

衛星資料在天氣監測應用之進展：由莫拉克颱風談起

齊祿祥

第二組

中央氣象局

摘要

自全球第一顆氣象衛星成功發射，氣象衛星提供全球天氣監測服務已超過 50 年，氣象觀測儀器亦隨科技發展，由早期單一頻道成為目前的多頻道 (Multi-spectrum) 與超頻譜 (Hyper-spectrum) 觀測，新世代衛星較前一代衛星的觀測能力，已明顯大幅提升，不僅可針對劇烈天氣系統，同時間進行多重目標之快速掃描，隨時監測天氣系統的發展狀況與動向。此外，藉由多頻道演算技術，可進一步研發大氣、海洋與陸地等多元產品，深化衛星資料在環境監測和防災之跨域應用，擴展氣象衛星資料之應用與服務。

關鍵字：多頻道、超頻譜、向日葵 8 號、AHI、ADT

一、前言

臺灣位於熱帶與亞熱帶氣候的東亞地區，每年均會遭受颱風及豪（大）雨等劇烈天氣的侵襲。這些災害性的天氣系統的監測與預報，除需依賴各種觀測資料源(例如氣象雷達資料及衍生產品、地面及高空觀測等)以及數值天氣預報產品外，在缺乏傳統觀測的廣大洋面上，氣象衛星乃最主要的觀測資料來源，也是研判及預測洋面天氣系統強度變化之重要依據。尤其，當颱風在西北太平洋生成時，由於沒有系統性的飛機觀測，各國皆非常依賴各式氣象衛星資料進行颱風中心定位、強度估計及移動速度之研判。

自全球第一顆氣象衛星成功發射，氣象衛星提供全球天氣監測服務已超過 50 年，氣象觀測儀器亦隨科技發展迅速，由早期單一頻道進展到目前的多頻道 (Multi-spectrum) 與超頻譜 (Hyper-spectrum) 觀測，新世氣象衛星較前一代衛星的觀測能力，已明顯大幅提升，時間與空間解析度超過以往衛星的 2 倍以上，不僅可針對劇烈天氣系統，同時間進行多重目標之快速掃描，隨時監測天氣系統的發展狀況與動向。此外，藉由多頻道演算技術，可進一步研發大氣、海洋與陸地等多元產品，深化衛星資料在環境監測和防災之跨域應用，擴展氣象衛星資料之應用與服務。

二、莫拉克颱風襲臺期間之衛星觀測

2009 年 8 月 4~10 日莫拉克颱風侵襲臺灣期間，正值 1959 年 8 月 7~9 日發生於臺灣中南部八七水

災 50 週年，莫拉克颱風於 8 月 8 日在臺灣中南部多處所降下的雨量創下氣象局觀測歷史紀錄。根據行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會之莫拉克颱風災電子資料庫^[1] 與莫拉克颱風農業應變處置實錄(農委會，2010)統計資料顯示，莫拉克颱風侵臺期間共計造成 699 人死亡或失蹤，1,764 棟房屋毀損，河川流域淹水總面積約 13,304 公頃，農業總損失金額近新台幣 200 億元，為臺灣氣象史上造成傷亡最為慘重的侵臺颱風。

莫拉克襲臺期間，氣象業務單位根據即時之衛星、雷達、探空與地面觀測資料，並同時委託臺灣大學與漢翔 Astra 飛機進行投落送 (dropsonde) 觀測，以蒐集在海上的颱風環境資料，提供氣象局之颱風發展之環境診斷參考與數值模式初始資料(林等，2010)。

中央氣象局之衛星觀測業務，除接收美國繞極軌道系列衛星數據資料，亦利用自行建置之日本 MTSAT-1R 地球同步衛星接收設備，接收並處理每半小時衛星紅外線與可見光觀測資料，提供氣象人員對於日常天氣之守視與颱風監測。莫拉克颱風侵臺期間，氣象局除了產製每半小時之紅外線與可見光頻道影像，同時配合 Dvorak technique 所使用的衛星可見光、紅外線色調強化雲圖，雲型特徵等主、客觀分析流程 (Velden et al., 2006)，決定颱風之強度與中心位置，提供預報人員所需之相關資訊。圖 1 為日本 MTSAT-1R 地球同步衛星 2009 年 8 月 8 日晚間 1130 UTC 在臺灣西南部地區受莫拉克颱風引進強盛的西南氣流與地形抬升作用影響，有明顯之對流雲系滯留，因此在南部山區造成極端降雨而致

災，此對流雲系直至 8 月 9 日上午起逐漸減弱。根據統計，莫拉克颱風所帶來的豪大雨自 8 月 7 日起至 8 月 10 日止連續 4 天，在南部的高雄山區累計雨量「最大值」為 2,392 毫米，屏東地區 2,569 毫米，打破 50 年來的紀錄，連續的豪雨也造成山區發生土石流的嚴重災害(周等，2010)。

當時同步衛星的降雨估計技術尚不成熟，根據颱風雲系中之雲牆、中央密雲區、外圍雲帶與外圍雲帶中之冷對流雲，配合颱風的移動速度推導之颱風雨量潛勢經驗公式 (Spade and Scofield, 1984)，可推估颱風降雨潛勢，但所得之降雨推估資料仍有明顯的誤差存在。

三、新世代氣象衛星觀測特性

美國自 1960 年代開始發射數十顆包括 TIROS、NOAA 系列的繞極軌道氣象衛星與後續的 EOS (Earth Observing System) 系列衛星，蒐集地球生物圈、陸地、大氣、海洋等環境的長期變化資訊。在柯林頓總統執政時期，即開始整合軍方與科研單位資源，規劃新一代氣象衛星計畫，2011 年 10 月 28 日自范登堡空軍基地成功發射了 Suomi NPP 繞極軌道衛星，Suomi NPP 衛星搭載包括:ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder)、CrIS (Cross-track Infrared Sounder)、CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)、VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)、OMPS (Ozone Mapping and Profiler Suite) 等 5 個觀測儀器，可同時對於大氣的溫度、水氣、降雨、地球能量傳遞與臭氧等變化進行監測。歐盟 UMETSAT 亦與美國 NOAA 合作開發 MetOp 系列繞極軌道衛星，攜帶一組與 NOAA 系列衛星相同的遙感器:先進高分辨率輻射儀 (AVHRR) 和先進泰洛斯作業垂直探空儀 (ATOVS)，ATOVS 包含先進微波探空儀單元-A (AMSU-A)、高分辨率紅外輻射探空儀 (HIRS) 與微波濕度探空儀 (MHS) 進行大氣環境觀測任務，主要為提供數值天氣預報模式與氣候監測之用。並於 2012 年開始規劃與設計下一代 (預計 2020 年發射) 繞極軌道衛星 (EPS-SG)^[2]。

隨著 2014 年 10 月 7 日日本於種子島宇宙中心成功發射新世代的 Himawari-8 (向日葵 8 號) 地球同步衛星後，開啟了地球同步衛星高時、空解析與多頻道 (16 個頻道) 觀測資料應用新紀元。因此以往僅能由繞極軌道衛星所產製的各項環境監測與相關之衍生產品，可藉由新世代同步衛星的觀測特性，得以進一步具體實現。世界氣象衛星組織 (WMO) 與氣象衛星合作群 (CGMS) 籌劃整合未來 10 到 15

年各國的衛星計畫 (圖 2) 並持續提供全球即時、準確的衛星監測資訊及多元化優質服務，以保護人民生命與財產的安全。

日本新一代向日葵 8 號地球同步氣象衛星所搭載的 AHI (Advanced Himawari Imager) 輻射儀，具有 16 個可見光至紅外線波段的觀測頻道 (表 1)，相較於前一代的 MTSAT-2 地球同步衛星，在水平解析度提高了 4 倍，觀測頻率增加 3 倍，觀測頻道數目增加 3 倍與作業產品因每 10 分鐘更新一次觀測資料而增加 6 倍。同時，向日葵 8 號地球同步衛星更具有針對颱風與對流等劇烈天氣系統之每 2.5 分鐘快速掃描模式 (rapid scan mode)。

四、新世代衛星衍生產品之應用

目前新世代歐、美、日等國的繞極軌道與地球同步衛星都搭載十數個以上觀測頻道的多樣性遙感儀器，因此可利用不同頻道影像，採用紅綠藍三色系之影像疊加技術或採用不同頻道數據，配合數值模式、環境相關參考資料庫等，開發多種反演技術，產製包括衛星真實色彩、雲量、氣團分析、雲頂溫度/氣壓/高度、可降水量、雲中液態水/水汽/冰含量、雲光學厚度、降雨率、風速/風向、大氣垂直溫/濕度分佈、大氣穩定度指數、熱帶風暴位置與強度、植被指數、地表種類/放射率/溫度、土壤濕度、植物蒸發散量、雲頂相態、對流起始偵測、飛機積冰警示、海洋表面溫度/溫度距平、海洋葉綠素濃度、火點/煙監測、氣溶膠光學厚度、火山灰監測、臭氧總量、地球輻射收支等大氣、海洋、陸地相關應用產品。

氣象衛星能夠監測廣泛的大氣、陸地及海洋的變化，利用其具有高光譜，高空間和時間解析度的優勢，可提供即時的影像與各種環境特性分析與應用。特別對於熱帶氣旋的監測，衛星可以提供即時且高密度觀測的大氣環境溫度、濕度與風場等資訊，評估颱風的形成和環境條件。目前世界各國已發展各種多頻道演算技術，產製熱帶氣旋環境分析產品 (圖 3)。例如，降雨估計 (Hilburn and Wentz 2008; Kuligowski 2010)、雲導風 (Olander 2001; Jaime et al. 2010)、海表面溫度 (Hosoda et al. 2007; Qin et al. 2008; Sakaida et al. 2006) 等。

美國威斯康辛大學氣象衛星合作研究所 (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, 簡稱 CIMSS) 自 1998 年開始發展自動化 Dvorak 技術 (Advanced Dvorak Technique, 簡稱 ADT), ADT 研發的主要目的是將 Dvorak 分析法，應用電腦輔助運算，自動產生熱帶氣旋中心位置、強度與

近中心氣壓估計值等資訊，強化對於熱帶氣旋的客觀分析能力，降低主觀分析所造成的差異(Knaff and Zehr 2007；Olander and Velden 2007；Wimmers and Velden 2016)。

五、結語

新世代衛星配合新式遙測資料演算技術，開發高時空解析度之大氣分析產品，除可支援梅雨、颱風等劇烈天氣系統監測與預報作業外，並可提供政府防救災單位的預警資訊。但隨之衛星資料時空解析度的提升與複雜演算技術改進，則需更多氣象科研人才的投入，目前國內政府與科研單位，仍欠缺衛星遙測基礎研究人員。因此，有賴相關單位進行整體規劃，以建立本土自主研發能力，深化衛星資料在環境監測與災防應用。

六、參考文獻

- [1] 統計概覽-行政院莫拉克颱風災後重建推動委員會 - 莫拉克風災電子資料庫 <http://morakotdatabase.nstm.gov.tw/88flood.www.gov.tw/work.html>
 - [2] 歐洲氣象衛星組織(EUMETSAT)未來第2代繞極軌道衛星參考下列網頁資訊 <http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/EUMETSATPolarSystemSecondGeneration/index.html>
- 林博雄、杜佳穎、劉振榮、陳萬金、林依依、林唐煌、齊祿祥、周鑑本、陳思為、楊益、劉崇治、莊秉潔、蔡徵霖、李明旭，2010：莫拉克颱風侵臺前後之衛星、探空與水文觀測總覽。大氣科學，38，2，63-84。
- 周鑑本、吳倩雯、齊祿祥、張拱祿、廖美慧，2010：應用衛星反演資料分析颱風劇烈降水個案與其在預報颱風降水的可行性探討。氣象學報，48，第2期，61-77。
- 行政院農業委員會 (2010)「莫拉克颱風農業應變處置實錄」，231頁。
<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=21937>，(2010年8月17日)。
- Hilburn, K. A., and F. J. Wentz, 2008: Intercalibrated passive microwave rain products from the Unified Microwave Ocean Retrieval Algorithm (UMORA). J. Appl. Meteor. Climatol., 47, 778 – 794
- Hosoda, K., H. Murakami, F. Sakaida and H. Kawamura, 2007: Algorithm and validation of sea surface temperature observation using MODIS sensors aboard Terra and Aqua in the western North

- Pacific. J. Oceanogr., 63, 267 – 280.
- Jaime D., W. Bresky, S. Wanzong, C. Velden and H. Berger, 2012: GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document for Derived Motion Winds Version 2.5. NOAA/NESDIS/STAR, 98pp.
- Knaff, J.A., and R.M. Zehr, 2007: Reexamination of Tropical Cyclone Wind-Pressure Relationships. Wea. Forecasting, 22, 71-88.
- Kuligowski, R. J., 2010: GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document for Rainfall Rate (QPE) Version 2.0. NOAA/NESDIS/STAR, 44pp.
- Olander, T., 2001: UW-CIMSS Satellite-Derived Wind Algorithm User's Guide Version 1.0. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin. 83pp.
- Olander, T.L., and C.S. Velden, 2007: The Advanced Dvorak Technique (ADT) – Continued development of an objective scheme to estimate tropical cyclone intensity using geostationary infrared satellite data. Wea. Forecasting., 22, 287-298.
- Sakaida, F., K. Hosoda, M. Moriyama, H. Murakami, A. Mukaida and H. Kawamura, 2006: Sea surface temperature observation by Global Imager (GLI)/ADEOS-II—Algorithm and accuracy of the product. J. Oceanogr., 62, 311 – 319.
- Spade L. E. Jr. and R. A. Scofield, 1984: A tropical cyclone precipitation estimation technique using geostationary satellite data. NOAA/NESDIS, 36 PP.
- Qin, H., F. Sakaida, H. Kawamura, 2008: Hourly sea surface temperature retrieval using the latest Japanese geostationary satellite, Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) -1R the 9th Pan Ocean Remote Sensing Conference, Guangzhou, China, 2-6, Dec 2008
- Wimmers, A.J. and Velden, C.S., 2016: Advancements in objective multisatellite tropical cyclone center fixing. J. Appl. Meteor. Climatol., 55, 197 – 212.

表 1 日本新一代向日葵 8 號地球同步氣象衛星 AHI 輻射儀之觀測頻道與其他觀測儀器的比較。

衛星發射圖與衛星名稱 頻道波長(μm)	日本		美國	中國	韓國 (2018)
	MTSAT-2	Himawari-8/9	GOES-16	FY-4A (試驗衛星)	Geo-KOMPSAT-2A
0.46		● 1	● 1	● 1	● 1
0.51		● 1			● 1
0.64	● 1	● 0.5	● 0.5	● 0.5~1	● 0.5
0.86		● 1	● 1	● 1	● 1
1.3			● 2		● 2
1.6		●	● 1	● 2	● 2
2.3			●	● 2~4	
3.9	●	●	●	● 2、4	●
6.2	●	●	●	●	●
7.0		●	● 2	● 4	● 2
7.3		●	●	●	●
8.6		●	●	●	●
9.6		●	●	●	●
10.4	●	●	●	●	●
11.2		●	●	●	●
12.3	●	●	●	●	●
13.3		●	●	●	●

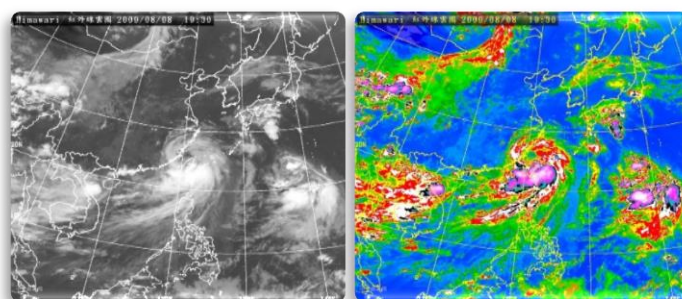


圖 1 2009 年 8 月 8 日 1130 UTC 日本 MTSAT-1R 地球同步氣象衛星之紅外線與紅外線色調強化光雲圖。

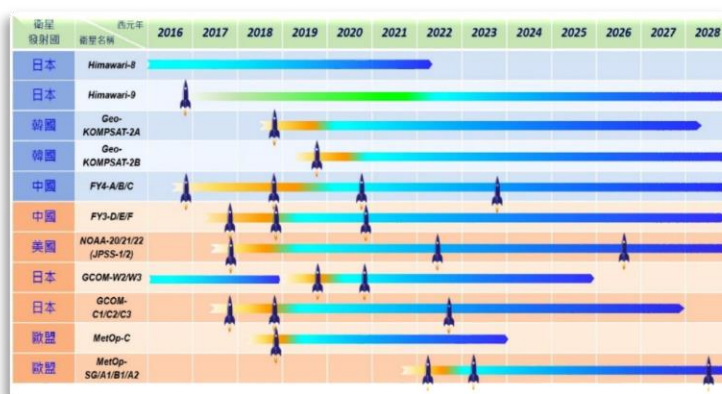


圖 2 2016~2028 世界各國氣象衛星發射時程進度表。
(彙整自 <http://www.wmo-sat.info/oscar/instruments>)

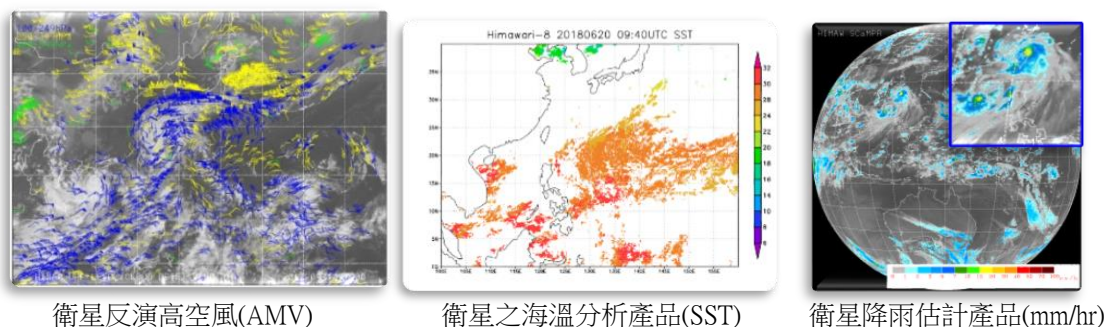


圖 3 利用衛星多頻道演算技術所產製之衍生產品。