

日本新一代同步衛星Himawari-8 對霧與低雲之反演

中央氣象局 氣象衛星中心

陳冠儒

大綱

- 目的
- 使用資料
- 反演流程
- 霧區研判因子及其閾值
- 反演結果
- 總結

目的

- 「霧」容易影響水平能見度，造成公路交通、船隻航行及飛機起降的安全疑慮。
- 地面測站受人力與空間分佈上的限制。



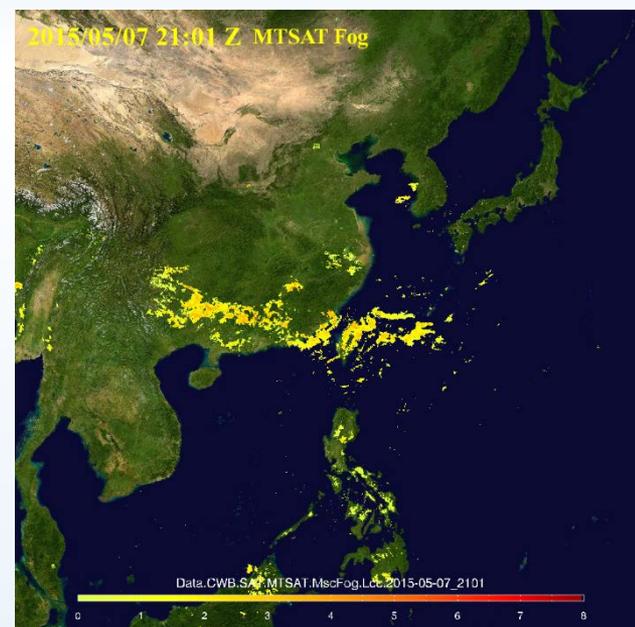
金門馬祖常有濃霧現象，飛機無法起降，民眾形成受到影響（來源：蘋果）



2016年4月6日基隆港濃霧，管制時間超過4小時（來源：中時）

目的

- 早期衛星利用IR1與IR4頻道輻射特性的差異，偵測可能為霧的區域，但僅於夜間適用。
- 為了增加日間偵測能力，本反演方法以「GOES-R霧與低雲反演式」為基礎，重新制定各項參數，並修改部份演算條件以增加在東亞地區的實用性。



MTSAT時代，衛星中心霧與低雲產品，以「IR4-IR1」為主要判斷依據。缺點是日間受太陽短波干擾，估算困難。

使用資料

Himawari-8觀測資料		
頻道	中央波段 μm	空間解析度
B01	0.46	1公里
B02	0.51	1公里
B03	0.64	500公尺
B04	0.86	1公里
B05	1.6	2公里
B06	2.3	2公里
B07	3.9	2公里
B08	6.2	2公里
B09	7.0	2公里
B10	7.3	2公里
B11	8.6	2公里
B12	9.6	2公里
B13	10.4	2公里
B14	11.2	2公里
B15	12.3	2公里
B16	13.3	2公里

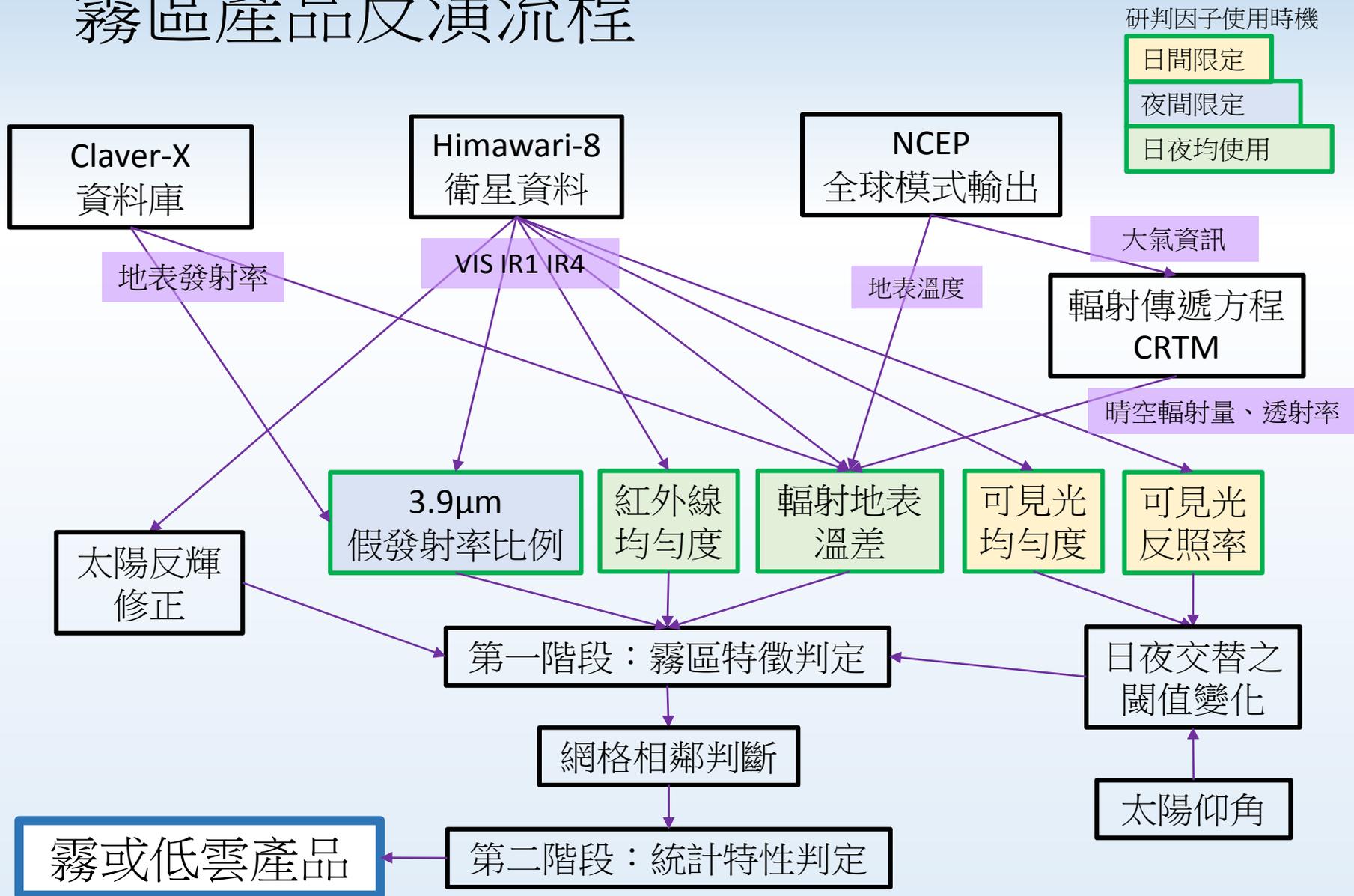
NCEP 全球模式輸出場	
解析度	0.25度
網格數	1440x721
大氣資料	氣壓、溫度、濕度、雲水含量等
地表資料	地表溫度、地表類型等

輻射傳遞模組 CRTM v2.1.3	
輸入	NCEP 模式資料
輸出	晴空向上輻射 晴空大氣透射率

其他輔助資料	
1.	地表放射率資料(Claver-X)
2.	太陽仰角

註：B03相當於VIS
B07相當於IR4
B13相當於IR1

霧區產品反演流程



霧區研判因子介紹

研判因子使用時機

日間限定

夜間限定

日夜均使用

夜間：利用 $3.9\ \mu\text{m}$ 輻射特性，偵測水滴組成的暖雲

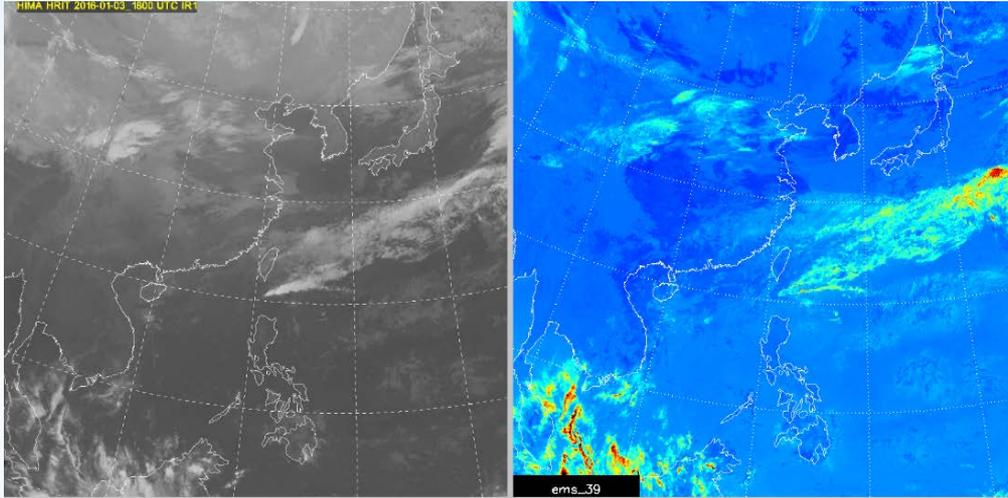


白天：尋找霧區高散射、霧頂均勻的特性

霧或低雲產品

霧區研判因子介紹

1. 3.9 μm 假發射率與地表發射率的比值



物理意義：

1. 反映IR1、IR4兩個頻道之間的能量差距與傳統同步衛星反演霧區的方法「IR4-IR1」相同，在夜間是很有效的判斷方式
2. 除以地表發射率是為了有效考慮部份發射率較低的地表特徵，如沙漠

$$ems(3.9\mu\text{m}) = \frac{R_{obs}(3.9\mu\text{m})}{B(3.9\mu\text{m}, BT(11\mu\text{m}))}$$

$$ratio(3.9\mu\text{m}) = \frac{ems(3.9\mu\text{m})}{\epsilon_{3.9\mu\text{m}}}$$

$ems(3.9\mu\text{m})$: 3.9 μm 假發射率

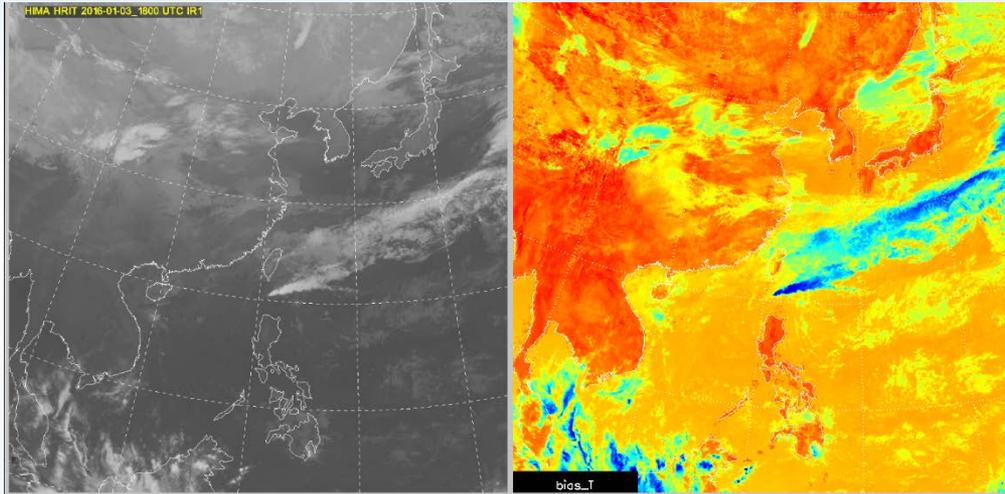
$R_{obs}(3.9\mu\text{m})$: 3.9 μm 觀測輻射能量

$B(3.9\mu\text{m}, BT(11\mu\text{m}))$: 11 μm 亮溫值在3.9 μm 的普朗克函數值

$\epsilon_{3.9\mu\text{m}}$: 3.9 μm 地表發射率

霧區研判因子介紹

2. 輻射地表溫度差：



物理意義：

1. 同步衛星扣除大氣效應後測得地球表面溫度與模式地表溫度的差距，受雲的影響。
2. T_{bias} 的數值接近0，表示地表狀態為低雲或無雲；數值太小，表示有中高雲覆蓋。

$$R_{sfc}(11\mu m) = \frac{R_{obs}(11\mu m) - R_{atm}(11\mu m)}{t_{atm}(11\mu m)}$$

$$T_{sfc}(11\mu m) = \frac{B^{-1}(11\mu m, R_{sfc}(11\mu m))}{\epsilon_{sfc}(11\mu m)}$$

$$T_{bias} = T_{sfc}(11\mu m) - T_{sfc}(NWP)$$

T_{bias} ：輻射地表溫差

$R_{obs}(11\mu m)$ ：觀測輻射能量

$R_{atm}(11\mu m)$ ：晴空大氣貢獻項

$t_{atm}(11\mu m)$ ：晴空大氣透射率

$R_{sfc}(11\mu m)$ ：地表發射之輻射能量

$B^{-1}(11\mu m, R_{sfc}(11\mu m))$ ：普朗克函數對應之亮溫

$\epsilon_{sfc}(11\mu m)$ ：地表放射率

$T_{sfc}(NWP)$ ：模式地表溫度

霧區研判因子介紹

3. 可見光反照率

物理意義：

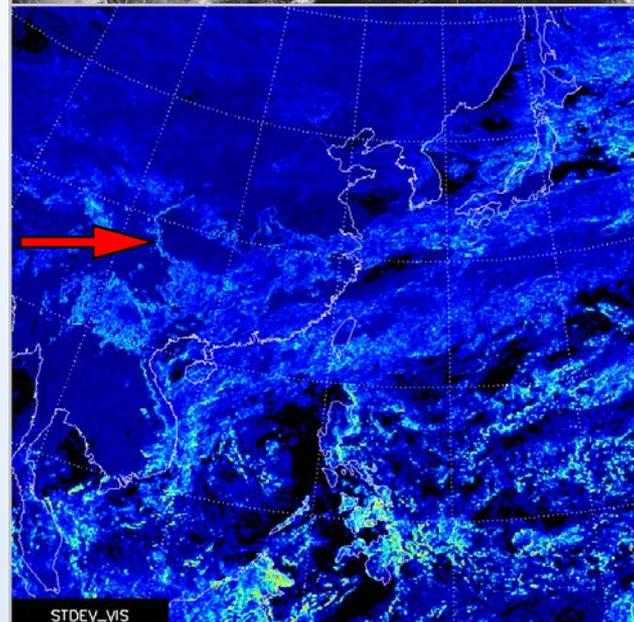
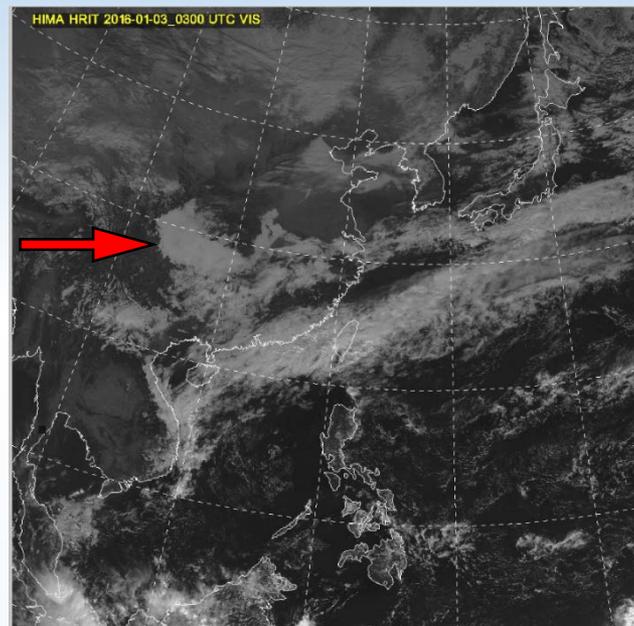
1. 雲反射陽光的比例。
2. 由小水滴構成的霧可以強烈地散射陽光，令該區域有相對較高的反照率。

4. 可見光均勻度：3x3網格點可見光之標準差

5. 紅外線均勻度：3x3網格點紅外線之標準差

物理意義：

1. 雲頂的均勻程度。
2. 一般而言霧區會有很高的均勻度，而與對流性積雲則是非常不均勻。



尋找各項因子的閾值

為定義出合理的閾值，需先了解各因子在霧區的資料特性。透過衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視研判因子數值分佈的情形。

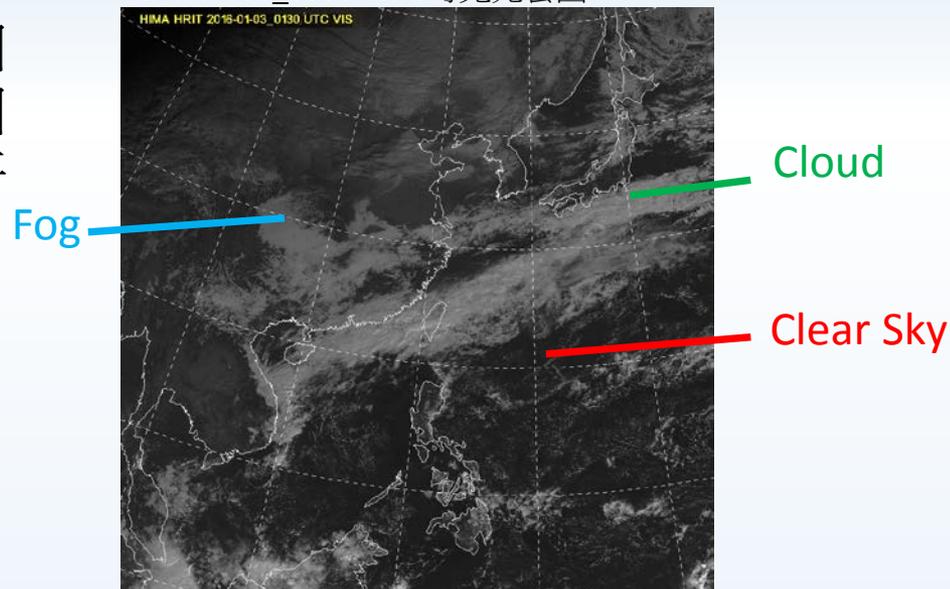
研判因子：

1. $3.9\mu m$ 假發射率比值
2. 輻射地表溫度差
3. VIS反照率
4. VIS空間均勻度
5. IR1空間均勻度

選擇時間：2015/12/28～2016/02/29

選擇條件：人為主觀判定

2016-01-03_0300z UTC可見光雲圖



尋找各項因子的閾值

在衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視研判因子的數值分佈：

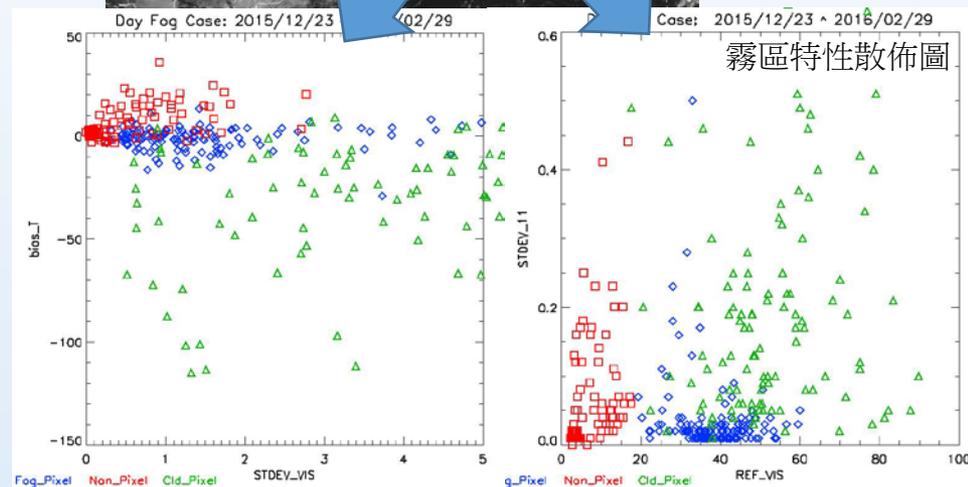
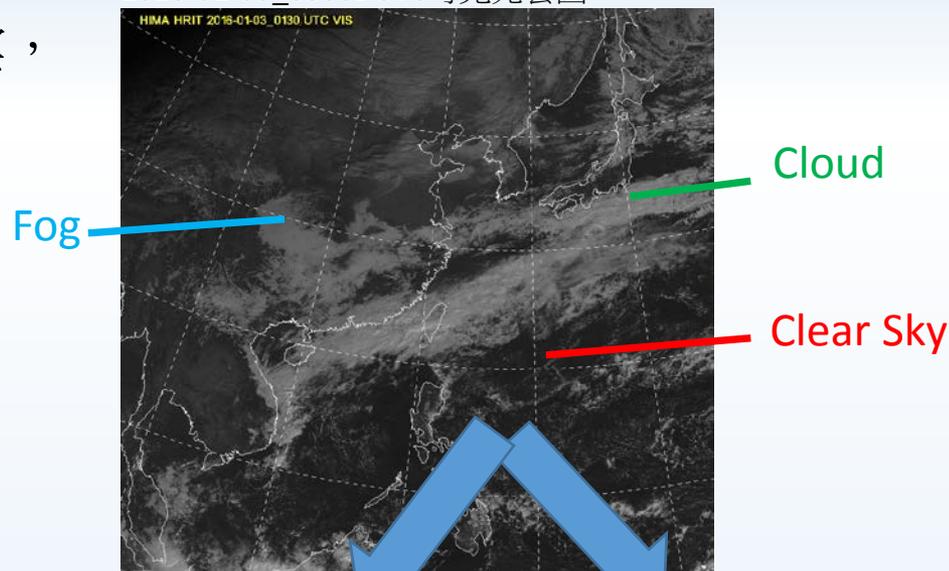
1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率比值
2. 輻射地表溫度差
3. VIS反照率
4. VIS空間均勻度
5. IR1空間均勻度

日間選擇：可見光雲圖

選擇時間：2015/12/28～2016/02/29

選擇條件：人為主觀判定，直接挑出霧區、雲區、晴空區三種區域的網格資料

2016-01-03_0300z UTC可見光雲圖



尋找各項因子的閾值

根據繪製出圖表的分佈情形，可以訂出合理閾值，作為**第一階段**的篩選標準：

1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率 < 0.92
2. 輻射地表溫度差 > -12° (上限為 15° ，以減少沙漠誤判)
3. VIS反照率 > 20% (仰角小於 25° 時，以線性遞減)
4. VIS空間均勻度 < 3.84 (仰角小於 25° 時，以線性遞減)
5. IR1空間均勻度 < 0.07

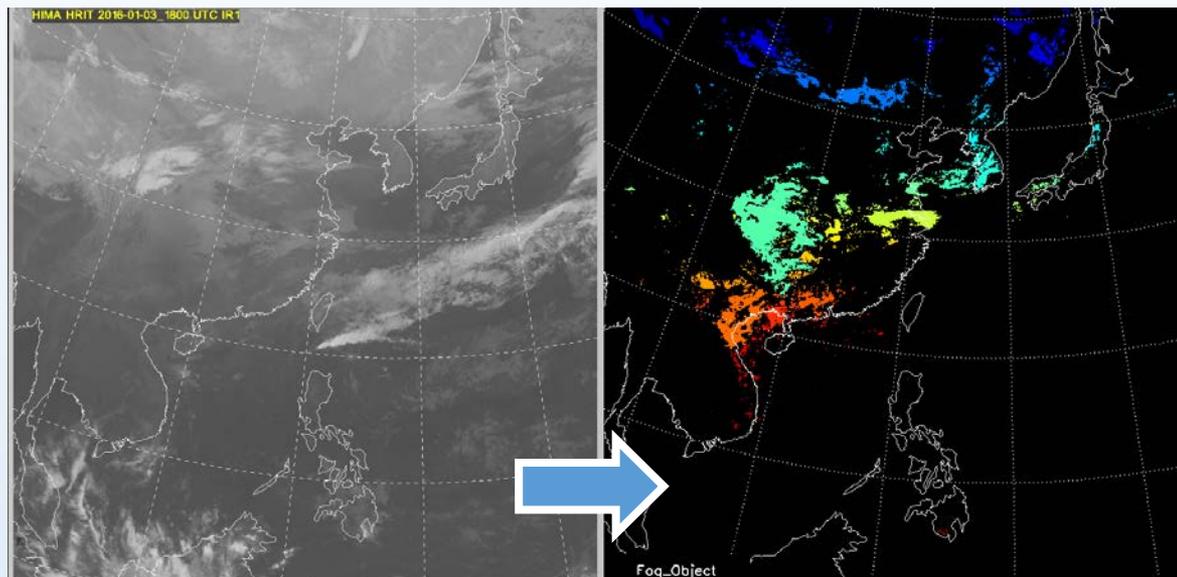
註：

1. 晴空區的沙漠容易滿足日間的篩選條件，輻射地表溫差定義上限可減少該誤判的情況
2. 定義「 $3.9\mu\text{m}$ 亮溫高於 310k 」的區域為太陽反輝，並於以濾除
3. 為考量日夜交替區域，可見光反照率偏低的特性，可見光的閾值將會根據太陽仰角而有變化

第一階段：找出霧區特性的格點

根據繪製出圖表的分佈情形，可以訂出合理閾值，作為**第一階段**的篩選標準：

1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率 < 0.92
2. 輻射地表溫度差 > -12° (上限為 15° ，以減少沙漠誤判)
3. VIS反照率 > 20% (仰角小於 25° 時，以線性遞減)
4. VIS空間均勻度 < 3.84 (仰角小於 25° 時，以線性遞減)
5. IR1空間均勻度 < 0.07



衛星資料 (圖：紅外線雲圖)

第一階段閾值篩選結果

右圖為第一階段中，通過上述閾值篩選的區域。

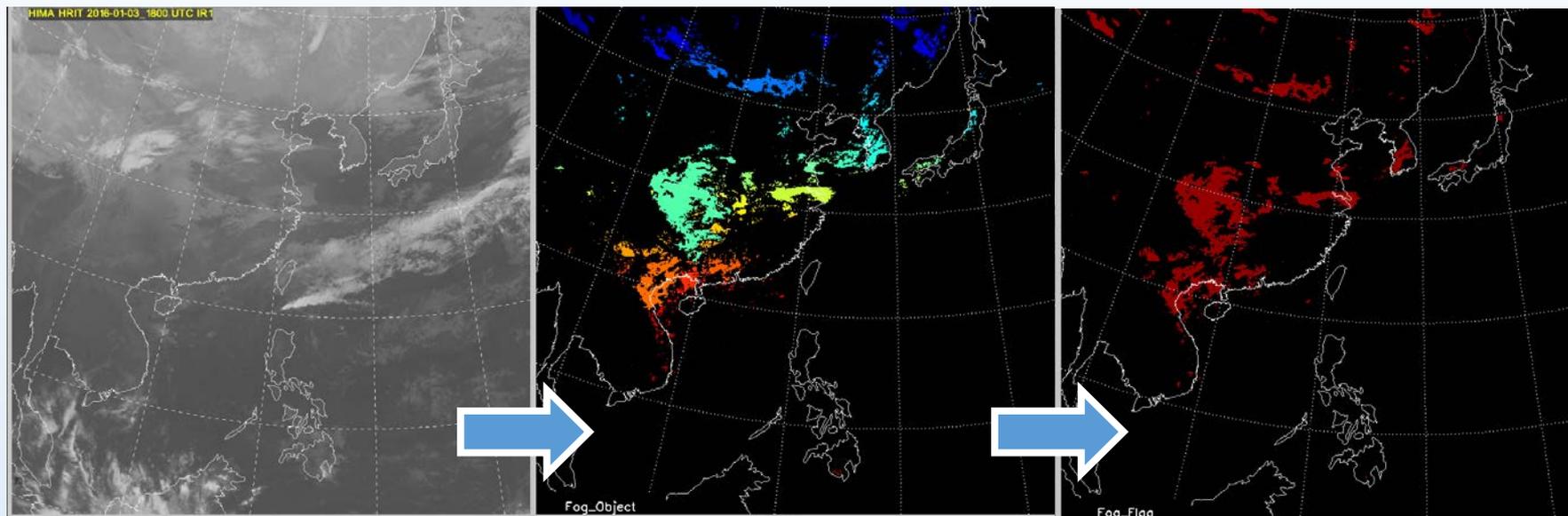
日間與夜間的閾值篩選各自完成之後，將「通過篩選且連續的網格」視為一組目標物，進一步進行**第二階段：統計特性篩選**。右圖中不同的顏色表示不同的目標物。

第二階段：過濾霧特性不明顯的目標

使用更高標準，去檢查每個雲目標物的特性。目標中需「半數」以上的資料點滿足該條件，否則視為可能性低的目標，並予以去除：

目標物中：

1. 輻射地表溫度差 $> -10^{\circ}$ 的比例高於一半
2. VIS空間均勻度 < 2.15 的比例高於一半
3. IR1空間均勻度 < 0.04 的比例高於一半



衛星資料（圖：紅外線雲圖）

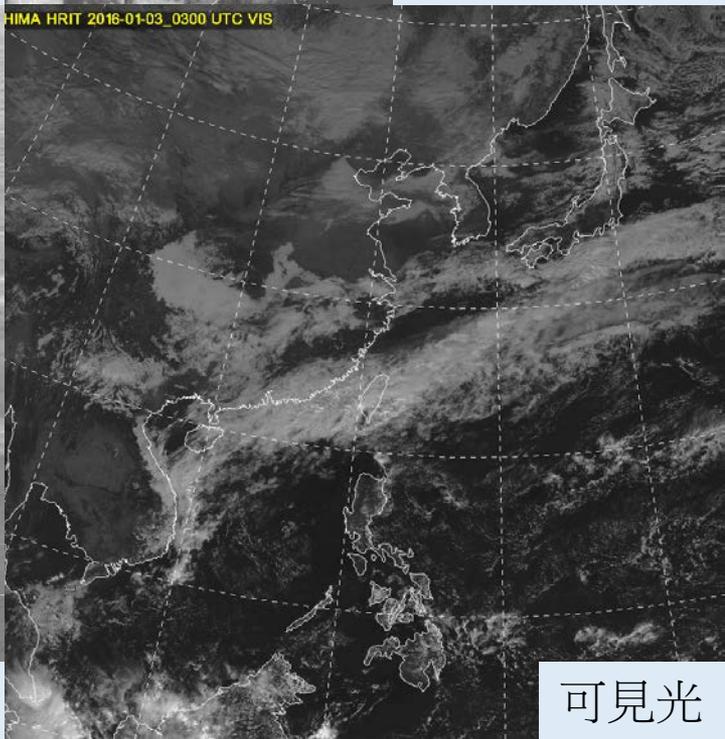
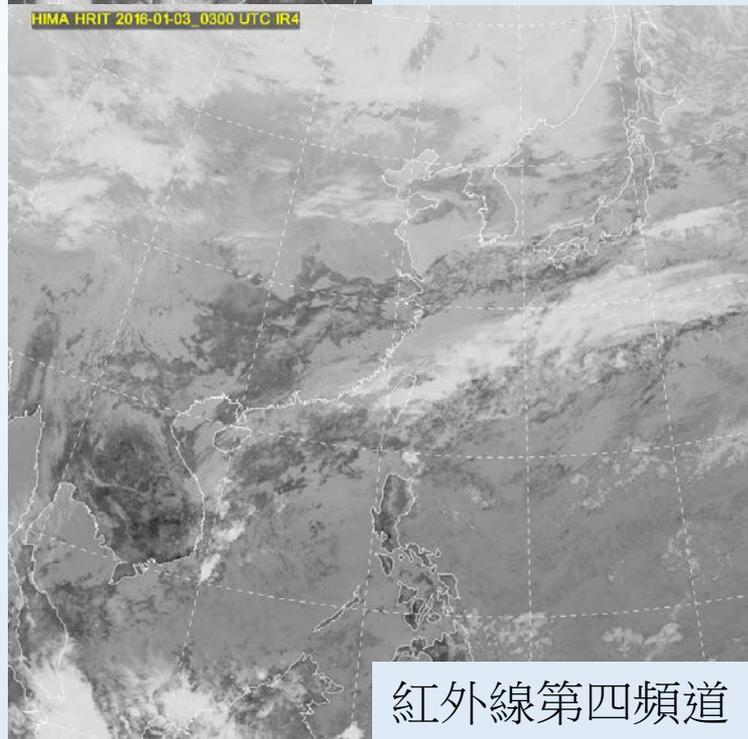
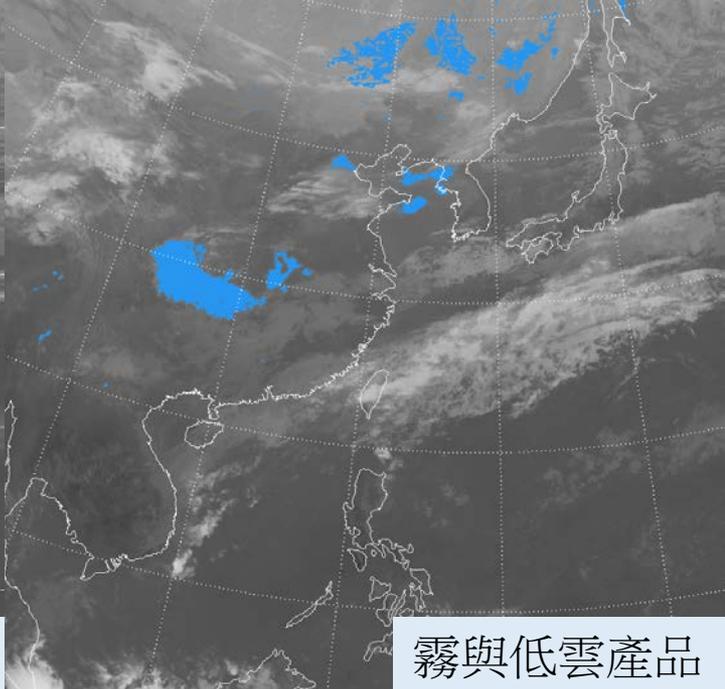
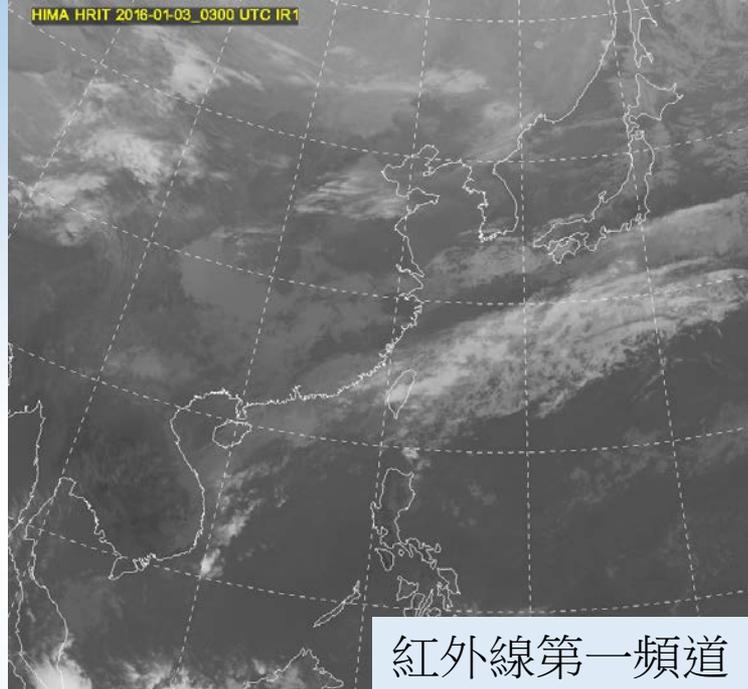
第一階段閾值篩選結果

第二階段閾值篩選結果：霧與低雲產品

反演結果

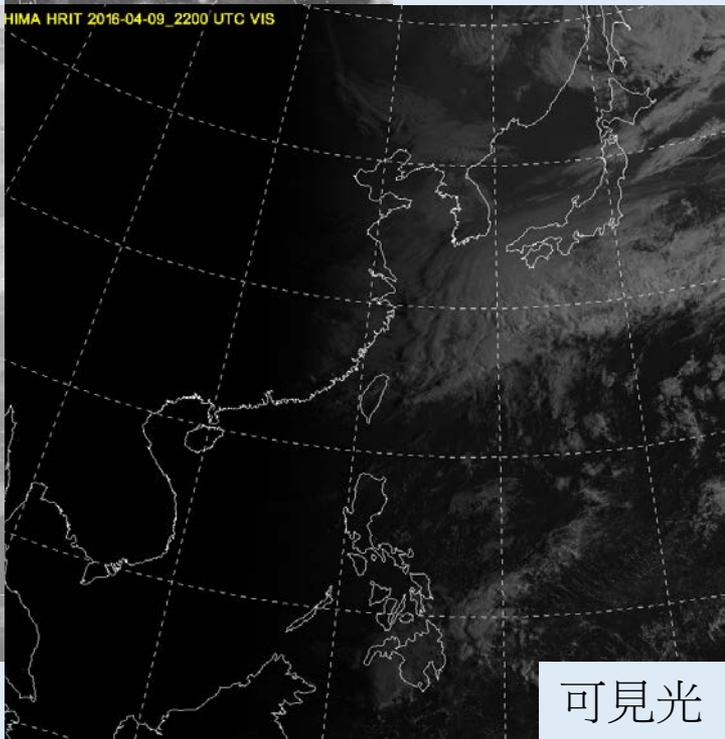
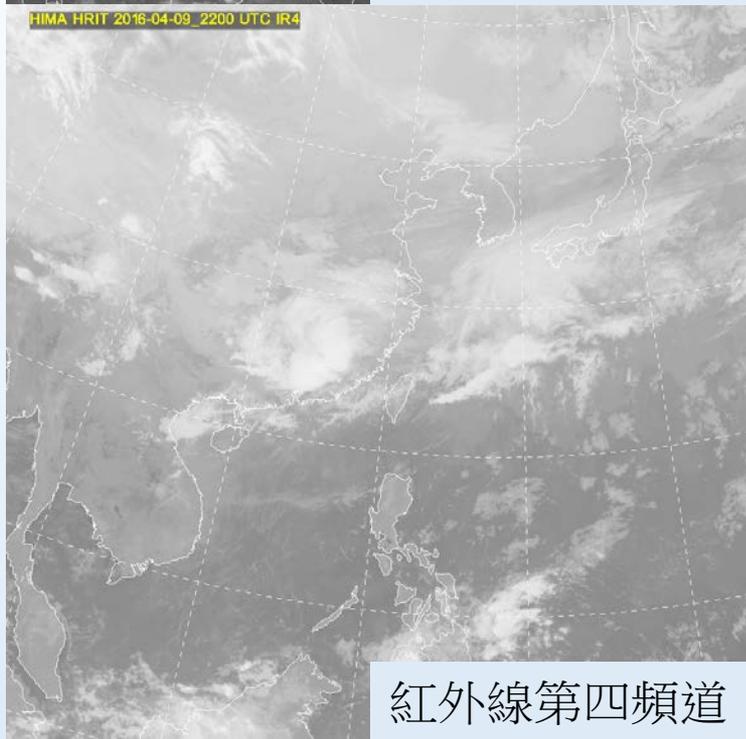
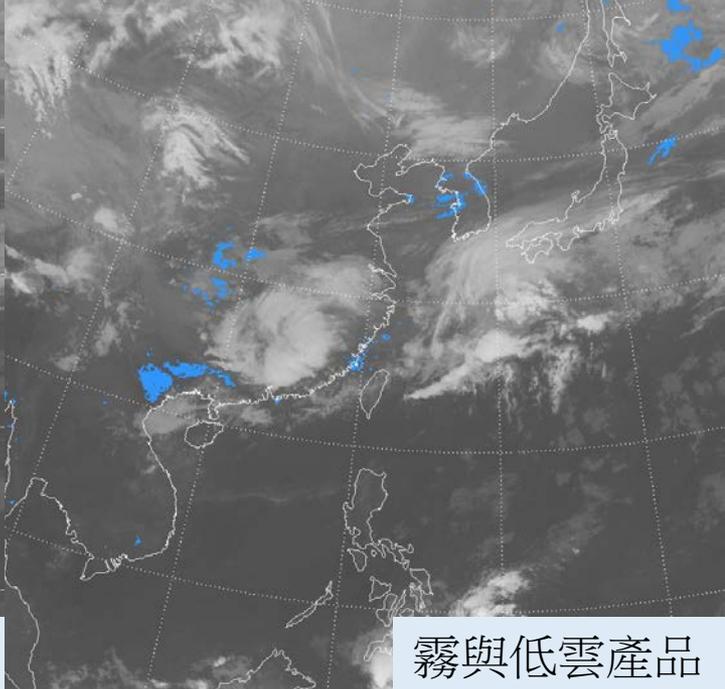
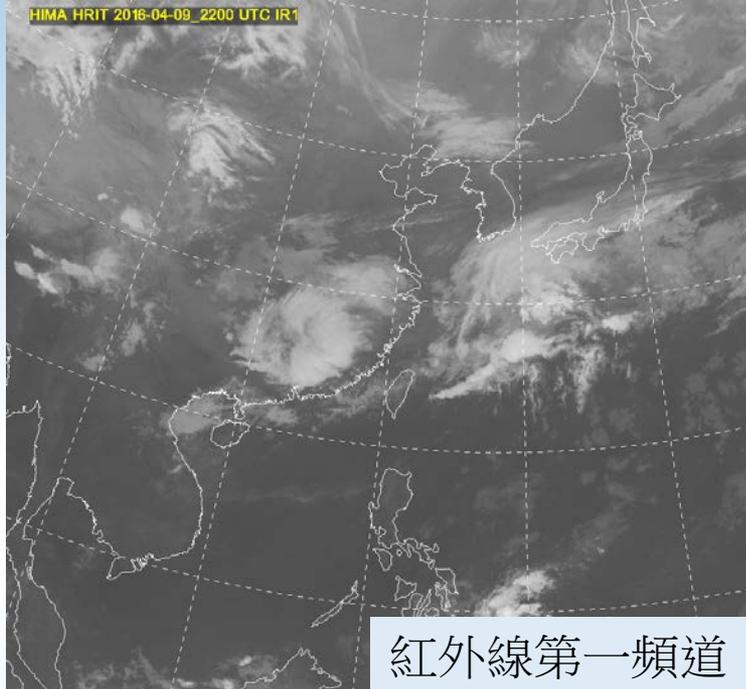
台灣時間：

2016-01-03 11 : 00



反演結果

濃霧特報：
金門馬祖當地時間
2016-04-10 09：35
特報內容：
金馬濃霧



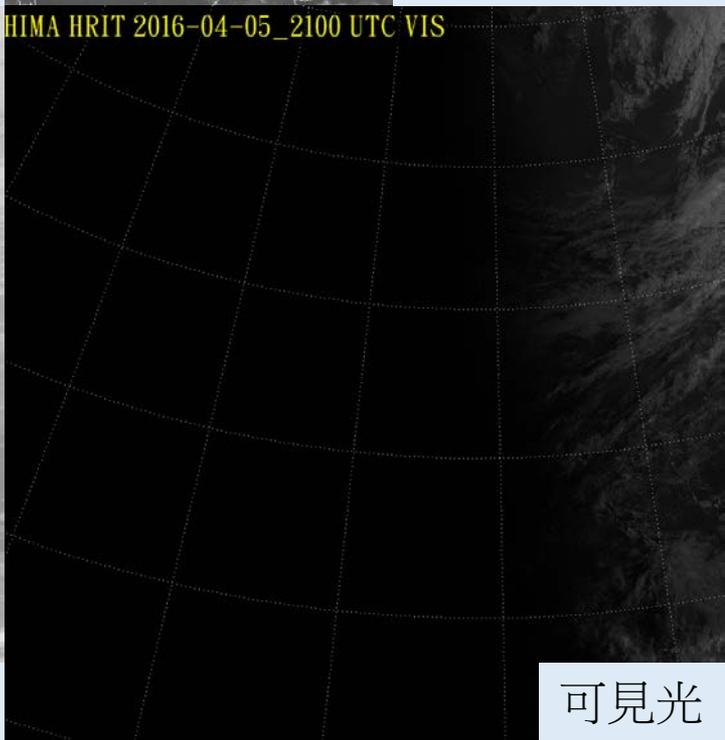
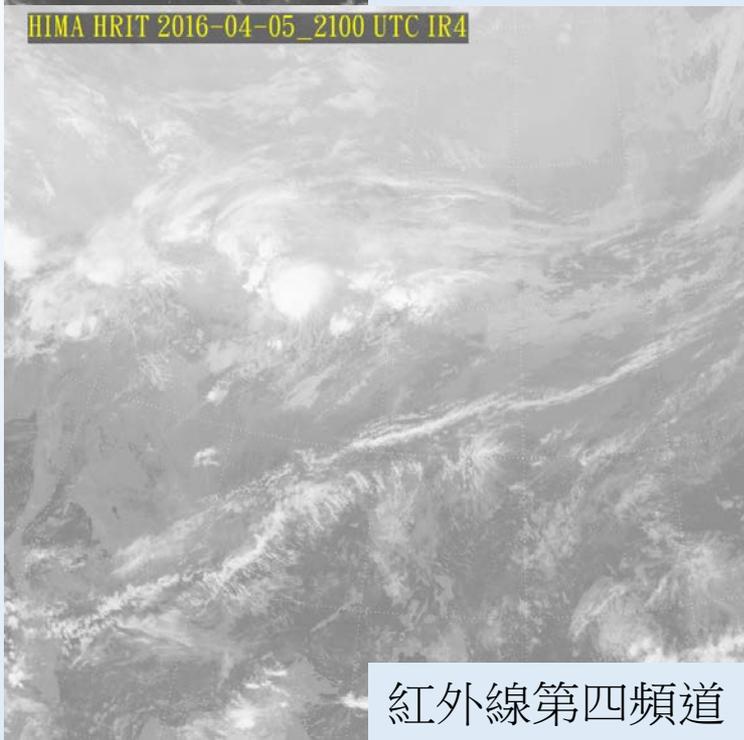
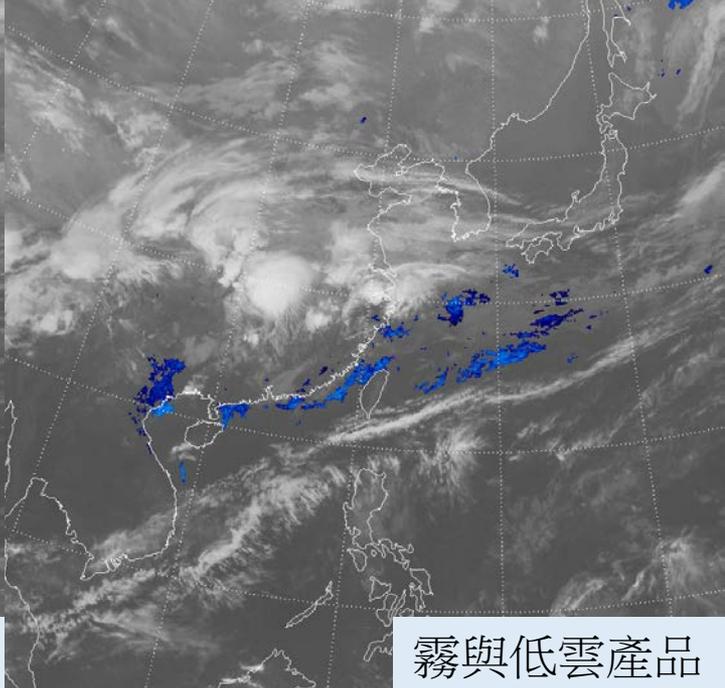
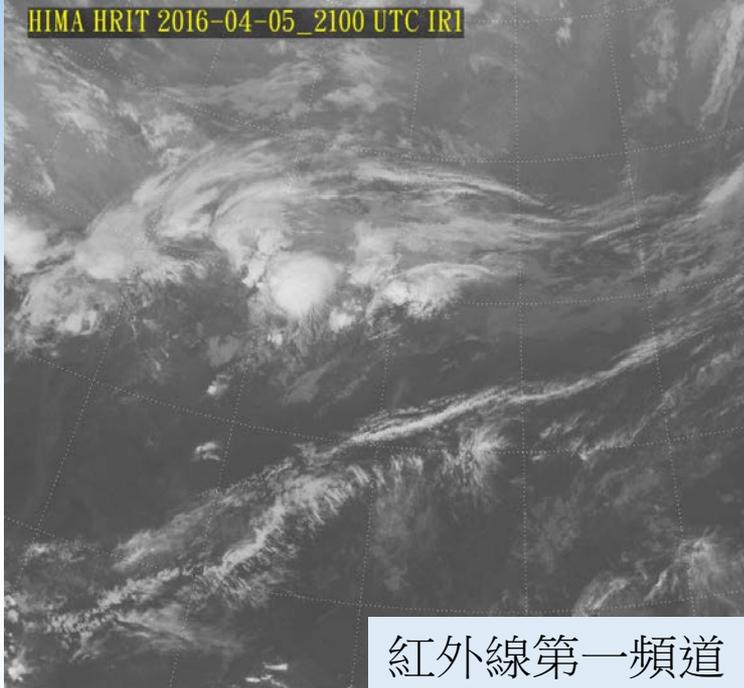
反演結果

基隆港因濃霧影響
於當地時間

2016-04-06 凌晨5點

2016-04-06 上午7點

兩度封港管制



總結

1. 反演法目的是找出具有「霧或低雲」特徵的區域。利用霧區日間的特性，增加了日間偵測的能力，可取代傳統侷限於夜間使用的偵測方式。
2. 配合Himawari-8不分晝夜、高頻率的監測，掌握霧的消長情形，對天氣監測及交通安全均有應用價值。
3. 本反演以衛星觀測主要資料，因此會受到衛星資料特性的限制，無法偵測雲頂以下的資訊，故在高雲覆蓋的區域不會有霧區訊號，但不表示地面沒有視障現象。
4. 目前正在與地面觀測站進行比對工作。

End

後續校驗

- 蒐集2016年1月至6月間每日00、03、06、09、12、15、18、21時，所有東亞地區之測站電碼資料，以及衛星反演霧區之結果，進行產品校驗及評估。

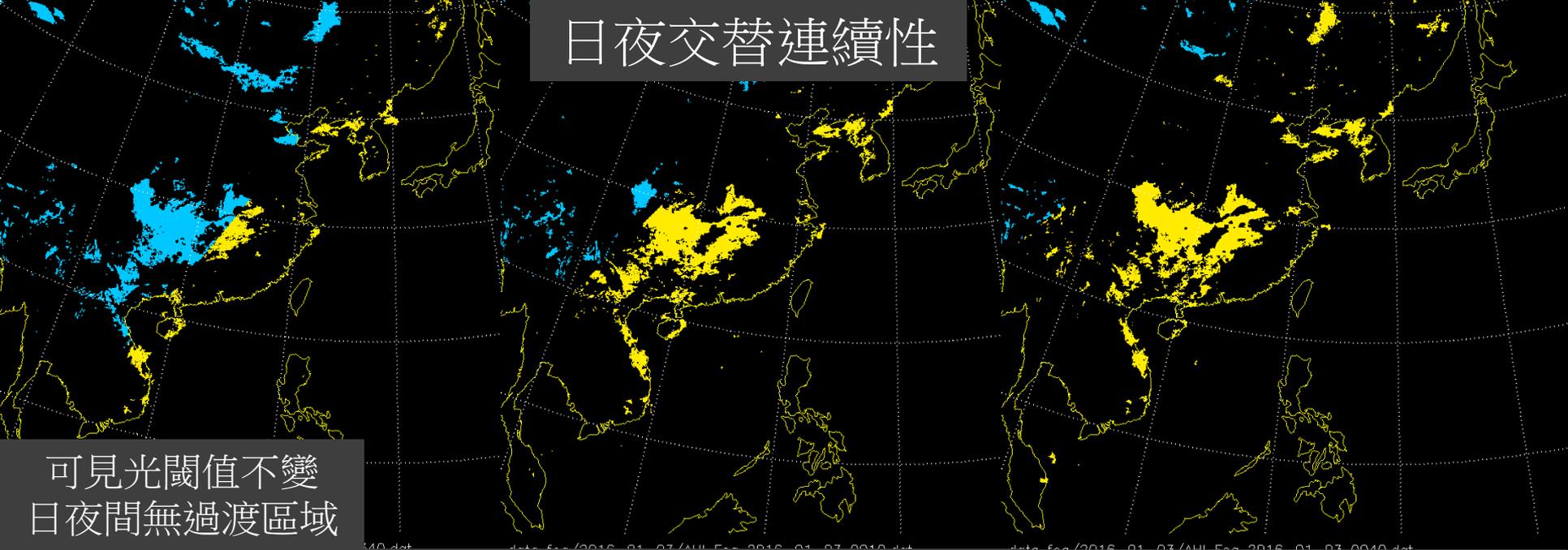
有效資料數目：461820			衛星判斷有霧或低雲數目：12897		
天氣現象	資料數目	所佔百分比	天氣現象	資料數目	所佔百分比
輕霧mist	130325	28.22	輕霧mist	6117	47.43
霧fog	13160	2.85	霧fog	1296	10.05
霾haze	103386	22.39	霾haze	642	4.98
小雨light rain	51115	11.07	小雨light rain	2010	15.59
小雪light snaw	9660	2.09	小雪light snaw	520	4.33
晴空clean sky	24785	5.37	晴空clean sky	477	3.70

後續校驗

- 蒐集2016年1月至6月間每日00、03、06、09、12、15、18、21時，所有東亞地區之測站電碼資料，以及衛星反演霧區之結果，進行產品校驗及評估。

所有有效資料：461820			IR1大於0度C的網格：224667		
天氣現象	資料數目	所佔百分比	天氣現象	資料數目	所佔百分比
輕霧mist	130325	28.22	輕霧mist	79308	35.3
霧fog	13160	2.85	霧fog	7298	3.25
霾haze	103386	22.39	霾haze	80048	35.63
小雨light rain	51115	11.07	小雨light rain	7438	3.31
小雪light snaw	9660	2.09	小雪light snaw	22	0.01
晴空clean sky	24785	5.37	晴空clean sky	9200	4.09

日夜交替連續性

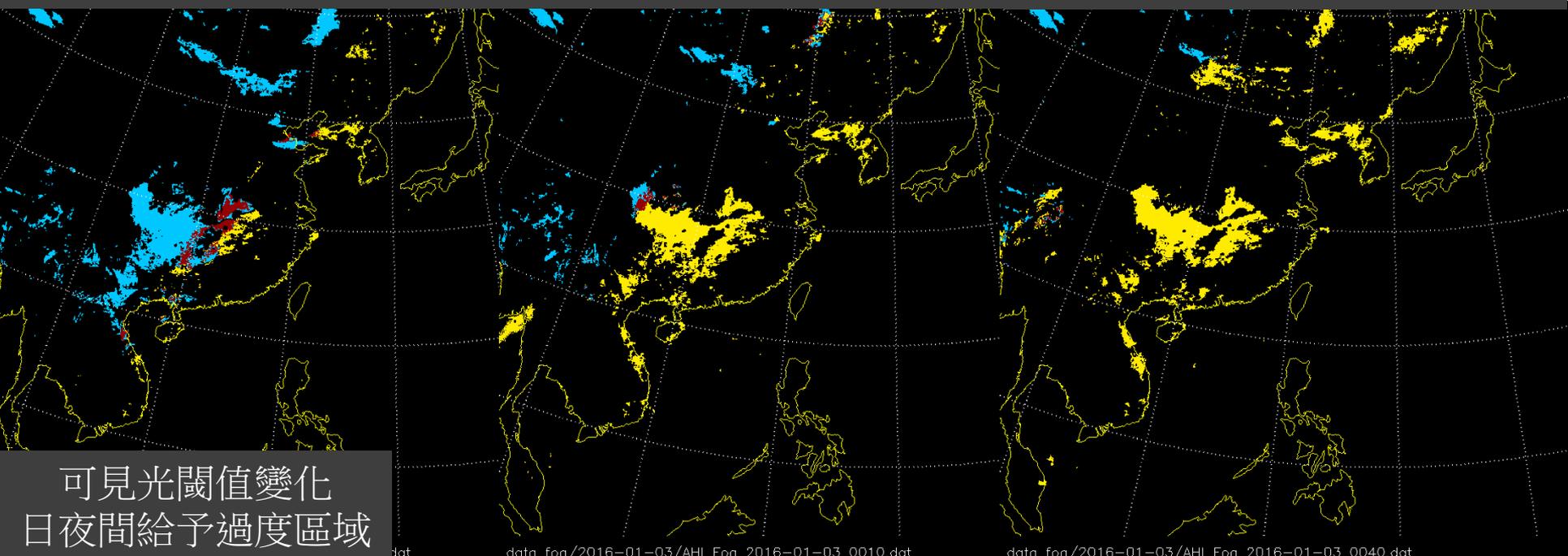


可見光閾值不變
日夜間無過度區域

01/02 2340z

01/03 0010z

01/03 0040z



可見光閾值變化
日夜間給予過度區域

dot

data_fog/2016-01-03/AHI_Fog_2016-01-03_0010.dot

data_fog/2016-01-03/AHI_Fog_2016-01-03_0040.dot

清晨或黃昏的閾值變化方式

1. VIS空間均勻度閾值為**3.84**，當仰角小於**25**度時，以線性遞，**3**度時的數值為**0.35**

Angle	thr_STDEV_VIS	Angle	thr_STDEV_VIS
-5	-0.92	13	1.94
-4	-0.76	14	2.10
-3	-0.60	15	2.25
-2	-0.44	16	2.41
-1	-0.28	17	2.57
0	-0.13	18	2.73
1	0.03	19	2.89
2	0.19	20	3.05
3	0.35	21	3.21
4	0.51	22	3.36
5	0.67	23	3.52
6	0.83	24	3.68
7	0.98	25	3.84
8	1.14	26	3.84
9	1.30	27	3.84
10	1.46	28	3.84
11	1.62	29	3.84
12	1.78	30	3.84

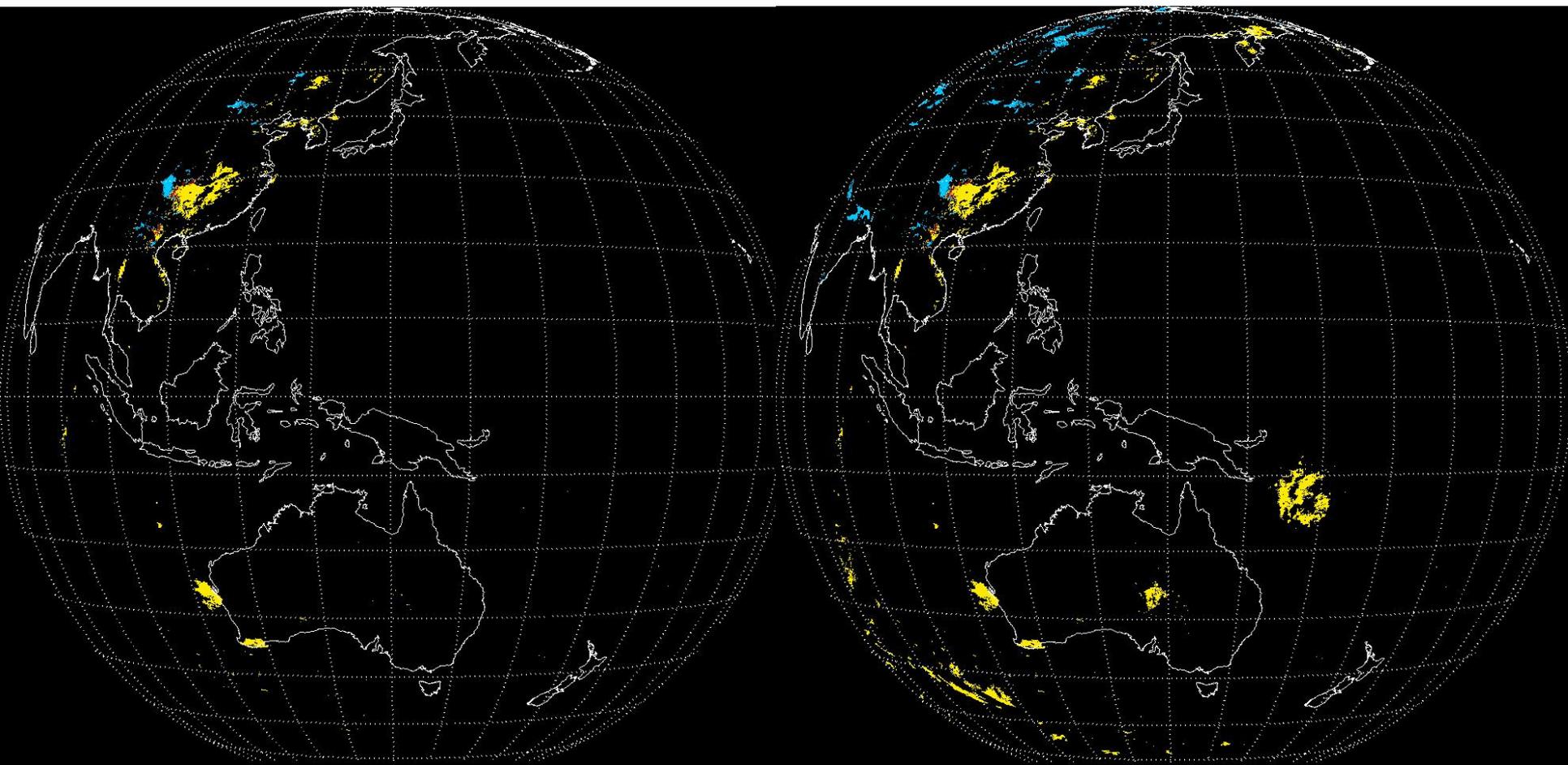
2. VIS反照率閾值為**20%**，當仰角小於**25**度時以線性遞減，**3**度時為**2.5%**，但該閾值不小於**1.5%**

Angle	thr_REF_VIS	Angle	thr_REF_VIS
-5	1.50	13	10.45
-4	1.50	14	11.25
-3	1.50	15	12.05
-2	1.50	16	12.84
-1	1.50	17	13.64
0	1.50	18	14.43
1	1.50	19	15.23
2	1.70	20	16.02
3	2.50	21	16.82
4	3.30	22	17.61
5	4.09	23	18.41
6	4.89	24	19.20
7	5.68	25	20.00
8	6.48	26	20.00
9	7.27	27	20.00
10	8.07	28	20.00
11	8.86	29	20.00
12	9.66	30	20.00

太陽反輝過濾 (2016/01/03 01z)

使用IR4將太陽反輝過濾
(IR4亮溫>310k)

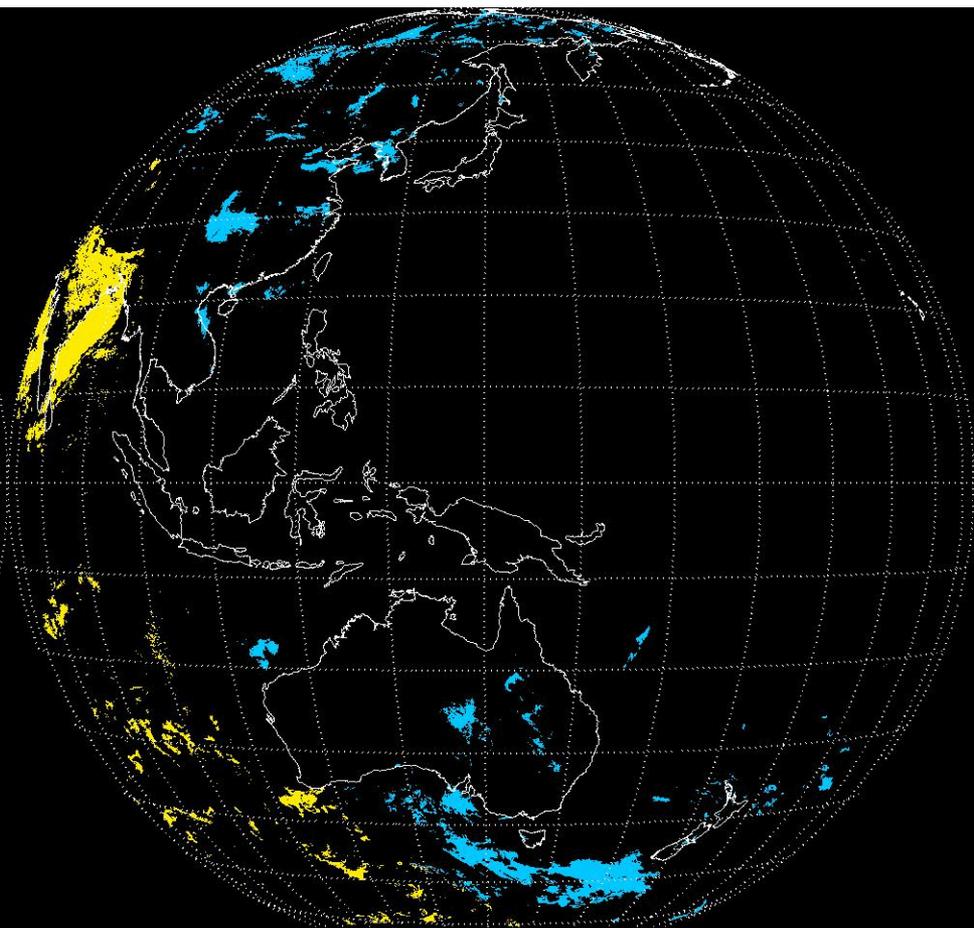
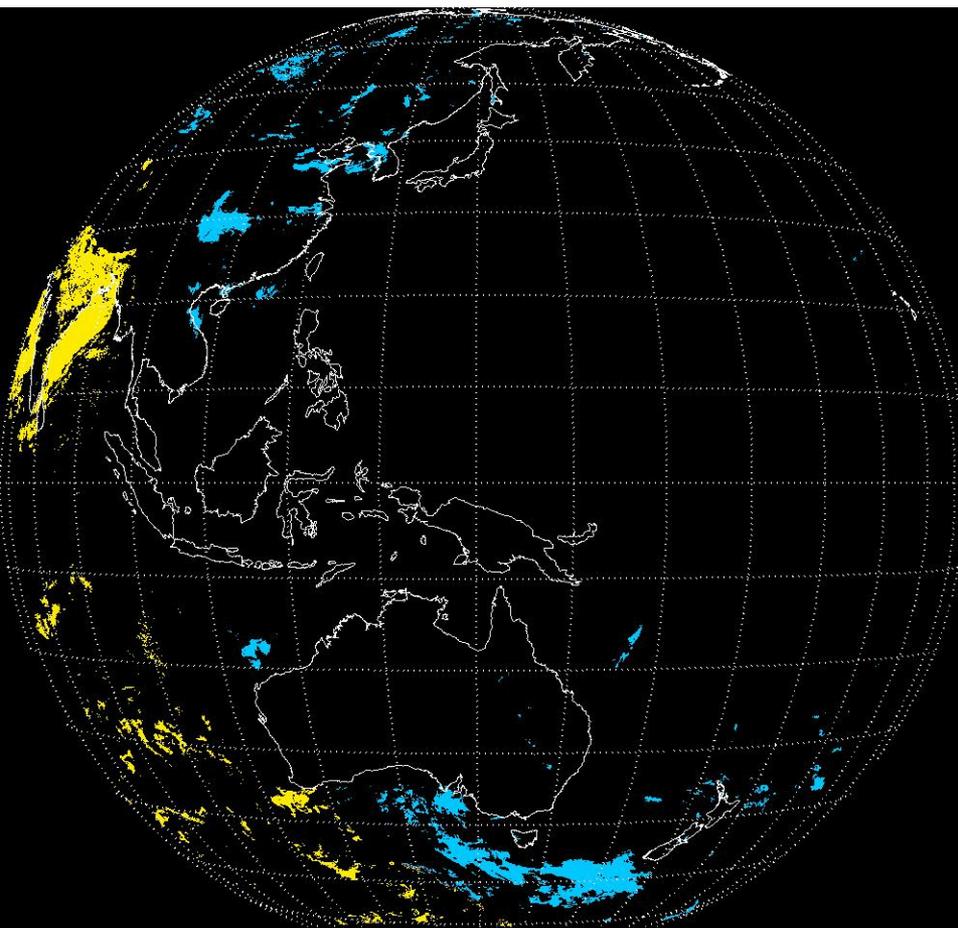
受太陽反輝影響



夜間澳洲沙漠地區

01/03 1200z (修改後, 比例閾值0.92)

01/03 1200z (修改前)



尋找各項因子的閾值（日間）

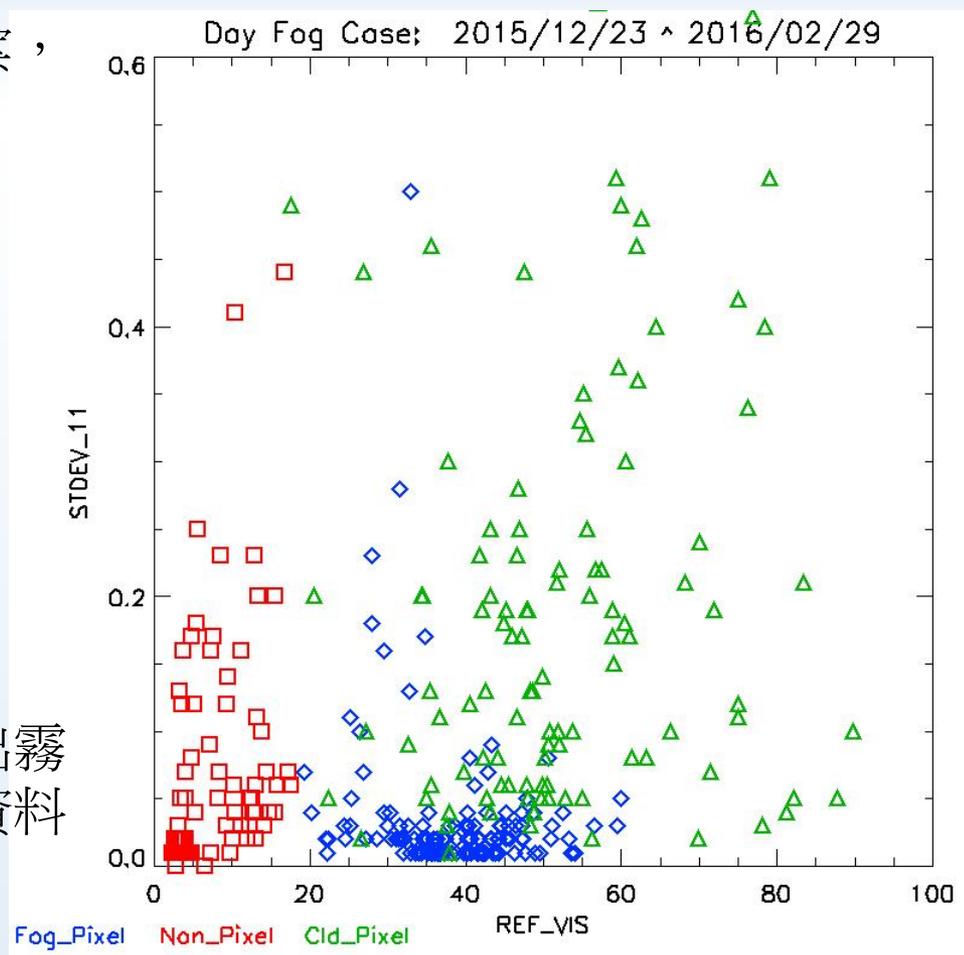
在衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視研判因子的數值分佈：

1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率比值
2. 輻射地表溫度差
3. VIS反照率
4. VIS空間均勻度
5. IR1空間均勻度

日間選擇：可見光雲圖

選擇時間：2015/12/28～2016/02/29

選擇條件：人為主觀判定，直接挑出霧區、雲區、晴空區三種區域的網格資料



尋找各項因子的閾值（日間）

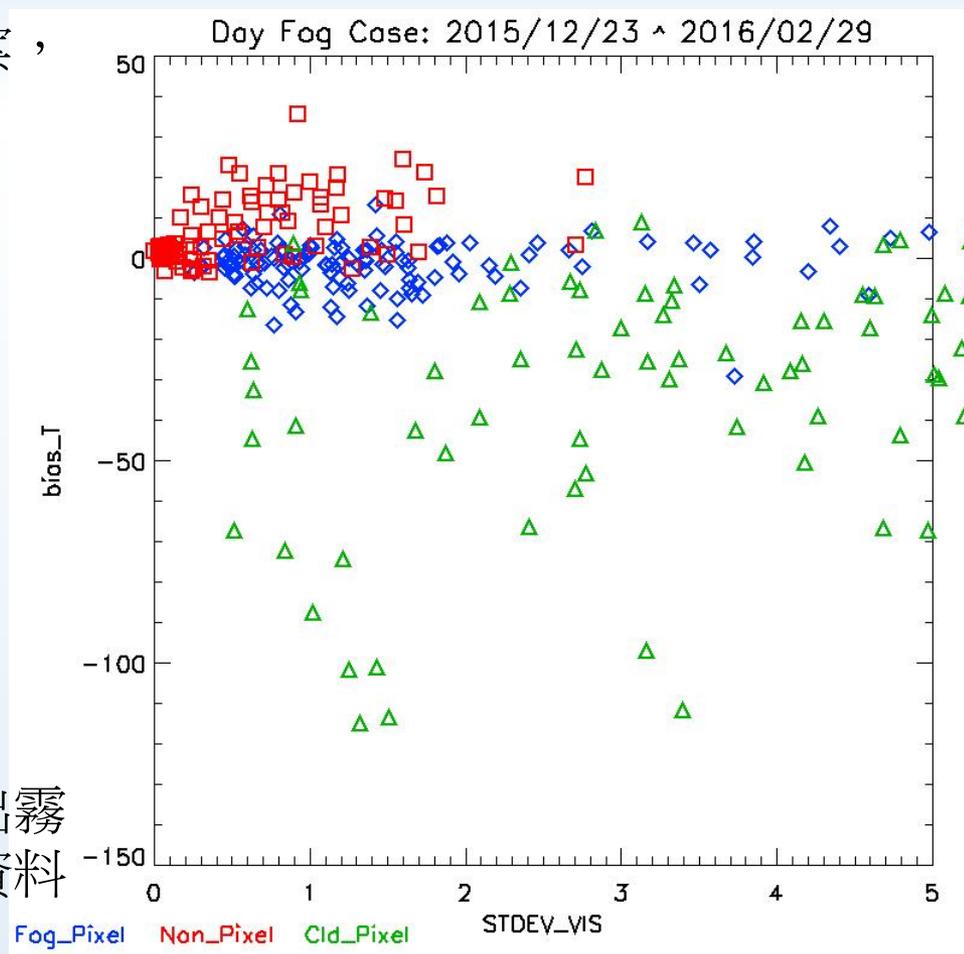
在衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視研判因子的數值分佈：

1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率比值
2. 輻射地表溫度差
3. VIS反照率
4. VIS空間均勻度
5. IR1空間均勻度

日間選擇：可見光雲圖

選擇時間：2015/12/28～2016/02/29

選擇條件：人為主觀判定，直接挑出霧區、雲區、晴空區三種區域的網格資料

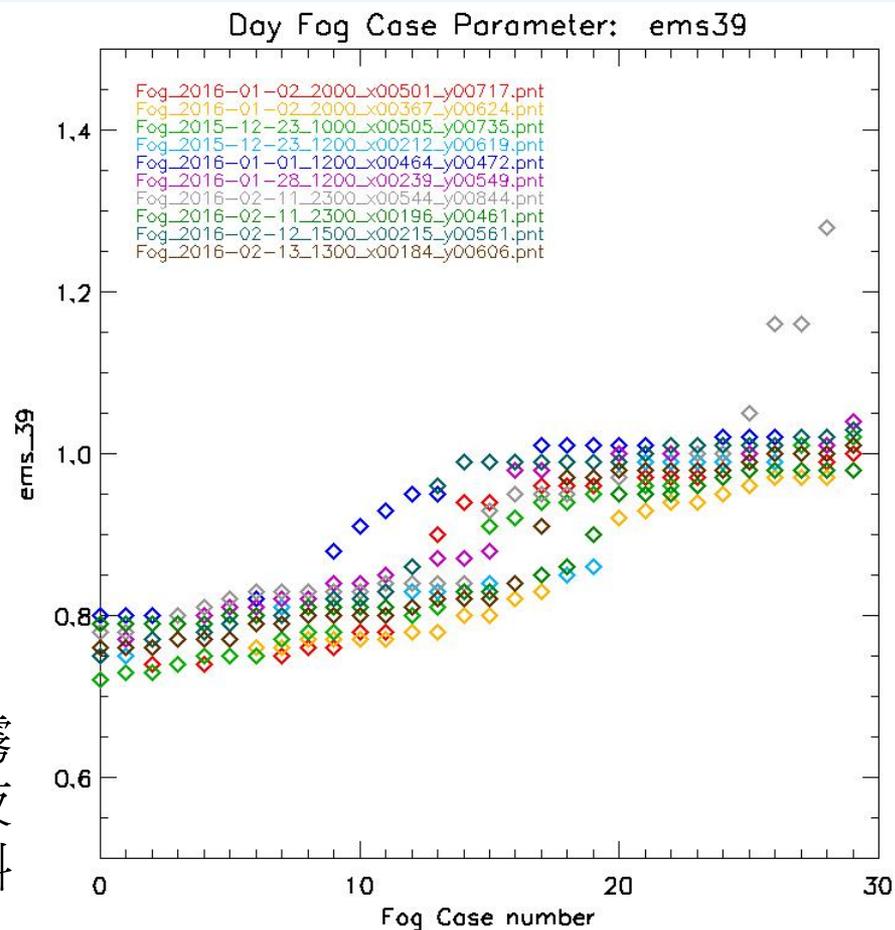


尋找各項參數的閾值 (GOES-R)

在衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視下列個參數的數值分佈：

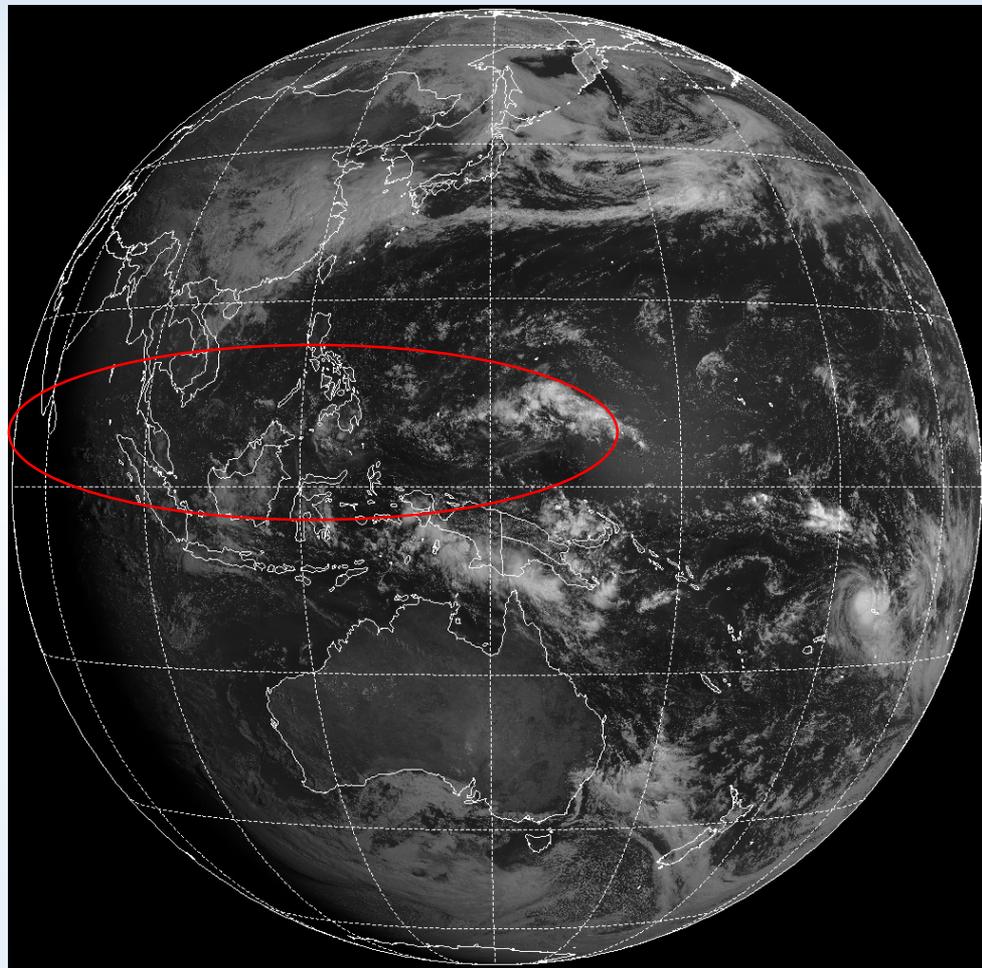
1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率
2. 輻射地表溫度差
3. IR1空間均勻度
4. VIS空間均勻度
5. VIS反照率

夜間選擇：可見光雲圖 + IR4減IR1雲圖
選擇時間：2015/12/28 ~ 2016/02/29
選擇條件：人為主觀判定日間存在的霧區後，透過連續的衛星雲圖，反推其夜間存在的位置，並在其位置附近取資料點



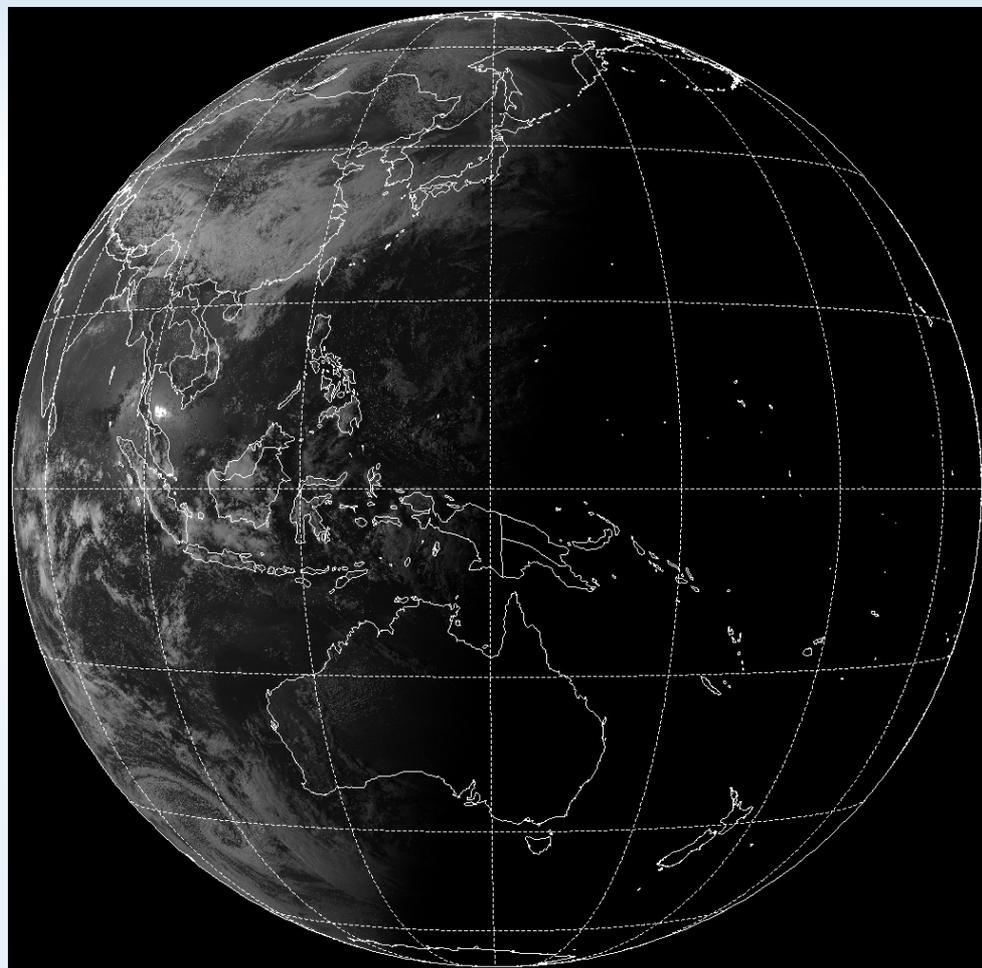
太陽反輝示意圖

可見光雲圖中，由海洋反射出的太陽影像，該區域即使晴空無雲也會出現高反射率，影響判斷。



日夜交替區示意圖

地球上的清晨或黃昏區域，因太陽仰角小，反照率普遍偏低。



尋找各項因子的閾值（日間）

在衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視研判因子的數值分佈：

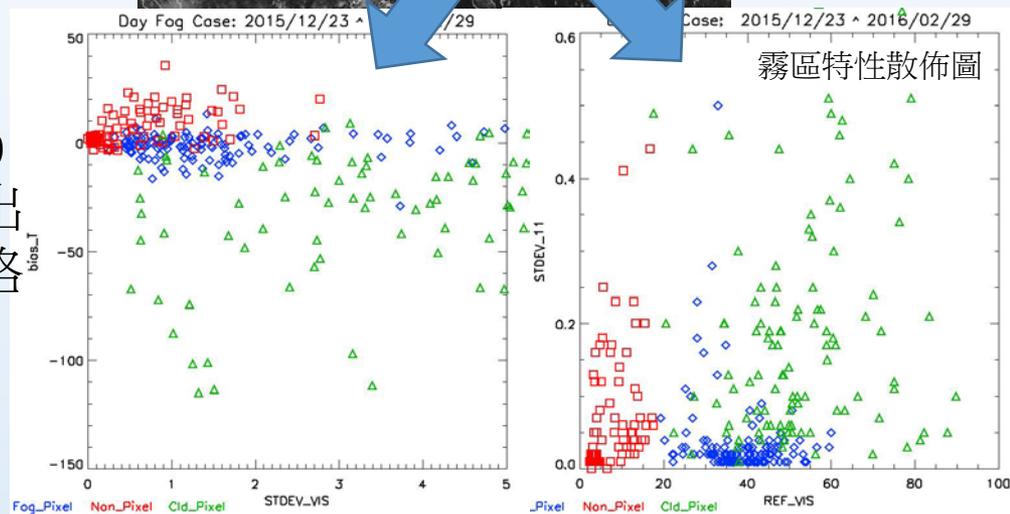
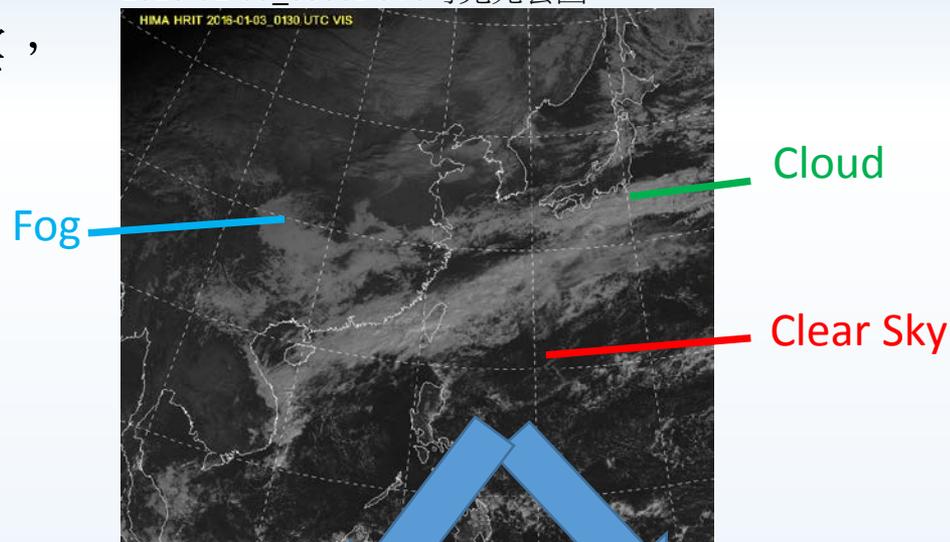
1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率比值
2. 輻射地表溫度差
3. VIS反照率
4. VIS空間均勻度
5. IR1空間均勻度

日間選擇：可見光雲圖

選擇時間：2015/12/28～2016/02/29

選擇條件：人為主觀判定，直接挑出霧區、雲區、晴空區三種區域的網格資料

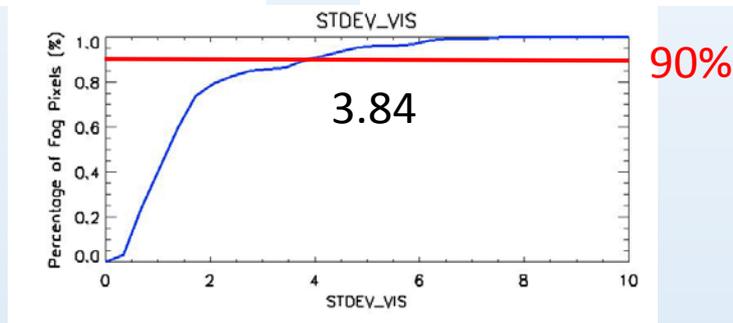
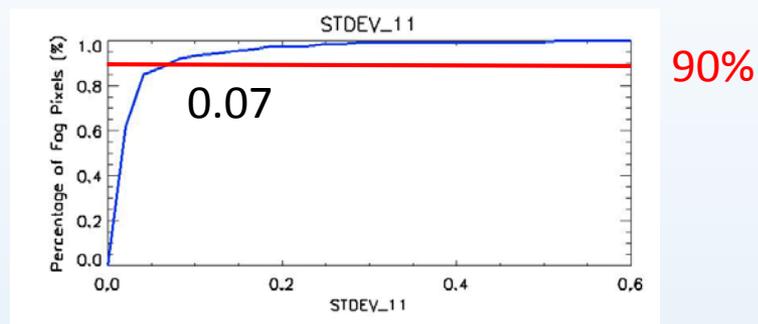
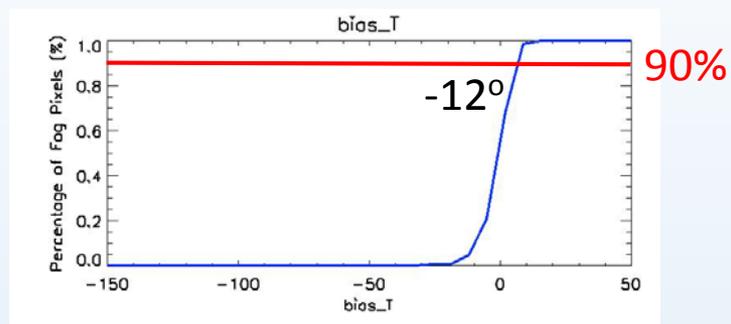
2016-01-03_0300z UTC可見光雲圖



尋找各項因子的閾值（日間）

根據繪製出的圖表，可以大致訂出合理的閾值。如可見光反照率可定為**20%**。其他無明確分界的研判因子則以「能夠涵蓋**90%**之霧區資料為其閾值」，作為**第一階段**的篩選標準：

1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率 < 0.92
2. 輻射地表溫度差 > -12°
3. VIS反照率 > 20%
4. VIS空間均勻度 < 3.84
5. IR1空間均勻度 < 0.07



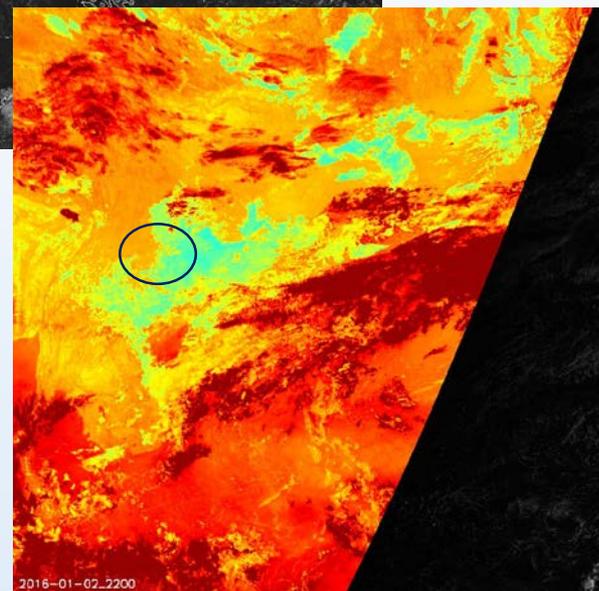
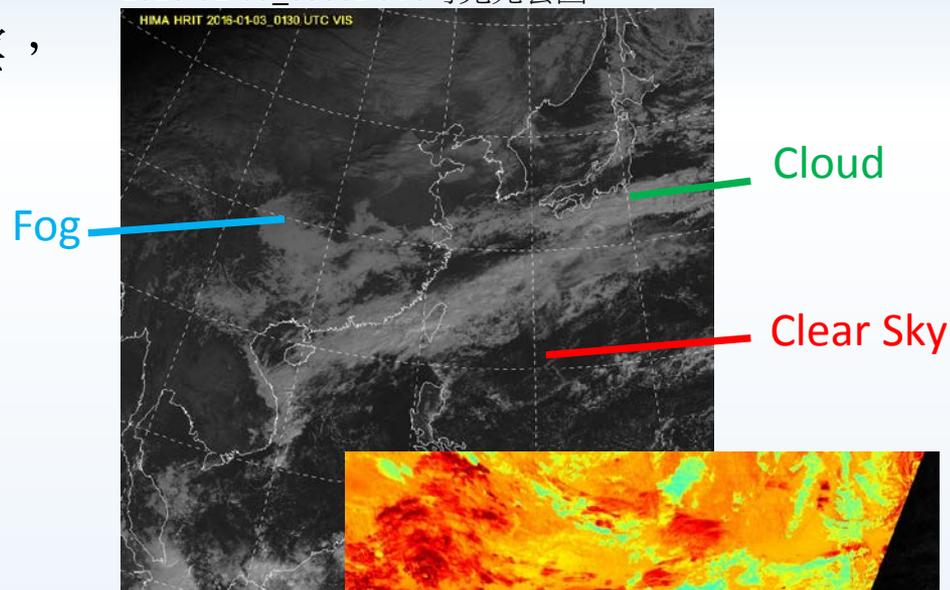
尋找各項因子的閾值（夜間）

在衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視下列個參數的數值分佈：

1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率比值
2. 輻射地表溫度差
3. VIS反照率
4. VIS空間均勻度
5. IR1空間均勻度

夜間選擇：可見光雲圖 + $3.9\mu\text{m}$ 假發射率
選擇時間：2015/12/28 ~ 2016/02/29
選擇條件：人為主觀判定日間存在的霧區後，透過連續的衛星雲圖，反推其夜間存在的位置，並在其位置附近取資料點

2016-01-03_0300z UTC可見光雲圖



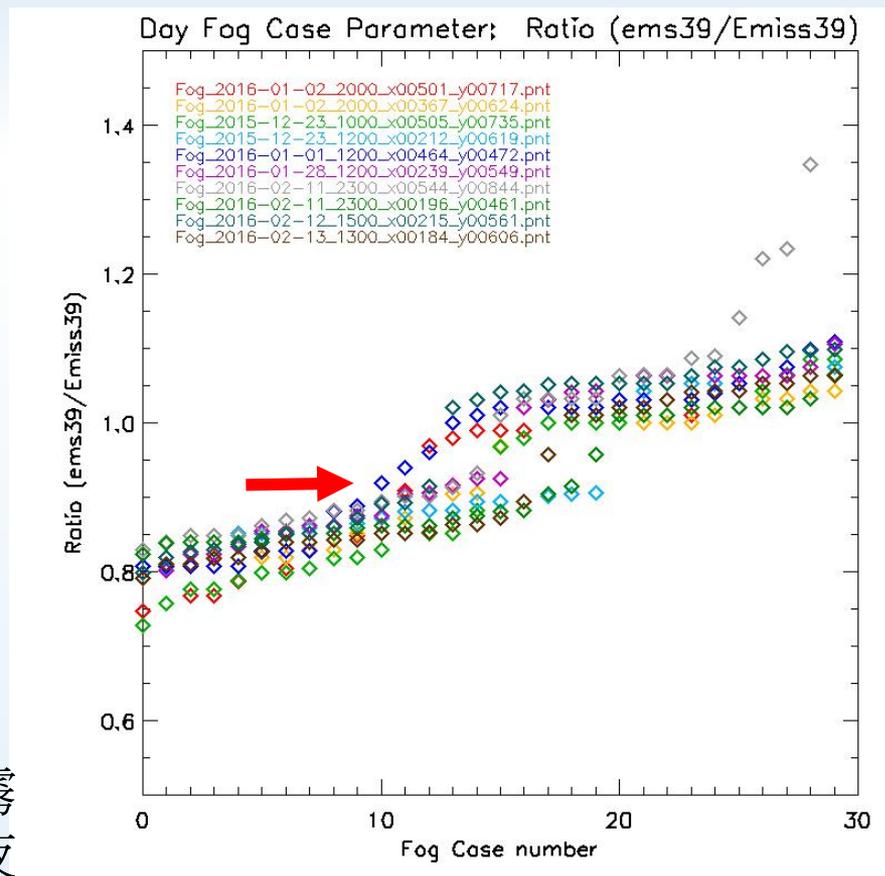
2016-01-02_2200z UTC $3.9\mu\text{m}$ 假發射率

尋找各項因子的閾值（夜間）

在衛星雲圖中，尋找明顯霧區的個案，並檢視下列個參數的數值分佈：

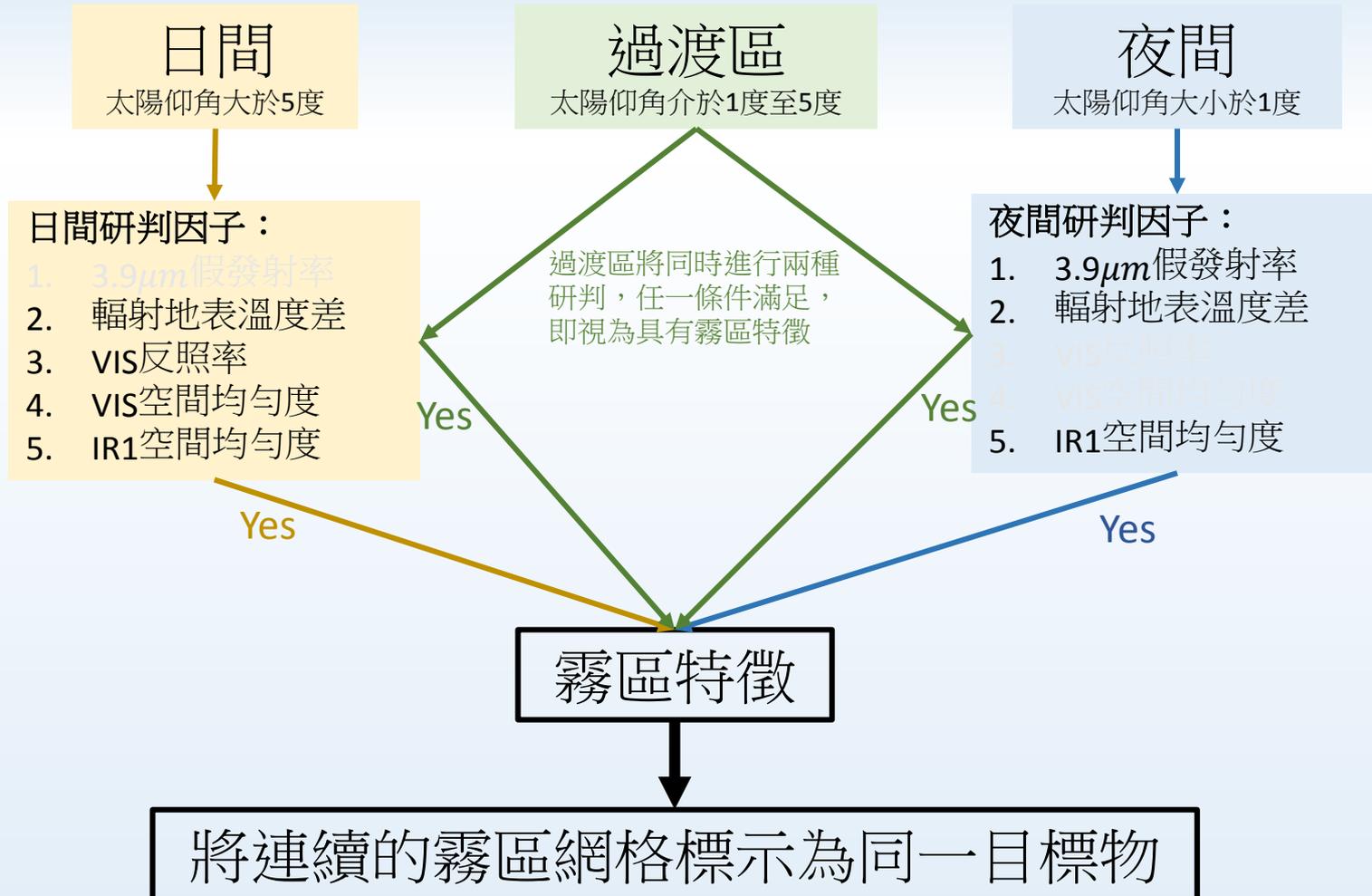
1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率比值
2. 輻射地表溫度差
3. VIS反照率
4. VIS空間均勻度
5. IR1空間均勻度

夜間選擇：可見光雲圖 + IR4減IR1雲圖
選擇時間：2015/12/28 ~ 2016/02/29
選擇條件：人為主觀判定日間存在的霧區後，透過連續的衛星雲圖，反推其夜間存在的位置，並在其位置附近取資料點



依照數值大小排列後的分佈情形，圖中可發現霧區與非霧區特性的明顯差異。

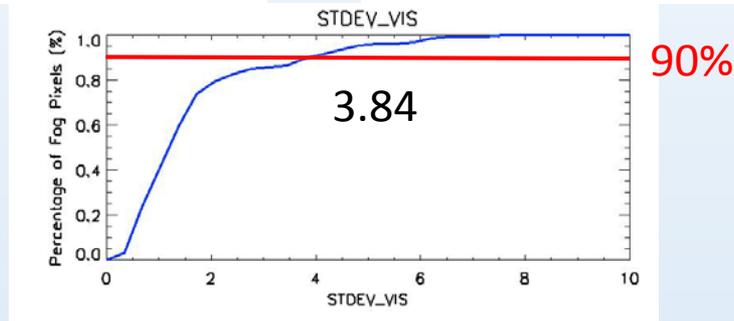
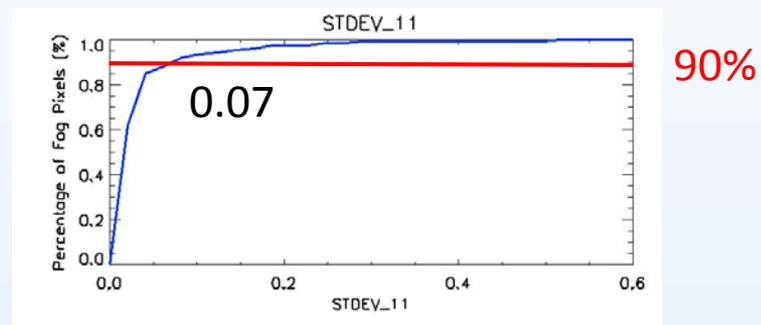
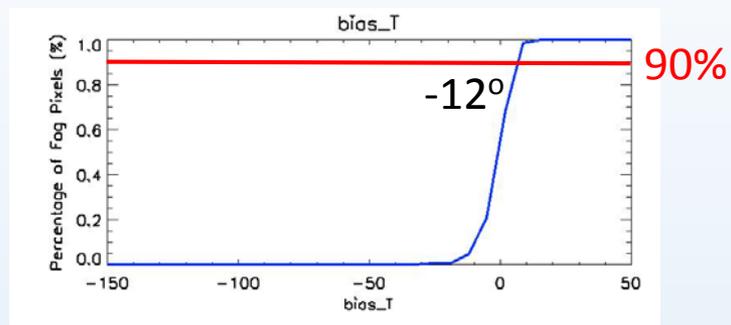
第一階段日間與夜間之研判流程



尋找各項因子的閾值

根據繪製出的圖表，可以大致訂出合理的閾值。如可見光反照率可定為**20%**。其他無明確分界的研判因子則以「能夠涵蓋**90%**之霧區資料為其閾值」，作為**第一階段**的篩選標準：

1. $3.9\mu\text{m}$ 假發射率 < 0.92
2. 輻射地表溫度差 > -12°
3. VIS反照率 > 20%
4. VIS空間均勻度 < 3.84
5. IR1空間均勻度 < 0.07



反演結果

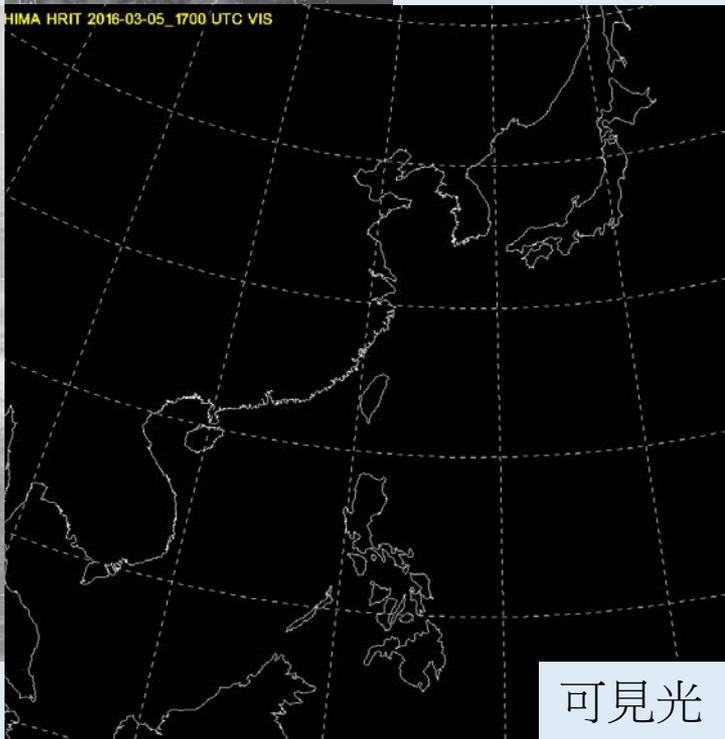
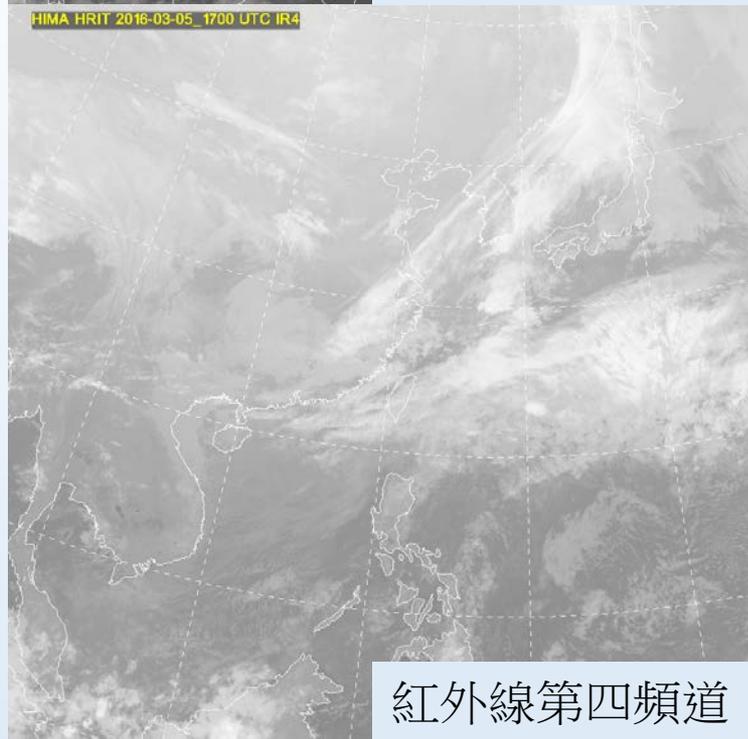
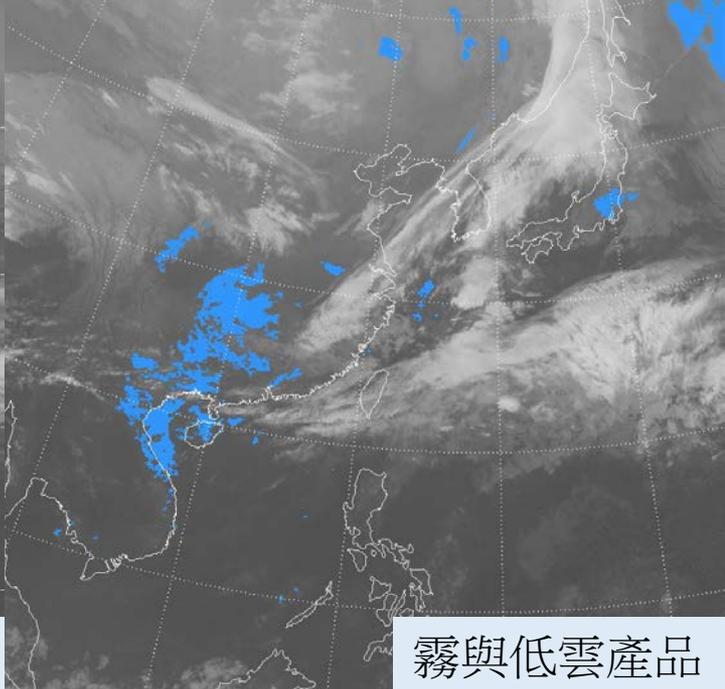
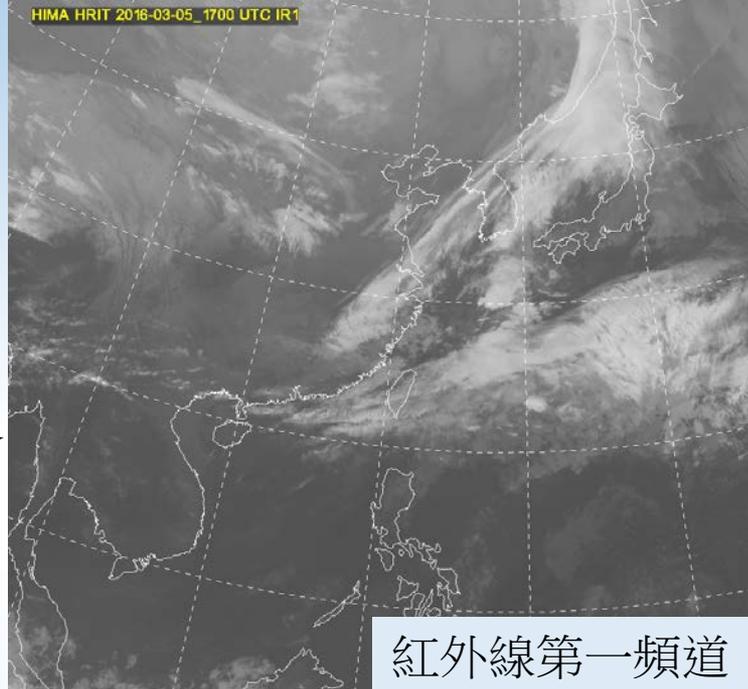
濃霧特報：

桃園新屋當地時間

2016-03-06 04：30

特報內容：

能見度 不足100公尺



霧與低雲產品自動化作業之規劃

