



飛機積冰潛勢偵測

Detection of Flight Icing Threat

劉豫臻

Weather⁺

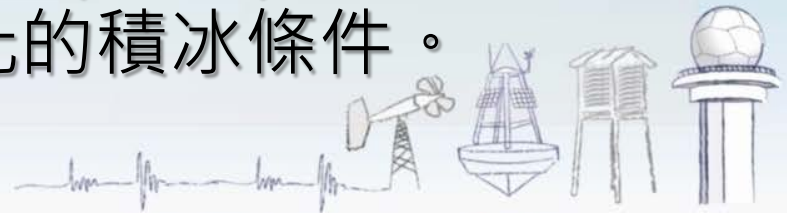
Service Observation Climate Forecasts Satellite Earthquakes Marine Radar Astronomy



目的



- 積冰現象易對飛航安全造成嚴重影響，有效的偵測方式可以幫助航路規畫以避免危險。
- 目前即時積冰警示系統仍採用Bernstein(2005)提出的方法，是基於模式預報佐以多種觀測資料調整。
- 新一代日本Himawari 8同步衛星以近即時、高解析方式觀測，使用 Smith(2011)的GOES-R飛機積冰演算法文件及Smith(2012)的方法，期望以此偵測小範圍快速變化的積冰條件。



FIT 與 CIP 之差異



衛星直接反演之 FIT 產品

Himawari 8 雲遮、雲分類、雲光學厚度
決定是否含有過冷水雲區

以LWP、Re 計算積冰潛勢

CIP產品

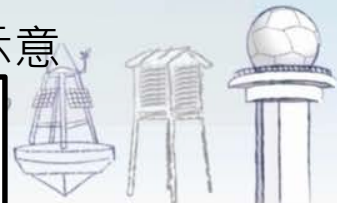
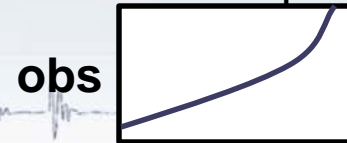
將所有資料內插至模式網格點

以觀測資料、Rader、閃電、PIREP、衛星
決定是否含過冷水雲區

以模式預報 T, RH 及觀測Cloud Top 之interest map
決定初始積冰潛勢

以模式預報 W, SLW及觀測PIREP 之interest map
決定最終積冰潛勢

Interest map 示意



方法



衛星偵測積冰潛勢

- ✈ Smith(2011)GOES積冰演算文件以積冰與衛星觀測的LWP(Cloud Liquid Water Path)與積冰之關係及 R_e (Cloud Droplets Size)導出積冰演算法。
- ✈ Smith and Minnis(2012)提出以SLWP(Super Liquid Water Path)取代LWP。
- ✈ 積冰演算法使用資料：
 - ✓ 太陽天頂角(>75°為白天)
 - ✓ 雲頂相態
 - ✓ τ_{vis} (Cloud Optical Depth)
 - ✓ LWP(Cloud Liquid Water Path)
 - ✓ R_e (Cloud Droplets Size)
 - ✓ 雲頂溫度
 - ✓ 雲底海拔



方法



以LWP估算SLWP

✚ Freezing level 由雲頂高度、溫度與假設之濕絕熱降溫率估計

$$Z_{fr} = Z_t + (T_t - 273.15) / 6.5$$

✚ Z_{fr} : freezing level

✚ Z_t : cloud top

✚ T_t : cloud top temperature

✚ 水雲厚度可由雲光學厚度估計(Minnis et al. 2011a)

$$\Delta Z = 0.39 \ln(\text{COD}) - 0.01$$

✚ 設定最小允許之 ΔZ 為0.02km

$$Z_b = Z_t - \Delta Z$$

✚ 假設 cloud liquid water 均勻分布

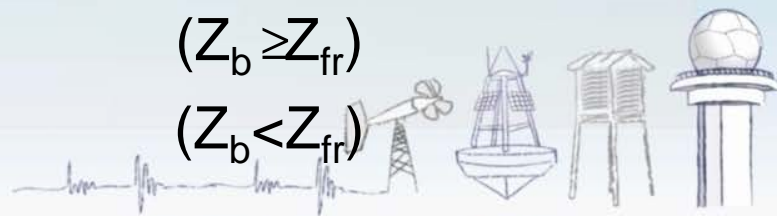
$$\text{SLWP} = \text{LWP}$$

$$(Z_b \geq Z_{fr})$$

$$\text{SLWP} = \text{LWP} (Z_t - Z_{fr}) / \Delta Z$$

$$(Z_b < Z_{fr})$$

Weather

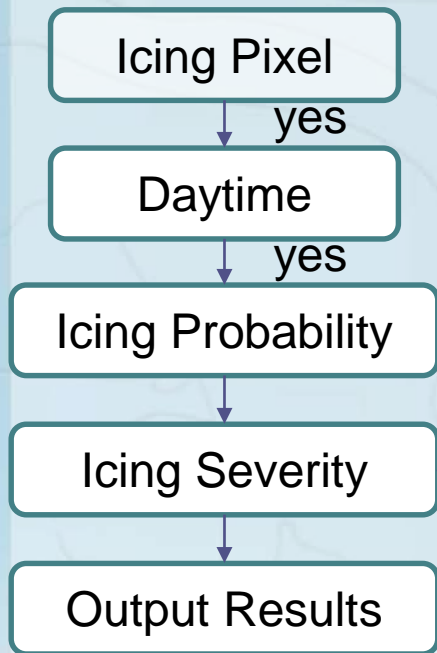


方法

衛星偵測積冰潛勢



概略流程



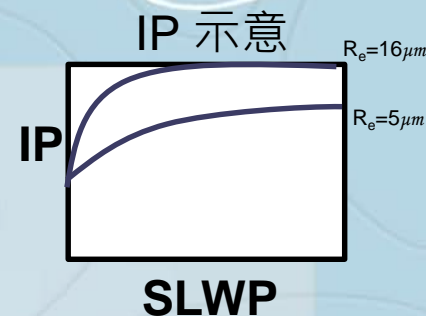
$$IP = 0.252 \ln(SLWP) + 0.110$$

if $R_e = 5 \mu m$
(comprised of data with $R_e < 8$)

$$IP = 0.333 \ln(SLWP) + 0.015$$

if $R_e = 16 \mu m$
(comprised of data with $R_e \geq 16 \mu m$)

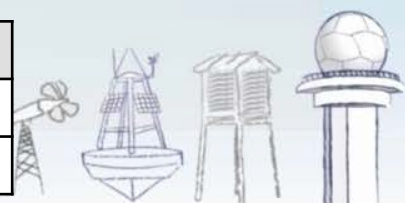
R_e 介於 $5 \mu m$ 到 $16 \mu m$ 之間則使用線性內插



Icing Probability	IP Description
$IP < 0.4$	Low probability
$0.4 \leq IP \leq 0.7$	Medium probability
$IP > 0.7$	High probability

Super Liquid Water Path	IS Description
$SLWP \leq 488 \text{ g/m}^2$	Light
$SLWP > 488 \text{ g/m}^2$	Moderate or greater

Weather+



方法

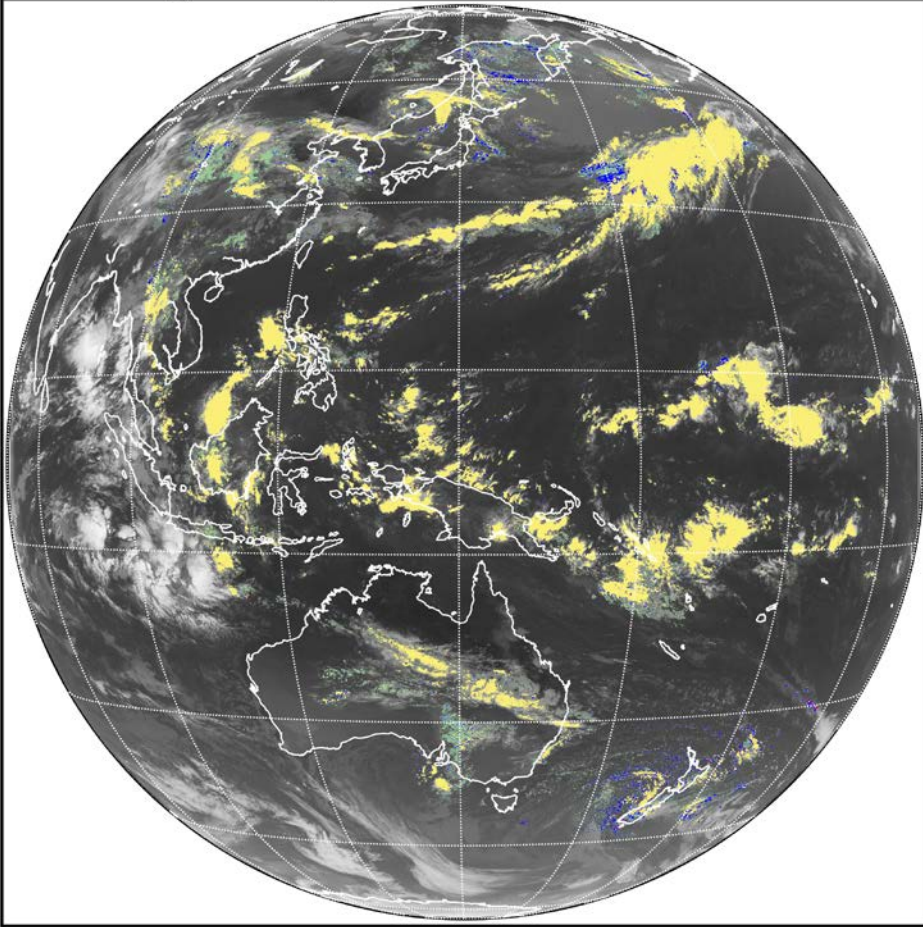
衛星偵測積冰潛勢

部分天氣型態可能導致大範圍區域皆判斷為Unknow，導致使用上有諸多限制。因此將ICE pixel τ_{vis} (Cloud Optical Depth) > 6.0 仍判斷為積冰。

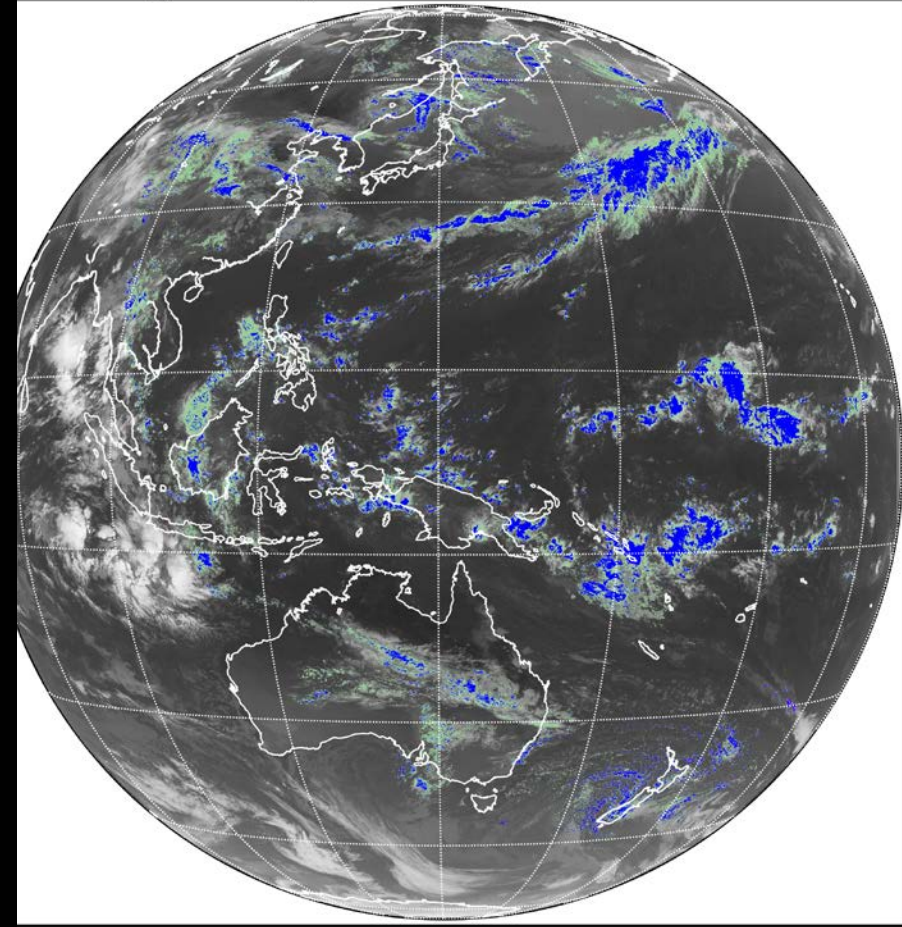
Cloud Phase	Cloud Optical Depth	Icing Mask
Clear	NA	No Icing
Water	ALL	No Icing
SLW	$\tau_{vis} > 1.0$	Icing
	$\tau_{vis} \leq 1.0$	No Icing
Mixed	$\tau_{vis} > 1.0$	Icing
	$\tau_{vis} \leq 1.0$	No Icing
ICE	$\tau_{vis} \leq 6.0$	No Icing
	$\tau_{vis} > 6.0$	Unknown Icing

通常為深厚的對流、多層雲系。
但厚卷雲(冰雲)可能被被誤判成 Icing。

Flight Icing Threat 20160531 0000



Flight Icing Threat 20160531 0000

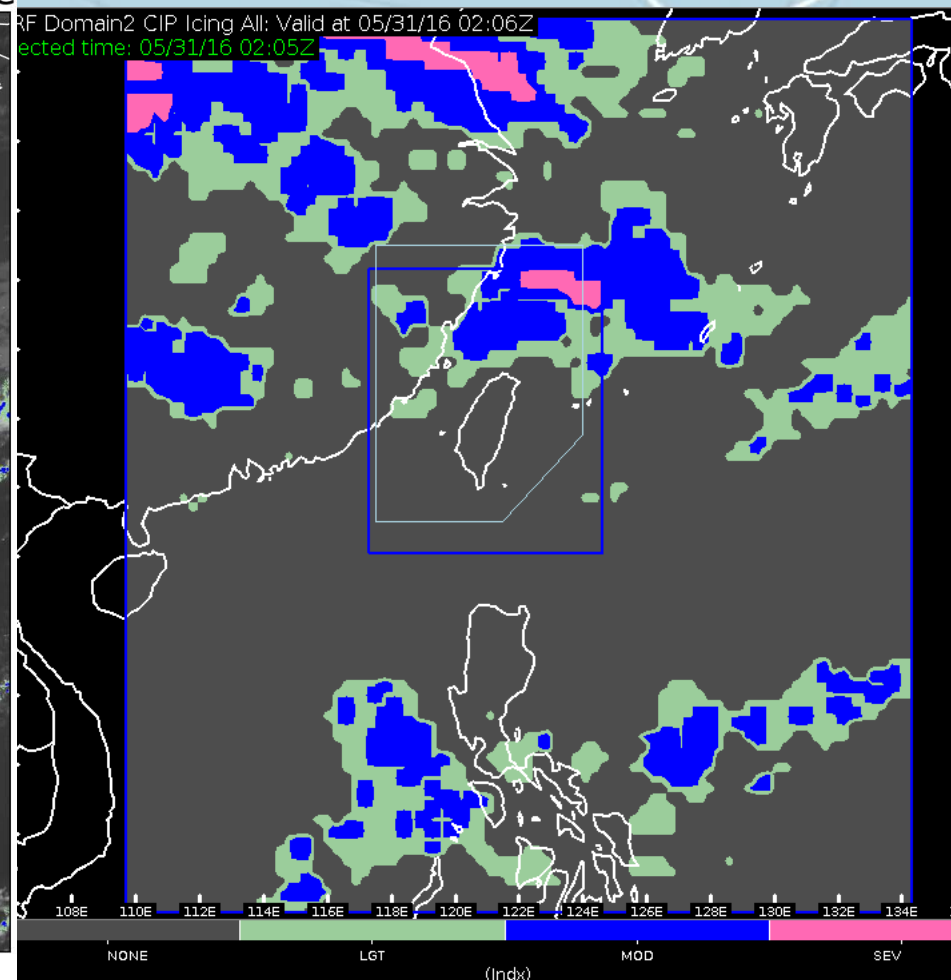
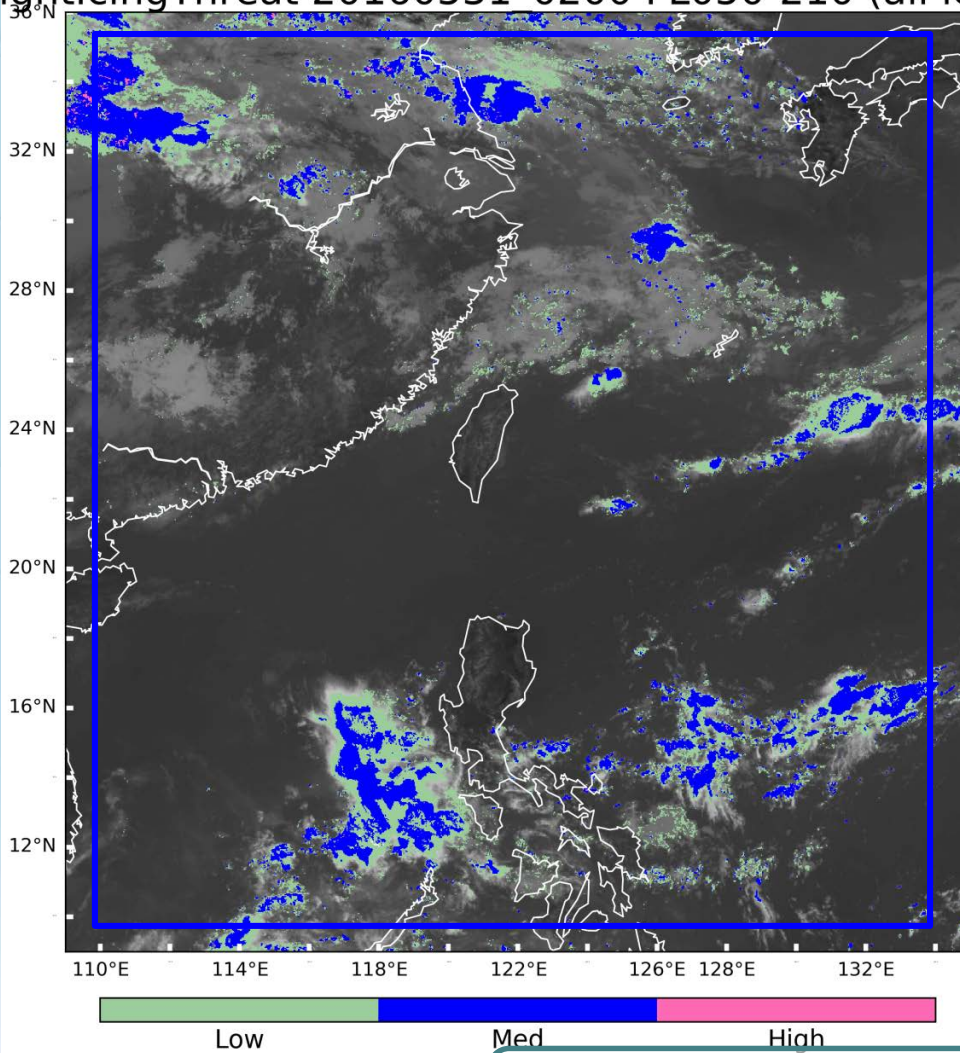


積冰強度與飛機設計、除冰設備有關，難以準確預測，又因為Icing Severity與Icing Probability皆與SLWP有關，但HighMOG Pixel明顯較少，故使用上仍選用IP為主。

衛星偵測Flight Icing Threat

民航局 Current Icing Product

FlightIcingThreat 20160531 0200 FL050-210 (all le



Weather

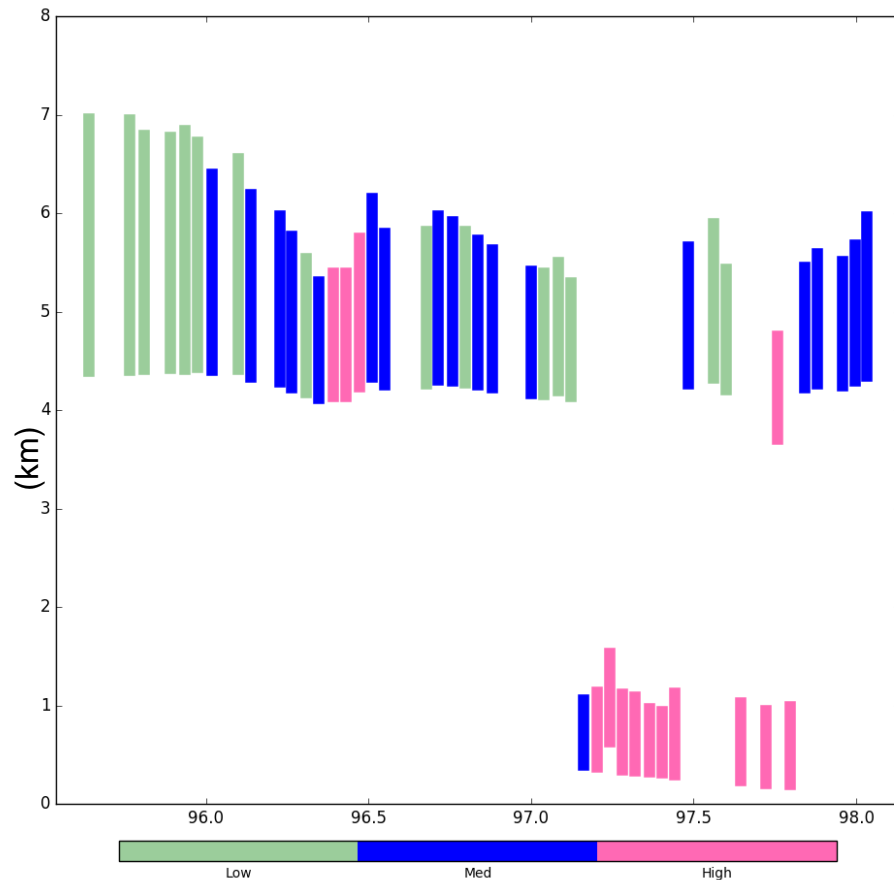
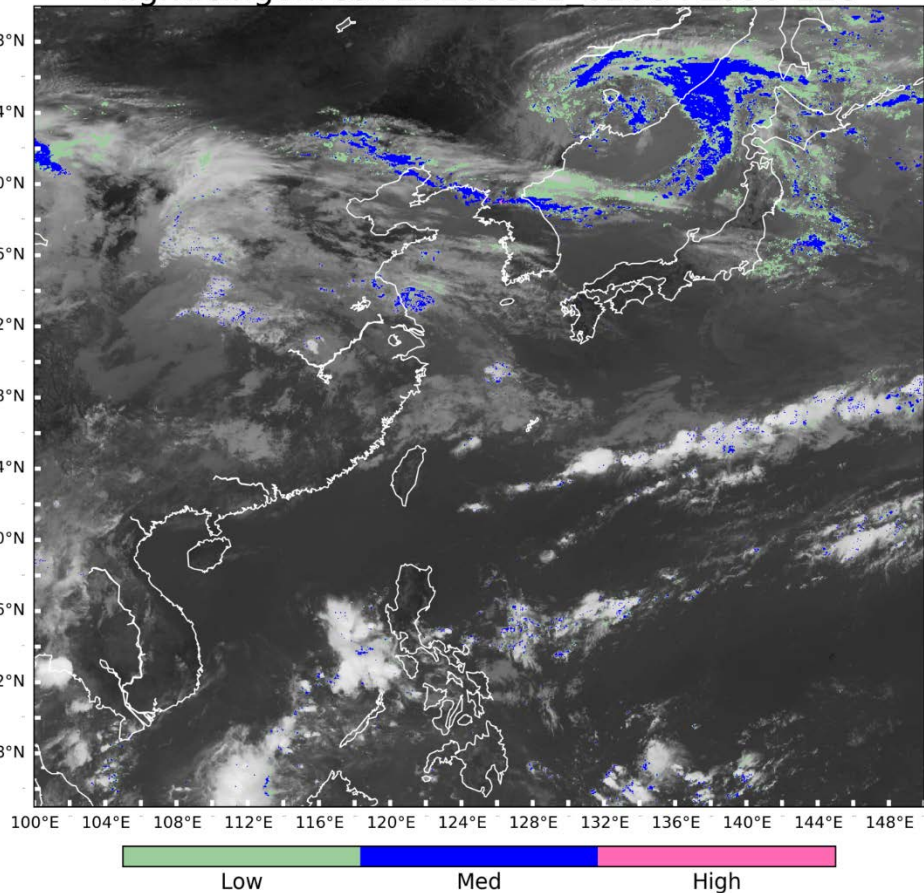
儘管取消Unkonw，只使用Icing Probability資料，
仍可有效減少預警範圍，並且增加更多細節。



FL 090-120

95.5E, 38.3N 至 98.0E 38.1N 剖面

FlightIcingThreat 20160531 0200 FL090-120



(FL : Flight Level)

Weather⁺

Service Observation Climate Forecasts Satellite Earthquakes Marine Radar Astronomy

校驗



PIREP：當飛行員遭遇亂流或積冰後，直接觀測報告。位置資訊透過起飛地、方位、距離換算。通常在北美一代使用。

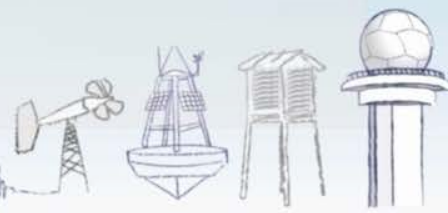
AIREP：飛機自動編報氣象變數，如氣溫、風等資料自動發報。格式較統一，含有經緯度及高度資訊。在北美以外地區使用。

北美以外地區以**AIREP**為主。

2015年八月至2016年六月**PIREP**之積冰觀測。

Satellite Zenith Angle<70，Solar Zenith Angle<75，再去除無高度資訊及夜間。

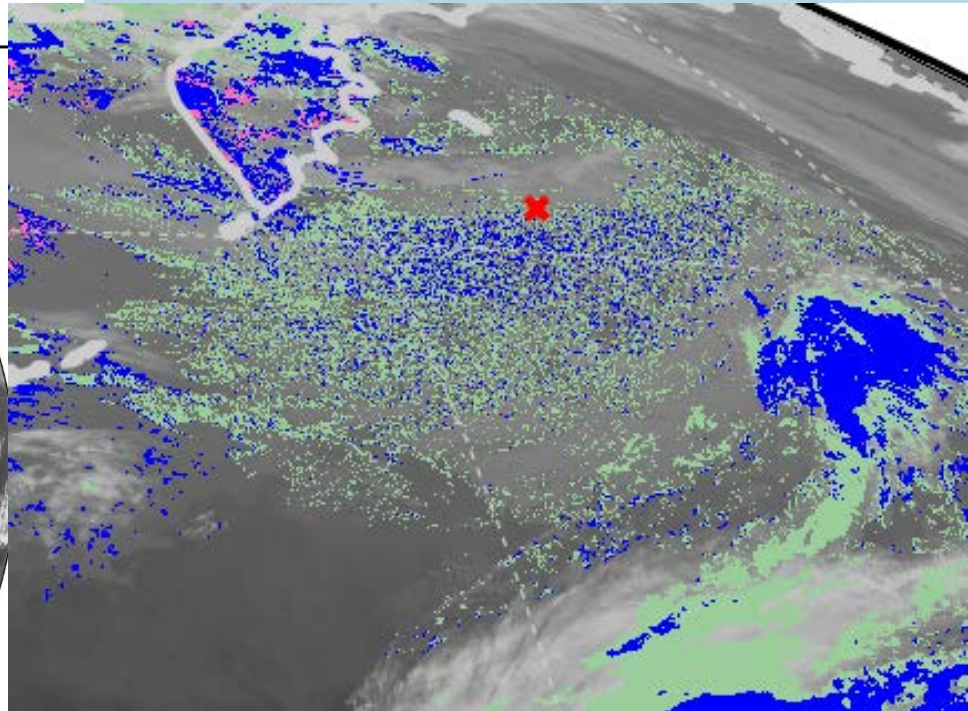
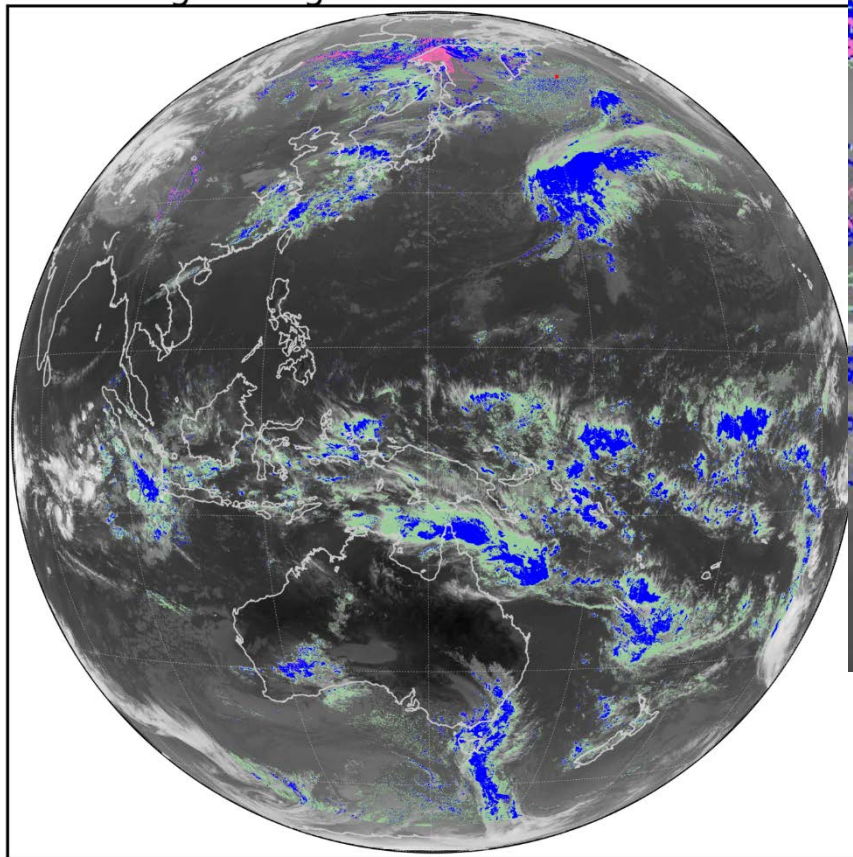
觀測積冰	Yes	No
FIT 積冰 Yes	5	0
FIT 積冰 No	1	13



校驗



Flight Icing Threat 201603180055



PIREP報告輕度積冰(Light Icing) , 高度 Flight Level 380 。



FIT偵測 無積冰

Weather

Service Observation Climate Forecasts Satellite Earthquakes Marine Radar Astronomy



校驗

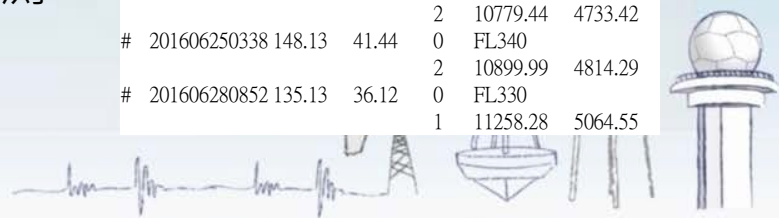


2015年八月至2016年六月AIREP之積冰觀測。
 Satellite Zenith Angle<70，Solar Zenith Angle<75，再去除夜間觀測。

觀測積冰	Yes	No
FIT 積冰 Yes	0	18
FIT 積冰 No	1	180

AIREP 觀測到積冰的比率過低，且AIREP觀測多半在飛行高度較高處(FL300以上)。

#	201509080521	116.44	40.19	0	FL311	
				1	10244.76	3956.42
#	201509202216	-169.19	27.02	0	FL360	
				2	12524.80	4239.94
#	201509212318	-176.19	33.14	0	FL340	
				1	11544.54	4296.40
#	201511110608	127.57	29.31	0	FL330	
				1	10192.57	3474.53
#	201511140545	124.25	26.58	0	FL310	
				2	10187.69	4406.57
#	201511250653	126.39	32.11	0	FL250	
				1	9251.99	2 474.44
#	201512200017	106.55	3.33	0	FL350	
				2	12046.27	4287.54
#	201601110637	126.03	32.03	0	FL250	
				2	8241.83	2 915.74
#	201601110637	126.03	32.03	0	FL250	
				2	8241.83	2 915.74
#	201601110640	126.39	32.11	0	FL250	
				1	8904.39	2 822.66
#	201604140720	145.28	36.08	0	FL350	
				1	11627.55	3238.01
#	201605100120	-175.42	17.20	0	FL390	
				2	12996.31	3821.53
#	201606090448	141.29	35.34	0	FL180	
				2	12307.81	4016.54
#	201606230445	119.57	38.39	0	FL291	
				2	11831.72	4517.35
#	201606230707	145.40	37.11	0	FL350	
				2	10779.44	4733.42
#	201606230707	145.40	37.11	0	FL350	
				2	10779.44	4733.42
#	201606250338	148.13	41.44	0	FL340	
				2	10899.99	4814.29
#	201606280852	135.13	36.12	0	FL330	
				1	11258.28	5064.55



結語



- ✚ 儘管目前積冰演算法在Icing區域、雲底高範圍上仍會過度預警，但相較CIP的方法可以有更小的警示範圍及更多細節。
- ✚ PIREP在亞洲地區資料過少，校驗上樣本不足，但這少數樣本中仍有不錯表現。此外Smith and Minnis, 2012文章中的校驗結果已顯示可以幫助積冰的偵測。
- ✚ 該方法只能使用在日間，因此日間仍須依賴CIP。



Reference



- 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.
- 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.





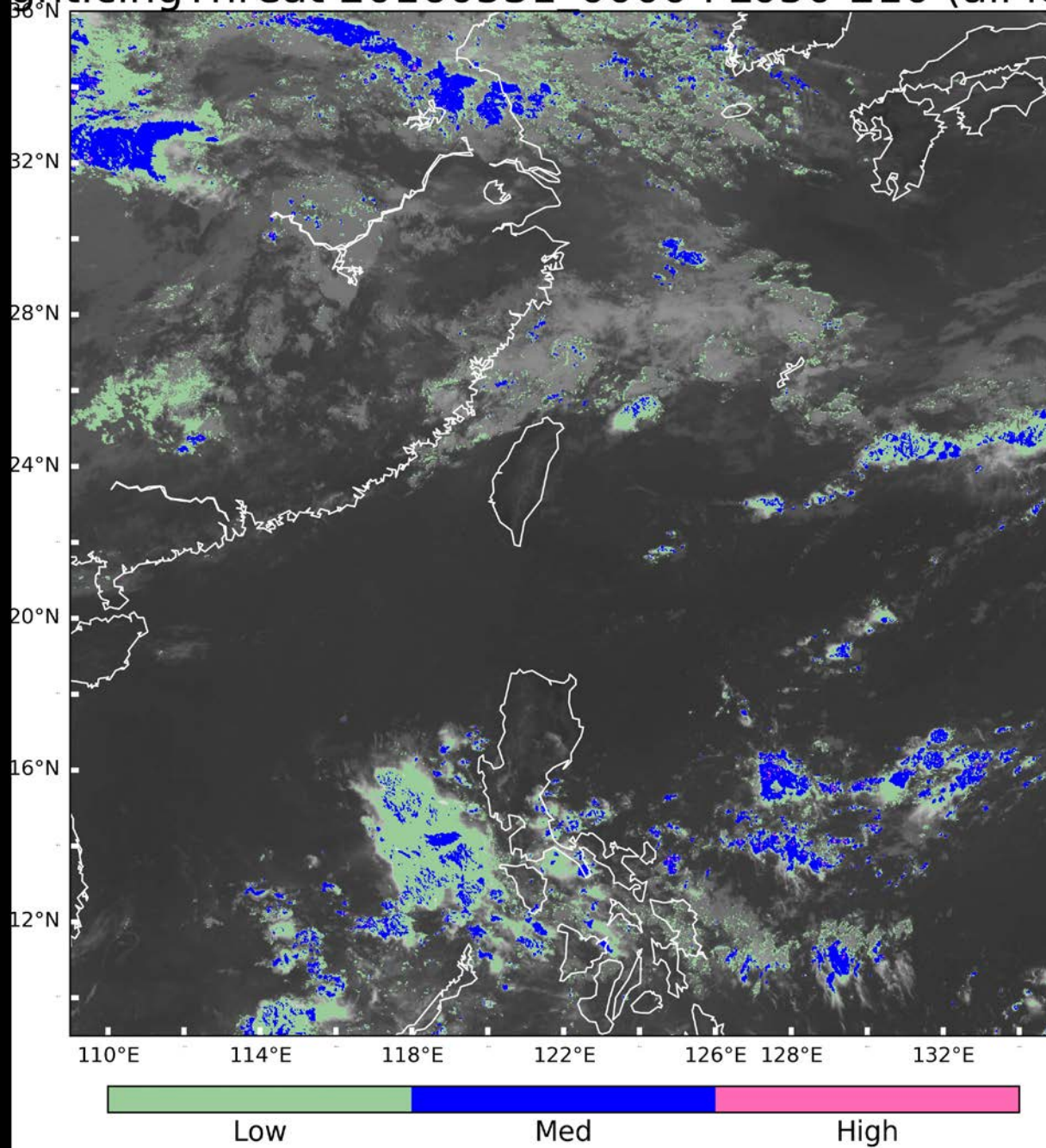
報告完畢
敬請指導

Weather⁺

Service Observation Climate Forecasts Satellite Earthquakes Marine Radar Astronomy



Lightning Threat 20160531 0000 FL050-210 (all lev)



Wed



Astronomy



現行的即時積冰警示系統 CIP

- ✈️ Bernstein(2005)提出的方法，使用模式變數及多種資料利用Fuzzy Logic的方式配合Decision Tree給定0~1的警示值。
 - ✓ Model：SLW、RH、VV、T 決定積冰警示值
 - ✓ Satellite：決定有無雲、雲頂溫度
 - ✓ PIREP：是否存在積冰
 - ✓ Rader：降雨區域
 - ✓ 地面觀測：雲量、雲底、降雨型態
- ✈️ 目前民航局及NOAA Aviation Weather Center(AWC)作業使用之積冰警示系統為CIP (Current Icing Product) 及FIT (Forecast Icing Product) 是基於該方法。
- ✈️ 民航局CIP產品主要是使用模式預報變數，解析度為15km、5km (WRF Domain2、Domain3)

