圖 2：太魯閣國家公園與棲蘭山樣區雨水化學之比較（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處，CLM：棲蘭山樣區）。長條表示平均值，I 表 95%的信賴區間。	13
圖 3：太魯閣國家公園不同海拔高度雨水化學之季節變化（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。資料時間為 2010 年 3 月 4 日至 2010 年 10 月 29 日。	14
圖 4：太魯閣國家公園不同海拔高度的雨量季節變化（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。	17
圖 5：以 HYSPLIT 模式所推估的合歡山管理站雨水 5 日氣流軌跡。2009 年 7 月至 2010 年 10 月降雨事件分為 3 類，分別為 A 類的海洋來源（上圖）、B 類的菲律賓來源（中圖）、以及 C 類的亞洲大陸來源（下圖）。	19
圖 6：以 HYSPLIT 模式所推估的碧綠神木站霧水 5 日氣流軌跡。2010 年 3 月至 2010 年 9 月雲霧事件分為 3 類，分別為 A 類的海洋來源（上圖）、B 類的菲律賓來源（中圖）、以及 C 類的亞洲大陸來源（下圖）。	20
圖 7：太魯閣國家公園雲霧覆蓋率，上圖為 MODIS Terra 於上午 9:50-11:50 拍攝，下圖為 MODIS Aqua 於下午 12:00-14:00 拍攝。資料時間為 2010 年 1 月 1 日至 10 月 31 日。	21
圖 8：由 Aqua 衛星資料計算出的雲霧覆蓋度在一年間的月變化	23
圖 9：由 Terra 衛星資料計算出的雲霧覆蓋度在一年間的月變化	23
圖 10：2010 年 1 月 1 日 Terra 衛星 band 31 計算所得的雲頂溫度（上圖）。下圖則為 MODIS 雲產品所提供的雲頂溫度。刻度的單位為 °C。	25
圖 11：2010 年 1 月 1 日 Terra 衛星 band 31 計算所得的雲頂溫度，再經氣溫海拔遞減率計算所得的雲頂高度（上圖）。下圖則由 MODIS 雲產品所提供的雲頂溫度計算的雲頂高度。刻度的單位為 m。	26

摘要

關鍵詞：雲霧森林，霧林帶，衛星影像，雲霧化學

研究緣起

雲霧森林在保育的課題上是一個重要的熱點，台灣的霧林帶有高於其他海拔的較高特有種比例。然而，學界至今仍欠缺堅實的科學基礎來劃定，何處是台灣的雲霧帶，以及何者才是台灣的雲霧森林。欠缺這樣的認識，在制訂保育措施時便可能錯用人力與物力。因此本研究嘗試在太魯閣國家公園內，以衛星影像分析技術來初步嘗試雲霧帶的辨識。同時，為了瞭解雲霧化學因子對生態系可能的影響，本研究也對雲霧及雨水進行化學分析。

研究方法及過程

1. 霧水及雨水化學：每 2 週至樣區採樣，進行主要離子的化學分析。
2. 霧水及雨水的來源分析：以 HYSPLIT 模式推估 5 日氣流軌跡，藉此比較不同氣流來源是否對雨水/霧水化學組成造成影響。
3. 雲霧的衛星影像分析：以 MODIS Aqua 和 Terra 衛星影像進行分析。以 band 1 的可見光波段進行反照率的計算，以估算整體雲和霧的覆蓋率。以 band 31 的紅外光波段，透過黑體輻射公式計算雲頂溫度，在藉由溫度海拔遞減率來計算雲頂高度。藉此推估雲霧森林的上緣。

重要發現

1. 太魯閣國家公園山區雲霧化學組成顯示，雲霧並未含有過多的致酸性離子，與文獻中靠近都會區雲霧化學相較，屬於較乾淨的霧水。
2. 太魯閣國家公園雨水隨海拔上升，其主要離子濃度逐漸下降。
3. 由 HYSPLIT 氣流軌跡分析初步可見，來自亞洲大陸的氣流與來自海洋的氣流相較，帶給太魯閣山區雨水與霧水較多的 NO_3^- 和 NH_4^+ 。
4. 太魯閣國家公園的雲霧覆蓋率在下午的時間顯著高於上午。
5. 以黑體輻射公式推估雲頂溫度，並進而推估雲頂高度的方法，與 MODIS 雲產品的數具有數百公尺的誤差。

主要建議意見

本研究建議太魯閣國家公園管理處能持續探究雲霧森林相關研究課題，尤其因為雲霧分布的問題牽涉到保育措施的擬定，因此有必要持續投注人力物力進行研究。

第一章 緒論

「雲霧森林 (cloud forest)」是一個一般人都能理解的名詞，意指位於雲霧帶的森林。經常進入山區活動的人，也都能在中海拔的山區經歷雲霧裊繞的環境。然而，當我們意圖指出何處是台灣的雲霧森林時，卻僅有極少數的科學文獻能提供，何處具有頻繁雲霧壟罩的科學證據。缺乏這樣的「雲霧帶 (cloud belt)」的資訊，我們也就無法明確指出，在台灣哪些類型的森林可以被歸類為雲霧森林了。在全球暖化問題日益嚴重的今日，學術界普遍憂心位於霧林帶的生物，會因為雲霧帶的向上遷移而失去合適的棲地，而有消失的危機。為此，缺乏明確的雲霧森林範圍的基礎背景知識，也將讓我們在保育措施的擬定與施行上無所依據。

雲霧帶的界定，必須有明確的雲霧出現的觀察紀錄做為依據。依據國際氣象組織的定義，有霧的定義為空氣中的水滴 (water droplets) 造成水平能見度 (horizontal visibility) 低於 1000 m 時的大氣狀況。因此判斷何處有霧，必須有水平能見度這個氣象參數做為依據，而此參數必須依賴架設於氣象塔上的能見度儀 (visibility sensor) 進行實地監測。這個方法的最大限制在於，能見度儀的設置無法遍及廣大的空間範圍，因此只能對特定地點進行霧出現與否的觀測。為了突破這樣的限制，一些氣象學研究團隊利用衛星遙測影像來進行霧的判釋，藉此獲得大空間範圍的霧分布資訊 (Cermak and Bendix, 2007, Bendix et al., 2006, Cermak and Bendix, 2008)。本研究計畫將利用類似的分析技術，發展出一個適合於太魯閣國家公園的霧出現判釋模式，以獲取太魯閣國家公園的霧分布資訊，進而確認本區的雲霧帶位置，以及雲霧森林的植被組成。本研究也將收集霧水並分析霧水的化學組成，作為太魯閣國家公園雲霧森林大氣水分及化學物質沉降的基礎資訊。藉由這些資訊，本研究將評估太魯閣國家公園雲霧森林的保育措施。

第二章 研究緣起與背景

海岸以及中海拔山區，由於高水蒸氣含量空氣的冷卻造成凝結作用，是霧林帶較容易出現的地區，雲霧在這些地區也被證實是重要的環境因子(Elias et al., 1995, Dawson, 1998, Weathers et al., 2000)。雲霧顆粒隨著氣流運動，與植物表面碰撞之後，便沈降進入生態系內，成為大氣水分輸入的一部份。雲霧顆粒所含有的各種化學物質濃度，經常高於雨水(Chang et al., 2002)，因此雲霧沈降進入生態系的同時，也有相當多的養分隨之進入生態系。以 Azevedo and Morgan (1974) 在美國加州海岸森林的研究為例，夏天的雲霧沈降量可以高達 425 mm，而雲霧帶來的養分輸入，也影響了生態系的養分收支。雲霧對生態系的影響除了在水分與養分收支之外，也在於對太陽輻射的降低。太陽輻射的降低，讓光合作用的能量來源減少，也大幅降低了蒸發散所需的熱能 (Bruijnzeel and Veneklaas, 1998)。由於人類活動造成的空氣污染物質排放，可能造成雲霧物理的改變，因而改變雲霧的光學效應，使能量收支逐漸變化，對生態系造成影響。因此，對雲霧進行大面積且長期的監測，對全球環境及氣候變遷具有重要的意義 (Bendix, 2002)。

學術界對雲霧森林的植物如何受霧影響，有非常高的研究興趣。這些生理生態學的知識有助於我們了解，雲霧森林生物對高相對濕度、高土壤含水量、以及較低的太陽輻射的適應機制。然而，在進行這些研究之前，更基礎的研究工作或許是，明確了解何處是雲霧帶，以及雲霧森林究竟是甚麼樣的森林組成。由於傳統地面氣象觀測站以及較先進的探空雷達，對於雲霧分布的觀測有空間的侷限性，因此以衛星遙測方法來做大空間範圍的霧分佈研究，在近 10 年來有了長足的發展。德國 Marburg 大學的 Bendix 教授研究團隊，是其中的重要領先團隊。Cermak and Bendix (2007) 利用一系列的判斷程序，從衛星影像判釋霧的出現位置。其背後的物理依據是，霧和低層雲 (low stratus) 的近紅外光 (infrared, ca. 3.8 μm) 與中紅外光 (middle infrared, ca. 11 μm) 波段的發射率 (emissivity) 的差值，較較高雲族高。利用上述的性質，霧和低層雲可以從其他雲族區分出來。當進一步利用數值地形模型 (digital terrain model, DTM) 與霧/低層雲資訊套疊，則可獲得實際接觸地面的物的分佈區域。

第三章 研究方法

第一節 研究儀器架設

本研究針對霧水化學分析，於 2010 年 3 月 4 日於碧綠神木樣站（代號 BL，座標 24°10'38.4"N 121°24'18.97"E，海拔高 2164 m）架設了一個雲霧水收集器（圖 1）。雲霧收集器架設於氣象塔上約 3 m 高處，所需的 12 VDC 電力由太陽能板提供。此雲霧收集器為自製的主動式收集器（active fog collector），當氣象塔上的能見度儀（visibility sensor, Sten Löfving Optical sensors, Sweden）偵測到低於 1000 m 的水平能見度時，即透過資料收集處理器（datalogger, QML201, Vaisala, Finland）自動啟動雲霧收集器。雲霧收集器能收集兩種不同的粒徑範圍，分別為前端的大粒徑及後端的小粒徑範圍。對於直徑大於 30 μm 的雲霧顆粒，大粒徑收集端有高於 50% 的收集效率；至於小粒徑收集端的 50% 收集效率，則可小至直徑 7 μm 的雲霧顆粒。雲霧收集器能將通過收集器的氣流中，70% 以上的大於 10 μm 的雲霧顆粒攔截下來。攔截下的兩種粒徑霧水分別以塑膠瓶收集，每兩週進行化學分析。

為了比較霧水和雨水的化學組成，本計畫在碧綠神木樣站也進行雨水的收集和分析工作。同時，為了瞭解不同海拔位置的雨水化學組成的差異，本計畫也在另外兩個樣站進行雨水的收集與分析，分別為低海拔的太魯閣國家公園管理站（代號 TH，座標 24°9'25.74"N 121°37'20.24"E，海拔高 65 m），以及高海拔的合歡山管理站（代號 HH，座標 24°09'47"N, 121°17'15"E，海拔高 2987 m）。每個樣站均設置 3 個重複的雨水收集器，收集器開口距地面約 80 cm，3 個收集器座落於 1 m² 範圍內。雨水的收集以總沉降（bulk precipitation）收集器進行。收集器由一個直徑 20 cm 的漏斗和底下的 20 L 收集桶構成，可連續收集藉由重力沉降的乾沉降（dry deposition）及溼沉降（wet deposition）物質。漏斗底部以塑膠網過濾雜質，收集桶的桶身則以遮陽片包圍，以避免因陽光直射造成的水質變化和蒸發損失。太魯閣國家公園管理站的雨水收集器架設於遊客中心樓板上，於 2010 年 3 月 4 日架設完成開始收集。其餘兩個樣站的收集器則沿用前一年的計畫裝置，亦於同一日期清洗乾淨開始收集。

應國家公園管理處的要求，架設於遊客中心的雨水收集器於 2010 年 5 月 27 日更動位置。新的架設地點仍為遊客中心樓頂，且距原位置僅約 10 m，對水量及化學分析不至於造成分析連續性的問題。



圖 1：主動式雲霧收集器，架設於碧綠神木站氣象塔上

第二節 霧水和雨水的收集與化學分析

霧水和雨水的收集和化學分析每 2 星期進行一次，持續進行至計畫結束，以了解霧水和雨水化學的季節變化。霧水收集的現場工作包括兩種粒徑霧水的體積量測、採取 200 ml 樣品、更換霧水收集網、並以去離子水清潔雲霧收集器。雨水的採樣包括水量的紀錄，採取 200 ml 水樣，並以去離子水清潔收集器。

化學分析項目包括酸鹼值、導電度、以及主要的陰陽離子(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+) 濃度。酸鹼值及導電度的測定於每次採樣回實驗室後，立即進行，使用的儀器分別為攜帶型的酸鹼值測定計(WTW pH 340i, Germany)和導電度計(WTW Con 340i, Germany)。隨後水樣以 $0.45\ \mu\text{m}$ 濾紙過濾，並放置於 $4\ ^\circ\text{C}$ 冰箱等待離子濃度分析。離子濃度以離子層析儀(Ion chromatograph, ICA-5000, DKK-TOA, Japan)進行分析，於每次採樣後 4 週內完成。

第三節 霧水和雨水的來源分析

為了探討霧水和雨水化學物質的可能來源，本研究利用美國海洋及大氣署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）所發展的 HYSPLIT 模式（Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model, <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>），逆推研究樣站某個採樣時間之前 5 日的氣流軌跡。由於本研究所收集的霧水和雨水均為混合樣品，亦即，樣品為 2 週內的所有雲霧事件及降雨事件的累積樣品，因此如何將 2 週內的事件分離並分別計算氣流軌跡，是必須先進行的工作。降雨事件的取得有賴於氣象站的自動雨量計資料，而雲霧事件則有賴於氣象站的能見度資料。本年度的氣流軌跡分析工作只針對碧綠神木樣站的霧水、雨水，以及合歡山管理站的雨水。因此所需的資料分別來自碧綠神木樣站由太管處設置的氣象站，以及由中央氣象局設置的昆陽自動氣象站（中央氣象局代號 C0H99，座標 24°07'22"N, 121°15'55"E，海拔高 3235 m）。

本研究對降雨事件的定義，為前後均由 3 小時以上未降雨時間所包圍的降雨。由於 2 週內多有超過一次的降雨事件，且有些降雨事件僅有非常小的降雨量，若將每個降雨事件的來源都加以分析，將造成工作量過大。因此本研究將 2 週內的降雨事件依降雨量排序，然後將佔 2 週總雨量 80% 的事件篩選出來，針對這些降雨事件進行氣流軌跡分析。最後依據各降雨事件的降雨量及其氣流來源，判定出最能代表此 2 週雨水化學的氣流來源。為了增加樣本數，合歡山管理站的雨水分析不僅採用本計畫的資料，也採用上一年度的資料。

與降雨事件類似的作法，本研究以雲霧出現時間，亦即能見度低於 1000 m 的時間作為有霧的時間。將前後各有 3 小時無霧時間所包圍的有霧時間，定義為一個雲霧事件。氣流軌跡的分析，也是只針對前 80% 總有霧時間的雲霧事件。

氣流軌跡依來源分群後，即可將所有的水樣分群。各氣流來源是否對水樣化學造成影響，則以統計分析的差異顯著性作為判斷依據。

第四節 雲霧分布的衛星影像分析

本研究以衛星遙測技術，進行太魯閣國家公園的雲霧分佈觀測。使用的衛星遙測資料為美國航空及太空總署（NASA）地球觀測系統（EOS）的兩顆衛星 Terra 和 Aqua。這兩顆衛星載有 MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）偵測器，提供了 0.62-12.27 μm 的 31 個波段的電磁波資料。這兩顆衛星為太陽同步衛星，每天分別可以提供一次衛星資料。

本研究收集 2010 年 1 月 1 日起每天的兩份 MODIS 影像資料：自 <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html> 網頁中，搜尋並下載 MOD 02 - Level-1B Calibrated Geolocated Radiances，解析度為 1 km 的衛星資料。將 band 1 以及 band 31 的資料利

用 HDF-EOS to GeoTIFF Conversion Tool (HEG Tool) 轉換成 GeoTIFF 格式，以便利用 GRASS GIS 軟體(Neteler and Mitasova, 2008)進行分析。本年度的主要分析工作有兩項，包括太魯閣國家公園範圍的雲霧覆蓋率計算，以及雲頂溫度的計算和雲頂高度的推估。

為了對整體的雲和霧的覆蓋情形做初步的瞭解，本研究利用 MODIS 衛星資料所提供的線性轉換參數，將 band 1 的資料轉換成反照率 (albedo)。以反照率大於 0.3 作為是否有雲霧覆蓋的標準，求取雲霧覆蓋的區域，並計算太魯閣國家公園範圍內的雲霧覆蓋率。Band 1 的波長範圍為可見光範圍的 620-670 nm，水平空間解析度為 250 m。相對於其他的波段，band 1 較能以目視初步判斷雲霧的覆蓋究竟是由高層雲形成的大面積覆蓋，或者是由低層雲或是升坡霧所形成的區域覆蓋。

本研究進一步利用衛星影像所提供的輻射資訊來推估雲頂溫度。為此，高解析度的 band 1 和 band 2 可見光波段，不再能被使用。本研究利用紅外光波段的 band 31 來推估雲頂溫度，其波長範圍為 10.78-11.28 μm ，水平解析度為 1 km。計算的方法為先將數據利用線性轉換參數，轉換成輻射強度(I_λ)，並在假設為黑體輻射的情況下，利用黑體輻射公式求取該波段的亮度溫度：

$$T_b(\lambda) = \frac{hc}{K * \lambda * \ln\left(1 + \frac{2hc^2}{5I}\right)}$$

式中 $T_b(\lambda)$ 為 λ 波長輻射的亮度溫度， h 為普朗克常數 ($6.6260755 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)， c 為光速 ($2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$)， K 為波茲曼常數 ($1.380658 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)， λ 為波長， I_λ 為輻射強度。

由於只使用簡單的黑體輻射公式計算，經由上述方法所求得的雲頂溫度與真實值可能存在相當大的差異。為了瞭解此計算方法的適用狀況，本研究另以 MODIS 提供的雲頂溫度產品來進行對照。

從雲頂溫度資料，本研究進一步利用海拔溫度遞減率來推估雲頂的海拔高度。其計算方式如下：

$$\text{雲頂高度(m)} = \frac{\text{測站溫度} - \text{雲頂溫度}}{\text{每百公尺溫度遞減率}} \times 100 + \text{測站海拔(m)}$$

其中測站資料是利用花蓮氣象站的觀測資料，溫度遞減率則由花蓮氣象站每日施放的探空氣球量測資料求得。

第四章 結果與討論

第一節 霧水及雨水化學組成

本研究的霧水及雨水化學組成分析工作，自 2010 年 3 月 4 日架設完成各項收集器後，便開始定期的水樣收集與化學分析。研究人員每 2 週開車至 3 個樣點進行水樣收集，3 個樣點的間隔時間在 4 hr 以內。本研究報告共呈現 16 次化學分析數據，時間範圍為 2010 年 3 月 18 日至 2010 年 10 月 29 日。

壹、 霧水化學組成

碧綠神木樣站的大粒徑霧水共計有 15 個樣品，平均的酸鹼值為 5.4，範圍介於 4.5 和 7.4 之間(表 1)，並不特別酸，顯示太魯閣山區可能並沒有酸霧危害的問題。儘管如此，與碧綠神木樣站的雨水相較(酸鹼值介於 5.1 和 6.3，平均值 5.8，表 2)，霧水的酸鹼值仍較低，與一般研究結果相符。2010 年 6 月 9 日的霧水呈現鹼性的 7.4 酸鹼值，應是污染或是量測錯誤所致。霧水中大部分的陰陽離子在大多數的時間，都比雨水有較高的濃度。以 NO_3^- 為例，15 次的霧水濃度都遠較雨水濃度高，霧水 NO_3^- 的濃度是雨水的 2 至 124 倍。雖然採樣和資料分析的時間只有不到 3 季的時間，不足以分析霧水化學的季節變異，但從有限的資料看來， NO_3^- 和 SO_4^{2-} 在 2010 年 6 月份開始，濃度明顯低於 3 至 5 月份的水樣。

從霧水水樣資料看來，由於收集到的霧水水量並不多，碧綠神木樣站在資料期間的起霧時間及霧的液態水含量(liquid water content)可能並不高。碧綠神木氣象站的能見度資料顯示，雲霧籠罩的時間相當少，雲霧籠罩時間遠低於北部位於海拔 1650 m 的棲蘭山樣區(Chi-Lan Mountain, CLM)。然而雲霧籠罩時間較少的另一個可能的原因，卻可能是儀器安裝位置的問題。碧綠神木站的氣象塔未高出平均的樹冠層高度，能見度儀有效的偵測範圍未能及於樹冠層高度，因而可能造成雲霧籠罩時間的低估。連帶地，也因為雲霧收集器的架設位置較低，因此未能有效地攔截霧滴。

15 次霧水水樣中僅 7 次收集到足夠的小粒徑霧水進行化學分析。最初的 5 次採樣可能都因收集器的小粒徑收集網下方漏水，而未收集到足夠化學分析的水量。這個問題在收集器的補強之後，已經獲得明顯改善。一般而言，小粒徑雲霧顆粒比大粒徑雲霧顆粒擁有較高的離子濃度。

表 1：太魯閣國家公園碧綠神木站霧水化學組成（L：大粒徑雲霧顆粒，S：小粒徑雲霧顆粒，-：無水樣）。

Sampling Date	Size	Conductivity	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		[μS cm ⁻¹]									
[mg L ⁻¹]											
2010/03/18	L	40	5.34	0.68	6.91	5.82	0.52	3.59	0.55	0.10	0.49
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/04/01	L	23	5.60	0.29	3.79	3.17	0.19	1.42	0.29	0.10	0.48
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/04/15	L	48	4.46	0.44	6.66	4.02	0.24	1.77	0.45	0.13	0.54
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/04/28	L	25	5.08	0.26	2.96	3.33	0.08	1.25	0.21	0.05	0.22
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/05/12	L	37	5.48	0.74	6.12	5.87	0.36	2.38	0.25	0.18	1.11
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/05/26	L	52	5.31	0.62	8.93	8.00	0.36	3.17	0.31	0.20	1.89
	S	41	6.02	0.68	3.15	6.22	0.40	1.20	0.73	0.27	3.23
2010/06/09	L	50	7.38	0.47	3.53	2.78	0.48	1.77	0.39	0.14	0.67
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/06/24	L	22	6.11	0.45	2.40	1.94	0.23	1.45	0.45	0.09	0.63
	S	50	6.74	0.82	4.25	3.34	0.21	0.55	0.79	0.53	6.24
2010/07/08	L	16	5.93	0.47	2.01	1.75	0.12	1.07	0.47	0.06	0.06
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/07/21	L	25	5.92	0.84	2.60	2.80	0.64	1.08	0.68	0.15	0.77
	S	41	6.23	0.91	3.29	4.12	0.44	0.57	0.87	0.33	4.21
2010/08/05	L	13	5.63	0.43	1.12	1.51	0.18	0.02	0.31	0.06	0.40
	S	12	6.04	0.40	0.10	1.00	0.13	0.03	0.06	0.15	1.17
2010/08/17	L	19	5.78	0.57	2.01	2.73	0.33	0.69	0.42	0.11	1.04
	S	147	6.56	4.11	19.07	12.33	1.32	0.70	1.53	1.67	17.20
2010/09/07	L	28	5.29	0.69	2.66	3.28	0.41	0.31	0.32	0.10	0.64
	S	158	6.54	4.05	15.03	26.94	2.31	1.20	3.53	1.28	14.93
2010/09/16	L	17	5.69	0.78	2.41	1.40	0.49	0.38	0.66	0.10	0.39
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/10/29	L	20	5.60	0.82	0.03	2.88	0.48	0.01	1.70	0.32	0.86
	S	174	6.63	6.95	1.13	40.30	2.25	0.03	3.91	2.51	18.78

貳、 雨水化學組成

不同海拔位置的 3 個樣站，顯示出極大的化學組成差異。研究期間太魯閣國家公園不同海拔高度雨水化學如表 2 所示。在絕大多數的情況下，太魯閣國家公園管理處（TH，海拔 65 m）所收到的雨水，擁有相較於中海拔（碧綠神木站，BL，海拔 2164 m）及高海拔（合歡山管理站，HH，海拔 2987）雨水，顯著較高的各種離子濃度。另將太魯閣國家公園不同海拔高度的雨水化學與北部棲蘭山樣區（CLM，海拔 1650 m）的雨水化學相較，發現顯示隨著海拔高度的增加，各種離子濃度均逐漸降低的現象（圖 2）。太魯閣國家公園管理處鄰近海洋和都會區，同時因遊客車輛較多，應該是雨水化學物質濃度較高的成因。

在樣品分析的將近 8 個月的時間裡，大多數的離子在春季的濃度都高於之後的濃度。到了秋季，離子濃度又有逐漸升高的現象（圖 3）。顯然在太魯閣國家公園的大氣化學環境，具有相當顯著的季節變化，值得進行更長時間的觀察與分析。

表 2：太魯閣國家公園不同海拔高度雨水化學比較（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。

Sampling Date	Location	Conductivity	pH	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		[μS cm ⁻¹]		[mg L ⁻¹]							
2010/03/18	HH	17	4.98	0.19	1.35	1.37	0.01	0.90	0.16	0.02	0.02
	BL	14	6.12	0.23	1.67	1.48	0.02	0.89	0.22	0.03	0.04
	TH	42	5.70	4.96	3.39	4.09	3.27	1.02	0.30	0.37	1.40
2010/04/01	HH	10	5.88	0.16	0.86	0.74	0.26	0.58	0.10	0.02	0.01
	BL	15	5.84	0.33	1.91	1.53	0.19	0.60	0.34	0.07	0.38
	TH	57	5.73	7.43	4.26	7.18	4.39	0.75	0.33	0.63	2.85
2010/04/15	HH	12	5.18	0.14	1.07	1.06	0.01	0.68	0.12	0.03	0.02
	BL	15	5.07	0.19	1.35	1.15	0.03	0.39	0.21	0.05	0.19
	TH	44	5.62	3.32	6.70	5.47	2.39	1.30	0.40	0.45	3.10
2010/04/28	HH	8	5.36	0.14	0.71	0.96	0.01	0.39	0.03	0.01	0.05
	BL	10	5.41	0.19	1.02	1.18	0.01	0.17	0.10	0.04	0.22
	TH	45	6.17	4.87	3.69	6.57	2.90	0.88	0.21	0.42	2.37
2010/05/12	HH	7	5.89	0.13	0.83	0.77	0.01	0.36	0.04	0.01	0.02
	BL	6	5.64	0.19	0.32	0.82	0.02	0.01	0.11	0.03	0.20
	TH	26	4.85	1.09	2.20	3.72	0.69	0.25	0.07	0.17	1.31
2010/05/26	HH	3	6.06	0.08	0.25	0.29	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01
	BL	4	6.19	0.10	0.05	0.38	0.01	0.01	0.08	0.02	0.02
	TH	24	5.26	0.86	2.27	3.76	0.88	0.19	0.11	0.19	1.65
2010/06/09	HH	2	5.84	0.19	0.26	0.28	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00
	BL	2	5.94	0.20	0.19	0.32	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01
	TH	39	4.73	1.88	3.57	3.84	1.43	0.21	0.07	0.26	2.01
2010/06/24	HH	2	6.26	0.18	0.27	0.26	0.00	0.09	0.00	0.02	0.00
	BL	3	6.11	0.20	0.26	0.32	0.01	0.11	0.02	0.03	0.01
	TH	13	5.64	0.52	1.57	1.61	0.25	0.06	0.04	0.10	0.95
2010/07/08	HH	3	5.53	0.21	0.22	0.26	0.01	0.00	0.01	0.02	0.05
	BL	5	6.08	0.33	0.19	0.33	0.11	0.07	0.20	0.04	0.11
	TH	7	6.17	0.44	0.51	0.76	0.18	0.03	0.03	0.07	0.38
2010/07/21	HH	5	6.56	0.22	0.50	0.48	0.01	0.21	0.01	0.03	0.06
	BL	5	6.05	0.25	0.33	0.56	0.05	0.18	0.08	0.04	0.17
	TH	8	5.99	0.44	0.71	0.87	0.20	0.11	0.03	0.06	0.32
2010/08/05	HH	2	6.24	0.14	0.13	0.20	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
	BL	3	6.20	0.16	0.10	0.29	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01
	TH	12	5.81	0.89	0.70	1.01	0.52	0.16	0.03	0.09	0.58
2010/08/17	HH	4	6.26	0.18	0.20	0.34	0.02	0.07	0.03	0.04	0.03
	BL	3	5.99	0.19	0.09	0.27	0.03	0.11	0.05	0.03	0.03
	TH	10	6.02	0.57	0.29	0.59	0.34	0.08	0.02	0.08	0.60
2010/09/07	HH	4	6.27	0.18	0.09	0.28	0.01	0.01	0.09	0.03	0.01
	BL	4	6.18	0.21	0.09	0.36	0.03	0.05	0.07	0.03	0.11
	TH	6	5.94	0.52	0.48	0.73	0.26	0.16	0.01	0.06	0.27
2010/09/16	HH	2	6.04	0.18	0.09	0.22	0.01	0.09	0.07	0.02	0.01
	BL	3	6.25	0.20	0.09	0.19	0.03	0.12	0.06	0.02	0.01
	TH	9	5.95	0.75	0.42	0.73	0.42	0.15	0.02	0.08	0.36
2010/09/30	HH	2	6.70	0.06	0.05	0.11	0.01	0.01	0.01	0.00	0.05
	BL	11	6.23	1.06	0.26	0.10	0.04	0.01	0.89	0.07	0.13
	TH	37	6.49	6.18	0.01	1.47	3.22	0.07	1.33	0.52	1.97
2010/10/29	HH	3	6.79	0.07	0.18	0.20	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
	BL	4	5.56	0.17	0.16	0.27	0.01	0.08	0.01	0.00	0.01
	TH	18	5.06	1.67	0.56	1.99	0.87	0.11	0.06	0.11	0.21

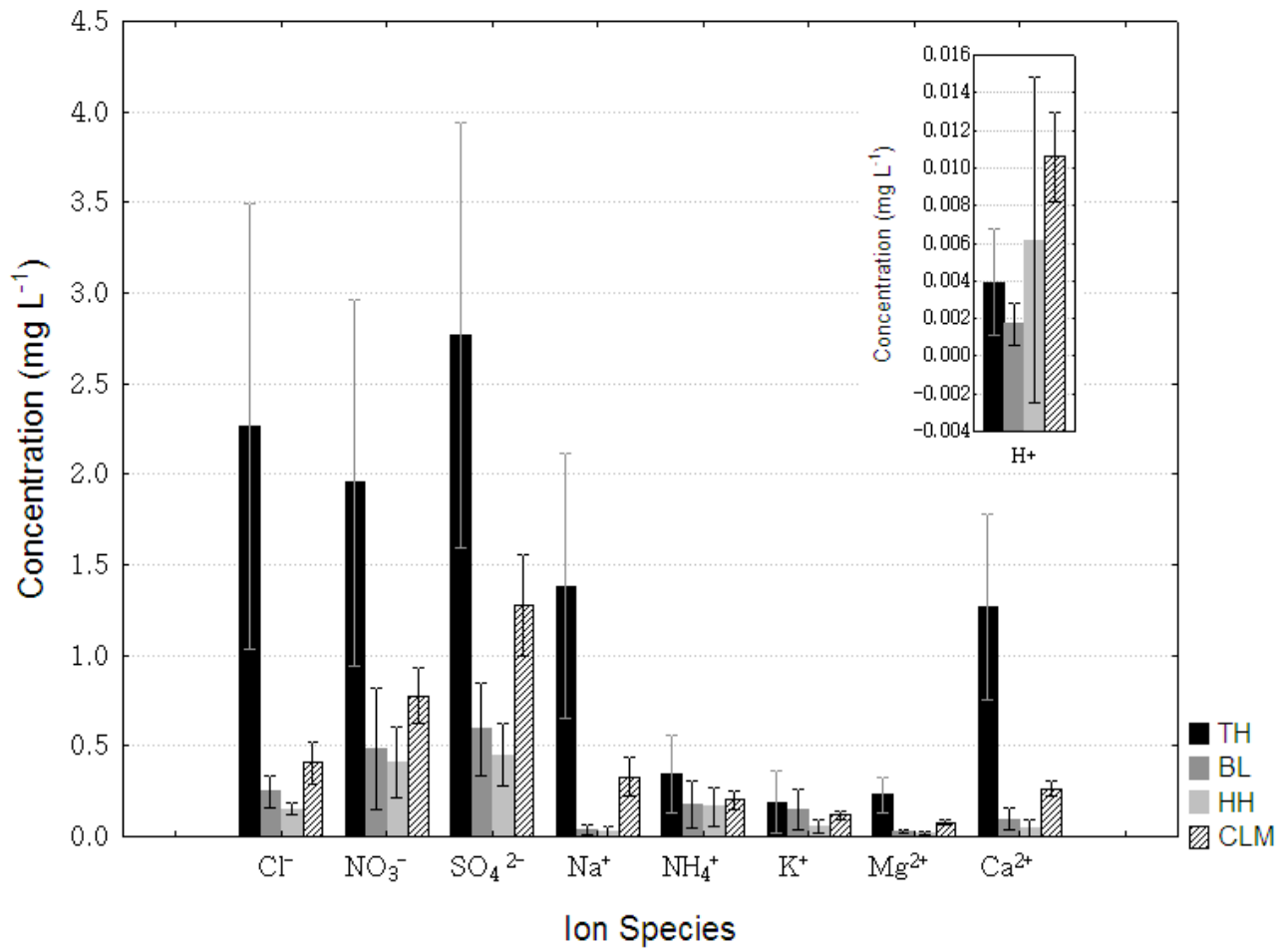


圖 2：太魯閣國家公園與棲蘭山樣區雨水化學之比較 (HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處，CLM：棲蘭山樣區)。長條表示平均值，I 表 95%的信賴區間。

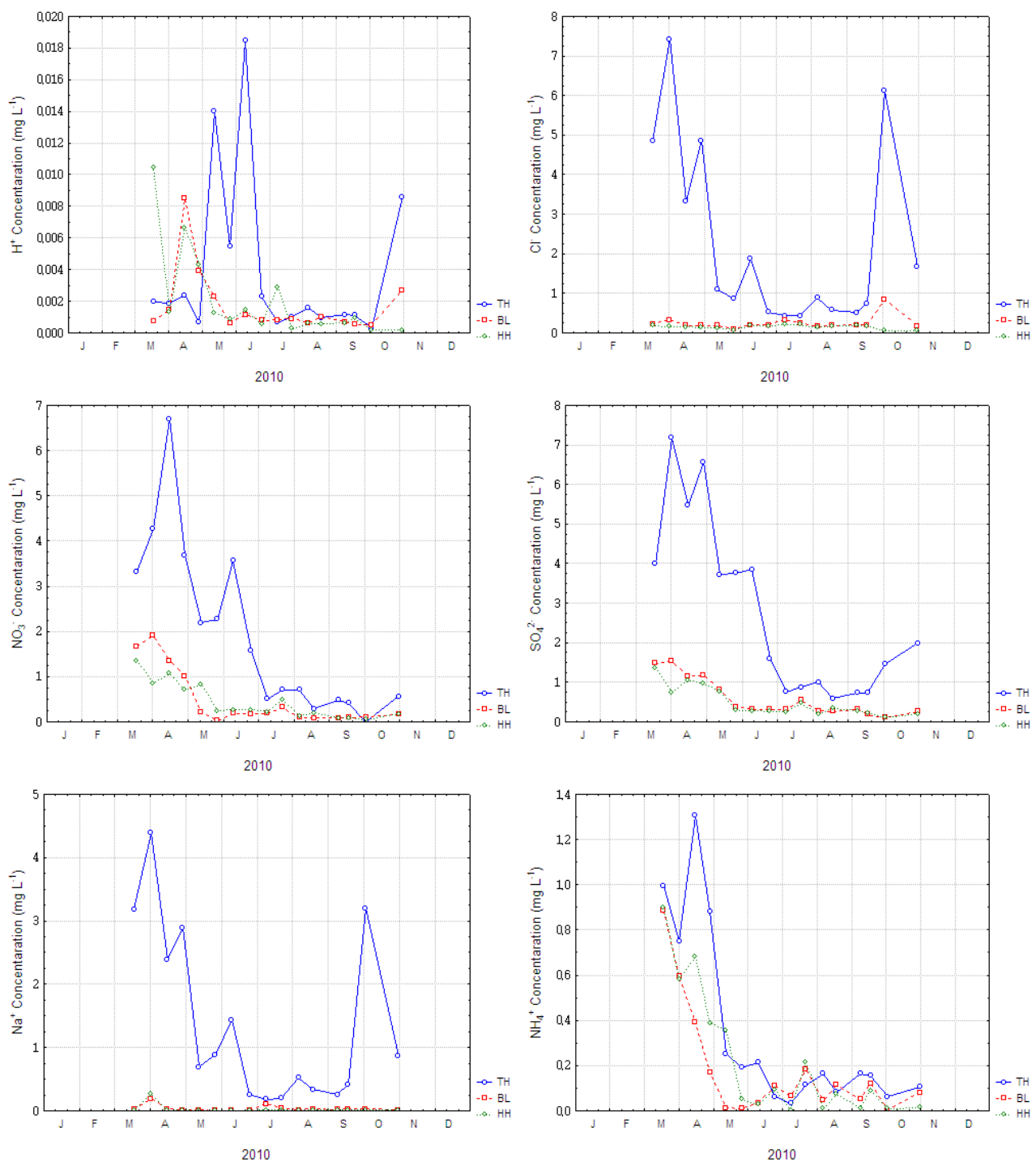


圖 3：太魯閣國家公園不同海拔高度雨水化學之季節變化 (HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處)。資料時間為 2010 年 3 月 4 日至 2010 年 10 月 29 日。

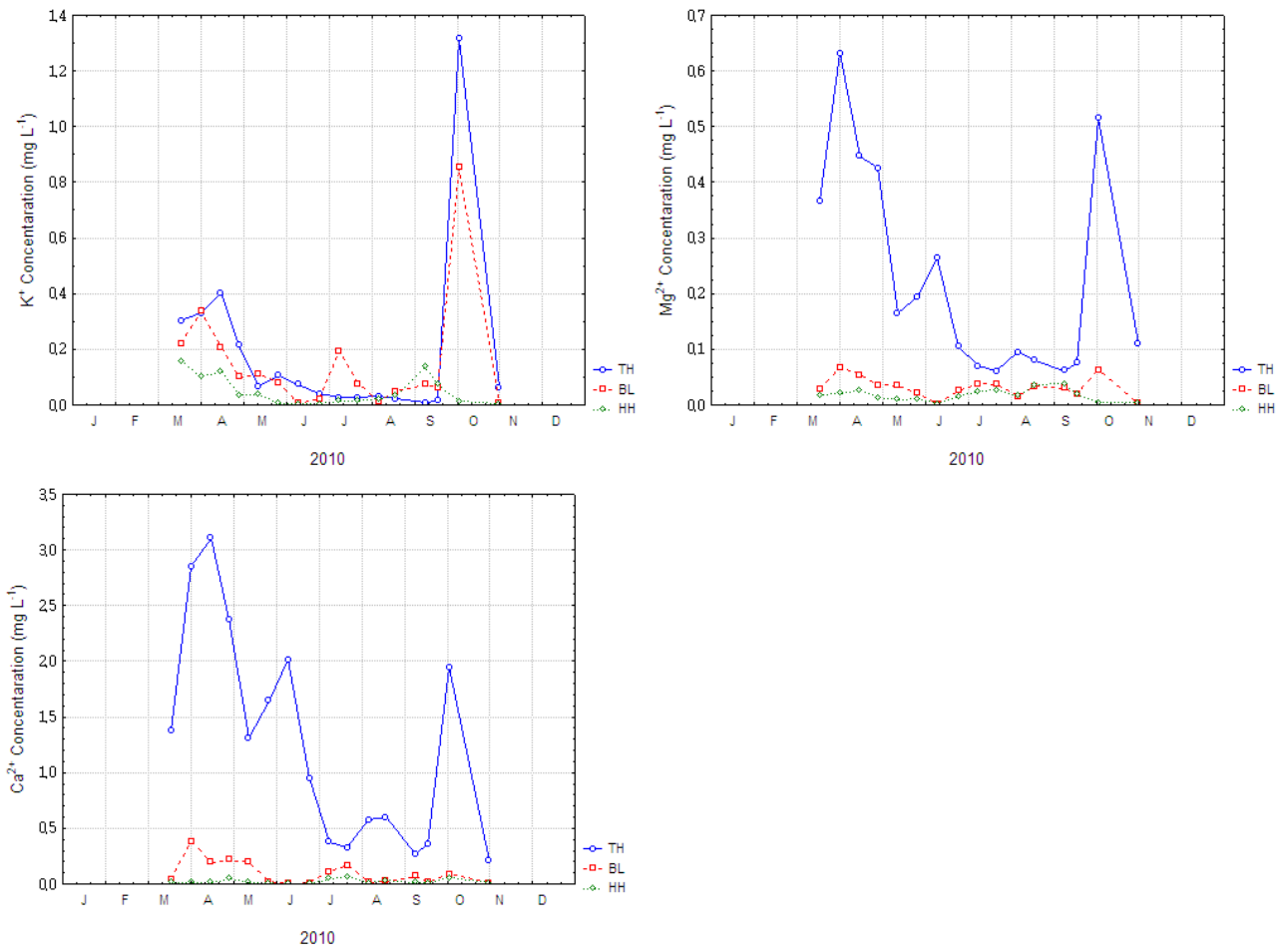


圖 3：太魯閣國家公園不同海拔高度雨水化學之季節變化（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。資料時間為 2010 年 3 月 4 日至 2010 年 10 月 29 日。(續)

參、 大氣沉降

將資料期間（2010 年 3 月 4 日至 2010 年 10 月 29 日）各樣站的大氣沉降資料加總，可得到 2010 年春季至秋季，共 239 天的不同海拔高度的大氣沉降量（表 3）。太魯閣國家公園管理處的累積降雨量為 1712 mm，海拔上升到 2164 m 的碧綠神木站，累積雨量反而降低，只有 1555 mm。研究期間合歡山管理站有最大的累積降雨量，達到 2595 mm。從 3 月到 6 月，降雨量其實是具有明顯的海拔梯度，從海拔 65 m 的太魯閣國家公園管理處，上升到 2164 m 的碧綠神木站，雨量從 338 mm 增加到 544 mm（圖 2）。這段區間的雨量增加率為 $9.8 \text{ mm } 100 \text{ m}^{-1}$ 。然而從碧綠神木上到海拔 2987 m 的合歡山管理站，雨量快速增加至 1385 mm，雨量的每百公尺增加率為 $102.2 \text{ mm } 100 \text{ m}^{-1}$ 。2010 年 7 月開始，海拔高度與雨量的關係變得相當複雜，以 2010 年 10 月份為例，海邊的太魯閣國家公園管理處有最高的降雨量，雨量反而隨海拔上升而遞減。

儘管太魯閣國家公園管理處的累積降雨量僅略高於碧綠神木站，但由於雨水中離子濃度相當高，所以除了 K^+ 之外，其餘各離子在低海拔區域的沉降量均遠高於中海拔區域（表 3）。另一方面，在高海拔山區由於累積降雨量很高，使得 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ 沉降量在合歡山管理站高於碧綠神木站。整體而言， Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 具有隨海拔高度上升而遞減的沉降量。

表 3：太魯閣國家公園不同海拔高度大氣沉降比較（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。資料時間為 2010 年 3 月 4 日至 2010 年 10 月 29 日。

Locaion	H_2O	H^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
	[mm]	[kg ha ⁻¹]								
TH	1712	0.07	34.12	17.37	32.51	18.97	3.24	3.75	3.08	13.77
BL	1555	0.03	6.00	4.78	6.19	0.36	1.63	4.71	0.54	1.12
HH	2595	0.04	3.60	9.14	10.46	0.33	4.06	0.87	0.37	0.52

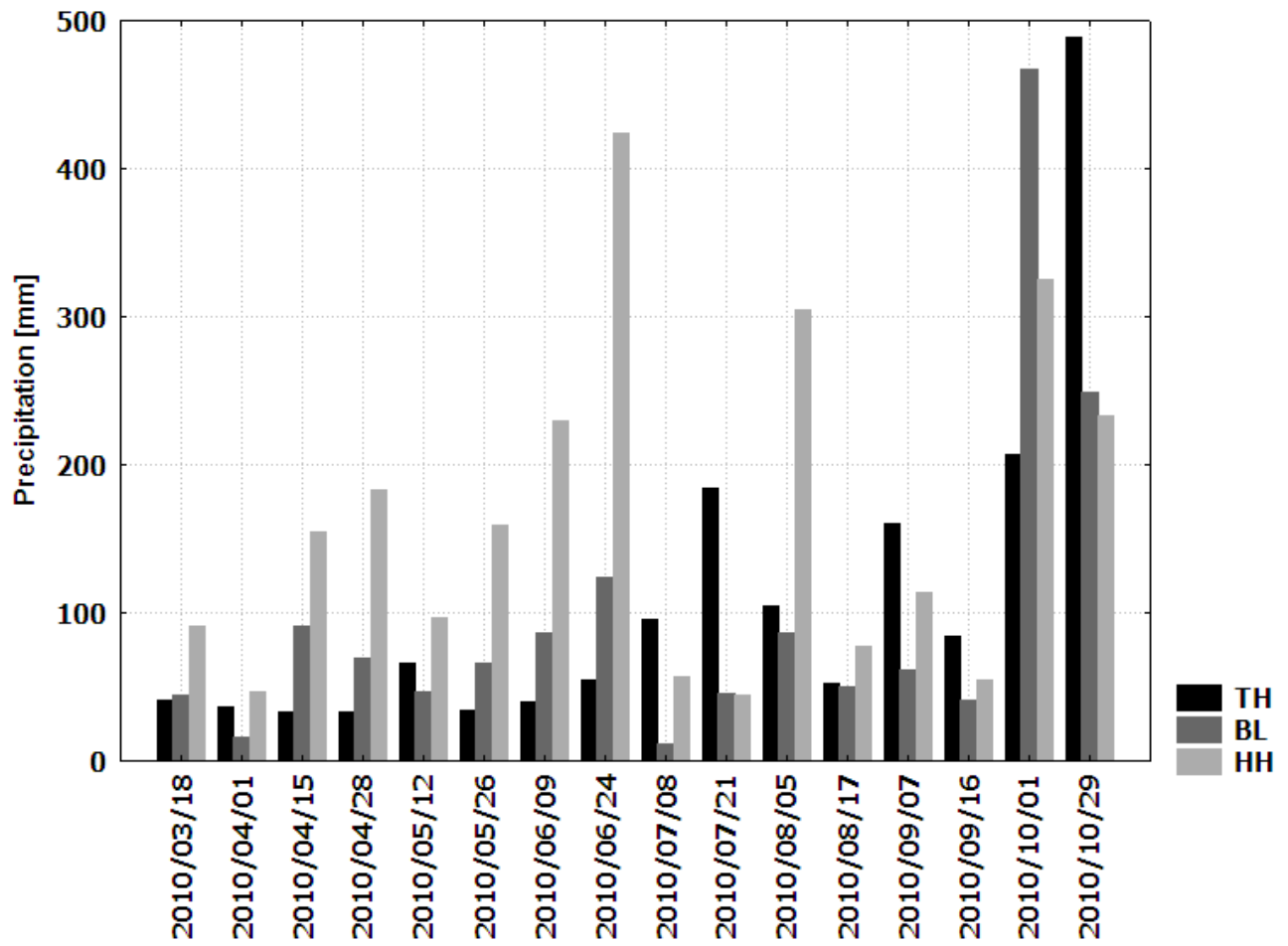


圖 4：太魯閣國家公園不同海拔高度的雨量季節變化（HH：合歡山管理站，BL：碧綠神木站，TH：太魯閣國家公園管理處）。

肆、 來源分析

為了增加合歡山管理站雨水化學來源分析的樣本數，本研究將 2009 年研究計畫的 13 個樣本併入本年度的 16 個樣本進行分析，共計 29 個雨水化學資料。從雨量站資料，共分離出 331 個降雨事件，經重要性的篩選之後，共計從中選出 100 個降雨事件來進行氣流軌跡分析。5 日氣流軌跡可以大致歸納成 3 類路徑（圖 5），分別為

A 類：海洋，包括太平洋和南海

B 類：菲律賓

C 類：日、韓、中國、中南半島

經歸納後，29 個雨水化學資料中，能清楚分辨其氣流來源的有 23 個。其中，分為 A 類軌跡有 10 個，B 類軌跡有 6 個，C 類軌跡有 7 個。將這 3 群雨水化學資料的各離子濃度以 Mann-Whitney U Test 測試，結果發現，除了 NO_3^- 在 A 類和 C 類軌跡之間存在顯著差異外，其餘所有的離子在 3 類軌跡之間都不存在差異。亦即，來自亞洲大陸以及日本、韓國的氣流，其所帶有的 NO_3^- 顯著高於來自海洋的氣流。

由於碧綠神木站的氣象站於 2010 年 10 月故障，故本研究只分析至 2010 年 9 月的資料。碧綠神木站的雲霧事件共計 123 個，經篩選後共計有 74 個籠罩時間較長的雲霧事件，用於進行氣流軌跡的分析。軌跡分析結果將霧水化學資料分成如上的 3 群（圖 6），其中 A 類軌跡有 4 個，B 類軌跡有 2 個，C 類軌跡有 8 個。將這 3 群霧水化學資料的各離子濃度以 Mann-Whitney U Test 測試，結果顯示來自亞洲大陸以及日本、韓國的氣流，比來自海洋的氣流帶有較高濃度的 NO_3^- 和 NH_4^+ 。

本研究以 HYSPLIT 模式來推估大氣化學物質的來源，存在著許多可能造成錯誤的因素。首先，本研究所收集的雨水和霧水都是 2 週收集一次的，混合了多個事件的樣本。如果這些降雨/雲霧事件來自不同的氣流軌跡類別，則化學分析的結果已經是混合了許多資訊而不易區分了。此外，本研究所分析的樣本數過低，造成統計分析上面的困難。在這樣的狀況下，分析結果所呈現的 NO_3^- 和 NH_4^+ 在海洋以及大陸來源的差異，僅具有粗略的參考價值。然而，以氣流軌跡來分析大氣化學物質來源，的確是一個可行的方法，值得進一步用於太魯閣國家公園的非生物因子環境分析。

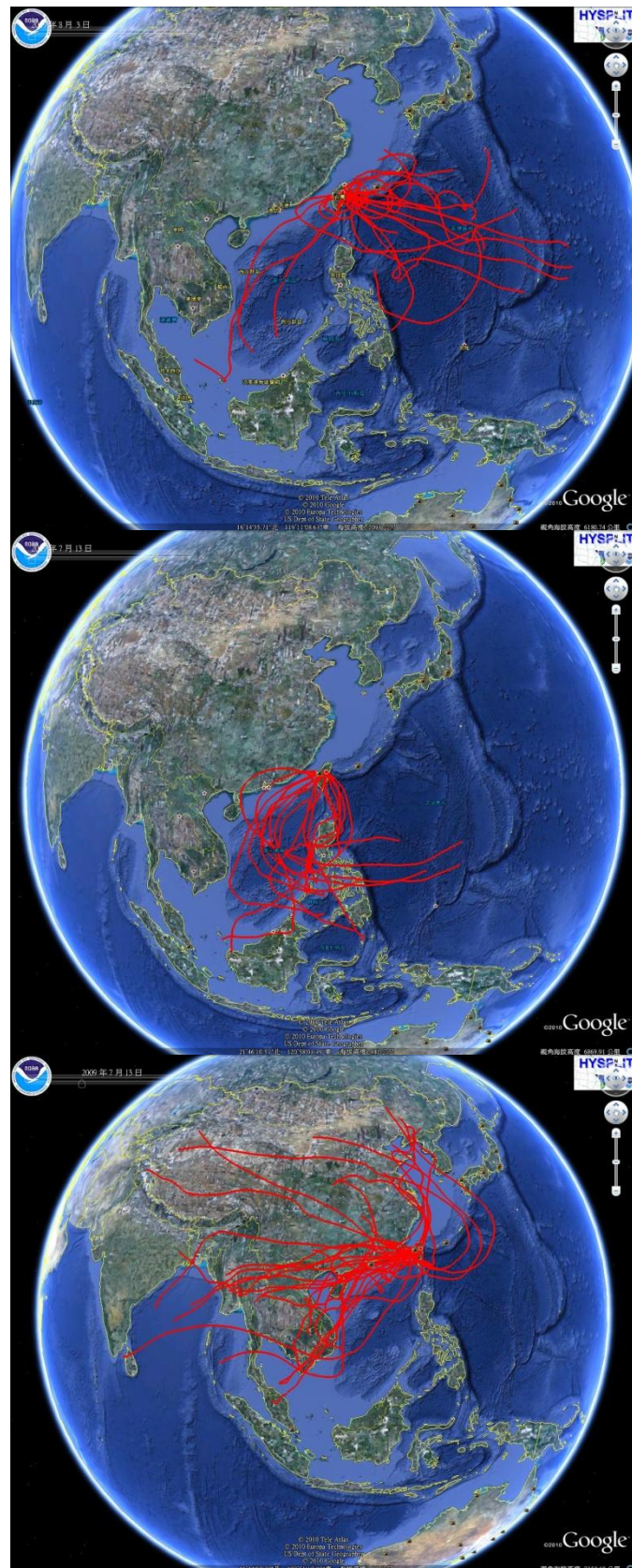


圖 5：以 HYSPLIT 模式所推估的合歡山管理站雨水 5 日氣流軌跡。2009 年 7 月至 2010 年 10 月降雨事件分為 3 類，分別為 A 類的海洋來源（上圖）、B 類的菲律賓來源（中圖）、以及 C 類的亞洲大陸來源（下圖）。



圖 6：以 HYSPLIT 模式所推估的碧綠神木站霧水 5 日氣流軌跡。2010 年 3 月至 2010 年 9 月雲霧事件分為 3 類，分別為 A 類的海洋來源（上圖）、B 類的菲律賓來源（中圖）、以及 C 類的亞洲大陸來源（下圖）。

第二節 霧分布的衛星影像分析

以 band 1 計算的反照率是否高於 0.3，來判斷雲霧的分布，是一個粗略判斷整體雲和霧覆蓋狀況的方法。2010 年 1 月 1 日至 10 月 31 日共計 304 天的 Terra 衛星影像顯示，每天早上 9:50 至 11:50 之間的太魯閣國家公園範圍，其雲霧覆蓋率介於 0-100%。304 天當中，有一半的日子此時的雲霧覆蓋率低於 32%，平均的覆蓋率為 43%（圖 7）。

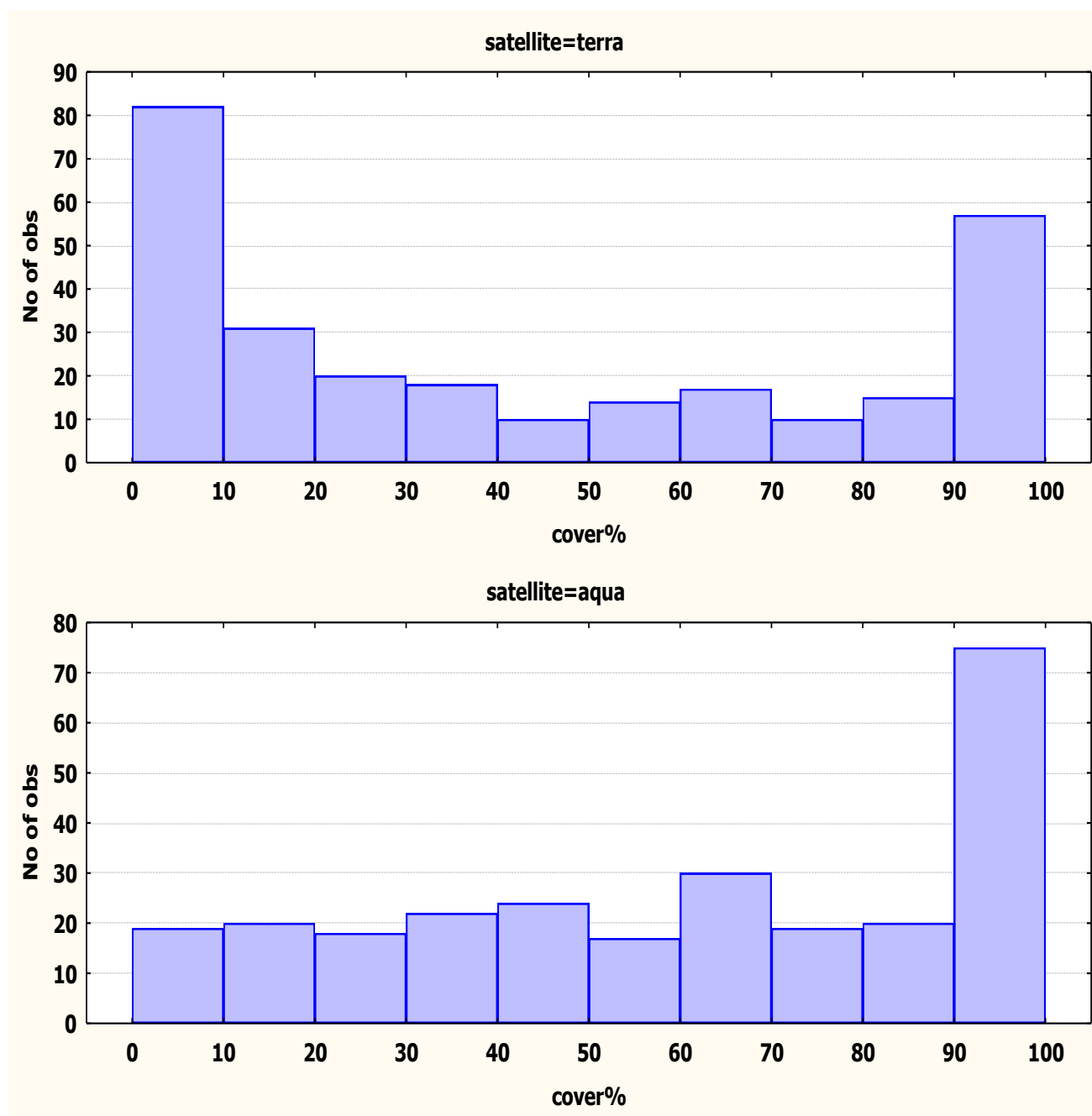


圖 7：太魯閣國家公園雲霧覆蓋率，上圖為 MODIS Terra 於上午 9:50-11:50 拍攝，下圖為 MODIS Aqua 於下午 12:00-14:00 拍攝。資料時間為 2010 年 1 月 1 日至 10 月 31 日。

當下午 12:00-14:00 之間 Aqua 衛星拍攝時，太魯閣國家公園的雲霧覆蓋率已有顯著的改變。雲霧覆蓋率高於 90% 的機會明顯增加，而覆蓋率小於 10% 的機會同時明顯地減少(圖 7)。304 天當中，有一半的日子此時的雲霧覆蓋率高於 64%，平均的覆蓋率為 61%。由雲霧整體覆蓋率的分析可知，太魯閣國家公園具有典型的山區雲霧覆蓋特性，每日的雲霧覆蓋隨著白天的時間逐漸增加。然而，由於 MODIS 衛星影像無法提供一天其他時段的衛星影像，因此若要更進一步地瞭解雲霧覆蓋的晝夜變化特性，未來應選擇其他地面同步衛星影像進行分析。

上述的雲霧整體覆蓋率，並未區分雲層的高低，亦即，覆蓋於國家公園上空而被計算的雲霧，可能為未與地表接觸的較高層雲種。為了區分高層的雲與低層雲，本研究嘗試利用 MODIS 衛星 band 31 所提供的紅外線光譜，並假設發射此紅外線的雲為黑體，利用黑體輻射公式粗估雲頂的溫度。求得溫度之後，再進一步利用氣溫海拔遞減率來推估雲頂海拔高度。若所得的海拔高度低於太魯閣國家公園的最高海拔，則此時的雲可視為接觸山坡某處地面的雲，此時的雲頂高度即為雲霧帶的上緣。經過計算，太魯閣國家公園範圍內雲頂溫度的範圍介於 -82.8 到 30.5 °C 之間。顯然低溫的部分有嚴重的低估，因為對流層頂的溫度約為 -55 °C 上下。

為了瞭解此方法所估算的雲頂溫度的誤差程度，本研究進一步利用 MODIS 所提供的雲頂溫度產品，以與黑體輻射方法計算的得值互相比較(表 4)。以 2010 年 1 月 1 日的資料為例，Terra 衛星影像 band 1 計算雲霧覆蓋度為 43.6%，此時花蓮氣象站地面溫度為 16 °C，溫度海拔遞減率為 0.6 °C 100 m⁻¹。以黑體輻射公式計算所得的雲頂溫度介於 -5.8 和 8.1 °C，而 MODIS 雲產品的雲頂溫度範圍為 -8.3 至 4.3 °C。以黑體輻射公式計算的溫度高估約 4 °C。因而，計算出來的雲頂高度約有 400 至 600 m 的誤差(圖 10，圖 11)。整體而言，以黑體輻射公式推估的雲頂高度，都較 MODIS 雲產品所估算的有數百公尺的誤差。顯然為了推估雲霧森林的範圍，以黑體輻射公式來推估並不恰當。未來應找尋更恰當的方法，以正確推估雲霧帶的範圍。

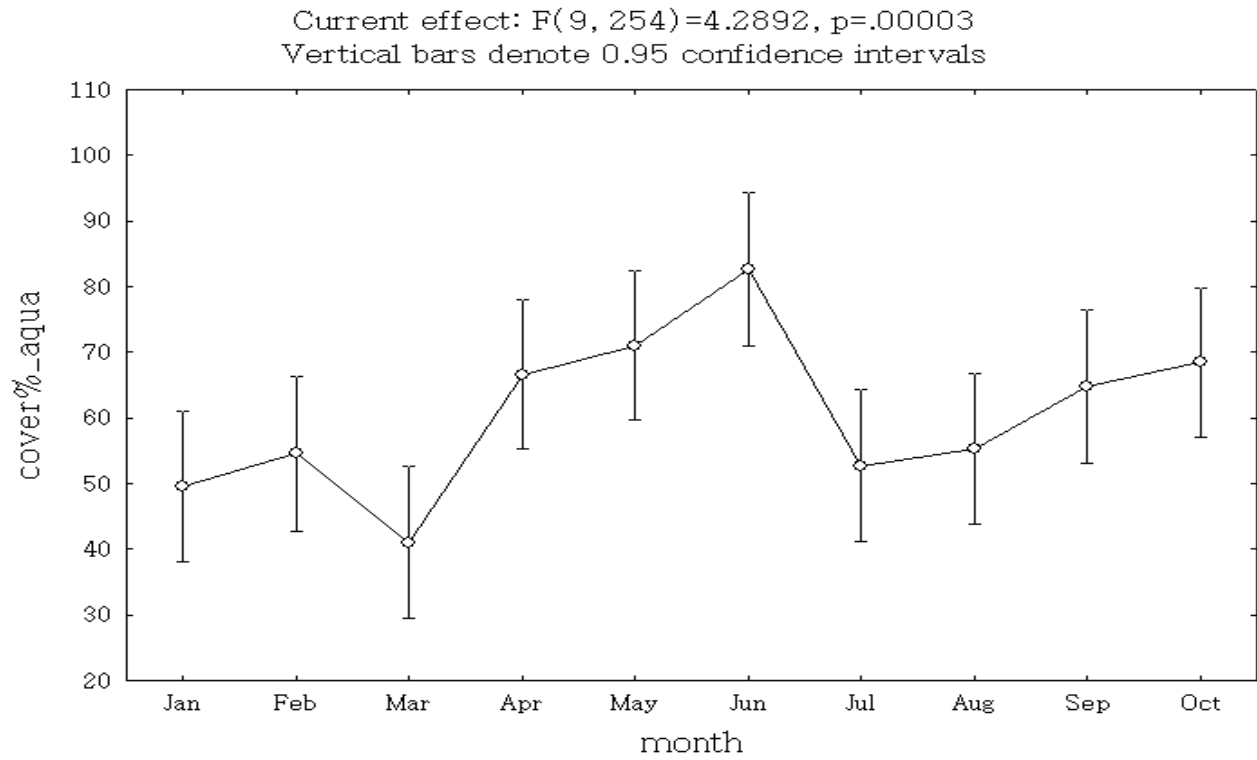


圖 8：由 Aqua 衛星資料計算出的雲霧覆蓋度在一年間的月變化

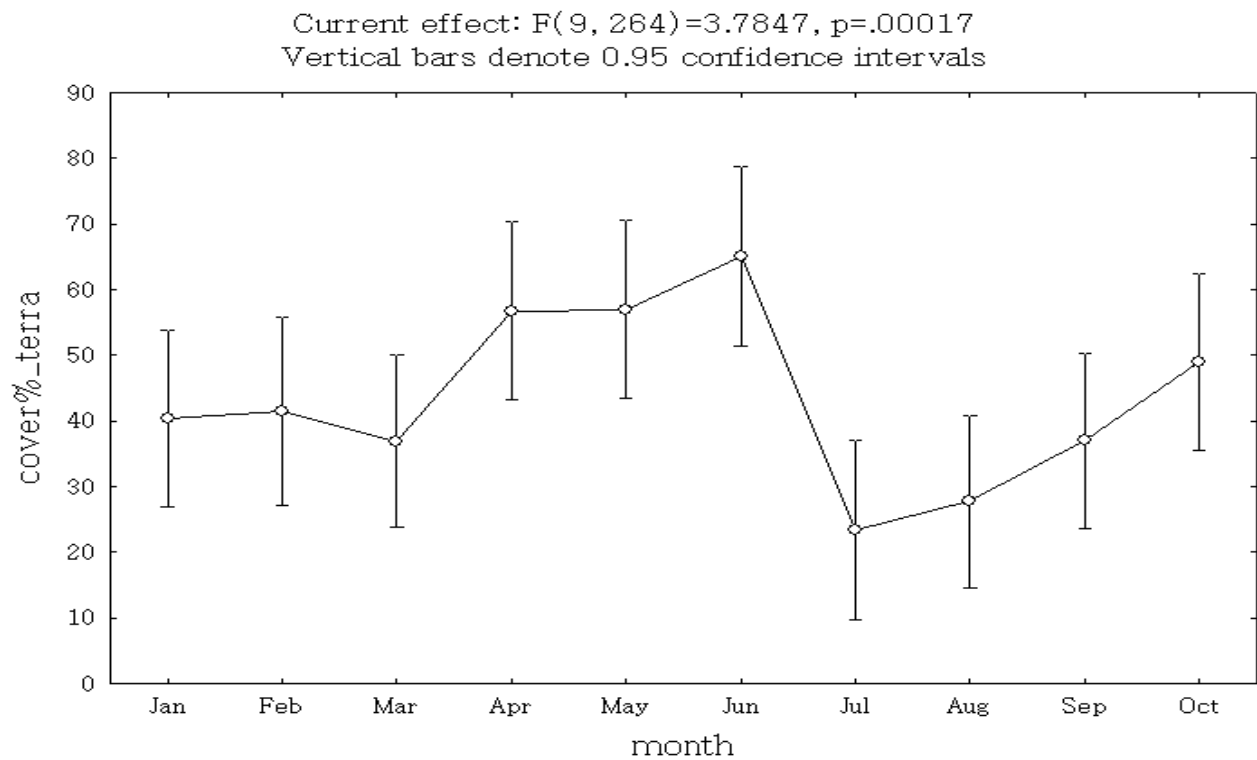


圖 9：由 Terra 衛星資料計算出的雲霧覆蓋度在一年間的月變化

表 4：以 MODIS 衛星影像分析的雲頂溫度，以及利用溫度海拔遞減率所計算的雲頂高度。「黑體」方法表示利用黑體輻射公式計算，「雲產品」表示利用 MODIS 提供的雲頂溫度直接計算。資料時間為 2010 年。

日期	時間	方法	雲霧覆蓋率	最低雲頂溫度	最高雲頂溫度	最低雲頂高度	最高雲頂高度	地表氣溫	溫度海拔遞減率
			[%]	[°C]	[°C]	[m]	[m]	[°C]	[°C 100 m ⁻¹]
1/1	1040	黑體	43.65	-5.8	8.1	1336	3647	16	0.6
		雲產品		-8.3	4.3	1971	4061		
1/10	1035	黑體	12.32	-4.1	11.2	1719	4267	21.4	0.6
		雲產品		-2	5.9	2598	3924		
1/13	1105	黑體	33.88	-5.2	5.7	1384	2939	15.3	0.7
		雲產品		-4.4	-0.1	2222	2837		
1/17	1040	黑體	28.36	-2.8	12.9	688	3300	16.9	0.6
		雲產品		-4.8	4	2173	3626		
1/29	1105	黑體	57.48	-1.1	9.1	1711	3421	19.3	0.6
		雲產品		-2.2	5.8	2266	3599		
2/2	1040	黑體	20.85	-3.4	14.3	1214	4161	21.5	0.6
		雲產品		-2.8	10.3	1891	4066		
2/4	1030	黑體	22.03	-3.3	15.7	949	3662	22.2	0.7
		雲產品		-1.3	11.7	1516	3380		
2/14	1105	黑體	13.79	-2.4	11.7	1873	4212	22.8	0.6
		雲產品		-3.5	15.5	1233	4394		
2/15	1010	黑體	54.77	-3.6	13.9	736	3647	18.2	0.6
		雲產品		-0.8	9.2	1516	3183		
2/20	1030	黑體	66.34	-12.3	10.3	1030	4798	16.4	0.6
		雲產品		-20.3	2.2	2384	6134		
2/27	1035	黑體	33.53	-8.6	16.8	1485	5724	25.6	0.6
		雲產品		-30.1	16.5	1536	9446		
2/28	1120	黑體	16.97	7.5	14.9	1463	2700	23.6	0.6
		雲產品		10.2	11.5	2038	2254		
3/4	1055	黑體	32.95	-7.3	15.3	1963	5731	27	0.6
		雲產品		-7.6	6.8	3383	5778		
3/10	1020	黑體	57.92	-7.2	9.7	325	2738	11.9	0.7
		雲產品		-5.2	5.6	912	2457		
3/11	1100	黑體	11.69	-4.7	10.3	1577	4586	18.1	0.5
		雲產品		-2.8	14.7	696	4204		
3/14	0955	黑體	18.08	0	14.6	2008	4934	24.6	0.5
		雲產品		4.1	20.5	842	4114		
3/21	1000	黑體	33.45	8.4	17.2	682	1779	22.5	0.8
		雲產品		9.5	14	1081	1644		
3/27	1100	黑體	26.59	1.8	11.8	1448	2869	21.8	0.7
		雲產品		-0.8	6.8	2160	3247		
3/29	1050	黑體	57.84	0.1	18.3	601	3198	22.4	0.7
		雲產品		-2.1	2	2925	3512		
3/31	1035	黑體	10.8	8.3	19.5	768	2624	24	0.6
		雲產品		4.3	17.5	1098	3306		
4/2	1025	黑體	64.86	-0.4	19.1	390	4288	21	0.5
		雲產品		3.3	12.6	1702	3552		
4/4	1010	黑體	20.89	-6.1	15.8	1563	5223	25.1	0.6
		雲產品		-8.9	17.6	1268	5689		
4/9	1030	黑體	31.22	7.9	19	1091	3865	23.3	0.4
		雲產品		7.6	13.4	2481	3948		
4/13	1005	黑體	54.34	-0.1	18.7	882	4628	23	0.5
		雲產品		1.2	13.1	2006	4386		
4/14	1050	黑體	34.11	-41	14.5	1417	10663	22.9	0.6
		雲產品		-42.3	7.5	2583	10886		

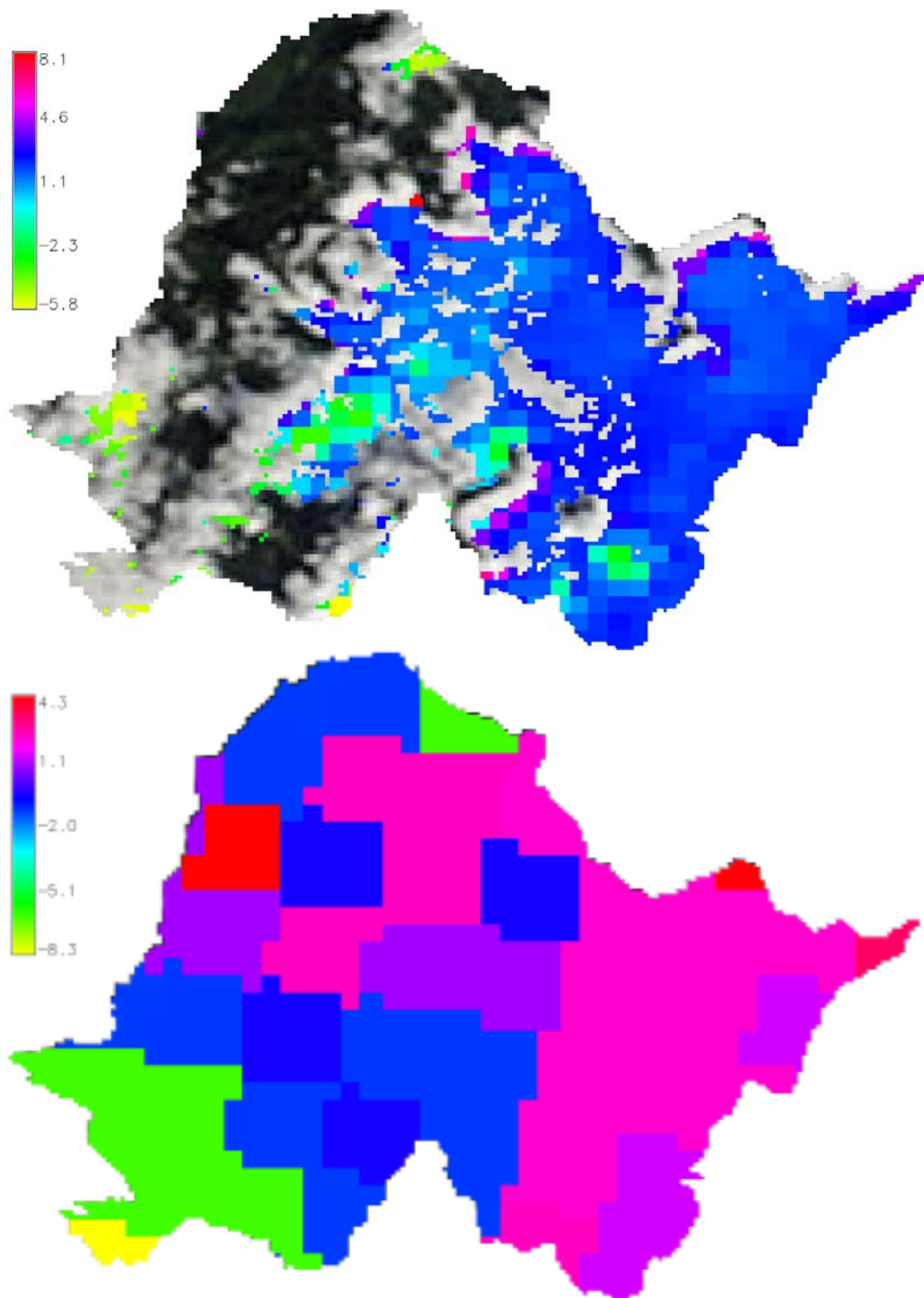


圖 10：2010 年 1 月 1 日 Terra 衛星 band 31 計算所得的雲頂溫度（上圖）。下圖則為 MODIS 雲產品所提供的雲頂溫度。刻度的單位為 $^{\circ}\text{C}$ 。

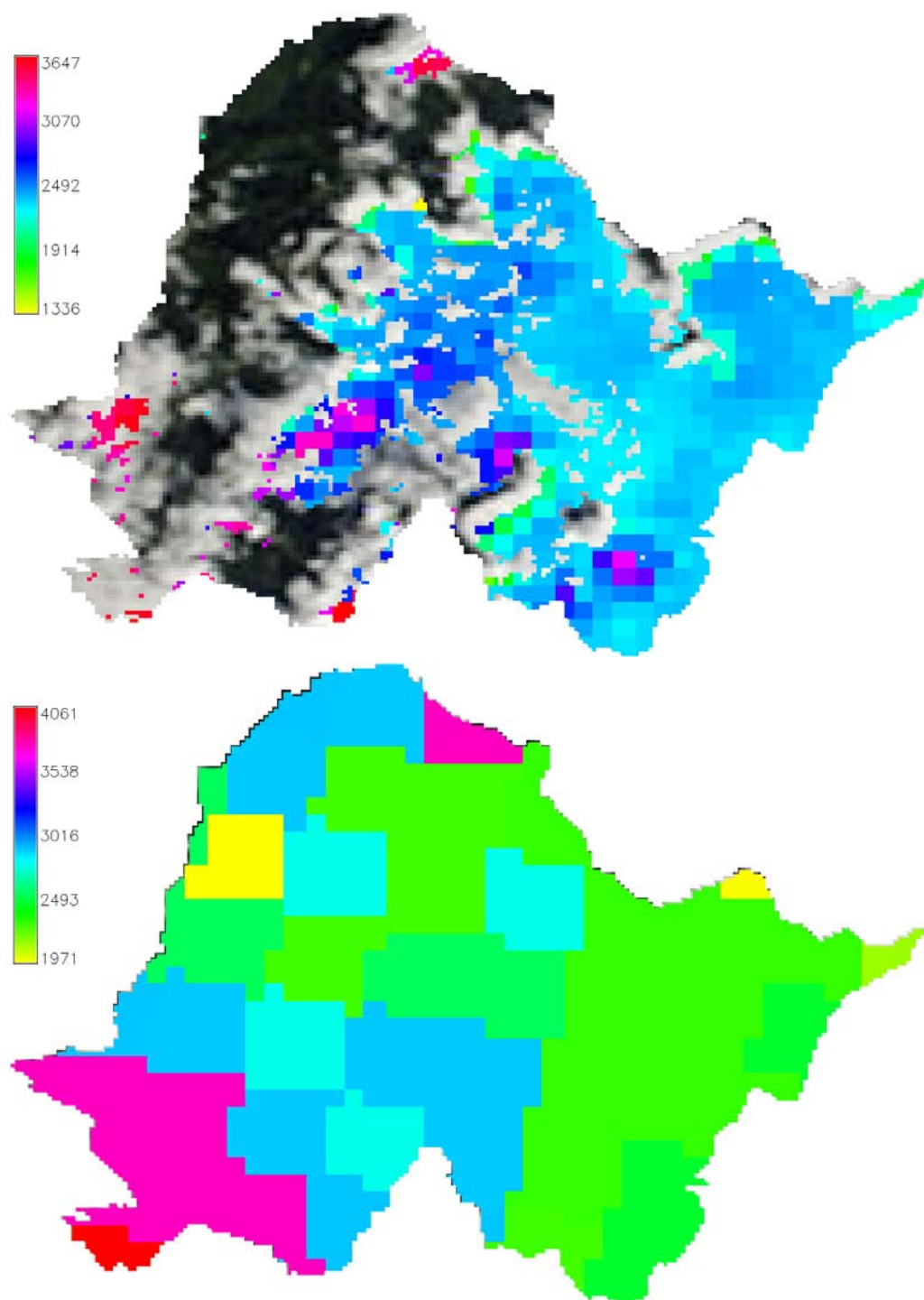


圖 11：2010 年 1 月 1 日 Terra 衛星 band 31 計算所得的雲頂溫度，再經氣溫海拔遞減率計算所得的雲頂高度（上圖）。下圖則由 MODIS 雲產品所提供的雲頂溫度計算的雲頂高度。刻度的單位為 m。

第五章 結論與建議

第一節 結論

太魯閣國家公園中海拔地區的雲霧化學組成中，主要的陰陽離子濃度均較雨水為高，而小粒徑雲霧顆粒的化學物質濃度也高於大顆粒雲霧。與文獻中其他靠近都會區的霧水相較，太魯閣山區的霧水應屬於較乾淨的類別。雨水化學物質濃度基本上隨著海拔上升而下降，太魯閣國家公園管理處的雨水受海洋及人類活動影響，大部分的離子濃度都高於其他樣站。以 HYSPLIT 模式分析雨水與霧水的 5 日氣流軌跡，顯示自亞洲大陸來的氣流，比來自海洋的氣流有較高的 NO_3^- 和 NH_4^+ 。

太魯閣國家公園的雲霧覆蓋率有顯著的「上午」-「下午」的變化，下午的覆蓋率較上午高約 20%。目前以 MODIS band 31 來估算黑體輻射溫度的方法，所估算出來的雲頂高度，較 MODIS 雲產品的估算值有數百公尺的誤差。本研究尚未能提出適用於太魯閣國家公園範圍的雲霧推估方法。

第二節 建議

雲霧森林是台灣也是太魯閣國家公園重要的生物多樣性保育熱點，本研究嘗試以衛星影像分析技術來偵測雲霧的分布，然而迄今仍未能提出有效的偵測方法。本研究建議太魯閣國家公園管理處能持續支持此科學問題的研究，以利保育工作的推動。

附錄 1：太魯閣國家公園 99 年度委託辦理「代表性生態系經營管理之霧林帶指標物種棲地問題計畫(二)」期中報告會議紀錄

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫 「代表性生態系經營管理之霧林帶指標物種棲地問題計畫(二)： 雲霧帶化學組成及時空分布調查」

期中簡報會議記錄

- 一、時間：99 年 6 月 29 日 上午 9 時 00 分
- 二、地點：本處會議室
- 三、主持人：游處長登良 記錄：朱何宗
- 四、報告人：張世杰教授
- 五、出席人員

張副處長登文	
許祕書英文	許英文
企劃經理課	殷上江
解說教育課	陳淑媛
遊憩服務課	林忠邦
環境維護課	
保育研究課	陳俊山, 朱何宗, 辜佩芳
天祥管理站	
布洛灣管理站	
合歡山管理站	李如軍
蘇花管理站	
	鍾成昆, 簡意婷

六、討論：

- (一) 受託單位已於會議當天提送期中報告書面資料 15 份，內容進度符合合約規定。
- (二) 一般而言霧水的離子濃度應該較雨水中還要高，但 5 月份於碧綠神木樣站的雨水 NO_3^- 含量異常升高的原因推測為樣區附近肥料施用所造成。
- (三) 類似的農耕活動或大氣循環（例如大陸沙塵暴）對研究分析的干擾是否需要排除，或者增加採樣的頻度。
- (四) 需視干擾的頻度與是否是常態性而定，雨水樣本的收集可考慮增加採樣點，但霧水收集則涉及氣象站位置，於本研究密集採樣不見得需要。
- (五) NO_3^- 與 NH_4^+ 的濃度與閃電或降雨型態是否有關？
- (六) 霧雨水化學成分受到氣流運動、環境因子等許多因素影響，期末時水化學分析將可與氣象因子、氣流軌跡合併分析討論。
- (七) 本調查資料可與其他研究區域（例如棲蘭山或其他文獻資料）共同分析比較，以釐清氣候變遷對霧林帶生態之影響，並補充相關保育建議。
- (八) 建議將本調查結果資料適度轉換成解說教育素材，以供基礎環境教育使用。

七、結論：

- (一) 與會人員相關意見請受託單位納入參考。
- (二) 本期中簡報審查通過，准予備查。請受託單位依合約規定備妥相關資料請領第二期款。

附錄 2：太魯閣國家公園 99 年度委託辦理「代表性生態系經營管理之霧林帶指標物種棲地問題計畫(二)」期末報告會議紀錄

太魯閣國家公園管理處 99 年度委託辦理計畫

「代表性生態系經營管理之霧林帶指標物種棲地問題計畫 (二)雲霧帶化學組成及時空分布調查」期末簡報會議記錄

一、時間：99 年 11 月 29 日 下午 15 時 30 分

二、地點：本處會議室

三、主持人：游處長登良

記錄：朱何宗

四、報告人：張世杰教授

五、出席人員

張副處長登文	
許祕書英文	許英文
企劃經理課	陳建生
解說教育課	黃孝強 陳顯琳
遊憩服務課	林忠邦
環境維護課	
保育研究課	陳俊山 朱何宗 李佩芳
天祥管理站	
布洛灣管理站	
合歡山管理站	
蘇花管理站	
	林展興

六、討論：

- (一) 受託單位已於會議前提送期末報告書面資料 15 份，內容進度符合合約規定。
- (二) 本調查結果顯示太魯閣中海拔地區的雲霧中攜帶的陰陽離子濃度均較雨水高，而小粒徑雲霧顆粒的化學物質濃度也高於大顆粒雲霧。
- (三) 太魯閣台地的雨水樣品受海洋及人類活動影響，大部分的離子濃度都高於碧綠及合歡山樣站。
- (四) 以 HYSPLIT 模式分析雨水與霧水的 5 日氣流軌跡，顯示來自亞洲大陸的氣流，比來自海洋的氣流有較高 NO_3^- 及 NH_4^+ 。
- (五) 雲霧的監測目前已有蓮花池及碧綠神木兩個固定站，未來可考慮沿海拔梯度增設自動能見度儀，以便自動監測紀錄雲霧動態。

七、結論：

- (一) 與會人員相關意見，請受託單位納入參考。
- (二) 期末報告撰寫格式請依內政部委託研究作業規定辦理。
- (三) 本期末簡報審查通過，准予備查。請受託單位依會議結論修正書面報告，俟完成驗收後，依合約規定備妥相關資料請領第三期款。

參考文獻

- Bendix, J., Thies, B., Nauß, T. & Cermak, J. (2006) A feasibility study of daytime fog and low stratus detection with TERRA/AQUA-MODIS over land. *Meteorological Applications*, **13**, 111-125.
- Cermak, J. & Bendix, J. (2007) Dynamical nighttime fog/low stratus detection based on meteosat SEVIRI data: A feasibility study. *Pure and Applied Geophysics*, **164**, 1179-1192.
- Cermak, J. & Bendix, J. (2008) A novel approach to fog/low stratus detection using Meteosat 8 data. *Atmospheric Research*, **87**, 279-292.
- Chang, S. C., Lai, I. L. & Wu, J. T. (2002) Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Atmospheric Research*, **64**, 159-167.
- Dawson, T. E. (1998) Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia*, **117**, 476-485.
- Elias, V., Tesar, M. & Buchtele, J. (1995) Occult precipitation: sampling, chemical analysis and process modelling in the Sumava Mts. (Czech Republic) and in the Taunus Mts. (Germany). *Journal of Hydrology*, **166**, 409-420.
- Neteler, M. & Mitasova, H. (2008) *Open source GIS - A GRASS GIS approach*. Springer.
- Weathers, K. C., Lovett, G. M., Likens, G. E. & Caraco, N. F. M. (2000) Cloudwater inputs of nitrogen to forest ecosystems in southern Chile: Forms, fluxes, and sources. *Ecosystems*, **3**, 590-595.

行政院內政部營建署 太魯閣國家公園

代表性生態系經營管理：霧林帶指標物種棲地問題計畫(二)

雲霧帶化學組成及時空分布調查

期末報告



張世杰

國立東華大學 自然資源與環境學系

研究緣起

在哪裡？

雲霧森林

(cloud forest)

雲霧帶 (cloud belt)

是誰？



具體目標

- ◆ 發展一個適合於太魯閣國家公園的霧分布區域判釋方法。
- ◆ 分析太魯閣國家公園霧的時空分布。
- ◆ 分析霧水化學組成的季節變化，並與雨水化學組成互相比較，以了解其背後的大氣化學狀態。

研究方法

- ◆ 霧水和雨水的收集與化學分析
- ◆ 雲霧分佈的衛星影像分析

研究方法：霧水和雨水的收集與分析

◆ 水樣種類

- 霧水：碧綠氣象站，大小粒徑各一
- 雨水：合歡山、碧綠、太管處各三

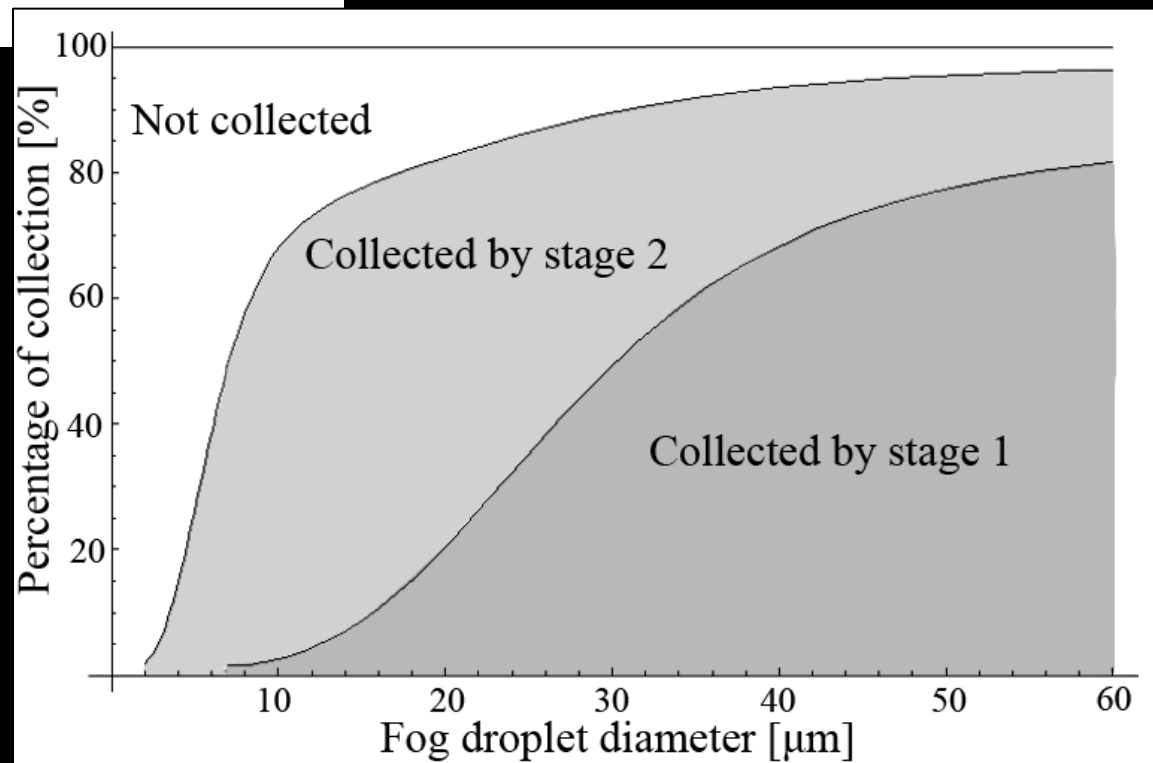
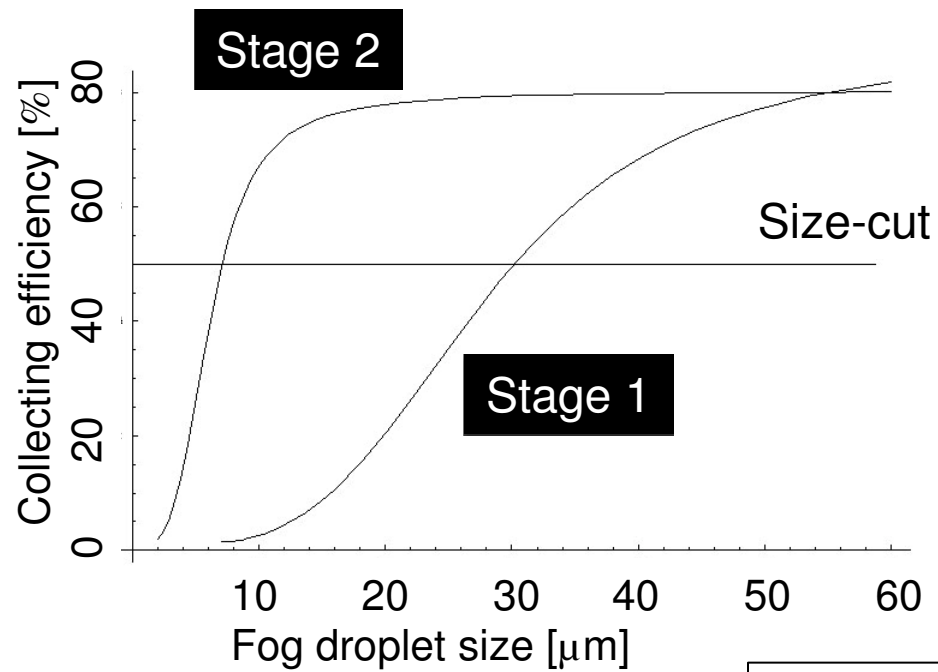
◆ 採樣頻率：2010年3月-12月，每14天

◆ 分析項目

- 水量
- 化學組成：pH、導電度、主要離子

主動式雲霧收集器





雲霧收集器架設於碧綠氣象站

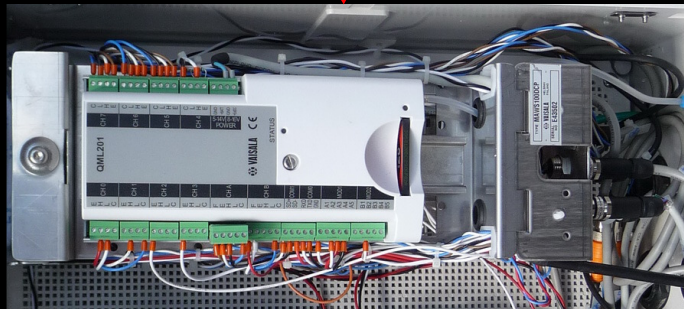


雲霧收集器自動控制

miniOFS Visibility sensor



active fog collector (AFC)



Vaisala Datalogger

Visibility
< 1000 m

F

AFC off

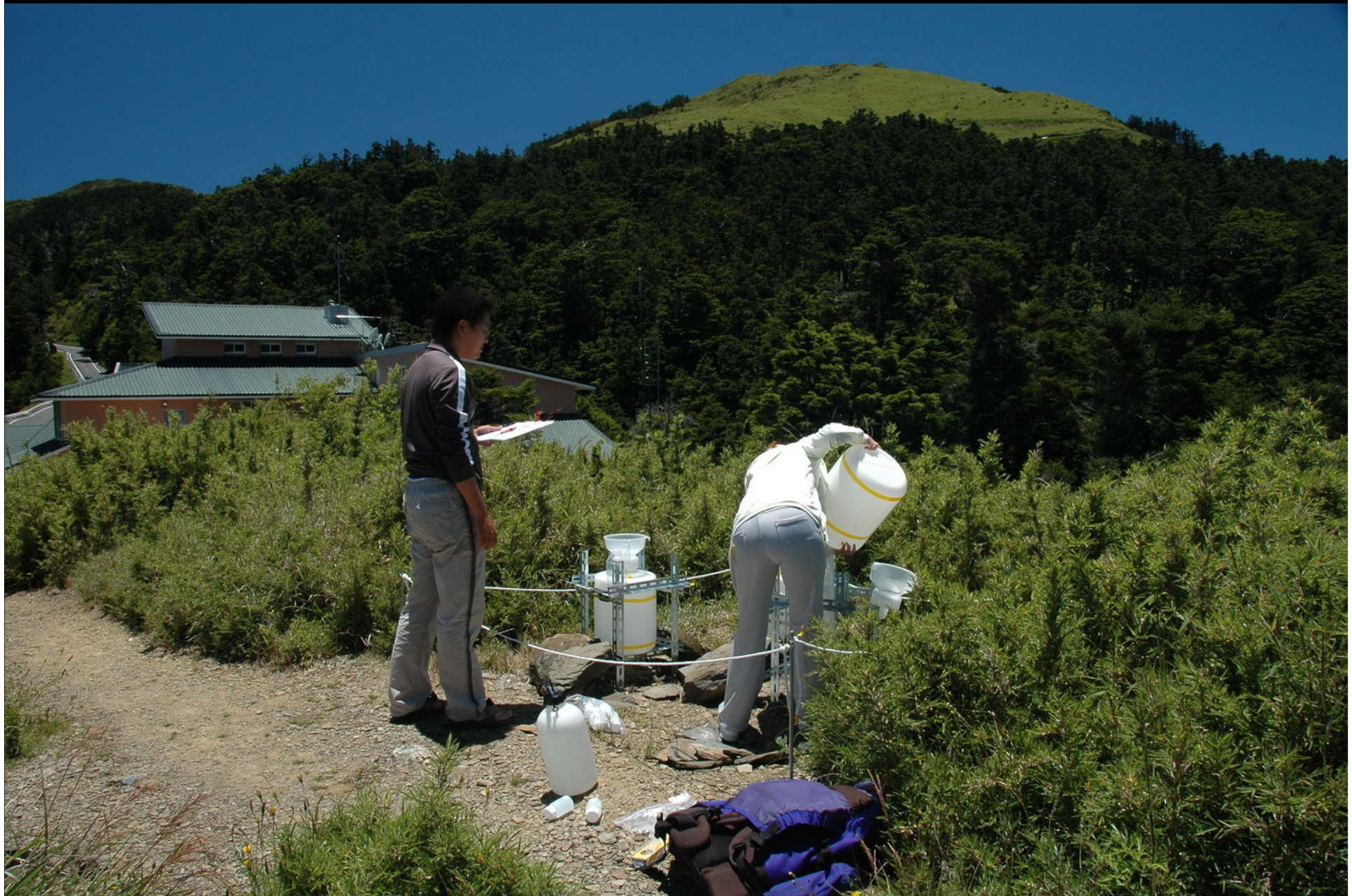
T

AFC on

雨水收集器



雨水收集器－合歡山站



雨水收集器－碧綠氣象站



雨水收集器－太管處遊客中心



2010/03/04 – 2010/05/27



2010/05/27：變更位置



研究方法: 雲霧分佈的衛星影像分析

- ◆ 衛星影像：MODIS Terra, MODIS Aqua
- ◆ 分析樣品：2010年1月1日起，每天分析一次
- ◆ 使用軟體：GRASS GIS
- ◆ 雲霧判斷條件：

研究結果

霧水化學組成

Sampling date	Size	Conductivity	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		[μS cm ⁻¹]		[mg l ⁻¹]							
2010/03/18	L	40	5.34	0.68	6.91	5.82	0.52	3.59	0.55	0.10	0.49
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/04/01	L	23	5.60	0.29	3.79	3.17	0.19	1.42	0.29	0.10	0.48
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/04/15	L	48	4.46	0.44	6.66	4.02	0.24	1.77	0.45	0.13	0.54
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/04/28	L	25	5.08	0.26	2.96	3.33	0.08	1.25	0.21	0.05	0.22
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/05/12	L	37	5.48	0.74	6.12	5.87	0.36	2.38	0.25	0.18	1.11
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/05/26	L	52	5.31	0.62	8.93	8.00	0.36	3.17	0.31	0.20	1.89
	S	41	6.02	0.68	3.15	6.22	0.40	1.20	0.73	0.27	3.23
2010/06/09	L	50	7.38	0.47	3.53	2.78	0.48	1.77	0.39	0.14	0.67
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/06/24	L	22	6.11	0.45	2.40	1.94	0.23	1.45	0.45	0.09	0.63
	S	50	6.74	0.82	4.25	3.34	0.21	0.55	0.79	0.53	6.24
2010/07/08	L	16	5.93	0.47	2.01	1.75	0.12	1.07	0.47	0.06	0.06
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/07/21	L	25	5.92	0.84	2.60	2.80	0.64	1.08	0.68	0.15	0.77
	S	41	6.23	0.91	3.29	4.12	0.44	0.57	0.87	0.33	4.21
2010/08/05	L	13	5.63	0.43	1.12	1.51	0.18	0.02	0.31	0.06	0.40
	S	12	6.04	0.40	0.10	1.00	0.13	0.03	0.06	0.15	1.17
2010/08/17	L	19	5.78	0.57	2.01	2.73	0.33	0.69	0.42	0.11	1.04
	S	147	6.56	4.11	19.07	12.33	1.32	0.70	1.53	1.67	17.20
2010/09/07	L	28	5.29	0.69	2.66	3.28	0.41	0.31	0.32	0.10	0.64
	S	158	6.54	4.05	15.03	26.94	2.31	1.20	3.53	1.28	14.93
2010/09/16	L	17	5.69	0.78	2.41	1.40	0.49	0.38	0.66	0.10	0.39
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2010/10/29	L	20	5.60	0.82	0.03	2.88	0.48	0.01	1.70	0.32	0.86
	S	174	6.63	6.95	1.13	40.30	2.25	0.03	3.91	2.51	18.78

霧水與雨水離子濃度比較

Sampling date	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
2010/03/18	2.9	4.1	3.9	22.9	4.0	2.5	3.7	11.2
2010/04/01	0.9	2.0	2.1	1.0	2.4	0.9	1.4	1.2
2010/04/15	2.4	4.9	3.5	7.1	4.5	2.2	2.3	2.8
2010/04/28	1.3	2.9	2.8	8.4	7.2	2.1	1.5	1.0
2010/05/12	3.9	0.2	7.2	21.5	189.4	2.2	5.2	5.6
2010/05/26	6.0	0.3	20.8	39.4	298.3	3.8	9.6	101.4

雨水化學組成

Sampling date	Location	Conductivity	pH	C ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		[$\mu\text{S cm}^{-1}$]		[mg l ⁻¹]							
2010/03/18	HH	17	4.98	0.19	1.35	1.37	0.01	0.90	0.16	0.02	0.02
	BL	14	6.12	0.23	1.67	1.48	0.02	0.89	0.22	0.03	0.04
	TH	42	5.70	4.96	3.39	4.09	3.27	1.02	0.30	0.37	1.40
2010/04/01	HH	10	5.88	0.16	0.86	0.74	0.26	0.58	0.10	0.02	0.01
	BL	15	5.84	0.33	1.91	1.53	0.19	0.60	0.34	0.07	0.38
	TH	57	5.73	7.43	4.26	7.18	4.39	0.75	0.33	0.63	2.85
2010/04/15	HH	12	5.18	0.14	1.07	1.06	0.01	0.68	0.12	0.03	0.02
	BL	15	5.07	0.19	1.35	1.15	0.03	0.39	0.21	0.05	0.19
	TH	44	5.62	3.32	6.70	5.47	2.39	1.30	0.40	0.45	3.10
2010/04/28	HH	8	5.36	0.14	0.71	0.96	0.01	0.39	0.03	0.01	0.05
	BL	10	5.41	0.19	1.02	1.18	0.01	0.17	0.10	0.04	0.22
	TH	45	6.17	4.87	3.69	6.57	2.90	0.88	0.21	0.42	2.37
2010/05/12	HH	7	5.89	0.13	0.83	0.77	0.01	0.36	0.04	0.01	0.02
	BL	6	5.64	0.19	0.32	0.82	0.02	0.01	0.11	0.03	0.20
	TH	26	4.85	1.09	2.20	3.72	0.69	0.25	0.07	0.17	1.31
2010/05/26	HH	3	6.06	0.08	0.25	0.29	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01
	BL	4	6.19	0.10	0.05	0.38	0.01	0.01	0.08	0.02	0.02
	TH	24	5.26	0.86	2.27	3.76	0.88	0.19	0.11	0.19	1.65
2010/06/09	HH	2	5.84	0.19	0.26	0.28	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00
	BL	2	5.94	0.20	0.19	0.32	0.01	0.04	0.01	0.00	0.01
	TH	39	4.73	1.88	3.57	3.84	1.43	0.21	0.07	0.26	2.01
2010/06/24	HH	2	6.26	0.18	0.27	0.26	0.00	0.09	0.00	0.02	0.00
	BL	3	6.11	0.20	0.26	0.32	0.01	0.11	0.02	0.03	0.01
	TH	13	5.64	0.52	1.57	1.61	0.25	0.06	0.04	0.10	0.95
2010/07/08	HH	3	5.53	0.21	0.22	0.26	0.01	0.00	0.01	0.02	0.05
	BL	5	6.08	0.33	0.19	0.33	0.11	0.07	0.20	0.04	0.11
	TH	7	6.17	0.44	0.51	0.76	0.18	0.03	0.03	0.07	0.38
2010/07/21	HH	5	6.56	0.22	0.50	0.48	0.01	0.21	0.01	0.03	0.06
	BL	5	6.05	0.25	0.33	0.56	0.05	0.18	0.08	0.04	0.17
	TH	8	5.99	0.44	0.71	0.87	0.20	0.11	0.03	0.06	0.32

2010年3-10月大氣沉降

Loc.	H ₂ O	H ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	[mm]	[kg ha ⁻¹]								
TH	1712	0.07	34.12	17.37	32.51	18.97	3.24	3.75	3.08	13.77
BL	1555	0.03	6.00	4.78	6.19	0.36	1.63	4.71	0.54	1.12
HH	2595	0.04	3.60	9.14	10.46	0.33	4.06	0.87	0.37	0.52

霧水和雨水化學組成來源分析

The ARL logo consists of the letters 'ARL' in a bold, blue, sans-serif font.

Air Resources Laboratory

Conducting research and development in the fields of air quality, atmospheric dispersion, and climate

[ARL Home](#) > [READY](#) > [Transport & Dispersion Modeling](#) > [HYSPLIT](#) > [HYSPLIT Trajectory Model](#)

HYSPLIT Trajectory Model

- ▶ [Compute *forecast* trajectories](#)
- ▶ [Compute *archive* trajectories](#)
- ▶ [Retrieve Previous model results](#)
- ▶ [Current pre-computed U.S. trajectory forecasts](#)
- ▶ [Trajectory optimization for balloon flights](#)
- ▶ [Return to main HYSPLIT page](#)

Publications using HYSPLIT results, maps or other READY products provided by NOAA ARL are requested to include an acknowledgement of, NOAA Air Resources Laboratory. Appropriate versions of the following are recommended:

Citation

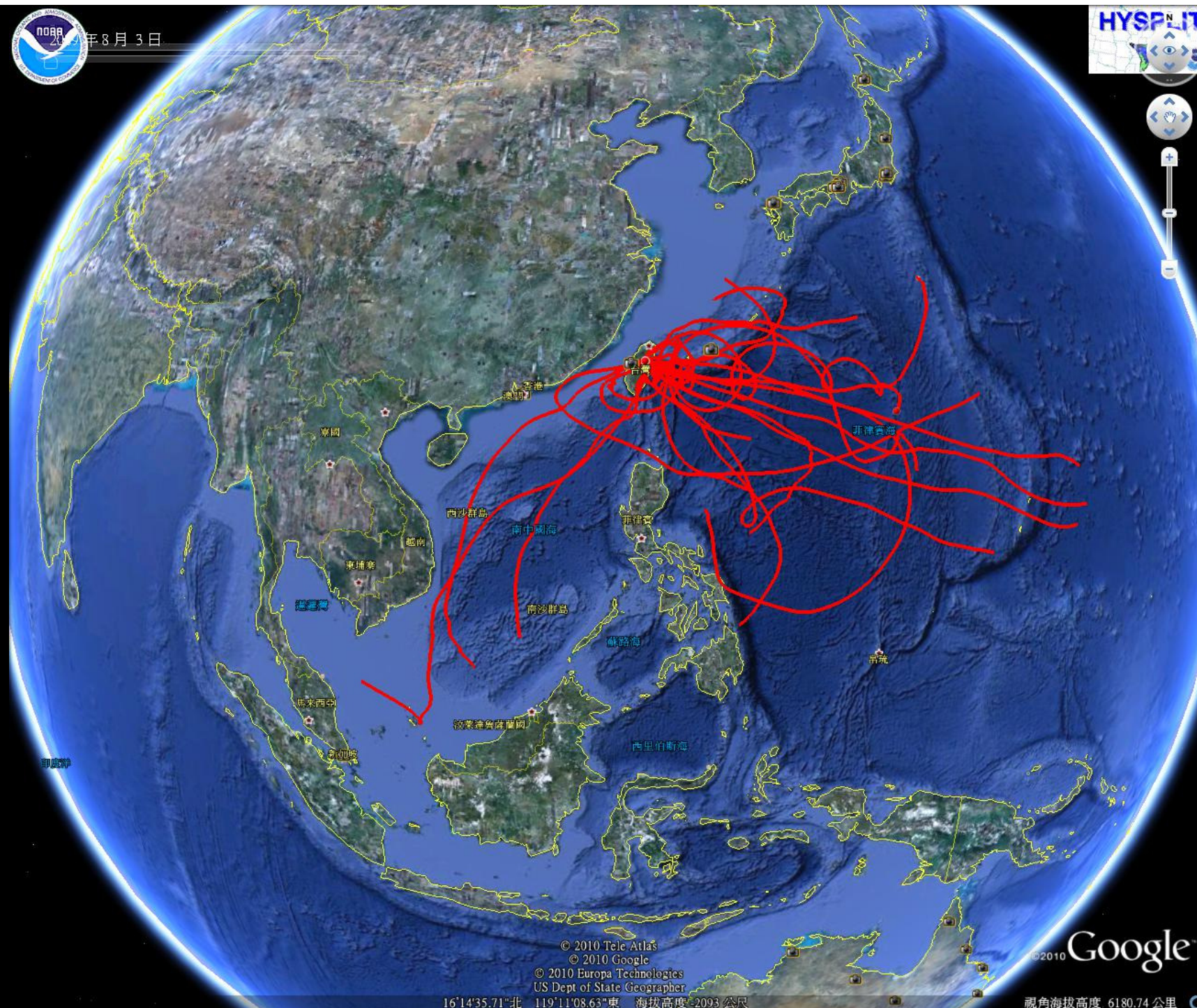
Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2010. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY V (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

Rolph, G.D., 2010. Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://ready.arl.noaa.gov>). NOAA Air Resource. Spring, MD.

Acknowledgment



2010年8月3日



© 2010 Tele Atlas
© 2010 Google
© 2010 Europa Technologies
US Dept of State Geographer

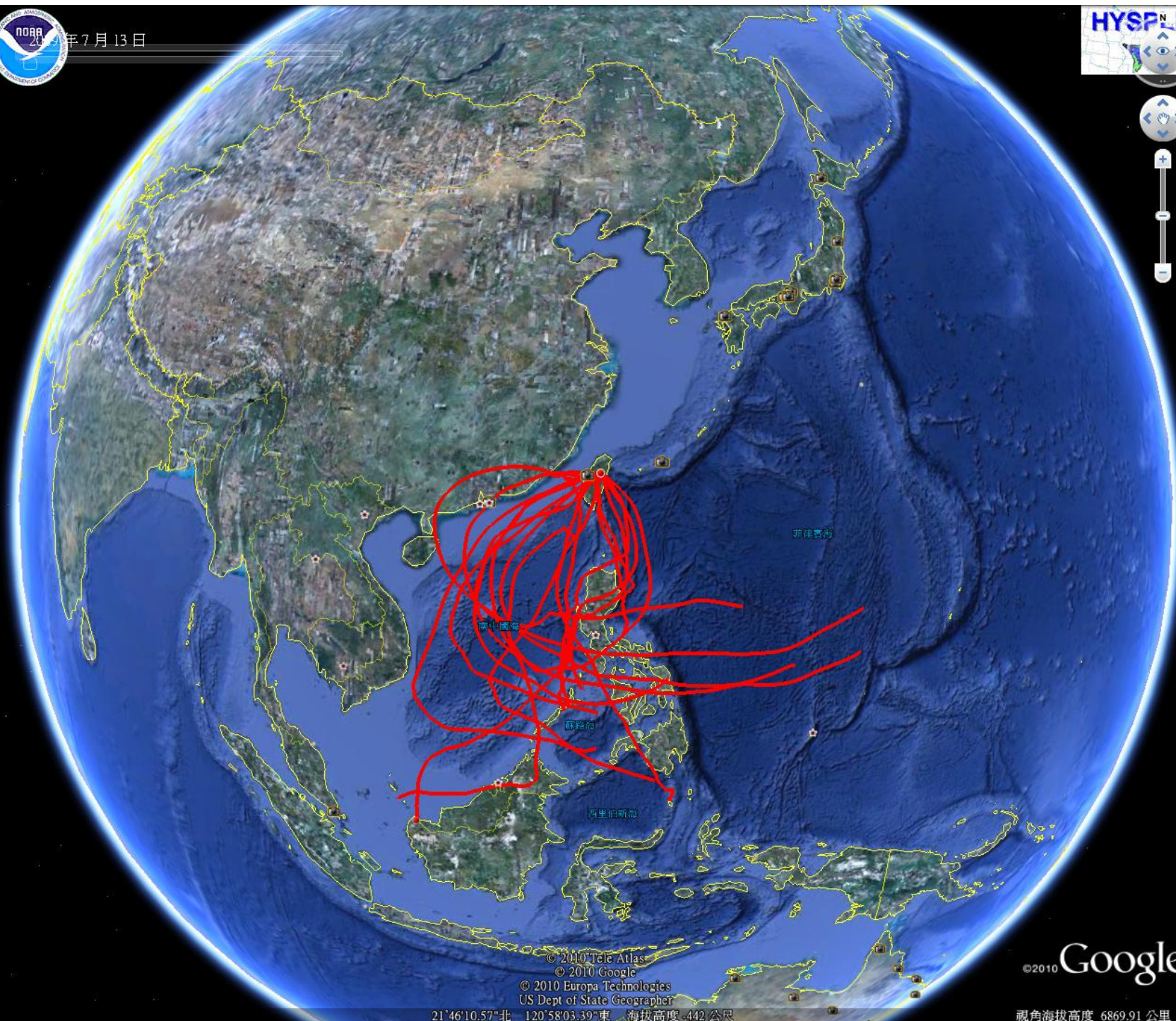
Google

16°14'35.71"北 119°11'08.63"東 海拔高度-2093 公尺

視角海拔高度 6180.74 公里



2010年7月13日



© 2010 Tele Atlas

© 2010 Google

© 2010 Europa Technologies

US Dept of State Geographer

21°46'10.57"北 120°58'03.39"東 海拔高度 442 公尺

©2010 Google

視角海拔高度 6869.91 公里



2009 年 7 月 13 日



較高的 NH_4^+ ,
 NO_3^-

© 2010 Tele Atlas
© 2010 Europa Technologies
US Dept of State Geographer
© 2010 Google

©2010 Google

16°14'50.39"北 107°51'12.97"東 海拔高度 10 公尺

視角海拔高度 7358.60 公里

霧分布的衛星影像分析

衛星影像取得

下載MODIS衛星影像、擷取所需分析範圍

雲霧判定

以band 1計算反照率 (albedo) 、判定雲霧範圍

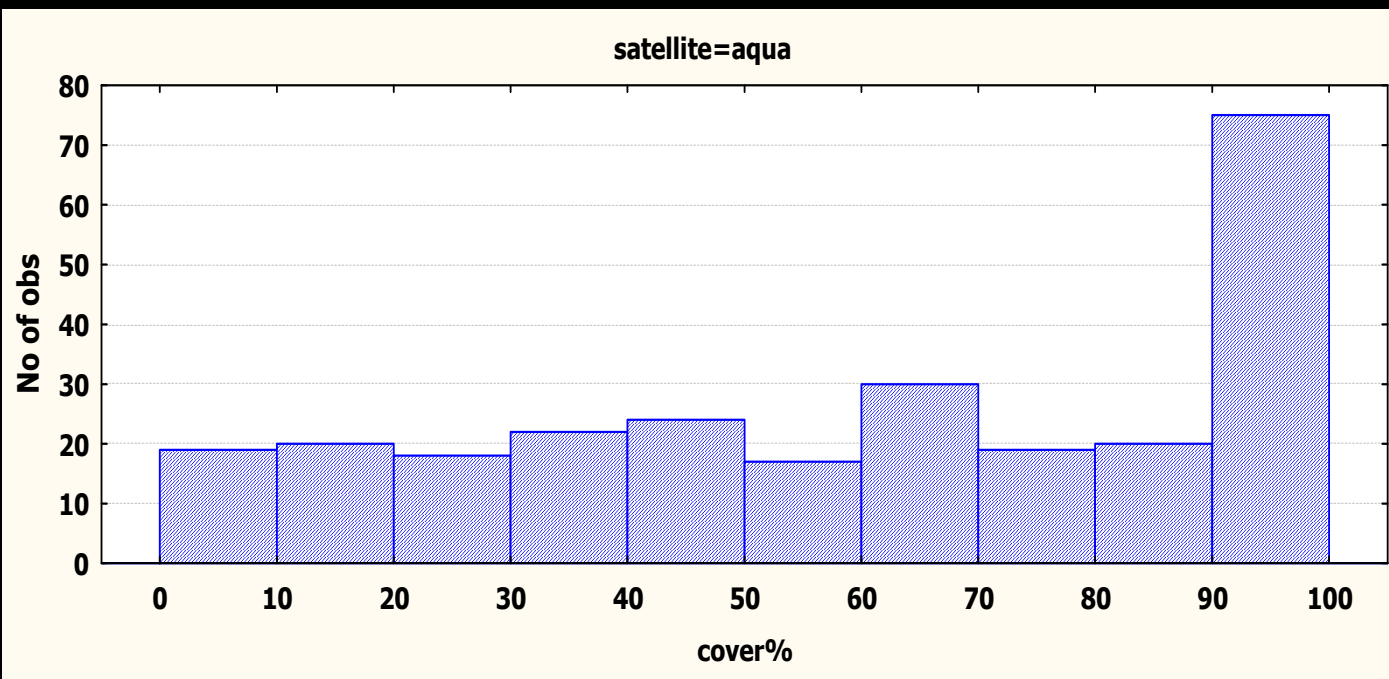
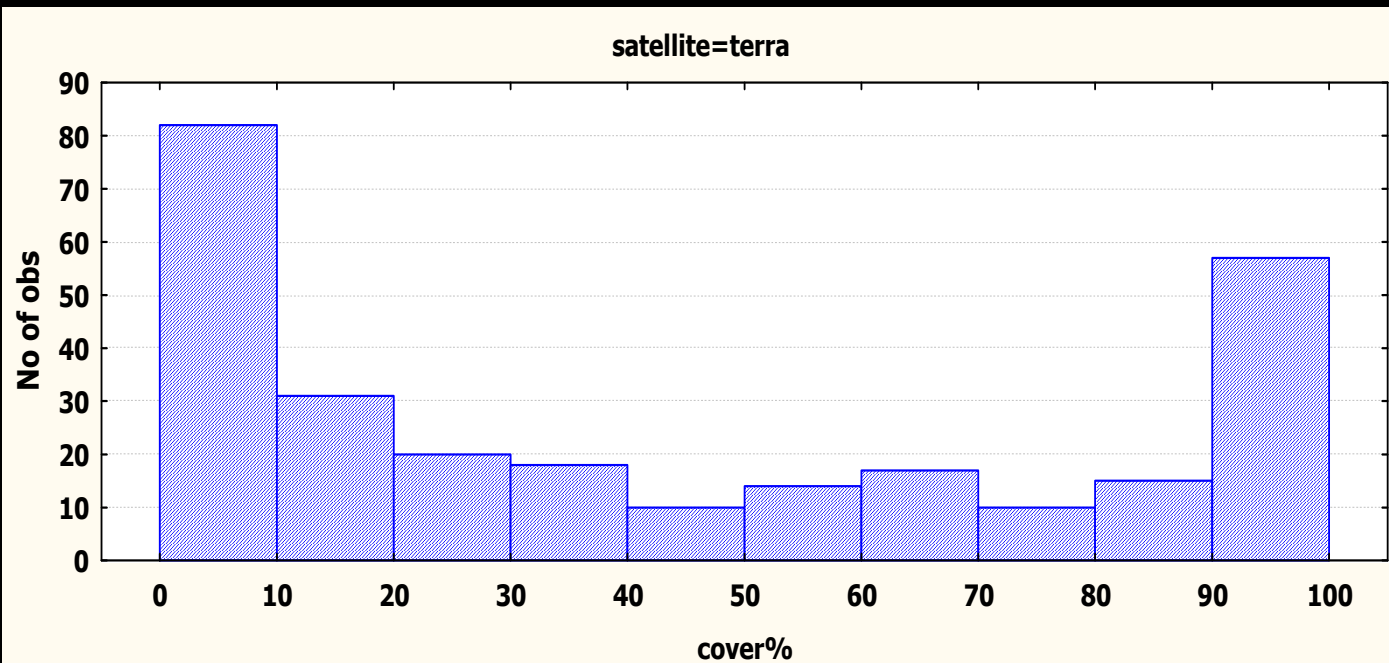
推估雲頂溫度

以band 31計算雲頂溫度

推估雲頂高度

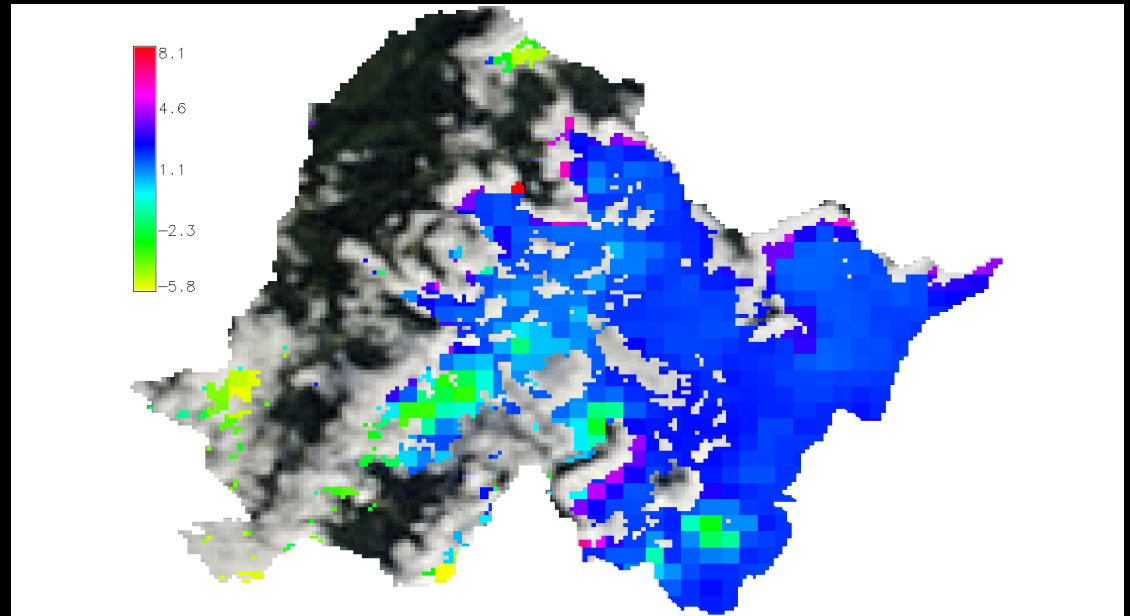
以探空資料之氣溫海拔遞減率計算

雲霧覆蓋度

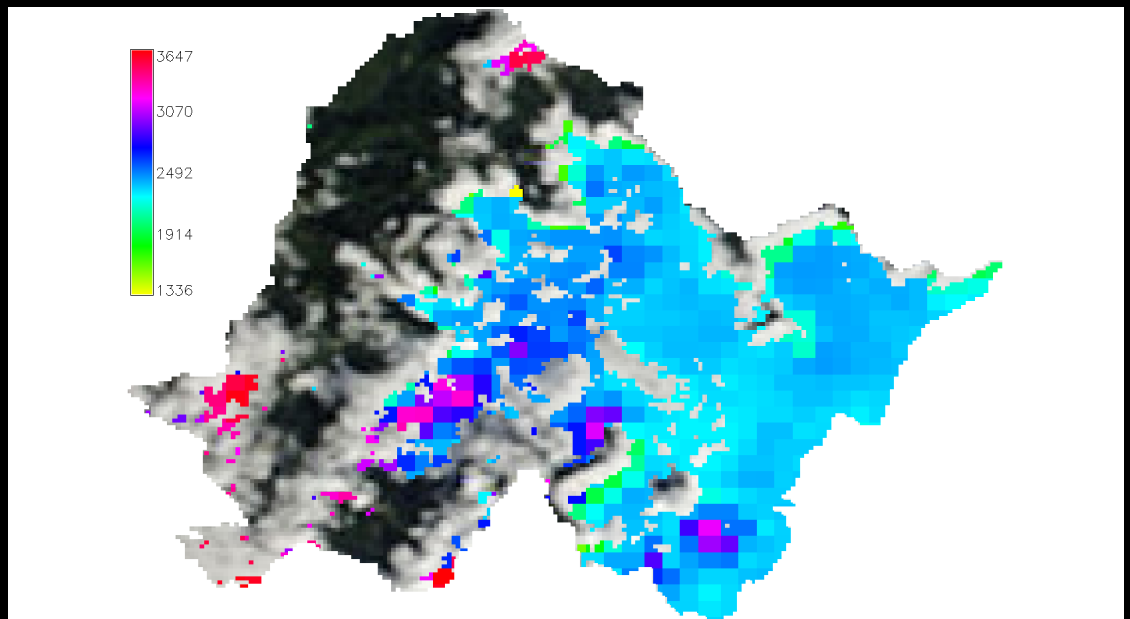


衛星影像分析：2010/01/01

Band 31 ->
雲頂溫度



氣溫海拔遞減率 ->
雲頂高度



日期	時間	方法	雲霧覆蓋率	最低雲頂溫度	最高雲頂溫度	最低雲頂高度	最高雲頂高度	地表氣溫	溫度海拔遞減率
			[%]	[°C]	[°C]	[m]	[m]	[°C]	[°C 100 m ⁻¹]
1/1	1040	黑體	43.65	-5.8	8.1	1336	3647	16	0.6
		雲產品		-8.3	4.3	1971	4061		
1/10	1035	黑體	12.32	-4.1	11.2	1719	4267	21.4	0.6
		雲產品		-2	5.9	2598	3924		
1/13	1105	黑體	33.88	-5.2	5.7	1384	2939	15.3	0.7
		雲產品		-4.4	-0.1	2222	2837		
1/17	1040	黑體	28.36	-2.8	12.9	688	3300	16.9	0.6
		雲產品		-4.8	4	2173	3626		
1/29	1105	黑體	57.48	-1.1	9.1	1711	3421	19.3	0.6
		雲產品		-2.2	5.8	2266	3599		
2/2	1040	黑體	20.85	-3.4	14.3	1214	4161	21.5	0.6
		雲產品		-2.8	10.3	1891	4066		
2/4	1030	黑體	22.03	-3.3	15.7	949	3662	22.2	0.7
		雲產品		-1.3	11.7	1516	3380		
2/14	1105	黑體	13.79	-2.4	11.7	1873	4212	22.8	0.6
		雲產品		-3.5	15.5	1233	4394		

結論

- ◆ 雲霧化學組成與文獻中靠近都會區雲霧化學相較，屬於較乾淨的霧水
- ◆ 雨水隨海拔上升，其主要離子濃度逐漸下降
- ◆ HYSPLIT氣流軌跡，來自亞洲大陸的氣流帶給太魯閣山區雨水與霧水較多的 NO_3^- 和 NH_4^+
- ◆ 黑體輻射公式推估雲頂溫度，並進而推估雲頂高度的方法，與MODIS雲產品的數具有數百公尺的誤差
- ◆ 衛星影像是分析霧分布的可用工具，應持續發展適合台灣山區的分析模式。

簡報完畢，敬請指教