

應用衛星影像合成IRVIS雲圖預報深對流與對流潛在發展區之研究

呂貴寶 潘大綱 徐天佑

空軍氣象聯隊

摘要

臺灣地區夏季午後之對流天氣系統對飛行安全常造成相當之危害，由於對流天氣系統之發展非常快速，一般天氣預報系統較難以掌握其動態。本文即利用同步衛星之紅外線與可見光影像合成為IRVIS影像，藉以區分出深對流區與對流潛在發展區，進而對深對流系統作一有效之預報。

以1994年8月23日及1995年8月8日之資料驗證可得，IRVIS影像約略可以預報夏季天氣型態中1-2小時之深對流系統。

一、前言

早期TIROS-1氣象衛星啓開了氣象預報員在定位天氣系統上的新紀元，而在1960年代中期以後，隨著同步氣象衛星之運作，氣象預報員更能在時間解析度上準確地掌握天氣系統的變化；衛星觀測技術與應用上的不斷進步，同時也不停止地促進預報技術的提升。爲了能獲得準確的天氣預報以保障百姓的生命財產安全，氣象衛星與雷達資料已成爲氣象預報員不可缺少的重要工具。

夏季午後由於熱力輻射作用，常在本省各地造成大小強弱不一的對流性天氣現象。此類對流性天氣系統由於生命期短，不易守視，因此對於飛行安全常造成不小的威脅。雖然有許多工具能夠即時測得劇烈對流的區域，例如雷達系統(Radar System)與落雷偵測系統(Lighting Detecting and Positioning System)，衛星影像資料(Satellite Image Data)等，但是截至目前卻沒有一套方法能將潛在會發生劇烈對流系統的區域顯現出來。本研究中利用紅外線與可見光影像合成爲可以顯現深對流區域與對流潛在發生區域，稱之爲IRVIS雲圖。由於本研究乃主要針對夏季之對流系統，故在資料之模式建立與驗證上均採用夏季之影像資料，因此本文中之IRVIS雲圖，其適用乃以夏季型態之天氣爲主。

本研究共分爲三個部分；第一個部分爲衛星影像分析與閾值之計算，即根據衛星及輻射基本理論，利

用雲分類結果，定義出深對流區與對流潛在發展區之閾值。第二部分爲影像處理；即利用影像處理技術，以第一部分之結果，將紅外線與可見光衛星影像合成爲IRVIS影像。第三部分爲對流發展區域之預報；即在IRVIS雲圖中，配合本研究歸納的理論，利用比較分析的方法，對深對流及對流發展區做歸類及預報。

二、資料

本研究中之衛星資料爲{GMS-04}中的紅外線與可見光影像資料，而驗證資料分爲地面測站觀測資料與落雷偵測資料；地面測站共有七處，即松山、桃園、新竹、清泉崗、岡山、屏東、及宜蘭等測站，其中除松山測站爲民航局所有外，其餘各站均爲本軍所有。落雷偵測系統爲台電所有，舉凡臺灣地區之空對地或地對空放電，皆能偵測而記錄之。上述之衛星影像皆先以簡易定位法定位之，由於可見光影像中之灰度值(Grey Level)乃隨太陽位置之不同而改變，故每小時之可見光影像均經過天頂角之訂正，使各時間之影像灰度值均以中午12時之灰度值標準化，如此始得以統一計算比較。爲了配合可見光之有效時間，本研究所使用之資料時間均爲上午8時至下午17時。

三、方法

紅外線影像中之灰度值與雲頂溫度值成反比例關係，而可見光影像中之灰度值與雲之厚度值成正比例

關係；因此，發展得既高又厚的深對流雲與發展得不高的層狀雲即很容易地可以由紅外線與可見光雲圖中區隔出來，但對於正在發展中的對流雲系統而言，因發展的高度不夠，可能與層狀雲間產生混淆，並不能明確地區分出來；不過對流雲系統一般均具有雲厚且發展快速的特點，而層狀雲的特點則為不易發展且發展的較均勻，因此本研究中首先將層狀雲中具有一定厚度的雲區(可能是發展中的對流雲)設定為對流潛在發展區，再比較連續雲圖間之對流潛在發展區，若原先沒有對流潛在發展區的地區出現對流潛在發展區雲團，或原先的對流潛在發展區中有雲團正在發展，則即設定為對流發展區。不過若對流潛在發展區之雲團並無繼續發展之現象，則推估可能是熱力或是動力上之能量供應不足導至無法發展為深對流系統，故在本研究中即取消原先所設定之對流發展區域。

Liljas(1982)曾利用紅外現與可見光影像區分雲與地表，並將雲類系統做各種型態之分類；Austin(1979)亦曾利用紅外線與可見光影像將降水區域區分出來。本研究則是利用紅外線與可見光影像將深對流區域與對流潛在發展區域區分出來。

在可見光影像中，各個時間中各個像元相對於太陽之天頂角皆各不相同，這將造成各個像元之灰度值間沒有一定的比較標準，因此在合成IRVIS雲圖前，首先必需將可見光中各像元之灰度值統一標準化，如劉等(1992)。IRVIS雲圖即是利用標準化後之可見光雲圖的各像元灰度值乘紅外線雲圖的各像元灰度值，同時為了使IRVIS雲圖之灰度值表現在0與255間，最後必需再除以255，其數學之運算過程如后：

$$\alpha_{IRVIS} = (\beta_{IR} \times \tilde{\gamma}_{VIS}) \div 255$$

$$\tilde{\gamma}_{VIS} = \gamma_{VIS} \times 1 / (\cos \theta_{\theta})^{1/2}$$

θ_{θ} :天頂角

α_{IRVIS} : IRVIS影像中每一個像元內之灰度值

β_{IR} : 紅外線影像中每一個像元內之灰度值

γ_{VIS} : 可見光影像中每一個像元內之灰度值

$\tilde{\gamma}_{VIS}$: 天頂角修正後之可見光影像中每一個像元內之灰度值

合成IRVIS雲圖之最候步驟即是以色區表現出深對流區域與對流潛再發展區域。劉(1993)曾利用監督性(supervised)分類法將夏季型態之雲類系統區分為五類(如表1)，利用表1中之卷雲類、積雲類及層雲類的平均灰度值與灰度值的標準偏差值即可定義出深對流區、對流潛再發展區和無對流發展區之閾值。在

設定閾值方面，首先將卷雲類設定為無對流發展區域，其閾值設定為紅外線影像之灰度值大於或等於192.1，可見光影像之灰度值小於143.2，其次再將IRVIS雲圖中之灰度值大於或等於164.8之區域定義為深對流區，灰度值小於64.3之區域定義為無對流發展區，而介於此兩閾值間之區域則設定為對流潛在發展

Classification	Mean Grey Value	Standard Deviation
Sea	IR	102.9
	VIS	54.4
Land	IR	85.3
	VIS	84.5
Cirrus	IR	207.6
	VIS	116.8
Cumulus	IR	230.2
	VIS	212.5
Stratus	IR	162.1
	VIS	172.0

表 1：五類樣本之灰度值統計特徵。

區。最後再將對流潛在發展區之灰度值乘3/5，無對流發展區之灰度值乘1/5，而深對流發展區之灰度值則保持原灰度值，如此則可將三種定義區域明顯地以白、灰即黑色區表示出來，如表2所示，而各色區中亦可以顯示出各色區內灰度值之變化，如此即可即時顯示出對流潛在發展區中之對流雲系統之發展狀況，上述至此即已完成IRVIS雲圖之合成，IRVIS雲圖之使用流程如圖1所示。

IRVIS雲圖之灰度值	設定狀態	色區
大於或等於164.0	深對流區	白(原灰度值*1)
小於64.3	無對流發展區	黑(原灰度值*1/5)
大於或等於64.3 小於164.0	對流潛在發展區	灰(原灰度值*3/5)

表 2：IRVIS雲圖中三種定義區特徵。

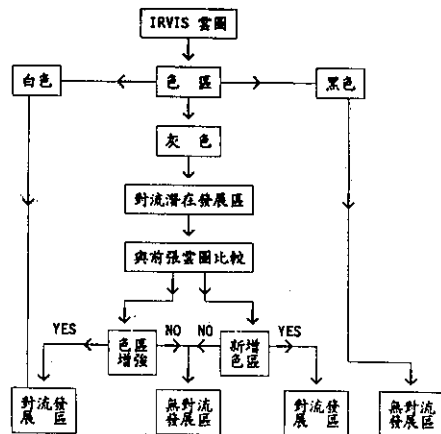


圖 1：IRVIS之使用流程。

四、結果

本研究利用1994年8月23日與1995年8月8日08時至17時之紅外線與可見光影像合成IRVIS雲圖並驗證及討論此雲圖定義之深對流區與對流潛在發展區的準確度，不過由於本研究中之對流雲系統在中午已後始見發展，所以文中僅以12時至17時共六張IRVIS影像為驗證討論之樣本。

個案一

圖2為1994年8月23日08時至17時之同步氣象衛星(GMS)之紅外線雲圖，圖中顯示大約下午14時以後臺灣西北部地區開始有對流系統發展，並逐漸發展至中南部地區。雖然由紅外線雲圖中可以看出對流雲系之區域，但卻不能讀出其發展狀況，更不能區別深對流區域與對流潛在發展區域，因此僅以紅外線衛星雲圖

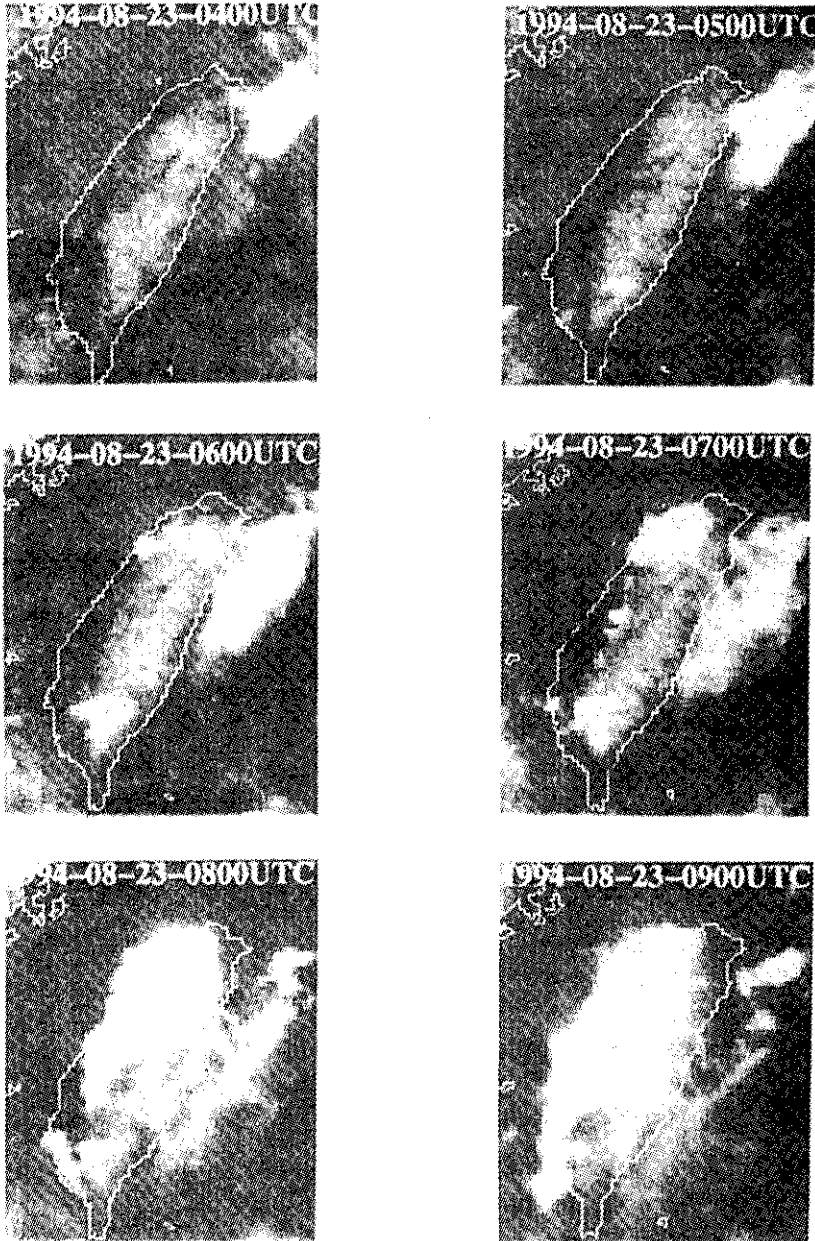


圖 2：1994年8月23日12至17時之紅外線雲圖。

並不足以提供預報人員做有效地掌握預報對流雲系統之發展的時間和區域。圖3為1994年8月23日12時至17時之IRVIS雲圖，圖中最明顯的特徵即是僅有三種色區，即白色、灰色與黑色等色區。此三種色區分別表示深對流、對流潛在發展與無對流發展等區域，而在對流潛在發展的區域中仍可分析出對流雲系統發展的狀態，亦即是愈趨近白色愈具發展為深對流的潛力。逐時分析IRVIS雲圖可以發現：由0400UTC(即

12時)之IRVIS雲圖中約略可以知道在臺灣北部即中南部山區各有一對流潛在發展區域，若與0500UTC之IRVIS雲圖比較則可知北部地區的對流潛在發展區仍繼續發展中，且有向西、向北擴展之趨勢，因此可以預報本省北部地區將有對流系統生成，而在中南部山區的對流潛在發展區並無繼續發展之趨勢，故可預報此趨域之對流發展已受抑制；另一方面在南部地區可以明顯地發現發展中的對流潛在發展區，故可預

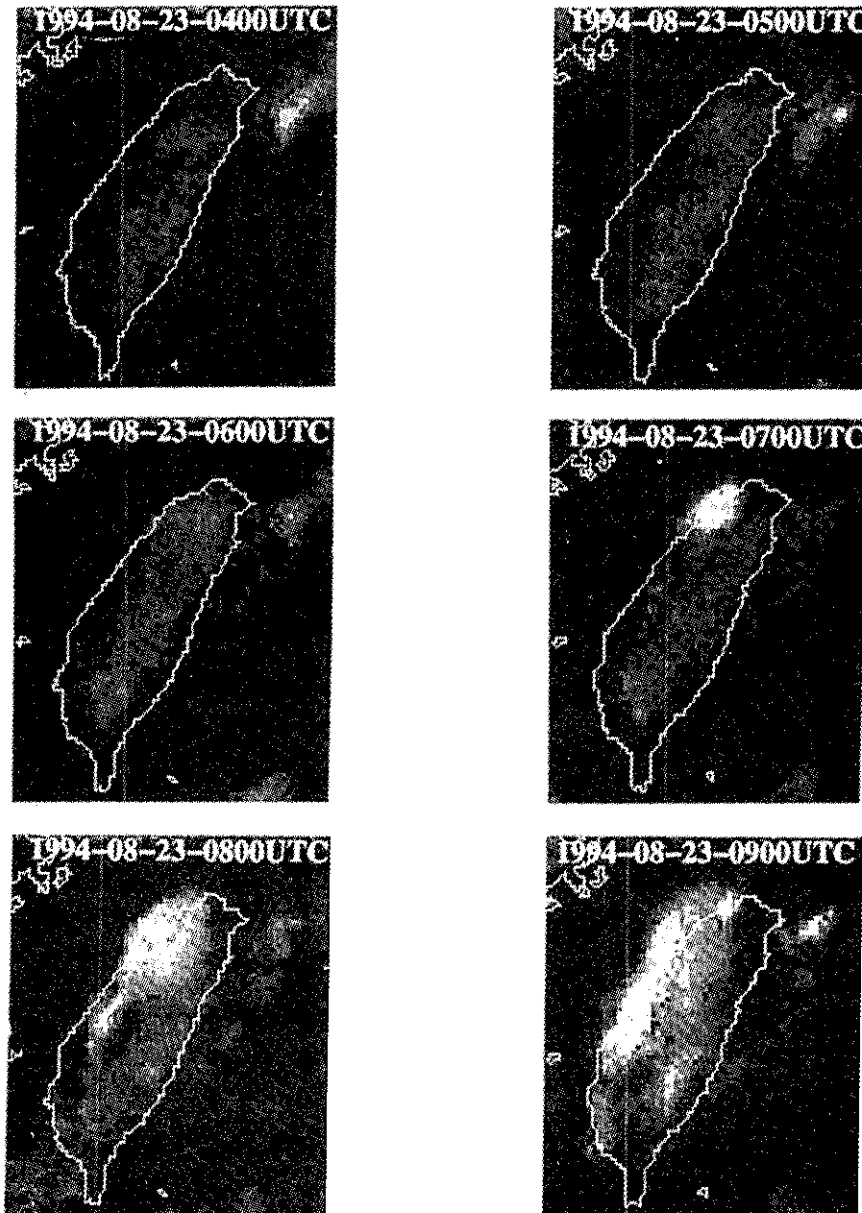


圖 3：1994年8月23日12時至17時之IRVIS雲圖。

報南部將有對流雲系統生成；接著再與0600UTC之IRVIS雲圖比較。另可分析出北部之對流預報區確實有對流雲系統不斷長大並擴展，因此深對流系統之預報(警報)將持續發佈；此時在中西部地區有些許對流潛在發展區出現，應提高警覺。上述在南部之對流潛在發展區雖然逐漸往西方向移動，但無繼續發展之趨勢，顯然其發展已受抑制，故此區之深對流發展預報已可以解除。再繼續比較0700UTC之IRVIS雲圖，可以清楚地發現北部地區之對流預報區已發展出深對流雲系統，而在此深對流系統之南側又衍生出對流潛在發展區，因此深對流之預報區域仍要持續向南發佈，而在中西部之深對流預報區仍正持續發展中，故深對流之預報將繼續發佈。繼續比較0800UTC之IRVIS雲圖，可發現北部地區正如預報深對流區持續向南發展，而中西部之對流預報區亦如預報地發展出深對流系統，此時在上述之深對流區周遭仍衍生出對流潛在發展區，因此深對流發展之預報仍將持續並擴大；另一方面在東部地區也分析出對流潛在發展區，因此東部地區(臺東地區)亦可發出對流發展區之預報，此時南部地區正如前述，其對流之發展逐漸減弱消散。最後比較0900UTC之IRVIS雲圖，顯示出正如預報，北部至中部地區之深對流區已擴大並串連起來，不過在北部地區的深對流區東側，不但對流潛在發展區中沒有繼續發展之趨勢，甚至原先的深對流系統也已減弱，因此可以認定北部地區之對流系統正逐漸減弱消散，故其對流發展之警報已可解除。至於東部地區亦正如預報已發展出深對流系統，由於對流潛在發展區有南移之跡象，故對流發展之警報將持續。在南部之左高地區也有對流潛在發展區形成，故此區亦將發佈對流發展之警報。

比較地面測站報告及落雷資料可以驗證IRVIS雲圖之預報對流系統發展之準確度，表3為1994年8月23日12時至20時四家地面測站測得之天氣變化情形。由地面測站報告上顯示，松山測站下午14時已有Cb雲之發現，而新竹測站亦為14時首先發現Cb雲，比較IRVIS雲圖則可發現14時松山與新竹地區正是對流潛在發展區，而Cb雲即為對流正發展中之顯示。松山及

測站：松山				測站：桃園		
地方時	天氣現象	C b	雲幕高	天氣現象	C b	雲幕高
12	無	無	----	無	無	----
13	無	無	3000	無	無	----
14	無	有	3000	無	無	----
15	雷 雨	有	3000	雷 雨	有	2500
16	雷 雨	有	1500	雷 雨	有	2100
17	雨	無	1800	雨	無	3000
18	無	無	4000	雨	無	3000
19	無	無	---	雨	無	3000
20	無	無	---	無	無	4000
測站：新竹				測站：清泉崗		
地方時	天氣現象	C b	雲幕高	天氣現象	C b	雲幕高
12	無	無	----	無	無	4000
13	無	無	----	無	無	4000
14	無	有	3500	無	無	5000
15	無	有	3500	無	無	8000
16	無	有	3500	無	無	8000
17	無	有	3500	無	有	6000
18	無	無	3500	雷 聲	有	8000
19	無	無	4000	無	有	8000
20	無	無	4000	無	無	----

表 3：1994年8月23日臺灣各地區之天氣變化表。

桃園地區之雷雨同時在下午15時出現，並持續至16時，在IRVIS雲圖中亦顯示北佈地區之深對流區(白色區域)至16時已明顯南移；不過其中之新竹測站始終只有Cb雲而無雷雨出現，這可能是深對流之雷雨區僅由測站邊緣通過所致，若就區域範圍而論，並不影響IRVIS雲圖之預報準確度。另由清泉崗測站之報告可發現Cb雲由17時出現並於18時出現雷聲；反觀IRVIS雲圖可知中部地區之對流潛在發展在15時即已開始，而至16時已有少部分區域出現深對流系統，並於17時擴大至沿海地區。由於清泉崗測站較接近海邊，因此清泉崗測站遲至17時始出現Cb雲是可以理解，亦是與IRVIS雲圖互相匹配的。

圖4為1994年8月23日1423、1453、1523、1555及1640時前三十分鐘內落雷偵測系統在臺灣地區測得之落雷資料。由圖4中可知在1423時前三十分鐘內落雷資料大多集中於松山南面之山區，而在這些時間內於桃園地區之南方亦有些許落雷發現，圖中顯示在松山南側及桃園附近地區出現了更大量的落雷資料，此時之IRVIS雲圖亦顯示出北部地區有深對流發展，且有向西移動之趨勢。由1523至1555時中可發現落雷區域已南移至中部地區，而北部地區之落雷已愈益減少，不過松山與桃園地區仍有少部分落雷存在。直至

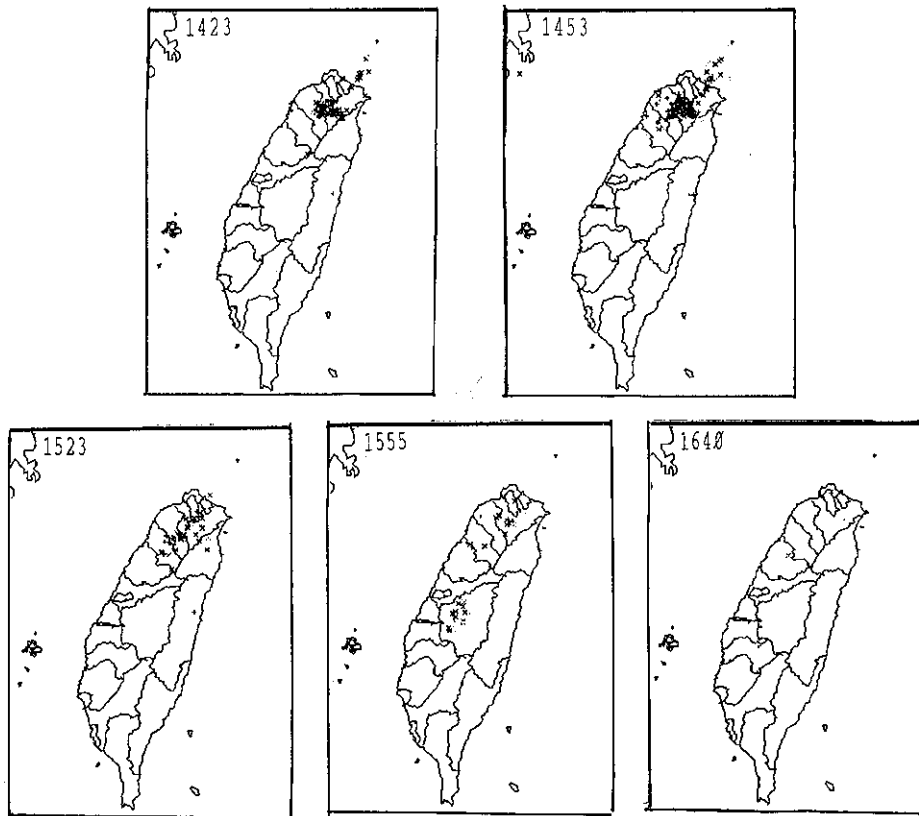


圖 4：1994年8月23日1423至1640時各前30分鐘內之落雷資料。

1640時，可已發現全省除少部分地區仍有稀疏之落雷外，大部分地區之落雷皆已消散，反觀IRVIS雲圖，可見深對流區域已南移至中部地區，而北部地區之深對流區多已移至外海。若以動力條件而論，下午16時以後，因太陽輻射已漸弱，故午後因熱力做用而激發之深對流系統應會受到相當抑制，導致逐漸消散，這也是16時以後雖然在中部地區仍有Cb雲及雷聲出現，但落雷已大量減少之原因，不過在此時雖然深對流不及造成雷雨，但其對流運動亦會對飛安造成相當危害，因此IRVIS雲圖對危害飛安之大氣對流運動預報的維護仍值得相當信賴。最後在比較IRVIS雲圖、地面測站資料及落雷資料時可發現落雷資料之落雷區較IRVIS雲圖之深對流區之位置略向右偏移，此結果可以在日後使用這些資料時注意並修正之。

個案二

圖五為1995年8月8日12至17時之紅外線衛星雲

圖，由圖中可知對流雲系統自13時開始自本省中央山區發展，並向南北地區擴展，而於15時已明顯發展至北部地區，其後逐漸擴散並向西移動，至17時已發展移動至中南部沿海地區。

圖六為1995年8月8日12至17時之IRVIS雲圖，由圖中13時可以明顯看出已分別在本省新竹、嘉義及屏東山區發展出對流潛在發展區，且範圍逐漸增大，至14時嘉義地區之對流潛在發展區已開始有對流雲系之發生，而新竹山區之對流潛在發展區，除色區不斷增強擴大外，並向其北部山區擴展，故由此可以預報15時此地將有對流雲系生成；此外南部山區之對流潛在發展區亦有擴大之趨勢，故亦將發佈對流雲系發展之預報，而花蓮山區亦有對流潛在發展區生成，此地亦將有對流雲系發展之可能。由15時之IRVIS雲圖顯示，北部、嘉義及花蓮山區均已分別發展出對流雲系統，此與前一小時之預報大致吻合，同時，新竹及嘉義山區均有對流潛在發展區向西部伸出，而北部、中

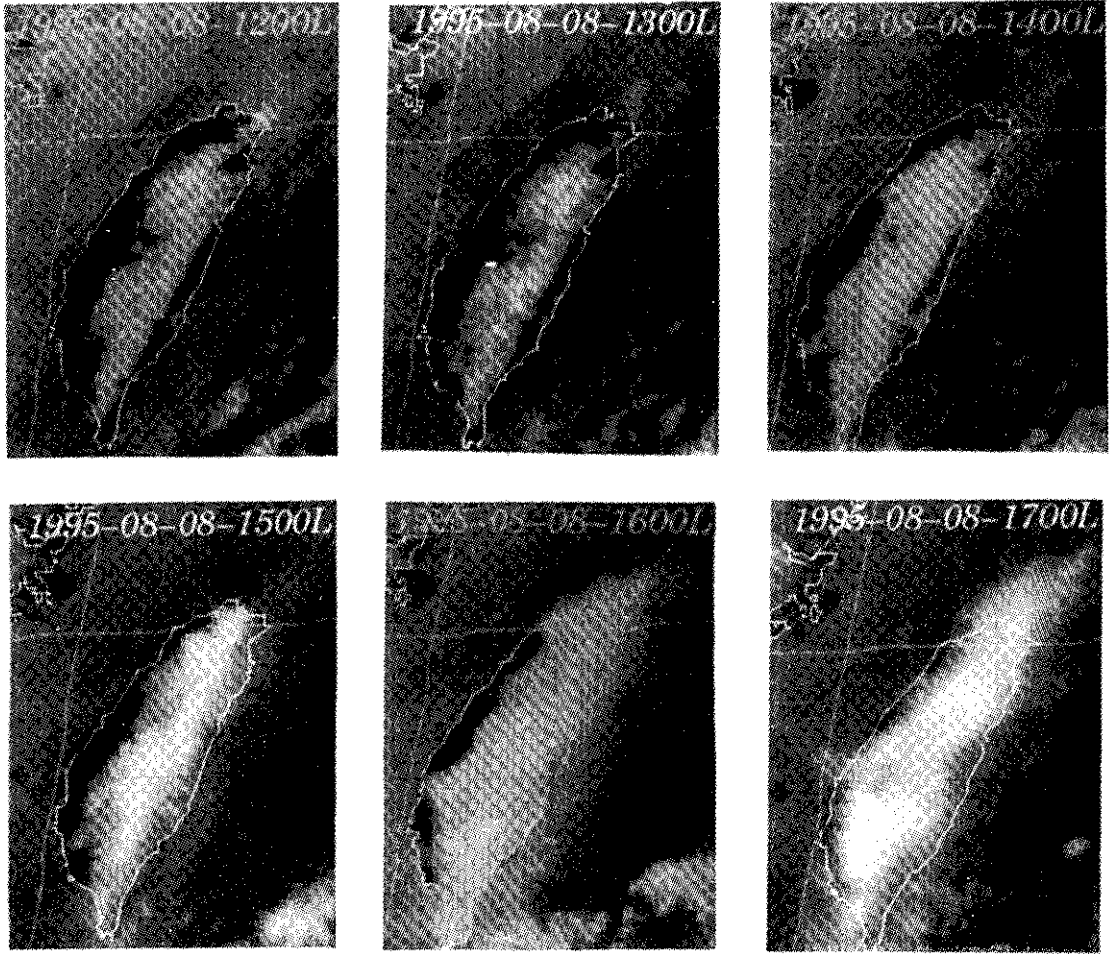


圖 5：1995年8月8日之紅外線雲圖。

部及嘉義山區之對流雲系統週圍皆衍生出對流潛在發展區，可見其對流雲系統仍有繼續發展擴大之區勢，而南部之對流潛在發展區雖未能發展成對流系統，但其範圍仍有擴大並向西移動，且亦可見嘉義山區之對流系統有向南伸出之區勢，故此地之對流預報仍將繼續維持。由16時之IRVIS雲圖可知嘉義山區之對流系統正如預報向西伸出，北部地區之對流系統亦向週圍擴展，而中部山區之對流系統亦明顯擴大，唯新竹山區之對流系統未如預期向西伸出且南部山區亦未能生成對流系統。此時除了各地對流系統週圍均有明顯之對流潛在發展區生成，故應預報對流系統將繼續發展擴大外，北部及南部地區因對流潛在發展區正不斷向外擴大，故此二區仍將發佈對流系統發展之預報。由

17時之IRVIS雲圖可知正如預報，各地區知對流系統除不斷擴散外，南北二區之對流系統亦向外伸出，不過在中佈山區之對流系統同時可見其結構已開始鬆散，故應將逐漸減弱。

表四為1995年8月8日臺灣各地區之天氣變化表，配合IRVIS雲圖可知由於本個案之對流系統多發生在山區，故位於沿海地區之桃園及清泉崗測站全無對流雲系統之移入，而松山及屏東測站則自16時起有cb雲或雷聲之發現，這與IRVIS雲圖中對流系統之發展大致吻合。岡山地區自17時起有雷雨或雷聲之出現，這亦與IRVIS雲圖中之對流系統西伸相一致。

五、討論

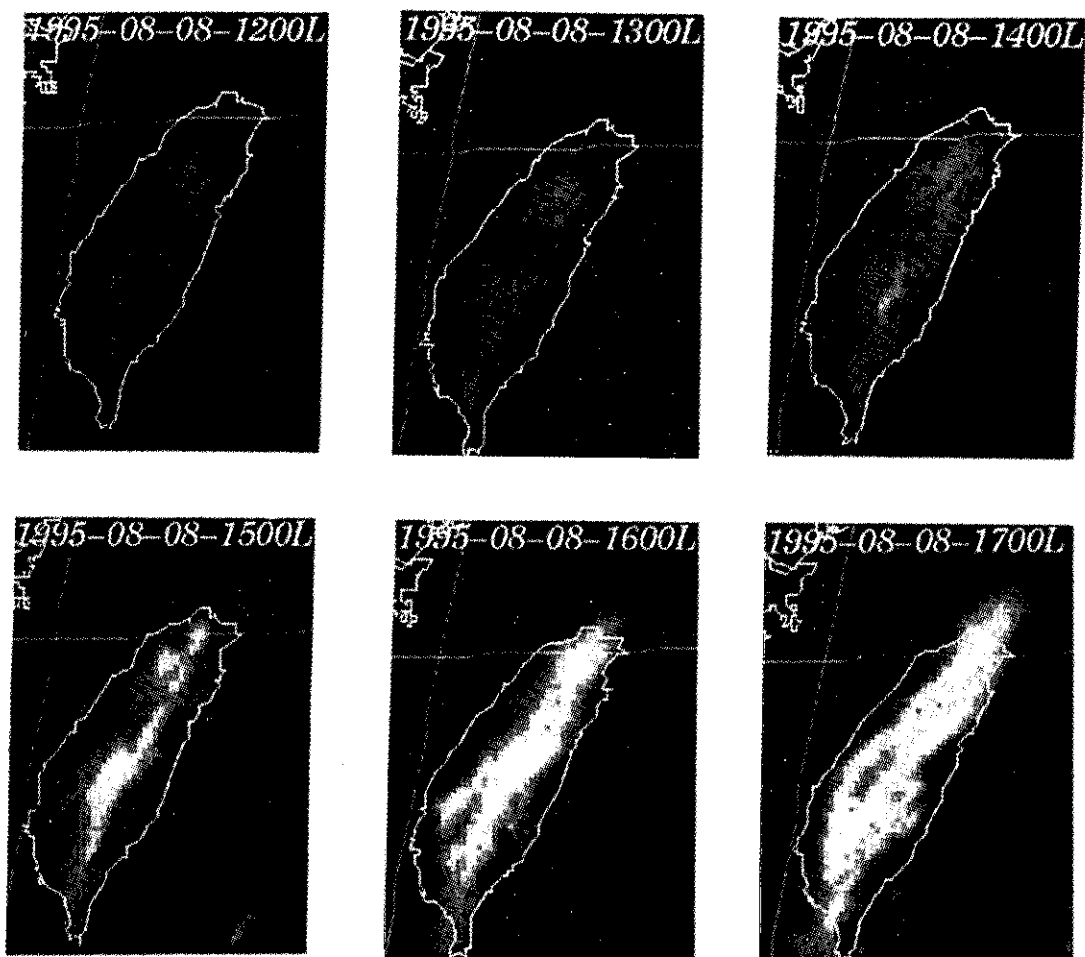


圖 6：1995年8月8日之IRVIS雲圖。

本研究在區分深對流區、對流潛在發展區及無對流發展區域上以達相當之成果，但仍有下述五項結果值得討論改進。

- (一)、對流系統除了夏季外，其他各季節皆有可能發生，由於發生機制各不相同，故表現在IRVIS雲圖上之閾值亦應各不相同，因此本研就中之IRVIS雲圖應建立各季節之閾值，以擴充其實用性。
- (二)、在IRVIS雲圖預報對流系統之發展區域上，本研究中仍採用主觀比較分析的方法，較不客觀且費時，若能由記算機自動執行且表現在IRVIS雲圖中，相信必能發揮其實用及普及性。
- (三)、IRVIS雲圖能有效地使用在有可見光影像的時間內，即上午08時至下午17時，但隨著本軍各項武器裝備之更新，夜間作戰能立之提升，故夜間對流

系統之預報能力亦是IRVIS雲圖系統日後必需努力達到的目標。

- (四)、由於同步衛星影像之解析度為5公里，因此本研究中所定義的對流系統之直徑乃設定在5公里，故小於5公里直徑之小對流雲系統即無法在IRVIS雲圖中顯現出來。
- (五)、本研究中之同步衛星影像的時間解析度為一小時，因此生命期小於一小時之對流雲系統，即無法在IRVIS雲圖中顯現出來。

六、結論

夏季午後對流系統之預報，對飛行安全的影響非常大，但以目前本軍所有之預報資料，最多僅能提供即時得對流系統報告，而始終無法在對流系統之預報

測站：松山 雲高度單位：呎				測站：桃園 雲高度單位：呎		
地方時	天氣現象	Cb雲	雲幕高	天氣現象	Cb雲	雲幕高
12	雷	無	----	無	無	----
13	雷	無	----	無	無	----
14	雷	無	----	無	無	----
15	雷	無	----	無	無	----
16	雷	有	25000	無	無	18000
17	雷	有	20000	無	無	8000
18	雷	有	----	無	無	8000
19	雷	有	----	無	無	12000
20	雷	有	----	無	無	10000
測站：屏東 雲高度單位：呎				測站：宜蘭 雲高度單位：呎		
地方時	天氣現象	Cb雲	雲幕高	天氣現象	Cb雲	雲幕高
12	無	無	----	無	無	----
13	無	無	----	無	無	----
14	無	無	----	無	無	18000
15	無	無	----	無	有	5000
16	無	無	----	無	有	5000
17	無	無	----	無	有	3500
18	無	無	----	無	無	3500
19	無	無	----	無	無	3000
20	無	無	----	無	無	3200
測站：陽山 雲高度單位：呎				測站：屏東 雲高度單位：呎		
地方時	天氣現象	Cb雲	雲幕高	天氣現象	Cb雲	雲幕高
12	無	無	----	無	無	4000
13	無	無	----	無	無	4000
14	無	無	----	無	無	4000
15	無	無	5000	無	無	4000
16	無	無	5000	雷聲	有	4000
17	雷聲	有	5000	雷聲	有	4000
18	雷聲	有	5000	雷聲	有	4000
19	雷聲	有	3000	雷聲	有	4000
20	無	無	4000	無	無	3200

表 4：1995年8月8日臺灣各地區之天氣變化表。

上提供有效的資訊。本文即是針對上述技術上之瓶頸，克服困難，以本軍目前所擁有之裝備，達到對流系統等劇烈天氣之預報能力，以更進一步達到確保飛行安全。

應用IRVIS雲圖資料預報深對流區域，經過1994年8月23日及1995年8月8日之資料驗證，並以地面測站資料、落雷資料配合校驗後可得以下之結論。

- (一)、IRVIS雲圖資料除可以找出已成熟發展的深對流區域外，亦可提供1至2小時後深對流發展區域之預報，這對飛行危險區域的警告及預告皆能有效地掌握，因此對飛行安全的維護大有助益。
- (二)、由本研究之驗證可略知本省各區域之對流發展特性不盡相同，因此若能建立本省各區域之各IRVIS雲圖的閾值，必能增加預報的準確度。
- (三)、各季節之對流發展各有不同之機制與特性，因此應建立各季節中各不同閾值的IRVIS雲圖。

(四)、雖同屬深對流區，但發展中之深對流系統之危險性遠大於消散中之深對流系統，這可由落雷資料及地面測站資料獲得證明。

(五)、落雷資料與IRVIS雲圖資料間有西東方向上之位移誤差，因此在同時使用此二資料時必需注意這種位移誤差之修正。

參考資料

- 一、劉振榮、呂貴寶、徐天佑(1992)：應用衛星資料估算對流降雨。大氣科學，Vol.28,no.3,233-265。
- 二、劉振榮、徐天佑(1993)：應用衛星資料估算臺灣地區對流降雨。國科會研究報告NSC 828282-M-888-866 p25。
- 三、Liljas,E.1982:Automated techniques for the analysis of satellite cloud imagery., in nowcasting Ed.K.A Browning.Academic Press. 167-176。
- 四、Lovejoy,S. and G.L.Austin 1979: The delineation of rain areas from visible and ir satellite data for GATE and mid-latitude.,Atmos-Ocean,17,77-92。
- 五、Tsonis,A.A. and G.A. Isaac, 1985: On a new approach for instantaneous rain area delineation in the mid-latitude using GOES data., J. Climate Apple. Meteor, 24, 1208-1212。