

紫外線指數的分析與預報

馮欽賜

中央氣象局氣象科技研究中心

楊明仁

中國文化大學大氣科學系

摘要

成功的紫外線指數 (UVI) 預報, 有賴於對雲衰減作用的正確預估。鑑於雲量將會成為氣象局每日預報的對象, 本研究分析台北和台東成功兩測站自 1994 年至 1996 年的紫外線指數資料與對應時間目測的雲量之關係, 希望由此進一步提出根據雲量預報資料從事紫外線指數預報的方法。

在研究方法上, 首先從紫外線指數分離出雲效應的影響, 由觀測資料的分析取得各測站晴天時 UVI 的估計值, 再以觀測 UVI 與晴天 UVI 之比值定義一個雲衰減因子, 並歸納雲量為四個類別(1)晴天(2)疏雲(3)多雲(4)陰天, 將雲衰減因子與雲量的相關性定量化。根據這些統計特性, 提出本研究以雲量為基礎的紫外線預報法。預報技術的測試顯示, 本研究之預報法的表現在台北和成功兩測站的誤差均方根分別為 1.72 及 1.85, 其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占 60 % 左右。此外, 無論對應的 UVI 觀測值是大或小, UVI 預報值的絕對誤差範圍表現都相當平均, 顯示本預報法在各種條件下都能保持一定的預報水準。

一、前言

在尚未受介質影響之大氣層頂, 若垂直於太陽入射光, 太陽輻射的整體能量估計是 1367W/m^2 左右, 其中 40 % 座落於 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 波長的可見光區, 50 % 屬於波長大於 $0.7 \mu\text{m}$ 的紅外光區, 而波長小於 $0.4 \mu\text{m}$ 的太陽輻射能量大約只占 10 %, 這正是與地球生物圈活動息息相關的紫外線 (ultraviolet, 簡稱 UV) 輻射。對人類而言, 適量的紫外線照射會幫助人體製造維他命 D 而有益健康, 不過時常曝曬過多的紫外線卻會造成傷害, 輕者皮膚曬傷, 嚴重時會抑制人的免疫系統並且可能導致基因突變增加人體發生皮膚癌的風險。

紫外線輻射又可根據波長細分為 UV-C (波長小於 280nm , $\text{nm} = 0.001 \mu\text{m}$)、UV-B (波長介於 $280\text{nm} \sim 320\text{nm}$) 和 UV-A (波長大於 320nm) 三個波段, 基本上波長越短的紫外線對人類的潛在危害也就越嚴重, 不過同時穿透大

氣層到達地面的紫外線隨著波長變短也快速遞減。對 UV-C 波段, 由於平流層臭氧對紫外線此波段具有極強的吸收能力, 使到達近地層生物圈的 UV-C 幾乎為零不會產生任何威脅性。因此, 一般學術研究對於紫外線對人體威脅的探討, 便主要將注意力置於 UV-B 波段之上。尤其, 到達對流層 UV-B 波段相當敏感於平流層臭氧濃度的變動, 因此近十幾年來平流層臭氧量因人類之氟氯碳化物污染而減少的趨勢, 是否連帶使到達地表 UV-B 輻射強度增加, 已成為目前全球紫外線監測工作希望瞭解證實的重要課題 (柳, 1998)。

圖 1 是北緯 40 度夏至 (6 月 22 日) 時, 僅考慮大氣具有 300DU ($1 \text{DU} = 10^{-6} \text{atm cm}$) 臭氧濃度條件下, 到達地面的紫外線波譜輻射強度 ($\text{mW m}^{-2} \text{nm}^{-1}$)。UV-B 波段的輻射強度隨波長變短急速減弱, 290nm 波長的輻射強度只有 320nm 的百萬分之一。反之, UV-A 波段的輻射強度由於對臭氧層穿透性強故隨波長的變化甚為輕微, 本身受臭氧變動的影響也就不明顯。圖 1 中同

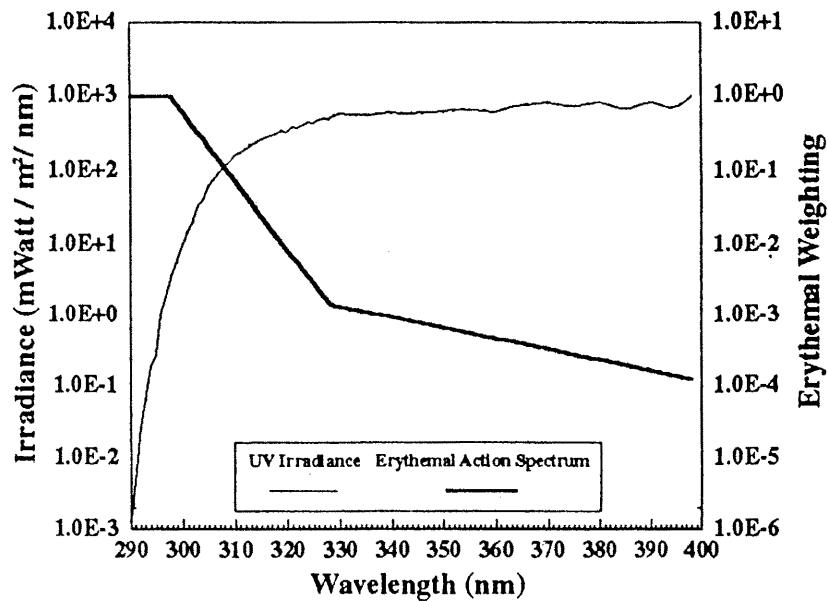


圖 1 北緯 40 度夏至（ 6 月 22 日）時，僅考慮大氣具有 300DU（ $1\text{DU} = 10^{-6} \text{ atm cm}$ ）條件下，到達地面的紫外線波譜輻射強度（ $\text{mW m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ）分布（細曲線）。圖中另一（粗）曲線代表皮膚紅斑作用權重分布。（取自 Long et al.，1996）

時呈列的另一條曲線，是國際上廣泛採用的皮膚紅斑作用光譜 (erythemal action spectrum) 曲線，它代表一般皮膚在此紫外線波段照射下致紅的反應程度。其中，最易使皮膚致紅的 280nm 至 298nm 波段，在紅斑作用光譜的權重指數為 1，當波長變長權重指數則快速減少，至波長 400nm 權重只剩萬分之一。若將紫外線波譜輻射強度乘上紅斑作用

光譜的權重，如圖 2 所示，便得到一種量測不同紫外線波段對皮膚傷害程度的客觀分布，從圖 2 可知最有效傷害皮膚的區間正是屬於 UV-B 波段。進一步，將圖 2 曲線沿波譜積分所獲得的輻射量，我們稱為「危險紫外線輻射量」（damaging UV value，簡稱 DUV）單位是 mW/m^2 ，一般所謂「紫外線指數」（UV index，簡稱 UVI）即是

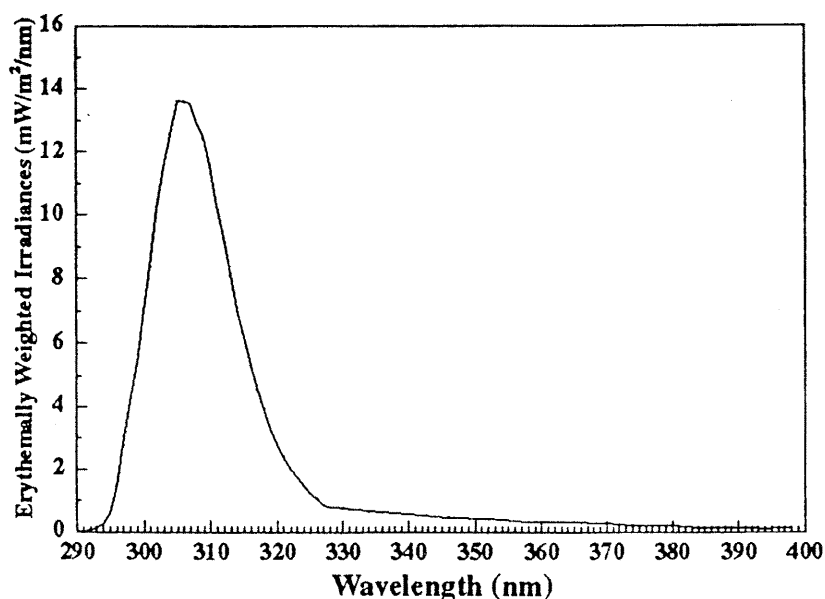


圖 2 紫外線波譜輻射強度乘上紅斑作用權重之後的波譜分布。（取自 Long et al.，1996）

根據此量換算而來。按照世界氣象組織 (WMO) 於 1994 年製作的紫外線指數定義，規定以正午時觀測的 DUV 除以 25mW/m^2 所算得的無單位值定義為紫外線指數。美國環保署為促進民衆對紫外線指數的認知與運用，將紫外線指數做了微量 (0 ~ 2)、低量 (3 ~ 4)、中量 (5 ~ 6)、過量 (7 ~ 9) 及危害 (10 以上) 等級分類及提出相關的防範說明 (Long et al. 1996)。目前國內，亦根據類似的作法宣導紫外線指數的應用。

國內對紫外線的監測，首先是中央氣象局在台北測站對原本僅做臭氧含量觀測的布魯爾分光儀 (Brewer spectrophotometer) 上，增加了紫外線觀測的功能，並同時在台東成功測站增設相同設施，而開始這方面的紫外線監測工作。近年來紫外線監測網已逐漸擴建於全台灣，在中央氣象局的台中、嘉義、阿里山、高雄、恆春、花蓮和台東等測站亦裝置紫外線輻射儀。此外，由於人們對生活品質的重視及隔週週休二日戶外活動日益增多，爲了加強對民衆提供紫外線訊息的服務，中央氣象局並與國內環境品質文教基金會及環保署共同合作，自民國 86 年起也發布紫外線的隔日預報給大眾參考，這使得紫外線指數如天氣預報般，成爲民衆平日經常關心的訊息。

目前內使用的紫外線預報方法是由環境品質文教基金會與台灣大學全球變遷中心柳中明教授共同合作研發的 (劉等，1997)。方法上，他們先以輻射傳遞模式利用已知的臭氧及大氣觀測剖面，估算晴朗無雲且無懸浮微粒條件下的地面紫外線含量，然後再依統計迴歸公式求得隔日天氣狀況對前述紫外線的可能衰減量，綜合預報出明日之紫外線指數。基本上，除了平流層的臭氧之外，對紫外線傳輸過程具有衰減作用的因子爲雲及懸浮微粒，而雲的效應尤著。因此，紫外線指數預報的成功與否，端視對雲效應的預估正確與否而定。基於中央氣象局尚未提供與雲直接相關的預報訊息，劉等則採用明日預測降雨率、明日預測溫差及明日預測最高溫等間接預報因子，組成統計迴歸公式來推估雲的衰減作用。經由校驗，雖然顯示這種方法有具參考的預報能力，但紫外線指數預報誤差表現，以誤差均方根值而言，大約仍維持於 2 ~ 3 之間。最

近，柳等 (1998) 在原方法中再加入氣象人員的主觀預報調整迴歸公式求得的衰減量，結果顯示對降低紫外線指數預誤差有不錯的助益。

當然，爲有效地提高紫外線指數預報的準確度，較佳的方法仍是直接尋求與雲因子相關的統計方式。目前，氣象局正積極發展的統計預報項目中，雲量即是其中之一，不久將來雲量會成爲每日預報的對象，因而若能未雨綢繆透由先期研究尋找一種與雲量相關的紫外線指數預報方法，將可提供未來改進現今方法的一種參考和選擇。有鑑於此，本研究將對測站的紫外線指數資料及對應時間目測的雲量資料加以分析，希望由此進一步提出紫外線指數與雲量之間的預報方法。雖然，影響紫外線輻射的雲效應不單只有雲量因子，尚包含許多諸如雲厚、雲類和雲滴成分等等複雜因素，但畢竟雲量仍代表著一個最直接有效的衰減作用。以美國爲例，該國氣象局採用雲量預報因子爲基礎的方式進行紫外線指數預報，整體預報表現相當不錯，有四分之三的預報其誤差都僅落在 1 UVI 以內 (Long et al. , 1996)。

本研究是採用台北及台東成功兩測站自 1994 年至 1996 年共三年的觀測資料，包含每日正午的 DUV 值、對應的目視雲量觀測及該日測得的臭氧含量，下一節將較詳盡說明此觀測資料。第三節是關紫外線指數與雲量之間的分析結果。在第四節提出以雲量爲基礎的紫外線指數預報方法。最後，是本文結論。

二、觀測資料

此研究採用的觀測資料，取自台北及台東成功兩測站自 1994 年至 1996 年關於每日正午的 DUV 值、對應的目視雲量觀測及該日測得的臭氧含量三種資料。這兩個測站都是使用布魯爾分光光譜儀，同時量測大氣臭氧含量及紫外線輻射強度。布魯爾分光光譜儀是現今世界最普遍採用的一種掃描式光譜儀，係由加拿大 SCITEC 公司製造，它利用臭氧對紫外光的吸收特性，藉由儀器感應的太陽之紫外光輻射強度，加以推算大氣氣柱的臭氧全量，此外若加裝了紫外線監測器，它能詳細量測到間隔 0.5nm 波段的紫外線輻射通量密度沿光譜之

分布，此值經過紅斑作用光譜的加權計算及積分後，即求得 DUV。這種儀器相當精密，約數分鐘完成一次觀測，它可以準確獲得各窄波段的觀測值，不過無論售價和校正維護上都偏高，因此國內只在台北和台東成功設有該型儀器，其餘測站之監測則使用美國 SOLAR LIGHT 公司的寬波紫外線輻射儀。

圖 3 與圖 4 分別是每日臭氧含量及 UVI 觀測值（由 DUV 換算）在兩測站上之對應分布。圖 3 顯示大多數時間台北測站的臭氧含量都較台東成功測站為高，最多可相差 10 % 左右。由於兩測站的相距位置應不至於產生平流層臭氧層顯著差別，因此對流層臭氧濃度的不同可能是關鍵，而這又應與兩地污染程度及成分的不同密切相關。其次，圖 4 關於 UVI 值的分布，則顯示大多數時間台北測站都較台東成功測站為低，由於影響 UVI 值包括當時雲因子，懸浮微粒，甚至臭氧含量（如圖 3）這些潛在的因素，使得圖中點的散布範圍極大。

圖 5 與圖 6 分別是兩測站三年期間臭氧含量及 UVI 觀測值之每日變化。基本上，大氣臭氧含量與 UVI 最大值的波動都具有夏季最高而冬季最低，隨季節變化的性質，這現象都是反映入射太陽短波輻射強弱之季節變化。

測站的雲量目視觀測根據標準時每 3 小時進行一次，因此取自最接近正午的 11 時觀測為分析的目標，假設正午的雲量條件與此相同。雲量紀錄為按十分法估測之結果。

三、紫外線指數與雲量—分析方法與結果

基本上，大氣（平流層）中臭氧含量的日變化並不明顯，毫無疑問地導致地面紫外線指數日變化的關鍵，來自對流層大氣雲和懸浮微粒等條件的日變化。因而，分析紫外線指數可以從分離後者的影響著手，再進一步探討其與雲量變動之間的相關性。基於此，我們可以在忽略大氣雲和懸浮微粒等

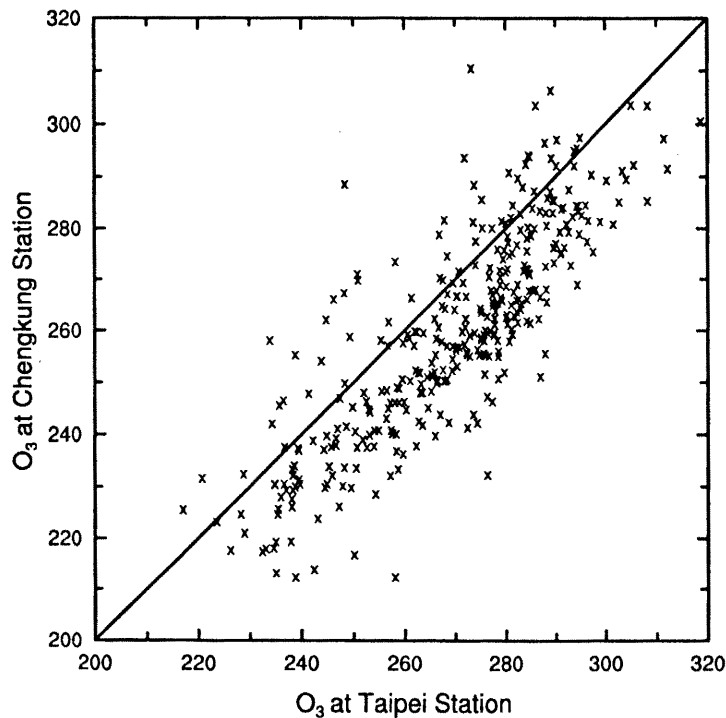


圖 3 台北和台東成功兩測站同日臭氧（O₃）觀測值之對應分布。

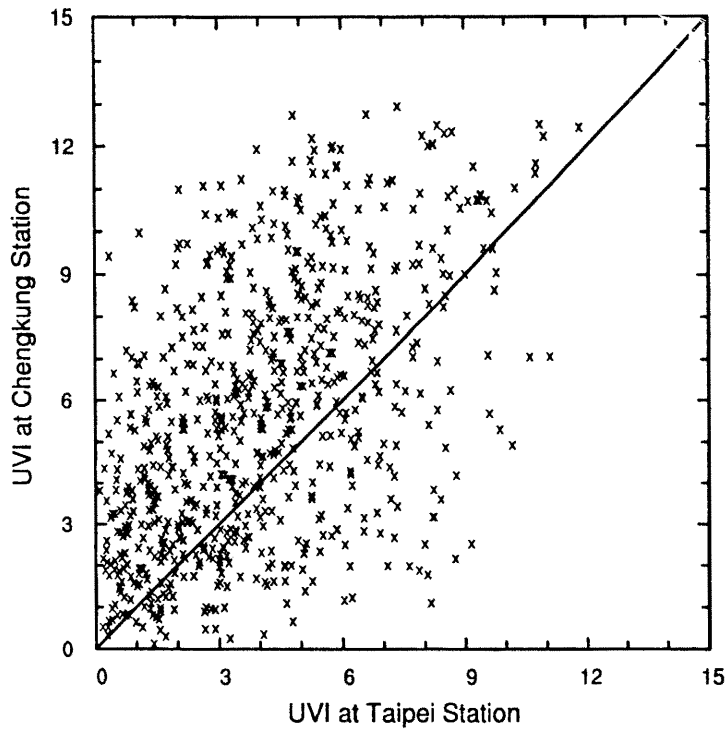


圖 4 台北和台東成功兩測站同日 UVI 觀測值之對應分布。

因子的作用下，先求得這種晴天且潔淨大氣環境的理想地面紫外線指數，再依此量評估其它因素的衰減作用。

理論上，在晴朗潔淨的大氣環境，紫外光線的傳遞過程主要受到臭氧吸收與分子雷氏散射效應兩種衰減作用，若已知大氣、臭氧剖面 and 天頂角，則利用精確的窄頻輻射模式可以相當合理地計算出這時地面的紫外輻射通量密度，以及連帶地換算出 DUV 和 UVI 值。劉等（1996）正是運用這種計算程序求得晴朗條件的 UVI 值再加以修正。然而，這種方法的缺點是對晴朗時的 UVI 預測，往往無法合理考慮該地背景之懸浮微粒對 UVI 的影響，尤其在較空氣污染嚴重的城市區域，晴日下懸浮微粒對 UVI 的遞減是相當顯著的，從本研究比較台北和台東成功兩測站的晴日 UVI，即發現兩者平均可相差 1 ~ 2UVI 值（見下文討論）。

在這裏，我們採取另一種方式，直接由觀測資料的分析整理取得各測站晴天時 UVI（DUV）的估計值，它的好處在於把測站地區的懸浮微粒效應隱含在內。由於，入射太陽輻射隨天頂角變化，

加上從圖 5 顯示兩測站大氣臭氧含量具有隨季節變化的性質，以及從過去 Liu and Feng（1990）對台灣懸浮微粒濃度的調查研究也表現出清楚的季節起伏，因此我們假設測站於晴天時量測之 UVI（DUV）可以被歸納簡化為僅是天頂角的函數。根據此概念，針對兩測站三年的 UVI 觀測資料及對應天頂角，分析搜尋不同天頂角範圍之下最大的 UVI 值（方法上，取距最大出現值之 10% 內的 UVI 值平均），假設這些值都出現在晴天，那麼隨天頂角變化的最大 UVI 值應可以確反映測站在一般無雲但有常態懸浮微粒濃度下的晴天 UVI 值。

圖 6 中的曲線即是按照上述方法產生的晴天 UVI 值分布。圖中顯示晴天 UVI 值相當合理地反映著測站所可發生的最大 UVI 值，幾乎所有實測的 UVI 值都落在其內或邊緣。換句話說，測站晴朗時的實測 UVI 值應會很接近圖中對應天頂角的晴天 UVI 值，因為此時估計的晴天 UVI 值已包含測站平均的大氣懸浮微粒效應。表 1 進一步將兩測站的晴天 UVI（DUV）值，以不同天頂角範圍作了一些劃分整理，顯現兩測站之間晴天 UVI

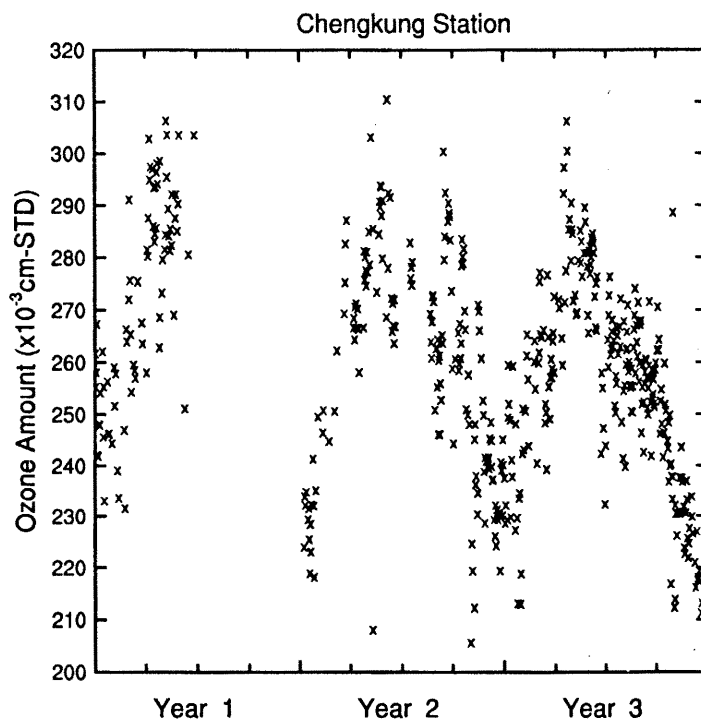
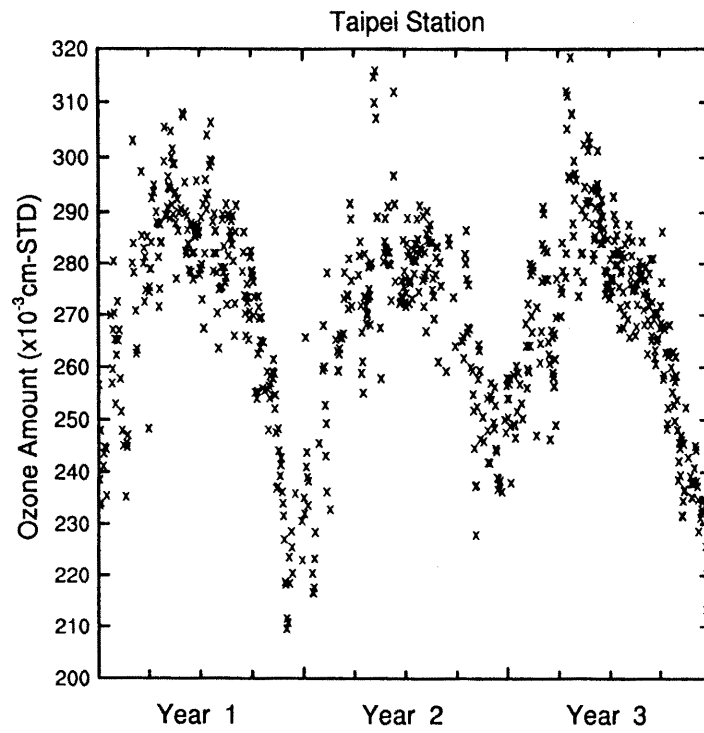


圖 5 測站大氣臭氧含量在三年期間之變化分布。

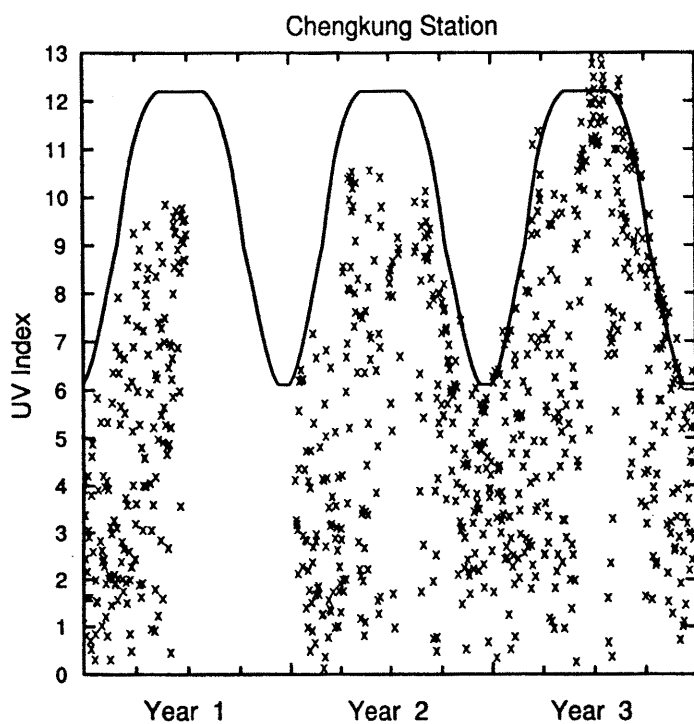
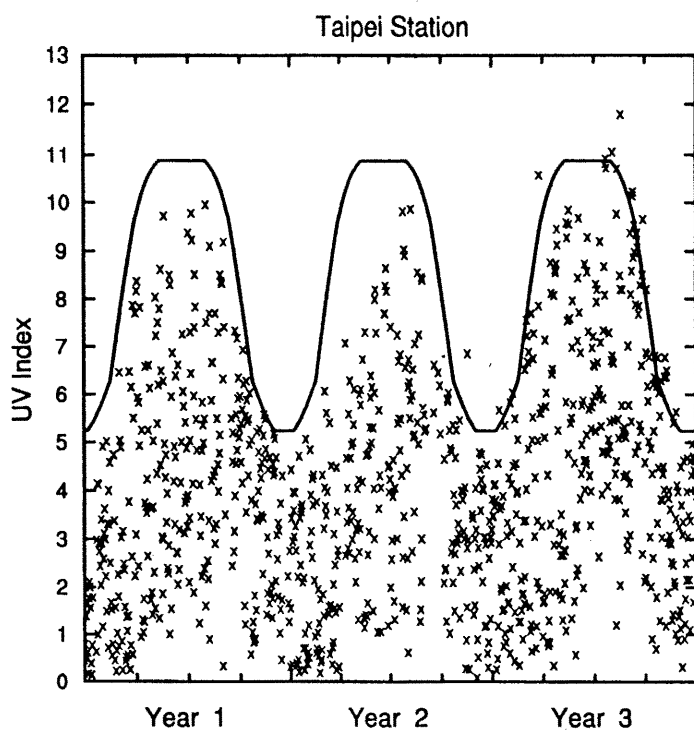


圖 6 測站三年期間每日觀測 UVI 值之分布。其中，曲線代表晴天 UVI 值之分布，該值之估算見內文說明。

表 1 測站的晴天 UVI 值 (無單位量) 於不同天頂角範圍內之平均值。括號內是 DUV 值，單位 mW/m^2 。

\cos (天頂角)	1.0~0.95	0.95~0.90	0.90~0.85	0.85~0.70	0.70~0.65
台北測站	10.9 (271.9)	9.6 (240.2)	8.5 (213.2)	6.3 (157.0)	5.2 (131.0)
成功測站	12.2 (305.1)	10.8 (269.0)	9.0 (224.5)	8.1 (201.8)	6.1 (152.9)

(DUV) 值的差異。表中對照清楚指示在類似天頂角下，台北測站所反映的晴天 UVI (DUV) 值都比台東成功測站小，以 UVI 值而言相距大約 1 ~ 2 指數左右，在晴朗條件能達 10 ~ 20 % 的差距，顯示兩地大氣懸浮微粒的濃度有極大差異。定性上，這現象與 Liu and Feng (1990) 計算台北及台東兩測站自 1982 到 1987 的平均懸浮微粒光程，發現台北的懸浮微粒光程是台東兩倍的結果不謀而合。此外，Liu and Feng 也發現春秋是城市地區懸浮微粒光程的高峰期，值得注意的是表 1 大約代表春秋之際的天頂角範圍 0.85 ~ 0.7 之間似乎也出現兩者最顯著的差距。

接著，使用晴天的 UVI 值定義一個所謂雲衰減因子 (Cloud Attenuation Factor ，簡稱 CAF) 如下：

$$\text{CAF} = \frac{\text{觀測 UVI}}{\text{晴天 UVI}}$$

若 CAF 大於 1 ，假設為 1 。UVI 代表雲對紫外線輻射的影響程度。兩測站每日的 CAF 值與對應目視雲量之間對應關係的分布，如圖 7 所示。圖中顯示大體上 CAF 值隨著雲量增加有逐漸遞減的趨勢，尤其對於每一雲量區間所發生的 CAF 最小值，其遞減的走勢相當清楚，不過反觀同區間出現的 CAF 最大值區並未隨著雲量分布而有明顯變小的現象，這使得 CAF 的上下值域範圍隨雲量增多逐漸變寬。這現象可能肇因於當雲量愈多時，雲的不確定因素也就愈複雜而多樣，其中包括了雲厚、雲類以及人為對雲量目視的差異性。

建立定量化 UVI 值與雲量相關性的問題上，

我們仿照美國氣象局的作法 (Long et al. , 1996) ，先將雲量歸納四個類別(1)晴天 (目視雲量介於 0 ~ 1/10) ，(2)疏雲 (目視雲量介於 2/10 ~ 5/10) ，(3)多雲 (目視雲量介於 6/10 ~ 8/10) ，(4)陰天 (雲量介於 9/10 ~ 10/10) 。然後，統合每一類所有個案的 CAF 並計算其總體平均 CAF 值和前 25 % 及後 25 % 之平均 CAF 值，如表 2 所列，這些代表性的 CAF 值將作為下一節 UVI 預報方法中定量雲衰減效應的基礎。表中 CAF 各種平均值在晴天和疏雲兩類中差別不大，而且這些類別 CAF 值前 25 % 平均接近 1 但後 25 % 平均卻降至 0.6 ~ 0.5 左右，這可能與雲量較少時觀測當時角度之紫外線受雲遮蔽機率較隨機有關，此外伴隨的天氣型態也可能出現高層薄卷雲在雲量上較不被定義或目視。當雲分布轉成多雲及陰天，CAF 平均值的變化就明顯許多，以總體 CAF 平均值而言，從疏雲的 0.8 左右降至多雲的 0.6 之間及陰天的 0.35 。另一方面，鑑於比較兩測站 CAF 值在隨雲分類的變化上有其相似性，因此將兩測站的結果加以合成，如表 2 (c) 部分。在下一節的 UVI 預報方法，將測試測站使用合成的 CAF 值與雲量之關係分布以及使用各別分布對其 UVI 預報效果的影響。

四、紫外線指數與雲量—預報方法和測試

觀念上，所謂的預報方法必須在預報技術上優於持續法才有應用價值。因此，以持續法為預報方法所獲得的預報技術，會作為本節提出另外預報方

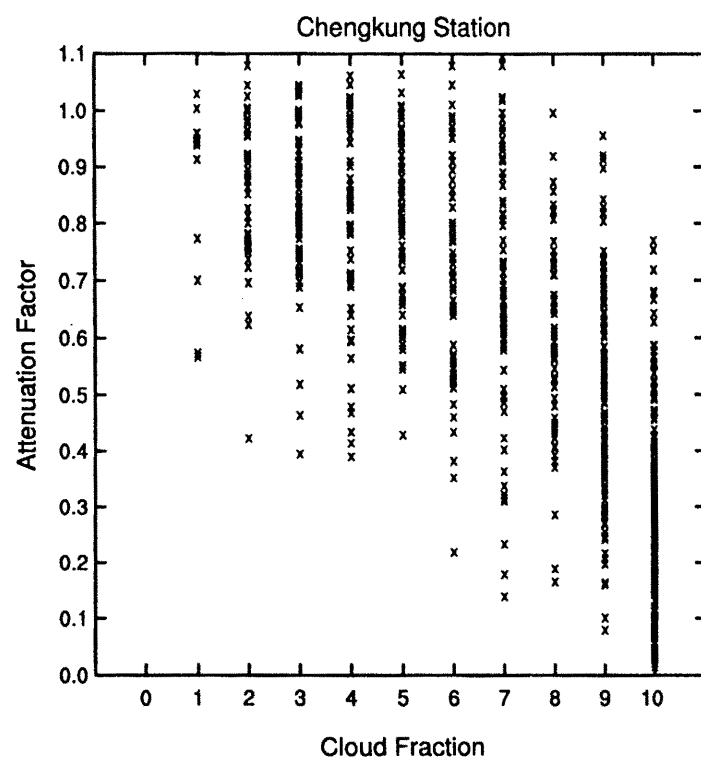
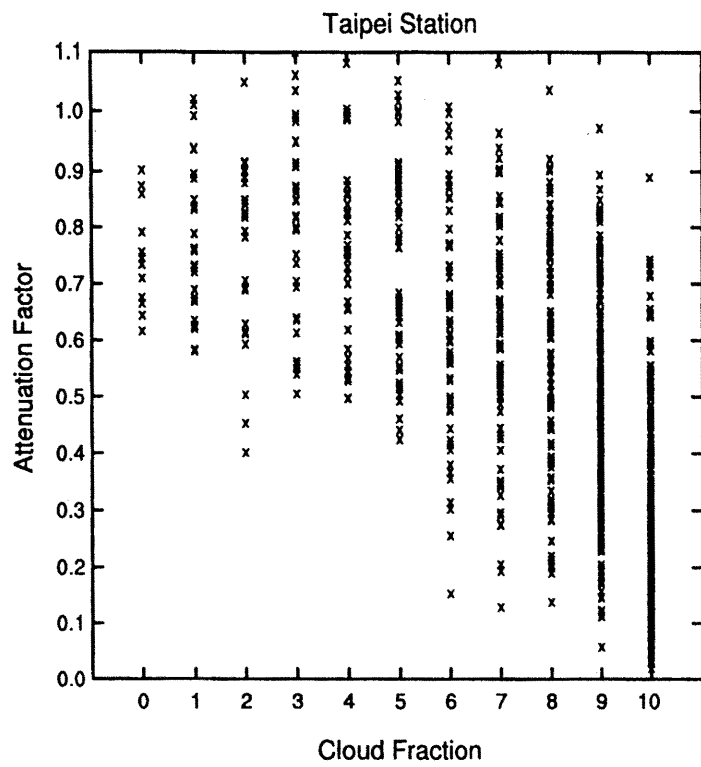


圖 7 測站每日的 CAF 值與目視雲量之間對應關係的分布。

表 2 測站 CAF 值在不同雲類條件下的各種統計平均值。前 25 % 是指前 1/4CAF 值較大的個案，反之後 25 % 指後 1/4CAF 值較小的個案。晴天的雲量介於 0 至 1/10，疏雲是 2/10 至 5/10，多雲是 6/10 至 8/10，陰天是 9/10 至 10/10。

雲類屬性	晴天	疏雲	多雲	陰天
(a)台北測站				
總平均	0.78	0.77	0.60	0.35
前 25%平均	0.95	0.97	0.86	0.64
後 25%平均	0.61	0.54	0.32	0.11
(b)成功測站				
總平均	0.86	0.81	0.67	0.35
前 25%平均	0.99	0.98	0.92	0.62
後 25%平均	0.62	0.62	0.62	0.13
(c)台北和成功測站的合成				
總平均	0.80	0.80	0.63	0.35
前 25%平均	0.96	0.98	0.89	0.63
後 25%平均	0.61	0.59	0.36	0.11

法的檢試基礎。

基本上，持續法的劣勢在於無法掌握天氣系統消長所產生的 UVI 值變化，因此我們構想的預報方法希望能一方面維持持續法內含的預報技術，另一方面補強它的缺點。依此概念並根據前一節 CAF 值與雲量的定量分布，我們提出一種簡單的預報方法，步驟敘述如下：

步驟一：先取得已知的紫外線資料包括(1)估算明日的晴天 UVI 值：為了方便應用，我們將晴天 UVI 值製作成表列，如表 3，可以簡單依據日期查尋對應值。(2)當天正午的 UVI 觀測值。

步驟二：預報明天的雲量並判斷其隸屬的雲量分類（晴、疏雲、多雲或陰天）。

步驟三：依據步驟二預報的雲量分類找出表 2 中對應的 CAF 值。方法上，預報人員從經驗的累積可幫助選擇適當的 CAF 值，其值應介於表中前 25 % 平均值至 25 % 平均值，或者直接採用總體平均 CAF 值。

步驟四：將該 CAF 值乘以明日晴天 UVI 值，我們稱此為明日的初步 UVI 預報值。

步驟五：若明天所預報的雲量屬性與今天相同或近似，預報人員可在當天的 UVI 觀測值和初步 UVI 預報值之間判斷適當的明日 UVI 預報值，或者可取兩者平均或直接沿用當日的 UVI 觀測。這個概念是希望以持續法加強預報的技術。反之明日雲量屬性將變化，以初步 UVI 預報值直接作為明日 UVI 預報值。

利用上述的預報程序，以目前 1995 至 1997 年的觀測進行基本測試，瞭解它具有的預報技術及誤差表現。關於步驟二預報明日雲量屬性的問題，測試過程直接採用測站隔日的雲量觀測當作預報，因此這預報成效包含著預報員能相當準確預測隔日雲量的假設。其次，在 CAF 值的判斷逕取用總體平均值。圖 8 是測試過程的計算流程。

表 4 是兩測站的預報測試結果，其中結果又因 CAF 值採用的策略不同而分兩種。結果顯示，本

表 3 表列測站對應日期之晴天 UVI 值。

(a) 台北測站

日期	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	5.2	5.8	7.4	9.7	10.7	10.9	10.9	10.9	10.1	8.2	6.0	5.3
2	5.2	5.8	7.5	9.8	10.7	10.9	10.9	10.9	10.1	8.1	6.0	5.3
3	5.2	5.9	7.5	9.8	10.8	10.9	10.9	10.9	10.1	8.1	6.0	5.2
4	5.2	5.9	7.6	9.9	10.8	10.9	10.9	10.8	10.0	8.0	5.9	5.2
5	5.2	5.9	7.7	9.9	10.8	10.9	10.9	10.8	10.0	7.9	5.9	5.2
6	5.2	5.9	7.8	10.0	10.8	10.9	10.9	10.8	9.9	7.8	5.9	5.2
7	5.2	6.0	7.9	10.0	10.8	10.9	10.9	10.8	9.9	7.7	5.8	5.2
8	5.2	6.0	8.0	10.0	10.8	10.9	10.9	10.8	9.8	7.6	5.8	5.2
9	5.3	6.0	8.0	10.1	10.8	10.9	10.9	10.8	9.8	7.6	5.8	5.2
10	5.3	6.1	8.1	10.1	10.9	10.9	10.9	10.8	9.7	7.5	5.7	5.2
11	5.3	6.1	8.2	10.2	10.9	10.9	10.9	10.7	9.7	7.4	5.7	5.2
12	5.3	6.1	8.3	10.2	10.9	10.9	10.9	10.7	9.6	7.3	5.7	5.2
13	5.3	6.2	8.4	10.2	10.9	10.9	10.9	10.7	9.6	7.2	5.7	5.2
14	5.4	6.2	8.4	10.3	10.9	10.9	10.9	10.7	9.5	7.1	5.6	5.2
15	5.4	6.2	8.5	10.3	10.9	10.9	10.9	10.7	9.4	7.0	5.6	5.2
16	5.4	6.3	8.6	10.3	10.9	10.9	10.9	10.6	9.4	7.0	5.6	5.2
17	5.4	6.3	8.7	10.4	10.9	10.9	10.9	10.6	9.3	6.9	5.6	5.2
18	5.4	6.4	8.8	10.4	10.9	10.9	10.9	10.6	9.2	6.8	5.5	5.2
19	5.5	6.5	8.8	10.4	10.9	10.9	10.9	10.6	9.2	6.7	5.5	5.2
20	5.5	6.6	8.9	10.5	10.9	10.9	10.9	10.5	9.1	6.6	5.5	5.2
21	5.5	6.7	9.0	10.5	10.9	10.9	10.9	10.5	9.0	6.5	5.5	5.2
22	5.5	6.8	9.1	10.5	10.9	10.9	10.9	10.5	8.9	6.4	5.4	5.2
23	5.6	6.9	9.1	10.5	10.9	10.9	10.9	10.4	8.9	6.3	5.4	5.2
24	5.6	6.9	9.2	10.6	10.9	10.9	10.9	10.4	8.8	6.3	5.4	5.2
25	5.6	7.0	9.3	10.6	10.9	10.9	10.9	10.4	8.7	6.2	5.4	5.2
26	5.6	7.1	9.4	10.6	10.9	10.9	10.9	10.4	8.6	6.2	5.4	5.2
27	5.7	7.2	9.4	10.6	10.9	10.9	10.9	10.3	8.5	6.2	5.3	5.2
28	5.7	7.3	9.5	10.7	10.9	10.9	10.9	10.3	8.5	6.1	5.3	5.2
29	5.7		9.6	10.7	10.9	10.9	10.9	10.2	8.4	6.1	5.3	5.2
30	5.7		9.6	10.7	10.9	10.9	10.9	10.2	8.3	6.1	5.3	5.2
31	5.8		9.7		10.9		10.9	10.2		6.0		5.2

表 3 續

(b) 成功測站

日期	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	6.1	7.3	8.9	11.1	12.1	12.2	12.2	12.2	11.5	9.8	7.8	6.3
2	6.1	7.4	9.0	11.2	12.1	12.2	12.2	12.2	11.5	9.7	7.7	6.3
3	6.2	7.5	9.1	11.2	12.1	12.2	12.2	12.2	11.5	9.6	7.6	6.3
4	6.2	7.5	9.1	11.3	12.1	12.2	12.2	12.2	11.4	9.5	7.6	6.3
5	6.2	7.6	9.2	11.3	12.1	12.2	12.2	12.2	11.4	9.4	7.5	6.2
6	6.2	7.6	9.3	11.4	12.1	12.2	12.2	12.2	11.3	9.3	7.5	6.2
7	6.3	7.7	9.4	11.4	12.1	12.2	12.2	12.1	11.3	9.3	7.4	6.2
8	6.3	7.7	9.5	11.4	12.2	12.2	12.2	12.1	11.3	9.2	7.4	6.2
9	6.3	7.8	9.6	11.5	12.2	12.2	12.2	12.1	11.2	9.1	7.3	6.1
10	6.4	7.9	9.7	11.5	12.2	12.2	12.2	12.1	11.2	9.0	7.3	6.1
11	6.4	7.9	9.8	11.6	12.2	12.2	12.2	12.1	11.1	8.9	7.2	6.1
12	6.4	8.0	9.8	11.6	12.2	12.2	12.2	12.1	11.1	8.9	7.1	6.1
13	6.5	8.0	9.9	11.6	12.2	12.2	12.2	12.1	11.0	8.8	7.1	6.1
14	6.5	8.1	10.0	11.7	12.2	12.2	12.2	12.0	11.0	8.8	7.0	6.1
15	6.5	8.1	10.1	11.7	12.2	12.2	12.2	12.0	10.9	8.7	7.0	6.1
16	6.6	8.2	10.1	11.7	12.2	12.2	12.2	12.0	10.9	8.7	6.9	6.1
17	6.6	8.3	10.2	11.8	12.2	12.2	12.2	12.0	10.8	8.6	6.9	6.1
18	6.7	8.3	10.3	11.8	12.2	12.2	12.2	12.0	10.7	8.6	6.8	6.1
19	6.7	8.4	10.4	11.8	12.2	12.2	12.2	11.9	10.7	8.5	6.8	6.1
20	6.7	8.4	10.4	11.8	12.2	12.2	12.2	11.9	10.6	8.4	6.8	6.1
21	6.8	8.5	10.5	11.9	12.2	12.2	12.2	11.9	10.5	8.4	6.7	6.1
22	6.8	8.5	10.6	11.9	12.2	12.2	12.2	11.9	10.5	8.3	6.7	6.1
23	6.9	8.6	10.7	11.9	12.2	12.2	12.2	11.8	10.4	8.3	6.6	6.1
24	6.9	8.6	10.7	11.9	12.2	12.2	12.2	11.8	10.3	8.2	6.6	6.1
25	7.0	8.7	10.8	12.0	12.2	12.2	12.2	11.8	10.2	8.2	6.5	6.1
26	7.0	8.8	10.8	12.0	12.2	12.2	12.2	11.7	10.2	8.1	6.5	6.1
27	7.1	8.8	10.9	12.0	12.2	12.2	12.2	11.7	10.1	8.1	6.5	6.1
28	7.1	8.9	10.9	12.0	12.2	12.2	12.2	11.7	10.0	8.0	6.4	6.1
29	7.2		11.0	12.0	12.2	12.2	12.2	11.6	9.9	7.9	6.4	6.1
30	7.2		11.0	12.1	12.2	12.2	12.2	11.6	9.8	7.9	6.4	6.1
31	7.3		11.1		12.2		12.2	11.6		7.8		6.1

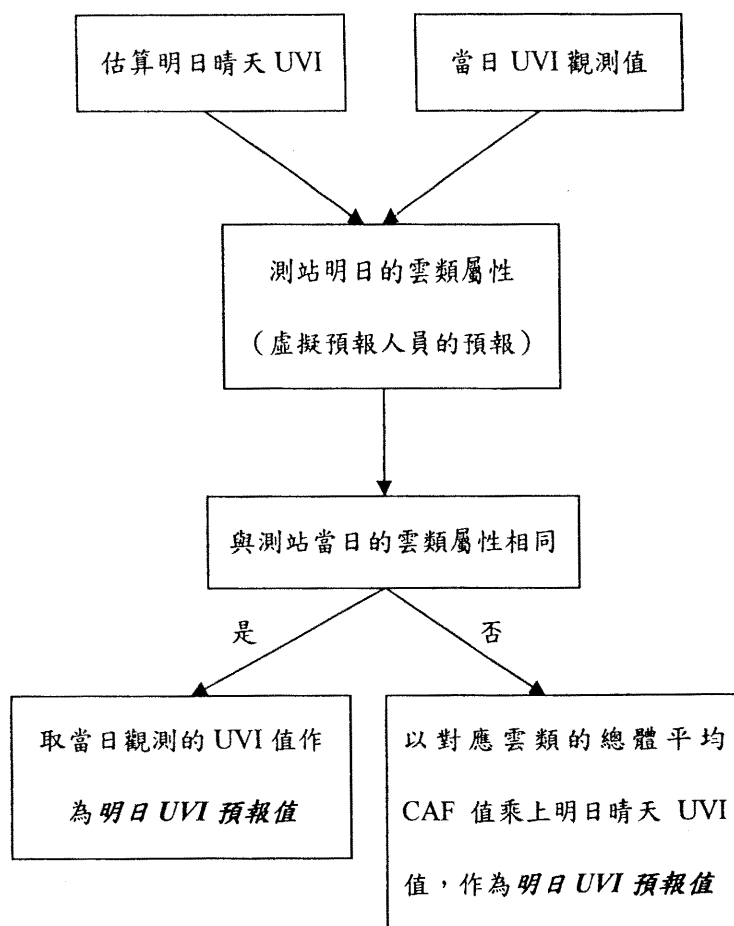


圖 8 測試本研究紫外線指數預報法的計算流程。

表 4 比較不同紫外線指數預報法之預報誤差統計。其中，預報法(1)是指 CAF 值採用各別測站之統計值，預報法(2)指 CAF 值採用兩測站合成之統計值。

UVI 誤差	0	±1 以內	±2 以內	±3 以內	均方根
(a) 台北測站					
持續法	17.9	53.0	71.3	83.8	2.50
預報法(1)	23.1	64.8	85.1	95.6	1.73
預報法(2)	22.3	64.6	84.2	94.9	1.75
(b) 成功測站					
持續法	16.2	43.4	65.4	78.7	2.89
預報法(1)	21.8	59.9	86.2	93.8	1.85
預報法(2)	21.6	58.7	85.6	93.8	1.86

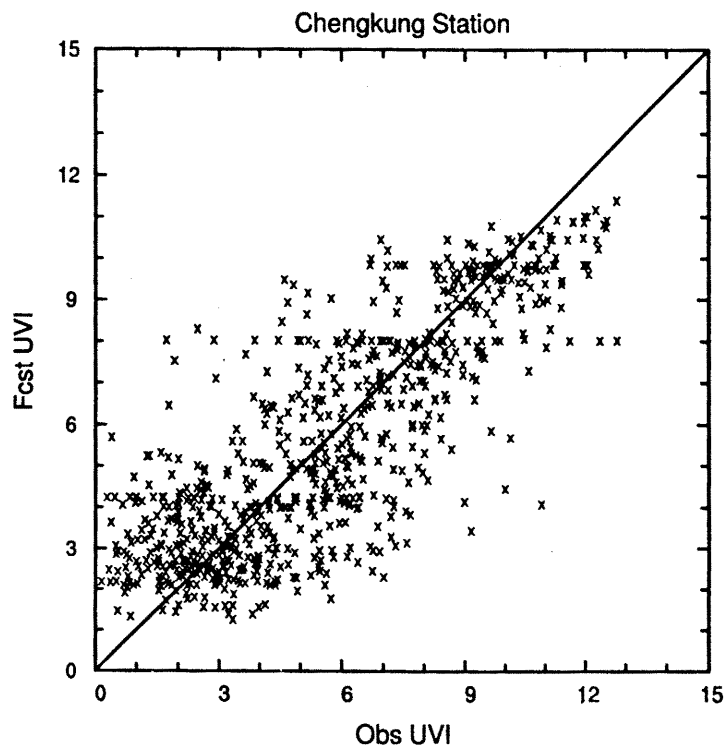
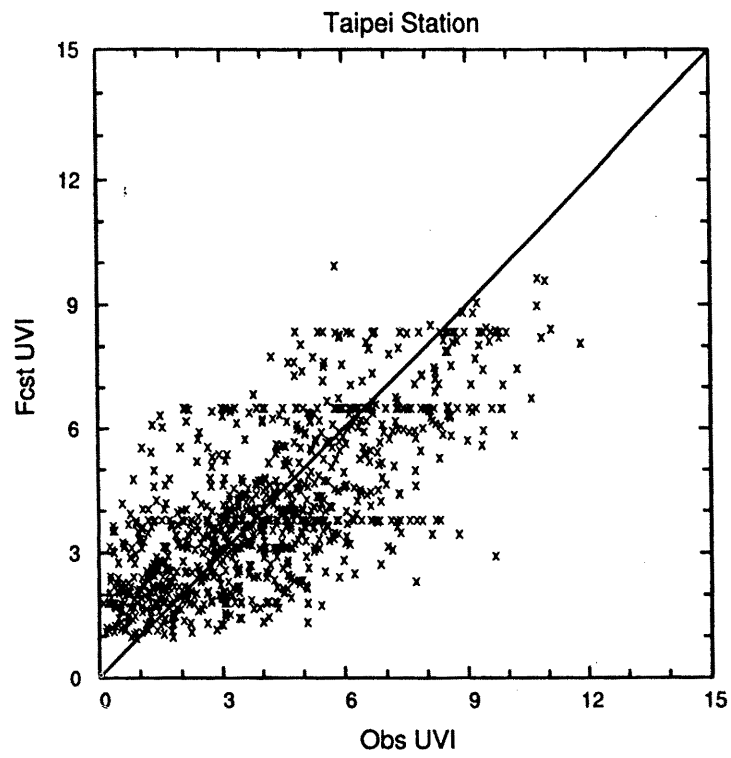


圖 9 測站每日 UVI 觀測值與預報值之對應分布。

研究所發展的預報法無論在那一測站都有比持續法較佳的預報技術，持續法的表現在台北和成功分別會產生 2.50 和 2.89 的均方根誤差，但本預報法可使兩測站均方根誤差均分別降至 1.72 及 1.85，其中以成功測站的改進效果較顯著。分析預報法對 UVI 值預報的誤差分布，基本上絕大多數的個案（93% 以上）的絕對誤差都保持在 3 以內，其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占有 60% 上下比率，相對上持續法中絕對誤差都保持在 3 以內的個案比率只有 80% 上下，其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占有 50% 左右。另一方面，比較使用不同 CAF 值來源的影響，可以發現預報技術差異甚微，這是否意謂 CAF 值與雲量的相關性的分布，不因測站的不同而有顯著差異，所以能由合成獲得的 CAF 值與雲量之統計值應用於各個測站？若是如此，未來使用同套統計值預報台灣各地 UVI 值，將有作業上極大的便利性。不過，這問題仍有待蒐集更多測站資料，進一步分析證實。

圖 9 是兩測站每日 UVI 觀測值與預報值（表 4 預報法(1)）之對應分布。整體來說，若以 UVI 預報值的絕對誤差範圍而論，無論對應的 UVI 觀測值是大或小，表現都相當平均大約在 ± 3 以內，亦即絕對誤差並未偏重在某些 UVI 值上。這顯示此預報法在各種條件下都能保持一定的預報水準。

五、結論與建議

本報告利用台北與台東成功測站 1994-1996 年包含每日正午的 DUV 值、對應的目視雲量觀測及該日測得的臭氧含量等觀測資料，分析紫外線指數與雲量的相關性，並且從中歸納定量性質提出新的紫外線指數預報法。首先，紫外線指數與雲量之相關性上，本研究的結果顯示：

1. 類似天頂角下，台北站所反映的晴天 UVI 值都比台東成功站小，以 UVI 值而言相距大約 1 ~ 2 指數左右，在晴朗條件能達 10 ~ 20 % 的差距，顯示兩地大氣懸浮微粒的濃度有極大的差異。定性上，這現象與 Liu and Feng (1990) 計算台北及台東兩測站自 1982 到 1987 的平均懸浮微粒光程，發現台北的懸浮微粒光程是台東兩倍的結果不謀而合。

2. CAF 值隨著雲量增加有逐漸遞減的趨勢，尤其對於每一雲量區間所發生的 CAF 最小值，其遞減的走勢相當清楚，不過反觀同區間出現的 CAF 之上下值域範圍隨雲量增多逐漸變寬。這現象可能肇因於當量愈多時，雲的不確定因素也就愈複雜而多樣，其中包括了雲厚、雲類以及人為對雲量目視的差異性。
3. CAF 值在晴天和疏雲兩類中差別不大，而且這些類別 CAF 值前 25 % 平均接近 1 但後 25 % 平均卻降至 0.6 ~ 0.5 左右，這可能與雲量較少時觀測當時角度之紫外線受雲遮蔽機率較隨機有關，此外伴隨的天氣型態也可能出現高層薄卷雲在雲量上較不易被定義或目視。當雲分布轉成多雲及陰天時，CAF 平均值的變化就明顯許多，以總體 CAF 平均值而言，從疏雲的 0.8 左右降至多雲的 0.6 之間及陰天的 0.35。

根據 CAF 值與雲量的定量分布，我們提出一種維持持續法內含的預報技術，另一方面補強它缺點的簡單預報方法。以此法所作的預報測試顯示，本研究所發展的預報法無論在那一測站都有比持續法較佳的預報技術，持續法的表現在台北和成功分別會產生 2.50 和 2.89 的均方根誤差，但本預報法可使測站均方根誤差分別降至 1.72 及 1.85，其中以成功測站的改進效果較顯著。分析預報法對 UVI 值預報的誤差分布，基本上絕大多數的個案（93% 以上）的絕對誤差都保持在 3 以內，其中絕對誤差在 1 以內的準確個案占有 60% 上下比率。此外，無論對應的 UVI 觀測值是大或小，UVI 預報值的絕對誤差範圍表現都相當平均，顯示本預報法在各種條件下都能保持一定的預報水準。

根據柳等（1998）對現行紫外線指數預報法的校驗顯示，台北測站的均方根誤差約是 2.08，而台東成功約是 2.34。比較上，本研究提出的方法顯然具有較佳的預報品質，分析其中的關鍵應該在於本法利用雲量直接作為預報紫外線指數的基底。有鑑於此，一旦本局開始提供雲量預報時，應立即建立一套與雲量相關的紫外線指數預報法，將能有效改善現行方法的預報技術。因而，在發展未來方法的方向上，本研究提出的紫外線指數預報法

可作為一種參考，並且在實際作業上本方法相當簡便以及可自動化，因此若尚未建立最佳的預報法，本方法將可應用。

致 謝

本研究進行期間承蒙中央氣象局第二組張科長修武及其屬員熱心提供紫外線觀測資料，特此致謝。並感謝兩位審查者的寶貴意見。

參考文獻

劉銘龍、柳中明、陳福來和張修武，1997：空氣品質污染防治長期發展規劃與對植物之危害性研究—紫外線指數之監測、預估與教育宣

導。EPA-86-FA41-09-E8，共61頁。
柳中明、劉銘龍和陳正平，1998：紫外線指數之監測、預估與教育宣導。EPA-87-FA04-03-11，共114頁。
Liu, C. M., and T. S. Feng, 1990: Atmospheric turbidity over Taiwan. *Atmos. Environ.*, 24A, 1303-1312.
Long, C. S., A. J. Miller, H. T. Lee, J. D. Wild, R. C. Przywarty, and D. Hufford, 1996: Ultraviolet index forecasts issued by the National Weather Service. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 729-748.

ANALYSIS AND FORECAST OF ULTRA-VIOLET INDEX

Chin-Tzu Fong

Research and Development Center, Central Weather Bureau

Ming-Jen Yang

Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University

ABSTRACT

A successful forecast of the Ultra-Violet Index (UVI) mainly depends on the correct estimation of cloud attenuation effect. Since the cloud amount may become one of daily forecast items at the Central Weather Bureau in the future, this research conducted analysis of UVI and observed cloud-amount data at Taipei and Cheng-Kung stations from 1994 to 1996, in order to provide a UVI prognostic method based on cloud amount information.

We first isolated the cloud effect on the UVI. The clear-sky UVI value of each station was determined from the UVI observations, and a Cloud Attenuation Factor (CAF) was defined as the ratio between the observed UVI and the clear-sky UVI. The corresponding relations between CAF and cloud amount were quantified by four categories of cloud amount: (1) clear, (2) scattered, (3) broken, and (4) overcast. A UVI forecast method was proposed based on the statistical characteristics of CAF and cloud amount. The predicted UVI by this forecast method has root-mean-square errors of 1.72 and 1.85 at Taipei and Cheng-Kung stations, respectively; 60 % of the forecast events have absolute errors less than 1. The standard deviation of predicted UVI is very small regardless of the value of observed UVI, which indicated that this UVI prediction method can maintain certain forecast performance under different sky conditions.