

# 女媧的七彩石—談平流層中臭氧的雙高峰

國中組地球科學科第一名

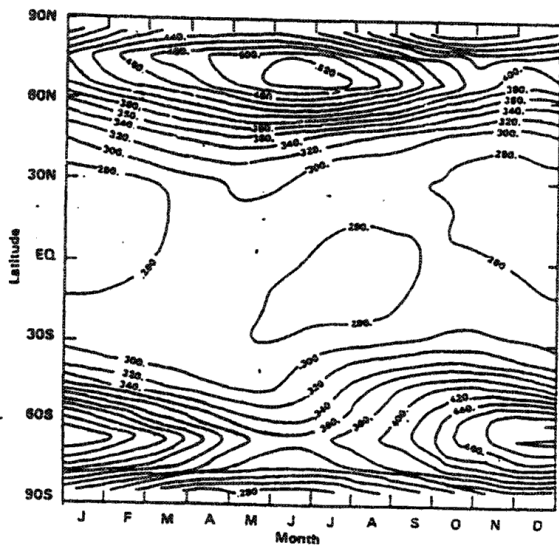
高雄市立中正高級中學附屬國中部

作者：王冠人、張家齊、林容先

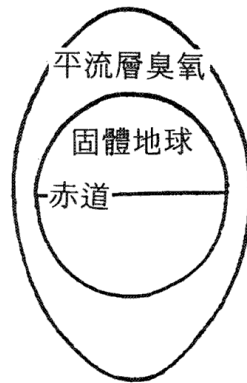
指導教師：蔡靜誼、曾鶯芳

## 一、研究動機

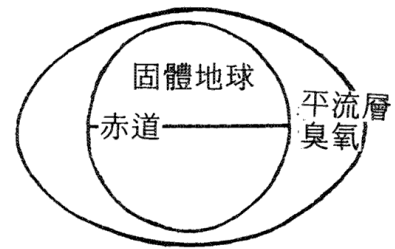
「位於平流層的臭氧有破洞」，此一問題在近年來實在非常熱門，偶然在資料裏見到臭氧隨緯度的分布圖（見圖一），似乎不如我所預期，即「南北極最多，赤道最少」（圖四十三）或「南北極最少，赤道最多」（圖四十四）的單純關係。為求瞭解臭氧在平流層內，受污染物破壞前後隨緯度的分布趨勢，於是我就聯合一些好友，一齊從網路上找尋一些資料，並設計一些實驗，希望能解釋為何臭氧隨緯度的分布有此種情形。



圖一 模型中理想臭氧濃度隨緯度的分布圖



圖四十三 臭氧模型圖



圖四十四 臭氧模型圖

## 二、研究目的

主要希望藉由實驗對照及數學、統計等分析，瞭解臭氧濃度的分布為什麼呈現在南北半球緯度50~70度左右較多，南北極次之，赤道較少的情形，及影響臭氧濃度隨緯度分布的主因。

### 三、儀器與藥品

#### 1. 儀器：

電腦	列表機	溫度計	石綿心網
氧氣產生器	臭氣製造機	三腳架	電湯匙
玻璃圓筒	數據機	研鉢及杵	量筒
彎曲玻管	絕熱杯	錐形瓶	酒精燈
紫外光燈	滴定管	燒杯	滴管

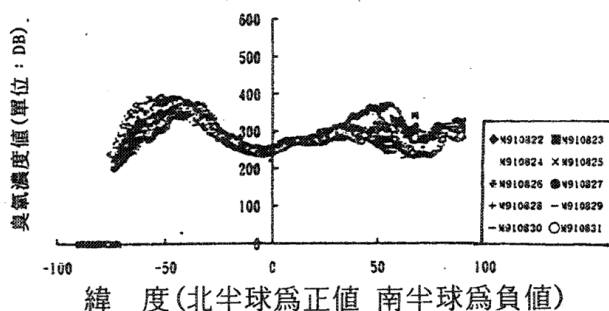
#### 2. 藥品：

KI (aq) (1M)	冰塊	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (aq) (0.1M)	澱粉液
雙氧水	食鹽	二氧化錳	碳酸鈉粉末

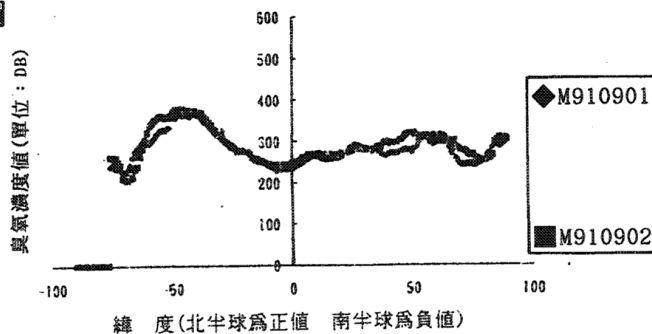
### 四、方法及步驟

#### A. 資料來源

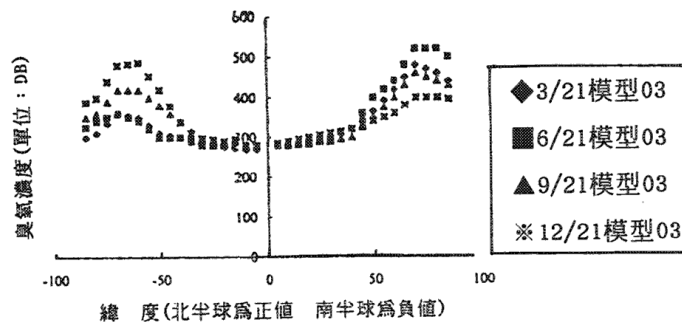
1. 由網路上下載氣象衛星在平流層中偵測到之每日的臭氧濃度值。
2. 將上述資料裡，取西經179.125度上各緯度的 $\text{O}_3$ 值，稱此為「實際臭氧濃度值」。
3. 圖列出這四年之「實際臭氧濃度值」隨緯度的分布情形。圖二及圖三。
4. 利用文獻內臭氧未受污染物破壞前的理想模型圖在春分、夏至、秋分、冬至四個時間中，由北緯80度到南緯80度之間每隔10度各取1個臭氧濃度值，並令它為「理想臭氧濃度值」，見圖三十四。



圖二 1991年8月「實際臭氧濃度」隨緯度分布圖



圖三 1991年9月「實際臭氧濃度」隨緯度的分布圖



圖三十四 3/21、6/21、9/21、12/21理想臭氧濃度隨緯度的分布情形

## B. 實驗佐證

### 1. 利用碘滴定法定量臭氧的含量：

#### (1)原理：

甲·  $\text{KI}(\text{aq})$  與臭氧之反應： $2\text{I}^- + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{I}_2 + \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$

乙·  $\text{I}^-$  被臭氧氧化為  $\text{I}_2$  後，滴入澱粉液，即成深藍色。

丙· 以  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  滴定乙中之溶液，其反應為  $\text{I}_2 + 2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$

$\text{I}_2$  再度被還原為  $\text{I}^-$  而深藍色消失，恢復無色溶液。

### 2. 實驗步驟：

#### 甲· 溫度對臭氧之影響：

ㄅ、調整冷劑溫度至  $-20^\circ\text{C}$ ，置入放有彎曲玻管之玻璃圓筒中。並使彎曲玻管與臭氧製造機連接。

ㄆ、量取  $50\text{ml KI}(\text{aq})$  置於錐型瓶，並使此瓶亦置於與ㄅ同溫之絕熱杯中。

ㄏ、先製備氧氣通入臭氧製造機中，再打開開關，使臭氧通入ㄅ之裝置再進入ㄆ之錐型瓶中。

ㄏ、9分鐘後，滴入澱粉液，10分鐘後，以  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  滴定之。記錄  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  所消耗之體積。

ㄏ、每隔  $10^\circ\text{C}$  重複操作步驟ㄅ-ㄏ其結果如圖三十五、三十六。

#### 乙· 紫外光照射強度對臭氧之影響：

ㄅ、溫度為  $-20^\circ\text{C}$  及  $20^\circ\text{C}$ ，將紫外光燈置於彎曲玻管上方  $3\text{cm}$  處（低懸）及  $90\text{cm}$  處（高懸），各別重複步驟甲中ㄆ~ㄏ。

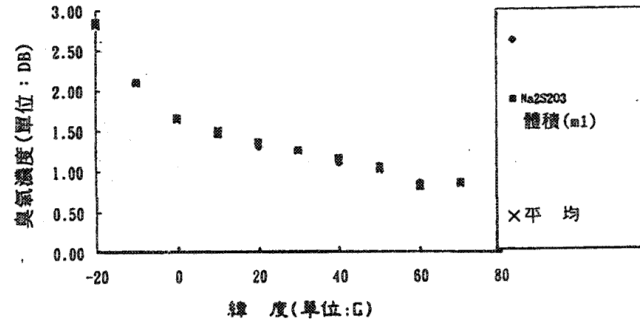
ㄆ、為了解紫外光是否會穿透玻管，今以不照光方式重作實驗以作對照。結果如圖三十七。

#### 丙· 紫外光照射時間對臭氧之影響：

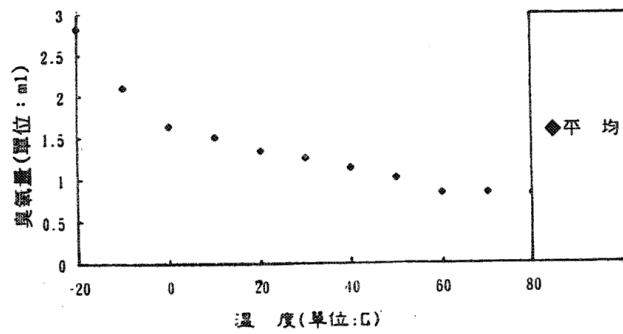
ㄅ、溫度為  $-20^\circ\text{C}$ 、 $0^\circ\text{C}$  及  $20^\circ\text{C}$ ，將紫外光燈置於彎曲玻管上方  $3\text{cm}$  處（低

懸)，各別重複步驟甲中及丙。

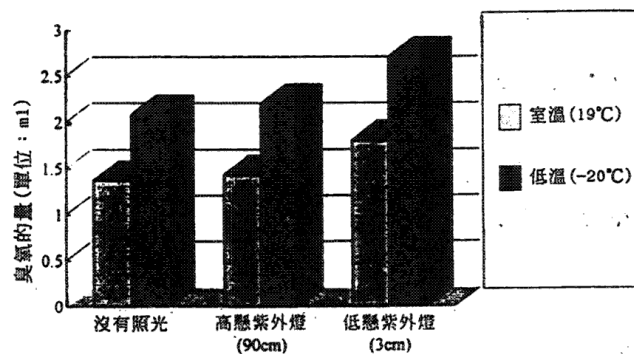
乙、在每個溫度狀況分別以不照光、紫外光照射10、15分鐘等三種方式進行實驗。結果如圖三十八。



圖三十五 溫度對臭氧之影響(未平均前)

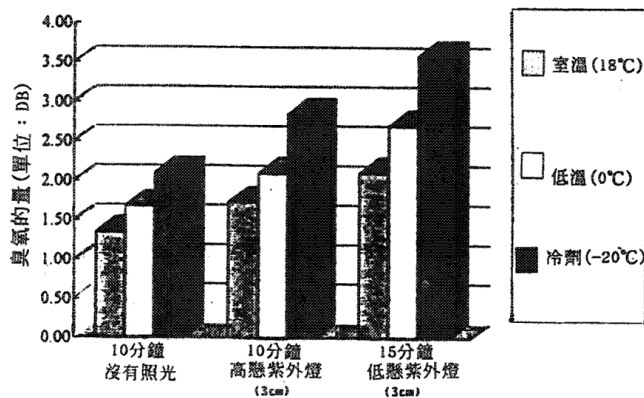


圖三十六 溫度對臭氧之影響(平均後)



裝置紫外燈的方法

圖三十七 紫外光照射強度對臭氧之影響



裝置紫外燈的方法

圖三十八 紫外光照射時間對臭氧之影響

C. 推想：

為瞭解影響平流層中臭氧分布的主因，及這些因素如何影響臭氧的濃度，我們作如下推想：

1. 靜止大氣的臭氣分布：

(1) 若將地球大氣簡化成沒有環流、擴散等局部因素干擾，在這種單純的情況下，影響平流層內臭氧濃度改變的因素主要應有：「單位面積太陽輻射強度(E/A)」，「太陽照射時間(Time)」及「溫度(Temp)」。

(2) 利用地球科學下冊第十章的觀念，我們導出在地球上所有緯度處任何時間E/A和Time的通式：

甲、若令：

緯度 =  $\theta$ ，則位於北半球時， $\theta \geq 0$ ；位於南半球時， $\theta \leq 0$ ，且  $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ，

乙、又令：

某日太陽直射緯度 =  $\alpha$ ，則太陽直射北半球時， $\alpha \geq 0$ ；直射南半球時， $\alpha \leq 0$ ，且  $-23.5^\circ \leq \alpha \leq 23.5^\circ$ 。

丙、於是，E/A隨緯度的變化情形可表示成：

$$E/A = \cos |\theta - \alpha| \dots \dots \text{第(1)式，}$$

且  $0$  (沒有陽光)  $\leq E/A \leq 1$  (陽光直射)

丁、Time隨緯度的變化情形可表示成：

$$\text{Time} = 1/2 + (\alpha / |\alpha|) \times (\theta / |\theta|) \times [\theta / (180 - 2|\alpha|)] \dots \dots \text{第(2)式，}$$

且  $0(\text{天}) \leq \text{Time} \leq 1(\text{天})$

戊、根據第(1)式及(2)式的想法，我們分別求出E/A及Time隨緯度的改變情形。見圖三十九、四十。

## 2. 真實大氣的臭氧分布：

(1) 假設主要影響臭氧濃度的因素有：甲、平流層的環流，即  $[(\theta)^a]$ ，乙、 $[(E/A)^b]$ ，丙、 $[(\text{Time})^c]$  等三項。這三項變因我們可假設都是緯度的函數，並以下列關係式影響臭氧的濃度：

(在某一特定緯度之臭氧濃度) =  $g \times (\theta)^a (E/A)^b \times (\text{Time})^c \times 10^6 + f \dots$

第(3)式

(2) 將第(3)式的等號前後均取對數，得

$\log(\text{臭氧濃度}) = (a) \log(\theta) + (b) \log(E/A) + (c) \log(\text{Time}) + d \dots$  第(5)

式

(3) 經由這種方式，可把(3)式轉變成(5)式的單純線性多項式。

(4) 利用理想臭氧濃度值，加上E/A及Time的通式等值帶入(5)式，可得a、b、c、d四個變數為主的四個多項方程式。

(5) 利用上述方法解聯立，求得春分、夏至、秋分、冬至四個方程式的解(a、b、c、d)將這些值代回(3)式，得到「公式臭氧濃度」，圖四十一。

(6) 比較「公式臭氧濃度」和圖一中「理想臭氧濃度」二者間的差別，見圖四十二。

## 3. 實際大氣E/A對臭氧之影響：

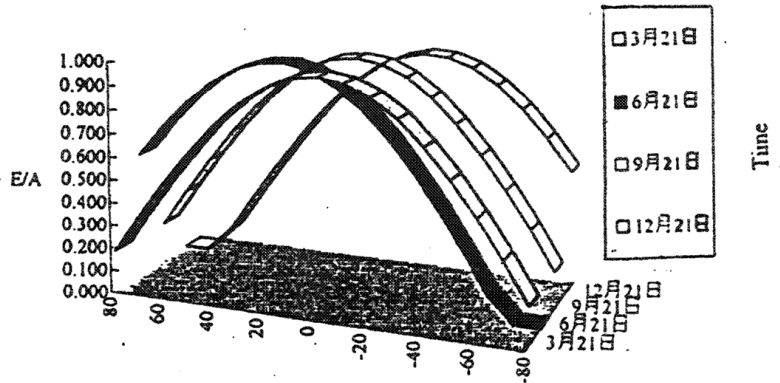
(1) 由參考書籍中，找出在30公里處臭氧的光解離係數，令它為K。經由此資料分別找出固定高度(30km)下，以不同天頂角入射的太陽光使臭氧解離的情形。

(2) 若臭氧之光解離係數K可以以下列形式表示：

$$K = [O][O_2]/[O_3]$$

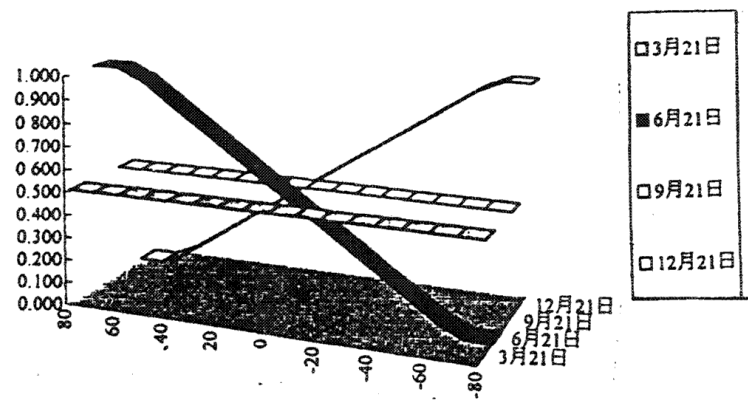
其中[O]、[O<sub>2</sub>]、[O<sub>3</sub>]分別代表氧原子、氧分子及臭氧分子在空氣中的濃度，利用第(1)點所得之K值和O<sub>2</sub>及O<sub>3</sub>的量，求出春分、夏至、秋分、冬至四天，O<sub>3</sub>隨緯度的分布趨勢。

(3) 將「真實大氣的臭氧分布」所求得個別春分、夏至、秋分、冬至之(E/A)<sup>b</sup>值，除以上述第(2)點求得之O<sub>3</sub>值，結果例圖七十及圖七十三。



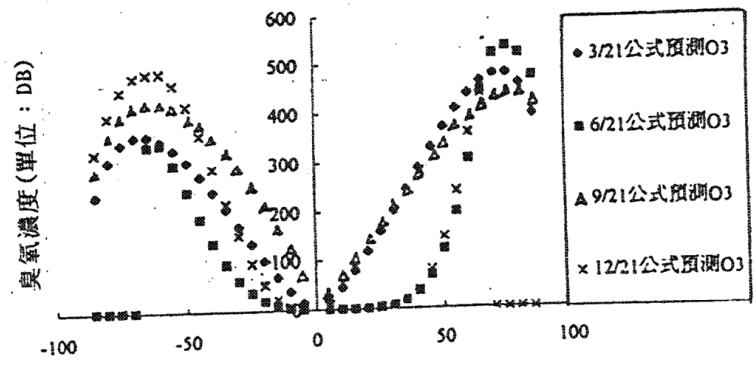
緯度(北半球為正值 南半球為負值)

圖三十九 E/A隨緯度的改變情形



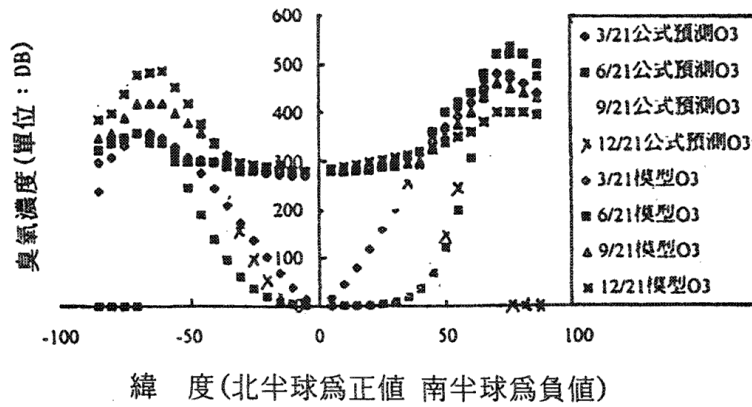
緯度(北半球為正值 南半球為負值)

圖四十 Time隨緯度的改變情形

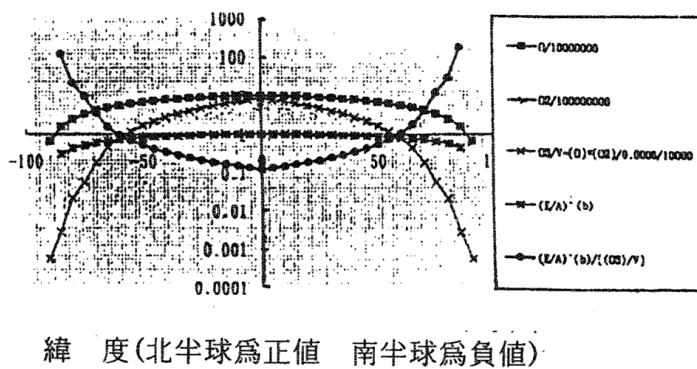


緯度(北半球為正值 南半球為負值)

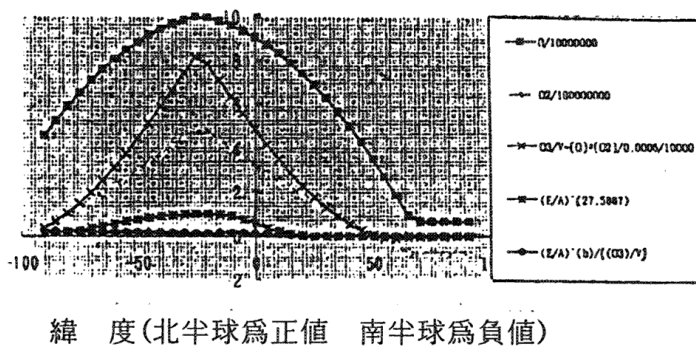
圖四十一 「公式臭氧濃度對緯度」的關係



圖四十二「理想臭氧濃度」和「公式臭氧濃度」的關係



圖七十 只考慮太陽入射角度下，春分時臭氧濃度隨緯度的分布情形



圖七十三 只考慮太陽入射角度下，冬至時臭氧濃度隨緯度的分布情形



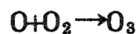
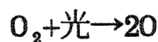
## 五、結果與討論

### A. 「實際臭氧濃度」及「理想臭氧濃度」的分布趨勢

原本在以前的觀念中，臭氧濃度對不同緯度的分布應是南北極多、赤道少或赤道多、南北極少，但仔細對照91年到94年的「實際臭氧濃度」及在不同緯度的分佈情形，卻不是如此。其情況大約呈現南北半球緯度50~70度左右較多，南北極次之，赤道較少的情況（不過三月的北極，十月的南極，其臭氣值經常還比赤道少）。

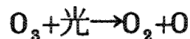
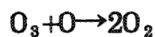
關於在極地「臭氧層破洞」的情形，目前已有許多的論文及報導可作合理的解釋，且已知南極較北極為甚，這是因為南極圈比北極圈更具有破壞臭氧的原因；為更清楚平流層中臭氧的分布情形，首先，我們先了解臭氧的製造與破壞的機制：

#### 1. 臭氧的製造……光化學反應：



#### 2. 臭氧的破壞：

臭氧並不是很安定的分子，它可以和氧原子反應產生氧分子，也可以經光分解為氧原子和氧分子。



若沒有外在因素干擾，1與2之反應可達一動態平衡。

但我們最感興趣的是，未受污染物破壞前，臭氧隨緯度的分布，為什麼呈現南北半球緯度50~70度左右較多，南北極次之，赤道較少？主要影響臭氧分布的因素是什麼？為了充分瞭解，於是我們設計一些實驗及數學運算，以幫助我們深入探討平流層中臭氧分布的問題。

### B. 實驗佐證：

#### 1. 「溫度對臭氧之影響」的分析

由於經費及儀器所限，我們只能做到約-20°C的低溫狀態，而高溫部份只做到80°C。在此溫度範圍內，每隔10°C我們求出臭氧在不同溫度下的存留狀況。圖表中顯示，越低溫越有利於臭氧存留，而越趨向高溫，臭氧存留量除越少外，約在60°C以上，臭氧的濃度似乎可達一個較固定的值。這個較固定的值，我們特別在60°C時，將製造O<sub>3</sub>的時間由10分鐘再延長測得O<sub>3</sub>的濃度仍有增加，依此推斷其應該不是KI(aq)早被完全反應掉所造成。

#### 2. 紫外光照射強度對臭氧之影響」的分析

參考此實驗值，除發現照光後臭氧的量比不照光時增加外，當紫外光照射強度增加時，產生臭氧的量益形增加，由此看來，在此溫度範圍內紫外光的強度似乎有助於臭氧的生成。另外，在同樣照光強度下，臭氧在低溫（-20°C）環境的增加量比高溫（20°C）時多，這個結果，與實驗佐證的步驟甲的結果相符。

### 3. 「紫外光照射時間對臭氧之影響」的分析

使用玻管做此實驗，仍只希望做出一參考結果。依實驗所得，在同一溫度的環境下，當紫外光照射的時間越長時，臭氧的量越增加。且在越低溫的環境裡（-20°C），臭氧的增加量越多。

## C. 推想：

### 1. 「靜止大氣的臭氧分布」：

因為E/A、Time、Temp都可看成是緯度的函數，我們依據計算出的通式（第(1)式、第(2)式），以緯度來大約估計大氣靜止狀態下臭氧的分布狀況。

舉春分、秋分為例：此二日  $\alpha=0$ ，

上述所提第(1)式可改成： $E/A=\cos|\theta| \dots$  第(6)式，

第(2)式可改成： $Time=0.5 \dots$  (7)式，

值得我們注意的是Time是個定值=0.5天，E/A則是個南北半球對稱的曲線。如果Temp是Time及E/A二者所造成，在Time固定下，Temp應主要直接受E/A影響，且極可能和E/A一樣，是個在赤道處對稱的曲線。根據對稱分布情形，我們推測春分、秋分二日臭氧在陽光照射下應也呈現南北半球對稱的曲線。

但對照春分、秋分二日「實際臭氧濃度」及「理想臭氧濃度」發現南北兩半球並不對稱，且相差頗大。據此我們推測影響臭氧的分布的因子，不能完全以此靜態模型預估，應該還有另一些原因，讓臭氧呈現實際南北半球有不同的情形，並預測這還未被加入的原因，主要是環流或海陸分布所致。

### 2. 「實際大氣的臭氧分布」分析：

方法及步驟中C推想的第2部份，是我們特別設計用來模擬實際平流層中臭氧分布的數學方法。要特別聲明的是，此數學方法所求出的指數值a、b、c、d的大小（見表十一）並不重要，但是整個變因如： $[(\theta)^a]$ 、 $[E/A]^b$ 和 $[Time]^c$ 的各別趨勢，可能較能使我們看出一些端倪。

其中的 $[(\theta)^a]$ 和「理想臭氧濃度」呈現最大正相關的情形（見表十五），依此推測這三個變數中環流 $[(\theta)^a]$ 可能影響臭氧程度最嚴重。另外，對照表十五， $[E/A]^b$ 和理想臭氧濃度呈現負相關，也符合我們的實驗趨勢，

即「E/A可增加臭氧的量，且在低溫下增加越多」。

因此，使未受污染物破壞前的臭氧濃度改變的原因，很可能是平流層中約在 30km處有向高緯度增加趨勢的環流。在環流、單位面積太陽的入射量、太陽照射時間，共同影響的結果，會改變臭氧隨緯度的分布趨勢。

### 3. 「實際大氣E/A對臭氧濃度的影響」之分析

不同的太陽入射角度，會致使單位面積太陽入射量(E/A)改變。由參考文獻的資料顯示，此角度的改變，會使O<sub>3</sub>的光解離率亦不相同。利用在30km處經陽光直射（見圖六十七）及以不同角度斜射（見圖六十八、六十九）時臭氧的不同解離結果，可看出只考慮不同太陽入射角的情形下所得到的臭氧濃度分布，在陽光最直射的區域（如：春、秋分的赤道，夏至之北緯23.5度及冬至之南緯23.5°）臭氧濃度較高，此趨勢和我們在實際臭氧濃度趨近出來的結果其中的(E/A)<sup>b</sup>隨緯度的分布情形不謀而合。

### 4. 「考慮光因進入大氣引起散射而損失能量的大小」分析

表二十中m表示光束入射大氣層時，沿路徑所通過大氣分子的總質量，因光束截面積固定，則所通過的總質量應可代表光束所走的總路徑，表中可見天頂角越小，即陽光越直射，通過的路徑越短。除此之外，表中的「修正前」之值表示考慮大氣密度均勻，光線不會經過折射而由直線進行的狀況，「修正後」之值，則是因為大氣密度越向地面越大，而在每一薄層不斷被折射結果，所走路徑會比修正前還短，不過這個值在天頂角0°～60°間差不多，直到70°以上即太陽光幾乎平行地面入射時才有差別，不過相差不大。

### 5. 關於平流層「環流部份」分析

若將一臉盆內盛水，以逆時鐘方向模擬地球的轉動，形成中央較低的情形，我們覺得這應也會影響平流層的臭氧中出現，因為地球自轉時，位於極地處的臭氧可能因此向內凹入，而減緩了赤道向高緯度聚集的環流，甚至有一點逆流的情形。我們相信此環流不僅將臭氧也將破壞臭氧的污染物質向高緯度聚集，因此越高緯度的臭氧破壞情形而越嚴重，例圖五十一、五十二。因此，所謂臭氧層有破洞不僅限於極地，在緯度60度以上實際臭氧濃度已比被污染物破壞前的理想臭氧濃度大幅度降低很多。

### 6. 細談「溫度對臭氧的影響」

在Atmospheric Chemistry書中提到O<sub>3</sub>的光解離率大小K<sub>p</sub>為：

$$K_p = \sum_{\lambda = 290\text{nm}}^{\lambda_i} \sigma(\lambda) \times \Phi(\lambda) \times j(\lambda) \dots \dots \text{第⑩式}$$

$\sigma(\lambda)$  是X分子在單位面積所吸收太陽光波長為  $\lambda$  的量， $\Phi(\lambda)$  是X分子經波長  $\lambda$  的光照射後的平均損失量， $J(\lambda)$  是指當時光子流通總量（此值已有考慮到大氣密度不均及太陽直射斜射角度的修正項）因為  $\Phi(\lambda)$  和  $J(\lambda)$  和溫度無關，而  $\sigma(\lambda)$  和溫度的關係（見表二十一），大約在固定波長時，溫度越高  $\sigma$  大致越大。由第(10)式中可看出  $O_3$  的光解離率  $K_p$  是  $\lambda$  的函數，因此當波長固定時， $\Phi(\lambda)$ ， $J(\lambda)$ ， $K_p$  即隨  $\sigma(\lambda)$  而變，即溫度越高  $K_p$  越大。由此看來，溫度越高時，臭氧因解離率越高致使留存量越小！

這個論點令我們雀躍不已，因為此性質和我們在實驗佐證及數學計算結果所得數據完全一致！

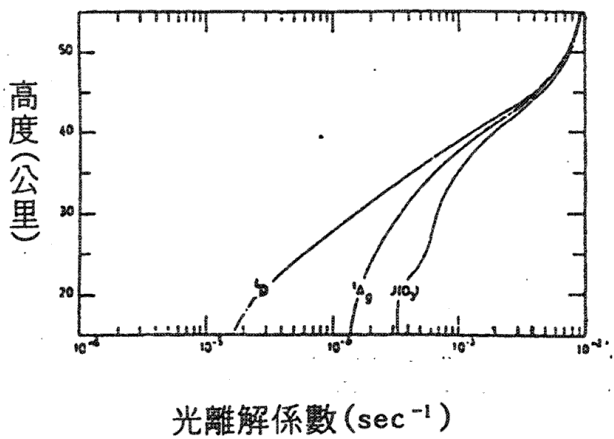
表十一、南北半球春分、夏至、秋分、冬至「公式臭氧濃度」的指數

北半球	(環流)的指數	(單位面積太陽輻射量)的指數	(太陽照射時間)的指數	常數
	a	b	c	d
3月21日	1.40	0.34	無法計算	0.26
6月21日	3.39	2.05	6.53	-3.21
9月21日	1.04	0.17	無法計算	0.79
12月21日	3.22	27.59	-27.56	-13.30

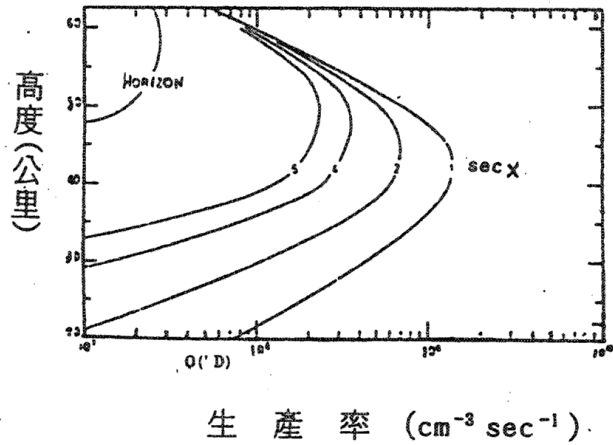
南半球	(環流)的指數	(單位面積太陽輻射量)的指數	(太陽照射時間)的指數	常數
	a	b	c	d
3月21日	1.41	0.50	無法計算	0.49
6月21日	1.67	-11.42	11.54	3.89
9月21日	0.85	0.39	無法計算	1.54
12月21日	3.04	2.67	-1.44	-2.50

表十五、 $[(\theta)^a]$ 、 $[(E/A)^b]$  和  $[(Time)^c]$  和理想臭氧濃度的相關性

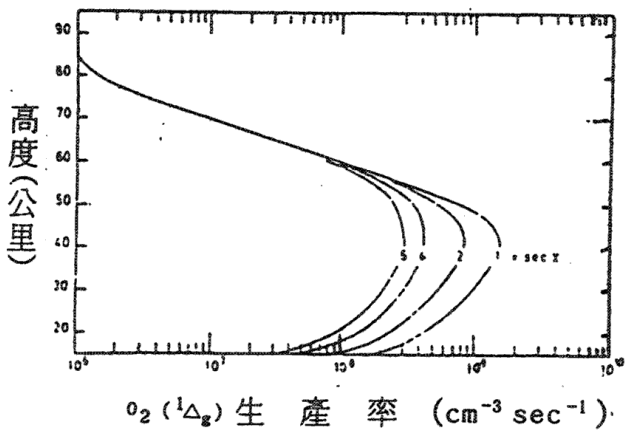
		3月21日	6月21日	9月21日	12月21日
北半球	與 $[(\text{緯度})^a]$ 之相關係數	0.96	0.92	0.94	0.99
	與 $[(E/A)^b]$ 之相關係數	-0.93	-0.96	-0.92	-0.73
	與 $[(Time)^c]$ 之相關係數	無法求出	0.99	無法求出	0.52
南半球	與 $[(\text{緯度})^a]$ 之相關係數	0.78	0.92	0.84	0.86
	與 $[(E/A)^b]$ 之相關係數	-0.58	-0.58	-0.87	-0.90
	與 $[(Time)^c]$ 之相關係數	無法求出	0.58	無法求出	0.88



■六十七 太陽位於天頂時,  $O_3$  之光解離與光化之結果



■六十八 在不同太陽天頂角度下,  $O_3$  經光解後  $O(^1D)$  之生產率



■六十九 在不同太陽天頂角度下,  $O_3$  經光解離後  $O(^1\Delta_g)$  之生產率

天頂角	空氣質量 (m)	
	修正前 $m = \sec^2 \theta$	修正後結果
0°	1.00	1.00
10°	1.02	1.02
20°	1.06	1.06
30°	1.15	1.15
40°	1.31	1.31
50°	1.56	1.56
60°	2.00	2.00
70°	2.92	2.90
78°	4.81	4.72
86°	14.3	12.4

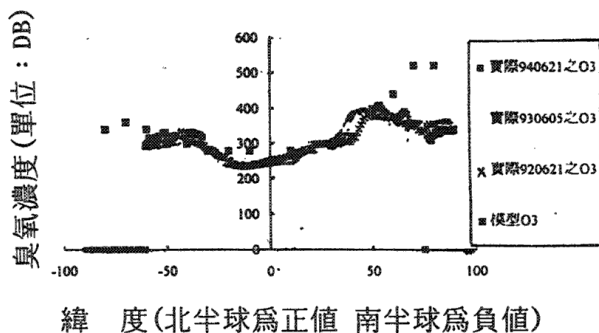
Source: Demerjian et al., 1980.

表二十 太陽光以不同天頂角在真實大氣中入射情形修正表

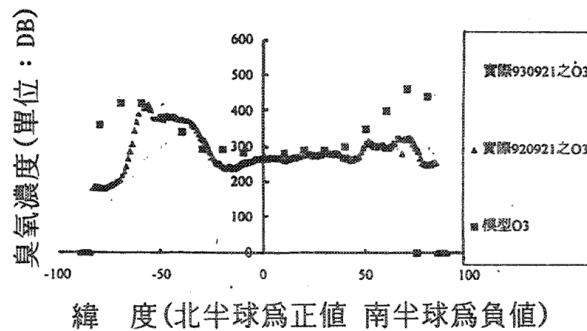
表二十一、臭氧在定波長不同溫度的吸收量

TABLE 3.18. Absolute Absorption Cross Sections  $\sigma$  ( $\text{cm}^2 \text{ molecule}^{-1}$ ), Base e, for Ozone at 253-330 nm from 206 to 298° K

Wavelength (nm)	298° K	271° K	225° K	206° K
253	$1.21 \times 10^{-17}$	$1.10 \times 10^{-17}$	$1.08 \times 10^{-17}$	$1.09 \times 10^{-17}$
254	$1.41 \times 10^{-17}$	$1.37 \times 10^{-17}$	$1.33 \times 10^{-17}$	$1.31 \times 10^{-17}$
255	$1.15 \times 10^{-17}$	$1.06 \times 10^{-17}$	$1.09 \times 10^{-17}$	$1.08 \times 10^{-17}$
256	$1.32 \times 10^{-17}$	$1.34 \times 10^{-17}$	$1.31 \times 10^{-17}$	$1.29 \times 10^{-17}$
257	$9.71 \times 10^{-18}$	$9.90 \times 10^{-18}$	$9.61 \times 10^{-18}$	$9.60 \times 10^{-18}$
258	$1.11 \times 10^{-17}$	$1.11 \times 10^{-17}$	$1.08 \times 10^{-17}$	$1.02 \times 10^{-17}$
259	$1.13 \times 10^{-17}$	$1.10 \times 10^{-17}$	$1.09 \times 10^{-17}$	$1.07 \times 10^{-17}$
260	$1.14 \times 10^{-17}$	$1.11 \times 10^{-17}$	$1.08 \times 10^{-17}$	$1.04 \times 10^{-17}$
261	$1.08 \times 10^{-17}$	$1.05 \times 10^{-17}$	$1.01 \times 10^{-17}$	$1.00 \times 10^{-17}$
262	$1.05 \times 10^{-17}$	$1.06 \times 10^{-17}$	$1.00 \times 10^{-17}$	$9.68 \times 10^{-18}$
263	$1.03 \times 10^{-17}$	$9.98 \times 10^{-18}$	$9.38 \times 10^{-18}$	$9.31 \times 10^{-18}$
264	$1.03 \times 10^{-17}$	$9.81 \times 10^{-18}$	$9.42 \times 10^{-18}$	$9.26 \times 10^{-18}$
265	$9.67 \times 10^{-18}$	$9.29 \times 10^{-18}$	$9.11 \times 10^{-18}$	$9.10 \times 10^{-18}$
266	$9.10 \times 10^{-18}$	$9.07 \times 10^{-18}$	$9.05 \times 10^{-18}$	$9.06 \times 10^{-18}$
267	$8.7 \times 10^{-18}$	$8.54 \times 10^{-18}$	$8.49 \times 10^{-18}$	$8.39 \times 10^{-18}$
268	$7.57 \times 10^{-18}$	$8.18 \times 10^{-18}$	$8.07 \times 10^{-18}$	$8.02 \times 10^{-18}$
269	$8.24 \times 10^{-18}$	$7.85 \times 10^{-18}$	$7.81 \times 10^{-18}$	$7.79 \times 10^{-18}$
270	$7.81 \times 10^{-18}$	$7.76 \times 10^{-18}$	$7.61 \times 10^{-18}$	$7.58 \times 10^{-18}$
271	$7.82 \times 10^{-18}$	$7.26 \times 10^{-18}$	$7.20 \times 10^{-18}$	$7.21 \times 10^{-18}$
272	$6.95 \times 10^{-18}$	$6.91 \times 10^{-18}$	$6.90 \times 10^{-18}$	$6.83 \times 10^{-18}$
273	$6.24 \times 10^{-18}$	$6.30 \times 10^{-18}$	$6.21 \times 10^{-18}$	$6.12 \times 10^{-18}$
274	$5.82 \times 10^{-18}$	$5.85 \times 10^{-18}$	$5.51 \times 10^{-18}$	$5.43 \times 10^{-18}$
275	$5.51 \times 10^{-18}$	$5.31 \times 10^{-18}$	$5.20 \times 10^{-18}$	$5.13 \times 10^{-18}$
276	$5.16 \times 10^{-18}$	$5.17 \times 10^{-18}$	$5.13 \times 10^{-18}$	$5.01 \times 10^{-18}$
277	$5.03 \times 10^{-18}$	$4.84 \times 10^{-18}$	$4.80 \times 10^{-18}$	$4.71 \times 10^{-18}$
278	$4.58 \times 10^{-18}$	$4.42 \times 10^{-18}$	$4.31 \times 10^{-18}$	$4.30 \times 10^{-18}$
279	$4.04 \times 10^{-18}$	$4.08 \times 10^{-18}$	$4.01 \times 10^{-18}$	$3.99 \times 10^{-18}$
280	$3.85 \times 10^{-18}$	$3.81 \times 10^{-18}$	$3.81 \times 10^{-18}$	$3.78 \times 10^{-18}$
281	$3.45 \times 10^{-18}$	$3.46 \times 10^{-18}$	$3.39 \times 10^{-18}$	$3.40 \times 10^{-18}$
282	$3.40 \times 10^{-18}$	$3.20 \times 10^{-18}$	$3.21 \times 10^{-18}$	$3.16 \times 10^{-18}$
283	$3.04 \times 10^{-18}$	$3.00 \times 10^{-18}$	$3.01 \times 10^{-18}$	$2.94 \times 10^{-18}$
284	$2.66 \times 10^{-18}$	$2.61 \times 10^{-18}$	$2.55 \times 10^{-18}$	$2.56 \times 10^{-18}$
285	$2.42 \times 10^{-18}$	$2.34 \times 10^{-18}$	$2.31 \times 10^{-18}$	$2.30 \times 10^{-18}$
286	$2.07 \times 10^{-18}$	$2.19 \times 10^{-18}$	$2.02 \times 10^{-18}$	$1.98 \times 10^{-18}$
287	$2.00 \times 10^{-18}$	$1.94 \times 10^{-18}$	$1.92 \times 10^{-18}$	$1.90 \times 10^{-18}$
288	$1.70 \times 10^{-18}$	$1.51 \times 10^{-18}$	$1.48 \times 10^{-18}$	$1.46 \times 10^{-18}$
289	$1.54 \times 10^{-18}$	$1.50 \times 10^{-18}$	$1.41 \times 10^{-18}$	$1.40 \times 10^{-18}$
290	$1.35 \times 10^{-18}$	$1.31 \times 10^{-18}$	$1.21 \times 10^{-18}$	$1.20 \times 10^{-18}$
291	$1.21 \times 10^{-18}$	$1.19 \times 10^{-18}$	$1.00 \times 10^{-18}$	$9.98 \times 10^{-19}$
292	$1.10 \times 10^{-18}$	$1.05 \times 10^{-18}$	$1.01 \times 10^{-18}$	$9.99 \times 10^{-19}$
293	$8.39 \times 10^{-19}$	$8.96 \times 10^{-19}$	$8.45 \times 10^{-19}$	$8.20 \times 10^{-19}$
294	$8.31 \times 10^{-19}$	$8.30 \times 10^{-19}$	$8.29 \times 10^{-19}$	$8.21 \times 10^{-19}$
295	$7.88 \times 10^{-19}$	$7.79 \times 10^{-19}$	$7.71 \times 10^{-19}$	$7.70 \times 10^{-19}$
296	$6.47 \times 10^{-19}$	$6.40 \times 10^{-19}$	$6.40 \times 10^{-19}$	$6.38 \times 10^{-19}$



圖五十一 夏至(6/21)左右「實際臭氧濃度」與「理想臭氧濃度」之比較



圖五十二 秋分(9/21)左右「實際臭氧濃度」與「理想臭氧濃度」之比較

## 六、結 論

1. 「實際臭氧濃度」哪一天均大約呈現緯度約50到60度最多，極地次之，赤道最低。
2. 在 $-20^{\circ}\text{C}$ 到 $20^{\circ}\text{C}$ 的範圍內，越低溫時臭氧越穩定，留存量越高。並且紫外光照射強度越強，照射時間越久，越有助於產生臭氧的量，並且在低溫時臭氧受紫外光照射後增加量越多。
3. 使用不考慮環流所設計的臭氧模型，並用春分、秋分二日做檢測，發覺不能解釋其為何沒有南北半球對稱的情形。
4. 上述春分和秋分二日的「實際臭氧濃度」沒有呈現對稱的情形，可能受到由於環流或海陸分布的影響，不過因為在衛星資料內我們沒有看到海洋、陸地不同地區上空臭氧有明顯不同，因此，我們不能不考慮這項因素，而將我們的模型僅再加入環流這項變因。
5. 以E/A、Time和環流三變因去趨近未受污染物破壞前的「理想臭氧濃度值」，可得各變因影響臭氧濃度的情形，其中環流和「理想臭氧濃度值」呈現最大正相關性，依此類推，環流可能是影響臭氧分布的最大因素。
6. 依公式計算出來的 $(\theta)^{\circ}$ 顯示，此環流應有越向高緯度越強的趨勢，不過因受地球自轉的影響，靠近極地處環流可能減緩甚至逆向。
7. 污染物質可能隨環流一起移向平流層高緯度區，使得緯度50度以上臭氧由原來高值大幅下降，南極更甚，於是造成臭氧層的破洞。由此看來，臭氧層的破洞不只在極地發生，而應該是大範圍約發生在高緯度的地區，這和我們以前的觀念是有些出入的。
8. 古代神話有女媧煉七彩石補天，原本地球給予我們一層以雙峰分布的臭氧層常年吸收紫外光，使它不至於直接照射到生物體為害生物的健康，就如女媧

的七彩石，不過在我們實際臭氧濃度的資料中顯示，此臭氧雙峰已被人工的污染物消滅很多，在蒙特婁公約等已禁止使用這些破壞的污染物，可是現在仍有部分污染物繼續被製造並使用的情形下，雖然臭氧有自動補回破洞的能力，令人憂心的是，臭氧破洞是否有回復的一日，更憂心今日的我們是否到最後還要向遠古的女媧呼喚，請祂再來幫我們修補天空呢？

## 七、參考資料

- 工業定量分析 楊思廉主編，五洲出版社總經銷，p. 92~p. 97
- 科學教育月刊 國立台灣大學科學教育中心發行，123期，中華民國七十八年十月出版，p. 54~p. 63
- 臭氧層破洞的危機 郭志彬、楊慶成，國立高雄師範大學，p. 1-p. 7
- 高中基礎理化上冊 國立台灣師範大學科學教育中心主編，國立編譯館出版，p. 49-p. 51
- 中山自然科學大辭典 地球科學部分（第六冊），p. 30
- 國中地科下冊 國立台灣師範大學科學教育中心主編，國立編譯館出版，第十章。
- 世界氣象組織（WMO） Scientific Assessment of Stratospheric Ozone: 1989, Vol : II
- 世界氣象組織（WMO） Atmospheric Ozone : 1985
- 大氣科學概論（下冊） 鄭子政編著，國立編譯館出版，p. 52-p. 85
- Atmospheric Chemistry Barbara J. Finlayson-Pitts、James N. Pitts, Jr.

## 評 語

- 一本作品利用電腦網際網路擷取美國NASA的臭氧觀測資料，再加以分析，並探討平流層臭氧含量的緯度變化。
- 作者的推理過程十分嚴密且完整，從分析與演繹的方法中，找尋可能的解釋，達成有意義的科學活動，十分符合科學研究精神。
- 作者除了在臭氧問題的探討上相當成功之外，在電腦網路資源與軟體應用上，也有很出色的表現，是頗有潛力的學生。