應用衛星影像資料估算鋒面降雨

呂貴寶　　潘大綱　　游安吉

空軍氣象中心

摘　要

應用衛星影像資料估算鋒面降雨的目的在於建立鋒面降雨的估算模式，以期應用衛星影像資料掌握不利飛行安全的降雨因子以維護飛行安全。

本研究爲利用衛星紅外線影像資料，由其中的五項統計參數（平均亮度溫度、最低亮度溫度、標準偏差以及小於273K和268K的雲面積）建立估算降雨的迴歸模式。研究結果發現估算鋒面降雨的最佳迴歸模式對降雨率的相關係數達70.8%；在單一參數的迴歸模式中，對降雨率的相關係數最高的是最低亮度溫度，其值達61.66%，而最低的是小於273K的雲面積，其值僅爲18.20%；而在統計資料方面發現鋒面降雨的雲系統多爲中低層的層狀雲，另有些發展不高的積狀雲發展於其中，而此積狀雲爲鋒面降雨貢獻最大者。

一、前言

應用衛星資料估算降雨的研究在國外於1960年代即已開始研究，其後至今已發展出許多不同的方法，其中大致可略分爲如下三類：

1. 雲生命史法(Cloud Life-History Method)：(Griffith et al., 1978; Stout et al.,1979) 利用同步衛星的紅外線和可見光影像資料並比較雷達資料，追蹤對流雲系統，由其生命期的變化建立估算降雨模式。
2. 雲指數法(Cloud Index Method)：(Barrett., 1970, 1971; Barrett and Martin., 1981)此法爲在整個對流雲系統中，假設降雨量爲雲面積及雲類雲高的函數，應用NOAA衛星資料做長時間大面積的降雨估算。
3. 型態確認法(Pattern Recognition Method)：(Wu et al., 1985; O'sullivan et al., 1990) 此法爲在衛星影像中的特定面積內計算出若干影像資料的統計值，依照這些統計值與實測降雨率間的相關性，將此面積內的影像定義爲某種特定的降雨型態（如大雨、中雨、小雨和無雨），大致國外在本研究的準確率約爲百分之50－70間，若以雙頻道（IR及VIS)估算兩種降雨型態（有雨及無雨），其準確率可達百分之八十左右。

國內在本方面的研究尚在初始階段，劉等研究者在1992年曾利用型態確認法及雲指數法在臺灣地區建立了衛星對流性降雨估算模式。在1991年6月21至24日的對流性降雨個案中，劉等在臺灣地區依地域的不同而區分出六塊樣本研究區，同時爲了找出最佳研究區域面積而設定三種研究區域，分別爲10×10、8×8與5×5像元區域，研究結果顯示：1.各區域所建立的模式其準確率分別50－65%左右。2.最佳研究面積爲10×10像元。3.臺灣地區的對流性降雨特性會隨著地域的不同而有差異。4.經由卷雲的濾除確實可以增進模式估算降雨的準確率，但效果有限。

應用衛星資料估算降雨的優點之一就是資料本身具有很好的空間連續性和不錯的時間解析度(GMS

衛星的資料接收時間間隔爲一小時），所以無論是大範圍的水汽收支上的研究，或是發展快速的對流性降雨的研究，衛星資料都是不可或缺的重要工具之一。

本研究的主要動機有如下兩項：1.臺灣地區的冬季降雨多半由鋒面及其後之雲帶引起，通常由於降雨率不大，所以造成災害性的降雨並不多見，不過由其引起的間歇性豪雨卻對飛航安全構成不小的威脅，因此，站在維護飛航安全的立場，冬季的降雨估算是有其必要的。2.劉等(1992)的研究爲針對夏季對流性降雨，而此等降雨所衍生出來的砧狀雲層對模式的降雨估算會造成不小的誤差，雖然可以透過可見光資料將此雲層的影響降低，但效果有限；臺灣地區的冬季雲層由於大多發展不高，因此高層卷雲導致降雨估算誤差的情形似可避免，本研究即爲在不考慮高層卷雲的情形下，透過迴歸模式的運算找出臺灣地區鋒面降雨的估算模式，並以劉等（1992）的研究結果比較之。

二、資料

㈠資料時間

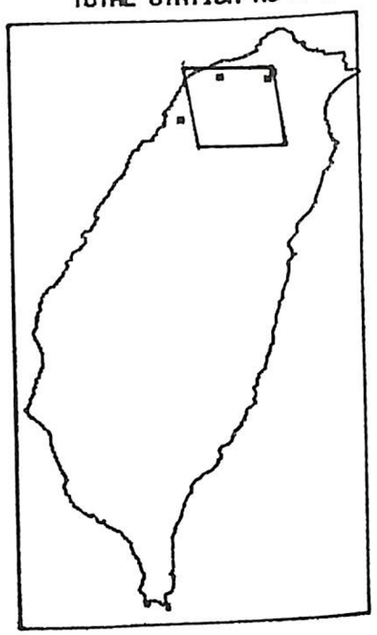
本研究中的鋒面降雨個案時間爲1992年12月15、16以及28日其中的衛星影像資料爲在上述時間內的紅外線逐時影像資料，而地面雨量觀測資料亦爲在上述時間內的逐時降雨量資料，衛星及地面觀測的資料時間如表一所示。12月25日的18個逐時統計資料作爲討論各參數與地面雨量觀測值間相關性的樣本。

表一　衛星及地面觀測資料時間表

日　　期	資料個數	備　　註
1992.12.15	18	逐時資料
1992.12.16	11	逐時資料
1992.12.28	23	逐時資料

㈡資料處理：

本研究中的地面降雨資料乃利用研究區域（10×10像元）內的四個測站觀測值平均而得。研究區域的選擇乃以25.4° N、122° E 的像元爲準，向左移動19個像元並向下移動 6 個像元，以此位置分別向右及向下各取10個像元，即爲本研究中的研究區域，此區域將能包括北部的大部分區域；在此 4 個測站中的新竹測站處於研究區域的左外緣，但在地面測站不多的情形下爲了配合衛星資料，顧及地面降雨資料的區域平均性，故仍將之加入計算。研究區域及地面觀測站的分佈如圖 1 所示。

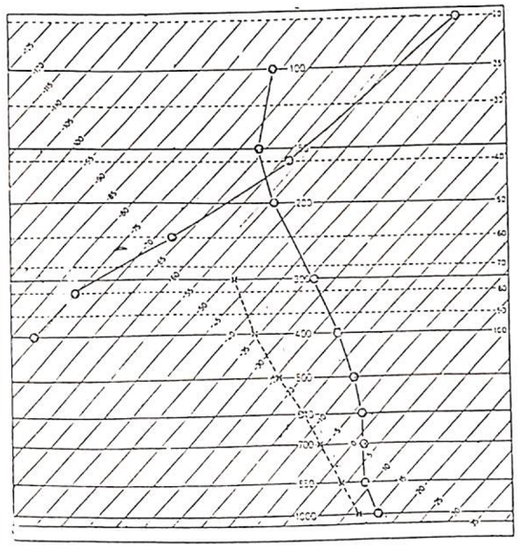


圖一　研究區域及地面觀測站分佈圖

三、方法：

本研究爲利用型態確認法並參酌雲指數法（劉等，1992），即在一定的研究區域內找出衛星影像資料的統計參數與實測資料(Ground Truth)間的相關性，並依此相關性找出迴歸模式，再由此模式估算逐時降雨量。由於本研究的目的在於鋒面的降雨估算，而此類降雨系統在台灣的影像範圍多在北部地區，所以本研究中的研究區域設定在北部的一個10×10像元的區域。

本研究中的統計參數各爲研究區域中的平均亮度溫度、標準偏差、最低亮度溫度以及亮度溫度小於273K和268K的雲面積，而雲面積乃以像元總數表示之。上述參數中，平均亮度溫度、最低亮度溫度以及標準偏差的選取依據與劉等（1992）的定義相同，而雲面積的選取依據則依雲類在冬季降雨的特性而定。一般而言，台灣北部地區冬季降水主要以層狀雲降水爲主，偶有積狀雲發展於層狀雲中，致使降水現象較爲明顯，但此類積狀雲的發展高度較春夏季的積狀雲的發展高度低甚多，基本上，當雲系統發展至 8000至15000呎以上時，地面上的降雨現象較易造成，據冬季北部人造雨的經驗亦可知，造成地面降水的雲系統，其垂直發展的高度常在8000至10000 呎以上。另據桃園測站12月份探空平均大氣曲線，如圖二所示（劉等，1985），以及桃園測站12月份探空基本資料氣候值，如表二所示（劉等，1985），可知8000至15000 呎左右的溫度約-5℃，因此本研究中計算雲面積的參數有二，其一爲273K（即 0 ℃），此溫度爲水的冰點，其二則爲上述的268K（即-5℃）。



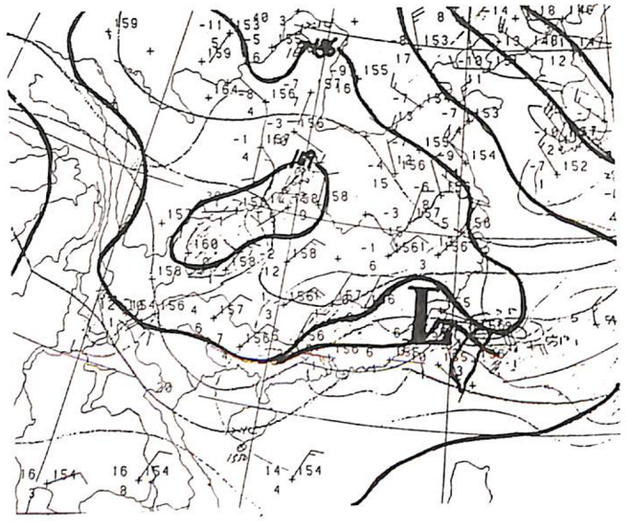
圖二　桃園測站12月份探空平均大氣曲線（45－70年）

表二　桃園測站12月份探空基本資料氣候值（45－70年）

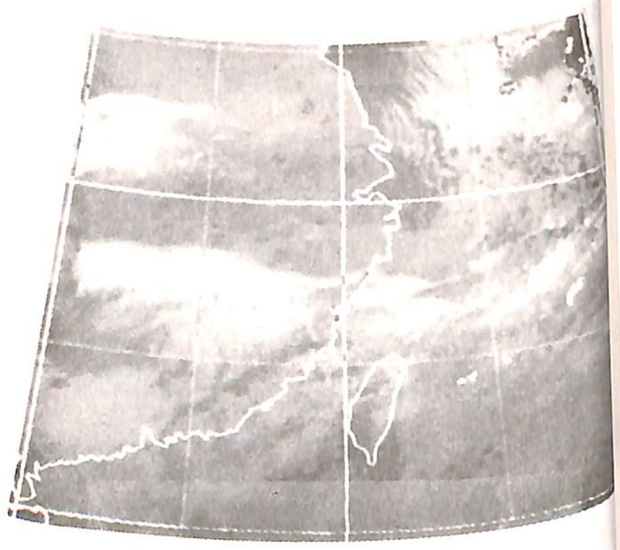
項目／數值／氣壓層 (mb)	高 度 (GPM)	溫 度 (℃)	露 點 (℃)	風向 (度)	風 速 (kts)
10	30798	-41.9		090	18.2
20	26228	-50.4		084	11.1
40	21806	-58.6		255	9.5
60	19316	-67.0		254	22.8
80	17626	-75.2		256	11.3
100	16354	-76.1		255	67.4
150	13985	-66.5		254	88.6
200	12201	-54.2		256	101.4
300	9495	-34.0	-48.5	258	87.2
400	7428	-20.0	-35.9	257	69.7
500	5749	-10.2	-24.0	257	53.8
600	4332	- 3.0	-13.9	255	35.6
700	3106	2.0	- 5.0	247	18.3
850	1525	8.6	4.8	085	8.3
1000	171	15.6	12.6	057	11.9
SFC	1021.0 (mb)	16.3	13.4	057	9.3

四、結果

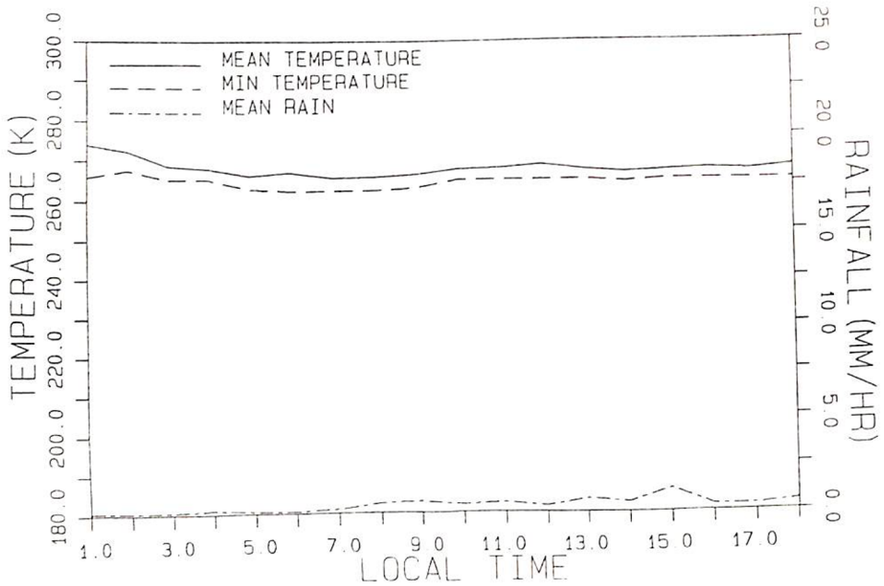
圖三爲1992年12月15日00Z 850Hpa天氣圖，由圖中可知本省北部正處於鋒面影響範圍內，圖四爲同上述時間的紅外線衛星雲圖，由圖中亦可知本省北部正處於鋒面雲帶之內，但由雲帶的灰度值可判定此類雲系統發展的並不高。12月15日中的18個逐



圖三　1992年12月15日00Z 850Hpa天氣圖

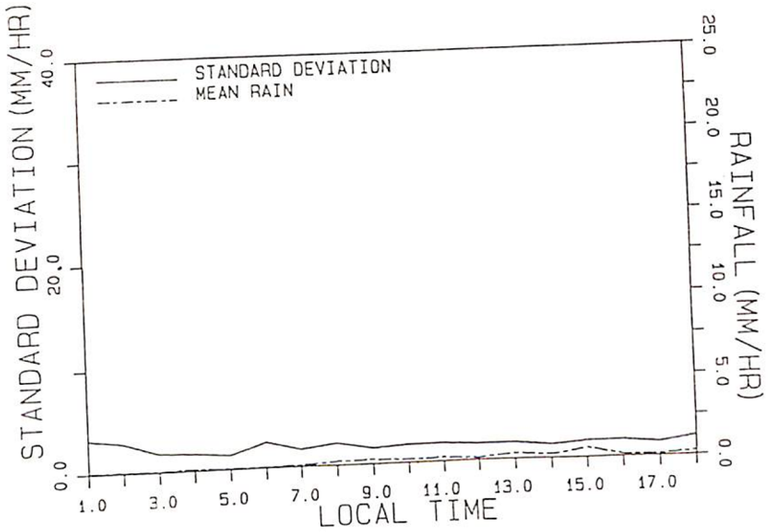


圖四　1992年12月15日00Z紅外線衛星雲圖

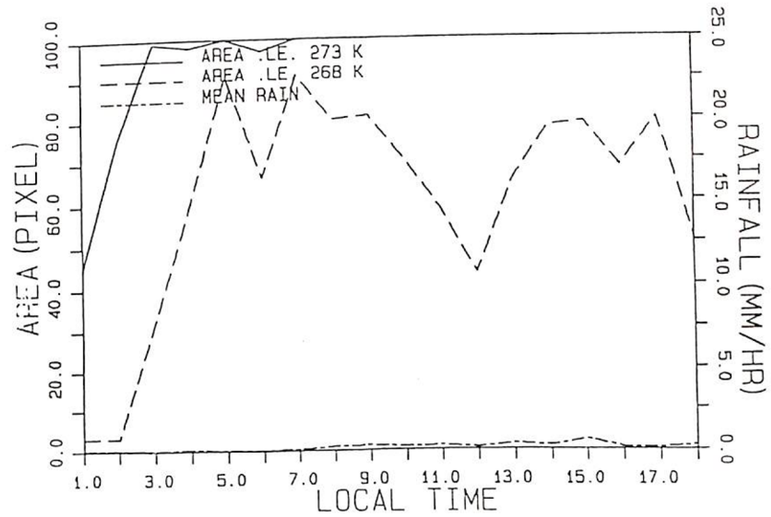


圖五　研究區域內平均亮度溫度、最低亮度 溫度與平均降雨率的比較圖

時資料的 5 個影像統計參數與區域內的平均降雨率的相關性分別如圖五、六、七所示，由圖五中可知無論平均亮度溫度或是最低亮度溫度，在模式討論的時間內的變化都不大，而二者間溫差亦不大，充分顯示出層雲的均勻特性，而在與平均降雨率間的相關上則可見亮度溫度與平均降雨率間大約成反比的現象。圖六中由數值不大且變化不多的標準偏差值可見層狀雲的均勻特性依然明顯地顯示出來。圖七中則大致可以看出來雲面積與平均降雨率成正比的情形。表三是所有52個逐時資料的 5 個影像統計



圖六　研究區域內標準偏差與平均降雨率的比較圖



圖七　研究區域內雲面積（<273K及<268K）與平均降雨率的比較圖

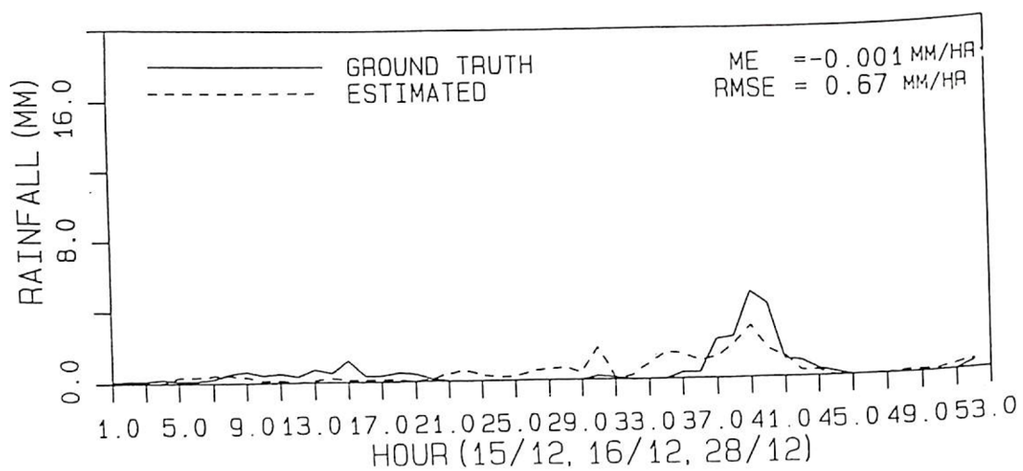
參數與平均降雨率間的迴歸係數與相關係數一覽表，由表中可知在單一參數中，最低亮度溫度與平均降雨率的相關性最佳達61.66%，而小於273K的雲面積的相關性最差，只有18.2%，在多重參數中，5 個參數共用的迴歸模式相關性最佳，達70.8%，故本研究中以 5 項參數合用的迴歸模式作爲估算降雨的最佳模式。而 4 個參數合用的模式中（小於268K的雲面積除外），迴歸模式亦達到70.51%，若與劉等（1992）的結果比較，可以發現除了雲面積外，其他任何單一或多重參數的迴歸模式，本研究中的相關性皆較高。

表三　各影像統計參數與平均降雨率間的迴歸係數與相關係數一覽表

編號	迴歸變數	係數值	相關係數
1	A0,A1	19.59 ,-7.02	43.15%
2	A0,A2	-0.06 ,0.13	51.01%
3	A0,A3	19.04 ,-0.07	61.66%
4	A0,A4	0.24 ,0.004	18.20%
5	A0,A5	0.22 ,0.008	28.97%
6	A0,A1,A2	17.24 ,-0.06 ,0.12	64.09%
7	A0,A1,A2,A3	20.75 ,-0.05 ,0.07 ,-0.03	64.69%
8	A0,A1,A2,A3,A4	55.43 ,-0.13 ,-0.04 ,-0.07, -0.02	70.51%
9	A0,A1,A2,A3,A5	35.22 ,-0.08 ,0.03 ,-0.05, -0.009	66.70%
10	A0,A1-A5	58.41 ,-0.14 ,-0.05 ,-0.07, -0.02 ,-0.004	70.80%

A0：常數項　A1：平均亮度溫度　A2：標準偏差　A3：最低亮度溫度

A4：雲面積(<273K)　A5：雲面積(268K)



圖八　由最佳迴歸模式應用在所有52個資料中的估算與實測降雨率的比較圖，其中ME爲平均誤差，RMSE爲均方根誤差

圖八是由最佳迴歸模式應用在所有52個資料中的估算與實測雨率比較圖，由圖中可知大致上估算與實測的趨勢變化尚稱配合，而由平均誤差爲-0.001可看出，本模式運用在長時間的雨量統計上具有較佳的能力，由均方根誤差爲0.67 mm/HR，可知估算與實測降雨率間的誤差值並不大，以飛航安全的角度上而言應是在允許的範圍內。

表四　劉（1992）與本研究的統計結果比較總覽

劉(1992)的統計結果					本研究的統計結果					
平均溫度	標準偏差	最低溫度	雲面積		平均溫度	標準偏差	最低溫度	雲面積		
			(<253K)	(<210K)				(<273K)	(<268K)	(<263K)
257.12	5.57	248.2	30	0	273.99	3.33	266.01	45	3	0
255.95	12.59	206.6	51	0	272.40	2.90	267.73	76	3	0
239.51	21.32	228.8	64	0	268.80	1.84	265.43	99	32	0
218.19	15.37	209.3	94	47	268.09	1.69	265.43	98	60	0
265.05	10.08	241.5	13	0	266.41	1.43	263.07	100	91	0
249.97	20.45	203.8	45	1	267.19	2.60	262.47	97	66	1
259.39	7.25	227.9	21	0	265.74	1.77	262.47	100	91	3
259.67	8.95	208.0	26	0	265.91	2.26	262.47	100	80	3
251.11	19.70	238.3	51	0	266.47	1.67	263.07	100	81	0
232.88	27.12	209.3	70	31	267.48	1.84	264.84	100	70	0
269.82	14.96	228.8	18	0	267.72	1.83	264.84	100	58	0
259.78	18.73	245.3	24	2	268.48	1.65	264.84	100	43	0
261.31	11.53	242.3	30	0	267.33	1.64	264.84	100	65	0
261.60	5.62	213.0	3	0	266.62	1.38	264.26	100	78	0
263.00	18.56	234.2	35	0	266.97	1.67	264.84	100	79	0
256.75	25.57	253.0	40	2	267.38	1.66	264.84	100	68	0
263.47	12.89	242.3	22	0	267.05	1.36	264.84	100	80	0
270.08	9.65	205.2	7	0	268.02	1.84	264.84	100	51	0
270.16	9.20	220.9	29	0	270.15	2.17	266.58	88	14	0
252.66	3.91	203.8	64	0	273.07	1.73	269.42	55	0	0
255.61	9.78	209.3	51	0	275.61	2.52	271.08	18	0	0
260.56	20.60	209.3	24	0	274.92	1.58	272.17	9	0	0
261.16	10.45	219.9	26	0	273.15	1.78	269.42	47	0	0
270.67	7.45	209.3	1	0	272.40	1.84	268.86	59	0	0
257.69	6.71	196.0	30	0	273.13	1.14	270.53	49	0	0
226.61	14.53	218.8	92	1	274.75	1.59	272.17	16	0	0
218.38	10.58	200.8	97	11	274.90	1.73	272.17	11	0	0
264.42	13.22	211.8	15	0	275.25	1.46	273.26	0	0	0
230.59	22.70	197.6	76	26	276.67	2.50	273.26	0	0	0
249.40	18.40	200.8	56	2	263.32	8.56	248.18	82	76	46
242.64	17.28	202.3	68	0	279.21	6.09	264.26	20	10	0
221.78	4.42	215.4	100	0	282.90	4.82	260.65	3	3	1
221.22	4.87	202.3	100	2	274.12	10.98	253.00	38	34	23
247.46	15.68	202.3	55	0	268.76	12.89	248.88	53	49	40
223.24	13.58	211.8	95	10	273.44	9.19	249.59	36	23	17
219.30	17.88	209.3	98	48	275.65	4.93	257.54	24	4	3
235.34	12.71	213.0	88	0	274.73	8.78	251.65	32	15	13
227.12	4.79	205.2	100	0	275.34	17.52	242.27	54	50	45
235.55	7.03	213.0	100	0	264.46	11.56	243.04	87	78	68
233.93	13.57	200.8	93	7	255.93	9.37	248.10	48	35	23
232.21	14.92	220.9	91	6	270.38	6.76	253.00	32	17	8

五、討論

表四爲本研究與劉（1992）的統計結果比較總覽，劉（1992）的研究樣本資料時間爲1991年6月底的春夏季降雨天氣型態，而本研究的樣本資料時間爲1992年12月底的冬季降雨天氣型態，在此二種截然不同的天氣型態中，各影像參數的差異及其代表的不同特性，可以在表四中窺得大概。在平均亮度溫度方面可以看出，冬季降雨雲的值較春夏季降雨雲的值高甚多且逐時之間的變化亦較之小很多，最低亮度溫度上亦可顯示出，本研究中的降雨雲的值遠大於劉（1992）研究中的值，由此可以明顯的得知冬季本省北部的降雨雲平均發展高度不高且非常平均，而在雲中若有對流積雲發展亦發展的不高，最高只能達到 -30℃左右，由此可見影響本省北部的鋒面降雨雲系統大致上是中低層雲，偶有積狀雲發展於其間，但發展不高，因此在劉（1992）的研究中發現因强烈對流造成的卷雲干擾估算降雨結果的可能性在本研究應可降至最低。

本研究中的標準偏差數值明顯的較劉（1992）研究中的值低甚多，由此可見研究區域內的積雲發展在鋒面降雨型態上遠較春夏季的降雨型態低且弱。

在雲面積上可以看出來鋒面降雨雲系統大多集中在263K以下的高度，縱使雲系統中的積狀雲能夠發展到263K以上的高度，其區域的平均亮度溫度亦與其他時間內的值相差不多，由此可見積狀雲的發生僅只佔研究區域內的小部分面積，其餘絕大部分爲層狀雲系統。

由表三中的單一迴歸參數中，發現雲面積參數較之劉（1992）的雲面積參數的相關係數低很多，這也是層狀雲降雨的特徵之一；層狀雲由於發展不高且均勻，因此降雨率與雲面積大小的相關性甚低，這與夏季的對流性積狀雲團其雲頂因對流而衍生出來的砧狀雲層，其大小與降雨率大小有直接相關的情形不同。在表三中的標準偏差項中可發現降雨率與標準偏差的大小成正比，亦即標準偏差愈大，則降雨愈大，反之亦然，這與劉（1992）研究中的春夏降雨情形亦有所不同，這可能是由於鋒面降雨的貢獻主要是來自雲系統中的積狀對流雲，積狀對流雲愈多則降雨率愈大，而積狀雲愈多則標準偏差愈大。在多重迴歸係數項中編號8的四項參數模式的相關係數達71.51%，此僅較編號10的5項參數模式的相關係數僅低 0.29%，這顯示在最佳估算降雨模式中小於268K的雲面積似乎對估算的結果影響不大。

總結以上，在最佳降雨估算模式與降雨率的相關上，鋒面降雨系統的相關係數較春夏降雨的相關係數稍大，這應該是鋒面降雨系統上因卷雲而造成降雨誤判的情形降至極少的結果，不過本研究中的地面雨量測站的稀少及分佈不勻所造成的誤差亦不可忽略，所幸鋒面降雨系統正如上述分佈均勻，故因測站因素造成的誤差應不致太大，不過若地面測站數增加且分布均勻，則建立的迴歸模式準確度亦不止本研究中的結果。

六、結論

鋒面降雨的估算，本研究在樣本資料不多且地面雨量測站並不完全的情形下，得到如下的結論：

1. 造成降雨的雲系統多爲中低層的層狀雲，而少數發展其中的積狀雲，發展高度並不高，但爲造成大雨量的主要原因。
2. 鋒面降雨雲系統因沒有（或極少）卷雲造成估算誤判，因此可以僅用紅外線衛星影像資料估算降雨，且其迴歸估算模式與降雨率間的相關係數較春夏季得到的模式的相關係數爲高。
3. 以飛航安全的觀點而言，降雨的估算重要的並非雨量的多少，而是在「大雨」、「小雨」或「無雨」的特性估量，亦即所關心的應該是達到造成跑道溼滑的降雨閾值上的決定，至於大於此閾值的量或小於此閾值的量皆非重要。而本研究的估算模式上已能掌握降雨的型態變化，對於上述閾值應能掌握。
4. 由本研究及劉（1992）的研究發現各季節的降雨雲系統型態差異甚大，因此在降雨估算模式的建立上，應同時建立各季節的降雨估算模式。
5. 由鋒面降雨雲系統與春夏對流降雨雲系統的比較發現各種雲類的降雨特性各不相同，因此建立各雲類的降雨估算模式亦屬必要。

致　謝

本研究之順利完成承賴李紀恩課長之指正與策勵以及李仲君先生之協助，在此一併致謝。

參　考　文　獻

Barrett, E.C., 1970: The estimation of monthly rainfall from satellite data. Mon. Wea. Rev., 98, 322-327.

Barrett, E.C., 1971: The tropical Far East: ESSA satellite evaluations of high season climatic patterns. Geog. J. 137, 535-555.

Barrett, E.C., and D.W. Martin, 1981: The Use of satellite data in rainfall monitoring. Academic Press, 340pp.

Griffith, C.G., W.L. Woodley, P.G. Grube, D.W. Martin, J. Stout, and D.N. Sikdar, 1978: Rain estimation from geosynchronous satellite imagery—visible and infrared studies. Mon. Wea. Rev., 106, 1153-1171.

Negri, A.J., and R. F. Adler, 1987a: Infrared and visible satellite rain estimation. part I: A grid cell approach. J. Climate appl. Meteor., 26, 1553-1564.

Negri, A. J., and R.F. Adler, 1987b: Infrared and visible satellite rain estimation. part II: A Cloud definition approach. J. Climate appl. Meteor., 26, 1565-1576.

O'Sullivan, F., C. H. Wash, M. Stewart, and C. E. Motell, 1990: Rain estimation from infrared and visible satellite GOES data. J. Appl. Meteor., 29, 209-223.

Rainbird, A. F., 1969: Some potential applications of meteorological satellites in flood forecasting. In Hydrological forecasting, Proceedings of the WMO-Unesco Symposium on Hydrological Forecastings, Australia. World Meteorological Organization, Technical Note No. 92, WMO No. 228, TP. 122, 73-80.

Stout, J. E., D.W. Martin and D.N. Sikdar, 1979: Estimating GATE rainfall with Geosychronous satellite image. Mon. Wea. Rev. 107, 585-598.

Tsonis, A. A., and G.A. Isaac, 1985: On a new approach for instantaneous rain area delineation in the midlatitudes using GOES data. J. Climate Appl. Meteor., 24, 1208-1218.

Wu, R., J. A. Weinman, and R. T. Chin, 1985: Determination of rainfall rates from GOES satellite images by a patern recognition technique, J. Atmos. Oceanic technol., 2, 314-330.

劉廣英、葉文欽、張儀峰，1985：台灣區探空氣象因子量氣候參考值之分析，行政院國家科學委員會專題研究；研究報告013號，120－122。

劉振榮、呂貴寶、徐天佑，1992：應用同步衛星資料估算台灣地區對流降雨。大氣科學，20，233－264。

Applying Satellite Image Data To Estimate The Frontal Rainfal

Kuei-Pao Leu Peter Dagang Pan An-Jyi Yu

Weather Central, Weather Wing
Chinese Air Force

ABSTRAT

Creating a rainfall estimative model is the aim of applying satellite data to estimate frontal rainfall. We expect the flying safety be gotten by utilizing the satellite image data.

This research is going to create the rainfall estimative model with regressive method by using five statistics parameters (the mean brightness temperature, the minimum brightness temperature, the standard deviation and the cloud area which is little than 273K and 268K). The result of this research is that the corelation coeficient between the frontal rainfall estimative model and the ground truth is 70.80%. For one parameter regressive model, the highest and lowest corelatoi coficients with ground truth are 61.66% (the minimum brightness temperature) and 18.20% (the cloud area which is little than 273K) respectively. For statistic's datum, we find the cloud pattern at frontal rainfall time is almost stratus, sometimes some cumulus develloping in it, and the rare cumulus is the most reason result in rainfall.