

2020-21 年秋冬陽明山 連續 13 天彩虹及 12 公分降雪觀察記錄

周昆炫

中國文化大學 大氣科學系／地學研究所

敘言

感謝中華民國氣象學會邀請撰寫陽明山彩虹觀測的後續進展科普短文。2017 年秋天兩天超過 6 小時的彩虹讓臺灣留下「觀測到的持續時間最長彩虹」的金氏世界紀錄。後續透過監視器的添購，我們開始系統性記錄陽明山彩虹出現的頻率，過去三個秋冬期節出現彩虹的日子約有 1/4 的比例。這個秋冬由於東北季風頻繁地在臺灣北部海面出現，造成北北基、宜蘭及花蓮地區出現異於往常的連日降雨及稀少日照，而陽明山西南側受到東北季風背風側的沉降作用影響，觀察到的彩虹天數也伴隨增加，今年大約提升至 1/2 左右，也因而在 2020 年 10 月發生罕見的連續 13 天彩虹。另外，藉由這次頻繁出現彩虹的時段上山尋覓彩虹，也意外地發現陽明山山區另一處非常適合觀察彩虹的地方-紗帽山山頂。最後，今年入冬的三波寒流替北臺灣帶來罕見的降雪情況，其中 2021 年 1 月 8 日除了在雪山、太平山、合歡山山區帶來豐沛的降雪外，陽明山山區也出現高達 10 公分以上的降雪現象，此特殊極端天氣事件本文也一併記錄分享給學會同仁。

連續 13 天彩虹

2020 年 10 月開始臺灣地區就開始有冷高壓過境，因此出現明顯的東北風，北部及東部等迎風面山區也開始有大雨發生的情形，地處背風面的文大周圍附近就開始觀測到彩虹的出現。5 日是 10 月第一次文大出現長時間彩虹的日子，當天也受到媒體關注討論著是否又能挑戰 9 小時紀錄的可能性，不過當天的彩虹只出現約 2 個小時就中斷。後續從 10 日開始，北臺灣的天氣同樣是受到強度不弱的東北風所影響，因而造成東北部山區形成大雨或豪雨現象，這樣的天氣條件一直持續到 22 日才有明顯改變，也因此出現連續 13 天的彩虹。由逐日 00Z 地面天氣圖上彭佳嶼測站的風場分析顯示，這 13 天北部外海的海面風場都為東北風，風速約為 7.5-10.0 m/s 左右。而由逐日板橋探空站 00Z 的斜溫圖也可發現，位處地形背風側的臺北盆地，中低對流層附近多數呈現明顯沉降逆溫的現象。圖 1~圖 9 為逐日 08LST、11LST、14LST 的可見光衛星雲圖、降雨雷達回波、時雨量及北側天空影像畫面，其中 15 日、16 日、17 日及 20 日彩虹成象時間較短，無法在上述三個時段成象因此並未附圖介紹；不過當日的彩虹成象畫面仍可透過縮

時攝影畫面來呈現，如圖 10 所示。

由圖 1～圖 9 逐日天氣圖分析可以歸納中三個出現彩虹時的特徵，首先在山區的背風側可見光雲圖中的雲層需有開口或縫隙，其次地形迎風面處需有 25-35 dBZ 的降雨回波出現，最後即迎風面上要有 6-10 mm 的時雨量發生。此三個特徵所隱含的即是地形迎風面上有明顯地形的雲層跟降水，背風側需有顯著的氣層沉降作用，如此方能觀察到色澤明亮且顏色分明的彩虹。

探勘彩虹谷

陽明山除了文大，那些地方還能看到彩虹？這問題是過去一年來想要探討的。因此只要學校有彩虹出現，或是彩虹預報機率較高的時後，便會前往陽明山尋覓彩虹的蹤跡。過去多次探勘的結果發現，彩虹只會在地形背風側沉降作用顯著的地點出現，因此這個位置約略在海拔 300-600 公尺左右的陽明山西南側附近，上午的話，在陽明山前山公園與陽明公園附近可以看到西北方的彩虹；下午的話，在十八拐圳步道與硫磺谷附近則是容易看到東北方的彩虹。至於中午成象在地平面之下的彩虹，則需在北邊無遮蔽的山頭上才能看到，目前只發現三個地點的山頭可以觀察到中午的彩虹，即位處「華岡」山頭的文大、中正山山頂、還有紗帽山山頂。

藉由 10 月份連日出現彩虹的機會，親身探查發現中正山山頂與紗帽山山頂的視野展望條件都相當理想，很容易看到彩虹於空中出現。尤其是紗帽山山頂，海拔 643 公尺，它與「華岡」山頭只隔著松溪，兩座山頭的距離不到 2 公里，而文化大學氣象站的海拔高度為 424 公尺。若以海拔高度來討論的話，紗帽山是更具優勢的，中午時分的地平面下彩虹更容易觀察，此外，若就自然風景而論，紗帽山山頂展望極佳，可一覽陽明山北側山脊。圖 11 顯示的即為 2020 年秋冬期間登上紗帽山山頂時所拍攝的彩虹影像記錄，在 16 次的探勘中總共拍攝到 9 次彩虹，最早的時間是在 10 月 21 日 7:53 拍攝，中午時間是在 12 月 25 日 12:06 左右拍攝，最晚的時間則是在 12 月 22 日 16:26 分拍攝到彩虹，由此統整比較圖可證實紗帽山山頂能夠拍攝到任何時段的彩虹，理論上可觀察到長達 10 個小時以上的彩虹成象。另外，若以 1 月 1 日太陽所處位置來進行彩虹成象位置估計，則能呈現紗帽山山頂北側彩虹弧頂位置的移動軌跡，即隨著太陽在東南邊升起，在南方達到最高仰角，於西南邊落下的太陽運行軌跡；彩虹的弧頂的軌跡則是最先出現在西北方的高空，接著沈入北方山谷中，然後朝東北方向爬升至高空中。

彩虹預報

臺灣位於亞熱帶地區，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，會在臺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。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臺灣北部的地面降雨、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。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。(相關結果已發表至 109 年天氣分析與預報研討會)

定量降雪預報

2020 年 12 月下旬開始，北方中緯度地區的冷高壓逐漸增強並往東南移動，臺灣也開始受到強烈大陸冷氣團的影響，隨著寒流的到來配合著東北季風在迎風面帶來的水氣，北部山區會不會下雪呢？是一般民眾所關注的。由於臺灣地區並不常下雪，因此除了 Windy 會即時呈現 ECMWF IFS 及美國 GFS 的降雪資訊外，其他作業單位並未提供任何數值模式相關降雪圖資來協助研判臺灣地區降雪的可能性。藉由過去文大大氣系定期發布彩虹預報的高時空解析度資料(1 公里網格水平解析度、1 小時資料時間解析度)，我們隨即嘗試進行模式降雪相關資料應用的

可行性評估。透過模式輸出的實體雪深變數分析，可以發現 2020 年 12 月入冬以來的三波寒流，在北臺灣高海拔山區都預測到實體雪深厚度出現變化的訊號，也就表示高山地區會出現下雪。藉由地點較近的優勢，初期研究特別針對海拔 800-1000 公尺的大屯山進行預報跟校驗。此三波寒流影響期間，文大大氣系劉清煌研究團隊也特別架設自動站，藉以觀測臺灣不常見的極端低溫天氣事件。圖 12 即為三波寒流降雪期間的降水雷達回波、時雨量、前 1 日累積雨量及大屯山山頂影像比較圖。這三波寒流中，2020 年 12 月 31 日、2021 年 1 月 8 日及 2021 年 1 月 12 日臺北氣象站的溫度皆達到 6-7 度的低溫，而海拔 1079 公尺的大屯山氣象站溫度也均低於攝氏零度的冰點條件，會不會降雪呢？欠缺的就是水氣充足與否的問題。其中以 2021 年 1 月 8 日這波寒流的水氣供給較為充足，除了低層東北季風水氣還有高層西風系統帶來較多的水氣，因此此波寒流的降雪最為顯著，不只太平山、合歡山、雪山山區都降下可觀的降雪，陽明山海拔超過 800 公尺的山區也出現明顯的降雪情況。至於 12 月 31 日與 1 月 12 日的降雪條件，均不甚理想，前者為水氣供給較少，大屯山僅出現霧淞跟降下零星雪粒，後者則是溫度未達冰點以下而無法形成降雪。

我們藉由既有的彩虹預報的高時空解析資料進行這三波寒流的定量降雪預報測試，第一波寒流降雪厚度變動較大，由於水氣供給越來越少，最接近降雪時間的預報為預測出大屯山有 4 公分左右的降雪。第二波寒流水氣供給較為充足，因此預報相對穩定，實際降雪時間的前幾次預報大屯山均預測出超過 10 公分的降雪；此波寒流模式定量降雪預報結果如圖 13 所示，此波降雪最多的地點為雪霸山區及南湖山區。第三寒流陽明山雖有顯著降雨發生、但由於山區溫度未降至冰點，模式並無預測出有降雪的情況。圖 14 為 2021 年 1 月 8 日清晨所拍攝到的降雪情況，可以發現大屯山附近的積雪情況是地點有所差異，約有 3-12 公分以上的累積雪量；降雪結晶也相當明顯，多為針狀及夾狀的結晶居多。圖 15 則為海拔 830 公尺的鞍部氣象站附近及海拔 850 公尺的七星公園附近的雪景照，這些照片也可推估這波寒流的降雪深度及雪線位置。

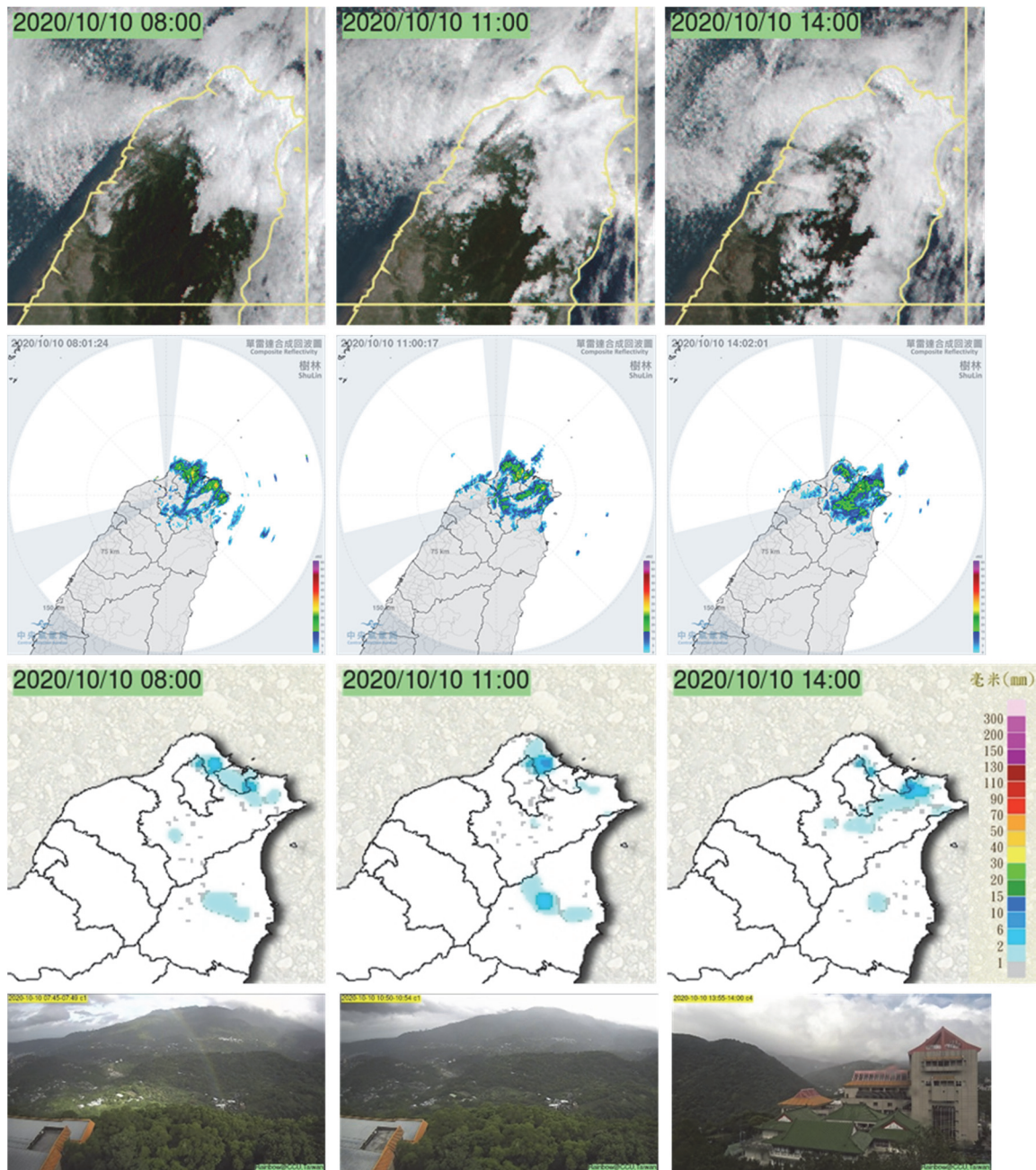


圖 1 2020 年 10 月 10 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

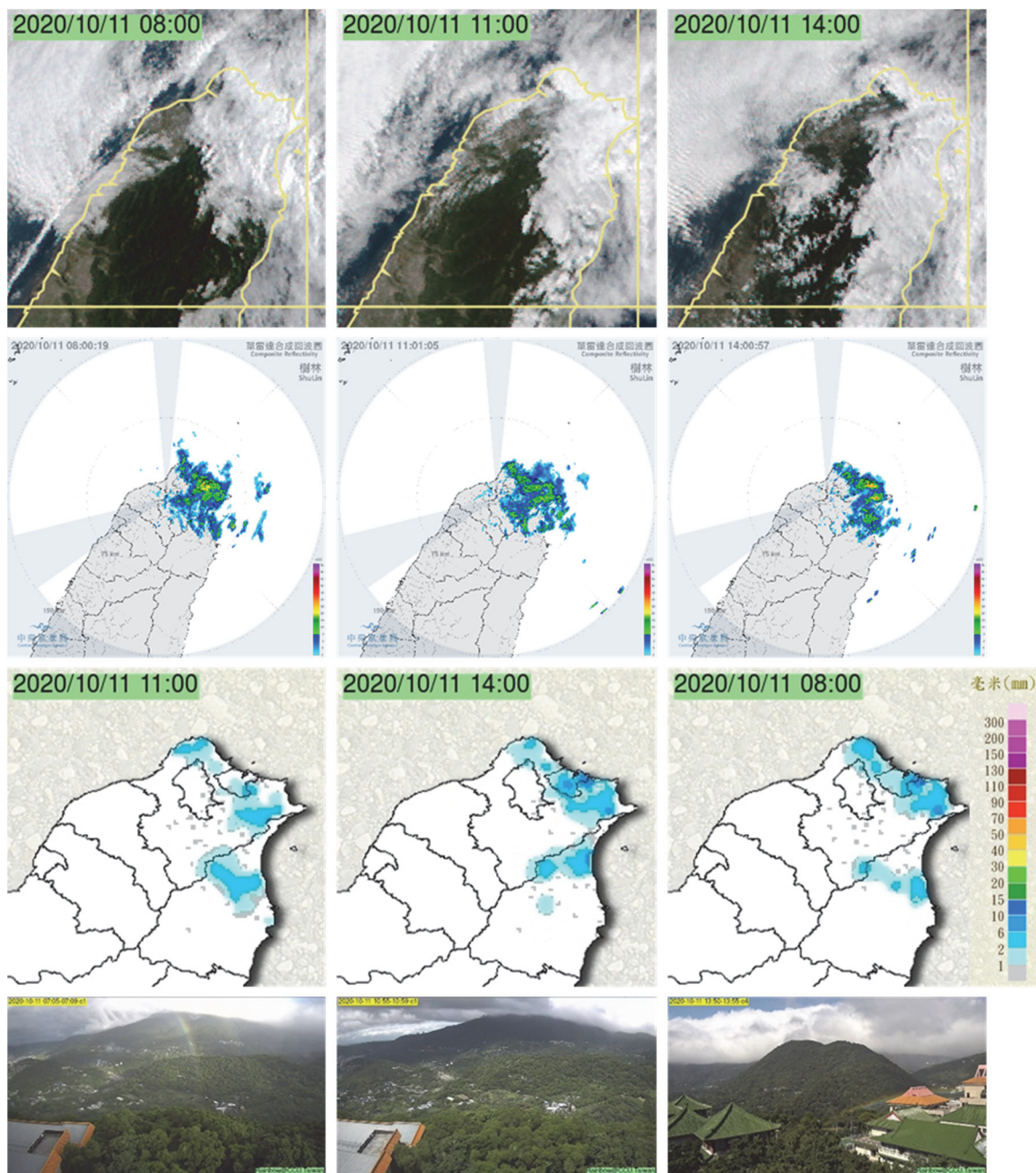


圖 2 2020 年 10 月 11 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

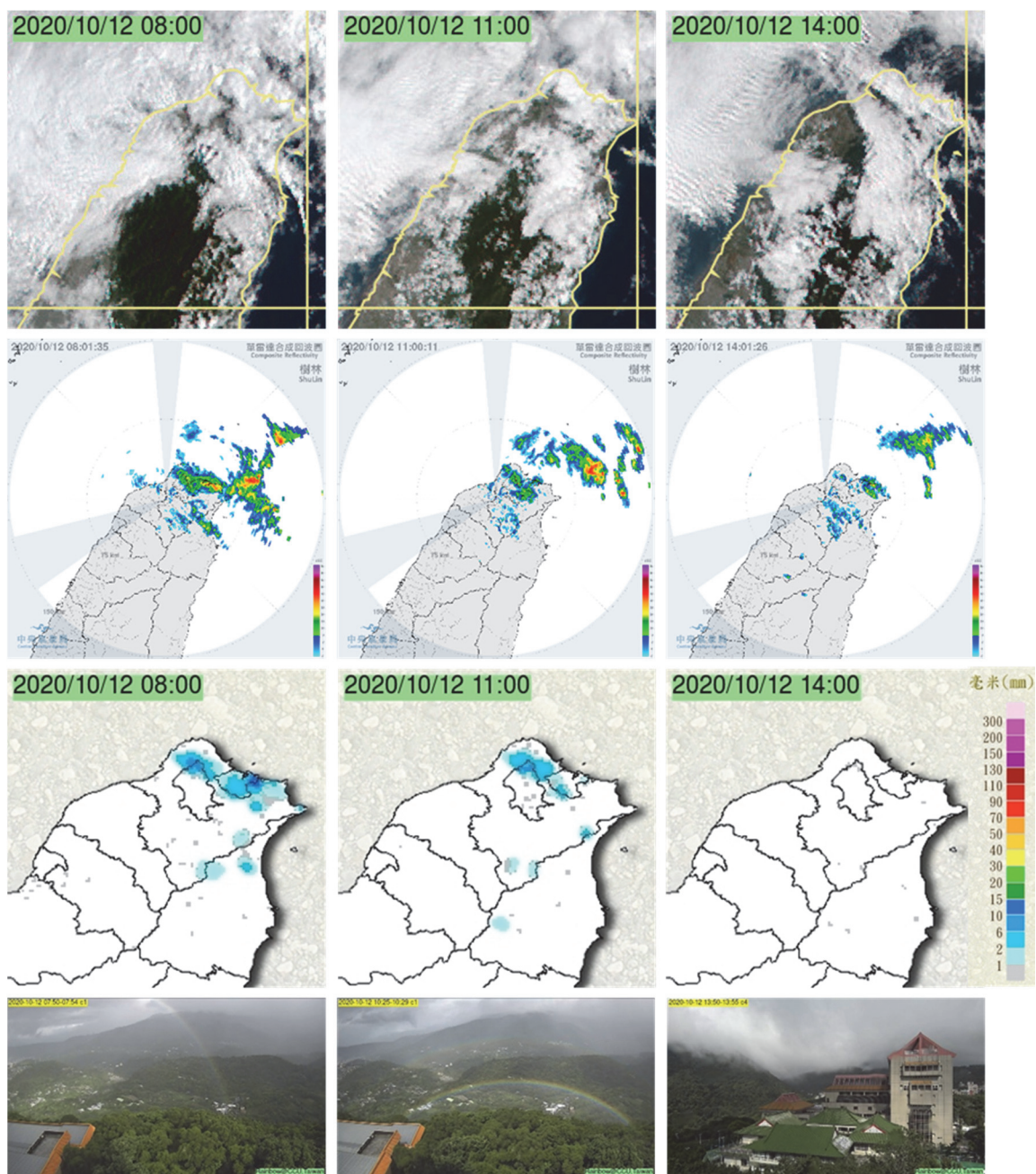


圖 3 2020 年 10 月 12 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

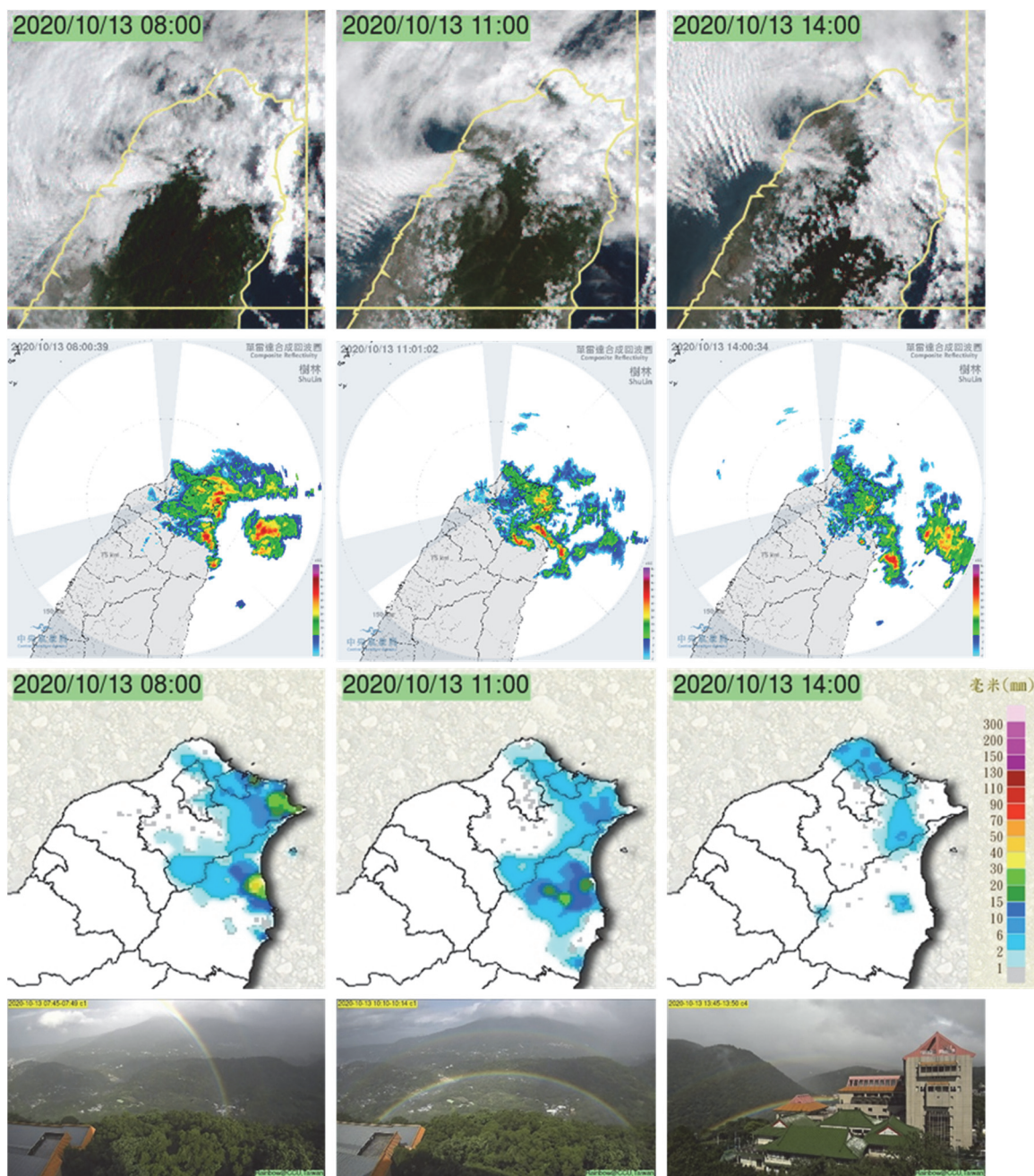


圖 4 2020 年 10 月 13 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

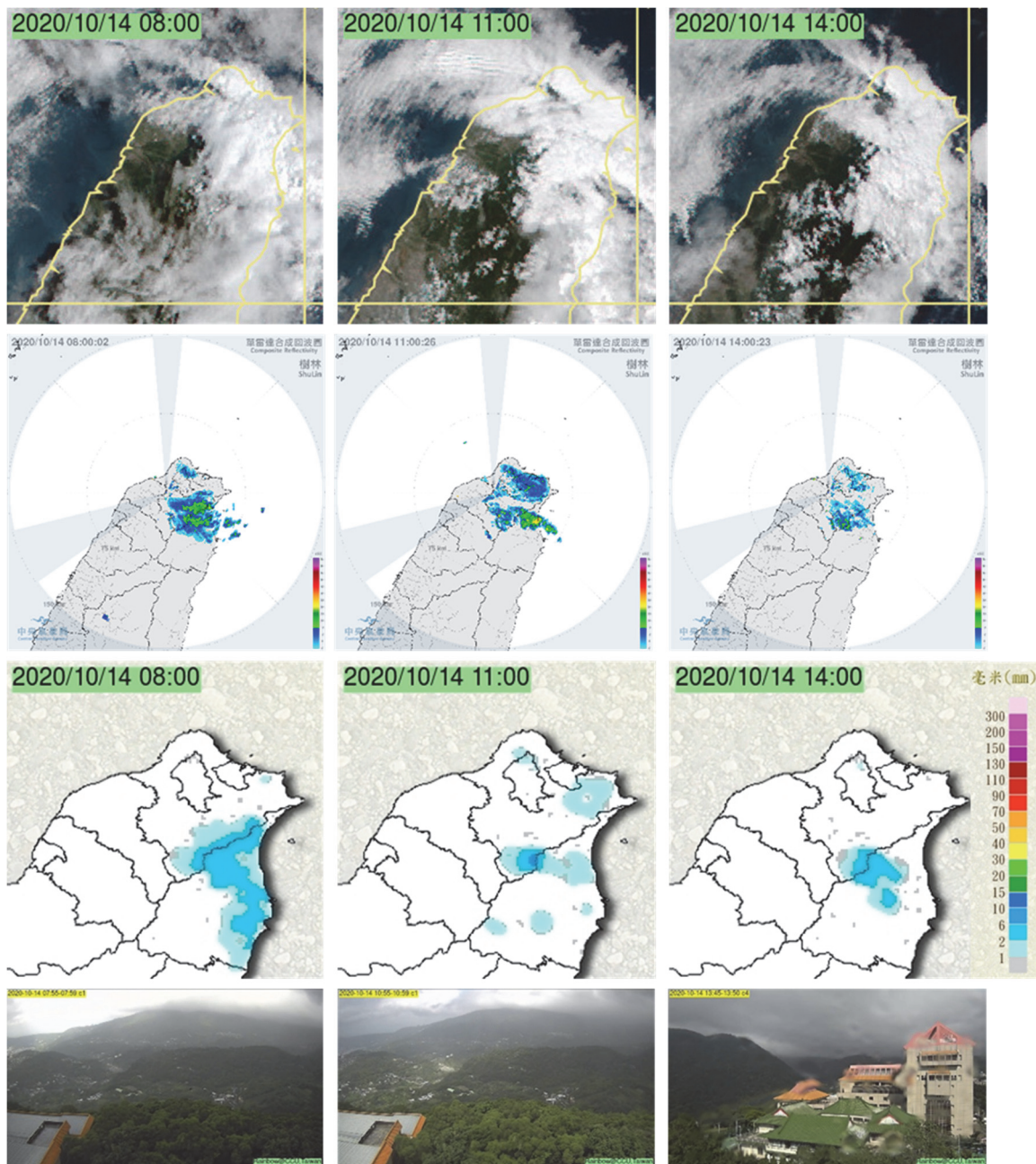


圖 5 2020 年 10 月 14 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

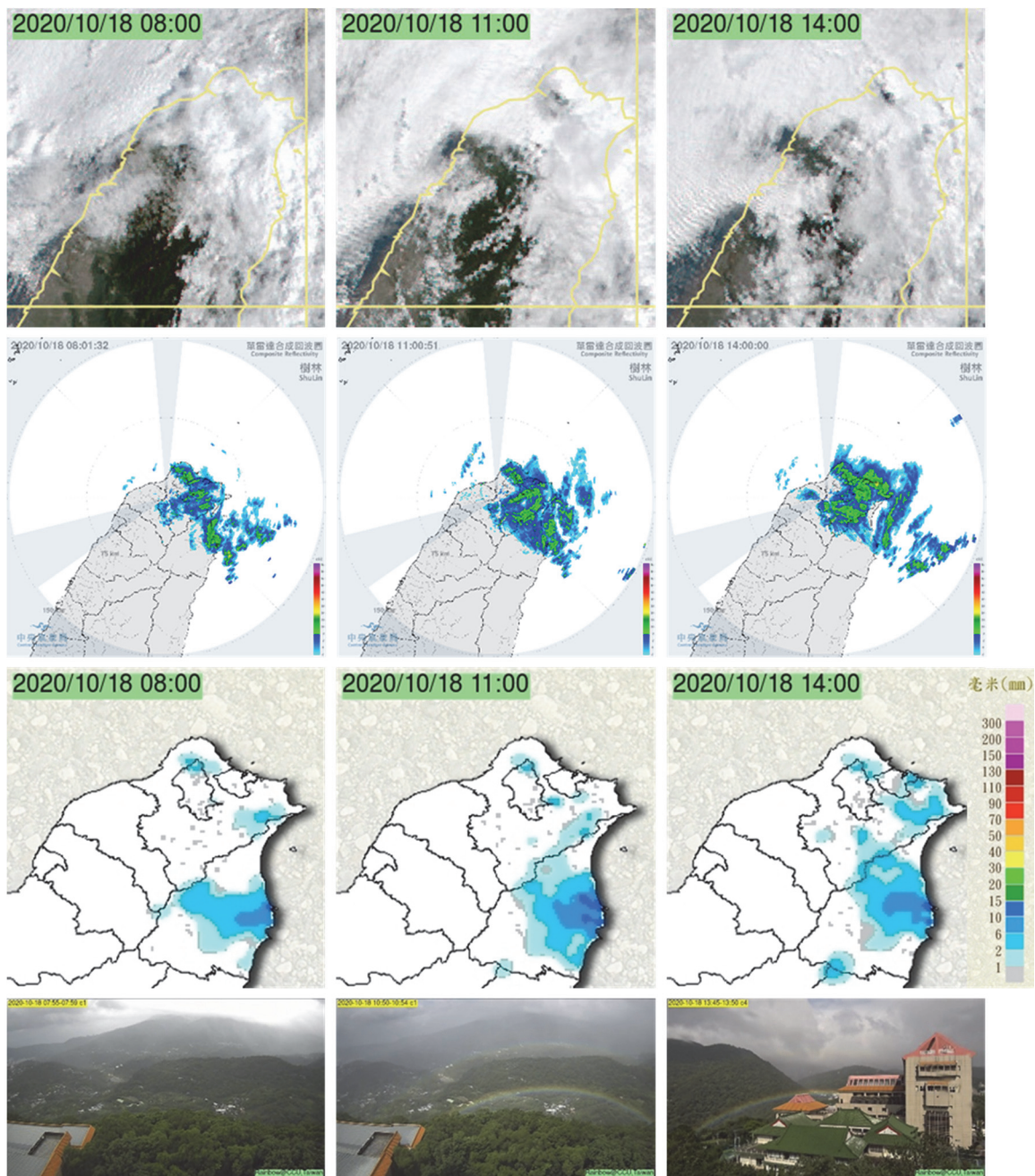


圖 6 2020 年 10 月 18 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

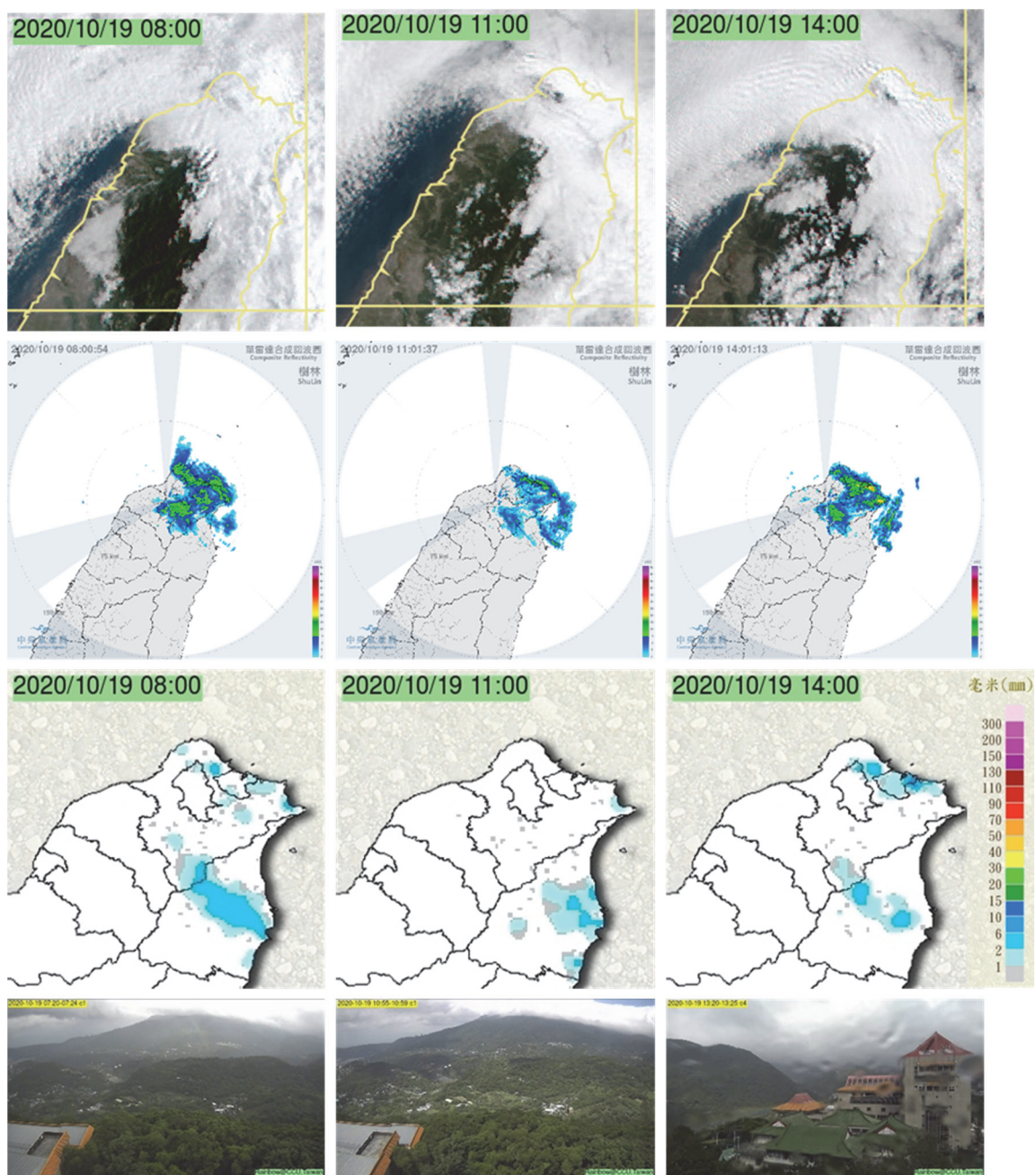


圖 7 2020 年 10 月 19 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

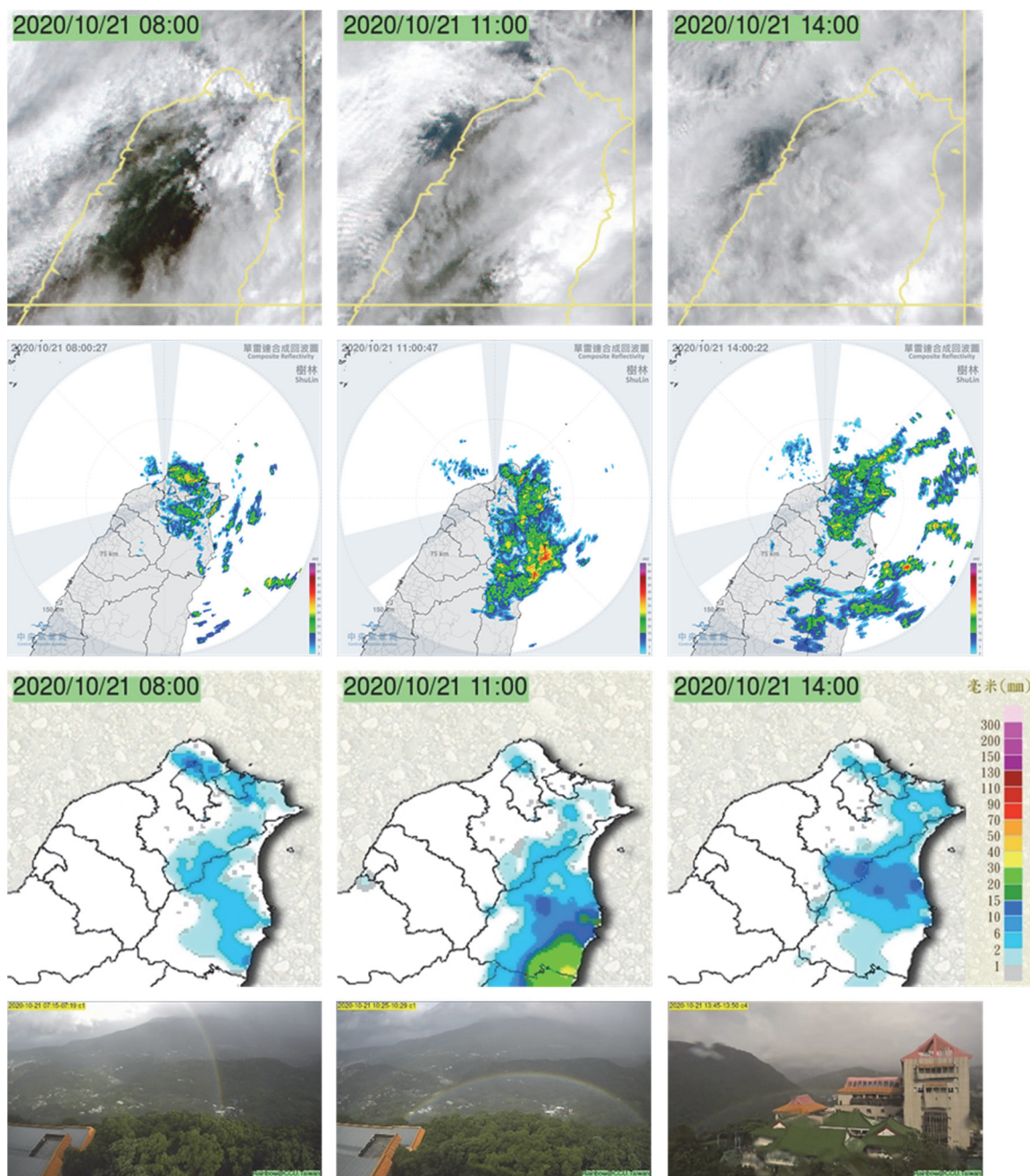


圖 8 2020 年 10 月 21 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

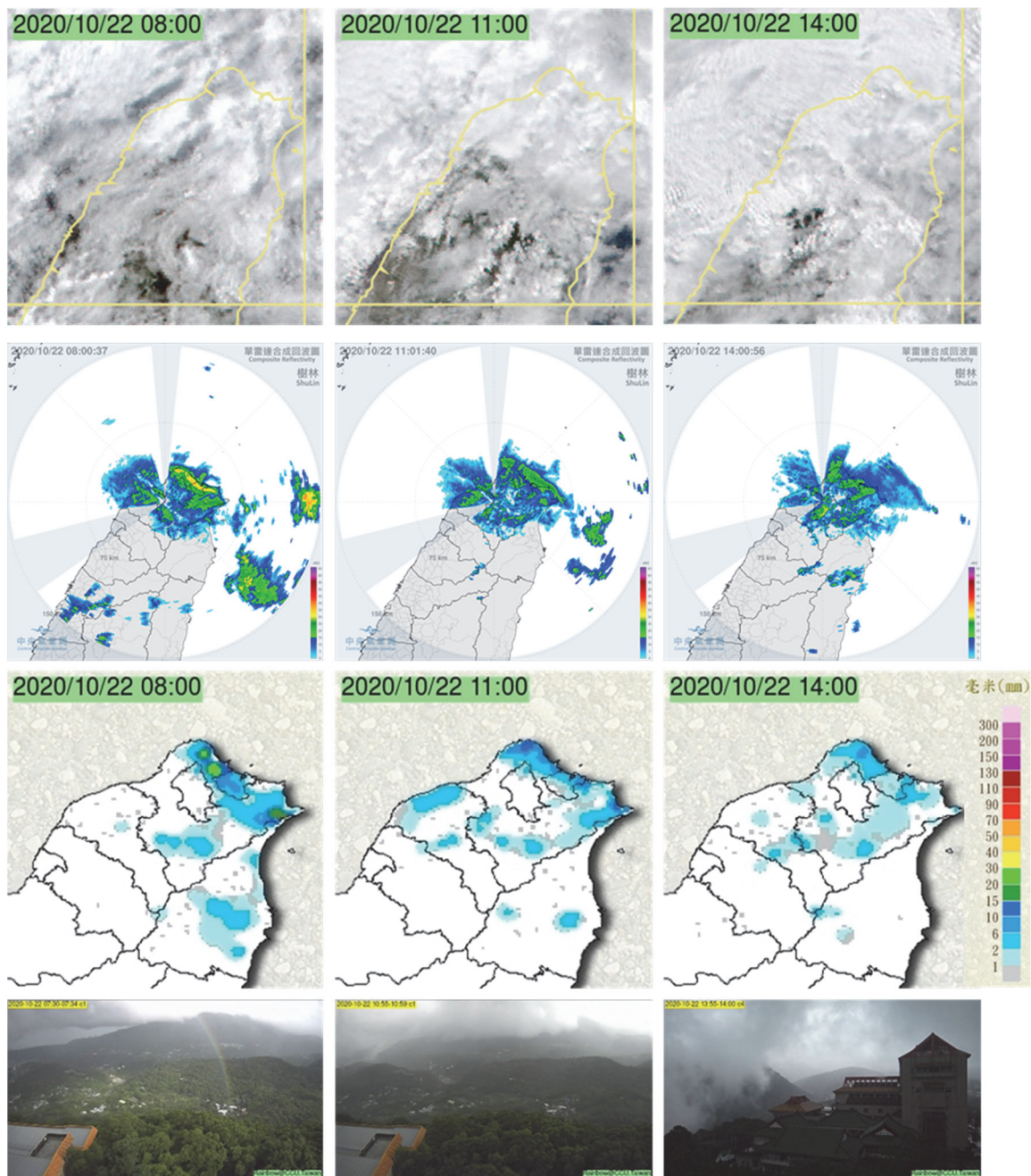


圖 9 2020 年 10 月 22 日 08LST、11LST、14LST 的真實色衛星影像、降水雷達回波、時雨量與該小時所拍攝到的彩虹影像。

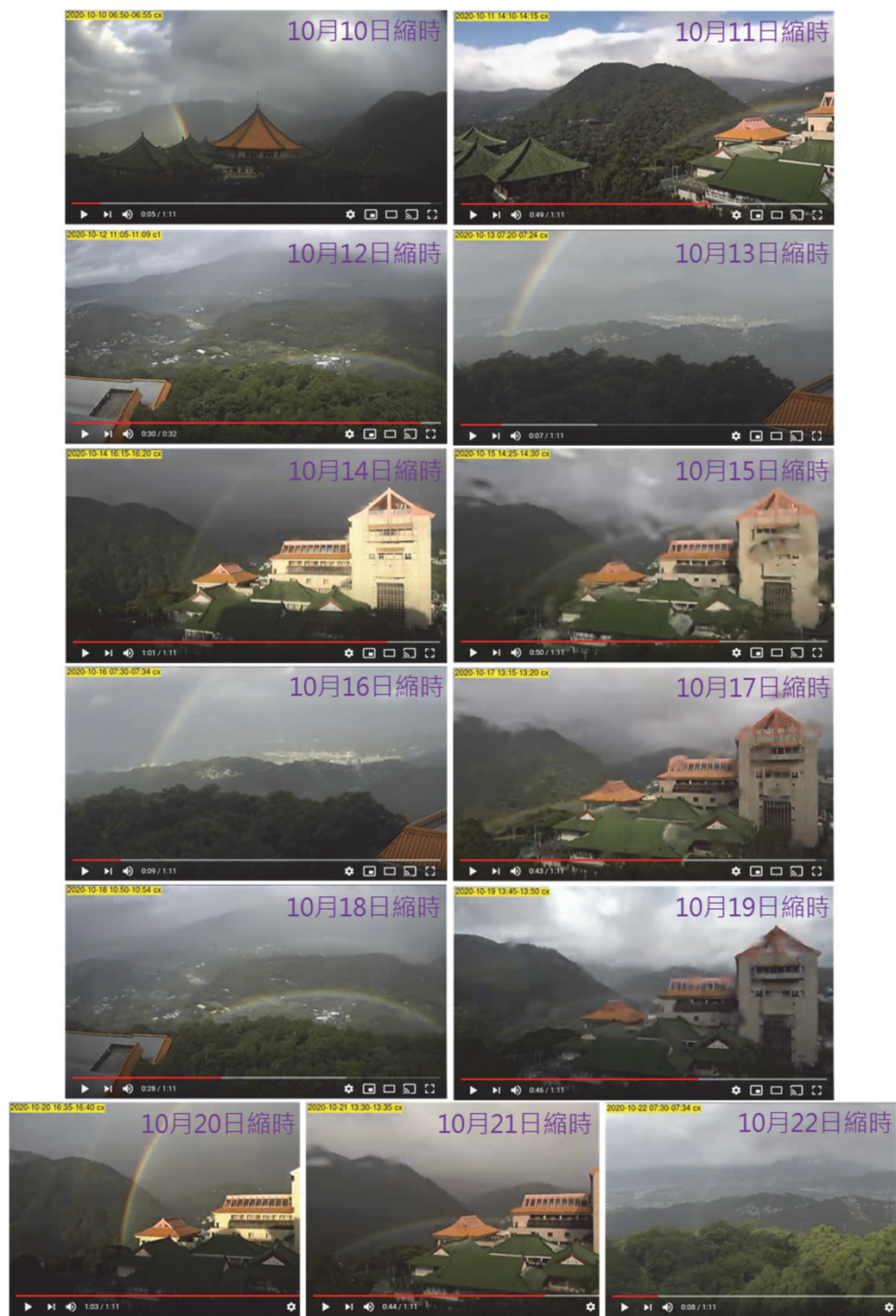


圖 10 2020 年 10 月 10 日~10 月 22 日逐日縮時攝影出現彩虹時的擷取畫面。



圖 11 2020 年 10 月 19 日~12 月 25 於陽明山國家公園的紗帽山山頂所拍攝的彩虹紀錄。上圖 11 張照片有 10 張皆為 2020 年秋冬季節於山頂所拍攝，其中 2005 年 10 月 29 日 14 點 30 分所拍攝的照片為連國淵博士所提供。下圖為根據 1 月 1 日太陽位置所推算的白天逐時彩虹弧頂位置。此圖表明紗帽山山頂是可以觀察到秋冬季節彩虹現象的最佳觀察地點，是以稱呼前方北側山谷為『陽明山的彩虹谷』。

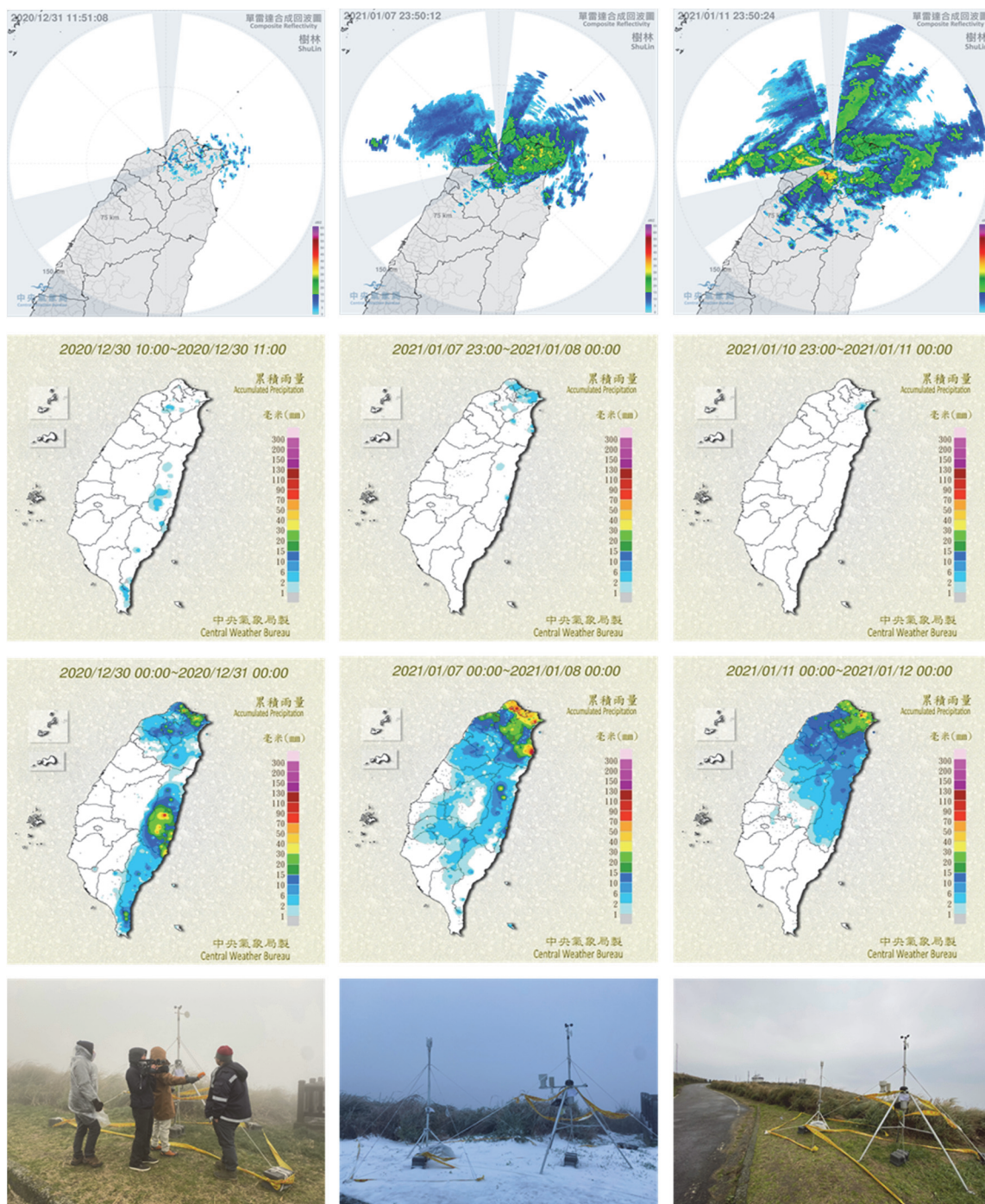


圖 12 2020 年入冬以來三波寒流過境臺灣期間，氣象局大屯山測站溫度降至冰點時的降水雷達回波、時雨量、日累積雨量及實際大屯山山頂地面降雪照片。左側欄為 2020 年 12 月 31 日清晨降下雪粒的個案，中間欄為 2021 年 1 月 8 日清晨降下 3-12 公分降雪的個案，右側欄為 2021 年 1 月 12 日清晨無降雪的個案。

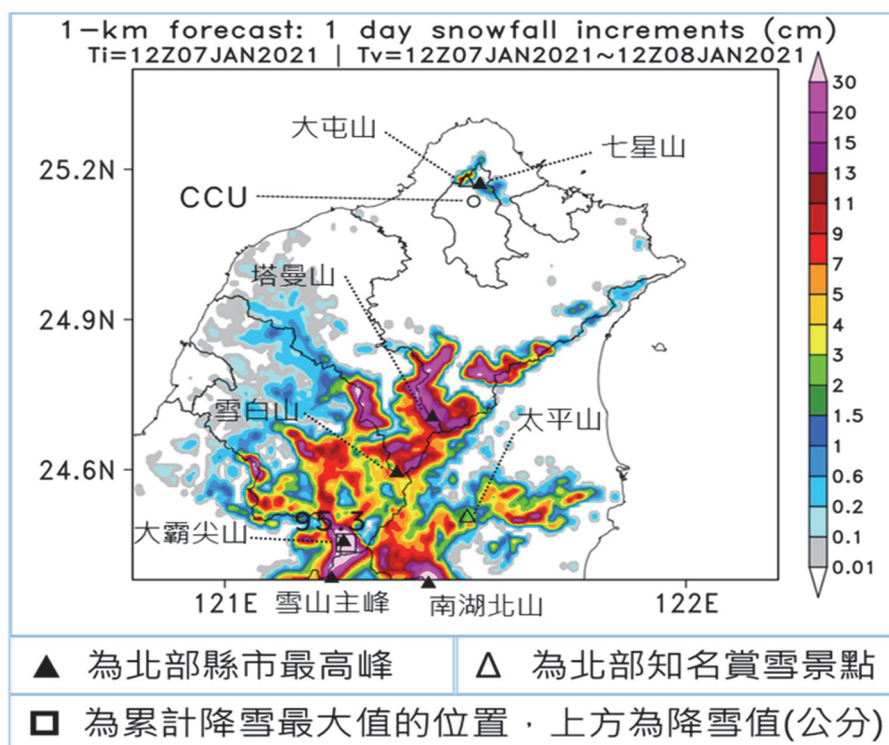


圖 13 上圖為文大大氣系 1-km WRF 模式所預測之 2021 年 1 月 7 日 20LST~1 月 8 日 20LST 一天實體雪深增加量的分布圖，單位為公分。圖中清楚顯示模式可以預測臺北陽明山山區的降雪可高達 10 公分的情況，此外，此波寒流降雪最多的地點為雪霸山區及南湖山區。下圖為 2021 年 1 月 14 日早上 8 點於文大後山所拍攝之南方高山山頭瑞雪情況，圖中清楚可見南湖大山與雪山主峰等高山地區仍有入冬以來三波寒流的殘雪。



圖 14 2021 年 1 月 8 日清晨的降雪個案照片圖集，第 1 列為大屯山步道上的積雪情況，第 2-3 列為不同地表跟植被的積雪狀況跟對應的雪深量測，第 4 列為多樣的雪結晶結構。

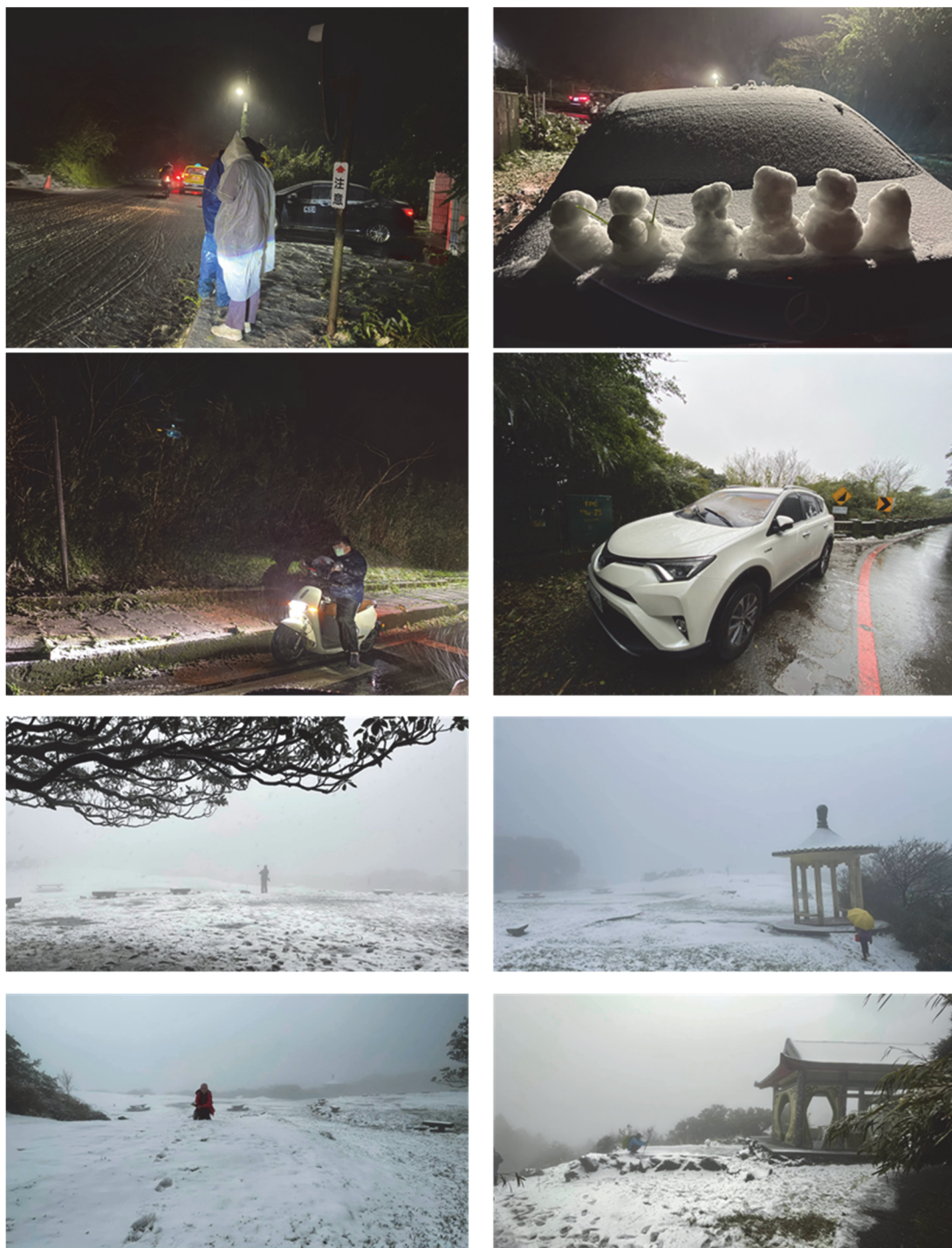


圖 15 2021 年 1 月 8 日陽明山山區白天的降雪照片圖集，第 1-2 列為鞍部氣象測站附近的降雪照片，測站的海拔高度為 830 公尺左右；第 3-4 列為七星公園附近的降雪照片（趙素晶所提供），此處的海拔高度為 850 公尺左右，左下圖亦可推估降雪深度至少有 5-10 公分以上。