

出國報告（出國類別：實習）

美國奧克拉荷馬大學交流參訪 報告書

服務機關：交通部中央氣象署

姓名職稱：王品翔技士

派赴國家/地區：美國/奧克拉荷馬州諾
曼市

出國期間：112年9月15日至11月21日

報告日期：113年2月21日

摘要

本次交流參訪行程，造訪了位於美國中西部氣象研究重鎮奧克拉荷馬州的奧克拉荷馬大學，而原定於10月24至27日的 NOAA 第48屆氣候診斷及預報研討會因颶風影響而取消並延期，本次交流遂於奧克拉荷馬大學進行2個半月的交流研習，包括學習程式語言以應用於氣候資料計算研究。

研究主題為探討臺灣的出梅預報指標，過程中與指導教授 Kathy Pegion 合作。由於梅雨季長短對臺灣的水情影響甚鉅，因此本研究期望透過分析梅雨季至夏季之間的大氣環流演變特徵，以此研發梅雨季出梅指標，作為梅雨季出梅之月季預報的預報指引。本研究透過臺灣13站平地降雨資料與 ERA5再分析資料進行相關性計算後，透過垂直緯向風切以及500hPa 高度場2變數，定義1組出梅指標，當梅雨季時期2指標均達到彼此門檻值以上以及維持超過一候，即定義為出梅。透過1971-2023年的梅雨季資料校驗結果，該指標能初步有效反映梅雨季結束時期的雨量驟減、太平洋高壓西伸以及梅雨鋒面北抬等過程。

目次

一、目的	1
二、過程	2
三、心得與建議	19
附錄.....	20

一、目的

為提升交通部中央氣象署(以下稱本署)於短期氣候監測及預警能力、推動臺美氣象預報系統發展技術合作發展氣象資訊之智慧應用服務計畫，本次由王品翔技士前往美國奧克拉荷馬大學氣象學院由 Kathy Pegion 教授主持之地球系統預測實驗室進行參訪訓練，過程主題聚焦在程式語言學習訓練以應用於氣候資料計算研究，並以研發出一套能用於預報梅雨季出梅時段的月季預報指標作為目標。期望能和各國氣候預報作業及研究人員、學者進行交流與學習，提升我國氣候監測及預報能力，並且掌握國際上氣候預報作業發展。

二、過程

(一)、奧克拉荷馬大學簡介

此次至奧克拉荷馬大學進行參訪交流的行程如下：

出國事由： 1.前往奧克拉荷馬大學參訪研習。 2.參加2023年NOAA第48屆氣候診斷和預測研討會。		出國期間： 112年9月15日~112年12月3日
		到達國家： 美國(奧克拉荷馬州奧克拉荷馬市) (佛羅里達州塔哈拉西市)
日期	地點	工作摘要
112年9月15日	臺北-奧克拉荷馬市	啟程
112年9月16日至11月21日	奧克拉荷馬市	奧克拉荷馬大學參訪研習
112年11月22日至12月3日	奧克拉荷馬市-臺北	個人休假及回程(辦理事、休假，回程：12/1-12/3)

本次出訪於中部時間9/15晚間抵達奧克拉荷馬州諾曼市後於友人宿舍居住，開始未來2個半月的研習過程。研習的過程從9月18日後開始，9月18日上午先前往奧克拉荷馬大學的人力資源中心向 Megumi Wilson 小姐進行報到作業。過程中不僅就簽證及報到相關行政流程進行確認，同時 Megumi Wilson 小姐亦親切的向王員介紹校園歷史及環境。

奧克拉荷馬大學成立於1890年的奧克拉荷馬領地，該校乃是被列為研究型導向的 R1 級大學（美國卡內基高等教育基金會（Carnegie Classification of Institutions of Higher Education）的大學分類，R1 級大學意為「最高度的研究活動(Doctoral

Universities - Very high research activity)」的研究型大學)，於2023年末擁有師生超過35000名，每年的研究項目總額達數億美元。而其成立所在地奧克拉荷馬州在傳統上為印地安人領地，也因此在建築上融合了歐洲的哥德式風格以及美洲原住民的部落設計，吉祥物亦為擁有濃厚西部拓荒風格的篷車，校園內建築景觀如下圖

1：



圖1. 奧克拉荷馬大學校內景觀。

其後來到位於諾曼校區南端的國家天氣中心（National Weather Center, 下稱 NWC）報到。NWC 為 NOAA、奧克拉荷馬大學等機構組織共同營運，內有

NOAA 轄下的國家強風暴實驗室(NSSL)、風暴預報中心(SPC)以及奧克拉荷馬大學氣象學院(OU SoM, 下稱 SoM)等等機構。奧克拉荷馬大學位於風暴好發的中西部，因此在 NWC 內有著許多與劇烈天氣預測及研究相關之機構，著名電影（龍捲風）中的電影道具亦陳列於 NWC 內，足見奧克拉荷馬大學在劇烈天氣研究領域上的重要性。NWC 景觀如下圖：



圖2. NWC 景觀（上：NWC 建築外觀。下：電影（龍捲風）中的電影道具）。

在接下來兩個半月的研習過程中，王員的辦公室位於 NWC 5樓的 SoM 內。期間與指導教授 Kathy Pegion 進行研習期間的工作內容討論。由於10月中旬前校內超級電腦權限尚未開通，本次交流工作內容將聚焦於臺灣地區出梅環境分析的研究。

（二）、研究主題介紹及文獻回顧工作

由於梅雨季節的強降雨常引發災害，但如果梅雨降雨不明顯，或梅雨季節太短，可能導致來年乾旱。因此如能建立1套指標用以預報梅雨季節何時結束，對於水情預測將十分有幫助。而當前本署有1套用以預測梅雨季節發生豪大雨的預報指標，爰本次研習工作內容就主要聚焦於臺灣地區出梅指標的建立上。

在本次交流研習過程中，針對臺灣地區出梅指標的建立研究上，王員與指導教授 Kathy Pegion 進行了多次關於如何定義指標的討論，在9月下旬至10月上旬的討論中，王員針對過往臺灣的梅雨指標相關研究進行回顧及分享。在梅雨季節預報指標部分，本署現行的梅雨季節豪大雨預測指標上，採用的乃是 Chen (2011) 研究中所提出的透過定義垂直風切指標以及水平風切指標來評估梅雨季節的豪大雨發生機率，在研究中利用1948-2002年5月垂直風切 $V_{\text{shear}} (U_{850} - U_{200})$ 、水平風切 $H_{\text{shear}} (\Delta U_{850})$ 和臺灣西部12個氣象站累積雨量之相關係數，對臺灣地區於梅雨季期間發生豪大雨時期環流場上的主要相關區特徵及分布進行分析，如圖

3所示。研究中透過高相關係數 (>0.4) 區域定義垂直風切指標 $V_{\text{shear}} = U_{850}(12.5^\circ - 20^\circ\text{N}, 110^\circ - 130^\circ\text{E}) - U_{200}(12.5^\circ - 20^\circ\text{N}, 110^\circ - 130^\circ\text{E})$ 、水平風切 $H_{\text{shear}} = U_{850}(17.5^\circ - 22.5^\circ\text{N}, 115^\circ - 125^\circ\text{E}) - U_{850}(25^\circ - 30^\circ\text{N}, 110^\circ - 120^\circ\text{E})$ ，定義上當兩指標同時轉為正值，臺灣地區發生豪大雨的可能性便隨之增加。同時，在 Chen (2011) 研究中，針對該兩指標進行了背後物理意義的探討，關於水平風切指標上，由於南海季風肇始過程中，每年季風路徑並無規律性，因此水平風切雖可反映臺灣附近的大氣穩定度變化，然其對於臺灣附近大氣環流型態轉變不見得能夠有效反映。相反的，垂直風切的定義設計，可以較有效的掌握整個夏季季風環流圈的演變；由於其設計上將高低層風場均納入，換言之其數值之變化能夠有效的反應低層西南風肇始、高層出現南亞高壓環流的”夏季季風環流成型”過程，對於大尺度的季節環流演變有很好的指示作用。故在本研究中，預計採納用來預報臺灣地區出梅的指標，亦將採用 Chen (2011) 研究的概念，將能夠掌握大尺度環流演變的垂直風切概念引入到出梅預報指標中。

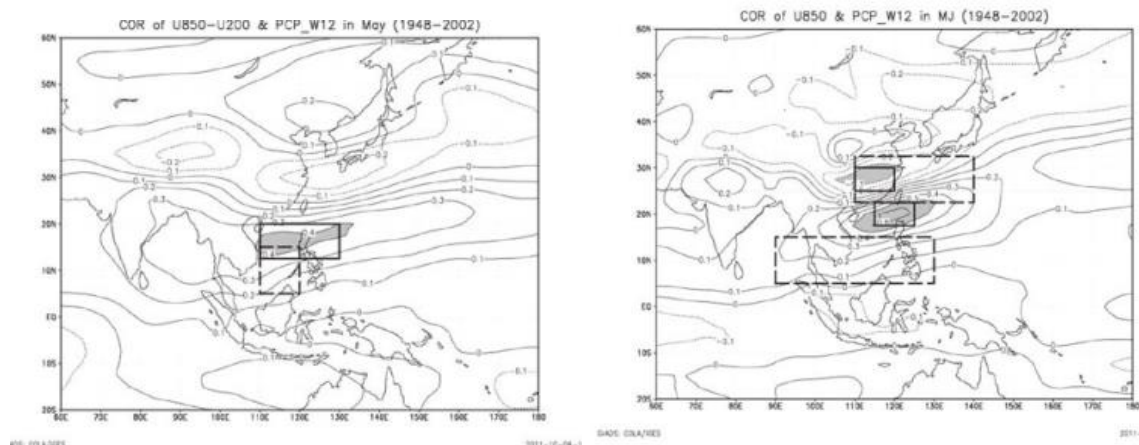


圖3. Chen (2011) 利用1948-2002年5月垂直風切 $V_{\text{shear}} (U_{850} - U_{200})$ (圖3左圖)、水平風切 $H_{\text{shear}} (\Delta U_{850})$ (圖3右圖) 和臺灣西部12個氣象站累積雨量之相關係數分布圖。

此外，梅雨季結束代表整個大氣環流逐漸脫離中緯度西風系統影響、夏季季風環流發展成熟，正式進入由副熱帶高壓影響為主的夏季大氣狀態。在東亞，梅雨鋒面雨帶會隨著季節逐步北抬，對臺灣及中國華南一帶而言，梅雨鋒面北抬進入夏季，意味著中國長江流域至日本一帶梅雨季的開始。因此在臺灣地區梅雨季結束時期（中國長江入梅時期），副熱帶高壓的動態尤為重要。在 Qiang and Yang（2008）針對中國華南前汛期（亦即臺灣所稱之梅雨季）開始及結束的平均時間以及環流場演變上的探討發現，副熱帶高壓的西伸北抬過程，是華南前汛期結束的重要指標，在華南前汛期結束時，500hPa 副熱帶高壓脊除了西伸至120°E 以西的南海北部外，更會伴隨明顯的”北跳”現象，亦即脊線出現一次明顯越過20°N 的過程，如圖4所示。

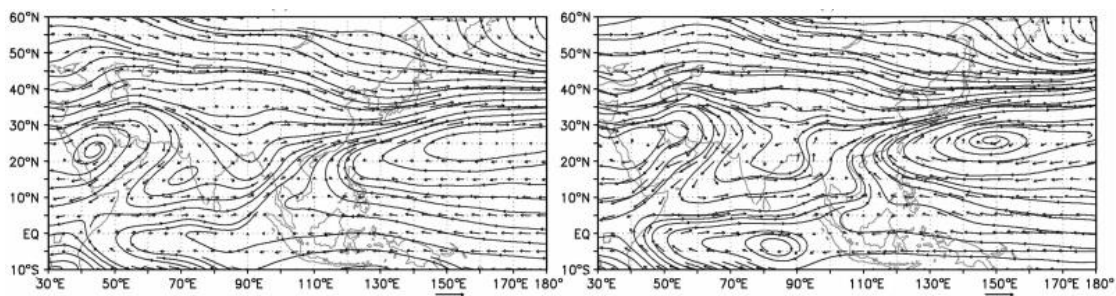


圖4. Qiang and Yang（2008）中對於華南前汛期（臺灣梅雨季）結束前一候（圖4左圖）以及結束後一候（圖4右圖）的500hPa 高度場及流線場的氣候平均分析。

因此，本研究在指標設計上，著重於突顯”出梅”這個大氣環流往夏季型態演變的過程，將設計一組能有效突顯夏季季風環流發展成熟、副熱帶高壓增強北抬等兩個象徵出梅入夏最主要過程的量化指標，做為出梅預報參考。

透過前述文獻探討，本研究中的研究概念及參考資料簡述如下：先利用臺灣13個平地站（基隆、宜蘭、淡水、臺北、新竹、臺中、臺南、高雄、花蓮、成功、臺東、大武、恆春等氣象站）自1991至2020年的5-6月日均雨量變化定義氣候上臺灣地區的出梅日期區間，再利用該區間為基礎，透過 ERA5再分析資料得到此時期東亞大氣環流特徵資訊，再利用上述環流特徵資訊定義出梅指標，整體研究概念邏輯如下圖5所示：

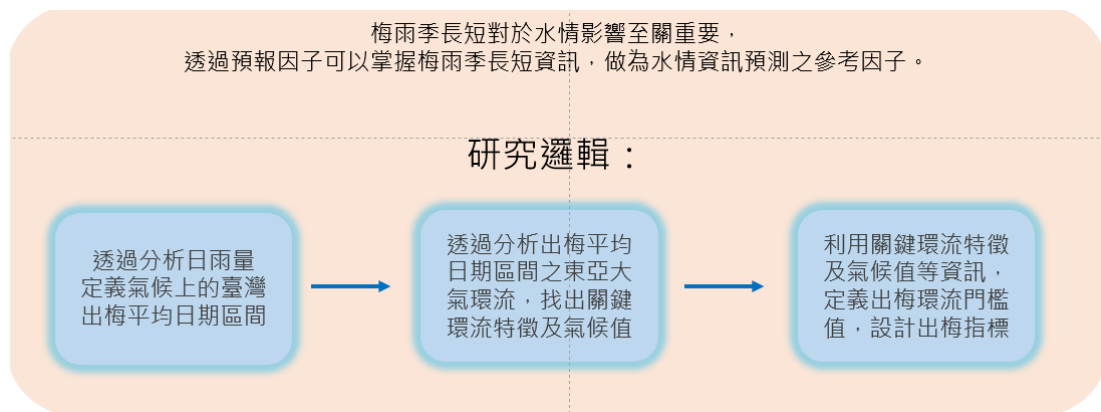


圖5. 臺灣地區出梅指標研究概念邏輯。

（三）、研究結果

在研究過程中，首先透過臺灣13個平地站自1991至2020年的5-6月日均雨量變化定義氣候上臺灣地區的出梅日期區間，雨量分析結果如下圖所示，透過5日平均定義出13站每一候（5日）的平均雨量氣候值，可以得出在5-6月之間的不同候平均雨量，並得出整個梅雨季期間的平均雨量值，為7.8mm。故在本研究中，以7.8mm為基準，定義5-6月13站5日均雨量第1次達到7.8mm以上為入梅候，其後第1次低於7.8mm為出梅候。研究中定義出的入梅區間約為5月第4候（5/16-

5/20)，出梅區間約為6月第5候（6/20－6/24），1991至2020年的13站5-6月每候平均雨量變化圖如下圖6所示：

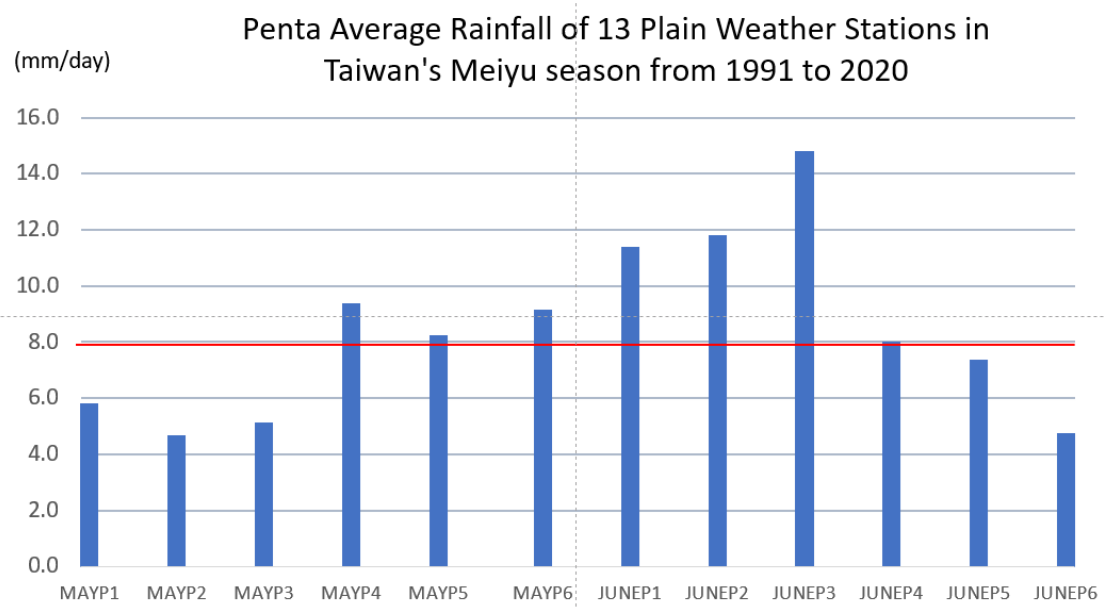
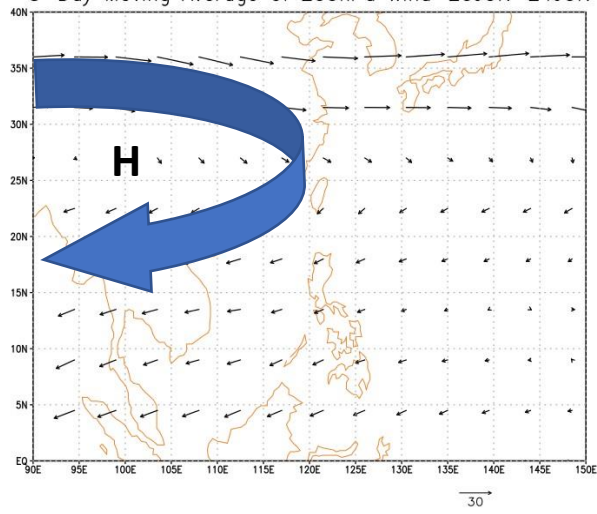


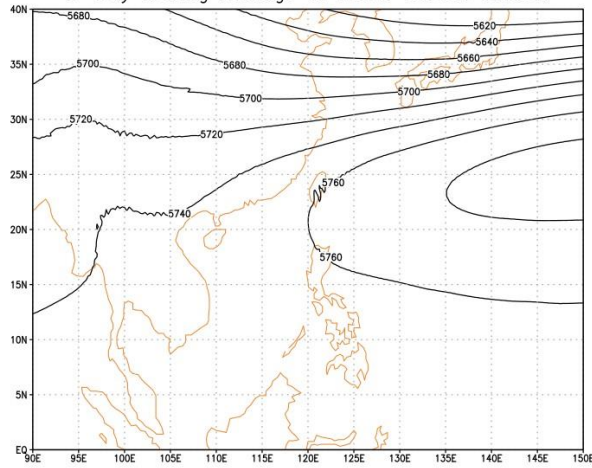
圖6. 1991至2020年的13站5－6月每候平均雨量變化圖（藍直條），紅線為整個梅雨季期間的平均雨量值，為7.8mm。

在得到氣候上的平均出梅區間（6月第5候（JUNEP5））之後，本研究則利用此區間做基準，透過 ERA5再分析資料對此時期東亞大尺度大氣環流場特徵進行分析，以了解此時期東亞大尺度大氣環流場型態與臺灣地區降雨型態改變的關聯。分析的層場包含此時期的東亞平均降雨量、850hPa 的平均風場、500hPa 平均高度場以及200hPa 平均風場。如下圖7所示：

5-Day Moving Average of 200hPa Wind-20JUN-24JUN



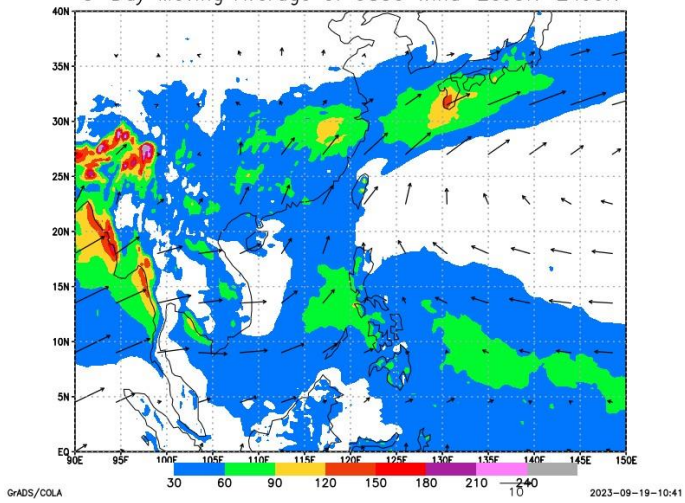
5-Day Moving Average of H500-20JUN-24JUN



GrADS/COLA

2023-09-20-00:29

5-Day Moving Average of U850 Wind-20JUN-24JUN



GrADS/COLA

2023-09-19-10:41

圖7. 6月第5候的東亞各層大氣環流場，上為200hPa 平均風場、中為500hPa 平均高度場、下為東亞平均降雨量疊加850hPa 的平均風場。

透過上述針對6月第5候的東亞各層大氣環流場分析發現，在降雨型態上，主要梅雨帶已經來到長江及日本一帶，臺灣一帶已非主要降雨區域，且在低層850hPa 風場上臺灣至長江以南均已位於西南風區域。500hPa 平均高度場分析則顯示太平洋高壓脊已經抵達北緯20度，影響臺灣。200hPa 平均風場分析則顯示，高層南亞高壓環流（圖7上圖藍弧箭頭區）則已大致位於青藏高原上發展，臺灣上空200hPa 則為高層南亞高壓反氣旋風場，顯示高層南亞高壓已經達到成熟期。西南季風也來到長江以南、可預期長江以南低層到高層出現西南垂直風切，亦即夏季季風環流圈進一步發展成熟。透過以上分析可知500hPa 副高脊影響臺灣、低到高層有西南垂直風切為此時期臺灣最主要的環流特徵。

故此時已經掌握了臺灣平均出梅時期的東亞平均大尺度環流特徵，在接下來的研究中，利用前述之1991-2020的6月第5候（JUNEP5）臺灣13站降雨資料計算和6月第5候的500hPa 高度場以及緯向風垂直風切（850hPa - 200hPa）風場相關性，找出定義梅雨指標的關鍵區域，6月第5候的緯向風垂直風切（850hPa - 200hPa）風場以及500hPa 高度場相關係數分布如下圖8所示：

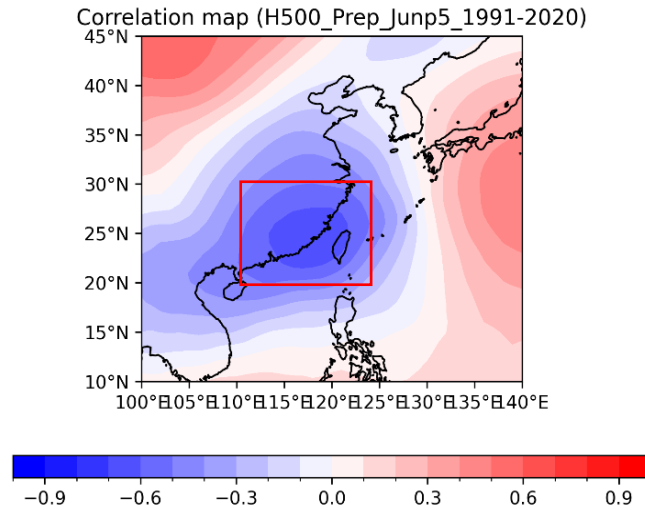
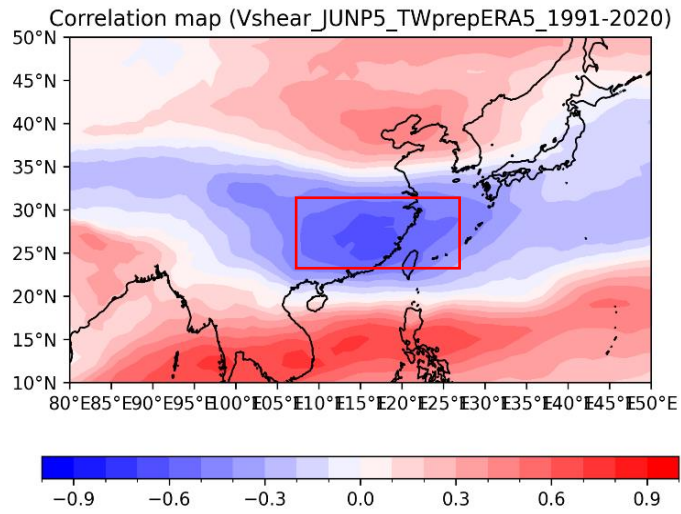


圖8. 6月第5候的緯向風垂直風切（850hPa - 200hPa）風場（上圖）以及500hPa 高度場相關係數（下圖）分布，紅框為負相關係數在-0.6以下之區域。

圖8的藍色區域表負相關，代表當高度場呈現上升趨勢、地面到高空有偏西風風切，臺灣地區雨量則減少；紅色區域表正相關當高度場呈現上升趨勢、地面到高空有偏西風風切，臺灣地區雨量則增加。而從相關係數分布圖顯示，緯向風垂直風切（Vshear）以及500hPa 高度場（H500）的強負相關區（負相關係數達到-0.6

以下之範圍。 $V_{\text{shear}} = U_{850} (23^\circ - 32^\circ\text{N}, 107^\circ - 127^\circ\text{E}) - U_{200} (23^\circ - 32^\circ\text{N}, 107^\circ - 127^\circ\text{E})$ 、 $H_{500} = (20^\circ - 30^\circ\text{N}, 110^\circ - 125^\circ\text{E})$ 於此時期均大致涵蓋長江以南至臺灣一帶，亦即當此時期臺灣附近大氣有副高脊影響、低層的西南風場北進到長江以南一帶，臺灣降雨則呈現緩和。

透過前述分析，可以知道當低層西南風場北進至長江以南一帶、副高脊影響臺灣地區，即構成臺灣出梅的環流特徵，然而若是要量化指標，則必須釐清此時期平均的垂直西風風切以及副高影響之下的重力位高度氣候值，並將此氣候值做為門檻，並考量持續性（至少一候），定義當垂直西風風切以及高度場達到氣候門檻值以上並維持一候，作為出梅定義。

下圖9即為負相關係數達到-0.6的區域，其每候垂直西風風切以及高度場值減去5-6月氣候平均值的每候變化圖，可以看出出梅時期500hPa 高度場與垂直風切的氣候距平值分別為7.8gpm & 10m/s，即為出梅指標門檻值。

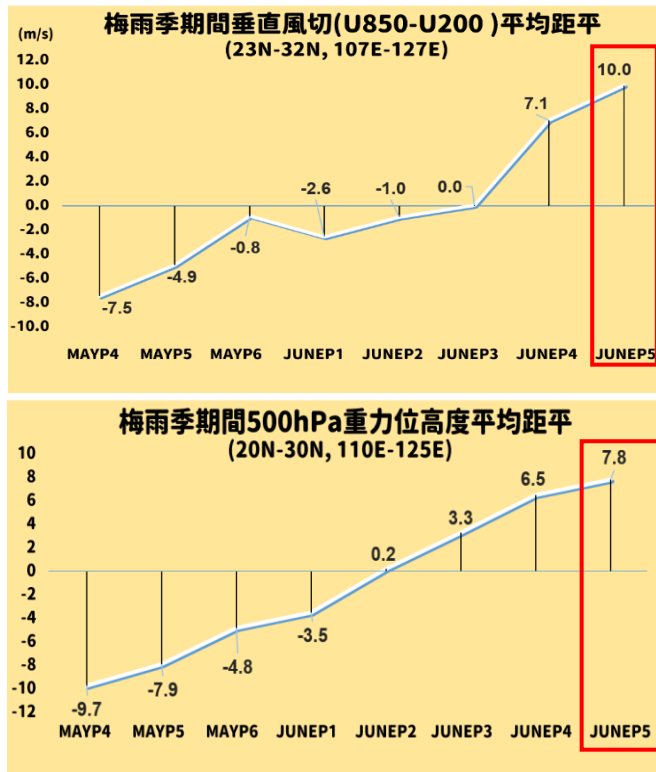


圖9. 負相關係數達到-0.6的區域，其每候垂直西風風切以及高度場值減去5-6月氣候平均值的每候變化圖，紅框即為6月第5候的距平值。

透過上述分析得到的梅雨指標關鍵區域以及門檻值，本研究初步建立出了1套可以用以反映臺灣於梅雨季結束時期的預報指標，在本研究定義中，將垂直風切以及重力位高度兩指標均同時達到門檻值以上並維持超過一候，則該候定義為出梅。在實際個案應用上，本研究利用1971-2023年等53年的臺灣地區13站日降雨資料，搭配垂直風切以及高度場指標進行梅雨季出梅結果之校驗比對。結果顯示可有效反應梅雨季最後一波滯留鋒降雨後，隨即雨量減小的出梅狀況，列舉任意6年梅雨季個案，如圖10所示。

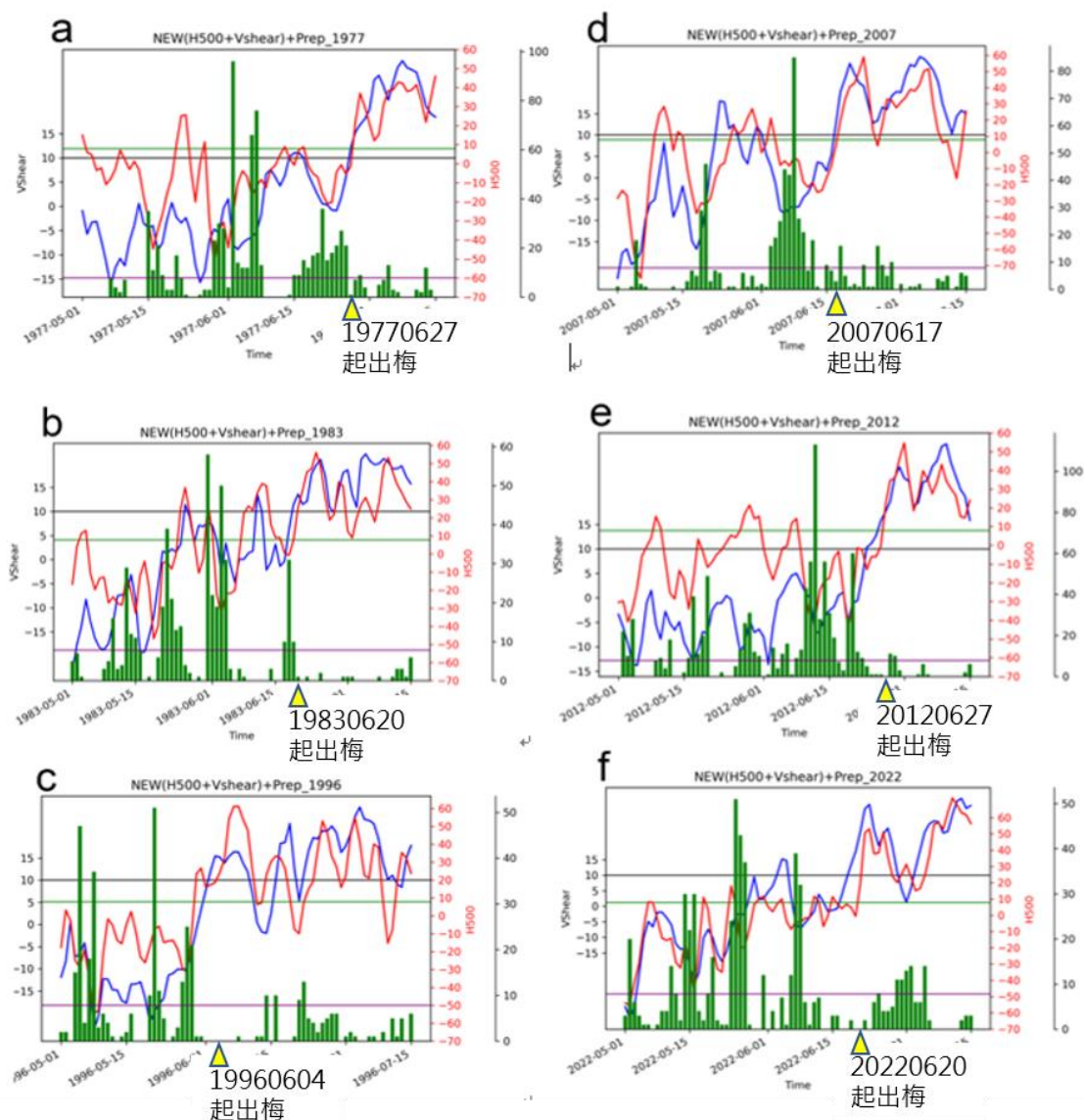


圖10. 列舉任6年之梅雨季降雨狀況與出梅指標示意圖，a-f 分別為1977、1983、1996、2007、2012、2022年，黑橫線為垂直風切門檻值（10m/s，垂直風切值顯示於左側座標），綠橫線為副高門檻值（7.8gpm，重力位高度值顯示於右側紅字座標）。藍（紅）折線分別代表垂直風切（副高）的每日變化，綠條為每日雨量值，雨量座標為最右側黑縱軸，依據指標計算得到之出梅日標示於橫軸。

以上為本次出訪期間的主要工作，在和 Kathy Pegion 教授合作過程中，她提供了王員在技術上的支援（python 程式語言的應用以及研究分析資料之提供），以及研究過程中各種寶貴意見，使得臺灣梅雨出梅指標初步架構得以完成。

（四）、參訪交流期間其他活動

而在此次赴美交流訪問過程中較為美中不足的是，原定將出席於10月24-27日於佛羅里達州塔拉哈希市舉辦的第48屆氣候診斷及預報研討會（NOAA 48th CDPW），因颶風 Idalia 侵襲破壞場地以致於研討會取消，延期至2024年3月24-26日於塔拉哈希市再次舉行，因此原定出席研討會期間續留於奧克拉荷馬大學繼續原參訪研習行程。研討會取消及延期公告如下圖11：

NOAA's 48th Climate Diagnostics & Prediction Workshop
Tallahassee, Florida, USA
26–28 March 2024

Workshop Announcement

UPDATE: 48th CDPW postponed to March 26–28 2024

Dear Colleagues,

Due to unforeseen circumstances, NOAA's 48th Climate Diagnostics & Prediction Workshop (CDPW) — originally scheduled from October 24–26 2023 — is postponed to 2024. The new dates are 26–28 March 2024. The workshop will still be held in Tallahassee, Florida, USA.

Thank you all who have submitted abstracts and registered for the workshop. If you are able to attend the workshop in March and you have already paid your registration fee, the fee will be automatically transferred to the new workshop dates, and you do not need to re-register or make any changes. If you are not planning to attend the workshop in March and wish to seek a refund, an unavoidable \$10 processing fee will be charged and the remaining amount will be credited. To cancel your registration and receive a refund, please email tm22u@fsu.edu. However, please note that response may be delayed due to Hurricane Idalia.

For those of you who have already submitted abstracts they have been received. Some of you may wish to update or withdraw your abstracts given the new workshop date. Please watch for further emails for how we will be handling already received and new abstracts.

We are aware that some of you may have already made travel arrangements. At present, we urge you to cancel your hotel reservations. You can rebook your hotel when we have new information on hotel reservations. Please watch for further emails on this also.

Thank you for your understanding and patience as we work to confirm logistics due to postponing. We also apologize for any inconvenience due to the change in workshop dates. Please watch for further emails as well as updates on this page. Information will follow for those of you who are planning to attend the workshop during the new dates.

We hope to see you in Tallahassee in March 2024.

Thank you,

Wassila Thiaw, Johnna Infanti, Arun Kumar, Jenna Meyers, and Vasu Misra

圖11. 第48屆氣候診斷及預報研討會取消及延期公告。

而於此次出訪期間，有幸參與到於10/14日於 NWC 舉辦的國家氣象嘉年華，這是一個科普性質的園遊會，老少咸宜，在當日的 NWC 中，不論是 NOAA 轄下各氣象預報、研究機構抑或是 SoM，均會進行擺攤活動，透過互動解說、小遊戲、實驗以及影片等方式與民眾互動，並推廣各種氣象預報、研究的相關知識，拉近科學研究與民眾的距離。同時當日亦碰上難得一見的日偏蝕奇景，現場並有向民眾解說日蝕成因以及發放觀測眼鏡，活動可謂十分充實，園遊會花絮如下圖 12。

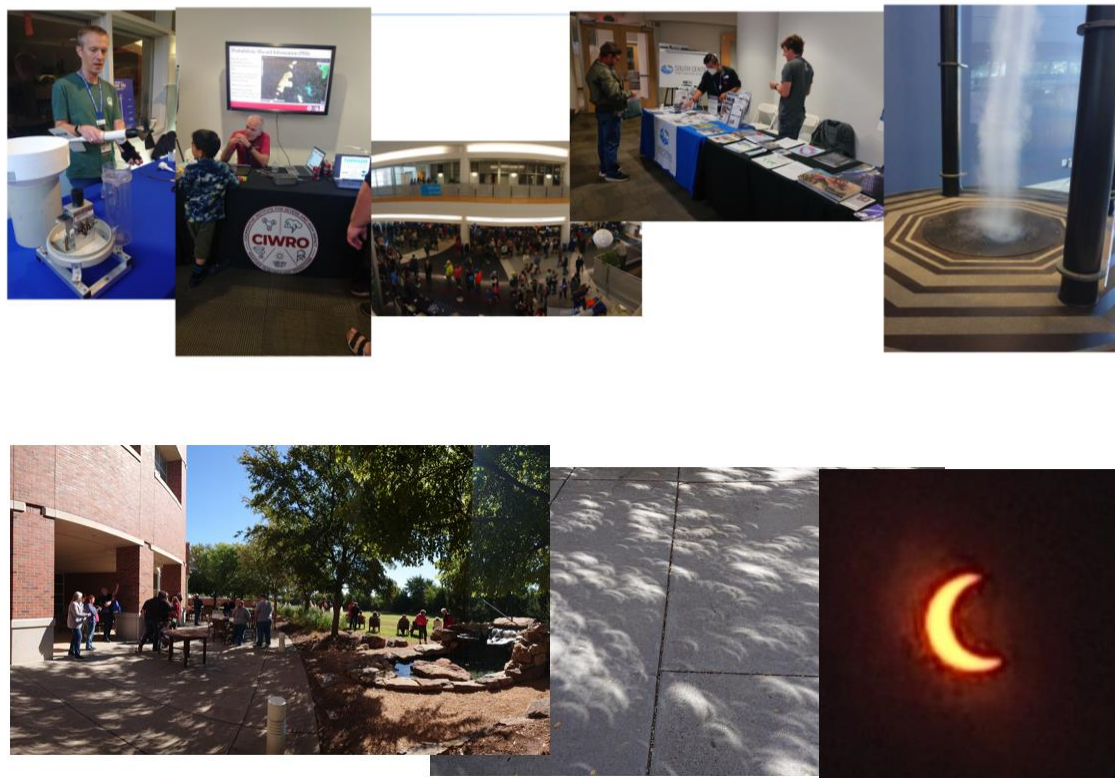


圖12. 上排為 NWC 氣象嘉年華活動花絮，下排為當天日偏蝕觀測活動。

整體的參訪行程在11月21日結束，由於隔天起即為美國感恩節連假，21日傍晚在 NWC 由 SoM 舉辦感恩節餐會（圖13），在感恩節餐會中溫馨愉快的氣氛中結束了此次赴美交流行程。



圖13. NWC 感恩節餐會交流花絮。

三、心得與建議

本次出訪交流，在美國奧克拉荷馬大學度過了相當充實的研究時光，也透過和 Kathy Pegion 教授及其實驗團隊針對研究構想的過程進行了許多意見交流，獲得許多寶貴意見，在這個進行科學議題研究的過程中獲得了很大的啟發，也學到了關於程式工具例如 Python 的應用，也認識了不少各國的研究人員，了解到當下在氣候預報領域的熱門研究議題，是很棒的1次交流經驗。

此外，本次研究設計之出梅指標已經能初步反映梅雨季結束時期臺灣雨量驟減以及副熱帶高壓增強、夏季季風環流進一步發展成熟等特徵，然而對於其他梅雨季結束時期之大氣特徵諸如平均溫度之演變等等因子，仍是有待探討分析之項目。在接下來的研究裡，預計將對梅雨季出梅時期的大氣特徵進行進一步分析，以期能完善梅雨季出梅指標對於出梅時期大氣環流演變之掌握能力。

綜合本次交流訪問建議如下：

本次出訪交流地點為學校，有別於本署過去經常和作業單位交流互動，學研機構提供了更多基礎科研的學習機會，有助於對於本署在拓展科學研究、及與國際學研單位建立對話與交流管道。建議本署除持續維持與作業界交流外，也可持續拓展與學研界的互動，以強化基礎科研能力。

附錄、參考文獻

Chen, M.-S. A Study of Heavy Rainfall Index during Taiwan Mei-Yu season. Meteorol. Bull. 2011, 48, 39 – 52, (In Chinese with English abstract)

Qiang Xue-Min, Yang Xiu-Qun. Onset and end of the first rainy season in south China[J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 2008, 51(5): 1333-1345