

## 離島機場能見度 AI 分析系統介紹—以金、馬地區機場為例

林冠伶、江宙君、林欣弘、朱容練、徐理寰、黃紹欽、于宜強

國家災害防救科技中心 氣象組

---

---

### 摘要

本文結合氣象模式資料與機器學習演算法，針對離島機場能見度的預警進行人工智慧(Artificial Intelligence, AI)模組建置。結果顯示，以多元分類支援向量機演算法所建置的 AI 分析模組可大幅降低傳統經驗公式推估結果與觀測的誤差，離島機場能見度誤差平均改善率都在七成以上。若將二種推估方法(經驗式與 AI)合成，則可獲得更穩定的表現。另外，本文也進一步結合網頁三維粒子視覺化雲霧生成技術來建置服務系統，相關系統介紹亦於文中闡述。

### 一、前言

金馬地區因其戰略歷史背景，當地的都市發展時有所限制，卻也因此而保留了當地特有的人文景觀與自然生態。隨著時代與兩岸情勢的改變，金馬地區的管制已逐漸鬆綁，為了振興離島經濟，改善居民生活，並讓金馬地區的獨特風貌展現於世人眼前，行政院於民國 84

年與 88 年，相繼將金門與馬祖核定為國家公園與國家風景區。自此，觀光業逐漸成為當地主要的產業活動(歐慶賢，2018)。觀光業的發展首重交通，除了觀光業之外，便利的交通也可加速居民往返本島就醫與產業活動的時效性，提高當地生活品質。在政府積極建設下，離島與臺灣本島的主要交通已由早期的海運，逐漸轉為空運。以馬祖為例，在南竿機場於民國 92 年啟用後，其對外客運交通已然成為空運為主，海運為輔的運輸型態(許與許，2018)。

能見度為機場起降關鍵要素之一，如果一個地區的可見度過低，基於飛航安全考量，當地機場將禁止飛機降落(交通部，2023)。從臺灣各機場適航天氣資料顯示(如圖 1)，本島機場降落能見度標準門檻值大約介於 300 公尺~1,200 公尺之間，而離島地區機場適合降落的能見度標準則相對較高，約介於 750 公尺~3,200 公尺之間，即使是屬於同一地區，其降落標準也有所不同。例如金門機場的降落標準為能見度 750 公尺以上；馬祖北竿機場降落標準為能見度 2,000 公尺以上，而南竿機場降落標準則為能見度 3,200 公尺以上。每年的三月至五月是金馬地區的霧季，每當霧季來臨時，往往因能見度降低，使得海運以及空運交通大受影響。若能即時掌握能見度的變化情形，勢必在民眾交通往返的行程與運輸風險規劃上能有所助益(褚等，2010)。

機場名稱	起飛能見度或RVR (m)		降落能見度或RVR (m)
	1或2引擎	3引擎或以上	
臺灣桃園國際機場	175		300
臺北/松山機場	500		750
高雄國際機場	350		550
臺東/豐年機場	1600	800	1200
恆春機場	VMC		VMC
金門機場	500		750
馬祖/北竿機場	1600	800	2000
馬祖/南竿機場	3200		3200
綠島機場	VMC		VMC
蘭嶼機場	VMC		VMC
澎湖機場	550		750
七美機場	VMC		VMC
望安機場	VMC		VMC
臺中/清泉崗機場	550		550
嘉義機場	550		750
臺南機場	550		750
花蓮機場	550		1200

備註:

- 1.能見度低於 1500 公尺者，以 RVR(跑道視程) 表示之。
- 2.VMC(目視天氣)是指能見度 5000 公尺及雲幕高 1500 呎之天氣狀況。
- 3.降落能見度依不同進場程序而異，本表僅標示各機場最低儀器程序天氣情況；各航空公司可能考量機型配備、駕駛員訓練、使用跑道、操作安全等因素，另訂之。

圖 1.臺灣各機場適航天氣資料(截錄自:交通部民用航空局飛航服務總  
臺航空氣象服務網)

國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)於 2018 年起嘗試利用氣象模式資料提供離島地區的能見度預警資訊，雖然在低能見度發生的時間上具有一定程度的掌握能力，但是在其推估量值上則仍有許多改善空間。有鑑於此，本研究即利用人工智慧演算法，搭配氣象系集模式預警資料，推估離島機場能見度，嘗試降低其推估量值的誤差。

## 二、 能見度推估方法介紹

### (一) 經驗推估方程

災防科技中心於 2018 年引進 Doran(1999)所發展的能見度推估公式，搭配模式預警氣象資料進行能見度的推估測試，其推估公式如下：

$$D_{vis} = \frac{1.61 \times 6000 \times (T - Td)}{RH^{1.75} \times 1000} \quad (1)$$

其中， $D_{vis}$  為能見度，單位：公尺； $T-Td$  為溫度與露點溫度差，單位： $^{\circ}\text{C}$ ； $RH$  為相對濕度，單位： $\%$ 。此方法亦為美國國家海洋暨大氣總署預測系統實驗室 (National Oceanic and Atmospheric Administration/ Forecast Systems Laboratory, NOAA/FSL)所使用的能見度公式。

從 2018 年累積至今約五年的推估資料顯示，以此公式所推估的模式能見度預警資訊，可掌握低能見度隨時間的變化趨勢，然而量值的部分卻與機場觀測值有一段差距，分析顯示，推估值與觀測值之間的平均誤差約 8,900 公尺。

### (二) AI 能見度模組

根據資料前處理的結果顯示，機場能見度觀測資料屬性是由 100 公尺~10,000 公尺等 50 組固定數值所組成，適合使用具類別判識功能的 AI 演算法進行建模。有鑒於此，本研究以多元分類支援向量機(One-

against-Rest，OVR)作為能見度 AI 模組建置的演算法。OVR 是以支援向量機(Support Vector Machine，SVM)為基礎所發展出來的一對多支援向量演算法，有別於傳統 SVM 的二元分類特性，OVR 可針對應用主題的資料進行多組的分類。

圖 2 為 AI 能見度模組的建置流程，首先將觀測與模式氣象因子資料皆分為訓練期與測試期二組資料集，將訓練期的機場能見度觀測資料以及模式的氣象因子資料，透過 OVR 演算法進行訓練，當模式中的氣象因子與觀測能見度資料間建立起長期且穩定的關聯時，即完成模組的訓練工作。其後再將未參與訓練的模式氣象因子資料輸入訓練完成的模組中，即可獲得模組推估的能見度結果，並將其與相對應的觀測值進行驗證測試。

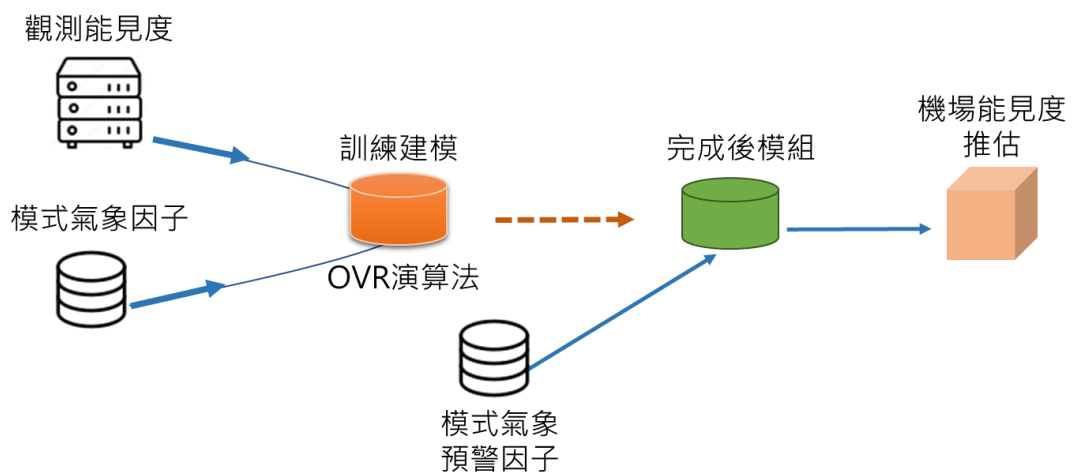


圖 2.AI 能見度模組建置流程

然而，從北竿機場過去五年間的能見度資料前處理的結果卻發現，

發生能見度低於 2,000 公尺(北竿機場關閉的能見度標準)的比例，約佔所有資料的 3%，絕大多數時間，能見度都在 10,000 公尺以上，約佔 70%左右。為了兼顧模組效能與通用性，本研究於建模階段初步將訓練資料以 3,200 公尺為標準分成二類，並以 7:3 的比例將資料隨機分成訓練與測試資料，過程中盡可能保持各個類別的資料筆數平衡，以確保模組的穩定性。本研究所使用的模式氣象因子包含溫度、濕度、時間、風速、月份、風向等六種變數。

### (三) AI 能見度模組推估結果分析

根據航空器飛航作業管理規則第 296 條之 2 中的內容可知，能見度 3,200 公尺是機場飛機起降的一個重要參考數值。當機場能見度低於此數值時，該機場將有暫時關閉的可能性。本研究即以 3,200 公尺為標準，針對北竿、南竿與金門機場的能見度，將經驗方程(即 NOAA 方程式)與 AI 模組二種方法所推估的結果進行比較，如表 1 所示。

由表 1 可知，能見度 AI 模組的推估結果，於三個離島機場的表現均優於傳統的推估結果。以北竿機場為例，均方根誤差由原本的 11,605 公尺降至 2,586 公尺；平均誤差的部分，3,200 公尺以上的能見度誤差由 2,674 公尺降低為 735 公尺；能見度小於 3,200 公尺的部



分，其誤差則由原本的 6,716 公尺，降低至 894 公尺，是改善幅度最大的部分。從三個機場的分析結果發現，無論是北竿、南竿或是金門機場，AI 能見度分析模組均有七成以上的改善率。整體而言，此方法能夠有效改善原有預報能見度誤差。

表 1. 北竿機場、南竿機場與金門機場測試改善結果。其中，NOAA 及 AI 分別代表經驗方程及 AI 推估之結果。RMSE 及 ME 則為均方根誤差及平均誤差，單位皆為公尺

	北竿機場			南竿機場			金門機場		
	NOAA	AI	改善率	NOAA	AI	改善率	NOAA	AI	改善率
<b>RMSE</b>	11,605	2,586	78%	9,121	2,587	72%	8,499	2,419	72%
<b>ME</b> (>3200 公尺)	2,674	735	73%	5,536	879	84%	4,960	689	86%
<b>ME</b> (<3200 公尺)	6,716	894	87%	2,767	885	68%	3,791	881	77%

### 三、金門、馬祖及澎湖能見度分析系統介紹

能見度 AI 分析模組已於天氣與氣候監測網(WATCH)進行系統作業化測試中，如圖 3 所示。目前包含北竿、南竿、金門、馬公、望安與七美等六座離島機場的能見度預警資訊。該系統以機場飛機降落能見度標準做為預警參考標的(如圖中粉紅色橫實線)，利用 Mapbox 圖臺作為展示介面，開發機場能見度監測燈號，能見度資訊則是以一維時間序列的方式呈現。其中藍色實線代表即時觀測數值，綠色虛線為 AI 模組的推估結果，黃色虛線則是傳統能見度公式的計算結果，最

後系統也整合 AI 與傳統的推估結果，並以紅色實線表示。



圖 3. 能見度 AI 分析模組之展示系統(截錄自:天氣與氣候監測網金馬澎能見度監測專頁)

另一方面，此系統也透過網頁三維粒子生成技術製作雲霧特效，依即時監測的能見度數值，呈現不同程度的濃霧視覺化效果。三維粒子生成技術是一種透過空間粒子移動行為來模擬現實中可視物體行為的技術。藉由計算粒子的運動方式與材質的貼合，生成與現實世界相似的景象，如煙霧、水滴、氣流等效果。本系統以 three.js 搭配 GPU 進行運算，模擬大量的粒子行為。其中 three.js 是網頁創建和三維圖形製作時常用的基礎函示庫套件。



粒子展示系統的開發共包含三個步驟。首先在給定的三維空間中產生數個粒子的小系統，第二步驟是在每個粒子貼上特定材質圖片，最後則是讓整個包含材質粒子的小系統進行空間移動或者旋轉等運動，以產生特定物體運動視覺效果。此能見度分析系統即是利用此技術製作動態雲霧，雲霧會於高空中向左或向右飄移，以模擬風吹雲霧飄動的擬真視覺感受。此外，為提高與使用者的互動，透過滑鼠左鍵可快速移動至欲查詢的機場位置；滑鼠右鍵則可調整適合使用者的視角方位。在系統的右下角更有提供動態飛行的圖臺展示以及 2023 年低能見度個案的結果查詢。

圖 4 為 2023 年 4 月 17、18 日馬祖低能見度個案說明。以南竿機場為例，根據 17 日的整合推估結果顯示，機場能見度將於 4 月 18 日清晨低於 3,200 公尺，達機場關閉標準。從事件發生後的觀測結果(藍色實線)可知，除了觀測能見度提早於 18 日下午回復至飛機起降標準值以上外，整體推估結果與觀測的變化趨勢大致吻合。其中代表觀測值的藍色實線呈現片段分布，則是受到夜間因機場關閉而無資料所致。當時在系統上也同步將南竿機場標示為紅色預警燈號，並顯示即時的監測資訊。由於偵測到低能見度，所以系統也自動於圖臺上形成雲霧的視覺效果。

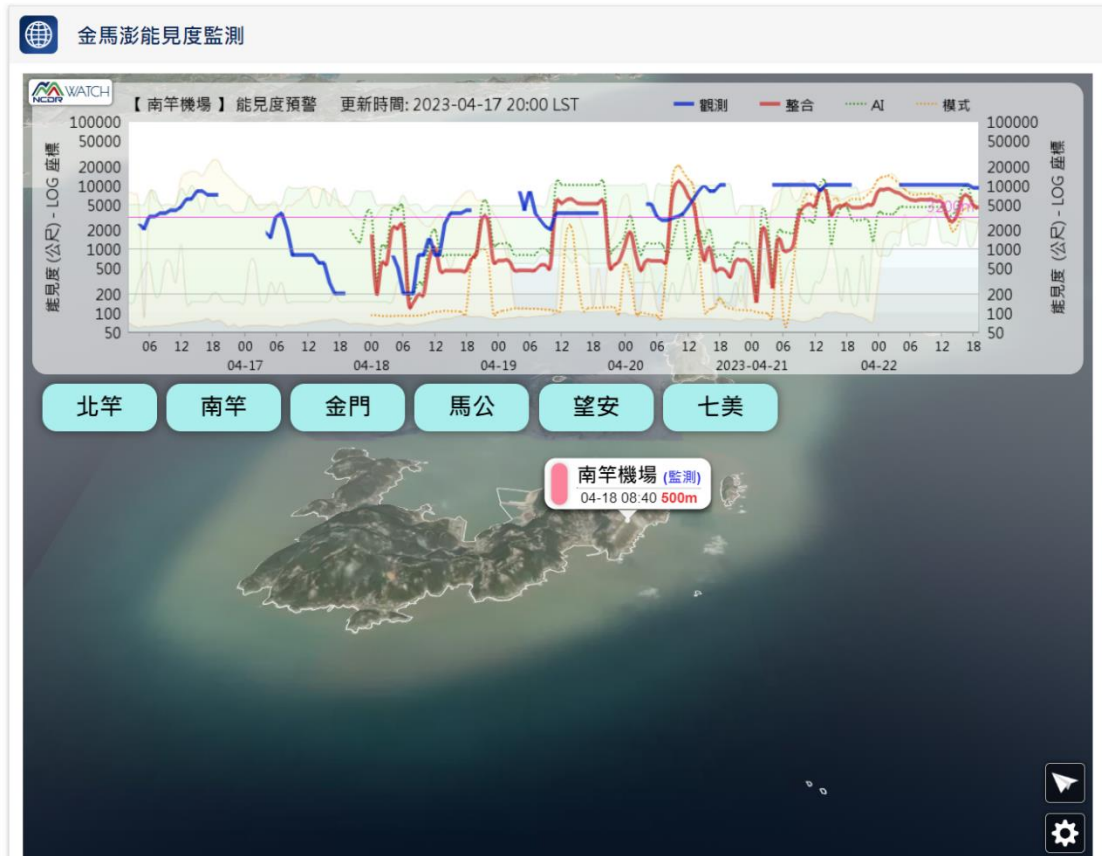


圖 4. 2023 年 4 月 18 日早上，馬祖南竿機場的能見度觀測及預警燈號(截錄自:天氣與氣候監測網金馬澎能見度監測專頁)

#### 四、 結語

本文介紹了 AI 以及視覺化技術在離島機場能見度預警上的研發應用。研發的結果顯示，使用 OVR 機器學習演算法所建置的能見度分析模組，可大幅降低傳統經驗公式推估結果與觀測的誤差，離島機場能見度誤差平均改善率都在七成以上。從作業化測試的結果發現，若將二種推估方法(經驗式與 AI)合成，可獲得更穩定的表現。

在 AI 模組研發的過程中發現，資料前處理是一個極為重要的步驟。藉由整理原始資料的過程，可了解資料的屬性與樣態，作為 AI 演算法選用的重要依據。本研究即是透過原始資料的分析，發現觀測能見度資料是由 100~10,000 公尺共 50 組的數值所組成，適合以類別方式來處理，因此選用機器學習的 OVR 演算法建模，從初步的校驗結果看來，已成功改善傳統能見度推估產品的偏差。同時，相關的模組也已完成作業化，並結合視覺化的三維粒子雲霧生成技術建置金馬澎能見度分析系統。該系統已於天氣與氣候監測網 ([https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch\\_page\\_islandvis](https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_page_islandvis)) 對外服務測試中。

航空運輸是離島地區與本島聯繫的重要管道，透過科技的輔助，提早了解離島機場啟閉趨勢，可讓民眾與政府單位往返離島活動行程的安排更有效率，相信能對離島地區的經濟與社區發展有其正面助益。

## 致謝

本研究衷心感謝航空情報服務網 (<https://aiss.anws.gov.tw/>) 與中央氣象署 (<https://www.cwa.gov.tw/>) 提供能見度相關資料。

## 參考文獻

1. 交通部民用航空局(2023)。航空器飛航作業管理規則，飛安 07-02A。
2. 許修豪、許書耕(2018)。馬祖觀光發展與陸海空運輸整體規劃。交通部運輸研究所。
3. 褚志鵬、蕭義龍、饒玉玲(2020)。不確定天氣條件下離島運輸服務的實質選擇權定價模型。運輸計畫季刊，49 卷，2 期。
4. 歐慶賢(2018)。馬祖生態旅遊發展與建議。漁業推廣，No. 382。
5. 臺灣各機場適航天氣資料：  
[https://awows.anws.gov.tw/AWS/takeland.php?lang=tw&voice\\_alarm=0](https://awows.anws.gov.tw/AWS/takeland.php?lang=tw&voice_alarm=0)
6. 金門國家公園成立沿革：  
[https://www.kmnp.gov.tw/News\\_Content.aspx?n=16501&s=271577](https://www.kmnp.gov.tw/News_Content.aspx?n=16501&s=271577)
7. 馬祖日報：  
<https://www.matsu-news.gov.tw/news/article/208502>
8. 天氣與氣候監測網金馬澎能見度監測專頁：  
[https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch\\_page\\_islandvis](https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_page_islandvis)
9. Doran, J.A., P.J. Roohr, D.J. Beberwyk, G.R. Brooks, G. A. Gayno, R.T. Williams, J.M. Lewis, and R.J. Lefevre, (1999, Jan. 10-15). *The MM5 at the Air Force Weather Agency-New products to support military operations*. The 8th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Dallas, Texas.