

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號

200008

參展科別

環境工程

作品名稱

智慧蚊監－3D 列印與機器學習

就讀學校

國立臺南第一高級中學

指導教師

顏永進

作者姓名

李安哲

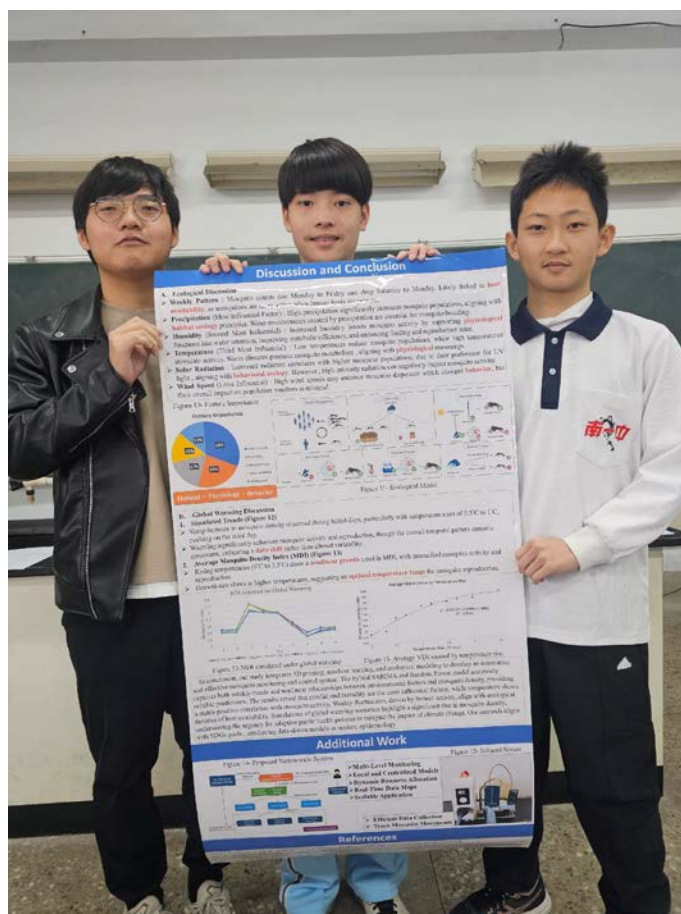
賴豐諺

謝紹謙

關鍵詞

蚊蟲防治、3d 列印、機器學習

作者簡介



我是李安哲(左)，南一中科學班學生。曾在物理辯論競賽獲過銀牌。當選學生議員後，推動過多項環境政策。

我是謝紹謙(中)，南一中數資班學生，熱衷公共議題，曾推動過連署。在研究中，結合熱忱與科學，探討環境與蚊蟲議題。

我是賴豐諺(右)，南一中雙語班學生，曾獲英語辯論冠軍，有機會參與科展，我感到非常榮幸。

2025 年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區別：

科別：環境工程學科

作品名稱：智慧蚊監－3D 列印與機器學習

關鍵詞：蚊蟲防治、3d 列印、機器學習

編號：

（編號由國立臺灣科學教育館統一填列）

目錄

摘要	2
英文摘要	p.2
中文摘要	p.3
壹、研究動機	4
貳、研究目的	5
參、實驗器材	5
肆、研究過程或方法及進行步驟	6
一、誘蚊器設計	p.6
二、數據採集	p.6-8
三、電腦模型	p.8-11
四、數據分析與模型驗證.....	p.11-12
五、全球暖化分析.....	p.12
伍、結果	13
一、模型訓練	p.13-14
二、數據分析	p.14-16
三、統計分析	p.16-17
四、參數分析	p.18-19
五、和 LSTM 模型的比較.....	p.19-20
六、全球暖化分析.....	p.21-22
陸、討論	22
一、生態學建模	p.22-25
二、整合構想與全國應用	p.26-27
柒、結論	28
捌、未來展望	30
玖、參考文獻資料及其他	31

Smart Mosquito Monitor through 3D Printing and Machine Learning

Abstract

Climate change has intensified the global threat of mosquito-borne diseases, necessitating innovative solutions for public health. In Taiwan, dengue fever, primarily spread by mosquito proliferation, is a significant concern. To address this, we developed a 3D-printed mosquito trap with a three-layer structure: a bait layer to attract gravid female mosquitoes, a sticky layer to trap them, and a protective cover to prevent debris from entering. These traps are cost-effective, easy to produce, and require no external power, making them suitable for deployment in regions with limited resources.

Daily mosquito data from school-based monitoring stations, combined with environmental data such as temperature, humidity, and precipitation, were used to train a hybrid SARIMA and Random Forest model. The SARIMA model captures seasonal and long-term trends, while the Random Forest model deals with complex, non-linear relationships between mosquito density and environmental variables. This hybrid approach not only forecasts mosquito population dynamics accurately but also provides insights into ecological patterns. Additionally, an infrared sensor system was developed to detect mosquito activity in real time, providing precise data on mosquito movements and densities, enhancing monitoring capabilities.

To evaluate the impacts of global warming, we simulated future mosquito density trends under various climate scenarios. Results showed a convergence between rising temperatures and increased mosquito density; however, the positive correlation persists, highlighting the potential harmful effects of climate change. These findings underscore the need for proactive mosquito control strategies to mitigate health risks as global temperatures rise. A Flask web-based platform was also developed to visualize mosquito density predictions in real time, enabling policymakers and public health authorities to make informed decisions and devise better disease prevention strategies.

This research aligns with the United Nations' Sustainable Development Goals, particularly SDG 3 (Good Health and Well-Being) and SDG 13 (Climate Action). It demonstrates the potential of integrating 3D printing, machine learning, real-time sensing, and web technologies to develop scalable solutions for combating mosquito-borne diseases. By addressing environmental factors and leveraging advanced tools, this study provides a robust foundation for future innovations in public health, disease prevention, and epidemiology.

中文摘要

氣候變遷加劇了蚊媒疾病對全球公共衛生的威脅，迫切需要創新的解決方案。在台灣，登革熱的傳播主要由蚊蟲滋生所致。為了解決此問題，我們設計了一款三層結構的 3D 列印誘蚊器，包括吸引懷孕雌蚊產卵的誘餌層、捕捉蚊蟲的黏膠層，以及防止異物進入的保護層。該裝置成本低、易製作且不需要外部電力，特別適合在資源有限的地區部署。

我們結合校園監測站每日捕捉的蚊蟲數據與氣象站提供的溫度、濕度和降雨等環境數據，運用 SARIMA 與隨機森林混合模型進行分析與預測。SARIMA 模型負責捕捉蚊蟲數量的季節性與長期趨勢，而隨機森林模型則處理環境變數與蚊蟲密度之間的非線性關係。此混合模型不僅提高了預測精度，還能解析蚊蟲的生態模式，進一步指導誘蚊器的最佳配置。此外，我們還開發了紅外線感測系統，即時偵測蚊蟲活動，為監測提供精準數據。

為評估氣候變遷的影響，我們模擬了不同全球暖化情境下的蚊蟲密度變化趨勢。結果顯示，隨著溫度上升，蚊蟲密度呈現非線性收斂趨勢，但正相關性依然存在，強調了氣候變遷可能帶來的潛在危害。我們還開發了一個網站，用於即時呈現蚊蟲密度預測，幫助政策制定者和公共衛生機構有效應對疾病防控挑戰。

本研究與聯合國永續發展目標（SDGs）中的 SDG 3（良好健康與福祉）及 SDG 13（氣候行動）高度契合，展示了結合 3D 列印、機器學習、即時感測和網路技術應對蚊媒疾病的創新潛力。此系統提供了一個可持續的全球蚊蟲控制模型，為公共衛生、疾病預防及流行病學的未來創新奠定了堅實基礎。

壹、研究動機

本研究的動機源自校園內蚊蟲問題日益嚴重，對學生和教職員的日常生活造成了極大的困擾，亟待解決。今年，在學生會選舉期間，多位候選人提出了針對蚊蟲防治的具體訴求，並獲得了廣泛的支持。其中，一名學生議會候選人及學生會長成功當選，顯示出學生群體對此問題的高度關注和期待。因此，我們決定運用科學的手段來解決這一迫切的公共衛生問題，並期望通過此研究提供有效的蚊蟲防控策略。

本研究呼應了聯合國永續發展目標（SDGs）中的**目標 3.3：對抗傳染病**，旨在通過預測與控制蚊媒傳染病如登革熱的擴散，促進公共衛生安全。此外，我們的研究亦與**目標 3.C：增強發展中國家的衛生資源和支持衛生人力**相契合，因為研究成果可使發展中國家的衛生資源調配更具效率，而無須電力的 3d 列印捕蚊設備也能在發展中國家被便宜的廣泛設置，達成降低蚊媒疾病傳播風險的效果。

再者，我們研究中的機器學習模型，也呼應了**目標 3.D：完善全球健康風險預警系統**，透過及早預防和控制蚊蟲繁殖，幫助建立有效的健康風險預警系統。此亦與**目標 13.3：提升各國應對氣候變遷的能力**相關，透過了解影響蚊子的氣候因素，能使人類及早預防，以減輕氣候變遷加劇可能帶來的衝擊。

通過這項研究，我們希望不僅能改善校園內的公共衛生環境，還能為社會提供一個可複製的範本，幫助全球應對日益增長的蚊媒傳染病風險。



圖一、SDGs 聯合國永續發展目標 (圖片來源: 聯合國)

貳、研究目的

- 一、預測蚊蟲變化：運用 SARIMA 與隨機森林等機器學習模型，結合環境數據，精確預測蚊蟲數量的變化趨勢。
- 二、瞭解蚊蟲機制：透過機器學習的參數，分析影響蚊蟲活躍度的環境因子。以推論並建模蚊蟲與環境的生態學關聯。
- 三、研究蚊蟲活動偵測的方法：使用 3D 列印誘蚊器與紅外線感測模組準確偵測蚊子的飛行活動，記錄其通過次數與時間，為蚊蟲活動的監測提供精確數據。
- 四、研究蚊蟲防控策略：將偵測與預測之數據應用於疾病預防，例如登革熱和瘧疾的防控，並建立可視化平台，為公共衛生機構提供決策依據。
- 五、研究全球暖化的可能危害：極端氣候可能導致蚊蟲孳生，透過我們的模型能評估其嚴重性與危害。

參、實驗器材

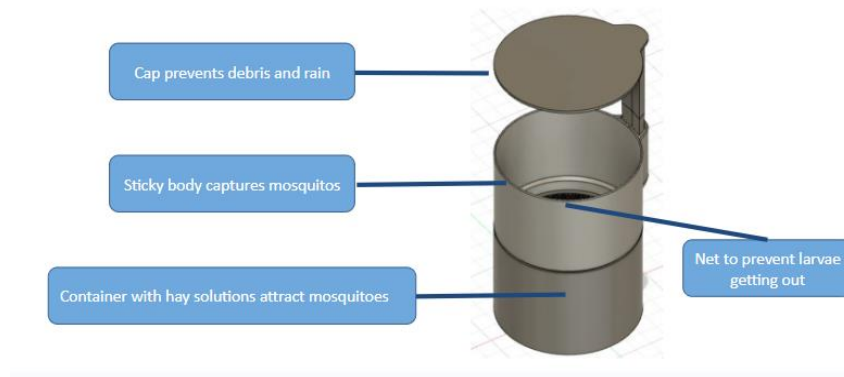
- 一、Excel：用於數據記錄與處理。
- 二、Weather API：用於獲取氣象數據，如溫度、濕度等。
- 三、Python：用於開發與運行機器學習模型。
- 四、Fusion：用於設計 3D 列印的誘蚊器模型。
- 五、3D 列印機：用於打印誘蚊器。
- 六、黏膠：用於捕捉蚊蟲。
- 七、相機：用於記錄實驗過程與數據。
- 八、Arduino TCRT 5000 紅外線感測模組：用於自動化蚊子密度計算
- 九、Arduino SD Card Module：用於紀錄觀測數據
- 十、Arduino Uno 開發板
- 十一、Arduino IDE
- 十二、行動電源：給裝置供電



肆、研究過程或方法及進行步驟

一、誘蚊器設計

我們使用 Fusion 設計誘蚊產卵器，並用聚乳酸（PLA）材料 3D 列印(如圖三)。我們的誘蚊產卵器設計，受到來自牛津和澳大利亞的研究啟發，採用了三層結構 (如圖二)：第一層為容器，其溶液用於吸引懷有蟲卵的雌性蚊子，第二層是捕捉蚊子的黏性層，第三層則是一個保護小傘，用來防止雨水或雜物進入。此外，第一層的溶液中還加入了乾草作為誘餌，以吸引蚊子。



圖二、Fusion 設計圖 (圖片來源:第三作者拍攝)

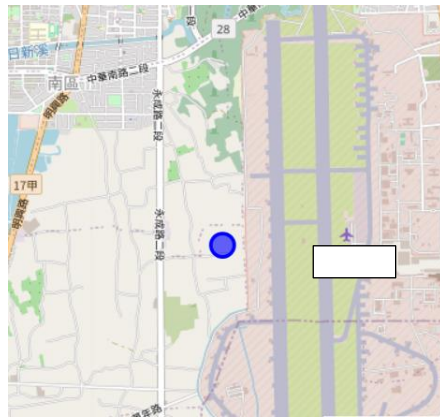


圖三、3d 列印誘蚊產卵器 (圖片來源:第三作者拍攝)

二、數據採集

每天定時拍攝並統計各個放置點捕捉到的蚊子數量，確保收集到準確的數據。為了進一步分析環境對蚊蟲活動的影響，我們還從 Visual Crossing 平台下載了距離學校最近測站（5 公里內）的各類氣象數據(如圖四)，這些數據包括溫度、濕度、降水

量、太陽輻射、風速等關鍵因素。我們將這些天氣資料與蚊子捕捉數據進行整合進 EXCEL，為後續的數據分析和模型訓練提供可靠的基礎。



圖四、氣象站地理位置 (圖片來源:Visual Crossing)

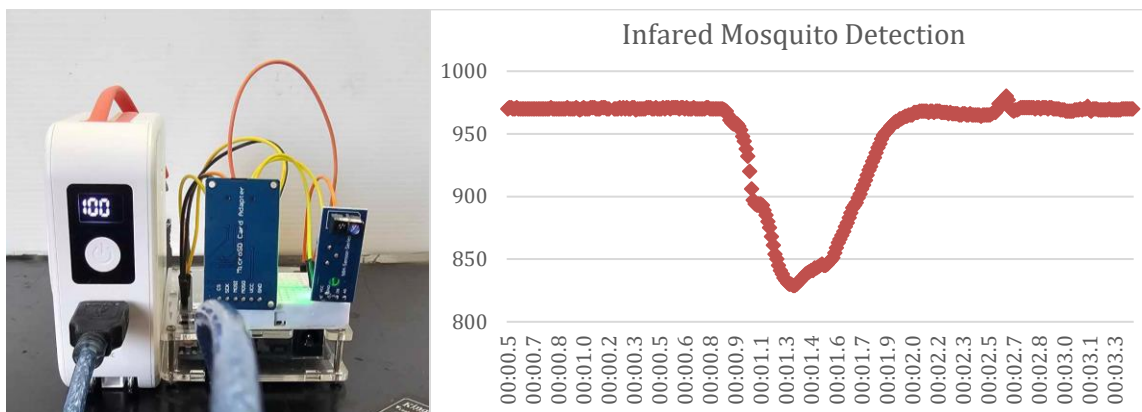
除此之外，我們設計了一個紅外線偵測蚊蟲的裝置。此系統旨在透過紅外線感測模組偵測蚊子活動，並記錄更多蚊子出現的次數與時間的數據，具體設計如下：

1. 感測模組安裝：

TCRT5000 感測器放置於水源通道處以增加蚊子通過的機率。設置感測器距離以最佳化靈敏度，確保蚊子進入感測區域時能有效偵測到紅外線的變化。

2. 訊號處理：

使用 Arduino Uno 持續監測 TCRT5000 傳回的頻率為 100Hz 的類比訊號，判斷蚊子通過的條件：當感測到的訊號值在短時間內下降超過 2%（DropPercentage），即達到閾值，則認為有蚊子通過。

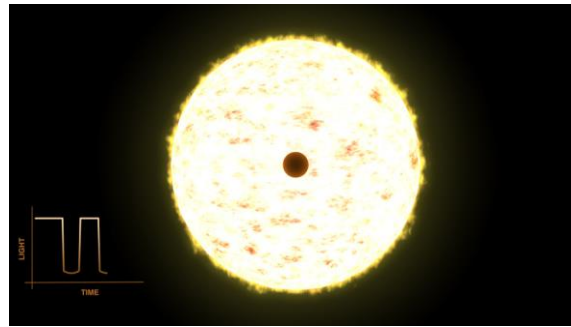


圖五、紅外線模組(圖片來源:第三作者拍攝) 圖六、蚊子檢測圖(圖片來源:Excel 繪製)

3. 數據記錄：

每次偵測到蚊子活動時，記錄時間與增加蚊子通過的次數。資料即時保存於 SD 卡中，並根據每天的偵測數據生成一份日報。

此設計以測量行星運行的原理為靈感，在天文學中，科學家利用行星運行時對恆星光線的微弱遮擋的凌星現象，推斷其存在和運動軌跡。本裝置通過感測蚊子的飛行軌跡與紅外線光的強弱變化，達到精確記錄蚊子活動的目的。使用類似的原理，透過蚊子飛行時對紅外線光的阻擋來記錄其活動。這種方法可有效捕捉蚊子的存在並精確測量其通過的次數。



圖七、外行星凌星現象 Exoplanet Transit Effect (圖片來源:NASA)

三、電腦模型

本作品使用 Python 進行程式開發，並採用 Jupyter Notebook 作為開發環境，搭配相關套件進行資料處理與建模，這些套件包括 Numpy（數學運算套件）、Pandas（資料處理套件）、Sklearn 的隨機森林機器學習套件、Statsmodels 的 SARIMA 套件，以及 Matplotlib 繪圖套件來呈現相關結果。

在本研究中，我們開發了一個結合 SARIMA（季節性自回歸整合滑動平均）與隨機森林（RF）的混合預測模型，旨在透過歷史蚊蟲數據和環境因素來預測蚊蟲密度。SARIMA 模型是一種時間序列預測模型，能夠捕捉數據中的季節性和非季節性模式。

1. SARIMA（季節性自回歸整合滑動平均）：

SARIMA 結合了自回歸（AR）、差分（I）和滑動平均（MA），並考慮週期性因素來生成預測結果。我們通過 Auto SARIMA 自動尋找最佳模型參數，結果顯示最適合的 SARIMA 模型為非季節性部分 (p,q,d)=(2,0,0) 和季節性部分 (P,Q,D,s)=(2,1,0,7)，這反映了我們學校內蚊蟲活動的每週週期性變化（S=7，代表週期為一週）。

Sarima 總公式為: $\Phi_P(B^s)\phi_p(B)(1-B)^d(1-B^s)^D y_t = \Theta_Q(B^s)\theta_q(B)\epsilon_t$

- 非季節性公式為: $\phi_p(B)(1-B)^d y_t = \theta_q(B)\epsilon_t$:

B 是與時間有關的滯後算子 (lag operator) $B y_t = y_{t-1}$

$\phi_p(B)$ 是自回歸的多項式: $\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B_1 - \phi_2 B_2 - \dots - \phi_p B_p$

$\theta_q(B)$ 是滑動平均的多項式: $\theta_q(B) = 1 + \theta_1 B_1 + \theta_2 B_2 + \dots + \theta_q B_q$

$(1-B)^d$ 表示對時間序列進行 d 次差分, 消除趨勢。 ϵ_t 是白噪音項

本研究中, $p = 2$ 表示我們取了該項前兩項執行自我回歸。

- 季節性公式為: $\Phi_P(B^s)(1-B^s)^D y_t = \Theta_Q(B^s)\epsilon_t$

$\Phi_P(B^s)$ 是季節性自回歸的多項式: $\Phi_P(B^s) = 1 - \Phi_1(B^{1s}) - \dots - \Phi_P(B^{Ps})$

可以抓捕 P 個週期 s 的數據執行自我回歸。

$\Theta_Q(B^s)$ 是滑動平均的多項式: $\Theta_Q(B^s) = 1 + \theta_1(B^s) + \dots + \theta_Q(B^{Qs})$

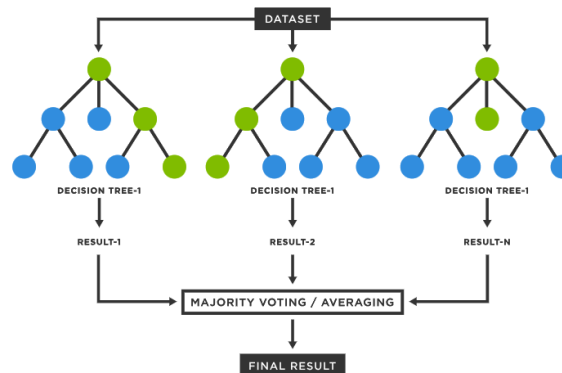
可以抓捕 Q 個週期 s 的數據執行滑動平均。

$(1-B^s)^D$ 表示執行 D 次季節性差分, 消除季節性趨勢。

SARIMA 非季節性部分整合季節性部分使 SARIMA 模型能考慮時間序列的短期波動、長期趨勢和週期 s 的季節性變化, 從而可以用來進行時間序列(Time Series) 的預測。

2. Random Forests(隨機森林)

隨機森林 (Random Forest) 是一種強大的集成學習方法, 專門用來處理分類和迴歸問題。它透過結合多個決策樹來提高預測的準確性和穩定性, 並降低單一決策樹可能會遇到的過度擬合 (overfitting) 問題。(示意圖如圖八)



圖八、隨機森林示意圖 (圖片來源:參考文獻)

在隨機森林中，首先從訓練資料集中隨機抽取多個樣本，每次抽樣都會生成不同的訓練資料集。每一組抽樣的資料都用來訓練一棵決策樹。決策樹是一種樹狀結構，它根據特徵的值進行分割，直到能夠做出預測。由於每棵樹的訓練資料不同，這些樹具有不同的特性和預測結果。當所有的決策樹都完成訓練後，隨機森林會集成這些樹的預測結果。對於預測數量的迴歸問題，隨機森林會平均所有樹的預測結果，得到一個更穩定的預測數值。

隨機森林被使用，主要在於它通過引入隨機性來減少單棵決策樹可能產生的多樣性不足問題，而且能夠將許多不同的環境因子集成不同的樹。每棵樹在訓練時都使用了不同的資料集和特徵集，使得模型能處理我們的高維度和複雜的數據。

在本研究的蚊蟲密度預測中，隨機森林被用來預測 SARIMA 模型無法解釋的誤差。透過環境因子的加入（溫度、濕度、降水量、太陽輻射、風速），隨機森林能夠捕捉這些變數對蚊蟲密度的複雜影響，並將預測結果加回到 SARIMA 的預測值中，以提高整體預測的準確性。

3. 模型總架構

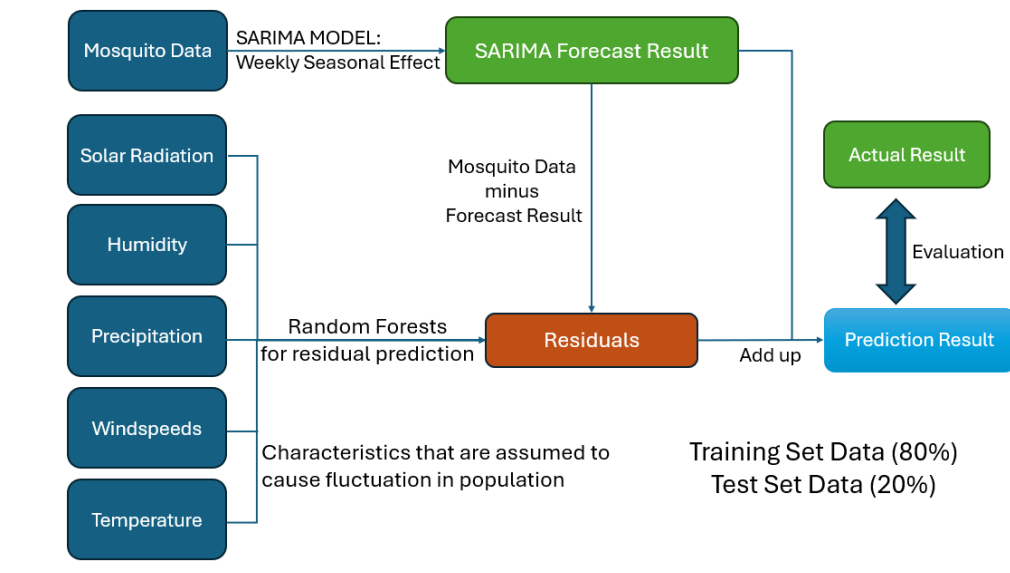
我們的雜合方法結合了統計學模型和機器學習模型的雙重優勢。SARIMA 模型擅長處理時間序列中的趨勢與週期性規律，尤其能夠捕捉蚊蟲活動中的週期性變化。SARIMA 通過其自回歸和差分特性，解釋數據中的週期性和趨勢變化。

而環境變數的影響通常是非線性的，這對於統計學模型 SARIMA 來說無法準確地捕捉到。這時，隨機森林模型發揮了它的能力，透過多棵決策樹和資料隨機抽樣，隨機森林模型能夠有效地校正 SARIMA 模型無法解釋的誤差，並處理多維度數據中環境變數帶來的額外變異。隨機森林不僅能自動學習變數之間的複雜關係，還能透過集成多棵樹的預測結果，達到更高的穩定性和預測精度。

因此，混合模型能大幅提升了蚊蟲密度預測的精度。SARIMA 負責處理季節性和趨勢變動，而隨機森林則聚焦於捕捉短期環境變化帶來的影響。這樣一來，我們能夠生成更準確、更全面的預測結果，不僅能捕捉長期規律，也能解釋短期波動，讓我們能夠有效應對時間序列預測中的多層次變量。混合模型架構與總公式如下: (圖九)

$$\hat{Y}(t) = SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)(t) + RF(Weather(t))$$

p	The order of the autoregressive terms	P	The order of the seasonal autoregressive terms
d	The order of differencing	D	The order of seasonal differencing
q	The order of moving average terms	Q	The order of seasonal moving average terms
t	The time series	S	The length of the seasonal period



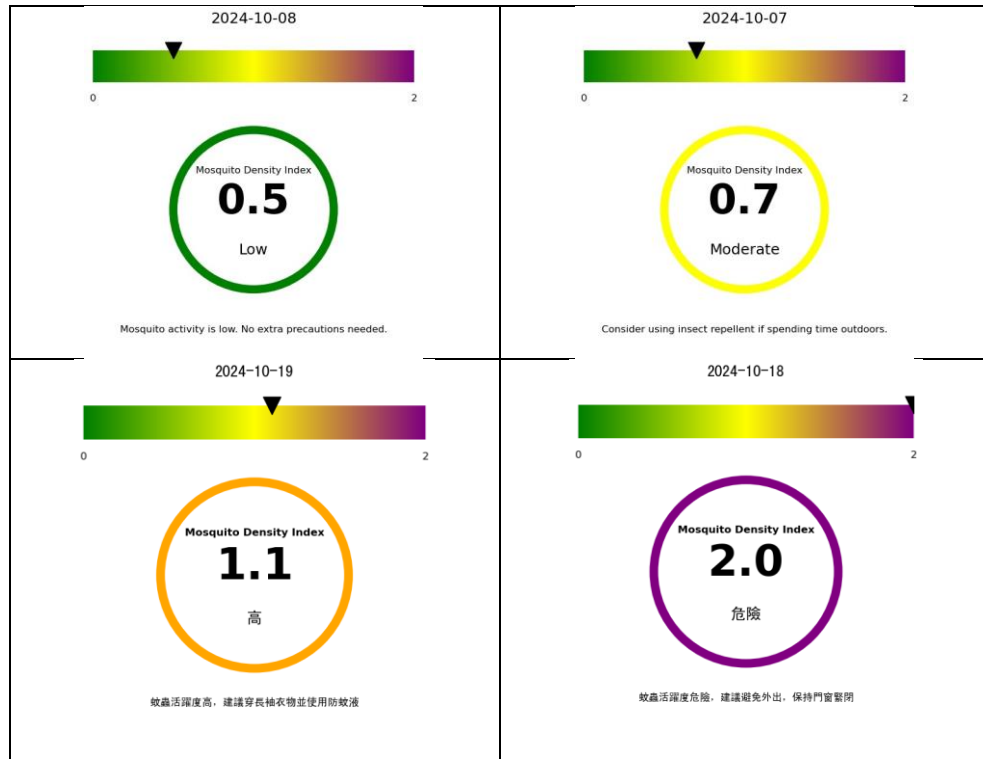
圖九、模型架構 (圖片來源:第一作者製作)

四、數據分析與模型驗證

數據集被分為訓練集與測試集，前約 80% 用於訓練，後 20% 用於測試。我們也通過均方根偏差 (Root Mean Squared Error, RMSE) 與平均絕對誤差 (Mean Absolute Error, MAE) 評估模型的預測性能。

隨機森林模型中的特徵重要性分析讓我們深入了解了各環境變數對蚊蟲密度預測的相對影響。我們更進一步利用沙普利值 (Shapley Value) 進行解釋性分析。沙普利值來自博弈論，能夠解釋每個特徵對單個預測的貢獻，通過沙普利值，我們可以直觀地看到哪些變數在特定預測情境下對蚊蟲密度的影響最大，增強了模型的可解釋性。

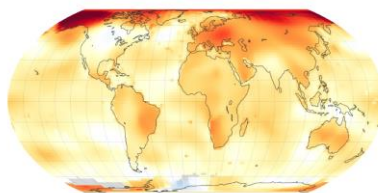
此外，我們還用 Python 的 Flask 架設了一個用於預測的網站，將所有站點抓到蚊子的平均定義為蚊子密度指標 (Mosquito Density Index, M.D.I)，並透過氣象預測數據進行預報。這樣，網站不僅能夠幫助相關機構提前了解蚊蟲活動的趨勢，還能夠為蚊蟲傳播疾病的防控提供及時的數據支持。



圖十、蚊子預測指標 (圖片來源:Python 繪製)

五、全球暖化分析

我們利用模型分析氣溫上升對蚊子密度的影響，並模擬未來全球暖化情境下蚊子密度的變化趨勢，以提供防疫策略的科學依據。氣象資料採用文獻中對氣溫上升的預測數據，作為不同情境下的模擬輸入來源。而蚊子密度指數（Mosquito Density Index, MDI）則透過現有訓練模型生成，進一步計算其平均值並繪製圖表，以呈現分析結果。

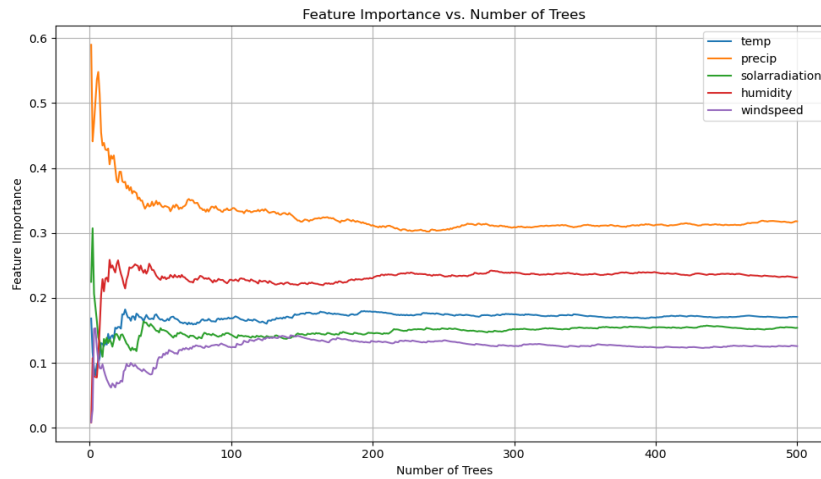


圖十一、全球暖化 (圖片來源: Nasa Earth Observatory)

伍、結果

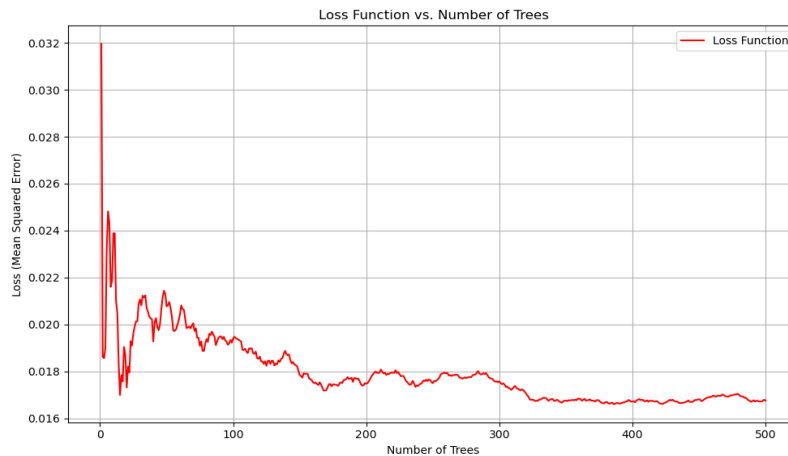
一、模型訓練

我們將從 9/5 到 10/21 的數據分成訓練組與驗證組，其中 9/5 到 10/12 總共 38 組數據為訓練組，而 10/13 到 10/21 總共 9 組數據為驗證組。訓練組與驗證組的配置分別佔總數據的 80.85% 與 19.15%，也就是八成與兩成，以驗證並確立我們模型的預測能力。這樣的八成訓練、兩成驗證分組方式是常見的模型訓練配置，旨在確保模型在未見過的數據上也能表現出穩健的泛化能力。



圖十二、特徵重要性對樹數 (圖片來源：Python)

如圖十二，模型訓練過程顯示，特徵重要性隨著隨機森林模型中的樹數增加而逐漸穩定。當樹數增至 500 時，所有特徵的重要性曲線已達到穩定狀態，表明模型已充分收斂並能可靠捕捉各特徵與蚊子密度之間的關係。



圖十三、損失函數 Loss Function (圖片來源：Python)

圖十三為損失函數（Mean Squared Error, MSE）隨隨機森林模型中樹數增加的變化趨勢。在訓練初期，損失函數呈現快速下降趨勢，表明模型隨著樹數的增加逐步捕捉到了數據中的模式。然而，在樹數超過 100 棵之後，損失函數的下降趨勢趨於平緩，並最終在 500 棵樹時達到穩定。這表明隨著樹數的增加，模型的性能逐漸收斂，未來的樹對模型的提升有限。由此得知增加隨機森林的樹數對模型性能的改進存在邊際效益遞減現象。

而為了提升模型的準確性，我們採用了格點搜尋法 (Grid Search) 進行超參數調整 (Hyperparameter Tuning)，並將調整後的模型應用於訓練資料集進行驗證，以獲得最佳的模型配置。我們調整的超參數如下表所示，包括最大深度 (max_depth)、最小資料分裂數 (min_samples_split)、葉節點的最小樣本數 (min_samples_leaf) 以及樹的總數 (n_estimators)。

參數名稱	超參數
max_depth	None, 10,20,30
min_samples_split	2, 5, 10
min_samples_leaf	1,2,4
n_estimators	100,200,300,500

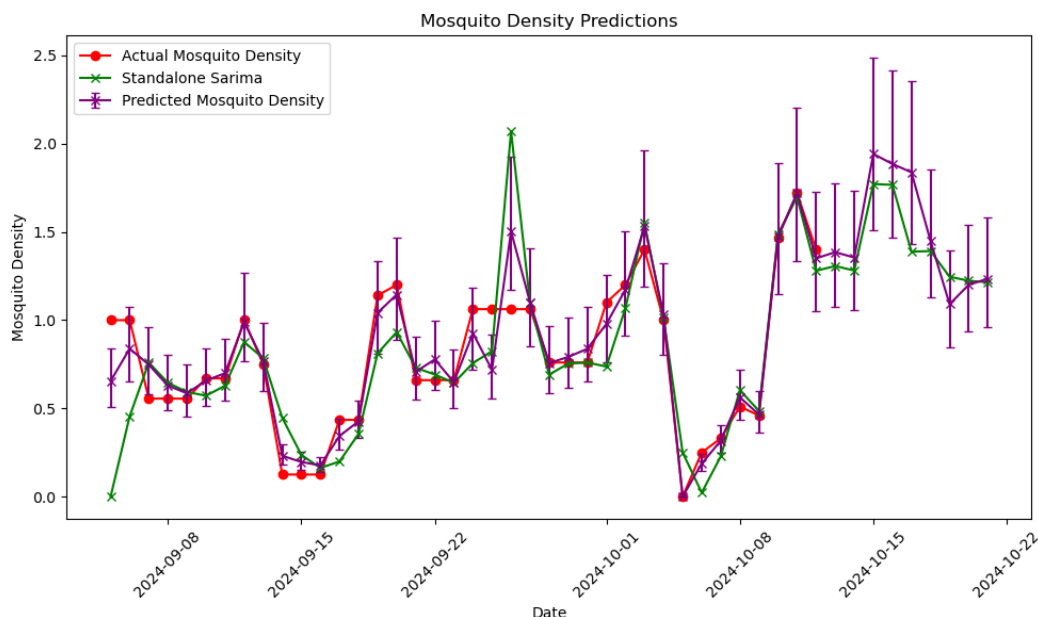
由 Grid Search 我們得知最佳的參數為 max_depth = None , min_samples_split = 2, min_samples_leaf =1, n_estimators = 500。

二、數據分析

如表一，在訓練階段，使用雜合模型後，觀察到模型的平均誤差顯著降低。根據計算，模型的平均誤差為 2.95%，為正偏差。而標準差則為 25.15%。因此，定義誤差區間為 $2.95\% \pm 25.15\%$ ，並在圖表中以誤差棒的形式視覺化結果。根據圖十四，91.42%的預測數據落在該誤差區間內。這與常態分佈的預期不同，根據常態分佈規則，只有約 68%的數據應該落在一個標準差內，而這裡卻有超過 90%的數據落入其中。這說明模型的預測結果為高度集中，且誤差小的高峰，表明模型預測穩定性較高。

訓練組	單純 SARIMA	SARIMA 與隨機森林雜合
MAE	0.18	0.08
RMSE	0.29	0.13

表一、訓練組資料



圖十四、蚊蟲指數與時間關係圖 (圖片來源:Python)

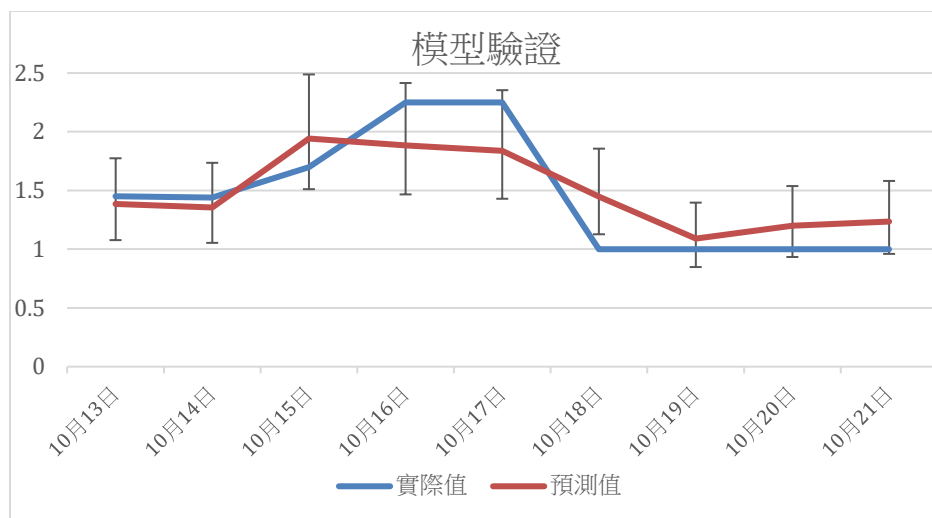
因此，基於訓練的結果，我們可以在約 10%的顯著水準下，認為該模型的預測具備統計上的顯著性和可靠性。因此亦可將信賴區間定義為 $2.95\% \pm 25.15\%$ ，這表明模型在訓練資料中的預測誤差範圍合理且可接受。

如表二，在驗證組中，誤差明顯大於訓練組的兩到三倍，而雜合模型仍表現出相對較好的準確性。根據圖十五，88%的驗證數據落在訓練組定義的信賴區間內

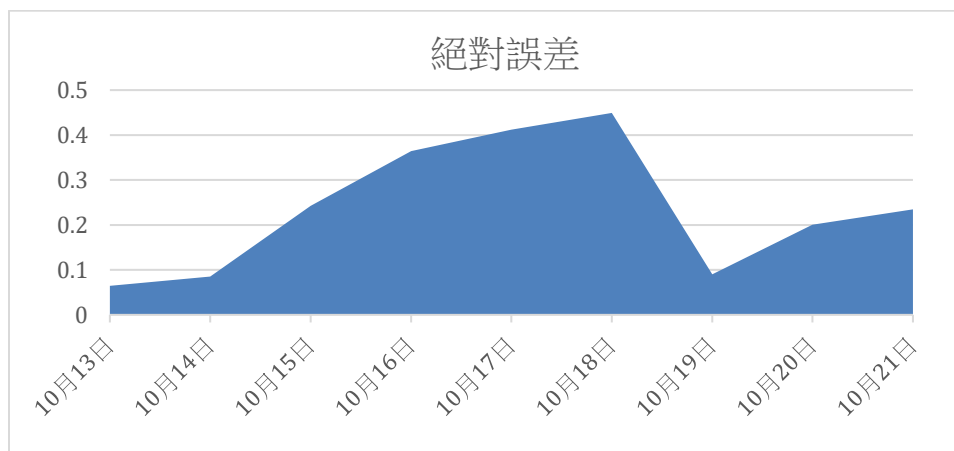
($2.95\% \pm 25.15\%$)，顯示出該模型在驗證數據上的預測能力仍然穩定，能夠在合理範圍內預測蚊子密度，具有泛化能力，且隨時間變化的升降趨勢大致有被模型捕捉到。而根據圖十六，可以觀察到誤差在前幾次預測中偏移不大，顯示出該模型對於近期事件具有更高的精確度。

驗證組	單純 SARIMA	SARIMA 與隨機森林雜合
MAE	0.31	0.24
RMSE	0.38	0.27

表二、驗證組資料



圖十五、模型驗證 (圖片來源:Excel)



圖十六、絕對誤差走勢 (圖片來源:Excel)

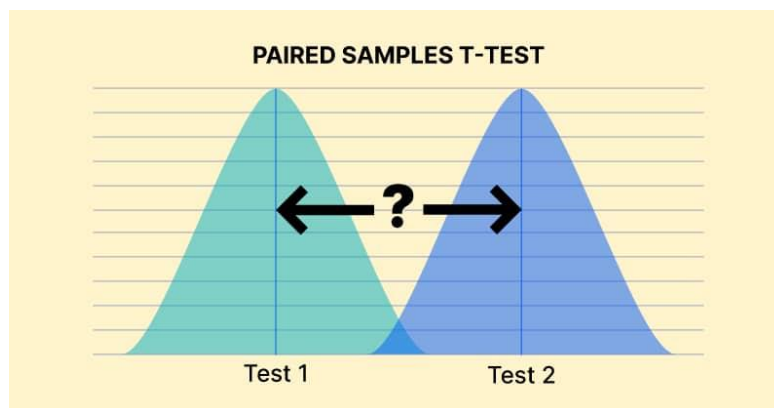
三、統計分析

1. 預測結果與實際結果比較

我們將預測結果與實際結果進行配對 t 檢定，用以檢驗兩者是否存在顯著差異。

$$T = \frac{\bar{d}}{std/\sqrt{n}} = \frac{-0.0323}{0.289/3} = -0.335, p = 0.746$$

由於 p 值大於顯著水準 0.05，表示我們無法拒絕虛無假設，即「預測結果與實際結果沒有顯著差異」。代表預測模型在統計上與實際數據具有一致性，說明模型的預測表現與實際情況相符。



圖十七、配對 T Test (來源:voxco)

2. 預測結果與天真預測比較

假定一虛無假設（Null Hypothesis） H_0 ：模型預測與天真預測法並無差異。The model's predictions are not significantly better than the naive forecast. 而天真預測法，即預測未來與過去平均相同 (等於 0.78)。其預測誤差如下表。

Model Error	Naive Null hypothesis
0.064761	0.67
0.084927	0.66
-0.24249	0.92
0.364601	1.47
0.412035	1.47
-0.44919	0.22
-0.09049	0.22
-0.20049	0.22
-0.23461	0.22

我們將以上資料輸入 Diebold-Mariano Test (DM Test)。Diebold-Mariano Test (DM Test) 是一種專門用於比較兩個預測模型性能的統計方法，特別適用於時間序列數據分析。其核心目的是檢驗兩個模型的預測誤差是否存在統計上的顯著差異。

$$DM = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{Var(d)}{n}}}, d \text{ 為平方誤差}$$

得到 DM Test Statistic = -2.207，p value = 0.027。因此我們能在 0.05 顯著水準下拒絕此虛無假設，即得知模型擁有預測能力，效果顯著的好於天真預測結果。

四、參數分析

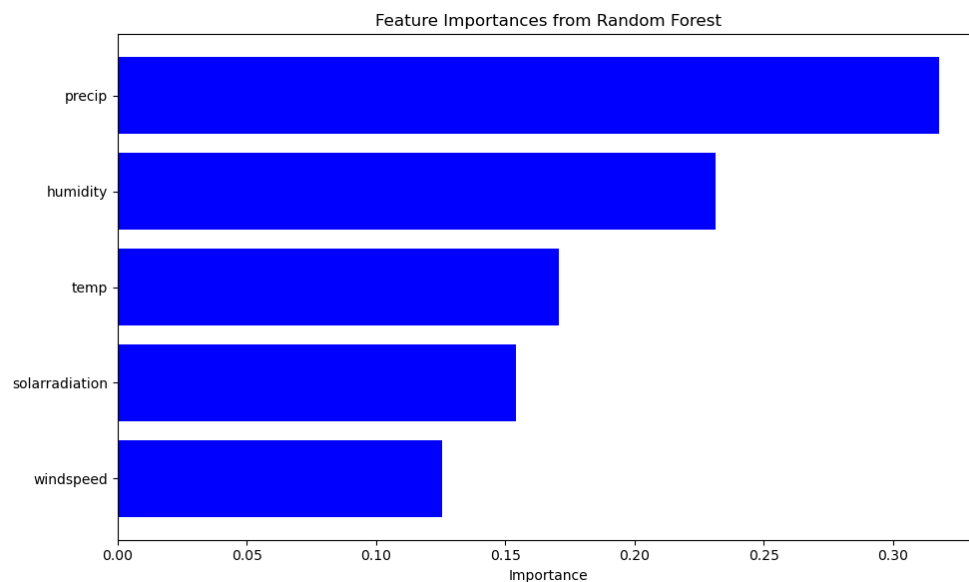
我們將模型得到的參數進行特徵重要性與 **Shapley** 兩種分析，從圖十八和圖十九中可以看出，各參數對模型預測結果的影響存在明顯差異。這邊會先針對每個參數做數據分析，而背後的深層機制與原因將在討論中進一步解釋。

首先，降水量在隨機森林模型的特徵重要性中排名最高，權重超過 **0.3**，顯著高於其他特徵。從 **SHAP** 值來看，蚊蟲數量在極端降雨的情況下會顯著上升，而在降雨量較少或無雨時，則會出現不規則的非線性正負變動。

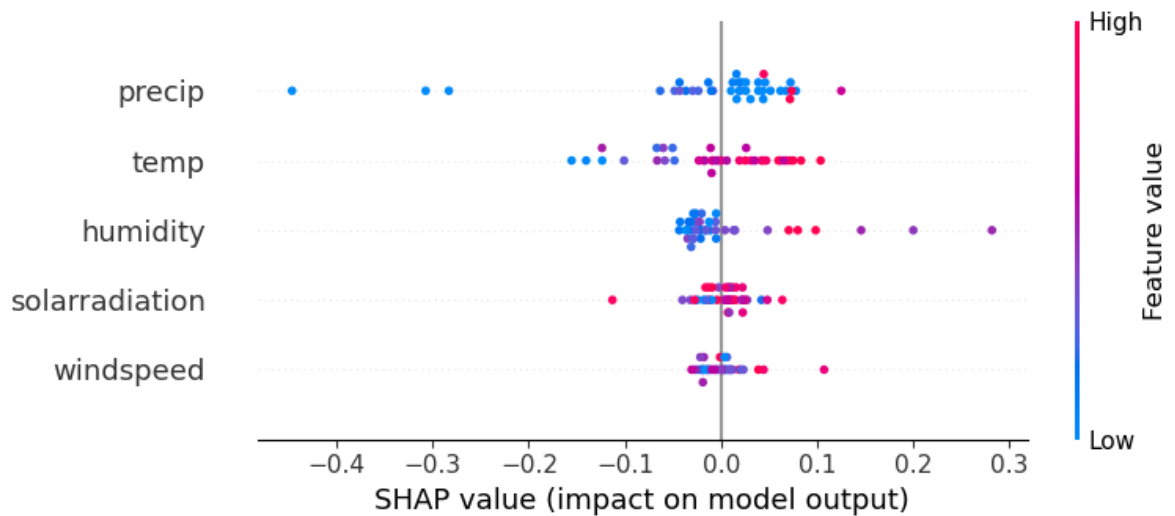
其次，濕度的影響力僅次於降水量。解析其數據，發現低濕度對模型輸出通常產生負面影響，而高濕度則對預測結果多數呈正向影響。雖然分布看似混亂，但數據點值有一定的規則可循。其非線性的混亂說明濕度對模型的影響具有一定的變異性，可能與其跟降雨量存在的交互作用有關。

溫度則是第三重要的特徵，其對模型的影響較為穩定。低溫時，**SHAP** 值為負，表示溫度較低時對預測結果產生負面影響；而隨著溫度升高，**SHAP** 值轉為正數，顯示溫度升高對模型輸出有穩定的正向作用。即溫度越高，蚊子越多。至於太陽輻射，在隨機森林模型中的重要性相對較低，對模型預測結果有一定的正相關性，但在太陽輻射值極端高時，模型的預測結果反而下降。

最後，風速在特徵重要性中排名最低，表明其對模型預測能力的貢獻不大。然而，**SHAP** 值顯示風速對模型輸出既有正向也有負向影響，整體上呈現正相關趨勢。風速越快，蚊子越多。



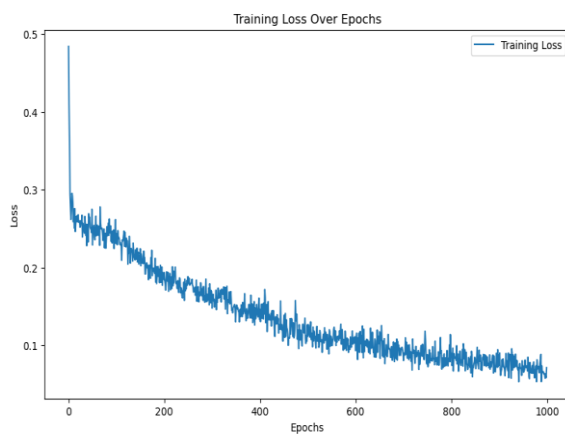
圖十八、特徵重要性 (Feature Importance) (圖片來源:Python 繪製)



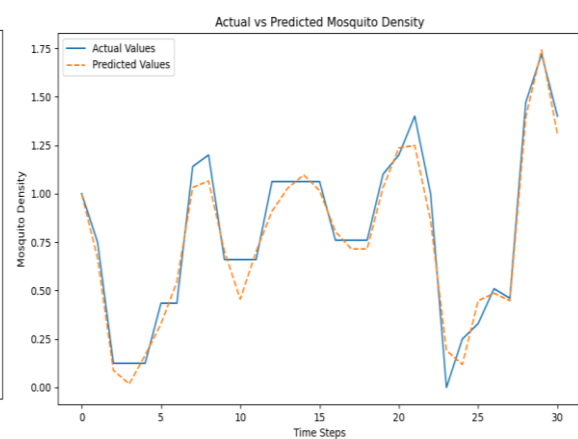
圖十九、沙普利分析圖 (Shapley Analysis) (圖片來源:Python 繪製)

五、和 LSTM 模型的比較

我們用 LSTM 對比我們雜合模型的效果。而為了分析 LSTM 模型的效能，我們進行了模型訓練並觀察其損失函數 (Loss) 的下降趨勢。在訓練過程中，模型的損失函數採用 RMSE (Root Mean Square Error)，並以 1000 次訓練週期 (epochs) 進行學習。圖二十呈現了 LSTM 模型的訓練損失隨時間的變化。



圖二十、LSTM Training Loss RMSE

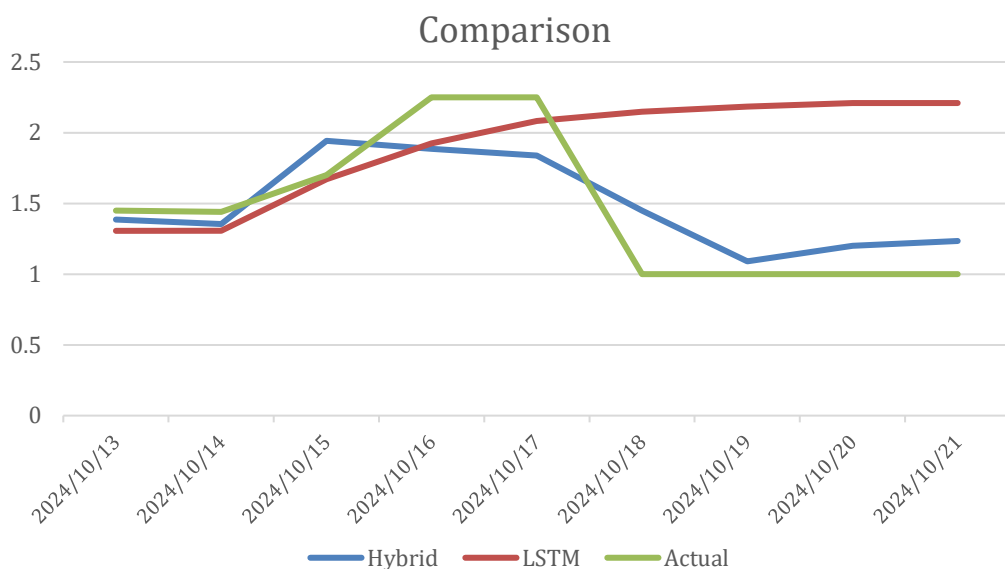


圖二十一、LSTM Training

而圖二十一則展示了 LSTM 模型在測試集上的表現，通過比較實際值 (Actual Values) 與預測值 (Predicted Values)，看出訓練資料誤差極小。

	Our Hybrid	LSTM
Train RMSE	0.13	0.06
Train MAE	0.08	0.06
Test RMSE	0.27	0.80
Test MAE	0.24	0.62

在上表，我們比較了 Hybrid 模型與 LSTM 模型在訓練集與測試集上的表現。從結果可以看出，LSTM 模型在訓練集上的表現略優於 Hybrid 模型，然而這樣的表現可能導致模型過度擬合(Overfitting)，影響其在測試集上的泛化能力。



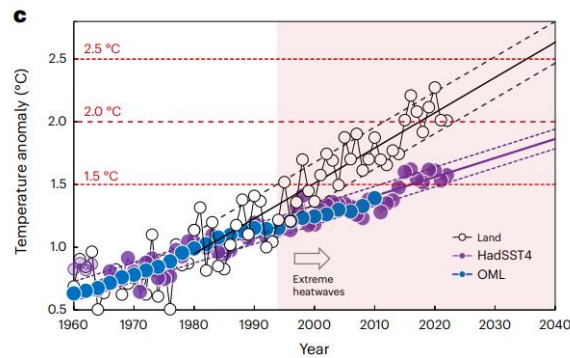
圖二十二、Hybrid 與 LSTM 比較 (圖片來源：Excel)

由圖二十二可以看出，在測試集上，Hybrid 模型的表現顯著優於 LSTM 模型。這表示，儘管 LSTM 模型能在訓練階段學習更多數據細節，但其在面對未知數據時，預測能力顯著下降。而 Hybrid 模型通過結合不同特徵與學習策略，有效提升了其泛化性能，在處理測試數據時保持了穩定且準確的預測表現。

綜上所述，Hybrid 模型在測試集上的出色表現，證明其更適合用於需要高泛化能力的實際應用場景，具有更強的穩定性與實用性。

六、全球暖化分析

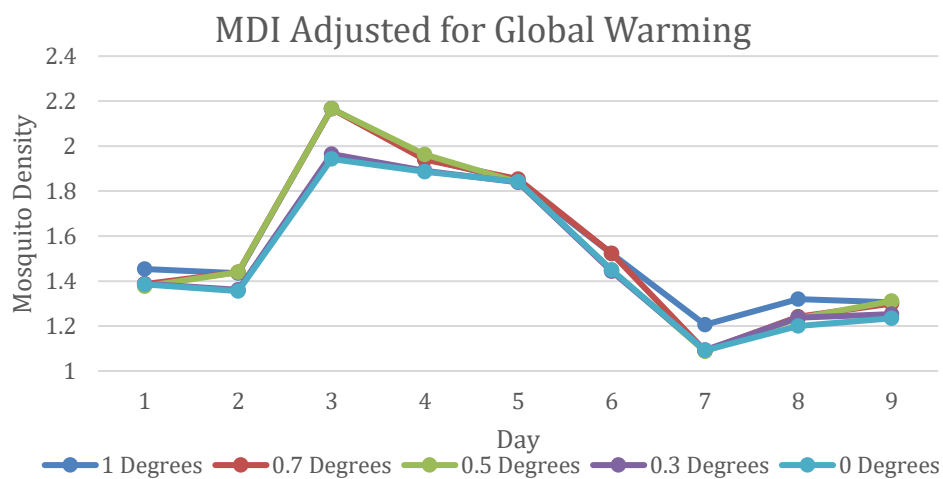
根據圖二十三文獻預測，到 2040 年，全球平均氣溫將較 2024 年上升約 0.3°C 至 1°C 。而隨氣溫的升高，蚊子密度指數（MDI）也將受到顯著影響，進一步加劇病媒蚊傳播疾病的風險。



圖二十三、全球暖化 (圖片來源：參考文獻)

圖二十四展示了不同全球暖化情境下，蚊子密度指數（Mosquito Density Index, MDI）隨時間的變化趨勢。透過將氣溫上升的預測數據（ 0°C 至 1°C ）融入模型進行模擬，我們可以觀察到氣溫上升對蚊子密度的影響。

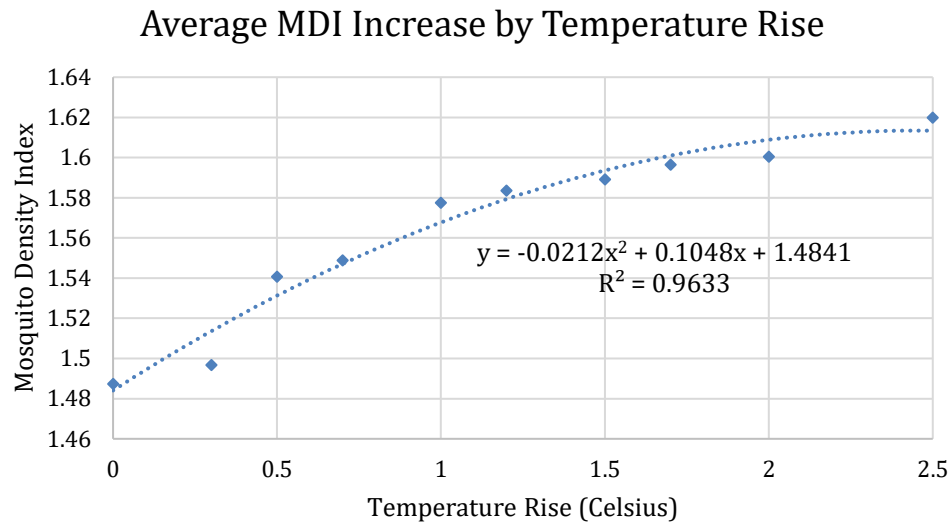
隨著氣溫升高，蚊子密度在前幾天內呈現明顯的上升趨勢，尤其是在氣溫上升 0.5°C 至 1°C 的情境下，第三天的蚊子密度達到峰值，顯示暖化可能顯著提升蚊子的活動與繁殖能力。可總體的時序變化大致相同，代表暖化可能不會影響其他因素造成的密度變動，而較像數據向上平移的結果。



圖二十四、不同全球暖化情境下蚊蟲走勢(圖片來源：Excel)

圖二十五顯示了蚊子密度指數（Mosquito Density Index, MDI）隨氣溫上升的平均變化趨勢，並擬合了一條二次多項式回歸曲線，看見其收斂現象。隨著氣溫逐漸升高，蚊子密度指數呈現出非線性增長的趨勢。在氣溫從 0°C 升高至約 2.5°C 的範圍內，蚊子密度指數逐漸上升，顯示更高的氣溫可能促進蚊子的活動與繁殖。然而，在氣溫持續升高後，增長率可能逐漸減緩，暗示氣候條件可能存在一個最適範圍以支持蚊子的繁殖。

根據回歸模型，可以預測在不同氣溫上升情境下，蚊子密度的變化趨勢，進一步為公共衛生防疫策略的制定提供量化參考。

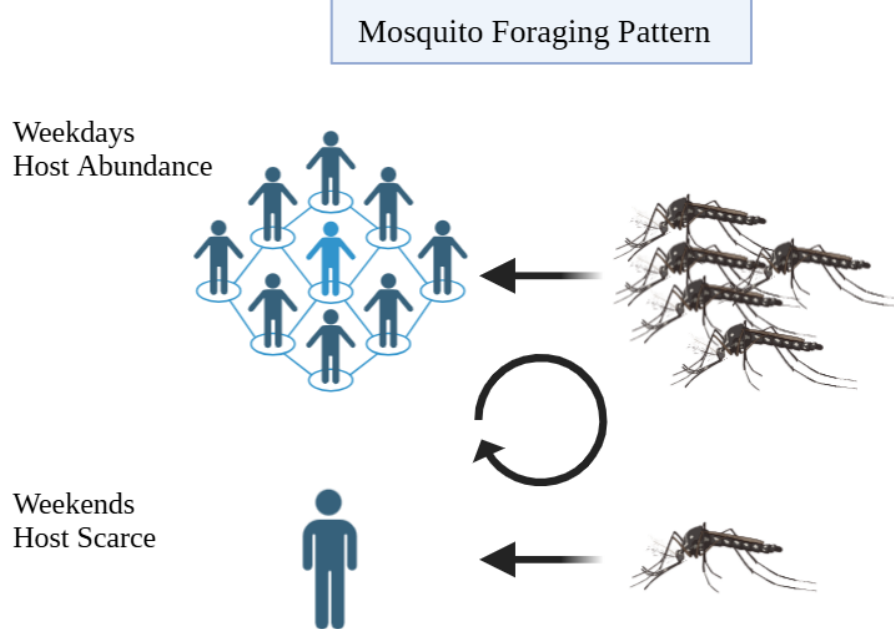


圖二十五、平均蚊蟲密度與全球暖化 (圖片來源：Excel)

陸、討論

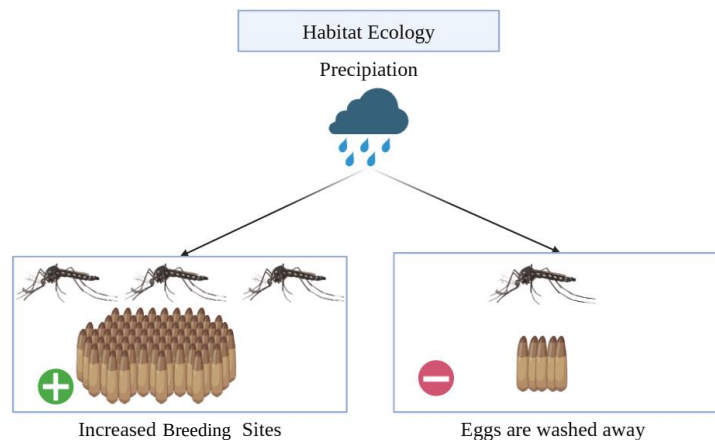
一、生態學建模

在 SARIMA 模型中，我們觀察到蚊蟲族群動態中的明顯規律。蚊蟲數量從週一至週五穩定增加，然後在週六至週一下降，其週期等於七。我們推測這種模式是受學生平日時在校園中的影響，因為這段時間內蚊子有更多的機會找到宿主。而到了週末，校園內人數減少，蚊蟲數量似乎因為宿主減少而下降。這種由人類活動驅動的週期性行為可以置於宿主可用性與蚊子覓食模式的理論中，即蚊子在有宿主的情況下更為活躍。這一發現與覓食的動物行為生態學模型 (Foraging Behavioral Ecology) 一致。



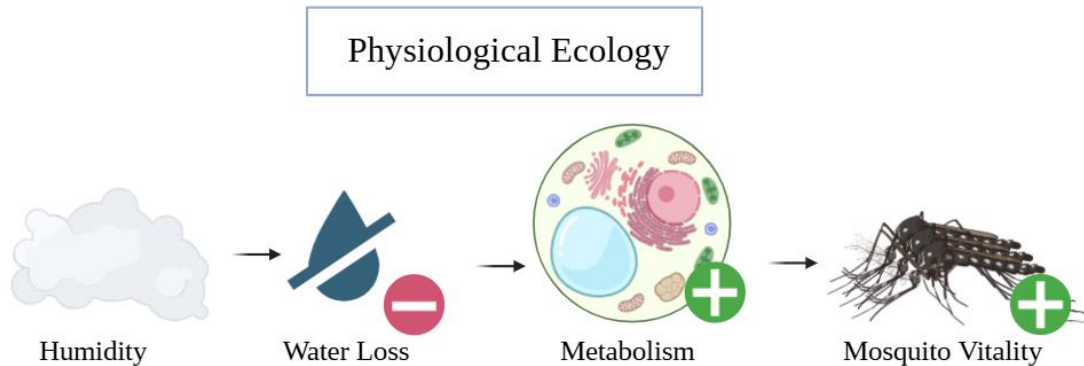
圖二十六、覓食模式圖 (圖片來源:第二作者繪製)

而關於隨機森林的參數，首先，根據隨機森林的特徵重要性分析，降水量被確認為對蚊蟲數量預測最重要的環境因素。在 SHAP (Shapley 值) 分析中也能看出，當降水量極多時，蚊蟲數量會顯著上升，這與蚊蟲繁殖所需的水環境直接相關。蚊蟲卵的孵化需要水體，而降雨能夠創造蚊子適宜的孳生環境，尤其是在大雨過後，水坑和積水為幼蟲提供了合適的發育環境。但在小雨的狀態就較為不一定，因為雨有機會沖走蟲卵，及破壞生活棲地等。這一結果可用棲地生態學(Habitat Ecology)解釋，為降水量在蚊蟲棲地的作用模式提供依據。



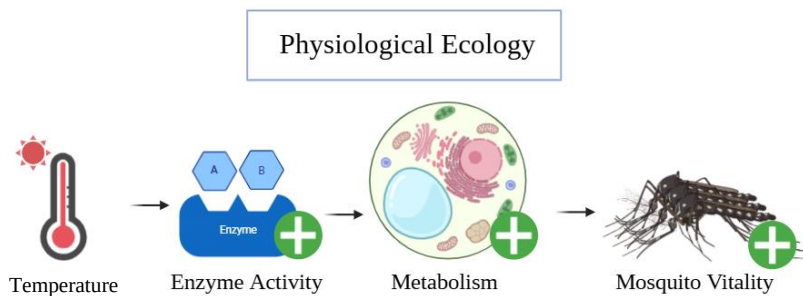
圖二十七、降雨模式圖 (圖片來源:第二作者繪製)

其次，濕度的影響僅次於降水量。根據 SHAP 分析，濕度對模型的貢獻既有正向也有負向，顯示出濕度在不同情況下對蚊蟲數量的影響存在複雜的非線性關係。總體而言，濕度的增加會導致蚊蟲活動力上升，這可以用蚊子的生理學特性解釋 (Physiological Ecology) 解釋。當環境濕度高時，蚊蟲透過外骨骼和呼吸系統的水分散失減少，使其能保持體內水分平衡，避免脫水，從而支持其正常的生理功能。進一步促進其代謝效率和生存能力，加快它們尋找食物與繁殖的速度。而數據中可以觀測到一些偏差，我們推測是由於濕度與降水量兩者有關聯性的交互作用所造成的。



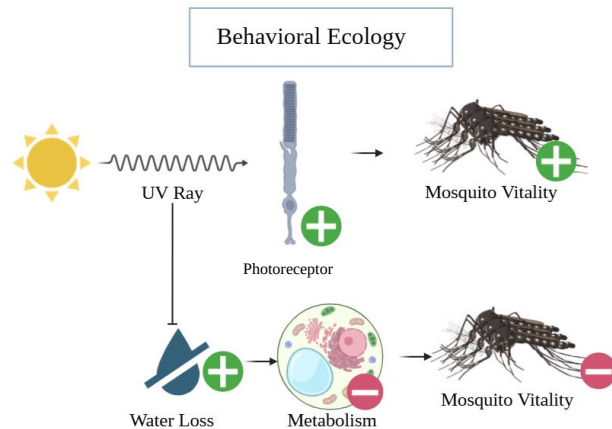
圖二十八、濕度模式圖 (圖片來源:第二作者繪製)

溫度則是第三重要的影響因子。結果顯示，溫度對蚊蟲活動具有明顯的雙向影響，低溫時，蚊蟲數量會減少，而高溫會促進蚊蟲活動。這可以用蚊蟲的生態生理學特性解釋 (Physiological Ecology)，因為溫暖的氣候可以增其酶的活性，進而增其代謝效率。此有利於蚊子的活動和繁殖，特別是蚊卵的孵化和幼蟲的發育都需要適宜的高溫環境。因此，當溫度過低時，蚊子的生理活動受到抑制，從而導致數量下降。值得注意的是，溫度對蚊蟲的影響相對穩定，這意味著在模型中，溫度的預測效應較為可控且一致。



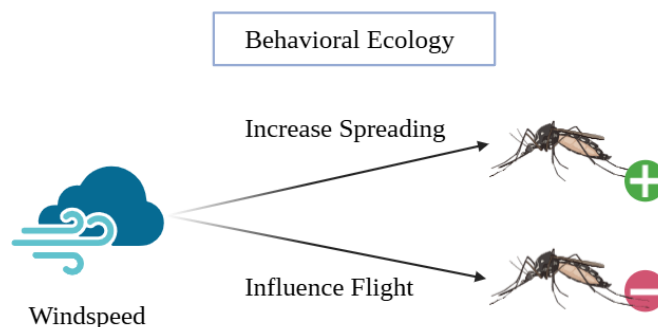
圖二十九、溫度模式圖 (圖片來源:第二作者繪製)

對於太陽輻射，一般情況下，輻射越多，蚊子越多。推測是由於蚊子對於紫外線 UV 的偏好，UV 會刺激蚊子的受器，此可由習性(Animal Behavioral Ecology)解釋。但太陽輻射對蚊蟲活動的影響在某些特定條件下可能為顯著的負相關，特別是在輻射強度較高的情況下，蚊蟲的活動會受到一定的抑制。這可能是因為強烈的陽光照射不利於蚊蟲的覓食和繁殖活動，也有可能加速蒸發，降低濕度。具有影響多重變因的可能。



圖三十、太陽輻射模式圖 (圖片來源:第二作者繪製)

至於風速，影響是所有特徵中最小的。根據 SHAP 分析，其影響既有正向也有負向，但大致正相關。意味當風速高時，蚊蟲的活動能力可能會增加，使其散佈的更快，從而影響其數量。此亦可由習性(Animal Behavioral Ecology)解釋，然而，風速在蚊子飛行與傳播中的具體影響與原理更有待研究釐清。

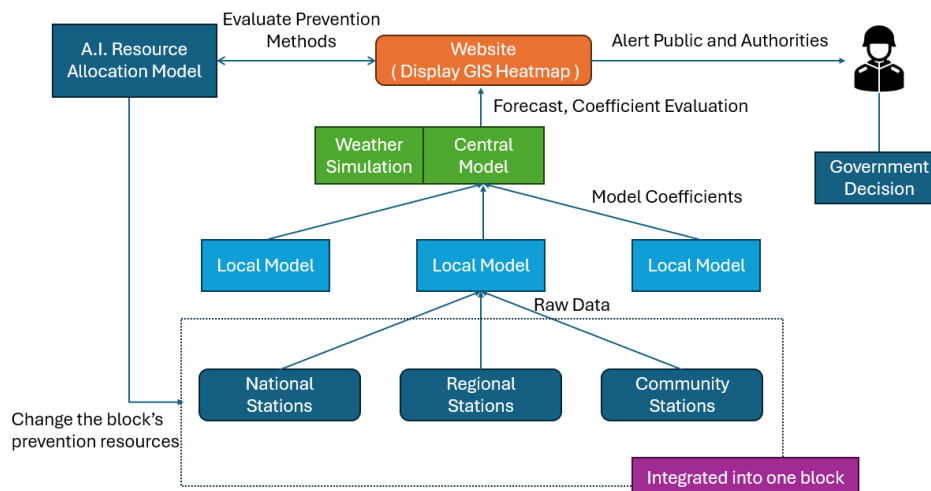


圖三十一、風速模式圖 (圖片來源:第二作者繪製)

總之，我們的混合模型在預測校園蚊蟲密度方面展現了卓越的表現。模型提供了深刻的見解，揭示了許多環境因素之間的複雜相互作用與臨界效應，這使我們能更準確地理解和預測蚊蟲活動，為蚊媒疾病的防控提供了有力的數據支持。

二、整合構想與全國應用

基於本研究的成果，我們提出了一個整合多層級數據來源與分析模型的全國性蚊媒疾病防控架構(圖三十二)，希望能以精準數據為基礎，進行有效的風險評估與資源分配。該系統架構分為地方監測、數據分析與資源分配三大層級。



圖三十二、全國性蚊蟲防控架構 (圖片來源：第一作者製作)

在地方監測的層級，我們參考空汙監測站 (圖三十三)，設置國家級、區域級與社區級監測站。這些監測站收集的原始數據匯入本研究中設計的地方模型進行訓練，並向中央上傳模型的各種參數。

階層式空品監測體系

以國家及監測站為主要架構，整合地方環保局、特殊性工業區監測站及大型事業測站為輔，並分區布建簡易空品感測物聯網，整合現有資源以提升空氣品質監測站的密度。



國家級
測站網



區域性
測站網



智慧城鄉
空品物聯網



智慧社區空品點或
市民行動感測器

圖三十三、空氣品質監測體系 (圖片來源：環境部)

而這些測站站址的選定標準有如下，可整合入圖三十四之現有民生公共物聯網平臺

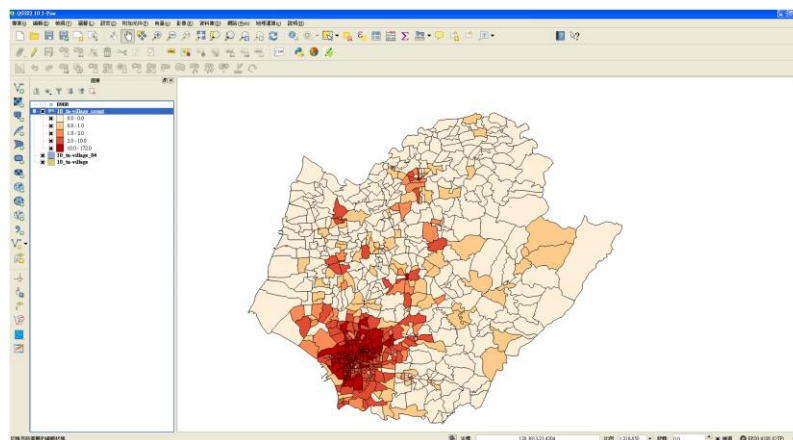
- 地形、水源及氣象條件
- 人口分布及人流狀況
- 有益於防制對策效果之判定
- 都市計畫、區域計畫或其他土地利用計畫

領域	單位	項目	數量
空氣品質	環保署	空品測站	77 站
		智慧城鄉空品微型感測器	3,417 站
	中研院	校園空品微型感測器	2,230 站
地震	中央氣象局	地震儀	149 站
	國震中心	地震儀	74 站
災害	災防中心	災害示警	32 項
	消防署	災情通報	41 項
水資源	水利署	河川水位站	340 站
		水利防災用影像	205 站
氣象	中央氣象局	局屬氣象站	44 站
		自動氣象站	385 站
		雨量站	929 站

資料來源：民生公共物聯網資料服務平臺 <<https://ci.taiwan.gov.tw/dsp/environmental.aspx>>

圖三十四、民生公共物聯網資料服務平臺收錄項目表 (來源：國土及公共治理月刊)

中央層級數據模型則基於多個地方模型的數據，進行整合性深度分析。該模型包括高性能運算框架，結合中央氣象局天氣模擬工具，並使用地理資訊系統（GIS）生成熱點地圖 (如圖三十五)，幫助識別蚊蟲高風險區域。中央模型同時執行模型係數校準，並幫助資源分配系統對防控措施進行有效性評估。



圖三十五、登革熱熱點圖 (圖片來源：中央研究院)

最後，資源分配模型利用機器學習評估不同防控策略的效果，並動態調整防控資源。高風險地區將優先獲得密集資源，例如噴灑殺蟲劑與部署誘蚊設備；中低風險地區則側重於基礎干預，例如清除積水與提升公眾意識。防控策略的實施結果會回饋至系統中，進一步優化模型參數。

為促進公開透明與跨部門合作，架構設計的全國網站提供了數據可視化功能，包括熱點地圖、風險預測與防控資源使用情況的展示。這些信息不僅能幫助政府決策，也能通過網站通知公眾和相關機構，提升整體協同效率與治理效能。

柒、結論

一、 3D 列印技術的應用

本研究通過使用 3D 列印技術製作誘蚊器，有效捕捉蚊蟲並監測其密度。這些誘蚊器不僅設計簡單、製作成本低，且不需要外部電力，特別適合資源有限的地區進行廣泛部署，這符合 **SDG 3.C**（增強發展中國家的衛生資源和支持）。同時，這一創新技術有助於在全球範圍內防控蚊媒疾病，尤其是登革熱或瘧疾等傳染病的蔓延，支持了 **SDG 3.3**（對抗傳染病）的目標。

二、 紅外線蚊蟲感測

本研究開發了一套基於紅外線感測的蚊蟲活動監測系統，使用 TCRT5000 紅外線模組與 Arduino 開發板進行數據收集與處理。此系統通過測量蚊蟲飛行時對紅外線光的遮擋，記錄蚊蟲的通過次數與時間點。實驗結果顯示，紅外線感測模組能準確捕捉蚊蟲的活動軌跡，並生成即時數據報表，為未來監測蚊蟲動態提供了高精度的支持。該系統不僅成本低，且易於安裝與維護，可作為傳統蚊蟲監測技術的有效補充。

三、 SARIMA 與隨機森林雜合模型

SARIMA 模型有效捕捉了蚊蟲數量的每週週期性變化，週一至週五的蚊蟲活動高峰得到了準確再現。隨機森林模型通過引入溫度、濕度、降水量等多維環境數據，彌補了 SARIMA 模型對非線性變化的不足。兩者的結合使預測誤差顯著降低，優於單一模型的表現。該混合模型在未見過的數據上表現穩健，具有泛化性，推進了 **SDG 3.D**（完善全球健康風險預警系統）的目標。

四、 模型的穩定性

在模型驗證中，混合模型的預測誤差區間表現集中，顯示出其高度的穩定性。88% 的驗證數據落入模型的誤差範圍內，表明該模型在實際應用中的可靠性，進一步顯示健康風險預測可能的全球應用。而損失函數隨著隨機森林中樹數增加而快速下降，在五百棵樹時達到穩定，代表本研究中的模型深度是足夠的。

五、 環境因素的影響

我們建立了一個環境與蚊子交互作用的生態學模型。研究顯示，降水量是影響蚊蟲密度的最關鍵因子，極端降雨能顯著促進蚊蟲繁殖，特別是在形成積水的情境下。濕度的影響其次，尤其是在高濕度條件下，蚊蟲的生存能力與活動力均有所提升。溫度則對蚊蟲數量的影響呈穩定且正相關，溫暖的氣候有助於促進蚊卵孵化與幼蟲發育。太陽輻射和風速的影響相對較小，但仍對某些特定條件下的蚊蟲行為產生調節作用。

六、 週期性變化

研究發現蚊蟲數量在週一至週五增加，而在週末減少。這種週期性波動與學生人數及宿主可用性有關，這進一步支持了宿主數量對蚊蟲活動的顯著影響。我們透過機器學習，進一步佐證宿主與蚊蟲族群的生態學關聯。

七、 全球暖化

本研究模擬了多種全球暖化情境，結果表明，氣溫上升對蚊蟲數量的影響顯著，尤其是在氣溫升高 0.5°C 至 1°C 的情境下，蚊蟲密度迅速增加並達到高峰。這一發現預示，隨著氣候變遷，病媒蚊傳播疾病的風險將持續上升，對人類健康構成更大的威脅。模擬結果同時強調，制定適應性公共衛生政策以應對氣候變遷的迫切性。

八、 應用

基於研究成果，本研究提出了一個涵蓋地方監測、中央分析與資源分配的全國性蚊媒疾病防控架構。地方層級利用誘蚊裝置和混合模型實現高精度監測，中央層級則通過地理資訊系統（GIS）繪製高風險區域熱點地圖，幫助識別蚊媒疾病傳播的關鍵區域。防控資源分配系統則根據風險評估動態調整策略，確保高風險地區優先獲得資源。同時，中央數據平台提供即時數據共享與視覺化展示，提升公共衛生機構的協作效率與決策能力。我們提出的全國性蚊媒疾病防控架構有極高的應用潛力，透過地方與中央、物聯網與模型的共同協作，為未來公共衛生政策的制定提供了科學基礎與行動指導。

九、 總結

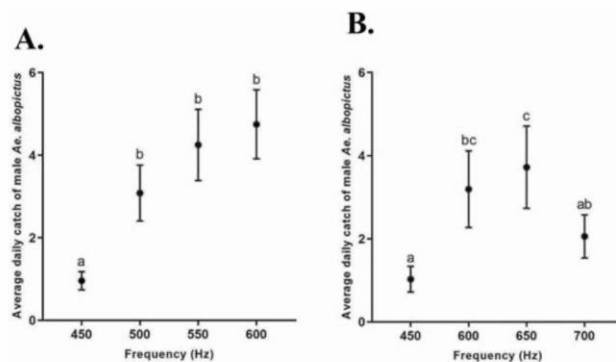
本研究整合了 3D 列印技術與機器學習模型，成功開發了一套創新且高效的蚊蟲監測與預測系統。這一系統不僅有效應對了校園內蚊蟲問題，也為全球蚊媒疾病的防控帶來了嶄新的解決方案。模型分析揭示了環境因子對蚊蟲生態的深層影響，提供了精準且科學的數據支持，進一步完善了疾病防控策略的設計與實施。研究結果顯示，此混合模型在公共衛生、氣候行動與疾病預防領域具有重要的應用價值，為現代流行病學研究開啟了新的方向，並為未來的國際合作提供了科學基礎。

捌、未來展望

本研究的軟體與模型被證實能執行完善的數據分析。若有更多數據，可更加豐富研究內容。以下是未來幾種可能方法，可讓我們採集更多數據：

- 一、 高頻聲音誘捕：研究證實使用高頻聲音模仿雌性斑蚊，可以有效吸引雄性斑蚊。值得注意的是，因為幾乎只捕捉不吸血的雄性蚊子，所以誘捕的行為僅做為了解蚊子性別分布之用，未來若能加以結合利用便有望能增加佐證本研究的内容豐富性。參考文獻圖三十六中，看到頻率影響捉捕量。我們研究亦可加入機器學習，找出最適合誘導蚊蟲的頻率。
- 二、 監測並殺死飛行昆蟲的光學雷達系統：這種新穎的滅蟲方法透過雷達與雷射打下蚊子。此可以避免殺蟲劑對環境的影響以及抗藥性問題並降低成本。更重要的是，這套系統可以初步辨識不同生物群，能夠更精準的掌握昆蟲的動態，避免誤殺非目標昆蟲。這套光學雷達系統對昆蟲動態的精準掌握包括飛行高度分布等，對本研究十分有幫助。

總而言之，這些未來方向提升了本研究的參考價值，並提供了在將來可能的應用。



圖三十六、聲音頻率之於雄蚊捕捉 (圖片來源:參考文獻)

玖、參考文獻資料及其他

研究參考與圖片使用:

Rydhmer, K., Bick, E., Still, L. *et al.* Automating insect monitoring using unsupervised near-infrared sensors. *Sci Rep* **12**, 2603 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06439-6>

Tom Swan, Tanya L Russell, Thomas R Burkot, Jianyi Liu, Scott A Ritchie, Kyran M Staunton, The Effect of Sound Lure Frequency and Habitat Type on Male *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Capture Rates With the Male *Aedes* Sound Trap, *Journal of Medical Entomology*, Volume 58, Issue 2, March 2021, Pages 708–716, <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa242>

Nukala, Mrs & B, Venu & M, Sravan & RM, Deepthi & K, Gowtham. (2024). Enhancing Bird Species Identification using Deep Learning Models. *IJARCCCE*. 13. 10.17148/IJARCCCE.2024.134113.

McCulloch, M.T., Winter, A., Sherman, C.E. *et al.* 300 years of sclerosponge thermometry shows global warming has exceeded 1.5 °C. *Nat. Clim. Chang.* **14**, 171–177 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01919-7>

國家發展委員會：GIS 結合分析預測模式及情境規劃：民生公共物聯網之推廣應用

研究參考:

CARRINGTON, Lauren B.; SIMMONS, Cameron P. Human to mosquito transmission of dengue viruses. *Frontiers in immunology*, 2014, 5: 290.

鄧華真, 劉定萍, and 舒佩芸. 台灣地區登革熱病媒蚊分布調查與屈公病發生的可能性探討. 衛生福利部疾病管制署科技研究發展計畫. 計畫編號 DOH99-DC-2030. 台北: 衛生福利部疾病管制署, 2010.

Olano, Víctor Alberto, et al. "Schools as potential risk sites for vector-borne disease transmission: Mosquito vectors in rural schools in two municipalities in Colombia." *Journal of the American Mosquito Control Association* 31.3 (2015): 212-222.

Chan, K. L., N. S. Kiat, and T. K. Koth. 1977. An autocidal ovitrap for the control and possible eradication of *Aedes aegypti*. *Southeast Asian J. Trop. Med. Publ. Health* 8: 56-61.

Sithiprasasna R., Mahapibul P., Noigamol C., Perich M. J., Zeichner B. C., Burge B., Norris S. L., Jones J. W., Schleich S. S., Coleman R. E. 2003. Field evaluation of a lethal

ovitrap for the control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *J. Med. Entomol.* 40: 455-462.

Perich M. J., Kardec A., Braga I. A., Portal I. F., Burge R., Zeichner B. C., Brogdon W. A., Wirtz R. A. 2003. Field evaluation of a lethal ovitrap against dengue vectors in Brazil. *Med. Vet. Entomol.* 17: 205-210.

Barrera, Roberto, et al. "Use of the CDC autocidal gravid ovitrap to control and prevent outbreaks of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)." *Journal of medical entomology* 51.1 (2014): 145-154.

Ritchie, Scott A., et al. "An adulticidal sticky ovitrap for sampling container-breeding mosquitoes." *Journal of the American Mosquito Control Association* 19.3 (2003): 235-242.

Allan, Sandra A., and Daniel L. Kline. "Evaluation of organic infusions and synthetic compounds mediating oviposition in *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)." *Journal of chemical ecology* 21 (1995): 1847-1860.

Wenbiao Hu, Shilu Tong, Kerrie Mengersen, Brian Oldenburg, Rainfall, mosquito density and the transmission of Ross River virus: A time-series forecasting model, *Ecological Modelling*, Volume 196, Issues 3–4, 2006, Pages 505-514, ISSN 0304-3800

Joshi, Ananya, and Clayton Miller. "Review of machine learning techniques for mosquito control in urban environments." *Ecological Informatics* 61 (2021): 101241.

L. Chun-Hung, L. A. An-Zhe, L. Yu-Hsin, L. Guan-Hsiung and Y. Wu-Chuan, "Vision-Based Gait Analysis for the Detection of Drug-Induced Parkinsonism (DIP)," 2024 IEEE Annual Congress on Artificial Intelligence of Things (AIoT), Melbourne, Australia, 2024, pp. 160-165

Joseph, Tomy Muringayil, et al. "3D printing of polylactic acid: recent advances and opportunities." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 125.3 (2023): 1015-1035.

Li, Y., Zhou, G., Zhong, S. et al. Spatial heterogeneity and temporal dynamics of mosquito population density and community structure in Hainan Island, China. *Parasites Vectors* 13, 444 (2020).

Lee, J.M., Wasserman, R.J., Gan, J.Y. *et al.* Human Activities Attract Harmful Mosquitoes in a Tropical Urban Landscape. *EcoHealth* 17, 52–63 (2020).

Dahlin, Kyle J.-M., Suzanne M. O'Regan, Barbara A. Han, John Paul Schmidt, and John M. Drake. 2024. "Impacts of Host Availability and Temperature on Mosquito-Borne Parasite Transmission." *Ecological Monographs* 94(2): e1603.

Baril, C., Pilling, B.G., Mikkelsen, M.J. et al. The influence of weather on the population dynamics of common mosquito vector species in the Canadian Prairies. *Parasites Vectors* 16, 153 (2023).

【評語】 200008

本研究利用 3D 列印製作誘蚊器，並結合氣象數據來建立預測蚊子密度之模型。動手實作的能力值得肯定，其成果亦具公衛應用價值。建議可增加蚊種辨識，並將出現病媒蚊之警訊加入功能之中。