
結合遙測土壤含水量降尺度方法及
QPESUMS 雨量資料建立
坡地災害預警模式
**Development of Warning Model for
Predicting Landslides Based
on Downscaling Method of Remote
Sensing Products of Soil Moisture and
QPESUMS Rainfall Data**
(成果報告書)

執行單位：逢甲大學

執行期間：110 年 1 月 27 日至 110 年 12 月 31 日

計畫主持人：何智超 助理教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 110 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

結合遙測土壤含水量降尺度方法及 QPESUMS 雨量 資料建立坡地災害預警模式

摘要

過去坡地災害預警常以累積雨量與降雨強度進行預警，然坡地災害發生除與雨量有關外，亦與災害事件發生前土壤含水量多寡有關，目前臺灣土壤含水量觀測資訊有限，若要廣布監測儀器取得大範圍且即時性之土壤含水量將耗時耗費，本研究提出以遙測分析評估中部區域土壤含水量取代廣布土壤含水量監測儀器，透過蒐集重大坡地災害事件，研究土壤含水量與坡地災害之關聯性，再配合中央氣象局即時預報雨量，建立新型態坡地土砂災害預警機制，以提升坡地災害預警準確性，可供高災害潛勢地區進行預防處理，進而保障人民生命財產安全，並可有效降低監測儀器佈設之經費。

本研究共計三年，本年度為第一年計畫，第一年計畫重點為透過站網規劃分析，新增土壤含水量監測站進行長時期土壤含水量監測，並透過文獻分析，篩選合適之土壤含水量降尺度分析預測變數，利用衛星反演技術、地理資訊系統工具及空間內插技術產出預測變數資料，以作為第二年土壤含水量降尺度分析之重要基礎。並完成異質資料管理離型系統，以利整合各單位資料，提供後續分析、驗證及坡地災害預警資訊發布之用。

關鍵詞：遙測、土壤含水量、降尺度、衛星反演

Development of Warning Model for Predicting Landslides Based on Downscaling Method of Remote Sensing Products of Soil Moisture and QPESUMS Rainfall Data

Abstract

In the past, early warning of landslides disaster was usually based on accumulated rainfall and rainfall intensity. However, the occurrence of landslides is not only induced by rainfall, but also affected by the amount of soil moisture. The observation of soil moisture in Taiwan is rarely and it is difficult to understand the distribution of regional soil moisture. It will be time-consuming and cost-consuming to get wide range of real-time soil moisture with widely distribute monitoring sensor. Hence, the study proposes a remote sensing skill to estimate the of regional soil moisture instead of building soil moisture sensors widely. The study develops an novel mechanism of early warning of landslides disaster according to investigate the relationship between soil moisture and landslides occurrence, and rainfall forecast. The novel early warning system improves accuracy of landslides prediction and gain more time for people evacuation to ensure the safety of people's lives and property. Moreover, it also reduces effectively the cost of soil moisture monitoring equipment deployment.

The study is three-years project. This year is the first year. The first year focuses on building soil moisture monitoring stations for long-term monitoring, selecting appropriate predictors for soil moisture downscaling analysis, estimating the predictors by satellite retrieval and spatial interpolation, and finally developing a heterogeneous database system to facilitate the data integration, data service, and early warning information announce.

Keywords: Remote Sensing, Soil moisture, downscaling, satellite

retrieval

目次

摘要.....	I
ABSTRACT.....	I
目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	IV
第一章 緒論.....	1-1
第一節 擬解決問題.....	1-1
第二節 工作項目.....	1-1
第三節 本年度(110 年度)目標.....	1-4
第二章 基本資料蒐集與分析.....	2-1
第一節 地文資料.....	2-1
第二節 水文資料.....	2-7
第三節 土壤含水量.....	2-8
第三章 坡地災害預警相關文獻蒐集.....	3-1
第一節 國內土砂災害預警相關文獻.....	3-1
第二節 國外土砂災害預警相關文獻.....	3-2
第三節 綜合評析.....	3-3
第四章 土壤含水量監測及異質資料庫系統建置.....	4-1
第一節 土壤含水量監測技術.....	4-1
第二節 土壤含水量站網規劃與建置.....	4-6
第三節 異質資料庫管理系統建置.....	4-17
第五章 土壤含水量降尺度預測變數篩選與分析.....	5-1
第六章 結論與建議.....	6-1
參考文獻.....	參-1

附錄.....	附錄-1
---------	------

附錄一、細部計畫說明書審查意見暨回覆辦理情形	附錄-1
------------------------------	------

附錄二、期初審查意見暨回覆辦理情形	附錄-4
-------------------------	------

附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形	附錄-7
-------------------------	------

附錄四、期末審查意見暨回覆辦理情形	附錄-9
-------------------------	------

表次

表 2-1	中部區域各縣市測站名稱.....	2-9
表 2-2	AMSR2 產品等級分類.....	2-12
表 2-3	AMSR2 感測器設備規格表.....	2-13
表 2-4	SMAP 產品分類介紹.....	2-14
表 3-1	衛星遙測應用於土壤含水量之相關文獻.....	3-4
表 4-1	土壤含水量直接測量法常見技術比較.....	4-2
表 4-2	土壤溫濕度偵測器(接口型/RS485)規格說明表.....	4-3
表 4-3	JDL 資料搜集器規格說明表.....	4-5
表 4-4	土壤含水量監測站列表.....	4-8
表 4-5	埋設之土壤含水率量測位置及深度.....	4-15
表 4-6	110 年度異質資料庫建置成果一覽表.....	4-23
表 4-7	土壤含水量觀測站 METADATA.....	4-24
表 5-1	土壤含水量相關之預測變數文獻回顧.....	5-2
表 5-2	山坡地坡度分級標準.....	2-5

圖次

圖 2-1	中部區域土壤圖	2-3
圖 2-2	中部區域地質圖	2-4
圖 2-3	中部區域高程圖	2-4
圖 2-4	中部區域坡向圖	2-5
圖 2-5	中部區域坡度圖	2-6
圖 2-6	中部區域國土利用調查圖	2-6
圖 2-6	中部區域雨量測站位置圖	2-7
圖 2-7	中部區域各縣市土壤含水量測站位置	2-9
圖 2-9	九份二山站之土壤含水量	2-10
圖 2-10	上安站之土壤含水量	2-10
圖 2-11	SMAP 產品分類等級	2-14
圖 4-1	土壤溫濕度偵測器(接口型/RS485)	4-3
圖 4-2	JDL 資料紀錄器	4-3
圖 4-3	溫度示意圖	4-4
圖 4-4	土壤含水量示意圖	4-4
圖 4-5	APP 雲端監控顯示畫面	4-5
圖 4-6	南投信義鄉觀測點位施工前、中及後之照片	4-11
圖 4-7	彰化觀測點位施工前、中及後之照片	4-12
圖 4-8	南投集集鎮觀測點位施工前之現地照片	4-13
圖 4-9	土壤含水量測站位置圖	4-15
圖 4-10	南投縣信義鄉測站土壤含水率隨降雨量變化	4-16
圖 4-11	南投縣集集鎮測站土壤含水率隨降雨量變化	4-16
圖 4-12	彰化縣員林鎮測站土壤含水率隨降雨量變化	4-17
圖 4-13	異質資料庫管理系統架構圖	4-18

圖 4-14	開發環境圖	4-19
圖 4-15	異質資料庫管理系統架構圖	4-20
圖 4-16	系統開發設計流程圖	4-21
圖 4-17	資料平台即時監控示意圖	4-22
圖 4-18	資料平台即時監控視覺圖	4-25
圖 5-1	地面溫度衛星反演流程圖	5-8
圖 5-2	2020 年 LST 分析成果	5-9
圖 5-3	計算常態化差值植生指標 NDVI 流程圖	5-10
圖 5-4	2020 年 NDVI 分析成果	5-10
圖 5-5	地面溫度(LST)與 NDVI 指標梯度特徵空間示意圖	5-11
圖 5-6	2020 年 TVDI 分析成果	5-12

第一章 緒論

第一節 擬解決問題

臺灣山區崩塌多以淺層崩塌為主，一般影響淺層崩塌地因子有潛在因子(如地形、土壤、地質等)及誘發因子(如地震、氣候、人為活動等)，根據相關文獻研究顯示，崩塌產生與否，亦與災害事件發生前土壤含水量多寡有關。若要取得大區域土壤含水量，需廣布土壤含水量監測儀器，所費不貲，為有效降低經費並取得大範圍且立即性土壤含水量，本研究以遙測分析評估中部區域土壤含水量，透過蒐集重大坡地災害事件，研究土壤含水量與坡地災害之關聯性，再配合中央氣象局即時預報雨量，建立新型態坡地土砂災害預警機制，以提升坡地災害預警準確性，可供高災害潛勢地區進行預防處理，進而保障人民生命財產安全。

第二節 工作項目

本研究為三年計畫，本年度為第一年度計畫，各年度工作項目說明如下：

一、第一年度(110年)：110年度重點為透過站網規劃分析，新增土壤含水量監測站進行長時期土壤含水量監測，並透過文獻分析，篩選合適之土壤含水量降尺度預測變數，利用衛星反演技術、地理資訊系統工具及空間內插技術產出預測變數資料，以作為第二年土壤含水量降尺度分析之重要基礎。最後完成異質資料管理雛型系統，以利整合各單位資料，提供後續分析、驗證及坡地災害預警資訊發布之用。

(一)基本資料蒐集與分析：完成研究區域地文資料、水文資料及土壤含水量之蒐集與分析。

(二)坡地災害預警相關文獻蒐集：完成坡地災害預警方法相關文獻蒐集，提供建立坡地土砂災害預警機制之參考。

(三)土壤含水量監測及異質資料庫系統建置：新建 3 處土壤含水量監測站進行長時期土壤含水量監測，並建立異質資料庫管理系統串聯本計畫建置之土壤含水量監測站、水土保持局觀測資料供應平台土壤含水量監測值、中央氣象局局署測站、自動測站觀測資料及水利署降雨量監測資料，透過共通的檢索介面，降低使用者檢索不同資料來源之繁瑣過程，並作為後續分析、驗證及坡地災害預警資訊發布之資訊平台。

(四)土壤含水量降尺度預測變數(predictor)篩選與分析：透過文獻分析，篩選合適之土壤含水量降尺度分析預測變數，利用衛星反演技術、地理資訊系統工具及空間內插技術產出預測變數資料，以作為第二年土壤含水量降尺度分析之重要基礎。

二、第二年度(111年)：111年度重點為透過人工智慧、機械學習及統計分析等方法，進行土壤含水量空間分析，並配合中央氣象局雨量、風速、相對濕度預報資訊，估計降雨事件期間土壤含水量變化趨勢，以作為112年建置坡地土砂災害預警系統之重要預警指標。各工作項目說明如下：

(一)土壤含水量空間降尺度分析：利用 110 年分析之衛星影像特徵、水文及地文資料等預測變數，透過人工智慧、機械學習及統計分析等方法，將 10 公里空間解析度之 AMSR2 土壤含水量資訊降尺度至 1 公里空間解析度，以掌握降雨事件發生前之臨前土壤含水量空間變化。

(二)土壤含水量驗證分析：土壤含水量持續監測與驗證分析：針對 110 年建置完成之三處土壤含水量計持續租賃進行長期觀

測，並將衛星影像降尺度分析後之土壤含水量與實際觀測資料進行驗證比對，以判定係數(R^2)及均方根誤差(RMSE)作為驗證評估指標，並利用偏態修正進行誤差修正。

(三) 降雨期間土壤含水量變化趨勢預報：透過臨前土壤含水量、中央氣象局雨量、風速、相對濕度預報資訊，利用水平衡公式，估計降雨事件期間土壤含水量變化趨勢，以期解決影像資料非即時性、時間尺度過粗之問題，並作為 112 年度坡地土砂災害預警之重要基礎。

(三) 異質資料庫管理系統建置精進：整合 110 年異質資料庫管理系統、111 土壤含水量降尺度成果、中央氣象局 QPESUMS、QPF 及 WRF 之即時監測與預測資料，將結構化資料、半結構化資料和非結構化資料之匯流整併，以作為後續發展自動化預報模式之基礎。

三、第三年度(112年)：112年度重點為找出顯著影響坡地土砂災害之危害度因子及脆弱度因子，再利用頻率比法(Frequency Ratio Method, FR)進行崩塌潛勢值評估及分級級距決定，以進行坡地災害土砂災害風險，最後整合異質資料庫管理系統及坡地災害風險評估模式，建立自動化坡地土砂災害預警模式，並透過LINEBOT主動推播預警資訊。各工作項目說明如下：

(一) 坡地土砂災害風險辨識：蒐集坡地災害相關文獻，建立坡地災害風險因子資料庫，並以次數百分比、崩塌比及成功率曲線等指標找出顯著影響坡地土砂災害之危害度因子及脆弱度因子。

(二)坡地土砂災害風險評估：將危害度及脆弱度因子依據頻率比法(Frequency Ratio Method, FR)進行崩塌潛勢值評估及分級級距決定，以做為評估坡地災害土砂災害風險之基礎。

(三)坡地土砂災害預警系統建置：以 Python 程式整合異質資料庫管理系統及坡地災害風險評估模式，建立自動化坡地土砂災害預警模式，並透過 LINEBOT 主動推播預警資訊。。

第三節 本年度(110 年度)目標

- 一、完成研究區域地文資料、水文資料及土壤含水量之蒐集與分析。
- 二、完成坡地災害預警方法相關文獻蒐集，提供建立坡地土砂災害預警機制之參考。
- 三、完成3處土壤含水量監測站建置，進行長時期土壤含水量監測。
- 四、完成資料整合查詢平台建置。
- 五、完成土壤含水量降尺度預測變數篩選。

第二章 基本資料蒐集與分析

本研究以中部區域為研究範圍，透過蒐集研究區域內之地文資料、水文及土壤含水量等觀測資料，作為後續建立新型態坡地土砂災害預警機制之重要基礎，茲說明如下：

第一節 地文資料

所需蒐集之地文資料包含表土土壤質地、地質、高程、坡向、土地利用等資料。茲就蒐集成果說明如下：

一、表土土壤質地

採用農委會全台調查後由農業試驗所之土壤圖，中部區域地區土壤質地圖示如圖 2-1。苗栗以壤土為主；台中市以砂土、坵土及壤土為主，其次為黏土；別為砂岩、南投縣以壤土為主，其次為黏土及坵土；彰化縣與雲林縣主要以坵土為主，其次為黏土。

二、地質

採用中央地質調查所產製比例尺為二萬五千分之一之全台地質圖，部區域地質圖示如圖 2-2，彰化縣與雲林縣多為沖積層組合而成，而由南投開始往西，其地質結構組成較為複雜，由台地堆積層、石底層與乾溝層排列而成，不規則向沿海形成，台中市西部為沖積層與台地結合而成。

三、高程、坡度、坡向

採用內政部發行之 20m*20m 網格 DEM 資料，利用 ArcGIS 軟體中 3D 分析模組(3D Analysis)之坡度(slope)及坡向(aspect)功能進行分析，並依據水土保持技術規範第二十三條(詳表 2-1)，將坡度分為七級坡，中部區域高程、坡度、坡向資料示如圖 2-3~圖 2-5。苗栗縣主要為山坡地為主，大多為四級坡以上；台中市西半部主要為一級坡~三級坡，東半部主要為四級~六級坡，為山區地形；彰化與雲林縣大部分為平地，主要為一級坡，其次為三

~四坡，地勢坡度走向較為平緩；南投縣多為四~七級坡為主，以山坡地為主要地形。

四、土地利用

採用內政部國土測繪中心所產製之五千分之一台灣土地利用調查圖層，中部區域土地利用分布示如圖 2-6。中部區域以森林用地為最大宗，其次為農業用地，台中市平地部分為建築用地為主，其次為農業用地；南投縣主要為森林用地，其次為農業用地，少部分為建築用地；而彰化縣與雲林縣主要為農業用地，其次為建築用地；苗栗縣主要為森林用地，其次為農業及建築用地。

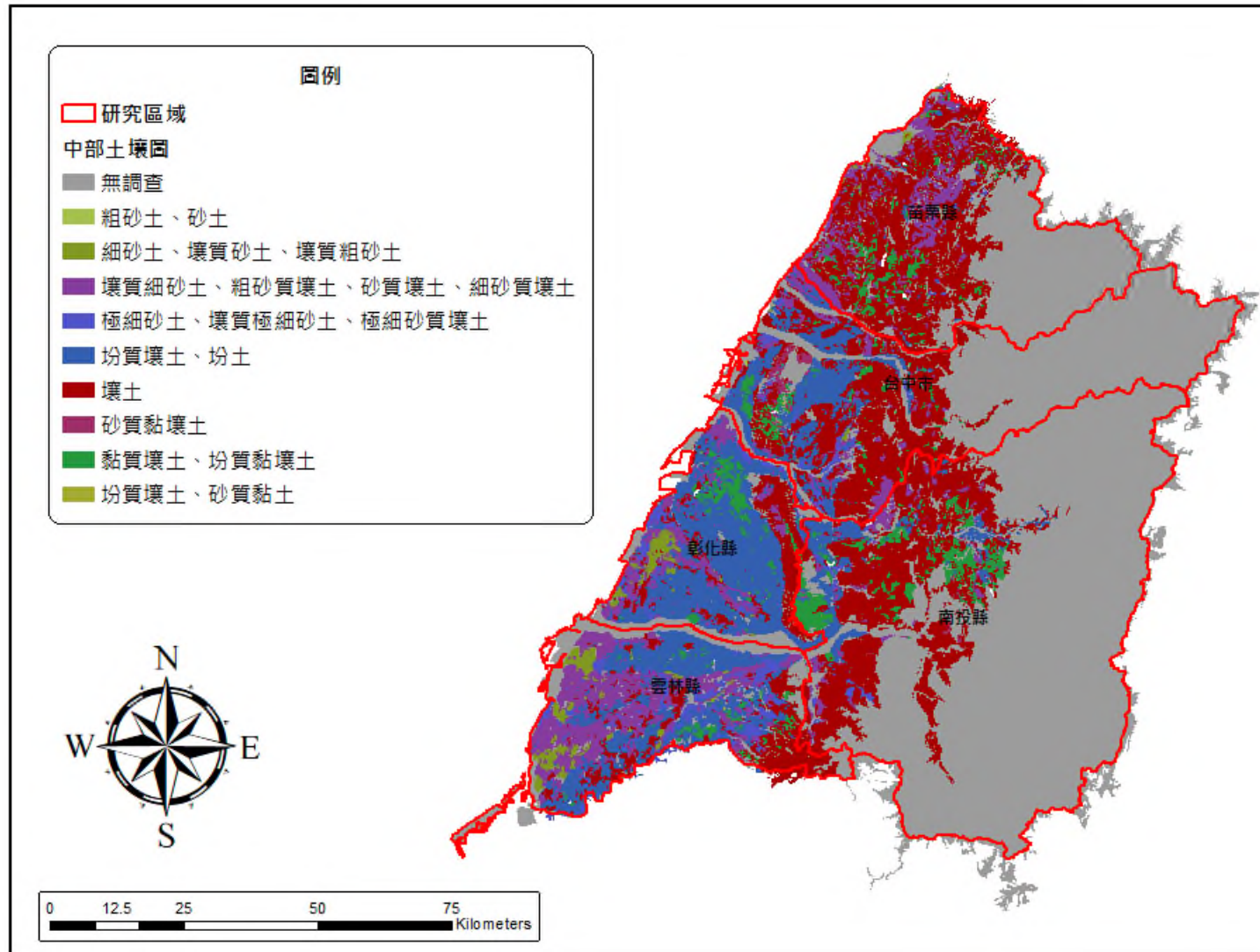


圖 2-1 中部區域土壤圖

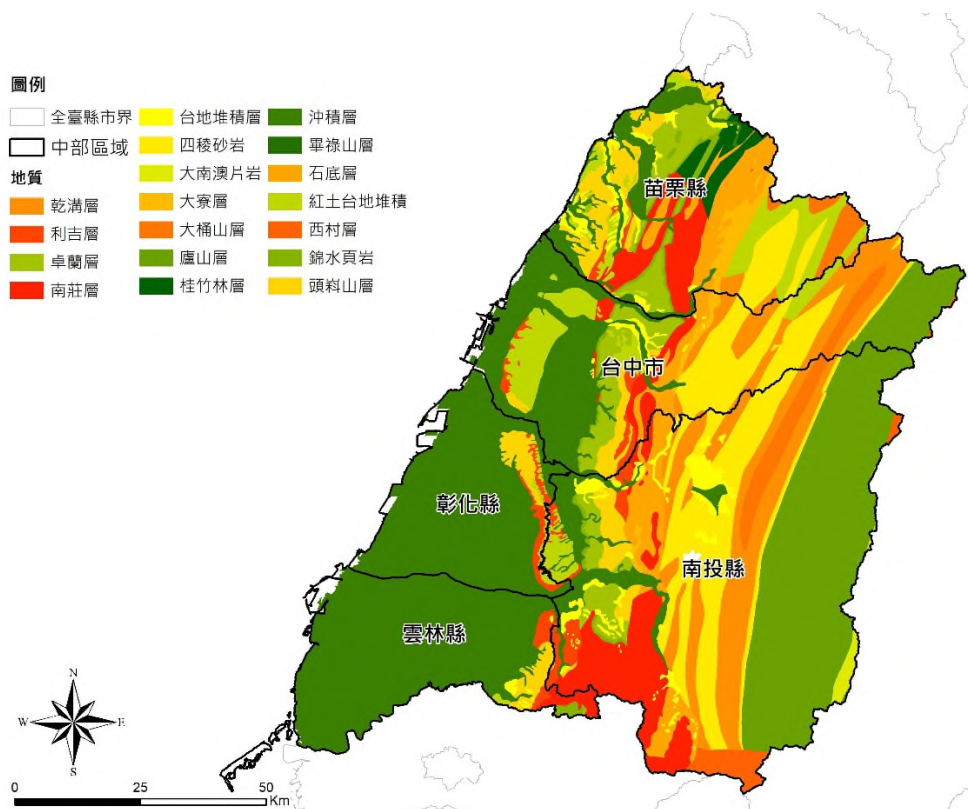


圖 2-2 中部區域地質圖

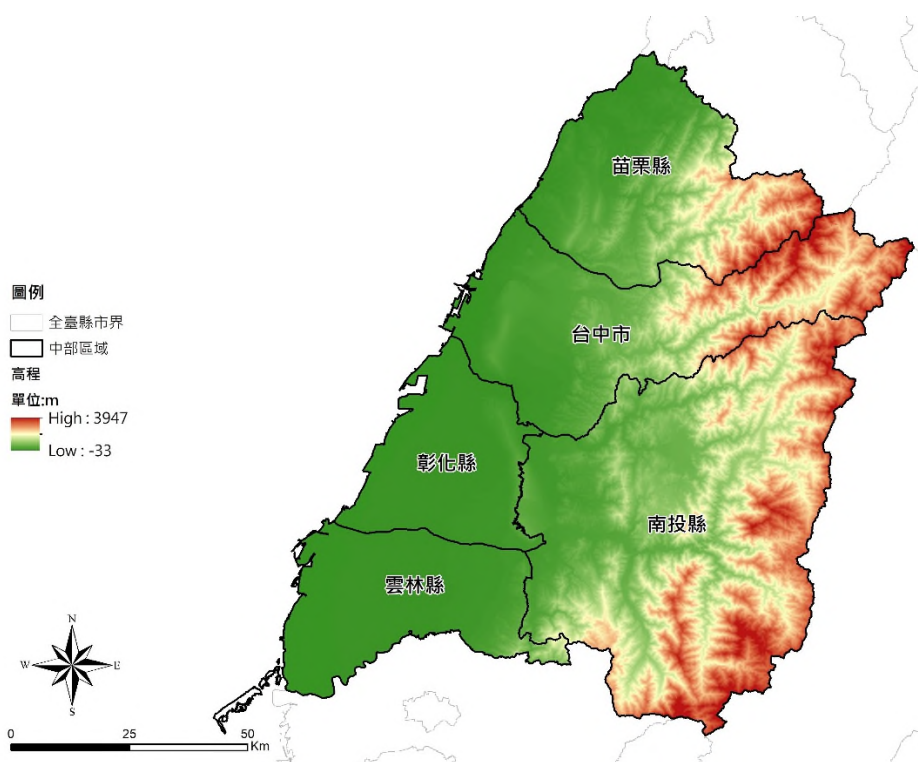


圖 2-3 中部區域高程圖

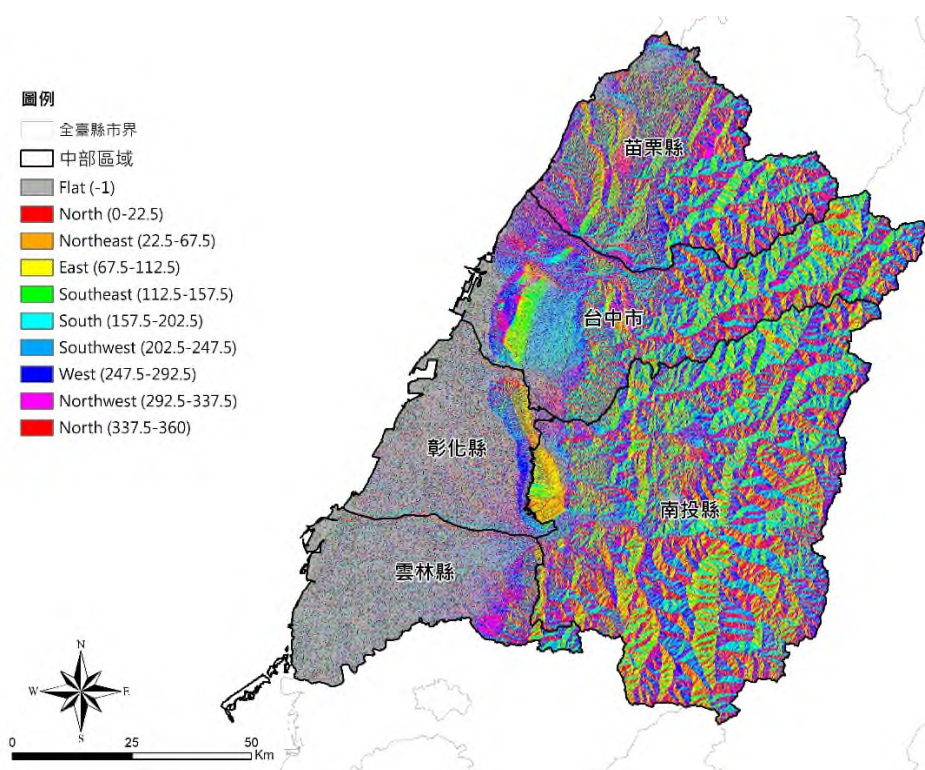


圖 2-4 中部區域坡向圖

表 2-1 山坡地坡度分級標準

坡度級別	坡度範圍
一級坡	$S \leq 5\%$
二級坡	$5\% < S \leq 15\%$
三級坡	$15\% < S \leq 30\%$
四級坡	$30\% < S \leq 40\%$
五級坡	$40\% < S \leq 55\%$
六級坡	$55\% < S \leq 100\%$
七級坡	$S > 100\%$

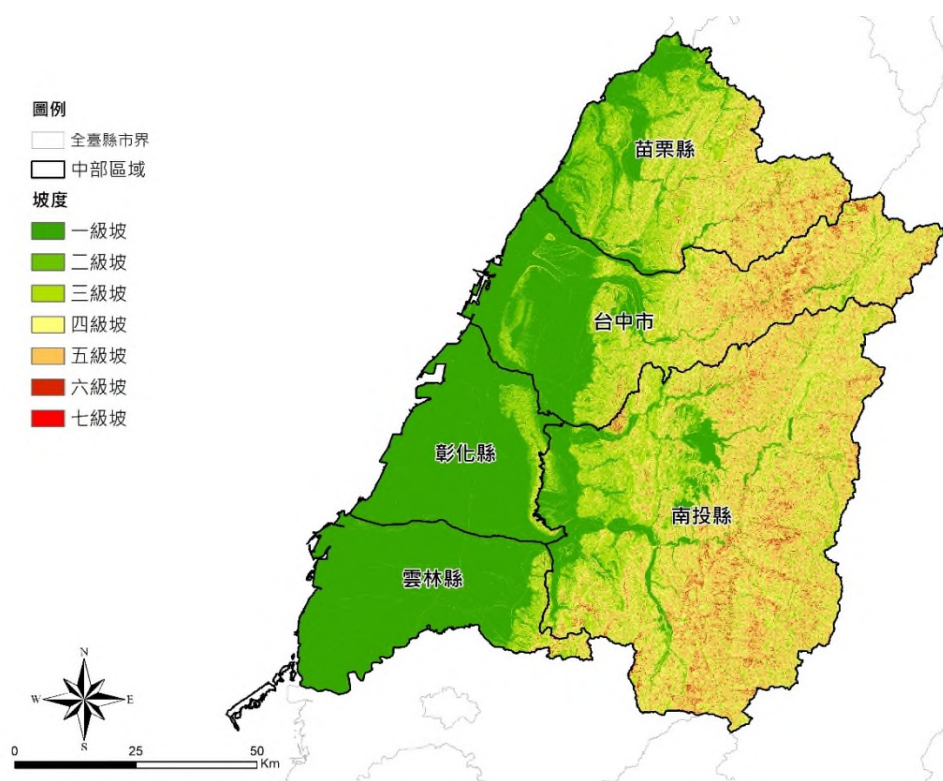


圖 2-5 中部區域坡度圖

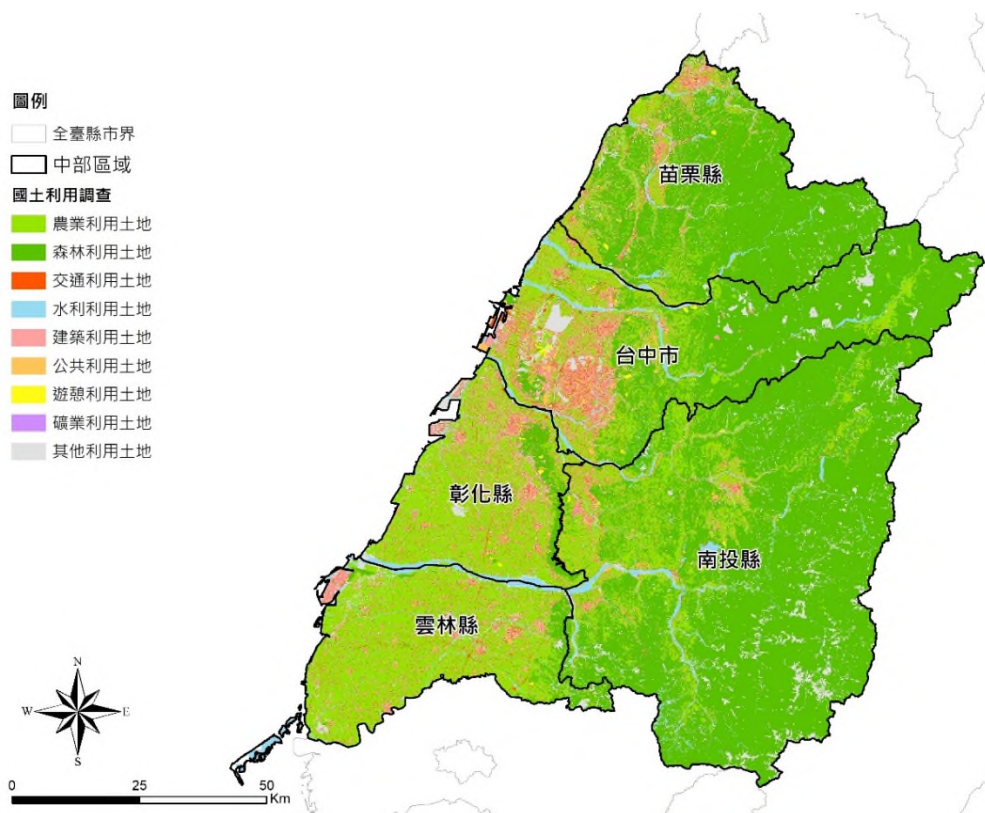


圖 2-6 中部區域國土利用調查圖

第二節 水文資料

一、雨量站觀測資料(站點)

降雨是誘發崩塌最主要的因子，過去研究常以降雨強度、降雨延時和累積雨量等作為誘因，本研究蒐集中央氣象局中部區域(苗栗縣、臺中市、彰化縣、南投縣及雲林縣)之局署、自動測站及水利署雨量站的逐時觀測資料(雨量站分布示如圖 2-7)分別為 5 站、180 站及 47 站，共計 232 站，以作為土壤水量與降雨量關聯分析之用。

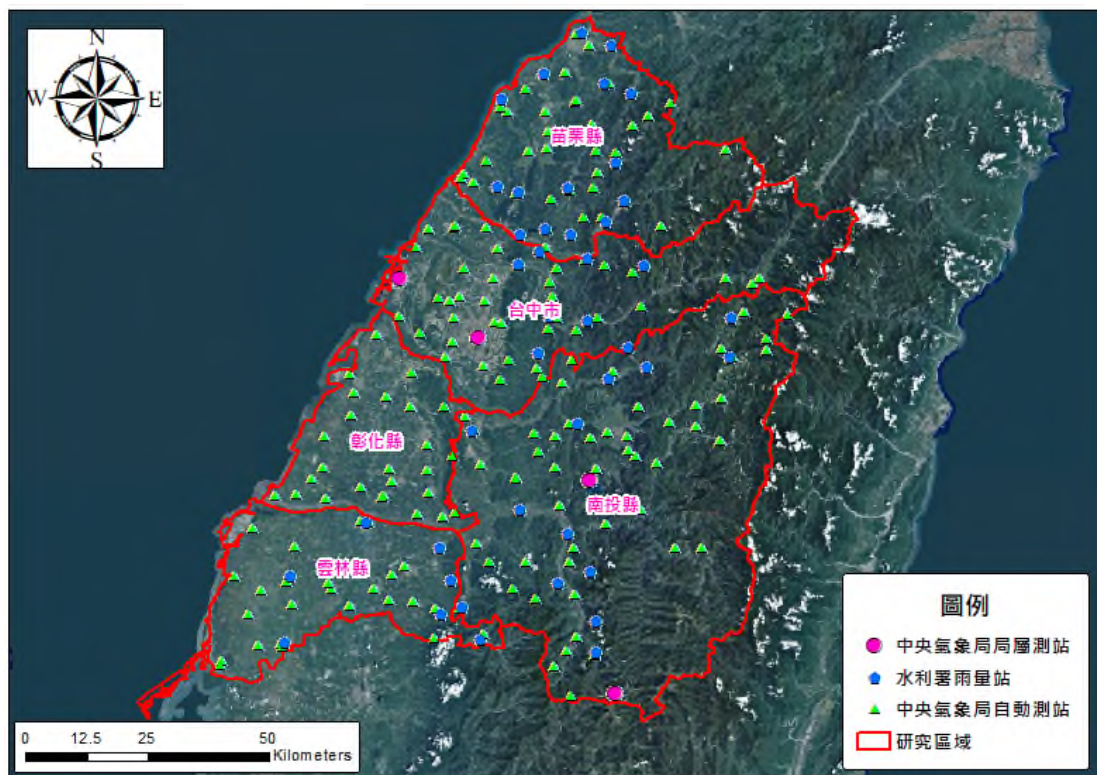


圖 2-7 中部區域雨量測站位置圖

二、歷史與即時雨量網格資料

本研究歷史及即時雨量網格資料採用中央氣象局 QPESUMS 網格雷達降水觀測產品，其使用之雷達資料為接近地面且不受地形及地面影響之仰角觀測的最低仰角合成回波 (Mosaic Hybrid Scan Reflectivity, Hybrid) (Zhang et al. 2005)，再利用 $Z = 32.5R^{1.65}$ (Xin et al. 1997) 取得降雨估計量，此

估計量再經過雨量站校驗後，即可產生降雨估計整合產品。目前已依使用單位之所需，分別將台灣地區區分為縣市、鄉鎮、村里等行政分區，以及台灣流域、淡水河流域、土石流潛勢等分區之 1 小時、3 小時、6 小時、12 小時、24 小時、72 小時之經雨量站校正之降雨量。網格解析度為 0.0125 度 x 0.0125 度(約 1.3x1.3 平方公里)。

三、預報雨量網格資料

目前中央氣象局提供多種預報雨量產品，包含「定量降水預報(Quantitative Precipitation Forecasts, QPF)」、「劇烈天氣系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS)降水預報產品」以及「區域預報模式(Weather Research and Forecast, WRF)」，分別提供未來 24 小時、未來 3 小時及未來 84 小時之預報降雨，其中 QPESUMS 降水預報產品預報期間過短，WRF 雖可提供 84 小時長期資訊，但每 6 小時一筆，時間尺度過粗，故本研究將採用 QPF 作為預報雨量，以作為後續坡地災害預警分析之用。

第三節 土壤含水量

地表土壤含水量在氣象學、水文學及農業生態學中，是一個非常重要的參數，同時影響全球水循環、植物蒸發散等機制運作，地表土壤含水量的觀測方式有稱重法、核子法、電磁波法及張力計法等(Schmugge et al., 1980)，皆需至當地取土樣或設置儀器直接觀測，故地表土壤含水量皆為單點觀測，於空間上非常稀疏，難以進行區域性的研究，近年來許多研究利用遙感探測衛星，能快速地得到大範圍的地表土壤含水量資訊(Lakshmi, 2013)。以下針對現地觀測及衛星遙測之土壤含水量資料進行介紹，茲說明如下：

一、觀測資料

水土保持局觀測資料供應平台提供全台土壤含水量的開放

資料下載，其土壤監測儀器採用 TDR (時域傳輸)技術，經由 4-20mA 之通道輸入儲存至記憶卡中，量測濕度範圍 0-100%，可記錄土壤的水分飽和程度，提供不同土壤及含水量與土石流間相關性分析研究之用。目前中部區域(苗栗縣、台中市、南投縣及雲林縣)共計 10 個測站，詳圖 2-8 及表 2-2 所示，以九份二山及上安站之 2017 尼莎暨海棠颱風事件為例，繪製土壤含水量，示如圖 2-9 及圖 2-10。

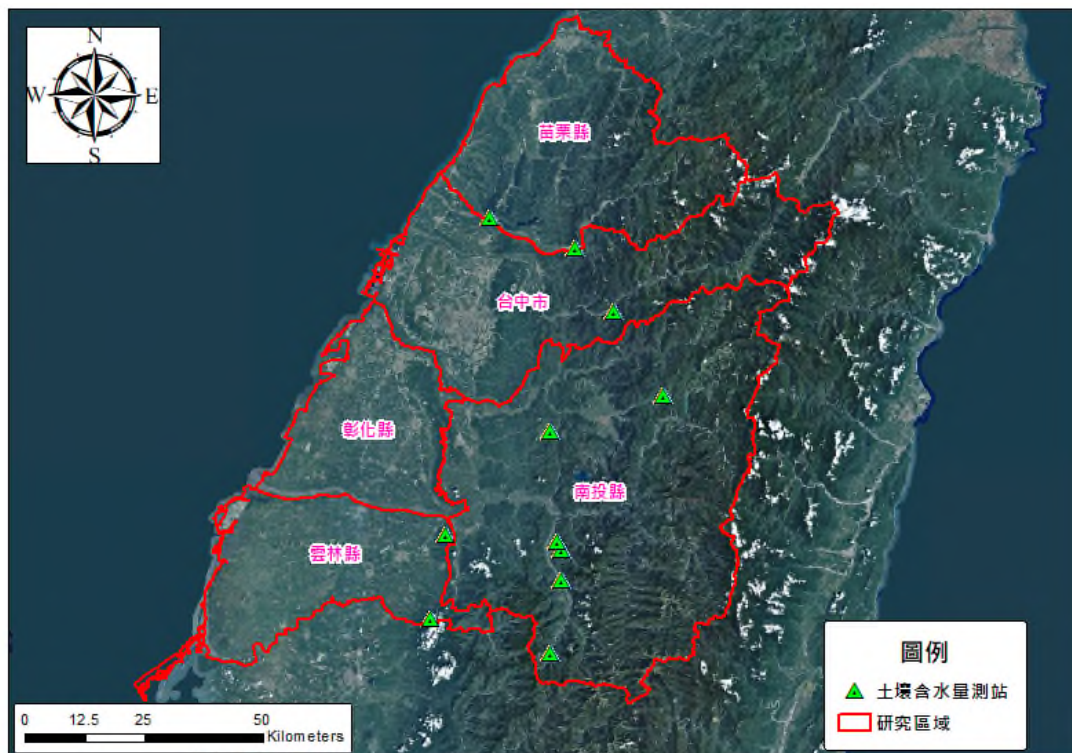


圖 2-8 中部區域各縣市土壤含水量測站位置

表 2-2 中部區域各縣市測站名稱

區域	縣市	測站
中部	苗栗縣	白布帆
	台中市	松鶴
	南投縣	南豐、豐丘、上安、郡坑、神木、九份二山
	雲林縣	坪頂、華山

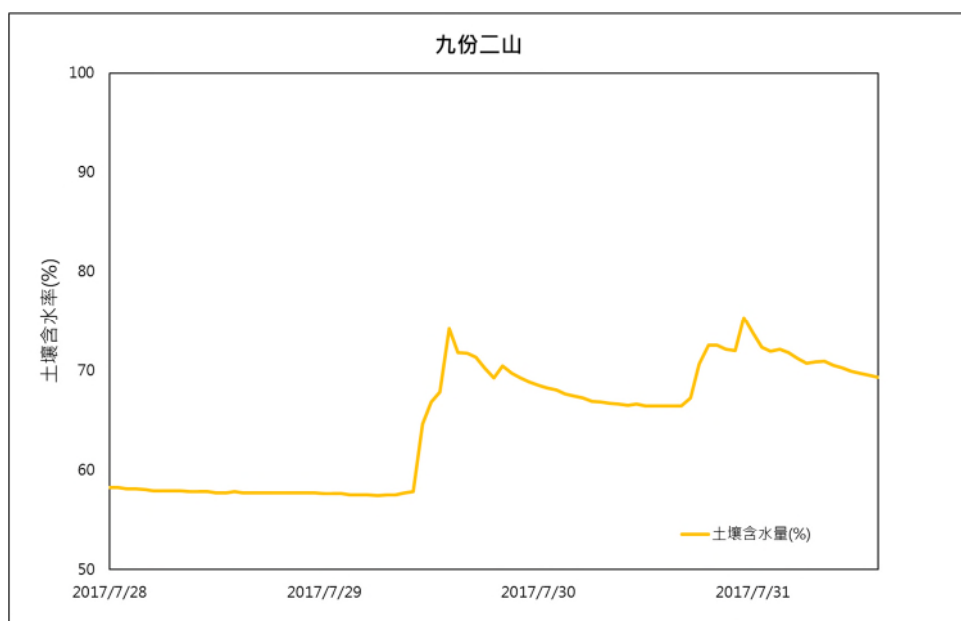


圖 2-9 九份二山站之土壤含水量



圖 2-10 上安站之土壤含水量

二、衛星影像

本研究蒐集常用於反演地表土壤含水量之衛星影像，茲說明如下：

(一)AMSR2(Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)

AMSR2 地表土壤含水量資料由 GCOM-W Research Product Distribution Service 下載，(https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_W/research/resdist.html)，單位為體積含水量(m^3/m^3)，並以百分比(%)表示，填充值為-32761至-32768，座標系統為WGS84(World Geodetic System 1984)，提供兩種空間解析度，分別為10公里及25公里，也提供Level2 及Level3共二種地表土壤含水量影像，Level2 為將亮度溫度計算成各個與水相關的物理參數，如：地表土壤含水量，每筆資料為一條航帶，Level3為每日各條航帶資料之疊合，觀測值重覆之區域以平均值計算，而得到全球地表土壤含水量影像。AMSR2產品等級分類示如表2-3。

GCOM-W衛星於2012年5月發射，屬於JAXA(Japan Aerospace Exploration Agency)所提出全球變遷觀測任務(Global Change Observation Mission, GCOM)之系列衛星。GCOM-W1主要由太陽能板和高性能微波輻射計2(AMSR2)組成，將軌道上的太陽光轉換為電池能量，提供衛星所需的必要電力。高性能微波輻射計2(Advanced Microwave Scanning Radiometer 2, AMSR2)是觀測來自地表、海面、大氣等的自然輻射的微波觀測傳感器。GCOM-W1，用於觀測海面溫度、葉綠素濃度，降水、水蒸汽、風速、雪深、植被、土壤含水量等項目。詳細規格詳表2-4

AMSR2的天線每1.5秒旋轉一次，獲得超過1450公里幅長的數據。這種錐狀掃描機制使AMSR2能夠每2天獲取一組覆蓋地球99%以上的日間和夜間數據。AMSR2(Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)等，能利用其反演的亮度溫度(Bright Temperature)與地表土壤含水量變化呈現高度相關的特性，將微波資料計算亮度溫度及植被分析後，利用查表(Lookup Tables)的方式推估地表土壤含水量(Kerret al., 2001; Njoku et al., 2003; Koike, 2013)，除了準確的觀測量尚有

受雲及大氣影響不顯著的優勢，但也存在著空間解析度較低的問題(10公里以上)，目前僅能應用於大尺度的研究，若要進行小區域分析，需進一步進行降尺度分析。

表 2-3 AMSR2 產品等級分類

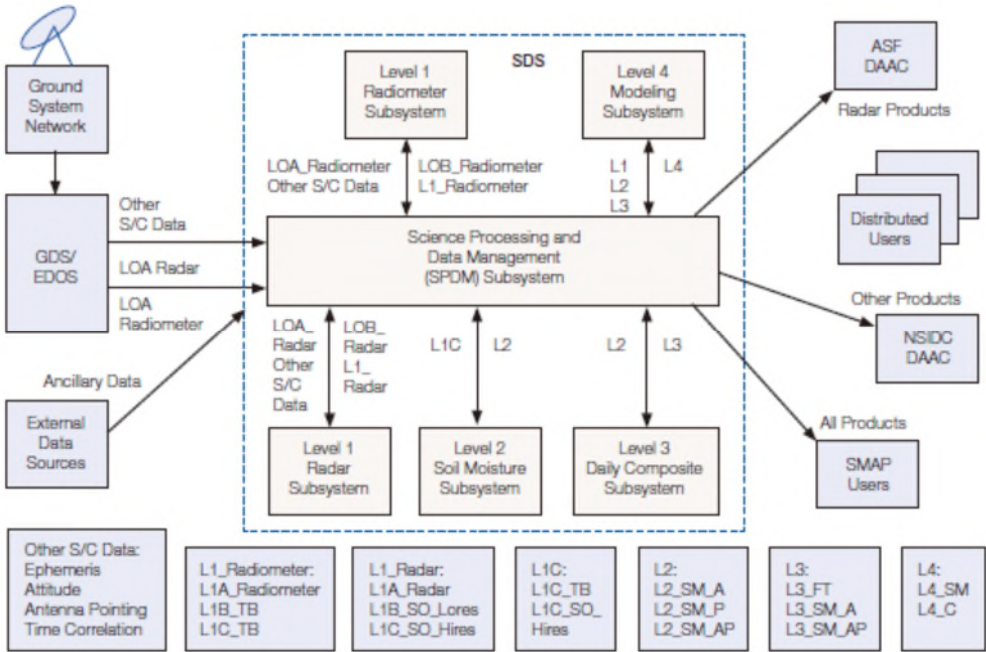
影像等級	資料情形	描述
1A	未校正	包含計數值，用於輻射校正的可變係數，與每個觀測點相對應的幾何形狀資訊（觀察位置，太陽角，觀察方向等）以及未校正的觀測資料的補充資訊。
1B	亮度溫度	包含從1A級資料轉換後的資料，使用輻射校正將觀測資料轉換為亮度溫度以及與L1A相同的補充資訊。
1R	亮度溫度(重取樣)	包含來自1B級的轉換資料，可適應每個頻率的分辨率和加工高度校正。
2	物理值(航帶)	包含從1B或1R級產品轉換的資料，計算有關水體的物理參數（總可降雨水體，雲體液態水，降雨量，海面風速，海面溫度，海冰濃度，雪深，土壤濕度），以及補充信息。
3	物理值(全域資料)	包含來自2級產品的轉換資料，包括先前定義的全域網格，每日或每月平均值的觀測資料以及補充信息。

表 2-4 AMSR2 感測器設備規格表

天線	直徑為2.0m的偏移拋物線
幅長	1450公里
入射角	55度
動態範圍	2.7-340K
極化	垂直和水平

(二)SMAP (Soil Moisture Active Passive)

SMAP 任務目的為量測地球各處之表層土壤含水量，該計畫提供 2015 年 4 月迄今之土壤含水量觀測資料。提供天氣與氣候預報模式重要的參數值。並可提供洪水與乾旱預警之用。SMAP 提供的產品分類等級示如圖 2-11 及表 2-5。為增加取得近即時資訊，SMAP 除了準確的觀測量尚有受雲及大氣影響不顯著的優勢，但也存在著空間解析度較低的問題(9 公里)，目前僅能應用於大尺度的研究，若要進行小區域分析，需進一步進行降尺度分析。



資料來源：SMAP Handbook

圖 2-11 SMAP 產品分類等級

表 2-5 SMAP 產品分類介紹

Product	Description	Gridding (Resolution)	Latency**	
L1A_Radiometer	Radiometer Data in Time-Order	—	12 Hrs	Instrument Data
L1A_Radar	Radar Data in Time-Order	—	12 Hrs	
L1B_TB	Radiometer T_B in Time-Order	(36x47 km)	12 Hrs	
L1B_SO_LoRes	Low-Resolution Radar σ_0 in Time-Order	(5x30 km)	12 Hrs	
L1C_SO_HiRes	High-Resolution Radar σ_0 in Half-Orbits	1 km (1–3 km) [#]	12 Hrs	
L1C_TB	Radiometer T_B in Half-Orbits	36 km	12 Hrs	Science Data (Half-Orbit)
L2_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	24 Hrs	
L2_SM_P*	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	24 Hrs	
L2_SM_AP*	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	24 Hrs	
L3_FT_A*	Freeze/Thaw State (Radar)	3 km	50 Hrs	
L3_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	50 Hrs	Science Data (Daily Composite)
L3_SM_P*	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	50 Hrs	
L3_SM_AP*	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	50 Hrs	
L4_SM	Soil Moisture (Surface and Roof Zone)	9 km	7 days	
L4_C	Carbon Net Ecosystem Exchange (NEE)	9 km	14 days	

[#] Over outer 70% of swath.

資料來源：SMAP Handbook

(三)光學影像

前述AMSR2及SMAP影像都在著空間解析度較低的問題(9公里以上)，光學影像優勢則為具有較高的空間解析度，但對於地表土壤含水量的變化相對不靈敏，其中波長介於400nm至2500nm的波段能以指數函數表示土壤反射值與地表土壤含水量的關係，尤其是600 nm、1200 nm及2200 nm共三個波段對地表土壤含水量的變化較為靈敏，但仍然遜於主動微波波段，且以上現象皆僅適用於地表土壤含水量臨界點之下，故土壤反射值將難以反演潮溼土壤之地表土壤含水量。

(四)綜合評析

由於AMSR2於臺灣地區的影像覆蓋率較SMAP高，且時間周期較短，也較光學影像更能反映土壤含水量變化，故本研究將以AMSR2衛星影像之土壤含水量產品為主體，配合MODIS光學影像找出土壤含水量特徵指標，再配合水文及地文因子，進行土壤含水量降尺度分析。

第三章 坡地災害預警相關文獻蒐集

第一節 國內土砂災害預警相關文獻

台灣自 2005 年採用詹錢登等人(2002)提出之土石流降雨驅動指標模式，其採降雨強度與有效累積降雨量兩項指標，並以機率概念訂定各鄉鎮區之土石流警戒基準值，並每年度檢討更新土石流警戒基準值至今(詹錢登，2010)。然土石流發生除受降雨所誘發，亦與現地地質、土壤、植生等地文狀況有相當程度關聯性，尤其崩塌與地滑等坡地災害更需要廣泛考慮坡地水文關係，以符合在物理上的解釋，實際引發邊坡破壞的原因多是降雨入滲後地下水位上升且土壤含水量飽和，使土體自重增加、土壤剪力強度不足以及凝聚力喪失。

陳樹群等人(2013) 提出崩塌地與地滑等坡地災害與地表土層內含水量具有高度相關性，因此引入日本「土壤雨量指數(soil water index, SWI)」，由三層筒深度不同進行淺層崩塌及地滑與深層崩塌之災害預警，將 SWI 帶入可將現行預警型態區分為五種型態，改善現行坡地災害預警機制；水土保持局(2017 年)以高屏溪集水區作為研究試區，分析第二筒水深與土壤雨量指數之關係，以訂定土壤雨量指數紅色警戒值；劉怡君和陳樹群(2018)結合土壤雨量指數與崩塌潛勢值來建構坡地災害潛勢模式，透過災害涵蓋率訂定 SWI 警戒值，再以災害涵蓋率曲線轉為 SWI 水文危險度，以頻率比評估崩塌潛勢值作為地文危險度，最後結合 SWI 水文危險度及地文危險度建構坡地災害潛勢值。

第二節 國外土砂災害預警相關文獻

日本現行以土壤雨量指數作為土砂災害警戒發布之參考，其以 Kuramoto(2011)提出的徑向式網路(Radial Basis Function Network, RBFN)建構非線性土砂災害發生臨界線(CL)之方法為架構，以短期降雨指數採用 60 分鐘降雨量及長期降雨指數採用土壤雨量指數，自 2005 年 6 月起日本土砂災害警戒統一採用 RBFN 模式。而在警戒發布機制方面，各都道府縣除使用傳統之表單方式通知所屬市町村外，亦於網站上以 1~5 km 之網格並採 4 個警戒等級方式呈現各地區之淺層崩塌及土石流等坡地災害風險；此外，日本氣象廳亦自 2013 年起，開始於其官網上即時提供空間尺度為 5 km，分為 5 個警戒等級，每 10 分鐘更新一次的全日本「土砂災害警戒等級網格資訊 (土砂災害警戒判定メッシュ情報)」(日本氣象廳，2016)，疊合各地平時已調查完成包含崩塌、地滑、土石流等的坡地災害潛勢資料(稱為土砂災害警戒區域)，即可完整呈現各災害潛勢地區之致災風險等級，並配合其建議之因應作為進行相關防災工作。

Samuele Segoni(2018)等人，以義大利的艾米利亞·羅馬涅 (Emilia Romagna) 為研究案例，通過整合降雨平均閾值運行的 SIGMA 來改進最新的區域性崩塌預警系統(RSLEWS)，該研究使用了兩種不同的方法，第一種為基於土壤含水量的閾值(該研究為 75%)預測滑坡發生的可能性，再與當地實測的土壤含水量進行校準之後可以在其他研究案例中使用，第二種為利用長期以及短期降雨量及考慮土壤含水量等因素 (Bogaard&Greco，2018 年及 Canli 等人，2017 年) 來決定是否發布滑坡預警。

Ari J. Posner(2015)以薩爾瓦多為研究案例，利用遙測影像及現場降雨數據繪製降雨與土壤含水分的相關曲線，從而可以利用衛星影像所觀測的土壤含水量來預測崩塌災害威脅等級並開發區域系統的可行性以及驗證二維空間中由深度綜合土壤濕度和降水組成的相關曲線。

第三節 綜合評析

由前述文獻分析得知，國內、外對於坡地災害預警除考量雨量因素外，亦嘗試將土壤含水量變化資料納入預警機制，日本(2011,2016)及陳樹群(2013,2018)引入土壤雨量指數進行評估，其中土壤雨量指數以間接評估法估計土壤含水量，受水文模式參數影響，個別集水區需各自率定相關參數，不易推廣至全台各集水區坡地災害預警，Samuele Segoni(2018)及 Ari J. Posner(2015) 利用降雨量及土壤含水量來決定是否發布崩塌預警。然臺灣土壤含水量觀測資訊有限，若要廣布監測儀器取得大範圍且即時性之土壤含水量將耗時耗費，故本計畫以遙測分析評估土壤含水量，利用影像融合技術融合不同衛星影像資料，產出高空間解析度之土壤含水量資訊，並蒐集重大坡地災害事件，研究土壤含水量與坡地災害之關聯性，再配合即時預報雨量，建立新型態坡地土砂災害預警機制，以提升坡地災害預警準確性。

近年來衛星遙測應用技術已廣泛應用於土壤含水量估計，茲將近期國內、外衛星遙測技術應用相關文獻彙整示如表 3-1。

表 3-1 衛星遙測應用於土壤含水量之相關文獻

文獻名稱	作者與出處	年份	說明
一種土壤含水量產品降尺度方法	張婷婷、張雪飛、邵芸 (中華人民共和國國家知識產權局)	2016	一種土壤含水量降尺度方法，分析步驟如下(1)獲取研究區之被動微波土壤含水量及同一時間的光學遙感影像數據；(2)基於多端元混合像元分解方法對所述光學遙感影像數據進行土壤光譜擷取；(3)利用結合遺傳演算法(Genetic Algorithm)及偏最小二乘法(Partial least squares regression)之 GA-PLS 模式，建立土壤光譜反射特徵與所述被動微波土壤含水量中獲取之土壤含水量之間的定量關係模型；(4)從上述定量關係模型，利用泰勒級數展開形式建構土壤含水量降尺度模型，可獲得高空間分辨率的土壤含水量數據，該方法可滿足大範圍流域尺度區域研究，實現流域尺度土壤含水量實時與即時動態監測。
一種基於 amsr2 土壤水分數據降尺度演算法	郭晶鵬、趙映慧 (中華人民共和國國家知識產權局)	2017	提出一種基於空間權重分解算法的 AMSR2 土壤水分之數據降尺度算法，獲取 AMSR2 之土壤含水量與 1km 遙測數值(LST 及 NDVI)，接著利用 MODIS 投影轉換工具(MODIS Re-projection Tool, MRT)、互動式數據語言 (Interactive Data Language, IDL) 對 1km 空間尺度的 LST 與 NDVI 進行乾溼邊界模擬，計算研究區內溫度植被乾旱指數(TVDI)，之後再用反距離權重法(IDW)對於 0.1°×0.1°尺度 AMSR2 土壤水分數據進行重新採樣成 10km 之空間尺度的土壤水分產品，最後利用高解析度的 TVDI 對低解析度的 AMSR2 土壤含水量劃分權重，利用權重將 10km 空間尺度的土壤含水量產品分解成 1km 土壤含水量之產品，該計算方法可滿足大範圍尺度區域土壤水分研究。
全球 36 km 格網土壤水分逐日估算	賈艷昌、謝謨文、薑紅濤	2017	將 SMAP 土壤含水量資訊和重採樣成 36km 之 MODIS 的影像波段(地表溫度、反射率)，以廣義回歸神經

文獻名稱	作者與出處	年份	說明
			網路(Generalized Regression Neural Network, GRNN)建立全球 36 km 土壤含水量。並藉由推算出 GRNN 最佳模型，將國際地圈-生物圈計畫(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)所產製之土地利用資料推算其土壤含水量，結果顯示其推估模型雖然在森林區的土壤含水量誤差大於非森林區，但依舊能估算出土壤含水量。並利用該推估模型將衛星時間解析度從 2~3 天延伸內插成 1 天。
Downscaling SMAP Radiometer Soil Moisture Over the CONUS Using an Ensemble Learning Method	Peyman Abbaszadeh, Hamid Moradkhani, and Xiwu Zhan(Water Resources Research)	2018	利用遙感及地面觀測之衛星影像以系集學習方法(Ensemble Learning Method)進行降尺度分析，利用 MODIS 之地表溫度(LST)、常態化差值植生指標(NDVI)之資料(精度為 1 平方公里)、降雨量資料(精度為 4 平方公里)、地形資料(精度為 1 平方公里)資料，透過隨機森林(Random Forest, RF) 將 SMAP 空間解析度 36km 之土壤含水分產品降尺度成 1km，並與地面測站所測量之土壤含水量進行驗證。該研究以美國為案例，分析結果發現地形因子對於降尺度成果精度影響較其他輸入變量低，該研究發展之模式可適用於不同氣候模式和土壤特性的大面積範圍。
Global downscaling of remotely sensed soil moisture using neural networks	Seyed Hamed Alemohammad 等 人 (Hydrology and Earth System Sciences)	2018	以 MODIS 常態化差值植生指標(NDVI)、地形指數(TI)為預測變數，利用類神經網路將 SMAP 空間解析度為 36km 及 9km 之土壤含水分產品降尺度成 2.25km，並與國際土壤含水量資料網站(ISMN)之觀測紀錄進行驗證。該研究以為非洲西部案例，分析結果顯示高密度植被區域(NDVI 值高的區域)土壤含水量估計多為飽和，有被高估之現象。
AMSR2 SOIL MOISTURE DOWNSCALING USING	Seonyoung Park, Jungho Im, Sumin Park, Jinyoung	2015	MODIS 之地表溫度(LST)、常態化差值植生指標(NDVI)、蒸發量(ET)及反照率(Albedo)等高解析度產品，透過隨機森林(RF)及最小二乘法

文獻名稱	作者與出處	年份	說明
MULTISENSOR PRODUCTS THROUGH MACHINE LEARNING APPROACH	Rhee(IEEE)		(OLS)將 AMSR2 空間解析度 10km 之土壤含水分產品降尺度成 1km，該研究以南韓為研究案例，分析結果並與 VUA-NASA 之降尺度產品進行比較，分析結果顯示隨機森林法之系集方法(Ensemble Approach)及隨機化(Randomization)具有較大的靈活性，並且可以改善 VUA-NASA 高估高海拔地區土壤含水量之缺點。
A New Approach for Soil Moisture Downscaling in the Presence of Seasonal Difference	Ran Yan ,Jianjun Bai(Remote Sensing)	2020	以位於溫帶季風區之陝西為研究案例，建立土壤含水量季節性降尺度模型，以降水，地表溫度，蒸散量，植被指數，土地覆蓋率，高程，坡度，縱橫比和土壤質地為解釋變量，透過隨機森林（Random Forest, RF），支持向量機（Support Vector Machine, SVM）和 K 最近鄰近（K-Nearest Neighbors, KNN）三種機器學習算法，將 AMSR-E 及 AMSR2 土壤含水量降尺度至 1 公里之空間解析度，結果顯示，基於季節的降尺度較連續時間序列為佳。因為雨量資料可顯示出季節差異

第四章 土壤含水量監測及異質資料庫系統建置

第一節 土壤含水量監測技術

土壤含水量監測技術一般可分為直接測量、間接測量兩大類，直接測量是透過相關技術直接測量土壤的重量含水量或容積含水量，如取樣稱重烘乾法、中子儀法、駐波法（SWR）、時域反射法（TDR）、頻域反射法（FDR）等；間接測量是透過測量土壤的基勢或光譜值找出其與土壤含水量關聯，如張力計法、電阻塊法、乾濕計法、遠紅外遙測法、地面熱輻射測量法、衛星遙感法等。

其中直接測量具有較高精確度，土壤含水量直接測量常見之技術彙整如表 4-1。其中 FDR 技術具有 TDR 之優點，且(1)成本及技術的實現難度上都較 TDR 低。(2)電極的幾何形狀設計和工作頻率的選取上有更大的自由度。(3)大多數 FDR 在低頻（ $\leq 100\text{MHz}$ ）工作，能夠測定被土壤細顆粒束縛的水，這些水不能被工作頻率超過 250MHz 的 TDR 有效測定。(4)FDR 無需嚴格的校準，操作簡單，不受土壤容重、溫度的影響。故本研究將採用 FDR 技術之監測儀器進行，

本計畫在研究區域建置 3 處土壤含水量觀測站，觀測站土壤監測儀器之相關說明，如圖 4-1 及表 4-2 所示，儀器觀測資料每一小時輸出平均值，儲存於資料記錄器(JDL)，示如圖 4-2 及表 4-3 所示，JDL 記錄器可監測資訊包含溫度及濕度等(圖 4-3 及圖 4-4)，可使用 Android APP 數值顯示圖 4-5，且無線網路傳輸資料庫後，可下載監測資料，JDL 記錄器優點有具級長時間紀錄及記錄資料格式為.csv 檔，兼容性高。

表 4-1 土壤含水量直接測量法常見技術比較

名稱	說明
烘乾法	測定土壤水分最經典、標準方法，操作簡單、數據直觀，在測量精度上具有其他方法不可比擬的優勢，但分析時間長，無法滿足快速測量要求
中子儀法	適合測定野外土壤水分。將中子源埋入土壤中，中子源不斷發射快中子，快中子進入土壤介質與各種原子離子相碰撞，快中子損失能量，從而使其慢化。當快中子與氫原子碰撞時，損失能量最大，更易於慢化；慢中子云密度與氫元素含量呈正比。土壤中水分含量越高，氫就越多，使得慢中子云密度就越大，從而可以由慢中子云密度得到相應的土壤水分含量。 測量結果準確，是烘乾法之外的第二標準方法；可以消除土壤水分田間不均勻的影響。而且測量簡單、容易，快速。套管永久安放後不破壞土壤，能長期定位測定，可達根區土壤任何深度。但設備昂貴，且需要田間校準，且中子發射源會對測量人員的健康造成損害。
時域反射法 (TDR)(Time Domain Reflectometry)	時域反射法是一種通過測量土壤介電常數來獲得土壤含水率的一種方法。其原理是根據電磁波沿非磁性介質中傳輸導線的傳輸時間 T，可以求出土壤的介電常數，進而求出土壤的含水量。其優點為準確率高、測量快速、操作簡單，可即時傳輸監測，且不破壞土壤結構，但缺點是受到土壤質地、土壤空隙、容重及溫度的顯著影響，當土壤溼度高時，測量結果偏差較大。
頻域反射法 (FDR) (Frequency Domain Reflectometry)	頻域反射法利用電磁脈衝原理，根據電磁波在介質中傳播的頻率來測量土壤的表觀介電常數，從而得到土壤體積含水量。其除具有 TDR 之優點外，另(1)成本及技術的實現難度上都較 TDR 低。(2)電極的幾何形狀設計和工作頻率的選取上有更大的自由度。(3)大多數 FDR 在低頻（$\leq 100\text{MHz}$）工作，能夠測定被土壤細顆粒束縛的水，這些水不能被工作頻率超過 250MHz 的 TDR 有效測定。(4)FDR 無需嚴格的校準，操作簡單，不受土壤容重、溫度的影響。缺點則是(1)受土壤空隙影響明顯。(2)部分感測器的安裝條件要求較高。 (3)對土壤電導率有一定敏感性。



圖 4-1 土壤溫濕度偵測器(接口型/RS485)

表 4-2 土壤溫濕度偵測器(接口型/RS485)規格說明表

項目	說明
測量原理	FDR (頻域傳輸)
測量參數	溫濕度
溫度範圍	-30°C~70°C
濕度範圍	0% ~100%
輸出信號	RS485
精確度(溫度)	±0.5°C
精確度(濕度)	±3.0%(FSD)



圖 4-2 JDL 資料紀錄器

溫度

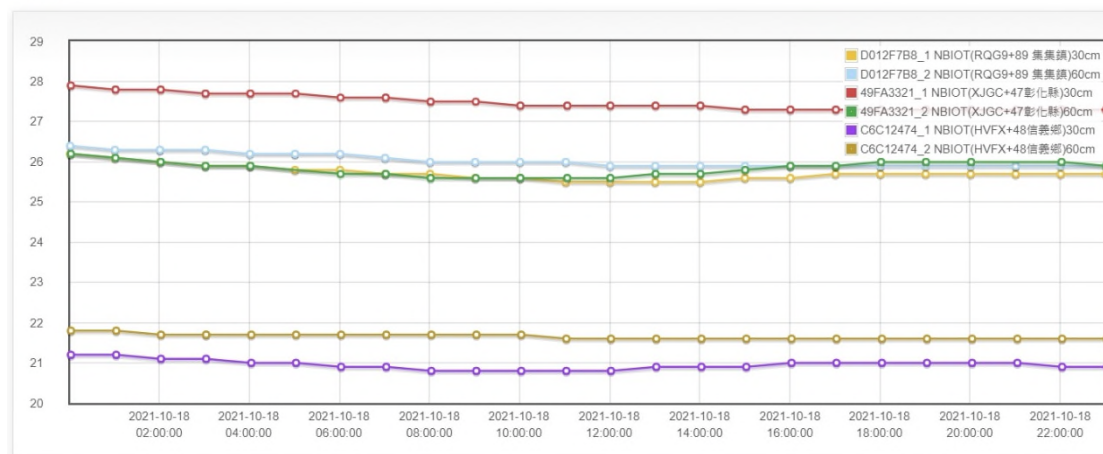


圖 4-3 溫度示意圖

濕度

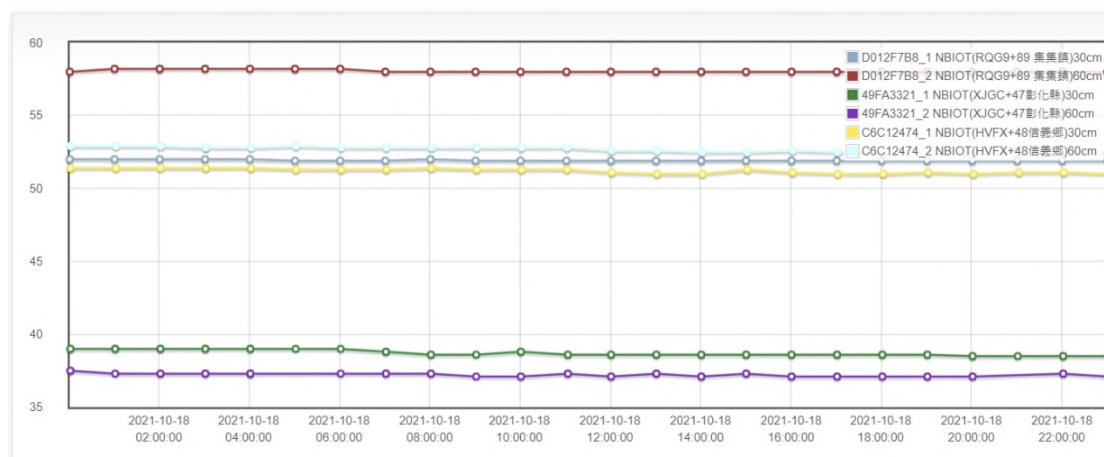


圖 4-4 土壤含水量示意圖

表 4-3 JDL 資料搜集器規格說明表

項目	說明	項目	說明
通道數量	四通道	數值顯示	APP
測定週期	5 秒	軟體	Record View
輸入訊號	4~20mA 0~5V, RS485	電源供應	DC12~24V，USB 5V，電池
記錄週期	5 秒~2 小時	外殼材質	鋁合金
紀錄媒體	Micro SD (32G)	外型尺寸	90(L)*76(W)*40(H)mm
資料格式	CSV Data		

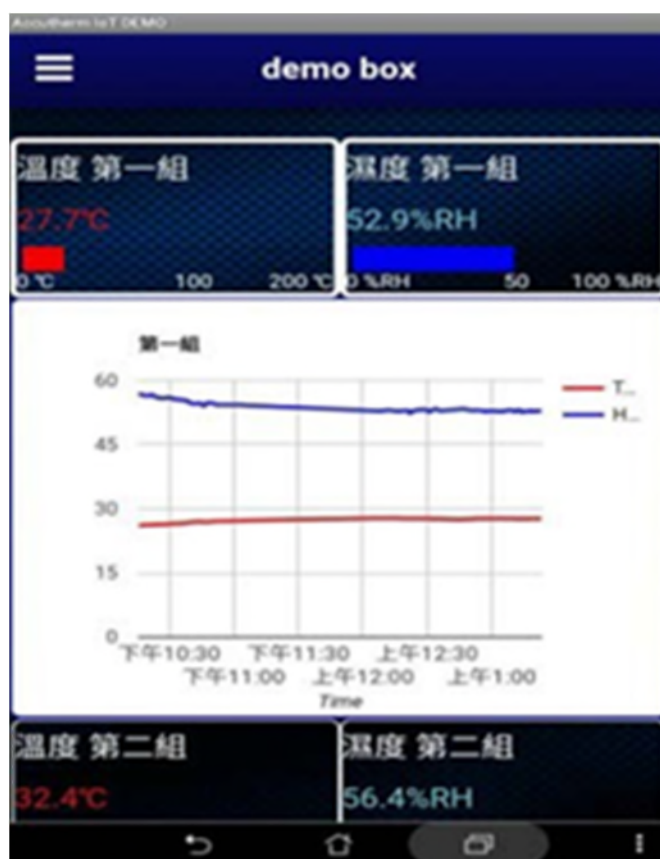


圖 4-5 APP 雲端監控顯示畫面

第二節 土壤含水量站網規劃與建置

一、站網規劃

中部區域目前僅有 10 處土壤含水量測站，為取得更多土壤含水量觀測資訊，作為後續檢定驗證之用，本研究考量歷史坡地災害、交通、電力供應、電信訊號及地主意願等因素，進行新建站網規劃，茲說明如下：

(一)曾發生坡地災害

自水土保持局之土石流防災資訊網及巨量空間資訊系統蒐集重大災害事件，找尋歷史曾有發生坡地災害之區位，作為測站候選區位。

(二)交通可及性

為利後續儀器架設，將以交通及人力能進入架設之地區優先考量。

(三)電力供應

本研究將採用無線遠距傳輸方式，需要電力支援，因此需篩選有市電供應或日照時間足夠之地點，以利提供足夠電能。

(四)電信訊號良好

本研究將採用 4G 或 NB-IOT 方式傳輸，需確認現地電信訊號良好。

(五)地主意願

需先確認架設地點之土地權屬，並取得地主同意後方能進行設置。

根據近年坡地災害篩選出 12 處候選區位(詳表 4-4)並進行現地勘查，其中南投縣信義鄉、集集鎮及彰化縣員林鎮三處符合交通可及性、具電力供應及電信訊號良好等條件，擇定此三處進行土壤含水量計建置。

表 4-4 土壤含水量監測站列表

編號	候選測站位置(緯度，經度)	歷史坡地災害	電信訊號良好	交通可及	電力供應	公私有地	地號	縣市	擇定
1	23.575694 120.896709	2017 年 0601 豪雨事件	☒	☒	☒	公	89 (森林用地) (台灣大學)	南投	
2	23.573433 120.896183	2017 年尼莎、海棠颱風及 0801 豪雨事件		☒	☒	公	148 (森林用地) (台灣大學)	南投	★
3	23.604252 120.882955	2017 年 0601 豪雨事件				公	1481 (山坡地保育區) (原住民委員會)	南投	
4	23.628705 120.870305	2017 年 0601 豪雨事件				公	1240 (山坡地保育區) (原住民委員會)	南投	
5	23.630513 120.870852	2017 年 0601 豪雨事件				公	1470 (一般農業區) (信義鄉公所)	南投	
6	23.632627 120.875026	2017 年 0601 豪雨事件	☒	☒	☒	公	1541 (山坡地保育區) (原住民委員會)	南投	
7	23.635005 120.875713	2017 年 0601 豪雨事件	☒	☒	☒	公	1541-2 (山坡地保育區) (原住民委員會)	南投	
8	24.036500 120.724972	2018 年 0823 熱帶低壓水災	☒	☒	☒	私	山坡地保育區 地號:379 (法人公司)	台中	
9	24.134021 120.773070	2018 年 0823 熱帶低壓水災		☒	☒	私	山坡地保育區 地號:221-4、 221-3	台中	
10	23.937064 120.627662	2018 年 0823 熱帶低壓水災	☒	☒	☒	私 (右)	山坡地保育區 地號:1018 (彰化縣政府)	彰化	★

編號	候選測站位置(緯度，經度)	歷史坡地災害	電信訊號良好	交通可及	電力供應	公私有地	地號	縣市	擇定
						公(左)			
11	23.940562 120.619757	2018 年 0823 熱帶低壓水災		☒	☒	公	彰化縣政府 地號: 131	彰化	
12	23.825312 120.768355	2018 年 0823 熱帶低壓水災	☒	☒		公	交通部台灣鐵路局 地號:540	南投	★

二、土壤含水量計建置

本計畫已會同地主現勘，並取得同意架設土壤含水監測儀器之回函，每個站點分別於地面下 30cm 及地面下 60cm 安裝土壤含水量，測站架設施工前、中及後之照片示如圖 4-6 ~ 圖 4-8，土壤含水量測站位置及基本資料說明詳圖 4-9 及表 4-5。



施工前



施工中(1)



施工中(2)



施工後

編號 1(南投信義鄉)

圖 4-6 南投信義鄉觀測點位施工前、中及後之照片



施工前



施工中(1)



施工中(2)



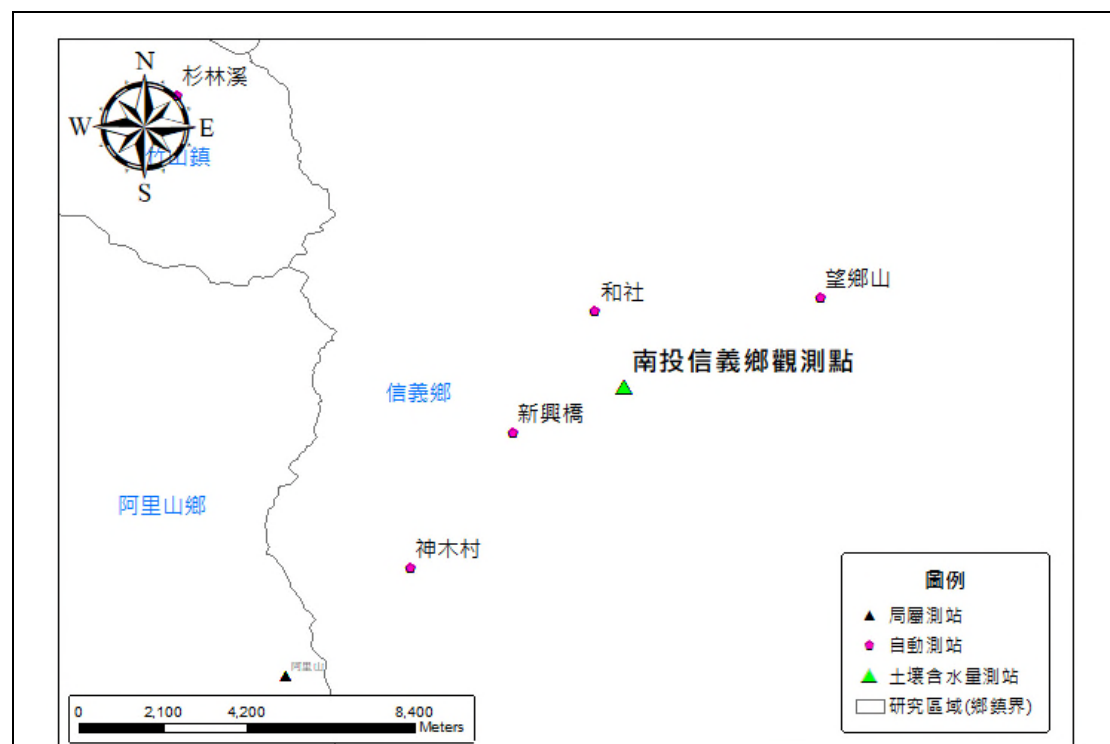
施工後

編號 10(彰化縣員林鎮)

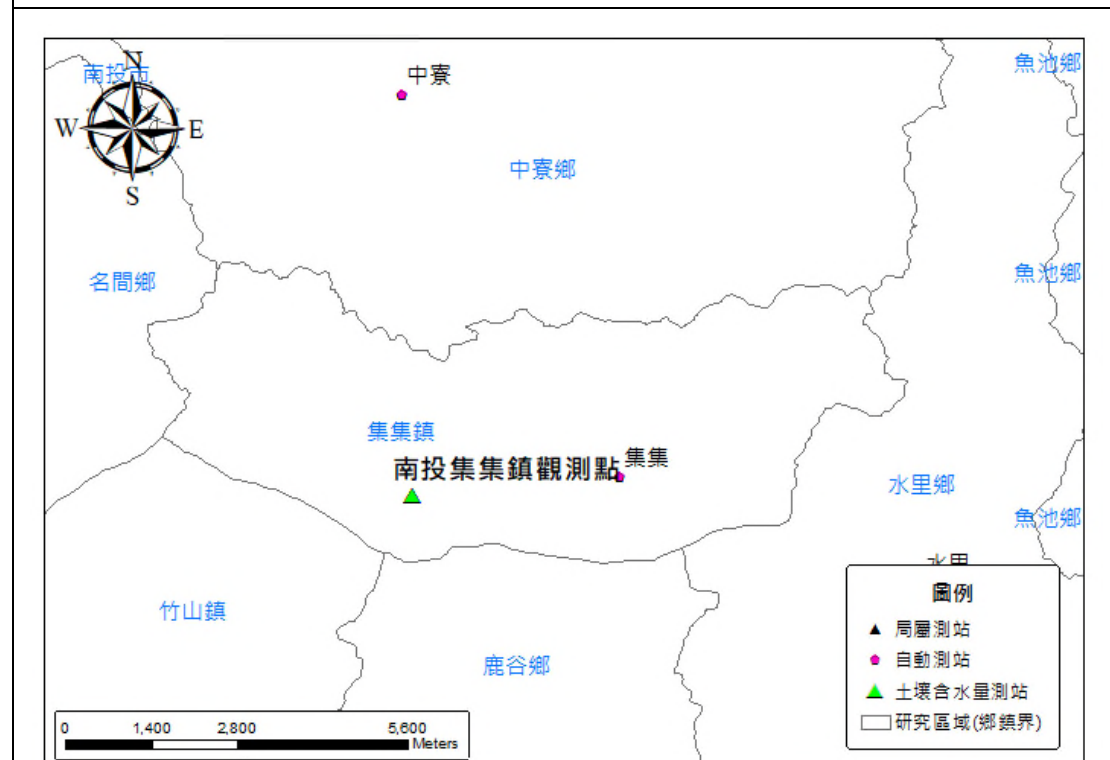
圖 4-7 彰化觀測點位施工前、中及後之照片



圖 4-8 南投集集鎮觀測點位施工前之現地照片



南投縣信義鄉



南投縣集集鎮

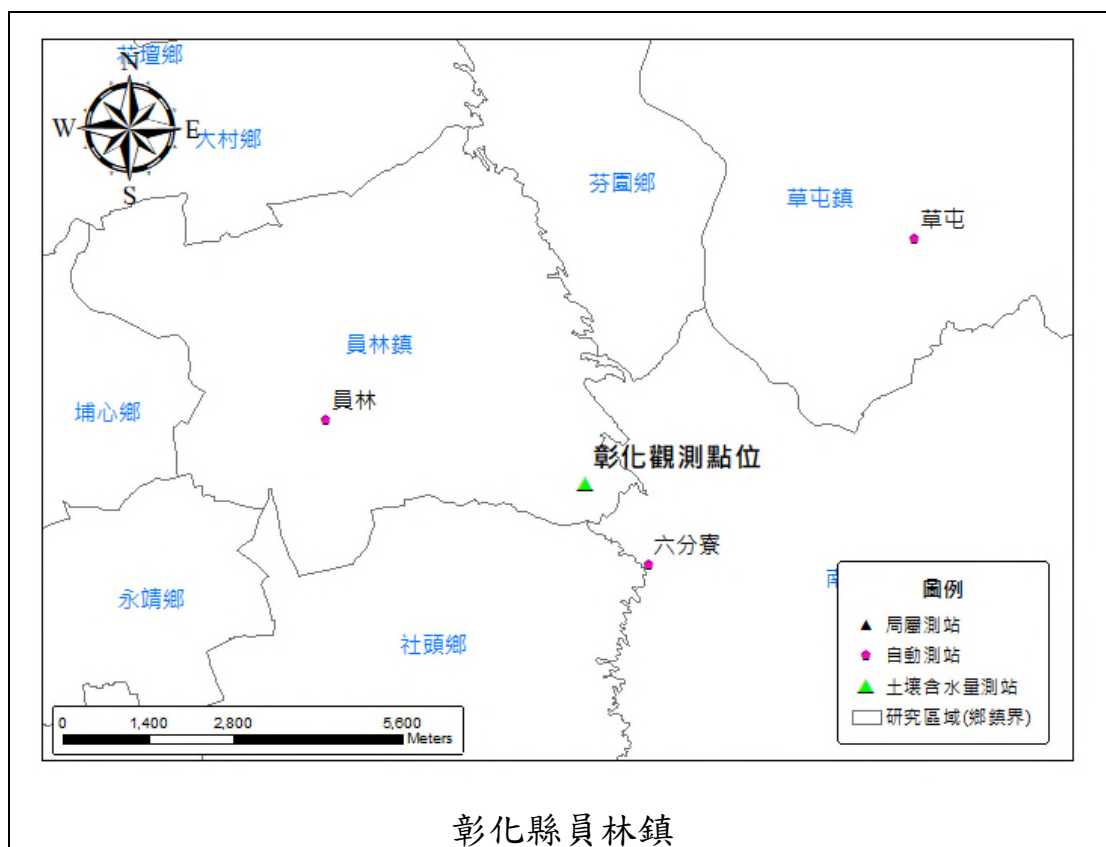


圖 4-9 土壤含水量測站位置圖

表 4-5 埋設之土壤含水率量測位置及深度

觀測站	位置		鄰近雨量站	架設深度 (公分)
	X 座標	Y 座標		
南投縣 信義鄉	239403	2607787	新興橋 和社 望鄉山	30、60
南投縣 集集鎮	226400.3	2635696	集集	
彰化縣 員林鎮	212099.2	2648103	員林	

三、土壤含水量觀測資料分析

為了解土壤含水量觀測是否有正確運作，本研究蒐集土壤含水量測站鄰近雨量站觀測資料，進行土壤含水量與時雨量關聯性分析，分析結果示如圖 4-10 ~ 圖 4-12。由圖可發現，南投縣信義鄉及彰化員林鎮當降雨發生時，土壤含水量會有突升現象，之後配合雨量之增減，則會不同程度之增長趨勢，當降雨結束後，

土壤含水量緩慢下降最後收斂趨於某一平衡值，此現象與 Horton 入滲曲線趨勢一致，顯示降雨發生後之雨量對土壤含水量變化會有遲滯效益。另南投集集鎮設置位置有喬木遮蔽，故短暫小雨對於土壤含水量並無顯著影響。

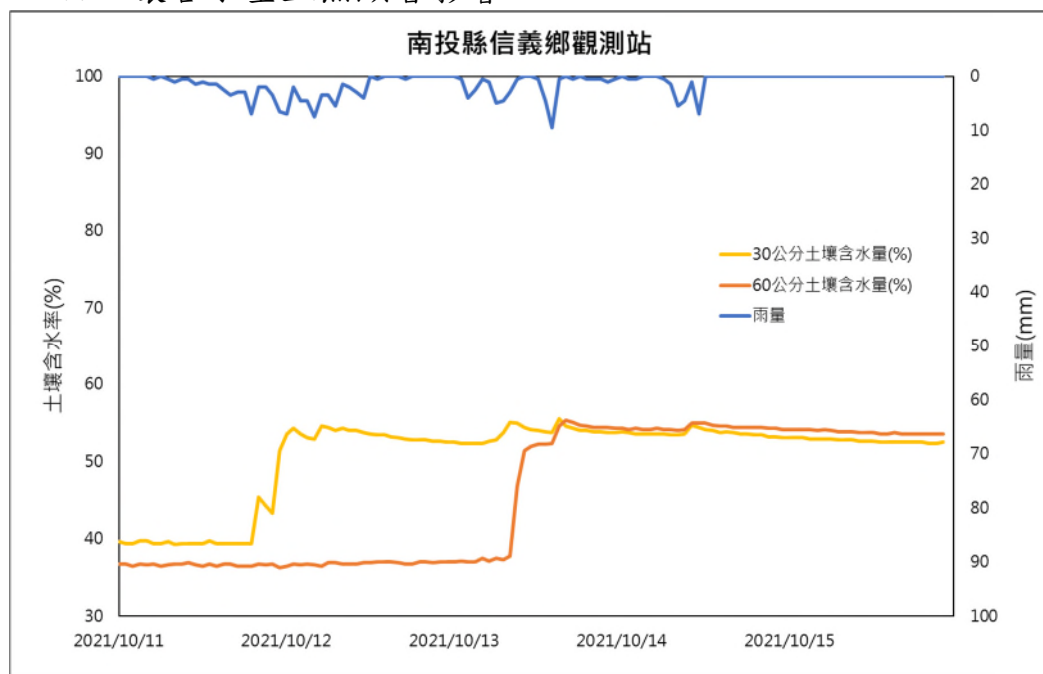


圖 4-10 南投縣信義鄉測站土壤含水率隨降雨量變化

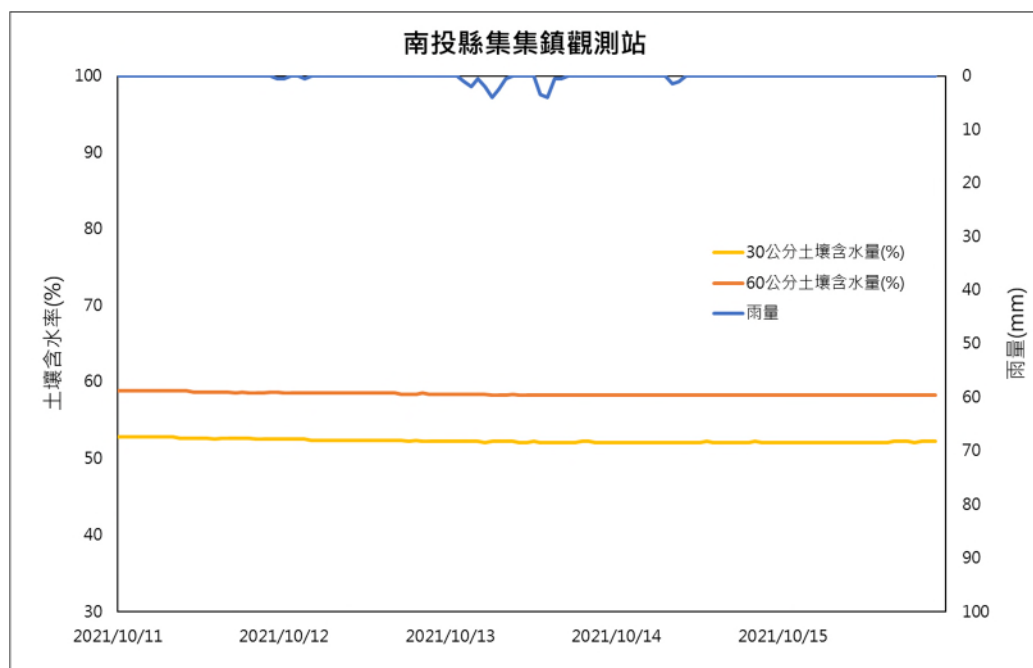


圖 4-11 南投縣集集鎮測站土壤含水率隨降雨量變化

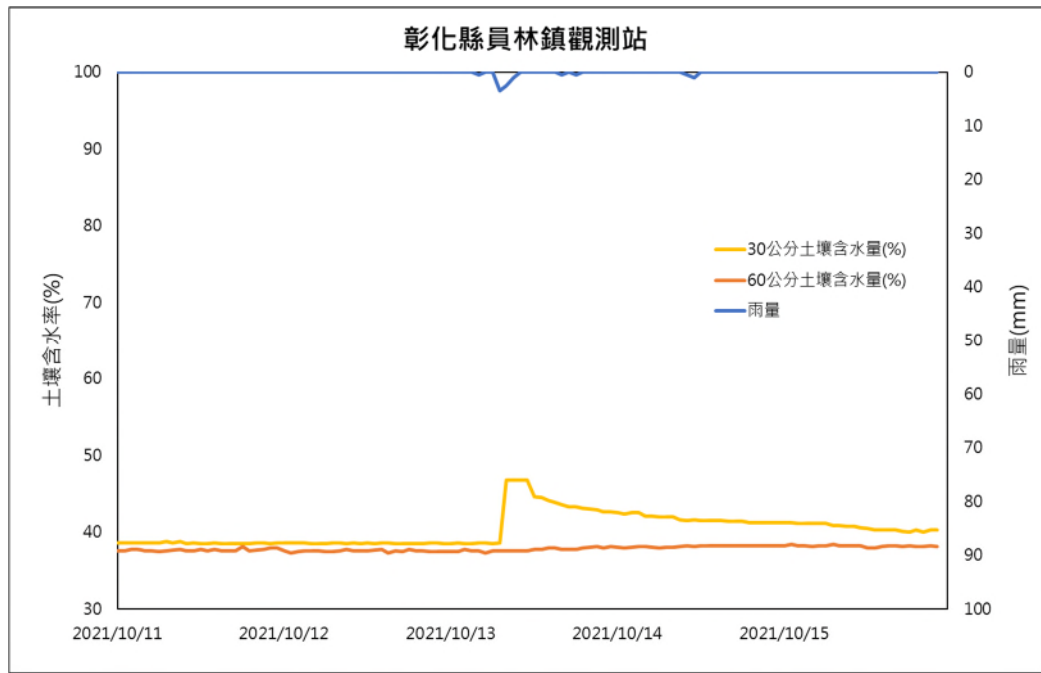


圖 4-12 彰化縣員林鎮測站土壤含水率隨降雨量變化

第三節 異質資料庫管理系統建置

本研究建立異質資料管理系統以串連雨量觀測資料(水利署及氣象局資料)、土壤含水量監測系統資料及水土保持局長期觀測資料供應平台資料、地文資料(地形、表土質地、高程、坡度、土地利用、及植生反應等)、衛星影像資料(AMSR2 及 MODIS 影像資料)及其他資料，整合架構如圖 4-13 所示，建置情形說明如下：

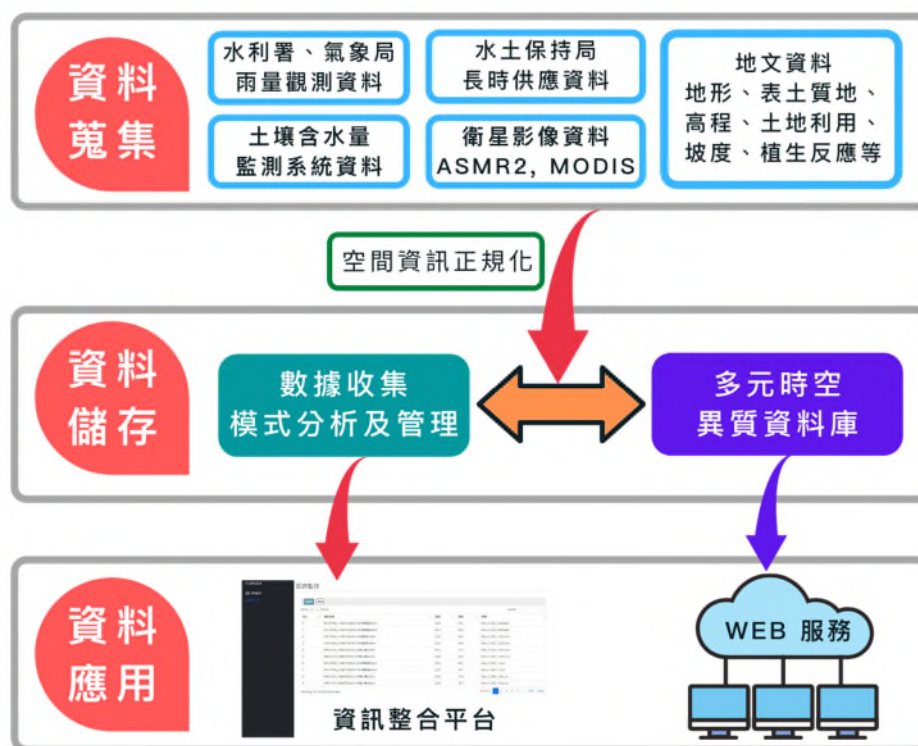


圖 4-13 異質資料庫管理系統架構圖

一、開發環境配置

本研究伺服器作業系統採用 Microsoft WINDOWS Server，架設 Internet Information Services(IIS) 網頁伺服器，提供網站管理機能，應用系統包含分析模組與網站二部分，分析模組使用 Python 軟體之下進行延伸開發，軟體環境開發架構如圖 4-14。

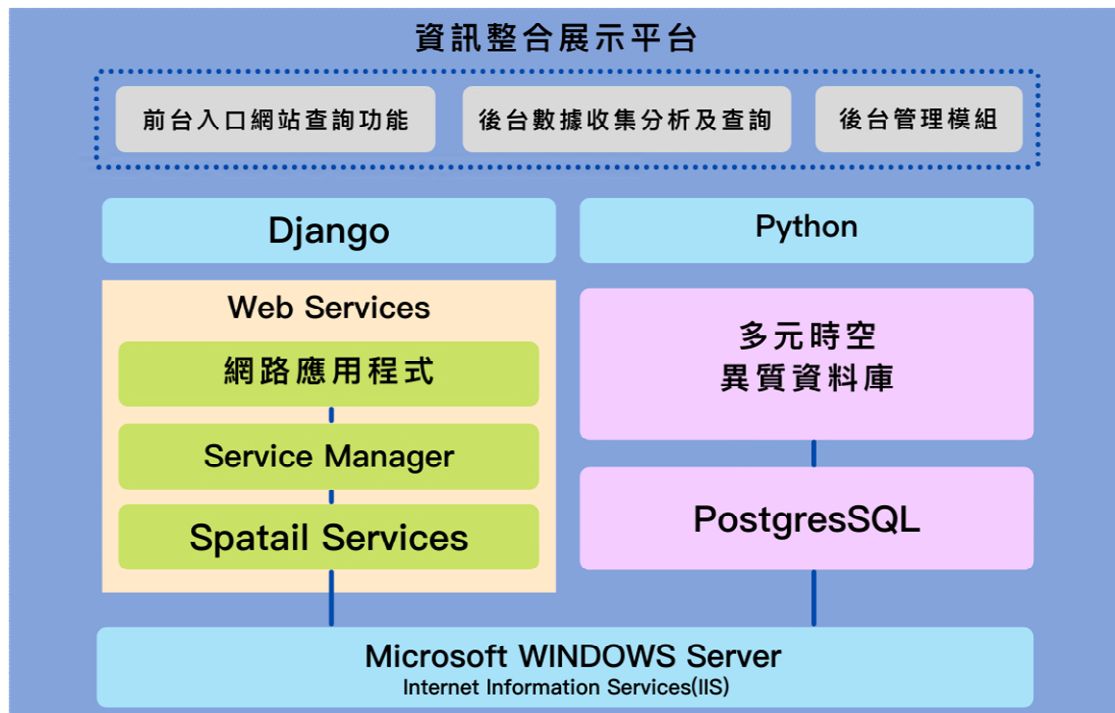


圖 4-14 開發環境圖

二、管理系統開發採用技術

網頁開發則是以 Django 開發框架，採用了 MVT 的軟體設計模式，使用 HTML、CSS、JavaScript 等腳本語言來構建網頁和網站。HTML 是一種基礎技術，常與 CSS、JavaScript 一起被眾多網站用於設計網頁、網頁應用程式以及行動應用程式的使用者介面。網頁瀏覽器可以讀取 HTML 檔案，並將其彩現成視覺化網頁。

JavaScript（通常縮寫為 JS）是一種進階的、直譯的程式語言。支援物件導向程式設計，指令式編程，以及函式語言程式設計。它提供語法來操控文字、陣列、日期以及正規表示式等，被世界上的絕大多數網站所使用，也被世界主流瀏覽器（Chrome、IE、Firefox、Safari、Opera）支援。

資料庫開發採用 Postgresql，該資料庫軟體擁有可以存放地理資訊系統圖層的功能；當使用者透過介面進行檢索的時候，會利用 HTTP 傳送請求訊息至伺服器(以 Python 之 Django 模組建

置)，透過請求處理程序(Request Handler)，進入資料庫尋找之前是否搜尋過且儲存之多維資料集(OLAP Cube)，OLAP Cube 是一種資料結構，可藉由提供快速的資料分析能力，克服關聯式資料庫的限制。Cube 可顯示和加總大量的資料，同時還可提供使用者任何資料點的可搜尋存取權。如果為新的搜索要求，將會呼叫 ETL(Extract-Transform-Load) 工具之 Bonobo 模組來處理產生新的 Cube 再輸入資料庫內，然後再由請求處理程序找出所搜尋的資料，再經由 HTML5 以及 CSS 所建置之網路介面回傳給使用者，整體架構圖示如圖 4-15。

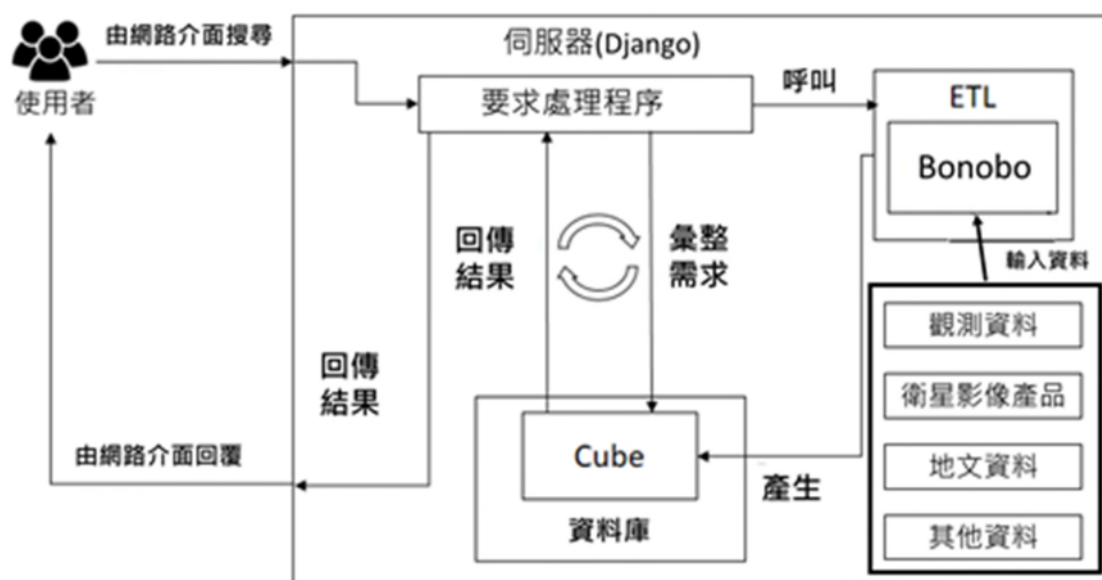


圖 4-15 異質資料庫管理系統架構圖

三、系統開發設計流程

為達到資訊推廣與提升後續應用效率，本計畫將整合前述各項模組分析成果，透過正規化方式，整合各項蒐集資訊，整合各項分析成果資訊，並建構資料服務與系統展示平台，供後續應用推廣應用。如圖 4-16 所示。

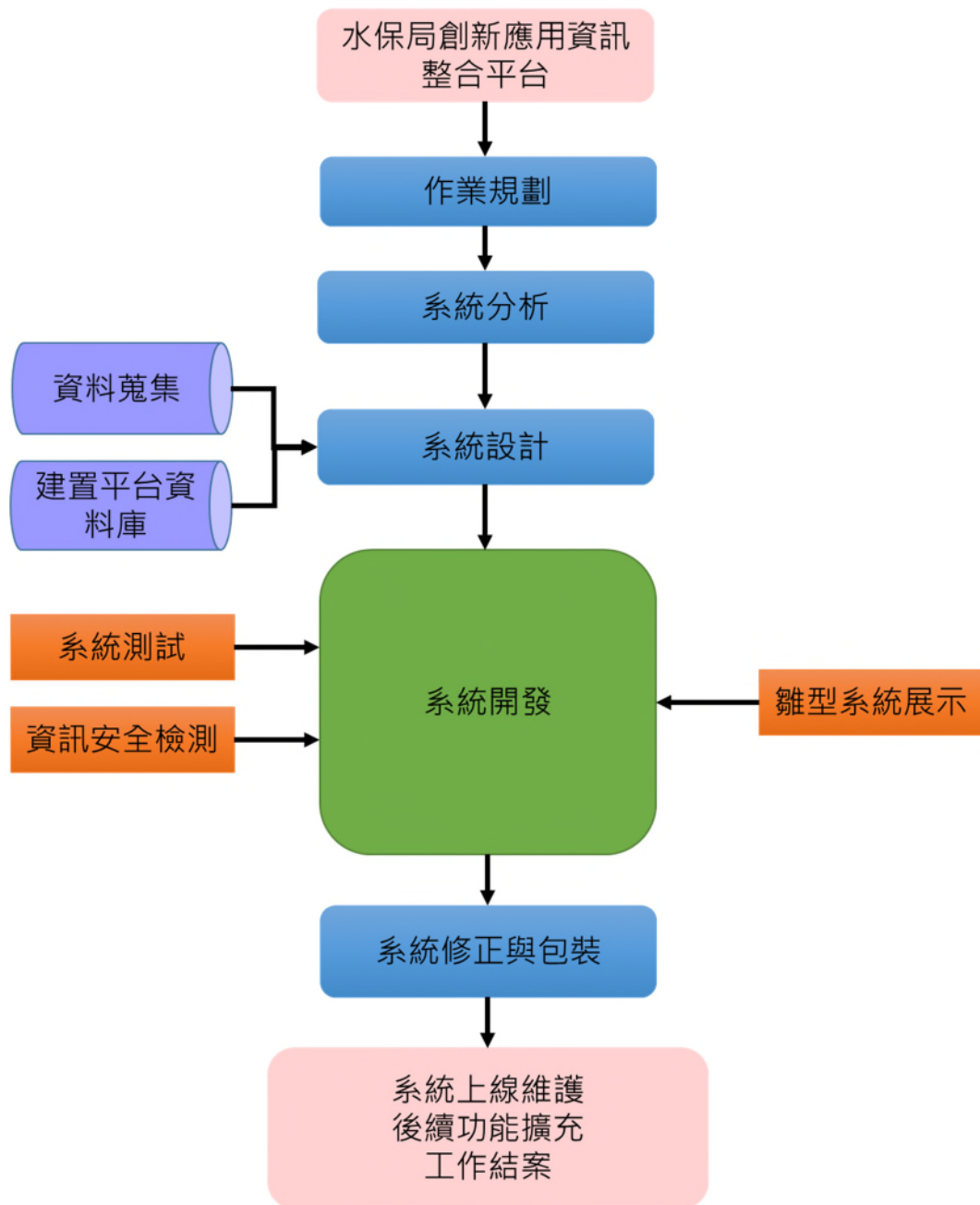


圖 4-16 系統開發設計流程圖

四、異質資料庫管理系統整體架構

(一) 資料查詢服務

110年度資料庫建置成果說明示如表4-6及表 4-7。為便利於資料使用人員或民眾使用，故採用網際網路技術建置本系統相關瀏覽、查詢應用網頁，讓使用者可於有網路的地方，採用上網或資料服務之方式，獲取相關分析成果資訊，有效

推送當前相關資訊，供各使用者進行相關應用，查詢介面示如圖4-17，使用者可點選下載歷史紀錄，資料格式為.csv檔，兼容性高。

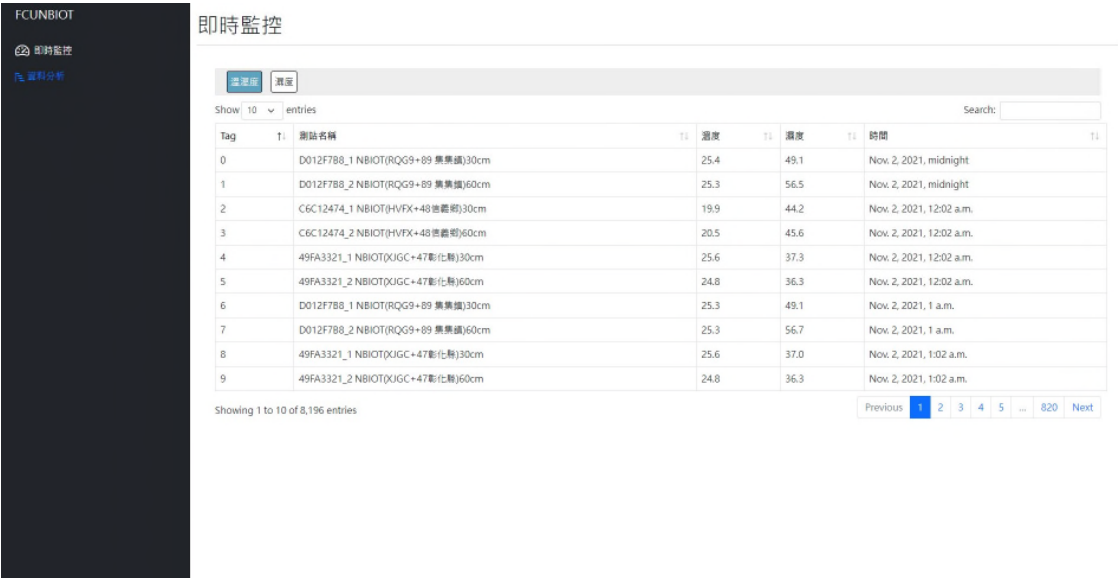


圖 4-17 資料平台即時監控示意圖

表 4-6 110 年度異質資料庫建置成果一覽表

資料來源	資料類型	資料說明	資料時間
中央氣象局 氣象資料開放平台	即時資料	自動雨量站	2021/4~迄今
		局屬氣象站	
		自動氣象站	
		未來一小時雷達 定量降雨預報	
		過去一小時雷達 定量降雨估計	
中央氣象局 歷史資料	時資料	自動氣象站	1987~2020
	時資料	局署氣象站	1911~2020
	日資料		
	月資料		
水利署 歷史資料	日資料	平均流量	1915~2020
	月資料		
	時資料	時流量	1915~2020
	時資料	地下水位	1968~2020
	日資料		
	月資料		
	日資料	含砂量	1958~2020
		雨量	1897~2020
		主要水庫蓄水量	2003~2020
	年資料	河川斷面資料	1969~2020
水土保持局 歷史資料	時資料	土壤含水量	2009/1~2021/8
		累積雨量	2009/1~2021/8
逢甲大學	時資料	土壤含水量	2021/9~迄今
		溫度	2021/9~迄今
衛星影像	日資料	LST	2011~2020
		NVDI	
		TVDI	
地文資料	圖資資料	高程	-
		地形	
		坡度	

表 4-7 土壤含水量觀測站 Metadata

測站 名稱	建置 單位	座標 (TW97_X)	座標 (TW97_Y)	記錄 年限	土壤 質地	土地 利用
寒溪	水土保持局	319453	2722634	2010 ~2021	永春里 坵質壤土	公共 設施
大粗坑	水土保持局	334625	2776134	2010 ~2021	石坑山 坵質壤土	森林 用地
蘇樂	水土保持局	286109	2732677	2010 ~2021	無調查	森林 用地
玉峰	水土保持局	280939	2727553	2010 ~2021	無調查	森林 用地
火炎山	水土保持局	222486	2694463	2010 ~2021	雜地	其他 使用
白布帆	水土保持局	240423	2688002	2010 ~2021	司馬限 坵質壤土	農業 用地
松鶴	水土保持局	248525	2674657	2010 ~2021	司馬限 坵質壤土	森林 用地
上安	水土保持局	237412	2624605	2010 ~2021	無調查	農業 用地
郡坑	水土保持局	236766	2626219	2010 ~2021	南富 壤土	農業 用地
神木	水土保持局	235367	2602749	2010 ~2021	車埕系	建築 用地
豐丘	水土保持局	237443	2618257	2010 ~2021	龜溝 壤土	公共 設施
九份 二山	水土保持局	235142	2649469	2010 ~2021	黃灰色 實質 土、硬 沙頁岩	遊憩 用地
南豐	水土保持局	259016	2656957	2010 ~2021	霧台 村系	交通 用地
華山	水土保持局	209977	2610061	2010 ~2021	古亭 笨系	農業 用地
坪頂	水土保持局	213215	2627817	2010 ~2021	無調查	公共 設施
豐山	水土保持局	223941	2609683	2010 ~2021	無	農業 用地
羌黃坑	水土保持局	201720	2552550	2010 ~2021	無	森林 用地

測站 名稱	建置 單位	座標 (TW97_X)	座標 (TW97_Y)	記錄 年限	土壤 質地	土地 利用
集來	水土保持局	207449	2547710	2010 ~2021	砂質 壤土	森林 用地
來義	水土保持局	216704	2491823	2010 ~2021	下水 埔系	公共 設施
和中	水土保持局	325315	2685218	2010 ~2021	無調查	公共 設施
大興	水土保持局	288581	2615400	2010 ~2021	清富 壤土	交通 用地
鳳義坑	水土保持局	293458	2626390	2010 ~2021	萬榮坵 質壤土	森林 用地
射馬干	水土保持局	253895	2513847	2010 ~2021	霧台 村系	農業 用地
大鳥	水土保持局	216704	2491823	2010 ~2021	下水 埔系	公共 設施
南投縣 信義鄉	逢甲 大學	239403	2607787	2021/9~	無	森林 用地
南投縣 集集鎮	逢甲 大學	226400.3	2635696	2021/9~	南富 壤土	交通 用地
彰化縣 員林鎮	逢甲 大學	212099.2	2648103	2021/9~	大崎 腳系	交通 用地

(二)視覺化展示

除提供數據資料外，本系統亦提供折線圖展示，以利比對不同變數之變化參數，詳圖4-18。

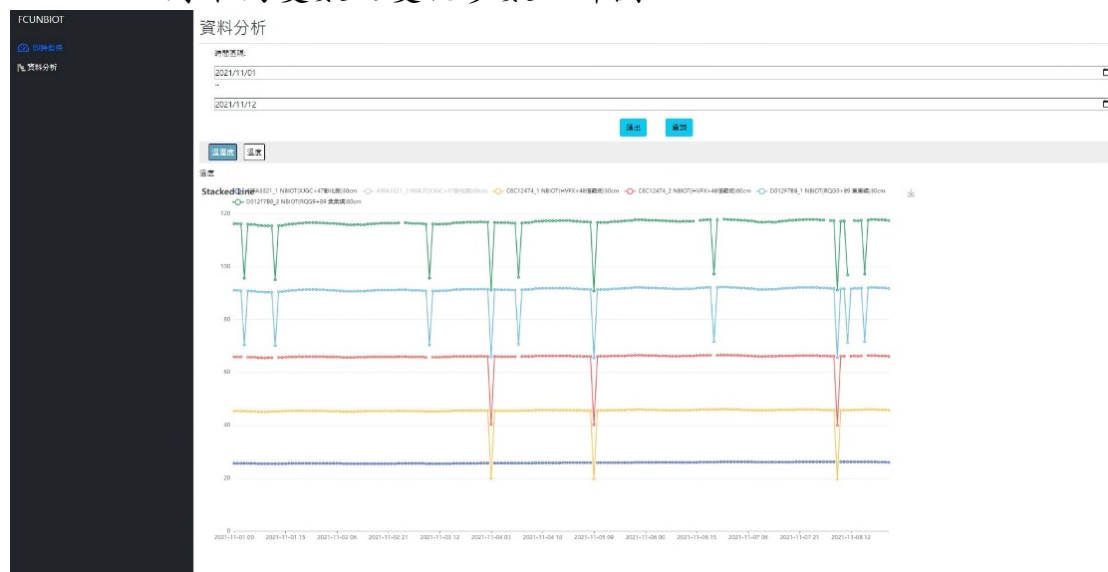


圖 4-18 資料平台即時監控視覺圖

第五章 土壤含水量降尺度預測變數篩選與分析

Beuchat 等人(2012)指出統計降尺度分析(Statistical Downscaling Analysis)是找出小尺度被預測變數(Predictand)及大尺度預測變數(Predictor)之關聯性，而預測變數的選擇則是影響降尺度成果的關鍵因素(Wilby, 1997; Kidson and Thompson, 1998; Charles et al., 1999)。Yang 等人(2017)指出預測變數組合較單預測變數的降尺度效果佳，然預測變數選擇可能會因為區域、季節及被預測變數而變得複雜。故如何篩選適當的預測變數，是降尺度分析的重要步驟之一。本計畫透過文獻分析，選擇土壤含水量降尺度分析有關預測變數，並進行特徵萃取，以作為 111 年土壤含水量降尺度分析之重要基礎。茲就分析成果說明如下：

一、土壤含水量降尺度分析預測變數(Predictor)文獻回顧

本研究蒐集近年國內外相關文獻研究，彙整與土壤含水量降尺度分析有關預測變數示如表 5-1，由文獻大致可以相關預測變數與分為衛星影像特徵、水文及地文三大類，茲介紹如下：

(一)衛星影像特徵

多數文獻採用光學衛星影像(如MODIS及Sentinel-2)提取土壤含水量特徵，這些特徵值包含採用不同波段的反射率、地面溫度(LST)、常態化差值植生指標(NDVI)、溫度植被乾旱指數(TVDI)、反照率(Albedo)、蒸發散量(ET)及地面覆蓋(LC)。部分文獻採用雷達衛星影像(如Sentinel-1)之後向散射係數作為土壤含水量特徵。

(二)水文資料

降雨特徵會影響植生指數、地面溫度及土壤含水量，故Abbaszadeh等人(2018)以及Yan和Bai(2020)等人將區域降雨量作為土壤含水量預測變數。

(三)地文資料

影響土壤含水量因子除了降雨外，多數文獻亦將土壤種類、土地利用、坡度、坡向與高程等地文因素納入考量。

表 5-1 土壤含水量相關之預測變數文獻回顧

文獻名稱	作者與出處	年份	預測變數(Predictor)
一種土壤含水量產品降尺度方法	張婷婷、張雪飛、邵芸 (中華人民共和國國家知識產權局)	2016	● 土壤光譜反射特徵(採用 MODIS 的 MOD09 產品中 1~7 波段反射率，利用多端元混合像元分解提取特徵) ● 土地利用 ● DEM
一種基於 amsr2 土壤水分數據降尺度演算法	郭晶鵬、趙映慧(中華人民共和國國家知識產權局)	2017	● 溫度植被乾旱指數(TVDI)(採用 MODIS 的 MOD11A2 產品的 8 天地面溫度(LST)及 MOD13A3 月 NDVI 提取特徵)
全球 36 km 格網土壤水分逐日估算	賈艷昌、謝謨文、薑紅濤	2017	● MODIS 的 MOD11C1 日地面溫度(LST) ● MODIS 的 MOD13C1 的 16 天反射率(選取藍光、紅光、中紅外和近紅外 4 個波段)
Downscaling SMAP Radiometer Soil Moisture Over the CONUS Using an Ensemble Learning Method	Peyman Abbaszadeh, Hamid Moradkhani, and Xiwu Zhan(Water Resources Research)	2018	● MODIS 的 MOD11A1 產品日地面溫度(LST) ● MODIS 的 MOD13A2 產品 16 日 NDVI ● 雨量 ● 土壤性質 ● 地面高程(DEM)
Global downscaling of remotely sensed soil moisture using neural networks	Seyed Hamed Alemohammad 等人 (Hydrology and Earth System Sciences)	2018	● MODIS 的 MOD13A3 產品日 NDVI ● 地形指數(topographic index)
AMSR2 Soil Moisture Downscaling Using Multisensor products though	Seonyoung Park,Jungho Im , Sumin Park, Jinyoung Rhee(IEEE)	2015	● MODIS 的 MYD11A1 產品日地面溫度(LST) ● MODIS 的 MYD13A2 產品 16 日 NDVI ● MODIS 的 MCD43B3 產品 16 日反照率(Albedo)

文獻名稱	作者與出處	年份	預測變數(Predictor)
Machine Learning Approach			● MODIS 的 MOD16A2 產品 8 日蒸發散量(ET)
A New Approach for Soil Moisture Downscaling in the Presence of Seasonal Difference	Ran Yan ,Jianjun Bai(Remote Sensing)	2020	● MODIS 的 MOD11A2 產品 8 日地面溫度(LST) ● MODIS 的 MOD13A3 產品月 NDVI 及 EVI ● MODIS 的 MOD16A2 產品 8 日蒸發散量(ET) ● MODIS 的 MOD12Q1 產品年地面覆蓋(LC) ● 雨量 ● 地面高程(DEM)
以 SMAP 衛星遙測配合 SAR 雷達回波評估土壤含水量分布與崩塌關聯分析	彭文飛，行政院農業委員會水土保持局	2020	● Sentinel-1 的後向散射係數 ● Sentinel-2 的 NDVI ● Sentinel-2 的 NDWI ● MODIS 的地面溫度(LST) ● 雨量 ● 坡度、坡向與高程

二、土壤含水量降尺度分析之預測變數(Predictor)擇定

本研究參考前述文獻，擇取衛星影像特徵、水文及地文資料做為土壤含水量降尺度分析之預測變數，茲說明如下：

(一)衛星影像特徵

根據前述文獻回顧，最常被用來作為土壤含水量降尺度分析預測變數的衛星影像特徵為地面溫度(LST)、常態化差值植生指標(NDVI)，而溫度植被乾旱指數(TVDI)則是透過NDVI與LST之間關係，計算出乾燥邊界(dry edge)及濕潤邊界(wet edge)，進而求得TVDI，根據國內外文獻(Lambin等人(1996)、Gillies等人(1997)、黃雅莉等人(2018)、Yuan等人(2020)、Lu等人(2020))，溫度植被乾旱指數(TVDI, Temperature Vegetation Dryness Index)常用以作為土壤含水量特徵，故本研究將採用TVDI作為土壤含水量降尺度分析預測變數之一。

(二)水文資料

依據水平衡公式，土壤含水量變化受降雨量、蒸發散量及逕流量影響，故本研究採用降雨量，作為土壤含水量降尺度分析預測變數之一。

(三)地文資料

根據吳怡瑩等人(2013)指出，影響入滲的因子包含降雨特徵、土壤性質、土壤臨前水文條件、土地覆蓋、地形等，本計畫將以土壤質地將相關資料進行分群進行訓練，預計將土壤質地分為砂土，粉土和黏土三類，並加入土地覆蓋及坡度，作為土壤含水量降尺度分析預測變數。

三、土壤含水量降尺度預測變數分析與特徵萃取

(一)以土壤質地進行資料分群

由於土壤含水量與其環境特性(如土壤特性、土地利用及地形等)有密切關聯性，若直接將所有資料納入分析，恐降低分析精度，故本研究以土壤質地作為分群篩選原則，將被預測變數(Predictand)及預測變數(Predictor)資料分為砂土、粉土和黏土三群，進行後續分析。各觀測站之土壤質地彙整示如表 4-7。

(二) 溫度植被乾旱指數(TVDI ,Temperature Vegetation Dryness Index)

溫度植生乾燥指數(TVDI)透過NDVI與LST之間關係，計算出乾燥邊界(dry edge)及濕潤邊界(wet edge) (詳見圖5-5)，進而求得TVDI。其公式為：

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{式 5-1}$$

LST為地面溫度像元值，相關資訊可由MODIS影像資料取得，通常相同的NDVI條件下，受到土壤濕度之影響，LST亦會不同，意即LST越高，土壤濕度越低，可透過研究區域內各相同NDVI之樣點其LST的最大值及最小值即可建立乾燥邊界(dry edge)及濕潤邊界(wet edge)(Sandholt et al., 2002)。LST_{min}為已知NDVI沿著濕潤邊界(wet edge)下之最低地面溫度，LST_{max}為已知NDVI沿著乾燥邊界(dry edge)下之最高地面溫度，濕潤邊界(wet edge)及乾燥邊界(dry edge)分析過程說明如下：

1、將各月份之 LST 及 NDVI 資料，以 LST 為縱軸、NDVI 為橫軸繪製 XY 散佈圖。本計畫 LST 和 NDVI 將由 MODIS 的 MOD11A1 及 MOD09GA 產品進行衛星反演，茲說明如下：

(1) 地面溫度 (Surface Temperature)

本計畫採用 MODIS 之 MOD11A1 產品，產品空間尺度為 1 公里*1 公里的網格資料，MODIS 地面溫度產品是基於 Jiménez-Muñoz et al 於 2014 發表之劈窗演算法反演而來，MOD11A1 產品已使用劈窗演算法對第 31 與 32 波段之亮點溫度與表面發射率 ε 換算地面氣溫 T ，並對廣泛的地表和大氣條件範圍內進行綜合回歸分析，且從第二與第三級產品刪除了受雲遮蔽的地面溫度，需透過轉換倍率與轉換公式便能獲得地面溫度。地面溫度衛星反演流程示如圖 5-1，步驟說明如下：

- A.爬蟲下載：由於 MODIS 衛星影像產品眾多且資料龐大，本計畫以 python 程式撰寫爬蟲程式自 NASA 的 Land Processes Distributed 資料庫自動下載 MODIS/Terra MOD11A1v006 的每日資料檔。
- B. 資料提取：下載之影像為 HDF 檔，為多合一之壓縮影像檔，透過 ArcGIS 之 Extract 搭配 model 功能將檔案中的地面溫度產品，圖層 0「白天地面溫度」提取出來做使用。
- C. 影像合併與裁切：臺灣位於 h28v06 與 h29v06 網格條帶間，本計畫利用 ArcGIS 之 Mosaic 功能，合併兩條帶影像，再利用 ArcGIS 之 Mask 功能裁切出全臺灣影像。
- D.座標轉換：MODIS 衛星影像因受到拍攝寬度與地球投影限制，將地球切割為 Sinusoidal Tile Grid 網格(35*17 格)屬於等積投影系統，而台灣採用之投影系統為橫麥卡托(Transverse Mercator, TM)投影座標系統，為了後續處理的一致性，利用 ArcGis 將座標系統轉換至本地座標系統(TWD97

大地基準系統)。

E. 地面溫度反演：MODIS 的地面溫度影像產品其值域為 0~65535 之間，其中 0 值多為因反射率過低(雲蔽、海洋等)而偵測不到作為填充值，也視為無資料值，因此影像實際取值為 7500~65535 之間，需先乘以轉換倍率為 0.02，轉換為絕對溫度 K(Absolute Temperature，單位 Kelvins)，再減去 273.15K，以轉換成攝氏溫度 C(Celsius)，轉換公式示如式 5-2。

$$LST = LST_{sat} * 0.02 - 273.15 \quad \text{式 5-2}$$

本計畫已完成 2011~2020 年之 NDVI 估計，以 2020 年為例，NDVI 估計成果示如圖 5-2。

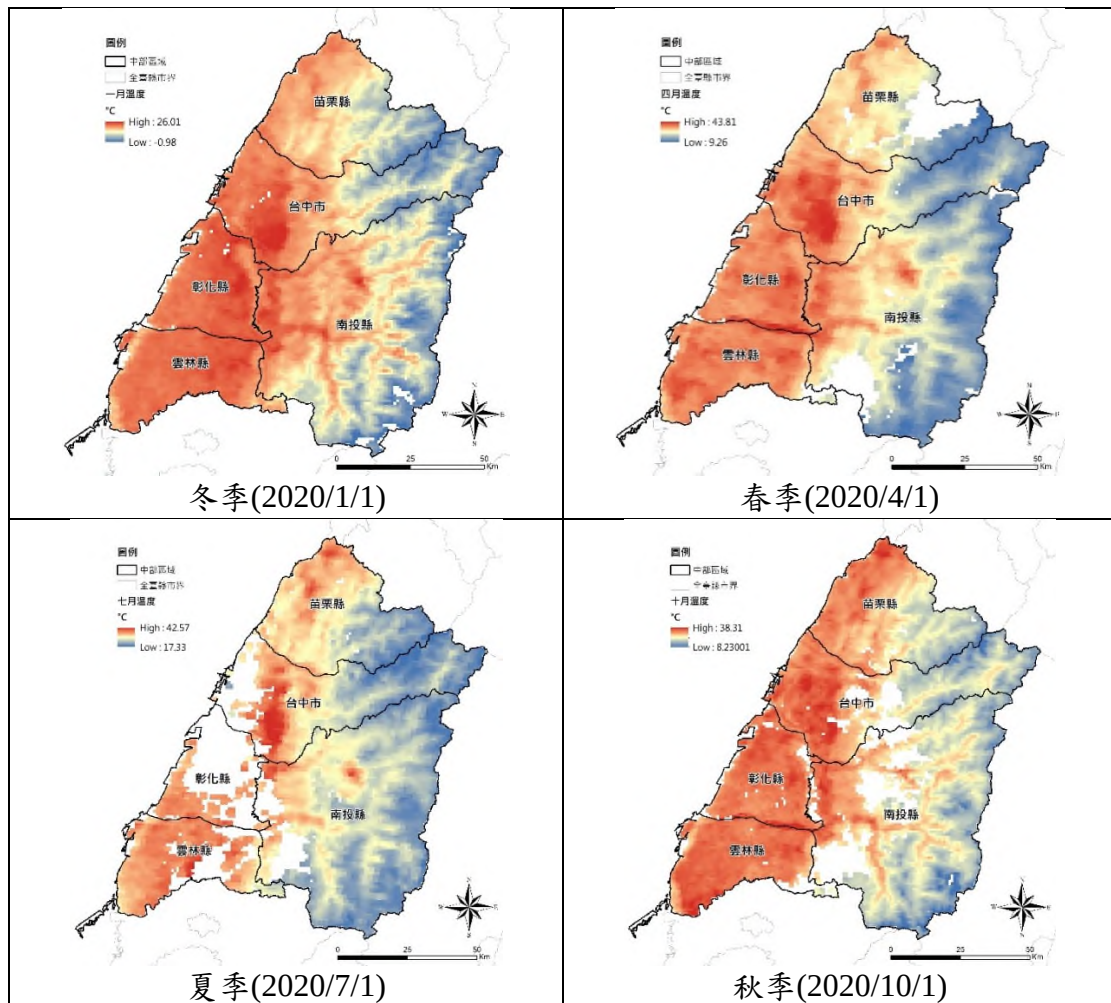


圖 5-2 2020 年 LST 分析成果

(2) 常態化差值植生指標(NDVI)

NDVI 為常態化差值植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index)，單位為焦耳/平方公尺/日。NDVI 計算公式如下

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{式 5-3}$$

式中 RED 為紅光波段；NIR 為近紅外光波段。RED 和 NIR 資料可由光學衛星影像取得，本計畫採用 MODIS 之 MOD09GA 產品中第 1 波段(RED)及第 2 波段(NIR) 地表反射率，進行 NDVI 估計，其影像空間解析度為 500 公尺*500 公尺，影像處理與計算

過程詳如圖 5-3。本計畫已完成 2011~2020 年之 NDVI 估計，以 2020 年為例，NDVI 估計成果示如圖 5-4。

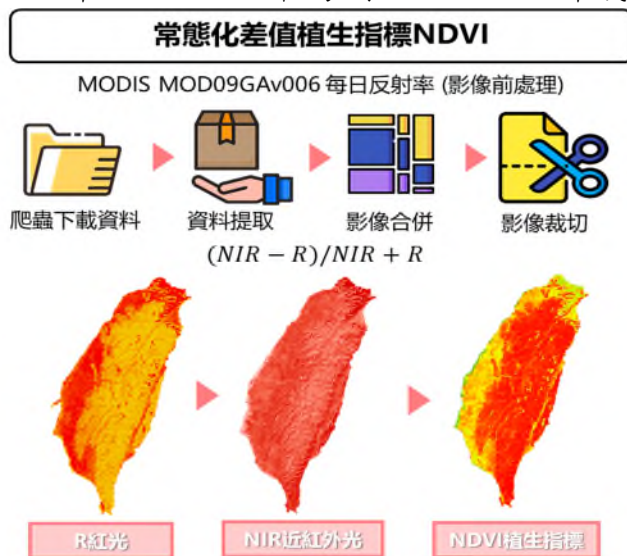


圖 5-3 計算常態化差值植生指標 NDVI 流程圖

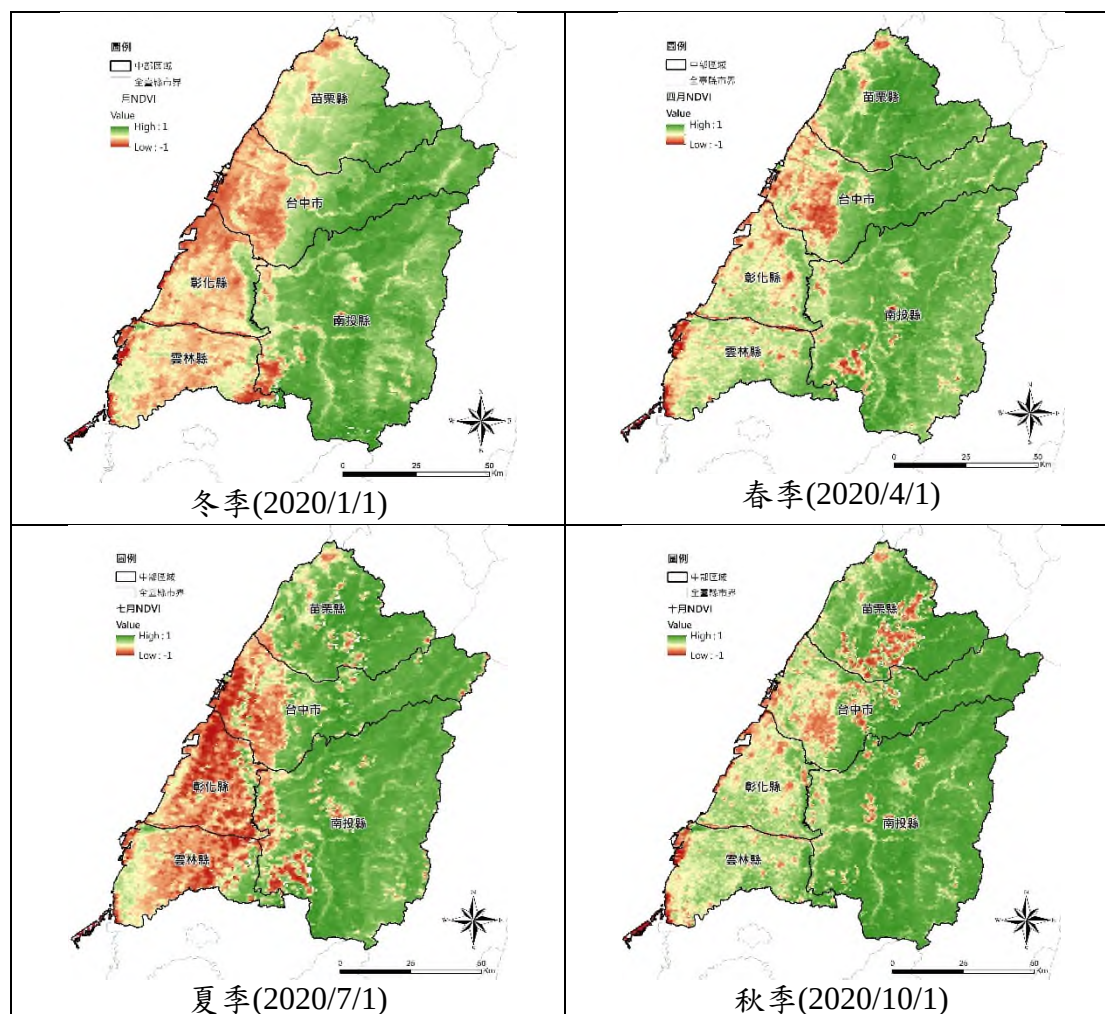
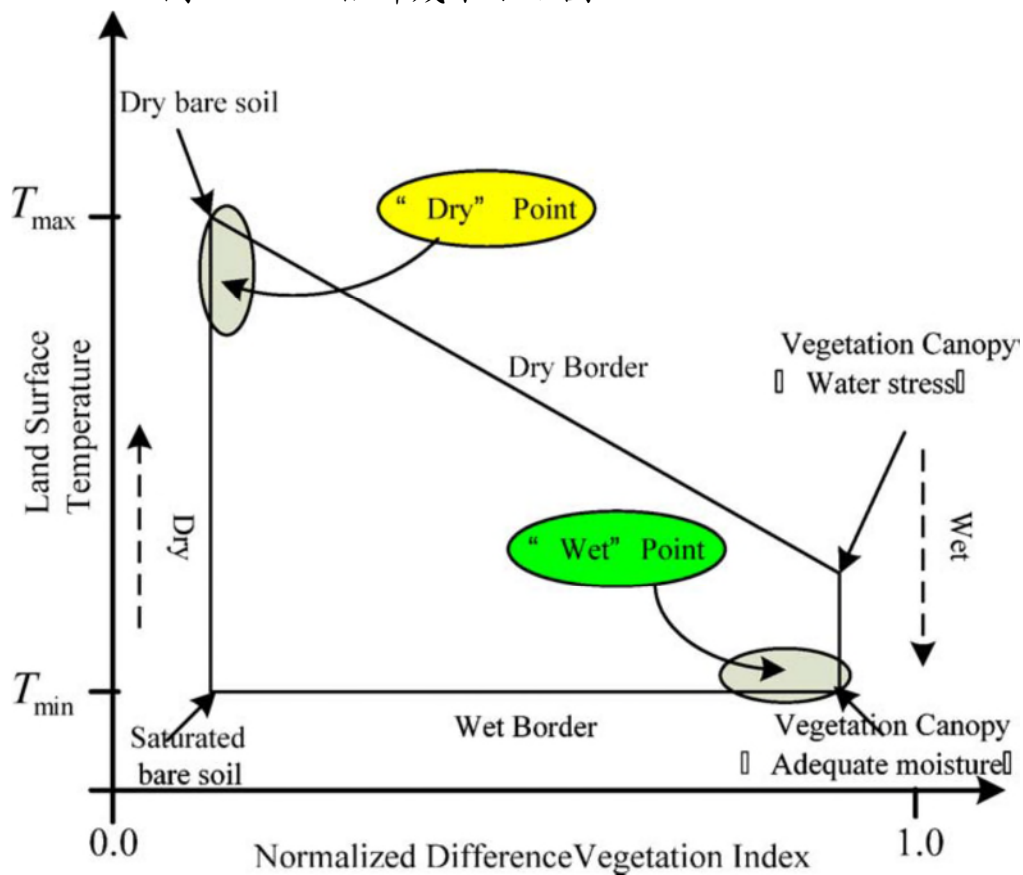


圖 5-4 2020 年 NDVI 分析成果

- 2、本計畫以「區間離散法」取代「統計回歸」進行乾、濕邊界分析。首先於各月散佈圖中，將 NDVI 數據分為 <0.05 及 $0.05\sim1$ 以等間距 0.05 區分，共計 20 個區間。再於每個區間擇取 LST 最大值(LST_{max})及最小值界(LST_{min})，將各區間之 LST 最大值連線即為乾燥邊界，各區間之 LST 最小值連線即為濕潤邊界。
- 3、將各像元地面溫度及各像元 NDVI 對應之 LST 最大值(LST_{max})及最小值界(LST_{min})代入式 5-1，即可估算 TVDI。本計畫已完成 2011~2020 年之 NDVI 估計，以 2020 年為例，NDVI 估計成果示如圖 5-4。



資料來源：Gao,2010, Integrating temperature vegetation dryness index(TVDI)and regional water stress index(RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images

圖 5-5 地面溫度(LST)與 NDVI 指標梯度特徵空間示意圖

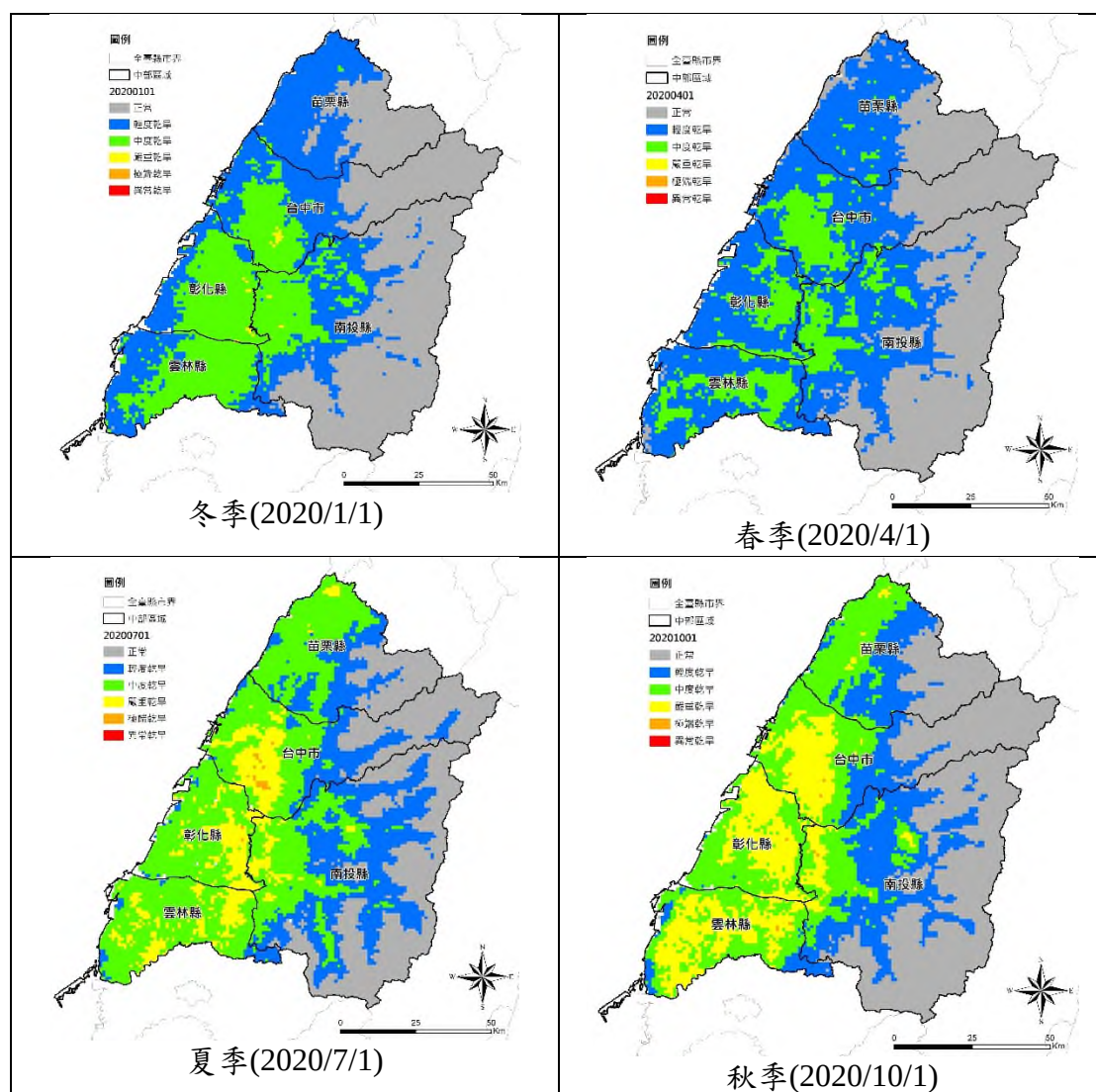


圖 5-6 2020 年 TVDI 分析成果

(三)降雨量

本研究採用歷史及即時觀測資料進行土壤含水量降尺度分析，待通過分析驗證比對，再配合預報雨量進行坡地災害預警分析。其中歷史及即時雨量網格資料採用中央氣象局 QPESUMS 網格雷達降水觀測產品，預報資料採用中央氣象局 QPF 定量降水預報，其提供全台網格解析度為 0.0125 度 x 0.0125 度 (即 1.3x1.3 平方公里) 之時雨量資訊。為利與 TVDI 之網格整合分析，本研究將透過距離反比加權法內插 (Inverse Distance Weighting, IDW) 產製 1KM*1KM 網格時資料。

(四)坡度

採用內政部發行之20m*20m網格DEM資料，利用ArcGIS軟體中3D分析模組(3D Analysis)之坡度(slope)功能進行分析，並依據水土保持技術規範第二十三條(詳表 2-1)，將坡度分為七級坡，分析結果詳圖2-5。

(五)土地覆蓋

本研究採用MODIS的MOD12Q1產品的土地覆蓋(Land cover)，MOD12Q1每年提供全球土地覆蓋資訊，其採用MODIS Terra 和 Aqua 反射率數據透過監督分類，再結合先驗知識和輔助信息進一步細化特定類別，共有六種分類方法，其空間解析度為500公尺。

第六章 結論與建議

- 一、本研究透過站網規劃分析，擇定南投縣信義鄉、集集鎮及彰化縣員林鎮三處進行長時期土壤含水量監測，並完成異質資料庫管理系統建置，彙整各單位觀測資料，以作為建立坡地災害預警模式重要基礎。
- 二、已完成降尺度預測變數篩選與衛星影像特徵萃取，以作為111年土壤含水量降尺度分析之重要基礎
 - (一) 透過文獻分析，擇取溫度植被乾旱指數(TVDI)、降雨量、土壤質地、土地覆蓋及坡度作為土壤含水量降尺度分析預測變數。
 - (二) 利用 MODIS 衛星影像產品透過衛星反演技術產製空間尺度為 1KM*1KM、時間尺度為日之 TVDI 以及空間尺度為 500M*500M、時間尺度為年之土地覆蓋(Land Cover)資訊。
 - (三) 利用資料映射技術將 QPESUMS 雷達降雨估計值產製空間尺度為 1KM*1KM、時間尺度為日之降雨量網格資料。
 - (四) 後續將利用土壤質地資訊，將前述資料分為砂土、粉土和黏土三群，以作為 111 年土壤含水量降尺度分析之重要基礎。

參考文獻

1. 靜宜大學，張雅惠，85 年，一個達到異質性資料庫間互通能力的詢問具處理器
2. 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，88 年，使用行動代理者作分散式資料庫資料擷取
3. 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告，89 年，主動式異質資料庫系統之資料一致性維護應用於電子商務
4. 莊緯璉，94 年，運用判別分析進行山崩潛感分析之研究－以臺灣中部國姓地區為例
5. 王雁平，97 年，崩塌影響因子對崩塌率及崩塌特徵之研究
6. 陳錕山教授，98 年，衛星遙測台灣地區土壤含水量與降雨量之研究
7. 吳怡瑩、劉哲欣、張志新，102 年，降雨量與表層土壤含水量關係之研究
8. 陳樹群、蔡喬文、何謹余、陳美珍、伊孝元，102 年，土壤雨量指數分析崩塌地案例特性及其在防災整備階段之應用
9. C. Y. Wu and S. C. Chen，102 年，Integrating spatial, temporal, and size probabilities for the annual landslide hazard maps in the Shihmen watershed, Taiwan
10. 行政院農業委員會漁業署 102 年度科技計畫研究報告，102 年，102 年度「漁業產銷戰情決策與資訊整合服務」
11. You long Xia(等 7 人)，103 年，Evaluation of multi-model simulated soil moisture in NLDAS-2
12. Seon young Park、Jung hoIm、Sumin Park、Jin young Rhee，104 年，AMSR2 SOIL MOISTURE DOWNSCALING USING

MULTISENSOR PRODUCTS THROUGH MACHINE LEARNING APPROACH

13. 何碩倫，104 年，納入土壤含水因子於土石流有效累積雨量預警訂定與警戒解除時間之研究
14. 江昭輝(等 7 人)，104 年，台灣區域土壤含水率觀測網之建置與資料分析
15. YOU LONG XIA 、 MICHAEL B.EK 、 YI HUA WU 、 TRENTFORDANDSTEVENM.QUIRING，104 年，Comparison of NLDAS-2 Simulated and NASMD Observed Daily Soil Moisture. Part I: Comparison and Analysis
16. 張婷婷、張雪飛、邵芸，105 年，一種土壤含水量產品降尺度方法
17. 賈艷昌、謝漢文、姜紅濤，106 年，全球 36km 格網土壤水分逐日估算
18. 郭晶鵬、趙映慧，106 年，一種基於 AMSR2 土壤水分數據降尺度算法
19. 國立中正大學，王敏旭，106 年，整併異質資料庫中的多維度資料之校務研究資料倉儲系統
20. Chunli Yang、Ninglian Wang、Shijin Wang，106 年，A comparison of three predictor selection methods for statistical downscaling
21. 國家災害防救科技中心劉哲欣副研究員，107 年，坡地聚落的崩塌危害評估
22. Seyed Hamed Alemo hammad、Kolassa、Catherine Prigent、Filipe Aires、Pierre Gentine，107 年，Global downscaling of remotely sensed soil moisture using neural networks
23. Peyman Abbaszadeh、Hamid Moradkhani、 Xiwu Zhan，107 年，

- Downscaling SMAP Radiometer Soil Moisture Over the CONUS Using an Ensemble Learning Method
24. Jin yang Du(等 7 人)，107 年，Assessing global surface water inundation dynamics using combined
 25. satellite information from SMAP, AMSR2 and Landsat
 26. 劉宜君、陳樹群，107 年，結合土壤雨量指數與頻率比法建構坡地災害潛勢模式
 27. 行政院農業委員會水土保持局委辦計畫摘要報告，107 年，107 年土石流防災決策平台網絡擴充與精進
 28. 107 年度創新研究計畫摘要報告/國家災害防救科技中心蘇文瑞研究員，107 年，坡地災害情資功能模組開發與情資服務
 29. 國立中正大學，莊俊宏，108 年，異質資料庫軟體資源監控建置
 30. Mario Guevara、Rodrigo Vargas，108 年，Downscaling satellite soil moisture using geomorphometry and machine learning
 31. Ran Yan ,Jianjun Bai，109 年，A New Approach for Soil Moisture Downscaling in the Presence of Seasonal Difference，Remote Sensing.
 32. 彭文飛，109 年，以 SMAP 衛星遙測配合 SAR 雷達回波評估土壤含水量分布與崩塌關聯分析，行政院農業委員會水土保持局
 33. 財團法人資源及環境保護服務基金會陳樹群董事長、吳俊毅博士，土石流防災整備模式檢討與更新
 34. 行政院農業委員會水土保持局委辦計畫摘要報告，整合土壤雨量指數與降雨驅動指標
 35. 之警戒模式可行性評估"
 36. 行政院農業委員會水土保持局委辦計畫摘要報告，應用坡地易損性模式於坡地災害損失評估及警戒模式研究
 37. 林威州，工業區內事業之地下水監測井網規劃建置策略探討

38. 陳慶和(等 7 人)，永續空氣品質監測網多目標規劃理論及系統之發展
39. 姚銘輝、鍾鈞軒、徐永衡，利用未來統計降尺度氣候資料評估臺灣水稻生產潛勢

附錄

附錄一、細部計畫說明書審查意見暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	土壤含水量與土石流或崩塌之關係因土壤深度而異，並不如地下水位之關係來得明確，宜更深入說明。	感謝委員建議，本計畫將以淺層崩塌為主要研究對象，一般影響淺層崩塌因子有潛在因子(如地形、土壤、地質等)及誘發因子(如地震、氣候、人為活動等)，根據相關文獻研究顯示，表土含水量屬於影響淺層崩塌之誘發因子之一，故本研究將納入土壤含水量作為淺層崩塌預測因子之一。
二	坡地災害之規模通常為數公頃到數10公頃，而遙測土壤含水量雖可降尺度到1KM逐時資料，但仍遠大於土砂災害之規模，依此方式所建立之預警模式是否合宜？	感謝委員建議，光學衛星影像中以短波紅外線(SWIR，波長介於 1.4-3 微米)較能反映土壤含水量，目前有此波段之衛星為 MODIS、Sentinel1、2、3、及 Landsat 7、8，其空間解析度由數百公尺到數公里，其中又以 MODIS 的時間解析度(每日)較高，過去相關文獻多以 MODIS 衛星影像產品作為降尺度分析的預測變數，故受限於衛星影像精度，目前僅能降至 1KM 全台網格資料，但相對於目前全台只有 20 多點的土壤含水量觀測資料，空間精度已有大幅提升，且土壤含水量僅為淺層崩塌預測因子之一，尚有其他地文與氣候因子(如雨量)輔助預警，應能提供可靠之預警資訊。

項次	審查意見	回覆辦理情形
	本研究預計至第3年才有較初步之成果，就期程規劃上，應可加快期程。	感謝委員建議，由於全台土壤含水量觀測資料缺乏，故第一年需建立監測站，廣收相關監測資料，第二年進行衛星影像降尺度分析，第三年再整合所有崩塌影響因子進行淺層崩塌預警。
四	土壤含水量之國內相關文獻中，可發現森林區誤差較非森林區大，如此結論是否造成坡地災害預警模式之誤差？	感謝委員建議，過去土壤含水量降尺度分析之相關文獻，常以 MODIS 影像產品(如地表溫度、NDVI 及反射率)作為預測變數(Predictor)，缺乏地文相關因子，故造成森林區誤差較大，故本計畫預測變數除了考量 MODIS 影像產品外，亦加入表土土壤質地、地質、高程、坡度、坡向、土地利用、地形曲率、地形粗糙度等地文因子，將透過關聯分析、相關分析及偏相關分析等，找出適宜的預測變數，以加強土壤含水量降尺度分析之精度。
五	本計畫期利用遙測影像分析快速得到地表土壤含水量資訊，並利用坡地災害事件建立關聯產後結合QPESUMS預報雨量進行預警，可嘗試。	感謝委員肯定。
六	既有土壤含水量觀測不多，且觀測多為地表深度1公尺以內，如何具代表性應思考。	感謝委員建議，本計畫將以淺層崩塌為主要研究對象，根據相關文獻研究顯示，表土含水量屬於影響淺層崩塌之誘發因子之一，故本研究將納入土壤含水量作為淺層崩塌預測因子之一。另外本研究除蒐集水保

項次	審查意見	回覆辦理情形
		局觀測資料供應平台之土壤含水量觀測資料外，亦將增設土壤含水量監測站，以掌握各多區位之土壤含水量資料。

附錄二、期初審查意見暨回覆辦理情形

審查意見	處理情形
委員意見	
(一)使用遙測影像推估的土壤含水率有幾個限制： 1. 太慢：事件發生後到拿到影像再做出土壤含水量的產品已經好幾天了。 2. 太粗：用降尺度可能產生更大誤差。 3. 太差：誤差太大。	本計畫將以降尺度分析產出高空間解析度(1KM)之事件臨前土壤含水量，再透過水平衡公式，估計事件期間之土壤含水量變化，並與地面觀測站比對進行參數率定，以期解決影像資料非即時性、空間尺度過粗及誤差太大之問題。
(二)QPESUM 預報資料不準，建議用實體雨量站資料。	QPESUMS 有網格觀測資訊及即時預報資訊，本研究將採用觀測資料進行訓練驗證，後續再利用預報資料進行實際應用推動。
(三)土壤含水量是指表土(多深厚)之含水量？如多個土層或含植被的或裸土的如何選取？如何求得此一參數及其在空間之分佈及如何驗證請說明。	衛星影像測得之土壤含水量一般為地表 30cm 內之含水量，然衛星電磁波穿透性受雲層及植物遮蔽影響，不同區域仍有不同，本計畫將以衛星影像配合降尺度分析技術及地面觀測資料，率定降尺度分析模式之參數，以期提高區域土壤含水量估計之精度。
(四)土壤含水量與土壤雨量指數之意義不同？請補充說明。	土壤雨量指數代表土體中儲存之雨量深度，是透過水筒模式估計之；衛星影像反演之土壤含水量則是體積百分比(單位土體中，水分含量的百分比)，兩者意義並不相同
(五)建議先行分析現有土壤含水量計的資料與遙測影像分析之土壤含水量之關係式，如果有一定程度的相關性再逐步推動研究工作。	根據國外相關研究，衛星影像反演之土壤含水量與土壤含水量觀測值存在高度相關，本研究將於期末報告補充台灣地區土壤含水量觀測資料與遙測影像反演之土壤含水量相關性。
(六)降雨與現有土壤含水量計的連動分析，應該要先率定，選用可靠的測站。	已於期中報告補充降雨量與土壤含水量關聯性，詳見 5.2.3 節
(七)降雨、崩塌、土壤飽和度在理論上有高度關係，但是現在的土壤含水量計皆在表層土壤，是否有代表性？	本計畫將以淺層崩塌為主要研究對象，一般影響淺層崩塌地因子有潛在因子(如地形、土壤、地質等)及誘發因子(如地震、氣候、人為活動等)，根據相關文獻研究顯示(詳

審查意見	處理情形
	第三章)，表土含水量屬於影響淺層崩塌之誘發因子之一，故本研究將納入土壤含水量作為淺層崩塌預測因子之一。
(八)遙測影像如何在「降雨時期」反應出土壤含水量？	本計畫將以降尺度分析產出高空間解析度(1KM)之事件臨前土壤含水量，再透過水平衡公式，估計降雨事件期間之土壤含水量變化。
(九)遙測影像如何在茂密的森林反應出土壤的含水量？	由於衛星電磁波穿透性受雲層及植物遮蔽影響，本計畫將依據不同土地利用進行分群訓練，以期掌握不同土地利用條件下，遙測影像與土壤含水量之關聯性。
(十)本研究標題為利用 QPESUMS 雨量資料分析，但工作計畫書提及利用雨量站內插網格資料，請釐清。(P.2-2)	已補充 QPESUMS 介紹，詳見 2.2.2 節。
(十一)目前擬採用多項地文條件進行土壤含水量、降尺度分析，是否有更多文獻佐証，各項參數條件的可行性？	國內、外已經有相當多研究將遙測影像應用於土壤含水量估計，茲彙整如表 3-1 所示。
(十二)在上述關係未釐清之前，又增設土壤含水量計，未必能解決問題，只是增加更多的變數。	感謝委員意見，國內、外已經有相當多研究將遙測影像應用於土壤含水量估計(詳表 3-1)，應有值得深入研究應用之可行性。
(十三)本計畫篩選出之 11 處候選位，主要位在道路兩旁較平坦的位置，建議評估選在實際容易發生淺層崩塌的地區。	本計畫選擇之監測站點皆位於歷史曾經發生過崩塌之坡面。
(十四)以圖 2-15 土壤溫濕度偵測器只能量到地表 15cm 以內的土壤含水量，其影響到表土的穩定性，並不能做為引發淺層崩塌的指標。	本計畫分別於地表下 30cm 和 60cm 設置土壤含水量感測器，以掌握不同深度之土壤含水量資訊。
(十五)現地安裝土壤含水量位置，除考慮設置地點如 P2-21 所述適宜性外，其土壤分類及區位之適宜性(如道路邊是否為回填土等)是否亦納入考量。	感謝委員建議，本計畫實際布設地點已考量土壤分類並避開回填土區位。
(十六)土壤含水量與災害發生之關係為何，應多蒐集文獻及嘗試利用已有之測站做相關研究。	已補充土壤含水量與坡地災害關聯性文獻，詳見第三章。
(十七)土壤雨量指數方法相較於降雨驅動指標方法可較廣泛地考慮坡地水	感謝委員認可

審查意見	處理情形
文關係，本案更進一步嘗試以遙測分析直接評估土壤含水量數據，突破傳統之土壤雨量指數方法受限於個別集水區需各自率定相關水文模式參數之應用難處，值得深入研究。	
(十八)本案用遙測分析直接評估土壤含水量數據，但相關資料是否可以細緻到個別土石流潛勢溪流之尺度？	受限於衛星影像精度，土壤含水量目前僅能降至 1KM 全台網格資料，但相對於目前全台只有 20 多點的土壤含水量觀測資料，空間精度已有大幅提升，且土壤含水量僅為淺層崩塌預測因子之一，尚有其他地文與氣候因子(如雨量)輔助預警，應能提供可靠之預警資訊。
(十九)因防災應變開設時，對於提供應變決策之情資，均有其時效性要求，本案之資料產出時間，是否符合快速提供分析結果之需求？	本計畫將以降尺度分析產出高空間解析度(1KM)之事件臨前土壤含水量，再透過水平衡公式，估計事件期間之土壤含水量變化，並與地面觀測站比對進行參數率定，以期解決影像資料非即時性、空間尺度過粗及誤差太大之問題。
(二十)本工作執行計畫書無結論與建議，未來請改進。	將於成果報告補充結論與建議。

附錄三、期中審查意見暨回覆辦理情形

審查意見	處理情形
委員意見	
(一)110 年本局「0731 豪雨」土石流災害緊急應變小組剛解除，又馬上因「盧碧颱風」開設應變小組，且因為先前西南氣流為中南部帶來大量降雨，所以本局依照有效累積雨量的概念，判斷土體之含水程度仍高，因此有發布土石流警戒之必要。而本案是否可在上開情況，提供本局更精確的警戒區土壤含水量資訊，以便作為警戒發布之參考。	本案利用衛星遙測資訊，透過空間降尺度技術及水平衡公式，可提供全台廣域土壤含水量資訊，可作為水保局坡地災害發布之參考。110 年度已利用衛星反演及空間內插技術完成土壤含水量空間降尺度分析所需之預測變數分析，將於 111 年利用空間降尺度完成降雨事件發生前之臨前土壤含水量估計，再配合水平衡公式，進行降雨期間土壤含水量變化趨勢預報，提供貴局參考。
(二)目前本局土石流警戒值訂定採鄉鎮區為單元，但部分鄉鎮區涵蓋範圍廣大或轄內地質條件非均一，本局考慮評估將幅員廣大之鄉鎮區，如花蓮縣秀林鄉、臺中市和平區與南投縣信義鄉等鄉鎮區，進一步細分警戒分區訂定警戒基準值。本案是否可提供前開各鄉鎮區於汛期時的土壤含水量概況資料，提供細分警戒分區訂定警戒基準值參考。	本案利用衛星遙測資訊，透過空間降尺度技術及水平衡公式，可提供全台廣域土壤含水量資訊，可作為水保局坡地災害發布之參考。110 年度已利用衛星反演及空間內插技術完成土壤含水量空間降尺度分析所需之預測變數分析，將於 111 年利用空間降尺度完成降雨事件發生前之臨前土壤含水量估計，再配合水平衡公式，進行降雨期間土壤含水量變化趨勢預報，提供貴局參考。
(三)報告書第三章所描述與坡地災害關聯性文獻，主要係日本所用以土壤雨量指數概念之警戒作為。但是否可再收集提供土壤含水量與坡地災害之分析文獻，因土壤含水量與土壤雨量指數畢竟是意義不同的資料。	已補充相關文獻，如 Samuele Segoni(2018)及 Ari J. Posner(2015)利用降雨量及土壤含水量來決定是否發布崩塌預警，詳第三章第二節。
(四)本計畫以降尺度分析產出高空間解析度(1KM)之事件臨前土壤含水量，再透過水平衡公式，估計降雨事件期間之土壤含水量變化，宜驗證其可行性及準確性。	110 年主要工作項目為產出土壤含水量降尺度分析所需之預測變數，土壤含水量分析驗證將於 111 年進行。
(五)本計畫篩選出之 11 處候選位，主要位道路兩側較平坦的位置。期初建議選在容易發生淺層崩塌地區，貴	本計畫選擇之位置皆為曾發生淺層崩塌之區域，惟為利儀器安裝，主要安裝於崩塌區域上方或下方較平坦

審查意見	處理情形
團隊回應監測站皆位於歷史曾發生之崩塌坡面，但與報告書圖書 4-1、4-2 之道路邊坡或平坦區域非引起土石流的淺層崩。	之區位，原照片只呈現儀器安裝區域的局部範圍，為避免讀者誤解，已補充整個崩塌面之照片，詳見圖 4-6~圖 4-8。
(六)QPESUMS 對於中長期降雨預報的限制和困難，已有許多相關討論，目前氣象局使用的是 CWBQPF。建議要先釐清為何不用 CWBQPF？為何堅持使用 QPESUMS？	目前中央氣象局提供多種預報雨量產品，包含「定量降水預報 (Quantitative Precipitation Forecasts, QPF)」、「劇烈天氣系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS) 降水預報產品」以及「區域預報模式 (Weather Research and Forecast, WRF)」，分別提供未來 24 小時、未來 3 小時及未來 84 小時之預報降雨，其中 QPESUMS 降水預報產品預報期間過短，WRF 雖可提供 84 小時長期資訊，但每 6 小時一筆，時間尺度過粗，故本研究將採用 QPF 作為預報雨量，以作為後續坡地災害預警分析之用。歷史與即時雨量資料則採用 QPESUMS 雷達估計雨量。
(七)第二章所列的許多基本資料，在水保局的巨量空間系統中都可以檢視並申請下載，甚至還有更多、更好、更合適的資料，值得去探索、使用。建議列表，於期末時追蹤。	第二章多數地文資料即是自 BIGIS 申請下載，再經 ARCGIS 軟體出圖 (非採用 BIGGIS 平台支出圖)，惟其中許多資料亦是 BIGGIS 介接其他單位之產出，故文章說明以介紹原始產出單位為主。
(八)要使用衛星遙測產品來提供土壤含水率，會有時空解析度不足、資料獲取與處理耗時過久，精度不敷實際應用所需等問題。特別是將研究目標設定為「坡地災害預警模式」，應詳加評估。	本計畫利用衛星遙測產品是為產出降雨事件發生前之臨前土壤含水量估計，後續再配合水平衡公式，進行降雨期間土壤含水量變化趨勢預報，以期解決影像資料非即時性、時間尺度過粗之問題。此外，本研究預計在 112 年度開發自動化分析模式，可以排程自動下載衛星影像，再透過自動化分析模式，進行衛星反演，降低影像處理繁瑣程序。
(九)建議報告章節架構與順序要調整，期中報告要檢附進度查核表，並條列具體成果與結論。	已補充成果與結論，詳見第伍章及第六章。

附錄四、期末審查意見暨回覆辦理情形

審查意見	處理情形
委員意見	
(一)利用 TVDI 在台灣是否有使用限度？	TVDI 是由溫度及 NDVI 所組成之指標，由於溫度和植被與土壤含水量有高度相關，因此本計畫以 TVDI 作為土壤含水量之特徵，進行後續降尺度分析之用。TVDI 只要能取得溫度及 NDVI 資料即可估計，並不受區域影響，可適用於台灣地區。
(二)遙測所得之土壤含水量是否僅能代表地表現象？但坡地災害形成可能也跟地下狀況有關，是否可以直接對應，是否有相關研究？	遙測土壤含水量可估計地表下 5~20 公分之土壤含水量，由於土壤含水量觀測資料有分層觀測，後續可探討深層與淺層土壤含水量關係，以提供後續崩塌預警使用。