

應用 HIMAWARI 8 衛星資料估算飛機積冰潛勢

劉豫臻

中央氣象局 氣象衛星中心

摘要

積冰對飛航安全影響重大。過去研究中積冰預警系統結合衛星、雷達、閃電、地面觀測、模式、飛行員報告等各種資訊，透過模糊邏輯概念，以各變數影響程度製作對照表來決定積冰的預警程度，該方法主要使用模式預報資料，並依照最近時間各種觀測資料調整成目前積冰潛勢產品（CIP），實際上仍為預報之產品。相較於過去的方法，直接透過衛星觀測反演的液態水含量及有效半徑與飛機積冰之關係，並配合雲相態分析及光學厚度產品排除非積冰潛勢區，可獲得即時、高解析之飛機積冰潛勢資料。本文將利用 HIMAWARI 8 同步衛星觀測資料反演即時之飛機積冰潛勢產品。

一、前言

積冰（icing）現象易對飛航安全造成嚴重影響，當飛機機翼遭遇積冰現象時，將降低飛機的升力，並增加阻力。造成積冰可能因素相當多，積冰也可能發生在極小的範圍，以至於現行技術難以解析，目前的積冰診斷和預報方法，仍傾向過度高估積冰的範圍。

Rasmussen(1992)研究指出，與飛機積冰強度有關的氣象要素有雲的溫度、液態水含量、水滴粒徑等因子，此外飛機積冰程度也跟飛機的設計、防冰與除冰設備有關。儘管飛機除冰裝置能應付大部分輕度積冰狀況，還是得儘快離開該空域，以避免持續性的積冰現象造成危險。過去研究文獻曾使用模式預報的溫度及相對溼度與飛行員報告(PIREPs)比較，發現高度相關，因此使用數值預報模式所產生之溫度及相對溼度做積冰估算(Schultz and Politovich 1992; Tompson et al. 1997)。儘管該方法快速且容易，卻傾向空間上的過度預報(Tompson et al. 1997)，這將導致航線的規畫更顯困難。

Bernstein et al.(2005)發展了一套方法，混合多種相關資料，包含衛星、地面觀測報告、雷達、閃電、飛行員觀測報告(PIREPs)，以及模式預報的相對溼度、過冷水含量(Super Liquid Water)、垂直速度等資料，該方法可產生及目前的積冰警示產品(Current Icing Product, CIP)以及預報積冰警示產品(Flight Icing Product, FIP)，該產品目前為NOAA AVIATION WEATHER CENTER及交通部民用航空局作業化的積冰警示系統。

因應美國新一代衛星GOES-R的發展，Smith(2010)GOES-R積冰演算法文件中，應用PIREPs觀測積冰與GOES衛星衍生產品之關係，發展出新的積冰偵測方法，Smith(2012)則提出使用Super Liquid Water Path(SLWP)取代Liquid Water Path(LWP)可以增進積冰的偵測能力。本文將利用

Smith(2012)所描述之方法，用於日本新一代同步衛星Himawari8，以期能獲等更高解析、即時之積冰警示資料。

二、方法

積冰潛勢產品(Flight Icing Threat, FIT)，使用Smith(2010)GOES-R積冰演算法文件及Smith(2012)之方法，首先透過雲相態分類產品做初步分類，並以雲的光學厚度來輔助判斷，因此需要可見光頻道輔助，故只能用於白天，並採用太陽天頂角75度以下判斷為日間。Smith(2012)也提出使用夜間雲光學厚度(Nighttime Cloud Optical Depth)輔助判斷，可以增加部分夜間積冰警示區，然而目前Himawari8夜間雲光學厚度產品尚未完善，並未加入此部分。雲的光學厚度(Cloud Optical Depth)用於將較厚過冷水雲區判定為有可能積冰的區域，在較厚之冰雲區，有可能為多層雲或者深對流區，因為衛星觀測只能觀察到雲頂表面資訊，無法確定下方是否含有過冷水，所以判斷為不確定的區域(unknown)。

判斷可能積冰區後，再將積冰產品區分為積冰可能性及積冰強度兩部分：

(一)積冰可能性(Icing Probability)

其關係式為：

$$R_e = 5\mu\text{m}$$

$$IP = 0.252\log_{10}(SLWP) + 0.110$$

$$R_e = 16\mu\text{m}$$

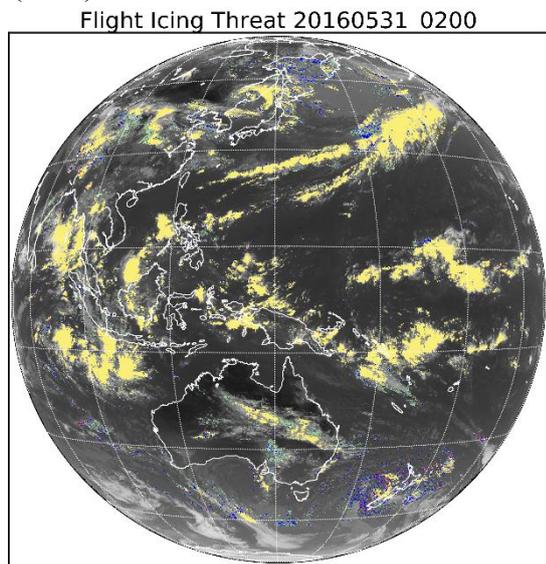
$$IP = 0.333\log_{10}(SLWP) + 0.015$$

R_e 為雲滴有效半徑(Cloud Effective Radius)，SLWP則為Super Liquid Water Path，當 R_e 介於 $5\mu\text{m}$ 至 $16\mu\text{m}$ 之間，則使用線性內差獲得對應的IP值，若小於 $5\mu\text{m}$ 則取 $R_e = 5\mu\text{m}$ 對應之IP值，若大於 $16\mu\text{m}$ 則取 $R_e = 16\mu\text{m}$ 對應之IP值。IP若小於0.4則定義為積冰可能性較低(Low)，介於0.4至0.7之

間為中等可能性(Med)，若大於 0.7 則有較高(High)的機會造成積冰。

(二)積冰強度 (Icing Intensity) :

積冰強度之閾值，以 $LWP > 448g/m^2$ 以上為中等以上至猛烈積冰 (MOG)， $LWP < 448g/m^2$ 則為輕度積冰 (LGT)。



圖一、2016 年 5 月 31 日 0200 UTC Himawari8 觀測資料所反演飛機積冰潛勢疊加紅外線衛星雲圖 (Channel 13, $10.4 \mu m$)。顏色由左至右分別為黃 Unknown、淺綠 LowLGT、藍 MedLGT、粉紅 HighLGT、紅 HighMOG。

圖一是以 Himawari8 觀測資料反演積冰潛勢產品疊加紅外線衛星雲圖，包含積冰可能性及積冰強度，邊緣無反演資料是由於太陽天頂角大於 75 度。黃色區域仍有可能是積冰區，圖中黃色區域範圍明顯過大。

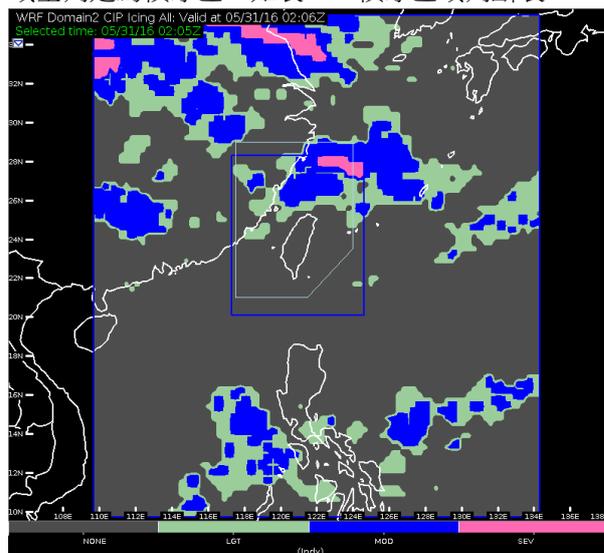
Cloud Phase	Cloud Optical Depth	Icing Mask
Clear	NA	No Icing
Water	ALL	No Icing
SLW	$\tau_{vis} > 1.0$	Icing
	$\tau_{vis} \leq 1.0$	No Icing
Mixed	$\tau_{vis} > 1.0$	Icing
	$\tau_{vis} \leq 1.0$	No Icing
ICE	$\tau_{vis} \leq 6.0$	No Icing
	$\tau_{vis} > 6.0$	Icing(unknown)

表一、運用雲相及雲光學厚度決定是否積冰條件。

而民航局現有之目前積冰潛勢產品(Current Icing Product, CIP)方法，乃採用 Bernstein(2005)所提出的方法，該方法同樣分為積冰可能性及強度兩

部分，主要應用模糊邏輯(fuzzy logic)之概念，首先使用模式預報資料計算初始積冰的可能性，再用各種即時觀測資料調整積冰之範圍，包含雷達、地面觀測之雲量、閃電、衛星以及 PIREPs 的積冰報告，並以衛星觀測反演的雲頂高度及模式預報之凝結高度決定最高跟最低的積冰範圍。利用上述方式，將得到 0 到 1 的積冰可能程度及強度警示，民航局依照其使用方式，將積冰警示分成輕度 (Light)、中度(Moderate)、強烈(Severity)等三種。

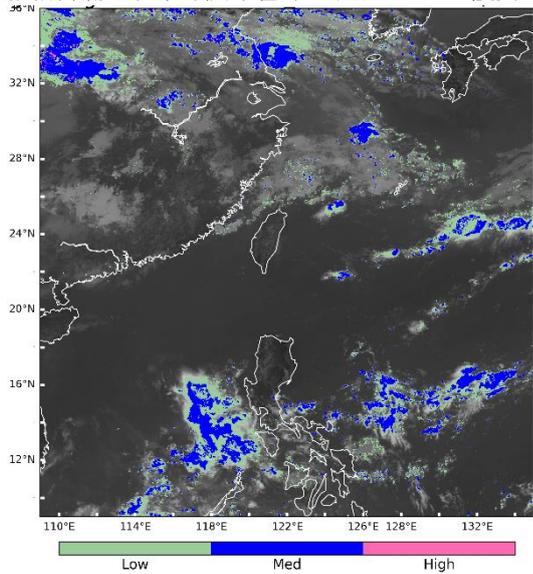
Smith(2012)研究中所使用之飛行員報告 (PIREPs) 中較少出現猛烈積冰，故其將中度及強烈積冰合併為單一種，因此只有分類為輕度(Light)及中度以上(Moderate or Greater)，而因為積冰猛烈程度也與飛機特性及除冰機制的有關，故其預報能力仍有限。而積冰強度與可能性在該方法中皆與 SLWP 相關，並且積冰強度只由 SLWP 決定，同時該方法積冰潛勢也介於 0 到 1 之間 (IP 可能超過 1)，但依照需求分為 Low、Medium、High。為對應民航局只有三種積冰程度之警示產品，本文只保留潛勢預報。此外，實際應用上如有過多 Unknown 區對於航路規畫或判斷可能有誤解或不便，儘管 Unknown 仍有部分區域可能是非積冰區，仍將該區域全判定為積冰區，如表一，積冰區域判斷表。



圖二、2016 年 5 月 31 日 02:05 UTC 目前積冰警示產品 (CIP)。顏色由左至右分別為灰 None、淺綠 LGT、藍 MOD、粉紅 SEV

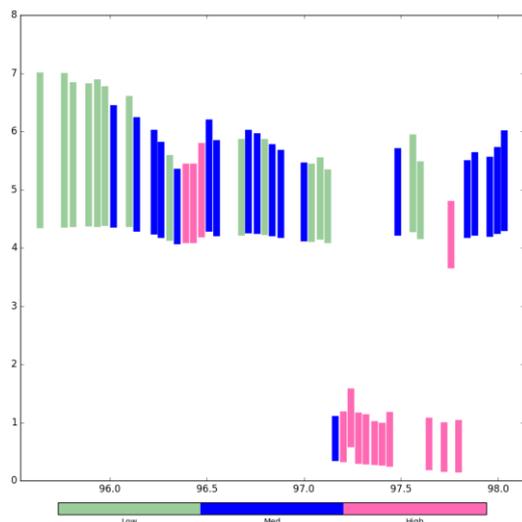
圖二為民航局目前積冰產品，圖三為調整後的衛星反演積冰潛勢產品，在兩個產品都有使用衛星資料判定積冰區域，儘管演算方式不同，結果顯示積冰警示位置大致相近，但 CIP 明顯範圍較大、解析度較差。然而 FIT 仍然無法完全取代 CIP，畢竟 FIT 產品仍有些多不足之處，例如需要可見光資料，只有白天能得到 FIT；以及衛星只是觀測雲頂，只能獲得單層警示產品。圖三可看出 FIT 可以

解析出相當小範圍的積冰，這是因為新一代衛星觀測每十分鐘一筆，紅外線解析度為 2km，可以提供更高解析及即時的積冰警示，此乃 FIT 之優勢。



圖三、2016年5月31日02:00 UTC 無 Unknown 區之 Himawari8 觀測資料所反演飛機積冰潛勢疊加紅外線衛星雲圖(Channel 13, 10.4 μ m)。顏色由左至右分別為淺綠 Low、藍 Med、粉紅 High。

由於 FIT 只有單層，應用於飛航警示上仍需有高度資訊以減少警示範圍，上層可採用衛星反演之雲頂高度，下層可採用衛星反演之雲底高，然而受限於多層雲時計算雲底高度可能有較大誤差，因此選用凝結高度與雲底高度較低者作底部之高度，剖面示意圖如圖四所示。因為該結果仍為單層之分析，仍會造成垂直範圍的過度預警。



圖四、2016年5月31日02:00 UTC Himawari8 反演飛機積冰潛勢垂直剖面示意圖，縱軸為高度(km)、橫軸為經度。顏色由左至右分別為淺綠 Low、藍 Med、粉紅 High。

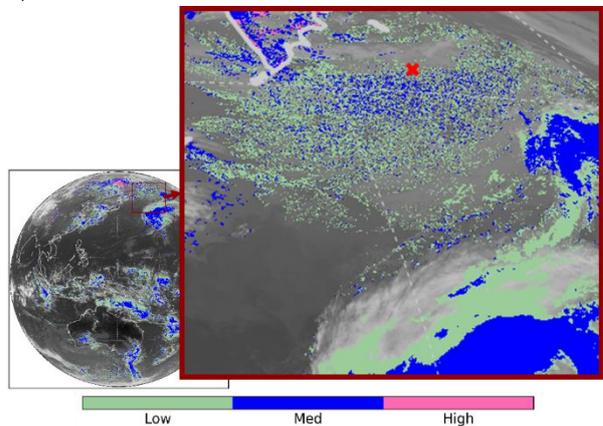
三、結果分析

主要含有積冰之觀測報告為飛行員報告 (Pilot report, PIREPs) 及航空器報告 (Aircraft Report, AIREP)，兩種都是由飛行員依照飛航時發生之天氣現象做報告，主要用於即時指出該航路中之危險因子供其他飛行員參考，PIREPs 主要用於美洲區域，美洲以外區域則多為 AIREP，然而美洲區域以外仍有可能接收到 PIREPs 之資料。雖然這些報告都有固定格式，卻不夠嚴謹，內容中常有缺乏經緯度、高度、甚至難以辨識其報告之內容，經過篩選後所剩資料可供校驗者不多。

觀測積冰	Yes	No
FIT 積冰 Yes	5	0
FIT 積冰 No	1	13

表二、PIREPs 觀測積冰及 FIT 積冰比對圖。

目前先使用較容易取得之 PIREPs 資料做初步比對，從 20160801 至 20160701 之間，約有 40 萬筆 PIREPs 觀測資料，然而絕大部分觀測報告皆位於北美上空，若以 Himawari8 衛星天頂角小於 70 度來篩選觀測資料，只剩 2057 筆資料，其中絕大部份資料並無積冰報告，再去除缺乏位置資訊或是積冰報告內容無法辨識者以及夜間報告後，該結果僅剩 19 筆。



圖五、2016年3月18日00:50 UTC Himawari8 觀測資料所反演飛機積冰潛勢疊加紅外線衛星雲圖 (Channel 13, 10.4 μ m)。顏色由左至右分別為淺綠 Low、藍 Med、粉紅 High。紅色 x 標示為 2016 年 3 月 18 日 00:55 UTC PIREP 報告資料。該報告為輕度積冰(Light Icing)，高度 Flight Level 380。

表二為積冰報告與 FIT 比對的結果，19 筆資料中有 18 筆資料與觀測相同，其中未正確預測的點及 FIT 如圖五所示，該點周邊有大量積冰的警示區，並且位於衛星觀測範圍之邊緣，也會受到衛星

視角、解析度、光學厚度等因素影響。與 PIREPs 比對後有高達 95% 準確率，然而使用該資料來源用作校驗，樣本明顯不足，而 FIT 針對積冰強度部分之警示，也因為樣本過少難以檢驗。目前已與民航局接洽取得 AIREP 資料，將持續針對積冰報告做更多校驗。

Thompson, G., R. T. Brintjes, B. G. Brown, and F. Hage, 1997a: Intercomparison of in-flight icing algorithms. Part I: WISP94 real-time icing prediction and evaluation program. *Weather and Forecasting*, **12**, 878–889

四、結論

飛機積冰之警示產品經多年發展後，已有相當程度之進展，Bernstein(2005)方法產生的 CIP 已經能有效減低過度預警的範圍、然而在受限於模式解析度，以及 CIP 實際上仍由預報產品再使用觀測資料調整，較難以偵測細微天氣的變化。而

Himawari8 衛星資料擁有更高的時間及空間解析，利用 Smith(2012)提出之方法，可得到局部細微天氣變化的積冰警示產品，以彌補 CIP 之空間解析不足之缺點。然而 FIT 產品仍有其不足之處，需要可見光頻道輔助，故僅有日間有資料輸出。

目前飛機積冰產品與 PIREPs 比對結果，有一定的準確率，然而受限於 Himawari8 觀測範圍內缺乏 PIREPs 資料，故僅有少量點可做校驗。目前已獲得 AIREP 資料，將於未來進行更多分析校驗。

參考文獻

- Bernstein, B. C., F. McDonough, M. Politovich, B. Brown, T. Ratvasky, D. Miller, C. Wolff, and G. Cuning, 2005: Current icing potential: Algorithm description and comparison with aircraft observations. *J. Appl. Meteor.*, **44**, 969–986.
- Rasmussen, R., and Coauthors, 1992: Winter Icing and Storms Project (WISP). *Bulletin of the American Meteorological Society*, **73**, 951–974.
- Schultz, P., and M. K. Politovich, 1992: Toward the improvement of aircraft-icing forecasts for the continental United States. *Weather and Forecasting*, **7**, 491–500.
- Smith 2010: Flight Icing Threat Product Algorithm Theoretical Basis Document, NOAA NESDIS STAR. 46 pp.
- Smith, W. L., Jr., P. Minnis, 2012: Determining the Flight Icing Threat to Aircraft with Single-Layer Cloud Parameters Derived from Operational Satellite Data, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **50**, 1794–1810.