

# 臺灣臭氧量與紫外線(UVB)之分析研究

徐 辛 鈦

中央氣象局

周 淑 美

中央氣象局

## 摘要

本文使用中央氣象局台北站之臭氧總量、紫外線幅射量和板橋站臭氧探空資料進行研究分析。資料時間雖短且不完整，但仍發現在對流層臭氧集中在溫度槽，但在對流層頂以上，臭氧與氣溫關係則不明確。

紫外線幅射的日變化、月變化明顯。以季節論，夏季之紫外線通量密度最強。5~7月則是台北地區最易罹患皮膚紅斑的月份，每日又以中午(11~13點)的紫外線最具威脅。

在紫外線波譜內，波長愈短者，隨著臭氧量的減少，其幅射通量密度有明顯增加；波長在300~295nm間之放大因子較大。當以不同天頂作觀測時，發現天頂角小( $20^\circ \sim 30^\circ$ )時，紫外線通量密度因被臭氧吸收而呈現出與臭氧總量多寡相反的變化。

## 一、前 言

### 1. 引言

大氣中主要成分為氮( $N_2$ )和氧( $O_2$ )，其共佔大氣成分的98%以上，但當太陽幅射傳輸至地球表面大氣時，能吸收太陽幅射的並非上述的二種氣體，而是水汽、二氧化碳、臭氧( $O_3$ )、二氧化氮( $NO_2$ )及懸浮微粒。

水汽對太陽幅射之吸收主要是以遠紫外線(10~200nm)為主，其吸收的波長有16~110nm，105~145nm及145~190等三波段。二氧化碳所吸收的波長為100~200nm間。而臭氧主要吸收紫外線區有哈特利帶(Hartley band)(220~320nm)(毫微米， $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ )、韓勤士帶(Huggins band)(300~345nm)和可見光區的賈布衣帶(Chappuis band)(400~750nm)。而易致細胞病變、皮膚病的波長為250~350nm，可見臭氧吸收太陽幅射，其對人類及其他生物影響最大。

高層臭氧會吸收紫外線幅射量，理論上若臭氧減少，紫外線的強度自然會增強。此正為全球臭氧量變化情形受到眾人關切的原因。有關大氣中的溫

度場之於臭氧量的相關情形，亦為本文探討內容。除此之外，另一重心則放在研究紫外線幅射之特徵及與臭氧量的變化情形。

UV-B的強度，會隨著時間、地點不同而異。通常夏季較冬季強，低緯度比高緯度地區強，而高海拔則比低海拔地區強。但無論如何，大氣中臭氧減少，理論上全球各地的UV-B都會增強。據估計，臭氧若減少1%，UV-B大約就會增加2%。

### 2. 文獻回顧及問題探討

國內對臭氧和紫外線之探討不多，早期有呂世宗(1979年)的台北臭氧全量之垂直分佈研究，他利用陶伯森分光儀觀測Hmkehr效應，以Walton之A法使用圖解法計算臭氧全量之垂直分布，所得結果為12~24公里高度約有臭氧量之49.34%，24~36公里者約有28.8%，而臭氧量與高層氣溫之關連，在100mb及500mb最高，其回歸係數可至+0.66。呂同時又分析台北臭氧全量與噴射氣流位移之關係，他認為臭氧量之短期變化，應歸為南北移流之效應較為合理。

楊及陳(1989年)曾對台北臭氧全量進行月平均及年變化之分析，其發現臭氧總量在4月、5月最

高，冬天(12月)最低，而年際變化仍在300DU左右，至1987年後稍有減少趨勢。梁(1993年)對於大氣臭氧層與天氣關係進行探討，他認為高氣壓和低氣壓範圍內，臭氧含量較多；在300hPa之氣壓與臭氧為負相關，氣壓槽之臭氧全量較氣壓脊為多，而臭氧最大值出現在地面囚錮低壓之上方。

林等(1993年)分析臭氧總量及臭氧垂直剖面之分佈情形，梁等認為台北臭氧總量從1982年至1992年間平均減少3%；臭氧總量在春末夏初最高，冬天最低，二者極值差25%；而垂直分佈大多是雙峰型，主峰在22~25公里高度間，次峰在近地層(可能與污染有關)，臭氧極小值平均在15公里高度。

國外有關臭氧及紫外線之研究很早就開始，當南極及中緯度地區之平流層臭氧逐漸減少的現象被證實後(Farman, 1985)(Stolarski, 1992)，大範圍臭氧和UV監測工作遂受到極大的重視，人們惟恐臭氧的減少會連帶造成紫外輻射量的增加，進而危害到地球上的生物。一連串長期監測計畫於焉展開。

在瑞士高山測站Alps(47°N, 3576m)觀測到UVB以每年1%的速率增加(1981~1989年資料)；Blumthaler將之歸因於平流層臭氧減少的結果。位處低緯度的印度測站Mysore(12.6°N, 76.6°E)，其資料顯示：當太陽天頂角愈小時，固定波段的紫外輻射通量與臭氧全量值有相反的趨勢(B. S. N Prasadet, 1990)。另一方面，由美國地區的紫外輻射監測網，卻並未發現紫外線輻射增加的情形，從1974~1985年的資料分析得知UVB約以每年0.5至1.1%的速率減少(Scotto, 1988)；Grant(1988)認為都市地區大量的污染物是造成UVB值下降的主要原因，而美國地區極多的觀測站係設立於市區中心。西德馬克斯·蒲朗克協會最近發表一篇研究報告指出：雖然人為的化學物質破壞了南極上空的臭氧層，但是北半球對流層的臭氧量逐年遞增，竟防堵了可能造成的紫外線輻射傷害。北半球的低空臭氧量現正以每年1%的速率遞增，這些臭氧與其他的空氣污染分子構成光化學煙霧，增加了紫外線的散射機會。而南半球由於工業污染較少，空氣較為乾淨，反而可能造成地面紫外線輻射量的增高，帶來種種傷害。

在大氣中的懸浮微粒、一氧化碳、甲烷等均會

影響紫外線對地球表面的輻射。當然，其他因素如雲量多寡、日地距離、日射角等都很重要。以上所述之各項因素對於到達地面之紫外線輻射量皆有相當份量的影響，但卻無法判定何項因素是最具決定性的。

因此，在不同的條件狀況下觀測太陽輻射，所測得之紫外線輻射量則多寡不一。又臭氧和大氣組成物之相互作用也會影響紫外線觀測值；譬如臭氧總量減少，一般紫外線輻射應增加，但事實卻不一定如此，此是否因懸浮微粒增加或其他污染物增加而使紫外線輻射量減少，這些都是尚待探討的問題。

另外，缺乏標準的觀測工具和校驗程序，對資料之持續性和一致性也有影響，連帶地減低了資料之應用價值。尚有些儀器之細節問題會影響紫外線觀測，如標準燈和儀器之距儀、標準燈之軸向、電流之溫度之穩定與否和儀器之老化等，均可改變紫外線輻射量之觀測值。

## 二、資料處理方法

### 1. 臭氧總量資料處理及校正

本研究所使用之臭氧資料是1993年由中央氣象局在台北用Brewer臭氧分光儀所作的每日觀測。Brewer儀器之觀測原理與Doson儀器觀測原理相似，只是以自動化作業。Brewer儀器的關鍵部份是光譜儀系統，標準的光譜儀系統，標準的光譜儀系統通常是由水平及天頂控制系統、光學自動系統、光電轉換系統三部份所組成。其每日的臭氧總量觀測必須執行二個重要的水銀燈測試(HG TEST)及標準燈檢測(SL TEST)，以測參數，若在合理範圍內，其臭氧總量資料方被採用。

由於太陽位置之改變，觀測時其天頂角亦隨之改變，隨著日出到日落間天頂角的變化，一天內有多次的臭氧總量觀測。為維持資料之品質，除要細心做檢測工作外，尚要考慮因為天氣現象的改變所造成之觀測誤差。例如：雲量多寡的不同會影響日光的散射效果，測得之輻射值便會有所偏差，間接影響到計算之臭氧量。故僅挑選每日標準差小於2.5的觀測值，對其做算術平均，而將此平均值視為當日的臭氧總量，以去除掉振盪性過高的觀測數值。

對臭氧總量之觀測資料先去除標準差大於2.5之資料外，另還用台北之臭氧總量和板橋臭氧剖面觀測資料(垂直積分後，再作經驗函數外延計算其臭氧總量)進行比對，比對結果如相差15%以上，則資料須再與臭氧總量之月平均值相比，以找出何者之值不確而加以去除。本文所用之資料，其比對結果一般都在10%以下，顯示資料準確度尚佳。

## 2.高空溫度場資料來源

本文所使用之高空溫度資料包括中央氣象局板橋站，每日的探空資料，以及配合ECC臭氧剖面觀測每二週釋放的探空資料。前者採用無線電經緯儀觀測，是屬於單點測風法(Directi on Finder)的一種，後者則是利用Omega導航測風系統(Navigation Aid System)來觀測，二者皆是氣球軌跡測風原理的應用。此二種測量方法所得之垂直剖面結果相當類似(王，1992)。由於時間解析度之不同，本文的溫度場垂直剖面分析部份，係採用Omega系統高空風觀測資料，以便與同時間釋放之ECC臭氧探空資料對照。而在討論臭氧量與高層溫度之相關時，則採用每日OOZ的無線電經緯儀探空觀測來與每日臭氧全量值做比較。

為瞭解高空氣溫資料之準確度，曾將二種方法所得資料作比較，在多次校驗結果，發現二者相差很小，只在近地層和15km以上有略有差異(觀測時間有幾小時誤差)，資料之準確度佳。

## 3.作用波譜(action spectrum)與放大因子RAF (Radiation Amplification factor)

太陽波譜是太陽幅射能隨波長(或波數、頻率)的分布。對大氣中的幅射傳遞而言，太陽放出的單色幅射強度，其數值太大了，在實用上並不方便。因此，最重要、最通用的太陽單色幅射參數是入射的水平面積上的太陽單色通量密度 $F_\lambda$ 。本文重點之一即放在紫外線幅射通量密度之波譜分析。

太陽幅射在高層大氣中主要被O<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、O和N所吸収。雖然大氣的臭氧變化對於到達地面的總幅射通量之影響可能極小，但其所造成的UVB波譜之變化，卻會嚴重地影響地球上的生物。科學家實驗發現，某些特殊的 UVB 帽

射通量密度之波譜分布，會對生物造成不良的效應。在不同程度的生物損傷(DNA被破壞或皮膚遭灼傷、產生紅斑等)，各有其不同的影響特徵。吾人稱這些特徵曲線為作用波譜(Action spectrum)(見圖九(A))。

倘若已知某種生物損害的作用波譜函數 $E(\lambda)$ ，則將幅射通量密度 $F(\lambda)$ 之觀測值乘上 $E(\lambda)$ ，便可藉以將UVB之效應特徵化、量化。

$$\text{EffectiveUVdoes} = \int E(\lambda) F(\lambda) d\lambda$$

本文使用之作用波譜函數有二種，如圖九(B)所示。

我們另以幅射放大因子RAF (Radiation Amplification Factor)的計算，來表示臭氧值與UVB值的影響情形。幅射放大因子的定義如下：

$$RAF = \frac{\Delta \% \text{ daily effective UVB dose}}{\Delta \% \text{ ozone layer thickness}}$$

(1982, Nachtwey and Rundel)

例如：當RAF=1時，表示若臭氧量減少1%，同時測得之UVB值將會增加1%。

## 4.紫外線資料處理

本文係採用中央氣象局台北站(25.0°N, 121.3°E)布魯爾分光儀(Brewer23)每日觀測所得之紫外線UVB資料，所觀測之波段為290-325nm，間距為0.5nm，資料期間為1992和1993兩年。使用光譜儀進行UVB觀測時，其誤差來源為波段設定的誤差、擴散器的靈敏度、假設cosine的誤差等多項，故儀器之絕對精確度不易估算，特別是短波段部分和天氣快速變化所影響的。若總和所有可能之因素可使UVB觀測誤差達20%。然而，對於維護良好且經常校驗的光譜儀而言，其UVB較長波段觀測的精確度可達5%。本文所用之資料是在中央氣象局嚴謹作業的觀測資料，且去除資料明顯太小值波長通量值小於12<sup>-12</sup>w/m<sup>2</sup>/nm，因瞬時間雲量變化所致)，故資料品管良好。

# 三、臭氧總量與溫度場之分析

## 1.臭氧總量分析

### (1)地面至2公里高度

2公里以下至地面的臭氧是大氣污染物之一，其濃度一般隨生物尤其人類活動和天氣狀況而變

1993 OZONE PROFILE IN PANCHIAO STATION, TAIWAN.

( $\times 10^{10}$  MOLECULES/cm $^3$ )

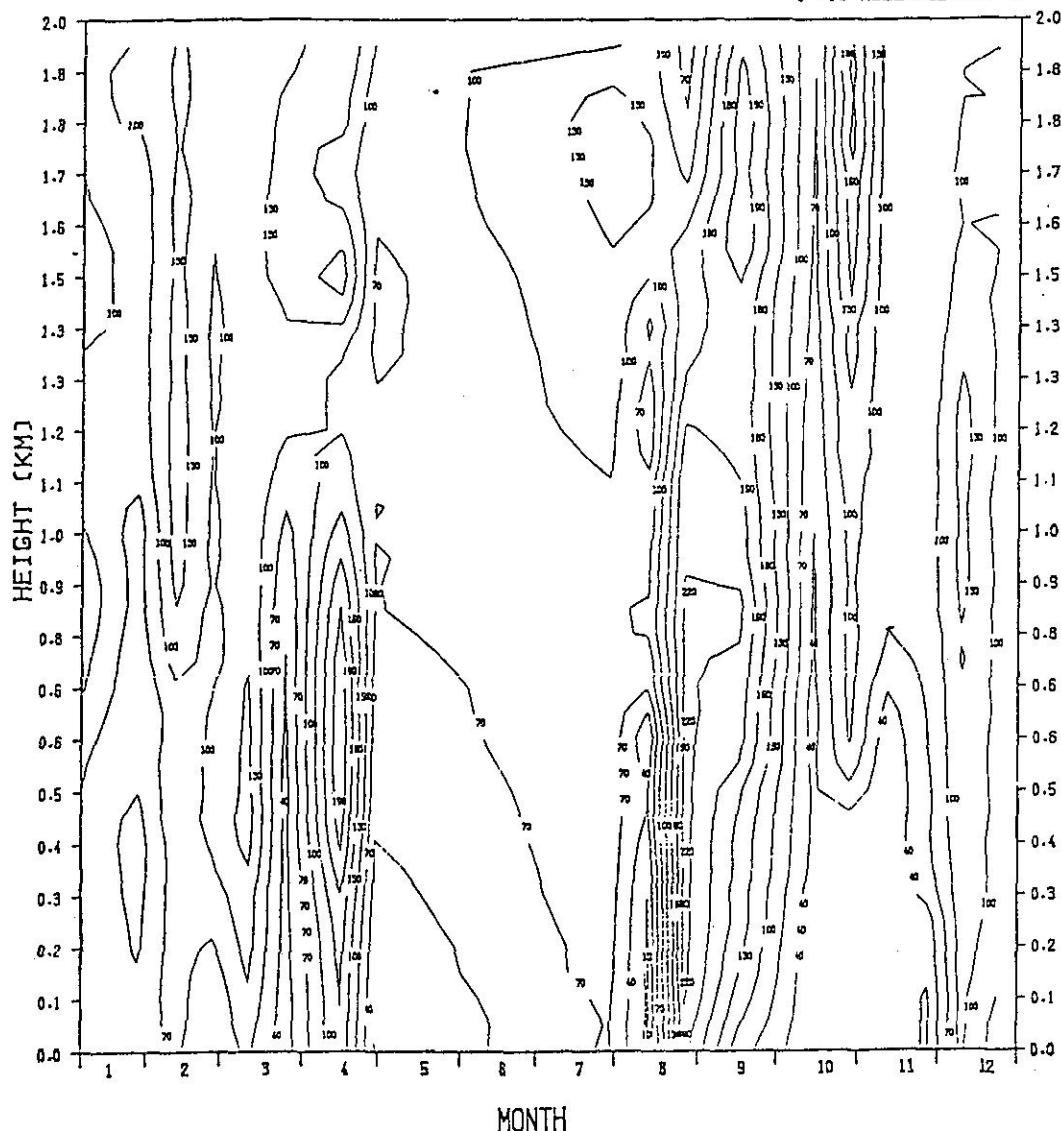


圖 1. 板橋站1993年地面到2Km之臭氧探空垂直剖面圖。

化。圖1顯示，4月、8月、9月及12月初近地層之臭氧濃度明顯地比其他月份大，其濃度達 $100 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 以上，在4月及8月間低層高空(0.5~1km)其濃度更達 $150 \sim 200 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ ，其他月份則明顯較低。高度在1公里以上之臭氧濃度除初夏(5月~7月)外，其他月份臭氧濃度亦達 $100 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 。

若以1km高度而言，臭氧濃度從1月至5月呈周期性變化，5月後至7月資料不太完整，8月、9月其濃度最高，達 $200 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ ，10月以後又恢復周期變化，其濃度在 $100 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 附近。

(2)2公里至20公里高度

圖2顯示，雖然4月、及8~11月初在2公里高度

1993 OZONE PROFILE IN PANCHIAO STATION, TAIWAN.

( $\times 10^{10}$  MOLECULES/CM $^3$ )

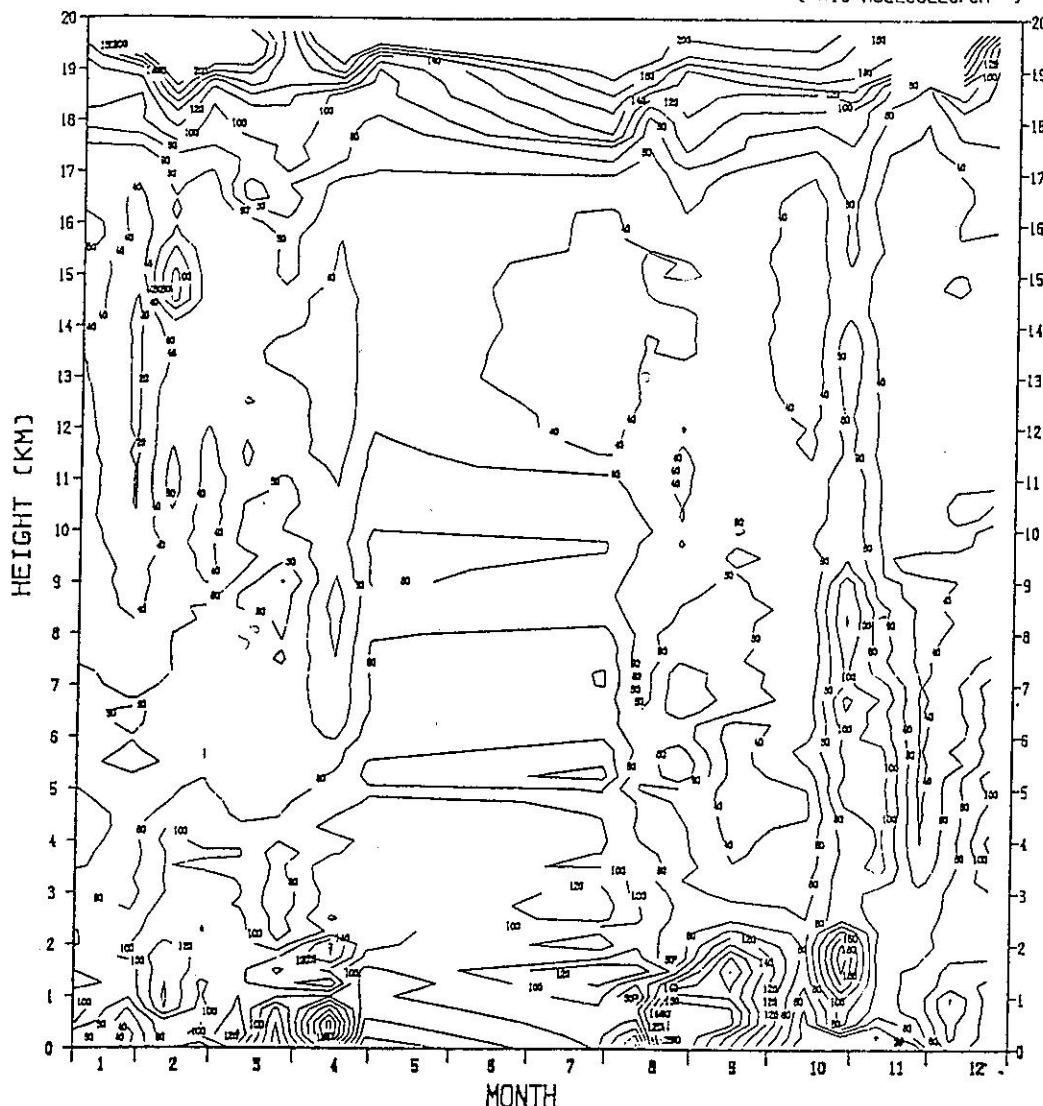


圖 2. 板橋站1993年地面到20Km之臭氧探空垂直剖面圖。

以下至地面其臭氧濃度較高，但到達3公里高空時，臭氧濃度迅速減少，至5公里高空時，這些地區之臭氧量反而比其鄰近少些，最明顯的是9月份，其近地層有極大濃度的臭氧，但至3公里高時已是濃度很低，至4公里高時，竟只有 $40 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 。

一般臭氧濃度低於 $40 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 區，其底層大都出現在8~10公里處，但出現的高度各月份不同。而上層則出現在16~18公里高處，其隨

月份變化較少。至於出現低於 $20 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 的極低值一般在13~16公里處，其出現頻率不多。

若以15km(代表臭氧濃度最低帶)來看，從1月至10月臭氧濃度均在 $30 \sim 55 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ ，其濃度變化不大；但11月、12月其濃度減小且穩定，只有 $15 \sim 30 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 間。

### (3) 20~40公里高度

臭氧在經過10~17公里之低濃度以後，在17~

表 1. 板橋探空站1993年臭氧濃度極大值的月平均高度

月份	1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 Jun.	7 Jul.	8 Aug.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dec.	平均
高(及 (km))	25	24	23	24	24	25	26	26.5	26.5	26	25	25	25

23公里間是臭氧急速增加區，其增加之梯度在2~4月和12月最大，在此增加帶之上方即為臭氧濃度最大區，此最大區(以大於 $400 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 之範圍)橫跨在23~30公里之高空，一般以夏季較厚，冬季較薄，而臭氧濃度最大值之軸線(表1)以3月份最低只有23公里高，8月9月的26.5公里最高，平均25公里高。在圖3(A)上，可知1993年在4月、6月和8

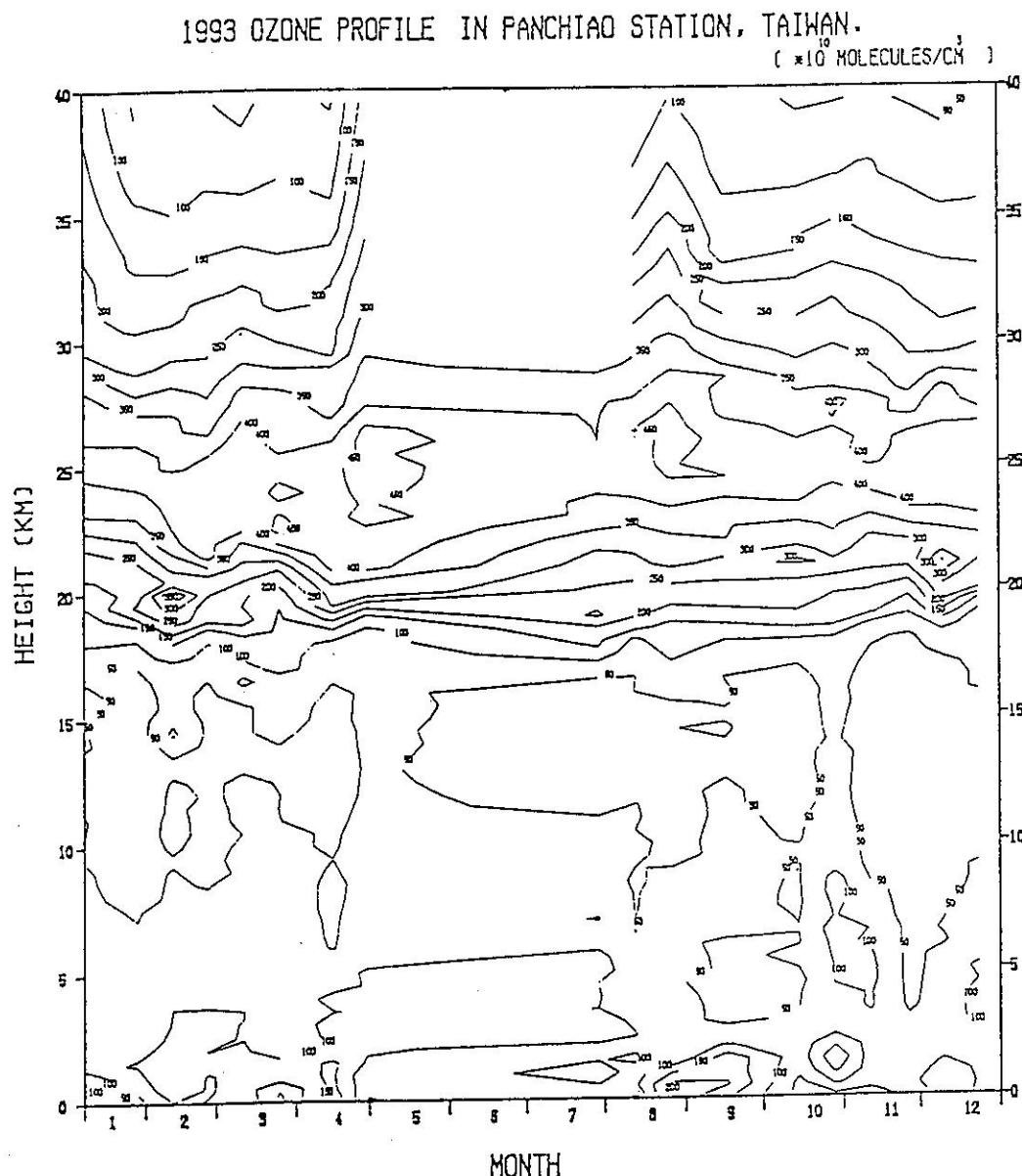


圖 3(A). 板橋站1993年地面到40Km之臭氧探空垂直剖面圖。

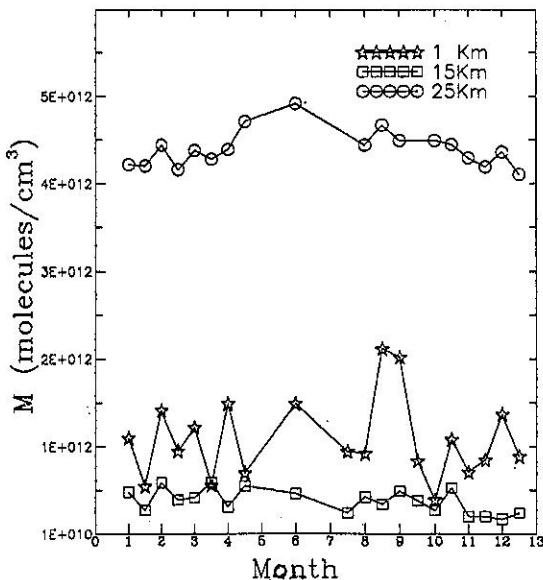


圖 3(B). 1993年1Km、15Km、25Km高度臭氧濃度時間剖面圖

月在25~26公里高度處，出現超過 $450 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 的濃度區，是1993年中最高濃度的區域。

若以25km(代表臭氧濃度最高帶)而言，圖3(B)顯示1月至4月臭氧濃度均在 $420 \sim 440 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 間；4月底至8月較高，在 $450 \sim 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 附近，其中6月最高達 $493 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 。8月以後臭氧濃度漸減少，至12月只有 $411 \times 10^{10}$ 分子數/ $\text{cm}^3$ 。

## 2. 垂直氣溫剖面分析

### (1) 地面至2公里高空

圖4的溫度剖面圖顯示，1993年地面最低月份和一般相同，1月、2月和12月的氣溫最低，4~10月地面氣溫則超過 $25^\circ\text{C}$ ，其中6~9月近 $30^\circ\text{C}$ 。至1公里高空，元月份有 $0^\circ\text{C}$ 的出現，而4~9月仍達 $20^\circ\text{C}$ ，其他月份均在 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 之間。至2公里處附近，4~6月份氣溫仍超過 $15^\circ\text{C}$ ，其他月份則多在 $5 \sim 15^\circ\text{C}$ 間。

### (2) 2~20公里高空

2公里以上至5公里高空(圖5)仍與底層類似，即冬季氣溫低，夏半年(5~9月)氣溫高。至10公里高

空時，其季節之影響仍明顯，冬半年時有溫度槽出現，如2月和3月間，至15公里以上高空，溫度變化受季節影響已不明顯，如1月有溫度槽2月呈溫度脊，3月4月有呈一大溫度槽5~7月氣溫稍高，9月以後氣溫又下降。

氣溫出現最低的高度，一般在15~19公里之間，以 $-75^\circ\text{C}$ 線所圍成的極小低溫帶而言，1~3月不明顯，4月至12月此極小低溫帶顯著且寬廣，在11月12月更出現 $-80^\circ\text{C}$ 之極低溫。極低溫之軸線一般在17公里處附近，但在4月和11月12月略高。

表2為以 $-70^\circ\text{C}$ 線的位置，從表示可知1993年低溫層以2月最薄，以4月、11月和12月最厚。

表 2. 板橋探空站1993年 $-70^\circ\text{C}$ 等溫線的月平均位置

月份	1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 Jun.	7 Jul.	8 Aug.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dec.
上層 (km)	18.5	19	18	20	20	19.5	19	18.5	19	19	19.5	20
下層 (km)	14.5	16.5	14.5	14	15.5	15	15	15	14.5	14.5	14.5	14.5
厚度 (km)	4.0	2.5	3.5	6	4.5	4.5	4	3.5	4.5	4.5	5.0	5.5

### (3) 20~40公里高空

20公里高空的溫度在 $-70^\circ\text{C}$ 左右，往上溫度緩慢增加，至40公里處大約 $-40^\circ\text{C}$ ，在1993年其特徵是1~4月氣溫較高(大於 $-40^\circ\text{C}$ )，5分子數/ $\text{cm}^3$ 8月氣溫較低，9月份以後則略近 $-40^\circ\text{C}$ (見圖6)。

## 3. 臭氧量和溫度場之探討

### (1) 在近地層(0~2km)

在1993年的4月地面至1.2公里是臭氧量集中區，其相對之氣溫雖在4月份卻呈現一槽狀，8月份地面層臭氧濃度亦是較大，亦呈現一溫度槽，在10月份 $0.8 \sim 2\text{km}$ 區亦是同樣情形。但是在1月2月及12月此層雖出現溫度槽，但臭氧濃度卻不大。

### (2) 2~20公里高空

在較低層(約12公里以下)，1月至3月間的在5~10公里有兩個溫度槽，在槽內之臭氧量比其附近之臭氧量大，另在10月11月間同高度亦有一弱溫度槽，其臭氧量亦較鄰近地區多。

在對流層頂附近，1月和4月各有一溫度槽，但

1993 TEMPERATURE PROFILE IN PANCHIAO STATION, TAIWAN.

(° C)

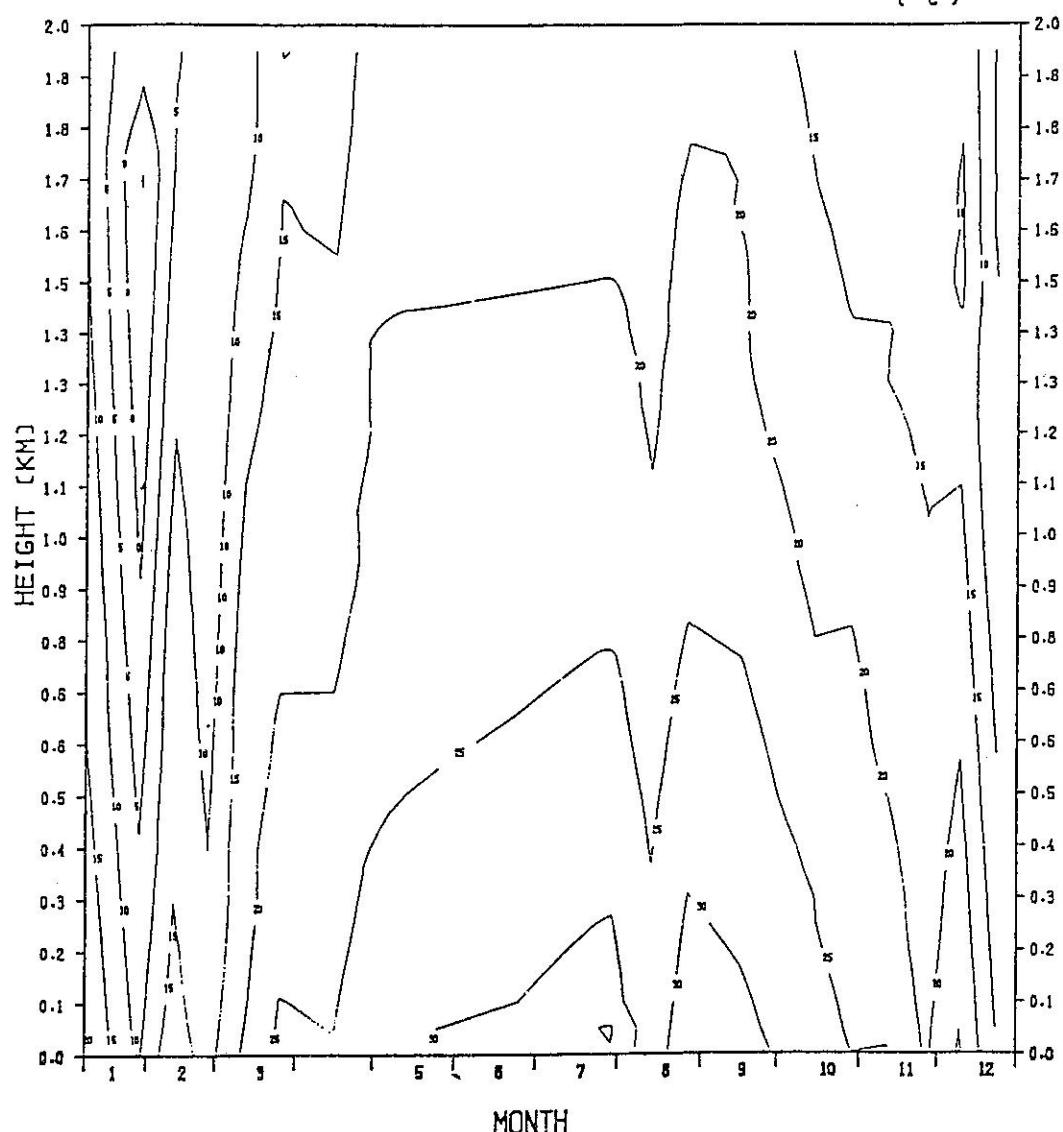


圖 4. 板橋站1993年地面到2Km之溫度探空垂直剖面圖。

其臭氧量卻有偏低跡象，而其鄰近之脊線場，臭氧量則相對偏高。此現象在其他月份因無顯著溫度槽脊，故不明顯。

17公里高度附近極低氣溫軸，對應著臭氧溫度急速增加的開始，17公里至20公里是臭氧量增加梯地最大區，但溫卻只有緩緩向上升。

(3) 20~40公里高空

20公里以上高空氣溫緩慢增加，但在同高度臭氧變化卻不同，臭氧量在20公里以上急速增加，至25公里附近是臭氧的集中區。在1993年4月和8月的25公里處是臭氧濃度最大區，同層之氣溫並無明顯的變化，氣溫在-50°C左右。

## 四、臭氧量與紫外線分析

### 1. 紫外線的日變化與月變化

從圖7可看出，每日從早上7~8點開始有紫外線UVB通量密度值，但其量很少，約4~5mw/m<sup>2</sup>，

隨著陽光照射，紫外線急速增加，至11點或12點達最高量，13點以後又快速減少，至17點左右其幅射量才消失。

從圖7亦顯示中午11~13點是一日當中紫外線通量密度最強的時段，但其幅射亦因月份不同而變

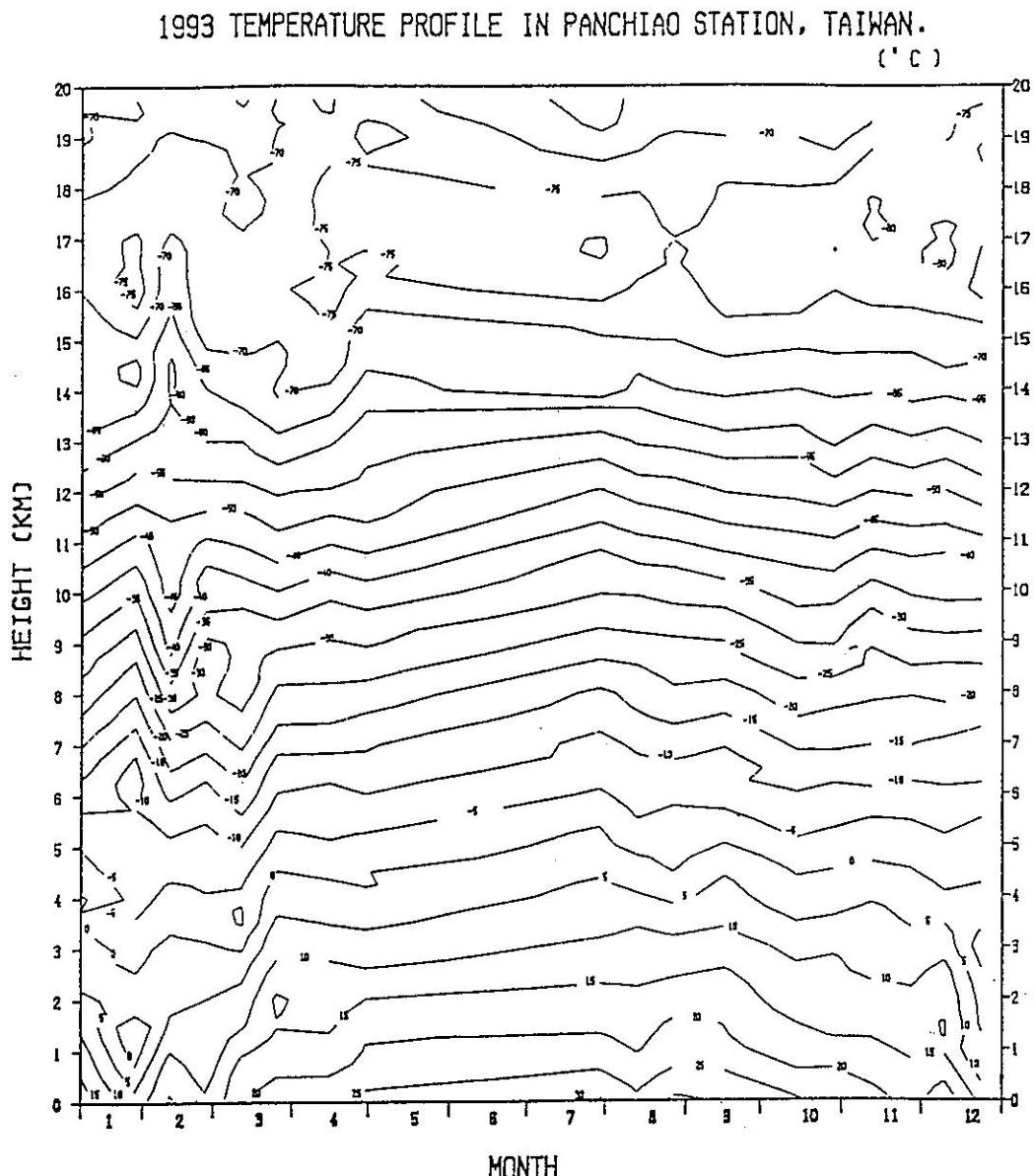


圖 5. 板橋站1993年地面到20Km之溫度探空垂直剖面圖。

1993 TEMPERATURE PROFILE IN PANCHIAO STATION, TAIWAN.

(°C)

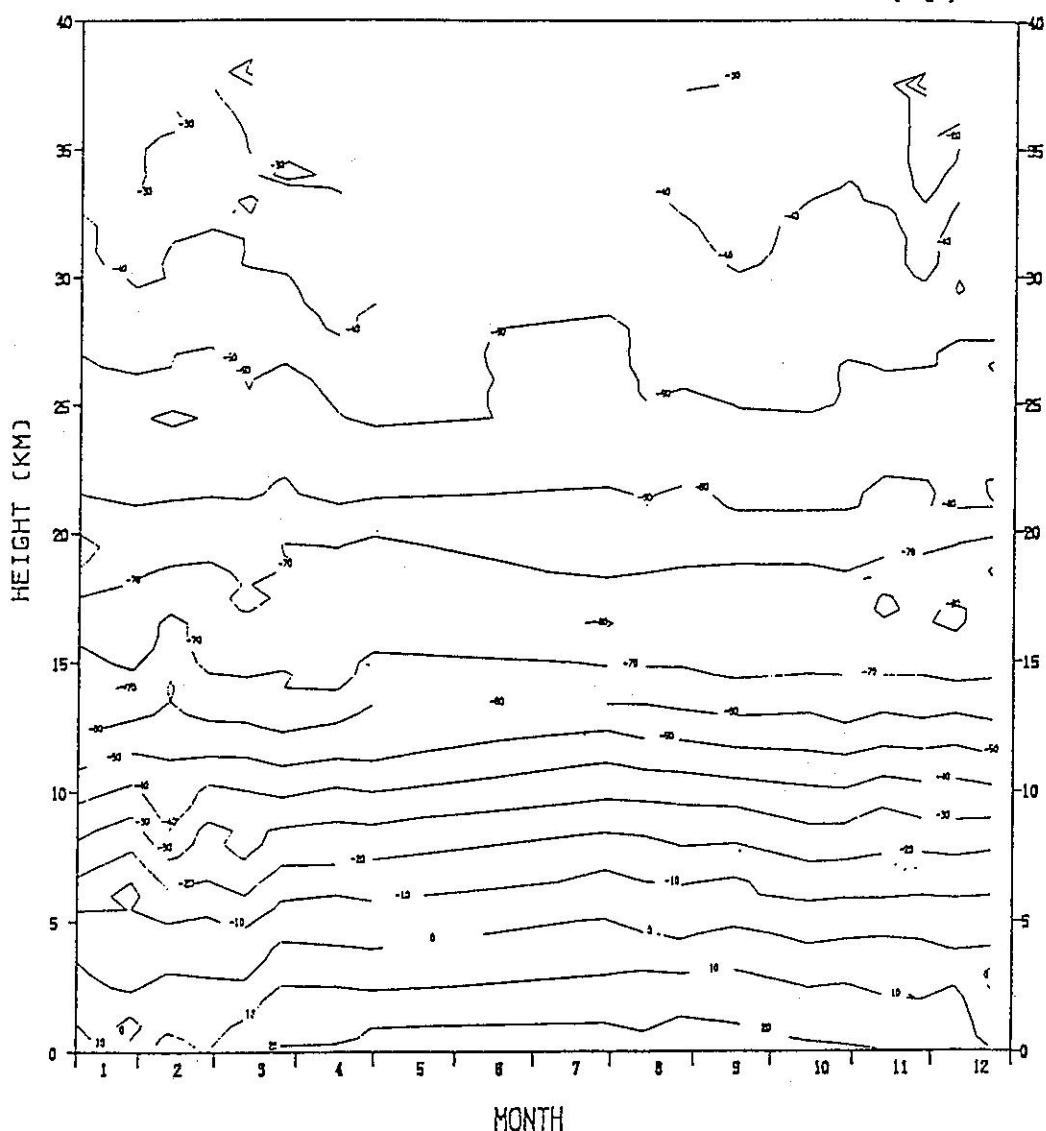


圖 6. 板橋站1993年地面到40Km之溫度探空垂直剖面圖。

化頗大，如圖例中3月份最大量約 $47\text{mw/m}^2$ (在13點)，6月份至 $82\text{mw/m}^2$ (12點)，9月份下降至 $60\text{mw/m}^2$ ，12月時之最大量不到夏天的一半，只有 $33\text{mw/m}^2$ 。很明顯地，在陽光充足之月份，紫外線通量密度較多。吾人挑選夏半季臭氧值相差小於

3%的個案比較，從圖8中發現，7月份的UVB通量密度極大值為最高，8月以後慢慢減少。出現極大值時間在6月是上午11點，7月、8月是中午12點，9月稍提前，10月又回到上午11點。

倘將UVB輻射通量對一日之日照時間積分，吾

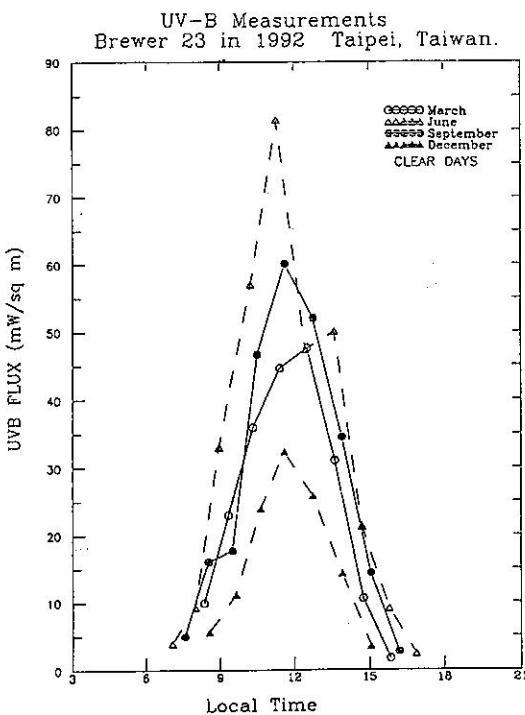


圖 7. 台北站1992年不同季節之紫外線通量密度觀測的實例(所取資料係白天、晴天、臭氧值在240.5-277.5 D.U.之間)。

人可得每日之日射量。表3(缺1、2月資料)中顯示日射量月平均最大值亦發生於7月，其值為1061.7 Joules/m<sup>2</sup>，最小值則發生於12月，其值為390.5 Joules/m<sup>2</sup>，一年中最大與最小月平均日射量相差2.7倍。若將其依Diffey erythema作用波譜之曲線(圖9(B))加權計算，則日射量月平均較大值在5~7月出現，顯示5~7月份紫外線輻射短波較多且強，此表示5~7月份是台北最易於罹患皮膚紅斑的月份。另圖10以6月為例得知每日中午(11~13點)是對皮膚傷害最大的時段。

表 3. 1992年台北站(Brewer 23)紫外線日射量之月平均值

月份	1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 Jun.	7 Jul.	8 Aug.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dec.
DUV (Joules/m <sup>2</sup> )	-	-	836	718	1022	1021	1062	827	790	761	457	391
Diff-UV (Joules/m <sup>2</sup> )	-	-	3670	3042	4414	4433	4318	3313	3230	3195	2105	1825

## 2. 紫外線波譜特徵

圖11和圖12是對於台北1992年中5月和11月間的UVB波譜分布之二實例。首先UVB波譜分布之一重要特徵即在於一隨波長的變化，其幅射通量密度急劇的遞減。此現象可對臭氧吸收係數在290~325 nm間的指數函數變化做一映證。此外，發現UVB波譜分布的日變化極明顯，特是在波長小於300nm的波段，其一日之極大與極小值變化可達一個數量級以上。而UVB波譜分布隨一日不同時間的變化，同於4.1節所述，於中午11~13點之各波段幅射通量密度達一日之最大值，而於早上8點及下午3點以後之值漸減。若以季節論，夏季和冬季亦不同，夏季的UVB波譜幅射通量密度較冬季的多，特別是在較短波長(300nm以下)尤其明顯。

## 3. 台北臭氧量與紫外線分析

### (1) 臭氧總量與紫外線日射量分布情形

從圖13可得知台北1992年臭氧總量與紫外線日

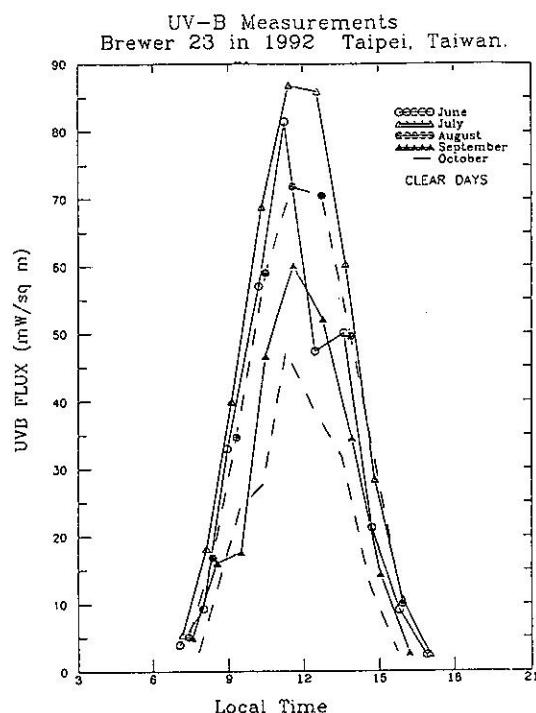


圖 8. 台北站1992年夏半季之紫外線通量密度觀測的實例(所取資料係白天、晴天、臭氧值在272.3-280.6 D.U.之間)。

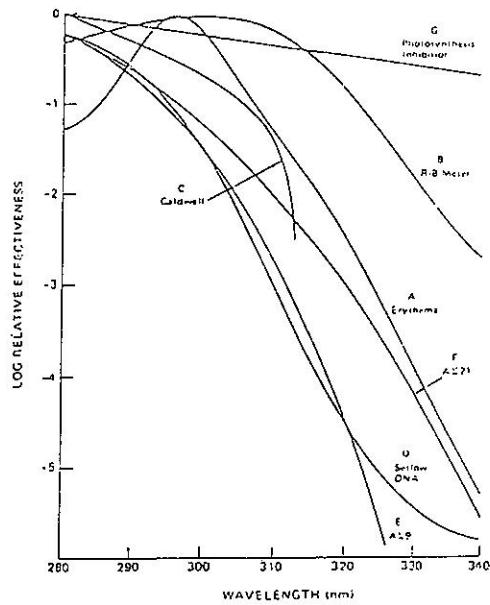


圖 9(A). 目前被廣泛使用有關紫外線對生物效應的作用波譜加權函數(摘錄自 National Research Council, 1979, Protection Against Depletion of Stratospheric Ozone by Chlorofluorocarbons, National Academy of Sciences; Washington, D. C.)。

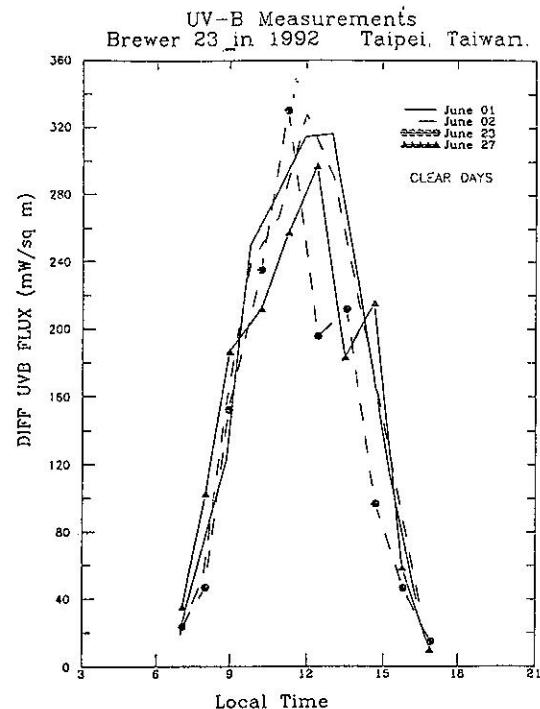


圖 10. 台北站1992年六月份之DIFFEY紫外線通量密度觀測的實例(所取資料係白天、晴天下的觀測)。

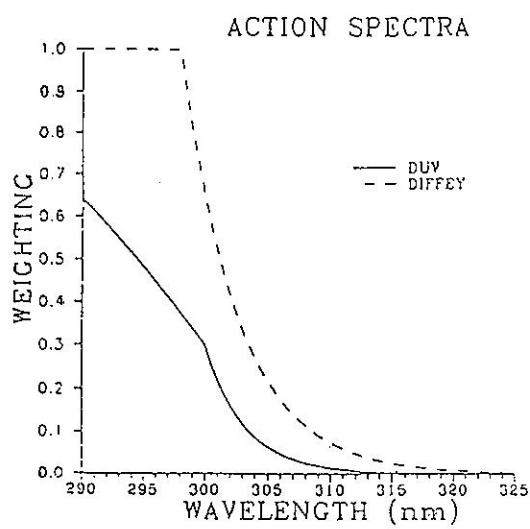


圖 9(B). 本文使用的作用波譜加權函數(資料來源為 Mckinley and Diffey, 1987)。

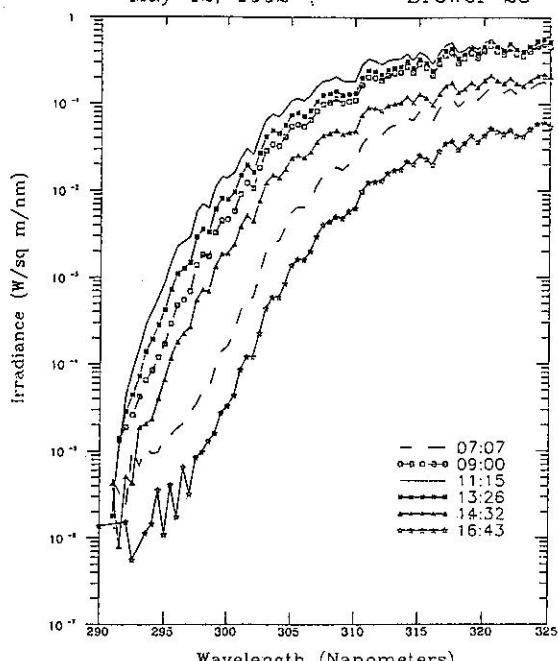


圖 11. 台北站1992年5月12日紫外線(輻射通量密度)波譜觀測實例。

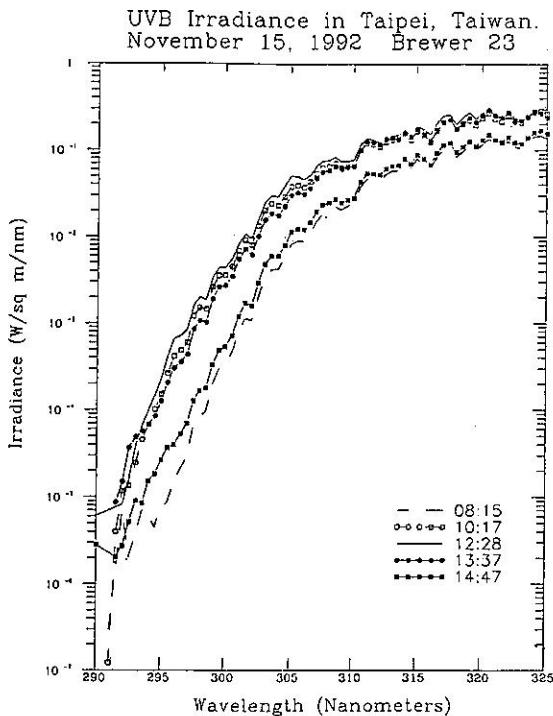


圖 12. 台北站1992年11月15日紫外線(輻射通量密度)波譜觀測實例。

射量分布情形，並沒有理論上所言臭氧總量多時，紫外線則少那麼規律，此乃因日射量不僅需考慮臭氧的吸收情形，尚牽涉到觀測的天頂角變化及隨季節不同的日照時數等。

在3月至7月間，臭氧總量與紫外線日射量變化關係不明顯，而8月以後，臭氧總量與紫外線日射量二者逐漸減少，此可能因為秋冬二季日照時間逐漸減少且又是斜射愈來愈大，能被觀測到的紫外線幅射愈來愈小之故。

#### (2) 臭氧總量與紫外線波段幅射量之關係

在紫外線波段中，隨波長漸增，其幅射通量密度愈大，而波長漸減，幅射通量密度亦隨之急劇減少。此與臭氧吸收係數有密切之相關。圖14中取1992年台北站固定天頂角 $SZA = 50^\circ$ 的晴天下，探討不同的臭氧總量對UVB波段( $292 \sim 325\text{nm}$ )幅射量造成之不同影響。圖中顯示：波長愈大者(大於 $305\text{ nm}$ )，幅射通量密度值受臭氧總量變化之影響愈小；而波長愈短者(小於 $305\text{ nm}$ )，對臭氧總量愈敏感，隨著臭氧總量得減少其通量密度會明顯的增加。例如對 $325\text{nm}$ 的波長而言，當臭氧總量從 $305$

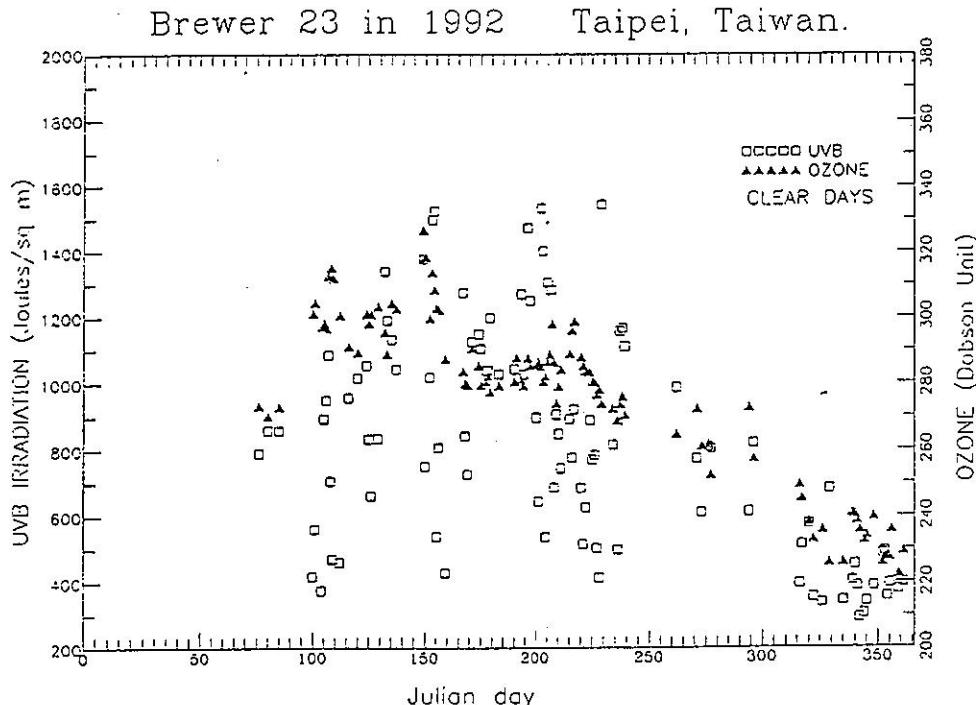


圖 13. 台北站1992年之紫外線日射量與臭氧全量觀測值的逐日變化情形。

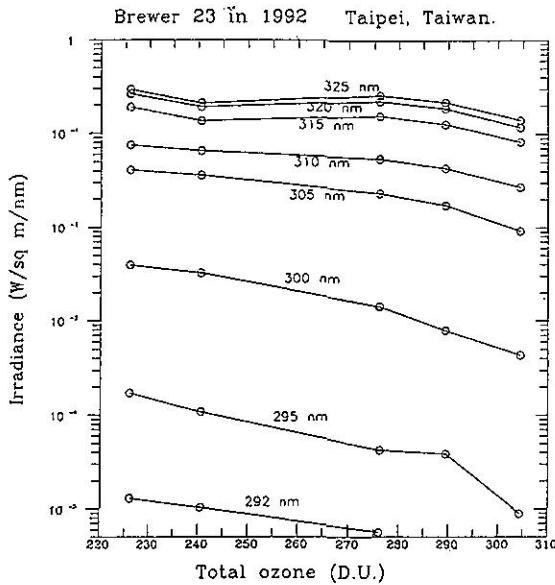


圖 14. 台北站1992年的紫外線輻射通量密度在天頂角 $50^\circ$ 時對應之臭氧全量隨波長(292nm-325nm)的變化情形。

D.U. 減少為 240D.U. 時，輻射通量密度由  $1.2 \times 10^{-1} \text{W/m}^2/\text{nm}$  增加到  $2 \times 10^{-1} \text{W/m}^2/\text{nm}$ ，輻射量增加1.7倍；對300nm的波長而言，同樣的臭氧總量變化，使其輻射量密度由  $4 \times 10^{-4} \text{W/m}^2/\text{nm}$  增加到  $3 \times 10^{-3} \text{W/m}^2/\text{nm}$ ，輻射量增加了7.5倍；同樣的情形發生在 295nm 波段時，輻射通量密度由  $8 \times 10^{-6} \text{W/m}^2/\text{nm}$  增加為  $10^{-4} \text{W/m}^2/\text{nm}$ ，增幅達 12.5倍。

(3)不同天頂角下臭氧總量對紫外線波譜分布之影響

圖15、16是分別在天頂角 $50^\circ$ 及 $60^\circ$ 的晴空狀態，選取一年中臭氧總量相差懸殊的個案，針對紫外線波譜進行比較。為使紫外線波長之變化被臭氧量吸收的情形更明顯，而強化二者的關係，使用了放大因子(Radiation Amplification Factor)的計算。

$$RAF = -\frac{dF/F}{dX/X}$$

RAF：放大因子

F：紫外線幅射量

X：臭氧總量

圖15顯示在天頂角 $50^\circ$ 時，當紫外線波段介於

325~310nm間，放大因子值很小且近乎常數，而隨著波長漸短，放大因子迅速增加，當波長減少到300nm時，放大因子增加為6，繼續減少至296nm時，放大因子達最高值(RAF=10)，此表示臭氧若減少1%，即會造成此波長幅射量密度增加10%。以上所述紫外線波譜因臭氧量變化所造成之RAF差異，可以臭氧吸收係數來解釋。當波長超過305nm時，臭氧對UVB之吸收弱，故其放大因子小，而隨著波長漸減，臭氧對UVB之吸收呈指數倍的增加，當然放大因子亦同時迅速增大。

圖16則是在天頂角 $65^\circ$ 時之情形。結果類似於圖15，唯其放大因子最高值降低(RAF=6.8)，且發生在299nm波長處。

另外，我們也用RAF的計算方式，來探討93年與92年間臭氧減少趨勢所造成UVB日射量的變化情

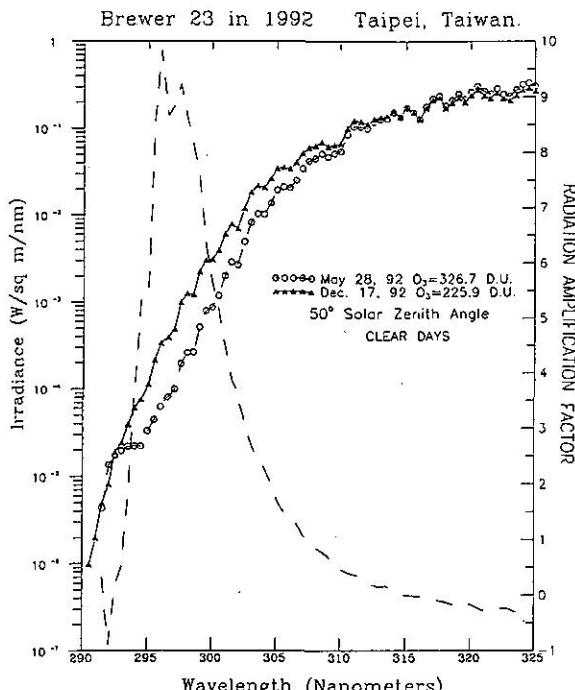


圖 15. 台北站1992年之臭氧極大值( $O_3 = 326.7 \text{D.U.}$ , 5月28日)與臭氧極小值( $O_3 = 225.9 \text{D.U.}$ , 12月17日)二日在天頂角 $50^\circ$ 的紫外線(輻射通量密度)波譜觀測。虛線則代表因臭氧值的不同所引起二日紫外線波譜觀測值之差異的放大因子。

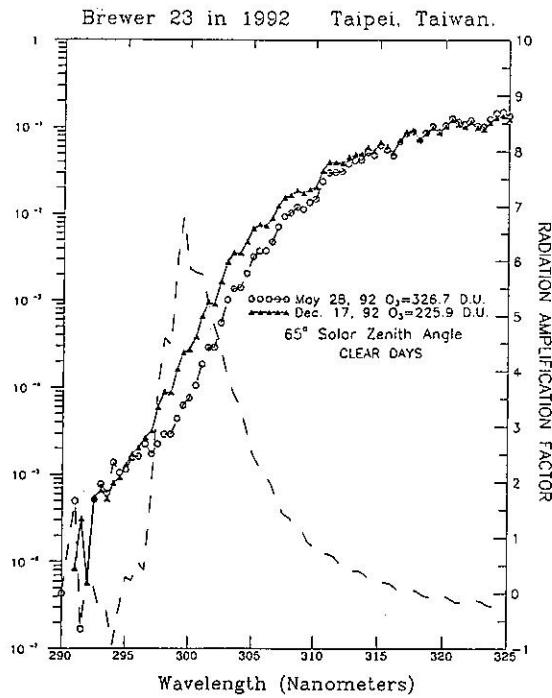


圖 16. 台北站1992年之臭氧極大值( $O_3=326.7$  D.U., 5月28日)二日在天頂角 $65^\circ$ 的紫外線(輻射通量密度)波譜觀測。虛線則代表因臭氧值的不同所引起二日紫外線波譜觀測值之差異的放大因子。

形，(由於93年5月之UVB資料有問題，且92年1、2月缺漏資料，故只有計算3、4月的平均值)，得到3月為-3.9，4月為-4.8，亦即93年的臭氧總量和UVB日射量比起92年皆為下降情形。此似乎表示台北的UVB值除了臭氧量的影響外，還有其它重要的因素(如人為污染排放之懸浮微粒、溫室氣體增加或日照時數減少等)會影響UVB之變化。

#### (4)不同天頂角時臭氣量和紫外線的關係

從事臭氣和紫外線觀測時，不同之天頂角所得到的結果，會因光線穿過大氣層厚度不同而有所差異。圖17顯示天頂分別是 $65^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $20^\circ$ 之晴天的觀測結果，從圖17可發現當天頂角 $65^\circ$ 時，臭氣總量的多寡對紫外線無影響，但當天頂角是 $50^\circ$ 和 $45^\circ$ 時，臭氣總量較高者，其紫外線輻射通量比臭氣總量較低者為少。當天頂角是 $30^\circ$ 和 $20^\circ$ 時，此現象更明顯；但在冬天時，太陽經常處於斜

射狀態，無法觀測到低天頂角的輻射資料，故在圖17左上角資料空白。

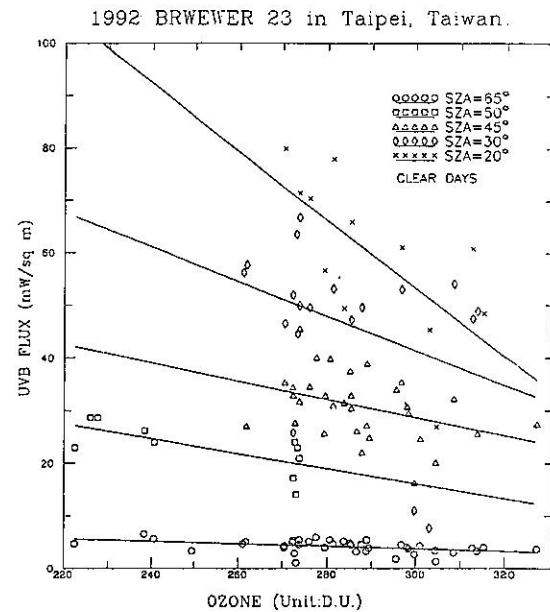


圖 17. 在不同天頂角( $65^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $20^\circ$ )下觀測的臭氣全量與紫外線通量密度之對應關係圖。實線代表不同天頂角的最佳化曲線(the best fit curves)。

## 五、結論與建議

### 1. 臭氣量與溫度場

- a. 在近地層：臭氣較易集中在溫度較低處或在溫度槽。
- b. 在對流層：一般在溫度槽的臭氣濃度較鄰近區域高，但此現象在對流層頂較不明確，在對流層以上臭氣迅速增加，但氣溫只有緩慢上升。在平流層，臭氣量之變化與氣溫變化關係不明顯，即使在臭氣濃度最大區(25公里附近)氣溫變化亦不顯著，均在 $-50^\circ\text{C}$ 附近。

### 2. 臭氣與紫外線

- a. 紫外線通量密度的日變化明顯，早上和傍晚其值較少，中午 $10\sim14$ 點之間較大。
- b. 紫外線日射量月平均最大值發生在7月，最小值發生於12月二者相差2.7倍。而5月至7月是

- 台北最易罹患皮膚紅斑的月份，又以每日中午(11~13時)對皮膚之影響最大。
- c.在UVB波段中，隨著波長的減少，輻射通量密度急劇的遞減，此乃因臭氧吸收係數在此波段內之指數函數變化所造成。UVB波譜分布之日變化明顯，特別是在波長小於300nm的波段，其一日之極值變化可達一個數量級以上。若以季節論，小於300nm之輻射通量密度夏季亦比冬季多。
  - d.UVB波譜內，波長愈短者(小於305nm)，對臭氧總量愈敏感，隨著臭氧總量的減少其輻射通量密度有明顯的增加；而對波長大於305nm的波段而言，其輻射通量密度受臭氧總量之多寡影響較小。
  - e.以放大因子來討論臭氧量與UVB波譜之輻射通量變化時，發現波長在295nm~300nm之放大因均達5.5以上，且以296nm波長其放大因子達10為最高。亦即當臭氧量減少1%時，波長296nm的輻射通量密度會增加10%。
  - f.當天頂角大時( $65^\circ$ )，臭氧總量多寡對紫外線通量密度無明顯影響；但隨著天頂角漸減，紫外線通量密度因被臭氧吸收而呈現出與臭氧總量多寡相反的趨勢。在太陽近乎直射時(SZA = 20°)，此現象尤為明顯。
- 3.本研究使用的台北紫外線資料，資料時間短，而且台北又是一受到高度污染的都市，人口稠密，人們活動造成的懸浮微粒、對流層溫室氣體、雲覆蓋量、地面反射率等之變化，皆會明顯影響UVB的觀測值。故本文雖也看出臭氧量和UVB波譜間的某些關係，卻無力對平流層臭氧減少之於地面UVB之單一效應提出有效的驗證，宜配合較無人為污染的成功站觀測資料，在做詳細研究。
- 4.台灣目前有台北與成功二站每日進行臭氧與紫外線之觀測。但對觀測儀器的校正及維修方面能力不足，常因儀器故障而致資料欠缺。宜積極培訓相關之檢校維修人員，冀能提高資料之準確性。

## 六、誌謝

本研究承中央氣象局林清洲組長、張修武科長提供寶貴意見，羅金鑑先生幫忙蒐集資料，羅如惠小姐和羅存文小姐幫忙整理資料，特此致謝。中央氣象局板橋探空站提供臭氧剖面資料及探空資料，

亦一併致謝。

## 七、參考文獻：

- 林清洲、柳中明，1993，台灣背景大氣(九)：臭氧總量與臭氧垂直剖面之觀測與分析，行政院國刻會專題研究計畫研究報告。
- 梁正章，1993，大氣臭氧層與天氣關係探討，天氣分析與預報研討會論文彙編。
- 王明星，1992，大氣化學，明文書局出版。
- 楊之遠及陳福來，1989，CWB Long-term Air Quality Monitoring, Workshop on long-term air Quality。
- 曾忠一，1988：大氣輻射，聯經出版社。
- 鄭子政，1981，大氣科學概論(上冊)，國立編譯館出版。
- 呂世宗，1970，台北臭氧全量之垂直分佈研究，氣象學報。
- 呂世宗，1970，研究台北臭氧全量與噴射氣流位移之關係，氣象學報。
- Berger, D.S., 1976, The sunburning ultraviolet meter: Design and performance, Photochem. Photobiol. 24:587-593.
- Blumthaler, M. and W. Ambach, 1990: Indications of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in the Alpine regions. Science, 248,206-208.
- Bronislaw K. Dichter, 1993: Instrumentation Requirements for Establishing UV Climatology. Yankee Environmental Systems Inc. Turners Falls, Massachusetts.
- Farman, J. C., B. G. Gardiner and J. D. Shanklin, 1985: Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal C10x/Nox interaction. Nature, 315, 207-210.
- Grant, W. B., 1988: Global stratospheric ozone and UV-B radiation. Science, 242,1111.
- Lange, A. A., 1985: Meterological observations using navaid method, WMO Technical note No. 185,44 pp.
- Mckinley, A. and B. L. Diffey, 1987: A reference action spectrum for ultra-violet induced erythema in human skin. In Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations, Edited by W. F. Passchier and B.F.M. osnajakovic, pp83-87, Elsevier, Amsterdam.
- Nachtwey, D. S., and R. D. Rundel, 1982, Ozone change: Biological effects, in stratospheric Ozone and Man, vol.2, F. A. Bower and R.B.ward, eds.,

- CRC Press Boca Raton, Fla., 81-121.
- Prasad, B. S. N., Gayathri, H. B., Muralikrishnan, N., and Murthy, B.N., 992: Seasonal Variation of Global UVB Flux and Its Dependence of Atmospheric zone and Particulate at a low Latitude Station, Tellus,44B, 237-242.
- Roberertson, D. F., 1972, Solar ultraviolet Radiation in Relation to Human Sunburn and Skin cancer,
- PhD thesis, No. THE4866, Univ. of Queensland, St. Lucia Queensland.
- Scotto, J. and G. Cotton, 1988: Biologically effective ultra-violet radiation: urface Measurements in the U.S., Scclence, 239, 762-764.
- Stolarski, R. R. Bojkov, L. Bishop, C. Zerefos. J. Staehelin, J.Zawodny, 1992: Measured Trends in Stratosperic Ozone. Science, 256,342-349.

## STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN OZONE AMOUNTS AND UVB IN THE TAIWAN AREA

### ABSTRACT

Data used in this study are from the total amounts of ozone and ultraviolet radiations at the Taipei Observation Station and the Panchiao Sounding Station. Though the time period of the data involved in this study is not complete, the ozone concentrates in the thermal trough easily. From the tropopauses upward, the uncertainty still exists between the ozone and the temperature.

The flux density of the ultraviolet reaches its maximum at noons (11~13 local time). Seasonally Speaking, summer is the most intensive among all seasons. May to July are the monthes that the people in Taipei are easily inflicted with red dot on the skin, and the most threatening ultraviolet for each month appears at noons(local time).

Within the ultraviolet spectrum, the radiation flux density of the shorter wavelength, the ozone amount decreased. The magnification factor is larger for the wavelength between 300 and 295 nm. With the different solar zenith angle for observation, it is found that when the zenith angle ( $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ) is small, the flux density of ultraviolet due to the ozone absorption will inversely change with the total amount of ozone.