

# 東亞冬季風和台灣北部中尺度山脈所形成之長延時彩虹研究

周昆炫

中國文化大學 大學科學系/地學研究所

## 摘要

2017 年 11 月 30 日，彩虹連續出現在台灣中國文化大學上方的天空中持續近 9 個小時。這已確認為世界上最長的彩虹，從早上 6:57 到下午 3:55 可見。陽明山山區出現這種創紀錄的持續時間彩虹的主要原因是地理位置、地形特徵與合適的天氣條件。台灣位於亞熱帶地區，在秋冬季節經常受到冬季季風的影響，此外由於台北盆地北側和東北側盤據高聳山脈的地形條件。在此兩條件的作用下，盛行的東北季風，會在台灣北部迎風面的山坡上形成雲層，導致大量的水滴凝結並積聚在校園北側的天空中。此外，校園位於陽明山山區的孤立山頭上，這有助於觀察者在中午看到仰角低於地平線的彩虹。本研究為介紹後續之工作成果，2018 年秋天已完成彩虹監測設備建置，藉以系統性觀察彩虹出現之季節特徵；另於 2019 年秋天也完成彩虹預報之初步研發工作，得以預報出陽明山山區出現長延時彩虹天氣條件的機率。

彩虹監測主要透過 4 台定點式攝影機來拍攝學校北側的天空，可用於分析彩虹出現的日期、持續時間及色澤清晰度。根據白天逐時所拍攝的照片進行統計，只要某個小時區間出現超過 5 分鐘的彩虹，則定義該小時及當日出現彩虹。統計結果顯示，2018-19 年(2018/11/1~2019/1/31)總共有 23 天出現彩虹，其中有 14 天出現時間當天累計超過 3 個小時以上，而且 2018 年 12 月 08 日當天也記錄到 9 個小時都有彩虹出現的現象；另外 2019-20 年(2019/11/1~2020/1/31)則有 26 天出現彩虹。

彩虹天氣指數(Rainbow Weather Index, RWI)及彩虹機率(Rainbow Probability, RP)為根據即時數值天氣預報資料(WRF 1.1 km)所發展而成。彩虹天氣指數為使用台灣北部的地面降雨、風速、風向及濕度等模式格點資料來計算，並根據 2018 年出現彩虹時的觀測與模擬資料當作發生彩虹天氣條件的背景值，再藉由模式預測值與背景值的差異程度來計算彩虹天氣指數。天氣指數越高表示山區的大氣條件越能夠形成長時間的兩滴及適當的陽光照射至地面，進而形成長時間及明亮的彩虹。彩虹機率則依據彩虹天氣指數的高低來決定，初步測試劃分成低( $RWI \leq 63$ )、中( $63 < RWI < 74$ )、高( $RWI \geq 74$ )等三種彩虹機率預報。彩虹預報在 2018-19 校準年的預報表現上，以  $RWI > 63$  為判定基準，其預報準確率為 77%、偵測率為 83%、預報得分 CSI 值為 0.48；至於在 2019-20 驗證年的預報表現上，其預報準確率為 83%、偵測率為 73%、預報得分 CSI 值為 0.54。

關鍵字：陽明山彩虹、長延時彩虹、彩虹監測、彩虹預報

## 一、前言

2017 年 11 月 30 日，彩虹高掛陽明山長達 9 小時，這項令人驚奇的天文奇景經金氏世界紀錄認證，打破英格蘭約克郡韋瑟比在 1994 年 3 月 14 日創下的 6 小時紀錄(Zhan and Murphy 2018)。此紀錄為臺灣第一次以自然科學現象所認證成功的金氏世界紀錄(圖 1)。位於臺北市陽明山區的文大，在這樣的地理位置、地形與天氣條件都合適的情況下，才能出現這麼長時間的彩虹。圖 2 為文化大學所在的地理位置，北側為

海拔超過 1000 公尺的高山，而西南側則為台北盆地。彩虹的形成需要水氣與陽光，11 月底正值秋冬季節，東北季風盛行，將海面上的水氣帶往陽明山所在的大屯山區。11 月 30 日風速適當的東北季風帶來源源不絕的水氣，加上逆溫層的存在，使得大量的水滴凝結聚集在文大東北側的山頭，而過山的沉降氣流又讓南側地區保持晴朗的天氣，陽光得以照射水滴而形成彩虹。另一方面，光線進入水滴的方向與我們看到的彩虹有 42 度的夾角，時間愈接近中午，彩虹相對於地平

線的仰角會愈低，甚至會落在地平線之下，這也是一般平地無法看見超持久彩虹的一項限制。但因為文大位於 400 公尺獨立的山頭上，彩虹低於地平線時正巧落在山谷中，從校區往山谷的方向依然能夠看到彩虹，因此當天從清晨到傍晚，彩虹就從文大西北側的天空，下降到北邊的山谷，再上升到東北側的天空，才能出現長達 9 小時的彩虹。

本研究為介紹後續之工作成果，2018 年秋天已完成彩虹監測設備建置，藉以系統性觀察彩虹出現之季節特徵，另於 2019 年秋天也完成彩虹預報之初步研發工作，得以預報出陽明山山區出現長延時彩虹天氣條件的機率。

## 二、研究方法

### 1. 彩虹監測

2018 年 11 月開始藉由安裝在校園的四支固定式攝影機，可以對學校附近的天空進行完整監測。過去兩年間的觀測結果顯示，最常出現的時間約略落在 11 月到隔年的 1 月，而其他月份出現的天數則相對較少。2018 年 11 月至 2019 年 1 月，有 23 天出現彩虹，而 2019 年 11 月至 2020 年 1 月，則有 26 天出現彩虹；另外，在 2017 年 11 月至 2018 年 1 月，藉由學校師生相機所拍攝的照片，也可發現共有 20 天出現彩虹。由以上分析發現，每年 11 月至隔年 1 月期間可視為文化大學近郊陽明山山區的彩虹季。相關照片紀錄可由文大彩虹監測預報展示網頁來查詢。

### 2. 彩虹預報

目前研究使用 WRF 模式 V3.4 版 4 層巢狀網格 (30/10/3.3/1.1 km) 來進行 72 小時的數值預報，藉以獲得未來三天北台灣地區高空間解析的網格資料來進行分析。模式初始條件及邊界條件採用 NCEP GFS 每日 00UTC 3 天  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  的預報資料來進行模式預報，模式資料輸出之時間解析度為 1 小時。本研究進行的模式預報的期間為 10/31-1/30，共進行 92 次的三天預報。其中 2018-19 年 92 天的預報資料為彩虹預報的校準個案，而 2019-20 年 92 天的預報資料為彩虹預報的驗證個案。

圖 3a 為本研究中選定以文大為中心 40 km x 40 km 的網格範圍，藉以分析出現彩虹時此範圍內的大氣條件。計算時會將資料 1.1 km 網格資料內差成 0.5 km

的網格資料進行分析。圖 3b 為根據 2018-19 年出現明顯清晰彩虹時的逐時地表風場及降雨進行合成分析，目前合成的個案共有 78 個小時。圖中的風場及時雨量降水即為出現長延時彩虹的平均大氣狀態，即需有明顯的東北風及地形舉升降水在台灣東北角出現。

本研究所定義之彩虹天氣指數 (rainbow weather index, RWI) 即計算模式預報資料與彩虹平均大氣狀態的差異程度計算而得。選定地表 10 公尺 U、V 風速、2 公尺相對溼度及降雨等四個氣象變數來發展 RWI 指數，指數之計算公式如下所示：

$$MAD = \iint |P - P_B| dx dy / \iint dx dy$$

$$MAE = \frac{1}{m} \sum MAD, m = 78$$

$$S = 100 \left( 1 - \frac{1}{3} \frac{MAD}{MAE} \right), \text{if } S < 0, S = 0$$

$$RWI = 0.25 * \sum_{n=1}^4 S_n$$

其中， $P$  為模式預報資料矩陣，為模式預測 07-17 LST 共 10 個小時的平均， $P_B$  彩虹平均大氣狀態矩陣，為長延時彩虹出現時的 78 個小時平均。MAD 為模式預報與平均狀態的空間平均，MAE 為 78 個出現彩虹時的平均 MAD。 $S$  為變數得分，當  $P=P_B$  時， $S$  為 100，若  $MAD=MAE$  時， $S=66.7$ ，若 MAD 超過 3.3 倍 MAE 時則  $S=0$ 。最後 RWI 指數即由四個變數的  $S$  得分取算數平均而得。

因此 RWI 的數值範圍為 0-100，指數越高，表示模式預測的地表風場、濕度場及降水越接近出現長延時彩虹的平均大氣狀態。此時陽明山海拔 400-600 公尺山區的大氣條件越能夠形成長時間的雨滴及適當的陽光照射至地面，進而形成長時間及明亮的彩虹。另外研究藉由 2018-19 年 23 天的彩虹日進行校準測試，初步劃分成低 ( $RWI \leq 63$ )、中 ( $63 < RWI < 74$ )、高 ( $RWI \geq 74$ ) 等三種彩虹機率 (rainbow probability, PB)，範例如圖 4 所示。目前本模式共進行未來兩日白天期間 07-17 LST 之 RWI 及 RP 預報，第一天預報為模式積分第 23-33 小時，而第二天預報則為模式積分第 47-57 小時。

### 3. 預報成效

本研究計算準確率 (ACC)、偵測率 (POD) 及 CSI 值 (或 T-分數) 來評估彩虹預報的成效 (Wilks 2001)。計算公式如下：

$$ACC = (HI + CN) / (TO = HI + MI + FA + CN)$$

$$POD = HI / (HI + MI)$$

$$CSI=HI/(HI+MI+FA)$$

其中，HI 為準確預測出現彩虹的天數(hit)；MI 為沒預測出彩虹出現的天數，即漏報(miss)；FA 為有預測出現彩虹但觀測沒出現的天數，即誤報(false alarm)；CN 為準確預測沒有出現彩虹的天數(correct negative)；TO 則為所有校驗天數。

### 三、結果

圖 5a 為 2018-19 年及 2019-20 年 11/1-1/31 逐日共 92 天的 RWI 指數及 RP 預報。其中，2018-19 為校準年，可以發現高 RWI 數值的日期，大致也都對應到彩虹出現的日期，僅有 11/8 及 1/4 其 RWI 數值明顯偏低，此結果顯示用 RWI 數值來預估出現彩虹的出線與否有其適用性。另外，當採用 RWI 數值高於 63 當作門檻值做為預測出現彩虹的判斷基準，其預報成效的驗證結果如表 1 所示。2018-19 校準年共 92 天的彩虹預報得分還算不錯，在觀測到 23 天出現彩虹中，HI 為 19 天、MI 為 4 天、FA 為 17 天、CN 為 52 天，其推算之預報準確率為 77%、偵測率為 83%、預報得分 CSI 值為 0.48。

藉由 2018-19 年的校準基礎，將相同的 RWI 公式及 RP 定義，實際運用於 2019-20 年模式預報第一天白天的預報成效上，結果如圖 5b 所示。可以發現在 26 天出現彩虹的 RWI 數值中，僅有 3 天(11/18, 12/1, 12/19)其 RWI 數值明顯低於 63，其他 23 天的 RWI 數值則多數都超過 63 以上。圖 6 則為 2019 年 11 月 23 日-12 月 7 日逐日的 RWI 及 RP 預報，以這 15 天為例，模式可以正確預測出 4 天出現彩虹、9 天沒出現彩虹、漏報 1 天出現彩虹、與誤報 1 天出現彩虹。至於 2019-20 驗證年中 92 天整體的預報表現上如表 1 所示，在 26 天出現彩虹中，HI 為 19 天、NI 為 7 天、FA 為 9 天、CN 為 57 天，其推算之預報準確率為 83%、偵測率為 73%、預報得分 CSI 值為 0.54。此結果為實際預報個案中所獲得之預報表現分數，跟 2018-19 校準個案中所計算之預報表現分數相差不多，顯示本研究所發展之 RWI 及 RP 彩虹預報具有不錯的實際預報表現。至於模式在預報第二天白天的預報成效上，結果如圖 5c 與表 1 所示，由於已經是模式積分第 47-57 小時的結果，預報跟實際大氣差異程度逐漸變大，因此

預報成效分數略微下降，但其準確度與偵測率仍有 70% 的表現，因此仍有其參考價值。

### 四、結論與展望

由於過去並無彩虹預報的相關文獻可供比較，但可以跟台灣夏日午後熱雷雨預報研究來進行類比。周等(2017)曾使用多種資料所建立的午後雷雨檢查表來預測 2016 年台北市夏天午後熱雷雨，在 85 天的檢查表診斷結果中，其預報準確率為 65%、偵測率為 97%、預報得分 CSI 值為 0.55。此簡單比較顯示，雖然彩虹預報的偵測率較低，但有較高的準確率，因此整體的預報得分 CSI 值與近期熱雷雨預報得分相似，顯示目前的預報表現仍具參考價值。本研究於 2020/21 年會進行上半天(07-12 LST)及下半天(12-17 LST)的彩虹預報，由於當天氣系統變動很快時，10 小時的平均會造成某天的風速或與雨量數值變動過大，導致 RWI 數值不穩定，此方法將能更精準預測出白天中那個時段具有較佳出現長延時彩虹的大氣條件。

表 1：2018-19 年及 2019-20 年彩虹預報成效。O-R (O-NR)代表觀測有(無)彩虹，F-R (F-NR)代表預報有(無)彩虹。括號中數值為模式預測第二天白天 07-17 LST 之結果。

	2018-19 (Cal. events)		2019-20 (Ver. events)	
	O-R	O-NR	O-R	O-NR
F-R	HI: 19	FA: 17	HI: 19 (16)	FA: 9 (13)
F-NR	MI: 4	CN: 52	MI: 7 (9)	CN: 57 (54)
Forecast Skill	ACC = 0.77, POD = 0.83, CSI = 0.48		ACC = 0.83 (0.76), POD = 0.73 (0.64), CSI = 0.54 (0.42)	

### 五、參考文獻

- 周仲島、柯凱元、林得恩、胡敏儀、李佳晏，2017：臺北市結合臺灣大學能量精進颱風豪雨情資研判。災害防救電子報 2017 年 12 月 13 日特刊。
- Wilks, D. S. (2001): A skill score based on economic value for probability forecasts. *Meteorol. Appl.*, 8, 209–219.
- Zhan, E., and S. Murphy (April 6, 2018): Record confirmed for stunning Taipei rainbow that lasted for almost 9 hours. Retrieved from <http://www.guinnessworldrecords.com/news/2018/4/record-confirmed-for-stunning-taipei-rainbow-that-last-ed-for-almost-9-hours-520704>.

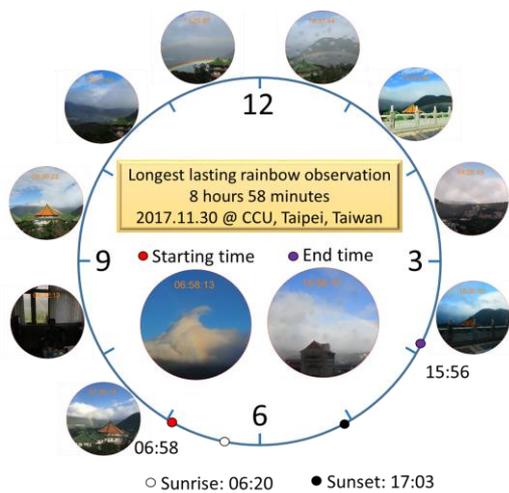


圖 1：2017 年 11 月 30 日於文化學所觀測到長時的彩虹現象，已被金氏世界紀錄認證為一項自然景觀世紀紀錄：觀測到的持續時間最長彩虹。



圖 2：中國文化大學地理位置圖。文化大學為位於陽明山國家公園西南側的華岡山頭海拔 410 公尺，西北側有海拔超過 1000 公尺的大屯山及七星山。

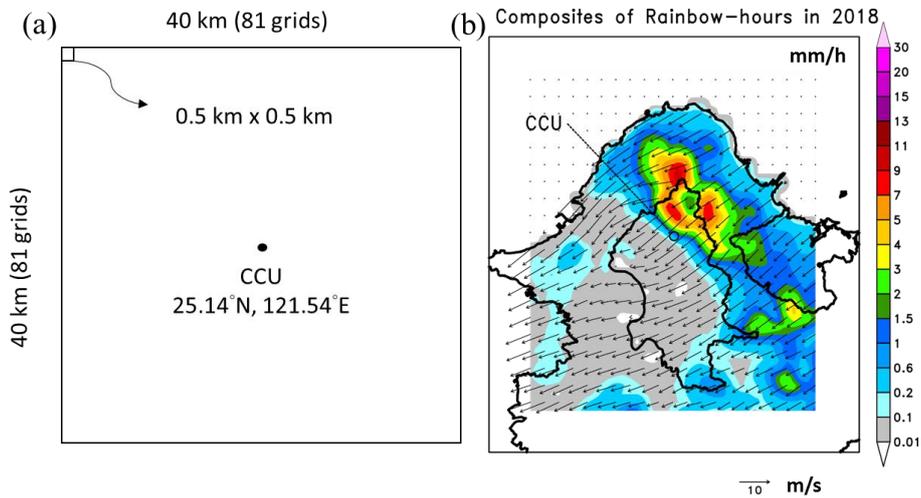


圖 3：(a)為以文大為中心之 40 km x 40 km 網格分析範圍；(b)為 2018-19 年，有彩虹出現的模式預報降雨及地表 10 公尺風場合成圖，共有 78 個小時進行平均。

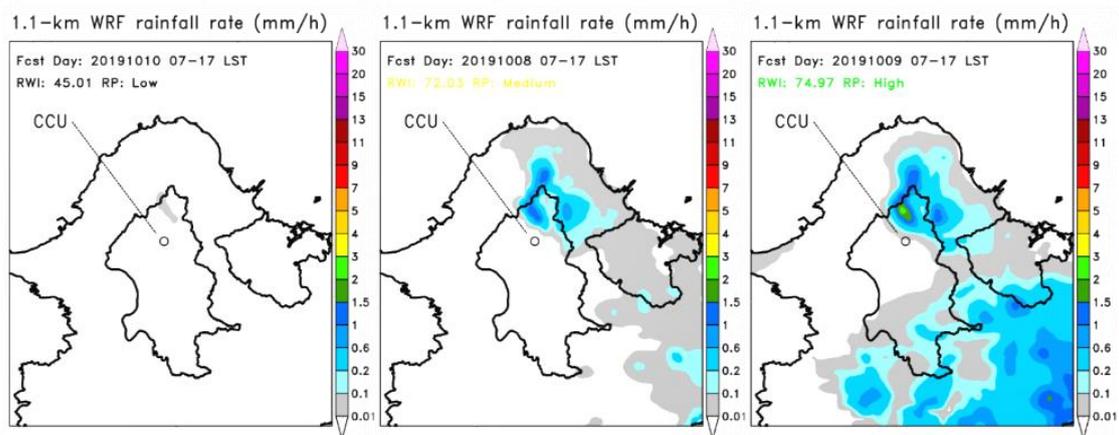


圖 4：彩虹天氣指數及低、中、高等三種彩虹機率範例。色階為模式預測 07-17 LST 10 小時的平均時雨量。

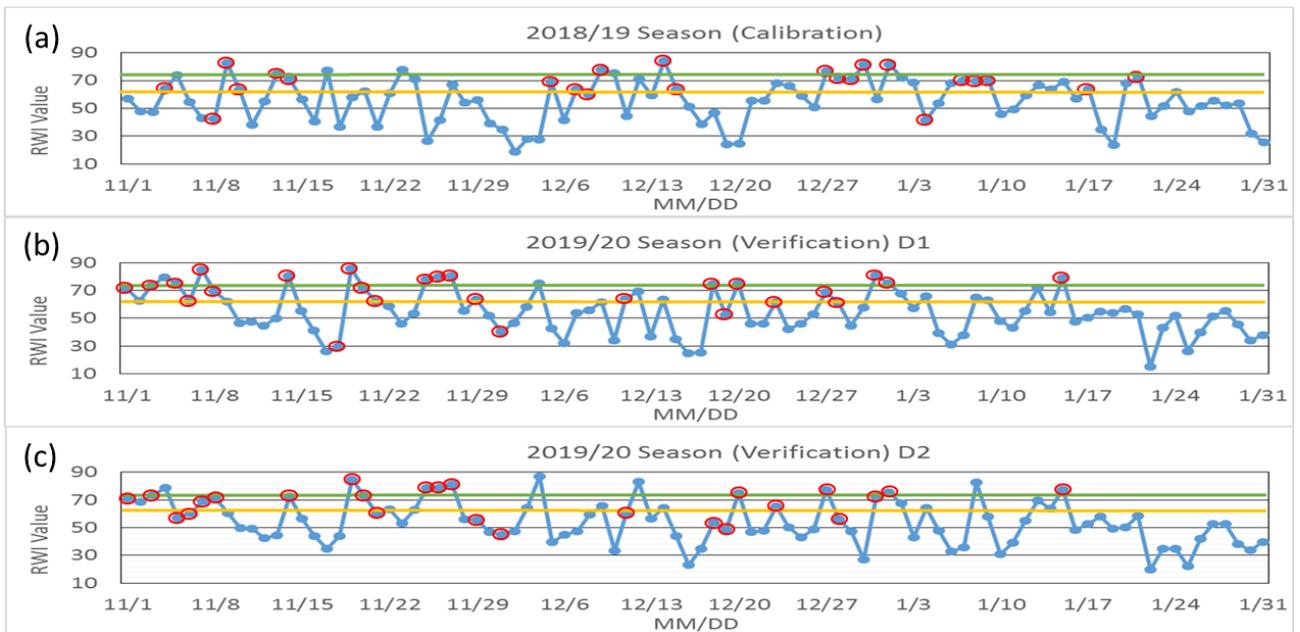


圖 5：逐日的彩虹天氣指數時間序列圖，黃線為 RWI 為 63 的等值線，紅圈表示當日出現彩虹。(a)為 2018/11/01-2019/01/31 期間共 92 天的校準結果，(b)則為 2019/11/01-2020/01/31 期間共 92 天的驗證結果，(c)同 (b)，但為模式預報 47-57 小時(預測第二天白天 07-17 LST)之驗證結果。

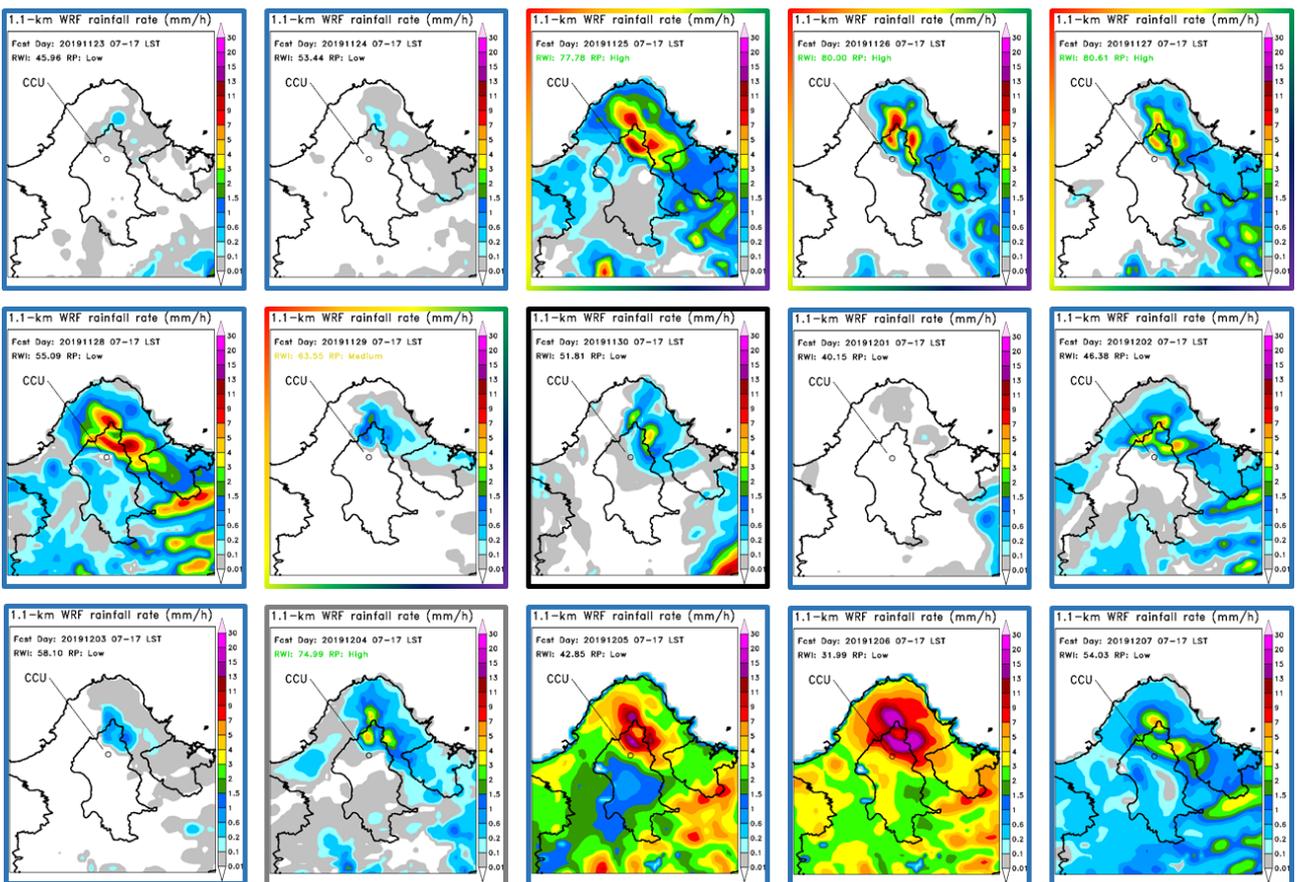


圖 6：2019 年 11 月 23 日-12 月 7 日逐日的彩虹天氣指數及彩虹機率預報。彩框表示當日準確預測出現彩虹 (HI)；黑框為沒預測出彩虹出現，即漏報(MI)；灰框為有預測出現彩虹但觀測沒出現，即誤報(FA)；藍框則為準確預測沒有出現彩虹(CN)。

# Long-lasting rainbow induced by East Asian winter monsoon and mesoscale mountains over northern Taiwan

Kun-Hsuan Chou

Department of Atmospheric Sciences/Graduate Institute of Earth Science, Chinese Culture University

## Abstract

Rainbows appeared in the sky above Taiwan's Chinese Culture University (CCU) for nearly nine hours continuously on 30 November 2017. This had been confirmed the world's longest-lasting rainbow which was visible from 6:57 a.m. to 3:55 p.m. by Guinness World Records. Three main reasons contributed to the occurrence of this rainbow of record-setting duration at CCU on Yangmingshan mountain range, namely geographical location, topographical features, and suitable weather conditions. Taiwan is located in a subtropical region, which is frequently affected by winter monsoons during autumn and winter. The relevant topographical features represent there are several mountains located over the northern and northeastern side of Taipei Basin. With these two conditions, cloud layers are frequently formed at the windward slope of the mountain range under the influence of the northeast monsoon, and large amounts of water droplets tend to condense and accumulate on the hills to the northeast of campus. Furthermore, the campus was located over the one peak of Yangmingshan mountain area, this helps the observers could see the rainbow with elevation angle below the horizon during the noon time.

This special phenomena of rainbow has been studied by observation and forecast approaches since autumn 2018. First, rainbow monitoring mainly uses four cameras to capture the images over the northern sky. Statistics analyzed from camera images show that in 2018-19 rainbow season (Nov. 2018 to Jan. 2019), there were 23 rainbow days (rainbow lasts at least 5 minutes during daytime) in total, of which 14 days appeared more than 3 hours on the day. And, in 2019-20 rainbow season (Nov. 2019 to Jan. 2020), there were 26 rainbow days in total. Furthermore, rainbow forecasting has been developed and operated in autumn 2019.

The rainbow weather index (RWI) and rainbow probability (RP) are calculated based on real-time forecast data (WRF 1.1-km resolution). The rainbow weather index is calculated by using the data of the pattern grid points of the surface rainfall, wind speed, wind direction and humidity in northern Taiwan. Based on the observation and simulation data when the rainbow appeared in 2018 as the background value of the rainbow weather condition, and then according to the difference between the predicted value and the background value to calculate the RWI value. RWI values range from 0 to 100. The higher the RWI, the more suitable atmospheric conditions in the mountainous area can form numerous raindrops and appropriate sunlight to the ground, thereby forming a long-lasting and bright rainbow. The RP is determined according to the RWI value. The preliminary test is divided into three RP forecasts: low ( $RWI \leq 63$ ), medium ( $63 < RWI < 74$ ), and high ( $RWI \geq 74$ ). In terms of the forecast performance of RP forecast in 2018-19, the accuracy rate of the medium RP is 77%, the detection rate is 83%, and the threat score value is 0.48; while for forecast performance in 2019-20, the accuracy rate of the medium rainbow probability is 83%, the detection rate is 73%, and the threat score value is 0.54.

Keywords: long-lasting rainbow, rainbow monitoring, rainbow forecast