

# 蒲福風級表的數位定量化\_AI應用的概念模型

林博雄<sup>1</sup> 陳昭儒<sup>2</sup>

<sup>1</sup>臺灣大學大氣科學系

<sup>2</sup>臺中教育大學資訊工程學系

**蒲福風級表**（英語：Beaufort scale 或 Beaufort wind force scale，又名蒲福風級、蒲氏風級）是大氣科學風速量測觀察地定性參考表。該概念是英國（Francis Beaufort）於1805年根據風對地面物體或海面的影響程度而定出的風力等級。按風速強弱，將風力劃為「0」至「12」，共13個等級，目前世界氣象組織所建議的分級。1950年代隨著人類的測風儀器持續發展進步，使量度到自然界的風實際上可以大大地超出了12級，於是就把風級擴展到17級，總共18個等級。

本研究第二作者曾利用LLaMA大語言模型應用，以及使用AutoML技術分析教育大數據。陳同學使用NVIDIA TESLA T4，但隨著技術日益進步，為了追求更好的效能與提升效率，第二作者升級使用**NVIDIA RTX 5090 GPU**，**做為速光流追蹤和 AI 驅動的圖形處理**。先前實驗(2024,台北金山陽金公路山坡)樹木受風搖晃的影像分析來自於金山向風面山坡上 第一作者架設GoPro攝影機**記錄茄冬樹木的晃動**，**樹木一旁有高頻3D超音波風速風向計**(LI-550 Trisonica ultra-sonic Anemometer)做為環境風場的真實資料。第二作者由透過實驗樹木的輪廓框定，再經由**光演算法以及樹木一旁的高頻三維音波風速計的1Hz實際觀測資料**。目前先測試連續紀錄六天時間(2023年10-12月)，然後透過AI訓練光流點狀移動和環境風速的關聯性。經AI影像訓練分析之初步結果發現，對於預估風速(Y)與實際量測風速(X)具有線性關係，其式子可為 $Y=0.921X+0.13$ 。

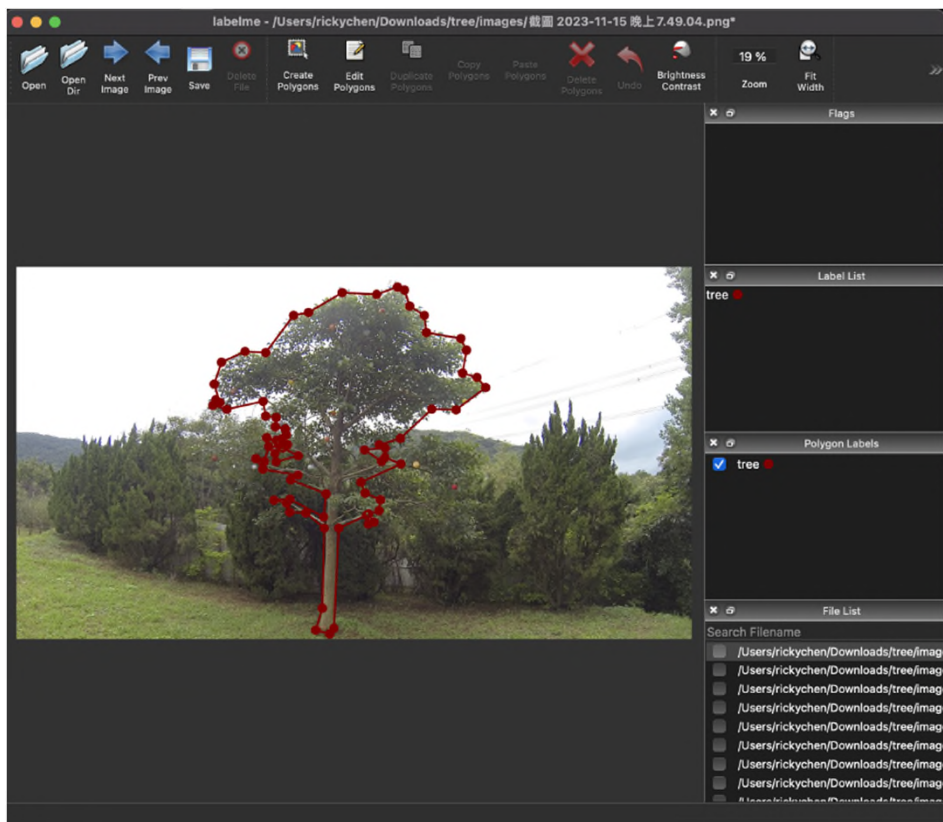
2025年我們沿用上述實驗方法，實驗地點改在臺灣大學大氣科學系觀測坪，**觀測目標物由茄冬樹更換為機場常見的紅白相間的風向袋(windsock)**。本文即將顯露研究成果，做為蒲福風級表的數位定量化AI資料應用的科普概念樣本。

# 2024 field test on tree shaken

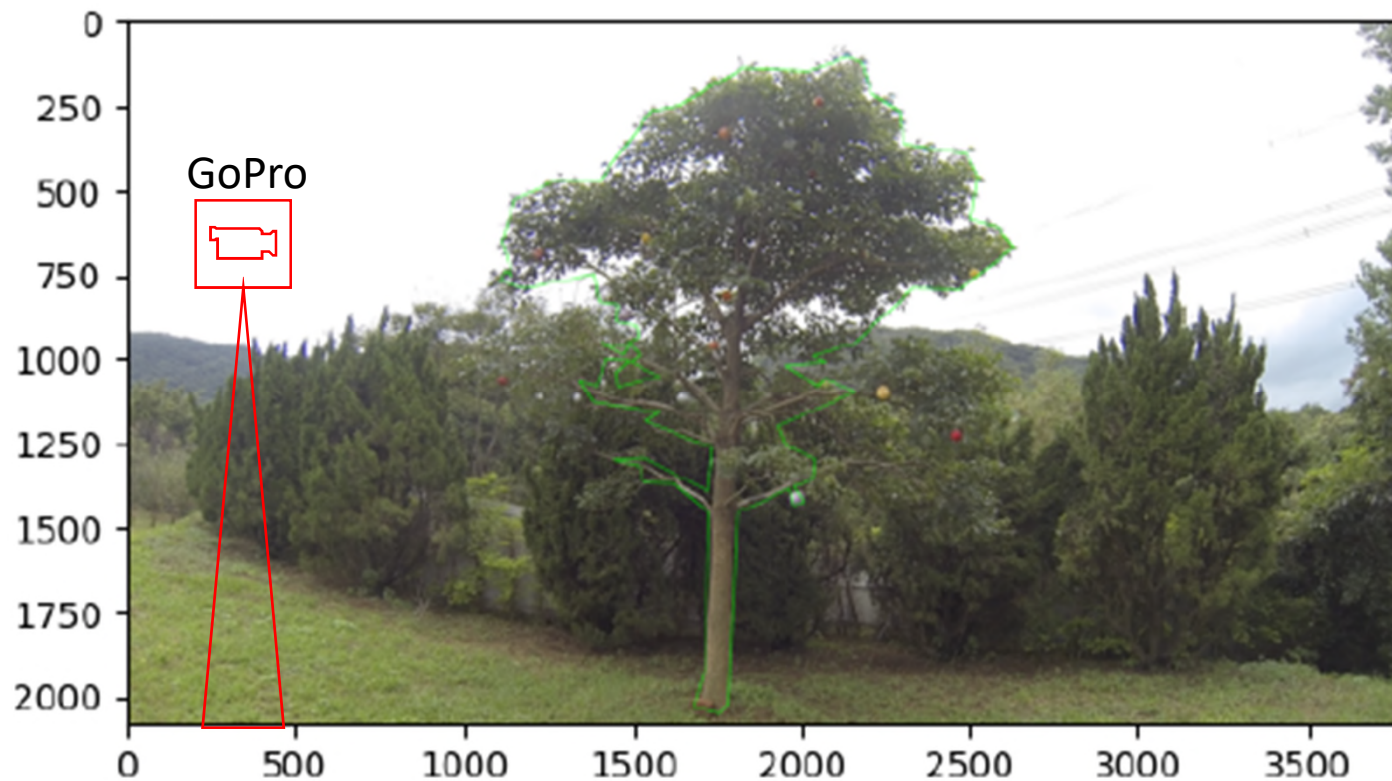
- LOCATION: 台北金山陽金公路山坡 私人園庄
- Time/period: 2023/12/18~2024/01/04

## 步驟1: 從JSON 文件中提取標記

首先，我們需要一個函數來解析LabelMe 生成的JSON 文件，並從中提取標記信息（即邊緣座標）。這些資訊將被用於樹木的邊緣檢測。手動標記：



使用matplotlib 來在Colab 中顯示這些處理過的圖片。



紅點表示在稀疏光流分析中用於追蹤的特徵點。在cv2.goodFeaturesToTrack 函數中，我們使用了Shi-Tomasi 方法（或稱為GFTT）來自動檢測這些特徵點。這些點通常是圖像中那些角度較為明顯的點，這樣的點容易在連續的幀中被追蹤到。

這些點的選擇基於以下幾個參數：

**maxCorners**：要檢測的角點的最大數量。這個值越高，檢測到的特徵點就越多。

**qualityLevel**：角點的品質水平參數。這個參數表示檢測到的角點的最小可接受品質，範圍在0到1之間。

**minDistance**：角點之間的最小歐氏距離。這個值越大，選出的特徵點之間的時間隔就越大。

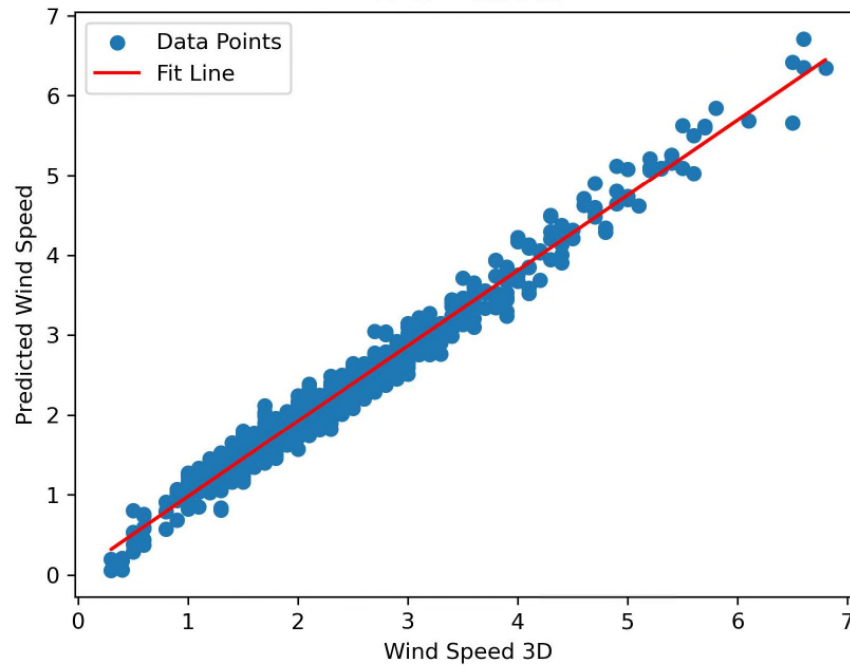
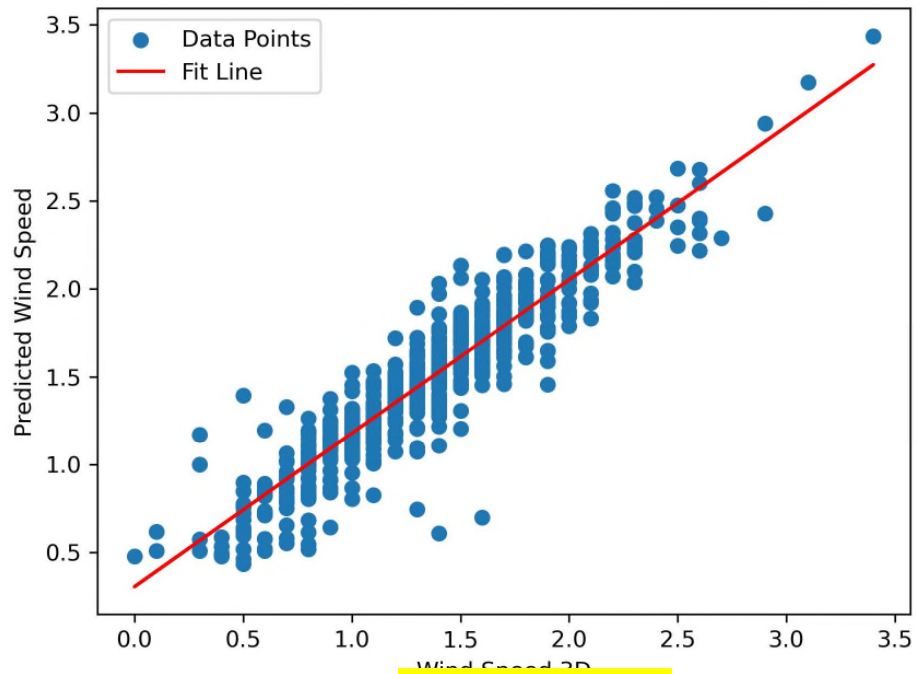
**blockSize**：計算導數自相關矩陣時所考慮的鄰域大小。

在稀疏光流中，我們通常只跟踪這些特徵點而不是整個圖像，這樣可以減少計算量並專注於圖像中那些最有信息量的部分。



Regression: 1.xlsx  
 $R^2 = 0.8548$

Regression: 1.3.xlsx  
 $R^2 = 0.9748$



AI estimation

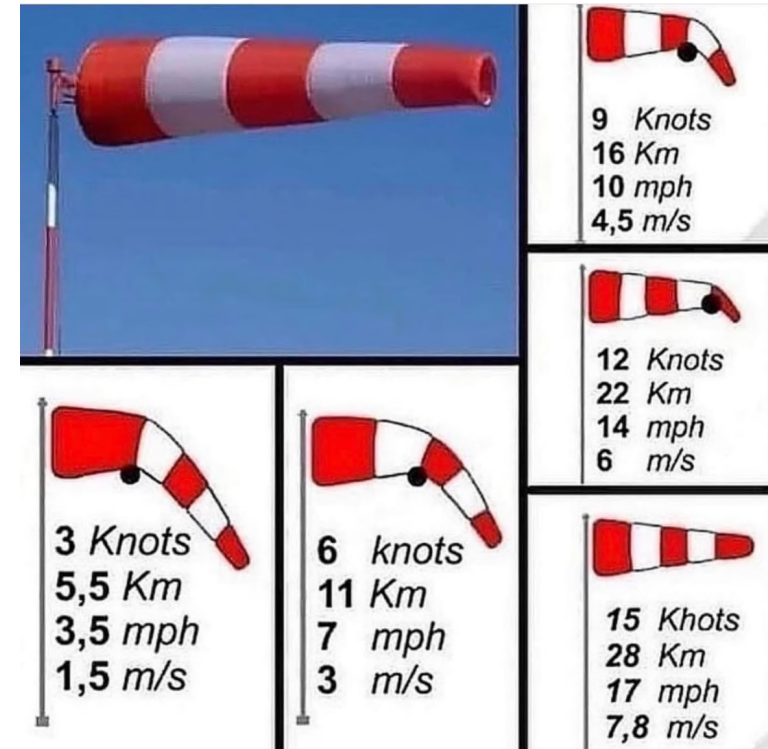
observation

$R^2$ :  
 $0.8548 \sim 0.9748$  (6 daytimes)

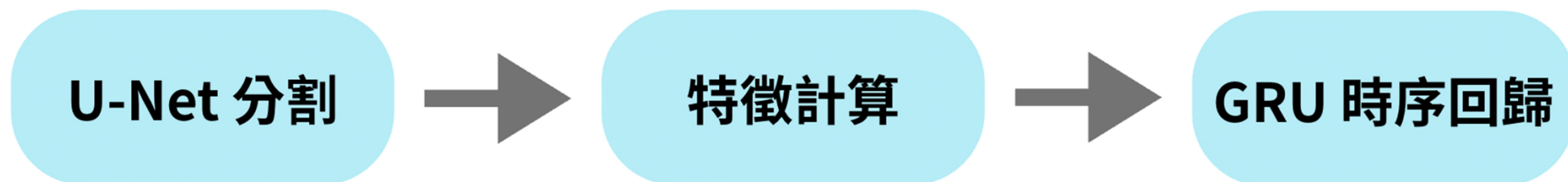
$Y=0.921X+0.13$

# 2025 field test on windsock

- LOCATION: 台北台灣大學大氣科學系
- Time/period: 2026/06/18~2025/07/27
- Gopro camera → tacp C310 wifi\_cam (outdoor)



# 兩階段混合式模型



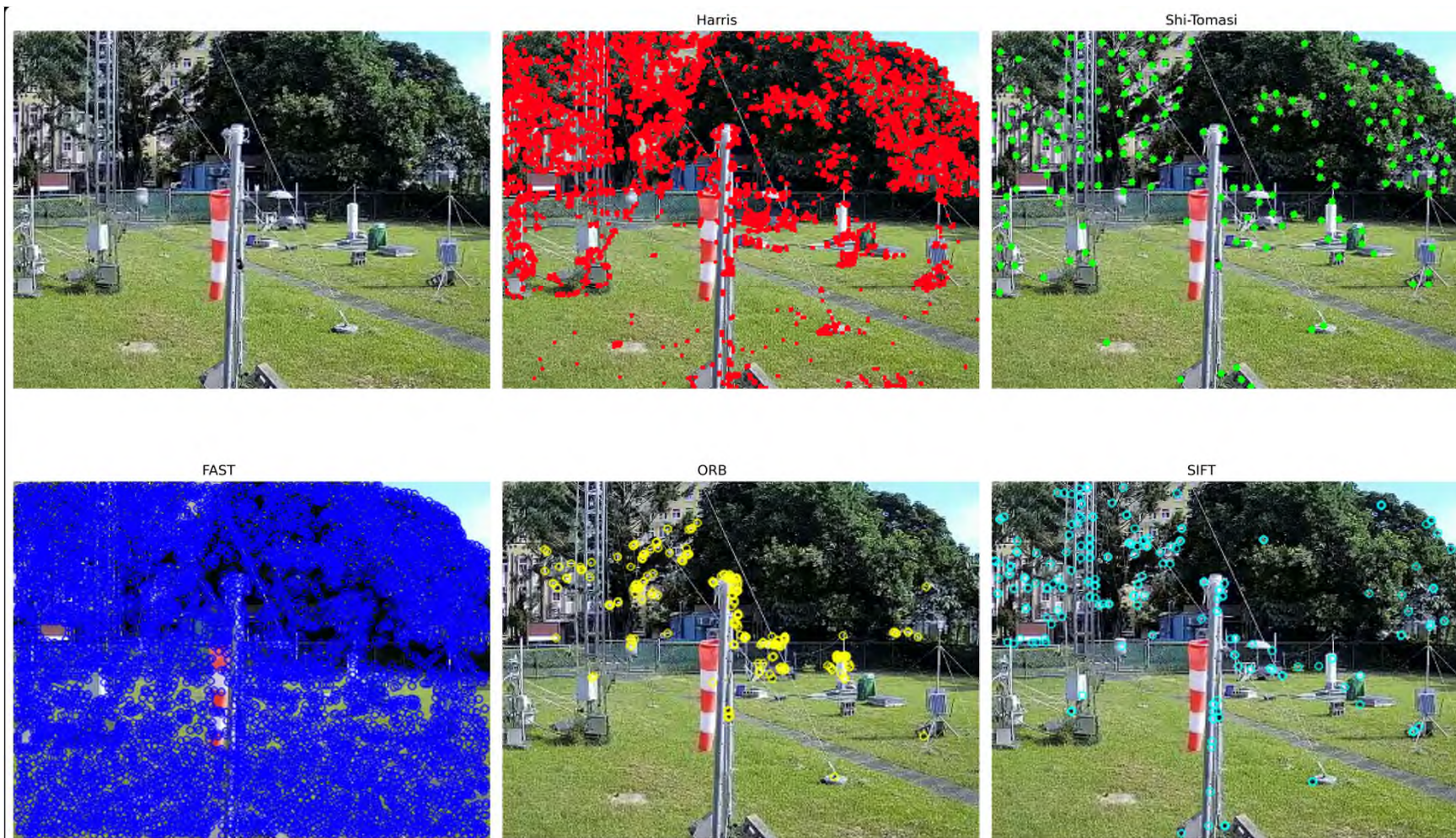
# 資料來源與時間對齊

- 影片：固定機位風速袋攝影。
- 感測器：超音波風速計（ $x, y, z$ ）。
- 標籤生成：

$$v = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

- 對時校正：
  - 擷取監視器畫面時間戳。
  - VLM 解析數字 → 結構化時間。
  - 與感測器紀錄對齊，修正延遲。

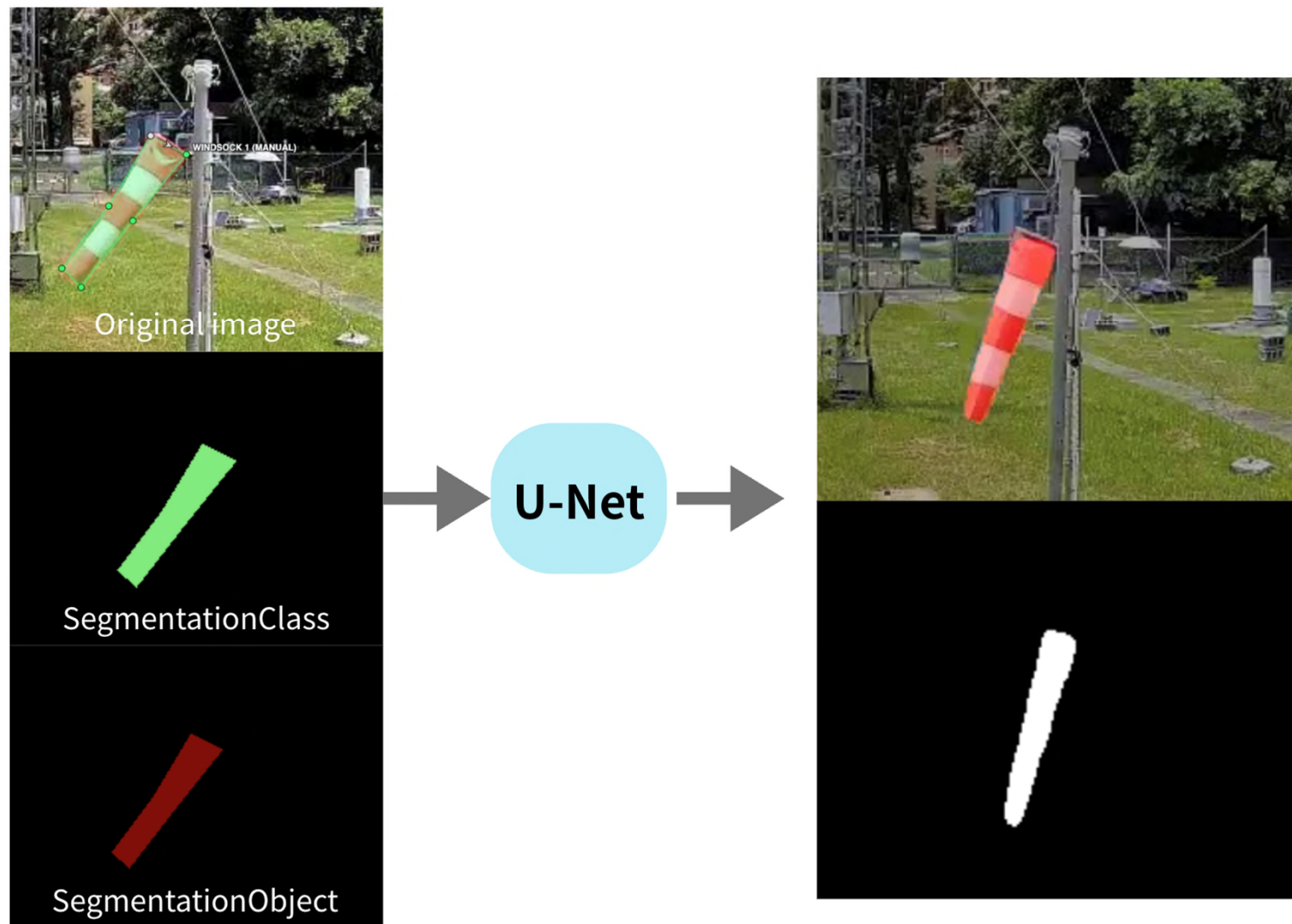
# 特徵點方法的限制



在“人工智慧”前需要先“工人智慧”

# U-Net 分割 - 從影像中找出風速袋

- 數百張隨機抽樣影像。
- CVAT 多邊形標註。
- 增強：旋轉、亮度/對比。



# 從遮罩到數值特徵

- **Normalized Area**：遮罩像素 / 影像像素，代表「飽滿度」。
- **Angle**：遮罩主軸與水平線的角度，代表「傾斜度」。
- 移動平均：5 步長平滑短期噪音。
- 群組策略：影片內建立時間序列，保留連續物理過程。

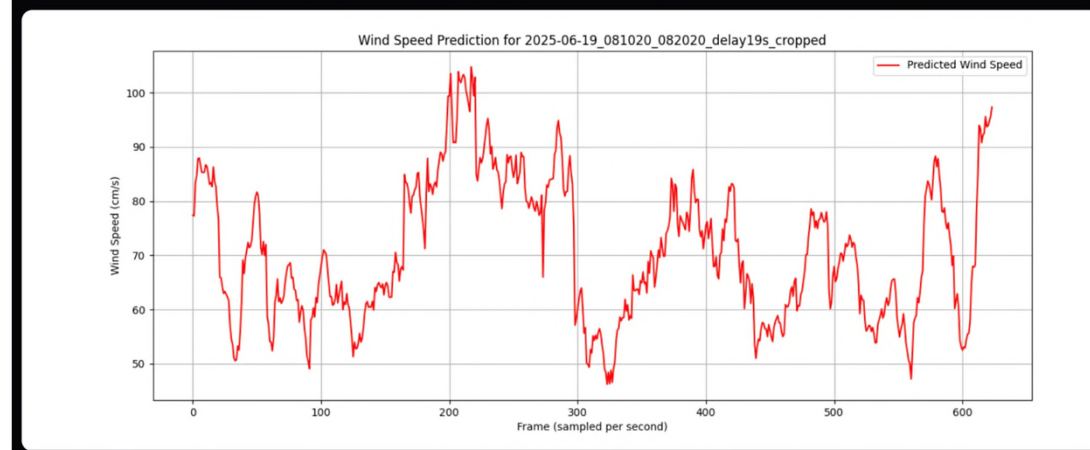
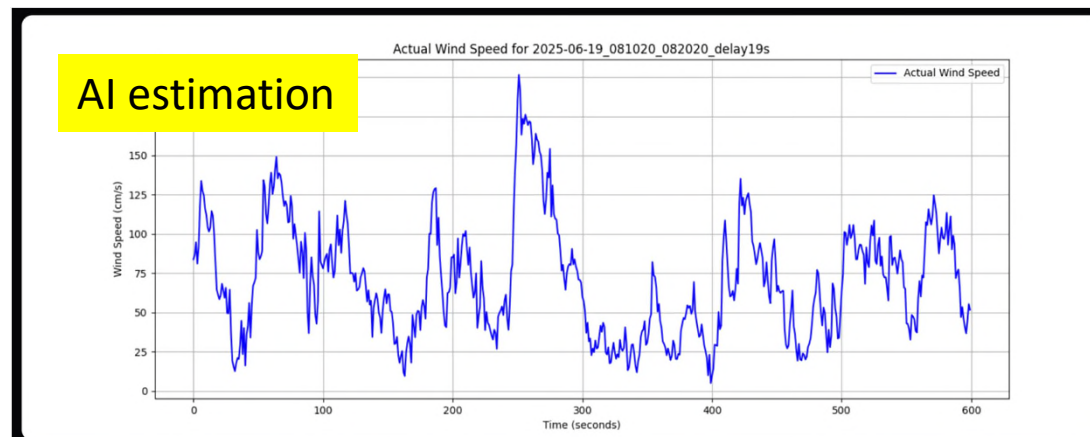
# GRU 時序回歸

- 視窗長度：20 秒。
- 特徵：Angle、Area 及其移動平均。
- Loss：MSE。
- 模型：GRU（參數少、訓練快、不易過擬合）。

# 結果與分析

2025/06/19 08:10-08:20

- 趨勢吻合：預測曲線與實測高度相似。
- 峰值捕捉：陣風峰值預測更準確。
- 小幅滯後：仍存在數秒延遲，有待優化。
- 圖：紅色預測 vs 藍色實測（趨勢對比）。



Ultra-sonic anemometer observation

# 實務挑戰與未來發展

在本研究的開發與實驗過程中，我們遭遇了多項實務挑戰：

- 風速計故障(更換三組超音波風速計)：部分觀測期間音波風速計出現異常，導致實測標籤數據缺失或偏差。
- 戶外電腦當機：氣象站的邊緣運算設備偶發當機(颱風過境台灣+ups)，造成影片與感測數據同步中斷。
- 網路波動：由於觀測站位於大氣系戶外邊遠地區，wifi傳輸網路並不穩定，導致部分資料批次遺失。
- 監視器影像斷線：在長時間錄影下，攝影機偶有掉幀或短暫中斷，造成資料缺口。
- 類似研究文獻指出「**see the wind**」確實是把AI 溶入傳統氣象觀測的可行方向 + 「**hear the rain**」 next step
- 相同理念需要更進一步的環境設定安排 (挑戰颱風情境下的觀測環境)

# 基於影片的風速預測

基於影片的風速預測技術已從實驗室概念發展為具有實際應用潛力的先進氣象觀測方法。該技術通過電腦視覺和深度學習分析風致運動（主要是樹木和旗幟的運動），實現非接觸式風速測量，為氣象部門提供了增強空間覆蓋範圍、降低成本的創新解決方案。

## 技術現狀與核心突破

影片風速預測技術的發展建基於2019年Cardona等人開創性的「Seeing the Wind」研究，該研究首次成功使用CNN+RNN架構從旗幟和樹木運動視頻中預測風速。這一突破性工作展示了**0.75-11 m/s風速範圍內的準確預測能力**，RMSE接近杯式風速儀的測量精度。

<https://arxiv.org/abs/1905.13290>

近年來，該領域取得了顯著進展。**FourCastNet**和**GenCast**等**基礎模型**展現了AI在氣象預測中的革命性潛力，其中GenCast在極端天氣預測方面甚至超越了傳統的業務化天氣預報系統。這些技術進步為影片風速預測提供了更強大的算法基礎。

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2020.0097>

當前技術能夠實現**86.69%的風級分類準確度**，使用雙分支神經網路結合光流動態分析和視覺特徵提取，處理10秒視頻片段即可進行蒲福風級（0-12級）分類。這一性能水平已接近氣象業務應用的實用標準。

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722043029>

Statistics > Machine Learning

[Submitted on 30 May 2019 (v1), last revised 28 Oct 2019 (this version, v3)]

## Seeing the Wind: Visual Wind Speed Prediction with a Coupled Convolutional and Recurrent Neural Network

Jennifer L Cardona, Michael F Howland, John O Dabiri

2019






Science of The Total Environment

Volume 846, 10 November 2022, 157204



## See the wind: Wind scale estimation with optical flow and VisualWind dataset

2022

[Qin Zhang](#)<sup>a b</sup> , [Jialang Xu](#)<sup>c</sup> , [Matthew Crane](#)<sup>a</sup> , [Chunbo Luo](#)<sup>a c</sup> 