

衛星雲圖自動傳送地面接收系統

劉宗平^{註1}

元智大學光電工程系 中華科技史學會理事

摘要

環繞著地球運轉的氣象衛星，能夠把所觀測到的雲層、地形和海洋等資料從太空中傳回到地面。在1972年代，中正理工學院物理系自行研製了一套氣象衛星自動照片傳送地面接收系統。由於所研製系統的性能優越，獲得美國官方機構認證通過，賦予此地面接收站一個正式站名的代碼。這套接收系統，可用以檢收來自氣象衛星的雲圖視頻信號，然後將它們轉變成照片。這些雲圖照片資料，對氣象機構、氣象學家、海洋學家、水文學家、地球物理學家和教育機關等，都具有非常重要的學術性和應用性價值。

關鍵詞：衛星 APT 系統、APT 接收系統、愛莎 8 號衛星、氣象衛星、颱風。

一、前言

中正理工學院物理系師生，在許世達^{註2}和王迺愨兩位教授的悉心指導和耐心的帶領下，自1972年（民國61年）春開始，自行研製一套簡易而有效的「氣象衛星雲圖自動照片傳送（Automatic Picture Transmission, APT）地面接收系統」，歷時年餘完成。經由美國國家航空暨太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA）認證，由於所研製的地面接收系統之性能優越，因而 NASA 賦予此系統一個地面接收站的正式代碼。並於1973年5月下旬，正式開始接收愛莎八號（ESSA-8）氣象衛星所傳送的雲圖照片資料。當時，ESSA-8 的飛行高度，約為1440公里。

就1973年而言，先後接收過艾妮達（Anita, 7月5-10日）、畢莉（Billie, 7月12-20日）、戴特（Dot, 7月13-21日）、喬琪亞（Georgia, 8月8-15日）、艾麗絲（Iris, 8月9日-20日）、瓊安或鐘茵（Joan, 8月17-22日）、魯依絲（Louise, 9月2-9日）、瑪芝（Marge, 9月11-16日）、娜拉（Nora, 10月2-10日）、歐伯（Opal, 10月4-9日）、白西（Patsy, 10月6-15日）、魯士或魯絲（Ruth, 10月11-21日）和微菴（Vera, 11月19-27日）等颱風的雲圖照片。小括號內

的標示，前為颱風的英文名字，後為颱風存在的起訖日期。由於這些照片的解析度高，有助於地形之辨認，對於氣象機構、氣象學家、海洋學家、水文學家、地球物理學家、教育機關及政府單位等而言，均具有非常高的學術性和應用性的價值。

1968年（民國57年），陸軍理工學院^{註3}、海軍工程學院和聯勤測量學校正式合併為「中正理工學院」，直接隸屬國防部。同年12月，中正理工學院從臺北市新生南路遷入桃園縣大溪鎮（今桃園市大溪區）員樹林中正嶺現址。2000年5月，中正理工學院併入國防大學，名為「國防大學中正理工學院」。1968年8月，筆者就讀中正理工學院32期（61年班）物理系物理組^{註4}。1972年8月畢業後，留系擔任助教一職。由於適逢物理系成立「氣象衛星實驗室」，於是負責該實驗室的例行性運作，包括每日追蹤氣象衛星的軌跡和接收雲圖照片的工作。

二、氣象衛星

氣象衛星主要的功能，在於監測地球的天氣（weather）和氣候（climate）。氣候是一段長時間的天氣狀態，而天氣則是在當下短期間內的天氣概況。然而，氣象衛星不僅僅看到雲層和雲的系統，還可以看到城市燈光、火災、污染影響、極光、沙塵暴、積雪、冰映射、洋流邊界和輻射流動等。運用

氣象衛星，還可以蒐集其他類型的環境資訊。例如，衛星照片有助於監測聖海倫火山（Mount St. Helens）的火山灰雲，以及埃特納火山（Mount Etna）等的火山活動。此外，氣象衛星亦可用來監測美國西部諸如科羅拉多州和猶他州等的火災煙霧。

早在 1946 年，科學家就想把照相機放進衛星運行的軌道中，利用它來觀測地球的狀況。由於受到通用電氣公司（General Electric, GE）的 Richard W. Porter 和國家科學基金會（National Science Foundation, NSF）主任 Alan T. Waterman 之間對話的鼓勵，太空飛行特設委員會（Ad Hoc Committee on Space Flight）主席羅森（Milton W. Rosen）於 1954 年 11 月 27 日，完成了一份描述發射地球衛星具有潛在價值的報告。1955 年初，這份報告提交給 NSF。於是，從 1955 年起，美國官方正式決定發展氣象衛星，稱為前鋒計畫（Project Vanguard）。

1958 年，美國陸軍通訊兵團（Army Signal Corps）開始創建前鋒衛星和泰洛斯衛星（Television InfraRed Observation Satellite, TIROS）的初期原型。同年 9 月，美國海軍研究實驗室（Naval Research Laboratory, NRL）發射一枚小型的地球軌道衛星（即指向地球的衛星，earth-orbiting satellite）前鋒 1 號（Vanguard-1），其上裝置兩具光電管，用以掃描地球上陽光反射的情形，將所觀測的結果經由發射機傳送至地面。前鋒 1 號衛星擁有 6 顆單晶矽太陽電池，以便供電給 5 mW, 108.03 MHz 的天線發射機使用。可惜這枚衛星發射失敗，未能進入太空軌道。1959 年 2 月 17 日，NRL 再次發射前鋒 2 號，成功進入太空軌道。前鋒 2 號是第一枚進入太空軌道的氣象衛星，它的設計雖可用於測量雲層的覆蓋，但因其不良的旋轉軸及橢圓軌道，無法收集大量有用的數據。

1959 年 8 月 7 日，NASA 發射探險家 6 號衛星（Explorer-6），成功進入太空軌道。

它是一顆小型的球狀衛星，用於研究各種能量的陷捕輻射、銀河系中的宇宙射線、地磁、高空大氣中無線電的傳播，以及微隕石的流量。探險家 6 號還測試了一個設計用於拍攝地球上空雲層的掃描設備，並從軌道上發送了第一批地球圖片。然而，傳回的資料甚差。1960 年 4 月 1 日，NASA 又發射了泰洛斯 1 號（TIROS-1），它是第一枚發射成功的低地球軌道的氣象衛星，也是第一批電視紅外觀測衛星。TIROS-1 在 78 天的運行壽命期間內，從地球大氣層傳回了 2 萬多幅雲層圖像，這是人類第一次大量自空中獲取地面上空雲層的照片。

早期，美國從事火箭研究時，曾在火箭上裝設照相機，以便拍攝火箭在空中運行的情況。無意中，拍攝到地面上空雲層的照片，這啟發了人們想從太空中經常拍攝地面廣大區域天氣系統照片的構想。TIROS-1 上裝置兩具照相機，它們都是先進攝像管相機系統（Advanced Vidicon Camera, AVCS），每 30 秒拍攝照片一張，所獲得的拍攝資料先錄存在錄音機中。待衛星行至地面接收站的接收範圍內時，方能由地面發令接收。在 TIROS-1 升空後的十年中，一共發射了 10 枚 TIROS 衛星。自 TIROS-2 衛星起，開始裝置紅外輻射量測儀（IR radiometer），用以測量太陽和地球的輻射。1963 年 12 月 21 日發射的 TIROS-8 衛星上，第一次裝設了自動照片傳送（APT）系統，它大幅地改善了衛星所傳送圖像資料的品質使得各地的預報人員可即時獲得當地上空數分鐘前的實際天氣資料。

美國環境科學事務局（Environmental Science Services Administration, ESSA）是美國聯邦執行機構，成立於 1965 年，它是美國商務部重組的一部分。ESSA 負責氣象衛星寧巴斯（Nimbus）系列和愛莎（ESSA）系列的運作，它們都配備了 APT 系統。ESSA 系列衛星先後發射了 9 枚，它們是為了延伸和補充 TIROS 計畫而執行的。因此，在 ESSA 系列衛星上，也都配備了 AVCS 和紅外輻射量測儀，參見圖一所示。像 TIROS 計畫一樣，

ESSA 計畫的主要目標是向美國國家氣象中心 (American National Meteorological Center) 提供可用於天氣預報和分析的雲圖照片資料。ESSA 系列衛星運作到 1970 年，即被當時新成立的國家海洋和大氣管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 所取代。

三、衛星軌道

大部分的氣象衛星 (TIROS-9 以後) 是以近乎垂直赤道之方向發射，其軌道面傾向於太陽的方向、軌道環繞兩極附近且為地球定向。衛星在全年的運行過程中，始終保持與太陽同步 (sun-synchronous)，如圖二所示。因此，當地球繞著其極軸自轉時，地球上的任一部份，每天都有機會處於衛星的涵蓋區內。由此可知，若氣象衛星運行之方向在白晝時為由北向南，則於夜晚時為由南向北。

為了維持與太陽同步運行，衛星軌道面必須在 365 天中進動 (precession) 360° ，以彌補一年四季中地球繞日運行所

產生的偏差。利用萬有引力和向心力的平衡，衛星可在軌道中環繞運行。利用力的平衡條件，可以計算衛星在任一高度運行時的速率和週期。當地球在軌道面內自轉時，衛星軌道在地球上的投影會依次地與赤道交會。相鄰交會點間的經度差，可由軌道週期來加以推算。在追蹤衛星的過程中，各次軌道間的經度差乃是衛星軌道預測的基本資料。

實際上，衛星軌道的形狀多呈橢圓形，而非為理想之圓形。橢圓的形狀與其近地點 (衛星與地球間最短距離之位置) 和遠地點 (衛星與地球間最遠距離之位置) 的最初位置，均由衛星發射時的條件來決定。當衛星環繞地球運行時，由於地球赤道較凸出部分的引力效應，使得近地點和遠地點緩慢地繞地球轉動。因此，衛星通過地球某區上空之高度也會隨著時間而變化。

按照刻卜勒的行星運動定律 (Kepler's

laws of planetary motion)，地球位在橢圓軌道的一個焦點上，且在相同時間內，衛星與地球連線掃過的面積相等。由此可知，衛星靠近地球時的運轉速度較遠離地球時的速度為大。由於近地點與遠地點的位置不斷地變動，以及運行速率的不同，遂使得追蹤衛星的問題趨於複雜。

四、氣象衛星的 APT 系統

1964 年 8 月及 1966 年 5 月，NASA 先後發射了兩枚裝備 APT 系統的寧巴斯衛星，直接傳送數以千計的 APT 雲圖照片到世界各地的接收站。後來的泰洛斯衛星，命名為愛莎。ESSA-8 於 1968 年 12 月 15 日發射，用以取代 ESSA-6。直到 1976 年 3 月 12 日為止，ESSA-8 總共運行了 2644 天。其上所配置的 APT 系統，可將連續拍攝前後重疊的雲圖照片 (參見圖 2) 傳送到各個地面接收站。在 1972 年代，全世界約有五百多個裝有 APT 接收系統的地面接收站，檢收來自氣象衛星 APT 所傳送的雲圖照片，成功地證明了 APT 系統的功能。

氣象衛星中的 APT 系統，主要包括照相機和無線電發射機兩大部分。當時衛星上所採用的照相機並非一般的底片式相機，而是採用攝像管 (vidicon tube) 的電視攝像機 (vidicon camera)。衛星上的無線電發射機，用以播送白晝時衛星下方雲層和地形的視頻資料。APT 系統的基本工作原理和普通電視系統的操作原理相似。後者以每秒 30 個圖框傳送圖像，而 APT 系統傳送一張圖像則需要三分鐘之久。當衛星處在可接收的範圍內時，一個具有適當裝備的地面接收站，便可以接收這些視頻資料，並將他們轉變成含有雲層和地形的圖片。

當氣象衛星通過地球的白晝地區時，其內安裝的電視攝像機指向地球，同時由一個序列定時器來控制攝像機之啟閉。當來自外界場景的光在光敏型靶板 (photosensitive target plate, 其前表面上鍍製二氧化錫透明導電模，而後表面上則鍍製三硫化二銻半導體薄膜) 的後表面上所形成的電荷圖像

(它對應於外界場景所形成的光學圖像)時,位在靶板後方的電子槍所發射的電子束,會依次(先由左而右,再從上到下)掃描靶板後表面上的電荷圖像,因而產生了由八百條掃描線組合而成的視頻信號。此等與原圖像相對應的視訊,先與頻率為 2400 Hz 的副載波調幅,然後送至 APT 發射機予以調頻,最後以調頻射頻信號送到地面的接收站。除了圖像信號之外,在每一張傳送圖像信號的開頭,尚配有啟動和相位的信號。同時,在每一條水平掃描線的開始前,還有一個同步脈衝信號,它與一般電視的同步脈衝信號相同,是用來同步地面接收站的顯像系統。

白晝時,衛星可通過地面接收站有效的接收範圍 2 到 3 次,其它軌道則在接收的範圍以外。就高仰角軌道(追蹤天線的最大仰角近於 90° 時之軌道)來說,每次衛星通過時,接收站可獲得三、四張有用的照片。對低仰角軌道(追蹤天線的最大仰角近於 15° 時之軌道)而言,就只能獲得一、兩張有用的照片。衛星從地平線升起,通過接收站的上空,到沒入另一地平線為止,大約需用 20 多分鐘來追蹤它。連續拍攝的兩張照片之前後緣會有重疊,每張照片的涵蓋區與衛星之高度及攝影機的視角有關。一張方形的照片,通常有邊長 1700 海里的涵蓋區。

五、衛星 APT 的地面接收系統

美國的氣象衛星當時採用三種劃定的傳送頻率,寧巴斯衛星系列採用 136.95 MHz,愛莎衛星系列則輪流採用 137.5 MHz 與 137.62 MHz 的頻率,以消除多個衛星在相近軌道上運行時可能產生的干擾。在愛莎系列中,奇數編號的衛星採用 137.5 MHz,而偶數編號的衛星則採用 137.62 MHz。氣象衛星所傳送的無線電波,都是右旋偏振電磁波。為了接收來自衛星的信號,許世達教授自製了一個指向衛星的高增益右旋式螺旋形天線,安裝在中正理工學院理學部大樓的樓頂上,如圖 3 所示。天線追蹤的起始位置是時間的函數,這項時間資料可自美國官方

氣象機構每日所發布的國際電傳打字電碼中獲得。

物理系自製的 APT 地面接收系統,建置在理學部大樓三樓的氣象衛星實驗室內,如圖 4 所示。在此圖中,最右邊的儀器是天線控制器,用以控制天線的方位角驅動總成和仰角驅動總成。這兩部驅動總成,安裝在樓頂天線下方的底座(參見圖 3)。從天線控制器的左邊算起,依次是變頻器、調頻接收機、型態開關、視頻放大器、

視頻檢波器、觸發信號控制器和亮度控制器等。圖中最左邊的兩部示波器,右為監視示波器,左為螢幕光斑較小、性能較好的顯影示波器。實驗桌靠右方的前緣處,放置一部大型的磁帶錄音機,以便錄存雲圖的視頻信號。在整個接收系統中,可分成推算軌道和追蹤衛星、接收信號、掃描成像和形成照片等四個部分。相應的功能方塊圖,如圖 5 所示。

(一) 推算軌道和追蹤衛星部分

在每天例行性的追蹤工作中,首先要利用軌道規劃板或計算機來推測衛星軌道的資料,再以其製作成天線追蹤表。其次,利用追蹤表中所列天線在各追蹤時刻的方位角和仰角,來操作天線俯仰的控制器,使天線在接收的時間內可以一直指向衛星。為了能夠準確地定位照片的中心位置,因而需要一座精確的晶體石英鐘。利用短波調幅接收機,根據 WWV^{註 5} 國際對時信號台之時間信號,來校準石英鐘的時間。倘若計時標準產生 1 秒鐘的偏差時,則在距離上就會造成大約 3 海里的誤差。

(二) 接收信號部分

天線接收到的信號先送到天線前置放大器,以便獲得後級系統所需要的信號強度。再經由變頻器,將信號調整到調頻接收機的接收頻帶內。調頻接收機的低頻輸出,實際上就是 2400 Hz 的副載波和視頻的調幅信號。此信號一方面送到錄音機錄存,一方面經過型態開關(可選擇「追蹤操作」或「重複操作」的模式)送到視頻放大器。錄音機

錄存的資料可以重複操作，視頻放大器可放大所需要的視頻信號。在此圖中，1 號耳機可提供操作者衛星出現和消失的時間，而 2 號耳機則可幫助操作者分辨一張圖像信號的開始和結束。

（三）掃描成像部分

視頻放大器後級的視頻檢波器，可檢出 2400 Hz 的副載波。此級的輸出，是具有適當偏振性和相應強度的視頻信號。將它送到顯影示波器的 Z 軸，即可對到達螢幕上的電子射束進行亮度調變。同步觸發控制器用以產生適當強度的觸發脈波，它可加在示波器的水平掃瞄線路上，使水平掃瞄同步。圖中的監視示波器，可顯示接收信號在 X-Y 軸方向的情況。操作者根據所顯示的波形，來調整視頻放大器的輸出強度和顯影示波器的掃瞄時間，俾使其掃瞄線與信號同步。為了使顯影示波器上的掃瞄線可由上而下地按序排列，需將一個緩慢遞減的鋸齒波形電壓外加在顯影示波器的 Y 軸上。附加的亮度控制器，可細調電子束的亮度，它會影響照片的平均亮度。

（四）形成照片部分

為了操作容易起見，可利用一個顯影控制開關，來同時控制照相機光閘開動器和馬達電位計總成。照像機光閘開動器是一個電氣機械裝置，它控制著照相機光圈的開啟和閉合。當顯影開關閉合時，不僅照相機開關會開啟，而且顯影示波器上的掃瞄線會同時向下移動。在整個顯影的過程中，照相機一直保持在長時間曝光的位置。由掃瞄線排列所形成的雲層圖像資料，最後曝光在照相機的底片上。經顯影和定影之後，即可獲得含有雲層和地形的照片。倘若照片中沒有地形顯示可參考時，則須經過以軌道推算為基礎的定位步驟來確定照片中心的經緯度。

自製的 APT 地面接收系統中所採用的每項裝備，多少和實驗室既有裝備的可用程度與當時可獲得裝備之難易狀況有著密切的關係。例如，一部改裝的電視接收機，便可代替方塊圖中的顯影示波器。調頻接收機若

具有高靈敏度時，則天線前置放大器就可以不採用。當衛星傳送信號時，若信號頻率已位在調頻接收機的接收頻帶範圍內時，則變頻器的裝置也就不再需要了。

六、APT 雲圖照片

當年，「氣象衛星實驗室」雖然接收過許多 ESSA-8 所傳送的 APT 雲圖，但那些照片終因歷經了 45 年歲月的洗鍊而磨損或毀壞，甚至遺失不見了。於是，只能從筆者曾經在《工程》和《科學月刊》上發表過的文章內去擷取想要的圖片。然而，由於當時一般刊本上雲圖照片的印刷水準，致使雲圖所呈現的解析度和反差（contrast）都不盡理想。現僅從《科學月刊》第 55 期序號 14 的文章（文獻 2）內挑選出兩張颱風圖片，以其為例來顯示自製 APT 接收系統的性能。

在圖六中，出現的颱風是 Iris，拍攝的時間是 1973 年 8 月 18 日上午 10 點 7 分 59 秒。這個颱風位在韓國南方的海面上，照片的中心位置為 33°N, 125°E。在圖七中，出現的颱風是 Ruth，拍攝的時間為 1973 年 10 月 18 日上午 10 點 21 分 51 秒。這個颱風位在菲律賓西北方的海面上，照片的中心位置為 22.5°N, 115.5°E。事實上，由於手邊原刊載文章的紙本已不復存在，故而只能從《科學月刊》網站的資料庫內下載圖片。於是，在無可避免的情況下，圖片們又二度經過了掃描複印的再處理，以致圖檔的品質均較投稿時所提交的原始相片為差。然而，從圖六和圖七來看，整個颱風的逆旋性雲團和颱風眼的結構，均清晰可辨。這些信息足以說明，衛星上攝像機管的解析度和 APT 系統的性能都相當地不錯，進而也就證實了中正理工物理系自製的 APT 地面接收系統之性能也是位列於令人肯定的水準之上。

在另一方面，由於陽光對白色雲團和灰暗地形所產生的反射大不相同，因而造成圖像上很大的反差，讓雲層稀疏處下方的地形不易顯現。在這兩張原始的照片中，本來都還可以見到雲層下方出現的部分地形（如韓國和菲律賓）。而今所見到的這兩張雲圖照

片，都經過了多次無法避免的再處理程序，因而看不清雲層下方的某些地形。此外，因為顯影示波器螢幕上的雲圖影像係經過曝光和沖洗的過程而得到，所以照片上雲圖與地形的解析度和反差還會受到曝光條件和沖洗過程中許多參數的影響。例如，示波器螢幕上光斑的大小和曝光的時間，顯影劑和定影劑的藥劑品質、配製方法和保存方式，顯影時間和定影時間，以及操作者的處理技術等，都會影響最終雲圖照片的品質。

在廣大的海洋上或山區中，經常無法建立很多的氣象觀測站。即使利用探空氣球進行高空氣象觀測，也不易協助氣象預報人員作進一步的分析。一旦有了衛星的雲圖照片，這項問題便可迎刃而解。由於雲圖照片對颱風的位置、大小和移動方向等可提供即時且正確的資料，可作為短期(24-72 小時)天氣預報的重要依據，這對於政府機構進行防災和救災的工作相當地重要。

現今，已然可以利用不同季節內拍攝到不同颱風的雲圖照片，來分析不同季節內各個超級颱風行進的軌跡。在圖八和圖九中，所示分別為 2014 年夏季超級颱風(Neoguri, Rammason, 及 Halong) 和冬季超級颱風(Phanfong, Vongfong, Nuri 及 Hagupit) 在西北太平洋上行進的軌跡。因而發現，冬季超級颱風的強度比夏季超級颱風強。進而證實，經由冷鋒和西南氣流增強颱風的機制，導致颱風成為超級颱風。冷鋒是颱風環境中較涼空氣團之前緣的新樣貌，在鋒面和颱風環流之間形成了一個較大的溫度梯度，最終影響了颱風的軌跡並增加颱風的強度。

在天氣預報與分析的工作中，除了各地測站的基本量測數據(包括溫度、氣壓、雨量和溼度等)及氣象衛星 APT 系統傳送的雲圖照片之外，還需要一項不可缺少的氣象雷達回波圖資料。1973 年暑假，筆者帶領 34 期物理系氣象組的六位同學^{註 6}，前往中央氣象局花蓮氣象雷達站實習，為期一個月。在林瑞山站長^{註 7}和張秀卿小姐悉心的安排下，

同學們渡過了非常快樂、難忘的學習時光。二次大戰之後，科學家把軍用雷達改裝成氣象雷達，用於分析暴雨的狀態及其分布的區域。全世界第一部氣象雷達，是雷神(Raytheon)公司製造的 WSR-64 型(Weather Surveillance Radar-1964)雷達，其偵測的範圍可以達到 464 公里。它首先安裝在花蓮氣象雷達站，1966 年 1 月 2 日正式啟用。

七、結論

中正理工學院物理系自製的氣象衛星雲圖 APT 地面接收系統，除了可接收愛莎系列衛星上電視攝影機所拍攝的可見光照片之外，還能夠接收諾亞衛星系列衛星(如 NOAA-2)上紅外攝像機所拍攝的不可見光照片。從接收到的雲圖照片來看，由於其解析度高、分辨率佳，因而可以證明當時氣象衛星上的 APT 系統和自製的 APT 地面接收系統之性能，都非常的讓人肯定。

美國天文學家、大氣物理學家羅勃茲博士(Dr. Walter Orr Roberts)，曾經撰文寫道：「氣候原是一齣悲劇，也是一個暴力的故事。不過，由於我們能夠提出及時的警告，已可逐漸防止悲劇的發生。」氣象衛星 APT 系統所傳送的雲圖照片，在氣象預報與分析的工作中發揮了重大的功效，給人們的日常生活帶來了極大的貢獻。雲圖照片不僅限於氣象方面的應用，尚能提供給環境科學和地球物理科學領域的研究之用，它是一門不容忽視的科學技術。

筆者自 1968 年 8 月踏入軍旅起，至今已過了 50 個年頭。現在接收的氣象衛星，已不再是愛莎系列或是諾亞系列的衛星。隨著電子、通訊技術的日新月異，衛星 APT 系統與其相應的地面接收系統都做了非常巨大的變革。目前中央氣象局的衛星雲圖不僅解析度極佳，還能將雲圖直接顯示在彩色的螢幕上，並進行颱風行進的動態演示。回顧以往，物換星移，情緒萬千。謹撰此文，感念那些投身在氣象預報與分析相關工作中的夥伴們。

八、參考文獻

1. 劉宗平，〈簡易有效的氣象衛星照片接收系統〉，《工程》，中國工程師學會（臺北），1974年5月，卷47，期5，頁45-56。
2. 許世達，劉宗平，〈氣象衛星地面接收站簡介〉，《科學月刊》，科學月刊社（臺北），1974年7月，期55，頁52-56。
3. 劉宗平，〈高空探測衛星與氣象衛星〉，《參考點》，輔仁天主教大學物理系學會（臺北），1979年6月，期7，頁56-60。
4. Yuei-An Liou, Ji-Chyun Liu, Chung Ping Liu (劉宗平), and Chung-Chih Liu, “Season-Dependent Distributions and Profiles of Seven Super-Typhoons (2014) in the Northwestern Pacific Ocean From Satellite Cloud Images,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 56, No. 5, pp. 2949-2957, 2018.

註1：劉宗平，中正理工學院32期物理系畢業，國立中央大學光電所博士。1990年，赴美國麻州波士頓GTE公司訪問研究一年。曾經任職行政院原子能委員會核能研究所、中山科學研究院的電子研究所和系統發展中心。任教過中正理工學院、國防醫學院、中原大學、元智大學、輔仁大學和世新大學。擔任過元智大學科學教育中心第二屆主任、中華科技史學會第三屆理事長、臺灣資訊儲存技術協會理事（第二屆到第八屆）、科學月刊編委。電郵 eecpliu@saturn.yzu.edu.tw。

註2：許世達教授，中正理工學院14期機械系（原陸軍兵工學校兵工工程學院造兵系）畢業，美國奧克拉荷馬大學機械碩士，獲

1967年第5屆十大傑出青年獎。王迺愨教授，中正理工學院25期電機系（原陸軍理工學院電機系）畢業，國立清華大學核工碩士，美國北卡羅萊納大學核工專業工程師，獲1982年第20屆十大傑出青年獎。

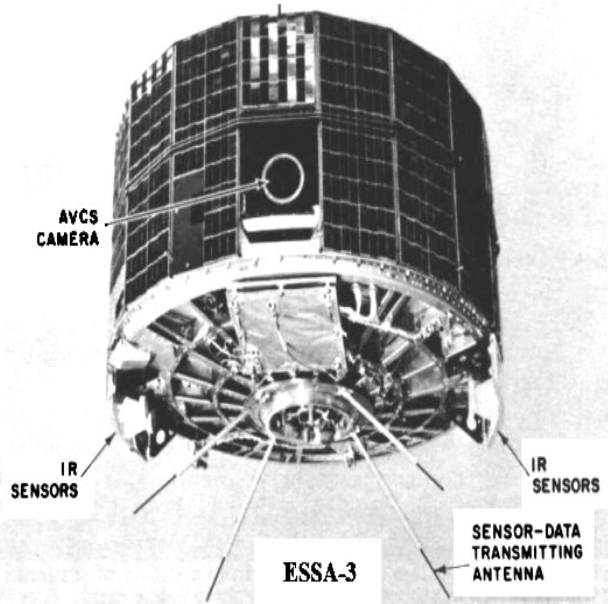
註3：1948年，「兵工工程學院」成立，直屬聯合勤務總司令部（聯勤總部）。1955年冬，改隸陸軍供應司令部兵工署，更名為「陸軍兵工學校兵工工程學院」。1962年9月，「兵工學校」實施「校院分制」，將「兵工工程學院」分編成為「陸軍理工學院」，直屬陸軍總部。

註4：32期學生，是以「中正理工學院」為名招收的首屆新生。本期物理系分成物理和氣象兩組，其中物理組是物理系的第七屆，而氣象組則是第一屆。本期物理系畢業時共有15人，其中11人為物理組，計有黃得瑞、劉宗平、朱天秋、劉新生、馮家熾、周耀璋、江鉅海、范夢麟、霍家麟、張正和邢立天。其餘4人為氣象組，計有孫元蓀、徐天佑、張志豪和郭紹文。

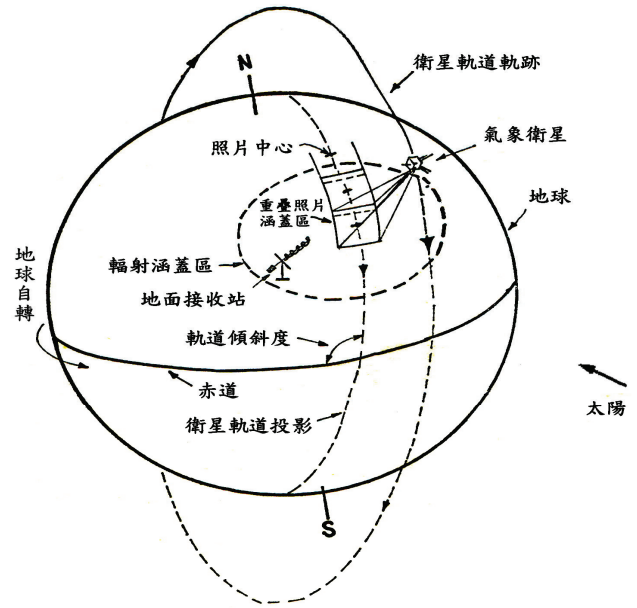
註5：WWV是位於美國科羅拉多州柯林斯堡（Fort Collins, Colorado, US）附近的美國國家標準與技術研究院（National Institute of Standards and Technology's, NIST）短波無線電台的呼號。在2.5, 5, 10, 15和20 MHz頻率的波段內，WWV會不斷地傳輸美國官方政府的頻率和時間信號。

註6：34期物理系氣象組，計有何台華、沈畦、李紀恩、林秋益、鍾振瓊和張石軍。此外，徐天佑獲中國文化大學地學博士，何台華和沈畦皆獲美國聖路易大學大氣科學博士。徐天佑、沈畦和李紀恩，先後擔任過空軍氣象聯隊少將聯隊長。何台華任教中正理工學院，擔任過理學部主任。

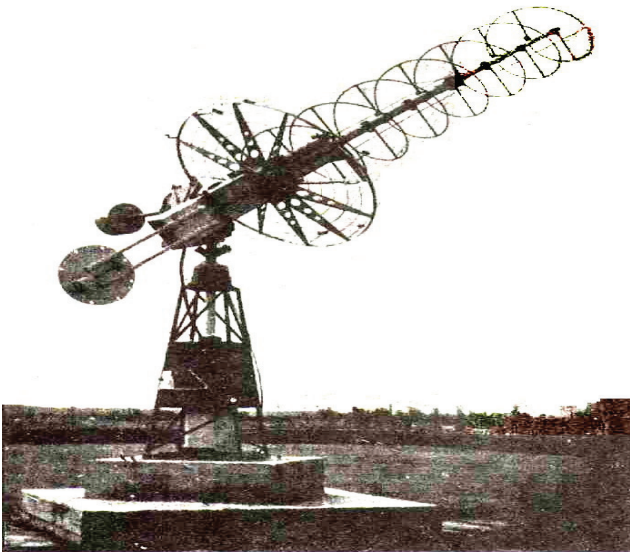
註7：林瑞山，臺大物理系畢業。中央氣象局花蓮氣象雷達站第二任站長。張秀卿，花蓮氣象雷達站職員。



圖一 氣象衛星 ESSA-3



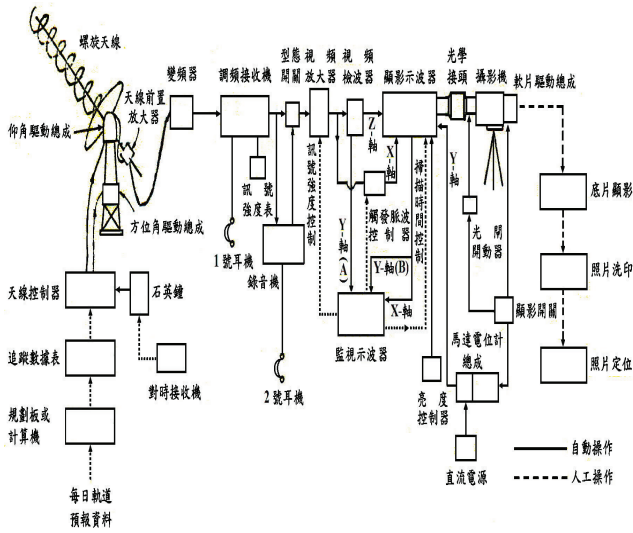
圖二 氣象衛星軌道及其涵蓋區，源自文獻 1 和 2。



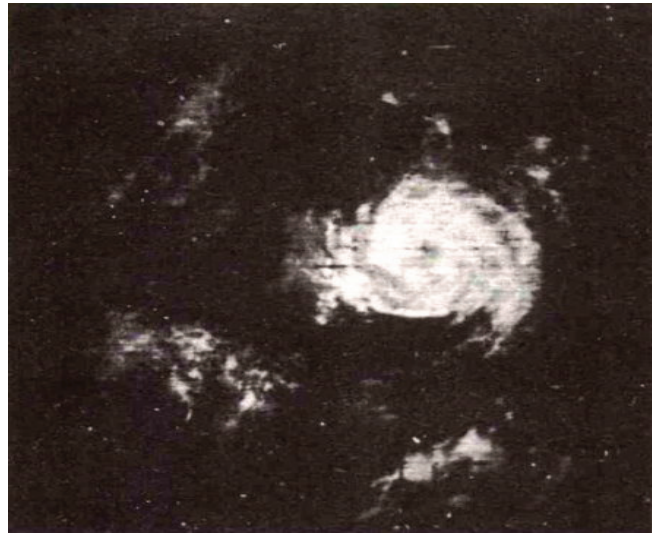
圖三 螺旋形追蹤天線



圖四 氣象衛星實驗室內的 APT 接收系統。



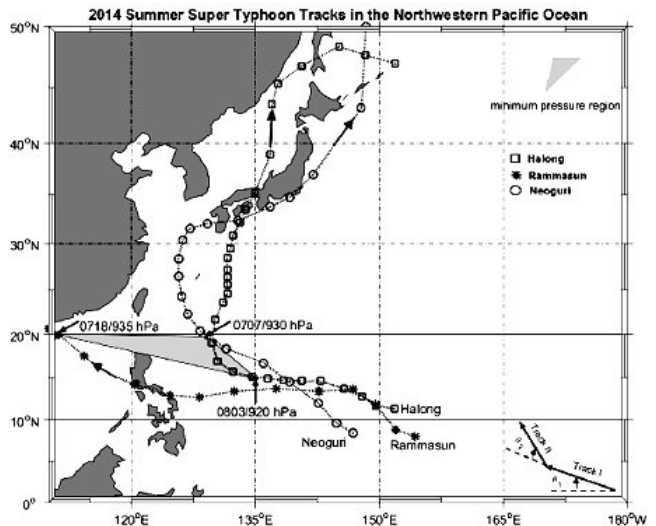
圖五 自製的氣象衛星雲圖 APT 地面接收系統之方塊圖



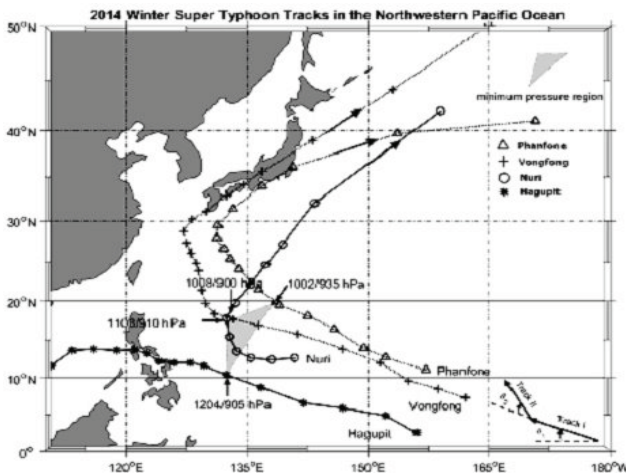
圖六 Iris 颱風



圖七 Ruth 颱風



圖八 2014 年夏季超級颱風在西北太平洋的行進路徑圖



圖九 2014 年冬季超級颱風在西北太平洋的行進路徑圖



圖十 1973 年暑假，氣象組同學首次赴花蓮氣象雷達站實習