

## [ 研究新領域報導 ]

## 鹿林山大氣背景站建置與研究展望

中央大學大氣物理所 林能暉

## 一、背景說明

亞洲地區近年來過度開發與經濟快速發展，衍生跨區域環境問題日益嚴重，尤以區域大氣污染物（包含酸雨、亞洲沙塵、生質燃燒、大氣汞等）長程輸送的議題，近年來更成為國際焦點與研究重點，其影響除了空氣品質受到衝擊外，大量排放的氣膠污染物對於區域環境與氣候的衝擊甚劇[1,2]。台灣位處亞洲大陸污染物進入太平洋區域之關口，上述大氣污染物傳送路徑下風處，並面對中國此世界最大污染源，極適於監測並評估其對全球、區域與台灣環境及區域氣候之影響。

環保署雖在全國設置超過 76 個一般性空氣品質監測站，但多為代表地區性之特性，目前仍無代表一區域型或跨洲際之觀測地點。因此，國科會、環保署和中央大學共同策劃與推動東亞環太平洋區域最高的國際級鹿林山大氣背景站 (Lulin Atmospheric Background Station, LABS, 2,862m) 之建置，其設計與運作則以聯合國全球大氣觀測網(Global Atmosphere Watch, GAW) 規範為參考藍本。綜觀東亞至東太平洋，自上游中南半島、中國南方、太平洋夏威夷一線，僅有上風之中國青海瓦里關(3,810m)，以及下風之美國夏威夷大島 Mauna Lao (3,397m) 高山大氣背景站，其間可以鹿林山為中繼站，適彌補全球監測網之不足，其地理優越性及科學卓越性不言而喻，足以吸引國際目光，更助於推動國際合作，加入相關監測組織。

2006 年 4 月 13 日，LABS 在環保署林達雄副署長、國立中央大學李羅權校長、美國環保署副助理署長 Michael Brown 主持下，正式啟用(圖一)。LABS 位於玉山國家公園南投與嘉義縣交界，比鄰中央大學鹿林山天文台，標高 2,862 公尺，國際測站代號 LUL。圖二(a)與圖二(b)分別呈現設站前鳥瞰預定位置與完工後測站外觀，共



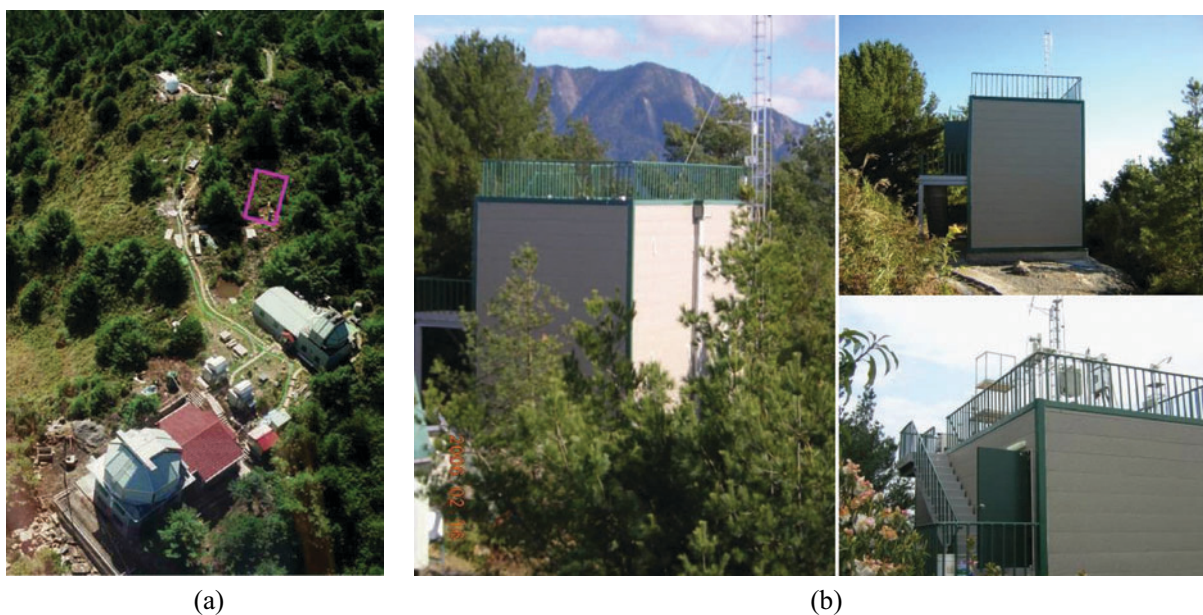
圖一 2006/4/13 鹿林山大氣背景站啟用典禮。

兩層，其基地面積 7.6 x 4.8 平方米，樓高 6 米。

## 二、建置沿革

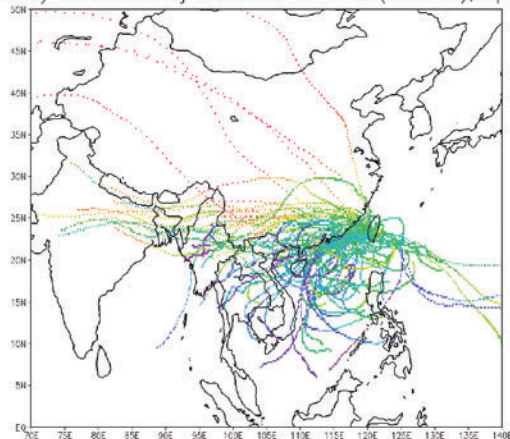
LABS 選址工作，首先考量該地點不易受地形遮蔽上的影響，並考慮交通、電力和人力運輸的便利性，適時中央大學鹿林山天文台已經在 2002 年完成軟硬體的基礎建設，多方考量鹿林山是建站最佳選擇。2002-2005 年，中央大學在國科會整合計畫「亞洲大氣污染物之長程傳輸與衝擊研究」[3]及環保署委託計畫[4]補助下，進行 LABS 之建置可行性評估與先導性研究。圖三為鹿林山 2003 年四季空氣來源軌跡追蹤圖，顯示來自不同源區與高度對比的氣團，亦即污染大陸性與清淨海洋性、地表邊界與自由大氣、溫溼南方與乾冷北方、局地性與區域性等特徵，則可監測上述條件下大氣化學與大氣物理之長期變異性，進一步探討環境變遷與氣候變化。

中央大學於 2004 年向行政院農業委員會林務局等單位申請租用玉山事業區第 18 林班地設立 LABS，面積計 120 平方公尺。環保署及中央大學於 2004 年 12 月 3 日簽訂 LABS 建置合作協議書，藉由中央大學天文站既有基礎，展開建立背景站工作。同時，中央大學地球科學院張時禹前院長獲得國科會後卓越計畫「整合性中尺度環



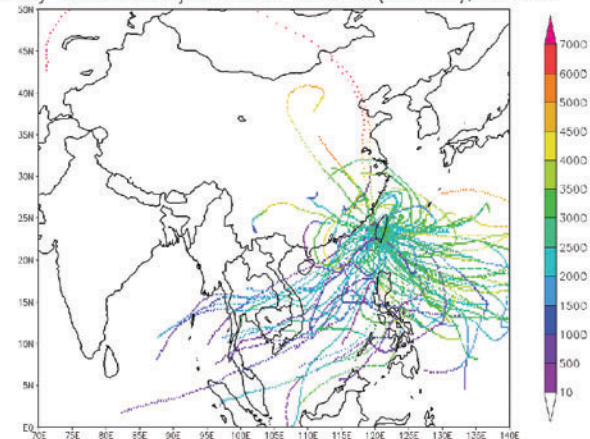
圖二 (a)鹿林山大氣背景站預定地（粉紅色框區）；(b)鹿林山大氣背景站完工外觀

5-day backward trajectories of Mt. LuLin(2862 m), Spring



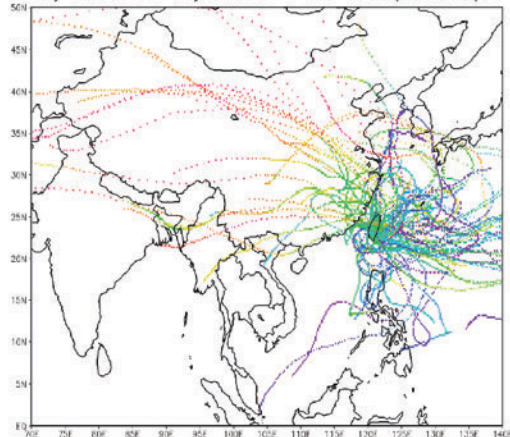
(a)

5-day backward trajectories of Mt. LuLin(2862 m), Summer



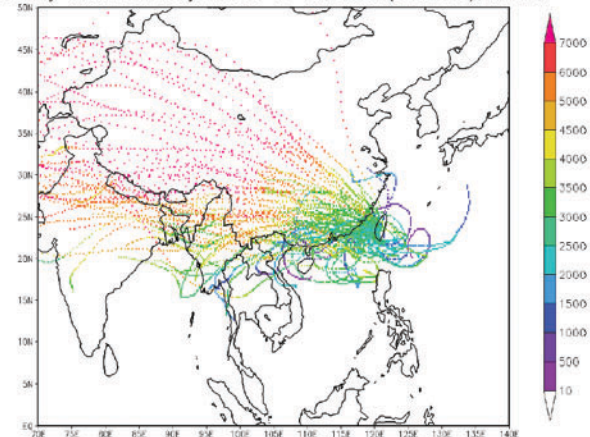
(b)

5-day backward trajectories of Mt. LuLin(2862 m), Fall



(c)

5-day backward trajectories of Mt. LuLin(2862 m), Winter



(d)

圖三 鹿林山 2003 年(a)春季(b)夏季(c)秋季 (d)冬季，五日後推氣流軌跡分布



境評估系統」，其中筆者主持子計畫三「亞洲環境背景站」，環境工程所李崇德教授與化學所王家麟教授共同協助。LABS 於 2005 年 9 月動工，該年 12 月竣工，2006 年 4 月 13 日正式啟用。環保署負責測站硬體建設包含建築物與一般性空氣品質與氣象設備，以及未來基本維護；國科會後卓越計畫支持先進儀器與實驗室分析技術之建立，自然處補助個人研究主題經費；中央大學於教育部五年五百億經費中支援一名專案研究員，以及大氣有害物質分析實驗室建立，以擴張 LABS 科學應用。

### 三、儀器設備

LABS 標高約 3000 公尺，空氣稀薄，且不易受人為影響，其污染物濃度低，需要精確度高的儀器與技術支援，以滿足微量物質的監測，例如精密 CO 分析儀、大氣汞分析儀和光學輻射儀皆為不同於一般空氣品質測站的先進儀器。

目前研究整合降水化學、微量氣體、大氣氣膠、大氣汞、大氣輻射等主要領域專長研究者進行相關儀器功能測試和維護，目前鹿林山大氣背景站架設之儀器除了環保署空氣品質測站之標準自動觀測系統（包括風向、風速、雨量、溫度、氣壓、相對溼度、O<sub>3</sub>、CO、UVA、UVB 及 PM<sub>10</sub> 等監測項目）外，另有高精度 CO 連續監測儀器 (ta-3000R, Trace Analytical, USA)、大氣汞監測儀 (Tekran 2537A/1130/1135 Hg Monitoring Analyzer)、太陽輻射儀 (Cimel CE-318)、旋轉輻射儀 (Yankee MFR-7 Multifilter Rotating Shadowband Radiometer)、能見度儀 (PWD-22)、酸雨採樣器等監測儀器，儀器現場配置如圖四所示。2007 年以後，將陸續加入大氣氣膠系統、CFCs、VOCs、同位素等採樣與監測儀器。

### 四、初步研究成果

各項儀器已於 2006 年 4 月 13 日鹿林山背景站開幕以來持續進行觀測，並建立每週、雙週、月以及季的各項儀器檢查維護標準作業，以確保觀測資料之品質與連續性。截至 2006 年 10 月的資料顯示，測站平均溫度為 13°C，且有明顯日夜變化特性。風向主要為西南風，平均風速為 3.2 m s<sup>-1</sup>。監測期間午後常發生降水，於 6 月初因西南氣流帶來旺盛水汽使降水更為明顯，8 月

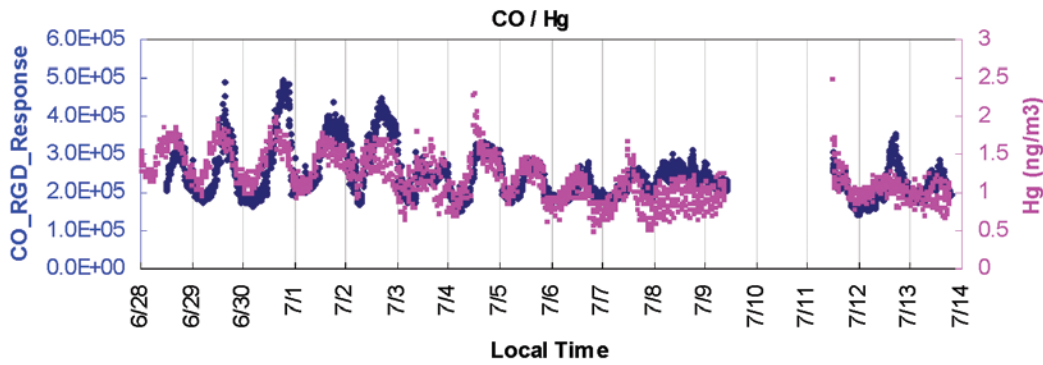


圖四 鹿林山空氣背景站儀器

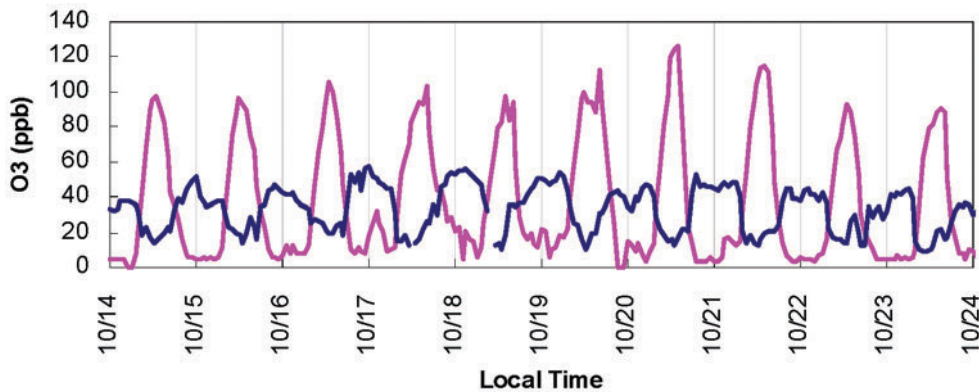
初受颱風影響，降雨量較高。全天空輻射量與季節因子相關，監測期間春季至夏季有逐漸升高趨勢，而至秋季則又逐漸降低。

在大氣污染物的監測方面，CO 平均為 72 ppb，O<sub>3</sub> 平均為 23.7 ppb，PM<sub>10</sub> 平均為 8.7 μg m<sup>-3</sup>，氣態元素汞 (Gaseous Elemental Mercury, GEM) 平均值為 1.77 ± 0.66 ng m<sup>-3</sup>，氣態二價汞 (Reactive Gaseous Mercury, RGM) 平均值為 9.04 ± 18.99 pg m<sup>-3</sup>，顆粒態汞 (Particulate Mercury, PHg) 平均值為 1.78 ± 2.36 pg m<sup>-3</sup>。各污染物月平均濃度變化趨勢顯示，由 4 月逐漸降至 7 月，6-7 月之平均濃度普遍為最低，然後逐漸升高至 10 月達此段採樣期間之最高。根據氣流軌跡分析，濃度上升來自於東亞主要污染源區影響，春冬兩季的來源主要來自陸域氣團，夏秋兩季主要來自海域氣團，一般來說來自於海域的氣團較不受境外污染源的影響。鹿林山氣流高度主要來自高層，但由於山區山谷風盛行，當地污染源亦會藉由上坡風突破邊界層而傳到鹿林山。根據目前觀測數據 (5-10 月) 估算，確定受上坡風影響的比例有 484 小時，約占觀測總時數的 11%。整體來說，鹿林山背景站並非每個時間皆可代表背景值，因此本團隊進行兩次背景密集觀測實驗，並初步獲得 CO 平均背景值濃度 48.8 ppb，O<sub>3</sub> 平均背景值濃度 23.7 ppb，PM<sub>10</sub> 平均背景值濃度約在 5-8 μg m<sup>-3</sup>，總汞平均背景值濃度為 2.15 ± 0.45 ng m<sup>-3</sup>。

本研究團隊發現鹿林山的 CO 和 Hg<sup>0</sup> (GEM) 具同調性 (圖五)，此現象在日夜變化中可觀測到，即受山谷風之帶動，形成凌晨到上午間為低



圖五 CO 及 Hg (GEM)於 2006 年 6/28 至 7/14 之濃度變化



圖六 2006 年 10 月 14-24 日鹿林山背景站（黑色）與南投空氣品質站（粉紅色）O<sub>3</sub> 濃度變化比較

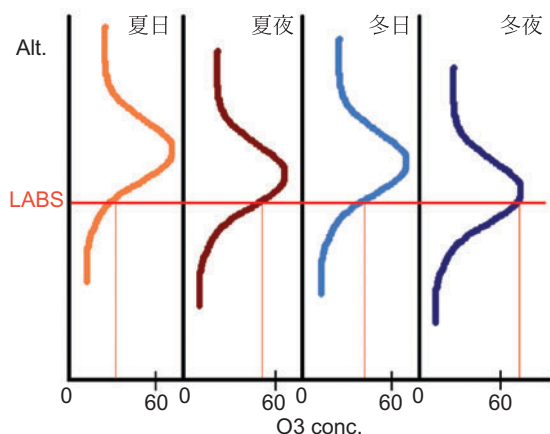
值，午後濃度逐漸攀升，到夜晚約 6-9 時觀測到 CO 和 GEM 之峰值。然而，CO 和 Hg<sup>0</sup> (GEM) 兩者的季節性變化也顯示相同趨勢，此同調之季節性與日夜變化的行為，說明兩者具備相似的產生過程與遷移軌跡。目前已知 CO 和 Hg<sup>0</sup> (GEM) 的主要人為排放源皆是燃燒，如化石燃料與生質燃燒。另外，CO 的主要移除機制是與 OH 自由基的反應，而目前關於大氣汞的研究也認為與 OH 自由基的反應是 Hg<sup>0</sup> 的主要移除機制之一。在此二污染物具有相同的人為排放源與移除機制的情況下，因此呈現出相同的變化趨勢，但是否還有其他因子影響，仍需未來進一步釐清。

圖六指出鹿林山背景站觀測到的 O<sub>3</sub> 行為卻和都市地區大相逕庭，日變化的最低值均在午時，夜間反而出現最高值。O<sub>3</sub> 日變化的成因與一次污染物(primary pollutant)的 CO 或 Hg 不同，由於 O<sub>3</sub> 為二次污染物(secondary pollutant)，除污染氣團的遠距傳輸影響因素外，日常白天排放的 O<sub>3</sub> 前驅物（如交通、工廠排放之碳氫化合物）在地面排放因對流而上升，於氣團抬升的同

時沿途進行光化反應，最終集中於某一特定高度。但此對流層臭氧的分布高度會隨日夜升降，推測白天該層抬升至高度超過鹿林山測站，而夜晚該層降下至測站高度，因而觀測到 O<sub>3</sub> 高值，然而對流層臭氧亦會隨季節而改變垂直分布之高低，見示意圖如圖七。此推論係於鹿林山測站 O<sub>3</sub> 之垂直濃度分布，未來可藉施放探空氣球的方法(O<sub>3</sub> sonding)，進行短期密集觀測實驗或定期於各季節施放，以瞭解其剖面結構並求證日夜變化之推論。

在降水化學方面，分析自 2003 年 4 月進行至今，雨水 pH 平均值為 5.31，平均上而言，或可代表區域背景值。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>為雨水中最主要的致酸因子，分別佔總離子濃度 16%及 24%，而鹼性離子中則以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>最高，佔 26%。春季受大氣污染物影響顯著，各離子的濃度普遍比其他季節高，此特性符合我們期望藉由鹿林山空氣背景站以了解跨境傳送的影響。

以上半年的監測資料便有相當豐富的訊息，亦突顯出鹿林山測站的獨特性，未來在長期



圖七 鹿林山  $O_3$  垂直剖面濃度變化之推論模型

監測下，將有助於釐清更多關鍵性的問題，藉由此觀測平台將有助於提升我國在大氣環境領域之科研能量。

## 五、科研展望與國際合作

環境問題是不分國界的，藉此推動國際合作相對容易，亦為環保科技外交一環。本團隊在國科會、環保署和中央大學的支持下，積極推動與美國環保署(EPA)、太空總署(NASA)、海洋大氣總署(NOAA)合作，進行技術交流與資料交換。LABS之太陽光度計已加入 NASA AERONet 全球監測網一員，提供大氣光學厚度(Atmospheric optical depth)；大氣汞則與 EPA 大氣汞監測網同步觀測，為亞洲第一站；CO 與 VOCs 則與 NOAA 使用同樣標準，並協助其進行全球採樣，進行比對。此外，積極參與國際大型觀測實驗，例如聯合國大氣褐雲國際觀測實驗(Atmospheric Brown Clouds, ABC)及東亞國際實驗(East Asian Regional Experiment 2005, EAREX2005)、美國太空總署亞洲生質燃燒國際觀測實驗(Biomass-burning Aerosols in South East-Asia: Smoke Impact Assessment, BASE-Asia)，以及其他有利我國參與之區域合作實驗等，進行實質監測、資料交換、技術交流、參與會議，並爭取會議主辦權。近期並與日本富士山科學會進行交流，就降水化學資料交換，完成合作論文，未來可望擴大合作範圍。

前述 GAW 的全球級測站共有 22 站，這些

站通常位於比較偏僻的南北極區、海上、高山等，而這些站必須長年沒有當地或區域污染的影響，才可代表全球及氣候上的代表性。目前 LABS 各項國際合作陸續推動中，未來終極目標為加入聯合國 GAW 全球大氣監測網，但因我國非聯合國一員，若以台灣名義加入，無疑會遭遇阻礙，尚待評估如何突破。近期則加強與鄰近區域監測站或監測網合作，例如，日本富士山、Hedo 島、韓國濟州島、中國瓦里關、美國夏威夷 Mauna Loa 等背景站，進行資料交換，技術與人員交流，或可成立區域連絡網等，有助於我國進行國際交流之活動。

藉由 LABS 的成立，全國有更完整的監測網絡：北部竹子山(1,103 m，區域性)、中部鹿林山(2,862m，區域/跨洲際)高山區域大氣化學物理監測點，結合氣象局負責之蘭嶼背景站，中研院石門站及其他合作地面測站，成為鼎立東亞之國際級大氣化學監測網。未來將持續鹿林山背景站之儀器運轉與技術研發，長期測量雲/降水化學、氣膠物理化學、指紋氣體(CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>-C<sub>10</sub>之 VOCs)、大氣汞、大氣輻射等，並特徵化上述參數。推動國際合作，以此合乎國際規格與東亞唯一之高山背景站之優勢，提供重要資訊與國際科研社群，吸引國際合作，善盡我國國際環保責任。相關資訊可參考鹿林山大氣背景站網頁(<http://labs.org.tw>)。

## 參考文獻

- [1] V. Ramanathan, et al., *J. Geophys. Res.*, **106**, 28371 (2001).
- [2] H. Akimoto, *Science*, **302**, 1716(2003).
- [3] 林能暉，「亞洲大氣污染物支長程傳輸與衝擊研究」—總計畫暨子計畫一「區域大氣污染物長期監測站之建置與其成份量測(三)」期末成果報告，NSC94-2111-M-008-018-AGC，國科會(2006)。
- [4] 林能暉、王家麟、李崇德、許桂榮，鹿林山背景站測試採樣分析與國際合作之參與及歸動研究專案工作計畫，EPA-95-U1L1-02-101，行政院環境保護署(2006)