

# 衛星雲圖判讀對於航空氣象之應用

何孟儒

空軍氣象中心

## 摘要

隨著科技日新月異，軍事工業也隨之發達，高科技軍事航空器亦大量產出，但性能再好的軍事航空器，也脫離不了氣象對其的控制，氣象除了會影響軍事航空器的飛行運作及任務執行外，也是影響飛航安全的重要因素之一。在美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration's; FAA)的國家飛安資訊中心(National Aviation Safety Data Analysis Center; NASDAC)的研究當中，在1994年至2022年間，有21.5%(4586次)的航空器意外事件與氣象有關，可見詳細的天氣講解對飛安扮演相當重要的角色，對於航空器而言，具有危險性的氣象因子包含：亂流、風切、積冰、低雲幕、低能見度等等，因此氣象觀測的正確性及氣象預報的準確性，對於航空器的安全極為重要，故本文藉由衛星雲圖，探討如何強化氣象預測報能量，增加軍事航空器在空時遭遇天氣突變時之預警時間，藉以提升航空氣象用途與作戰價值，有效支援戰(演)訓及維護飛安。

關鍵字：氣象裝備、氣象衛星、向日葵八號衛星、衛星雲圖、福爾摩沙衛星七號、反演大氣探究

## 1. 前言

空軍是涉及軍事航空的軍種，其任務在於運用航空器搭載的武器系統，來進行武力投射，並搶奪制空權保護己方空域的充分使用、用空戰壓制敵方對於指定空域的介入和使用、空襲打擊對方地面目標、支援其他軍種的情報、運輸及後勤，以求達到戰術與戰略目標的執行。

空軍作戰任務主要是協助及配合地面部隊的攻擊與行動，一般常規戰爭會先由偵察機進行偵察行動，最初會由空軍提供重型火力攻擊，摧毀敵方主要防空設施、電力設施、軍事基地等重要目標，再由轟炸機進行轟炸，及以戰機進行精確範圍的空對地攻擊，才由地面部隊進攻，而戰爭過程中亦會配合地面部隊而作攻勢。同時，以擊退敵人航空部隊為目的而進行的制空任務也是必備的。平時空軍則執行空域的巡邏、升空攔截、重要航空器護航、各種影像及電子情報等的搜集、大範圍的巡邏與監視等任務，必要時也出動協助救災。上述空軍所擔負的各項戰(演)訓任務，均無法擺脫天氣制約的限制條件，

舉凡低雲、濃霧、沙塵暴、強降水、大風及雷暴等各種劇烈天氣現象，若遭遇前述其中一種劇烈天氣現象，不僅嚴重影響空軍各類軍事航空器作戰性能發揮，甚至可將完全喪失作戰能力，故各國空軍均相當重視氣象預測報能力及其對戰(演)訓任務執行之影響，藉由不斷提升航空氣象觀測裝備，除了有效增進氣象預測報能量之外，更能保障作戰任務遂行，促使國家軍事戰力倍增。本文藉由衛星雲圖判讀對於航空氣象之應用及影響，分析如何強化氣象預測報戰力，得以延長任何航空器在執行任務時，遭遇天氣突變之預警時間，並提升航空氣象之價值與作戰用途，有效支援各項戰(演)訓任務並保障飛航安全。

## 2. 衛星簡介

### 2.1 人造衛星

人造衛星(Satellite)，在不產生歧義的情況下亦稱衛星，是由人類建造的一種太空載具，也是數量最多的一種。人造衛星以太空飛行載具如運載火箭、太空梭等發射到太空中，像天然衛星一樣環繞地球或其他行星運行。氣象衛星，是指監測天氣變化人造衛星，

亦是人造衛星的一種，其主要作用是觀察和監視地球的氣象和氣候。氣象衛星不只可以觀察雲的系統，城市燈光、火災、大氣和水的污染、極光、沙暴、冰雪覆蓋率、海流、能源浪費、稀有氣體含量、決定雨量及氣溶膠含量等等，都是氣象衛星可以收集到的信息，以下將針對氣象衛星的演進及觀測原理說明：

## 2.2 氣象衛星的演進

1957 年前，蘇聯發射了第一顆人造衛星，開啟了太空時代的新紀元。世界上第一顆氣象衛星是 1959 年 2 月 17 日發射的先鋒 2 號衛星，它本來是打算被用來觀察雲的，但它的自轉軸不穩定，因此它的數據無法被利用。世界上第一顆成功的氣象衛星是美國國家航空暨太空總署 1960 年 4 月 1 日發射的 TIROS 1 號衛星，接收到的資料可組成雲圖，以做為天氣分析的參考之用。TIROS 一共運行了 78 天，它的成功為以後的氣象衛星鋪平了道路。過去四十多年來，已超過百顆氣象衛星升空，它們從提供定性的雲圖進步到提供氣溫、水氣、風、雨量和其他氣象變數的觀測結果，這些資料填補了海洋、沙漠、高山和極區等測站缺乏地區的空隙，對天氣分析和預報準確度的改善有莫大的助益。此外，氣象衛星還可以用來監測颱風和其他風暴系統以及地球氣候及其變動，氣象衛星大致上可以分為兩類：同步衛星和極軌衛星。

### 2.2.1 同步衛星

同步氣象衛星在距赤道海平面 35,786 公里高之地球靜止軌道處環繞地球。它的軌道可以使它環繞地球的公轉周期與地球的自轉周期相等，因此它可以不斷地向地面輸送地球表面一個地區的可見光和紅外線圖片。一般新聞報導使用的圖片都是同步衛星的圖片。目前正在運行的同步氣象衛星有中國的 FY-2H 和 FY-4A，美國的 GOES-16 和 GOES-17，日本的 Himawari-8，歐盟的 Meteosat 8 和 Meteosat 11。俄羅斯的同步氣象衛星位於莫斯科南部的赤道上，稱為 GOMS。印度也有用於觀測氣象的同步衛星。

### 2.2.2 極軌衛星

在離地面 720 至 800 公里的軌道上運

行，它們的軌道通過地球的南北極，而且它們的軌道是與太陽同步的，也就是說，它們每天兩次飛越地球表面上的一個點，而且總是在同一個鐘點。美國、印度、中國和俄羅斯擁有極軌氣象衛星。

## 2.3 圖像使用

氣象衛星的圖象對於外行者來說也是容易理解的，雲、雲的系統、冷暖鋒、颱風、湖泊、森林、山脈、冰雪、火災、煙霧、油跡等污染現象都一目了然。假如把一系列的照片連到一起看雲的變化和發展，那麼連風都可以看到。有經驗的專業人員可以分析氣象衛星的紅外線圖象，他們可以透過紅外線圖象來確定雲的高度和類型、計算地面和水面的溫度，他們可以確定海面的污染、潮汐和海流。對航海業來說，海流的信息是非常重要的，因為他們可以依此制訂省油的路線。漁民和農民希望知道地面或海面的溫度，來保護他們的作物受凍或提高他們的捕獲量。連聖嬰現象都可以被轉化成圖象。紅外線圖片測量地面的溫度，可以用來預報火災發生的可能性。一般這些紅外線圖象是灰色的，但通過計算機處理，它們可以變成多色，來提高對比度。觀察山上的冰雪情況可以提供年內河流供水的情報，為防汛和灌溉提供寶貴的預報。除此之外，海面上冰山的情況對航海業來說也是非常重要的。對海流的觀察還可以提供對泄露油毯發展的預報。運用氣象衛星觀察沙暴並用來執行預報是非常有用的。比如每年春天中國的沙暴可以一直跨越太平洋到達美國；在非洲每年夏季大量撒哈拉沙漠的沙暴被刮進大西洋，有時可以到達南美洲。世界上目前解析度最高的氣象衛星是美國國防部的氣象衛星 DMSP，它的飛行高度是 720 公里，可以分辨出地面上油車大小的物體，且可以在夜裡拍可見光的照片，利用的是月光來照明。它拍的城市燈光、火山爆發、大火、閃電、流星、油田和極光的照片非常動人。這些衛星圖資可用來計算一個地區使用能源的量；另天文學家用它們來確定一個觀察點的光污染程度。氣象衛星主要觀測內容包括：

(1) 衛星雲圖的拍攝。

- (2)雲頂溫度、雲頂狀況、雲量和雲內凝結物相位的觀測。
- (3)陸地表面狀況的觀測，如冰雪和風沙，以及海洋表面狀況的觀測，如海洋表面溫度、海冰和洋流等。
- (4)大氣中水氣總量、濕度分布、降水區和降水量的分布。
- (5)大氣中臭氧的含量及其分部。
- (6)太陽的入射輻射、地氣體系對太陽輻射的總反射率，以及地氣體系向太空的紅外輻射。
- (7)空間環境狀況的監測，如太陽發射的質子、 $\alpha$  粒子和電子的通量密度。這些觀測內容有助於我們監測天氣系統的移動和演變，為研究氣候變遷提供了大量的基礎資料，以及為空間飛行提供了大量的環境監測結果。

## 2.4 各國氣象衛星發展史

氣象衛星的發展經歷了試驗和套用 2 個階段。除美國和蘇聯之外，日本和歐洲空間局於 1977 年也先後發射了氣象衛星，這些國家和組織都參加世界氣象組織(WMO)安排的全球大氣研究計畫的第一期全球試驗。主要的氣象衛星系列有：

- (1)「流星」號氣象衛星系列：這一系列衛星的任務是收集地球上不同地區的氣象資料，為氣象預報和氣象學研究有很大的貢獻。
- (2)「泰羅斯」號氣象衛星系列：美國發射的世界第一個試驗氣象衛星系列，1960~1965 年共發射 10 顆，除最後 2 顆為太陽同步軌道之外，其餘的軌道傾角為 48 度和 58 度。
- (3)「艾薩」號衛星：美國第一代太陽同步軌道氣象業務套用衛星。1966~1969 年間先後發射了 9 顆，軌道傾角約 102 度，軌道高度約 1400 公里，雲圖的星下點解析度為 4 公里。
- (4)「泰羅斯 N/諾阿」衛星系列：為美國第三代太陽同步軌道氣象衛星系列，泰羅斯 N 號為這一系列的原型衛星，之後幾顆從諾阿 6 號按順序命名。
- (5)靜止氣象衛星(GMS)：日本的地球靜止軌

道氣象業務套用衛星，共 2 顆，分別於 1977 年和 1981 年發射，可見光和紅外線雲圖的星下點解析度分別為 1.25 公里和 5 公里。

- (6)氣象衛星(Meteosat)：歐洲空間局的地球靜止軌道氣象業務衛星，共 2 顆，分別於 1977 年和 1981 年發射，可見光、紅外線雲圖和水氣頻道的星下點解析度分別為 2.5 公里和 5 公里。
- (7)地球靜止環境業務衛星：地球靜止環境業務衛星是美國國家海洋和大氣管理局(NOAA)與美國國家航空太空總署(NASA)共同發展的民用靜止軌道氣象系列衛星。美國第一代地球靜止軌道氣象系列衛星(GOES)，這個衛星系列的第一顆衛星(GOES-1)在 1975 年 10 月 16 日發射，至 1982 年發射 6 顆。地球靜止環境業務衛星系列是世界氣象組織從 1978 年開始的全球大氣研究計畫第一期全球試驗的重要氣象觀測工具。
- (8)印度衛星(INSAT)：印度的通信、廣播和氣象多用途衛星，其可見光和紅外線雲圖的星下點解析度分別為 2.7 公里和 11 公里。

## 2.5 衛星的觀測原理

早在 50 年前(約 1960 年)，氣象人員就想到了一個更好的方法，就是利用氣象衛星從外太空去看地球上的高氣壓、低氣壓、鋒面與颱風等天氣系統的移動與變化。氣象人員每天利用氣象衛星隨時看到很大範圍並且真實的天氣變化情形，不管白天或是黑夜，沙漠、海洋或高山的屏障，都不會受影響。因此，氣象衛星可以稱為現代千里眼。氣象人員利用現代千里眼-氣象衛星，每天持續觀察地球上的天氣變化，告訴我們目前的天氣且預測其未來的變化。如果在太平洋有颱風形成，氣象人員會早在幾天前就已經藉由氣象衛星掌握颱風的動向，幫助我們提早預防颱風的來襲，減少我們生命、財產的損失。衛星的偵測原理就跟溫度感應器一樣，只要把這些類似溫度計的感測儀器放在外太空的衛星上，就能感應到地球表面的海洋、陸地、雲層所放射或反射的各種電磁波能量，然後經過儀器轉換成為影像，就會成為我們所看的

各種衛星雲圖。通常衛星上面裝有許多的感應儀器，可以偵測地球表面各種物體所發射出來不同波長範圍的電磁波，因此我們可以得到各種屬性的衛星資料。衛星可提供包括：可見光衛星雲圖、紅外線衛星雲圖、水氣頻道影像、微波資料.....數十種甚至數千種衛星資料，提供給專業的天氣分析人員使用，進一步研判天氣的變化。

### 2.6 氣象衛星產品

一般民眾最常看到的有可見光衛星雲圖與紅外線衛星雲圖這2種衛星影像：

- (1) 可見光衛星雲圖：可見光雲圖是藉由物體反射太陽光的大小程度所轉換成為的影像，雲層愈厚，反射陽光愈強，在衛星照片中，就可以看到愈白的雲；相反的，雲愈薄，反射陽光能力較差，因此只能看到灰白色的雲。到了晚上，因為沒有陽光，所以就看不到可見光雲圖。
- (2) 紅外線衛星雲圖：紅外線雲圖反映的是雲表面所在位置的溫度與高度，所以紅外線雲圖的顏色愈白，表示雲的表面高度愈高，溫度比較低；而高度愈低的雲，雲圖的顏色會呈現較灰白的顏色，相對的溫度就比較高。

由於可見光雲圖與紅外線雲圖偵測方式不一樣，為了更清楚的了解天氣系統發展的高度與結構，通常會將紅外線雲圖經過彩色影像的轉換，將溫度以顏色表示，這種雲圖稱為紅外線色調強化衛星雲圖。目前外太空的氣象衛星，利用2種繞行地球的方式，擔任監看全球天氣的工作，1種是地球同步氣象衛星，這種衛星位在地球的赤道上空約36,000公里的高空上，面對地球與地球一起轉動，因為繞地球一圈的時間也剛好是24小時，所以從地球上看到的同步衛星，永遠都是面對地球，在同一地點的上空，因此稱為地球同步衛星；地球同步衛星，可以看到全球約1/3地表的天气系統，而且可以每隔15~30分鐘就得到1張衛星影像，所以同步衛星雲圖成為每天氣象分析人員必備的分析工具，並且在不斷的實驗中，修正問題與過濾資訊，進而提升衛星效能，並配合現代科技的進步，促使衛星技術的成熟，氣象學家進而利用衛星技

術，發展氣象衛星，研判大氣中雲層發展高度變化，增加預報準確率與提升劇烈天氣防災時間。

### 3. 氣象衛星應用

氣象衛星，是人造衛星的一種，其主要作用是觀察和監視地球的氣象和氣候。氣象衛星不只可以觀察雲的系統，城市燈光、火災、大氣和水汙染、極光、沙暴、冰雪覆蓋率、海流和能源浪費等等，都是氣象衛星可以收集到的信息。氣象衛星主要在於提供全球無休的觀測資料，改善了高山、沙漠、海洋等無人煙地方的觀測問題，現在更發展到扮演大氣、海洋、陸地等環境監測工具的角色，整合氣象、地球資源及軍事氣象為一的地球觀測衛星，簡稱EOS(Earth Observation Satellite)。其水平與垂直解析度及觀測頻道都增加，例如其中的MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)儀器提供250、500及1,000公尺等不同解析度之紅外線影像，共36個頻道，提供豐富的資訊。因為資料量大幅增加，可用於監測地面的植物分布、土地利用、森林火災、火山、冰山移動、水汙染、海洋葉綠素分布、空氣汙染、沙塵暴、颱風的雲型結構、可降水量的估計及大氣的垂直溫度分布等，除對國土各種分布提供資訊促進管理應用，增加經濟效益，也提供廣泛資訊應用。存在於空中的雲，其組成、席狀、大小及範圍等特徵與天氣系統有一定的關係，大氣的上升、下降運動與大氣的穩定度均影響雲系的變化，故氣象衛星可觀測大至數千公里範圍的副熱帶高壓系統，小至數公里對流尺度如雷雨胞的雲系特徵，由雲系所表現出來的特徵及其隨時間的變化，可推估天氣的演變。當我們看到一張衛星影像雲圖，首先要注意雲圖所顯示的時間及雲圖的種類是可見光亦或紅外線，不同衛星頻道，有不同的影像表現。其次是區分大氣環境中的雲系與地表特徵，再判別高度不同雲族的雲屬類別。高雲族的卷雲屬因大多由冰晶組成，具有高透明性且反照率低的特性。由於卷雲出現的高度很高，其所在環境的溫度較低，因此在紅外線雲圖上表現為

白色，而在可見光雲圖上，則呈現淡灰色部分透光的色調，有時還可透過卷雲看到較低層或地面的目標物。在紅外線雲圖上，中層雲系的色調介於高雲和低雲之間的灰色，在可見光雲圖上，與鋒面、氣旋相連的中雲色調很白，紋理均勻，呈現一大片或帶狀，常與低雲(雨層雲)和降水同時出現。如果只有一層薄的中雲，其色調表現為灰色，如果中雲下層有低雲時，則色調從灰到白不等。大多數中雲出現在卷雲下面，較不易將中雲和卷雲區別，只在氣旋或鋒面邊緣處才能直接見到中雲。衛星雲圖中分析，當中雲與雷雨胞同時出現時，中雲多出現在卷雲之下，表現為多層雲系，此時卷雲在紅外線雲圖上特別明亮。一般說來，卷雲愈亮表示下層可能有中雲存在。紅外線雲圖可根據雲的色調差異，識別其相對高度，由此可估計中雲的範圍，可見光雲圖識別中層雲的相對高度則比較不易。低層雲系中之層積雲常是一大片或帶狀的，在可見光雲圖上多呈現起伏球狀雲，層積雲的範圍可以相差很大。在陸地上，層積雲往往是斷裂且分布稀疏，由於層積雲的反照率較低，所以呈現灰色。在海洋上，由於水氣豐富，層積雲多密蔽天空，雲頂也比較均勻，常呈現白色，與中雲的色調相類似。如果層積雲的細胞狀結構不明顯，在雲圖上表現為層雲與霧特徵相同。在冷鋒後面由於高雲很少，可以明顯看到層積雲的結構。層雲和霧的表現都是光華均勻的雲區，因雲中水滴稠密程度和太陽的高度角不同，而使色調呈現白色到灰色。如層雲與霧很厚(超過300公尺)，則表現為白或很白的色調，由於層雲和霧的雲頂高度很低，厚度很薄，所以一般看不到陰影。如果層雲頂和地面的溫度差異很小，則紅外線雲圖上就不易識別。有時在白天的紅外線雲圖上，層雲邊界比較清楚；但到夜間，近地面存在輻射逆溫(地表在無雲情況下，由於向上輻射量較大使得地表溫度降低所造成)，層雲或霧的頂部溫度反而比四周無雲區的地表要暖，於是在紅外線雲圖上，層雲或霧區會比四周無雲地表顯得更黑。如果夜間霧和層雲比四周地表亮，這種霧或層雲一樣很厚，內部還可能出

現對流，有時還會出現毛毛雨。在紅外線雲圖上，層雲和霧是出現在色調較暗的均勻區。衛星雲圖上的積雲、濃積雲實際上是積雲群，表現為帶狀、線狀或細胞狀結構，紋理為多起伏和不均勻；可見光雲圖上的紋理不均勻是由於積雲內部高度不一、厚度有參差、雲的形狀不規則，以及有暗影等原因造成的，紅外線雲圖上的紋理不均勻，是由於雲區內對流雲頂高度不一，而使雲頂溫度不一致，對流較強的濃積雲雲頂較冷，色調較白；對流較弱的積雲雲頂較暖，色調較暗。如果在一片層狀雲內有對流出現，且對流較強時，雲區內會有陰影出現，可以根據積雲的相對亮度和陰影的寬度，確定對流的強度和垂直厚度。晴空時的孤立積雲因體積較小且稀疏，不易為衛星上攝影儀器所分辨，因此不易從雲圖識別。無論在可見光雲圖或紅外線雲圖上，積雨雲都呈現白色的色調，當積雨雲頂端出現穿透性強對流雲時，可見光雲圖上會顯現不均勻的紋理。當高空風速很大時，積雨雲的上風側邊界光華整齊，下風側邊界出現羽毛狀的卷雲砧。積雨雲的水平尺度相差很大，自幾十公里至幾百公里，初生的基雨雲尺度較小，呈顆粒狀，邊界十分光滑；成熟的積雨雲雲體較大，頂部出現像四周散開的羽狀卷雲；消散的積雨雲色調變暗，呈一片鬆散的卷雲區。色調強化衛星雲圖，其中不同顏色代表不同雲頂發展溫度及高度，一般從黑白灰色的紅外線雲圖，無法清楚分析雲系對流發展的高度及雲頂溫度。針對對流雲系分析，在作業上採用的色調強化的設計分佈圖，在雲圖上所呈現之顏色代表相對應不同的雲頂溫度。

### 3.1 天氣系統判讀

在衛星雲圖上，綜觀尺度雲系具有數百至數千公里之寬廣雲帶，根據大範圍雲系形成形狀又大致可分成帶狀反渦旋狀，帶狀雲系指一條幾近連續且具有明顯的長袖的雲系，雲帶主要由多層雲系組成，雲種包括卷狀雲、積狀雲和層狀雲。高空噴流及鋒面多表現為帶狀雲系。若帶狀雲系的寬度小於一個緯度則稱為雲線(個別雲胞連結一起)，或雲街(個別雲胞分離)。渦旋狀雲系是指一條或數

條雲帶或雲線呈螺旋式旋向一個共同中心，與大氣中的氣旋(北半球呈逆時鐘旋轉)式渦旋有關，如我們所熟知的溫帶氣旋或颱風等。下面就最常出現的鋒面、高空噴流、寒潮、溫帶氣旋或颱風雲系分析研判做一簡要介紹。

### 3.1.1 鋒面

在氣象學上，當性質不同之冷暖氣團相遇時，其交界處為一不連續帶，稱為「鋒面」。在鋒面兩側空氣性質，諸如溫度、濕度、風向、天氣等通常均有明顯的差異。實際上鋒面為過渡地帶，其雲系寬度通常有數十公里以至數百公里不等，並且會隨著冷暖氣團的強弱變化而移動。衛星雲圖上，鋒面為一條狹長的多層帶狀雲系，最上面是卷狀雲，下面是中低雲。不同鋒面的雲系寬度差異很大，比較窄者不到2-3緯度距離，寬者達8個緯度距離，一般而言，平均寬度為400-500公里。冷風可分為活躍冷鋒與不活躍冷鋒，活躍冷鋒雲帶較寬且有較明顯的對流雲發生。常見之冷鋒雲帶特徵如下：

- (1)冷鋒雲帶前界光滑時，地面鋒面位置位於雲帶前界。
- (2)冷鋒雲帶後界光滑時，地面鋒面位置位於雲帶後界。
- (3)冷鋒雲帶前後界均光滑，地面鋒面位置位於雲帶中，雲系由濃密至稀鬆處。
- (4)當鋒面雲帶不清楚時，要判斷地面鋒面的存在和確定位置，可分析冷暖氣團雲的差異。

一般在冷氣團中，多出現細胞狀積雲，而暖氣團中多出現層狀雲；鋒面則訂在這兩種雲的過渡雲帶。暖鋒雲系寬約300至500公里，長約幾百公里，長寬之比甚小，暖鋒上有大片卷雲覆蓋，卷雲下為高層雲、兩層雲和積狀雲，所以雲區的色調明亮並伴有較大的降水。一般雲區向冷空氣一側凸起，內反氣旋彎曲的卷雲線清晰可見，暖鋒位於雲區向北凸起部份的下方，且雨雲區中的紋線近乎平行。

### 3.1.2 高空噴流

高空噴流為圍繞地球的一條狹長的強風帶，範圍集中在對流層上部至平流層下部

中(約9,000至12,000公尺)，從西往東吹，在中高緯西風帶內或在低緯度地區都可出現。其水平長度達幾千以至上萬公里，寬數百公里，厚達幾公里。噴流中心風速經常可達到每小時300公里，且可以有一個或數個風速極大中心，冬季風速較夏季為強，具有強大的水平和垂直風切(wind shear)。就像河流中央的流水急速，當遇上近岸的緩緩水流時，便會產生波浪、漩渦，甚至湍流。同樣道理，高空急流附近因有強大的風切，可能出現亂流。若飛機遇上這種現象，機身會變得顛簸不穩，而產生危險。可見光雲圖上，噴流雲系有明顯的陰影，且陰影呈現反氣旋彎曲的形狀。噴流成反氣旋彎曲的地方雲系稠密，呈氣旋彎曲的地方，雲系稀薄或消失，所以噴流雲系主要位於噴流呈反氣旋彎曲的地方。一般北半球噴流的卷雲位於噴流軸南側，北界清晰且噴流軸平行。從紅外線影像上可看到色調及為白色的現狀雲體，其大多為卷雲、卷層雲組成，此現狀雲體的走向即為高空氣流的流向。因為高層卷雲具有透光性，因此在可見光影像中，高空噴流雲系所表現的色調比起在紅外線影像所呈現較暗。

### 3.1.3 寒潮雲系

寒潮是指強烈冷空氣由源地向南大範圍傳送，使沿途氣溫驟降的現象。受到冷空氣影響的地區在海洋上衛星雲圖上經常可見一種類似細胞狀的雲系，稱為細胞狀雲系。在冬季當冷空氣從大陸進入海面，受到暖洋面的加熱，在海面與空氣溫度相差較大地區形成中空外實(未閉合)細胞狀雲系，在海面與空氣溫度相差較小的地區形成中實外空(閉合)細胞狀雲系。這種細胞狀雲系的直徑為40-80公里，由於尺度較大，一般不能在地面上觀測到全貌。凡是出現細胞狀雲系的地區，風速垂直切變都較小，如果風的垂直切變大，細胞狀雲系也就被破壞。雲線或雲街及細胞狀雲系分布可代表冷氣團南下的強度及路徑，可作為判斷冷氣團南下影響氣溫下降的程度及變化。

### 3.1.4 溫帶氣旋

發展在溫帶地區的氣旋是一個中心氣壓較四周環境低的渦旋系統，受到科氏力作

用影響下，北半球氣旋呈逆時鐘方向旋轉，氣流向中心匯集後，引發上升運動，形成雲與降雨。

### 3.1.5 高空冷心低壓

高空冷心低壓是發生在對流層中、上層(約200~500hPa)的低壓系統，其中心附近的氣溫明顯低於四周，一般又稱為高空冷渦(upper-level cold core low)。一般高空冷渦旋外圍，特別是位於冷渦的東南象限，由於低層空氣較暖，而高層空氣偏冷，所以經常引發較強烈的對流活動，因此常伴有雷陣雨等劇烈天氣現象。

### 3.1.6 熱帶性低壓

低緯度熱帶地區大部分屬於廣大洋面，低層大氣環境性質均勻，水平方向氣壓梯度不明顯，因開闊洋面具有充沛水氣，且終年受太陽直射加熱影響，造成局部的上升運動區，所以對流在衛星影像中經常可以發現個別的積雲系發展，稱之為對流雲簇(Cloud Cluster)，當這些對流雲簇在合適環境條件配合下，發展成為範圍較廣且具組織性的低壓系統，稱之為熱帶性低壓(tropical depression)。

### 3.1.7 颱風

熱帶洋面上所形成的低壓系統，通稱為熱帶氣旋，當熱帶性低壓發展增強，近中心最大風速達34KT(含)以上，稱為颱風。颱風在衛星雲圖上呈渦旋狀雲系，渦旋狀雲系是由一條或數條雲帶或雲線呈螺旋狀圍繞一個共同中心。發展成熟的颱風，是由一連串逆時鐘旋轉連續旋入中心之螺旋雲雨帶所組成，在中央部位出現無雲區是為颱風眼所在，從颱風眼向外，剛離開颱風眼處，即是雲層最濃厚而風雨亦最大之處，漸向外則雲層漸高也漸薄，風雨也漸弱，導致颱風降水主要來自颱風之雲牆、中央密雲區、外圍雲帶及其內之冷對流雲區等所造成。

### 3.1.8 中尺度對流系統與雷暴

中尺度對流系統是由個別雷雨胞組織成的線狀雷暴系統，或是複雜的對流複合體所組成，其空間尺度大約在數十公里至數百公里，生命期在數小時至十幾個小時，是有組織的雷暴系統。在衛星影像中，我們經常

可看到許多深淺不一的白色雲塊存在，這些雲塊有可能是不會下雨的卷雲或積雲。但也有可能是一連串對流旺盛的積雨雲，會造成強烈降雨。一個單一的對流胞在可見光與紅外線影像中，將同時顯現明亮的白色色調，尤其在可見光影像中，日出與日落時，較低的太陽仰角情形下，會在對流系統的一側產生明顯的陰影，使得對流雲在可見光影像中，看起來更有立體感。強對流系統發展高度較高，在紅外線色調強化雲圖中具有較低的亮度溫度，且有明顯的溫度梯度存在等特徵。中尺度對流系統為引發豪大雨的主要雲系，因此可透過可見光或紅外線色調強化雲圖瞭解其雲型、辨認對流區和探討導致豪大雨之徵兆。在五、六月梅雨季出現在梅雨鋒面上及鋒面前，造成豪大雨之中尺度對流系統，其雲型有圓形、橢圓形、胡蘿蔔形、三角形，並且邊緣清晰；在紅外線雲圖為冷雲頂；在可見光雲圖為明亮且有時具有邊緣清晰的結構特徵，經常伴隨豪大雨發生。一般在暖季由於地表加熱，空氣加熱抬升，在水氣充足的情況下，經常在臺灣北部及中南部山區或斜坡易產生中尺度對流系統造成降水，有些情況若配合鋒面、低壓或颱風與高空冷心低壓在附近，午後對流系統發展持續時間就愈長。衛星資料所表現的為天氣系統表面之反照率與不同頻道所偵測到的雲頂溫度等物理特性，不同結構雲系所表現之上述物理特徵亦有所不同，因此可利用衛星不同頻道觀測資料與降雨之間的關係，估計實際降雨情形。經研究發現，在衛星紅外線影像資料中雲頂亮度溫度分布及其梯度表現、雲區面積大小的變化、移動速度、環境水氣分布情形均與降雨有密切關係。目前利用紅外線連續影像資料之降雨估計法，最早由美國國家環境衛星資料資訊局(NESDIS)所發展的半小時雲圖間隔之降雨估計方法，此方法主要是利用人機交談方式輔助氣象分析人員比較2張連續衛星影像中降雨系統特徵變化，並對此系統演化做合理判斷與解釋，給予適當的降雨估計值。

## 4. 衛星觀測對於航空氣象的應用

氣象除了會影響航空器的飛行運作，也是影響飛航安全的重要因素之一，詳細的天氣講解對飛安扮演相當重要的角色。對於航空器而言，具有危險性的氣象因子包含：亂流、風切、機冰、低雲幕、低能見度等等，因此，氣象觀測的正確性已及氣象預報的準確性，對於航空器的安全非常重要，以下就常見影響飛航安全的氣象因子做介紹。

#### 4.1 對流發展

雷雨不單是影響飛航安全，也會影響航空器之正常運行而導致航班延遲或取消情況，使得航空公司費時、費油料；對於軍事任務就是會影響任務執行與否。一般而言，氣象雷達在作業上對於對流系統的掌握有很大的幫助，但是氣象雷達只能針對已經發展的對流進行監控，無法掌握積雲發展至成熟的整個生命期，因此衛星的對流發展演算法被應用至對流發展的預報作業中。透過衛星的對流發展演算法，除了可以辨識雲型外，還可以透過反演雲頂溫度預測對流發展與行進方向，預報員可以透過衛星產品監控對流雲以及雲的移動，但是我們更加希望知道，哪些個別的淺積雲未來有機會發展成積雨雲，透過衛星的演算法也可以預報雲發展趨勢。衛星若要實際應用在對流發展，必須頻繁更新資料，目前最適合的便是GOES同步衛星雲圖，大約15至30分鐘更新一次。第一種應用如圖1，除了將原來的衛星圖（圖1A）反演為不同的雲種外，還可以反演不同型態及特徵的對流雲（圖1B和C，主要透過不同的頻道反演），此方法為convective cloud mask (CCM)，可以分辨出overshooting Cb（穿越對流層頂的積雨雲）、層積雲、積雲、卷雲等等。第二種應用是透過Atmospheric motion vector (AMV) 演算法反演中尺度風場，主要的演算方式是透過advanced pattern-matching techniques和cross correlation statistics的方法計算。圖2為實際例子，利用分辨出中尺度對流導致的風場與數值預報的背景場，可以提供預報對流雲甚至還沒有發展成熟的積雲未來的路徑。根據Robert and Rutledge (2003) 的研究，在10.7 $\mu\text{m}$ 頻道的雲頂亮度溫度範圍在0 $^{\circ}\text{C}$ ~-20 $^{\circ}\text{C}$ 之間，如果15分鐘內的雲頂冷卻率達

8 $^{\circ}\text{C}$ ，則有可能在30分鐘後發展成氣象雷達觀測35dBZ以上的積雨雲。在Mecikalski and Bedka (2006) 研究當中，共利用8個門檻來判斷積雲未來發展成對流雲的趨勢，(1) 10.7 $\mu\text{m}$ 頻道雲頂亮度溫度、(2)和(3)10.7 $\mu\text{m}$ 頻道雲頂亮度溫度15和30分鐘冷卻率、(4) 雲頂亮度溫度快速低於0 $^{\circ}\text{C}$ 、(5)和(6) 6.5 $\mu\text{m}$ 與10.7 $\mu\text{m}$ 的亮度溫度差和溫度差的時間變化率、(7)和(8) 13.3 $\mu\text{m}$ 與10.7 $\mu\text{m}$ 的亮度溫度差和溫度差的時間變化率。在8個門檻中有7個達到標準時，便會有預報產品出現提供預報員參考。圖3與圖4為實際例子，圖3a、b和c分別是2003年5月4日1930 UTC、2000 UTC亮度溫度和冷卻率，圖4a為同時8個門檻中7個門檻達標準的產品，將圖3c和圖4a，與圖4b的2100 UTC雷達回波圖比較，可以發現確實掌握到對流雲的發展。

#### 4.2 積冰

目前積冰觀測主要藉由CIP產品、飛機觀測以及飛機報告，預報員透過經驗及這些觀測產品做積冰預報。未來NASA計畫結合GOES-R和國家環境繞及軌道衛星系統(National Polar-Orbiting Environment Satellite System, NPOESS)提供更多頻道，以及更高的空間及時間解析度，並且改善目前的演算法提供給預報員更好的積冰觀測產品。圖5為一實際個案，在2005年1月19日1915 UTC透過VISST演算法求出LWP和Re，在俄亥俄州附近觀測到過冷水的LWP約800-1,000 $\text{g m}^{-2}$ ，且Re至少10 $\mu\text{m}$ 以上，這一天有大範圍的雲覆蓋在此區域，由飛機報告中得知有中度積冰，平均水滴粒子約15 $\mu\text{m}$ ，與觀測接近，但是液態水含量約0.4-0.6 $\text{g m}^{-3}$ 不如所預期（通常LWP約700-1,000 $\text{g m}^{-2}$ 時，液態水含量約0.2-0.3 $\text{g m}^{-3}$ ）。這個低估的原因主要是因為雲頂出現很大的Re，在VISST的演算法中估算LWP時會使用到Re，大的Re會使估算LWP產生誤差。

#### 4.3 亂流

亂流的觀測及模式預報都相當困難，但是透過衛星觀測，有時甚至可以觀測到晴空亂流。以下舉2個例子說明衛星在練觀測上的應用。

- (1) 山岳波是氣流經過地形時，所產生的波動，是一種常見的亂流，波動所產生的雲常在高解析度的衛星雲圖中觀測到，但是那必須是山岳波有產生雲的情況下才能在衛星雲圖中看到，如果是利用高解析度的水氣頻道，透過 Laplacian-of Gaussian filter(LoG)得到水氣強度及方向的梯度分布，也可以觀測到水氣場如波動般的形態出現，透過 LoG 得到波動型態的衛星影像，也就是可能有亂流發生的區域。這種產品可以在 GOES 或是 MODIS 衛星得到。圖 6 是 2003 年 7 月 25 日 0517 UTC 的 MODIS 繞極軌道衛星，分別在 6.7 $\mu$ m 及加強亮度的水氣頻道，透過 LoG 得到波動型態的衛星影像，也就是可能有亂流發生的區域。這種產品可以在 GOES 或是 MODIS 衛星得到。
- (2) 對流層頂摺疊導致晴空亂流:對流層頂摺疊導致動力上產生不穩定度，也可能激發晴空亂流，這種亂流可以被衛星觀測到。其主要的觀測原理是透過 GOES 水氣頻道觀測上對流層的比濕場，這種產品稱為 GOES layer average tropopause specific humidity(GLASH)。GLASH 會因為對流層頂折疊，而隨著對流層高度增加有很強的梯度，此時該區域有可能產生晴空亂流。圖 7 為 2005 年 11 月 14 日 1900 UTC 的 GOES 水氣頻道得到的 GLASH 場，在暖色系和冷色系梯度大的地方表示副熱帶空氣和極區乾冷空氣交會處，有對流層頂摺疊發生，以灰色表示，紅點是飛機報告遭遇晴空亂流的位置，確實在灰色區域有觀測到亂流發生。現今中央氣象署網站、手機 APP(如中央氣象署的生活氣象 APP 及航空氣象資訊 APP)、新聞媒體氣象播報，都大量及廣泛使用衛星雲圖，生活及專業氣象也離不開衛星雲圖的使用，相信在了解衛星觀測原理及雲圖判讀後，將使大家更即時獲取天氣變化。

## 5. 結論

因應兩岸情勢日趨緊張，共機擾臺頻次

逐漸增多，且各項戰(演)訓任務亦日趨繁重，其中與飛航作戰任務息息相關之天氣情資掌握尤為重要。本軍氣象聯隊負責國軍飛行部隊各項訓練、戰(演)訓及偵蒐任務等軍事氣象需求供應，依任務部隊氣象情資需求執行分析、研判與預報未來天氣趨勢。衛星雲圖為預報人員針對戰機執行空中出擊作戰任務，供應天氣預報之重要工具，運用同步衛星特性(大範圍、高解析)，持續對特定區域長時間追蹤、分析與比對雲系變化，以提升作戰部隊任務成功公算；另可運用氣象衛星所提供之產品(衛星各頻道、定量降水估計、雲量估計、海表面溫度、衛星雲動風場、沙塵暴監測等功能)，強化防(救)災天氣分析與診斷，貫徹「超前部署、預置兵力」之目的。氣象除了會影響軍事航空器的飛行運作及任務執行外，也是影響飛航安全的重要因素之一。詳細的天氣講解對飛安扮演相當重要的角色，對於航空器而言，具有危險性的氣象因子包含：亂流、風切、積冰、低雲幕、低能見度等等，因此氣象觀測的正確性及氣象預報的準確性，對於航空器的安全極為重要，故藉由衛星雲圖強化氣象預測報能量，增加軍事航空器在空時遭遇天氣突變時之預警時間，藉以提升航空氣象用途與作戰價值，有效支援戰(演)訓及維護飛安。

## 6. 參考文獻

- 國家太空中心，(2020)：福爾摩沙衛星七號任務簡介。
- 簡國基、蔡和芳、李湘源，(2007)：氣象學報，福衛三號反演對流層大氣溫度、露點溫度資料與傳統觀測結果之比較，第 47 卷第 1 期，1-12 頁。
- 丘台光，(2006)：氣象衛星影像之應用，3-11 頁，17-45 頁，50-58 頁。
- 紀水上，(2006)：臺灣的梅雨，工程小叢書-氣象與工程系列第三冊。
- 陳錕山，(2002)：綠資源 NDVI 調查計畫，林務局農林航空測量所，100-103 頁。

7.圖附錄

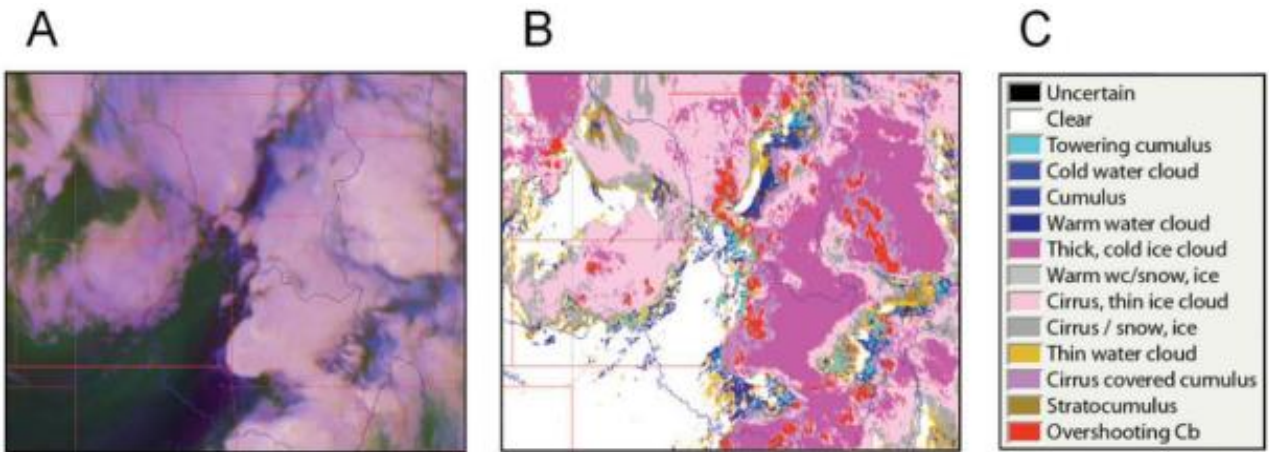


圖 1 (A) GOES 衛星雲圖，(B)和 (B)為透過 CCM 將 (A) 反演不同型態與特徵的雲。

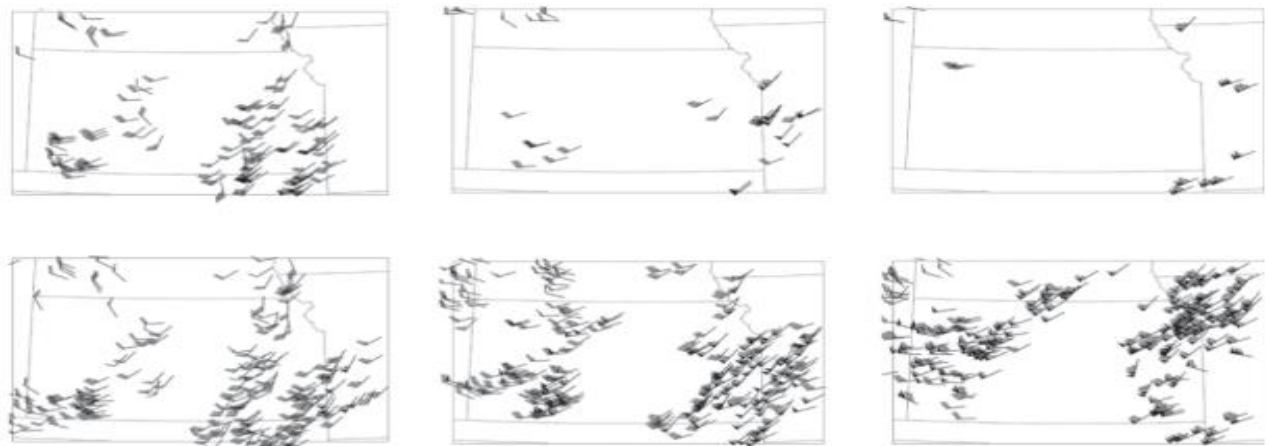


圖 2 (上)(下)分別為 AMV (NWP) 計算 1,000-700 hPa、700-400 hPa、400-100 hPa 的中尺度風場 (背景風場)。

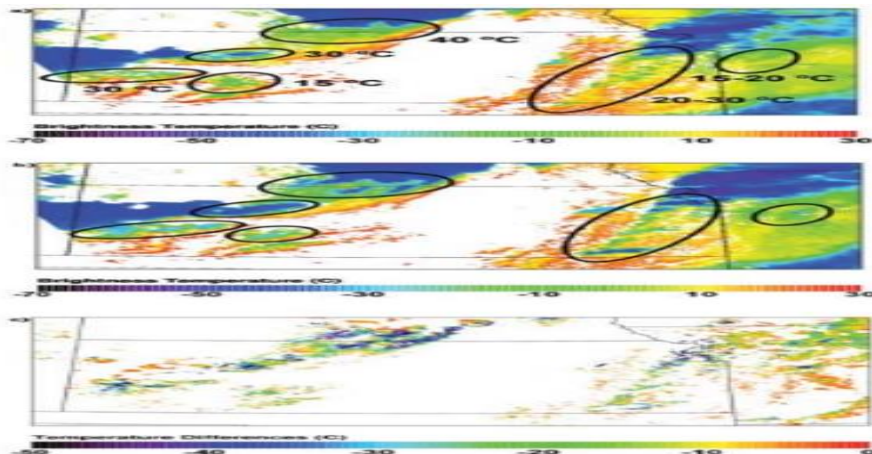


圖 3 (a) (b)2003 年 5 月 4 日 1930 UTC (2000 UTC) 的 GOES-12 10.7 μm 雲頂亮度溫度；(c) 為 30 分鐘的雲頂亮度溫度冷卻率。

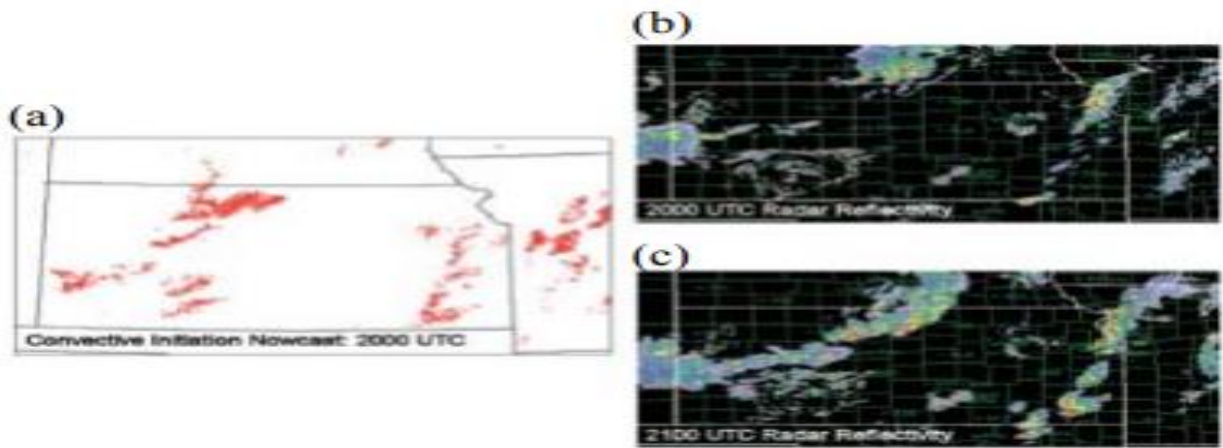


圖 4 (a) 為利用 8 種門檻的對流雲發展趨勢預報產品、(b) 和 (c) 分別為 2003 年 5 月 4 日 2000 UTC 和 2100 UTC 的雷達回波圖。

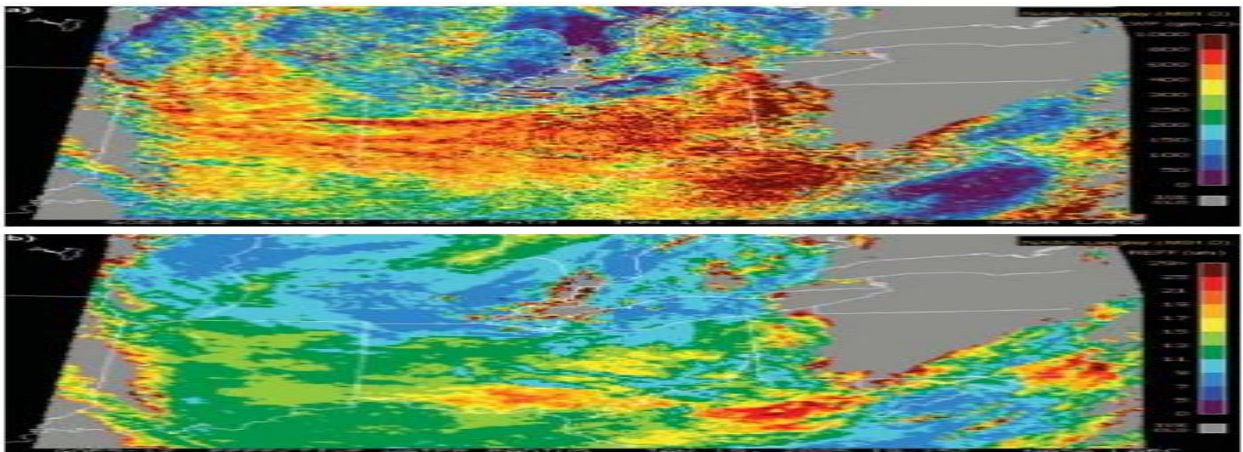


圖 5 2005 年 1 月 19 日 1915 UTC 由 VISST 演算法所估算的雲的 (a) LWP ; (b) Re 。

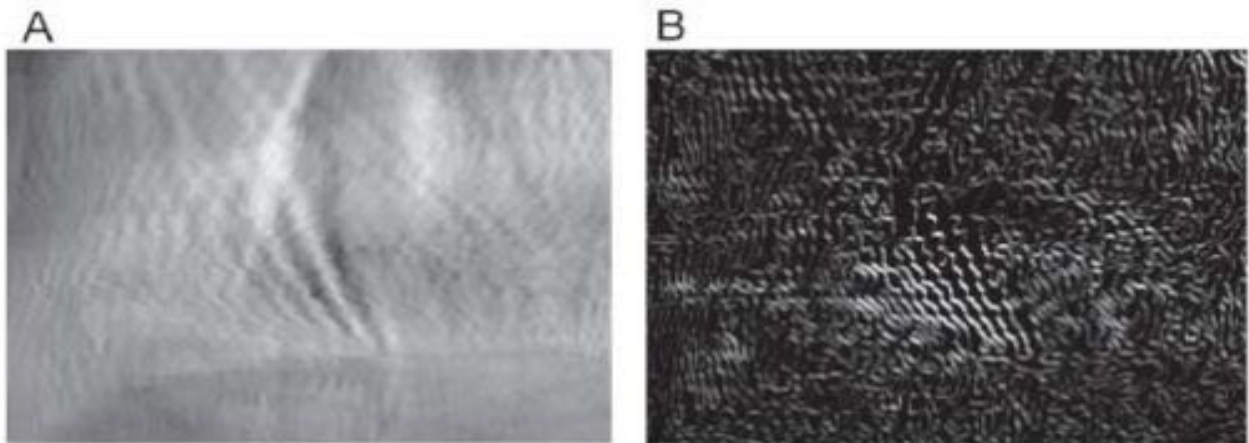


圖 6 (A) 和 (B) 分別為 2003 年 7 月 25 日 0517 UTC 的 MODIS 衛星，在  $6.7\mu\text{m}$  及加強亮度的水氣頻道透過 LoG 得到的衛星影像。

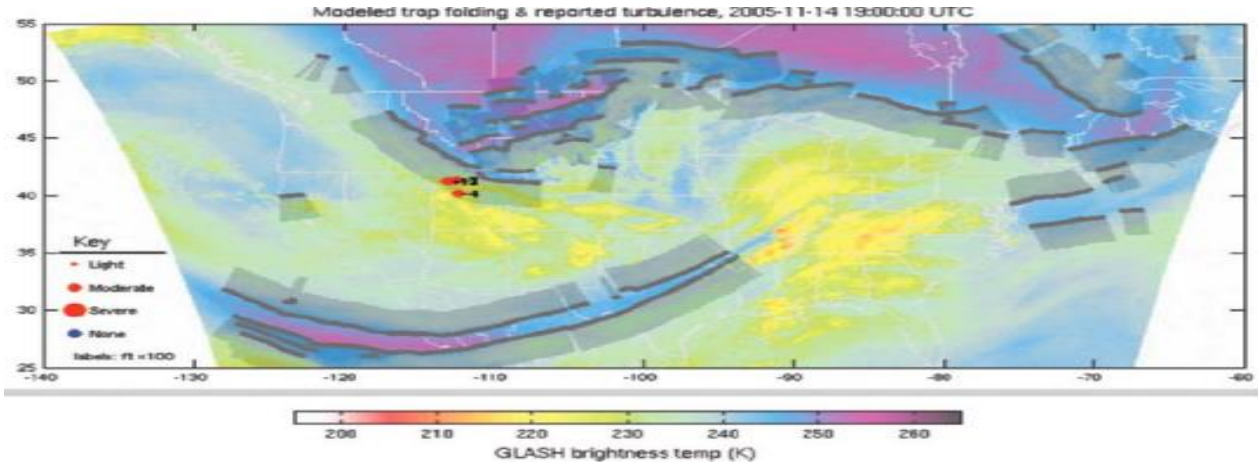


圖 7 2005 年 11 月 14 日 1900 UTC 美國區域內，由 GOES 衛星水氣頻道得到的 GLASH 場，紅和黃的暖色系表示副熱帶空氣，藍和紫的冷色系表示極區乾空氣，兩顏色梯度大處，以灰色表示，代表有可能發生對流層頂摺疊的位置，可能有晴空亂流發生，紅色點表示飛機報告有遭遇晴空亂流的位置。

## **Application of Satellite Cloud Image Interpretation to Aeronautical Meteorology**

Meng-Ju Ho

Air Force Weather Wing Weather Center

### **Abstract**

With the rapid development of science and technology, the military industry is also developed, and high-tech military aircraft are also produced in large quantities. However, military aircraft with the best performance cannot be separated from the control of the weather. The weather will not only affect the flight operation and task execution of military aircraft. In addition, it is also one of the important factors affecting flight safety. In a study by the Federal Aviation Administration's (FAA) National Aviation Safety Data Analysis Center (NASDAC), between 1994 and 2022, 21.5% (4,586) of aircraft accidents Events are related to the weather. It can be seen that detailed weather explanations play a very important role in flight safety. For aircraft, dangerous weather factors include: turbulence, wind shear, icing, low cloud curtain, low visibility, etc. Therefore, the correctness of meteorological observations and the accuracy of weather forecasts are extremely important to the safety of aircraft. Therefore, this article uses satellite cloud images to discuss how to strengthen the energy of weather forecasts and increase the warning time when military aircraft encounter sudden changes in weather in space, so as to Improve the use and combat value of aviation meteorology, effectively support combat (drill) training and maintain flight safety.

**Keywords: Weather equipment, meteorological satellite, Sunflower 8 Satellite, Satellite Images, Formosatsat VII, Inversion Atmospheric Inquiry**