

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 地球與行星科學科

第一名

051909

衛星影像分析-集集攔河堰水體計算

學校名稱：國立中興高級中學

作者： 高二 黃彥甄 高二 張書維	指導老師： 李欣珮
---------------------------------	------------------

關鍵詞：攔河堰、QGIS、水體面積

得獎感言

科學奇幻之旅：挫折、堅持與抵達未來

首先，感謝科教館辦理此次活動，在今年重新恢復實體競賽，讓我們可以認識更多不同專長領域或縣市的夥伴們，與大家從中切磋、進步。

【科學無限，追求不息，勇往直前】

科學研究是一本永無止境的書。從去年10月準備校內科展，主題的發想使我們困擾許久，在此懊惱的期間，我們也領悟失敗是常事，成功才是偶然的道理。研究過程中讓我們知悉：只有持之以恆地努力，才能夠突破自己的極限，取得更大的成就。在前面的一波三折後，彰投區科展帶來了無法言說的驚喜。起初看到對手自信的模樣，使我們不看好自己的作品，但老師的安慰及鼓勵稍稍提起了我們失落的心情，讓我們勇敢向前邁進，而最終榮獲中區特優，更是我們的振奮劑，當初看似遙不可及的全國科展就在我們眼前，一路走來的疲憊感在一瞬間消失殆盡，又有了前進的動力。

【挑戰全國，不斷超越，懷抱希望】

進入全國科展前，我們不斷加強了我們的不足，並在短時間內實地探查、探討集水區及實驗結果，也修改作品說明書、海報直到最後一刻。踏上海洋大學，夢想的扉頁被我們翻開，從佈展、評審再到頒獎沒有一刻是能夠安心落意的。聆聽各組講解時，發現有很多組的主題及內容與我們截然不同，而且特別有趣，所以在心中自認為我們的作品敗下陣來，也暗自認定第一名的人選，但是我們懷抱著微小希望，不氣餒堅持走到最後一步。頒獎典禮時，在座位上的每一刻都是緊張的，認為有鄉土教材獎就非常滿足，但最後我們的照片竟出現在第一名的位置上！我們都十分震驚，內心的感動及感謝不言而喻。

【致謝】

這份光榮，是多方共同努力與鼓勵的結晶。我們首先要感謝國科會、國立中央大學太空及遙測研究中心、國家太空中心Taiwan Data Cube、集集攔河堰管理中心的陳振欽主任與張家瑞工程師等專業領域，提供衛星影像、光達資料與工具，讓我們的研究可以進一步的完成。更要感謝的是李欣珮老師的苦心指導、感謝同學與老師們的支持。一路走來正是因為有你們的鼓舞與肯定，我們才能站在今天的領獎台上。

這次科學展覽獲益匪淺。在艱辛的歷程中，我們思考了關於堅持、團隊合作

和自我成長的問題，這些思考將繼續影響著我們未來的學習和人生。深信，通過不斷的努力和思考，能夠在未來的道路上走得更遠、更好。也期待未來也能與各位再次交流學習，並不斷的在科學這條道路上邁進，發現更多的議題，創造更多的旅程！



圖一：榮獲彰投區科展特優，獲到進入全國科展的鑰匙



圖二：實地探訪-與主任探討及學習集集攔河堰相關資訊



圖三：全國科展團體合照

摘要

本研究利用福爾摩沙衛星 5 號及 Sentinel-2 之衛星影像監測 2018-2023 年集集攔河堰集水區的變化量值，並利用 Semi-automatic Classification Plugin (SCP) 及 Normalized Difference Water Index (NDWI) 兩種指標運算方式，比較集集攔河堰的水體面積變化及兩種指標的差異與應用。結果顯示 NDWI 相較於 SCP 更接近水利署所提供的航照資料，因此 NDWI 在測量水體範圍上具較高可信度。

如果用（面積×水位高度）無法真實計算可利用的水資源，因為水面下的沉積物會隨時間增減或遷徙。因此我們利用地表輻射值與數值高程模型（DEM）模擬水下的沉積物堆疊情形。為證實地表輻射值與地形有關聯性，因此利用水利署光達剖面圖資與本研究計算結果比對，發現乾季時模擬結果與光達實測地形資料高度相似。

壹、前言

一、研究動機

2021 年初西部地區的大規模乾旱事件，導致全台缺水，集集攔河堰因先前泥沙堆積導致蓄水量下降，使缺水更加明顯，鄰近的日月潭四月中旬出現罕見的大草原，使我們對於水資源的了解有更濃厚的興趣！每次在前往水里鄉時，總會看到一旁的集集攔河堰，裸露地和草地隨著季節變化忽多忽少，有時會想：乾旱時會有甚麼現象？居民真的能使用的水有多少？濁水溪含沙量真的影響水庫容量很大嗎？因此決定著手探討此處。近年衛星影像技術崛起，由於進行傳統測深或光達測量曠日廢時，為了更快速得知水面下河床地形，我們想到或許可以利用衛星推知水底之地貌起伏或水情的特徵。因此決定將水資源利用與衛星影像結合，一解心中之疑惑。

二、研究樣區地理介紹

集集攔河堰位於南投縣集集鎮，自 2001 年完工後主要攔截濁水溪水，並供南投、彰化、雲林地區農業用水、生活用水及工業用水，是目前台灣最大的攔河堰，也是最大計畫年運用水量的攔河堰。濁水溪水含砂量高，因此集集攔河堰淤積量增加相當快速。

根據經濟部資料（2010）顯示，集集攔河堰於 2001 年營運開始後，不到 10 年淤積已超過一半的庫容，攔河堰淤積年年增長。

三、研究目的

- (一) 討論 2018 年~2022 年集集攔河堰蓄水面積變化趨勢。
- (二) 歸因 SCP 及 NDWI 計算水體面積的準確度及差異。
- (三) 光達實驗剖面與衛星影像輻射值 DEM 地勢起伏比較。
- (四) 推估庫底沉積物分布與遷徙。
- (五) 將河道上組成物件類別精準區分建標準分類以期精準辨別河道上不同的組成物件。
- (六) 權衡創建之標準分類法應用於其他集水樣區的適用性。

四、文獻回顧

水是人類生活的重要資源，一天必需攝取 2~3 公升的水，並提供人們日常生活用水和工農業生產用水，特別是農業需要大量灌溉水。而全台水庫自 1 月開始蓄水量就會開始下降，目前全台水庫、攔河堰共有 30 個以上，而計算蓄水面積的方法有以下幾種：1963 年 Thomas 所發展計算蓄水量的方法為尖峰序列法(Sequent-peak algorithm)本法為假設進流量與估計之取水量在歷史水文年間有週期循環，求兩循環期間內不致缺乏取水情況下之最低蓄水量為水庫容量；Bo-Cai Gao(1996) 是通過近紅外（NIR）和短波紅外（SWIR）通道獲取的衛星衍生指數。SWIR 反射能夠反映植被冠層中的水含量和多孔葉肉結構的變化，而 NIR 反射受到葉內結構和葉乾物質含量的影響，但不受水分含量的影響；João Serrano et al.(2019)曾使用 NDWI、Sentinel-2 與無人機進行水管理，評估土壤水分含量、牧草水分含量 (PMC)、牧草表面溫度 (Tir)、牧草生物量生產力和牧草質量退化指數 (PQDI)，作為監測地中海農林牧系統牧場季節性和年際變化的工具；Luca Congedo(2021)詳細研究 SCP 分析影像的主要特點，可用 SCP 去依輻射分類。此研究中我想了解是否能依靠衛星影像去分析水體面積、體積，即可省去實地測量此步驟。

水庫蓄水容量尖峰序列法分析方法如下式：

$$S = \max (P_k - T_k)$$

式中: S = 水庫容量

P_k = 相對高峰值儲蓄量

T_k = 相對低峰值儲蓄量

貳、研究設備及器材

一、衛星影像取得

(一)福爾摩沙衛星五號(FS5)

福衛五號運行於 720 公里太陽同步圓形軌道，傾角 98.28°，重達 450 公斤，是我國第一顆自主發展的光學遙測衛星。福衛五號之主要光學遙測酬載，可提供 2 米解析度的全色態(Panchromatic)和 4 米解析度的多光譜(Multi-spectral)彩色影像。繞地球時間約 99 分鐘，每兩日再訪一次台灣。可拍攝全色、藍、綠、紅、近紅外五個波長(Band)。

(二)哨兵二號(S2)

哨兵二號(Sentinel-2)運行於 786 公里太陽同步圓形軌道，可拍攝 56°S 至 84°N 區域，重達 1225 公斤，是歐洲太空總署最新一代的光學衛星，以每五日一次的頻率再訪台灣。可拍攝 13 個波段的遙測影像，最高解析度為 10 公尺。

(三)Jupyter

Jupyter 是可支援多種程式語言的一種軟體，利用軟體內的 Python 程式嫁接到福衛五號、Sentinel-2 正射處理影像後之遙測影像資料庫，主要尋找福衛 2 號與福衛 5 號及 Sentinel-2 的衛星影像，以進行研究分析。

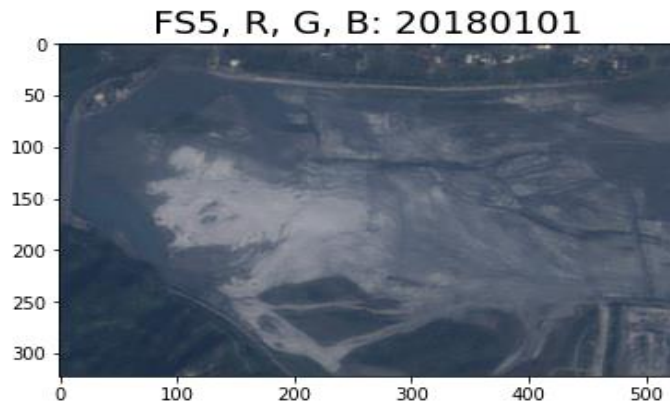
二、衛星影像分析

(一)QGIS

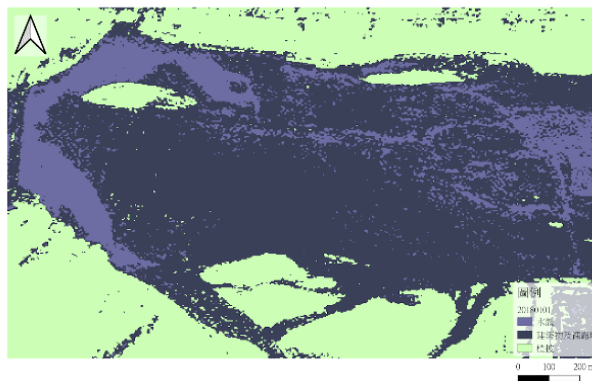
QGIS 是一套可以執行輸入、顯示、編輯和分析等功能的地理資訊系統軟體，由許多應用程式組件所組成，此研究主要使用 Normalized Difference Water Index(NDWI)[(綠光-近紅外)/(綠光+近紅外)]及 Semi-automatic Classification Plugin(SCP)進行分析，以及紀錄屬性資料。

(二)STLViewer

STLViewer 是一個網頁應用程式，用於查看 3D 系統以 STL(立體光刻)文件格式創建或導出的計算機輔助設計模型。



圖一：2018 年 1 月 1 日福衛 5 號拍攝集集攔河堰的衛星影像(擷取自 Jupyter)



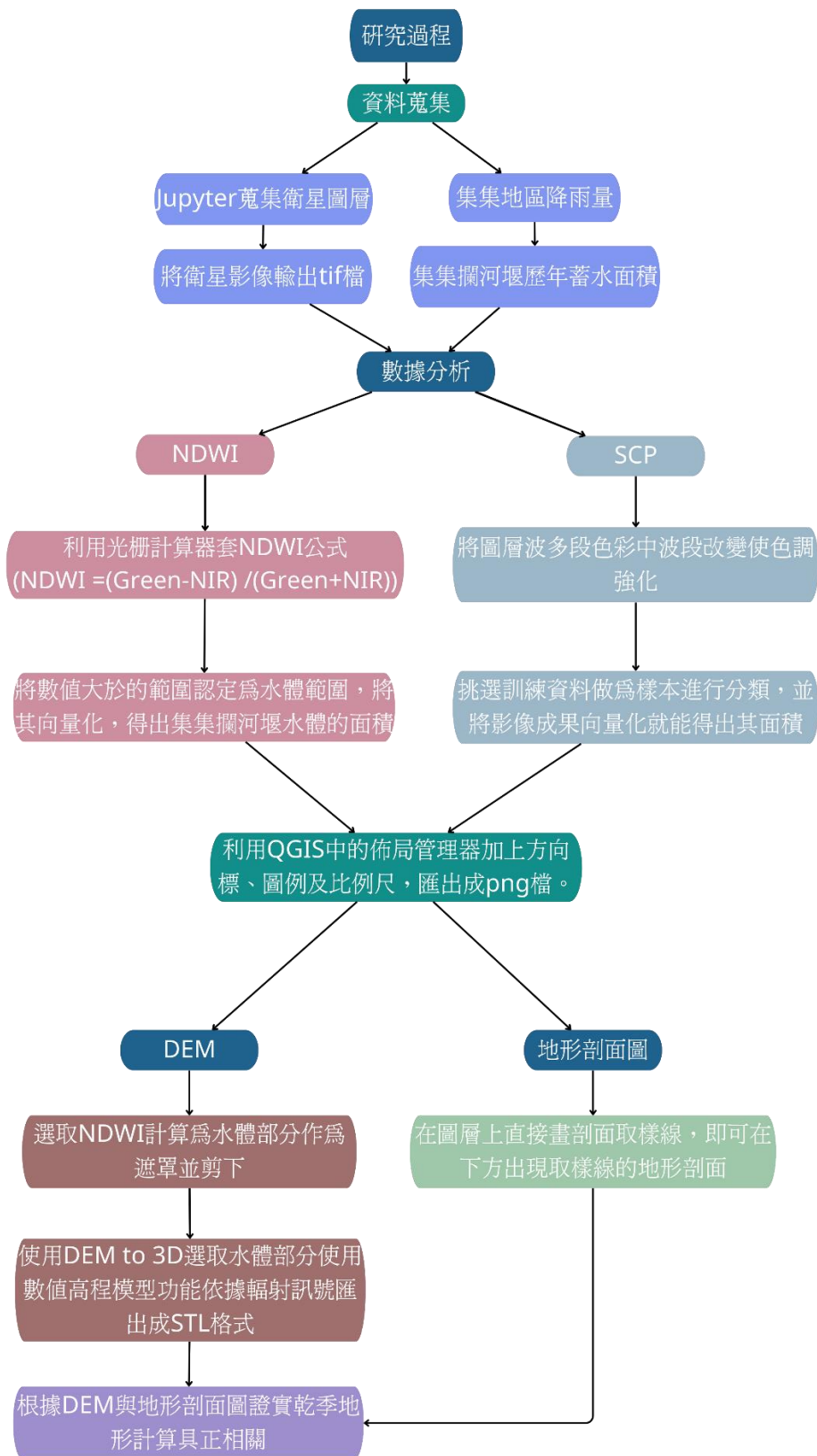
圖二：由 QGIS 所繪製的地圖

三、實地踏查

(一)無人航空載具(Unmanned aerial vehicle)

是一種非量測型的相機可快速進行拍攝樣區。可根據需求預先規劃飛行的路線、航高等資訊於載具系統中，就能按規劃自動進行航拍任務得到所需影像。

參、研究過程或方法



圖三：實驗流程圖

一、蒐集天氣資料

- (一)觀測資料查詢 CODiS 取得集集地區的降雨量、降雨天數與溫度。
- (二)經濟部水利署中區水資源局取得集集攔河堰歷年蓄水面積。

二、蒐集衛星圖層

- (一)選取經緯度[120.751525,23.810512],[120.751525,23.823672],
[120.786363,23.823672],[120.786363, 23.810512], [120.751525, 23.810512]
作為集集攔河堰壩體的範圍。
- (二)搜索2018-2022年 S2或福衛5號拍攝到集集攔河堰的影像日期。
- (三)根據雲覆量先初篩所用的影像。
- (四)選取所需日期的衛星影像。
- (五)將衛星影像輸出成 tif.檔

三、利用 QGIS 進行分析

(一) 常態化水指數標準差(NDWI)與常態化差異值生指標(NDVI)

Mcfeters(1996)提出常態化水指數標準差(NDWI)，主要是利用近紅外輻射和可見光綠光波段來增強水體信息，同時降低土壤和陸地植被特徵的存在。綠光波段(Green，波長約 $0.50\ \mu m$)與近紅外光波段(NIR，波長約 $0.76\ \mu m$)的數學和差比值，判定水體面積，適合用來顯示影像中含水量高低的差別。

NDVI 利用紅光與近紅外光的反射，能顯示出植物生長、生態系的活力與生產力等資訊。數值愈大表示植物生長愈多。

NDWI 比值關係如式：

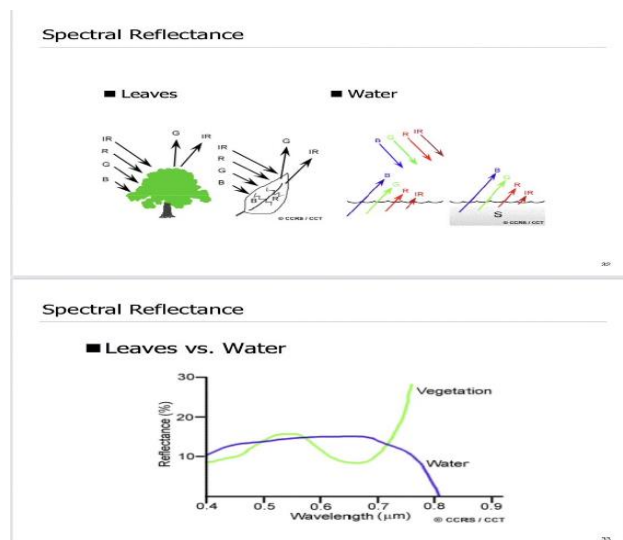
$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

NDVI 比值關係如式：

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

式中 NIR 為近紅外光波段輻射強度，Green 為綠光波段輻射強度。當地表為土壤、裸露地或缺水狀態的植被時，NDWI 其指標數值越低。而 Mcfeeters(1996)分析出 NDWI 能計算城市中的水體，因此 NDWI 非常適合用來判斷水體。

根據張憲國等人(2017)文獻，當計算完和差比值後，取大於零的範圍，即是水體範圍。由圖六可知在 Pure Water 的線段中，綠光波段減近紅外光波段的數值為正數，即分子(Green-NIR)為正數，而分母(Green+NIR)也是正數；而在土壤與植物的線段範圍中，分子都為負數，分母為正數，由此可得比值為負數。因此，計算出比值為正數的範圍，就是水體。



圖四：葉子與水對不同反射強度(截自 Swain and Davis, 1978.)

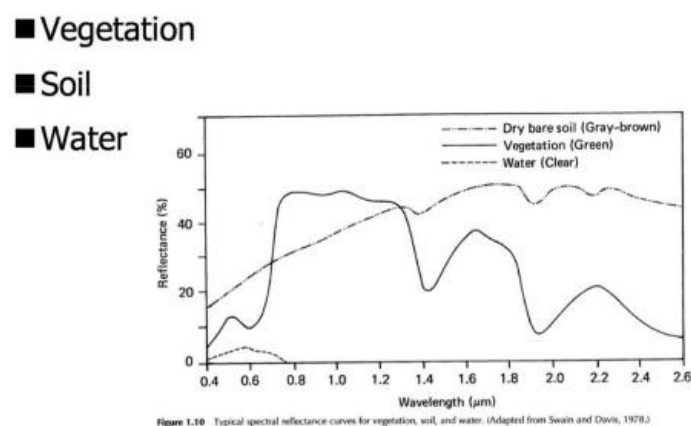
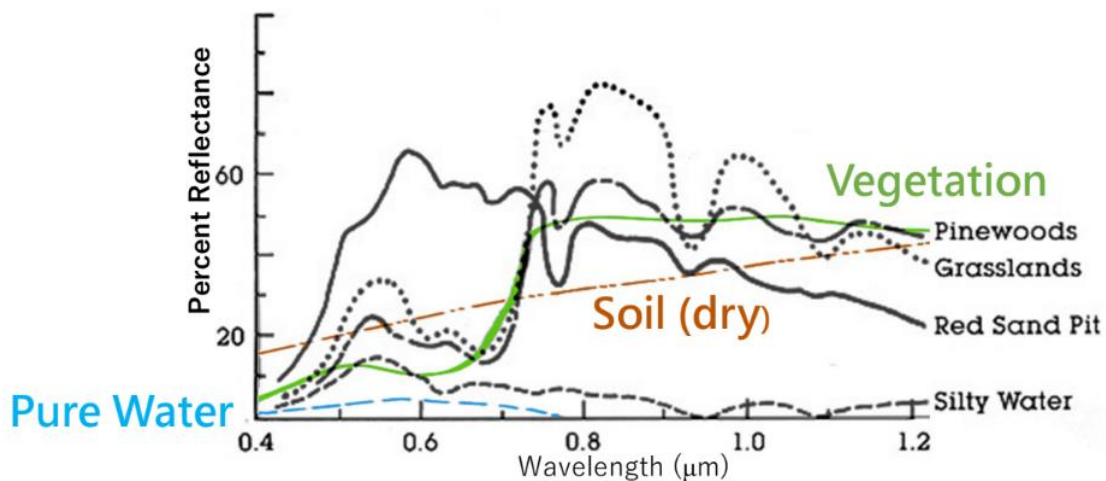


Figure 1.10 Typical spectral reflectance curves for vegetation, soil, and water. (Adapted from Swain and Davis, 1978.)

圖五：植被、土壤和水的典型光譜反射曲線(截自 Swain and Davis, 1978.)

Typical Spectral Reflectance



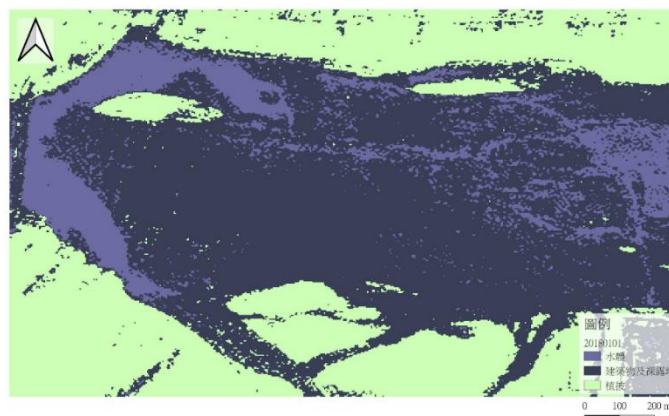
圖六：光譜特性曲線圖(截自太遙中心刊物)

1.利用 NDWI 計算集集攔河堰蓄水量面積

先將衛星影像的 tif.檔匯入 QGIS 中，利用光柵計算器(raster calculator)套入 NDWI 公式 ($NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$)計算各 NDWI 的數值，並將數值大於0的範圍認定為水體範圍，將其向量化，得出集集攔河堰水體的面積。

2.繪製地圖

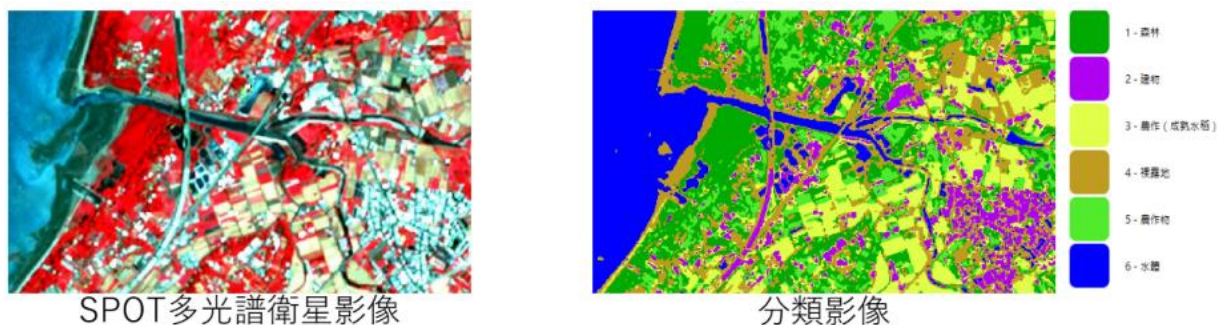
將繪製好的圖利用 QGIS 中的佈局管理器(layout manager)加上方向標、圖例及比例尺，匯出成 png.檔。



圖七：用佈局管理器所製成的地圖

(二) 半自動分類外掛程式(SCP)

SCP (Semi-Automatic Classification Plugin)是在 QGIS 中對遙測圖像進行監督分類的一種功能，會依光譜特性將影像劃分為多個類別，如：土地利用、土地覆蓋、作物類型、森林類型、房屋倒塌等。(如圖八)



圖八：SCP 影像分類的結果(截自太遙中心刊物)

而土壤(裸露地)會有比較亮的呈現，所以光譜分布從 0.4 開始就很高，例如建築物看到的光譜反射率非常強烈，光譜的曲線圖就會比較高。同樣道理，因為光譜值有所不同，植物可以分類成針葉樹、草生地或其他作物等等。

表一：波段光譜解析度

波段	光譜解析度(μm)	
Band1	Blue	0.455-0.525
Band2	Green	0.530-0.590
Band3	Red	0.625-0.695
Band4	Near-IR	0.760-0.890

1.利用 SCP 計算集集攔河堰蓄水量面積

先將衛星影像的 tif.檔匯入 QGIS 將圖層中多波段光譜中的紅波段改成 Band4、綠波段改成 Band3、藍波段改成 Band2，使其色調強化，以利操作者分類框選不同樣區。

2.操作者利用 SCP 進行影像分類

操作者先依光譜特性將影像分類，其後以操作者所觀察到的影像分類樣區挑選訓練資料作為分類樣本。此實驗我們把訓練資料分成三類：水體、建築體與裸露地、植被三個樣區，接下來進行影像分類，並將影像成果向量化就能得出其面積。

3.繪製地圖

將繪製好的圖利用 QGIS 中的佈局管理器(layout manager)加上方向標、圖例及比例尺，匯出成 png.檔。

(三)地形剖面圖繪製

地形剖面圖是藉由地形圖或數值高程資料，沿某一條剖面線(profile)橫斷的地形起伏圖。

1.安裝計算地形剖面圖外掛程式

在外掛程式收尋 Profile tool 外掛程式，並點擊安裝，安裝好 Profile tool 外掛程式，在工具列區即會出現 Profile tool 快捷鍵。

2.加入圖層並取樣

點選 Profile tool 快捷鍵後，選擇要分析的圖層，拉取剖面取樣線，並點擊 Add Layer。剖面線模式選取 Temporary polyline，並直接在圖層上直接畫剖面取樣線，即可在下方出現取樣線的地形剖面。（當點選左鍵2下即完成繪製取樣線，點選右鍵即取消繪製剖面取樣線）

(四) 數值高程模型 Digital Elevation Model (DEM)

假設水面之下的組成物只有水體及沉積物，那在我們計算出來分類的水體之下，如果整體輻射數值比較低，代表此處反照率比較低，沉積物較薄，水體較厚，相反輻射數值比較高，代表此處反照率較厚，水體較薄，沉積物較高，因為水的反照率比沉積物的低。因此在NDWI分類裡面判斷是水體的位置，此水體之下建構出來的DEM模型就可以象徵水下地形的起伏特徵。

1.選取範圍

將衛星影像的tif.檔匯入QGIS中，選取利用NDWI計算為水體部分作為遮罩並剪下。

2.建立模型

使用QGIS裡的DEM to 3D外掛元件選取水體部分使用QGIS中數值高程模型功能依據輻射訊號匯出成STL格式(光固化立體成型格式)最後使用STLviewer匯出模擬水底地形圖(

(五)實地訪查

本研究為比對研究資料之準確度，至研究樣區進行實察，並請教攔河堰之專員相關資訊，主要測量工具為無人航空載具。

1.使用方法

使用無人航空載具時，首先選取欲拍攝範圍，於視野良好、無雲之處，將無人航空載具設定飛行高度200公尺，並進行樣區之拍攝。



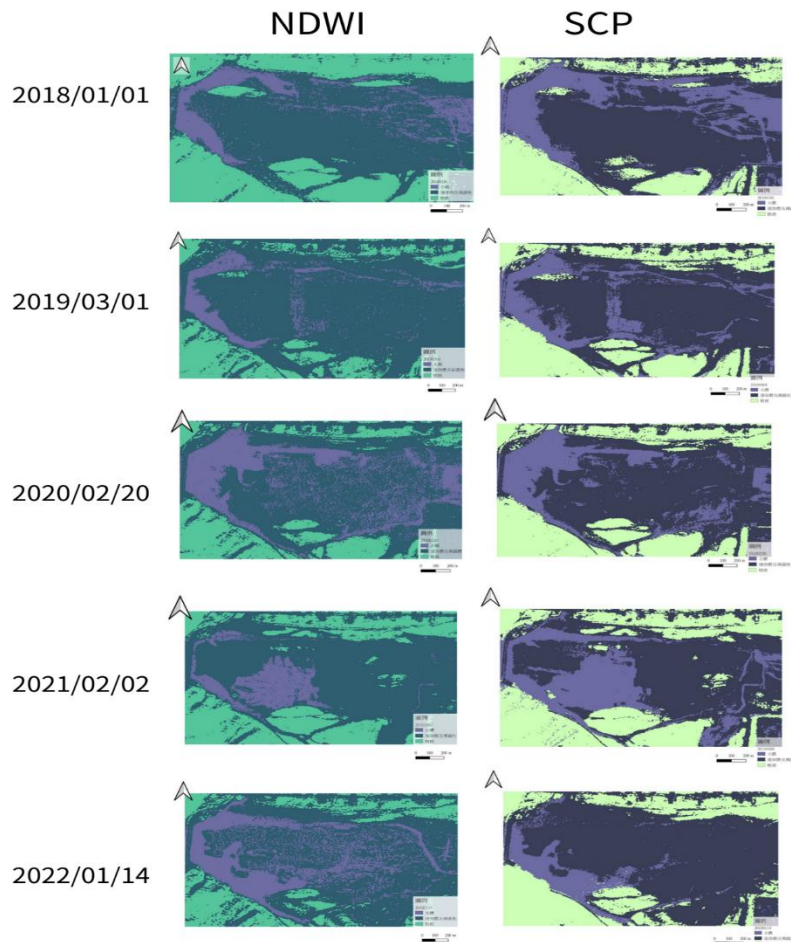
圖九：無人航空載具型號mavic pro

2.訪查時間與照片

我們於2023/5/19、5/28實地探訪集集攔河堰(如下圖)，也於5/29使用無人航空載具拍攝整個集集攔河堰集水區範圍。



肆、研究結果

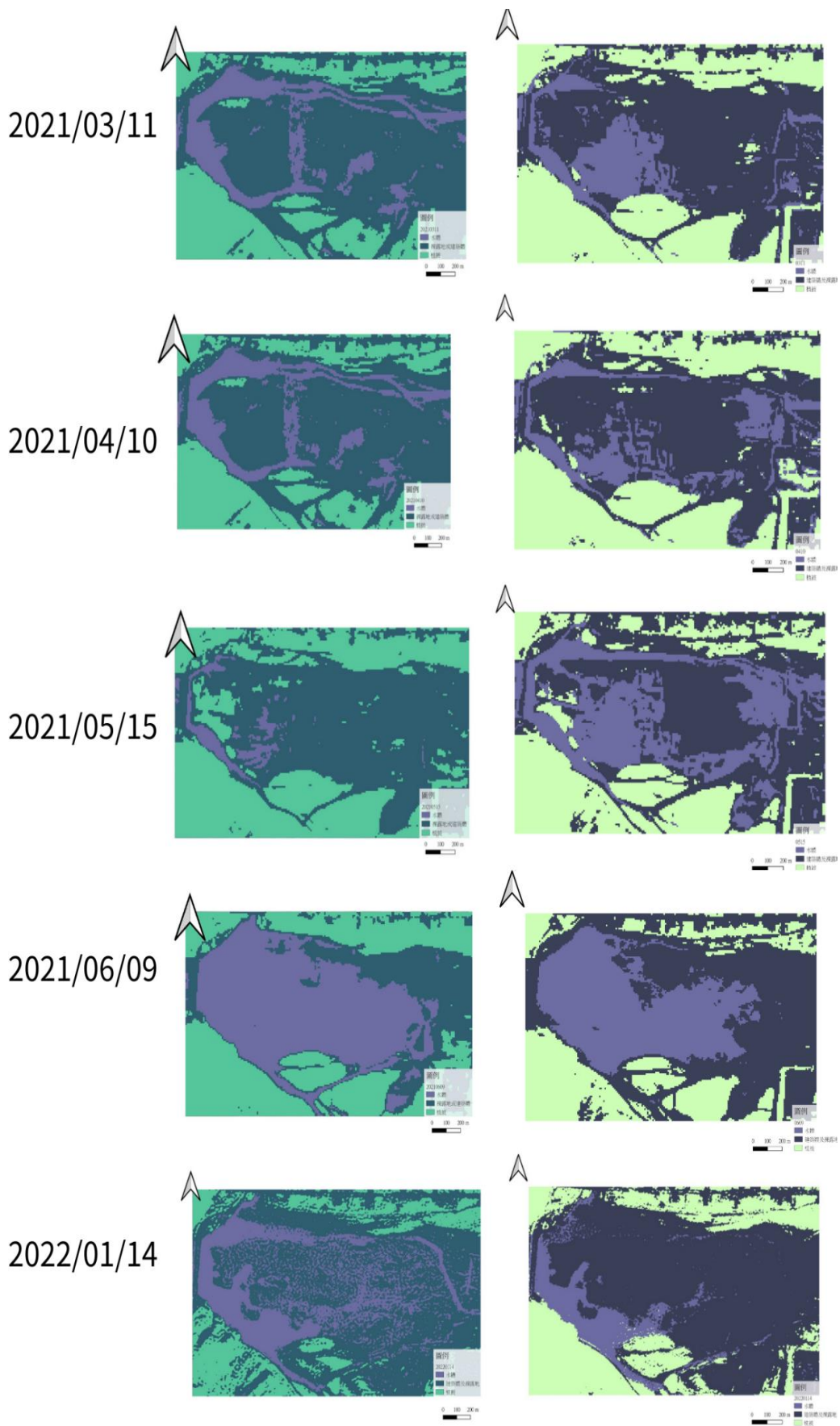


圖十：使用 FS5 衛星影像用 SCP 與 NDWI 分析圖

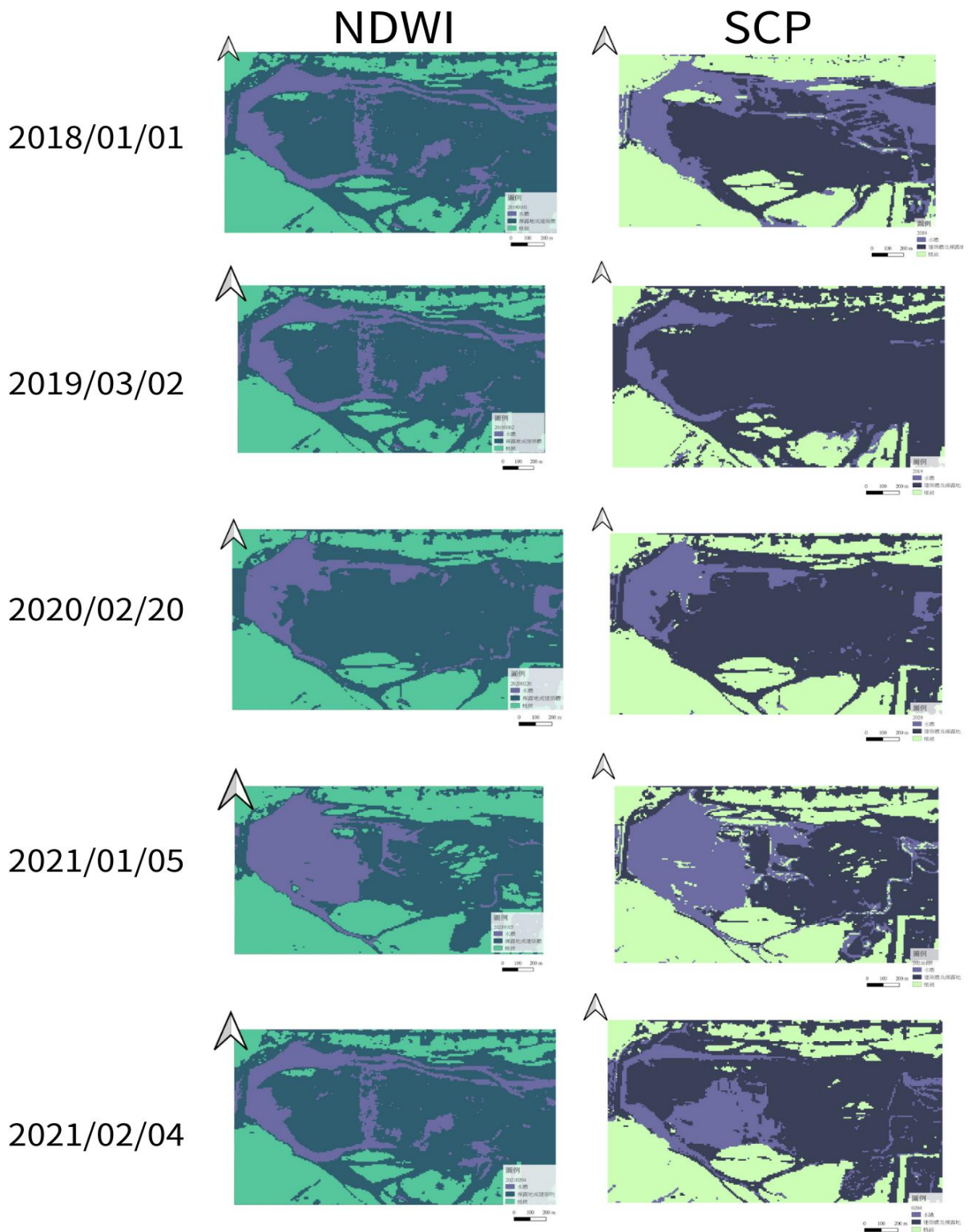
集集攔河堰 SCP 及 NDWI 計算福衛五號衛星影像分類結果如上圖所示。本研究將研究樣區區分成三類：紫色區域代表水體範圍，可以判斷兩種分類法計算水體面積的差異；深紫及深綠色區域代表裸露地，可能為乾沙、建築物及道路，會受侵蝕、覆蓋或人為破壞，造成分類區域會時常改變，且難以確定；淺綠色為植被，若攔河堰內長時間無蓄水，會造成集水區長出苔蘚、小型草木及灌木，大水來襲即可被沖刷，而集水區外為大型植物。經由 QGIS 計算，可看出 NDWI 與 SCP 數值相差約兩倍

表二：NDWI 與 SCP 使用福衛五號影像計算水體面積

	2018/01	2019/03	2020/02	2021/01	2022/01
SCP FS5	60.2081	52.1033	32.1482	47.8188	42.5644
NDWI FS5	113.6651	105.0817	66.4359	88.8336	143.7258



圖十一：使用 S2 衛星影像用 SCP 與 NDWI 分析圖



圖十一：使用 S2 衛星影像用 SCP 與 NDWI 分析圖

表三：NDWI 與 SCP 使用 S2影像計算水體面積

	2018/01	2019/03	2020/02	2021/01	2021/02
SCP S2(公頃)	56.0255	54.4011	29.0157	58.4246	34.1012
NDWI S2 (公頃)	124.6168	126.2194	59.4051	93.3898	48.7603
降雨量(毫米)	136	168	34.5	9	25

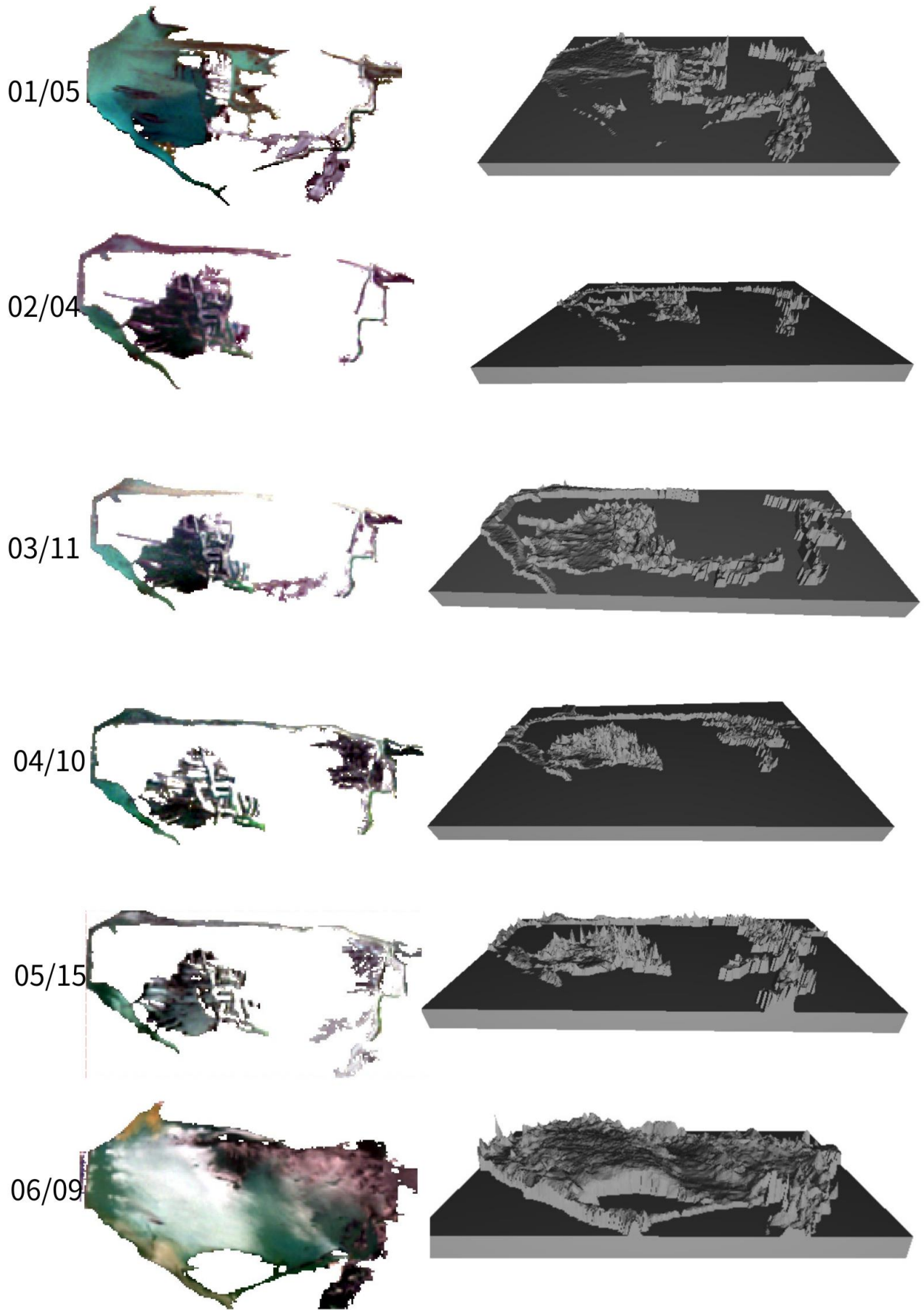
	2021/03	2021/04	2021/05	2021/06	2022/01
SCP S2(公頃)	30.5077	24.3621	64.2636	77.7024	31.5877
NDWI S2 (公頃)	59.4278	47.6791	75.6979	148.1235	118.2255
降雨量(毫米)	11.5	31	111	695.5	36

表四：NDWI、SCP 與水利署資料比較

	2019/11	2020/6	2020/11
NDWI(公頃)	165.6797	180.1616	181.9181
SCP(公頃)	32.5926	36.5144	57.9927
水利署(公頃)	178.90	187.61	190.20

進一步使用 S2衛星影像計算如圖十一，因 S2嫁接更多影像於 Jupyter，使能夠去細看其月解析度，並將氣象資料與水體面積進行比對，而數值差異也相差近兩倍。

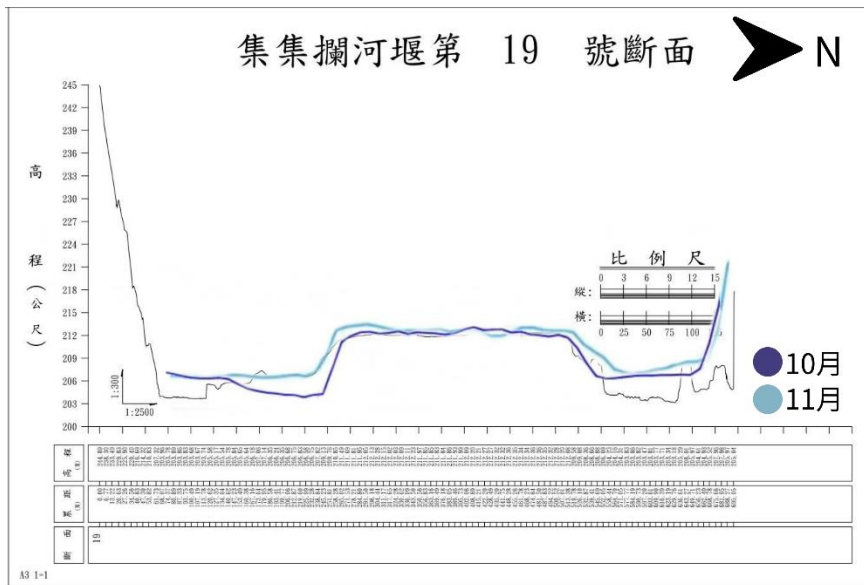
圖十二為2021年台灣西部大乾旱事件時1~6月旱季時期利用 DEM 所繪製的水底地形圖，左圖為 NDWI 計算為水體所剪下的遮罩，右圖為 DEM 模型。本實驗將水底預設主要組成物件為：水及沉積物，因乾季時樣區水流量低且水色清澈，經評估此時水色、浮游植物量體等因素改變輻射特徵的影響極低，故可利用輻射訊號強弱去模擬水下地形，其後進一步利用輻射值地形剖面圖與水利署光達剖面資料進行比對與驗證。



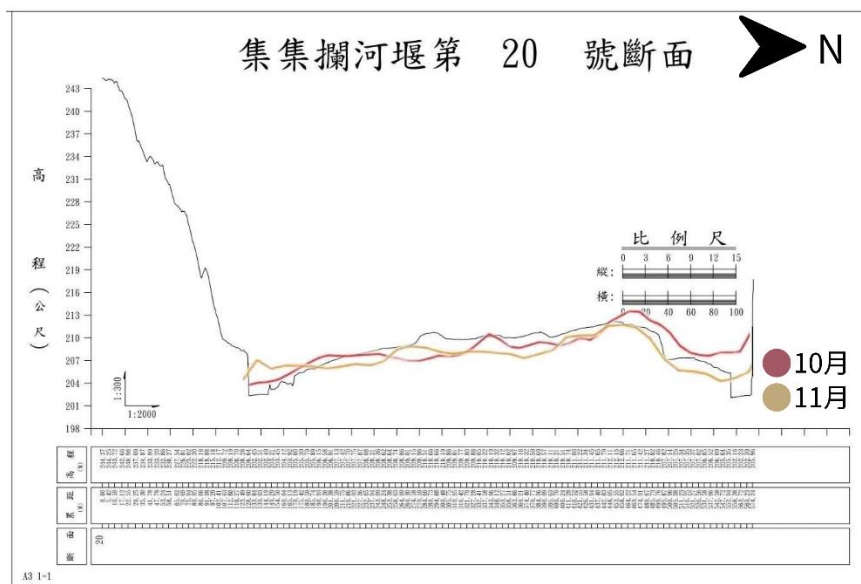
圖十二：DEM 水下地形圖



圖十三：集集攔河堰 19、20 號剖面

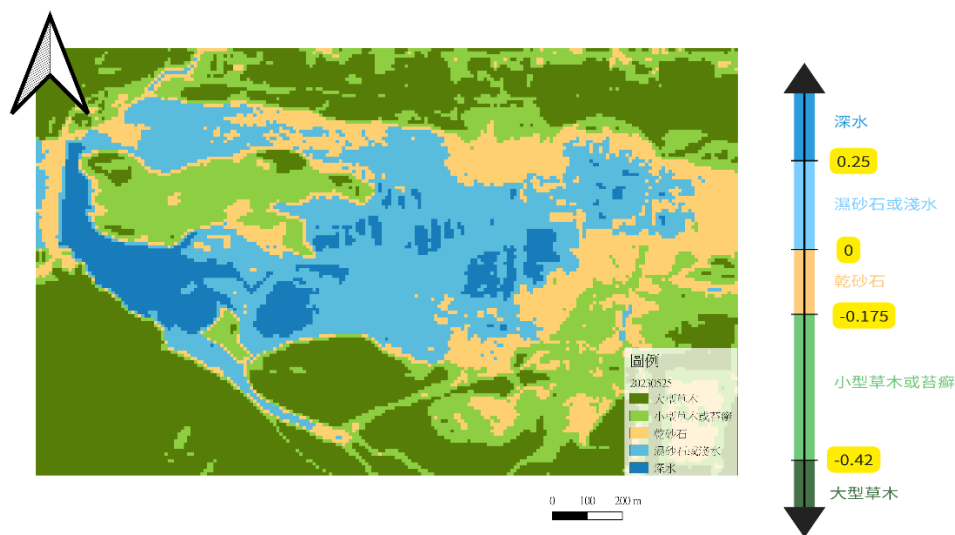


圖十四：自製剖面與 19 號光達剖面相關性

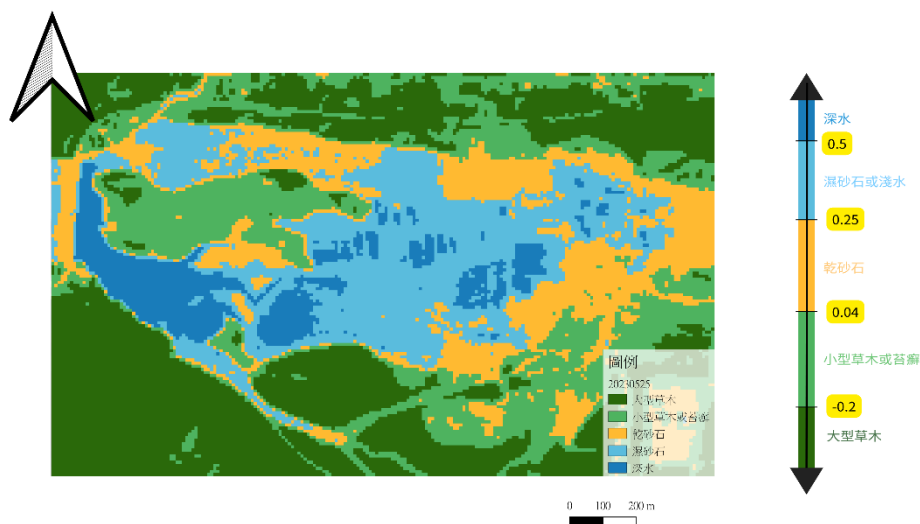


圖十五：自製剖面與號光達剖面相關性

圖十四、十五為攔河堰庫休光達資料與 2022 年 10 月 27 日及 2022 年 11 月 11 日輻射值剖面比較圖。其中，19 號斷面的黑色線段為光達資料、深藍線段為 10 月輻射值剖面線、淺藍線段為 11 月的輻射值剖面線；20 號斷面的黑色線段為光達資料、深紅線段為 10 月輻射值剖面線、土黃線段為 11 月的輻射值剖面線。



圖十六：NDWI 計算集集攔河堰及各材質種類的輻射值



圖十七：NDVI 計算集集攔河堰及各材質種類的輻射值



圖十八：利用空拍機所拍攝之集集攔河堰積水區

圖十六-十八為 NDWI 及 NDVI 所運算出的和差比値之分類圖。圖中，深綠色為大型草木、淺綠色為小型草木或苔癬、黃色部分為乾砂石、淺藍色部分為濕砂石或淺水、深藍色部分為深水。

我們利用空拍機的攔河堰影像與利用 NDWI 及 NDVI 所計算出的數值進行比對，並從中找出不同運算法對不同物質所產生的輻射範圍，看出不同物質的分布面積。

伍、討論

一、兩種解算法的差異

此次實驗中，NDWI 與 SCP 趨勢整體呈正相關(圖二十三)，恰與我們在未做分析前的預測走勢接近，但是兩者面積的數值差接近兩倍。為了進一步探討兩種分析法的準確度，我們取用水體面積差異最大的衛星影像(2022/01/14)、NDWI 分析圖和 SCP 分析圖做比較(圖二十五)。比較後發現，用肉眼去分辨衛星影像的水體和砂石裸露地，與 SCP 的水體分布較接近，因 SCP 是藉由操作人選取水體樣區，一開始先將多波段色彩中的波段調整，使肉眼觀看的樣本顏色差異更大(紅波段改成 Band4、綠波段改成 Band3、藍波段改成 Band2)，方便框取樣本。而訓練樣區框得不夠精細、樣本數不夠多，或操作人誤判將水體分成裸露地，就會導致分類不夠詳盡與精確，進而影響利用 SCP 計算出的水體面積。

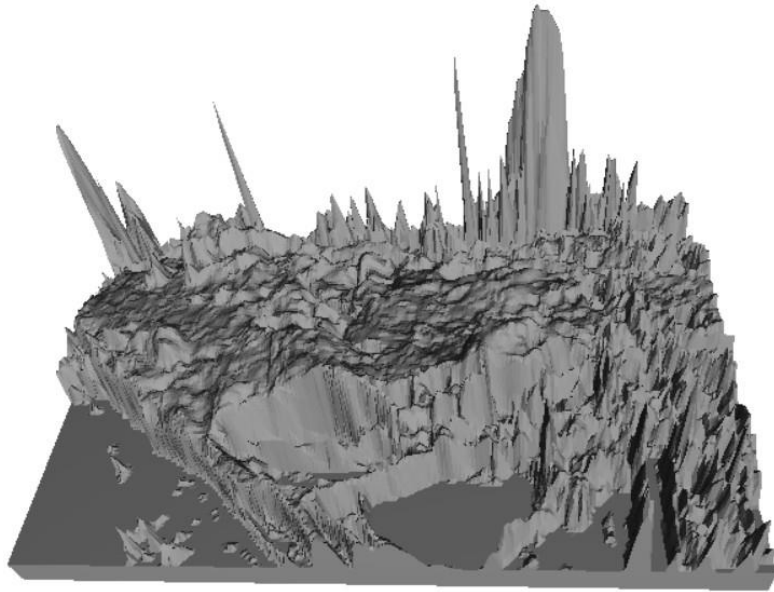
而 NDWI 是利用衛星上的裝置偵測不同波段，操作者再運用 NDWI 公式：(綠光波-近紅外光波段)除以(綠光波+近紅外光波段)算出水體範圍，所以水域較淺或是含有水的泥沙也能被偵測為水體，我們進一步利用水利署的航照影像面積資料與 SCP、NDWI 進行比較(圖二十四)，發現 NDWI 的數據及趨勢較接近水利署在集集攔河堰拍攝的航照資料，結果顯示 NDWI 相較於 SCP 更接近水利署所提供的資料，相差5-10公頃，SCP 計算約為36.5144公頃、NDWI 約為180.16公頃，而水利局資料為187.61公頃，由此推測 NDWI 在測量水體範圍上可信度較高，佐證 NDWI 可用以彌補肉眼觀察的不足，所以可以看見圖中(圖二十五)紅框範圍處的落差極大，極有可能是上述原因所導致的結果。

二、水體面積與氣象資料對比

而水體面積與雨量的比較(表三)，NDWI 與 SCP 的水體面積變化趨勢跟累積雨量大致上有相對應的變化(圖二十三)，可以確定降雨量及水體面積的變化關聯極高。進一步去探討2021年水情吃緊的時段，由分析圖得知，2020、2021年水庫面積比往常少，是因2020年的降雨少、無颱風，加上2021年的降水依舊稀少，導致2021年的缺水問題加重。進一步去計算2021年1-6月的月解析度，可發現2021年月初相較於往年，降雨量明顯驟減，導致後面2-4月的水體面積也低於往年的乾季，符合當時缺水資訊。

三、建立庫底模型推測儲水量

運用 DEM 分析是使用輻射值強弱去模擬地底地形，建立模型後使用輻射值剖面與光達剖面做應證，結果顯示兩者具極高相關性，但光達剖面圖僅適用於乾季庫休時拍攝，實驗僅驗證乾季時利用輻射值所繪製的剖面、DEM 具可信度，而濕季時因水中含帶大量泥沙、水色混濁，所以無法由輻射值轉換成 DEM 模擬水下地形(圖十九)。DEM 結果顯示集集攔河堰的蓄水功能已較設計創建之初的理想容積減少許多，推知此區域沉積速率極高，並發現沉積物乾季時每個月在壩底沉積物分布型態無明顯差異。因此發現單純用傳統的(水位×面積)無法計算出真實水體儲藏量，沉積物的分佈型態佔據更舉足的影響性，需透過衛星影像分析才能有效重建水體量並適時的做出乾旱預警。



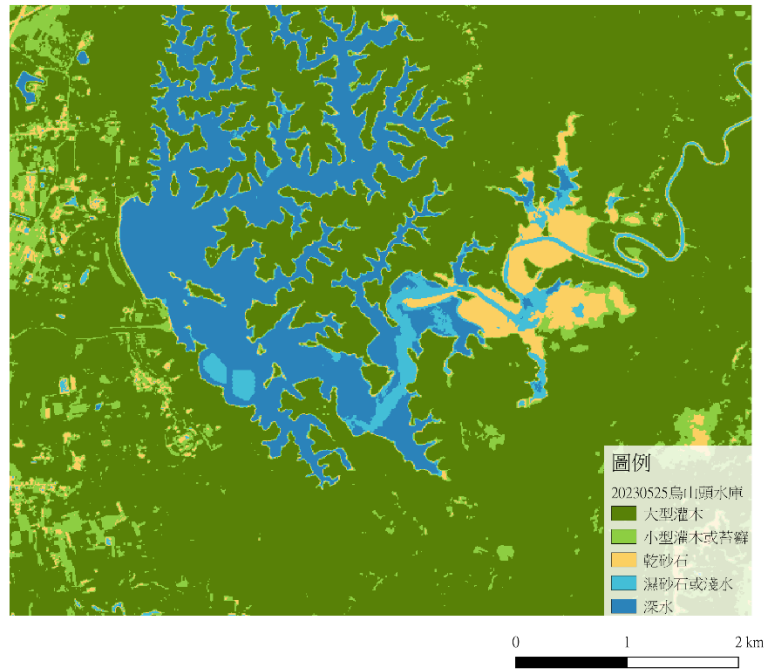
圖十九：2020/07/29濕季之 DEM 模型

四、探討可用水資源多寡

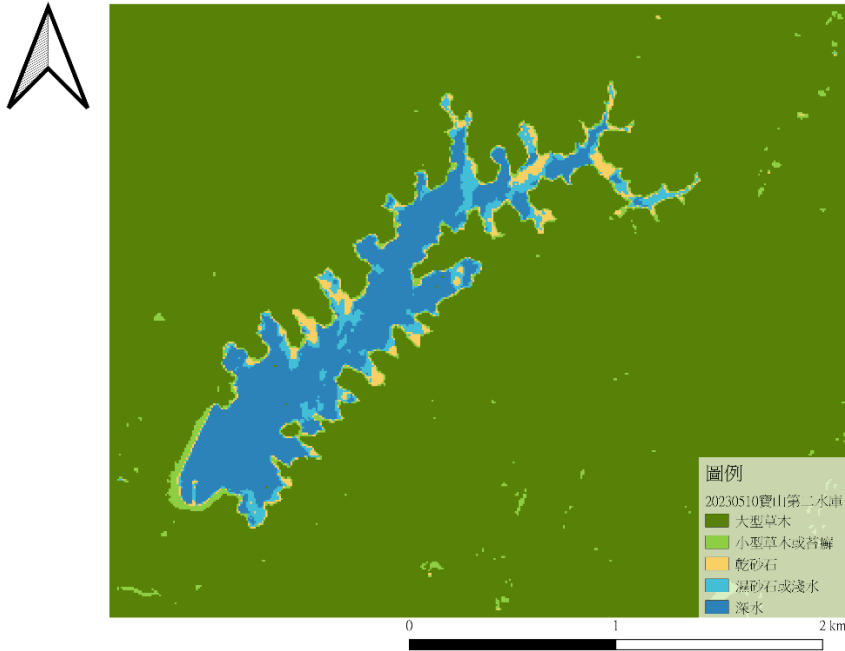
利用 NDWI、NDVI 與空拍圖的相互比對(圖十六-十八)，我們發現如若用原先設定的數值，濕的砂石和淺水會被判定為水體，而濕的砂石與淺水容易變遷且不屬於可有效利用之水資源。為了更精準確認可用水資源範圍，因此進一步探討濕砂石、淺水與深水區的差異。經過與空拍圖相互比對，我們重新細分不同物質在 NDWI 的適當數值區間範圍，能有效將濕砂石與深水區分離。這有助於我們了解可用水資源的分布，進一步推斷水情特徵。此種方法亦可應用於觀察監測不同水庫水情變化。圖二十-二十二即為台灣各地區水庫之可用水資源分布。



圖二十：運用 NDWI 數值區間範圍分析石門水庫



圖二十一：運用 NDWI 數值區間範圍分析烏山頭水庫

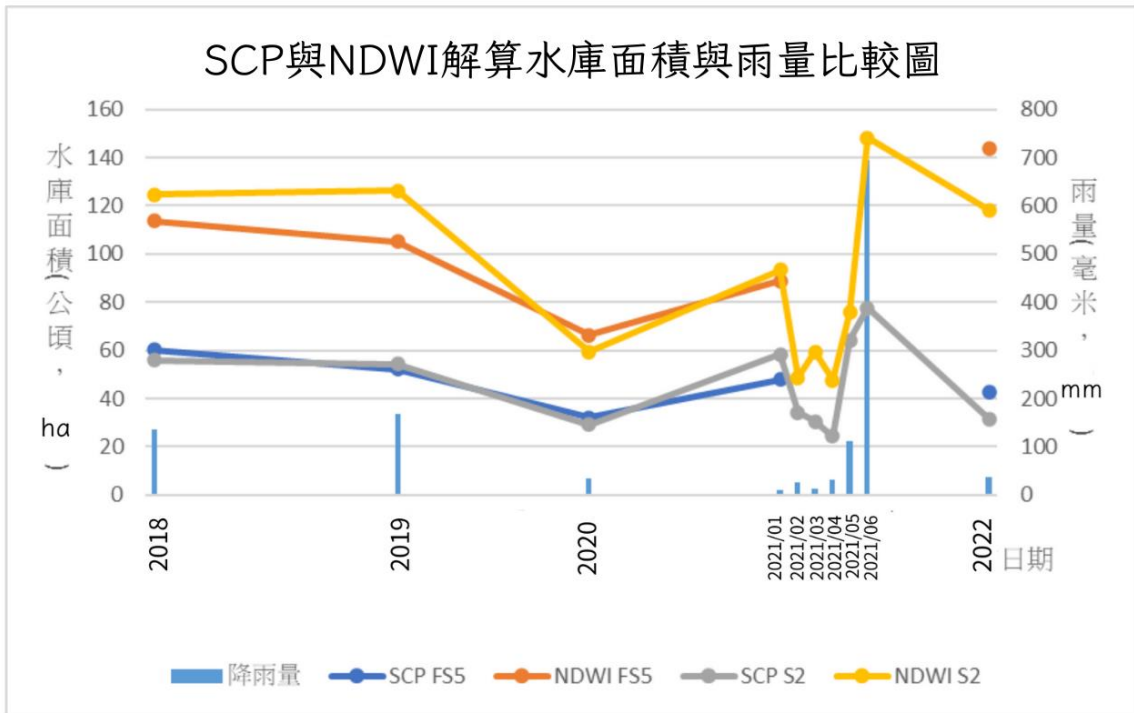


圖二十二：運用 NDWI 數值區間範圍分析寶山第二水庫

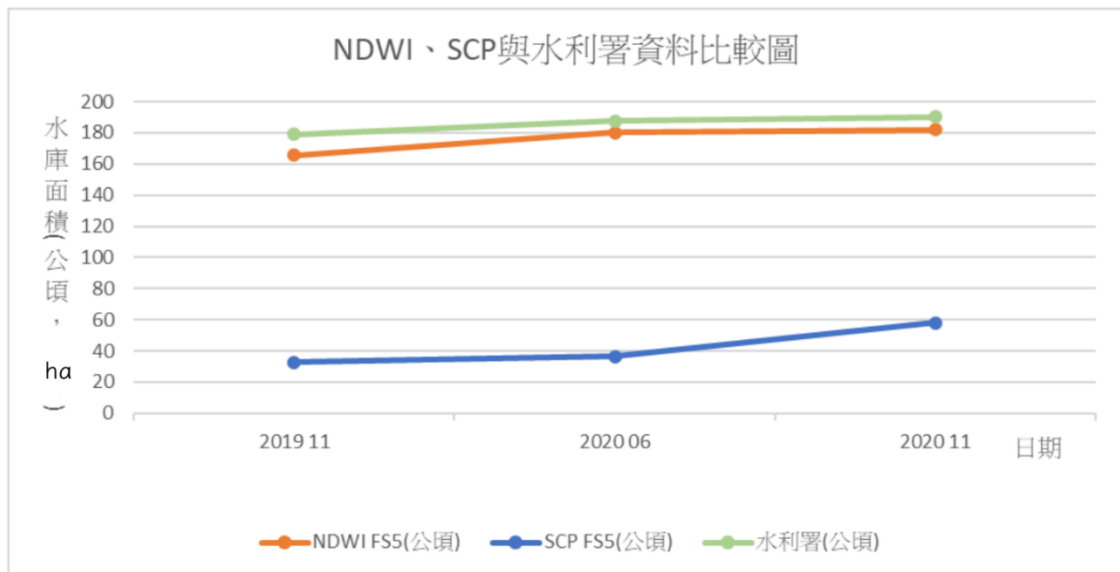
五、未來展望

NDWI 可以接近準確地測量水庫水體面積，那未來是否可以運用去監測水庫即時水位或淤沙量，作為限水、潰堤警界預報，而 SCP 可用於如土耳其震災的崩塌範圍與房屋倒塌區域解算，鎖定救災的目標區域提高救災效能與災後評估，提早作出相對政策，這是值得去探究的。而水體體積才是真正可使用的水，若能使用 QGIS 計算水體體積，並運用程式使計算水體面積、水體體積更方便，使民眾能及時觀測水情

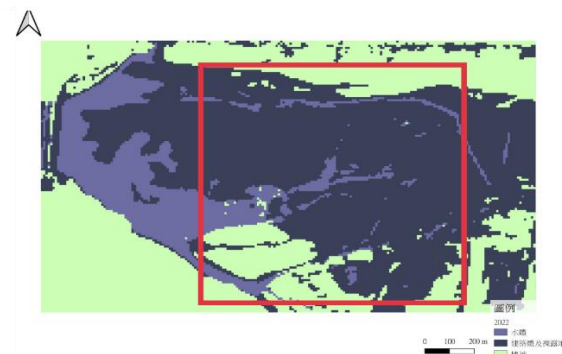
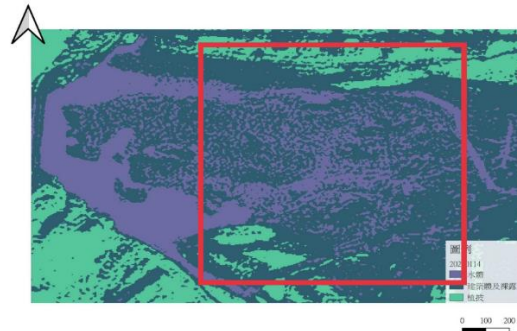
。



圖二十三：SCP 與 NDWI 解算水庫面積與雨量比較圖



圖二十四：NDWI、SCP 與水利署資料比較圖



圖二十五：2022/01/14衛星影像用 SCP 與 NDWI 分析後差異最大的部分

陸、結論

- 一、經由衛星影像的分析結果顯示水庫面積與降雨量相吻合，且衛星影像確實是有效即時監測旱象的工具。
- 二、本研究繪製集集攔河堰2020年6月的蓄水量，經 SCP 計算約為36.51公頃(表四)、NDWI 約為180.16公頃，而水利局資料為187.61公頃。NDWI 相較於 SCP 更接近水利局提供的資料，顯示 NDWI 在測量水體範圍上準確度較高，而 SCP 在研究範圍類別較單純處，明顯低估水體範圍。

- 三、經驗證自製輻射值剖面圖與光達剖面圖呈高度相關，因此乾季時，可藉由輻射值模擬出水下沉積物分布型態，具備水庫水資源體積計算之潛力。
- 四、從 DEM 模型可看出乾季時水底的沉積物並沒有明顯的移動；濕季時，因水中含帶大量泥沙、水色混濁，所以無法由輻射值轉換成 DEM 模擬水下地形。
- 五、NDWI 搭配適當的指數區間範圍設定，可以快速準確地區分集水範圍內的深水區(0.25 以上)、淺水區及濕砂石(0~0.25)、乾砂石(-0.175~0)、小型草木及苔癬(-0.42~-0.175)、大型草木(-0.42 以下)。
- 六、使用本研究建製之標準分類法，亦能用於分析石門水庫、寶山第二水庫、烏山頭水庫的有效水資源分布範圍，有利於後續發展旱象預警系統。

柒、參考資料及其他

- Bo-cai_Gao(1996).NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space,from<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425796000673>
- Ujwala_Bhangale et al.(2022).Analysis of Surface Water Resources Using Sentinel-2 Imagery,fromhttps://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920312801?ref=pdf_download&fr=RR-9&rr=795d95a5fcee6a98
- João Serrano et al.(2019).Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System,from<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/62>
- Luca Congedo(2021).Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS,from<https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.03172>
- Aksoy, H. (2001). Storage Capacity for River Reservoirs by Wavelet-Based Generation of Sequent-Peak Algorithm. *Water Resources Management* 15(6), 423-437.
from<https://escholarship.org/uc/item/9js456d5>
- Thomas, C. (2007). Measuring and Comparing Participation Patterns In DigitalRepositories. *D-Lib Magazine*, 13(9/10).from<https://escholarship.org/uc/item/9js456d5>

Box, G. E. P. (Ed.). (1994). Time Series Analysis: Forecasting and Control. from [https://books.google.com.tw/books?hl=zh-TW&lr=&id=rNt5CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Box,+G.+E.+P.+\(Ed.\).+\(1994\).+Time+Series+Analysis:+Forecasting+and+Control&ots=DK94xPoXOy&sig=DMFuoUvRi4_4WlnL2mqWBgif5_k&redir_esc=y#v=onepage&q=Box%2C%20G.%20E.%20P.%20\(Ed.\).%20\(1994\).%20Time%20Series%20Analysis%3A%20Forecasting%20and%20Control&f=false](https://books.google.com.tw/books?hl=zh-TW&lr=&id=rNt5CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Box,+G.+E.+P.+(Ed.).+(1994).+Time+Series+Analysis:+Forecasting+and+Control&ots=DK94xPoXOy&sig=DMFuoUvRi4_4WlnL2mqWBgif5_k&redir_esc=y#v=onepage&q=Box%2C%20G.%20E.%20P.%20(Ed.).%20(1994).%20Time%20Series%20Analysis%3A%20Forecasting%20and%20Control&f=false)

Hamaker, C. (1995). Time Series Circulation Data For Collection Development Or: You Can't Intuit That. Library Acquisitions: Practice & Theory, 19(2), 191-195. from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1016/0364-6408%2895%2900019-6?journalCode=ulca19>

NDWI: Normalized Difference Water

Index. from https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ndwi.pdf

Normalized Difference Water Index. from <https://eos.com/make-an-analysis/ndwi/>

張中白等人(2006)。發現台灣:衛星影像故事=Spotting Formosa : Story from Satellite Images。桃園縣中壢市:國立中央大學太空及遙測研究中心。

姜善鑫等人(2000)。揭開福爾摩沙的面紗:台灣的自然地理。台中市:文建會中辦室。

巨量空間資訊系統(2021)。Sentinel-2 影像變異分析。取自 <https://gis.swcb.gov.tw/image-variation-analysis/20>

中水局(2011年7月2日)。最大計畫年運用水量的水庫。取自 <https://www.wracb.gov.tw/47874/47891/47893/>

福衛系列衛星影像之多元遙測資料服務平台 (Taiwan Data Cube)。取自 <https://www.tasa.org.tw/activity/TWC/tw/index.html>

國立中央大學太空及遙測研究中心。SPOT 衛星影像介接服務平台。取自

https://data.csrnr.ncu.edu.tw/index_WMITS.php

中央氣象局(2023)。年報表觀測資料質詢。取自 [https://e-](https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/YearDataController.do?command=viewMain&station=C0I380&stname=%25E9%259B%2586%25E9%259B%2586&datepicker=2016&altitude=258.0m)

[service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/YearDataController.do?command=viewMain&station=C0I380&stname=%25E9%259B%2586%25E9%259B%2586&datepicker=2016&altitude=258.0m](https://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/YearDataController.do?command=viewMain&station=C0I380&stname=%25E9%259B%2586%25E9%259B%2586&datepicker=2016&altitude=258.0m)

經濟部水利署(2023)。台灣地區主要水庫蓄水量報告表。取自

https://fhy.wra.gov.tw/ReservoirPage_2011/StorageCapacity.aspx

經濟部水利署(2020)。109年度集集攔河堰監測及安全檢查-淤積測量。取自

<https://www.wracb.gov.tw/media/34484650/109%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E9%9B%86%E9%9B%86%E6%94%94%E6%B2%B3%E5%A0%B0%E7%9B%A3%E6%B8%AC%E5%8F%8A%E5%AE%89%E5%85%A8%E6%AA%A2%E6%9F%A5-%E6%B7%A4%E7%A9%8D%E6%B8%AC%E9%87%8F.pdf>

立法委員劉建國國會辦公室新聞稿(2013年10月23日)。全台水庫大調查集集攔河堰病人膏肓。取自 <http://www.twwpu.org.tw/?m1=article&ak=26&artid=378>

曾世平(2015年12月6日)。福衛五號的故事。取自

https://scistore.colife.org.tw/management/Upload/dragon/20160620140730877_13_sunday_20151206.pdf

鍾智昕等人(2022)。應用大數據與環境指標探討氣候變遷下 台灣西南部海岸林帶變遷。取自：<http://www.twaes.org.tw/ae/htmldata/06803006.pdf>

張憲國等人(2012年10月31日)。應用衛星影像及測高資料於灘線變遷及波候特性之研究 研究成果報告(精簡版)。取自 <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/99244/1/1002221E009005.PDF>

李詩敏(2021)。多雨之島陷缺水危機!水庫如何保住「台灣最後一滴淚」。取自

https://topic.udn.com/event/water_deficit2020

潘俊叡(2019)。利用 QGIS 進行房屋座落位置環境因素分析。

取自 <https://hdl.handle.net/11296/x886py>

陳志清(2011)。運用 OpenGIS 及免費軟體輔助國有公共不動產管理之研究。取自

<https://ah.nccu.edu.tw/retrieve/79445/301601.pdf>

感謝國科會及國立中央大學太空及遙測研究中心提供衛星影像資料

(ACKNOWLEDGEMENTS : The author would like to thank MOST and CSRSR/NCU for supplying satellite imagery data.)

感謝國家太空中心資料立方應用平台提供衛星影像資料嫁接

(<https://www.tasa.org.tw/activity/TWC/tw/index.html>)

感謝經濟部水利署中區水資源局 集集攔河堰管理中心提供光達剖面資料與實查訪談

【評語】 051909

結合不同之衛星遙測資訊與良好之影像處理技術，分析集水區之水體面積與水體底部之沉積地形變化，並有現場現地光達觀測資料進行比對與驗證，具有參考應用之價值。對不同估計水體面積與體積的方法以及影像分析之技術宜有更清楚之說明。對引用之圖表應有適當之標註與相關參考文獻之說明。

作品海報



衛星影像分析-集集攔河堰水體計算

Monitoring the storage volume of Jiji weir water reservoirs from Taiwan Data Cube using multi-spectral satellite images

摘要

本研究利用**福衛5號**及**Sentinel-2**衛星影像監測自西元2018年~2023年期間集集攔河堰水體與水下沉積物變化量值計算，利用 **Semi-automatic Classification Plugin (SCP)** 及 **Normalized Difference Water Index (NDWI)** 比較水體面積變化與氣象水文資訊並分析兩種指標的差異與應用。

研究顯示NDWI在測量水體範圍具較高可信度。因水面下沉積物會隨時間增減遷徙，所以利用地表輻射值與數值高程模型(DEM)模擬沉積物不同時序堆疊情形。為證實地表輻射值與地形有關聯性，我們使用水利署光達剖面圖資與本研究結果比對，發現乾季時模擬結果與光達圖資高度吻合。後來搭配高解析空拍圖與NDWI細分不同物件組成的適當數值區間，並將此方法擴增應用至臺灣北中南區水庫水情分析。

研究動機

2021年初西部地區的大規模乾旱導致全台缺水，集集攔河堰因先前泥沙堆積導致蓄水量下降使缺水更明顯，鄰近日月潭四月中旬出現罕見大草原，使我們對於水資源有更濃厚的興趣！有時會想：乾旱時會有甚麼現象？能使用的水有多少？濁水溪含沙量影響水庫很大嗎？因此探討此樣區。

近年衛星影像技術崛起，由於進行傳統測深或光達測量曠日廢時，為了更快速得知水面下河床地形，我們想到或許可以利用衛星推知水底之地貌起伏或水情特徵。因此決定將水資源利用與衛星影像結合，一解心中之疑惑。

研究目的

討論2018年~2022年集集攔河堰蓄水面積變化趨勢



歸因 SCP 及 NDWI 計算水體面積的準確度及差異



光達實測剖面與衛星影像輻射值DEM地勢起伏比較



權衡創建之標準分類法應用於其他集水樣區的適用性



建制標準分類法以期由衛星影像精準辨識河道上不同的組成物件



推估庫底沉積物分布與遷徙



設備與方法



Green-NIR
Green+NIR

01 Jupyter蒐集衛星影像

集集攔河堰蓄水面積 03

02 衛星影像輸出tif檔

集集地區降雨量 04

NDWI

用raster calculator計算
(Green-NIR)/(Green+NIR)

SCP

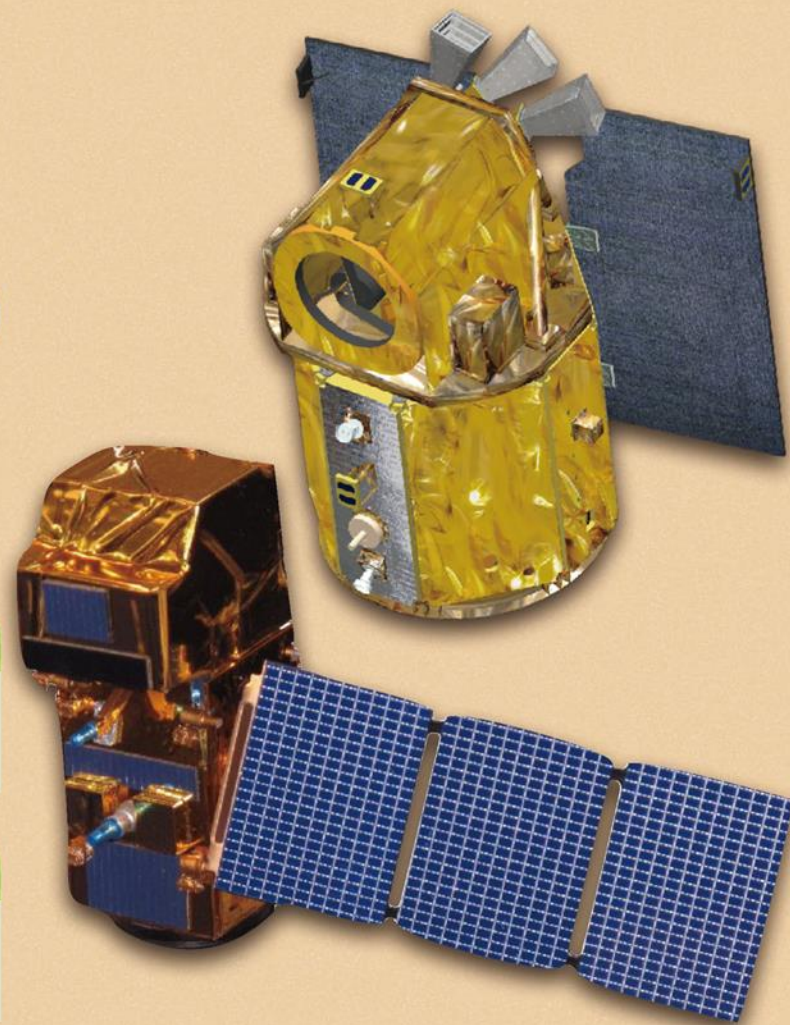
圖層波段調整為非自然色
影像強化波段以利樣區判讀

NDWI

數值大於0的作為水體範圍
將其向量化以得出水體面積

SCP

挑選訓練資料作為樣區分類
影像成果向量化以得出面積



利用QGIS中的佈局管理器於光譜數據計算成果圖上分別標示圖例、比例尺、方位指標並匯出成png檔

地形剖面圖

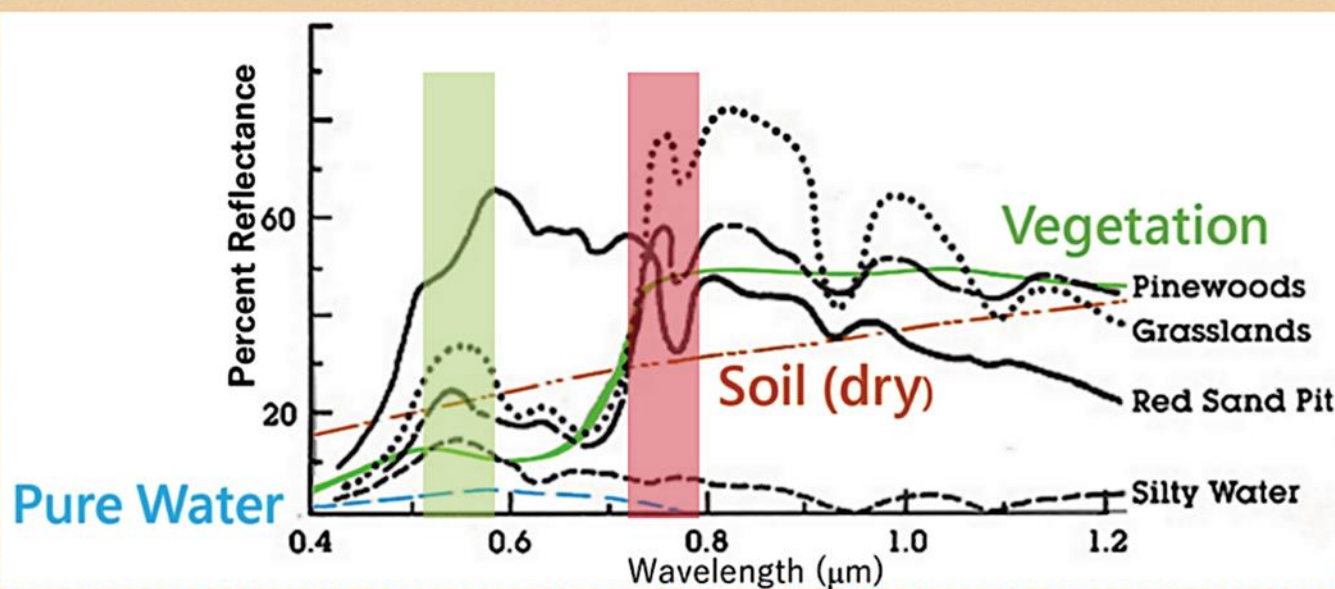
圖層上選畫剖面取樣線即可顯示地形趨勢

DEM

選取NDWI計算為水體部分作為遮罩範圍並設定圖層

使用DEM to 3D數值高程模型功能依輻射值匯出STL

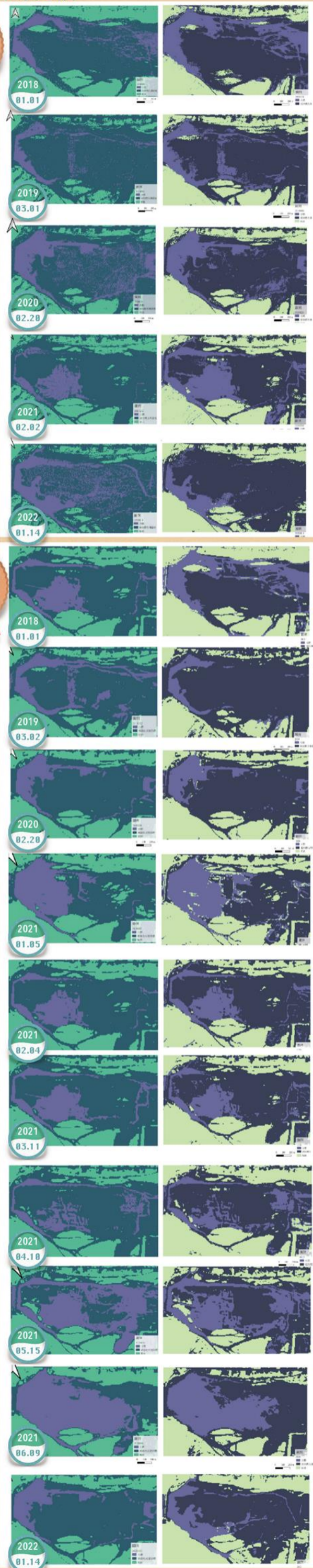
根據DEM與地形剖面圖證實乾季地形計算具正相關



一、衛星影像水體分布

NDWI及SCP衛星影像分類結果如下所示

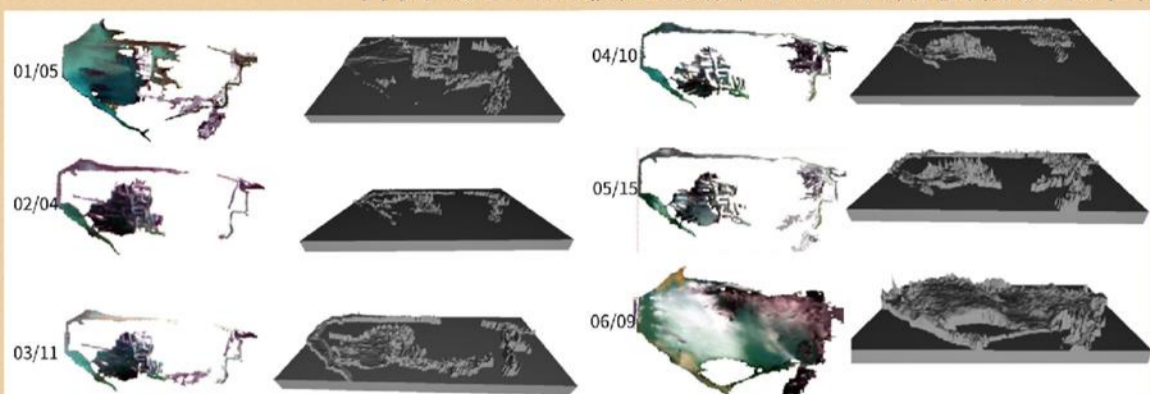
- ① 紫色區域代表水體範圍
- ② 深紫及深綠色區域代表裸露地
- ③ 淺綠色為植被



實驗結果

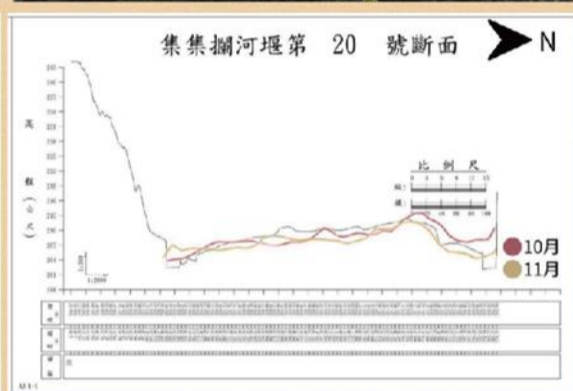
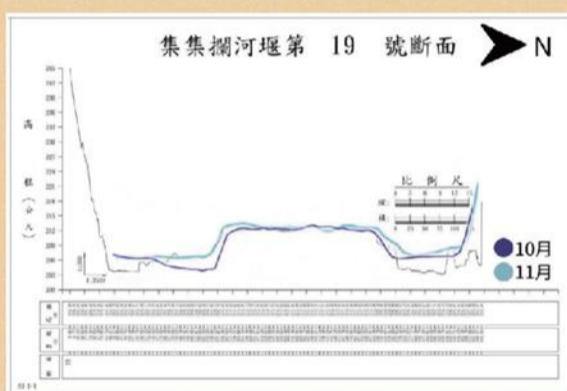
二、利用輻射值繪製DEM水下地形

下圖為2021年臺灣西部大乾旱事件1~6月旱季時期利用DEM所繪製出的水底地形圖
左側為NDWI計算水體所剪下的遮罩範圍
右側為DEM模型演算水底下沉積物分佈圖

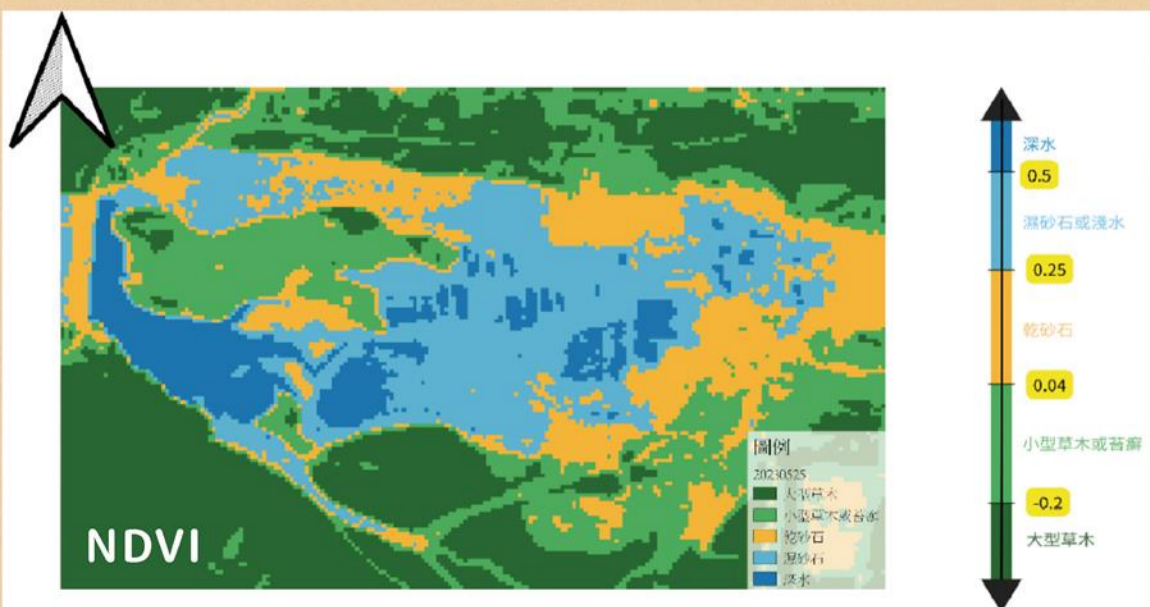
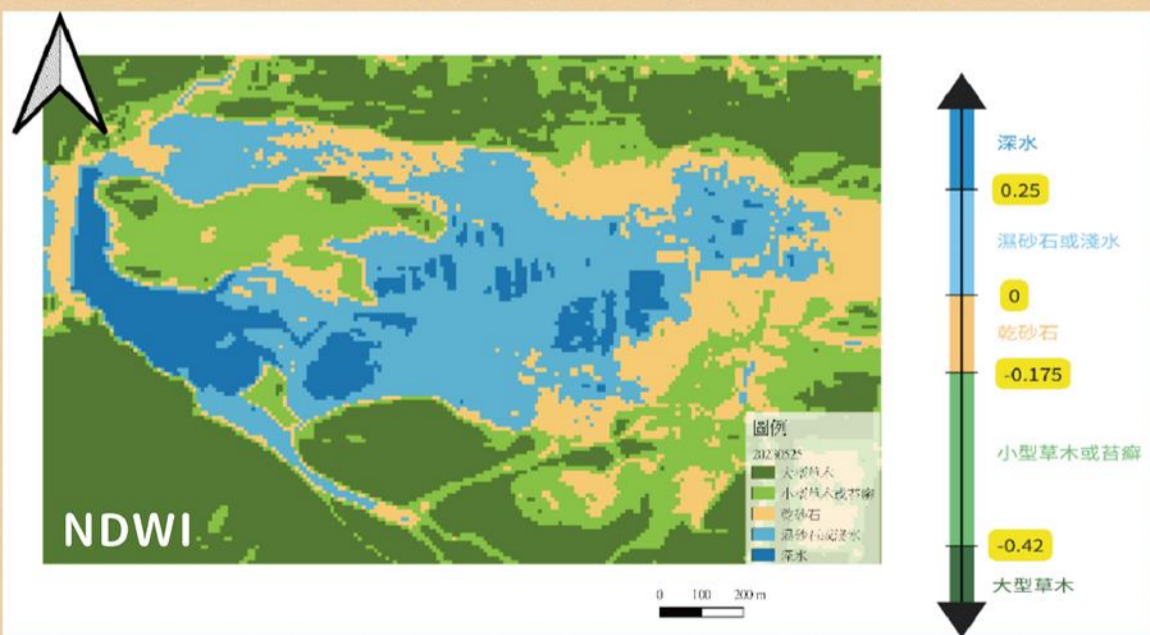


三、驗證DEM之準確性

利用輻射值地形剖面圖與水利署光達實測剖面資料進行比對與驗證，發現其地勢起伏相關性極高。

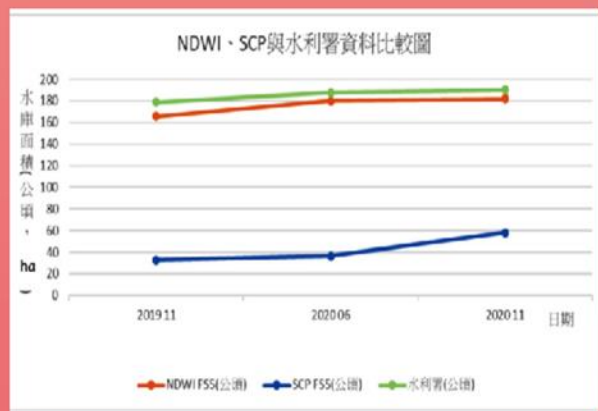


四、利用NDWI及NDVI的和差比值繪製分類圖

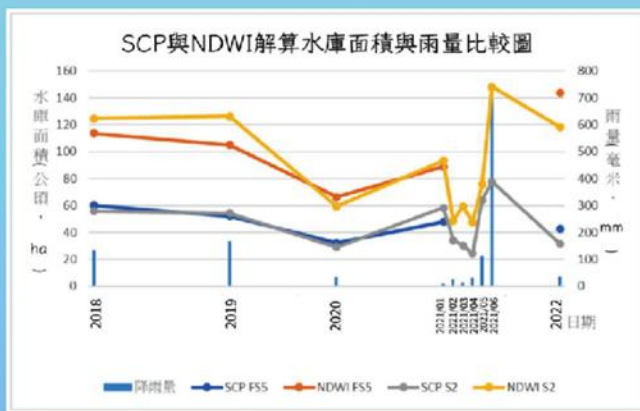


研究討論

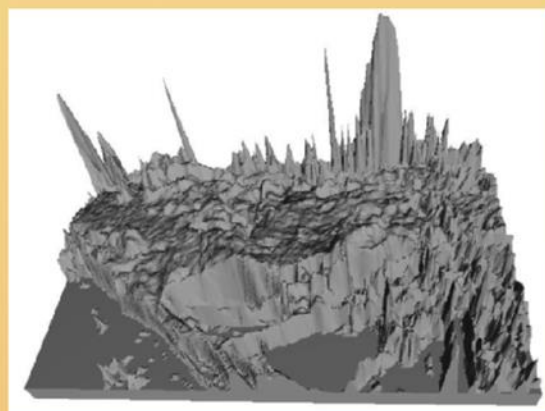
一、兩種解算法的差異



二、水體面積與氣象資料對比



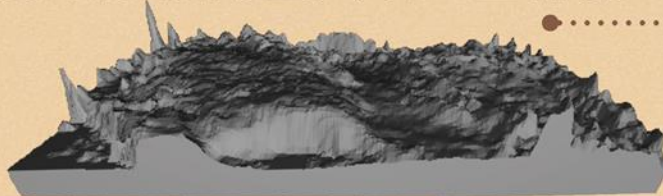
三、建立庫底模型推測儲水量



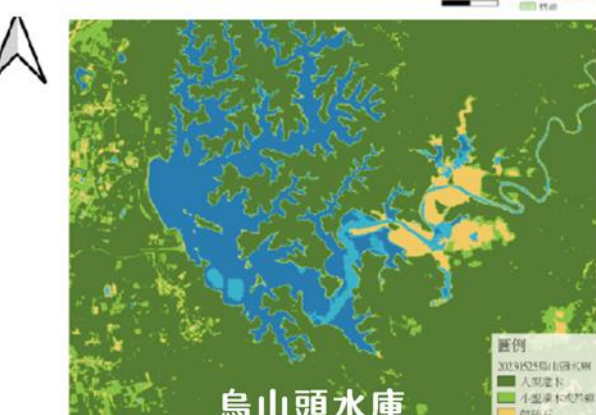
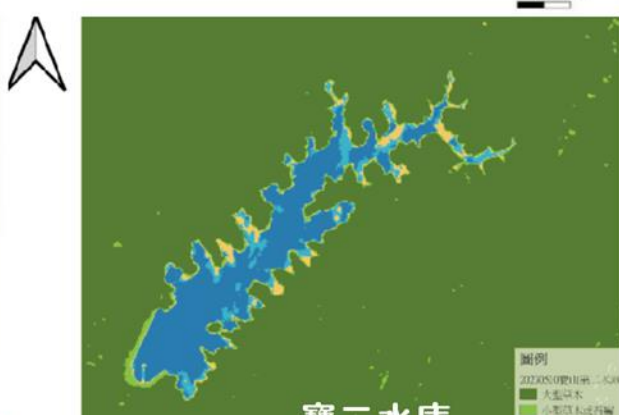
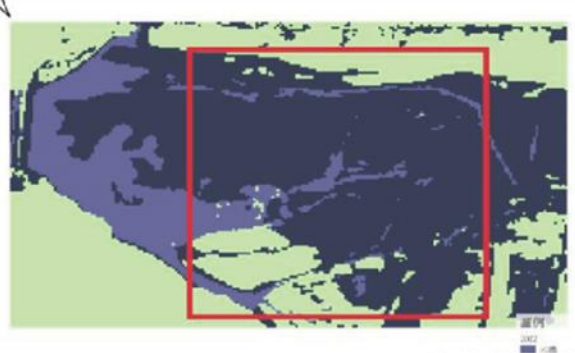
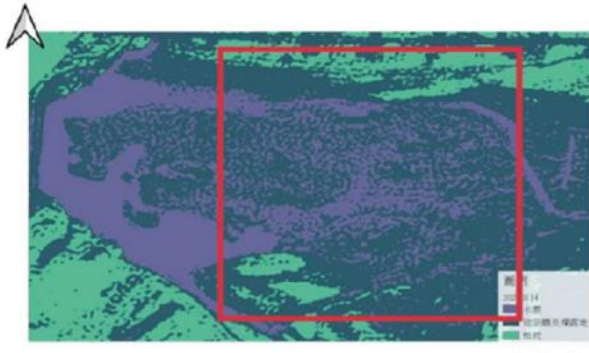
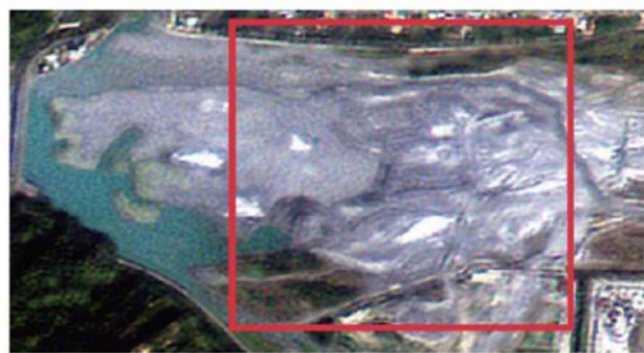
NDWI數據及趨勢較接近水利署在集集攔河堰拍攝的航照資料。訓練樣區只有三種較不利於SCP進行分類。

NDWI與SCP水體面積變化趨勢跟累積雨量大致呈正相關。

DEM分析是使用輻射值強弱去模擬地底地形，並與光達實測資料做應證，結果顯示兩者具極高度相關性。



年/月	2018/01	2019/03	2020/02	2021/01	2021/02	2021/03	2021/04	2021/05	2021/06	2022/01
SCP FS5 (公頃)	60.2081	32.5926	57.9927	47.8188	none	none	none	none	none	42.5644
NDWI FS5 (公頃)	113.6650	105.0820	66.4359	88.8336	none	none	none	none	none	143.7258
SCP S2 (公頃)	56.0255	14.4221	26.7511	58.4246	34.1012	30.5077	24.3621	64.2636	77.7024	31.5877
NDWI S2 (公頃)	124.6168	126.2194	59.4051	93.3898	48.7603	59.4278	47.6791	75.6979	148.1240	118.2255
月降雨量 (mm)	136.0	168.0	34.5	9.0	25.0	11.5	31.0	111.0	695.5	36.0



四、探討可用水資源多寡

重新細分不同物件NDWI的適當數值區間範圍，可以快速準確區分集水內的深水區、淺水區及濕砂石、乾砂石、小型草木及苔癬、大型草木。並將此法應用於其他水庫。

研究結論

- 一、衛星影像分析顯示水庫面積與降雨量吻合且可有效即時監測旱象。
- 二、NDWI在測量水體範圍上準確度較高，而SCP於研究範圍類別較單純處將會明顯低估水體範圍。
- 三、經驗證輻射值剖面圖與光達剖面圖呈高度相關，因此乾季時，可有效模擬出水下沉積物分布型態，具備水庫水資源體積計算之潛力。
- 四、從DEM模型可知乾季時水底沉積物並無明顯遷徙；濕季時因水中挾帶大量泥沙使水色混濁，無法由輻射值轉DEM模擬水下地形。
- 五、NDWI搭配適當的指數區間設定，可快速準確區分集水範圍內不同物件組成類別。
- 六、本研究建製分類法亦適用於其他水庫，有利後續發展旱象預警系統。

未來展望

- 一、即時運用衛星影像解算NDWI監測水庫水位或淤沙量，作為限水、潰堤警界預報。
- 二、開發即時觀測水情之APP，以便民眾更加知曉台灣水情。
- 三、可將SCP用於樣區類別較多處進行分析。

參考文獻

- Bo-cai Gao (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425796000673>
- Ujwala Bhangale et al.(2022). Analysis of Surface Water Resources Using Sentinel-2 Imagery, from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920312801?ref=pdf_download&fr=RR-9&rr=795d95a5fcee6a98
- João Serrano et al.(2019). Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System, from <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/62>
- 其他參考文獻與資料，請見研究報告作品說明書