

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

團隊合作獎

051905

運用雷達回波研究柯羅莎颱風眼牆結構

學校名稱：國立嘉義高級中學

作者： 高二 蔡沛灼 高二 江柏蓁 高二 詹景翔	指導老師： 劉宏二 黃冠夫
---	-----------------------------

關鍵詞：颱風眼、雷達回波圖

摘要

本研究運用大氣水文資料庫的五分山雷達資料，經軟體程式碼編寫讀檔分析出 2007 年 10 月柯羅莎颱風侵台期間的雷達回波，發現如下：

- 一、此颱風結構非對稱且有類雙眼牆的結構，在靠近台灣時受地形影響有內外眼牆再度整合的現象。
- 二、眼牆大小在高低層不一致，並有週期性的震盪變化。
- 三、在颱風眼內下沉氣流範圍仍發展出對流胞的特殊性。
- 四、可藉由雷達回波應用在眼牆附近區域即時強降雨災害的預報。

壹、 研究動機

台灣位在亞熱帶季風氣候區，對台灣而言，颱風一直都是個不可避免的天然災害，每年颱風來襲時，往往造成土石流、房屋遭沖毀、招牌倒塌、海水倒灌……損害，讓國人蒙受生命財產的危急與損失。這引發我們的好奇，這造成重大危害的颱風究竟其細部結構如何？難道除了課本所說的颱風眼、雲牆、螺旋雨帶外，颱風就沒有其他細部的結構嗎？除此之外，如果能夠了解其細部結構，是不是就能透過簡單的判斷，舉例說，單就看颱風眼大小，就能了解其細微構造呢？故我們想深入研究颱風內部的結構。

但是，由中央氣象局所繪製的雷達回波圖與網路上前人的研究來看，他們多半是只由俯視的角度去觀察與分析，並沒有直接透過雷達原始檔去分析其內部的細節如雷雨胞、螺旋雨帶的細部結構……。因此我們決定使用氣象雷達的原始資料，自行繪製回波強度圖，並由俯視、剖面圖等不同角度切入分析，進一步歸納出其結構模型。

貳、 研究目的

- 一、選定目標颱風了解雷達運用原理，並下載雷達數據及了解分析方法。
- 二、運用 python 與 Py-ART 進行數據分析並得到雷達回波強度圖、剖面圖。
- 三、利用雷達回波強度圖，分析颱風水平結構的逐時變化，了解颱風的演變過程。
- 四、利用不同高度雷達回波強度圖，比較颱風眼垂直大小及形狀的逐時變化，了解颱風眼的垂直構造。
- 五、觀察不對稱結構颱風帶來的雨量變化，及小區域內降雨強度變化，探討是否可應用於未來防災上。

參、 研究設備與器材

大氣水文資料庫、颱風資料庫、中央氣象局天氣系統資料(衛星雲圖、雷達影像圖)、Python、Py-ART、PicPick、IMAGEJ、PhotoImpact

肆、 研究過程與方法

一、 研究流程

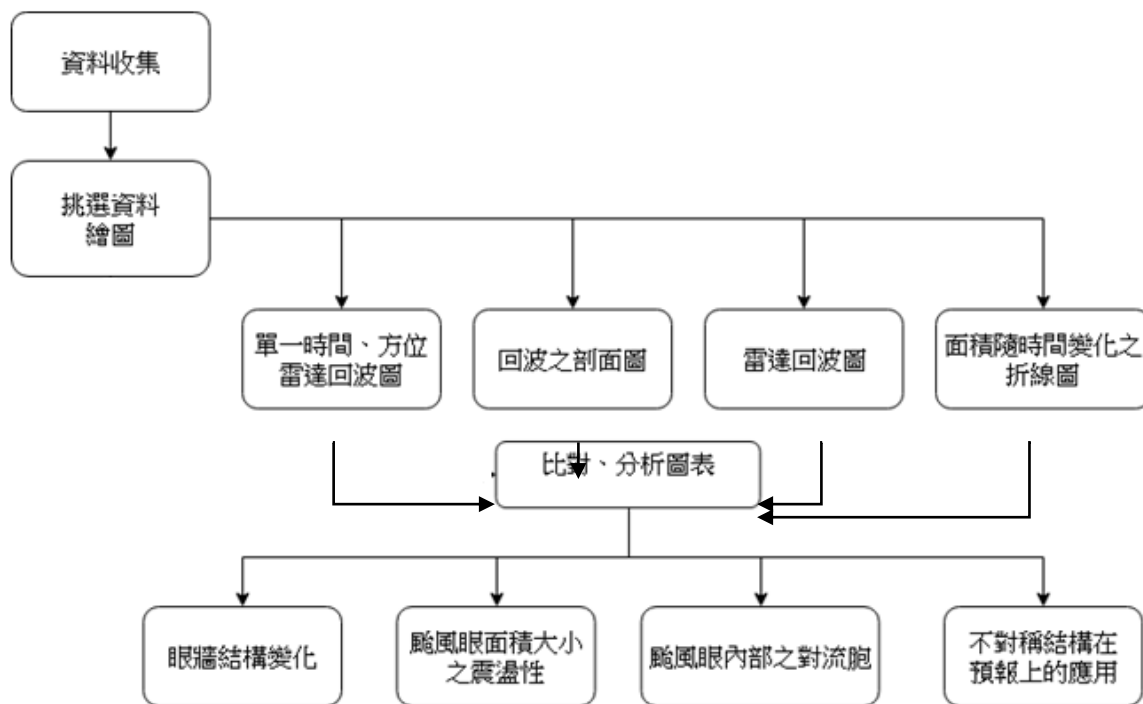


圖 4-1 研究流程

二、了解並選定颱風，下載資料。

(一)分析方法選定並彙集資料，選定颱風：

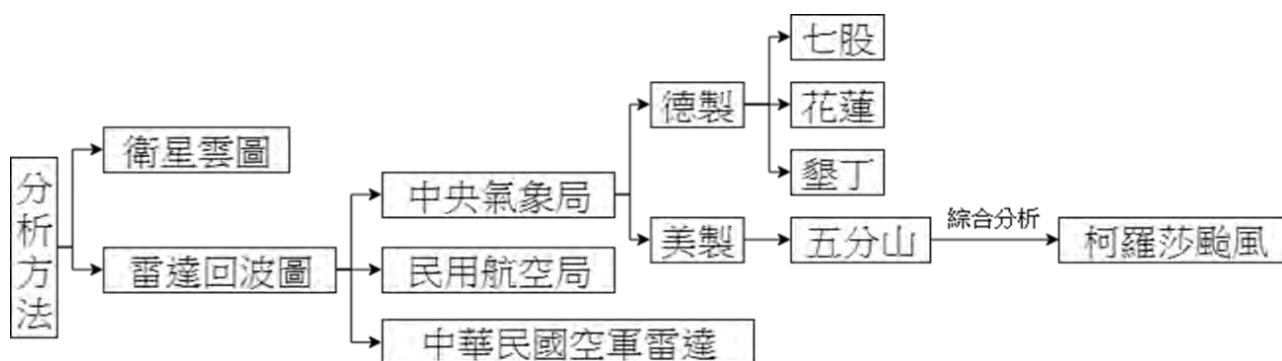


圖 4-2 選擇流程

1、進行颱風的結構分析，主要有兩種方法。一種是採用模擬實驗，另一種則是以過往颱風的資料進行分析，但相較於利用原始資料進行分析，採用模擬實驗往往沒有那麼精確，因為在多變的大氣系統中，整個環境並不是只有一個變動因子，風向、風速、溫度、大氣壓力……等皆是隨時在變化，但模擬實驗一次實驗中只能改變一個變因，無法探討多種因素綜合改變時所產生的互相影響與交互作用，因此，我們決定以歷史颱風資料去進行分析。

2、在選定以原始資料進行分析時，接下來就要決定要使用何種方法去分析颱風內部結構。一般而言，若要分析颱風內部結構，有許多種方法。舉例來說，衛星雲圖、雷達回波圖……，但在衛星雲圖的系統中，無論是可見光或是紅外線，都只能看到颱風的表面結構，像是可見光雲圖只能判斷雲的厚度、紅外線雲圖只能判斷雲的高度，無法知道其細部的結構。相較之下，雷達回波圖能夠得知其細部的構造，如雲中水滴豐富區域、雨的強度等，更能藉由都卜勒雷達運用都卜勒效應，了解其風場與走向，好處不勝枚舉，故我們決定使用雷達回波圖作為我們的分析資料。

3、在選定使用雷達回波圖作為我們的分析資料後，我們透過大氣水文資料庫能提供開放資料的雷達，分別為中央氣象局的 4 顆、民用航空局 1 顆以及中華民國空軍雷達 3 顆。但相對於其他單位的雷達，中央氣象局的雷達其使用波長較長且雷達回波衰減的指數較低，也具有在研究較強烈的對流系統資料較不易散失的特性。相較於用於航空的桃園雷達站，與軍方的清泉崗、馬公、綠島等，更能精確觀測並探究颱風的結構模型。因此，我們選擇使用中央氣象局的雷達進行研究。

4、中央氣象局包含四顆雷達，分別為七股、五分山、花蓮及墾丁四個雷達站(如下頁圖 4-3)。經過討論，我們選擇使用五分山雷達站(下頁圖 4-4)的資料進行分析。其不僅有海拔較高，且位於台灣本島北端，測站所涵蓋的有效觀測、不受地形干擾的範圍包含了將近 360 度，比起其他三者的 180 度廣闊許多，這不僅使地形阻礙產生的雷達訊號干擾減至最低，也大大增加了有效且較精準分析的範圍。此外，台灣的氣象雷達共有兩大類，一種是檔案以 Rainbow5 為格式的德製雷達，使用範圍包含七股、花蓮、墾丁及軍用雷達。另一種為以 NEXRAD level2 為格式的美製雷達。使用範圍包含五分山等。相較於

Rainbow5，NEXRAD level2 具有將徑向風速(velocity)、回波強度(reflectivity)以及譜寬(spectrum-width)……組合在同一個檔案的特性，對比於 Rainbow5 將此三者放於不同檔案，NEXRAD 顯然更容易分析。另外，由於目前免費開放的雷達讀檔程式僅能處理 NEXRAD 格式的檔案。基於以上種種原因，再經由專業單位的支援和推薦，我們選定五分山氣象雷達測站的資料來作為分析檔案。



圖 4-3 台灣雷達分布圖



圖 4-4 五分山雷達站

5、在選定雷達站之後，下一步就是要選定颱風。我們選擇以中央氣象局 1、2、3 號路徑為主去搜尋適合進行分析的颱風(路徑分類圖見下方圖 4-5)，其原因除了在於我們選擇使用的是五分山氣象雷達站的資料，也因為以 1、2、3 號路徑侵台的颱風占了統計中的近 1/3，更能代表侵台颱風的大致可能結構。此外，選定的颱風也須包含颱風眼明顯、結構扎實等特色。在選定過程中，雖然也有許多包涵上述特色的颱風，但有些颱風的雷達資料缺失不全、或在格式方面有些問題，故最後我們選擇在 2007 年 10 月 5 日侵台的柯羅莎颱風。柯羅莎颱風除了有上述特點外，也包含了許多特色。除了它雖然形成於秋天，但和典型秋颱不同的是，它沒有像一般秋颱那般生成於台灣以南的海面上，反而形成在台灣東向的海面上，類似夏季生成的颱風。就路徑而言，它經過台灣東北角，而這也正是五分山測站的最佳觀測範圍，從颱風剛形成到登陸之後，整個過程都能清楚被記錄，在時間、空間上達到良好的連續性。另外，其除了在颱風眼未觸陸前有一個接近雙眼牆的結構生成，還有個不對稱的內部結構(如圖 4-6)，使我們想要進一步剖析其模型。下頁圖 4-7、圖 4-8、圖 4-9 為其簡介。

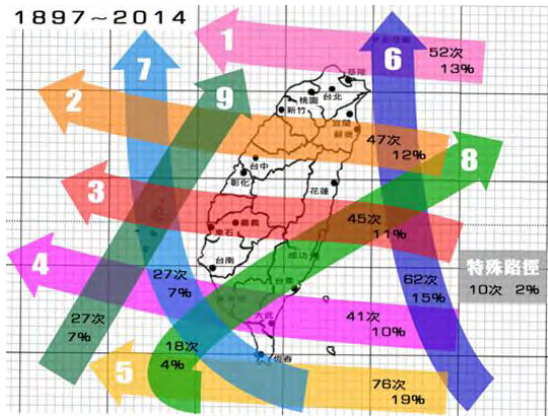


圖 4-5 颱風路徑圖

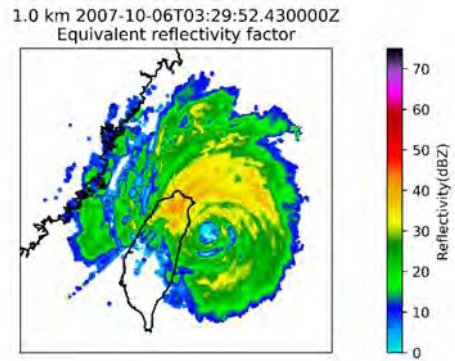


圖 4-6 颱風的不對稱結構

中央氣象局颱風警報發布概況表	
名稱	柯羅莎 (KROSA)
編號	200715
生成地點	131.0, 17.1
侵(近)臺日期	2007年 10月 06日
發布時間	海上 2007-10-04 17:30 陸上 2007-10-05 05:30
解除時間	陸上 2007-10-07 20:30 海上 2007-10-07 23:30
發布報數	27
最大強度	強烈
近中心最大風速	51 (公尺/秒)
侵臺路徑分類	2
登陸地段	頭城及三貂角間
動態	生成後向西北方向移動，6日下午由宜蘭近岸沿海岸向南移至花蓮縣北部近海，呈打轉現象，當日22時30分左右在頭城及三貂角間進入北部陸地，之後向西北西移動且快速通過臺灣北端陸地，7日由福建、浙江交界進入大陸。
災情	因強風豪雨造成全台皆有災情發生，包括淹水、土石流、道路中斷，曾有約233萬戶停電，臺東則曾出現焚風。計有9人死亡，農業損失約42.7億。
颱風災害專區網頁連結	---

圖 4-7

柯羅莎颱風簡介

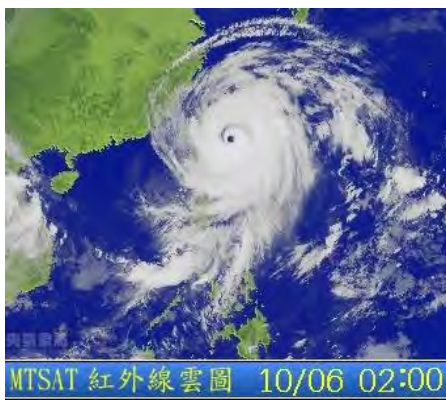


圖 4-8 柯羅莎颱風衛星雲圖



圖 4-9 柯羅莎颱風路徑圖

(二)下載資料

1、本次實驗所選用的資料來自國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心的大氣水文資料庫。國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心於 2011 年 4 月 19 日由國科會同意辦理設立，其任務包含建構整合研發平台，支援學術研究，並收集國內外氣象單位相關之資料(如：ECMWF、NCEP、JMA、中央氣象局、民航局及空軍基地…等)，另外也提供歷史實驗觀測和收集模式資料與資料諮詢服務。其承接由科技部支持的大氣研究資料庫計畫，旨在結合此中心之各類研究資料（觀測、系集模式…等），並建構大氣水文研究資料庫，期望透過此資料庫永續提供學研相關單位於大氣水文研究資料之需求。

2、而大氣水文研究資料庫提供的資料為雷達原始檔。其好處在於，相較於其他能夠直接獲得的資料(如中央氣象局)，相較之下，其具有能夠分析不同高度的雷達回波強度的好處，比起中央氣象局所繪製的雷達回波圖中只有俯視的角度，且其製作方式為選出同一位置的最大強度進行繪製，這樣不僅較不精準，也易失真，相較之下，運用雷達原始檔不僅能夠避免掉這些誤差，還能得到更細部的結構。

三、程式 python 與工具包 Py-ART 簡介

本次實驗選用的五分山測站雷達檔為 NEXRAD level2 格式，需要運用雷達工具包 Py-ART 在執行平台 python 進行讀檔作業。而 Py-ART 雷達工具包是一個包含了一系列的天氣雷達的運算法的 python 模塊，透過 Py-ART，我們能夠進行各種數據的處理和分析。

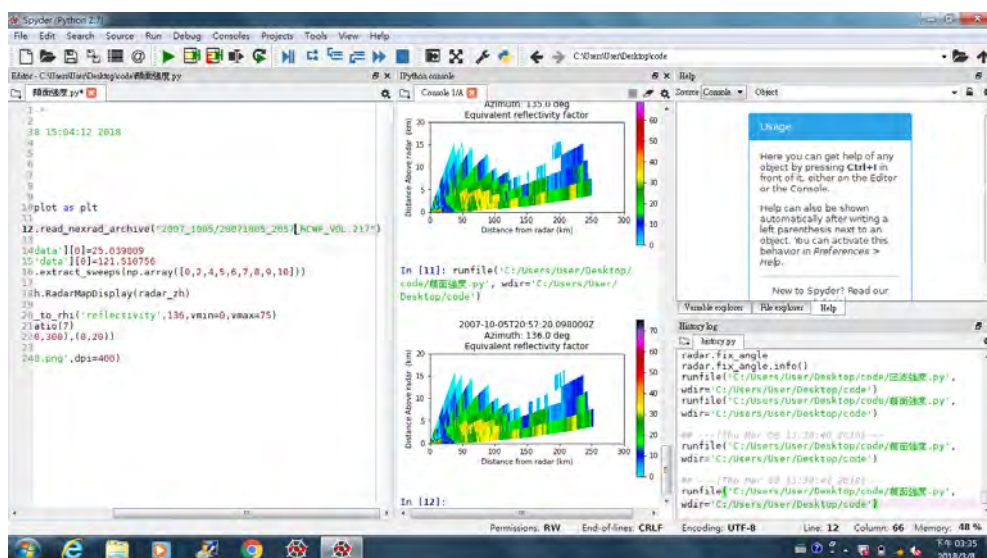


圖 4-10 運用平台 python 與 pyart 進行檔案分析的範例圖

四、運用 python 與 Py-ART 去分析，並將雷達回波強度俯視圖、直向剖面圖、與單一方位、單一時間的雷達回波圖繪製出來。

(一)雷達回波強度(reflectivity)俯視圖

雷達回波強度俯視圖為利用單一仰角去分析雷達回波強度分布，在跑圖檔的過程中，由於程式會自動將各仰角強度內插，而得到同一高度(此高度為以五分山雷達站海拔 766 公尺為基準)的整圈颱風雷達回波強度。運用此圖，可以從俯視角度看出颱風的大致結構，如颱風眼、強對流胞……等，在接下來進行颱風眼結構與面積分析時，將會用到此圖。下方為其程式碼與步驟：

```
7
8 import pyart
9 import numpy as np
10 import matplotlib.pyplot as plt
11
```

匯入工具包 Py-ART

```
1
2 radar =pyart.io.read_nexrad_archive("2007_1007/20071007_1857_RCWF_VOL.196")
3
```

將檔案'2071007_1857_RCWF_VOL.196'讀取進 python

```
old_radar.latitude['data'][0]=25.039809
old_radar.longitude['data'][0]=121.510756
```

輸入雷達站的經緯度，使圖中央為雷達站

```
radar_zh = old_radar.extract_sweeps(np.array([0,2,4,5,6,7,8,9,10]))
```

匯入每一層資料

```
grid_zh=pyart.map.grid_from_radar(radar,grid_shape=(5,401,401),
                                     grid_limits=((1000,3600),(-400000,400000),(-400000,400000)))
```

grid_limits 指圖的視野範圍

(-400000,400000)指一個 800 公里*800 公大小的雷達回波圖

```
display grid.plot grid('reflectivity',0,vmin=0,vmax=75)
```

reflectivity 雷達反射率

0 為第幾次掃描

vmin 為顏色條的最小值

vmax 為顏色條的最大值


```
plt.savefig('10071857.png',dpi=400)
```

儲存檔案檔名'10071857'

```
回波強度.py
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Sat Mar 03 23:24:48 2018
4
5 @author: User
6 """
7
8 import pyart
9 import numpy as np
10 import matplotlib.pyplot as plt
11
12 radar =pyart.io.read_nexrad_archive("2007_1007/20071007_1857_RCWF_VOL.196")
13
14 radar.latitude['data'][0]=25.039809
15 radar.longitude['data'][0]=121.510756
16
17 radar_zh=radar.extract_sweeps(np.array([0,2,4,5,6,7,8,9,10]))
18 grid_zh=pyart.map.grid_from_radar(radar,grid_shape=(5,401,401),
19                                   grid_limits=((1000,3600),(-400000,400000),(-400000,400000)))
20 display_grid=pyart.graph.GridMapDisplay(grid_zh)
21
22
23
24 display_grid.plot_grid('reflectivity',0,vmin=0,vmax=75)
25 display_grid.plot_basemap(resolution='h')
26
27 plt.savefig('10071857.png',dpi=400)
28
```

圖 4-11 進行雷達回波強度俯視圖分析的程式碼

1.0 km 2007-10-06T00:02:26.506000Z
Equivalent reflectivity factor

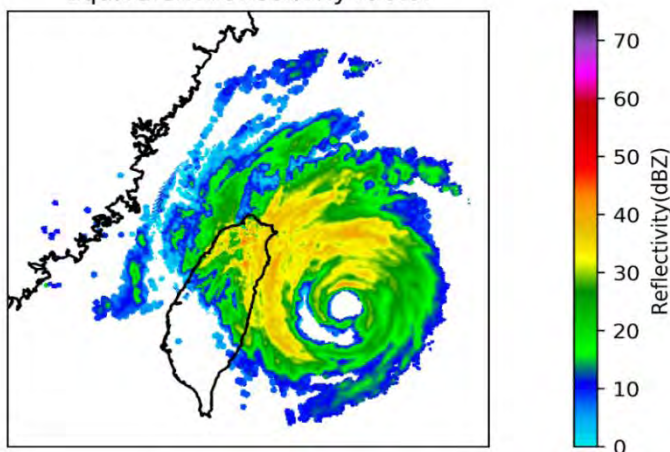


圖 4-12 雷達回波強度俯視圖範例

(二)直向剖面圖

直向剖面圖為選定特定方位角，將不同仰角雷達回波疊合而成的回波剖面圖上，透過此圖，可以知道一個特定方位的垂直結構，但由於同一雷達檔中會有仰角不同而產生的回波訊號差異，此為一未進行強度修正的分析圖，故此圖多運用在判斷位置與大致垂直結構上，而

無法運用在強度分布的比較。下方為其程式碼與步驟：(與雷達回波強度俯視圖相同的省略)

```
display.plot_azimuth_to_rhi('reflectivity',135,vmin=0,vmax=75)
```

azimuth 方位角，指順時針沿 y 軸正方向測量的角度

135 即方位角

```
display.set_aspect_ratio(7)
```

調整 x 和 y 軸的比例，當數值為 1 時表示 1 比 1

```
display.set_limits((0,300),(0,20))
```

(0,300)為 X 軸，指圖中僅會出現與雷達水平距離不超過 300 公里的數值

(0,20)為 Y 軸，指圖中僅會出現與雷達垂直距離不超過 20 公里的數值

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Wed Feb 28 15:04:12 2018
4
5 @author: User
6 """
7
8 import pyart
9 import numpy as np
10 import matplotlib.pyplot as plt
11
12 old_radar = pyart.io.read_nexrad_archive("2007_1005/20071005_1838_RCWF_VOL.193")
13
14 old_radar.latitude['data'][0]=25.039809
15 old_radar.longitude['data'][0]=121.510756
16 radar_zh = old_radar.extract_sweeps(np.array([0,2,4,5,6,7,8,9,10]))
17
18 display = pyart.graph.RadarMapDisplay(radar_zh)
19
20 display.plot_azimuth_to_rhi('reflectivity',135,vmin=0,vmax=75)
21 display.set_aspect_ratio(7)
22 display.set_limits((0,300),(0,20))
23
24 plt.savefig('10051838.png',dpi=400)
```

圖 4-13 進行直向剖面圖分析的程式碼

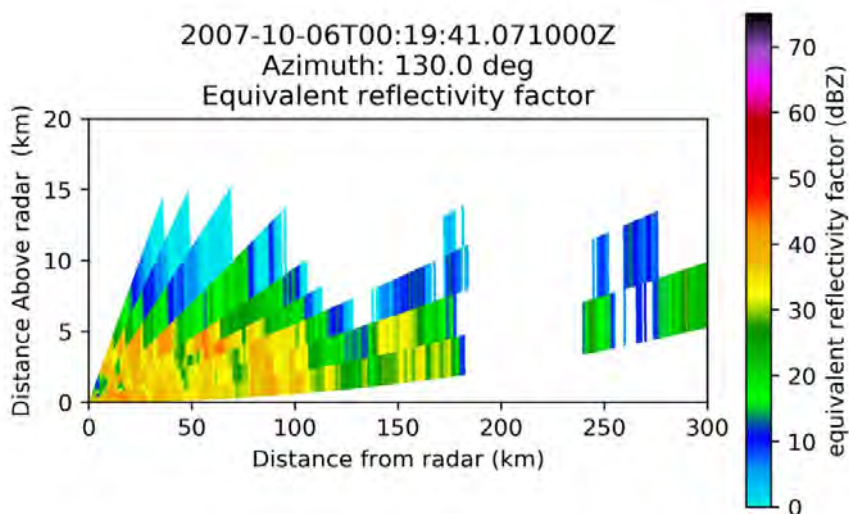


圖 4-14 直向剖面圖範例

(三)單一方位、單一時間的雷達回波圖

單一方位、單一時間的雷達回波圖為可挑選出特定仰角、方位與時間的圖，其最大的好處在於可以直接運用此圖知道特定位置的雷達回波強度原始數值。我們將運用此圖搭配距離、時間與位置來分析整個螺旋雨帶、颱風眼、眼牆、雷雨胞的垂直結構。下方為其程式碼與步驟(與雷達回波強度俯視圖相同的省略)：

```
target_level=0
```

想繪出第幾個掃描

```
azimuth=radar.get_azimuth(target_level)
```

該仰角的所有方位角

```
start_ray,end_ray=radar.get_start_end(target_level)
```

該仰角的起始位置與結束位置

```
target_azimuth=172.5
```

想畫的角度(172.5)

```
loc_min=np.argmin(np.abs(azimuth-target_azimuth))
```

找到最接近目標角度的位置

```
display.plot_ray('reflectivity',rays[loc_min])
```

該仰角每個 ray 的編號

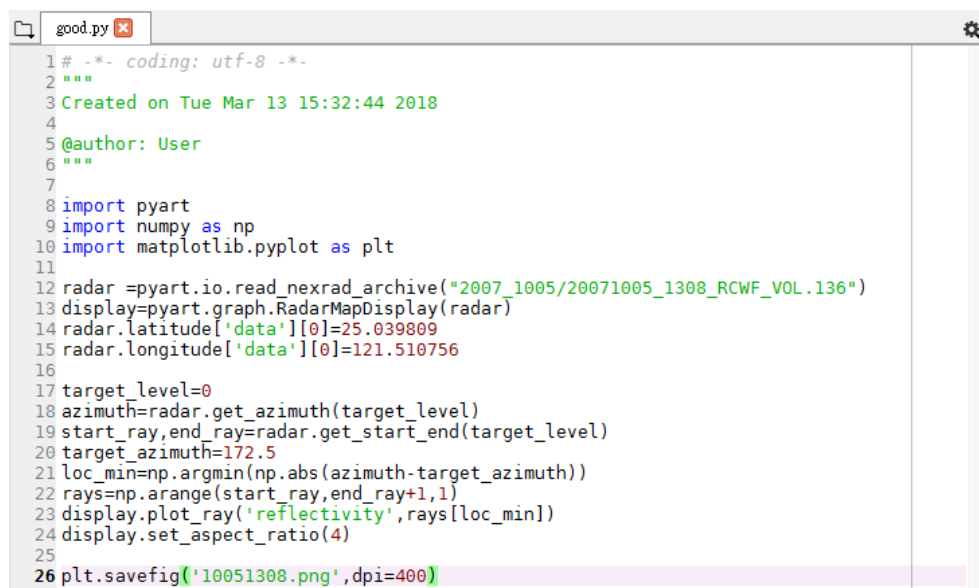


圖 4-15 進行單一方位、單一時間的雷達回波圖分析的程式碼

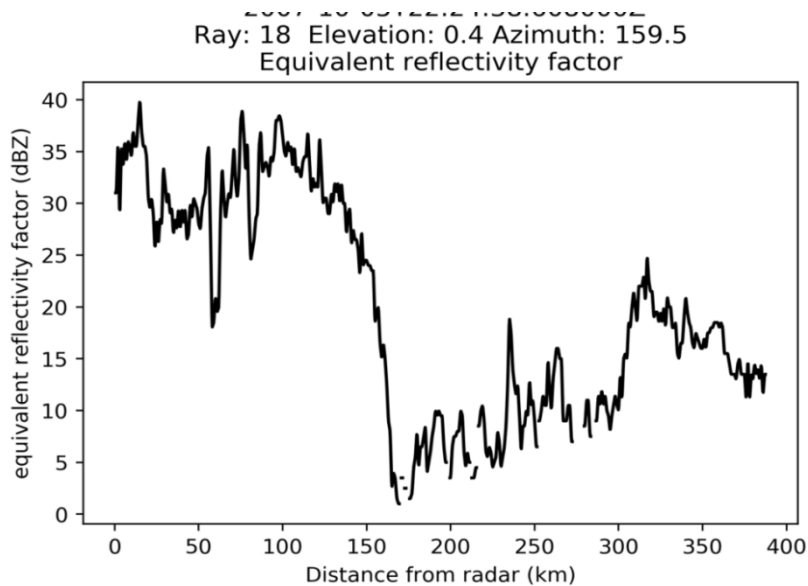


圖 4-16 單一方位、單一時間的雷達回波圖範例

五、利用單純一個方位的雷達回波強度圖，分析出颱風的大致垂直結構。如螺旋雨帶、眼牆、雷雨胞等。

(一)選擇原因

在開始進行颱風結構分析之後，我們首先是要利用單一方位、單一時間的雷達回波圖分析出颱風整體的特殊垂直結構，像是雷雨胞、眼牆與強螺旋雨帶……。其分析方法為利用雷達 each ray 的數值去分析在某一特定位置時，其由上到下的垂直結構。我們直接使用雷達回波強度原始數值而不使用前述的雷達回波強度俯視圖，其原因在於由後者雖可得到同一高度的結果，但其已經過內插，並非確切數值，在分析一個較小且精確的構造時，難免沒有那麼準確。故我們選用原始數值圖來進行分析。

(二)分析方法

- 1、選定一個特定時間點的雷達回波圖，用 PicPick 量出切過颱風眼的結構之方位角。
- 2、繪出同一時間、同一角度的不同仰角圖，並量取原始數值。
- 3、將同一時間、同一角度的不同仰角圖疊圖進行分析。

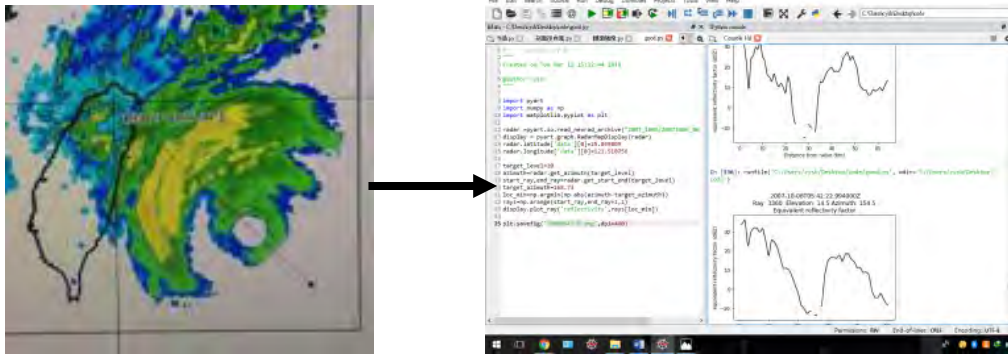


圖 4-17 繪圖方法

六、利用雷達回波強度俯視圖並搭配單一方位的雷達回波強度圖，比較不同時期與高度的颱風眼大小及形狀的變化。

在一開始進行雷達程式模擬時，曾發現颱風眼大小會隨著時間與高度的不同而有不同的大小，故第一個實驗將使用 IMAGEJ 計算颱風眼大小，並依照其時間與高度進行統整，分析颱風眼的大小是否會隨著高度與時間而有不同的變化。而我們也懷疑颱風眼形狀與大小之間存在關聯性，因此除了大小以外，我們也對形狀做時序上的分類，並對照颱風眼大小的數值。

(一)分析步驟(中央未產生對流包時)

- 1、將欲測量圖片放入 IMAGEJ 中。
- 2、選取颱風眼以計算。
- 3、開啟計算面積工具
- 4、計算並記錄

1.0 km 2007-10-05T21:20:19.822000Z
Equivalent reflectivity factor

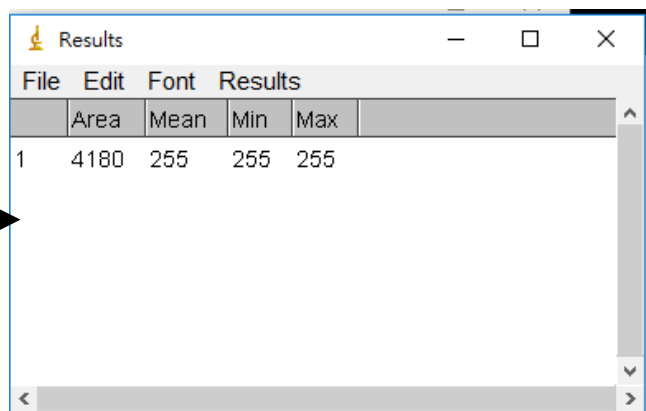
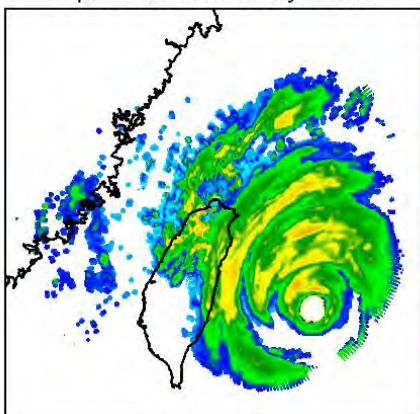


圖 4-19 一般面積計算方法

(產生對流包後)

5、在颱風眼侵台後，其結構會受到地形與周遭的破壞，使颱風眼開始潰散，故在後期，我們更改面積計算方式，依據的標準是選擇色革 150 至 180 之間的深青色的色塊(約為強度 10dBZ 以內)當作颱風眼的邊界，並進行測量。

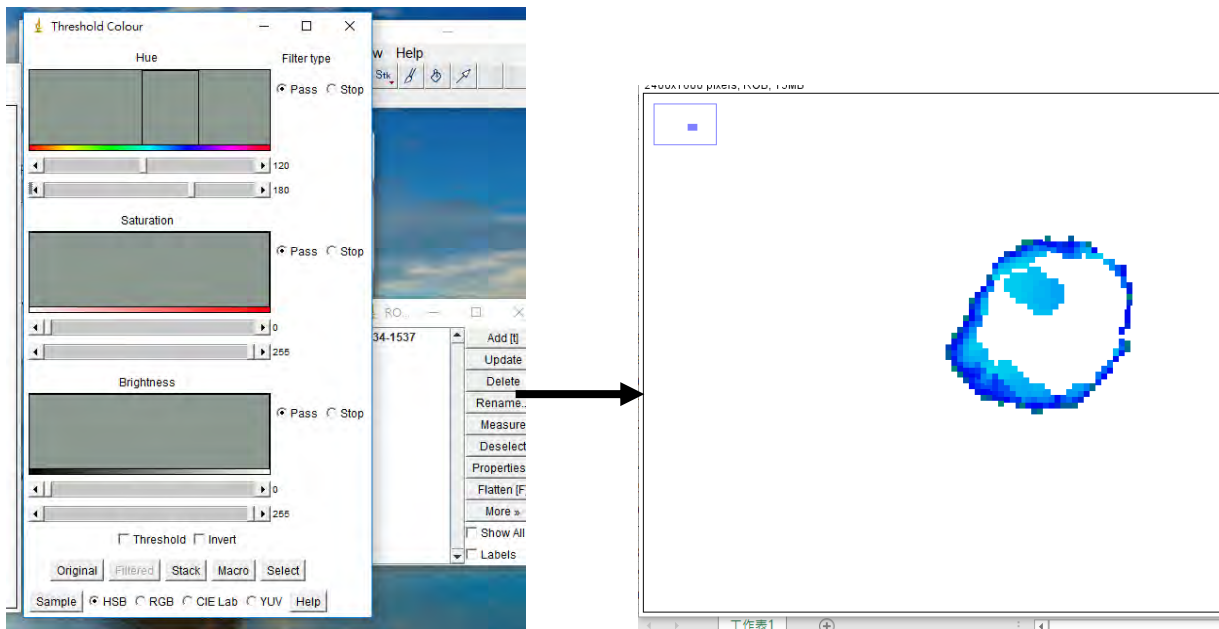


圖 4-20 手繪面積計算方法

6、將所有資料輸入至 excel，繪出以時間為橫軸、面積為縱軸的折線圖，並比較不同高度、不同時間變化。

7、進行比較與分析

伍、研究結果與討論

一、利用雷達回波強度圖，分析颱風水平結構逐時變化，了解颱風的演變過程。

(一)研究時間：從颱風眼進入雷達回波可視範圍時開始進行研究。

柯羅莎颱風在 2007 年 10 月 5 日 18 點(以下時間皆以國際標準時(UT)進行討論)左右，其颱風眼開始進入雷達掃描範圍，並在 2007 年 10 月 6 日 7 點左右颱風眼完全消散。故本實驗將取自 2007 年 10 月 5 日 18 點 38 分至隔天早上 7 點 10 分間的雷達回波圖進行研究。

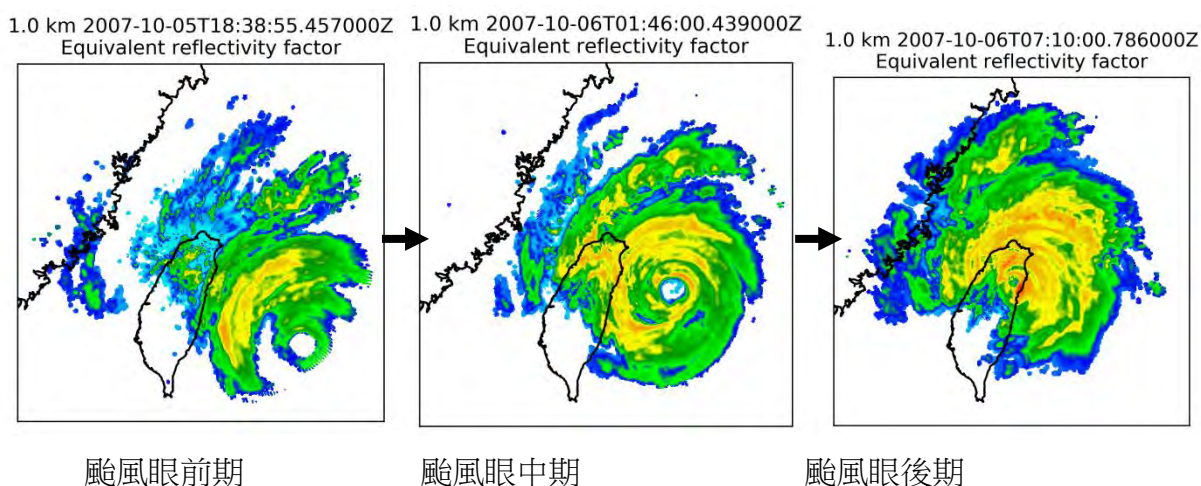


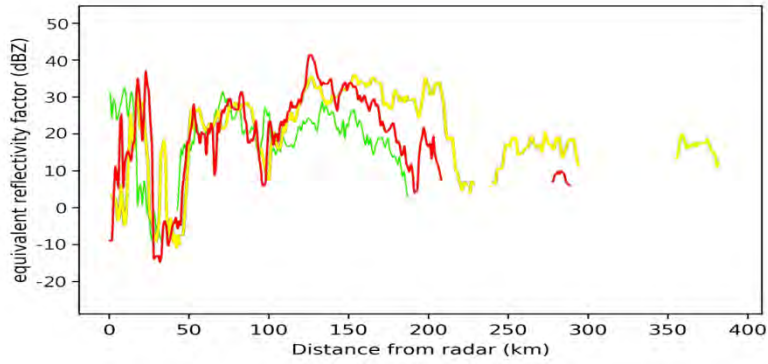
圖 5-1 颱風眼隨時期進行演變

(二)由雷達回波圖可知，颱風的結構在受地形影響後會影響其大致的對稱性。

將單一方位、單一時間的雷達回波圖依不同仰角進行疊合，以颱風眼為中心，對比其左右的位置，可發現在未受地形影響前颱風眼左右的結構大致對稱。如下方為 10 月 5 日 18 點 38 分的疊合圖，其 300 至 350 公里處為颱風眼，而其左右(250~300km 與 350~400km 處)的黃線大致皆為 10dBZ 左右，可見颱風在未受地形影響前為一大致對稱的結構。

而在 10 月 6 日 0 點 42 分時，可以發現颱風眼左右的雷達回波強度會有不對稱的現象，也就是測站到颱風眼之間(0~300km)的雷達回波強度不僅強且密集，這應是因為於此同時，颱風邊緣開始接觸陸地而受到地形擠壓時，導致近陸地的一邊產生內外眼牆再度整合，而另一邊則否。因此，可推論地形會造成颱風結構產生不對稱的現象。

在最後階段，也就是 10 月 6 日 06 點 41 分時，颱風受到地形影響已久，由陸地產生的阻攔與抬升造成密集的雲雨集中在海面近陸地處，且在地面部分由於缺乏水氣補充導致強度逐漸減弱，故可發現此時的雷達回波強度在測站到颱風眼之間(0~50km)的強度較弱，颱風眼到外圍部分反而較強(80km~)。另外，也可以發現由於受到地形破壞，颱風眼的大小有縮小的趨勢。(在下頁圖中，黃線、紅線、綠線、藍線、紫線與灰線的仰角分別為 0.5、1.5、2.4、3.4、4.3 與 5.3 度)



1.0 km 2007-10-05T18:38:55.457000Z
Equivalent reflectivity factor

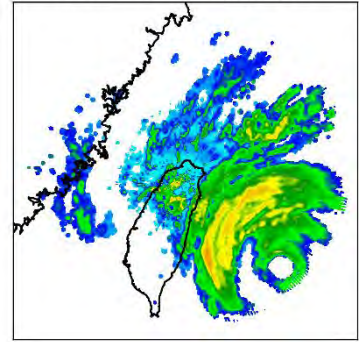
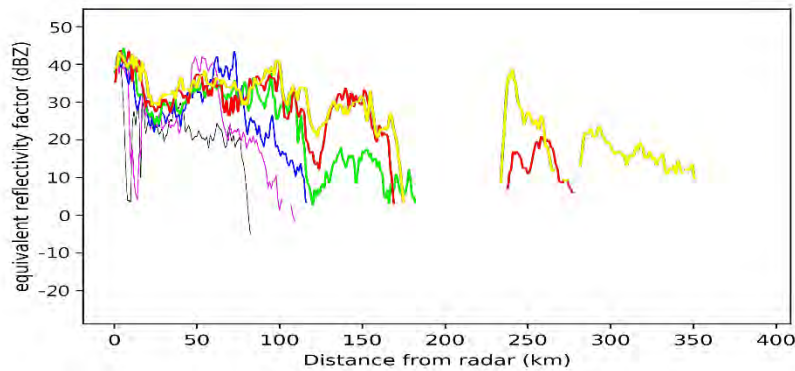


圖 5-2 10 月 5 日 18 點 38 分疊合圖(以五分山雷達為中心正北為 0 度，139 度)



1.0 km 2007-10-06T00:48:25.841000Z
Equivalent reflectivity factor

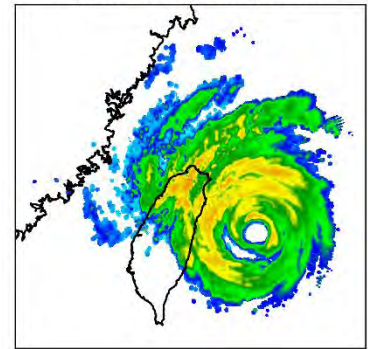
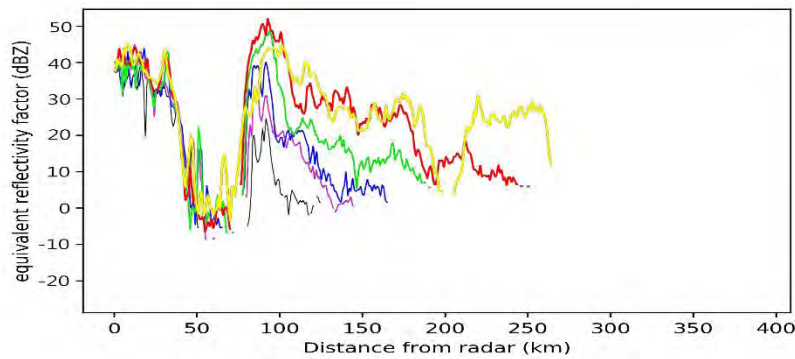


圖 5-3 10 月 6 日 0 點 42 分疊合圖(以五分山雷達為中心正北為 0 度，127 度)



1.0 km 2007-10-06T06:35:26.572000Z
Equivalent reflectivity factor

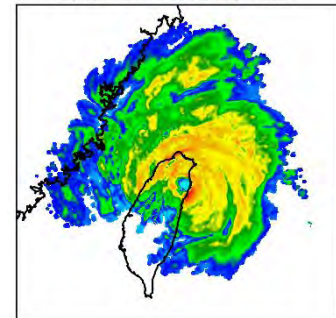


圖 5-4 10 月 6 日 06 點 41 分疊合圖(以五分山雷達為中心正北為 0 度，169 度)

(三)由雷達回波圖可知，颱風出現雙眼牆的結構。

在颱風眼開始進入雷達可掃描的範圍時，由於此時未受地形影響，可以發現颱風具有非常明顯的雙眼牆，且由上方圖 5-2 可推測在雷達掃描範圍外的另一方其結構應也是對稱的。此結構持續到 10 月 5 日 21 時 54 分。

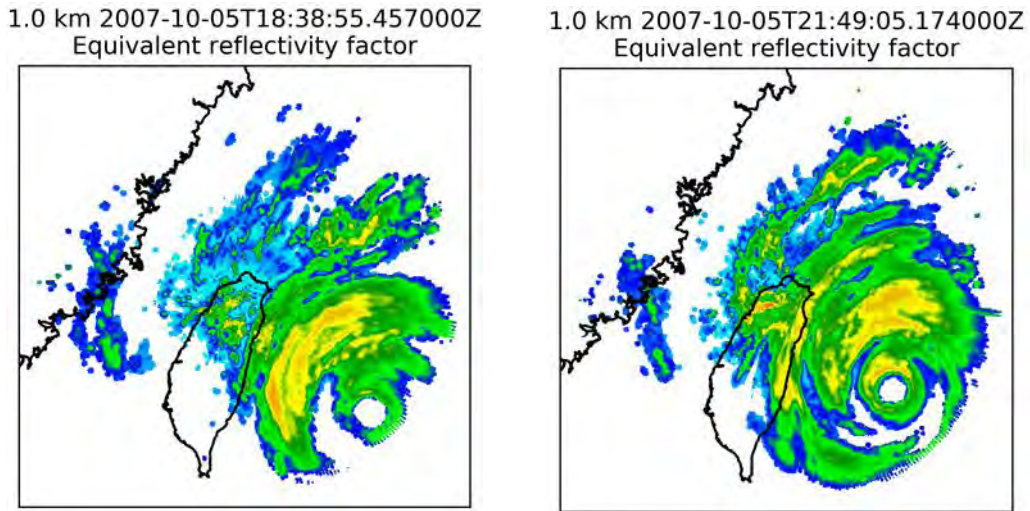


圖 5-5 雙眼牆期始末

到當日 22 時 06 分時，颱風外圍環流開始觸陸，由於山脈的阻擋而擠壓，因此雙眼牆置換的過程中，當內眼牆尚未完全消散，外眼牆便已往內置換，內外眼牆產生整併的現象。此結構持續到隔天 0 點 48 分。

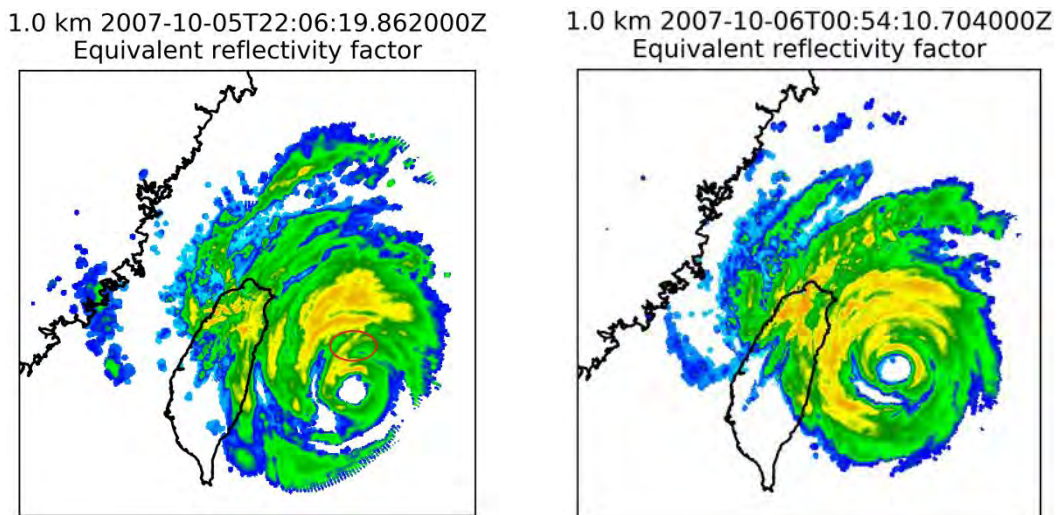


圖 5-6 內外眼牆置換期始末

從此 0 點 59 分開始，內外眼牆連接，完成整併。於此時僅剩下一層眼牆，此時期持續到 02 點 43 分。

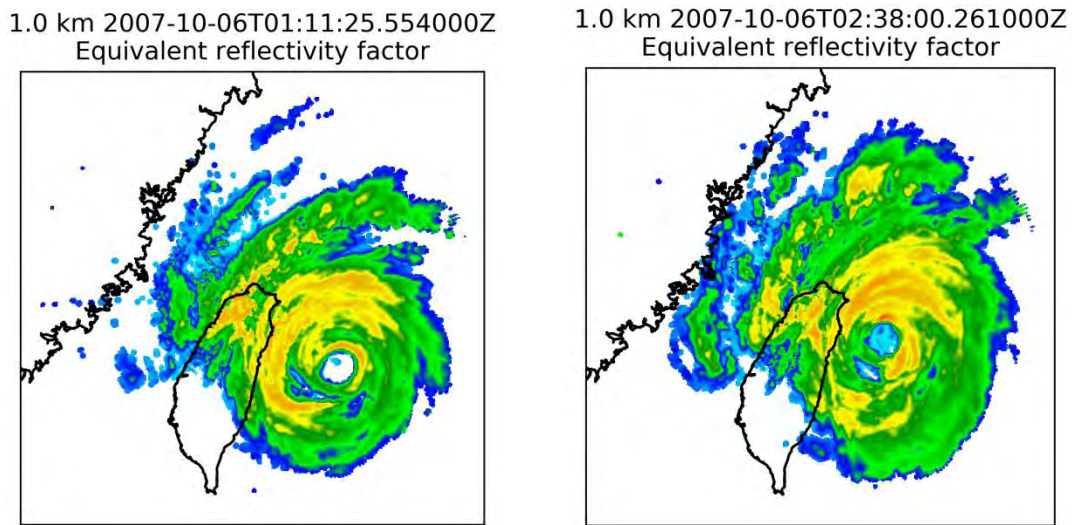


圖 5-7 單眼牆時期始末

在 2 點 55 分之後，颱風眼開始消散，颱風結構在地形的影響下被破壞，至 7 點 15 左右颱風眼完全消散。

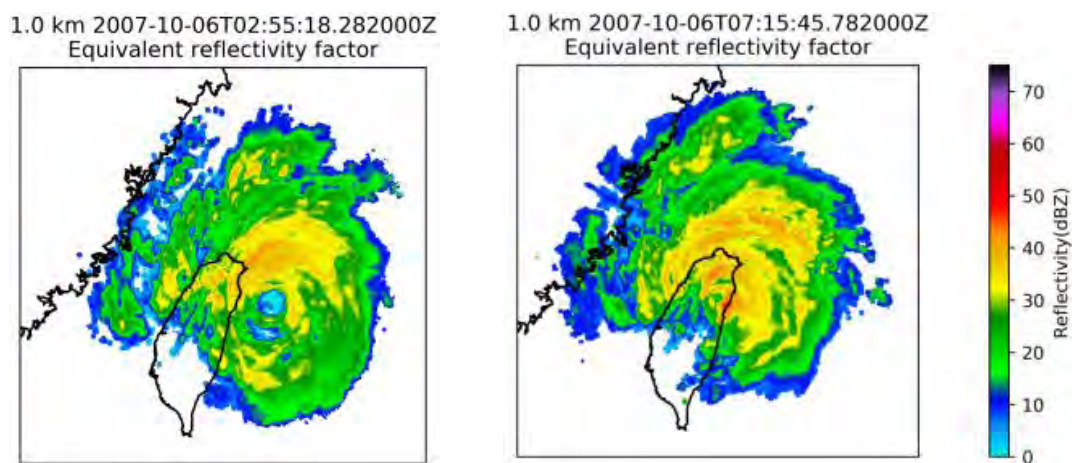


圖 5-8 颱風眼消散時期始末

二、利用不同仰角所得雷達回波強度，了解颱風眼的垂直構造及變化，並比較相同高度颱風眼垂直大小及形狀，分析風眼結構可能具有的震盪性。

(一) 颱風眼面積與形狀的變化

1、研究結果：我們從雷達回波圖發現颱風眼牆的變化可分為四個時期，因此我們將颱風眼的面積依照時期切割為四段分別討論。

- A. 雙眼牆時期:面積變化隨時間產生輕微的震盪，震幅大小逐漸減小，而各高度的面積差異較大，颱風眼之面積大小會隨著高度增加而減少。
- B. 內外眼牆整併期:面積變化隨時間產生輕微的震盪，而各高度的面積差異變小，颱風眼之面積大小會隨著高度增加而減少。
- C. 單眼牆時期:各高度的面積較一致，底層眼牆明顯縮小。
- D. 颱風眼消散期:各高度面積均隨時間減小。

颱風眼生命週期的 A、B 時期中，颱風眼之面積大小會隨著高度增加而減少，呈現穩定縮減的趨勢。並可發現颱風眼的面積雖然不斷變動，但仍會隨著時間產生穩定的變動週期。然而，在 C 時期，颱風眼各高度面積均開始產生不規則的變化，面積大小在各高度幾乎相同，在 C 時期之後，也就是水氣逐漸入侵時，颱風眼的面積產生變化，轉變為由下往上遞增。D 時期眼牆面積明顯受到地形破壞而快速遞減。

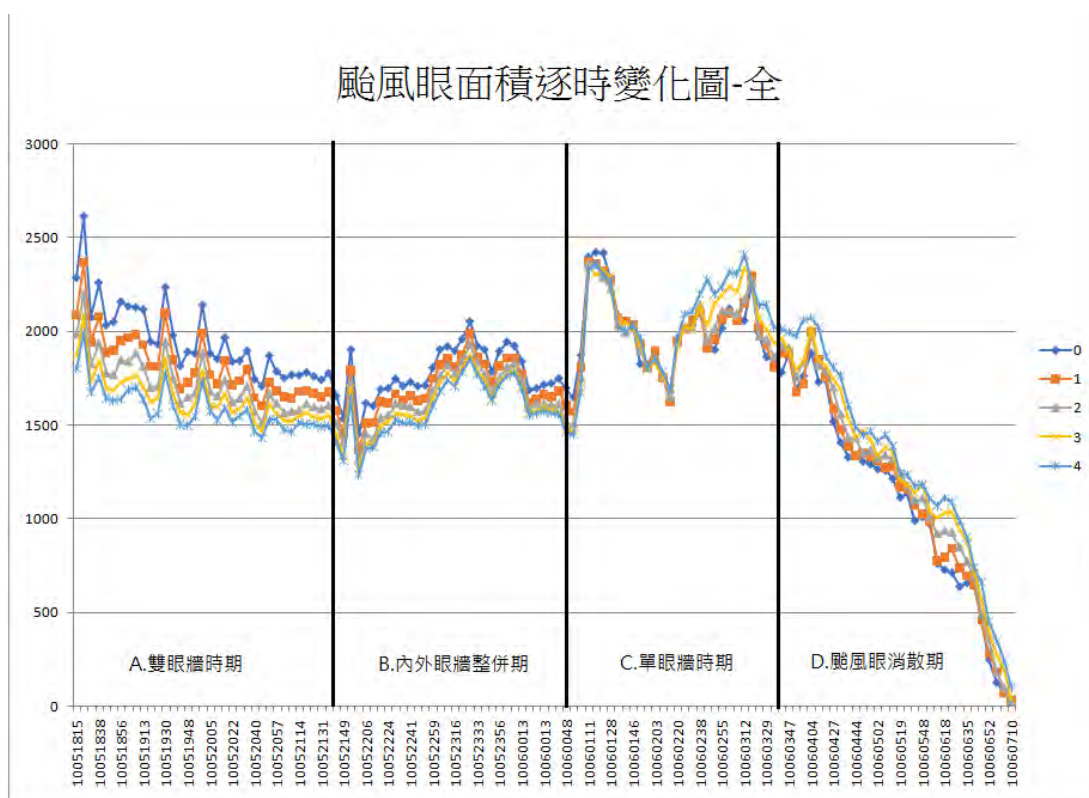


圖 5-9 颱風眼面積逐時變化圖

2、觀測誤差討論：

關於颱風眼的面積變化的短期輕微震盪，由風場、中心最大風速來判斷，其短時間的變化應為內插的誤差、測站本身誤差與颱風眼本身會旋轉造成大小的改變所造成。畢竟若要從一個雷達得到同一高度的雷達剖面圖，雷達的精確度與解析度會隨著距離的增加而減少(如下圖 2018 年 3 月 19 日 21 點 20 分雷達回波圖)，運用中央氣象局與福州氣象雷達站雷達回波圖可發現由於中央氣象局的雷達回波圖，在中北部由於使用的是軍用的清泉崗雷達，其波長較短，衰減率高，故在對比中國大陸福州氣象雷達站後，可發現在西北方原先應連續的雷雨帶因而變得不連續。且可發現此小幅度的變化隨著距離減小而降低。故能推測在遠方的雷達數值較不精確，造成颱風眼面積產生不規則的微小偏差。

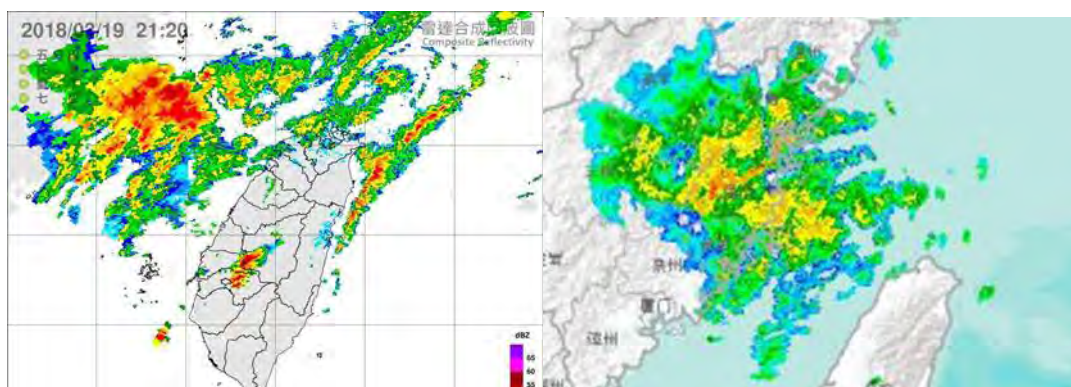


圖 5-10 內插誤差顯示圖

3、面積及雷達回波強度的討論：

觀察 10 月 6 日 01 點 22 分(以國際標準時為單位)的雷達回波圖，由圖可知，此時颱風眼已十分接近台灣，推估是因靠近陸地而受到表摩擦力的影響，使結構由下而上被破壞，產生颱風眼低層變小、中高層變大的形態。從摺線圖中我們可以觀察到五個震盪週期，而面積高點及眼牆回波圖如下表，間隔大概在 1 小時 33 分至 1 小時 55 分之間。經由對照雷達回波強度圖發現，在颱風眼面積的高峰前後兩個時間點，颱風眼周圍回波強度會大於高峰時的回波強度。

	前	最高	後
第一高峰 10/5 19:59			

第二高峰 10/5 21:54			
第三高峰 10/5 23:27			
第四高峰 10/6 01:22			
第五高峰 10/6 03:18			

表 5-1 高峰前後颱風眼變化圖

4、颱風眼形狀討論：觀察高點和低點的颱風眼形狀。紅色框框為正圓。當颱風眼面積小時，形狀會非常接近正圓；反之，當颱風眼面積大，形狀會偏向橢圓。

時間	颱風眼
10/5 19:59 大	
10/5 20:45 小	
10/5 21:54 大	
10/5 22:18 小	
10/5 23:27 大	
10/6 00:48 小	
10/6 01:22 大	
10/6 02:09 小	
10/6 03:18 大	

表 5-2 颱風眼形狀與面積大小比較表

推測其背後原因如下：

在一開始，颱風眼受到不明原因的擠壓，開始向內收縮，而在收縮過程中，由於氣壓梯度力大於離心力與柯氏力的合力，颱風持續向內收縮，並在收縮過程中，使颱風眼的形狀逐漸接近正圓且面積漸小，也因面積變小，等壓線變的密集，風場更加流暢，風速也漸快。相反的，當颱風眼小到一個程度時，氣壓梯度力小於離心力與科氏力的合力，颱風眼開始變大，並因每個地方的擴張速度、等壓線密度不同，導致形狀開始偏向橢圓，風場變得不流暢，也因等壓線變得不密集，導致風速變慢。

三、颱風眼的細部分析

於 10 月 06 日 01 時 11 分時，颱風眼內部西北方處出現局部的對流胞，其面積隨著高度的增加而擴大，表示此對流胞有顯著的垂直上升氣流。隨著時間的推移進行觀察，發現此區塊隨颱風逆時針旋轉，所占面積也逐漸增加，發現此對流胞有擴大發展的現象。於該日 02 時 32 分時，對流胞雲系已幾乎完全覆蓋颱風眼。將時間往前推，可看到在 00 時 48 的時候，在颱風眼的正東方之眼牆處為該時間點最薄，往後推移 11 分鐘，發現在眼牆內側出現向內入侵的回波(強度約已達到 20dBZ)，而此刻恰在對流胞形成前 12 分鐘，依據颱風本身旋轉速度推論，對流胞可能由此處的眼牆入侵中央下沉氣流區。我們也發現，此時颱風外圍環流剛觸陸，由於山脈地形的阻隔削弱風場強度，同時也將整個系統的強度向東南方推擠，因此擠過此處的眼牆，侵入颱風眼形成對流胞，最後擴及整個部分。這和我們一般認知颱風眼內通常是無風、無雨、無雲的觀念有所衝突，在此颱風中，由於受到地形擠壓的影響，使環流強度增加而入侵颱風眼區域。這個現象發生的時間和前述地形影響的時間相符，因此我們推斷可能與地形破壞風場有關，也就是當內外眼牆整合時，也影響到颱風眼內的結構。

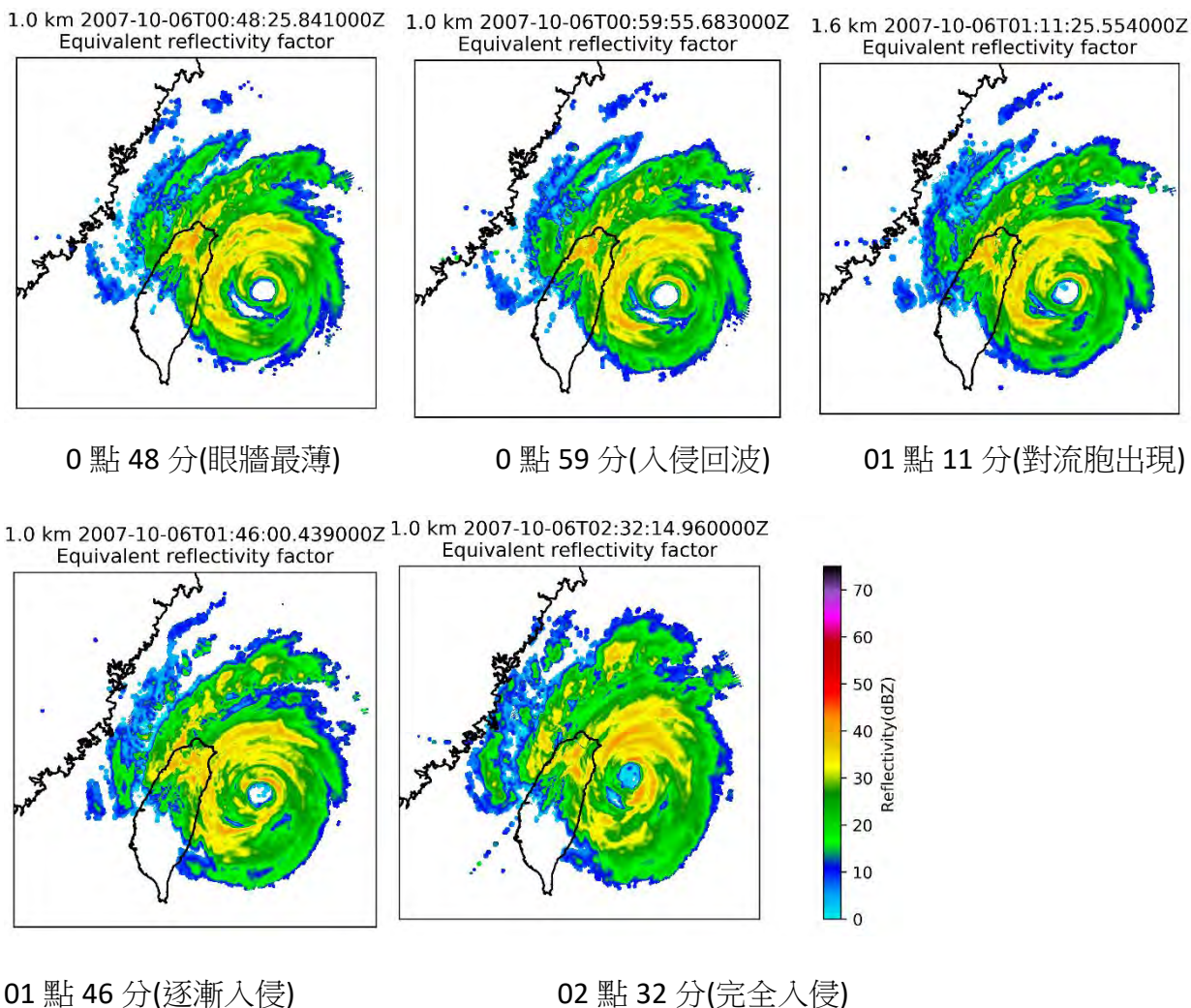


圖 5-11 內部細小對流胞形成圖

四、雷達回波在颱風短期預測的應用

一般在天氣預報的產製過程中，有分為傳統預報與數值預報兩種模式。早期的天氣預報多半是採人工判斷的方式，在觀測包括氣溫、濕度、降水量、風向、風速與氣壓等資料後，以大氣運動學為理論的根據，並綜合主觀判斷與個人經驗以做出預報。由於大氣是一個物理系統，當中各式交互關係皆由不同的定律所支配，因此發展出了以適當物理方程式組而運算出的數值預報模型。此法為現今全球預報的主流方式，因其較客觀，預報的有效時間也較傳統方法為長。在本研究中，受限於專業知識與技術的不足，我們採用傳統的人為判斷方式，僅先提出我們的觀察結果與降雨量之間的關係，在未來若有能力，仍可以嘗試結合過去的經驗並建立模型。

在觀測地點方面，我們選定直接受颱風環流影響的宜蘭地區進行雨量分析。首先，就此

處地形而言，東邊沿海部分為一沖積扇平原，被雪山山脈與中央山脈北段包圍，就此地理條件的高度差異，當颱風外圍入侵此地區時，大多數的降雨便因為地形的抬升而集中於山區(紅色圈選部分)。

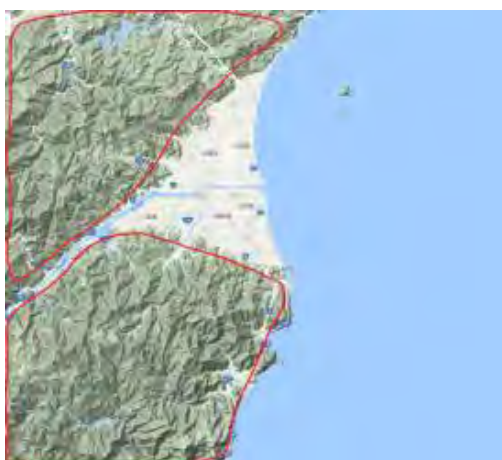


圖 5-12 宜蘭地理位置與地形圖

接著，我們加入區域雨量圖，以搭配比對雷達回波圖。首先，在數據資料圖方面，雷達回波圖上的時間資料顯示的是國際標準時，而取自中央氣象局的雨量資料圖卻是台灣時間，因此兩者之間共相差八小時。

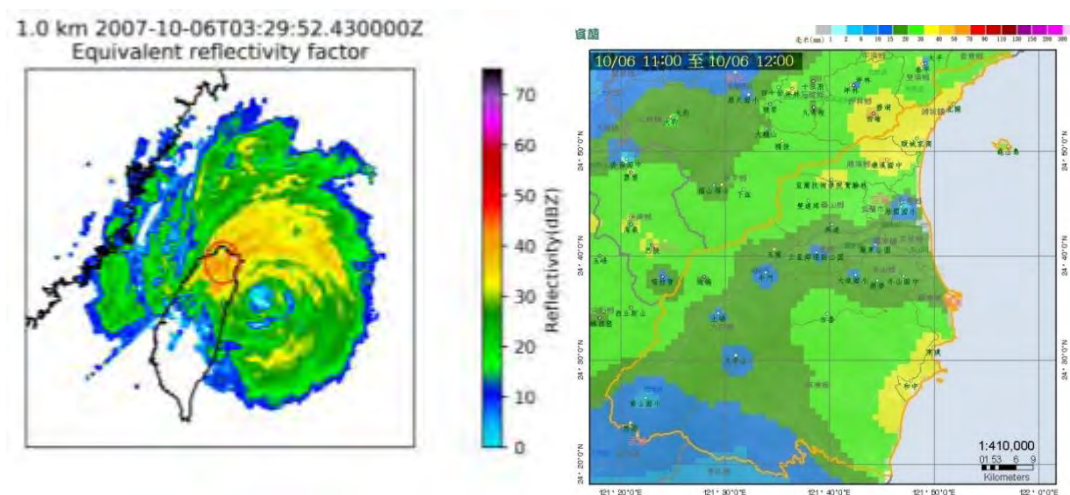


圖 5-13 03 點 29 分雷達回波與區域雨量圖

在 03 時 29 分(UT)時，由圖可看到此地區的雷達回波強度最強，將近 50dBZ，比對該時段的累積雨量，亦可發現雨量明顯提升的趨勢。

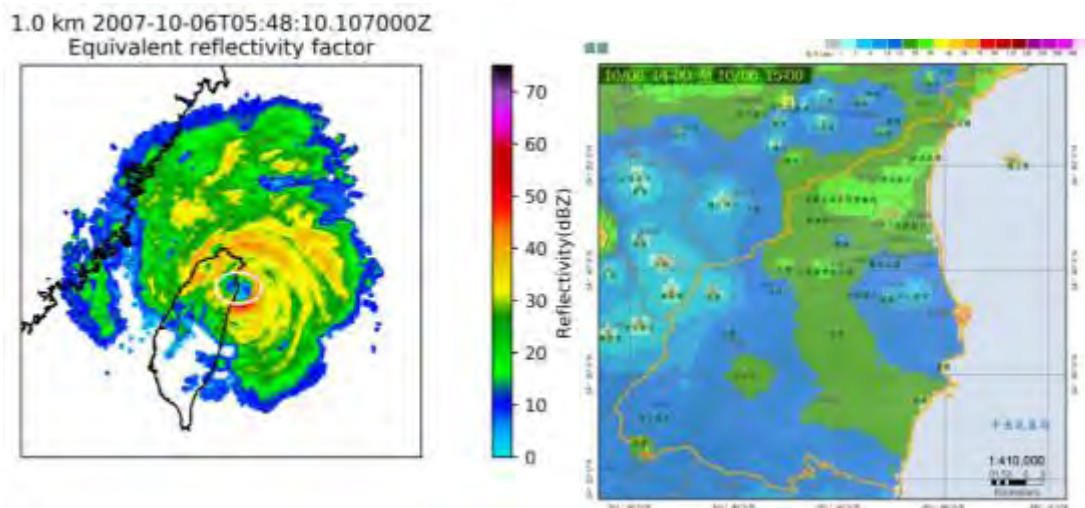


圖 5-14 05 點 48 分雷達回波與區域雨量圖

在 05 時 48 分(UT)時，平原區本該因眼牆而有強降雨，但由於颱風登陸時本身具有不對稱之結構，導致出現了如圖中圈選處的弱回波區域，使此時段的雨量明顯驟降。

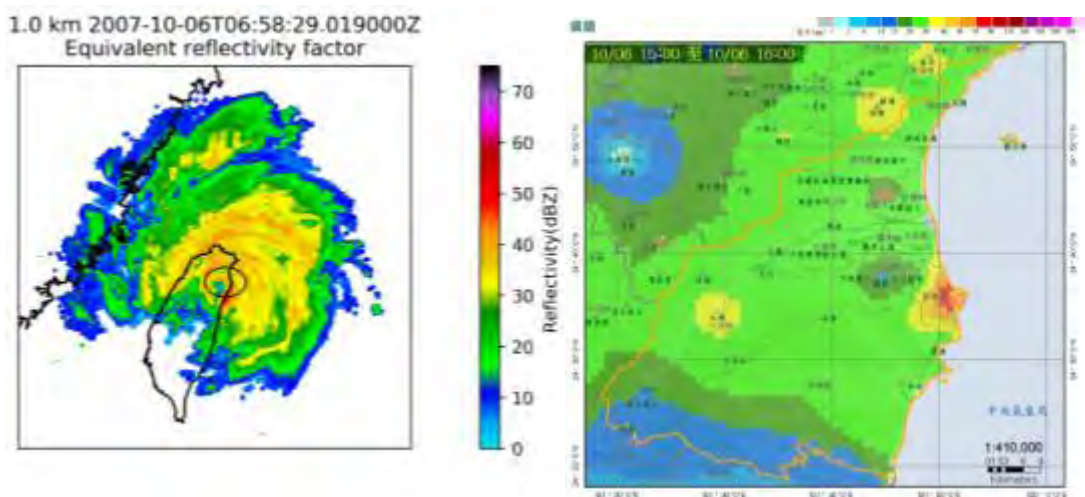


圖 5-15 06 點 58 分雷達回波與區域雨量圖

最後，於 06 時 58 分(UT)，颱風眼幾乎完全登陸，在不對稱結構中強度較強處也於此刻籠罩蘇澳角地區。於雨量圖中可以看到，無論山區、平原處皆受到影響而使降雨量遽增。

由此現象可知，未來若遇到亦具有不對稱結構之颱風，可以用此方法進行更多颱風的結構分析，並建立大致模型。當颱風來臨時，若能在得到雷達回波資料的當下即進行雷達回波圖的繪製，便可以進行即時分析及預測。

陸、結論

- 一、柯羅莎颱風的水平結構並非對稱，有一個近似雙眼牆的結構產生，在靠近台灣時，受地形影響而有內外眼牆再度整合的現象。
- 二、研究柯羅莎颱風的眼牆，發現其垂直結構高低層並非一致，在未受地形影響之前，其風眼面積是低層較大而中高層較小。在颱風觸陸後，地表摩擦力造成的結構破壞由低層先受到影響，因此颱風眼的大小反而是低層較小而中高層較大。
- 三、眼牆垂直結構的大小與形狀可能會因風場流暢性的影響而產生 2 小時左右的週期性震盪變化。
- 四、柯羅莎颱風靠近陸地的過程中，在颱風眼內可觀察到有明顯雷達回波，並隨著風場繞中心旋轉，發現在受到地形的影響下，其下沉氣流範圍內仍可能發展出上升氣流的對流胞。
- 五、結合雷達回波圖與降雨量資料，未來若遇到同樣具不對稱結構的颱風，可以針對十公里尺度大小的區域，做出短時間(有效時間隨每個颱風不同的大小與強度而異)的降雨強度判斷，並應用在即時強降雨災害的預報。

柒、參考資料與其他

- 一、颱風資料庫。中央氣象局。取自 http://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/ntdb/pageControl/ty_warning
- 二、大氣水文資料庫。台灣颱風洪水研究中心。取自 <https://dbahr.narlabs.org.tw/>
- 三、龍騰版高中基礎地球科學(上)
- 四、全華版高中基礎地球科學(下)
- 五、DBAHR 雷達資料讀取手冊，取自 https://dbahr.narlabs.org.tw/pages/html/doc/DBAHR%E9%9B%B7%E9%81%94%E8%B3%87%E6%96%99%E8%AE%80%E5%8F%96%E6%89%8B%E5%86%8A_v1.1.3.pdf

【評語】 051905

利用五分山雷達資料學習雷達資料處理方法，對從雷達原始碼，經解碼，內差以得到等高度之回波分布圖的雷達資料處理流程已深入了解並能實際應用。從雷達回波圖看到的颱風眼牆結構與颱風眼面積變化，應可進一步深入討論以釐清其間牽涉之物理過程。雷達回波強弱受那些因子影響，回波強弱與雨量之關係，如何利用雷達回波進行雨量估計或預報可以再增加背景知識之了解。圖之標示與說明過於簡略，應可再加強。

摘要

本研究利用優養化評估方法-卡爾森指標，以測量總磷、葉綠素、透明度之值評估校園內四個不同水體的優養化程度，並輔以氨氮及溶氧度(DO)進行判斷，並嘗試使用自製光譜儀對水樣進行吸收度之觀察，未能找出其吸收度與卡爾森指標之顯著關係。

研究動機

在校園中，散布著4個大小不一的水體，有一池水目測呈深綠色，常被學生戲稱為綠豆湯。而經由地球科學科所學到的知識，我們認為池水的綠色是來自其中的藻類，這池水正是常見的優養化水體。經過肉眼進行觀察後，我們發現校園中其他三處水體似乎也有優養化的現象產生。讓我們不禁思考這四處水體到底哪一處的優養化的情形最為嚴重？

於是我們從網路上搜尋檢測優養化程度的方法，想要快速比較出四處水體的優養化程度，卻發現行政院環境保護署所公布的各項檢測標準方法，都存在一個問題，也就是過程複雜且冗長，需要太多專業設備及藥品，因此我們想要找出一個簡易、快速的方式來檢測水體的優養化程度。

研究目的

利用DIY之簡易光譜儀拍攝水色並轉換成吸光度，取代傳統的標準檢驗方法，大量降低實驗的器材與藥品需求，此方法雖較為簡略、不精確，但卻可以快速得知水樣的相對優養化程度，讓優養化程度的檢測不再只是專家才能做的實驗，建立一套更加簡易、清楚的優養化指標。

- 1、以標準方法測試不同的水樣，並評估其優養化程度。
- 2、以自製光譜儀拍攝不同的水樣。
- 3、分析兩者之間的相關性。

研究設備及器材

實驗藥品： NaOH 、 NH_4Cl 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 、 H_2SO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 、 $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{K}_2\text{O}_{15}\text{Sb}_2$ 、 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ 、 KH_2PO_4 、 NaHSO_3 、 $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、DD water、結晶酚 $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ 、 NaOCl 、亞硝鹽鐵氰化鈉 $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

實驗器材：100ml燒杯、250ml燒杯、1000ml燒杯、100ml定量瓶、250ml錐形瓶、塑膠滴管、玻璃滴管、量筒、安全吸球、玻棒、刮勺、秤量紙、電子秤、離心機、離心管、分光光度計、樣品槽、自製光譜儀、抽風櫃、DO探針、黑白沙奇盤、鐵尺。

研究過程及方法

標準檢驗方法—總磷：分光光度計／維生素丙法〈引用自行政院環境保護署公佈之標準方法NIEA W427.53B〉

標準檢驗方法—氨氮：靛酚比色法〈引用自行政院環境保護署公佈之標準方法NIEA W448.51B〉

標準檢驗方法—葉綠素：乙醇萃取法

結果

水體及週遭環境

水樣1



水樣2



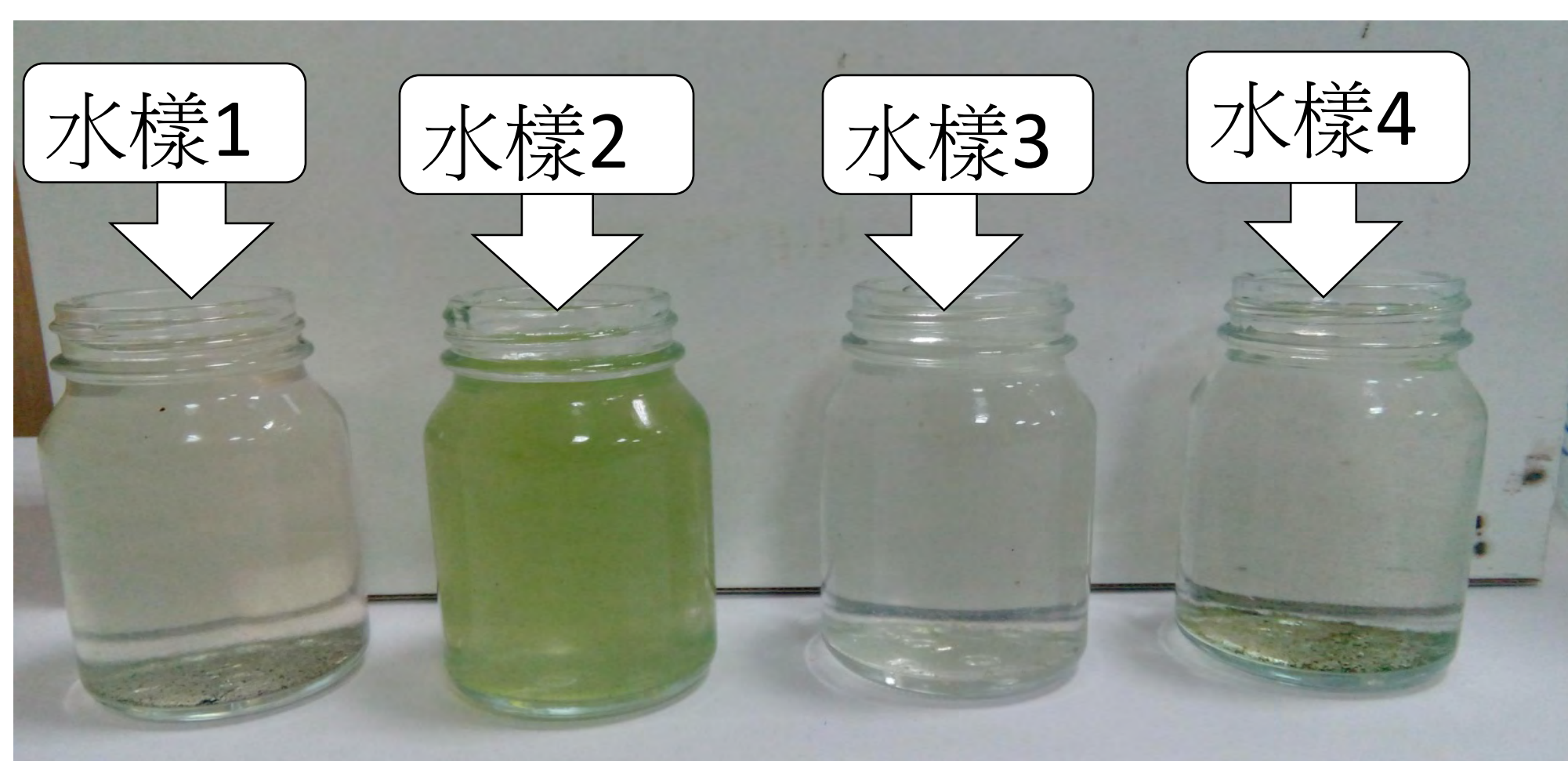
水樣3



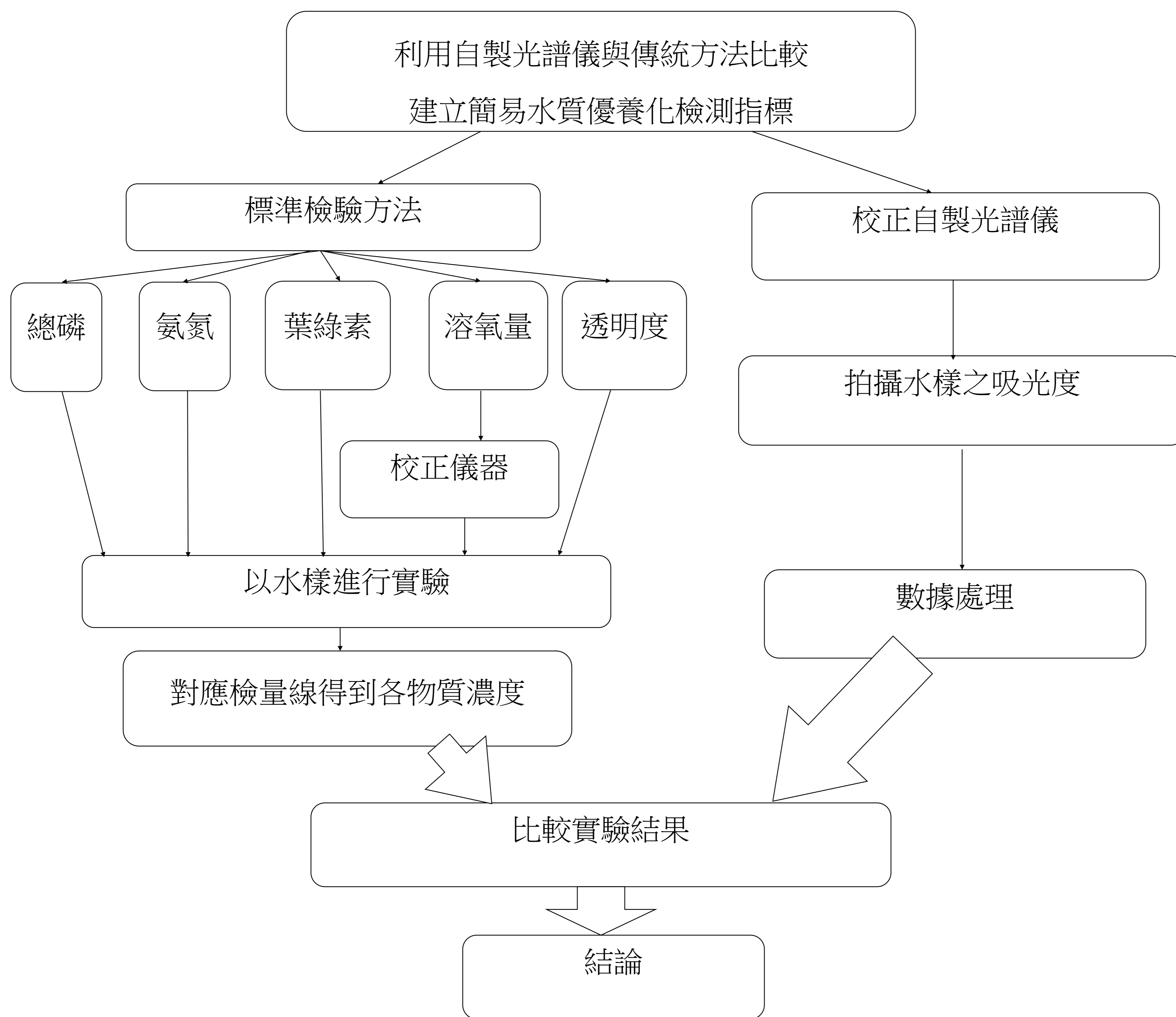
水樣4



水樣(目測)



研究過程



各項實驗之結果

氨氮	1st	2nd	3rd	4st	average	濃度(ppm)	總磷	水樣1	水樣2	水樣3	水樣4	透明度	1st	2nd	3rd	average
水樣1	0.03	0.099	0.071	0.116	0.079	0.0764	880nm之ABS	0.067	0.054	0.283	0.036	水樣1	N/A	N/A	N/A	N/A
水樣2	0.271	0.396	0.425	0.457	0.38725	0.309						水樣2	15.5	15.5	14.5	15.16667
水樣3	0.04	0.084	-0.003	0.047	0.042	0.0485	總磷濃度(ppm)	0.099744	0.080187	0.424703	0.053107	水樣3	18	15.5	15.5	16.33333
水樣4	0.153	0.024	0.376	0.389	0.2355	0.1945						水樣4	24	21	23.5	22.83333
卡爾森指標	TP		chl a		SD	TSI TP	TSI chl a	TSI SD	CTSI		DO	水樣1	水樣2	水樣3	水樣4	
1	0.099744		-0.00727		0	126.8449	0	0	42.28162		DO(ppm)	5.66	15.1	9.62	6.21	
2	0.080187		-2.214067		0.151667	129.5948	33.26366	96.39737	86.4186		O2(%)	66.9	166.2	110.8	72.4	
3	0.424703		1.6671		0.163333	108.5902	30.17083	95.15977	77.9736		溫度(C)	22.8	22.4	23.8	22.2	
4	0.053107		0.505967		0.228333	134.7866	17.17401	89.56504	80.50856		水樣1 1st	水樣1 2nd	水樣1 3rd	水樣1 4th	average	
649nm	0	-0.001	-0.003	-0.00133	0.011	0.011	0.009	0.010333	0.008	0.009	0.002	0.006333	0	0.001	0.001	0.000667
665nm	0.001	-0.001	-0.002	-0.00067	0.037	0.038	0.035	0.036667	0.036	0.028	0.017	0.027	0.007	0.007	0.009	0.007667
chl a					-0.00727			2.214067						1.6671		0.505967
chl all					-0.15393			2.153733						1.4581		0.300633

自製光譜儀

構造

狹縫：利用銳利刀片邊緣，製成單狹縫

準直鏡：利用現成放大鏡將發散光折射成平行光

光柵：使用Edmund公司生產之1000line/mm的光柵片，使通過的平行光分散成連續光譜的形式

鏡頭及CCD：使用ZWO公司生產之ASI120mmCCD進行光譜拍攝

軟體：使用ImagrJ將所拍攝之光譜照片以像素-光強度的形式輸出成Excel檔，再利用像素轉波長的公式，將Excel內的每一像素變成波長，以方便取得我們所需波段的光強度數據。



狹縫

準直鏡

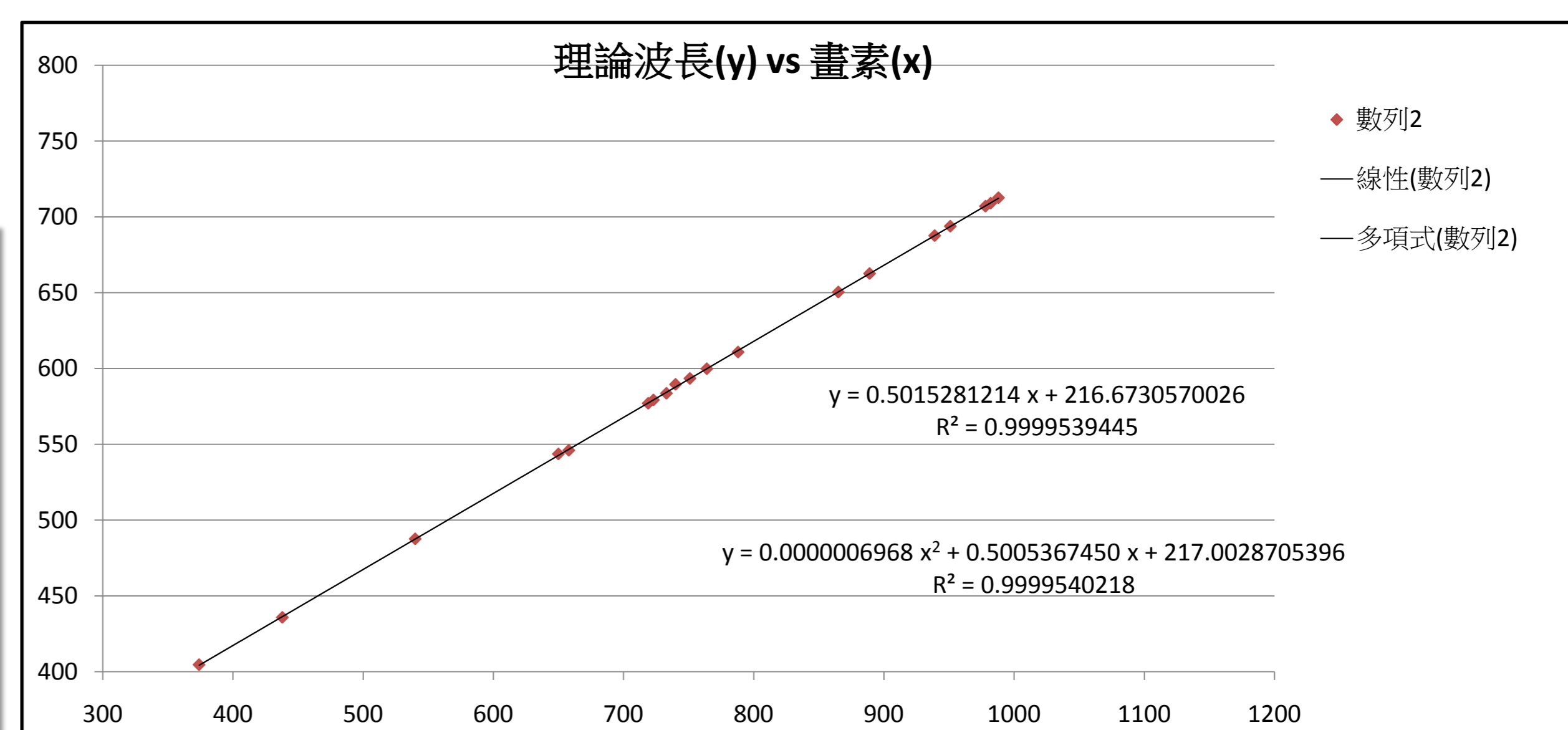
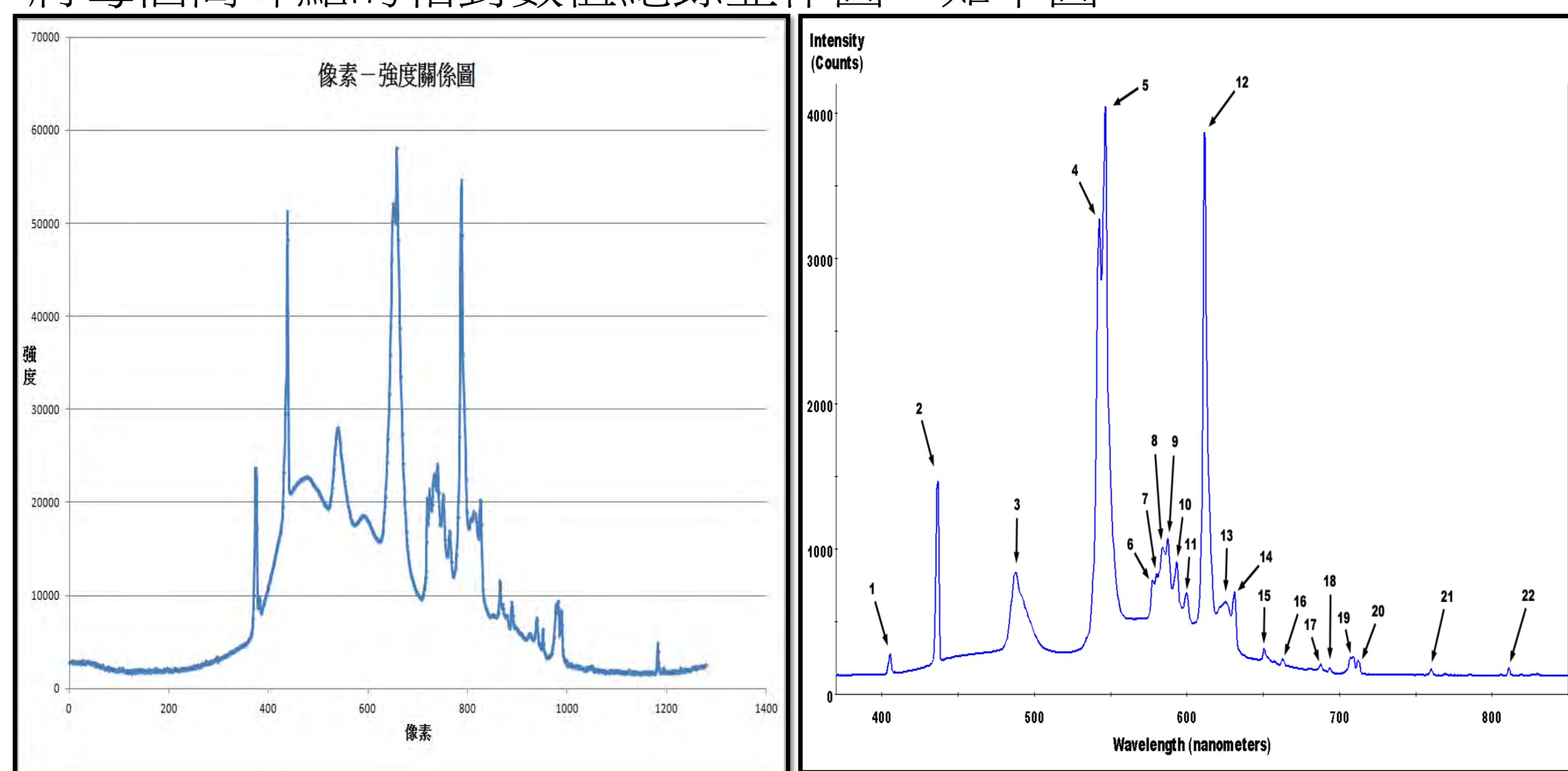
光柵
(1000line/mm)

鏡頭

CCD(ASI120M)

校正

我們利用自製光譜儀在日光燈下拍攝像素對強度之折線圖，再利用網路上能夠輕易找到的標準日光燈光譜圖進行高峰之比對，將每個高峰點的相對數值紀錄並作圖。如下圖

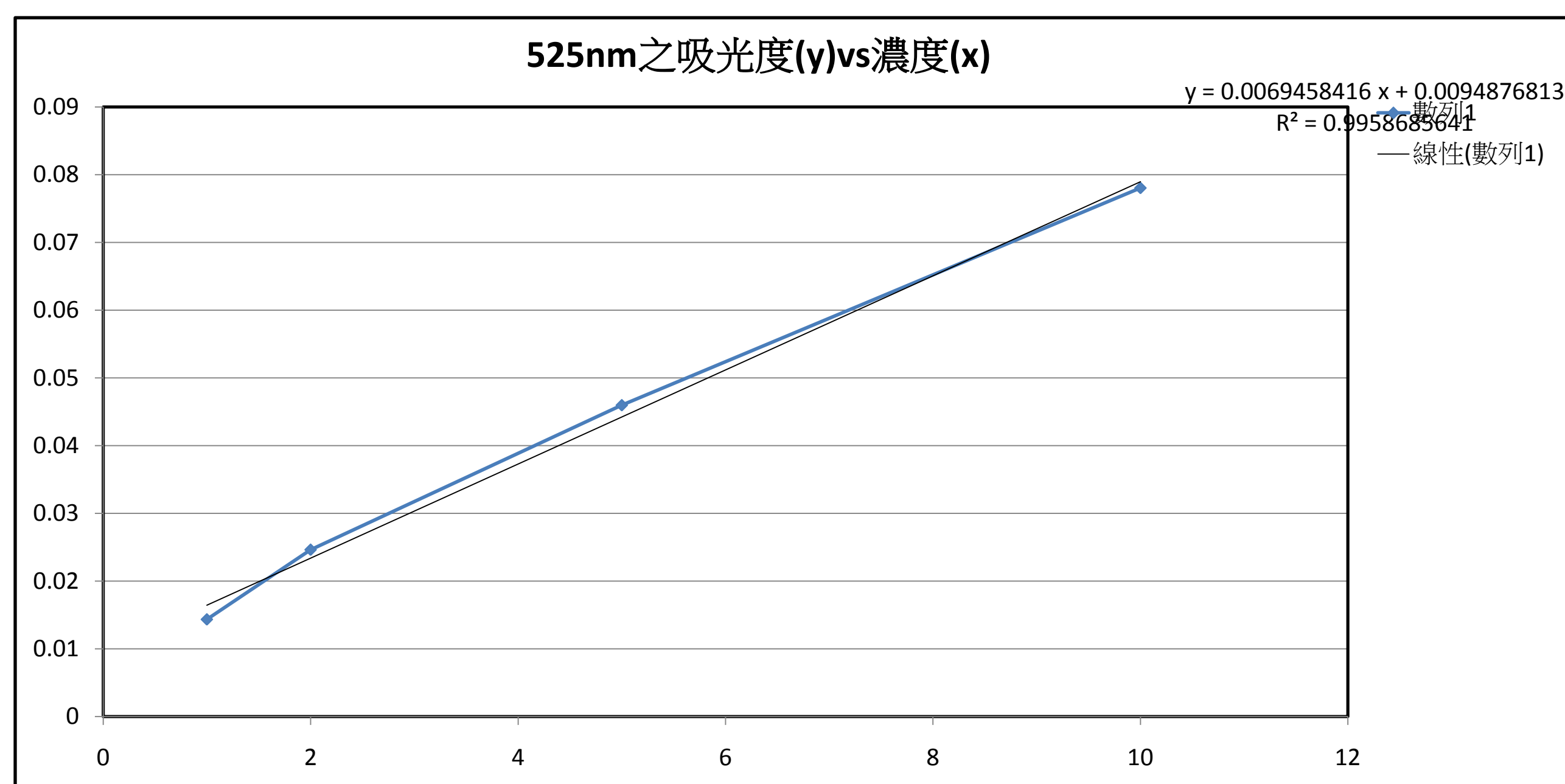


上圖為以一般日光燈為標準光源之校準線，可以發現，其R平方值不管是用線性或是二次項都極高，因此自製光譜儀在準確度上是可以被相信的。

測試

在不同濃度(ppm)之過錳酸鉀(KMnO₄)下，使用自製光譜儀進行拍攝，以確認自製光譜儀所能拍攝物質最小濃度的極限為何，建立自製光譜儀可準確使用之濃度範圍及誤差範圍。

由左圖可知物質濃度在1~10ppm下，自製光譜儀具有高精準度。



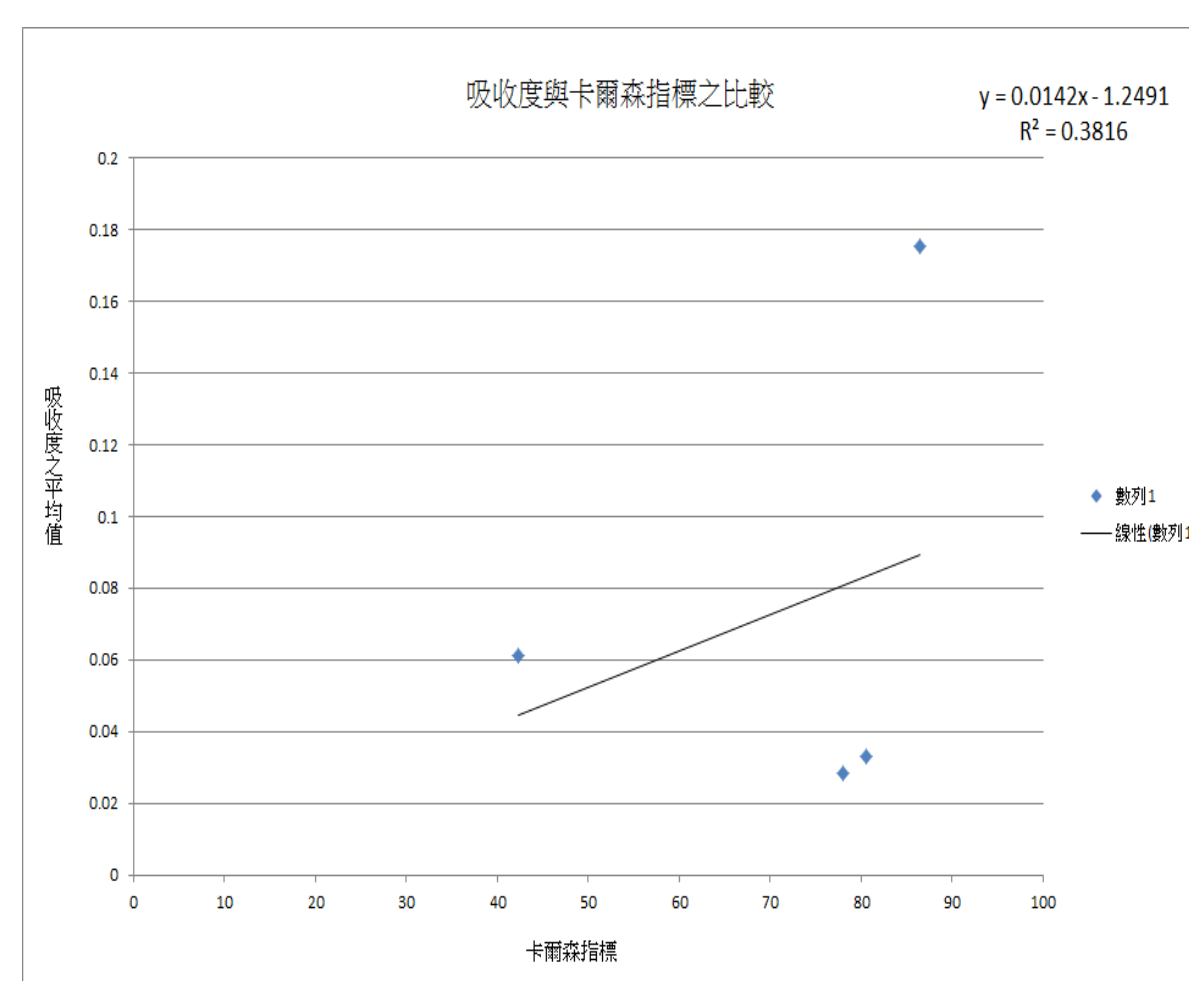
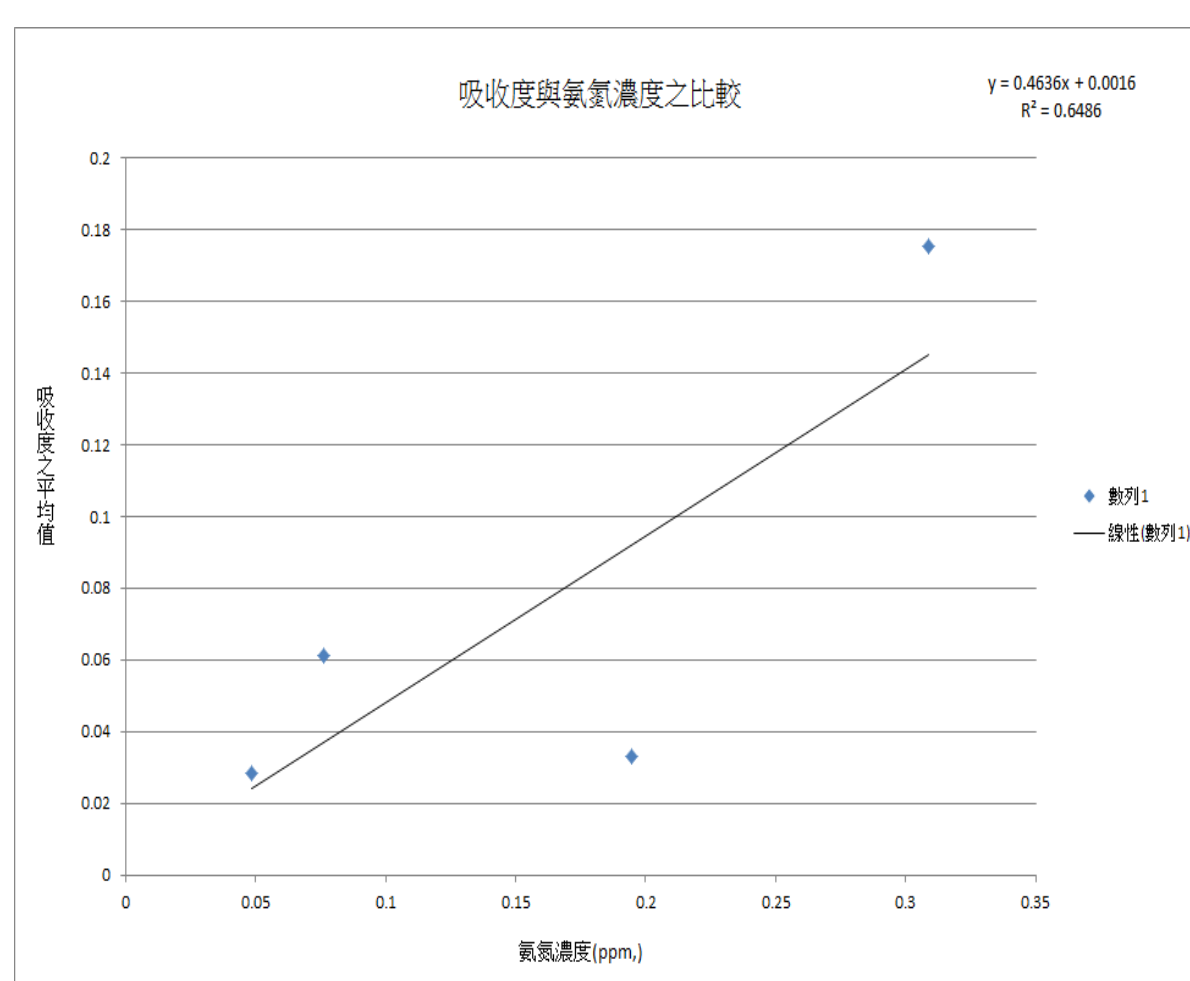
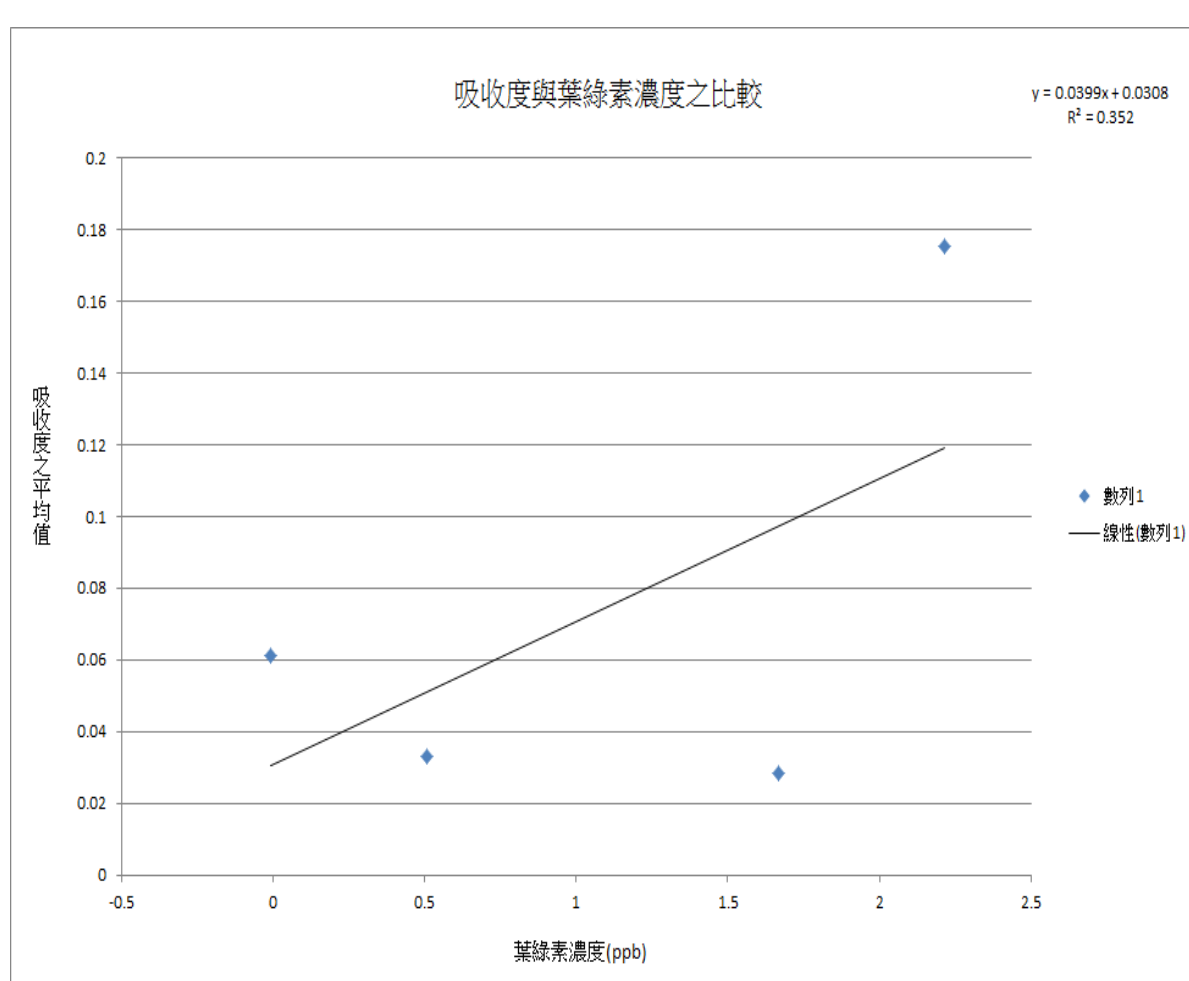
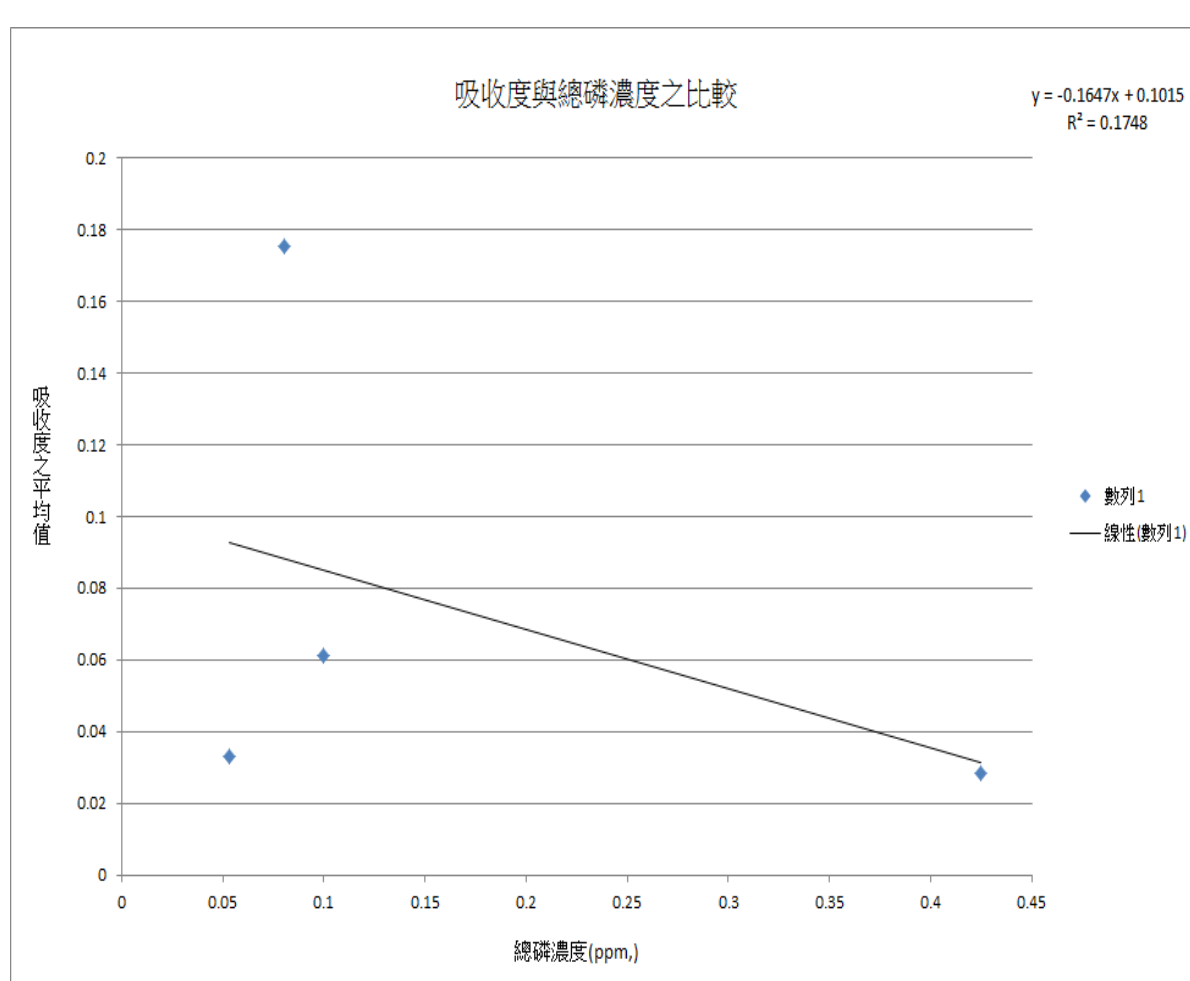
以400-650nm為區間，對其吸收度做平均，並比較各項指標與水色之間的關係。

總磷濃度與水色關係

葉綠素濃度與水色關係

氨氮濃度與水色關係

卡爾森指標與水色關係



實驗誤差與來源

1. 在總磷實驗中我們發現PH值是影響鉬藍呈色的決定性因素，不只是水樣的PH值要盡量維持在PH=7，我們還發現一旦調整呈色試劑中硫酸的濃度，就可以大幅改變呈色狀況，降低硫酸濃度會使低濃度的標準品也能呈現出淡淡的藍色，但也會讓高濃度的標準品顏色變得更深，反之亦然。
2. 在氨氮實驗中，呈色試劑容易受光照而變質，進而產生嚴重的實驗誤差。
3. 透明度：傳統之透明度判斷為利用沙奇盤方法，但此方案受限環境光源與不同操作者視力之誤差。
4. DO：由於溶氧探針非常敏感，所有輕微晃動皆會造成螢幕上讀值的提升。

依照各指標所得出各水體之優養化程度，如下表。

	水樣1	水樣2	水樣3	水樣4
CTSI	貧養	中養	貧養	中養
總磷	優養	優養	優養	優養
氨氮	貧養	優養	貧養	優養
chl a	貧養	貧養	貧養	貧養
DO	中養	優養	優養	中養

改善實驗誤差的方法

1. 盡量調整水樣至pH=7
2. 若為自製檢量線，可試著初估待測水樣中的磷濃度為高或低，改變呈色試劑中硫酸濃度
3. 可用錫箔紙包覆容量瓶來降低樣品照射到光的機率。
4. 在夜晚進行實驗，使用固定光源避免陽光強度不一，並以拍照代替肉眼觀測減少人為誤差
5. 以大燒杯採集水樣，減少在水體中直接測量時可能受到生物因素(如：魚類撞擊、手抖)造成擾動進而影響讀值的機率。
6. 找出在不同水溫下溫度與溶氧量的對應關係，利用計算的方式將各水樣定溫以減少誤差

結論

依評估水體之優養化狀態之原始卡爾森指標，水樣1為中養、水樣2~4皆為優養。經古煥林(2005)指出在台灣的環境下，計算時應該要做些微調整，故修正為水樣1為貧養、水樣2為中養、水樣3為貧養、水樣4為中養。

以自製光譜儀直接拍攝水色與各項指標之關係，具體如下。

1. 氨氮濃度與水色為中高度相關。
2. 葉綠素濃度與水色為低中度相關。
3. 卡爾森指標與水色為幾乎無關。
4. 總磷濃度與水色為低度相關。
5. 透明度與水色為低中度相關。

因此以直接拍攝光譜的方法並無法取代現有之優養化指標，唯透明度之評估、水色之評估仍具有指標性之意義。

參考資料

- 一、經濟部工業區(2002)。檢量線製作。經濟部工業區工業區環安人員培訓班。陳淑青。取自：http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/013496/c3_06.pdf
- 二、行政院環境保護署。「總磷。NIEA W427.53B。分光光度計/維生素丙法」。取自：<https://wq.epa.gov.tw/Code/Business/ItemMethod.aspx>
- 三、行政院環境保護署。「氨氮。NIEA W448.51B。靛酚比色法」。取自：<https://wq.epa.gov.tw/Code/Business/ItemMethod.aspx>
- 四、行政院環境保護署。「葉綠素a。NIEA E508.00B。乙醇萃取法」。取自：<https://www.niea.gov.tw/niea/LIVE/E50800B.htm>
- 五、古煥林(2005)台灣水庫水質優養化最適指標之探討。桃園:國立中央大學環境工程研究所在職專班