

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080504

看美麗日「RAW」，終究得---「閃」一「邊」趣

學校名稱：新北市三重區正義國民小學

作者： 小六 陳怡蓁 小五 陳泳縵 小四 楊宇祥 小四 陳好安 小四 盧子泱 小四 蔡宜桐	指導老師： 謝恩澤 吳季芬
---	-------------------------

關鍵詞：RAW 檔、綠閃、綠邊

看美麗日「RAW」，終究得---「閃」一「邊」趣

摘要

在日出或日落出現在地平線或海平面，僅一、二秒鐘的綠色閃光非常難見到，因為無意間拍攝到，引發我們的探索興趣。研究先拍攝日出與大量日落 RAW 檔格式照片，以影像處理軟體觀看還發現到綠邊、藍邊、雲頂閃光等日出光學現象；為了解發生原因透過四種實驗方法驗證綠色閃光發生的機制，結果在日光下以三稜鏡與黃色及白色圓形紙片，即可重現綠色閃光、綠邊與藍邊等景象；以影像處理軟體做連續截圖，更可了解綠色閃光發生過程；最後再比對出現以上四種太陽色光後三日的氣象資料，發現降水時數幾乎為零。因此日出日落時，太陽出現四種色光景象以做為判別未來天氣變化的應用。我們甚至在東部或西部海邊觀光景點，以能拍到綠閃這難得的景象，促進觀光。

壹、研究動機

自然課上到觀測太陽單元，老師要我們收集太陽照片在課堂分享，我把暑假與家人到花蓮玩，住在豐濱鄉海邊海風號景點附近民宿，照的日出照片在課堂分享。在家直接用相機螢幕瀏覽那日出照片就一小點，然後太陽有點黃再變黃白，可是經過老師用專門看照片的軟體在教室大螢幕放出來，那一小點日出竟變成綠色，老師問我怎麼拍的，我說用爸爸的單眼相機在花蓮豐濱鄉海邊住宿隨手拍的，老師說我拍的這兩三張日出照片很值得研究，有可能是拍到「綠閃」這種太陽在日出或日落僅會出現一~二秒的日出景象，下課老師告訴我說，如果想知道這種日出難得見到的景象，去網路搜尋「門諾醫院」、「陳志雄醫師」〔文獻1〕、「台灣第一人」，這些關鍵字，應該會得到更詳細的科學解說，有老師鼓勵我就試試研究一下。

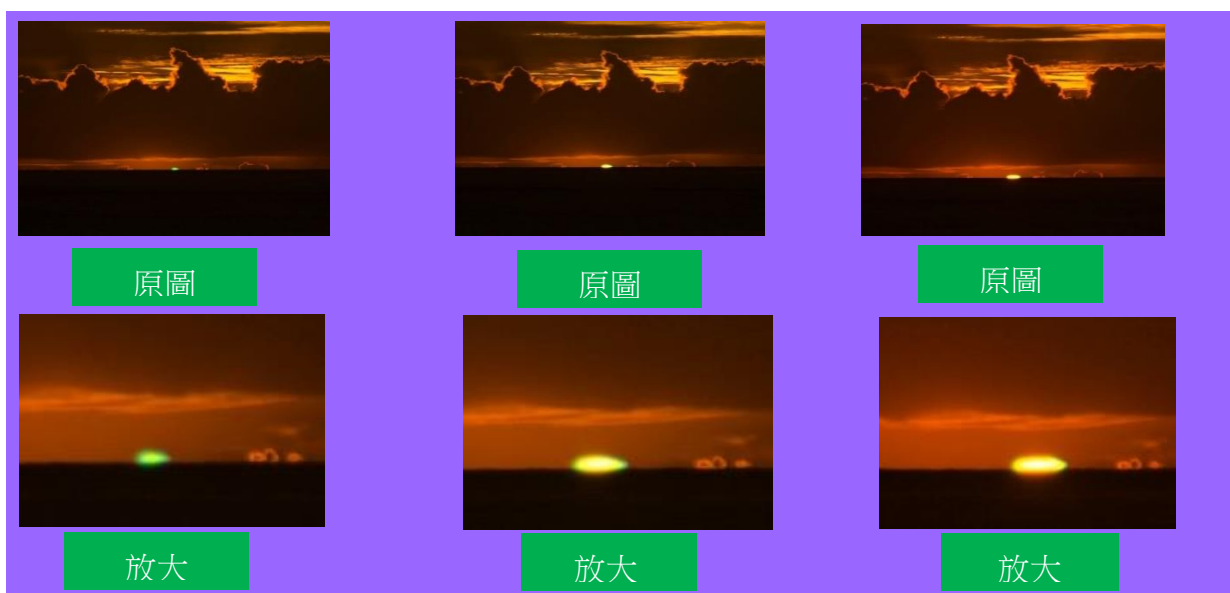


圖 壹 花蓮豐濱鄉日出 3 張連續原圖與放大圖(已由 RAW 檔轉 jpg 檔)

貳、研究目的

- 一、拍攝大量日出、日落 RAW 檔格式照片獲取綠色閃光影像。
- 二、操作實驗模擬驗證綠色閃光發生原因。
- 三、綠色閃光的應用。

參、研究器材

本研究將利用表參~一之器材做相關實驗研究。

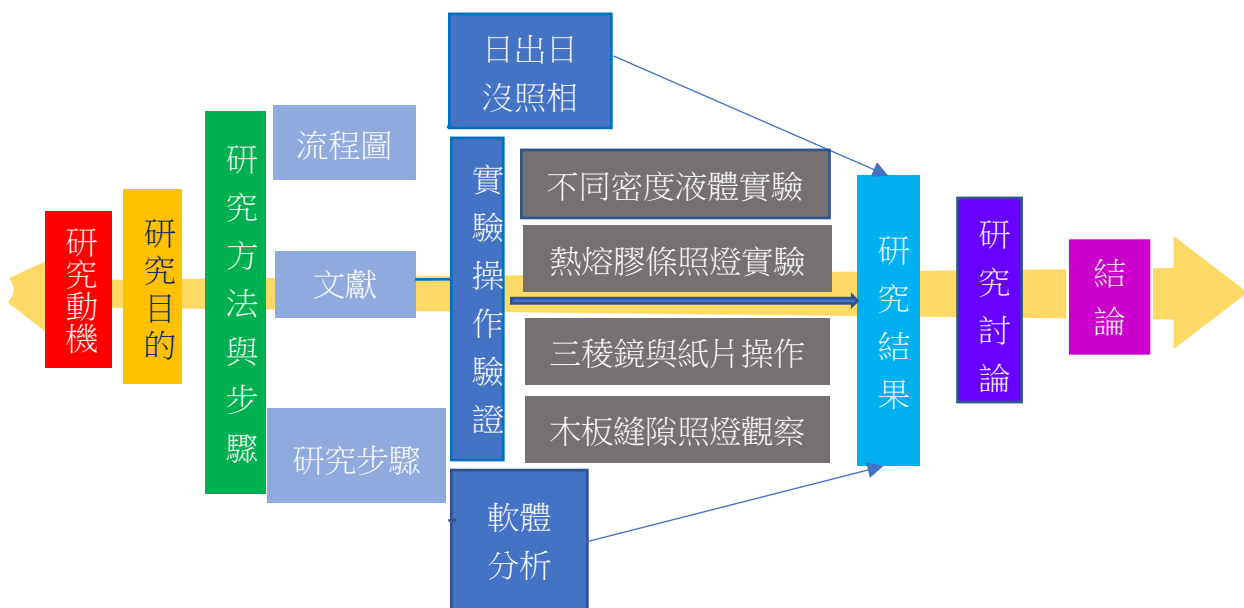
表 參~一研究使用實驗器材名稱、數量與使用說明表

照片				
說明	拍照相機	55-300 照相鏡頭	實驗用熱熔膠條	量角器紙
照片				
說明	實驗用食用油	100C.C.透明容器	圓形白、紅、黃色	貼鋁箔紙的兩木塊模擬水面
照片				
說明	實驗用小型黃白色手電筒	實驗用白光 LED 燈	向老師借來實驗用的三稜鏡	影像處理軟體放大看拍攝的綠閃照片

肆、研究方法與問題

本研究透過研究流程圖構思研究概要，再研讀日出、日沒，太陽出現極為短暫的綠色光景象文獻，擬定研究步驟與研究問題。

一、研究流程



二、文獻探討

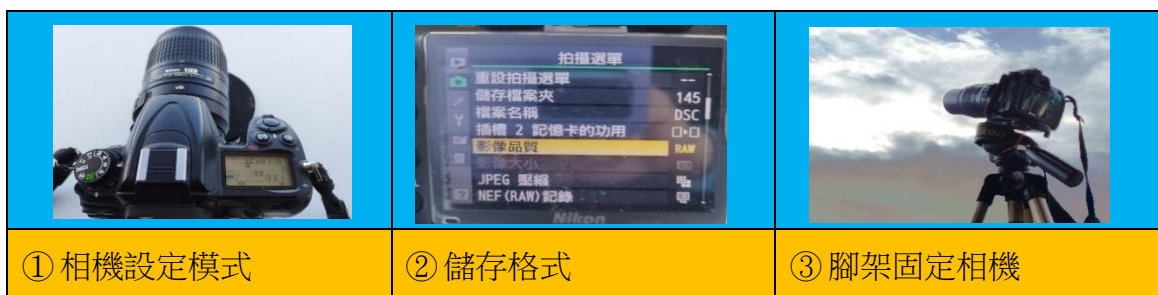
- (一)、RAW 檔：使用 RAW 檔案拍攝照片可收集豐富的影像細節，產生檔案較大但品質不失真的影像。許多攝影師以 RAW 格式完成拍攝後，會在 Photoshop 之類的軟體中處理原始檔案，再將 RAW 檔案壓縮成不同格式以用於列印或網路〔文獻 3〕。
- (二)、綠色閃光：簡稱為綠閃也有人稱為綠色閃爍或綠光，整理以下三位研究者的說明如下：
- (1) 綠色閃光是在日出和日落時看到的真實（而非幻覺）現象，“閃光”一詞指的是這種綠色的突然出現和持續時間很短，在中緯度地區通常只持續一兩秒〔文獻 5〕。
 - (2) 綠色閃光是海市蜃樓，其中垂直放大將其他顏色分開，否則只會略微分散。正常大氣的折射只會在地平線太陽上產生一個肉眼看不見的綠色邊緣。這種綠色閃光屬於經典的“下海市蜃樓”，是由較冷空氣下的暖空氣產生的(陳志雄 2015)〔文獻 1〕。
 - (3) 綠色閃光是一種眾所周知但難以捉摸的大氣現象，在其圓盤消失前的最後一刻，觀察到綠色閃光。這種現象是由於大氣折射率的垂直結構分散了太陽光 (Tomer ben Aroush 2018 等 3 人)〔文獻 4〕。
- (三)、綠邊：當一個天體（即太陽或月亮）落在地平線上時，大氣充當稜鏡，將光分成其組成波長或顏色。物體的上緣可能是綠色，甚至是藍色或紫色，而下緣總是紅色。當大氣中含有大量灰塵、煙霧或其他顆粒時，這種效果最常見。彩邊很薄，肉眼很難辨別。(Anne Marie Helmenstine, Ph.D. 2019)〔文獻 7〕。
- (四)、雲頂閃光：又稱為雲頂閃爍，很可能是模擬海市蜃樓閃光的一種形式。海洋層雲可能被逆溫層困住，在這種情況下，逆溫層頂部會出現綠色閃光。但這並不能完全解釋雲頂閃光〔文獻 11〕。

三、研究步驟

(一)、日出日沒照相

根據文獻探討得知綠閃或綠邊是太陽在日出日沒才會出現的短暫現象，受限我們研究居住位置，無法長期在東部做照相研究，因此研究主要以照相獲取日沒照片為主。利用假日到離住家約 20 分鐘，地勢可居高臨下的觀賞太陽落海點照相，而平日在住家對落日照相獲取太陽下山照片。

- 1.照相方法：使用尼康 d7000 相機與尼康 55~300 鏡頭，固定使用 300mm 長焦段，白平衡選擇自動，依照太陽高度角不同亮度，快門調整 1/8000 秒~1/400 秒以快門優先模式照相，如圖肆~三~①，相機照片儲存格式選擇 RAW 檔，如圖肆~三~②。
- 2.把相機固定於相機角架，可防止拍攝照片模糊，如圖肆~三~③。
- 3.參照中央氣象局每日日出、日沒時刻表，在太陽下山或落海前 30 分鐘開始照相。



圖肆~三~1 拍攝日出日落相機設定圖

4.研究問題

- (1) **日出階段**太陽上緣除了綠光還會看到其他色光出現嗎？

方法：拍攝日出照片並放大觀察會看到哪種色光在太陽上緣周邊，如 圖肆~三~2。



圖肆~三~2 假日拍攝的日出照片

(2) 日落下山前太陽上緣會除了綠光可以看到其他色光出現?

方法：拍攝太陽下山照片並放大觀察會看到哪種色光在太陽上緣周邊，如圖肆~三~3。



圖肆~三~3 住家每日拍攝太陽下山照片

(3) 日落入海前太陽上緣會出現綠光是如何變化?

方法：假日在北部山邊公路觀景台拍攝台北港海域日落入海，如圖肆~三~4。

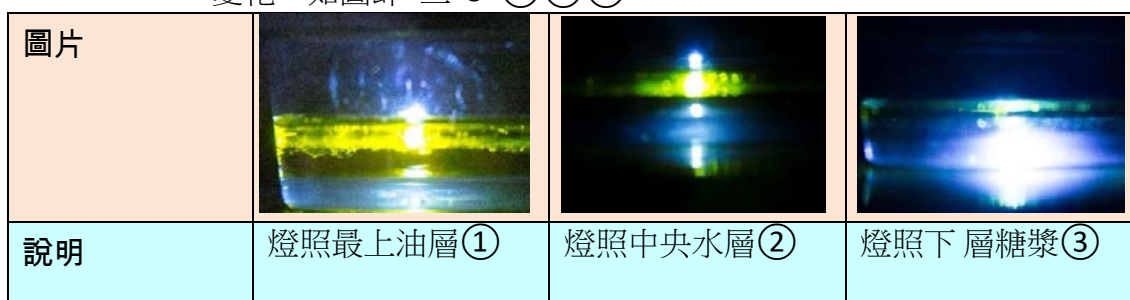


圖肆~三~4 假日到山邊景觀台拍攝落日入海照

(二)、實驗驗證綠閃綠邊實驗方法

1. 在黑暗處如何模擬日出、日落太陽上緣會出現綠色閃光?

方法 1：改良學者 Johannes Courtial(2012)的清水中加鮮奶實驗〔文獻 6〕，我們在 100c.c 小水槽先倒入 20c.c.濃度 50%糖漿，再倒入 20c.c.清水，最後倒入 20c.c.食用油，使用白光 LED 燈照射個液體層，紀錄 LED 燈的光色變化，如圖肆~三~5~①②③。



圖肆~三~5 使用水族箱操作綠閃實驗照片

方法 2：把直徑 1.2cm 淺白色熱熔膠條裁切三段 1.5cm、3cm、4.5cm，在黑暗處以 3v 白光 LED 燈照射一端邊緣，在另一端觀察並攝影，如圖肆~三~6~①②③。

圖片			
說明	膠條長 1.5cm①	膠條長 3cm②	膠條長 4.5cm③

圖肆~三~6 使用熱熔膠條模擬綠閃實驗照片

方法 3：在一個三稜鏡下方放置黃白光燈，透過轉動稜鏡或移動黃白光燈，觀察稜鏡中黃白光燈顏色的變化，如圖肆~三~7~①②③。

圖片			
說明	亮處下觀察①	不同角度觀察②	在黑暗處觀察③

圖肆~三~7 透過三稜鏡觀察黃白光手電筒燈光變化

2. 在光亮處如何模擬日出、日落，太陽上緣會出現綠色閃光？




方法 1：分別剪直徑 4.5 公分紅色、黃色、白色圓形紙片，放在三稜鏡前方，轉動三稜鏡，透過稜鏡觀察，鏡中各色紙片上緣顏色如何變化，如圖肆~三~8~①②③。

圖片			
說明	手電筒燈照黃色紙片觀察顏色變化①	觀察鏡中白色紙片上緣顏色變化②	觀察鏡中紅色紙片上緣顏色變化③

圖肆~三~8 透過三稜鏡觀察不同顏色紙片

方法 2：在紙箱上覆蓋藍色色紙，準備一個三稜鏡拆除稜鏡基座，固定在紙

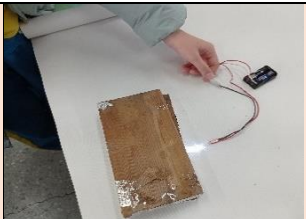
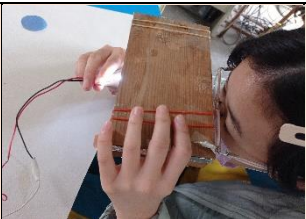
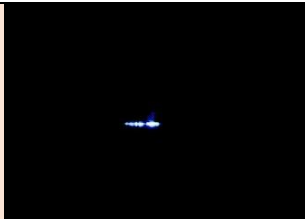
箱前端，在紙箱前下方放一片前一實驗裁切的黃色圓形紙片，轉動三稜鏡角度可看到被紙箱遮的黃色紙片，看到的黃色圓形紙片上緣是否會出現綠閃圖肆~三~9~①、②、③。

照片			
說明	紙箱前放圓形紙片 紙箱遮蔽無法看到 ①	紙箱上固定一支三 稜鏡，鏡中會出現 黃色紙片影像②	轉動三稜鏡黃色紙 片會變形③

圖肆~三~9 透過三稜鏡觀察不同顏色紙片

3.日落下山太陽經過遠處電線或山上樹叢後方，為什麼電線間隙太陽會出現藍邊或樹叢間會出現綠邊？

方法：在長方形兩木板塊前後兩端，塞入厚 1mm、3mm、6mm 紙片，使木塊間有縫隙，在木塊前端中央固定一個白光 3VLED 燈，由另一端觀察前方 LED 燈顏色變化，如圖肆~三~10~①②③。

圖片			
說明	白光 LED 燈照射①	透過間隙觀察②	黑暗處所見影像③

圖肆~三~10 透過木板間不同寬度隙觀察 led 燈顏色變

(三)、軟體分析照相結果

- 1.使用 Photoshop 軟體 RGB 紅綠藍色光強度數值。
- 2.使用 Photoshop 軟體放大拍攝的照片，再使用尺規工具了解綠邊、藍邊寬度大小，為什麼難以察覺。

(四)、綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光與天氣的關係應用


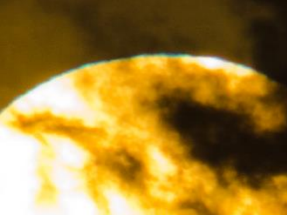

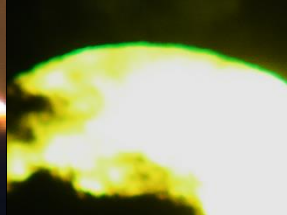
把拍攝到太陽綠色閃光、綠邊、藍邊、雲頂閃光的時間與氣象局氣候資料比對，了解這些特殊太陽景象出現後的天氣變化。

伍、研究結果

一、日出日落照相

1.日出時太陽在海上初升階段上緣會出現何種色光?

照相結果：使用 photoshop 軟體開啟 RAW 檔，放大 200 倍截圖，如圖伍~一~1。








照片				
說明	花蓮豐濱鄉拍攝的綠色閃光①	太陽上緣右下側出現藍邊②	上緣自右而左出現紅、藍、紫三色光③	太陽上緣出現藍綠光④

圖伍~一~1 拍攝日出出升太陽上緣出現的色光照片

說明：圖伍~一~1~①為去年暑假在花蓮豐濱鄉所拍攝到的綠閃照片；圖伍~一~1~②為瑞芳蝙蝠洞拍攝日出，太陽上緣薄雲遮住處為藍邊，偏右上為藍紫邊；圖伍~一~1~③為瑞芳陰陽海日出，太陽上緣左中側為藍紫光，中右側為紅色光邊；圖伍~一~1~④三貂角日出太陽上緣出現翡翠綠色邊。

2. 日落下山前太陽上緣可以看到何種色光出現?

照相結果：使用 photoshop 軟體開啟 RAW 檔，放大 200 倍截圖，如圖伍~一~2。









照片				
說明	9月太陽上緣出現紅、藍、紫光①	10月樹叢間太陽上緣出現出現綠光②	10月雲隙間太陽上緣出現藍綠光③	11月太陽前方電線間隙間有藍光④
照片				
說明	11月黃色太陽上緣有明顯綠邊⑤	12月橘紅色太陽上緣綠邊不明顯⑥	12月黃色太陽上緣有綠邊出現⑦	1月太陽上緣出現藍邊⑧

圖伍~一~2 111年9月~112年1月住家拍攝日落太陽上緣出現的色光照片

說明：圖伍~一~2~①住家落日太陽偏白色，被雲層遮住前出現紅、藍、紫三色光；圖伍~一~2~②落日太陽分別被遠處山頭樹蔭遮蔽前，縫隙間有明顯綠色光在上緣；圖伍~一~2~③落日太陽被雲層遮蔽前出現藍綠光在上緣；圖伍~一~2~④太陽上緣通過前方電線出現藍邊；圖伍~一~2~⑤落日太陽鮮黃色上緣出現明顯綠邊；圖伍~一~2~⑥落日太陽橘紅色上緣有綠邊但不明顯；圖伍~一~2~⑦落日高度角離地平線約 5 個太陽高度，太陽上緣出現綠邊；圖伍~一~2~⑧落日高度角離地平線約 7 個太陽高度，太陽上緣出現藍邊。

3. 日落入海前太陽上緣會出現何種色光?

照相結果：使用 photoshop 軟體開啟 RAW 檔，放大 200 倍截圖，如圖伍~一~3。

照片				
說明	9 月落日入海太陽上緣出現綠閃①	9 月落日入海太陽上緣出現綠閃②	9 月落日入海太陽上緣出現綠閃③	9 月落日入海太陽上緣出現綠邊④
照片				
說明	9 月落日入海太陽上緣出現綠邊⑤	10 月太陽入海上緣出現藍、綠光⑥	10 月落日入海太陽上緣出現綠閃⑦	10 月落日入海太陽上緣出現綠邊⑧

圖伍~一~3 111 年 9 月~10 月拍攝日落入海太陽上緣出現的色光照片

說明：圖伍~一~3~①②③111 年 9 月份拍攝日落入海，太陽上緣出現綠閃現象；

圖伍~一~3~④⑤⑧為太陽上緣出現綠邊現象；圖伍~一~3~⑥為太陽在落海前高度角約為 4 個太陽高度，太陽被雲層遮蔽上緣出現藍綠光。

二、實驗驗證綠閃、綠邊、藍邊實驗方法

(一) 在黑暗處如何模擬日出、日落太陽上緣會出現綠色閃光?

問題 1：以三種不同液體模擬空氣厚度以燈光照射後會出現綠色閃光嗎？

控制變因：燈照不同層(上層油、中層水、下層糖漿)

應變變因：光影是否出現綠光

操縱變因：三種液體都是 20c.c.、使用白光 3VLED 光源、燈接觸水槽邊緣

實驗結果：如圖 伍~二~1 與說明



圖伍~二~1 白光 LED 照射三種液體模擬空氣厚度不同位置照片

說明：1.以 LED 燈在對邊照射最上層食用油層，在對邊食用油層上方，可以看到 LED 燈最上緣位置出現藍色燈影，如圖伍~二~1~①。

2.LED 燈在對邊照射最中層清水層，在對邊最食用油層上方出現明顯白色 LED 燈影，燈影最上方呈現藍色，如圖伍~二~1~②。

3.再以 LED 燈在對邊照射最下糖漿層，在對邊食用油層最上方出現藍道光斑，如圖伍~二~1~③。以容器裝三種有層次液體，再對它照射白光 LED 燈，模擬日出日落出現綠光，以照射中層或下層液體方式可以得到藍色光出現。

問題 2：以三種不同長度熱熔膠條，照射白光 LED 燈可以模擬綠色閃光嗎？

控制變因：熱熔膠條長度(1.5cm、3cm、4.5cm)

應變變因：色光變化

操縱變因：全黑環境、使用白光 3vLED 光源

實驗結果：如圖 伍~二~2 與說明



說明	白光 LED 燈照射長度 1.5cm 膠條①	白光 LED 燈照射長度 3cm 膠條②	白光 LED 燈照射長度 4.5cm 膠條③
----	------------------------	----------------------	------------------------

圖伍~二~2 白光 LED 照射三種液體模擬空氣厚度不同位置照片

說明：在黑暗處以白光 LED 燈照射三種長度熱熔膠條

- 1.白光 LED 燈照射長度 1.5cm 膠條照射邊緣呈現藍色光邊，如圖伍~二~2~①。
- 2.白光 LED 燈照射長度 3cm 膠條呈現淡橘紅色，照射邊緣呈藍光邊，如圖伍~二~2~②。
- 3.白光 LED 燈照射長度 4.5cm 膠條呈現灰白色，照射邊緣呈藍灰色光邊，如圖伍~二~2~③。


問題 3：在三稜鏡下方放置黃白色光手電筒可以模擬出綠色閃光嗎？

控制變因：黃白燈離三稜鏡支撐架距離(正下、3 公分、6 公分)

應變變因：色光變化

操縱變因：黑暗環境、使用黃白光源、三稜鏡一稜邊固定角度朝正下方

實驗結果：如圖 伍~二~3 與說明

照片			
說明	黃白燈放三稜鏡支撐架正下方①	黃白燈放支撐架距離 3cm②	黃白燈放支撐架距離 6cm③

圖伍~二~3 透過三稜鏡觀看不同位置黃白光原照片

說明：黃白光小型手電筒燈放在三稜鏡下觀察結果

- 1.燈放三稜鏡支撐架正下方，三稜鏡中可見非常明顯的綠色閃光，出現在三稜鏡中水平側的鏡面中，如圖伍~二~3~①。
- 2.燈放三稜鏡支撐距離 3cm，三稜鏡中燈的上緣出現一條綠邊，如圖伍~二~3~②。

3.燈放三稜鏡支撐距離 6cm，三稜鏡中的燈光上緣無綠光，燈影呈現太陽的黃白色，如圖伍~二~3~③。

(二)、在光亮處如何模擬日出、日落太陽上緣會出現綠色閃光？


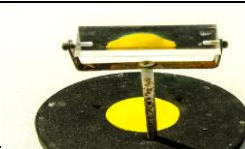
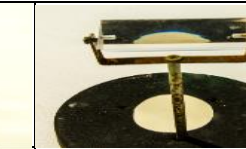


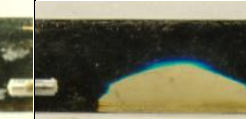
問題 1：在三稜鏡下方放置小圓紙片會看到什麼現象？

控制變因：不同顏色紙片(紅、黃、白)

應變變因：紙片上緣出現何種色光

操縱變因：光亮環境、圓形紙片大小(相同直徑)、放置稜鏡下方位置、稜鏡角度

實驗結果：如圖 伍~二~4 與說明

照片			
放大			
說明	紅色圓形紙片①	黃色圓形紙片②	白色圓形紙片③

圖伍~二~4 三色紙片放在三稜鏡下觀看紙片上緣色光出現照片

說明：把紅、黃、白三色圓形紙片放在三稜鏡下觀察如下

- 1.透過三稜鏡觀察鏡中的紅色圓形紙片上緣有藍色光出現，但是很不明顯，尤其在明亮的日光下，如圖伍~二~4~①。
- 2.觀察三稜鏡中的黃色圓形紙片上緣有藍綠色光出現，綠光非常明顯，藍光在綠光上層很不明顯，如圖伍~二~4~②。
- 3.再觀察三稜鏡中的白色圓形紙片，鏡中紙片上緣出現非常明顯的藍色邊，如圖伍~二~4~③。

問題 2：利用三稜鏡可以模擬下蜃景綠閃現象嗎？

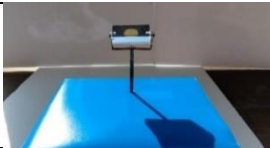

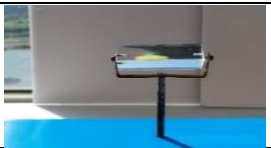



控制變因：稜鏡轉動角度

應變變因：鏡中能否出現綠閃現象

操縱變因：光亮環境、圓形紙片大小(相同直徑)、放置稜鏡下方位置、稜鏡角

度

實驗結果：如圖 伍~二~5 與說明

照片			
放大			
說明	稜鏡轉動 30 度①	稜鏡轉動 40 度②	稜鏡轉動 60 度③

圖伍~二~5 以三稜鏡驗證「模擬海市蜃樓閃」照片

說明：把黃色圓形紙片放在紙箱下方完全被遮蔽情況下，透過三稜鏡可以把圓形紙片影像提取到鏡中，三稜鏡其中一稜邊朝下呈倒三角狀，再轉動水平面角度後如下：

- 1.轉動 30 度：黃色圓形紙片整體如梯形狀頂部變圓弧，圓弧頂出現明顯綠邊，如圖伍~二~5~①。
- 2.轉動 40 度：黃色圓形紙片底部如層餅，最上出現半圓形，整體如飛碟狀，圓弧頂出現非常明顯綠邊，如圖伍~二~5~②。
- 3.轉動 60 度：黃色圓形紙片變層疊圓餅，頂部半圓弧也變層狀，上部層狀被綠光完全包圍，如綠色塔，如圖伍~二~5~③。



(三)、以木板模擬太陽經過遠處電線間隙或山上樹叢後方，會出現藍光邊或綠光邊嗎？

控制變因：木板間隙((1mm、3mm、6mm)

應變變因：LED 燈上緣變藍色或綠色

操縱變因：觀看角度(LED 燈正前方)、LED 燈緊貼木板、LED 燈亮度、

實驗結果：如圖 伍~二~6 與說明

照片			
放大			
說明	縫隙 1mm①	縫隙 3mm②	縫隙 6mm③

圖伍~二~6 三色紙片放在三稜鏡下觀看紙片上綠色光出現照片

說明：以兩木板中間留三種縫隙，以白光 LED 燈照射，在對邊觀測如下

1. 木板間隙 1mm，可看到對邊縫隙中白光 LED 燈發出藍色光影，如圖伍~二~6~①照片與放大圖。
2. 木板間隙 3mm，可看到對邊縫隙中白光 LED 燈發出左邊藍色光影，中央呈現白光，右邊出現微小綠光，如圖伍~二~6~②照片與放大圖。
3. 木板間隙 6mm，可看到對邊縫隙中白光 LED 燈發出白色光影，若再仔細看橢圓形白光周邊出現紅綠藍光斑，如圖伍~二~6~③照片與放大圖。

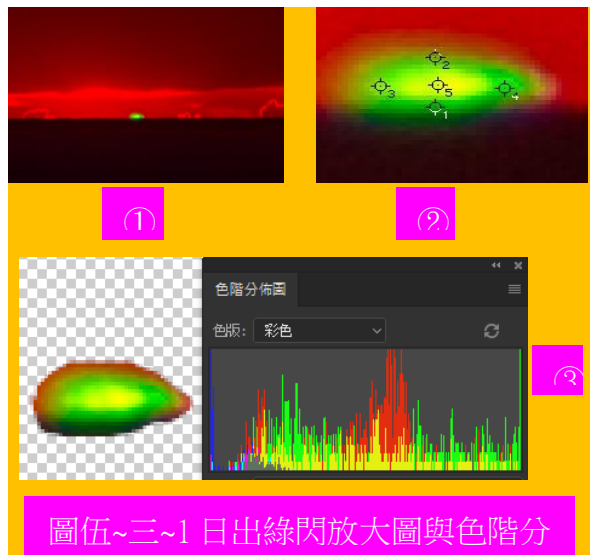
三、軟體分析照相結果

問題(一)、日出綠色閃光顏色 RGB 數值如何分布?

結果：分析所拍攝的日出照片結果如下表伍~三~1 與圖伍~三~1

表伍~三~1 日出綠閃五個位置 RGB 數值表

	R	G	B
點 1	87	166	0
點 2	141	164	0
點 3	159	226	0
點 4	116	203	0
點 5	222	254	0
平均	145	202.6	0



圖伍~三~1 日出綠閃放大圖與色階分

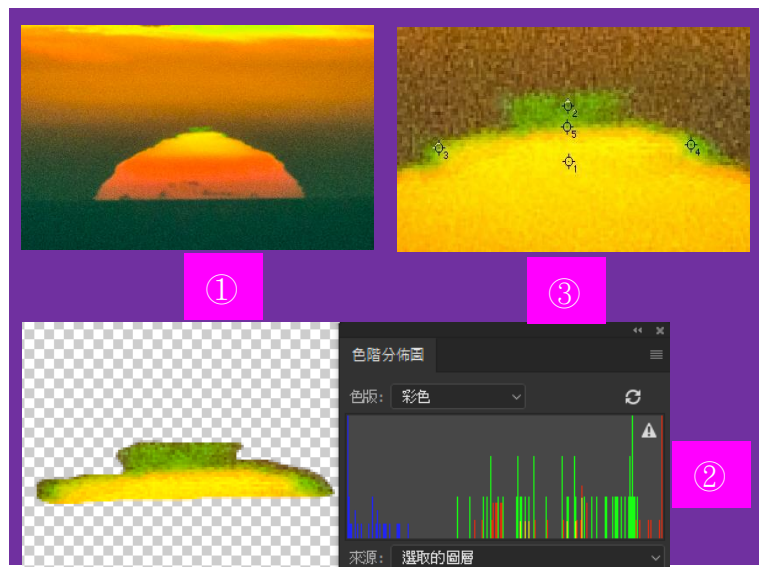
說明：先利用 photoshop 軟體把日出綠色閃光影像開啟後，開啟濾鏡 camera 模式放大 300 倍，選取綠閃影像中 5 個點(下、上、左、右、中間) 如 圖伍~三~1~①②獲得 RGB 數值。再回到 photoshop 頁面選取綠閃範圍得出色階分布圖圖伍~三~1~③。由 RGB 數值表可知綠閃的綠色光平均 202.6 最高，紅色光 145，藍色光為 0。

問題(二)、日落入海綠色閃光顏色 RGB 數值如何分布?

結果：分析所拍攝的日落其中一張照片結果，如下表伍~三~2 與圖伍~三~2

表伍~三~2 日落入海綠閃五個位置 RGB 數值表

	R	G	B
點 1	255	227	0
點 2	121	150	16
點 3	153	166	2
點 4	161	193	0
點 5	176	190	0
平均	173.2	185.2	3.6



圖伍~三~2 落日綠閃放大圖與色階分布圖

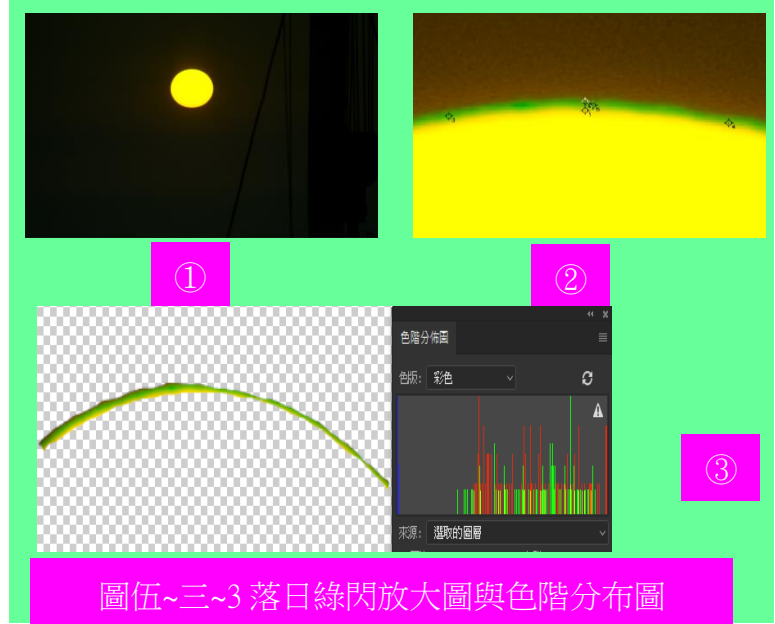
說明：操作 photoshop 軟體獲取數值方法同上，紅色 R 值五個位置平均 173.2；綠色

G 值五個位置平均 185.2；藍色 B 值五個位置平均 3.6，如表伍~三~2。選取綠閃範圍照片整體色階分布圖如圖伍~三~2~②③，因為落日太陽落入海中，影像暗黑模糊需增亮放大，即使已利用 RAW 檔案儲存，影像仍然些許模糊。

問題(三)、日落綠邊顏色 RGB 數值如何分布？

結果：分析所拍攝的日落照片結果如如下表伍~三~3 與圖伍~三~3

表伍~三~3 日綠邊五個位置 RGB 數值表			
	R	G	B
點 1	202	209	0
點 2	110	131	0
點 3	137	180	0
點 4	177	193	0
點 5	142	172	0
平均	153.6	177	0



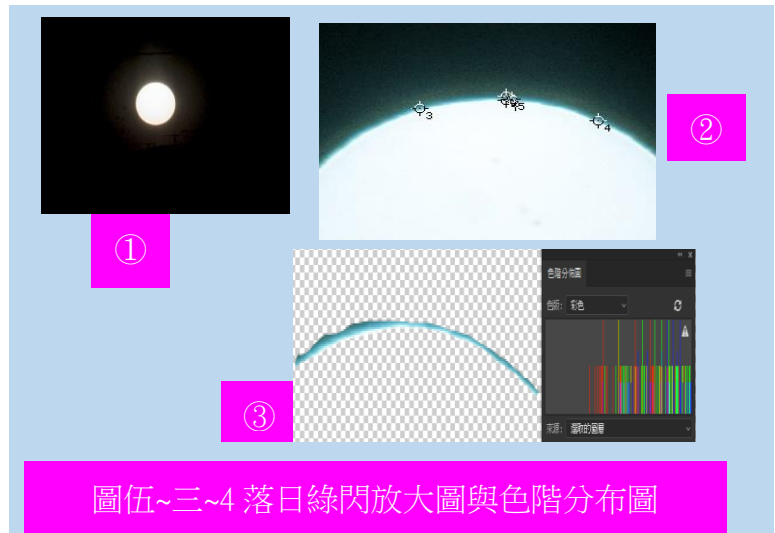
說明：落日的綠邊操作 photoshop 軟體獲取數值方法同上，紅色 R 值五個位置平均 153.6；綠色 G 值五個位置平均 177；藍色 B 值五個位置平均 0，綠色光數值仍然最大，如表伍~三~3。選取綠邊範圍照片整體色階分布圖如圖伍~三~3~②③，因為綠邊出現約在太陽落入海中前約 5~6 個太陽高度，太陽仍然明亮，因此出現在黃色太陽上緣的綠光更顯得清晰可見。

問題(四)、日落藍邊顏色 RGB 數值如何分布？

結果：分析所拍攝的日落綠邊照片結果如如下表伍~三~4 與圖伍~三~4

表伍~三~4 日綠邊五個位置 RGB 數值表

	R	G	B
點 1	188	220	230
點 2	92	129	136
點 3	141	186	196
點 4	154	191	201
點 5	152	193	206
平均	145.4	183.8	193.8



圖伍~三~4 落日綠閃放大圖與色階分布圖

說明：落日前太陽上緣出現藍邊以 photoshop 軟體獲取色階數值方法同上，紅色 R 值五個位置平均 145.4；綠色 G 值五個位置平均 183.8；藍色 B 值五個位置平均 193.8，藍色光數值最大，如表伍~三~4。選取藍邊範圍照片整體色階分布圖如圖伍~三~4~②③，因為藍出現約在太陽落入海中前約 5~6 個太陽高度，以影像處理軟體調減曝光值，藍邊就出現在白色太陽上緣，清晰可見。

問題(四)、研究中拍攝的日出雲頂閃光各種顏色數值如何分布？

結果：分析所拍攝的日出雲頂閃光照片結果如如下表伍~三~5 與圖伍~三~5

表伍~三~5 日出雲頂閃光顏色分布 RGB 數值表

	R	G	B
點 1	195	215	223
點 2	121	105	166
點 3	185	191	168
點 4	213	175	173
點 5	126	121	169
平均	168	161.4	179.8



圖伍~三~5 日出雲頂閃光放大圖與色階分布圖

說明：日出時太陽上緣出現顏色多彩的雲頂閃光，同樣以 Photoshop 軟體獲取色階數值，紅色 R 值五個位置平均 168；綠色 G 值五個位置平均 161；藍色 B 值五個位置平均 179.8，紅、綠光數值接近，藍色光數值較大，如表伍~三~5。太

陽上緣由左到右所見的光有：綠、藍、紫、紅四色。選取綠閃範圍照片整體色階分布圖如圖伍~三~5~②③。因為雲頂閃光出現約在太陽升起約 5~6 個太陽高度，雲層在前遮蔽整個太陽盤面，僅留上緣露出，黑暗中露出白光更顯得綠、藍、紫、紅色光清晰。

四、綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光與天氣

自 111 年 9 月~112 年 1 月，把拍攝到的綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光照片與中央氣象局氣候資料整理，如 表伍~四~1 與表 伍~四~2，說明如下：

(一)、落日綠色閃光：

1. 9 月 17 日落日綠閃後 3 日，隔日降水 0.5 小時，當日日照 9.1 時。後 2、3 日日照 3.1 與 5.5 時小時，降水時數 0。

2. 9 月 25 日落日綠閃後 3 日，隔日降水 9-42.8 小時，當日日照 7.7 時；後 2、3 日日照 9.7 與 9.4 時小時，降水時數 0。

(二)、綠邊：

1. 10 月 5 日綠邊後 3 日，隔日降水 2.7 小時，日照 3.3 時；第 2 日降水 2.7 小時，日照 3.3 小時；第 3 日降水 6 小時日照 0 小時。

2. 10 月 24 日綠邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 1.4 時；第 2 日降水 0 小時，日照 4.1 小時；第 3 日降水 0 小時日照 10.5 小時。

3. 112 年 1 月 28 日綠邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 2.9 時；第 2 日降水 0 小時，日照 6.6 小時；第 3 日降水 0 小時日照 10.1 小時。

(三)、藍邊：

1. 111 年 11 月 17 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 3.6 時；第 2 日降水 0 小時，日照 4.4 小時；第 3 日降水 0 小時日照 8.2 小時。

2. 111 年 12 月 22 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 9.4 時；第 2 日降水 0 小時，日照 5.5 小時；第 3 日降水 0 小時日照 8.3 小時。






3. 112 年 01 月 10 日藍邊後 3 日，隔日降水 2.8 小時，日照 2.6 時；第 2 日降水 0.7 小時，日照 1.4 小時；第 3 日降水 0 小時日照 3.5 小時。

(四)、雲頂閃光




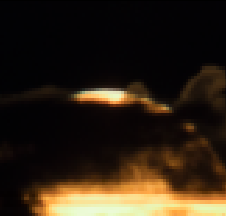
1.111 年 11 月 09 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 10.1 時；第 2 日降水 0 小時，日照 9.5 小時；第 3 日降水 0 小時日照 1.1 小時。

2.111 年 12 月 18 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 5.4 時；第 2 日降水 0 小時，日照 5.5 小時；第 3 日降水 0 小時日照 9.3 小時。

表伍~四~1 拍攝落日綠閃與綠邊後三日降水量與日照時數對照表

名稱	落日綠閃		落日綠閃		綠邊		綠邊		綠邊	
照片										
日期	111.09.17(六)		111.09.25(日)		111.10.05(三)		111.10.24(一)		112.01.28(六)	
拍攝 後 3 天 降 水 與 日 照	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)
	0.5	9.1	2.8	7.7	2.7	3.3	0	1.4	0	2.9
	0	3.1	0	9.7	1.2	0.1	0	4.1	0	6.6
	0	5.5	0	9.4	6	0	0	10.5	0	10.1

表伍~四~2 拍攝落日藍邊與雲頂閃光後五日降水量與日照時數對照表

名稱	藍邊		藍邊		藍邊		雲頂閃光		雲頂閃光	
照片										
日期	111.11.17(四)		111.12.22(四)		112.01.10(二)		111.11.09(三)		111.12.18(日)	
拍攝 後 3 天 降 水 與 日 照	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)	降水(h)	日照(h)
	0	3.6	0	9.4	2.8	2.6	0	10.1	0	5.4
	0	4.4	0	5.9	0.7	1.4	0	9.5	0	5.5
	0	8.2	0	8.3	0	3.5	0	1.1	0	9.3

陸、研究討論

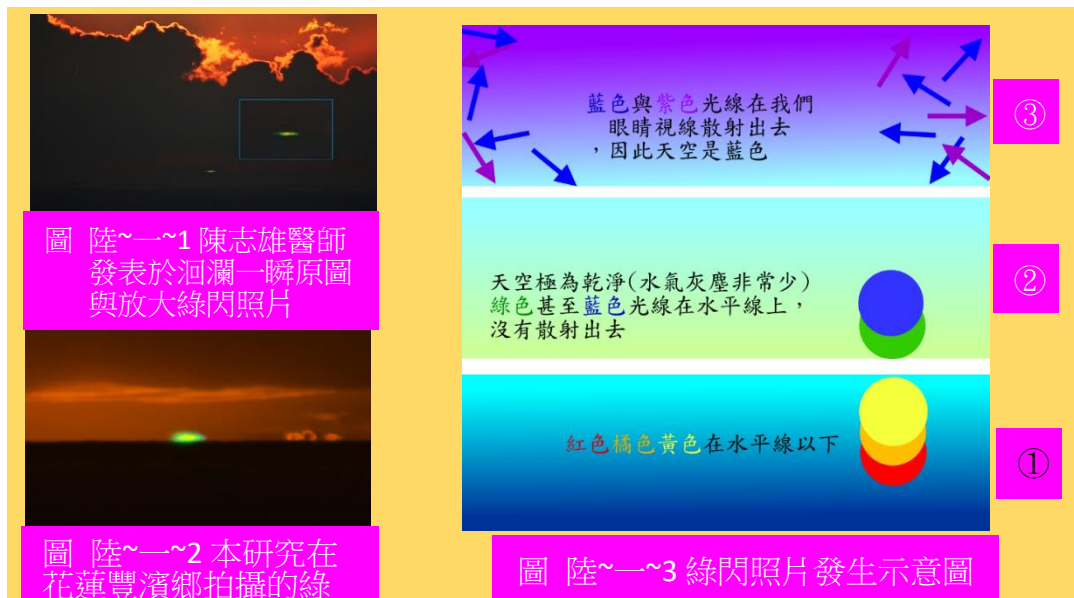
一、日出日落照相

(一)、本研究在研究前已無意間拍攝到綠色閃光，其餘三次在東北角濱海公路景點拍日出，其中二次，拍到日出後太陽高度角約 1 個拳頭，在太陽盤面上緣出現綠邊，另一次拍到雲頂閃光。

1.根據學者 Andrew T. Young(2012)研究，太陽的綠色閃光分為四種，分別為：

下蜃景綠閃 (I-Mir) 又稱劣質海市蜃樓閃光、模擬海市蜃樓(M-Mir)又稱假海市蜃樓、次級海市蜃樓綠色閃光或稱子管道閃光、綠光等四種，此四種綠色閃光起因都與海市蜃樓現象有關。

2.把我們拍攝的照片與學者 Andrew T. Young 的描述再與陳志雄醫師發表在大氣光學與洄瀾一瞬的照片〔文獻2〕比對，本研究拍的照片是屬於下蜃景綠色閃光。



3.日出下蜃景綠色閃光發生原因如下：地球的大氣層就像一個超巨大的稜鏡，可以彎曲和分散陽光。這種現象在日出和日落時非常明顯。太陽光的較短波長的藍色和綠色光，比波長較長的橘色和紅色光彎曲得更多，因此從觀察者的角度看，藍色、綠色光在天空中看起來比橘色、紅色光線略高。當太陽升起地平線且條件恰到好處時，與大氣溫度梯度(最下冷層、中間暖層、最上冷層)相關的海市蜃樓效應，就會放大色散使太陽顏色分離，如圖 陸~一~3~①②，就會產生難以見到的綠色閃光。可為什麼藍色或紫色閃光更難看見，

因為藍色或紫色光波長太短，被空氣中的分子和粒子散射掉，如圖陸~一 3~
③。

(二)、本研究共拍攝到日落綠閃照片 4 次。

1.因為日落天色暗，即使調低快門速度或透過增光仍無法如日出綠閃照片清晰，因此，為了看清楚落日綠色閃光，我們的照片有經過後製適度調光與調整清晰度。

2.參考學者 Andrew T. Young(2012)的研究文獻，我們拍攝到的日落綠色閃光，屬於 4 種綠色閃光中的模擬海市蜃樓綠色閃光(M-Mir)，又稱假海市蜃樓綠色閃光。

3.模擬海市蜃樓綠色閃光發生原因是：太陽落入海中前經歷由一次或多次逆溫造成的，因此，會看到照片中太陽上盤面入海過程中有多層次逐漸縮小，綠色光就浮在盤面最上緣，如圖 陸~一~4 示意圖與 圖 陸~一~5 我們所拍攝到的 3 組連續照片。

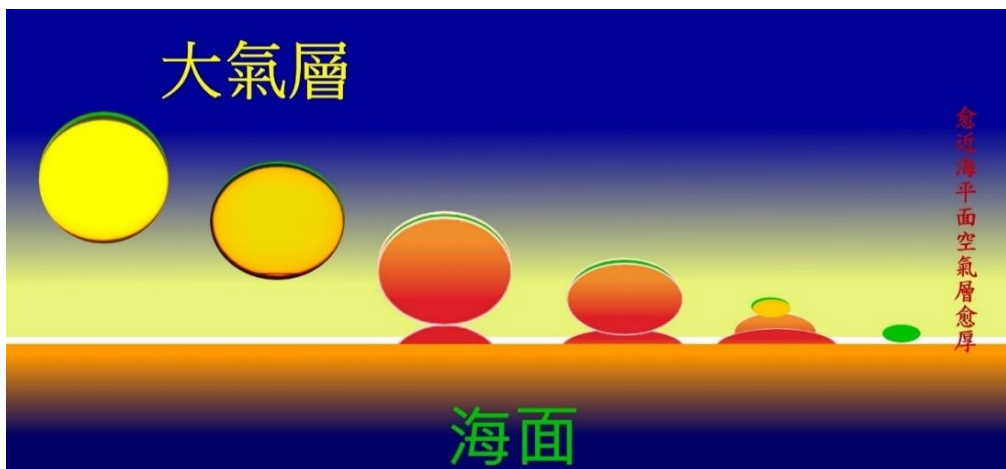


圖 陸~一~4 日落綠色閃光發生示意圖

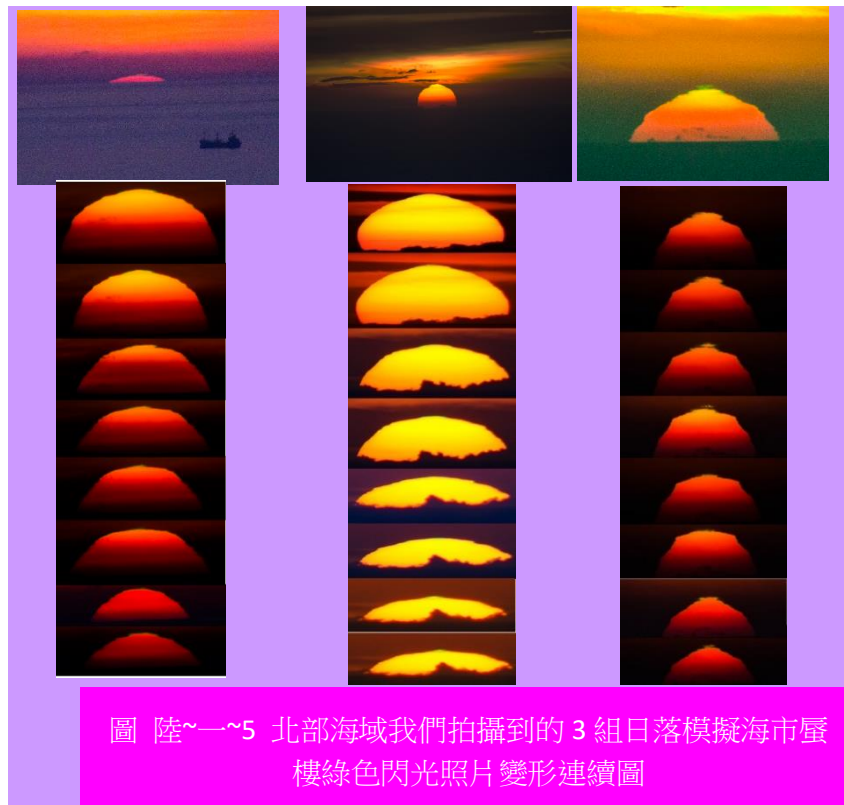


圖 陸~一~5 北部海域我們拍攝到的 3 組日落模擬海市蜃樓綠色閃光照片變形連續圖

(三)、日出後或日落入海前，太陽圓盤上緣會看到綠色邊或藍色邊緣，它發生的原因解說如下：

- 1.當日出太陽升起到地平線以上時，或落日接近地平線時，因為大氣層產生稜鏡效應，使得太陽色光被分離，紫，藍，綠光在太陽盤面上，而紅、黃、橘光在下(實際原本在下的紫光、藍光、綠光會反轉成在上)，因為紫、藍、綠光折射角度大，所以該三色光會出現在太陽盤面上緣，因此，綠邊的成因與導致綠邊閃光的原因大體相似，解說如圖 陸~一~6 與圖 陸~一~7。

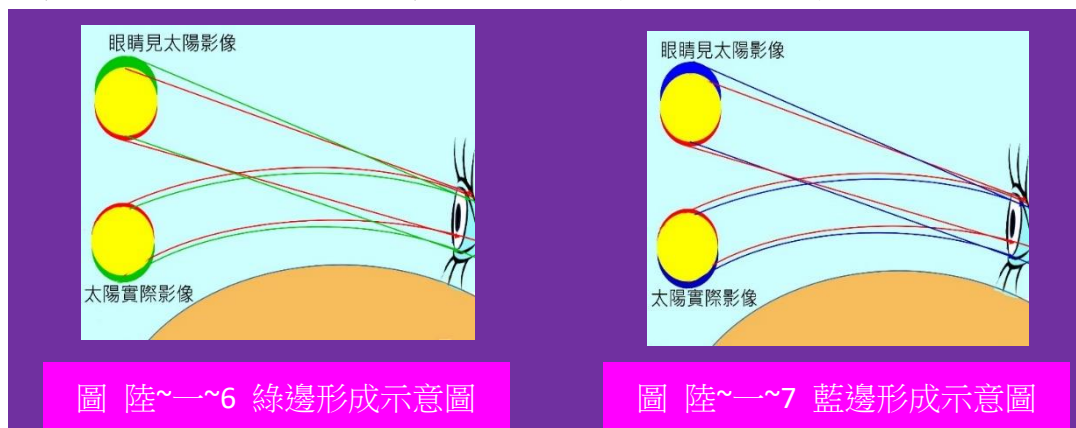


圖 陸~一~6 綠邊形成示意圖

圖 陸~一~7 藍邊形成示意圖

2.我們以 photoshop 軟體放大綠色邊與藍色邊，利用軟體尺規工具測得 5 個日落時出現的綠邊與藍邊寬度，如圖 陸~一~8 與圖 陸~一~9；再除以太陽在圖像中的直徑得到：綠邊寬度僅占太陽直徑 0.9%，藍邊稍微寬 1.1%，如表 陸~一~，因為綠邊或藍邊兩者寬度占太陽直徑比很小，所以不會引起人們注意。

表 陸~一 五個綠邊與藍邊寬度表
(單位 cm)

	綠邊 寬度	太陽 直徑	藍邊 寬度	太陽 直徑
1	0.03	5.4	0.05	5.4
2	0.0325	5.4	0.057	5.4
3	0.05	5.4	0.06	5.4
4	0.05	5.4	0.072	5.4
5	0.09	5.7	0.075	5.4
平均	0.05	5.46	0.0628	5.4
寬度除太陽直徑比率	0.009		0.011	

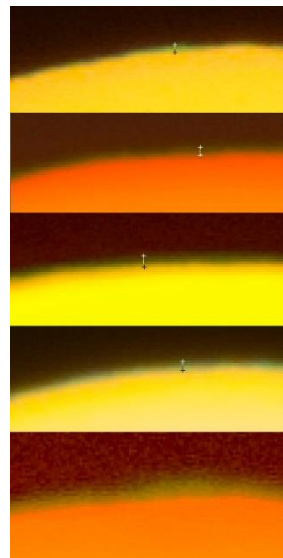


圖 陸~一~8 五個綠邊放大 400 倍

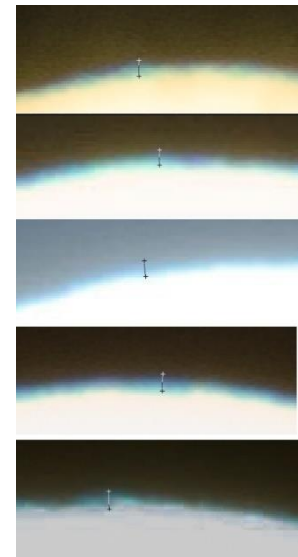


圖 陸~一~9 五個藍邊放大 400 倍

(四)、**雲頂閃光**：本研究過程中在日出拍到 1 次，日落下山 2 次、日落入海前 1 次。日出雲多，但是影像出現紅、藍、紫、綠四色光，如圖 陸~一~10~①我們拍攝的照片根據大氣光學網站學者指出，真正原因還無法透過實證研究，**可能發生原因是**：當太陽落到遠處的雲層後面時，**由覆蓋雲層的逆溫層產生的模擬海市蜃樓閃光**。我們拍攝的照片也可以發現太陽有變形現象，應該可以證明是逆溫層引起的模擬海市蜃樓產生的，如圖 陸~一~10~②③，我們拍攝的照片也發現到，遠處即將落入山頭的落日上緣也會出現相同閃光，陸~一~10~②。

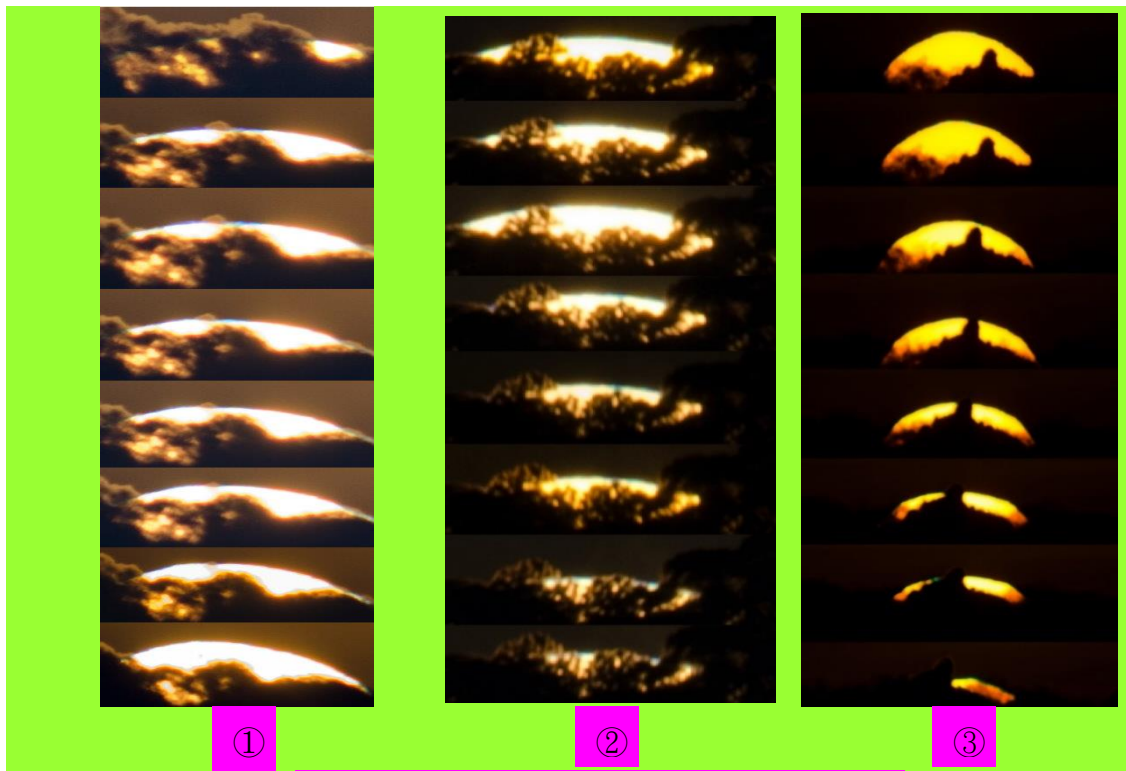


圖 陸~一~10 雲頂閃光連續截圖

(五)、**總結：**要拍到以上四種日出日落的太陽影像，條件如下：空氣清新，天氣愈晴朗愈佳、需要 200mm 以上望遠鏡頭(300mm 更佳)、使用 RAW 格式拍攝、拍攝地點空曠且無遮蔽物的海邊。

二、實驗驗證綠閃綠邊實驗方法

(一)、**在黑暗處**模擬日出、日落出現綠色閃光，我們操作三項實驗。

- 1.以 10c.c.糖漿在下，10c.c.清水在中層，10c.c.食用油在最上層方式，可以模擬出藍光閃爍；因為食用油偏黃綠色，因此，我們做出的實驗無法見到綠光。而我們發現把 LED 燈放在最下的糖漿層位置觀測，可以看到藍光影像在最上層食用油面，**我們認為這實驗可以模擬太陽的藍色閃爍現象。**
- 2.在黑暗處使用白光 LED 燈照射 1.5cm、3cm、4.5cm 三種長度熱熔膠條，1.5cm 長度效果最佳，熱熔膠條長度變長顏色也愈暗，是**很簡單的模擬白光通過很厚的大氣層，白光被分出各種色光的方法，缺點是僅能看到藍邊無法看到綠邊。**

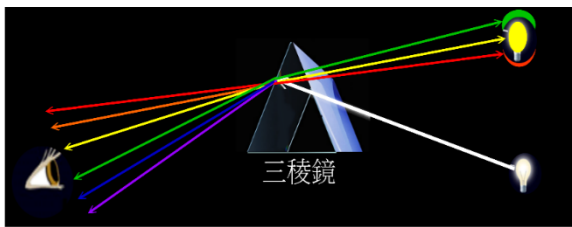
3.在黑暗處把黃白燈放在三稜鏡支架正下方、離支架正下方 3cm、正下方 6cm 三個位置做綠閃實驗。黃白燈放三稜鏡正下方位置，調整轉動三稜鏡角度，就可以明顯看到三稜鏡中的黃白色燈上緣，出現非常明顯的綠色閃光，我們認為這是最簡單模擬太陽在日出日落出現綠色閃光的方法。

(二)、在光亮處模擬日出、日落太陽上緣會出現綠色閃光。

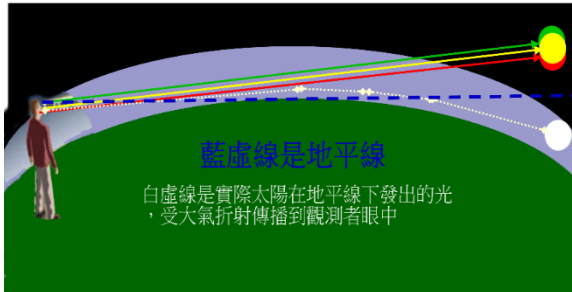
1.在太陽光下，把直徑 4.5cm 的紅、黃、白圓形色紙，放在黑色底座的三稜鏡支撐架正下方位置，我們發現三種色紙上端都會出現藍光，紅色圓形紙片上緣的藍光最不明顯，黃色紙片上緣出現明顯綠邊色光，白色紙片上緣出現藍色邊色光。我們認為這項實驗可以證明，我們在多次照相時當天氣晴朗空氣清新，為什麼都看到的白色落日上緣都出現藍色邊色光。

2.同樣在陽光下，再把黃色紙片放在三稜鏡下轉動平面朝正上方的稜鏡面，分別轉動 30 度、40 度、60 度在觀察，我們發現轉動 30 度，鏡中圓紙片變成頂部圓弧狀梯型，綠邊出現在圓弧上方；鏡面轉成 40 度角觀察，圓紙片變形成，下方是圓餅狀上方疊加飛碟狀的紙片影像，最上方出現明顯綠色邊光；鏡面轉成 60 度，如同出現我們拍攝到的落日入海綠色閃光。我們認為此項實驗與綠色閃光的第二種類型，模擬綠色閃光完全符合。

3.因為三稜鏡可以模擬太陽上緣出現綠邊，我們再把三稜鏡放紙箱上方，刻意把一圓型黃色紙片放紙箱正下方無法看見位置，嘗試透過轉動三稜鏡，了解是否可使影像浮現在鏡片中，實驗結果黃色紙片不僅浮現在鏡面中，還成功操作出第二類落日時出現的模擬綠色閃光，示意圖如圖 陸~一~11。



三稜鏡



藍虛線是地平線

白虛線是實際太陽在地平線下發出的光，受大氣折射傳播到觀測者眼中

圖 陸~一~11 上圖三稜鏡解說下圖日出模擬綠色閃光示意圖

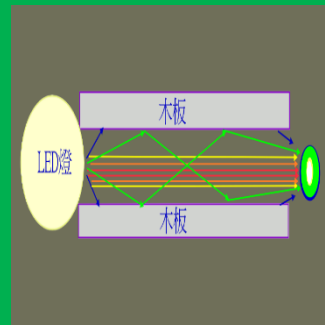


圖 陸~一~12 木板縫隙 3mm，藍色綠色光在縫隙中折射與反

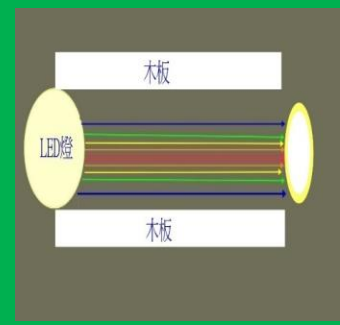


圖 陸~二~13 木板縫隙 6mm，各色光全部穿透縫隙到對側

(三)、為了解日落時 **遠方太陽經過電線隙縫與樹蔭** 太陽上緣會出現藍色或綠色光原因：

1. 我們利用兩塊木板包夾厚度 1mm、3mm、6mm 紙片，使木板間留有縫隙，一邊照射白光 LED 燈，在另一邊觀察燈色變化，縫隙 1 mm 出現非常微弱且暗的扁平型藍光；3 mm 出現扁平左側藍光、中央白色、右側綠色的影像；縫隙 6 mm 呈現橢圓形黃白色光，橢圓周圍有藍、綠、紅等光點出現。
2. 大縫隙 6mm，所有左側 LED 色光都直接通過縫隙到達右側，因為兩夾層縫隙中較暗，且紅、黃、橘三色光穿透最強偏折最小，因此燈色呈現白黃。如圖 陸~二~13；當縫隙更小時，綠色與藍色光在縫隙中折射，中央僅一部分紅橘黃色光穿透，所以會看到右邊綠、左邊藍、中央白的扁平燈色，如圖 陸~二~12。

三、軟體分析照相結果

研究想了解所拍攝的綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光等照片，放大 200 倍後，固定擷取照片中，下、上、左、右、中 5 個位置，應用 photoshop 軟體分析的照片紅色、藍色、綠色三種顏色強度數值，與色階分布統計圖。

- (一)、日出綠閃；分析 RGB 數值，綠色值 202.6 最高，其次紅色 145，藍色值 0，**放大 300 倍後可以看到扁圓型綠色閃光並非全部綠色，中間包夾扁圓型黃色光盤。**
- (二)、日落綠閃：本研究拍到 4 次，分析其中一次 RGB 數值，綠色值 185 最高，其次紅色 173，藍色值 3.6，放大 300 倍後可以看到日落綠色閃光與日出閃光完全不同，**日落綠色閃光如綠色火焰，漂浮在下方變形如梯塔狀的太陽上方。**
- (三)、日出與日落綠邊：太陽剛升起或即將入海 10 度左右(一個太陽約 0.5 度角)，**太陽上緣出現綠邊，只要天氣晴朗皆可拍到，比較不需要如日出、日落綠閃，大氣要出現明顯逆溫或多層次溫差形成的海市蜃樓才會出現**，分析其中一次拍攝的照片 RGB 數值，綠色值 177 最高，其次紅色 153，藍色值 0，放大 300 倍後如果太陽是鮮黃色，可以看到綠色邊有如翡翠亮綠，如果太陽橘紅色，綠邊色黯淡，如果沒有放大照片不易觀察到。
- (四)、日出與日落藍邊：**當天氣晴朗，大氣空氣特別乾淨清新，拍攝的照片太陽呈白色，就會出現藍邊在太陽上緣。**分析 111 年 12 月 22 日冬至日，拍攝的日落照片 RGB 數值，綠色值 183.8 最高，其次藍色 193.8，紅色值 145.4，我們認為以白色太陽出現藍邊，可以做為判別天氣是否晴朗。
- (五)、雲頂閃光：顧名思義只會出現在太陽即將被雲層遮蔽時的太陽上緣，**學者 Andrew T. Young.認為雲頂閃光是一種模擬海市蜃樓的形式**，當較冷、較稠密的空氣低於較暖的空氣時產生。但他認為真正原因還需作更多的科學研究。分析 111 年 10 月 1 日拍攝的日出雲頂閃光照片，RGB 數值，紅色值 145.4，綠色 183.8，藍色值 193.8，我們拍攝的雲頂閃光照片，出現紫色光也非常少見。

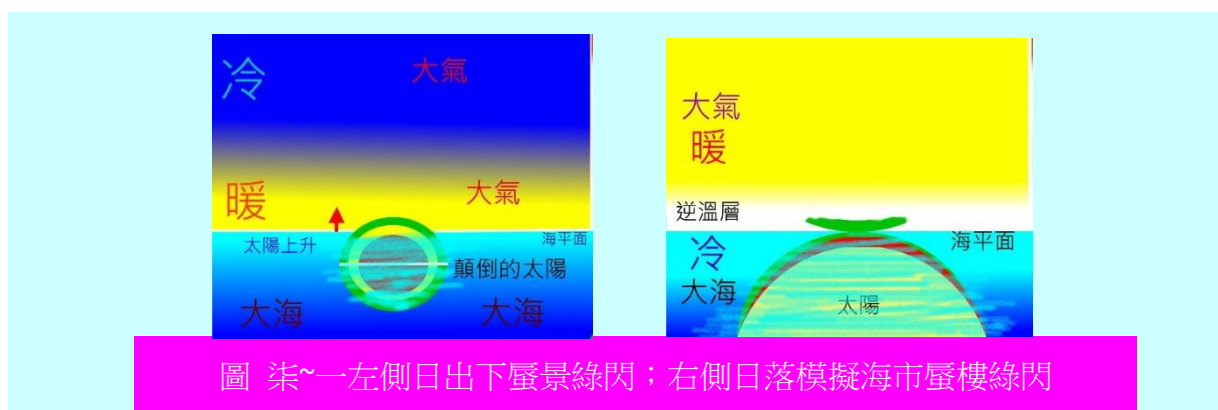
四、綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光與天氣的關係應用

整理 111 年 9 月~112 年 1 月拍攝的 10 張照片，落日綠色閃光照片 2 張，綠邊照片 3 張，藍邊照片 3 張，雲頂閃光 2 張，再比對拍攝上述照片後 3 日的降水時數與日照時

數，除 111 年 10 月 5 日綠邊出現後 3 日都有降雨。我們發現太陽出現綠閃、綠邊、藍邊與雲頂閃光後 3 日，都有較長日照時數與降雨都為零天氣出現，因此我們認為太陽是否出現這四種色光，也可以做為未來天氣的簡易判別。

柒、研究結論

- 一、拍攝日出、日落照片儲存成 RAW 檔案，可以保留拍攝時的明暗、顏色細節數據在檔案中。例如，肉眼見太陽落入海中就看不見很難看到模擬綠色閃光，但是以高速連拍並存成 RAW 檔案，以電腦開啟影像後，就能看見美麗的日落變形過程與綠色光焰漂浮在太陽盤面上。
- 二、要拍攝到日出太陽綠色閃光不容易，需要非常晴朗的天氣配合，一般來說夏季最適合；而落日綠色閃光在台灣北部海岸，在晴朗天氣就比較容易拍攝到。
- 三、本研究以三種實驗方法驗證日出與日落綠色閃光，其中以使用三稜鏡與圓型黃色與白色紙片並在陽光下或室內光亮處操作，即可模擬出太陽的上緣出現綠邊與藍邊，再轉動三稜鏡即可模擬綠色閃光發生的過程。
- 四、本研究拍攝到**日出下蜃景綠色閃光**與**日落模擬綠色閃光**，日出下蜃景綠色閃光成因是：異常溫暖的空氣處於較冷的下方時產生的，如圖 柒~一(左圖)；而日落模擬綠色閃光，是由一次或多次逆溫造成的，並且**逆溫位於觀察者下方時發生**，如圖 柒~一(右圖)，而所謂逆溫就是較冷的空氣被困在較暖的空氣之下。



五、日出綠色閃光非常難見到，而日落模擬綠色閃光無法以肉眼見到，但是透過拍攝照片就容易見到；另外綠邊與藍邊，只要天氣晴朗天空雲層稀少的日出日落都可見到；雲頂閃光需要日出或日落太陽盤面被雲遮住前可以看到。

六、我們認為應用日出與日落可否見到太陽的綠色閃光或綠邊、藍邊、雲頂閃光等光學現象，可以判別未來天氣變化。

七、我們甚至在東部或西部海邊觀光景點，以能拍到綠閃這難得的景象，促進觀光。

捌、參考文獻

- 1、陳志雄(2015).日出綠色閃光 <https://atoptics.co.uk/fza49.htm>
- 2、太平洋上的日出綠閃(2015).<http://chenchihhsiung.blogspot.com/2015/11/blog-post.html>
- 3、RAW 檔 <https://www.adobe.com/tw/creativecloud/file-types/image/raw.html>
- 4、Tomer ben Aroush¹,Saber Boulahjar¹andStephen G Lipson²
Observing the Green Flash in the laboratory.Published 13 December 2017 • © 2017 European Physical SocietyEuropean Journal of Physics, Volume 39, Number 1
- 5、Andrew T. Young.2013~2022 <https://aty.sdsu.edu/index.html>
- 6、Johannes Courtial(2012).A simple experiment that demonstrates the “green flash” American Journal of Physics, Volume 80, Issue 11, pp. 955-961 (2012).
- 7、Anne Marie Helmenstine, Ph.D.2019 <https://www.thoughtco.com/green-flash-4135423>
- 8、Diego Gutierrez、Francisco J. Serón、Oscar Anson、Adolfo Muñoz(2004).Chasing the green Flash: A global illumination solution for inhomogeneous media Article · April 2004 DOI: 10.1145/1037210.1037225
- 9、Green Flash <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/redsun.html>
- 10、高地平線閃光---藍、紫光(Elevated-horizon flashes).
<https://aty.sdsu.edu/explain/simulations/std/rims.html>
- 11、雲頂閃爍 <https://atoptics.co.uk/fz824.htm>
- 12、Blue Skies, Red Sunsets & Company: Part 5 - Green Flashes
<https://www.cloudynights.com/articles/cat/articles/blue-skies-red-sunsets-company-part-5-r3021>

【評語】 080504

探討日出日落太陽光變化產生綠色閃光原理並與天氣狀況進行連結。作者實際利用液體密度差異重現太陽光於大氣中發生折射的現象。研究動機創新有趣，實驗設計嚴謹，雖然實驗結果是以影像圖片為主，但分析過程及實驗組設計相當豐富，報告完整，充分理解大氣結構對密度變化及折射率所造成的影響，進而連結實際的天氣狀態。海報展示與回答充分理解結果與結論的限制。

作品海報

看美麗日「RAW」

——終究得「閃」——「邊」趣

摘要

在日出或日落出現在地平線或海平面，僅一、二秒鐘的綠色閃光非常難見到，因為無意間拍攝到，引發我們的探索興趣。研究先拍攝日出與大量日落 RAW 檔格式照片，以影像處理軟體觀看還發現到綠邊、藍邊、雲頂閃光等日出光學現象；為了解發生原因透過四種實驗方法驗證綠色閃光發生的機制，結果在日光下以三稜鏡與黃色及白色圓形紙片，即可重現綠色閃光、綠邊與藍邊等景象；以影像處理軟體做連續截圖，更可了解綠色閃光發生過程；最後再比對出現以上四種太陽色光後三日的氣象資料，發現降水時數幾乎為零。因此日出日落時，太陽出現四種色光景象以做為判別未來天氣變化的應用。我們甚至在東部或西部海邊觀光景點，以能拍到綠閃這難得的景象，促進觀光。

壹 研究動機

自然課上到觀測太陽單元，老師要們收集太陽照片在課堂分享，我把暑假與家人到花蓮玩，住在豐濱鄉海邊風號景點附近民宿，照的日出照片在課堂分享。在家直接用相機螢幕瀏覽那日出照片就一小點，然後太陽有點黃再變黃白，可是經過老師用專門看照片的軟體在教室大螢幕放出來，那一點日出竟變成綠色，老師問我怎麼拍的，我說用爸爸的單眼相機在花蓮豐濱鄉海邊住宿隨手拍的，老師說我拍的這兩三張日出照片很值得研究，有可能是拍到「綠閃」這種太陽在日出或日落僅會出現一、二秒的日出景象，下課老師告訴我，如果想知道這種日出難得見到的景象，去網路搜尋「門諾醫院」、「陳志雄醫師」〔文獻 1〕、「台灣第一人」，這些關鍵字，應該會得到更詳細的科學解說，有老師鼓勵我就試試研究一下。



圖壹 花蓮豐濱鄉日出 3 張連續原圖與放大圖 (已由 RAW 檔轉 jpg 檔)

貳 研究目的

- 一、拍攝大量日出、日落 RAW 檔格式照片獲取綠色閃光影像。
- 二、操作實驗模擬驗證綠色閃光發生原因。
- 三、綠色閃光的應用。

參 研究器材

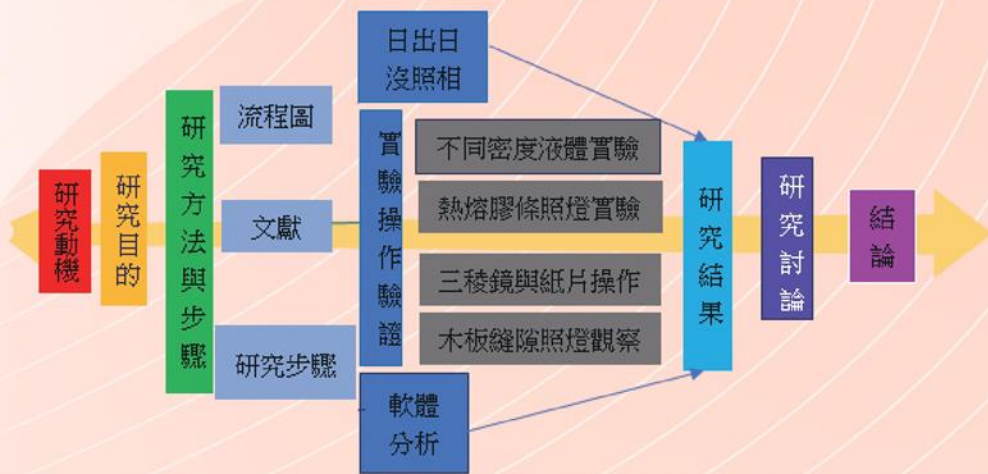
本研究將利用表參-1之器材做相關實驗研究。

照片				
說明	拍照相機	55-300 照相鏡頭	實驗用熱熔膠條	量角器紙
照片				
說明	實驗用食用油	100c.c. 透明容器	圓形白、紅、黃色	貼鋁箔紙的兩木塊 模擬水面
照片				
說明	實驗用 小型黃白色手電筒	實驗用 白光 LED 燈	向老師借來 實驗用的三稜鏡	影像處理軟體 放大看拍攝的綠閃照片

肆 研究方法、問題與結果

本研究透過研究流程圖構思研究概要，再研讀日出、日沒，太陽出現極為短暫的綠色光景象文獻，擬定研究步驟與研究問題。

一、研究流程



二、文獻探討

- (一) RAW 檔：使用 RAW 檔案拍攝照片可收集豐富的影像細節，產生檔案較大但品質不失真的影像。許多攝影師以 RAW 格式完成拍攝後，會在 Photoshop 之類的軟體中處理原始檔案，再將 RAW 檔案壓縮成不同格式以用於列印或網路〔文獻 3〕。
- (二) 綠色閃光：簡稱為綠閃也有人稱為綠色閃爍或綠光，整理以下三位研究者的說明如下：
- (1) 綠色閃光是在日出和日落時看到的真實（而非幻覺）現象，“閃光”一詞指的是這種綠色的突然出現和持續時間很短，在中緯度地區通常只持續一兩秒〔文獻 5〕。
 - (2) 綠色閃光是海市蜃樓，其中垂直放大將其他顏色分開，否則只會略微分散。正常大氣的折射只會在地平線太陽上產生一個肉眼看不見的綠色邊緣。這種綠色閃光屬於經典的“下海市蜃樓”品種，是由較冷空氣下的暖空氣產生的（陳志雄 2015）〔文獻 1〕。
 - (3) 綠色閃光是一種眾所周知但難以捉摸的大氣現象，在其圓盤消失前的最後一刻，觀察到綠色閃光。這種現象是由於大氣折射率的垂直結構分散了太陽光（Tomer ben Aroush 2018 等 3 人）〔文獻 4〕。
- (三) 綠邊：當一個天體（即太陽或月亮）落在地平線上時，大氣充當稜鏡，將光分成其組成波長或顏色。物體的上緣可能是綠色，甚至是藍色或紫色，而下緣總是紅色。當大氣中含有大量灰塵、煙霧或其他顆粒時，這種效果最常見。彩邊很薄，肉眼很難辨別。（Anne Marie Helmenstine, Ph.D. 2019）〔文獻 7〕。
- (四) 雲頂閃光：又稱為雲頂閃爍，很可能是模擬海市蜃樓閃光的一種形式。海洋層雲可能被逆溫層困住，在這種情況下，逆溫層頂部會出現綠色閃光。但這並不能完全解釋雲頂閃光〔文獻 11〕。

三、研究步驟

(一) 日出沒照相

根據文獻探討得知綠閃或綠邊是太陽在日出日沒才會出現的短暫現象，受限我們研究居住位置，無法長期在東部做照相研究，因此研究主要以照相獲取日沒照片為主。利用假日到離住家約 20 分鐘，地勢可居高臨下的觀賞太陽落海點照相，而平日在住家對落日照相獲取太陽下山照片。

1. 照相方法：如圖肆-3-1-①-②-③。



圖肆-3-1 拍攝日出日落相機設定圖

2. 研究問題

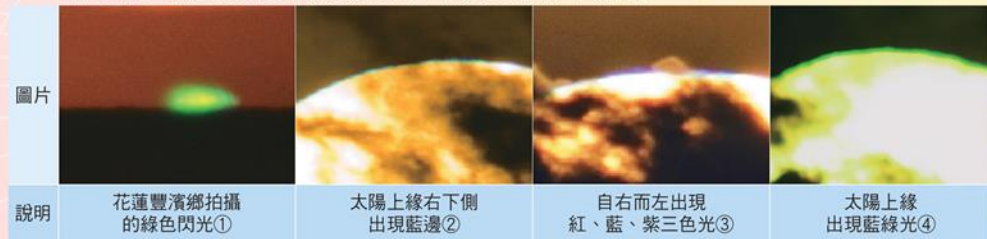
(1) 日出階段太陽上緣除了綠光還會看到其他色光出現嗎？

方法：拍攝日出照片如圖肆-3-2。



圖肆-3-2 假日拍攝的日出照片

照相結果：使用 photoshop 軟體開啟 RAW 檔，放大 200 倍截圖，如圖伍-1-1。



圖伍-1-1 拍攝日出時太陽上緣出現的色光照片

(2) 日落下山前太陽上緣除了綠光可以看到其他色光出現？

方法：拍攝太陽下山照片如圖肆-3-3。



圖肆-3-3 住家每日拍攝太陽下山照片

照相結果：使用 photoshop 軟體開啟 RAW 檔，放大 200 倍截圖，如圖伍-1-2。



圖伍-1-2 111 年 9 月-112 年 1 月住家拍攝日落太陽上緣出現的色光照片

(3) 日落入海前太陽上緣會出現綠光如何變化？

方法：假日在北部山邊公路觀景台拍攝台北港海域日落入海，如圖肆-3-4。



圖肆-3-4 假日到山邊觀景台拍攝日落入海照片

照相結果：使用 photoshop 軟體開啟 RAW 檔，放大 200 倍截圖，如圖伍-1-3。

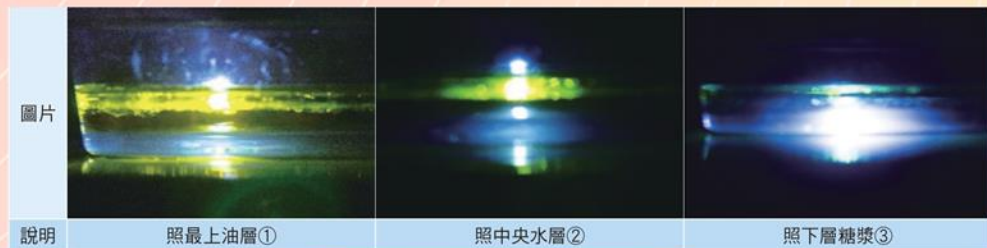


圖伍-1-3 111 年 9 月-10 月拍攝日落入海太陽上緣出現的色光照片

(二) 實驗驗證綠閃綠邊實驗方法

1. 在黑暗處如何模擬日出、日落太陽上緣會出現綠色閃光？

方法 1：改良學者 Johannes Courtial(2012) 的清水中加鮮奶實驗〔文獻 6〕，先倒入 20c.c. 濃度 50% 糖漿，再倒入 20c.c. 清水，最後倒入 20c.c. 食用油，使用白光 LED 燈照射各液體層，如圖肆-3-5-①②③。



圖肆-3-5 使用水族箱操作綠閃實驗照片

控制變因：三種液體都是 20c.c.、使用白光 3V LED 光源、燈接觸水槽邊緣

應變變因：光影是否出現綠光

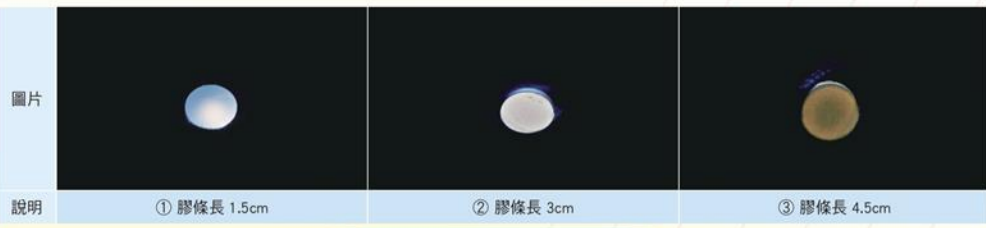
操縱變因：燈照不同層（上層油、中層水、下層糖漿）

實驗結果：如圖伍-2-1 與說明



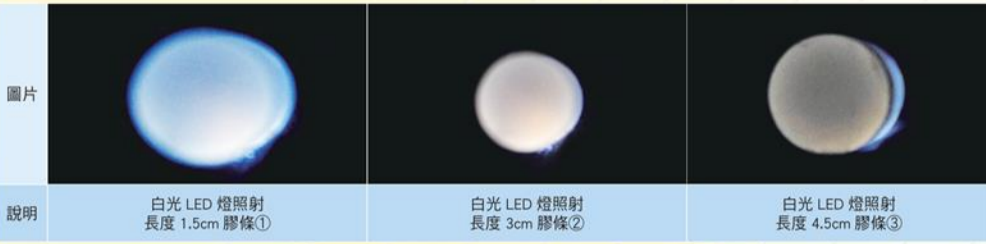
圖伍-2-1 白光 LED 照射三種液體模擬空氣厚度不同位置照片

方法 2：把直徑 1.2cm 淺白色熱熔膠條切三段 1.5cm、3cm、4.5cm，在黑暗處以 3v 白光 LED 燈照射一端邊緣，在另一端觀察並攝影，如圖肆-3-6-①②③。



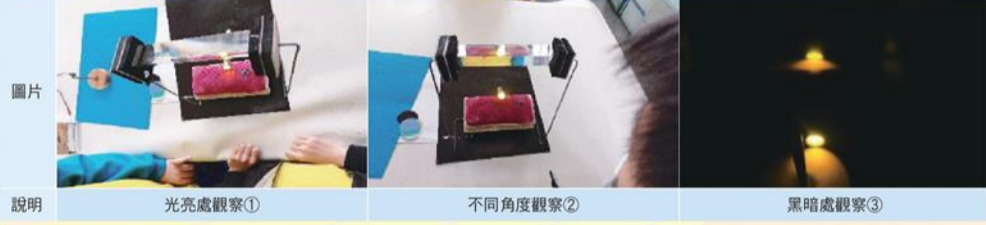
圖肆-3-6 使用熱熔膠條模擬綠閃實驗照片

控制變因：全黑環境、使用白光 3vLED 光源
 應變變因：色光變化
 操縱變因：熱熔膠條長度 (1.5cm、3cm、4.5cm)
 實驗結果：如圖 伍-2-2 與說明



圖伍-2-2 白光 LED 照射三種液體模擬空氣厚度不同位置照片

方法 3：在一個三稜鏡下方放置黃白光燈，透過轉動稜鏡或移動黃白燈，觀察稜鏡中黃白光燈顏色的變化，如圖肆-3-7-①②③。



圖肆-3-7 透過三稜鏡觀察黃白光手電筒燈光變化

控制變因：黑暗環境、使用黃白光源、三稜鏡一稜邊固定角度朝正下方
 應變變因：色光變化
 操縱變因：黃白燈離三稜鏡支撐架距離 (正下、3 公分、6 公分)
 實驗結果：如圖 伍-2-3 與說明



圖伍-2-3 透過三稜鏡觀看不同位置黃白光原照片

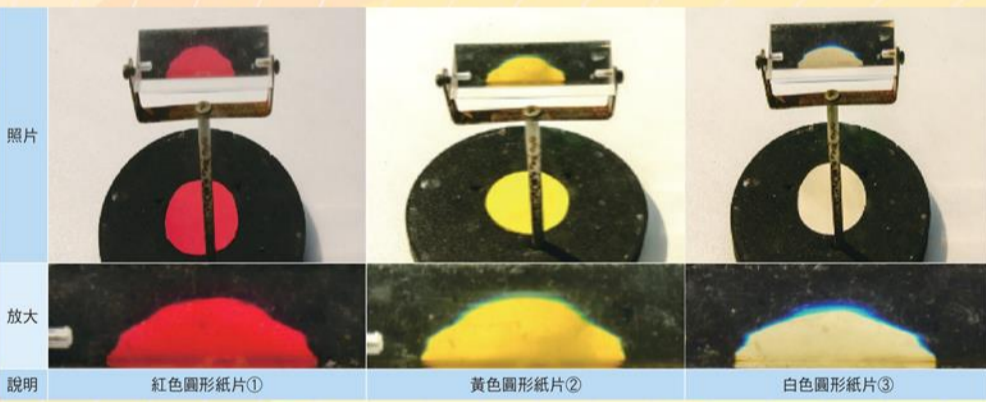
2. 在光亮處如何模擬日出、日落，太陽上緣會出現綠色閃光？

方法 1：分別剪直徑 4.5 公分紅色、黃色、白色圓形紙片，放在三稜鏡前方，轉動三稜鏡，透過稜鏡觀察，鏡中各色紙片上緣顏色如何變化，如圖肆-3-8-①②③。



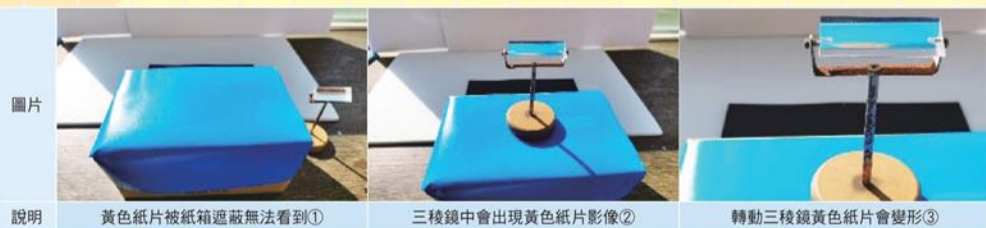
圖肆-3-8 透過三稜鏡觀察不同顏色紙片

控制變因：光亮環境、圓形紙片大小 (相同直徑)、放置稜鏡下方位置、稜鏡角度
 應變變因：紙片上緣出現何種色光
 操縱變因：不同顏色紙片 (紅、黃、白)
 實驗結果：如圖 伍-2-4 與說明



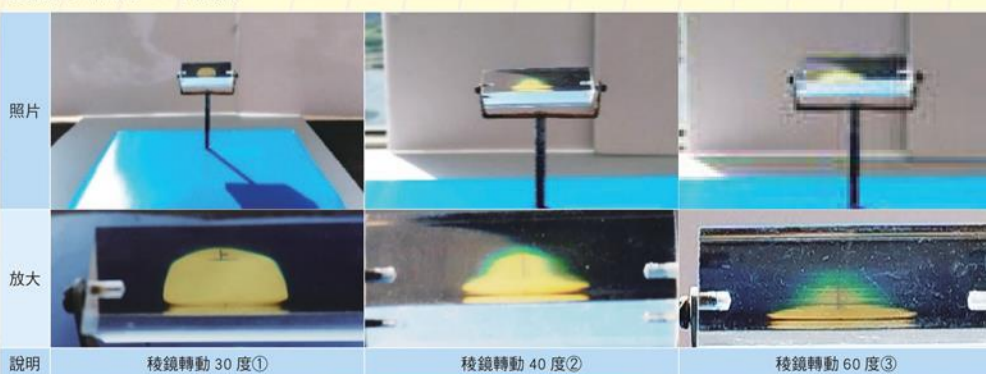
圖伍-2-4 三色紙片放在三稜鏡下觀看紙片上緣色光出現照片

方法 2：在紙箱上覆蓋藍色色紙，準備一個三稜鏡拆除稜鏡基座，固定在紙箱前端，在紙箱前方放一片前一實驗裁切的黃色圓形紙片，轉動三稜鏡角度可看到被紙箱遮蓋的黃色紙片，看到的黃色圓形紙片上緣是否會出現綠閃圖肆-3-9-①、②、③。



圖肆-3-9 透過三稜鏡觀察不同顏色紙片

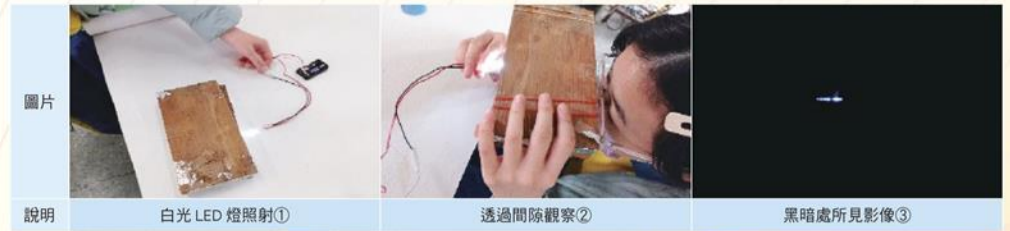
控制變因：光亮環境、圓形紙片大小 (相同直徑)、放置稜鏡下方位置、稜鏡角度
 應變變因：鏡中能否出現綠閃現象
 操縱變因：稜鏡轉動角度
 實驗結果：如圖 伍-2-5 與說明



圖伍-2-5 以三稜鏡驗證「模擬海市蜃樓線」照片

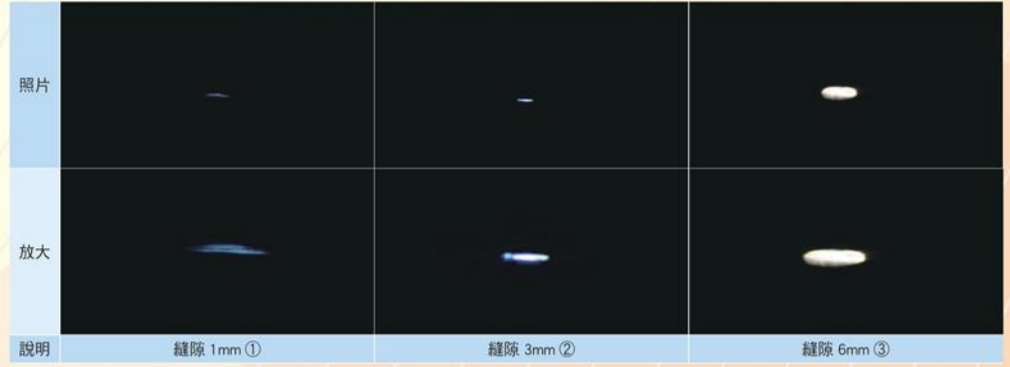
3. 日落下山太陽經過遠處電線或山上樹叢後方，為什麼電線間隙太陽會出現藍邊或樹叢間會出現綠邊？

方法：在長方形兩木板塊前後兩端，塞入厚 1mm、3mm、6mm 紙片，使木板間有縫隙，在木板前端中央固定一個白光 3V LED 燈，由另一端觀察前方 LED 燈顏色變化，如圖肆-3-10-①②③。



圖肆-3-10 透過木板間不同寬度隙觀察 LED 燈顏色變化

應變變因：LED 燈上緣變藍色或綠色
 操縱變因：木板間隙 (1mm、3mm、6mm)
 實驗結果：如圖 伍-2-6 與說明



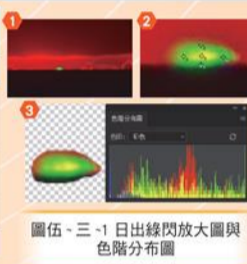
圖伍-2-6 三色紙片放在三稜鏡下觀看紙片上緣色光出現照片

(三) 軟體分析照相結果

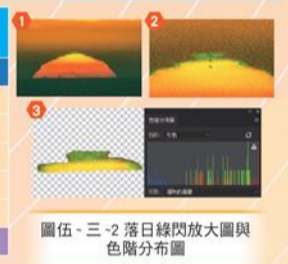
1. 使用 Photoshop 軟體 RGB 紅綠藍光強度數值。
 2. 使用 Photoshop 軟體放大拍攝的照片，再使用尺規工具了解綠邊、藍邊寬度大小，為什麼難以察覺。

問題 (一)、日出綠色閃光顏色 RGB 數值如何分布？
 結果：分析所拍攝的日出照片結果如下表伍-3-1 與圖伍-3-1

表伍-3-1 日出綠閃五個位置 RGB 數值表			
	R	G	B
點 1	87	166	0
點 2	141	164	0
點 3	159	226	0
點 4	116	203	0
點 5	222	254	0
平均	145	202.6	0

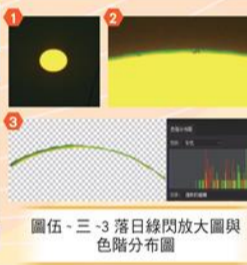


表伍-3-2 日落海綠閃五個位置 RGB 數值表			
	R	G	B
點 1	255	227	0
點 2	121	150	16
點 3	153	166	2
點 4	161	193	0
點 5	176	190	0
平均	173.2	185.2	3.6



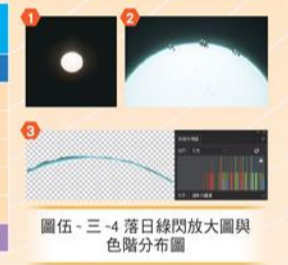
問題 (三)、日落綠邊顏色 RGB 數值如何分布？
 結果：分析所拍攝的日落照片結果如下表伍-3-3 與圖伍-3-3

表伍-3-3 日落綠邊五個位置 RGB 數值表			
	R	G	B
點 1	202	209	0
點 2	110	131	0
點 3	137	180	0
點 4	177	193	0
點 5	142	172	0
平均	153.6	177	0



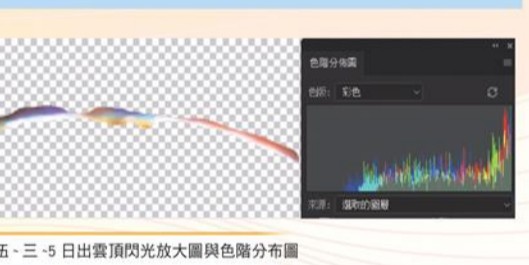
問題 (四)、日落藍邊顏色 RGB 數值如何分布？
 結果：分析所拍攝的日落綠邊照片結果如下表伍-3-4 與圖伍-3-4

表伍-3-4 日落藍邊五個位置 RGB 數值表			
	R	G	B
點 1	188	220	230
點 2	92	129	136
點 3	141	186	196
點 4	154	191	201
點 5	152	193	206
平均	145.4	183.8	193.8



問題 (五)、研究中拍攝的日出雲頂閃光各種顏色數值如何分布？
 結果：分析所拍攝的日出雲頂閃光照片結果如下表伍-3-5 與圖伍-3-5

表伍-3-5 日出雲頂閃光顏色分布 RGB 數值表			
	R	G	B
點 1	195	215	223
點 2	121	105	166
點 3	185	191	168
點 4	213	175	173
點 5	126	121	169
平均	168	161.4	179.8



(四) 綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光與天氣的關係應用

把拍攝到太陽綠色閃光、綠邊、藍邊、雲頂閃光的時間與氣象局氣候資料對照，了解這些特殊太陽現象出現後的天氣變化。

把拍攝到太陽綠色閃光、綠邊、藍邊、雲頂閃光的時間與氣象局氣候資料對照，了解這些特殊太陽現象出現後的天氣變化。

結果：自 111 年 9 月 -112 年 1 月，把資料整理，如表伍-四-1 與表伍-四-2，說明如下：

(一) 落日綠色閃光：

1. 9 月 17 日日落綠閃後 3 日，隔日降水 0.5 小時，當日日照 9.1 時。後 2、3 日日照 3.1 與 5.5 小時，降水時數 0。
2. 9 月 25 日日落綠閃後 3 日，隔日降水 9.428 小時，當日日照 7.7 時；後 2、3 日日照 9.7 與 9.4 小時，降水時數 0。

(二) 綠邊：

1. 10 月 5 日綠邊後 3 日，隔日降水 2.7 小時，日照 3.3 時；第 2 日降水 2.7 小時，日照 3.3 小時；第 3 日降水 6 小時日照 0 小時。
2. 10 月 24 日綠邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 1.4 時；第 2 日降水 0 小時，日照 4.1 小時；第 3 日降水 0 小時日照 10.5 小時。
3. 112 年 1 月 28 日綠邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 2.9 時；第 2 日降水 0 小時，日照 6.6 小時；第 3 日降水 0 小時日照 10.1 小時。

(三) 藍邊：

1. 111 年 11 月 17 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 3.6 時；第 2 日降水 0 小時，日照 4.4 小時；第 3 日降水 0 小時日照 8.2 小時。
2. 111 年 12 月 22 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 9.4 時；第 2 日降水 0 小時，日照 5.5 小時；第 3 日降水 0 小時日照 8.3 小時。
3. 112 年 01 月 10 日藍邊後 3 日，隔日降水 2.8 小時，日照 2.6 時；第 2 日降水 0.7 小時，日照 1.4 小時；第 3 日降水 0 小時日照 3.5 小時。

(四) 雲頂閃光

1. 111 年 11 月 09 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 10.1 時；第 2 日降水 0 小時，日照 9.5 小時；第 3 日降水 0 小時日照 1.1 小時。
2. 111 年 12 月 18 日藍邊後 3 日，隔日降水 0 小時，日照 5.4 時；第 2 日降水 0 小時，日照 5.5 小時；第 3 日降水 0 小時日照 9.3 小時。

表伍-四-1 拍攝落日綠閃與綠邊後三日降水量與日照時數對照表

名稱	落日綠閃	落日綠閃	綠邊	綠邊	綠邊
照片					
日期	111.09.17 (六)	111.09.25 (日)	111.10.05 (三)	111.10.24 (一)	112.01.28 (六)
拍攝後 3 天	降水 (h) 0.5, 日照 (h) 9.1	降水 (h) 2.8, 日照 (h) 7.7	降水 (h) 2.7, 日照 (h) 3.3	降水 (h) 0, 日照 (h) 1.4	降水 (h) 0, 日照 (h) 2.9
降水與日照	0, 3.1	0, 9.7	1.2, 0.1	0, 4.1	0, 6.6
	0, 5.5	0, 9.4	6, 0	0, 10.5	0, 10.1

表伍-四-2 拍攝落日藍邊與雲頂閃光後五日降水量與日照時數對照表

名稱	藍邊	藍邊	藍邊	雲頂閃光	雲頂閃光
照片					
日期	111.11.17 (四)	111.12.22 (四)	112.01.10 (二)	111.11.09 (三)	111.12.18 (日)
拍攝後 3 天	降水 (h) 0, 日照 (h) 3.6	降水 (h) 0, 日照 (h) 9.4	降水 (h) 2.8, 日照 (h) 2.6	降水 (h) 0, 日照 (h) 10.1	降水 (h) 0, 日照 (h) 5.4
降水與日照	0, 4.4	0, 5.9	0.7, 1.4	0, 9.5	0, 5.5
	0, 8.2	0, 8.3	0, 3.5	0, 1.1	0, 9.3

圖伍-3-5 日出雲頂閃光放大圖與色階分布圖

伍 研究討論

一、日出日落照相

(一) 本研究在研究前已無意間拍攝到綠色閃光，其餘三次在東北角濱海公路景點拍日出，其中二次，拍到日出後太陽高度角約 1 個拳頭，在太陽盤面上緣出現綠邊，另一次拍到雲頂閃光。

- 根據學者 Andrew T. Young(2012) 研究，太陽的綠色閃光分為四種，分別為：**下盤景綠閃 (I-Mir)** 又稱**劣質海市蜃樓閃光**、**模擬海市蜃樓 (M-Mir)** 又稱**假海市蜃樓**、**次級海市蜃樓綠色閃光**或**稱子管道閃光**、**綠光**等四種，此四種綠色閃光起因都與海市蜃樓現象有關。
- 把我們拍攝的照片與學者 Andrew T. Young 的描述再與陳志雄醫師發表在大氣光學與海瀾一瞬的照片〔文獻 2〕比對，本研究拍的照片是屬於下盤景綠色閃光。



圖 陸-1-1 陳志雄醫師發表於海瀾一瞬原圖與放大綠閃照片



圖 陸-1-2 本研究在花蓮豐濱鄉拍攝的綠閃照片

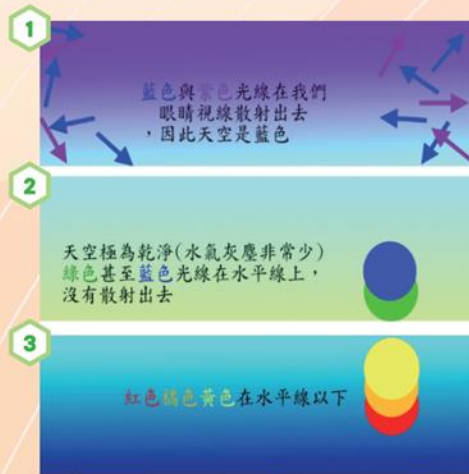


圖 陸-1-3 綠閃照片發生示意圖

3. 日出下盤景綠色閃光發生原因如下：地球的大氣層就像一個超巨大的稜鏡，可以彎曲和分散陽光。這種現象在日出和日落時非常明顯。太陽光的較短波長的藍色和綠色光，比波長較長的橘色和紅色光彎曲得更多，因此從觀察者的角度看，藍色、綠色光在天空中看起來比橘色、紅色光線略高。當太陽升起地平線且條件恰好好時，與大氣溫度梯度(最下冷層、中間暖層、最上冷層)相關的海市蜃樓效應，就會放大色散使太陽顏色分離，如圖 陸-1-3 ①②，就會產生難以見到的綠色閃光。可為什麼藍色或紫色閃光更難看見，因為藍色或紫色光波長太短，被空氣中的分子和粒子散射掉，如圖 陸-1-3 ③。

- (二) 本研究共拍攝到日落綠閃照片 4 次。
- 因為日落天色暗，即使調低快門速度或透過增光仍無法如日出綠閃照片清晰，因此，為了看清楚落日綠色閃光，我們的照片有經過後製適度調光與調整清晰度。
 - 參考學者 Andrew T. Young(2012) 的研究文獻，我們拍攝到的日落綠色閃光，屬於 4 種綠色閃光中的模擬海市蜃樓綠色閃光 (M-Mir)，又稱假海市蜃樓綠色閃光。
 - 模擬海市蜃樓綠色閃光發生原因是：太陽落入海中前經歷由一次或多次逆溫造成的，因此，會看到照片中太陽上盤面入海過程中有多層次逐漸縮小，綠色光就浮在盤面最上緣，如圖 陸-1-4 示意圖與圖 陸-1-5 我們所拍攝到的 3 組連續照片。

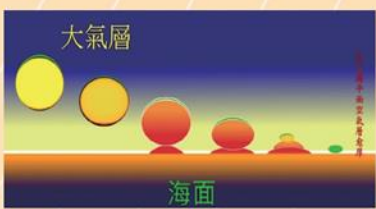


圖 陸-1-4 日落綠色閃光發生示意圖

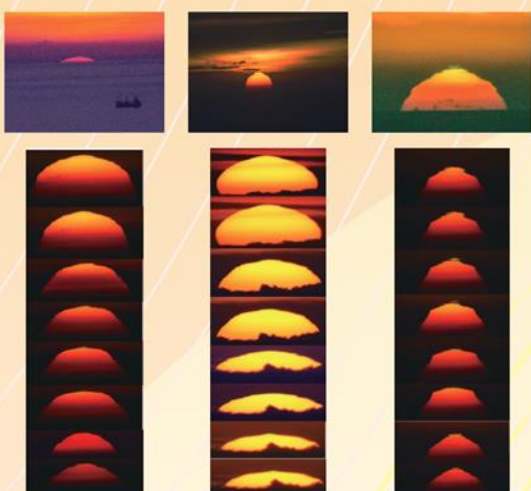


圖 陸-1-5 北部海域我們拍攝到的 3 組日落模擬海市蜃樓綠色閃光照片變形連續圖

- (三) 日出後或日落入海前，太陽盤上緣會看到綠色邊或藍色邊緣，它發生的原因解說如下：
- 當日出太陽升起到地平線以上時，或落日接近地平線時，因為大氣層產生稜鏡效應，使得太陽色光被分離，紫、藍、綠光在太陽盤面上，而紅、黃、橘光在(實際原本在下的)紫、藍、綠光會反射轉成在上)，因為紫、藍、綠光折射角度大，所以該三色光會出現在太陽盤面上緣，因此，綠邊的成分與導致綠邊閃光的原因大體相似，解說如圖 陸-1-6 與圖 陸-1-7。

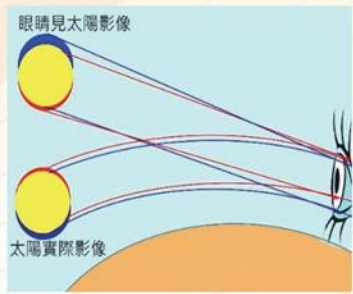


圖 陸-1-6 綠邊形成示意圖

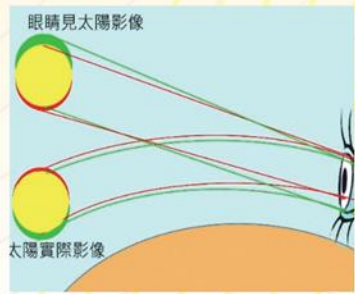


圖 陸-1-7 藍邊形成示意圖

- 我們以 photoshop 軟體放大綠色邊與藍色邊，利用軟體尺規工具測得 5 個日落時出現的綠邊與藍邊寬度，如圖 陸-1-8 與圖 陸-1-9；再除以太陽在圖像中的直徑得到：綠邊寬度僅占太陽直徑 0.9%，藍邊稍微寬 1.1%，如表 陸-1-1，因為綠邊或藍邊兩者寬度占太陽直徑比例很小，所以不會引起人們注意。

	綠邊寬度	太陽直徑	藍邊寬度	太陽直徑
1	0.03	5.4	0.05	5.4
2	0.0325	5.4	0.057	5.4
3	0.05	5.4	0.06	5.4
4	0.05	5.4	0.072	5.4
5	0.09	5.7	0.075	5.4
平均	0.05	5.46	0.0628	5.4
寬度除太陽直徑比率	0.009		0.011	

表 陸-1-1 五個綠邊與藍邊寬度表 (單位 cm)

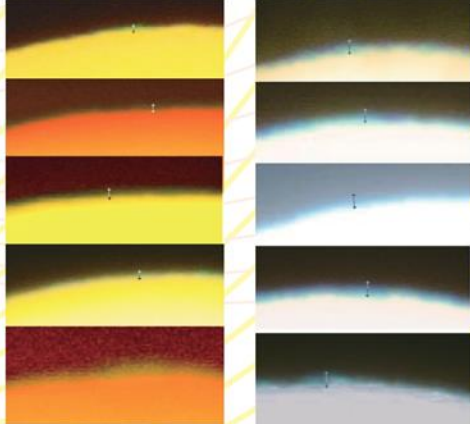


圖 陸-1-8 五個綠邊放大 400 倍圖

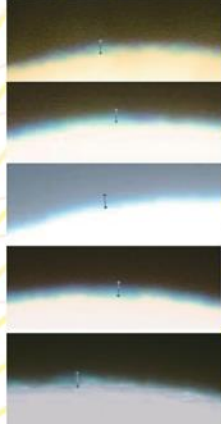


圖 陸-1-9 五個藍邊放大 400 倍圖

- (四) **雲頂閃光**：本研究過程中在日出拍攝到 1 次、日落下山 2 次、日落入海前 1 次。日出雲多，但是影像出現紅、藍、紫、綠四色光，如圖 陸-1-10 ① 我們拍攝的照片根據大氣光學網站學者指出，真正原因還無法透過實證研究，**可能發生原因是**：當太陽落到遠處的雲層後面時，**由覆蓋雲層的逆溫層產生的模擬海市蜃樓閃光**。我們拍攝的照片也可以發現太陽有變形現象，應該可以證明是逆溫層引起的模擬海市蜃樓產生的，如圖 陸-1-10 ②③，我們拍攝的照片也發現到，**遠處即將落入山頭的落日**上緣也會出現相同閃光，陸-1-10 ②。

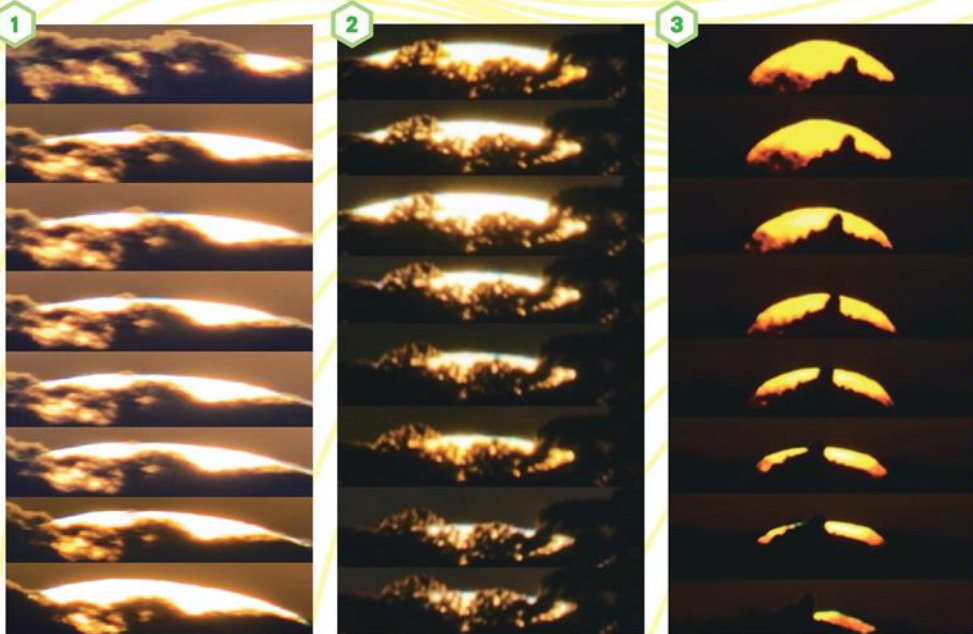


圖 陸-1-10 雲頂閃光連續截圖

- (五) **總結**：要拍到以上四種日出的太陽影像，條件如下：空氣清新，天氣愈晴朗愈佳、需要 200mm 以上望遠鏡頭 (300mm 更佳)、使用 RAW 格式拍攝、拍攝地點空曠且無遮蔽物的海邊。

二、實驗驗證綠閃、綠邊、藍邊實驗方法

- (一) **在黑暗處** 模擬日出、日落出現綠色閃光，我們操作三項實驗。
- 以 10cc 糖漿在下，10cc 清水在中層，10cc 食用油在最上層方式，可以模擬出藍光閃閃；因為食用油偏黃綠色，因此，我們做出的實驗無法見到綠光。而我們發現把 LED 燈放在最下的糖漿層位置觀測，可以看到藍光影像在最上層食用油面，我們認為這實驗可以模擬太陽的藍色閃閃現象。
 - 在黑暗處使用白光 LED 燈照射 1.5cm、3cm、4.5cm 三種長度熱熔膠條，1.5cm 長度效果最佳，熱熔膠條長度變長顏色也愈暗，是很簡單的模擬白光通過很厚的大氣層，白光被分出各種色光的方法，缺點是僅能見到藍邊無法看到綠邊。
 - 在黑暗處把黃白燈放在三稜鏡支撐架正下方、離支撐架正下方 3cm、正下方 6cm 三個位置做綠閃實驗。黃白燈放三稜鏡正下方位置，調整轉動三稜鏡角度，就可以明顯看到三稜鏡中的黃白燈上緣，出現非常明顯的綠色閃光，我們認為這是最簡單模擬太陽在日出日落出現綠色閃光的方法。
- (二) **在光亮處** 模擬日出、日落太陽上緣會出現綠色閃光。
- 在太陽光下，把直徑 4.5cm 的紅、黃、白圓形色紙，放在黑色底座的三稜鏡支撐架正下方位置，我們發現三種色紙上緣都會出現藍光，紅色圓形色紙上緣的藍光最不明顯，黃色紙上緣出現明顯綠邊色光，白色紙上緣出現藍色邊色光。我們認為這項實驗可以證明，我們在多次照相時當天氣晴朗空氣清新，為什麼都看到的白色落日綠邊都出現藍色邊色光。
 - 同樣在陽光下，再把黃色紙片放在三稜鏡下轉動平面朝正上方的稜鏡面，分別轉動 30 度、40 度、60 度在觀察，我們發現轉動 30 度，鏡中圓紙片變成頂部圓弧狀梯型，綠邊出現在圓弧上方；鏡面轉成 40 度角觀察，圓紙片變形成，下方是圓餅狀上方疊加飛碟狀的紙片影像，最上方出現明顯綠色邊光；鏡面轉成 60 度，如同出現我們拍攝到的落日入海綠色閃光。我們認為此項實驗與綠色閃光的第二種類型，**模擬綠色閃光完全符合**。
 - 因為三稜鏡可以模擬太陽上緣出現綠邊，我們再把三稜鏡放紙箱上方，刻意把一圓型黃色紙片放紙箱正下方無法看見位置，嘗試透過轉動三稜鏡，了解是否可使影像浮現在鏡片中，實驗結果黃色紙片不僅浮現在鏡面中，還成功操作出第二類落日時出現的模擬綠色閃光，示意圖如圖 陸-1-11。

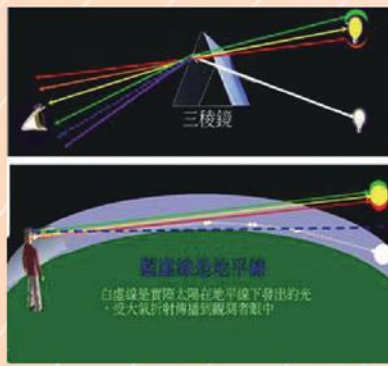


圖 陸-1-11 上圖三稜鏡解下圖日出模擬綠色閃光示意圖

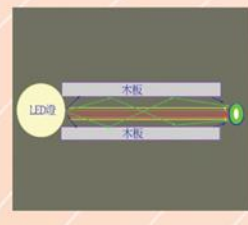


圖 陸-1-12 木板縫隙 3mm，藍色綠色光在縫隙中折射與反射

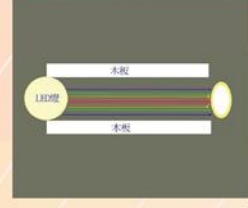


圖 陸-1-13 木板縫隙 6mm，各色光全部穿透縫隙到對側

- (三) 為了解日落時 **遠方太陽經過電線線障與樹障** 太陽上緣會出現藍色或綠色光原因：
- 我們利用兩塊木板夾厚度 1mm、3mm、6mm 紙片，使木板間留有縫隙，一邊照射白光 LED 燈，在另一邊觀察燈色變化，縫隙 1mm 出現非常微弱且暗的扁平型藍光；3mm 出現扁平左側藍光、中央白色、右側綠色的影像；縫隙 6mm 呈現橢圓形黃白色光，橢圓周圍有藍、綠、紅等光點出現。
 - 大縫隙 6mm，所有左側 LED 色光都直接通過縫隙到達右側，因為兩夾層縫隙中較暗，且紅、黃、橘三色光穿透最強偏折最小，因此燈色呈現白黃。如圖 陸-2-13；當縫隙更小時，綠色與藍色光在縫隙中折射，中央僅一部分紅橘黃色光穿透，所以會看到右邊綠、左邊藍、中央白的扁平燈色，如圖 陸-2-12。

三、軟體分析照相結果

- 研究想瞭解所拍攝的綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光等照片，放大 200 倍後，固定擷取照片中，下、上、左、右、中 5 個位置，應用 photoshop 軟體分析的照片紅色、藍色、綠色三種顏色強度數值，與色階分布統計圖。
- 日出綠閃：分析 RGB 數值，綠色值 202.6 最高，其次紅色 145，藍色值 0，放大 300 倍後可以看到扁圓型綠色閃光並非全部綠色，中間夾扁圓型黃色光盤。
 - 日落綠閃：本研究拍到 4 次，分析其中一次 RGB 數值，綠色值 185 最高，其次紅色 173，藍色值 3.6，放大 300 倍後可以看到日落綠色閃光與日出閃光完全不同，日落綠色閃光如綠色火焰，漂浮在下方變形如梯塔狀的太陽上方。
 - 日出與日落綠邊：太陽剛升起或即將入海 10 度左右(一個太陽約 0.5 度角)，太陽上緣出現綠邊，只要天氣晴朗皆可拍到，比較不需要如日出、日落綠閃，大氣要出現明顯逆溫或多層次溫差形成的海市蜃樓才會出現，分析其中一次拍攝的照片 RGB 數值，綠色值 177 最高，其次紅色 153，藍色值 0，放大 300 倍後如果太陽是鮮黃色，可以看到綠色邊有如翡翠亮線，如果太陽橘紅色，綠邊色黯淡，如果沒有放大照片不易觀察到。
 - 日出與日落藍邊：當天氣晴朗，大氣空氣特別乾淨清新，拍攝的照片太陽呈白色，就會出現藍邊在太陽上緣。分析 111 年 12 月 22 日冬至日，拍攝的日落照片 RGB 數值，綠色值 183.8 最高，其次藍色 193.8，紅色值 145.4，我們認為以白色太陽出現藍邊，可以作為判別天氣是否晴朗。
 - 雲頂閃光：顧名思義只會出現在太陽即將被雲層遮蔽時的太陽上緣，學者 Andrew T. Young 認為雲頂閃光是一種模擬海市蜃樓的形式，當較冷、較稠密的空氣低於較暖的空氣時產生。但他認為真正原因還需作更多的科學研究。分析 111 年 10 月 1 日拍攝的日出雲頂閃光照片，RGB 數值，紅色值 145.4，綠色 183.8，藍色值 193.8，我們拍攝的雲頂閃光照片，出現紫色光也非常常見。

四、綠閃、綠邊、藍邊、雲頂閃光與天氣的關係應用

整理 111 年 9 月-112 年 1 月拍攝的 10 張照片，落日綠色閃光照片 2 張，綠邊照片 3 張，藍邊照片 3 張，雲頂閃光 2 張，再比對拍攝上述照片後 3 日的降水時數與日照時數，除 111 年 10 月 5 日綠邊出現後 3 日都有降雨。我們發現太陽出現綠閃、綠邊、藍邊與雲頂閃光後 3 日，都有較長日照時數與降雨都為零天氣出現，因此我們認為太陽是否出現這四種色光，也可以做為未來天氣的簡易判別。

陸 研究結論

- 拍攝日出、日落照片儲存成 RAW 檔案，可以保留拍攝時的明暗、顏色細節數據在檔案中。例如，肉眼見太陽落入海中就看得很難看到模擬綠色閃光，但是以高速連拍並儲存 RAW 檔案，以電腦開啟影像後，就能看見美麗日落變形過程與綠色光焰漂浮在太陽盤面上。
- 要拍攝到日出太陽綠色閃光不容易，需要非常晴朗的天氣配合，一般來說夏季最 適合；而落日綠色閃光在臺灣北部海岸，在晴朗天氣就比較容易拍攝到。
- 本研究以三種實驗方法驗證日出與日落綠色閃光，其中以使用三稜鏡與圓型黃色與白色紙片並在陽光下或室內光亮處操作，即可模擬出太陽的上緣出現綠邊與藍邊，再轉動三稜鏡即可模擬綠色閃光發生的過程。
- 本研究拍攝到日出下盤景綠色閃光與日落模擬綠色閃光，**日出下盤景綠色閃光成因是**：異常溫暖的空氣處於較冷的下方時產生的，如圖 柒-1 (左圖)；而**日落模擬綠色閃光**，是由一次或多次逆溫造成的，並且逆溫位於觀察者下方時發生，如圖 柒-1 (右圖)，而所謂逆溫就是較冷的空氣被困在較暖的空氣之下。

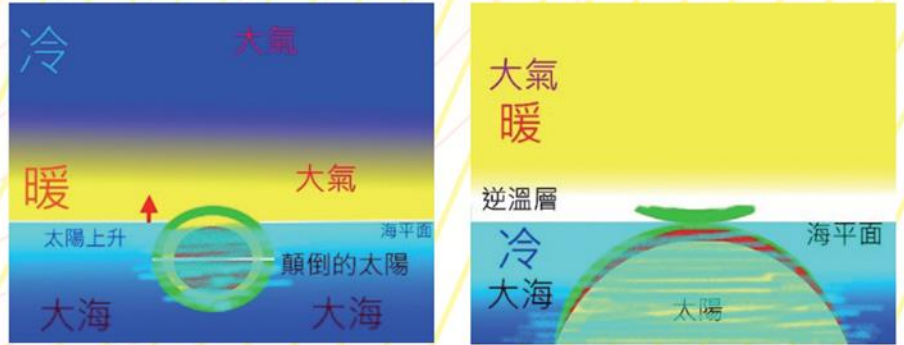


圖 柒-1 左側日出下盤景綠閃；右側日落模擬海市蜃樓綠閃

- 日出綠色閃光非常難見到，而日落模擬綠色閃光無法以肉眼見到，但是透過拍攝照片就容易見到；另外綠邊與藍邊，只要天氣晴朗天空雲層稀少的日出日落都可見到；雲頂閃光需要日出或日落太陽盤面被雲遮住前可以看到。
- 我們認為應用日出與日落可否見到太陽的綠色閃光或綠邊、藍邊、雲頂閃光等光學現象，可以判別未來天氣變化。
- 我們甚至在東部或西部海邊觀光點，以能拍到綠閃這難得的景象，促進觀光。

柒 參考文獻

- 陳志雄 (2015). 日出綠色閃光 <https://atoptics.co.uk/fza49.htm>
- 太平洋上的日出綠閃 (2015). <http://chenchihsung.blogspot.com/2015/11/blog-post.html>
- RAW 檔 <https://www.adobe.com/tw/creativecloud/file-types/image/raw.html>
- Tomer ben Aroush¹, Saber Boulahjar¹ and Stephen G Lipson² **Observing the Green Flash in the laboratory.** Published 13 December 2017 • © 2017 European Physical Society *European Journal of Physics, Volume 39, Number 1*
- Andrew T. Young. 2013-2022 <https://aty.sdsu.edu/index.html>
- Johannes Courtial(2012). A simple experiment that demonstrates the "green flash" *American Journal of Physics, Volume 80, Issue 11, pp. 955-961 (2012).*
- Anne Marie Helmenstine, Ph.D. 2019 <https://www.thoughtco.com/green-flash-4135423>
- Diego Gutierrez , Francisco J. Serón , Oscar Anson , Adolfo Muñoz(2004). Chasing the green Flash: A global illumination solution for inhomogeneous media *Article* . April 2004 DOI: 10.1145/1037210.1037225
- Green Flash <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/redsun.html>
- 高地平線閃光 --- 藍、紫光 (Elevated-horizon flashes). <https://aty.sdsu.edu/explain/simulations/std/rims.html>
- 雲頂閃光 <https://atoptics.co.uk/fz824.htm>
- Blue Skies, Red Sunsets & Company; Part 5 - Green Flashes
- <https://www.cloudynights.com/articles/cat/articles/blue-skies-red-sunsets-company-part-5-3021>