

「運用UAS進行暖對流雲吸濕性種雲」的科技與方法

由於空中種雲所費不貲，無人機系統(unmanned aircraft systems, UAS)具有安全與成本效益高兩項優點，是極具應用潛力的技術。DeFelicea and Duncan (2017)發表於Atmospheric Research期刊中有關「以無人機系統作為人工增雨作業平台」的概念，建議因UAS技術正持續進步，可先著手探索/規劃流程，以為未來藉UAS實施種雲(以及其他天氣改造項目)奠定基礎。以下摘錄該文重點供水利署參考。

- 針對大陸性雲微物理屬性的雲層環境，吸濕性種雲通常在對流雲發展的早期、於最大上升氣流所在的雲底下方進行，才能確保種雲媒介被雲層吸收。
- 以UAS實施種雲的完整架構，應包括三項基本組成要素(圖2-11-1-1)，分別是(1)執行任務的飛行器、(2)整合於飛行器上的氣象參數感測器(in-situ sensors)與氣象雷達/衛星等即時氣象觀測資訊，以及(3)導引飛行器至目標並執行種雲的演算法(圖2-11-1-2)。
- 種雲環境雖有區域與氣候特性，但降雨雲系之間仍具個別差異，為到達最大種雲效果(能將雲水轉換為降雨的量極大化，並且降在目標區)，針對每一次的作業環境，傳統雷達、衛星及機上的觀測(氣溫、濕度、氣流上升速度，以及氣膠與雨滴粒徑分布環境)數據，都是需要被即時收集與整合分析的，並藉由分析結果導引UAS至最適合時機與位置進行種雲。
- 作業期間同時啟動兩架無人機(圖2-11-1-1中的UAS1與UAS2)。UAS1飛行於結冰層下方至雲底之間，主要任務是量測雲中的微物理環境，UAS2的任務，除了主要在雲下量測微物理環境之外，也是種雲機，故飛行高度略低於UAS1。兩架飛行器均架設攝影機以利地面了解空中環境。
- 結合機上即時觀測資料、雷暴辨識系統(如TITAN)及偏極化雷達與衛星觀測所反演的雲微物理參數，以分析出最佳種雲時機與位置，需要一個複雜的演算法，此演算法包含可計算合併過程(coalescence)的盒模式(box model，一種計算大氣擴散的模型)，可分析DSD(drop size distribution)與

其濃度的時間演變，並估計稍後的環境是否/何處會自然地出現更多毛雨雲滴(drizzle)，若為是，則依演算出來的目標進行種雲，反之則不種雲。

- 過去大量的種雲實作與觀測個案資料，提供UAS進行模擬訓練，得到最佳的演算法，可成為主動導引UAS種雲的依據，但地面控制系統(GCS)亦可介入控制飛行。

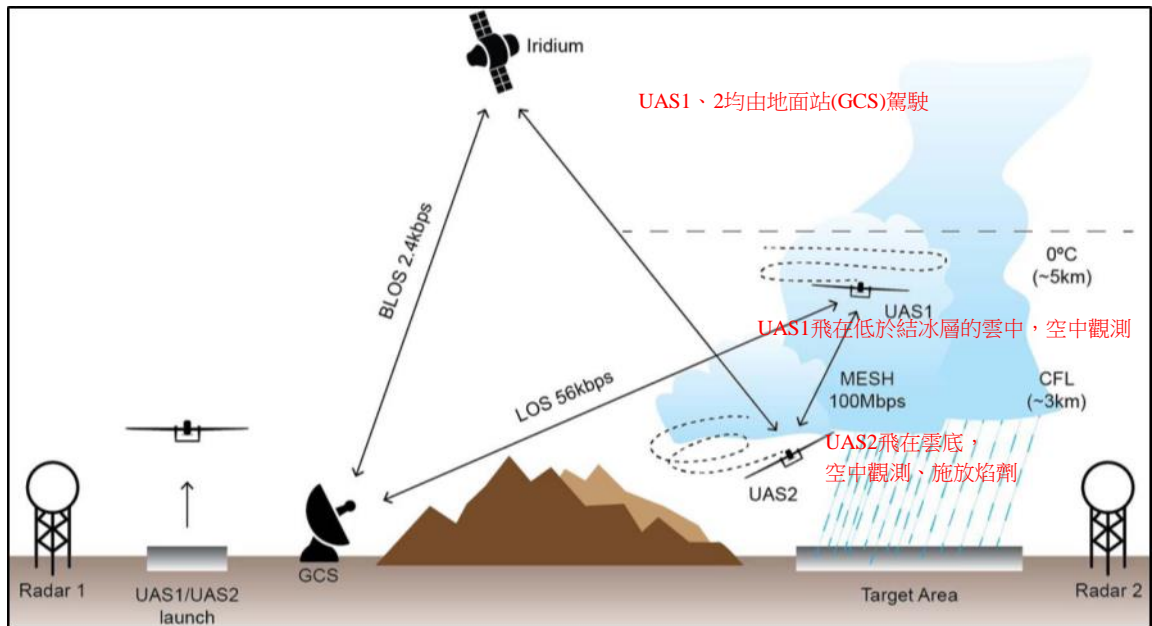


圖2-11-1-1 UAS實施種雲之架構圖。摘自DeFelicea and Duncan(2017)。

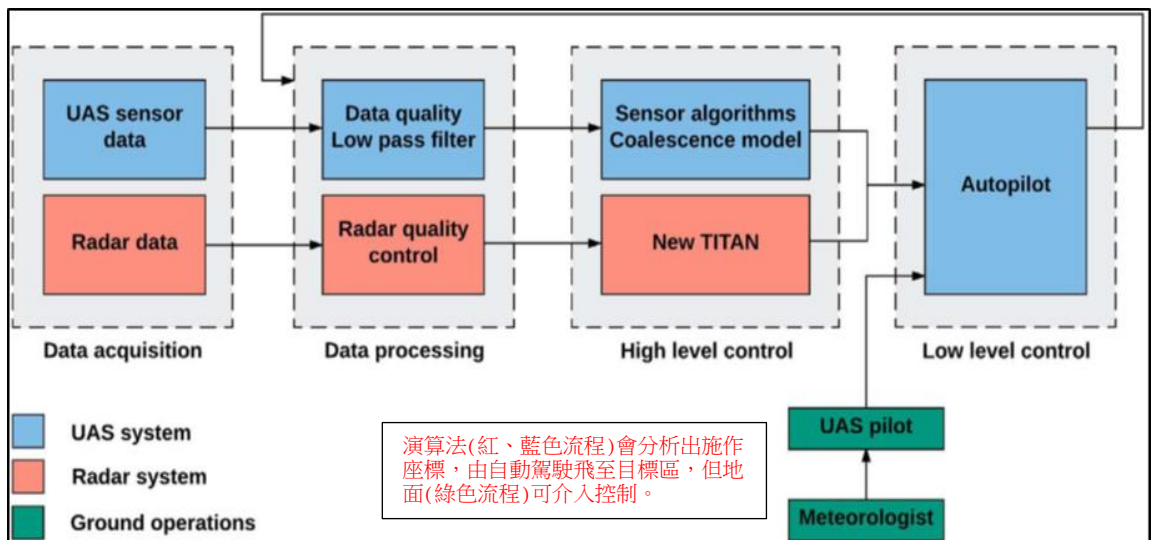


圖2-11-1-2 種雲目標演算流程概念架構。摘自DeFelicea and Duncan(2017)。