

# 霧偵測方法與水平降水推估之研究

賴冠良<sup>1</sup> 林博雄<sup>1</sup> 賴彥任<sup>2</sup> 魏聰輝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>臺灣大學大氣科學系

<sup>2</sup>臺灣大學實驗林管理處

## 摘要

霧可以藉由其散射陽光的能力影響地表的輻射收支，霧滴也可以利用衝擊作用附著於植被表面，接著逕流進入地表形成額外的降水收入，此一過程被稱做「水平降水」。由於現行的氣象站常態觀測中，並無針對霧發生以及水平降水進行定量記錄。本研究設計了霧偵測與攔截整合系統(FDID, Fog Detection and Interception Device)來針對雪霸國家公園觀霧遊憩區的雲霧量、滯留時間與季節變化以及水平降水的程度，進行定量上的觀測調查。FDID 包括了兩款霧偵測器(RFD與OFD)、自動相機定時自動拍照(TLI)以及兩款霧水收集器(SFC與CFC)。同時，我們也利用能見度儀與自行研發的「霧風洞」進行FDID的校驗工作。研究結果顯示，FDID的確具有針對霧事件的發生、濃度及其造成之水平降水進行定量觀測的能力。自動相機的TLI方法，在151日觀測中偵測到126日曾有霧事件的發生，並利用RGB資料分析將霧事件區分輕、大、濃三種不同的程度。我們也由霧水收集器的資料估計觀霧地區的年平均液態水含量(LWC)為 $0.12\text{g/m}^3$ ，霧的濃度主要分布在 $0\sim 0.05$ 、 $0.05\sim 0.1$ 及 $0.15\sim 0.2\text{g/m}^3$ 的範圍。整體來說，霧事件發生之頻率、濃度及其造成之水平降水三者間的結果具有良好的一致性，因此本研究所提出的FDID為一經濟可行的霧事件觀測策略。

## 一、簡介

雲滴與霧滴的大小隨其液態水含量(Liquid Water Content, LWC)多寡而有不同的數量分布。一般來說，霧滴粒徑約在 $5\sim 100\mu\text{m}$ 之間，而其最主要的數量分布在 $10\sim 20\mu\text{m}$  (Klemm et al., 2005)。霧與雲一樣都有散射光線的能力，可以改變區域的輻射收支平衡，同時降低該區域的蒸發率，進而影響該區域的氣候表現(Eugster et al., 2006)。

除此之外，霧事件還可藉由濕沉降過程來影響區域的水文收支；濕沉降是指空氣中水分進入地表的過程，由於典型的霧滴之粒徑太小，無法像降水(雨、雪、雹)一樣藉由重力沉降進入地表，但霧滴仍可藉擴散以及撞擊的過程附著於植被或其他障礙物表面形成小液滴後再進入地表。這與一般認知的降水(precipitation)過程不同，也無法用傳統雨量筒或其他現有的雨量計來偵測。因此，為了與一般的降水做區別，Stadtmüller(1987)首先以「水平降水(horizontal precipitation)」來描述這種由雲霧濕沉降所致的水文過程。許多研究指出，對於陸域生態(尤其是森林)，水平降水是非常重要環境因子指標，比如USGS(United States Geological Survey)支持的Hawaii Maui霧水對生態系水文收支的影響(Scholl et al., 2002)，利用平面式與柱狀式的替代表面霧水蒐集器，發現被水平降水竟可提供當地年雨

量30%以上之額外水資源。

由於霧事件在輻射及水文收支上的影響甚鉅，本研究擬透過雪霸國家公園管理處委託計畫，進行觀霧地區的雲霧觀測調查並達成下列的觀測目標：

- 霧事件的偵測
- 霧事件濃淡程度之定量
- 霧事件所造成之水平降水之推估

並且藉由此次的觀測實驗，評估本研究所設計的觀測策略之可行性，以期建立適合台灣山區霧事件觀測之有效方法。

## 二、儀器與實驗設計

本研究所使用的實驗儀器可分為三類：

### a. 霧偵測儀器

本研究共製作了三款霧偵測儀器，第一款是沿用NASA AERONET實驗的wet sensor之設計(Holben et al., 1998)，利用霧水改變電阻的原理來進行霧的偵測，稱為RFD(Resistance Fog Detector)。第二款是利用霧滴散射光線之原理所製作之光學偵測儀。稱為OFD(Optical Fog Detector)。第三款則是利用數位相機定時拍攝，利用影像的RGB特徵偵測霧事件的TLI(Time-lapse image)方法

### b. 水平降水測量儀器

本研究沿用Scholl et al.在2002年實驗所使用的儀器，自行製作三款雲霧攔截器(簡稱為SFC和

CFC)，SFC 和 CFC 攔截的霧水都將直接導入 0.5mm 傾斗式 (tipping bucket) 雨量筒內，並一併由自製的 PIC 單晶片記錄器記錄下來。

#### a. Standard fog collector (SFC)

本研究所使用之 SFC，架設高度為 3 公尺、在高度 2 公尺與 3 公尺間架設一長寬皆為 1 公尺之正方形人造纖維網，使用此網以替代表面法收集霧水。人造纖維網使用寬 0.5 釐米(mm)之聚丙烯(polypropylene)纖維以拉舍爾(Raschel)編織法(纖維角度約 170°)製成，網目形狀類似梯形以利霧水滑落，網目大小約 1.5 釐米(mm)，遮蔽率(shade coefficient)為 50%。網目下方約 5 公分處設置一傾角約 5°至 6°，寬、深皆為 6 公分之集水槽，用以將所收集之霧水導入雨量筒內。

#### b. Cylinder fog collector (CFC)

本研究所使用之 CFC，架設高度亦為 3 公尺、在 2 公尺與 3 公尺間架設一直徑 32 公分、長 1 公尺之圓柱形人造纖維網，與 SFC 所使用之網目相同，柱型網目下方設置一直徑 35 公分之圓錐型集水漏斗，用以將所收集之霧水導入雨量筒內。

#### c. 校驗儀器

為了瞭解前述自製霧事件觀測儀器的表現，本研究利用三款儀器進行霧觀測儀器之校驗。第一款為 MAWS 自動天氣測站，可以提供氣壓、溫濕度及風場資料。第二款為台大實驗林塔塔加地區的 Mira 能見度儀，其波長是 880 nm，偵測範圍為能見度 20 公尺到 3000 公尺，精確度±10 公尺。第三款為一可控制室內霧風洞環境—Fog tunnel。其結構為一木製箱體，內截面面積為 0.6 公尺見方，總長度為 3.34 公尺。除了具備調控風速(0.1m/s ~ 0.5 m/s)的能力之外，也能夠在風洞內利用超音波震盪方式製造可控制的水霧(1.8g/min 至 27.4g/min)。

在實驗設計方面，本計劃皆前述之 RFD、OFD、TLI、SFC、CFC 與 MAWS 合併為一套整合性的霧事件觀測儀器，並簡稱為 FDID(Fog Detection and Interception Device)來進行霧事件及水平降水的觀測實驗(圖 1.1、1.2)，同時在南投塔塔加與台大大氣系以能見度儀與 fog tunnel 校驗 FDID 的表現(圖 2、3)。

## 三、 結果

#### a. TLI 分析

本研究利用 Delphi 程式語言撰寫影像分析程式，用以分析每張照片上遠近不同目標區內的所有像元(pixel)的 RGB 色彩統計特徵，根據分析的結果，當區域 RGB 值的標準差小於 5 且平均大於 85 時，變判定該區域有霧事件的發生。TLI 觀測結果顯示以下幾項重要資訊：

- 為期 151 天的日間(06:00 LST 至 17:59 LST)有效資料中，就有 125 天曾發生「輕霧」事件、121 天曾發生「大霧」事件、82 天曾發生「濃霧」

事件，僅只有 25 天無任何霧事件發生，換言之，觀霧地區有霧事件的發生比例高達 83%。

- 霧事件發生之持續時間(日間)有限，圖 4 代表了三種程度不同的霧事件在各個月份所佔之總觀測時間比例。以七月份為例，輕、中、濃霧事件之時間比例分別為 14%、7%、4%，若以每日有效觀測時間 12 小時(06:00~17:59 LST)來計算，則每日平均輕、大、濃霧之發生總時間約為 100、50、30 分鐘。
- 以清晨(06:00-08:59 LST)、上午(09:00-11:59 LST)、下午(12:00~14:59 LST)和黃昏(15:00~17:59 LST)為日間四區段來討論，各月份的霧事件發生的頻率特徵如圖 5 所示。圖中顯示夏季期間霧事件的發生幾乎都集中在下午及傍晚時段，冬季則集中在清晨及上午。此外，濃密程度較大的霧事件似乎傾向於在下午及傍晚時段發生。

#### b. SFC 與 CFC 分析

由於霧水收集器在下雨事件發生時，也會收集到些許的雨量，造成水平降水的高估，然而 SFC 霧水收集器受降雨因子影響之程度難以估計，因此我們依照每日所收集的霧水及雨量來分類，並分離出「當日有霧水收集但卻無雨量(無雨有霧)」之個案為分析對象，以這些樣本來探討觀霧管理站水平降水的觀測情形。

觀測期間 FDID 共記錄了 171 天的資料。其中「無雨有霧」類型共有 39 日。SFC 在這 39 天之中收集了約 222mm 的霧水，CFC 則是收集了約 117mm。而在這 171 天內的總雨量為 3021mm。換言之，在這 171 天中，光是在無雨有霧的個案中，由 SFC 及 CFC 所造成的水平降水就多提供了約 7%及 4%的額外降水，可見在觀霧地區由雲霧所提供的水資源也相當重要，至於造成 SFC 和 CFC 的差異可能原因，包括攔截網面積不同以及集水溝槽導水效率不同。

#### c. 霧事件液態水含量(LWC)之反演

本節將使用觀霧地區實際觀測之小時平均風場以及 SFC 的霧水收集資料，來推算 LWC 數量，在此我們僅討論無雨有霧的觀測資料，並先前利用風洞實驗所得到的 LWC 反演經驗式

$$u_{\text{total}} \cong u_{\text{imp}} = \frac{(1.48u_{\text{eff}})^2}{(1.48u_{\text{eff}} + 0.4)^2}$$

來計算霧事件發生時的濃淡程度。在 39 日有霧水無降雨的個案中，我們得到其中 36 天共 97 小時的 LWC 反演資料。這 97 個小時內的平均 LWC 約為 0.12g/m<sup>3</sup>，與典型的霧中 LWC 符合(0.05~0.2g/m<sup>3</sup>)。此外，LWC 分佈如圖 6 所示，可看出霧事件之 LWC 集中於三個範圍，分別為 0~0.05(約佔 55%)、0.05~0.1(約佔 25%)及 0.1~0.15(約佔 10%)。若再以每天的不同時段，每三

小時來做分類，則以 09:00~11:59 LST、15:00~17:59LST 以及 21:00~02:59 LST 時段較常發生較高液態水含量的霧事件。

#### d. 自動相機、水平降水與 LWC 資料之相互驗證

圖 7 為霧事件的時間長短、液態水含量與水平降水之間的關係，可看出霧事件的時間長短與液態水含量的存在一良好的正相關關係，此一現象說明了較濃的霧通常持續的時間也較長。此外，水平降水與霧的時間長度之關係有延遲的現象，水平降水的變化與霧事件時間長度大約有一個小時的相位延遲，這可能與 SFC 需要時間累積霧水有關。大致來說，自動相機、水平降水與 LWC 三者資料互相驗證之下，三者之間具有相當好的一致性。

## 四、 結論

在第一章所設定的三大觀測目標方面，霧事件的偵測及水平降水的測量方面已經可以分別利用自動相機的 TLI 方法以及霧水收集器(SFC、CFC)達成目的；在霧事件本身的定量觀測(LWC)方面，我們透過自製的「霧風洞(fog tunnel)」校驗 SFC 之表現，再藉此得到與風場及霧水收集率有關的 LWC 反演公式來加以估計。目前就現有的觀測資料(151 天)顯示，觀霧地區霧發生日高達 83% (126 天)，其中的大霧頻率是 80%(121 天)，濃霧的發生率是 54% (82 天)。霧事件持續的時間長短，則依各月份及一日之中不同時段有所不同，其特徵有以下兩點：

- 夏季霧事件好發於午後，秋冬季節則集中於早上與上午。
- 濃霧事件多集中在午後發生。

另外，觀霧地區因雲霧所帶來所謂的水平降水，僅以有霧無雨的個案來估計，就約有降水量的 7%。霧雨共存(有雨有霧)的個案時間約為無雨有霧個案的 3 倍，因此我們估計觀霧地區水平降水至少可達降水量的 20%。若以過去 20 年的平均雨量來計算，這數據代表觀霧地區每年能多出約 625mm 的額外降水，這一水平降水量不論是對觀霧地區的生態、水土保持及防災工作的影響都相當巨大。

由風場及 SFC 資料所反演出的 LWC 資料，顯示了觀霧地區在上午(09:00~11:59 LST)、下午(15:00~17:59 LST)以及夜間(21:00~02:59 LST)三個特定的時段有較易發生濃密程度較大的霧事件，此與自動相機的霧事件偵測結果一致。除此之外，相機與水平降水資料結果也有高度的一致性。因此，藉由自動相機，霧水收集器與風場資料及正確的分析方式，確實可以針對霧事件進行時空分佈及濃淡程度的定量觀測紀錄。

#### 參考文獻

Chang, S.C., Lai, I.L. and 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.

Holben, B. N., et al., 1998 : AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization, *Remote Sens. Environ.*, **66**, 1-16

Ritter, A., Regalado, C. M. and Aschan G., 2008 : Fog water collection in a subtropical Elfin laurel Forest of the Garajonay National Park (Canary Islands): A combined approach using artificial fog catchers and a physically based impaction model. *Journal of hydrometeorology*, **9**, 920-935

Scholl, M.A., Gingerich, S.B., and Tribble, G.W., 2002 : The influence of microclimates and fog on stable isotope signatures used in interpretation of regional hydrology: East Maui, Hawaii. *J. Hydrology*, **264**, 170-184.

Stadtmüller, T. 1987 : Cloud forests in the humid tropics. A bibliographic review. The United Nations University, Tokyo, Japan.

WMO, 1996: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. *World Meteorological Organization. WMO-N0.8.*

王寶貫，1996：雲物理學，國立編譯館主編，渤海堂印行，382pp.

陳進成，2004：雲雨霧的形成。科學發展，337，26-3.

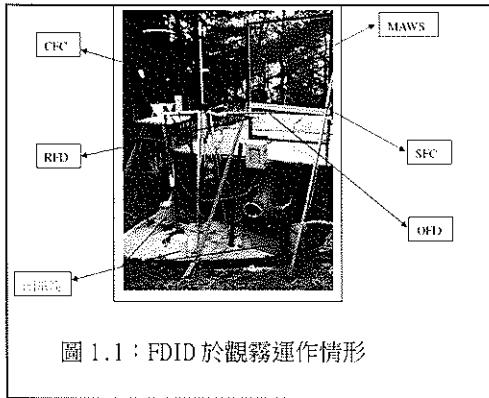


圖 1.1：FDID 於觀霧運作情形

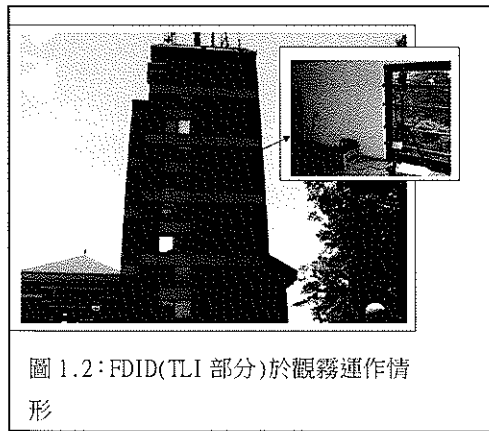


圖 1.2：FDID(TLI 部分)於觀霧運作情形

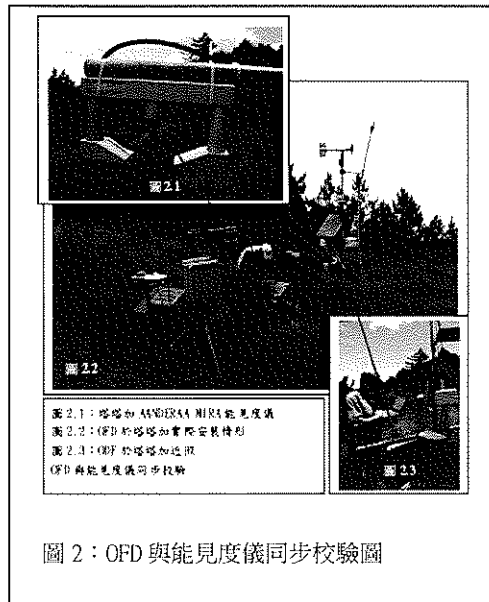


圖 2：OFD 與能見度儀同步校驗圖

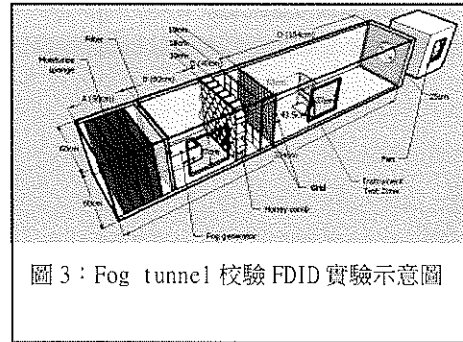


圖 3：Fog tunnel 校驗 FDID 實驗示意圖

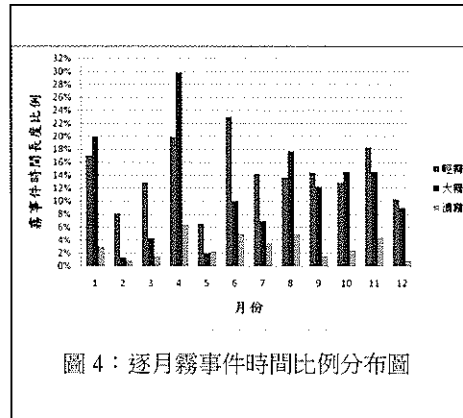


圖 4：逐月霧事件時間比例分布圖

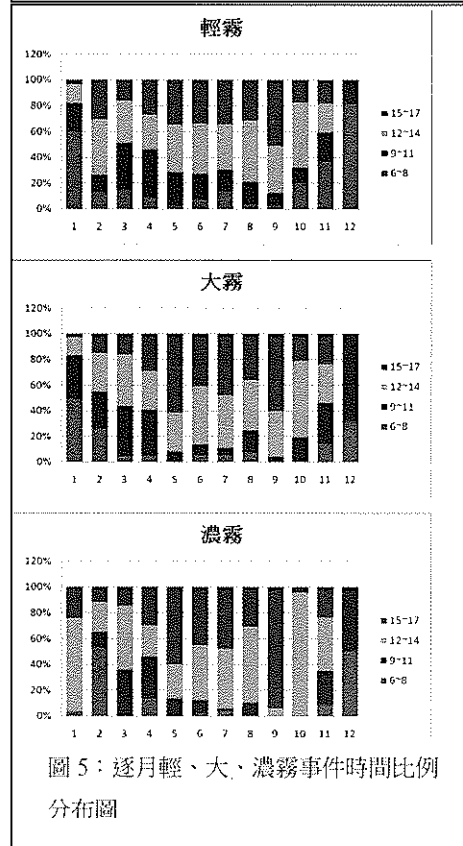


圖 5：逐月輕、大、濃霧事件時間比例分布圖

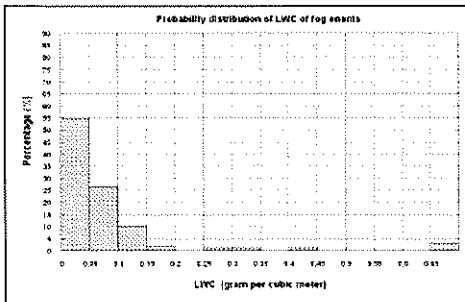


圖 6：霧事件 LWC 分布圖

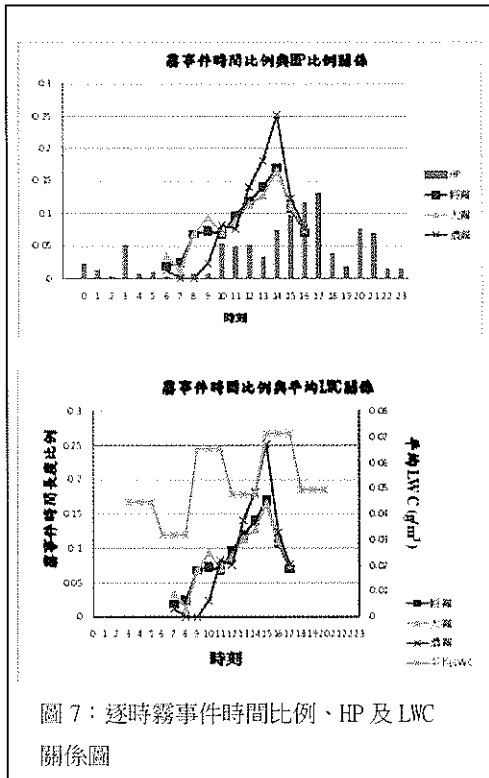


圖 7：逐時霧事件時間比例、HP 及 LWC 關係圖