

# 第七屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA7-528

作品名稱：非洲地區雲帶的季節性變化及  
其與降水之間的關係

姓名：吳欣儒

關鍵字：雲帶、降水、非洲

研究題目：

雲帶的季節性變化及其與降水之間的關係...以非洲地區為例

## 壹、研究動機

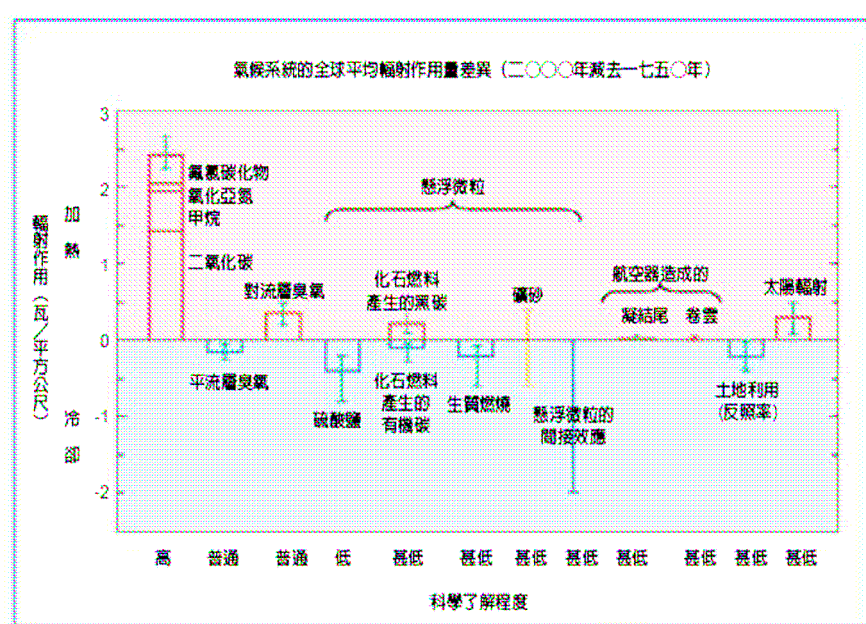
每天，大家應該都像我一樣，會去關心明日或最近的天氣狀況，畢竟天氣影響著我們的日常生活，而影響著天氣的，則是千變萬化、捉摸不定的「雲」，抬頭仰望天空，看著那有低，有高，有灰，有白，有如棉絮一般，有如一層一層片狀的——雲，心裡總是會不經意的發出對它的讚嘆，那麼美的雲，在不同的高度形成不同的形狀，進而影響天氣，雲和天氣可以說是有著密不可分的關係，天氣會隨著季節改變，那麼和天氣有著緊密關係卻又擁有千變萬化特性的雲，是不是也有季節變化呢？

雲對地面最直接的影響就是降水了，近年全球氣候變遷明顯，降水的模式也有明顯的改變，有些地區降雨強度愈來愈猛烈，有些地區的降水反而明顯的減少，因而容易造成乾旱。因此對於『雲』的瞭解，除了掌握天氣變化之外，在令人矚目的氣候變遷議題中，雲的角色也具有關鍵的重要性。

雲不但影響著降水，它既可以反射陽光使到達地面的太陽輻射減弱，也可以阻擋地面的輻射回到太空，雲和氣候的關係既密切，又存在許多不確定性 (IPCC,2007)，我在學校的地科網站上看到：

「當前人類活動對環境所造成的衝擊，對地球的大氣層系統也會產生長期的後果，然而這些後果並不容易偵測清楚。其中較嚴重的例子之一，正是在氣候預報中，有關於雲對於輻射能量的影響無法確知。由於雲和輻射的重要性和不確定性，使其已成為美國全球氣候研究計劃中最重要科學重點之一。」

摘自 <http://earth.fg.tp.edu.tw/scool/base2.htm>



引自許晃雄，2001

另外，也有許多相關報導指出暖化的大氣和雲有複雜的回饋系統：

「比如說，如果因為暖化增加的水汽，形成更多的層雲，反射較多的太陽輻射，氣溫不見得會上升。如果暖化現象發生，不同類的雲會如何變化，確實仍無法確定(又是氣候模式的致命傷之一!)。Lindzen 等人(2001) 最近就提出另一個有趣的觀點。他們分析衛星資料，發現如果赤道海水溫度上升，高層的卷雲量反而減少。由於卷雲有吸收紅外線暖化地表的作用，雲量減少，將降低溫室效應，產生冷卻作用。這項研究相當有趣，也引起許多爭議，真相如何仍有待證明」  
(許晃雄，2001)

這些討論引發我對雲的分佈和變化有很多想要追究的問題，希望能夠藉此研究瞭解雲帶的變化，並找出雲和降水、地表能量平衡之間的關係。

## 貳、研究目的

分析雲量隨季節的變化、地表降水的變化量，以及輻射通量的關係，以探討雲與降水、雲及地表能量收支之間的關係。

- 一 分析整體雲量分布的情形，再進一步分析該區域的高層雲和低層雲的雲量，以檢驗整體雲量、高層雲及低層雲三者是否有季節性的變化。
- 二 觀察降水的分布情形，並比對整體、高層雲、低層雲的雲量，看其降水多的地區是否也符合原先的假設：雲多的地區，雨量也會較多；雲少的地區，則反之。如果並未符合，再進一步的分析其降水和不同雲族的雲量關係。
- 三 以雲的光學厚度(optical depth)比對降水的關係，尋找降水與光學厚度的關係。
- 四 分析雲的覆蓋與地表外傳的長波輻射通量 (**Surface All-sky LW Upward Flux**) 以及入射的太陽短波輻射通量 (**Surface All-sky SW Downward Flux**) 之間的關係。

## 參、研究過程

### 一 選定觀察地點—非洲

由於非洲為一熱帶大陸，其氣候型態以赤道為分界呈現南北對稱的情形，有溼潤多雨的雨林氣候、有乾季的莽原氣候及乾燥少雨的沙漠氣候，有明顯的降水差異，且非洲大陸為受到ITCZ(Inter Tropical Convergence Zone)雲帶南北移動明顯影響的地區，可以藉由雲帶的移動，觀察其地區雲的雲量多寡並比較其和降水之間的關係，也可以進而比較其他地區雲的季節性的變化和觀察雲帶季節性的移動變化。

二 選定經緯度的位置—東經18.8 度，北緯40 度至南緯40 度

此經緯度所涵蓋的範圍皆為大陸地區，避免增加海洋的影響因素。以相同經度作為Y 軸，月份作為X 軸，比較不同季節或月份，雲在不同緯度的覆蓋量，並觀察ITCZ 南北移動的情形。

三 選定時間—西元1995年1月15日至西元2004年12月15日

時間範圍的選定是根據資料庫上各項觀測可共同涵蓋的時間而定，以比對近十年來其雲量和降水的變化有何胚騰(pattern)？以及對照氣候特殊年（如聖嬰）雲量、降水是否也因此出現較平常年不同的現象？

四 資料收集

1. 從My Nasa Data 資料庫<http://mynasadata.larc.nasa.gov/las/servlets/dataset>

依所設定的時間及範圍地區搜尋的衛星觀測資料，包含下列資料：

甲. 大氣層中非洲整體雲量

**Monthly Cloud Coverage (ISCCP)**

乙. 大氣層中非洲高層雲雲量

**Monthly High Cloud Coverage (ISCCP)**

丙. 大氣層中非洲低層雲雲量

**Monthly Low Cloud Coverage (ISCCP)**

丁. 非洲地表降水

**Monthly Precipitation (CMAP)**

戊. 雲的光學厚度

**Monthly Cloud Optical Depth (ISCCP)**

己. 地表外傳長波輻射通量

**Monthly Surface All-sky LW Upward Flux (SRB)**

庚. 地表接收太陽入射的短波輻射通量

**Monthly Surface All-sky SW Downward Flux (SRB)**

以上資料均引用My Nasa Data 資料庫的衛星資料庫，這裡資料豐富，其所使用的觀測衛星Trmm，Terra 和 Aqua，後兩者擁有MODIS ( Moderate ResolutionImaging pectoradiometer) 酬載設備，由於該感應器之波段多達36 個波段，可用來鑑別不同的雲層，分別區分出水滴與冰晶的不同。此資料庫還有一項功能，它能夠依照你選定的範圍以及想要的方式將資料彙整成一張完整的圖。

2. 建立假設

甲、My NASA Data 是透過衛星觀測的方法，依據雲頂輻射的溫度來分辨高層雲或低層雲。因而高層雲可能包含降水性的積雨雲或是不降水的卷層雲等，反之低層雲雖離地面較近，也未必降水機率就比較高。

- 乙、雲的覆蓋量大，未必降水的機率高，因此以光學厚度(optical depth)檢驗雲的透光性，來比較降水的機會是否與低透光性的雲出現比較有關。
- 丙、雲的發展與地表溫度有關，太陽直射地點隨季節改變，雲帶的位置應也有季節性移動。
- 丁、高層雲雲頂溫度較低，是否向太空傳送的地表輻射也較少？光學厚度較高的雲出現，是否也阻止太陽入射的短波？

### 3. 分析與比較

- 甲、選取資料庫中『大氣層』的非洲區域，以整體雲(**Monthly Cloud Coverage (ISCCP)**)、高層雲、低層雲的雲量和地表降水量的圖分別做出，並歸納出特別適宜比較的觀察地點及季節？選取緯度範圍？分析雲量及降水量最多或最少區域，找出其變化規則。
- 乙、比較同一區域整體雲、高層雲、低層雲三種的雲量圖，看此地區上空的總雲主要為高層雲，還是低層雲，還是兩者皆平均覆蓋於此地區上空，並比對降水量圖，看看是降水多？還是少？之後將整體雲量的圖對照於降水量圖，將其觀察結果，看看和假設是否符合。
- 丙、承上，再比對此地區的雲層光學厚度，觀看降水多所在的緯度、季節之氣候，去探討雲族、雲量、光學厚度與降水結果。
- 丁、比對此地區的高層雲和低層雲的雲量，探討地表外傳長波輻射通量、地表接收太陽入射的短波輻射通量的關係。

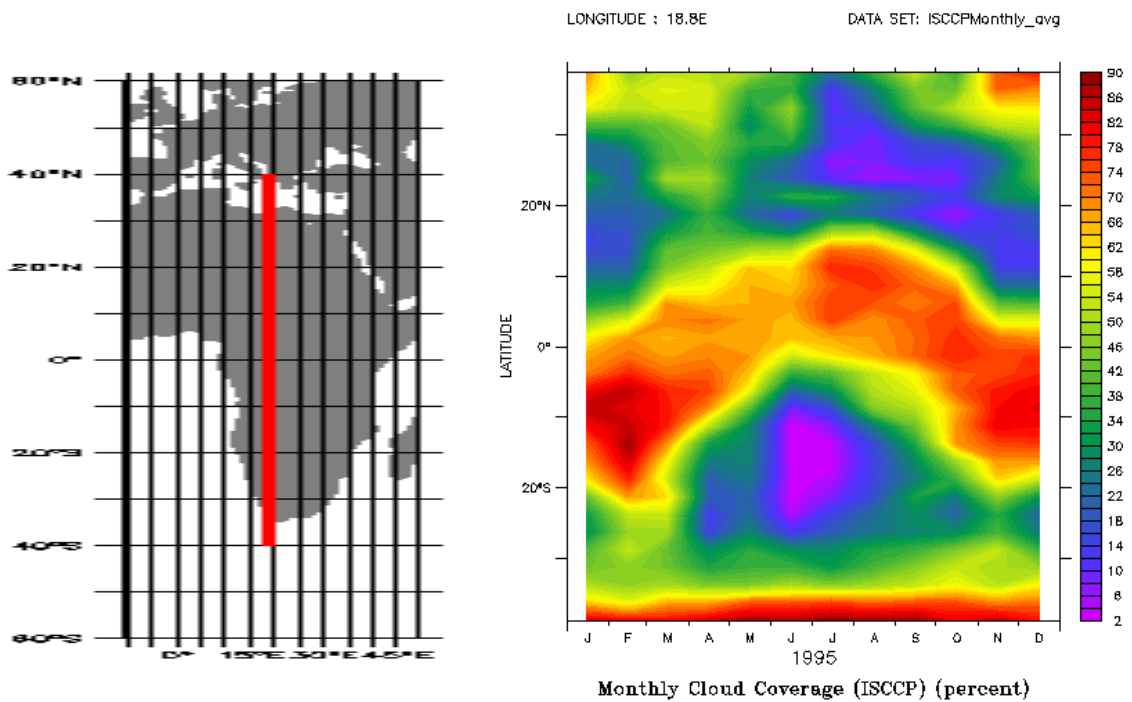
## 肆、結果與討論

說明：

※以下所指稱的雲帶表雲量高達60%以上的區域，因在圖上顯示成帶狀，且會隨著季節而移動，故稱之為「雲帶」。

※以下所有的圖，均以東經18.8度為基準，藉以觀看不同月份中雲系的緯度變化。

圖例：



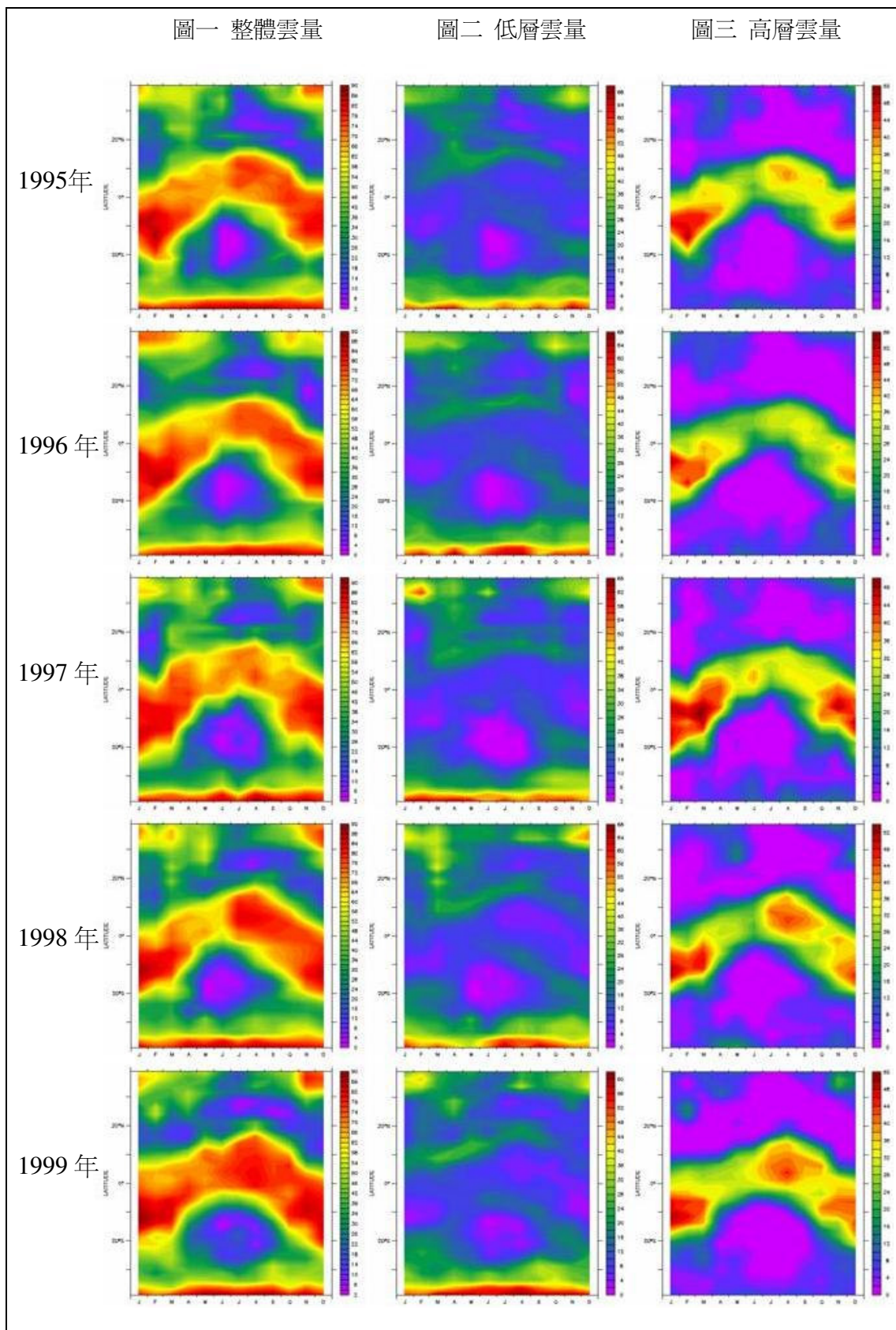
※ 以東經18.8度為基準，以大陸地區為主。

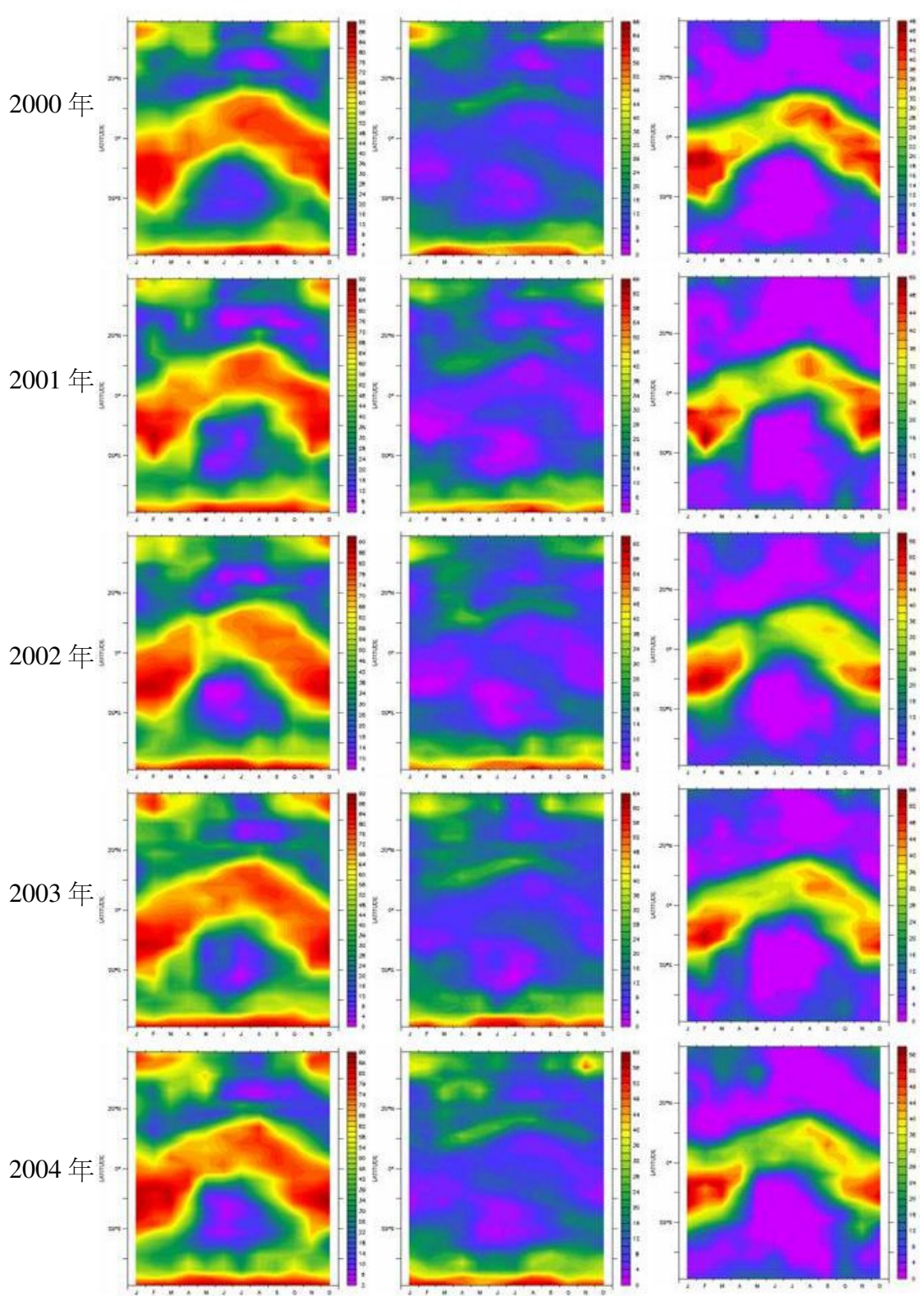
※縱軸(Y軸)為緯度，由下而上為南緯40度至北緯40度。

※橫軸(X軸)為時間，由左到右為一月至十二月。

※顏色圖例標示雲量，愈接近紅色(上邊)；表示雲量愈高；愈接近紫色(下邊)表示雲量愈低。

# 一、研究結果一：整體雲量、低層雲量、高層雲量的比較





1.由整體雲量的觀察（圖一）得知：

- 甲. 有一條很明顯的雲帶跨過赤道南北，其雲量皆高達60%以上，而其位置隨著季節太陽直射位置而移動，年初由赤道以南約20度，逐漸往北移動，八月可達北緯約20度。
- 乙. 雲量在赤道南北並不對稱，赤道附近的雲量最高是在移動到南半球時，



時間是在1~3月和10~12月；雲量較少是在移動到北半球時，時間是在4~7月。而接近南緯40度的地區，終年都有極高的雲的覆蓋量(75%~85%)。

丙. 從不同年份比較，1999年雲量較平常年多，幾乎都在70%以上；而2001年及2002年，在4、5月的時候，雲帶的整體覆蓋率較低，低到55%~60%。

2.由低層雲雲量的觀察（圖二）得知：

- 甲. 北緯10度到南緯20度之間，低層雲的雲量處於極低的狀態之下(約在0%~18%)。
- 乙. 低層雲量在南緯40度左右偏高，且雲量相當高，約在78%以上。
- 丙. 北緯20~30度之間，在6~9月時，低層雲的雲量處於極低的狀態之下，約在0%~18%。而南緯10~25度之間，在5~9月，此處的低層雲雲量也處於極低的狀態之下。
- 丁. 在北半球，1~4月& 9~12月，北緯30~40度的地區，會有少量的低層雲覆蓋；5~9月，北緯30~35度的地區，會有少量的低層雲覆蓋。

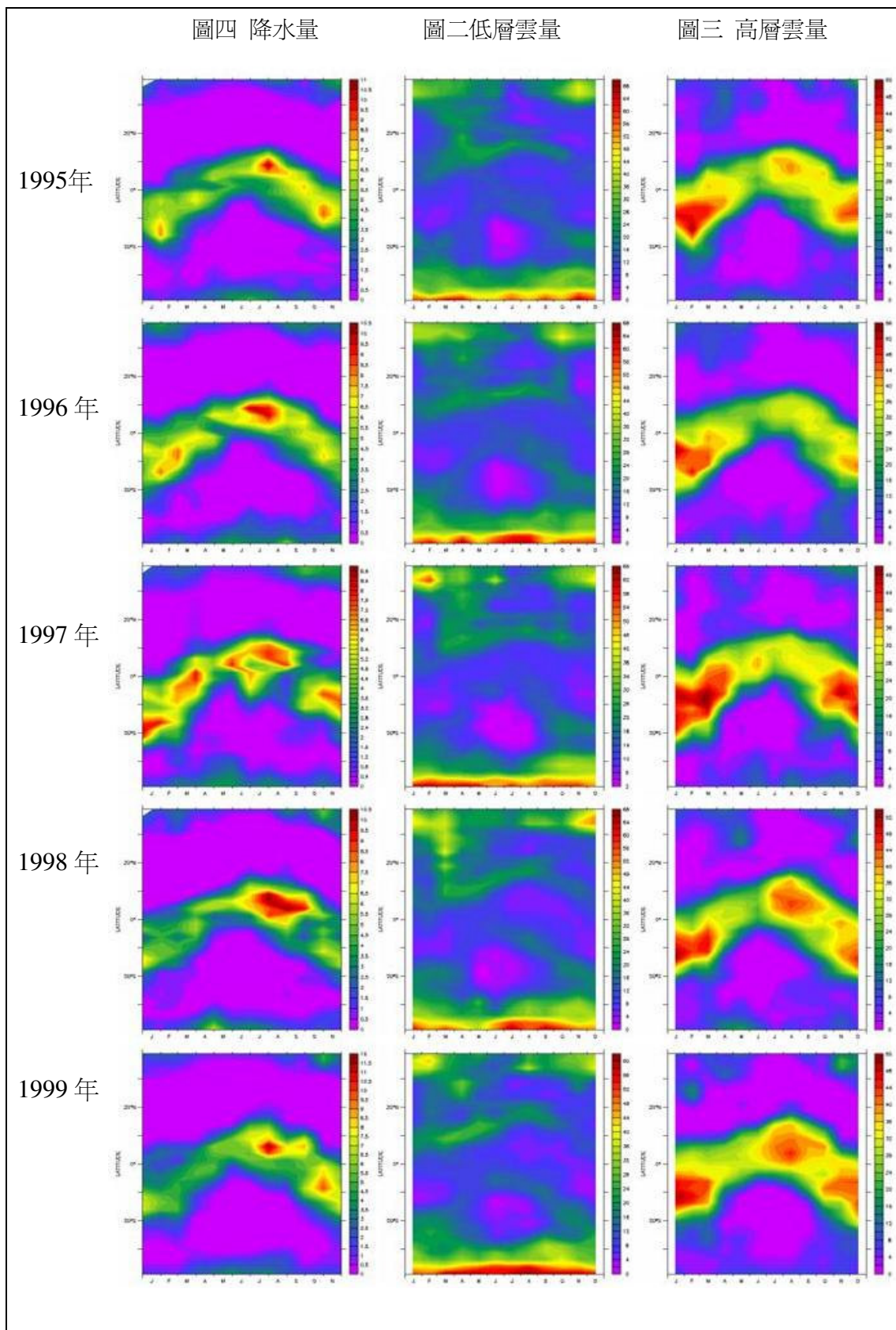
3.由高層雲的雲量觀察（圖三）可得知：

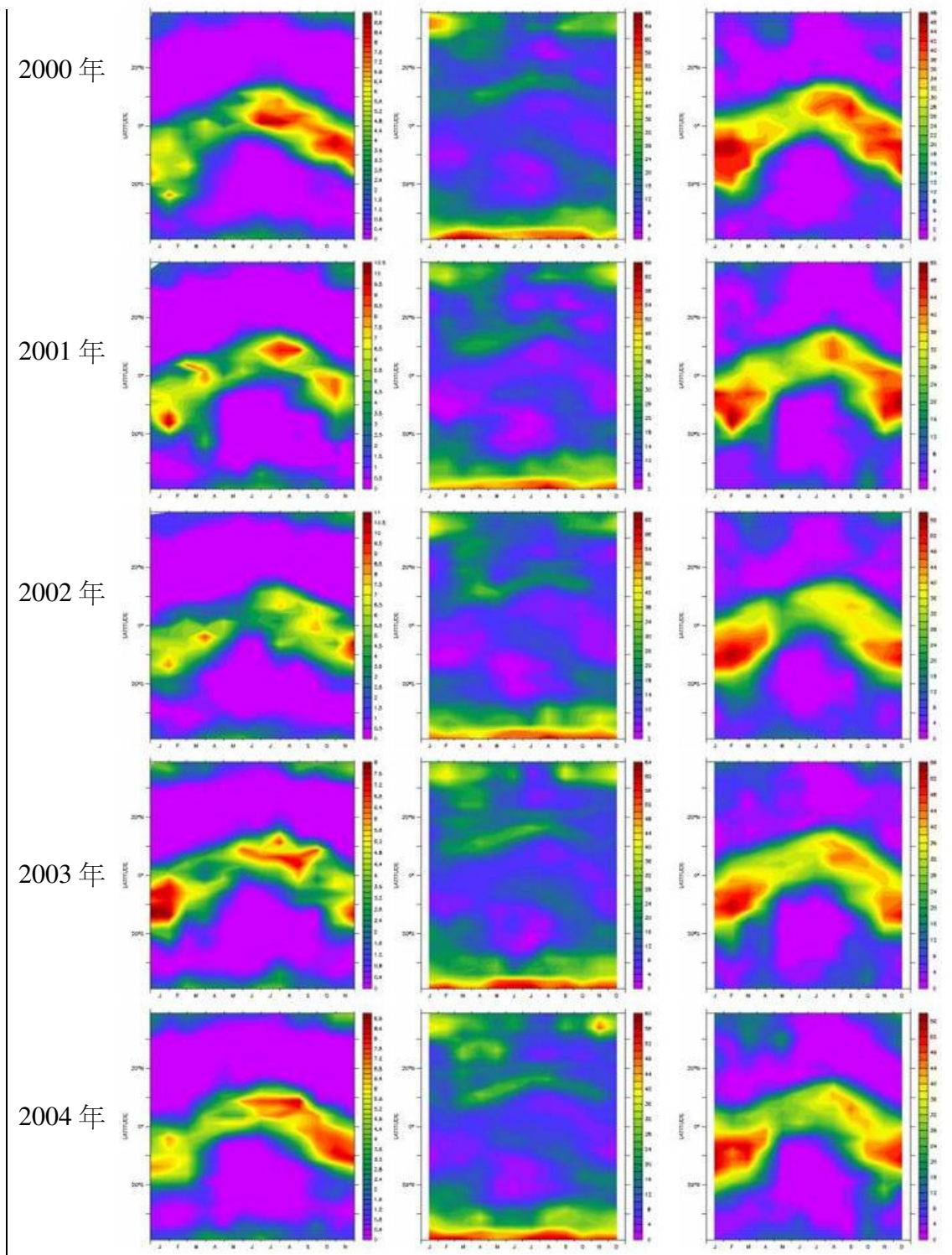
- 甲. 在12、1、2月的時候，在南緯4~18度之間，高層雲量較其周邊的南北側明顯高出很多。
- 乙. 在5、6月的時候，高層雲量明顯較其他月分偏低。
- 丙. 雲量明顯集中在赤道南北20度之間，緯度較高地區的高層雲量呈現出極低的狀態
- 丁. 5~8月時，在南緯5~35度，高層雲的雲量幾乎近於零。
- 戊. 在北緯15~40度的地方，高層雲的雲量極低，且變化較無規則。但是7、8月時的北緯20~40度，幾乎都是處於完全無高層雲的情況。

4.綜合以上觀察小結：

- 甲、雲量隨季節的而變化，大致上是隨不同季節，太陽直射位置而改變，雲量出現最高的月份較陽光直射的月份延後一個多月。在本研究所選定的區域中，出現在南半球的雲量比北半球雲量高。
- 乙、南緯40度的雲量終年都很高；南北緯30度附近的雲量終年都很低，多數地區的雲量會隨季節而改變；。
- 丙、在雲帶上的雲，藉由圖一~圖三的比對，主要是由高層雲組成，有可能是衛星從數百公里高空往下觀測，高層雲量較高的時候，擋住了低層雲的偵測所致。

## 二、研究結果二：降水量與低層雲量和高層雲量之比較





由以上圖(二)、(三)、(四) 的觀察可知：

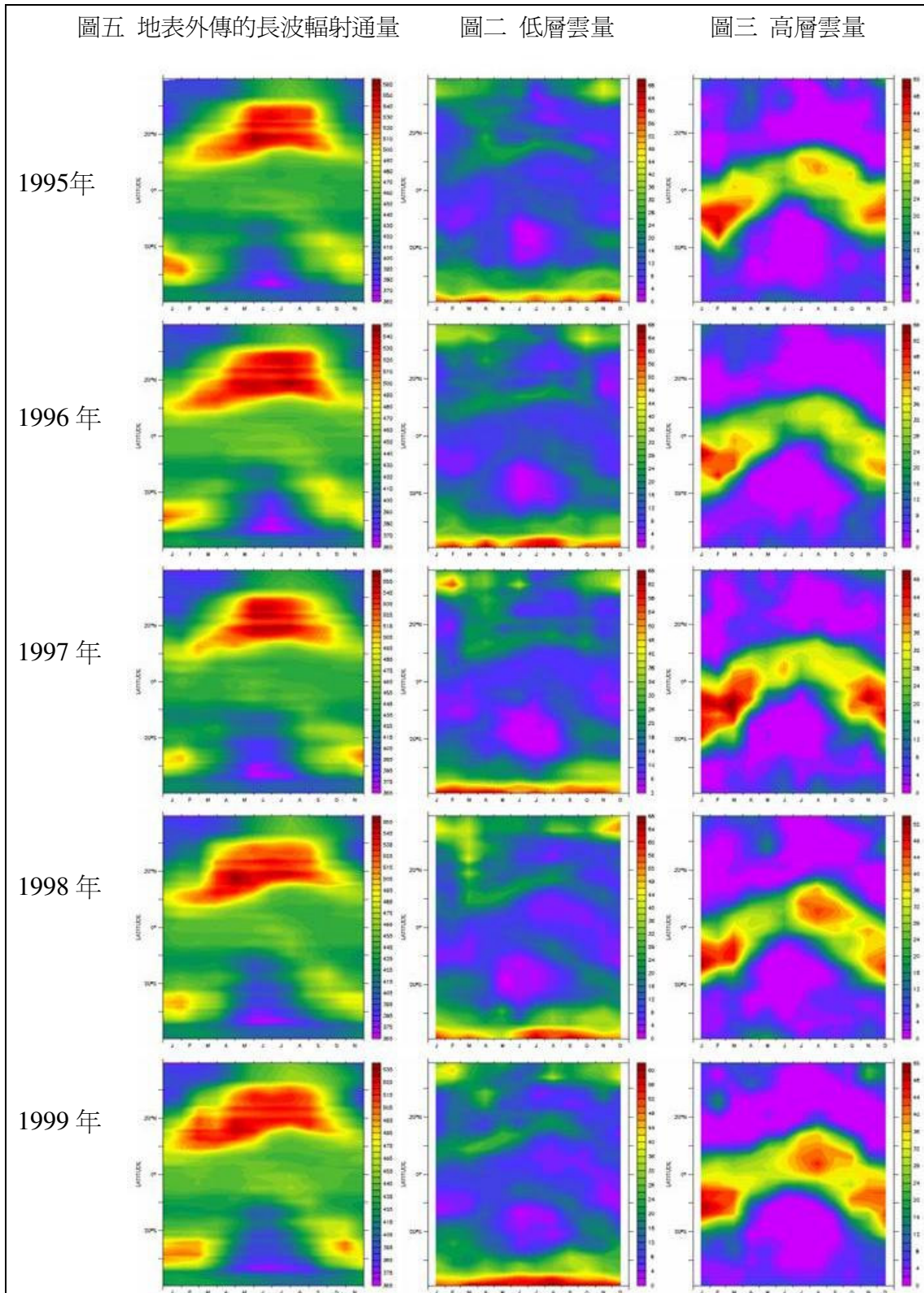
1. 降水量集中在赤道附近，降水量最高為 12(mm/Day)。降水量多寡與高層雲量多寡的分佈位置相關性比較高。
2. 低層雲較多的地區(例如南緯近 40 度)也有降水，但其降水量極低，約 2(mm/Day)~4(mm/Day)。
3. 由圖四所顯示的降水量，在雲帶的位置，降水量較多，而該區域也顯示高層雲較多，對照本研究結果一的討論，高層雲的雲帶位置隨太陽直射位置延

後，和間熱帶輻合區（ITCZ）相當接近，代表降水量與 ITCZ 的季節移動密切相關。

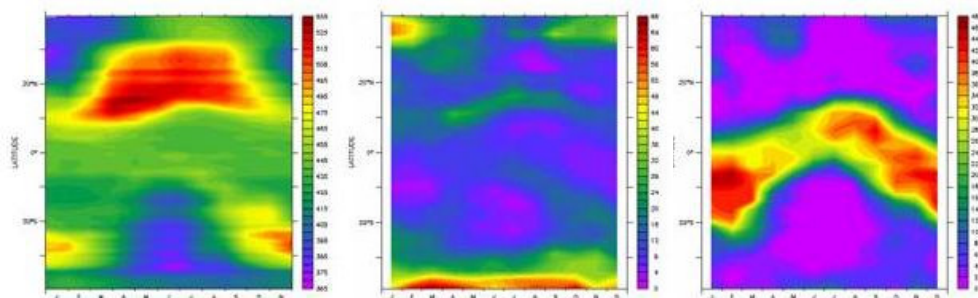
4. 根據衛星觀測的降雨量數值顯示，2003 年的降水量最少，其最高值只有 8(mm/day)，但是當年其高雲量和低雲量並無異常的變化。
5. 1997 年的高層雲量多的範圍較 1996 年擴大，但其低層雲量並無異常，而其降水量多的分布也擴大了，並非只集中在夏季的月份。
6. 降水量觀察的小結：
  - 甲. 本研究選定區域的降水量最高 12(mm/Day)
  - 乙. 在赤道雲帶上的降水量，與高層雲量的分布位置較有關，但是，在南緯 35 度以上並無高層雲的分布，而是由少量的低層雲覆蓋。
  - 丙. 綜合上述，可推論衛星觀測顯示的高層雲，可能是由雲頂較高的積雨雲構成，也有可能是卷雲等高層雲，但其覆蓋率高導致其底下的低層雲無法偵測。因而觀測所得的降水量和高層雲位置相關性高。

### 三、研究結果三：

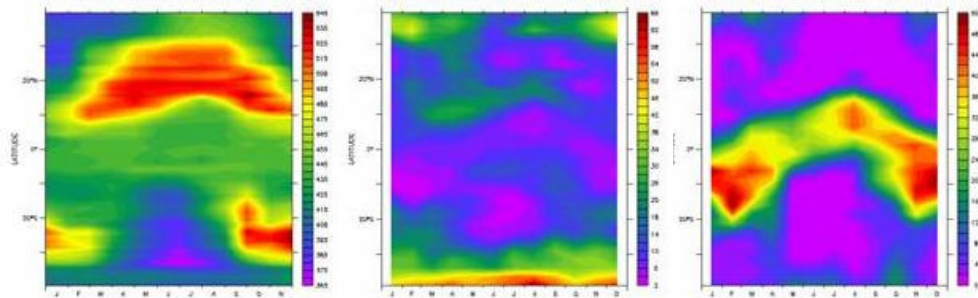
地表外傳的長波輻射通量、低層雲量、高層雲量之比較



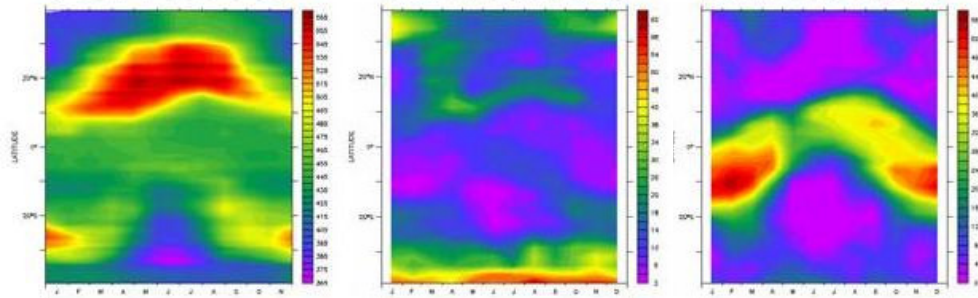
2000 年



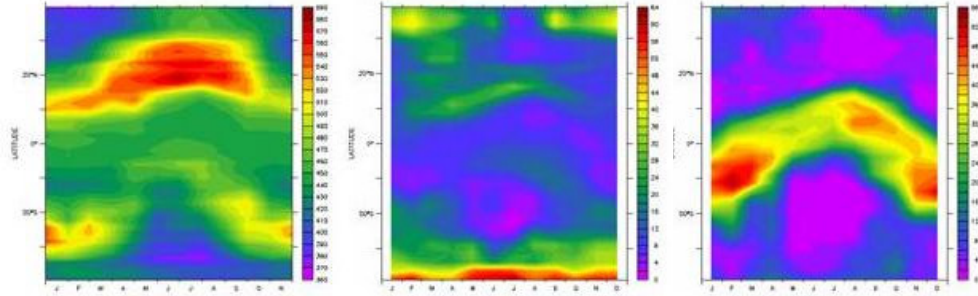
2001 年



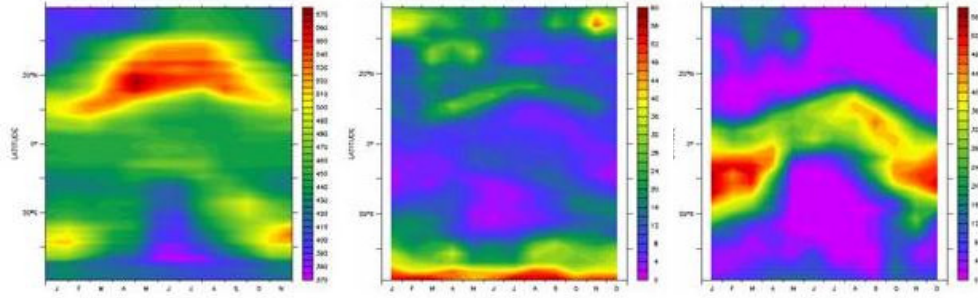
2002 年



2003 年



2004 年



1. 由 地表外傳的長波輻射通量(圖五) 的觀察可得知：

甲、地表外傳的長波輻射通量也隨季節變化，夏半年的輻射較強，但北半球地區的地表外傳長波輻射通量明顯高於南半球地區的。

乙、而地表外傳長波輻射通量值較高的地方在北緯 10 度以上，最高為  $500\sim 570\text{watt/m}^2$ 。

丙、地表外傳的長波輻射通量較高的地區：

- (1) 北緯 10 度以上
- (2) 1~3 月的南緯 10 度
- (3) 10~12 月的南緯 10 度

2.比較地表外傳的長波輻射通量(圖五)、低層雲量(圖二)、高層雲量(圖三)：

甲、外傳長波輻射通量與雲量的關係是負相關，高層雲與低層雲的雲量全無時外傳輻射通量最高；雲量越多時，則外傳長波輻射越低。

乙、若比較有少量低雲或有少量高雲時，前者外傳長波輻射的數值高於後者。

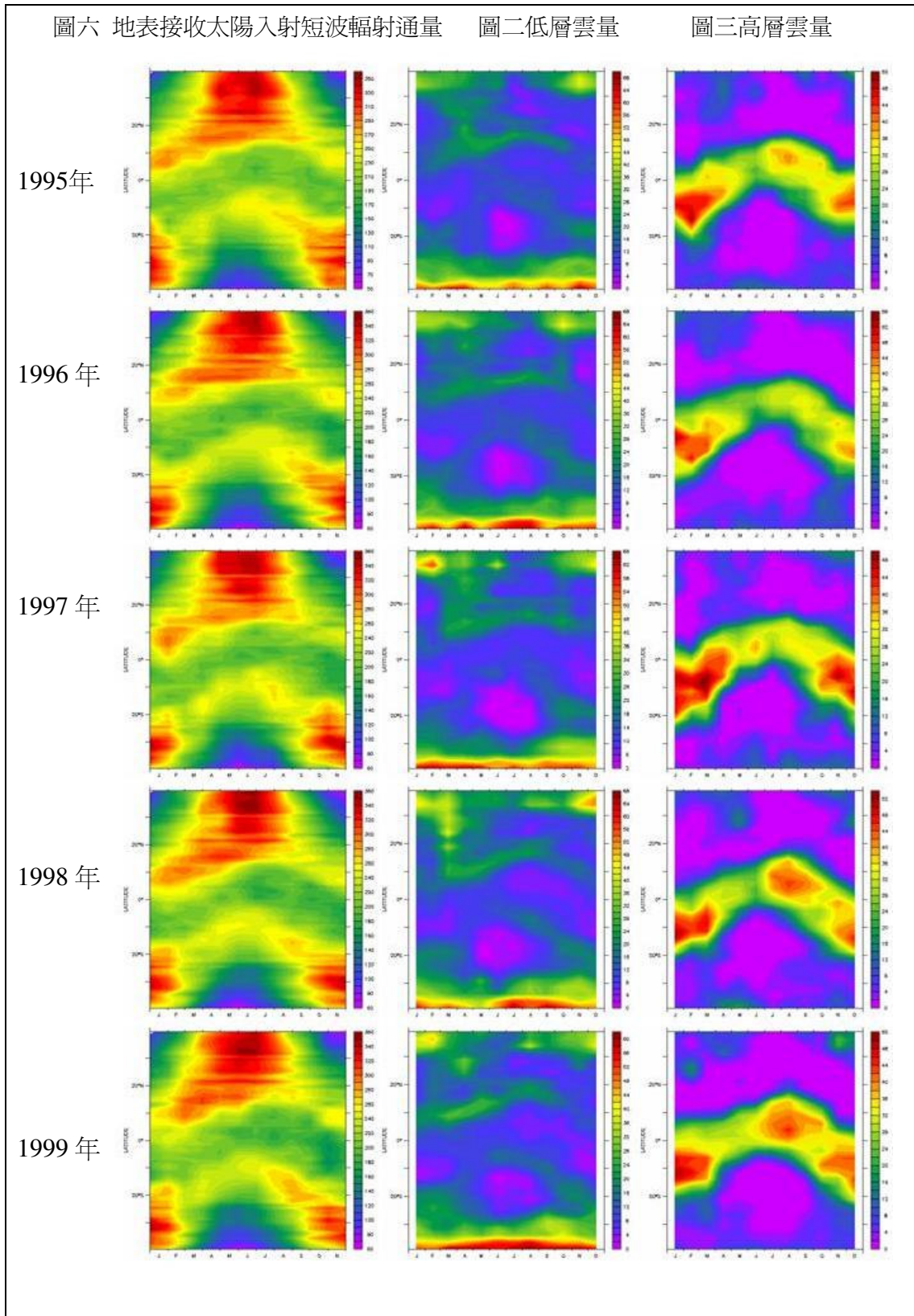
3.綜合以上觀察的小結：

甲、高層雲量位於高層大氣，溫度較低，其所能反射的長波輻射通量也就減少，大部分的長波輻射被反射回到地面，只有少量的長波輻射輻射出去。因此所測得的地表外長波輻射通量較低。

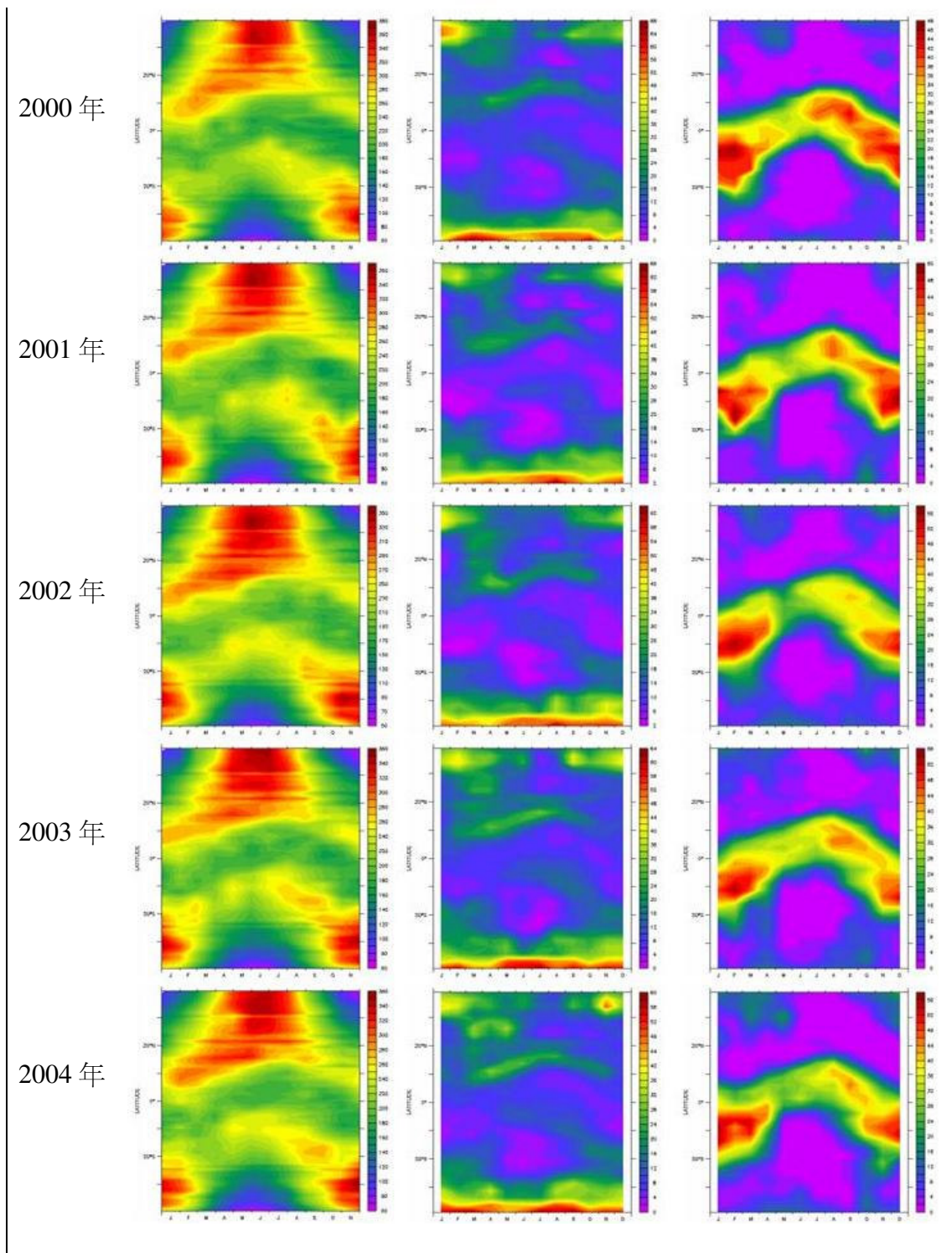
乙、高層雲量雲量極低、低層雲量亦低，其偵測到的地表外長波輻射通量高。

#### 四、研究結果四：

地表接收太陽入射短波輻射通量、低層雲量、高層雲量之比較







1.由圖(五)地表接收太陽入射短波輻射通量 的觀察可知：

甲、 地表接收太陽入射短波輻射通量的多寡會隨著季節而移動，北半球夏季所接收到的太陽入射短波輻射較南半球的夏季強。

乙、 接收短波輻射量較高的地區在圖上可分為三個區塊：

- (1)北緯 10 度以上，4 到 8 月時，接收短波輻射量最高
- (2)南緯 20 度以下，1 到 2 月時
- (3)南緯 20 度以下，10 到 12 月時

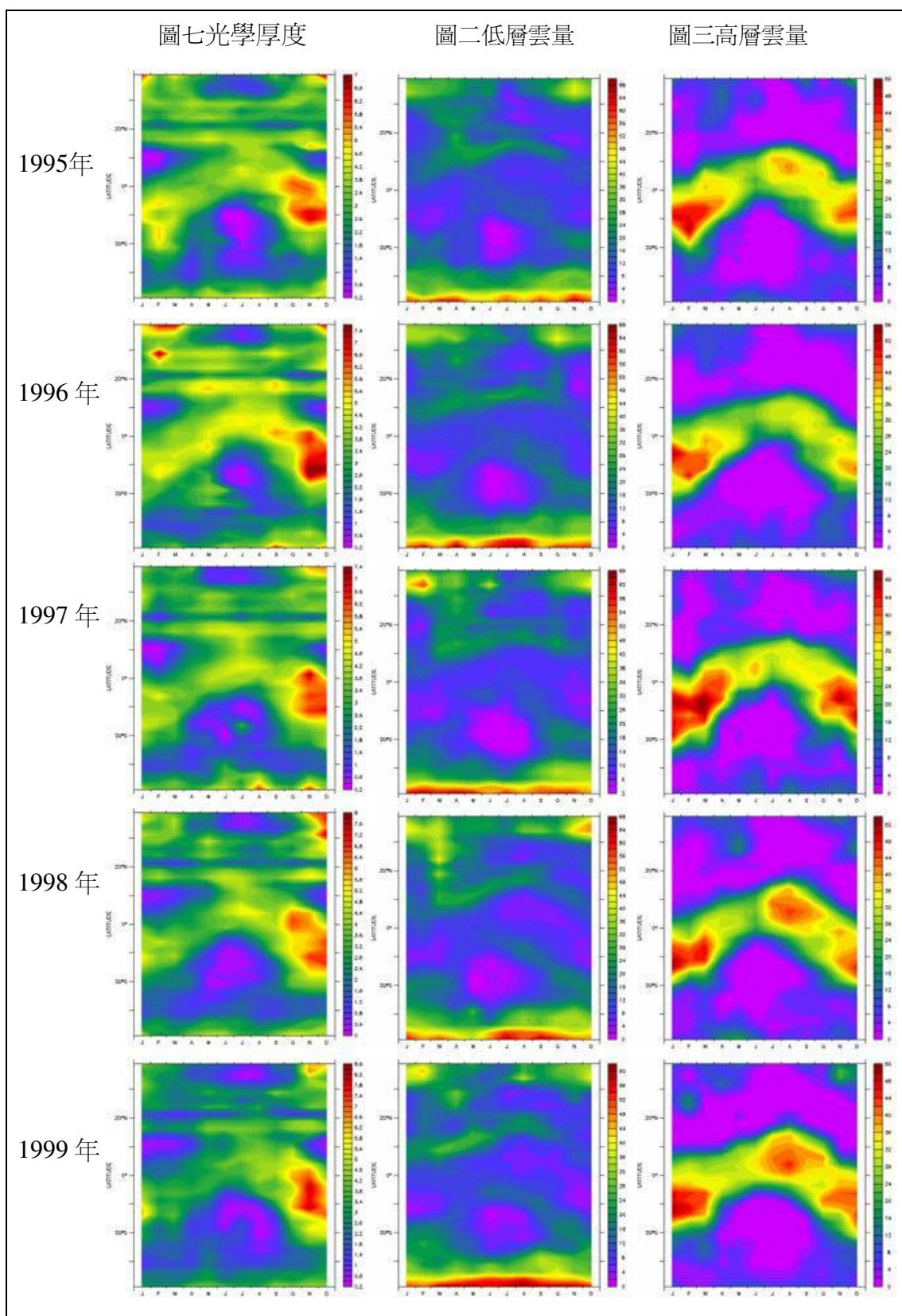
- 丙、 對照雲帶所在的地方，其地表接收太陽入射短波輻射通量較少
- 丁、 在南緯 40 度的 1~3 月&10~12 月，其低層雲量高，地表接收太陽入射短波輻射通量亦低。

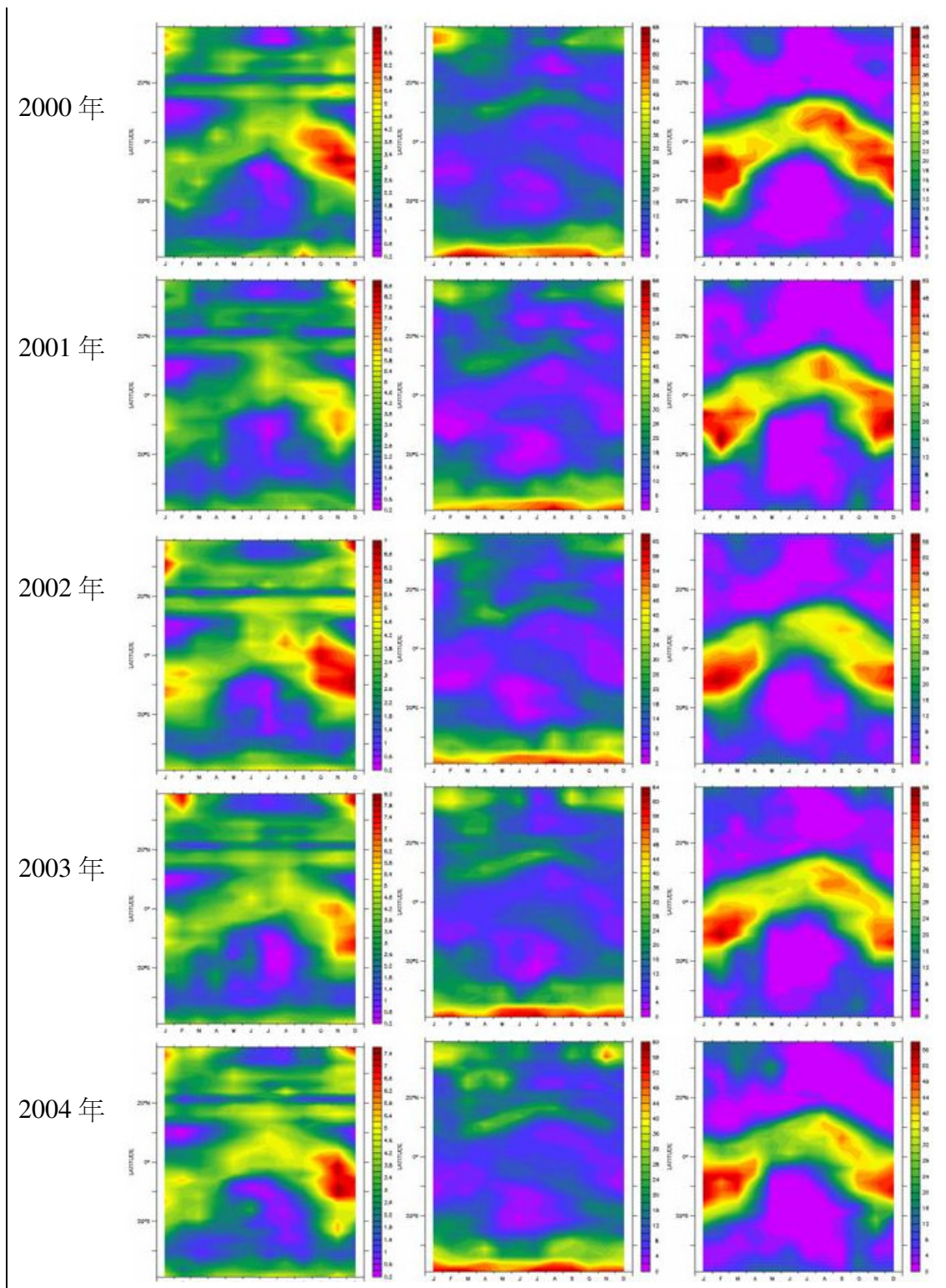
2.綜合以上地表接收太陽入射短波輻射通量(圖六)、低層雲量(圖二)、高層雲量(圖三)的小結：

- 甲、 太陽短波入射強度最高值發生的月份為六、七月，在北半球入射短波輻射強的月份比地球外射的長波輻射較強的月份集中且較早發生，
- 乙、 六、七月時太陽直射位置最偏北，其主要的照射地區為北回歸線，高層雲量在北半球夏季低，低層雲量亦少量，尤其在北緯 30 度以上區域幾乎無雲，使得大部分的太陽短波輻射可長驅直入到地表，因而衛星偵測到的地表接收太陽入射短波輻射通量的數值呈現極高的時間出現在六七月的北緯 30-40 之間。
- 丙、 承上，在南緯 40 度的情形並不符合，其原因應為太陽直射北半球的關係。

## 五、研究結果五：

### (一)光學厚度和雲量之比較





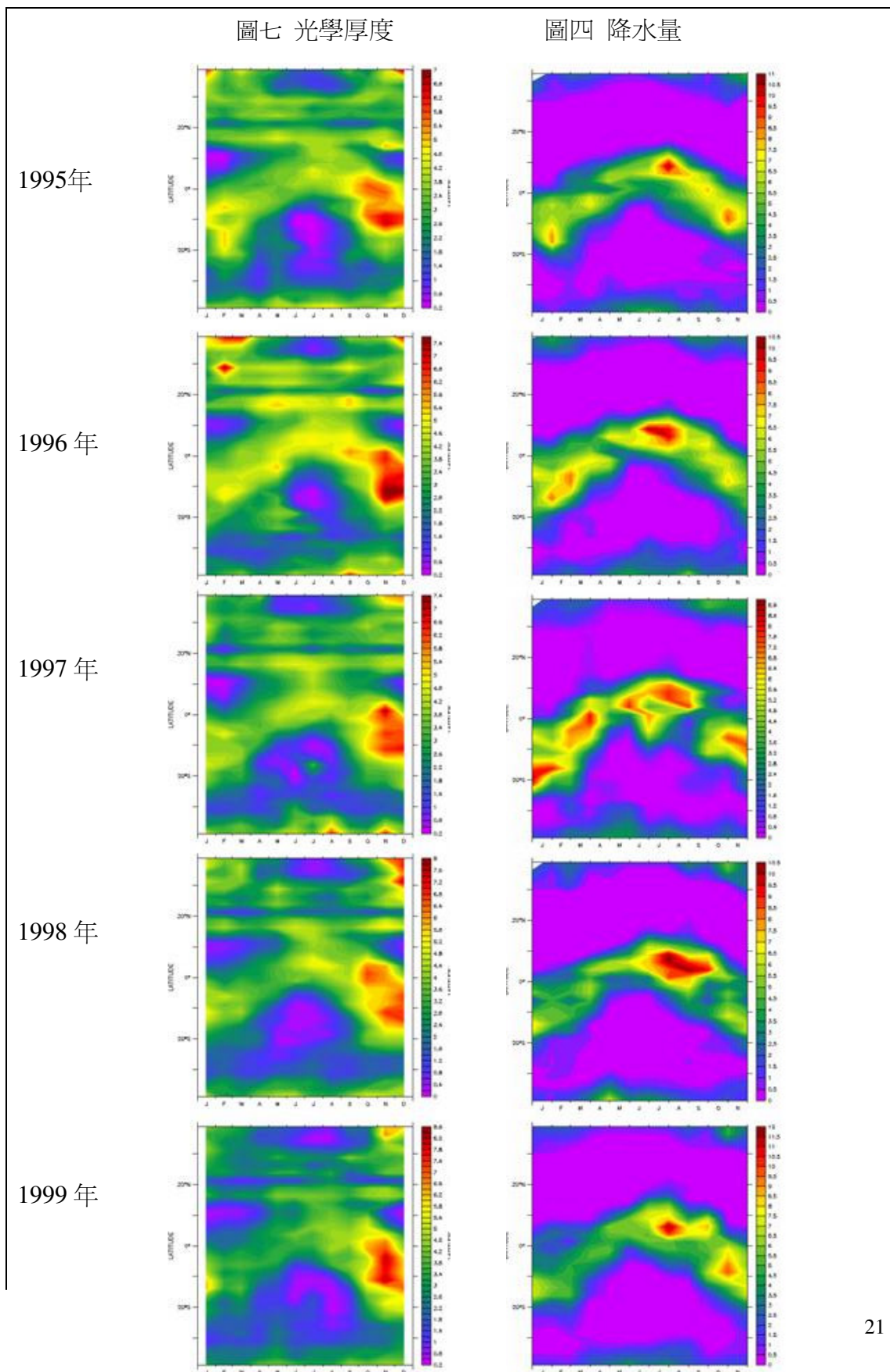
1.由以上光學厚度(圖七)、低層雲(圖二)、高層雲(圖三) 的觀察可知：

- 甲、 光學厚度最高值發生於年底三個月，北半球都偏低，較高值出現於南半球。
- 乙、 在雲帶上，高層雲量多的區塊，其光學厚度不一定都很高，例如：在 1~4 月時，光學厚度較低；在 10~12 月時，光學厚度較高。
- 丙、 在南緯 40 度的地區，全年都有著大量的低層雲量，但光學厚度數值不

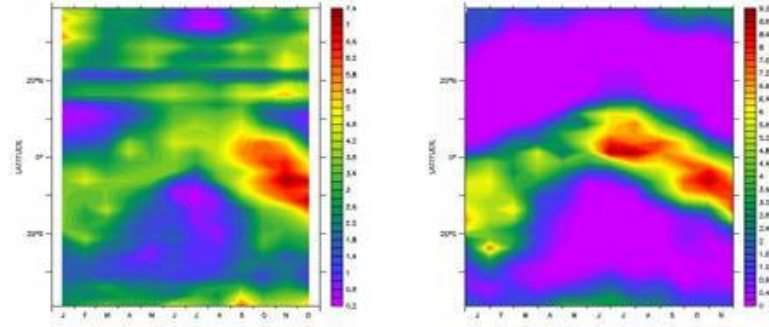
大。相較於北緯 35 度低層雲量相對較少的地區，其光學厚度比北緯 35 度要來的低。

丁、在北緯 10-20 度的地區，有少量的低層雲量，光學厚度的值略高。

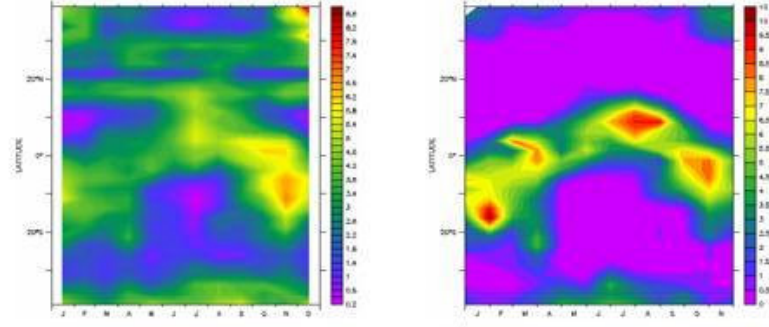
### (二)光學厚度和降水量比較



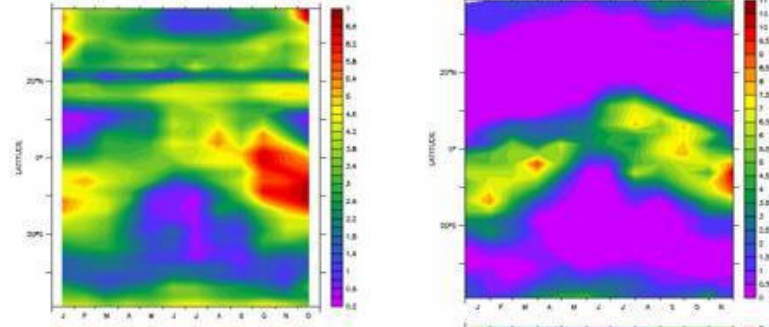
2000 年



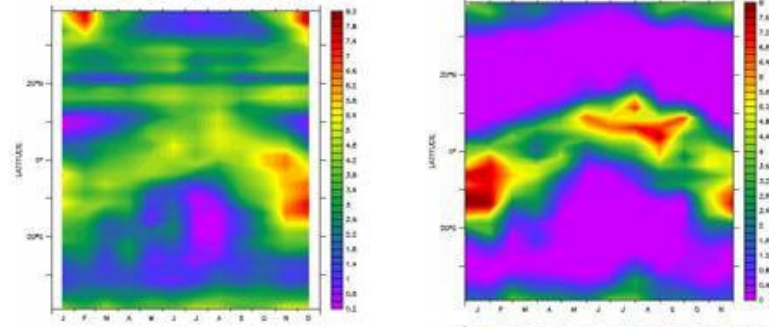
2001 年



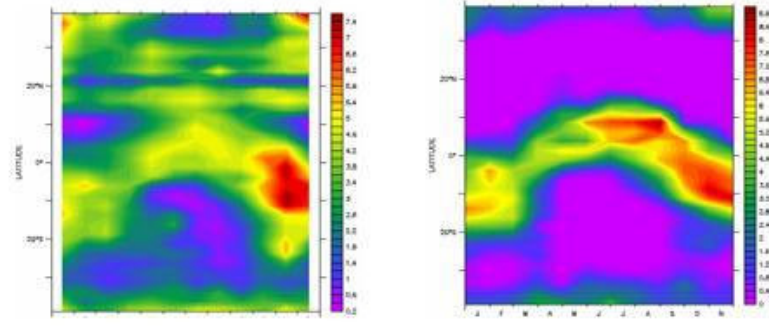
2002 年



2003 年



2004 年



## 2.綜合光學厚度(圖七)和降水量(圖四)之觀察：

- 甲、 在雲帶上，其降水量在圖上產生的帶狀區域和光學厚度所產生的帶狀區域大致符合，但將水量最大值並非完全和光學厚度最大值相同。
- 乙、 北緯 30 度的地區，其光學厚度雖高，但並未產生較多降水。
- 丙、 由上述推論，光學厚度除了與雲層厚度、透光性有關之外，可能包含氣膠粒子的粗細與多寡。

## 3.綜合以上比較(一)和比較(二)的小結：

- 甲、 在雲帶上，其光學厚度高、高層雲量多、降水量多，我們可以推論其高層雲可能為較厚的積雨雲或是低層雲量也高，但低層雲的觀測遭到高層雲的阻礙。
- 乙、 根據推論，光學厚度高的地區所組成的雲可能為透光性不佳的雲，其通常為會帶來大量降水的雲，但由本研究中觀察得知，光學厚度高、低層雲量多的地區，並未產生較多降水，可能是由氣膠之類的東西所組成的透光性差的雲，此雲並不能產生較多的降水。

## 伍、結論

- 一、雲帶會隨著季節變化和移動，大致上隨著太陽直射的地點而改變，雲量集中在夏半年。在本研究範圍內，發現南半球的雲量比北半球雲量略高。
- 二、「地表接收太陽入射短波輻射通量」和太陽的直射位置有關，太陽直射的半球接收較多的太陽輻射；本區域內因為南半球夏季雲量高於北半球夏季，因此北半球夏季所接收到的太陽短波通量較南半球夏季高。
- 三、「地表外傳的長波輻射通量」也是在北半球夏季明顯高出南半球夏季，但其變化比不如地表接受的短波輻射集中在太陽直射的時間。
- 四、衛星所觀測到的高層雲量和低層雲量，不完全是單純的高層雲量或是低層雲量，因為衛星是由數百公里高度遙測，高層雲的存在會遮擋到低層雲量的觀測。
- 五、在整體雲量（高層雲、低層雲）稀少的狀態下，其「地表接收太陽入射短波輻射通量」多，而「地表外傳的長波輻射通量」多。
- 六、高層雲由於它位於高空，溫度較低，其所能外傳的長波輻射通量也就少，高層雲量多的時候，「地表接收太陽入射短波輻射通量」及「地表外傳的長波輻射通量」大幅減低。
- 七、從不同年代來看，逐年略有變異，但因研究資料僅涵蓋十年時間，較難明確看出年際變化。

## 陸、應用

衛星能夠提供全球大範圍的觀測資料，而 MY NASA DATA 這個資料庫就是由衛星所觀測的資料建構成的，一般天氣報告中我們由衛星觀測的雲層資料，去分析鋒面或颱風等不同天氣的雲系，但較少應用在了解氣候變遷。因此如果能夠再更做更廣泛的應用，深入挖掘這個龐大的衛星資料庫，進而做更深一步的探討及分析，將來一定有極大的機會去做更多不同的開發！

近年來備受大家關注的「太陽能」，是我們地球未來能源的明日之星，而所謂的「太陽能」是將太陽光的能量轉換我們所使用的電量，那麼「太陽能量的變化」可就和「太陽能發電」有著密不可分的關係，我們可以藉由衛星偵測太陽的能量及地球所接收到的能量（地表外傳的長波輻射通量、地表接收太陽入射短波輻射通量.....等），以及雲量的變化，去了解並觀察其之間的關係，如果我們能夠了解能量的變化，那我們是否也就掌握了利用太陽能發電的關鍵呢？當我們瞭解了它們之間的變化關係，就能夠將它加以實踐，進一步的開發出新的技術，雖然這需要花費一段很長的時間，但是，仔細想想看，假使真的能夠成功，並且運用在「民生」上，那將會對我們地球造成多大的影響！

## 柒、參考資料

許晃雄(2001), 淺談氣候變遷的科學, 科學發展月刊 29 卷 12 期 , P867-878.

My Nasa Data 資料庫<http://mynasadata.larc.nasa.gov/las/servlets/dataset>

北一女中 S'COOL 網站<http://earth.fg.tp.edu.tw/scool/base2.htm>

Earth Observatory

<http://earthobservatory.nasa.gov/Study/DelicateBalance/balance2.html>

[http://earthobservatory.nasa.gov/Library/RemoteSensingAtmosphere/remote\\_sensing2.html](http://earthobservatory.nasa.gov/Library/RemoteSensingAtmosphere/remote_sensing2.html)