

第四章 參訪行程

4-1 南佛羅里達水管理局

佛羅里達州依據 1972 年之水資源法案 (Water Resource Act) 劃分水利區，其劃分標準係依水域分界線而非依行政區域。目前佛羅里達州總面積 152,560 平方公里中劃分 5 個水利區，計有西北佛羅里達水管理局 (Northwest Florida Water Management District)、史汪尼水管理局 (Suwannee River Water Management District)、聖約翰河水管理局 (St. Johns River Water Management District)、南佛羅里達水管理局 (South Florida Water Management District) 及西南佛羅里達水管理局 (Southwest Florida Water Management District)。

上開各水管理局之主要任務略述如下：

- 一、豎立各水利區內之最低流量和水位。
- 二、管理水資源和相關土地資源必須依據保持均衡性為原則。
- 三、適當利用地表水與地下水。
- 四、管制蓄水池、集水區水工構造物及其他構造物，使其能增加地表水移動之功能。
- 五、防制洪水、土壤沖蝕及過度排水所造成之災害。
- 六、協助地方政府擬定綜合性的管理規劃，特別是提供相關水資源資料。為達此目標，賦予各水管理局至現場收集資料及研究之權利，以增進水資源之開發。
- 七、水管理局負責缺水時期之各種緊急措施，以維持可航行河川和港口之安全，以增進州民福利。
- 八、參與旱澇災應變措施，澇災後之復建，旱災時之水源調配及保育，維護常淹水或缺水地區。

各水管理局營運與相關計畫推動之經費來源如下：

- 一、聯邦政府撥發指定用途之經費。

- 二、州政府撥發指定用途之經費。
- 三、水權費（permit fees）。
- 四、債券（bonds）。
- 五、房地產稅，依據水資源法之規定，由房地產稅撥付一定比例的經費作為水管理局的專用預算，是水管理局最大經費來源。

本次參訪之南佛羅里達水管理局（South Florida Water Management District, 縮寫 SFWMD）位於邁阿密北方之西棕櫚灘（West Palm Beach），主管佛羅里達州南部之水資源分配，區域從 Orlando 到 Florida Keys 涵蓋 16 個郡，約有 750 萬人。南佛羅里達水管理局於西元 1949 年創立，是佛羅里達州五個水管理局中規模最大且歷史最悠久的一個。

南佛羅里達水管理局主要任務為經營與維護水資源並平衡與改善水質、水患、自然系統及水供應系統。管理局一項最重要的政策為 Everglades 綜合復育計畫，該項計畫為美國歷史上規模最大的環境復育計畫。管理局同時致力於改善 Kissimmee 河與該河川的洪水平原、Okeechobee 湖及河口海岸。

南佛羅里達區域水資源系統包含 2,600 英里渠道、1,300 個水控制設施及 64 處抽水站用來維持區域用水供應與洪水控制。

乾旱、颶風等極端氣候影響南佛羅里達用水供應及洪災保護措施，所以管理局必須更積極操作與維護水資源管理系統、提昇水資源保育工作，以便提供未來用水成長需求。

參訪重點如下：

- 一、Everglades綜合復育計畫（CERP）相關介紹。
- 二、水文模式介紹。
- 三、緊急應變中心參觀。

四、污水淨化抽水站參觀。

五、人工溼地現場參觀。



圖 4-1 學員於南佛羅里達水管理局參訪與陳博士合影



圖 4-2 緊急應變中心設施



圖 4-3 與南佛羅里達水管理局金博士相見歡

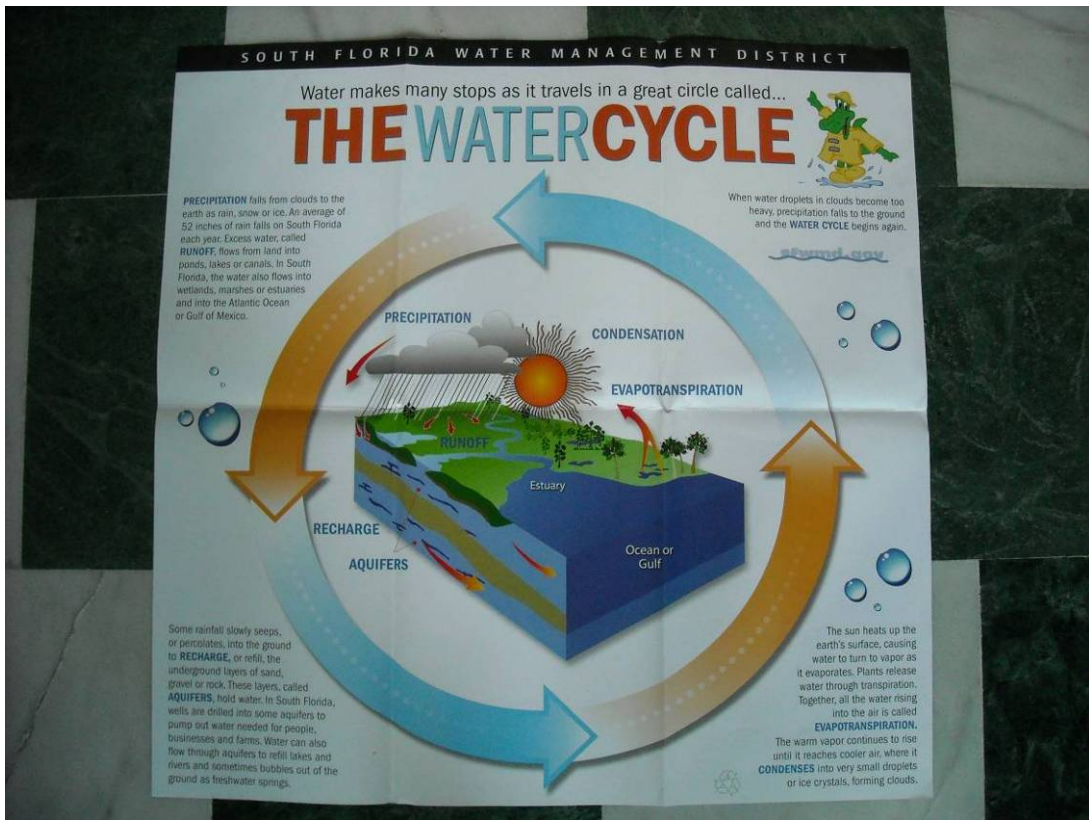


圖 4-4 南佛羅里達州水管局所製水資源循環示意圖



圖 4-5 污水引入人工溼地之抽水站室內設備



圖 4-6 污水引入人工溼地之抽水站進水口設施



圖 4-7 Everglades 復育計畫導覽



圖 4-8 Everglades 人工溼地景觀

4-2 聖約翰河水管理局

聖約翰河水管理局（St. Johns River Water Management District）位於佛羅里達州之帕拉卡（Palatka），創立在 1972 年，轄管面積 12,283 平方英哩，範圍包含佛羅里達州東北部及中部東邊地區，約較臺灣的面積略小。

聖約翰河水管理局轄區內最主要的河川為 St. Johns River，全長約 490 公里，亦是佛羅里達州最長的河流，且為全美少數幾條流向由南往北的河川之一，其河床坡降小於 9 公尺，平均河道坡降約 1：54,000，該河水流速平均約每秒 2 公分，被當地人稱為「懶惰河」（Lazy），由於流速緩慢進而增加其本身對污染物自淨功能的困難度。

另外，聖約翰河上游流域約 70%的沼澤溼地被築堤排水，作為農地耕作及都市發展的用地，對生態環境造成極大衝擊。聖約翰河水管理局針對河川復育及河川污染等兩大課題，自 1980 年開始進行相關計畫，目標回復 5 萬公頃之沼澤溼地，期以恢復流域原本之面貌。

聖約翰河水管理局兩項合發許可任務為水權核發及環境資源許可核發。水權核發項目包含生活用水、灌溉用水、地下水及工業用水；環境資源許可核發係為確保建設對水道、地下水環境影響在許可範圍內。管理局的核心任務係提供區域內人類及環境足夠用水，而用水的來源主要從佛羅里達州地下水層。佛羅里達雨量平均每年約 50 英吋，大約有 13 英吋補充地下水層。也就是雨水一方面變成地下水後供給飲用、灌溉及工業使用；另一方面必須供應湖泊、河流、溼地等天然環境所需。管理局正執行水供給計畫滿足未來用水需求同時能兼顧水資源環境保育，使地下水資源達到永續利用的目標。



圖 4-9 聖約翰河水管理局



圖 4-10 研習成員與聖約翰河水管理局黃清次博士合影



圖 4-11 聖約翰河流域防洪閘門自動控制站設施現場解說



圖 4-12 聖約翰河流域洪水監控系統



圖 4-13 聖約翰河流域防洪閘門自動控制站之水門



圖 4-14 聖約翰河流域防洪閘門自動控制站上游水位計

4-3 柑橘研究及教育中心(CREC)

在佛羅里達州的柑橘產業歷來是一個國家的重要經濟農業，至今仍是如此。柑橘類水果，包括柑橘、柚子、橘欖果、酸橙，是該州最大的農業商品。

柑橘研究及教育中心（Citrus Research and Education Center, CREC）成立於 1917 年，早期稱為柑橘試驗站現在是歷史就悠久規模最大的校外實驗站，隸屬佛羅里達大學糧食及農業科學學院（University of Florida/Institute of Food and Agricultural Sciences, UF/IFAS）下設之研究單位，研究範圍涵蓋佛羅里達大學 8 個學科之研究所，包括園藝科學、土壤與水科學、植物病理學、昆蟲學與線蟲學、微生物與細胞科學、農業與生物工程、食品科學與人類營養、食品與資源經濟等，另擁有世界最大的柑橘圖書館，藏書超過 15,000 冊。

如今超過 250 人受僱於 CREC，研究機構設施包括超過 200 畝的樹林、溫室，1 個柑橘包裝廠，1 柑橘加工試驗工廠和 40 多個實驗室。CREC 科學家和工程師密切致力於柑橘產業，以解決有關問題，園藝，病蟲害，以及採後加工處理技術；此外利用全球定位系統（GPS）衛星和航照及高科技設備技術，以協助管理研究分析一個柑橘樹木疾病和蟲害，土壤缺陷和其他問題，以提升柑橘產量及品質。

50 年前，柑橘灌溉罕見，1950 年柑橘研究和教育中心開始研究提升柑橘灌溉技術，近年來”精密農業”一詞在中心推動下已相當成熟，也已證明適當的灌溉除了節約用水外更可提高產量，進一步發展出最經濟最有效率的微噴灑器灌溉方式。

早期柑橘防凍的方法，是使用加熱器或風力機以保護樹木和柑橘果實，在 20 世紀 80 年代，CREC 研究人員證明微噴灑器灌溉方式是相當有效的防凍保護法。

柑橘研究及教育中心之科學家與工程師相繼提出柑橘產業發展之關鍵技術與科學見解，包含：

- 一、發展出目前製作冷凍濃縮果汁的技術。
- 二、決定需求後提出施肥的建議，使得肥料使用更有效率，以及持續提升水果產量。
- 三、制定醫治Yellow Spot、Spreading Decline、Greasy Spot及Alternaria Brown Spot等病蟲害的程序。
- 四、證明柑橘灌溉是經濟與有效率的。
- 五、證明微噴灑器灌溉方式對於防凍害是有效的



圖 4-15 柑橘研究及教育中心



圖 4-16 柑橘研究及教育中心參訪研討



圖 4-17 自製簡易空照飛行器

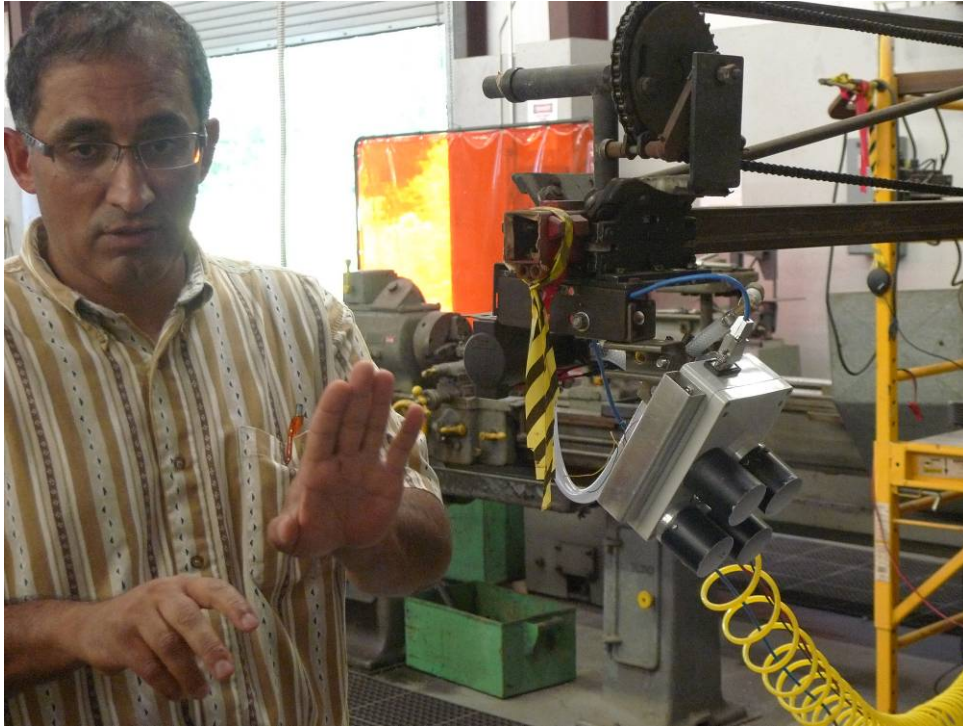


圖 4-18 利用微波偵測 HLB 的病害

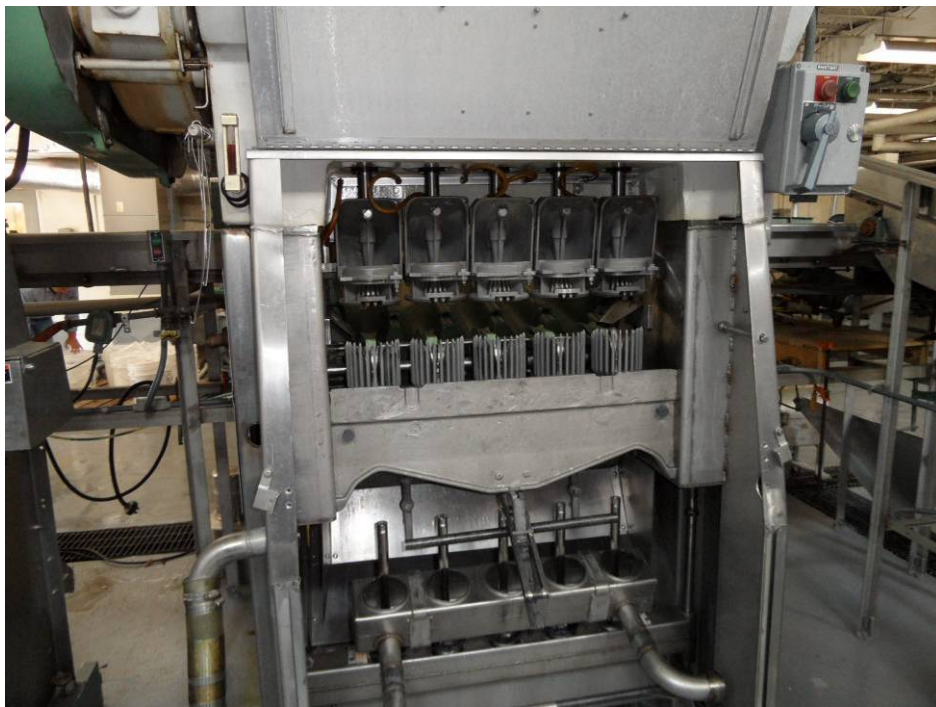


圖 4-19 柑橘榨汁設備

4-4 Water Conserv II 再生水中心

需要日益增加污水處理服務和減少地表水的流失的佛羅里達州，經過多項方案漫長和詳細審查，於是成立 Water

Conserv II。 Water Conserv II 係世界知名的灌溉與快速補助地下水滲透盆地（Rapid Infiltration Basin, RIB）之水資源再利用計畫。這個計畫從西元 1989 年起，至今已獲得無數與工程應用、環境保護、水資源再利用、健康與安全、社區服務、維護管理的傑出成就獎項。

Water Conserv II 計畫由奧蘭多市與橘郡聯合執行，是世界上相同類型之水資源再利用計畫中最大的一個，也是佛羅里達州第一個由佛羅里達環境保護局（Florida Department of Environmental Protection, FDEP）所允許，利用再生水（Reclaim Water）來灌溉人類消費型作物的水資源再利用計畫；包括住宅和高爾夫球場，糧食作物，葉子和景觀苗圃，林場，牧場，生產水泥土，也可以用於防火、滅火。

在整個在生水循環過程中有 25 個補充用的水井配置於整個配水管網中。每個水井的容量約從 1,500 GPM 到 3,200 GPM。尖峰時可提供約 56,000 GPM 的補充水。當再生水無法滿足用戶的需求時，用來提供灌溉防凍與防旱所需水量。

Water Conserv II 計畫中快濾滲透盆地是安全回收水再利用於農業及居住灌溉與商業使用時備受肯定的方法，快濾滲透盆地提供超過用戶需求的流量，目前用戶使用了約 60% 的回收水，剩下的 40% 則由快濾滲透盆地補助到佛羅里達的含水層。

再生水用運用於農業灌溉(柑橘種植者)的利益包括：

- 一、可靠的長期灌溉，在乾早期用水不受制。
- 二、減少安裝地表水或深井抽水系統，及相關操作和維修費用。
- 三、促使幼樹生長更快。
- 四、減少某些營養素的施肥計劃。
- 五、增強柑橘遭受凍結之保護能力。

再生水研究及實驗成果包括：

- 一、1987年以來再生水灌溉好處得到證實。
- 二、再生水灌溉對於柑橘嶺（含沙，以及排水）土壤很好反應，可以忍受高達100英寸（每年除了降雨外）。
- 三、再生水並無負面影響。
- 四、再生水灌溉柑橘樹，在樹的條件和規模，產量，土壤和葉片礦質方面的與用井水灌溉樹林通常一樣好。
- 五、再生水灌溉樹如同井水灌溉保持果實品質。
- 六、再生水中有充足的硼和磷，可以減少柑桔施肥方案。
- 七、再生水保持土壤pH值於一定範圍內，柑桔栽種不再需要石灰。
- 八、高品質的落葉水果及堅果可以生長在沙質土壤。
- 九、各種各樣的蔬菜，可有效地增加再生水。
- 十、再生水可使用於栽種飼料作物，如巴伊亞，林波草，多年生花生等。
- 十一、高爾夫球場草皮踴躍申請再生水。

再生水對於環境效益包括：

- 一、減少使用後廢水排到地表水增加環境負擔。
- 二、減少地表水的流失
- 三、將（污水）變為一項資產（再生水）的實益用途。
- 四、證實全年的再生水再利用具有實際的成本效益。
- 五、藉由削減灌溉用井水的需求來降低佛羅里達含水層的需求加速補助佛羅里達含水層。
- 六、維持植物和動物物種。



圖 4-20 Water Conserv II Distribution Center 參訪研討

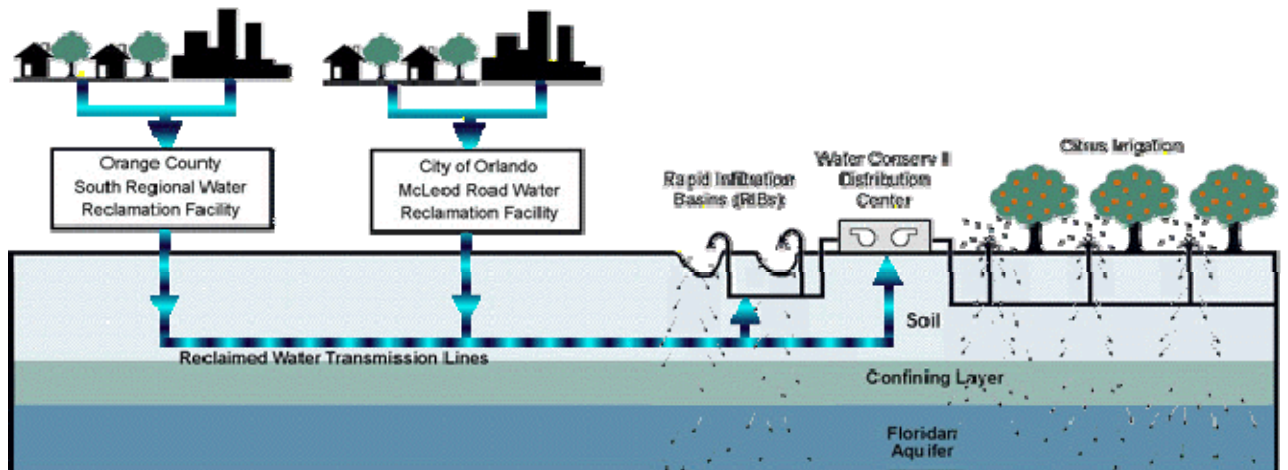


圖 4-21 再生水循環利用示意圖

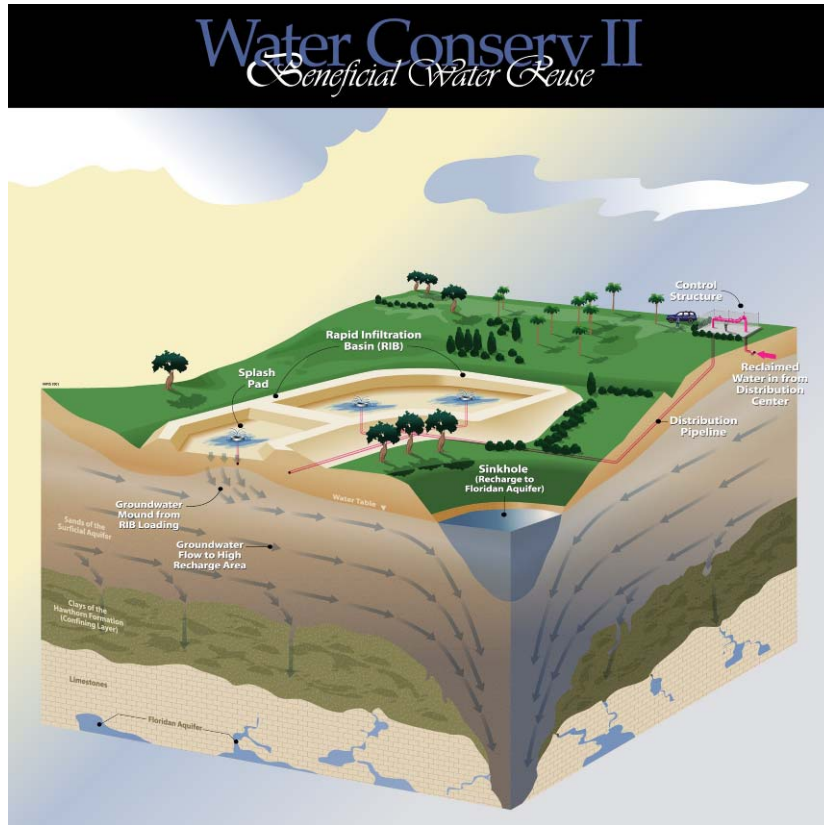


圖 4-22 再生水補助地下水示意圖



圖 4-23 Water Conserv II 的 Mr.Glenn Burden 現場解說



圖 4-24 Water Conserv II 人工快速地下水補注滲透盆地

4-5 Devil's Millhopper 州立地理公園

Devil's Millhopper 是中北佛羅里達州一個標榜地質公園。該公園是完備的一個小露營區，一個小型博物館，一個遠足小徑，小徑可再下到峽谷底部。一旦進入公園，有公園的護林員在服務台是很樂意討論公園的歷史，與它形成的過程。

當步行下階梯到約 120 英尺深的底部山丘。猛一抬頭，你實際上覺得你是在山區，而不是在佛羅里達州的平地。一旦在底部，即使在乾燥的夏天你覺得如果你是在熱帶雨林鬱鬱蔥蔥的枝葉樹影中，這小峽谷實際上是形狀像一個巨大的碗，而水沿著坡面流下沉洞的景觀與聲音提供了這個公園最享受的特色。

石灰石是佛羅里達所在地的地表基礎，雖然這種石頭非常硬，但很容易被弱酸所溶解，雨水接觸到空氣中的二氧化碳會變成弱碳酸；這個沉洞（Sink Hole）深 120 英尺，長寬則都是 500 英尺。有一條半英里長的天然步道環繞著邊緣，還有一座

232 階的樓梯可以到達沉洞的底部。佛羅里達州政府是在 1974 年買下這個地區，並於 1976 年完成階梯。

考古研究人員在這裡學到了很多關於美國佛羅里達州的自然環境史，如：鯊魚牙齒化石，海洋貝殼和化石的發現，陸地動物滅絕的痕跡。遊客可以享受野餐外，透過遊客中心可以了解這裡地質環境歷史。



圖 4-25 Devil's Millhopper 州立地理公園入口



圖 4-26 Devil's Millhopper 階梯步道

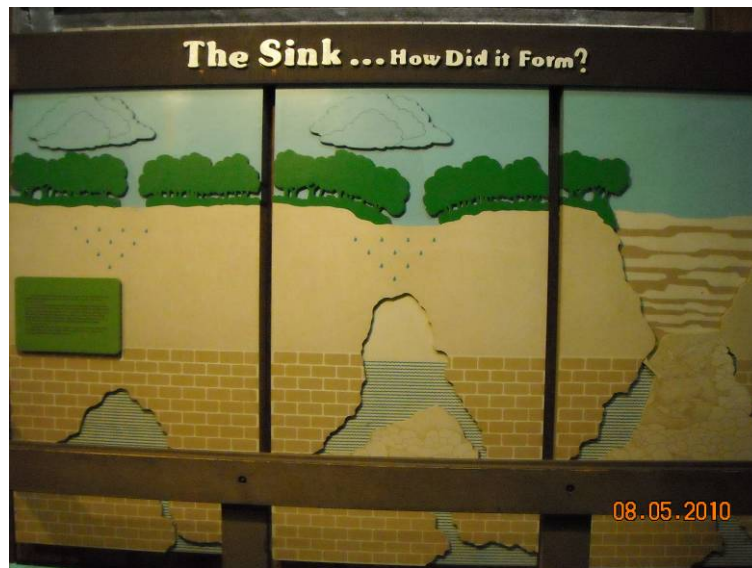


圖 4-27 沉洞 (Sink Hole) 之形成圖解

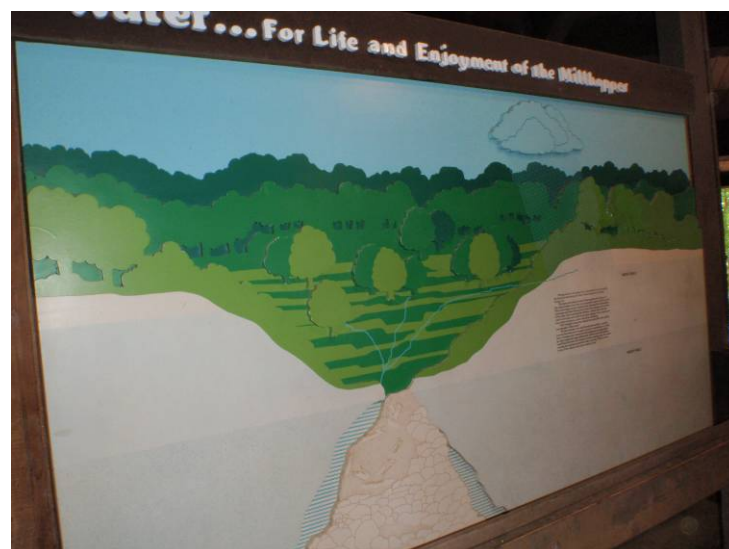


圖 4-28 沉洞 (Sink Hole) 現況圖解



圖 4-29 沉洞最低處之自然景觀

第五章 專案計畫內容

5-1 計畫目的

本次短期研習課程除 RS 及 GIS 理論授課及當地各水資源局參訪行程外，課程安排專案計畫之製作，內含 7 個實機練習，主要利用軟體為 ESRI ArcMap 9 與 ERDAS IMAGINE 9.3，搭配農工中心譚志宏博士所給的資料(台灣各縣市界圖層、河系圖層、桃園及南投之土壤分類圖層、台灣地區 SPOT 及 MODIS 影像)，實機練習地理資訊系統與 MODIS 衛星影像資料操作與分析作業。該專案計畫的主要目的為利用 ERDAS IMAGINE 進行衛星影像幾何校正、地表植被指數 NDVI 計算、非監督式分類後配合 GIS 系統進行圖層套疊來設定地表逕流係數(Runoff Coefficients)及 Curve Number，最後分別利用合理化公式(Rational Formulas)與美國水土保持局入滲公式(SCS Formulas)進行區域性地表逕流量計算，茲將 7 個實機練習之過程與成果分述如下：

5-2 練習一：基本操作與資料查詢

本練習單元之設計目的係運用地理資訊系統 (GIS) 的基本查詢功能展示圖層相關地理資訊，例如展示 2004 年通過佛羅里達州的颶風行進路徑，大致上為朝北方向。

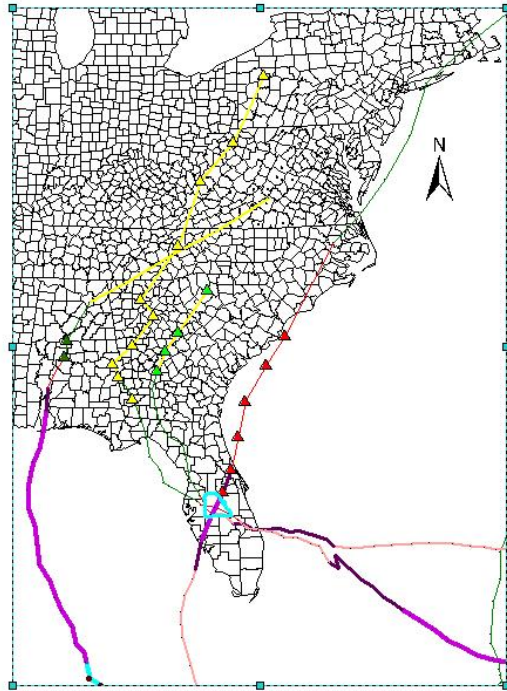


圖 5-1 2004 年行經佛羅里達州颶風路徑

利用 ArcMap 之識別 (Identify) 功能，展示佛羅里達州中部地區三個颶風的中心橫渡通過 Polk 郡。

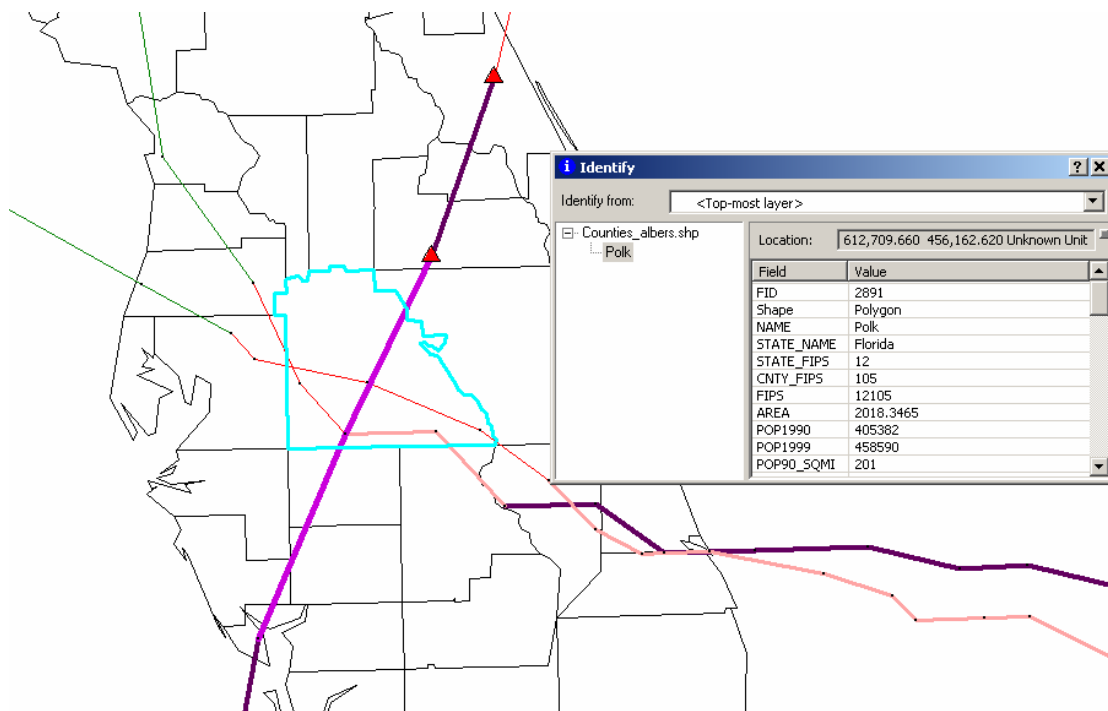


圖 5-2 2004 年行經 POLK 郡颶風路徑

利用標籤 (Label) 之功能，標示出 Gainesville 東部四邊形區域內的土壤類型，可看出該區域有 4 種不同之土壤類別，並加以辨識該區域內的地表利用狀況，大致地表情況概分為 4 種：水體(Water)、都市區(Suburban)、農業區(Agriculture Field)及溼地區(Swamp Forest)。

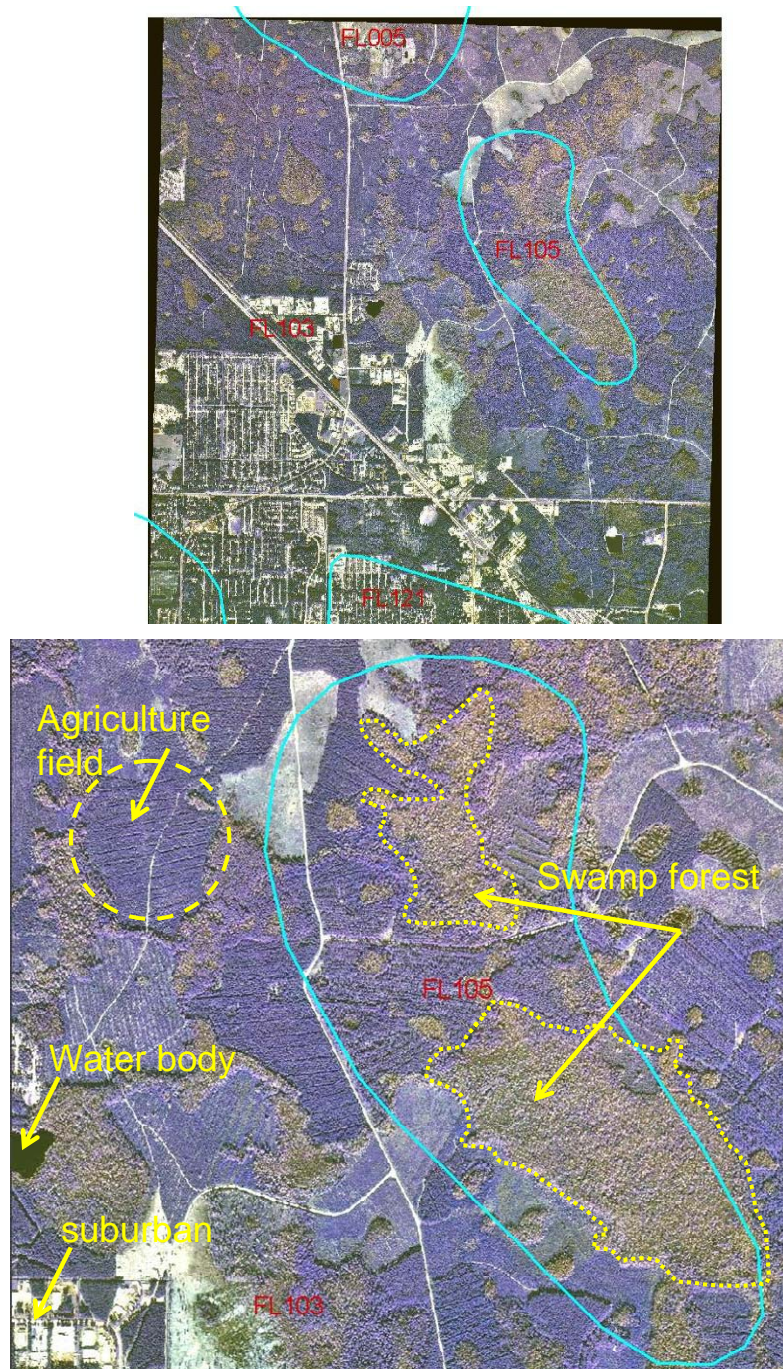


圖 5-3 2004 年行經 POLK 郡颶風路徑

利用屬性表查詢 (Select by attribute) 之功能，鍵入公式查詢美國有 Killer-Bee 的有 5 州、Brown Recluse Spider 的有 15 州及同時有 Killer-Bee 與 Brown Recluse Spider 的州為 Texas。

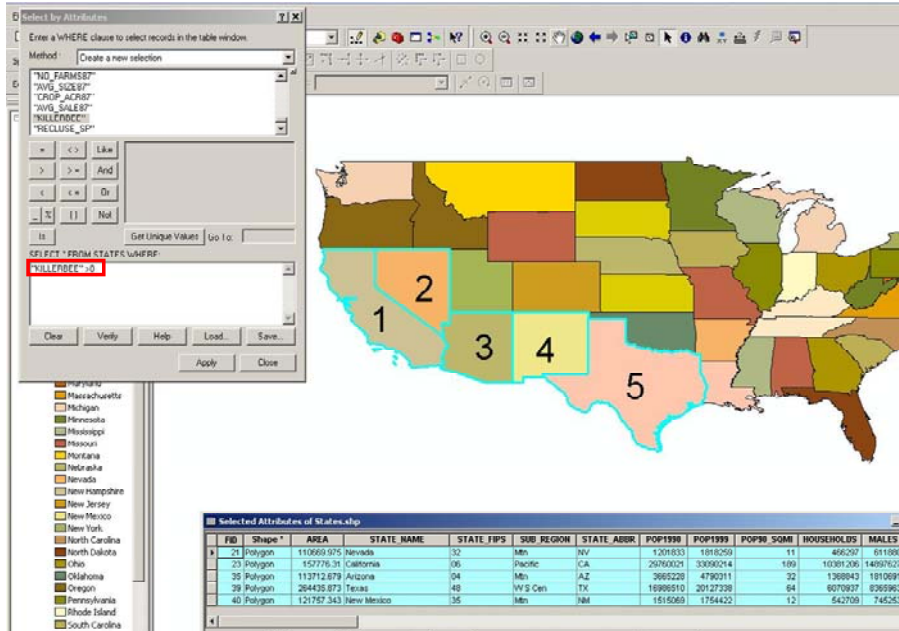


圖 5-4 以屬性表查詢 Killer-Bee 分布

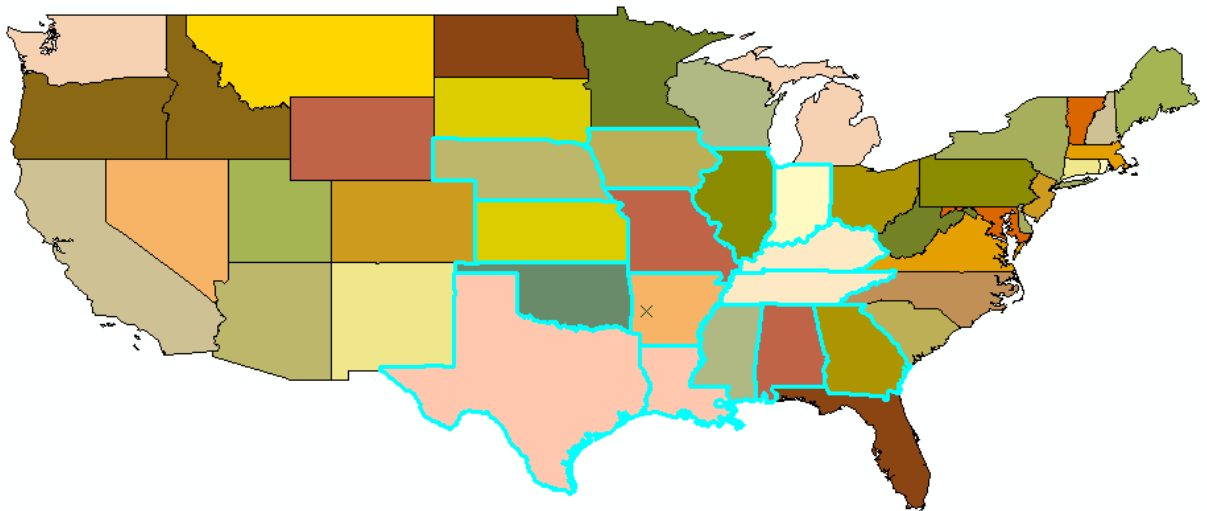


圖 5-5 以屬性表查詢 Brown Recluse Spider 分布

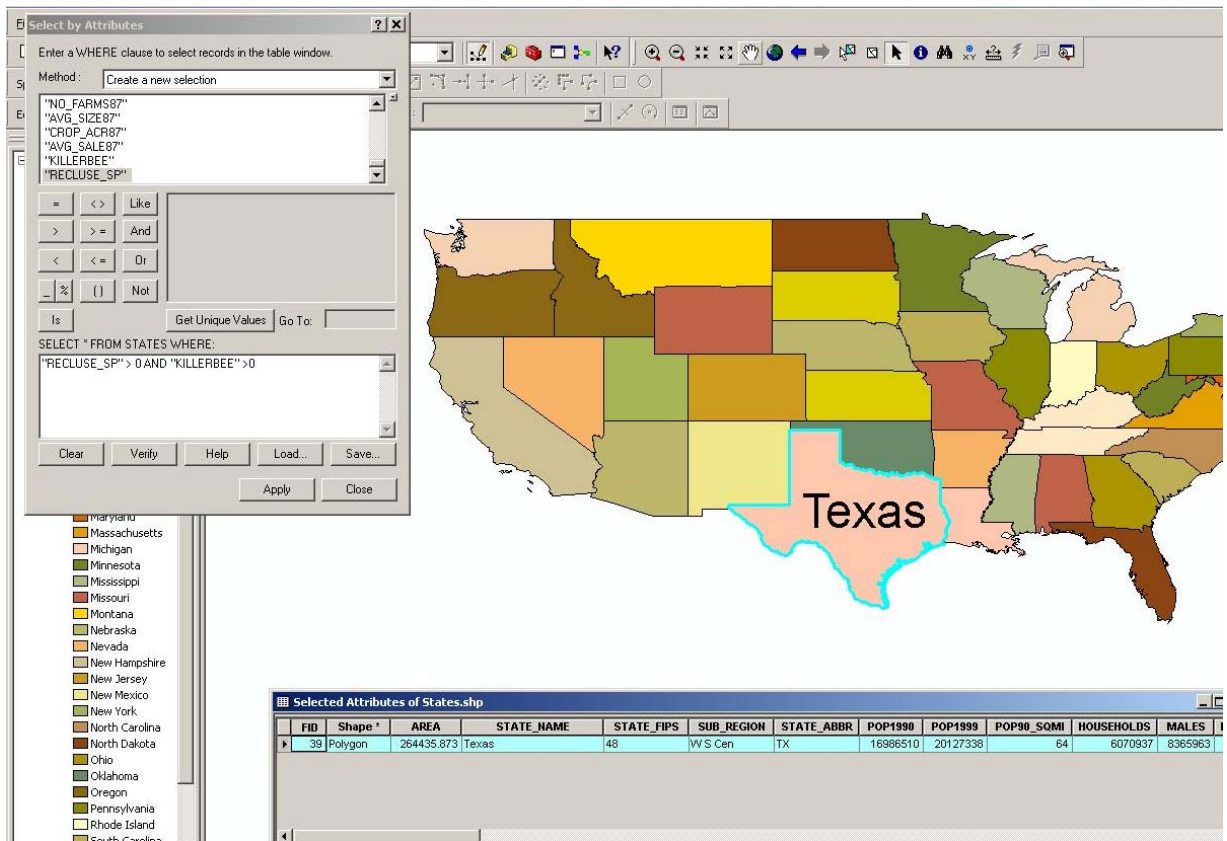


圖 5-6 查詢兩個物種分佈的交集

5-3 練習二 運用網路上之現有 GIS 資料

本練習單元運用 ArcMap 讀入 ArcGIS 資料(包含台灣邊界圖資、台灣集水區邊界圖資、台灣河川圖資及桃園與南投土壤分類圖)、桃園及南投 DTM 資料與 MODIS 影像資料，上述資料讀入結果如下所示：

- County boundaries
- Watershed boundaries
- River Map

Metadata:

Ellipsoid=GRS-1980
Datum=TWD67
Map projection=TM-2
Units=m



圖 5-7 縣市界、集水區、河川圖資套疊成果

- DTM

Metadata:

Ellipsoid=GRS-1980
Datum=TWD67
Map projection=TM-2
Units=m
Resolution=40m

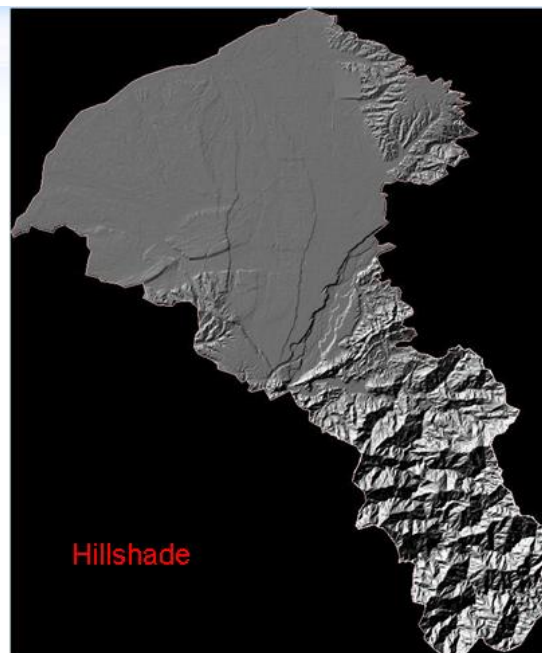


圖 5-8 數值地型模型(DTM)

- MODIS image dataset
launched by NASA in 1999.
36 spectral bands from 400nm-1440nm
2 bands @ 250m
5 bands @ 500m
29 bands @ 1km
Metadata:
Ellipsoid=WGS-1984
Units=lat/long

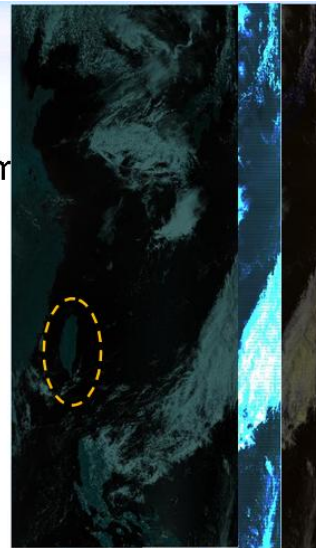


圖 5-9 MODIS 衛星影像

並利用上述資料製作一張主題圖，本報告以製作台灣主要河川集水區主題圖為例，製作步驟如下：首先加入台灣行政區、河川、集水區圖層

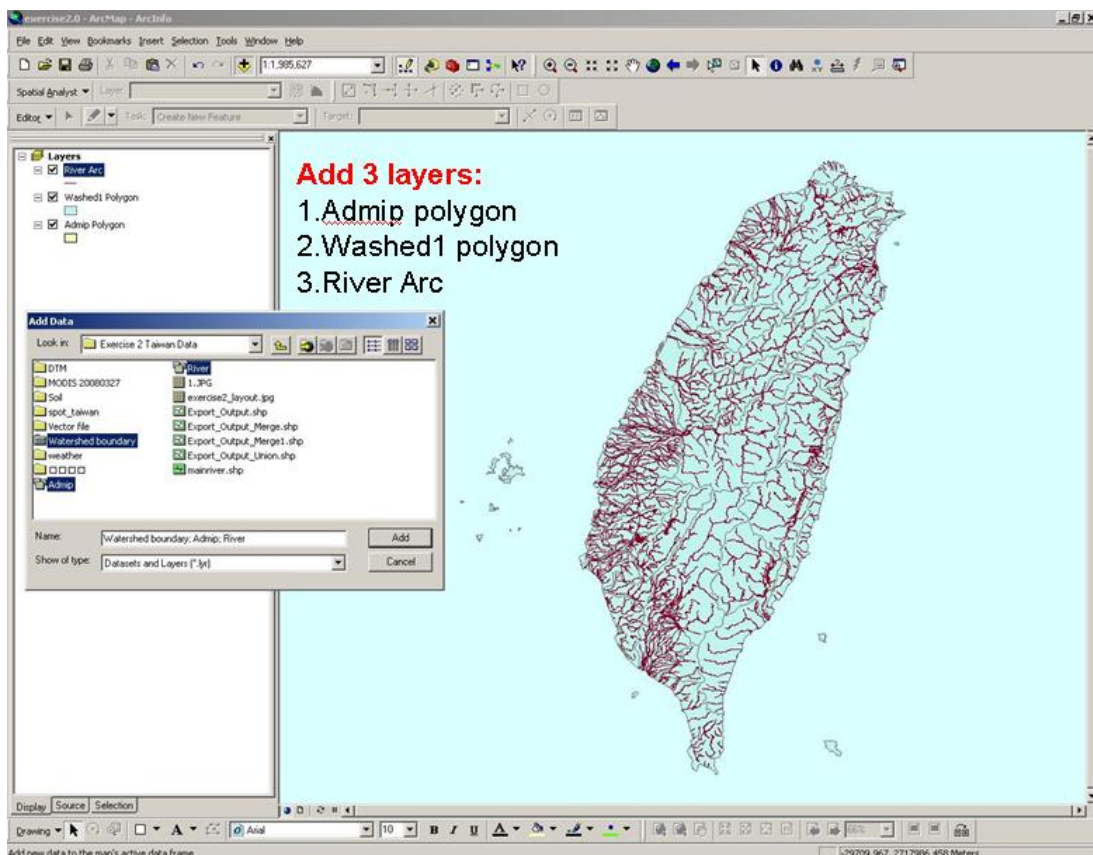


圖 5-10 開啟圖層

開啟河川圖層屬性表(Open the Attribute Table), 選取主要河川(Class=1)

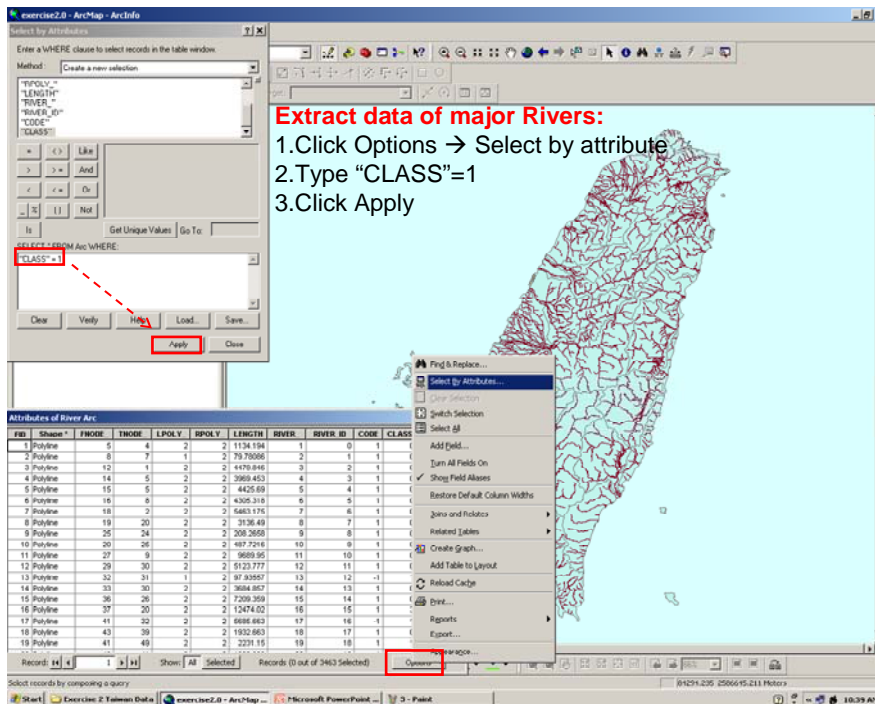


圖 5-11 以屬性表選取主要河川

將選取到的主要河川匯出成 shape file 檔，命名該檔後加入該圖層。

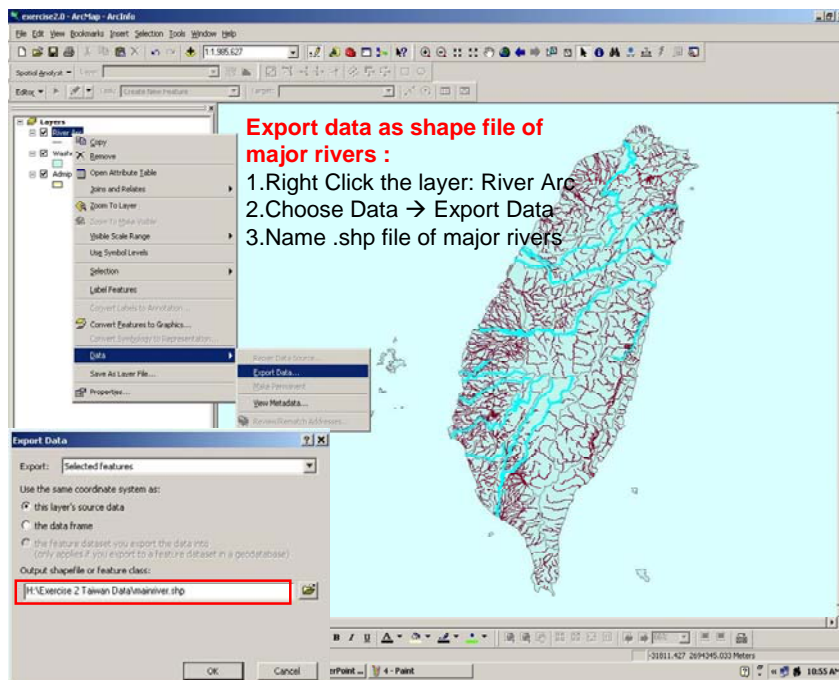


圖 5-12 匯出主要河川圖層

以選取按鈕選取主要河川集水區，並將選取結果匯出成 shape file 檔。

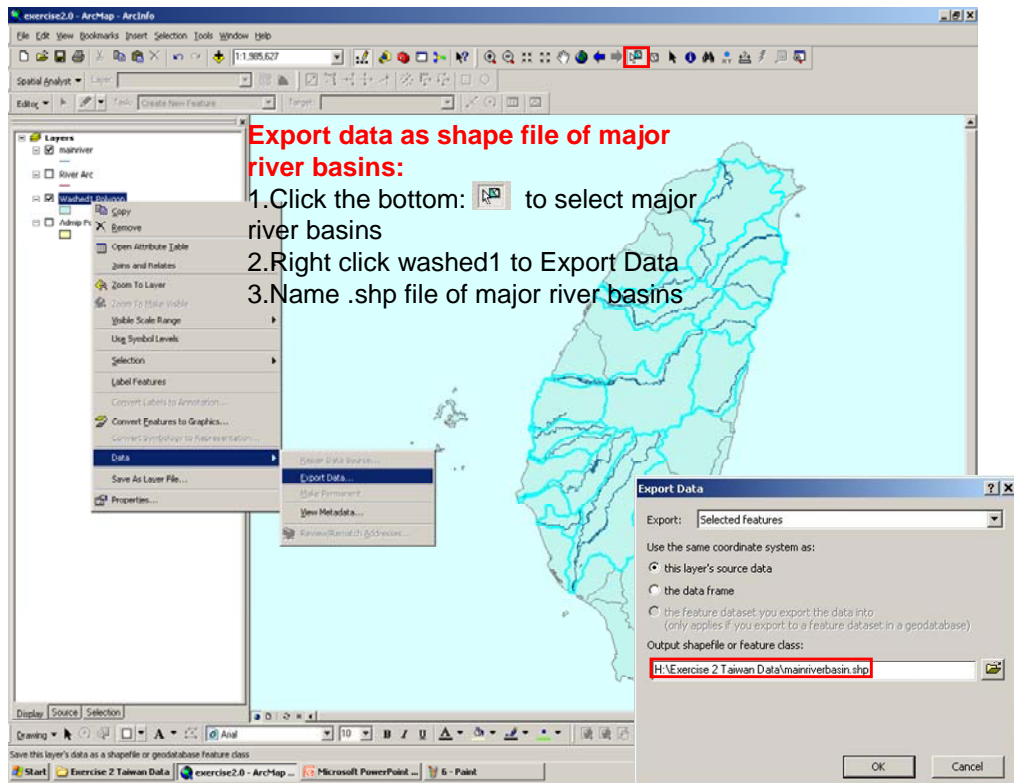


圖 5-13 匯出主要集水區圖層

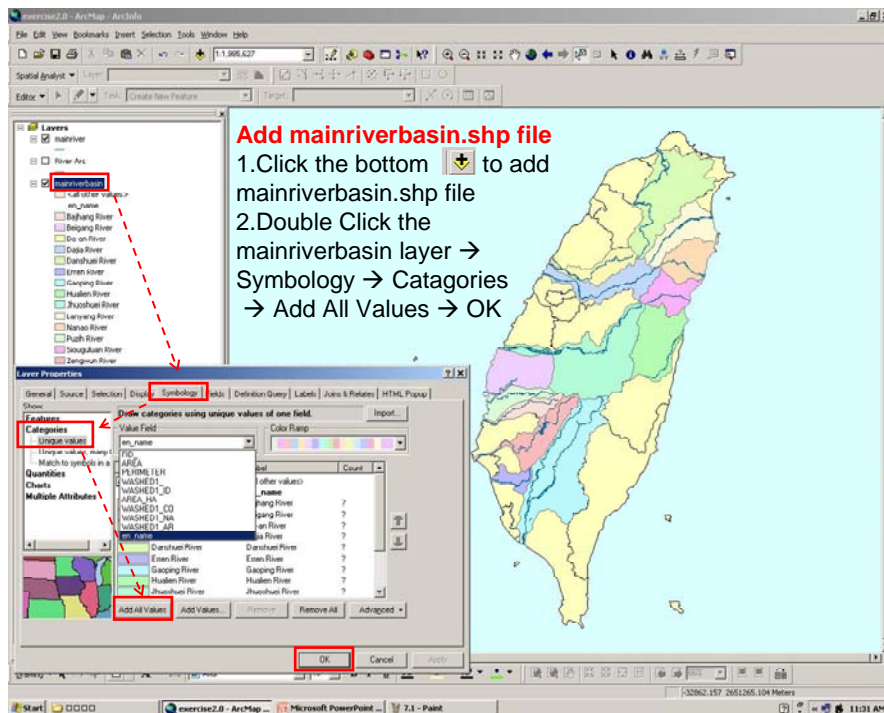


圖 5-14 以顏色區分各集水區

最後增加各集水區標籤，利用 Layout 功能佈置主題圖，並增加圖例、指北針及比例尺等，便於主題圖閱讀。

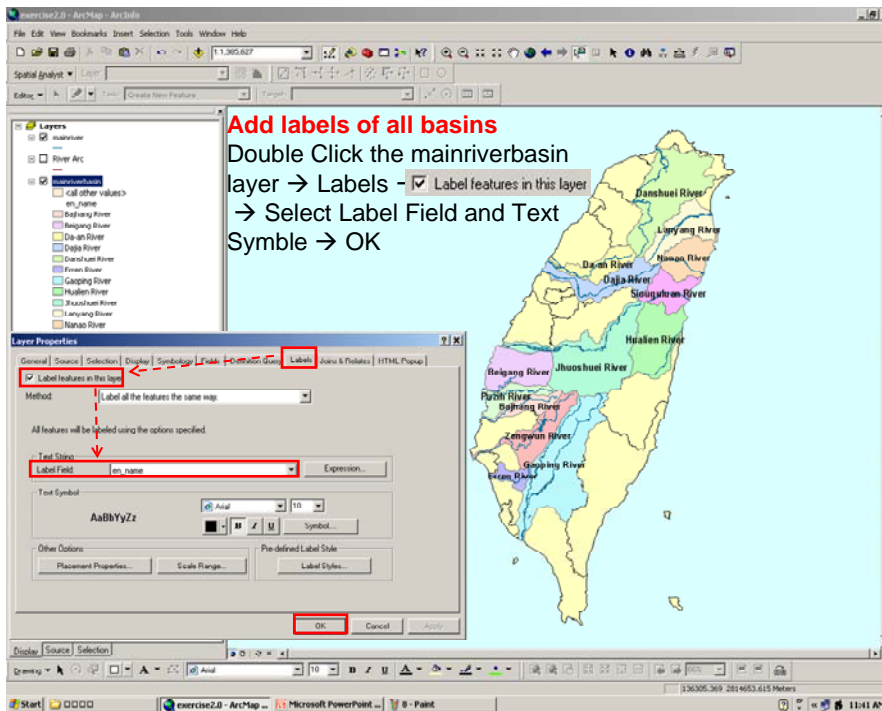


圖 5-15 佈置主題圖之過程

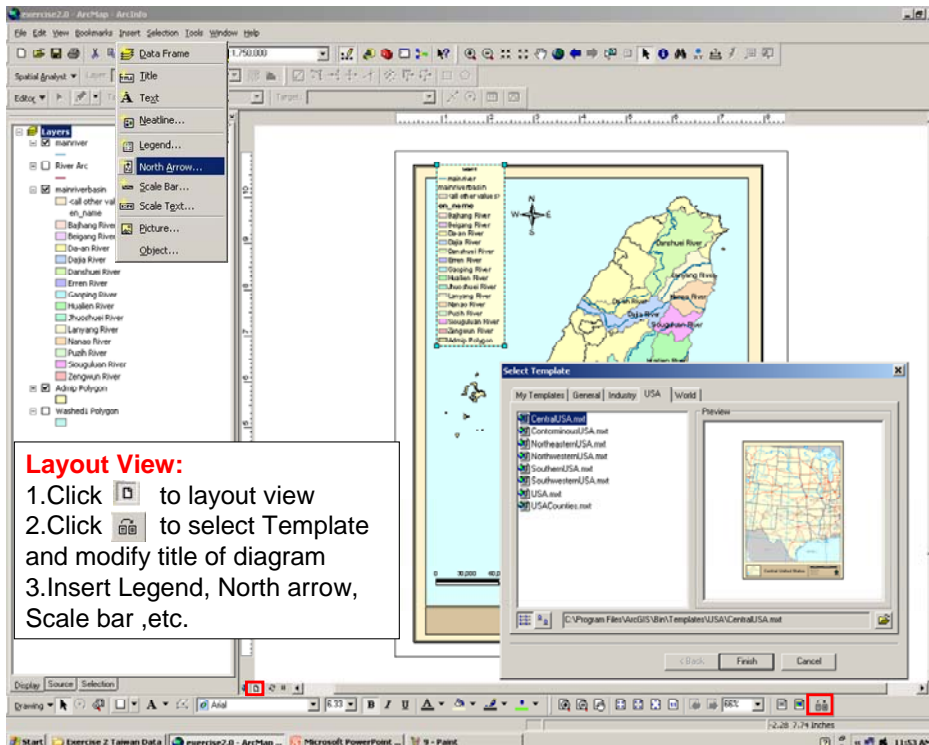


圖 5-16 輸出主題圖

台灣主要河川集水區之主題圖如下圖所示：



圖 5-17 主題圖輸出成果

5-4 練習三 影像資料幾何校正

本練習單元練習針對 MODIS 影像進行幾何校正，並裁剪出感興趣的研究區域(Area of Interest)。首先利用 ERDAS Imagine 軟體之 Import 模組匯入 MODIS 影像，其影像解析度共分為 250m、500m 及 1000m 三種，檔案格式為.HDF 檔，由匯入完成後的原始影像可發現影像中的台灣有些許扭曲的現象，下圖是尚未設定投影座標及幾何校正的原始圖像。

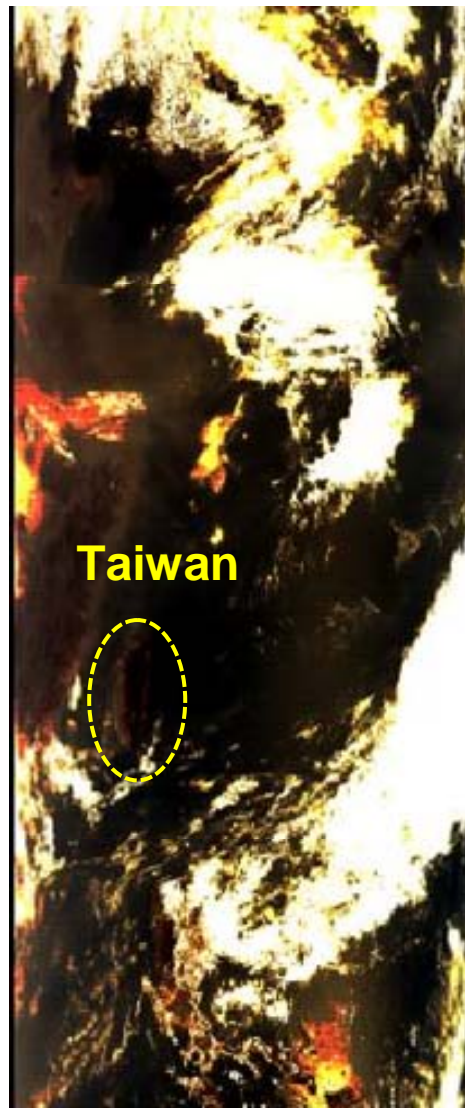


圖 5-18 MODIS 衛星原始影像

匯入原始影像後，進行幾何校正前須設定投影座標(UTM WGS84 North, UTM Zone51)及指定重新採樣的方法(Nearest Neighbor)，指定投影座標即是賦予影像座標系統，以便後續的幾何校正作業，下圖為設定投影座標後的 MODIS 影像。

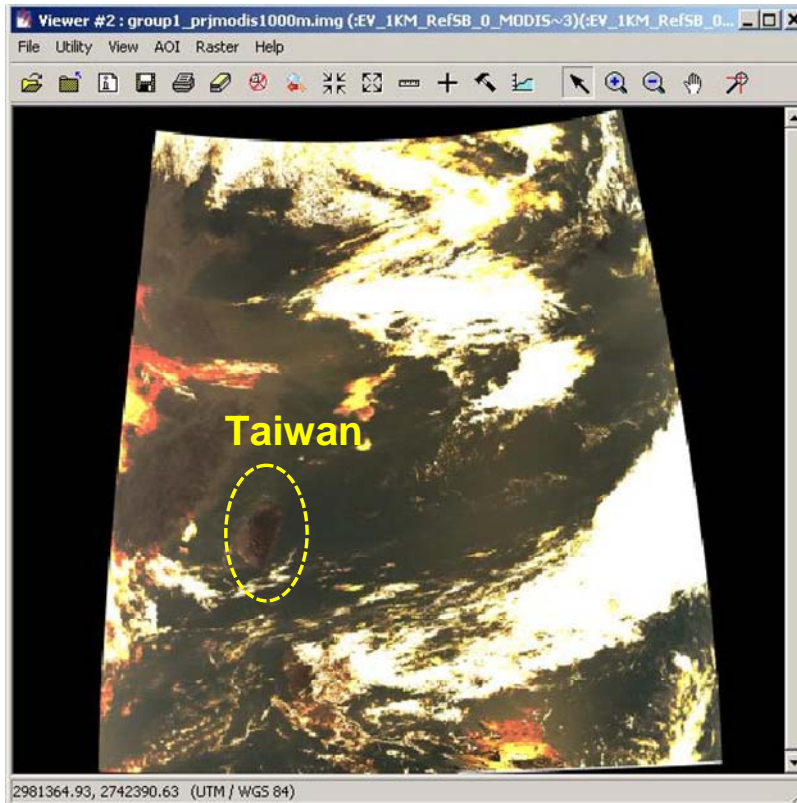


圖 5-19 設定投影座標後的 MODIS 影像

接著利用 Geometric Correction tool 選定台灣 SPOT 影像作為參考影像進行幾何校正作業，選定 15 至 20 點地面控制點 (Ground Control Point) 以校正各解析度之 MODIS 影像，GCP 選定過程如下圖所示。

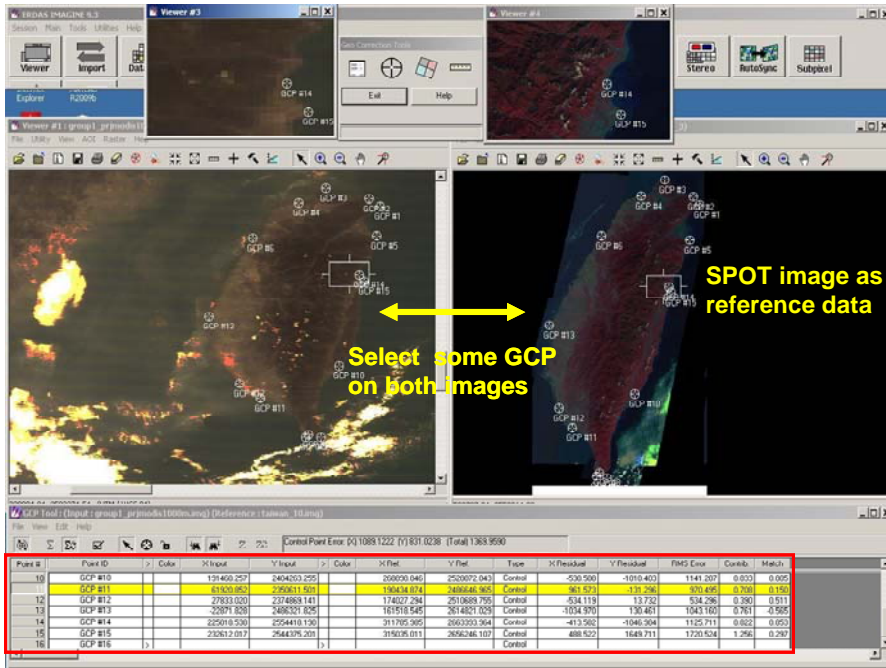


圖 5-20 GCP 選定過程

再套疊台灣邊界向量圖檔，可看出向量邊界線與校正後之 MODIS 影像吻合良好。

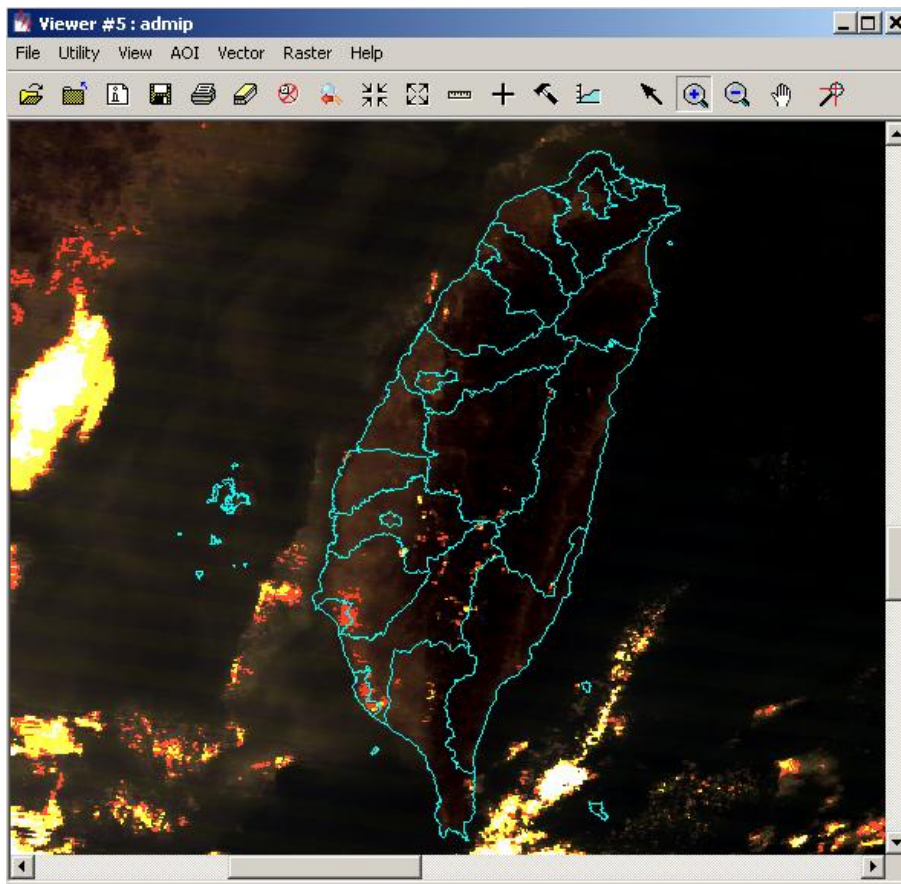



圖 5-21 經過幾何校正之衛星影像

針對校正後之影像進行研究區域的裁剪，本報告選定研究區域為桃園地區，套疊桃園邊界圖層與校正後影像，選定該區域並儲存成 AOI 檔案，以 ERDAS DataPrep 功能裁剪出桃園地區的檔。

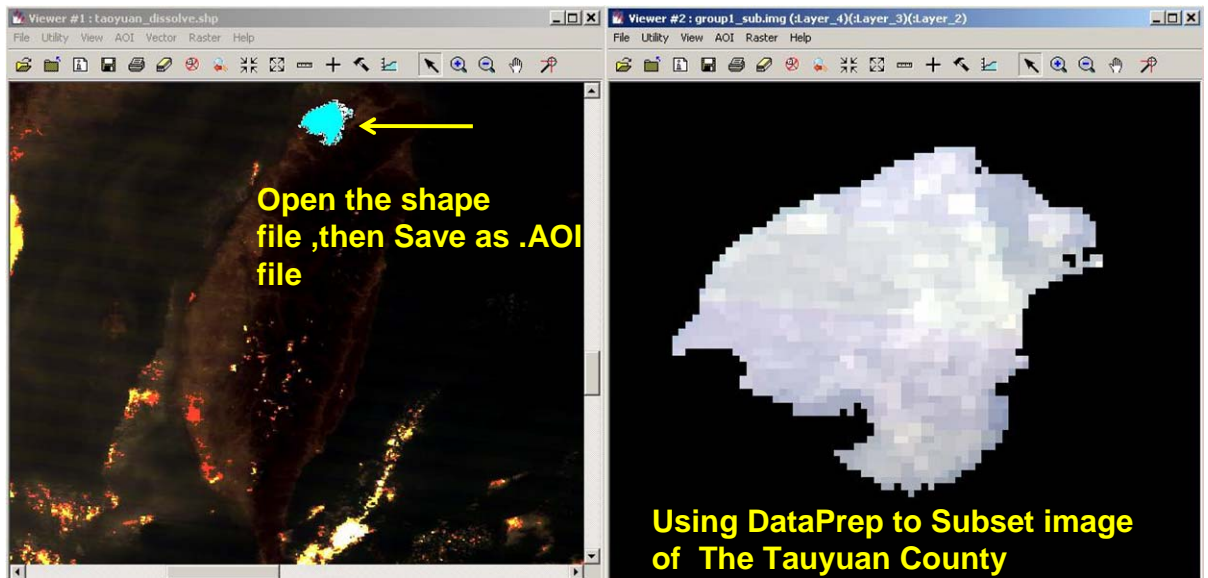


圖 5-22 裁切興趣範圍之影像

5-5 練習四：光譜範圍影像處理

該練習可分作三部份，第一部份為 MODIS 影像的預覽，以 ArcMap 調整不同光譜波段來顯示 RGB 三波段。第二部份為製作解析度 250m 之 MODIS 影像的植被指數 NDVI。第三部份為利用 ERDAS DataPrep 中的 Unsupervised Classification 製作解析度 500m 之 MODIS 影像非監督式分類圖，分類類別為 30 類。

一、MODIS 影像預覽

解析度 1000m：以 MODIS 影像第 14 波段表示紅光段、第 12 波段表示綠光段，第 9 波段表示藍光段，光譜波段調整後影像如下。

Adjust bands to display the image

R→MODIS Band 14
G→MODIS Band 12
B→MODIS Band 9

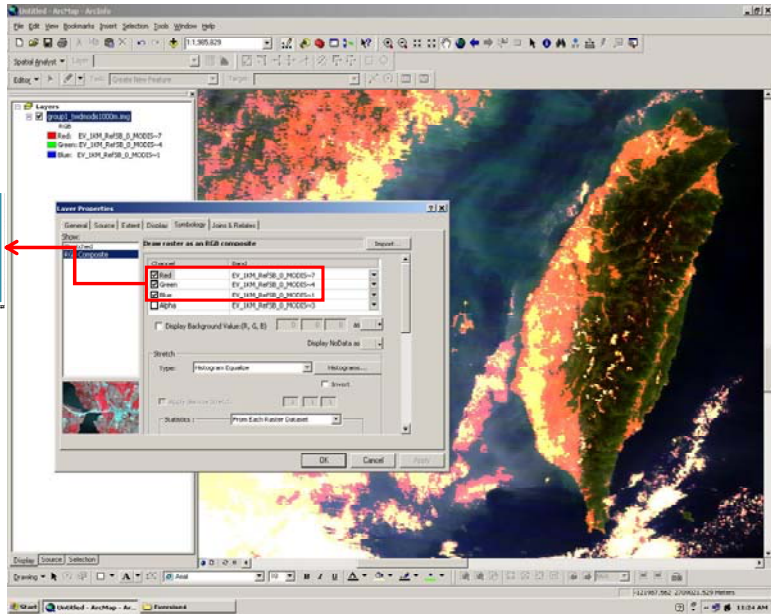


圖 5-23 利用不同波段組合展現 1000m 解析度衛星影像

解析度 500m：以 MODIS 影像第 6 波段表示紅光段、第 4 波段表示綠光段，第 3 波段表示藍光段，光譜波段調整後影像如下。

Adjust bands to display the image

R → MODIS Band6
G → MODIS Band4
B → MODIS Band3

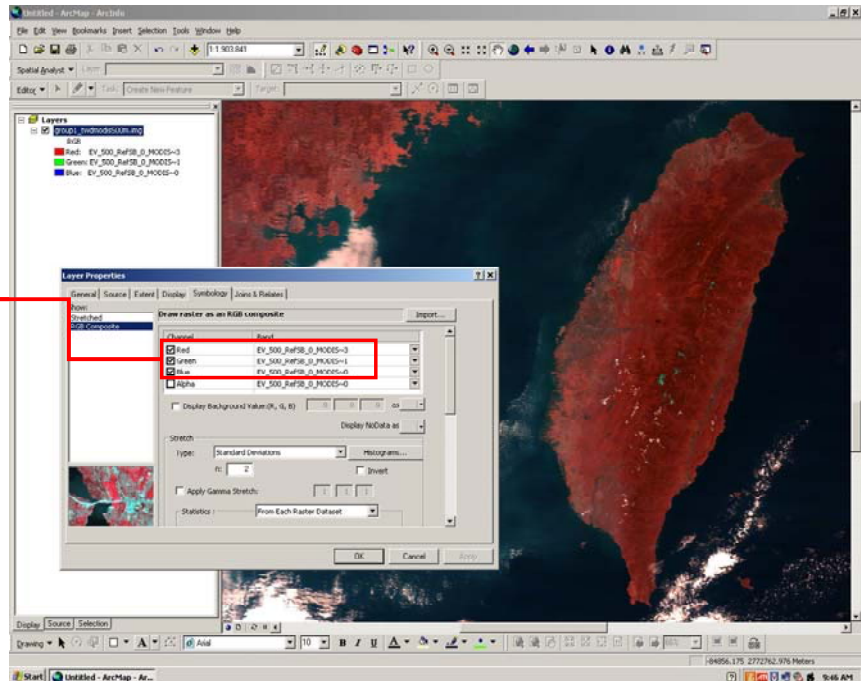


圖 5-24 利用不同波段組合展現 500m 解析度衛星影像

解析度 250m：由於該解析度僅有兩波段，因此經過波段堆疊(Stack)後，以解析度 500m 之 MODIS 影像第 4 波段表示綠光段、第 3 波段表示藍光段，而原解析度 250m 的第 1 波段表示紅光段，光譜波段調整後影像如下。

Export and stack bands data to display the image

Stack Band :
R→Band 1 (250m)
G→Band 4 (500m)
B→Band 3 (500m)

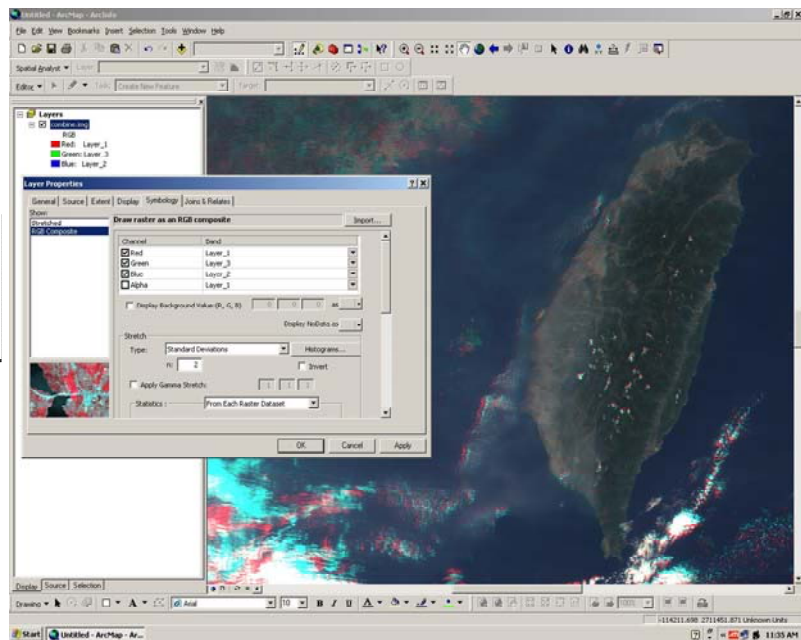


圖 5-25 利用不同波段組合展現 250m 解析度衛星影像

二、製作植生變異指標 (NDVI) 圖

利用 ERDAS Imagine 製作桃園地區 NDVI，其製作流程及結果如下圖所示。

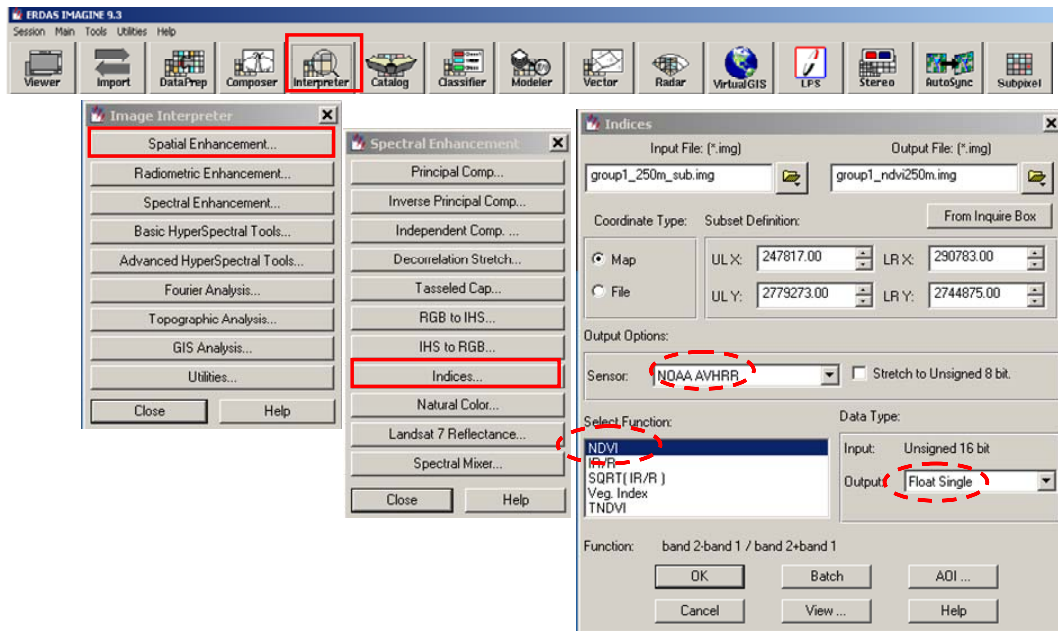


圖 5-26 製作植生變異指標（NDVI）圖流程

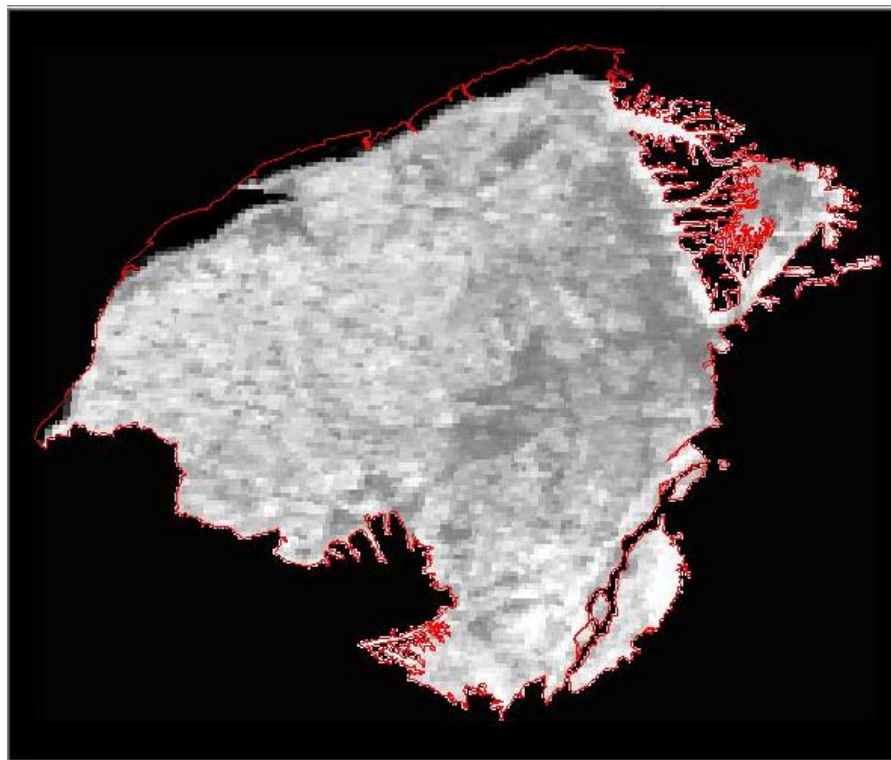


圖 5-27 植生變異指標（NDVI）圖

藉著比較 NDVI 圖(水體-黑色，道路和裸地-深灰色，植物-淺灰色)與經波段調整後的解析度 500m 影像，可約略概分地表分類如下圖：

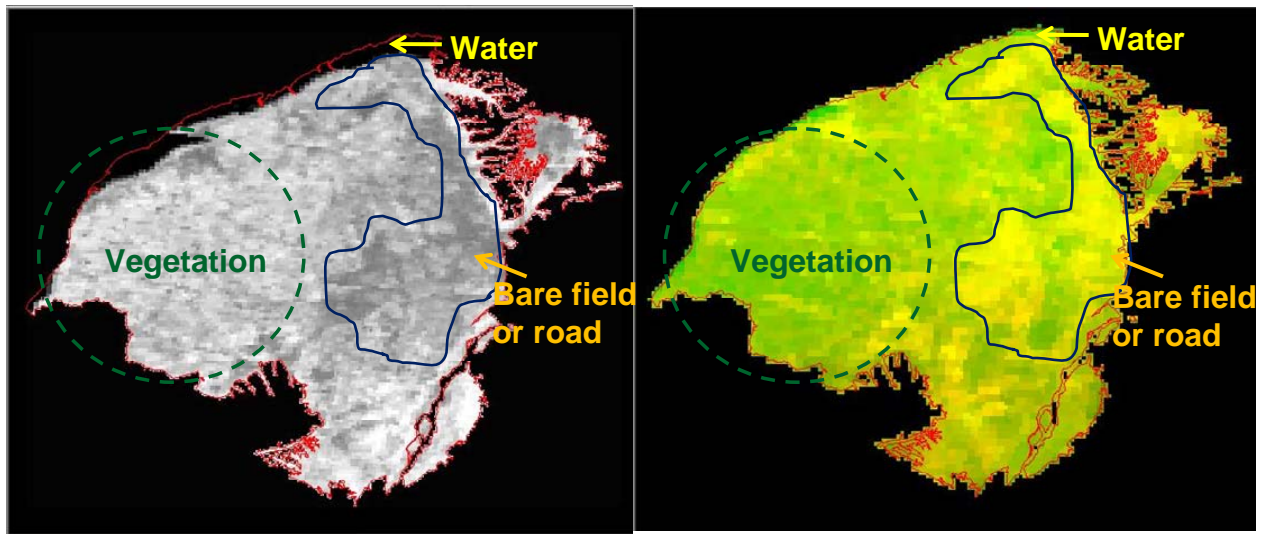


圖 5-28 植生變異指標地表物分類結果

三、製作非監督式分類成果

利用 ERDAS 的 DataPrep 功能，將解析度 500m 的影像，以非監督式分類法將地表覆蓋分成 30 類，並分別賦予各類別不同顏色，非監督式分類過程及結果如下圖所示。

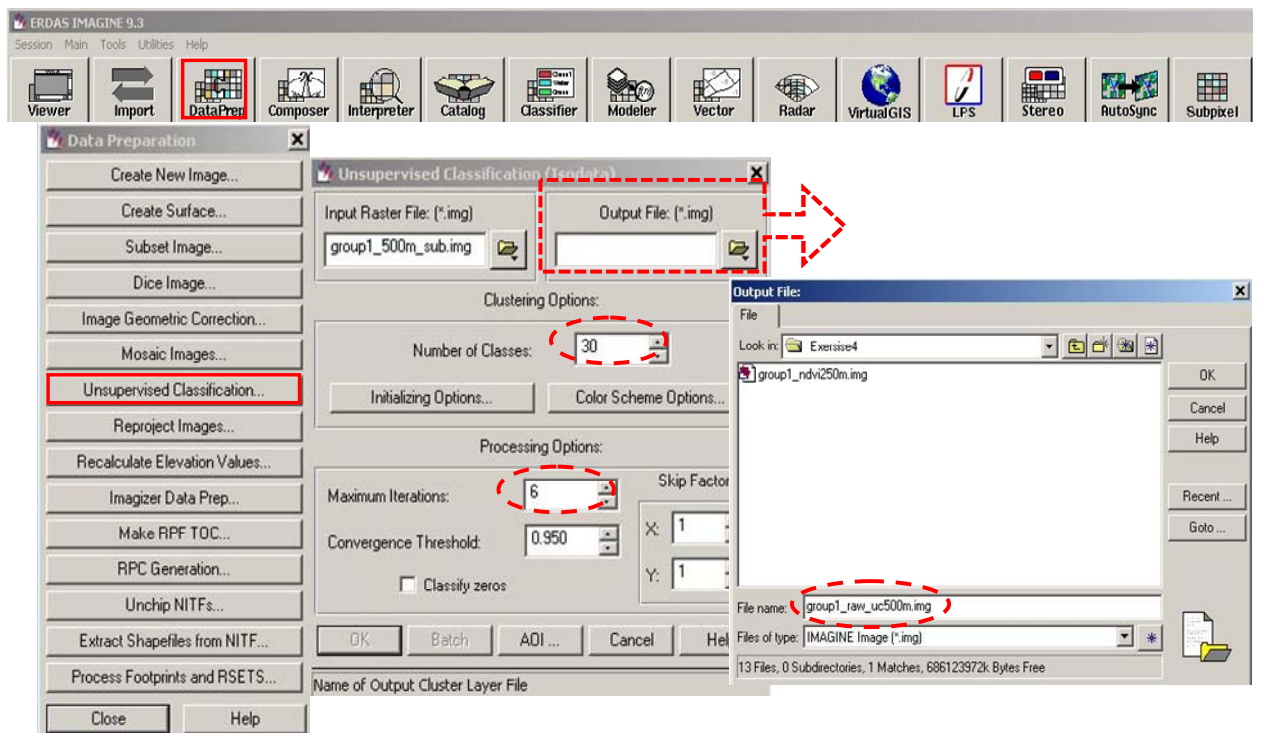


圖 5-29 監督式分類過程

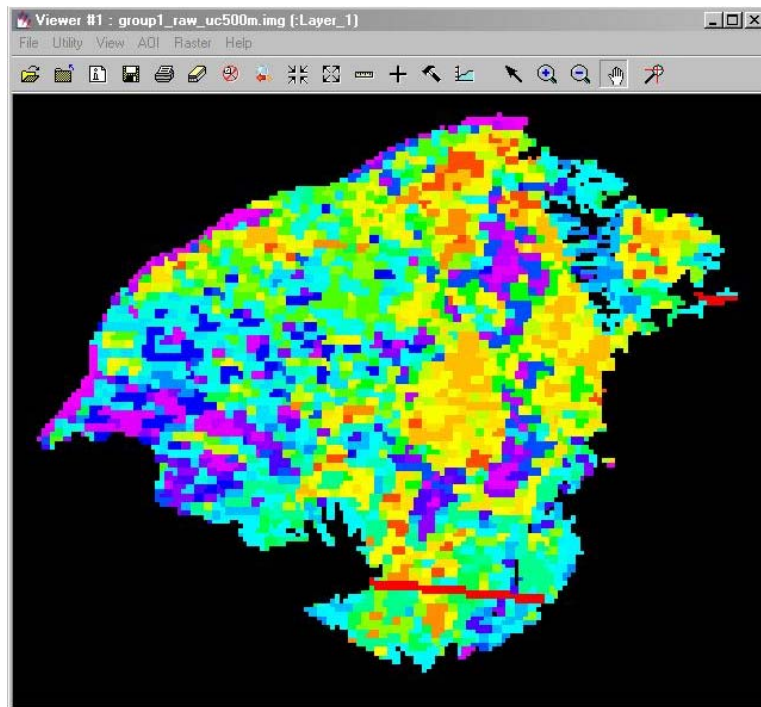


圖 5-30 監督式分類結果

5-6 練習五：重新編碼地表覆蓋與產生地形坡度

本練習單元中，我們將對練習四所得之非監督式分類成果重新進行地表辨識及編碼，以便後續練習指定逕流係數(Runoff Coefficients)及 CN (Curve Number) 值。利用 ERDAS Cursor 功能我們可以定位出影像中某一點之座標及其非監督式分類類別，再透過 google map 找到同一點位之地表真實資料，根據標準地表覆蓋類別表(如下二表)進行地表重新分類，其步驟如圖 5-31 所示。

表 5-1 Landcover Categories for Curve Number

Landcover Categories for Curve Number	
0	Blank(margin, Non-identifiable pixels)
1	Forestland
2	Rangeland
3	Agriculture(with crops on it)
4	Urban
5	Wetland
6	Water
7	Barren land

表 5-2 Landcover Categories for Runoff Coefficients

Landcover Categories for Runoff Coefficients	
0	Blank(margin, Non-identifiable pixels)
1	Woodland
2	Pasture
3	Cropland(with crops on it)
4	Urban

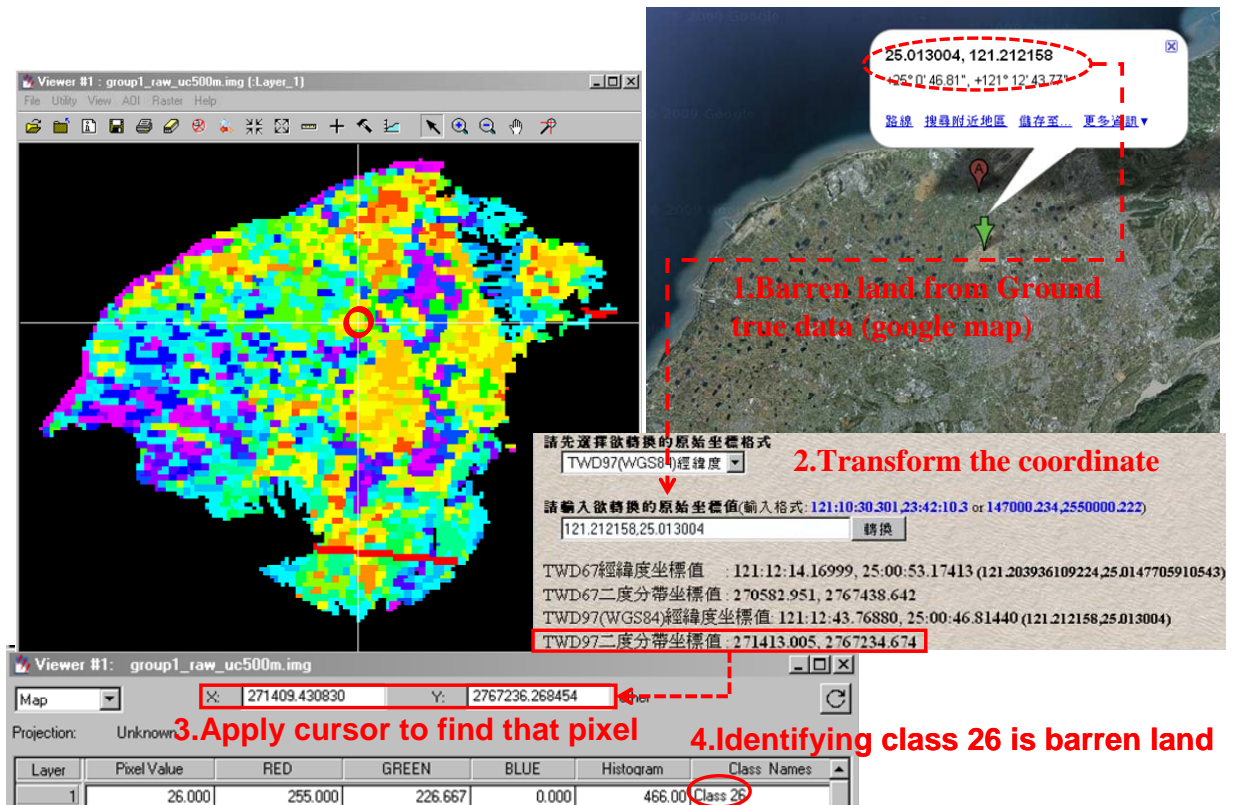


圖 5-31 地表重新分類

地表重新分類後，再利用 Imagine 之 Raster Recode 模組，依據標準地表覆蓋類別予以重新編碼。為後續求得 Curve Number，本報告將地表分作 7 類，Runoff Coefficients 則分作 4 類，下圖表示分類前後地表類別為 30 類變成 7 類及 4 類，並加以重新編碼。

- Before

Row	Histogram	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Class Names
0	10109		1	0	1	0	Unclassified
1	124		0.97	0	1	1	Class 1
2	365		0.89	0	1	1	Class 2
3	216		0.75	0	1	1	Class 3
4	349		0.55	0	1	1	Class 4
5	236		0.3	0	1	1	Class 5
6	380		0	0	1	1	Class 6
7	412		0	0.3	1	1	Class 7
8	191		0	0.55	1	1	Class 8
9	217		0	0.75	1	1	Class 9
10	402		0	0.89	1	1	Class 10
11	263		0	0.97	1	1	Class 11
12	440		0	1	1	1	Class 12
13	446		0	1	0.97	1	Class 13
14	597		0	1	0.89	1	Class 14
15	445		0	1	0.75	1	Class 15
16	526		0	1	0.55	1	Class 16
17	273		0	1	0.3	1	Class 17
18	343		0	1	0	1	Class 18
19	587		0.3	1	0	1	Class 19
20	432		0.55	1	0	1	Class 20
21	512		0.75	1	0	1	Class 21
22	332		0.89	1	0	1	Class 22
23	484		0.97	1	0	1	Class 23
24	269		1	1	0	1	Class 24
25	323		1	0.97	0	1	Class 25
26	466		1	0.89	0	1	Class 26
27	486		1	0.75	0	1	Class 27
28	210		1	0.55	0	1	Class 28
29	241		1	0.3	0	1	Class 29
30	93		1	0	0	1	Class 30

- After

CN		RC	
water	6	unidentifiable	0
agriculture	3	agriculture	3
agriculture	3	agriculture	3
wetland	5	unidentifiable	0
agriculture	3	agriculture	3
water	6	unidentifiable	0
wetland	5	unidentifiable	0
wetland	5	unidentifiable	0
wetland	5	unidentifiable	0
urban	4	urban	4
forest	1	forest	1
barren land	7	unidentifiable	0
forest	1	forest	1
agriculture	3	agriculture	3
barren land	7	unidentifiable	0
barren land	7	unidentifiable	0
forest	1	forest	1
urban	4	urban	4
agriculture	3	agriculture	3
urban	4	urban	4
water	6	unidentifiable	0
agriculture	3	agriculture	3
urban	4	urban	4
barren land	7	unidentifiable	0
barren land	7	unidentifiable	0
agriculture	3	agriculture	3
urban	4	urban	4
agriculture	3	agriculture	3
urban	4	urban	4
barren land	7	unidentifiable	0

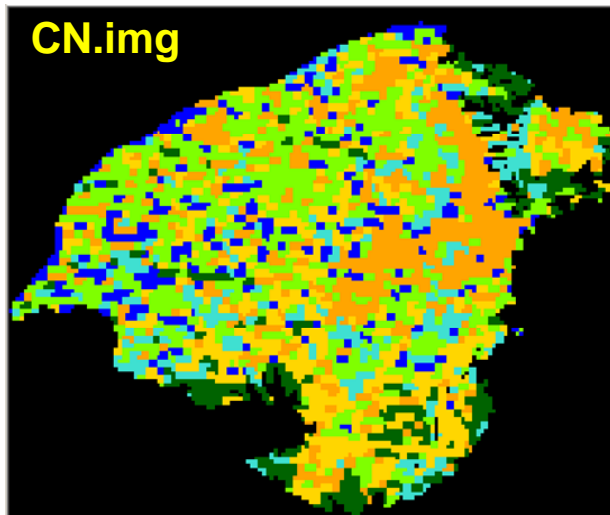
Categories 30 → 7

30 → 4

圖 5-32 地表重新分類編碼

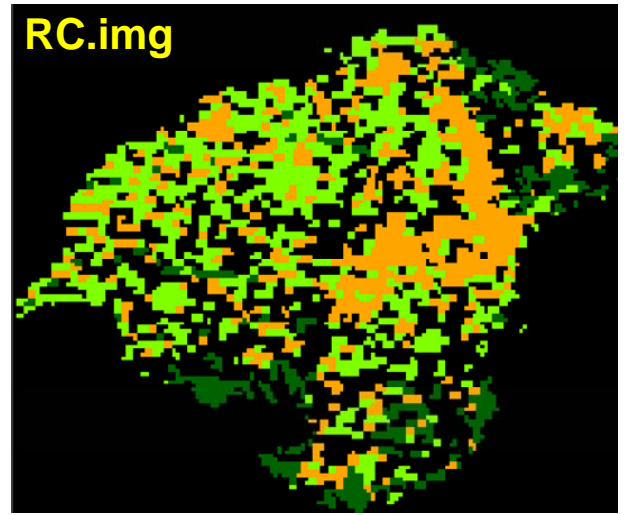
將重新分類及編碼後的地表分類以不同顏色表示，可得下列二圖，分別為 7 類的 CN.img 及 4 類的 RC.img，此二圖在後續練習中將與其他圖層套疊，用來決定 Curve Number 以及 Runoff Coefficients 的值。

由於 Runoff Coefficients 的決定除了與地表種類有關外，也和地表坡度及土壤種類相關，因此需藉由數值高程模式 DEM 資料，計算研究區域內之坡度，本報告中以 ArcMap 的 Spatial Analysis 中的 Surface Analysis 功能計算桃園地區坡度值，並將結果輸出成 ESRI GRID 格式檔。坡度計算結果分別以 2D 及 3D 圖展示如下，其單位為百分比。



New Thematic codes : 0 to 7

Row	Histogram	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Class Names
0	10109		1	0	1	0	Unclassified
1	982		0	0.39	0	1	forestland
2	0		0.5	1	0	1	rangeland
3	3009		0.5	1	0	1	agriculture
4	2388		1	0.65	0	1	urban
5	1169		0.25	0.88	0.82	1	wetland
6	1016		0	0	1	1	water
7	2096		1	0.84	0	1	barren land

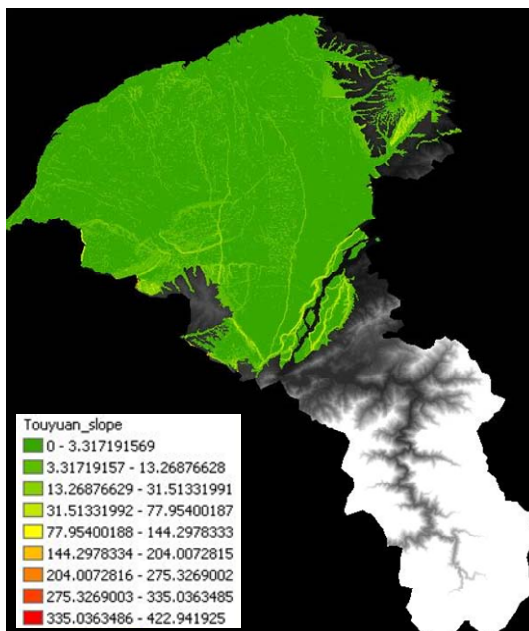


New Thematic codes : 0 to 4

Row	Histogram	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Class Names
0	14390		1	0	1	0	Unclassified
1	982		0	0.39	0	1	woodland
2	0		0.5	1	0	1	pasture
3	3009		0.5	1	0	1	cropland
4	2388		1	0.65	0	1	urban

圖 5-33 重新編碼結果

2D



3D

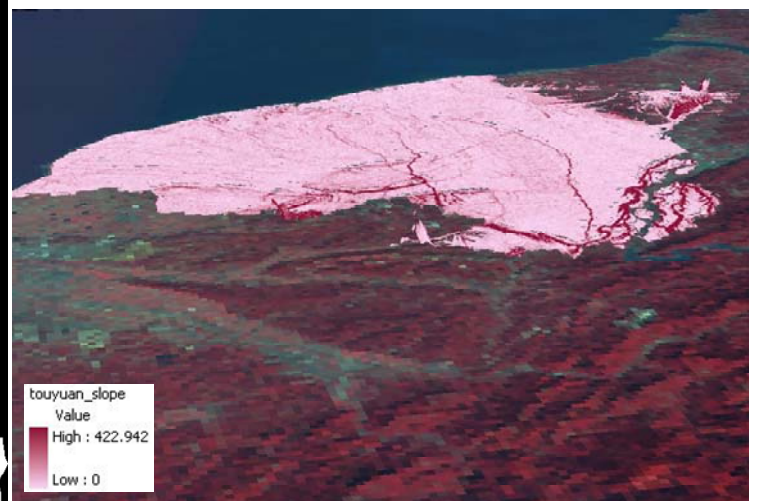


圖 5-34 坡度計算結果

5-7 練習六：逕流係數與 CN 值的推導

本練習中，將嘗試套疊不同圖層以決定逕流係數及 CN 值，並將結果輸出成圖 (Runoff Coefficients Map 及 Curve Number Map)。逕流係數的決定與地表覆蓋、土壤種類及地表坡度有關，可參閱表 5-3；而 CN 值的決定則與地表覆蓋、土壤排水特性及土壤臨前含水量有關，可參閱下表 5-4。

表 5-3 Runoff Coefficients for Rational Method

Value of the Runoff Coefficients C			
Soil texture Landcover And Topography	Open loam	Sandy Clay and Silt loam	Tight Clay
Woodland			
Flat, 0-5% slope	0.10	0.30	0.40
Rolling, 5-10% slope	0.25	0.35	0.50
Hilly, 10-30% slope	0.30	0.50	0.60
Pasture			
Flat	0.10	0.30	0.40
Rolling	0.16	0.36	0.55
Hilly	0.22	0.42	0.60
Cropland			
Flat	0.30	0.50	0.60
Rolling	0.40	0.60	0.70
Hilly	0.52	0.72	0.82
Urban			
Flat	0.40	0.55	0.65
Rolling	0.50	0.65	0.80

表 5-4 Curve Number for SCS Method

HSG ²	A			B			C			D		
AMC ³	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Agricultural	52	72	86	64	81	91	75	88	94	81	91	96

Land												
Rangeland	18	35	55	35	56	75	49	70	84	58	77	89
Forestland	19	36	56	39	60	78	53	73	86	61	79	90
Wetland	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Water	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Barrenland	58	77	89	72	86	93	81	91	96	87	94	97
Urban	77	89	95	83	92	96	86	94	97	89	95	98

Hydrologic soil group [A = well-drained/high permeability (7.62-11.43 mm/hr infiltration rate), B = well-to moderately-drained/ moderate permeability (3.81-7.62 mm/hr infiltration rate), C = moderately- to poorly-drained/low permeability (1.27-3.81 mm/hr infiltration rate), D = poorly-drained/very low permeability (0-1.27 mm/hr infiltration rate)]

Antecedent moisture condition [I = dry(five-days antecedent rainfall < 12.7mm for dormant season or < 35.6mm for growing season), II = average(five-days antecedent rainfall < 12.7-27.9mm for dormant season or 35.6mm-53.3mm for growing season), III = wet(five-days antecedent rainfall > 27.9mm for dormant season or >53.3mm for growing season)]

逕流係數圖繪製步驟說明如下，首先根據下表重新分類土壤種類及練習 5 之坡度資料，將原本 11 類的土壤種類重新分成 4 類，坡度則分為 3 類，並將兩者分類結果重新匯出成 shape.file 檔。再來以同樣方法將 RC.img 匯出成 shape.file 檔，最後進行三個圖層套疊，並依上述表格決定逕流係數，可得逕流係數圖如下。

表 5-5 土壤及坡度重分類參考表

Soil Categories for Runoff Coefficient	
0	No data
1,2,3,4,11	1 Open sandy loam
5,6,7,8	2 Clay and silt loam
9,10	3 Tight clay
7	Barren land

Terrain Slope Categories for Runoff Coefficients	
Slope 0-5%	1 Flat
Slope 5-10%	2 Rolling
Slope > 10%	3 Hilly

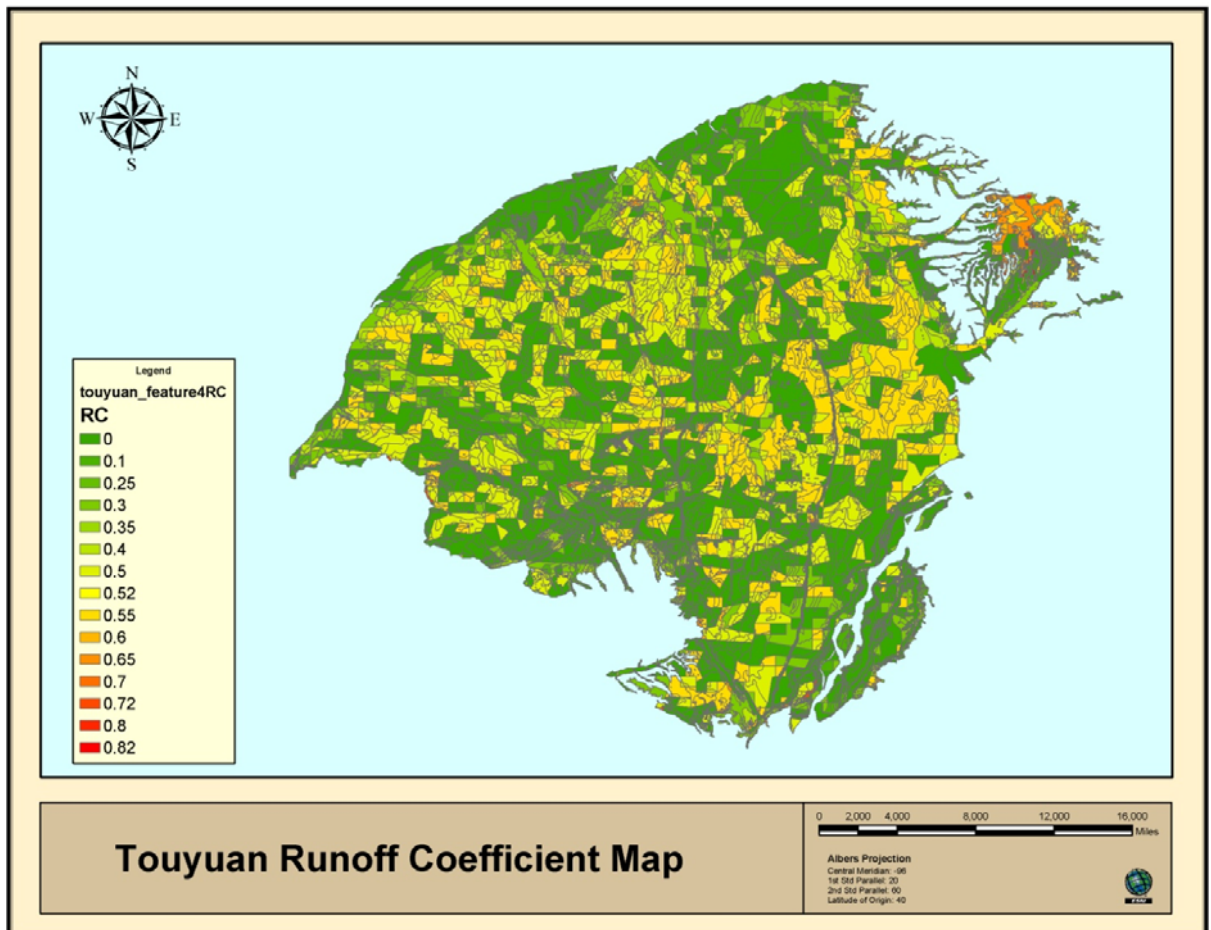
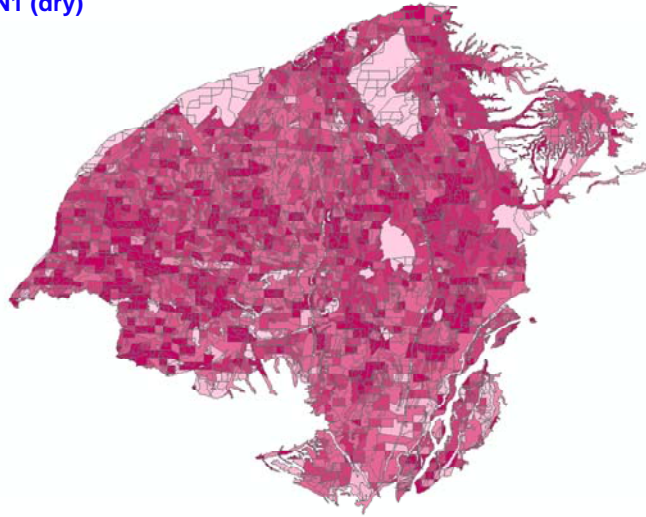


圖 5-35 桃園地區逕流係數圖

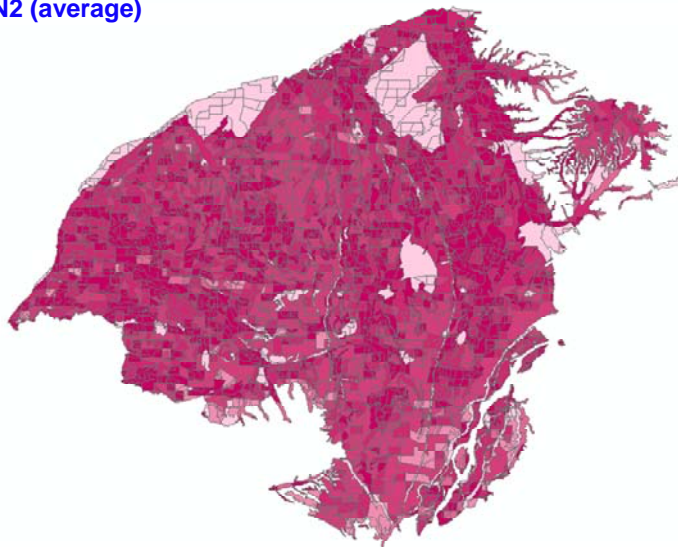
CN 圖繪製主要是利用土壤圖層與練習 5 的 CN.img 進行套疊，依上述表格決定 Curve number，因其值與土壤臨前水份有關，故不同水分含量下，其 CN 圖亦有所不同。CN 圖結果如下列 3 圖所示，分別表示不同臨前土壤含水量情況下桃園地區 CN 值的變化。



CN1 (dry)



CN2 (average)



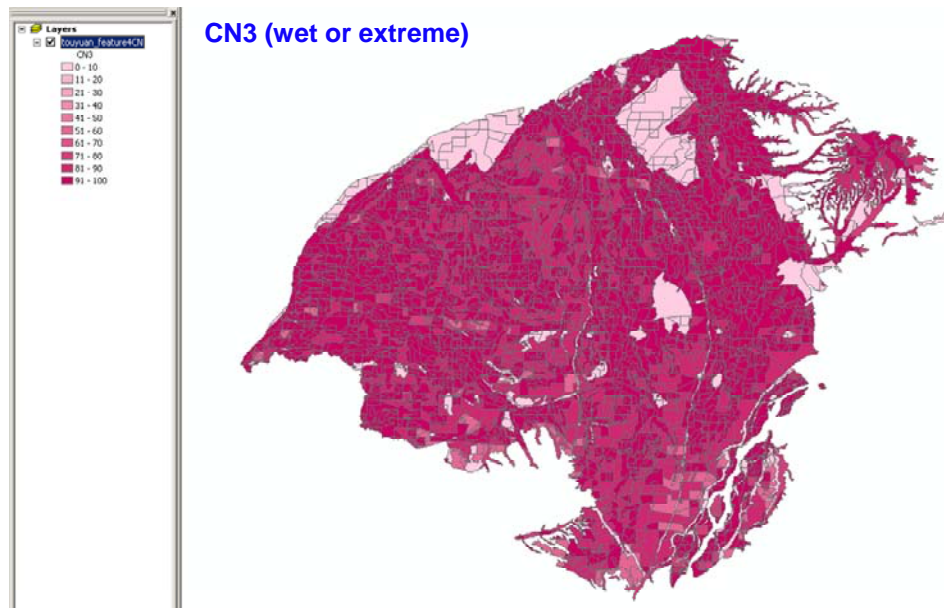


圖 5-36 不同含水量下，桃園地區 CN 值分佈

5-8 練習七：尖峰逕流率與直接逕流量的計算

本練習中，將利用合理化公式(Rational Method)配合逕流係數圖估算尖峰逕流率，及利用美國水土保持局入滲公式(SCS Method)配合 Curve Number 圖計算直接逕流體積。合理化公式說明如下：

$$Q = CiA * 10^{-3} / 3600$$

Q：尖峰逕流率(cms)

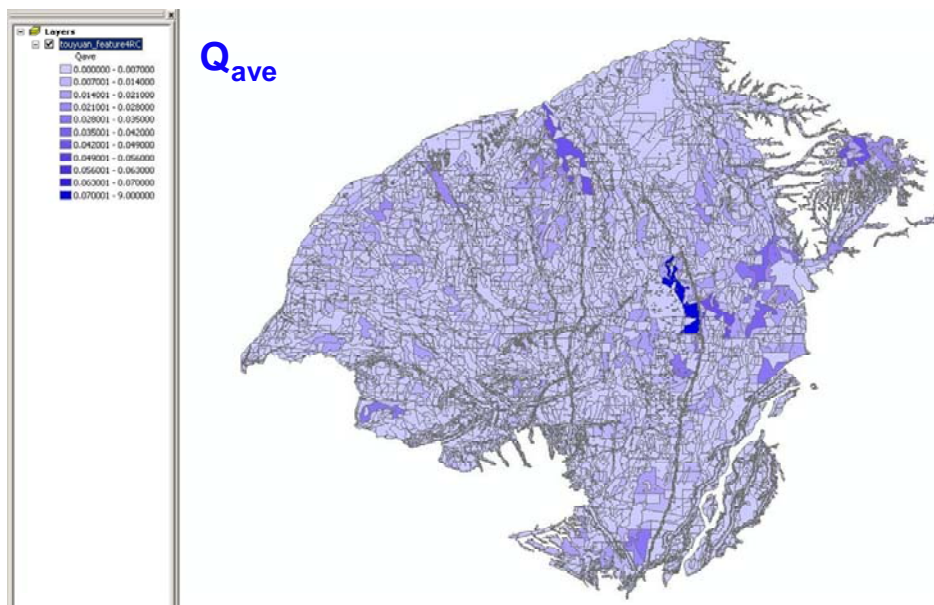
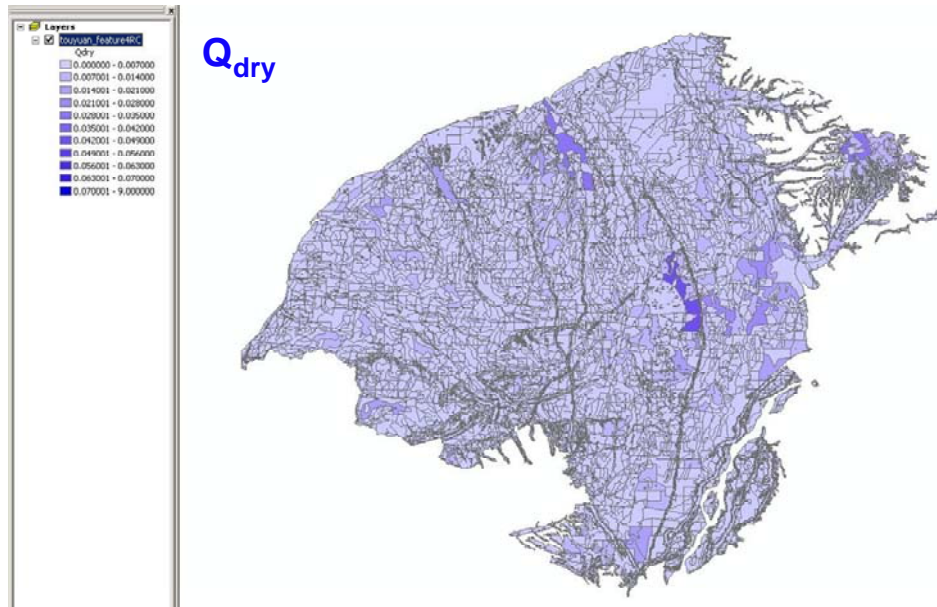
C：逕流係數(無因次單位)

I：降雨強度(mm/hr)，本練習需自行假設降雨強度值

A：集水區面積(m²)

利用 ArcMap 軟體，開啟屬性表並新增一欄位(Area)，資料型態選擇 Double，執行 Calculate Geometry 指令計算各集水區面積後，假設 4 個降雨強度值，分別表示為 $I_{dry}=0.10\text{mm/hr}$ 、 $I_{ave}=0.17\text{mm/hr}$ 、 $I_{wet}=0.23\text{mm/hr}$ 及

$I_{ext}=30\text{mm/hr}$ ，配合練習 6 所得的逕流係數圖，撰寫公式分別計算不同降雨強度下的尖峰流量值，可得下列 4 圖，由顏色變化可清楚看出尖峰逕流率變化隨著降雨強度增加而遞增。



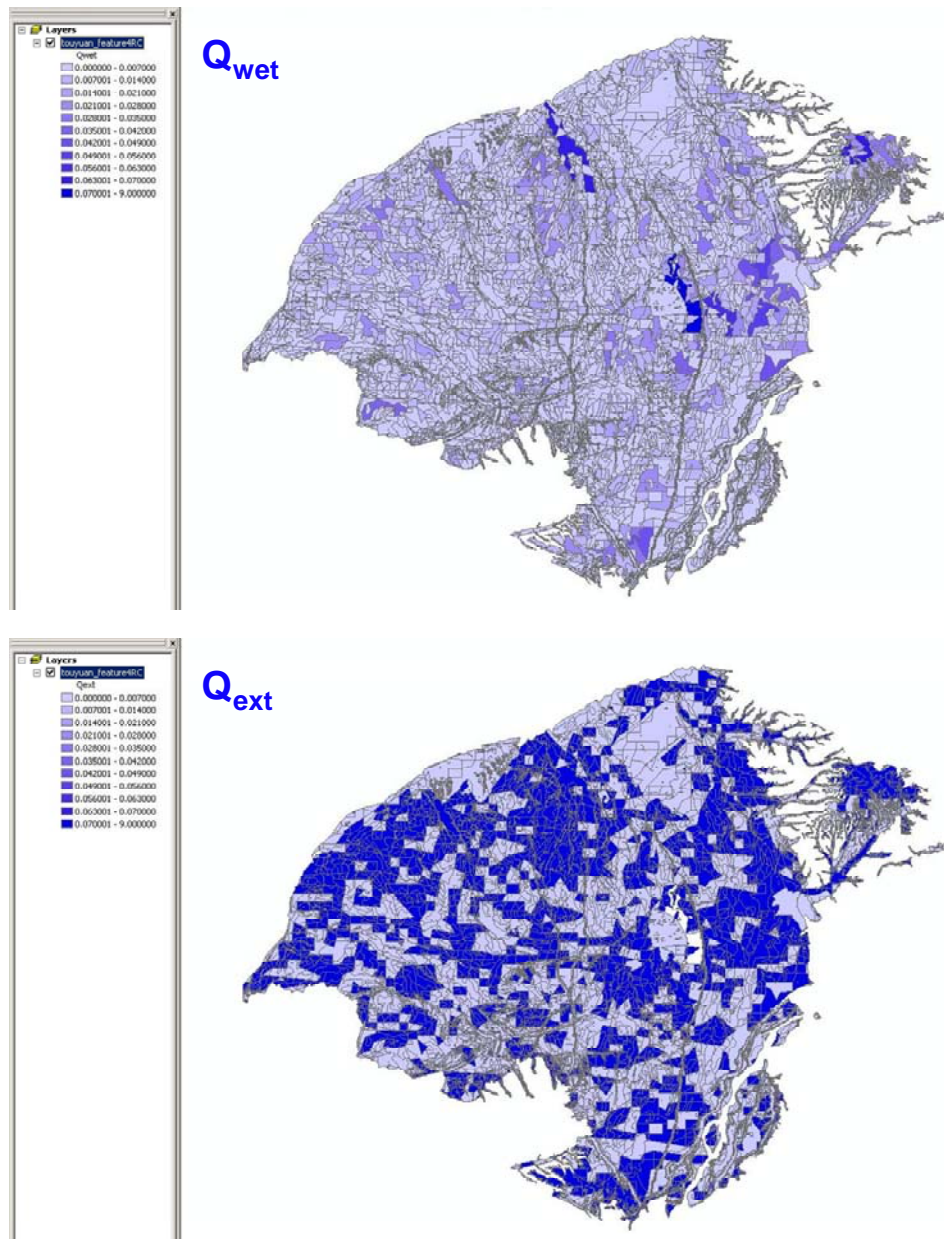


圖 5-37 桃園地區不同降雨強度下的尖峰流量值

另一個計算直接逕流量的方法為美國水土保持局入滲公式，公式說明如下；

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad P \geq 0.2S$$

Q：直接逕流體積(mm)

P：降雨總量(mm)，本練習需自行假設降雨總量

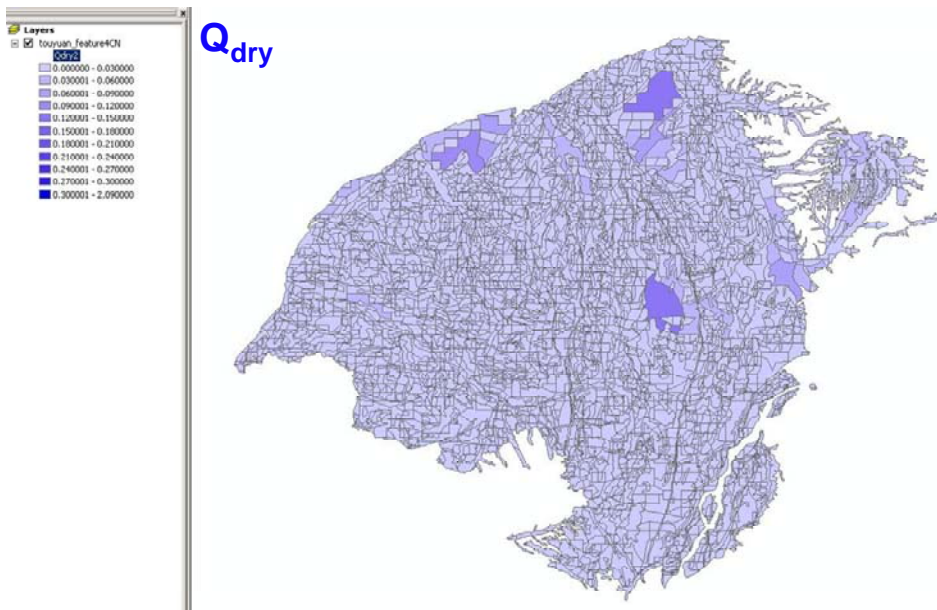
S：集水區蓄水量(mm)

CN：逕流指數(無因次單位，值域為 1 至 100)

本練習假設 4 個降雨總量值，分別表示為 $P_{dry}=152\text{mm}$ (降雨延時 60 天)、 $P_{ave}=244\text{mm}$ (降雨延時 60 天)、 $P_{wet}=348\text{mm}$ (降雨延時 60 天)及 $P_{ext}=2160\text{mm}$ (降雨延時 3 天)，配合練習 6 所得的 CN 係數圖，撰寫公式分別計算不同降雨總量下的直接逕流體積，由於該公式所得逕流量單位為 mm，為方便與合理化公式所得結果進行比較，遂以下式進行單位轉換。

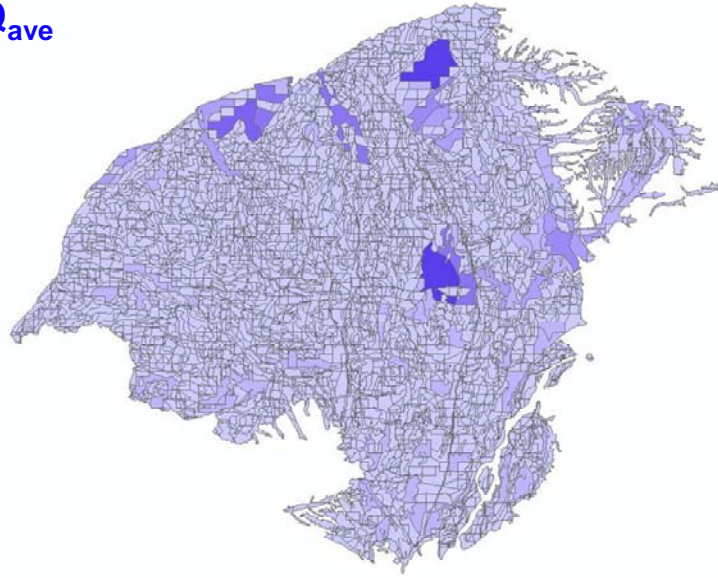
$$Q_{(cms)} = Q_{(mm)} * A_{(m^2)} * 10^{-3} / Duration_{(sec)}$$

上式集水區面積利用 ArcMap 軟體，執行 Calculate Geometry 指令計算可得，單位轉換後的流量圖如下列 4 圖所示。

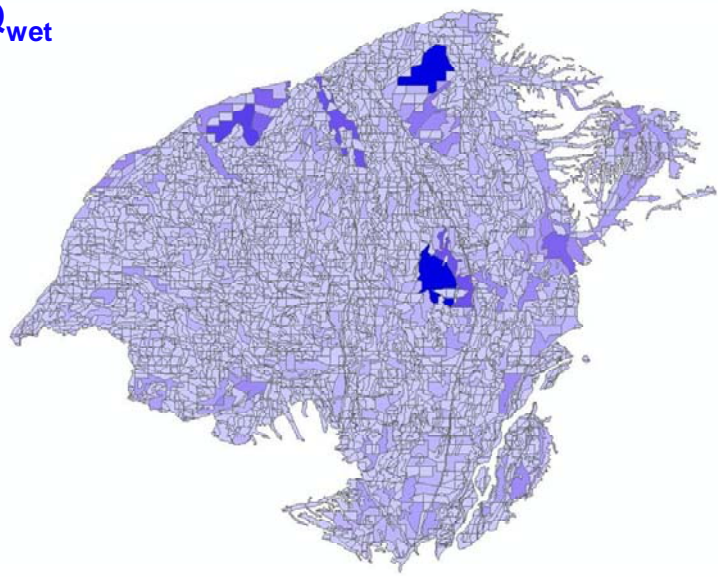




Qave



Qwet



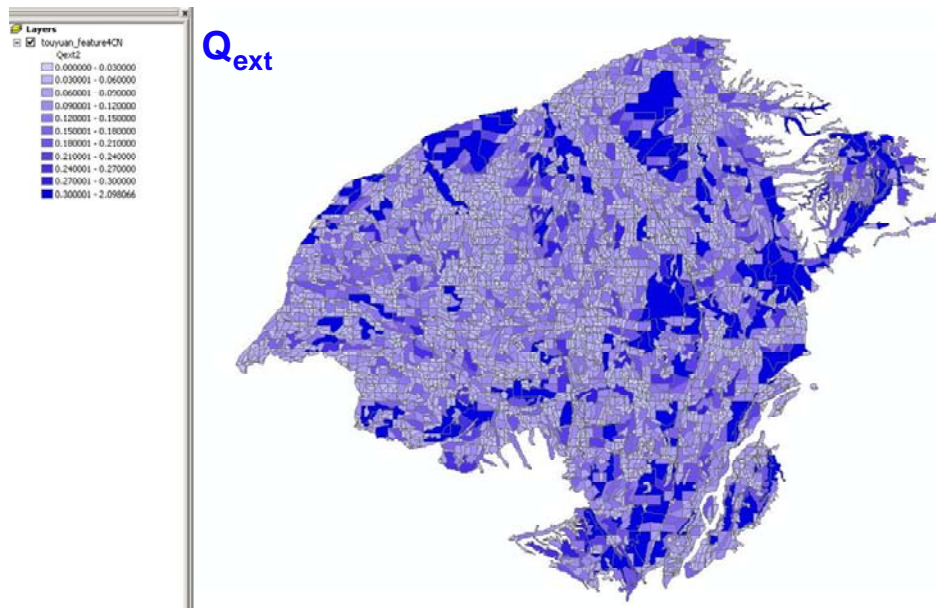
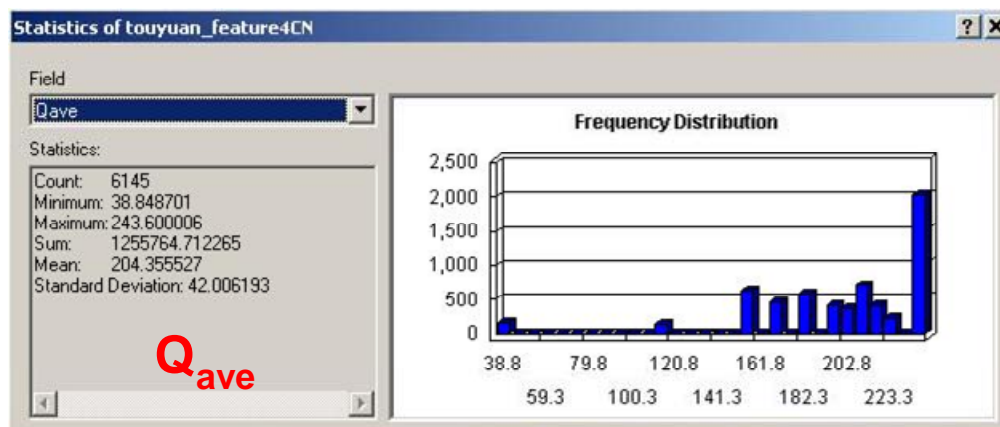
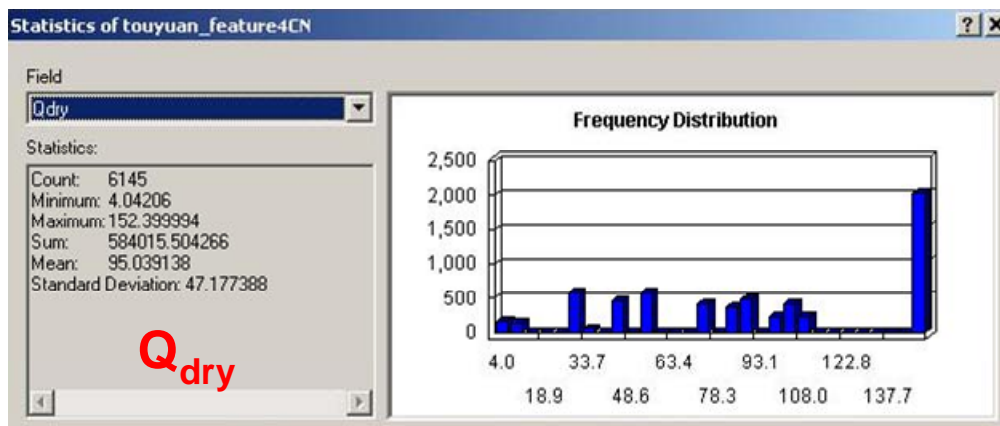


圖 5-38 單位轉換後的流量圖

流量計算完畢後，開啟各流量圖的屬性表，執行統計功能 (Statistic)，可得不同程度逕流量的平均值、最大最小值及流量總和，本報告以美國水土保持局入滲公式計算所得流量為例，執行統計功能後可得如下 4 圖，及其相關統計資訊。



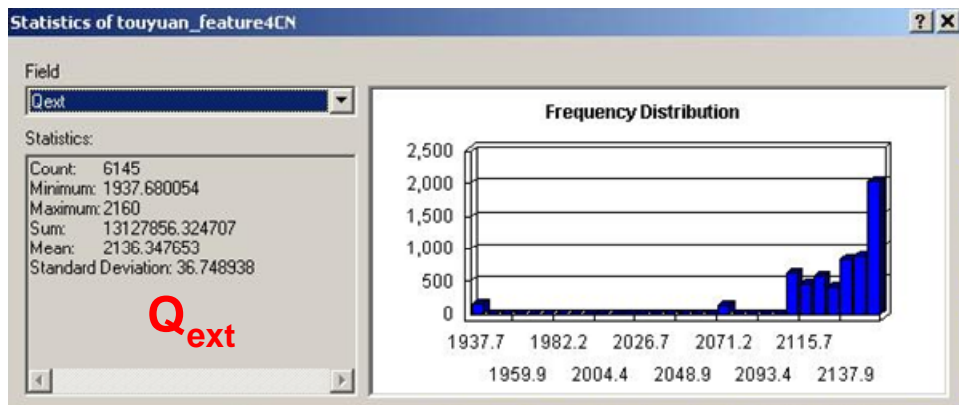
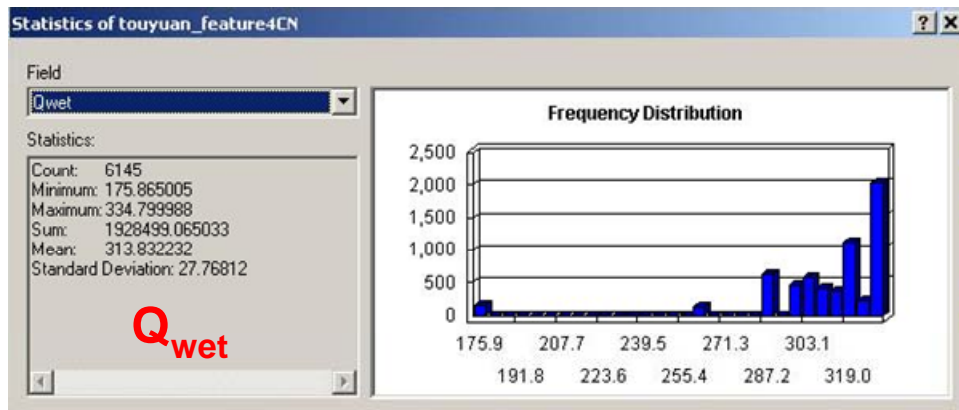


圖 5-39 逕流量相關統計資訊

藉由實機練習 ArcMap 與 ERDAS IMAGINE 9.3 軟體，進行衛星影像幾何校正、AOI 區域切割、影像光譜色調調整、地表植被指數 NDVI 計算、非監督式分類地表覆蓋、網格資料重新編碼、GIS 圖層套疊、設定地表逕流係數及 Curve Number，最後估算區域性地表逕流量，7 個實機練習使學員們對於 ArcMap 與 ERDAS 的操作更加熟稔，期許未來結合各相關領域專業知識後，能將 GIS 系統應用至自身業務上。

第六章 結論與建議

6-1 結論

- 一、佛羅里達大學遙測中心對於本次四週的研習課程主要為安排課堂教學及專題計畫製作，搭配部份現地參觀課程，使受訓學員不僅能學習遙測與地理資訊系統等高科技的基礎，進而熟悉遙測及地理資訊系統理論架構與在水資源上之應用，相信對學員返國後之工作具有相當大之助益。
- 二、佛羅里達州當地建築法規相當嚴謹，為了避免大型的土地開發案對環境與排水系統的沖擊，每個開發計畫均需做水文分析，設計滯洪池、污水處理等設備，亦值得國人借鏡。
- 三、本次參訪南佛羅里達州水管局及聖約翰河水管局，介紹水資源管理實例及環境復育成功的經驗令人印像深刻，當地開發水資源係以永續利用的思維，他們認為天然資源應生生不息，不應在我們這一代用盡，而是需要一代傳一代，因此他們對於環境保護與復育用心不遺餘力，值得臺灣學習借鏡。
- 四、美國佛羅里達州當地各水資源管理目前重點工作已轉向生態、環境保育及復育計畫等。臺灣在這方面起步稍晚，要持續在經濟上穩定發展，水資源保育、調配、防洪及排水等問題之解決改善，仍是相當重要且刻不容緩的工作。如何兼顧人為開發與生態、環境保育間之協調與平衡關係，除有效利用這些先進的高科技，提供正確的地理環境資訊及客觀的決策訊息外，將有賴積極的推動遙測及高科技在水資源領域上之發展及運用。
- 五、此次佛羅里達大學對於遙測班學員的課程安排很用心，四週課程中有許多參訪活動，讓學員增加專業知識外也能了解當地水資源的管理實例與技術運用。對於生長在海島型多雨氣候的我們，不得不敬佩當地人對水資源的重視與自

然資源的尊敬。其中利用滲水盆地把再生水用來補助地下水層的作法，相當值得國內水資源管理機構當借鏡，對於學員日後工作的思考也有相當大的助益。

- 六、佛羅里達是柑橘的故鄉，把柑橘這種單一類型水果從研究到結合實務經驗，並利用高科技遙測技術來分析管理，並發展出專業的科學理論，達到質與量的提升，在世界中相當罕見。而且柑橘的研究領域從事前灌溉到事後冷凍包裝的加工處理過程，研究範圍的廣度和深度相當值得國內有心推廣果樹產量的研究機構參考。
- 七、台灣地狹人稠，農業生產精緻化，與美國粗放農耕模式不同，也因此，本次課程介紹之大型灌溉機具均為學員第一次見到，如Big Gun、Liner Pivot與Central Pivot等，這都是因地制宜而採行之方法，值得參考。
- 八、自動化之田間管理觀摩，如精準農業、自動採收系統等，讓本班學員見識到GPS結合遙測與GIS之高科技於農業生產上可應用之方向，不但值得我們學習，也帶給全體學員相當多的啟發。

6-2 建議

- 一、因美國當地物價均大幅揚昇，建議各派訓單位提高出國旅費，據以對抗通膨。另由於從洛杉磯機場入境轉機手續較為繁瑣，建議國際灌溉排水協會中華民國國家委員會能夠安排由日本東京轉機再直飛奧蘭多、甚或飛往佛羅里達大學所在地Gainsville，以簡化轉機程序。
- 二、建議能將佛羅里達州其餘三個水管理局（西北佛羅里達水管理局、史汪尼水管理局、西南佛羅里達水管理局）列入參訪機構，使學員更多元瞭解遙測科技在各項水資源領域的實際應用。

- 三、本研習課程之電腦實機操作部分，建議佛羅里達大學遙測中心或灌排協會提供相關軟體作業手冊，以利對該軟體未能嫻熟之學員能善加利用，提昇學習效率。另電腦實機操作時間太長，建議縮短並增加參訪地點及時間。
- 四、建議參訪行程多接洽受訪單位提供遙測技術在該機關業務之應用情形，俾參訪者觀摩與自身業務相關之領域並從中學習，以利業務之推展。
- 五、課程中所安排之電腦實機部分，建議佛羅里達大學遙測中心，由授課講師先行示範操作，並講解每個指令過程所代表的意義，讓從未接觸過相關軟體的學員了解整個過程，以提昇學習效率。
- 六、台灣與佛羅里達因地理環境不同，在地小人稠的台灣遙測技術運用的範圍與程度自然與佛州不同，建議灌排協會除了派台灣學員去學習國外遙測技術外，也能邀請遙測中心或相關科系人員來台了解台灣的環境，對於將來的課程內容擬定能更符合台灣需求。
- 七、台灣農產品產量過剩，果農因價格過低，不敷成本，致放棄採收之新聞時有耳聞，如能引入精準農業精神，採自動化作業管理，達成降低成本、增進產量、提高收益、並減低環境影響，則為社會之福，而相關農地水土之監測、資料庫建置，都仍有待政府繼續努力。與精準農業相關之政府可努力方向如下：例如土壤肥力監測、植物病蟲害監測，土壤水分監測、施肥決策圖系統、精準噴藥系統、稻穀產量預測系統。



經濟部水利署

台北辦公區

地址：台北市信義路三段 41 之 3 號 9-12 樓

網址：<http://www.wra.gov.tw/>

總機：(02)37073000

傳真：(02)37073166

免費、服務專線：0800212239

台中辦公區（出版）

地址：台中市黎明路二段 501 號

總機：(04)22501250

傳真：(04)22501628

免費、服務專線：0800001250