

2007年中美合作

「中華民國基金-遙測水利科技人才培訓計畫」國外培訓班

出國研習成果報告書

學費贊助單位：行政院農業委員會、農田水利會聯合會

旅費贊助單位：各參訓成員所屬單位

執行單位：國際灌溉排水協會中華民國國家委員會

佛羅里達大學農業及生物工程學系

Department of Agricultural & Biological Engineering,
University of Florida

研習地點：美國佛羅里達州

研習期間：96年4月28日至5月28日

參訓成員：盧瑞興、阮明宗、馬家齊、何承嶧、楊滋芬、
張朱明、王三連、王允杉、王信智

中 華 民 國 9 6 年 6 月

目錄

	頁次
第一章 前言	1
1.1 緣起	1
1.2 研究目的	1
1.3 研習團隊組成	7
第二章 相關理論介紹	10
2.1 遙感探測(Remote Sensing, RS)	10
2.1.1 遙感探測概述	10
2.1.2 遙感平台	12
2.1.3 主動式與被動式遙感探測器	15
2.1.4 國內主要接收衛星系統	15
2.1.5 遙測多光譜特性	18
2.2 地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)	21
2.2.1 地理資訊系統概述	21
2.2.2 地理資訊系統發展事略	22
2.2.3 地理資訊系統組成要件	23
2.2.4 地理資訊系統功能	24

	頁次
2.3 全球定位系統(Global Positioning System, GPS).....	27
2.3.1 全球定位系統概述	27
2.3.2 全球定位系統特性	28
2.3.3 全球定位系統架構	29
2.4 地探雷達簡介(Ground Penetrating Radar, GPR)	32
2.5 影像的處理與分類(Image processing and classification)	33
2.5.1 光譜影像資料格式	33
2.5.2 影像解析度	34
2.5.3 光譜影像前處理	35
2.5.4 光譜影像分類	35
第三章 研習課程內容	42
3.1 佛羅里達大學農業及生物工程學系	42
3.2 佛羅里達灌溉系統	45
3.2.1 簡介	45
3.2.2 農場現地見習	45
3.3 GPS定位及地真資料收集	55
3.3.1 簡介	55
3.3.2 現場操作	55

	頁次
3.4 地探雷達簡介	59
3.4.1 簡介	59
3.4.2 現場操作	59
3.5 精準農業	63
3.5.1 簡介	63
3.5.2 現場操作	64
3.6 微波遙測	67
3.6.1 簡介	67
3.6.2 現場操作	67
3.7 專案計畫實作	70
第四章 參訪行程	83
4.1 南佛羅里達水管理局 (South Florida Water Management District).....	83
4.2 聖約翰河水管理局 (St. Johns River Water Management District).....	90

第五章 結論與建議	96
5.1 結論	96
5.1.1 課程安排	96
5.1.2 水管理局參訪	96
5.1.3 遙測與高科技應用	96
5.2 心得與建議	97
5.2.1 心得	97
5.2.2 建議	98
5.3 誌謝	101

表目錄

	頁次
表 1.1 遙測水利科技人才培訓班—2007 年課程內容	3
表 1.2 研習團隊成員	8
表 2.1 微波遙感器分類表	15

圖目錄

	頁次
圖 2.1 電磁波之光譜圖	20
圖 2.2 土壤、植物及水體之光譜反射特性曲線	20
圖 3.1 遙測中心—施孫富教授及歷屆研習學員照片	43
圖 3.2 教室及課程解說	43
圖 3.3 能源再生實驗室之實驗設備	44
圖 3.4 農產品包裝實驗室之研究設施	44
圖 3.5 溫度量測儀器實驗室	45
圖 3.6 Pine Acre噴灌分區	46
圖 3.7 噴灌操作情形	47
圖 3.8 噴灌供水設備	47
圖 3.9 噴灌器具—Liner Pivot	48
圖 3.10 Liner Pivot灑水灌溉	48
圖 3.11 Liner Pivot供水及供電設施	49
圖 3.12 Liner Pivot灑水噴嘴	49
圖 3.13 Liner Pivot操作控制箱	50
圖 3.14 Liner Pivot微灌設備及農作	50
圖 3.15 Pine Acres農場澆灌水量監控軟體	51

	頁次
圖 3.16 Pine Acres 農場儲水槽.....	51
圖 3.17 Pine Acres 農場農具.....	52
圖 3.18 Pine Acres 農場蕃茄作物.....	52
圖 3.19 Suwaanee farms 農場.....	53
圖 3.20 Suwaanee farms 農場灌溉情形.....	53
圖 3.21 Suwaanee farms 農場園藝植栽作物.....	54
圖 3.22 Suwaanee farms 灌木噴灑情形.....	54
圖 3.23 學員專心聆聽Suwaanee farms 農場主人講解農場概況..	55
圖 3.24 GPS儀器現場操作與設定.....	56
圖 3.25 GPS儀器之使用.....	56
圖 3.26 應用GPS現場示範.....	57
圖 3.27 GPS儀器學員現場實作定位.....	57
圖 3.28 手持式GPS的設備(一).....	58
圖 3.29 手持式的GPS設備(二).....	58
圖 3.30 地探雷達.....	59
圖 3.31 地探雷達安裝與設定.....	60
圖 3.32 地探雷達講解.....	60
圖 3.33 地探雷達實際操作(一).....	61

	頁次
圖 3.34 地探雷達實際操作(二)	61
圖 3.35 地探雷達之探測設備	62
圖 3.36 地探雷達探測結果	62
圖 3.37 全體學員與李博士及自動噴灌農具合影	65
圖 3.38 自動噴灌農具系統安裝、設定與講解	65
圖 3.39 自動噴灌農具控制噴灑設備	66
圖 3.40 自動噴灌農具系統判斷後開始噴灑	66
圖 3.41 自動噴灌農具電腦顯示已達噴灌區邊界並終止噴灌	67
圖 3.42 微波遙測實驗農場	68
圖 3.43 主動式微波遙測儀器	68
圖 3.44 現場解說	69
圖 3.45 環境監測設備	69
圖 3.46 GIS展示功能	71
圖 3.47 GIS校核功能	71
圖 3.48 GIS分析功能	72
圖 3.49 GIS擷取及處理功能	72
圖 3.50 GIS圖層套疊 (*.tiff)	73
圖 3.51 GIS圖層套疊 (*.jpg+*.tiff)	73

	頁次
圖 3.52 衛星影像投影及轉換(mollweide)	74
圖 3.53 衛星影像投影及轉換(Hemisphere).....	74
圖 3.54 建立衛星影像GCP	75
圖 3.55 導入衛星影像	75
圖 3.56 衛星影像NDVI分類	76
圖 3.57 衛星影像與NDVI整合分析	76
圖 3.58 NDVI衛星影像導入模式套疊分析（非監督式）	77
圖 3.59 非監督式分類結果	77
圖 3.60 NDVI衛星影像導入模式套疊分類結果（監督式）	78
圖 3.61 熱紅外光衛星影像分析地表亮溫	78
圖 3.62 重新編碼衛星影像與地表真值分類對照結果.....	79
圖 3.63 衛星影像Mosaic處理結果	79
圖 3.64 衛星影像Mosaic處理後 3D模擬結果	80
圖 3.65 多光譜分析假色衛星影像地表真值結果	80
圖 3.66 多光譜分析假色衛星影像地表真值波譜對照表	81
圖 3.67 多光譜分析假色衛星影像地表剖面波譜對照表	81
圖 3.68 多光譜分析假色衛星影像地表真值 3D剖面波譜對照表	82

圖 4.1	南佛羅里達水管理局解說員介紹人工復育溼地簡報.....	85
圖 4.2	與南佛羅里達水管理局解說員進行意見交流.....	86
圖 4.3	於南佛羅里達水管理局與解說員合影.....	86
圖 4.4	南佛羅里達水管理局解說員介紹人工復育溼地.....	87
圖 4.5	學員進行人工溼地現場觀測.....	87
圖 4.6	控管人工溼地進流水閘門.....	88
圖 4.7	控管人工溼地進流水流量浮筒.....	88
圖 4.8	人工溼地保護區與民宅自然分流示意圖.....	89
圖 4.9	與南佛羅里達水管理局解說員於人工復育溼地前合影..	89
圖 4.10	聖約翰河水管理局.....	91
圖 4.11	與聖約翰河水管理局戴博士相見歡.....	91
圖 4.12	與戴博士及聖約翰河水管理局研究群進行雙向座談.....	92
圖 4.13	聖約翰河水管理局解說員現場解說總磷濃度控管良好.	92
圖 4.14	聖約翰河抽水控制設備.....	93
圖 4.15	聖約翰河抽水馬達.....	93
圖 4.16	聖約翰河廢水汲取及放流現象.....	94
圖 4.17	聖約翰河整治總磷濃度降低後的遼濶美景.....	94
圖 4.18	學員合影留念.....	95

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 1997 年與美國佛羅里達大學正式簽約成立「中華民國基金」，此基金由經濟部水資源局(現為經濟部水利署)、台灣省桃園農田水利會、台灣省台中農田水利會、台灣省高雄農田水利會及台北市七星農田水利會等共同出資壹佰萬美元，美方出資七十五萬美元共同成立，運用基金孳息與配合佛羅里達大學的專業師資及設備，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，同時可以提升我國人才在遙測高科技技術的後續推廣，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首長、業務主管與技術人員等類別，每年度由各單位於年度編列相關出國研習預算並推薦人選，經諮詢委員會議認可後補助課程經費前往美國佛羅里達大學遙測中心進行為期四週之研習訓練。

1.2 研究目的

本次研習的目的，為學習先進的遙測(remote sensing)技術，並配合地理資訊系統(GIS)資料處理和全球定位系統(GPS)地面校正，將水資源管理業務朝更具時效性、前瞻性和整體性的方向發展。

本次技術人員研習課程安排為期四週，從 2007 年 4 月 28 日至 5 月 25 日，詳細課程內容如表 1.1 遙測水利科技人才培訓班—2007 年課程內容所列。其中室內課程著重於遙測、地理資訊系統、全球定位系統的介紹與這些技術在美國佛羅里達州的應用實例，如佛羅里達州

之灌溉系統、精準農業、雷射高程測量(Lidar)等等，並配合電腦實際上機操作進行分組研習計畫實作，以佛羅里達大學附近之 Landsat 衛星影像圖做為研習實作區域，分組進行影像處理、地表辨識、現場實調、校正分類及成果輸出等之技術應用操作。

另於上課研習及技術實作之外，主辦單位亦安排至實際應用遙測技術於管理上之單位參訪，以佛羅里達州之各流域管理局及相關研究機構為主要對象，著重參觀其遙測及地理資訊系統在水資源管理上應用的大型計畫，輔以環境保護及濕地保育的現場觀摩，促使上課研習實作及案例應用觀摩之全盤瞭解，俾達到理論與技術應用並重之目的。

表 1.1 遙測水利科技人才培訓班－2007 年課程內容

第一週

(略)

表 1.1 遙測水利科技人才培訓班－2007 年課程內容（續）

第二週

（略）

表 1.1 遙測水利科技人才培訓班－2007 年課程內容（續）

第三週

（略）

表 1.1 遙測水利科技人才培訓班－2007 年課程內容（續）

第四週

（略）

1.3 研習團隊組成

本年度之技術人員研習班，分別由經濟部水利署、台北市瑠公農田水利會、台灣省桃園農田水利會、台灣省石門農田水利會、台灣省雲林農田水利會、台灣省嘉南農田水利會、台灣省高雄農田水利會、及台灣自來水公司等單位，共同推薦九名人員參與訓練，各單位選派人員大都具有遙測與地理資訊系統等相關軟體操作實務，並曾於國內研習基本觀念或具相關背景。團隊成員及所屬單位如表 1.2 研習團隊成員所列。

表 1.2 研習團隊成員

(略)

表 1.2 研習團隊成員 (續)

(略)

第二章 相關理論介紹

2.1 遙感探測(Remote Sensing, RS)

2.1.1 遙感探測概述

遙感探測(remote sensing)簡稱遙測(RS)，是不需與被觀測物體接觸而獲得相關資料之技術，常利用科學儀器遠距離來觀測並研究地表物體之性質。一般利用空中偵測器(如：飛機或衛星)做為探測載台，攜帶電磁波感測儀器接收各種反射或發射的能量，對地表之物體從事偵察及測量的工作，並以圖像膠片或資料磁帶形式記錄下來，傳送到地面，經過資訊處理、判讀分析和野外實地驗證，最終用於資源勘探、環境動態監測和有關部門的規劃決策。通常把這一接收、傳輸、處理、分析判讀和應用遙感資訊的全部過程稱為遙感技術。

近年來，遙測科學所發展的分析技術及所提供的空間與光譜資訊，趨向於結合各類地理資訊系統構成一完整空間分析系統，以便有效應用資源環境空間資訊的管理、分析與規劃，進一步更可以用在天然資源蒐集與地表環境監測等方面。

遙測可依載台與地面相對高度之不同，區分為航照遙測(airborne remote sensing)、雷達微波遙測(radar remote sensing)與衛星遙測(satellite remote sensing)，目前國內遙測技術已漸趨成熟，應用範圍有四大類：自然資源調查、環境污染調查、地理資訊系統及區域規劃，其主要目的就是希望減輕資料蒐集之負擔，避免過去現場勘察或是設立觀測站的不便，有儲存大量資訊的方便性與傳送快速的優點。目前國內已有許多遙測技術之應用成果，如：山坡地監測、熱污染監視、

海埔新生地變遷、都市交通、農作物辨識、國防應用、作物分類及地質研判等。

遙感技術系統是實現遙感目的的方法、設備和技術的總稱，它是一個多維、多平臺、多層次的立體化觀測系統。任何一個遙感任務的實施，均由遙感資料獲取、有用資訊選取及遙感應用三個基本環節組成。

因此，遙感技術應包括任務實施、技術手段和基礎研究三部分。遙感資料獲取是在由遙感平臺和遙感器構成的資料獲取技術系統的支援下實現的。往往隨著具體任務的性質和要求的不同而採用不同的組合方式。從遙感資料中選取有用資訊，可以透過人工目視判讀、電腦資料處理以及兩者混合的方法。

遙感應用主要包括對某種物件或過程的調查、製圖、動態監測、預測預報及規劃管理等不同的層次。具有許多其他技術不能取代的優勢，如宏觀、快速、準確、直觀、動態性和適應性等。技術如果不和其他相關技術結合起來，其優勢也很難充分發揮出來。

遙感是從空中利用遙感器來探測地面物體性質的現代技術，相對於傳統技術，它有許多特點：

1. 探測範圍大

航空攝影的飛行高度可達 10 km 左右；陸地衛星軌道高度達到 910 km 左右。一張 Landsat 圖像覆蓋的地面範圍達到 3 萬多平方公里，約相當於台灣的面積。

2. 資料取得快速

實地測繪地圖，需時甚久才能完成；以 Landsat 4、5 為例，每 16 天可以覆蓋地球一遍。

3. 受地面條件限制少

不受高山、冰川、沙漠和惡劣條件的影響。

4. 獲取訊息量大

用不同的波段和不同的遙感儀器取得所需的資訊，不僅能利用可見光波段探測物體，而且能利用人眼看不見的紫外線、紅外線和微波波段進行探測，而且可以探測到目標物的一定深度；微波波段還具有全天候工作的能力。遙感技術獲取的訊息量非常大，以四波段 Landsat 多光譜掃描圖像為例，像元點(pixel)的解析度為 79 m × 57 m，每一波段含有 7,600,000 個像元，一幅標準圖像包括四個波段，共有 3,200 萬個像元點。

5. 用途廣泛

現今遙感技術已廣泛應用於農業、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，未來透過研究和發展，可以擴展發揮的專業領域將更形廣泛。

2.1.2 遙感平台

遙感平台一般指飛機或人造衛星等，它提供遙感器所需主要的動力並攜帶探測器至預定的地點。通信系統(可能是人，也可能是自動控制系統)使遙感平台及探測器照著計畫執行任務。探測器則對預定

的目標作各種電磁輻射的測量，並把結果記錄下來，送回資料處理系統。資料處理系統再把各種輔助資料附加在感測器的測量結果上，以使用於解釋。最後，研究人員利用處理過的資料把各研究對象的位置、性質、數量、新的發現撰寫成報告。按遙感平臺的高度分類大體上可分為太空遙感、航空遙感和地面遙感，茲分別說明如下。

1. 太空遙感

指利用各種太空飛行器為平臺的遙感技術系統，以地球人造衛星為主體，包括載人飛船、太空梭和太空站，有時也把各種行星探測器包括在內。衛星遙感(Satellite RS)為航太遙感的組成部分，以人造地球衛星作為遙感平臺，主要利用衛星對地球和低層大氣進行光學和電子觀測。

2. 航空遙感

泛指從飛機、飛艇、氣球等空中平臺對地觀測的遙感技術系統。

3. 地面遙感

主要指以高塔、車、船為平臺的遙感技術系統，地物波譜儀或感測器安裝在這些地面平臺上，可進行各種地物波譜測量。

另外根據衛星的運行方式，可將衛星分為兩種型式：

1. 地球同步衛星(Geosynchronous satellite)

地球同步衛星又稱同步衛星，繞地球運行的週期與地球同步軌道。地球同步軌道有無數條，有圓型或橢圓形，軌道平臺可能與地球赤道平面交叉，也可能重合。

2. 對地靜止衛星(Polar orbiting satellite)

對地靜止衛星運行在地球赤道上空 35,860 公里高的圓形軌道上，且衛星的運行方向與地球自轉的方向相同，則衛星繞地球一周時間與地球自轉一周的時間正好相等，即週期為 23 小時 56 分 4 秒，衛星相對地球上某點是靜止不動的。

一般來說，地表資源衛星為能獲得較高之空間解析度，多半會採用地球同步衛星，除了考慮較低的飛行高度之外，同時也藉由無數條飛行軌道而達到觀測地球各位置地表資源的目的，但是卻也因此犧牲了時間解析度，必須數天之後才可以得到同一地點的影像。

氣象衛星上攜帶各種輻射感測儀器，並由各輻射觀測值反演推求諸如溫度、濕度、風、雲、降水和各種氣體含量等氣象要素以及監測各種天氣現象，這種用於氣象目的的衛星稱為氣象衛星。美國於 1960 年 4 月 1 日發射第一顆氣象衛星 TIROS-1(Television and InfraRed Observation Satellite)號，可提供雲圖做為天氣分析的參考之用，不但開創了衛星時代的新紀元，更讓氣象研究上之應用技術蓬勃發展。過去三十多年來已有數十顆氣象衛星升空，這些資料在空間與時效上為其他傳統方法所不及，且彌補了傳統觀測之不足，獲取大範圍或人煙罕至地區的大氣或海洋等參數，提供相關研究之應用，對天氣分析和預報準確度的改善有莫大的助益。除了這些以外，氣象衛星還可以用來監測颱風及其他風暴系統，並且監視地球氣候及其變動。

氣象衛星通常採用兩種軌道。一是高度為 600 至 1,400 公里的近極地太陽同步軌道，高緯度地區每天過境次數較多，低緯度地區相對較少。另一種是地球同步軌道，目前每半小時可即時發送可見外和紅外雲圖各一張。

2.1.3 主動式與被動式遙感探測器

遙感器可分為被動式遙感器 (passive sensor) 及主動式遙感器 (activesensor) 兩類。被動式遙感器其本身不發射能量，其接收來自物體的反射能量以獲取多光譜影像。如光學探測系統，其資料易於辨識，處理單純，但受雲雨影響，SPOT 1、2、3；Landsat 2、3、4、5、7；IRS-IC 等均屬之。主動式遙感器是本身發射能量並接收其反射波做偵測，如雷達探測系統，其可全天候量測，但資料識別較難且處理複雜，ERS-1、ERS-2、Radarsat 等均屬之。遙感器不同其觀測對象也不同，詳如表 2.1。

表 2.1 微波遙感器分類表

遙感方式	遙感器種類	觀測對象
被動式	微波輻射計	海面狀態、海面溫度、海風、海水鹽分濃度、水蒸氣量、雲層含水量、降水強度、大氣溫度、風。
主動式	微波散射計	土壤水分、地表面的粗糙度、湖冰、海冰分布、積雪分布、植被密度、海浪、海風、風向、風速。
	降雨雷達	降水強度。
	微波高度計	海面形狀、大地水準面、海流、中規模旋渦、潮汐、風速。
	成像雷達	地表的影像，海浪、海風、地形、地質、海冰、雪冰的監測。

2.1.4 國內主要接收衛星系統

1. 美國大地資源衛星(Landsat)

美國於 1961 年發射了第一顆試驗型極軌氣象衛星，到 70 年代，在氣象衛星的基礎上研製發射了第一代試驗型地球資源衛星(Landsat-1、2、3)。這三顆衛星上裝有返束光導攝影機和多光譜掃描器 MSS，分別有 3 個和 4 個譜段，解析度為 80 m。各國從衛星上接收了約 45 萬幅遙感圖像。

1980 年代，美國分別發射了第二代試驗型地球資源衛星(Landsat-4、5)。衛星平臺採用新設計的多工模組，增加了新型的主題繪圖儀 TM，可通過中繼衛星傳送資料。TM 的波譜範圍比 MSS 大，波譜解析度比 MSS 圖像高，地面解析度為 30 m (TM6 地面解析度只有 120 m)。Landsat-5 衛星是 1984 年發射，現仍運行。

90 年代，美國又分別發射了第三代資源衛星(Landsat-6、7)。Landsat-6 衛星是 1993 年發射的，因未能進入軌道而失敗。由於柯林頓政府的支援，1999 年發射了 Landsat-7 衛星，以保持地球圖像、全球變化的長期連續監測。該衛星裝備了一台增強型主題繪圖儀 ETM+，該設備增加了一個 15 m 解析度的全色波段，熱紅外通道的空間解析度也提高了一倍，達到 60 m。

美國資源衛星每次約上午 9 點至 10 點通過台灣上空，每 16 天掃描同一地區，可以接收 7 個波段的波長(藍光段、紅光段、綠光段、近紅外光段、兩個中紅外光段與熱紅外光段)，每景影像對應的實際地面面積均為 185 km × 185 km，16 天即可覆蓋全球一次。但台灣因 Landsat 資料使用量過少及雜訊日益增加，所以在考慮巨額接收及處理成本下，國內負責接收的中央大學太空及遙測研究中心於 1997 年已停止接收 Landsat 影像。

2. 法國 SPOT 資源衛星

繼 1986 年以來，法國先後發射了 SPOT-1、2、3、4 對地觀測衛星。SPOT-1、2、3 採用 832 km 高度太陽同步軌道，軌道重複週期為 26 天。衛星上裝有兩台高解析度可見光相機(HRV)，可獲取 10 m 解析度全遙感圖像以及 20 m 解析度的三譜段遙感圖像。

這些相機有側視觀測能力，可橫向擺動 27°，衛星還能進行立體觀測。SPOT-4 衛星遙感器增加了新的中紅外譜段，可用於估測植物水分，增強對植物的分類識別能力，並有助於冰雪探測。該衛星還裝載了一個植被儀，可連續監測植被情況。

SPOT-5 是新一代遙感衛星，其解析度更高，即將向全世界提供服務。SPOT 衛星通過台灣上空約上午 10 點 45 分，每 26 天通過同一地區(垂直觀測時)，其感測器具多光譜態(XS)與全色態(Pan)兩種能力，其中多光譜態可接收三個波段，分別為綠光段(波長 0.5 μm ~ 0.59 μm)、紅光段(波長 0.61 μm ~ 0.68 μm)及近紅外光段(波長 0.79 μm ~ 0.89 μm)，而全色態的波長範圍在 0.51 μm ~ 0.73 μm ，全幅影像範圍一般約 60 km 為 60 km，但因具斜照之能力，最大可涵蓋 80km 為 60km，影像解析力為 20 m 為 20 m(XS)、10 m 為 10 m (Pan)，SPOT 衛星具有可傾斜之反射鏡可拍攝地面目標左右各 400 km 內之地區。

3. 拿大雷達衛星(RadarSat-1)

加拿大雷達衛星 RadarSat-1 於 1995 年發射，它標誌著衛星微波遙感技術的重大進展。RadarSat-1 除了有一個地面衛星資料接收站外，衛星上還載有磁帶記錄器，可覆蓋全球。該星為地面解析度、成像行寬和波束入射角提供了更寬的選擇範圍。

除陸地及海洋應用外，其重要任務是對南極大陸提供第一個完全的高解析度衛星覆蓋，其次則是對全球為生多次衛星覆蓋。

4. IKONOS 高解析度資源衛星

IKONOS 高解析度資源衛星是美國 Spaceimage 公司於 1999 年 9 月發射的高解析度商用衛星，衛星飛行高度 680 km，每天繞地球 14 圈，衛星上裝有柯達公司製造的數位相機。相機的掃描寬度為 11 km，可採集 1 m 解析度的黑白影像和 4 m 解析度的多波段(紅光、綠光、藍光、近紅外光)影像。由於其解析度高、覆蓋週期短，故在軍事和民用方面均有重要用途。

2.1.5 遙測多光譜特性

分類時首先針對遙測資料波段作選擇，波段選擇愈多則分類所得的資訊愈多，但分類所耗用電腦時間也愈久，有時還會引入雜訊造成錯誤，因此必須先對其光譜特性有充分的了解，了解其各波段與地物反射波譜間的關係，才能依其光譜特性當作分類依據得到土地類型的資料。

圖 2.1 為電磁波之光譜，圖 2.2 為三種基本型式的地物：健康的綠色植物、乾燥的土壤以及透明的水體等典型的波譜反射率曲線。

一般而言，應用這些曲線的內容可作為判斷地物的類別及狀態的指標。各地物之光譜特性敘述如下：

1. 植物

綠光波段(波長 $0.5 \mu\text{m} \sim 0.59 \mu\text{m}$): 葉綠素吸收少，反射綠光，受植物本身影響小。在 $0.55 \mu\text{m}$ 有一反射高峰，使葉綠素無法

集中，減少吸收，所以反射綠光，使肉眼所見植物為綠色，但於分類時易與其他土地利用混淆，因此從事影像處理研究者均不採用第一波段。

紅光波段(波長 $0.61 \mu\text{m} \sim 0.68 \mu\text{m}$):為綠色植物行光合作用的波段，電子轉移時亦吸收此波段的能量。葉綠素於 $0.68 \mu\text{m}$ 處吸收現象特別強烈，故植物有較低的反射，而對土壤及建築物等非植物有較高的反射，此波段土壤與植物反射程度不同，有明顯的差異。

近紅外光波段(波長 $0.79 \mu\text{m} \sim 0.89 \mu\text{m}$):不被葉綠素吸收，此波段對綠色植物的反射強，因此對植物有很大的辨識力。假若欲將針葉林與、闊葉林分類，則要用到近紅外光或中紅外光段；若要再細分不同植生則要用到可見光與近紅外光或中紅外光部分的波段組合。

2. 土壤及建築物

土壤反射強度與土壤類型、表面崎嶇度、太陽照射角度及土壤含水量等因素有關，一般而言，在可見光區域，土壤的反射強度較植物高，而在近紅外光區域之情形正好相反，植物之反射強度大於土壤。建築物之反射強度與土壤類似，在可見光裡其反射強度較植物為高，在紅外光裡則較低；但在新建之水泥建築平面其反射特性與裸露地及河床相近而難以分辨，易被分類為裸露地。

3. 水體

清澈的水體對電磁波之反射甚弱，在 $0.4 \mu\text{m}$ 處可反射 10% 之入射光，並隨波長之增加而遞減，到 $0.8 \mu\text{m}$ 處時已趨於零，在第

三波段的影像中，水體幾乎呈黑色，甚易辨明。相對地，污濁或水深甚淺的水體在可見光區域之反射值有時會比林地的反射值還高。因此若要從影像中分類出水體的範圍，通常以波長較長的波段來進行較適當。

圖 2.1 電磁波之光譜圖

(略)

圖 2.2 土壤、植物及水體之光譜反射特性曲線

(略)

2.2 地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)

2.2.1 地理資訊系統概述

地理資訊系統是一種採集、存儲、管理、分析、顯示與應用地理資訊的電腦系統，是分析和處理大量地理資料的技術。它在最近 30 多年內取得了驚人的發展，並廣泛地應用於資源調查、環境評估、區域發展規劃、公共設施管理、交通安全等領域，成為一個跨學科多方向的研究領域。在水利行業，GIS 可以發揮非常重要的作用，已引起愈來愈多的重視。

地理資訊系統，顧名思義是由「地理」、「資訊」與「系統」三者結合而成。「地理」：概括來說，是地球表面上所呈現的一切容貌特徵與事件過程。「資訊」：是將空間資料經數位化處理後，儲存於電腦資料庫中，這是 GIS 運作的心臟，沒有基本的數位資料，就無法製作或分析地圖。「系統」：則連結電腦硬體、運作軟體、空間資料與使用者四要件，缺一不可。

地理資訊系統是一門新技術，也可說是一門新學科。它牽涉的範圍相當廣泛，發展脈絡主要與電腦輔助設計系統(computer-aided design systems, CAD)、電腦繪製地圖系統(computer cartography systems)、資料庫管理系統(database management systems)與遙感探測系統(remote sensing systems)四者的關係密切，綜合這些系統專善的能力，GIS 居中轉圜其間，堪稱集其大成。

地理資訊系統為對於空間資訊之展示，發展至今已能整合向量式繪圖系統，及關連式資料庫系統，能有效儲存，查詢大量的地理圖層，影像及文字數字資料，並具有空間分析及動態實體模擬能力，透過 GIS 可輸出高品質的圖形，影像及屬性等整合資訊，以俾便提供決策分析參考之用。其後續之各種發展隨著軟硬體之科技及觀念之進步，已呈現出多元化之風貌，應用層面也正迅速在擴展之中。

2.2.2 地理資訊系統發展事略

1. 1960 年代

電腦技術開始應用於地圖量算、分析和製作。60 年代中後期，許多與 GIS 有關的組織和機構紛紛成立並展開工作，最初的系統主要是關於城市和土地利用的。國際上最早建立的較為完善的大型使用的 GIS 是加拿大的 CGIS，由加拿大政府於 1963 年開始組織研製，1971 年正式投入使用。

2. 1970 年代

是 GIS 的鞏固發展時期，注重於空間地理資訊的管理。資源開發、利用及環境問題成為政府首要解決的問題，這些都需要一種能有效分析，處理空間資訊的技術、方法與系統。同時，電腦技術的迅速發展，使得電腦進入到政府部門和企業中。

3. 1980 年代

為 GIS 的大發展時期，注重於空間決策支援分析，GIS 的應用領域迅速擴大，政府性、學術性機構和 GIS 平臺製造商紛紛湧現，並提供專業化的服務。

4. 1990 年代

為 GIS 的用戶時代。一方面，GIS 成為許多機構必備的工作系統，GIS 正在深刻影響著決策部門的運行方式，決策速度。另一方面，社會對 GIS 的認知程度的普遍提高，導致了需求大幅提高。GIS 將成為現

代社會的最基本的服務之一。

5. 20 世紀

隨著資源開發與利用、環境保護等問題的日益突出，人類社會迫切需要一種能夠有效地分析、處理空間資訊的技術、方法和系統。與此同時，電腦軟硬體技術也得到了飛速的發展，與此相關的電腦圖形和資料庫技術也開始走向成熟。這為地理資訊系統理論和技術方法的創立提供了動力和技術支援。

雖然電腦製圖 (computer cartography)、資料庫管理 (database arrangement)、電腦輔助設計 (computer aided design)、管理資訊系統 (management information system, MIS)、遙感、應用數學和計量地理學等技術能夠滿足處理空間資訊的部分需求 (如繪圖)，但無法全面地完成對地理空間資訊的有效處理，仍值得進行後續相關研究及發展。

2.2.3 地理資訊系統組成要件

從系統論和應用的角度出發，地理資訊系統可分為四個子系統，即電腦硬體和系統軟體，資料庫系統，資料庫管理系統，應用人員和組織機構。

1. 電腦硬體和系統軟體

這是開發、應用地理資訊系統的基礎。硬體主要包括電腦、印表機、繪圖儀、數位化儀；系統軟體主要指作業系統。

2. 資料庫系統

系統的功能是完成對資料的存儲，它又包括幾何(圖形)資料和屬性資料庫。事實上，幾何與屬性資料庫可以合二為一，即屬性資料存在於幾何資料中，這也是目前地理資訊系統研究的主要內容之一。

3. 資料庫管理系統

這是地理資訊系統的核心，通過資料庫管理系統，可以完成對地理資料的輸入、處理、管理、分析和輸出。

4. 應用人員和組織機構

專業人員，特別是地理資訊系統成功應用的關鍵，而強有力的組織是系統運行的保障。由於地理資訊系統的應用往往具有專業背景，所以無論是需求分析、總體設計，還是專業功能的開發和應用，都離不開專業人員的參與。

2.2.4 地理資訊系統功能

1. 空間資料的輸入與編輯

地理資料如何有效地輸入到 GIS 中是一項瑣碎、費時、代價昂貴的任務，常用的方法是數位化和掃描。數位化的主要問題是低效率和高代價；掃描輸入則面臨另一個問題，掃描得到的網格資料

如何變換成 GIS 資料庫通常要求的點、線、面、拓撲關係屬性等形式。就這一領域目前的研究進展而言，全自動的智慧地圖識別短期內沒有實現的可能；因而，互動式的地圖識別是向量化方法的一種較為現實的途徑。市場上有多種互動式向量化軟體出售。

目前 GIS 的輸入正在越來越多地借助非地圖形式，遙感就是其中的一種形式。遙感資料已經成為 GIS 的重要資料來源。與地圖資料不同的是，遙感資料登錄到 GIS 較為容易，但如果通過對遙感圖像的解釋來採集和編譯地理資訊則是一件較為困難的事情。

因此，GIS 中開始大量融入圖像處理技術，許多成熟的 GIS 為品都具有功能齊全的圖像處理子系統。

地理資料獲取的另一項主要進展是 GPS 技術。GPS 可以準確、快速地定位在地球表面的任何地點，因而除了作為原始地理資訊的來源外，GPS 在飛行器跟蹤、緊急事件處理、環境和資源監測、管理等方面有著很大的潛力。

2. 空間資料的存儲與管理

GIS 中的資料分為網格資料和向量資料兩大類，如何在電腦中有效存儲和管理這兩類資料是 GIS 的基本問題。在電腦高速發展的今天，儘管微機的硬碟容量已達到 GB 級，但電腦的記憶體對靈活、高效地處理地圖這類物件仍是不夠的。GIS 的資料存儲卻有其獨特之處。大多數的 GIS 系統中採用了分層技術，即根據地圖的某些特徵，把它分成若干層，整張地圖是所有層為加的結果。在與用戶交換過程中只處理涉及到的圖層，而非整幅地圖，因而能夠對用戶的要求作出快速反應。

地理資料存儲是 GIS 中最低層和最基本的技術，它直接影響到其他高層功能的實現效率，從而影響整個 GIS 的性能。

3. 地理資料的操作和分析

GIS 中對資料的操作提供了對地理資料有效管理的手段。對圖形資料(點、線、面)和屬性資料的增加、刪除、修改等基本操作大多可借鑒 CAD 和通用資料庫中的成熟技術；有所不同的是 GIS 中圖形資料與屬性資料緊密結合在一起，形成對地物的描述，對其中一類資料的操作勢必影響到與之相關的另一類資料，因而操作帶來資料一致性和操作效率問題是 GIS 資料操作的主要問題。

地理資料的分析功能，即空間分析，是 GIS 得以廣泛應用的重要原因之一。通過 GIS 提供空間分析功能，用戶可以從已知地理資料中得出隱含的重要結論，這對於許多應用領域是至關重要的。

GIS 的空間分析分為兩大類：向量資料空間分析和網格資料空間分析。向量資料空間分析通常包括：空間資料查詢和屬性分析，多邊形的重新分類、邊界消除與合併，點線、點與多邊形、線與多邊形、多邊形與多邊形的增加，緩衝區分析，網路分析，面運算，目標集統計分析。

網格資料空間分析功能通常包括：記錄分析、為加分析、濾波分析、擴展領域操作、區域操作、統計分析。

4. 圖像顯示與輸出

將用戶查詢的結果或是資料分析的結果以合適的形式輸出是 GIS 問題求解過程的最後一道工序。輸出形式通常有兩種：在電

腦螢幕上顯示或通過繪圖儀輸出，對於一些對輸出精度要求較高的應用領域，高質量的輸出功能對 GIS 是必不可少的，這方面的技術主要包括：資料校正、編輯、圖形整飾、誤差消除、坐標變換、出版印刷等。從系統論和應用的角度出發，地理資訊系統可分為四個子系統，即電腦硬體和系統軟體，資料庫系統，資料庫管理系統，應用人員和組織架構。

2.3 全球定位系統(Global Positioning System, GPS)

2.3.1 全球定位系統概述

全球定位系統(NAVSTAR GPS, NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System)原是美國國防部為了軍事定時、定位與導航的目的所發展，希望以衛星導航為基礎的技術可構成主要的無線電導航系統，未來並能滿足下一個世紀的應用。

第一顆 GPS 衛星在 1978 年發射，首十顆衛星稱為 BLOCK I 試驗型衛星，從 1989 年到 1993 年所發射的衛星稱為 BLOCK II/IIA 量產型衛星，第二十四顆 BLOCK II/IIA 衛星在 1994 年發射後，GPS 已達到初步操作能力(initial operational capability, IOC)，24 顆 GPS 衛星提供全世界 24 小時全天候的定位與導航資訊。美國空軍太空司令部於 1995 年 4 月 27 號宣布 GPS 已達到完整操作能力(full operational capability)，將 BLOCK I 衛星加以汰換而 24 顆衛星全部為 BLOCK II/IIA 衛星，之後又發射四顆 BLOCK IIA 及一顆 BLOCK IIR 衛星，成功地滿足軍事實務的操作。由於此技術的迅速發展，使得民間應用的需求與日遽增，對於傳統導航方式更有革命性的影響。

透過 GPS，不論使用者是在陸地、海面或是空中，都可以精確測量出所在的位置(包括經、緯度與高度等資訊)。利用測量獲得地表與數顆衛星的距離，求得地表位置的坐標。和傳統地面測量相比，具有測點間不必相互通視的優點，並可同時獲得三維點坐標及基線向量。

目前 GPS 系統在地球上空配置有 24 枚衛星，其中 3 枚為備用，GPS 衛星佈置在離地球表面上約為 20200 公里上空的近似圓形軌道上，其採用近似圓形軌道的目的在於增加地面上可見範圍及全球均勻覆蓋。

GPS 衛星每 11 小時又 58 分鐘即能繞地球一周，在地球的任何角落，均能同時收到至少 4 枚以上衛星所傳送的電波，我們可藉各種電波的特性及衛星的位置，利用電腦算出接受訊號一方的正確位置。

2.3.2 全球定位系統特性

由於 GPS 有諸多優點，它曾被廣泛應於許多方面，但它仍有一些缺點，GPS 的特性及優、缺點如下：

1. 衛星高度高且涵蓋面積廣，全天候傳送定位訊號，提供全球導航和定位需求。
2. 跨越地形及海域限制，可以執行長距離洲際間測量作業。
3. 具有瞬間定位能力，且精度優良，適合高速度運動載具使用。
4. 接收儀體積小，重量輕，機動性高。
5. 為防止訊號為敵對國家使用，除軍事用碼可被鎖住外，在美國認為必要時，可以人為操縱衛星訊號，造成錯誤導航及定位。

6. 衛星天線對空情況須良好，衛星訊號無法穿透水面或地表面。
7. 易受大氣層干擾，影響定位精度。

至於 GPS 全球定位系統應用於測量方面之特點，大致可概述如下八點：

1. 測站之間無須通視。
2. 定位精度非常高。
3. 觀測時間短。
4. 可提供三度空間坐標。
5. 儀器操作非常簡單。
6. 可在任何地點、時間觀測，不受天氣狀況的影響下全天候作業。
7. 使用者不用付費。
8. 相對定位精度高。

由於 GPS 具有全球性，全天候，連續的精密三度空間導航與定位能力，而且具有良好的抗干擾性和保密性，其已成為美國導航技術現代化的重要指標。

2.3.3 全球定位系統架構

在整體運作上，GPS 系統架構可分為下列三部分：

1. 太空部分(space segment)

GPS 系統之太空部分係由 24 顆衛星組成，其中 21 顆為操作衛星，3 顆為備用衛星，備用衛星的功能主要在於作為當主衛星失效時之備用及加強衛星之幾何分佈，在平時，這些備用衛星也可用於定位，故為主動預備(active spare)方式。24 顆衛星分佈於 6 個軌道面上，軌道傾角為 55 度，每個軌道各有 4 顆衛星隨時隨地繞經我們的上空，每個軌道面上的衛星各相距 120 度，而軌道面與另一次軌道面上之衛星則相差 40 度，衛星軌道高度為 20,200 公里，衛星繞行地球一周約 12 小時。這樣的分佈可以使全球各地在任何時刻都可同時觀測到至少 4 顆以上之衛星，以便實施三度空間之定位測量。

若我們將仰角減為 5 度時(一般限定為 15 度)，則任何時間及地點可同時觀測 6 到 11 顆衛星。

GPS 系統所有衛星均完全由美國製造並載送至預定的軌道上運行，該系統之每顆衛星，皆發射 L 頻道的兩種不同波段之無線電波，承載著民用及軍用電碼向地球傳送，而由接收儀的天線接收使用。

2. 地面控制部分(control segment)

GPS 系統的控制部分的研制分為階段 I 控制系統(CS)，階段 II 初始控制系統(ICS)和階段 III 實用控制系統(OCS)等三個階段。

GPS 系統之控制部分是由一個主控制計算中心，三個地面天線及五個衛星追蹤站所組成。主控制站設於科羅拉多州的獵鷹空軍基地(Flacon Air Force Base)，而五個衛星追蹤站之功能是利用高精

度的接收儀及電腦接收衛星導航資料，並將其傳送至主控制計算中心。每個衛星追蹤站都有一部 GPS 雙頻接收機，標準原子鐘、感測器及資料處理器(data processor)且其坐標係經美國國防影像製圖局(NINA)精密測量而得，每個衛星追蹤站 24 小時不停地追蹤每一顆衛星，並將每 5 秒之虛擬距離觀測量、氣象及電離層資料聯合求解得每 15 分鐘一組勻化數據傳送至主控制計算中心。

主控制計算中心統合各衛星追蹤站之資料並據以計算衛星星曆、衛星時錶改正量及電離層改正係數等，並且將所得結果彙集成導航訊息，先傳到地面天線，再由地面天線傳到衛星，以更新資料。一般情形每隔 8 小時就會將資料分別傳送到每顆衛星上，更新衛星內之導航資料。

主控制計算中心亦同時負有診斷各系統是正常運作及調度修正衛星軌道位置之功能。這五座衛星追蹤站分別設於科羅拉多泉(Colorado Springs)、夏威夷(Hawaii)、瓜加林島(Kwajalein)、亞森松島(Ascension Island)及迪雅戈加西亞(Diego Garcia)等五處。

3. 使用者接收端部分(user segment)

使用者部分所指的是能夠接收 GPS 衛星訊號之接收儀。目前研製中的 GPS 接收儀可分為低動態、中動態及高動態等三類。由於 GPS 的用途相當廣泛，使用者部分可依目的之不同而有不同功能及精度的接收器及應用對象有所不同的特性。依用途性質而言，接收儀可分軍用及民用兩種，兩者之差異主要在於民用接收儀無法譯解軍用碼。

當一九八〇年第一台商用接收機問世後，經過這些年的發展，由於其高精度、快速、經濟方便全天候等諸多優點，GPS 已成為最受歡迎的定位技術，廣泛的用於導航、大地測量、海上測量及製圖等領域。近期則是逐漸整合至車用電子系統或是個人手持裝置(PDA)上。

2.4 地探雷達簡介(Ground Penetrating Radar, GPR)

地探雷達(GPR)是一種專為獲得地表下資訊的雷達系統，其發射之電磁波頻率範圍從 10 MHz 至 1,000 MHz，可穿透地表約 8 至 15 ft 深，為一種非破壞性的調查檢測工具。當地探雷達探測時，雷達天線係放在地面(也可放於水面上)拖著移動，天線本身除了可發射信號外並可接收信號。舊式的雷達所發射的電磁波是類比信號，其操作方法是採用機械式的操作，使用時較不方便；新式的探測儀發射的是數位資料，其操作方式是軟體控制，使用方便。雷達所發射的電磁波由於不同之地層有不同之介電常數，其反應也不同，介電常數愈大者，對電磁波之吸收率愈強。各種不同之材質其介電常數如下：

1. 空氣(air)：1。
2. 乾淨水(fresh water)：81。
3. 海水(sea water)：81 to 88。
4. 乾沙土(sand, dry)：4 to 6。
5. 溼沙土(sand, saturated, fresh water)：30。
6. 溼細砂(silt, saturated, fresh water)：10。

7. 濕黏土(clay, saturated, fresh water)：8 to 12。

8. 一般土壤(average soil)：16。

由於地表下之含水層與非含水層之介電系數差異大，故運用本探測方法為調查地下水分佈之便利工具。惟地探雷達所測得之資料，仍無法作實際運用，必須先行研判找出變化點(數目須依據變化情形及面積而定)印證比對(即進行地質鑽探作岩心比對)，方能正確應用。

本方法除可探測水深外，並可測得湖底沉積物之變化，另外軍隊方面，由於戰後有用以探測地雷之佈置及考古學家用以發現地底是否有不同物質之存在，以便進一步之發掘計畫。

2.5 影像的處理與分類(Image processing and classification)

2.5.1 光譜影像資料格式

光譜影像是由網格式(raster)數值資料所組成，每一網格的基本構成單元稱為像素(pixel)，每一個像素存在一個數值(digital number, DN)，此數值代表著光譜影像的亮度值(即物體反射太陽輻射能的強度)，一般網格數值資料以欄(column)和列(row)的方式儲存，每一網格稱為一個網格細胞，衛星影像資料，依光譜感應器記錄的光譜值區域範圍，可區分為不同的波段(band)，每一波段均代表多樣性資源的光譜特性。

2.5.2 影像解析度

1. 空間解析度(spatial resolution)

光譜影像的空間解析度，指影像像素對應到地面像素的大小，空間解析度愈大者，能觀測到物體細部情況的程度愈佳，然單一影像所能涵蓋的面積範圍則較小。通常飛行高度愈高者，其空間解析度會相對的較差，因此若需要較精細的解析度資料時，可以藉由飛機航拍的方式處理。

2. 光譜解析度(spectral resolution)

光譜影像的光譜解析度，指影像光譜值橫跨於光譜區域的範圍。以 SPOT 衛星為例，多光譜態可接收三個波段，分別為綠光段(波長 $0.5\mu\text{m} \sim 0.59\mu\text{m}$)、紅光段(波長 $0.61\mu\text{m} \sim 0.68\mu\text{m}$)及近紅外光段(波長 $0.79\mu\text{m} \sim 0.89\mu\text{m}$)，此為光譜解析度。

3. 輻射解析度(radiometric resolution)

光譜影像的輻射解析度，指遙感探測系統記錄每一個像素值的 DN 值範圍。若是以二進 8 位元方式紀錄，則解析度為 28，像素資料記錄範圍為 0 至 255。

4. 時間解析度(temporal resolution)

光譜影像的時間解析度，指衛星經過同一地區，拍攝影像的時間週期。以 NOAA 氣象衛星為例，由於每天可以通過同一地點 2 次，因此其時間解析度為 0.5 天。

2.5.3 光譜影像前處理

衛星掃描影像過程，因受大氣、地形、衛星本身系統及感應器系統等的影響，導致掃描的影像產生雜訊和扭曲。影像的前期處理，即指原始影像雜訊的消除和影像的輻射值校正，並經由幾何校正方式，校正影像的幾何扭曲，衛星的前期處理，包含輻射修正和幾何校正。

1. 輻射校正(radiometric corrections)

輻射校正包含衛星感測器的錯誤修正及大氣散射的修正。大氣散射修正指藉由數學和統計的方法調整影像的 DN 值，以修正大氣中的微塵、水氣等對太陽輻射能產生反射、折射或散射的影響。

2. 幾何校正(geometric corrections)

衛星影像的幾何校正，指校正影像因受衛星高度和感測器角度等影響所產生的影像幾何變形，即以地面控制點(ground control points, GCPs)模擬地面特徵點與影像相對位置點的幾何關係來修正衛星影像，完成控制點之選取後，利用多項式關係建立正確坐標系統與欲糾正影像系統坐標的轉換函式模式，以 ERDAS Imagine 為例，其內建的多項式最多可達五級，以協助使用者完成幾何校正之目的。

2.5.4 光譜影像分類

影像分類的目的系利用地物光譜反射的差異，以統計分析與數學演算法將影像中的像元，歸類為不同的類別中，以產生空間的主題資訊。至於自動分類法有非監督分類法(unsupervised classification)和監督分類法(supervised classification)，此兩種方法之分類理論分述如下：

1. 非監督式分類

非監督式分類法之原理乃依據像元的自然分佈特性，用聚集演算的方法聚集成類組，理論基礎為性質相同的個體具有聚集成群的趨勢；即利用數學運算，依據統計及群集之觀念，檢查一大串未知像元之波譜自然群，利用群集分析以分離類屬，再決定其資訊的應用，故各點必能依照光譜特性歸於應屬的類組中。其特色為：

- (1) 使用者事先不知各類組之。
- (2) 波譜特徵。
- (3) 分類程式計算資料統計特徵值，以最可能的方式自然組成群集。
- (4) 分析者辨識各群集，並組合成土地利用分類。
- (5) 辨識過程需對研究區有一定認識或實地調查。
- (6) 屬於統計學上之群集分析(clustering)。

本方法優點為單純利用統計方法進行分類，不需事先知道土地覆蓋情形，會依據波譜特性產生均勻的波譜分類，且獨特類別之覆蓋種類皆可分類，並且可減少監督式分類法中圈選訓練樣區之人工時間；缺點是研究區土地覆蓋分布不一定如波譜一般均勻分布，所以只能判釋分類數目，無法得知分類類別，而且對特定類組無法控制，各種地物的波譜特性可能隨時間有變異，在精確度方面亦因地貌複雜度不同而造成精確度品質不穩定，例如：地貌愈複雜則分類精確度愈差。

常使用的方法有：K-均數聚集法 (generalized K-means clustering)、連續聚集法、反覆自我組織資料分析法(ISODATA)，各方法介紹如下：

(1) K-均數聚集法：其分析步驟如下

- a. 設定最初之聚集中心，此中心可任意設定。
- b. 計算每一像元至聚集中心之光譜距離—歐基里德距離 (Euclidean distance)，並指定其歸入於最適切之聚集中心所屬之類組。
- c. 計算新類組之平均數，為新聚集中心，當新聚集中心與原聚集中心不符時，即回到步驟(b)以重新計算，直至新聚集中心與前一運算中心相符為止。
- d. 計算各類組的分散度，以決定各類組的數據。

(2) 連續聚集法：其分析步驟如下

- a. 建立新類組。
- b. 分派新像元於所建立之類組中。
- c. 合併過多之類組。

(3) ISODATA 法

反覆自我組織資料分析法(ISODATA)是依據像元至各類組中心平均值的光譜距離代表像元數據和分類類組特徵的相似程度，當距離最小時表示像元與類組相似度最大。開始計算時可任意給定數個類組中心，然後計算每個點位至每

個類組中心的光譜距離(歐幾里得距離),若某一點位到某類組中心的距離為最短,則將此點歸於某類組,而後根據所分出的類組重新計算每個類組中心的平均值,如此不停迭代計算,直到滿足所給定的限制條件為止。

而 ISODATA 基本步驟表示如下：

- a. 選擇類組中心的起始平均值。
- b. 計算像元和所有類組平均值的距離,將像元指定至最小距離的類別。
- c. 重新計算每個類組中心的平均值。
- d. 以此新的平均值重新進行最小距離的分類,前後兩次迭代的結果若像元類別多數有變動則回到(b)重新計算;直到達到收斂(多數像元類別無變動)則停止。

2. 監督式分類

監督式分類法的首要工作為訓練樣區(training area)的選取,需經過人工選取後再行自動分類,傳統選取方式大致採用逐像元(per pixel)方式,其單個像元分類結果可能造成某一個區塊內光譜的異質性(heterogeneous),以水稻田為例,水稻田內可能有數個像元分類正確,但另外數個像元卻受周圍地物影響而分類錯誤。

若將水稻田區塊視為單元進行分類辨視得到的成果即為每個農地區塊的屬性,所以用區塊為單元的判釋方式與實際地表狀況較吻合,其分類概念亦與糧食局的調查方式一致。

監督式分類法主要是根據地真(ground truth)，如航空照片、像片基本圖或其他主題圖等地面實際資料，將已知特定類組的像元利用特定訓練樣區用訓練分類演算，依調查目的先決定欲分出的類組，再圈選出各類組的訓練樣區以決定每一像元應歸入的類組，並計算各類組的均數與共變異矩陣等統計值，再依統計值產生之機率密度函數對整個影像各像元作分類。監督式分類法的優點為透過人工訓練判釋，所判釋之精確度較為穩定；缺點也因為利用人工判釋方法，需要訓練較具專業的判釋人員，同時分類所花費的時間隨地貌的複雜程度而有不同。

以下為監督式分類法主要的五個步驟：

- (1) 目標物的訓練樣區選取，例如林地、水體、裸露地等。
- (2) 從影像中判釋具有代表性的目標物像元，即訓練樣區，若能同時配合土地利用資料選擇，此方式較易找到足夠之數量與純淨之樣本像元。此步驟甚為重要，因為訓練樣區的統計資料為分類時之標準，若其中摻雜太多的混合像元，容易導致分類結果錯誤。
- (3) 檢查圈選樣區內的像元個數是否足夠，避免因像元數太少無法進行統計分析，並從選出的訓練樣區中，計算各波段統計資料。
- (4) 多波段影像中，相鄰波段的相關性很高，不同的物質可能在某些波段具有近似的反應，若事先已知悉它們的相關程度，則分類時可減少波段數目，以節省時間、提高效率。常用的方法是求取二類在某一波段的分離程度。

(5) 利用上述步驟所決定之各項參數進行分類。

一般常見的監督式分類計算方法有：最小距離法(minimum distance to means classifier)、平行六面體法(parallelepiped classifier)、最大概似法(maximum likelihood classifier)。以下分別介紹此三種最常用之方法：

(1) 最小距離法

最小距離法係首先訂出每一類波譜平均值，然後考慮波譜亮度值位置坐標，經計算影像中每個未知分類像元與各類屬的平均距離後，再予以分類。此方法的優點為計算簡單。但並不考慮各訓練區的變訓練異量。

(2) 平行六面體法

平行六面體法係依據樣區在各波段的最大及最小灰度值(門檻值)以繪出每一訓練樣區的範圍區域，若未知像元落在某訓練樣區的範圍內，則歸入該類組，否則令為未知類組。利用每個類組特徵的門檻值以判別像元是否落在此類組的範圍，門檻值決定了特徵空間內環繞在類組均值周圍的每個平行六面體的大小，如果像元屬於某一特定類組的比率比預定的門檻值高，而落在平行六面體內，便歸為此類組，然而如果像元有多個類組所佔的比率相同且較其他類組大，便歸類至雙重類組或多重類組的區域(Code 255)；假若像元未落至任何類組，便分配至零(null)類組(Code 0)。平行六面體分類法是為求分類迅速時常用的方法，但是如遇到有重疊區域，此演算法將無法正確分辨而將之歸於未知類。

(3) 最大概似法

假設選取各訓練樣區點在光譜空間屬於常態分佈，則各類波譜反應形式與每一種類波譜平均值及協變方矩陣 (covariance matrix) 為相關。利用這些參數，即可計算每一像元為特定分類統計機率。

若將此機率值繪於三度空間圖上，垂直軸即表示一個像元屬於一種地物分類的機率，以最大機率當作判斷類別的標準。其方法除了考慮訓練樣區之中值外，同時亦考慮訓練樣區之變異量與協變方量，其方法正確率高且最為普遍被應用，但缺點是計算量很大。

第三章 研習課程內容

3.1 佛羅里達大學農業及生物工程學系

本課程之研習地點為佛羅里達大學農業及生物工程學系 (Department of Agricultural & Biological Engineering, University of Florida) 之遙感探測中心 (Center for Remote Sensing)。佛羅里達大學在全美排名頂尖，有 23 個院所超過 100 個主修課程，佔地大約 2000 英畝。

農業及生物工程學系有四大研究目標，分別是：

1. 產量控制：利用環境控制或精準農業增加作物產量。
2. 資訊系統：利用電腦資訊或數學模式來改善預測精確度。
3. 農產品包裝：結合化學及生物工程，改善農產品包裝品質。
4. 自然資源管理：結合遙測及資料庫等，對自然資源進行探討。

本課程於舉辦開學典禮後，課程內容首先為農業及生物工程學系之介紹，並對系館內各研究領域之實驗室進行參觀，相關參訪照片詳如下述。

圖 3.1 遙測中心－施孫富教授及歷屆研習學員照片

(略)

圖 3.2 教室及課程解說

(略)

圖 3.3 能源再生實驗室之實驗設備

(略)

圖 3.4 農產品包裝實驗室之研究設施

(略)

圖 3.5 溫度量測儀器實驗室

(略)

3.2 佛羅里達灌溉系統

3.2.1 簡介

灌溉的目的包括：(1)作物需求(crop demand)；(2)蒸發(evaporation)；(3)氣候控制(climate modification)；(4)土地整備(land preparation)；(5)鹽分過濾(salt leaching)；(6)施肥(fertigation)。

全球農地約有 17%接受灌溉，並供給全球 50%以上之食物；而在美國所有農地裡，約 28%有灌溉，且大部分為漫灌(surface irrigation)，但是微灌法(microirrigation)在近年來有快速增加之趨勢。雖然佛州降雨量豐富，但其蒸發量亦高，且土壤多為砂土，入滲極快，不利作物生長，因此佛州之農業大多需要灌溉，佛州地區由於地下水含水量豐富，因此是屬於地下水灌溉(groundwater irrigation)的形式，有些地方甚至地下水水位可到達植物根部，而地下水水位較低處，可以利用鑿井方式，藉由抽水機具來取得灌溉用水。

3.2.2 農場現地見習

佛大農工系帶領本研習班學員至佛大試驗農地(Pine Acres)參觀各種灌溉系統與實驗器具；亦有參觀當地商業農場(Suwaanee farms)的實際灌溉狀況，因應農地的大面積種植方式，Big Gun、Liner Pivot 與 CentralPivot 為主要的灌溉方式，而水源主要是以抽取地下水為

主，以此種灌溉機具可以經由程式控制自動噴灌，以減少人力的浪費，但是對於台灣地區的農地現況與用水型態可能會有些許問題。相關參訪照片如圖 3.6 至圖 3.23 所示。

圖 3.6 Pine Acre 噴灌分區

(略)

圖 3.7 噴灌操作情形

(略)

圖 3.8 噴灌供水設備

(略)

圖 3.9 噴灌器具—Liner Pivot

(略)

圖 3.10 Liner Pivot 灑水灌溉

(略)

圖 3.11 Liner Pivot 供水及供電設施

(略)

圖 3.12 Liner Pivot 灑水噴嘴

(略)

圖 3.13 Liner Pivot 操作控制箱

(略)

圖 3.14 Liner Pivot 微灌設備及農作

(略)

圖 3.15 Pine Acres 農場澆灌水量監控軟體

(略)

圖 3.16 Pine Acres 農場儲水槽

(略)

圖 3.17 Pine Acres 農場農具

(略)

圖 3.18 Pine Acres 農場蕃茄作物

(略)

圖 3.19 Suwaanee farms 農場

(略)

圖 3.20 Suwaanee farms 農場灌溉情形

(略)

圖 3.21 Suwaanee farms 農場園藝植栽作物

(略)

圖 3.22 Suwaanee farms 灌木噴灑情形

(略)

圖 3.23 學員專心聆聽 Suwaanee farms 農場主人講解農場概況

(略)

3.3 GPS 定位及地真資料收集

3.3.1 簡介

全球衛星定位系統(GPS)是美國國防部從 1960 年代開始，投入 20 年時間，花費 100 億美元的成果。原本是作為軍事用途，後來逐漸開放 GPS 民間航空業使用。目前 GPS 系統在地球上空配置有 24 枚衛星，其中 3 枚為備用。GPS 衛星佈置在離地球表面上約為 20,200 公里上空的近似圓形軌道上，其採用近似圓形軌道的目的在於增加地面上可見範圍及全球均勻覆蓋。利用測量獲得地表與數顆衛星的距離，求得地表位置的坐標。和傳統地面測量相比，具有測點間不必相互通視的優點，並可同時獲得三維點位坐標及基線向量。

在衛星影像分類時，不論是監督式或非監督式分類，皆需收集地真(ground truth)資料輔助分類，而地真資料必須經由 GPS 定位後方可得知其坐標位置，以便後續利用，因此 GPS 在遙測技術之應用上有其重要性。

3.3.2 現場操作

Mr. Orlando Lanni 帶領各位學員實地操作 GPS，並到野外實際進行 ground truthing，在不同地貌或有研究興趣之位置，紀錄其經緯度坐標與現地特性，以作為後續非監督式分類之參考。操作照片如圖 3-24 至圖 3-29 所示。

圖 3.24 GPS 儀器現場操作與設定

(略)

圖 3.25 GPS 儀器之使用

(略)

圖 3.26 應用 GPS 現場示範

(略)

圖 3.27 GPS 儀器學員現場實作定位

(略)

圖 3.28 手持式 GPS 的設備(一)

(略)

圖 3.29 手持式的 GPS 設備(二)

(略)

3.4 地探雷達簡介

3.4.1 簡介

地探雷達(Ground Penetrating Rader, GPR)為一種主動式遙測系統，藉由雷達波之反射，以及地底下物體介電常數的差異，紀錄反射波的強度以及反射時間，可用以估計地下水層深度或土壤含水量變化。

3.4.2 現場操作

Mr. Orlando Lanni 帶領各位學員至佛大實驗農場進行 GPR 現場操作，附圖 3.30 至圖 3.36 為實際操作照片。

圖 3.30 地探雷達

(略)

圖 3.31 地探雷達安裝與設定

(略)

圖 3.32 地探雷達講解

(略)

圖 3.33 地探雷達實際操作(一)

(略)

圖 3.34 地探雷達實際操作(二)

(略)

圖 3.35 地探雷達之探測設備

(略)

圖 3.36 地探雷達探測結果

(略)

3.5 精準農業

3.5.1 簡介

一般來說，作物的產量會受到六個因素影響，分別為：土壤特性、灌溉用水、肥料用量、地形變化、蟲害控制與有機物質含量。

而所謂精準農業(precision agriculture)即是指以資訊與技術為基礎對不同土地與農作物的利用尋求最佳的農業經營管理，如對農田及植物栽植環境的變化，給予適當之科學技術處理，其目的為：降低成本、環境保育與減少廢污；相對傳統農業的經營方式，將所有農業視為相同之性質，固定時間之灌溉、固定時間之施肥等之作業方式，不能依據土壤性質，農作物之生長需要給予適當、適時之農業投入，而造成資源及人力之浪費及生態環境之破壞。

理想之精準農業應具備下列技術之應用要素：

1. 農作土壤資料庫：何種土壤適合何種作物。
2. 地理資訊系統：掌控農地之分佈，對農地、農作物有關資料，必須空間對位。
3. 全球定位系統：配合自動化之特殊作業。
4. 遙測技術：運用 NDVI 比對技術，能判斷每一田區之狀況，是否有病害感染。
5. 自動化農機作業系統：俾使對狀況作特殊處理，如不同施肥速率之技術應用。

6. 農作產量評估：即對產量進行監測與產量區繪製，並配合實地偵察修正評估。

精準農業可謂為是 RS、GIS 及 GPS(3S)科技之整合運用產物，目前台灣對精準農業尚在起步之階段，未來可朝下列內容發展：

1. 運用 3S 技術健全農地重劃之資料。
2. 農、林、牧植物相之基本資料庫建構。
3. 高光譜、高空間解析度遙測工具運用。
4. 精密農業機械之發展。
5. 全國農作土壤資料庫之建構。

3.5.2 現場操作

由佛大韓裔助理教授李元碩博士為大家講解其實驗器材，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，將此區域坐標輸入控制器(如此便不需電腦即可操作)。

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。

圖 3.37 至圖 3.41 即為李教授現場實際操作照片。

圖 3.37 全體學員與李博士及自動噴灌農具合影

(略)

圖 3.38 自動噴灌農具系統安裝、設定與講解

(略)

圖 3.39 自動噴灌農具控制噴灑設備

(略)

圖 3.40 自動噴灌農具系統判斷後開始噴灑

(略)

圖 3.41 自動噴灌農具電腦顯示已達噴灌區邊界並終止噴灌

(略)

3.6 微波遙測

3.6.1 簡介

微波的定義為波長為 1 mm 至 1 m 之間的波段，頻率為 300 GHz 至 300MHz 之間。微波主要為觀測物體的幾何形狀與地面的介電常數，而一般的可見光(VIS)與紅外光(TIR)主要是觀測地表表層而已，因此可見其觀測對象不同。而且微波不受太陽光源影響，日夜均可以使用，且不受雲層、小雨以及霧氣的影響，因此可以用於氣候較差之條件。應用遙測影像時，最好的條件為：同時具有 VIS/TIR/Microwave 影像，可同時獲得完整資訊。

較長的波長可以穿透到較深的土壤層，一般 20 cm 波長可以用於 5 至 10 cm 身的土壤層。而沙漠地區因為含水量較少，因此容易穿透，可以探測到 2 m 的深度，或可以改用較長的波長來進行探測。

3.6.2 現場操作

佛大遙測中心於 Pine Acres 試驗農場設置微波遙測觀測儀器，藉由微波能穿透地面的特性，觀察植物在不同生長季節的土壤含水量特性，其微波觀測儀器是屬於主動式遙測系統，發射電磁波後藉由接收回波的能量大小與速度，瞭解實驗田中的含水量變化狀況。

圖 3.42 至圖 3.45 即為微波相關照片。

圖 3.42 微波遙測實驗農場

(略)

圖 3.43 主動式微波遙測儀器

(略)

圖 3.44 現場解說

(略)

圖 3.45 環境監測設備

(略)

3.7 專案計畫實作

本年度研習課程之安排除基礎觀念課程教授外，另分組安排上機實際操作並進行專案計畫實作。本年度獲選派之研習人員大都具有 RS、GIS 等相關軟體操作技術，並曾於國內研習基本課程或已具相關背景知識，因此，佛大遙測中心安排研習人員以二為一組，共分成五組，每組給予不同計畫區域，由實作練習中應用所學之技術，以達實務應用經驗之累積。

本次研習之區域為佛羅里達州 Gainesville 附近區域，並將影像切割成五塊區域，供各組分別進行地理資訊系統與遙測影像分析之計畫實作，其中並配合野外 GPS 定位實習，以及現況調查作業，輔以作為影像辨識參考。

遙測影像課程主要為影像處理部分，分為基本影像處理過程與非監督式影像分類兩部分，基本影像處理過程主要為介紹 ERDAS Imagine 軟體的操作，例如：衛星影像的讀檔與轉檔過程、影像波段組合展示、地表高程(DEM)影像處理與影像切割等步驟。

影像分類的目的主要為分辨地表的土地利用狀態，由遙測中心為各組選定 Gainesville 附近區域之衛星影像圖為底圖，經現場之觀察，此衛星影像圖內之土地利用以農業為主，面積甚廣，其中夾雜著建物、道路、湖泊、森林、裸露地等主要類別。地表覆蓋部分包括有耕種農地、無耕作長草之農地、牧草地、茂密森林、枯黃之森林、沼澤植生等，在衛星影像光譜之反應上常因分類精細不同程度會造成判別誤差。

另外，水體及陰影亦是一需細心觀察校正之類別。根據 NDVI

的數值能輔助分類出植物與水體等類別，而根據 Landsat 影像之熱紅外光波段，以遙測中心所提供的溫度計算模組，計算地表溫度結果，其結果可與 NDVI 組合來進行地表的比較。

各組之專案計畫成果於 2005 年 5 月 25 日舉辦成果發表，並進行內容討論，以下摘錄部分成果如圖 3.46 至圖 3.68 如下。

圖 3.46 GIS 展示功能

(略)

圖 3.47 GIS 校核功能

(略)

圖 3.48 GIS 分析功能

(略)

圖 3.49 GIS 擷取及處理功能

(略)

圖 3.50 GIS 圖層套疊 (*.tiff)

(略)

圖 3.51 GIS 圖層套疊 (*.jpg+*.tiff)

(略)

圖 3.52 衛星影像投影及轉換(mollweide)

(略)

圖 3.53 衛星影像投影及轉換(Hemisphere)

(略)

圖 3.54 建立衛星影像 GCP

(略)

圖 3.55 導入衛星影像

(略)

圖 3.56 衛星影像 NDVI 分類

(略)

圖 3.57 衛星影像與 NDVI 整合分析

(略)

圖 3.58 NDVI 衛星影像導入模式套疊分析 (非監督式)

(略)

圖 3.59 非監督式分類結果

(略)

圖 3.60 NDVI 衛星影像導入模式套疊分類結果 (監督式)

(略)

圖 3.61 熱紅外光衛星影像分析地表亮溫

(略)

圖 3.62 重新編碼衛星影像與地表真值分類對照結果

(略)

圖 3.63 衛星影像 Mosaic 處理結果

(略)

圖 3.64 衛星影像 Mosaic 處理後 3D 模擬結果

(略)

圖 3.65 多光譜分析假色衛星影像地表真值結果

(略)

圖 3.66 多光譜分析假色衛星影像地表真值波譜對照表

(略)

圖 3.67 多光譜分析假色衛星影像地表剖面波譜對照表

(略)

圖 3.68 多光譜分析假色衛星影像地表真值 3D 剖面波譜對照表

(略)

第四章 參訪行程

4.1 南佛羅里達水管理局(South Florida Water Management District)

佛羅里達州依據 1972 年之水資源法案(Water Resource Act)劃分水利區，是依水域分界線而非依行政區域劃分，目前在全州總面積 152,560 平方公里中劃分五個水利區，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)。

佛州各地區水管理局之主要任務略述如下：

1. 豎立各水利區內之最低流量和水位。
2. 管理水資源和相關之土地資源必須依據保持均衡性為原則。
3. 適當利用地表水與地下水。
4. 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。
5. 防制洪水、土壤沖蝕及過份排水所造成災害。

6. 協助地方政府擬定綜合性的管理規劃，特別是提供有關水資源資料。為達此目標，賦予各水資源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。
7. 水資源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。
8. 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和維護常淹水或缺水地區。

至於計畫推動及維持水管理局營運的經費共有五個重要來源：

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. 債卷(bonds)。
5. 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做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(SFWMD)位於邁阿密北方之西棕櫚灘(West Palm Beach)，主管佛州南部之水資源分區，區域內包括Lake Okeechobee、Everglades、Big Cypress Basin及南方島鏈(Keys)等地區。

參訪重點包含以下幾點：

1. Everglades 綜合復育計畫(CERP)相關介紹。
2. 水文模式介紹。
3. 緊急應變中心參觀。
4. 人工溼地現場參觀。

至於參訪南佛羅里達水管理局活動留影及紀念照片詳參圖 4.1~
圖 4.9。

圖 4.1 南佛羅里達水管理局解說員介紹人工復育溼地簡報

(略)

圖 4.2 與南佛羅里達水管理局解說員進行意見交流

(略)

圖 4.3 於南佛羅里達水管理局與解說員合影

(略)

圖 4.4 南佛羅里達水管理局解說員介紹人工復育溼地

(略)

圖 4.5 學員進行人工溼地現場觀測

(略)

圖 4.6 控管人工溼地進流水閘門

(略)

圖 4.7 控管人工溼地進流水流量浮筒

(略)

圖 4.8 人工溼地保護區與民宅自然分流示意圖

(略)

圖 4.9 與南佛羅里達水管理局解說員於人工復育溼地前合影

(略)

4.2 聖約翰河水管理局(St. Johns River Water Management District)

聖約翰河水管理局位於佛州之帕拉卡(Palatka)，負責接待的是戴家雄博士，其為聖約翰斯河水管理局(St. John's River Water District)的總工程師。該管理局管轄面積為 12,000 平方英哩，約為台灣的面積而略小，他主持甚多該區水資源維護管理及開發保育計畫(如：Apopka 湖復育計畫)；聖約翰斯河上游河川復育計畫也在他的策劃下全力推展。

St. Johns River 為聖約翰河水管理區之內最主要的河川，全長約為 490 公里，亦是全州最長的河流，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，平均河道坡降約為 1：54,000，該河水流速平均約為每秒 2 公分，由於流速緩慢而增加其本身對污染物自淨功能的困難。另外，聖約翰河上游流域約 70%的沼澤溼地被築堤排水而做為農地耕作及都市發展的用地，造成對生態環境影響很大的衝擊。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 萬公頃沼澤溼地，以期望恢復流域原本之面貌。

至於相關參訪聖約翰河水管理局活動留影及紀念照片詳參圖 4.10~圖 4.18。

圖 4.10 聖約翰河水管理局

(略)

圖 4.11 與聖約翰河水管理局戴博士相見歡

(略)

圖 4.12 與戴博士及聖約翰河水管理局研究群進行雙向座談

(略)

圖 4.13 聖約翰河水管理局解說員現場解說總磷濃度控管良好

(略)

圖 4.14 聖約翰河抽水控制設備

(略)

圖 4.15 聖約翰河抽水馬達

(略)

圖 4.16 聖約翰河廢水汲取及放流現象

(略)

圖 4.17 聖約翰河整治總磷濃度降低後的遼潤美景

(略)

圖 4.18 學員合影留念

(略)

第五章 結論與建議

5.1 結論

5.1.1 課程安排

佛州大學遙測中心對於本次課程的安排相當用心，著重於課堂教學及實務的實習或參觀，使受訓的學員不僅能學習遙測與地理資訊系統等高科技的基本基礎，同時藉由參觀與儀器實習等過程，更能透徹瞭解其間的應用過程。佛大遙測中心也安排電腦的軟體實作課程，學員均能上手操作，同時也藉由親自操作更能了解相關理論，對於學員返國的後續工作與研究將會有相當大的助益。

5.1.2 水管理局參訪

佛羅里達州水管理局特性，除滿足各地區的水資源需求，同時也能兼顧地區發展特性以及環境保育平衡，提出合適水資源政策，此永續發展觀念值得國內水資源管理單位參考。佛州各水管理局管理經營方式是非常多元化，且應地區需要而改變，各水管理局對於自身區域的經營目標都非常明確，具有代表性及區域性，其操作經營理念及精神，實足以供國內參考。

5.1.3 遙測與高科技應用

遙測的方法很多，其優點在於可以在短時間內獲得大面積目標區域之資訊，而衛星影像屬於應用範圍較廣、相對所需費用較為低廉者。遙測配合地理資料系統 GIS 及全球地理資訊系統 GPS 的地面校正資料，其應用之範圍也相當的廣泛，聯合土地利用管理、分類、監

測、災害調查、水資源開發、探索、都市計畫規劃、生態環境保育等，即可全面性、有時效性的進行國土資源整合工作。

5.2 心得與建議

本計畫培訓技術人員有相當的貢獻與幫助，建議未來能持續辦理，藉由學習清晰的觀念以及全盤的操作經驗才能印證實務及理論，同時配合現地參觀、機構訪問所瞭解獲得之應用實例，環環相扣，雖係短期訓練，但獲益良多。

5.2.1 心得

1. 相關課程內容極為豐富，尤以電腦實作課程對各軟體功能及操作步驟介紹頗為詳盡，有助日後進行水資源規劃應用時，利用電腦軟體進行遙測影像相關圖層輔助判識，可有效降低因地域交通不便所致現地勘查所耗人力、時間及成本。
2. 台灣因水文及地理各方面條件與佛州差異甚大，受限於課程安排、參訪時間有限等因素，一些與國內水資源有關聯之議題，如水質水量保護區劃定及管理、水處理、農業水權與保障、面臨乾旱時水資源管理機構對水資源操作管理等議題，無法當面請益就教了解，難免有遺珠之憾。
3. 此次課程安排讓我們學習到美國方面對水資源的保護和重視，以及環境保育的平衡，操作經營的理念及精神，實足以供國內參考。在遙測與高科技之應用方面，可以在短時間內獲得大面積目標區域之資訊，而衛星影像屬於應用範圍較廣、相對所需費用較為低廉者。遙測配合地理資料系統 GIS 及全球地理資訊系統 GPS

的地面校正資料，其應用之範圍也相當的廣泛，聯合土地利用管理、分類、監測、災害調查、水資源開發、探索、都市計畫規劃、生態環境保育等，即可全面性、有時效性的進行土地資源整合工作。

5.2.2 建議

1. 由於本遙測培訓班係為年度例行性計畫，建議國際灌排協會(ICID/CTC)或可及早進行相關行政作業，以利儘早確定各單位參訓學員後，彙整各單位參訓學員對課程及參訪單位之參訪計畫及預期目標，可供佛大遙測中心安排課程內容及參訪議題時參考，更有助於參訓學員於各單位計畫執行時參考應用。
2. 鑑於學員來自不同單位，有不同業務與背景，對於遙測及地理資訊系統的認知有所差異，加上語言上的隔閡，本遙測培訓班各單位參訓學員如可及早確定，建議國際灌排協會(ICID/CTC)亦可比照部分農田水利會針對參訓學員，於出國前先行辦理本遙測培訓班的相關課程先期簡介，則更有助於參訓學員出國培訓時對相關課程內容吸收與瞭解。
3. 建議佛大遙測中心可考量於參訪行程及 GPS 實習課程時，使參訓學員併同施作 GPS 現地量測作業，以將相關紀錄資料攜回建檔並進行圖層編輯與套疊，有助於對現地及室內實際操作的瞭解，並可作為部分培訓成果內容。
4. 近年來，農田水利會已大量使用 GIS 技術在工程、配水與會員方面的管理、查詢或分析，但遙測技術則尚未開始使用，也許是因為灌區面積小，坵塊面積也很小，使得遙測誤差相對變大，在

實際應用上頗為不易，建議將來課程的安排上，能著重於用水管理、產量預估、病蟲害防治、或污染監測等內容，並增加實務經驗的分享。另田間實習課能儘量讓學員親自動手操作儀器機會，增進學習效果。

5. 本次上機實作課程之時程規劃緊湊且內容甚為豐富，惟學員均覺力有未逮，建議能略為提早上機及分散密度，以利消化吸收，期末簡報之準備也能較為充分。
6. 建議由台灣方面透過本課程之相關計畫，先行蒐集台灣地區之衛星影像、地表真值資料庫、地籍或其他與水資源有關之 GIS 圖層資料等，於佛大上機實作時較能感同身受，印象當更為深刻，同時也讓佛大方面瞭解由於台灣地理條件較為複雜，在地表覆蓋判釋作業過程中，提供專業有效之建言。
7. 期待美方在課程安排上，尤其是 LIDAR 研究計畫專案提出較深入之解說，例如目前使用之空載光達系統，其脈衝雷射之波長大多在近紅外光範圍，遇到水體會被吸收而無法接收反射訊號，但所謂“測深光達 (Bathymetric LiDAR)”之特殊系統採用綠光波段，可穿透水體而量測近岸及河川的水底地形起伏，最深可達 70 公尺之深。以嘉南水利會為例，因轄管烏山頭水庫之集水區域呈現珊瑚狀，以一般船隻測深方法測量庫容，誤差恐大，如以測深光達方法則可量測水底地形的應用潛力，應較屬可行方法，建議美方增加 lidar 對水利或地質調查專案說明，以利受訓回台後能作為實際運用之參考。
8. 期望台灣灌排協會 (ICID) 與美方溝通，對於參訪行程能酌予增加討論時間，及儘可能安排由在南佛羅里達州之水管理局

(SFWMD)、聖約翰河水管理局 (SJWMD) 服務之華人專家學者進行簡介，可有效增進美、中二方水資源管理一些主客觀因素議題之深入了解。

9. 建議增加美國當地接待人員乙名 (native speaker)，以協助學員瞭解當地風土民情及增進英語對話機會，避免因誤觸禁忌橫生學習外的困擾，並可加強民間交流，傳達國民外交的和平訊息。
10. 遙測在台灣雖發展多年，但在實際應用上尚不普遍，水利相關單位應持續支持遙測、GIS、GPS 技術之全面發展及應用，並引進先進國家成熟之技術，針對相關重點進行示範性操作，如農地調查分類、水庫集水區調查、流域規劃、設計等。
11. 建議對於國內班與佛大班的課程安排，應加強一貫性與完整性，更應檢討本課程的基本精神與目的，對於學員的選訓、課程的安排、實務上的應用等，應有更前瞻性與完整性的規劃，也建請主管機關加強實務應用的輔導。後續追蹤成果效能尤其重要，此舉將可檢視 ICID/CTC、佛大遙測中心及國內各薦送單位的預期目標是否達成，以作為後續發展之參考準據。
12. 建議能將佛州其餘三個水管理局(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)西南佛羅里達水管理局(Southwest Florida Water Management District)及當地自來水公司列入參訪機構，使學員更多元瞭解 RS 在各項水資源領域的實際應用。
13. 本次課程研習過程中，在美國資料、實驗進行，器材設計資訊，

如航照圖、衛星影像、DTM 等，所使用的教材大多為美國方面的資料、如能配合一些國內的航照圖、衛星影像等資訊,相信所學習到的更加深刻。其實據知國內各相關單位 均有蠻多資料，所缺乏的是資料分享公開的機制，資料共享是目前推動知識經濟中重要的一環，故希望國內能統合各類資料庫，並將基本資料公開上網，放寬研究者索取資料之手續，讓這些資料真正發揮其最大的價值。

14. 「國際灌溉排水協會中華民國國家委員會」於每年均提供相當許多的經費培訓國內相關人員赴美學習，對於國內之遙測人才培訓不遺餘力，建議能持續舉辦遙測相關訓練課程，以支持遙測知識於各水利單位之應用與推廣。
15. 建議可建立本培訓班相關課程的參考網站資料，以供參訓學員於出國培訓前可先行查詢參考，以對培訓課程內容先有初步的認識。

5.3 誌謝

全體受訓學員誠摯感謝國際灌排協會(ICID/CTC)、行政院農委會、經濟部水利署、台灣自來水公司以及參與此行各地水利會所給予出國受訓 機會及經費支援。除此之外，美方佛羅里達大學農業及生物工程學系遙測中心 professor Jasmeet, Judge, Dr. Jonathan D. Jordan, Technician Orlando, Lanni 以及為學員授課及默默付出的教職員，接待參訪的聖約翰河水管理局 (St. Johns River Water Management District)、南佛羅里達水管理局 (South Florida Water Management District) 相關人員，全體學員均相當受教並對於您們的付出深致感謝。