

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球科學科

第三名

040508

運用福衛三號資料探討大氣分層的特性

學校名稱：國立臺中女子高級中學

作者： 高二 詹媃硯 高二 蔡佳霖	指導老師： 游明珠
-------------------------	--------------

關鍵詞：三胞環流、對流層、同溫現象

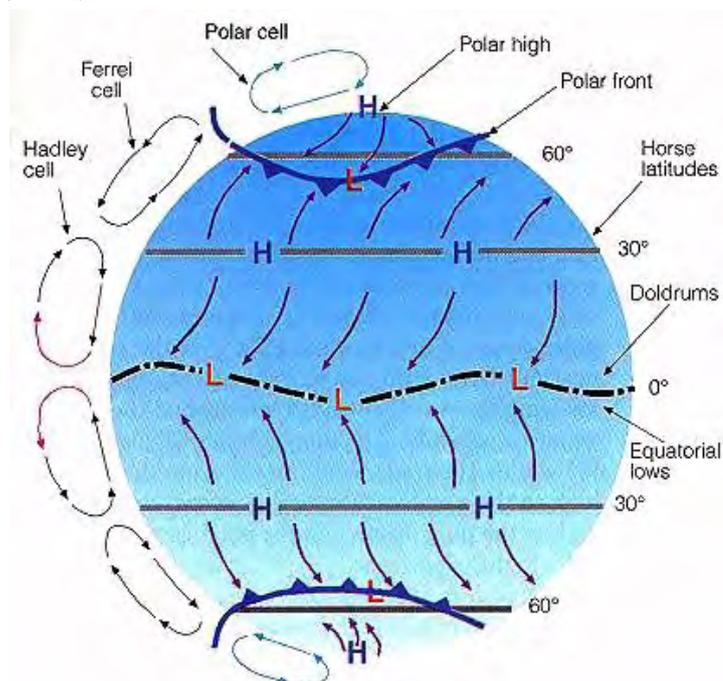
摘要

根據三胞理論，我們運用福爾摩沙三號衛星 2008、2010、2011 三年的資料做出大氣溫度隨高度變化圖，由此觀察出對流層厚度，並且做出對流層高度比較圖，並且發現大氣環流呈兩個系統並做出三胞環流剖面圖。再取陸地範圍做出海陸對流層高度比較圖，研究結果發現差異不明顯。另外，做出不同緯度對流層頂溫度變化圖，發現溫度變化圖為曲線，並無呈現兩個明顯系統。

從大氣溫度隨高度變化圖知道隨著緯度越來越高，同溫現象越明顯，且發現高緯地區 70 到 90 度離地表約一公里有逆溫現象。

壹、研究動機

高中課程中曾經介紹大氣分層結構，依氣溫隨高度變化情形大致上可分為對流層、平流層、中氣層、增溫層四層，而且在教科書上，對流層的高度一般被界定在距離地面 8-15 公里左右，且因為全球各緯度不同而使空氣對流高度產生差異，進而使赤道對流層高度遠大於極地的對流層高度。然而在高二的地球科課程與地理教材中，我們開始接觸大氣的三胞環流理論。一開始由哈德里發現的單胞理論進展為三胞環流，如圖(一)所示，其中接近赤道為哈德里胞環流(Hadley circulation)，緊接著是中緯區佛雷爾環流胞及高緯區極區環流胞的發現，而大致建立了大氣三胞環流理論。



圖(一) 大氣三胞環流理論圖

從三胞環流理論我們可得知，大氣於南北緯 30°氣流下降，因此形成高氣壓，理論上此地區的對流層高度應該較低，而南北緯 60°的氣流上升，形成低氣壓，如果依據這樣的理論模型，不同緯度的對流層高度是否會因為對流胞產生上升區與下沉區而發生改變呢？這引起我們極大的好奇，另外，我們想藉由對流層高度佐證此理論，亦或是找出對流層和三胞環流的關係，進而深入探討。

另外，我們觀察大氣分層中的平流層特性，大氣溫度的垂直分布是由地表附近向上遞減至對流層頂，再往上則又遞增，在高度 20-50 公里之間，形成暖空氣在上、冷空氣在下的穩定狀態，對流不易發生，這部份大氣稱為平流層。在平流層中，一百萬個氣體分子大約只有 10 個是臭氧分子。這些少量的氣體分子不斷的吸收對生物有害的紫外線，而且與其他氣體分子不斷的作用，透過氣體分子之間的碰撞，臭氧分子再將所吸收的熱量傳給其他氣體分子，使得鄰近大氣的溫度升高，平流層因此而存在，並造成 20-50 公里之間的平流層氣溫往上遞增的現象。

在接觸到各式大氣資料庫之後，發現以往的對流層頂的高度都是依據不同地區以高空觀測或定點觀測所得到的結果，而自從 2006 年，台灣發射福爾摩沙衛星三號(以下簡稱福衛三號)此衛星分佈於地球表面 700~800 公里高度之不同軌道中，分別圍繞著地球運轉，組成涵蓋全球的低軌道微衛星星系來接收美國 24 顆全球定位衛星 (GPS) 所發出的訊號；由於福衛三號相較其他觀測系統而言，得到的數據點分布較平均，較不受人為無法觀測等因素影響，且提供的範圍、區域極為廣大，所以全球大範圍的對流層高度極適合以福衛三號的數據為依據。

貳、研究目的

- 一、利用福爾摩沙衛星三號自西元 2008 至 2011 年的大氣垂直氣溫資料庫，做出不同緯度的大氣平均溫度隨高度的變化。
- 二、由對流層高度變化圖檢視三胞環流的架構並觀察是否與理論相符。
- 三、檢視在三胞環流的理論架構下，副熱帶高壓、極鋒氣旋帶的緯度附近是否對流層高度有異常變化？
- 四、選取陸地與海面的範圍，做出對流層高度隨不同緯度、年份的變化圖，觀察海、陸上空對流層高度隨緯度變化圖及其差異。
- 五、比較並分析不同緯度下部平流層的變化。
- 六、比較並分析高緯區近地表處的逆溫情形。

參、研究器材和設備

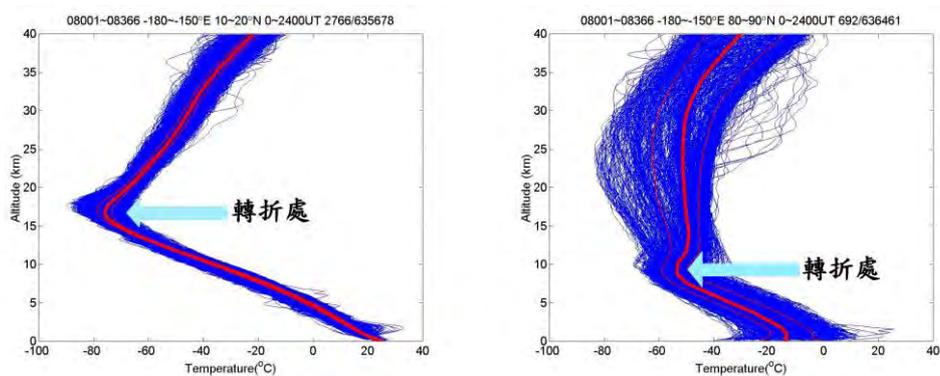
- 一、個人電腦、福衛三號資料
- 二、電腦軟體 Matlab、Microsoft Excel、Microsoft Word

肆、研究方法

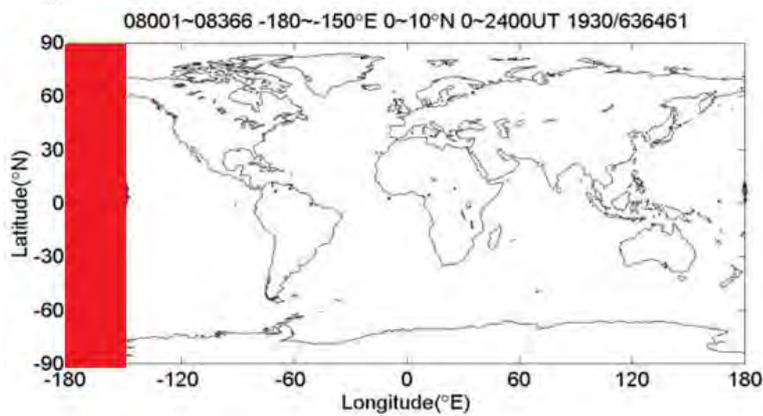
- 一、利用福衛三號自西元 2008~2011 資料庫，以 Matlab 程式做圖，取每十緯度為間隔(ex:0°N~10°N、10°N~20°N……)，高度 40 公里為範圍，作出大氣溫度隨高度變化圖，並由此找出對流層高度。

依據大氣分層的定義，對流層是近地表處(約 10 公里)，空氣溫度隨高度增加而降溫，溫度隨高度增加而降低直到不再降低處後，即為平流層的開始。因此我們選取溫度由遞減轉為遞增的高度為對流層頂部，如下圖(二)淺藍色箭頭所指，左圖為低緯區，右圖為中高緯區，從這個高度到地面稱為對流層厚度。範圍取太平洋(西經 150~180 度，南緯 90~北緯 90 度)，如下圖(三)及圖(四)，因為三胞環流的假設不考慮海陸分佈差異，所以我們的分別取海

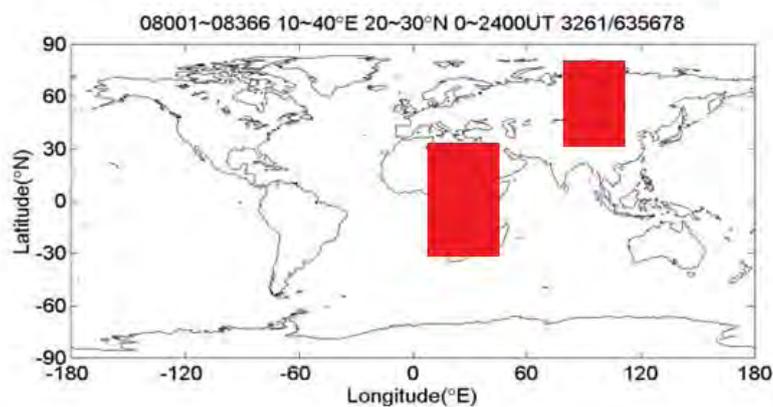
面(西經 150~180 度, 南緯 90~北緯 90 度)和陸地(東經 10~40 度, 南緯 30~北緯 30 度; 東經 80~110 度, 北緯 30~70 度)兩種範圍, 以排除海陸差異所造成的影響。



圖(二)對流層頂高度示意圖



圖(三)2008 年海面上範圍地圖
(西經 150~180 度, 南緯 90~北緯 90 度)



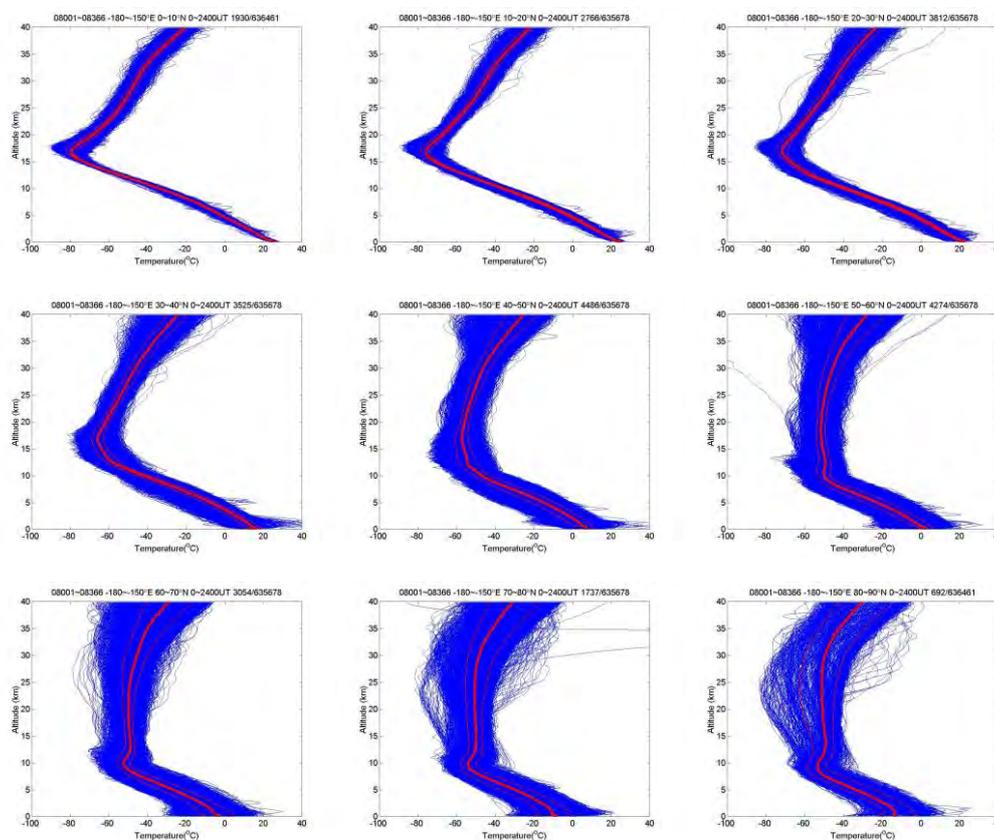
圖(四)2008 年陸地範圍地圖
(東經 10~40 度, 南緯 30~北緯 30 度;
東經 80~110 度, 北緯 30~70 度)

- 二、用 Excel 做圖，做出北緯 90 度到南緯 90 度的對流層高度變化圖，以此圖推論出三胞環流的空氣流動剖面圖，並比較南北半球的差異。
- 三、觀察從低緯度到高緯度的對流層高度圖中平流層底部的溫度上升的幅度，且求出各緯度的溫度遞增率。

伍、研究結果

一、西元 2008 年不同緯度的流層高度變化

下圖(五)為 2008 年北緯 0~90 度大氣不同緯度的氣溫變化情形。我們由 2008 年北緯 0~90 度的大氣溫度隨高度變化圖找出各緯度的對流層高度值，並且製成表(一)。

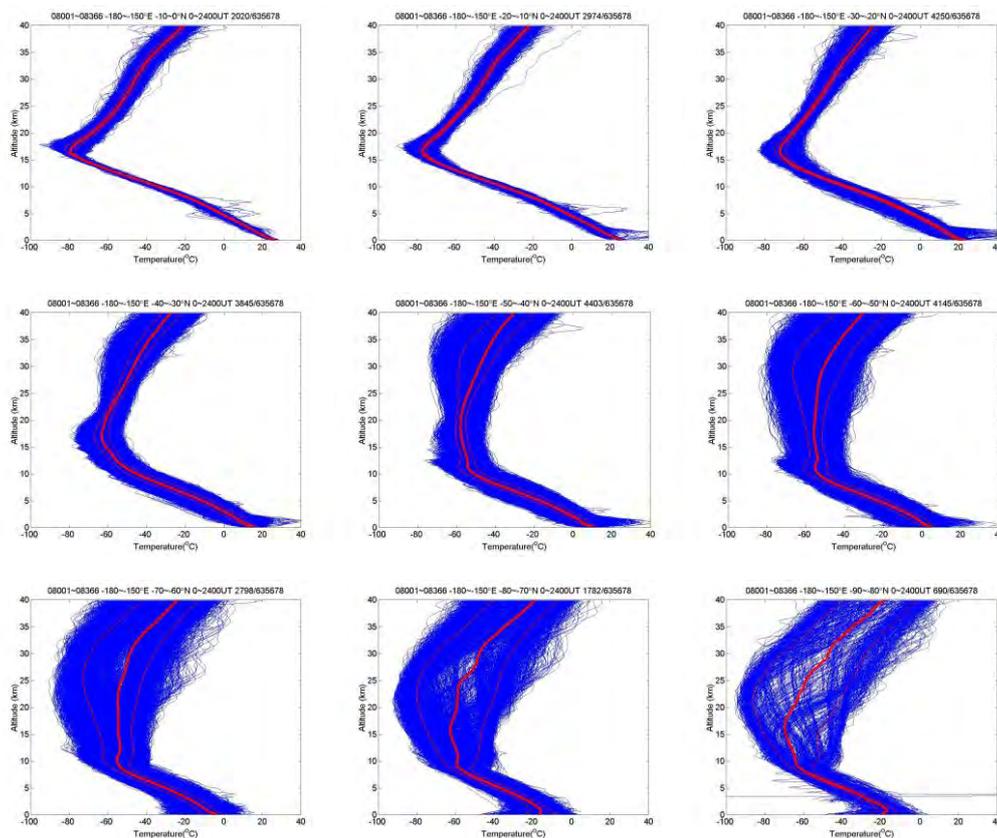


圖(五)2008 從北緯 0°~90°取每十緯度為一單位
範圍為西經 150~180 度，北緯 0~90 度

表(一)2008 年北半球對流層高度(km)

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
對流層高度	16.8	16.5	17	17	12.3	9.5	10	9.3	8.7

圖(六)則為南緯 0~90 度的大氣溫度隨高度變化圖，由圖找出各緯度對流層高度，製成表(二)。

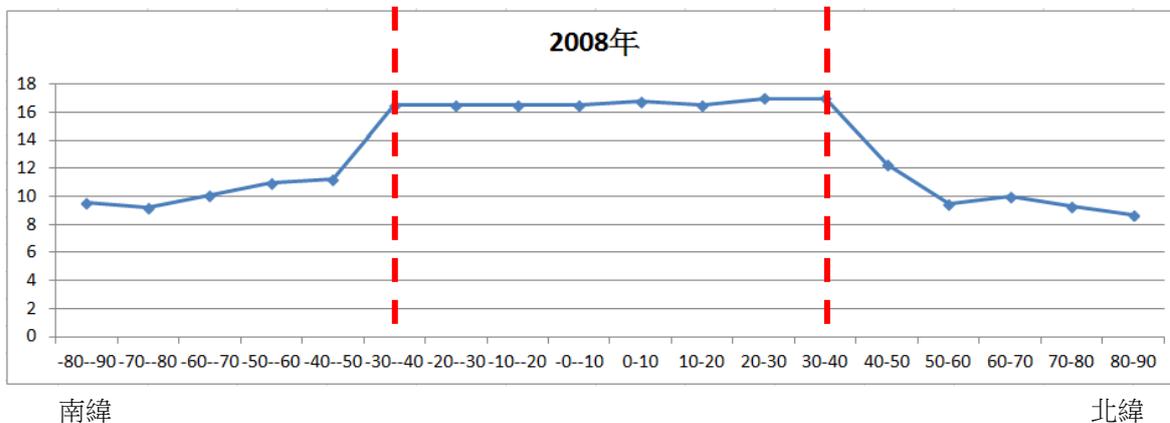


圖(六)2008 年南緯 0~90 度大氣溫度隨高度變化圖

表(二)2008 年南半球對流層高度(km)

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
對流層高度	16.5	16.5	16.5	16.5	11.2	11	10.1	9.2	9.6

我們依據表(一)北半球的對流層高度值和表(二)南半球的對流層高度值做出圖(七)2008 年不同緯度的對流層高度比較圖。



圖(七)2008 年南北兩半球不同緯度的對流層高度比較圖

由圖(七)2008 年南北兩半球的不同緯度對流層高度比較圖，可看出南北半球對流層高度在低緯地區時高度大致相同，且高度於北緯 20 到 30 度和 30 到 40 度會稍微上升，緊接著急速下降，接下來在高緯地區高度變化平緩，分為低緯度地區和高緯度地區兩個系統。

二、不同年大氣溫度隨高度變化圖比較

我們將 2008 年、2010 年、2011 年三年不同緯度的對流層高度做出以下表(三)北半球的對流層高度值和表(四)南半球的對流層高度值。

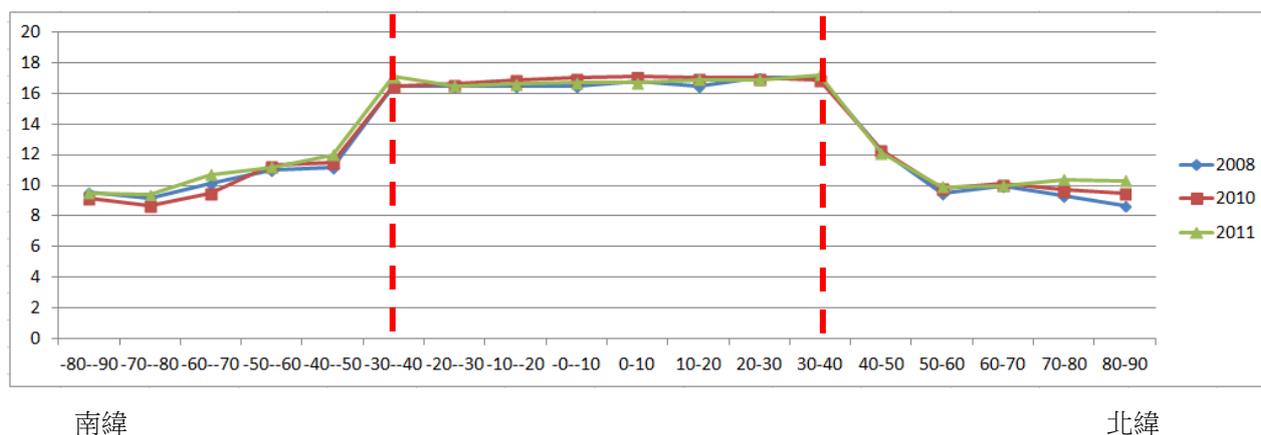
表(三)2008 年、2010 年、2011 年北半球不同緯度的對流層高度(km)

北半球	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
2008 年	16.8	16.5	17	17	12.3	9.5	10	9.3	8.7
2010 年	17.1	17	17	16.9	12.3	9.8	10.1	9.7	9.5
2011 年	16.7	16.9	16.9	17.2	12.1	9.9	10	10.4	10.3

表(四)2008 年、2010 年、2011 年南半球不同緯度的對流層高度(km)

南半球	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
2008 年	16.5	16.5	16.5	16.5	11.2	11	10.1	9.2	9.6
2010 年	17	16.9	16.6	16.5	11.5	11.3	9.5	8.7	9.2
2011 年	16.7	16.6	16.5	17.1	12	11.2	10.7	9.4	9.5

接著由表(三)和表(四)製成圖(八)三年不同緯度比較圖以觀察三年的對流層高度變化。

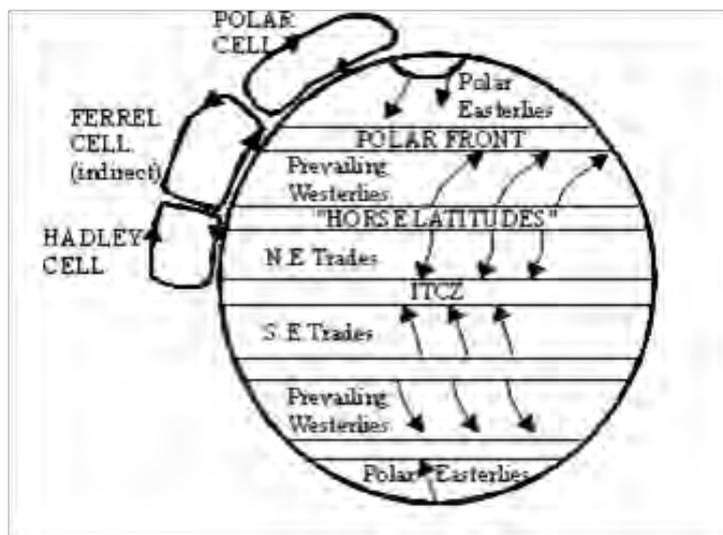


圖(八)2008 年、2010 年、2011 年不同緯度的對流層高度比較圖

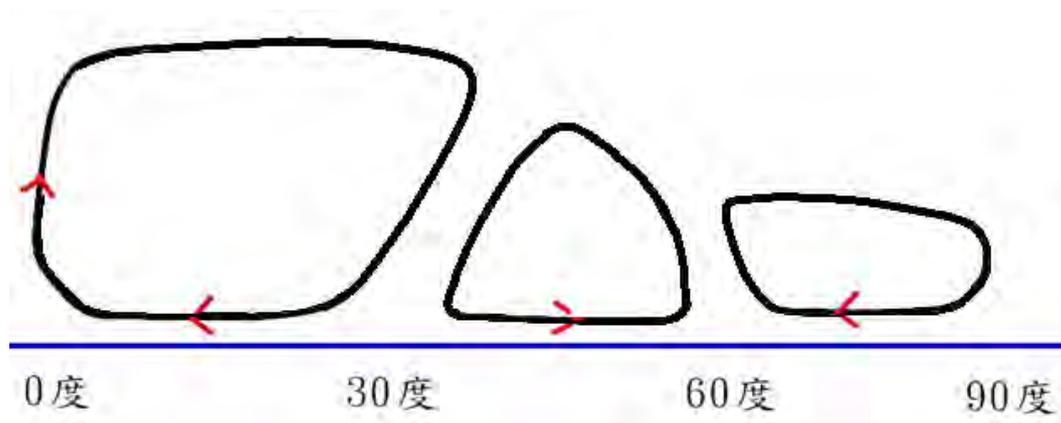
我們首先討論北半球的情況，所以從表(二)三年不同緯度的對流層高度值知道 0 度到 40 度的對流層頂高度大概在 17 公里，三年的對流層高度都於北緯 40 度時開始下降，且下降幅度十分明顯，且發現在北緯 60 度到 70 度時，對流層高

度也有微微上升的趨勢。接著南半球方面，我們可以由表(三)三年南緯 0 度到 90 度的對流層高度值得知，在低緯度地區，高度十分一致，較北半球平穩，且與北半球一樣，於南緯 40 度時下降，在南緯 80 度到 90 度時有微量上升的情形。所以統整南北兩半球，我們可以看到圖(八)2008 年、2010 年、2011 年不同緯度對流層高度比較圖中，南北半球都各有低緯區和高緯區兩個系統，且都於緯度 30~40 度時開始急遽下降。

但是從三胞環流理論來看，大氣環流理論如下圖(九)，但是從我們所做出的對流層高度折線圖，我們推測出符合我們數據的大氣環流剖面圖，下圖(十)為我們的推估結果。



圖(九)三胞環流理論圖

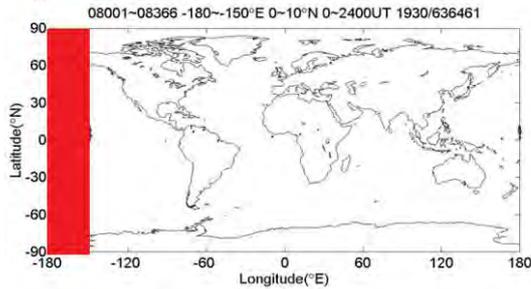


圖(十)三胞環流剖面推測圖

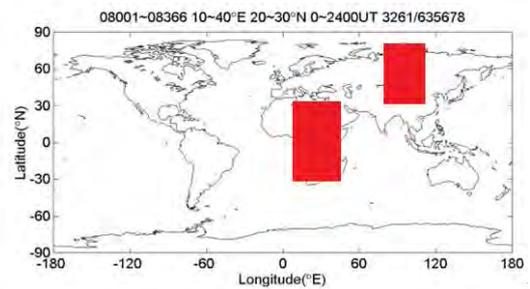
由我們所做出的對流層高度圖所顯示的結果，對流層高度大致分為兩個系統，在 30 到 40 度時急劇下降，所以代表中緯度佛雷爾環流胞較無法在高空造成顯著影響。

三、海面範圍和陸地範圍不同緯度對流層高度變化比較

我們取陸地上的範圍為東經 10 度到 40 度，南緯 30 度到北緯 40 度，以及東經 80 到 110 度，北緯 40 度到 90 度，作為與海上的對照。

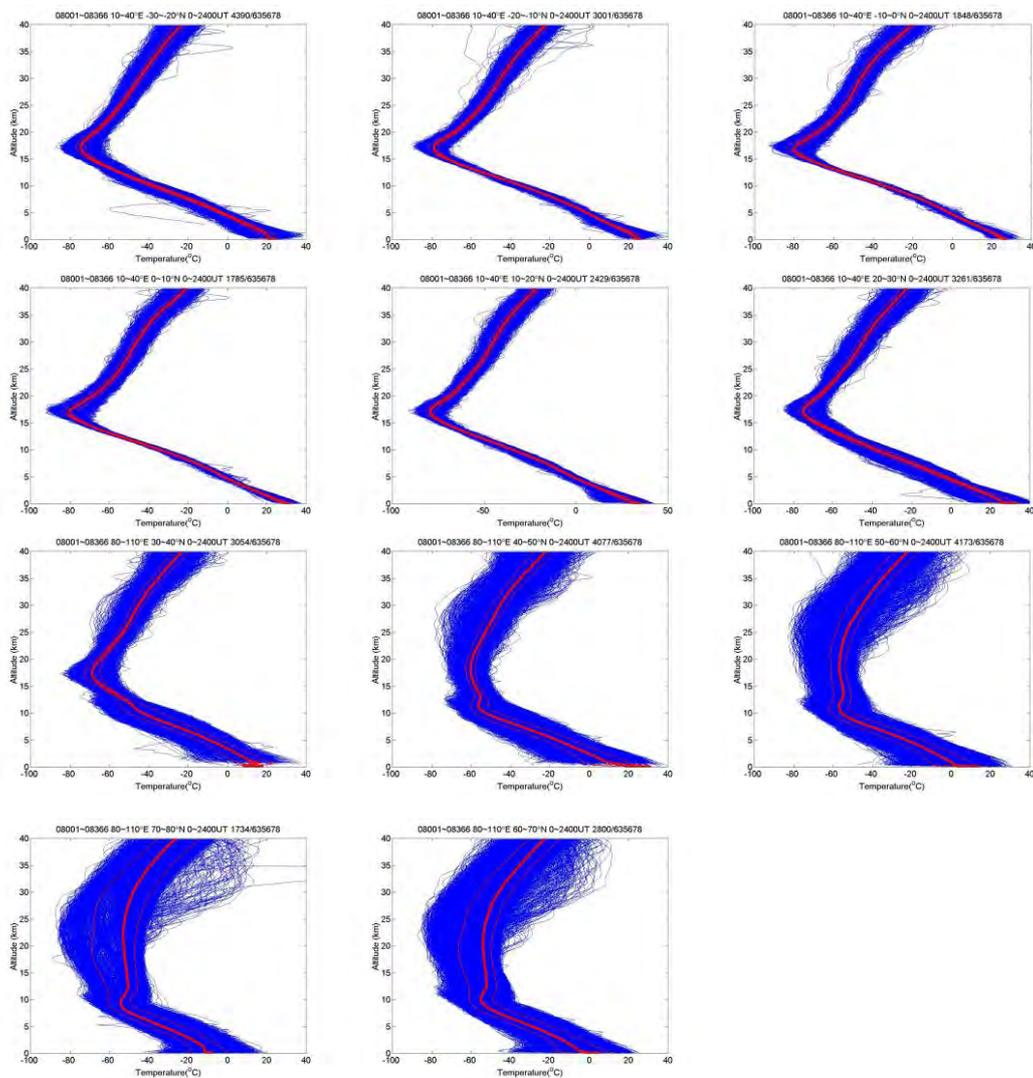


圖(十一)海面範圍地圖



圖(十二)陸地範圍地圖

以下為 2008 年陸地範圍北緯 0 度到 90 度的大氣溫度隨高度變化圖。



圖(十三)2008 年陸地對流層高度圖

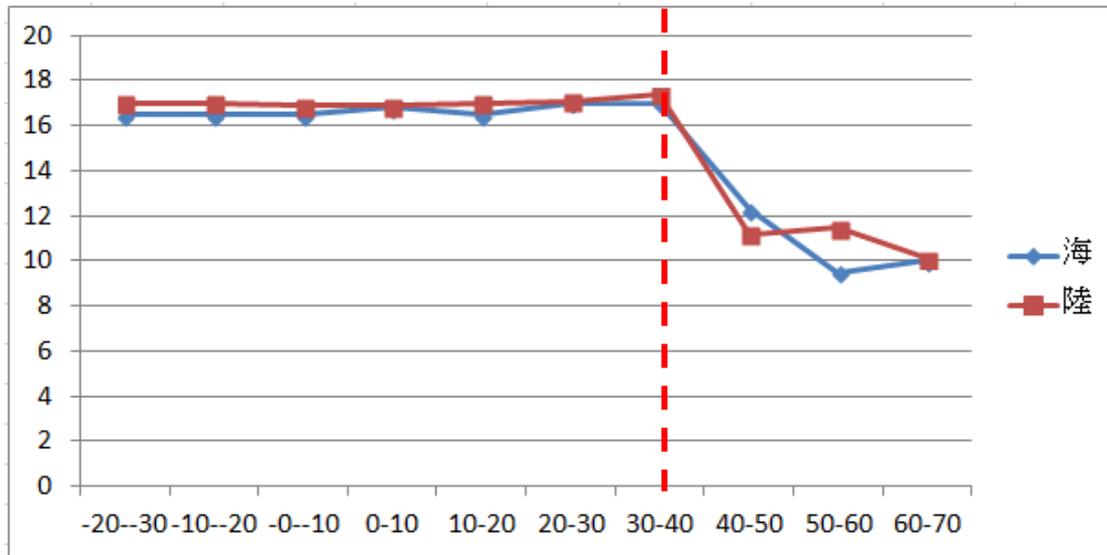
東經 10 度到 40 度，南緯 30 度到北緯 40 度；
東經 80 到 110 度，北緯 40 度到 90 度

我們由 2008 年陸地範圍的大氣溫度隨高度變化圖中，找出不同緯度對流層高度值並做出表(五)。

表(五)2008 年不同緯度對流層高度海陸比較(km)

2008 北	-20--30	-10--20	0--10	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
海	16.5	16.5	16.5	16.8	16.5	17	17	12.3	9.5	10
陸	17	17	16.9	16.9	17	17.1	17.4	11.2	11.5	10.1

我們將表(五)的對流層高度值做出如圖(十四)的海陸對流層高度比較圖。



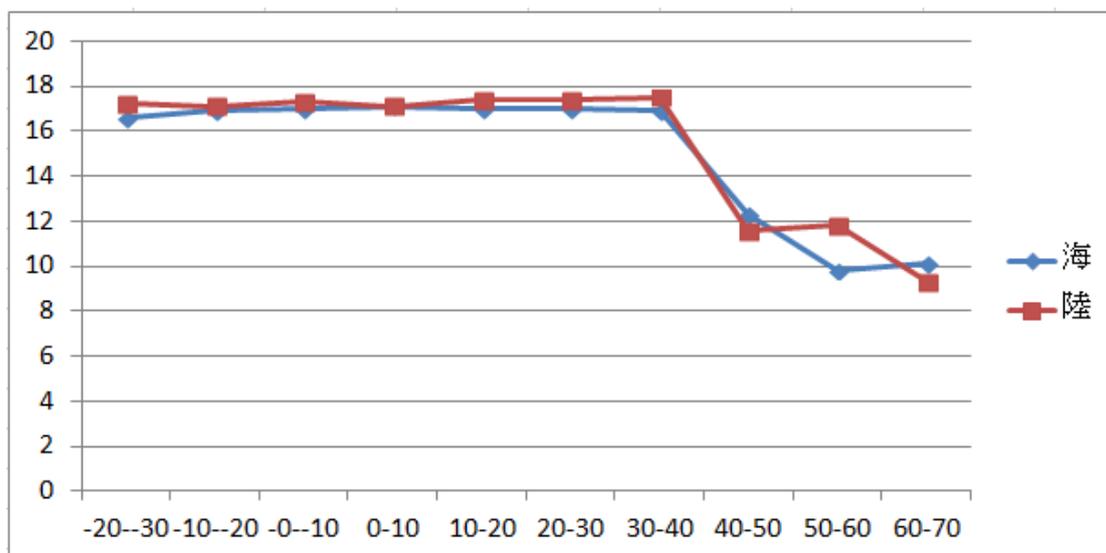
圖(十四)2008 年不同緯度對流層高度海陸比較圖

由上表(五)及圖(十四)可知，陸上對流層高度與海上一樣，皆分為低緯及高緯兩個系統，對流層高度在海陸差異上並不明顯，推測應是海陸差異在接近地表較明顯，而在高空中則差異小。

我們為了更明確證明海陸的對流層高度值差異不大，因此做出 2010 年和 2011 年的海陸對流層高度比較圖來佐證。

表(六)2010 年不同緯度對流層高度海陸比較(km)

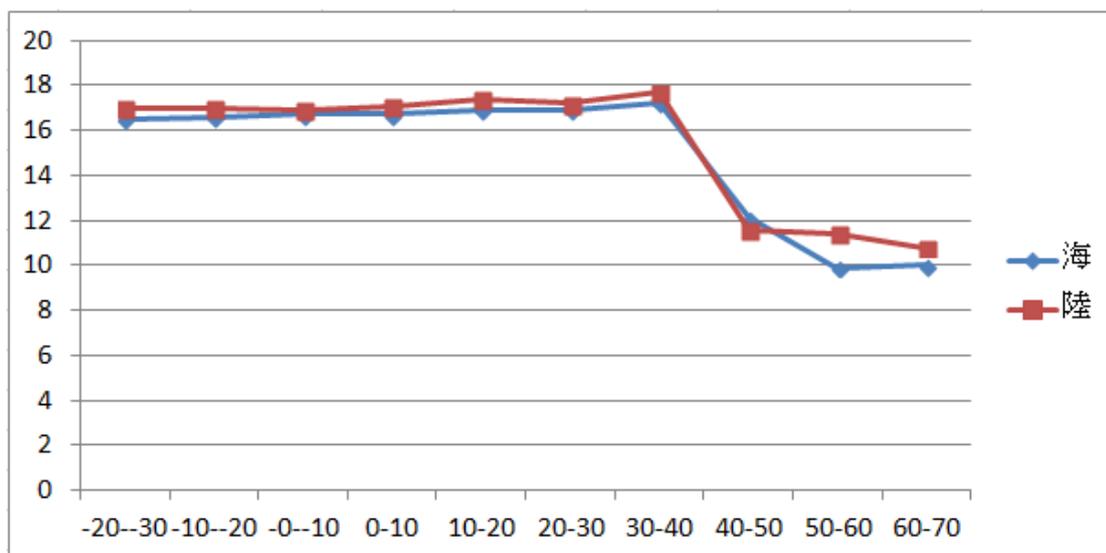
2010	-20--30	-10--20	0--10	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
海	16.6	16.9	17	17.1	17	17	16.9	12.3	9.8	10.1
陸	17.2	17.1	17.3	17.1	17.4	17.4	17.5	11.6	11.8	9.3



圖(十五)2010年不同緯度對流層高度海陸比較圖

表(七)2011年不同緯度對流層高度海陸比較(km)

2011	-20--30	-10--20	0--10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	
海	16.5	16.6	16.7	16.7	16.9	16.9	17.2	12.1	9.9	10
陸	17	17	16.9	17.1	17.4	17.2	17.7	11.6	11.4	10.8

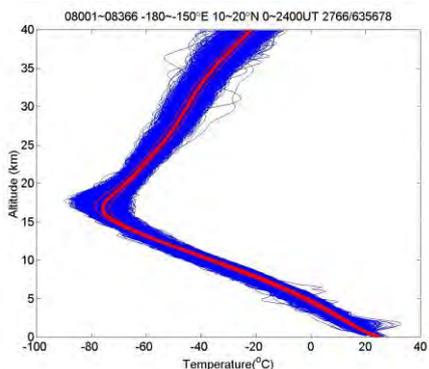


圖(十六)2011年不同緯度對流層高度海陸比較圖

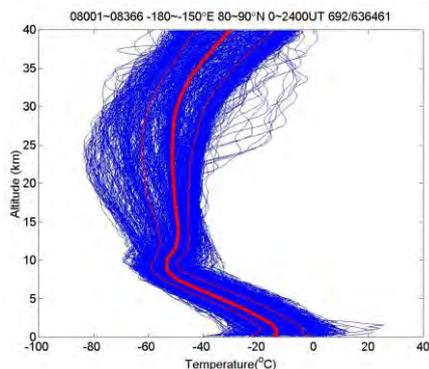
從圖(十四)、圖(十五)、圖(十六)中，我們可以看出三年的海陸對流層比較圖都呈現相同情況，海陸差異在高空中無顯著的影響，但我們發現，在低緯地區，也就是圖(十四)、圖(十五)、圖(十六)的紅色虛線以左的對流層高度數據，陸地的對流層高度都稍微比海面上的對流層高度高。且在北緯 50 到 60 度，海上對流層高度均比陸地上對流層高度低。

四、探討高緯區下平流層的溫度隨高度變化情形

我們從大氣溫度隨高度變化圖中發現，高緯度地區平流層底部擁有明顯的同溫現象，而低緯度地區的平流層底部則在轉折處直接增溫，並未出現同溫的現象，以下為 2008 年北緯 10~20 度和北緯 80~90 度兩張大氣溫度隨高度變化圖。

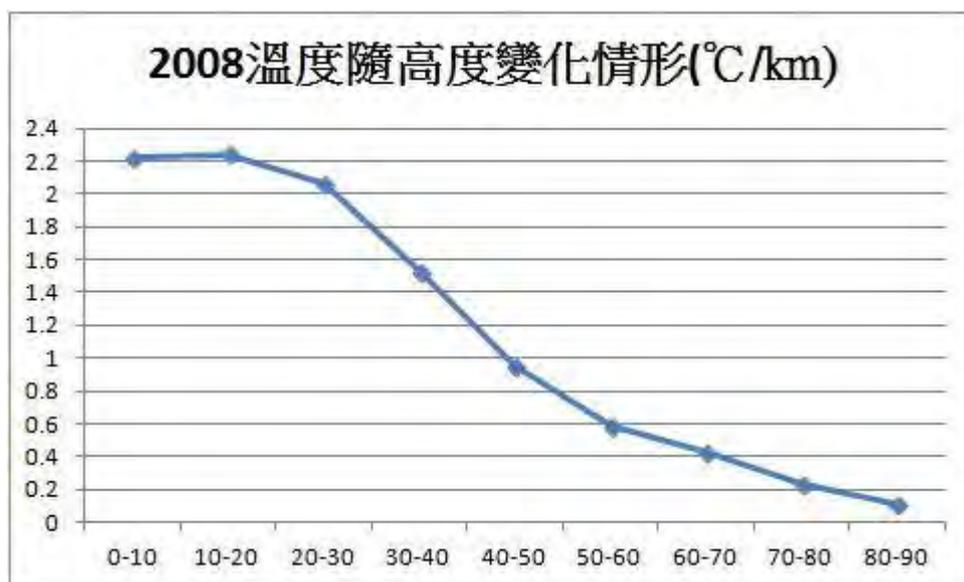


圖(十七)2008 年北緯 10 度到 20 度
西經 150 度到 180 度



圖(十八)2008 年北緯 80 度到 90 度
西經 150 度到 180 度

我們觀察圖(十七)和圖(十八)2008 年北緯 10 度到 20 度和 80 度到 90 度，可以明顯看到，低緯度的平流層底部溫度上升幅度較大，而相反的，高緯度的平流層底部有同溫層的現象，我們為了更明確的證明低緯度地區和高緯度地區的平流層底部有無同溫層現象的差別，因此求出各緯度自高度 20 公里到 30 公里的溫度隨高度遞增情形。



圖(十九)2008 年 20km~30km 溫度隨高度遞增情形

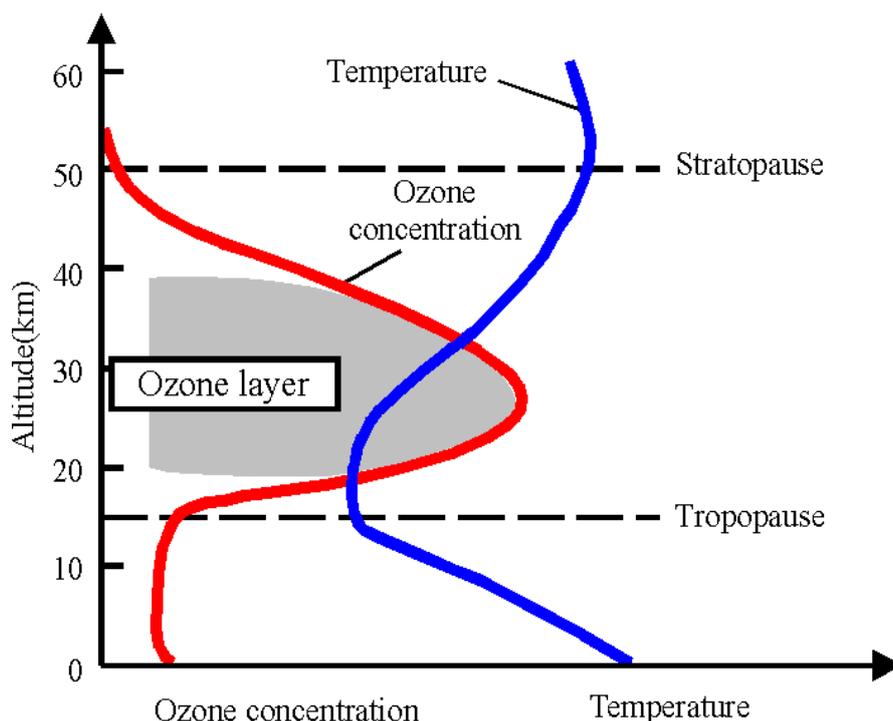
表(八)2008 年北半球 20km~30km 溫度隨高度遞增率(°C/km)

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
溫度隨高度遞增率(°C/km)	2.2	2.2	2.0	1.5	0.9	0.5	0.4	0.2	0.1

由圖(十九)20 公里到 30 公里的高度/溫度圖可以得知，緯度愈高溫度遞增率愈小，低緯度的下降幅度較緩，可是到高緯度地區時，幅度便開始增大。

我們從表(八)20 公里到 30 公里的溫度隨高度遞增率數據中，我們看到緯度 0 度到 10 度時 $\Delta T/\Delta H$ 遞增率為 2.2(°C/km)，而緯度 80 度到 90 度時， $\Delta T/\Delta H$ 遞增率接近 0(°C/km)，幾乎為一直線，所以我們推定，同溫現象會隨著緯度愈高愈明顯。

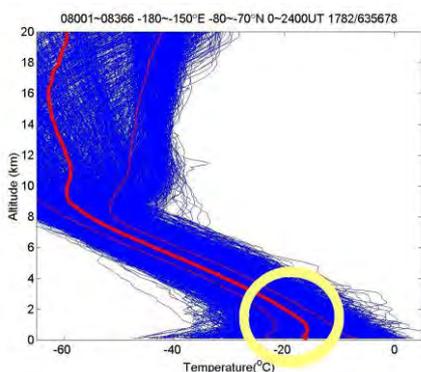
研究資料顯示，臭氧會吸收太陽光的紫外線，將能量轉換為分子的動能，因此使平流層溫度增溫，且臭氧在高度 22~25km 時濃度最大。因低緯度地區對流層高度較接近臭氧層，因此低緯度地區平流層底部會立即增溫，幅度較劇烈，造成同溫現象不明顯；反之，高緯對流層高度較低，與臭氧層相距較遠，才會造成明顯的同溫現象。



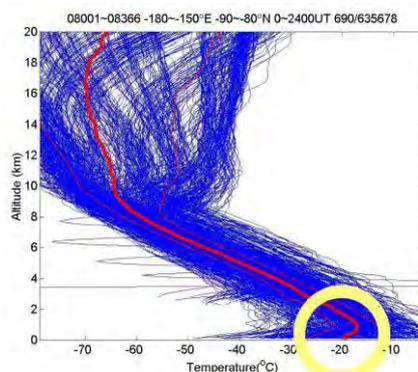
圖(二十)臭氧層濃度與大氣溫度隨高度變化圖

五、高緯度逆溫現象

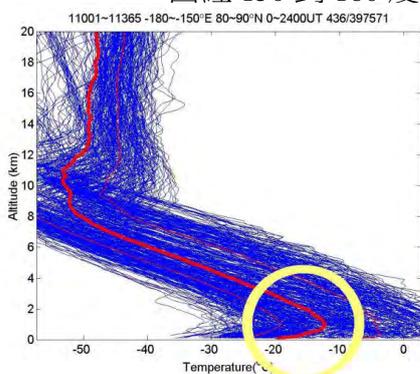
一般而言，在對流層中，溫度隨著高度增高應愈低，而我們發現高緯地區的大氣溫度隨高度變化圖中，在地表附近有明顯的逆溫現象，不過高緯地區低空溫度先上升後下降，以下是四張較明顯逆溫情形。



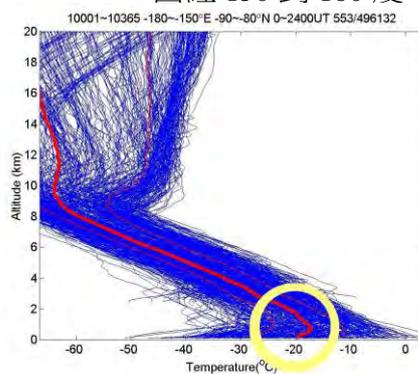
圖(二十一)2008 年南緯 70 到 80 度
西經 150 到 180 度



圖(二十二)2008 年南緯 80 到 90 度
西經 150 到 180 度



圖(二十三)2011 年北緯 80 到 90 度
西經 150 到 180 度



圖(二十四)2010 年北緯 80 到 90 度
西經 150 到 180 度

我們由大氣溫度隨高度變化圖中找出高緯度地區逆溫現象的轉折點，作出下表(九)。

表(九)高緯地區逆溫現象轉折點高度(km)

	北緯 70-80	北緯 80-90	南緯 70-80	南緯 80-90
2008	0.7	0.9	0.6	0.8
2010	0.8	0.9	0.9	0.7
2011	0.6	1	0.8	0.7

從上表(九)得知緯度 70 度~90 度的高緯度地區約接近地表約一公里處有逆溫現象。接下來，我們將上表的轉折點高度，並找出地表 300m 至轉折點高度的溫度變化，由此找出逆溫現象的溫度遞增率。

表(十)高緯地區逆溫現象溫度遞增率(°C/km)

	北緯 70-80	北緯 80-90	南緯 70-80	南緯 80-90
2008	1.25	1.17	1.67	4.8
2010	3	4.5	2.67	5.38
2011	3.3	5.36	3.6	7.63

根據資料顯示，極區逆溫現象為輻射冷卻所導致，由於近地表的大氣急速輻射冷卻而產生低溫，故隨高度增加氣溫反而增加。這種急速冷卻現象主要發生的時間在清晨或是夜晚，在冬天逆溫現象尤為明顯。而極區的海面和陸地都有此逆溫現象，陸地的逆溫現象尤其明顯。由上表(十)可知南緯 80~90 度因位於南極大陸，所以逆溫現象的影響較明顯。

陸、對流層頂溫度的探討

我們由大氣溫度隨緯度變化圖中求出對流層頂的溫度，並製成圖表如下。

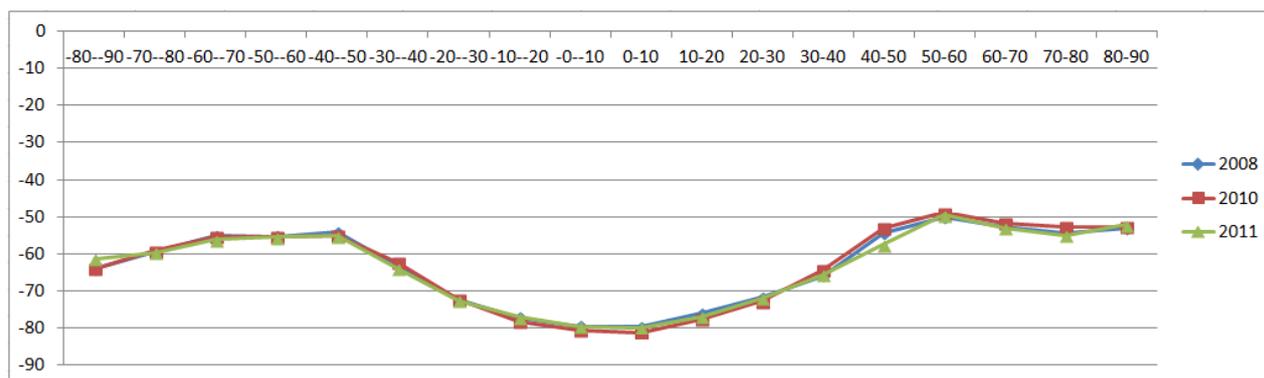
表(十一)三年不同緯度北半球對流層頂溫度(°C)

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
2008	-79.6	-76	-71.7	-65.9	-54.5	-50	-52.6	-54.3	-53.5
2010	-81.1	-77.5	-72.8	-64.4	-53.2	-48.9	-51.6	-52.7	-52.8
2011	-79.8	-76.8	-71.9	-65.6	-54.8	-49.5	-52.9	-54.9	-52.2

表(十二) 三年不同緯度南半球對流層頂溫度(°C)

	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
2008	-79.5	-77.2	-72.4	-63.2	-54.2	-55.3	-55.2	-59.3	-64.1
2010	-80.75	-78.2	-72.3	-62.4	-55.2	-55.4	-55.4	-59.2	-64
2011	-79.6	-77.1	-72.6	-64	-55.2	-55.5	-56.2	-59.6	-61.4

我們依據表(十一)、表(十二)製成圖(二十五)不同緯度對流層頂溫度變化折線圖。

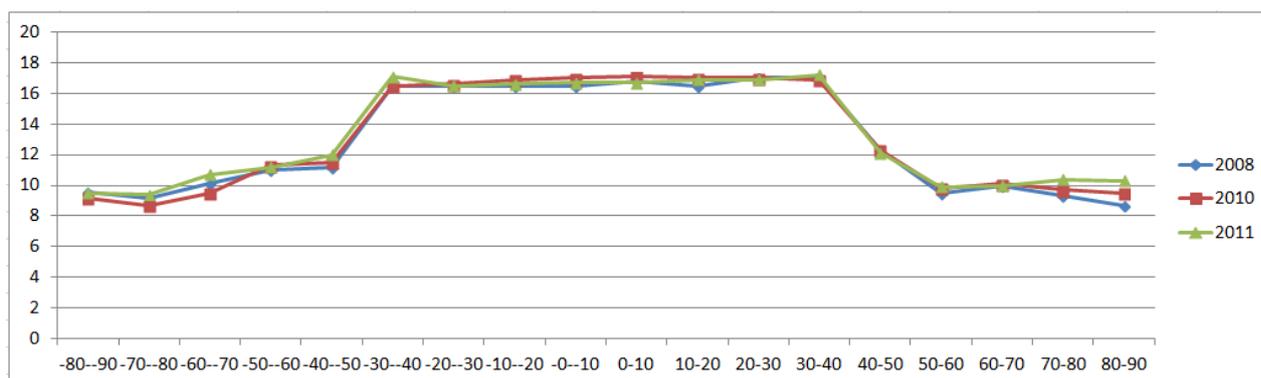


圖(二十五)2008、2010、2011 不同緯度對流層頂溫度變化折線圖

由此溫度變化折線圖來看，對流層不同緯度的溫度並沒有如同高度一樣呈現明顯的兩個分區，北半球的對流層頂溫度於 0 度~50 度時逐漸上升，緊接著從 50 度開始又些微下降，南半球也有相同現象。

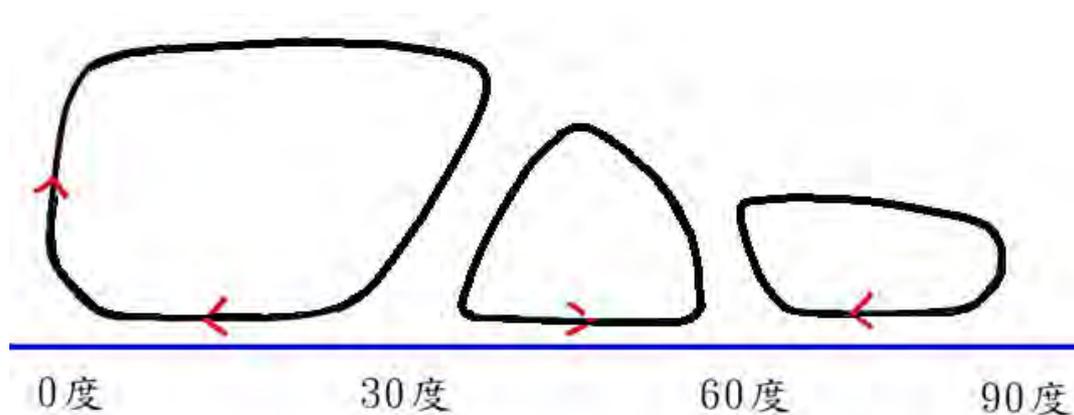
陸、討論

一、以 2008、2010、2011 三年的資料統整出不同緯度對流層高度變化圖如下圖(二十六)，由此圖可知，大氣環流分為兩個大系統，北半球和南半球均在緯度 30 度到 40 度時開始下降。



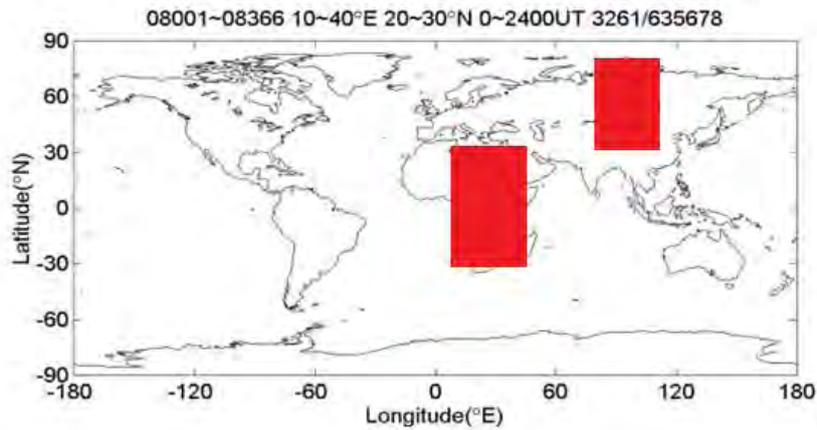
圖(二十六)2008、2010、2011 不同緯度的對流層高度變化比較圖

且原本由三胞環流理論推測，於副熱帶高壓帶對流層高度應下降、極鋒氣旋帶對流層高度則應上升，但從我們做出的不同緯度對流層高度比較圖中發現並無原本預期產生異常變化，因此我們更可以確定三胞環流氣流剖面圖應為下圖(二十七)，而且以 40 度為分水嶺分成兩個系統。

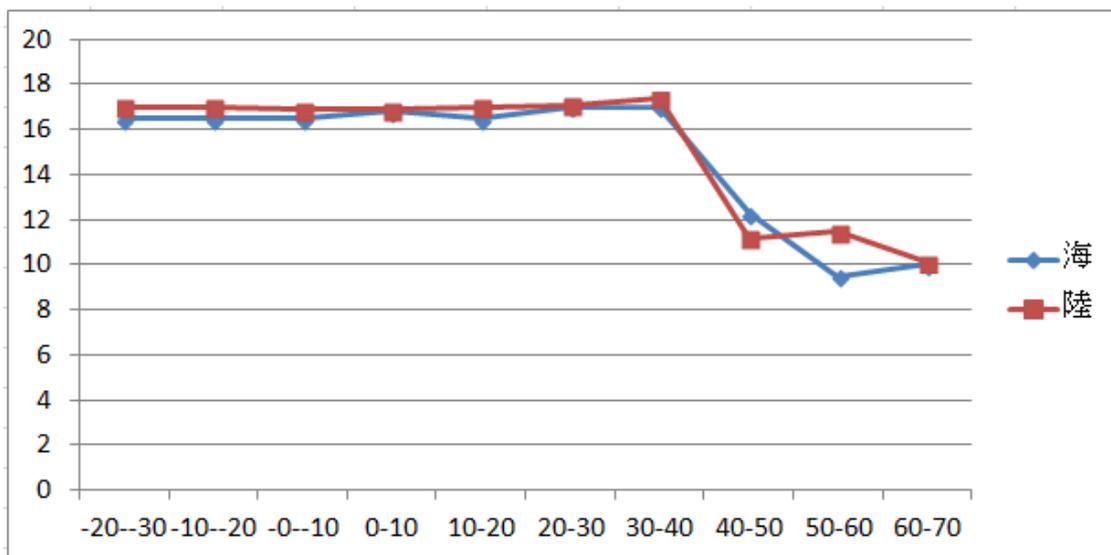


圖(二十七)三胞環流剖面推測圖

二、我們取陸地範圍為東經 10 到 40 度，南緯 30 度到北緯 30 度和東經 90 度到 110 度，北緯 30 度到 80 度，如下圖(二十八)。



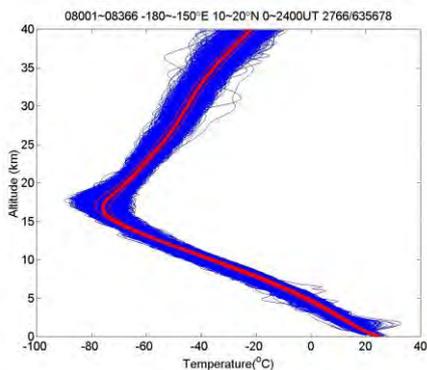
圖(二十八)陸地範圍地圖



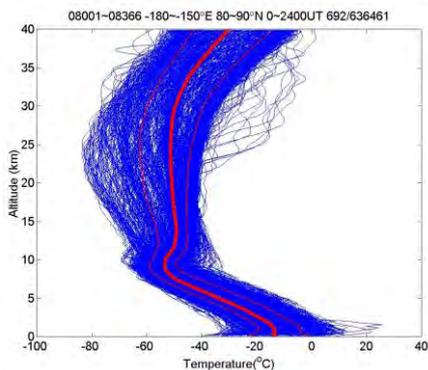
圖(二十九)2008 年不同緯度對流層高度海陸比較圖

我們原本預估海陸分布差異會造成對流層高度變異，但我們從圖(二十九)2008 年海陸比較圖可以發現對流層的厚度和海陸分布差異關係不大，海陸分布這個變因對於對流層的厚度無明顯的影響。

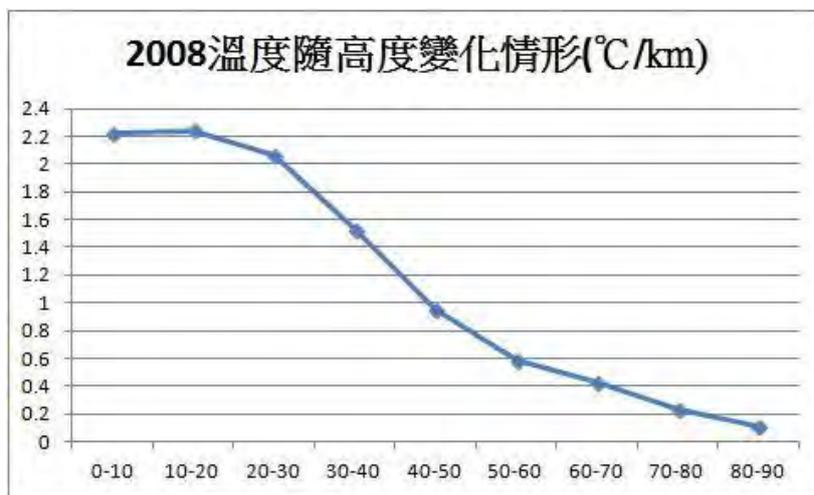
三、由於高緯對流層高度較低，與臭氧層相距較遠，而臭氧會使平流層的溫度增加，因此高緯度同溫層的現象會隨緯度愈高而愈明顯，我們固定下平流層中的同樣厚度(20 公里到 30 公里)發現，在緯度 90 時同溫現象越明顯，而低緯度則無同溫現象。



圖(三十)北緯 10 度到 20 度

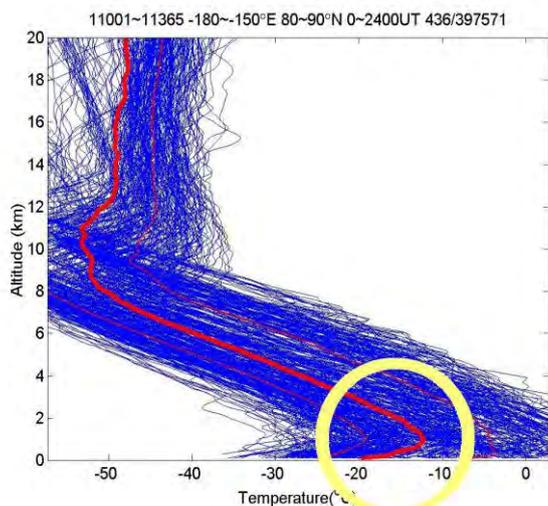


圖(三十一)北緯 80 度到 90 度



圖(三十二)2008 年 20km~30km 高度-溫度圖

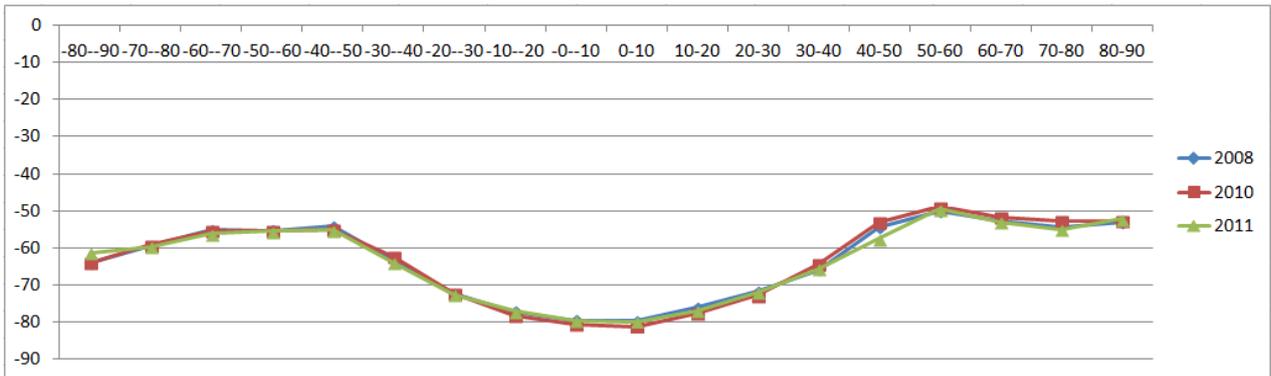
四、從大氣溫度隨緯度變化圖中，我們可以歸納出從緯度 70 度開始，在離地面約 1 公里的低空都會出現逆溫現象，如下圖(三十三)黃色圈圈處。



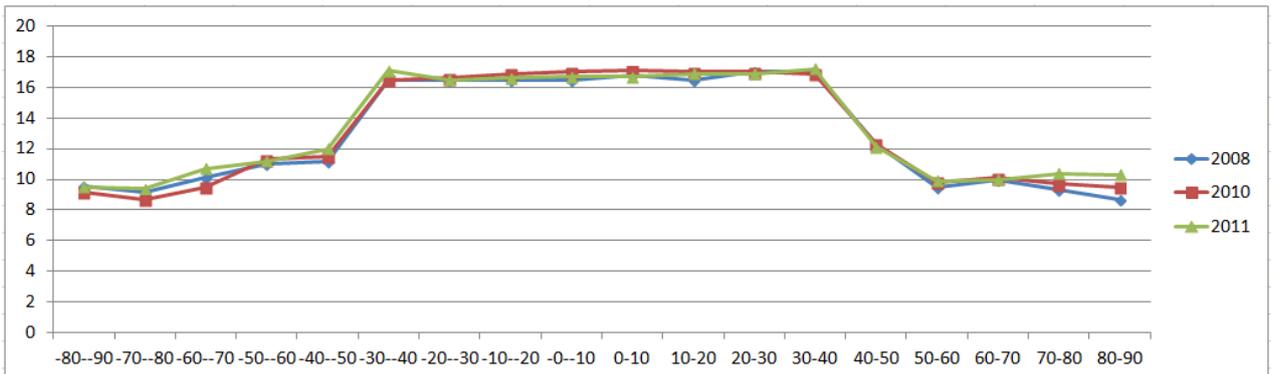
圖(三十三)2011 年北緯 80 到 90 度
西經 150 到 180 度

而我們搜尋資料顯示，逆溫現象於冬季最明顯，尤其是冬季的夜晚和凌晨，因地面的熱量輻射從地面散發到大氣中，因此低層的高空吸取地面的熱量溫度也隨之增高，可是日出後，此現象便會減弱。

五、對流層頂的溫度在低緯度 0 度到 50 度時會緩慢上升，而愈靠近低緯地區，溫度上升愈慢，而緯度 50 度為轉捩點。從緯度 50 度開始，溫度開始下降，可是下降幅度不大，且南半球的下降幅度比北半球明顯。



圖(三十四)2008、2010、2011 不同緯度對流層頂溫度比較圖



圖(三十五)2008、2010、2011 不同緯度對流層頂高度比較圖

我們由圖(三十四)溫度比較圖以及圖(三十五)高度比較圖對照後發現：不同緯度的對流層頂溫度並沒有如同對流層高度比較圖一樣呈現明顯的兩個分區，此溫度比較圖為曲線。

柒、結論

- 一、不同緯度對流層高度比較圖中，南北半球都各有低緯區和高緯區兩個系統，在 40 到 50 度時急劇下降，所以我們推測中緯度弗雷爾環流胞較無法在高空造成顯著影響。

- 二、對流層高度在海陸差異上並不明顯，因此海陸差異在接近地表較明顯，而在高空中則差異小。
- 三、高緯度平流層底部具有明顯的同溫層現象，而越高緯同溫層現象越明顯。
- 四、在高緯度地區(70 度到 90 度)，由地表至上空約一公里處有明顯的逆溫現象，溫度隨高度上升而增加。
- 五、愈靠近低緯地區，對流層頂溫度上升愈緩；於緯度 50 度時溫度逐漸小幅度下降。

捌、參考資料及其他

- 一、魏國彥、許晃雄(1999)。**全球環境變遷導論** 第四節氣候的使者—大氣環流；第五章·臭氧洞與酸雨 台北市：時英出版社。
- 二、教育部「92-95 基礎科學教育改進計畫」地球科學領域開發高中教材及高中生研習活動(2004) 許晃雄、吳清吉、林博雄。
- 三、國科會高瞻自然科學教學資源平台 大氣環流(二)三胞環流
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40131>
- 四、國科會高瞻自然科學教學資源平台 淺談逆溫
<http://case.ntu.edu.tw/hs/wordpress/?p=4057>

玖、未來展望

- 一、探討為何不同緯度、溫度與高度並非成函數關係。
- 二、探討不同緯度、溫度之高度圖的四分位距，與緯度的變化情形。
- 三、將所去時間範圍，由一年改成一季(三個月)，觀察季節變化是否對對流層高度造成影響。
- 四、將所去時間範圍，由一年改成一季(三個月)，觀察並探討高緯度同溫的現象變化情形。
- 五、將所去時間範圍，由一年改成一季(三個月)，觀察逆溫現象於不同季節的變化。

【評語】 040508

這個作品也是利用福衛三號近年來的觀測資料，涵蓋了海陸的數據，以及南半球與北半球，空間涵蓋的尺度較完整。討論的內容從對流層延伸到平流層底部，顯示參與的學生程度較佳，也較用心。分析的結果，也反映了大氣層底部的主要特性及大尺度的變化，表示不論是研究方法或是分析結果的品質，都相當不錯。

1. 運用大量福衛三號數據進行作圖，圖表處理及資料呈現清楚明瞭，惟針對海陸變化及細部特徵分析及成因探討還可加強。另建議除本次探討年平均結果外，可再分析季節間的變化。推論能力強，團隊合作良好。
2. 選題明確且具科學意義。數據分析方法簡單，呈現也清楚，所得的分析結果雖然簡單但有科學新發現，值得深入並更詳細探討。