

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080508

消失星星的謎-背景光亮度、水氣、PM_{2.5} 對觀測
星星的影響

學校名稱：新北市板橋區沙崙國民小學

作者： 小六 蕭郭念恩 小六 林念潔 小六 張珈禎 小六 陳思妤 小六 邱俊霖	指導老師： 王亭雅 黃淳霖
--	-----------------------------

關鍵詞：星星、亮度

摘要

本研究想了解不同因素對觀測星星的影響，我們採用實際觀測及模擬實驗進行研究。

我們發現觀測星星時，地面光害和月暈不會降低觀測到的星星亮度，但濕度、雲霧及 PM_{2.5} 濃度會降低觀測的星星亮度，這些因素同時會增加背景光亮度，背景光嚴重的地區，背景光增加的亮度更多，使星星和背景光亮度相近，而 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ 時，人眼才易看清楚星星。

本研究特色:

1. 自製的雲霧實驗腔，能在加壓後能進行絕熱膨脹相關實驗並進行攝影觀察。

2. 能依據月相、濕度和 PM_{2.5} 濃度，預測本校操場當日夜晚「星況」。

遠程發展是依本研究之方法，繼續觀測不同觀星地點的環境條件，找出關連性，最終設計一個程式，讓人們能「依據天氣預報資料」評估當地的觀星狀況。

壹、研究動機

進行觀星活動時，我們發現本來想看的暗星，當場才發現會看不見，造成不同夜晚能看到的星星數量不同。討論後覺得和背景光亮度、雲霧、濕度及和 PM_{2.5} 有關，所以我們想知道這些因素是否會影響人眼觀測星體的亮度，並進一步探討，是否能使用這些因素預知當晚觀測星星是否會受到影響。



[圖 1] 學校觀星課程大雪山戶外教學

貳、研究目的

- 一、利用實際觀測探討不同因素對觀測星星的影響。
- 二、利用模擬實驗探討不同因素對觀測星星的影響。
- 三、不同因素對觀測星星影響互相比較。
- 四、由不同因素預測夜晚觀星的效果。



參、文獻探討

一、從<月亮遮住我的星-月光對觀測星星的影響>中得知可以使用程式 Maxim DL 能分析出星星亮度值。

在實際觀測星星後，由於想要進行亮度的比較，所以我們需要分析星星亮度的方法，以便後續的討論。

<月亮遮住我的星-月光對觀測星星的影響>此篇文獻中也分析了星星的亮度，步驟如下：

「(1)打開 Maxim DL，把原照片複製到 Maxim DL 中。

(2)點選程式中上方工具列的，滑鼠會變成，此時將游標對到星星會顯示最大亮度值 Maximum。

(3)紀錄下星星的星等、方位、仰角以及亮度峰值 Maximum。

(4)用 excel 建立散佈圖。」

所以我們決定使用文獻中的 Maxim DL 程式來分析星星的亮度值。

二、從<偏振片初探>文獻中可得知當兩片偏振片交疊時，可使光的亮度減弱，利用此方法降低雷射筆的亮度，模擬星星的光點。

在模擬星星時，因為雷射筆的亮度大於月亮亮度，使得無法做出我們想要的結果，因此決定使用偏振片，來降低雷射筆的亮度。

查詢<偏振片初探>文獻中提到以下三點：

1.一片偏振片本身就有遮光的效果，而兩片偏振片重疊時，其為最佳效果。

2.當夾角 90 度時偏振片可達到最暗效果；然而在夾角為 0 度時，光線可直接通過偏振片而達到最明亮效果。

3.在理想狀態下，光會被偏振片完全阻擋，但實際而言，阻擋並不完全。」

所以本研究使用兩片偏振片並調整不同角度，放在雷射筆前方減弱亮度，模擬星星。

三、在第五十六屆科展<「氣」得「灰」頭土臉>文獻中得知可使用線香改變懸浮微粒濃度

因為本研究需模擬不同懸浮微粒濃度的情形，並找出能讓懸浮微粒穩定上升或下降的方法。

從第五十六屆科展<「氣」得「灰」頭土臉>文獻中的燃燒實驗之二觀察記錄圖[圖 1]得知，線香、香菸、蠟燭以及線香這四種製造懸浮微粒的方法，而從中發現線香上升較穩定」，所以本研究決定使用燒線香的方法來控制懸浮微粒的濃度。

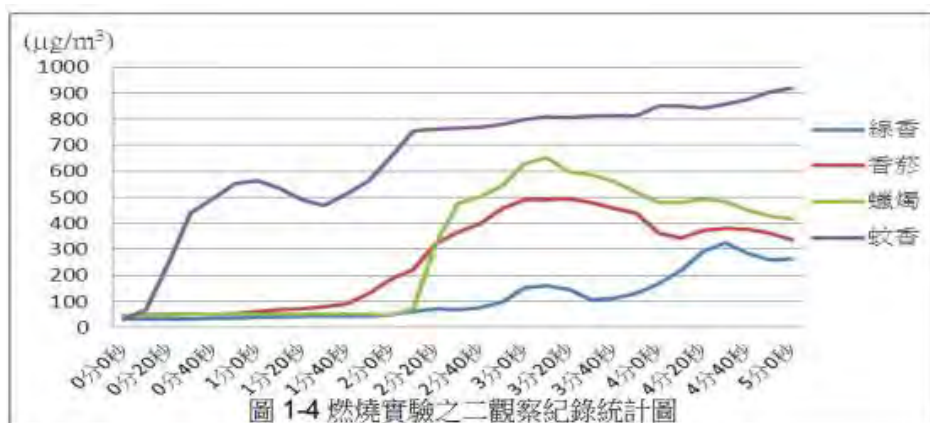


圖 1-4 燃燒實驗之二觀察紀錄統計圖

[圖 2]文獻<「氣」得「灰」頭土臉>中的燃燒實驗觀察記錄統計圖

四、從第五十一屆<騰雲駕霧>的文獻中得知氣壓高、容積大和使用乙醇可使雲霧較多且持久，可模擬雲霧的情形

因為本研究需要模擬空中的雲霧情形，經查影片【中央大學】物理演示實驗－絕熱膨脹 adiabatic expansion(<https://www.youtube.com/watch?v=gB6EITvDWSs>)後得知可以使用絕熱膨脹產生雲霧。

而第五十一屆<騰雲駕霧>的文獻中的結論提到以下三點

- 1.氣壓越大，產生的霧氣較濃。
- 2.不同體積時，產生的雲霧濃度如下：
 - (1)壓力未達 40psi 時，容積較小的寶特瓶溫度變化較大。
 - (2)壓力為 40~50psi 時，三種容積不同的溫度變化約略相等。
 - (3)壓力超過 50psi 時，容積較大的寶特瓶溫度變化較大。
- 3.不論乙醇或丙酮，實驗結果皆與水氣類似，但乙醇與丙酮產生霧氣的現象比水氣明顯(其中又以丙酮尤甚)。」

所以本研究決定設計容積較大的物品，並使用乙醇以及不同的氣壓來模擬不同濃度的雲霧情形。

肆、研究限制

一、研究中才得知相機檔案需使用 NEF

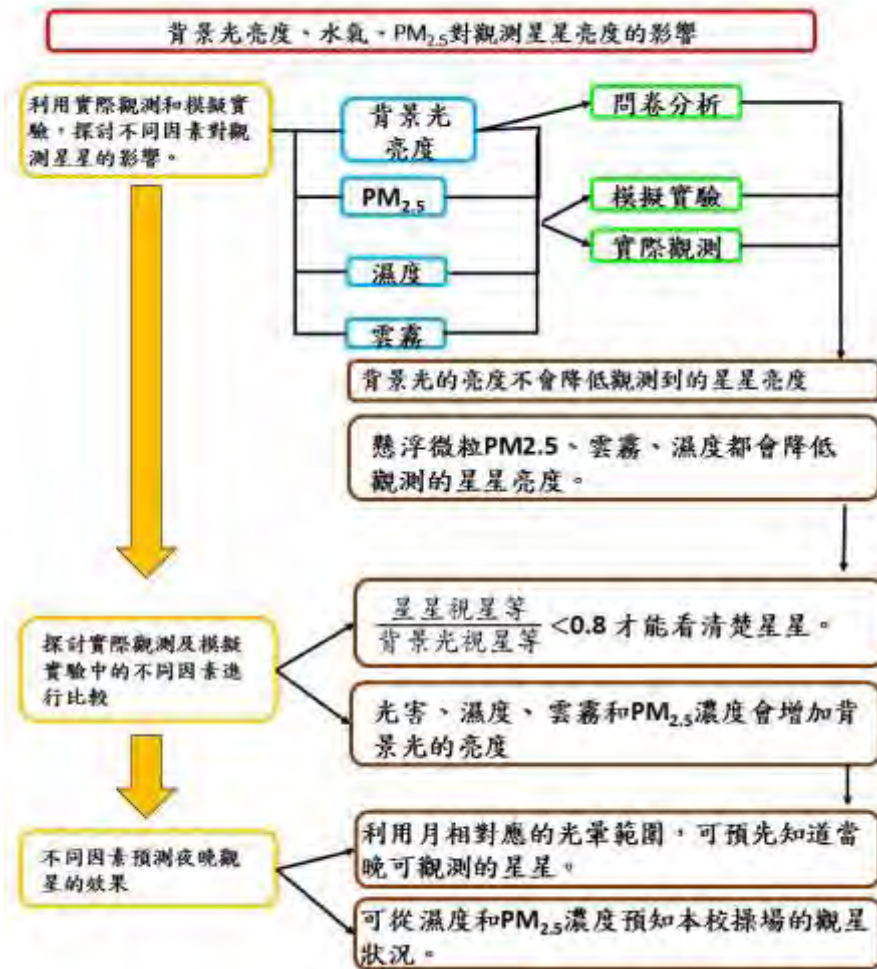
我們從去年 9 月就開始進行觀測及拍攝的研究，但 12 月時詢問常拍星星的專家，才知道使用相機觀測亮度不能使用 JPG 檔，JPG 檔已經過相機處理，所以如果要偵測亮度，要使用原始 NEF 檔，所以目前的亮度數據從 1 月才開始取得。

二、實際觀測時無法控制濕度、懸浮微粒和雲霧濃度，所以只能選濃度相近的夜晚進行比對。

三、實際觀測時，因為大氣層中成分不是均勻的，此條件我們無法控制。

四、模擬實驗使用線香產生懸浮微粒，但無法檢測是不只有 PM_{2.5}的懸浮微粒，故模擬實驗總稱「懸浮微粒」

伍、研究架構



[圖 3]實驗架構圖

陸、研究設備及器材

一、探討不同光害亮度對觀測星星亮度的影響

1.	可調式燈泡	4.	相機腳架
2.	雷射筆(改良成插電式)	5.	偏振片
3.	相機		

二、探討不同懸浮微粒濃度對觀測星星亮度的影響

1.	自製暗箱(圖 3)	5.	空氣盒子
2.	線香	6.	雷射筆(改良成插電式)
3.	計時器	7.	相機腳架
4.	相機	8.	偏振片

(一) 暗箱

我們為了控制濕度和 $PM_{2.5}$ ，用收納箱自製了暗箱，使相機拍攝雷射筆時不會受到旁邊環境的影響，也能夠在箱子內模擬濕度和 $PM_{2.5}$ 的變化。



[圖 4] 自製的暗箱實際照片及實驗擺設俯視圖(作者自行繪製)

相機口可放相機鏡頭，對準光源口可看到模擬星星的雷射筆光點。

(二) 空氣盒子介紹：

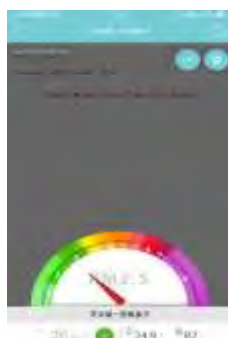
EDI GREEN 是一項台灣的空氣品質監測服務，提供 AirBox 空氣盒子給學校和市民，用於感測 $PM_{2.5}$ 和溫度濕度資訊，再將收集到的資訊上傳到雲端平台，整合 Google Maps 地圖，讓使用者能透過網頁或手機 App 來隨時監看各據點的空氣品質資訊。而本研究運用這個儀器來查看實際即時的 $PM_{2.5}$ 及濕度資料。



[圖 5] EDI GREEN 空氣盒子外觀



a. 每小時 $PM_{2.5}$ 、溫度及濕度畫面



b. 即時的 $PM_{2.5}$ 濃度、溫度及濕度畫面



c. EDI GREEN APP 的 Google Maps 測站畫面

[圖 6 a.b.c] EDI GREEN APP 使用畫面

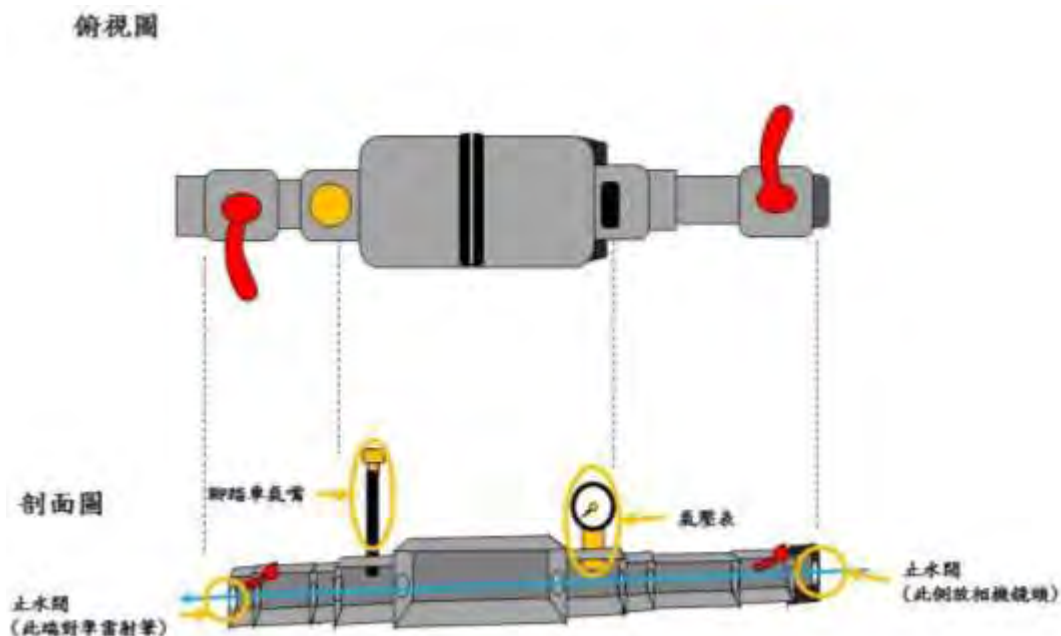
三、探討不同雲霧濃度對觀測星星亮度的影響

1.	雲霧實驗腔(圖 4)	5.	雷射筆(改良成插電式)
2.	酒精	6.	相機
3.	打氣筒	7.	相機腳架
4.	偏振片		

a. 雲霧實驗腔實際外觀照片



b. 雲霧實驗腔俯視圖



[圖 7 a.b]雲霧實驗腔實際外觀照片及俯視及剖面比對圖(作者自行繪製)

三、探討不同水蒸氣多寡對觀測星星亮度的影響

1.	自製暗箱	5.	偏振片	9.	空氣清淨器
2.	乾瓶(瓶裝乾燥劑)	6.	雷射筆(改良成插電式)	10.	濾紙
3.	濕瓶(瓶裝濕衛生紙)	7.	相機		
4.	Enstian	8.	幫浦		

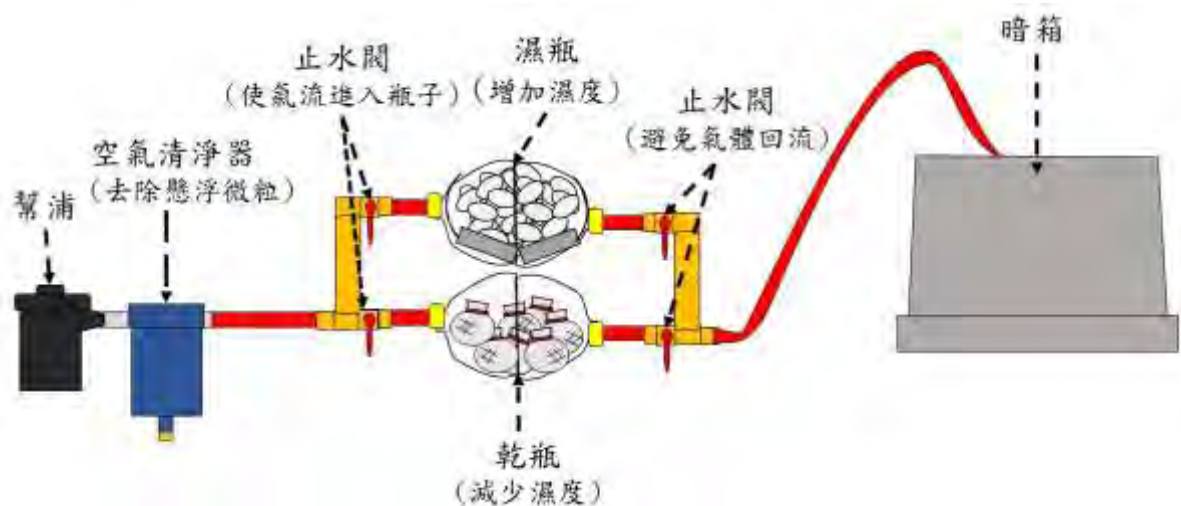
(一) 濕度控制裝置

濕度指的是空氣中水蒸氣的含量，所以我們使用幫浦將空氣送進暗箱過程中設計濕瓶及乾瓶，並在乾瓶內放置乾燥劑，使空氣經過時減少水蒸氣含量，在濕瓶內放濕衛生紙，使空氣經過時增加水蒸氣含量，達到控制濕度變化的效果。



[圖 8] 乾瓶與濕瓶示意圖 (作者自行繪製)

乾瓶內部放乾燥劑，濕瓶內部放置濕衛生紙，使空氣經過時增加或減少水蒸氣的含量，控制濕度的變化



[圖 9] 濕度控制裝置示意圖 (作者自行繪製)

(二) enstain 儀器介紹

enstain 是可以偵測濕度、亮度、心率、壓力、溫度、UV、聲音、高度、速度和經緯度，實驗時可即時連線手機 app MiLAB X 紀錄當下濕度，做溼度實驗時，會利用以上這台 enstain，來記錄當時的濕度變化。

a. enstain 機器圖



b. MiLAB X app 紀錄濕度時的介面



[圖 10 a.b] enstain 機器圖及開機後紀錄濕度時的介面

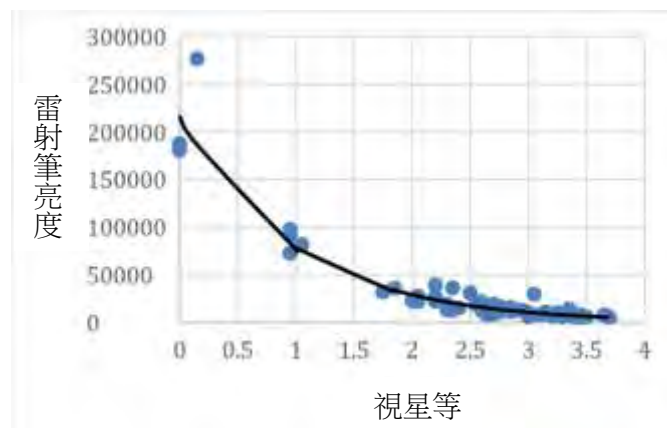
柒、研究過程或方法

一、相機拍攝方法測試

(一)實驗步驟

1. 利用指星筆幫助相機對到星星的位置。
2. 將相機調整到相機畫面內有月亮或星星的位置。
3. 把相機數值調整到 Iso 200，EV3 秒，並連拍 9 張(減少誤差)。
4. 用 MaxIm DL 記錄當日各星星的亮度峰值
5. 將 9 張亮度值取平均，統整後畫成圖表。

(二)結果



[圖 11]用相機拍攝方法紀錄的視星等及亮度圖

(三)小結論

可以看到視星等和亮度間呈現的趨勢線，視星等越大，亮度確實越高，所以後續研究使用相機拍照來進行亮度的紀錄。

二、實際觀測-背景光亮度、水氣、PM_{2.5} 對觀測星星的影響

由於月暈和地面光害都會增加背景光亮度，此實驗以測量光暈來進行背景光亮度的研究。

(一)實際觀測，記錄當天可見的星星，以及記錄當日的月相、濕度及懸浮微粒濃度

1. 天氣好時，到學校操場進行觀測準備。
2. 先找出當季的主要星星(如:春季大三角、夏季大三角、秋季四邊形、冬季大橢圓)或是亮星，再開始認周邊的星座及星星。
3. 利用 Stellarium、Star Walk、Star Chart 等星空軟體，找出星星之相對位置。
4. 將觀測到的星星的星名、星等、方位、仰角記錄下來。
5. 記錄當日的濕度、PM_{2.5}、月相。



[圖 12]實際觀測時的照片

(二)用相機拍攝實際的星星亮度(同研究方法一)

一個人利用指星筆負責幫忙指出星星的位置，另一個人把相機對準雷射筆光點的位置，確認要拍攝的星星有在相機視野中。

(三)找出各個視星等的亮度峰值

1. 將各九張星星的亮度峰值取平均。
2. 把星星的視星等、亮度以及星星名稱排序。
3. 並將星星依視星等分類，例如: 0-0.5、0.5-1。
4. 利用 EXCEL 算出標準差，並減掉超過兩個標準差外的誤差值。
5. 將修改過的星星亮度數值繪製圖表，找出各個視星等的亮度峰值。

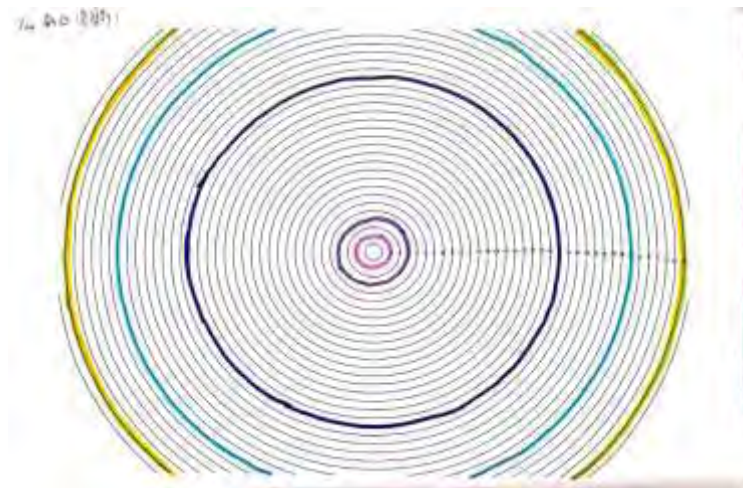
(四)算出實際距離和照片相素的比例

1. 利用星空軟體查星星和月亮的赤經赤緯，並算出星星和月亮的視距離。
2. 計算同顆星星在相片中和月亮的距離。
3. 實際的距離除以相片中的距離，算出比例值。

(五)找出月暈亮度的視星等範圍

1. 利用步驟(三)以找出的視星等亮度峰值。
2. 用 MAXIM DL 的水平線找出月暈上 0-0.5 星等的亮度峰值位置，並記錄 X 值。
3. 利用步驟(四)找出的比例值，計算出實際的距離(度)。
4. 重複以上步驟 2、3 找出 0.5-1、1-1.5、1.5-2、2-2.5、2.5-3、3-3.5、3.5-4、4-4.5 星等的亮度峰值位置及實際距離。
5. 最後在同心圓紙上畫出月暈上的各星等的範圍。

(六)在同心圓中點出當日夜晚實際觀測時，看到的星星位置。

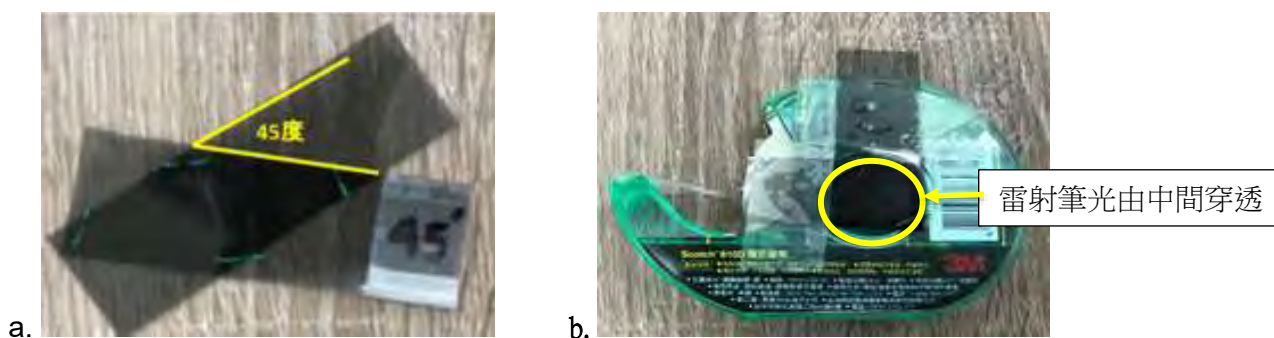


[圖 13]在同心圓畫上月暈的各星等範圍示意圖

三、前置實驗-使用雷射筆的光點模擬星星測試方法

(一)實驗方法

1. 使雷射筆的光線穿過重疊角度 45 度的偏振片(圖 8b)再射到牆面上，
2. 將相機數值調至 ISO 200、EV 3、F 5.6，並拍攝牆上雷射光點的照片，連拍 9 張。
3. MAXIM DL 分析雷射筆的亮度，並討論是否能夠使雷射筆亮度下降。
- 4.將步驟一的偏振片換成夾角 90 度，再重複步驟 2-3。



[圖 14 a.b]使用偏振片降低雷射光亮度的實際照片

- a.使用偏振片交疊不同角度降低雷射光亮度
- b.利用透明膠帶台讓偏振片能立著，讓雷射筆光穿過中間的凹洞

(二)實驗結果

[表 1]雷射筆使用不同夾角偏振片的亮度比較

兩片偏振片夾角(度)	亮度
45	1191862.4
90	81087.36

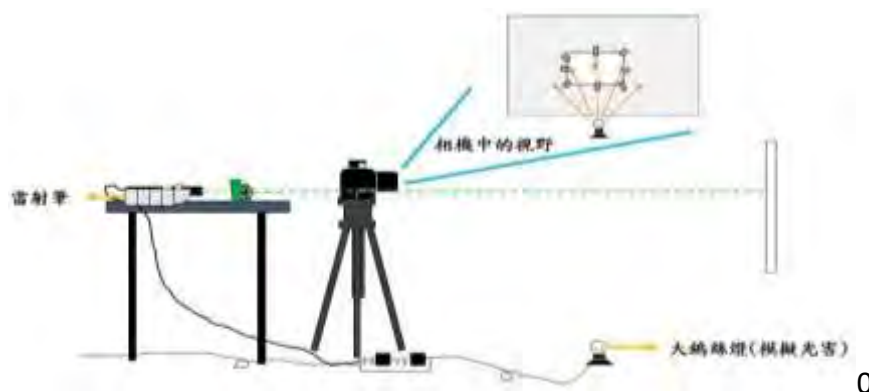
(三)小結論

由上表可得知當雷射筆穿過偏振片時，亮度會受到偏振片影響，重疊角度越大雷射筆亮度越暗，與文獻二相符，所以以下實驗都使用經過偏振片降低亮度的雷射筆光點星星，偏振片 45 度模擬亮星，偏正片 90 度模擬暗星。

四、模擬不同背景光亮度對觀測星星亮度的影響

(一)相機拍照分析亮度

1. 將鎢絲燈泡擺在地板上(可以影響到雷射筆亮光為標準)。
2. 把鎢絲燈泡的調光旋鈕角度調至不同刻度(0、45、135、225 度)
3. 使雷射筆的光線穿過重疊角度 90 度的偏振片再射到牆面上，並確認相機視野中央為雷射筆的光點。
4. 將相機數值調至 ISO 200、EV 1、F 5.6，並拍攝牆上雷射光點的照片，連拍 5 張。
5. 最後用 MAXIM DL 分析雷射筆的亮度，並繪製成圖表。



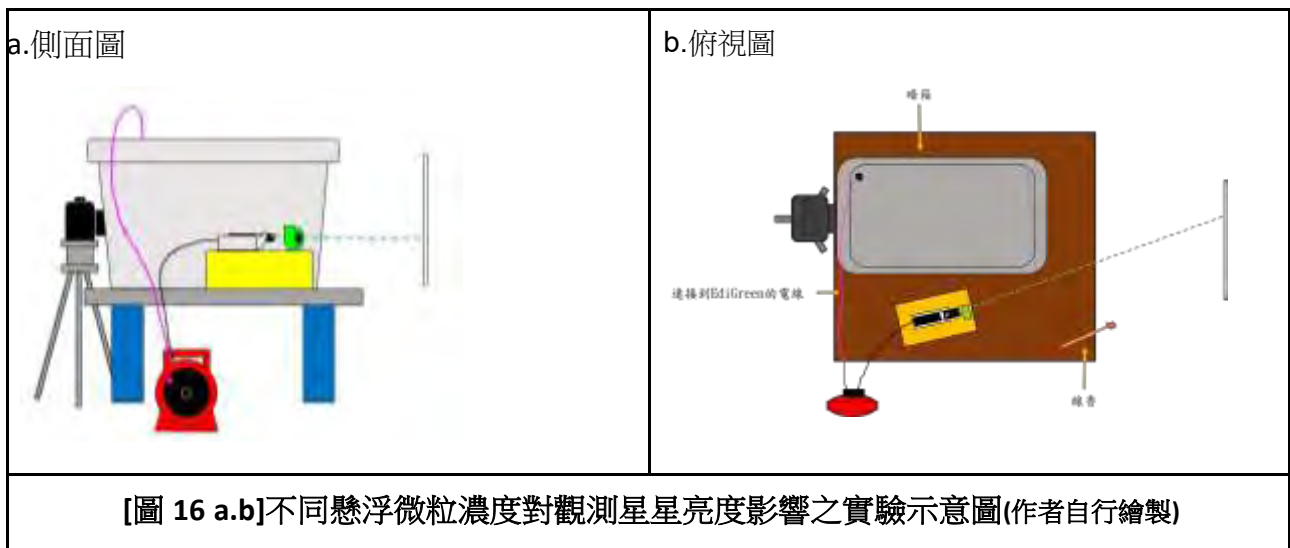
[圖 15]模擬不同背景光亮度時的星星亮度之實驗示意圖(作者自行繪製)

(二)調查有背景光時，人眼看星星亮度是否會改變

1. 利用大鎢絲燈模擬光害、小鎢絲燈模擬星星，並將小鎢絲燈放於大鎢絲燈上方。
2. 邀請學校學生(3-6 年級)進行問卷調查，講解測驗說明及填寫個人資料。
2. 請他們閉眼 10 秒(熟悉黑暗)，再讓受測學生先看原本小鎢絲燈的亮度。
3. 將大鎢絲燈泡開至 45，並觀察小鎢絲燈的亮度變化，並填寫問卷第一題。
4. 重複以上 1~4 步的步驟，並將大鎢絲燈泡開關改為 135 及 225，並填寫問卷第二題及第三題。
5. 最後用 EXCEL 打問卷的答案，並將結果繪製成圖表。

五、模擬不同懸浮微粒濃度對觀測星星亮度的影響。

1. 暗箱口對準雷射筆，並確認相機視野中有雷射筆在中間。
2. 將點燃的線香放入暗箱一秒鐘。
3. 每 10 秒用空氣盒子紀錄一次箱子內的懸浮微粒濃度，同時用相機拍攝雷射筆的光點。
4. 用 MAXIM DL 分析雷射筆亮度，並繪製成圖表。



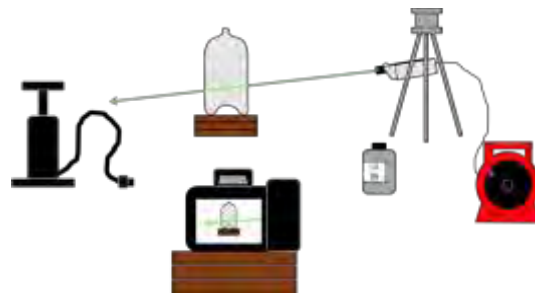
六、模擬不同雲霧濃度時的星星亮度變化

(一)前置實驗-不同壓力是否產生不同濃度的雲霧測試

因雲霧濃度難以測量，所以從文獻四查到氣壓大小會產生不同濃度的雲霧，所以我們決定測試看看。

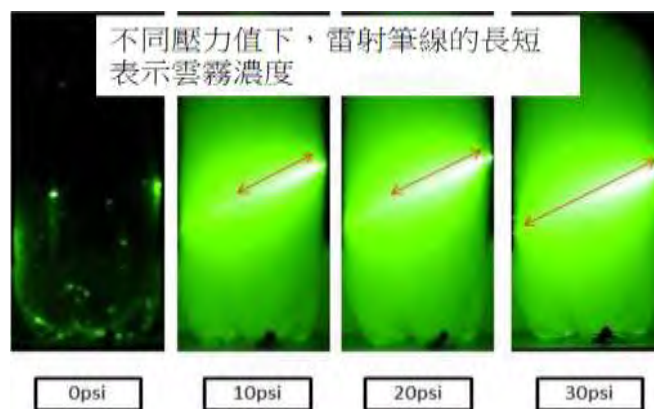
1. 實驗步驟：

- (1)先將一個瓶蓋量(7ml)的酒精(甲醇)倒入 125ml 的寶特瓶中。
- (2)倒入 30 秒後開始加壓至 10psi。
- (3)拔開打氣筒的氣嘴同時用相機拍照。
- (4)將寶特瓶進行沖洗後並重複以上步驟，且將氣壓質分別改為 20 和 30psi。



[圖 17]不同氣壓產生的雲霧濃度之實驗示意圖(作者自行繪製)

2. 實驗結果圖:



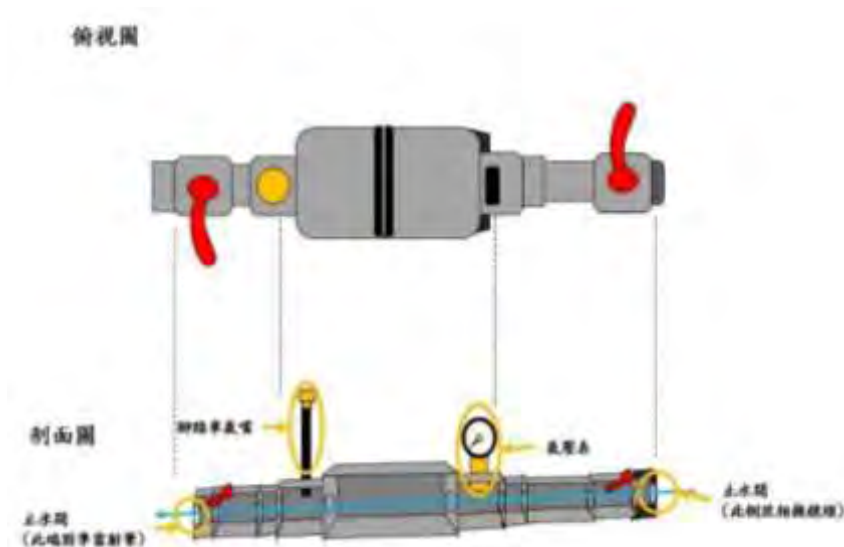
[圖 18]不同雲霧濃度對觀測雷射筆光線亮度的影響

3.小結論:

當雲霧濃度在 10 PSI 的時候，會使雷射筆的光線比濃度在 20 和 30 PSI 的光線來得較短。而雲霧濃度在 20 PSI 的時候，雷射筆的光線比濃度在 10 光線來得較長，但比雷射筆的光線比濃度在 30 PSI 的光線來得較短。最後雲霧濃度在 30 PSI 的時候，比 0-20psi 的雷射筆光線長，此結果與文獻四的結果相符。因此我們由光線的長短不同，可以推論氣壓大小可以改變雲霧的濃度。

(二)實際模擬不同雲霧濃度時的星星(雷射筆)亮度

- 1.先將 7ML 的酒精(甲醇)用滴管噴入雲霧實驗桶中，計時 30 秒後等待酒精蒸發。
- 2.使用打氣筒加壓至 10PSI。
- 3.打開光源的止水閥，使內部與外部壓力平衡，產生雲霧。
- 4.打開相機止水閥，並使用相機拍攝雷射筆的光點。
- 5.用吹風機從相機止水閥將內部的雲霧吹出。
- 6.重複以上步驟，並將氣壓質分別改為 20、30 和 40PSI，產生不同濃度的雲霧。

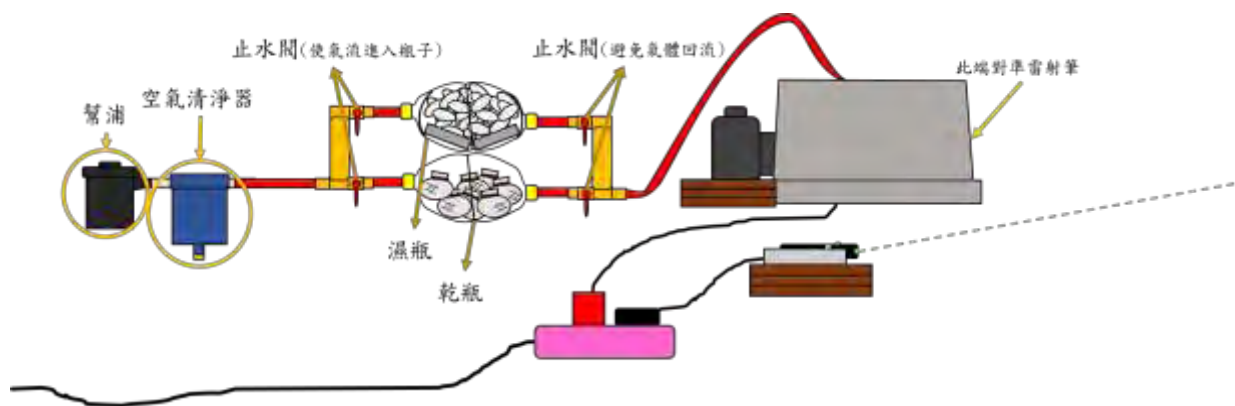


詳細實驗影片連結

[圖 19]不同雲霧濃度對觀測星星亮度影響之實驗示意圖及影片(作者自行繪製及拍攝)

七、探討不同濕度對觀測星星亮度的影響

- 1.先確認雷射筆光點有在相機視野內，並將相機數值調整好。
- 2.比幫浦打開讓氣流穿過濕/乾瓶，送到暗箱內，並連拍 9 張雷射筆的光點，在記錄原始濕度及 PM2.5 濃度。
- 3.之後每一分鐘記錄濕度及 PM2.5 濃度並連拍。
- 4.最後用 Maxium 分析雷射筆亮度，並畫成圖表



[圖 20]不同濕度對觀測星星亮度影響之實驗示意圖(作者自行繪製)

捌、研究結果

一、探討不同背景光亮度對觀測星星亮度的影響

(一)實際觀測不同背景光亮度時的星星亮度變化

1.月相不同時的背景光亮度變化

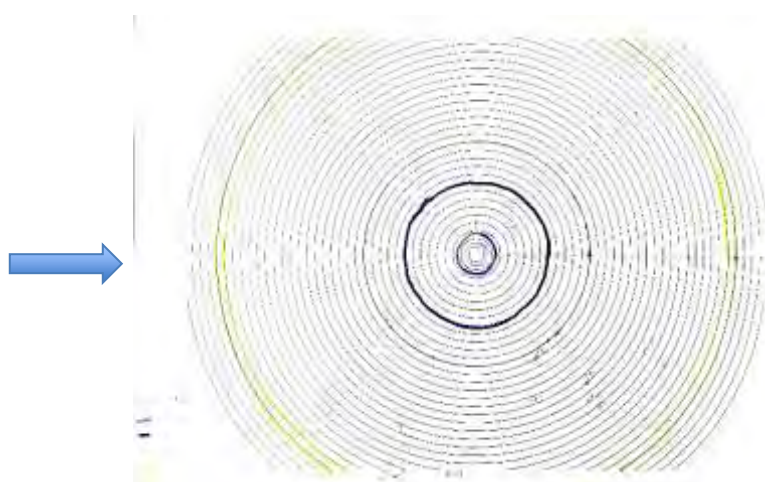
我們將測量到的距離畫在紙上，並用不同顏色的筆代表亮度，直接比較光暈的範圍大小。

由[圖 18a.b.c]比較不同月相的光暈大小，以 3 星等來舉例，凸月光暈範圍是 31.4 度，殘月光暈範圍是 2.4 度，由此可知越接近滿月光暈越大，觀星受到的影響也越大，且由此可推測滿月光暈範圍應大於 32 度。

且比較光暈亮度變化，視星等 0-1.5 時範圍很緊密，視星等 1.5-3 範圍變大，視星等 3-4 範圍又很緊密。

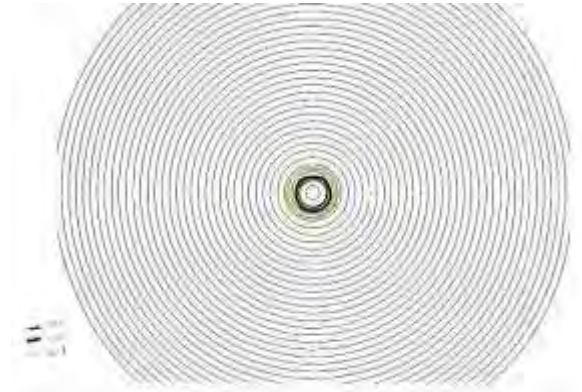
(a)凸月

月暈亮度 (已轉換單位為視星等)	實際離月亮 距離(度)	顏色
0-0.5	1.4	粉紅
0.5-1	(這天無紀錄到此區間之星星)	
1-1.5	2.8	淺紫
1.5-2	8.95	紫
2-2.5	13.9	淺藍
2.5-3	31.4	黃
3-3.5	(此區間數據量太少，無法統計)	
3.5-4	31.9	綠



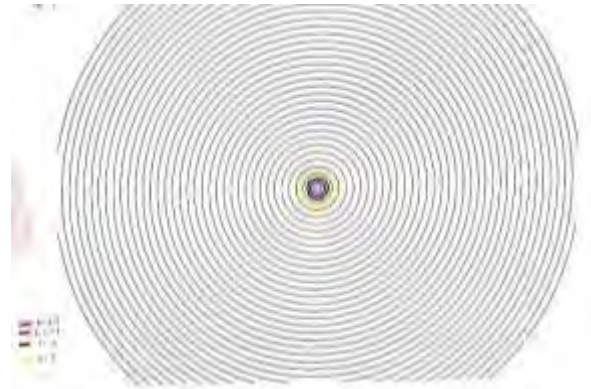
(b)弦月(因範圍小，使用1星等作為區間繪製)

月暈亮度 (已轉換單位為視星等)	實際離月亮 距離(度)	顏色
0-1	1.9	咖啡
1-2	2.6	紫
2-3	3.2	黃
3-4	3.7	綠



(c)殘月(因範圍小，使用1星等作為區間)

月暈亮度(已轉換單位 為視星等)	實際離月亮 距離(度)	顏色
0-1	1.1	咖啡
1-2	1.6	紫
2-3	2.4	黃
3-4	(這天無紀錄到此區間之星星)	



[圖表 21 a.b.c]不同月相的光暈大小

同心圓每一圈為地球上的1度，並將表格中的距離用不同顏色畫在同心圓中，表示光暈大小。

2. 月亮使背景光亮度增加時，實際觀測到的星星紀錄

我們將星空軟體調到當日夜晚截圖下來，將看的見的星星圈起來(如下圖)，可以看出虧凸月附近剛好是金牛座，但除了亮星畢宿五(星等 0.86)以外都看不見。以總數量相比，弦月可以看到的星星數量比虧凸月還要多顆，可以知道虧凸月對觀測星星的影響較大。

a. 虧凸月(可看見的星星數量共 62 顆)



b. 弦月(可看見的星星數量共 76 顆)



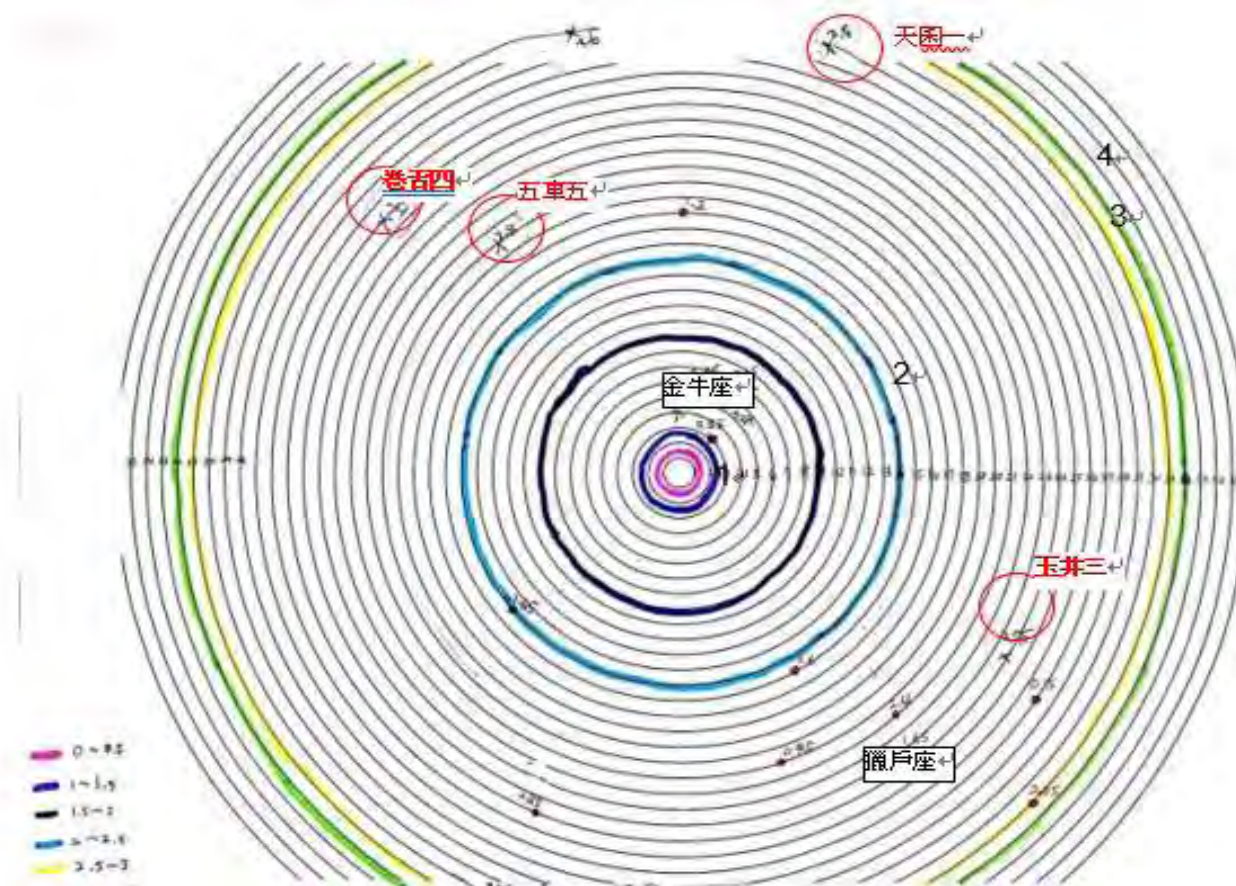
[圖 22 a.b] 不同月相時，觀測到的星星紀錄

(a)虧凸月時月亮附近的星星受月暈影響看不清楚 (b) 弦月時月亮附近的星星幾乎都看的見

3. 月亮光暈和同一天紀錄的星星對照結果

我們進一步將「同一天記錄看見的星星」和「當日月亮光暈亮度範圍」畫下來，可以看到當日看見的星星(紅字)，星星亮度都比背景光亮度還亮。而當日沒看到的星星(藍字)，大部分星星的亮度都比月暈亮度暗。

但我們發現天囷一、五車一、五車五以及玉井三，這些星星亮度明明比月暈亮度還要亮，但卻看不見。

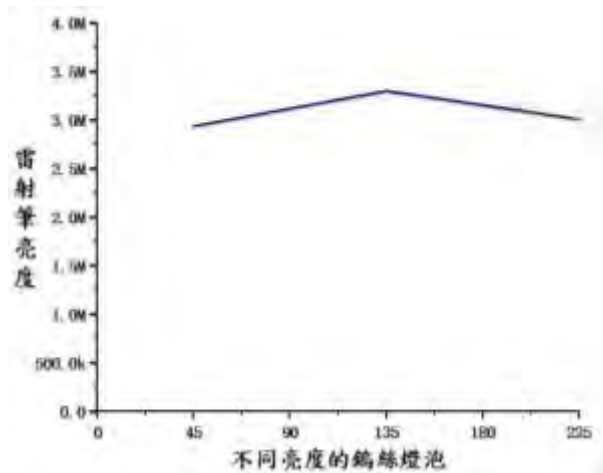


[圖 23]同日看見的星星與月暈範圍比較圖(虧凸月、濕度 100%、懸浮微粒 $13\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- 圖中不同顏色為月暈的視星等亮度範圍，例如粉紅色圈內的月暈亮度同等於 0-0.5 視星的星星亮度。
- 紅色字為當日有看見的星星，藍色字為平日看的見，當日卻看不見的星星，而旁邊的數字為星星的視星等。

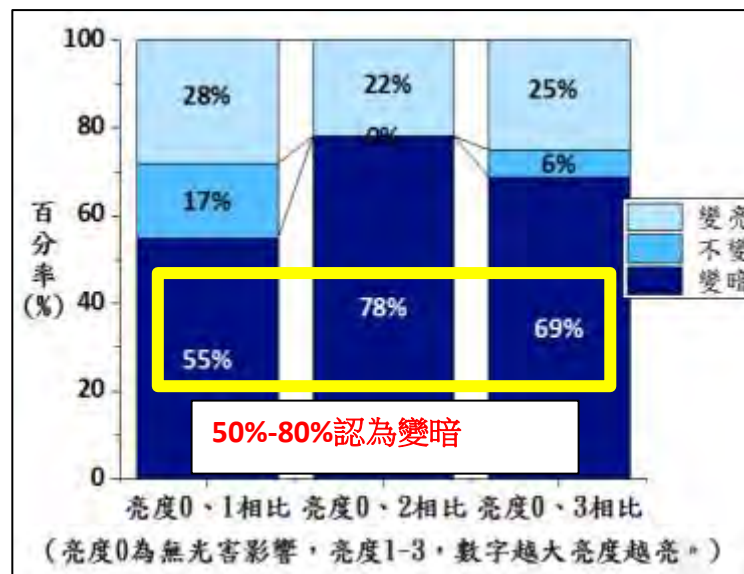
(二)模擬不同光害亮度時的星星(雷射筆)亮度的影響

下圖中線段曲折不大，我們認為此是雷射筆亮度不穩定所造成的，表示雷射筆的亮度並沒有因為鎢絲燈的光而亮度降低，可以得知不論月暈或是地面光害的影響，皆不會使星星本身亮度降低。



[圖 24]不同亮度的鎢絲燈泡(模擬光害)時，雷射筆亮度變化折線圖
橫軸數字為利用大鎢絲燈泡的開關自定義的亮度變化，數字越大，亮度越亮

我們進一步研究人眼觀測的調查，調查結果如下圖，可以看出有 50%-70%的人同意「大鎢絲燈亮度越亮時，小鎢絲燈的亮度會變暗」，由此可以得知有不論是月亮光害或地面光害，當有光害影響時，人眼能感受到小鎢絲燈的亮度有變暗；且光害越亮，人眼觀測星星的亮度就越暗。



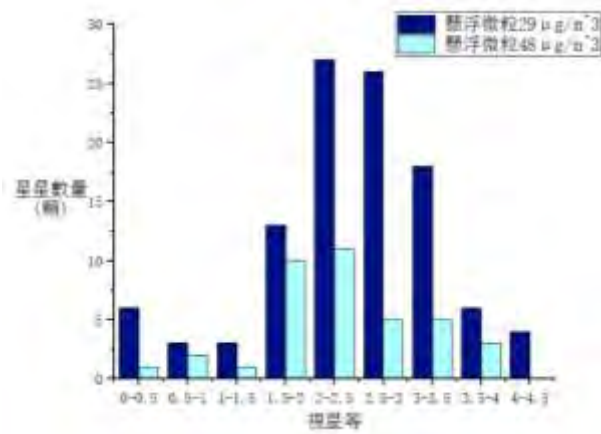
[圖 25]不同光害亮度時，人眼看星星亮度是否改變之統計圖(n=86)

二、探討不同 PM_{2.5} 濃度對觀測星星亮度的影響

(一)實際觀測結果

1.不同 PM_{2.5} 濃度時，當日可見的星星數量比例

PM_{2.5} 濃度越高時，星星亮度會降低，天空背景亮度會增加，因此可看到的星星百分率也降低，與模擬實驗結果符合。



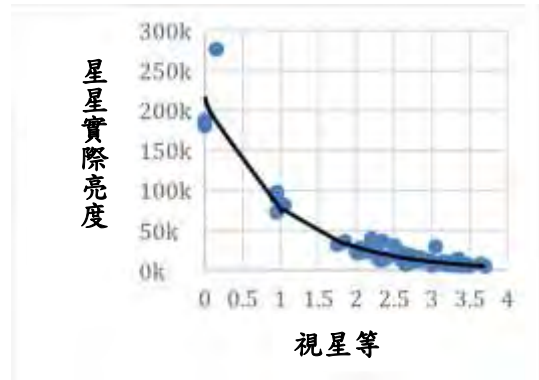
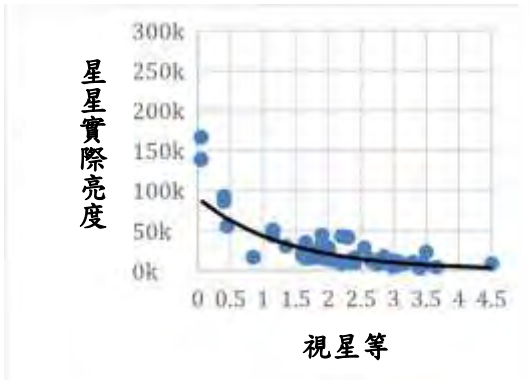
[圖 26]不同懸浮微粒濃度時，實際觀測到的各星等星星數量統計圖

2. 不同懸浮微粒 PM_{2.5} 濃度時，星星亮度比較

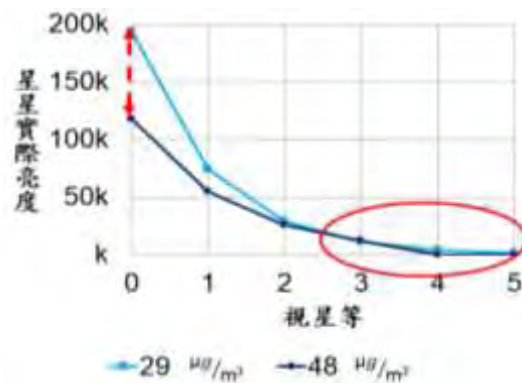
由相機拍攝後，分析各星等的亮度進行比較統整成[圖 23 a.b]，發現濕度相近時，濃度較高的 47µg/m³ 整體星星亮度都比 297µg/m³ 的亮度還要低了，由此可知懸浮微粒濃度越高，星星亮度會越低。

a. 濕度 68%、懸浮微粒濃度 29µg/m³

b. 濕度 67%、懸浮微粒濃度 48µg/m³



c. 趨勢線綜合比較

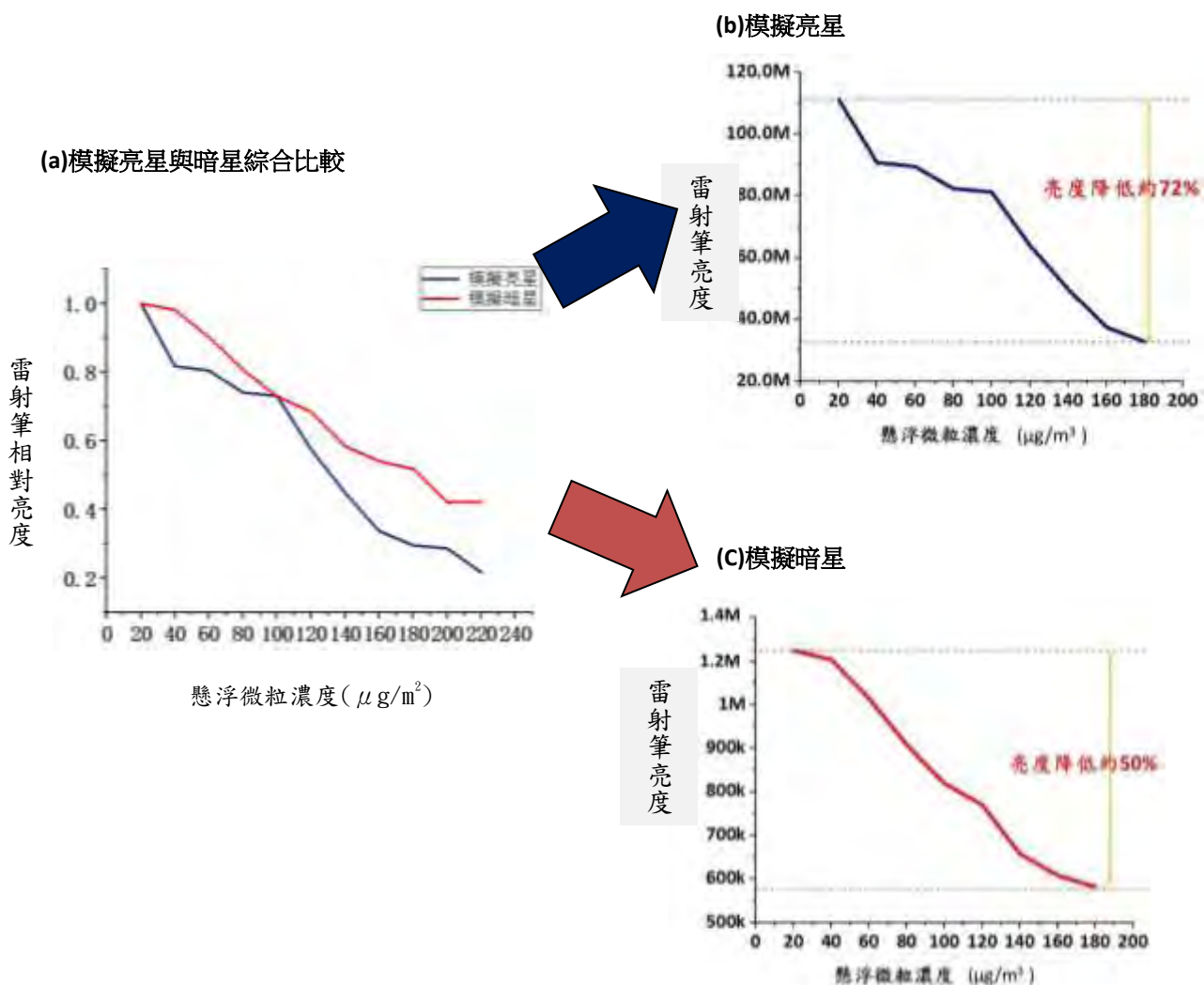


[圖 23 a.b] 不同 PM_{2.5} 濃度時，實際觀測到的各星等的亮度及趨勢線

(二) 模擬實驗結果

1. 不同懸浮微粒濃度時的星星(雷射筆)亮度

由[圖 24 a.b]可以看出不論亮星或暗星，亮度曲線都往下降，下降趨勢也相似，可以得知懸浮微粒濃度升高會使星星亮度下降。

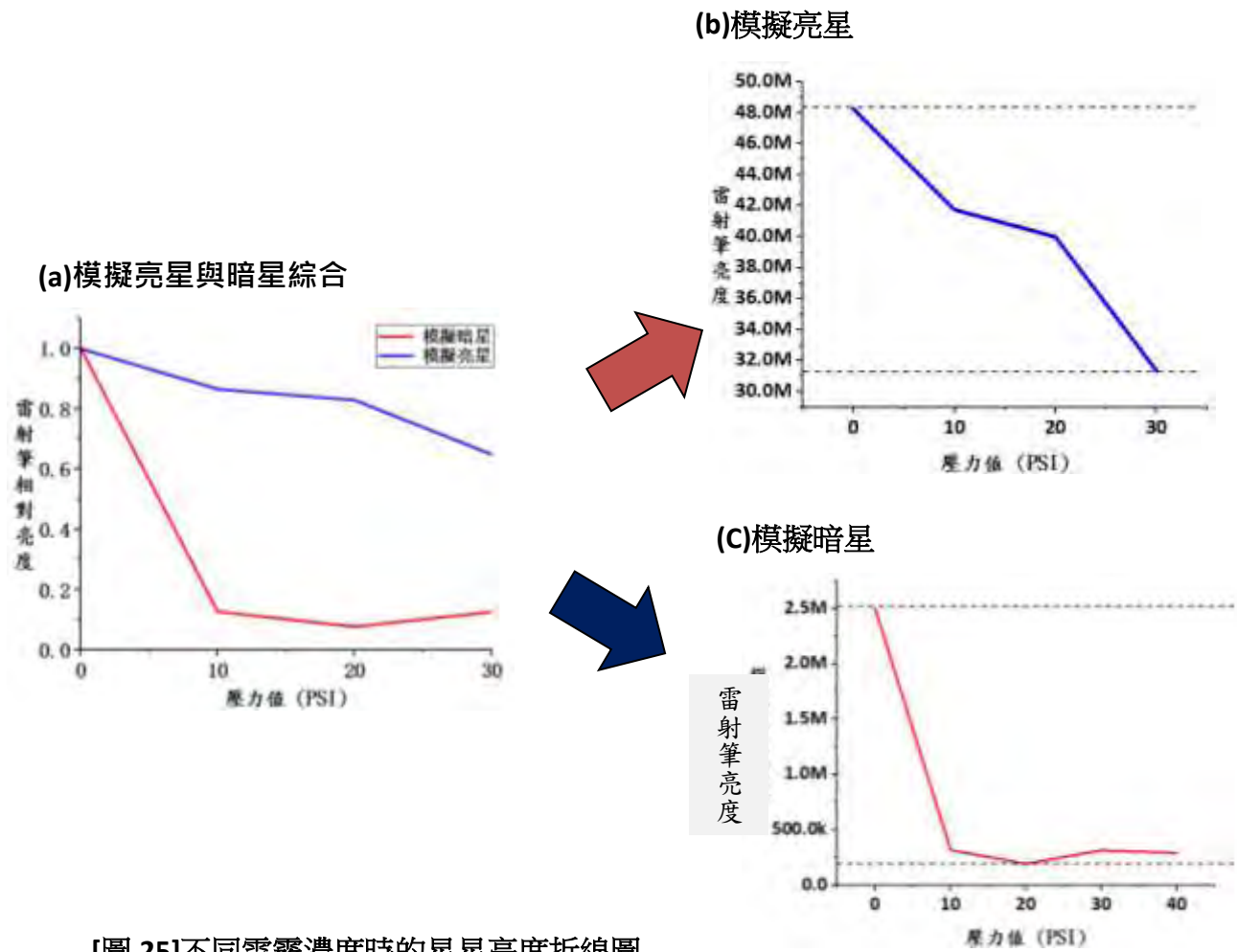


[圖 24 a.b.c] 不同懸浮微粒濃度時的亮度變化折線圖

- (a) 因模擬的亮星和暗星亮度差距大，所以以懸浮微粒濃度 20 為基準，計算出其他值的相對亮度進行比較
 (b)、(c) 為原始測的雷射筆亮度

三、探討不同雲霧濃度對觀測星星亮度的影響

- (一) 從[圖 25]中可看出壓力值越大時，雲霧越濃時，不論是暗星或亮星，星星亮度皆會下降。
- (二) 當星星亮度較暗時，曲線中發現藍線會突然下降，之後亮度就差別不大；但當星星亮度較亮時，紅線從 0~30 psi 都是緩慢的下降。因此我們推論，較暗的星較容易被雲霧濃度影響，而較亮的星較不容易被影響。



[圖 25] 不同雲霧濃度時的星星亮度折線圖

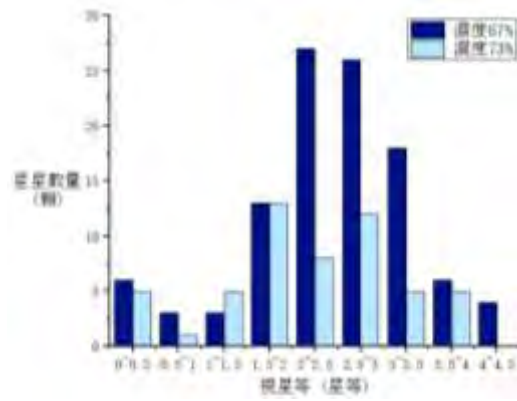
- (a) 因模擬的亮星和暗星亮度差距大，所以以壓力值 0 為基準，計算出其他值的相對亮度進行比較
- (b)、(c) 為原始測的雷射筆亮度

四、探討不同濕度對觀測星星亮度的影響

(一) 實際觀測結果

1. 不同濕度時，當日可見的星星數量比較

而下圖[圖 26]中可看到濕度 67%時可以看到的星星數量，都比濕度 73%看到的數量還要多，可以得知濕度較高，眼睛看到的星星數量會較少。



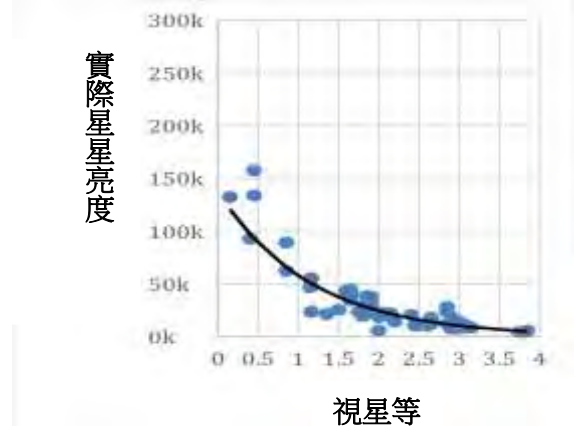
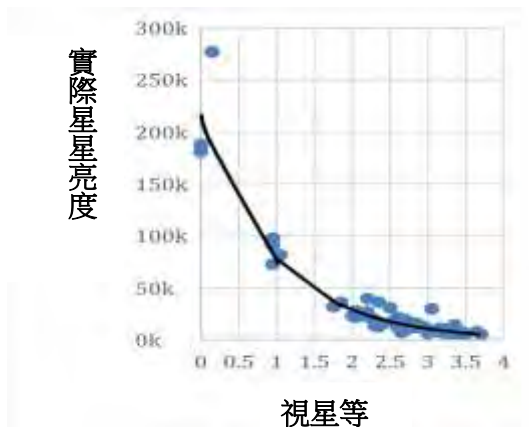
[圖 26]不同濕度時，可觀測到不同視星等的星星數量長條圖

2.不同濕度時的星星亮度

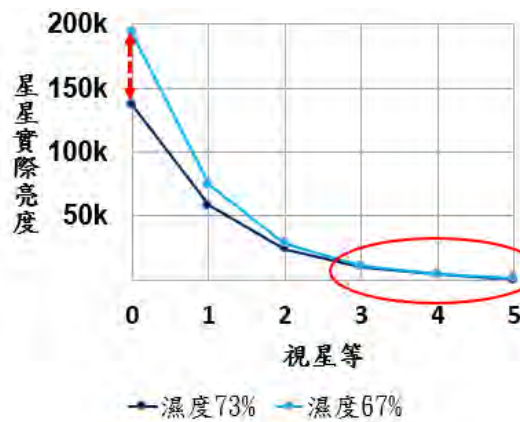
濕度 73%的整體星星亮度趨勢線較 67%的低，由此可以得知 70%以上濕度變大，也會使星星的亮度降低。

a.濕度 67%、懸浮微粒濃度 $29\mu\text{g}/\text{m}^3$

b.濕度 73%、懸浮微粒濃度 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$



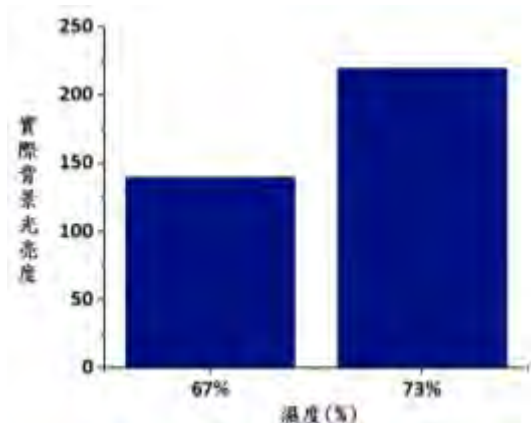
c.將 a.b 趨勢線綜合比較



[圖 27 a.b.c]不同濕度時，各視星等的亮度散佈圖

3.不同濕度時的天空背景亮度比較

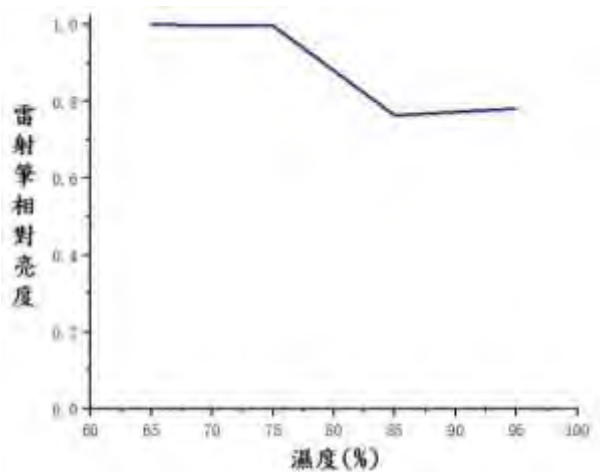
我們將學校操場的背景光亮度值進行比較，發現濕度比較高時，背景光的亮度也較高，所以我們認為濕度也會使背景光亮度增加。



[圖 28 a.b.c]不同濕度時，學校操場的背景光亮度比較圖
(學校操場方位 315-125 度，仰角 40-45 度，PM_{2.5} 值 25-29)

(二)模擬實驗結果

由圖中可以發現，星星在 60%-70%時亮度幾乎沒變，在濕度 70%~80%開始亮度降低，80%-90%亮度差不多(微上升推論是雷射筆亮度飄移造成的)，由此可知，濕度低時對觀測星星亮度較無影響，濕度高時會使星星微微下降。

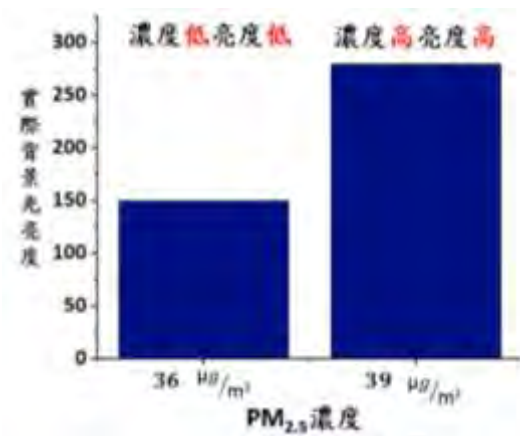


[圖 29]模擬不同濕度時，的雷射筆相對亮度變化折線圖(PM_{2.5} < 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

五、不同因素對觀測星星影響互相比較

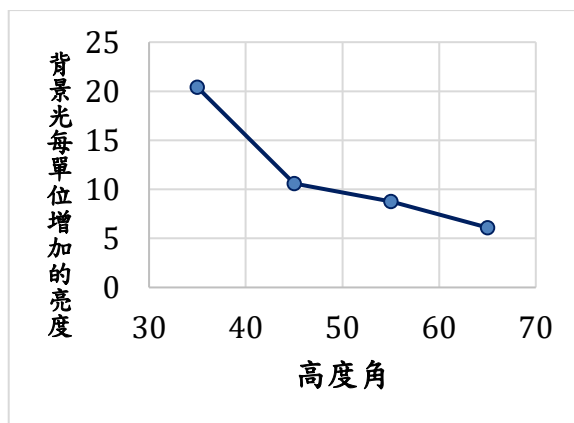
(一)不同 PM_{2.5} 濃度時的天空背景亮度(同地點)

我們將學校操場背景光亮度值進行比較(如下圖)，發現 PM_{2.5} 濃度比較高時，背景光的亮度也較高，所以我們認為 PM_{2.5} 濃度變高，也會使背景光亮度增加。



[圖 30]不同 PM_{2.5} 濃度時，學校操場的背景光亮度比較圖
(高度角 40°-45°方位角 310°-330°)

我們想知道 PM_{2.5} 濃度增加，背景光增加的程是否相同，所以進一步計算不同高度角的 $\frac{\text{背景光亮度增加值}}{\text{PM}_{2.5}\text{差}}$ ，並繪製成下圖，發現高度角較低，光害較嚴重，背景光亮度增加較多，而高度角較高，光害影響較少，背景光亮度增加較少。



[圖 31]不同仰角的亮度變化(固定學校操場方位角 180°-225°)

圖中每一點計算方式為 $\frac{\text{背景光亮度增加值}}{\text{PM}_{2.5}\text{差值}}$ ，為每上升 1 $\mu\text{g}/\text{m}_3$ ，所上升的背景光亮度值

(二)不同地點的背景光比較

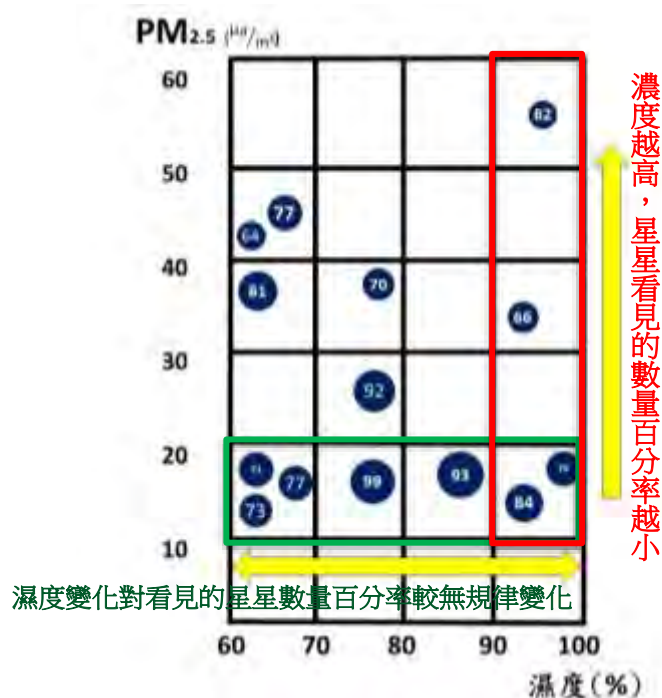
我們發現好望角的 PM_{2.5} 差了 22 $\mu\text{g}/\text{m}_3$ ，但是背景光只差 3，而本校操場差了 3 $\mu\text{g}/\text{m}_3$ ，背景光就差了 120，所以光害多的地區，受 PM_{2.5} 影響較大。

[表 2] 好望角與學校操場的背景光亮度變化

苗栗好望角(光害較少)			本校操場(光害較多)		
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}_3$)	濕度(%)	背景光	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}_3$)	濕度(%)	背景光
31	74	3	36	69	180
53	79	3	39	63	300

(三)PM_{2.5}、濕度和可見星星數量比較

可以由下圖中看出濕度改變時，可見的星星百分率數字較無規律變化，而 PM_{2.5} 改變時，可見的星星百分率差別較大，所以我們推論 PM_{2.5} 濃度變化對觀測星星影響較大，濕度變化對觀測星星較無影響。



[圖 32]濕度、PM_{2.5}和看見的星星百分率關係圖

玖、討論

一、地面光害和月暈會增加背景光亮度， $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ ，人眼才能看清楚星星。

(一)地面光害和月暈會增加背景光亮度，而觀測到的星星亮度不會受到影響

由模擬實驗的研究結果(p.17、p.18)已知「小鎢絲燈的亮度不會受到旁邊大鎢絲燈的照射而減弱」，所以可以推論月暈或地面光害只會增加背景光亮度，但觀測到的星星亮度不會受到影響。我們進一步推測背後可能的原因為光害和月暈都並沒有直接擋住星星發出的光，所以觀測到的星星亮度不會降低。

(二)星星和背景光亮度相近，人眼觀星時會感覺星星亮度變暗

由討論(一)已得知星星不會因光害或月暈而降低原本亮度，但我們觀測時卻明顯感到星星的亮度會下降，使人眼看不清楚，因此我們決定進行人眼觀測的模擬實驗。

而由問卷調查結果已知 50%-70%的人在實驗中，因為有大鎢絲燈光害的影響，而覺得小鎢絲燈變得比原本來要暗，而且當大鎢絲燈泡越強，兩者亮度越接近，小鎢絲燈就越看不清楚。由此結果可以推論，當地面光害或月暈亮度越亮，背景光亮度增加，人眼看星星就會感覺越暗，但其實星星亮度本身沒有變化。

由以上兩點我們綜合推論光害或月暈無法直接降低星星的亮度，但可以增加背景光亮度，所以人類的眼睛在判別『星星』和『有光害的背景光』亮度太近，或是背景光亮度大於星星時，此兩種情形下會使我們感覺星星亮度變暗，所以影響人眼觀測星星。

(三) $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ 時，人眼較可以清楚看到星星

由於討論一提到「人類的眼睛在判別『星星』和『有光害的背景光』亮度太近」的推測，我們想從這幾個看不見的星星，試著找出有月光影響時可以預測觀星狀況的條件，想試著將星星亮度和背景光做計算找出規律，而為了本研究目的是可以進行後續預測，所以我們將背景光的亮度換算成視星等的單位，方便後續使用。

我們計算了凸月月暈範圍圖中所有的 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ (結果如下圖 33)，發現當天可看見的星星 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ 都大於或等於 0.8，當天無法看見的星星 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ 都小於 0.8，因此

此我們推論當 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ 時，星星就可以看得見。

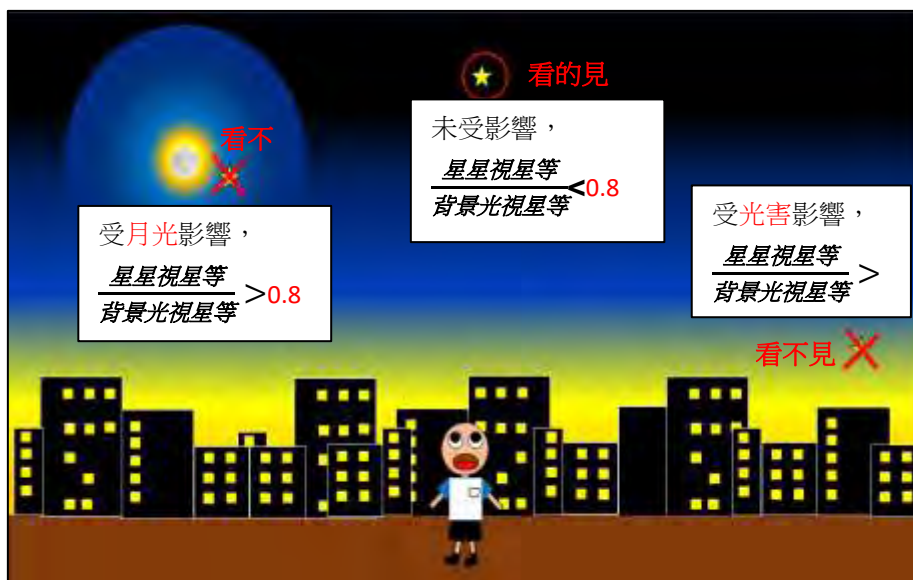
當天可看見的星星		
星星視星等	背景光視星等	值
0.15	3	0.05
0.45	3	0.15
1.2	3	0.4
0.85	2	0.425
1.6	3	0.533
1.65	3	0.55
1.85	3	0.617
1.9	3	0.633
1.65	2.5	0.66
2.05	3	0.683
2.4	3	0.8

皆小於或等於 0.8

當天無法看見的星星		
星星視星等	背景光視星等	值
2.5	3	0.833
2.75	3	0.917
2.8	3	0.933
2.9	3	0.967
3.05	3	1.017
3.6	3	1.2
3.4	2	1.7
3.5	2	1.75
3.65	2	1.825
3.75	2	1.875
4.3	2	2.15

皆大於 0.8

[圖 33] 看見的星星及看不見的星星以 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ 計算結果圖



[圖 34] 0.8 才可清楚看見星星示意圖(作者自行繪製)

二、濕度、PM_{2.5} 及雲霧會降低星星亮度和增加背景光，使人眼無法看清楚星星

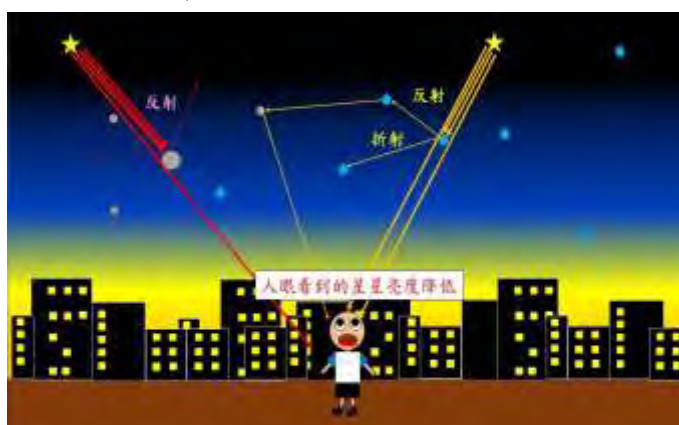
(一)星星亮度因為空氣中的小水滴折射和 PM_{2.5} 反射而降低亮度

由[結果二-結果四]可得知星星亮度會受 PM_{2.5}、濕度和雲霧濃度的影響而降低，我們進一步推論造成此現象的原因：

1. PM_{2.5} 顆粒大小約為直徑 2.5 微米，而大量的懸浮微粒會使星星的光線產生折射，造成從地面上觀測時，星星會降低亮度。
2. 濕度指空氣中的水蒸氣含量，所以濕度 70% 以下時，依實驗結果[圖 29]來看亮度較無影響，但當濕度達 70% 以上有可能會凝結成小水滴，所以亮度微微下降。我們推論此現象原因為星星的光線經過大氣層時，空氣中的小水滴可能會使星星的光產生折射及反射，而造成從地面上觀測時，星星會降低亮度。

(二)空氣中的小水滴和 PM_{2.5} 會使背景光亮度增加，使人眼不易觀測

從背景光的實驗結果進行比較，發現濕度與 PM_{2.5} 濃度增加時，背景光都會增加，我們推論城市的光照射到空中，受到大氣中的 PM_{2.5} 產生反射以及小水滴產生折射、反射，光又回到地面，使人眼看背景光覺得變亮。

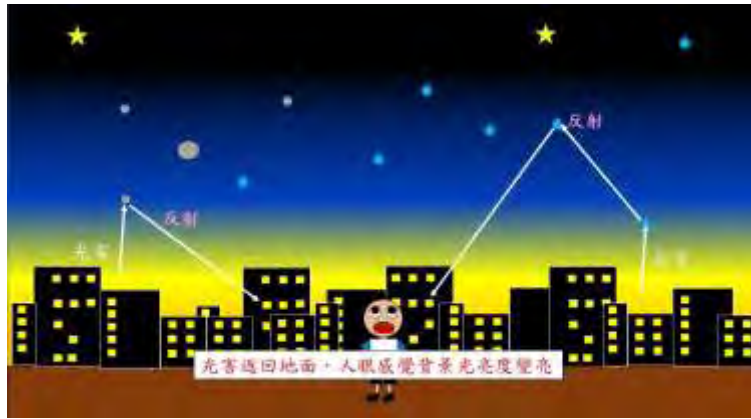


[圖 35]因小水滴和懸浮微粒產生折射和反射，造成星星降低亮度示意圖(作者自行繪製)

三、光害較嚴重，背景光亮度更易受到 PM_{2.5} 的影響

p.23 實驗結果已知高度角低和光害較多的地區，PM_{2.5} 增加時背景光增加程度都較大，我們認為當 PM_{2.5} 上升時，會使光害的光產生反射的現象增加，光再回到地面，而人眼看到時會覺得背景光變亮(如下圖示意圖)。

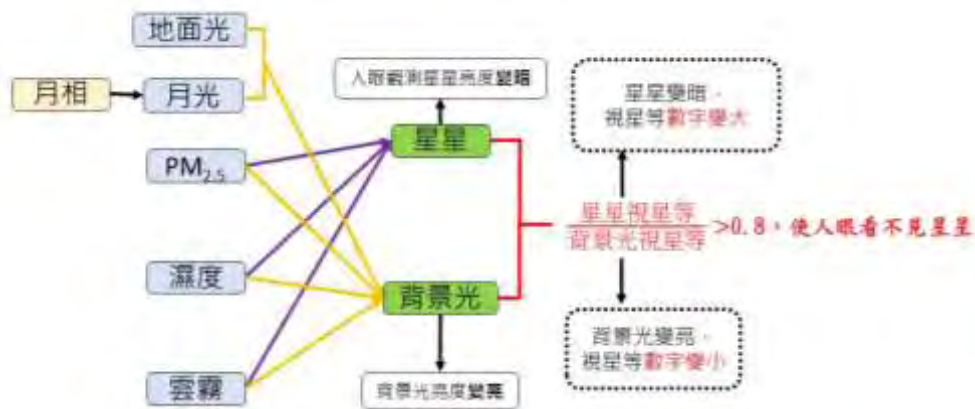
綜合討論二，可推論「空氣中的 PM_{2.5} 濃度會使背景光亮度增加，而光害較多的地區，背景光受 PM_{2.5} 影響更大」。



[圖 36]因小水滴和懸浮微粒產生折射和反射，造成背景光增加亮度示意圖(作者自行繪製)

*結合討論：

由一、二、三可以綜合推論出，濕度和 $PM_{2.5}$ 濃度增加時，會降低觀測到的星星亮度，同時增加背景光亮度，使得 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} > 0.8$ ，所以才會看不到暗星。



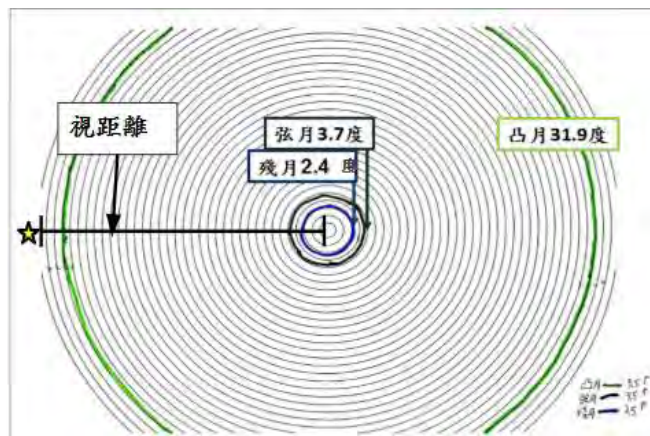
[圖 37]光害、 $PM_{2.5}$ 、濕度和雲霧影響觀星之示意圖

四、由月相、濕度及 $PM_{2.5}$ 濃度可先預知本校操場觀星狀況

(一)不同月相時，可用星星與月亮的距離，預測本校操場當晚可觀測的星星

我們統計月暈範圍圖中所有的星星視星等及背景光視星等，將當日可見各星星的視星等，除以星星所在的月暈範圍視星等，發現可見的 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ 算出來的比值都 ≤ 0.8 ，而無法看見的 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ 都 > 0.8 ，因此我們推論 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ ，才可使人眼較容易看見星星。(如圖 38)。

接著白天就可先利用星空軟體得知想觀測的星星視星等，測量星星和月亮的視距離，直接在「月暈範圍影響圖」上點出來，就可以知道對應的背景光視星等。再利用討論一的 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ ，計算出是否小於 0.8，就能預測當晚月暈下可觀測的星星。(目前適用於凸月、弦月、殘月)

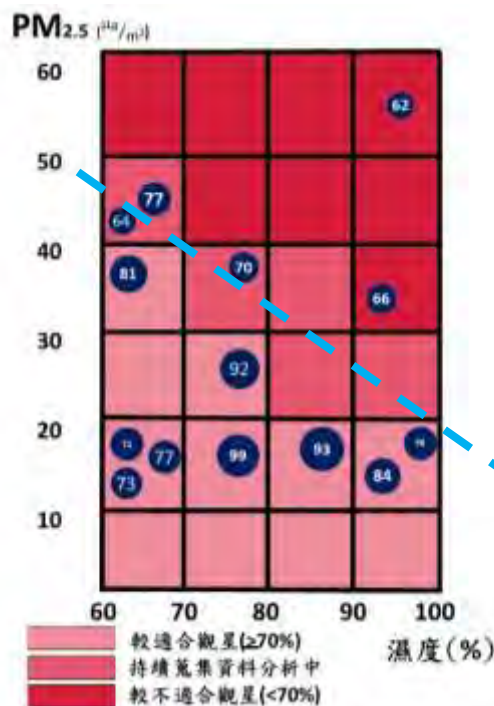


[圖 38]不同月相的月暈範圍影響示意圖

(二)查看中央氣象局查詢當日濕度與 PM_{2.5} 濃度，可預測本校當晚觀星的狀況

我們試著將 p.24[結果五]的觀星狀況，以 70%做為預測的標準，利用目前的數據整理出「濕度和 PM_{2.5} 觀星狀況對照圖」(如下圖)。

接著只要利用中央氣象查詢當日濕度及 PM_{2.5} 濃度，再對照下表中的顏色，就能夠預先知道當晚的觀星狀況是否可以**看到 70%以上的星星**。(因冬天和五、六月梅雨季天氣較差，數據量尚不足，接下來夏天好天氣仍會持續觀察，數據值增加中。)



[圖 39] 濕度和 PM_{2.5} 觀星狀況對照圖

五、雲霧對觀測星星亮度的影響最大，無雲霧影響時，PM_{2.5} 影響大於濕度

統整以上這三種因素發現，雲霧對暗星影響較大，所以雲霧影響人眼觀測星星亮度**最為嚴重**，我們推論因為雲是大量小水滴附著在凝結核形成的，是水氣和 PM_{2.5} 綜合形成的，顆粒較大(10-100µm)，因此會直接擋住星星的光，所以看到戶外有雲，就不適合進行觀測。

天氣晴朗的狀況下，則以 $PM_{2.5}$ 及濕度判斷當天是否適合進行觀測，而這兩個個因素其中以 $PM_{2.5}$ 影響較嚴重，因為 $PM_{2.5}$ 是固體，所以會擋住星星的光；而濕度是指水蒸氣含量，所以較不會對星星的亮度造成影響。

但濕度高於 70% 時，會產生微量小水滴，而小水滴附著在凝結核上，使懸浮微粒粒徑大小變大，所以濕度高時， $PM_{2.5}$ 的影響會增加，才會使[圖 39]預測的圖呈現斜線的趨勢。

拾、結論

我們發現地面光害和月暈不會降低觀測到的星星亮度，但會增加背景光的亮度。也發現濕度、 $PM_{2.5}$ 和雲霧濃度增加時，因為小水滴和懸浮微粒會使星星的光造成折射和反射，而降低觀測到的星星亮度，同時也會增加背景光亮度，且光害較嚴重，背景光增加的亮度更多，以上因素使 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ ，人眼就會不易看清楚星星。

綜合我們實際觀察到的月相、星星數量、濕度和 $PM_{2.5}$ ，整理出了本操場適合觀星條件，可先利用中央氣象局查詢當日濕度及 $PM_{2.5}$ ，對照「濕度和 $PM_{2.5}$ 觀星狀況對照圖」，就能夠知道本校操場當天觀星狀況。

拾壹、研究貢獻

- 一、我們研究出能由月相、濕度和 $PM_{2.5}$ 濃度，就能預測本校操場當日夜晚「星況」。
- 二、在研究中自製暗箱，加壓後能進行絕熱膨脹相關實驗，並進行攝影觀察。

拾貳、未來研究及發展

一、持續研究

1. 天氣好仍然會進行觀測，增加數據量，使預測更準確。
2. 到其他光害程度不同的觀星地點，比較不同光害程度，濕度和 $PM_{2.5}$ 增加時，背景光增亮的差異。

二、未來發展

遠程發展是依本研究之方法，繼續觀測不同觀星地點的環境條件，找出之間的關連性，最終設計一個程式，讓人們能夠「依據天氣預報資料」就能評估當地的觀星狀況。

拾參、參考資料及其他

- (一) 魏良憲、古浩瑋、謝鎮鴻(47 屆)。【空氣"霧"染】全國中小學科學展覽會作品說明書
- (二) 溫博鈞、鄭凱仁、林士軒(51 屆)。【騰雲駕霧】全國中小學科學展覽會作品說明書
- (三) 陳品延、賈國豪、鄭丞佑(56 屆)。【「氣」得「灰」頭土面--細懸浮微粒的定量分析與應用】全國中小學科學展覽會作品說明書
- (四) 曾芷葳、蔡沛淳(2016.3.10)。【偏振片初探】屏東枋寮高中獨立研究作品說明書
- (五) 劉岑妍、蔡承亨、陳思妤、張禾霖、劉莉菀(104 學年度)。【月亮遮住我的星-月光對觀測星星的影響】新北市中小學科學展覽會作品說明書
- (六) 鄭丞佑、謝函叡(57 屆)。【類暖雲雲滴成長之探討】全國中小學科學展覽會作品說明書

【評語】 080508

有清楚的邏輯，能完整表達實驗結果。此作品可以解決觀測星星因為月相、月暈、雲霧和空氣汙染的緣故而無法看到亮星的問題，故設計實驗一一探討這些變因對於觀測星星的影響。此作品能以研究架構圖呈現變因的影響和實驗操作的意義，清楚傳達出研究問題與研究設計間的關聯，且能深入討論變因對星星亮度的影響及綜合討論研究發現。各項控制變因及交互的影響都有考慮進去，不同恆星所發散的光顏色也不相同，可以試試不同顏色的光是否也會有類似之結果。此作品深入探討多個環境因子下觀測星星的效果會受影響，但如果能提供方法改進清楚觀測星星的效果，可能更有突破性和積極性。

摘要

本研究主要想了解不同因素對觀測星星的影響，我們採用**實際觀測**及**模擬實驗**進行研究。

我們發現地面觀測星星時，不會降低觀測到的星星亮度，但濕度、雲霧及PM_{2.5}濃度會降低觀測的星星亮度，同時也會增加背景光亮度，使星星和背景光亮度相近， $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ 時，人眼才易看清楚星星。光害嚴重的地區，背景光增加的亮度更多。

本研究特色:1. **自製的雲霧實驗腔**，能在加壓後能進行絕熱膨脹相關實驗並進行攝影觀察。

2. 能依據月相、濕度和PM_{2.5}濃度，預測本校操場當日夜晚「星況」。

遠程發展是依本研究之方法，繼續觀測不同觀星地點的環境條件，找出關連性，最終設計一個程式，讓人們能「依據天氣預報及月相資料」評估當地的觀星狀況。

壹、研究動機

進行觀星活動時，我們發現**本來想看的暗星**，**當場才發現會看不見**，造成不同夜晚能看到的星星數量不同。

討論後覺得和**背景光、雲霧、濕度及和PM_{2.5}有關**，所以我們想知道這些因素是否會影響人眼觀測星體的亮度，並進一步探討，是否能**使用這些因素預知當晚觀測星星**是否會受到影響。

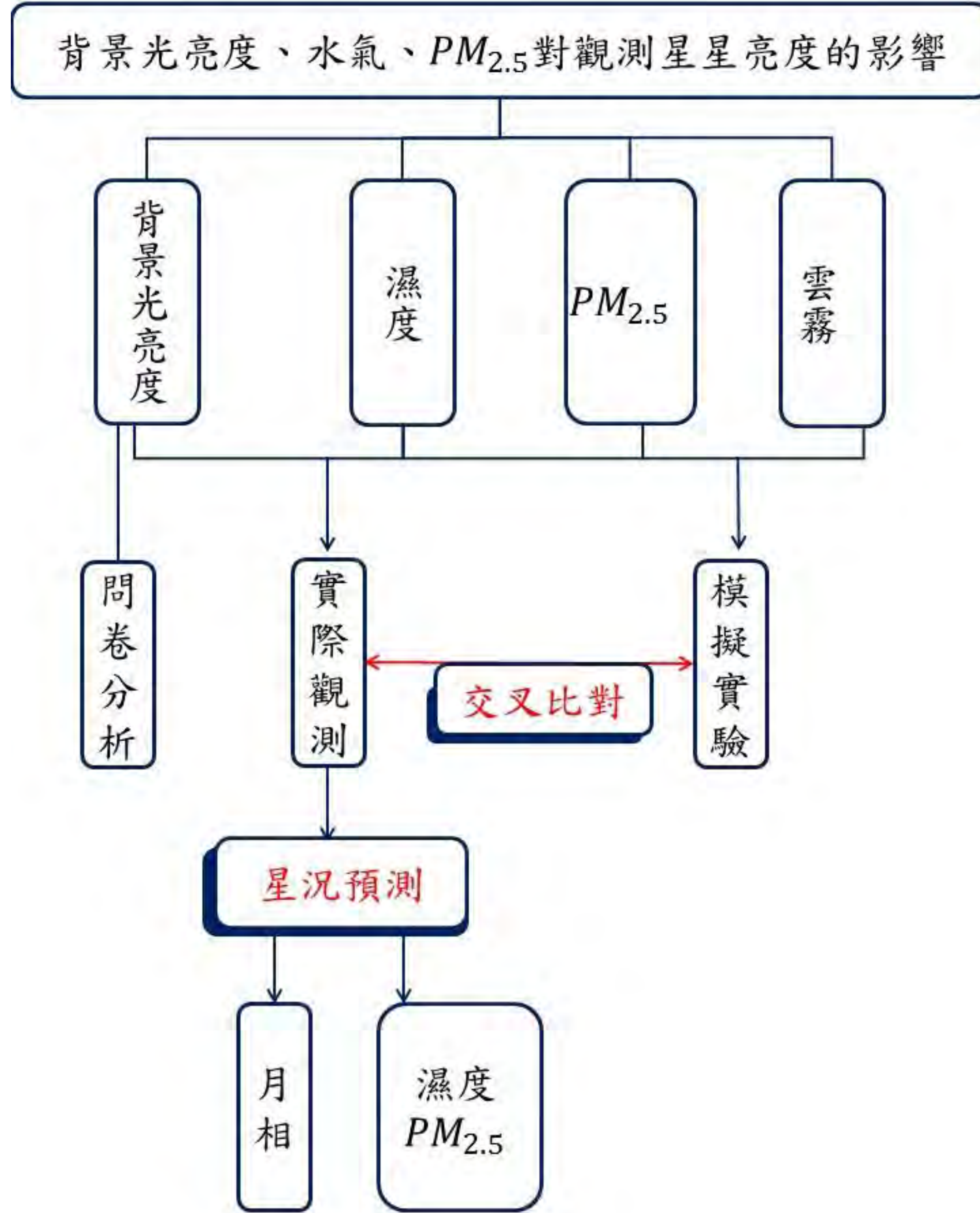
貳、研究目的

- 一、利用實際觀測探討不同因素對觀測星星的影響。
- 二、利用模擬實驗探討不同因素對觀測星星的影響。
- 三、不同因素對觀測星星影響互相比較。
- 四、由不同因素預測夜晚觀星的效果。

參、研究限制

- 一、模擬實驗使用線香產生懸浮微粒，但因只有PM_{2.5}，故模擬實驗總稱「懸浮微粒」。
- 二、懸浮微粒與水氣在大氣中不一定是均勻散佈。
- 三、實際觀測時，同地測量的濕度或PM_{2.5}濃度難以控制

肆、研究架構



伍、研究方法及過程

一、實際觀測研究方法

1. 在夜晚到觀星地點，將相機對到星星或月亮的位置，並把相機數值調整到Iso 200，秒數3秒，並連拍9張，存成NEF檔。
2. 記錄當日月相、濕度、PM_{2.5}濃度和可看見的星星。
3. 用MaxIm DL分析「星星的亮度」及「背景值」，統整後畫成圖表。
4. 將實際結果與模擬結果進行比較。

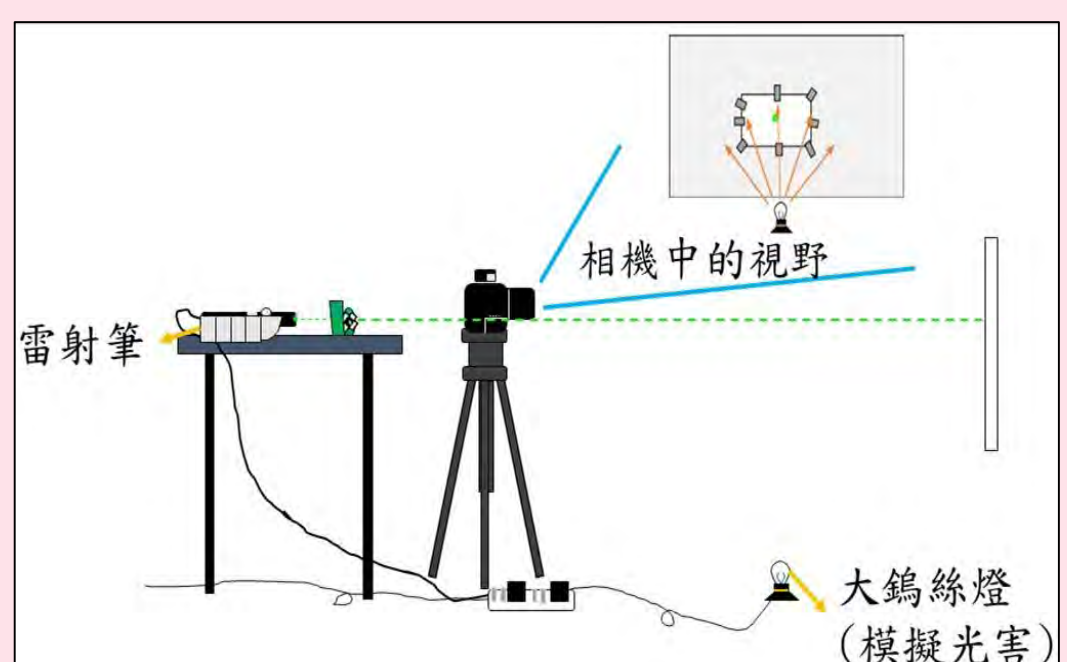


[圖1] 實際觀測情形

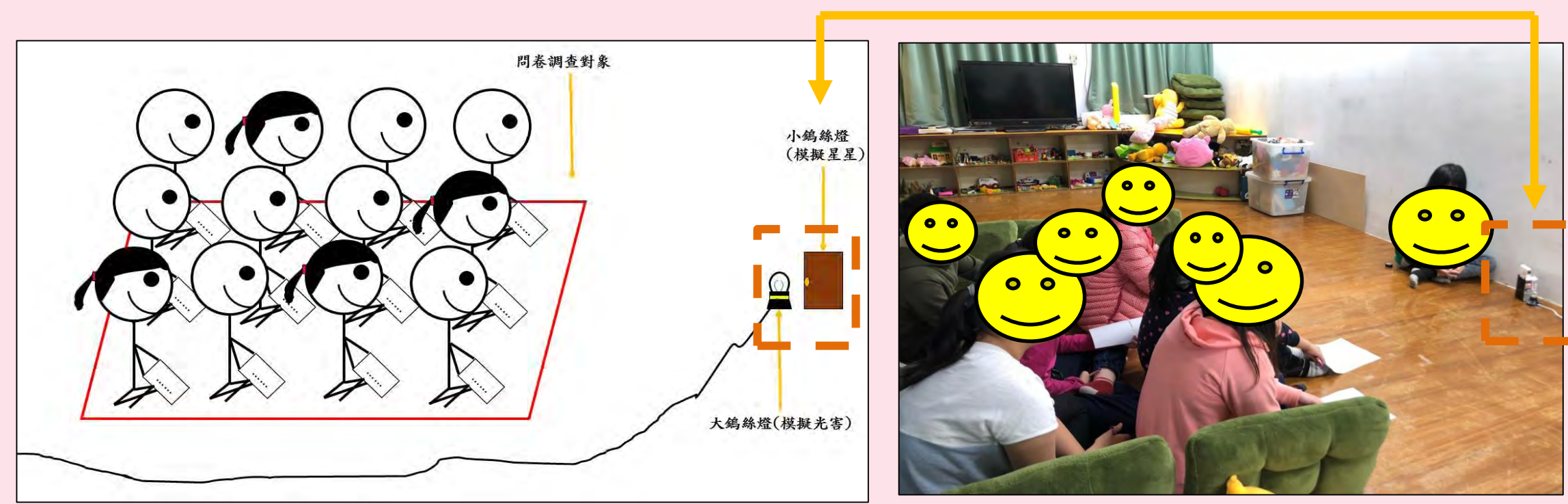
二、模擬實驗研究方法

(一) 模擬背景光亮度對觀測星星亮度的影響

1. 鎢絲燈泡對雷射筆光點亮度的影響
 - (1) 把鎢絲燈泡的旋鈕角度調至0、45、135、225度。
 - (2) 用相機拍攝雷射筆光點，再用MaxIm DL分析雷射筆光點的亮度。
2. 使用問卷調查法探討「有光害時，人眼所見的星星亮度是否會受到影響」。



[圖3] 模擬不同光害亮度時的星星亮度之實驗示意圖(作者自行繪製)

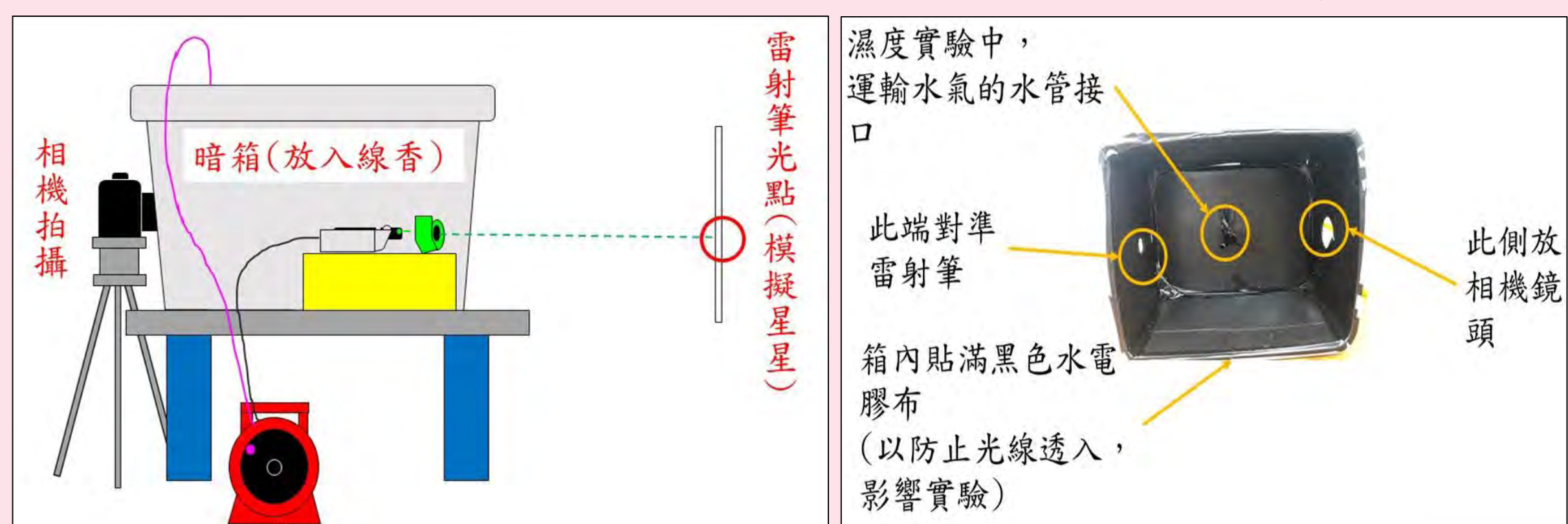


[圖4 a.b] 問卷調查法實施示意圖及實際情形(作者自行繪製)

(二) 模擬不同懸浮微粒濃度對觀測星星亮度的影響

1. 將點燃的線香放入暗箱一秒鐘。
2. 用空氣盒子紀錄箱子內的懸浮微粒濃度(每10秒1次)，同時用相機拍攝雷射筆光點，再用MaxIm DL分析雷射筆光點的亮度。

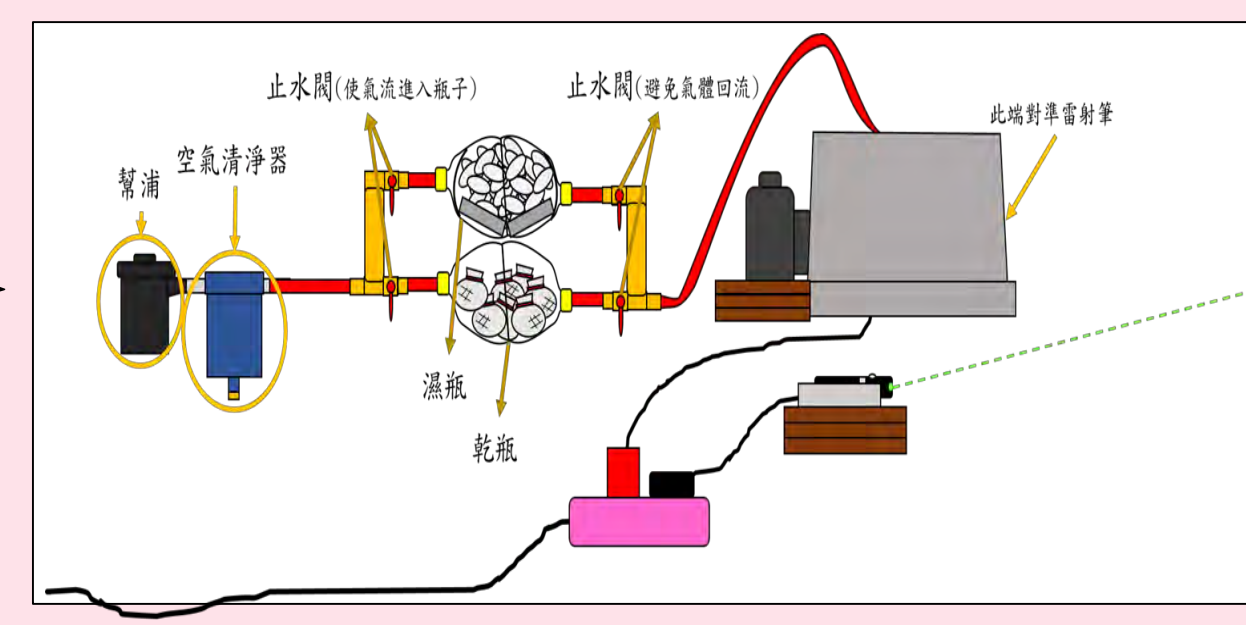
(a) 實驗示意圖



[圖5 a.b] 模擬不同懸浮微粒濃度的實驗設置圖(作者自行繪製)

(三) 模擬不同濕度對觀測星星亮度的影響

1. 先把幫浦打開，並拍雷射筆的光點，再記錄原始濕度及PM_{2.5}濃度。
2. 之後每一分鐘記錄濕度及PM_{2.5}濃度並連拍，並用Maxium分析雷射筆亮度，並畫成圖表。

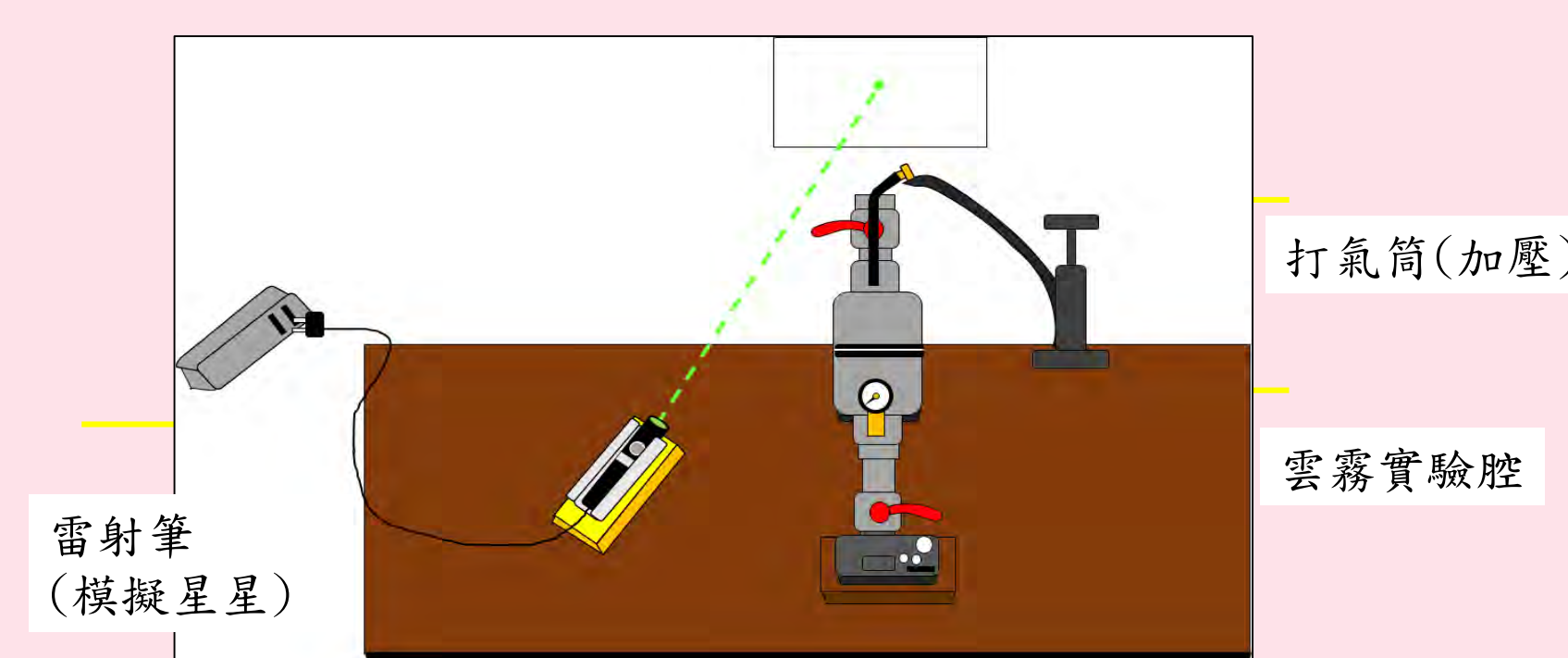


[圖6] 模擬不同濕度的影響實驗裝置示意圖(作者自行繪製)

(四) 模擬不同雲霧濃度對觀測星星亮度的影響

1. 先將7 ml的酒精噴入雲霧實驗桶中，計時30秒。
2. 用打氣筒加壓至10 PSI後，打開相機止水閥，同時用相機拍攝雷射筆光點，再用MaxIm DL分析雷射筆光點的亮度。
3. 重複以上步驟，將氣壓值改為20 psi、30 psi和40 psi。

(a) 雲霧濃度實驗裝置示意圖



(b) 雲霧實驗腔實際照片

(c) 雲霧實驗腔的俯視圖和剖面圖



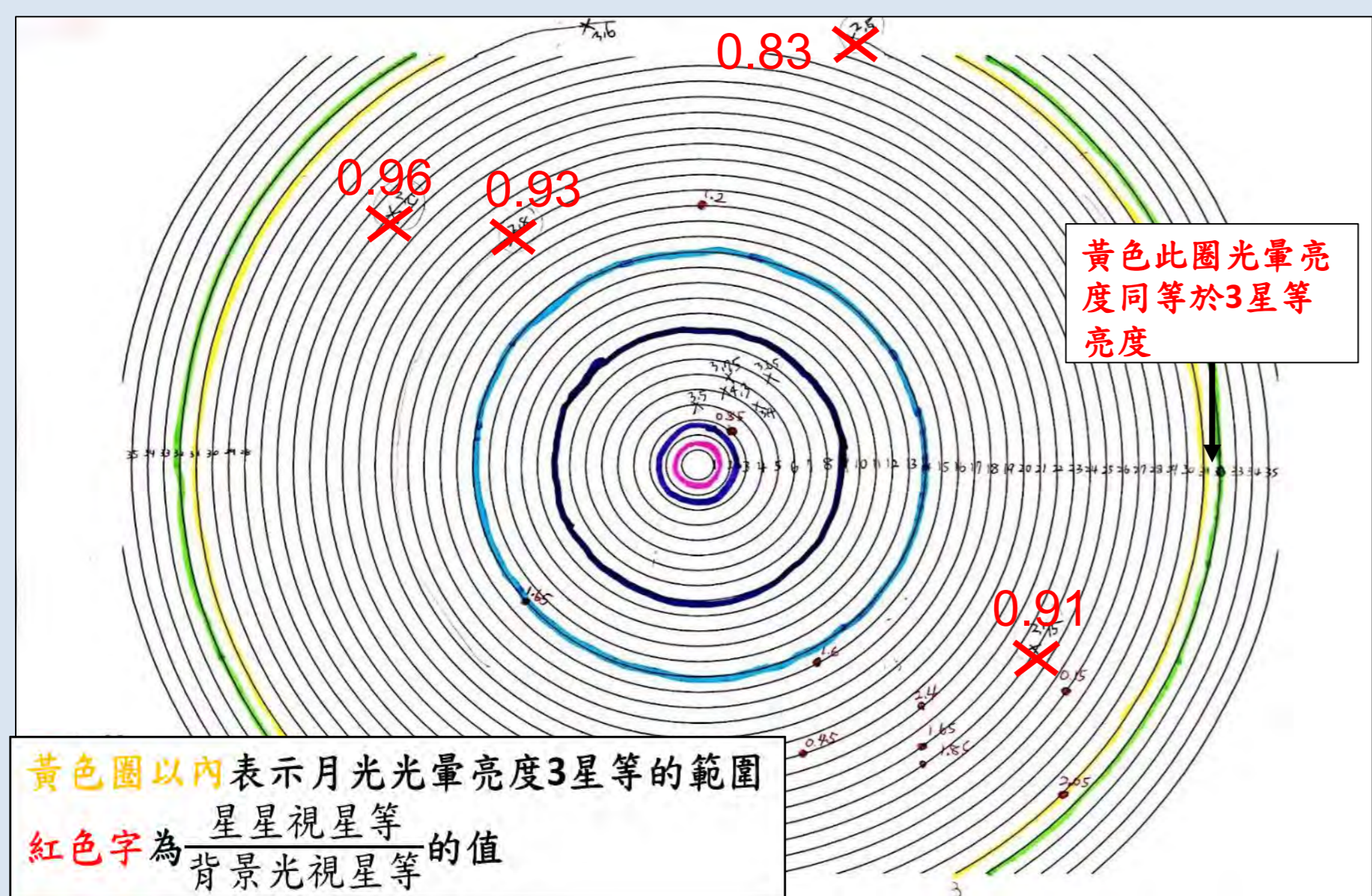
[圖7 a.b.c] 模擬不同雲霧濃度對觀測星星亮度影響之實驗示意圖(作者自行繪製)

陸、研究結果

一、探討不同背景光亮度對觀測星星亮度的影響

(一) 實際觀測結果

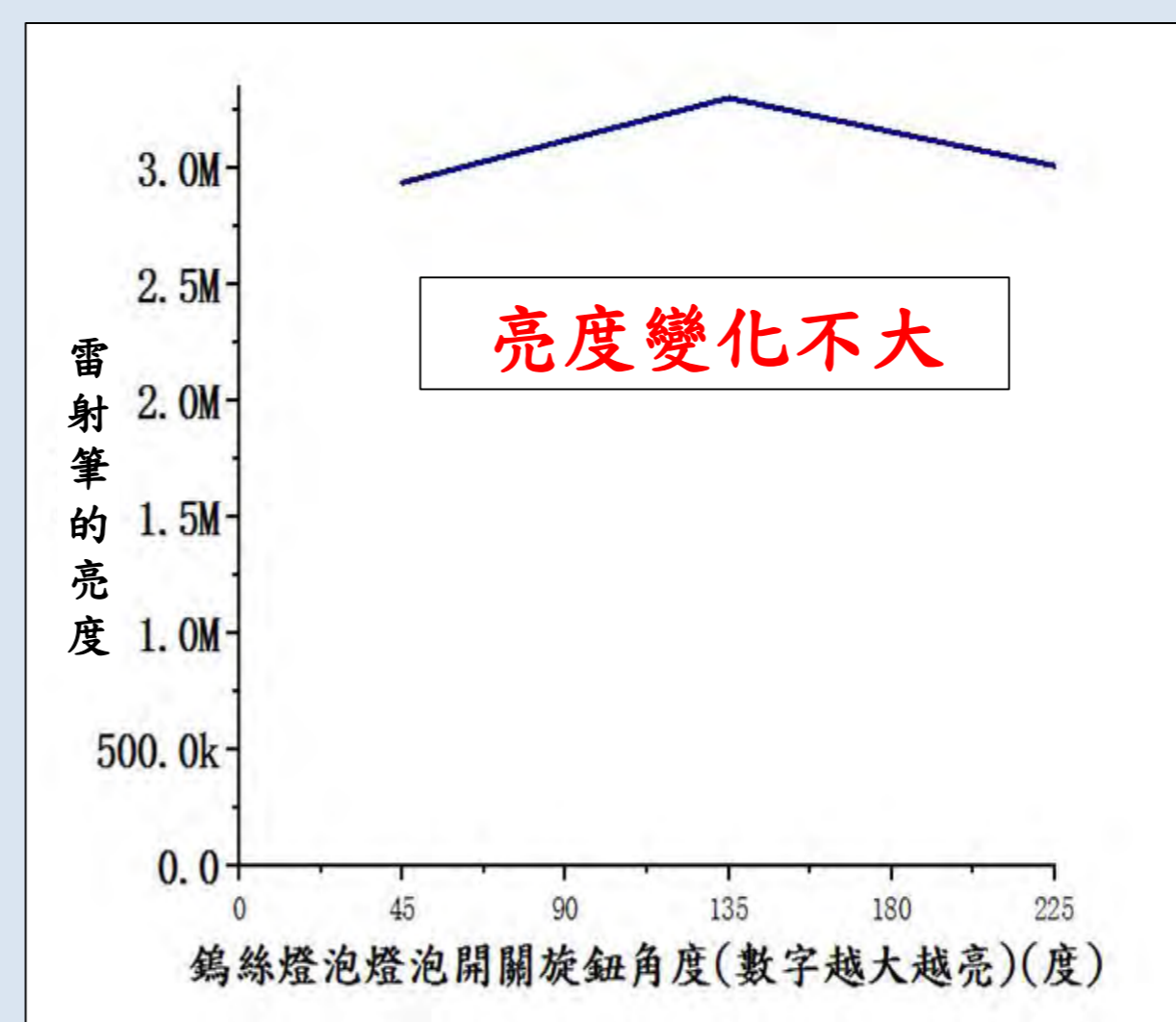
越靠近月亮，越看不見較暗的星星，但有些星星亮度大於背景光的亮度卻也看不見。



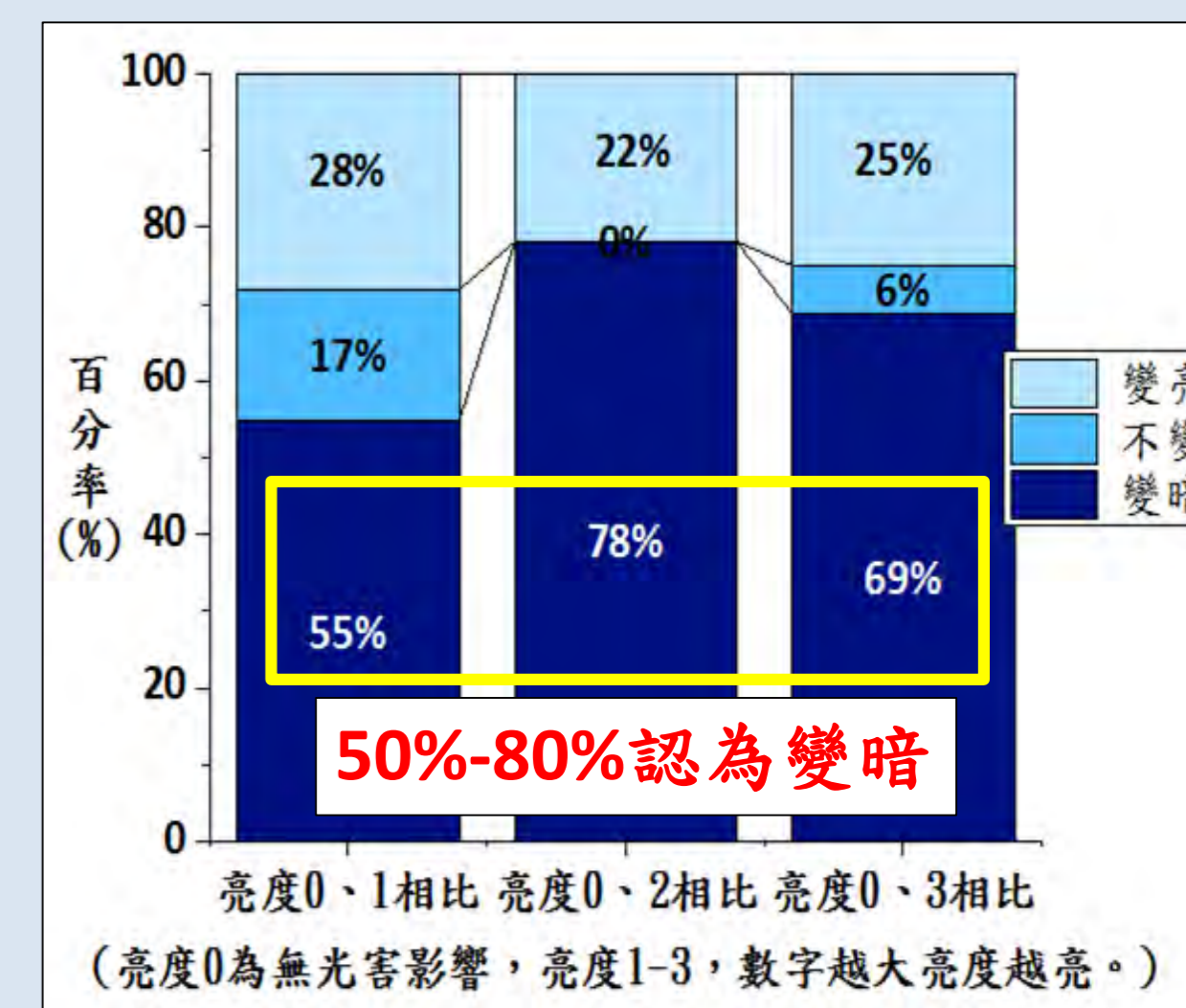
[圖8]凸月月暈範圍亮度及看見的星星統整圖

(二) 模擬實驗結果

- 由[圖10]可以得知大鎢絲燈亮度越亮，雷射筆的亮度也不會降低
- 問卷調查結果[圖11]發現當大鎢絲燈越亮時，感受到小鎢絲燈的亮度越暗。



[圖9]不同亮度的鎢絲燈泡(模擬光害)和星星亮度變化折線圖

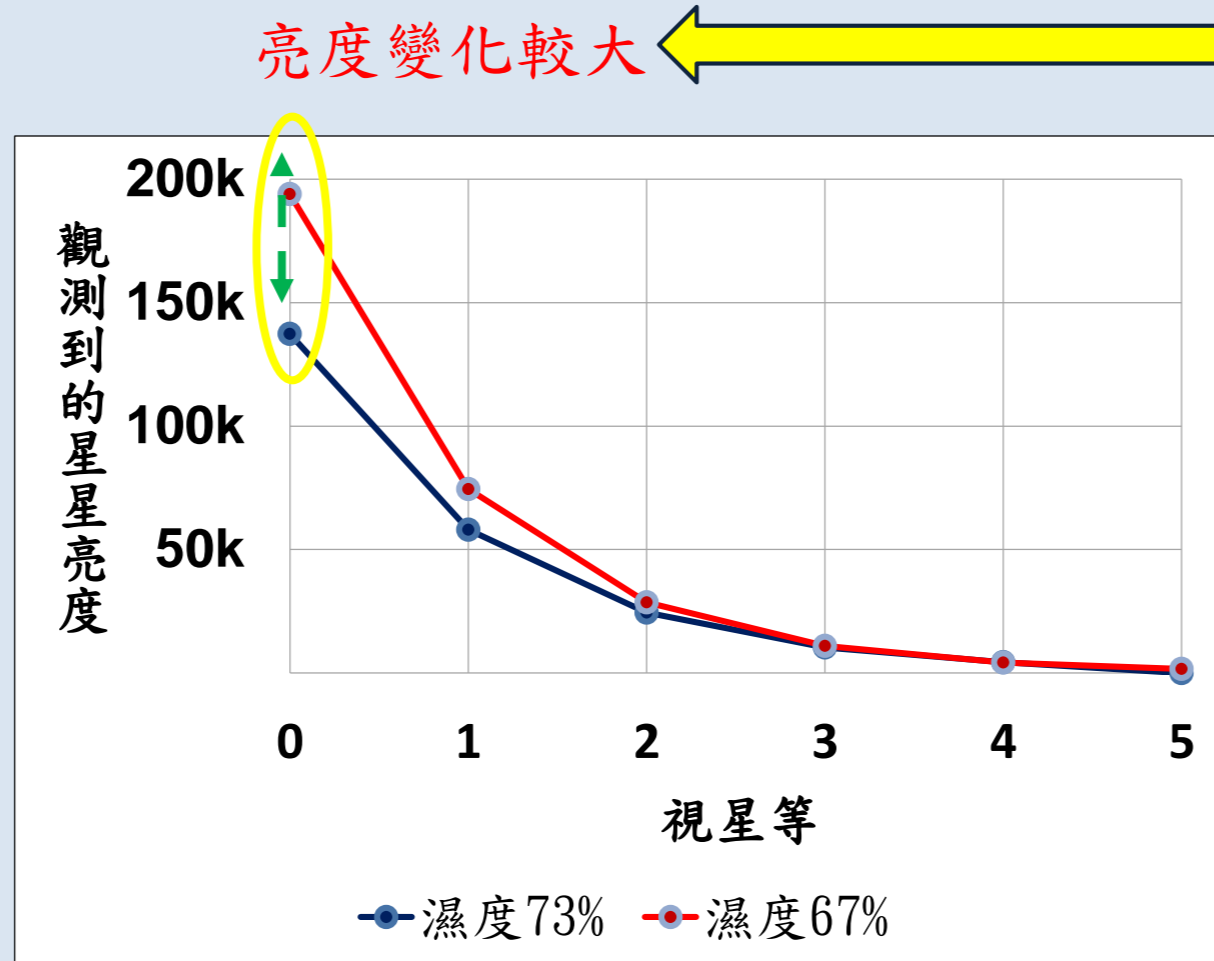


[圖10]不同背景光亮度時，人眼看星星亮度的影響之問卷調查統計圖(n=86)

二、探討不同濕度對觀測星星亮度的影響

(一) 實際觀測結果

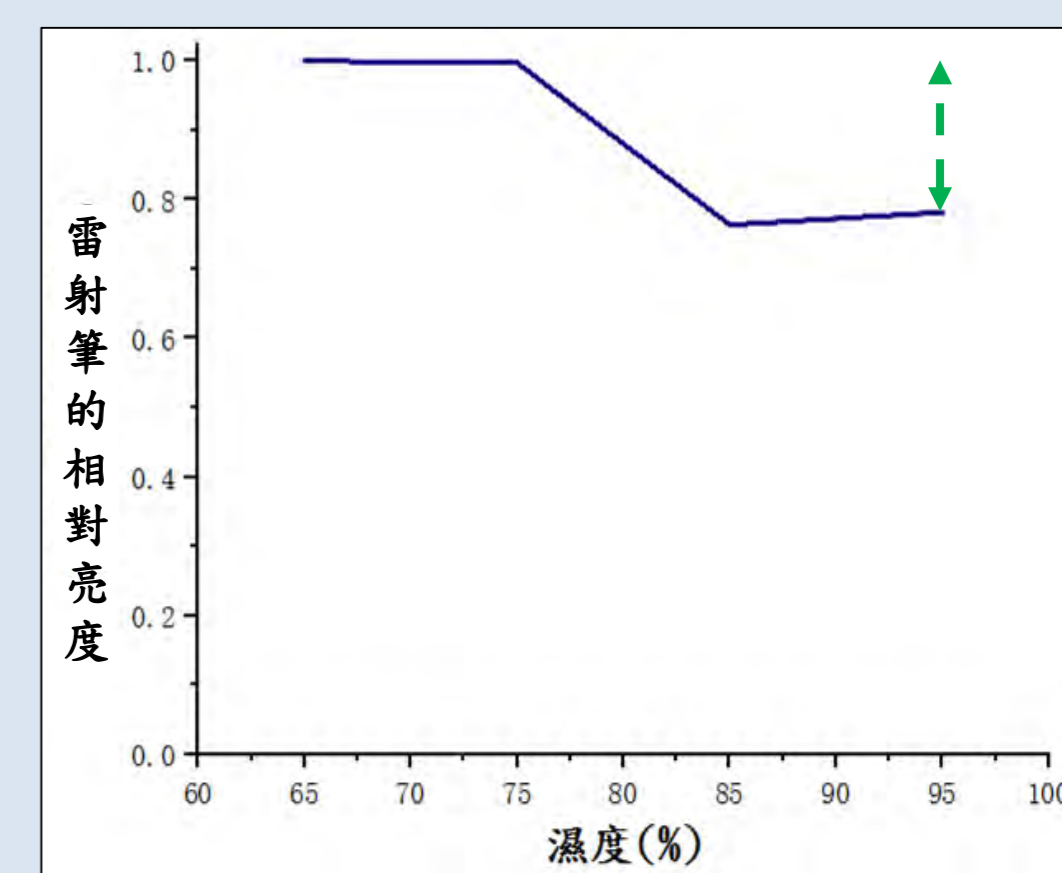
濕度越高時，星星亮度會降低，與模擬實驗結果不相符。



[圖11]不同濕度時，各視星等的亮度散佈圖 (PM_{2.5} 濃度 25-30 μg/m³)

互相不符合

模擬實驗時，濕度不會影響觀測的星星亮度，但實際觀測時，濕度卻會影響觀測到的星星亮度。推論應該有其他因素影響觀測到的星星亮度，而此因素極有可能是PM_{2.5}。



[圖12]模擬不同濕度時，雷射筆相對亮度變化折線圖 (PM_{2.5} < 10 μg/m³)

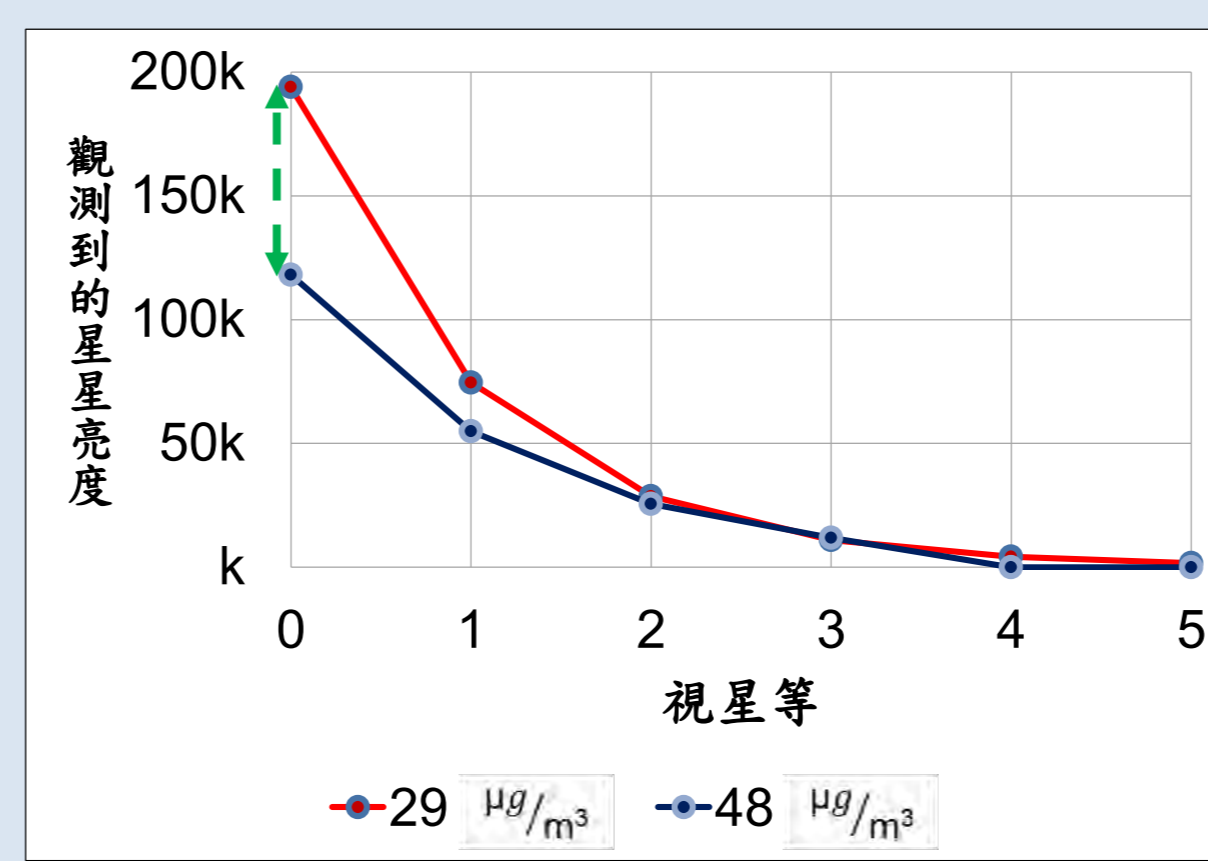
(二) 模擬實驗結果

濕度越高時，雷射筆亮度下降程度不大。

三、探討不同PM_{2.5}濃度對觀測星星亮度的影響

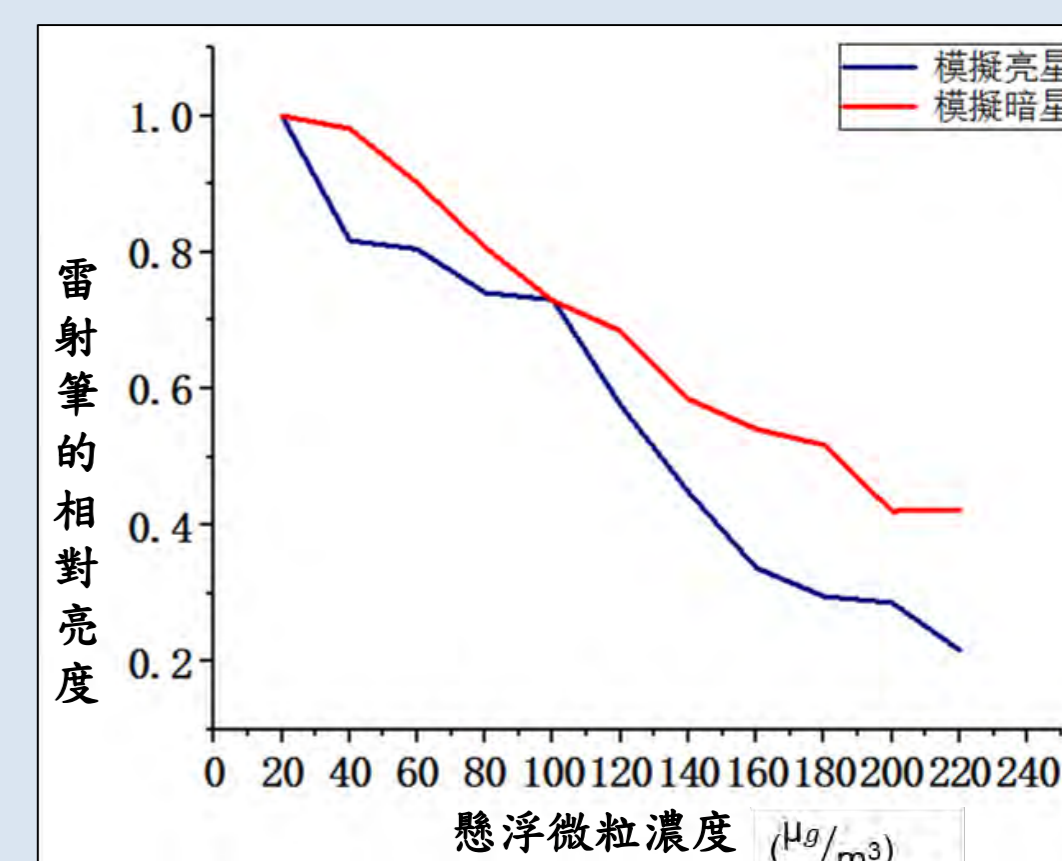
(一) 實際觀測結果

PM_{2.5}濃度越高時，星星亮度會降低，與模擬實驗結果符合。



[圖13]不同PM_{2.5}濃度時，實際觀測各星等的亮度趨勢線

互相符合



[圖14]模擬不同懸浮微粒濃度時，亮星與暗星(雷射筆)亮度變畫折線圖

(二) 模擬實驗結果

不論亮星或暗星，亮度曲線都往下降，可以得知懸浮微粒濃度越高，星星亮度會降低，與實際觀測的結果符合。

四、不同雲霧濃度對觀測星星亮度的影響

(一) 實際觀測結果

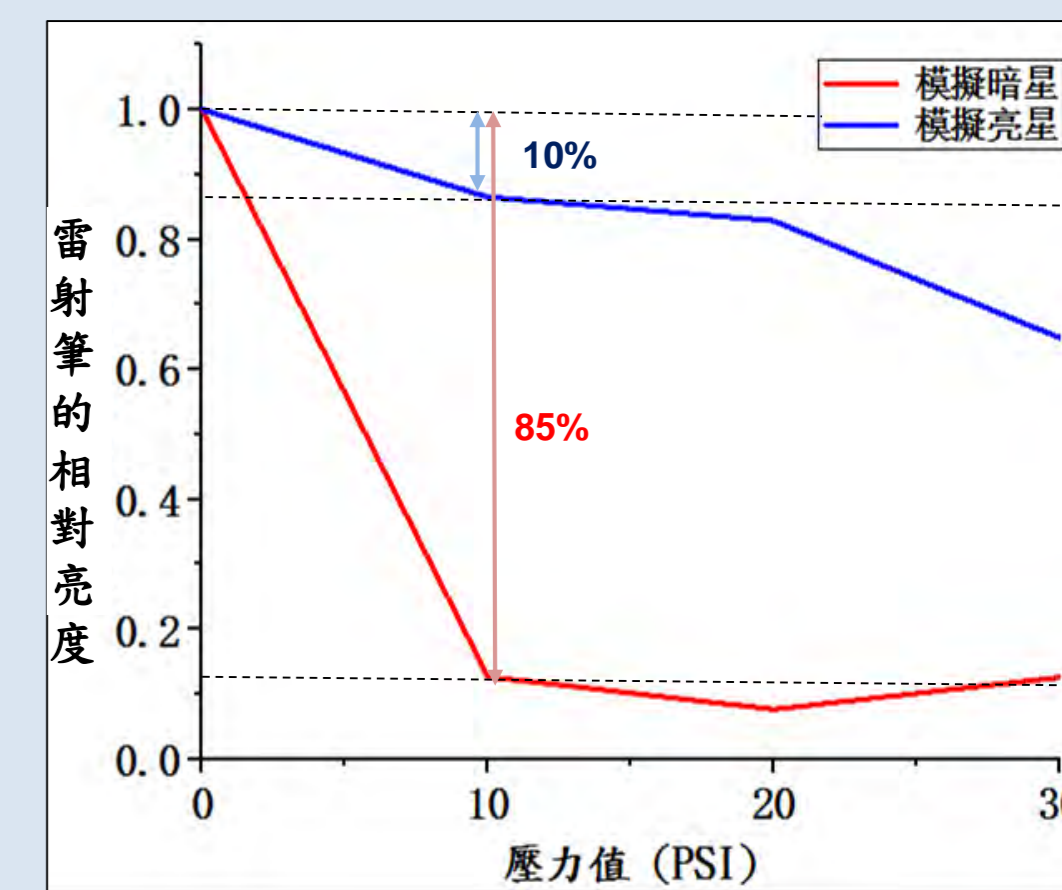
雲霧越濃時，星星較容易被遮住，星星亮度降低，而月亮亮度遠大於星星，需較厚的雲層才可使月亮被遮住，與模擬實驗結果相符。



[圖15]實際觀測時，雲霧遮住星星的狀況

(二) 模擬實驗結果

雲霧越濃時，不論是暗星或亮星，星星亮度皆會降低。較暗的星較容易被雲霧濃度影響，而較亮的星較不容易被影響，與實際觀測的結果相符。



[圖16]模擬不同雲霧濃度時的雷射筆亮度變化折線圖

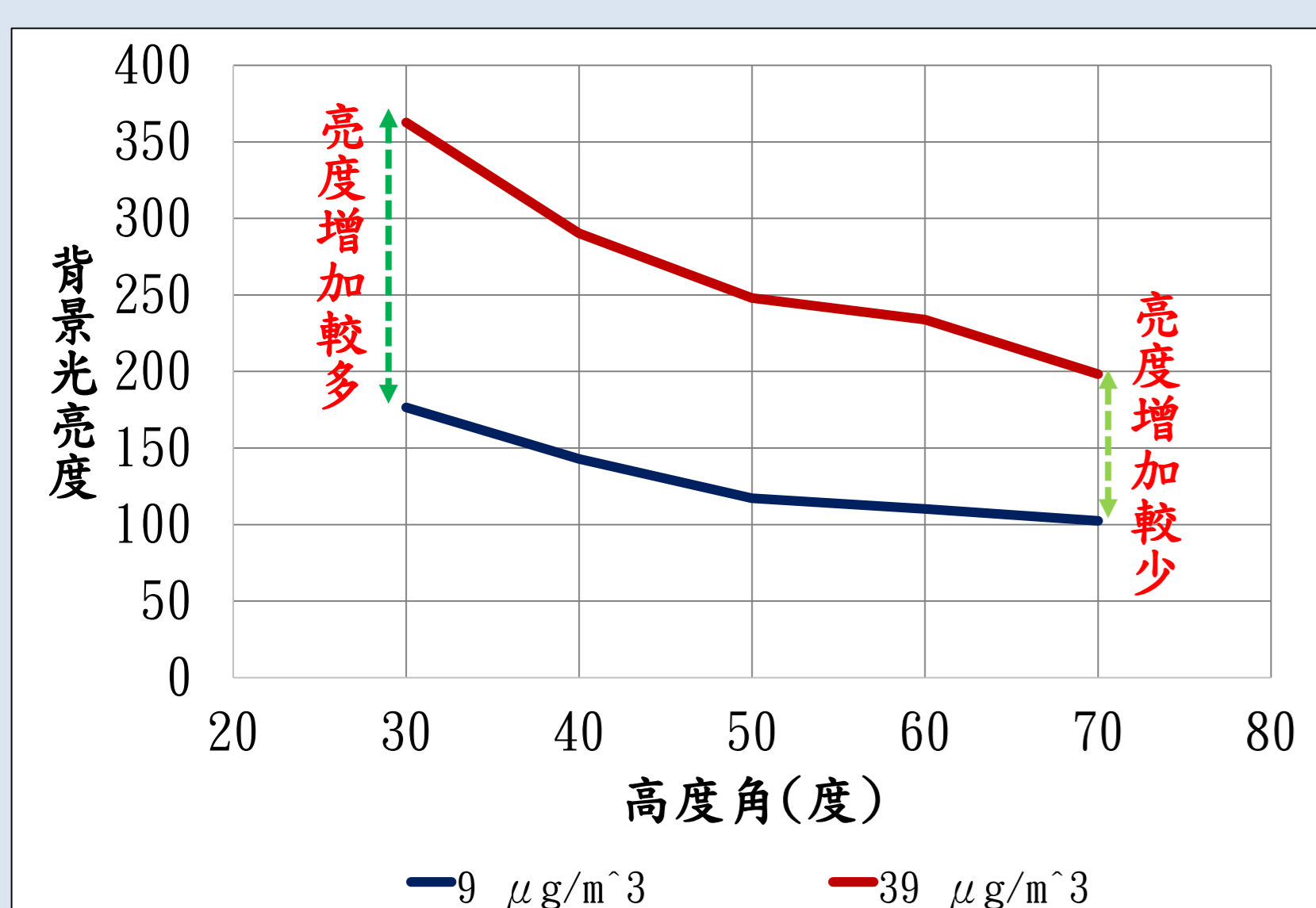
五、實際觀測到的不同因素對觀測星星的影響互相比較

(一) 不同PM_{2.5}濃度時的天空背景亮度增加程度比較

- 同地點時，高度角較低，光害較嚴重，背景光亮度增加較多，而高度角較高，光害較少，背景光亮度增加較少。
- 不同光害程度的觀星地點，光害較嚴重的地區，背景光亮度增加較多。

(二) PM_{2.5}、濕度和可見星星數量綜合比較

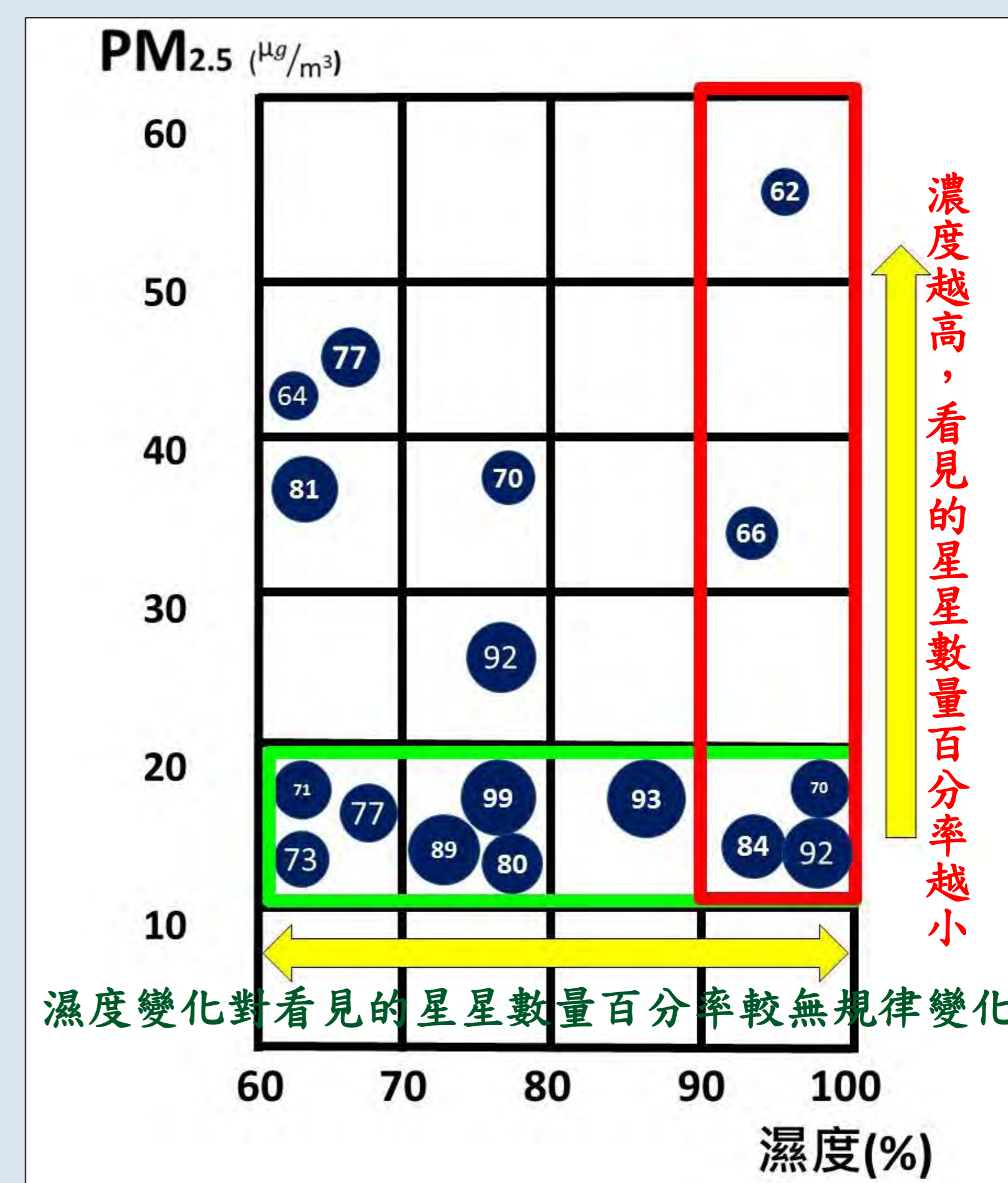
可以看出PM_{2.5}濃度越高時(紅色框)，可見的星星百分率數字越小，而濕度改變時(綠色框)，可見的星星百分率較無規律變化，目前由此可知PM_{2.5}濃度對觀測星星影響較大。



[圖17]不同PM_{2.5}時，不同高度角的亮度變化折線圖(學校操場方位角180°-225°)

地點	PM _{2.5}	背景光亮度
本校操場 (光害較多) (濕度60-70)	36	180
	39	300
苗栗好望角 (光害較少) (濕度70-80)	31	3
	53	3

[表1]不同光害程度地區所觀測到的背景光亮度表



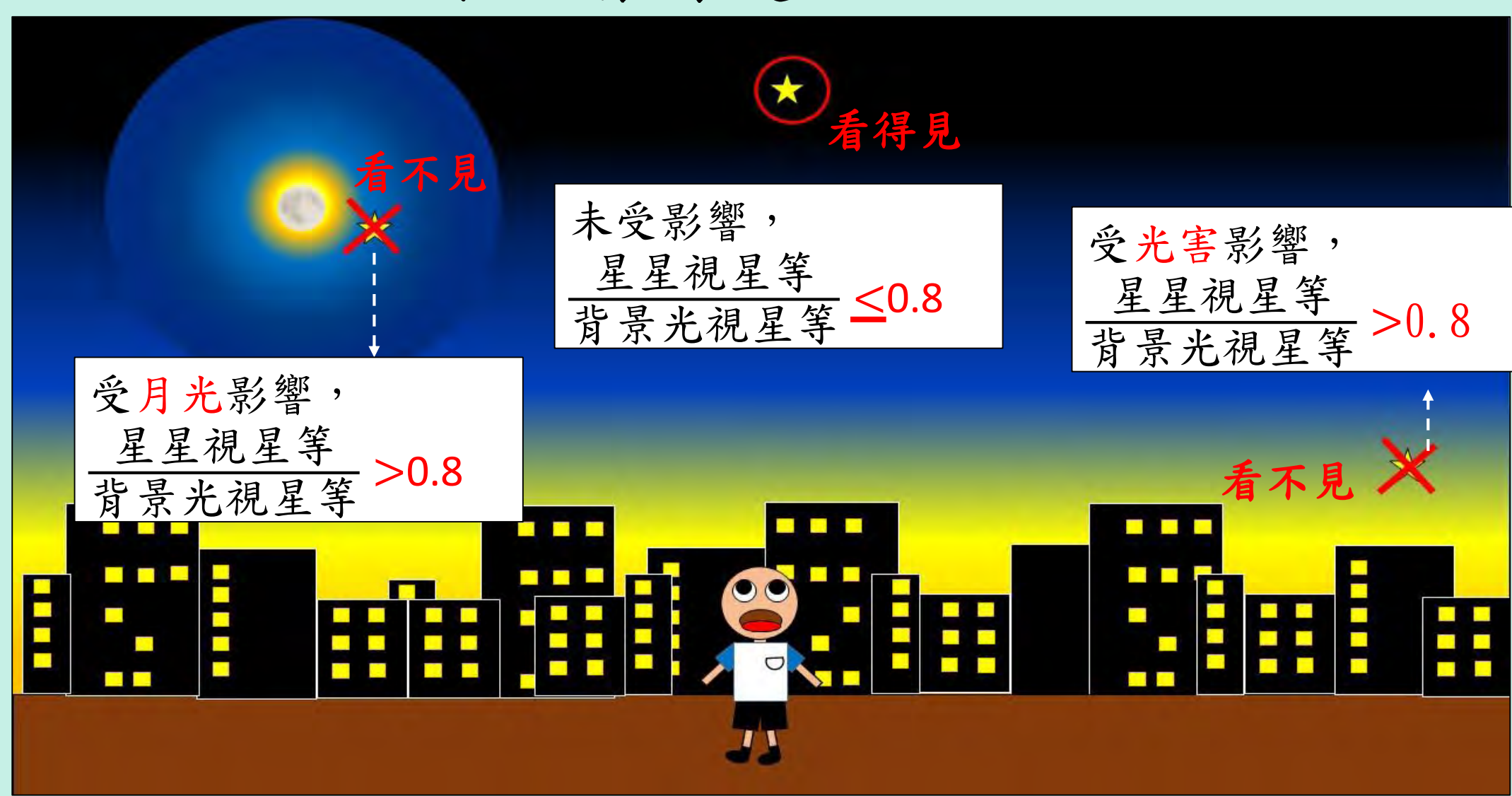
[圖18]濕度、PM_{2.5}和看見的星星百分率關係圖

圖中藍色圈內的數字，代表實際觀測時當日記錄的星星數量 = 實際看見的星星百分率 / 當日應該看到的星星數量

柒、討論

一、地面光害和月暈會增加背景光亮度， $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ ，人眼才能看清楚星星。

由[圖9]可知光害和月暈不會降低觀測到的星星亮度，但地面光害和月暈會增加背景光亮度，造成星星和背景光亮度相近，使人眼觀星時會感覺星星亮度變暗，而進一步計算後，發現當 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ 時，人眼較可以清楚看到星星。

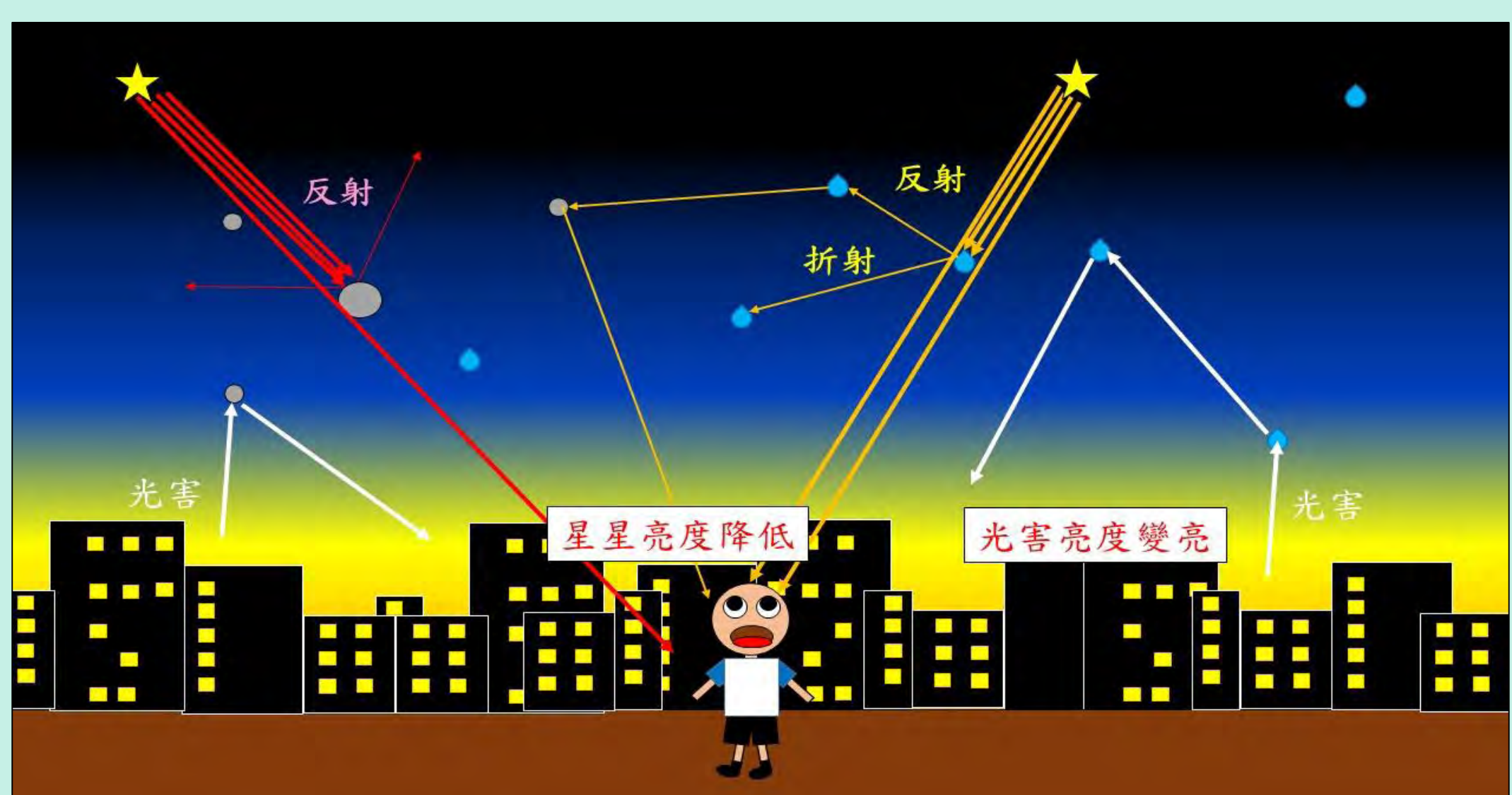


[圖19]「光害及月光使背景光亮度增加，使人眼不易看清星星」示意圖

二、濕度、PM_{2.5}及雲霧會降低星星亮度和增加背景光，使人眼無法看清楚星星

濕度、雲霧及PM_{2.5}濃度會使觀測到的星星亮度降低，我們推論原因是PM_{2.5}會使星星的光反射，而溼度高會讓PM_{2.5}的影響增加，雲霧的小水滴也會使星光反射和折射。

城市的光照射到空中，受到大氣中的PM_{2.5}產生反射以及小水滴產生折射、反射，光又回到地面，使人眼看背景光覺得變亮，更不易觀測。

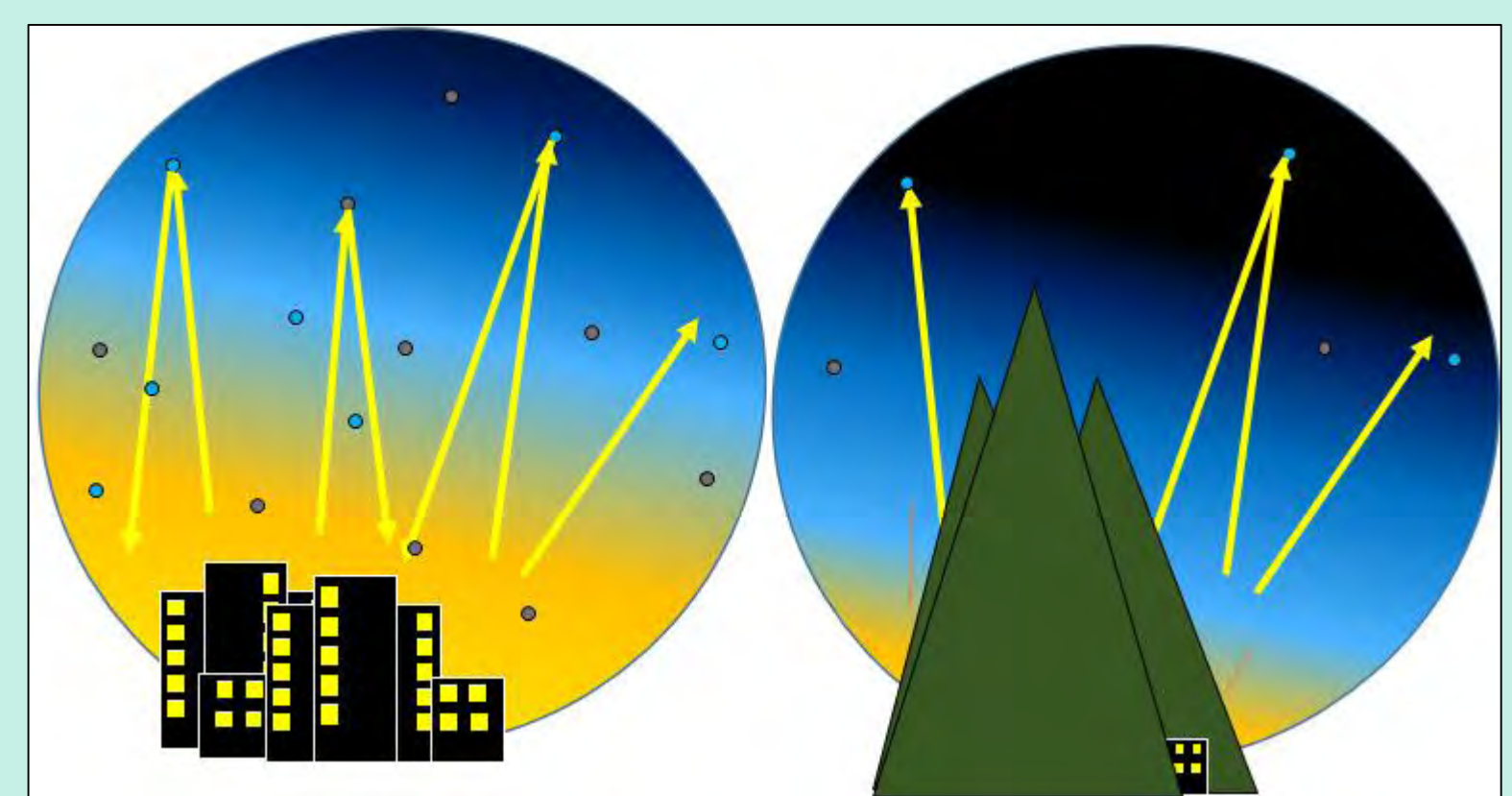


[圖20]「大氣中的PM_{2.5}產生反射以及小水滴產生折射、反射現象」示意圖

結合討論：由一、二、三可以綜合推論出，濕度和PM_{2.5}濃度增加時，會降低觀測到的星星亮度，同時增加背景光亮度，當 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} > 0.8$ ，容易看不到暗星。

三、光害較少，背景光亮度較不易受到PM_{2.5}的影響

我們發現山區和海邊以及高度角較高的天空，受PM_{2.5}影響時，背景光亮度增加程度較小，而城市和高度角較低的天空，受PM_{2.5}影響時，光害的光會不斷折射和反射，使背景光亮度變亮背景光亮度增加程度較大。

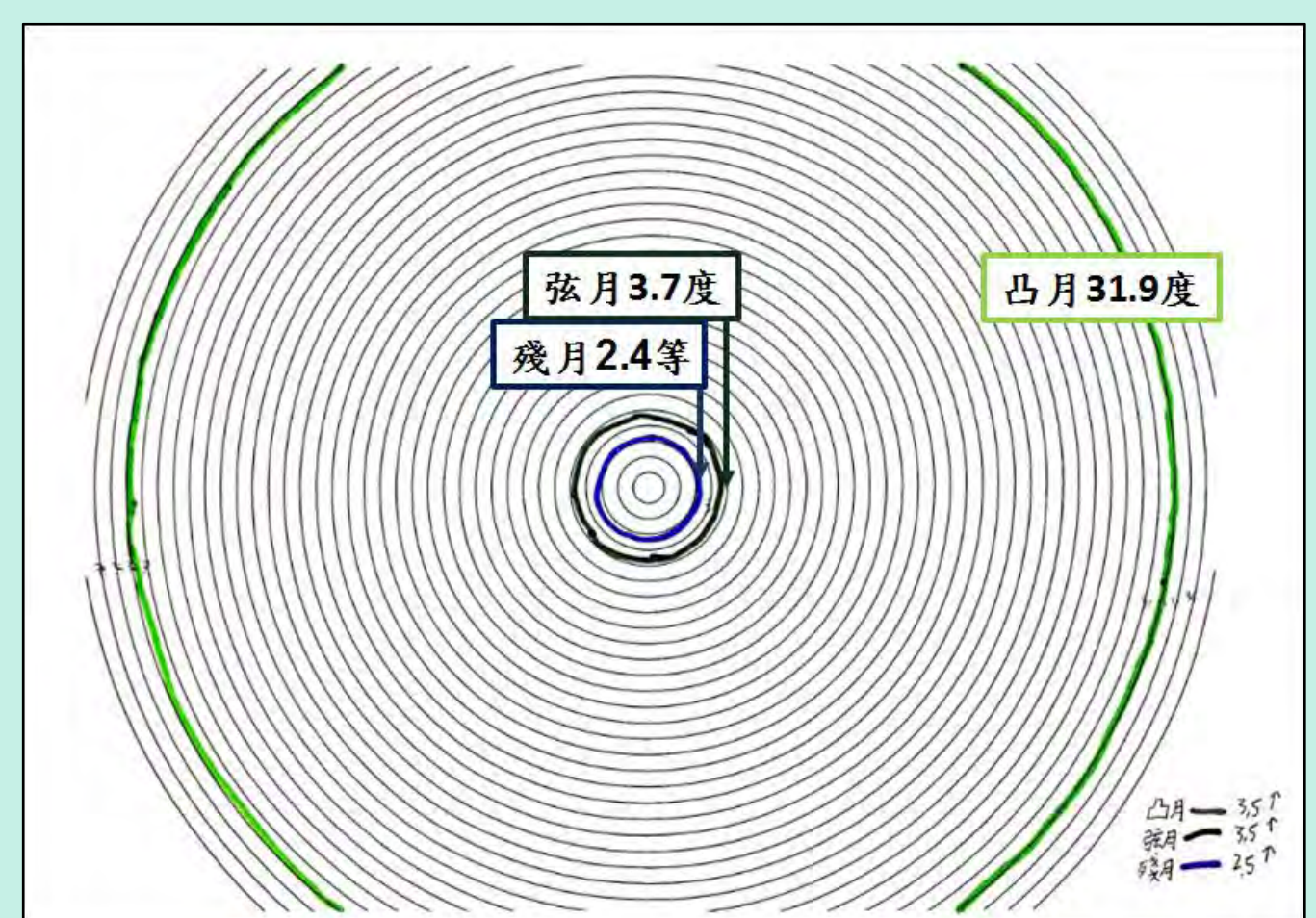


[圖21]光害程度不同，背景光亮度影響增加示意圖

四、由月相、濕度及PM_{2.5}濃度可先預知本校操場觀星狀況

(一)不同月相時，可用「月相預測星況程式」預測本校操場當晚可觀測的星星

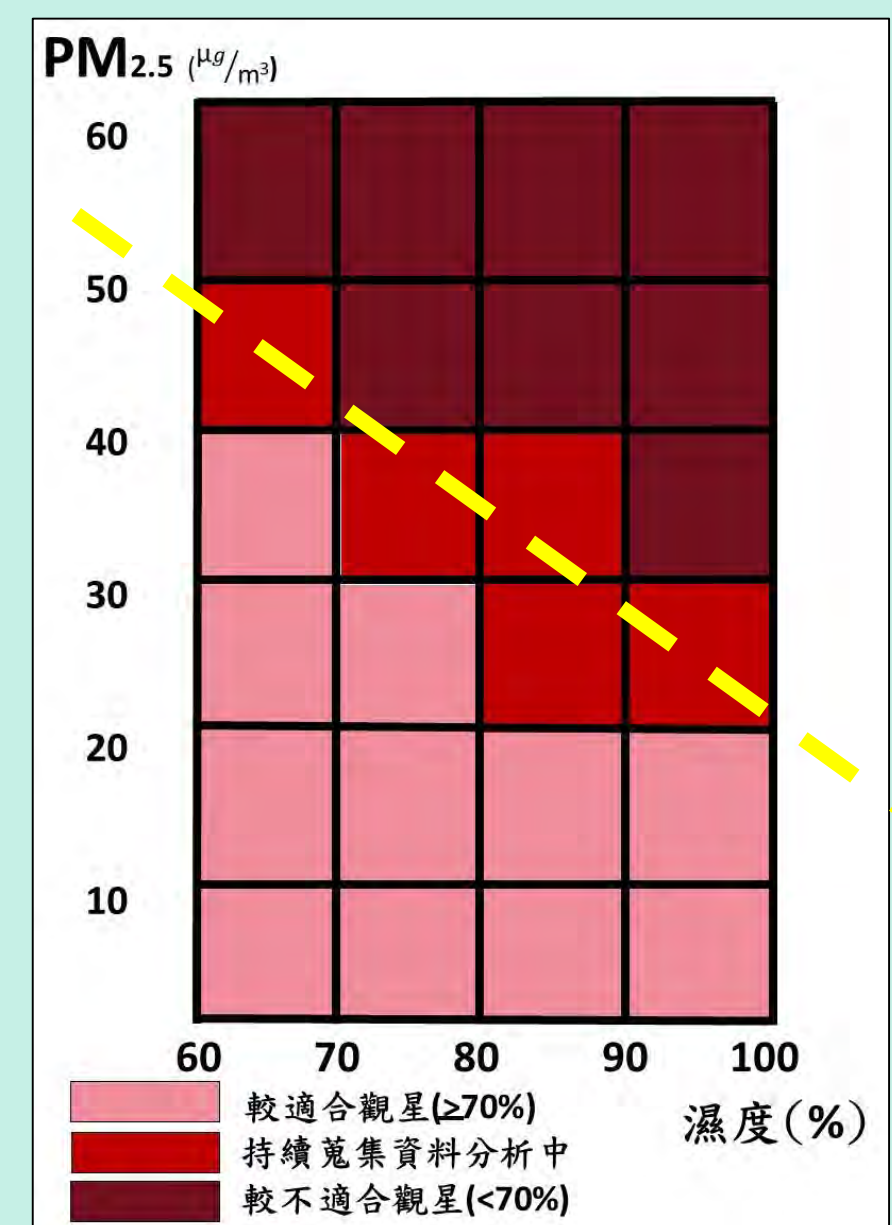
- 1. 簡易版-利用各個月相的月暈範圍得知星座是否會受到月暈影響。
- 2. 進階版-可先利用星空軟體查詢當晚會受月亮影響的星座，利用自製「月暈範圍ppt」找到背景光視星等，再使用我們設計的「月相預測星況程式」，算出 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$ 是否小於0.8，就能預測當晚月亮周圍可觀測的星星。



[圖22]凸月、弦月、殘月月暈範圍對照表

(二)查看中央氣象局查詢當日濕度與PM_{2.5}濃度，可預測本校當晚觀星的狀況

由[圖18]可以得知PM_{2.5}濃度對觀星的影響大於濕度，所以我們用可見星星百分率70%做為預測的標準整理出右圖，只要利用中央氣象查詢即時濕度及PM_{2.5}濃度，與對照表比對，就能夠預先知道當晚的觀星狀況。(數據值增加中。)



[圖23]學校操場建議觀星之濕度及PM_{2.5}濃度對照表

捌、結論

我們發現地面光害和月暈不會降低觀測到的星星的亮度，但會增加背景光的亮度。

也發現濕度、PM_{2.5}和雲霧濃度升高時，因為小水滴和懸浮微粒會使星星的光造成折射和反射，而降低觀測到的星星亮度，同時也會增加背景光亮度，當 $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$ ，人眼才易看清楚星星，且光害嚴重的地區，背景光增加的亮度更多。

我們整理出了本校操場適合觀星條件，可先利用中央氣象局查詢當日月相、濕度及PM_{2.5}，並使用自製程式或對照表，就能夠知道本校操場當天觀星狀況。

玖、未來研究

- 一、天氣好仍然會進行觀測，增加數據量，使預測更準確。
- 二、到其他光害程度不同的觀星地點，比較不同光害程度，濕度和PM_{2.5}增加時，背景光增亮的差異，目前已增加大武崙觀測。

拾、研究貢獻

由月相、濕度和PM_{2.5}濃度，預測本校操場當日夜晚「星況」



自製暗箱，加壓後能進行絕熱膨脹相關實驗，並進行攝影觀察

