地面人工增雨作業說明

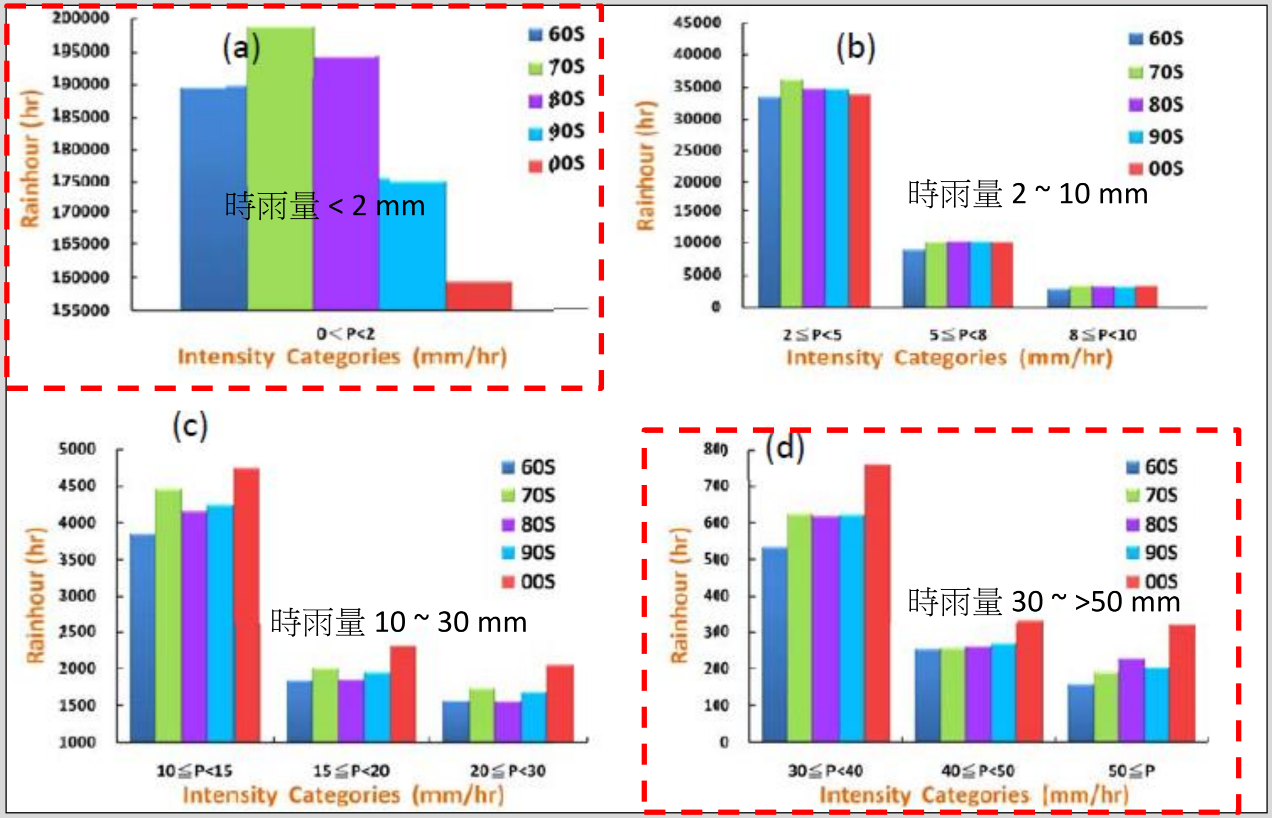
水利署**114**年人工增雨計畫

計畫主持人　林博雄教授

報告人　戴志輝研究員

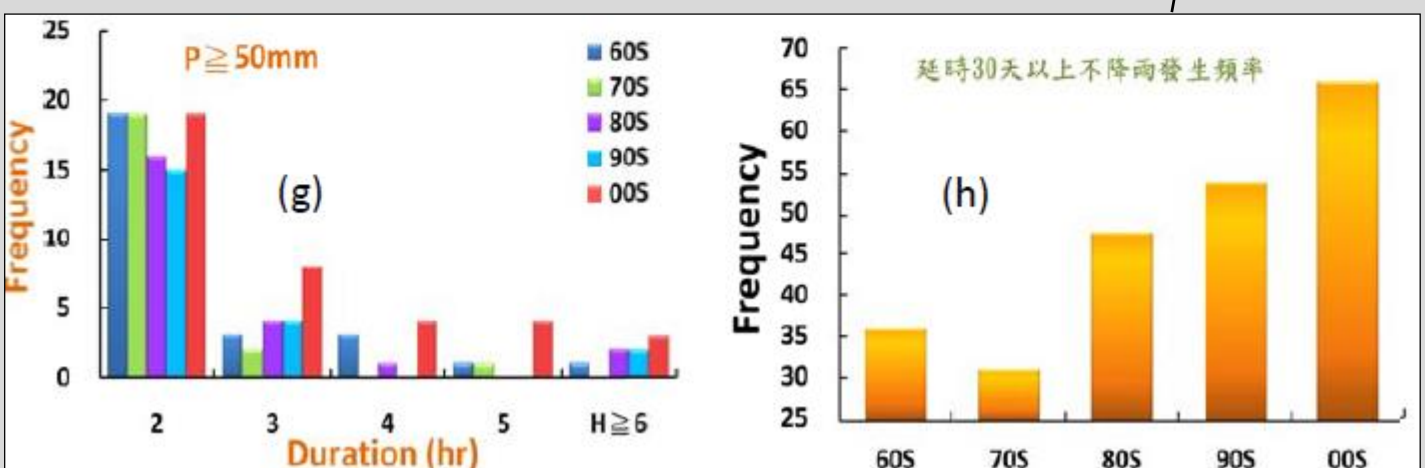
人工增雨服務團
於鯉魚潭水庫

臺灣降雨氣候趨勢

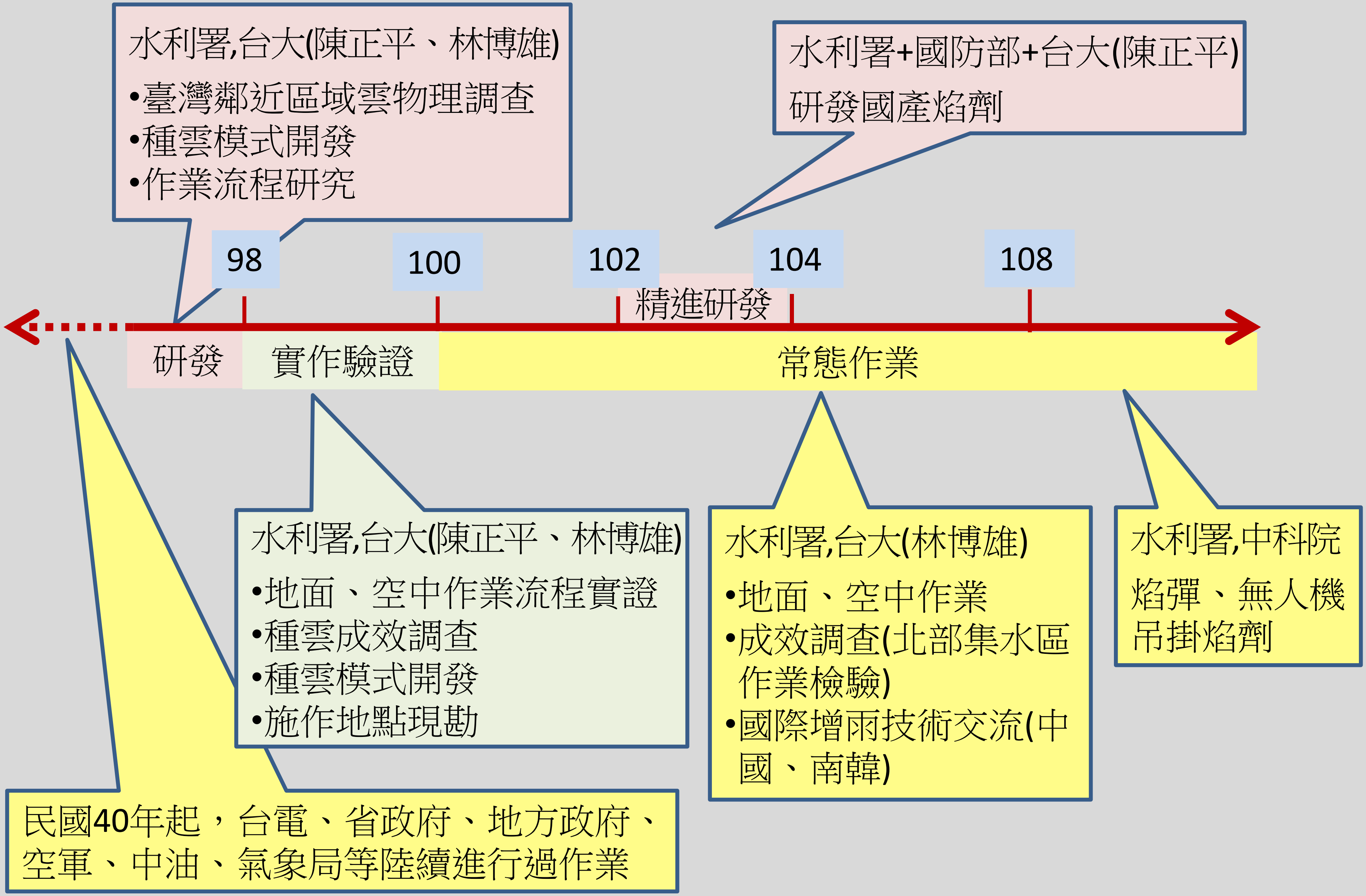


- 臺灣降雨的極端化愈來愈明顯，弱降雨出現頻率明顯減少，時雨量大於50毫米的強降雨頻率則顯著增加。
- 其中**可能**多半伴隨颱風(侵台數增加或颱風強度增強)。
- 強降雨延時超過3小時，以及不降雨延時超過30天，二者頻率皆增加；顯示台灣降雨的極端化，持續性強瞬時降雨以及連續性無降雨都變得容易發生。

(涂等 2011)



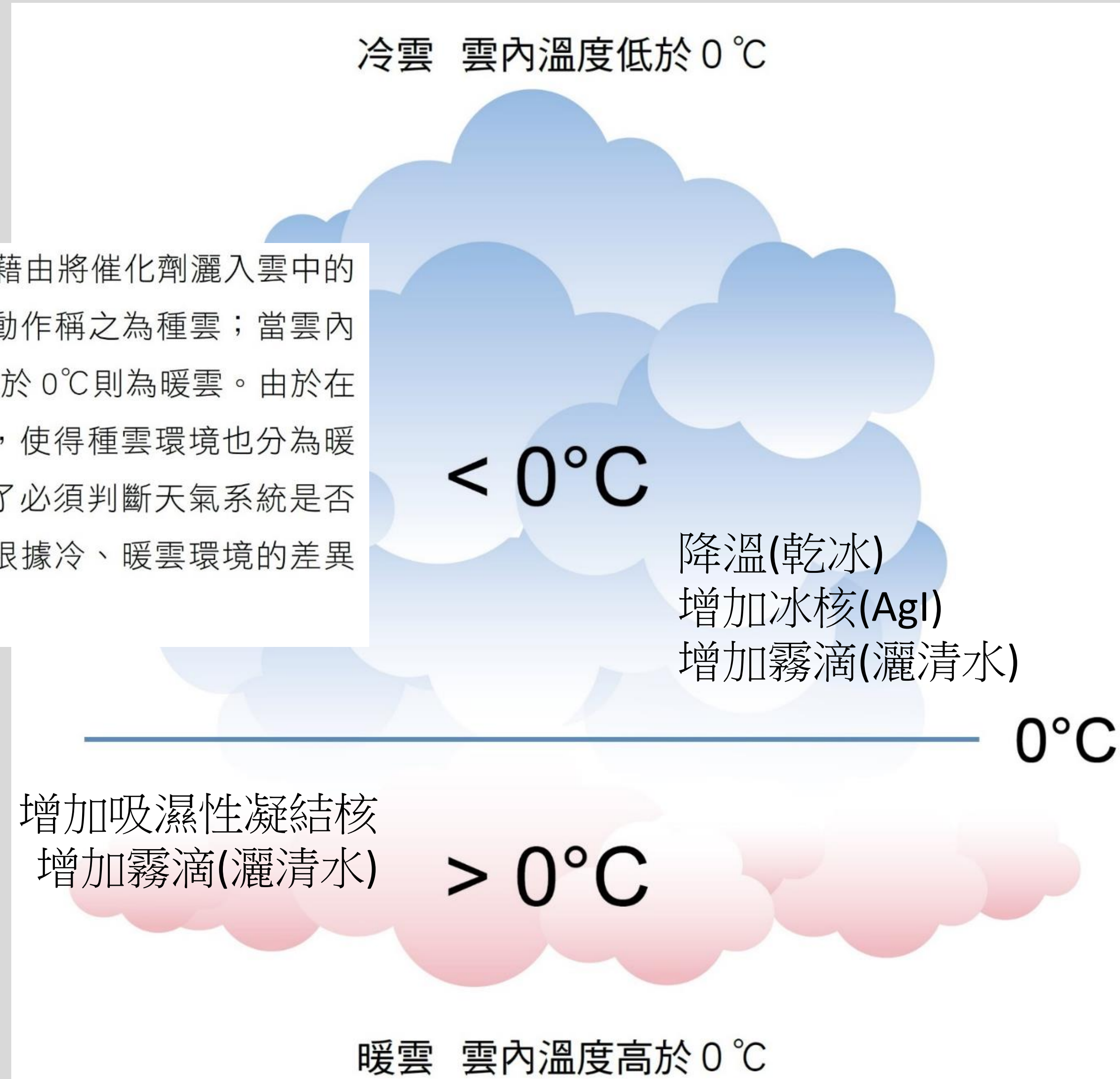
臺灣人工增雨簡歷



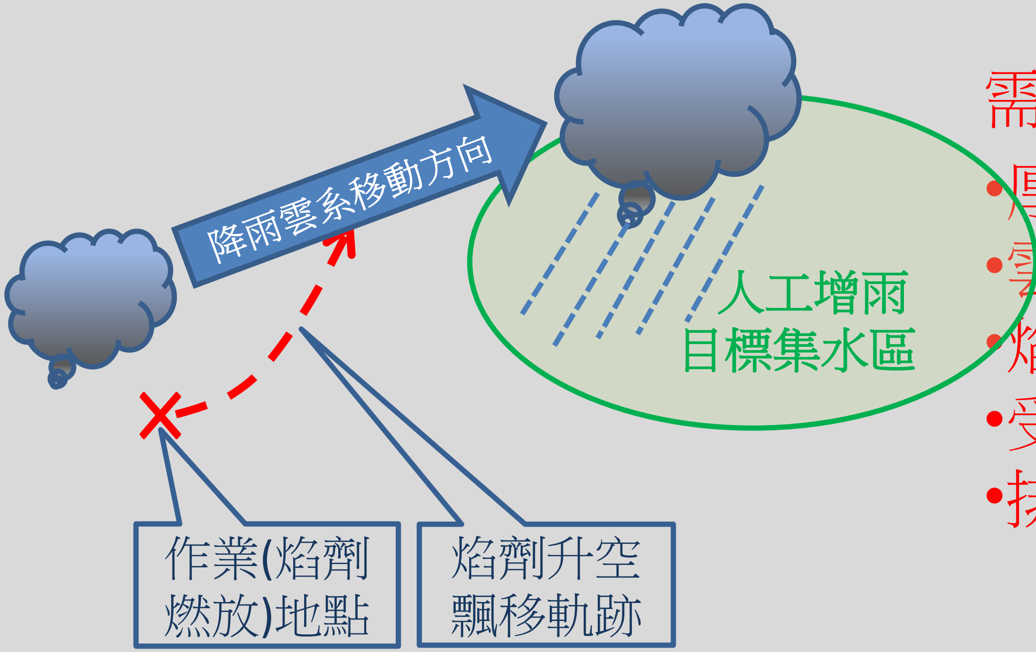
水利署,台大(陳正平、林博雄)
•臺灣鄰近區域雲物理調查
•種雲模式開發
•作業流程研究
水利署+國防部+台大(陳正平)
研發國產焰劑
98
100
102
104
108
精進研發
研發
實作驗證
常態作業
水利署,台大(陳正平、林博雄)
•地面、空中作業流程實證
•種雲成效調查
•種雲模式開發
•施作地點現勘
水利署,台大(林博雄)
•地面、空中作業
•成效調查(北部集水區作業檢驗)
•國際增雨技術交流(中國、南韓)
水利署,中科院
焰彈、無人機吊掛焰劑
民國40年起，台電、省政府、地方政府、空軍、中油、氣象局等陸續進行過作業

種雲(cloud seeding)原理

A: 人工增雨的目的是要增加降水效率，藉由將催化劑灑入雲中的動作，來增加大自然原本的降雨量，這個動作稱之為種雲；當雲內溫度低於 0℃，稱之為冷雲，而雲內溫度高於 0℃則為暖雲。由於在冷雲和暖雲環境裡，降雨的原理並不相同，使得種雲環境也分為暖雲種雲和冷雲種雲兩類。在種雲之前，除了必須判斷天氣系統是否提供充足的雲量、夠厚的雲層之外，還需根據冷、暖雲環境的差異性，來決定最適當的催化劑。



施作原則---風向風速、降雨系統與目標集水區、作業點之關聯性

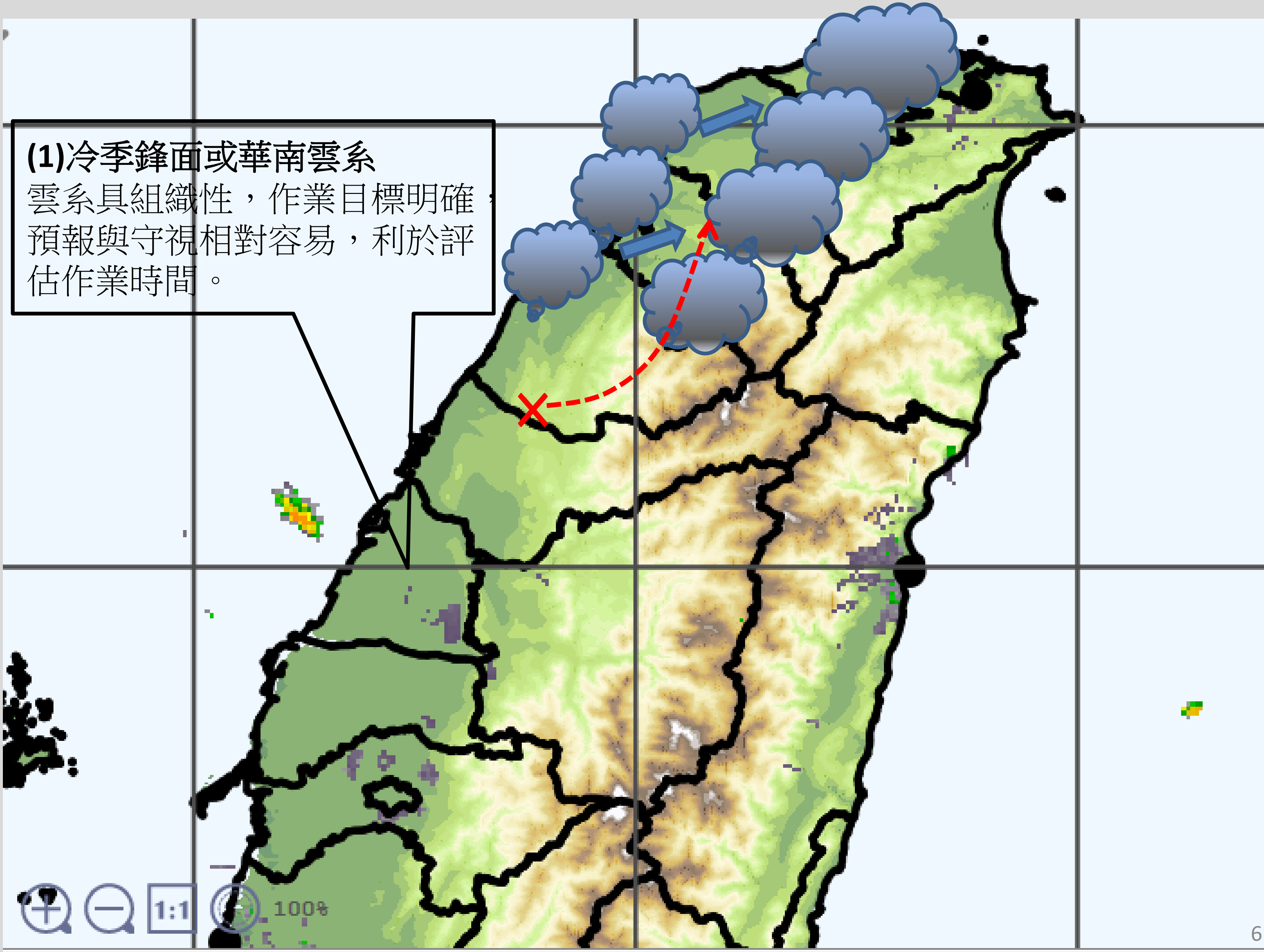


需考量條件：

- 厚度、含水量足夠的降雨雲系
- 雲層移經焰劑軌跡
- 焰劑能升空入雲
- 受催化雲層能通過集水區
- 排除大雨(以上)之降雨

- 目標集水區(即◯)選定後，於目標區上風適當距離處(即 ✕)，在降雨雲系通過焰劑飄移軌跡(即 ←---)前燃放燄劑，歷經升空、入雲及催化過程(需1~2小時)，雲系抵達集水區。
- 根據雲層移動情況與低空風向風速，預留雲層移動1~2小時之距離，以提供焰劑催化雲雨所需的足夠時間。例如，當風速為5ms^{-1}，則距離為18~36km。
- 雲層與氣流多變，需依模式結果對氣流(軌跡)與雲層(含水量等)環境進行客觀評估。
- 作業便利性考量下，燃放地點通常為水庫壩頂。
- 國外研究顯示，降雨增量約為10%。

有利增雨作業之降雨系統



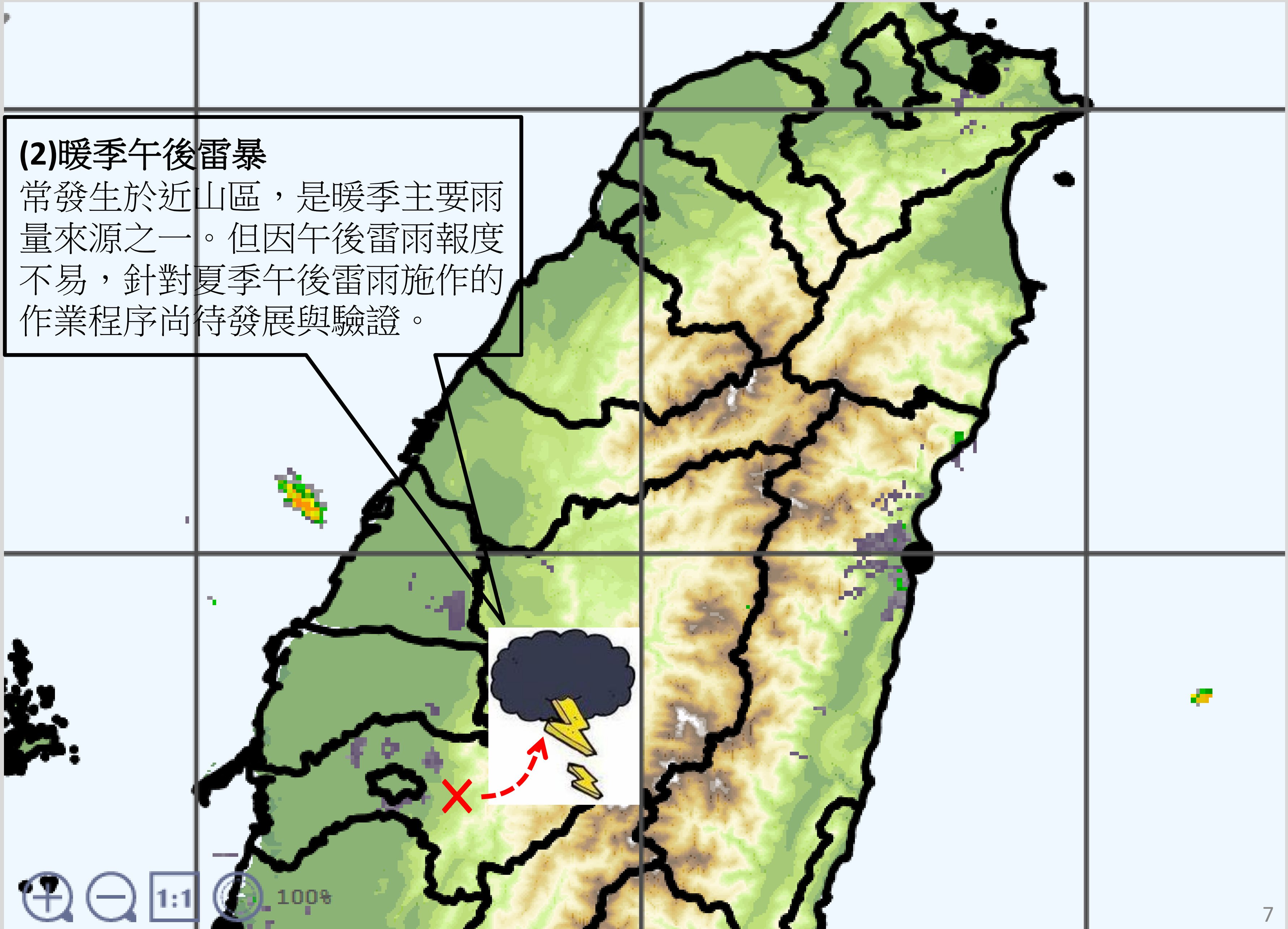
(1)冷季鋒面或華南雲系

雲系具組織性，作業目標明確，預報與守視相對容易，利於評估作業時間。

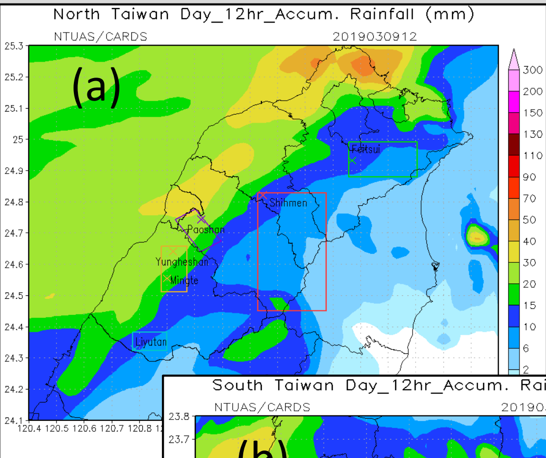
有利增雨作業之降雨系統

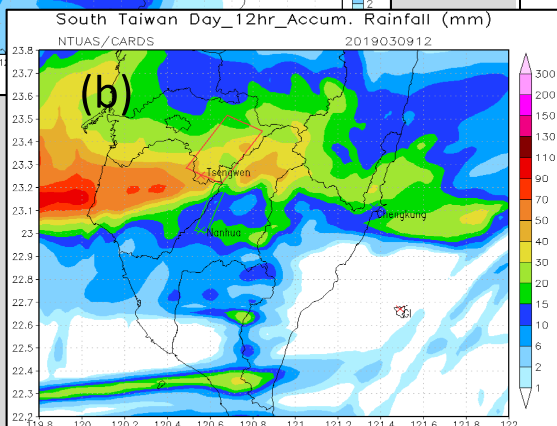
(2)暖季午後雷暴

常發生於近山區，是暖季主要雨量來源之一。但因午後雷雨報度不易，針對夏季午後雷雨施作的作業程序尚待發展與驗證。

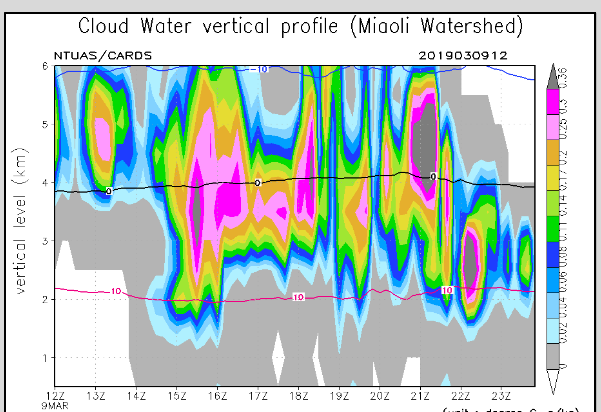


滯留鋒面影響下的實作案例(110/4)





預測
(上)降雨範圍寬廣且(下)雲層深厚度足夠



預測滯留鋒面影響北部(圖a)與中部(圖b)部集水區。
服務團依序分析(一)降雨量、(二)雲層厚度、(三)雲層含水量，綜整於檢查表並建議施作決策。

準備	目標集水區 (預報地區)	石門、寶二、明德、永和山、鯉魚潭		
	預報評估項目	資料	評估條件標準	評估
	氣象局預報施作時間降雨機率(%)	70%	達70%為良好,未達40%為不宜	良好
	WRF模式預報集水區 12小時累積降水量(mm)	6~20	達6 mm為良好; 未達2 mm為不宜	良好
	預報集水區雲頂溫度(℃)	< -15 ℃	達-15~-20℃為良好; 未達0℃為不宜	良好
	預報集水區雲系厚度(km)	>6	達5 km為良好; 未達3 km為不宜	良好
	集水區最大液態水含量(g/kg)	0.3	達0.3 g/kg為良好; 未達0.1 g/kg為不宜	良好
	冷雲層最大液態水含量(g/kg)	< 0.2	達0.17 g/kg為良好; 未達0.04 g/kg為不宜	良好
	綜合評估和作業建議	暖雲種雲條件：良好；焰劑具升空機會；3/9 08時起伺機施作，預計石門、寶二、永和山、明德及鯉魚潭一次燃放2支。		

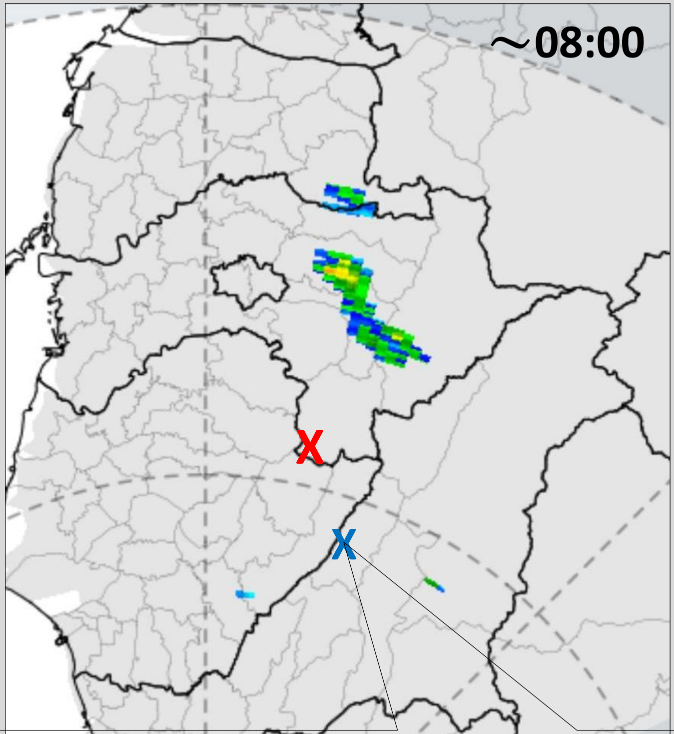
準備	目標集水區 (預報地區)	烏山頭、曾文、南化、甲仙堰		
	預報評估項目	資料	評估條件標準	評估
	氣象局預報施作時間降雨機率(%)	30%	達70%為良好,未達40%為不宜	不宜
	WRF模式預報集水區 12小時累積降水量(mm)	10~20	達6 mm為良好; 未達2 mm為不宜	良好
	預報集水區雲頂溫度(℃)	< -10 ℃	達-15~-20℃為良好; 未達0℃為不宜	尚可
	預報集水區雲系厚度(km)	>6	達5 km為良好; 未達3 km為不宜	良好
	集水區最大液態水含量(g/kg)	0.3	達0.3 g/kg為良好; 未達0.1 g/kg為不宜	良好
	冷雲層最大液態水含量(g/kg)	< 0.2	達0.17 g/kg為良好; 未達0.04 g/kg為不宜	良好
	綜合評估和作業建議	暖雲種雲條件：良好~尚可；焰劑具升空機會；3/9 11時起伺機施作，預計烏山頭、曾文、南化、甲仙堰一次燃放2支。		

作業現場配合事項(有關攝影角度)

- 水利署背心、頭盔，
- 水利署字樣、看板、焰劑燃燒狀態，同時入鏡。
- 直、橫影像都要有，
- 影片幫忙帶一下高仰角，以利焰劑升空情況入鏡。

人工增雨天氣守視科普
(雲、回波、降雨與觀測)

華南雲雨帶影響下的實作案例(112/2/14)

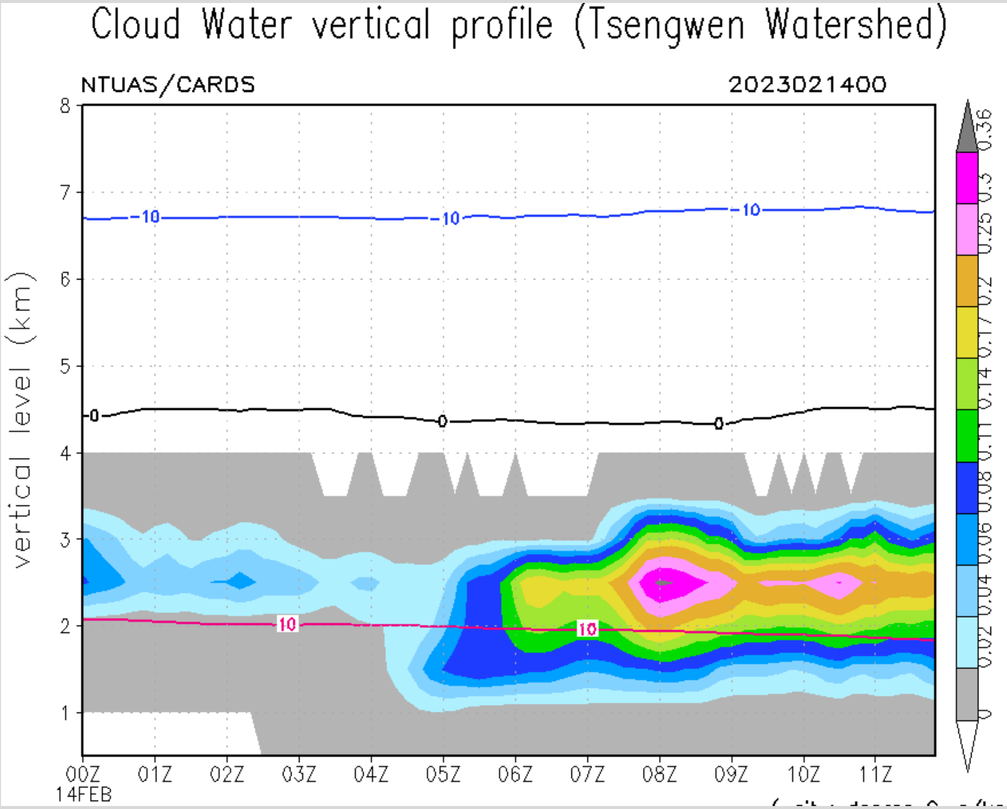


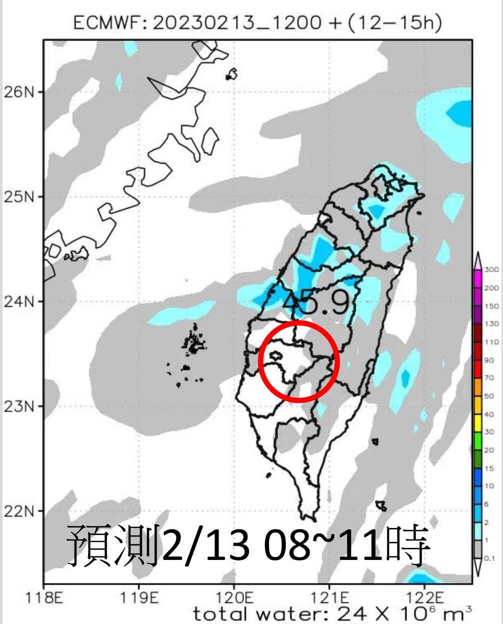
- 曾文(x)集水區出現回波，適合執行人工增雨?
- 甲仙堰(x)是否有人工增雨機會？
- 旗山工作站下午是否有作業機會?

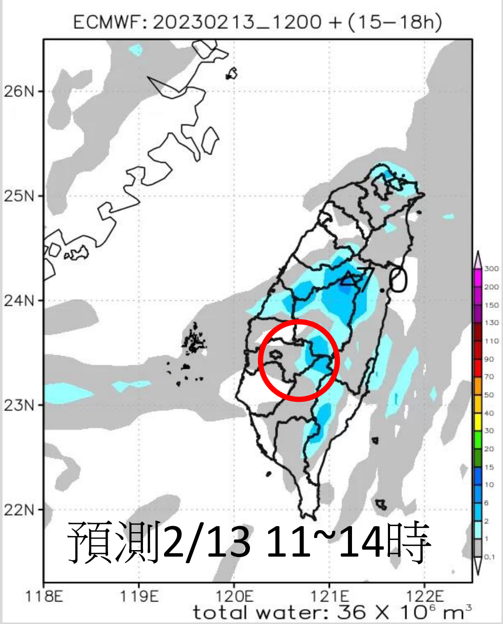
需了解的大氣環境條件：

- 雲層厚度(含水量)現況與變化趨勢。
- 焰劑是否可升空至雲層高度?
- 雲層是否將移動至集水區?

華南雲雨帶影響下的實作案例(112/2/14)
雲層厚度與含水量變化趨勢



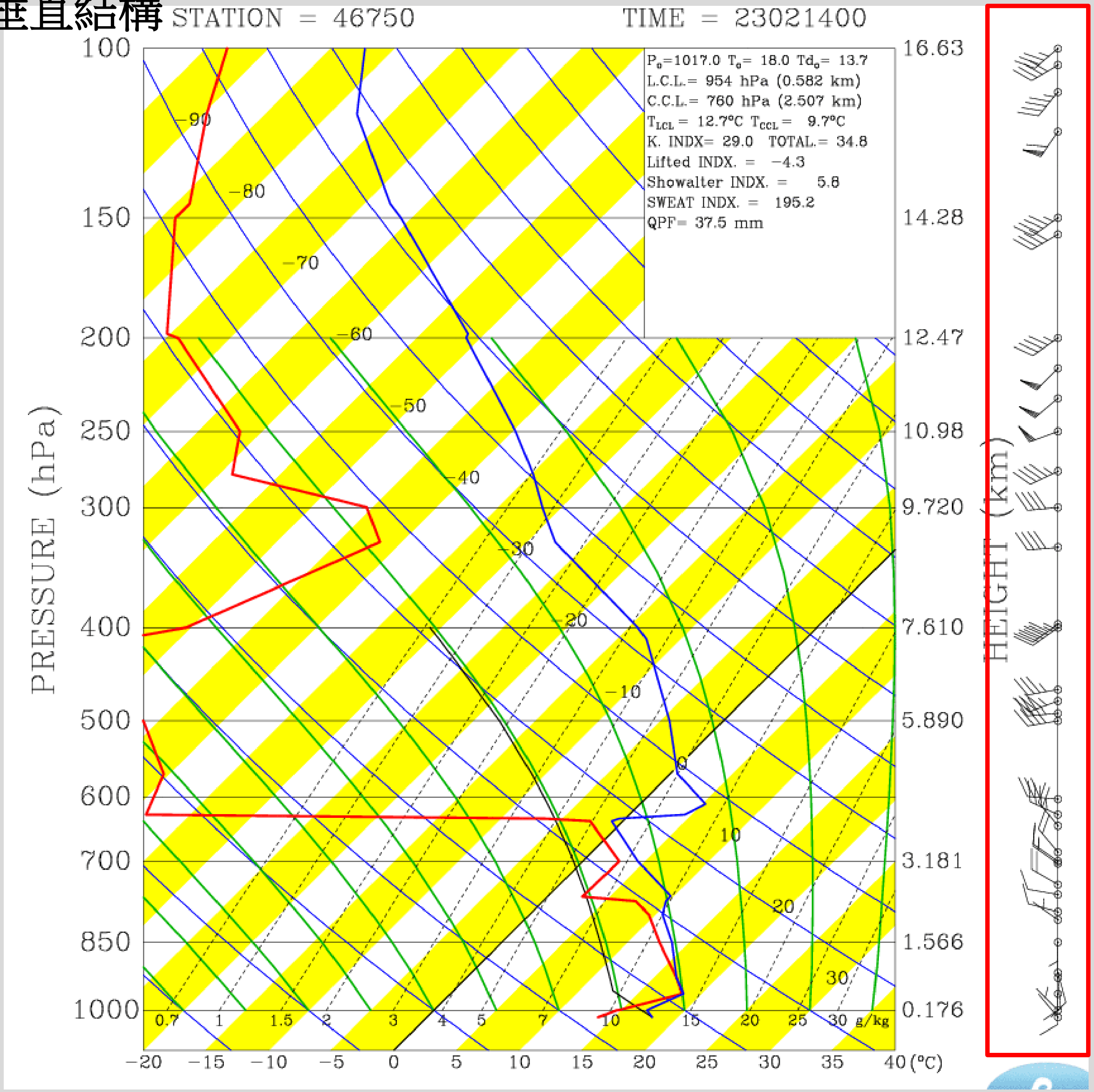




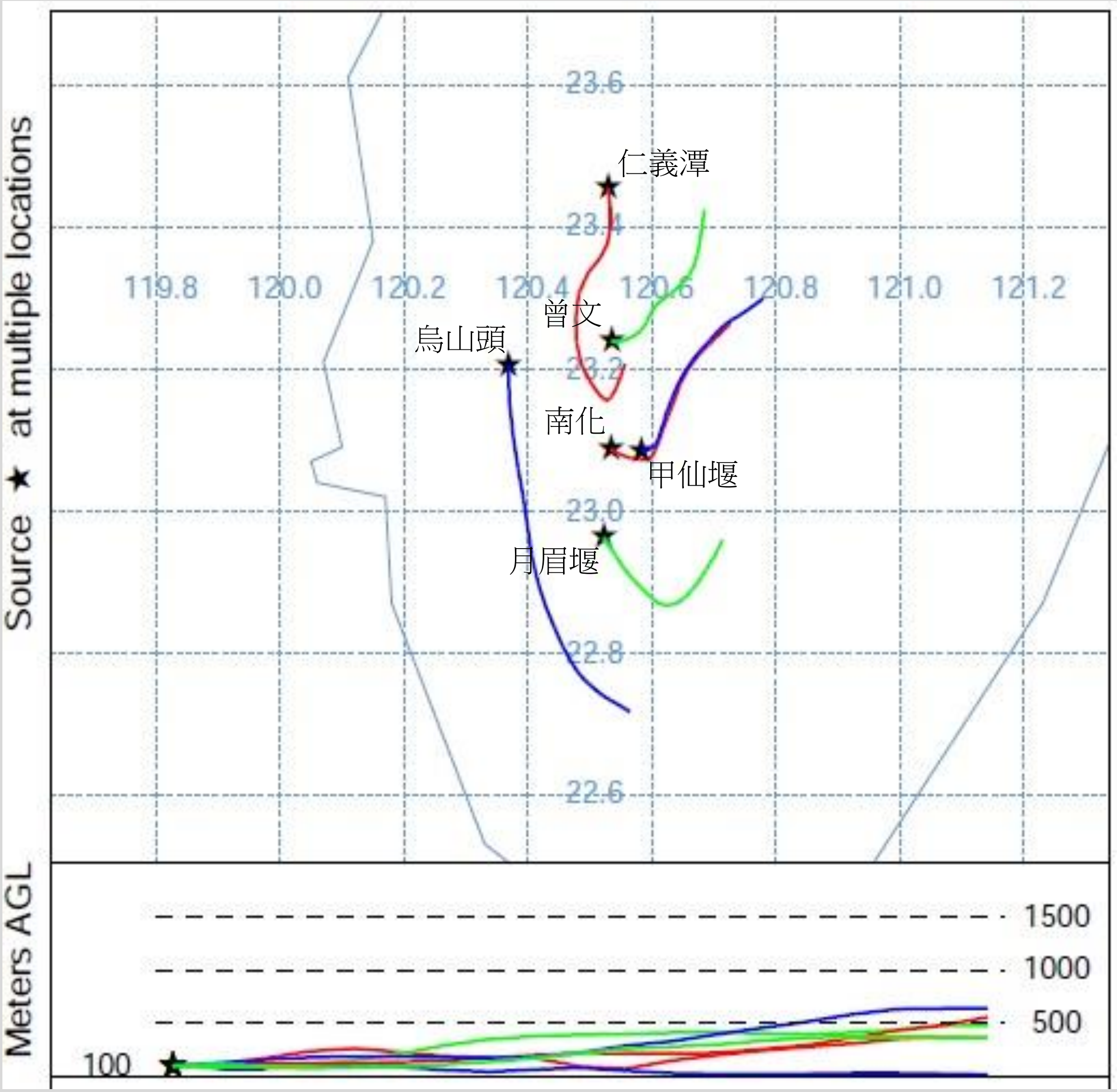
- 當日天氣系統為華南雲雨帶，雲層厚度約為2000 m、雲底約為1000 m。
- 預測下午雲層厚度與含水量增加，但降雨量輕微，應屬層狀雲系，雲下及雲中上升氣流皆微弱，雨滴碰撞機會少。

華南雲雨帶影響下的實作案例(112/2/14)

風向風速的垂直結構



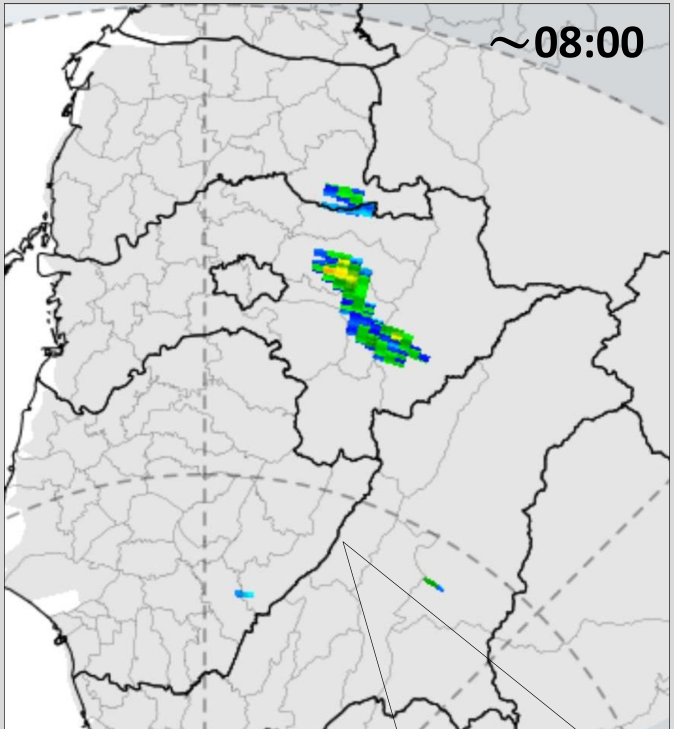
華南雲雨帶影響下的實作案例(112/2/14)
焰劑升空與飄移軌跡



氣流環境：

- 平地低空為北風，焰劑向東南平流，升空高度有限，不利作業。如仁義潭、烏山頭、月眉堰。
- 近山區低空氣流可將焰劑吹送進入集水區上游。如曾文、南化、甲仙堰。

華南雲雨帶影響下的實作案例(112/2/14)

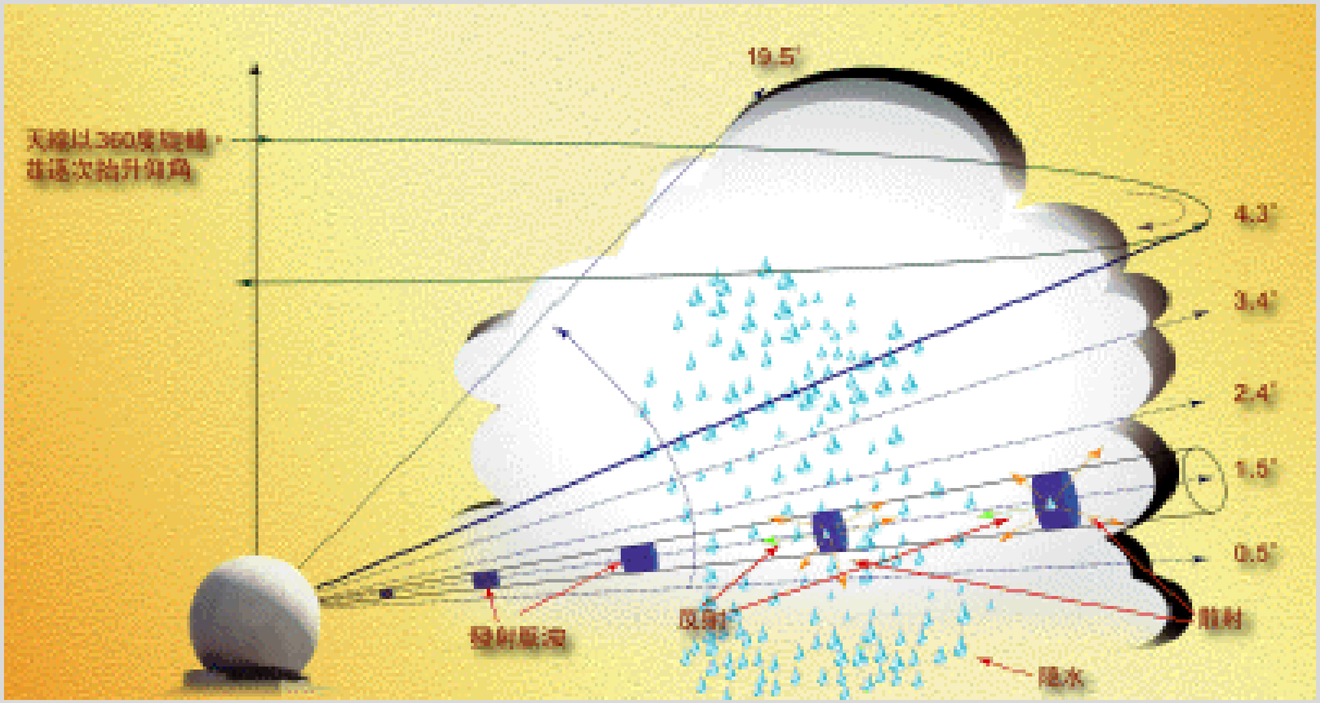


作業決策：

- 由服務團密集守視，觀察重點：若回波強度較08:00 (**15 dBZ**)更明顯、更具組織性(範圍大)，則施作條件相對更佳。
- 請曾文、甲仙留意群組訊息。輕微降雨區並不包括高、屏山區，旗山工作站不執行。

※作業現場可協助觀察**雲量增減**、**雲層透光性**與**地面風向/風速**變化之**趨勢**。

氣象雷達

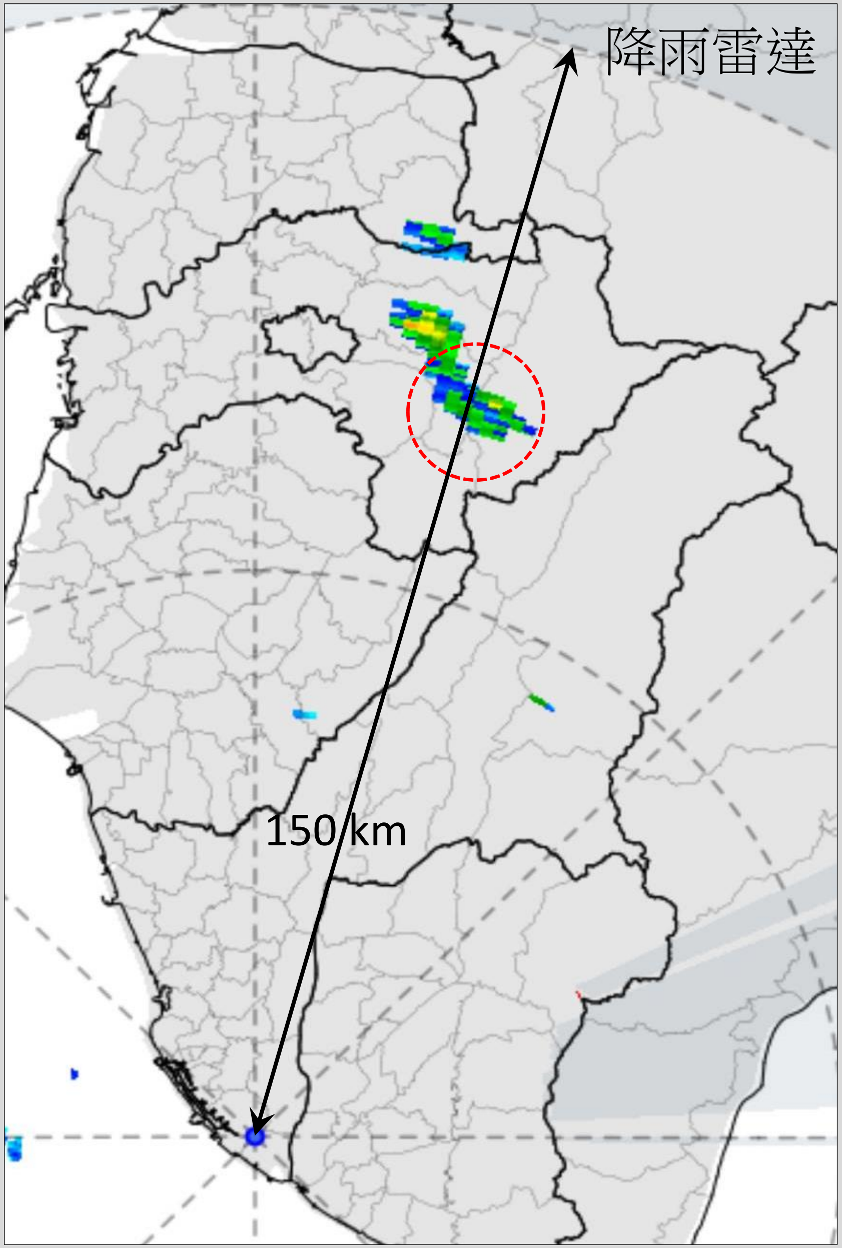


雷達掃描仰角範圍

下載自氣象局網頁

雷達**發射電磁**脈**波**，遇到雲中降水(雨滴、冰晶、冰雹...)時，電磁波即反射及散射，雷達天線**接收**到**反回電磁波**，即**為降水回波**(reflectivity)**強度**。

華南雲雨帶影響下的實作案例(112/2/14)



降雨雷達

僅掃描低仰角，若仰角為1.0˚ (2.0˚)，回波距林園約90公里，所在高度為1.57(3.14)km。更新頻率2分鐘。偵測距離150 km，但衰減明顯。

氣象局另一雷達合成回波圖(CV)，是垂直方向上最強回波的投影。更新頻率10分鐘。

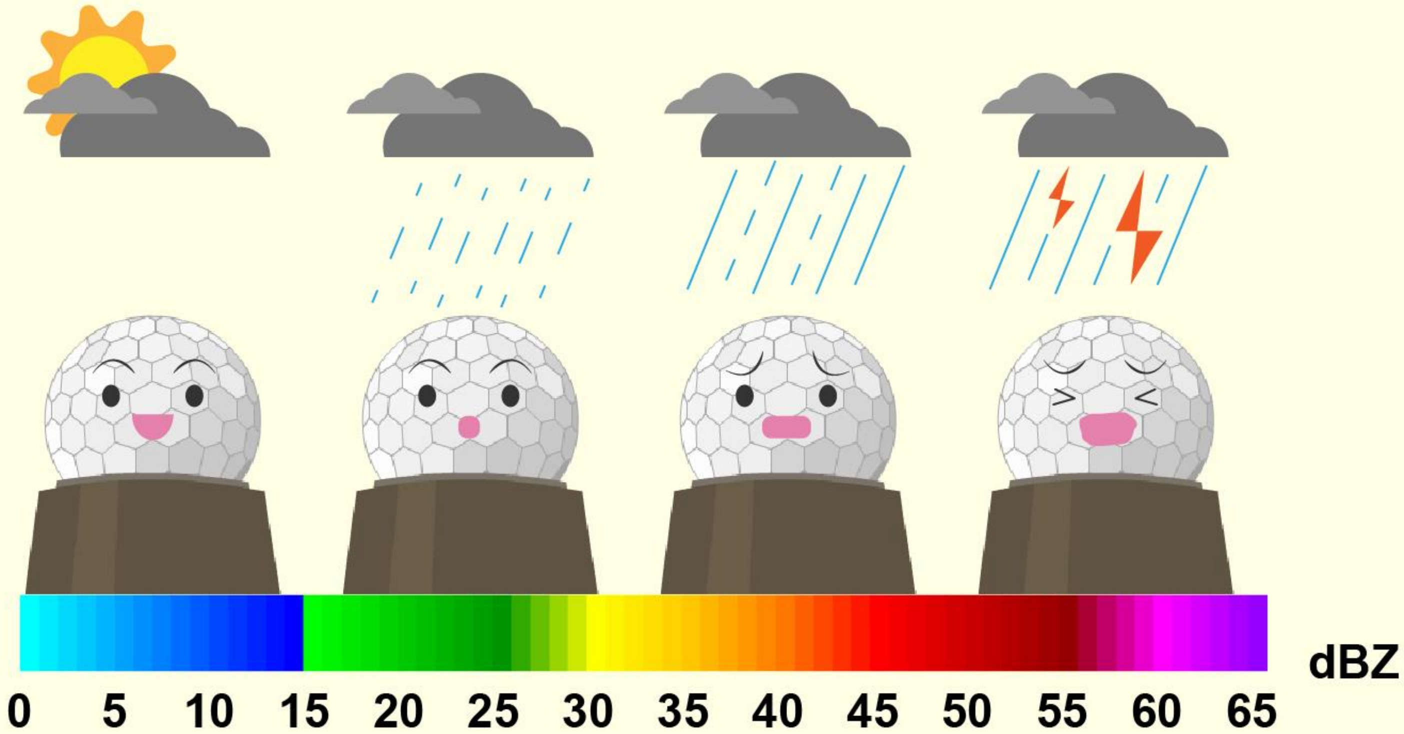
15 dBZ 的意義

在1立方公尺體積內，具有直徑1.0 mm的雨滴 ～31 顆。

天氣守視常以30 dBZ為參考值:
在1立方公尺內，1.0(或2.0) mm的雨滴有1000(～50)顆。

雷達回波顏色密碼

藉由雷達回波的顏色區分或 dBZ 數值，可知降雨強度。



https://south.cwb.gov.tw/inner/wbIg1572340584AuPg

可用的天氣預報資訊來源

交通部中央氣象署
Central Weather Administration

中央氣象署定量降水預報及校驗整合網頁 Integration on Quantitative Precipitation Forecast (iQPF)

Windy.com

www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/

Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center

"The Navy's Operational Supercomputing Center - Providing 24/7 Support for Naval Operations Worldwide"

CARDS

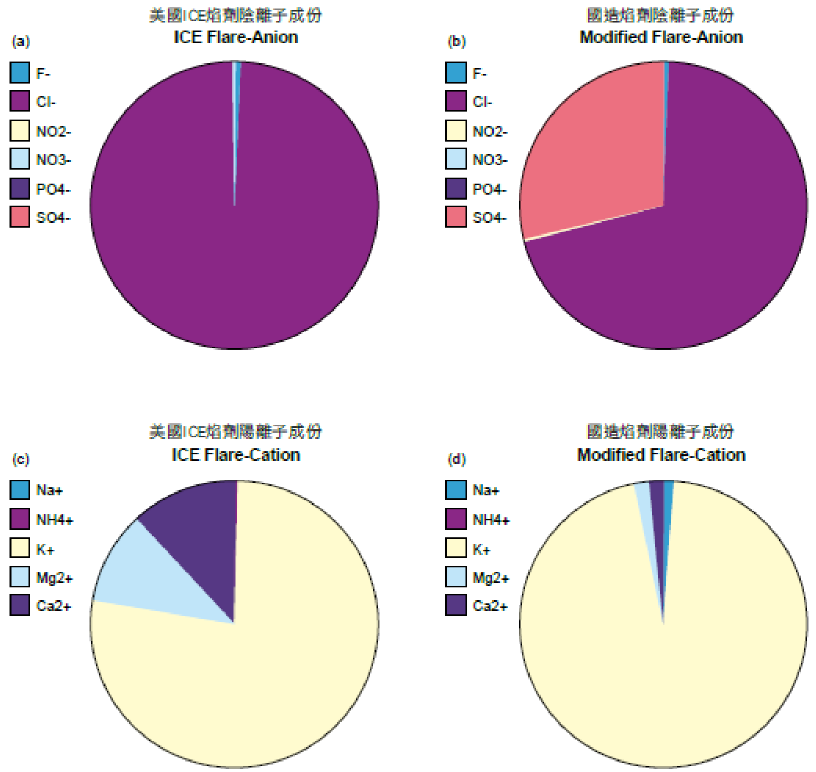
國立臺灣大學大氣資源與災害研究中心

CENTER FOR ATMOSPHERIC RESOURCE AND DISASTER STUDIES

焰劑成分與影響

Q: 人工增雨對環境和人體健康會有影響嗎？

A: 在空中潑灑清水來進行增雨作業，對環境是不會有任何影響的。而地面作業所使用的燄劑，不論是美製或研發改良中的國產焰劑，其目的都是為了增加降雨效率而設計，因此採用原本就存在於成雲致雨過程中的自然成份，就足以達到最佳的效果；經臺灣大學及中研院等單位的分析，這些成分包含了陰、陽離子，其中陰離子如氯、硫酸根等最多，其他氟、亞硝酸根、硝酸根及磷酸根等皆微量，而陽離子以鉀最多，其他鎂、鈣、鈉及銨等之比例皆低；燄劑施放後，經過 1 至 2 小時的擴散、入雲、降雨等過程，其濃度已低到與自然界的背景值無異，對環境、人體或農作物亦無影響。



國際人工增雨現況

- 氣象研究機運用於南韓人工增雨現況
- 美國懷俄明州天氣改造計畫
- 印尼蘇拉威西島增雨作業
- 以色列人工增雨近況

Main objectives of aircraft operations

- Investigate scientific researches on
  - ✓ Severe weather (劇烈天氣)
  - ✓ Environmental monitoring (大氣環境監測)
  - ✓ Greenhouse gases monitoring (溫室氣體監測)
  - ✓ Cloud physics and Cloud Seeding (雲微物理與種雲)

Aircraft Specifications

- Identification
  - Type: King Air 350HW
  - Manufacturer: Beechcraft (USA)
  - Engine category: Turbo-prop

- Flying performance
  - Size (L/W/H) : 14.22/ 17.65/ 4.37 m
  - Max ceiling(altitude)
    - 35,000ft (~10.7 km)
    - 32,000ft (~10 km) with maximum take-off payload
  - Maximum take-off payload: 16,500 lbs (7,425 kg)
  - Scientific payload: 3,410 lbs (1,534 kg)
  - Maximum speed : 312 KTAS (578 km/h at no payload)
  - Range: 1,550 nmile (2,871 km at maximum payload)
  - Endurance (Max): 5.5 hrs with maximum payload (with 45 min. reserve fuel)
- Crew and scientist on board
  - Pilot (2), Operator (1), Engineer(1), Scientist (1)

Deployment of scientific instruments

Scientific instruments (25)

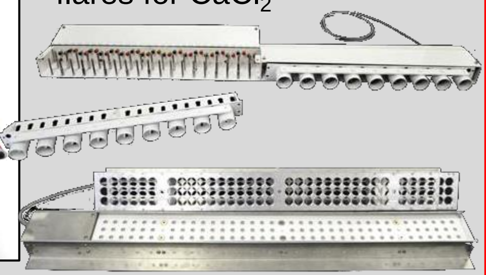
Instruments for Cloud Physics and Cloud Seeding

CCN-200
Number conc. of
cloud condensation nuclei
- 0.75~10μm (20bins)

Super sat. range: 0.07~2%

CPC (to-be)
Total # conc. of CN
- 0.01 ~ 3 μm

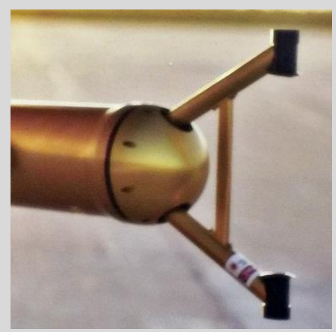
24 burn-in-place hygroscopic flares for $CaCl_2$



102 ejectable glaciogenic flares for AgI

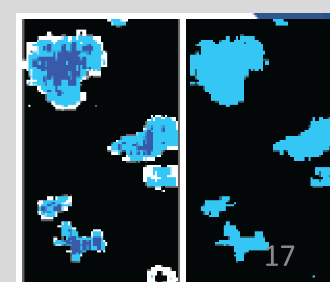
CCP
Size distribution of cloud & ice particles
- CIP : 7.5 ~ 930 μm
- CDP : 2 ~ 50 μm

Channels	Size Range	Res.
CIP	12.5~1,550 ㎛	25 ㎛
	7.5~930 ㎛	15 ㎛
CDP	2~50 ㎛	
LWC	0~3 g/m3	

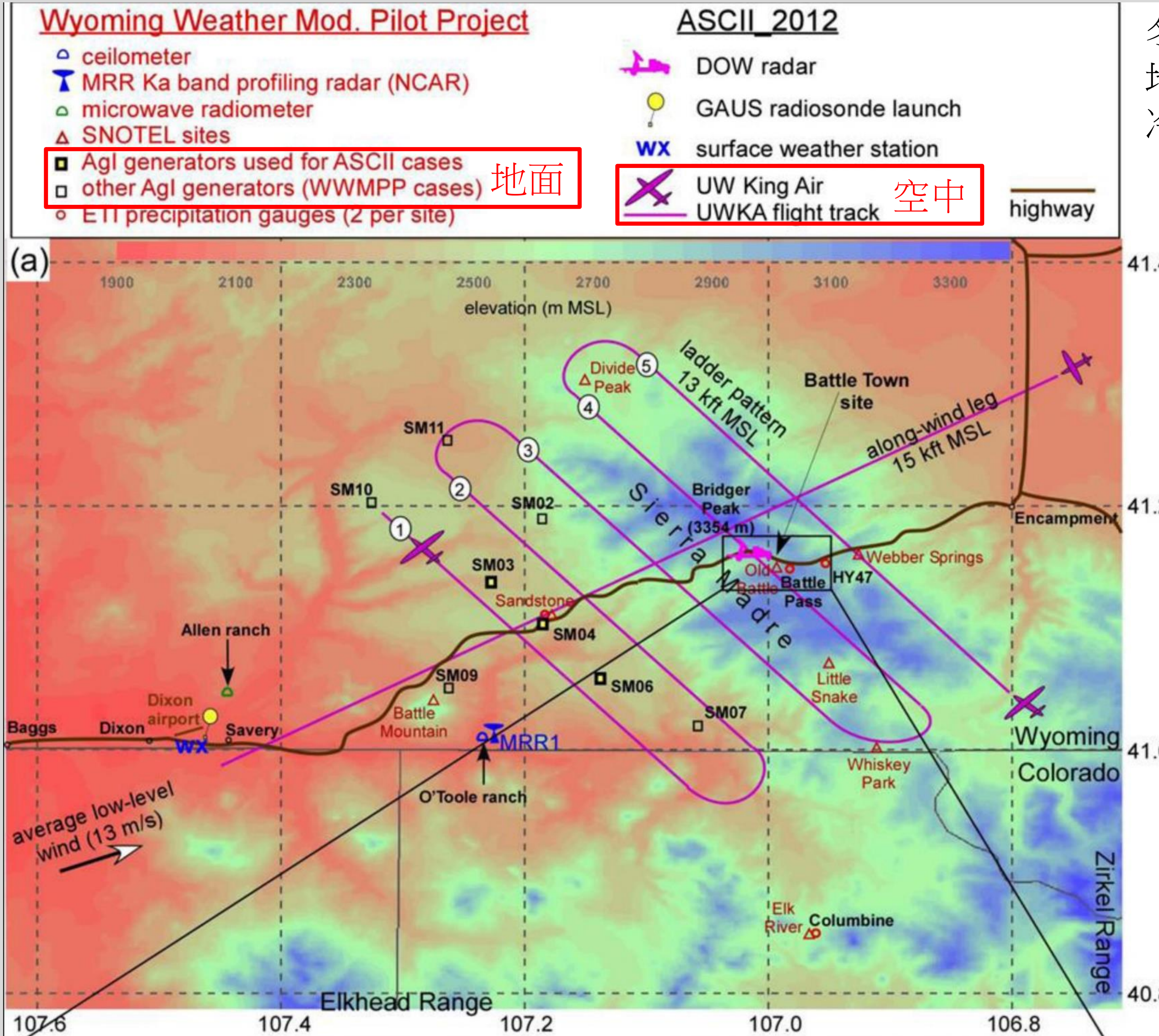


PIP
SD of large-size cloud particles & precipitation drops
- 100 ~ 6,200 μm

rain, snow, graupel and hail

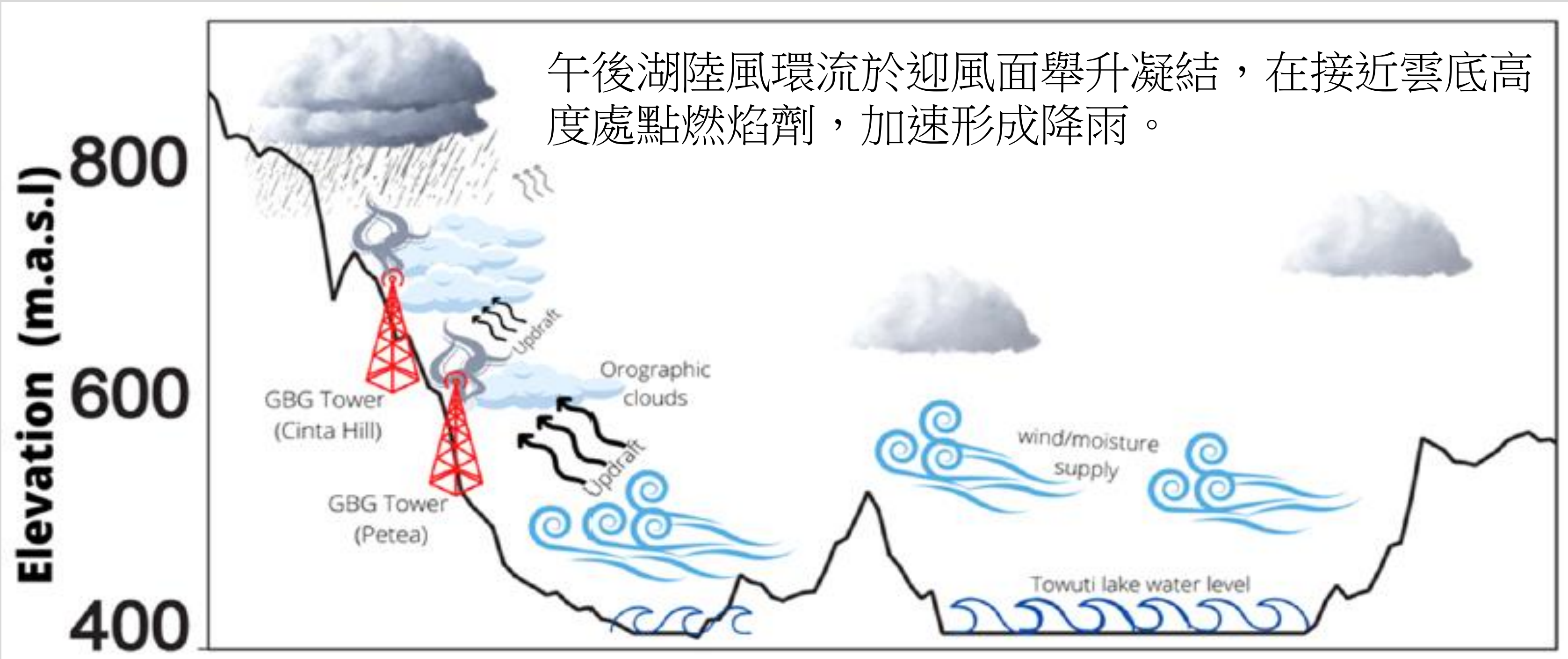


美國懷俄明州天氣改造計畫(ASCII-12)



冬季
地形迎風面
冷雲(AgI)

印尼蘇拉威西島增雨作業



- 於海拔500 m左右的迎風面坡地，建置高50 m的金屬架，升降焰劑(1kg，每次作業燒2支)，透過遙控擊發，電力由太陽能電池提供。
- 吸濕性焰劑為印尼自製，主要成分為NaCl，次為KClO3以及其他助燃劑，粒徑集中於0.3、0.5及1µm，並無2.5、5及10µm。
- 盆地內湖泊流入量與降雨量的增加同時發生，比起未進行增雨的歷史平均水位，水位上升的幅度更明顯。
- 作業期間，調查湖水的理化特徵，並比對WHO與印尼的飲用水標準。結論是，增雨操作對湖水的電導率，或對如Li、Al、Cl、K、Na和Mg含量的影響非常低或微不足道。

以色列人工增雨近況

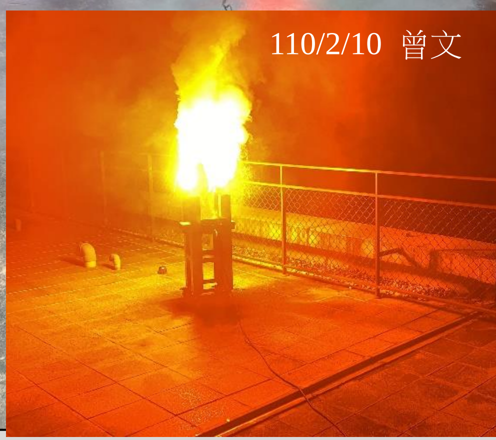
- 以色列採用冰晶雲微物理效應(即冷雲種雲。燃燒碘化銀溶液)為手段。
- Israel 4自2013年起的冬季(11~4月)進行隨機種雲實驗，空中與地面同時進行。
- 估計種雲行為導致降雨量增加1.8%，以色列水務局基於作業成本與額外降雨價值的權衡，已暫停後續的種雲操作。

建議與討論


110/12/21 甲仙堰


112/2/6 旗山(月眉堰)


107/4/8 仁義潭


110/2/10 曾文


107/4/24 南化


110/2/10 阿公店