

# 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

040507

驚！福衛三號「眼」中的對流層結構

學校名稱：桃園縣私立復旦高級中學

作者：  高二 羅 宣  高二 姜宇樑  高二 張祐綸	指導老師：  王貞琇
---	------------------

關鍵詞：福衛三號、對流層、垂直分層的厚度

## 摘要：從福衛三號看大氣

對流層中氣溫每上升 1 公里真的下降 6°C 嗎？以大氣溫度的垂直變化真的可以看出明顯的分層嗎？兩極對流層厚度真的比赤道來的薄嗎？以往我們從書本上獲得有關大氣垂直分布的資料，都是以許多不同衛星及氣象觀測資料而來的結果。

福衛三號是為了研究全球的氣候，及電離層的變化所設計的六顆衛星。我們想嘗試利用福衛三號所蒐集到的資料，並自己訂定研究方式，彙整出有關大氣分布的圖表資料，來對比是否與我們從書本上吸收到的知識相同，期望發現大氣垂直分布的模式，以及對流層在各種狀況，與不同季節的變化中所產生的變動，並對自己未來在科學研究的學習能有所增長。

## 壹、研究動機

從科普雜誌中，看讀了一篇有關福爾摩沙衛星三號 (FORMOSAT-3，以下簡稱福衛三號) 的介紹，便對福衛三號產生濃厚的興趣，也想更深入地了解福衛三號相關的知識。我們更使用福衛三號的資料，自己整理並證實地球科學課本中的理論。因此，我們選擇了我們生活息息相關的對流層之厚度變化作為研究目標。

大氣層中，最接近地面的一層為對流層 (Troposphere)，也是氣體密度最高的一層。而雲、雨、霧、雪等...各種天氣的變化，也是只有對流層中才會發生。此層是對於生活在地球上的我們是極為重要的一層大氣。

根據理論，對流層主要是從地球表面輻射加熱的能量轉移，所以大致上對流層的最底下的部分是最溫暖的，溫度隨海拔高度上升而降低，而地球上每一個地區對流層厚度不盡相同，其中以兩極地區最薄，赤道最厚。

因此，我們想嘗試使用福衛三號接收到的資料，透過整理、分析及歸納，並研究在不同緯度、不同季節中對流層之厚度的變化，是否與理論所學的相符。

## 貳、研究目的

藉由這次科展的研究，我們希望以福衛三號的資料，應證教科書上教給我們的知識，並且探討在不同緯度對流層厚度的是否不同、是否會受到季節冷暖變化的影響，以及研究影響對流層厚度變化的種種原因。

希望以這次科展研究，能對福衛三號的資料應用、大氣的垂直分布狀況以及對流層厚度的變化能有更多的了解。

## 參、研究設備及器材

- 一、電腦
- 二、福爾摩沙衛星三號資料
- 三、軟體：NetCDF4Excel、Excel
- 四、參考文獻

## 肆、研究過程或方法

由交通部中央氣象局網站中，台灣 COSMIC 資料分析中心(TACC)下載取得福衛三號觀測之資料，使用 NetCDF4Excel 來將資料轉為 Excel 檔，並將其資料彙整，為避免資料受極值干擾，所以取整月的平均值，經過整理與討論，並蒐集網路、市立圖書館及學校圖書館內之資料，經詳細閱讀、討論及歸納後彙整出我們本次主題和所需要的結論。

## 伍、研究結果

### 一、對流層簡介

觀測大氣的基本特性之一為氣壓，另一個關鍵特性為溫度。「大氣科學家以氣溫驟變的溫度作為分界，將大氣分成不同的區域以便研究和說明」（陳正平，1997）大氣大致可分為對流層、平流層、中氣層、增溫層及散逸層五層，其中，對流層為地球大氣層最低的一層。對流層中包含了大約 80%的大氣的質量，以及約占 99%的水蒸氣及氣溶膠。

對流層從地球的表面開始向高空延伸出去，直至對流層頂與平流層的起點為止。其厚度也隨地球之緯度與季節的不同，而發生厚度不同的差異。於高緯度接近極地的地區平均厚度較薄，約為 7 公里，中緯度平均厚度約為 17 公里，而低緯度接近熱帶厚度更可厚達 20 公里。

### 二、福衛三號簡介

「福衛三號是台美雙邊國際合作計畫，主要目的是研究全球的氣候以及電離層的變化。」（劉正彥、陳朝焱、李奕德，2012）此計畫為我國的國家太空中心與美國大學大氣研究聯盟共同進行。一次有六顆微衛星同時發射，到達外太空後，經由電腦控制調整其位置，分佈於地球外側不同軌道繞地球運動，並控制其太陽能板角度，以其現有之面積吸收能量達最大值。

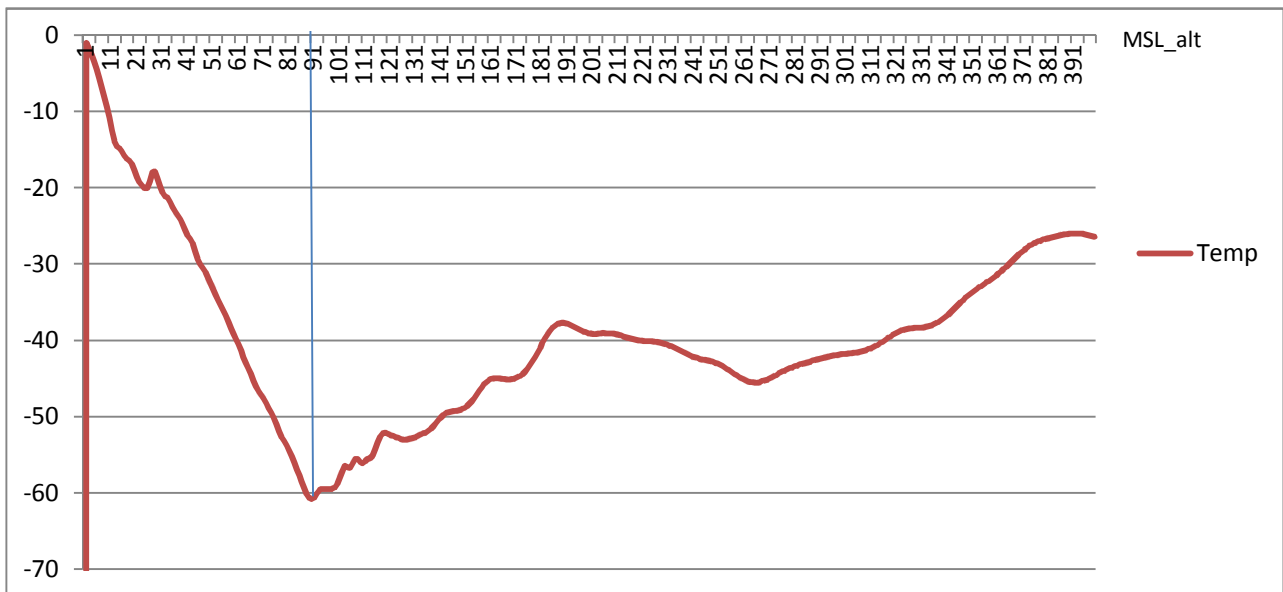
此計畫觀測範圍涵蓋全球大氣層及電離層，可提供約全球每日平均 2500 點的觀測資料。這些資料均勻分佈於地球上空，經由網路文獻資料顯示，這些資料大約 90 分鐘更新一次，數小時即可對於全球之分析資料蒐集完畢。此計畫的完成，有助於展現我國太空科技的進步，亦可將福衛三號之資料作進一步的處理及研究。

表一、福爾摩沙衛星三號基本資料

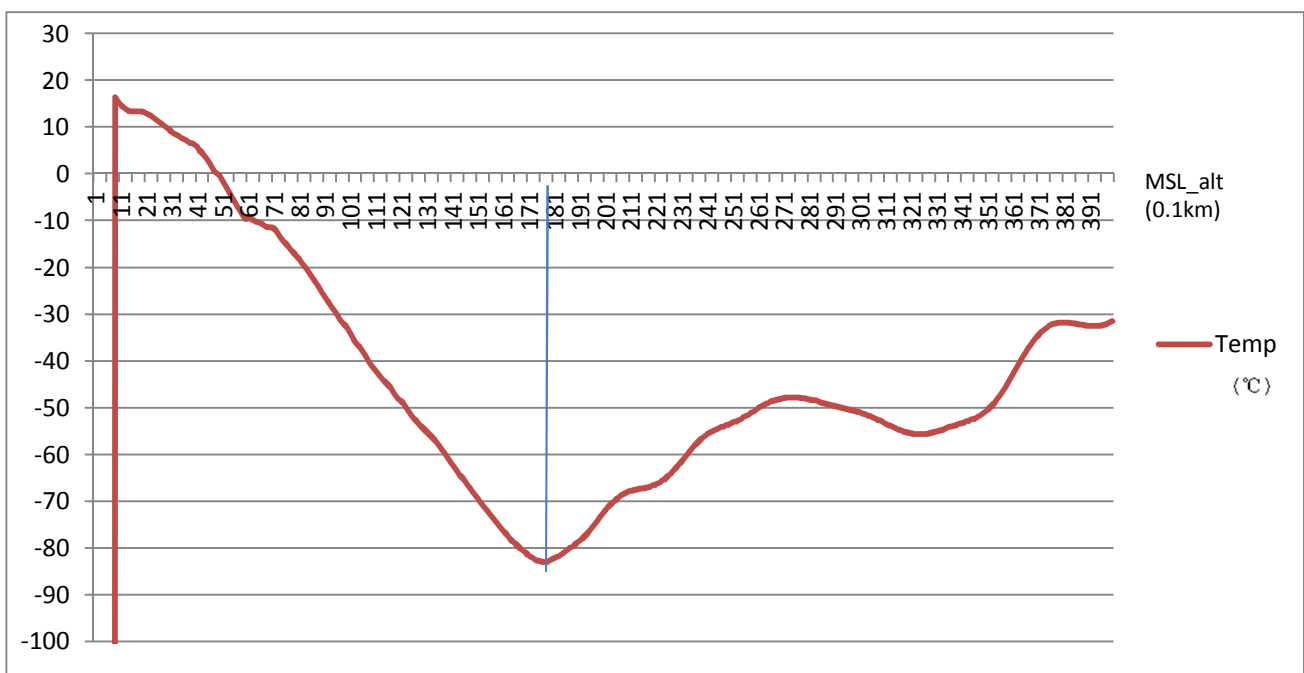
衛星數量	由六顆微衛星組成。	衛星重量	每一顆約重 62 公斤。
衛星外觀	外型呈圓扁柱形，直徑約 103 公分，高約 16 公分；有兩片圓形太陽能電池板，分別展開 121 度和 59 度。	衛星酬載	包括全球定位系統氣象量測儀 (GOX)、小型電離層光度計(TIP)及三頻段信標儀(TBB)等。
衛星軌道	高度 700-800 公里，圓形軌道。	繞地週期	約 100 分鐘。
衛星傾角	72 度。	衛星壽命	2 年以上(設計 5 年以上)。

### 三、福衛三號資料與大氣垂直分布

一般認為，「垂直方向的大氣分層有很多種標準，但最常用的的就是按照溫度的垂直分布來加以畫分」（戚啟勳，2008）大氣的垂直分布圖中大致呈現 M 字形分布，而在福衛三號所蒐集到的資料中，雖分層較不明顯，收集到的資料點及數量也有限，由資料分析發現到大氣垂直分布與 M 字形相近，故福衛三號的資料可做為大氣分層之研究工具。如 2007 年 1 月 1 日之資料（圖 3-1），經整理後明顯可看出大氣以溫度之驟升或驟降大致分為四層，其中又以海拔高度 9.1 公里，溫度 $-60.85^{\circ}\text{C}$ 為第一次驟降之最低溫，故判別其為對流層頂。而 2012 年 1 月 1 日之資料（圖 3-2），則以海拔高度 17.6 公里，溫度 $-82.97^{\circ}\text{C}$ 為第一次驟降之最低溫，故判別其為對流層頂。



▲ 圖 3-1 2007.1.1 20:37:05 ( $48.8^{\circ}\text{N}$ ,  $179.59^{\circ}\text{E}$ ) C001 衛星蒐集到的 溫度—海拔 資料



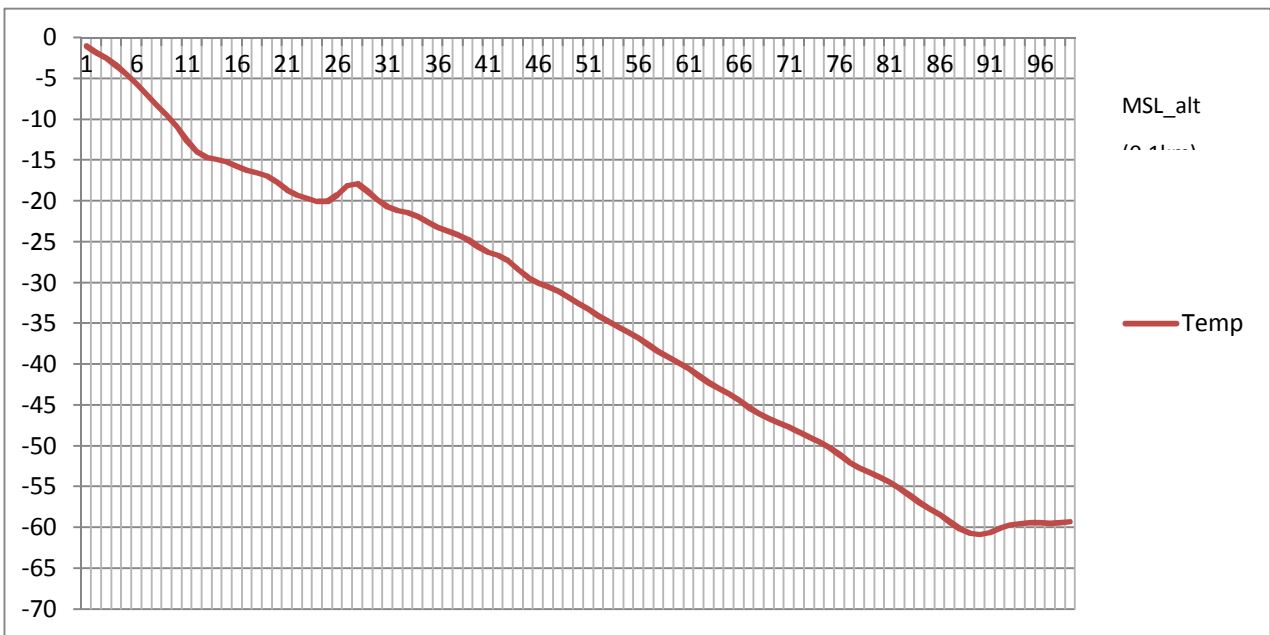
▲ 圖 3-2 2012.1.1 05:04:31 ( $22.5^{\circ}\text{N}$ ,  $-175.6^{\circ}\text{E}$ ) C001 衛星蒐集到的 溫度—海拔 資料

註：1.以上時間為當地時間 2.圖表左方垂直線部分為衛星未蒐集得之資料

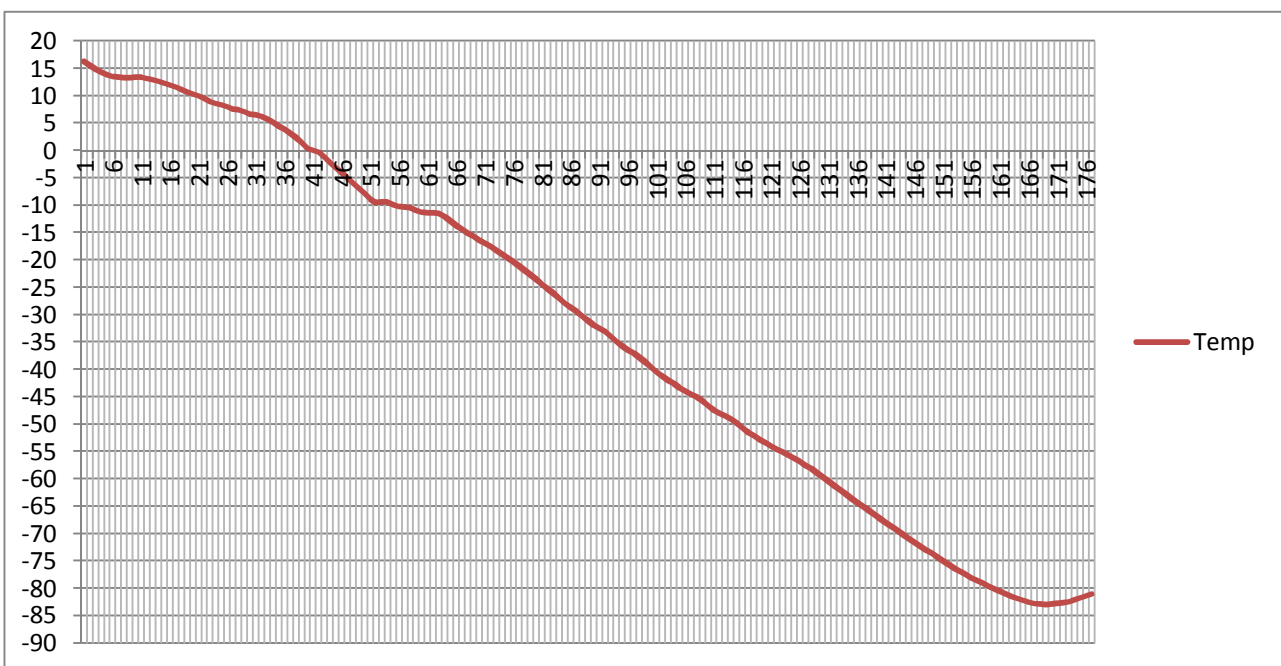
#### 四、福衛三號資料與對流層垂直變化

書上同時記載「對流層內，溫度向上遞減，平均每公里約減攝氏 6.5 度，由於地面受熱不均而產生對流現象，將空氣充分混合。」（戚啟勳，2008）對流層中，溫度隨著海拔的高度升高而溫度逐漸降低。

而在福衛三號所探測到的資料中，以 2007 年 1 月 1 日之資料(圖 4-1)作為討論，由-0.99°C 降至最低溫-60.85°C，而最高溫至最低溫之海拔高度相差 9 公里，平均每公里下降 6.65°C；而 2012 年 1 月 1 日（圖 4-2）中由 16.34°C 降至最低溫-82.97°C，而最高溫至最低溫之海拔高度相差 16.6 公里，平均每公里下降 5.99°C，與書本上資料每公里下降 6.5°C 相近，因此，我們以福衛三號之對流層資料整理後證實，對流層中，每上升 1 公里，氣溫約下降 6~6.5°C，此斜率變化在高緯度或低緯度都是一樣的結果。



▲ 圖 4-1 2007.1.1 20:37:05 (48.8N, 179.59E) C001 衛星蒐集到的溫度－海拔資料（對流層區）



▲ 圖 4-2 2012.1.1 05:04:31 (22.5N, -175.6E) C001 衛星蒐集到的溫度－海拔資料（對流層區）

## 五、福衛三號資料與對流層於不同緯度之變化

「對流層上線稱為對流層頂，他的高度是緯度和季節而變，甚至同一地點每天都不一樣。」  
 (戚啟勳，2008) 對流層的厚度因緯度和季節而改變，赤道的夏天最厚，兩極在冬天最薄。

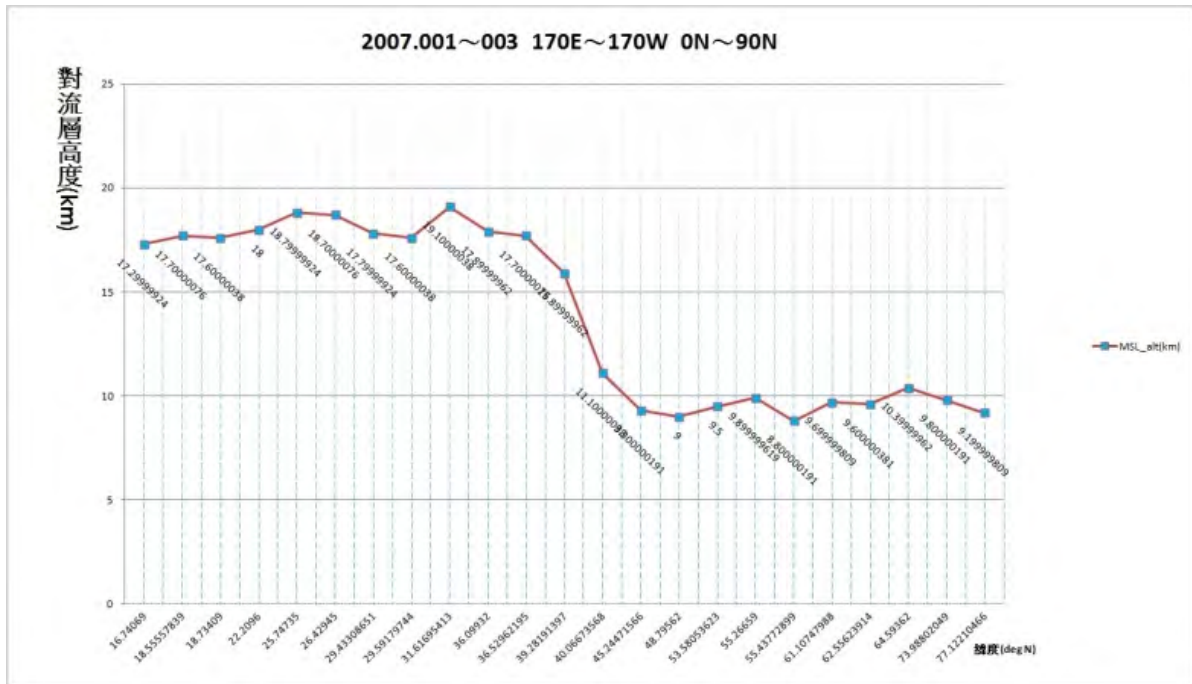
由福衛三號於 2007 年 1 月 1 日至 2007 年 1 月 3 日所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 5-1 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 5-1 2007.1.1~2007.1.3 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (°E)	MSL_alt(km)	Temp(°C)
2007	1	1	10	27	17	16.74069	170.4308	17.3	-84.4142
2007	1	2	8	48	44	18.55558	-178.824	17.7	-85.5973
2007	1	1	9	2	53	18.73409	-177.369	17.6	-84.1515
2007	1	1	18	57	14	22.2096	179.2985	18	-85.5441
2007	1	1	19	7	47	25.74735	-172.57	18.8	-80.5933
2007	1	1	19	6	22	26.42945	-178.925	18.7	-78.7568
2007	1	2	18	51	20	29.43309	178.9687	17.8	-72.9342
2007	1	2	18	52	54	29.5918	-172.91	17.6	-74.9335
2007	1	3	18	26	47	31.61695	-169.815	19.1	-69.538
2007	1	1	19	3	41	36.09932	176.4428	17.9	-62.0089
2007	1	2	18	40	4	36.52962	-174.174	17.7	-64.3145
2007	1	2	18	48	26	39.28191	173.6359	<b>15.9*</b>	-56.0627
2007	1	3	10	5	8	40.06674	173.3147	<b>11.1*</b>	-63.0013
2007	1	2	20	24	1	45.24472	-178.313	<b>9.3*</b>	-59.6157
2007	1	1	20	37	5	48.79562	179.5911	<b>9*</b>	-60.8576
2007	1	2	8	46	49	53.58054	176.9422	9.5	-61.0031
2007	1	1	9	1	17	55.26659	175.3059	9.9	-65.9521
2007	1	3	13	34	44	55.43773	176.6714	8.8	-63.3571
2007	1	2	8	59	21	61.10748	-174.209	9.7	-65.0174
2007	1	3	13	37	36	62.55624	-173.125	9.6	-68.8983
2007	1	1	18	46	47	64.59362	-172.84	10.4	-65.146
2007	1	2	17	5	38	73.98802	-171.823	9.8	-68.7546
2007	1	3	16	50	16	77.1221	174.5193	9.2	-67.362

註：\*標示在此緯度附近的對流層厚度快速變薄，之後的資料表示法皆同。

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 5-1)後,我們發現緯度 39.28 °N, 對流層厚度為 15.89 公里時, 與緯度 40.06°N, 對流層厚度為 11.10 公里時, 對流層厚度相差最大, 可見此緯度附近對流層的厚度快速變化, 在其前後之資料皆穩定且起伏不大。



▲ 圖 5-1 2007.1.1 不同緯度對流層高度變化圖

由福衛三號於 2008 年 1 月 1 日至 2008 年 1 月 3 日所蒐集到的資料中, 我們經過擷取、整理並表格化後, 將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序, 得到如表 5-2 之資料, 以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

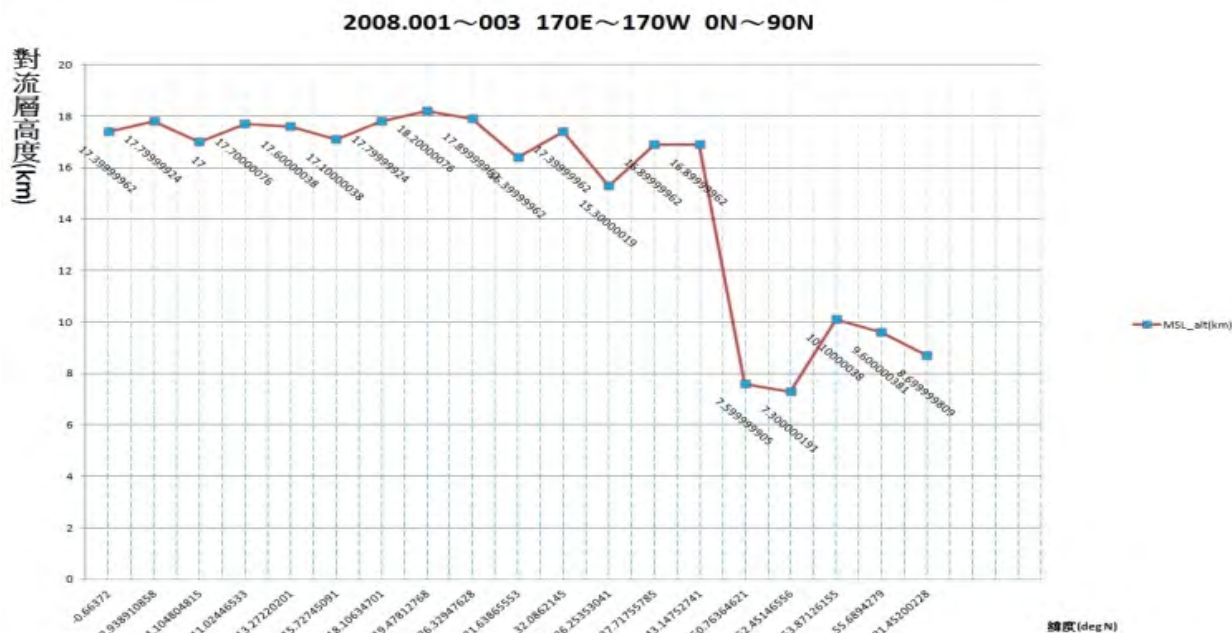
▼表 5-2 2008.1.1~2008.1.3 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (deg E)	MSL_alt(km)	Temp(°C)
2008	1	1	0	38	33	-0.66372	-176.691	17.3999962	-85.5719986
2008	1	3	1	14	39	2.938910858	-172.729826	17.7999924	-86.82591248
2008	1	2	11	3	33	4.104804815	-170.874951	17	-84.18966675
2008	1	2	11	0	23	11.02446533	-174.746968	17.7000076	-81.76495361
2008	1	2	1	57	57	13.27220201	171.3278749	17.6000038	-83.77770233
2008	1	1	11	29	41	15.72745091	-170.079872	17.1000038	-77.91493225
2008	1	1	2	26	29	18.10634701	173.579603	17.7999924	-81.13217163
2008	1	3	12	16	18	19.47812768	171.9944359	18.2000076	-81.77046204
2008	1	1	2	14	13	26.32947628	-172.905063	17.8999962	-72.78219604
2008	1	3	11	58	24	31.63865553	170.5752491	16.3999962	-74.97173309
2008	1	3	1	36	9	32.0862145	175.9660251	17.3999962	-85.5719986
2008	1	3	3	20	10	36.25353041	-179.772634	15.3000019	-72.98146057
2008	1	3	10	25	54	37.71755785	174.89052	16.8999962	-65.93707275
2008	1	2	2	26	21	43.14752741	176.9609241	16.8999962*	-64.90231323



2008	1	2	10	52	4	50.76364621	172.7052065	<b>7.599999905*</b>	-46.92451477
2008	1	3	10	26	7	52.45146556	-176.711539	7.300000191	-51.95244217
2008	1	1	2	36	30	53.87126155	-179.873827	<b>10.10000038</b>	<b>-48.82057571</b>
2008	1	1	13	1	35	55.6894279	171.8041095	<b>9.600000381</b>	<b>-47.36862564</b>
2008	1	2	9	4	28	81.45200228	-174.746296	8.699999809	-64.50530243

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 5-2)後，我們發現緯度 43.1°N，對流層厚度為 16.89 公里時，與緯度 50.76°N，對流層厚度為 7.59 公里時，對流層厚度相差最大，可見此緯度附近對流層的厚度也快速變化，在其前後之資料皆穩定且起伏不大。



▲ 圖 5-2 2008.1.1~2008.1.3 不同緯度對流層高度變化圖

由福衛三號於 2009 年 1 月 1 日至 2009 年 1 月 3 日所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 5-3 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

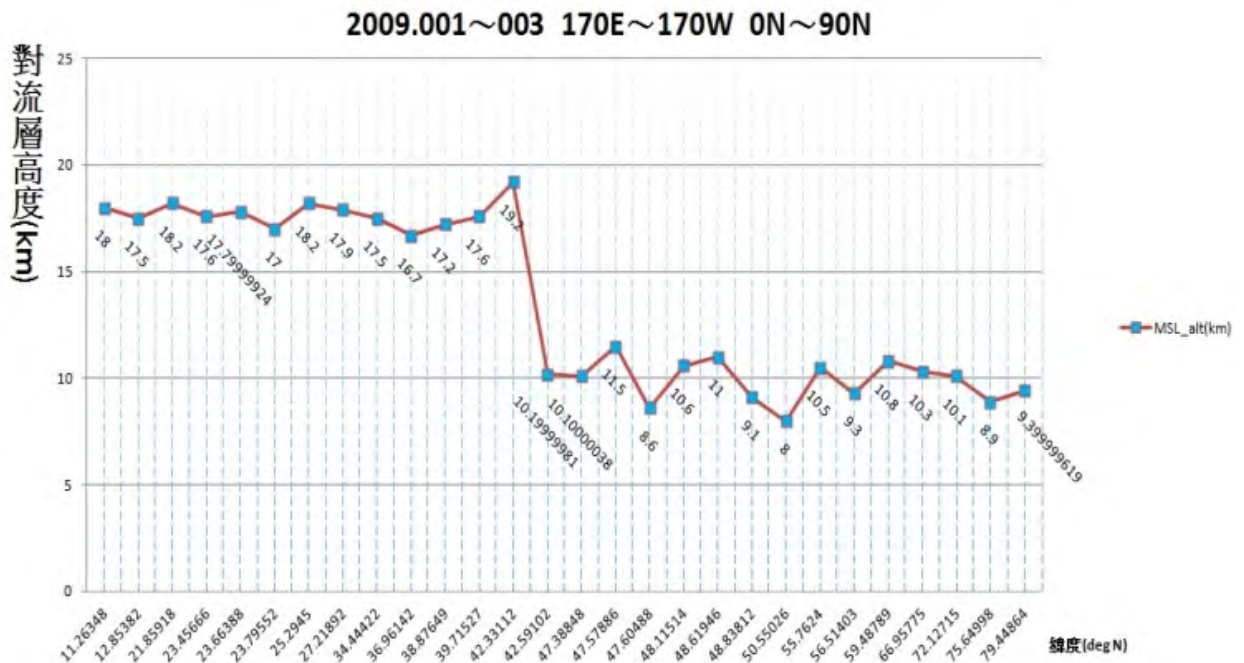
▼表 5-3 2009.1.1~2009.1.3 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (deg E)	MSL_alt(km)
2009	1	3	22	53	58	11.26348	-177.944	<b>18</b>
2009	1	1	23	47	57	12.85382	173.297	<b>17.5</b>
2009	1	3	9	52	13	21.85918	-173.453	<b>18.2</b>
2009	1	1	9	4	14	23.45666	-172.079	<b>17.6</b>
2009	1	1	0	18	16	23.66388	173.327	<b>17.79999924</b>
2009	1	2	10	19	1	23.79552	-172.313	<b>17</b>
2009	1	3	0	52	38	25.2945	173.862	<b>18.2</b>
2009	1	1	10	45	18	27.21892	-171.66	<b>17.9</b>
2009	1	2	8	33	49	34.44422	-169.091	<b>17.5</b>



2009	1	2	1	22	53	36.96142	173.963	16.7
2009	1	3	11	31	25	38.87649	-176.461	17.2
2009	1	2	23	17	42	39.71527	173.3876	17.6*
2009	1	3	11	42	26	42.33112	-178.115	19.2*
2009	1	1	0	24	34	42.59102	-172.685	10.1999981*
2009	1	1	3	38	50	47.38848	175.0934	10.1000038*
2009	1	1	9	12	23	47.57886	-171.207	11.5
2009	1	3	22	50	11	47.60488	-174.794	8.6
2009	1	1	1	53	1	48.11514	176.0534	10.6
2009	1	1	0	11	2	48.61946	-177.201	11
2009	1	3	10	0	13	48.83812	-179.676	9.1
2009	1	3	1	14	21	50.55026	175.5157	8
2009	1	2	1	28	23	55.7624	-177.856	10.5
2009	1	3	9	42	2	56.51403	172.9449	9.3
2009	1	2	1	44	38	59.48789	-175.33	10.8
2009	1	2	10	22	3	66.95775	-175.066	10.3
2009	1	3	7	56	23	72.12715	-178.023	10.1
2009	1	2	23	26	15	75.64998	-178.005	8.9
2009	1	1	7	22	13	79.44864	-179.235	9.399999619

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 5-3)後,我們發現緯度 42.33°N, 對流層厚度為 19.2 公里時, 與緯度 42.59°N, 對流層厚度為 10.19 公里時, 對流層厚度相差最大, 可見此緯度附近對流層的厚度一樣快速變化, 在其前後之資料皆穩定且起伏不大。



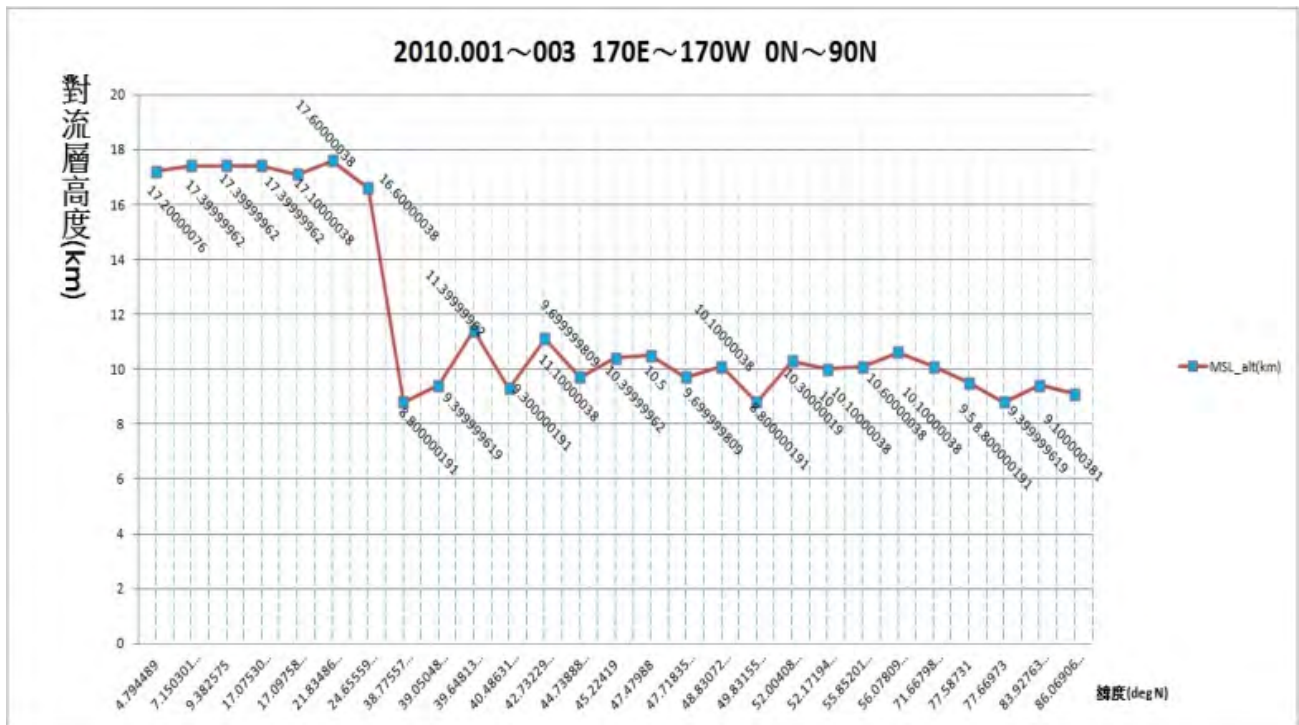
▲ 圖 5-3 2009.1.1~2009.1.3 不同緯度對流層高度變化圖

由福衛三號於 2010 年 1 月 1 日至 2010 年 1 月 3 日所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 5-4 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 5-4 2010.1.1~2010.1.3 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (deg E)	MSL_alt(km)
2010	1	2	21	11	51	4.794489	172.9371	17.20000076
2010	1	1	23	9	52	7.150301847	175.1809787	17.39999962
2010	1	2	22	44	26	9.382575	-176.244	17.39999962
2010	1	1	8	57	8	17.07530589	-178.0173669	17.39999962
2010	1	1	23	10	23	17.09758434	-174.6814806	17.10000038
2010	1	3	9	29	39	21.83486654	179.427265	17.60000038*
2010	1	3	22	35	53	24.65559523	-170.9776021	16.60000038*
2010	1	3	7	42	41	38.77557546	-175.279976	8.800000191*
2010	1	3	7	57	43	39.05048761	-172.1042581	9.399999619*
2010	1	1	1	42	16	39.64813913	174.6889958	11.39999962
2010	1	3	7	56	37	40.48631404	-179.2274325	9.300000191
2010	1	1	10	30	54	42.73229769	-176.2130347	11.10000038
2010	1	3	20	45	0	44.73888462	-170.9618068	9.699999809
2010	1	2	8	7	49	45.22419	-178.545	10.39999962
2010	1	2	6	38	34	47.47988	-170.813	10.5
2010	1	3	9	36	35	47.71835221	-176.0877607	9.699999809
2010	1	1	23	20	37	48.83072453	170.9559091	10.10000038
2010	1	1	23	37	23	49.83155654	-171.1442558	8.800000191
2010	1	1	21	40	37	52.00408399	-170.168655	10.30000019
2010	1	1	8	32	58	52.17194103	177.6235002	10
2010	1	3	6	8	2	55.85201903	177.6209021	10.10000038
2010	1	1	8	47	12	56.07809741	179.9796507	10.60000038
2010	1	1	1	36	39	71.66798516	-177.1156144	10.10000038
2010	1	2	2	53	19	77.58731	-171.571	9.5
2010	1	2	6	18	23	77.66973	-168.903	8.800000191
2010	1	3	6	3	21	83.92763035	166.8149826	9.399999619
2010	1	1	1	40	8	86.06906228	-175.7584338	9.100000381

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 5-4)後,我們發現緯度 24.65 °N, 對流層厚度為 16.61 公里時, 與緯度 38.77°N, 對流層厚度為 8.81 公里時, 對流層厚度相差最大, 並在其前後之資料皆穩定且起伏不大, 不同的是這個變化發生的緯度略低一些。



▲ 圖 5-4 2010.1.1~2010.1.3 不同緯度對流層高度變化圖

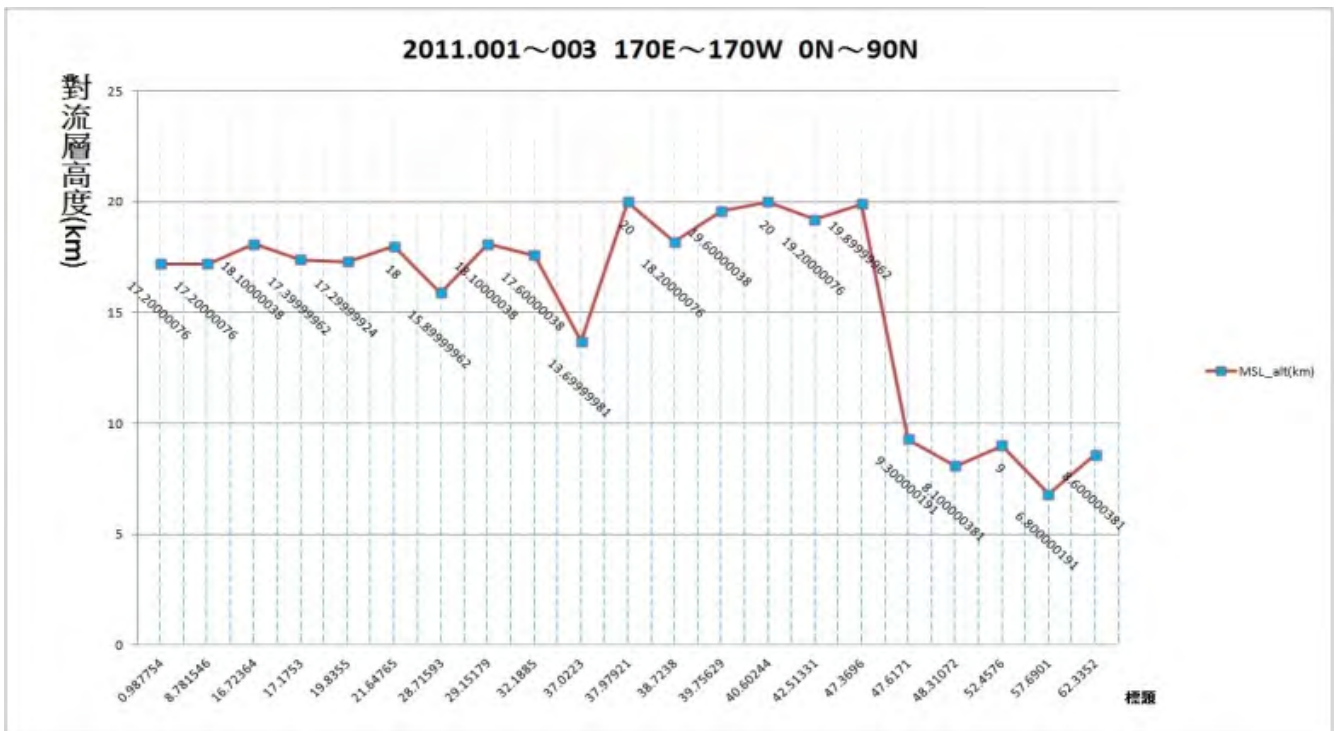
由福衛三號於 2011 年 1 月 1 日至 2011 年 1 月 3 日所蒐集到的資料中, 我們經過擷取、整理並表格化後, 將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序, 得到如表 5-5 之資料, 以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 5-5 2011.1.1~2011.1.3 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (°E)	MSL_alt(km)
2011	1	3	20	6	6	0.987754	171.2366	17.20000076
2011	1	2	20	35	57	8.781546	172.5302	17.20000076
2011	1	2	22	19	48	16.72364	177.2021	18.10000038
2011	1	1	21	5	47	17.1753	174.0882	17.39999962
2011	1	1	8	2	47	19.8355	178.9711	17.29999924
2011	1	3	21	54	50	21.64765	-179.996	18
2011	1	2	22	10	42	28.71593	-179.712	15.89999962
2011	1	2	6	4	37	29.15179	-171.691	18.10000038
2011	1	1	6	32	15	32.1885	175.8241	17.60000038
2011	1	1	3	49	0	37.0223	178.4422	<b>13.69999981</b>
2011	1	3	20	3	0	37.97921	171.1468	20

2011	1	3	5	33	55	38.7238	-176.33	18.20000076
2011	1	3	21	45	5	39.75629	178.225	19.60000038
2011	1	3	22	0	56	40.60244	178.4353	20
2011	1	3	7	2	8	42.51331	178.9809	19.20000076
2011	1	3	8	54	45	47.3696	-177.502	19.89999962*
2011	1	1	6	20	8	47.6171	170.5238	9.300000191*
2011	1	2	9	22	44	48.31072	173.4252	8.100000381
2011	1	1	17	2	37	52.4576	178.5153	9
2011	1	1	7	52	25	57.6901	173.6448	6.800000191
2011	1	3	1	45	18	62.3352	173.1896	8.600000381

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 5-5)後,我們發現緯度 47.37 °N, 對流層厚度為 19.89 公里時, 與緯度 47.61°N, 對流層厚度為 9.31 公里時, 對流層厚度相差最大, 也見到此緯度附近對流層的厚度快速變化, 在其前後之資料皆穩定且起伏不大。



▲ 圖 5-5 2011.1.1~2011.1.3 不同緯度對流層高度變化圖

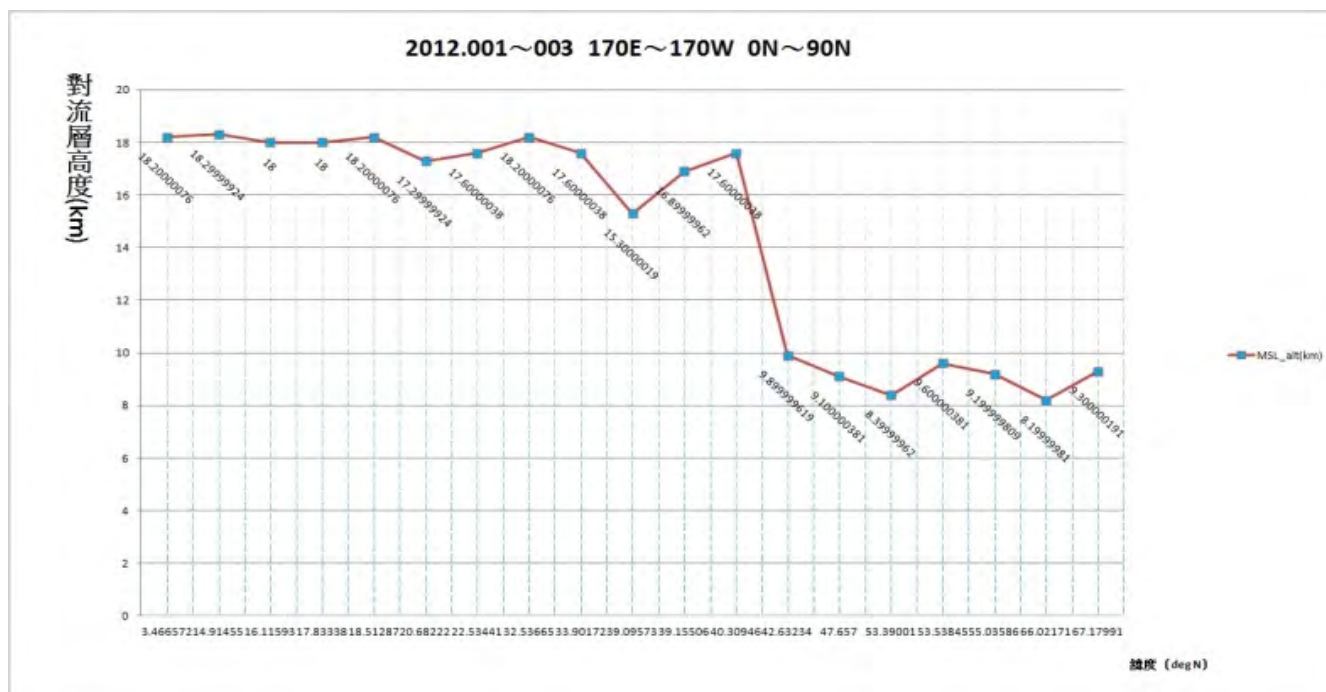
由福衛三號於 2012 年 1 月 1 日至 2012 年 1 月 3 日所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 5-6 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 5-6 2012.1.1~2012.1.3 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (°E)	MSL_alt(km)
2012	1	3	7	52	16	3.466572	-175.267	18.20000076
2012	1	3	4	13	1	14.91455	-172.155	18.29999924
2012	1	3	7	35	52	16.11593	170.3	18
2012	1	2	8	3	27	17.83338	170.9764	18
2012	1	2	4	38	44	18.51287	-174.017	18.20000076
2012	1	1	5	18	27	20.68222	-177.032	17.29999924
2012	1	1	5	4	31	22.53441	-175.63	17.60000038
2012	1	1	21	22	39	32.53665	172.3373	18.20000076
2012	1	3	5	48	18	33.90172	176.3206	17.60000038
2012	1	3	4	16	22	39.09573	174.1029	15.30000019
2012	1	1	19	57	33	39.15506	-170.432	16.89999962
2012	1	2	6	13	57	40.30946	175.008	<b>17.60000038*</b>
2012	1	3	20	30	11	42.63234	176.3228	<b>9.899999619*</b>
2012	1	1	6	39	22	47.657	173.3553	9.100000381
2012	1	2	8	5	9	53.39001	171.4886	8.39999962
2012	1	1	3	11	23	53.53845	178.3501	9.600000381
2012	1	2	6	25	21	55.03586	-176.876	9.199999809
2012	1	3	18	54	31	66.02171	-170.13	8.19999981
2012	1	1	21	30	49	67.17991	177.9007	9.300000191



將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 5-5)後,我們發現緯度 40.31°N, 對流層厚度為 17.61 公里時, 與緯度 42.63°N, 對流層厚度為 9.31 公里時, 對流層厚度相差最大, 同樣見到此緯度附近對流層的厚度快速變化, 在其前後之資料皆穩定且起伏不大。



▲ 圖 5-6 2012.1.1~ 2012.1.3 不同緯度對流層高度變化圖

統合以上資料, 雖然每天資料點不盡相同, 但每張圖明顯可分為兩種不同厚度, 且交界點大約在 35~45°N。於 30°N 以下對流層厚度大約介於海拔高度 17~18 公里, 而 40°N 以上之對流層厚度則大約介於海拔高度 9~10 公里。

藉由圖表的呈現, 我們可以發現接近高緯度的地帶, 對流層厚度越薄, 與書本內資料相符合。此研究過程發現最特殊的現象是, 低緯度與高緯度對流層厚度的厚薄之間, 出現一個明顯的界線, 而非漸進式的變化, 讓我們感覺到課本未學到的新特性。但無論緯度高低, 海拔高度每上升 1 公里, 氣溫皆下降 6.5°C, 可見地面附近雖以赤道最熱, 兩極最冷, 但在對流層頂, 赤道上空溫度反而較低, 兩極反而較高, 與圖 3-1 及圖 3-2 呼應。

## 六、福衛三號資料與對流層於不同季節之變化

季節也是影響對流層厚度的另一項重要因素，因此我們整理 2011 及 2012 兩年的四季對流層厚度變化，作為探討的依據。

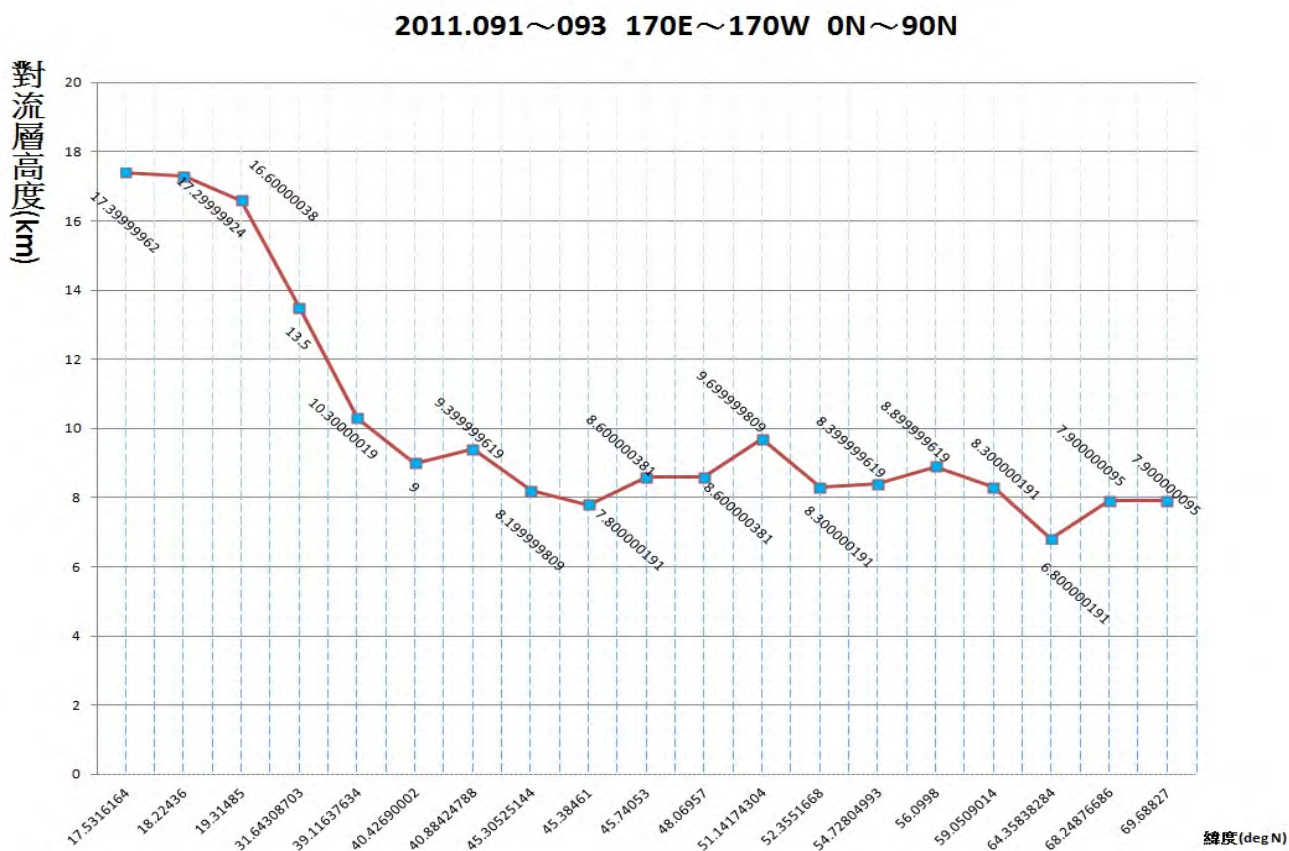
由福衛三號於 2011 年的春季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-1 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-1 2011.091~2011.093 (春季) 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	minute	second	lat(°S)	MSL_alt(km)
2011	4	1	14	43	20	17.53162	17.4
2011	4	1	4	11	7	18.22436	17.3
2011	4	2	3	32	2	19.31485	16.6*
2011	4	2	14	12	26	31.64309	13.5*
2011	4	3	11	59	59	39.11638	10.3*
2011	4	2	3	10	12	40.4269	9
2011	4	2	12	41	59	40.88425	9.4
2011	4	2	14	20	27	45.30525	8.2
2011	4	2	12	25	31	45.38461	7.8
2011	4	2	10	55	25	45.74053	8.6
2011	4	2	1	57	20	48.06957	8.6
2011	4	3	13	53	19	51.14174	9.7
2011	4	1	12	50	50	52.35517	8.3
2011	4	2	10	12	16	54.72805	8.4
2011	4	1	2	40	34	56.0998	8.9
2011	4	1	7	51	35	59.0509	8.3
2011	4	2	10	25	23	64.35838	6.8
2011	4	2	4	59	32	68.24877	7.9
2011	4	2	10	52	15	69.68827	7.9



將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 6-1)後,對流層頂之海拔高度最高約為 17.4 公里,而最低則約介於 7~8 公里之間,大約在 20~40°N 之間有一個落差的交界。



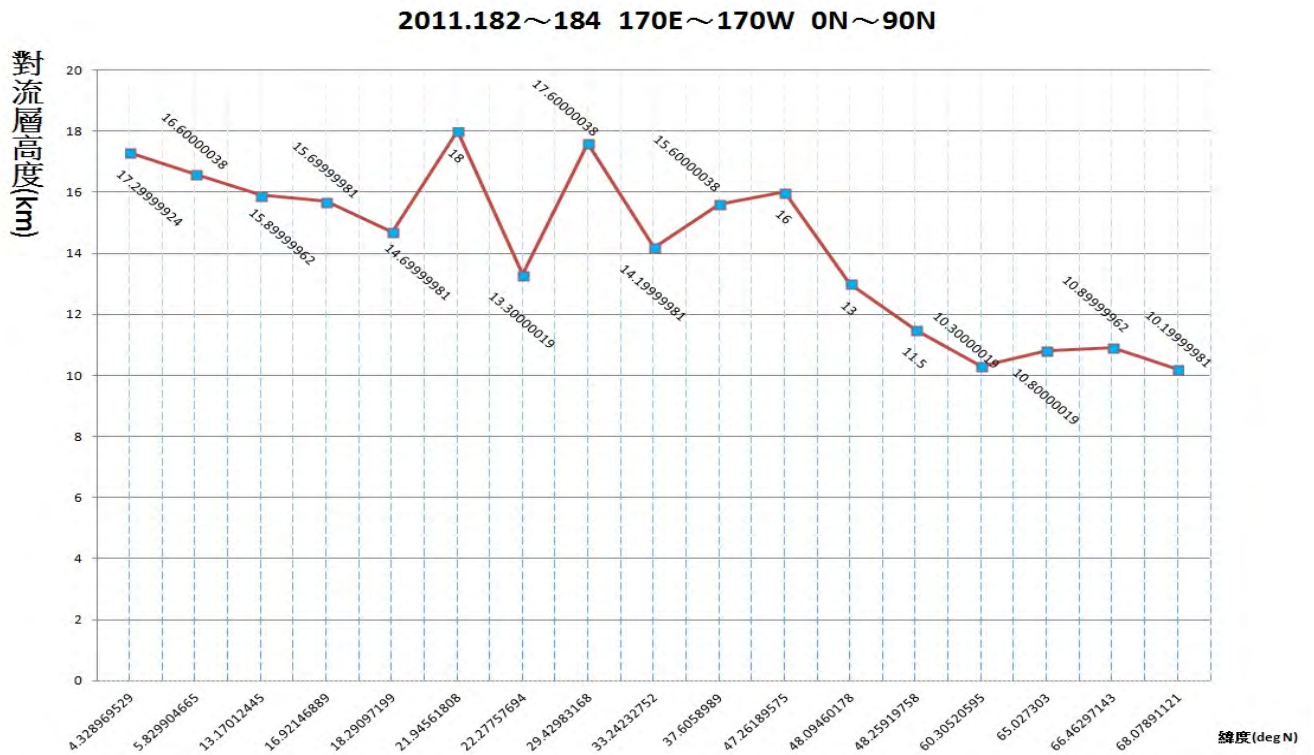
▲ 圖 6-1 2011.091~2011.093 (春季) 不同緯度對流層高度變化圖

由福衛三號於 2011 年的夏季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-2 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-2 2011.182~2011.184 (夏季) 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	minute	second	lat(°S)	MSL_alt(km)
2011	7	1	8	6	47	4.32897	17.3
2011	7	2	7	39	18	5.829905	16.6
2011	7	2	9	10	38	13.17012	15.9
2011	7	2	9	52	28	16.92147	15.7
2011	7	3	19	56	20	18.29097	14.7
2011	7	3	9	27	34	21.94562	18
2011	7	2	9	41	1	22.27758	13.3
2011	7	1	17	37	19	29.42983	17.6
2011	7	3	18	9	55	33.24233	14.2
2011	7	3	18	23	36	37.6059	15.6
2011	7	2	2	20	27	47.2619	16*
2011	7	3	16	35	25	48.0946	13*
2011	7	1	20	55	30	48.2592	11.5*
2011	7	1	14	2	9	60.30521	10.3
2011	7	2	16	33	51	65.0273	10.8
2011	7	3	19	43	30	66.46297	10.9
2011	7	1	17	28	21	68.07891	10.2

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 6-2)後，對流層頂之海拔高度最高約為 18 公里，而最低則約介於 11~10 公里之間，大約在 47~60°N 之間有一個落差的交界。



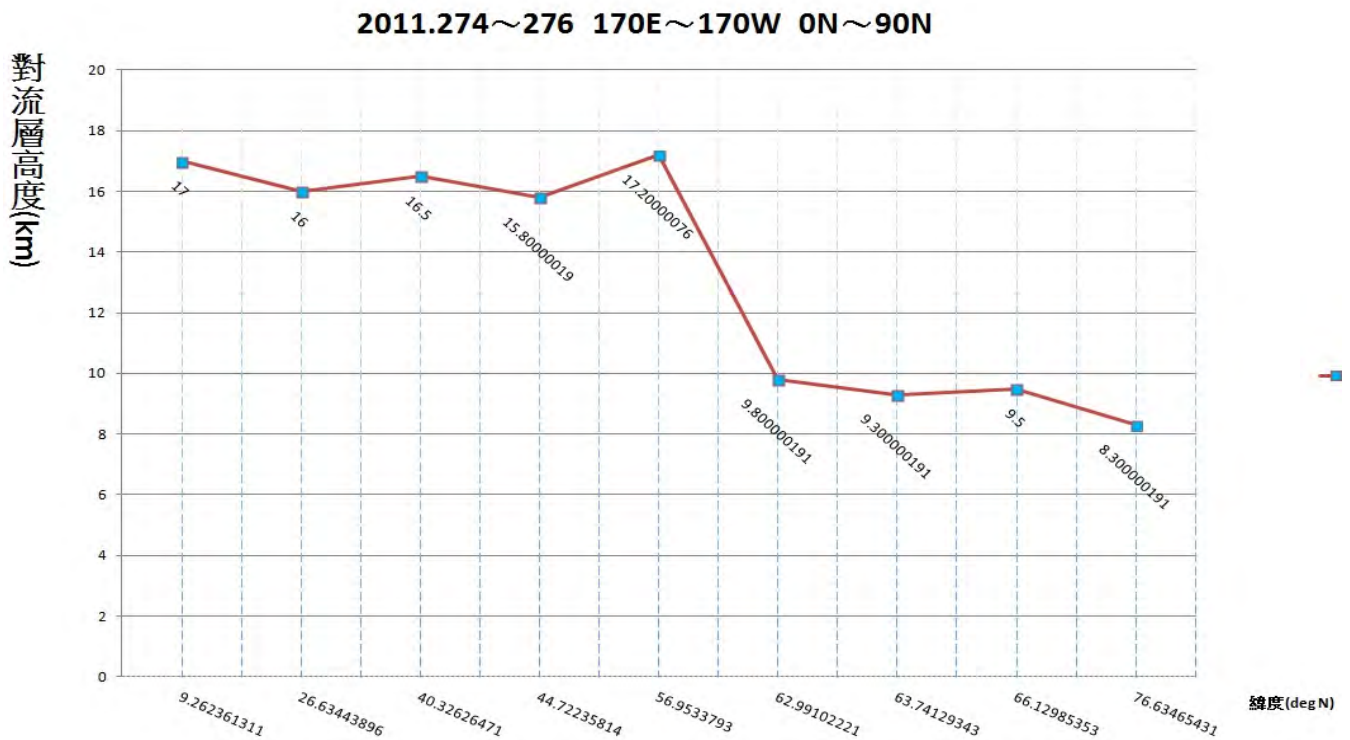
▲ 圖 6-2 2011.182~2011.184 (夏季) 不同緯度對流層高度變化圖

由福衛三號於 2011 年的秋季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-3 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-3 2011.274~2011.276 (秋季) 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	minute	second	lat(°S)	MSL_alt(km)
2011	10	3	2	6	12	9.262361	17
2011	10	3	14	53	59	26.63444	16
2011	10	2	0	41	16	40.32626	16.5
2011	10	1	14	10	52	44.72236	15.80000019
2011	10	1	19	26	47	56.95338	17.20000076*
2011	10	2	0	36	16	62.99102	9.800000191*
2011	10	2	0	36	35	63.74129	9.300000191
2011	10	2	18	57	8	66.12985	9.5
2011	10	3	0	5	49	76.63465	8.300000191

將上表之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 6-3)後，對流層頂之海拔高度最高約為 17 公里，而最低則約介於 9.5~8.5 公里之間，大約在 56~62°N 之間有一個落差的交界。



▲ 圖 6-3 2011.274~2011.276 (秋季) 不同緯度對流層高度變化圖

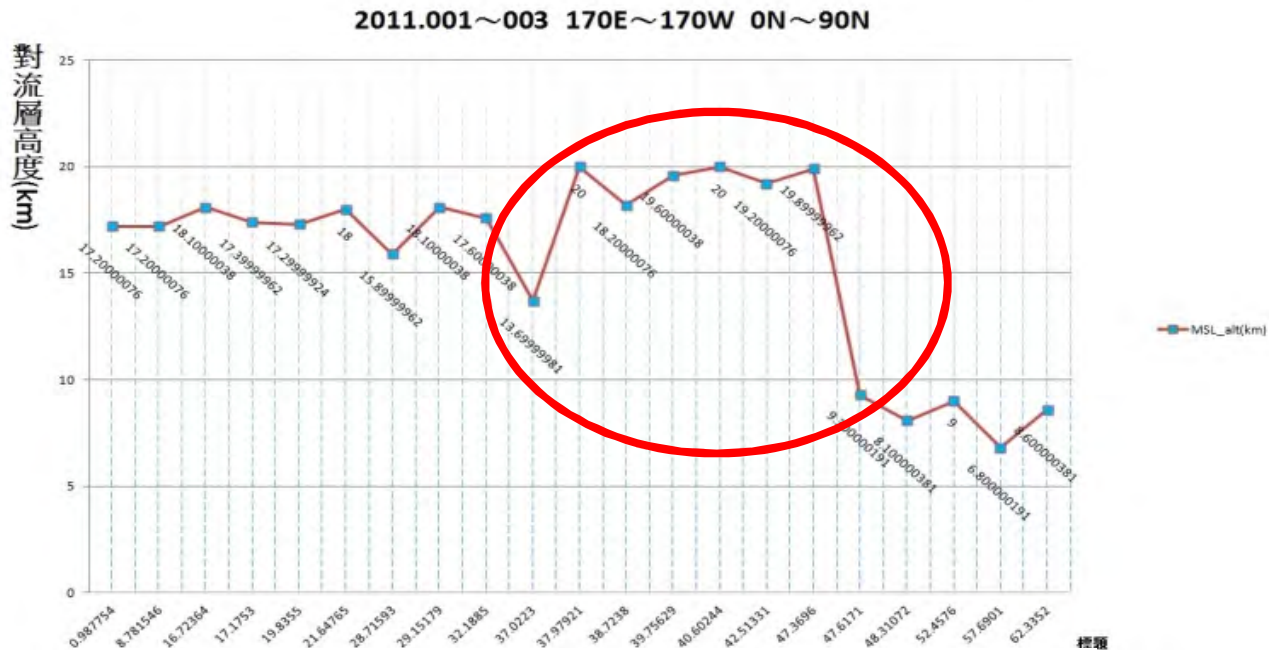
最後由福衛三號於 2011 年的冬季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-4 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-4 2011.001~2011.003 (冬季) 由福衛三號所蒐集到之資料

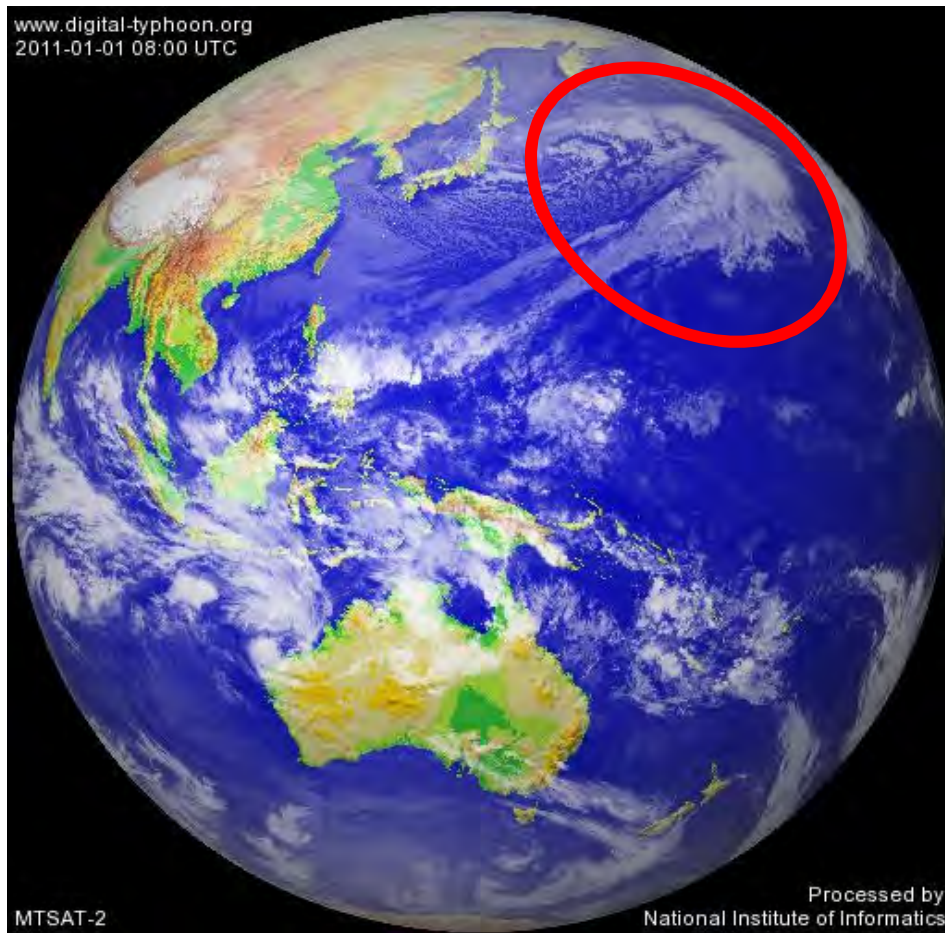
year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (°E)	MSL_alt(km)
2011	1	3	20	6	6	0.987754	171.2366	17.20000076
2011	1	2	20	35	57	8.781546	172.5302	17.20000076
2011	1	2	22	19	48	16.72364	177.2021	18.10000038
2011	1	1	21	5	47	17.1753	174.0882	17.39999962
2011	1	1	8	2	47	19.8355	178.9711	17.29999924
2011	1	3	21	54	50	21.64765	-179.996	18
2011	1	2	22	10	42	28.71593	-179.712	15.89999962
2011	1	2	6	4	37	29.15179	-171.691	18.10000038
2011	1	1	6	32	15	32.1885	175.8241	17.60000038
2011	1	1	3	49	0	37.0223	178.4422	<b>13.69999981</b>
2011	1	3	20	3	0	37.97921	171.1468	20
2011	1	3	5	33	55	38.7238	-176.33	18.20000076
2011	1	3	21	45	5	39.75629	178.225	19.60000038
2011	1	3	22	0	56	40.60244	178.4353	20
2011	1	3	7	2	8	42.51331	178.9809	19.20000076
2011	1	3	8	54	45	47.3696	-177.502	<b>19.89999962</b>
2011	1	1	6	20	8	47.6171	170.5238	<b>9.300000191</b>
2011	1	2	9	22	44	48.31072	173.4252	8.100000381
2011	1	1	17	2	37	52.4576	178.5153	<b>9</b>
2011	1	1	7	52	25	57.6901	173.6448	<b>6.800000191</b>
2011	1	3	1	45	18	62.3352	173.1896	8.600000381



將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 5-5)後，我們發現對流層頂之海拔高度最高於 30°N 以下時，約介於 17~18 公里間，介於北緯 30°~47°時，則上升至介於 19~20 公里間，47°N 以上時，則約介於 8~9 公里之間。發現與其他三個季節不同，竟然不是在某個緯度區範圍內出現分界，反而中間緯度之對流層頂最高，這令我們感到好奇。



▲ 圖 6-4 2011.001~2011.003 (冬季) 不同緯度對流層高度變化圖



▲ 圖 6-4.1 截取自 Digital Typhoon，歷史衛星雲圖資料：(2011-01-01 08:00UTC)

針對在 2011 年冬季（圖 6-4）中，對流層頂之海拔高度於 30°N 以下時，約介於 17~18 公里間，介於 30°~47°N 時，則上升至介於 19~20 公里間，47°N 以上時，最低則約介於 8~9 公里之間之現象，我們找到這個位置附近當時的衛星雲圖影像（圖 6-4.1）。

於 2011 年 1 月 1 日至 2011 年 1 月 3 日之間，於 170°E~170°W、30°N~47°N 之上空有一個天氣系統正發展使得上高空有厚雲層壟罩，因此我們猜測，厚雲是否會造成當地附近區域的對流層厚度異常升高。

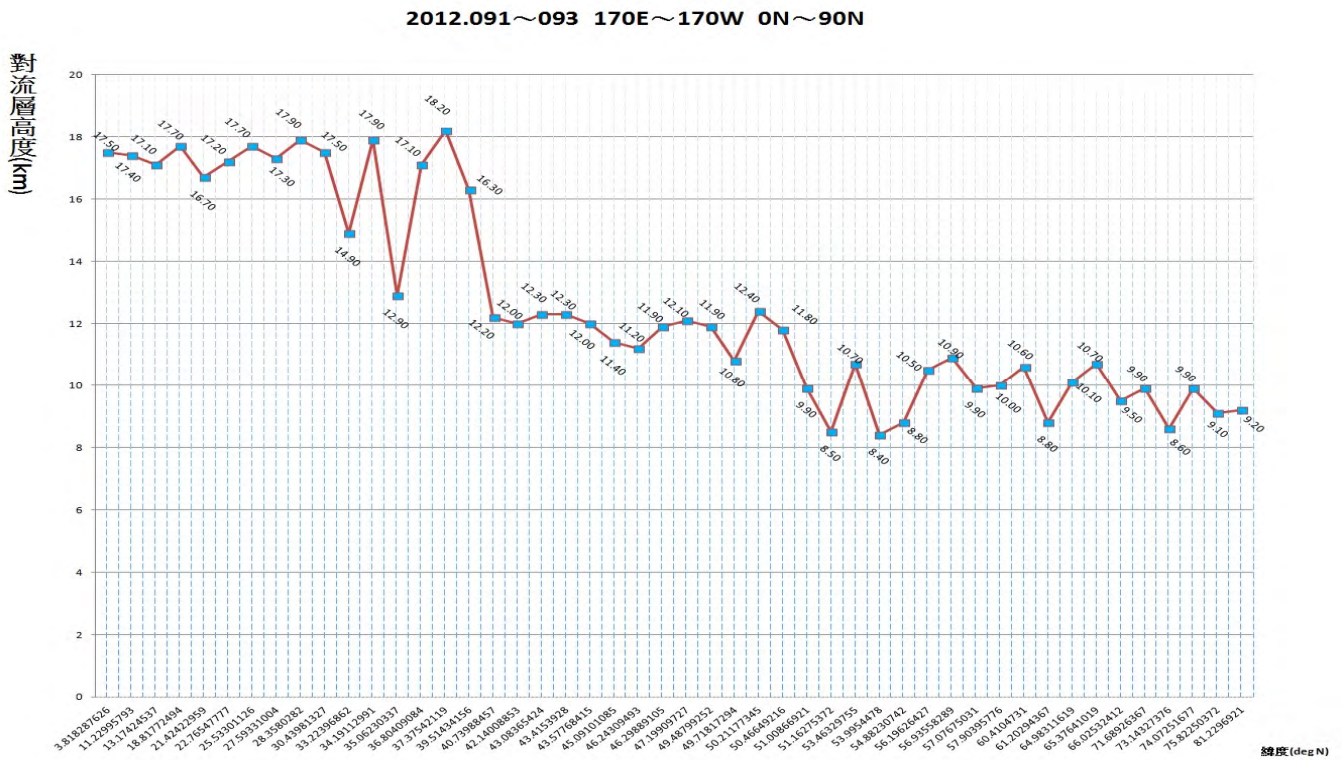
在這個部分最後由福衛三號於 2012 年的春季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-5 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-5 2012.091~2012.093 （春季）由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	minute	second	lat(°S)	MSL_alt(km)
2012	4	1	1	54	53	13.17424537	17.10000038
2012	4	1	0	28	24	21.42422959	16.70000076
2012	3	31	2	25	21	22.76547777	17.20000076
2012	3	31	11	23	8	27.59331004	17.29999924
2012	3	31	11	36	16	28.3580282	17.89999962
2012	3	31	0	59	41	36.80409084	17.10000038
2012	3	31	2	44	5	37.37542119	<b>18.20000076*</b>
2012	4	2	3	33	44	46.24309493	<b>11.19999981*</b>
2012	4	1	2	3	52	49.48799252	11.89999962
2012	3	31	9	45	9	49.71817294	10.80000019
2012	4	2	13	56	50	51.00866921	9.899999619
2012	3	31	7	59	26	54.88230742	8.800000191
2012	4	2	5	20	8	56.19626427	10.5
2012	4	1	9	3	59	57.90395776	10
2012	4	2	1	57	12	71.68926367	9.899999619
2012	3	31	2	51	51	73.14327376	8.600000381



將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 6-5)後,對流層頂之海拔高度最高約為 17.7 公里,而最低則約介於 9~10 公里之間,大約在 37~46°N 之間有一個落差的交界。



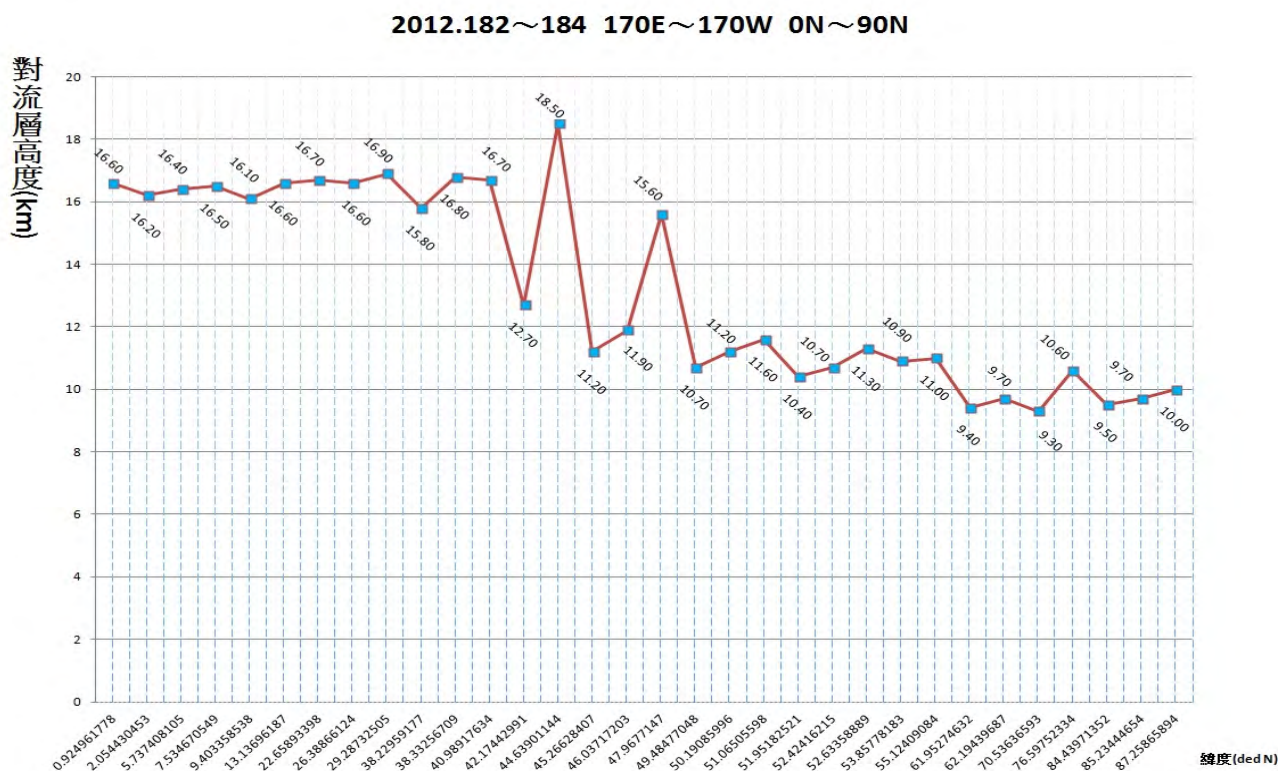
▲圖 6-5 2012.091~2012.093 (春季) 不同緯度對流層高度變化圖

由福衛三號於 2012 年的夏季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-6 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-6 2012.182~2012.184 (夏季)由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	minute	second	lat(°S)	MSL_alt(km)
2012	6	30	20	4	39	0.924962	16.60000038
2012	6	30	17	33	7	2.05443	16.20000076
2012	7	1	5	18	1	5.737408	16.39999962
2012	7	1	6	47	2	7.534671	16.5
2012	7	1	17	2	52	9.403359	16.10000038
2012	7	2	4	47	38	13.13696	16.60000038
2012	7	2	6	15	20	22.65893	16.70000076
2012	6	30	20	14	40	26.38866	16.60000038
2012	7	1	8	2	9	29.28733	16.89999962
2012	6	30	20	4	8	38.22959	15.80000019
2012	7	2	19	24	11	38.33257	16.79999924
2012	7	1	18	9	29	40.98918	16.70000076
2012	7	1	16	55	24	42.17443	12.69999981
2012	7	2	4	41	23	44.63901	18.5*
2012	7	2	6	22	6	45.26628	11.19999981*
2012	7	2	19	10	56	46.03717	11.89999962
2012	6	30	19	0	57	47.96771	15.60000038
2012	7	2	21	9	36	49.48477	10.69999981
2012	7	1	14	54	33	50.19086	11.19999981
2012	7	2	6	18	51	51.06506	11.60000038
2012	7	1	13	21	53	51.95183	10.39999962
2012	6	30	13	50	13	52.42416	10.69999981
2012	7	2	1	19	9	52.63359	11.30000019
2012	6	30	3	34	30	53.85778	10.89999962
2012	6	30	10	19	56	55.12409	11
2012	7	1	3	21	13	61.95275	9.399999619
2012	7	2	19	14	39	62.1944	9.699999809
2012	7	1	21	21	46	70.53637	9.300000191
2012	7	1	7	59	49	76.59752	10.60000038
2012	6	30	20	28	49	84.43971	9.5
2012	6	30	23	48	41	85.23445	9.699999809
2012	6	30	5	22	42	87.25866	10

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 6-6)後，對流層頂之海拔高度最高約為 16.5 公里，而最低則約介於 11~10 公里之間，大約在 44~45°N 之間有一個落差之交界。



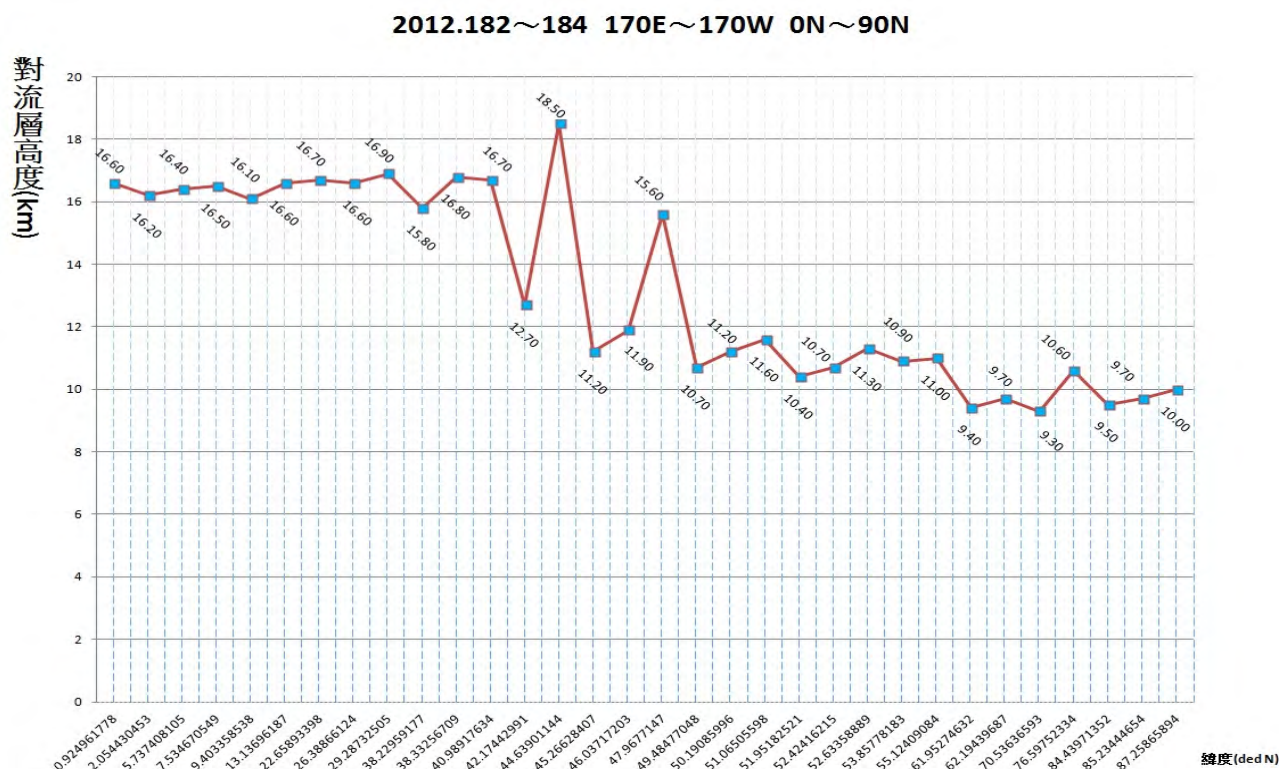
▲圖 6-6 2012.182~2012.184 (夏季) 不同緯度對流層高度變化圖

由福衛三號於 2012 年的秋季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-7 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-7 2012.274~2012.276 (秋季) 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	minute	second	lat(°S)	MSL_alt(km)
2012	10	1	0	18	51	1.944570052	16.39999962
2012	10	2	21	52	53	7.265931949	16.70000076
2012	9	30	22	46	45	8.962493691	16.39999962
2012	9	30	1	58	44	25.49828367	16.60000038
2012	10	2	9	46	25	29.89567059	17
2012	10	1	1	33	28	30.83952975	16.20000076
2012	10	1	21	59	31	32.2158746	15.80000019
2012	10	2	11	40	49	34.24403572	15.19999981
2012	10	1	10	12	30	34.78120641	15.19999981
2012	10	1	22	13	11	35.57598281	16
2012	9	30	20	56	5	36.21631202	18.39999962
2012	9	30	22	25	27	37.58852792	14
2012	10	1	23	53	29	39.28051306	15.60000038
2012	9	30	10	38	32	40.64283515	<b>18.39999962*</b>
2012	10	1	8	40	22	41.00817179	<b>13.5*</b>
2012	10	2	21	44	47	41.75624711	16.29999924
2012	10	2	12	41	14	42.94354621	15.19999981
2012	10	1	12	6	2	43.89410291	12.10000038
2012	10	1	1	38	33	48.64486084	12.39999962
2012	10	1	6	53	52	54.95876674	11.5
2012	9	30	20	37	33	55.65827983	10.80000019
2012	10	2	1	13	3	55.95172059	10.39999962
2012	9	30	12	27	55	56.51477154	11.39999962
2012	10	1	14	56	18	57.1684728	9.800000191
2012	10	1	8	38	30	58.27522888	10.39999962
2012	10	2	13	0	22	59.83671114	9.699999809
2012	10	1	18	24	58	60.73820008	7.199999809
2012	10	2	16	11	55	64.39114913	8.199999809
2012	9	30	23	58	58	73.30650667	9.5
2012	10	1	1	43	57	73.48206916	9.899999619
2012	10	2	11	29	30	73.70378251	9.800000191
2012	9	30	12	11	7	79.12141149	8.800000191
2012	10	1	23	41	39	79.80889093	8.800000191

將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 6-7)後,對流層頂之海拔高度最高約為 17 公里,而最低則約介於 9.5~8.公里之間,大約在 40~41°N 之間有一個落差的交界。



▲圖 6-7 2012.274~2012.276 (秋季) 不同緯度對流層高度變化圖

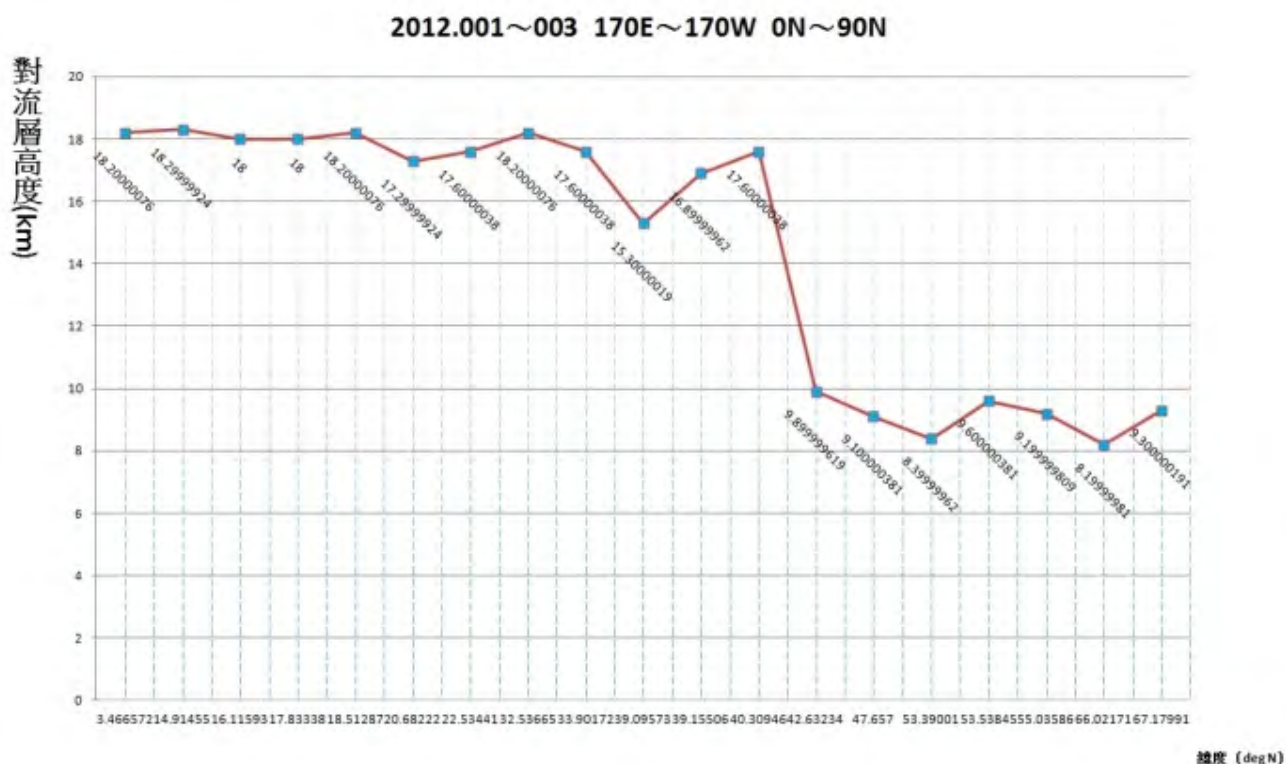
由福衛三號於 2012 年的冬季所蒐集到的資料中，我們經過擷取、整理並表格化後，將緯度(第七列 lat (°S))由低至高排序，得到如表 6-8 之資料，以便於我們比較在不同緯度之對流層厚度變化。

▼表 6-8 2012.001~2012.003 (冬季) 由福衛三號所蒐集到之資料

year	month	day	hour	min	sec	lat (°S)	lon (°E)	MSL_alt(km)
2012	1	3	7	52	16	3.466572	-175.267	18.20000076
2012	1	3	4	13	1	14.91455	-172.155	18.29999924
2012	1	3	7	35	52	16.11593	170.3	18
2012	1	2	8	3	27	17.83338	170.9764	18
2012	1	2	4	38	44	18.51287	-174.017	18.20000076
2012	1	1	5	18	27	20.68222	-177.032	17.29999924
2012	1	1	5	4	31	22.53441	-175.63	17.60000038
2012	1	1	21	22	39	32.53665	172.3373	18.20000076
2012	1	3	5	48	18	33.90172	176.3206	17.60000038
2012	1	3	4	16	22	39.09573	174.1029	15.30000019
2012	1	1	19	57	33	39.15506	-170.432	16.89999962
2012	1	2	6	13	57	40.30946	175.008	<b>17.60000038*</b>
2012	1	3	20	30	11	42.63234	176.3228	<b>9.899999619*</b>
2012	1	1	6	39	22	47.657	173.3553	9.100000381
2012	1	2	8	5	9	53.39001	171.4886	8.39999962
2012	1	1	3	11	23	53.53845	178.3501	9.600000381
2012	1	2	6	25	21	55.03586	-176.876	9.199999809
2012	1	3	18	54	31	66.02171	-170.13	8.19999981
2012	1	1	21	30	49	67.17991	177.9007	9.300000191



將上頁表格之資料取 lat (°S)與 MSL\_alt(km)兩欄之化為圖表(圖 6-8)後,對流層頂之海拔高度最高約為 9 公里,而最低則約介於 17~18 公里之間,大約在 40~42°N 之間有一個落差的交界。



▲圖 6-8 2012.001~2012.003 (冬季) 不同緯度對流層高度變化圖

## 陸、討論

福衛三號提供的資料沒辦法符合我們想研究的短時間與區域地點,因此我們只能把研究範圍擴大,但擴大後資料筆數又龐大,無法一一下載,後來我們申請了 TACC 網站的高階下載,就可方便的下載大量資料,解決了資料數量的問題。

開始研究後,由於高緯度大氣分層十分不明顯,因此對流層頂較難找到,但後來我們就依第一次驟降之最低溫,將整理出的圖表大致分為 W 型(即傳統說法的 M 型),以順利找出我們需要的資料點。整體而言,我們在這個課題的學習中,瞭解了福衛三號的資料如何應用在科學學習的用途上,也學會資料處理並將資料整理分析,找出我們要的答案,甚至可以驗證我們在課本上學不到的內容,找到更深入的問題及答案,探索的過程中,收穫很多。

## 柒、結論

- 一、 在對流層內,溫度隨高度下降,且每上升 1 公里,氣溫下降約 6.5°C。



- 二、 對流層的高度並不是像教科書上的圖顯示的，而是會變動的，變動的幅度比想像的還大，我們認為應該受天氣系統影響頗大。
- 三、 對流層在緯度較低時厚度較厚，而在緯度較高時厚度較薄，但並不是隨緯度增高而厚度降低，而是約在 35~45°N 之間會有驟降的趨勢，整理如表 7-1，由資料推測，可能是因為太陽照射角度影響範圍，導致其緯度高的地方受日照影響，所以對流層厚度在某區小範圍的緯度之間呈現驟降的形式。

▼表 7-1 2007~2012 取冬季 001~003 對流層厚度驟降的緯度範圍及厚度數據

年分	驟降緯度	驟降差	低緯數據	高緯數據
2007	39.28°N~40.07°N	4.79(km)	15.89(km)	11.10(km)
2008	43.14°N~50.76°N	9.3(km)	16.89(km)	7.59(km)
2009	42.33°N~42.59°N	9.01(km)	19.2(km)	10.19(km)
2010	24.65°N~38.77°N	7.8(km)	16.6(km)	8.8(km)
2011	47.36°N~47.61°N	10.59(km)	19.89(km)	9.3(km)
2012	40.3°N~42.63°N	7.71(km)	17.6(km)	9.89(km)
平均	39.51°N~43.73°N	8.2(km)	17.68(km)	9.48(km)

上述三點，第一點與所學理論相符，顯現大尺度的範圍中，大氣條件較為接近溼空氣遞減率。第二點，雖然知道對流層頂的高度各緯度並不相同，但是分析完資料才瞭解，變動原來這麼大，算是學到了新的一課。第三點，後來找到對流層厚度在 35~45°N 之間有驟降的趨勢讓我們驚喜，這是我們沒有想像過或學過的現象，雖然目前我們不是很清楚這現象是否有合理的解釋，但是可提供將來我們做進一步的延伸及探討。

## 捌、參考資料及其他

### 一、引用專書

(一)戚啟勳(民 97)。**大氣科學**。台北縣：弘揚。

### 二、網站

(一)台灣衛星資料分析中心(TACC): <http://tacc.cwb.gov.tw/>

(二)《DigitalTyphoon:TyphoonImagesandInformation》數位颱風影像資料庫網站：  
<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/index.html.en>

## 【評語】 040507

這個課題運用了福衛三號的觀測資料，探討北半球對流層在經度方向的物理特性，並做了許多有意義的整理，獲得一些大尺度的觀察，可以強化並支持目前在對流層的一些研究結果。該研究若能多參考前人在這方面的研究成果，並融合在自己的成果裡做比較，會得到更深入的結論。

1. 結論明確，並可以感覺出對此次研究發現的驚喜感，而關於中緯度對流層高度驟降的現象，建議可多加閱覽對流層相關資料，包括隨高度增加而降溫的幅度、對流層的定義等。另外須注意以3天數據代表一個季節進行探討過於武斷，應多加收集資料以取得平均。對於大氣運動的基本原理還可再加強。
2. 針對的問題明確但嫌太簡單。使用的資料不夠全面，成果的呈現亦欠精準，科學意義較弱。