



100年度水利人員參加美國佛羅里達州立大學 「中華民國基金遙測水利科技人才培訓計畫」

出國研習成果報告

服務機關：經濟部水利署

職 稱：正工程司

出國人員：林志鴻

出國地區：美國佛羅里達州

出國期間：中華民國 100 年 5 月 9 日至 5 月 26 日

報告日期：中華民國 100 年 8 月 26 日

目錄

誌謝.....	1
摘要.....	2
第一章 前言.....	4
1-1 緣起	4
1-2 研習目的及內容	4
1-3 研習團隊組成	5
第二章 研習及參訪行程	8
2-1 佛羅里達大學農業及生物工程學系及遙測中心	8
2-2 佛羅里達大學實驗農場現地參訪	13
2-3 聖瓊斯水管理局(St. Johns River Water Management District , JRWMD).....	15
2-4 柑橘研究及教育中心(CREC).....	22
2-5 Water Conserv II 再生水中心	24
2-6 南佛羅里達水管理局 (South Florida Water Management District,SFWAMD)	29
2-6-1 佛羅里達州水患治理	29
2-6-2 CERP 綜合復育計畫	29
2-6-3 南佛羅里達水文監控管理中心	29
2-6-4 Everglades 國家溼地公園	33
第三章 專題演講	40
3-1 生物能源(Bioenergy and Bio-based Materials from Biomass) 40	
3-2 精準農業(Precision Agriculture).....	42
3-2-1 精準農業之運作系統.....	42
3-2-2 精準農業在美國農業上之應用	44
3-2-3 精準農業在國內推動情形	45
3-3 生物感測器(Biosensor)	45
3-4 風暴潮模擬系統(Storm surge modeling system).....	47
第四章 專案計畫內容	49

4-1 計畫目的	49
4-2 練習一：MODIS 影像資料幾何校正	50
4-3 練習二：光譜範圍影像處理及重新編碼地表覆蓋	53
4-4 練習三：地形坡度資料處理及土壤質地資料處理	55
4-5 練習四：逕流係數與 CN 值的推導	57
4-6 練習五：尖峰逕流率與直接逕流量的計算	60
第五章 結論與建議	63
5-1 結論	63
5-2 建議	63

圖目錄

圖 2-1 佛羅里達大學農業及生物工程學系 (Frazier Rogers Hall) ...9	9
圖 2-2 施夫人、系主任 Dr. Dorota Haman 及遙測中心主任 Jasmeet 與全體學員合照.....9	9
圖 2-3 生質燃料研究室參觀.....11	11
圖 2-4 包裝工程實驗室.....11	11
圖 2-5 參觀奈米科技研究及地下水水文實驗室.....12	12
圖 2-6 參觀再生能源研究室.....12	12
圖 2-7 佛羅里達大學實驗農場工作人員解說噴灌系統操作.....13	13
圖 2-8 佛羅里達大學實驗農場工作人員操作自動噴灌系統.....14	14
圖 2-9 研習全員於佛羅里達大學農場高爾夫球場實驗草皮前合影.14	14
圖 2-10 台灣旱作灌溉噴灑系統圖.....15	15
圖 2-11 瓊斯水資源管理局管轄範圍圖.....20	20
圖 2-12 聖瓊斯水資源管理局黃清次博士簡報情形.....20	20
圖 2-13 聖瓊斯水資源管理局研究人員簡報情形.....21	21
圖 2-14 The hydrologic cycle in Florida, showing the Floridan aquifer and formation of springs and sinkholes.....21	21
圖 2-15 Rodman Reservoir 下游.....22	22
圖 2-16 柑橘研究及教育中心 (CREC) 參訪(一).....23	23
圖 2-17 柑橘研究及教育中心 (CREC) 參訪(二).....24	24
圖 2-18 Water Conserv II 中心.....26	26
圖 2-19 Water Conserv II 快濾滲透盆地.....27	27
圖 2-20 再生水循環利用示意圖.....27	27
圖 2-21 快濾滲透盆地水循環示意圖.....28	28
圖 2-22 快濾滲透盆地現地觀摩.....28	28
圖 2-23 南佛羅里達水管理局陳博士與學員研討情形.....34	34
圖 2-24 南佛羅里達水管理局金博士與學員研討情形.....35	35
圖 2-25 Surface Water Storage Reservoirs.....35	35
圖 2-26 ASR 法 含水層儲存及回抽過程示意圖.....36	36

圖 2-27 Stormwater Treatment Areas	36
圖 2-28 南佛羅里達水文監控管理中心	36
圖 2-29 水文監控系統架構圖	36
圖 2-30 現場設備監控圖	368
圖 2-31 Everglades 國家溼地公園景觀	39
圖 2-32 Everglades 國家溼地公園景觀	39
圖 3-1 生質燃料實驗工廠	41
圖 3-2 位於佛州 Perry 建設中的生質燃料生產工場	42
圖 3-3 金絲雀為礦工之有毒氣體感測器	46
圖 3-4 凡那比颱風高雄地區淹水模擬結果	48
圖 3-5 凡那比颱風高雄行政區域淹水圖	48
圖 4-1 資料整合應用示意圖	49
圖 4-2 MODIS 衛星原始影像	51
圖 4-3 設定投影座標後之 MODIS 影像	51
圖 4-4 500m 影像幾何校正後與 SPOT 影像比對	52
圖 4-5 250m 影像與 500m 影像幾何校正後之比對	52
圖 4-6 台北之福衛影像利用 Feather 函數處理之 Mosaic 影像	53
圖 4-7 非監督式分類結果	54
圖 4-8 依據衛星影像範圍切割 DEM 資料	55
圖 4-9 重新定義後之坡度影像	56
圖 4-10 合理化公式不同降雨強度尖峰流量圖	61
圖 4-11 SCS Method 配合 Curve Number 不同降雨強度尖峰流量圖	62

表目錄

表 1-1 100 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫(國外班)課程內容 ..6	
表 4-1 Land Cover Categories for Runoff Coefficients	54
表 4-2 Land Cover Categories for Curve Number	54
表 4-3 Terrain Slope Categories for Runoff Coefficients.....	56
表 4-4 Soil Categories for Runoff Coefficients	57
表 4-5 Values of runoff coefficient C (from Schwab et al. 1981)	58
表 4-6 Curve Number lookup table (SCS Method)	59

誌謝

此次海外研習「100年度農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）」能順利完成訓練，首先感謝主辦單位-國際灌溉排水協會中華民國國家委員會的精心規劃，以及行政院農業委員會、經濟部水利署、臺灣自來水股份有限公司與各農田水利會對於國內水利人員培訓計畫的鼎力支持，讓我們有這次研習增進專業學識與增廣見識，並感謝譚義績博士、譚智宏博士及國際灌溉排水協會許香儀小姐等人，針對本次研習先行規劃安排國內研習班，使我們瞭解遙測相關技術及應用，並協助出國行前作業之聯繫與安排，使本研習班能在短時間內順利成行。

其次感謝美國佛羅里達大學農業及生物工程系遙測中心主任潔思米.賈吉博士（Dr. Jasmeet Judge），在課程規劃及授課上之用心，並安排充實之參訪行程。此外，促成中美合作成立基金，培植台灣遙測人才貢獻最大的前遙測中心主任施孫富教授夫人—施彭文富女士，對本研習班學員的關懷與鼓勵，每位學員均銘感於心。

此外，更要感謝在佛羅里達大學遙測中心擔任博士後研究員傅瓊玄博士及土木工程系博士候選人劉邦偉先生，傅瓊玄博士無論在研習課程的講授、協助參訪行程翻譯及交通上的安排，均盡心盡力，備極辛勞；劉邦偉先生在課業繁忙之際，仍不時提供生活上協助與經驗分享，化解離鄉背景之陌生感，使我們二週的研習訓練得以順利完成，並獲致豐碩之成果。在此最後，全體研習成員謹向所有曾經協助本次研習課程的人士，致上最高及誠摯的謝意。

摘 要

100 年度「農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）」，由經濟部水利署、台灣省宜蘭、台中、嘉南、高雄、台東等農田水利會、台北市瑠公農田水利會、台灣省自來水股份有限公司、中興工程顧問有限公司以及淡江大學等單位，共薦派十名人員，經國際灌溉排水協會中華民國國家委員會諮詢委員會議核定後，於 100 年 5 月 9 日啟程赴美國佛羅里達大學農業及生物工程學系遙測中心，進行為期二週之課程研習與觀摩實習。

本次研習課程包括遙測（RS）、地理資訊系統（GIS）之相關理論介紹，並配合電腦軟體系統，實際演練台灣地區衛星影像處理、土地利用分類，及其在水利專業相關領域上的應用，藉以讓學員熟悉瞭解各項應用操作之過程，並配合參訪佛羅里達州公務部門之水管理局及佛大附屬研究機構，一窺目前美國遙測技術及地理資訊系統應用在農業、防洪、水資源管理及環境保育之成果，使本次課程之安排達到理論與實務並重的研習目的。

佛羅里達州面積有 15 萬 2,560 平方公里，地勢非常平坦，河川坡度小流速緩，雨季是在 6 至 9 月，降雨主要是靠颱風帶來之豪雨，年平均雨量約 1,500 公釐。由於佛羅里達州濕地多、湖泊多，其石灰層蘊藏豐富的地下水源，地下水成為供給各標的用水主要來源。也因地理環境無高山阻隔，河川流速緩慢，在颱風期間倘有淹水情形，容易釀成溢堤嚴重災害。因此，溼地、湖泊的環境保全及大型防洪抽水站的操作與維護管理，在佛羅里達州防洪安全系統中伴演甚為重要關鍵角色。

在面對全球氣候變遷，旱澇交替、人口增長及民生用水成長快速的問題，佛羅里達州水資源管理之重點工作已朝向綜合性生態復育計畫，強調兼顧人為開發與生態、環境保育間之協調與平衡關係，水資源管理不再只是人類優先，而是考慮河川、湖泊、溼地的動、

植物，與如何維護地球生態，並非只是為了人類用水，因此對生態環境維護不遺餘力。

台灣目前重視環境生態意識也日漸浮現，因此如何在穩定經濟發展與兼顧生態環境保育間之協調與平衡，佛羅里達州應用衛星遙測技術、地理資訊系統及相關高科技，蒐集且處理建置具有時效效性和全面性的國土資源基本資料，提供土地分類、水資源管理、環境空間監測及河川復育等客觀資訊，作為保育計畫決策訊息，類此之經驗相當值得台灣參考。

第一章 前言

1-1 緣起

「國際灌溉排水協會中華民國國家委員會」為培訓優秀水利人才學習遙測及高科技於水資源管理之應用，特於民國 86 年與美國佛羅里達大學正式簽約成立「中華民國基金」，此基金係由經濟部水資源局（現為經濟部水利署）、臺灣省桃園農田水利會、臺灣省臺中農田水利會、臺灣省高雄農田水利會及臺北市七星農田水利會等共同出資壹佰萬零壹美元，並獲得美國佛羅里達州政府信託基金會所提供柒拾伍萬美元之配合款，共同成立壹佰柒拾伍萬零壹美元之永久性基金。

「國際灌溉排水協會中華民國國家委員會」運用該基金孳息配合佛羅里達大學的專業師資及設備與美國佛羅里達大學糧農科學院（UF/IFAS）成立中美雙方共同之遙測應用計畫，培訓我國水利人才應用遙測及其相關技術在水資源管理之能力，以厚植高科技技術在水利上的深耕與發展。該項人才培訓計畫分為單位主管、業務負責人與技術人員等類別，每年度由各單位推薦人選，經諮詢委員會議遴選認可後前往美國佛羅里達大學遙測中心研習。本研習團屬技術人員類別，研習期間自民國 100 年 5 月 11 日至 100 年 5 月 24 日止為期兩週。

1-2 研習目的及內容

遙測技術具有大地區的空間涵蓋特性，可提供詳實及長時間的紀錄，並具有極佳的觀察能力，應用影像判釋分析，並配合 GIS 系統資料庫建置，已廣泛應用於農業、林業、地質、地理、海洋、水文、氣象、測繪、環境保護和軍事偵察等許多領域。

美國在遙測技術及發展上一向領先世界各國，本次研習地點

佛羅里達大學臨近美國遙測技術重鎮-太空總署 (NASA) 及甘迺迪中心 (The Kennedy Space Center)，基於地理位置上之優勢及佛羅里達大學與太空總署(NASA)長期合作關係，佛羅里達大學遙測中心在應用遙測技術於佛州之農業、水資源管理及環境保育方面，均有相當成果，值得台灣學習。

一、本次研習課程安排為期兩週 (2011 年 5 月 11 日至 5 月 24 日)，研習內容包括專案計畫製作及現地參訪詳如表 1-1。本次專案計畫主要為遙測影像處理與地理資訊系統整合應用，以台灣地區影像圖及台北、宜蘭兩處之衛星影像圖為實例，透過影像處理軟體操作影像處理、地表辨識、現場實調、校正分類及地理資訊系統圖層套疊來推估地表逕流係數 (runoff coefficient) 等實際操作與應用，並配合參訪佛羅里達州公務部門之水管理局及佛大附屬研究機構，一窺美國目前遙測技術及地理資訊系統應用在農業、防洪。水資源管理及環境保育之成果，使本次課程之安排達到理論與實務並重的研習目的，同時也藉由參訪，進一步增進台美二國民間友誼交流。

1-3 研習團隊組成

100 年度之技術人員研習班，分別由經濟部水利署、臺灣自來水股份有限公司、臺灣省宜蘭農田水利會、台北市瑠公農田水利會、臺灣省臺中農田水利會、臺灣省嘉南農田水利會、臺灣省高雄農田水利會、臺灣省高雄農田水利會、中興工程顧問公司及淡江大學水資源管理與政策研究中心等單位，共同推薦 10 名人員參與訓練，各單位選派人員大都具有遙感探測基礎與地理資訊系統相關軟體操作實務，並曾於國內研習基本觀念或具相關背景。

表 1-1 100 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫(國外班)課程內容

5月9~10日 星期一/二	全天	搭機從台灣至洛杉磯/搭機從洛杉磯至奧蘭多/宿舍整理
5月11日 星期三	上午	1.Introduction to University of Florida and Dept. of Agricultural & Biological Engineering 佛羅里達大學及農業及生物工程學系簡介 2. Introduction to Center for Remote Sensing, Short Courses, and Florida/遙測中心簡介
	下午	1. Computer lab accounts & logistics 研習課程分組及電腦帳號設定 2. Campus tour/校園巡禮
5月12日 星期四	全天	Introduction to Remote Sensing & ArcGIS & Project Geocorrection & Data Extraction 遙測概論(衛星影像座標校正、資料擷取)與地理資訊系統簡介
5月13日 星期五	全天	Visit SJRWMD 參訪聖瓊斯水資源管理局 —水文模式應用於水資源管理 —現地參訪
5月14/15日 星期六/日	--	--
5月16日 星期一	全天	Data classification, feature extraction, & Geocoding 衛星影像分類、特徵值萃取、地理座標編碼
5月17日 星期二	全天	Data Integration 資料整合(衛星影像鑲嵌、影像增揚、影像分析)
5月18日 星期三	全天	Estimation of hydrologic parameters 遙測與水文因子推估與實作

表 1-1 100 年度農田水利遙測科技人才培訓計畫(國外班)課程內容(續)

日期	時段	課程內容
5 月 19 日 星期四	上午	Visit CREC, Lake Alfred 參訪 CREC, Lake Alfred
	下午	Leave for SFWMD 前往南佛羅里達水管理局
5 月 20 日 星期五	全天	Field trip: South Florida Water Management District 參訪南佛羅里達水管理局 — 水文模式應用於水資源管理 — 現地參訪
5 月 21/22 日 星期六/日	--	--
5 月 23 日 星期一	全天	Estimation of hydrologic parameters 遙測與水文因子推估與實作
5 月 24 日 星期二	全天	1. Project presentation 2. Evaluation and concluding remarks 3. Graduation 1. 專案計畫成果報告 2. 成果研討 3. 結業典禮
5 月 25~26 日 星期三/四	全天	歸賦

第二章 研習及參訪行程

2-1 佛羅里達大學農業及生物工程學系及遙測中心介紹

佛羅里達大學位於佛羅里達中部，佛州有九所大學，其中以位於根斯維爾 Gainesville 城州立佛羅里達大學（university of florida）最具盛名與規模最大，該校創於一八五三年，為一所綜合、研究型大學，校園十分廣闊佔地約有 2,000 英畝，廣大的校區裡處處展現寬闊的開放空間，目前學生八萬五千多人。該校的農業研究相當知名，對佛州農業發展貢獻頗多。

本研習團於5月11日上午約八時前往研習地點佛羅里達大學農業及生物工程學系(Department of Agricultural and Biological Engineering)的遙測中心(Center for Remote Sensing)（圖 2-1）辦理報到。報到後，首先由我方學員以英文簡單自我介紹，接著由農業及生物工程學系主任 Dr.Dorota Haman 簡報該系概況、教學研究發展情形。該系成立於 1923 年，其教職員工約有 1,100 人學生約有人，該系專注於培養農業、生物、土地利用管理及水資源相關領域之人才，近年來配合佛州農業需求結合高科技領域人才，在農業包裝製程、生質燃料、精密農業及生物探測高科技領域研究方面，均有傑出之成就，對佛州農業發展及收益有重大貢獻。其中生質燃料實驗室協助佛州將大宗農作物甘蔗煉製酒精，作為汽油之替代品，目前大量生產之煉製工廠正建造中；在精密農業方面，柑橘生產已採用自動化之灌溉、噴灑農藥及採收技術，降低成本及提昇品質與環境保護要求；生物微探測器之非侵入性測則已成功應用於瞭解玉米生長狀況、基因改變及病原感染等方面。（圖 2-2）



圖 2-1 佛羅里達大學農業及生物工程學系（Frazier Rogers Hall）



圖 2-2 施夫人、系主任 Dr. Dorota Haman 及遙測中心主任 Jasmeet
與全體學員合照

第二場簡報由遙測中心主任潔思米.賈吉博士（Dr. Jasmeet Judge）介紹中心研究成果及佛羅里達州農業灌溉系統，該中心自

行擁有飛機空載遙測設備，廣泛應用在佛羅里達州資訊調查及監測相關工作，在先進遙測技術、地理資訊系統及全球定位系統整合技術研究領域已相當成熟，尤其在農業及自然資源方面已建置相當完整的應用資料庫，對促進佛州農業生產與自然資源保存具有相當豐碩成果。佛羅里達州農業的高經濟農作物以甘蔗、玉米、柑橘等為大宗，由於農作物面積相當廣闊，因此在農作物的種植、灌溉及採收過程均已應用遙測技術，以提高生產力，例如精準農業(Precision Agriculture)。

在農業灌溉系統方面，潔思米.賈吉博士說明佛羅里達州農作物主要灌溉系統為 gravity-flow (seepage & surface) irrigation system、sprinkler system 及 micro-irrigation system 三類系統。

- (一) gravity-flow 系統主要採用 seepage 方式，此法主要應用於甘蔗與蔬菜；surface 方式則應用於稻米與柑橘作物；
- (二) sprinkler system 分成 solid set 方式（主要用於柑橘、果類等）、center pivot & lateral move（主要用於牧草作物）、portable（應用於多樣作物）、guns（應用於多樣作物）等三種方式；
- (三) micro-irrigation 大多數用柑橘灌溉，此方式用水量少，直接灌注效果，可防止農作物凍害發生，加上近年來節水及有效灌溉觀念影響，此種灌溉方式正在快速增加中。

簡報結束後，由Danel先生陪同參觀生質燃料實驗室、再生能源實驗室、包裝實驗室、柑橘病毒自動檢測實驗室及遙測中心。(圖 2-3~2-6)



圖 2-3 生質燃料研究室參觀



圖 2-4 包裝工程實驗室

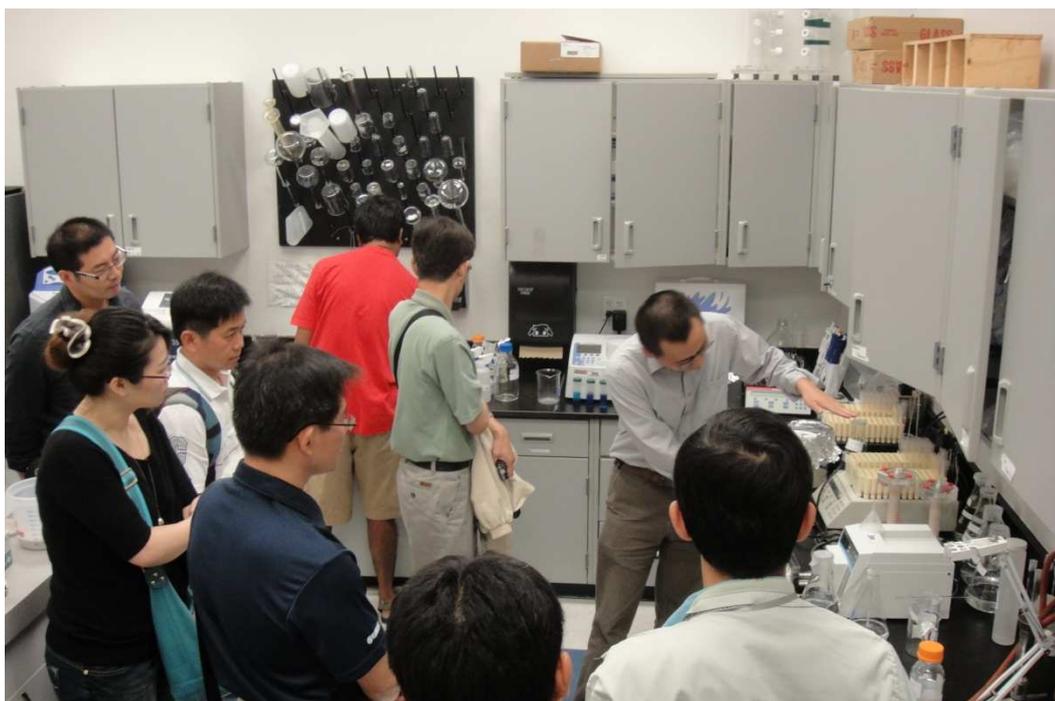


圖 2-5 參觀奈米科技研究及地下水水文實驗室



圖 2-6 參觀再生能源研究室

2-2 佛羅里達大學實驗農場現地參訪

5月11日下午由傅瓊玄博士及Danel先生帶領本研習班學員至距離校區約50公里佛羅里達大學試驗農場(Pine Acres)，參觀各種灌溉系統與實驗器具，由農業研究人員解說並介紹農場範圍內各種灌溉系統與農業機械，如Big Gun、Liner Pivot、Central Pivot及micro-irrigation方式。佛州面積廣闊，地下水源充沛，農場經營均採大面積種植方式，主要灌溉水源是以抽取地下水，灌溉機具均普遍應用程式控制自動噴灌，以減少人力的成本。現場參訪詳如圖2-7~2-9。

在台灣農業大部分為小農制，供灌系統應用有別於美國，通常以噴灌系統用於種植小面積之高經濟作物，供灌系統則用於有機網室蔬菜種植，詳如圖2-10。



圖 2-7 佛羅里達大學實驗農場工作人員解說噴灌系統操作



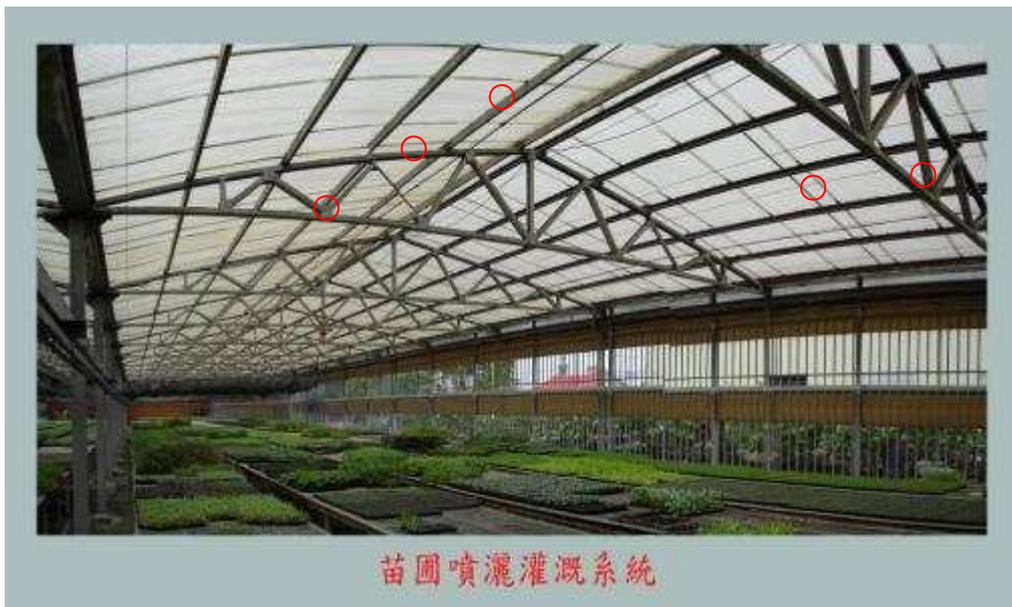
圖 2-8 佛羅里達大學實驗農場工作人員操作自動噴灌系統



圖 2-9 研習全員於佛羅里達大學農場高爾夫球場實驗草皮前合影



照片 1 苗圃噴灑灌溉系統(設置於地面)



照片 2 苗圃噴灑灌溉系統(設置於上方：紅色圈位置)

圖 2-10 台灣旱作灌溉噴灑系統圖

2-3 聖瓊斯水管理局(St. Johns River Water Management District, JRWMD)

本研習班 5/13 日上午前往聖瓊斯水管理局(圖 2-12~14)參訪，接待我們的是來自台灣的黃清次博士及大陸籍的陳博士，黃清次博士在美國已近 30 年，專長為地下水 Model 研究。黃清次博士

說明有關佛羅里達州水利區劃分、地文水文及水管局業務，大陸籍陳博士則說明水權核發業務。(圖 2-13~14)

(一)佛羅里達州水利區 (Water Management District) 劃分

佛羅里達州位於美國東南方，於 1945 年成為美國五十州之一，全州面積 152,960 平方公里約為台灣的 4 倍，人口從 1950 年的 2,77 萬人至 2010 年已增加到約 1,880 萬人；佛羅里達三面臨海，東臨大西洋與西南方鄰墨西哥灣，北與阿拉巴馬州及喬治亞州相鄰。

依據 1972 年美國聯邦授權水資源法案 (Water Resource Act)，將佛羅里達州劃分為 5 個水利區，劃分原則系依水域界線 (Hydrological Boundary) 而非依行政區域 (Political Boundary) 劃分，在每一水利區並設立水管局 (Water Management District)。聖瓊斯水管局為佛羅里達州第二大水管局，管轄面積 12,283 平方英里，約為台灣的面積，管理範圍包含佛羅里達州東北部及中部東邊地區，包含 10 個縣及 16 條流域，詳如圖 2-11。另 4 個水管局分別為轄管區域最大之南佛羅里達水管局 (South Florida Water Management District)、西南佛羅里達水管局 (Southwest Florida Water Management District)、西北佛羅里達水管局 (Northwest Florida Water Management District)、史汪尼水管局 (Suwannee River Water Management District)。

各水管局主管機關是州政府，每一管理局係由九人組成之管理委員會所組成，委員由州長提名，經州議會附議通過，以四年為一任，無給職，並得連任一次。委員必須是州內居民，委員會聘請一位執行長負責執行該委員會訂立之政策 (Policies) 與規章 (Rules)。

水管局主要職責：

- (1) 核發抽取地下水水權、管制及規範對水資源有衝擊之開發建設案。

- (2) 徵收具保育與保存水資源土地。
- (3) 地表水與地下水水質與水量之研究。
- (4) 建輸水渠道，致有些地區全靠地下水供應
- (5) 防制洪水，土壤沖蝕及排水不良造成災害
- (6) 協助地方擬定綜合性水管理計畫，特別是提供有關水資源資料。為達此目標，水管局准許到現場收集資料和應有設施以增進水資源開發。
- (7) 適當利用地表水與地下水。
- (8) 水資源教育宣導

各水管局之營運經費主要來源：

- (1) 聯邦政府撥發指定用途之經費。
- (2) 州政府撥發指定用途之經費。
- (3) 水權費 (permit fees)。
- (4) 債券 (bonds)。
- (5) 房地產稅 (Ad Valorem Taxes)，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，是水管局最大的自主經費來源。

(二)地文、水文

聖瓊斯水管局轄區內最主要的河川為 St. Johns River，全長約 490 公里，是佛羅里達州最長的河流，由南往北流入大西洋，為全美少數幾條流向由南往北的河川之一。因為地勢平坦，其河床坡降約 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，未能發揮即時輸水功能；自淨之能力低，因此水質並不是很好。

佛羅里達州年平均雨量 1500 公釐，但時間上分布非常不均勻，雨季 5 月至 10 月平均佔百分之 75 雨水，但旱季 11 月到 4 月只佔百分比之 25，除此之外，旱季年時雨水不到 900 公釐，豐

水時卻有 2500 公釐以上。

雨季的雨水因地勢平坦，儲留在內陸低地中，形成全州高達七千七百口湖泊，湖泊面積約佔全州百分之八以上。而在湖泊周邊及沿海地區形成許多溼地，在一百年前溼地高達三萬八千平方公里，幾為全州四分之一面積，目前溼地面積僅剩一萬八千平方公里，其餘兩萬平方公里已轉換為農業區及住宅區。溼地有天然防洪、生態平衡、地下水補注功能，和污水處理等等功能。因此在限制溼地開發、有效利用溼地，及徵收具保育與保存水資源溼地，目前是佛羅里達州各水管局重要工作項目。

佛羅里達州全州有彎彎曲曲河川 1,700 條，但因為地勢平坦，不適合興建輸水渠道，又沒有山區可供興建水庫，故傳統方法在上游山區興建水庫蓄積雨水供下游地區使用方式，在佛羅里達州無法施行。而在這些數量龐大的湖泊與溼地地底下所儲存豐富的地下水源，遂成為當地民生飲用、灌溉及工業用水主要來源，每日地下水抽取量約 3,100 萬加侖(11,800 萬立方公尺)，因此湖泊、溼地的地下水源保育與補注，在佛羅里達州相當重要的工作。

在佛羅里達州地下水抽取(含地表水引用)及開發行為之許可，均需依法向主管之水管局申請及經審核後，始能取得許可水權及進行開發。

地下水抽取水權(含地表水引用)之核可，在當地稱為 Consumptive use permit (CUPs)，CUPs 是地下水抽取或地表水之引用量是必須合理且符合大眾利益的，例如公共用水、灌溉畜牧、商業及發電用水申請量，不得對既有合法用水者權利造成影響，及損害水資源環境，例如抽取量引致地層下陷海水入侵，溼地及湖泊水被大量引用抽取造成水環境破壞。每一地區皆有限制地下水含水層之抽取量及地面水引用量，以確保當居民水權使用得到保障。而 CUPs 的申請也必需說明水利用的相關計畫，例如

使用再生水、處理過的事業廢水或引用滯蓄洪池之水，以避免全數抽取地下水，造成水資源不當浪費使用。另一種開發行為之許可申請稱為 Environmental resource permit (ERPs)，ERPs 是指開發行為在不影響水資源、水質、防洪安全及溼地湖泊保育等條件下，並符合相關規定後，始允許開發行為，例如開發基地不得位於地下水源、溼地、湖泊保育區範圍之規定；基地開發後增加的逕流量，必需設置滯蓄洪池儲存，確保防洪安全並達到補充地下水功能。申請許可書內亦載明包括施工期間應遵循的相關規定及檢核事項，許可期間為 5 年，超過期限必須重新申請。

5 月 13 日下午全體學員前往聖瓊斯水管局管轄之 Rodman Reservoir 參訪(圖 2-15)，Rodman Reservoir 位於佛羅里達州中部，面積約 9,600 公頃，建於 1960 年代，Rodman Reservoir 是由聖瓊斯河西側之 Buckman Lock 開鑿運河引水進入 Ocklawaha 河，在 Ocklawaha 河下游興建 7,200 英尺長的土壩橫跨形成的，土壩有四門溢洪道，水位維持於 18 呎（規模較台灣之攔河堰為小）。當時興建目的是為船舶航行之需要，由美國兵工團興建完成。雖屬低矮之水利建造物，在開發前即仍引起環保生態上的爭議，故在興建完成後並未作為商業船舶航行使用，而保留作為防洪操作之用。由聖瓊斯水管理局妥善維護，Rodman Reservoir 區域已形成一個複雜豐富的生態系統，提供多種原生植物、洄游魚類和野生動物棲息繁植，其中包括許多瀕危物種。Rodman Reservoir 已被佛羅里達州的魚類和野生動物委員會認定為是佛羅里達州最富生態的湖泊，對聖瓊斯水管局復育努力予以相當的肯定。

這是一個美國在經濟開發利用與生態環保孰孰重的爭議案例，在公民意識與環保團體的努力下，停止開發並予復育，生態環境維護的執著復育成功的案例，值得國內參考。

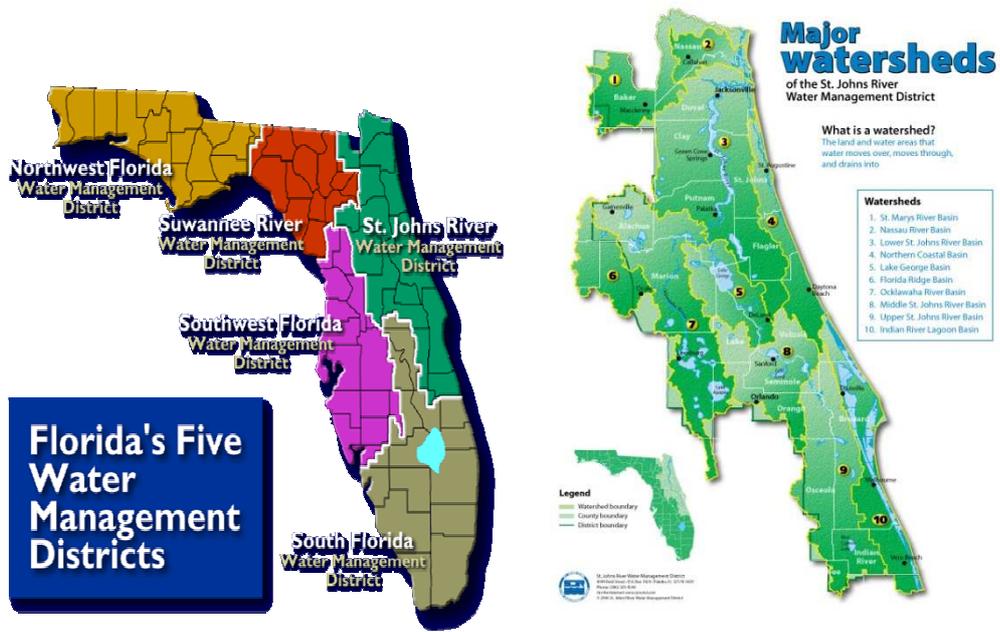


圖 2-11 瓊斯水資源管理局管轄範圍圖



圖 2-12 聖瓊斯水資源管理局黃清次博士簡報情形



圖 2-13 聖瓊斯水資源管理局研究人員簡報情形

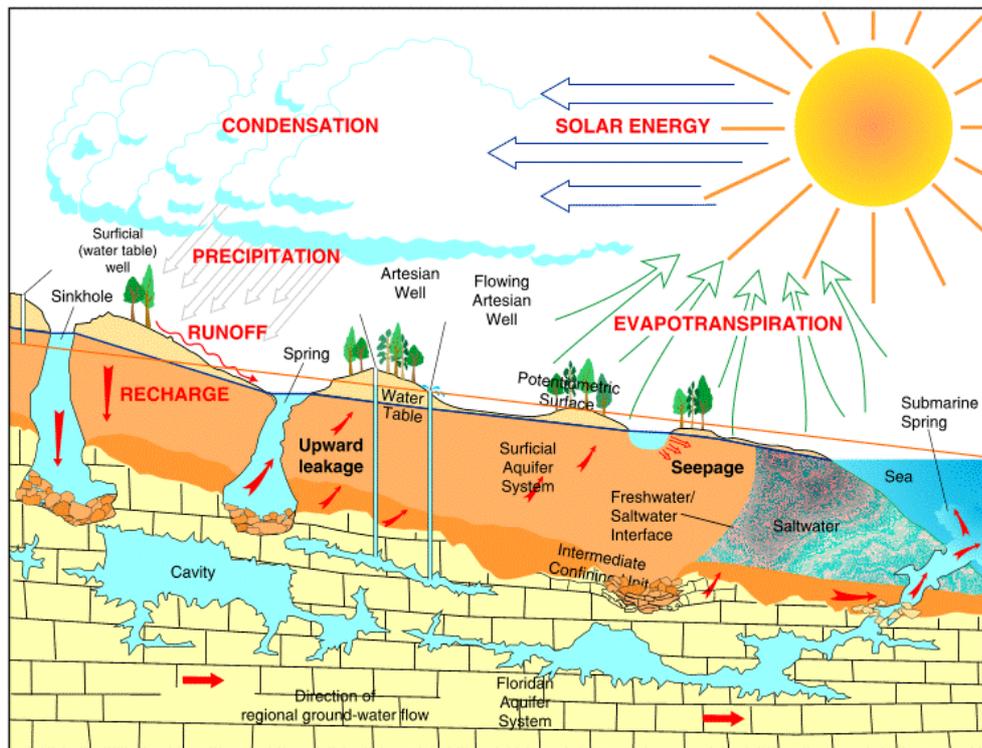


圖 2-14 The hydrologic cycle in Florida, showing the Floridan aquifer and formation of springs and sinkholes



圖 2-15 Rodman Reservoir 下游

2-4 柑橘研究及教育中心(CREC)

歷年來佛羅里達州的柑橘產業一直是重要經濟農業，其產量佔美國柑橘生產量之百分之八十，至今仍是如此。柑橘類水果，包括柑橘、柚子、橘樂果、酸橙，均是該州最大宗的農業商品。

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，如今有超過 250 人受僱於 CREC，且研究機構設施包括超過 600 畝的樹林、溫室、1 個柑橘包裝廠、1 個柑

橘加工試驗工廠和 40 多個實驗室。

本研習班係於 5 月 19 日上午約 10 時抵達 CREC，中心接待人員為經理 Love，經理 Love 首先帶領我們參觀柑橘果汁生產實驗工場，並詳細解說生產、殺菌及包裝流程及最後品質檢驗程序。隨後前往該中心的柑橘病毒實驗室參觀，實驗室主持人係一位大陸籍黃姓博士，工作團隊人員亦大部份來自亞洲，黃博士說明黃龍病（Yellow Spot）據傳由亞洲傳入，柑橘樹感染後快速枯萎死亡，對農民生計影響極大，因此黃龍病病蟲害防治係該中心目前最重要工作；另外參觀該中心自行研發的柑橘自動採收車，其係應用光學判識技術與自動化技術整合智慧型設備，已實際應用於柑橘採收，大幅節省人工採收成本。



圖 2-16 柑橘研究及教育中心（CREC）參訪(一)



圖 2-17 柑橘研究及教育中心 (CREC) 參訪(二)

2-5 Water Conserv II 再生水中心

Water Conserv II 再生水中心(圖 2-18)位於奧蘭多(Orlando)市西邊約 100 公里由佛羅里達州大學出發車行約 2 小時。本研習班於 5 月 19 日下午底 2 時抵達，由中心資深工程師 Mr.Glenn Burden 負責解說，Water Conserv II 再生水中心是世界上相同類型再生水利用計畫中最大的一個，也是由佛羅里達環境保護局(Florida Department of Environmental Protection, FDEP)許可，利用回收水(Reclaim Water)來灌溉農作物的計畫，亦係世界知名的灌溉與快濾滲透盆地(Rapid Infiltration Basin, RIB)之水資源再利用計畫。Water Conserv II 計畫由奧蘭多市與橘郡共同出資成立的，委由 Woodard & Curran, Inc. 代為操作管理，類似台灣引用的 BOT 模式。這個計畫從西元 1989 年起，至今已獲得在工程應用、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 計畫最著名的是快濾滲透盆地(圖 2-17)技術

一將處理過之回收水引入盆地，以盆地砂質層及石灰層地質結構過濾淨化回收水，提供於農業灌溉與商業用途而著名，目前用戶約使用 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，回收水循環利用示意如圖 2-20。

再生水利用系統由二個回收水工廠(包括 100MGD 配水加壓站、4 個 5 百萬加侖的貯水池、SCADA 電腦、操作機房、維護機房等設備) 聯結約長 34 公里管路至配水中心組成，從配水中心再經由管路輸送系統至快濾滲透盆地，處理後在配送供灌溉、工業、商業及社區使用，整個配水管網的管線壓力約從 60 到 120 PSI。目前 Water Conserv II 已建置包括 8 處聯絡網路，每處有 71 個 RIBs，面積計有 3,725 公頃。

快濾滲透盆地 (Rapid Infiltration Basin, RIB) 係建構於在自然砂脊土上，砂脊土深度從 30 呎到 300 呎，砂層底下是霍桑形成層 (Hawthorne formation) 的半滲透粘土 (semi-permeable)，霍桑形成層作用有如一道牆分隔砂質層的地下水流與深層底下的石灰層受壓含水層 (floridan aquifer)，補注過程如 2-21 圖。

關於 Water ConservII 的計畫效益，在環境效益方面，如減少廢水排到地表水增加環境負擔、減少地表水的流失、將廢水變成為資產(再生水)的實益用途、提供灌溉用水降低抽取地下水的需求、回收水排入快濾滲透盆地來補注含水層。經濟效益方面，由於運轉及維護成本控制合宜，營運至今每年度皆有盈餘，證明 Water ConservII 是具有成本效益的計畫。另該中心相當重視周遭社區環境的維護，在每一個快濾滲透盆地周遭均設置防風林，以綠帶隔離營造環境，確保環境整潔與安全；每年並提撥盈餘回饋社區，也為瀕臨絕種及遭受威脅的動植物物種設立禁獵區保育環境，保育工作的成效，普獲當地社區民眾肯定。

在現地的參訪 (圖 2-22)，每一快濾滲透盆地 (RIB) 面積約如一運動場大，表面為砂質層，現場周遭有完整防風林設置，盆

地周圍並覆蓋橡膠層防止揚砂。ConservII 中心也實施展示再生水滲透過程，從再生水由廠區輸水管配送系統至快濾滲透盆地，再生水快速滲透至砂層水，證明確實達到補注地下水的功能；另外，再生水滲透完成後，後續程序為刮土機翻動砂層曝曬，以防含水砂粒表面易生苔菌類影響水質，現場操作過程讓學員留下深刻印象。



圖 2-18 Water Conserv II 中心



圖 2-19 Water Conserv II 快濾滲透盆地

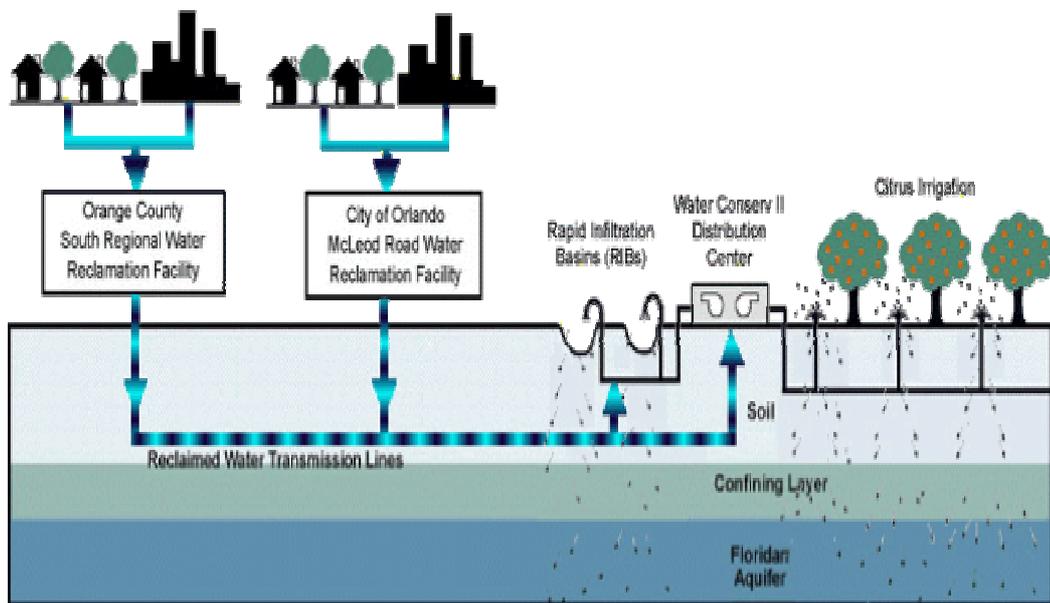


圖 2-20 再生水循環利用示意圖

2-6 南佛羅里達水管理局 (South Florida Water Management District, SFWMD)

南佛羅里達水管理局位於邁阿密北方之西棕櫚海灘(west palm beach)，為佛羅里達州組織規模及轄管面積最大的水管局，面積約 4 萬 6,440 平方公里，較大於台灣，約等於荷蘭面積，目前該局員工人數約 2000 多人，其中研究人員約有 200 餘人。轄區內包括 16 個縣(COUNTY)，從奧蘭多市到南方島鏈(Key West)，全北美第二大湖 Lake Okeechobee(面積約二千平方公里)、及著名國家溼地公園 Everglades、Big Cypress Basin 等均位於轄區內。

本研習團於 5 月 21 日上午拜訪南佛羅里達水管局，接待我們的是來自台灣的金凱仁博士及二位來自大陸陳博士，陳博士及金凱仁博士分別簡報佛羅里達州水患治理、Comprehensive Everglades Restoration Plan, CERP 綜合復育計畫、南佛羅里達水文監控測管理中心並參觀 Everglades 國家溼地公園現地 (圖 2-23~24)。

2-6-1 佛羅里達州水患治理

佛羅里達州在 1926 和 1928 年三年內南部奧其卓比湖(Lake Okeechobee)附近連續遭到颶風侵襲，湖堤發生潰堤事件，鄰湖地區民眾死亡達三千人以上；該區域不幸在 1947 年又遭到洪水侵襲，數以萬計人民無家可歸，損失年慘重，東部海岸大量抽取地下水造成海水入侵土地鹽化，當時州政府向聯邦請求援助，在 1948 年國會授權佛羅里達州政府成立 (Central & South Florida Flood Project, C&SF Project) 計畫，由美國陸軍兵工團 (US Army Corps of Engineers, USACE) 執行。

在佛羅里達中南部防洪計畫重要執行項目為，河川渠道及堤

岸工程(River Channelization) 以範束水流以免濫成災、奧其卓比湖岸堤防(Lake Okeechobee Dike)防止湖水溢堤、Everglade 農業區及東部海岸堤防 (Protective Levees)保護農業、防止海水入侵之隔離水道、建立排水系統(Drainage Network)及抽水站等，計畫執行成果使得佛羅里達州中南部水患與海水入侵問題得到初步控制，該計畫也是當時世界上最大、最複雜防洪計畫之一。該計畫完成的工程包括約 3,000 公里長之渠道與護堤、160 個排水系統、200 個重要水利設施及 36 處（目前已達 60 處）大型防洪抽水站。

由於佛羅里達州地勢平緩，無高山阻隔；河川坡度小流速緩慢，在 6~9 月颱風期間，倘有淹水情形，易釀成溢堤災害。利用當地特有的天然湖泊及溼地作為滯蓄洪池，以調蓄洪峰，係上述建構之防洪計畫重要之設施。另配合滯蓄洪防洪操作需求，所建置的大型防洪抽水站，亦在防洪安全系統伴演甚為重要角色，該局訂定相當嚴謹的操作與維護管理規範，並以視同作戰之態度執行。

在 1972 年美國國會通過水資源法案 (Water Resource Act)，南佛羅里達水管局正式成立，該局繼續執行前述之防洪計畫，由於水利區(Water Management District)的劃分，各水管局分區管理水資源和擬定各地區長程用水計畫。以往佛羅里達州對水資源採取開源和管理並重的策略，在水管局成立後，依據水資源法案 (Water Resource Act) 調整以水源調配管理為主的模式，以達成水源供應的目的。

2-6-2 CERP (Comprehensive Everglades Restoration Plan) 綜合

復育計畫

在水資源法案 (Water Resource Act) 施行二十多年後，佛羅里達州人口從 1950 年約 280 萬增加到 1990 約 1400 萬人，由於

人口快速增加，(是全美退休人員最喜歡居住地)、城市向周邊擴張及農業開發需要，其中 Everglades 沼澤地帶面積已流失一半以上，對用水需求和經濟發展所造成的衝擊非常明顯。因此南佛羅里達水管局在 1992 年起重新檢討 C&SF Project 並依據水資源法案，提出一個回復(Restore)、保護(Protect)及保存(Preserve)含蓋佛羅里達中部及南部水資源的計畫，目標為打造一個永續發展的南佛羅里達，擁有乾淨、無虞及免於淹水的水環境，參與單位包括州政府、聯邦政府、地方政府及印地安原住民。透過政府與當地社群不斷的溝通與遊說，計畫內容獲得成功的整合，於 1999 年 CERP 綜合計畫 (Comprehensive Everglades Restoration Plan) 正式定案。

在 1999 年 6 月 1 日由佛羅里達州政府及美國陸軍兵工團 (USACE)向國會提交 CERP 綜合復育計畫。在 2000 年 9 月獲得國會通過及美國總統克林頓簽署，執行期間 35 年，總經費達 78 億美元，2010 年經費已調整為 170 億美元，目前執行已約 80% 經費，由佛羅里達州政府及聯邦政府各負擔 50% 經費。該計畫被譽為世界最大的生態系統復育計畫，包括 68 個子計畫，計畫主要內容為：

- (一) 增加提供乾淨水量：由每年 15 億噸水提高至預定之 30 億噸水。
- (二) 擴大湖泊、溼地保育區域，計畫擴大保育面積 75,000 公頃 (hectares)。
- (三) 設置 Surface Water Storage Reservoirs (圖 2-25): 主要是用來涵養水源，雨季可兼作防洪功能使用，計有 15 處，計畫儲存水量 18 億立方公尺。
- (四) 設置 330 個地下水補注井 (Aquifer Storage and Recovery, ASR): 以雨季時多餘經過淨化處理的乾淨的水補注地下水，以備為缺水時水源，預定每日注水量 600 萬立方公尺(圖 2-26)。

(五) Stormwater Treatment Areas, STAs(圖 2-27)：屬人工溼地，利用溼地可敬過濾淨化水質功能，處理雨季農業區地面逕流，約可去除 76% 水中含氮、磷量後，作為補注地下水水源，共計規劃有 22 處，總面積 18,000 公頃 (hectares)。

(六) 拆除影響水流動之水利結構物；檢討部分渠道束水等結構物必要性，建立更具彈性的防洪系統，並妥適引流以涵養地下水源。

上述計畫概以最小規模的工程，來達到水資源保育成效，因此計畫的大部分預算經費用途是用來價購保護涵養水源所需之土地，所價購之土地以前是湖泊、溼地被開發為農業區域，也就是將以前允許開發的土地，重新以公務預算買回規劃為水源保育區。目前價購的土地面積已達成計畫的 60%。另外在 2009 年於 Kissimmee River 周邊執行 ASR 工程，已進行 3 處先期工程，將引自 STAs 處理過水源，進行灌注地下水層。目前已完成 7 次抽水及灌注的實驗。依實驗後水質檢驗報告及地下水位觀測數據，水質中的氮、磷、砷的含量一次比一次低，且均符合水質標準，證明地下水層淨化、過濾效果，也達到地下水補注功能。

至於 CERP 綜合復育計畫執行過程遭遇的困難與挑戰，如全球氣候變遷因素，導致以防洪、防旱或保育何者為計畫優先次序問題、價購土地面積龐大，引致諸多法律訴訟問題、外來物種入侵問題、臨近農業區水質改善是由業主自行負責或由公務預算處理？及計畫公共利益的公平性爭論等問題，該局均透過計畫檢討因應、民眾溝通協調解決；雖然面對困難與挑戰，南佛羅里達州水管局、當地環保團體與民眾均認為：健康的生態系統，是符合人類健康居住環境需求的，也是佛羅里達州建立一個永續 (Sustainable) 平衡(balance)的水環境，及提昇環境價值的絕佳機會，而復育過程累積的經驗與資訊，也可分享其他國家參考。

2-6-3 水文監控管理中心

防洪及水資源管理控制中心設於二樓，監控中心系統是架構於 SCADA 系統，每在國內 SCADA (Supervisor Control And Data Acquisition) 監控系統主要應用於電力系統、石油、化工等行業的生產監測領域。

SCADA 系統架構在 PC 之上的資料監控和資料擷取控制系統。主要用途為南佛羅里達水管局轄區內水工結構物之遙控操作運轉與水文氣象資料蒐集。南水管局陳博士解說，目前南水管局轄管區域內已建置有約 1170 控制點，每天 24 小時蒐集及監控轄區內水文資料。SCADA 監控系統軟體是以圖形介面操作，具有作系統狀態動態模擬、即時和歷史資料趨勢曲線顯示、警報處理系統、資料擷取與記錄、資料分析預測等功能；硬體設備主要是掃描遙控資料、紀錄資料、系統異常事件警報及水工結構物水門啟閉、抽水站遙控操作運轉、河川湖泊與地下水水位、水質、流量及降雨量等水文資料監測等，是一套整合型的監控系統。此外，該中心也以 SCADA 系統監測功能結合氣象預報資料，自行發展洪水預報系統，在卡翠娜 (Katrina) 颶風侵襲期間，執行指揮區域緊急疏散撤退任務，保障區域民眾安全。SCADA 系統架構圖如圖 2-28~29。

2-6-4 參訪 Everglades 國家溼地公園

Everglades 國家公園是被登錄為世界遺產的珍貴保護區，以鱷魚和印第安保護區聞名。面積廣達六千平方公里，是世界上最大的淡水草澤濕地 (Freshwater wetland)，與台灣的溼地則屬於河口 (Estuary) 濕地不同。沼澤區非常廣闊，水域的面積不少，水很淺，兩側廣大的沼澤草原、生長茂密香籠草、紅樹林、cypress 形成的特殊景色。在午後炙熱的夏陽下，靜謐的沼澤區不時出現於空中翱翔的各類水鳥，並沒有出現沼澤區經常出現的群鳥聚集

景觀。船行當中，水面也不時浮現烏龜及佛羅里達州代表性動物短吻鱷(alligator)，充分顯現自然溼地饒富的生命力(圖 2-28~29)，也見識到美國人對溼地環境維護的努力與堅持。

濕地較為人熟知的功能，在於它提供鳥類庇護，覓食及生育時的棲地，以及其為生產量高、魚貝盛產和經濟效益極高的地帶。最近數年來，濕地與水質水文的關係重獲重視。如眾所皆知，濕地可調節水量，補注地下水，緩衝和減除或降低洪患。許多地區水患頻傳，就有可能是一些沼澤地被填埋所造成的。在 CERP 綜合計畫中，我們可看出美國對溼地管理目標—兼顧生態影響，水資源管理不再只是人類優先，而且考慮河川、湖泊、溼地的動、植物，與如何維護地球生態，而非只是為了人類用水。



圖 2-23 南佛羅里達水管理局陳博士與學員研討情形



圖 2-24 南佛羅里達水管理局金博士與學員研討情形



圖 2-25 Surface Water Storage Reservoirs

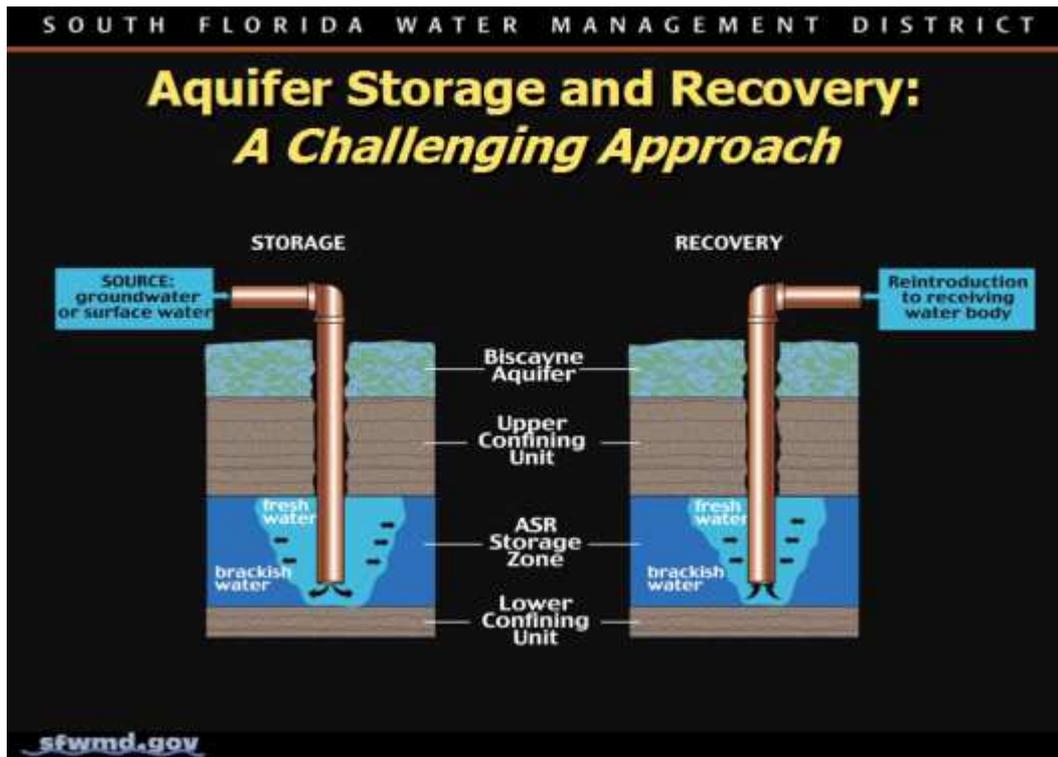


圖 2-26 ASR 法 含水層儲存及回抽過程示意圖



圖 2-27 Stormwater Treatment Areas

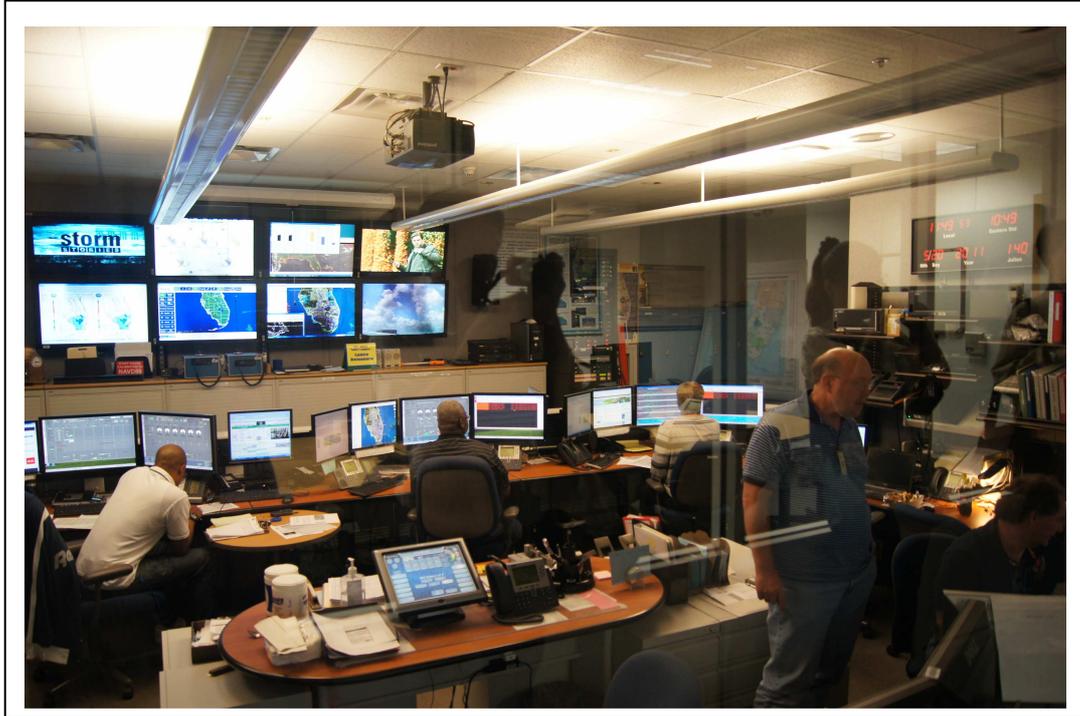


圖 2-28 南佛羅里達水管局水文監控管理中心

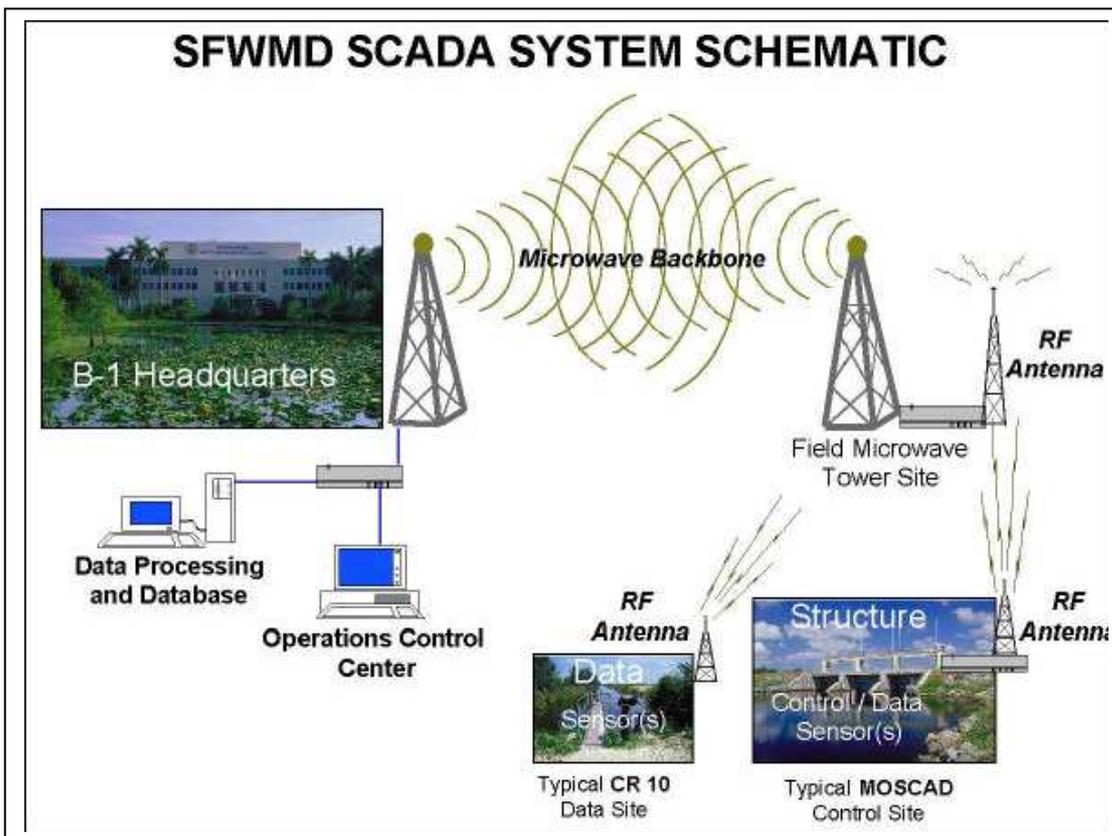
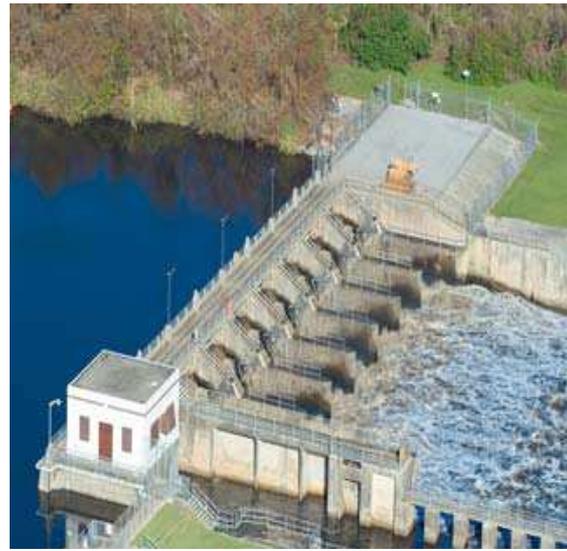


圖 2-29 水文監控系統架構圖



CR-10 (data logger)



MOSCAD pump station operation

Site Families:

a) data logger (CR-10) is primarily used for measurement and control functions. The data logger can remotely measure hydrologic, meteorological, and water quality information, with on-site data storage capacity, and it can transmit the data to the control center. The system includes a power supply, weatherproof enclosure, sensors, programming and communications software, and communications peripherals.

b) MOSCAD is a remote terminal unit (RTU) is a microprocessor controlled electronic device which interfaces mechanical devices such as flood control gates, pumps, etc. to the SCADA system by transmitting telemetry data to and from the system. The RTU enables, for instance, the ability to remotely open or close flood gates, or turn on or off pumps. It also has the capability of performing sensor functions and providing continuous monitoring, although it is not primarily used for those purposes.

圖 2-30 現場設備監控圖



圖 2-31 Everglades 國家溼地公園景觀



圖 2-32 Everglades 國家溼地公園景

第三章 專題演講

3-1 生物能源(Bioenergy and Bio-based Materials from Biomass)

本專題講師童教授(Zhaohui Tong)早期的背景是做造紙工程(在大陸取得學士與碩士學位)，後來在美國取得化工碩士與博士學位，目前研究方向則主要是做生質燃料(Biofuel)。童教授對Biofuel(生質燃料)工程的建模和計算的方面很感興趣，她參與兩個設備的建構，一座工廠是位於佛羅里達大學校園的最新型的研究規模生質燃料實驗工廠(如圖 3-1)，另一個是 2000 萬美元生質燃料生產設備，將位於佛州的 Perry(如圖 3-2)。她目前從事大學校園實驗工廠的研究，並且正幫助發展生質燃料生產設備。

基本上，石油所產生的問題是眾所周知的，目前為止，石油仍然在美國占總能源之 40%(在世界上約占 35%)，石油導致很多環境問題，例如酸雨、臭氧耗盡、全球變暖和環境惡化等。此外，石油和其他不能再生的能源將來將被耗盡。一個解決這些問題的方法是生質燃料的生產，預計美國政府到 2022 年生產 360 億加侖生質燃料，2030 年生產 600 億加侖生質燃料。

生質燃料的準確定義眾說紛紜，其中的一種定義「燃料製作前十年中採收的有機活體萃取物至少佔體積百分比 80%的任何燃料，都可以被稱作生質燃料。」從這定義下可知雖然石化燃料也是由古生物遺骸形成的，但距死亡已經過數千萬年，並不屬於生質燃料。其實生質燃料並不是什麼稀有的東西，像一般家庭常在使用s的食用油就是生質燃料的一種；或自家釀造的酒，只要經過純化等過程就可以作為一些特殊設計汽車的燃料。幾乎所有工業、農林漁木業、家庭產生的可分解廢棄物，像廚餘、木屑都可做為生質燃料的原料。

生質燃料優點為每單位所產生的二氧化碳較石化燃料少；據

調查，排放的廢氣臭味減少也較不具刺激性。如果漏出也很容易被自然分解，生質柴油在自然界的分解率與蔗糖相同。製造生質燃料的原料中的碳都是經由捕捉當今大氣中的二氧化碳所生成的，燃燒這些生質燃料只是將這些二氧化碳再釋放到大氣中。而化石燃料則是久遠以前早已脫離碳循環的物質。不過生質燃料目前在大部分國家還面臨價格無法壓低的情況，或許當技術更成熟、使用更普遍能改善這情況。此外，全球人口亦逐漸增長，我們也需考慮大量使用生質燃料對環境衝擊。



圖 3-1 生質燃料實驗工廠



圖 3-2 位於佛州 Perry 建設中的生質燃料生產工場

3-2 精準農業(Precision Agriculture)

本專題講師係韓裔助理教授李元碩博士，李博士說明精準農業是一種以資訊及技術為基礎的農業經營管理系統，針對農田及植栽環境的變異給予最適當的耕作決策與處理，以減少資材之耗費，增加收益及減輕環境衝擊的經營管理手段。為一項基於農田網格間之差異所衍生而出的農耕概念與方式，精準農業使用了新興科技如 GPS 定位系統、探測器、衛星或航拍影像、地理資訊系統(GIS)，來處理收集到的田間各項資訊。這些資訊有助於精確評估田間網格間如作物密度與分布、土壤肥沃、養分、水分之差異，以精確計算作物生長所需之各項要素，給予作物或農地相匹配之投入、處理，達到減少浪費、增加利潤、保護環境之目標。

3-2-1 精準農業之運作系統

精密農業為一融合農耕知識及多種應用技術組成之農作物

經營體系，掌握時空即時資訊，藉著完整詳善的相關資料庫模擬及決策，連結自動化管理操作系統的作業配合，依照規劃循序達成新、速、實、簡的全套精準栽培與管理。為符合體系的各項要求，理想的精準農業作業系統必須包括六大要素：

(一) 農耕資料庫

建立作物栽培、逆境生理、植物營養、病蟲害及雜草管理、試驗統計及農業微氣象知識之各種資料庫，提供農場經營人員做出管理決策之依據。

(二) 土壤資料庫

每次耕作前後土壤性質產生變化，必須建立經營農場歷年土壤變異，加以整理分析找出其規律或變異，俾利於往後農作物的栽培。

(三) 地理資訊系統

農地與作物有關資訊必須空間對位，以便精準的在座標方位上標示正確的土壤、農耕資料、地理與地形，形成多層次資料檔，此一工作可藉由地理資訊系統（GIS）從事。

(四) 全球定位系統（GPS）

利用衛星定位與地理資訊系統結合，可很快定出遙測影像或其它農田主題圖層中發生問題農地的位置；同時可配合農業機械之使用，引導至待處理之問題農地位置。

(五) 遙測技術（RS）

在精準農業體系應用上，初期將以遙測技術建立農作物植被光譜與植被生長之關係、監測土壤環境、作物的生育狀態、病蟲害感染、雜草干擾、災害損害及產量預測等為研究範疇。當完整的植被光譜與作物生育特性模式建立後，即能利用即時遙測資訊，輸入資料庫進行研判與決策。

(六) 自動化農機操作系統

透過遙測技術得到農地及作物即時資訊，以全球定位系統（GPS）標出方位及座標，顯示於地理資訊系統上，再由農耕及土壤資料庫組成的鑑別及決策，找出農地及作物的變（差）異性，配合具變異率功能的自動化農機操作系統實施變（差）異性處理，達成精準機械耕作的需求。

3-2-2 精準農業在美國農業上之應用

利用衛星影像或航拍照片可對土壤肥沃(養分)不同、水分不同、或植物生長進行辨識，有助於對田區做完整調查，GPS 可將坐標作精準之定位，GIS 可將各項網格間差異做出田間網格間各項變異的地圖，並對各網格間的差異做不同處理。

精準農業應用自動化之農業機械進行精準之農事控制，機械上之設備通常具有天線、LAPTOP 輕便電腦、GPS 接收器、線圈、噴頭等，利用 GIS 加上 GPS 定位資訊資料，即可達成依據座標所在位置之田間網格資訊，自動執行特定之農事動作。以柑橘採收為應用案例說明：

- (一) 設計自動化機械，使機械進入特定地區範圍內，自動從事特定之農事作業，例如噴灑機具接近果樹時，使自動啟動噴灑灌溉系統或自動施肥動作，接近水源區則禁止噴灑農藥。
- (二) 柑橘產量估算系統(Citrus yield mapping system)：利用 GPS 結合攝影設備，對該顆柑橘樹木進行影像分析，包含柑橘樹木及果實之辨別，分析出該產量，獲得分析模式後，藉由自動化方式對整個柑橘園進行分析，即可估算出柑橘之產量。
- (三) GPS 加上攝影之相關應用也可用於從柑橘樹葉顏色分析推估是否有黃龍病之徵兆。

最後李博士藉由預先錄製，並透過 demo 展示為大家講解相關實驗器材，其儀器包含一輛農用車、噴灌器具、GPS 接收器、

筆記型電腦、控制器等。首先由電腦根據航照圖或遙測影像判斷田區裡作物與雜草之位置，並訂定出噴灑肥料(或農藥)之區域，將此區域座標輸入控制器(如此便可不需要電腦即可操作)。此時當車輛在田間行進時，根據車上的 GPS 接收器及控制器即可判斷車輛是否到達應噴灑之區域，如是，則開始噴灑，當離開該區後即停止噴灑，如此即可對整個灌區做細微之控制，達到精準農業之目的。

3-2-3 精準農業在國內推動情形

近年來國內航遙測技術應用於農作物生產，已積極研發水稻各生長期之光譜特性資料庫、作物種類自動判釋系統、作物受災監測及遙測(RS)、地理資訊系統(GIS)、衛星定位技術(GPS)之整合應用等。在利用衛星遙測技術判釋稻作面積方面，行政院農委會已推動「遙測與資訊技術應用於精準農業先趨計畫」，以彰化地區為試驗樣區，初步判釋精度達百分之93，因此未來航遙測技術在農業上的應用仍存在相當大的發展空間。

3-3 生物感測器(Biosensor)

本專題講師 Eric Mclamore 為佛羅里達大學農業及生物工程學系之助理教授，其背景為細胞組織生理及儀器儀表，生物科學之利益可跨越多個領域，包括農業，環境和生物醫學。在本次專題演講，Mclamore 為我們介紹了生物感測器(biosensor)，其用途為使用一個生物體的某些部分作為特定目的測量或監控信號的一種設備。

Mclamore 舉了個典型的例子，即過去有些礦工在採礦時會隨身攜帶金絲雀以探測有毒氣體(如圖 3-3)，因為這種鳥類對有毒氣體非常敏感，一旦受到氣體感染即會死亡等，如此一來可作為礦工偵測有毒氣體的一種預警系統。另一個作為生物感測器的例子

為狗，牠們的耳朵及鼻子比人類更敏感許多，其可用來幫助人類探測及追蹤。



圖 3-3 金絲雀為礦工之有毒氣體感測器

目前現代化的生物感測器即利用動物之特性進一步進行較高層次細節的研究，過去金絲雀只能給一個定性的信息—是否存在有毒氣體，而 McLamore 及研究團隊則努力創造提供定量信號的生物感測器，以檢測出到底有多少量存在的信息。

生物感測計可應用之技術很廣泛，McLamore 為我們介紹其在農業領域希望可發展生物感測器來監測植物之生理運輸。他說，生物感測器技術可用來了解植物之生理狀況，進而瞭解其基因改變及病原感染等疾病。McLamore 發展之生物感測器，可以使用非侵入性測量選定的離子或化學物質，類似在醫院將生命跡象監視器連接到病人身上，在不干擾植物的生理運輸下進行監測，可謂為「沉默的觀察員」。

3-4 風暴潮模擬系統(Storm surge modeling system)

沈教授(Y. Peter Sheng)講解風暴潮模式，及其應用於凡納比颱風期間高雄地區之模擬成果。目前有關颱風暴潮預測或模擬的研究大致上可以分為數值模擬法及統計(經驗)分析法及類神經網路法等。數值模擬法結合流體動力學方程式、海陸區域地形地貌資料、颱風估算模式及邊界相關條件，利用數值方法模擬暴潮水位，一般颱風暴潮模式利用有限差分法建立數值模式。

統計(經驗)分析法可分為兩類，一類利用現有的暴潮觀測資料進行頻率分析，推估不同重現期距下之最大暴潮偏差量，作為工程設計上的參考；另一類以暴潮偏差與颱風特性(中心最低氣壓、最大風速、行進路徑及暴風半徑等)進行統計相關性分析，進而建立推估暴潮之經驗式。

類神經網路法具有處理非線性問題的能力，而影響氣象暴潮的因素眾多，其中包括颱風特性、地形條件及天文潮等因素，諸多因素與暴潮皆呈現複雜之非線性關係，因此近年來常應用類神經網路法進行颱風暴潮之推估。沈教授發展之風暴潮模式屬數值模式，主要輸入參數主要包含：海岸地形、地表地形、風、氣壓、降雨等。發展模式包含：CH3D (Curvilinear-grid Hydrodynamics 3D model) 與 CH3D-SSMS (an integrated modeling system for simulating storm surge and coastal inundation)，詳網頁 <http://ch3d-ssms.coastal.ufl.edu>。

模擬凡那比颱風之假設條件為：垂向二維、解析風場模式、初始條件為平均海平面、開放的邊界條件、採高雄站進行雨量輸入、時間間距 60 秒、共模擬 5 日，電腦模擬時間約 2 小時(單核 3.0GhzCPU)。模擬結果如圖 1 與圖 2 所示，顯示淹水區域與降雨量有高度相關，此為一般風暴潮模式較無考慮周全部份。

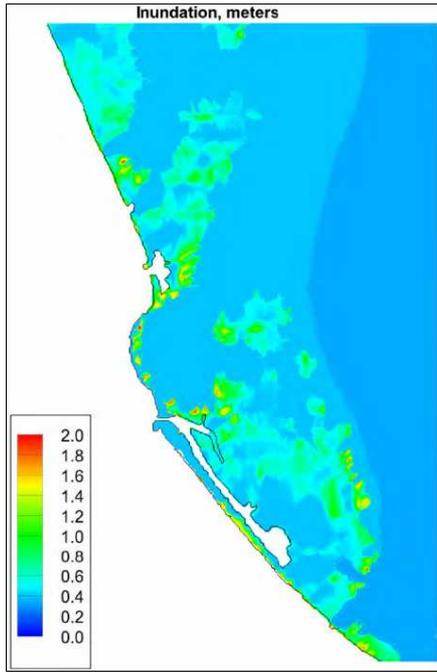


圖 3-4 凡那比颱風高雄地區
淹水模擬結果

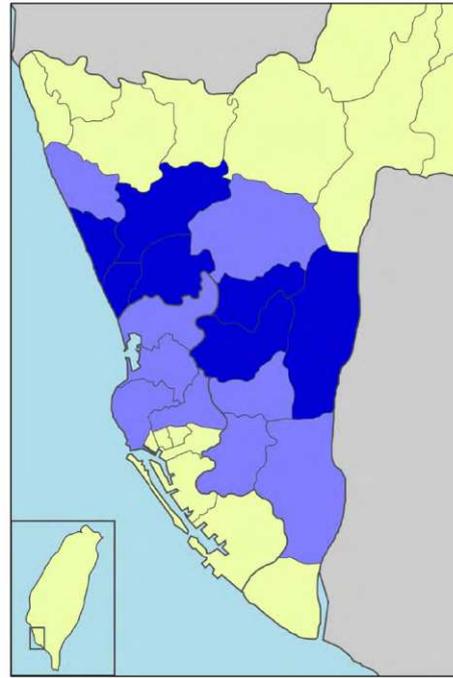


圖 3-5 凡那比颱風高雄行政
區域淹水圖

第四章 專案計畫內容

4-1 計畫目的

本次專案計畫以農委會農工中心譚智宏博士提供之福衛 2 號台北及宜蘭地區衛星影像，以 ERDAS IMAGE 2011 影像分析軟體之地表分類、地形坡度並以圖像套疊功能，及經 ArcGIS10 地理資訊系統軟體資料處理，來推估 Curve Number 值，最後利用美國水土保持局入滲公式(SCS Formulas)來進行區域性地表逕流量估算。合理化公式(Rational Formulas)與推估地表逕流係數(Runoff Coefficients)。

利用衛星影像估算地表逕流係數(Runoff Coefficients)及 Curve Number 值，有兩種資料應用，一種是利用 Land Cover、Terrain Slope、Soil Texture 三種資料進行逕流量估算，此處 Land Cover 是分成 0-4 類的資料。使用 ArcGIS 的 Intersect 功能將三種資料整合成一個圖層，然後參照 Values of runoff coefficient C 填入對應的 rc 值，配合 Field Calculator 即可依假設的降雨量來計算逕流量。

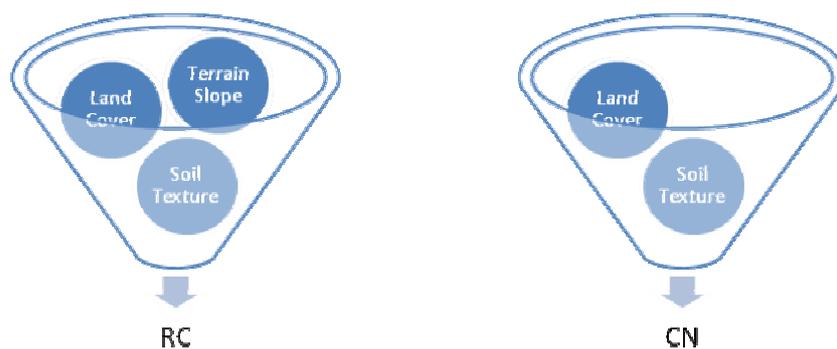


圖 4-1 資料整合應用示意圖

另一種是利用 Land Cover 及 Soil Texture 進行不同的 curve number 的 runoff map 求解，此處的 Land Cover 是分成 0-7 類的資

料。使用 ArcGIS 的 Intersect 功能將兩種資料整合成一個圖層，然後參照 Curve Number lookup table 填入不同降雨強度的 CN1、CN2、CN3 值，利用 Field Calculator 配合相關公式計算，即可估算 runoff volume Q。如圖 4-1 所示。

本次研習係利用 Land Cover 及 Soil Texture 進行不同的 curve number 的 runoff map 求解，此處的 Land Cover 是分成 0-7 類的資料。使用 ArcGIS 的 Intersect 功能將兩種資料整合成一個圖層，然後參照 Curve Number lookup table(如下表)填入不同降雨強度的 cn1、cn2、cn3 值，利用 Field Calculator 配合相關公式計算，即可估算 runoff volume Q。

茲將 4 個實機練習過程及成果分述如下：

4-2 練習一：MODIS 影像資料幾何校正

本單元主要針對 MODIS 影像進行幾何校正，即為影像加上地理坐標，首先利用 ERDAS Imagine 軟體之 Import 模組匯入 MODIS 影像，其影像解析度共計有 250m 及 500m 兩種，由匯入之 500m 之影像(如圖 4=1)可見其相較於一般看到的臺灣較為狹長，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)，設定投影座標後的 MODIS 影像如圖 4-2 所示。

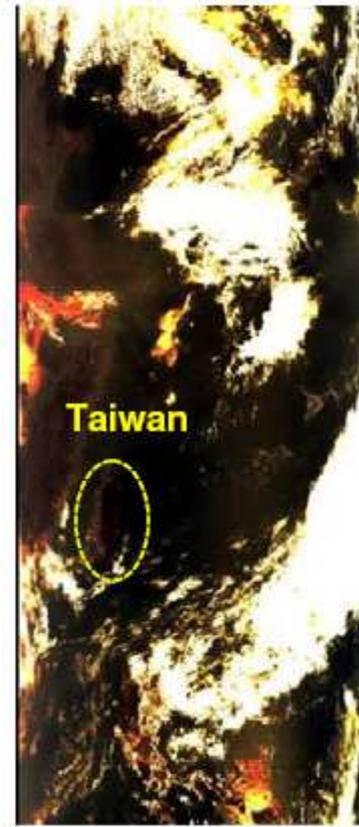


圖 4-2 MODIS 衛星原始影像

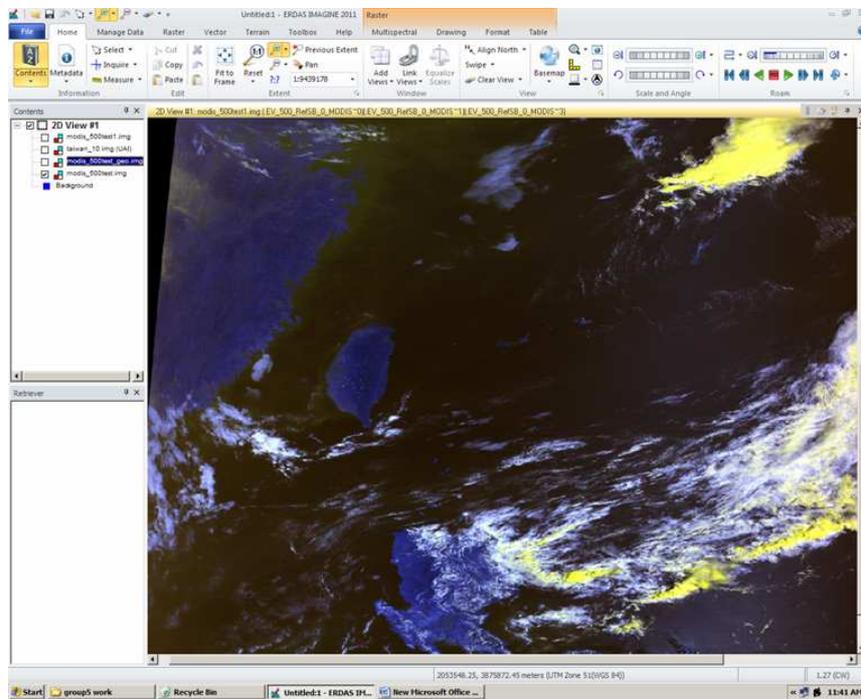


圖 4-3 設定投影座標後之 MODIS 影像

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，並選定 7 點以上之地面控制點 (Ground Control Point, GCP) 以校正各解析度之 MODIS 影像，而經過校正後的 MODIS 影像經與 SPOT 影像比對後顯示結果吻合，表校正成功(如圖 4-4)，另重覆相同步驟進行 250m 影像解析之檔案進行校正，其校正結果與 500 與影像解析之結果亦吻合(如圖 4-5)。

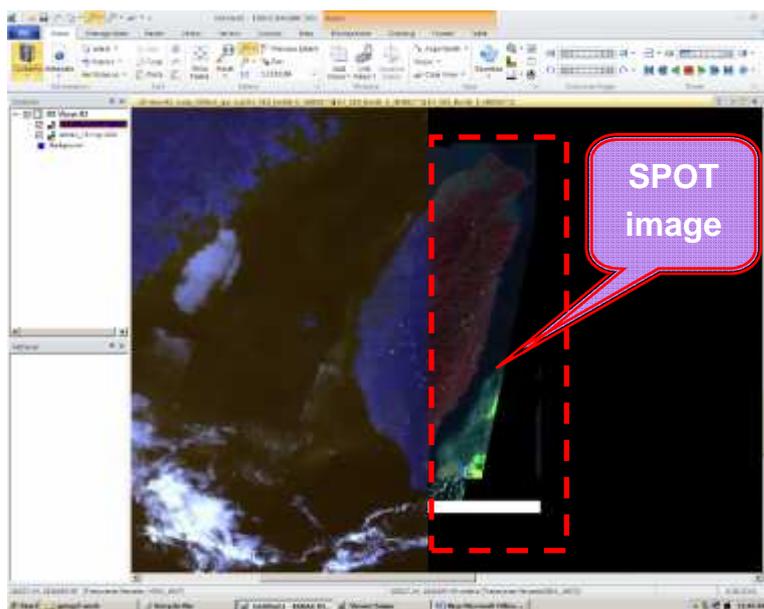


圖 4-4 500m 影像幾何校正後與 SPOT 影像比對

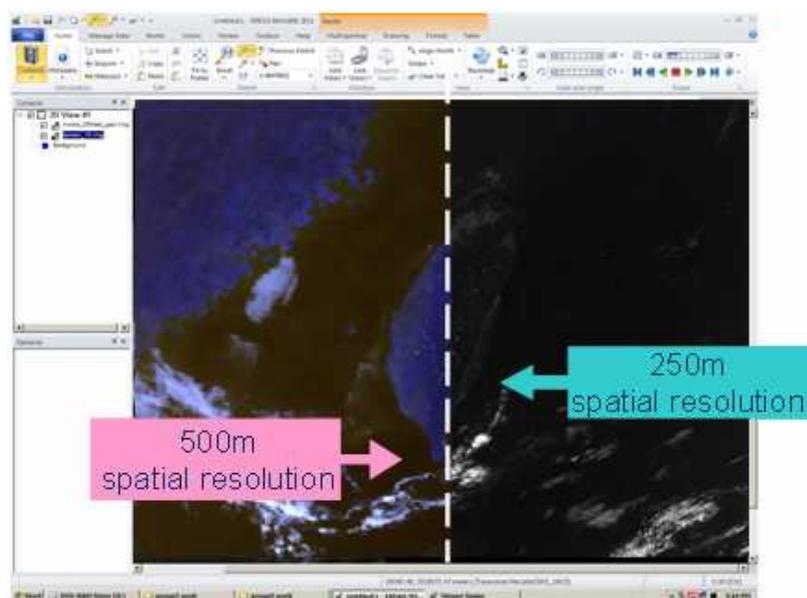


圖 4-5 250m 影像與 500m 影像幾何校正後之比對

4-3 練習二：光譜範圍影像處理及重新編碼地表覆蓋

以台北之福衛 2 號為例，因一個地區之影像來源並非完整一張，因此必須利用資料鑲嵌(mosaic)處理，使其相接觸之影像光譜差異減為最低，其流程為匯入所有台北相關之影像檔，利用 Mosaic 功能設定重疊(Overlap)之影像處理函數，Overlap 函數包含 Overlay、Average、Minimum、Maximum 及 Feather 等五種，由於每個影像適用於哪種函數為不一定，因此必須處理並比較以選出最佳鑲嵌後的影像進行後續分析，本次專案製作時，台北部份以 Feather 函數處理之影像較佳，如圖 4-6 所示。

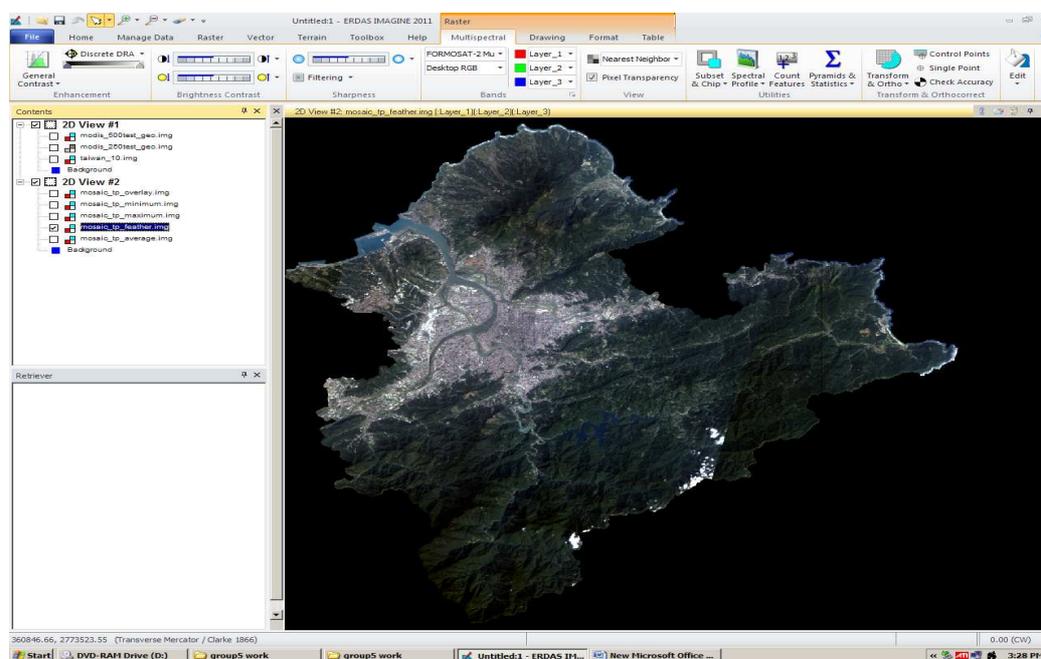


圖 4-6 台北之福衛影像利用 Feather 函數處理之 Mosaic 影像

為有效利用衛星影像之光譜進行土地利用之分類，專案製作時利用 ERDAS 的 Unsupervised 功能將 Mosaic 之後的衛星影像圖以非監督式分類法將地表覆蓋分成 40 類，並賦予其不同顏色，其結果如圖 4-7 所示。

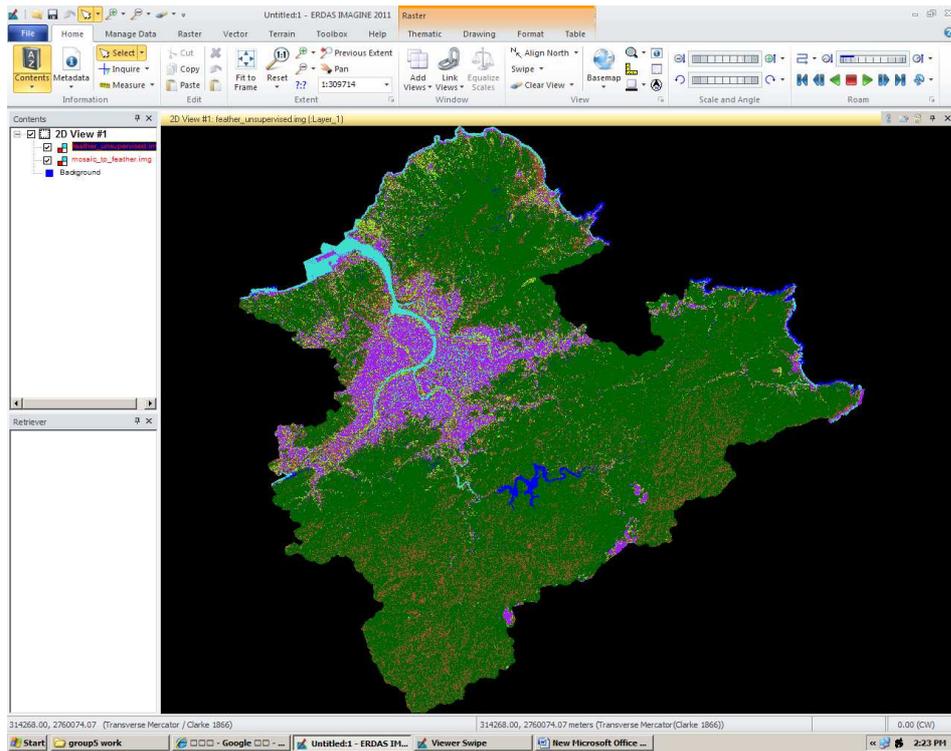


圖 4-7 非監督式分類結果

針對上述非監督分類之成果，對照 Google Map 之衛星影像判別各類別之使用目的，再根據標準地表覆蓋類別表(如表 4-1 及表 4-2)進行地表重新分類，以便後續進行逕流係數(Runoff Coefficients)及 CN(Curve Number)值指定使用。

表 4-1 Land Cover Categories for Runoff Coefficients

code	Land Cover Categories
0	Blank(margin, non-identifiable pixels)
1	Woodland
2	Pasture
3	Cropland(with crops on it)
4	Urban

表 4-2 Land Cover Categories for Curve Number

code	Land Cover Categories
0	Blank(margin, non-identifiable pixels)
1	Forestland
2	Rangeland

code	Land Cover Categories
3	Agricultural(with crops on it)
4	urban
5	Wetland
6	Water
7	Barren land

4-4 練習三：地形坡度資料處理及土壤質地資料處理

Runoff Coefficients 的估算，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 功能計算台北地區坡度值，並將結果輸出成 ESRI GRID 格式檔，其單位為百分比。

利用 ArcGIS 軟體匯入 DEM 資料以產生地形坡度(Terrain slope)檔案，其步驟茲說明如下：

(一) 依據衛星影像範圍切割 (Extraction) DEM 資料

使用 ArcGIS 的 ArcToolbox→Spatial Analysis Tools→Extraction→Extract by Mask，將原始 DEM 資料依據欲處理的衛星影像範圍切割成一新的 DEM 資料(如圖 4-8)。

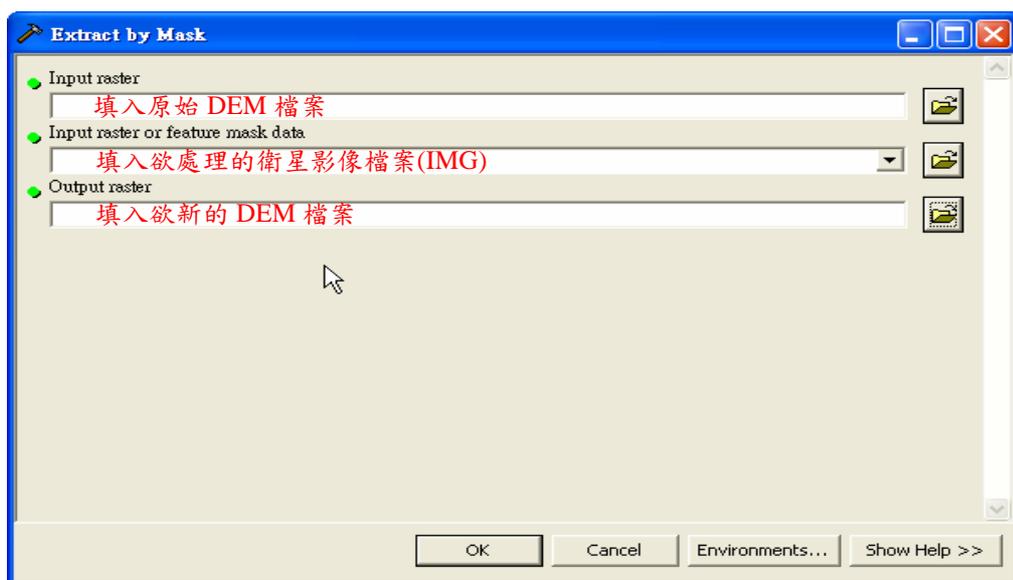


圖 4-8 依據衛星影像範圍切割 DEM 資料

(二) 將 DEM 資料轉換成 Slope image 並重新定義

使用 ArcGIS 的 ArcToolbox→Spatial Analysis Tools→Surface→Slope 功能，將切割好的 DEM 資料轉成 Slope image，接著依據表 4-3 重新將坡度定義為三類，利用 ArcGIS 的 ArcToolbox→Spatial Analysis Tools→Reclass→Reclassify 功能，存成另一個重新定義過後的 Slope IMG 檔案。結果如圖 4-9。

表 4-3 Terrain Slope Categories for Runoff Coefficients

Slope	定義
0-5%	1 Flat
5-10%	2 Rolling
> 10%	3 Hilly

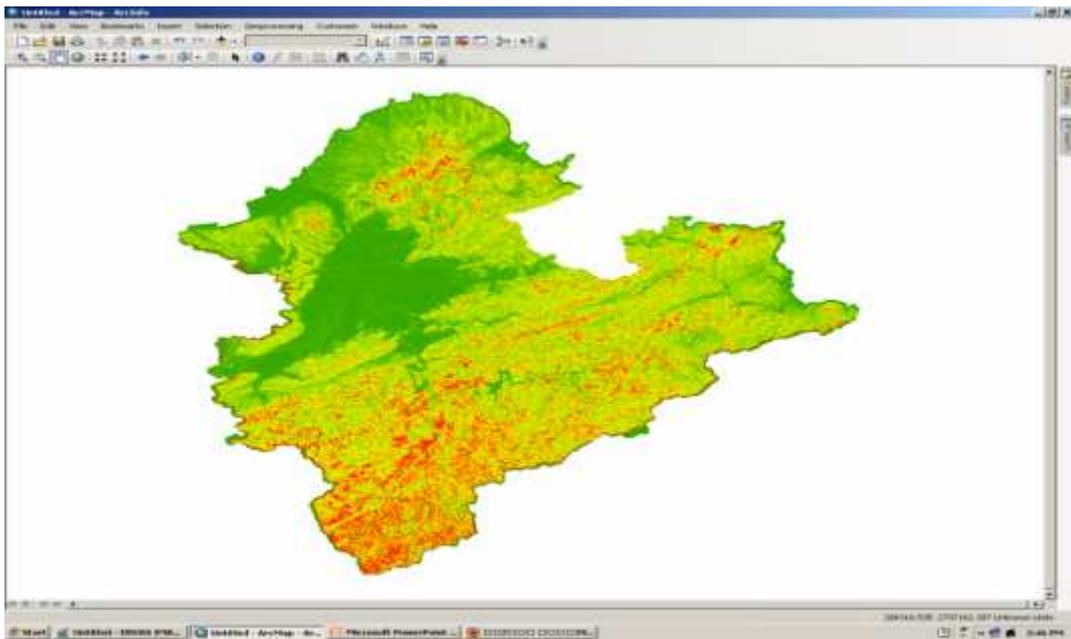


圖 4-9 重新定義後之坡度影像

(三) 利用 ArcGIS 工具箱的 Raster to Polygon 功能，將重新定義過後的 Slope IMG 檔案轉成 Polygon 型態的 SHP 檔案。

在土壤質地資料處理部分，則使用既有土壤圖層資料，依據 Runoff coefficients 需要重新定義，其分類如表 4-4。

表 4-4 Soil Categories for Runoff Coefficients

欄位名稱	Texture_L1	S_Texture
定義值	0	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

soil 欄位 S_Texture

欄位 soil

Open Attribute Table Table Options Add Field 欄位

名稱 S_Texture 欄位 Short Integer Precision

0

4-5

CN

表

CN

Land

Cover

Terrain Slope

Soil Texture

ArcGIS

Intersec

CN

表

表 4-5 表 4-6

表 4-5 Values of runoff coefficient C (from Schwab et al. 1981)

Topography and vegetation	Soil texture		
	Open sandy loam	Clay and silt loam	Tight clay
Woodland	0.10	0.30	0.40
Flat 0-5% slope	0.25	0.35	0.50
Rolling 5-10% slope	0.30	0.50	0.60
Hilly 10-30% slope			
Pasture	0.10	0.30	0.40
Flat	0.16	0.36	0.55
Rolling	0.22	0.42	0.60
Hilly			
Cultivated	0.30	0.50	0.60
Flat	0.40	0.60	0.70
Rolling	0.52	0.72	0.82
Hilly			
Urban areas	30% of area impervious	50% of area impervious	70% of area impervious
Flat			
Rolling	0.40	0.55	0.65
	0.50	0.65	0.80

表 4-6 Curve Number lookup table (SCS Method)

Land cover	Moisture condition	Hydrologic Soil Groups (HSG)			
		A	B	C	D
Agricultural	1	52	64	75	81
	2	72	81	88	91
	3	86	91	94	96
Rangeland	1	18	35	49	58
	2	35	56	70	77
	3	55	75	84	89
Forestland	1	19	39	53	61
	2	36	60	73	79
	3	56	78	86	90
Wetland	1	100	100	100	100
	2	100	100	100	100
	3	100	100	100	100
Water	1	100	100	100	100
	2	100	100	100	100
	3	100	100	100	100
Urban	1	77	83	86	89
	2	89	92	94	95
	3	95	96	97	98
Barren land	1	58	72	81	87
	2	77	86	91	94
	3	89	93	96	97

1 dry: five day antecedent rainfall < 12.7 mm

2 average: five day antecedent 12.7-27.9 mm

3 wet: five day antecedent >27.9 mm

Hydrologic Soil Groups (HSG)	
A	High permeability (7.62-11.43 mm/hr)
B	Moderate permeability (3.81-7.62 mm/hr)
C	Low permeability (1.27-3.81 mm/hr)
D	Poor permeability (0-1.27 mm/hr)

逕流係數圖產出過程為先根據表 4-4 (Soil Categories) 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，坡度則根據表 H (Terrain Slope Categories) 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，將 raster format 轉成 vectors，最後進行三個圖層套疊，即得逕流係數圖。

4-6 練習五：尖峰逕流率與直接逕流量的計算

本練習中將練習四之逕流係數圖，利用合理化公式(Rational Method)配合估算尖峰逕流率，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。

(一) 利用合理化公式(Rational Method)配合估算尖峰逕流率，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)

各集水區面積係利用 ArcGIS 執行 Calculate Geometry 得到，並假設 2 個降雨強度值，分別為 $I_{dry}=10\text{mm/hr}$ 、 $I_{wet}=23\text{mm/hr}$ ，配合練習四所得的逕流係數圖，依上述合理化公式分別計算不同降雨強度下的尖峰流量值，如圖 4-10，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。

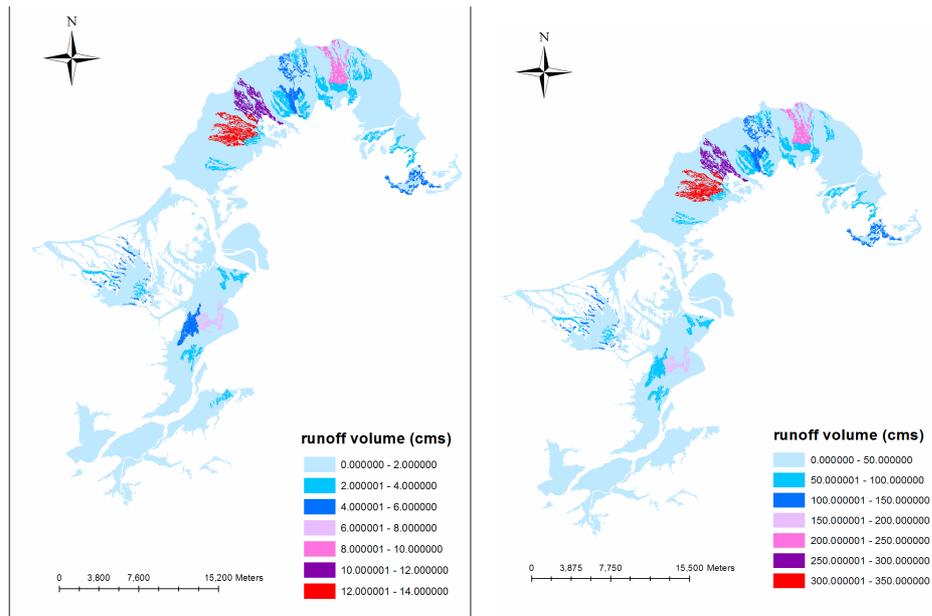


圖 4-10 合理化公式不同降雨強度尖峰流量圖

(二) 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，美國水土保持局入滲公式說明如下；

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

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 2 個降雨總量值，分別為 $P_{dry}=10\text{mm}$ 、 $P_{wet}=30\text{mm}$ ，配合練習四所得的 CN 係數圖，經計算後不同降雨量下的直接逕流體積圖 4-11 所示。

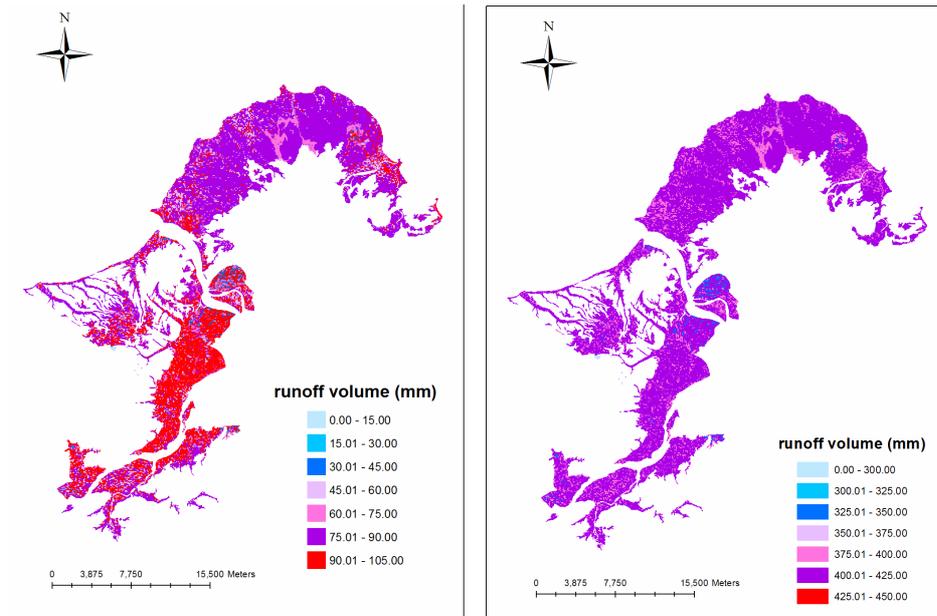


圖 4-11 SCS Method 配合 Curve Number 不同降雨強度尖峰
流量圖

第五章 結論與建議

5-1 結論

- 一、 本次的研習課程安排專案計畫研習以台灣地區衛星影像處理遙測土地利用，並應用地理資訊系統推估水文因子，使學員熟悉遙測及地理資訊系統理論架構與在水資源上之應用。另在現地參訪佛羅里達州大學附屬機關及佛羅里達州水管局公務單位，介紹農業發展、防洪、水資源管理及保育計畫推動情形與經驗，深具意義及啟示作用，因此，在理論應用或實務方面，學員均獲益匪淺。
- 二、 遙測技術具有探測範圍大、資料取得快速、受地面條件限制與獲取信息量大的特性，在應用方法包括太空衛星遙測、飛機空載遙測及地面遙測等，近年來，世界各國積極投入遙測技術的研究發展，遙測技術費用已不如以往昂貴，故廣泛用於農林業、海洋、水文、氣象、環境保護及軍事偵察等領域。同時，電腦技術的迅速發展，提昇地理資訊系統空間資訊分析與處理的功能，因此遙測技術與地理資訊系統已聯合應用於土地分類、監測、評估、災害調查、水資源開發、都市計畫規劃、緊急事件處理、環境生態保育及商業應用等領域，大幅提昇空間與環境資源使用效率，兩者結合運用的方式，正深刻的影響政府與民間企業決策部門的決策方式及決策速度，也成為現代社會最基本的服務之一。
- 三、 佛羅里達州地勢相當平坦，地理條件類如台灣西部沿海地層下陷易淹水地區，降雨主要是靠颱風帶來之豪雨，與台灣的水文及氣象情況大體類似。由於無高山阻隔，地勢平緩，河川流速緩慢，輸水功能不佳，因此在颱風期間倘有淹水情形，易釀成溢堤淹水災害。因此在佛羅里達州特殊地理景觀7,700口湖泊與廣闊的溼地，成為防洪系統重要的

滯蓄洪池，用調蓄洪峰，減少淹水災害。另配合滯蓄洪池功能需求，所建置的大型防洪抽水站的操作與維護管理，在防洪安全系統中具有關鍵性角色，因此各水管局均訂定相當嚴謹的規範，並以視同作戰之態度執行，確保設備均能在緊急時發揮正常功能。在國內「易淹水地區水患治理計畫」已有施設相當數量的抽水站及滯洪池，佛羅里達州水管局在滯洪池及抽水站維護與管理的經驗，可提供國內參考與學習。

- 四、由於佛羅里達州土地廣闊，地勢平坦，河川流速緩慢，幾無高地山脈之類，故無法以傳統山區建水庫方式以蓄積水源，因此，佛羅里達州以其蘊藏豐富的地下水，並有計畫持續的以天然或人工濕地儲蓄地表水及補注地下水源，以滿足提供各標的用水需求。台灣地理地文迥異於佛羅里達州，而台灣面積小，地勢陡峭，地表坡度大，河川流速急，以山區水庫、攔河堰及池塘等儲存地表水，提供各標的用水需求。兩地對水資源的利用與管理差異頗大。
- 五、佛羅里達州雖有蘊藏豐富的地下水，但在地下水權的核發與開發行為的管制，皆訂定相當嚴謹的審查規範，以確保地下水水量供給穩定與水質乾淨，也是各水管局最重要工作之一。另在地下水源的涵蓄與保育方面，各水管局是以視同如儲存戰略石油一樣重要的態度，並以「多儲存一滴水，多儲存一分國力」的精神來規劃與執行，對水資源管理與水資源保育的態度與精神，值得學習。
- 六、佛羅里達州動之再生水利用計畫，係由政府投資興建交由民間營運，將經過處理之民生及事業廢污水引自特有的快濾滲透盆地（RIB）之石灰層地質，經由的過濾與淨化後再予抽取利用，提供於大宗灌溉用水，大幅降低抽取地下水的的需求，多餘之回收水可用來補注含水層，使廢污水變成為再生水資產用途，並減少廢水排到地表增加環境負擔。

另在涵養及保育地水源方面，以廣設Surface Water Storage Reservoirs、Stormwater Treatment Areas等措施擴大溼地保育範圍，過濾淨化地表水，以涵養地下水及提供補注地下含水層水源；在湖泊與濕地周邊以ASR（Aquifer Storage and Recovery）工程將豐水期水量以補注地下含水層內；枯水期抽取運用，使補注之水量可在時空上充分調配運用。上述均以最小的工程設施來達成保育水環境的目標，多目標水資源管理對策深具啟發意義。

- 七、濕地具有可調節水量，補注地下水，緩衝和減除或降低洪患功能。前述的功能，在佛羅里達州的CERP綜合計畫中，在對溼地管理目標一兼顧生態影響。水資源不只是人類優先，而且考慮河川、湖泊、溼地的動、植物，與如何維護地球生態，而非只是為了人類用水，因此對濕地生態環境維護不遺餘力，台灣也有許多溼地如關渡溼地、鰲鼓溼地等處，目前各管理單位均以努力的維護溼地環境，如何維持其生態多樣性，進而利用其淨化能力，以提供解決農業、工業、民生等引起水質污染之問題，是未來台灣應積極思考的方向。

5-2 建議

- 一、本年度課程時程由過往之四週調整為兩週，在課程安排上要兼顧參訪及專案製作時間稍嫌緊湊，且學員來自不同單位與領域，建議增加遙測技術於農業或水資源之應用主題；專案製作課程希冀先於國內安排訓練熟悉，縮短國外電腦操作課程，安排於較多課程於現地參訪與觀摩，俾在短時間內可以得到立竿見影的學習效果。
- 二、遙測技術（RS）與地理資訊系統（GIS）兩者運用的成果必須經由“資源共享”才能發揮系統最大的功能與效益，目前電腦技術已朝向雲端運算（cloud operation）發展，對未來應

用將朝向更快速、簡易及價格普及化，建議台灣各相關單位，加強相互共享彼此之資源，俾利推動RS及GIS之普及應用，提昇政府服務效率與競爭力。

三、本次研習地點佛羅里達州州立大學及參訪聖瓊斯、南佛羅里達州水管局，該三單位在在美國或國際上水利專業之學術研究與實務經驗成就，均相當知名。建議本署國際交流領域，可考慮擴展至佛羅里達州，藉由雙方學術與技術經驗交流，有助於瞭解美國防洪、水資源最新理念及技術，增進未來台美二國水利技術交流，也可將台灣水利專業成就與外界分享。

四、佛羅里達州以遙測技術與地理資訊系統發展之地表覆蓋分類系統，已成功的應用在農業產業及水資源規劃，進而結合相關高科技發展出精密農業、生質燃料及再生能源工業，提昇農業價值，並達成減少浪費、保護環境之目標，創造另類經濟發展模式。目前台灣農產品經常發生產量過剩，果農因價格過低，不敷成本，致放棄採收之新聞時有耳聞，建議農業單位建置台灣本土之地表覆蓋分類系統，系統內也包括水源需求與供給，植物病蟲害監測、未來產銷之評估等功能，合理規劃土地資源利用，將成果經由地方基層農會提供農民參考，由農民選擇最有利的生產方式，同時也參考佛羅里達州精準農業模式，與其他相關產業結合，提高收益，造福農民。

五、佛羅里達州在再生水利用技術已相當成熟，與台灣鄰近水資源缺乏的新加坡亦已有應用的成果，兩籌謀台灣亦積極規劃廢水再利用計畫，列入多目標供水之一環，建議研提實驗性計畫，評估選擇適當地點，將沉澱過濾程序處理過之廢水，規劃與滯洪池或溼地結合，一方面可補注地下水，另一方面可改善水質，將廢水變成為資產（再生水）利用，以因應經濟發展帶來水資源不足的問題，減少廢水排到地表增加環境負擔及水資源浪費，使水資源永續利用。

六、環境保育已蔚為當前世界潮流趨勢，南佛羅里達州水管局大型綜合之復育計畫已提供一個先導典型案例。台灣因地狹人稠，為經濟穩定發展，水資源開發、防洪排水等工作仍非常重要，在面對全球氣候變遷嚴苛的水文情勢挑戰，未來推動的各項工程或開發計畫，建議思考南佛羅里達州水管局綜合復育計畫原則，以最小規模的工程，在工程開發與生態環境保育之間謀求平衡，落實政府對環境保護的承諾。