

以向日葵衛星監控飛航積冰威脅之應用

陳御群、于宜強

國家災害防救科技中心

摘要

國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)利用日本向日葵衛星資料研發監控飛行器積冰風險的即時作業。飛航積冰是航空運輸中一個重大安全隱患,指的是飛機飛行過程中,過冷水在飛行器表面迅速凝結成冰的現象,可能導致飛行能力下降甚至造成飛機失控。災防科技中心與中央研究院合作,開發了「先進向日葵成像儀雲科學資料反演套件」(AHICSDRP),結合向日葵衛星資料與美國NCEP GFS的全球預報資料反演出雲的物理參數,如雲頂溫度、雲態(冰或水)、含水量及雲滴有效粒徑等。飛航積冰預警是參考Smith等人(2012)的方法,運用反演的雲參數來估算積冰發生的機率與強度、積冰範圍,並生成飛航積冰威脅指數(FIT index)。這些資訊對於規劃飛行路線和執行必要的除冰作業至關重要。

為了落實飛航積冰技術成果,災防科技中心建立了完整的即時飛航積冰威脅監控和展示作業流程,所產出的飛航積冰威脅資訊透過災防科技中心「天氣與氣候監測網」(WATCH)系統即時展示,可提供飛航積冰威脅的即時資訊。

災防科技中心利用向日葵衛星資料,研發即時監控飛航積冰風險技術,對於飛行器可以提供即時、精確的飛航積冰威脅資訊,已具有重要的應用價值,強化飛航積冰的預警和管理的效能,可為航空運輸安全帶來多一分的安全保障。

關鍵字：飛航積冰、向日葵衛星、雲反演

1. 前言

飛航積冰一直是航空安全中最嚴峻的挑戰之一。當飛機穿越含有過冷水(supercooled liquid water, SLW)的雲層時,這些微小水滴會在飛機的外表面迅速凝結成冰。這種冰晶的形成不僅會導致重量增加,還會改變飛機的空氣動力學,如增加阻力和降低升力,進一步影響飛機的操作性能和飛行效率,並可能損毀外露的通訊天線及機外探測裝置的功能。最重要的是,積冰可能導致飛行控制系統失效,甚至可能引發飛行事故。「飛航安全基金會」(Flight Safety Foundation)專屬服務「航空安全網」(Aviation Safety Network, <https://aviation-safety.net/>)資料庫的統計,近10年來全世界因飛航積冰造成的飛安事故有

18起,共造成27人死亡。在國內,2002年10月的復興航空GE-791貨機就在飛行途中,飛機遭遇嚴重積冰,最終失速墜毀於馬公外海,造成機上5人罹難(行政院飛航安全委員會,2006)。故在天候因素造成的飛安事故中,積冰是一個非常值得重視的現象。

傳統上,飛機的飛航積冰威脅(flight icing threat, FIT)主要通過飛行計畫和在飛行中使用除冰/防冰設備來因應。然而,當飛機遭遇到意外或極端的積冰環境時,倘若除冰措施不足以完全消除積冰危險,就可能發生飛安事件。因此,對積冰危險的準確預測和及時警告變得至關重要。飛行員如果能在飛行前獲知具體的積冰區域和預期強度,就可以避免進入這些區域或提前啟動必要的除冰

設備，從而顯著提高飛航的安全性。

近年來科技進步快速，尤其是在遙測技術和數據分析領域的進步，為精準預警積冰條件，提供了新的可能性。衛星觀測已被用來推斷與飛航積冰直接相關的多種氣象因素，包括雲層溫度、液態水含量和液滴大小等，這些都是評估積冰威脅程度的重要指標。特別是地球同步氣象衛星，它能定時定點對地球進行連續觀測，利用這樣的特性來即時監控並提供積冰威脅資訊，對於提升飛安相當具有貢獻。

利用衛星觀測來研究積冰，如 Ellrod 與 Nelson(1996)的研究結果顯示，多光譜閾值技術能夠區分那些由 SLW 組成的雲層，這些雲層往往是積冰的高風險區。此外，衛星資料也用於估計雲層的垂直範圍，進一步精確地界定可能發生積冰的空間位置。

Bernstein 等人(2005)的研究指出，結合衛星、雷達、地面觀測和飛行員報告(pilot reports, PIREPs)等資料來源，可以有效預警即將發生的積冰條件。這種綜合方法不僅提高了預測的準確性，還擴大了預測的範圍和可靠性，對航空運輸業的安全具有深遠的影響。

Smith 等人(2012)則提出了一種新的算法，利用氣象衛星資料來估算飛航積冰風險。該演算法使用衛星觀測反演的雲頂溫度、雲態(cloud phase) (冰或水)、含水量和雲滴有效粒徑(cloud droplet effective radius, R_e)等資訊作為輸入。利用數值天氣預報資料或環境溫度梯度變化推算出的結凍高度，再結合衛星反演的雲頂和雲底高度，就可以估算出飛機結冰可能發生的大致範圍(由雲底高度到冰凍高度之間)，並將這些參數融入飛行積冰威脅指數(FIT Index)。透過此方法，不僅可以識別積冰可能的水平分佈和垂直範圍，還可以估計積冰發生的機率和強度。這對於航線規劃和飛行中的策略調整提供了重要的

參考，使飛行員能夠更有效地管理積冰的風險，顯著提高了飛航安全性。其結果與美國和加拿大南部的 PIREPs 比較，兩者具有高度相關性，表明此衛星演算法的效能良好。

綜上所述，精確的積冰預警報系統對於保障飛安至關重要。此類利用衛星資料來研判飛航積冰威脅技術的落實，不僅能提升飛安，也增強了對航空運輸業潛在威脅的整體理解和管理能力。有鑑於此，災防科技中心以介接自氣象署的日本向日葵衛星即時觀測資料，透過與中央研究院合作建置的「先進向日葵成像儀雲科學資料反演套件」(Advanced Himawari Imager Cloud Science Data Retrieval Package, AHICSDRP)反演出雲物理資訊，再利用 Smith(2012)方法估算出積冰威脅，完整建置了即時飛航積冰威脅監控與展示作業，對外提供服務。以下內文將詳述災防科技中心飛航積冰即時監控作業的各項內容。

2. 資料與方法

2.1 日本向日葵地球同步衛星

日本氣象廳將用於氣象觀察的地球同步衛星均統稱為向日葵(日語：ひまわり、英語：Himawari)，此系列衛星主要任務是對包括東亞及西太平洋等周邊地區進行氣象觀測。近期服役作業的是此系列的第 8 與第 9 號衛星(Himawari-8, 9)，兩衛星屬於同型號衛星，是日本氣象廳開發，由三菱電機製造，其中 8 號衛星於 2014 年 10 月 7 日發射，9 號衛星於 2016 年 11 月 2 日發射，兩衛星均由日本鹿兒島縣的種子島宇宙中心發射升空。計畫初期，9 號作用為 8 號的備用衛星，自 2022 年 12 月 13 日開始，9 號替代 8 號進行正式觀測作業，8 號退居為備用。

向日葵衛星的位置約在東經 140.7 的赤道上方平均海平面高度 35,786 公里處。其配備主要任務酬載為「先進向日葵成像儀」(Advanced Himawari Imager, AHI)，用來觀測

地球輻射的可見光至紅外光頻段，共有如表 1 所列的 16 個頻帶(band)。其最大觀測區域為整個半球全圓盤(full disk)觀測，由於掃描解析度的不同，向日葵標準資料(Himawari Standard Data, HSD)在三種像素解析度下，全圓盤的影像像素大小分別是：解析度 500 公尺的影像像素大小為 22,000×22,000(第 3 頻帶)、解析度 1 公里的影像像素大小為 11,000×11,000(第 1、2、4 頻帶)，解析度 2 公里的影像像素大小為 5,500×5,500(第 5~16 頻帶)。上述各種解析度的像素點，都是基於「正規化地球同步投影」(Normalized Geostationary Projection)所定義的(CGMS, 2013)。全圓盤觀測為其作業模式，觀測頻率為 10 分鐘(JMA, 2017)。

本文所使用的向日葵衛星觀測資料為中央氣象署再處理的東亞地區資料。不同於原始向日葵衛星 full disk 格式，此東亞地區觀測為透過蘭伯特正圓錐投影(Lambert conformal conic)將原始 full disk 資料內差至東亞及西太平洋地區的等距(約 2 公里)網格，像素格點數為 2,750×2,750。其資料內容第 1 至 6 頻帶反照度(Albedo)，第 7 至 16 頻帶為亮溫(Brightness Temperature)。圖 1 為氣象署向日葵號衛星資料東亞區域(左圖)與原始向日葵 8 號 full disk 觀測區域(右圖)的比較，其中淺綠色覆蓋區域即為氣象署資料所涵蓋範圍。

2.2 AHICSDRP

此反演套件的前身為 GOES-R (Geostationary Operational Environmental Satellite-R) 雲演算法工作團隊 (Algorithm Working Group, AWG) 與美國威斯康辛大學麥迪遜校區 (University of Wisconsin-Madison) 的聯合氣象衛星研究合作學院 (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, CIMSS) 針對美國 GOES-16 氣象同步衛星的先進基線成

像儀(Advanced Base-line Imager, ABI)觀測所發展的「地球同步衛星社群衛星處理套件」(Community Satellite Processing Package for geostationary satellite, CSPP-GEO)，用以將 ABI 觀測處理成各種地球物理產品，其中的「地球同步衛星之雲演算測試平台(GEO-stationary Cloud Algorithm Test-bed, GEOCAT)」利用衛星的反射率及亮溫來反演雲的相關資訊(Martin 等人, 2016)。GOES-16/ABI 可提供 500 公尺至 2 公里的空間解析度、30 秒至 15 分鐘的時間解析度，共計 16 個頻帶的反射率與亮度溫度觀測(Schmit et al., 2005 及 2017)。和向日葵衛星的 AHI 相比，GOES-16 ABI 增加 1.37 μ m 近紅外線頻道，可增進卷雲的探測，但缺少綠光頻道(0.51 μ m 反射率)。

由於向日葵衛星 AHI 的頻譜特性與 GOES-16 相似，故中央研究院以 GEOCAT 為基礎，針對向日葵衛星 AHI 的光譜波段以及在局地大氣熱力狀態進行優化，建立各個像素 Planck 熱輻射的查算表(Look-up Tables, LUTs)，改寫成「先進向日葵成像儀雲科學資料反演套件」，用以將 CWA 的東亞地區向日葵觀測進行雲反演。

這種反演是一個複雜的過程的結果，使用 AHI 光譜波段的局地查算表(LUTs)，AHICSCRIP 以一個大氣透射模式的壓力層快速演算法(Eyre & Woolf, 1988)，利用來自 NCEP GFS 的大氣熱力狀態來計算 AHI 紅外線頻段的晴空大氣輻射和透射率。如此，透過一維變分(1DVAR)技術，利用觀測和計算的輻射值來反演雲的特性(Li et al., 2001; Li & Liu, 2005; Liu et al., 2008; Yao et al., 2013)。

雲的科學反演產品主要為雲遮罩(cloud mask) (Heidinger et al., 2020)、雲類型(cloud type)、雲相(cloud phase) (Pavolonis et al., 2020)、雲頂溫度、雲頂氣壓、雲頂高度(Menzel et al., 2008)、雲光學深度(cloud optical depth,

COD)、雲滴有效粒徑(effective radius of droplet, R_e)、雲液態水路徑(liquid water path, LWP)、雲冰路徑(iced water path, IWP) (Letu et al., 2020)。

災防科技中心進一步將 AHICSDRP 進行作業化，使此反演套件可利用氣象署的東亞地區向日葵觀測來進行雲反演。

2.3 飛航積冰威脅指數演算

Smith 等於 2012 提出一個基於物理的經驗演算法，可利用衛星資料反演的雲定量資訊，來估算飛行器的飛航積冰威脅(Flight Icing Threat, FIT)。其研究是以大量飛行員報告(pilot reports, PIREPs)提供積冰直接觀測來擬合演算法中的各項參數及統計參考。該演算法所需利用到的衛星雲反演資料有：雲態、雲光學厚度、雲頂高度、雲頂溫度、有效雲滴粒徑及雲水路徑。此法可提供積冰可能發生區域，包括積冰可能的水平分佈與積冰層頂部和底部的高度界限、積冰發生機率、積冰強度判別等，用來輸出成飛行積冰威脅(Flight Icing Threat, FIT)指數以利操作，其演算流程如圖 2 所示。具體方法有 5 個步驟：

步驟 1，利用衛星反演雲遮罩、雲態與雲光學厚度來建立初步的積冰遮罩。晴空與液態雲判定為無積冰威脅；過冷水態雲與冰態雲再依雲光學厚度判別是否有積冰威脅。過冷水雲的 $COD > 1.0$ 則判定為有積冰威脅，反之則無，冰態雲的 $COD > 6.0$ 判定為未知威脅，反之則無。值得注意的是「未知」威脅，主要是因為該區域雲頂為冰態雲，衛星觀測或反演的資訊無法探知冰態雲以下的雲層是否存在過冷水，若有過冷水則有積冰威脅；若無過冷水則無，故特別將此類區域分類為「未知」，提醒仍須注意可能有積冰風險存在。

步驟 2，計算過冷水路徑(supercooled liquid water path, SLWP)。由雲頂高度與雲頂

溫度利用濕絕熱降溫率估出凍結高度。利用 COD 透過經驗式估算雲幾何厚度，再以雲頂高度和厚度差估出雲底高度。接著利用雲頂、雲底、凍結高度、雲幾何厚度，以及 LWP 來估算 SLWP。當雲底高度低於凍結高度時，過冷水層底的高度即為凍結高度，以雲幾何厚度為參考值，將 LWP 內差至凍結高度，作為 SLWP；反之，過冷水層底的高度則為雲底高度，以 LWP 作為 SLWP。

步驟 3，計算積冰威脅機率。將 R_e 分佈分成三段，利用經驗式將 SLWP 分別估算出大粒徑($R_e > 16\mu\text{m}$)與小粒徑($R_e < 5\mu\text{m}$)時的積冰威脅機率，中粒徑的機率再以大粒徑和小粒徑的機率用線性內差求得。機率 < 0.4 定義為低機率積冰威脅、 0.4 至 0.7 之間為中機率積冰威脅、 > 0.7 則為高機率積冰威脅。

步驟 4，估算積冰強度，原始 PIREPs 的積冰強度分為 8 個等級，為了更方便操作，此法將有積冰時的強度更廣的分作兩級，一級是輕度積冰(包含原 PIREPs 的微量、微量至輕度、輕度)，另一級是中度至嚴重積冰(包含原 PIREPs 的輕度至中度、中度、中度至重度、重度與嚴重)。統計 SLWP 在這兩個等級的發生機率分佈，訂出 SLWP 為 379gm^{-2} 的門檻值，大過此門檻值則有較高機率為中度至嚴重積冰，反之則有較大機率為輕度積冰。

步驟 5，定義 FIT 指數。為了實際操作應用，依據上述估算的各項特定值定義出 6 個層級的 FIT 指數：0 表示無積冰風險、1 表示未知積冰威脅、2 表示低風險輕度積冰威脅、3 表示中風險輕度積冰威脅、4 表示高風險輕度積冰威脅、5 表示高風險中度至嚴重積冰威脅。

以 AHICSDRP 反演出的雲微物理參數資料，加值產出飛航積冰風險分佈監控產品，可同時提供 FIT 指數水平分佈、積冰底層高度、積冰頂層高度三種數據資料。積冰底層高度即為上述步驟 2 估算出來的過冷水

層底的高度，積冰頂層高度則為原雲反演的雲頂高度，圖 3 即為一例。

3. 即時作業化與產品應用

為使飛航積冰威脅產品能落實於災防應用上，提供即時監控的積冰威脅參考資訊，災防科技中心建置了完整的作業化自動程序。首先，每 10 分鐘自氣象署介接最新的即時向日葵衛星 16 個頻帶的東亞地區觀測資料。衛星觀測資料收集完整之後，隨即利用美國 NCEP GFS 最新一報全球 0.25 度預報場提供熱力資訊，衛星觀測資訊以 AHICSDRP 反演出雲微物理產品。之後將反演雲微物理產品以 Smith 等人(2012)的方法估算出 FIT 指數。FIT 指數是以每個衛星觀測像素元計算而成，因此 FIT 指數可如同衛星觀測提供高時(每 10 分鐘)空(水平約 2 公里)解析度的監測。向日葵衛星觀測資料獲得的時間比實際觀測時刻滯後約 22 分鐘，再加上資料前處理、AHICSDRP 進行雲反演、以及估算積冰威脅的時間，即時積冰威脅監控資訊提供的時間約較實際時間滯後半小時以內。

即時積冰威脅監控資訊同步於災防科技中心的「天氣與氣候監測網」(WATCH)展示，WATCH 提供了一個即時展示氣象衛星應用相關產品一個非常方便的平台，此平台除了即時展示最新圖資之外，也可以自行更改時間日期以顯示過去歷史圖資。WATCH 首頁(<https://watch.ncdr.nat.gov.tw/>)中點選「向日葵衛星」頁籤，即可進入向日葵衛星資料應用相關產品分頁，在此分頁點選「積冰風險」頁籤，即可進入「衛星反演積冰風險」分頁，見圖 4。

「衛星反演積冰風險」分頁即是以 FIT 指數、積冰底層高度、積冰頂層高度三種數據資料特製的專頁，由於飛航積冰風險每個衛星像素點包含的資訊有 FIT 指數、積冰底層高度、積冰頂層高度，以單一平面圖資方式顯示並不適合，故特別以 MapBOX 平台開

發展示飛航積冰威脅專屬互動式網頁，透過與使用者的互動以提供多種資訊。其底圖為 FIT 指數分佈，顯示的是整合積冰發生機率與強度的風險水平空間分佈，使用者透過移動游標，可以跳出顯示游標所在像素點的詳細 FIT 指數與積冰底層高度、積冰頂層高度資訊，圖 5 即為一例。

4. 結論與展望

本文陳述了災防科技中心以 Smith 等人於 2012 所提出的方法，運用定點定時探測東亞及西太平洋地區的日本向日葵地球同步衛星觀測資料，建構了一個即時監控飛航積冰風險的平台。此方法利用衛星資料估算飛航積冰威脅指數，其主要輸入資料為衛星反演的雲產品，包括雲遮罩、雲頂溫度、雲態、雲光學深度、雲液態水路徑和雲滴有效粒徑。此方法在其原文中，包含有與 PIREP、TAMDAR 和 NIRSS 資料的積冰觀測比較，其比較結果顯示，此法在白天準確率約為 60%至 75%，具有不錯的參考價值。值得一提的是，此法能從雲頂高度、雲底高度和凍結高度反演出積冰發生的高度界限，更有利於在已知的飛行航線中提出更精準的積冰發生警告。此法監控覆蓋區域及解析度更是其他觀測無法提供的，這對於容易受重度過冷水雲影響的地區與季節的飛航安全相當有用。

災防科技中心透過 WATCH 系統，即時展示此法估算的飛航積冰威脅空間分佈，並透過與使用者互動的方式，提供多種飛航積冰威脅有用的資訊。其監控涵蓋範圍廣、空間解析度高、且資訊更新頻率高，值得多加利用。

稍微可惜的是，受限於成像儀所探測的波段，向日葵衛星觀測只能提供雲頂的資訊，對於部份冰態雲覆蓋的區域，無法探知其下方是否有過冷水的存在，因此其積冰威脅只能被歸類在未知威脅。此外，此法所需

用到的部份雲反演參數，如雲光學深度、雲滴有效粒徑、雲液態水路徑，其反演必須用到衛星觀測的可見光頻段，因此夜間時無法反演出這些雲物理參數，故也無法以此法估算出飛航積冰威脅。

雖然有上述的一些使用限制，但此法多提供了動態估計的積冰發生機率和強度等有用的積冰參考資訊。隨著人工智慧飛快發展，未來可利用機器學習技術，以紅外光頻帶估算出夜間的雲光學深度、雲滴有效粒徑、雲液態水路徑等參數，則可將此法擴增應用到監控夜間的飛航積冰威脅。可以預見，隨着利用先進成像儀提升解析度和光譜資訊以及雲反演技術的改進，以衛星監控飛航積冰威脅的技術將會更加完善，對於飛航安全更能提供更多準確的資訊。

5. 參考文獻

- Bernstein, B. C., McDonough, F., Politovich, M., Brown, B., Ratvasky, T., Miller, D., Wolff, C., and Cunning, G., 2005, Current icing potential: Algorithm description and comparison with aircraft observations. *J. Appl. Meteor.*, 44, 969-986.
- CGMS, 2013, LRIT/HRIT Global Specification. CGMS Secretariat c/o EUMESAT, Darmstadt: Germany.
- Ellrod, G., and Nelson, J. P., 1996, Remote sensing of aircraft icing regions using GOES multispectral imager data. Preprints, 15th Conf. on Weather Analysis and Forecasting, Norfolk, VA, Amer. *Meteor. Soc.*, 9-12.
- Eyre, J. R., & Woolf, H. M., 1988, Transmittance of atmospheric gases in the microwave region: A fast model. *Applied Optics*, 27(15), 3244-3249.
- Heidinger, H., 2020, NOAA NESDIS CENTER for Satellite Applications and Research Enterprise Algorithm Theoretical Basis Document for Enterprise Cloud Mask. [Silver Spring, Maryland.](#)
- JMA, 2017, Himawari-8/9 Himawari Standard Data User's Guide Version 1.3. Tokyo, Japan.
- Letu, H., Yang, K., Nakajima, T. Y., Ishimoto, H., Nagao, T. M., Riedi, J., ... & Shi, J., 2020, High-resolution retrieval of cloud microphysical properties and surface solar radiation using Himawari-8/AHI next-generation geostationary satellite. *Remote Sensing of Env.*, 239, 111583.
- Li, J., Liu, C.-Y., Huang, H.-L., Schmit, T. J., Wu, X., Menzel, W. P., & Gurka, J. J., 2005, Optimal cloud-clearing for AIRS radiances using MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(6), 1266-1278.
- Li, J., Menzel, W. P., & Schreiner, A. J., 2001, Variational retrieval of cloud parameters from GOES sounder longwave cloudy radiance measurements. *J. Appl. Meteor.*, 40(3), 312-330.
- Liu, C.-Y., Li, J., Weisz, E., Schmit, T. J., Ackerman, S. A., & Huang, H. L., 2008, Synergistic use of AIRS and MODIS radiance measurements for atmospheric profiling. *Geophysical Research Letters*, 35, L21802.
- Martin, G., Gumley, L., Bearson, N., Braun, J., Cureton, G., Garcia, R., et al., 2016, Support for GOES-R and Himawari-8 in CSPP Geo. Retrieved.
- Menzel, W. P., R. A. Fray, H. Zhang, D. P. Wylie, C. C. Moeller, R. E. Holz, B. Maddux, B. A. Baum, K. I. Strabala, & L. E. Gumley, 2008, MODIS Global Cloud-Top Pressure and Amount Estimation: Algorithm

- Description and Results, J. Appl. Meteor. & Clim., 47, 1175-1198.
- Pavolonis, M., 2020, NOAA NESDIS CENTER for Satellite Applications and Research Enterprise Algorithm Theoretical Basis Document for Cloud Type and Cloud Phase. Silver Spring, Maryland.
- Smith, W. L., P. Minnis, C. Fleeger, D. Spangenberg, R. Palikonda, & L. Nguyen, 2012, Determining the Flight Icing Threat to Aircraft with Single-Layer Cloud Parameters Derived from Operational Satellite Data. J. Appl. Meteor. & Clim., 51, 1794-1810.
- Yao, Z., Li, J., Weisz, E., Heidinger, A., & Liu, C. Y., 2013, Evaluation of single field-of-view cloud top height retrievals from hyperspectral infrared sounder radiances with CloudSat and CALIPSO measurements. J. of Geophysical Research: Atmospheres, 118, 9182-9190.
- 行政院飛航安全委員會，2006，航空器飛航事故調查報告-中華民國 91 年 12 月 21 日復興航空公司 GE791 貨機 ATR-72 型機澎湖縣馬公市外海墜海，第一冊,ASC-AOR-05-04-001,2005/04。
- 陳御群、于宜強，2024，日本向日葵衛星觀測反演雲科學參數技術開發，國家災害防救科技中心業務報告。

6. 表目錄

表 1 AHI 各頻帶波長及解析度。

波長	編號	簡稱	中心波長(μm)	赤道帶水平 解析度 (km)
可見光	1	V1	0.47063	1
	2	V2	0.51000	1
	3	VS	0.63914	0.5
近紅外光	4	N1	0.85670	1
	5	N2	1.6101	2
	6	N3	2.2568	2
紅外光	7	I4	3.8853	2
	8	WV	6.2429	2
	9	W2	6.9410	2
	10	W3	7.3467	2
	11	MI	8.5926	2
	12	O3	9.6372	2
	13	IR	10.4073	2
	14	L2	11.2395	2
	15	I2	12.3806	2
	16	CO	13.2807	2

7. 圖目錄

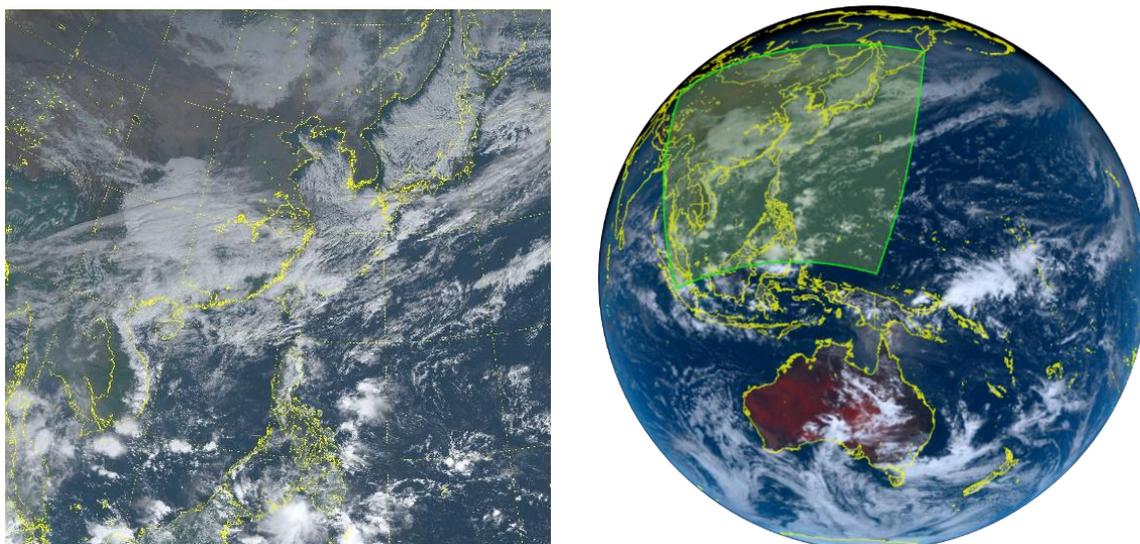


圖 1 左圖為氣象署向日葵號衛星資料東亞區域，右圖為向日葵 8 號 full disk 觀測區域，其中淺綠色覆蓋區域即為氣象署資料所涵蓋範圍。

STEP 1: 建立積冰遮罩

Cloud phase	COD	Icing mask
Clear	—	No icing
Water	All	No icing
SLW	COD > 1.0	Icing
SLW	COD ≤ 1.0	No icing
Ice	COD ≤ 6.0	No icing
Ice	COD > 6.0	Unknown

STEP 2: 計算雲過冷水路徑

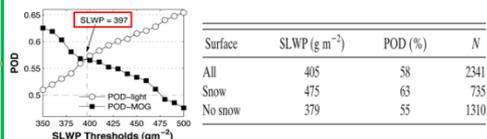
- $Z_{tr} = Z_i + (T_i - 273.15 \text{ K})/6.5$.
Moist-adiabatic lapse rate: 6.5
CTH: Z_i
CTT: T_i
freezing level: Z_f
- $\Delta Z = 0.39 \ln(\text{COD}) - 0.01$.
- $Z_b = Z_i - \Delta Z$.
CBH: Z_b
- SLWP = LWP ($Z_b \geq Z_{tr}$) and
SLWP = LWP($Z_i - Z_{tr}$)/ ΔZ ($Z_b < Z_{tr}$).

STEP 3: 計算積冰機率

$IP = 0.252 \log_{10}(\text{SLWP}) - 0.110$ ($R_e < 5 \mu\text{m}$)
 Linear interpolation ($5 \mu\text{m} \leq R_e \leq 16 \mu\text{m}$)
 $IP = 0.333 \log_{10}(\text{SLWP}) - 0.015$ ($R_e > 16 \mu\text{m}$).

$IP > 0.4$: **Low**
 $0.4 < IP < 0.7$: **Medium**
 $IP < 0.7$: **High**

STEP 4: 積冰強度分類(經驗門檻)



STEP 5: 輸出FIT Index

FIT index	Description
-7	No retrieval/bad data
-9	Missing data/other
0	No icing
1	Unknown
2	Low probability of light icing (daytime only: $\text{SZA} < 82^\circ$)
3	Medium probability of light icing (daytime only: $\text{SZA} < 82^\circ$)
4	High probability of light icing (daytime only: $\text{SZA} < 82^\circ$)
5	High probability of MOG icing (daytime only: $\text{SZA} < 82^\circ$)
6	Icing possible (Nighttime only: $\text{SZA} \geq 82^\circ$)

圖 2 Smith et al. (2012)提出飛航積冰威脅參數演算流程。

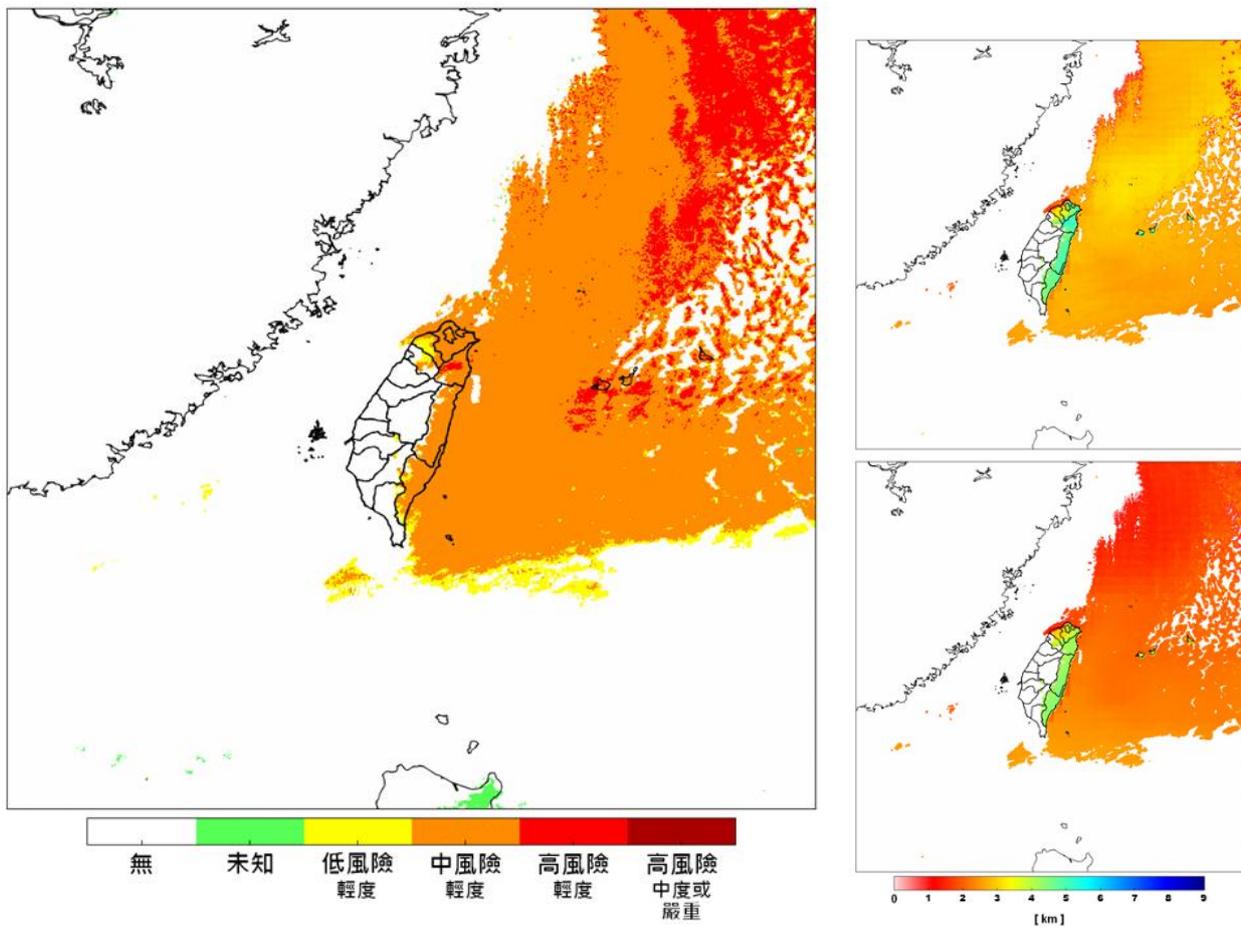


圖 3 左圖為飛行積冰威脅分佈，及其積冰發生頂部(右上圖)和底部(右下圖)的高度範圍。

WATCH 首頁

<https://watch.ncdr.nat.gov.tw/>



向日葵衛星分頁



圖 4 災防科技中心 WATCH 首頁的「向日葵衛星」頁籤(上圖)，與向日葵衛星分頁的「積冰風險」頁籤(下圖)。



圖 5 WATCH 系統以 MapBOX 展示飛航積冰風險一例。

Applications of Himawari Satellites for Monitoring Flight Icing Threat

Yu-Chun Chen, Yi-Chiang Yu

National Science and Technology Center for Disaster Reduction, Taiwan

Abstract

This paper presents the real-time operation of the National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) in monitoring flight icing threat using observations from Japan's Himawari satellite. Flight icing is a major safety hazard in air transportation, referring to the phenomenon of supercooled water rapidly freezing into ice on the surface of an aircraft during flight, which may lead to a decrease in flight performance or even loss of control. In collaboration with the Academia Sinica, the NCDR has developed the "Advanced Himawari Imager Cloud Science Data Retrieval Package" (AHICSDRP) to retrieve cloud physical parameters, such as cloud top temperature, cloud phase (iced or liquid), water path, and cloud droplet effective radius, from Himawari satellite observations in conjunction with thermodynamic information from the NCEP GFS global forecast data. These data are used to estimate the probability and intensity of icing, the height range of icing, and to generate the Flight Icing Threat Index following the method developed by Smith et al. (2012) for convenient application in flight operations. This information is crucial for pilots to plan flight routes and perform necessary de-icing operations.

To transform these technological achievements into practical monitoring and warning services, the NCDR has established a complete real-time flight icing threat monitoring and display operation. This operational procedure begins with the automatic receiving of real-time Himawari's observations from the Central Weather Administration every 10 minutes, followed by real-time cloud retrieval and calculation of various flight icing risk levels using Smith's method, ranging from no risk to high risk. The generated flight icing threat information is displayed in real time through the WATCH system, which not only provides real-time information on meteorological satellite products but also allows users to view historical data and applications on their own. In particular, for flight icing threat information, the interactive web page provided by the WATCH system can display detailed information such as the FIT index, icing top and bottom height.

In summary, this innovative application by the NCDR has greatly improved the timeliness and convenience of monitoring flight icing risk. For pilots and airlines, this real-time and accurate flight icing threat information has significant practical application value. With continuous technological advancements, warnings and management of flight icing will be more effective, providing greater safety guarantees for air transportation.

Keywords: Flight icing, Himawari satellite, cloud retrievals.