



99年度水利人員參加美國佛羅里達大學  
中華民國基金「遙測技術人才培訓班」

出國研習成果報告



出國人員：服務機關：經濟部水利署  
職 稱：正工程司  
姓 名：張金順

出國地點：美國佛羅里達州

出國期間：99年5月1日至99年5月31日

報告日期：99年8月24日

## 目 錄

謝 誌.....	- 1 -
第一章 前言.....	- 2 -
1-1 緣起.....	- 2 -
1-2 研習目的及內容.....	- 2 -
1-3 研習團隊組成.....	- 3 -
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 遙測平台.....	- 11 -
2-1-3 主動式與被動式遙感探測器.....	- 14 -
2-1-4 國內主要接收之衛星系統.....	- 15 -
2-1-5 遙測多光譜特性.....	- 22 -
2-2-1 地理資訊系統概述.....	- 25 -
2-2-2 地理資訊系統之發展過程.....	- 27 -
2-2-3 地理資訊系統組成要件.....	- 28 -
2-2-4 地理資訊系統之功能.....	- 28 -
2-3 全球定位系統 (GPS).....	- 31 -
2-3-1 全球定位系統概述.....	- 31 -
2-3-2 全球定位系統之特性.....	- 32 -
2-3-3 全球定位系統之架構.....	- 33 -
2-4 地探雷達 (GPR).....	- 38 -
2-5 影像的處理與分類.....	- 40 -
2-5-1 光譜影像的資料格式.....	- 40 -

2-5-2 影像解析度.....	- 40 -
2-5-3 光譜影像的前處理.....	- 41 -
2-5-4 光譜影像的分類.....	- 42 -
第三章 佛羅里達大學農工系及農業灌溉課程 .....	- 48 -
3-1 佛羅里達大學農工系及遙測中心介紹 .....	- 48 -
3-2 佛羅里達州灌溉系統.....	- 52 -
3-2-1 美國的灌溉地.....	- 52 -
3-2-2 佛羅里達州的灌溉地概況.....	- 53 -
3-2-3 佛羅里達州的作物類型 .....	- 54 -
3-2-4 佛羅里州的灌溉系統型態.....	- 54 -
3-2-5 農場現地見習 .....	- 56 -
3-3 精準農業 .....	- 60 -
3-4 GPS 定位及地真資料收集 .....	- 62 -
3-4-1 簡介.....	- 62 -
3-4-2 現場操作.....	- 62 -
3-5 微波遙測 .....	- 67 -
3-5-1 微波簡介.....	- 67 -
3-5-2 微波遙測.....	- 69 -
3-5-3 雷達系統.....	- 71 -
3-6 光達 (LiDAR) .....	- 74 -
3-6-1 簡介.....	- 74 -
3-6-2 光達基本原理.....	- 76 -
3-6-3 數值地形模型 .....	- 78 -
第四章 參訪行程 .....	- 80 -

4-1 南佛羅里達水管理局 .....	- 80 -
4-2 聖約翰河水管理局 .....	- 86 -
4-3 柑橘研究及教育中心(CREC).....	- 90 -
4-4 Water Conserv II 再生水中心 .....	- 93 -
4-5 Devil's Millhopper 州立地理公園 .....	- 98 -
第五章 專案計畫內容 .....	- 102 -
5-1 計畫目的 .....	- 102 -
5-2 練習一：基本操作與資料查詢 .....	- 102 -
5-3 練習二 運用網路上之現有 GIS 資料.....	- 106 -
5-4 練習三 影像資料幾何校正 .....	- 113 -
5-5 練習四：光譜範圍影像處理 .....	- 116 -
5-6 練習五：重新編碼地表覆蓋與產生地形坡度.....	- 122 -
5-7 練習六：逕流係數與 CN 值的推導.....	- 126 -
5-8 練習七：尖峰逕流率與直接逕流量的計算.....	- 130 -
第六章 結論與建議 .....	- 137 -
6-1 結論 .....	- 137 -
6-2 建議.....	- 138 -

## 圖目錄

圖 2-1 各種遙測載具.....	- 11 -
圖 2-2 電磁波之光譜圖.....	- 23 -
圖 2-3 土壤、植物及水體之光譜反射特性曲線.....	- 23 -
圖 2-4 地理資料-圖形資料與屬性資料.....	- 26 -
圖 2-5 向量資料與網格資料的點、線、面模型.....	- 26 -
圖 2-6 GPS 衛星訊號構成圖.....	- 34 -
圖 2-7 GPS 衛星系統 BLOCK( I 、 II ).....	- 34 -
圖 2-8 GPS 架構.....	- 35 -
圖 2-9 GPS 控制單元分布圖.....	- 36 -
圖 2-10 使用者接收器.....	- 36 -
圖 2-11 GPS 定位原理.....	- 37 -
圖 2-12 GPS 絕對定位與相對定位.....	- 38 -
圖 2-13 最小距離法之決策示意圖.....	- 43 -
圖 2-14 平行六面體法之決策示意圖.....	- 43 -
圖 2-15 平行六面體法(階梯狀)之決策示意圖.....	- 44 -
圖 2-16 訓練樣區點的統計機率圖.....	- 44 -
圖 2-17 最大概似法之決策示意圖.....	- 45 -
圖 2-18 非監督式分類法.....	- 46 -
圖 3-1 與遙測中心主任 Dr. Jasmeet Judge 相見歡.....	- 49 -
圖 3-2 遙測中心—施孫富教授及歷屆研習學員照片.....	- 50 -
圖 3-3 研習教室.....	- 50 -
圖 3-4 電腦教室.....	- 51 -
圖 3-5 農業及生物工程學系.....	- 51 -

圖 3-6 噴灌器具—Big Gun .....	- 56 -
圖 3-7 噴灌器具—Big Gun .....	- 57 -
圖 3-8 噴灌器具—Liner Pivot.....	- 57 -
圖 3-9 Liner Pivot 灑水噴嘴 .....	- 58 -
圖 3-10 Pine Acres 農場灌溉農機具.....	- 58 -
圖 3-11 Pine Acres 農場灌溉機具.....	- 59 -
圖 3-12 研習學員與 Pine Acres 農場解說人員合影 .....	- 59 -
圖 3-13 GPS 儀器及尋找目標之坐標資料.....	- 63 -
圖 3-14 GPS 儀器現場操作與設定.....	- 63 -
圖 3-15 實習課尋找目標之位置及路徑 .....	- 63 -
圖 3-16 尋找之目標位置一(University Police) .....	- 64 -
圖 3-17 尋找之目標位置二(College of Fine Arts Pond) .	- 64 -
圖 3-19 尋找之目標位置四(Bull Gator ) .....	- 65 -
圖 3-20 尋找之目標位置五(Stephen C. O’Connell Center Gator1)	- 66 -
圖 3-21 尋找之目標位置六(Weil Hall).....	- 66 -
圖 3-22 尋找之目標位置七(Moses 1998).....	- 67 -
圖 3-23 光譜特性 .....	- 68 -
圖 3-24 被動微波遙測及主動微波遙測示意圖.....	- 69 -
圖 3-25 電磁波波長與頻率關係圖 .....	- 70 -
圖 3-26 極化現象的組合 .....	- 71 -
圖 3-27 合成孔徑雷達影像示意圖 .....	- 74 -
圖 3-28 空載光達作業示意圖 .....	- 76 -
圖 3-29 光達訊號多重反射回波示意圖 .....	- 77 -
圖 3-30 空載光達三維雷射掃瞄示意圖 .....	- 77 -

圖 3-31 Point clouds at Weil Hall, UF .....	- 78 -
圖 3-32 DSM and DEM.....	- 79 -
圖 4-1 學員於南佛羅里達水管理局參訪與陳博士合影.	- 82 -
圖 4-2 緊急應變中心設施.....	- 82 -
圖 4-3 與南佛羅里達水管理局金博士相見歡.....	- 83 -
圖 4-4 南佛羅里達州水管局所製水資源循環示意圖.....	- 83 -
圖 4-5 污水引入人工溼地之抽水站室內設備.....	- 84 -
圖 4-6 污水引入人工溼地之抽水站進水口設施.....	- 84 -
圖 4-7 Everglades 復育計畫導覽.....	- 85 -
圖 4-8 Everglades 人工溼地景觀.....	- 85 -
圖 4-9 聖約翰河水管理局.....	- 87 -
圖 4-10 研習成員與聖約翰河水管理局黃清次博士合影.....	- 87 -
圖 4-11 聖約翰河流域防洪閘門自動控制站設施現場解說 ...	- 88 -
圖 4-12 聖約翰河流域洪水監控系統.....	- 88 -
圖 4-13 聖約翰河流域防洪閘門自動控制站之水門.....	- 89 -
圖 4-14 聖約翰河流域防洪閘門自動控制站上游水位計.....	- 89 -
圖 4-15 柑橘研究及教育中心.....	- 91 -
圖 4-16 柑橘研究及教育中心參訪研討.....	- 92 -
圖 4-17 自製簡易空照飛行器.....	- 92 -
圖 4-18 利用微波偵測 HLB 的病害.....	- 93 -
圖 4-19 柑橘榨汁設備.....	- 93 -
圖 4-20 Water Conserv II Distribution Center 參訪研討 ...	- 96 -
圖 4-21 再生水循環利用示意圖.....	- 96 -
圖 4-22 再生水補助地下水示意圖.....	- 97 -

圖 4-23 Water Conserv II 的 Mr.Glenn Burden 現場解說.	- 97 -
圖 4-24 Water Conserv II 人工快速地下水補注滲透盆地	- 98 -
圖 4-25 Devil's Millhopper 州立地理公園入口 .....	- 99 -
圖 4-26 Devil's Millhopper 階梯步道.....	- 99 -
圖 4-27 沉洞 (Sink Hole) 之形成圖解.....	- 100 -
圖 4-28 沉洞 (Sink Hole) 現況圖解.....	- 100 -
圖 4-29 沉洞最低處之自然景觀.....	- 101 -
圖 5-1 2004 年行經佛羅里達州颶風路徑 .....	- 103 -
圖 5-2 2004 年行經 POLK 郡颶風路徑 .....	- 103 -
圖 5-3 2004 年行經 POLK 郡颶風路徑 .....	- 104 -
圖 5-4 以屬性表查詢 Killer-Bee 分布 .....	- 105 -
圖 5-5 以屬性表查詢 Brown Recluse Spider 分布 .....	- 105 -
圖 5-6 查詢兩個物種分佈的交集 .....	- 106 -
圖 5-7 縣市界、集水區、河川圖資套疊成果.....	- 107 -
圖 5-8 數值地型模型(DTM) .....	- 107 -
圖 5-9 MODIS 衛星影像 .....	- 108 -
圖 5-10 開啟圖層 .....	- 108 -
圖 5-11 以屬性表選取主要河川 .....	- 109 -
圖 5-12 匯出主要河川圖層 .....	- 109 -
圖 5-13 匯出主要集水區圖層 .....	- 110 -
圖 5-14 以顏色區分各集水區 .....	- 110 -
圖 5-15 佈置主題圖之過程 .....	- 111 -
圖 5-16 輸出主題圖 .....	- 111 -
圖 5-17 主題圖輸出成果 .....	- 112 -

圖 5-18 MODIS 衛星原始影像 .....	- 113 -
圖 5-19 設定投影座標後的 MODIS 影像 .....	- 114 -
圖 5-20 GCP 選定過程 .....	- 115 -
圖 5-21 經過幾何校正之衛星影像 .....	- 115 -
圖 5-22 裁切興趣範圍之影像 .....	- 116 -
圖 5-23 利用不同波段組合展現 1000m 解析度衛星影像 ..	- 117 -
圖 5-24 利用不同波段組合展現 500m 解析度衛星影像 ....	- 117 -
圖 5-25 利用不同波段組合展現 250m 解析度衛星影像 ....	- 118 -
圖 5-26 製作植生變異指標 (NDVI) 圖流程 .....	- 119 -
圖 5-27 植生變異指標 (NDVI) 圖 .....	- 119 -
圖 5-28 植生變異指標地表物分類結果 .....	- 120 -
圖 5-29 監督式分類過程 .....	- 120 -
圖 5-30 監督式分類結果 .....	- 121 -
圖 5-31 地表重新分類 .....	- 123 -
圖 5-32 地表重新分類編碼 .....	- 124 -
圖 5-33 重新編碼結果 .....	- 125 -
圖 5-34 坡度計算結果 .....	- 125 -
圖 5-35 桃園地區逕流係數圖 .....	- 128 -
圖 5-36 不同含水量下，桃園地區 CN 值分佈 .....	- 130 -
圖 5-37 桃園地區不同降雨強度下的尖峰流量值 .....	- 132 -
圖 5-38 單位轉換後的流量圖 .....	- 135 -
圖 5-39 逕流量相關統計資訊 .....	- 136 -

## 表目錄

表 1-1 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容(第一週).....	- 4 -
表 1-2 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容 (第二週)	- 5 -
表 1-3 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容 (第三週)	- 6 -
表 1-4 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容 (第四週)	- 7 -
表 1-5 研習團隊成員 .....	- 8 -
表 2-1 不同遙測載具之區別 .....	- 12 -
表 2-2 氣象衛星系統運作模式之比較 .....	- 14 -
表 2-3 微波遙感器的分類 .....	- 15 -
表 2-4 SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式.-	18 -
表 5-1 Landcover Categories for Curve Number .....	- 122 -
表 5-2 Landcover Categories for Runoff Coefficients .....	- 122 -
表 5-3 Runoff Coefficients for Rational Method .....	- 126 -
表 5-4 Curve Number for SCS Method.....	- 126 -
表 5-5 土壤及坡度重分類參考表 .....	- 128 -

## 謝 誌

此次海外研習「推廣和作灌溉及現代化管理設施-農田水利遙測科技人才培訓計畫（國外班）」能一切順利完訓，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，讓我們有這次機會能再增進本質學能，並感謝何技正逸峯、譚義績博士、譚智宏博士、陳明仁博士及國際灌溉排水協會陳鈴萍小姐等人，針對本次研習先行規劃安排國內研習班，使我們瞭解遙測管理等相關基本理論及應用外，並協助各項行前作業之評估與安排。

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，並安排豐富充實之參觀實習行程。亦感謝丹尼爾.普雷斯頓先生（Mr. Daniel Preston）負責學員們研習、實地參訪之交通事宜及講授相關儀器操作。另感謝前遙測中心主任施孫富教授夫人—施彭文富女士，不改以往對每屆研習班學員的關懷與付出。

此外，更要感謝佛羅里達大學土木工程系博士候選人劉邦偉先生，除擔任課堂及參訪之中文翻譯外，並協助課業的指導與分享當地生活經驗，以化解離鄉背景之陌生感，使我們四週的研習訓練得以順利完成，並獲致豐碩之成果。

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，期盼透過本次研習所得之經驗及成果，對於未來個人及單位之工作或管理方面有所應用及提升。

# 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」(Chinese Taipei Committee International Commission on Irrigation and Drainage, ICID/CTC) 為培訓國內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」於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，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補助課程經費前往美國佛羅里達大學遙測中心(Center for Remote Sensing, University of Florida)進行為期四週之研習訓練課程。

## 1-2 研習目的及內容

本次研習目的係為學習先進的遙感探測 (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。

本次研習課程安排為期四週（2010年5月1日至5月31日），詳細課程內容詳如表 1-1。其中室內課程著重於遙感探測、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、精準農業及微波遙測等，並配合電腦實機操作進行分組研習計畫實作，今年特別以臺灣國內桃園縣、南投縣之 Landsat、MODIS 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感探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。

### 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、臺灣省桃園農田水利會、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、臺灣省臺東農田水利會、臺灣自來水股份有限公司等單位，共同推薦 8 名人員參與訓練，各單位選派人員大都具有遙感探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，本研習團隊成員詳如表 1-2。

表 1-1 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容(第一週)

日期	時段	課程內容
5 月 3 日 星期一	上午	1.Introduction to University of Florida and Dept.of Agricultural & Biological Engineering 2.Introduction to Center for Remote Sensing, short-course, and Florida 1. 佛羅里達大學及農業及生物工程學系簡介 2. 遙測中心簡介
	下午	1.Computer lab accounts & logistics 2.Campus tour 1. 研習課程分組及電腦帳號設定 2. 校園巡禮
5 月 4 日 星期二	上午	Introduction to Remote Sensing & GIS 遙測概論與地理資訊系統簡介
	下午	Museum of Natural History / Butterfly Exhibit 參觀國家歷史博物館/蝴蝶展示館
5 月 5 日 星期三	上午	1.Positioning systems ,GPS basics 2.GPS exercise 1. 定位系統與 GPS 基本理論 2. GPS 定位練習
	下午	Precision Agriculture 精準農業
5 月 6 日 星期四	上午	1. Science of RS 2. Microwave remote sensing – Passive 1. 微波遙測簡介 2. 被動式微波遙測
	下午	Programming CR10 in-situ instrument datalogger/controller CR10 現地觀測儀器設備之使用與操作
5 月 7 日 星期五	上午	1. Irrigation in Florida 2. Field trip: Pine Acres Tour and Irrigation demonstration 1. 佛羅里達灌溉系統介紹 2. 參觀 Pine Acres 實驗農場及灌溉操作展示
	下午	Field trip: Devil’s Millhopper 參觀 Devil’s Millhopper 「沉洞」地理景觀

表 1-2 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容（第二週）

日期	時段	課程內容
5 月 10 日 星期一	上午	Lidar-sensor and applications Lidar 遙測與應用
	下午	Introduction to GIS using ArcGIS 應用 ArcGIS 於地理資訊系統之介紹
5 月 11 日 星期二	上午	Introduction to Erdas Imagine Erdas 影像之介紹
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 12 日 星期三	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 13 日 星期四	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Drive to South Florida Water Management District 啟程前往南佛羅里達水管理局
5 月 14 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 15 日 星期六	全天	Field trip: Everglades National Park 參訪 Everglades 國家公園

表 1-3 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容（第三週）

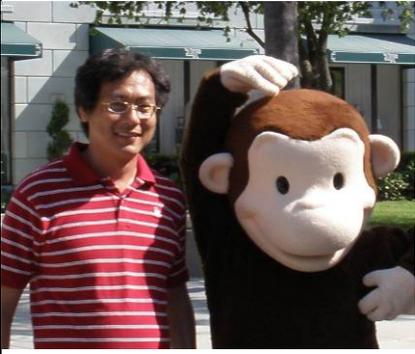
日期	時段	課程內容
5 月 17 日 星期一	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 18 日 星期二	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 19 日 星期三	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 20 日 星期四	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 21 日 星期五	上午	Field trip: CREC, Lake Alfred. 參訪「柑橘研究及教育中心」
	下午	Water Conserv II, Winter Park. 參訪「再生水中心」

表 1-4 遙測技術人才培訓班－2010 年課程內容（第四週）

日期	時段	課程內容
5 月 24 日 星期一	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 25 日 星期二	上午	Project 專案計畫製作
	下午	Project 專案計畫製作
5 月 26 日 星期三	全天	Project completion and presentation preparation 專案計畫完成與報告準備
5 月 27 日 星期四	全天	Field trip: St. Johns River Water Management District 參訪聖約翰河水管理局
5 月 28 日 星期五	上午	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Project presentation</li> <li>2. Evaluation and concluding remarks</li> <li>3. Graduation</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 專案計畫成果報告</li> <li>2. 成果研討</li> <li>3. 結業典禮</li> </ol>

表 1-5 研習團隊成員

姓 名	服務機關	職 稱	照 片
張金順 (班長)	經濟部 水利署	正工程師	
郭敏宗	臺北市瑠公 農田水利會	技工	
李宏志	臺灣省桃園 農田水利會	管理員	
蔡承志	臺灣省臺中 農田水利會	管理員	

姓 名	服務機關	職 稱	照 片
杜榮鴻	臺灣省嘉南 農田水利會	工程員	
盧建成	臺灣省高雄 農田水利會	助理工程師	
魏端余	臺灣省臺東 農田水利會	助理管理師	
張敬悅 (副班長)	臺灣自來水 股份有限公司	工程員	

## 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

遙感探測是指透過某一特定的工具，自一段觀測距離，以未直接接觸物體的方式，記錄和檢測資料的技術，具有大面積涵蓋範圍及取得快速的特性。依其載台位置的不同，可分為地面遙測、空載遙測及太空遙測三種，依其感測器種類的不同，可分為被動式感應器 (Passive Sensor)、主動式感應器 (Active Sensor)。

美國於 1972 年發射大地資源衛星 (Landsat-1)，它利用衛星上的感測器接收地面物體反射的太陽電磁輻射能 (Electromagnetic Energy)，再以數值資料 (Digital Data) 的形式傳回地面，以提供環境資源偵測的資訊，開啟了遙感衛星探測的新紀元。自此之後世界各國也積極的投入研究，近年來高解析度的衛星影像也陸續的被研發及提供給民間使用，廣泛的應用在資源環境資源調查及監測的相關工作。

遙測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：

- 一、探測範圍大：航空攝影的飛行高度可達 10 公里左右；陸地衛星軌道高度達到 910 公里左右。一張 Landsat 圖像覆蓋的地面範圍達到 3 萬多平方公里，約相當於臺灣的面積。
- 二、資料取得之速度快：實地測繪地圖需時甚久才能完成，而以 Landsat 4、5 為例，每 16 天即可覆蓋地球一遍。
- 三、受地面條件限制少：不受高山、冰川、沙漠和惡劣條件的影響。
- 四、獲取的信息量大：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，並可以探測到目標物的一定深度，其中微波波段還具有全天候工作的能力。遙測技術獲取的信息量非常大，以四波段 Landsat 多光譜掃描圖像為例，像元點 (pixel) 的解析度為  $79\text{ m} \times 57\text{ m}$ ，每一波段含有 760 萬個像元，一幅標準圖像包括四個波段，共有 3,200 萬個像元點。

五、用途廣泛：目前遙測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，更可以拓展應用於相關專業領域。

### 2-1-2 遙測平台

遙測平台（又稱為載具）一般指飛機或人造衛星等，它提供遙感探測器 (Sensor) 所需主要的動力，並攜帶探測器至預定的地點。而通信系統（可能是人，也可能是自動控制系統）使遙測平台及探測器照著計畫執行任務。至於感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。透過資料處理系統再把各種輔助資料附加在感探測器的測量結果上，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。

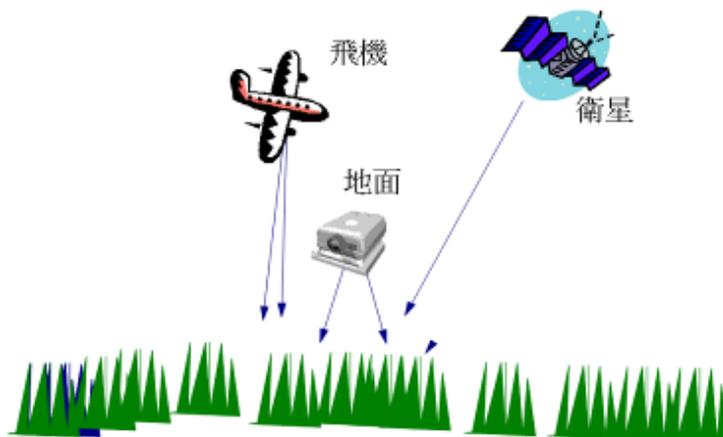


圖 2-1 各種遙測載具

依照載具的高度分類大體上可分為太空遙測、航空遙測和地面遙測，說明如下：

- 一、太空遙測：指利用各種太空飛行器為平台之遙感技術系統，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。而衛星遙感探測為太空遙感探測的組成部分，以人造地球衛星作為平台，主要利用衛星對地球和低層大氣進行光學和電子觀測。
- 二、空載遙測：泛指從飛機、飛艇、氣球等空中平台對地觀測的遙測技術系統。
- 三、地面遙測：主要係指以高塔、車、船為平台的遙測技術系統，地物波譜儀或感測器安裝在這些地面平台上，可進行各種地物波譜測量。

各類載具之工作高度和應用目的詳如表 2-1：

表 2-1 不同遙測載具之區別

遙感平台	工作高度	應用目的
無人飛機	50 ~ 500 公尺	對地觀測
直升機	100 ~ 2,000 公尺	定點定時對地觀測
飛艇	500 ~ 3,000 公尺	對地觀測
小型飛機	500 ~ 4,000 公尺	對地觀測
中型飛機	500 ~ 8,000 公尺	對地觀測
高空飛機	500 ~ 20,000 公尺	大面積對地觀測
氣球	20 ~ 10,000 公尺	對地觀測、氣象觀測
極軌衛星	200 ~ 1,000 公里	定時對地觀測

靜止軌道衛星	36,000 公里	定時定點對地觀測、
太空梭	200 公里	定時對地觀測、天文觀測

另外根據衛星的運行方式，可將衛星分為兩種形式：

- 一、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。而地球同步軌道有無數條，有圓型或橢圓形，軌道平面可能與地球赤道平面交叉，也可能重合。
- 二、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，而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。

一般而言，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，除考慮較低的飛行高度外，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、降雨和各種氣體含量等氣象要素，以及監測各種天氣現象，這種用於氣象目的之衛星稱為氣象衛星。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，它們從提供定性的雲圖進步到提供其他氣象變數的精密觀測結果，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。

除此之外，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。而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光和紅外光雲圖各一張。

表 2-2 氣象衛星系統運作模式之比較

項目	太陽同步氣象衛星	地球同步氣象衛星
圖像分辨率	1.1 公里×1.1 公里	5 公里×5 公里
圖像覆蓋範圍	有限區域	整個地球
衛星位置	距離地面約數百公里	赤道上空約 3 萬 6,000 公里
衛星運行方式	以南北方向環繞地球運行	在赤道上空隨地球同步運行
拍攝頻率	每天拍攝同一地點 1 至 2 次	每半小時拍攝一次

### 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 (active sensor) 等兩類。其中被動式遙感器本身不發射能量，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。而主動式遙感器本身發射能量，並接收其反射波做偵測，如雷達控測系統，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 2-3。

表 2-3 微波遙感器的分類

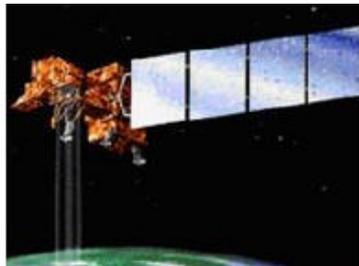
遙感方式	遙感器種類	觀測對象
被動式	微波輻射計	海面狀態、海面溫度、海風、海水鹽分濃度、水蒸氣量、雲層含水量、降雨強度、大氣溫度、風
主動式	微波散射計	土壤水分、地表面粗糙度、湖冰、海冰分布、積雪分布、植被密度、海浪、海風、風向、風速
	降雨雷達	降雨強度
	微波高度計	海面形狀、大地水準面、海流、中規模旋渦、潮汐、風速
	成像雷達	地表影像、海浪、海風、地形、地質、海冰、雪冰的監測

#### 2-1-4 國內主要接收之衛星系統

##### 一、美國大地資源衛星 (Landsat)



Landsat-5

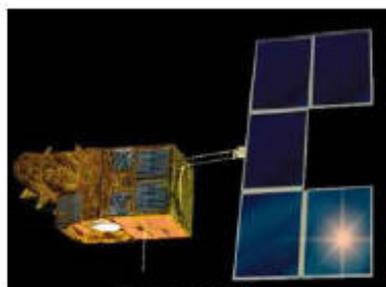


Landsat-7

Landsat 系列衛星為美國太空總署 (NASA) 之地球觀測衛星，從 1972 年 Landsat-1 發射至今，運轉中的仍有 Landsat-5 與 Landsat-7。Landsat-5 於 1984 年 3 月 1 日升空，而 Landsat-7 則於 1999 年 4 月發射升空，為太陽同步地球資源衛星，高度為 705 公里，運轉傾斜角為  $98.2^\circ$ 。通過赤道之時間約為當地時間上午 9 點 42 分，由北向南越過赤道，繞地球一圈週期約 98.9 分，每天繞行約 14 圈，每 16 天掃瞄同一地區。全球共有 233 個軌道。

Landsat-5 TM(Thematic Mapper) 有 7 個波段，其中波段 1~5 和 7 為可見光及近紅外光波段，其 IFOV(Instantaneous Field of View) 為 43 m rad 相當於空間解析度 30 公尺，而波段 6 為熱紅外光，其 IFOV 為 170 m rad 相當於空間解析度 120 公尺。另外，Landsat-7 ETM+ 則有 8 個波段，其中波段 8 為全光譜波段，具有 15 公尺之空間解析度，波段 1~3(可見光) 與波段 4,5,7(近紅外光) 之空間解析度為 30 公尺，而波段 6 為熱紅外光，空間解析度則為 60 公尺。

## 二、法國 SPOT 資源衛星



SPOT-4



SPOT-5

1986 年 2 月法國成功的發射第一顆 SPOT 衛星 (SPOT-1)，1990 年 1 月再發射第二顆 SPOT-2。1993 年 8 月 SPOT-1 停止使用，9 月底再次成功的發射 SPOT-3 衛星，但不幸於 1996 年 11 月失去聯絡，隨後 SPOT-1 重新啟用。

SPOT 系列衛星為太陽同步衛星，平均航高 832 公里，通過赤道的時間為當地時間上午 10 點 30 分，通過台灣上空約為 10 點 45 分。軌道與赤道傾斜角  $98.77^\circ$ ，繞地球一圈週期約 101.4 分，一天可轉 14.2 圈，每 26 天通過同一地區，SPOT 衛星一天內所繞行的軌道，在赤道相鄰兩軌道最大距離 2823.6 公里，全球共有 369 個軌道 (Track)。

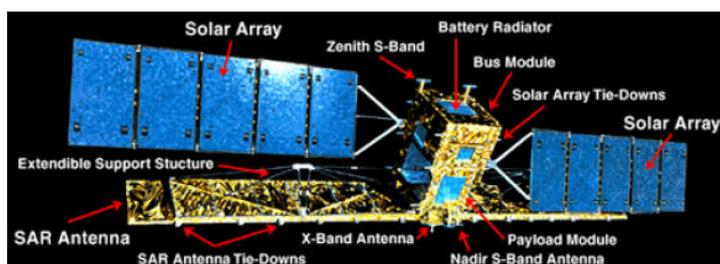
SPOT-4 號衛星，於 1998 年 3 月 24 日發射升空，其最大的特點在於新增的短波紅外線波段 (SWIR, Short-Wave Infrared)、以及一個專用於地表植被分析研究的儀器 VI (Vegetation Instrument)。新的 SWIR 波段有助於對地物景觀進行較以往更深入的分析判讀，SWIR 波段比原有的波段 (綠光 / 紅光 / 近紅外光)，具備更強的大氣穿透能力，因此可使得衛星影像上的地物地貌更加清晰。藉由 SWIR 波段更高的亮度對比特性，地表的水線和湖泊等均可以鮮明銳利地呈現出來。此外，土壤與植物的溼度亦能從此波段之灰階亮度中分析出，可以更容易地達成有關土壤種類判釋和植被農作物生長階段的監控。

SPOT-5 號衛星於 2002 年 5 月 4 日發射升空，擁有 3 種光學儀器分別為兩個 HRG、VI、以及 HRS。其中 VI 與 SPOT-4 相同，而每一個 HRG 儀器分別擁有兩個全光譜影像 (HM)、一個多光譜影像 (HI)、以及一個短波紅外線波段 (SWIR) 影像。其中，HM 有 12000 個 CCD 空間解析度為 5 公尺，HI 有 6000 個 CCD 空間解析度為 10 公尺，而 SWIR 則有 3000 個 CCD 空間解析度為 20 公尺。若利用兩組 HRG 感測器同時拍攝 HM 資料，再經過影像融合處理可以提昇其空間解析度到 2.5 公尺，稱為超解像模式 (Supermode) 影像，而像幅寬度仍維持為 60 公里，是目前中高解析度衛星中，幅寬最廣之衛星資料。表 1 為 SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式。

表 2-4 SPOT 系列衛星資料空間解析度與感測器光譜模式

衛星代號	感測器	光譜模式	空間解析度
SPOT-1~3	HRV	全色態 PAN	10 m
		多光譜態 XS	20 m
SPOT-4	HRV	單色態 M	10 m
		多光譜態 XI	20 m
SPOT-5	HRG	全色態 HM	5 m
		超解像模式 THR	2.5 m
		多光譜態 HI	10 m

### 三、加拿大雷達衛星 (RadarSat-1)



加拿大雷達衛星 RadarSat-1 於 1995 年發射，由於可調式入射角的設計，使得衛星可在不同軌道上獲取同一地區的影像，如此設計縮短了影像獲取的時間週期，提高了即時應用的能力。RadarSat-1 除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，該衛星為地面解析度、成像行寬和波束入射角提供更寬的選擇範圍，目前有二十五種不同影像模式可供選擇，入射角提供可調式設計由  $10^{\circ}$  變化至  $60^{\circ}$ 。

在解析度方面，提供了 10 公尺到 100 公尺的影像資料。至於一幅影像大小，則隨著以上條件不同而改變。小至 50 公里×50 公里，大到 500 公里×500 公里。

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，其次則是對全球產生多次衛星覆蓋。

#### 四、IKONOS 高解析度資源衛星



1999 年 09 月 24 日，IKONOS 成功於美國 Vandenberg 空軍機地順利發射升空，其影像解析度高達 0.82 米，成為全球首顆提供 1 米以下解析度之商用光學衛星，揭開高解析度衛星影像時代。

IKONOS 衛星為美國 GeoEye 公司所發展的商用高解析度光學衛星，其衛星軌道高度為 681 公里，軌道形式為太陽同步衛星，空間解析度分別為全色態: 0.82 公尺(nadir) to 1 公尺(26° off-nadir)及多光譜: 3.2 公尺(nadir) to 4 公尺(26° off-nadir)，可提供快速且品質清晰之衛星影像，獲取地球表面之地物、地貌等空間資訊，影像資訊可達軍用規格；其具有立體影像拍攝能量，具有製作數值地形模型之能力。

#### 五、福爾摩沙二號衛星(FORMORSAT 2)



福爾摩沙衛星二號(福衛二號)已於2004年5月21日成功發射，為我國第一個自主性遙測與科學衛星，是由國家實驗研究院國家太空計畫室(現國家太空中心)所主導，為國家太空計畫第一期十五年計畫中之主要任務之一。

福爾摩沙衛星二號具有資源探測與科學研究雙重任務，其資源探測任務是以滿足臺灣地區之需求為主，其每日再訪率與高空間解析度的設計，是福爾摩沙衛星二號優於其他商業遙測衛星的地方。其應用領域可包含土地利用與變遷、農林規劃、環境監控、災害評估以及科學研究與教育等方面，預期將帶動國內遙測技術之開發及提昇遙測應用之層級。

福爾摩沙衛星二號其質量約為750公斤(含酬載及燃料)，軌道高891公里，屬於太陽同步衛星。軌道面固定，每日通過台灣海峽上空，具左右各45°之傾斜拍攝之能力。每日繞地球飛行14圈，地面軌跡(Ground Track)將通過台灣海峽上空，可一次拍攝八分鐘的資料。第一次通過台灣海峽上空的時間為上午九點四十，可進行拍攝與下傳影像資料。第二次通過台灣海峽上空的時間則為晚上九點四十，此時無法進行拍攝任務，但以下傳拍攝其他地區之資料。

其全色態解析度在0°~45°之傾角下約為2~4.5公尺，在飛行方向則約為2~3公尺。多光譜態有四個波段，即藍光段、綠光段、紅光段及近紅外光段，具8公尺解析度，掃瞄寬度為24公里。福爾摩沙衛星二號之攝影模式為衛星本體旋轉(Body Rotation)同步取樣方式，可以向前、向後觀測方式

進行立體攝影，以進一步獲取數值地形模型 (Digital Terrain Model, DTM) 資料。

## 六、QuickBird



QuickBird 捷鳥衛星為美國 DigitalGlobe 公司所擁有之商用高解析度光學衛星。其於 2001 年 10 月 18 日於美國 Vandenberg 空軍基地順利發射升空；於同年 12 月份開始接收衛星影像。QuickBird 捷鳥衛星係從 450 公里外的太空拍攝地球表面上之地物、地貌等空間資訊，其影像解析度高達 61 公分，為全球首顆提供 1 米以下解析度之商用光學衛星。且 QuickBird 捷鳥衛星為太陽同步衛星，平均 4 至 6 天即可拍攝同一地點的影像。

其全色態解析度為 0.60 公尺，多光譜態有四個波段，即藍光段 (0.45~0.52 microns)、綠光段 (0.51~0.60 microns)、紅光段 (0.64~0.70 microns) 及近紅外光段 (0.76~0.86 microns)，具 2.44 公尺解析度。

## 七、GeoEye-1



2006年1月美國ORBIMAGE公司成功收購Space Imaging公司，創辦GeoEye公司以來，使GeoEye公司成為世界上最大商業遙感衛星的營運公司。目前GeoEye公司麾下主要兩大遙測衛星系統：IKONOS和OrbView，而GeoEye-1即為兩家公司合併後第一顆以公司命名的衛星，於2008年9月6日進行發射，屬於太陽同步衛星，軌道高度為684km，並同時提供全色態和多光譜影像資料。

全色態解析度為0.41公尺(近垂直拍攝)，多光譜態有四個波段，即藍光段(0.45~0.51 microns)、綠光段(0.51~0.58 microns)、紅光段(0.65~0.69 microns)及近紅外光段(0.78~0.92 microns)，具1.65公尺解析度。

### 2-1-5 遙測多光譜特性

被動式遙感探測主要利用的電磁波範圍如圖2-1(b)，波長由小至大可分為：可見光(Visible)約在0.4至0.7 $\mu\text{m}$ 之間、近紅外光(Near-infrared)約在0.7至1.1 $\mu\text{m}$ 之間、短波紅外光(Short Wave infrared)約在1.1至3.0 $\mu\text{m}$ 之間、中紅外光(Mid Wave infrared)約在3.0至5.0 $\mu\text{m}$ 之間、遠紅外光(Long Wave infrared)約在5.0至14.0 $\mu\text{m}$ 之間，於可見光的部份又可分為藍光(0.4~0.5 $\mu\text{m}$ )、綠光(0.5~0.6 $\mu\text{m}$ )及紅光(0.6~0.7 $\mu\text{m}$ )三種。

如圖2-3所示，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。

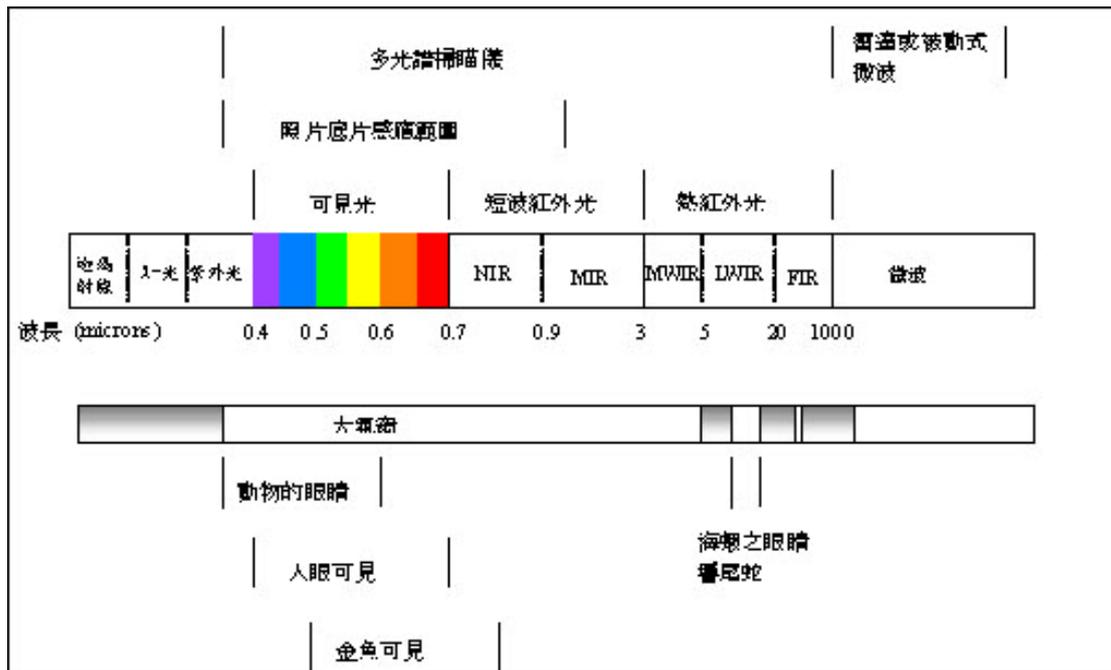


圖 2-2 電磁波之光譜圖

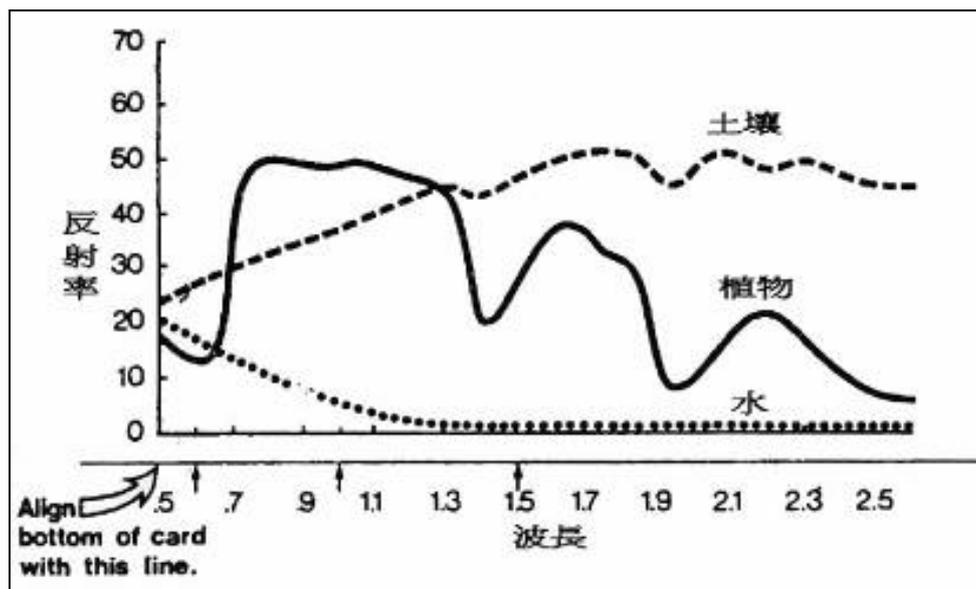


圖 2-3 土壤、植物及水體之光譜反射特性曲線

各地物之光譜特性敘述如下：

一、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，受植物本身的影響小。在  $0.55\mu\text{m}$  處有一反射高峰，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此一波段。

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，此波段之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。

## 二、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。

## 三、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。

### 2-2-1 地理資訊系統概述

地理資訊系統（Geographic Information Systems；GIS）為結合地理資訊與科技的一門新興學科，除於製作地圖之助益外，更將真實世界的資料相連結，可改善各項空間事物與提昇環境資源的使用效率與效果。地理資訊系統可以簡單定義為具有整合空間資訊及協助解決真實世界問題的決策支援系統。它的主要目的是透過疊圖及空間分析功能，將原始地理資料轉變為可支援空間決策的資訊。

所謂地理資訊，廣義而言，泛指地表上下之可見特徵及解釋空間特徵的現象或事件。GIS 之定義：GIS 是對地理空間資料可進行輸入（Input）、儲存（Store）、檢索（Retrieve）、處理（Manipulate）、分析（Analyze）及輸出（Output）之資訊系統。

GIS 系統所處理的資料，稱為地理資料。所謂地理資料乃是指在本質上、內涵上、外觀上與地理位置有關的資料。一般來說地理資料可分成兩大部分，一為常以圖形方式來描述的空間資料，另一為屬性資料如圖 2-4。

- 一、空間資料：藉由點、線、面、地形變化描述地表和地球本身的形狀、位置及彼此間的空间相對位置。
- 二、屬性資料：記錄點、線、面和地形變化等地理元素特性的文、數字資料。

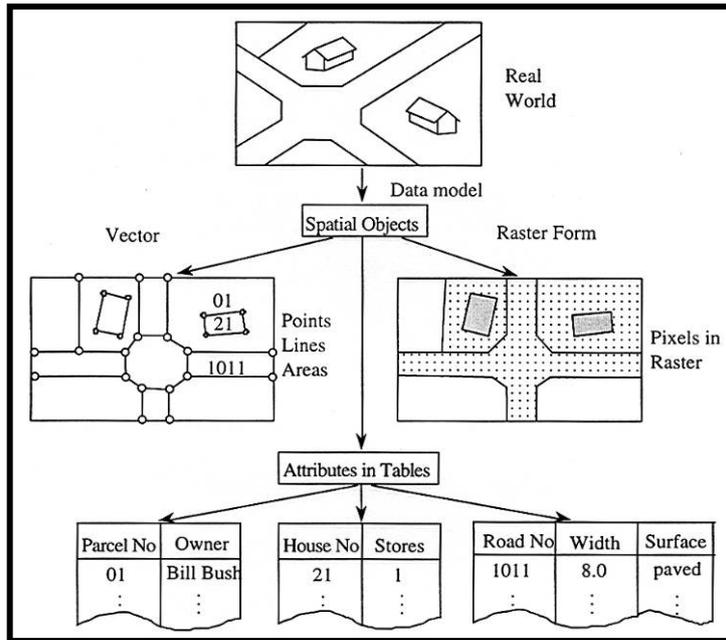


圖 2-4 地理資料-圖形資料與屬性資料

屬性資料亦稱為統計資料或主題式資料。屬性資料是對目標空間特徵以外的目標特性做詳細描述。屬性資料包含了對目標類型的描述和目標的具體說明描述。空間資料的資料結構有兩種，一是向量式資料結構（vector data structure）；一是網格式資料結構（raster data structure。）如圖 2-5。

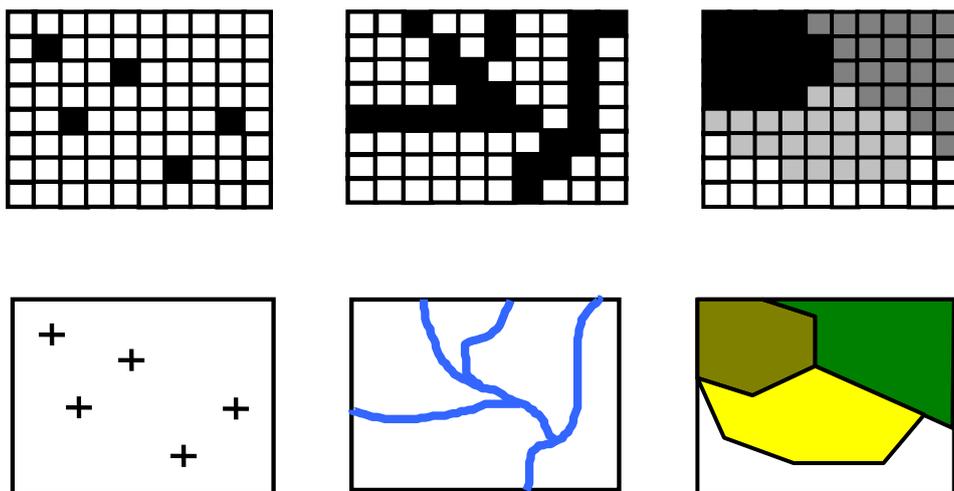


圖 2-5 向量資料與網格式資料的點、線、面模型

## 2-2-2 地理資訊系統之發展過程

1960 年代，電腦技術開始應用於地圖量算、分析和製作。而 1960 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。國際上最早建立較為完善且大型使用的 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。

1970 年代是 GIS 的鞏固發展時期，著重於空間地理資訊的管理。資源開發、利用及環境問題成爲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，使得電腦進入政府部門和企業中。

1980 年代爲 GIS 的大發展時期，著重於空間決策支援分析。GIS 的應用領域迅速擴大，政府、學術性機構和 GIS 平台製造商紛紛湧現，並提供專業化的服務。

1990 年代爲 GIS 的用戶時代。一方面，GIS 成爲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作方式及決策速度。另一方面，社會對 GIS 的認知程度普遍提高，導致需求大幅提高。GIS 成爲現代社會的最基本的服務之一。

20 世紀 60、70 年代，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飛速的發展，相關的電腦圖形和資料庫技術也開始走向成熟，此爲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 management）、電腦輔助設計（computer aided design）、管理資訊系統（management information system, MIS）、遙感探測、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，但無法全面地完成對地理空間資訊

的有效處理，因此，地理資訊系統仍值得持續進行相關研究與發展。

國內最早的應用始於 1970 年中期，政府單位使用衛星影像資料進行農產量預測與森林資源分析。1990 年國內成立「國土資訊系統推動小組」及九大資料庫分組（自然環境基本資料庫、自然資源與生態資料庫、環境品質資料庫、社會經濟資料庫、交通路網資料庫、土地基本資料庫、區域及都市計畫資料庫、公共管線資料庫、基本地形圖資料庫）等各級推動組織，正式開始推動「國土資訊系統」。

### 2-2-3 地理資訊系統組成要件

與普通的資訊系統類似，一個完整的 GIS 系統主要由四個部分構成，及電腦硬體系統、電腦軟體系統、地理空間資料和系統管理操作人員。

- 一、電腦硬體系統：電腦硬體系統是電腦系統中的實際實體裝置的總稱，構成電腦硬體系統的基本組件包括輸入/輸出設備、中央處理單元、記憶體等。
- 二、電腦軟體系統：電腦軟體系統是指必須的各種程式，對於 GIS 的應用而言通常包括：電腦系統軟體以及 GIS 軟體和其他支援軟體。
- 三、空間資料：是指以地球表面空間位置為參照的自然、社會和人文經濟資料，可以是圖形、圖像、文數字等。
- 四、系統管理操作人員：一個周密規劃的 GIS 項目應包括負責系統設計和執行的項目經理、資訊管理的技術人員、系統客製化的應用工程師以及最後執行系統的使用者。

### 2-2-4 地理資訊系統之功能

#### 一、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、費時與代價昂貴的任務，常用的方法是數位化和掃描。其中數位化的主

要問題是低效率和高代價；而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，因此，互動式的地圖識別是向量化方法的一種較為現實的途徑，市場上已有多種互動式向量化軟體出售。

目前 GIS 的輸入資料借助非地圖形式者日漸增加，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 產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，因此除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。

## 二、空間資料的儲存與管理

GIS 中的資料分為網格資料和向量資料等兩大類，如何在電腦中有效儲存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 的資料儲存卻有其獨特之處，大多數的 GIS 系統採用了分層技術，即根據地圖的某些特徵，把它分成若干層，整張地圖是所有層疊加的結果。在與用戶的交換過程中只處理涉及到的圖層，而不是整幅地圖，因而能夠對用戶的要求作出快速反應。

地理資料儲存是 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。

## 三、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，因此，操作帶來的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。透過 GIS 提供的空間分析功能，用戶可以從已知的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。其中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、多邊形與多邊形的疊加、緩衝區分析、網路分析、面運算及目標集統計分析等。而網格資料空間分析功能通常包括記錄分析、疊加分析、濾波分析、擴展領域操作、區域操作及統計分析等。

#### 四、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程序。而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 是不可或缺的，這方面的技術主要包括資料校正、編輯、圖形整飾、誤差消除、坐標變換及出版印刷等。

## 2-3 全球定位系統 (GPS)

### 2-3-1 全球定位系統概述

GPS 是英文 Global Positioning System (全球定位系統) 的簡稱，GPS 的研製最初主要用於軍事目的，如為陸海空三軍提供實時、全天候和全球性的導航服務，並用於情報收集、核爆監測、應急通訊和爆破定位等方面。隨著 GPS 系統步入試驗和實用階段，其定位技術的高度自動化及所達到的高精度和巨大的潛力，引起了各國政府的普遍關注，同時引起了廣大測量工作者的極大興趣。特別是近幾年來，GPS 定位技術在應用基礎的研究、新應用領域的開拓、軟硬件的開發等方面都取得了迅速發展。

GPS 系統的前身為美軍研製的一種子午儀衛星定位系統 (Transit)，1958 年研製，1964 年正式投入使用。子午儀系統使得研發部門對衛星定位取得了初步的經驗，並驗證了由衛星系統進行定位的可行性，為 GPS 系統的研製埋下了鋪墊。GPS 計劃的實施共分三個階段，從 1978 年到 1979 年，由位於加利福尼亞的范登堡空軍基地採用雙子座火箭發射 4 顆試驗衛星，衛星運行軌道長半軸為 26560km，傾角 64 度。軌道高度 20000km。這一階段主要研製了地面接收機及建立地面跟蹤網，結果令人滿意。從 1979 年到 1984 年，又陸續發射了 7 顆稱為 BLOCK I 的試驗衛星，研製了各種用途的接收機。實驗表明，GPS 定位精度遠遠超過設計標準，利用粗碼定位，其精度就可達 14 米。1989 年 2 月 4 日第一顆 GPS 工作衛星發射成功，這一階段的衛星稱為 BLOCK II 和 BLOCK IIA。此階段宣告 GPS 系統進入工程建設狀態。1993 年底使用的 GPS 網即 (21+3) GPS 星座已經建成，今後將根據計劃更換失效的衛星。

美國空軍太空司令部於 1995 年 4 月 27 日宣布 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 4 顆 BLOCK IIA 及 1 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。

### 2-3-2 全球定位系統之特性

由於 GPS 有諸多優點，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：

- 一、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。
- 二、跨越地形及海域限制，可以執行長距離洲際間測量作業。
- 三、具有瞬間定位能力，且精度優良，適合高速度運動載具使用。
- 四、接收儀體積小，重量輕，機動性高。
- 五、為防止訊號遭敵對國家使用，除軍事用碼可被鎖住外，在美國認為必要時，可以人為方式操縱衛星訊號，造成錯誤導航及定位。
- 六、衛星天線對空情況必須良好，衛星訊號無法穿透水面或地表面。
- 七、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，概述如下：

- 一、測站之間無須通視。
- 二、定位精度非常高。
- 三、觀測時間短。
- 四、可提供三度空間坐標。
- 五、儀器操作非常簡單。

六、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。

七、使用者不用付費。

八、相對定位精度高。

由於 GPS 具有全球性、全天候、連續的精確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 全球定位系統之架構

GPS 的系統架構一般可分為太空單元(Space Segment)，控制單元(Control Segment)及使用者單元 (User Segment)等三部份。

太空單元:

太空單元係指太空中的 GPS 衛星，只須 24 顆衛星即可達任何時、地皆可收到 4~8 顆衛星的 3D 定位需求，並有多顆作為預備衛星用。任一衛星在軌道上的運行週期為約 12 小時，即每一天繞行地球二圈。每顆 GPS 衛星上皆裝置有 4 個非常精準的原子鐘，其亦為備用的設計，其中二個為銣 (Rubidium,Rb)原子鐘，另二個則為銫 (Cesium,Cs)原子鐘，每個原子鐘的造價約在 10 萬美金左右，其精準度若以誤差一秒鐘來量度，銣原子鐘約為 3 萬年，銫原子鐘則為 30 萬年左右。

原子鐘的基本頻率為 10.23MHz，依其不同的倍數值所組成的 C/A 電碼(頻率 1.023MHz)及 P 電碼(10.23MHz)的隨機電碼 PRN (Pseudo Random

Noise)，並調製在 L1 載波(頻率為  $154 \times 10.23\text{MHz}$ ，波長約為 19cm)及 L2 載波(頻率為  $120 \times 10.23\text{MHz}$ ，波長約為 24cm)上，最後皆調成 50BPS (bits per-second) 的無線電雙頻訊號持續向地面廣播，如圖 1。

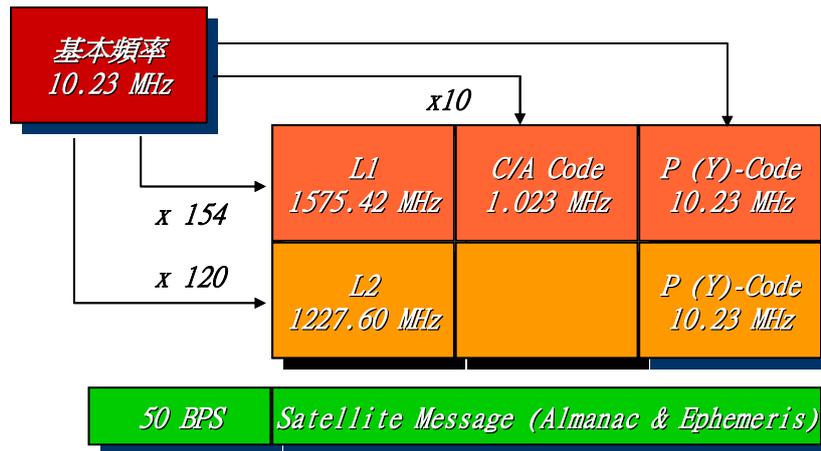


圖 2-6 GPS 衛星訊號構成圖

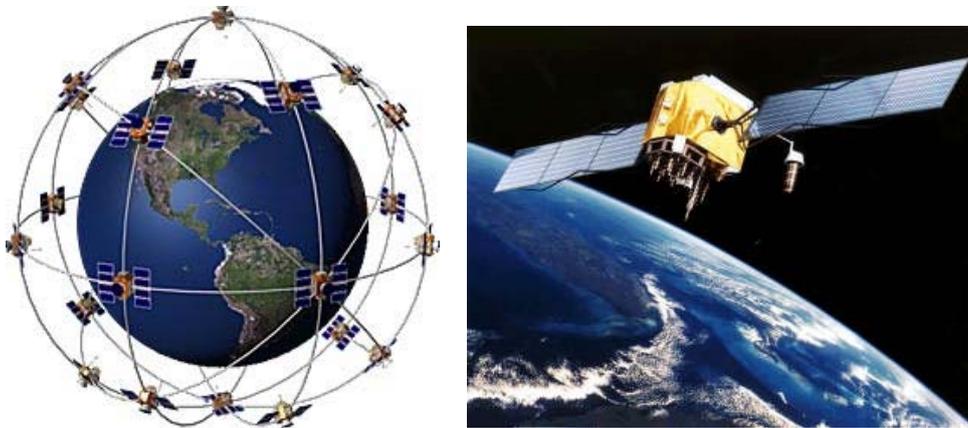


圖 2-7 GPS 衛星系統 BLOCK(I、II)

控制單元:

GPS 之操作控制系統已於 1985 年 9 月完成。整個系統包括一個主控站，三個地面天線及五個監視站(如圖 5-2)；每個監視站均擁有一個 GPS 雙頻接收站、標準原子鐘、感測器及資料處理機，且其 WGS 84 坐標均經美國國防製圖局精密測量而得。每個監視站，每天 24 小時不停地追蹤觀測每一顆衛星，並將每 1.5 秒之虛擬距離觀測量及觀測所得之氣象資料及電離層資料聯合求解得每 15 分鐘一組之勻化數據 (Smoothed Data)，然後將數據再傳送至主控站。主控站位於美國科羅拉多州春田市的聯合太空控制中心，其功能為接收由五個監測站(夏威夷、亞森欣島、迪亞哥加西亞、瓜加林島、科羅拉多泉)傳輸來的各種數據，並計算出衛星星曆資料、衛星時錶修

正量參數及電離層延遲之改正參數，給地面天線（亞森欣島、迪亞哥加西亞、瓜加林島）再發射給衛星，以更新衛星內之資料。全球有 160 幾個追蹤站，負責收集衛星資料，並將資料彙集至控制站。主控站同時對衛星做軌道修正的計算，再發出控制命令，或取消功能不良之衛星由預備衛星取代。地面天線利用 S 頻道之無線電波傳送資料到衛星。正常情形下每隔八小時就會傳回一次資料到衛星上。整個控制單元的任務係維持衛星運行於精確的軌道位置，回饋更新資訊給衛星，以及監視每顆衛星以確認皆正常的運作。

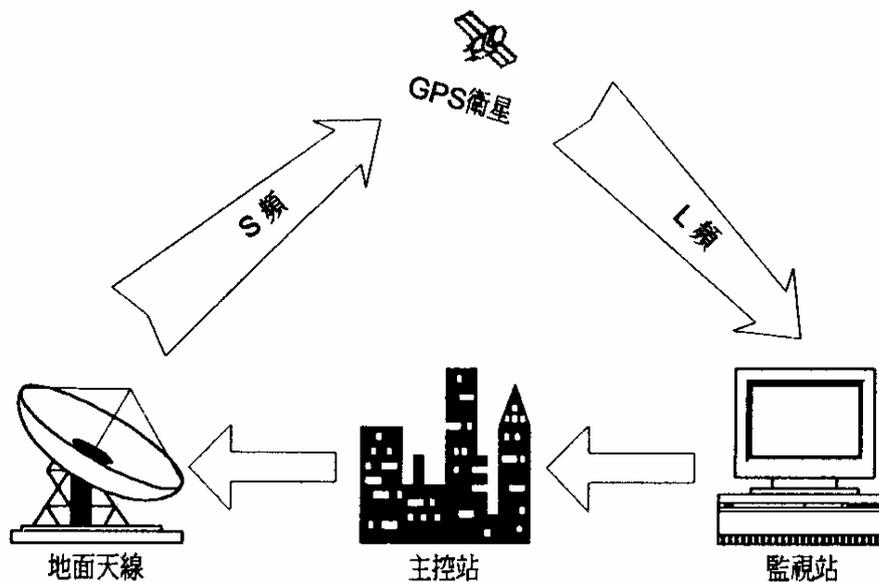


圖 2-8 GPS 架構

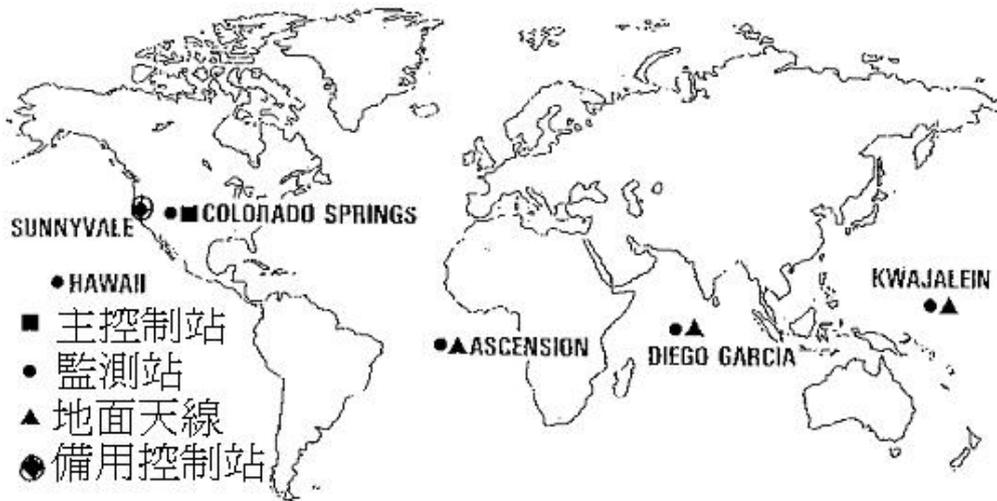


圖 2-9 GPS 控制單元分布圖

使用者單元:

使用者單元所指的是能夠接收 GPS 衛星訊號之接收器。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，使用者部份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等兩種，其差異主要在於民用接收儀無法譯解軍用碼。當 1980 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、經濟方便及全天候等諸多優點，GPS 已成為最受歡迎的定位技術，廣泛應用於導航、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個人手持裝置 (PDA) 上。



圖 2-10 使用者接收器

GPS 其定位原理基本上三顆衛星就可以採用空間距離交會的方法，找出測點的位置，但是因為衛星和使用者並非靜止不動，因此通常必須要第四顆衛星來增定位的經準度。

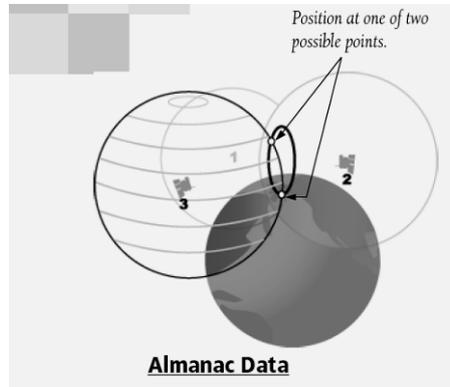


圖 2-11 GPS 定位原理

### 一、絕對定位原理

利用 GPS 進行絕對定位的基本原理為：以 GPS 衛星與用戶接收機天線之間的幾何距離觀測量  $\rho$  為基礎，並根據衛星的瞬時坐標  $(X_s, Y_s, Z_s)$ ，以確定用戶接收機天線所對應的點位，即觀測站的位置。

設接收機天線的相位中心坐標為  $(X, Y, Z)$ ，則有：

$$\rho = \sqrt{(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2}$$

衛星的瞬時坐標  $(X_s, Y_s, Z_s)$  可根據導航電文獲得，所以式中只有  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三個未知量，只要同時接收 3 顆 GPS 衛星，就能解出測站點坐標  $(X, Y, Z)$ 。可以看出，GPS 單點定位的實質就是空間距離的後方交會。

### 二、相對定位原理

GPS 相對定位，亦稱差分 GPS 定位，是目前 GPS 定位中精度最高的一種定位方法。其基本定位原理為：如圖 2-12 所示，用兩台 GPS 用戶接收機分別安置在基線的兩端，並同步觀

測相同的 GPS 衛星，以確定基線端點（測站點）在 WGS-84 坐標系中的相對位置或稱基線向量。

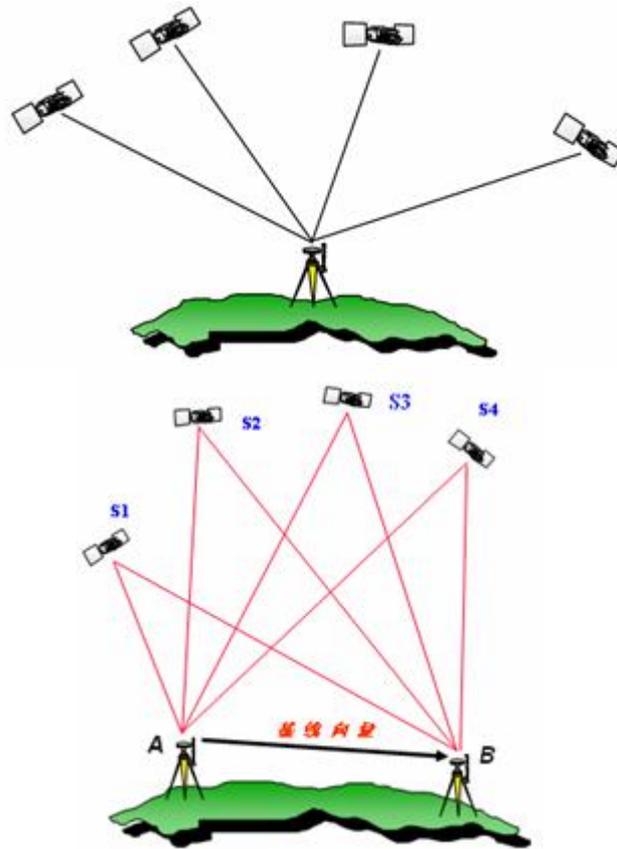


圖 2-12 GPS 絕對定位與相對定位

目前正在運行的全球衛星定位系統有美國的 GPS 系統和俄羅斯的 GLONASS 系統。中國的北斗衛星導航定位系統，是中國自行研製開發的區域性有源三維衛星定位與通信系統（CNSS），是繼美國的全球定位系統（GPS）、俄羅斯的 GLONASS 之後第三個成熟的衛星導航系統，北斗衛星導航定位系統目前已經發射了 6 顆衛星，於 2015 年擴充為全球衛星導航系統。歐盟 1999 年初正式推出「伽利略」計劃，部署新一代定位衛星。該方案由 27 顆運行衛星和 3 顆預備衛星組成，可以覆蓋全球，位置精度達幾米，亦可與美國的 GPS 系統兼容，總投資為 35 億歐元。目前已經發射三顆實驗衛星，2010 年開始提供服務。

#### 2-4 地探雷達（GPR）

地探雷達 (Ground Penetrating Radar, 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 10MHz 至 1,000MHz，可穿透地表約 8 至 15ft 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。各種不同材質之介電常數如下：

一、空氣 (air) : 1

二、乾淨水 (fresh water) : 81

三、海水 (sea water) : 81 to 88

四、乾的沙土 (sand, dry) : 4 to 6

五、溼的沙土 (sand, saturated, fresh water) : 30

六、溼的細粉沙 (silt, saturated, fresh water) : 10

七、濕的黏土 (clay, saturated, fresh water) : 8 to 12

八、一般土壤 (average soil) : 16

其各相關參數之數學關係式如下：

$$D = Ct / 2\sqrt{\epsilon_r}$$

D=穿透深度(m)

t=脈衝時間(in nanoseconds)

$\epsilon_r$ =介電系數

C=光速( $3 \times 10^8$ m/sec)

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，另軍方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，以便進一步研訂發掘計畫。

## 2-5 影像的處理與分類

### 2-5-1 光譜影像的資料格式

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

#### 一、空間解析度（spatial resolution）

對光學遙測系統而言，衛星之空間解析度通常是指在衛星像底點（Nadir Point）一個像元所對應之地面大小，一般而言可以像幅寬度除以一掃瞄線 CCD 之總數而得。空間解析度會隨著傾斜觀測角度的增加而降低。對雷達遙測系統而言，衛星之空間解析度通常是指側視（Off-Nadir）時最遠距點一個像元所對應之地面大小，一般而言可以像幅寬度除以全幅影像像元總數而得。

#### 二、光譜解析度（spectral resolution）

指的是該衛星感測器所能偵測之電磁波光譜範圍，就光學遙測系統而言，通常會使用可見光之紅光、綠光、藍光與近紅

外光，以及涵蓋上述三個到四個光譜範圍之全色態 (Panchromatic) 光譜進行拍攝。就側視雷達系統而言，所使用之電磁波範圍通常為 5.6 公分之 C-Band。

### 三、輻射解析度 (radiometric resolution)

指的是地表反射之輻射進入感測器之能量，經過量化後所使用之灰階範圍。例如 SPOT-1~4 衛星影像使用 256 個灰階，也就是一個像元 8 個 Bits，而 SPOT-5 衛星則可以選擇 8Bits 或 16Bits 兩種輻射解析度。而 IKONOS、Quickbird 影像產品則是以 11 Bits，共 2048 個灰階值來量化。相對而言，一個像元以 2048 個灰階比 256 個灰階之影像，更能描述豐富的地表資訊，對陰影區資訊之判別相當重要。

### 四、時間解析度 (temporal resolution)

指衛星在不同時間拍攝同一地點時，最短之時間差距。一衛星之時間解析度除了與前述軌道週期之設計有絕對之關係外，更可以傾斜觀測方式來提昇其時間解析度。若有相同性質之衛星如 SPOT-1~5，也可以提高其時間解析度，目前 SPOT 運轉中的系列衛星有 2、4、5 三顆，其時間解析度約可達一天拍攝一次。

## 2-5-3 光譜影像的前處理

衛星掃描影像的過程中，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校正和幾何校正。

### 一、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，而大氣散射修正係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。

## 二、幾何校正 (geometric corrections)

衛星影像的幾何校正係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數模式，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 光譜影像的分類

一般影像分類所採用的方法有監督式及非監督式兩種，非監督式與監督分類法兩者最大的不同是，非監督式分類僅考慮每一像元與分類類別之類組中心，而監督式分類則必須考量訓練樣區之平均值與共變異矩陣。此兩種方法之分類理論分述如下：

一、監督式分類: 監督式分類所用統計方法為最短距離法、平行六面體法與最大概似分類法，以下分別依最小距離法、平行六面體法、最大概似分類法討論介紹：

#### 1. 最小距離法

最小距離法係首先訂出每一類波譜平均值，稱之為平均向量，然後考慮波譜亮度值在影像個波段之位置坐標，加以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。缺點為各分類距離超過所訂之限制距離，將無法進行分類。以波段 1 與波段 2 之二度空間分布為例，計算像元 1 距每一類訓練樣區波譜之平均向量如圖 2-4 所示，欲判釋像元 1 距離代號 C 最近，故將其歸類為 C 分類。

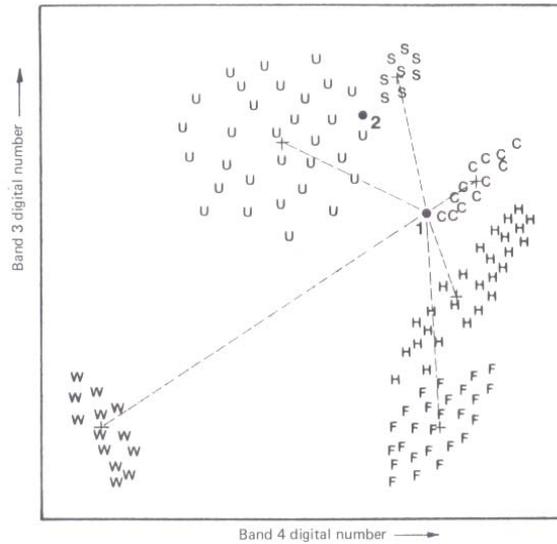


圖 2-13 最小距離法之決策示意圖

## 2. 平行六面體法

平行六面體法係依據訓練樣區在各波段的最大及最小灰度值（即門檻值）以繪出每一訓練樣區的二度空間矩陣，若未知像元落在某訓練樣區的範圍內，則歸入該類組，遇到矩形重覆區電腦就無法正確分辨而將之歸為未知類。像元 1 與像元 2 分別落在訓練樣區的範圍內如圖 2-14 所示，故分別將像元 1 與像元 2 分別歸類為代號 H 分類和代號 U 分類。由於邊界取決於波段的最大值與最小值，容易發生重疊，便不利判釋，於是在改進下乃有階梯狀如圖 2-15。

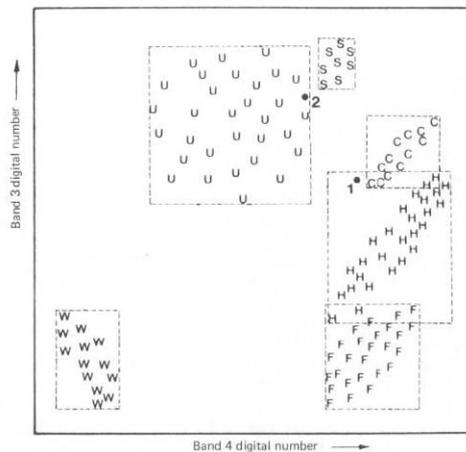


圖 2-14 平行六面體法之決策示意圖

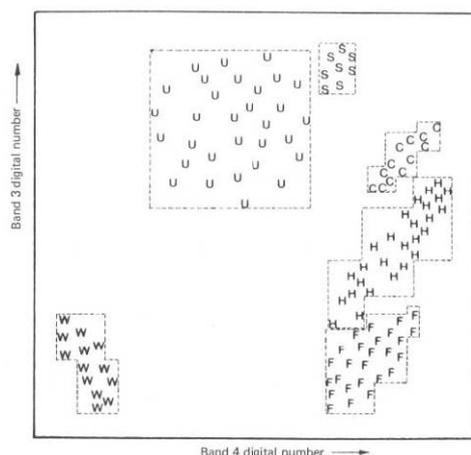


圖 2-15 平行六面體法(階梯狀)之決策示意圖

### 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的統計機率。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，如圖 2-16 所示。以最大機率當作判斷類別的標準，如圖 2-17。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。

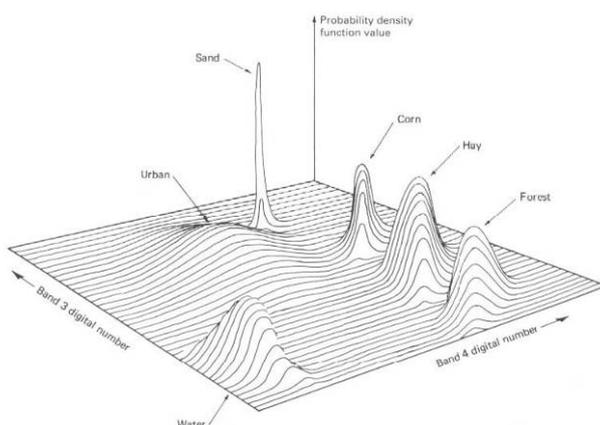


圖 2-16 訓練樣區點的統計機率圖

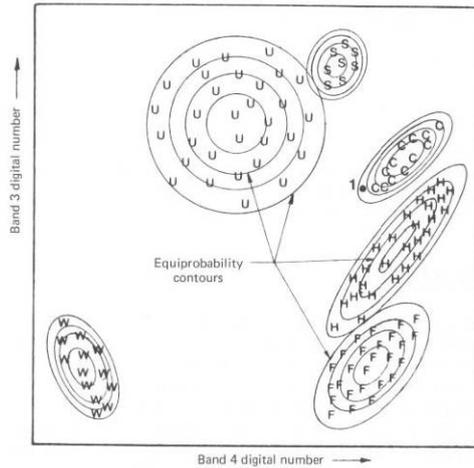


圖 2-17 最大概似法之決策示意圖

## 二、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波譜特徵。
2. 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。
3. 分析者辨識各群集，並組合成土地利用分類。
4. 辨識過程需對研究區有一定認識或實地調查。
5. 屬於統計學上之群集分析（clustering）。

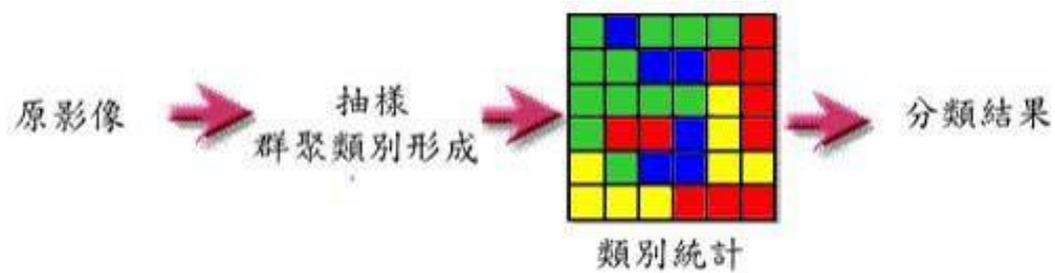


圖 2-18 非監督式分類法

非監督式分類法之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），說明如下：

#### 1. K-均數聚集法之分析步驟

- 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）重新計算，直到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. 連續聚集法之分析步驟

- 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. 反覆自我組織資料分析法 (ISODATA)

此分析法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。ISODATA 基本步驟如下：

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步驟（b）重新計算，直到達到收斂（多數像元類別無變動）則停止。

## 第三章 佛羅里達大學農工系及農業灌溉課程

### 3-1 佛羅里達大學農工系及遙測中心介紹

本計劃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)。

農業及生物工程學系位於佛羅里達大學校園之 Frazier Rogers Hall，教職員約三十餘人，本系成立於 1923 年，旨在培養有關農業、生物、土壤與水資源相關之工程應用、科學、及管理原理之專業人才，並專注於這領域之研究與知識傳承及相關應用之推廣。



遙測中心成立於 1998 年，在施孫富教授奔走下，由國際灌溉排水協會中華民國國家委員會 (Chinese Taipei Committee, International Commission on Irrigation and Drainage, Taipei, R.O.C.) 和佛羅里達大學共同成立遙測應用基金於美國佛羅里達大學，並定名為中華民國基金 (The Taiwan R.O.C. Fund)，其宗旨在透過遙測及相關技術之研究與應用，促進佛州農產與自然資源保存。遙測中心研究之範疇包含了最先進之遙測技術 (remote sensing)、地理資訊系統 (GIS)、全球定位系統科技 (GPS) 於水資源、農業、自然資源方面之運用。其研究有賴各學科知識高度整合，例如可見光、紅外線遙測，光譜分析用於地表覆

蓋或植被、或水文變化之分析，或產生作物產量圖、或環境監控，微波遙測可用於了解土水動態，如蒸發散之觀測，以提研究模式高預測能力。遙測中心也同時運用了地表觀測、航空觀測、衛星觀測之方式，並透過田間實驗進行相關研究之驗證。

農業及生物工程學系、遙測中心之相關照片如下：



圖 3-1 與遙測中心主任 Dr. Jasmeet Judge 相見歡



圖 3-2 遙測中心—施孫富教授及歷屆研習學員照片



圖 3-3 研習教室



圖 3-4 電腦教室



圖 3-5 農業及生物工程學系

### 3-2 佛羅里達州灌溉系統

(註：參考資料：A.G. Smajstrla and D.Z. Haman. 2005. Irrigated Acreage in Florida : A Summary through 1998, IFAS Cir.1220. Univ of Fla)

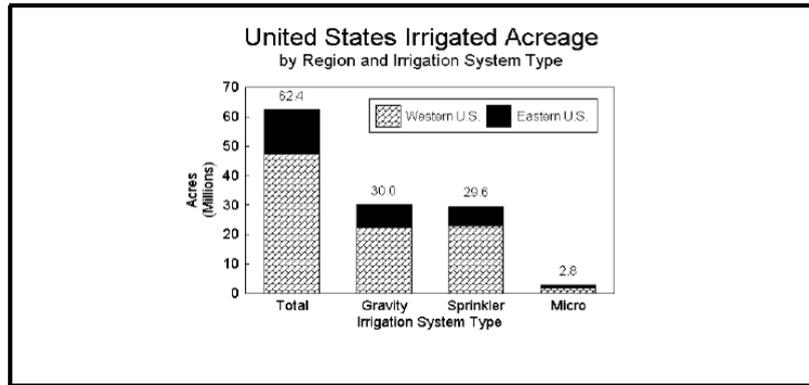
佛羅里達州氣候潮濕，年平均雨量介於 45 到 60 吋之間，但因土壤多砂土，又降雨分布不均，故土壤水分不足，大部份農地均有賴灌溉供水栽作。佛羅里達州也種植相當多高價值作物，帶來許多經濟效益。此外，灌溉系統業廣泛用於環境修正方面之應用，例如防止霜害凍害。

依據供水方式可將農業灌溉系統分成主要四類：噴灌 (sprinkler)、微灌 (micro)、地表漫灌 (surface)、地下水灌溉 (seepage(subirrigation)) 等類。若依 Irrigation Journal 調查文獻的分類，則可將灌溉系統分成 sprinkler、low-flow(microirrigation)、surface/gravity(包含 seepage 與 subirrigation)，因該期刊未列出 surface 與 seepage 灌溉方式，故將該二種方式歸類為 gravity-flow 系統。

依上述分類，灌溉方式可分成三類：gravity irrigation、sprinkler system、micro-irrigation 三類，將在 3-2-4 節分別說明。

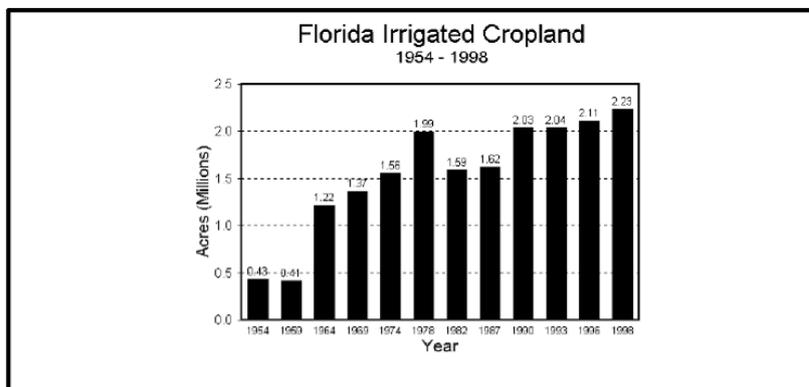
#### 3-2-1 美國的灌溉地

全美灌溉地共計約 62.4 百萬畝，其中乾燥及半乾燥的西部地區(佔 75%)較相對潮濕的東部地區(佔 24.2%)有更多灌溉地。全美約有 30.0 百萬畝灌溉地使用 gravity irrigation system(約佔全美 48.1%)，約 29.6 百萬畝灌溉地採 sprinkler irrigation system(約佔全美 47.4%)，約 2.8 百萬畝灌溉地使用 micro irrigation system(約佔全美 4.5%)。



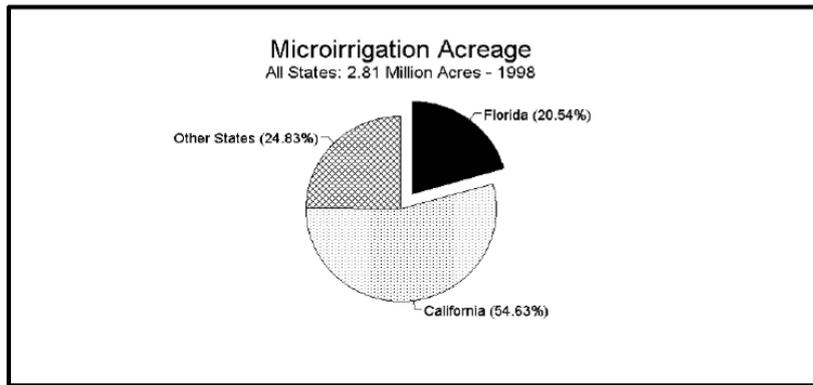
### 3-2-2 佛羅里達州的灌溉地概況

依據美國政府就 1954-1987 年所做的普查報告，及 Irrigation Journal 就 1990-1998 年作的文獻調查報告，佛羅里達州於 1954 年灌溉地約 0.43 百萬畝，至 1998 年則增加至約 2.23 百萬畝，其中除 1978-1982 年的調查統計結果歸因於經歷嚴峻寒害與石油成本提高造成灌地減少外，其餘年度可看出佛羅里達州的灌溉地逐年增加。



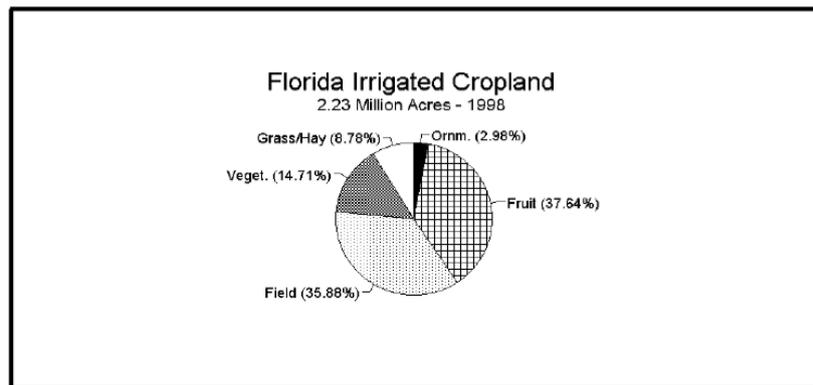
佛羅里達州的灌溉地總數(2.23 百萬畝)約在全美排第 9 位，其中屬於 gravity-flow (surface and seepage) irrigation system 灌溉地約 0.98 百萬畝排行全國第 10 位，sprinkler system 灌溉地約 0.68 百萬畝排行全美第 11 位，microirrigation system 灌溉地約 0.578 百萬畝排行全美第 2 位。

佛羅里達州的 microirrigation system 佔全美約 20%(佔美國東部地區約 61%)，因此亦為該州灌溉方式的一大特色。



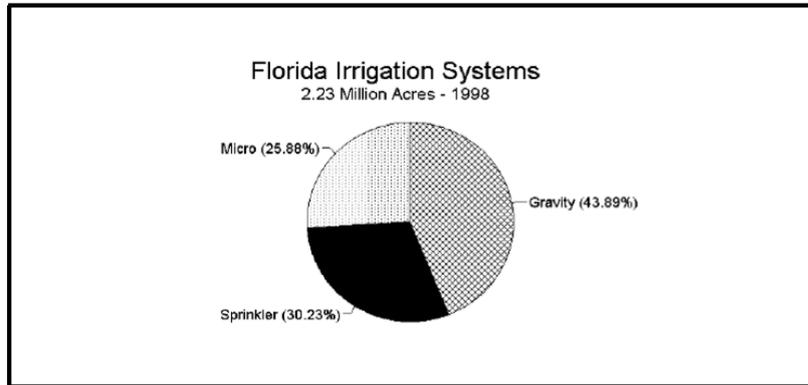
### 3-2-3 佛羅里達州的作物類型

佛羅里達州的作物類型主要分為果樹(37.6%)，田間作物(35.9%)，蔬菜類(14.7%)、牧草(8.8%)、與觀賞植物(3%)。其中果樹類又以柑橘站最大宗，柑橘約佔果樹 99.7%。



### 3-2-4 佛羅里達州的灌溉系統型態

佛羅里達州的灌溉地約 2.23 百萬畝，其中佔最大部份之灌溉方式為 gravity-flow(seepage & surface) irrigation system，約佔 43.89%，其次，sprinkler system 灌溉方式約佔 30.23%，另外 microirrigation system 佔 25.88%。

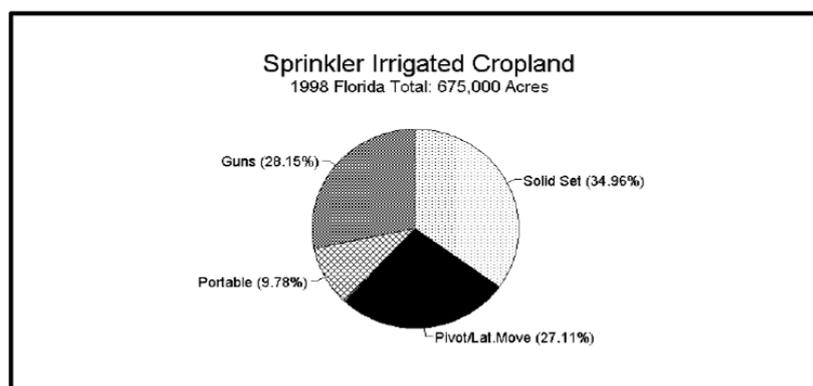


### 一、gravity-flow(seepage & surface) irrigation system :

佛州 gravity-flow 灌溉地主要採用 seepage 方式，採此法灌溉耕種之作物，主要為甘蔗與蔬菜。而 surface 除用於米與柑橘灌溉外，很少用於其他作物。

### 二、sprinkler system :

此類又可細分成 solid set(主用於柑橘、果類)、center pivot & lateral move (主要用於田間作物、牧草等)、portable(用於多樣性的農作)、guns(亦用於多樣作物)。在佛羅里達州，噴灌系統應用之比例分別為：solid set 佔約 34.96%、center pivot & lateral move 佔約 27.11%、portable 佔約 9.78%、guns 佔約 28.15%。



### 三、Micro-irrigation system :

大多數 Micro-irrigation 灌溉地為柑橘園，用於柑橘微噴灌溉與防止凍害。部分果樹也採用微噴頭灌溉，其他如蔬菜等也有採用滴灌方式者。

### 3-2-5 農場現地見習

本班課程之一安排赴佛羅里達大學試驗農場（Pine Acres）進行田野教學，由農業及生物工程學系研究人員解說並帶領參觀各種灌溉系統與實驗器具。

美國農場廣大，大面積種植方式下，常見 Big Gun、Liner Pivot 與 Central Pivot 為主要的灌溉方式，這些灌溉機具亦可以經由程式控制自動噴灌，以減少人力的浪費。台灣農田生產環境不同於美國之粗放方式，因此本班學員均為第一次看到此類大型灌溉設施。相關參訪照片如下：



圖 3-6 噴灌器具—Big Gun



圖 3-7 噴灌器具—Big Gun



圖 3-8 噴灌器具—Liner Pivot



圖 3-9 Liner Pivot 灑水噴嘴



圖 3-10 Pine Acres 農場灌溉農機具



圖 3-11 Pine Acres 農場灌溉機具



圖 3-12 研習學員與 Pine Acres 農場解說人員合影

### 3-3 精準農業

精準農業又可稱為特定地點農耕(site-specific farming)，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、資訊管理工具如 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。

衛星或航拍影像可對土壤肥沃(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，故精準農業又稱為變異率之應用(variable-rate application, VRA)。

精準農業之概念可思考於下面幾個層面提升田間之作業或管理：

- 一、農業面(Agronomical perspective)：考慮作物生長實際需求，例如更加的施肥管理。
- 二、技術面(Technical perspective)：對田間管理做出較佳的時間安排，如各階段農事活動之安排。
- 三、環境面(Environmental perspective)：減少農業對環境的影響，如更正確估計農作氮肥需求，可減少過多之氮隨著排水流入其他地區，影響生態環境。
- 四、經濟面(Economical perspective)：可減少投入，增加產量，提高效率。

精準農業係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，一般來說，精準農業應具備下列技術之應用要素：

- 一、農作土壤資料庫：掌握土壤特性，如何種土壤適合何種作物。
- 二、地理資訊系統：掌控農地特徵之空間分佈。
- 三、全球定位系統：取得特定點座標。
- 四、遙測技術：運用遙測(如空照圖輔以影像辨識)，減少人力之負擔。
- 五、自動化農機作業系統：自動化農事處理。
- 六、農作產量評估：對產量進行監測與產量區繪製，並可藉此修正評估模式。

精準農業應用自動化之機具進行精準之農事控制，機具通常具有天線、LAPTOP 輕便電腦、接收器、線圈、噴頭(或相關執行動作之設備)等，利用 GIS 加上 GPS 定位資訊，即可達成依據座標所在位置之田間網格資訊，執行特定動作。以下列舉相關應用之案例：

- 一、設計自動啟閉噴灑裝置，例如噴灑機具接近果樹時，始自動噴灑灌溉或施肥。
- 二、利用定位，達成進入特定地區，做特定事情。例如：接近水源區則禁止噴灑農藥。
- 三、柑橘產量估算系統(Citrus yield mapping system)：利用GPS 結合攝影設備，對柑橘園相片進行分析，包含顏色辨別樹葉或果實，分析出數量，獲得分析模式後，藉由自動化方式對整個柑橘園進行分析，即可估算柑橘產量。
- 四、GPS加上攝影之相關應用也可用於從樹葉顏色分析推估是否具有植物傳染病。

精準農業引入台灣時間尚短，農委會於 1997 年研擬「我國精準農業發展方向與策略」規劃國內精準農業研究試驗研究之準則。精準農業目前在台灣主要仍屬於研究階段，在農委會規劃中，重點主要集中在台灣水稻精準農耕體系之相關研究。

### 3-4 GPS 定位及地真資料收集

#### 3-4-1 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至少 24 顆衛星，佈置在離地球表面約 20,200 公里上空之近似圓形軌道上，其採用近似圓形軌道之目的在於增加地面上可見範圍及全球均勻覆蓋。GPS 係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。

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。

#### 3-4-2 現場操作

本次實習是由 Mr. Daniel Preston 帶領各位學員實地操作 GPS，藉由七組坐標資料去現場定位，尋找出正確的位置。各學員由 Frazier Rogers Hall 出發，依照 GPS 儀器的指示陸續的在校園中尋找目標，最終再回到 Frazier Rogers Hall，在尋找目標的同時也順便再一次熟悉校園。相關操作照片如下：

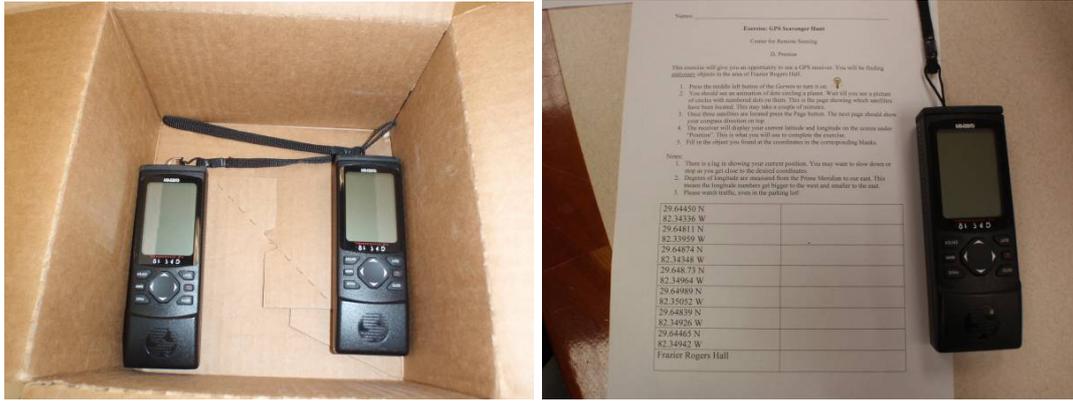


圖 3-13 GPS 儀器及尋找目標之坐標資料



圖 3-14 GPS 儀器現場操作與設定

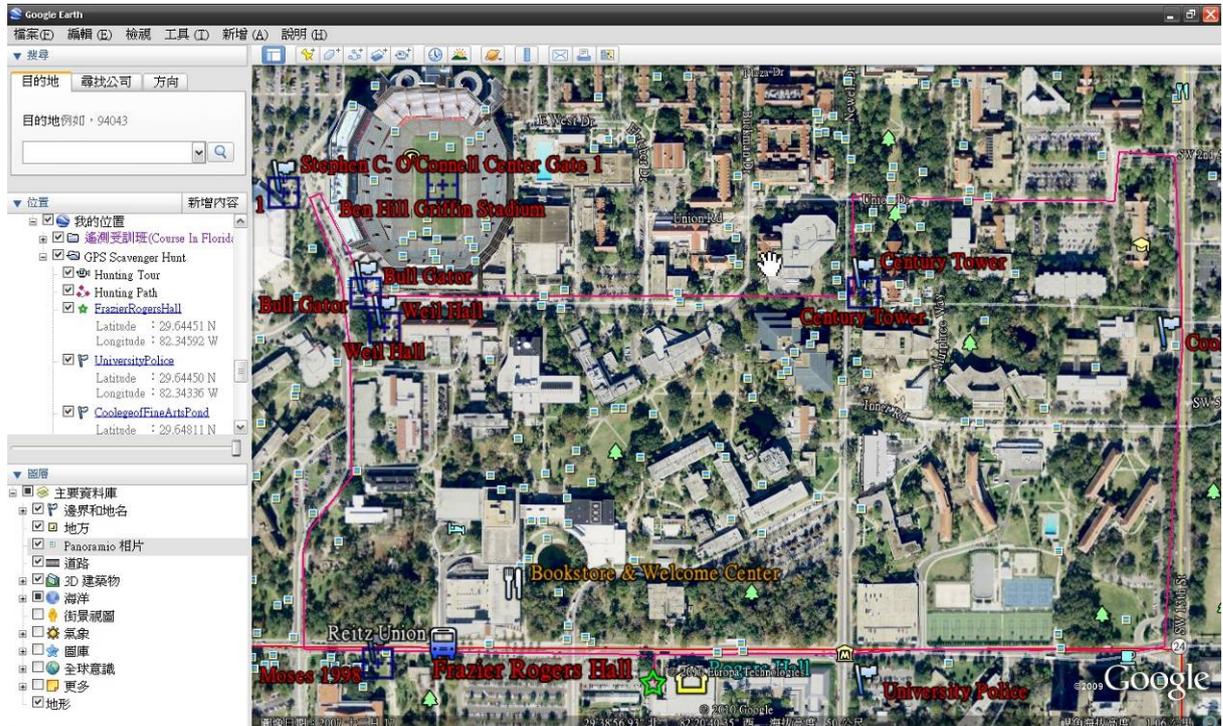


圖 3-15 實習課尋找目標之位置及路徑

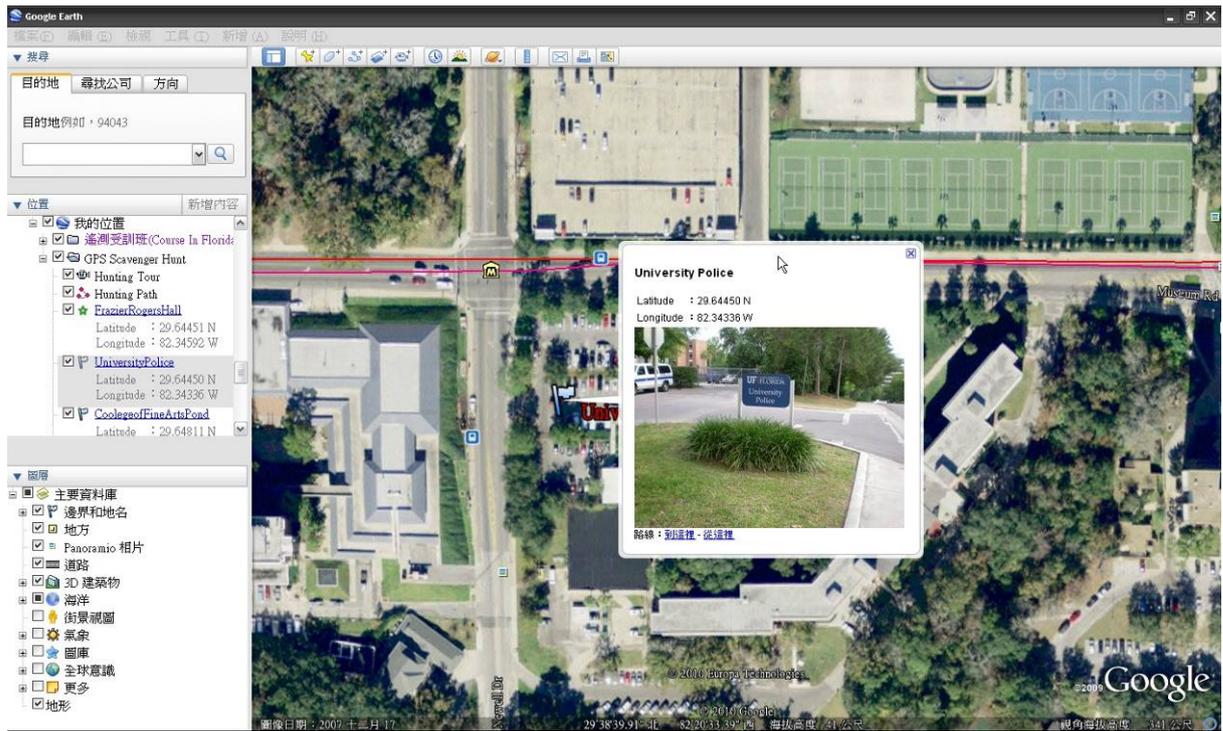


圖 3-16 尋找之目標位置一(University Police)

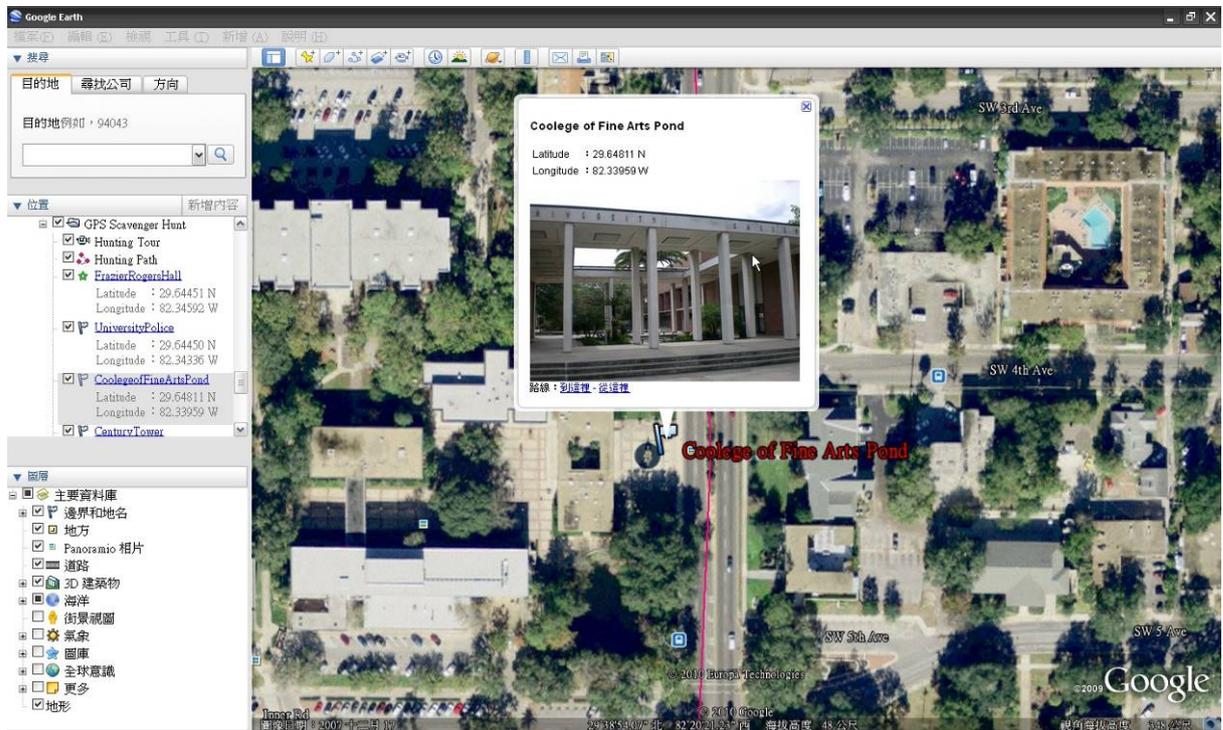


圖 3-17 尋找之目標位置二(College of Fine Arts Pond)

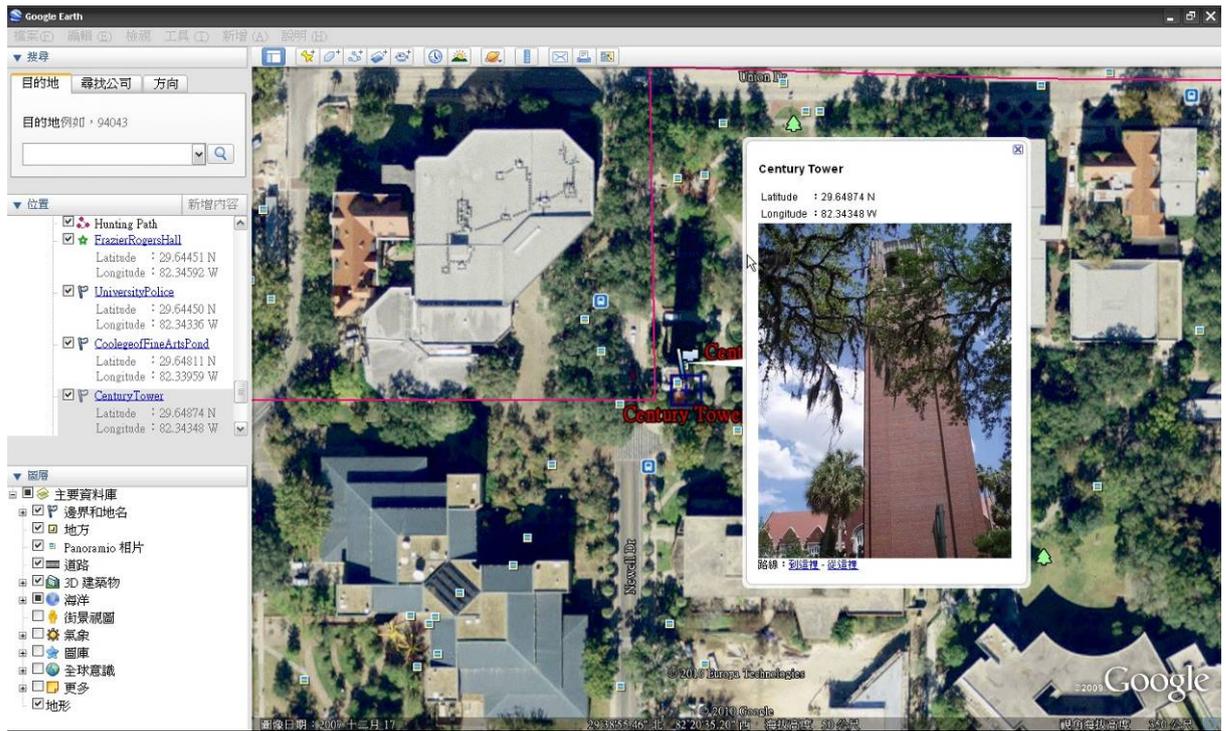


圖 3-18 尋找之目標位置三(Century Tower)

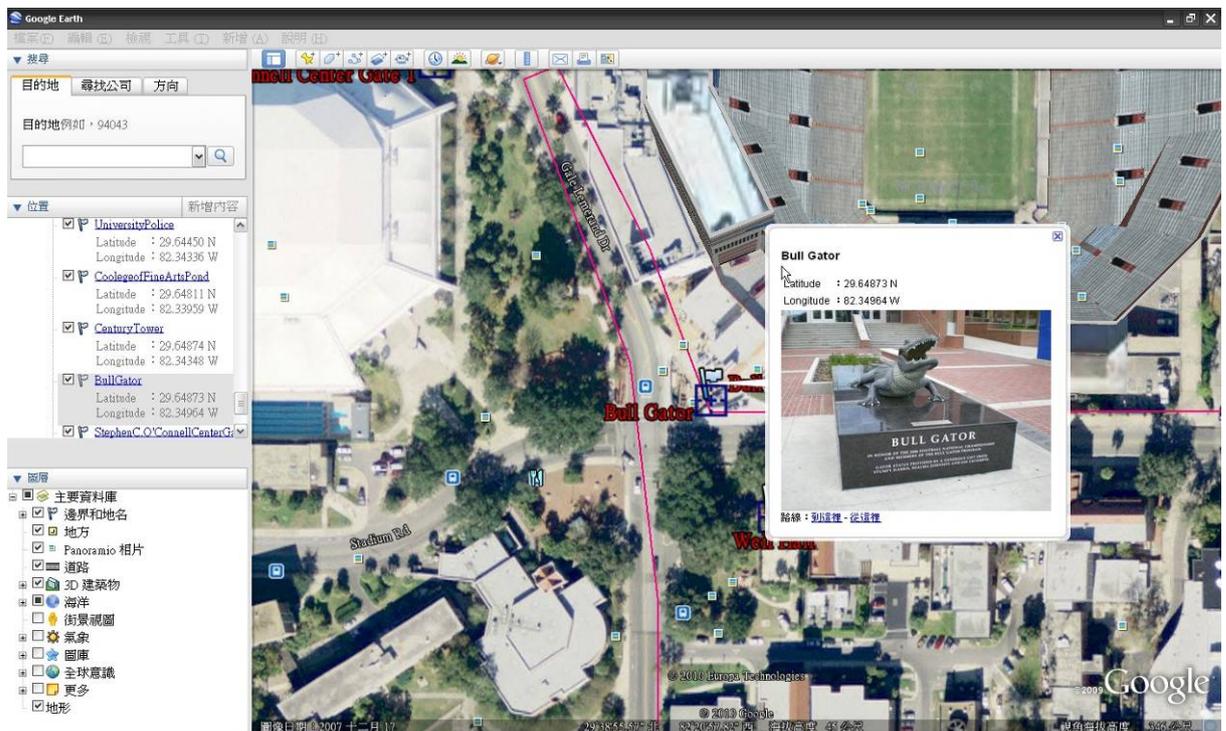


圖 3-19 尋找之目標位置四(Bull Gator)

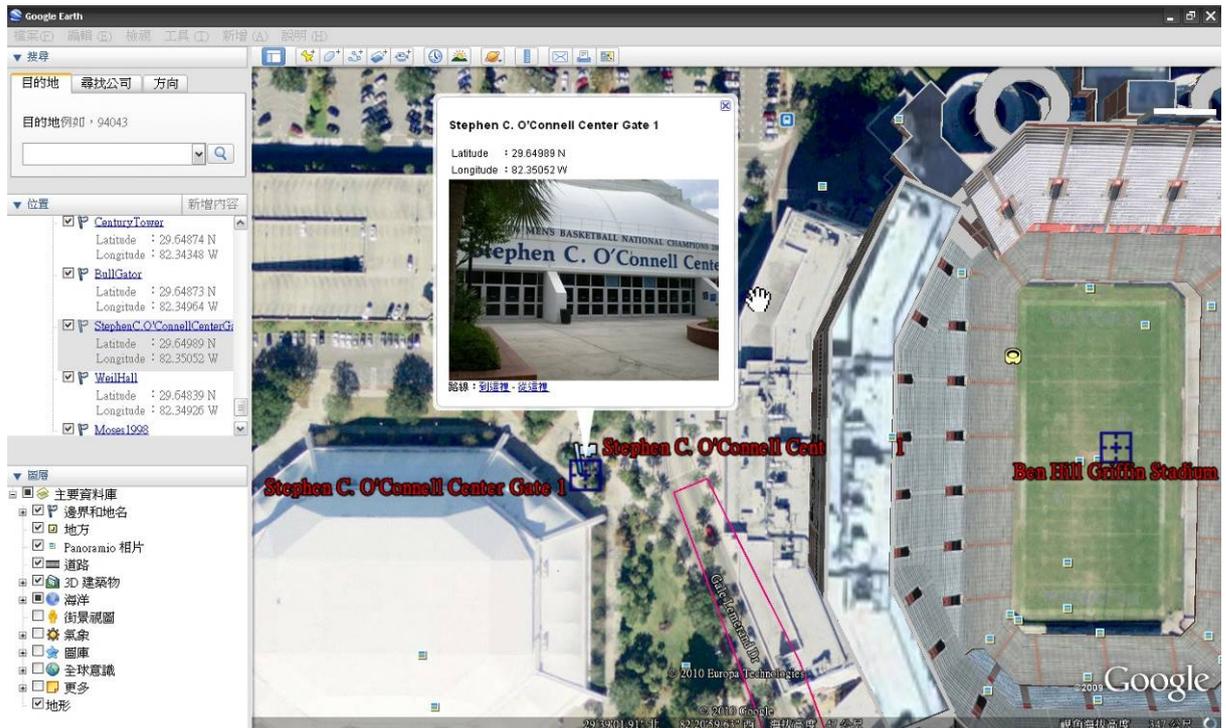


圖 3-20 尋找之目標位置五(Stephen C. O'Connell Center Gator1)

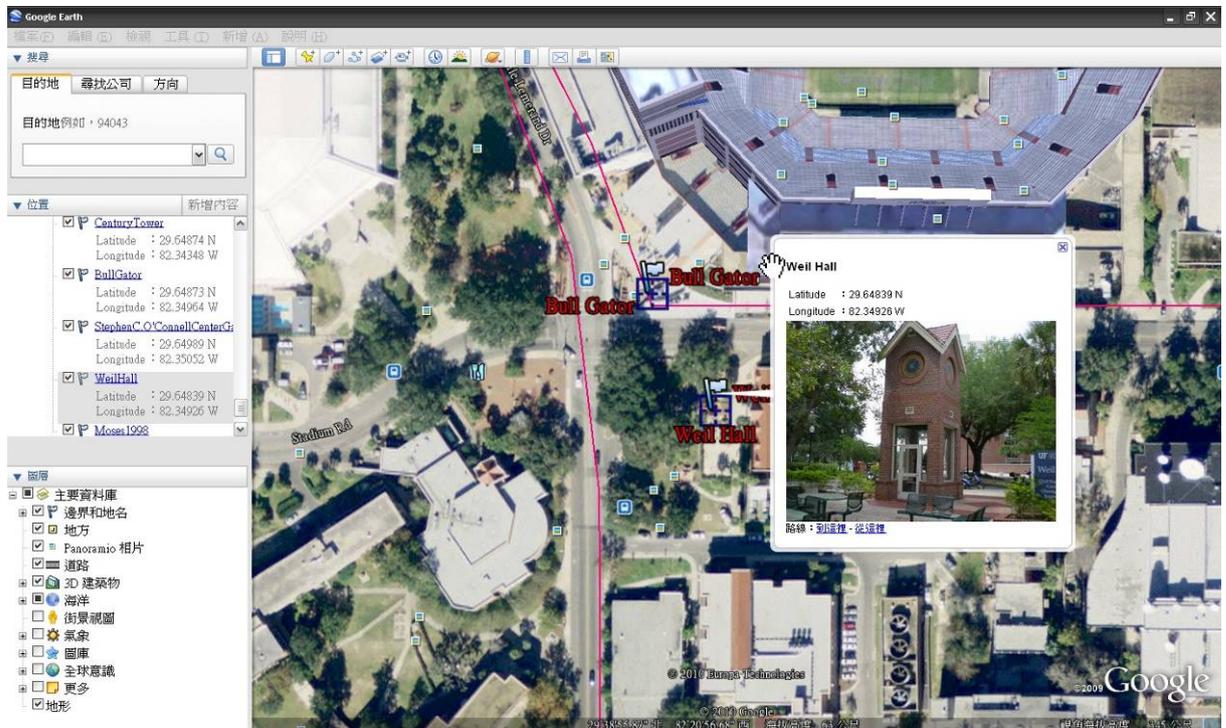


圖 3-21 尋找之目標位置六(Weil Hall)

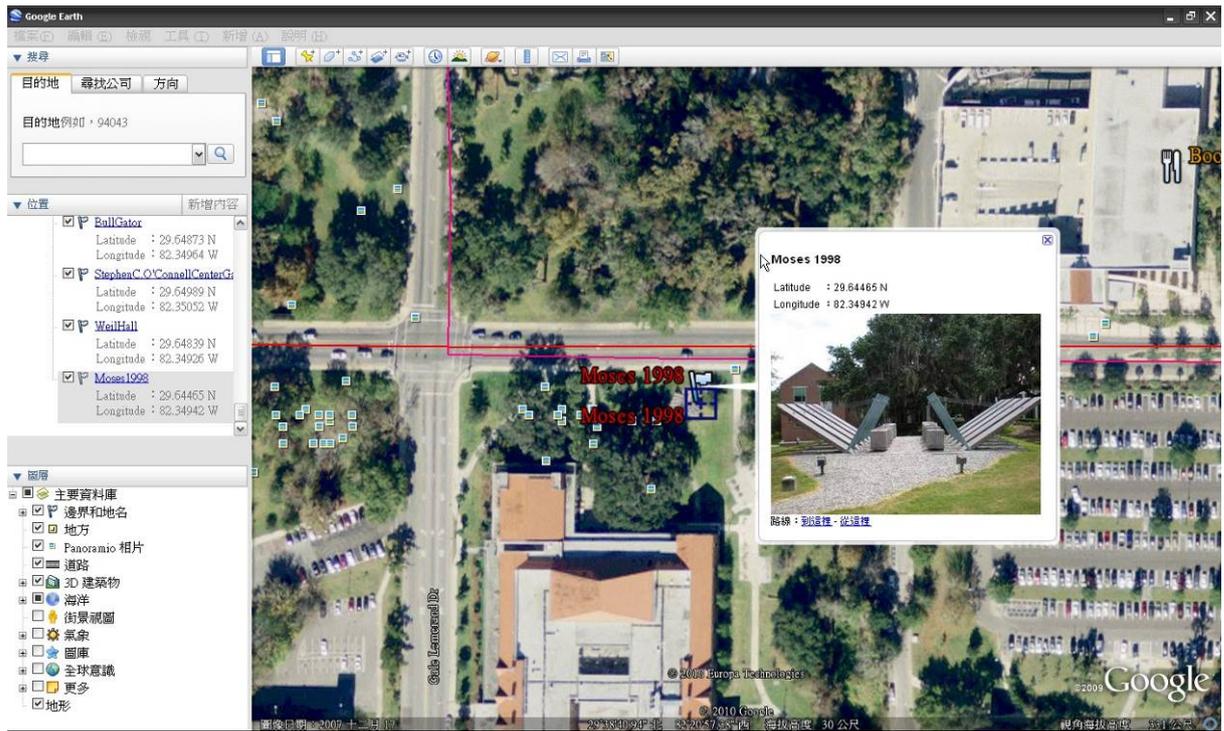


圖 3-22 尋找之目標位置七(Moses 1998)

### 3-5 微波遙測

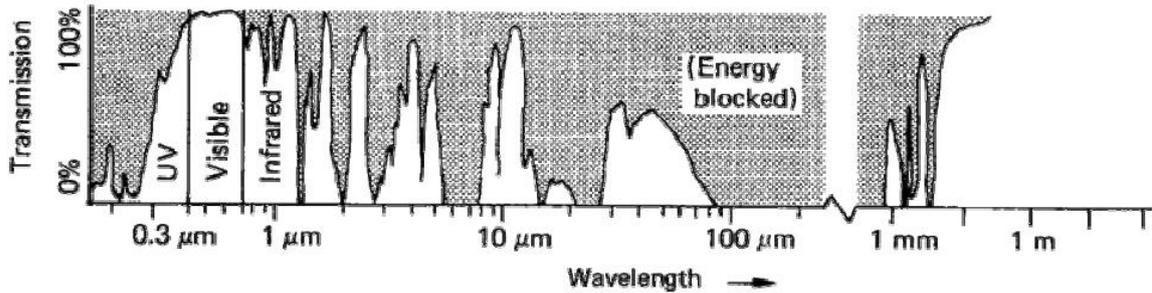
#### 3-5-1 微波簡介

微波的定義為波長 1mm 至 1m 之間的波段，頻率為 300GHz 至 300MHz 之間。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，其觀測對象不同。而微波不受太陽光源影響，日夜均可以使用，且不受雲層、小雨及霧氣的影響，在赤道或熱帶地區微波也不會像熱紅外光易受干擾。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，可以同時獲得完整的資訊。

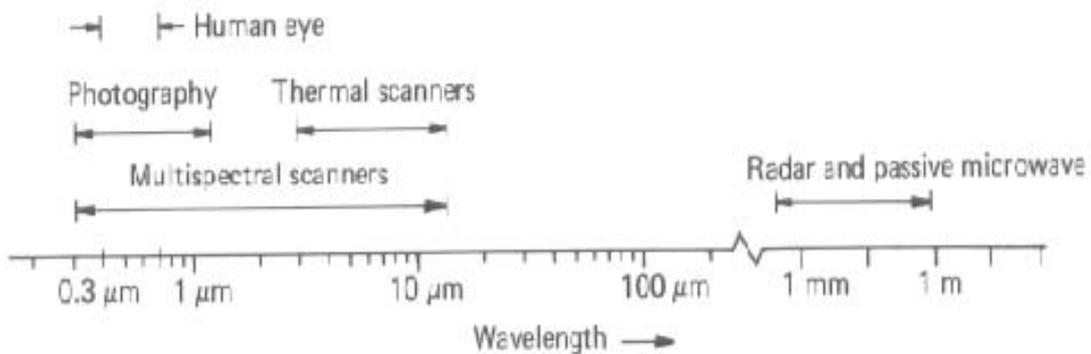
較長的波長可以穿透到較深的土壤層，一般 20cm 波長可以用於 5 至 10cm 深的土壤層。而沙漠地區因為含水量較少，容易穿透，可以探測到 2m 的深度，或可以改用較長的波長來進行探測。

由於微波遙測對於水體的反應相當強烈，而且較長波長的微波可以透過土壤進入地表下，因此，常用微波來進行土壤含水量的判釋。

遙測是利用可見光、紅外光及微波來做為影像資料的來源。透過影像資料處理後可以做為土地分類使用、防災救災、地理資料處理及環境保育工作。



(a) 能量被吸收的情形



(b) 人類利用(a)圖之結果，所設計的感測器在電磁波譜之分布情形

### 圖 3-23 光譜特性

可見光遙測對於物體的表面做資料的收集，因為可見光對表面的資料較為敏感；而微波波段因為波長較長對於物體具有穿透力，所以可以得到較有深度的資料。例如：對於整顆樹可以從樹冠穿透樹葉至根部，雖然微波可能被吸收或反射，無法達到根部，但也可以得到樹冠資料，又如沙漠地區為較乾的地區，含水量幾乎等於零，微波可以穿透地表至 2~3 公尺的深度，可以利用此特性查看此區域過去是否有水渠或水道經過。

### 3-5-2 微波遙測

微波遙測可分為主動系統與被動系統:

- 一、被動微波遙測:系統自身不發射微波波束，只是接收目標物發射或散射的微波輻射。
- 二、主動微波遙測:信號來源系統自身發射微波輻射，並接收從目標反射或散射回來的電磁波。

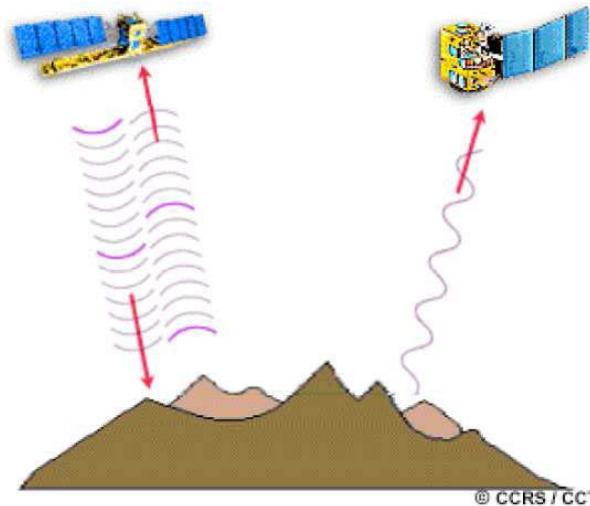


圖 3-24 被動微波遙測及主動微波遙測示意圖

而通常發射器與接收器合而為一時，訊號為往回反射的所以此系統稱為背向式反射系統（Back Scatter），另外我們會先在實驗室裡去對某一物體發射微波並在其周圍設置很多接收器，這樣我們就可以知道物質在那一個角度反射訊號較強以此來推論其物體的特性，此一方法稱為 Monostatic，若發射器與接收器為同一角度時稱為 Bistatic。無論是在地面、飛機或是衛星載具雷達系統，大部份都是發射器與接收器都是同一載具上的。

可見光與近紅外光在主動式系統有下列幾種常見例子，如使用強制閃光的相機、雷射測距儀、手機（MW-Cell phone）及 RADAR（RADio Detection And Ranging）；而在被動式系

統中有不使用強制閃光的相機、LIDAR 及微波輻射儀（MW-radiometers）。

微波遙感波段：300MHz 到 300GHz（波長從 1mm 到 1m）被無線電界劃分為：甚高頻(VHF)、特高頻（UHF）、超高頻（SHF）和極高頻（EHF）。應用中的常用波段：X, C, L, 波長增加，穿透能力增加，在晴朗天氣狀況下，大氣對於波長小於 30mm 的微波略有衰減。

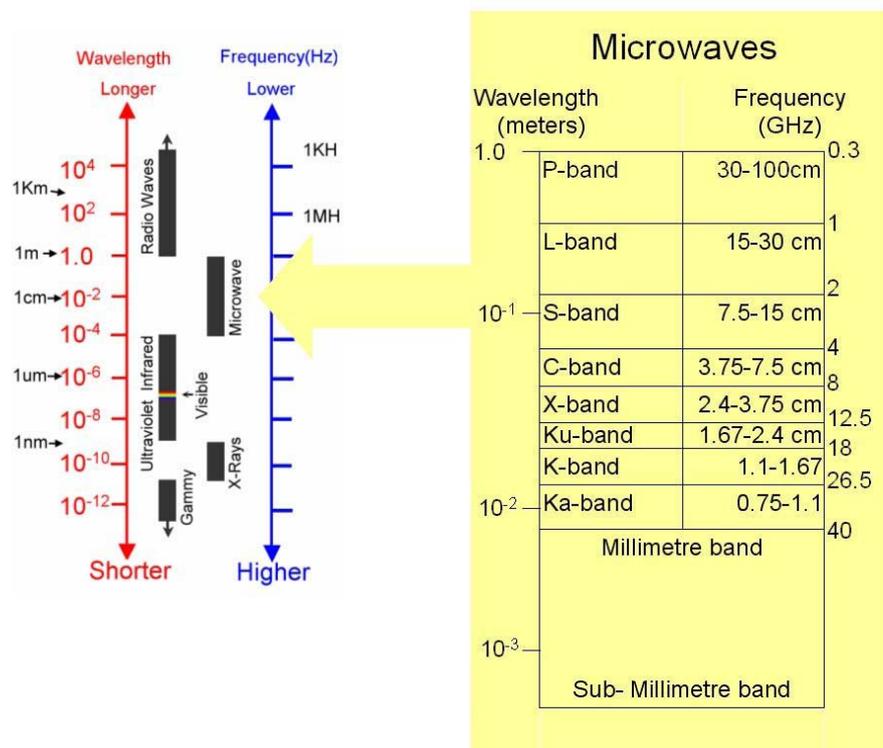
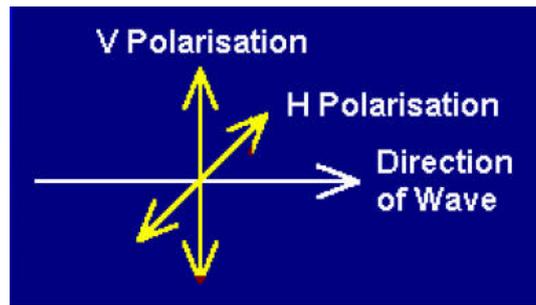


圖 3-25 電磁波波長與頻率關係圖

而極化現象可分為垂直（H-pol）或水平（V-pol）兩種，亦可以分為四種：HH、VV（相同極化），HV、VH（相異極化）。主動式系統得到何種極化現象取決於接受者，而被動式系統則是物質放射和散射取決於極化現象，例如 H-pol 對於土壤及水是非常敏感的。

水準極化：電場振動方向平行於水平面（“H”極化）

垂直極化：電場振動方向垂直於水平面（“V”極化）



Transmitted	Received
H	H
H	V
V	H
V	V

圖 3-26 極化現象的組合

微波主要為觀測物體的幾何形狀與地面的介電常數。介電常數（Dielectric）與物質的電子特性相關，介電常數越高，反射率越高。介電常數一樣的不同物質不會產生反射。微波從介電常數低的物質射入介電常數高的物質會有反射現象產生。物質介電常數越高，其反射率越高，則發射率越低。物質幾何特性（Geometric properties）以主動式系統為例，波長射向平滑的表面可以產生較佳的反射，相較於粗糙的表面則會有不同方向的散射產生。

### 3-5-3 雷達系統

雷達大致可以分成主動式與被動式雷達系統主動式雷達系統在傳送雷達端發射電磁波，且在碰到目標物後反射或散射，在被可接收各個方向的接收雷達端接收，於是可以利用兩個不同銅綠境的雷達訊號永以估計目標物的參數如距離位置移動方向速度等。傳送雷達與接收雷達可以是不同的雷達，也可以是相同的雷達。

雷達種類如下：

- 一、都卜勒雷達：應用了都卜勒效應所製造的雷達系統。使用都卜勒效應雷達，能夠即時反應出目標的位置，速度，路

徑。都卜勒效應為「當觀察者(受信源)與聲源(發信源)之間，具有相對運動時，其聲頻會隨著兩者之間的距離而變化」。這種變動是可以量化並且以程式計算出來的。所以都卜勒效應能夠廣泛用於偵測物體運動的路徑與速度。

二、飛機定位器：航空交通控制。

三、側視雷達（SLR）：起源1960年美國國防部在軍事用途上，在1980年代慢慢應用於自然資源及地球環境保育上。

四、主動式雷達在影像處理及分析不同於被動式雷達，在空間解析上主動式雷達較被動式雷達佳，同樣為L波段時，主動式雷達空間解析度可達10~100公尺，而被動式雷達只能達50公里。

側距(Range)方向是垂直雷達載具航線算起，而且是影像特有的兩個尺寸之一，另一個則是平行於航線的方位方向；方位解析力和雷達波束頻寬成正比。如同光學系統需要大型透鏡或反射面鏡以產生好的解析度一樣，更低頻率成像的雷達則需要更大的天線，以產生精細的影像。但是波束寬度和天線的尺寸成反比，因此能夠經由移動這條實際天線的同時，累積一系列沿著軌跡的回波，因而達到數公里長的效果。

在另一方面來說，所使用的雷達波長賦予穿透雲霧和塵埃的能力，而超越使用波長較短的可見光或紅外線器材。表面紋理的變化和目標的方位正好是影響反射波能量的兩個因素，而且和成像後的像元亮度有關。其解像力有二種求得沿航線方向解析力的基本技術，首先是利用雷達波束掃過平行於載具航線的條狀地表的，最大解析力受限約為實際天線長度的二分之一。雷達波是經過偏極化的方式傳送，不是水平就是垂直（也就是平行或垂直雷達訊號方向），而且由天線接收的反射能源也不需要一定和原來的偏極(Polarization)相同。事實上真正天線在傳送雷達波時也在移動，此意謂回波離開時受到都卜勒

(Doppler)頻率負偏移影響，如同波束接近目標時受正偏移一樣。

合成孔徑雷達 SAR (Synthetic Aperture Radar)最早起源於 1950 年代，當時的科學家基於軍事用途，將雷達架設於飛機上探測目標物，藉以提昇軌向 (along-track) 的解析度，此雷達探測系統即稱之為側視口徑雷達 (Side-Looking Aperture Radar, 簡稱 SLAR)。SLAR 在空載 (airborne) 的應用上，解析度堪稱可接受。但在星載 (spaceborne) 的狀況，為了達到標準的解析度，依理論而言需要數百公尺長的口徑長度，對硬體結構而言是絕對不可能達到的。所幸 Wiley (1965) 隨即提出 “Doppler beam sharpening” 理論，利用雷達回波具有不同都卜勒頻率位移 (Doppler frequency shifts) 的原理，達到提高軌向解析度的目的。使雷達探測於衛星上的應用從此不再受限於航高和天線長度的限制，而雷達遙測也從此邁入 SAR 的新紀元。

目前正在運作的 SAR 衛星包括由美國太空總署於 1978 年發射的 Seasat，蘇聯於 1991 年發射的 ALMAZ，歐洲太空總署於 1991 年所發射的 ERS-1，日本於 1992 年發射的 J-ERS-1，以及 1995 年由歐洲太空總署發射的 ERS-2 和由加拿大發射之 Radarsat。

SAR 的原理主要是由雷達發射出微波波段的電磁波到所探測的目標物，再計算雷達波束 (Radar Beam) 範圍內的回波能量，經資料處理後以獲取初步影像。

合成孔徑雷達的操作原理相當複雜，首先我們假設一搭載 SAR 的飛機，SAR 的偵測方向與飛機軌道垂直，如圖三所示。基本上，SAR 可以產生二維(2-D)的空間影像，其中一維稱作 range，而另一維稱作 azimuth，SAR 影像所顯示的則是其視角方向(line of sight)的相對距離與位置，視角方向指的是從衛星“看”目標物的方向。與大部分的雷達相同，SAR range 方

向的解析度是由精細的測量電磁波脈衝從發射天線與接收天線接收的時間而決定的。

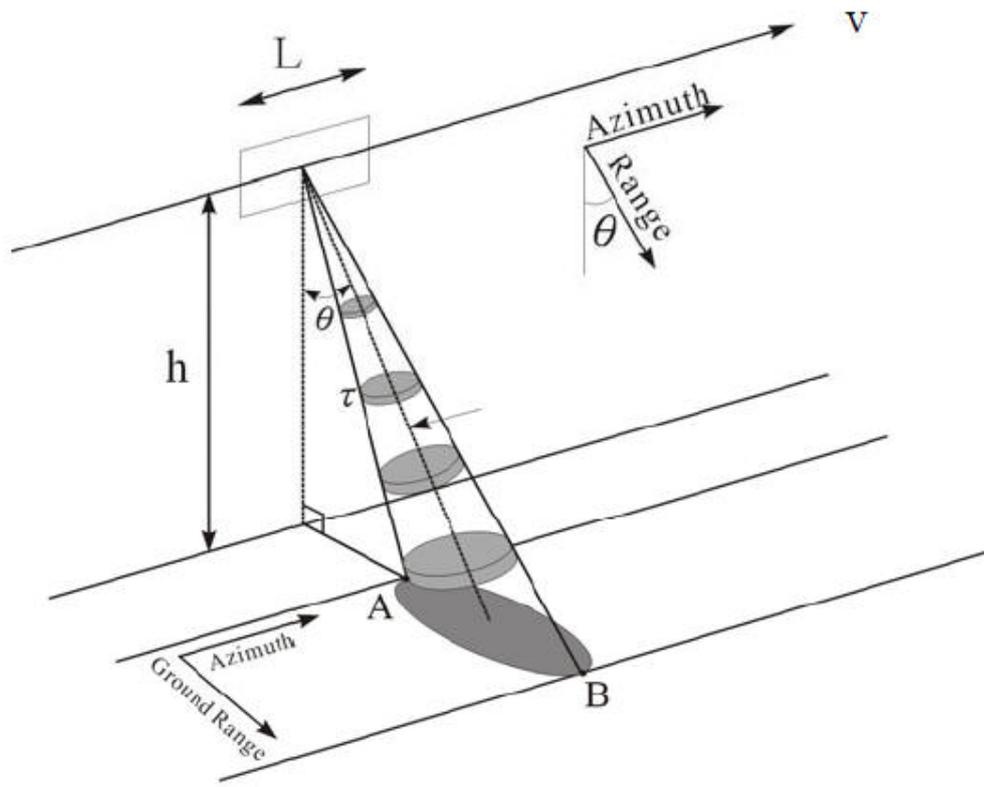


圖 3-27 合成孔徑雷達影像示意圖

另一維度稱為 azimuth，與 range 垂直。與其他雷達不同的是，azimuth 方位的解析度可以於 range 的不同，azimuth 的解析度基本上式靠著天線的寬度而決定，越大的天線可以使對目標物的對焦更清晰，進而使 azimuth 的解析度越高。

### 3-6 光達 (LiDAR)

#### 3-6-1 簡介

光達 (Light Detection And Ranging, 簡稱 LiDAR) 或稱雷射掃描儀 (Laser Scanner)，為使用雷射光束進行掃描式測距之系統，光達技術 (LiDAR, Light Detection And Ranging) 的廣義定義是指以雷射光對目標物進行量測的技術，而目前所稱的光達是指利用雷射光，對目標物進行高密度的掃瞄以獲取目標物三維形貌的技術，目前大致可分為三種：空載光達

(Airborne LiDAR)、地面光達 (Ground LiDAR) 及太空光達 (Space LiDAR)。其中空載光達以高精度、高解析度、高度自動化且高效率的優勢，已成為世界各國進行大面積數值地表資料測製的主流與趨勢，其多重反射回波之特性，可同時獲取地面及其覆蓋物 (植被、電力線等) 之精確三維坐標。

空載光達系統係將雷射系統配備於飛機或直升機上，結合全球定位系統 (GPS) 與慣性導航系統 (INS)，進行地表掃描測繪，經解算後，同時獲得地面點位之三維坐標，使地形高程測量作業快速而準確，主要應用於大範圍地區資料的對映，如數值高層模型 (Digital Elevation Model, DEM) 及城市建模等，其資料品質達一平方公尺 2~3 點 (解析度約 50~30cm)。至於空載光達之特性包括獲取多重反射值/波段的能力、精確度之標準差 15~20 公分、不連續重擊點 (Hard Hit) 在垂直方向上的均方根值 (RMSE, Root Mean Square Error) 為 20 公分、水平精確度為 2 倍的光跡 (Footprint) 大小等。另海洋調查系統，也屬於空載光達系統之一，主要使用紅外光 (海水表面) 及藍-綠光 (海水底層) 波段進行水深測定，最大深度可達 50 公尺，其深度與水平之精確度均可達 25 公分。

地面光達系統適合掃描細部資訊，可以擷取到目標的側面資料如牆壁、樹根、樹幹等，與全球定位系統 (GPS) 搭配可以直接獲得坐標資料，其資料解析度可以達到公分等級以上。至於地面光達之特性包括獲取多反射值/多波段的能力、精確度在 100 公尺距離內標準差小於 1 公分、在 100 公尺距離內垂直及水平的均方根值 (RMSE, Root Mean Square Error) 為 1 公分等。

太空光達系統係將雷射系統配載於太空船或太空站上，主要應用於地球觀測與全球監測、大氣監測、行星與月亮的映射、行星的登陸系統等方面。

### 3-6-2 光達基本原理

空載光達以推帚式（push – broom – system）掃描的方式，將每一束雷射光傳播至地表面。GPS 紀錄飛機瞬刻掃描的位置，IMU 紀錄飛機掃描時之姿態角，在具備位置、角度、距離條件後，可即時將地表覆蓋面的光達掃描資料記錄下來。空載光達的作業原理如圖 1 所示：

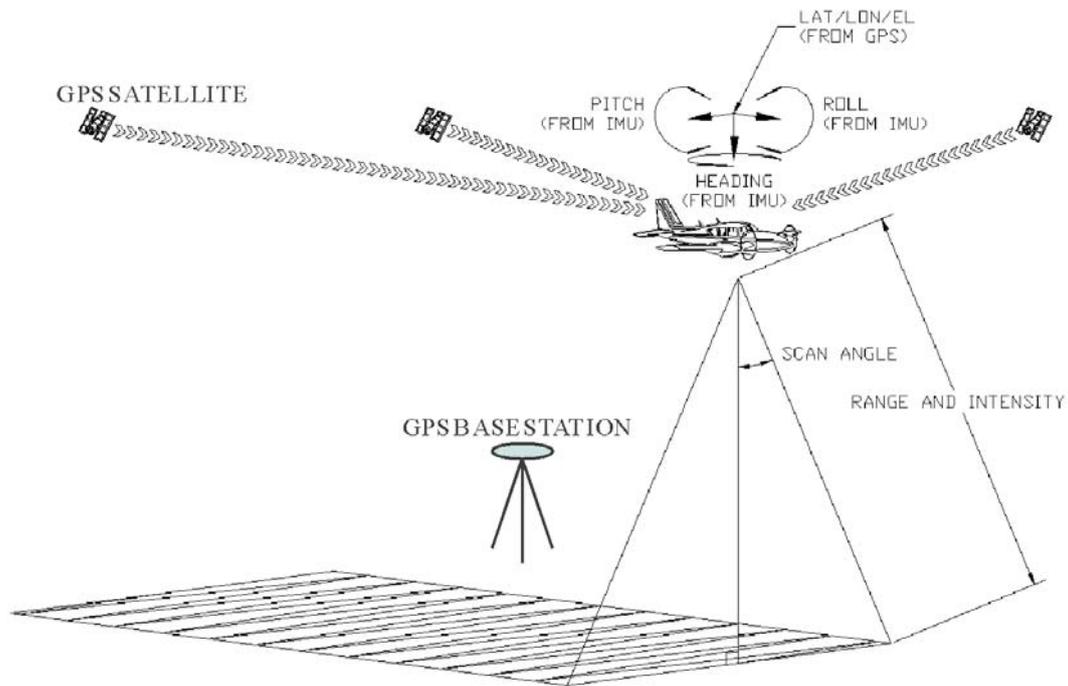


圖 3-28 空載光達作業示意圖

LiDAR 訊號具有一項非常特殊的「多重反射（multiple echoes）」能力，即發射單一脈衝而能接收最多達四個反射回波訊號，因此有機會可同時量測到地表及樹頂甚至樹幹的點位，或是電力的輸配線路，其原理為：LiDAR 發射之雷射光為圓錐狀，當接近地表時單一光束投影在地表之涵蓋範圍（footprint）約為 50 公分直徑之圓形，而所獲取的資料有部分落在樹木表層，有些為樹幹位置，而有些則為地面反射點，因此可同時測得上述之資訊。根據 LiDAR 雷射光反射回波的情形，也可藉此了解地面物體對於雷射光的穿透情形，其多重反射之原理如圖 3-29 所示。

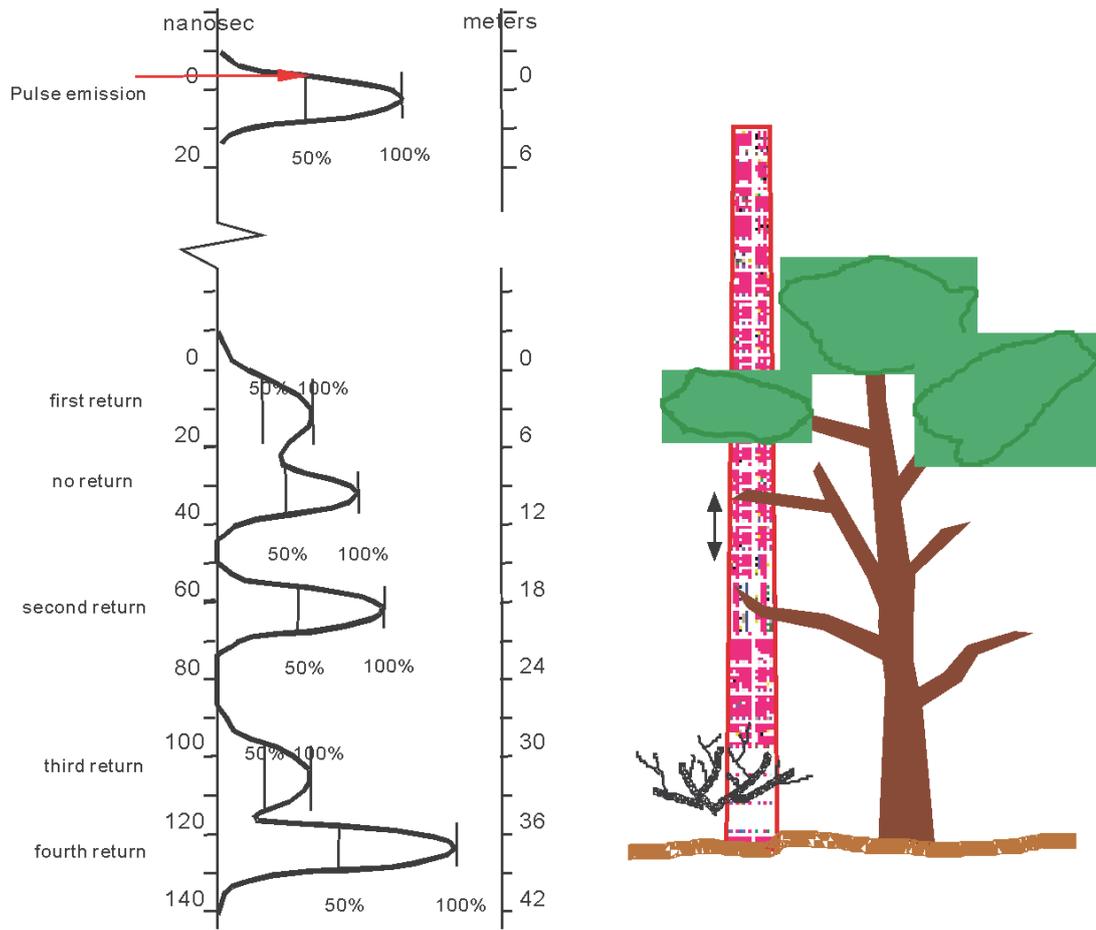


圖 3-29 光達訊號多重反射回波示意圖

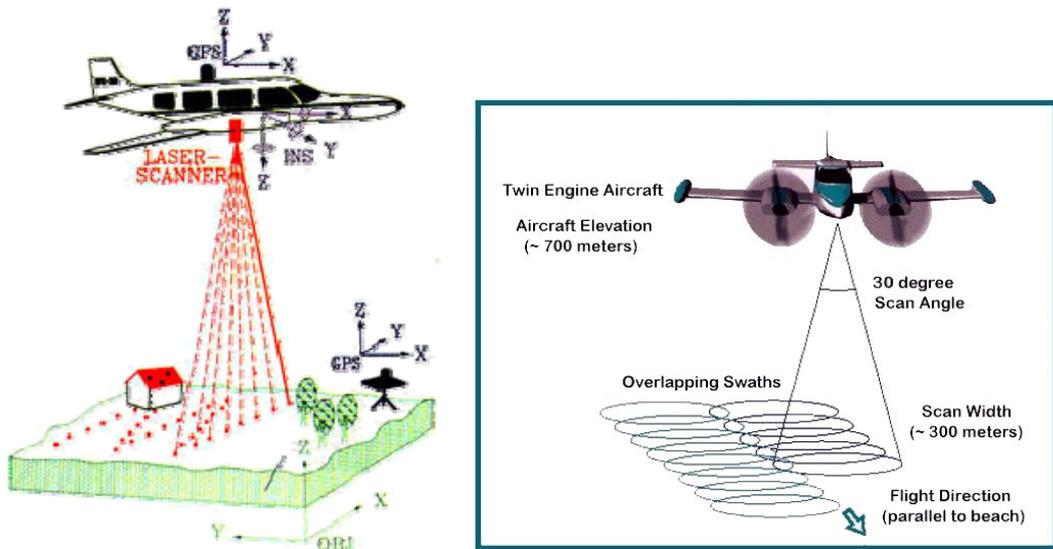


圖 3-30 空載光達三維雷射掃描示意圖

空載光達掃描獲取之大量坐標點，由於分布密集而稱為點雲（Point Cloud），如圖 3-31 為佛羅里達大學 Weil Hall。點雲資料除點位本身具備精確之三維坐標外，並同時紀錄原始雷射脈衝之反射強度（intensity），部分機種甚至可記錄類似數位影像的 RGB 三波段灰度值，因此隨著地表之不同反射特性得以呈現類似航空照片之影像特徵；經過軟體與人工之處理，可將各雷射點進行過濾（filter），將屬於地面點的數據分離（地面點可產製數值高程模型（DEM，Digital Elevation Model），即面狀之地表起伏資訊，這也是空載光達的基本成果，可應用於地圖測繪、洪災模擬、地質分析、災害調查等應用。而其餘的數據可進一步再區分為植被、建築物等類別，可作為後續森林資源估算、房屋模型建置等應用。

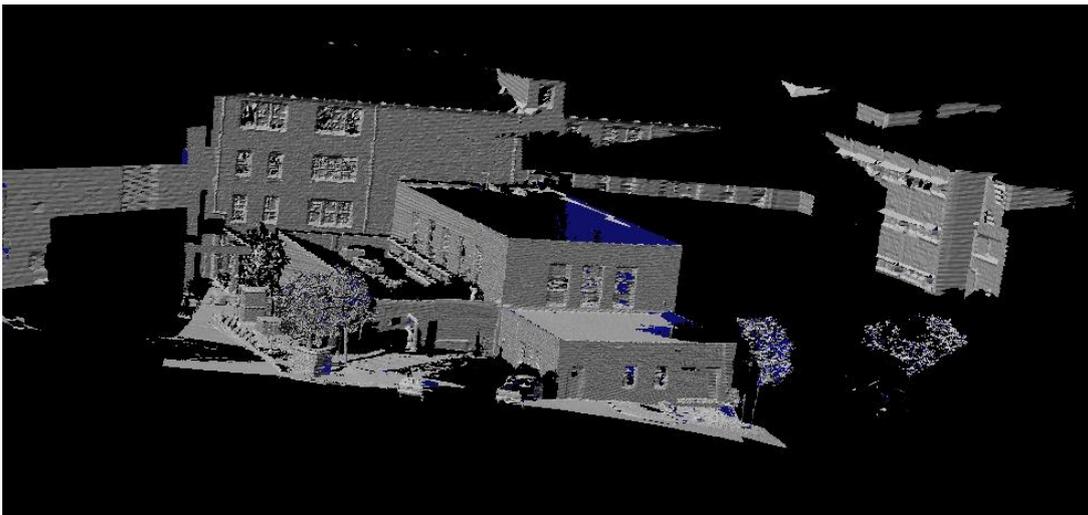


圖 3-31 Point clouds at Weil Hall, UF

### 3-6-3 數值地形模型

DTM(Digital Terrian Model)數值地形模型，泛指任何以數值化(digital)的方式來展現 3D 空間地形起伏變化的狀況。其應用範圍相當廣泛，在地形分析上可用來進行坡度坡向計算、等高線製作，土木工程方面用來做挖填方計算、坡地或道路開挖，災害評估方面可用在災害崩塌容積計算，其他常見可用來做三度空間展示等等，其資料格式可分為：規則網格(GRID)、不規則三角網(TIN)、數值等高線(Digital Contour)三種，一般生產之

DTM 資料通常都以使用規則網格的資料格式，在每個網格中紀錄其 XY 坐標和地形高程屬性(X, Y, H)，並也能夠透過 GIS 軟體轉換去產生不規則三角網或等高線的資料格式。

DSM (Digital Surface Model) 則指的是地表上所有地物，包含人工構造物或自然森林或人工作物覆蓋地面的高程；DEM (Digital Elevation Model) 首見於 1970 年代美國地質調查署以二維矩陣方式儲存高程資料的資料格式。

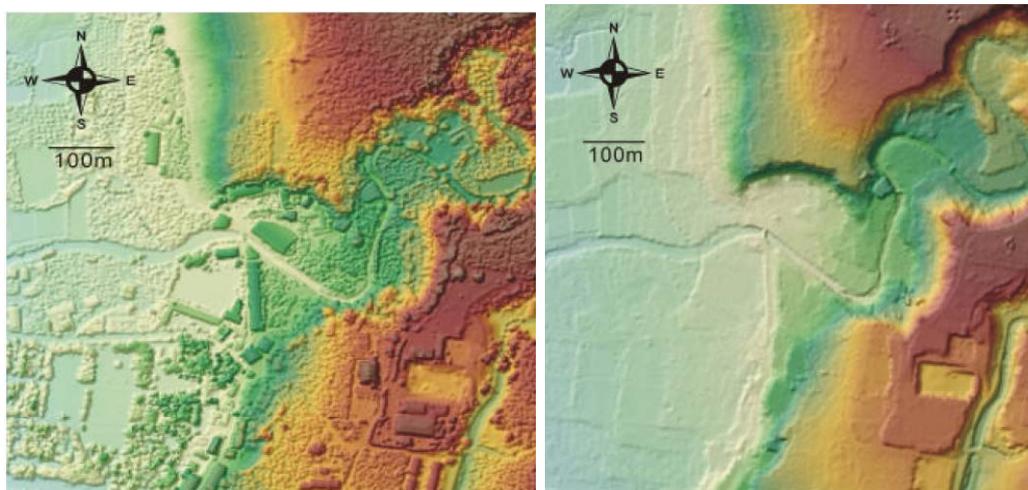


圖 3-32 DSM and DEM