

植物監測網路及AI識別應用於臺灣植物物候監測的潛力

張勵婉¹、余尚鈺¹、蘇塏瑞²、陳建文³、鄭美如⁴

植物物候監測的發展

人類為了能有效利用植物進行農業上的生產，因此開始觀察植物四季的形態變化，以找出其生長、開花、結果的週期。在遙遠過去的農耕時代，中國等古代文明就將植物、環境的變化記錄在曆法上，以此作為農耕收穫的參考，為最早對植物監測的應用。現今植物監測的研究除了農耕的需求外，在自然保育的應用上變得非常重要。藉由觀察植物在自然或人為擾動下的形態變化，可以評估植物或生態系需要進行保育或處置的迫切性；觀察植物在長期氣候下的形態變化，則可以了解植物及生態系受到氣候變遷影響的程度。植物監測的重要性與日俱增，為了因應不同目的需要，進而發展許多調查方法。在大尺度下使用衛星影像產生的常態化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)或增揚植生指標(Enhanced Vegetation Index, EVI)監測景觀綠化及環境變化的狀況；在中尺度多採用網路攝影機影像產生的EVI或相對綠度指數(Green Chromatic Coordinate, GCC)評估植物社會、物種的生長狀況；在小尺度下則使用人工定期調查物種或單株植物的形態變化。

然而不論任何監測植物的方法，在初期建置系統及後續的調查作業皆須消耗龐大的

成本。為了能夠降低成本及讓各種植被類型能盡量被監測，近年來多處推動植物監測網路，以提供自動、近地面的遙感監測。在小尺度的調查上，得益於電腦圖形運算能力的提升，使得人工智慧(Artificial intelligence)能夠有效且準確地應用於植物形態上的辨識，降低人工識別上的誤差。

各國的植物物候感測網絡

日本的物候感測網絡

日本為了解決衛星遙感無法觀測到複雜地形與植被導致的異質植物物候，其將傳統物候、指標樹種、近地表和衛星遙感監測以及民眾參與(市民的觀察)的資料整合進網路平台，以支持研究及自然教育推廣。該植物監測網路包括由日本生物多樣性中心負責設置在各國家公園境內的自然資訊系統網路(<http://www.sizenken.biodic.go.jp>)，其目標為景觀尺度(200~1,000 m)；物候眼網路(Phenological Eyes Network, PEN, <http://www.pheno-eye.org>)，其亦有對森林和草原冠層進行自動定點光譜測量，以提供植被指數數據；及主力支持大學森林研究的森林網路(Cyberforest, <http://landscape.nenv.k.u-tokyo.ac.jp/cyberforest/Welcome.html>)，PEN及Cyberforest的目標為單株樣木到景觀尺度(20

¹ 林業試驗所·森林保護組

² 林業試驗所·蓮華池研究中心

³ 林業試驗所·植物園組

⁴ 林業試驗所·技術服務組

cm~1,000 m)。以上網路每天皆會在其網站上發布物候監測圖像(Shin Nagai, 2016)。

澳洲的陸地生態系統研究網絡

澳洲為乾旱的大陸，其土地利用、入侵物種及氣候極端變化下應會對生態系統造成嚴重影響。為了因應威脅，當地的生態及環境科學家制定《澳大利亞生態系統科學長期計劃》，指出澳洲需要長期定量數據集來監測區域和大陸尺度的長期動態變化。由澳洲政府資助的基礎設施計劃——陸地生態系統研究網絡(Terrestrial Ecosystem Research Network, TERN)，透過網路連接衛星影像、近地監測及微氣候資料，目的為建立大陸規模的生態數據收集。TERN讓科學家能夠量化澳洲生態系統隨時間的變化，其包含動物、植物、陸地生態系統、生態動態變化、地表和土壤、農業生態系統、海岸、氣候觀測和通量的資訊，TERN創建期間更開發SuperSite網路。SuperSite是利用植被、動物及生物物理監測來建立對生態系統功能和生物群落變化的了解，並將其與通量塔提供的植物生理數據結合。

歐洲的物候網絡

歐洲有許多研究學者及業餘人士都在參與物候監測及研究，這些研究累積許多長期生物監測資料，提供重要的氣候及生態系統資訊。然而，研究人員發現生物監測及資料的使用在預測及評估歐洲的物候變化效率極低。其原因是：(1)現有的各地區物候監測網路合作交流有限。(2)無法知道哪些數據可以被使用、定義，與蒐集使用的技術及品質。(3)無法有效率地整合現存知識及不同技術(生

態學、農業)獲得的監測資料。(4)對物候數據的潛在應用認識不足和意識不足。因此歐盟推動歐洲物候網絡(European phenological network, EPN)，並由來自七個國家的13個合作夥伴參加，其目的為「改善氣候引起的物候變化及其在歐洲影響的監測、評估和預測」，主要目標是提高物候學的效率及附加價值，並促進歐洲成員國在物候數據的使用中，能評估全球氣候變化的影響和可能的因應措施。

美國的物候監測網絡

Phenocam網路成立於2008年(<https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>)，即是為了研究景觀到冠層尺度植物物候所產生的一項監測系統，來自北美各地的400多個攝像機的圖像跨越了廣泛的生態區域、氣候帶和植物功能類型。其功能為提供美國和加拿大周邊森林生態系統中植物物候的自動監測資料，達成物候學研究的廣泛應用及科學教育普及的目的。利用Phenocam作為植物物候的監測工具，僅需利用一般網路攝影機作為取樣工具，使得物候長期觀測易於操作。

人工智慧應用在植物監測的案例

在冠層尺度上的植物物候監測，Jurandy博士等人利用多尺度分類(multi-scale classifier, MSC)的機器學習方法分析巴西塞拉多熱帶稀樹草原冠層的組成樹種，其發現不同植物呈現的顏色不同，因此利用機器學習來了解植物社會的物種組成是可行的，而且早晨及下午的光線最適合用來做樹種識別。

在小尺度上為了實現快速、詳細和重複分析的自動化植物形態辨識，Correia博士等

人提出了一種機器學習和計算機視覺技術的框架，以卷積類神經網絡(Convolutional neural networks, CNNs)嘗試辨識相片中膠冷杉(*Abies balsamea*)及黑雲杉(*Picea mariana*)花芽的位置及數量。其方法具有極高的效率，且比人工分析更快、更準確，能夠將處理時間從幾天減少到一個小時以下，適合作用於生態圖像數據的大規模和長期分析。

臺灣發展環境感測網絡及AI應用於物候監測

臺灣目前並無建置全台的環境感測網絡以及利用人工智慧進行物候監測的項目，因此我們嘗試探討其在臺灣的可行性。我們選擇臺北植物園的荷花池作為試驗對象，荷花池長約115 m，寬約85 m，池內有種植的荷花(*Nelumbo nucifera*)及另有其他水生植物，包括大萍(*Pistia stratiotes*)、粉綠狐尾藻(*Myriophyllum aquaticum*)、布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)及人厭槐葉萍(*Salvinia sp.*)等。我們利用林業試驗所生態感測展示平台網路(<https://iesn.tfri.gov.tw/forestDW/Lotus/BigPhoto>)所展示的荷花池全景照片，再使用Phenocam軟體分析荷花池在四季的顏色變化，全景照片皆由池邊長堤上之植物棚架設的監視攝影機所拍攝。Phenocam軟體由一般相機所拍攝的照片中提取其顏色的數位號碼即可分析該景觀的綠化程度，GCC越高表示景觀綠化的程度越高，我們可以由圖1看到荷花池內的植物在2017年變化符合GCC所呈現的散布圖，該方法在擾動對植群影響上的研究亦有所幫助。我們選定2020年2月苗栗新埔的火燒跡地進行拍照試驗，其程式亦可分

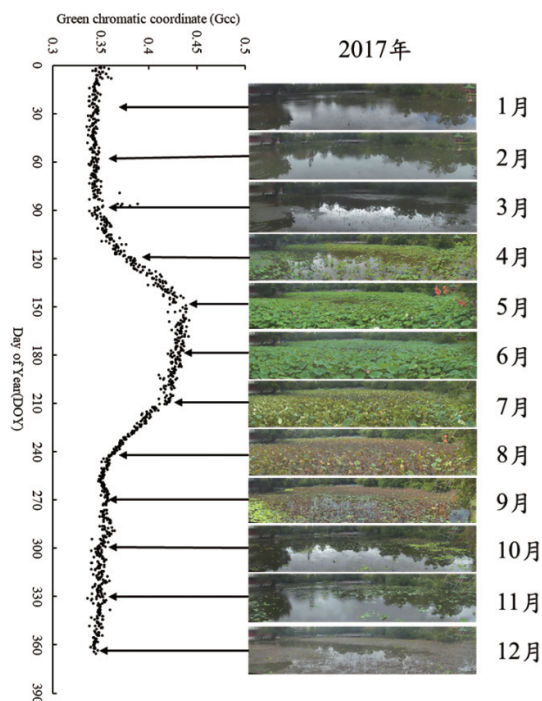


圖1 臺北植物園荷花池相對綠化指數在2017年的變化分布。(余尚鈺 製作)

析出當地植群由火燒到復原所需的時間，如圖2所示。整體而言，Phenocam作為中小尺度植物物候的判斷具有一定的準確度，且僅需要固定位置長時間拍攝照片及簡易的軟體操作，更降低了資料蒐集及分析的難度，可作為植物物候監測網絡的分析工具。

此外，我們也利用建置在CNN框架下的YOLO v3物品辨識程式來進行荷花的辨識訓練，在經過11,000次的辨識訓練之後，該程式辨識荷花的準確度達到81%，再將荷花池照片匯入進行辨識測試，可以看到圖3中的荷花能被完整地框選出來。

結語

我們的初步試驗顯示不論在利用Phenocam作為植物物候監測網絡的分析工具，還是利用AI進行小尺度的植物物候識別皆是可行的。目前臺灣各地皆設有自動監測系統，並且4G網路覆蓋度極高，公路局、各大風景區(不

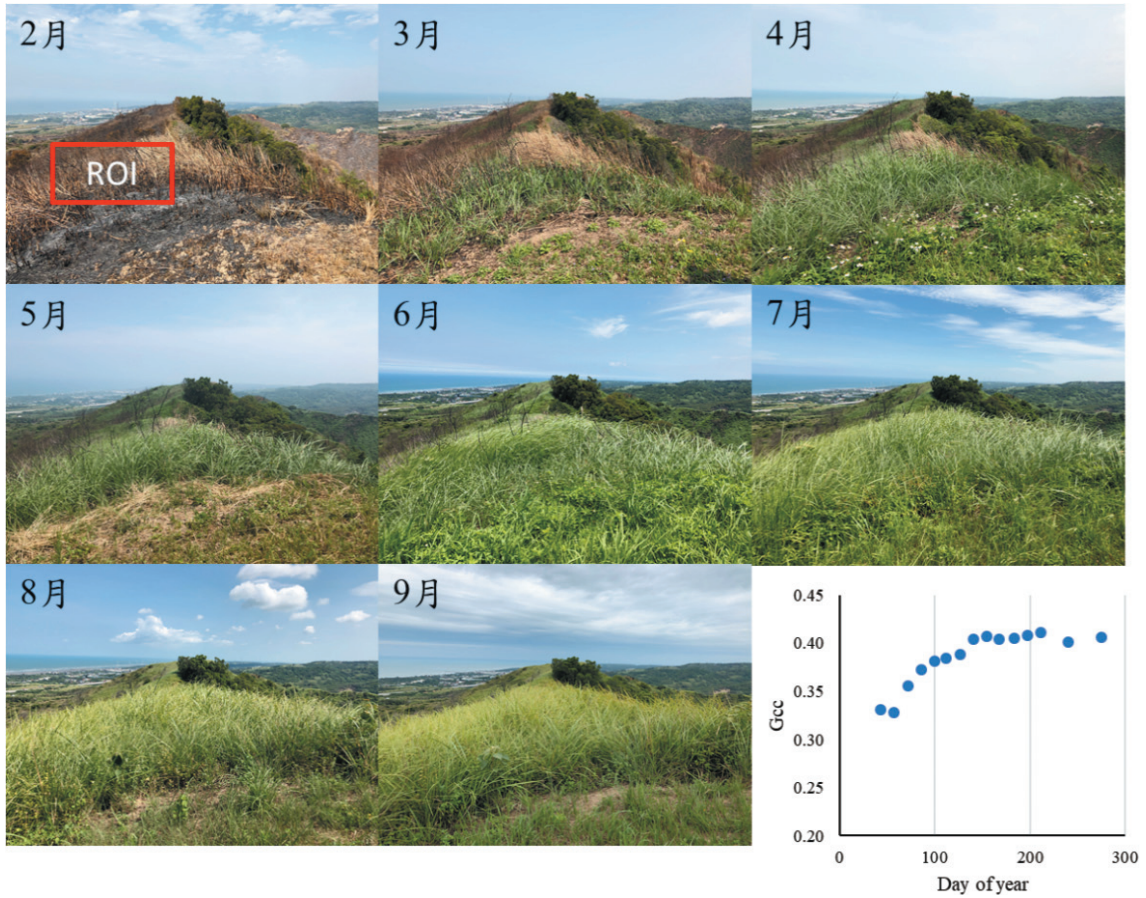


圖2 苗栗新埔在2020年的火燒跡地植群變化。ROI：選定的分析範圍。(余尚鈺 攝)



圖3 YOLO v3辨識荷花成果。(蘇埜瑞 製作)

同海拔、不同生態棲地)、國家公園皆有及時上傳網路攝影機所拍攝的影像資料供民眾閱覽，顯示我國已具有發展物候監測網絡的潛力。然而，在發展物候監測網絡上仍有幾個問題需要解決：(1)單位僅提供即時影像，無法在網站上追溯過去幾年的長期影像資料。(2)影像資料

提供的屬性資料缺乏，使得資料的取得不易利用。(3)各單位的影像無整合，無法有效率比對全台不同生育地的影像資料。(4)目前尚無能簡易操作的人工智慧識別程式。因此未來希望能夠解決上述問題，開創臺灣在植物物候學術研究上進一步的發展以及推廣民眾共同參與。⊗